

水力資源有効活用技術開発調査

地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査

報 告 書

地下調整池 開発計画支援システムの構築

地下調整池 開発計画マニュアルの策定

平成19年3月

財団法人 新エネルギー財団

(経済産業省 資源エネルギー庁 委託調査)

まえがき

我が国は、世界有数のエネルギー消費国であり、依然として一次エネルギー供給の8割以上を輸入に依存するという、極めて脆弱なエネルギー構造を持っている。このため、エネルギーセキュリティ面の観点から、エネルギーの安定供給を確保することは引き続き重要な政策課題である。

また、平成17年2月16日、気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)で採択された「京都議定書」(1997)が、141ヶ国・地域(EU連合含む)の批准により発効された。この中で我が国は、温室効果ガスの排出量を、2008年から2012年の平均値で1990年に比べ、6%削減することを義務付けられている。しかし、最近の実績では基準年を逆に数%上回る状況にあるため、短期間のうちにより実効性の高い対策を講じていくことが喫緊の課題となっている。

このような目標の達成に当たっては、わが国においても「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(いわゆるRPS法)が施行され、本格的な取り組みがなされている。

再生可能エネルギーの中で「水力」は、設備利用率が高く、単位発電量あたりのCO₂排出量も格段に少ないことから、今後の再生可能エネルギー開発政策の中核に位置づけられるべきエネルギーである。総合資源エネルギー調査会需給部会は、平成13年7月の「長期エネルギー需給見通し」において、1990年度の一般水力発電供給量788億kWhに対して、2010年度には803億kWhが必要としている。

河川維持流量等放流設備、農業用水、砂防ダムを利用した発電や、水路式発電所に地下調整池を付加した発電は取水設備等、既存の設備を利用することができるため、新規開発に比べ環境負荷が小さい。しかし、これまでは経済性に劣る等の理由で開発されてこなかったため、経済性を向上させる技術開発を行うことにより、これらの地点の開発を促進することが可能となる。「水力資源有効活用技術開発調査」はこれらの地点を経済的に開発するため、平成14年度から開始した技術開発調査で、「小水力資源有効活用技術開発調査」及び「地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査」から構成されている。

本報告書は、平成18年度に資源エネルギー庁の委託により(財)新エネルギー財団が実施した、「水力資源有効活用技術開発調査」の調査のうち「地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査」に関する調査検討についてとりまとめたものである。

本調査を実施するにあたっては、(財)新エネルギー財団に委員会および専門部会を設置し、本調査に関する基本的事項、具体的・専門的事項について審議した。

本調査の実施にあたりご指導、ご協力いただいた関係各位に対し厚くお礼を申し上げる次第である。

平成19年3月

地下調整池部会 委員名簿

(平成18年度)

役名	氏 名	所 属 お よ び 職 名		
主査	尾関 正典	中部電力(株)	発電本部 土木建築部	業務グループ長・部長
委員	田畑 規志雄	北陸電力(株)	土木部 土木計画チーム	副課長
委員	林 三千夫	関西電力(株)	土木建築室 土木グループ	リーダー
委員	浅川 晴俊	山梨県企業局	電気課	課長補佐
委員	黒川 昌彦	東京発電(株)	水力事業部 設備管理・開発グループ	マネージャー

目 次

I 調査概要

1.1 調査目的	I -1
1.2 調査内容	I -1
1.3 平成 18 年度の調査項目および成果	I -2

II 既設地点への適用による本技術の効果の検証

1.1 A1、A2 発電所	II -1.1
1.2 B1、B2、B3 発電所	II -2.1
1.3 C1、C2、C3、C4 発電所	II -3.1

III 地下調整池 開発計画支援システムの構築

1.1 開発計画支援システム全体構成	III-1
1.2 地下調整池型式選定システム	III-3
1.2.1 地下調整池容量設定システム	III-3
1.2.2 地下調整池構造設定システム	III-5
1.2.3 工事費算定システム	III-7
1.3 運転パターン設定システム	III-8
1.4 経済性評価システム	III-10

IV 地下調整池 開発計画マニュアルの策定

第1章 一般

1.1 目的	1-1
1.2 地下調整池システムの基本概念	1-2
1.3 本技術により期待される効果	1-5
1.4 適用範囲	1-6
1.5 検討の進め方	1-7

第2章 調査・計画

2.1 調査	2-1
2.1.1 調査目的	2-1
2.1.2 調査項目	2-1
2.1.3 調査の区分	2-5
2.2 計画	2-6
2.2.1 ピーク継続時間	2-6
2.2.2 地下調整池容量	2-7
2.2.3 接続パターンと流量制御方法	2-8
2.2.4 地下調整池貯留可能高さの制約	2-11
2.2.5 その他	2-13

第3章 設計

3.1 地下調整池容量	3-1
3.2 地下調整池構造	3-4
3.2.1 施工断面の標準化	3-4
3.2.2 地下調整池構造の設定	3-9
3.3 調整池運転パターン	3-15

第4章 施工

4.1 地下調整池の施工法について	4-1
4.2 発破掘削工法による地下調整池トンネルの施工	4-2
4.2.1 施工概要	4-2
4.2.2 長孔発破技術	4-3
4.2.3 爆薬技術	4-5
4.2.4 コンピュータ制御自動削孔技術	4-7
4.2.5 高強度吹付けコンクリート技術	4-9
4.2.6 シングルシェル技術	4-10
4.3 TBM掘削工法による地下調整池トンネルの施工	4-13
4.3.1 施工概要	4-13
4.3.2 カッタービットの急速交換技術	4-14
4.3.3 カッタービットの長寿命化技術	4-15
4.3.4 簡易ライナーの導入	4-16
4.3.5 楕円TBMの採用	4-17
4.3.6 シングルシェル技術	4-18

第5章 工事費

5.1 工事費と工期の算出について	5-1
5.2 発破掘削工法による地下調整池トンネルの工事費と工期の設定	5-3
5.2.1 発破掘削工法による地下調整池トンネルの工事費	5-3
5.2.2 発破掘削工法による地下調整池トンネルの工期	5-8
5.3 TBM掘削工法による地下調整池トンネルの工事費と工期の設定	5-12
5.3.1 TBM掘削工法による地下調整池トンネルの工事費	5-12
5.3.2 TBM掘削工法による地下調整池トンネルの工期	5-17

第6章 経済性評価

6.1 経済性評価手法	6-1

第7章 発電所の運転維持管理

7.1 発電所の運転	7-1
7.1.1 発電所運転パターンの設定	7-1
7.1.2 流量制御方法	7-2
7.1.3 ゲート制御方法	7-6
7.1.4 水車ガイドベーン制御方式	7-7
7.2 発電所の維持管理	7-13

地下調整池 開発計画マニュアル 巻末資料

巻末資料－1 地下調整池 開発計画支援システム 説明書	資料 1-1
巻末資料－2 ケーススタディ結果	資料 2-1
巻末資料－3 工事費算定システム基準	資料 3-1
巻末資料－4 地下調整池ピーク継続時間の簡易算定方法	資料 4-1
巻末資料－5 遺伝的アルゴリズム (GA) の概要	資料 5-1
巻末資料－6 地下調整池 構築技術 コスト低減要因	資料 6-1

I 調査概要

1.1 調査目的

これまでの水路式水力発電所は、河川水をそのまま取水して発電しているため、ピーク対応の電源とはなっておらずベース電源として位置付けられている。

「地下調整池による水路式発電所技術開発調査」の目的は、夜間（オフピーク時）の河川水を新たに設置する地下調整池に貯留し、昼間のピーク時間帯にピーク発電を行う調整能力を流れ込み式水力発電所に付加するとともに、発電電力量の増加を図るものである。

本調査は、「効率的な水運用技術の開発」と「地下調整池構築技術の開発」及びこれらを組み合わせた「開発計画支援システム」を構築し、経済的な地下調整池の規模、運転パターンの設定が容易にできることを目的とする。

本調査は、平成14年度から平成18年度にかけて実施された。本調査全体の実施状況を表I-1.1に示す。

表I-1.1 調査スケジュール

調査項目	14年度	15年度	16年度	17年度	18年度	備考
基本構想の検討						
現状調査・技術検討						
ケーススタディ						
経済性評価方法の検討						
実証試験要領作成						
実効性の再検証						
既設地点への適用による本技術の 効果の検証						アンケート結果のフォロー
地下調整池 開発計画支援システムの構築						
地下調整池 開発計画マニュアルの策定						

1.2 調査内容

(1) 平成14年度の調査内容

平成14年度は、事前可能性調査の内容を整理し、今後の技術的課題、発電所の立地環境条件（新設、既設、単独、シリーズの別など）を再確認し、本調査の方向性を明確にした。地下調整池の構築技術の現状調査を行い、経済的に地下調整池を構

築するための技術開発項目を抽出した。

(2) 平成 15 年度の調査内容

平成 15 年度は、要素技術の検討として、地下調整池の接続方式の違いによる構造的、水理的課題の検討、シリーズの発電所の効率的な水運用方法および地下調整池構築において導入が見込まれる新技術の工費・工期低減効果、概算工事費算定フローの検討を実施した。

(3) 平成 16 年度調査内容

平成 16 年度は、具体的地点におけるケーススタディによる課題の抽出および検討を実施した。さらに、実証試験のための試験要領を作成した。

(4) 平成 17 年度の調査内容

平成 17 年度は、本調査により期待される技術開発効果を定量的に把握し検証することで、本調査の実効性を再検証した。実効性の確認後、開発計画支援システムおよび地下調整池 開発計画マニュアルの骨子を策定した。

(5) 平成 18 年度の調査内容

平成 18 年度は、平成 17 年度に実施した事業者へのアンケート結果のフォローを実施した。さらに、平成 17 年度までにとりまとめた成果をベースに協議・検討を重ね、開発計画支援システムを構築するとともに、それらを取りこんだ地下調整池開発計画マニュアルを策定した。

1. 3 平成 18 年度の調査項目および成果

(1) 既設地点への適用による本技術の効果の検証

平成 17 年度に各事業者を実施したヒアリング調査結果を受けて、平成 18 年度は 3 事業者に対して既設地点への地下調整池の適用あるいは水運用技術の適用による本技術の効果の検証を実施した。

(2) 地下調整池 開発計画支援システムの構築

平成 17 年度に作成した開発計画支援システムの骨子をベースに、

- 地下調整池型式選定システム
- 運転パターン設定システム
- 経済評価システム

の 3 システムを構築した。さらにこれらのシステムを連携し開発計画支援システム

として統合した。

(3) 地下調整池 開発計画マニュアルの策定

平成 17 年度に作成した地下調整池 開発計画マニュアルの骨子をベースに、地下調整池の基本概念、本技術により期待される効果をはじめ、調査、設計、施工計画、工事費、経済性評価、発電所の運転・維持管理についてまとめた。

ケーススタディ結果、開発計画支援システムの説明書などを本マニュアルの巻末資料として添付した。

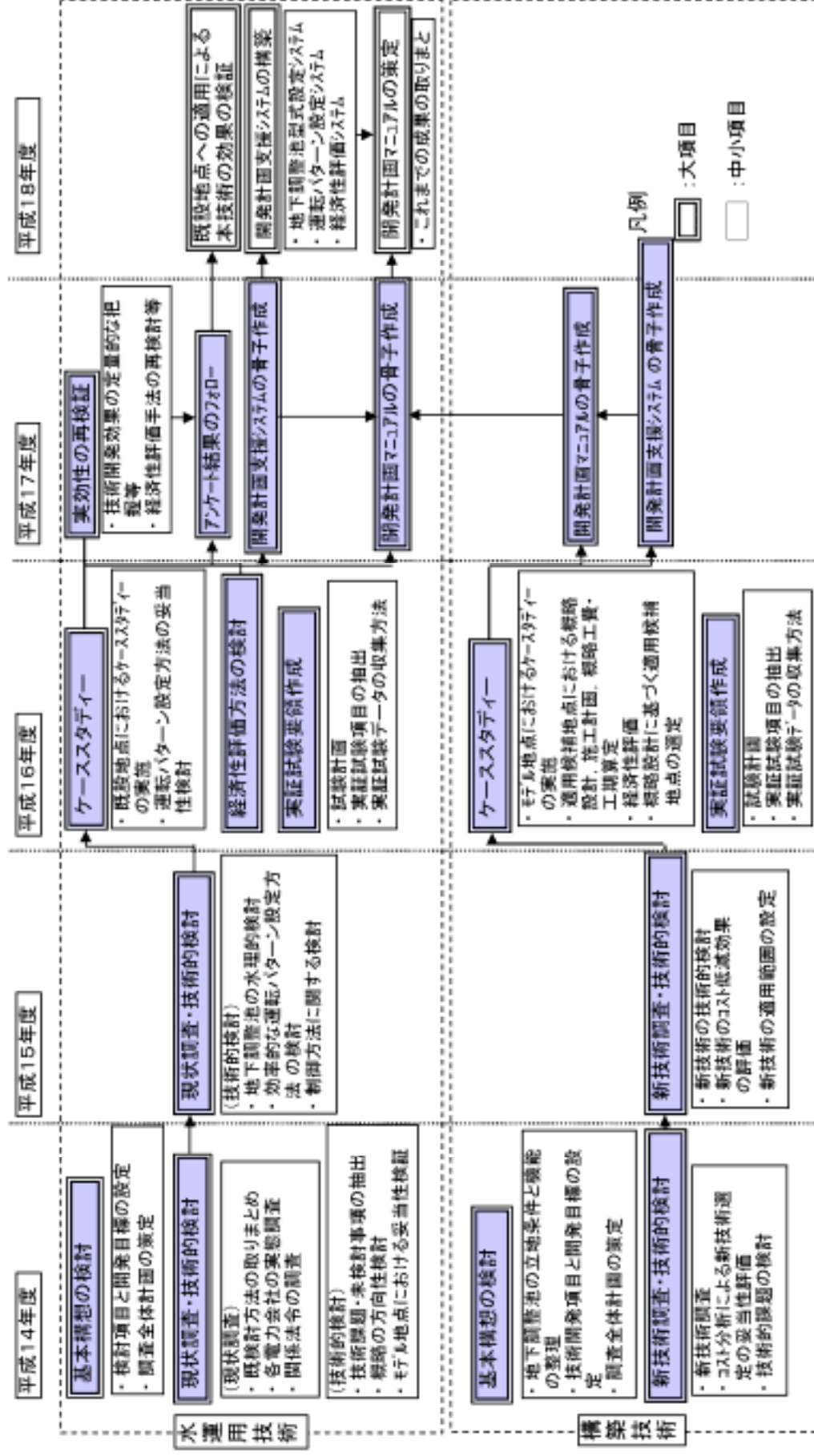


図 I-1.1 地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査展開図

II 既設地点への適用による本技術の効果の検証

1.1 A1、A2発電所

1.1.1 発電所の概要

(1) 発電所立地状況

発電諸元は、表Ⅱ-1.1.1のとおりである。

表Ⅱ-1.1.1 A水系発電所諸元

発電所名	A1発電所	A2発電所
流域面積(km ²)	39.50	55.60
最大使用水量(m ³ /s)	3.40	5.00
有効落差(m)	111.500	57.000
最大出力(kW)	3,100	2,400
常時出力(kW)	500	320
調整池容量(m ³)	34,000	24,000
水車型式	立軸フランシス	立軸フランシス
運転開始年月	昭和35年10月	昭和36年12月

ケーススタディ地点である、A1・A2発電所は、A水系の上流部に立地しており、源流は二県にまたがる県境付近に位置している。

A2発電所の下流約2.5kmの位置に、国土交通省のAダムが建設されており、A2発電所の発電後の放流は、これによるダム湖に放流している。

A1発電所は、本川及び支流の沢より合わせて最大2.462m³/sを取水し、約3.1kmの無圧導水路でa1調整池(有効貯水容量V=34,000m³)に導水される。発電は、この調整池より約1.2kmの圧力導水路、約200mの水圧鉄管を経て最大使用水量3.40m³/sにて最大出力3,100kWの発電を行っている。

A2発電所は、A1発電所下流約500mに設けられたa2調整池ダム(有効貯水容量V=24,000m³)より取水し、約1.7kmの圧力導水路、約100mの水圧鉄管を経て最大使用水量5.00m³/sにて最大出力2,400kWの発電を行い下流のダム湖に放流している。

図Ⅱ-1.1.1に、水系概要図を示す。また、写真Ⅱ-1.1.1～17に現地調査時の写真を示す。



図 II - 1.1.1 A 水系概要図

		写真Ⅱ-1.1.1 A 1 発電所 沢部堰堤
		写真Ⅱ-1.1.2 A 1 発電所 取水堰堤
		写真Ⅱ-1.1.3 A 1 発電所 a 1 調整池 ($V=34,000\text{m}^3$)

	写真Ⅱ-1.1.4 A 1 発電所 a 1 調整池ダム (ダム高：14.000m、 頂長：29.000m)
	写真Ⅱ-1.1.5 A 1 発電所 水圧鉄管
	写真Ⅱ-1.1.6 A 1 発電所 発電所建屋



写真Ⅱ-1.1.7
A 1 発電所
三相同期発電機



写真Ⅱ-1.1.8
A 1 発電所
制御盤



写真Ⅱ-1.1.9
A 1 発電所
放水口

	写真Ⅱ-1.1.10 A 2 発電所 a 2 調整池 ($V=24,000\text{m}^3$) 上流→下流
	写真Ⅱ-1.1.11 A 2 発電所 a 2 調整池 ($V=24,000\text{m}^3$) 下流→上流：堆砂状況
	写真Ⅱ-1.1.12 A 2 発電所 a 2 調整池ダム (ダム高：17.100m、 頂長：27.200m)



写真Ⅱ-1.1.13
A 2 発電所
取水口
(高さ：4.500m、
幅：7.000m)



写真Ⅱ-1.1.14
A 2 発電所
水圧鉄管



写真Ⅱ-1.1.15
A 2 発電所
発電所建屋



写真Ⅱ-1.1.16
A 2 発電所
三相誘導発電機



写真Ⅱ-1.1.17
A 2 発電所
制御盤

(2) A 1 発電所発電使用可能流況

A 1 発電所 a 1 調整池取水地点での発電使用可能流量の流況表および流況図は以下のとおりである（発電使用実績、ダム放流実績から算出）。

なお、本流況は沢部堰堤・本川取水堰堤からの取水量が、調整池ダムに至る導水路の最大通水能力 $Q = 2.462 \text{ m}^3/\text{s}$ で頭打ちされた格好となっている。

表 II -1.1.2 A 1 発電所発電使用可能流況表

A1発電所		(C.A.=39.5km ²)					(単位:m ³ /s)	
年	最大流量	35日流量	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小流量	年平均流量
1996	6.03	3.95	2.72	1.20	0.68	0.20	0.20	1.76
1997	5.52	3.81	3.28	1.53	0.75	0.32	0.12	1.92
1998	17.38	4.23	3.00	1.38	0.86	0.42	0.25	2.05
1999	6.43	4.29	3.33	1.63	0.80	0.35	0.31	2.08
2000	7.50	4.31	3.40	1.57	0.82	0.38	0.35	2.10
2001	9.26	3.95	3.40	1.20	0.57	0.00	0.00	1.84
2002	7.67	3.91	3.27	1.74	1.10	0.54	0.45	2.16
2003	6.54	4.01	3.40	1.93	0.79	0.38	0.00	2.18
2004	6.14	4.16	3.33	1.59	0.98	0.46	0.43	2.11
2005	6.39	4.17	3.30	0.89	0.49	0.22	0.20	1.86
平均	7.89	4.08	3.24	1.47	0.78	0.33	0.23	2.01

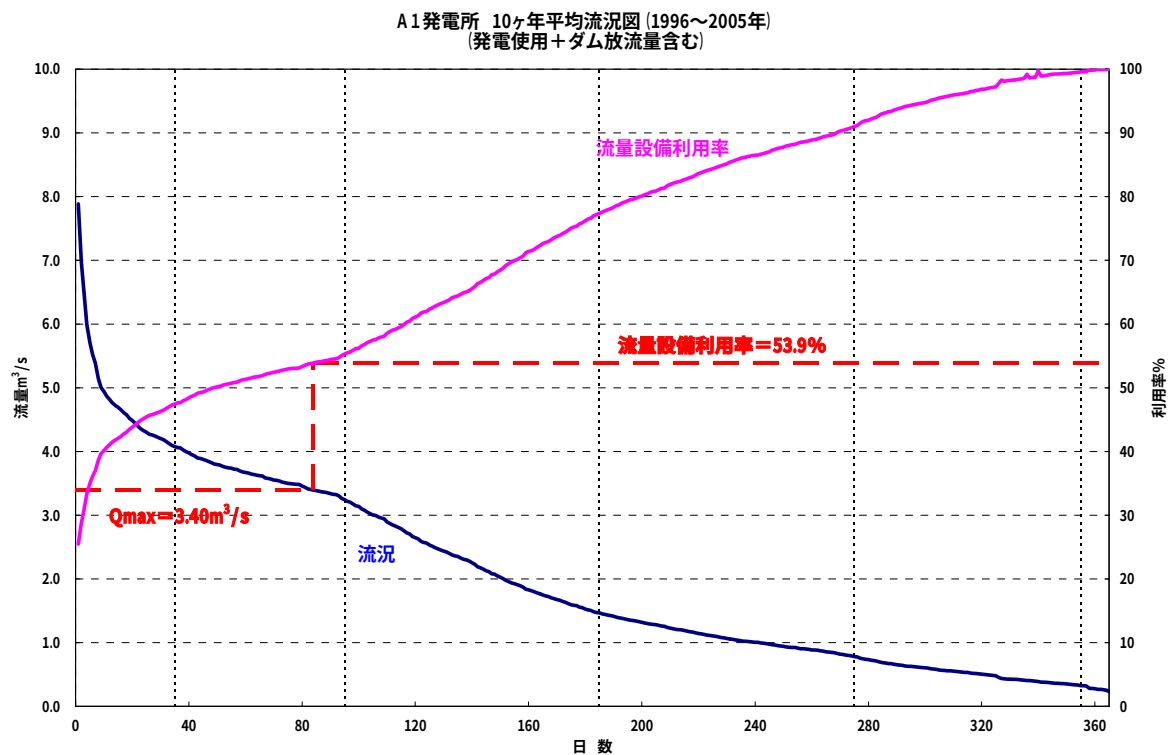


図 II -1.1.2 A 1 発電所発電使用可能流況図

(3) A 2 発電所発電使用可能流況

A 2 発電所 a 2 調整池取水地点での発電使用可能流量の流況表および流況図は以下のとおりである（発電使用実績、ダム放流実績から算出）。

なお、下記の流況は、灌漑用水の補給量を控除した形で整理したものである。

表 II -1.1.3 A 2 発電所発電使用可能流況表

A 2 発電所		(C.A.=55.6km ²)					(単位:m ³ /s)	
年	最大 流量	35日 流量	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小 流量	年平均 流 量
1996	27.38	8.72	4.00	1.59	1.00	0.44	0.33	3.26
1997	30.08	7.51	4.44	2.13	1.05	0.48	0.11	3.33
1998	92.78	9.03	4.13	1.93	1.22	0.66	0.41	4.33
1999	27.51	9.37	4.83	2.01	1.07	0.55	0.41	3.76
2000	43.83	8.80	5.00	2.06	1.07	0.59	0.53	3.79
2001	60.41	7.36	4.38	1.36	0.82	0.00	0.00	3.26
2002	90.32	7.43	4.33	2.20	1.41	0.76	0.67	3.69
2003	19.86	8.45	4.78	2.41	1.10	0.67	0.55	3.53
2004	38.07	7.49	4.51	2.00	1.24	0.67	0.62	3.50
2005	32.84	8.84	4.45	1.90	0.93	0.67	0.41	3.47
平 均	46.31	8.30	4.48	1.96	1.09	0.55	0.40	3.59

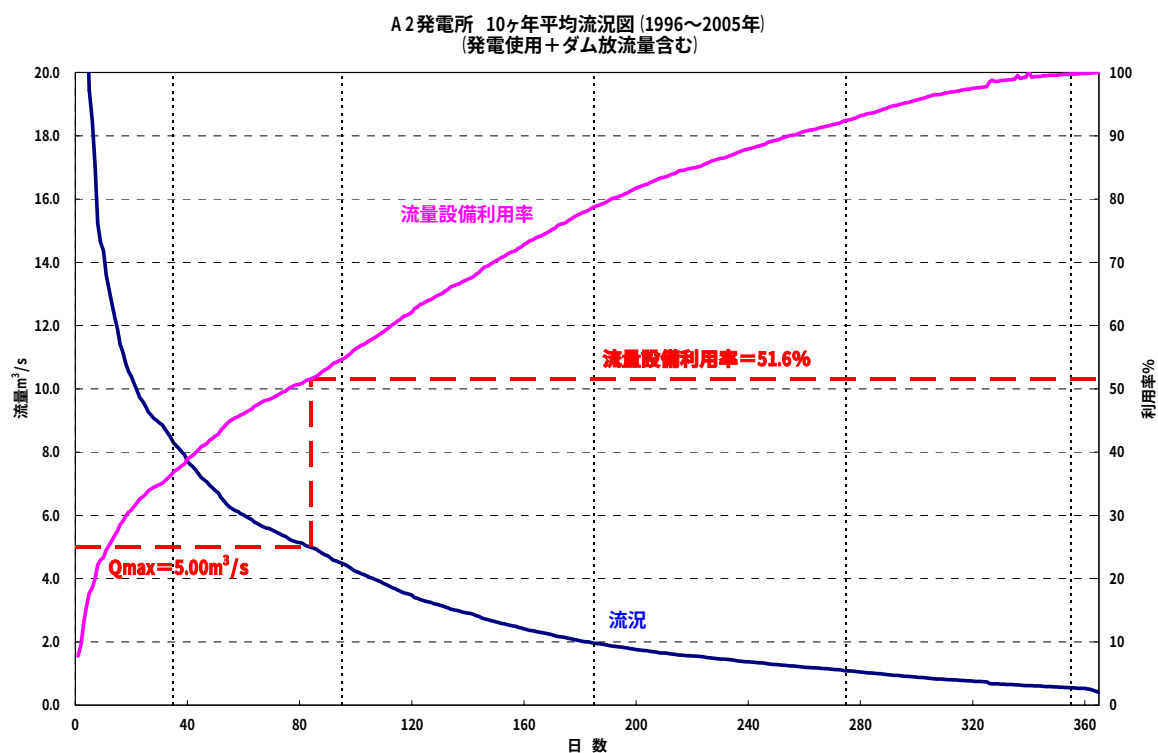


図 II -1.1.3 A 2 発電所発電使用可能流況図

(4) 発電所の運用状況

(a) 発電所の運用

A 1・A 2 発電所の運用は、基本的には電力会社の給電指令に基づき、期別に昼間型・点灯型のピーク運転が実施されており、ピーク立はA 1・A 2 発電所が同調して0-F U L L運転を実施しているとのことである。

各発電所の運転時間実績を表Ⅱ-1.1.4、5に示した。

表Ⅱ-1.1.4 A 1 発電所発電時間実績

(単位：h)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1996年	3.48	3.43	7.89	20.15	24.00	23.93	18.49	10.77	12.68	9.66	8.94	6.98	12.54
1997年	4.55	3.91	12.13	24.00	24.00	19.07	13.52	13.18	18.87	7.48	10.18	13.02	13.69
1998年	5.00	5.42	11.65	23.67	20.08	14.27	9.19	15.59	19.76	18.75	7.66	7.18	13.21
1999年	4.08	3.50	15.27	23.45	23.71	14.19	20.44	15.59	16.42	9.31	12.94	7.69	13.94
2000年	7.42	3.67	5.49	22.92	24.00	22.43	16.13	11.05	18.84	14.94	15.55	8.21	14.22
2001年	4.51	3.70	11.40	22.02	24.00	22.57	11.89	16.45	18.87	0.00	7.60	7.37	12.55
2002年	7.69	5.41	17.37	24.00	23.29	17.57	18.74	16.05	14.38	13.29	18.34	15.92	16.06
2003年	4.94	4.16	8.05	24.00	24.00	21.62	23.39	20.44	14.52	10.75	10.59	14.11	15.11
2004年	6.06	8.05	20.55	24.00	23.43	17.10	14.18	10.73	16.02	22.27	14.93	11.37	15.74
2005年	5.95	4.50	9.12	22.90	24.00	23.03	20.94	19.96	8.47	0.00	5.88	5.26	12.54
平均	5.37	4.58	11.89	23.11	23.45	19.58	16.69	14.98	15.88	10.65	11.26	9.71	13.96

表Ⅱ-1.1.5 A 2 発電所発電時間実績

(単位：h)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1996年	3.60	3.72	8.65	20.45	24.00	23.93	17.71	10.00	12.63	9.29	10.28	8.60	12.74
1997年	4.53	4.02	13.10	23.87	23.97	17.93	13.20	13.34	18.43	7.72	9.38	12.52	13.54
1998年	4.95	6.88	13.40	23.83	19.00	13.45	7.74	14.35	20.12	19.69	7.90	6.35	13.16
1999年	4.04	3.55	15.55	23.45	23.58	13.51	20.42	15.60	16.69	9.39	12.64	7.61	13.89
2000年	7.45	3.52	6.33	22.78	24.00	22.19	16.15	10.95	18.55	15.00	15.55	7.89	14.19
2001年	4.51	4.75	12.63	22.10	23.74	21.90	11.42	16.00	18.91	0.00	6.60	7.39	12.51
2002年	7.95	5.74	17.56	24.00	23.15	16.82	18.29	16.02	14.28	12.66	16.04	12.68	15.49
2003年	4.94	4.57	9.05	24.00	23.94	20.92	23.32	20.44	14.47	10.16	18.22	12.31	15.57
2004年	5.87	7.76	20.40	24.00	23.43	15.83	13.61	9.53	15.70	22.19	15.03	10.48	15.34
2005年	5.69	4.55	9.39	22.90	23.84	22.88	20.58	19.93	22.24	1.77	5.53	5.14	13.73
平均	5.35	4.91	12.61	23.14	23.26	18.94	16.24	14.62	17.20	10.79	11.72	9.10	14.02

これによると、4月、5月は両発電所ともほぼ24時間のFULL運転が実施されており、また渇水期に当たる2月においてもほぼ5時間程度の運転が行われていることがわかる。

(b) a 2 調整池の浚渫状況

a 2 調整池には土砂の流入・堆積が著しく、有効容量 $V=24,000\text{m}^3$ を確保する目的で、毎年 $3,000\text{m}^3$ 程度の浚渫が行われている。

(c) 灌漑用水の補給

本川取水堰堤の約3km下流に灌漑用水の取水えん堤が設けられており、期別に $0.10\sim0.25\text{m}^3/\text{s}$ の取水が行われている。その際に、えん堤取水量が所定流量に満たない場合は、a 2 調整池ダムからポンプアップして灌漑用水の補給を行っている(上記整理したA 2 流況には、折り込み済みである)。

1. 1. 2 調整池運用の検討

(1) 計算ケース

計算ケースは、以下の理由により①シリーズ発電所ケース（A 1・A 2 発電所：調整池は a 1 の調整池のみを考慮）、②単独発電所ケース（A 2 発電所：a 2 調整池を考慮）とした。

- ・開発計画支援システムでは、調整池を 2 つ持つ場合を考慮していない。
- ・仮に 2 つの調整池を考慮して、最適な運用検討を行っても電水比の高い A 1 発電所の効率的な運用が優先されると考えられること（電水比：A 1 発電所 $912\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$ 、A 2 発電所 $480\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$ ）。
- ・現行の運用においても、A 1 発電所のピーク運用に同調した格好で A 2 発電所の運用が行われていること。

また、ピーク継続時間は現行の運用を考慮して、一律 5 時間とした。さらに、a 2 調整池については、調整池容量と浚渫等の維持費用を考慮した最適規模の検討を行うことから、調整池容量を 3 ケース設定することとした。

<計算ケース>

①シリーズ発電所ケース（A 1・A 2 発電所）

ピーク継続時間 T_{PEAK} (h)	調整池容量 V (m^3) [a 1]
5. 0	3 4, 0 0 0

②単独発電所ケース（A 2 発電所）

ピーク継続時間 T_{PEAK} (h)	調整池容量 V (m^3) [a 2]
5. 0	1 2, 0 0 0
5. 0	1 8, 0 0 0
5. 0	2 4, 0 0 0

(参考) 地下調整池の設計手法に基づき、8 月 L 5 流量にて各々の調整池容量を算出すると以下のとおりとなる（ピーク継続時間 5 h と設定）。

(a 1 調整池)

- ・8 月 L 5 流量 $= 0.94\text{m}^3/\text{s}$ (250 日流量)
 - ・ $V = (3.40 - 0.94) \times 5 \times 3,600 = 44,280\text{m}^3$ (ピーク立必要量で決定)
- [実際の有効容量 $V = 34,000\text{m}^3$ は、上記の 77% 程度]

(a 2 調整池)

- ・8 月 L 5 流量 $= 1.12\text{m}^3/\text{s}$ (271 日流量)
 - ・ $V = (5.00 - 1.12) \times 5 \times 3,600 = 69,840\text{m}^3$ (ピーク立必要量で決定)
- [実際の有効容量 $V = 24,000\text{m}^3$ は、34% 程度]

(2) 検討条件の設定

表Ⅱ-1.1.6は、対象発電所の諸元を示したものである。以下に今回実施した検討の前提条件および検討ケースの設定について述べる。

表Ⅱ-1.1.6 検討対象発電所の諸元

	A1 発電所	A2 発電所
最大出力 P (MW)	3.1	2.4
最大使用水量 Q_{max} (m ³ /s)	3.4	5.0
有効落差 H_{Amax} (m)	111.5	57.0
流域面積 C_A (km ²)	39.5	55.6
水車型式	縦軸フランシス	縦軸フランシス

(a) 前提条件

a) シリーズ発電所の前提条件 (input1)

各発電所の電力量を計算するのに必要なシリーズ発電所に関する情報を表Ⅱ-1.1.7に示す。また、各発電所の効率 η は流量に依存する値であり、図Ⅱ-1.1.4に示す効率曲線グラフを基に入力した。

表Ⅱ-1.1.7 検討対象発電所入力項目

	A1 発電所	A2 発電所
流域面積 C_A (km ²)	39.50	55.60
河川維持流量 q_k (m ³ /s)	0.00	0.00
最大使用水量 Q_{max} (m ³ /s)	3.40	5.00
発電可能最小流量 Q_n (m ³ /s)	0.55	1.75
常時使用水量 Q_s (m ³ /s)	0.73	0.90
水槽水位 h_{tk} (m)	735.00	618.50
最大使用水量時の放水水位 h_{max} (m)	618.50	557.65
常時使用水量時の放水水位 h_s (m)	618.30	557.35
最大使用水量時の損失落差 h_{lmax} (m)	5.00	3.85
最大使用水量時の有効落差 H_{Amax} (m)	111.50	57.00

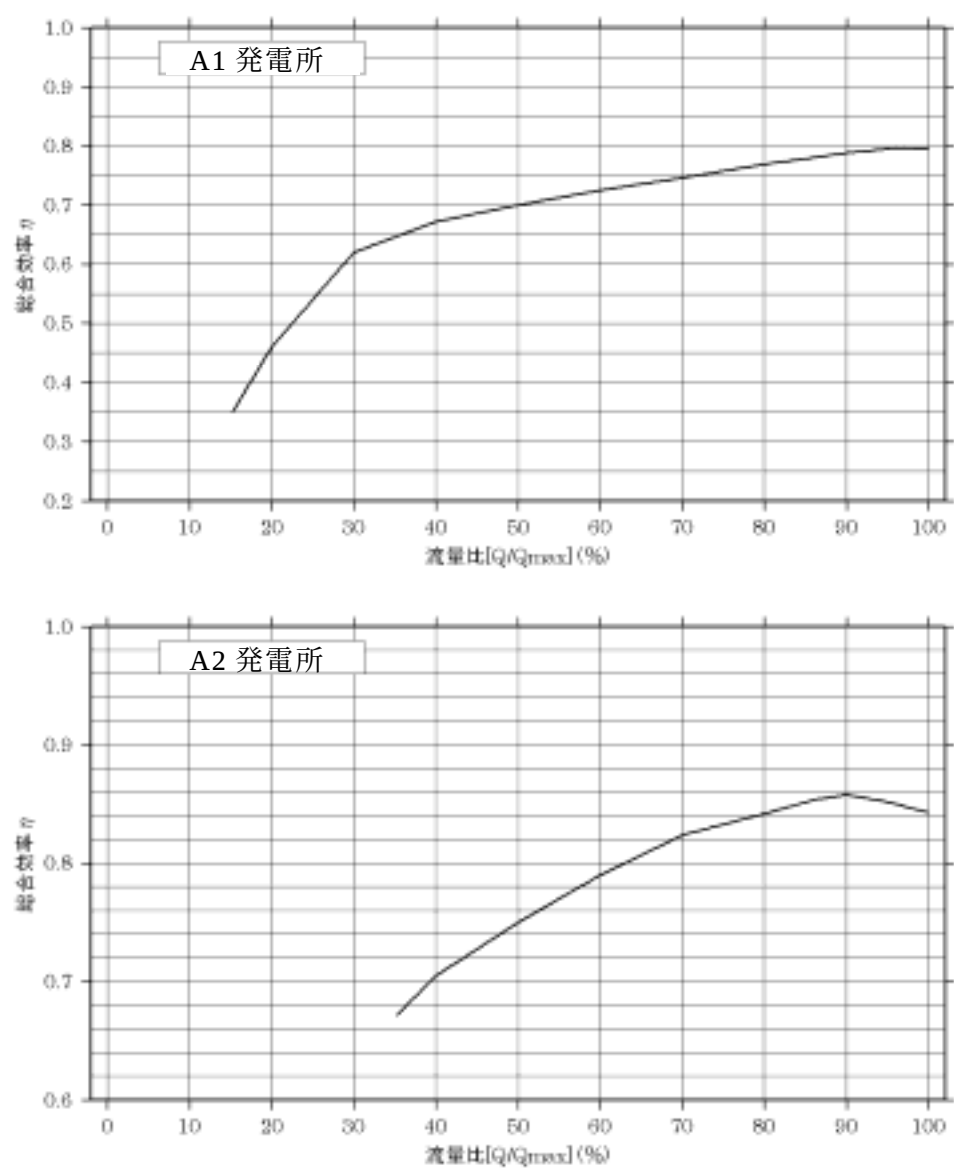
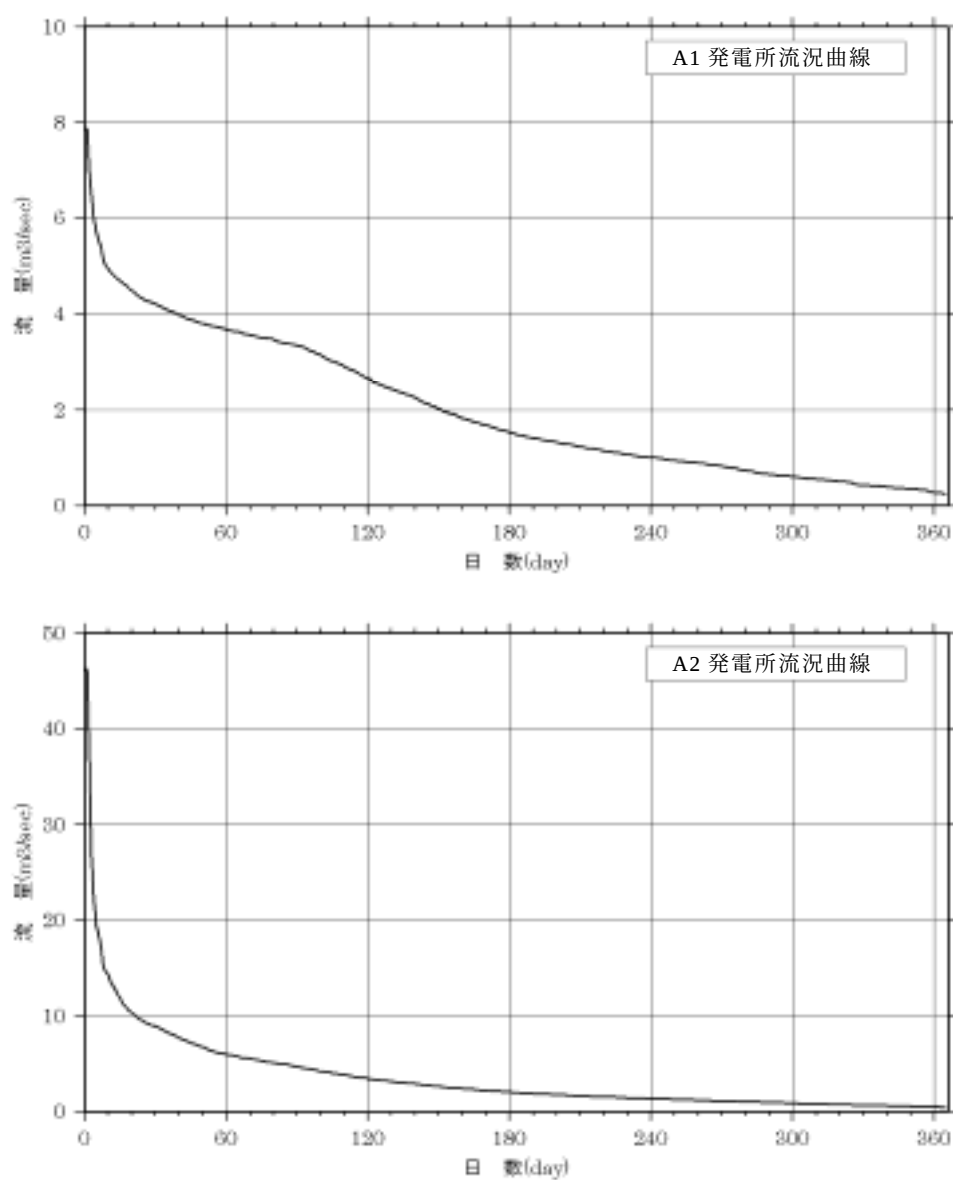


圖 I -1.1.4 綜合效率曲線 (A 1・A 2 發電所)

b) 流況曲線 (input2)

計算を実施するに当たっては、図Ⅱ-1.1.5に示す流況データを入力する。



図Ⅰ-1.1.5 各発電所の調整池取水口地点の流況（H8～H17年平均データ）

(b) ケース設定

検討ケースは、二つの発電所（A 1・A 2 発電所）のシリーズ発電所のケースで、A 1 発電所上流に、容量 34,000m³の調整池を利用するケースと、下流の A 2 発電所のための単独発電所として、容量 12,000m³、18,000m³、24,000m³の計 4 ケースを設定した。なお、ピーク継続時間はいずれも 5 時間とした。

運用方法としては、以下の 3 パターンを設定した。

k W 優先運転①： ピーク継続時間 T_2 を固定して、ピーク時に最上流発電所の出力が最大となるための必要容量を、貯留時には完全に発電を停止して最短時間で貯める運用。

k W 優先運転②： ピーク継続時間 T_2 を固定して、ピーク時に最上流発電所の出力が最大となるための必要容量を、発電電力量が最大となるように貯留時間を調整する運用。

k W h 優先運転： 発電電力量が最大となるような調整容量、貯留時間、ピーク継続時間を調整する運用。

表 II -1.1.8、9 に検討ケース一覧を示した。

表 II -1.1.8 検討ケース一覧（A 1・A 2 シリーズ発電所ケース）

運用方法 調整池容量 (m ³)	k W 優先運転①	k W 優先運転②	k W h 優先運転
34,000	T-I5-034 (ピーク時間 5h)	T-II5-034 (ピーク時間 5h)	T-III-034

表 II -1.1.9 検討ケース一覧（A 2 単独発電所ケース）

運用方法 調整池容量 (m ³)	k W 優先運転①	k W 優先運転②	k W h 優先運転
12,000	T-I5-012 (ピーク時間 5h)	T-II5-012 (ピーク時間 5h)	T-III-012
18,000	T-I5-018 (ピーク時間 5h)	T-II5-018 (ピーク時間 5h)	T-III-018
24,000	T-I5-024 (ピーク時間 5h)	T-II5-024 (ピーク時間 5h)	T-III-024

(3) 検討結果 ～シリーズ発電所ケース（A 1・A 2 発電所）～

(a) 調整容量 34,000m³ の計算結果

a) 条件設定

- kW 優先運転①

- － ピーク継続時間：5 時間
- － 貯留時間：ピーク時に Full 出力となる必要な調整容量を、完全に発電を停止して貯められる最短時間。

- kW 優先運転②

- － ピーク継続時間：5 時間
- － 貯留時間：ピーク時に Full 出力となる必要な調整容量を、発電電力量が最大となるように調整した時間。

- kWh 優先運転

最も発電電力量が大きくなる運転パターンを設定。

b) 計算結果

年間の 2 発電所の総発電電力量を、自流運転と比較したものが以下の表である。

表 II -1.1.10 年間発電電力量の比較（A 1・A 2 シリーズ～調整容量 34,000m³）

kW 優先運転①	自流運転	21,322 (MWh)	
	(ピーク 5 時間)	23,151 (MWh)	
	自流運転に対する増分	1,828 (MWh)	(8.58 %)
kW 優先運転②	(ピーク 5 時間)	23,152 (MWh)	
	自流運転に対する増分	1,830 (MWh)	(8.58 %)
kWh 優先運転	電力量最適運用	23,660 (MWh)	
	自流運転に対する増分	2,338 (MWh)	(10.97 %)

表Ⅱ-1.1.11 発電所毎の年間発電電力量
(A1・A2シリーズ～調整容量 34,000m³)

白流運転	A1 発電所	12,762 (MWh)
	A2 発電所	8,560 (MWh)
kW優先運転①	A1 発電所	13,584 (MWh)
	A2 発電所	9,567 (MWh)
kW優先運転②	A1 発電所	13,581 (MWh)
	A2 発電所	9,571 (MWh)
kWh優先運転	A1 発電所	13,644 (MWh)
	A2 発電所	10,016 (MWh)

●結果図面－kW優先運転①（T-I5-034）

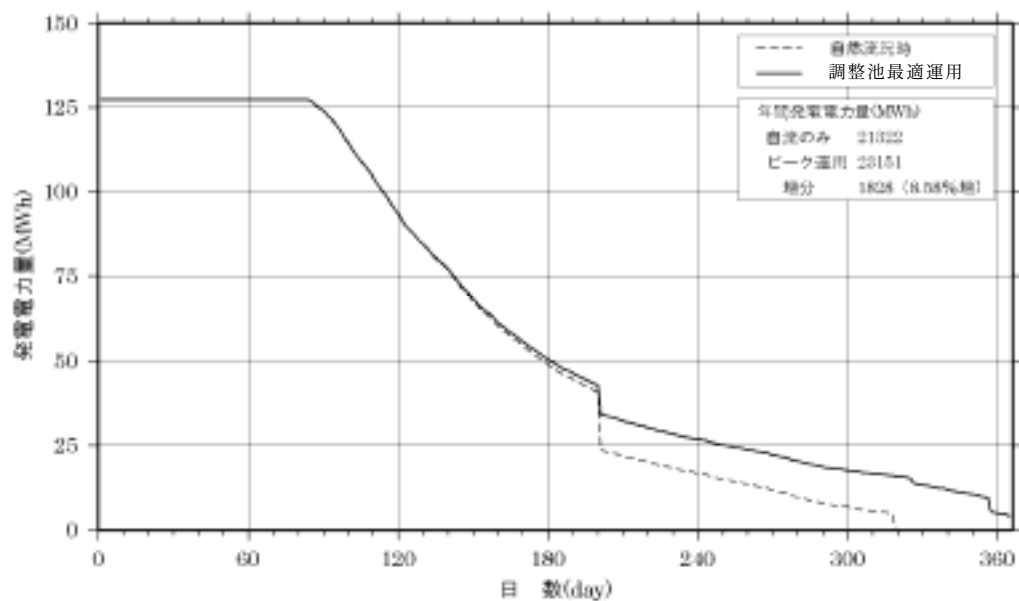


図 II -1.1.6 発電電力量曲線 [kW優先運転①／調整池 34,000m³ (T-I5-034)]

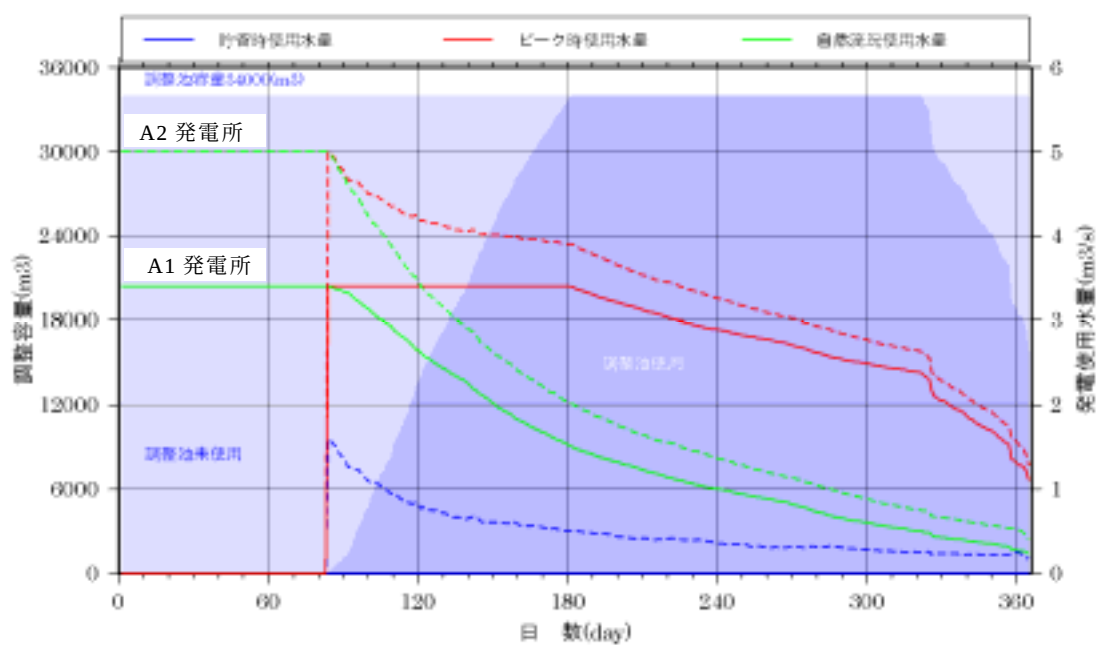


図 II -1.1.7 調整池容量及び各発電所使用流量変化
[kW優先運転①／調整池 34,000m³ (T-I5-034)]

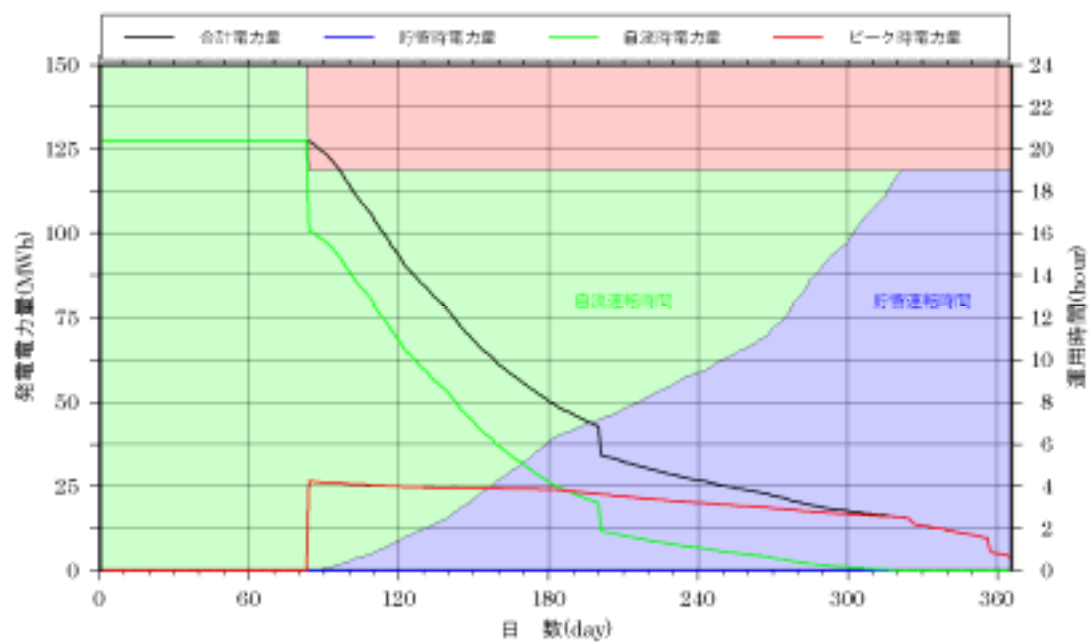


図 II -1.1.8 運転パターン及び各発電電力量変化
[kW優先運転①／調整池 34,000m³ (T-I5-034)]

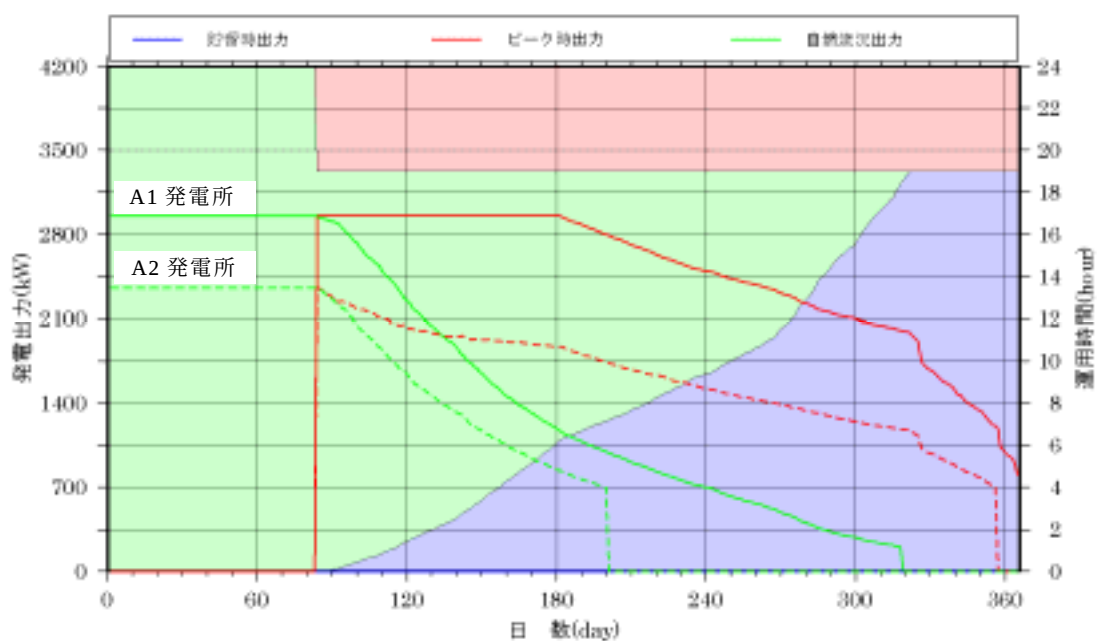


図 II -1.1.9 運転パターン及び各発電所出力変化
[kW優先運転①／調整池 34,000m³ (T-I5-034)]

●結果図面－kW優先運転②（T-II 5-034）

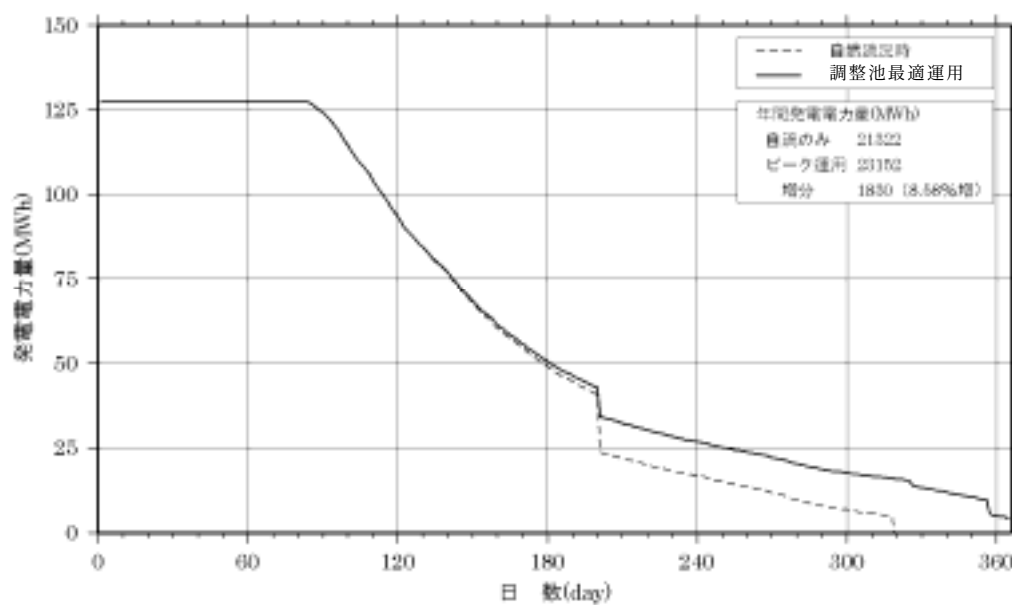


図 II -1.1.10 発電電力量曲線 [kW優先運転②／調整池 34,000m³ (T-II 5-034)]

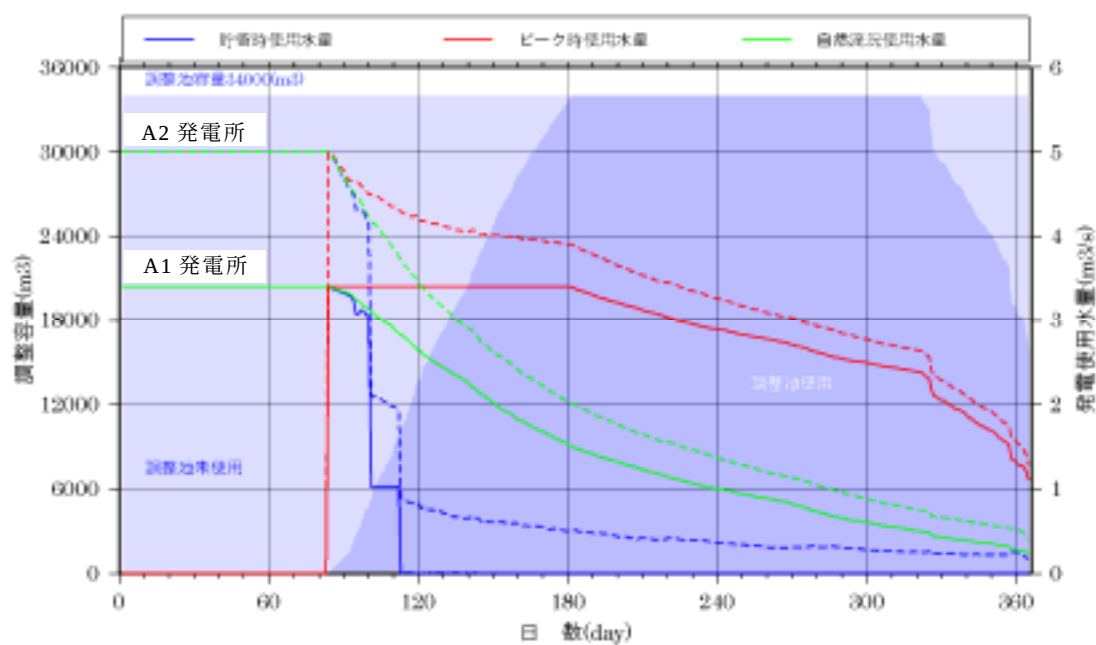


図 II -1.1.11 調整池容量及び各発電所使用流量変化
[kW優先運転②／調整池 34,000m³ (T-II 5-034)]

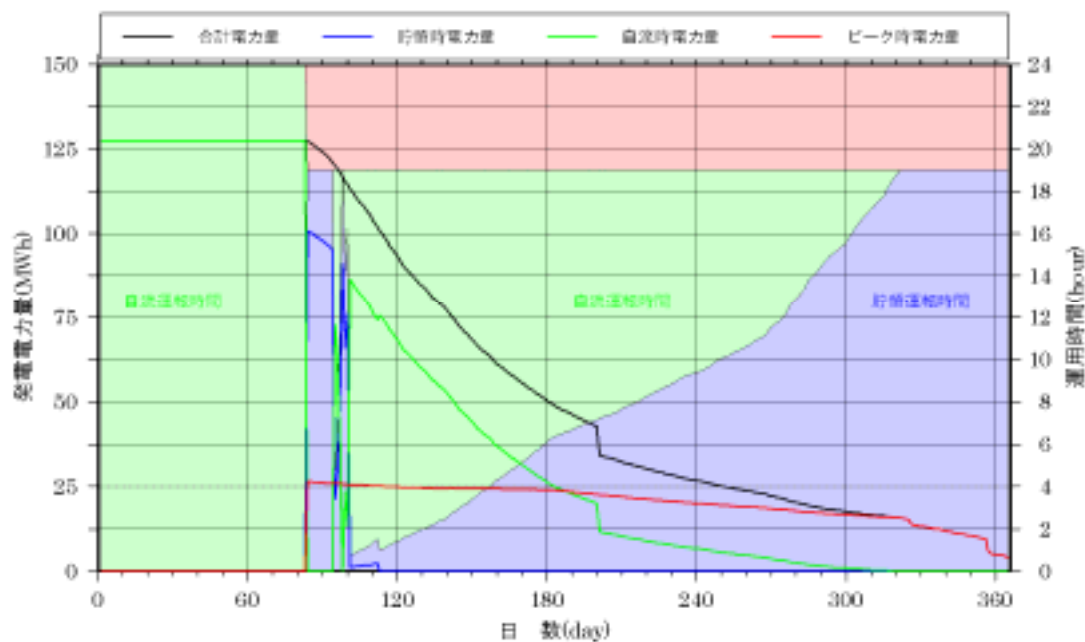


図 II -1.1.12 運転パターン及び各発電電力量変化
[kW優先運転②／調整池 34,000m³ (T-II 5-034)]

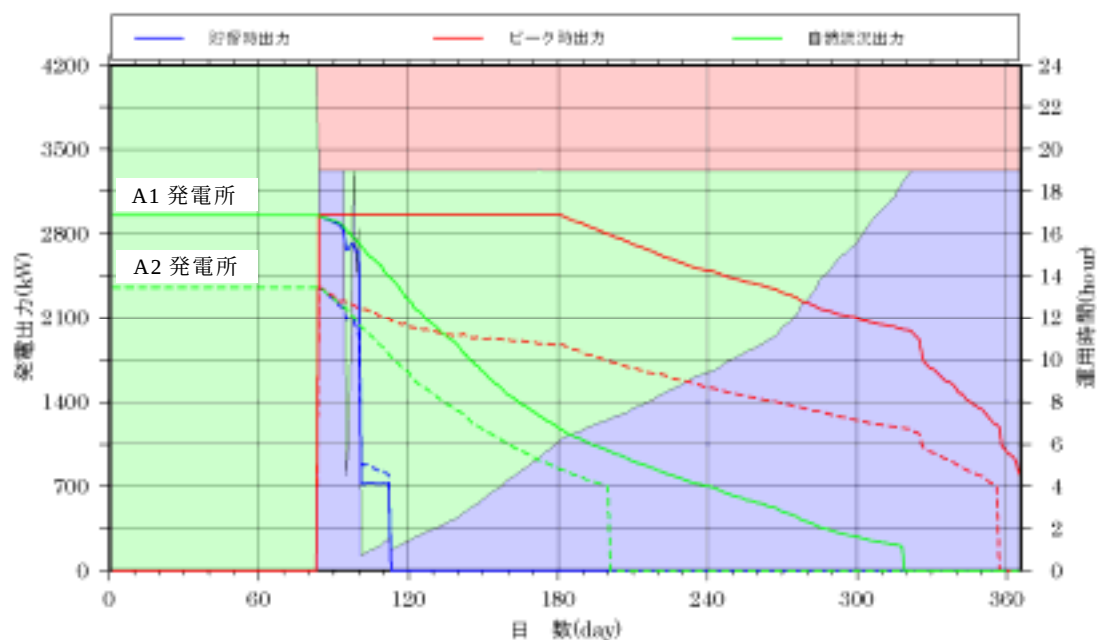


図 II -1.1.13 運転パターン及び各発電所出力変化
[kW優先運転②／調整池 34,000m³ (T-II 5-034)]

●結果図面－kWh優先運転（T-III-034）

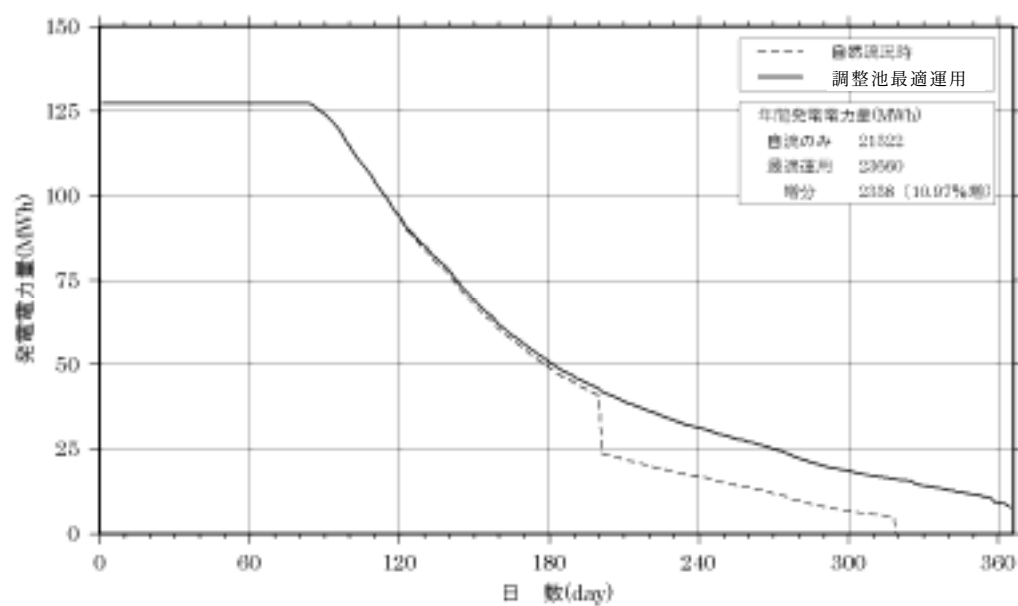


図 II -1.1.14 発電電力量曲線 [kWh優先運転／調整池 34,000m³ (T-III-034)]

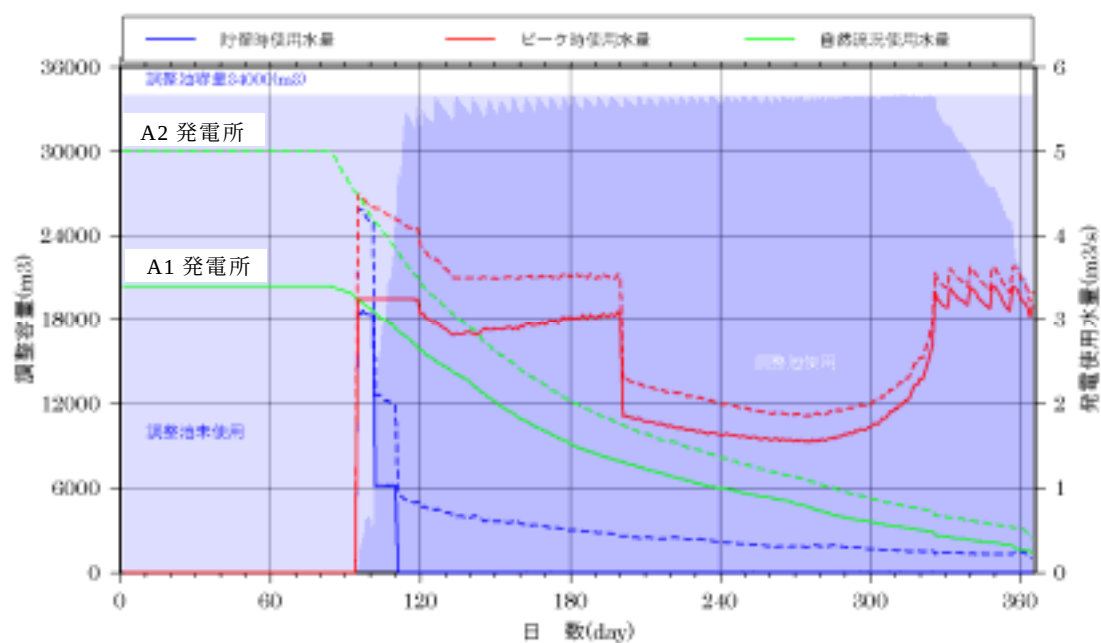


図 II -1.1.15 調整池容量及び各発電所使用流量変化
[kWh優先運転／調整池 34,000m³ (T-III-034)]

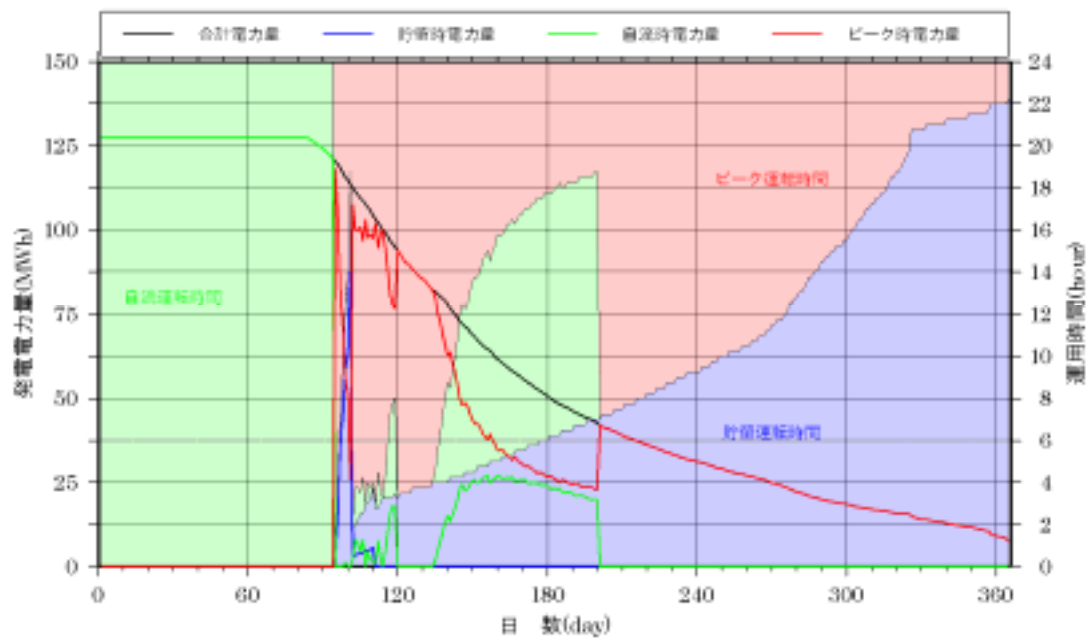


図 II -1.1.16 運転パターン及び各発電電力量変化
[kWh 優先運転／調整池 34,000m³ (T-III-034)]

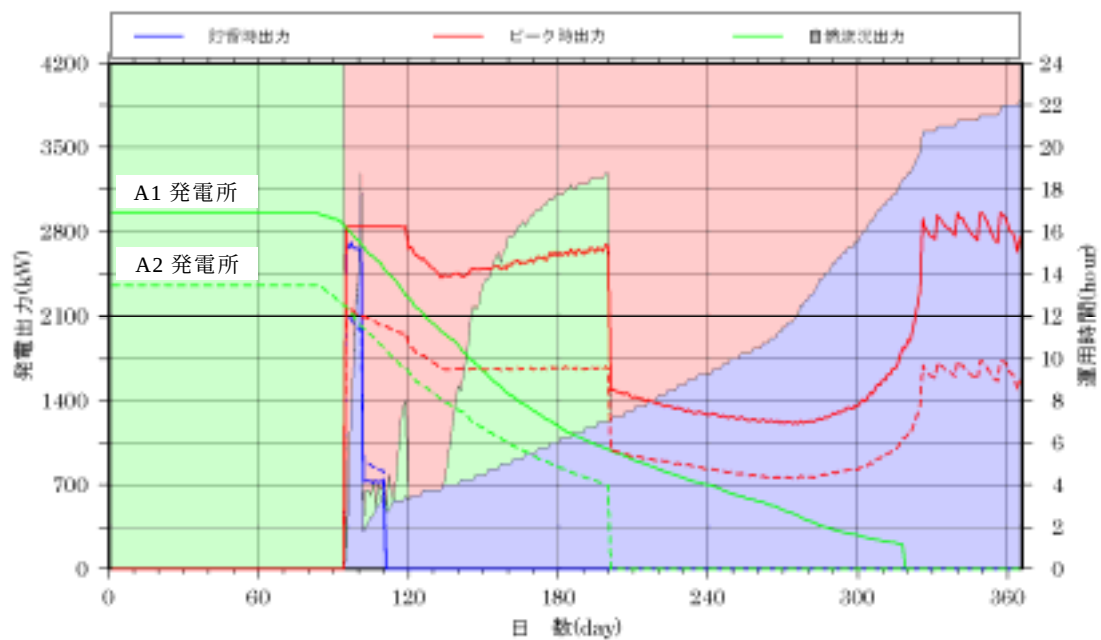


図 II -1.1.17 運転パターン及び各発電所出力変化
[kWh 優先運転／調整池 34,000m³ (T-III-034)]

(4) 検討結果 ～単独発電所ケース（A 2）～

（a）調整容量 12,000m³ の計算結果

a) 条件設定

- kW 優先運転①

- － ピーク継続時間：5 時間
- － 貯留時間：ピーク時に Fall 出力となる必要な調整容量を、完全に発電を停止して貯められる最短時間.

- kW 優先運転②

- － ピーク継続時間：5 時間
- － 貯留時間：ピーク時に Fall 出力となる必要な調整容量を、発電電力量が最大となるように調整した時間.

- kWh 優先運転

最も発電電力量が大きくなる運転パターンを設定.

b) 計算結果

年間の総発電電力量を、自流運転と比較したものが以下の表である。

表 II -1.1.12 年間発電電力量の比較（A 2 単独～調整容量 12,000m³）

	自流運転	8,560 (MWh)	
kW 優先運転①	(ピーク 5 時間)	8,915 (MWh)	
	自流運転に対する増分	355 (MWh)	(4.15 %)
kW 優先運転②	(ピーク 5 時間)	8,916 (MWh)	
	自流運転に対する増分	356 (MWh)	(4.16 %)
kWh 優先運転	電力量最適運用	9,431 (MWh)	
	自流運転に対する増分	871 (MWh)	(10.18 %)

●結果図面－kW優先運転①（T-I5-012）

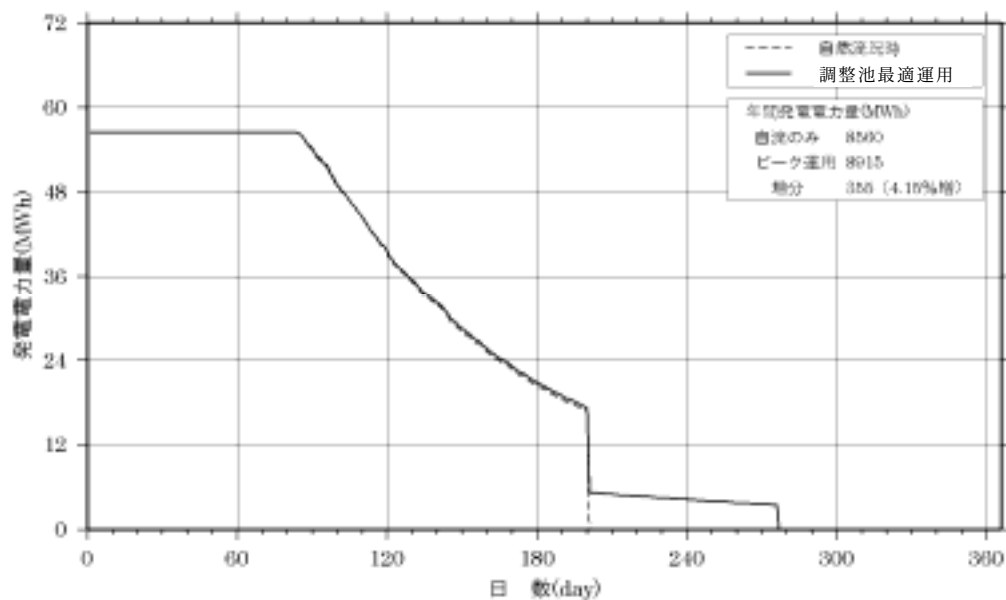


図 II -1.1.18 発電電力量曲線 [kW優先運転①／調整池 12,000m³ (T-I5-012)]

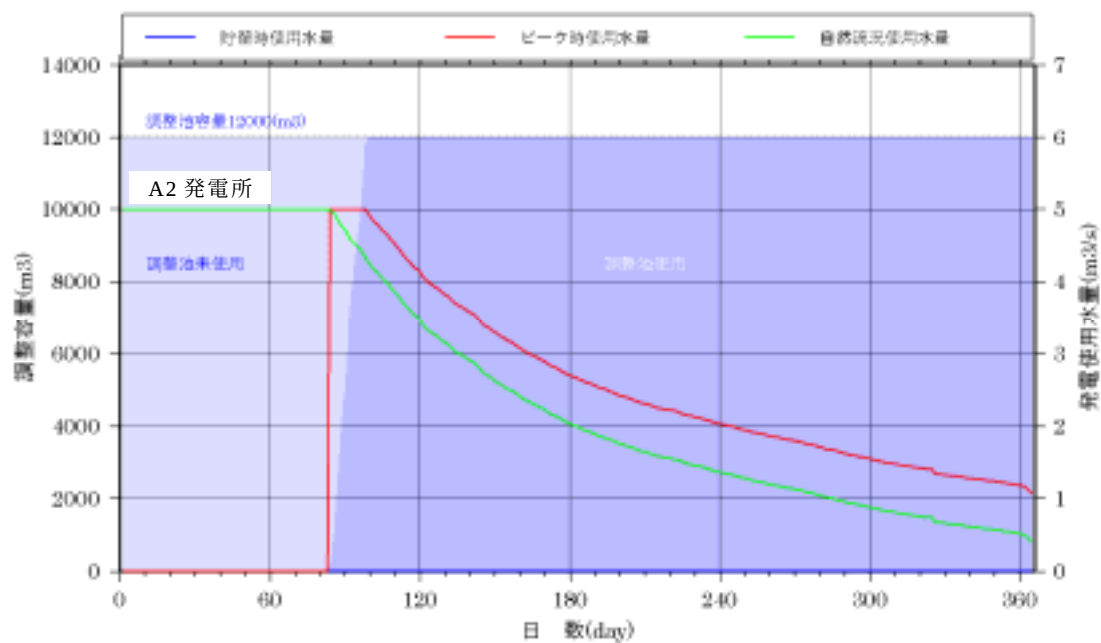


図 II -1.1.19 調整池容量及び発電所使用流量変化
[kW優先運転①／調整池 12,000m³ (T-I5-012)]

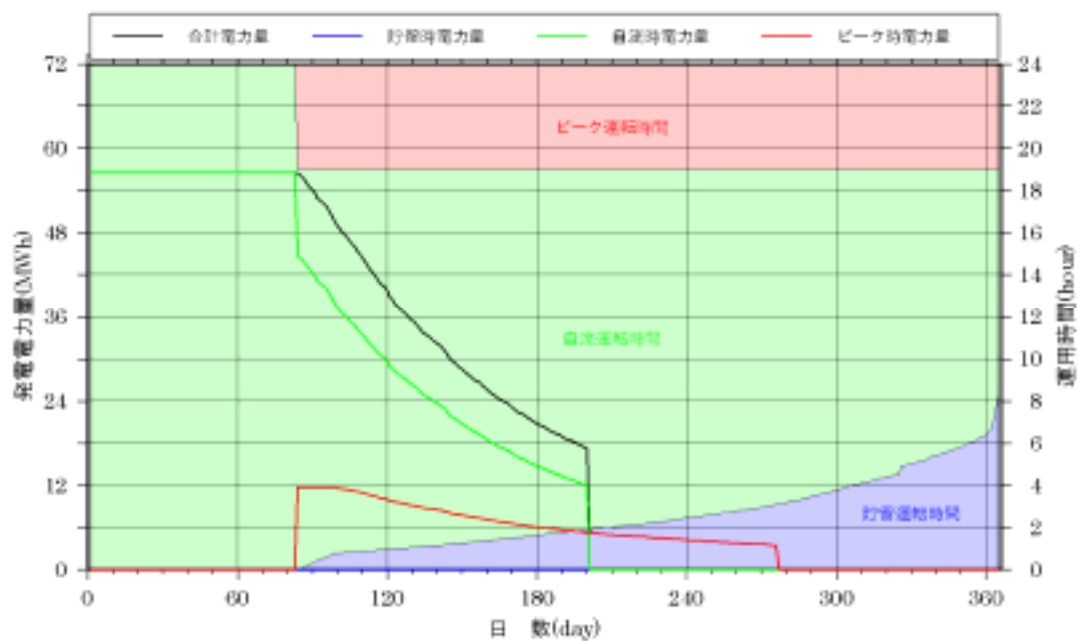


図 II -1.1.20 運転パターン及び発電電力量変化
[kW優先運転①／調整池 12,000m³ (T-I5-012)]

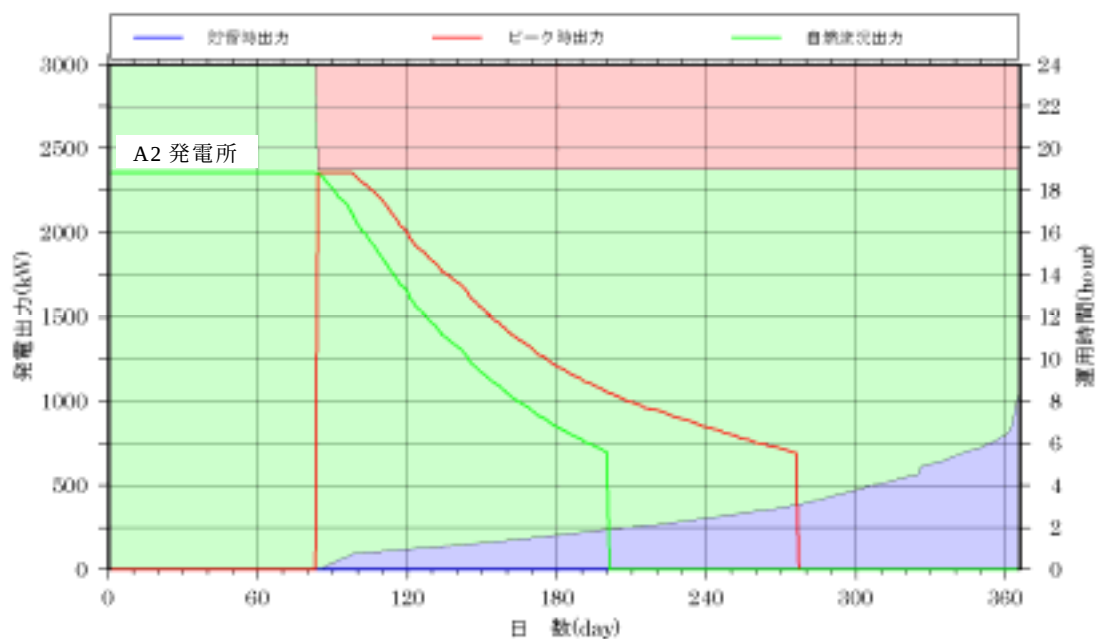


図 II -1.1.21 運転パターン及び発電所出力変化
[kW優先運転①／調整池 12,000m³ (T-I5-012)]

●結果図面－kW優先運転②（T-II 5-012）

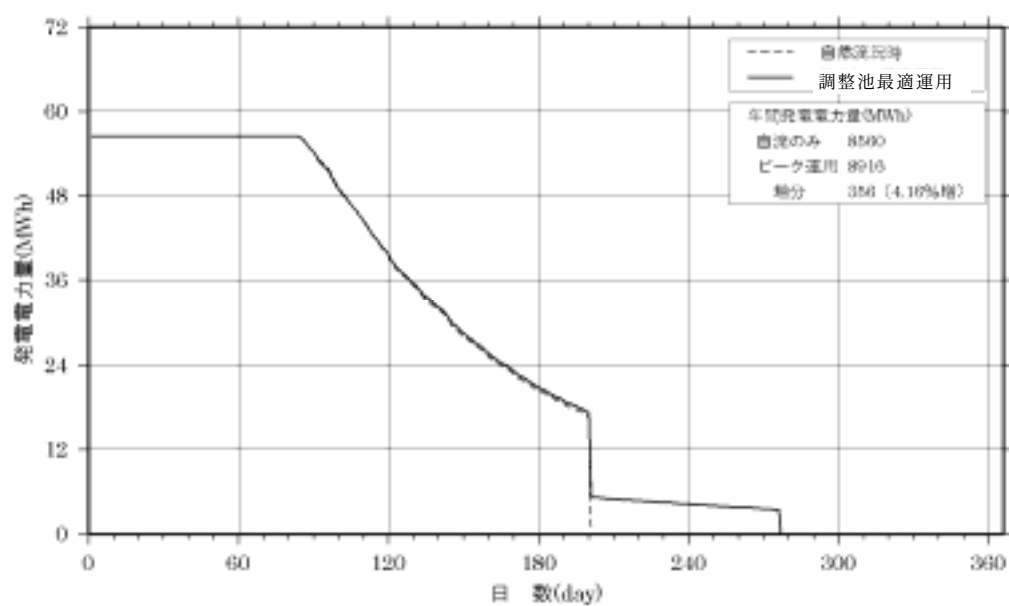


図 II -1.1.22 発電電力量曲線 [kW優先運転②／調整池 12,000m³ (T-II 5-012)]

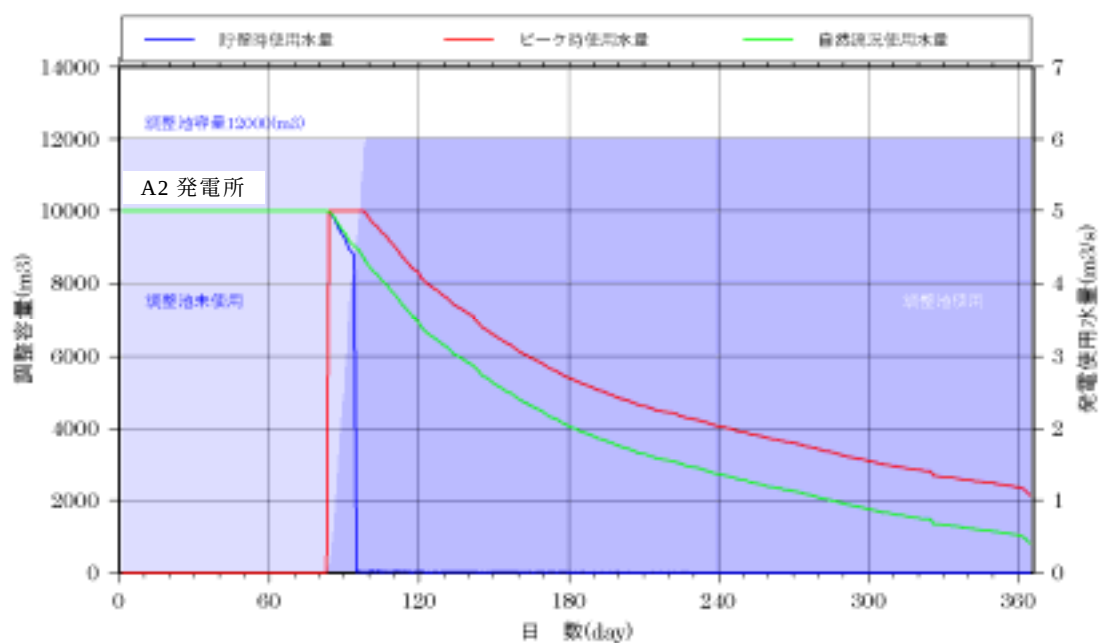


図 II -1.1.23 調整池容量及び発電所使用流量変化
[kW優先運転②／調整池 12,000m³ (T-II 5-012)]

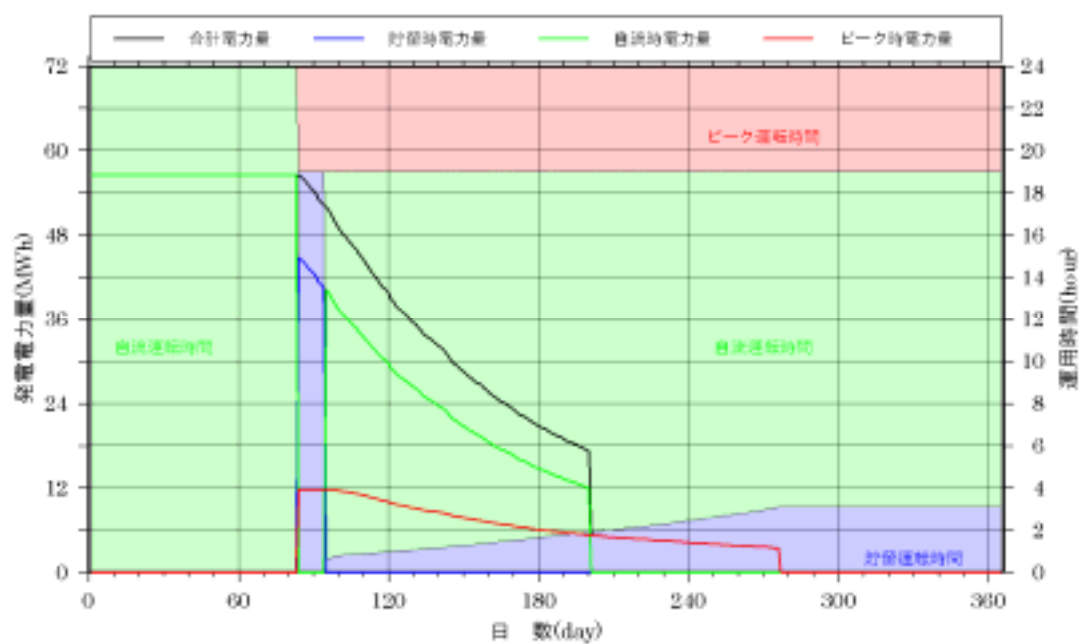


図 II -1.1.24 運転パターン及び発電電力量変化
[kW優先運転②／調整池 12,000m³ (T-II 5-012)]

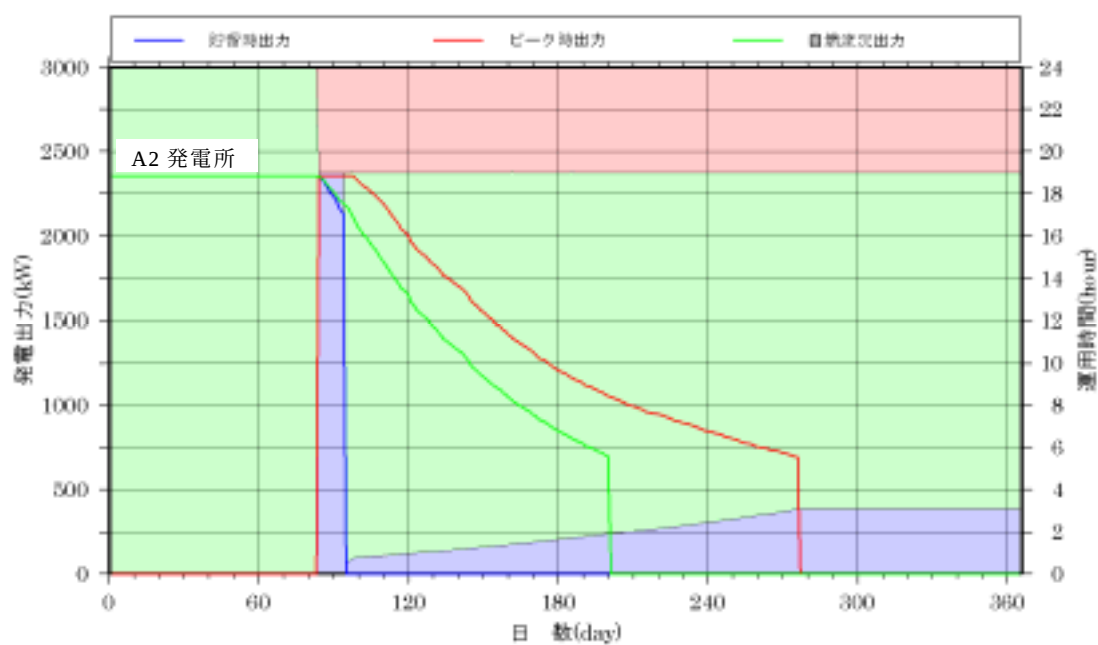


図 II -1.1.25 運転パターン及び発電所出力変化
[kW優先運転②／調整池 12,000m³ (T-II 5-012)]

●結果図面－kWh優先運転（T-III-012）

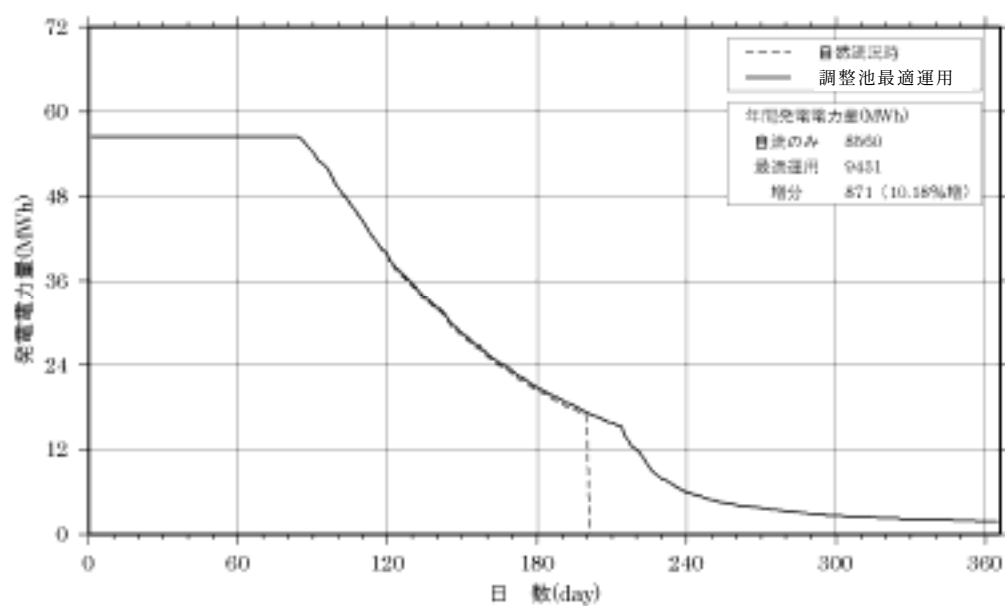


図 II -1.1.26 発電電力量曲線 [kWh優先運転／調整池 12,000m³ (T-III-012)]

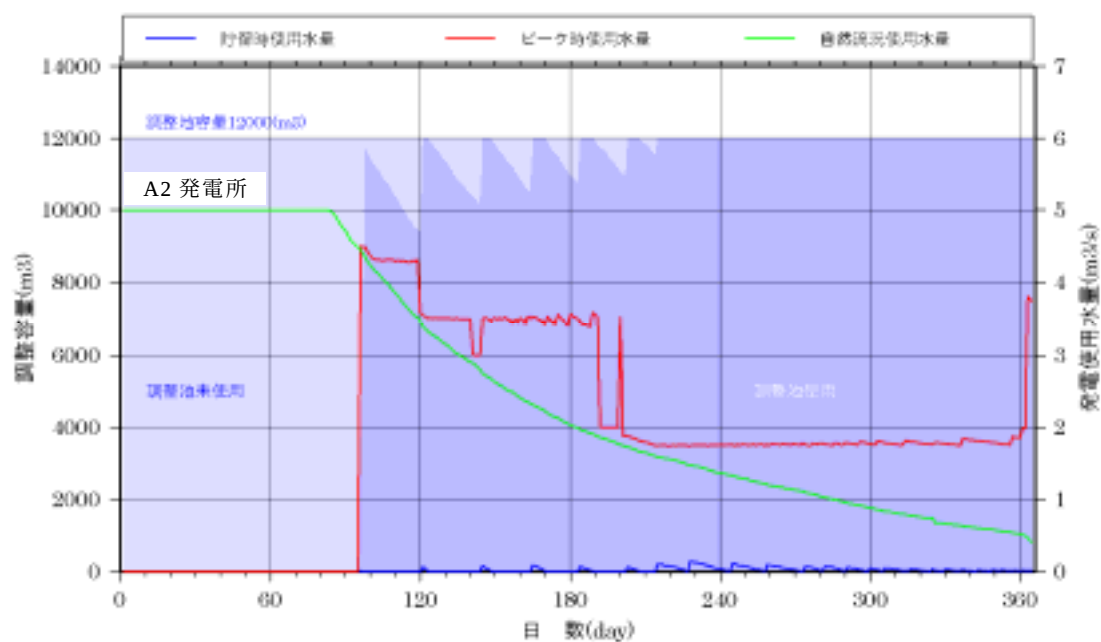


図 II -1.1.27 調整池容量及び発電所使用流量変化
[kWh優先運転／調整池 12,000m³ (T-III-012)]

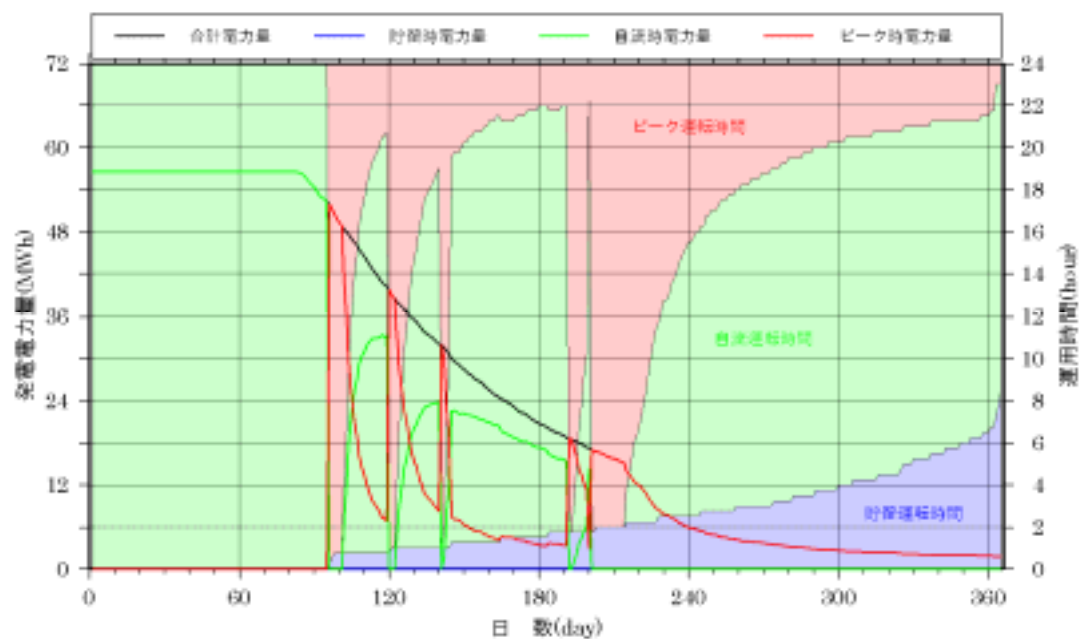


図 II -1.1.28 運転パターン及び発電電力量変化
[kWh 優先運転／調整池 12,000m³ (T-III-012)]

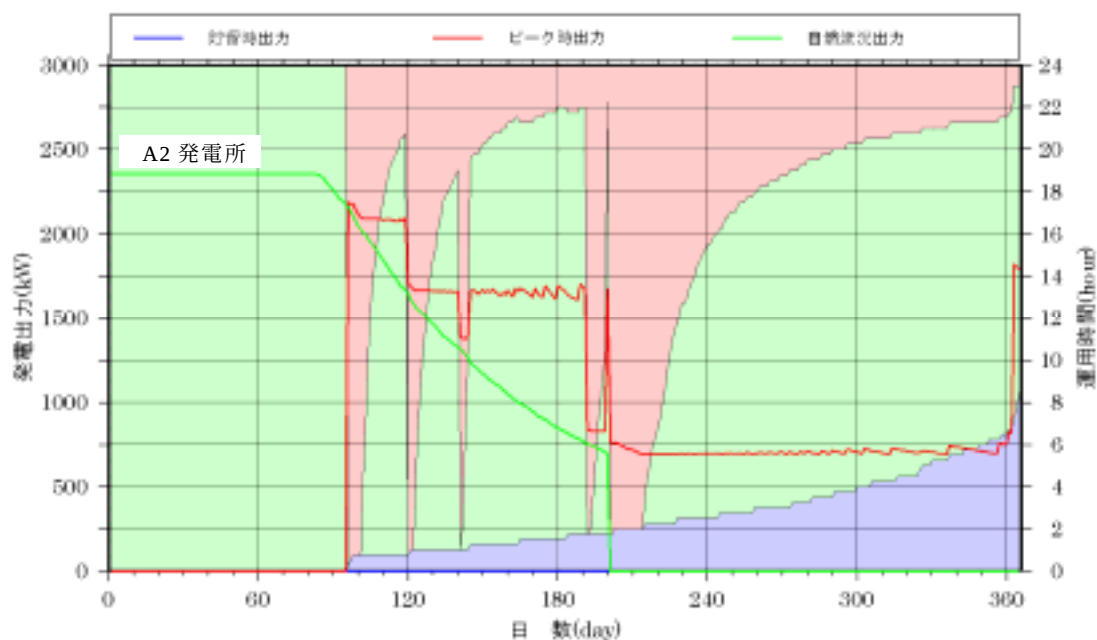


図 II -1.1.29 運転パターン及び発電所出力変化
[kWh 優先運転／調整池 12,000m³ (T-III-012)]

(b) 調整容量 18,000m³ の計算結果

a) 条件設定

• kW 優先運転①

- － ピーク継続時間：5時間
- － 貯留時間：ピーク時に Full 出力となる必要な調整容量を、完全に発電を停止して貯められる最短時間。

• kW 優先運転②

- － ピーク継続時間：5時間
- － 貯留時間：ピーク時に Full 出力となる必要な調整容量を、発電電力量が最大となるように調整した時間。

• kWh 優先運転

最も発電電力量が大きくなる運転パターンを設定。

b) 計算結果

年間の総発電電力量を、自流運転と比較したものが以下の表である。

表 II -1.1.13 年間発電電力量の比較（A 2 単独～調整容量 18,000m³）

		自流運転	8,560 (MWh)	
kW 優先運転①	（ピーク 5 時間）	9,171 (MWh)		
	自流運転に対する増分	611 (MWh)	(7.13 %)	
kW 優先運転②	（ピーク 5 時間）	9,171 (MWh)		
	自流運転に対する増分	611 (MWh)	(7.14 %)	
kWh 優先運転	電力量最適運用	9,729 (MWh)		
	自流運転に対する増分	1,169 (MWh)	(13.65 %)	

●結果図面－kW優先運転①（T-I5-018）

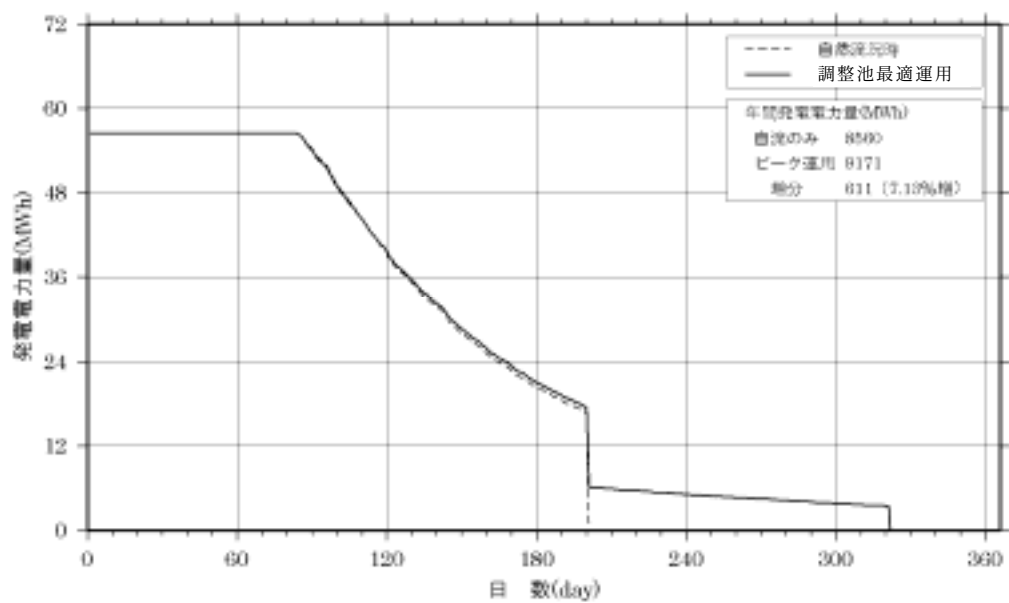


図 II -1.1.30 発電電力量曲線 [kW優先運転①／調整池 18,000m³ (T-I5-018)]

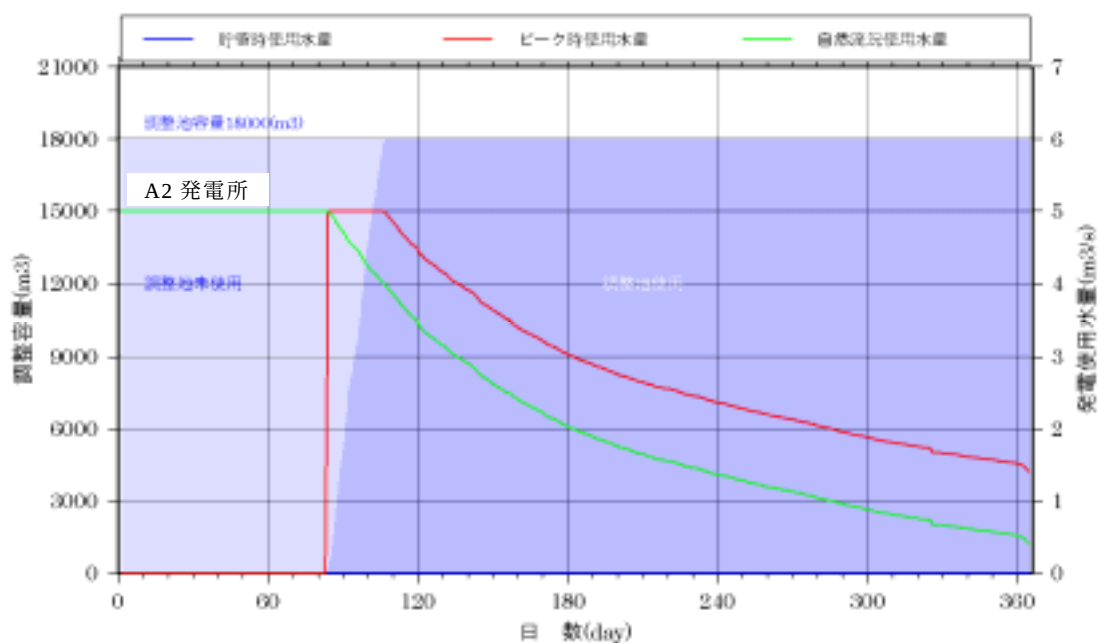


図 II -1.1.31 調整池容量及び発電所使用流量変化
[kW優先運転①／調整池 18,000m³ (T-I5-018)]

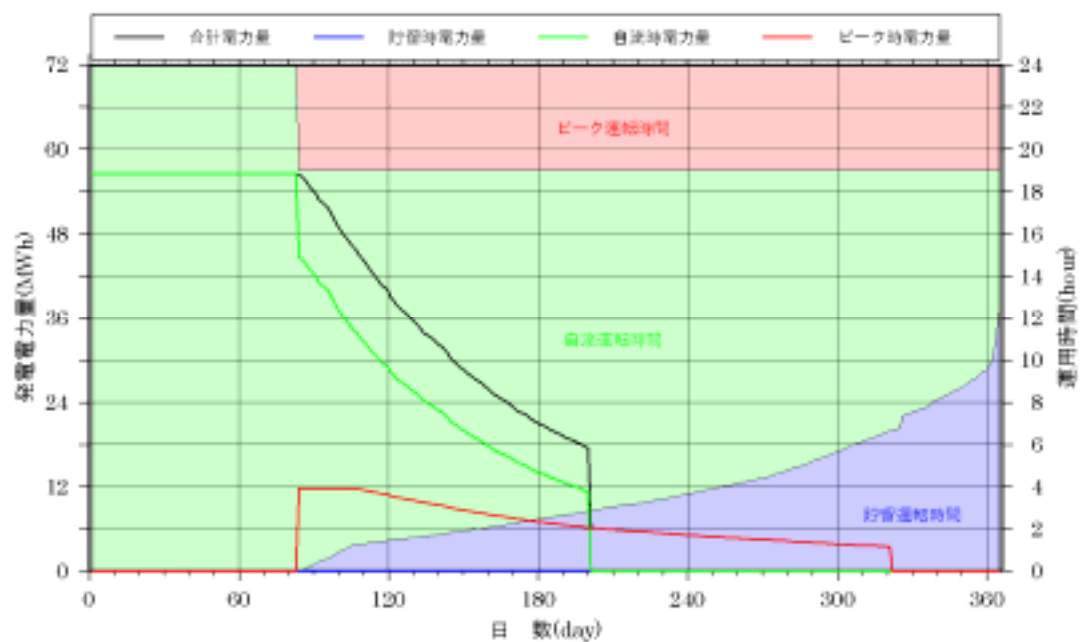


図 II -1.1.32 運転パターン及び発電電力量変化
[kW優先運転①／調整池 18,000m³ (T-I5-018)]

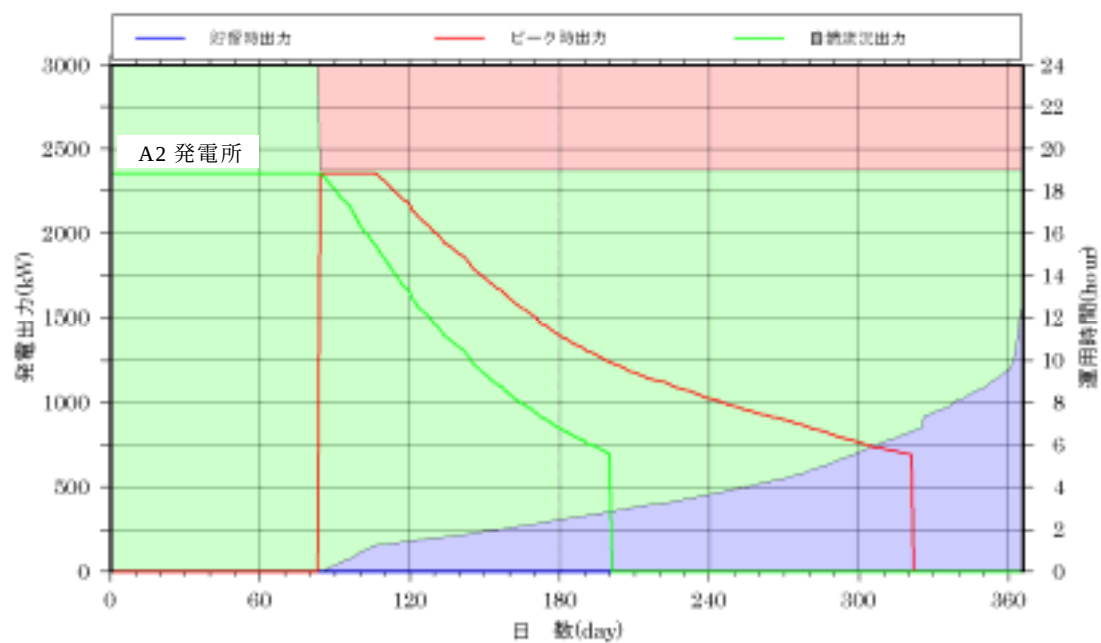


図 II -1.1.33 運転パターン及び発電所出力変化
[kW優先運転①／調整池 18,000m³ (T-I5-018)]

●結果図面－kW優先運転②（T-II 5-018）

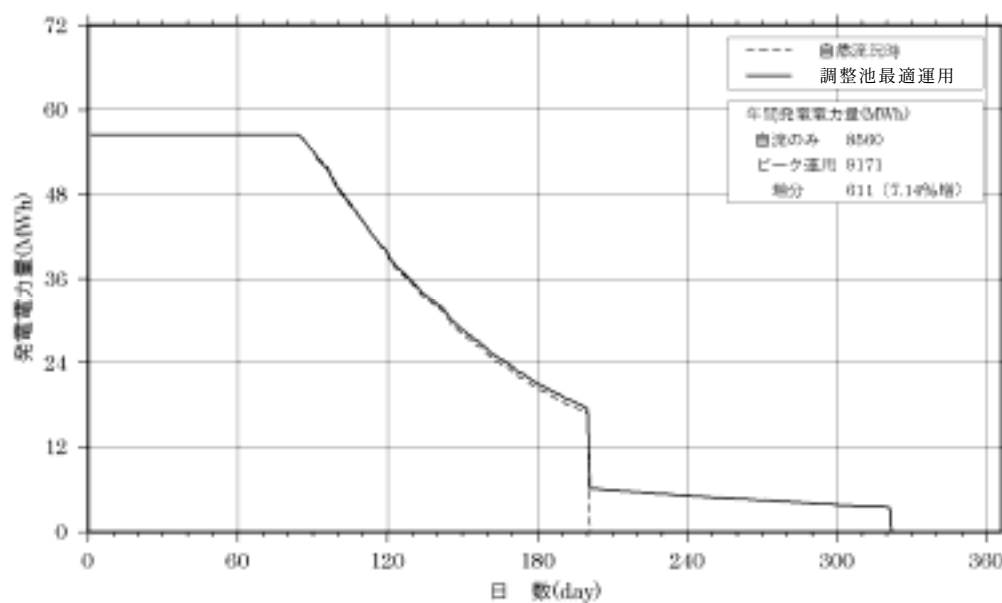


図 II -1.1.34 発電電力量曲線 [kW優先運転②／調整池 18,000m³ (T-II 5-018)]

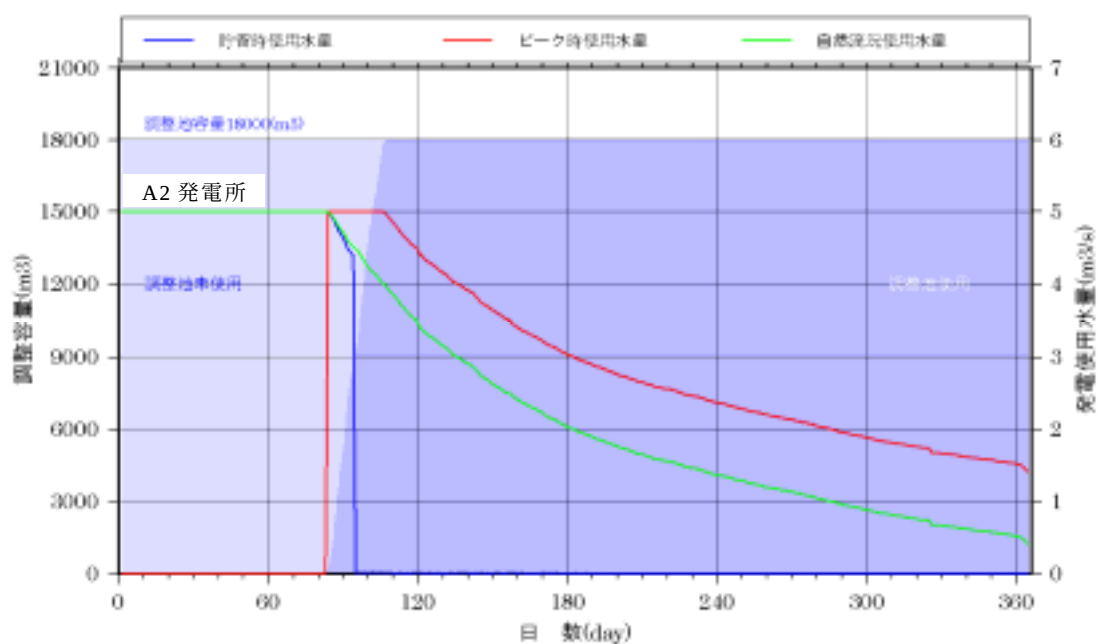


図 II -1.1.35 調整池容量及び発電所使用流量変化
[kW優先運転②／調整池 18,000m³ (T-II 5-018)]

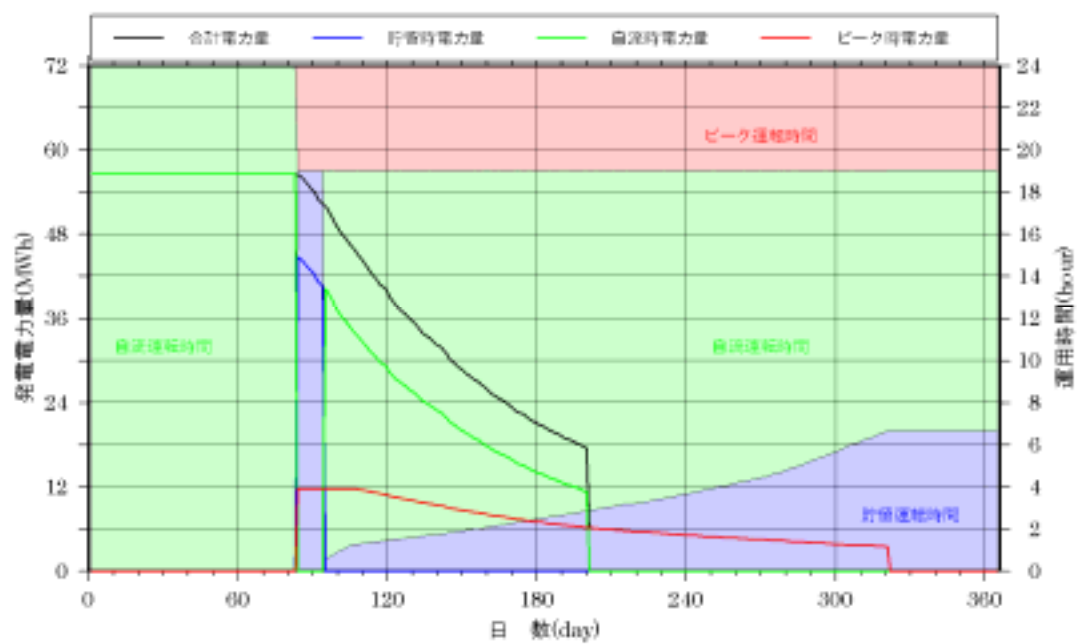


図 II -1.1.36 運転パターン及び発電電力量変化
 [kW優先運転②／調整池 18,000m³ (T-II 5-018)]

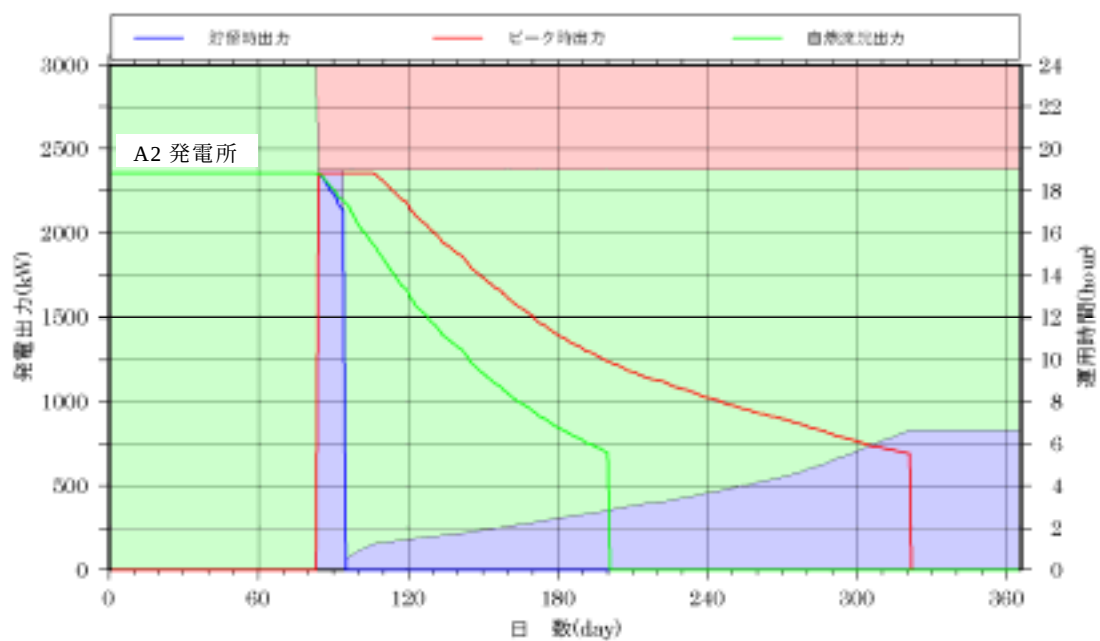


図 II -1.1.37 運転パターン及び発電所出力変化
 [kW優先運転②／調整池 18,000m³ (T-II 5-018)]

●結果図面－kWh優先運転（T-III-018）

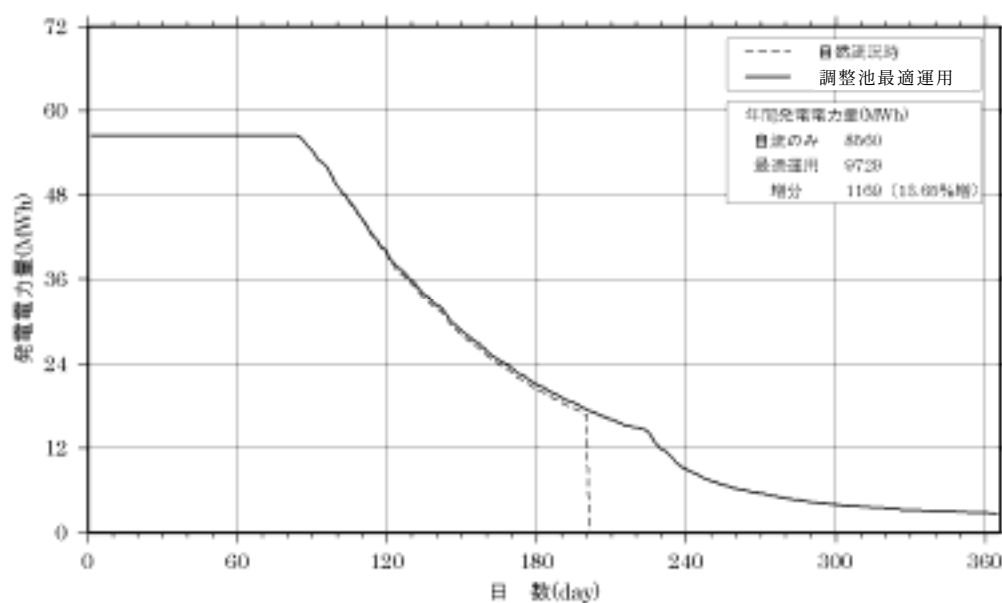


図 II -1.1.38 発電電力量曲線 [kWh優先運転／調整池 18,000m³ (T-III-018)]

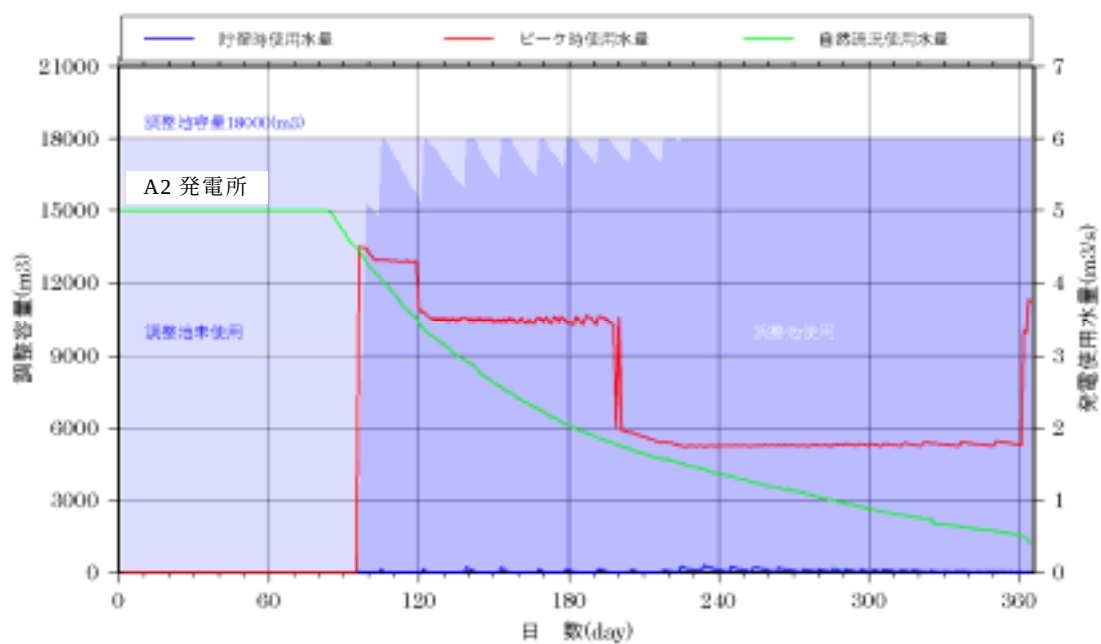


図 II -1.1.39 調整池容量及び発電所使用流量変化
[kWh優先運転／調整池 18,000m³ (T-III-018)]

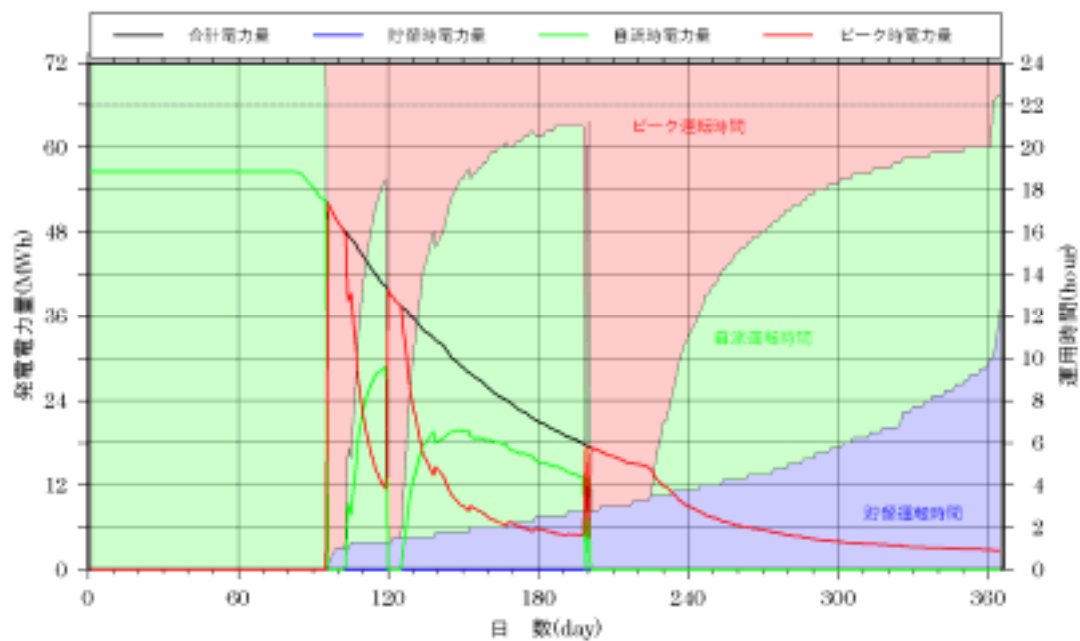


図 II -1.1.40 運転パターン及び発電電力量変化
[kWh優先運転／調整池 18,000m³ (T-III-018)]

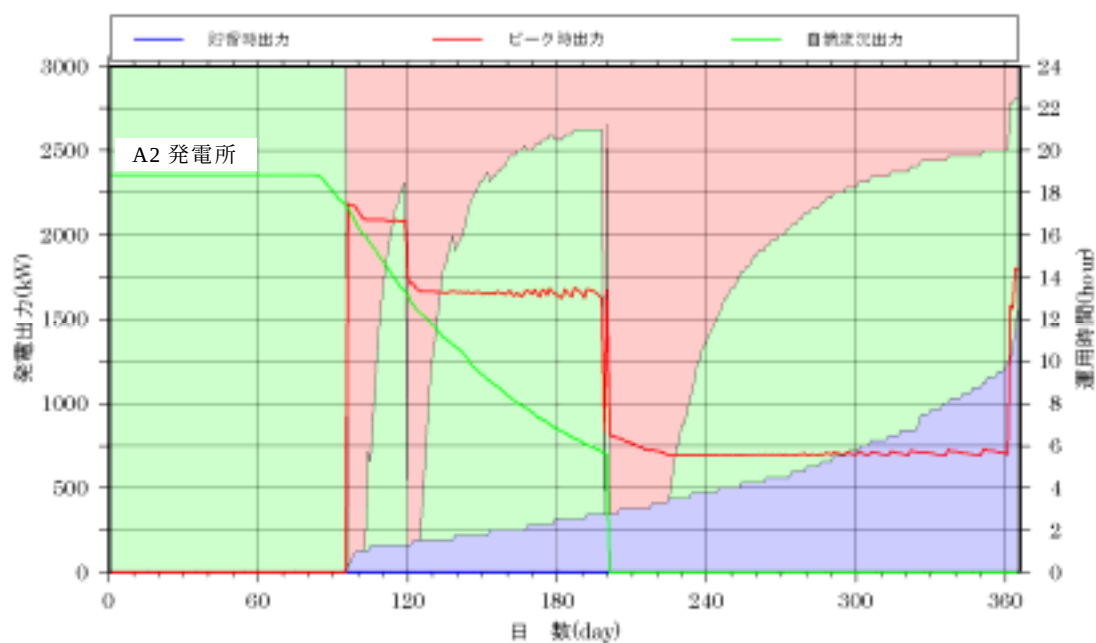


図 II -1.1.41 運転パターン及び発電所出力変化
[kWh優先運転／調整池 18,000m³ (T-III-018)]

(c) 調整容量 24,000m³ の計算結果

a) 条件設定

- kW優先運転①

- － ピーク継続時間：5時間
- － 貯留時間：ピーク時に Full 出力となる必要な調整容量を、完全に発電を停止して貯められる最短時間。

- kW優先運転②

- － ピーク継続時間：5時間
- － 貯留時間：ピーク時に Full 出力となる必要な調整容量を、発電電力量が最大となるように調整した時間。

- kWh 優先運転

最も発電電力量が大きくなる運転パターンを設定。

b) 計算結果

年間の総発電電力量を、自流運転と比較したものが以下の表である。

表 II -1.1.14 年間発電電力量の比較（A 2 単独～調整容量 24,000m³）

		自流運転	8,560 (MWh)
kW優先運転①	(ピーク 5 時間)	9,463 (MWh)	
	自流運転に対する増分	903 (MWh)	(10.55 %)
kW優先運転②	(ピーク 5 時間)	9,464 (MWh)	
	自流運転に対する増分	904 (MWh)	(10.56 %)
kWh 優先運転	電力量最適運用	9,976 (MWh)	
	自流運転に対する増分	1,416 (MWh)	(16.55 %)

●結果図面－kW優先運転①（T-I5-024）

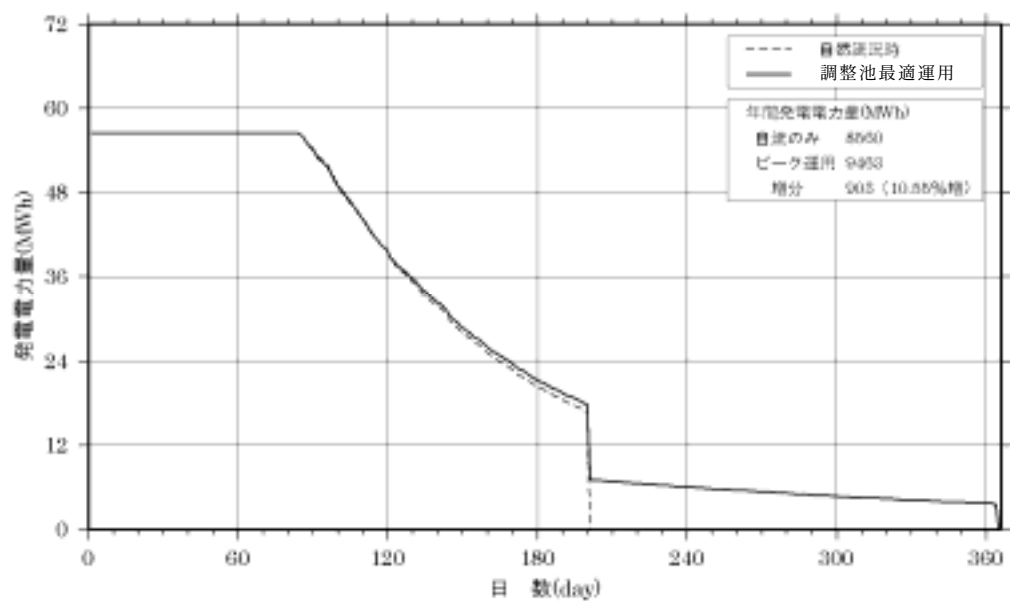


図 II -1.1.42 発電電力量曲線 [kW優先運転①／調整池 24,000m³ (T-I5-024)]

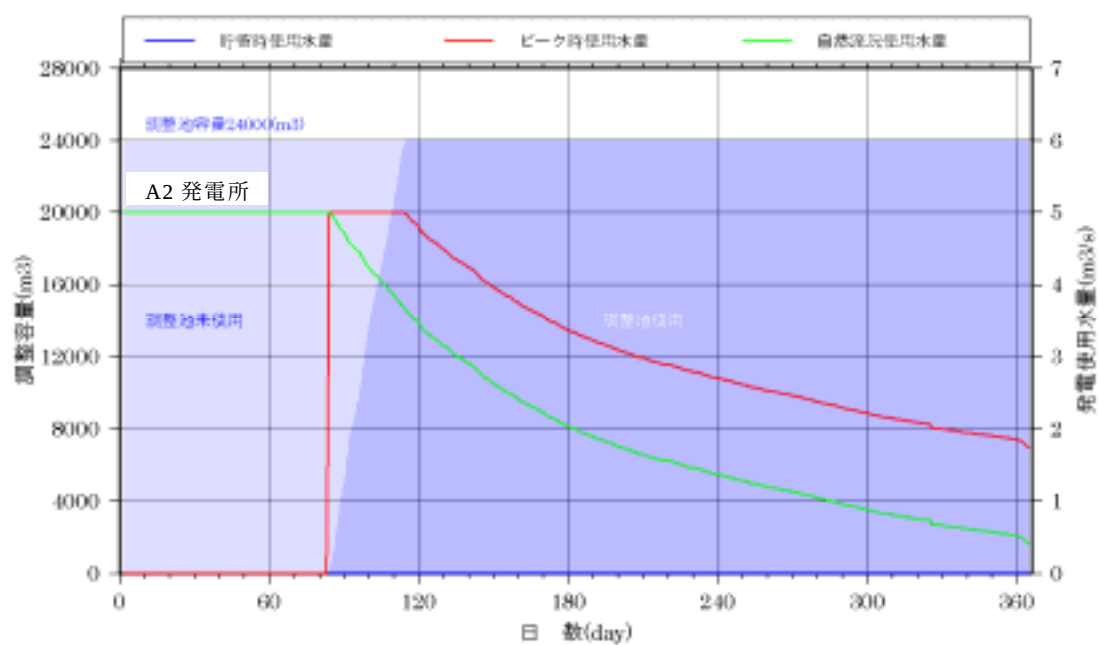


図 II -1.1.43 調整池容量及び発電所使用流量変化
[kW優先運転①／調整池 24,000m³ (T-I5-024)]

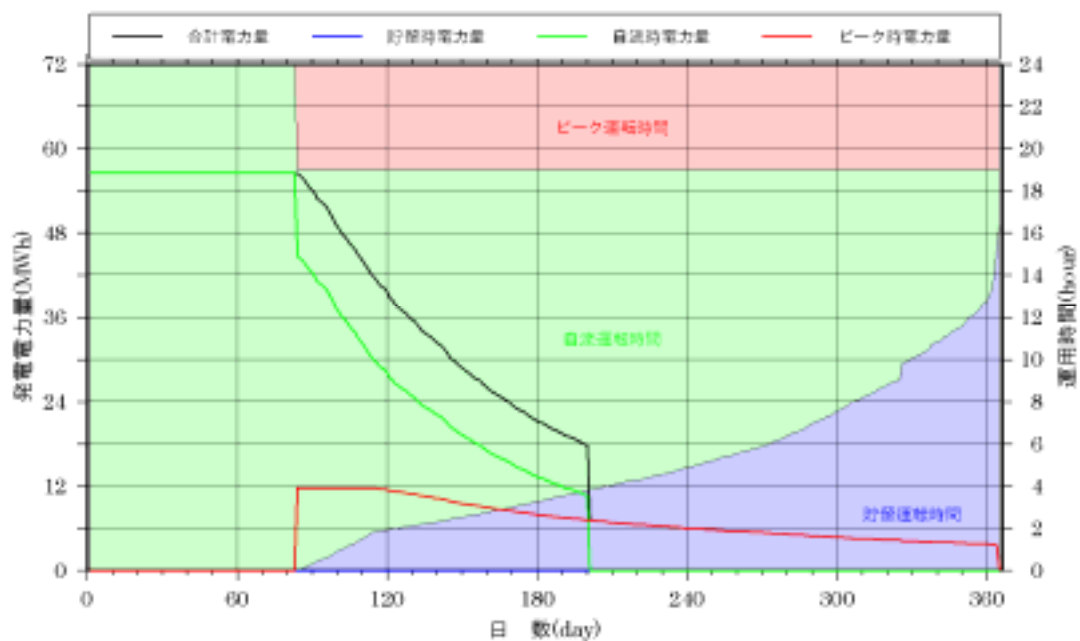


図 II -1.1.44 運転パターン及び発電電力量変化
[kW優先運転①／調整池 24,000m³ (T-I5-024)]

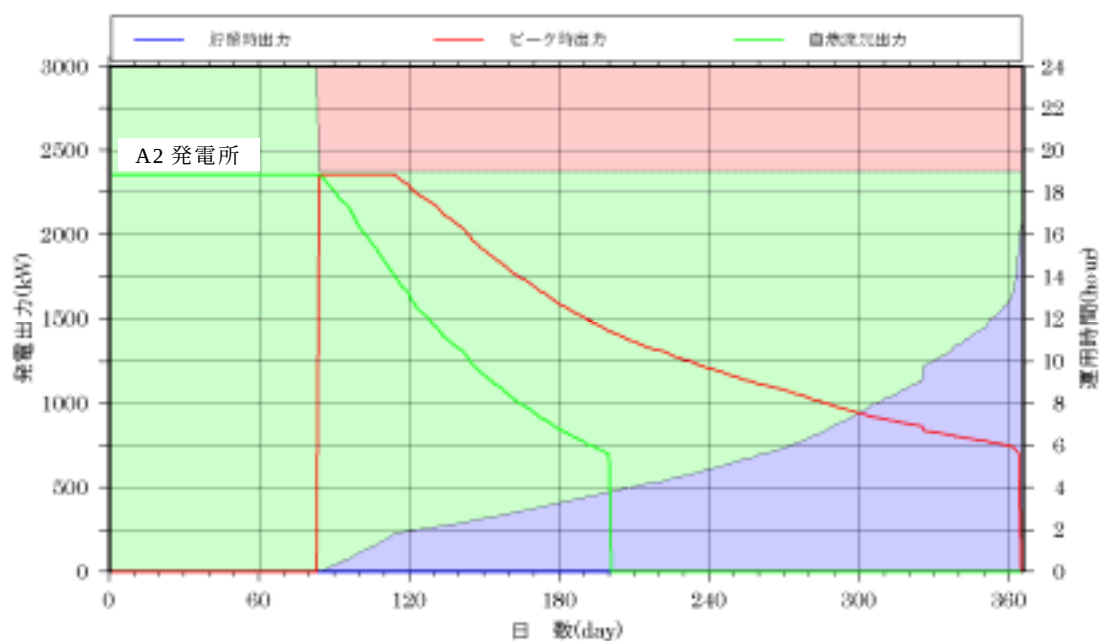


図 II -1.1.45 運転パターン及び発電所出力変化
[kW優先運転①／調整池 24,000m³ (T-I5-024)]

●結果図面－kW優先運転②（T-II 5-024）

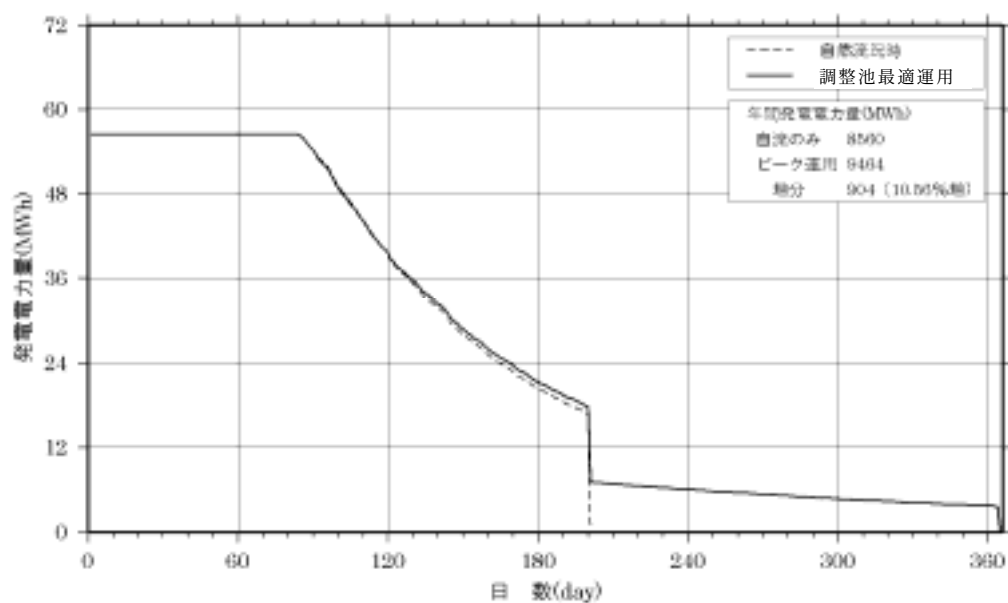


図 II -1.1.46 発電電力量曲線 [kW優先運転②／調整池 24,000m³ (T-II 5-024)]

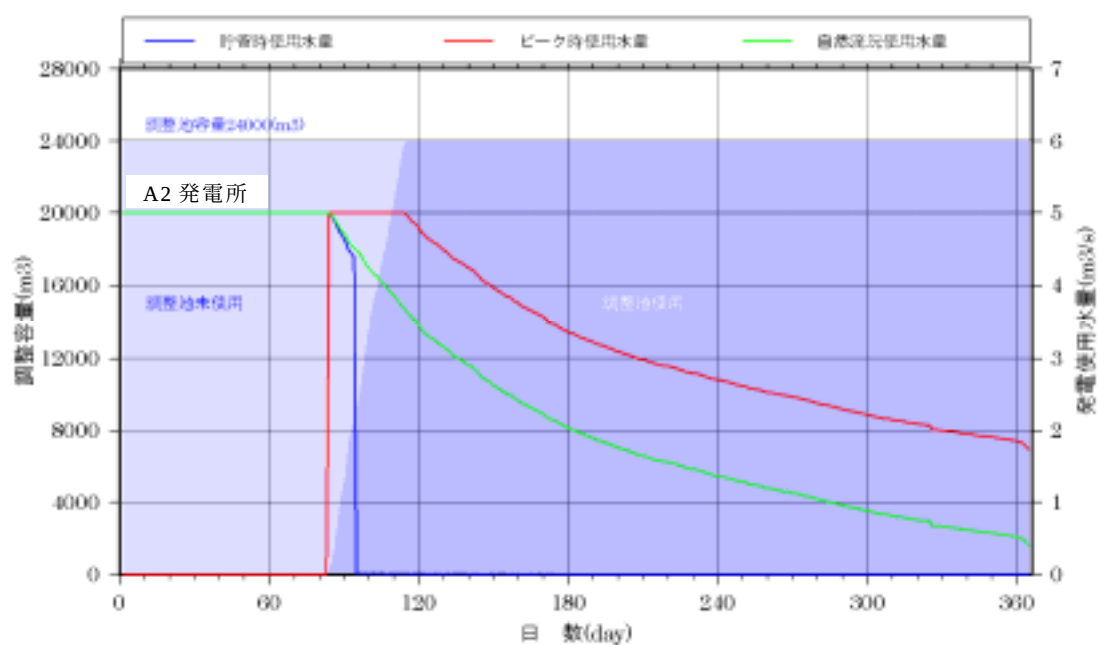


図 II -1.1.47 調整池容量及び発電所使用流量変化
[kW優先運転②／調整池 24,000m³ (T-II 5-024)]

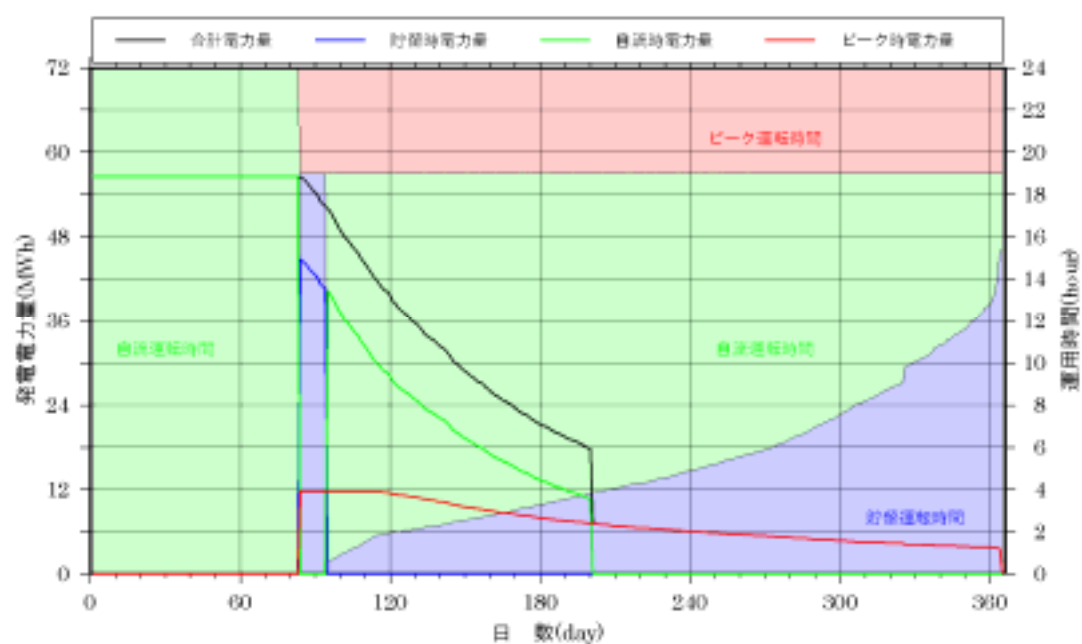


図 II -1.1.48 運転パターン及び発電電力量変化
 [kW優先運転②／調整池 24,000m³ (T-II 5-024)]

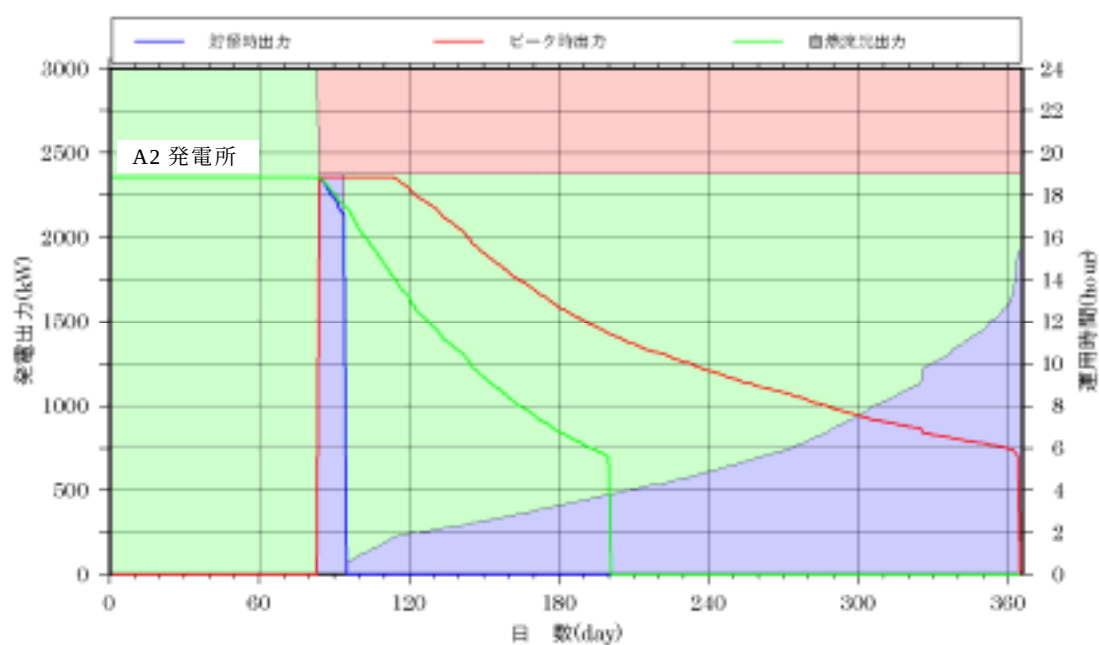


図 II -1.1.49 運転パターン及び発電所出力変化
 [kW優先運転②／調整池 24,000m³ (T-II 5-024)]

●結果図面－kWh優先運転（T-III-024）

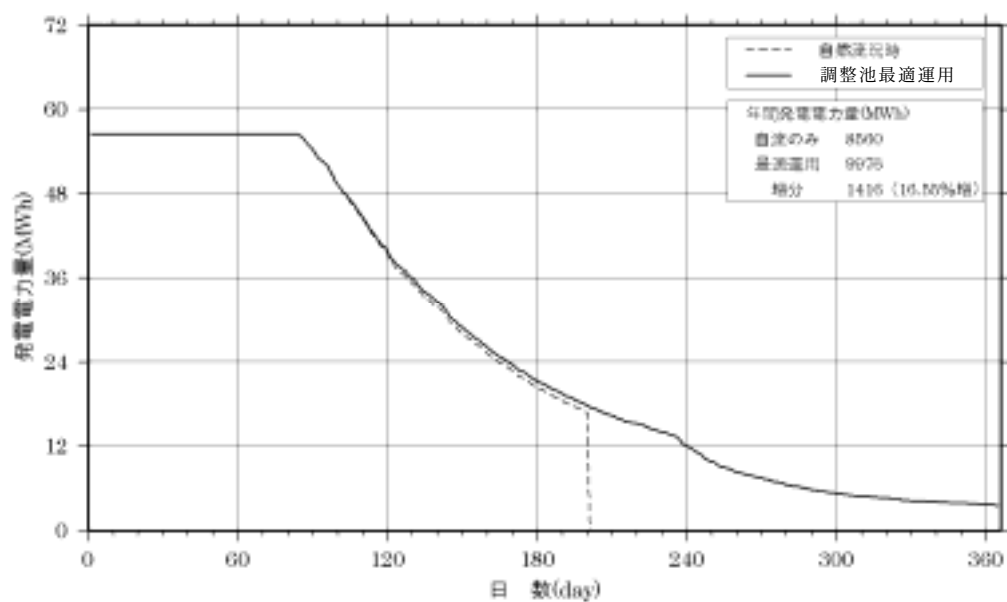


図 II -1.1.50 発電電力量曲線 [kWh優先運転／調整池 24,000m³ (T-III-024)]

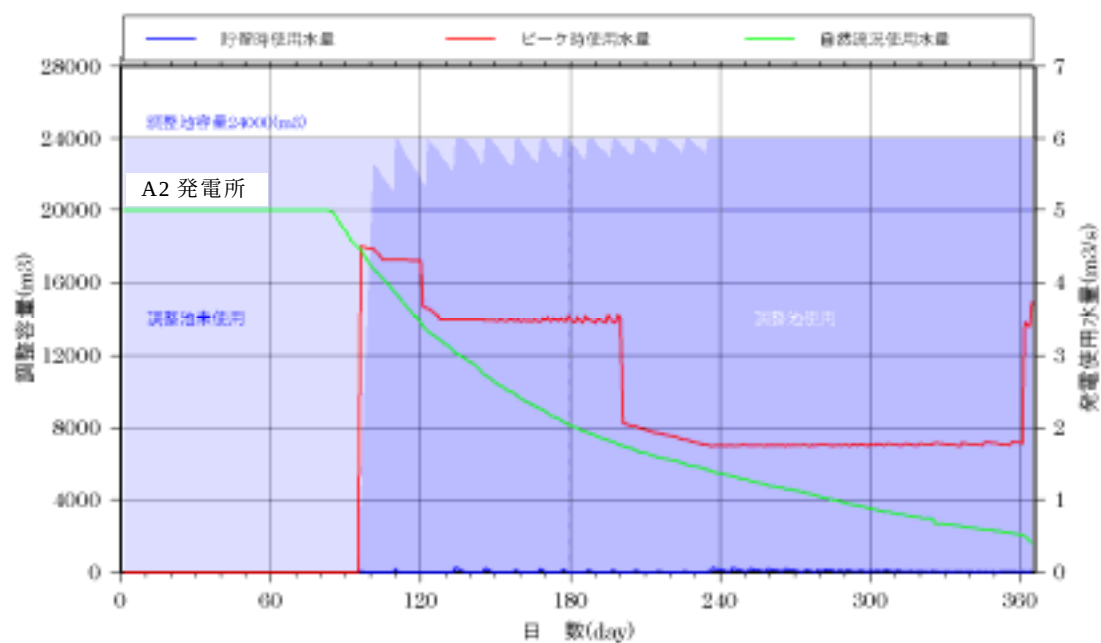


図 II -1.1.51 調整池容量及び発電所使用流量変化
[kWh優先運転／調整池 24,000m³ (T-III-024)]

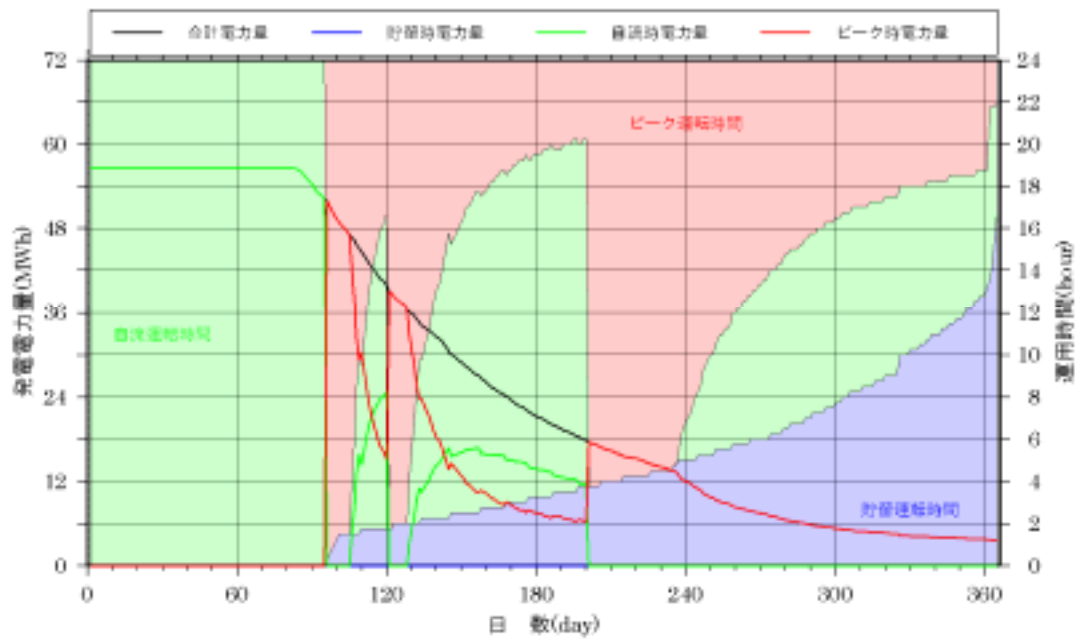


図 II -1.1.52 運転パターン及び発電電力量変化
[kWh 優先運転／調整池 24,000m³ (T-III-024)]

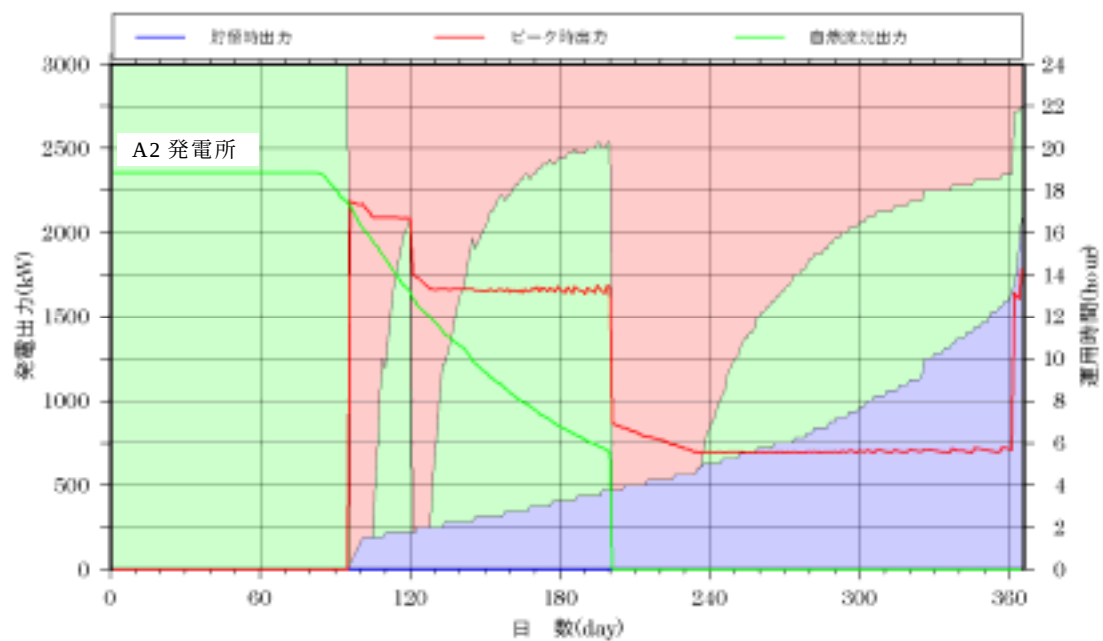


図 II -1.1.53 運転パターン及び発電所出力変化
[kWh 優先運転／調整池 24,000m³ (T-III-024)]

(5) 結果の評価

ここでは、上記検討結果を基に、流況や運用方法の違いによる調整池の運用パターンの分析・評価を行った。

(a) シリーズ発電所ケース

a) 流況ならびに運用方法の違いによる調整池運用パターンについて

ここでは、流況（自流量）の違いや運用方法の違いにより、調整池運用パターンがどのように変化しているのかを分析・評価した。

以下に、電力量計算結果を示した。

表 II - 1.1.15 調整池運用別年間発電電力量の変化
(調整池容量 34,000m³、ピーク継続時間 5 時間)

運用方法	年間発電電力量(MWh)								
	A 1 発電所			A 2 発電所			2 発電所合計		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	12,762	—	—	8,560	—	—	21,322	—	—
kW優先運転①	13,584	822	6.44%	9,567	1,007	11.76%	23,151	1,829	8.58%
kW優先運転②	13,581	819	6.42%	9,571	1,011	11.81%	23,152	1,830	8.58%
kWh優先運転	13,644	882	6.91%	10,016	1,456	17.01%	23,660	2,338	10.97%

実際の A 1・A 2 発電所の運転は、A 1 発電所のピーク立に連動した運用が行われており、基本的には貯留時は発電停止、ピーク時は一定流量で発電を行い、流入量に応じて発電時間を調整しているような運用がなされている。

10 ヶ年平均の発電電力量は、A 1 発電所 14,569MWh、A 2 発電所で 10,231MWh である。

ここでは、あくまで自流運転時の計算による発電電力量をベースに各運用方法による電力量の増減、各運用方法における特徴について考察を行う。

計算結果によると、kW優先運転①とkW優先運転②はほとんど同じような運用がなされている。すなわち、貯留時は発電を完全停止して、ピーク運用に必要な容量を貯水する。運転時は、可能な限り最大出力で5時間運転を行い、残りの時間については自流運転を行う。kW優先運転②がkW優先運転①とほぼ同じ運用にならざるを得ないのは、調整池容量が小さいことによると考えられる。

kW優先運転①とkW優先運転②では、自流運転時に比べて、A 1 発電所で 6.4%、A 2 発電所で 11.8%程度電力量が増加する結果となっており、A 2 発電所の増加率が顕著な結果となっている。これは計算に使用した A 2 発電所の効率曲線が最低運転可能流量が Q_{max} に対する 35%流量としたことから、自流運転時の流量が少ない時期の発電停止日数が多かったものが、調整運転することにより、電力量を稼ぐことが可能となったためと考えられる。

kWh優先運転の場合は、自流運転時に比べて、A 1 発電所で 6.9%、A 2 発

電所で 17.0%程度電力量が増加する結果となっており、kW優先運転①とkW優先運転②の状況がさらに顕著となっている。

次に、流況や運用方法の違いを比較検討するために、調整池容量 34,000 m³、ピーク継続時間 5 時間のケース（Case.T- I 5-034、Case.T- II 5-034、Case.T- III -034）について、図 II -1.1.54～57 に発電電力量曲線、調整容量および各発電所使用流量変化、運転パターンおよび各発電電力量変化、運転パターンおよび各発電所出力変化、A 1 発電所流況別運転パターンを横並びで整理した。また、これらの結果に対する考察を表 II -1.1.16 とりまとめた。

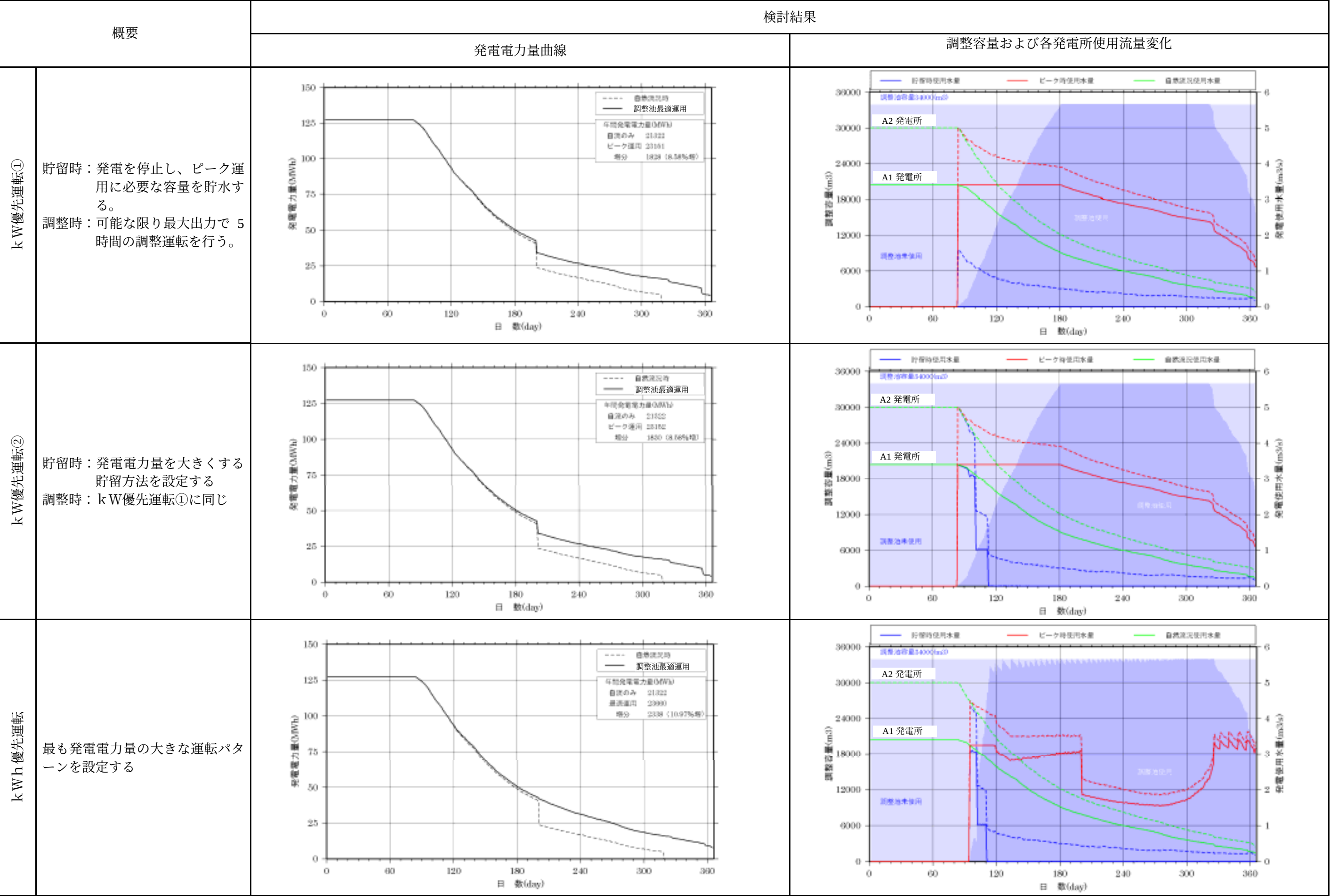


図 II -1.1.54 電力量曲線と調整容量および各発電所使用流量変化：調整容量 34,000m³ (Case.T- I 5-034、Case.T- II 5-034、Case.T-III-034)

概要		検討結果	
		運転パターンおよび各発電電力量変化	運転パターンおよび各発電所出力変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で5時間の調整運転を行う。		
kW優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する 調整時：kW優先運転①に同じ		
kWh優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する		

図 II -1.1.55 運転パターンおよび各発電電力量変化、運転パターンおよび各発電所出力変化：調整容量 34,000m³ (Case.T- I 5-034、Case.T- II 5-034、Case.T-III-034)

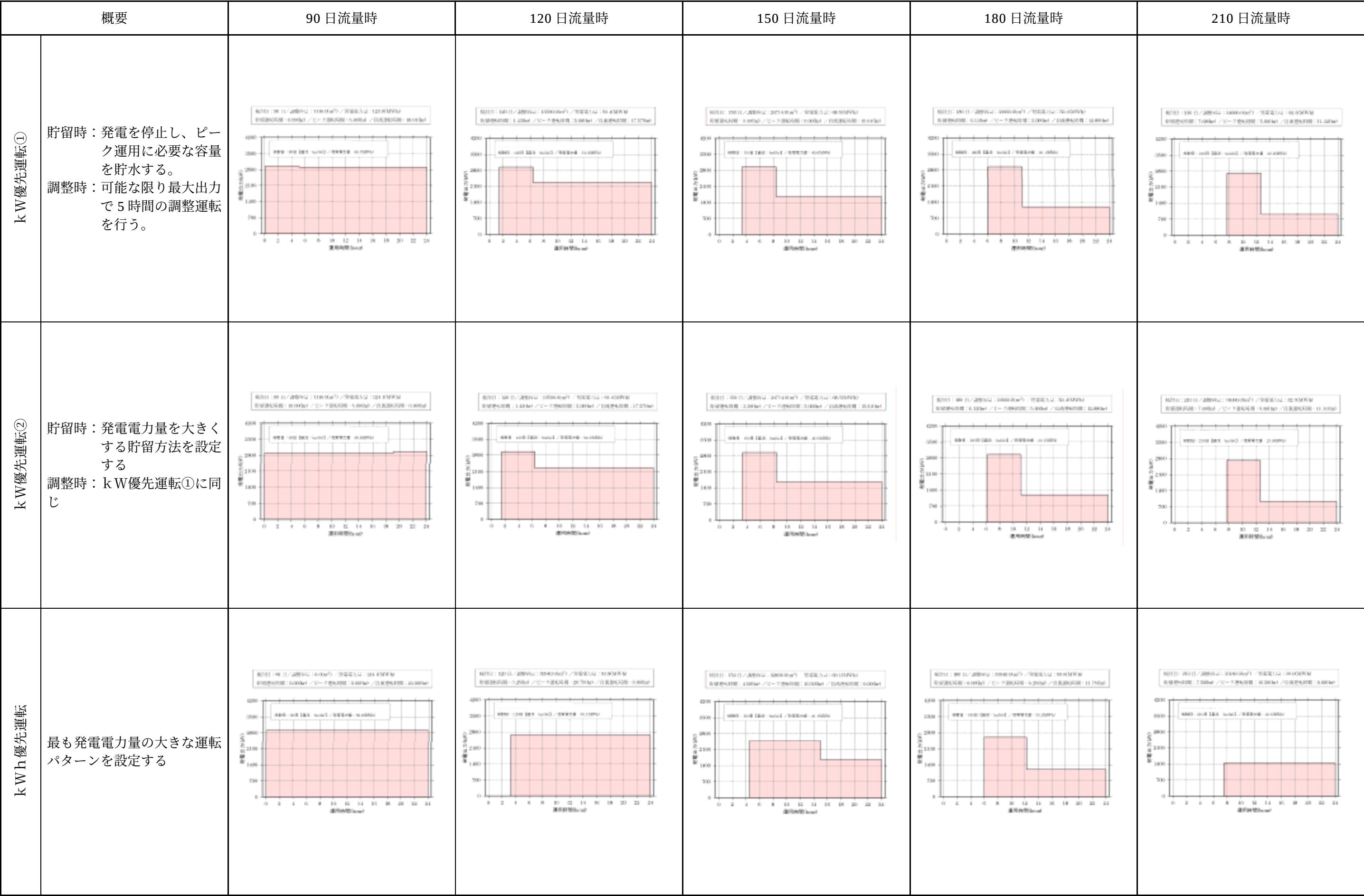
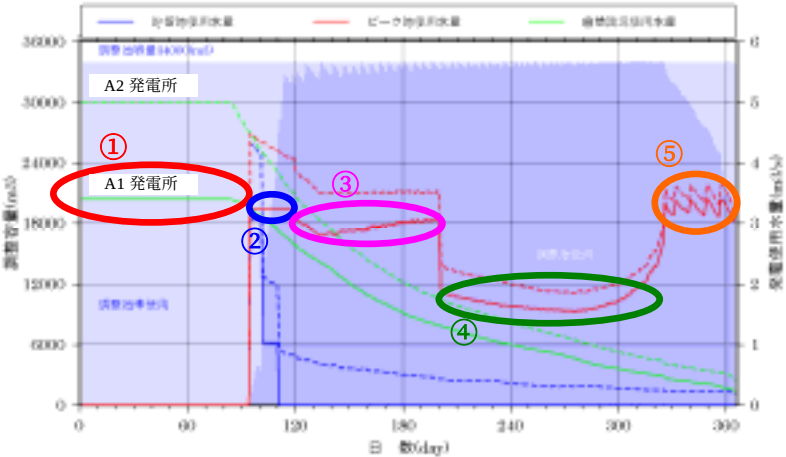
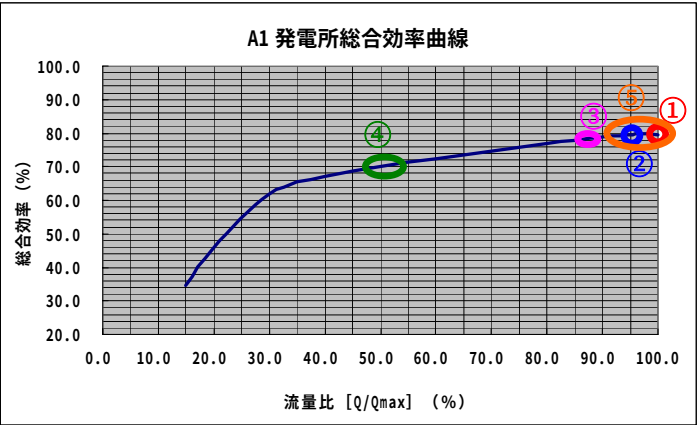
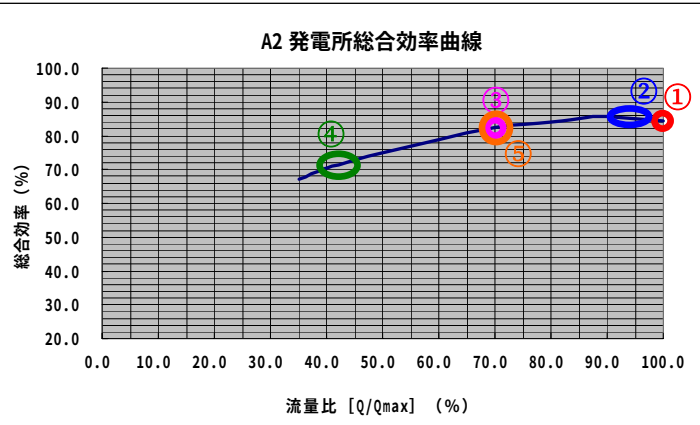


図 II - 1.1.56 A 1 発電所流況別運転パターン：調整容量 34,000m³（Case.T- I 5-034、Case.T- II 5-034、Case.T-III-034）

概要		240 日流量時	270 日流量時	300 日流量時	330 日流量時	360 日流量時
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で5時間の調整運転を行う。					
kW優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する 調整時：kW優先運転①に同じ					
kWh優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する					

図 II - 1.1.57 A 1 発電所流況別運転パターン：調整容量 34,000m³ (Case.T- I 5-034、Case.T- II 5-034、Case.T-III-034)

表Ⅱ-1.1.16 流況ならびに運用方法の違いによる電力量計算結果の考察

	流況の特徴	発電電力量について	調整池利用状況について	特 徴
Kw 優先運転①及び②	(A 1 発電所) 1. 最大使用水量 3.4m³/s は、84 日流量に相当する。 2. ピーク運転 (5h) 以外の取水を全水貯留し、調整池を FULL にする流量 0.497 m³/s (=34,000/(19h×3,600))は、322 日流量に相当する。 3. 発電無効水量は、0.55m³/s は、310 日流量に相当する。 (A 2 発電所) 1. 最大使用水量 5.0m³/s は、84 日流量に相当する。 2. 発電無効水量は、1.75m³/s は、201 日流量に相当する。	①年間発電電力量の増分：1,829MWh (8.58%) ②電力量増加範囲：中間流量時以下 (121～365 日程度) →ピーク運転時の効率上昇、無効放流量の低減	①84 日流量まで：調整池未使用 →自流運転で A 1 発電所の Q_{max} が確保できる。 ②85～181 日流量間：調整池の使用容量が徐々に増加 →A 1 発電所の最大出力を維持するように、調整容量を徐々に増加させている。 ③182～321 日流量間：調整池容量を FULL に使用 →調整池容量を最大限利用して、ピーク運転時の使用水量を大きくする。 ④322～365 日流量間：調整池の使用容量が徐々に減少 →貯留時間帯 (19 時間) の水量を全て貯留しても、調整池容量の最大まで貯留することができない。	①貯留時には、完全に発電停止する。 ②ピーク時には、可能な限り最大出力で 5 時間運転を行う。 ③残りの時間については自流運転を行う。 ④A 2 発電所の電力量増加が顕著である。 発電停止日数が多かったものの、が調整運転することにより改善される。
Kwh 優先運転		①年間発電電力量の増分：2,338MWh (10.97%) ②電力量増加範囲：中間流量時 (95～365 日程度) →ピーク運転時の効率上昇、無効放流量の低減	①94 日流量まで：調整池未使用 →自流運転で A 1 発電所の Q_{max} が確保できる (84 日以後は若干低下)。 ②95～115 日流量間：調整池の使用容量が徐々に増加 →A 1 発電所の最大出力を維持するように、調整容量を徐々に増加させている。 ③116～325 日流量間：調整池容量をほぼ FULL に使用 →ピーク運転時の A 1 発電所の 3.0 m³/s 近辺または 1.6 m³/s 使用水量を一定としている。 ④322～365 日流量間：調整池の使用容量が徐々に減少 →貯留時間帯の水量を全て貯留しても、調整池容量の最大まで貯留することができない。	①84 日流量までは、自流運転である。 ②96～119 日流量間では、ピーク運転時に A 1 発電所の使用水量が 3.25 m³/s 程度で一定となるように調整を行う (A 2 4.5～4.9m³/s)。 ③120～200 日流量間では、ピーク運転時に A 1 発電所の使用水量が 2.9～3.0 m³/s 程度で一定となるように調整を行う。(A 2 3.5m³/s) ④201～325 日流量間では、ピーク運転時に A 1 発電所の使用水量が 1.85～1.6 m³/s 程度で一定となるように調整を行う。(A 2 2.3～1.9m³/s) ⑤326～365 日流量間では、ピーク運転時に A 1 発電所の使用水量が 3.1～3.4 m³/s 程度で一定となるように調整を行う (A 2 3.4～3.6m³/s)。
				①、②、③、④： A 1 発電所の効率が良いところで流量設定 ④：A 2 発電所が発電無効水量を下回らないよう流量設定。

(b) 単独発電所ケース

a) 調整池容量の違いによる発電電力量について

ここでは、単独発電所ケースの場合の調整池容量の差異による発電電力量について分析を行った。表Ⅱ-1.1.17 に、各ケースの電力量計算結果を示した。

表Ⅱ-1.1.17 調整池容量別年間発電電力量の変化

運用方法	年間発電電力量(MWh)								
	A 2 発電所			A 2 発電所			A 2 発電所		
	調整池容量12,000m ³			調整池容量18,000m ³			調整池容量24,000m ³		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	8,560	—	—	8,560	—	—	8,560	—	—
kW優先運転①	8,915	355	4.15%	9,171	611	7.14%	9,463	903	10.55%
kW優先運転②	8,916	356	4.16%	9,171	611	7.14%	9,464	904	10.56%
kWh優先運転	9,431	871	10.18%	9,729	1,169	13.66%	9,976	1,416	16.54%

上表をみると調整池容量が大きいケースの方が電力量が増加する傾向となり、kWh優先運転のケースについて自流運転時と比較すると、調整池容量 $V=12,000\text{m}^3$ ケースで 10.2%、 $V=18,000\text{m}^3$ ケースで 13.7%、 $V=24,000\text{m}^3$ ケースで 16.5%となっている。

本計算は、a 2 調整池にあくまで自然流況の流量が到達した時の計算結果であり、実機の運用状況とは異なる。しかしながら、ここではあくまで調整機能の潜在的な能力の一つという位置付けで、調整池最適容量についての検討を行った。

現在、a 2 調整池の有効容量は $V=24,000\text{m}^3$ であり、この容量を確保する目的で毎年 $3,000\text{m}^3$ の浚渫が行われている。ここでは、毎年 $3,000\text{m}^3$ 調整池有効容量が減少していき、調整池容量が $18,000\text{m}^3$ 、 $12,000\text{m}^3$ まで減少した時点で、その後は容量を確保するために毎年 $3,000\text{m}^3$ の浚渫を行うケースを設定し、現状ケース（毎年浚渫を行い調整池容量 $24,000\text{m}^3$ を確保）に対する経済性の比較を行った。

計算条件としては、アワー価値を 8 円/kWh、浚渫費用を 1,300 円/ m^3 として、10 年分の費用便益計算を行った。

表Ⅱ-1.1.18 に便益、浚渫費用の経時変化、表Ⅱ-1.1.19 に現状の調整池容量を確保した場合との $\Delta V - \Delta C$ の経時変化、図Ⅱ-1.1.58 に $\Delta V - \Delta C$ の累積値変化図を示した。なお、発電電力量については、上記の kWh 優先運転による発電電力量を用いた。

この結果によると、毎年 $3,000\text{m}^3$ の浚渫を行い、現状の調整池容量を確保し続けることが経済的には有利であるという結果となった。

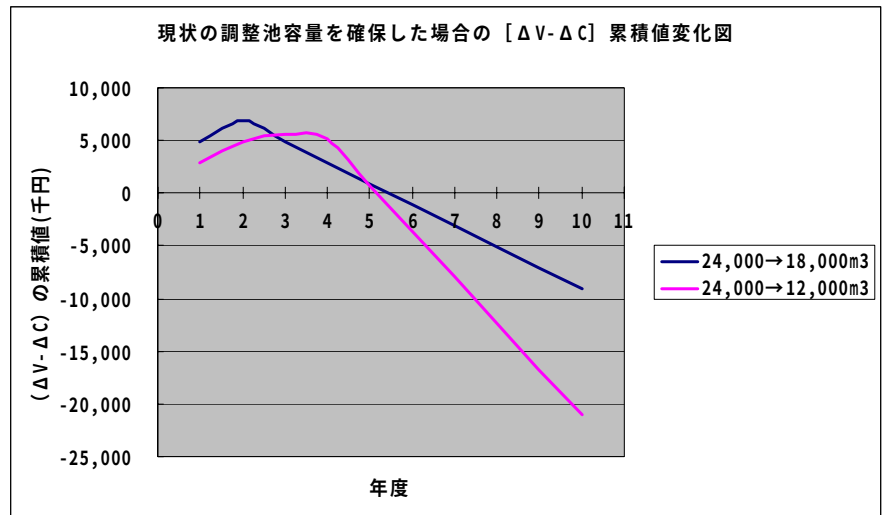
なお、本計算はあくまで試算の一つであり、実際にはA 1 発電所はピーク立の運用が行われている。そのため、A 1 発電所からはシリーズ発電所ケースのkW優先運転①の運用が行われていることを前提として、a 2 調整池で残流域からの流量のみを各調整池容量で調整補給して発電を行うケースを追加計算し、別角度からの評価を行うこととする。

表Ⅱ-1.1.18 便益、浚渫費用の経時変化

	調整池容量12,000m ³ キープ					調整池容量18,000m ³ キープ					調整池容量24,000m ³ キープ				
	電力量(MWh)	便益(千円)	浚渫量(m ³)	費用(千円)	調整容量(m ³)	電力量(MWh)	便益(千円)	浚渫量(m ³)	費用(千円)	調整容量(m ³)	電力量(MWh)	便益(千円)	浚渫量(m ³)	費用(千円)	調整容量(m ³)
1年目	9,853	78,824	0	0	21,000	9,853	78,824	0	0	21,000	9,976	79,808	3,000	3,900	24,000
2年目	9,729	77,832	0	0	18,000	9,729	77,832	0	0	18,000	9,976	79,808	3,000	3,900	24,000
3年目	9,580	76,640	0	0	15,000	9,729	77,832	3,000	3,900	18,000	9,976	79,808	3,000	3,900	24,000
4年目	9,431	75,448	0	0	12,000	9,729	77,832	3,000	3,900	18,000	9,976	79,808	3,000	3,900	24,000
5年目	9,431	75,448	3,000	3,900	12,000	9,729	77,832	3,000	3,900	18,000	9,976	79,808	3,000	3,900	24,000
6年目	9,431	75,448	3,000	3,900	12,000	9,729	77,832	3,000	3,900	18,000	9,976	79,808	3,000	3,900	24,000
7年目	9,431	75,448	3,000	3,900	12,000	9,729	77,832	3,000	3,900	18,000	9,976	79,808	3,000	3,900	24,000
8年目	9,431	75,448	3,000	3,900	12,000	9,729	77,832	3,000	3,900	18,000	9,976	79,808	3,000	3,900	24,000
9年目	9,431	75,448	3,000	3,900	12,000	9,729	77,832	3,000	3,900	18,000	9,976	79,808	3,000	3,900	24,000
10年目	9,431	75,448	3,000	3,900	12,000	9,729	77,832	3,000	3,900	18,000	9,976	79,808	3,000	3,900	24,000
計		761,432		23,400			779,312		31,200			798,080		39,000	

表Ⅱ-1.1.19 現状の調整池容量を確保した場合とのΔV-ΔCの経時変化

	24,000m ³ →18,000m ³			24,000m ³ →12,000m ³		
	便益差分(千円)	費用差分(千円)	V-C差分(千円)	便益差分(千円)	費用差分(千円)	V-C差分(千円)
1年目	984	-3,900	4,884	-984	-3,900	2,916
2年目	-1,976	-3,900	1,924	-1,976	-3,900	1,924
3年目	-1,976	0	-1,976	-3,168	-3,900	732
4年目	-1,976	0	-1,976	-4,360	-3,900	-460
5年目	-1,976	0	-1,976	-4,360	0	-4,360
6年目	-1,976	0	-1,976	-4,360	0	-4,360
7年目	-1,976	0	-1,976	-4,360	0	-4,360
8年目	-1,976	0	-1,976	-4,360	0	-4,360
9年目	-1,976	0	-1,976	-4,360	0	-4,360
10年目	-1,976	0	-1,976	-4,360	0	-4,360
計			-9,000			-21,048



図Ⅱ-1.1.58 現状の調整池容量を確保した場合とのΔV-ΔCの累積値変化図

(6) 追加検討

追加検討は、先に実施したA 1・A 2発電所のシリーズ発電所ケースにおいて、a 1調整池でkW優先運転①（T-I5-034：ピーク継続5時間、調整池容量V=34,000m³）された使用水量がA 2発電所に着水することを前提とした。

すなわち、A 1発電所ピーク立使用水量に、A 2残流域流出量を合わせて、a 2調整池を活用した水運用の検討を追加実施した。

(a) 追加検討ケース

追加検討ケースは、先の単独発電所ケースと同様に、以下に示すとおりとした。

①A 1発電所連携ケース（A 2発電所）

ピーク継続時間T _{PEAK} (h)	調整池容量V (m ³) [a 2]
5. 0	12, 000
5. 0	18, 000
5. 0	24, 000

(b) 検討結果

ここでは、A 1発電所連携ケースの場合の調整池容量による発電電力量について分析を行った。表Ⅱ-1.1.20に、各ケースの電力量計算結果を示した。

表Ⅱ-1.1.20 調整池容量別年間発電電力量の変化

運用方法	年間発電電力量(MWh)								
	A 2発電所			A 2発電所			A 2発電所		
	調整池容量12,000m ³			調整池容量18,000m ³			調整池容量24,000m ³		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	8,559	—	—	8,559	—	—	8,559	—	—
kW優先運転①	9,966	1,407	16.44%	10,003	1,444	16.87%	10,027	1,468	17.15%
kW優先運転②	9,960	1,401	16.37%	9,997	1,438	16.80%	10,021	1,462	17.08%
kWh優先運転	10,340	1,781	20.81%	10,340	1,781	20.81%	10,340	1,781	20.81%

上表をみると以下のことがいえる。

kW優先運転①とkW優先運転②はほとんど同じような運用がなされている。すなわち、貯留時は発電を完全停止して、ピーク運用に必要な容量を貯水する。運転時は、可能な限り最大出力で5時間運転を行い、残りの時間については自流運転を行う。kW優先運転②がkW優先運転①とほぼ同じ運用にならざるを得ないのは、調整池容量が小さいことによると考えられる。

また、kW優先運転①と②では、調整池容量が大きいケースの方が電力量が増加する傾向となっているが、kWh優先運転では調整池容量による差異は認められない。これは、自流分が少ないために、調整池容量V=12,000m³の範囲で最適運用することで

十分な容量が確保されているためと考えられる。

一方、kW優先運転①、②の有効出力の増分の観点からみると、A2発電所の最大出力運転日数は、[調整容量 $V=12,000\text{m}^3$: 111 日]、[調整容量 $V=18,000\text{m}^3$: 154 日]、[調整容量 $V=24,000\text{m}^3$: 181 日]（図Ⅱ-1.1.59～61 参照）と調整池容量が大きい方が有利である。

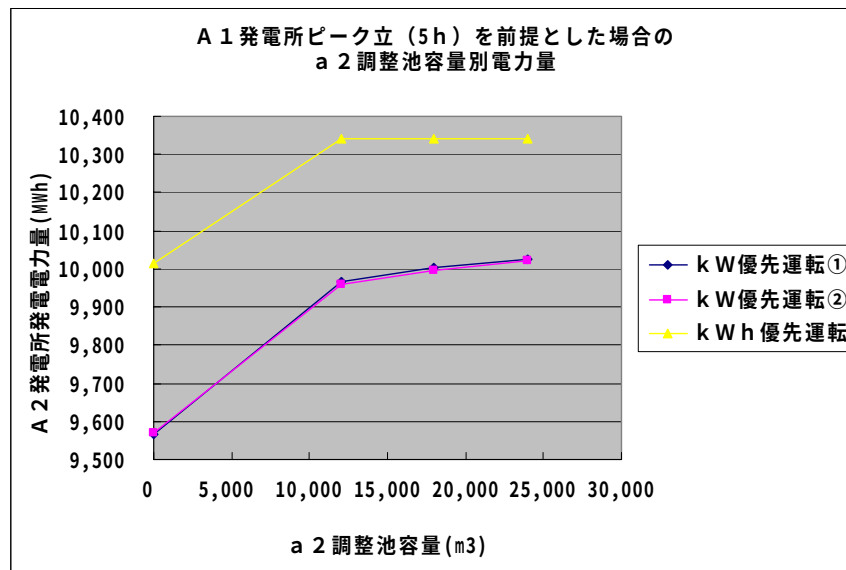
以上より、A1発電所のピーク運用に追従する形で、A2発電所のピーク化を考えないで電力量を最大とするためには、調整容量は $V=12,000\text{m}^3$ で十分である。しかしながら、現行の運用と同様に、A1発電所に同調した形でA2発電所のピーク化を考えた場合には、電力量の増分、有効出力増分の両方の観点から、調整池容量が大きい方が有利となっている。

図Ⅱ-1.1.59～61 に、運転パターンおよび各発電電力量変化、運転パターンおよび各発電所出力変化を示した。

最後に、A1発電所が5時間のピーク立運転を行い、a2調整池はまったく使用しないケース（シリーズ発電所ケース）と合わせて再整理すると表Ⅱ-1.1.21、図Ⅱ-1.1.62 のとおりとなる。このとおり、A1発電所でピーク化された流量がa2調整池に着水した場合、a2調整池を活用する効果は大きいものと考えられる（まったく調整しない場合に対して、kW優先運転①、②で 400～460MWh 程度、kWh優先運転で 320MWh 程度電力量が増加する）。

表Ⅱ-1.1.21 調整池容量別年間発電電力量の変化

運用方法	年間発電電力量(MWh)											
	A2発電所 調整池容量 0m^3			A2発電所 調整池容量 $12,000\text{m}^3$			A2発電所 調整池容量 $18,000\text{m}^3$			A2発電所 調整池容量 $24,000\text{m}^3$		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	8,559	—	—	8,559	—	—	8,559	—	—	8,559	—	—
kW優先運転①	9,567	1,008	11.78%	9,966	1,407	16.44%	10,003	1,444	16.87%	10,027	1,468	17.15%
kW優先運転②	9,571	1,012	11.82%	9,960	1,401	16.37%	9,997	1,438	16.80%	10,021	1,462	17.08%
kWh優先運転	10,016	1,457	17.02%	10,340	1,781	20.81%	10,340	1,781	20.81%	10,340	1,781	20.81%



図Ⅱ-1.1.62 調整池容量別年間発電電力量の変化

概要		検討結果	
		運転パターンおよび発電電力量変化	運転パターンおよび発電所出力変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で5時間の調整運転を行う。		
kW優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW優先運転①に同じ。		
kWh優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図Ⅱ-1.1.59 運転パターンおよび発電電力量変化、運転パターンおよび発電所出力変化：調整容量 12,000m³ (Case.T2-Ⅰ5-012、Case. T2-Ⅱ5-012、Case. T2-Ⅲ-012)

概要		検討結果	
		運転パターンおよび発電電力量変化	運転パターンおよび発電所出力変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で5時間の調整運転を行う。		
kW優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW優先運転①に同じ。		
kWh優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図Ⅱ-1.1.60 運転パターンおよび発電電力量変化、運転パターンおよび発電所出力変化：調整容量 18,000m³ (Case.T2-Ⅰ5-018、Case. T2-Ⅱ5-018、Case. T2-Ⅲ-018)

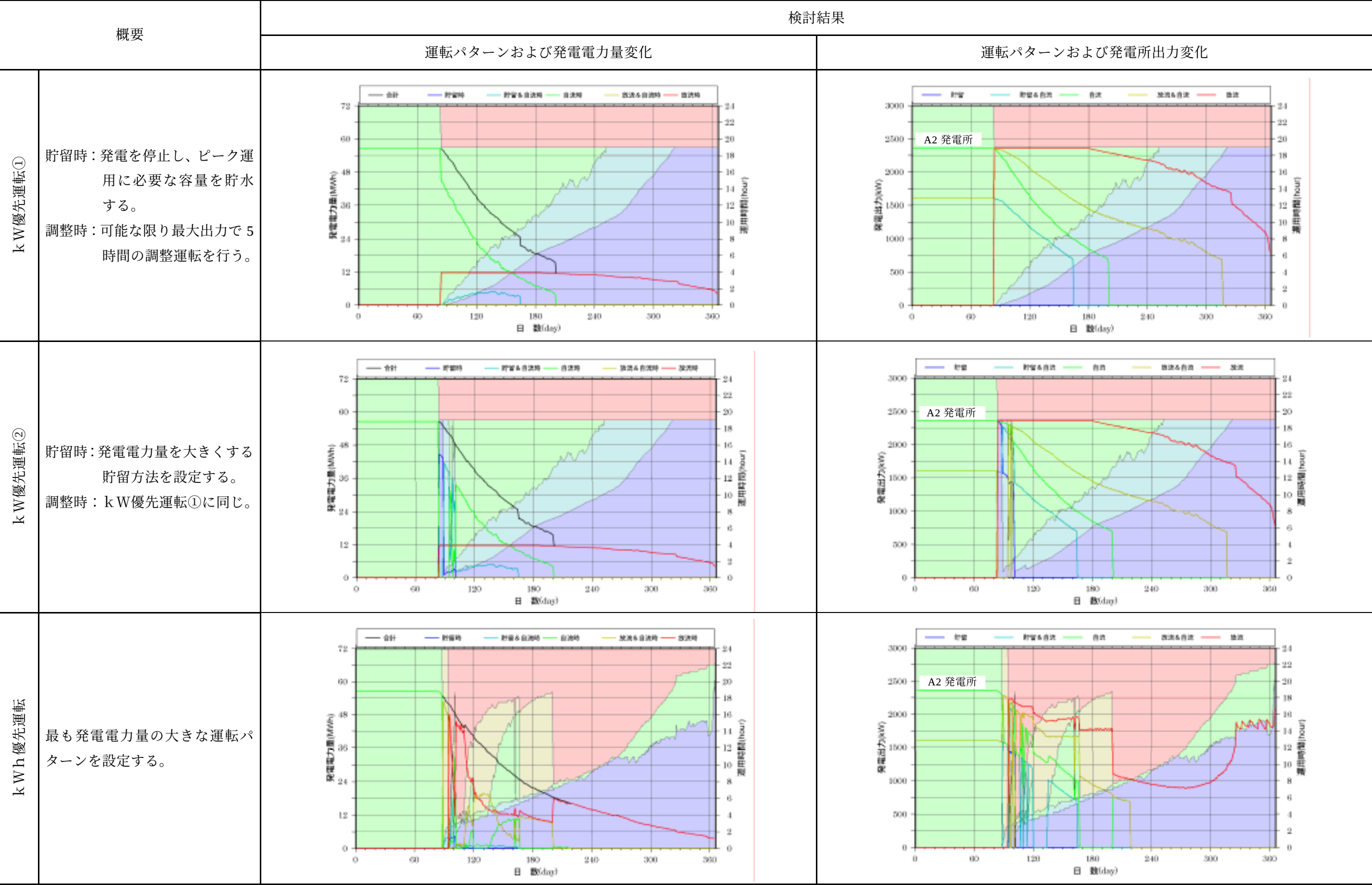


図 II -1.1.61 運転パターンおよび発電電力量変化、運転パターンおよび発電所出力変化：調整容量 24,000m³ (Case.T2- I 5-024、Case. T2- II 5-024、Case. T2-III-024)

1. 2 B 1、B 2、B 3発電所

1. 2. 1 発電所の概要

(1) 発電所立地状況

ケーススタディ対象地点であるB水系のシリーズ発電所、B 1 発電所・B 2 発電所・B 3 発電所の位置関係は、図Ⅱ-1.2.1に示すとおりである。

これらシリーズ発電所の開発経緯は、まず真ん中に位置するB 2 発電所が昭和 58 年 10 月に運転開始された。

その後、最上流のB 1 発電所が建設され、平成元年 10 月より運転を開始した。この時点で、B 1 発電所放水口とB 2 発電所の導水路が直結され、B 2 川取水堰堤（B 2 発電所）は残流域分のみの取水に切り替えられた。

最後に、最下流に位置するB 3 発電所が建設され、平成 14 年 10 月より運転を開始した。B 3 発電所は、B 2 発電所の使用水量と支川に既に設置されていた砂防堰堤から取水した水量を水槽で合流させて発電を行う形態となっている。

したがって、B 1 発電所で使用された流量は、完全直結した形態でB 2・B 3 発電所（B 3 発電所では、支川からの取水量最大 $3.5\text{m}^3/\text{s}$ が加算）で利用されている。

表Ⅱ-1.2.1 B水系発電所諸元

発電所名	B 1 発電所	B 2 発電所	B 3 発電所
流域面積(km^2)	28.5	36.6	76.0
最大使用水量(m^3/s)	3.5	4.1	7.6
有効落差(m)	121.1	207.1	42.3
最大出力(kW)	3,400	7,000	2,700
常時出力(kW)	300	600	320
本取水路こう長(m)	1,067.36(トンネル部)	2,764.60(トンネル部)	1,513.7
水車型式	横軸フランシス	立軸フランシス	横軸両掛フランシス
運転開始年月	平成元年 10 月	昭和 58 年 10 月	平成 14 年 10 月

写真Ⅱ-1.2.1～16 に現地調査時の写真を示す。

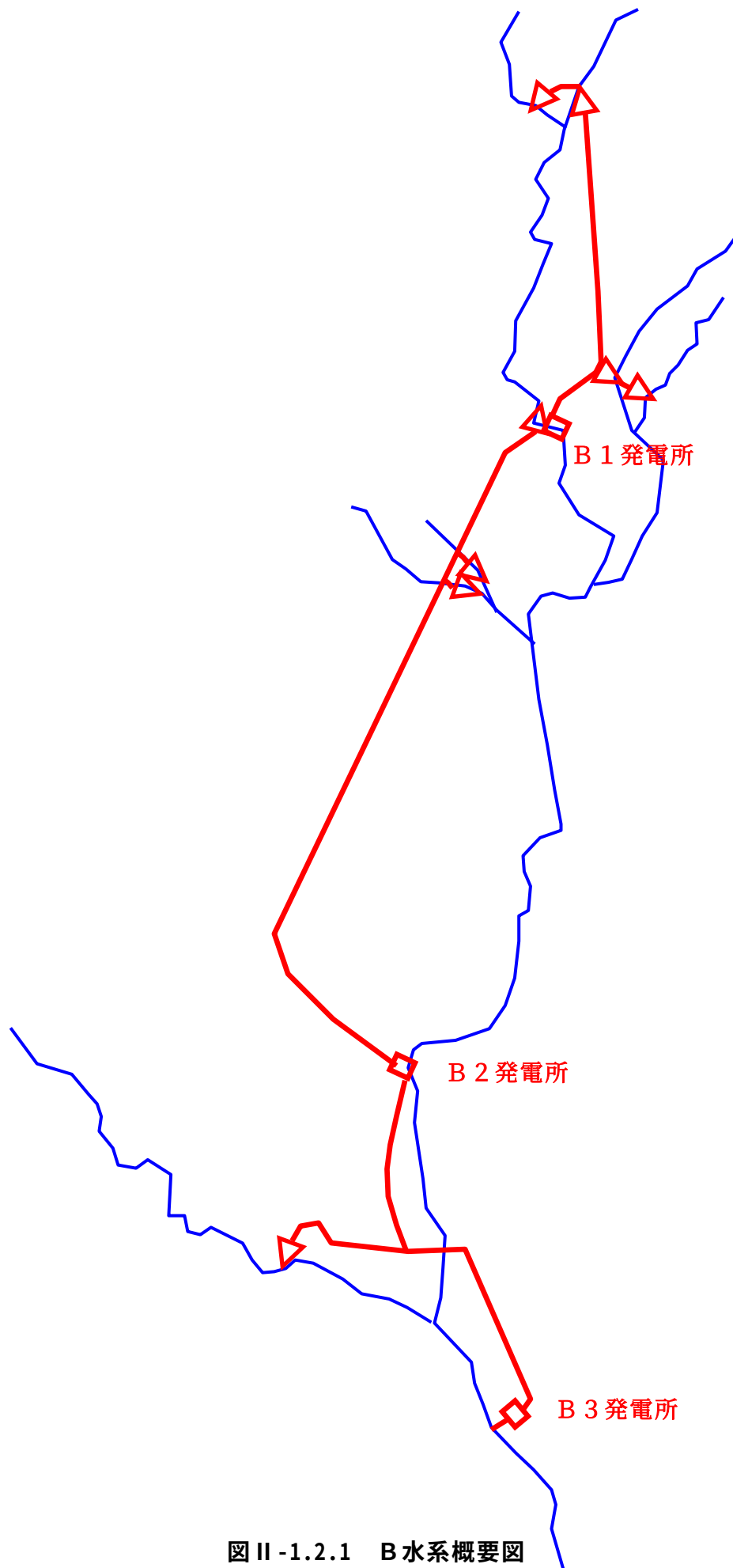


図 II -1.2.1 B水系概要図

	写真Ⅱ-1.2.1 B 1 発電所 水圧鉄管
	写真Ⅱ-1.2.2 B 1 発電所 発電所建屋
	写真Ⅱ-1.2.3 B 2 発電所 取水堰堤 ($H=11.3\text{m}$、$L=50.5\text{m}$、 最大取水量 $Q=$ $3.8\text{m}^3/\text{s}$) [但し、上流B 1 発電 所と直結しているた め常時は、残流域分 のみを取水している。]

	写真Ⅱ-1.2.4 B 2 発電所 取水口
	写真Ⅱ-1.2.5 B 2 発電所 溪流取水堰堤 ($H=5.3\text{m}$、$L=36.5\text{m}$、 最大取水量 Q $=0.23\text{m}^3/\text{s}$)
	写真Ⅱ-1.2.6 B 2 発電所 水槽

	写真Ⅱ-1.2.7 B 2 発電所 作業横坑跡 (水槽直上流箇所)
	写真Ⅱ-1.2.8 B 2 発電所 水圧鉄管 (上部)
	写真Ⅱ-1.2.9 B 2 発電所 水圧鉄管 (下部)

	写真Ⅱ-1.2.10 B 2 発電所 発電所建屋
	写真Ⅱ-1.2.11 B 2 発電所 立軸三相交流同期発電機
	写真Ⅱ-1.2.12 B 3 発電所 水槽（スラブ有） （B 2 発電所使用水量と支川からの取水量〔砂防堰堤取水量〕を合流させている）

	写真Ⅱ-1.2.13 B 3 発電所 水圧管路（水管橋部）
	写真Ⅱ-1.2.14 B 3 発電所 発電所建屋
	写真Ⅱ-1.2.15 B 3 発電所 横軸両掛フランシス水車・ 横軸三相交流同期発電機



(2) 対象発電所の選定

B 1 発電所の導水路延長は、延長 $L=1,177.349\text{m}$ (1 号トンネル+2 号暗渠+2 号トンネル) であり、勾配は $i=1/2,000\sim 1/2,130$ と緩勾配である。地下調整池は、この間に新設し、貯留可能高は導水路始点側水位と終点側（水槽側）調整池敷高との高低差となる。終点側の調整池敷高は、調整池からの水の供給を考慮すると導水路終点水位となる。

B 1 発電所の導水路は、延長が短く、緩勾配であることから調整池の容量確保が困難となる。概略、ピーク時間を満足する地下調整池形状を算定すると以下のとおりとなる。

< B 1 調整池概略検討 >

- ・ 8 月 L 5 流量 $=0.906\text{m}^3/\text{s}$
- ・ ピーク継続時間 = 3 時間
- ・ 必要調整池容量 $=27,000\text{m}^3$
- ・ 地下調整池延長 $=1,500\text{m}$
- ・ 地下調整池断面形状（上流側：幅 7.6m、高さ 5.6m）（下流側：幅 7.6m、高さ 5.6m）
- ・ 勾配 $=1/5,000$
- ・ トンネル本数 $=14$ 本（現実的でない）

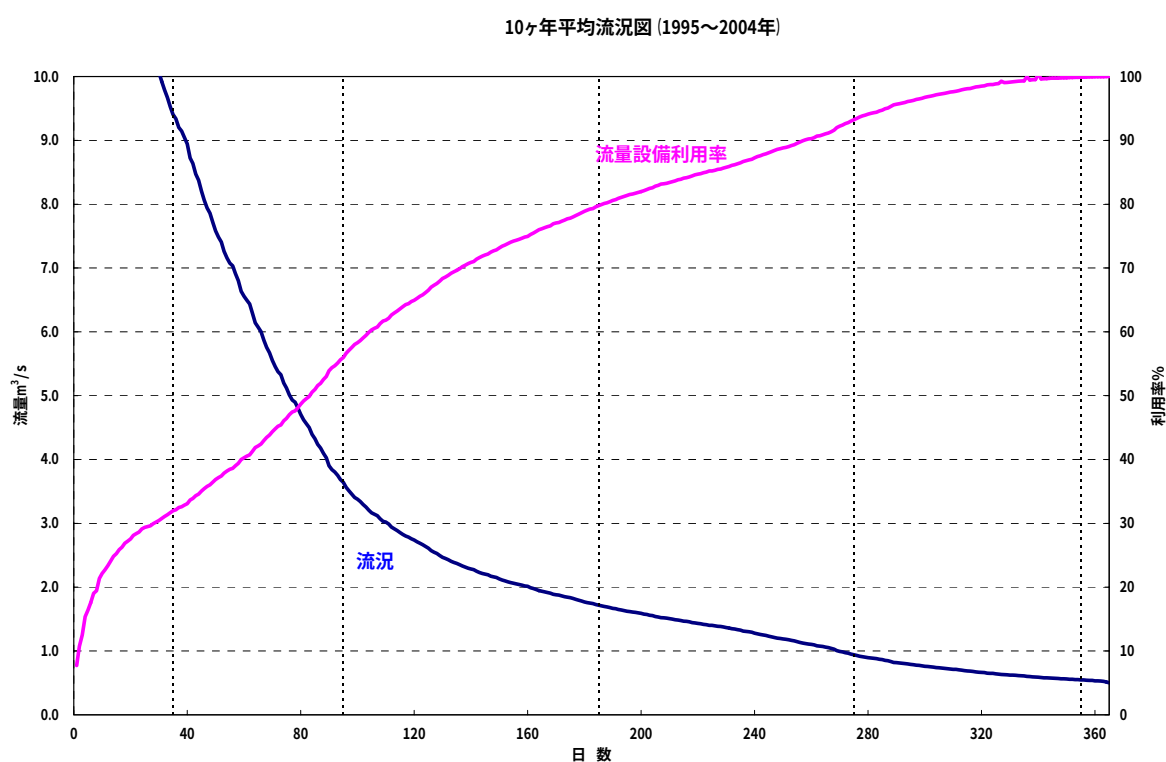
これより、本検討で地下調整池を設置する発電所は真ん中に位置する B 2 発電所とし、B 3 発電所とのシリーズ発電所を対象とした。

(3) B 2 発電所発電使用可能流況

本検討で使用する流量資料は、B 2 発電所取水地点（流域面積 CA=36.6km²）の 10 ヶ年データを使用する。表Ⅱ-1.2.2 に流況表、図Ⅱ-1.2.2 に流況図を示す。

表Ⅱ-1.2.2 B 2 発電所取水地点流況表

年	最大 流量	35日 流量	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小 流量	年平均 流 量
1996	42.24	9.02	3.49	1.86	0.86	0.52	0.33	3.44
1997	33.89	9.19	2.66	1.05	0.83	0.55	0.54	2.91
1998	72.47	8.41	3.68	1.85	1.03	0.52	0.49	3.47
1999	43.16	8.30	3.70	2.07	1.13	0.57	0.52	3.54
2000	56.70	9.63	4.25	1.73	0.96	0.60	0.55	3.70
2001	42.15	10.78	3.87	1.56	0.96	0.54	0.52	3.82
2002	18.97	9.83	3.75	1.69	0.76	0.50	0.48	3.26
2003	56.03	7.69	3.84	1.78	0.93	0.63	0.58	3.46
2004	43.00	10.34	3.69	1.72	0.77	0.47	0.46	3.54
2005	46.10	10.87	3.51	1.87	1.18	0.57	0.55	3.95
平 均	45.47	9.41	3.64	1.72	0.94	0.55	0.50	3.51



図Ⅱ-1.2.2 B 2 発電所取水地点流況図

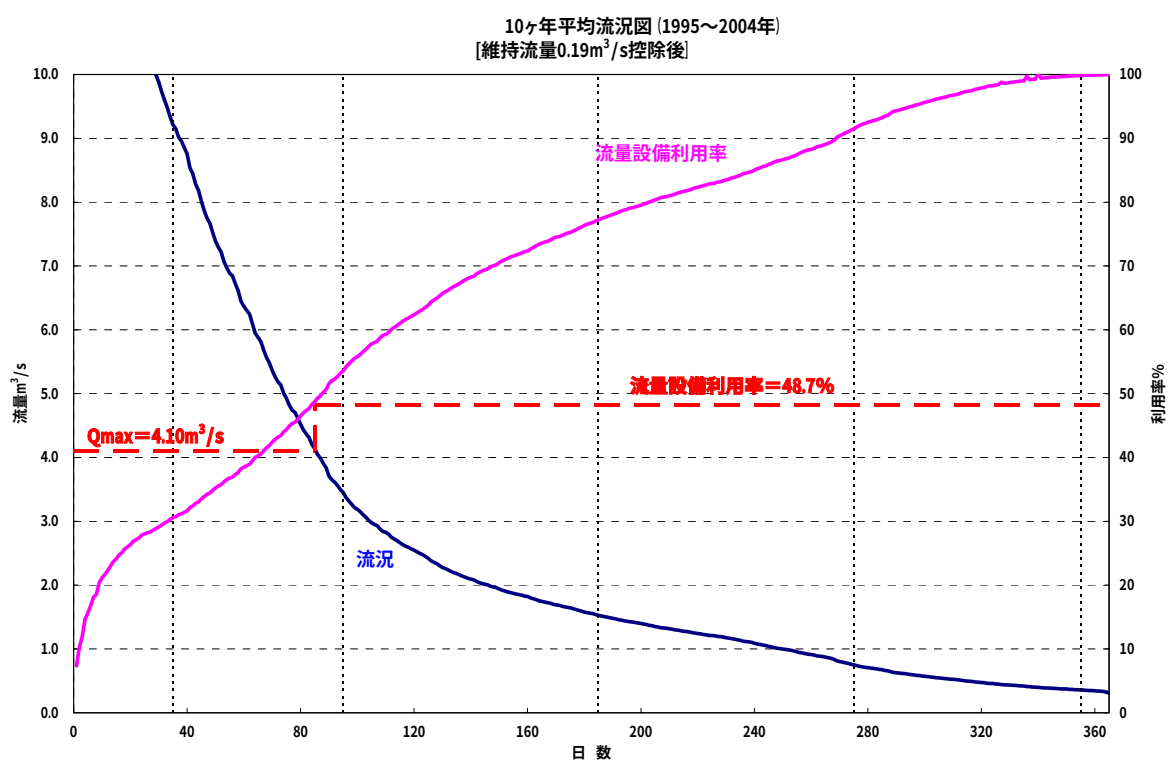
1.2.2 地下調整池計画の検討

(1) 地下調整池規模

当該地点の流量資料及び設備利用率は、表Ⅱ-1.2.3 及び図Ⅱ-1.2.3 に示すとおりである。

表Ⅱ-1.2.3 流量資料及び流量設備利用率

発電所	B 2 発電所	B 3 発電所
最大使用水量 $Q_{\max}$ (m ³ /s)	4.100	7.600
8 月 L5 流量 Q_{8L5} (m ³ /s)	1.447	—
河川維持流量 Q_{iji} (m ³ /s)	0.190	0.483
8 月 L5 流量－河川維持流量 (m ³ /s)	1.257	—
流量設備利用率 (%)	48.7	51.0



図Ⅱ-1.2.3 流量資料及び流量設備利用率

これより、ピーク継続時間を 3 時間、4 時間と設定し、地下調整池の容量を表 II-1.2.4 とした。

表 II-1.2.4 地下調整池の容量

ピーク運転時間 T(h)	最大使用水量 $Q_{\max}(\text{m}^3/\text{s})$	8 月 L5 流量－ 河川維持流量 (m^3/s)	必要調整池容量 $V(\text{m}^3)$
3.0	4.100	1.257	31,000
4.0	4.100	1.257	41,000

※) いずれも $V = (Q_{\max} - Q_{8\text{月L5}}) \times T_{\text{PEAK}} \times 3,600$

(2) 坑口位置の検討

(a) 検討条件

a) 坑口までの工事用道路の設定

取水口（B 1 発電所）および水槽（ヘッドタンク）までの管理用道路が確保されているため、この管理用道路を工事用道路として利用する計画とする。

b) 坑口位置の設定

地下調整池として利用できない進入路トンネルの延長をできるだけ短くするため、既設導水路にできるだけ近い位置に坑口を設定する。

- ① 取水口（B 1 発電所）までの管理用道路沿いから進入する場合には、既設導水路の左側（谷側）に地下調整池を設置する。
- ② 水槽（ヘッドタンク）までの管理用道路沿いから進入する場合には、既設導水路の右側（山側）に地下調整池を設置する。

(b) 坑口候補地の選定

下表に候補地選定結果を示し、次頁に坑口選定平面図を示す。

坑口は、下表に示す候補地選定結果および次頁に示す坑口選定平面図より、以下のように設定する。

- ① 坑口位置は、ヘッドタンク近傍の既設導水路トンネル施工時の進入路トンネル坑口付近とする。
- ② 仮設ヤードは、坑口に隣接する管理用道路脇の緩斜面に計画する。
※ 既設導水路施工実績があるため、レール方式、タイヤ方式ともに対応可能。
- ③ 既設導水路の右側（山側）に地下調整池を設置する。

表Ⅱ-1.2.5 坑口候補地選定

	候補地とその概要	適否
候補 －1	【取水口付近】 B 2 取水堰堤（B 1 発電所）付近に作業坑坑口を設け、地下調整池を構築する案。 現道と地下調整池の高低差がほぼ同レベルとなり、作業坑延長も短くでき、地下調整池延長も長く取れる。 地下調整池施工と B 1 発電所供用時の管理通路の確保を可能とするために、発電所近傍を地形改変（切土等）が必要となる。	△
候補 －2	【溪流取水横坑付近】 溪流取水横坑付近にて、現道から作業坑を掘り、地下調整池を構築する案。 現道と地下調整池の高低差が約 10m あるため、作業坑延長を最短（約 100m）とすると、作業坑の縦断勾配が 10% となるため、レール方式での施工が困難となる。 レール方式とする場合、作業坑延長が 500m となり、経済性の面で問題がある。	×
候補 －3	【水槽付近】 ヘッドタンク近傍の現道（管理用道路）から作業坑を掘り、地下調整池を構築する案。 既設導水路を施工した際の作業坑坑口近傍からの施工となるため、進入路およびヤードに関する問題はない。	○

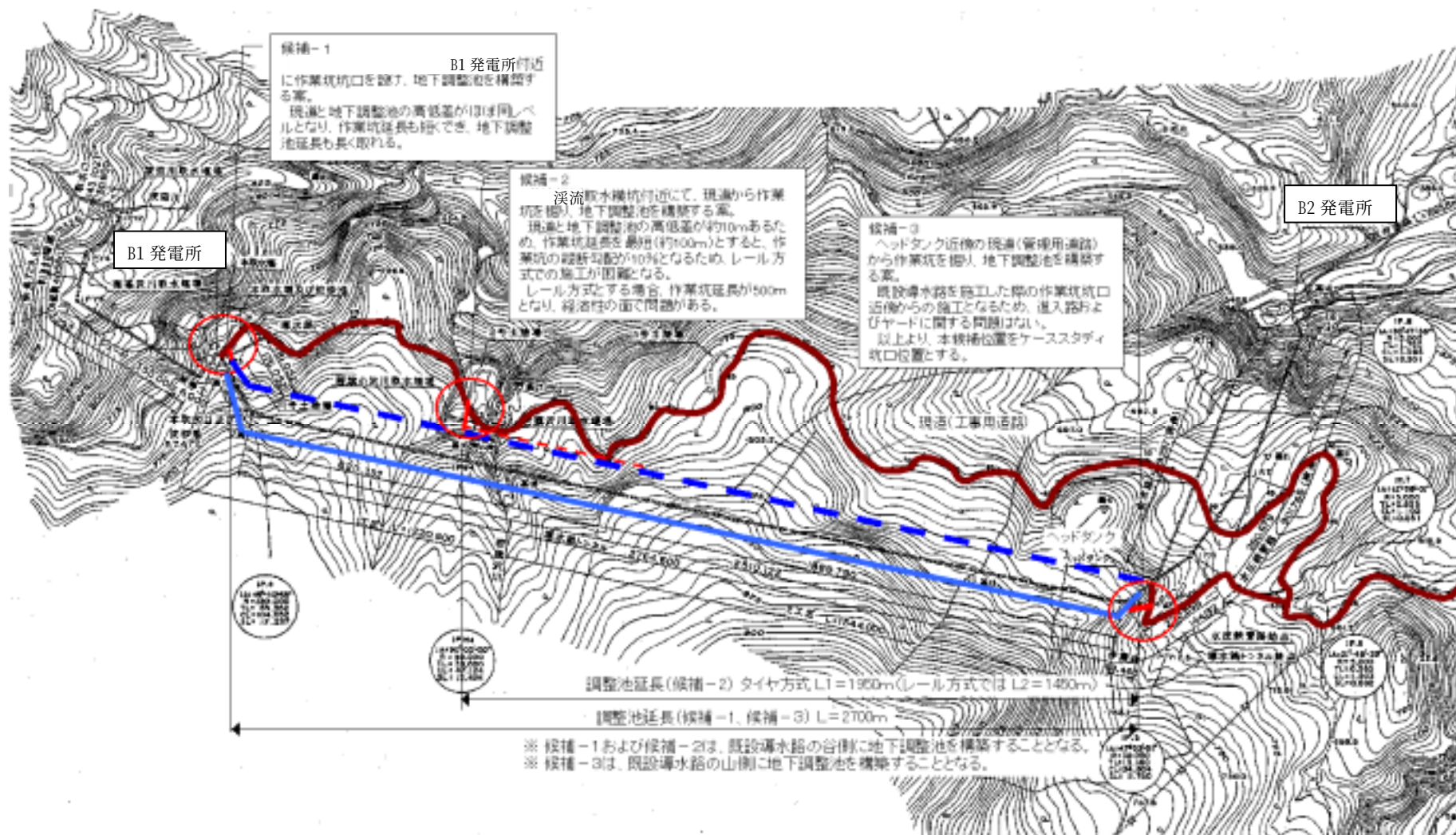


図 II - 1.2.4 坑口選定平面図

(3) 地下調整池形状の設定

ここでは、当該地点で設定したピーク運転時間を確保可能とする調整池形状（断面、延長、勾配等）の設定検討を実施した。

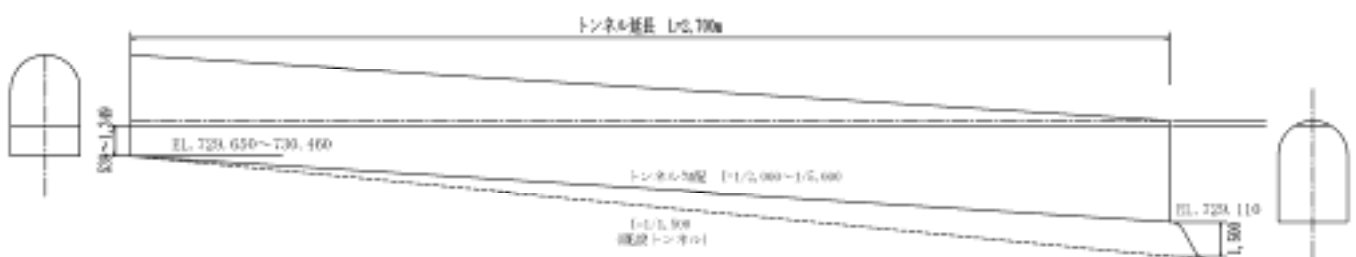
検討ケースは、表Ⅱ-1.2.6に示すとおりであり、ピーク運転時間を3時間、4時間、トンネル本数を2本、3本とした4ケースについて最適な地下調整池形状を設定した。

表Ⅱ-1.2.6 地下調整池の容量

ケース	ピーク運転時間 T(h)	必要調整池容量 V(m ³)	トンネル本数 (本)
case-1	4.0	41,000	2
case-2	3.0	31,000	2
case-3	4.0	41,000	3
case-4	3.0	31,000	3

(a) 簡易法による調整池形状の設定

図Ⅱ-1.2.5に示すとおり、トンネルインバート標高（下流）をEL.729.110mに、トンネル延長をL=2,700mに固定し、トンネル勾配を $i=1/2,000$ 、 $1/3,000$ 、 $1/4,000$ 、 $1/5,000$ と変化させ、トンネル本数を2本または3本で、所定のピーク運転時間が3、4時間とれる最も経済的な調整池の形状を算出した。



図Ⅱ-1.2.5 計算条件

a) 計算条件

計算条件を表Ⅱ-1.2.7に示す。

表Ⅱ-1.2.7 B水系ケーススタディ計算条件

項目	内容
トンネルインバート標高（下流）	EL.729.110m
トンネル延長 L	2,700m
トンネル勾配	1/2,000、1/3,000、 1/4,000、1/5,000
トンネル本数	2 または 3 本
8 月 L5 流量－河川維持流量 Q_{in}	1.258(m ³ /s)
最大使用水量 Q_{out}	4.100(m ³ /s)

b) 調整池形状

検討により得られた調整池形状の集約表を表Ⅱ-1.2.8に示した。また、各ケースの調整池検討結果を表Ⅱ-1.2.9～12に示した。

この結果を基に、(4)工事費の算出の項で詳細な工事費を算出し、ピーク継続時間に対する最適地下調整池形状を絞り込むこととした。

表Ⅱ-1.2.8 地下調整池形状集約表

ケース	case-1	case-2	case-3	case-4
ピーク運転時間 T(h)	4.0	3.0	4.0	3.0
トンネル本数（本）	2	2	3	3
上流水位	EL.730.999m	EL.730.999m	EL.730.999m	EL.730.999m
トンネルインバート標高（上流）	EL.729.650m	EL.729.650m	EL.729.650m	EL.729.650m
トンネルインバート標高（下流）	EL.729.110m	EL.729.110m	EL.729.110m	EL.729.110m
トンネル延長 L	2,700m	2,700m	2,700m	2,700m
トンネル勾配 I	1/5,000	1/5,000	1/5,000	1/5,000
トンネル幅 B	6.40m	5.00m	4.20m	3.40m
トンネル高（上流）H1	5.60m	4.20m	3.40m	3.40m
トンネル高（下流）H2	5.60m	4.20m	3.40m	3.40m

表Ⅱ-1.2.9 B2発電所の簡易計算結果（ピーク4時間、トンネル本数2本）

項 目		大断面	大断面	大断面	大断面
		case-1-1	case-1-2	case-1-3	case-1-4
トンネル幅	B (m)	7.6	6.8	6.6	6.4
トンネル勾配	I	0.000500	0.000333	0.000250	0.000200
トンネル延長	L (m)	2,700	2,700	2,700	2,700
河川流入量	Qin(m ³ /s)	0.629	0.629	0.629	0.629
最大使用水量	Qout(m ³ /s)	2.050	2.050	2.050	2.050
上流水深	H1 (m)	0.539	0.989	1.214	1.349
初期容量	V(m ³)	24,911	26,420	27,648	27,976
粗度係数	n	0.014	0.014	0.014	0.014
等流水深	Ho (i) (m)	0.172	0.209	0.233	0.255
	Ho (o) (m)	0.357	0.436	0.487	0.534
貯水容量	Vi(m ³)	3,538	3,845	4,156	4,403
	Vo(m ³)	7,317	8,001	8,678	9,228
T①	(sec)	15,036	15,887	16,532	16,589
T②	(sec)	12,377	12,962	13,349	13,194
③ To'	(hr)	3.807	4.007	4.150	4.137
許容トンネル高 (m)		5.600	5.600	5.600	5.600
上流トンネル高 (m)		1.139	1.589	1.814	1.949
判定		×	×	×	×
上流トンネル高 (m) の変更		5.600	5.600	5.600	5.600
下流トンネル高 (m)		2.489	2.489	2.489	2.489
判定		×	×	×	×
下流トンネル高 (m) の変更		5.600	5.600	5.600	5.600
トンネル容量 (m ³)	上流平均断面積	36.36	33.12	32.29	31.44
	下流平均断面積	36.36	33.12	32.29	31.44
	延長	2,700.00	2,700.00	2,700.00	2,700.00
	箇所	2	2	2	2
	容量	196,352.80	178,836.50	174,341.52	169,800.19
工事単価 (千円／m ³)		9.200	9.486	9.557	9.629
工事費 (億円)		18.06	16.96	16.66	16.35
最適案		×	○	○	◎

表 II -1.2.10 B 2 発電所の簡易計算結果（ピーク 3 時間、トンネル本数 2 本）

項 目		大断面	中断面	中断面	中断面
		case-2-1	case-2-2	case-2-3	case-2-4
トンネル幅	B (m)	6.4	5.4	5.2	5.0
トンネル勾配	I	0.000500	0.000333	0.000250	0.000200
トンネル延長	L (m)	2,700	2,700	2,700	2,700
河川流入量	Qin(m3/s)	0.629	0.629	0.629	0.629
最大使用水量	Qout(m3/s)	2.050	2.050	2.050	2.050
上流水深	H1 (m)	0.539	0.989	1.214	1.349
初期容量	V(m3)	20,978	20,981	21,783	21,857
粗度係数	n	0.014	0.014	0.014	0.014
等流水深	Ho (i) (m)	0.192	0.243	0.272	0.300
	Ho (o) (m)	0.400	0.511	0.576	0.638
貯水容量	Vi(m3)	3,321	3,543	3,824	4,047
	Vo(m3)	6,909	7,453	8,090	8,608
T①	(sec)	12,426	12,271	12,638	12,533
T②	(sec)	9,901	9,520	9,636	9,324
③ To'	(hr)	3.101	3.027	3.094	3.036
許容トンネル高 (m)		5.600	4.200	4.200	4.200
上流トンネル高 (m)		1.139	1.589	1.814	1.949
判定		×	×	×	×
上流トンネル高 (m) の変更		5.600	4.200	4.200	4.200
下流トンネル高 (m)		2.489	2.489	2.489	2.489
判定		×	×	×	×
下流トンネル高 (m) の変更		5.600	4.200	4.200	4.200
トンネル容量 (m3)	上流平均断面積	31.44	19.55	18.94	18.32
	下流平均断面積	31.44	19.55	18.94	18.32
	延長	2,700.00	2,700.00	2,700.00	2,700.00
	箇所	2	2	2	2
	容量	169,800.19	105,574.14	102,266.66	98,912.81
工事単価 (千円/m3)		9.629	15.560	15.846	16.133
工事費 (億円)		16.35	16.43	16.21	15.96
最適案		○	○	○	◎

表 II -1.2.11 B 2 発電所の簡易計算結果（ピーク 4 時間、トンネル本数 3 本）

項 目		中断面	中断面	小断面	小断面
		case-3-1	case-3-2	case-3-3	case-3-4
トンネル幅	B (m)	5.4	4.6	4.4	4.2
トンネル勾配	I	0.000500	0.000333	0.000250	0.000200
トンネル延長	L (m)	2,700	2,700	2,700	2,700
河川流入量	Qin(m3/s)	0.419	0.419	0.419	0.419
最大使用水量	Qout(m3/s)	1.367	1.367	1.367	1.367
上流水深	H1 (m)	0.539	0.989	1.214	1.349
初期容量	V(m3)	17,700	17,872	18,432	18,359
粗度係数	n	0.014	0.014	0.014	0.014
等流水深	Ho (i) (m)	0.167	0.210	0.236	0.261
	Ho (o) (m)	0.348	0.442	0.500	0.557
貯水容量	Vi(m3)	2,432	2,606	2,807	2,962
	Vo(m3)	5,068	5,487	5,945	6,314
T①	(sec)	16,106	16,104	16,482	16,242
T②	(sec)	13,325	13,065	13,172	12,706
③ To'	(hr)	4.088	4.051	4.119	4.021
許容トンネル高 (m)		4.200	4.200	3.400	3.400
上流トンネル高 (m)		1.139	1.589	1.814	1.949
判定		×	×	×	×
上流トンネル高 (m) の変更		4.200	4.200	3.400	3.400
下流トンネル高 (m)		2.489	2.489	2.489	2.489
判定		×	×	×	×
下流トンネル高 (m) の変更		4.200	4.200	3.400	3.400
トンネル容量 (m3)	上流平均断面積	19.55	17.05	12.88	12.39
	下流平均断面積	19.55	17.05	12.88	12.39
	延長	2,700.00	2,700.00	2,700.00	2,700.00
	箇所	3	3	3	3
	容量	158,361.22	138,099.07	104,347.68	100,334.76
工事単価 (千円／m3)		15.560	16.707	16.993	17.280
工事費 (億円)		24.64	23.07	17.73	17.34
最適案		○	○	○	◎

表 II -1.2.12 B 2 発電所の簡易計算結果（ピーク 3 時間、トンネル本数 3 本）

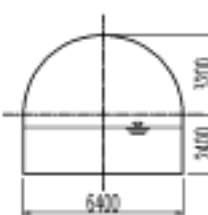
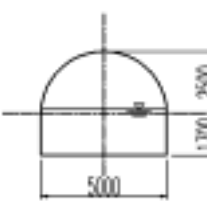
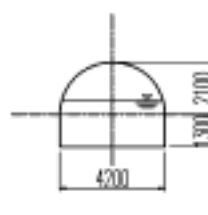
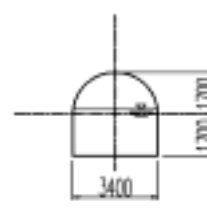
項 目		小断面	小断面	小断面	小断面
		case-4-1	case-4-2	case-4-3	case-4-4
トンネル幅	B (m)	4.2	3.8	3.6	3.4
トンネル勾配	I	0.000500	0.000333	0.000250	0.000200
トンネル延長	L (m)	2,700	2,700	2,700	2,700
河川流入量	Qin(m3/s)	0.419	0.419	0.419	0.419
最大使用水量	Qout(m3/s)	1.367	1.367	1.367	1.367
上流水深	H1 (m)	0.539	0.989	1.214	1.349
初期容量	V(m3)	13,767	14,764	15,081	14,862
粗度係数	n	0.014	0.014	0.014	0.014
等流水深	Ho (i) (m)	0.196	0.238	0.270	0.302
	Ho (o) (m)	0.414	0.508	0.582	0.656
貯水容量	Vi(m3)	2,227	2,442	2,628	2,774
	Vo(m3)	4,692	5,208	5,653	6,018
T①	(sec)	12,173	12,998	13,135	12,751
T②	(sec)	9,572	10,080	9,945	9,329
③ To'	(hr)	3.020	3.205	3.206	3.067
許容トンネル高 (m)		3.400	3.400	3.400	3.400
上流トンネル高 (m)		1.139	1.589	1.814	1.949
判定		×	×	×	×
上流トンネル高 (m) の変更		3.400	3.400	3.400	3.400
下流トンネル高 (m)		2.489	2.489	2.489	2.489
判定		×	×	×	×
下流トンネル高 (m) の変更		3.400	3.400	3.400	3.400
トンネル容量 (m3)	上流平均断面積	12.39	11.37	10.85	10.32
	下流平均断面積	12.39	11.37	10.85	10.32
	延長	2,700.00	2,700.00	2,700.00	2,700.00
	箇所	3	3	3	3
	容量	100,334.76	92,100.30	87,878.76	83,587.69
工事単価 (千円／m3)		17.280	17.854	18.140	18.427
工事費 (億円)		17.34	16.44	15.94	15.40
最適案		○	○	○	◎

(4) 工事費の算出

(a) 工事費算出条件

地下調整池構築費用については、先に示した水理計算結果に基づいて設定された断面に対して算出する。工事費算出条件を下表に示し、断面概要図を次頁に示す。

表 II -1.2.13 工事費算出入力条件

	case- 1	case- 2	case- 3	case- 4
ピーク継続時間	4.0 hr	3.0 hr	4.0 hr	3.0 hr
トンネル断面	内空幅 6.4m (タイヤ方式) 	内空幅 5.0m (複線レール方式) 	内空幅 4.2m (単線レール方式) 	内空幅 3.4m (単線レール方式) 
トンネル延長	2700m×2 本	2700m×2 本	2700m×3 本	2700m×3 本
トンネル本数	2 本	2 本	3 本	3 本
岩盤等級 区分比率	C_H 等級 : 60.8% (1 本当たり 1642m) C_M 等級 : 32.0% (1 本当たり 864m) $C_L \sim D$ 等級 : 7.2% (1 本当たり 194m)			

注) 岩盤等級区分比率は、既設導水路トンネルの施工実績をもとに設定した。(下表参照)

表 II -1.2.14 既設導水路トンネルの実績と地下調整池延長区分比率の設定

導水路Tn実績	区分	Bタイプ	B1タイプ	Cタイプ	C1タイプ	Dタイプ	Gタイプ
	延長 (m)	1433.0	270.3	373.7	522.4	118.3	81.9
地下調整池	区分	CH等級		CM等級		CL～D等級	
	延長比率	60.8%		32.0%		7.2%	
	延長 (m)	1642		864		194	
		2700					

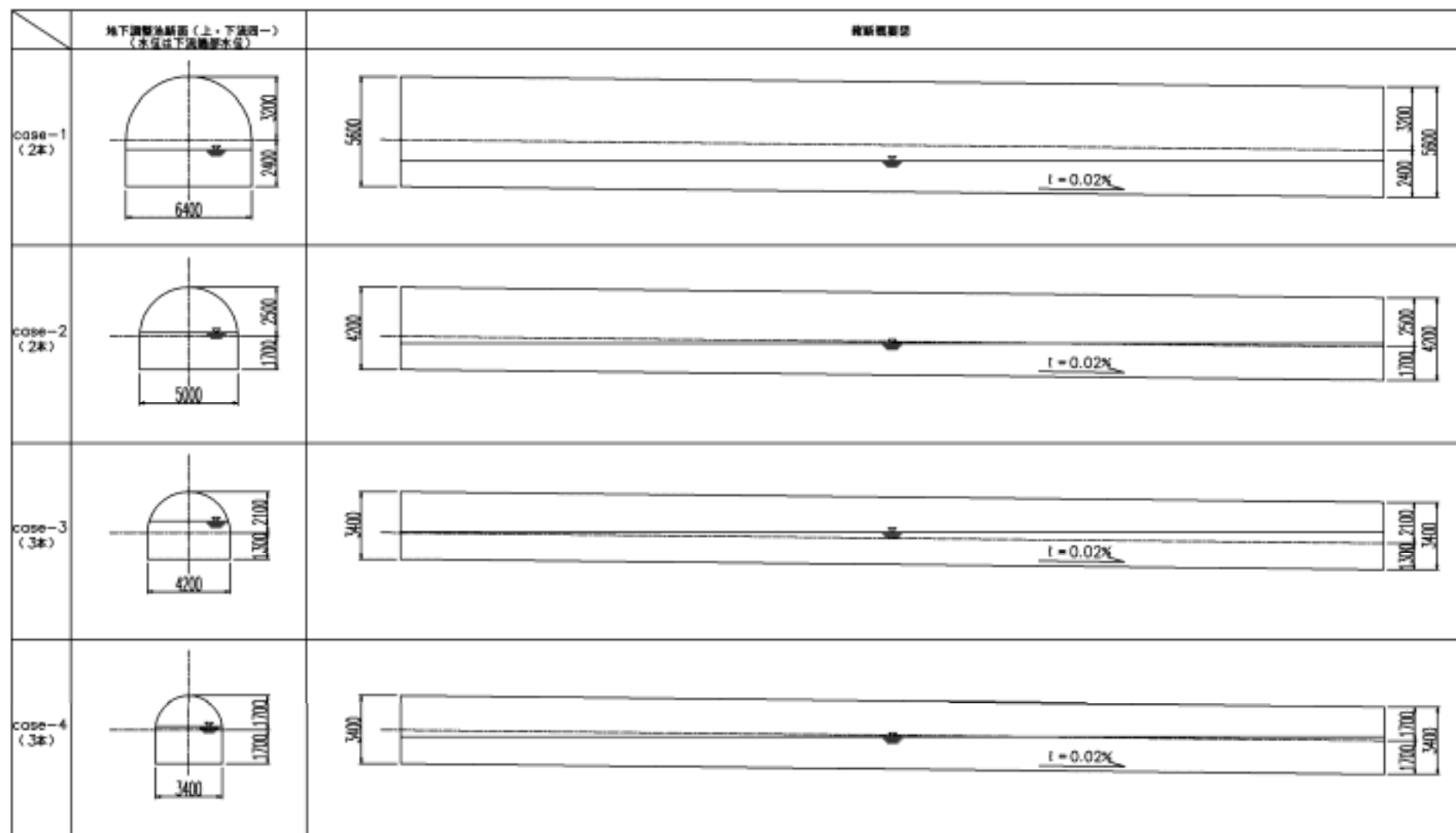
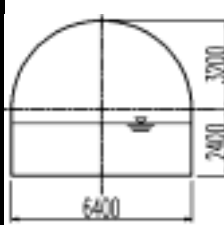
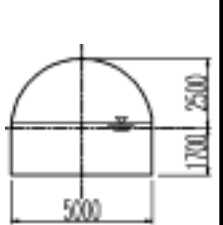
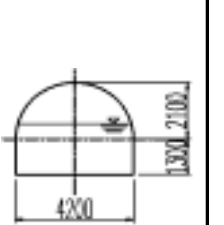
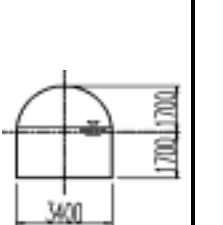


図 II - 1.2.6 B 2 発電所ケーススタディー検討断面

(b) 工事費算出結果

下記に示すとおり、ピーク継続時間 4 時間の場合はトンネル 3 本、3 時間の場合は 2 本が有利な結果となった。

表 II -1.2.15 ケーススタディ工事費算出結果

		case - 1	case - 2	case - 3	case - 4
調整池諸元	ピーク継続時間	4.0hr	3.0hr	4.0hr	3.0hr
	断面形状				
	総延長	5400 m	5400 m	8100 m	8100 m
	1本当り	2700 m/本	2700 m/本	2700 m/本	2700 m/本
	Tn.本数	2 本	2 本	3 本	3 本
	施工方式	タイヤ方式	複線レール方式	単線レール方式	単線レール方式
工期	準備工	3.0 ヶ月	3.0 ヶ月	3.0 ヶ月	3.0 ヶ月
	掘削	36.8 ヶ月	34.6 ヶ月	41.4 ヶ月	38.7 ヶ月
	二次吹付け	2.2 ヶ月	2.4 ヶ月	3.0 ヶ月	3.0 ヶ月
	後片付け	1.0 ヶ月	3.0 ヶ月	3.0 ヶ月	3.0 ヶ月
	総工期	43.0 ヶ月	43.0 ヶ月	50.4 ヶ月	47.7 ヶ月
	掘削月進	147 m/ヶ月	156 m/ヶ月	196 m/ヶ月	209 m/ヶ月
工費	直接工事費	1830.7 百万円	1366.9 百万円	1555.0 百万円	1388.7 百万円
	運転経費	456.8 百万円	249.7 百万円	306.4 百万円	278.9 百万円
	仮設備費	260.2 百万円	440.8 百万円	527.8 百万円	504.8 百万円
	純工事費	2547.7 百万円	2057.4 百万円	2389.2 百万円	2172.4 百万円
	間接工事費	573.2 百万円	466.2 百万円	538.8 百万円	491.6 百万円
	工事原価	3120.9 百万円	2523.6 百万円	2928.0 百万円	2664.0 百万円
	一般管理費	223.8 百万円	187.0 百万円	212.0 百万円	195.8 百万円
	工事価格	3344.7 百万円	2710.6 百万円	3140.0 百万円	2859.8 百万円
	m当り純工事費	472 千円/m	381 千円/m	295 千円/m	268 千円/m
	m当り工事価格	619 千円/m	502 千円/m	388 千円/m	353 千円/m

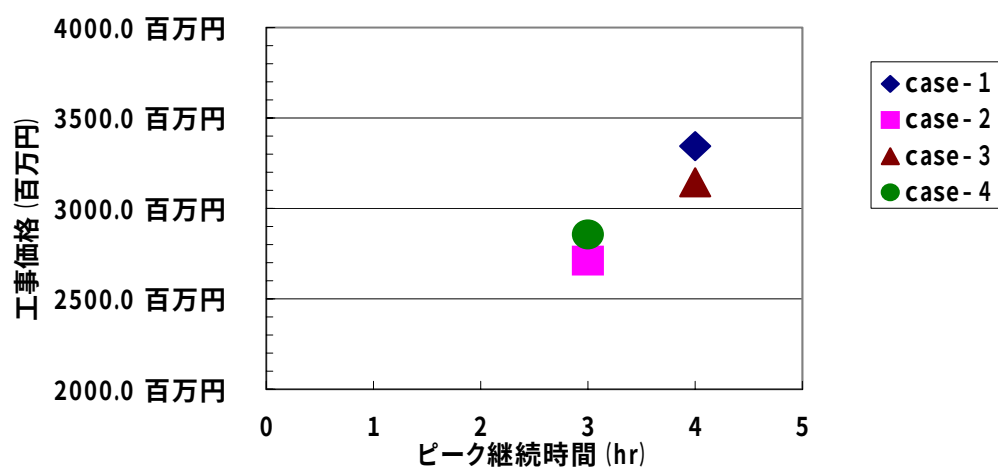


図 II -1.2.7 ピーク運転時間と地下調整池工事価格の関係

(5) 電力量の計算

(a) 検討条件の設定

計算対象地点はB水系のB 2 発電所、B 3 発電所の2シリーズ発電所地点である。

表Ⅱ-1.2.16 に上記2つの発電所の諸元を示す。

以下に、今回実施した検討の前提条件および検討ケースの設定について述べる。

表Ⅱ-1.2.16 検討対象発電所の諸元

発電所名	B 2 発電所	B 3 発電所
流域面積 $CA(\text{km}^2)$	36.6	76.0
最大使用水量 $Q_{\max}(\text{m}^3/\text{s})$	4.1	7.6
有効落差 $H_{A\max}(\text{m})$	207.1	42.3
最大出力 $P(\text{MW})$	7.0	2.7
水車型式	立軸フランシス	横軸両掛フランシス

a) 計算条件

各発電所の電力量を計算するのに必要なシリーズ発電所に関する情報を表Ⅱ-1.2.17 に示す。また各発電所の発電効率の効率曲線を図Ⅱ-1.2.8 に示す。

ここで、B 3 発電所については水車発電機が2台あり、流量比が50%未満の時には1台運転、50%以上では2台運転を行っている。そのため、B 3 発電所の効率曲線では、流量比50%を境に不連続になっている。

表Ⅱ-1.2.17 対象発電所の計算前提条件

発電所名	B 2 発電所	B 3 発電所
流域面積 (km^2)	36.6	76.0
河川維持流量 $q_k(\text{m}^3/\text{s})$	0.190	0.483
最大使用水量 $Q_{\max}(\text{m}^3/\text{s})$	4.100	7.600
発電可能最小流量 $Q_n(\text{m}^3/\text{s})$	0.500	1.748
常時使用水量 $Q_s(\text{m}^3/\text{s})$	0.530	1.150
水槽水位 $h_{tk}(\text{m})$	729.200	509.300
最大使用水量時の放水位 $h_{\max}(\text{m})$	517.200	462.200
常時使用水量時の放水位 $h_s(\text{m})$	516.800	461.600
最大使用水量時の損失落差 $h_{l\max}(\text{m})$	5.600	5.700
最大使用水量時の有効落差 $H_{A\max}(\text{m})$	206.400	42.300

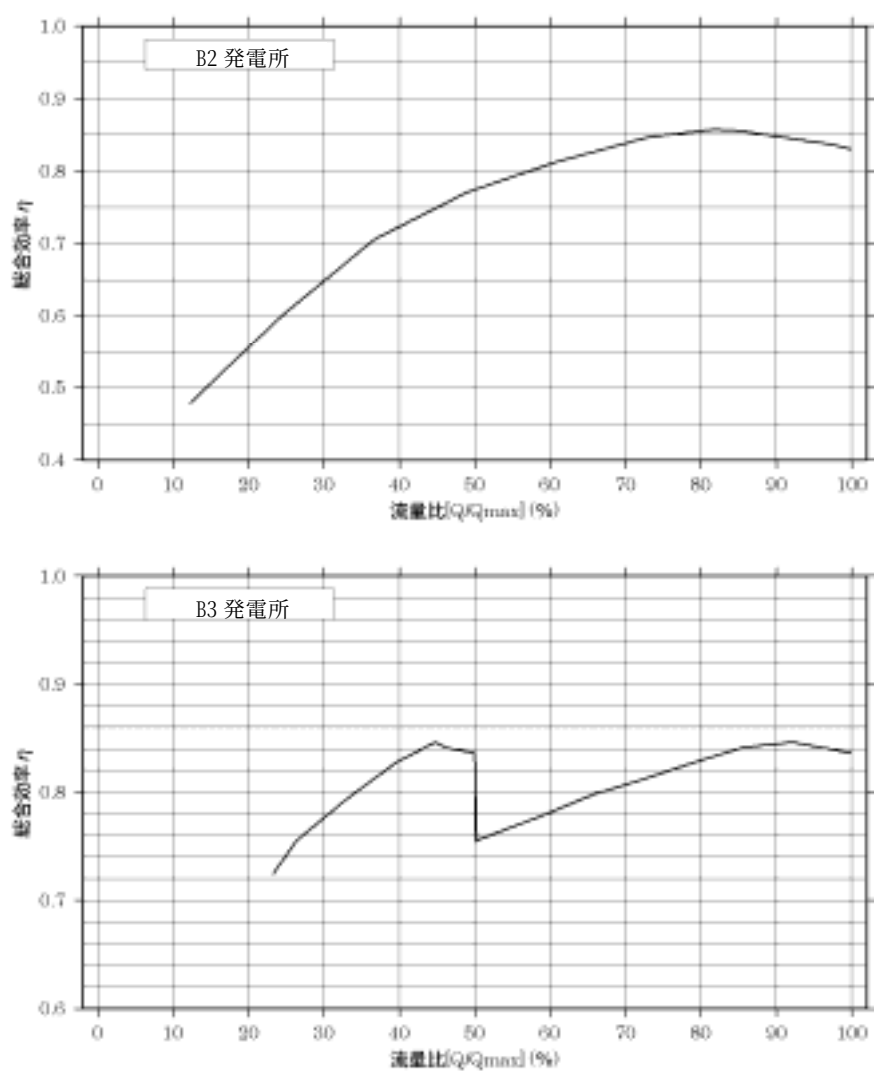
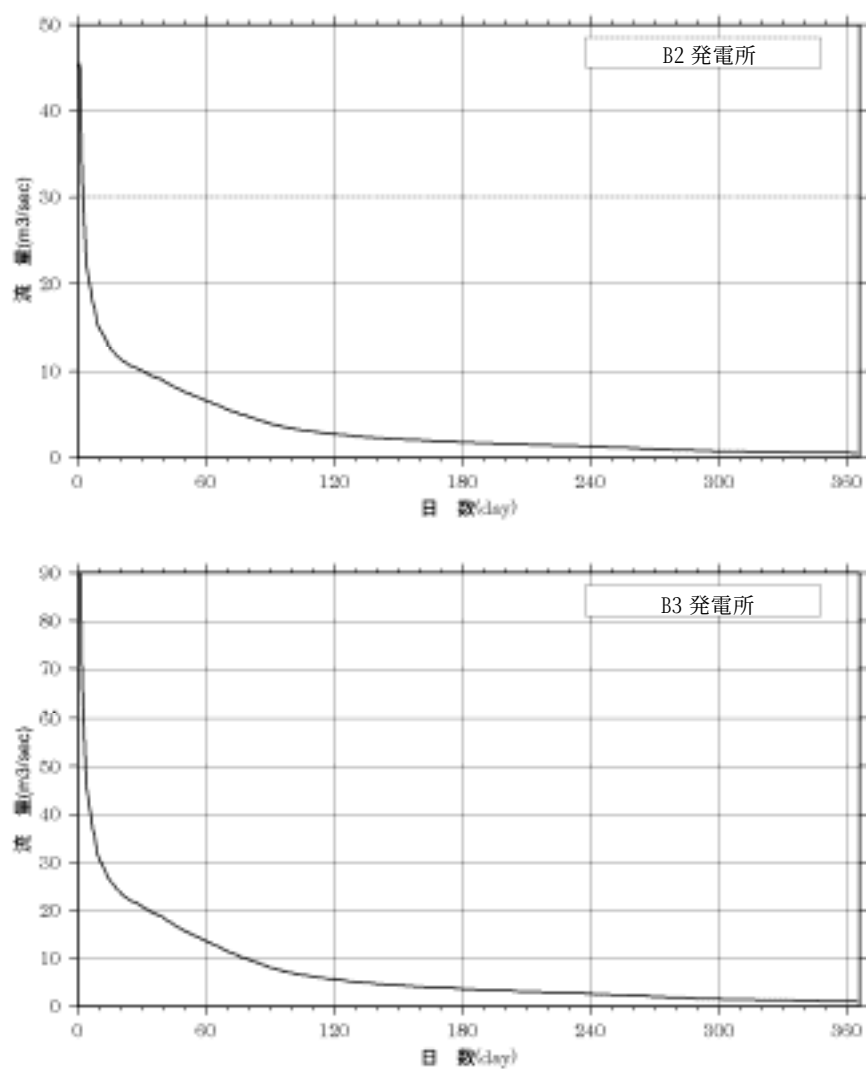


図 II -1.2.8 総合効率曲線

b) 流況曲線

計算を実施するにあたっては、図Ⅱ-1.2.9に示す流況データを入力する。



図Ⅱ-1.2.9 各発電所の取水口地点の流況

c) ケース設定

検討ケースは表Ⅱ-1.2.18 に示すとおりである。

想定する調整池容量およびピーク運転時間を 31,000m³ (3 時間)、41,000m³ (4 時間) の 2 ケースを設定した。

運用方法としては、以下の 3 パターンを設定した。

k W 優先運転①

ピーク運転時間 T_2 を固定して、ピーク時に B 2 発電所の出力が最大となるための必要容量を、貯留時には完全に発電を停止して最短時間で貯める運用。

k W 優先運転②

ピーク運転時間 T_2 を固定して、ピーク時に B 2 発電所の出力が最大となるための必要容量を、発電電力量が最大となるように貯留時間を調整する運用。

k W h 優先運転

発電電力量が最大となるような調整容量、貯留時間、ピーク運転時間を調整する運用。

表Ⅱ-1.2.18 検討ケース一覧表

運用方法 調整池容量 (m ³)	k W 優先運転①	k W 優先運転②	k W h 優先運転
31,000	K- I 3-031 (ピーク運転時間 3h)	K- II 3-031 (ピーク運転時間 3h)	K-III-031
41,000	K- I 4-041 (ピーク運転時間 4h)	K- II 4-041 (ピーク運転時間 4h)	K-III-041

(b) 検討結果および考察

表Ⅱ-1.2.19 に、B水系の電力量計算結果一覧を示す。

表Ⅱ-1.2.19 B水系電力量計算結果一覧

ケース	ピーク 運転時間	調整池 容量	B 2 発電所		B 3 発電所		合計	
			電力量	増分(%)	電力量	増分(%)	電力量	増分(%)
自流運転	—	—	27,250	—	11,388	—	38,638	—
I 3-031	3 時間	31,000m ³	28,835	5.82	11,435	0.41	40,271	4.23
II 3-031			28,697	5.31	11,668	2.46	40,365	4.47
III-031	—	—	28,990	6.39	11,891	4.42	40,881	5.81
I 4-041	4 時間	41,000m ³	29,077	6.70	11,408	0.18	40,485	4.78
II 4-041			28,957	6.26	11,644	2.25	40,601	5.08
III-041	—	—	29,368	7.77	11,785	3.49	41,153	6.51

また、kW優先運転①及び②において、所要のピーク継続時間に最大出力で運転できる日数変化を表Ⅱ-1.2.20 に示す。さらに、8 月 L5 流量時のピーク出力を表Ⅱ-1.2.21 に示す。

これより、当該地点について以下の事項が確認された。

表Ⅱ-1.2.20 最大出力運転の増加日数（ピーク運転時間内：kW優先運転①、②）

ピーク 運転時間	調整池 容量	B 2 発電所		B 3 発電所	
		運転日数	増分	運転日数	増分
自流運転		85 日	—	85 日	—
3 時間	31,000m³	221 日	136 日	100 日	15 日
4 時間	41,000m³	218 日	133 日	100 日	15 日

表Ⅱ-1.2.21 8 月 L5 流量時の発電所毎のピーク出力

ケース	B 2 発電所		B 3 発電所		2 発電所合計	
	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)
自流運転時	1,723	—	1,013	—	2,736	—
ピーク運転時間 3h	6,883	5,160	1,963	950	8,846	6,110
ピーク運転時間 4h	6,883	5,160	1,963	950	8,846	6,110

- ・調整池の使用は、B 2 発電所の $Q_{\max}$ が 85 日流量に相当することから、85 日流量以後の時となる。
- ・調整池の規模（ピーク運転時間）に係らず、B 2 発電所の最大出力運転日数（ピーク運転時間内）は約 132 日増加（8 月 L5 流量 = $1.258\text{m}^3/\text{s}$ = 217 日流量まで）する。
- ・一方、B 3 発電所については、上流 B 2 発電所からの使用水量の他に、支川からの河川水を取水することから、最大出力運転日数（ピーク運転時間内）は約 15 日程度の増加に留まる。
- ・地下調整池の出力に対する効果として、8 月 L5 流量時のピーク出力が B 2 発電所で 4 倍程度（最大出力相当）、B 3 発電所で 2 倍程度（最大出力の 72.7%）の出力増となる。
- ・発電電力量については、2 発電所の合計で kW 優先運転①で 4.2～4.8%、kW 優先運転②で 4.5～5.1%、kWh 優先運転で 5.8～6.5% 程度増加する結果となっている。
- ・電力量の増減する流量範囲は、以下のとおりとなる。
 - kW 優先運転①：86～118 日流量、185～217 日流量・・・若干減少
119～184 日流量・・・若干増加、218～365 日流量・・・増加
 - kW 優先運転②：86～118 日流量・・・若干減少
119～365 日流量・・・増加
 - kWh 優先運転：86～365 日流量・・・増加
- ・kWh 優先運転の電力量最適運用では、B 2・B 3 発電所双方の効率を考慮して、最適な運用が選択されている。本地点の特徴としては、B 3 発電所の使用水量は、本川：支川 = $4.1\text{m}^3/\text{s}$: $3.5\text{m}^3/\text{s}$ = 1 : 0.85 と流量比が近く、調整池の利用方法により、調整せずに発電に供される支川からの水を効率よく使用することが可能となるためである。

以下に出力結果、運転パターン毎の特徴を示す。

概要		検討結果	
		発電電力量曲線	調整容量および各発電所使用流量変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
kW優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW優先運転①に同じ。		
kWh優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図Ⅱ-1.2.10 電力量曲線と調整容量および各発電所使用流量変化：調整容量 31,000m³ (Case.K-Ⅰ3-031、Case.K-Ⅱ3-031、Case.K-Ⅲ3-031)

概要		検討結果	
		運転パターンおよび各発電電力量変化	運転パターンおよび各発電所出力変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
kW優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW優先運転①に同じ。		
kWh優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図 II - 1.2.11 運転パターンおよび各発電電力量変化、運転パターンおよび各発電所出力変化：調整容量 31,000m³（Case.K- I 3-031、Case.K- II 3-031、Case.K-III-031）

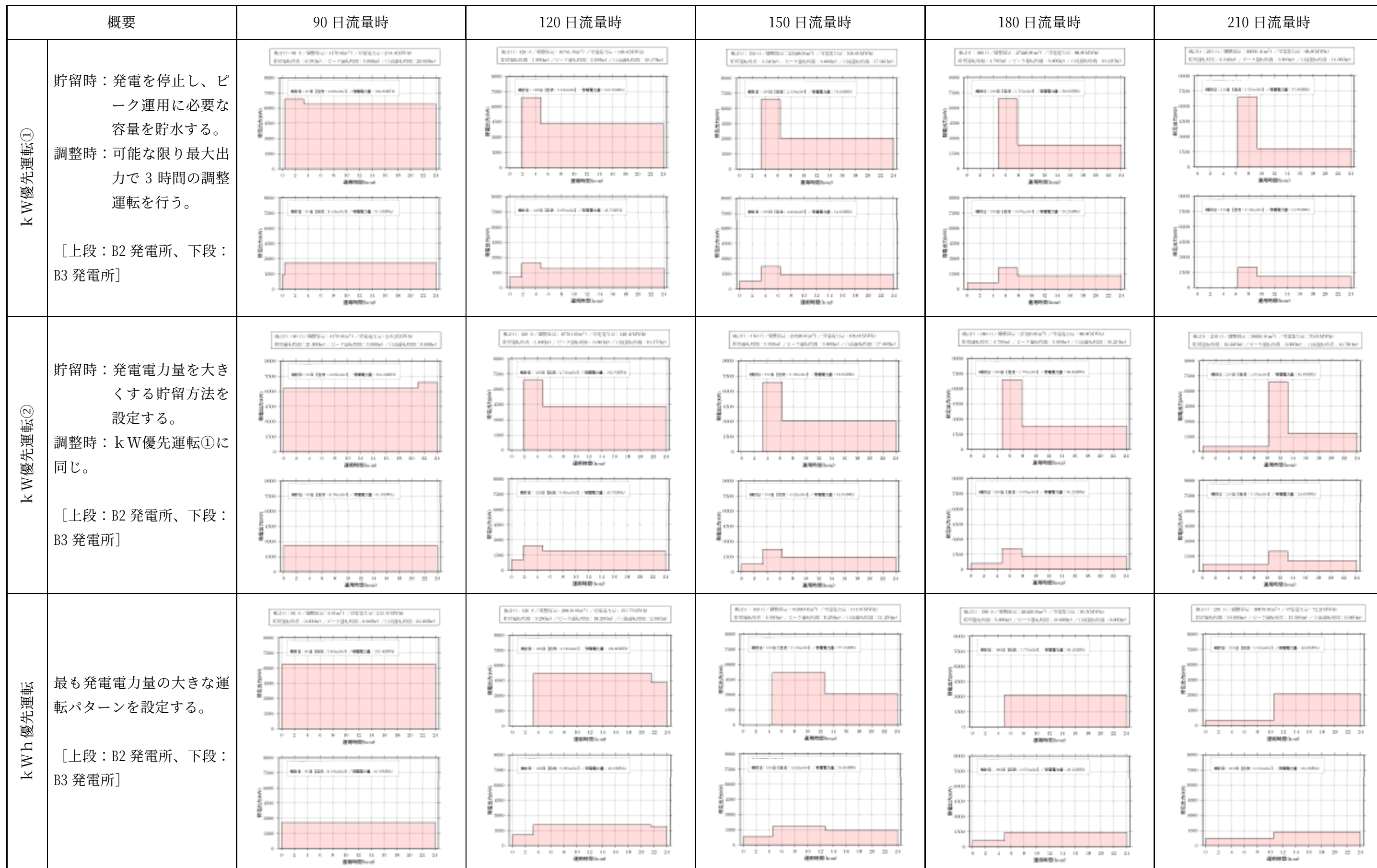


図 II - 1.2.12 B 2・B 3 発電所流況別運転パターン：調整容量 31,000m³ (Case.K- I 3-31、Case.K- II 3-31、Case.K-III-31)

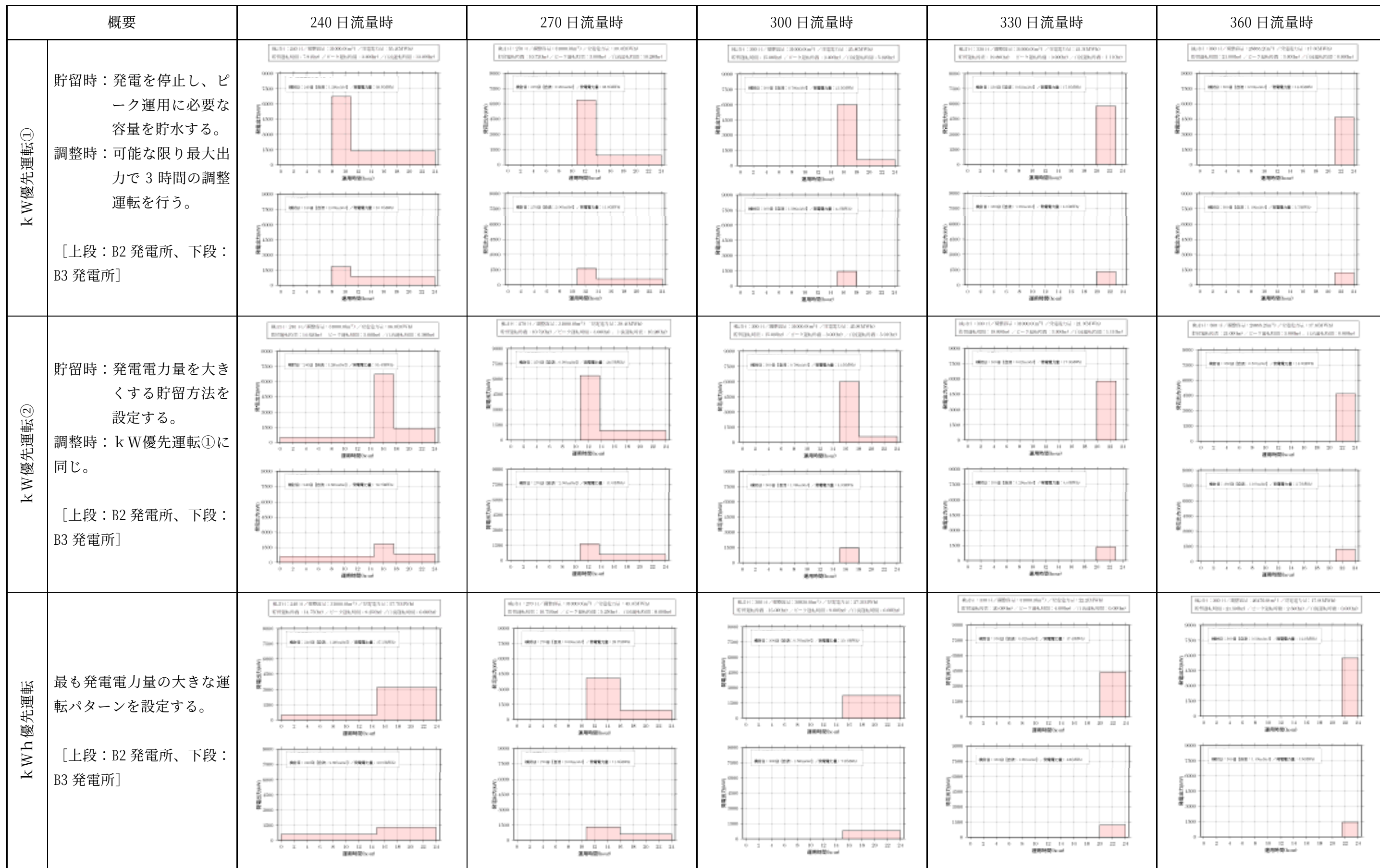


図 II - 1.2.13 B 2 ・ B 3 発電所流況別運転パターン：調整容量 31,000m³ (Case.K- I 3-31、Case.K- II 3-31、Case.K-III-031)

概要		検討結果	
		発電電力量曲線	調整容量および各発電所使用流量変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で4時間の調整運転を行う。		
kW優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW優先運転①に同じ。		
kWh優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図Ⅱ-1.2.14 電力量曲線と調整容量および各発電所使用流量変化：調整容量 41,000m³ (Case.K-Ⅰ4-041、Case.K-Ⅱ4-041、Case.K-Ⅲ4-041)

概要		検討結果	
		運転パターンおよび各発電電力量変化	運転パターンおよび各発電所出力変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で4時間の調整運転を行う。		
	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW優先運転①に同じ。		
	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図Ⅱ-1.2.15 運転パターンおよび各発電電力量変化、運転パターンおよび各発電所出力変化：調整容量 41,000m³（Case.K-Ⅰ4-041、Case.K-Ⅱ4-041、Case.K-Ⅲ4-041）

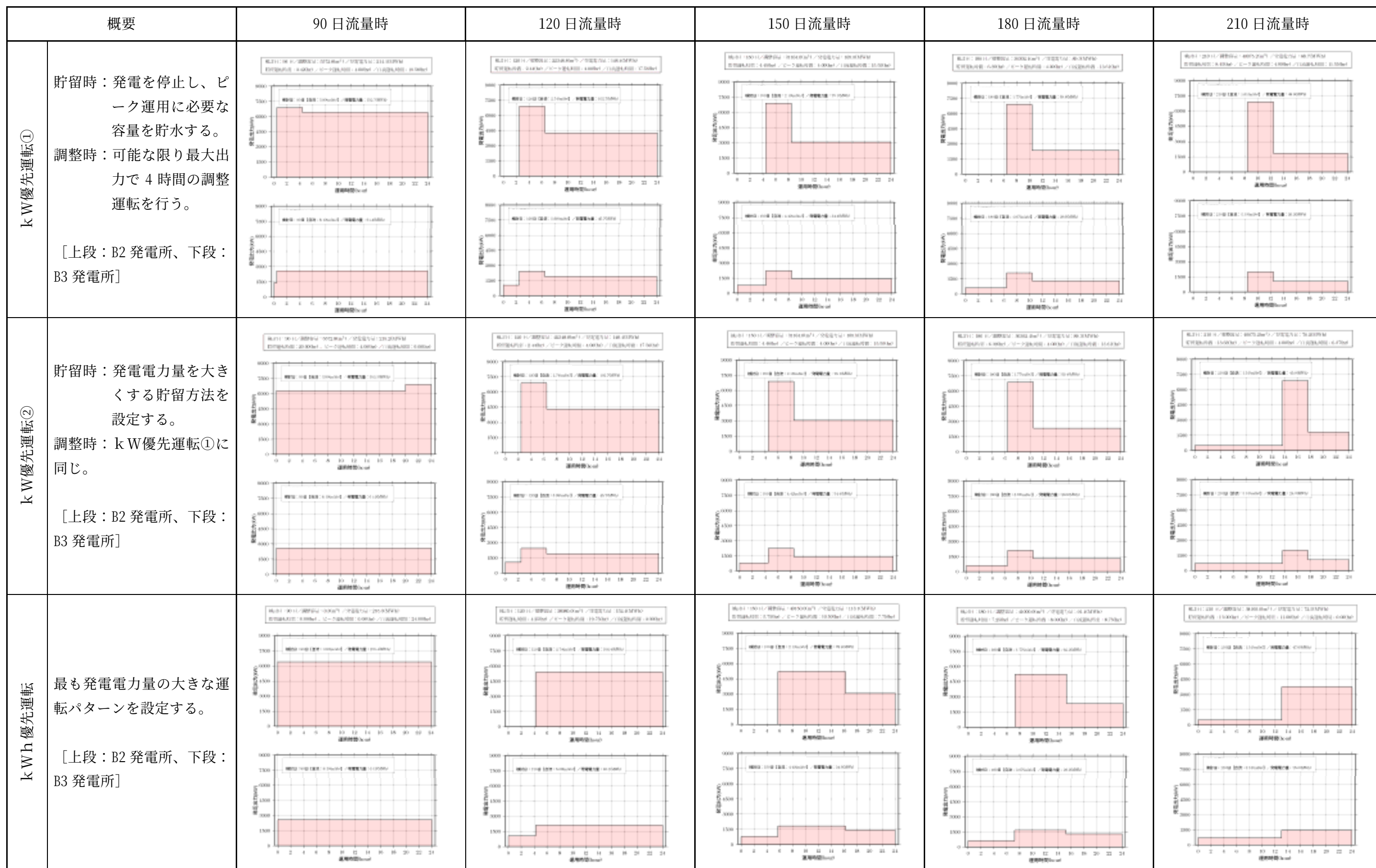


図 II - 1.2.16 B 2・B 3 発電所流況別運転パターン：調整容量 41,000m³ (Case.K- I 4-041、Case.K- II 4-041、Case.K-III-041)

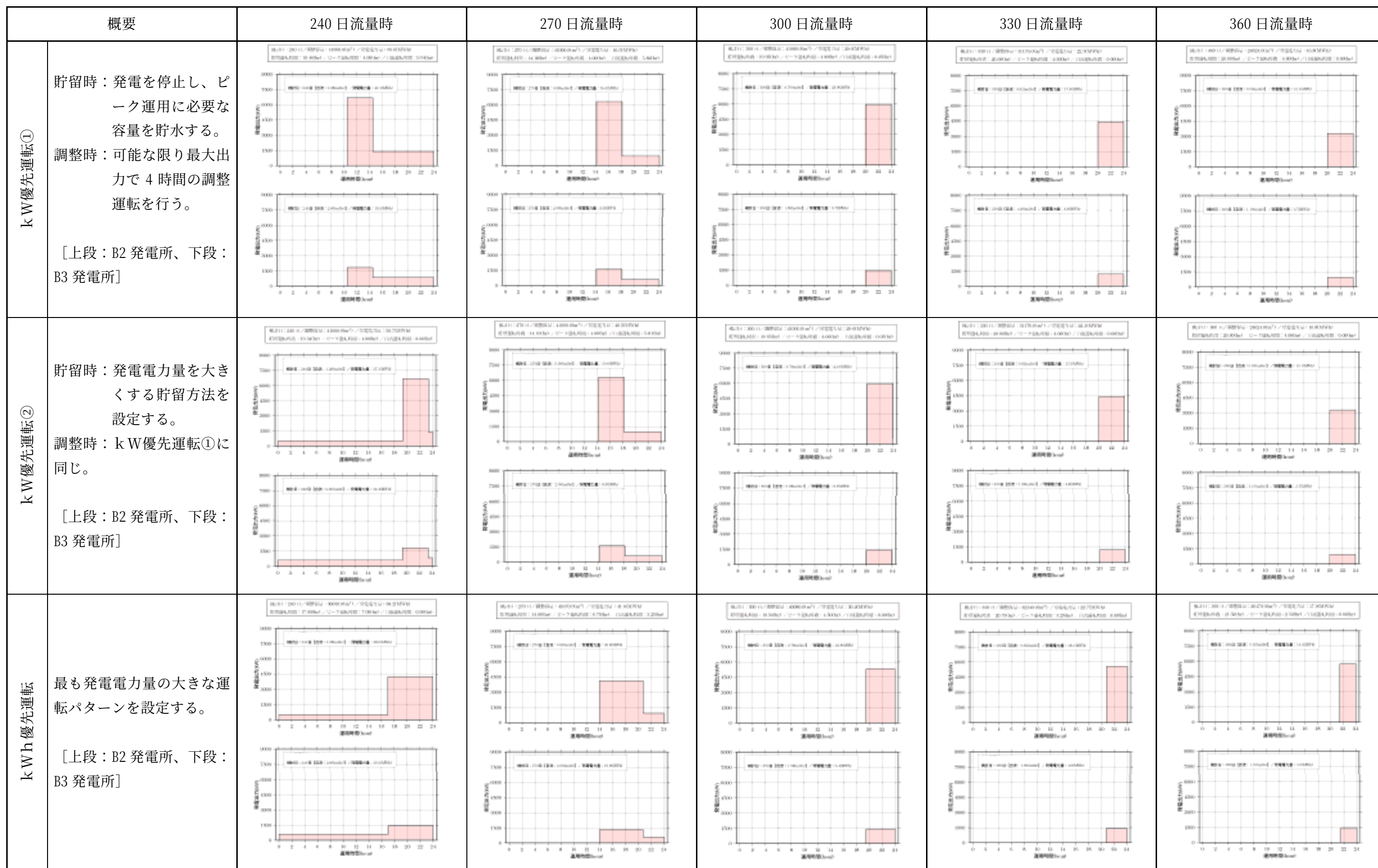
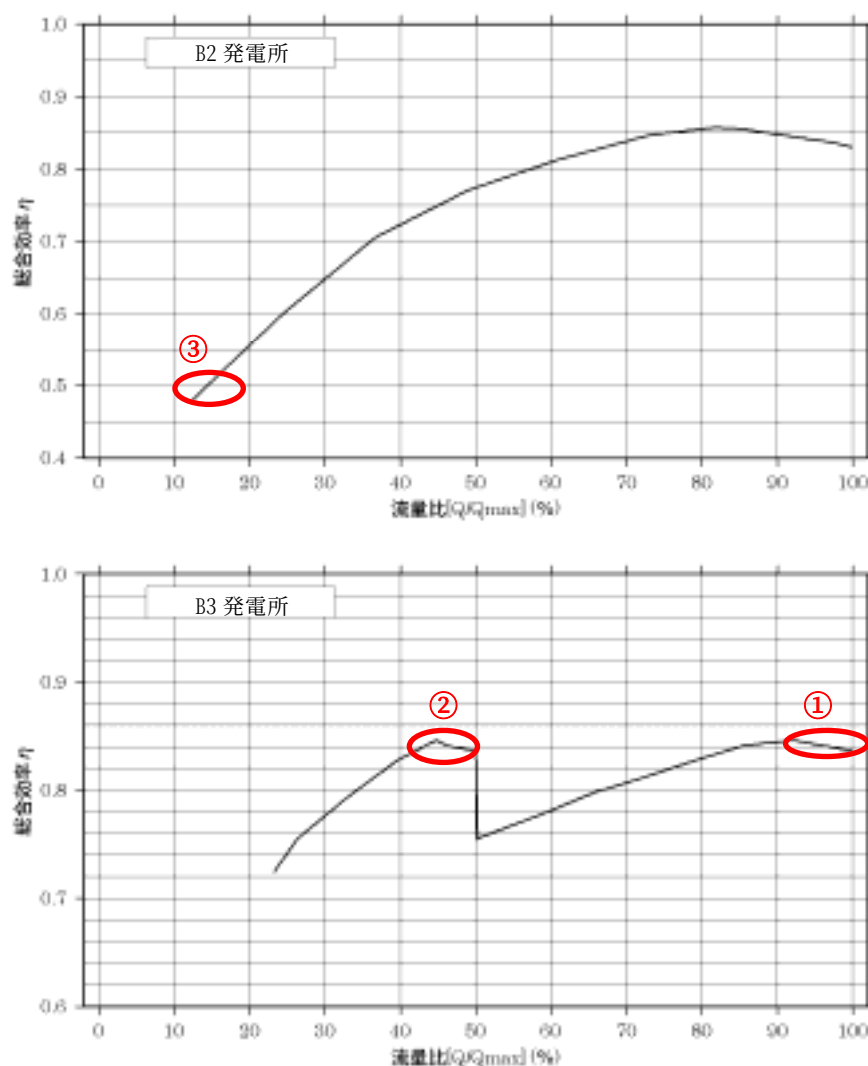


図 II - 1.2.17 B 2・B 3 発電所流況別運転パターン：調整容量 41,000m³ (Case.K- I 4-041、Case.K- II 4-041、Case.K-III-041)

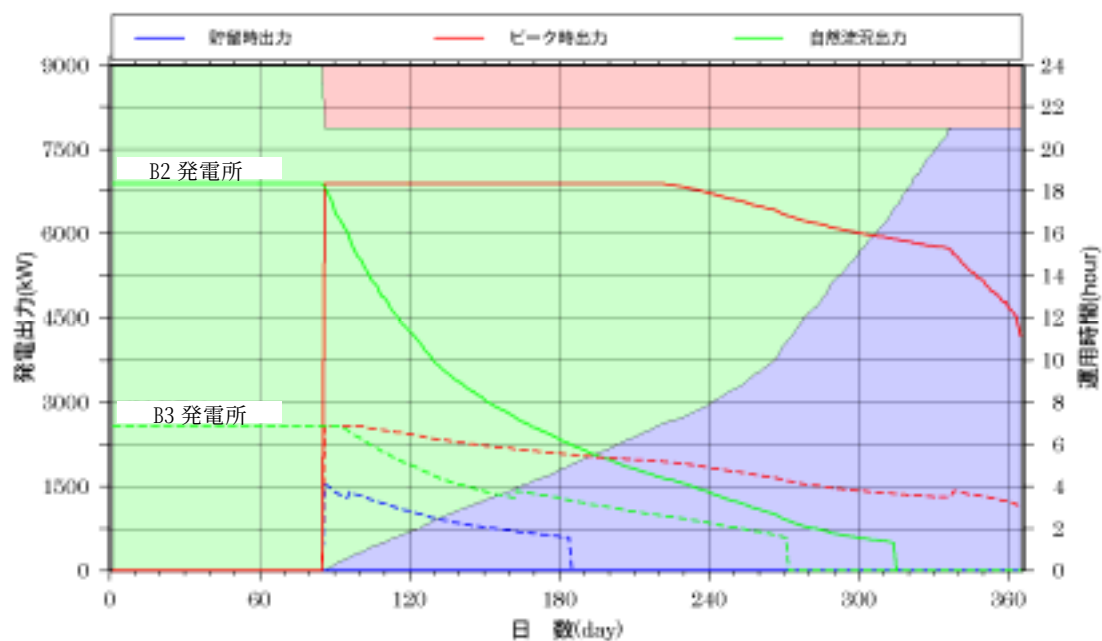
a) kW優先運転②の特徴

kW優先運転②の特徴として、図Ⅱ-1.2.19 にkW優先運転①及びkW優先運転②における運転パターンと各発電所の出力変化図を示す。kW優先運転②の運用が、kW優先運転①と異なるのは以下に示す範囲である。

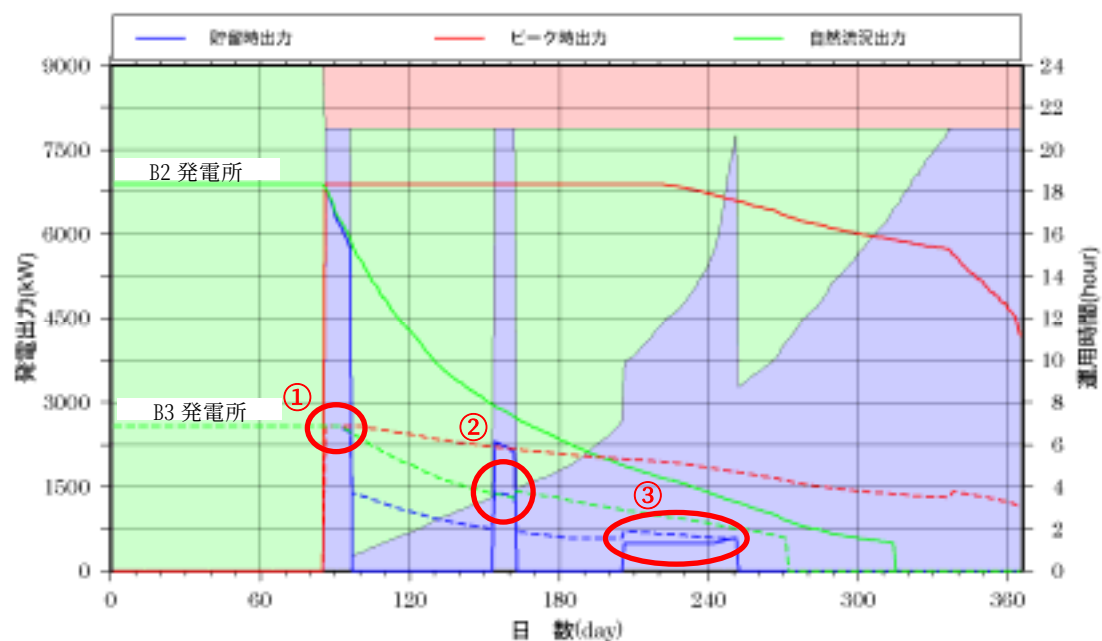
- ① 86～96 日流量：B 3 発電所の使用水量が $Q_{\max}=7.6\text{m}^3/\text{s}$ 付近の高効率のところで貯留しながら運転を実施している。
- ② 154～162 日流量：B 3 発電所の使用水量が $Q=3.6\text{m}^3/\text{s}$ 程度と両掛フランシスの単輪時の高効率付近のところで貯留しながら運転を実施している。
- ③ 206～251 日流量：B 2 発電所が $Q=0.5\text{m}^3/\text{s}$ ($Q/Q_{\max}=12.5\%$) 程度で、発電可能最小流量を下回らないところで貯留しながら運転を実施している。



図Ⅱ-1.2.18 B 2 ・ B 3 発電所総合効率



k W優先運転①(K- I 3-031)



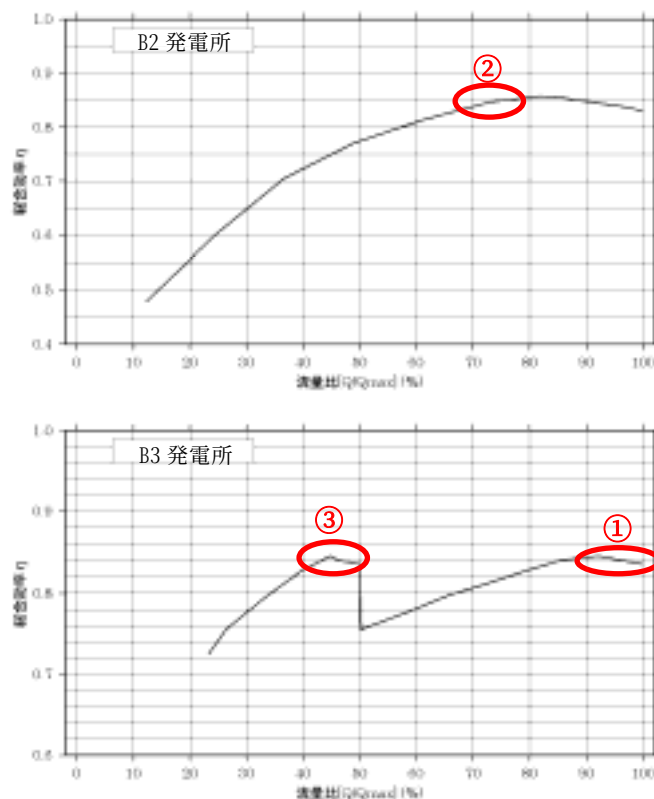
k W優先運転② (K- II 3-031)

図 II -1.2.19 k W優先運転②の特徴 運転パターンと各発電所の出力変化

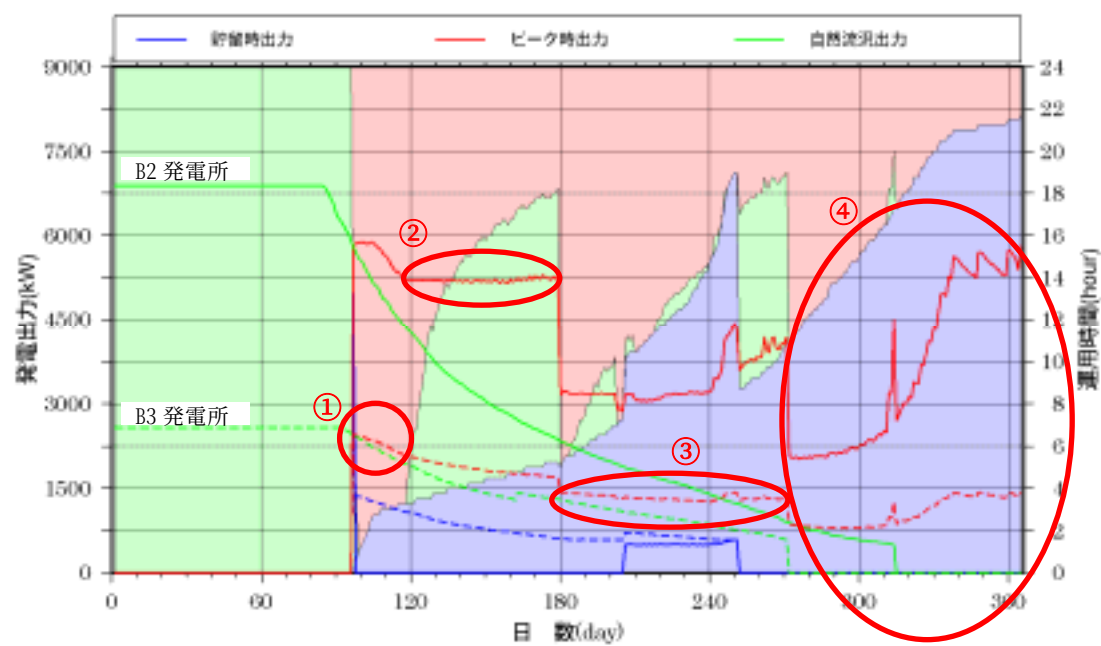
b) kWh 優先運転の特徴

kWh 優先運転の特徴として、図Ⅱ-1.2.21 に kWh 優先運転における運転パターンと各発電所の出力変化図を示す。kWh 優先運転の運用、大きく以下に示すような運用がなされている。

- ① 98～120 日流量：B 3 発電所のピーク運転時の使用水量が $Q_{\max}=7.6\text{m}^3/\text{s}$ 程度と高効率のところでは運転できるように、B 2 発電所を数時間停止して貯留を行っている。
- ② 120～180 日流量：B 2 発電所のピーク運転時の使用水量が $Q=3.0\text{m}^3/\text{s}$ 程度 ($Q/Q_{\max}=73\%$ 程度、 $\eta=85\%$ 程度) となるように、B 2 発電所を数時間停止して必要量を貯留し、残りの時間を効率よく自流運転、ピーク運転となるように配分している。
- ③ 180～270 日流量：B 3 発電所のピーク運転時の使用水量が $Q=3.7\text{m}^3/\text{s}$ 程度 ($Q/Q_{\max}=48\%$ 程度[両掛フランチスの単輪時の高効率付近]、 $\eta=84\%$ 程度) となるよう、貯留時間・自流運転時間を配分している。貯留時は、基本的には B 2 発電所を完全停止するが、206～251 日流量では、B 2 発電所が $Q=0.5\text{m}^3/\text{s}$ ($Q/Q_{\max}=12.5\%$) 程度で、発電可能最小流量を下回らないところで貯留しながら運転を実施している。
- ④ 270～365 日流量：両発電所が総合的に高効率で運転できるように、貯留時間・ピーク運転時間を配分している。



図Ⅱ-1.2.20 B 2・B 3 発電所総合効率



kWh 優先運転 (K-III-031)

図 II -1.2.21 kWh 優先運転の特徴 運転パターンと各発電所の出力変化

(6) 総合評価

B水系において、地下調整池構築による効果をまとめた表を表Ⅱ-1.2.22に示す。

これより、当該地点でピーク運転時間を3時間確保できる地下調整池を構築した場合、発電電力量は、自流運転と比較して年間最大2,243MWh増の40,881MWhとなった。ピーク運転時間が4時間の場合は、年間最大2,515MWh増の41,153MWhとなった。

また、自流運転における8月L5流量時のシリーズ発電所の合計出力2,736kWと比較すると、地下調整池を構築することで、ピーク運転時間が3時間、4時間共に最大6,110kW増の8,846kWとなった。

また、そのときの工事費は、ピーク運転時間3時間の場合は約27億円、ピーク運転時間4時間の場合は約31億円となった。

表Ⅱ-1.2.22 地下調整池構築による効果

調整池容量 (m ³)	ピーク運転 時間(h)	運転タイプ	発電電力量 (MWh)	発電電力量 増分(MWh)	8月L5出力 (kW)	8月L5出力 増分(kW)	工事費 (百万円)
—	—	自流運転	38,638	—	2,736	—	—
31,000	3.0	kW優先運転①	40,271	1,633	8,846	6,110	2,710.6
		kW優先運転②	40,365	1,727			2,710.6
	—	kWh優先運転	40,881	2,243	—	—	2,710.6
41,000	4.0	kW優先運転①	40,485	1,847	8,846	6,110	3,140.0
		kW優先運転②	40,601	1,963			3,140.0
	—	kWh優先運転	41,153	2,515	—	—	3,140.0

(a) C/V指標による評価

地下調整池の経済性評価として、C/V指標による評価を行った。表Ⅱ-1.2.23に経済性評価に用いた条件、表Ⅱ-1.2.24にC/V指標による評価結果を示す。

なお、本方法による評価では、自流運転に対する有効出力の増分ならびに有効電力量の増分は、kW優先運転①、②及びkWh優先運転のうちで最大となるものを適用した。

これは、日々の運転制御においてkW優先運転とkWh優先運転の切り替えが可能であることから、それぞれの最大増分を用いることで、地下調整池構築による便益を最大限考慮した。

C/V指標値は、[地下調整池容量 31,000m³、ピーク継続時間 3h] のケースで C/V=1.32、[地下調整池容量 41,000m³、ピーク継続時間 4h] のケースで C/V=1.51 といずれも 1.00 を上回る結果となった。

表 II -1.2.23 C／V 指標による経済性評価条件

項目	内容	備考
年経費率(%)	10.6	参照：中小水力発電ガイドブック（新訂 4 版）p225
kW 単価（円/kW）	32,864	電源開発促進法第 6 条第 2 項の規定による関係省庁の申し合わせ事項のアロケ単価（平成 12 年）
kWh 単価（円/kWh）	12.20	
利用率(%)	95.5	参照：中小水力発電ガイドブック（新訂 4 版） 対象地：東北

表 II -1.2.24 C／V 指標による地下調整池経済性評価

ピーク継続 時間(h)	有効出力 増分 *1(kW)	有効電力量 増分 *2(MWh)	工事費 (百万円)	年経費率 (%)	コスト (千円)	kW 価値 *3(千円)	kWh 価値 *4(千円)	便益 (千円)	評価
T	P	A	M	D	C=M×D	B1	B2	V=B1+B2	C/V
3.0	5,835	2,142	2,711	10.6	287,366	191,761	26,132	217,894	1.32
4.0	5,835	2,402	3,140	10.6	332,840	191,761	29,304	221,066	1.51

＊ 1）有効出力増分 $P(kW) = 8 \text{ 月 L5 流量時出力増分}(kW) \times \text{利用率 } 95.5(\%)$

＊ 2）有効電力量増分 $A(MWh) = \text{発電電力量増分}(MWh) \times \text{利用率 } 95.5(\%)$

＊ 3）kW 価値 $B1 = 32,864(\text{円}/kW) \times \text{有効出力増分 } P(kW)$

＊ 4）kWh 価値 $B2 = 12.2(\text{円}/kWh) \times \text{有効電力量増分 } A(kWh)$

(b) 発電原価指標による評価

本手法は、地下調整池構築によるピーク時出力増の効果と、電力取引自由化対象である特定規模需要の電力取引予想価額（取引単価）から評価するものである。

具体的には、計画する地下調整池の調整効果の及ぶ発電所（群）の全発電電力量を特定規模需要の電気使用者に売電すると想定し、特定規模需要としての予想取引単価から現行の取引（売電）単価を差し引いた金額（「増収単価」）と、地下調整池を付加することによる発電原価増分（「コストの増分単価」）を比較して、発電原価増分（「コストの増分単価」）が小さい場合は、地下調整池の開発効果が期待できる。

なお、本評価における発電電力量は、地下調整池構築後の kWh 優先運転時の年間発電電力量により算出することとする。

表 II -1.2.25 に経済性評価に用いた条件、表 II -1.2.26 に発電原価指標による評価結果を示す。

発電原価による指標値では、増収単価 $\Delta V = 4.00 \text{ 円}/kWh$ に対して発電原価の増分は、[地下調整池容量 31,000m³、ピーク継続時間 3h] のケースで 7.03 円/kWh、[地

下調整池容量 41,000m³、ピーク継続時間 4h」のケースで 8.09 円/kWh といずれもメリットが得られない結果となった。

表 II -1.2.25 発電原価指標による経済性評価条件

項目	内容	備考
年経費率(%)	10.6	参照：中小水力発電ガイドブック（新訂 4 版）p225
PPS 取引単価（円/kWh）	12.00	設定値
現行取引（売電）単価（円/kWh）	8.00	設定値

表 II -1.2.26 発電原価指標による地下調整池経済性評価

ピーク継続 時間(h)	年間発電 電力量 (MWh)	工事費 (百万円)	年経費率 (%)	発電原価 増分 ^{*1} (円/kWh)	PPS取引 単価 ^{*2} (円/kWh)	現行取引 (売電)単 価 ^{*3} (円 /kWh)	増収単価 (円/kWh)
T	A	M	D	ΔC	BPPS	BN	ΔV
3.0	40,881	2,711	10.6	7.03	12.00	8.00	4.00
4.0	41,153	3,140	10.6	8.09	12.00	8.00	4.00

※ 1）発電原価増分 ΔC（円/kWh）＝工事費（百万円）×年経費率 D(%)
 ／年間発電電力量 A(MWh)

※ 2）PPS 取引単価 BPPS＝12.00（円/kWh）〔託送料を控除した値：設定値〕

※ 3）現行取引（売電）単価 BN＝8.00（円/kWh）〔設定値〕

（c）電力量時間帯シフトによる効果

地下調整池による調整運転の結果、発電電力量がオフピーク時間帯からピーク時間帯に移行される。本手法は、電力取引市場の電力量取引単価のように、時間帯別に評価単価に差が認められる場合を想定し、地下調整池によるピーク時間帯発電電力量増加の効果を、時間帯別評価単価の差分によって評価する。

具体的には、地下調整池による調整運転時の年間便益から流れ込み式運転時の年間便益を差し引いた電力量時間帯シフトによる増分年間便益（ΔV）を、地下調整池を構築することにより生ずる増分年経費（ΔC）で除して、年間の効果を算定するものである。

電力量時間帯シフトによる便益は、以下のとおり算出する。

電力量時間帯シフトによる増分年間便益 ΔV (円)

$$\begin{aligned} &= \{ \text{ピーク時間帯発電電力量(kWh)} \times \text{ピーク時評価単価(円/kWh)} \\ &+ \text{オフピーク時間帯発電電力量(kWh)} \times \text{オフピーク時評価単価(円/kWh)} \} \\ &- \{ \text{流れ込み式運転時の発電電力量(kWh)} \times \text{現行評価単価(円/kWh)} \} \end{aligned}$$

なお、本評価における地下調整池構築後のピーク時間帯およびオフピーク時間帯発電電力量(kWh)は、ピークシフト効果を最大とする運転を前提としているため、kW優先運転①の年間発電電力量により算出することとした。

増分年経費（ ΔC ）は、地下調整池工事費（調整池流量制御に必要となる費用、調整池トンネル工事費仮設費用等含む）に年経費率を乗じて算定する。

$$\text{増分年経費（}\Delta C\text{）} = \text{地下調整池工事費} \times \text{年経費率（}\%\text{）}$$

表Ⅱ-1.2.27 に経済性評価に用いた条件、表Ⅱ-1.2.28 に電力量時間帯シフトによる評価結果を示す。

電力量時間帯シフトによる評価では、[地下調整池容量 31,000m³、ピーク継続時間 3h] のケースで $\Delta C/\Delta V=4.14$ 、[地下調整池容量 41,000m³、ピーク継続時間 4h] のケースで $\Delta C/\Delta V=3.79$ といずれも大きく 1.00 を上回る結果となった。この要因の一つとしては、評価単価の高いピーク継続時間を 3 または 4 時間と短く設定したが挙げられる。

表Ⅱ-1.2.27 電力量時間帯シフトによる経済性評価条件

項目	内容	備考
現行取引(売電)単価(円/kWh)	8.00	設定値
ピーク時評価単価(円/kWh)	14.00	設定値
オフピーク時評価単価(円/kWh)	8.00	設定値
年経費率(%)	10.6	参照：中小水力発電ガイドブック(新訂4版) p225

表 II -1.2.28 電力量時間帯シフトによる地下調整池経済性評価

ピーク継続 時間(h)	工事費 (百万円)	年経費率 (%)	コスト (千円)	流れ込み 式運転時 電力量 (MWh)	ピーク運転 時間帯発 電電力量 (MWh)	オフピーク運 転時間帯 発電電力量 (MWh)	現行評価 単価 ^{*1} (円/kWh)	ピーク時評 価単価 ^{*2} (円/kWh)	オフピーク時 評価単価 ^{*3} (円/kWh)	時間帯シフト による便益 ^{*4} (千円)	評価
T	M	D	$\Delta C=M \times D$	AN	AP	A0	BN	BP	B0	ΔV	$\Delta C / \Delta V$
3.0	2,711	10.6	287,366	38,638	9,402	30,869	8.00	14.00	8.00	69,476	4.14
4.0	3,140	10.6	332,840	38,638	12,182	28,303	8.00	14.00	8.00	87,868	3.79

※ 1) 現行評価単価 BN=8.00 (円/kWh) [設定値]

※ 2) ピーク時評価単価 BP=14.00 (円/kWh) [設定値]

※ 3) オフピーク時評価単価 B0=8.00 (円/kWh) [設定値]

※ 4) 時間帯シフトによる便益 ΔV (千円) = $\{AP \times BP + A0 \times B0\} - \{AN \times BN\}$

(d) 総合評価

本地点は、以下の理由により地下調整池によるメリットが得られにくい地点であった。

- ①発電所の規模が小さい（本地点の合計落差 H=250m 程度）こと。（単独発電所で有効落差 300m以上、シリーズ発電所で合計有効落差 500m以上が望ましい。）
- ②シリーズ発電所のピーク立効効果が得られにくい立地形態である（下流発電所の別河川からの取水量が多い）。
- ③地下調整池構築費の増大（既設導水路延長が比較的短い（L=2,700m）ために所定の調整池容量を確保するため地下調整池トンネルを 2 または 3 本掘る必要が生じ、またデッド容量が大きく生じた）。

これらより、全体的に地下調整池工事費が高騰し、それに対する効用が大きく得られない結果となった。しかしながら、発電原価増分が 7～8 円程度であり、補助金等の利用が可能であれば、kW 価値の増加というメリットを活かして、PPS 取引や卸電力取引所に売電することにより、メリットが得られることも考えられる。今後、原油価格の高騰等時勢の変化によっては、開発効果が拡大される可能性もある。

1.3 C1、C2、C3、C4発電所

1.3.1 発電所の概要

(1) 発電所立地状況

ケーススタディ対象地点であるC水系のシリーズ発電所、C1発電所、C2発電所、C3発電所、C4発電所の位置関係は、図II-1.3.1に示すとおりである。

当該水系の発電所群は、C川上流部にc1調整池（有効容量 $V=155,000\text{m}^3$ ）を有して最大使用水量 $Q_{\text{max}}=6.1\text{m}^3/\text{s}$ 、有効落差 $H_e=291.2\text{m}$ を得て、最大出力 $P_{\text{max}}=15,000\text{kW}$ のC1発電所が建設されている。

C1発電所で放水された使用水量は、直下流に位置するC川取水堰より残流域流出量を合わせて最大 $Q=11.0\text{m}^3/\text{s}$ の取水を行い、流域変更してc2調整池（有効容量 $V=300,000\text{m}^3$ ）に導水される。

C2発電所は、C川からの送水量に加え、c2流域からの流出量並びに3箇所の溪流取水量から、最大使用水量 $Q_{\text{max}}=15.0\text{m}^3/\text{s}$ 、有効落差 $H_e=193.9\text{m}$ を得て、最大出力 $P_{\text{max}}=25,000\text{kW}$ の発電を行っている。

C2発電所からの放水量は、C水系に戻され下流のC3発電所導水路に直結されている。C3発電所は、C2発電所使用水量の他に、C川残流域流出量を合わせ、最大使用水量 $Q_{\text{max}}=21.0\text{m}^3/\text{s}$ 、有効落差 $H_e=56.5\text{m}$ を得て、最大出力 $P_{\text{max}}=10,000\text{kW}$ の発電所である。C3発電所は、放水路で落差を稼ぐ構造となっており、使用した水量は、 $L=7,538\text{m}$ の放水路を経てc4調整池（有効容量 $V=560,000\text{m}^3$ ）に放流している。

C4発電所は、C3発電所使用水量の他に、C川残流域流出量を合わせて、最大使用水量 $Q_{\text{max}}=27.5\text{m}^3/\text{s}$ 、有効落差 $H_e=58.95\text{m}$ を得て、最大出力 $P_{\text{max}}=13,500\text{kW}$ の発電所となっている。

当該流域は、平成15年の台風期に設計洪水量を超える洪水が発生し、それを機にc4調整池の堆砂量が増加し、問題を抱えているとのことである。

表Ⅱ-1.3.1 沙流川水系発電所諸元

発電所名	C 1 発電所	C 2 発電所	C 3 発電所	C 4 発電所
流域面積 (km ²)	52.0	205.0	516.4	644.0
調整池名称・ 有効容量(m ³)	c 1 調整池 155,000	c 2 調整池 300,000	—	c 4 調整池 560,000
最大使用水量 (m ³ /s)	6.1	15.0	21.0	27.5
有効落差(m)	291.2	193.9	56.5	58.95
最大出力(kW)	15,000	25,000	10,000	13,500
運転開始年月	平成 6 年 4 月	昭和 3 6 年 8 月	平成 1 0 年 4 月	昭和 3 3 年 7 月

写真Ⅱ-1.3.1～21 に現地調査時の写真を示す。

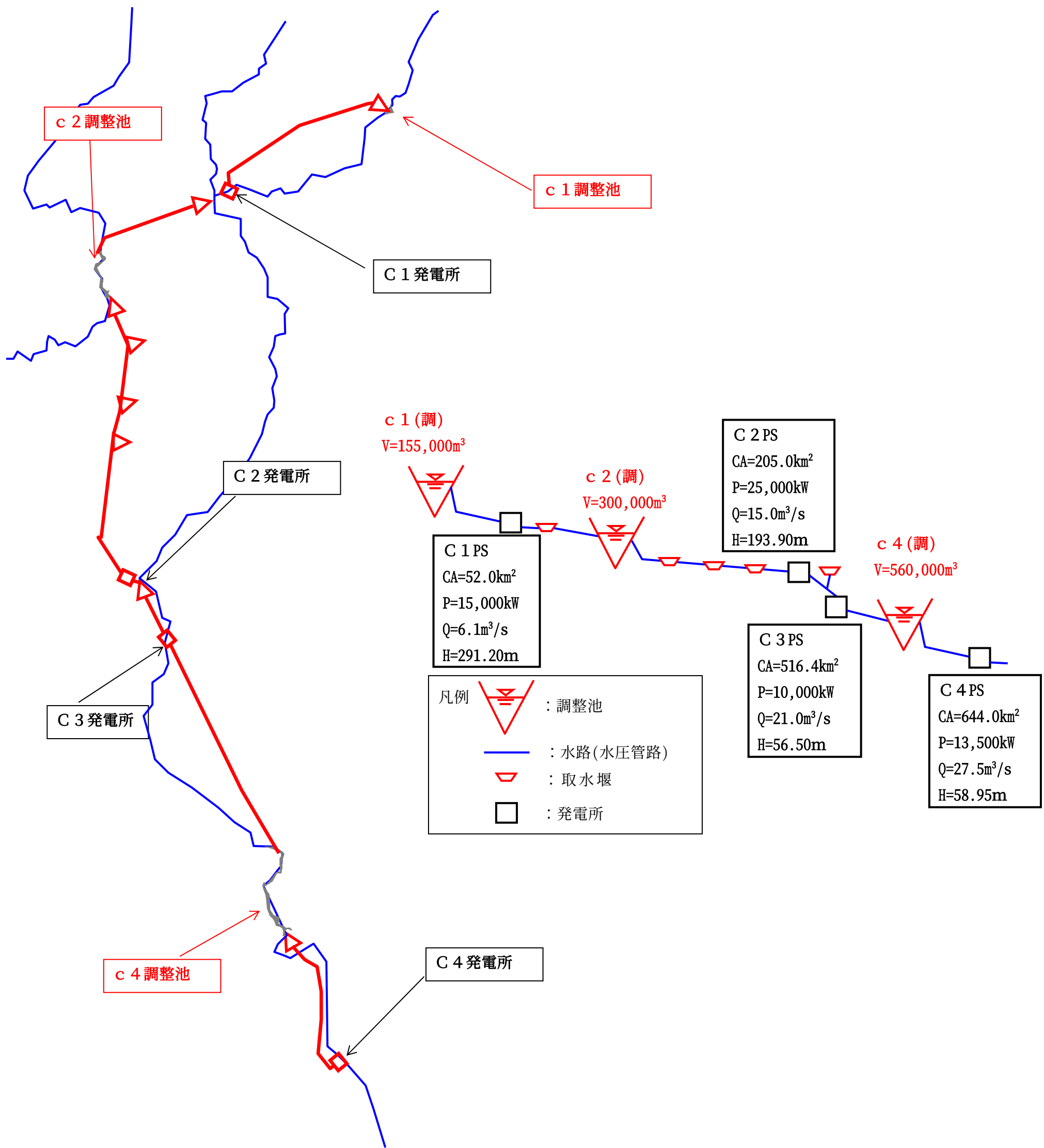


図 II - 1.3.1 C 水系発電所位置図

	写真Ⅱ-1.3.1 C 1 発電所 c 1 ダム (H=30.0m、 L=105.5m)
	写真Ⅱ-1.3.2 C 1 発電所 c 1 調整池 有効容量 V=155,000m³
	写真Ⅱ-1.3.3 C 1 発電所 水圧鉄管

	写真Ⅱ-1.3.4 C 1 発電所 発電所建屋
	写真Ⅱ-1.3.5 C 2 発電所 C 川取水堰 ($H=10.1\text{m}$、$L=74.2\text{m}$、 最大取水量 $Q=$ $11.0\text{m}^3/\text{s}$) C 川→ c 2 川：流域変更
	写真Ⅱ-1.3.6 C 2 発電所 C 川取水堰取水口 最大取水量 $Q=$ $11.0\text{m}^3/\text{s}$ C 川→ c 2 川：流域変更

	写真Ⅱ-1.3.7 C 2 発電所 c 2 調整池放水口 (C 川取水堰より)
	写真Ⅱ-1.3.8 C 2 発電所 c 2 ダム (H=29.1m、L=83.0m)
	写真Ⅱ-1.3.9 C 2 発電所 c 2 調整池 有効容量 $V=300,000\text{m}^3$

	写真Ⅱ-1.3.10 C 2 発電所 c 2 ダム取水口 (最大取水量 $Q=15.0\text{m}^3/\text{s}$) c 2 川→C 川：流域変更
	写真Ⅱ-1.3.11 C 2 発電所 水圧鉄管
	写真Ⅱ-1.3.12 C 2 発電所 発電所建屋

	写真Ⅱ-1.3.13 C 2 発電所 立軸三相交流同期発電機
	写真Ⅱ-1.3.14 C 2 発電所 立軸フランシス水車
	写真Ⅱ-1.3.15 C 3 発電所 c 3 取水堰 ($H=6.3\text{m}$、$L=60.0\text{m}$、 最大取水量 $Q=6.0\text{m}^3/\text{s}$) 堤体下部を C 2 発電 所使用水が通過

	写真Ⅱ-1.3.16 C 3 発電所 発電所建屋
	写真Ⅱ-1.3.17 C 3 発電所 放水口 c 4 調整池内放水
	写真Ⅱ-1.3.18 C 4 発電所 c 4 調整池上流部 堆砂状況 (浚渫盛土)

	写真Ⅱ-1.3.19 C 4 発電所 c 4 ダム (H=33.0m、L=92.2m、 最大取水量 Q= 27.5m³/s)
	写真Ⅱ-1.3.20 C 4 発電所 c 4 調整池 有効容量 V=560,000m³
	写真Ⅱ-1.3.21 C 4 発電所 c 4 ダム制御盤

(2) シリーズ発電所の運用状況

シリーズ発電所の運用状況を取りまとめると下表のとおりとなる。

表Ⅱ-1.3.2 シリーズ発電所の運用状況

発電所名	調整運転の実施状況	シリーズ運用の有無	ピーク時間帯
C 1	・通常の運転は、ピーク時間帯以外 は発電を停止し、調整池に流水を貯め、 ピーク時間帯のみ発電を行っている。 ・AFC 運転は行っていない。	有	9 時～12 時 17 時～20 時
C 2	・C 1 に同じ	有	16 時～18 時
C 3	・流れ込み式発電所であるため、通常は 自流分（本川）で発電を行っているが、 C 2 発電所の運転時は C 2 発電所で使用 した流水を合流し発電を行っている。	有	—
C 4	・最下流の発電所であり、本川の残流と C 3 発電所からの流水で発電を行っている。	有	—

上表をみると、上流の C 1、C 2 発電所は、0-FULL に近いピーク運転が実施されており、下流の C 3、C 4 発電所は上流発電所のピーク運用を加味した流れ込み式の運用が行われている。

また、上流の調整池に流入する流域面積と残流域から下流調整池に流入する流域面積を比較すると、以下のとおりとなり、上流調整池ピーク立の影響はかなり希釈されるものと考えられる。

① c 2 調整池：上流 52.0km²、残流域 140.0km²：2.7 倍

② c 4 調整池：上流 192.0km²、残流域 452.0km²：2.4 倍

1.3.2 調整池運用の検討

(1) 計算条件

地下調整池開発計画支援システムでは、一つの地下調整池を構築することを前提としている。シリーズ発電所においては、上流発電所の調整池でピーク立した流量を下流発電所まで同様にピーク化し、ピーク価値を高めることが狙いの一つとなる。

今回対象のC水系のシリーズ発電所群には、4つの発電所が存在し、その内3発電所が調整池を有している。

そこで今回の検討においては、4つのシリーズ発電所を調整池毎に3つに分けて水運用の検討を行うこととし、その結果を以ってシリーズ全体の評価を行うこととした。

表Ⅱ-1.3.3 計算条件

ケース	調整池名	発電所名
ケース1	① c 1 調整池	C 1 発電所（単独発電所）
ケース2	② c 2 調整池	C 2 発電所－C 3 発電所（シリーズ発電所）
ケース3	③ c 4 調整池	C 4 発電所（単独発電所）

(2) 流量資料整備

本検討で使用する流量データとして、入手したデータは以下のものである。

- ・ c 1 調整池総流入量：Q 1
- ・ c 2 調整池総流入量：Q 2
- ・ c 2 調整池河川流入量：q 2

上記の入手データを基に、各発電所毎に以下のとおりデータを整理した。

なお、沙流川流域の流域面積 $CA=101.0\text{km}^2$ における流量は、基本的には隣の水系に位置するC C発電所に導水されているため、C 3 発電所・C 4 発電所の残流域量を算定する場合には、この流域面積を控除して流域換算することとした。

- ・ C 3 取水堰地点算流域面積 $= 439.4$ （実面積） $- 101.0$ （C C PS） $= 338.4\text{km}^2$
- ・ C 4 ダム地点算流域面積 $= 567.0$ （実面積） $- 101.0$ （C C PS） $= 466.0\text{km}^2$

(a) ケース 1

a) C 1 発電所

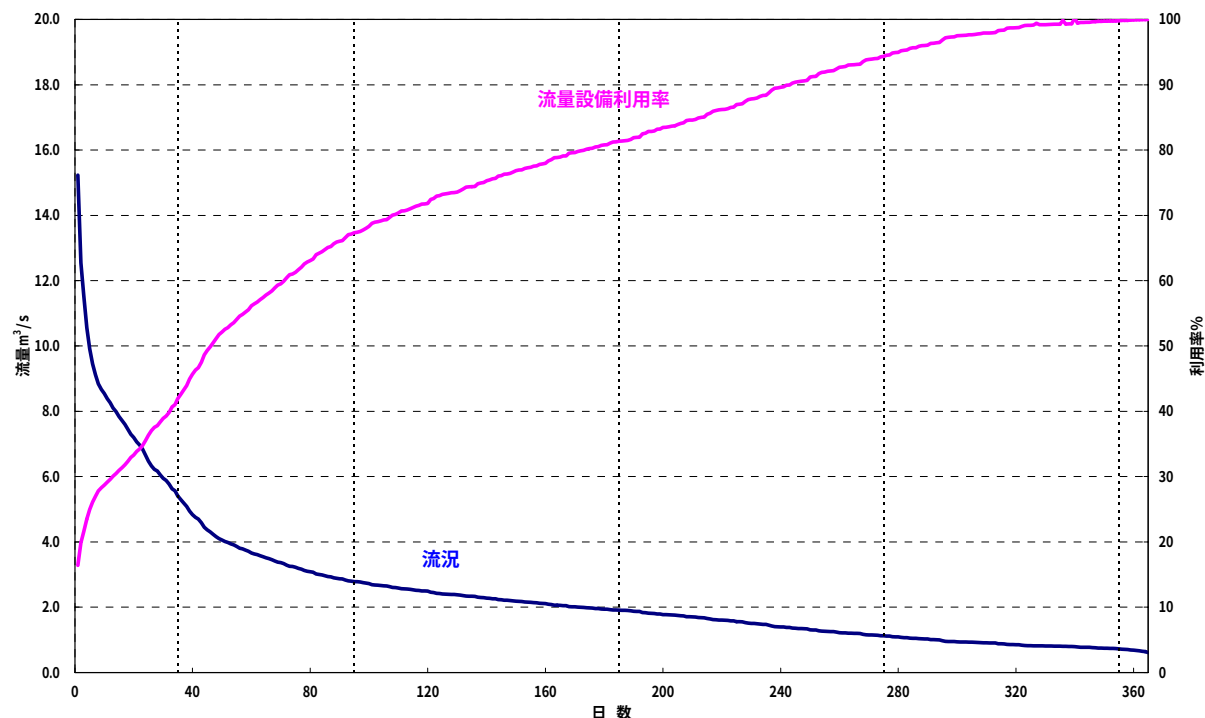
c 1 調整池への流量資料は、c 1 調整池総流入量Q 1（流域面積 CA=52.0km²）の10 ャ年データを使用する。表Ⅱ-1.3.4 に流況表、図Ⅱ-1.3.2 に流況図を示す。

表Ⅱ-1.3.4 c 1 調整池総流入量流況表

(単位:m³/s)

年	最大 流量	35日 流量	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小 流量	年平均 流 量
1996	11.93	4.13	2.78	2.06	1.06	0.64	0.46	2.36
1997	14.55	5.89	2.64	1.94	1.02	0.67	0.53	2.53
1998	14.04	5.27	3.54	2.28	1.40	0.80	0.69	2.73
1999	21.88	6.40	3.08	2.00	1.18	0.73	0.59	2.81
2000	14.50	6.00	2.80	2.00	1.10	0.80	0.70	2.67
2001	16.40	5.30	3.10	2.00	1.10	0.70	0.40	2.50
2002	8.10	4.10	2.40	1.70	1.10	0.70	0.60	2.09
2003	22.00	5.70	2.10	1.70	1.10	0.70	0.60	2.24
2004	16.30	5.70	2.50	1.70	1.10	0.80	0.80	2.49
2005	12.60	5.60	2.90	1.70	1.10	0.70	0.70	2.59
平 均	15.23	5.41	2.78	1.91	1.13	0.72	0.61	2.50

10ヶ年平均流況図 (1996～2005年)



図Ⅱ-1.3.2 c 1 調整池総流入量流況図

(b) ケース 1

a) C 2 発電所

c 2 調整池への流入量は、溪流取水（流域面積計 CA=13.0km²）も調整池内に流入することとして、c 2 調整池総流入量 Q 2（流域面積 CA=192.0km²）と c 2 調整池河川流入量 q 2（流域面積 CA=64.0km²）から以下のとおり算定した。

$$Q = Q_2 + q_2 \times (13.0 / 64.0)$$

上記の 10 ヶ年データを表 II -1.3.5 に流況表、図 II -1.3.3 に流況図を示す。

表 II -1.3.5 計算に用いる c 2 調整池総流入量流況表

(単位:m³/s)

年	最大 流量	35日 流量	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小 流量	年平均 流 量
1996	18.58	14.56	8.81	6.06	2.47	1.16	0.89	6.62
1997	50.37	16.30	8.70	5.62	1.73	0.84	0.81	6.73
1998	35.18	15.95	10.99	5.76	3.46	1.36	1.19	7.73
1999	47.86	16.43	10.60	6.19	3.00	1.35	1.04	7.83
2000	24.18	16.18	10.07	6.58	3.30	1.54	1.12	7.70
2001	66.45	16.39	11.25	6.66	3.02	1.93	1.38	7.96
2002	36.21	14.21	9.14	5.68	3.12	1.76	0.80	6.98
2003	85.54	15.33	7.88	5.36	3.02	1.66	1.20	6.86
2004	31.28	16.14	8.65	5.50	3.63	2.10	1.56	7.09
2005	41.27	16.30	7.65	3.22	2.44	1.90	1.32	6.28
平 均	43.69	15.78	9.37	5.67	2.92	1.56	1.13	7.18

10ヶ年平均流況図 (1996～2005年)

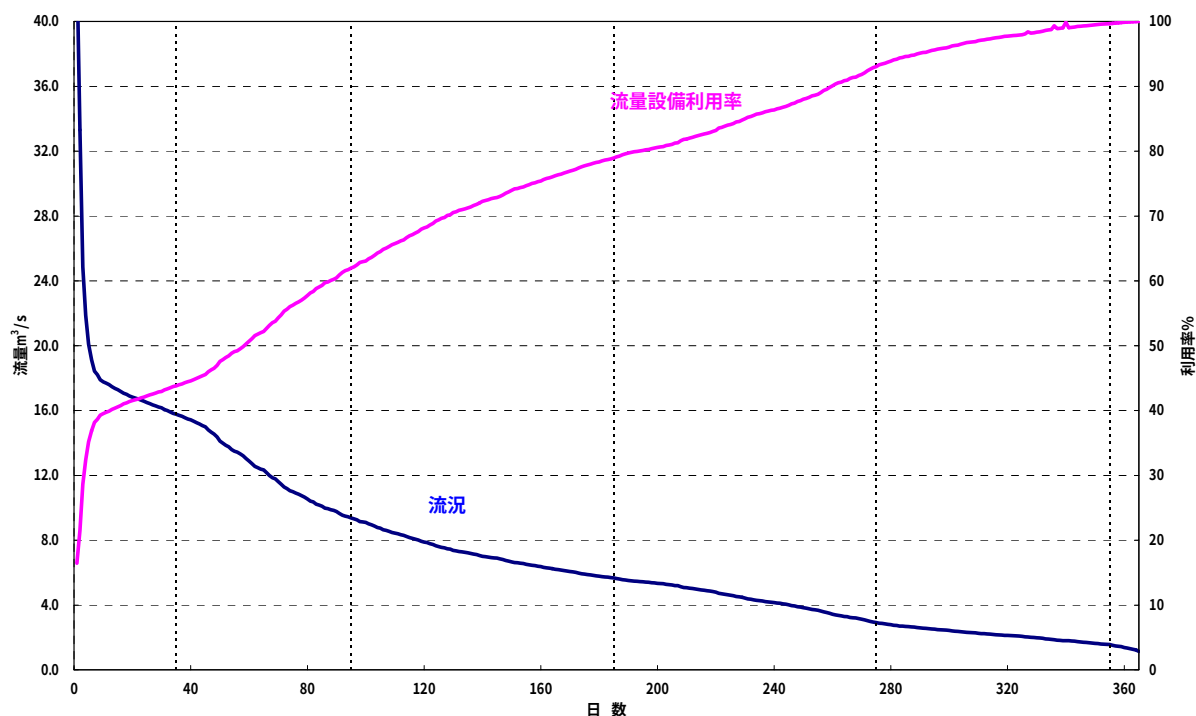


図 II -1.3.3 c 2 調整池総流入量流況図（溪流取水含）

b) C 3 発電所

c 3 取水堰河川流量は、c 1 調整池総流入量 Q_1 （流域面積 $CA=52.0\text{km}^2$ ）から c 3 取水堰地点（流域面積 $CA=338.4\text{km}^2$ ：C C 発電所集水分 101.0km^2 を除く）に流域換算し、これより沙流川から c 2 調整池への導水量（ $Q_2 - q_2$ ）を差し引いて算定した。

$$Q = Q_1 \times (338.4 / 52.0) - (Q_2 - q_2)$$

上記の 10 ヶ年データを表 II -1.3.6 に流況表、図 II -1.3.4 に流況図を示す。

表 II -1.3.6 c 3 取水堰河川流量流況表

(単位: m^3/s)

年	最大 流量	35日 流量	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小 流量	年平均 流 量
1996	67.84	18.62	11.84	8.55	4.78	2.66	1.45	10.91
1997	94.69	30.78	11.93	9.06	6.38	3.58	1.55	12.92
1998	91.37	25.71	15.60	10.08	6.88	3.28	2.39	13.08
1999	142.39	33.40	16.74	9.65	5.59	2.76	0.00	14.46
2000	83.96	30.10	11.77	7.92	4.91	2.46	2.01	12.80
2001	106.73	25.44	12.68	7.72	4.46	1.85	0.00	11.39
2002	46.61	18.48	10.27	7.11	4.76	2.06	1.31	9.11
2003	143.17	28.29	8.67	6.96	4.71	2.66	1.26	10.71
2004	106.08	28.70	11.52	7.36	5.16	2.86	2.06	12.34
2005	71.60	32.60	16.27	10.02	4.91	3.06	1.91	14.17
平 均	95.44	27.21	12.73	8.44	5.25	2.72	1.39	12.19

10ヶ年平均流況図 (1996～2005年)

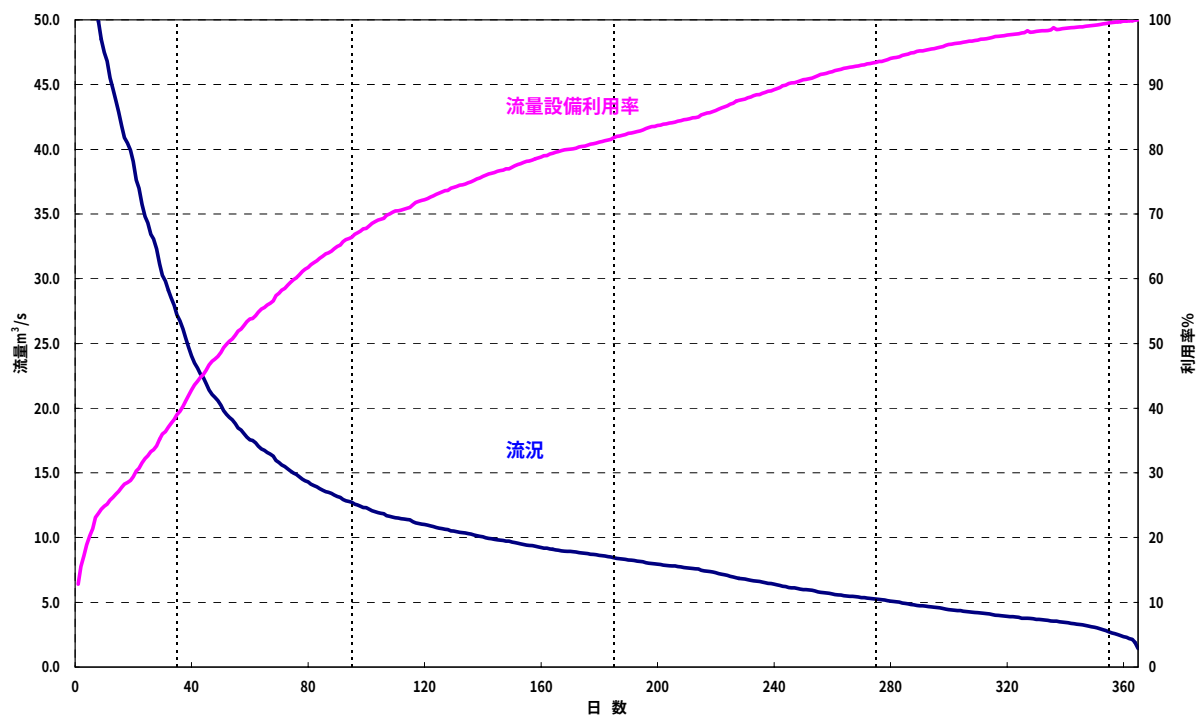


図 II -1.3.4 c 3 取水堰河川流量流況図

(c) ケース 1

a) C 4 発電所

c 4 調整池河川流入量は、c 1 調整池総流入量 Q_1 （流域面積 $CA=52.0\text{km}^2$ ）から c 4 ダム地点（流域面積 $CA=466.0\text{km}^2$ ：C C 発電所集水分 101.0km^2 を除く）に流域換算し、これより C 川から c 2 調整池への導水量（ $Q_2 - q_2$ ）及び c 3 取水堰取水量を差し引いて算定した。

c 3 取水堰取水量は、ケース 2 の b) で算定した c 3 取水堰河川流量から河川維持流量 $2.62\text{m}^3/\text{s}$ を差し引き、最大取水量 $6.0\text{m}^3/\text{s}$ で頭打ちしたデータとした。

$$Q = Q_1 \times (466.0 / 52.0) - (Q_2 - q_2) - (\text{c 3 取水量})$$

上記の 10 ヶ年データを II-1.3.7 に流況表、図 II-1.3.5 に流況図を示す。

表 II-1.3.7 c 4 調整池河川流入量流況表

(単位: m^3/s)

年	最大流量	35日流量	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小流量	年平均流量
1996	91.11	22.58	12.48	7.94	5.22	4.19	2.68	12.40
1997	124.39	39.69	12.47	7.81	5.12	4.26	2.85	14.28
1998	119.82	33.13	18.38	9.66	6.06	4.58	4.08	14.89
1999	190.08	42.86	17.89	8.65	5.52	4.41	0.79	16.74
2000	113.54	39.56	12.89	7.53	5.32	4.34	3.97	15.25
2001	140.97	32.53	14.38	7.53	5.07	3.67	0.68	13.51
2002	60.49	22.28	10.60	6.79	5.32	4.34	3.08	10.21
2003	191.15	36.28	8.02	6.79	5.32	4.34	3.47	12.38
2004	140.07	37.67	11.80	6.79	5.32	4.58	4.17	14.29
2005	96.52	40.60	17.30	8.62	5.32	4.34	3.87	16.13
平均	126.81	34.72	13.62	7.81	5.36	4.30	2.96	14.01

10ヶ年平均流況図 (1996～2005年)

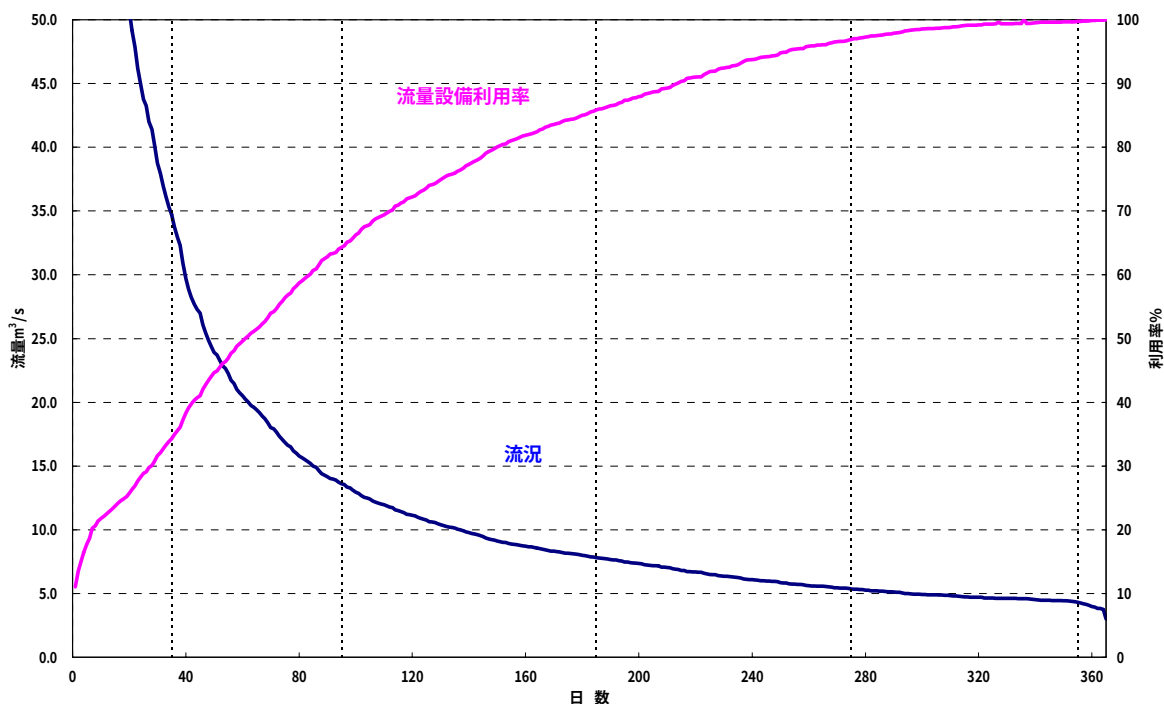


図 II-1.3.5 c 4 調整池河川流入量流況図

(3)計算ケース

計算ケースは、以下のとおりとした。

表Ⅱ-1.3.8 検討ケース一覧

ケース名	発電所名	流量条件等	ピーク 継続時間 (kW 優先時)	調整池 容量 (m^3)
ケース 1	C 1 発電所 (単独発電所)	調整池日流入量データ使用	3	155,000 (既設有効容量)
ケース 2	C 2・C 3 発電所 (2 シリーズ発電所)	調整池日流入量 ＋残流域流量	3	300,000 (既設有効容量)
ケース 3	C 4 発電所 (単独発電所)	上流発電所日平均使用水量 ＋残流域流量	3	260,000 360,000 460,000 560,000 (既設有効容量)

(4)電力量の計算

(a) 検討条件の設定

計算対象地点はC水系のC 1、C 2－C 3、C 4 発電所地点である。

以下に、今回実施した検討の前提条件および検討ケースの設定について述べる。

a) 計算条件

電力量を計算するのに必要な発電所に関する前提条件を表Ⅱ-1.3.9 に示す。また各発電所の総合効率曲線を図Ⅱ-1.3.6 に示す。

表Ⅱ-1.3.9 対象発電所の計算前提条件

発電所名	C 1	C 2	C 3	C 4
流域面積(km ²)	52.0	205.0	516.4	644.0
河川維持流量 q_k (m ³ /s)	4/1～11/30 0.22 12/1～3/31 0.05	0.20	2.62	0.00
最大使用水量 $Q_{\max}$ (m ³ /s)	6.10	15.00	21.00	27.50
発電可能最小流量 Q_n (m ³ /s)	1.22	3.00	4.20	4.29
常時使用水量 Q_s (m ³ /s)	0.54	1.12	1.30	5.24
水槽水位 h_{tk} (m)	773.75	458.81	259.00	186.500
最大使用水量時の放水位 $h_{\max}$ (m)	476.30	259.40	192.65	126.260
常時使用水量時の放水位 h_s (m)	476.30	259.33	192.65	126.000
最大使用水量時の損失落差 $h_{l\max}$ (m)	7.50	5.51	9.20	1.290
最大使用水量時の有効落差 $H_{A\max}$ (m)	289.95	193.90	57.15	58.950

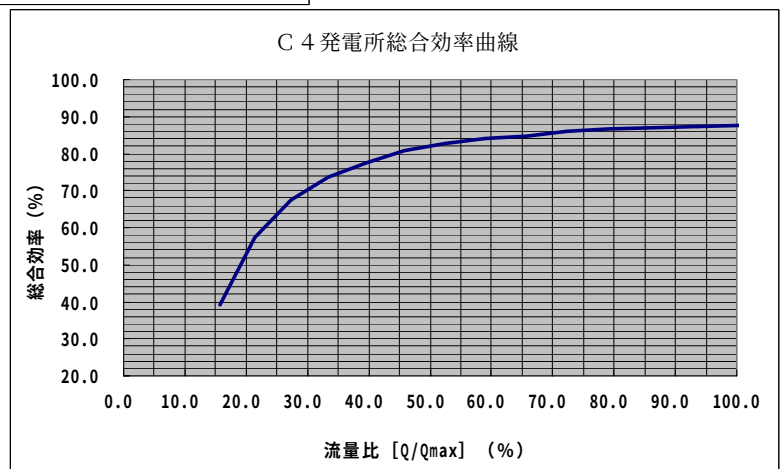
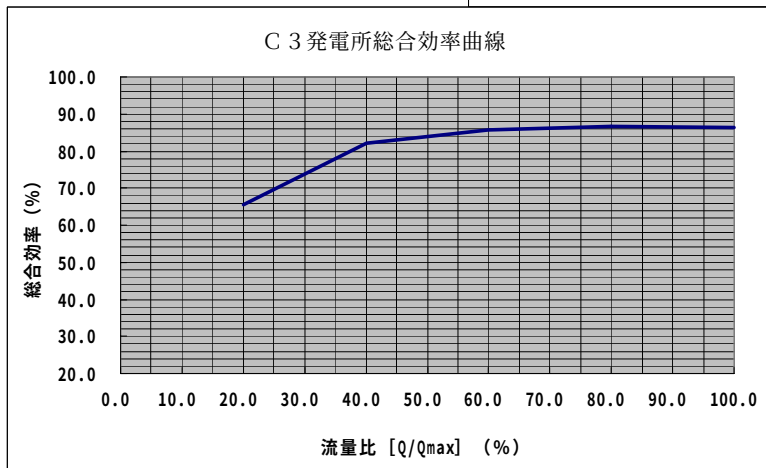
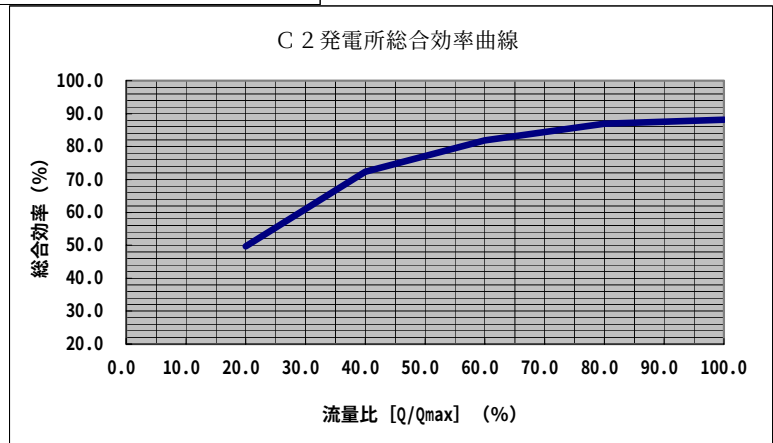
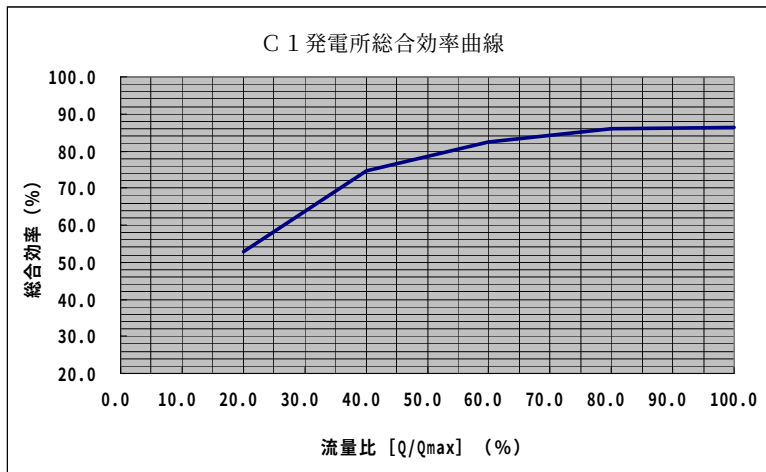


図 II -1.3.6 各発電所の総合効率曲線

b) 流況曲線

計算を実施するにあたっては、(2) で示した流況データを入力する。

c) ケース設定

検討ケースは表Ⅱ-1.3.10～12 に示すとおりである。

運用方法としては、以下の 3 パターンを設定した。調整池容量は、c 1 調整池、c 2 調整池はそれぞれ有効容量として、155,000m³、300,000m³ とし、c 4 調整池については 260,000m³、360,000m³、460,000m³、560,000m³（有効容量）と堆砂により容量が減少したことを想定して 4 ケース設定した。

なお、ピーク継続時間はkW優先運転時のピーク継続時間は 3 時間とした。

kW優先運転①

ピーク運転時間 T_2 を固定して、ピーク時に当該発電所の出力が最大となるための必要容量を、貯留時には完全に発電を停止して最短時間で貯める運用。

kW優先運転②

ピーク運転時間 T_2 を固定して、ピーク時に当該発電所の出力が最大となるための必要容量を、発電電力量が最大となるように貯留時間を調整する運用。

kWh優先運転

発電電力量が最大となるような調整容量、貯留時間、ピーク運転時間を調整する運用。

表Ⅱ-1.3.10 検討ケース一覧表（ケース 1：C 1）

運用方法 調整池容量(m ³)	kW優先運転①	kW優先運転②	kWh優先運転
155,000	S1- I 3-155 (ピーク運転時間 3h)	S1- II 3-155 (ピーク運転時間 3h)	S1-III-155

表Ⅱ-1.3.11 検討ケース一覧表（ケース 2：C 2・C 3）

運用方法 調整池容量(m ³)	kW優先運転①	kW優先運転②	kWh優先運転
300,000	S2- I 3-300 (ピーク運転時間 3h)	S2- II 3-300 (ピーク運転時間 3h)	S2-III-300

表Ⅱ-1.3.12 検討ケース一覧表（ケース３：C４）

運用方法 調整池容量(m ³)	k W優先運転①	k W優先運転②	k W h 優先運転
260,000	S3- I 3-260 (ピーク運転時間 3h)	S3- II 3-260 (ピーク運転時間 3h)	S3-III-260
360,000	S3- I 3-360 (ピーク運転時間 3h)	S3- II 3-360 (ピーク運転時間 3h)	S3-III-360
460,000	S3- I 3-460 (ピーク運転時間 3h)	S3- II 3-460 (ピーク運転時間 3h)	S3-III-460
560,000	S3- I 3-560 (ピーク運転時間 3h)	S3- II 3-560 (ピーク運転時間 3h)	S3-III-560

(b) 検討結果および評価

a) 検討結果 1 (ケース 1 : C 1 発電所)

表Ⅱ-1.3.13 に C 1 発電所の電力量計算結果一覧を示す。自流運転時に比べて、kW 優先運転①と②は 18.7%、kWh 優先運転では 28.7%増加するという結果となった。

表Ⅱ-1.3.13 C 1 発電所電力量計算結果一覧

ケース	ピーク 運転時間	調整池 容量	C 1 発電所		
			電力量(MWh)	自流運転時からの増分	
自流運転	—	—	36,512	(MWh)	(%)
kW 優先運転①	3 時間	155,000m ³	43,325	6,813	18.66
kW 優先運転②			43,325	6,813	18.66
kWh 優先運転	—	—	47,000	10,489	28.73

また、kW 優先運転①及び②において、所要のピーク継続時間に最大出力で運転できる日数変化を表Ⅱ-1.3.14 に示す。この結果、3 時間のピーク立を考えた場合には、300 日最大出力で運転できる日数が増加することとなる。

表Ⅱ-1.3.14 最大出力運転の増加日数（ピーク運転時間内：kW 優先運転①、②）

ピーク 運転時間	調整池 容量	C 1 発電所	
		運転日数	増分
自流運転		26 日	－
3 時間	155,000m ³	326 日	300 日

図Ⅱ-1.3.7 に電力量曲線と調整容量および発電所使用流量変化、図Ⅱ-1.3.8 に運転パターンおよび発電所電力量変化、運転パターンおよび発電所出力変化、図Ⅱ-1.3.9、10 に C 1 発電所流況別運転パターンを示した。

これらより、各運転パターン毎の特徴を以下に示す。

kW 優先運転①

- ・ kW 優先運転①は、0→Full→自流運転といった運転パターンとなる。
- ・ 発電電力量は、調整池を活用する 27 日流量（自流量が $Q_{\max}$ を下回る日）以後、自流運転時に比べて増加することとなる。特に 249 日流量以後では、自流量では発電可能最小流量を下回ることとなるため、調整運転することによる電力量の増

加が顕著となる。

- ・調整池の最大使用容量は、326 日流量時の $V=57,628.8 \text{ m}^3$ となっている。

k W優先運転②

- ・kW優先運転②は、基本的にはkW優先運転①と同様に、0→Full→自流運転といった運転パターンとなっている。これは、本計算ケースが単独発電所であるため、貯留時に一定流量を溜め込みながら運転するよりも、完全停止した方が効率の高いところでの運転時間が長く取れ、有利となるためである。
- ・発電電力量は、調整池を活用する 27 日流量（自流量が $Q_{\max}$ を下回る日）以後、自流運転時に比べて増加することとなる。特に 249 日流量以後では、自流量では発電可能最小流量を下回ることとなるため、調整運転することによる電力量の増加が顕著となる。
- ・調整池の最大使用容量は、326 日流量時の $V=57,628.8 \text{ m}^3$ となっている。

k Wh 優先運転

- ・kWh優先運転は、基本的には $0 \rightarrow 5.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度の一定運転といった運転パターンとなっている。運転時間は、その日の自流量が少なくなるに連れて短くなる。これは、本計算ケースが単独発電所であるため、貯留時に一定流量を溜め込みながら運転するよりも、完全停止した方が効率の高いところでの運転時間が長く取れ、有利となるためである。 $5.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度が効率曲線上、最も高い効率となっている。
- ・発電電力量は、調整池を活用する 27 日流量（自流量が $Q_{\max}$ を下回る日）以後、自流運転時に比べて増加することとなる。特に 249 日流量以後では、自流量では発電可能最小流量を下回ることとなるため、調整運転することによる電力量の増加が顕著となる。
- ・調整池の最大使用容量は、105 日流量時の $V=108,000.0 \text{ m}^3$ となっている。

概要		検討結果	
		発電電力量曲線	調整容量および発電所使用流量変化
k W優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
k W優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：k W優先運転①に同じ。		
k W h優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図Ⅱ-1.3.7 電力量曲線と調整容量および発電所使用流量変化（C 1 発電所）：調整容量 155,000m³（Case.S1-Ⅰ3-155、Case.S1-Ⅱ3-155、Case.S1-Ⅲ-155）

概要		検討結果	
		運転パターンおよび発電所電力量変化	運転パターンおよび発電所出力変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
kW優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW優先運転①に同じ。		
kWh優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図Ⅱ-1.3.8 運転パターンおよび発電所電力量変化、運転パターンおよび発電所出力変化（C 1 発電所）：調整容量 155,000m³（Case.S1-Ⅰ3-155、Case.S1-Ⅱ3-155、Case.S1-Ⅲ-155）

概要		90 日流量時	120 日流量時	150 日流量時	180 日流量時	210 日流量時
k W 優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で 3 時間の調整運転を行う。					
k W 優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：k W 優先運転①に同じ。					
k W h 優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。					

図 II - 1.3.9 C 1 発電所流況別運転パターン：調整容量 155,000m³ (Case.S1- I 3-155、Case.S1- II 3-155、Case.S1-III-155)

概要		240 日流量時	270 日流量時	300 日流量時	330 日流量時	360 日流量時
k W 優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で 3 時間の調整運転を行う。					
k W 優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：k W 優先運転①に同じ。					
k W h 優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。					

図 II - 1.3.10 C 1 発電所流況別運転パターン：調整容量 155,000m³ (Case.S1- I 3-155、Case.S1- II 3-155、Case.S1-III-155)

b) 検討結果 2（ケース 2：C 2・C 3 発電所）

表 II -1.3.15 に C 2・C 3 発電所の電力量計算結果一覧を示す。自流運転時に比べて、kW 優先運転①、②では 6.8%（C 2 +11.6%、C 3 -1.0%）、kWh 優先運転は 10.6%（C 2 +18.0%、C 3 -1.3%）増加するという結果となった。

発電所毎の電力量の増分を見ると、調整運転への影響が直接的に反映され、且つ電水比が $1,667\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$ と大きな C 2 発電所の増分が顕著である。一方、C 3 発電所については、残流域からの取水（残流取水は使用水量比で 30%程度）があることから、上流発電所でピーク化（kW 優先運転①及び②）を行うと年間発電電力量が減少する結果となる。kWh 優先運転では、C 3 発電所の電水比が $476\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$ と小さいことから、C 2 発電所の高効率運用を優先した運用が行われ、その結果として C 2 発電所が +18.0%、C 3 発電所が -1.3% 電力量が変化するという結果となっている。

表 II -1.3.15 C 2・C 3 発電所電力量計算結果一覧

運用方法	年間発電電力量(MWh)								
	C 2 発電所			C 3 発電所			2 発電所合計		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	82,089	—	—	50,634	—	—	132,723	—	—
kW 優先運転①	91,635	9,546	11.63%	50,133	-501	-0.99%	141,768	9,045	6.81%
kW 優先運転②	91,635	9,546	11.63%	50,133	-501	-0.99%	141,768	9,045	6.81%
kWh 優先運転	96,860	14,771	17.99%	49,981	-653	-1.29%	146,841	14,118	10.64%

また、kW 優先運転①及び②において、所要のピーク継続時間に最大出力で運転できる日数変化を表 II -1.3.16 に示す。この結果、3 時間のピーク立を考えた場合には、C 2 発電所では 282 日、C 3 発電所では 112 日、最大出力で運転できる日数が増加することとなる。C 3 発電所では、残流域からの取水があるために、上流発電所の調整池でピーク化を行っても最大出力運転日数の増分は 112 日に留まることとなる。

表 II -1.3.16 最大出力運転の増加日数（ピーク運転時間内：kW 優先運転①、②）

ピーク 運転時間	調整池 容量	C 2 発電所		C 3 発電所	
		運転日数	増分	運転日数	増分
自流運転		42 日	—	81 日	—
3 時間	300,000m³	324 日	282 日	193 日	112 日

図Ⅱ-1.3.11 に電力量曲線と調整容量および各発電所使用流量変化、図Ⅱ-1.3.12 に運転パターンおよび各発電所電力量変化、運転パターンおよび各発電所出力変化、図Ⅱ-1.3.13、14 に C 2・C 3 発電所流況別運転パターンを示した。

これらより、各運転パターン毎の特徴を以下に示す。

k W 優先運転①

- ・ k W 優先運転①の C 2 発電所の運用は、0→Full→自流運転といった運転パターンとなる。
- ・ 発電電力量は、調整池を活用する 27 日流量（自流量が $Q_{\max}$ を下回る日）以後、自流運転時に比べて増加することとなる。特に 268 日流量以後では、C 2 発電所は自流量では発電可能最小流量を下回ることとなるため、調整運転することによる電力量の増加が顕著となる。
- ・ 調整池の最大使用容量は、324 日流量時の $V=141,652.8\text{m}^3$ となっている。

k W 優先運転②

- ・ k W 優先運転②は、基本的には k W 優先運転①の C 2 発電所の運用と同様に、0→Full→自流運転といった運転パターンとなっている。
- ・ 発電電力量は、調整池を活用する 27 日流量（自流量が $Q_{\max}$ を下回る日）以後、自流運転時に比べて増加することとなる。特に 268 日流量以後では、C 2 発電所は自流量では発電可能最小流量を下回ることとなるため、調整運転することによる電力量の増加が顕著となる。
- ・ 調整池の最大使用容量は、324 日流量時の $V=141,652.8\text{m}^3$ となっている。

k W h 優先運転

- ・ k W h 優先運転は、基本的には電水比の高い C 2 発電所が高効率で運転できるように運転パターンが設定されている。具体的に、C 2 発電所は貯留 (0) →ピークの運転を行う。その際、ピーク時使用水量を $15.0\text{ m}^3/\text{s}$ 程度と一定とし、比較的効率の良い一定流量での運用を行っている。
- ・ 発電電力量は、調整池を活用する 27 日流量（自流量が $Q_{\max}$ を下回る日）以後、自流運転時に比べて増加することとなる。特に 268 日流量以後では、C 2 発電所は自流量では発電可能最小流量を下回ることとなるため、調整運転することによる電力量の増加が顕著となる。
- ・ 調整池の最大使用容量は、163 日流量時の $V=262,300.0\text{ m}^3$ となっている。

概要		検討結果	
		発電電力量曲線	調整容量および各発電所使用流量変化
k W優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
k W優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：k W優先運転①に同じ。		
k W h優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図Ⅱ-1.3.11 電力量曲線と調整容量および各発電所使用流量変化（C 2・C 3 発電所）：調整容量 300,000m³（Case.S2-Ⅰ3-300、Case.S2-Ⅱ3-300、Case.S2-Ⅲ-300）

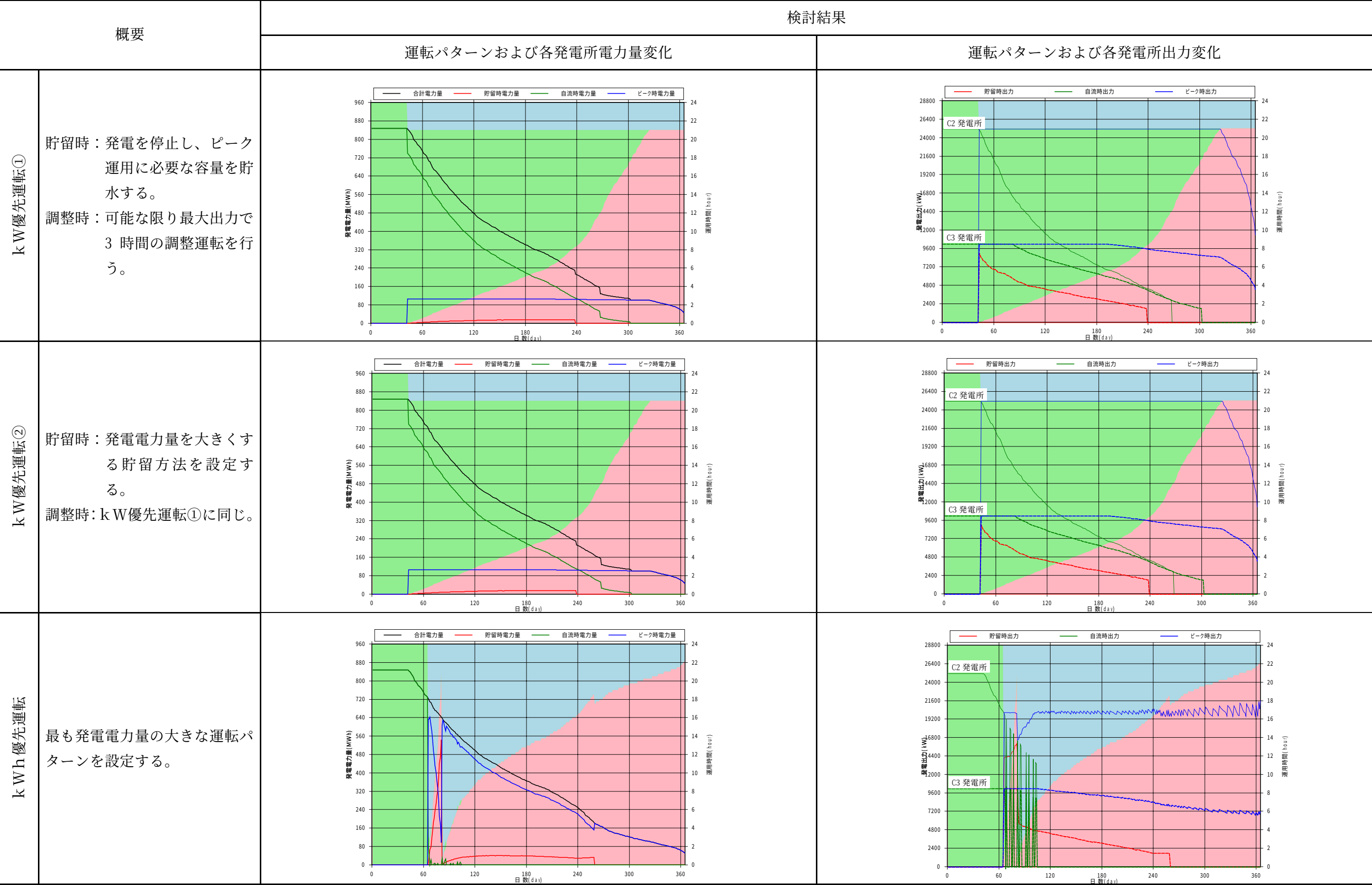
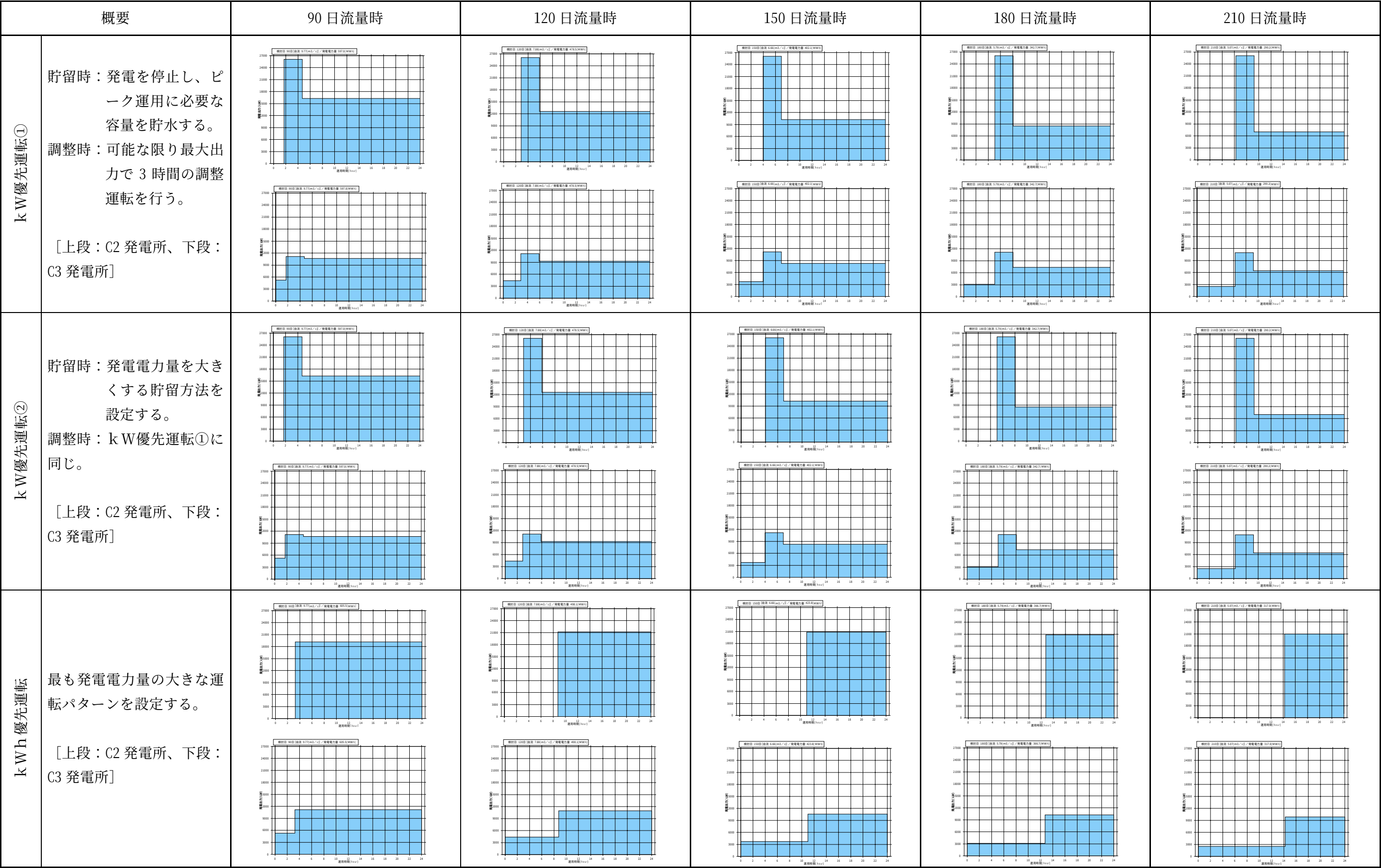


図 II -1.3.12 運転パターンおよび各発電所電力量変化、運転パターンおよび各発電所出力変化（C 2・C 3 発電所）：調整容量 300,000m³（Case.S2- I 3-300、Case.S2- II 3-300、Case.S2-III-300）



図Ⅱ-1.3.13 C 2・C 3 発電所流況別運転パターン：調整容量 300,000m³ (Case.S2-Ⅰ3-300、Case.S2-Ⅱ3-300、Case.S2-Ⅲ-300)

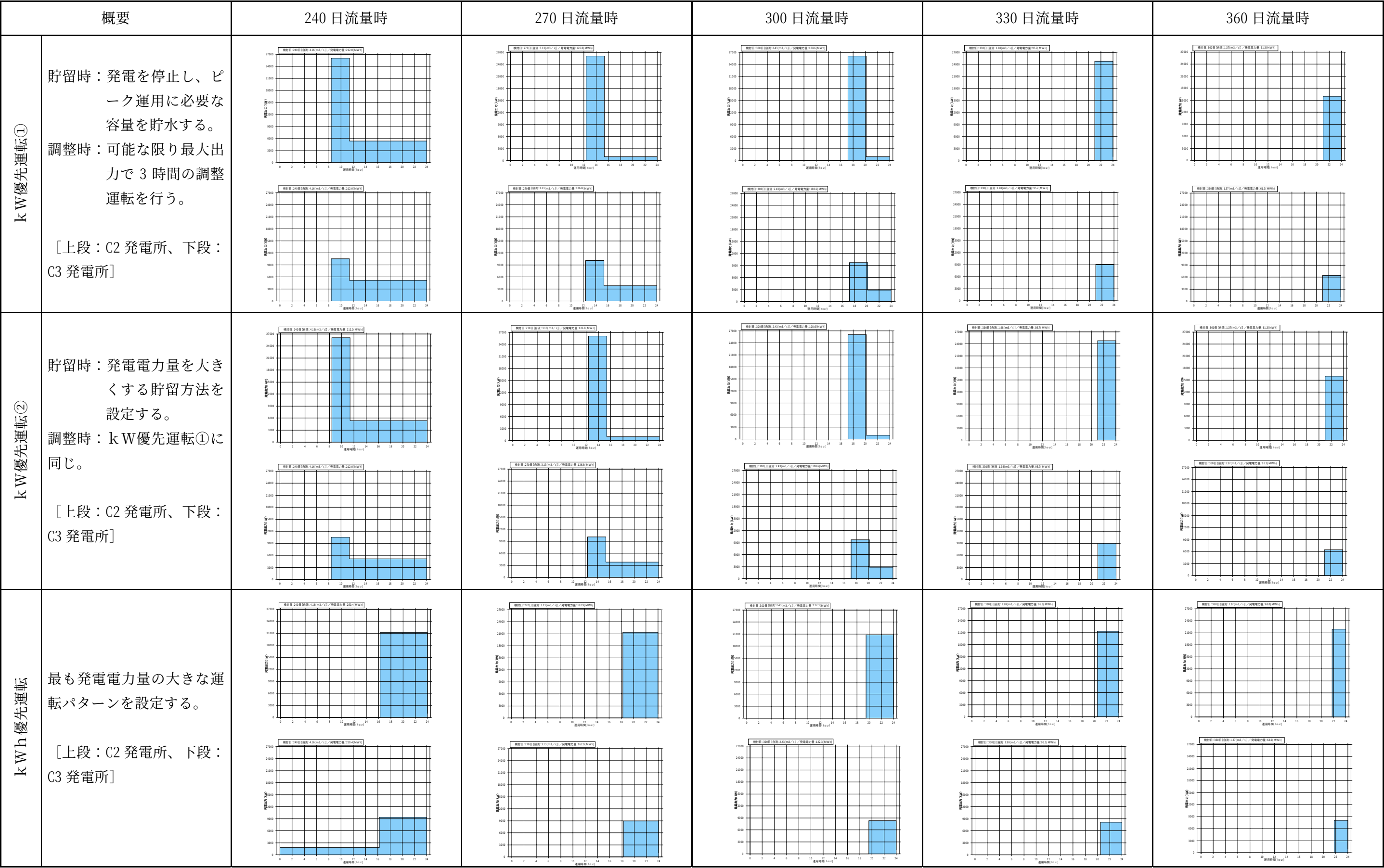


図 II -1.3.14 C 2・C 3 発電所流況別運転パターン：調整容量 300,000m³ (Case.S2- I 3-300、Case.S2- II 3-300、Case.S2-III-300)

c) 検討結果3（ケース3：C4発電所）

表Ⅱ-1.3.17にC4発電所の電力量計算結果一覧を示す。kW優先運転①と②は、調整池の容量に係らず、ほとんど同じ格好となった。

表Ⅱ-1.3.17 C4発電所電力量計算結果一覧

ケース	ピーク 運転時間	調整池 容量	C4発電所	
			電力量(MWh)	増分(%)
自流運転	—	—	80,205	—
I3-026	3時間	260,000m ³	81,037	1.04
II3-026			81,037	1.04
III-026	—		81,766	1.95
I3-036	3時間	360,000m ³	81,037	1.04
II3-036			81,037	1.04
III-036	—		82,173	2.45
I3-046	3時間	460,000m ³	81,037	1.04
II3-046			81,037	1.04
III-046	—		82,428	2.77
I3-056	3時間	560,000m ³	81,037	1.04
II3-056			81,037	1.04
III-056	—		82,476	2.83

また、kW優先運転①及び②において、所要のピーク継続時間に最大出力で運転できる日数変化を表Ⅱ-1.3.18に示す。

これより、当該地点について以下の事項が確認された。

表Ⅱ-1.3.18 最大出力運転の増加日数（ピーク運転時間内：kW優先運転①、②）

ピーク 運転時間	調整池 容量	C 4 発電所	
		運転日数	増分
自流運転		97 日	－
3 時間	260,000m ³ ～560,000m ³	365 日	268 日

- ・ kW優先運転①、②は、ほとんど同じような運転パターンとなった。
- ・ kW優先運転①の運転を行う場合には、調整池容量 $V=260,000\text{m}^3$ あれば十分であることがわかる（但し、3時間のピーク立の場合）。
- ・ kWh優先運転の調整池容量 $V=560,000\text{m}^3$ のケースでは、水車・発電機の効率が最も高い、使用水量 $Q=24.0\text{m}^3/\text{s}$ 程度 ($Q/Q_{\text{max}}=87\%$ 、 $\eta=87\%$) を狙って、0-Full といった運用が選択されており、河川流量に応じて発電時間が調整されている。しかしながら、調整池容量 $V=260,000\sim 460,000\text{m}^3$ のケースでは、調整容量の不足により、上記のような運転が行えない結果となっている。
- ・ kWh優先運転調整池容量 $V=560,000\text{m}^3$ のケースでは、調整池容量の最大使用量が $V=520,000\text{m}^3$ 程度となっており、これ以上調整池容量を大きくしたとしても、これ以上の発電電力量は増加は見込めないことがわかる。

以下に出力結果を示す。

概要		検討結果	
		発電電力量曲線	調整容量および発電所使用流量変化
k W優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
k W優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：k W優先運転①に同じ。		
k W h優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図 II -1.3.15 電力量曲線と調整容量および発電所使用流量変化（ C 4 発電所）：調整容量 260,000m³（Case.S- I 3-026、Case.S- II 3-026、Case.S-III-026）

概要		検討結果	
		運転パターンおよび発電電力量変化	運転パターンおよび発電所出力変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW優先運転①に同じ。		
	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図 II -1.3.16 運転パターンおよび発電電力量変化、運転パターンおよび発電所出力変化（C 4 発電所）：調整容量 260,000m³（Case.S- I 3-026、Case.S- II 3-026、Case.S-III-026）

概要		検討結果	
		発電電力量曲線	調整容量および発電所使用流量変化
k W優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
k W優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：k W優先運転①に同じ。		
k W h優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図 II -1.3.17 電力量曲線と調整容量および発電所使用流量変化（C 4 発電所）：調整容量 360,000m³（Case.S- I 3-036、Case.S- II 3-036、Case.S-III-036）

概要		検討結果	
		運転パターンおよび発電電力量変化	運転パターンおよび発電所出力変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
kW優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW優先運転①に同じ。		
kWh優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図 II - 1.3.18 運転パターンおよび発電電力量変化、運転パターンおよび発電所出力変化（C 4 発電所）：調整容量 360,000m³（Case.S- I 3-036、Case.S- II 3-036、Case.S-III-036）

概要		検討結果	
		発電電力量曲線	調整容量および発電所使用流量変化
k W優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
k W優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：k W優先運転①に同じ。		
k W h優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図 II -1.3.19 電力量曲線と調整容量および発電所使用流量変化（C 4 発電所）：調整容量 460,000m³（Case.S- I 3-046、Case.S- II 3-046、Case.S-III-046）

概要		検討結果	
		運転パターンおよび発電電力量変化	運転パターンおよび発電所出力変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW優先運転①に同じ。		
	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図 II -1.3.20 運転パターンおよび発電電力量変化、運転パターンおよび発電所出力変化（C 4 発電所）：調整容量 460,000m³（Case.S- I 3-046、Case.S- II 3-046、Case.S-III-046）

概要		検討結果	
		発電電力量曲線	調整容量および発電所使用流量変化
k W優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
k W優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：k W優先運転①に同じ。		
k W h優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図 II -1.3.21 電力量曲線と調整容量および発電所使用流量変化（C 4 発電所）：調整容量 560,000m³（Case.S- I 3-056、Case.S- II 3-056、Case.S-III-056）

概要		検討結果	
		運転パターンおよび発電電力量変化	運転パターンおよび発電所出力変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW優先運転①に同じ。		
	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図 II -1.3.22 運転パターンおよび発電電力量変化、運転パターンおよび発電所出力変化（C 4 発電所）：調整容量 560,000m³（Case.S- I 3-056、Case.S- II 3-056、Case.S-III-056）

概要		90 日流量時	120 日流量時	150 日流量時	180 日流量時	210 日流量時
k W 優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で 3 時間の調整運転を行う。					
k W 優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：k W 優先運転①に同じ。					
k W h 優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。					

図Ⅱ-1.3.23 C 4 発電所流況別運転パターン：調整容量 560,000m³ (Case.S-Ⅰ3-056、Case.S-Ⅱ3-056、Case.S-Ⅲ-056)

概要		240 日流量時	270 日流量時	300 日流量時	330 日流量時	360 日流量時
k W 優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で 3 時間の調整運転を行う。					
k W 優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：k W 優先運転①に同じ。					
k W h 優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。					

図 II -1.3.24 C 4 発電所流況別運転パターン：調整容量 560,000m³ (Case.S- I 3-056、Case.S- II 3-056、Case.S-III-056)

C 4 発電所の検討では、調整池容量の差異による発電電力量について分析を行った。表Ⅱ-1.3.19 に、各ケースの電力量計算結果を示した。

表Ⅱ-1.3.19 調整池容量別年間発電電力量の変化

運用方法	年間発電電力量(MWh)											
	C 4 発電所			C 4 発電所			C 4 発電所			C 4 発電所		
	調整池容量260,000m ³			調整池容量360,000m ³			調整池容量460,000m ³			調整池容量560,000m ³		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	80,205	—	—	80,205	—	—	80,205	—	—	80,205	—	—
kW優先運転①	81,037	832	1.04%	81,037	832	1.04%	81,037	832	1.04%	81,037	832	1.04%
kW優先運転②	81,037	832	1.04%	81,037	832	1.04%	81,037	832	1.04%	81,037	832	1.04%
kWh優先運転	81,766	1,561	1.95%	82,173	1,968	2.45%	82,428	2,223	2.77%	82,476	2,271	2.83%

本計算は、c 4 調整池への流入量は、上流発電所群でのピーク運用を考慮されていない日平均流量が流入してくることを前提とした計算である。

kW優先運転①、②のような3時間のピーク立を考えた場合には、調整池の容量として $V=234,000\text{m}^3$ 程度あれば十分であることがわかった。上流のC 2・C 3 発電所でのピーク化に同調して、C 4 発電所で上乘せしたピーク化を行う場合には、更に調整池の容量は少なくて済むこととなる。

次に、kWh優先運転のケースの自流運転時に対する発電電力量の変化をみると調整池容量が大きい方が電力量は増加する傾向にある。各々自流運転時に対して、調整池容量 $V=260,000\text{m}^3$ ケースで 1.95%、 $V=360,000\text{m}^3$ ケースで 2.45%、 $V=460,000\text{m}^3$ ケースで 2.77%、 $V=560,000\text{m}^3$ ケースで 2.83%となっている。ただし、発電電力量の増加は、先にも示したとおり調整池容量 $V=520,000\text{m}^3$ でほぼ上限に達しているものと思われる。

c 4 調整池の有効容量は $V=560,000\text{m}^3$ であるが、毎年 $15,000\text{m}^3$ /年の堆砂があるとのことである (H8～17 年実績)。また、調整容量を回復させるために継続的に調整池の浚渫を実施してきており、この費用は 4,000 円/ m^3 程度とのことである (S60～16 年実績)。ここでは、毎年 $15,000\text{m}^3$ 調整池容量が減少していき、調整池容量が $460,000\text{m}^3$ 、 $360,000\text{m}^3$ 、 $260,000\text{m}^3$ まで減少した時点で、その後は容量を確保するために毎年 $15,000\text{m}^3$ の浚渫を行うケースを設定し、現状ケース（毎年浚渫を行い調整池容量 $560,000\text{m}^3$ を確保）に対する経済性の比較を行った。

計算条件としては、アワー価値を 8 円/kWh、浚渫費用を 4,000 円/ m^3 として、50 年分の費用便益計算を行った。表Ⅱ-1.3.20 に便益、浚渫費用の経時変化、表Ⅱ-1.3.21 に現状の調整池容量を確保した場合との $\Delta V - \Delta C$ の経時変化、図Ⅱ-1.3.25 に $\Delta V - \Delta C$ の累積値変化図を示した。なお、発電電力量については、上記の kWh 優先運転による発電電力量を用いた。

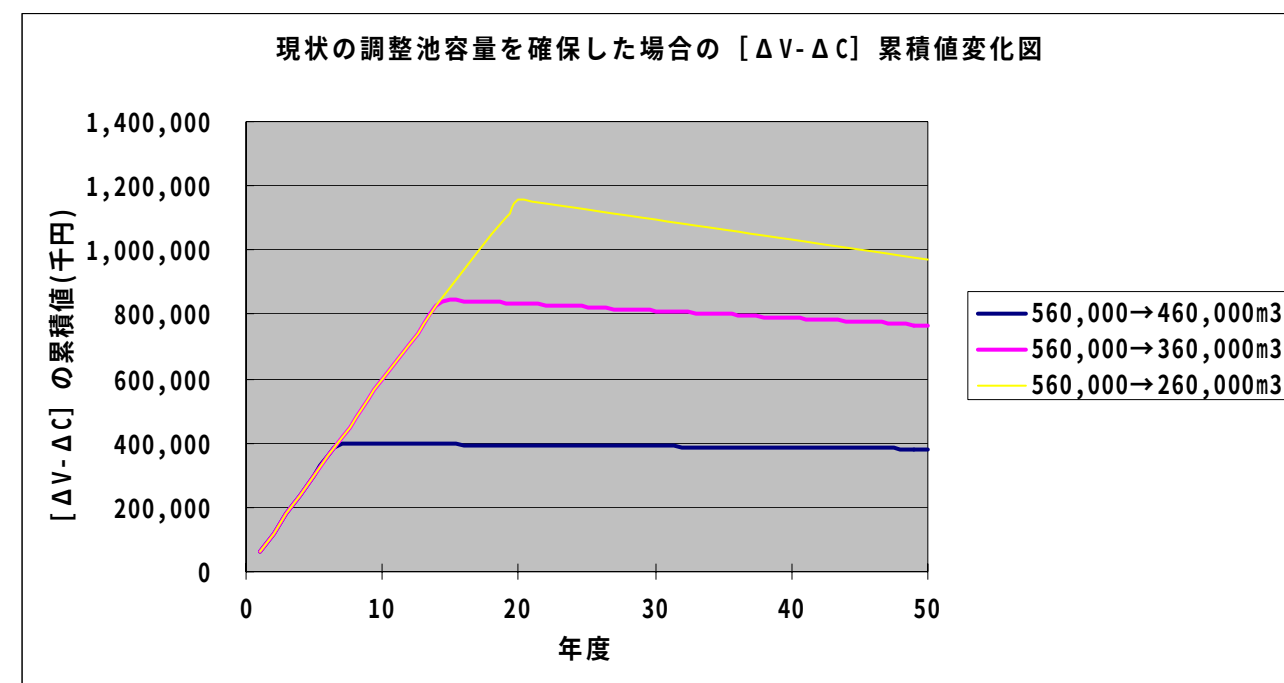
この結果、調整池容量が減少することに伴う電力量の減少による便益の減よりも、浚渫コストの費用が大きいために、浚渫費用をかけずに調整池容量を $V=260,000\text{m}^3$ でまで減少させて、その後その容量をキープした場合の方が有利な結果となった。

表Ⅱ-1.3.20 便益、浚渫費用の経時変化

	調整池容量260,000 ^{m³} キープ					調整池容量360,000 ^{m³} キープ					調整池容量460,000 ^{m³} キープ					調整池容量560,000 ^{m³} キープ				
	電力量(MWh)	便益(千円)	浸淫量(m³)	費用(千円)	調整容量(m³)	電力量(MWh)	便益(千円)	浸淫量(m³)	費用(千円)	調整容量(m³)	電力量(MWh)	便益(千円)	浸淫量(m³)	費用(千円)	調整容量(m³)	電力量(MWh)	便益(千円)	浸淫量(m³)	費用(千円)	調整容量(m³)
1年目	82,469	659,750	0	0	545,000	82,469	659,750	0	0	545,000	82,469	659,750	0	0	545,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
2年目	82,462	659,693	0	0	530,000	82,462	659,693	0	0	530,000	82,462	659,693	0	0	530,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
3年目	82,454	659,635	0	0	515,000	82,454	659,635	0	0	515,000	82,454	659,635	0	0	515,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
4年目	82,447	659,578	0	0	500,000	82,447	659,578	0	0	500,000	82,447	659,578	0	0	500,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
5年目	82,440	659,520	0	0	485,000	82,440	659,520	0	0	485,000	82,440	659,520	0	0	485,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
6年目	82,433	659,462	0	0	470,000	82,433	659,462	0	0	470,000	82,433	659,462	0	0	470,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
7年目	82,415	659,322	0	0	455,000	82,415	659,322	0	0	455,000	82,428	659,424	5,000	20,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
8年目	82,377	659,016	0	0	440,000	82,377	659,016	0	0	440,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
9年目	82,339	658,710	0	0	425,000	82,339	658,710	0	0	425,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
10年目	82,301	658,404	0	0	410,000	82,301	658,404	0	0	410,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
11年目	82,262	658,098	0	0	395,000	82,262	658,098	0	0	395,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
12年目	82,224	657,792	0	0	380,000	82,224	657,792	0	0	380,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
13年目	82,186	657,486	0	0	365,000	82,186	657,486	0	0	365,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
14年目	82,132	657,058	0	0	350,000	82,173	657,384	0	0	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
15年目	82,071	656,570	0	0	335,000	82,173	657,384	10,000	40,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
16年目	82,010	656,082	0	0	320,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
17年目	81,949	655,593	0	0	305,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
18年目	81,889	655,105	0	0	290,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
19年目	81,827	654,616	0	0	275,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
20年目	81,766	654,128	0	0	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
21年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
22年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
23年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
24年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
25年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
26年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
27年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
28年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
29年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
30年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
31年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
32年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
33年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
34年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
35年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
36年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
37年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
38年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
39年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
40年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
41年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
42年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
43年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
44年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
45年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
46年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
47年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
48年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
49年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
50年目	81,766	654,128	15,000	60,000	260,000	82,173	657,384	15,000	60,000	360,000	82,428	659,424	15,000	60,000	460,000	82,476	659,808	15,000	60,000	560,000
計		32,779,459		1,800,000			32,889,674		2,140,000			32,972,294		2,600,000			32,990,400		3,000,000	

表 II -1.3.21 現状の調整池容量を確保した場合との $\Delta V - \Delta C$ の経時変化

	560,000 m^3 →460,000 m^3			560,000 m^3 →360,000 m^3			560,000 m^3 →260,000 m^3		
	便益差(千円)	費用差(千円)	V-C差(千円)	便益差(千円)	費用差(千円)	V-C差(千円)	便益差(千円)	費用差(千円)	V-C差(千円)
1 年 目	-58	-60,000	59,942	-58	-60,000	59,942	-58	-60,000	59,942
2 年 目	-115	-60,000	59,885	-115	-60,000	59,885	-115	-60,000	59,885
3 年 目	-173	-60,000	59,827	-173	-60,000	59,827	-173	-60,000	59,827
4 年 目	-230	-60,000	59,770	-230	-60,000	59,770	-230	-60,000	59,770
5 年 目	-288	-60,000	59,712	-288	-60,000	59,712	-288	-60,000	59,712
6 年 目	-346	-60,000	59,654	-346	-60,000	59,654	-346	-60,000	59,654
7 年 目	-384	-40,000	39,616	-486	-60,000	59,514	-486	-60,000	59,514
8 年 目	-384	0	-384	-792	-60,000	59,208	-792	-60,000	59,208
9 年 目	-384	0	-384	-1,098	-60,000	58,902	-1,098	-60,000	58,902
10 年 目	-384	0	-384	-1,404	-60,000	58,596	-1,404	-60,000	58,596
11 年 目	-384	0	-384	-1,710	-60,000	58,290	-1,710	-60,000	58,290
12 年 目	-384	0	-384	-2,016	-60,000	57,984	-2,016	-60,000	57,984
13 年 目	-384	0	-384	-2,322	-60,000	57,678	-2,322	-60,000	57,678
14 年 目	-384	0	-384	-2,424	-60,000	57,576	-2,750	-60,000	57,250
15 年 目	-384	0	-384	-2,424	-20,000	17,576	-3,238	-60,000	56,762
16 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-3,726	-60,000	56,274
17 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-4,215	-60,000	55,785
18 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-4,703	-60,000	55,297
19 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,192	-60,000	54,808
20 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	-60,000	54,320
21 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
22 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
23 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
24 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
25 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
26 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
27 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
28 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
29 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
30 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
31 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
32 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
33 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
34 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
35 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
36 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
37 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
38 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
39 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
40 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
41 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
42 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
43 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
44 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
45 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
46 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
47 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
48 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
49 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
50 年 目	-384	0	-384	-2,424	0	-2,424	-5,680	0	-5,680
			381,894			759,274			989,059

図 II -1.3.25 現状の調整池容量を確保した場合との $\Delta V - \Delta C$ の累積値変化図

d) シリーズ発電所群総括

ここでは、シリーズ発電所群全体の発電電力量並びに有効出力について総括を行う。

但し、計算における前提条件は、以下のとおりである。

- ・各調整池への流入量は、日平均流量である。
- ・各調整池の調整池容量は、有効容量である。
- ・kW優先運転①、②のピーク発電時間は、3時間である。
- ・比較の対象は、自流運転時をベースとする。

表Ⅱ-1.3.22 に各運用パターン別の電力量計算結果、表Ⅱ-1.3.23 にkW優先運転①、②における有効出力計算結果を示した。

表Ⅱ-1.3.22 各運用パターン別の電力量計算結果

運用方法	年間発電電力量(MWh)														
	C 1 発電所			C 2 発電所			C 3 発電所			C 4 発電所			4 発電所合計		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	36,512	—	—	82,089	—	—	50,634	—	—	80,205	—	—	249,440	—	—
kW優先運転①	43,325	6,813	18.66%	91,635	9,546	11.63%	50,133	-501	-0.99%	81,037	832	1.04%	266,130	16,690	6.69%
kW優先運転②	43,325	6,813	18.66%	91,635	9,546	11.63%	50,133	-501	-0.99%	81,037	832	1.04%	266,130	16,690	6.69%
kWh優先運転	47,000	10,488	28.72%	96,860	14,771	17.99%	49,981	-653	-1.29%	82,476	2,271	2.83%	276,317	26,877	10.77%

表Ⅱ-1.3.23 有効出力計算結果

運用方法	有効出力(kW)									
	C 1 発電所		C 2 発電所		C 3 発電所		C 4 発電所		4 発電所合計	
	出力	増分	出力	増分	出力	増分	出力	増分	出力	増分
自流運転	0	—	0	—	2,569	—	5,063	—	7,632	—
kW優先運転①②	43,325	43,325	25,111	25,111	9,056	6,487	13,901	8,838	91,393	83,761

この結果、4発電所合計でkW優先運転①、②では発電電力量が16,690MWh増、有効出力が83,761kW増、kWh優先運転では発電電力量が26,877MWh増となった。

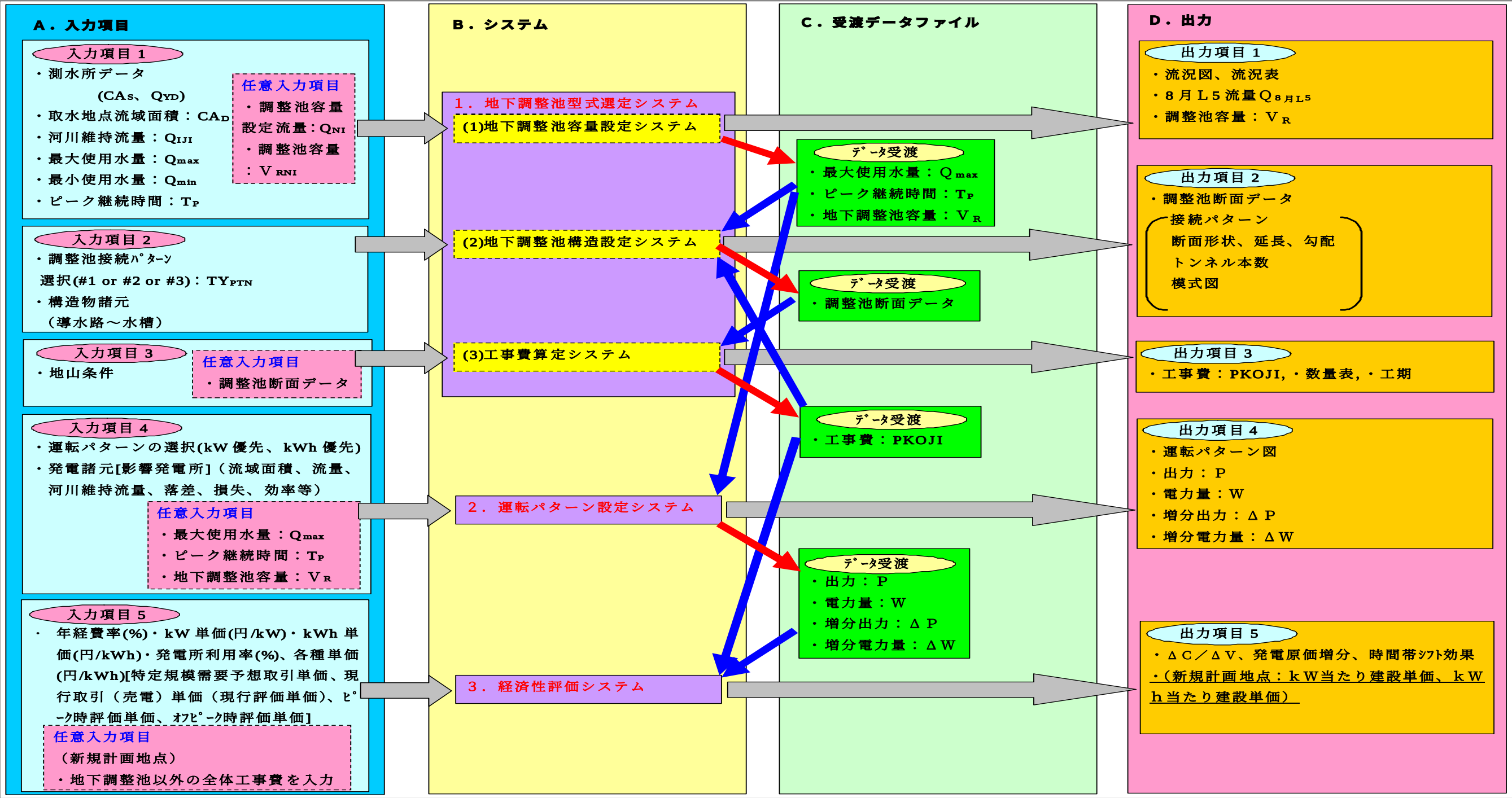
なお、本計算結果は、あくまで1つの条件下における計算値であり、実際にはC 1、C 2 発電所は、現行でピーク運用がなされている。また、C 4 発電所では、上流のピーク運用を平滑化する逆調整運用がなされている。

III 地下調整池 開発計画支援システムの構築

1. 1 開発計画支援システム全体構成

開発計画支援システムの全体構成は、図III-1.1に示すとおりであり、以下の5つのシステムで構成される。

1. 地下調整池型式選定システム ((1)地下調整池容量設定システム、(2)地下調整池構造設定システム、(3)工事費算定システム)
2. 運転パターン設定システム
3. 経済性評価システム



図III-1.1 開発計画支援システム全体構成

1.2 地下調整池型式選定システム

地下調整池型式選定システムは、「地下調整池容量設定システム」、「地下調整池構造設定システム」、「工事費算定システム」の3つから構成される。

1.2.1 地下調整池容量設定システム

渇水期の流量時に、設定されたピーク継続時間内において最大もしくは可能な限り高い出力でピーク運転が可能な容量を設定する。

(a) 入力データ

- ①近傍測水所の流域面積(km²) : CA_s
- ②測水所流量データ(m³/s) : Q_{yd}(y, m) y=1~10年、m=1~12月
- ③取水地点流域面積(km²) : CA_d
- ④河川維持流量(m³/s) : Q_{IJI}
- ⑤最大使用水量(m³/s) : Q_{max}
- ⑥最小使用水量(m³/s) : Q_{min}
- ⑦ピーク継続時間(h) : T_p

(b) 任意入力データ

- ①調整池容量設定流量(m³/s) : Q_{NI}
- ②調整池容量(m³) : V_{RNI}

(c) システム処理データ

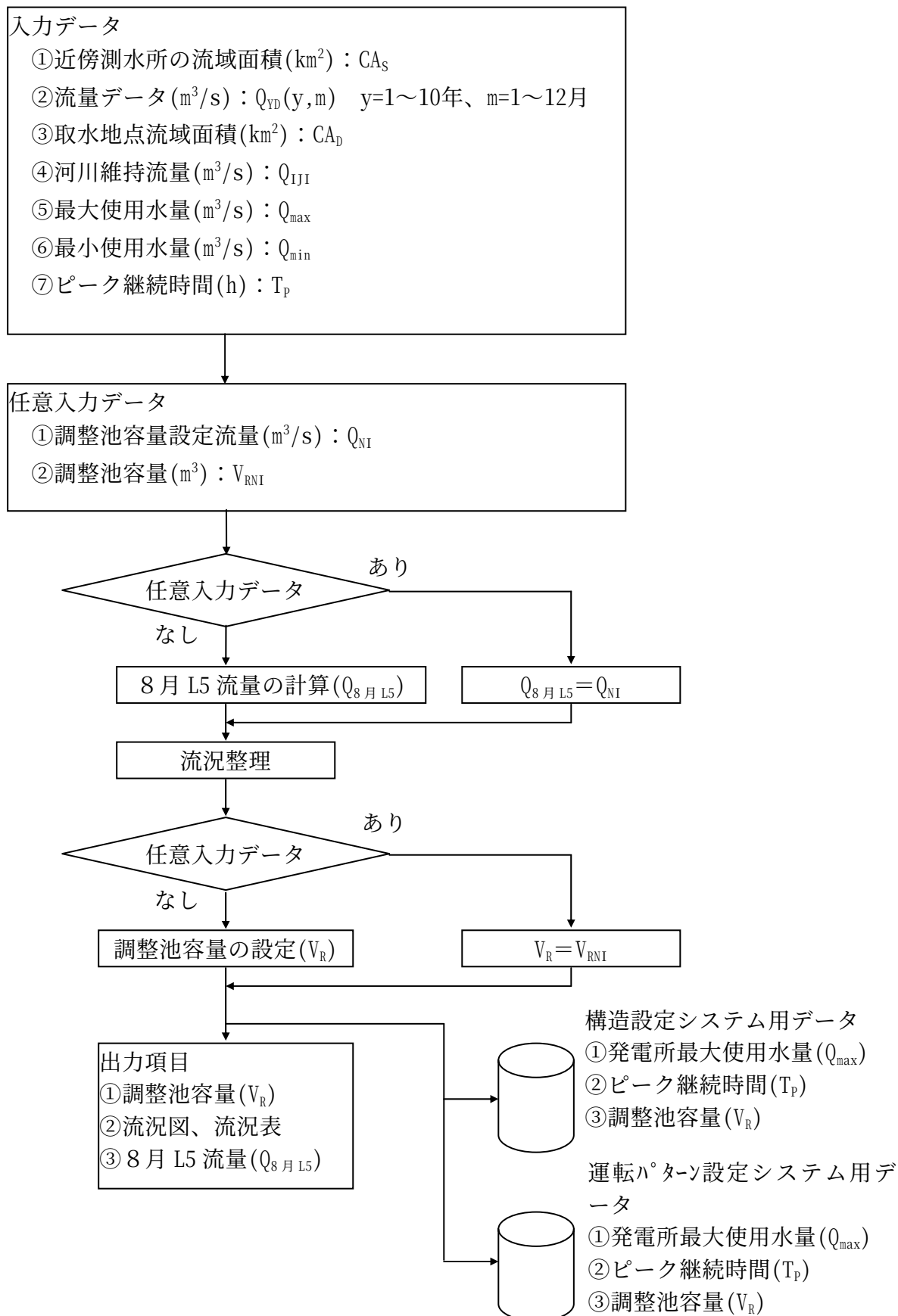
- ①8月L5流量(m³/s) : Q_{8月L5}
- ②流況データ
- ③調整池容量(m³) : V_R (Q_{max}、Q_{min}、Q_{8月L5}、T_pから算出)

V1、V2のうち、いずれか小さい方を決定

$$V1 = (Q_{\max} - Q_{8\text{月}L5}) \times T_p \times 3600$$

$$V2 = (Q_{8\text{月}L5} - Q_{\min}) \times (24 - T_p) \times 3600$$

(d) 地下調整池容量設定システムフロー



1. 2. 2 地下調整池構造設定システム

ピーク継続時間を満足し、経済的な地下調整池構造（断面形状、延長、勾配等）を設定する。

（a）入力データ

①調整池接続パターン： TY_{PTN}

(=1 導水路途中接続案、=2 水槽接続案、=3 導水路調整能力付加案)

②土木構造物諸元

導水路敷高(始点、終点)(m)、導水路内等流水深(m)、水槽水位(m)(HWL、NWL、LWL)、地下調整池延長(m)、地下調整池粗度係数

（b）入力データ(地下調整池容量設定システムより)

①発電所最大使用水量(Q_{max})

②ピーク継続時間(T_p)

③調整池容量(V_R)

（c）入力データ(工事費算定システムより)

①地下調整池工事費(PK0JI)

（d）システム処理データ

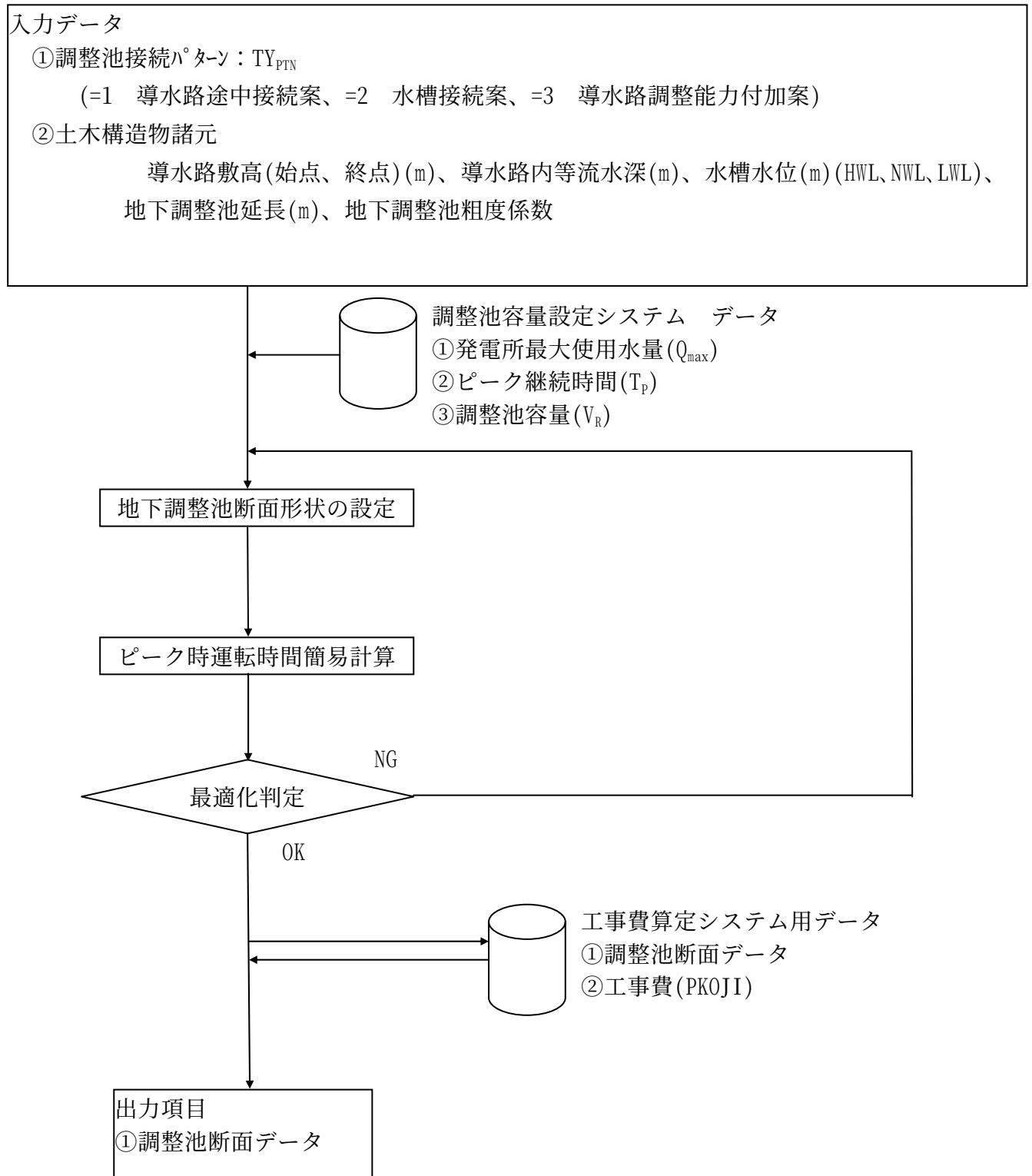
①地下調整池断面形状データ(接続パターン、構造物諸元、 Q_{max} 、 T_p 、 V_R より設定)

(接続位置、標高、断面形状、延長、勾配、トンネル本数、模式図)

②ピーク運転時間(地下調整池断面形状、 Q_{max} 、 V_R から T_p を満足する確認)

③地下調整池断面の最適化(上記①、②および工事費から)

(e) 地下調整池構造設定システムフロー



1. 2. 3 工事費算定システム

地下調整池構造設定システムで設定された構造について、工事費を算出する。

(a) 入力データ

①地山条件

(b) 入力データ(地下調整池容量設定システムあるいは入力より)

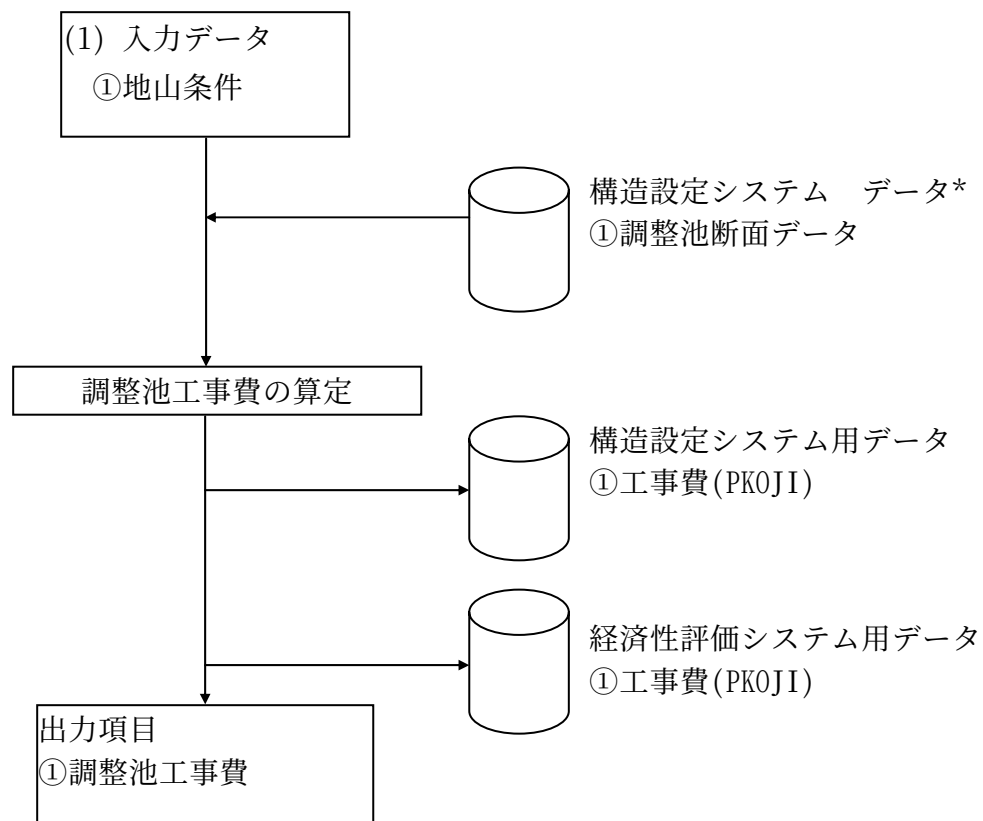
①調整池断面データ

(c) システム処理データ

①地下調整池工事費(PK0JI)

②流量調整ゲート費用、制御システム改造費、地下調整池トンネル工事費仮設費用

(d) 工事費算定システムフロー



* 工事費算定システムのみを利用する場合は入力

1. 3 運転パターン選定システム

- ・運用条件の設定

（調整運転を行うことにより影響する発電所の諸元（総合効率、有効落差等）及び流域面積、流量を入力し、各取水ダム地点における取水可能量、使用水量に応じた有効落差を算定する）

- ・運転パターンの設定

（kW重視（ピーク時に出力が最大となる運用）もしくはkWh重視（発電電力量が最大となるようピーク時間を調整する運用）の選択により、最適な運転パターンを設定する）

- ・年間発電電力量、有効出力の算出

（調整を全く行わない流れ込み式発電を行った場合と比較し、増分出力ならびに増分電力量を算出する）

（a）入力データ

①運転パターン(=1 kW優先①、=2 kW優先②、=3 kWh優先)

②発電所諸元データ（影響発電所）

流域面積(km²)、流量データ、河川維持流量(m³/s)、最大使用水量(m³/s)、常時使用水量(m³/s)、発電可能最小流量(m³/s)、水槽水位(m)、放水位(m)（最大時、常時）、最大使用水量時の損失落差(m)、総合効率：QRAT(i)、 η ：ETA(i)（i任意個数）

（b）入力データ(地下調整池容量設定システムあるいは入力より)

①発電所最大使用水量($Q_{\max}$)

②ピーク継続時間(T_p)

③調整池容量(V_R)

（c）システム処理データ

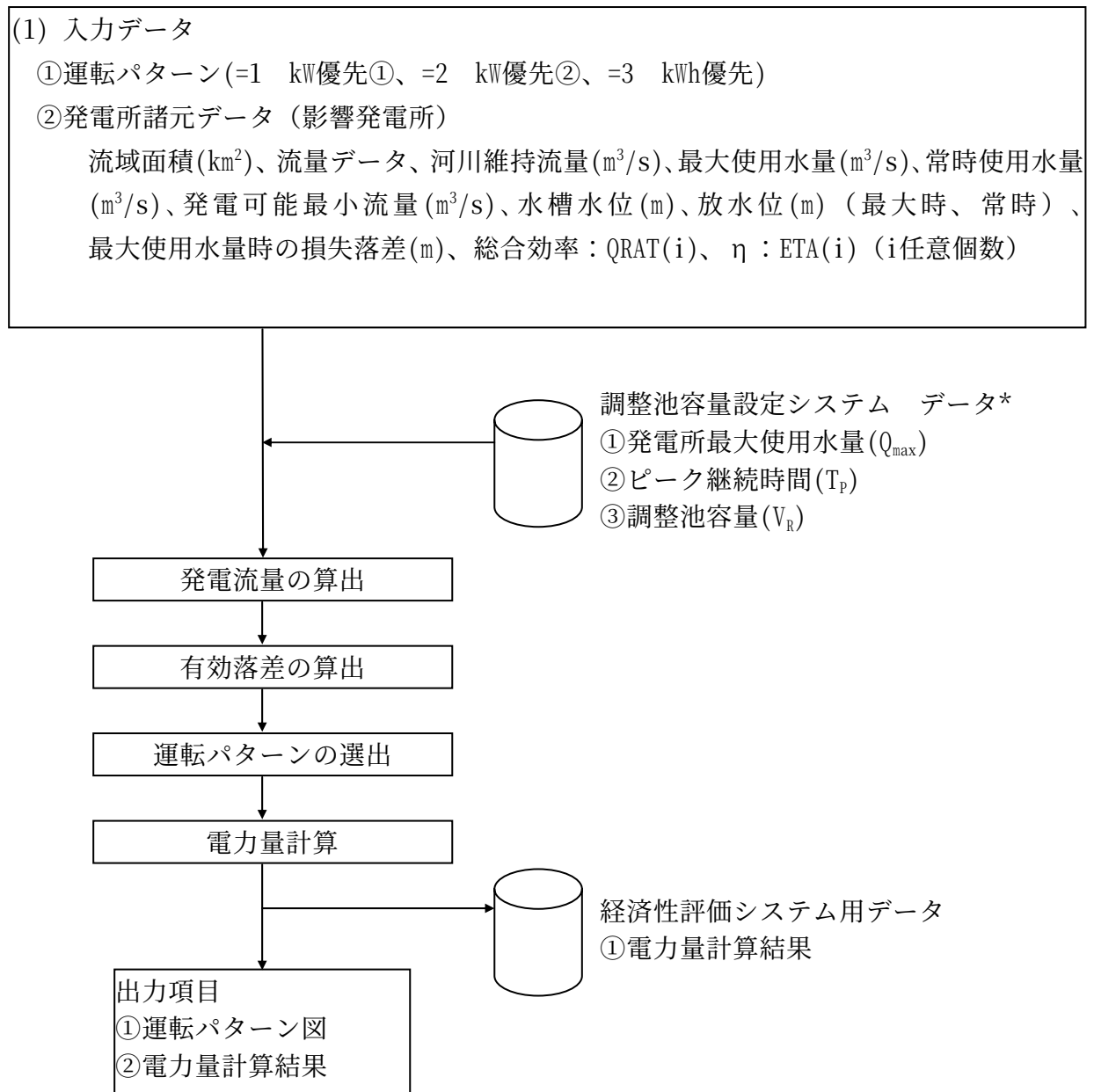
①発電所利用可能水量(m³/s)：QKANO

②有効落差(m)：YUKRAKU

③最適運転パターン

④出力P、電力量W、増分出力 ΔP 、増分電力量 ΔW

(d) 運転パターン設定システムフロー



* 運転パターン選定システムのみを使用する場合は入力

1. 4 経済性評価システム

年経費率、kW単価、kWh単価、各種評価単価等を設定し、地下調整池を構築することによる費用（C）ならびに便益（V）を算出する。これらを基に、C/V指標、発電原価指標、電力量時間帯シフトによる効果等の指標により経済性評価を行う。

（a）入力データ

- ①年経費率(%)
- ②kW単価(円/kW)
- ③kWh単価(円/kWh)
- ④発電所利用率
- ⑤各種単価(円/kWh) 特定規模需要予想取引単価、現行取引（売電）単価（現行評価単価）、ピーク時評価単価、オフピーク時評価単価

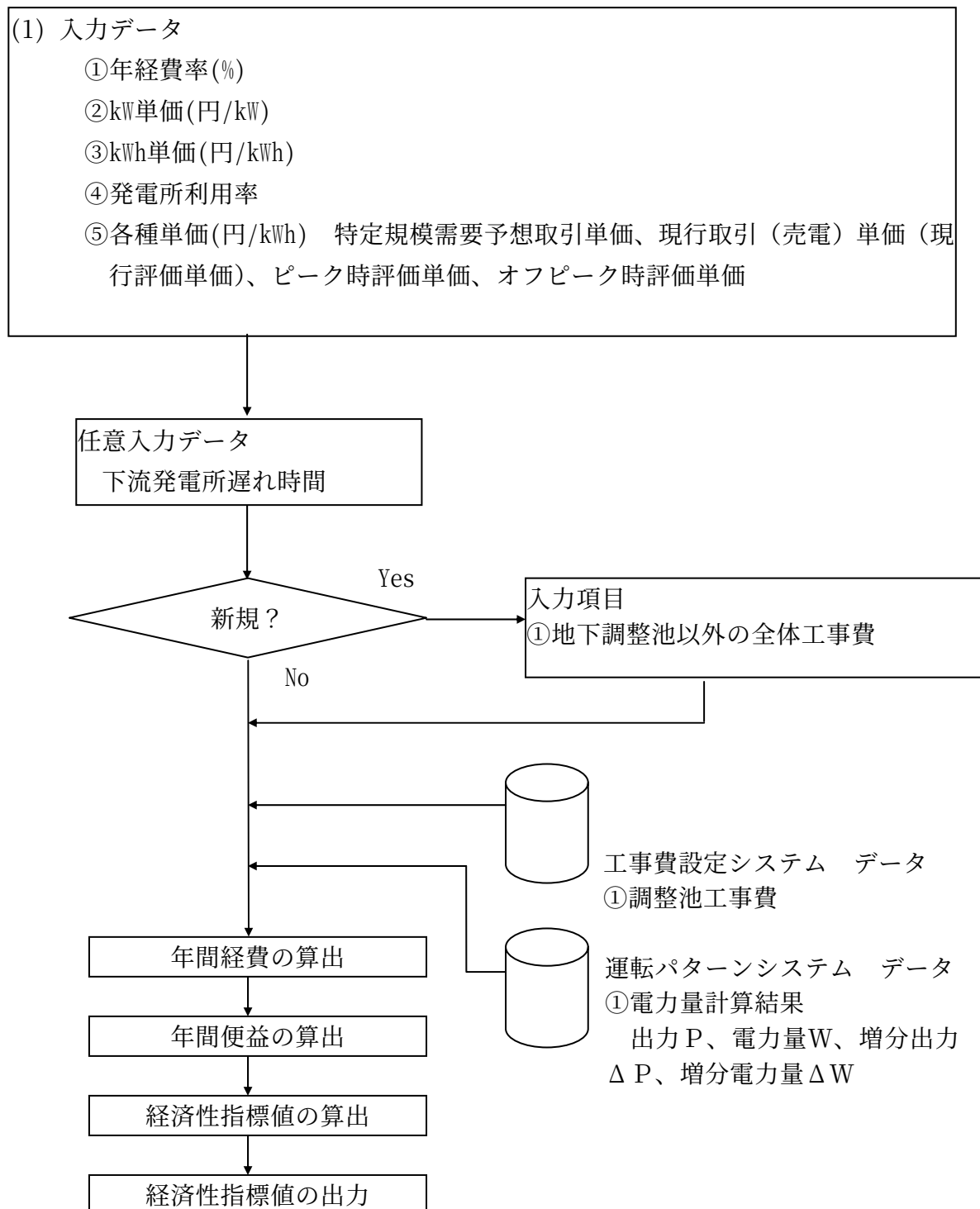
（b）任意入力データ(新規計画地点の場合に入力する)

- ①下流発電所遅れ時間（電力量時間帯シフトによる効果算定時に利用する）
- ②地下調整池以外の全体工事費(新規計画地点の場合に入力する)

（c）システム処理データ

- ①費用C(千円)
- ②便益V(千円)
- ③経済性指標値
C/V、発電原価増分（円/kWh）、増収単価（円/kWh）、電力量時間帯シフトによる
 $\Delta C / \Delta V$
[新規計画地点 kW当たり建設単価、kWh当たり建設単価]

(c) 経済性評価システムフロー



地下調整池 開発計画マニュアル

平成19年3月

財団法人 新エネルギー財団

(経済産業省 資源エネルギー庁 委託調査)

まえがき

これまでの水路式水力発電所は、河川水をそのまま取水して発電しているため、ピーク対応の電源とはなっておらずベース電源として位置付けられている。

「地下調整池による水路式発電所技術開発調査」の目的は、夜間（オフピーク時）の河川水を新たに設置する地下調整池に貯留し、昼間のピーク時間帯にピーク発電を行う調整能力を流れ込み式水力発電所に付加するとともに、発電電力量の増加を図るものである。

本調査は、「効率的な水運用技術の開発」と「地下調整池構築技術の開発」及びこれらを組み合わせた「開発計画支援システム」を構築し、経済的な地下調整池の規模、運転パターンの設定が容易にできることを目的とする。

表 1 調査スケジュール

調査項目	14 年度	15 年度	16 年度	17 年度	18 年度	備 考
基本構想の検討						
現状調査・技術検討						
ケーススタディ						
経済性評価方法の検討						
実証試験要領作成						
実効性の再検証						
既設地点への適用による本技術 の効果の検証						アンケート結果のフォロー
地下調整池 開発計画支援システムの構築						
地下調整池 開発計画マニュアルの策定						

(1) 平成 14 年度の調査内容

平成 14 年度は、事前可能性調査の内容を整理し、今後の技術的課題、発電所の立地環境条件（新設、既設、単独、シリーズの別など）を再確認し、本調査の方向性を明確にした。地下調整池の構築技術の現状調査を行い、経済的に地下調整池を構築するための技術開発項目を抽出した。

(2) 平成 15 年度の調査内容

平成 15 年度は、要素技術の検討として、地下調整池の接続方式の違いによる構造的、水理的課題の検討、シリーズの発電所の効率的な水運用方法および地下調整池構築において導入が見込まれる新技術の工費・工期低減効果、概算工事費算定フローの検討を実施した。

(3) 平成 16 年度調査内容

平成 16 年度は、具体的地点におけるケーススタディによる課題の抽出および検討を実施した。さらに、実証試験のための試験要領を作成した。

(4) 平成 17 年度の調査内容

平成 17 年度は、本調査により期待される技術開発効果を定量的に把握し検証することで、本調査の実効性を再検証した。実効性の確認後、開発計画支援システムおよび地下調整池 開発計画マニュアルの骨子を策定した。

(5) 平成 18 年度の調査内容

平成 18 年度は、平成 17 年度に実施した事業者へのアンケート結果のフォローを実施した。さらに、平成 17 年度までにとりまとめた成果をベースに協議・検討を重ね、開発計画支援システムを構築するとともに、それらを取りこんだ地下調整池 開発計画マニュアルを策定した。

地下調整池部会 委員名簿

(平成18年度)

役名	氏 名	所 属 お よ び 職 名		
主査	尾関 正典	中部電力(株)	発電本部 土木建築部	業務グループ長・部長
委員	田畑 規志雄	北陸電力(株)	土木部 土木計画チーム	副課長
委員	林 三千夫	関西電力(株)	土木建築室 土木グループ	リーダー
委員	浅川 晴俊	山梨県企業局	電気課	課長補佐
委員	黒川 昌彦	東京発電(株)	水力事業部 設備管理・開発グループ	マネージャー

本マニュアルは、平成18年度に資源エネルギー庁の委託により（財）新エネルギー財団が実施した、「水力資源有効活用技術開発調査」のうち、「地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査」の成果をとりまとめたものである。

本調査を実施するにあたっては、（財）新エネルギー財団に上記専門部会を設置し、本調査に関する基本事項、具体的・専門的事項について審議した。

目 次

第1章 一般	1-1
1.1 目的	1-1
1.2 地下調整池システムの基本概念	1-2
1.3 本技術により期待される効果	1-5
1.4 適用範囲	1-6
1.5 検討の進め方	1-7
第2章 調査・計画	2-1
2.1 調査	2-1
2.1.1 調査目的	2-1
2.1.2 調査項目	2-1
2.1.3 調査の区分	2-5
2.2 計画	2-6
2.2.1 ピーク継続時間	2-6
2.2.2 地下調整池容量	2-7
2.2.3 接続パターンと流量制御方法	2-8
2.2.4 地下調整池貯留可能高さの制約	2-11
2.2.5 その他	2-13
第3章 設計	3-1
3.1 地下調整池容量	3-1
3.2 地下調整池構造	3-4
3.2.1 施工断面の標準化	3-4
3.2.2 地下調整池構造の設定	3-9
3.3 調整池運転パターン	3-15
第4章 施工	4-1
4.1 地下調整池の施工法について	4-1
4.2 発破掘削工法による地下調整池トンネルの施工	4-2
4.2.1 施工概要	4-2
4.2.2 長孔発破技術	4-3
4.2.3 爆薬技術	4-5
4.2.4 コンピュータ制御自動削孔技術	4-7
4.2.5 高強度吹付けコンクリート技術	4-9
4.2.6 シングルシェル技術	4-10
4.3 TBM掘削工法による地下調整池トンネルの施工	4-13
4.3.1 施工概要	4-13
4.3.2 カッタービットの急速交換技術	4-14
4.3.3 カッタービットの長寿命化技術	4-15
4.3.4 簡易ライナーの導入	4-16

4.3.5 楕円TBMの採用	4-17
4.3.6 シングルシェル技術	4-18
第5章 工事費	5-1
5.1 工事費と工期の算出について	5-1
5.2 発破掘削工法による地下調整池トンネルの工事費と工期の設定	5-3
5.2.1 発破掘削工法による地下調整池トンネルの工事費	5-3
5.2.2 発破掘削工法による地下調整池トンネルの工期	5-8
5.3 TBM掘削工法による地下調整池トンネルの工事費と工期の設定	5-12
5.3.1 TBM掘削工法による地下調整池トンネルの工事費	5-12
5.3.2 TBM掘削工法による地下調整池トンネルの工期	5-17
第6章 経済性評価	6-1
6.1 経済性評価手法	6-1
第7章 発電所の運転維持管理	7-1
7.1 発電所の運転	7-1
7.1.1 発電所運転パターンの設定	7-1
7.1.2 流量制御方法	7-2
7.1.3 ゲート制御方式	7-6
7.1.4 水車ガイドベーン制御方式	7-7
7.2 発電所の維持管理	7-13

(巻末資料)

1. 地下調整池 開発計画支援システム 説明書	資料1-1
2. ケーススタディ結果	資料2-1
3. 工事費算定システム基準	資料3-1
4. 地下調整池ピーク継続時間の簡易算定方法	資料4-1
5. 遺伝的アルゴリズム (GA) の概要	資料5-1
6. 地下調整池 構築技術 コスト低減要因	資料6-1

第1章 一般

1.1 目的

本マニュアルは、水路式発電所の導水路に地下調整池を構築し、河川流量の少ない時期でも、夜間のオフピーク時に貯留した河川水を昼間のピーク時間帯に利用して、最大出力での発電と発電電力量（kWh）の増加を図ることにより、河川の貴重な水資源の有効活用を促進する手法を示す。

【解説】

水力発電は再生可能エネルギーの中では最も安定した発電ができる優れたエネルギーであり、エネルギーセキュリティの面から、またCO₂削減対策上も、水力発電の開発によって、自然河川の貴重な水資源を有効活用する必要性は高まってきている。

これまでの水路式水力発電所は、河川水をそのまま取水して発電しているため、ピーク対応の電源とはなっておらずベース電源として位置付けられているが、流量変化のある河川水を調整する機能を付加することができれば、水資源を有効に活用し有効出力と発電電力量を増加させること、すなわち、潜在化している発電規模を顕在化させることが可能となる。しかしながら、現状では、経済性の悪化や環境保全への一層の配慮が必要となるため、地上における調整機能の付加が困難な状況にある。

このような背景のもと、水資源の有効活用と環境への負荷抑制の観点から、水路式水力発電所の導水路に地下調整池を構築して調整機能を付加することにより、最大出力での発電と発電電力量の増加を図るという新たな発電方式「地下調整池による水路式発電所増強技術」を考案するとともに、本発電方式に必要な要素技術として、効率的に河川水を運用する技術（水運用技術）と低コストで地下調整池を構築する技術（地下調整池構築技術）を確立した。

この新しい発電方式である「地下調整池による水路式発電所増強技術」について、効率的な水運用に関わる手法や低コストで地下調整池を設置する手法を示すことにより、本技術を広く一般に普及させ、水資源の有効活用を促進することを目的とする。

1. 2 地下調整池システムの基本概念

本マニュアルで記述する地下調整池システムとは、従来の水路式水力発電所の基本的な施設に地下調整池を付加するだけの単純な構造である。具体的には導水路の途中もしくは水槽部分に地下調整池を付加し、夜間のオフピーク時の水をこの地下調整池に貯留するとともに、昼間のピーク時間帯にこの水を利用して発電を行い、ピーク時の有効出力の増加と効率向上に伴う発電電力量の増加を目的とした技術である。

【解説】

地下調整池の基本概念図（一例）を図1－1に示すが、地下調整池は導水路の途中もしくは水槽部分に設置する。

図1－2に24時間の水運用概念図を示すが、夜間のオフピーク時の水を昼間のピーク時間帯に利用することにより、有効出力の増加を図ることができる。

また、図1－3に示すとおり、効率向上による発電電力量の増加も期待できる。

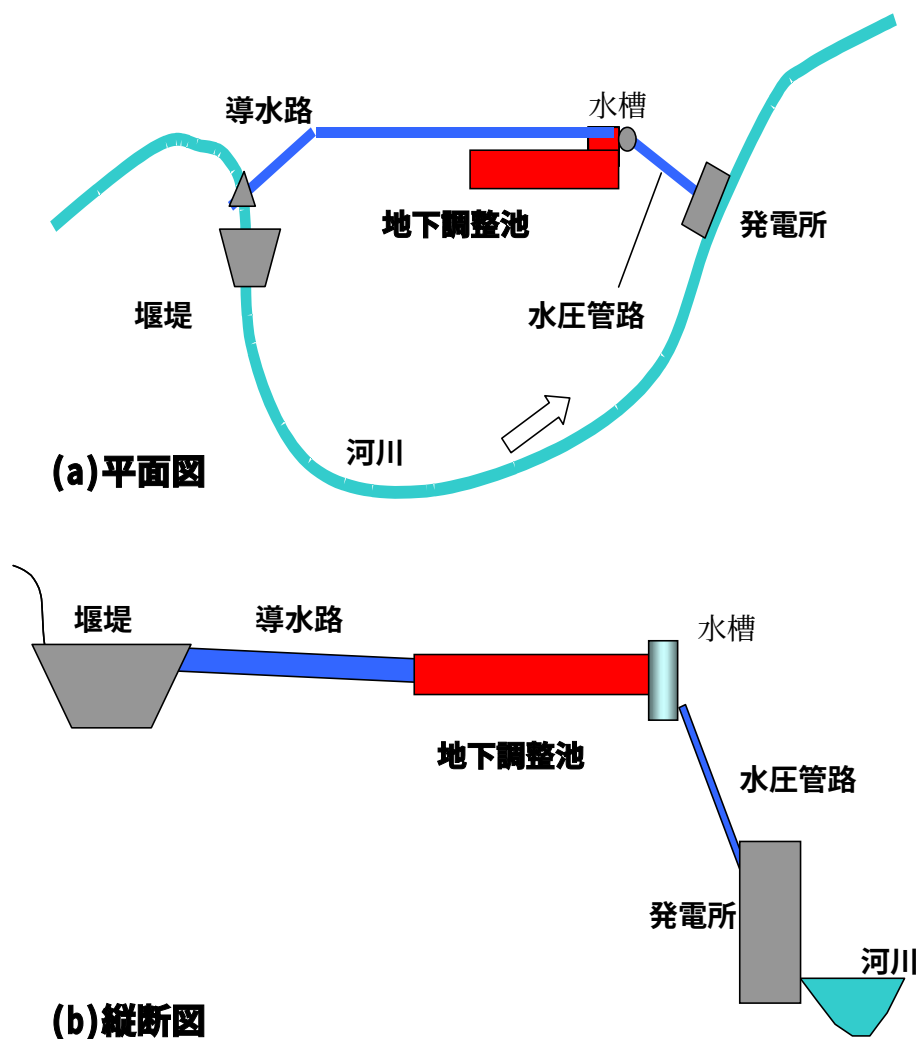


図1－1 基本概念図（一例）

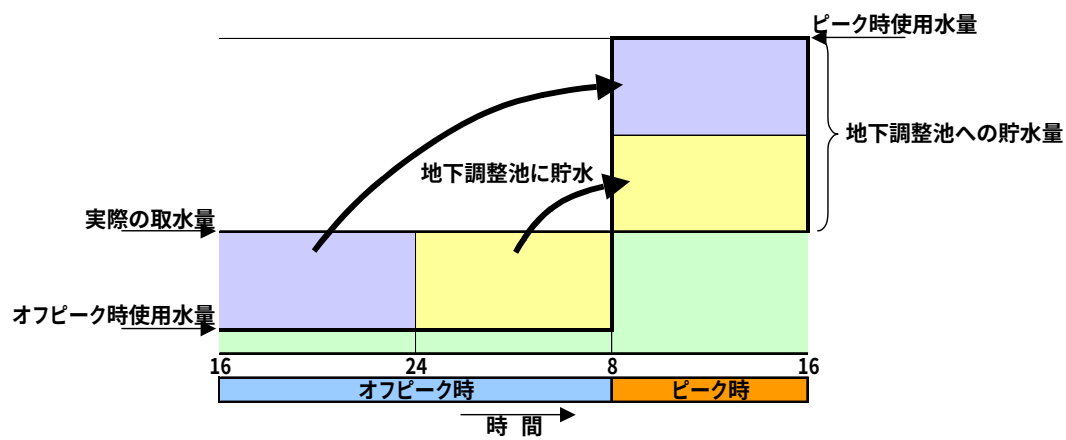


図 1 - 2 24 時間の水運用概念図

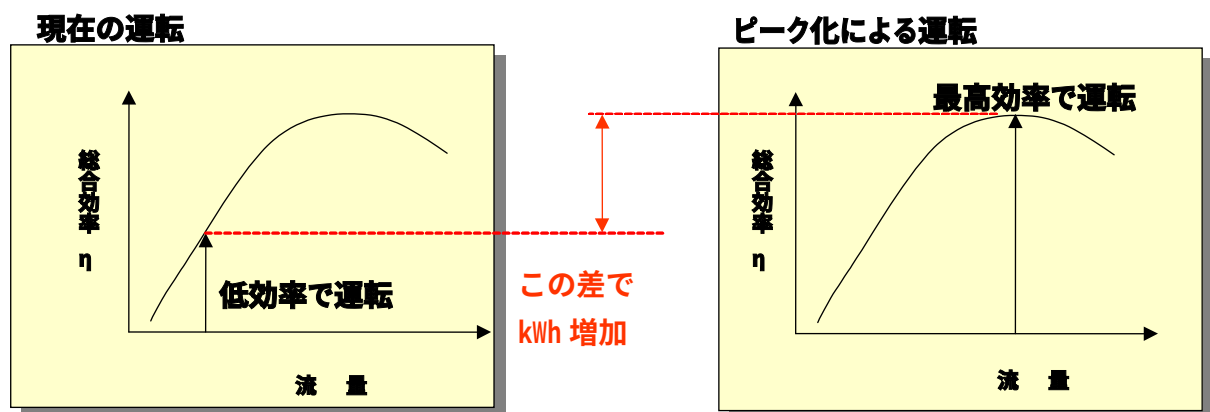


図 1 - 3 効率向上による発電電力量の増加

次に本構想に基づく水運用による流況の変化の概念は、図1－4に示すとおりである。前述のように、夜間オフピーク時のある一定量を地下調整池に貯留し、昼間のピーク時に発電使用すれば、流量が少ない時期であっても、最大出力あるいはその近傍での運転が可能となる。図1－4に示すように、本技術を適用することによって、ピーク時において流況曲線が見掛け上増加したような状況を作り出すことができる。すなわち、地下調整池設置前においては、実際の流況曲線に対して、**A**－**B**－**E**で示される取水曲線に対して発電が行われることになるが、地下調整池を設置することにより、ピーク時においては、図1－4に示すピーク時の見掛けの流況曲線に従い、**A**－**B**－**C**－**D**といった取水曲線での発電が行われることになる。

一方、夜間のオフピーク時においては、見掛け上図中の**B**点（ t_1 日流量が最大使用水量に一致する日流量）より左側の最大使用水量より大きな流量においては、最大使用流量で、**B**点より右側の最大使用水量以下の流況においては**B**－**E**で示される実際の流況曲線に対して、**B**－**F**といったオフピーク時の見掛けの流況曲線で発電が行われることになる。

したがって、図中に示す t_1 日流量から t_2 日流量の間では、実際の流況曲線において最大使用水量以下の流量であるにもかかわらず、電力価値の高いピーク時において最大出力近傍での発電が可能となる。

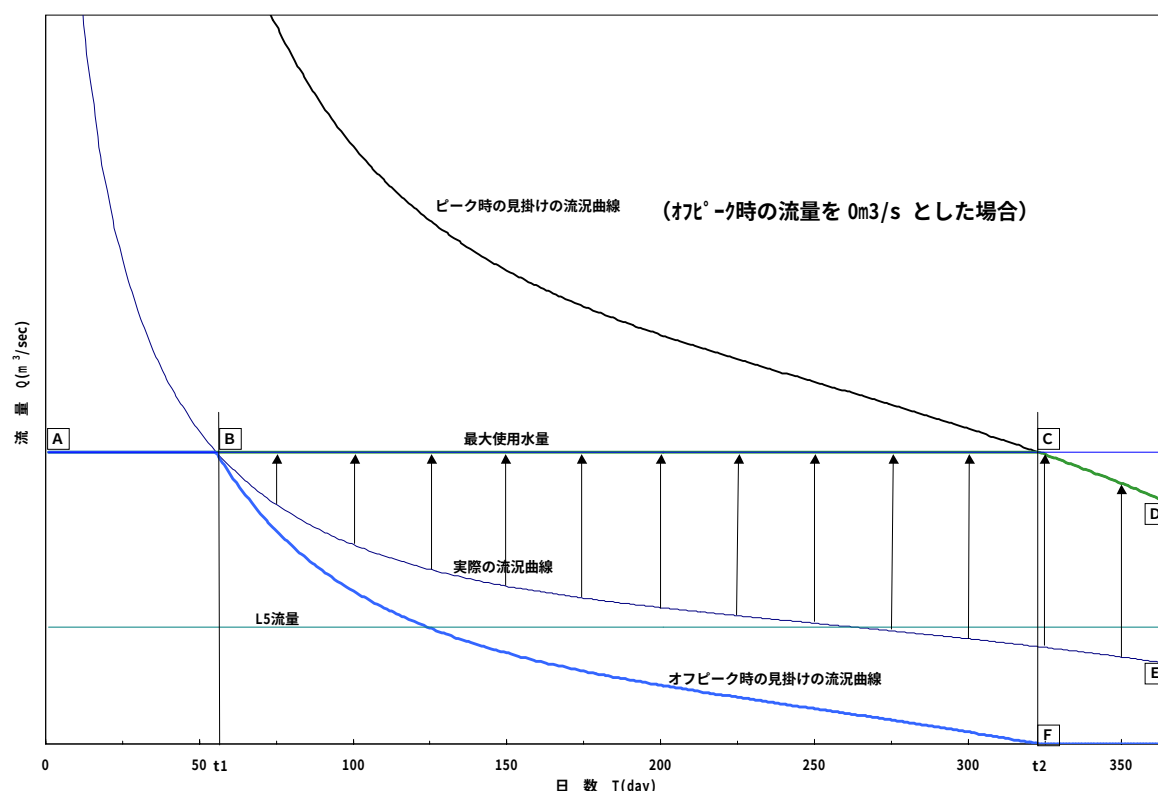


図1－4 地下調整池設置に伴う見掛け上の流況の変化

1. 3 本技術により期待される効果

本マニュアルで記述する地下調整池設計・施工技術により期待される効果は以下の3つである。

- (1) 有効出力(kW)と発電電力量(kWh)の増加
- (2) 効率的な地下調整池の構築
- (3) 環境保全

【解説】

(1) 有効出力(kW)と発電電力量(kWh)の増加

ピーク発電時には常に最大使用水量付近での運転が可能となるため、有効出力(kW)の増加を図るだけでなく、水車・発電機の総合効率が向上し、発電電力量(kWh)の増加も期待できる。すなわち、ピーク発電時には最大出力にほぼ等しい出力で発電可能となり、この意味では潜在化している発電所規模を顕在化させることが可能となる。

また、シリーズ発電所では、最上流発電所に本技術を採用するだけで、シリーズ全体としてのピーク化が期待でき、有効出力(kW)と発電電力量(kWh)の増加が期待できる。

a 新設発電所の計画

新規の水力発電所計画では、河川維持流量放流義務量の増加から、水車の運転下限使用水量を下回る日数が増加している傾向にある。そこで、本システムを採用し、渇水期の無効放流を無くし、全水有効に利用することができる。

b 既設発電所

運転を行っている調整池式発電所において、効率的な運用パターンの設定が可能となる。また、既設流れ込み式発電所の潜在化している能力を有効に利用することができる。

(2) 効率的な地下調整池の構築

発破工法やTBM工法において、トンネル掘削の新技术を採用することにより、効率的な地下調整池を構築できる。

(3) 環境保全

a 地球温暖化対策

ピーク電力需要に対応した発電が可能となり、火力発電所等の負荷調整運転の軽減に貢献できる。

b 河川環境

地下調整池はダムにより地上に調整池を構築する場合と比較して、調整池を地下に設置するため、地上景観に与える影響や河川環境に与える負荷が小さい。

1. 4 適用範囲

本マニュアルは、地下調整池構築に係わる調査、設計、施工、工程計画及び積算に適用する開発計画段階のマニュアルである。新設発電所の計画及び既設発電所に新たに地下調整池を構築する際に、「河川環境」「発電所立地条件」「法規制関係」について配慮する。

【解説】

地下調整池の計画を検討するに当たり、以下に示す項目に留意して地点選定を行う必要がある。

(1) 河川環境

流れ込み式の発電に対して、調整池式の発電を行うことから、下流河川の状況（危害防止、下流利水、魚族の保護、景観等）を考慮する必要がある。

特に、調整運転することより発電使用水量が増減するため、下流に貯水池を有するダムが存在する地点、大きな河川との合流部付近に放水口が存在する地点、川幅が広い河川に放水口が存在する地点等、下流河川の水位変動が小さい地点が適している。水位変動の影響が懸念される地点においては、別途詳細な検討（調整運転立ち上げ時に伴う放流量限度曲線の検討等）が必要となる。

また、地下調整池への貯留時は、放水口下流の河川水量が減少するため、河川の正常な機能を保持する観点から、発電の最小使用水量を設定することも考える必要がある。

(2) 発電所立地条件

a 導水路延長

地下調整池に貯留する水は、基本的に取水水位と水槽水位の高低差の間に貯留する。導水路延長が短い地点では、この高低差が取れないため、最低でも導水路延長が $L=2,000\text{m}$ 程度以上無い地点では、地下調整池によるピーク立必要量の確保は困難となる。

b 落差

地下調整池構築により得られる効果として、有効出力の増加が主である。したがって、発電所規模がある一定以上大きくないとメリットは得難く、単独発電所では有効落差 300m以上、シリーズ発電所では合計の有効落差が 350m以上の地点が有効と想定される。

c 河川流況

河川流量が最大使用水量以上ある時期は、流れ込みの運転でも最大出力の確保が可能であり、地下調整池を利用する時期は、河川流量が最大使用水量に満たない時期に限定される。すなわち、河川流量が少ない状況下で、ピーク化することによる有効出力の増加、発電効率向上による電力量の増加が期待できる。したがって、流況が悪く、流量設備利用率の低い地点を対象地点として選定した方が、地下調整池構築により大きなメリットが得られることとなる。

(3) 法規制関係

地下調整池の構築は、地上にダムを構築して調整池を設置するのに対して、環境に与える影響は小さいものの、自然環境保全法、自然公園法等を考慮する必要がある。

1. 5 検討の進め方

地下調整池の開発計画検討を効率的に行う目的で、「地下調整池 開発計画支援システム」を利用することが可能である。

「地下調整池 開発計画支援システム」は、「地下調整池容量の設定」、「地下調整池構造の設定」、「工事費の算定」、「運転パターン選定」、「経済性評価」と一連の検討を行うことが可能である。

【解説】

地下調整池の開発計画検討を効率的に行う目的で、「地下調整池 開発計画支援システム」を構築した。「地下調整池 開発計画支援システム」は、既設発電所に新たに地下調整池を構築する場合と新規の流れ込み式発電所計画地点に地下調整池を付加する場合を対象として、「地下調整池容量の設定」、「地下調整池構造の設定」、「工事費の算定」、「運転パターン選定」、「経済性評価」と一連の検討を実施し、評価を行うことが可能である。

なお、本マニュアル記載の調整池運転パターンの検討方法（開発計画支援システム：運転パターン選定システム）は、主に地下調整池の開発計画を前提とした技術であるが、既設設備（中間調整池、調整利用可能な遊休水路、導水路内貯留等）を利用した、最適運転パターンの検討においても利用可能である。

第2章 調査・計画

2.1 調査

2.1.1 調査目的

調査の目的は、地下調整池の開発に対して、経済性を確保した上で、計画、設計、施工、運用するために必要となる開発計画支援システムの資料を得るものとする。

【解説】

本調査は、地下調整池の開発地点の設計および施工計画を行うための資料を得ることを目的とする。調査は、地下調整池の可能性評価、工事規模の決定、設計、施工、運用の各段階において必要となるものであり、これらを考慮して調査を行う。

2.1.2 調査項目

調査は、下記項目を行うことを原則とする。

- (1) 流量調査
- (2) 地形調査
- (3) 地質調査
- (4) 立地条件調査
- (5) 既設発電所現況調査
- (6) その他

【解説】

(1) 流量調査

流量調査は、地下調整池の計画を策定する上で最も重要なデータとなる。通常の発電計画策定時と同様に、新規の場合には「最近の連続10年間以上の開発地点直近の測水所における測水結果」、または既設発電所においては、「最近の連続10年間以上の取水口地点流量データ」を収集・整理する必要がある。

(2) 地形調査

調査の初期段階では公刊されている1/25,000地形図を用い、計画の実行度（確実度）に応じて、航測図化平面図の作成や実測平面図の作成といった手順を踏む。

また、地下調整池は山岳地域に構築されるので工事用進入路の確保や掘削残土の処分地等について考慮する。

(3) 地質調査

地形および地質は、施工方法、施工設備、施工機械等の施工計画を決定する重要な要素であり、特に地質調査については、調査方法、調査箇所、調査資料等を十分検討し、調査結果について判断を誤ることのないように実施する必要がある。

地下調整池構築に際しては、延長の長い調整池トンネルの全長に亘ってボーリング調査を行うことは困難であるので、地表踏査や弾性波探査によって地質構造を把握した上で、坑口部や地質弱部、トンネル接続箇所などの重要構造物箇所を重点的にボーリング調査するなど、効率的な調査計画を立案し、段階的な調査を行うことが望ましい。

調査に当たっては、地盤の構成状態、岩盤等級、工学的性質、地下水状況およびその他特殊状況について整理する必要がある。

主要調査項目を以下に示す。調査の詳細については、『中小水力発電ガイドブック』や『中小水力発電の新技术の手引き』等を参考にすること。

- ① 地表踏査
- ② 空中写真判読
- ③ 物理探査
- ④ ボーリング調査

(4) 立地条件調査

a 下流河川の状況

下流河川の状況は、調整池の運用を大きく左右する要因であることから、特に、下流河川の危害防止（水位変動）、下流利水、魚族の保護、景観等の観点から、地点毎の河川特性を十分把握しておく必要がある。

b 法規制関係

地下調整池を有する発電所構築に伴う関係法令として、次のようなものがあり当該計画地点において、関連する法令について調査を行う必要がある。なお、詳細については、『中小水力発電ガイドブック』等を参考にすること。

(a) 河川法

第 26 条（工作物の新築等）の許可が必要である。ただし、施工計画や設置の位置によっては更に第 25 条（土石等の採取）、第 27 条第 1 項（土地の掘削等）、第 55 条第 1 項（河川保全区域内における土地の形状変更又は工作物の新築等）及び第 57 条第 1 項（河川予定地内における土地の形状変更又は工作物の新築等）の申請が加わる。

※1 地下調整池設置に関して、河川管理者にヒアリングした結果から想定される指導事項は次のとおりである。

- ・水の使用法（運用方法）に関する説明書（下流河川の危害防止）
- ・放水口下流の正常流量に関する検討書等

※2 河川管理者は、河道外貯留（河川区域外に水を貯留すること）を「必要のない時期

に必要以上の取水を行い、貯留することを原則として許容しない」という観点から、極力回避する方向で指導しているようであるが、水力発電所の場合は、取水した水量を全て発電利用することから、この限りではないと考えられる。

(b) 電気事業法

水力発電所新設に関する関連条項は、原則として、第 9 条（電気工作物等の変更）、第 48 条（工事計画の事前届出）が主な関連条項となる。

(c) その他の関係法令

その他の関係法令としては、自然環境保全法、自然公園法、森林法、絶滅のおそれのある野生動物の種の保存に関する法律、文化財保護法等を考慮する。

また、トンネル掘削ズリの処理については、土壤汚染対策法に準拠して重金属等による汚染防止を図る。

(5) 既設発電所現況調査

a 発電所諸元

地下調整池を計画する当該発電所についての諸元関係を把握しておく必要がある。基本的には、以下のデータが必要となる。

- ・ 発電所の最大出力 $P_{\max}(\text{kW})$ 、最大使用水量 $Q_{\max}(\text{m}^3/\text{s})$ 、有効落差 $H_e(\text{m})$

b 設備の諸元

地下調整池を計画する当該発電所について、調整池の接続パターン、接続位置または制約条件を把握する上で、設備の諸元関係を把握しておく。基本的には、以下のデータが必要となる。

- ・ 取水口：取水位(WL.m)
- ・ 沈砂池：沈砂池水位(WL.m)
- ・ 導水路：断面形状（幅・高さ・径：m）、始点・終点・任意点（調整池始点・終点等）の敷高(EL.m)、勾配、延長(m)、最大使用水量流下時の等流水深(m)
- ・ 水槽：断面形状（幅・高さ・長さ：m）、始点・終点の敷高(EL.m)、運用水位(HWL・NWL・LWL：WL.m)

c 運用実態調査

地下調整池を計画する当該発電所並びに運用が影響する発電所についての運用状況を把握しておく必要がある。基本的には、以下のデータが必要となる。

- ・ 発電所毎の最大出力 $P_{\max}(\text{kW})$ 、最大使用水量 $Q_{\max}(\text{m}^3/\text{s})$ 、有効落差 $H_e(\text{m})$
- ・ 取水堰堤毎の流域面積 (km^2) 、維持流量 (m^3/s) 、最大取水量 (m^3/s)
- ・ 取水位 (WL.m) 、水槽水位 (WL.m) 、放水位 (WL.m) 、水車中心標高 (EL.m) 、
常時使用水量 (m^3/s) 、損失落差 (m) （最大時及び常時）
- ・ 総合効率 $\eta (\%)$ 、発電可能最小流量 (m^3/s)
- ・ 下流発電所遅れ時間 (h)
- ・ 現在の運用状況
- ・ 調整運転する際の制約条件等

(6) その他

計画、設計、工事実施、運用時においてその他、必要となる項目。

2. 1. 3 調査の区分

地形および地質調査に関しては、①計画段階（可能性評価段階）、②設計段階、③施工段階の各段階に合わせて、その精度を上げていく必要がある。

【解説】

(1) 計画段階調査（可能性評価段階調査）

計画段階調査では、地下調整池の可能性評価を行うための調査を実施する。可能性評価を行う際には、水運用による効果と建設に伴うコストとを相対的に比較するため、発電効率に影響を与えるような立地条件調査（水文調査、地形調査）の他に、施工法を設定するための地質調査（地盤の構成状態、岩盤等級が類推可能なレベル）を行う必要がある。

(2) 設計段階調査

設計段階調査は、地下調整池位置を決定し、設計を行うために必要な資料を得ることを目的とし、地表踏査（精査）およびボーリング調査（室内岩石試験を含む）が主体となる。

(3) 施工段階調査

施工段階調査は、施工時の状況に応じて実施するもので、設計段階で把握した地質状況を検証し、設計変更、施工管理の資料を得ることが目的となる。地下調整池トンネルの構築に際しては、事前に十分なボーリング調査を行うことが困難な場合があるため、地質状況が設計段階での調査結果と異なる場合には坑内水平ボーリングを実施するなど現場状況に合わせて適宜行っていく必要がある。

2.2 計画

2.2.1 ピーク継続時間

地下調整池によるピーク化は、基本的に夜間のオフピーク時の水を地下調整池に貯留し、昼間の電力ピーク時にこの水を利用して発電を行い、ピーク時の有効出力の増加を図るものである。ピーク時間として捉えられる付加価値は、事業者毎に異なると判断されることから、任意に設定を行う。

【解説】

ピーク継続時間とは、ピーク発電を継続する時間を示す。水力発電所の kW 価値は、何時間の出力継続で価値として評価されるかを一義的に規定することは困難であり、各事業者が任意に設定を行うものとする。

また、ピーク継続時間の設定如何により、調整池の規模、地下調整池の建設工事費、有効出力増分、発電電力量増分等が大きく変化し、計画の経済性が大きく異なることとなる。

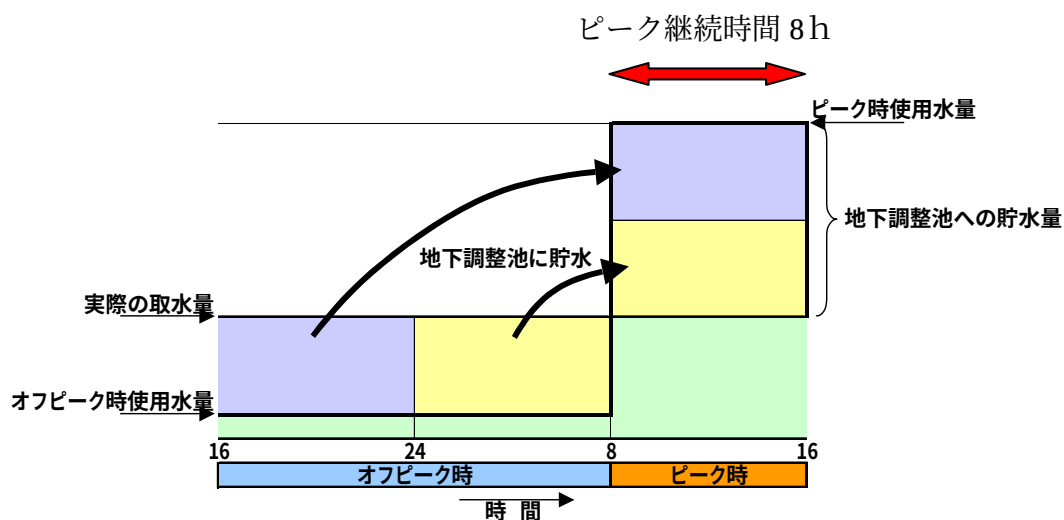


図 2-1 ピーク継続時間（8 時間の例）

2. 2. 2 地下調整池容量

地下調整池の容量は、基本的にはkW値として期待できる8月L5流量*時に、所定のピーク継続時間を最大出力で運転できる容量とする。

【解説】

調整池容量は、基本的には8月L5流量時に所定のピーク継続時間を最大出力で運転できる容量とする。但し、流況の悪い地点においては、8月L5流量時のオフピーク時間帯に全量貯留しても、ピーク時間帯に最大出力での運転ができない場合が生じることから、その場合は最大限貯留できる容量とする。

※) 8月L5流量とは、8月の最低5日平均日流量（維持流量等控除後）の対象年間における平均値であり、これを調整池容量を設定する際の基準とした。なお、北日本側で8月以外に最大電力が発生する場合は、当該月のL5流量を用いることができる。

①ピーク時間帯において最大出力運転が可能な場合

$$V_1 \text{ (m}^3\text{)} = (Q_{\max} - Q_{8\text{月L5}}) \times T_{\text{PEAK}} \times 3,600$$

②ピーク時間帯に最大出力での運転ができない場合

$$V_2 \text{ (m}^3\text{)} = (Q_{8\text{月L5}} - Q_{\min}) \times (24 - T_{\text{PEAK}}) \times 3,600$$

$Q_{\max}$: 最大使用水量(m³/s)

$Q_{\min}$: 最小使用水量（発電最低流量）(m³/s)

（オフピーク時に発電停止できない場合）

$Q_{8\text{月L5}}$: 8月L5流量(m³/s)

T_{PEAK} : ピーク継続時間(h)

地下調整池容量は、上記の V_1 あるいは V_2 のいずれか小さい方の容量で決定される。

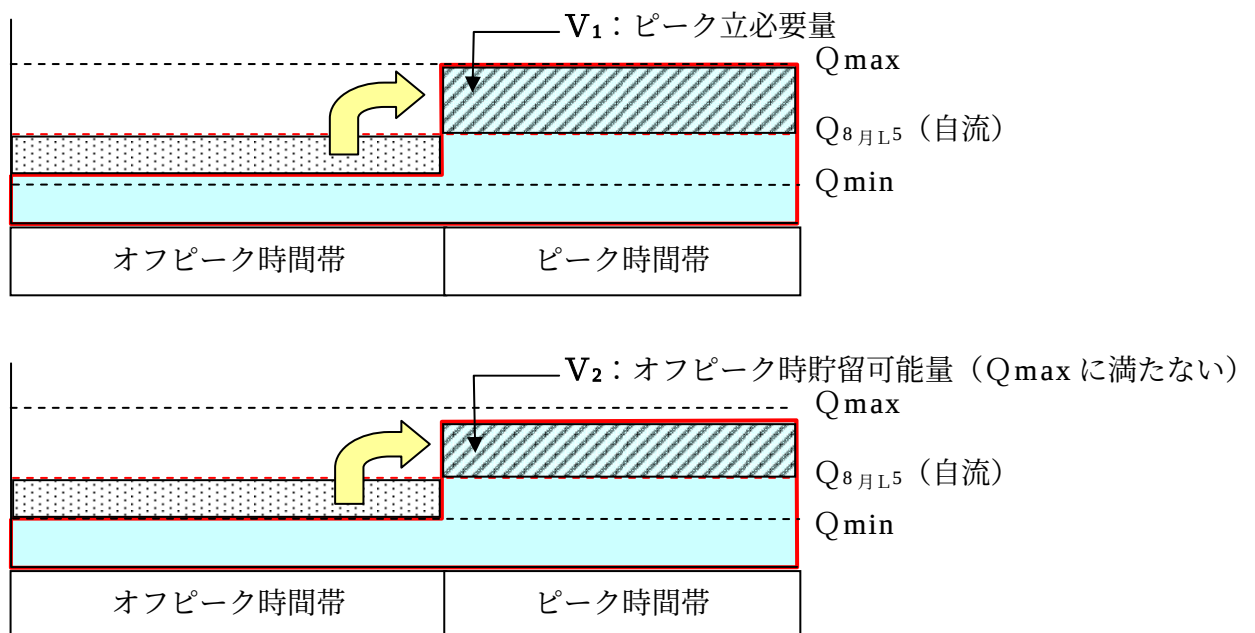


図2-2 調整池容量

2. 2. 3 接続パターンと流量制御方法

地下調整池の接続パターンは、以下の3パターンとする。

- (1) 導水路途中接続案（既設発電所対象）
- (2) 水槽接続案（既設発電所対象）
- (3) 導水路調整能力付加案（新規計画地点対象）

また、調整池からの流量制御方法は各接続パターン毎に異なる。

【解説】

既設発電所に地下調整池を構築する場合には、導水路途中接続案を標準とし、どうしても工事のアクセスの都合上、水槽側にしか取り付けられない場合、水槽の運用水位の変更が可能で、かつ運用幅が大きくとれる場合に水槽接続案を選定する。

また、新規計画地点においては、流れ込み式で計画されている導水路に調整機能を付加させた導水路調整能力付加案を選定する。

(1) 導水路途中接続案

接続パターンは、図2-3、図2-4に示すとおりである。流量調整は、調整池末端に設けるゲートBを用いて制御を行う。

貯留時：ゲートB→全閉（または、上流側水位を見ながら $Q_{\min}$ 一定放流）

ピーク時：ゲートB→上流側水位を見ながら $Q_{\max}$ 一定放流

なお、点検用ゲートAは常時閉となる

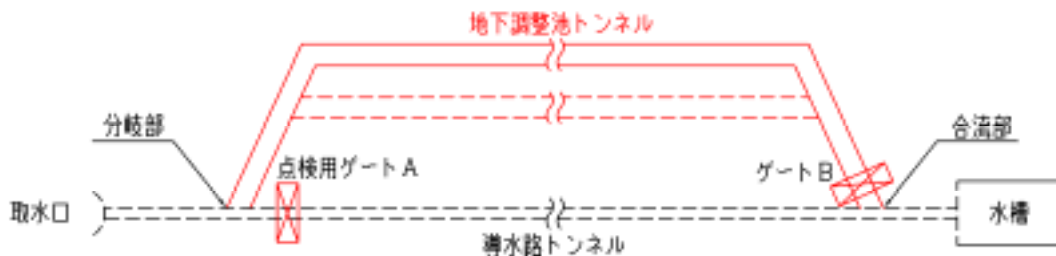
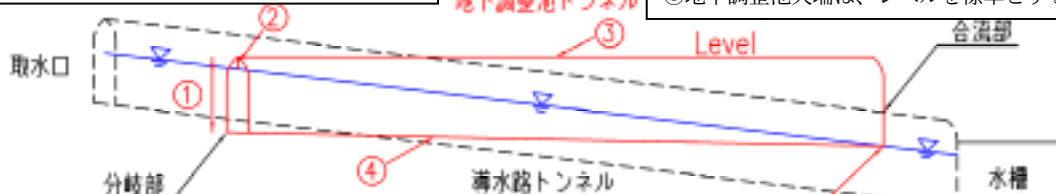


図2-3 導水路途中接続案（平面概要図）

②地下調整池天端高は、分岐部導水路 $Q_{\max}$ 時の等流水深に、調整池内に圧力が生じないよう十分な余裕高さを考慮して設定する。

③地下調整池天端は、レベルを標準とする。



①地下調整池高さは、トンネル幅に対する施工可能高さで決まる場合が多い。

④地下調整池のインバートは、既設導水路トンネルの勾配よりも緩勾配（ $1/2,000 \sim 1/5,000$ ）とする。

⑤地下調整池敷高は、合流部導水路 $Q_{\max}$ 時の等流水深に合わせる。

図2-4 導水路途中接続案（縦断概要図）

(2) 水槽接続案

接続パターンは、図2-5、図2-6に示すとおりである。流量調整は、水車ガイドベーンに水槽水位に応じた水位垂下率（水位の変化幅に対して、ガイドベーンの開度を定める傾き）を設定し制御を行う（水槽の運用水位を利用）。

なお、地下調整池トンネルの点検時等のために、調整池末端に点検用ゲートCを計画する。

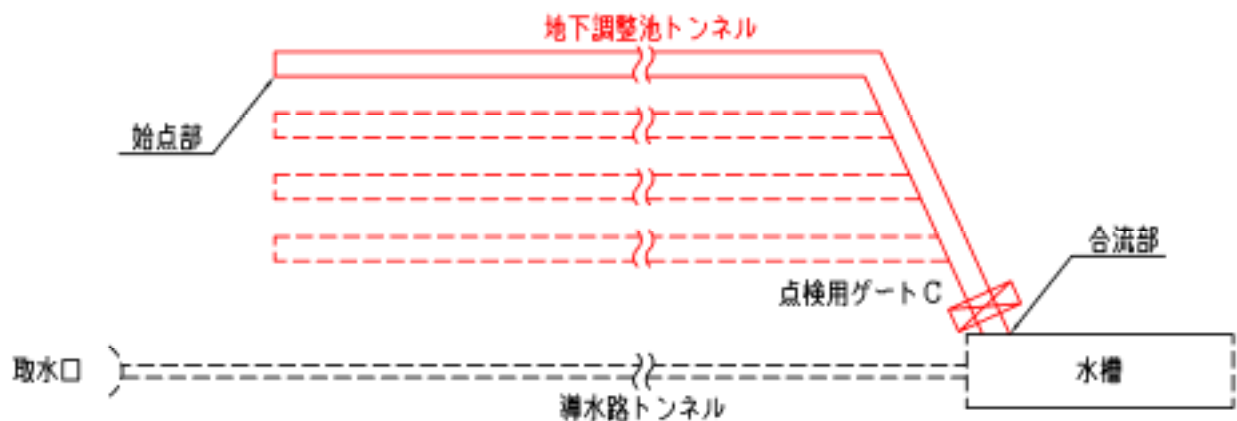


図2-5 水槽接続案（平面概要図）

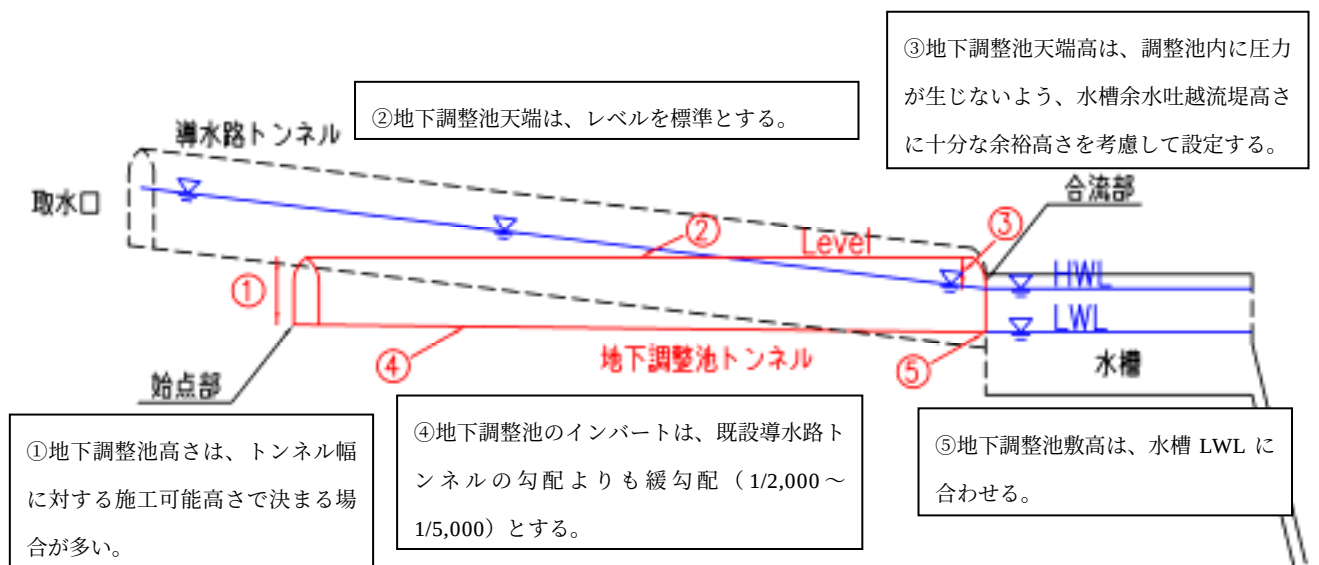


図2-6 水槽接続案（縦断概要図）

(3) 導水路調整能力付加案

接続パターンは、図 2-7、図 2-8 に示すとおりであり、基本的には計画されている水槽高さは変更せずに、導水路断面を縦横に広げて調整池容量を持たせることを前提とする。流量調整は、調整池末端に設けるゲート D により制御を行う。

貯留時：ゲート D→全閉（または、上流側水位を見ながら $Q_{\min}$ 一定放流）

ピーク時：ゲート D→上流側水位を見ながら $Q_{\max}$ 一定放流

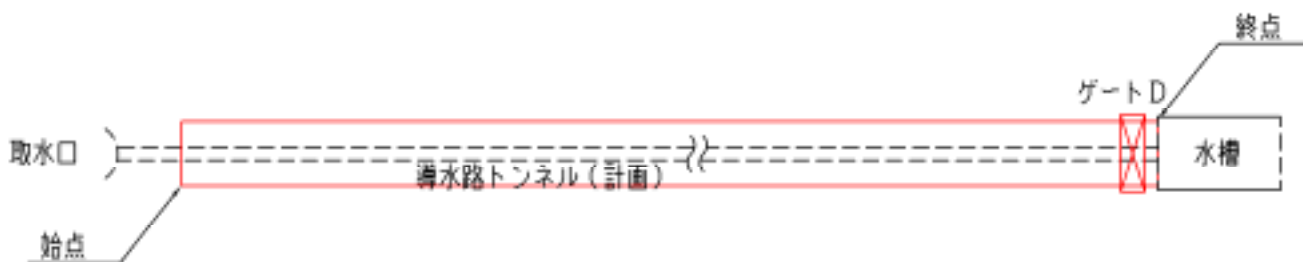


図 2-7 導水路調整能力付加案（平面概要図）

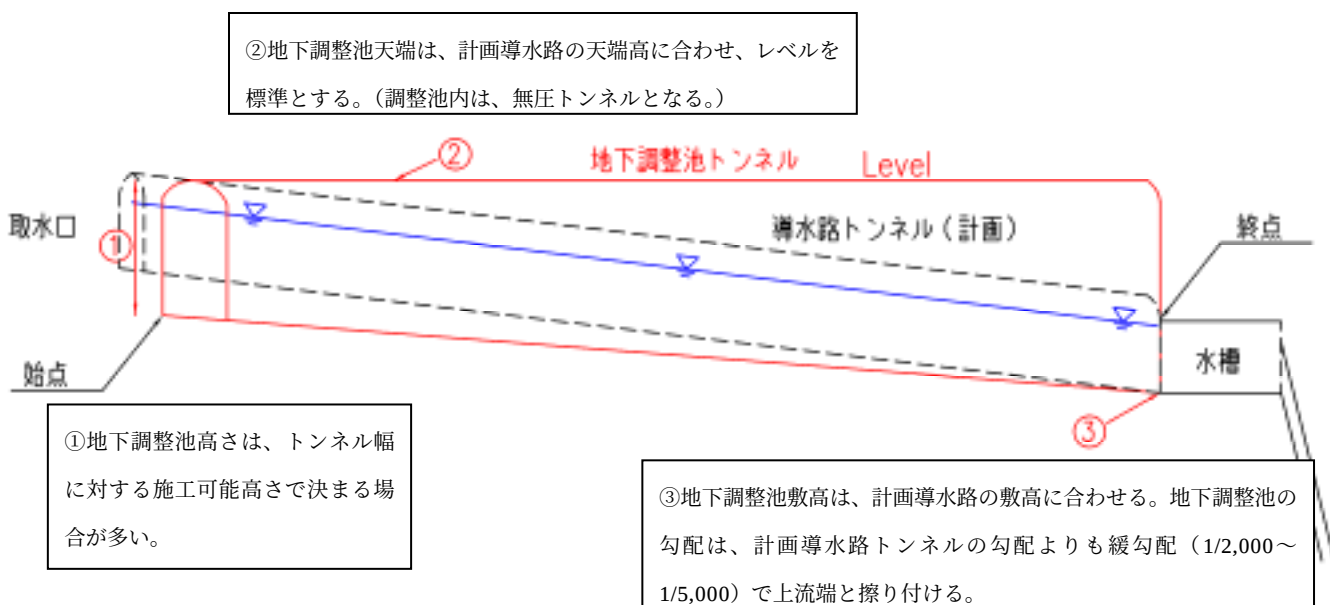


図 2-8 導水路調整能力付加案（縦断概要図）

2. 2. 4 地下調整池貯留可能高さの制約

地下調整池のレイアウトについては、各接続パターン毎に貯留できる高さ関係の制約があることから、各地点の特性を考慮し選択する。

【解説】

各接続パターン毎に、以下のとおり設定する。

(1) 導水路途中接続案

導水路途中接続案では、貯留可能高さは分岐部導水路の最大使用水量流下時の等流水深から合流部導水路の最大使用水量流下時の等流水深の間に限定される。分岐位置、合流位置は、坑外施工条件等から決定される要因が大きいが、極力地下調整池の延長を長くした方が貯留能力を大きく取れる。

調整池の縦断線形は、下流側の合流位置での敷高を固定して、上流側に既設導水路よりも緩勾配（ $1/2,000 \sim 1/5,000$ ）で上流側の分岐部の敷高を設定する。また、調整池の天端高さは分岐部の最大使用水量流下時の等流水深に調整池内に圧力が生じることのないよう十分な余裕高さを考慮して設定し、下流側まで水平とする。

地下調整池の平面線形については、地形条件を考慮することはいうまでもないが、所定の調整池容量を確保できない場合は、トンネル本数を増やして容量を確保する。

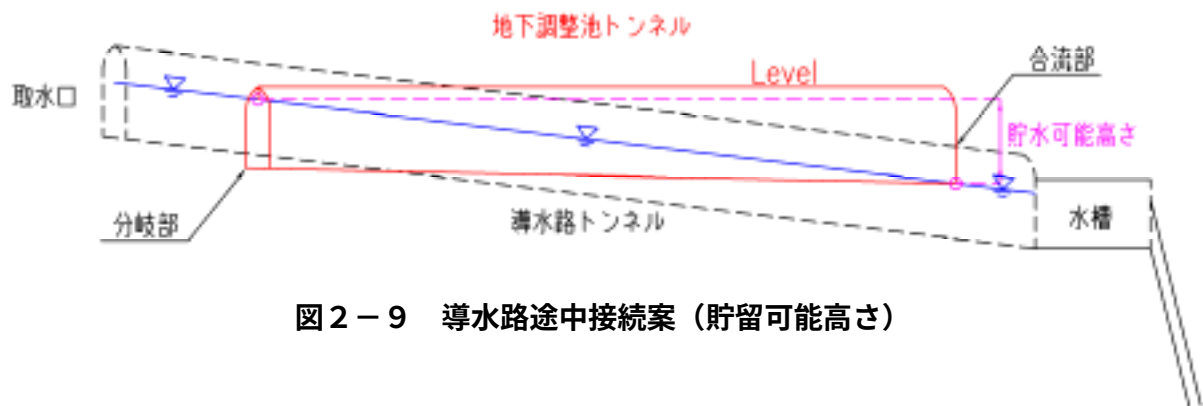


図 2-9 導水路途中接続案（貯留可能高さ）

(2) 水槽接続案

水槽接続案では、水槽の利用水深を利用して貯留を行うため、貯留可能高さは水槽の L.W.L. ～ H.W.L. の間に限定される。

調整池の縦断線形は、下流側の合流位置での敷高を固定して、上流側に既設導水路よりも緩勾配（ $1/2,000 \sim 1/5,000$ ）で上流側の敷高を設定する。また、調整池の天端高さは水槽余水吐越流堤高さに十分な余裕高さを考慮して設定し、水平とする。

地下調整池の平面線形については、地形条件を考慮することはいうまでもないが、所定の調整池容量を確保できない場合は、トンネル本数を増やして容量を確保する。貯留可能高さが、L.W.L. ～ H.W.L. の範囲の制約で低く抑えられることから、平面積を大きくとる必要がある。

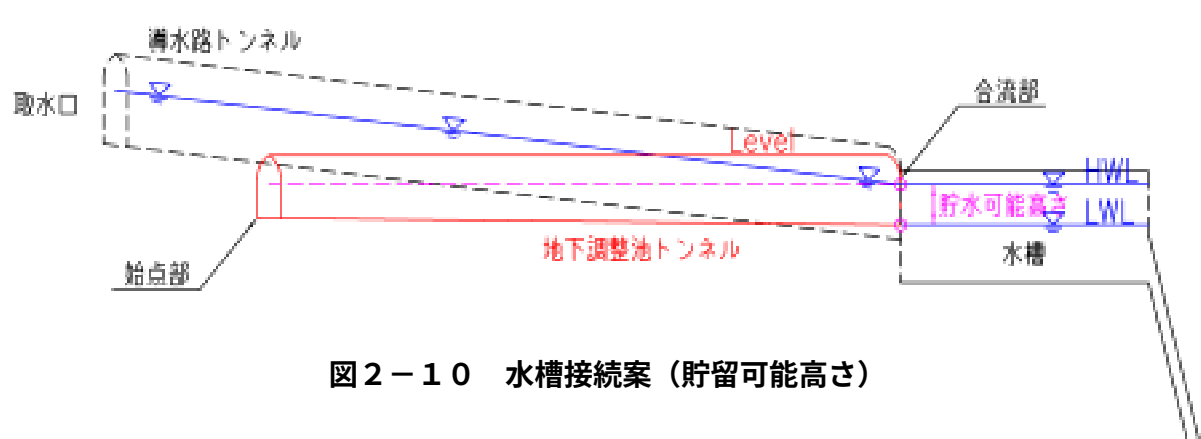


図 2 - 1 0 水槽接続案（貯留可能高さ）

(3) 導水路調整能力付加案

導水路調整能力付加案は、流れ込み式で計画されている導水路に調整機能を持たせるものである。地下調整池の最大延長は、計画導水路延長となり、この範囲内で必要調整池容量が確保できる延長を設定する。貯留可能高さは始点部導水路の最大使用水量流下時の等流水深から水槽 N.W.L.の間に限定される。

調整池の縦断線形は、下流側の敷高を固定して、上流側に計画導水路よりも緩勾配（1/2,000～1/5,000）で上流側の敷高を設定する。また、調整池の天端高さは上流側の水深に十分な余裕高さを考慮して設定し、調整池内に圧力が生じることのない高さとし、下流側まで水平とする。

地下調整池の平面線形については、基本的には流れ込み式計画時の平面線形と同一とする。

なお、所定の調整池容量を確保できない場合は、水槽水位を低下させて所定の調整池容量を確保する。

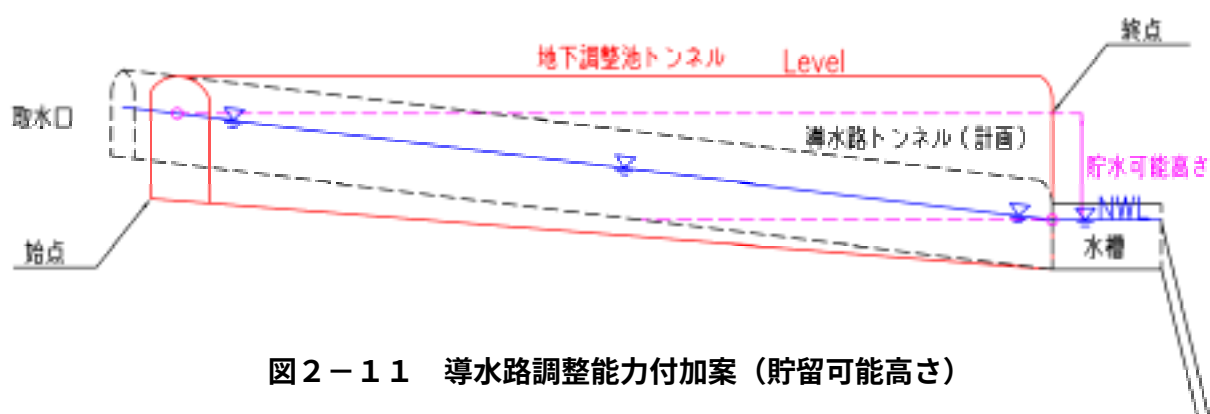


図 2 - 1 1 導水路調整能力付加案（貯留可能高さ）

2.2.5 その他

本マニュアル記載の調整池運転パターンの検討方法（開発計画支援システム：運転パターン選定システム）は、既設設備（既設調整池、調整利用可能な遊休水路、導水路内貯留等）にも利用可能である。

【解説】

本マニュアル記載の調整池運転パターンの検討方法（開発計画支援システム：運転パターン選定システム）は、主に地下調整池の開発計画を前提とした技術であるが、既設設備（既設調整池、調整利用可能な遊休水路、導水路内貯留等）を利用した、最適運転パターンの検討においても利用可能である。

「開発計画支援システム：運転パターン選定システム」を既設設備に適用することで、簡易に効率的な運転パターンの検討を行うことが可能である。（運転パターン選定システムの詳細については、巻末資料1『地下調整池 開発計画支援システム 説明書』を参照）

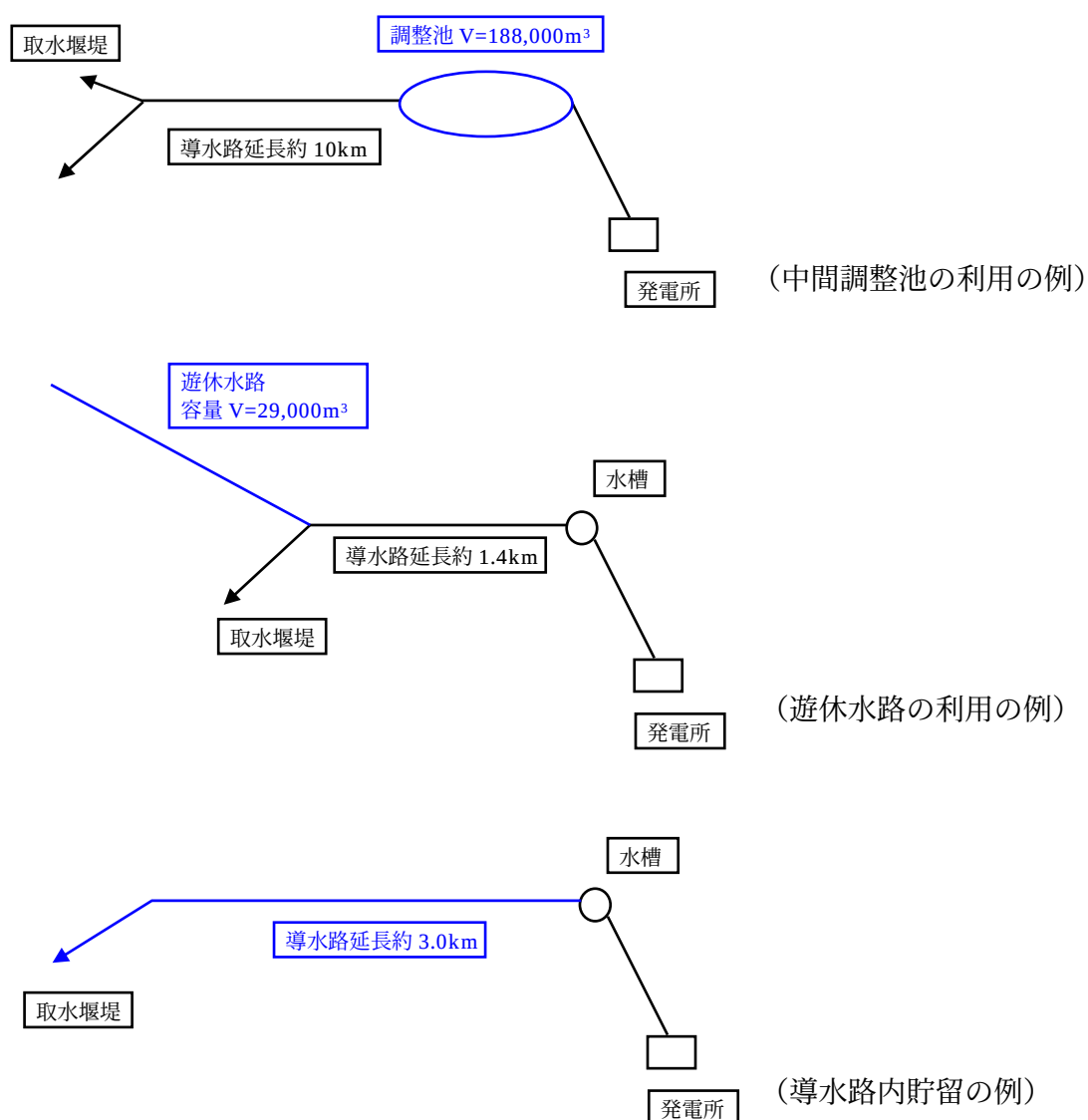


図2-12 既設設備適用時の発電設備模式図（一例）

第3章 設計

3.1 地下調整池容量

地下調整池の容量は、2.2.2で算出した8月L5流量時に所定のピーク継続時間を最大出力で運転できる容量の他に、構造上負圧としないための空き容量、施工上必要となる空き容量、ピーク補給時に水理特性上供給できない容量（デッド容量）を考慮して断面設計を行い決定する。

設定したピーク継続時間を満足するかについては、ピーク継続時間の簡易算定方法により確認し、実際の地下調整池構造の設定は3.2に記した地下調整池構造の検討手順に基づき、最も経済的な断面を選定する。

【解説】

地下調整池に貯留した水量をピーク補給する際の地下調整池内の流れは、 Q_{in} （自流）が常に流入している状態に、これに前述の流量を上乗せした Q_{max} の流れとなる。その際の流量制御は、調整池内の水位に応じてゲート開度を調節して行う。

また、ピーク補給量は、調整池下流端での水位が Q_{max} 流下時の限界水深より低下した場合に、ゲート制御不能（フリーフロー）となり、補給量が漸減する。

地下調整池内の流れは、時間的にも場所的にも変化する流れであり、非定常不等流（不定流）と呼ばれる。不定流の流れは、摩擦損失係数にマンニングの法則を利用すると、下記に示すエネルギー方程式と連続方程式で表すことができる。

$$\text{エネルギー方程式} \quad -i + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\alpha}{2g} \cdot \frac{\partial v^2}{\partial x} + \frac{n^2}{R^{\frac{4}{3}}} \cdot |v| \cdot v + \frac{\eta}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} = 0$$

$$\text{連続方程式} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

ここに、 i ：水路勾配、 h ：水深(m)、 x ：水平距離(m)、 g ：重力加速度(m/s^2)、 v ：断面平均流速(m/s)、 n ：マンニングの粗度係数、 R ：径深(m) ($= A/S$ 、 S ：潤辺(m))、 α ：エネルギー補正係数($=1.0$)、 η ：運動量補正係数($=1.0$)、 t ：時間(s)、 A ：通水断面積(m^2)、 Q ：流量(m^3/s) ($= A v$)

非定常流の計算（数値シミュレーション）は煩雑であり、調整池の基本形状の検討には不向きであることから、ピーク継続時間を以下に示す『ピーク継続時間の簡易算定方法』で計算することとした。

なお、非定常流の計算（数値シミュレーション）結果と『ピーク継続時間の簡易算定方法』による算出結果との差は、平均で0.2%程度であった。（詳細は、巻末資料4『地下調整池ピーク継続時間の簡易算定方法』を参照）

(1) ピーク継続時間の簡易算定方法

簡易算定方法は、ピーク運転開始時とピーク運転終了時の地下調整池の状態に着目して、簡便的にピーク運転終了時までには要する時間を算定するものである。

ピーク流量の供給が可能な調整池内の最終水面形は、上流側 Q_{in} の等流水深、下流側が Q_{max} の限界水深となる。また、この最終状態の水面形は、 Q_{max} の等流状態と Q_{in} の等流状態の間の水面形状となる。簡易算定方法は、初期状態から Q_{max} の等流状態に達するまでの時間と初期状態から Q_{in} の等流状態に達するまでの時間の平均時間を算出する。

ピーク継続時間は、図3-1に示す状態のうち①～②の状態に移行するまでの時間となる。すなわち、調整池の容量が $V \sim V_e$ に変化するまでの時間であり、この間調整池からは毎秒 $(Q_{max} - Q_{in})$ の容量が減少していくこととなる。

したがって、求めたいピーク継続時間 T_o は、下式によって算定される。

$$T_o = (V - V_e) / (Q_{max} - Q_{in}) \text{ (s)}$$

T_o ：ピーク継続時間 (s)

V ：ピーク運転開始時の調整池容量 (m^3)

V_e ：ピーク運転終了時の調整池容量 (m^3)

Q_{max} ：発電所最大使用水量（ピーク補給量）(m^3/s)

Q_{in} ：自流量（調整池流入量）(m^3/s)

しかしながら、これらの諸数値のうち V_e を簡単に求めることは困難である。ピーク運転終了時の水面形は、③の状態と④の状態の間に存在することから、簡便的に T_o は①～③に移行するまでの時間と①～④に移行するまでの時間の平均値として算出することとした。

[①～③に移行するまでの時間]

$$T_1 = (V - V_{Q_{max}}) / (Q_{max} - Q_{in}) \text{ (s)}$$

T_1 ：①～③に移行するまでの時間 (s)

$V_{Q_{max}}$ ： Q_{max} 流下時の調整池容量 (m^3)

[①～④に移行するまでの時間]

$$T_2 = (V - V_{Q_{in}}) / (Q_{max} - Q_{in}) \text{ (s)}$$

T_2 ：①～④に移行するまでの時間 (s)

$V_{Q_{in}}$ ： Q_{in} 流下時の調整池容量 (m^3)

[ピーク継続時間 T_o の算出方法]

$$T_o = (T_1 + T_2) / 2 \text{ (s)}$$

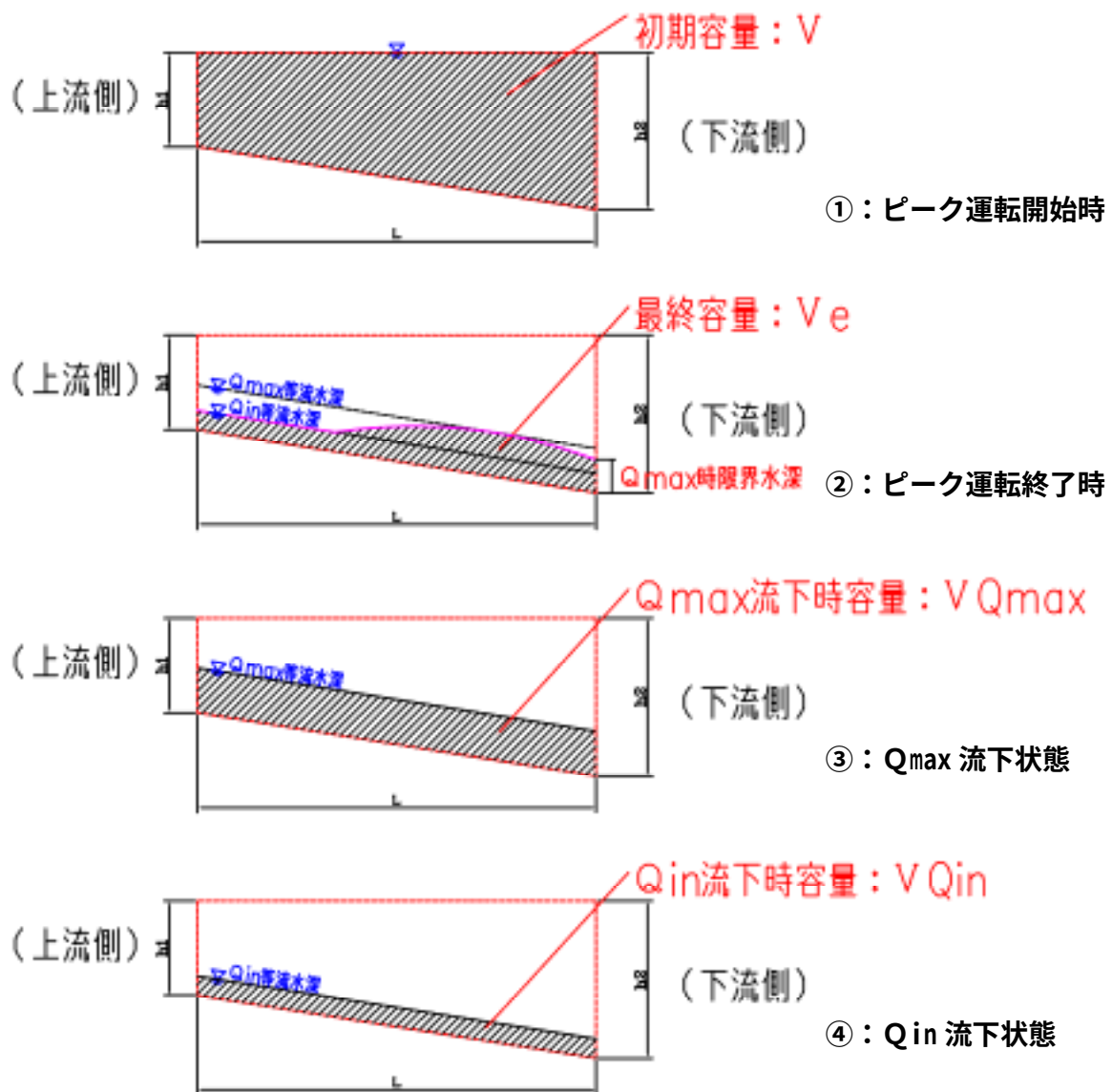


図 3 - 1 各時間断面での地下調整池の状況

(2) 調整池内負圧対策

調整池内は、負圧としないために空き容量を考慮した構造とする。調整池において、ピーク運転を開始して最大使用水量を瞬時に導水すると、水の体積減少分相当の空気が吹き込むこととなり負圧となることが考えられる。そのため、これを考慮した空気の供給ルートを確認しておく必要がある。

詳細検討においては、容量や風速等を検討し、必要に応じてエア管等の設置を考慮する必要がある。

3.2.1 施工断面の標準化

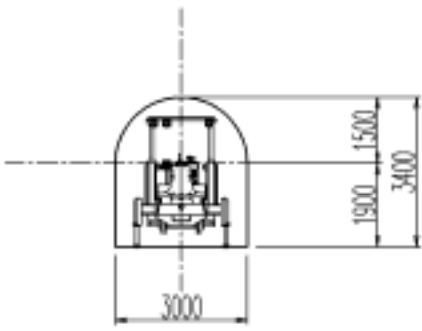
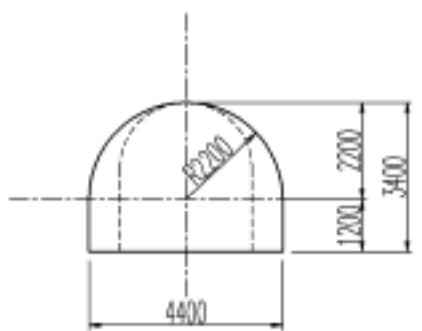
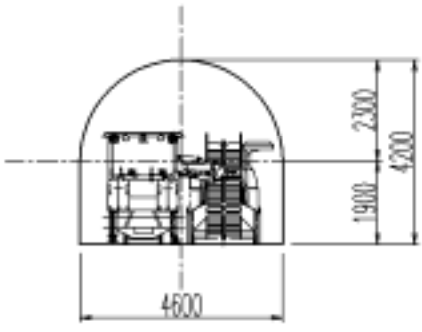
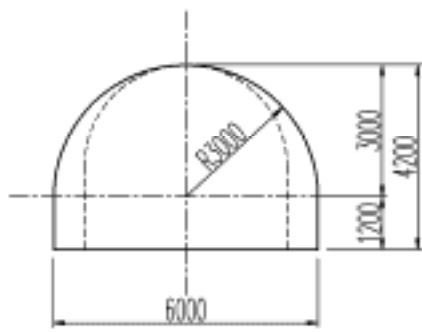
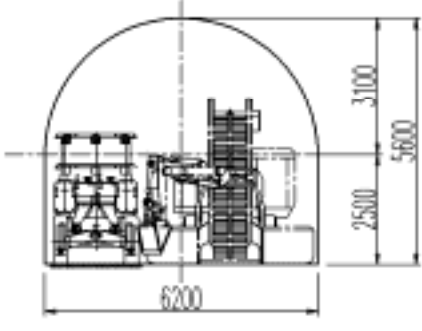
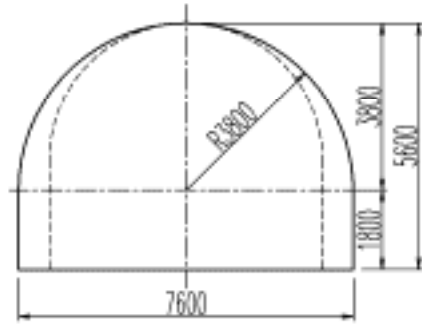
施工断面については、トンネル幅毎に機械編成を考慮して標準化を図った。

断面規模と施工機械編成については、表 3-1 に示すとおり設定し、各機械編成において施工上必要となる最小断面寸法の設定を行った。地下調整池としての機能面を考慮した場合、掘削高さを抑えつつ掘削幅を広くした断面の方が、有効貯水断面の効率的な確保という点で有利となる。したがって、掘削高さについては、各断面規模で機械編成毎の最小断面を設定し、その高さを最小高さとする。それと同じ高さで掘削幅を広げた断面を各内空幅に対する最小断面として設定するものとした。

表３－２に施工機械編成毎の最小断面と内空幅を変化させた場合の最小断面の設定例を示す。また、図３－２に地下調整池の内空幅に対応した標準内空断面を示す。掘削断面積当りのトンネル施工コストは、レール式（単線）＞レール式（複線）＞タイヤ式の順に低減されるため、標準内空断面は、内空幅を設定することで施工機械編成と最小内空断面が設定されることとなる。

断面		内空断面積	10～16 m ²	16～30 m ²	30 m ² ～
規模		内空幅	3.0m以上 4.5m未満	4.5m以上 6.2m未満	6.2m以上
モデル断面		 (10 m ²)	 (20 m ²)	 (30 m ²)	
削孔		2 ブーム油圧ジャンボ			
ずり積込		クローラ式バックホウ型ずり積機			トラクターショベル
ずり搬出		シャトルカー			ダンプトラック (車両転回所拡幅が必要)
適用	レール式(単線)				
	レール式(複線)				
	タイヤ式				

表 3-2 施工機械編成毎の最小断面と内空幅を変化させた場合の最小断面（例）

	施工機械から決まる最小断面	内空幅を広げた場合の最小断面（例）
レール式 （単線）		
レール式 （複線）		
タイヤ式		

注 1）破線は機械編成における必要最小内空断面を示す。

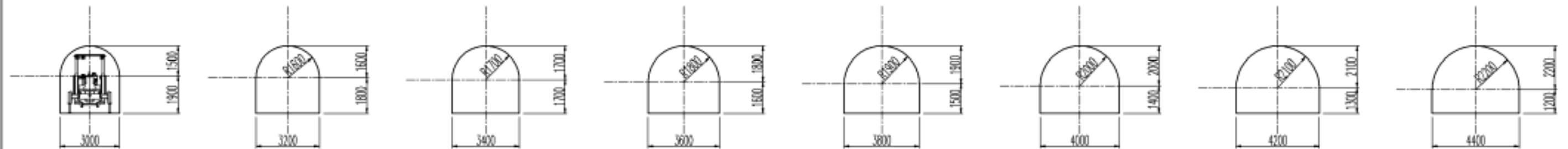
注 2）必要最小内空断面を満足させるように、内空幅毎の最小内空断面を設定する。

注 3）同一機械施工機械編成では、最小内空高さが規定されることとなる。

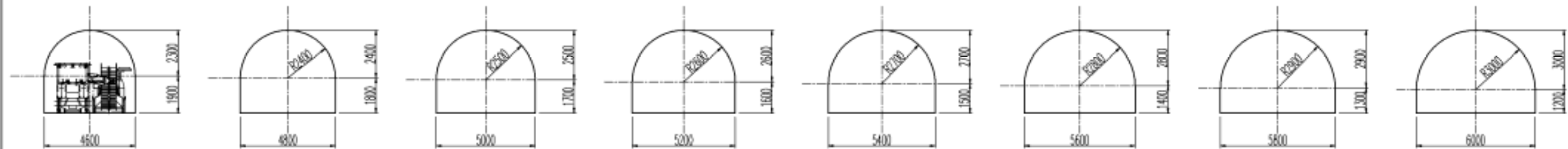
なお、上記のとおり地下調整池の施工断面は、断面変化させることを標準とすることから、掘削方式は発破掘削工法を採用することを前提とし、TBM 掘削工法を採用する場合には別途検討を必要とする。

内空幅に対応した標準最小内空断面の設定

レール式（単線）



レール式（複線）



タイヤ式

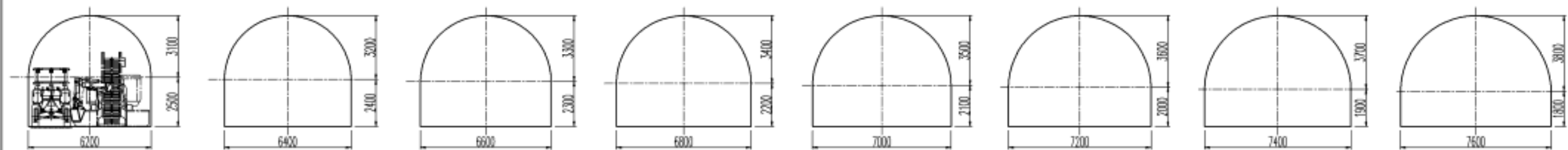


図3-2 地下調整池標準内空断面

3. 2. 2 地下調整池構造の設定

地下調整池構造の設定は、坑外の施工条件や既設構造物との取り扱い等を考慮して、接続パターン毎に、分岐・合流位置を設定する。

その後、地下調整池延長、貯留可能高さを基に、上・下流断面の設定（トンネル幅・高さ）、勾配、トンネル本数を設定し、最も経済的となる断面を選定する。

【解説】

地下調整池の構造を設定するために必要となる項目は以下のとおりであり、各々設定時の留意事項を記載する。

(1) 坑口位置

地下調整池トンネルを施工する際に、最も重要な項目は坑口位置の選定である。坑口の位置は、地形・地質、アクセス道路の有無、施工ヤードの確保、分岐・合流地点までの距離や勾配を考慮して、最適な位置を選定する。

(2) 接続パターンの選定

既設発電所に地下調整池を構築する場合には、導水路途中接続案を標準とし、工事のアクセスの都合上、水槽側にしか取り付けない場合や水槽の運用水位の変更が可能で、かつ運用幅が大きくとれる場合には水槽接続案を選定する。

また、新規計画地点においては、流れ込み式で計画されている導水路に調整機能を付加させるものとする。

各パターンとも、地下調整池の上流側には、沈砂池が設置されていることを前提とする。

(3) 分岐・合流位置並びに調整池延長

坑口の位置を基にして、接続パターン毎に分岐・合流位置を計画する。分岐・合流位置によって、地下調整池延長、貯留可能高さが決定される。地下調整池延長が短い場合には、分岐点から合流点までの高低差が確保できないことより貯留可能高さが小さくなったり延長が短いために必要な調整池容量の確保が困難となる。地下調整池の容量を確保する上で、地下調整池の延長は $L=2,000\text{m}$ 以上は必要となる。

したがって、計画の初期段階では、極力調整池の延長を長くとる方向で検討を行う。ただし、トンネル工事費は延長が短く、断面幅が大きい場合の方が掘削工事費は安価になることが予想されることから、調整池の容量を十分確保することが可能な地点においては、適宜トンネル延長を短く変更して検討を進めることが得策と考えられる。

(4) 貯留可能高さ

貯留可能高さは、分岐・合流位置、接続パターン毎に以下のとおりとなる（2. 2. 4 参照）。

a 導水路途中接続案

導水路途中接続案の貯留可能高さは、分岐部導水路の最大使用水量流下時の等流水深から合流部導水路の最大使用水量流下時の等流水深の間となる。

b 水槽接続案

水槽接続案の貯留可能高さは、水槽の L.W.L.～H.W.L.の間となる。

c 導水路調整能力付加案

導水路調整能力付加案の貯留可能高さは、始点部導水路の最大使用水量流下時の等流水深から水槽 N.W.L.の間に限定される。

(5) 調整池断面

調整池の断面形状は、機械編成を基に幅、最小施工可能高さを以下に示すとおり標準化した。

表 3－3 調整池断面の標準化

機械編成	内空幅 ^{注)}	最小施工可能高さ
レール式（単線）	3.0～4.4m	3.4m
レール式（複線）	4.6～6.0m	4.2m
タイヤ式	6.2～7.6m	5.6m

注）開発計画支援システムでは、0.2m毎で設定

調整池の縦断的な断面変化は、上流側断面を最小断面とし、下流側に向かってインバートのみを掘り下げる形状（天端は同一レベル）として、ピーク継続時間を満足し、経済的な断面形状を選定する。

(6) 勾配

地下調整池の勾配は、既設導水路の勾配よりも緩くとることを前提として、1/2,000～1/5,000 の範囲で、経済的な勾配を選定する。

(7) トンネル本数

地下調整池内の水の貯留は、既設導水路分岐部（上流側）と合流部（下流側）の水位差間に行う。したがって、必要な容量を確保する上では、地下調整池延長が長く、断面規模を小さくした方が、高低差を稼げることで、デッド容量を少なく抑えることができ経済的な断面となる。

工事費は、トンネル本数を少なくした方が一般的には安価となることから、所定のピーク継続時間を満足し、経済的なトンネル断面を考えると、極力トンネル延長を長くとり、トンネル本数を少なくした方が有利となる。

また、トンネル本数が多くなった場合には、調整池から水を供給する際に、トンネル合流部の損失が大きくなることが予想されることから、トンネル本数を少なくすることが水理特性（水路の分岐、合流による擾乱）からも望ましい。

(8) 断面設定手順

地下調整池の断面設定手順は、各接続パターン毎に以下のとおりとなる。

a 導水路途中接続案

導水路途中接続案では、貯留可能高さは分岐部導水路の最大使用水量流下時の等流水深から合流部導水路の最大使用水量流下時の等流水深の間に限定される。分岐位置、合流位置は、坑外施工条件等から決定される要因が大きいが、極力地下調整池の延長を長くした方が貯留能力を大きく取れる。

調整池の縦断線形は、下流側の合流位置での敷高を固定して、上流側に既設導水路よりも緩勾配（1/2,000～1/5,000）で上流側の分岐部の敷高を設定する。また、調整池の天端高さは分岐部の最大使用水量流下時の等流水深に調整池内に圧力が生じることのないよう十分な余裕高さを考慮して設定し、下流側まで水平とする。

地下調整池の平面線形については、地形条件を考慮することはいうまでもないが、所定の調整池容量を確保できない場合は、トンネル本数を増やして容量を確保する。

上記を整理すると、断面設定の手順は、以下のとおりとなる。

- ①分岐部、合流部、延長の決定
- ②合流部敷高の決定、貯留可能高さの算定（分岐部・合流部導水路のQ_{max} 流下時水位の算定）
- ③断面の選定（繰り返し計算、パラメータ：勾配、断面幅、トンネル本数）
 - i .勾配設定
 - ii .分岐部敷高の決定
 - iii .断面幅の設定
 - iv .分岐部断面の決定（高さ：上流部水位+0.2m※開発計画支援システムでの設定値）
 - v .分岐部断面の修正（最小施工可能高さより低い場合）
 - vi .断面・縦断線形の決定
 - vii .ピーク継続時間の算出（簡易算定方法）
 - viii .工事費の算出
 - ix .経済的な断面抽出

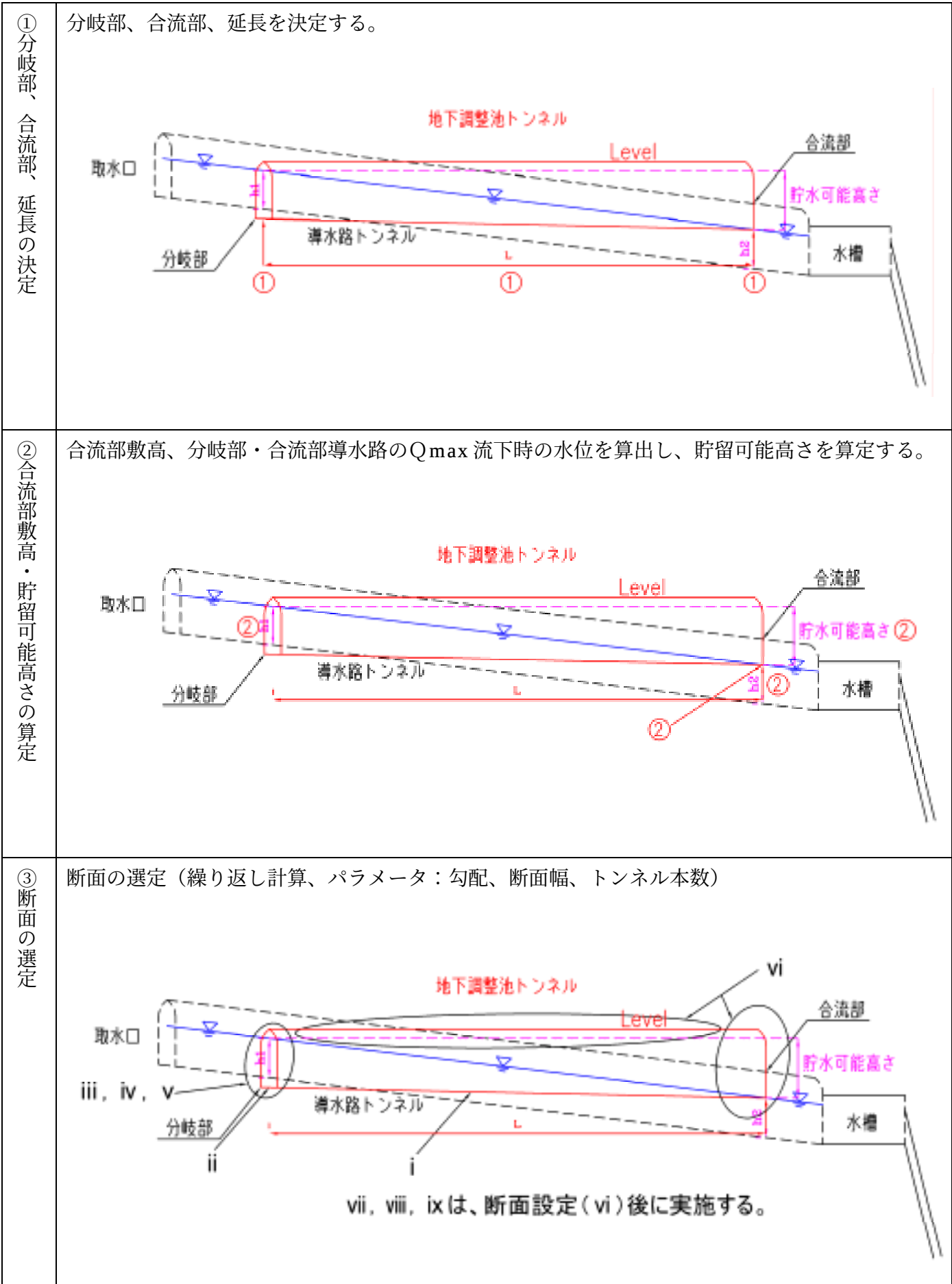


図3－3 導水路途中接続案断面設定手順

b 水槽接続案

水槽接続案では、水槽の利用水深を利用して貯留を行うため、貯留可能高さは水槽の L.W.L.～H.W.L.の間に限定される。流量調整は、水車ガイドベーンに水槽水位に応じた水位垂下率（水位の変化幅に対して、ガイドベーンの開度を決める傾き）を設定し流量制御を行う。

調整池の縦断線形は、下流側の合流位置での敷高を固定して、上流側に既設導水路よりも緩勾配（1/2,000～1/5,000）で上流側の敷高を設定する。また、調整池の天端高さは水槽余水吐越流堤高さに十分な余裕高さを考慮して設定し、水平とする。

地下調整池の平面線形については、地形条件を考慮することはいうまでもないが、所定の調整池容量を確保できない場合は、トンネル本数を増やして容量を確保する。貯留可能高さが、L.W.L.～H.W.L.の範囲の制約で低く抑えられることから、平面積を大きくとる必要がある。

上記を整理すると、断面設定の手順は、以下のとおりとなる。

- ①始点部（上流部）、合流部、延長の決定
- ②始点部（上流部）・合流部敷高の決定、貯留可能高さの算定（水槽 L.W.L.～H.W.L.の算定）
- ③断面の選定（繰り返し計算、パラメータ：勾配、断面幅、トンネル本数）
 - i .勾配設定
 - ii .始点部（上流部）敷高の決定
 - iii .断面幅の設定
 - iv .始点部（上流部）断面の決定（高さ：水槽余水吐越流堤高さ＋0.2m※開発計画支援システムでの設定値）
 - v .始点部（上流部）断面の修正（最小施工可能高さより低い場合）
 - vi .断面・縦断線形の決定
 - vii .ピーク継続時間の算出（簡易算定方法）
 - viii .工事費の算出
 - ix .経済的な断面抽出

① 始点部（上流部）、終点部（合流部）、延長の決定	始点部（上流部）、合流部、延長を決定する。
② 始点部（上流部）・終点部（合流部）敷高・貯留可能高さの算定	始点部（上流部）・合流部敷高、水槽 L.W.L.～H.W.L.を算出し、貯留可能高さを算定する。
③ 断面の選定	断面の選定（繰り返し計算、パラメータ：勾配、断面幅、トンネル本数）

図 3－4 水槽接続案断面設定手順

c 導水路調整能力付加案

導水路調整能力付加案は、流れ込み式で計画されている導水路に調整機能を持たせるものである。地下調整池の最大延長は、計画導水路延長となり、この範囲内で必要調整池容量が確保できる延長を設定する。貯留可能高さは始点部導水路の最大使用水量流下時の等流水深から水槽 N.W.L.の間に限定される。

調整池の縦断線形は、下流側の敷高を固定して、上流側に計画導水路よりも緩勾配（1/2,000 ～1/5,000）で上流側の敷高を設定する。また、調整池の天端高さは上流側の水深に十分な余裕高さを考慮して設定し、調整池内に圧力が生じることのない高さとし、下流側まで水平とする。

地下調整池の平面線形については、基本的には流れ込み式計画時の平面線形と同一とする。

なお、所定の調整池容量を確保できない場合は、計画の水槽水位 N.W.L.を低下させて所定の調整池容量を確保する方向で検討する。

上記を整理すると、断面設定の手順は、以下のとおりとなる。

- ①始点部、終点部、延長の決定
- ②終点部敷高の決定（敷高は、計画導水路の敷高に合わせる）、貯留可能高さの算定（始点部導水路の Qmax 流下時水位から水槽 N.W.L.）
- ③断面の選定（繰り返し計算、パラメータ：勾配、断面幅、トンネル本数）
 - i .勾配設定
 - ii .始点部敷高の決定
 - iii.断面幅の設定
 - iv.始点部断面の決定（高さ：始点部水位＋0.2m※開発計画支援システムでの設定値）
 - v .始点部断面の修正（最小施工可能高さより低い場合）
 - vi.断面・縦断線形の決定
 - vii.ピーク継続時間の算出（簡易算定方法）
 - viii.工事費の算出
 - ix.経済的な断面抽出

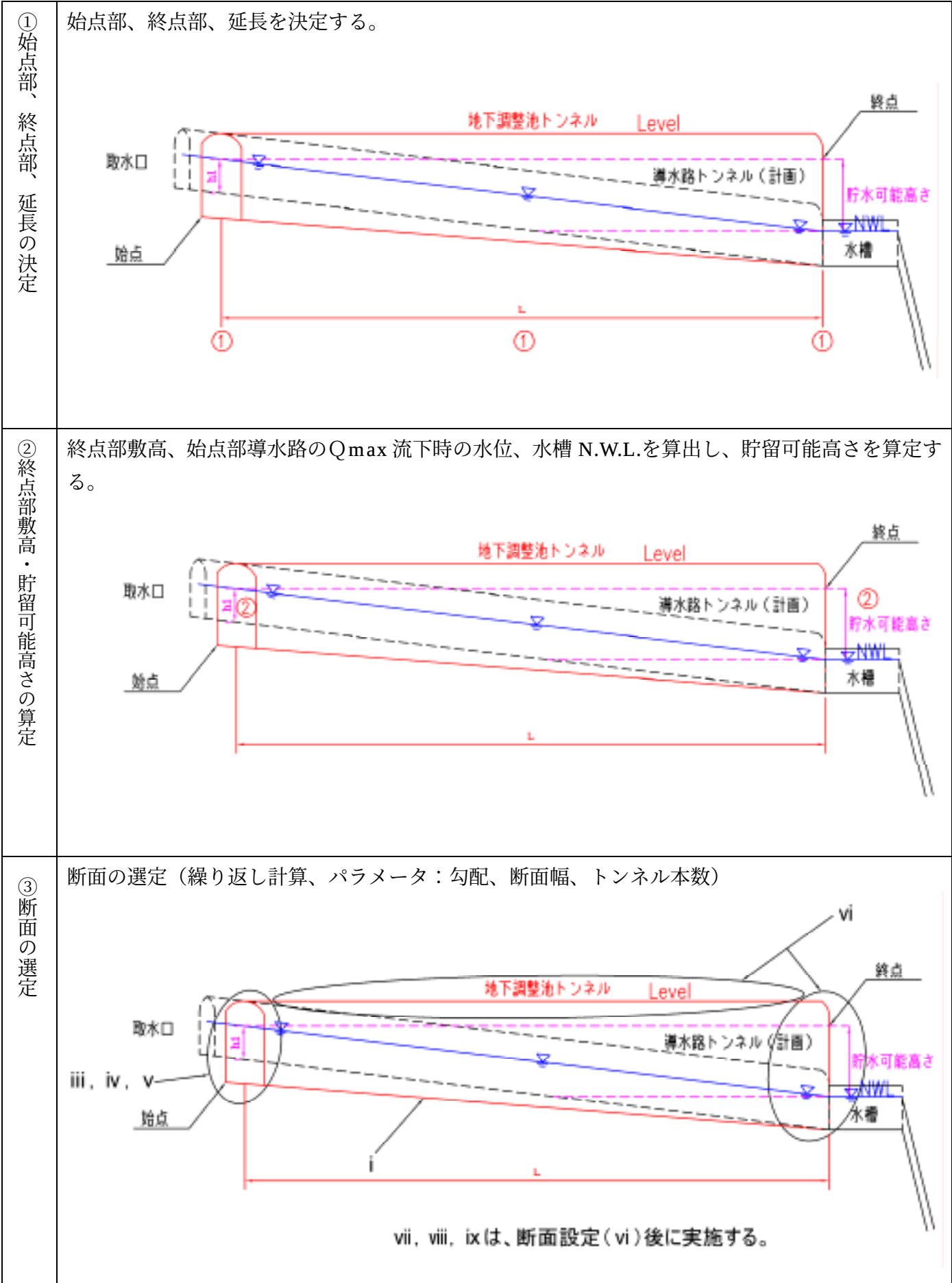


図 3－5 導水路調整能力付加案断面設定

3.3 調整池運転パターン

地下調整池設置の目的は、夜間のオフピーク時の水を地下調整池に貯留するとともに、昼間のピーク時間帯にこの水を利用して発電を行い、ピーク時の有効出力の増加と効率向上に伴う発電電力量の増加を目的とした技術である。

そのため、地下調整池を設置した場合の運転パターンは、ピーク時の有効出力の増加を主眼とした kW 優先型の運転パターンと地下調整池を最大限有効に活用して kWh を最大とする kWh 優先型の運転パターンを設定することを可能とした。

【解説】

「開発計画支援システム：運転パターン選定システム」では、以下の運転パターンの電力量計算を行えることとした。

(1) 流れ込み式運転

調整を全く行わない流れ込み式発電（現行運用）を行った運転パターン。この運転パターンを他の調整運転を行った場合との比較対象を行う。

(2) kW 優先運転

a kW 優先運転①

ピーク継続時間を固定して、ピーク時に当該発電所の出力が最大となるための必要容量を、貯留時には $Q_{\min}$ ($Q_{\min}=0.0\text{m}^3/\text{s}$ 含む) での発電を行いながら機械的に貯める運用。

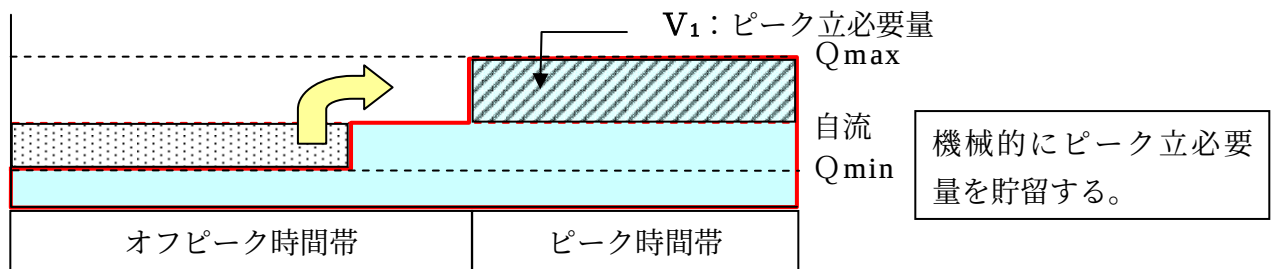


図3-6 kW優先運転①の例 ($Q_{\min}$ →自流→ $Q_{\max}$)

b kW 優先運転②

ピーク継続時間を固定して、ピーク時に当該発電所の出力が最大となるための必要容量を、貯留時間を変化させて、1日の発電電力量が最大となるよう調整する運用。

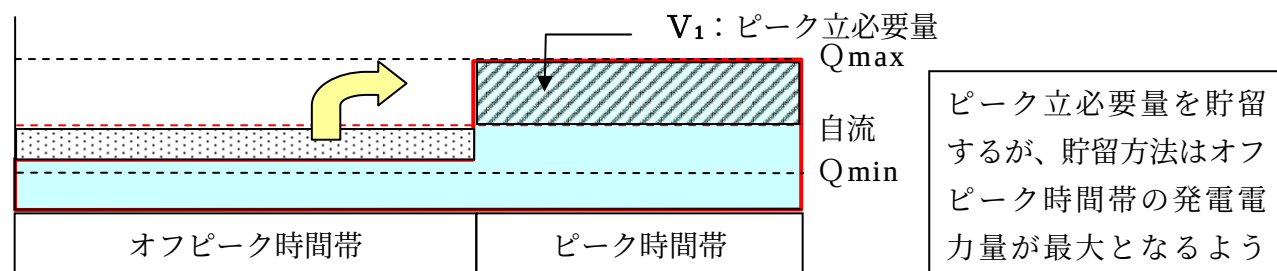


図3-7 kW優先運転②の例 (Q 任意→ $Q_{\max}$)

(3) kWh優先運転

1日の発電電力量が最大となるような調整容量、貯留時間、ピーク継続時間を調整する運用。なお、kWh優先の運転パターンの選定に際しては、対象がシリーズ発電所の場合等、運用決定に対する諸条件が複雑となることから、「開発計画支援システム：運転パターン選定システム」では、遺伝的アルゴリズム（GA）を用いて、最適な運転パターンの選定を可能とした。

地下調整池を有効に活用して、発電電力量が最大となる運転パターンを求めるためには、調整容量、貯留時間、ピーク継続時間、流況曲線データ、水車・発電機効率曲線データなどの数多くのパラメータを組み合わせた計算が必要となる。このため、従来の手法では最適運用パターンを求めるのに長大な計算時間が掛かることから、厳密解ではなく実用的な解を容易に求めることができる手法である遺伝的アルゴリズム（GA）を利用することとした。

これにより、①シリーズ発電所群全体の最適運用等の検討が容易にできる、②現地の取水制御（自動）に反映が可能である、kW重視あるいはkWh重視という事業者のニーズに合わせた運用の検討が容易となる、等のメリットが得られる。（遺伝的アルゴリズムは、巻末資料5『遺伝的アルゴリズム（GA）の概要』を参照）

なお、「運転パターン選定システム」は、主に地下調整池の設置を前提とした技術であるが、既設設備（既設調整池、調整利用可能な遊休水路、導水路内貯留等）を利用した、最適運転パターンの検討においても利用可能である。

「開発計画支援システム：運転パターン選定システム」を既設設備に適用することで、簡単に効率的な運転パターンの検討を行うことが可能である。（「運転パターン選定システム」の詳細については、巻末資料1『地下調整池 開発計画支援システム 説明書』を参照）

第4章 施工

4.1 地下調整池の施工法について

地下調整池トンネルの施工は、地山条件や地下調整池トンネルの規模に応じた最適な掘削工法を採用するとともに、最新の技術を取り入れ、コスト低減を図るものとする。

発破掘削工法と TBM 掘削工法について、現時点での最新技術に基づくコスト低減効果を考慮した施工を採用する。

【解説】

地下調整池を施工する場合には、最新の技術を取り入れて常にコスト低減に努める必要がある。本章では、『水力資源有効活用技術開発調査（地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査）』における検討結果から、発破掘削工法と TBM 掘削工法について、コスト低減・工期短縮が可能となる最新の技術について記述する。なお、各新技術導入によるコスト低減・工期短縮効果の試算は、『第5章 工事費』に記載した考え方に基づくものである（試算の詳細は、巻末資料6『地下調整池 構築技術 コスト低減要因』に示す）。

地下調整池トンネルを計画する上での発破掘削工法と TBM 掘削工法による工事費については、添付資料の「開発計画支援システム：工事費算定システム」を用いて簡易に概算工事費を算出することができるため、施工方法の選定に関するコスト比較を容易に行うことが可能である。（「開発計画支援システム：工事費算定システム」の詳細については、巻末資料1『地下調整池 開発計画支援システム 説明書』を参照）

4. 2 発破掘削工法による地下調整池トンネルの施工

4. 2. 1 施工概要

発破掘削工法による地下調整池トンネルの施工については、従来の発破掘削工法に対して以下に示す新技術を、地山条件や地下調整池トンネル規模に応じて適切に導入することにより、コスト低減を図るものとする。

- 1) 長孔発破技術
- 2) 爆薬技術
- 3) コンピュータ制御自動削孔技術
- 4) 高強度吹付けコンクリート技術
- 5) シングルシェル技術

【解説】

地下調整池トンネルの設計・施工を行うに際して適用可能な新技術は、以下のとおりである。

各新技術は、単独では大きなコスト低減効果が得られないものもあるが、他の新技術と組み合わせることによりコスト低減および工期短縮効果が得られると考えられるため、本マニュアルでは可能な限り全ての新技術を組み合わせて導入するものとした。

1) 長孔発破技術

通常よりも長い1発破進行長で発破することで、作業の効率化が図れるとともに、急速施工が可能となるため、それに伴うコスト低減が図れる。

長孔発破の可否は地山条件に左右されるため、本マニュアルでは岩盤等級 C_H 級以上の良好な地山に対して行うものとする。なお、長孔発破技術を有効活用するためには、後述の爆薬技術と併用することが重要である。

2) 爆薬技術

従来用いられているスラリー爆薬よりも安価となるエマルジョン爆薬を現場にて製造（サイトミキシング）することで材料費の低減が図れる。また、エマルジョン爆薬では、装薬の効率化が図れるため、長孔発破と組み合わせることで急速施工が可能となり、工期短縮に伴うコスト低減効果も期待できる。

3) コンピュータ制御自動削孔技術

削孔作業をコンピュータ制御した自動削孔が可能となるドリルジャンボを導入することで、削孔作業の効率化、削孔精度の向上による火薬量の減少、余掘り量の減少などにより、急速施工（工期短縮）が可能となる。また、作業人員の省力化が可能となるため、更なるコスト低減効果が期待できる。

4) 高強度吹付けコンクリート技術

吹付けコンクリートの強度を上げることで、吹付け厚の薄肉化による施工時間短縮（急速施工）効果とともに、掘削断面の縮小に伴う掘削量低減によるコスト低減効果が期待できる。

5) シングルシェル技術

トンネルの安定を一次支保と地山で確保し、覆工を省略することで、掘削断面の縮小効果によるコスト低減を図ることが可能となる。

4. 2. 2 長孔発破技術

岩盤等級 C_M 級以上の良好な地山に対しては、通常よりも長い 1 発破進行長となる長孔発破を積極的に採用し、コスト低減を図る。

【解説】

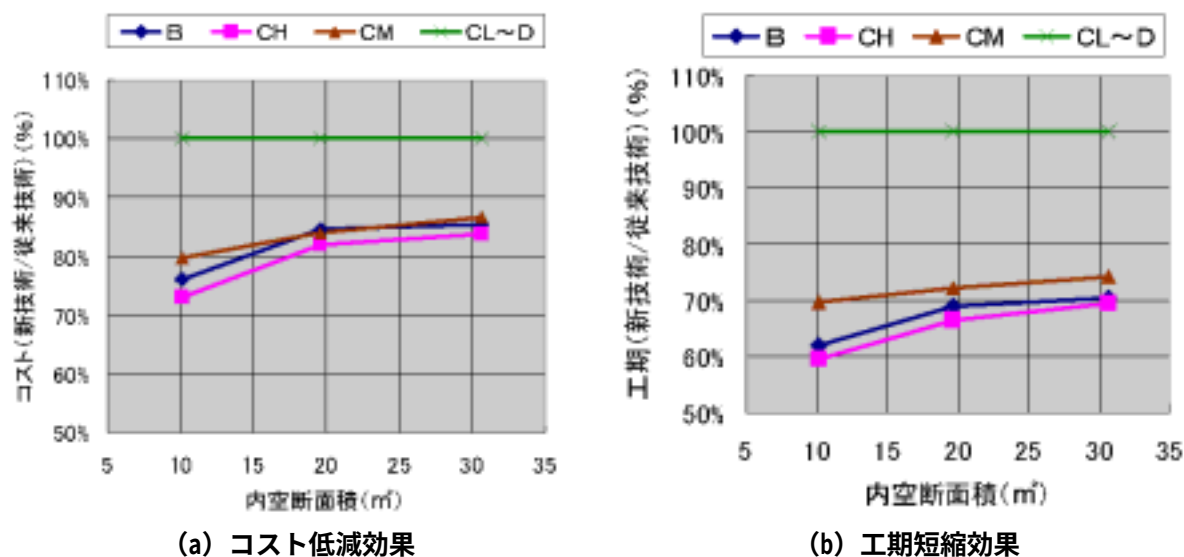
(1) 長孔発破技術について

発破掘削において穿孔長および 1 発破掘進長を長くすることにより、掘削効率を高めて急速施工を実現する技術である。欧米では、トンネル全線に亘って均一で安定した地山が多いため長孔発破による掘削は一般的になっているが、我が国では地質変化の大きな地山や軟弱な地山が多いこと、標準積算に制約があることなどから採用事例は多くない。

そのため、岩盤等級が C_M 級以上の良好な地山に対して長孔発破技術を導入するものとした。

(2) 長孔発破技術によるコスト低減・工期短縮効果

長孔発破技術の導入効果について試算した結果、図 4-1 に示すように従来技術に比べての約 70~85%のコスト・60~75%の工期となり、大きいコスト低減効果が得られることが確認された。



注) 図中の B, CH, CM, CL, D は、岩盤等級を表す。
図 4-1 長孔発破技術の導入効果

(3) 長孔発破技術導入時の留意事項

長孔発破により急速施工を実現するためには、以下の点に留意する必要がある。

- 1) 長孔発破では 1 発破で発生する掘削ずりが大量であることから、ずり出しがサイクルタイムのネックとなることが多いため、穿孔・装薬・爆破作業とバランスした能力の高いずり出し設備を採用する必要がある。
- 2) 長孔の装薬孔に爆薬を装填するためには、装薬が効率的にできる爆薬を使用すること

がサイクルタイムの短縮に効果的である。そのためには、硝安油剤爆薬（ANFO）やエマルジョン爆薬が適している。装薬時間の短縮は、切羽直近での作業時間を短縮することにもなるため、作業員の安全性の向上にも役立つ。

- 3) ずり積時間を短縮するためには、発破による破碎ずりがずり積込に適当な粒径で、かつ均一であることが効果的である。そのための芯抜き方法、発破パターン、装薬量の最適化が必要である。
- 4) 1 発破掘進長が長くなるに従って余掘り量が増加するため、削孔の精度を向上させることにより余掘り量を減少させる必要がある。また、最外周孔にスムーズブラスティング工法を採用すれば、余掘りの低減には極めて効果的である。

4. 2. 3 爆薬技術

エマルション爆薬を用いることで発破孔への装薬の効率化が図れ、長孔発破と組み合わせることで急速施工が可能となり、工期短縮に伴うコスト低減が期待できる。また、エマルション爆薬を現場にて製造（サイトミキシング）することで爆薬材料費の低減効果が期待できる。このことから、エマルション爆薬を積極的に採用し、コスト低減を図る。

【解説】

(1) エマルション爆薬について

発破掘削に使用される爆薬は、硝安油剤爆薬（ANFO）と含水爆薬（スラリー爆薬、エマルション爆薬）の2種類があり、一般には含水爆薬（スラリー爆薬）が多く使用されている。

本技術で採用したエマルション爆薬は、含水爆薬と同じ材料であるが気泡を含まない状態で貯蔵運搬され、この状態では爆発せず、切羽で装薬孔に装填するときに気泡を混入することで鋭感化して爆発可能な状態となる。平成16年3月の火薬類取締法施行規則の改正により、移動式製造設備を用いて切羽近傍にて現場混合することで爆薬を製造し、直接ホース等で発破孔に装薬して発破が行えるようになった。なお、同改正に伴い気泡を含まない状態のエマルションマトリックスは当座火薬類として扱うこととなったため、輸送・貯蔵・使用は全て火薬類取締法の規制を受けることとなる。

エマルション爆薬は、耐水性が高いため湧水箇所でも使用可能であり、後ガスがほとんど無いことから作業環境に優れる。また、エマルション爆薬をサイトミキシングしたエマルション爆薬（バルクエマルション爆薬）を使用する場合には、装薬孔内で爆薬化するため取り扱い上の安全性が高い。

(2) エマルション爆薬のサイトミキシング（現場製造）に関する規制

1) 最大製造数量	: 1日の消費数量以下
2) 責任者	: 使用量1トン以上 製造保安責任者（甲種）1名 製造保安責任者代理者（甲種）1名 使用量1トン未満 製造保安責任者（乙又は甲種）1名 製造保安責任者代理者（乙又は甲種）1名
3) 製造場所の制限	: 保安距離の確保がなされていれば特に制限はない（切羽での製造が可能）
4) 製造施設及び設備	: 最低限必要な設備（火薬庫、移動式製造設備、廃棄焼却場）
5) 作業資格	: 製造作業者の内、発破孔に装薬する作業者は発破士もしくは火薬類取扱者免状を有していなければならない。
6) 製造の許認可	: 製造所毎（トンネル現場毎）に経済産業大臣の製造の許可が必要。 （工事終了後は製造営業の廃止届けの提出が必要）

(3) バルクエマルション爆薬導入によるコスト低減効果

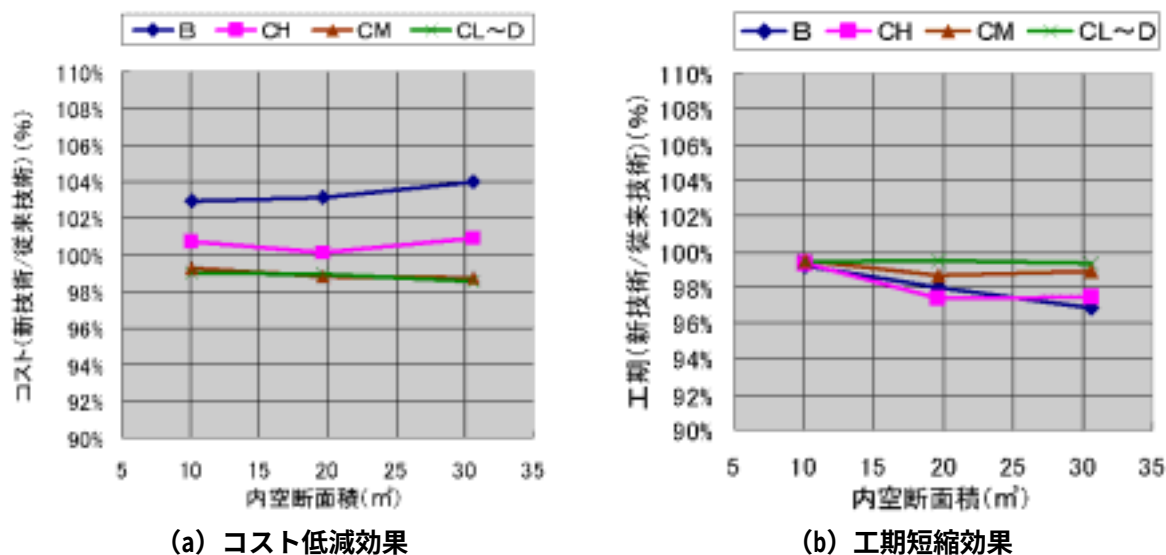
国内でのバルクエマルション爆薬の価格が未定であるがメーカーに対するヒアリング調査

では、爆薬の価格は含水爆薬（スラリー爆薬）と硝安油剤爆薬（ANFO）の中間程度となり、スラリー爆薬の 6 割程度の単価となる見込みである。ただし、発破孔に対して密に装薬することが可能となるため、爆薬使用量はスラリー爆薬よりも増えることとなる。バルクエマルジョン爆薬の導入効果について試算した結果、図 4-2 に示すように岩盤等級によってコストの増減が見られるが、装薬作業効率などの面で優位性が得られるため、長孔発破技術など他の新技術と組み合わせることで、総合的にコスト低減効果が得られると考えられる。

(4) バルクエマルジョン爆薬導入による工期短縮効果

発破孔への装薬時間の短縮および発破孔削孔数の減少に伴う工期短縮効果が期待できる。

バルクエマルジョン爆薬の導入効果について試算した結果、図 4-2 に示すように装薬時間短縮効果によりすべての岩盤等級、断面規模において工期短縮効果が得られている。特に長孔発破技術と組み合わせることでさらにその効果が得られる。



(a) コスト低減効果

(b) 工期短縮効果

注) 図中の B, CH, CM, CL, D は、岩盤等級を表す。

図 4-2 バルクエマルジョン爆薬技術の導入効果

4. 2. 4 コンピュータ制御自動削孔技術

削孔作業をコンピュータ制御した自動削孔が可能となるドリルジャンボを積極的に導入することで、削孔作業の効率化、削孔精度向上による装薬量の低減、余掘り量の減少に伴う工期短縮（コスト低減）に努める。

【解説】

(1) コンピュータ制御自動削孔技術について

コンピュータ制御自動削孔技術は、ドリルジャンボに小型コンピュータを搭載し、トンネル線形、トンネル断面、発破パターンおよび削孔角度などの削孔に関わる情報をあらかじめ入力しておくとともに、測量用レーザービーム等を用いてドリルジャンボの位置を確定しておくことにより、操作盤のボタン操作により計画削孔パターンに従って自動的に削孔作業を行うことができるシステムである。削孔作業がコンピュータにより自動制御されるため、高精度水平芯抜きも同時に可能となる。さらに、削孔完了後にコンピュータに記録したのみ下がり速度や削孔速度等のデータを容易に確認できるとともに、これらのデータを以降の削孔作業に反映させることができる。

コンピュータ制御自動削孔には、

レベル1) フィードの方向が操作盤上のディスプレイに表示され、操作員がそれを見ながらブームとフィードを操作する。

レベル2) 削孔位置、削孔角度、孔の深さが操作盤上のディスプレイに表示され、操作員がブームとフィードを操作する。

レベル3) 完全自動でブームの位置決め、削孔を行う。

といったレベルがある。欧州ではレベル2)の自動制御が一般的であるが、我が国ではレベル1)が普及しつつあるのが現状である。

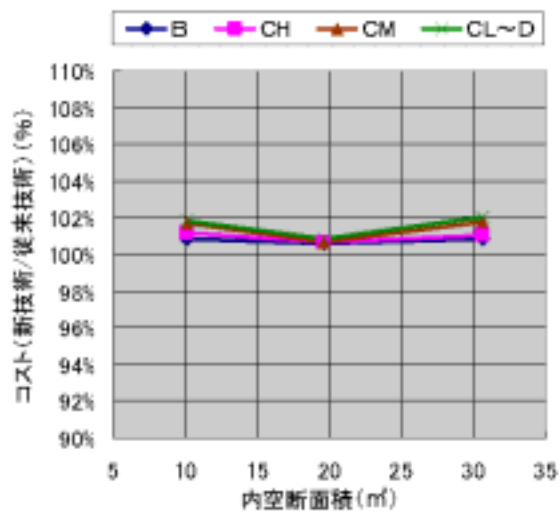
※) 本検討での新技術は、レベル2)を対象とする。

(2) コンピュータ制御自動削孔技術によるコスト低減・工期短縮効果

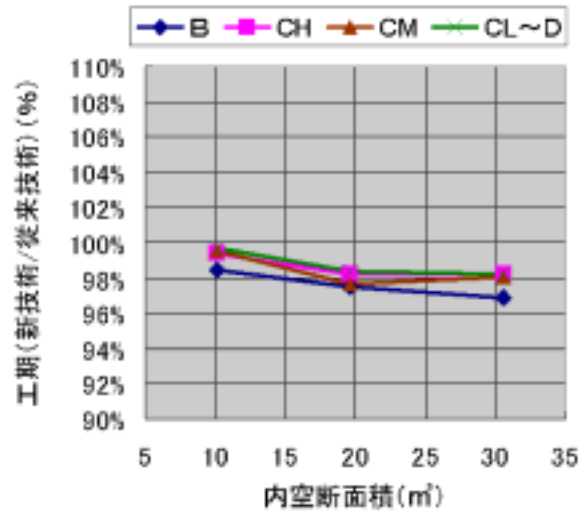
コンピュータ制御自動削孔技術の導入効果について試算した結果、図4-3に示すように、全体的な傾向として工期短縮と余掘り減によるコスト減と、機械損料増によるコスト増が相殺し、従来技術とほぼ同等のコストとなることが確認された。

また、削孔速度の向上に伴い、図4-3に示すように、すべての岩盤等級に対して工期短縮効果が期待できる。

なお、試算時のメーカー価格調査では、コンピュータ制御自動削孔機能を搭載したドリルジャンボの基礎価格は、通常型よりも5割増し程度であったが、今後の機械が普及することにより価格差は減少するものと予想される。



(a) コスト低減効果



(b) 工期短縮効果

注) 図中の B, CH, CM, CL, D は、岩盤等級を表す。

図 4-3 コンピュータ制御自動削孔技術の導入効果

4. 2. 5 高強度吹付けコンクリート技術

地下調整池トンネルにおける吹付けコンクリートは、高強度吹付けコンクリート（ $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$ ）を使用することを標準とする。

このことにより、吹付け厚の薄肉化による施工時間短縮（工期短縮）と、それに伴う掘削断面の縮小に伴うコスト低減効果が期待できる。

【解説】

(1) 高強度吹付けコンクリートについて

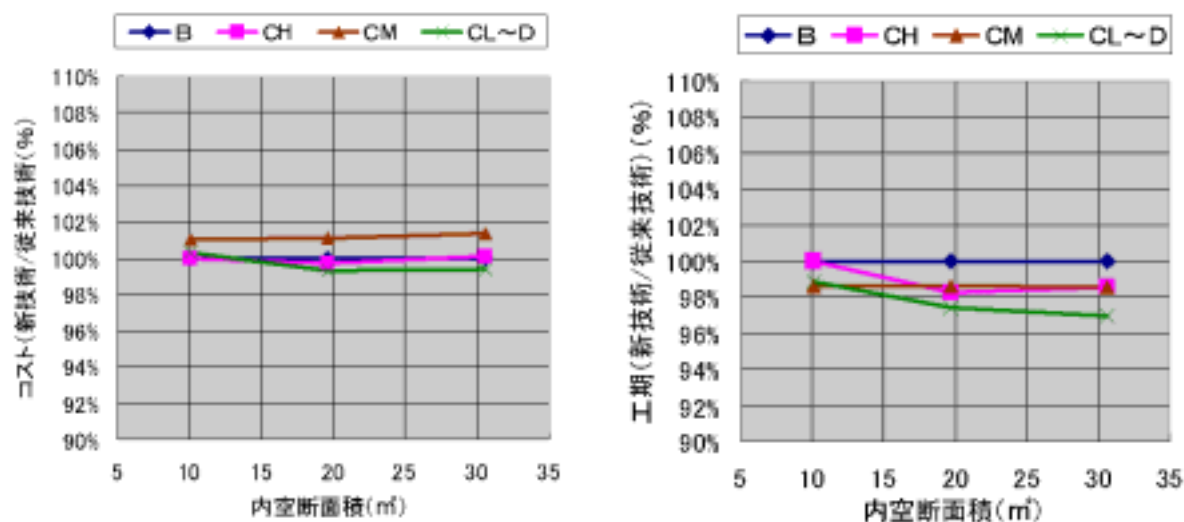
トンネル工事で一般に使用されている吹付けコンクリートは、材令 28 日強度で 18N/mm^2 が標準であった。しかし、第二東名・名神高速道路などの大断面トンネル施工においては、従来の吹付けコンクリートと力学的性能が同等以上で、かつ極力薄い吹付け厚の材料による高速施工が要求されたことから、高強度吹付けコンクリートが採用され始めている。

この高強度吹付けコンクリートは、強度発現のため単位セメント量が従来の吹付けコンクリートより多くなるため、結果的に粘性が高くなり、跳ね返りが減少することとなっている。そのため、強度増加による吹付けコンクリート厚の薄肉化に伴う吹付けコンクリート量および掘削断面積の減少と相まって、高強度吹付けコンクリートの採用はサイクルタイムの減少（工期短縮）に寄与することとなる。

(2) 高強度吹付けコンクリートによるコスト低減・工期短縮効果

高強度吹付けコンクリート技術導入効果を試算した結果、図 4-4 に示すように工期短縮と余吹き減によるコスト減と、材料単価増によるコスト増が相殺し、従来技術とほぼ同等のコストとなることが確認された。

また、高強度吹付けコンクリートを採用することで吹付け厚の低減が図れる岩盤等級 C_H ～D 級地山については、工期短縮効果も期待できる。



(a) コスト低減効果

(b) 工期短縮効果

注) 図中の B, C_H , C_M , C_L , D は、岩盤等級を表す。

図 4-4 高強度吹付けコンクリート技術の導入効果

4. 2. 6 シングルシェル技術

吹付けコンクリートを用いた永久覆工は、巻立てコンクリートによる覆工に比べて施工性、経済性の面で有利となるため、地下調整池トンネルでは吹付けコンクリートを用いたシングルシェル構造を標準とする。

【解説】

(1) シングルシェルの定義

一般に水路の永久覆工として、トンネル掘削時に施工される現場打ちコンクリートによる二次覆工を省略し、吹付けコンクリートのみによる仕上げを行うものをシングルシェルと呼んでいる。この場合、掘削時に切羽近傍にて行われる吹付けコンクリート（一次吹付けコンクリート）のみによる構造と、切羽後方にて二次吹付けコンクリートを行い、これを仕上げとする場合がある。本マニュアルでは、図 4-5 に示すように、二次吹付けコンクリートによる仕上げを行うものをシングルシェルと定義する。

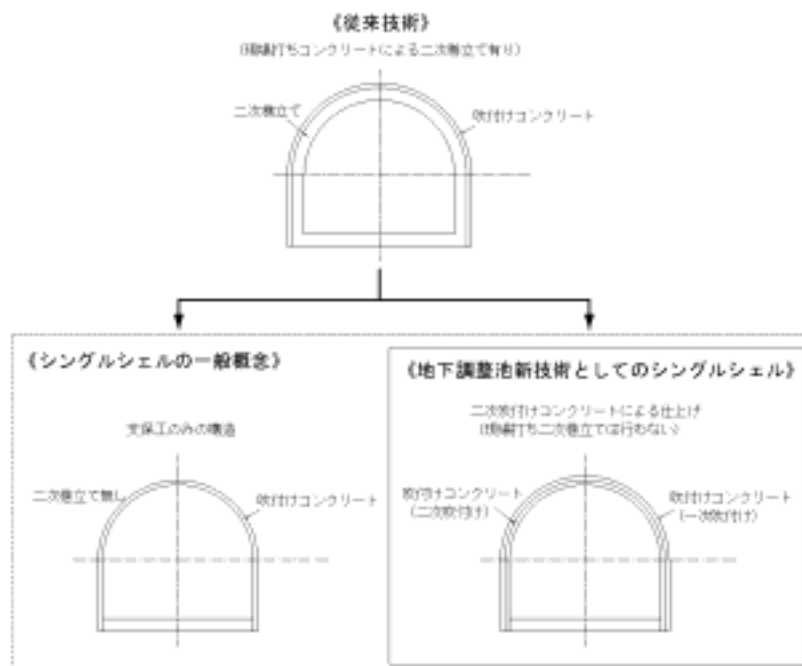


図 4-5 地下調整池トンネルにおけるシングルシェルの定義

(2) シングルシェルの適用理由

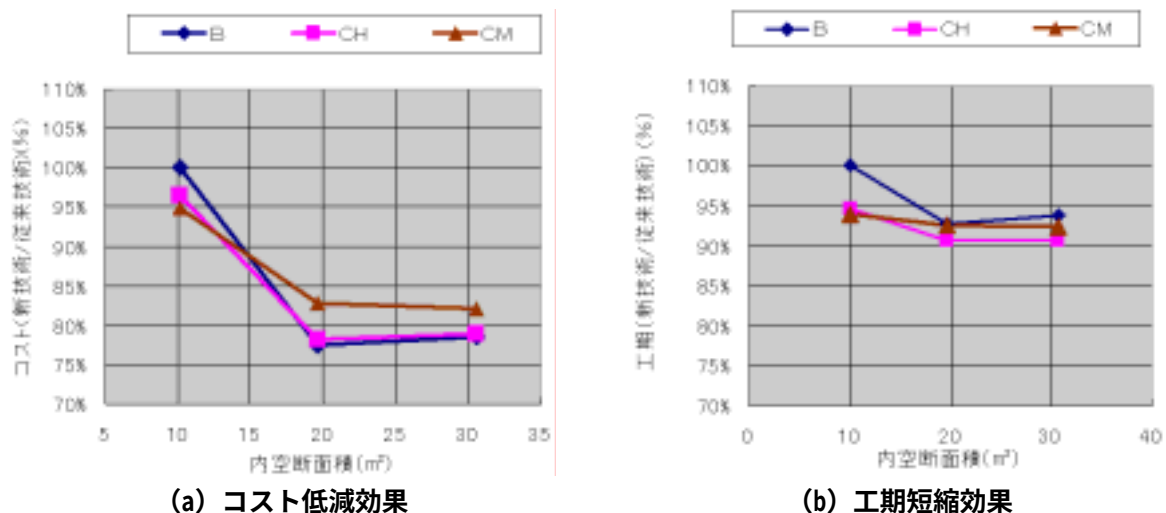
以下の理由により、シングルシェルを導入するものとした。

- ① 『中小水力発電の新技术の手引 平成5年1月（財）新エネルギー財団』において、小断面トンネル（内空幅 4.5m 未満程度）ではシングルシェルが既に実用化されている。
- ② 断面規模が大きく、かつ、発破掘削方式にて施工されている地下発電所や石油備蓄基地および導水路トンネルにおいても既に施工実績が見られる。
- ③ NATM による発破掘削方式の施工では、一次支保の状態では地山の安定が図られることが原則となっているため、供用時のトンネル安定上の問題は小さい。

- ④ 地下調整池トンネル内は一般者の立ち入りが制限されるため、肌落ちや小規模な崩落が生じた場合であっても社会的な影響の問題は小さい。
- ⑤ 地下調整池で用いられるような運用状態（トンネル内の水位の日変動が大きい場合）における、水位変動に伴う水圧の変動に対する応力状況の変化については、高強度吹付けコンクリートの耐久性を検証し、シングルシェル構造の安全性を確認した。

(3) シングルシェル導入によるコスト低減・工期短縮効果

シングルシェル導入効果を試算した結果、図 4-6 に示すように従来技術において巻立てコンクリートによる覆工を設置していた 20 m²程度以上の断面においては、シングルシェルを導入することにより、コストは 20%程度の低減効果を得られ、工期についても 5～10%の低減効果を得られることが確認された。



注) 図中の B, CH, CM は、岩盤等級を表す。

図 4-6 シングルシェル技術の導入効果

(4) シングルシェル導入時の留意点

シングルシェルの導入に際して、掘削サイクルにて一次支保として施工される吹付けコンクリート状態のままでは、

- ① 一次支保設置後の次回切羽掘削時の発破による影響
- ② 一次支保設置後の天端沈下、内空変位による影響

により、吹付けコンクリート面にひび割れが発生することは否めない。地下調整池トンネルにおいてこのようなひび割れからの漏水が発生することは、調整池水量の低下となることから避ける必要がある。

したがって、発破および内空変位等が吹付けコンクリートに与える影響を考慮し、トンネル内空変形が収束したことを確認した後に、二次支保として吹付けコンクリートによる仕上げライニングを行うことを標準とした。

なお、以下に示す条件下においては、別途巻立てコンクリートによる永久覆工も検討する

必要がある。

- 1) 脆弱な地山や、将来水による劣化が予想される地山、土被りが薄い坑口部のように将来土圧が変化すると予想される地山で、永久覆工に力学的機能が要求される場合。
- 2) 寒冷地における坑口付近で、凍結融解による劣化が予想される場合。
- 3) 矢板工法を用いた場合。

4.3 TBM掘削工法による地下調整池トンネルの施工

4.3.1 施工概要

TBM 掘削工法による地下調整池トンネルの施工については、従来の TBM 掘削工法に対して以下に示す新技術を地山条件や地下調整池トンネル規模に応じて適切に導入することにより、コスト低減を図るものとする。

- 1) カッタービットの急速交換技術
- 2) カッタービットの長寿命化技術
- 3) 簡易ライナーの導入
- 4) 楕円 TBM の活用
- 5) シングルシェル技術

なお、TBM 掘削工法においては、施工現場までのマシン搬入のための工事用道路の確保およびマシン組立のための仮設ヤードの確保が可能であることが、採用に対する前提条件となる。

【解説】

地下調整池トンネルの設計・施工を行うに際して適用可能な新技術は以下のとおりである。

1) カッタービットの急速交換技術

カッタービットの交換時間の短縮による急速施工（工期短縮）効果と、それに付随するコスト低減効果が図れる。

2) カッタービットの長寿命化技術

長寿命対応型カッタービットを用いることでカッタービット交換回数を低減することによる急速施工（工期短縮）効果と、それに付随するコスト低減効果が図れる。

3) 簡易ライナーの導入

破砕帯部などに対して、廉価ライナー（鋼製ライナー）を用いた高速施工を行うことで、地山崩壊防止対策費用の低減などに伴うコスト低減効果が図れる。

4) 楕円 TBM の活用

掘削高さに比べて掘削幅を広くした楕円 TBM 掘進機を用いた施工を行うことで、掘削 1m 当りの地下調整池容量を増やすことが可能となるため、地下調整池総延長を短くすることでコスト低減効果が図れる。

5) シングルシェル技術

トンネルの安定を支保と地山で確保し、覆工を省略することで、掘削断面の縮小効果と覆工省略効果によるコスト低減を図ることが可能となる。

4.3.2 カッタービットの急速交換技術

カッタービット交換による施工時間のロスが生じないように、地下調整池トンネルに使用する TBM の導入に際しては、カッタービットの急速交換が可能となる設備を盛り込むことを標準とする。

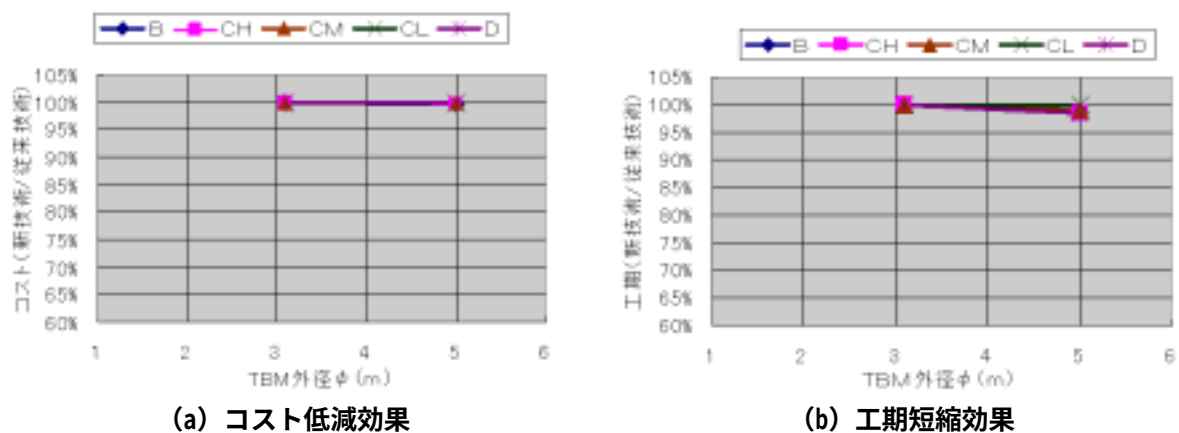
【解説】

(1) カッタービットの急速交換について

TBM 導入時において、カッタービットの急速交換装置を導入し、従来の手作業によるビット交換よりも安全性の向上および作業の高速化を目指すものである。現在では、各マシンメーカーより様々な交換装置が提案、実用化されているため、その採用に際しては TBM 径とマシンコストを考慮した上で、コスト低減に努めるものとする。

(2) カッタービットの急速交換設備導入によるコスト低減・工期短縮効果

カッタービットの急速交換設備導入効果について試算した結果、図 4-7 に示すように TBM 掘削径が大きくなるほど工期短縮効果は得られるが、岩盤等級や断面規模に関わらずコストについては従来技術とほぼ同等となることが確認された。



注) 図中の B, CH, CM, CL, D は、岩盤等級を表す。

図 4-7 カッタービットの急速交換技術の導入効果

4.3.3 カッタービットの長寿命化技術

カッタービット交換による施工時間のロスが生じないように、地下調整池トンネルに使用する TBM の削孔カッタービットは耐摩耗性の高い材質のビット採用し、カッタービットの長寿命化を図ることを標準とする。

【解説】

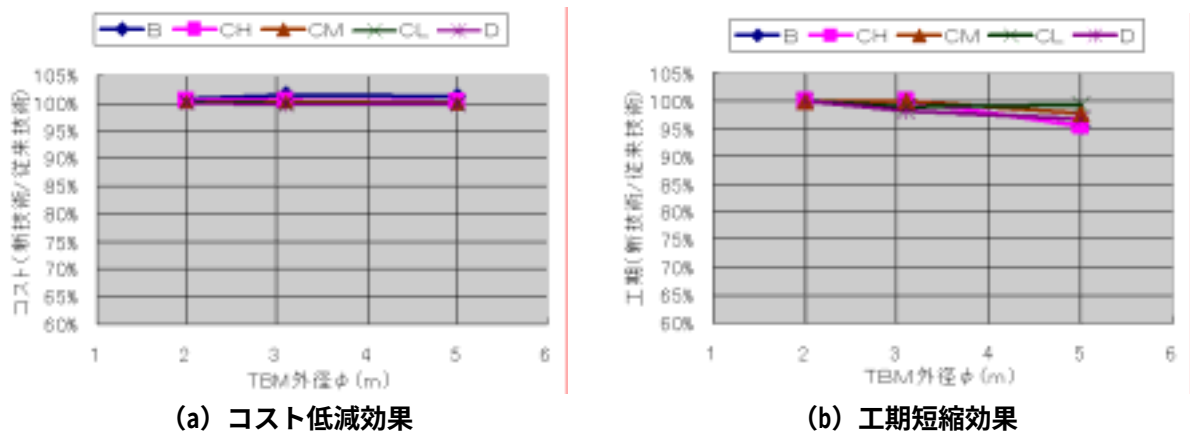
(1) カッタービットの長寿命化技術について

カッタービットに耐摩耗性の高い金属を使用することや、ビット自体を大型化させることによりカッタービットの長寿命化をはかる。このことにより、カッタービットの交換回数の低減とそれに伴う掘削作業の中断を減らすことにより、工期短縮とそれに伴うコスト低減を図るものである。

なお、耐摩耗性の高い材質のカッタービットは、標準材質のものに比べて高価であることや、硬度が高い分若干じん性が劣るなどの問題もあるため、採用に際しては地質との適応性を十分考慮する必要がある。

(2) カッタービットの長寿命化技術導入によるコスト低減・工期短縮効果

耐摩耗性硬質カッタービットの導入効果について試算した結果、図 4-8 に示すようにカッタービット単価増によるコスト増と、ビット交換回数減によるコスト減が相殺され、従来技術とほぼ同等のコストとなることが確認された。



注) 図中の B, CH, CM, CL, D は、岩盤等級を表す。

図 4-8 カッタービットの長寿命化技術の導入効果

4.3.4 簡易ライナーの導入

固結度の低い崩落性地山の支保構造は、崩落岩塊などが仮受けできる程度の比較的簡易な鋼製ライナーを用いることで、施工速度を低下（TBM 掘進稼働率の低下）させないように施工することを標準とする。

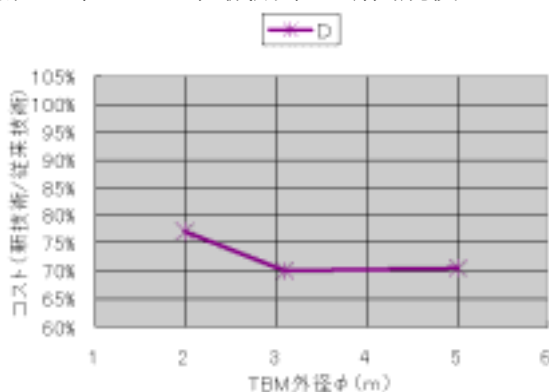
【解説】

(1) 簡易ライナーについて

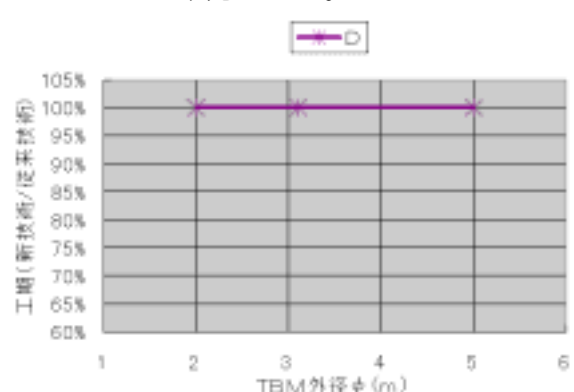
地山崩落防止対策として注入式フォアポーリングなどの補助工法を併用しながら TBM 掘進を行うと、施工速度の低下に伴う TBM 掘進稼働率の低下を招くため、全体工期が長くなり、不経済となる。したがって、地下調整池トンネルを TBM 掘削方式で施工する場合には、TBM 掘進稼働率向上によるコスト低減を図るため、不良地山に対しては積極的に鋼製ライナーを採用するものとした。なお、このとき使用する鋼製ライナーは、不良地山岩塊の小崩落に耐える程度の比較的簡易な構造とし、鋼製ライナーコストの低減を図るものとする。

(2) 簡易ライナー導入によるコスト低減・工期短縮効果

簡易ライナー導入効果について試算した結果、図 4-9 に示すように工期に対して影響は無いが、コスト低減効果は断面規模によらず得られることが確認された。



(a) コスト低減効果



(b) 工期短縮効果

注) 図中の D は、岩盤等級を表す。

図 4-9 簡易ライナーの導入効果

4.3.5 楕円TBMの採用

地下調整池トンネルを TBM 掘削方式にて計画する場合には、導水勾配により決まる高さ制限から通常の円形 TBM では調整池容量が不足する場合があるため、楕円 TBM と円形 TBM のコスト比較を行い、優位性が見られる場合には楕円 TBM を採用する。

【解説】

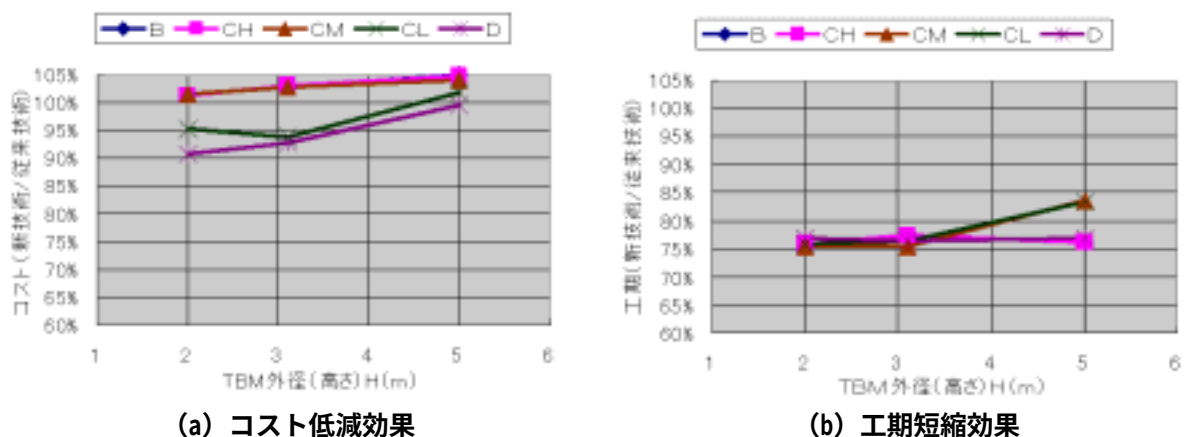
(1) 楕円 TBM について

楕円 TBM は試験施工段階であるため、実際に採用した事例は無いが、開発段階は実用レベルとなっていることから、コスト比較をして経済性の面で優位性が見られる場合には採用についても考慮することとした。

(2) 楕円 TBM 導入によるコスト低減効果

地下調整池トンネルでは上流側と下流側で高さが規定されてしまうため、トンネル形状を楕円形とすることで同じ延長の地下調整池であれば貯留容量を大きくすることが可能となる。そのため同じ貯留容量を確保する場合には円形 TBM よりもトンネル施工延長を短くすることが可能となる。したがって、楕円 TBM 導入によるマシンのコストアップ効果と、トンネル施工延長短縮によるコストダウン効果との差によってコスト低減効果が期待できる。

楕円 TBM の導入効果について試算した結果、図 4-10 に示すように工期についてはすべての岩盤等級、断面規模にて低減効果が得られるが、コストについては岩盤等級や断面規模によるばらつきが大きく、地山条件や地下調整池規模によって効果の増減があるとの結果が得られた。



注) 図中の B, CH, CM, CL, D は、岩盤等級を表す。

図 4-10 楕円 TBM の導入効果

4. 3. 6 シングルシェル技術

吹付けコンクリートを用いた永久覆工は、巻立てコンクリートによる覆工に比べて施工性、経済性の面で有利となるため、地下調整池トンネルでは吹付けコンクリートを用いた永久覆工（シングルシェル構造）を標準とする。

【解説】

(1) シングルシェルの定義

前述【4. 2. 6 (1) シングルシェルの定義】参照。

(2) シングルシェルの適用理由

以下の理由により、シングルシェルを導入するものとした。

- ①『中小水力発電の新技术の手引 平成5年1月（財）新エネルギー財団』において、小断面トンネル（内空幅 4.5m 未満程度）ではシングルシェルが既に標準化されている。
- ② 断面規模が大きく、かつ、発破掘削方式にて施工されている地下発電所や石油備蓄基地および導水路トンネルにおいても既に施工実績が見られる。
- ③ TBM 掘削では、地山に与える損傷が小さく、かつ、断面も円形で平滑であることから、無支保状態での地山およびトンネル断面の安定性が高い。
- ④ 地下調整池トンネル内は一般者の立ち入りが制限されるため、肌落ちや小規模な崩落が生じた場合であっても社会的な影響の問題は小さい。
- ⑤ 地下調整池で用いられるような運用状態（トンネル内の水位の日変動が大きい場合）における、水位変動に伴う水圧の変動に対する応力状況の変化については、高強度吹付けコンクリートの耐久性を検証し、シングルシェル構造の安全性を確認した。

(3) シングルシェル導入時の留意点

発破掘削工法における場合と同様に、TBM 掘進および内空変位等が吹付けコンクリートに与える影響を考慮し、内空変形が収束したことを確認した後に、二次支保として吹付けコンクリートによる仕上げライニングを行うことを標準とした。

なお、以下に示す条件下においては、別途巻立てコンクリートによる永久覆工も検討する必要がある。

- 1) 脆弱な地山や、将来水による劣化が予想される地山、土被りが薄い坑口部のように将来土圧が変化すると予想される地山で、永久覆工に力学的機能が要求される場合。
- 2) 寒冷地における坑口付近で、凍結融解による劣化が予想される場合。
- 3) 施工時に高圧、多量の湧水によって、吹付けコンクリートの施工不良が見られる箇所や、過度に地山が緩んだ箇所。

第5章 工事費

5.1 工事費と工期の算出について

地下調整池トンネルの計画段階で行う工事費および工期の算出については、必要となる地下調整池容量等からトンネル延長・トンネル断面形状を設定し、調査結果から得られたトンネル岩盤等級をもとに支保構造およびトンネル施工法を設定した上で、概算工事費および概算工期を算出するものとする。

【解説】

本章で記述するトンネルの工事費および工期は、『第4章 施工』で記載した各新技術導入によるコスト低減・工期短縮効果を適用することを前提とする。

地下調整池トンネルの工事費および工期を算出するためには、トンネル延長、トンネル断面規模、岩盤等級区分、支保構造、トンネル施工法を設定する必要がある。トンネル工事費や工期は、トンネル延長、トンネル断面規模、岩盤等級や支保構造、トンネル施工法によって大きく増減することから、できるだけ適切に評価することが望ましい。

しかしながら、計画段階では事前に得られている調査結果が少ないこと等から、工事費および工期の算出を簡便にするため、本マニュアルでは岩盤等級とトンネル断面規模に対応した標準支保パターンを、発破掘削工法およびTBM掘削工法に対してそれぞれ設定している。

したがって、極端に地山条件が悪い場合などを除き、本マニュアルに示した標準支保パターンを適用して工事費および工期を算出することを基本とする。

本マニュアルにおける標準支保パターンの適用範囲を下表に示す。

表 5-1 標準支保パターンの適用範囲

	発破掘削方式	TBM掘削方式
岩盤等級	B等級 C _H 等級 C _M 等級 C _L 等級 D等級	
断面規模	内空幅 3.0m 以上 7.6m 以下	TBM掘削径 2.0m 以上 6.2m 以下

なお、開発計画支援システム：『工事費算定システム』では、地下調整池トンネル工事費の他に以下の追加工事費を別途加算できるものである。

①調整池流量制御に必要な費用

- ・流量調整ゲート工事費（『発電計画工事費積算基準（財）新エネルギー財団』等を参考とする。）
- ・発電所制御システム改造費用（ゲート、ガイドベーン操作等）

②調整池トンネル工事費仮設費用等

- ・工事用道路
- ・工事用栈台
- ・ずり処分費

また、新規計画地点（導水路調整能力付加案）の場合については、地下調整池（導水路）工事費以外の発電所全体工事費を『発電計画工事費積算基準（財）新エネルギー財団』等を参考に「工事費算定システム」に入力する。これにより、発電計画全体における kW 当たり建設単価、kWh 当たり建設単価を算出することにより、地下調整池式計画と流れ込み式計画との対比を行えるものとする。

5.2 発破掘削工法による地下調整池トンネルの工事費と工期の設定

5.2.1 発破掘削工法による地下調整池トンネルの工事費

発破掘削工法による地下調整池トンネルを計画する場合には、トンネル延長、岩盤等級、トンネル断面形状を設定し、トンネル支保構造やトンネル施工法等を設定した上で適切に概算工事費を算出する。

【解説】

地下調整池トンネルの計画段階において、発破掘削工法により地下調整池トンネルを構築する場合の工事費算出に際しては、以下に示す支保構造および施工機械の組合せを用いることを標準とする。

また、この標準支保パターンおよび標準的な施工機械の組合せを用いた場合の発破掘削工法による工事費算出には、添付資料の工事費算定システムを用いて簡易に概算工事費を算出することができる。（「開発計画支援システム：工事費算定システム」の詳細については、巻末資料1『地下調整池 開発計画支援システム 説明書』を参照）

(1) 標準支保パターン

発破掘削工法により地下調整池トンネルを計画する場合には、岩盤等級およびトンネル断面形状に対応した適切な支保構造を設定する必要がある。

ただし、地下調整池トンネルの計画段階では、詳細な地質調査等が行われていないことから、この段階での支保構造の設定は、岩盤等級およびトンネル断面規模に応じて以下に示す標準支保パターンを用いることを標準とする。

表 5-2 標準支保パターン表（発破掘削：内空幅 3.0m 以上 4.6m 未満）

内空幅 3.0m以上 4.6m未満 (発破掘削)								
岩盤等級	一発破進行長 m	ロックボルト			鋼製支保工		一次吹付け厚 cm	二次吹付け厚 cm
		長さ m	施工間隔		部材寸法	建込み間隔 m		
			周方向 m	延長方 m				
B	5.0	—	—	—	—	—	4	4
C _H	5.0	—	—	—	—	—	4	4
C _M	2.5	1.5	2本	2.5	—	—	4	4
C _L ～D	1.0	1.5	4本 (1.0) (天端)	1.0	H-100	1.0	6	4

- 注1) 吹付けコンクリートは、高強度吹付けコンクリート ($f_{ck}=30\text{N/mm}^2$) とする。
 注2) ロックボルトは、天端部への打設を基本とし、C_M級については2本を標準とし、C_L～D級については4本 (天端部、周方向1.0mピッチ) を標準とする。
 注3) C_L～D級については、吹付けコンクリート内に金網を設置する。

表 5-3 標準支保パターン表（発破掘削：内空幅 4.6m 以上 7.6m 未満）

内空幅 4.6m以上 7.6m未満 (発破掘削)								
岩盤等級	一発破進行長 m	ロックボルト			鋼製支保工		一次吹付け厚 cm	二次吹付け厚 cm
		長さ m	施工間隔		部材寸法	建込み間隔 m		
			周方向 m	延長方 m				
B	5.0	—	—	—	—	—	4	4
C _H	5.0	—	—	—	—	—	4	4
C _M	2.5	2.0	1.2	2.5	—	—	4	4
C _L ～D	1.0	2.0	1.0	1.0	H-100	1.0	6	4

- 注1) 吹付けコンクリートは、高強度吹付けコンクリート ($f_{ck}=30\text{N/mm}^2$) とする。
 注2) C_L～D級については、吹付けコンクリート内に金網を設置する。

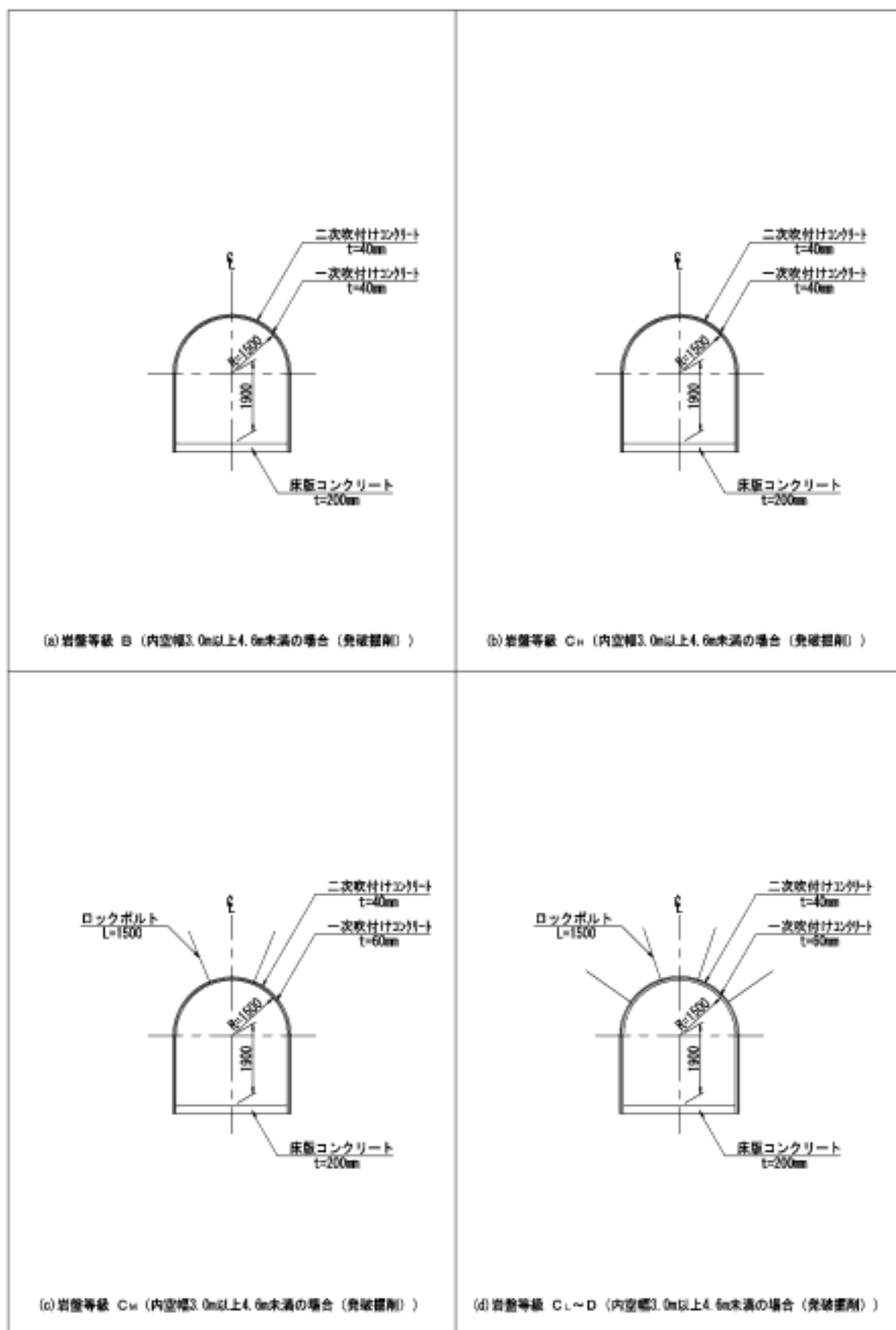


図 5-1 標準支保パターン図の例 (発破掘削：内空幅 3.0m 以上 4.6m 未満の場合)

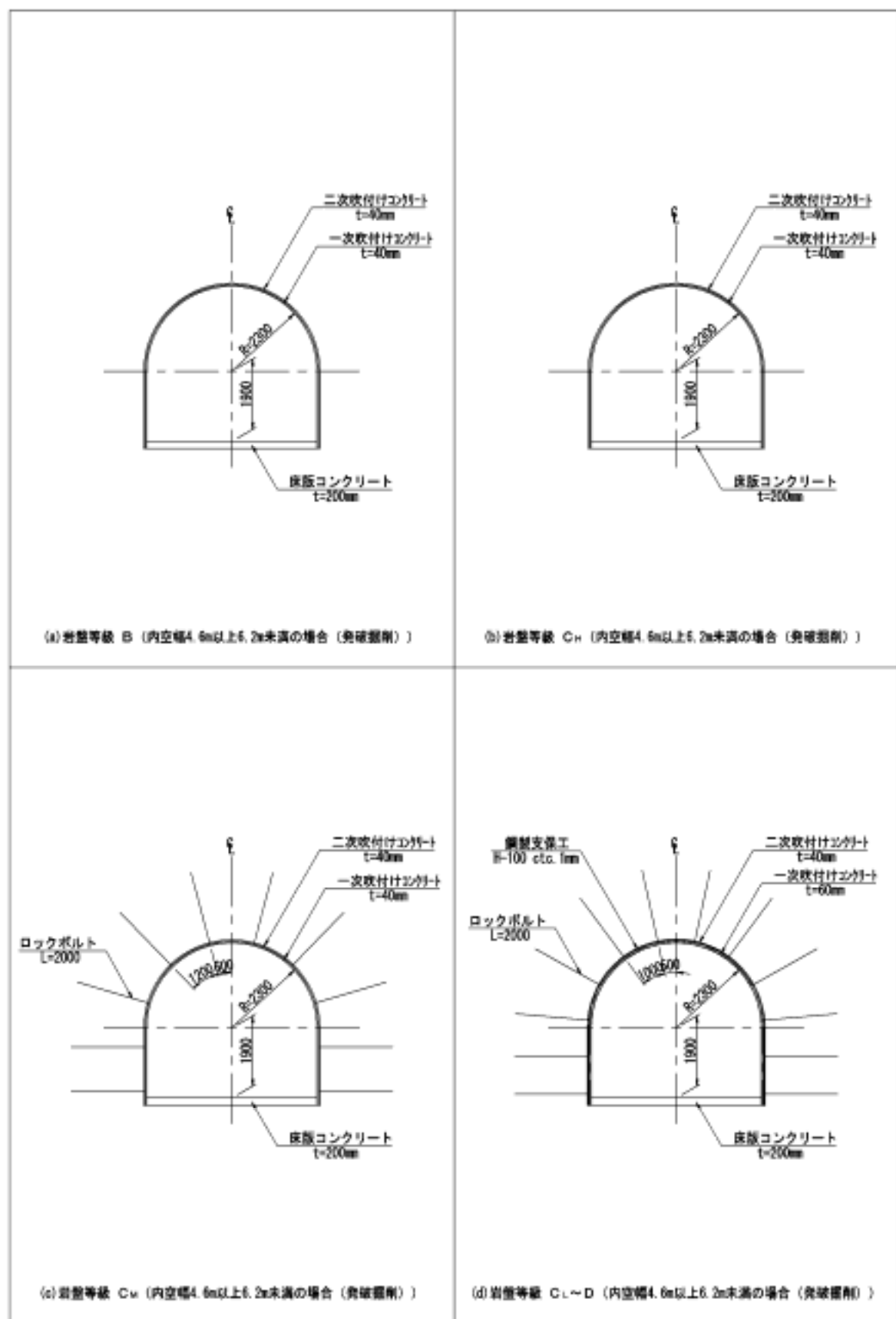


図 5-2 標準支保パターン図の例 (発破掘削：内空幅 4.6m 以上 6.2m 未満の場合)

(2) 標準施工機械の組合せ

標準施工機械の組合せは、断面規模、施工法を考慮し、内空幅 6.2m 未満の地下調整池トンネルはレール方式を採用し、内空幅 6.2m 以上のトンネルはタイヤ方式を採用することを標準とする。

発破掘削工法におけるトンネル内空幅に応じた標準掘削機械の組合せを下表に示す。

表 5-4 標準掘削機械の組合せ（発破掘削工法）

断面 規模	内空断面積	10～16 m ²	16～30 m ²	30 m ² ～
	内空幅	3.0m以上 4.5m未満	4.5m以上 6.2m未満	6.2m以上
削孔機械		レール走行式 2 ブーム油圧ジャンボ (ドリフタ重量 100kg 級) 牽引用バッテリー機関車 6t		ホイル式 2 ブーム油圧ジャンボ (ドリフタ重量 100kg 級)
ずり積機械		クローラ式 バックハウ型 ずり積機 (コンベア能力 150m ³ /h)		トンネル工事用 排出ガス対策型 サイドダンプ式 トラクタショベル (2.3m ³ 級)
ずり搬出機械		バッテリー機関車 (12 t) シャトルカー (15～28m ³ 級)		ダンプトラック (11t 積)
適用	レール式（単線）	←→		
	レール式（複線）		←→	
	タイヤ式			←→

注 1) 削孔機械およびずり積機械の台数は、1 台とする。

注 2) ずり搬出機械の台数は、掘削サイクルタイムに影響を与えないようにずり積込能力に合わせて適切に設定する必要がある。

注 3) セン孔に使用するドリルジャンボは、コンピュータ制御自動削孔対応機を標準とする。

5.2.2 発破掘削工法による地下調整池トンネルの工期

発破掘削工法により地下調整池トンネルを計画する場合の工期の算出は、岩盤等級とトンネル断面規模に応じて設定されたサイクルタイム表を用いて、トンネル延長と地質状況を適切に評価した上で設定することを原則とする。

【解説】

工事工程の算出は、地下調整池トンネル計画地の地質状況を考慮し、トンネル区間の岩盤等級比率を設定した上で、岩盤等級とトンネル断面規模に応じたサイクルタイム表を使用して設定する。

(1) 工期の設定

発破掘削工法による地下調整池トンネル構築の標準的な工程は、下表のように設定する。

表 5-5 標準的な工期設定（発破掘削）

	標準工期	備考
準備工	3 ヶ月	注 1)
掘削工期	トンネル延長÷1 箇月当り進行長により算出	注 2)
二次吹付け工	トンネル延長÷1 箇月当り進行長により算出	注 3)
後片付け	1 ヶ月	

注 1) 工事用進入路整備、坑口付け、仮設備設置を含む。なお、新たに工事用道路を設ける必要がある場合には必要工期を別途計上する必要がある。

注 2) 掘削工期に対する 1 箇月当り進行長は、サイクルタイム表により算出する。

注 3) 二次吹付け工は、掘削終了（貫通）後に連続して行うことを基本とする。そのため、二次吹付け工の 1 箇月当り進行長はサイクルタイム表の吹付け時間の計算式を用いて掘削工期に対する 1 箇月当り進行長とは別に算出したものを使用する必要がある。

注 4) トンネル施工以外の諸設備設置等の工期は、設備規模に応じて別途計上する必要がある。

(2) サイクルタイム

発破掘削工法により地下調整池トンネルを標準支保パターンおよび標準施工機械の組合せに基づいて施工する場合のサイクルタイム表は、レール方式では表 5-6 を、タイヤ方式では表 5-7 を標準として用いるものとする。

表 5-6 サイクルタイム表（発破掘削・レール方式：内空幅 3.0m 以上 6.2m 未満対応）

項目	記号	単位	B	C _H	C _M	C _L ~D	備考
掘削断面積 (余掘り含まず)	A ₁	m ²					小数第二位四捨五入
掘削断面積 (余掘り含む)	A ₂	m ²					小数第二位四捨五入
1発破進行長	B	m	5.0	5.0	2.5	1.0	B~C _M は長孔発破
変化率	L	—	1.85	1.70	1.60	1.50	
m2当り穿孔数	C	m ²	3.7	3.4	3.0	1.9	長孔発破、爆薬技術対応
穿孔長	D	m	B+0.2		B+0.1		
削岩機使用台数	E	台	2	2	2	2	
のみ下がり速度	F	m/min	1.1	1.3	1.4	1.7	コンピュータ制御自動削孔
削岩機1台当り穿孔数	G	孔	A ₁ ×C÷E				小数第一位四捨五入
シャトルカー積載量	H	m ³					
1発破当りシャトルカー台数	I	台	A ₂ ×B×L÷H				小数第一位四捨五入
ずり積み能力	Qs	m ³ /h	34.0	34.0	34.0	34.0	
吹付け周長	M ₁	m					
1サイクル当り吹付け面積	M	m ²	M ₁ ×B				
吹付け設計厚さ	N ₁	m	0.00	0.04	0.04	0.06	
余吹き厚さ	N ₂	m	0.00	0.00	0.00	0.00	シングルシェル対応
吹付け跳ね返り係数	K	—	1.24	1.24	1.24	1.24	高強度吹付け対応
1サイクル当りロックボルト本数	P ₁	本					ボルト長 1~2m
穿孔時間		min	D×G÷F				
削岩機移動時間		min	G×1.0				
積み込み時間		min	A ₂ ×B÷Qs×60				
列車入れ替え時間		min	(I-1)×5				
吹付け時間	R	min	M×(N ₁ +N ₂)×K×60/6+30				
支保工建込	S	min	0	0	0	20	
ロックボルト工	T ₁	min	P ₁ ×3.6+20				
金網工	T ₂	min	0	0	0	20	
レール設置時間	U	min	30	30	20	15	
サイクルタイム固定分		min	105	115	135	140	
計	Q	min					
掘削サイクルタイム		min	Q-(R+S+T ₁ +T ₂ +U)				
1箇月当り進行長		m/月	540×B×2×23÷Q				

表 5-7 サイクルタイム表（発破掘削・タイヤ方式：内空幅 6.2m 以上 7.6m 以下対応）

項目	記号	単位	B	C _H	C _M	C _L ~D	備考
掘削断面積 (余掘り含まず)	A ₁	m ²					小数第二位四捨五入
掘削断面積 (余掘り含む)	A ₂	m ²					小数第二位四捨五入
1発破進行長	B	m	5.0	5.0	2.5	1.0	B~C _M は長孔発破
変化率	L	—	1.85	1.70	1.60	1.50	
m2当り穿孔数	C	m ²	3.7	3.4	3.0	1.9	長孔発破、爆薬技術対応
穿孔長	D	m	B+0.2		B+0.1		
削岩機使用台数	E	台	2	2	2	2	
のみ下がり速度	F	m/min	1.1	1.3	1.4	1.7	コンピュータ制御自動削孔
削岩機1台当り穿孔数	G	孔	A ₁ ×C÷E				小数第一位四捨五入
ダンプトラック積載量	H	m ³	7.8	7.5	7.3	7.2	
ずり積み能力	Qs	m ³ /h	64.4	64.4	64.4	64.4	
吹付け周長	M ₁	m					
1サイクル当り吹付け面積	M	m ²	M ₁ ×B				
吹付け設計厚さ	N ₁	m	0.00	0.04	0.04	0.06	
余吹き厚さ	N ₂	m	0.00	0.00	0.00	0.00	シングルシェル対応
吹付け跳ね返り係数	K	—	1.24	1.24	1.24	1.24	高強度吹付け対応
1サイクル当りロックボルト本数	P ₁	本					ボルト長 1~2m
穿孔時間		min	D×G÷F				
削岩機移動時間		min	G×1.0				
積み込み時間		min	A ₂ ×B÷Qs×60				
吹付け時間	R	min	M×(N ₁ +N ₂)×K×60/6+30				
支保工建込	S	min	0	0	0	20	
ロックボルト工	T ₁	min	P ₁ ×3.6+20				
金網工	T ₂	min	0	0	0	20	
サイクルタイム固定分		min	105	115	135	140	
計	Q	min					
掘削サイクルタイム		min	Q-(R+S+T ₁ +T ₂ +U)				
1箇月当り進行長		m/月	540×B×2×23÷Q				

（参考）1 箇月作業日数と作業時間

工事費および工期を算出する上での、発破掘削工法により地下調整池トンネルを施工する場合の 1 ヶ月の作業日数は、平均 23 日とする。

また、作業別の 1 日の作業方数および労働時間は、下表を標準とする。ただし、環境問題等で作業時間に制約がある場合などは、現地の条件に応じて変更するものとする。

表 5－8 作業別の作業方数と労働時間（発破掘削）

作業内容	作業方数	1 方当りの 実働時間	1 方当りの 実作業時間
1) 坑外仮設、撤去等坑外一般 2) トンネル掘削、覆工作業完了後のインバート掘削等 3) 坑門工関係	1 方 (昼間施工)	8 時間	7 時間
4) 坑内コンクリート関連作業 5) 坑内仮設、保守等	1 方 (昼間施工)	10 時間	9 時間
6) 坑内掘削及びこれに関連する作業、機械運転保守等 7) トンネル掘削と併行作業のインバート掘削等	2 方 (昼夜施工)	10 時間	9 時間

5.3 TBM掘削工法による地下調整池トンネルの工事費と工期の設定

5.3.1 TBM掘削工法による地下調整池トンネルの工事費

TBM 掘削工法による地下調整池トンネルを計画する場合には、トンネル延長、岩盤等級、トンネル断面形状を設定し、トンネル支保構造や施工設備等を設定した上で、適切に概算工事費を算出する。

【解説】

地下調整池トンネルの計画段階において、TBM 掘削工法により地下調整池トンネルを構築する場合の工事費算出に際しては、以下に示す支保構造および施工機械の組合せを用いることを標準とする。

また、この標準支保パターンおよび標準的な施工機械の組合せを用いた場合の TBM 掘削工法による工事費算出には、添付資料の工事費算定システムを用いて簡易に概算工事費を算出することができる。(工事費算定システムの詳細については、巻末資料 1『地下調整池 開発計画支援システム 説明書』を参照)

(1) 標準支保パターン

TBM 掘削工法により地下調整池トンネルを計画する場合には、岩盤等級およびトンネル断面形状に対応した適切な支保構造を設定する必要がある。

ただし、地下調整池トンネルの計画段階では、詳細な地質調査等が行われていないことから、この段階での支保構造の設定は、岩盤等級およびトンネル断面規模に応じて以下に示す標準支保パターンを用いることを標準とする。

表 5-9 標準支保パターン表 (TBM 掘削：TBM 掘削径 2.0m～2.3m)

掘削径 2.0m ～ 2.3m (TBM)						
岩盤等級	一サイクル進 m	一次吹付け		簡易ライナー		二次吹付け厚 cm
		厚さ cm	周方向 m	鋼製ライナー	建込間隔 m	
B	1.5	—	—	—	—	4
C _H	1.5	—	—	—	—	4
C _M	1.5	—	—	—	—	4
C _L	1.0	—	—	鋼製支保工 (リング支保工) (H-100)	1.0	4
D	0.5	—	—	鋼製ライナー	0.5	4

注1) 一次吹付けは、繊維補強高強度吹付けモルタル ($f_{ck}=30\text{N/mm}^2$) とする。

注2) 二次吹付けは、繊維補強高強度吹付けコンクリート ($f_{ck}=30\text{N/mm}^2$) とする。

表 5-10 標準支保パターン表 (TBM 掘削：TBM 掘削径 2.3m～6.2m)

掘削径 2.3m ～ 6.2m (TBM)						
岩盤等級	一 サ イ ク ル 進 m	一次吹付け		鋼製支保工等		二次吹付け厚 cm
		厚さ cm	周方向 m	支保構造	建込間隔 m	
B	1.5	—	—	—	—	4
C _H	1.5	—	—	—	—	4
C _M	1.5	2	天端180° 範囲	—	—	4
C _L	1.0	3	天端180° 範囲	鋼製支保工 (リング支保工) (H-100)	1.0	4
D	0.5	—	—	鋼製ライナー	0.5	4

注1) 一次吹付けは、繊維補強高強度吹付けモルタル ($f_{ck}=30\text{N/mm}^2$) とする。

注2) 二次吹付けは、繊維補強高強度吹付けコンクリート ($f_{ck}=30\text{N/mm}^2$) とする。

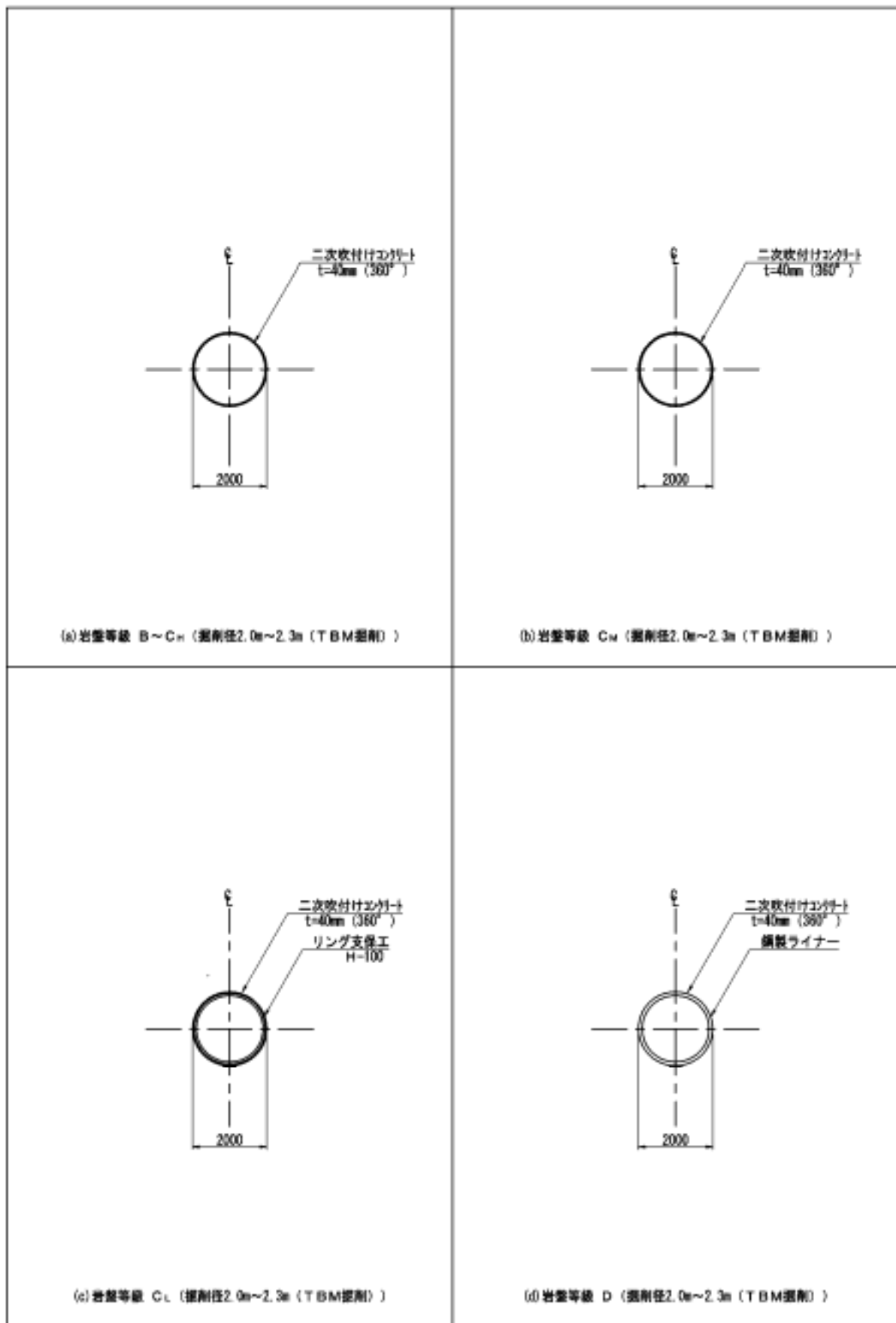


図 5-3 標準支保パターン図の例 (TBM 掘削: TBM 掘削径 2.0m～2.3m の場合)

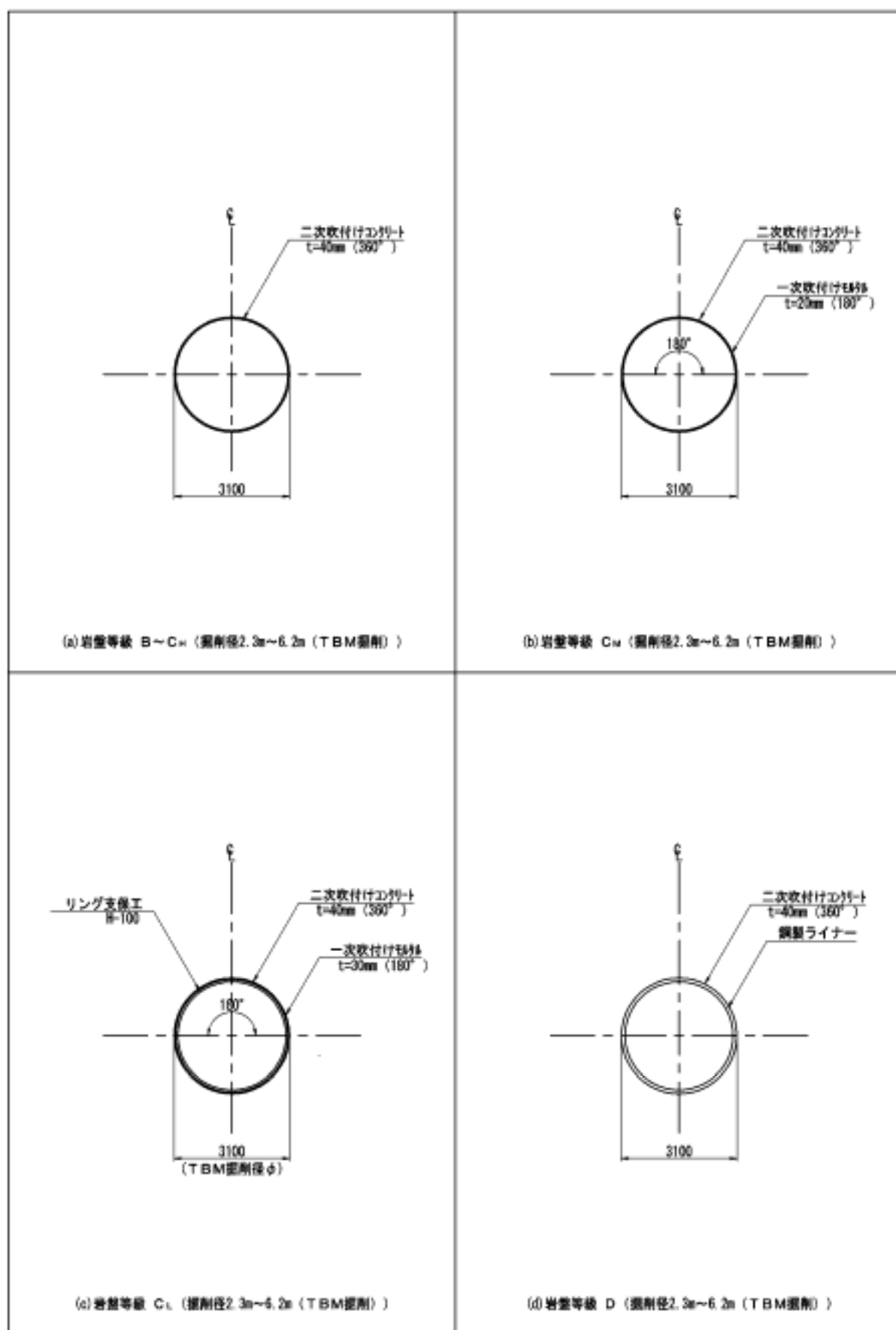


図 5-4 標準支保パターン図の例 (TBM 掘削：TBM 掘削径 2.3m~6.2m の場合)

(2) 標準施工機械の組合せ

標準施工機械の組合せは、断面規模に応じて、下表によるものとする。なお、楕円 TBM を用いる場合には、楕円 TBM の掘削高さが下表の TBM 掘削径に対応するものとする。

表 5-11 標準掘削機械の組合せ（TBM 掘削工法）

	掘削		ずり搬出	
	機種・規格	台数	機械	台数
φ2.0～2.3m 級	シールド型 TBM (設備動力 250kW)	1	流体輸送設備	1 式
φ2.3～3.1m 級	シールド型 TBM (設備動力 600kW)	1	バッテリー機関車 (12t)、または シャトルカー (7.5～28m ³ 級)	注)
φ3.1～6.2m 級	シールド型 TBM (設備動力 1100kW)	1	バッテリー機関車 (12t)、または シャトルカー (7.5～28m ³ 級)	注)

注) ずり搬出機械の台数は、掘削サイクルタイムに影響を与えないようにずり積込能力に合わせて適切に設定する必要がある。

5.3.2

5.3.3 TBM掘削工法による地下調整池トンネルの工期

TBM 掘削工法により地下調整池トンネルを計画する場合の工期の算出は、岩盤等級とトンネル断面規模に応じて設定されたサイクルタイム表を用いて、トンネル延長と地質状況を適切に評価した上で設定することを原則とする。

【解説】

工事工程の算出は、地下調整池トンネル計画地の地質状況を考慮し、トンネル区間の岩盤等級比率を設定した上で、岩盤等級とトンネル断面規模に応じたサイクルタイム表を使用して設定する。

(1) 工期の設定

TBM 掘削工法による地下調整池トンネル構築の標準的な工程は、下表のように設定する。

表 5-12 標準的な工期設定 (TBM 掘削)

	標準工期	備考
準備工	1 ヶ月	
TBM 設計・製作 仮設備工	6 ヶ月	注 1)
TBM 搬入・組立・発進準備	2 ヶ月	
掘削工期	トンネル延長÷1 箇月当り進行長により算出	注 2)
TBM 解体・搬出	1.5 ヶ月	注 3)
二次吹付け工	トンネル延長÷1 箇月当り進行長により算出	注 4)
後片付け	1 ヶ月	

注 1) 工事用進入路整備、坑口付け、仮設備設置を含む。

注 2) 掘削工期に対する 1 箇月当り進行長は、サイクルタイム表により算出する。

注 3) 出口側から TBM 解体・搬出が可能であり、TBM 解体・搬出作業と二次吹付け工が同時に行える場合には、TBM 解体・搬出工期は計上しない。

注 4) 二次吹付け工は、掘削終了（貫通）後に連続して行うことを基本とする。そのため、二次吹付け工の 1 箇月当り進行長はサイクルタイム表の吹付け時間の計算式を用いて掘削工期に対する 1 箇月当り進行長とは別に算出したものを使用する必要がある。

注 5) トンネル施工以外の諸設備設置等の工期は、設備規模に応じて別途計上する必要がある。

(2) サイクルタイム

TBM 掘削工法により地下調整池トンネルを標準支保パターンおよび標準施工機械の組合せに基づいて施工する場合のサイクルタイム表は、TBM 掘削径に応じて表 5-13～表 5-15を標準として用いるものとする。

表 5-13 サイクルタイム表 (TBM 掘削：TBM 掘削径φ2.0m～2.3m)

項目	記号	単位	B	C _H	C _M	C _L	D	備考
1ストローク長	A	m	1.5	1.5	1.5	1.0	0.5	
純掘進速度	B	m/hr	2.4	2.4	3.1	3.1	2.9	
吹付け周長	C	m					—	
吹付け設計厚さ	D	m					—	
純掘削時間	E	min	A ÷ B × 60					
測量・位置修正 およびグリッパー盛替	F	min	13	13	13	13	13	
小計 (TBM運転時間)	G	min	E + F					
支保工組立	H	min	0	0	0	25	25	
ファイバーモルタル吹付け	I	min	A × C × D × 1.1 × 60 / 0.9 + 10			A × C × D × 1.1 × 60 / 0.9		
中計 (TBM掘進サイクルタイム)	J	min	G + H + I					
交換・延伸・その他	K	min	41	41	36	42	42	
計 (全体サイクルタイム)	L	min	J + K					
1日当りストローク回数	M	回/日	540 × 2 ÷ L					
1日当り進行長	N	m/日	M × A					
1箇月当り進行長	O	m/月	N × 23					

表 5-14 サイクルタイム表 (TBM 掘削：TBM 掘削径φ2.3m～3.1m)

項目	記号	単位	B	C _H	C _M	C _L	D	備考
1ストローク長	A	m	1.5	1.5	1.5	1.0	0.5	
純掘進速度	B	m/hr	2.4	2.4	3.1	3.1	2.9	
吹付け周長	C	m					—	
吹付け設計厚さ	D	m					—	
純掘削時間	E	min	A ÷ B × 60					
測量・位置修正 およびグリッパー盛替	F	min	13	13	13	13	13	
小計 (TBM運転時間)	G	min	E + F					
支保工組立	H	min	0	0	0	25	25	
ファイバーモルタル吹付け	I	min	A × C × D × 1.1 × 60 / 0.9 + 10			A × C × D × 1.1 × 60 / 0.9		
中計 (TBM掘進サイクルタイム)	J	min	G + H + I					
延伸・その他	K	min	33	33	28	37	39	
1ストローク当り 積み込みロス	P	min	5	5	5	5	0	
1ストローク当り カッター交換時間	Q	min	2	2	2	1	1	
計 (全体サイクルタイム)	L	min	J + K + P + Q					
1日当りストローク回数	M	回/日	540 × 2 ÷ L					
1日当り進行長	N	m/日	M × A					
1箇月当り進行長	O	m/月	N × 23					

表 5-15 サイクルタイム表 (TBM 掘削：TBM 掘削径φ3.1m～6.2m)

項目	記号	単位	B	C _H	C _M	C _L	D	備考
1ストローク長	A	m	1.5	1.5	1.5	1.0	0.5	
純掘進速度	B	m/hr	2.4	2.4	3.1	3.1	2.9	
吹付け周長	C	m					—	
吹付け設計厚さ	D	m					—	
純掘削時間	E	min	A ÷ B × 60					
測量・位置修正 およびグリッパー盛替	F	min	13	13	13	13	13	
小計 (TBM運転時間)	G	min	E + F					
支保工組立	H	min	0	0	0	25	25	
ファイバーモルタル吹付け	I	min	A × C × D × 1.1 × 60 / 0.9 + 10			A × C × D × 1.1 × 60 / 0.9		
中計 (TBM掘進サイクルタイム)	J	min	G + H + I					
延伸・その他	K	min	33	33	28	37	39	
1ストローク当り 積み込みロス	P	min	5	5	5	5	0	
1ストローク当り カッター交換時間	Q	min	6	6	5	3	3	
計 (全体サイクルタイム)	L	min	J + K + P + Q					
1日当りストローク回数	M	回/日	540 × 2 ÷ L					
1日当り進行長	N	m/日	M × A					
1箇月当り進行長	O	m/月	N × 23					

(参考) 1 箇月作業日数と作業時間

工事費および工期を算出する上での、TBM 掘削工法により地下調整池トンネルを施工する場合の 1 ヶ月の作業日数は、平均 23 日とする。

また、作業別の 1 日の作業方数および労働時間は、下表を標準とする。ただし、環境問題等で作業時間に制約がある場合などは、現地の条件に応じて変更するものとする。

表 5-16 作業別の作業方数と労働時間 (TBM 掘削)

作業内容	作業方数	1 方当りの 実働時間	1 方当りの 実作業時間
1) 坑外仮設、撤去等坑外一般 2) 坑門工関係	1 方 (昼間施工)	8 時間	7 時間
3) 坑内コンクリート関連作業 4) 坑内仮設、保守等	1 方 (昼間施工)	10 時間	9 時間
5) 坑内掘削及びこれに関連する作業、機械運転保守等	2 方 (昼夜施工)	10 時間	9 時間

第6章 経済性評価

6.1 経済性評価手法

本マニュアルでは、地下調整池構築に対する経済性の評価を(1)C/V指標、(2)発電原価指標、(3)電力量時間帯シフトによる効果指標で行うこととする。

また、新規計画地点（導水路調整能力付加案）の場合には、地下調整池（導水路）工事費以外の発電所全体工事費を入力することにより、発電計画全体におけるC/V、kW当たり建設単価、kWh当たり建設単価を算出することにより、地下調整池式計画と流れ込み式計画との対比を行えるものとする。

【解説】

地下調整池構築に対する経済性の評価の目的、方法、条件等は、各事業者により異なるものと考えられる。

しかしながら、本マニュアルでは、(1)C/V指標、(2)発電原価指標、(3)電力量時間帯シフトによる効果指標で行うものとした。

ただし、上記指標を算定する年経費率や各種単価等の条件については、事業者が任意に設定できるものとする。

(1) C/V指標による評価

本手法は、地下調整池によるピーク時の出力増の効果をkW価値として高く評価するものである。

地下調整池の計画が、それと同等の電力を供給する水力以外の代替電源、主として大規模石油火力との比較で経済性を評価しようという手法であり、まず基準となる代替電源を想定し、計画地点が受け持つ負荷をこの代替電源（基準火力）で代替した場合の年経費を算出し、この値を当該計画地点の便益（V）とする。

便益（V）は、基準火力の年経費を固定費と可変費に区分して以下のとおり算出する。

$$\begin{aligned} \text{便益（V）} &= \text{kW価値（水力の有効出力} \times \text{基準火力のkW当たり固定費）} \\ &\quad + \text{kWh価値（水力の有効電力量} \times \text{基準火力のkWh当たり可変費）} \end{aligned}$$

一方、地下調整池計画に関わる費用（年経費）（C）を計算し、費用（C）と便益（V）との比較を行う。

算出した費用（C）と便益（V）との比、すなわち $C/V \leq 1$ であれば基準火力に対して地下調整池計画が等価ないしは優れた経済性を有していることになり、 $C/V > 1$ ならば基準火力より経済性が劣るという判断になる。

本マニュアルでは、地下調整池を構築することによる便益を有効出力増分、有効電力量増分により算出する。費用（C）は、地下調整池構築に関わる年経費で算出する。

具体的に、費用（C）と便益（V）は、以下のとおり算出、評価する。

a 費用（C）の算出

費用（C）は、地下調整池工事費（調整池流量制御に必要となる費用、調整池トンネル工事費仮設費用等含む）に年経費率を乗じて算定する。

$$\text{費用（C）} = \text{地下調整池工事費} \times \text{年経費率}(\%)$$

b 便益（V）の算出

便益（V）は、kW 価値と kWh 価値の合計値として算定する。

①kW 価値

$$\text{有効出力増分(kW)} = 8 \text{ 月 L5 流量時出力増分(kW)} \times \text{発電所利用率}(\%)$$

$$\text{kW 価値} = \text{有効出力増分(kW)} \times \text{kW 単価(円/kW)}$$

②kWh 価値

$$\text{有効電力量増分(kWh)} = \text{発電電力量増分(kWh)} \times \text{発電所利用率}(\%)$$

$$\text{kWh 価値} = \text{有効電力量増分(kWh)} \times \text{kWh 単価(円/kWh)}$$

$$\text{便益(V)} = \text{kW 価値} + \text{kWh 価値}$$

なお、本方法による評価では、自流運転に対する有効出力の増分ならびに有効電力量の増分は、kW 優先運転①・②、kWh 優先運転のうちで最大となるものを適用する。

これは、日々の運転制御において kW 優先運転と kWh 優先運転の切り替えが可能であることから、それぞれの最大増分を用いることで、地下調整池構築による便益を最大限考慮する。

c 評価方法

C/V 値による評価は、以下のとおりとなる。

$C/V > 1$ …… 経済性が劣る。

$C/V \leq 1$ …… 経済性が優れている。

d 評価条件

評価を行うための以下の諸数値は、事業者が任意に設定する。

①年経費率（％）

……地下調整池工事費から、年経費を算出するための年経費率。[資本費（減価償却費、金固定資産税）、直接費（人件費、修繕費、その他経費）、間接費（一般管理費）等の水力発電所を運営するための経費。耐用年数に応じた均等化経費を算出したものが年経費となる。]

$$\text{年経費率} = \text{均等化経費} / \text{建設費}$$

②kW単価（円/kW）

③kWh単価（円/kWh）

④発電所利用率（％）

有効出力増分(kW)、有効電力量増分(MWh)を算出するために乗じる比率（発電所の停止率を控除した比率）。

e C／V指標による評価例

C／V指標による評価例を以下に示す。

表 6－1 C／V指標による評価例

地点名	ピーク継続時間(h)	有効出力増分 ^{*1} (kW)	有効電力量増分 ^{*2} (MWh)	地下調整池工事費(百万円)	年経費率(%)	コスト(百万円)	kW価値 ^{*3} (百万円)	kWh価値 ^{*4} (百万円)	便益(百万円)	評価
	T	P	A	M	D	C=M×D	B1	B2	V=B1+B2	C/V
A地点	4.0	17,664	4,545	2,369	10.6	251.11	580.52	55.45	635.97	0.39

*1) 有効出力増分(kW)＝8月L5流量時出力増分(kW)×発電所利用率95.6(%)

*2) 有効電力量増分(MWh)＝発電電力量増分(MWh)×発電所利用率95.6(%)

*3) kW価値B1＝32,864 (円/kW) [kW単価：設定値] ×有効出力増分P(kW)

*4) kWh価値B2＝12.2 (円/kWh) [kWh単価：設定値] ×有効電力量増分A(kWh)

(2) 発電原価指標による評価

本手法は、地下調整池構築によるピーク時出力増の効果を、電力取引自由化対象である特定規模需要の電力取引予想価額（取引単価）から評価するものである。

具体的には、計画する地下調整池の調整効果の及ぶ発電所（群）の全発電電力量を特定規模需要の電気使用者に売電すると想定し、特定規模需要としての予想取引単価から現行の取引（売電）単価を差し引いた金額（増収単価）と、地下調整池を付加することによる発電原価増分（コストの増分単価）を比較して、発電原価増分（コストの増分単価）が小さい場合は、地下調整池の開発効果が期待できる。

a 発電原価増分の算出

発電原価の増分は、地下調整池工事費（調整池流量制御に必要となる費用、調整池トンネル工事費仮設費用含む）に年経費率を乗じて、地下調整池構築後の年間発電電力量で除した値とする。

$$\text{発電原価増分(円/kWh)} = \text{地下調整池工事費(円)} \times \text{年経費率(\%)} \\ \div \text{地下調整池構築後の年間発電電力量(kWh)}$$

※（厳密には、発電電力量増加の効果は、地下調整池構築前後で変化しないコストによる発電原価部分まで及ぶため、発電原価の増分は上式より小さくなるものと考えられるが、簡便的に上式を発電原価の増分とする。）

なお、本評価における年間発電電力量は、日々の運転制御において kW 優先運転と kWh 優先運転の切り替えが可能であることから、地下調整池構築後の kWh 優先運転時の年間発電電力量を用いることとする。

b 増収単価

特定規模需要としての予想取引単価から現行の取引（売電）単価を差し引いた金額を増収単価として考える。

c 評価方法

発電原価指標による評価は、以下のとおりとなる。

- ① 増収単価
＝特定規模需要予想取引単価(円/kWh)－現行取引（売電）単価(円/kWh)
- ② コストの増分単価 ＝発電原価増分（円/kWh）

増収単価 $\geq$ コストの増分単価……開発効果が期待できる。

増収単価 $<$ コストの増分単価……開発効果が期待できない。

d 評価条件

評価を行うための以下の諸数値は、事業者が任意に設定する。

- ①年経費率（％）
……地下調整池工事費から、年経費を算出するための年経費率。[資本費（減価償却費、金固定資産税）、直接費（人件費、修繕費、その他経費）、間接費（一般管理費）等の水力発電所を運営するための経費。耐用年数に応じた均等化経費を算出したものが年経費となる。]
年経費率＝均等化経費／建設費
- ②特定規模需要予想取引単価（円/kWh）
……特定規模需要予想取引単価として、PPS 取引単価等、ピーク時出力増の付加価値を考慮して、今後売電単価として期待できる単価を設定する。
- ③現行取引（売電）単価（円/kWh）
……流れ込み式運転時の現行の取引（売電）単価を設定する。

e 発電原価指標による評価例

発電原価指標による評価例を以下に示す。

増収単価

$$= \text{PPS 取引単価 (12.00 円/kWh)} - \text{現行取引 (売電) 単価 (8.00 円/kWh)} = 4.00 \text{ 円/kWh}$$

コストの増分単価 = 発電原価増分 = 1.10 円/kWh

増収単価 $\geq$ コストの増分単価………開発効果が期待できる。

表 6-2 発電原価指標による評価例

地点名	ピーク継続 時間(h)	年間発電 電力量 (MWh)	地下調整 池工事費 (百万円)	年経費率 (%)	発電原価 増分 ^{*1} (円/kWh)	PPS取引 単価 ^{*2} (円/kWh)	現行取引 (売電)単 価 ^{*3} (円/kWh)	増収単価 (円/kWh)
	T	A	M	D	ΔC	BPPS	BN	ΔV
A地点	4.0	228,531	2,369	10.6	1.10	12.00	8.00	4.00

*1) 発電原価増分 ΔC (円/kWh) = 地下調整池工事費 M (百万円) $\times$ 年経費率 D (%) $\div$ 年間発電電力量 A (kWh)

*2) PPS取引単価 $BPPS = 12.00$ (円/kWh) (託送料を控除した値) [設定値]

*3) 現行取引 (売電) 単価 $BN = 8.00$ (円/kWh) [設定値]

(3) 電力量時間帯シフトによる効果

地下調整池による調整運転の結果、発電電力量がオフピーク時間帯からピーク時間帯に移行される。本手法は、電力取引市場の電力量取引単価のように、時間帯別に評価単価に差が認められる場合を想定し、地下調整池によるピーク時間帯発電電力量増加の効果を、時間帯別評価単価の差分によって評価する。

具体的には、地下調整池による調整運転時の年間便益から流れ込み式運転時の年間便益を差し引いた電力量時間帯シフトによる増分年間便益 (ΔV) を、地下調整池を構築することにより生ずる増分年経費 (ΔC) で除して、年間の効果を算定するものである。

a 増分年経費 (ΔC) の算出

増分年経費 (ΔC) は、地下調整池工事費 (調整池流量制御に必要となる費用、調整池トンネル工事費仮設費用等含む) に年経費率を乗じて算定する。

$$\text{増分年経費 } (\Delta C) = \text{地下調整池工事費} \times \text{年経費率}(\%)$$

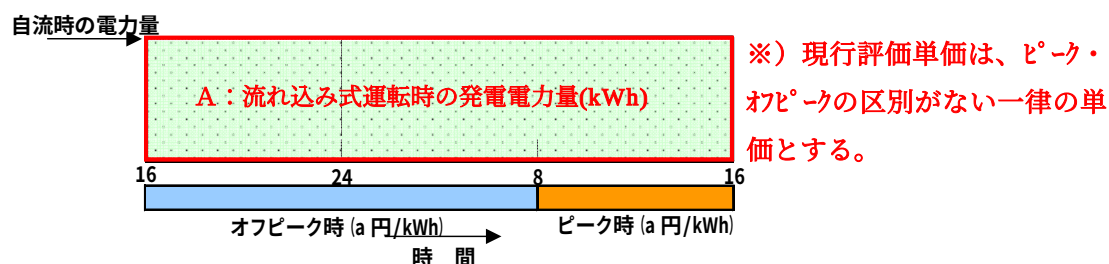
b 電力量時間帯シフトによる増分年間便益（ΔV）の算出

電力量時間帯シフトによる効果は、以下のとおり算出する。

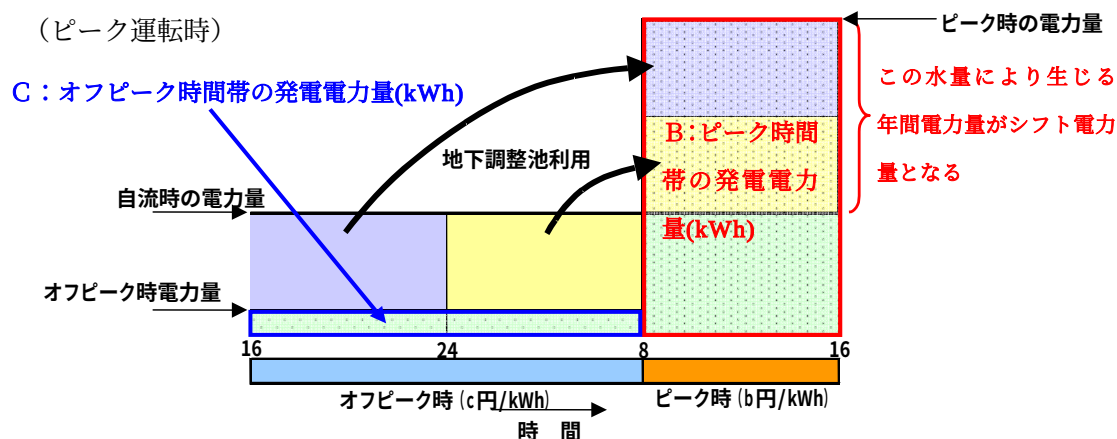
電力量時間帯シフトによる増分年間便益ΔV(円)

$$= \{ \text{ピーク時間帯発電電力量(kWh)} \times \text{ピーク時評価単価(円/kWh)} \\ + \text{オフピーク時間帯発電電力量(kWh)} \times \text{オフピーク時評価単価(円/kWh)} \} \\ - \{ \text{流れ込み式運転時の発電電力量(kWh)} \times \text{現行評価単価(円/kWh)} \}$$

(流れ込み式運転時)



(ピーク運転時)



電力量時間帯シフトによる増分年間便益ΔV (円)

$$= \{ B(\text{kWh}) \times b(\text{円/kWh}) + C(\text{kWh}) \times c(\text{円/kWh}) \} - \{ A(\text{kWh}) \times a(\text{円/kWh}) \}$$

図6-1 シフト電力量模式図（ピーク時間を8時間とした場合の一例）

なお、シリーズ発電所の場合で、地下調整池を有する上流発電所のピーク時間に対して、下流発電所のピークに遅れが生じる場合には、この遅れ時間を考慮した計算を行うこととする。

また、本評価における地下調整池構築後のピーク時間帯およびオフピーク時間帯発電電力量(kWh)は、ピークシフト効果を最大とする運転を前提としているため、kW 優先運転①の年間発電電力量により算出することとする。

c 評価方法

評価は、以下のとおりとなる。

$\Delta C / \Delta V > 1$ ……経済性が劣る。

$\Delta C / \Delta V \leq 1$ ……経済性が優れている。

d 評価条件

評価を行うための以下の諸数値は、事業者が任意に設定する。

①現行評価単価（円/kWh）

②ピーク時評価単価（円/kWh）、

③オフピーク時評価単価（円/kWh）

④年経費率（%）

……地下調整池工事費から、年経費を算出するための年経費率。[資本費（減価償却費、金固定資産税）、直接費（人件費、修繕費、その他経費）、間接費（一般管理費）等の水力発電所を運営するための経費。耐用年数に応じた均等化経費を算出したものが年経費となる。]

年経費率＝均等化経費／建設費

e 電力量時間帯シフトによる評価例

電力量時間帯シフトによる評価例を以下に示す。

表 6-3 電力量時間帯シフトによる評価例

地点名	ピーク継続時間(h)	地下調整池工事費(百万円)	年経費率(%)	コスト(百万円)	流れ込み式運転時電力量(MWh)	ピーク運転時間帯発電電力量(MWh)	オフピーク運転時間帯発電電力量(MWh)	現行評価単価 ^{*1} (円/kWh)	ピーク時評価単価 ^{*2} (円/kWh)	オフピーク時評価単価 ^{*3} (円/kWh)	時間帯シフトによる便益 ^{*4} (百万円)	評価
	T	M	D	$\Delta C = M \times D$	AN	AP	AO	BN	BP	BO	ΔV	$\Delta C / \Delta V$
A地点	4.0	2,369	10.6	251.15	223,777	52,731	172,250	8.00	14.00	8.00	326.09	0.77

*1) 現行評価単価8.00（円/kWh）【設定値】

*2) ピーク時評価単価14.00（円/kWh）【設定値】

*3) オフピーク時評価単価8.00（円/kWh）【設定値】

*4) $\Delta V(\text{円}) = \{AP(\text{kWh}) \times BP(\text{円/kWh}) + AO(\text{kWh}) \times BO(\text{円/kWh})\} - \{AN(\text{kWh}) \times BN(\text{円/kWh})\}$

(4) 新規計画地点（導水路調整能力付加案）の場合

新規計画地点（導水路調整能力付加案）の場合には、地下調整池（導水路）工事費以外の発電所全体工事費を入力することにより、発電計画全体における kW 当たり建設単価、kWh 当たり建設単価を算出することにより、地下調整池式計画と流れ込み式計画との対比を行えるものとする。

第7章 発電所の運転維持管理

7.1 発電所の運転

7.1.1 発電所運転パターンの設定

発電所の運転パターンの設定は、「開発計画支援システム：運転パターン選定システム」を発電所の現地制御盤に組み込むことにより、当該日の自流量から自動的に運転パターンを設定することが可能となる。なお、流れ込み式運転、kW優先運転①、②、kWh優先運転のどの運転パターン選定するかは、設定パターンの切り替えで対応する。

【解説】

発電所の運用が中央制御所等からの指令で決定されることなく、現地発電所で比較的自由に運用を決定することができる地点では、現地操作盤に「開発計画支援システム：運転パターン選定システム」を組み込むことにより、当該日の自流量から自動的に運転パターンを決定することが可能となる。なお、採用される発電所の運転パターンは、(1)流れ込み式運転、(2)kW優先運転①、(3)kW優先運転②、(4)kWh優先運転（第3章参照）となるが、運転パターンの変更は設定パターンの切り替えで対応できるものとする。

各運転パターンとも1日の中では、いずれも次の3つの流量運転モードの組み合わせで運用が決定される。

表 7-1 運転モード

運転モード	発電使用水量			調整池との関係
①自流運転	Q _{in} ：自流量			調整池への貯留、調整池からの供給が無い状態。
②貯留運転	Q _r ：貯留時使用水量（Q _r =0.0m ³ /s の場合含む）			(Q _{in} －Q _r)を調整池に貯留する。
	kW 優先運転① 0 または Q _{min} (最小使用水量)	kW 優先運転② 任意流量	kWh 優先運転 任意流量	
③ピーク運転	Q _p ：ピーク時使用水量（Q _p は、必ずしも最大使用水量Q _{max} ではない）			(Q _p －Q _{in})を調整池から供給する。
	kW 優先運転① Q _{max} または可能最大(自流量が8月L5流量以下の場合)	kW 優先運転② Q _{max} または可能最大(自流量が8月L5流量以下の場合)	kWh 優先運転 任意流量	

運転パターンが決定されると、具体的に毎時の運転モードと使用水量が決定され、流量の制御は、時間と使用水量をコントロールすることになる。

7. 1. 2 流量制御方法

発電所の運転は、調整池内への貯留、調整池からの水の供給を流量調整ゲートまたは水車ガイドベーン操作により行い、流量の制御方法については、接続パターン毎に異なる。

【解説】

接続パターン毎の調整池からの流量制御方法は、以下に示すとおりである。

(1) 導水路途中接続案

導水路途中接続案の流量調整は、調整池末端に設けるゲート B を用いて行う。流量の制御は、運転状況の変化に応じて表 7-2 のとおりとなる。図 7-2 の運転パターン模式図は、基本的には kW 優先運転②のパターンである。このうち kW 優先運転①は、 Q_r が 0 または $Q_{\min}$ の場合、kWh 優先運転は Q_p が $Q_{\max}$ に限らず任意のピーク流量の場合であり、いずれも同様な考え方で流量制御できる。

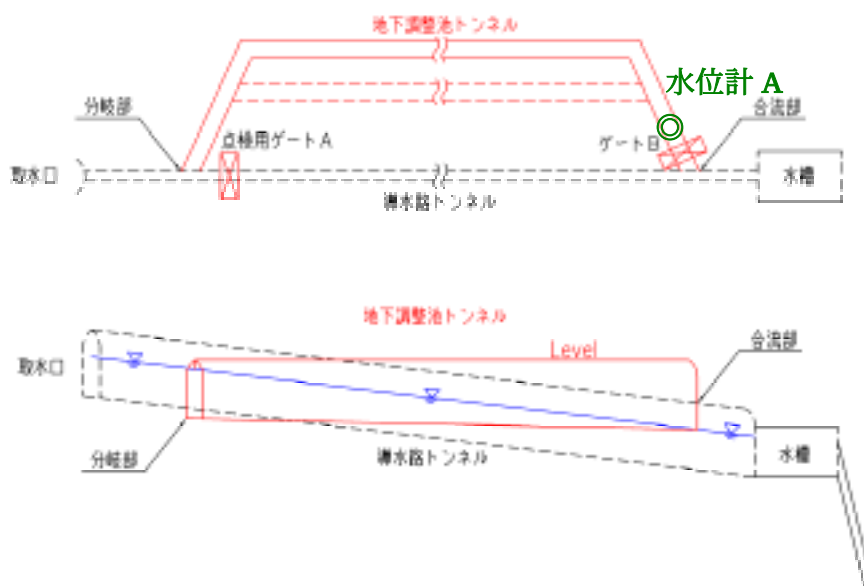


図 7-1 導水路途中接続案模式図

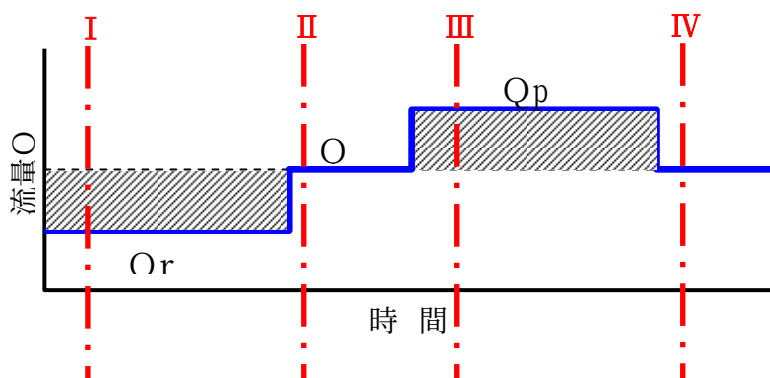


図 7-2 運転パターン模式図（kW 優先運転②の場合）

表 7-2 導水路途中接続案における流量制御方法

運転状況	水位計 A の変化	ゲート B の操作	発電使用水量 Q
I 貯留運転時	$H_{in} \rightarrow H_{max} (H_p)$	全閉または水位計 A の水位に応じて Q_{min} (Q_r) の一定放流を行う。	$Q_{min} (Q_r)$
II 自流運転時	$H_{max} (H_p)$	水位計 A の水位に応じて Q_{in} の一定放流を行う。	Q_{in}
III ピーク運転時	$H_{max} (H_p) \rightarrow H_{in}$	水位計 A の水位に応じて $Q_{max} (Q_p)$ の一定放流を行う。	$Q_{max} (Q_p)$
IV 自流運転時	H_{in}	水位計 A の水位に応じて Q_{in} の一定放流を行う。	Q_{in}

※) H_{in} : 自流流下時の調整池水位、 H_{max} : 調整池最高水位、 H_p : 当該日の調整池最高水位

Q_{min} : 最小使用水量、 Q_r : 貯留運転流量、 Q_{in} : 自流、 Q_{max} : 最大使用水量、 Q_p : 任意ピーク流量

(2) 水槽接続案

水槽接続案の流量調整は、水車ガイドベーンを用いて行う。流量の制御は、運転状況の変化に応じて表 7-3 のとおりとなる。図 7-4 の運転パターン模式図は、基本的には kW 優先運転②のパターンである。このうち kW 優先運転①は、 Q_r が 0 または Q_{min} の場合、kWh 優先運転は Q_p が Q_{max} に限らず任意のピーク流量の場合であり、いずれも同様な考え方で流量制御できる。

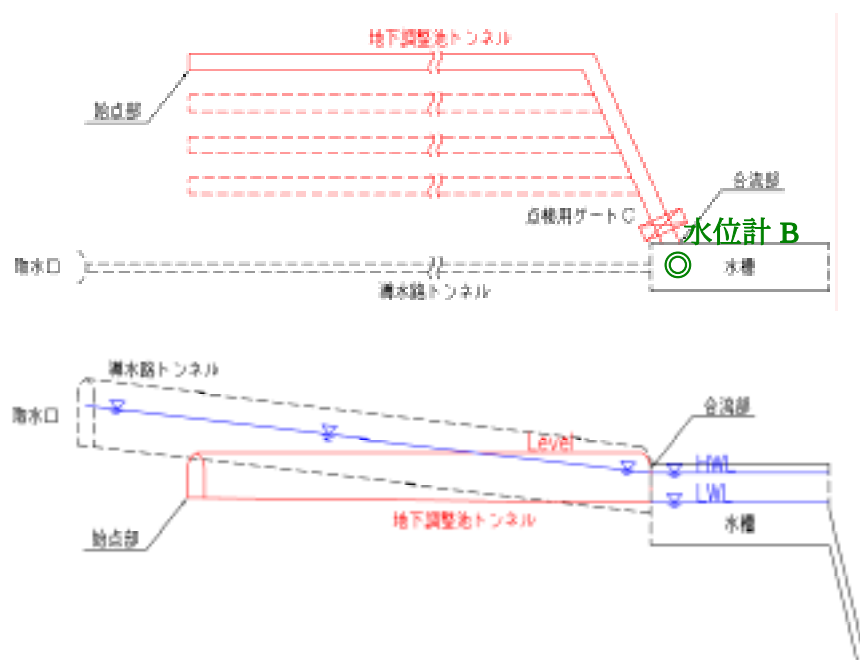


図 7-3 水槽接続案模式図

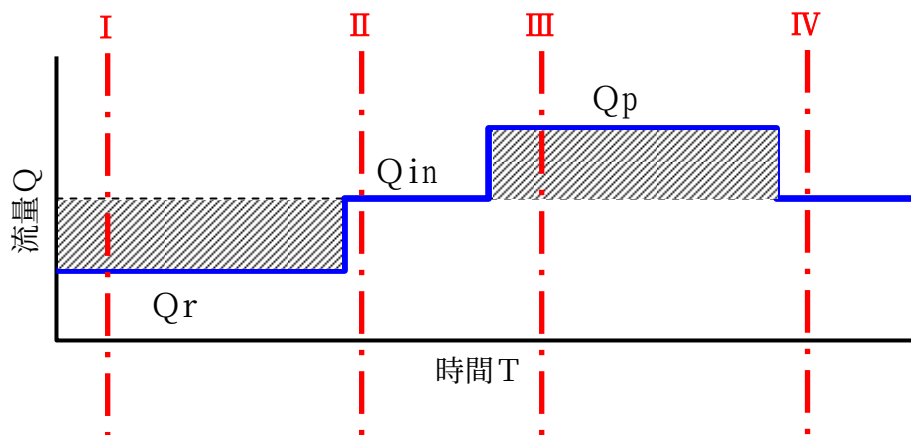


図 7 - 4 運転パターン模式図（kW優先運転②の場合）

表 7 - 3 水槽接続案における流量制御方法

運転状況	水位計 B (水槽水位) の変化	ガイドベーンの操作	発電使用水量 Q
I 貯留運転時	Hmin→ Hmax (Hp)	全閉または水位計 B の水位に応じて Q_{min} (Q_r) の一定放流を行う。	Q_{min} (Q_r)
II 自流運転時	Hmax (Hp)	水位計 B の水位に応じて Q_{in} の一定放流を行う。	Q_{in}
III ピーク運転時	Hmax (Hp) →Hmin	水位計 B の水位に応じて Q_{max} (Q_p) の一定放流を行う。	Q_{max} (Q_p)
IV 自流運転時	Hmin	水位計 B の水位に応じて Q_{in} の一定放流を行う。	Q_{in}

※) Hmin：水槽 LWL、Hmax：水槽 HWL、Hp：当該日の水槽最高水位

Q_{min} ：最小使用水量、 Q_r ：貯留運転流量、 Q_{in} ：自流、 Q_{max} ：最大使用水量、 Q_p ：任意ピーク流量

(3) 導水路調整能力付加案

導水路調整能力付加案の流量調整は、調整池末端に設けるゲート D を用いて行う。流量の制御は、運転状況の変化に応じて表 7-4 のとおりとなる。図 7-5 の運転パターン模式図は、基本的には kW 優先運転②のパターンである。このうち kW 優先運転①は、 Q_r が 0 または $Q_{\min}$ の場合、kWh 優先運転は Q_p が $Q_{\max}$ に限らず任意のピーク流量の場合であり、いずれも同様な考え方で流量制御できる。

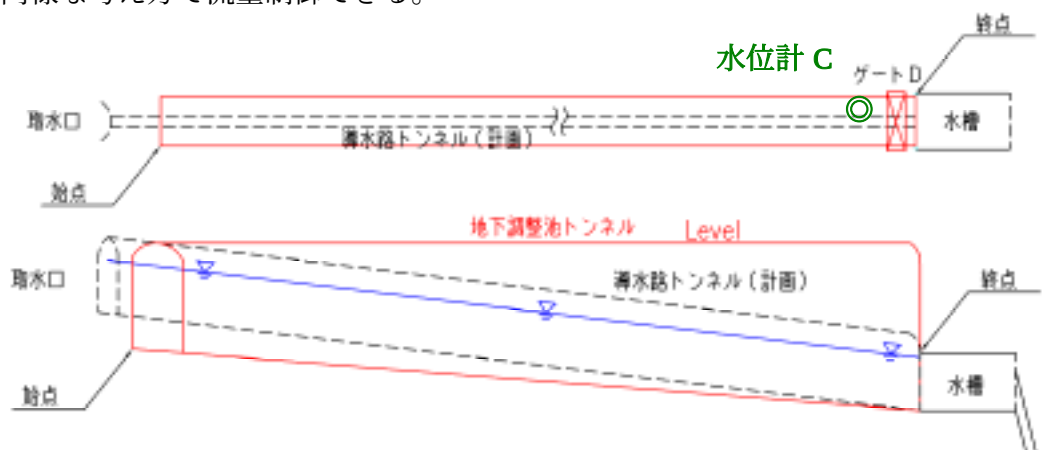


図 7-5 導水路調整能力付加案模式図

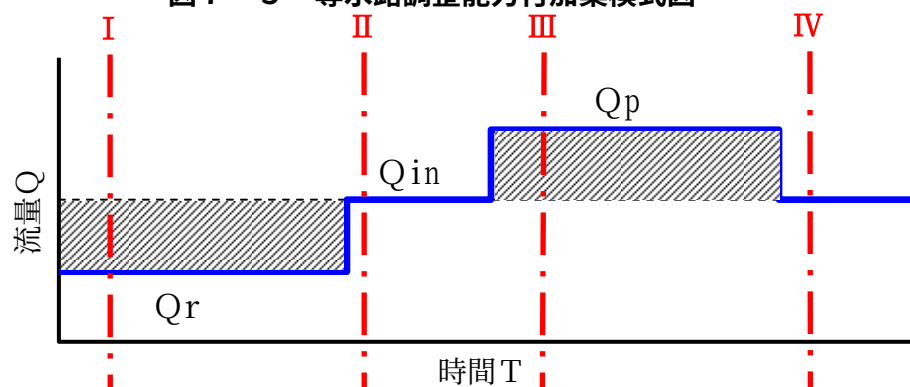


図 7-6 運転パターン模式図 (kW 優先運転②の場合)

表 7-4 導水路調整能力付加案における流量制御方法

運転状況	水位計 C の変化	ゲート D の操作	発電使用水量 Q
I 貯留運転時	$H_{in} \rightarrow H_{\max} (H_p)$	全閉または水位計 C の水位に応じて $Q_{\min}$ の一定放流を行う。	$Q_{\min}$
II 自流運転時	$H_{\max} (H_p)$	水位計 C の水位に応じて Q_{in} の一定放流を行う。	Q_{in}
III ピーク運転時	$H_{\max} (H_p) \rightarrow H_{in}$	水位計 C の水位に応じて $Q_{\max} (Q_p)$ の一定放流を行う。	$Q_{\max} (Q_p)$
IV 自流運転時	H_{in}	水位計 C の水位に応じて Q_{in} の一定放流を行う。	Q_{in}

※) H_{in} : 自流入下時の調整池水位、 $H_{\max}$: 調整池最高水位、 H_p : 当該日の調整池最高水位

$Q_{\min}$: 最小使用水量、 Q_r : 貯留運転流量、 Q_{in} : 自流、 $Q_{\max}$: 最大使用水量、 Q_p : 任意ピーク流量

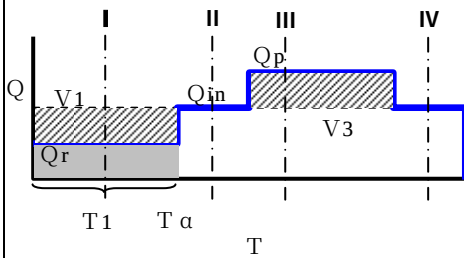
7. 1. 3 ゲート制御方式

導水路途中接続案・導水路調整能力付加案では、既設発電所で運用されている水槽水位一定運転を継続し、調整池末端部に設けた流量調整ゲートにより水槽への流入量を制御する。

【解説】

導水路途中接続案、導水路調整能力付加案におけるゲートによる流量調整は、以下のとおり行う。

a 貯留運転時（ Q_r を設定し運転）



H_{max} : 当該日の調整池最高水位(m)
 H_x : 調整池の現在水位(m)

(a)演算概要

- ① $H_{max}(m) - H_x(m)$ から $V_1(m^3)$ を算出する。
- ② $Q_{in} - Q_r = \Delta Q_1$
- ③ ΔQ_1 と V_1 から T_1 を算出する。
- ④ 現在時刻と T_1 から T_α 時を設定する。

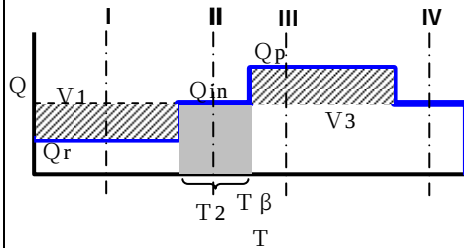
(b)調整制御方法

ゲート B または D : 水位計 $H_x(m)$ とゲート B または D の開度の関係から Q_r 一定放流

(c)貯留運転から自流運転への移行条件

水位 H_{max} に到達または T_α 時に到達のいずれかで、自流運転へ移行する。

b 自流運転時



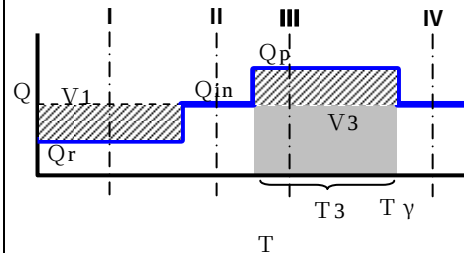
(a)調整制御方法

ゲート B または D : 水位計 $H_x(m)$ とゲート B または D の開度の関係から Q_{in} 一定放流

(b)自流運転からピーク運転への移行条件

T_β 時（ピーク開始時刻は設定）にピーク運転へ移行する。

c ピーク運転時（ピーク時間 T_3 は設定）



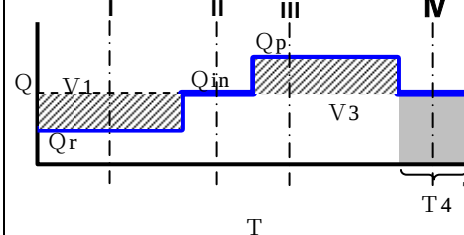
(a)調整制御方法

ゲート B または D : 水位計 $H_x(m)$ とゲート B または D の開度の関係から Q_p 一定放流

(b)ピーク運転から自流運転への移行条件

T_γ 時に自流運転へ移行する。

d 自流運転時



(a)調整制御方法

ゲート B または D : 全開

(b)自流運転から貯留運転への移行条件

T_δ 時に貯留運転へ移行する。

図 7-7 導水路途中接続案、導水路調整能力付加案におけるゲート制御の考え方
 （kW 優先運転②の場合）

7. 1. 4 水車ガイドベーン制御方式

水槽接続案では、水槽水位を変化させて調整池に貯留、または調整池から供給する方式であるため、流量制御には水車ガイドベーン開度調整が必要であり、新たなシステム機能が必要である。

【解説】

水位調整運転を実現するには、一般的に水位調整器盤として単独設置されるものや自動制御盤の一部機能として設置される装置に大別される。このうち、自動制御盤の一部機能とするものはその種別として、調速機の一部機能であるもの、運転制御装置の一部機能であるもの、一体型運転制御装置の一部機能であるものなどがある。いずれの場合も、水槽水位に応じて水車ガイドベーン開度を定める機能が有り、水槽への流入量に応じた運転を可能とするものである。この機能を用い、自流運転を目的に設置されている事例が多い。

水槽接続案では、水槽水位を変化させて調整池に貯留、または調整池から供給する方式であるため、流量制御は水車ガイドベーン開度調整が必要である。現状の機器は、水槽水位を基に水位調整運転を行っているため、ガイドベーン開度により流量調整するためには、新たなシステム機能が必要である。

このため、水槽接続案は、水位調整器の自流運転機能に大幅な機能付加が必要であり、既設水位調整機能の組込み形態に応じ、改良方法を検討する必要がある。これら制御システムの機能追加概要と水位調整機能のシステム改良例について記述する。

(1) 機能追加概要のフロー

基本運転パターンのフローは、図7-8のとおりである。

このフロー図のとおり、貯留モード、高水位自流運転モード、ピーク運転モード、低水位自流運転モードにより運転する。

ピーク運転後、速やかに高水位に回復させたい場合は、低水位自流モードを省略し、ピーク運転モードから貯留モードに即時に移行する場合もある。

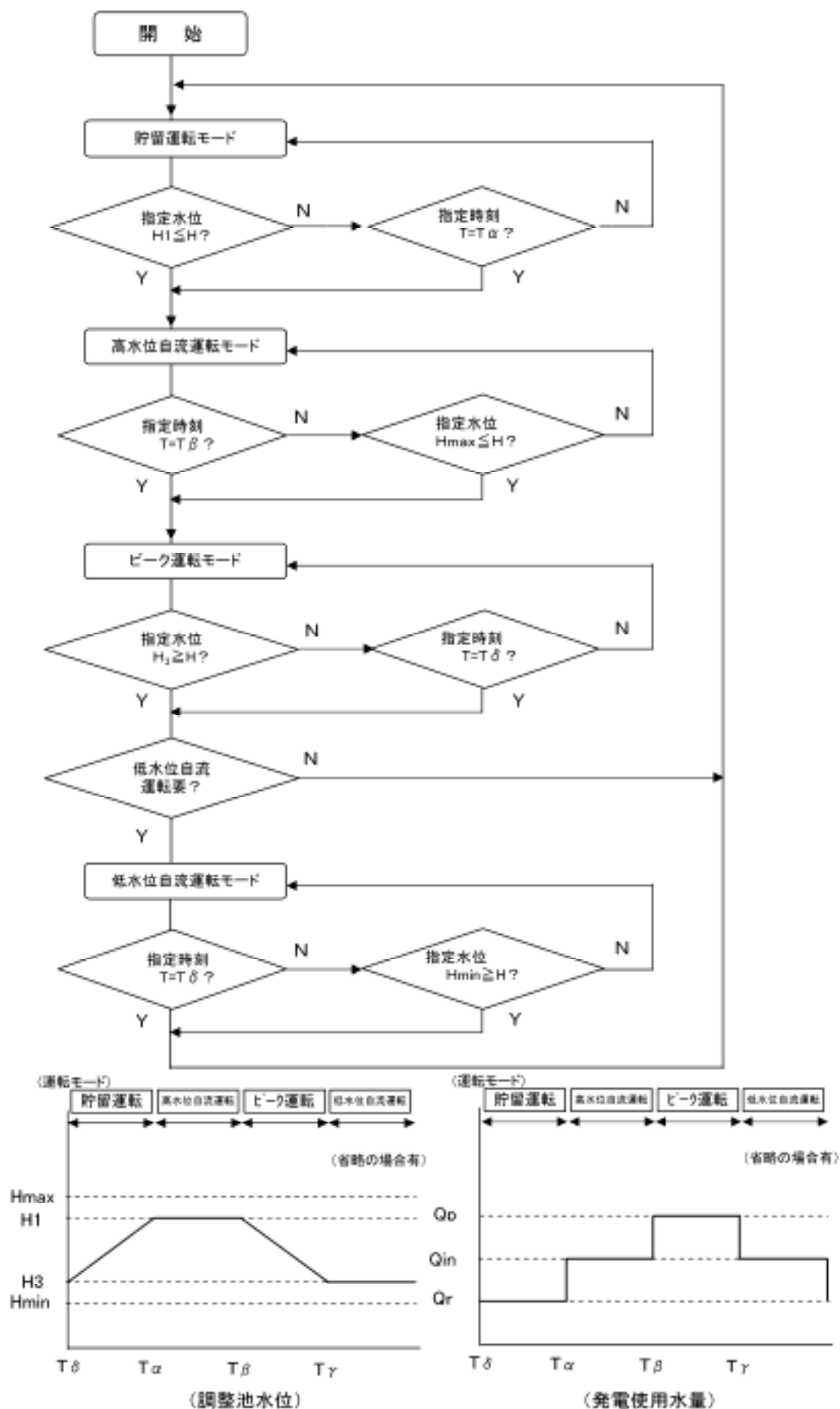


図 7-8 制御システムフロー図

(2) システム改良の基本仕様について

水位調整機能として自流運転に加え、貯留運転、高水位自流運転、ピーク運転、低水位自流運転を行うための基本仕様について示す。

検討条件として、単独発電所で水力発電所内に新設される自立制御盤を想定した。この自立制御盤は、関数演算可能なプログラマブルコントローラ（PLC）を用い、既設調速器制御盤の負荷制限装置へインタラプタ出力し、ガイドベーン開度上げ下げ信号を送出する。

運転パターンのうち、ピーク運転と貯留運転時は、目標とした発電出力や目標とした使用水量で運転する。出力対流量特性（P-Q曲線）を用い、目的とする流量を算定し流量を求め、流量対開度特性（Q-GV曲線）を用い、所定のガイドベーン開度を求める。落差が特性に影響を与える場合は、落差補正を行う。また、出力対開度特性（P-GV曲線）から直接落差補正したガイドベーン開度を求めるケースもある。

自流運転時は、高水位で実現するケースとピーク運転後の低水位で実現するケースがある。いずれの場合も、水槽水位に応じたガイドベーン開度に設定された水位垂下率特性で自流運転する。貯留運転終了後の高水位での自流運転とピーク運転終了後の低水位での自流運転の両方を可能とし、かつ、運転モード移行時に過度な変動がないよう、任意の水位垂下率特性を演算し設定できる機能が必要である。

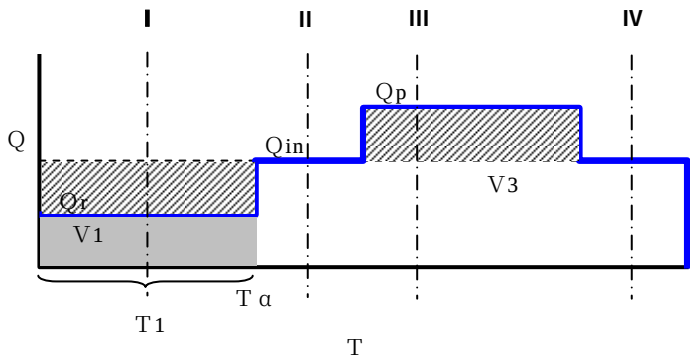
実際には、現地の状況に応じて検討が必要となる。

a 基本的な演算方法について

- (a) 自流 Q_{in} が、パターン運転できる流量であることを条件に、パターン運転制御を開始する。具体的には、一定流量以上、一定流量以下の場合はパターン運転不可のインターロック機能を設ける。
- (b) 自流運転時の流量調整は、一般的な制御方式である水位調整器によりガイドベーン開度を演算し、偏差を負荷制限装置から上げ下げ出力することにより実現する。
- (c) 貯留運転時ならびにピーク運転時の目標ガイドベーン開度は、自流 Q_{in} と計画貯留量 $V1$ 、ピーク時使用可能量 $V3$ と $T1$ 、 $T3$ から算出する。
- (d) 高落差の発電所を対象としているため、出力対流量特性（P-Q曲線）に落差補正を考慮する。ただし、高落差地点で、落差補正が無視できる地点は落差補正を省略する（ペルトン水車などを採用した高落差地点では、落差補正を必要としないケースが多い）。
- (e) 水槽水位は、波浪による水位変動の影響を排除する目的で、平滑化した値を制御に用いることが多い。この場合、保護と制御の協調に留意する必要がある。

(3) 電気設備システム基本仕様の概要例について

a. 貯留運転時 (Q_r を設定し運転)

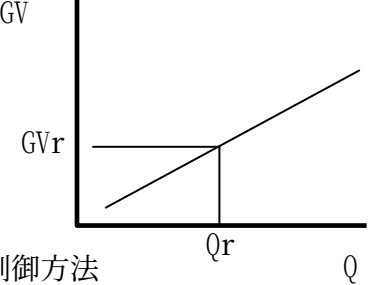


貯留運転モデル

Hmax：当該日の水槽最高水位(m)
Hx：水槽の現在水位(m)

(a)演算概要

- ① Hmax(m)－Hx(m)から V₁(m³)を算出する。
- ② Q_{in}－Q_r＝ΔQ₁
- ③ ΔQ₁と V₁から T₁を算出する。
- ④ 現在時刻と T₁から T_α時を設定する。
- ⑤ Q_r に対する GV 開度の GV_r を算定する。



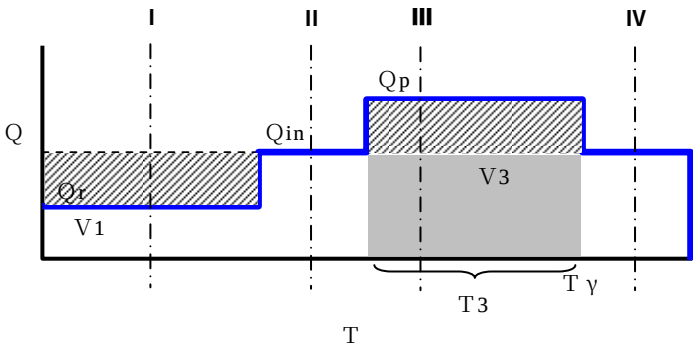
(b)調整制御方法

算定した GV_r で負荷制限装置(77)による流量調整を行う。

(c)貯留運転から自流運転への移行条件

水位 Hmax に到達または、時刻 T_α時に到達のいずれかで自流運転に移行する。

c. ピーク運転時 (ピーク時間 T₃ は設定)

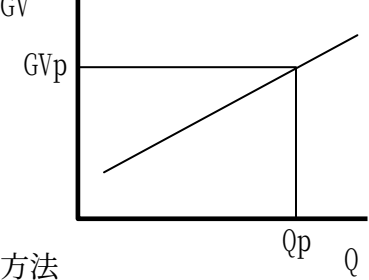


ピーク運転モデル

Hmin：当該日の水槽最低水位(m)
Hx：水槽の現在水位(m)

(a)演算概要

- ① Hx(m)－Hmin(m)から V₃(m³)を算出する。
- ② ピーク時間 T₃から T_γ時を設定する。
- ③ V₃と T₃から ΔQ₃ ピーク使用水量を算出する。
- ④ Q_p＝Q_{in}＋ΔQ₃
- ⑤ Q_p に対する GV 開度の GV_p を算定する。



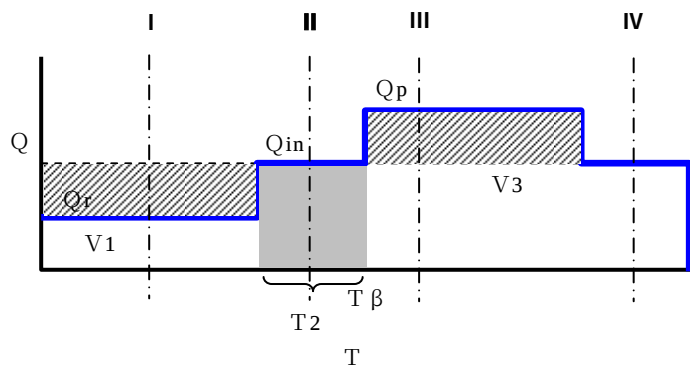
(b)調整制御方法

算定した GV_p で負荷制限装置(77)による流量調整を行う。

(c)ピーク運転から自流運転への移行条件

水位 Hmin に到達または、時刻 T_γ時に到達のいずれかで自流運転に移行する。

b. 水槽高水位 自流運転時



水槽高水位 自流運転モデル

※) 水位垂下率：水位の変化幅に対して、ガイドペーンの開度を定める傾き。

(a)演算概要

- ① 現在水槽水位 Hx と Q_{in} を用い水位垂下率※を自動設定する。
Hmaxを超えないこと
- ② 水位調整器運転機能により、水槽水位の高い位置で自流運転する。

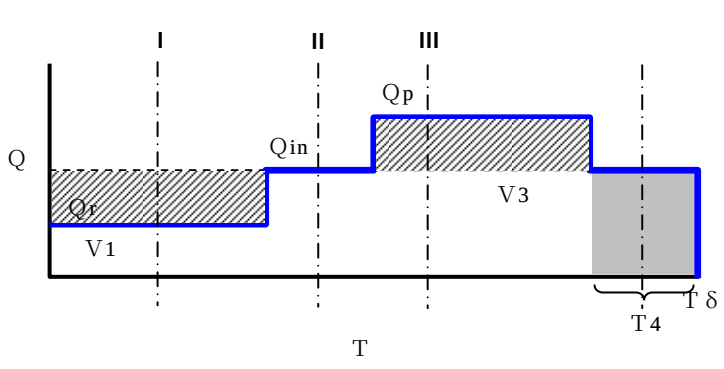
(b)調整制御方法

水位上昇で負荷制限装置(77)上げにより水車水量を増やす。
水位低下で負荷制限装置(77)下げにより水車水量を減らす。

(c)自流運転からピーク運転への移行条件

水位 Hmax に到達または、時刻 T_β時に到達のいずれかでピーク運転に移行する。

d. 水槽低水位 自流運転時



水槽低水位 自流運転モデル

(a)演算概要

- ① 水槽水位 Hx と Q_{in} を用い水位垂下率を自動設定する。
Hminより下がらないこと
- ② 水位調整器運転機能により、水槽水位の低い位置で自流運転する。

(b)調整制御方法

水位上昇で負荷制限装置(77)上げにより水車水量を増やす。
水位低下で負荷制限装置(77)下げにより水車水量を減らす。

(c)自流運転から貯留運転への移行条件

水位 Hmin に到達または、時刻 T_δ時に到達のいずれかで貯留運転に移行する。

図 7-9 電気設備システムの機能仕様概要例 ((kW優先運転②の場合))

7.2 発電所の維持管理

地下調整池内は、通常の導水路トンネルよりも緩勾配であり、特に貯留時には調整池を流れる水の流速は非常に遅いものとなることから、十分な堆砂対策を講じる必要がある。

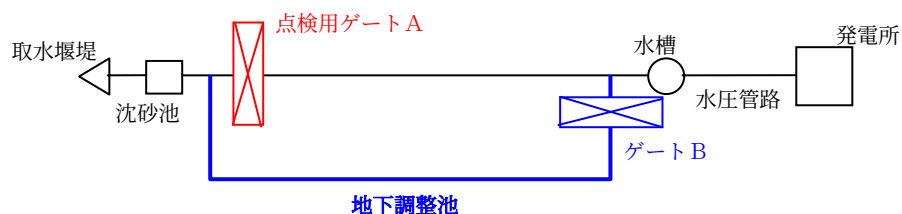
【解説】

一般的な導水路トンネルの勾配は、 $1/1,000 \sim 1/2,000$ であることに対して、地下調整池トンネルの勾配は $1/2,000 \sim 1/5,000$ の緩勾配とした。これより、地下調整池内を流れる水の流速は、特に貯留時には非常に遅い流れとなることから、通常の導水路トンネルに比べて土砂が堆積しやすい構造物となる。

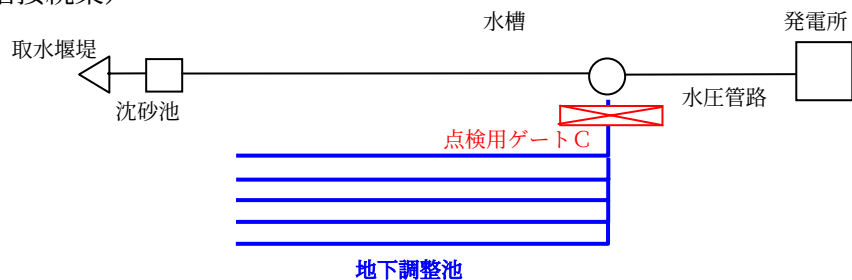
地下調整池の設置位置は、通常取水堰堤の下流に設けられている沈砂池の下流側に設置することを考えていることから、沈砂池が十分な構造物の機能を発揮していると考えれば、粒径の大きな土砂は調整池内へは混入し難いものと考えられる。

したがって、調整池内に堆砂する土砂の粒径は小さいものと考えられることから、通常は自流運転時に水と一緒にフラッシングすることにより土砂を排除するものとする。

(導水路途中接続案)



(水槽接続案)



(導水路調整能力付加案)



図 7-10 地下調整池模式平面図

維持管理の作業にあたっては、接続パターン毎に表 7-5 に示す特徴を有している。

表 7－5 各接続パターンにおけるメンテナンス時の特徴

接続パターン	メンテナンス時の特徴
導水路途中接続案	地下調整池供用時には、通常全閉状態である点検用ゲート A を全開とし、地下調整池の始点側に運転水位に対処する角落し等を設置することにより、地下調整池内をドライな状況としてメンテナンスが可能である（地下調整池へのアクセス作業坑が必要）。その際、発電所では流れ込み式の運転が行える。
水槽接続案	地下調整池供用時には、通常全閉状態である点検用ゲート C を全閉とし、地下調整池内をドライな状況としてメンテナンスが可能である（地下調整池へのアクセス作業坑が必要）。その際に、発電所は流れ込み式の運転が行える。
導水路調整能力付加案	- 地下調整池内をドライな状況としてメンテナンスを行うためには、取水口ゲートを閉塞する等、取水停止を行い、発電所を停止する必要がある。 - 新規の計画地点であることから、あらかじめ水槽に地下調整池を考慮した土砂吐き設備を設置しておくことも可能である。

なお、土砂流入の大きな発電所に地下調整池を計画する際には、あらかじめ土砂対策として以下の項目等について考慮しておく必要がある。

- ・出水時の取水制限等を確実に実施し、調整池内への土砂流入防止に配慮する。
- ・既設構造物や地形条件等を考慮して、あらかじめ地下調整池からの土砂吐き設備の設置を検討する。
- ・ホイールローダーやキャリアダンプ等の重機を用いて排土可能なように、あらかじめ進入口の確保を考慮する。

地下調整池 開発計画支援システム
説明書

目 次

1. システム概要 -----	資料1-3
2. プログラムのインストール -----	資料1-4
3. メニュー構成 -----	資料1-7
4. メイン画面 -----	資料1-8
5. ファイル・メニュー -----	資料1-9
6. 編集・メニュー -----	資料1-13
7. 表示・メニュー -----	資料1-16
8. ウィンドウ・メニュー -----	資料1-17
9. ヘルプ・メニュー -----	資料1-18
10. 地下調整池容量設定システム -----	資料1-19
11. 地下調整池構造設定システム -----	資料1-23
12. 工事費算定システム -----	資料1-26
13. 運転パターン選定システム -----	資料1-33
14. 経済性評価システム -----	資料1-44

1. システム概要

地下調整池の開発計画の策定については、「地下調整池 開発計画マニュアル」を基に検討を行うことを前提とします。開発計画支援システムは、効率的に計画立案を行うことを目的として開発したものです。

本システムは、既設発電所に新たに地下調整池を構築する場合と新規の流れ込み式計画地点に地下調整池を付加する場合を考慮した「地下調整池 開発計画支援システム」であります。

システムの構成を以下に示します。

- ・地下調整池容量設定システム
- ・地下調整池構造設定システム
- ・工事費算定システム
- ・運転パターン選定システム
- ・経済性評価システム

2. プログラムのインストール

必要システム

日本語オペレーティングシステム(Microsoft Windows 2000, Microsoft Windows XP)

.Net Framework 2.0

ディスプレイ (1024×768以上を推奨)

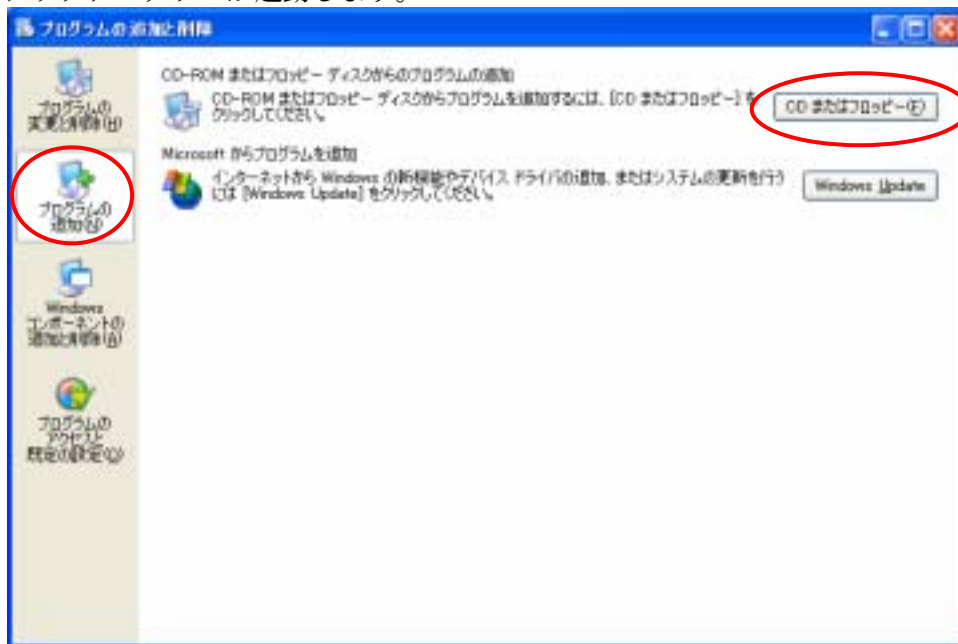
プログラムのインストール

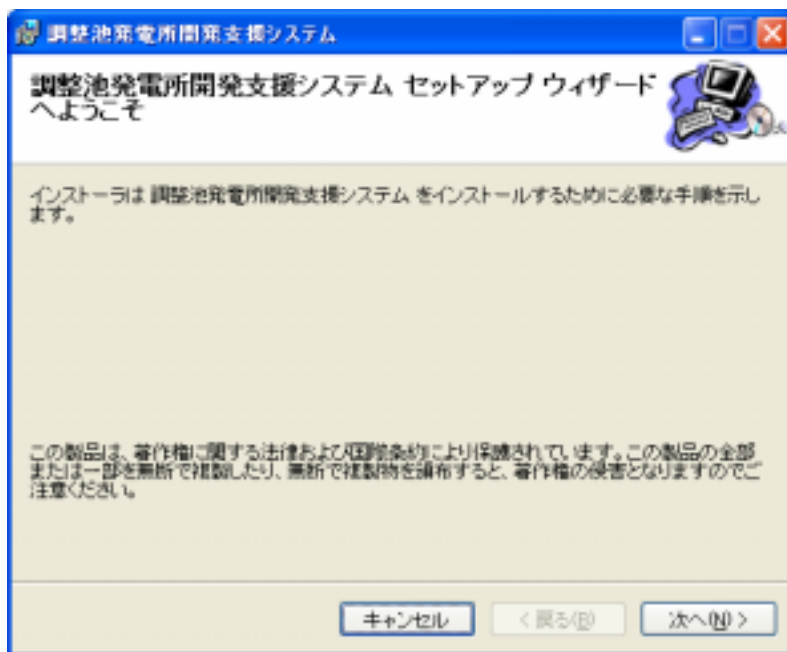
本製品のCD-ROMをドライブにセットし、起動するセットアッププログラムの画面に従って操作を行うことで簡単にインストールすることができます。

自動的にセットアッププログラムが起動しない場合は以下の方法でセットアッププログラムを起動することができます。

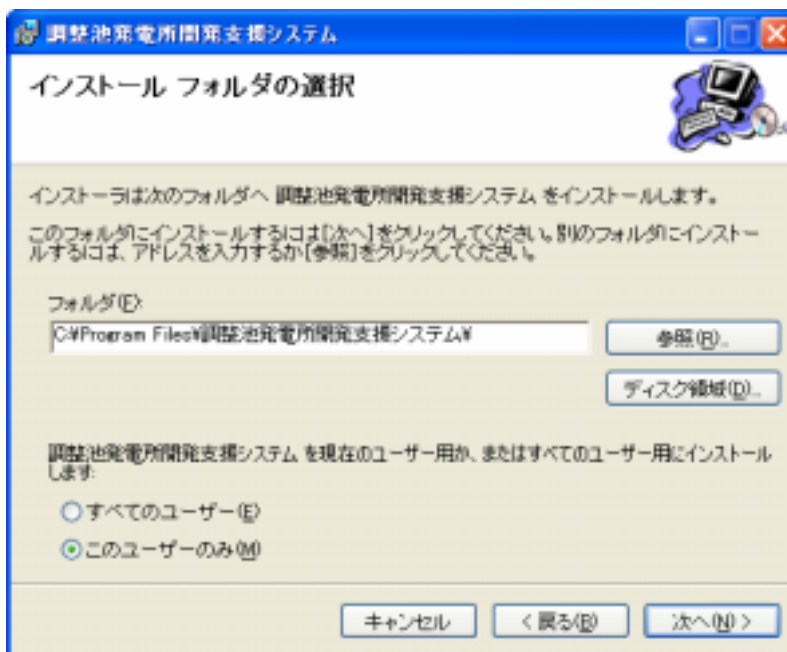
タスクバーの[スタート]ボタンをクリックし、[コントロールパネル(C)]をクリックします。[プログラムの追加と削除]アイコンをダブルクリックします。

[プログラムの追加] の [CDまたはフロッピー(F)] ボタンをクリックすると、セットアッププログラムが起動します。

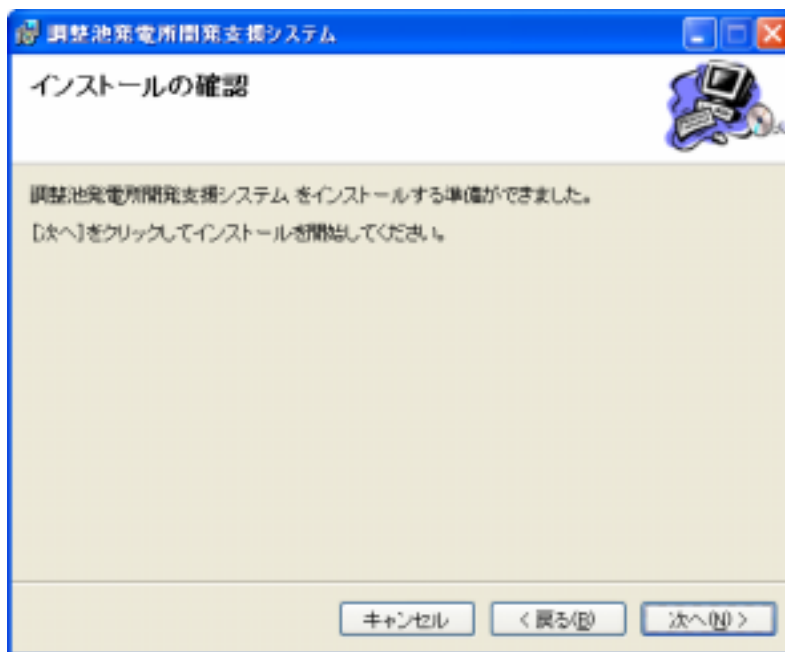




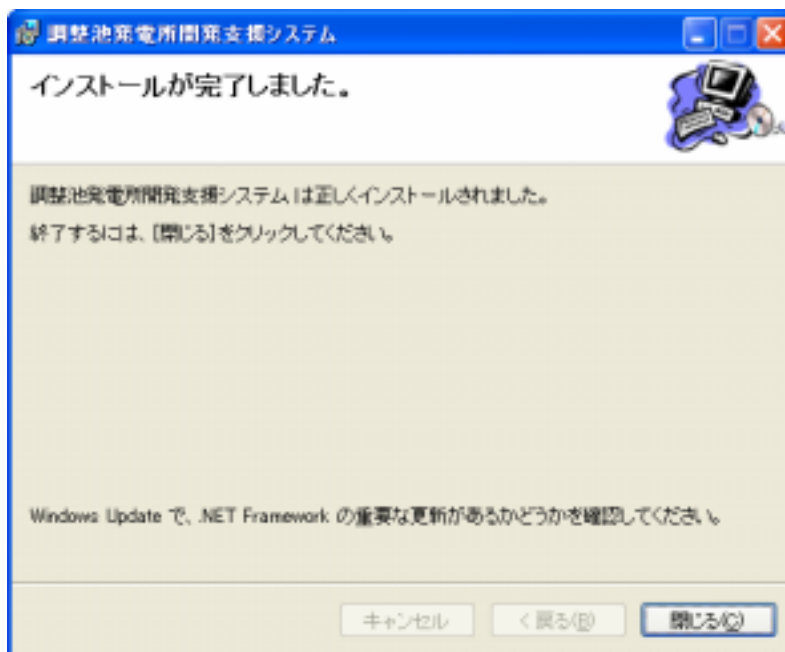
インストールの準備を開始します。



インストールフォルダの指定をします。フォルダを変更したい場合は[参照(R)]ボタンをクリックしてください。インストール先のフォルダの指定画面が表示されますので、フォルダを指定してください。



[次へ(N)] ボタンをクリックすると、セットアップが開始されます。



「インストールが完了しました。」のメッセージが表示されましたら、インストールは終了です。

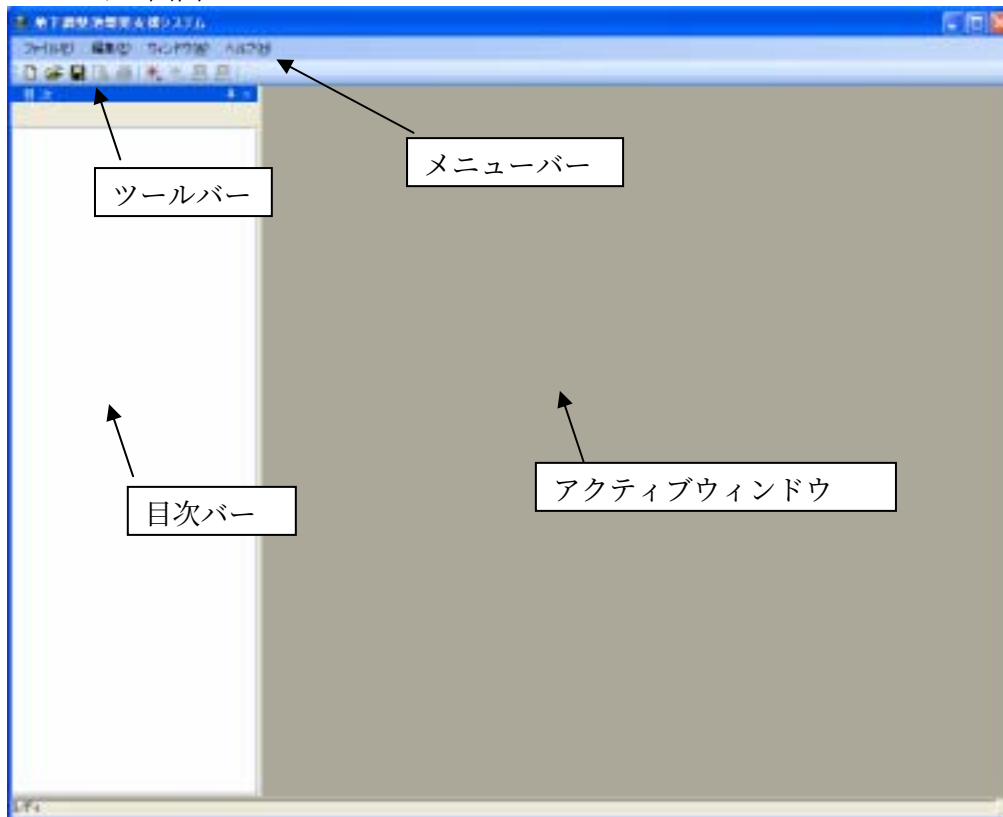
3. メニュー構成

本システムのメニュー構成と各メニューの概要を以下に示します。

(以下、[] はシステムのメニューあるいはコマンドを、表します。)

[ファイル]	→ ファイルメニュー
[新規作成]	→ データをクリアし新規作成
[開く]	→ 既存のファイルを開く
[上書き保存]	→ 上書き保存
[名前をつけて保存]	→ 名前をつけて保存
[初期設定値保存]	→ 工事費算定システムの初期設定値保存
[印刷スタイルの設定]	→ 印刷スタイルの設定
[印刷プレビュー]	→ 印刷プレビュー
[印刷]	→ 印刷
[エクスポート]	→ エクスポート
[終了]	→ システム終了
 [編集]	→ 編集メニュー
[新規地点]	→ 地点を新規作成
[地点名を変更]	→ 選択した地点の名前を変更
[地点削除]	→ 選択した地点の削除
[システム追加]	→ 選択した地点にシステム追加
[システム削除]	→ 選択したシステムの削除
[矩形貼り付け]	→ エクセルデータ等の貼り付け
[クリップボードへコピー]	→ クリップボードへコピー
 [表示]	→ 表示メニュー
[拡大]	→ 拡大表示
[縮小]	→ 縮小表示
 [ウィンドウ]	→ ウィンドウメニュー
[目次バー]	→ 目次バーの表示・非表示
[閉じる]	→ アクティブウィンドウを閉じる
[すべて閉じる]	→ 開いている全てのウィンドウを閉じる
 [ヘルプ]	→ ヘルプメニュー
[バージョン情報]	→ バージョン情報の表示

4. メイン画面



RREPPDSS(RREPPDSS.exe)を起動すると、上の画面が表示されます。

システムを追加すると目次バーに各システムの項目が表示され、ダブルクリックで選択するとアクティブウィンドウ画面に表示されます。

ツールバーのボタンは、左から

[新規作成]、[ファイルを開く]、[上書き保存]、[印刷プレビュー]、[印刷]、[新規地点]

[地点削除]、[システム追加]、[システム削除]、[拡大]、[縮小]

となります。

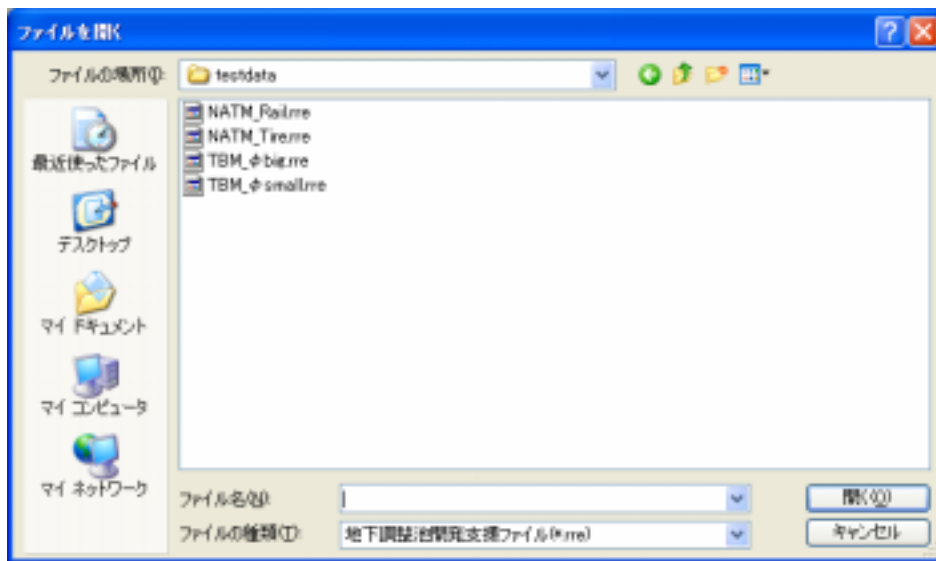
5. ファイル・メニュー

ファイル・メニューは、データファイル関係の操作メニューとなります。

[新規作成]

いままでの設定を全てクリアして、新規にデータを作成する状態にします。

[開く]

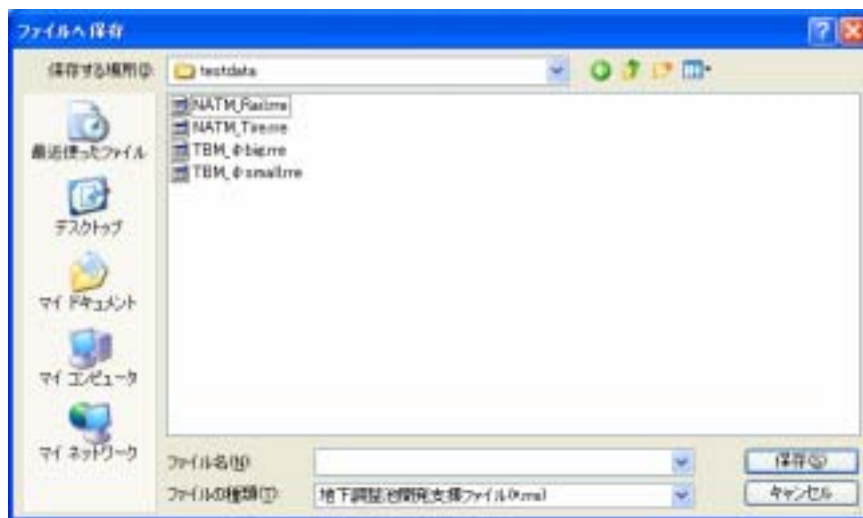


既存データを開きます。

[上書き保存]

データファイル名が設定されている場合は、データを上書き保存します。上書きの確認画面は、表示されませんので、上書きしたくないデータの場合は注意して下さい。

[名前をつけて保存]



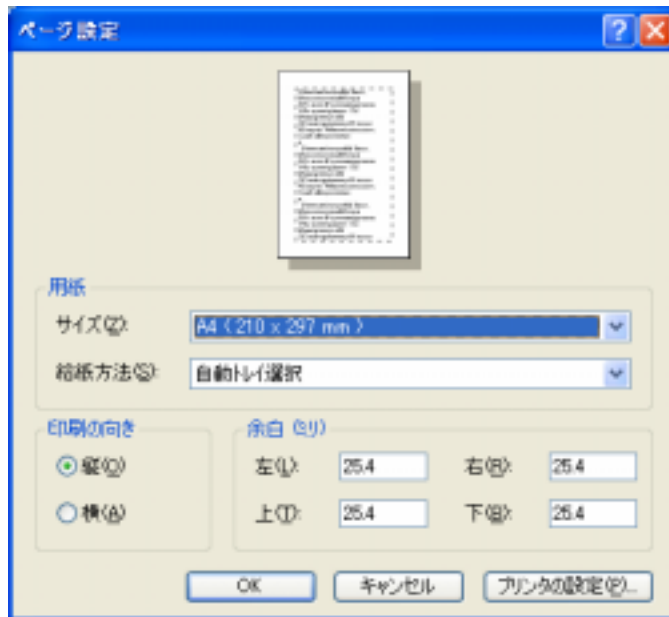
入力したデータを名前をつけて保存する時に実行して下さい。

[初期設定値保存]

工事費算定システムの初期設定値の変更を保存したい時に実行してください。

保存をすると次にこのシステムを使うときも変更後の値を使い続ける事になりますので注意してください。

[印刷スタイルの設定]



印刷のスタイルを設定します。印刷スタイルは印刷プレビューの画面でも設定できます。

[印刷プレビュー]

印刷プレビューが表示されます。

[印刷]

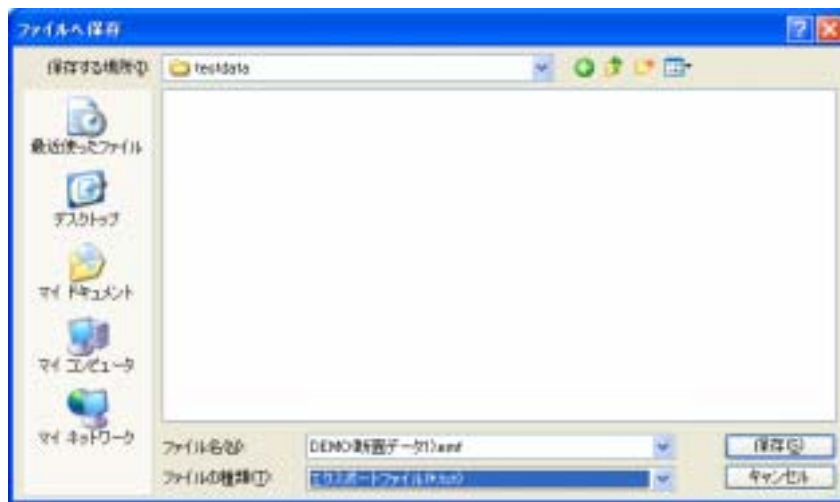
設定されているプリンタで印刷を実行します。

印刷プレビューと印刷は表や図の時のみ使用できます。

入力画面の印刷は対応していません。入力画面の印刷をしたい場合は Print Screen キー + Alt キーで画面がコピーされワープロソフト等で Ctrl キー + V キーでペーストができます。

Print Screen キー等はパソコンにより名称が変わります。パソコンのマニュアルを参照してください。

[エクスポート]



入力の表や結果の表、図の時に使用可能です。

入力の表の時は txt 形式のファイルが、結果の表、図の時は emf 形式のファイルが保存されます。

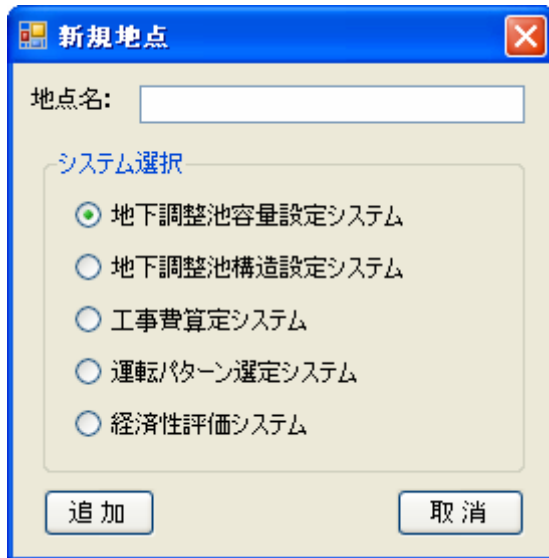
[終了]

システムを終了します。

6. 編集・メニュー

編集・メニューは、システム管理の操作メニューとなります。

[新規地点]



地点名を入力し、システムを選択して追加ボタンを押すと地点が追加され、選択したシステムも追加されます。

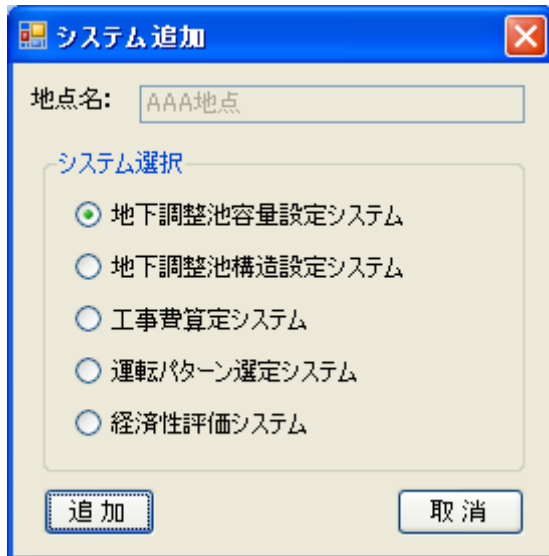
[地点名変更]

地点を選択した状態で地点名変更を実行すると地点名を変更する事ができます。

[地点削除]

地点を選択した状態で地点削除を実行すると地点を削除する事ができます。

[システム追加]



地点を選択した状態でシステム追加を実行するとシステムを追加できます。追加したいシステムを選択して追加を押すと選択したシステムが追加されます。

複数の同じシステムが作成される場合はシステム名の後ろに番号が付きます。

[システム削除]

削除したいシステムを選択した状態でシステム削除を実行すると選択したシステムが削除されます。

[矩形貼り付け]

入力の際に選択できるようになります。

エクセルなどからコピーした値を入力の際に貼り付けることができます。

[クリップボードへコピー]

表、図の際に選択できるようになります。

クリップボードへコピーができます。エクセル、ワード等に貼り付けができます。

以下に参考として概算工費の表をクリップボードへコピーで貼り付けた例を示します。

調整池トンネル概算工事費内訳書 発破工法

L = 2,700 m

工 種	単位	数 量	単価 (円)	工 費 (千円)	適 用
①発破掘削工法直接工事費				1,487,955	
トンネル掘削				733,116	
B	m3	0	0	0	
C _H	m3	79,667	5,099	406,229	
C _M	m3	41,930	6,008	251,911	
C _L	m3	9,537	7,862	74,976	
一次吹付けコンクリート				238,069	
B	m2	0		0	
C _H	m2	41,303	2,875	118,737	
C _M	m2	21,738	3,876	84,247	
C _L	m2	4,891	7,173	35,086	
ロックボルト工				73,298	
B	本	0		0	
C _H	本	0		0	
C _M	本	12,649	4,072	51,505	
C _L	本	5,054	4,312	21,793	
鋼製支保工				13,673	
C _L	基	389	35,167	13,673	
金網工				2,541	
C _L	m2	3,176	800	2,541	
ずり処理 (坑外運搬、捨土)				196,700	
B	m3	0	1,500	0	
C _H	m3	79,667	1,500	119,500	
C _M	m3	41,930	1,500	62,895	
C _L	m3	9,537	1,500	14,305	
二次吹付けコンクリート				95,558	
B	m2	0	1,421	0	
C _H	m2	40,889	1,421	58,099	
C _M	m2	21,520	1,421	30,578	
C _L	m2	4,842	1,421	6,880	
床版コンクリート				135,000	
	m2	27,000	5,000	135,000	
②運転経費				269,917	
仮設備費運転経費	式	1	269,917,000	269,917	
③仮設備費				459,290	
仮設備費	式	1	459,290,000	459,290	
純工事費 (①+②+③)				2,217,162	
④共通仮設備費				94,964	6.38 %
⑤現場管理費				564,490	25.46 %
間接工事費 (④+⑤)				659,453	
工事原価 (①+②+③+④+⑤)				2,876,616	
⑥一般管理費				208,969	7.26 %
⑦追加工事費				0	
工事価格 (①+②+③+④+⑤+⑥+⑦)				3,085,585	千円
		1m当り工事費		572,000	円/m
		1m ³ 当り工事費		23,600	円/m ³

7. 表示・メニュー

表示・メニューは、表示の操作メニューとなります。

[拡大]

表示を拡大表示します。

[縮小]

表示を縮小表示します。

拡大、縮小ともに結果の表と図の時のみ選択できるようになります。

8. ウィンドウ・メニュー

ウィンドウ・メニューは、ウィンドウの操作メニューとなります。

[目次バー]

目次バーにチェックがついていると表示し、チェックを外すと非表示となります。

[閉じる]

アクティブウィンドウを閉じます。

[全て閉じる]

開いている全てのウィンドウを閉じます。

9. ヘルプ・メニュー

[バージョン情報]



本システムのバージョン情報を表示します。

10. 地下調整池容量設定システム

[入力データ]

・設定データ

必須入力にはかならず値を入れてください。入力後適用ボタンを押すと流量データを入力することができます。

「マニュアル：2.2.2 地下調整池容量参照」

・流量データ

ボタンの説明

適用：入力データを適用します。ただし、空欄があると適用できません。

仮登録：入力途中の状態でも中断したい場合に仮登録をします。また適用後、設定データで入力年の範囲を変えた場合もこの状態になります。仮登録では算定結果は表示できません。

リセット：適用していた状態に戻します。

クリア：入力をすべてクリアします。

※【矩形貼付け】

あらかじめ流量データがエクセル等に入力されている場合は、矩形コピーでシステムに入力できる。

- ① エクセル：コピー範囲を矩形で指定
- ② システム：データ貼付け範囲（矩形）を指示
- ③ システム：編集(E)→矩形貼付け(P)

設定データで設定した入力年分の流量のデータを入力してください。入力後適用ボタンを押すと算定結果を見ることができます。

[算定結果]

・取水地点流量

取水地点流量への換算のデータを表示します。

・平均流況

年	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	平均
1996	0.50	0.40	0.54	0.60	0.54	0.46	0.50	0.40	0.50
1997	0.60	0.40	0.50	0.60	0.54	0.46	0.50	0.40	0.50
1998	0.60	0.50	0.50	0.60	0.50	0.46	0.50	0.40	0.50
1999	0.60	0.50	0.50	0.60	0.50	0.46	0.50	0.40	0.50
2000	0.60	0.50	0.50	0.60	0.50	0.46	0.50	0.40	0.50
2001	0.60	0.50	0.50	0.60	0.50	0.46	0.50	0.40	0.50
2002	0.60	0.50	0.50	0.60	0.50	0.46	0.50	0.40	0.50
2003	0.60	0.50	0.50	0.60	0.50	0.46	0.50	0.40	0.50
2004	0.60	0.50	0.50	0.60	0.50	0.46	0.50	0.40	0.50
2005	0.60	0.50	0.50	0.60	0.50	0.46	0.50	0.40	0.50

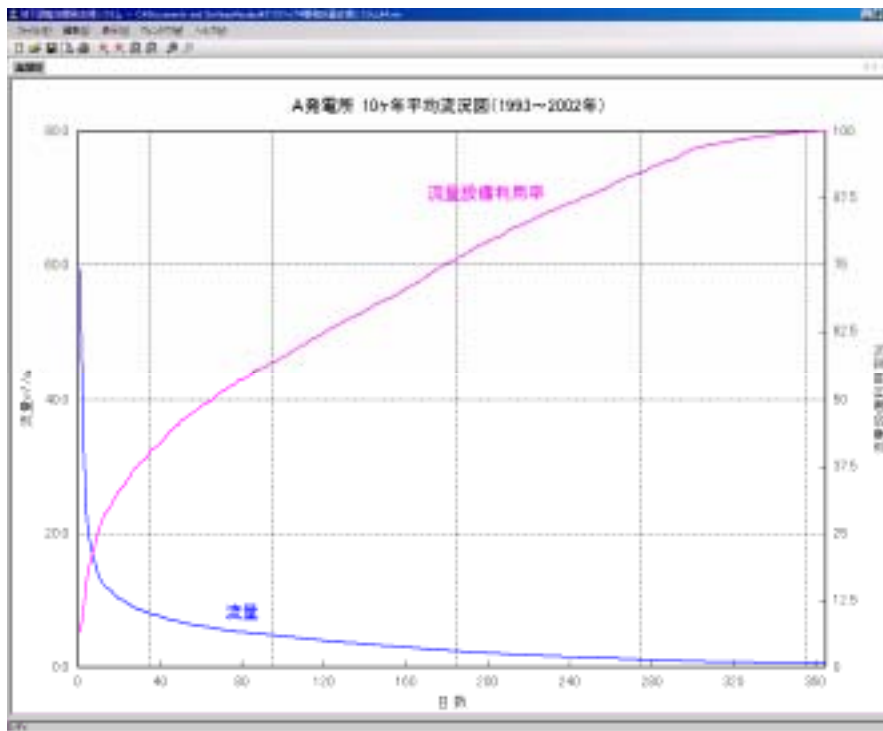
流量の小さいものから順番に並び替え平均流量の表を表示します。

・流況表

年	最大流量	3日目流量	平均流量	最小流量	最大流量	最小流量	最小流量	平均流量
1996	134.06	35.28	9.14	2.70	1.02	0.70	0.66	10.13
1997	288.38	32.14	13.22	5.90	2.62	0.68	0.46	12.98
1998	171.14	31.70	13.30	6.79	3.02	0.79	0.58	12.68
1999	225.30	37.02	18.30	5.42	2.34	0.90	0.70	13.31
2000	167.10	41.62	13.98	4.74	2.34	0.68	0.64	13.79
2001	74.38	37.82	13.60	6.26	1.64	0.60	0.42	11.66
2002	222.62	29.28	13.96	5.62	2.22	1.02	0.82	12.34
2003	170.50	39.88	13.26	5.38	1.58	0.58	0.34	12.66
2004	182.90	41.98	12.64	5.98	3.22	0.78	0.66	14.31
2005	71.32	29.18	11.30	4.28	1.30	0.78	0.58	8.73
平均	170.32	35.68	13.02	5.20	2.26	0.71	0.58	12.29

流況表を表示します。

・流況図



流況図を表示します。

・ 8 月 L 5 流量

8月L5流量

8月L5流量: Q_{L5} = m³/s

調整池容量: V_R = m³

$V1 [(QMA) - Q_{L5} \times TP \times 3600] =$ m³
 $V2 [(Q_{L5} - QMIN) \times (24 - TP) \times 3600] =$ m³

8 月 L 5 流量と調整池容量（V1 と V2 いずれか小さい方で決定）の結果を表示します。

1 1. 地下調整池構造設定システム

[入力データ]

- ・構造入力データ

※調整池接続パターンの選定は、
「マニュアル：2.2.3 接続パターン
と流量制御方法参照」

※入力項目、構造の設定方法は、「マ
ニュアル：3.2.2 地下調整池構造の
設定参照」

まず調整池接続パターンを選んでください。接続パターンによって土木構造物諸元の入力項目が変わりますので注意してください。全ての入力項目に入力してください。入力後適用を押すと算定結果が表示できるようになります。

なお、容量設定システムデータ読み込みボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。

地点名を選択するとその地点にあるシステムが選択できます。ここでは地下調整池容量設定システムを選択してください。決定ボタンを押すと選択したシステムのピーク継続時間、最大使用水量、8月L5流量のデータが入力されます。

[算定結果 1]

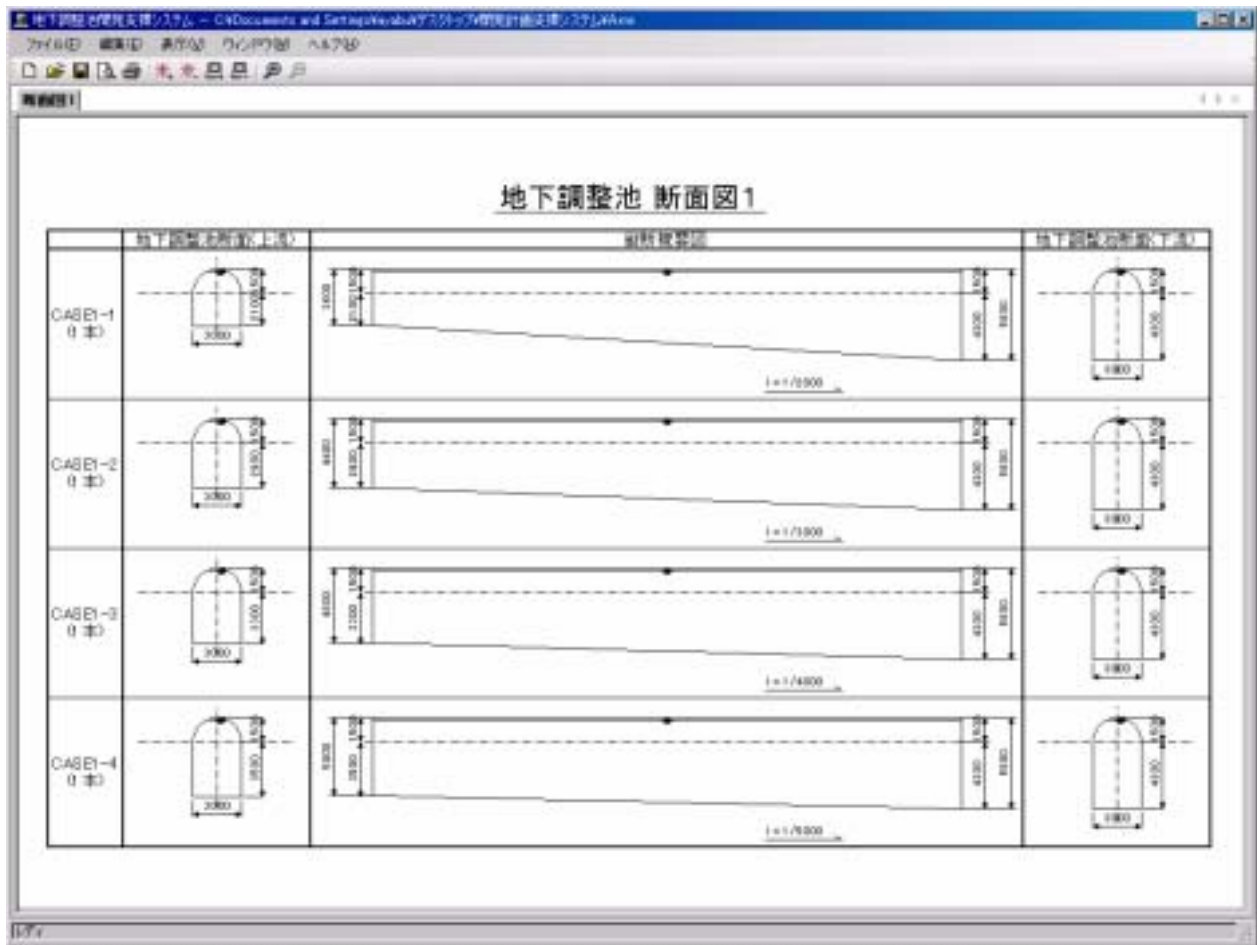
- ・断面データ 1（ピーク継続時間を満足するトンネル本数が最小である断面諸元）

トンネル構造算出結果 1

項目		小断面 CASE 1-1	小断面 CASE 1-2	小断面 CASE 1-3	小断面 CASE 1-4
トンネル幅	B(m)	3.0	3.0	3.0	3.0
トンネル勾配	I	1/2000	1/3000	1/4000	1/5000
		0.000500	0.000333	0.000250	0.000200
トンネル延長	L(m)	4,675	4,675	4,675	4,675
河川流入量	Qin(m ³ /s)	1.782	1.782	1.782	1.782
ピーク時供給量	Qout(m ³ /s)	5.310	5.310	5.310	5.310
上流水深	H1(m)	3.524	4.304	4.693	4.927
初期容量	V(m ³)	65,823	71,287	74,019	75,658
粗度係数	n	0.014	0.014	0.014	0.014
等流水深	Ho(i)(m)	0.636	0.731	0.808	0.874
	Ho(o)(m)	1.381	1.607	1.794	1.955
貯水容量	Vi(m ³)	8,923	10,254	11,331	12,252
	Vo(m ³)	19,366	22,543	25,154	27,415
T①	(sec)	16,126	17,298	17,767	17,970
T②	(sec)	13,167	13,815	13,849	13,673
③ To'	(hr)	4.068	4.321	4.391	4.395
許容トンネル高	(m)	3.400	3.400	3.400	3.400
上流トンネル高	(m)	3.600	4.400	4.800	5.000
上流トンネル高(m)の変更		3.600	4.400	4.800	5.000
下流トンネル高	(m)	5.800	5.800	5.800	5.800
下流トンネル高(m)の変更		5.800	5.800	5.800	5.800
トンネル諸元	上流平均断面積(m ²)	9.83	12.23	13.43	14.03
	下流平均断面積(m ²)	16.43	16.43	16.43	16.43
	延長(m)	4,675.00	4,675.00	4,675.00	4,675.00
	箇所(本)	1	1	1	1
	容量(m ³)	61,402.81	67,012.81	69,817.81	71,220.31

トンネル構造算出結果の表を表示します。

- ・断面図 1（断面データ 1 の模式図を表示する）



地下調整池断面図を表示します。

[算定結果 2]

断面データ 2、断面図 2 ともに計算結果が 2 パターンない場合は表示できません。

（断面データ 1 の結果よりも、トンネル本数を 1 本多くした場合の断面諸元、断面図を示す。）

これらの中から、「工事費算定システム」を組み合わせることにより、ピーク継続時間を満足する経済的な諸元を決定する。

12. 工事費算定システム

※詳細は、「巻末資料：工事費算定システム内容」参照

[入力データ]

・初期設定値

支保構造諸元、積算用施工能力諸元、単価の3つがあります。すでに初期値が入力された状態なので基本的には入力する必要はありません。値を変更したいときは入力して適用ボタンを押してください。

・断面・地質データ

※工事費は、新技術導入によるコスト低減・工期短縮効果を考慮したものである。(マニュアル：第4章施工参照)

※断面形状については、構造設定システムの結果を基に設定または任意入力する。

※地質データについては、トンネル全長に対する岩盤等級の比率を入力する。

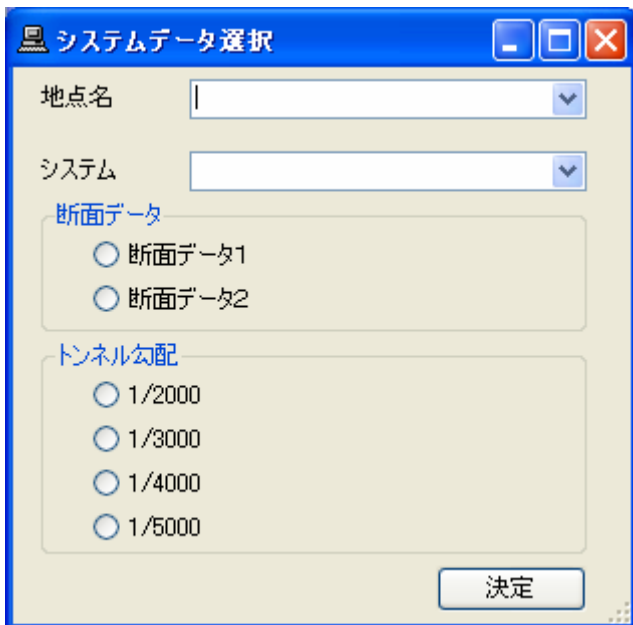
+：順勾配

-：突っ込み施工

「ズリ処理費が変化する」：巻末資料3 参照

まず施工方法を選んでください。施工方法によって断面寸法の入力項目が変わりますので注意してください。全ての入力項目に入力してください。入力後適用ボタンを押すと算定結果が表示できるようになります。

なお、構造設定システムデータ読み込みボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。



システムデータ選択

地点名

システム

断面データ

☐ 断面データ1

☐ 断面データ2

トンネル勾配

☐ 1/2000

☐ 1/3000

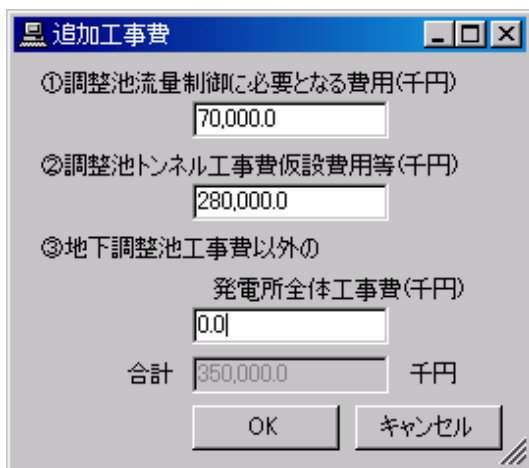
☐ 1/4000

☐ 1/5000

決定

地点名を選択するとその地点にあるシステムが選択できます。ここでは地下調整池構造設定システムを選択してください。断面データとトンネル勾配を選択し決定ボタンをおしてください。決定ボタンを押すと選択したシステムのトンネル延長、トンネル本数、発破掘削の場合基準高さのデータが入力されます。

追加工事費ボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。



追加工事費

①調整池流量制御に必要な費用(千円)

②調整池トンネル工事費仮設費用等(千円)

③地下調整池工事費以外の
発電所全体工事費(千円)

合計 千円

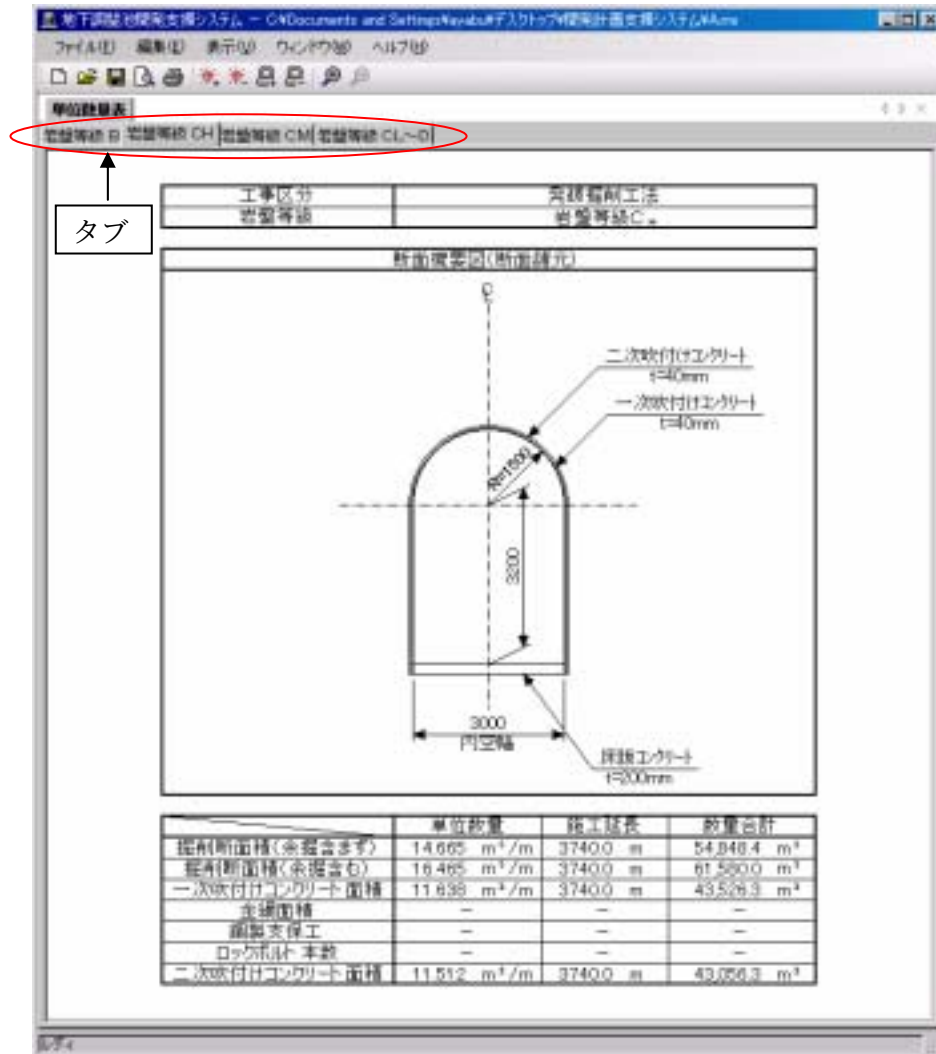
OK キャンセル

**※追加工事費については、「マニュアル:5.1
工事費と工期の算出について」参照**

①調整池流量制御に必要な費用と②調整池トンネル工事仮設費用等と③地下調整池工事費以外の発電所全体工事費を入力して OK ボタンを押してください。

[算定結果]

・単位数量



単位数量の結果を表示します。タブによって表示を切り替えられます。

・全体数量

工法区分		免破掘削工法				
断面諸元	施工延長	単位	B	C _H	C _M	C _L ~D
	1サイクル掘削長	m	0.0	3,740.0	701.3	233.8
	一次吹付けコンクリート	厚さ	0.0	5.0	2.5	1.0
	金網	cm	0	4	4	6
	鋼製支保工	部材	—	—	—	(設置する)
		間隔	—	—	—	H-100
	ロックボルト	長さ	—	—	1.5	1.5
		掘方向	—	—	—	—
	二次吹付けコンクリート	厚さ	0	4	4	4
単位数量	掘削(余堀含まず)	m ³ /m	0.000	14.665	14.665	14.901
	掘削(余堀含む)	m ³ /m	0.000	16.465	16.465	16.711
	一次吹付けコンクリート	m ² /m	0.000	11.638	11.638	11.638
	金網	m ² /m	0.000	0.000	0.000	5.027
	鋼製支保工	基/m	0.000	0.000	0.000	1.000
	ロックボルト	本/m	0.000	0.000	1.333	4.000
	二次吹付けコンクリート	m ² /m	0.000	11.512	11.512	11.512
全体数量	掘削(余堀含まず)	m ³	0.0	54,848.4	10,284.1	3,483.2
	掘削(余堀含む)	m ³	0.0	61,580.0	11,546.2	3,906.1
	一次吹付けコンクリート	m ²	0.0	43,526.3	8,161.2	2,720.4
	金網	m ²	0.0	0.0	0.0	1,175.0
	鋼製支保工	基	0.0	0.0	0.0	233.8
	ロックボルト	本	0.0	0.0	935.0	935.0
	二次吹付けコンクリート	m ²	0.0	43,056.3	8,073.1	2,691.0

全体数量の計算結果を表示します。

・積算工期

概算工期算出結果						
工法区分		発破掘削工法				
ずり出し方式		レール方式				
諸元	施工延長	単位	B	C _H	C _M	C _L ～D
	掘削月進	m	0.0	3,740.0	701.3	233.8
	二次吹付け	m／月	0.0	251.4	163.4	75.3
	コンクリート月進	m／月	3,220.0	3,220.0	3,220.0	3,220.0
工期	準備工	ヶ月	3.0			
	掘削	ヶ月	0.0	14.9	4.3	3.1
	二次吹付け	ヶ月	0.0	1.2	0.2	0.1
	コンクリート	ヶ月	1.0			
	跡片付け	ヶ月				
	合計	ヶ月	27.8			

概算工期の算出結果を表示します。

・サイクルタイム表

工法区分		免破掘削工法				
ずり出し方式		レール方式				
項目	記号	単位	B	C _W	C _W	C _L ～D
掘削断面積(余量り含まず)	A ₁	m ²	0.0	14.7	14.7	14.9
掘削断面積(余量り含む)	A ₂	m ²	0.0	16.5	16.5	16.7
1免破進行長	B	m	5.0	5.0	2.5	1.0
変化率	L	—	185	170	160	150
m ³ 当り穿孔数	C	孔	3.7	3.4	3.0	1.9
穿孔長	D	m	5.2	5.2	2.6	1.1
削岩機使用台数	E	台	2	2	2	2
のみ下がり速度	F	m/min	1.1	1.3	1.4	1.7
削岩機1台当り穿孔数	G	孔	0	25	22	14
シャトルカー積載量	H	m ³	28.0	28.0	28.0	28.0
1免破当りシャトルカー台数	I	台	0	5	2	1
ずり積み能力	Q ₁	m ³ /h	34.0	34.0	34.0	34.0
吹付け周長	M ₁	m	0.000	11.638	11.638	11.638
1サイクル当り吹付け面積	M	m ²	0.0	58.2	29.1	11.6
吹付け設計厚さ	N ₁	m	0.00	0.04	0.04	0.06
余吹き厚さ	N ₂	m	0.00	0.00	0.00	0.00
吹付け跳ね返り係数	K	—	1.24	1.24	1.24	1.24
1サイクル当りロックボルト本数	P ₁	本	0.0	0.0	3.3	4.0
穿孔時間		min	0	100	41	9
削岩機移動時間		min	0	25	22	14
積み込み時間		min	0	145	73	29
列車入れ替え時間		min	0	20	5	0
吹付け時間	R	min	0	59	44	39
支保工建設時間	S	min	0	0	0	20
ロックボルト工時間	T ₁	min	0	0	40	44
金網工時間	T ₂	min	0	0	0	20
レール設置時間	U	min	0	30	20	15
サイクルタイム固定分		min	0	115	135	140
計	Q	min	0	494	380	330
掘削サイクルタイム		min	0	435	295	207
一箇月当り進行長		m/月	0.0	251.4	163.4	75.3

サイクルタイム表を表示します。

・概算工費

地下調整池閉塞主排水システム - C:\Documents and Settings\kyabu\Desktop\概算計画主排水システム\A.mre

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

概算工事費内訳

調整池トンネル概算工事費内訳書 発破工法 L = 4,675 m

工 種	単位	数 量	単 価 (円)	工 費 (千円)	通 用
①発破掘削工法直挿工事費				888,953	
トンネル掘削				434,729	
B	m3	0	0	0	
C ₁	m3	61,579	5,235	322,391	
C ₂	m3	11,546	6,530	75,392	
C ₃	m3	3,906	9,458	36,946	
一次吹付けコンクリート				166,356	
B	m2	0		0	
C ₁	m2	43,526	2,703	117,651	
C ₂	m2	8,161	3,582	29,232	
C ₃	m2	2,720	7,158	19,472	
ロックボルト工				14,059	
B	本	0		0	
C ₁	本	0		0	
C ₂	本	926	8,318	7,700	
C ₃	本	935	7,657	7,159	
鋼製支保工				6,124	
C ₁	基	234	26,197	6,124	
金網工				940	
C ₁	m2	1,175	800	940	
ずり処理(坑外運搬、積土)				115,547	
B	m3	0	1,500	0	
C ₁	m3	61,579	1,500	92,369	
C ₂	m3	11,546	1,500	17,319	
C ₃	m3	3,906	1,500	5,859	
二次吹付けコンクリート				80,273	
B	m2	0	1,492	0	
C ₁	m2	43,056	1,492	64,219	
C ₂	m2	8,073	1,492	12,041	
C ₃	m2	2,691	1,492	4,014	
床版コンクリート				70,125	
B	m2	14,025	5,000	70,125	
②運転経費				190,259	
仮設設備運転経費	式	1	190,259,000	190,259	
③仮設設備費				354,255	
仮設設備費	式	1	354,255,000	354,255	
純工事費(①+②+③)				1,433,467	
④井筒仮設費				66,843	7.52 %
⑤現場管理費				373,926	26.09 %
間接工事費(④+⑤)				440,768	
工事原価(①+②+③+④+⑤)				1,874,235	
⑥一般管理費				145,137	7.74 %
⑦追加工事費				350,000	
工事価格(①+②+③+④+⑤+⑥+⑦)				2,369,372	千円
		1 m 当り工事費		507,000	円/m
		1 m ² 当り工事費		30,800	円/m ²

概算工事費内訳を表示します。

1 3. 運転パターン選定システム

[入力データ]

・発電所条件データ

※運転パターンの選定については、「マニュアル：3.3 調整池運転パターン」参照

地下調整池開発支援システム - C:\RREPPDSS\testdata\DEM0070209.rre

ファイル(F) 編集(E) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

発電所データ1

適用 リセット 発電所追加 発電

発電所名: AAA発電所

流域面積(km2): 61.11

河川維持流量(m3/s): 0.181

最大使用水量(m3/s): 7

常時使用水量(m3/s): 0.88

発電可能最小流量(m3/s): 1.253

水槽水位(m): 814.725

最大使用水量時の放水水位(m): 703.3

常時使用水量時の放水水位(m): 703.3

最大使用水量時の損失水頭(m): 3.1

計算プログラム

☒ kW優先運転①

☒ kW優先運転②

☒ kWh優先運転

計算実行

Q/Qmax(%)	総合効率(%)
100	82
95	83.2
92.9	83.5
90	84
85	84.2
78.6	83.8
75	83.2
70	82.3
64.3	80.9
60	79.5
55	77.5
50	75
49.9	80.8
47.1	82
45	82.5

・流況データを、あらかじめエクセル等で期別に維持流量を差し引いたデータを用いる場合(P34)には、便宜的に維持流量を0とする。

・Q/Qmaxに対する総合効率を折れ点で入力する。

・100～発電可能最小流量のQ/Qmaxの比率までデータを入力する。

・水車が2台設置されている発電所等、効率に変極点がある場合には、Q/Qmaxを少しずらして入力する。

・水車特性から決まる無負荷流量を入力する。

全ての入力項目に値を入力してください。入力後適用ボタンを押すと効率曲線の図が表示できるようになります。

発電所追加ボタンを押すと発電所条件データ2が入力できるようになり、発電所数を最大5つまで入力できるようになります。発電所削除ボタンを押すとその発電所のデータを削除できます。

計算プログラムを選択して計算実行を押すと選択された計算を実行します。ただし、発電所条件データ、発電所流況曲線データ、最適化パラメータ条件のデータが正しく入力されていないと実行できません。

・発電所流況曲線データ

日付	AAA発電所	BBB発電所	CCC発電所
305	0.09954	1.58825	2.91624
304	1.08704	1.60637	2.95139
303	1.02704	1.62124	3.00968
302	1.02387	1.64673	3.02589
301	1.04708	1.66981	3.06066
300	1.05731	1.68457	3.09719
299	1.06976	1.70491	3.13368
306	1.07776	1.71726	3.15789
307	1.08354	1.72647	3.17402
308	1.08242	1.74961	3.20003
306	1.10354	1.75833	3.23261
304	1.11998	1.76453	3.26077
303	1.13005	1.80753	3.31282
302	1.13909	1.81498	3.33675
301	1.15242	1.83622	3.37679
300	1.16000	1.84884	3.39833

※『容量設定データ』で入力した測水所データから、流域換算により流況算出が不可能な場合には、全ての発電所取水地点の平均流況（上流発電所地点取水水量も含める）を入力する。

（流域換算できない場合の例）

・人為操作によって、流量調整が行われている場合（エクセル等で別途計算しておく）

・期別に維持流量が設定されている場合（あらかじめエクセル等で期別に維持流量を差し引き整理しておく。その際、便宜的に維持流量を0とする（P33）。

※P20と同様にエクセル等からデータの矩形貼付けが可能である。

発電所条件データで入力した発電所分の流況曲線データを入力してください。入力後適用ボタンを押すとデータが適用されます。発電所条件データの画面と同じく計算実行ボタンを押すと計算が実行されます。

なお、容量設定データ読み込みボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。

発電所	面積比
AAA発電所	
BBB発電所	
CCC発電所	
*	

※『容量設定データ』で入力した測水所データから、全ての発電所の取水地点流況が流域換算で算出できる場合には、測水所流域面積に対する比率を入力する。

地点名を選択するとその地点にあるシステムが選択できます。ここでは地下調整池容量設定システムを選択してください。発電所ごとに面積比を入力し OK ボタンを押してください。選択したシステムのデータで流況曲線データを作成します。

・最適化パラメータ条件

最適化パラメータ条件

適用 リセット 容量設定システムデータ読み込み

共通

調整容量の探索範囲(下限) 0 m3

調整容量の探索範囲(上限) 61000 m3

調整容量の探索ピッチ 100 m3

kW優先運転①

ピーク継続時間: TP 4 h

kW優先運転②

貯留時間(hour)の探索範囲(下限) 0 h

貯留時間(hour)の探索範囲(上限) 20 h

貯留時間(hour)の探索ピッチ 0.00005 h

ピーク継続時間: TP 4 h

kWh優先運転

貯留時間(hour)の探索ピッチ 0.25 h

発電時間(hour)の探索ピッチ 0.25 h

計算プログラム

☒ kW優先運転①

☒ kW優先運転②

☒ kWh優先運転

計算実行

通常は 0 を入力 ($0 \leq V_{Run} \leq \text{調整池最大容量}$)

調整池最大容量

$0 < V_{Rp} \leq \text{調整池最大容量}$

設定したピーク継続時間 ($0 < TP \leq 24$)

通常は 0 を入力 ($0 \leq TR_{un} \leq 24$)

$0 < TR_p \leq 24$

設定したピーク継続時間 ($0 < TP \leq 24$)

通常は、この程度の数値を入力する。(計算精度と計算時間が変化する。計算結果の状況に応じて変更する。)

$0 < TR_p \leq 24$

$0 < TP_p \leq 24$

全ての入力項目に入力してください。入力後適用ボタンを押すとデータが適用されます。

なお、容量設定システムデータ読み込みボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。

システムデータ選択

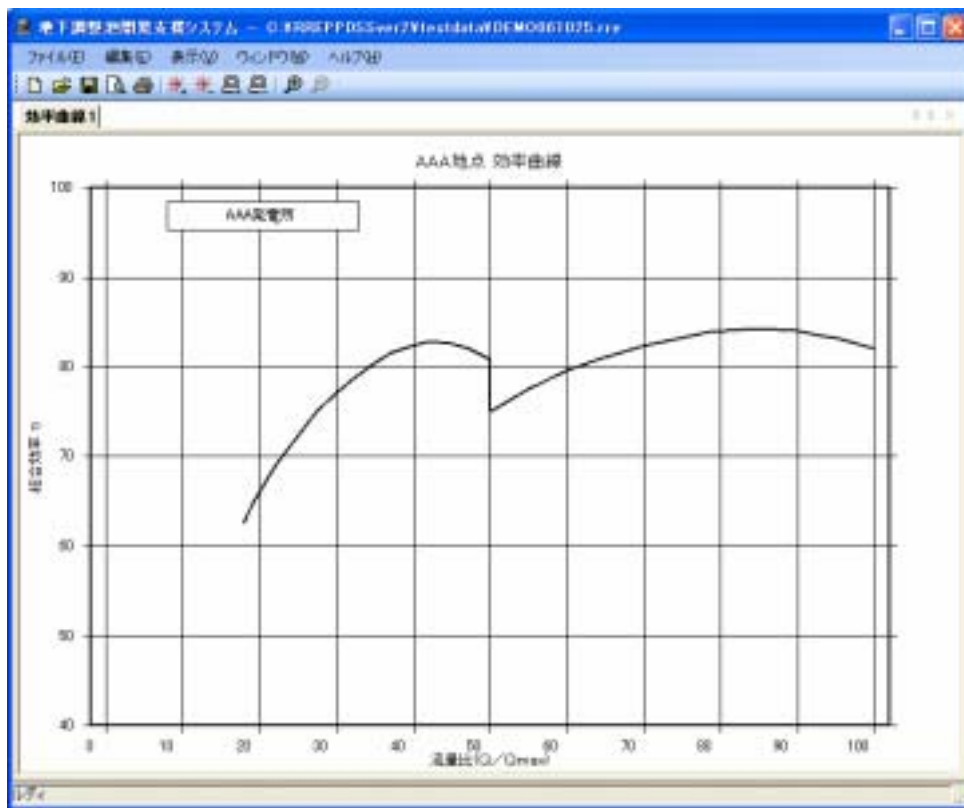
地点名

システム

決定

地点名を選択するとその地点にあるシステムが選択できます。ここでは地下調整池容量設定システムを選択してください。決定ボタンを押すと選択したシステムの調整池容量とピーク運転時間のデータが調整容量の探索範囲(上限)と発電時間(hour)の探索範囲(下限)に入力されます。

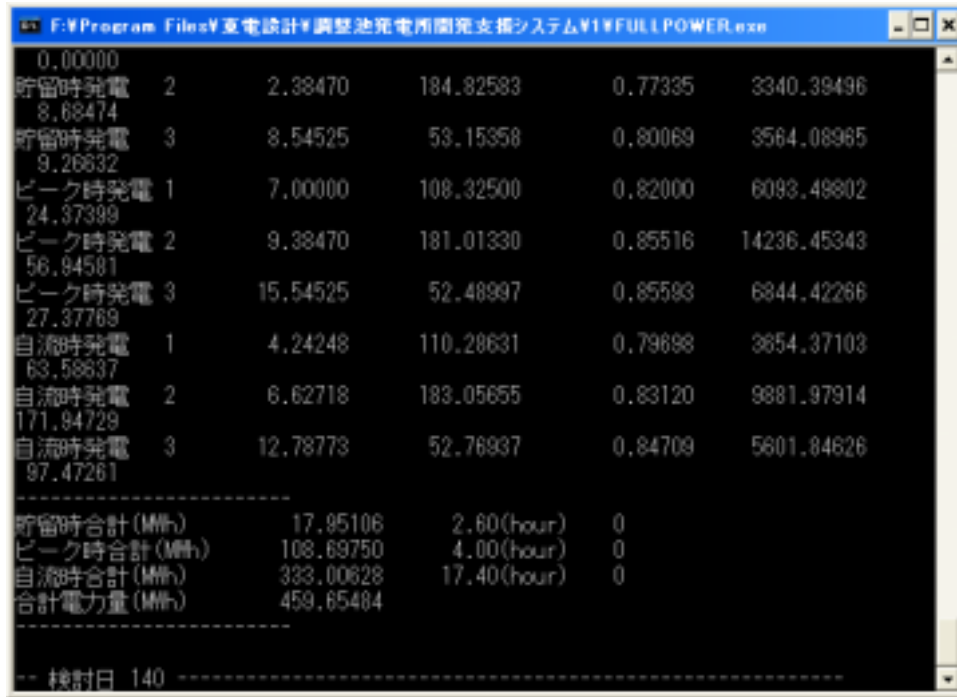
[効率曲線]



発電所条件データで入力されたデータでの効率曲線を表示します。

[算定結果]

入力データで計算実行を押すと以下のように計算が実行されます。



項目	回数	値1	値2	値3	値4
0.00000					
貯留時発電	2	2.38470	184.82583	0.77335	3340.39496
8.68474					
貯留時発電	3	8.54525	53.15358	0.80069	3564.08985
9.26832					
ピーク時発電	1	7.00000	108.32500	0.82000	6093.49802
24.37399					
ピーク時発電	2	9.38470	181.01330	0.85516	14236.45343
56.94581					
ピーク時発電	3	15.54525	52.48997	0.85593	6844.42286
27.37769					
自派時発電	1	4.24248	110.28631	0.79698	3654.37103
63.58837					
自派時発電	2	6.62718	183.05655	0.83120	9881.97914
171.84729					
自派時発電	3	12.78773	52.76937	0.84709	5801.84626
97.47261					

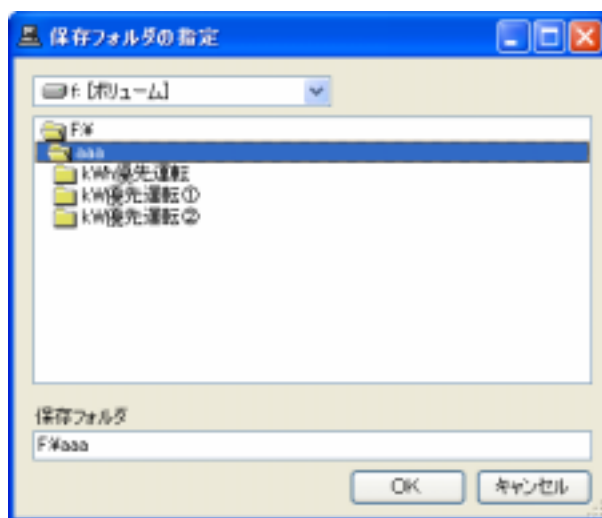
貯留時合計 (MWh)		17.95106	2.60(hour)	0	
ピーク時合計 (MWh)		108.69750	4.00(hour)	0	
自派時合計 (MWh)		333.00628	17.40(hour)	0	
合計電力量 (MWh)		459.65484			

-- 検討日 140 -----					

計算が終了すると E N D と表示されますので Enter キーを押してください。計算プログラムを3つ選んだ場合は3回同じように計算処理が行われます。

計算途中で終了したい場合は Ctrl+ c で終了できます。

計算が終了すると算定データを保存するか聞かれます。はいを選択すると以下のように保存フォルダの指定ができますので保存したいフォルダを選択してください。新規にフォルダを作成したい場合は保存フォルダのところに直接フォルダ名を入力して下さい。



・運用別発電電力量の変化

調整池運用別年間発電電力量の変化									
運用方法	年間発電電力量(MWh)								
	—			A発電所			B発電所		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	0	—	—	93,609	—	—	112,178	—	—
kW優先運転①	0	0	—	94,964	1,355	1.45	111,933	-246	-0.22
kW優先運転②	0	0	—	95,213	1,604	1.71	112,969	791	0.71
kWh優先運転	0	0	—	95,462	1,853	1.98	114,936	2,758	2.46
運用方法	年間発電電力量(MWh)								
	C発電所			4発電所合計					
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	17,990	—	—				223,777	—	—
kW優先運転①	18,085	94	0.53				224,981	1,204	0.54
kW優先運転②	18,077	87	0.48				226,260	2,483	1.11
kWh優先運転	18,133	143	0.80				228,531	4,754	2.12

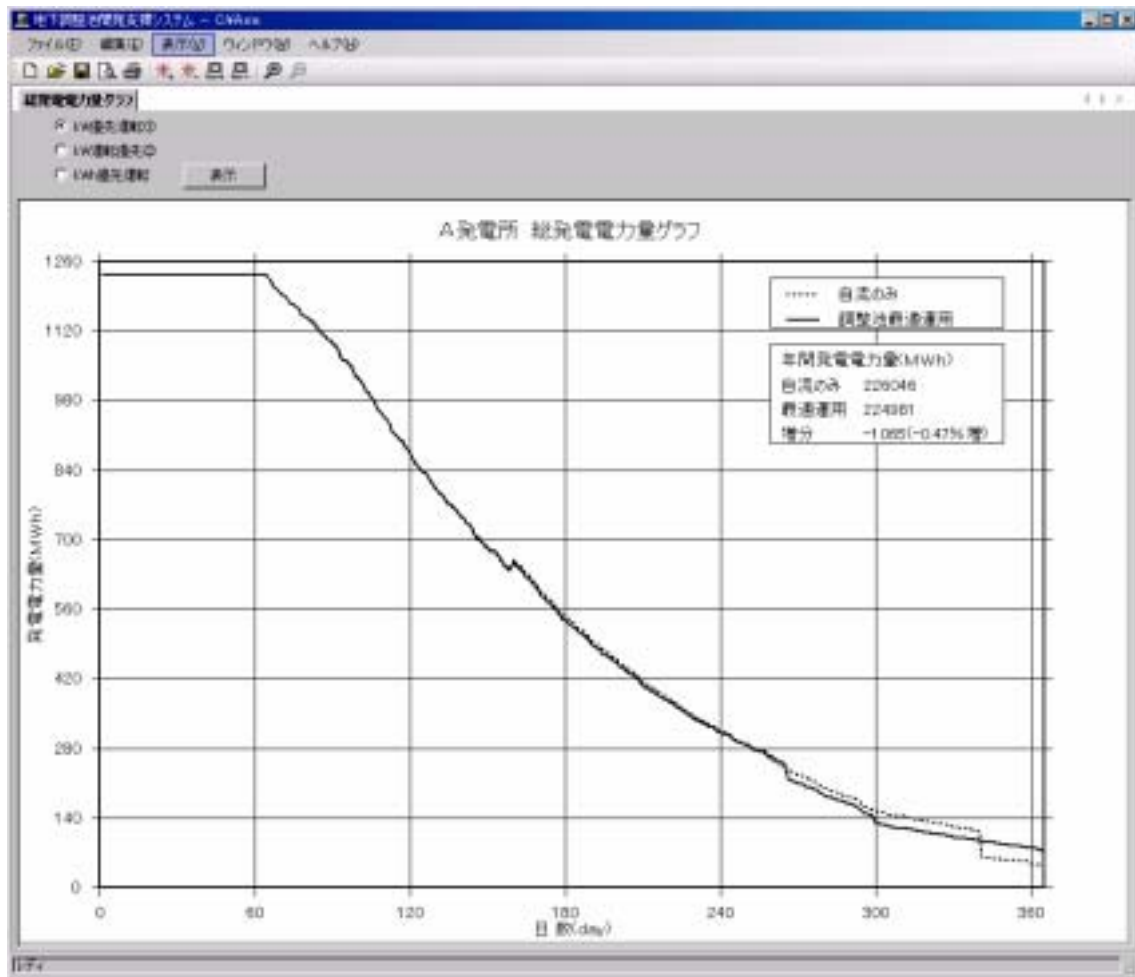
調整池運用別年間発電電力量の変化の表を表示します。

・ピーク運用時の有効出力の変化

ピーク運用時の8月L5出力の変化											
ケース	—		A発電所		B発電所		C発電所		—		4発電所合計
	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW) 増分(kW)
自流運転時	0.000	—	6,208	—	6,805	—	1,040	—			14,248 —
ピーク運転時4h	0.000	0.000	16,848	10,640	13,688	6,883	2,589	1,549			32,725 18,477

ピーク運用時の8月L5出力の変化の表を表示します。なお、『調整池容量設定システム』で調整池容量設定流量を設定している場合には、この流量相当日のピーク出力を、上記以外の場合には275日流量（低水量）相当時のピーク出力を表示します。

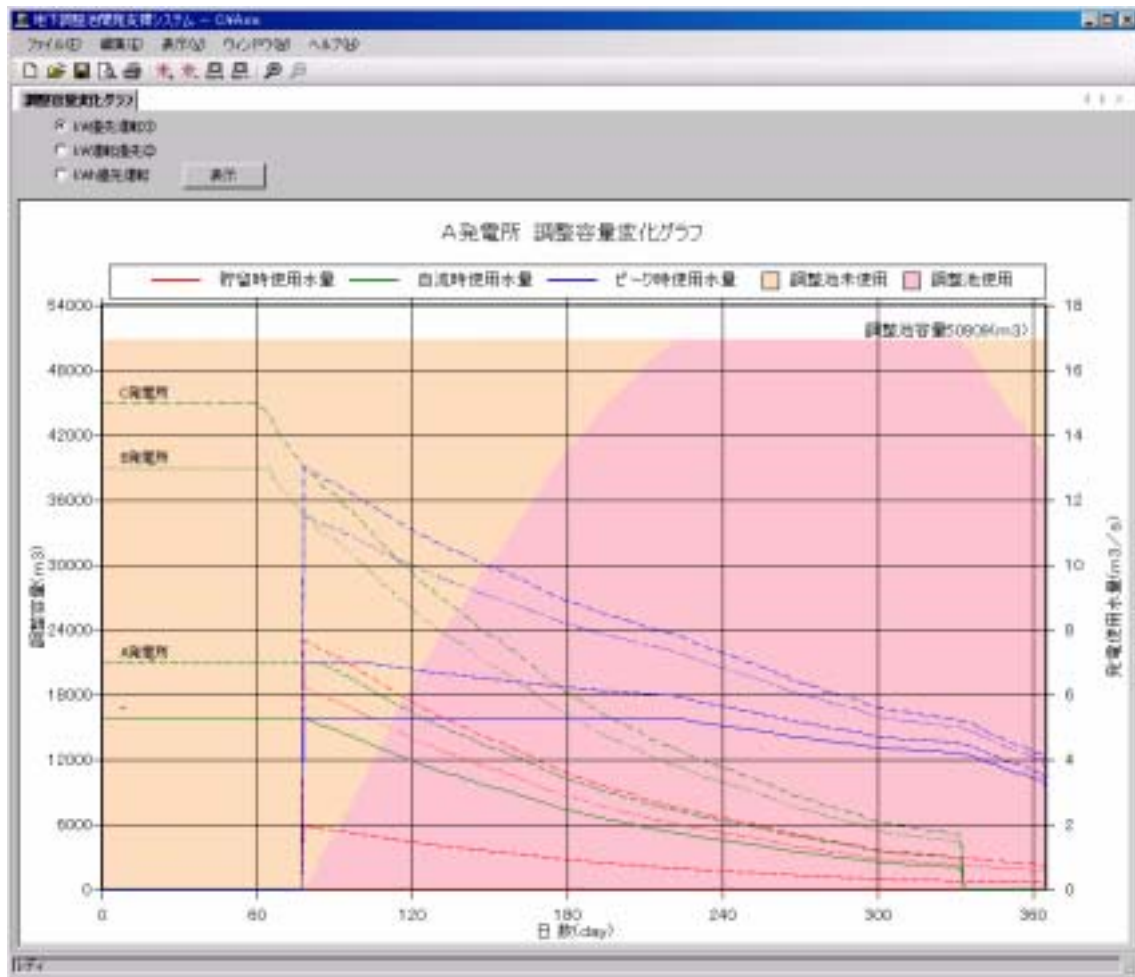
・総発電電力量グラフ



総発電電力量の図が表示されます。計算プログラムを選択して表示ボタンを押すと選択した計算プログラムでの結果が表示されます。

横軸に日数（検討日）、縦軸に日発電電力量(MWh)をとり、設定した運用条件での発電電力量変化を実線で示している。比較のため自流運転の場合の発電電力量変化を破線で示している。なお、グラフ中の右上には年間の発電電力量を数値で示している。

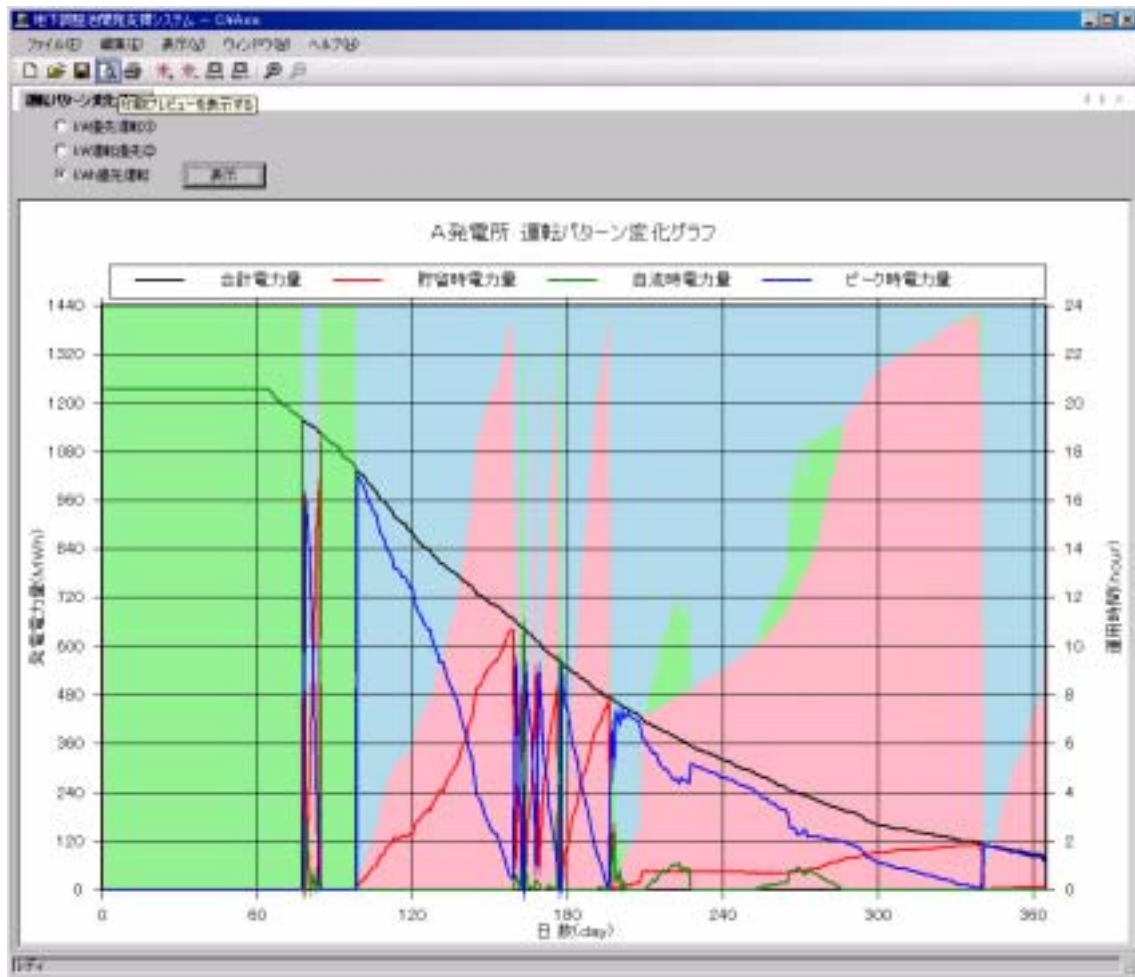
・調整容量変化グラフ



調整容量変化グラフの図を表示します。計算プログラムを選択して表示ボタンを押すと選択した計算プログラムでの結果が表示されます。

横軸に日数（検討日）をとり、淡オレンジおよび濃オレンジで塗りつぶされたグラフが左縦軸の調整容量の変化を表す。淡オレンジの部分は調整池未使用であり、濃オレンジの部分は調整池を使用していることを表している。また右縦軸は、発電に使用した水量(m^3/s)を示しており、線の種類を発電所毎に、線の色を運転モード毎に変えて表している。

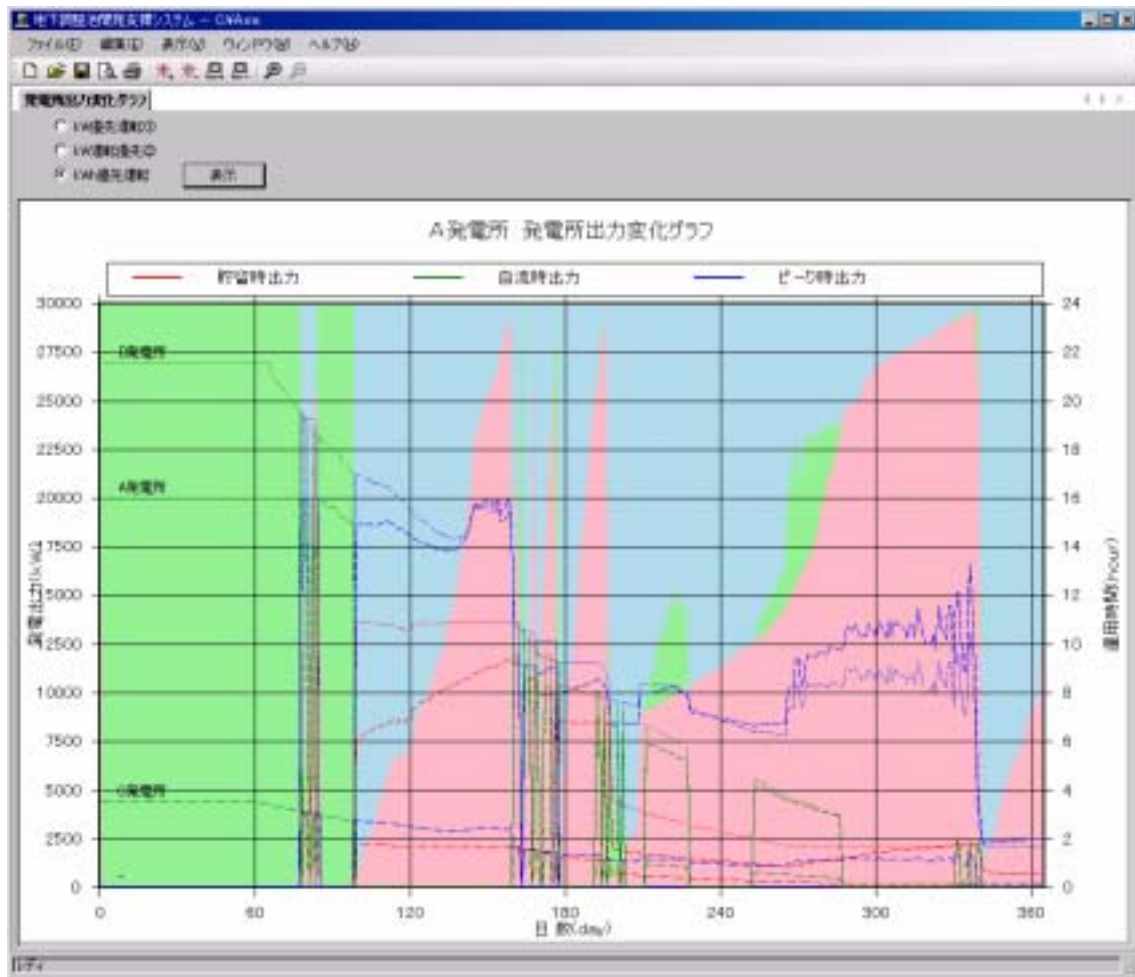
・運転パターン変化グラフ



運転パターン変化グラフの図を表示します。計算プログラムを選択して表示ボタンを押すと選択した計算プログラムでの結果が表示されます。

横軸に日数（検討日）をとり、緑、青、オレンジの3色で塗りつぶされたグラフが、右の縦軸で表される運用時間である。緑は自流運転時間、青はピーク運転時間、オレンジは貯留運転時間を表している。また左縦軸には日発電電力量(MWh)をとって、線の色を運転モード毎に変えて表している。

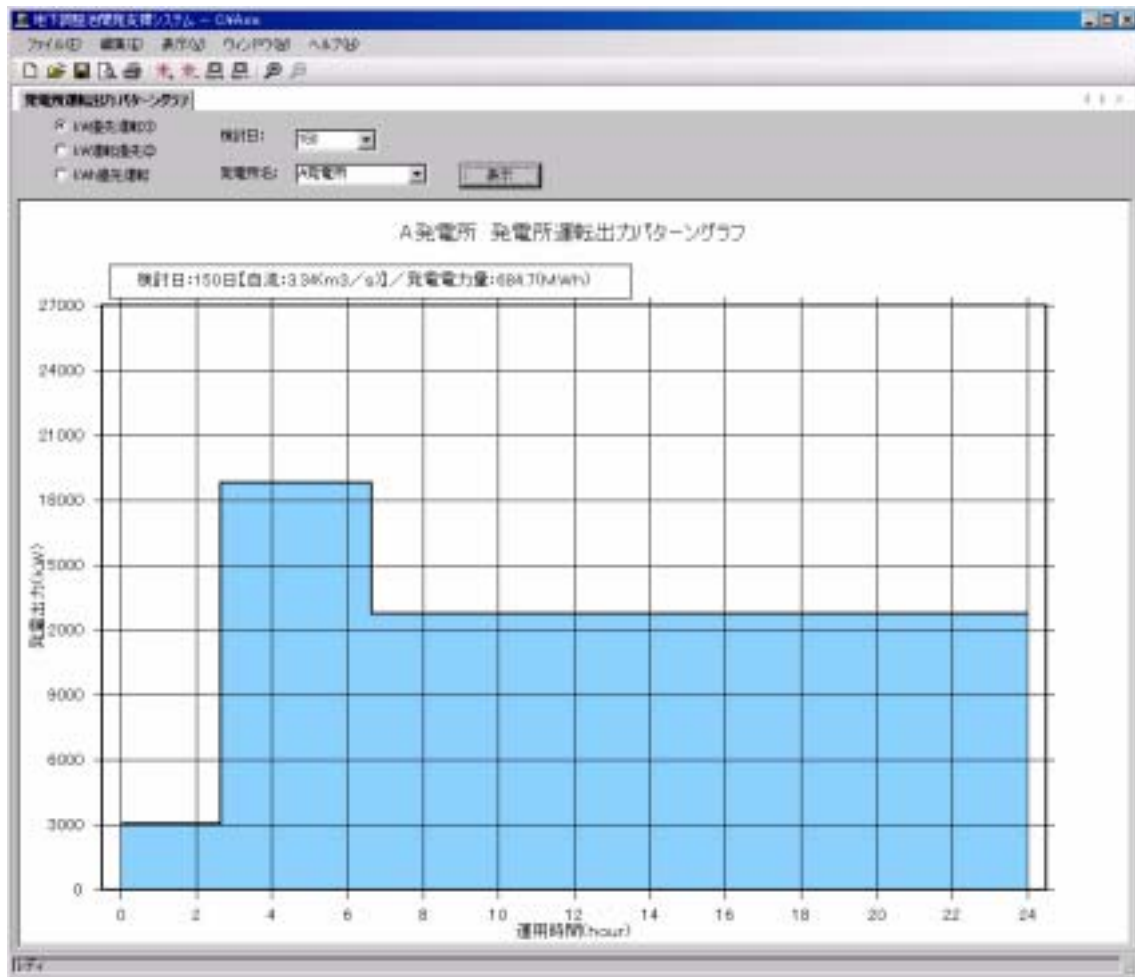
・発電所出力変化グラフ



発電所出力変化グラフの図を表示します。計算プログラムを選択して表示ボタンを押すと選択した計算プログラムでの結果が表示されます。

緑、青、オレンジの3色のグラフは、先と同様、運用時間を表している。左縦軸には発電出力(kW)をとって、線の種類を発電所毎に、線の色を運転モード毎に変えて発電所毎の出力変化を表している。

・発電所運転出力パターングラフ



発電所運転出力パターングラフの図を表示します。運転パターン、検討日、発電所名を選択して表示ボタンを押すと選択した運転パターン、検討日、発電所名での結果が表示されます。

このグラフは検討日（流況）毎および発電所毎に作成されるもので、横軸に運用時間、縦軸に発電出力(kW)をとって、1日の運転パターンを表している。この例では左から貯留時、ピーク時、自流時の発電出力を表している。

1 4. 経済性評価システム

[入力データ]

・経済性設定データ

※経済性評価については、「マニュアル：第6章経済性評価」参照

事業者が任意入力

経済性設定データ

適用 リセット

事業者が任意入力

地点名: A発電所

年経費率(%): 10.6

kW単価(円/kW): 32864

kWh単価(円/kWh): 1230

PPS取引単価(円/kWh): 12

現行取引(売電)評価単価(円/kWh): 8

ピーク時評価単価(円/kWh): 14.00

オフピーク時評価単価(円/kWh): 8.00

発電所利用率(%): 55.6

ピーク運転時間(%): 4

8月LS流量(m3): 1,7816

容量設定データ読み込み

工事費(百万円): 2309.372

工事費設定データ読み込み

新規地点における発電計画の評価

☐ 行う ☒ 行わない

自営時8月LS出力(kW): 14240.41

自営時年間発電電力量(MWh): 223777.25

8月LS流量増分出力(kW): 18477.23

発電電力量増分(MWh): 4754.18

調整池設置後の8月LS出力(kW): 32735.64

調整池設置後の年間発電電力量(MWh): 228531.42

発電所B発電運転時間

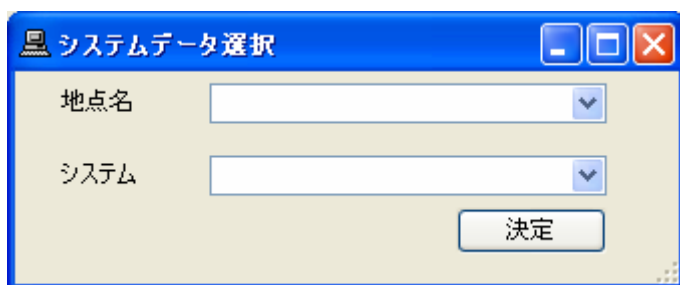
	発電所	発電所運転時間
	-	0
	A発電所	0
	B発電所	1
	C発電所	1.5

運転パターンデータ読み込み

入力内容を適用しました。

有効出力のデータが必要になるため、ここではまず容量設定データ読み込みを行ってください。その後、運転パターンデータ読み込みを行って発電所データを読み込んでください。新規地点における発電計画の評価を表示したいときは「行う」にチェックをいれてください。全ての入力項目に入力して入力後適用ボタンを押すと算定結果が表示できるようになります。

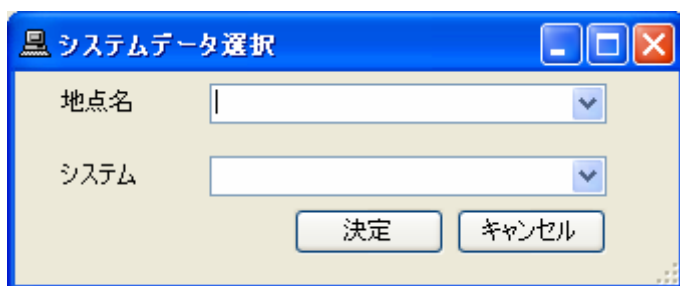
なお、容量設定システムデータ読み込みボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。



The dialog box titled 'システムデータ選択' (System Data Selection) has a blue header bar with standard window controls. It contains two dropdown menus: '地点名' (Location Name) and 'システム' (System). A '決定' (Decide) button is positioned at the bottom right.

地点名を選択するとその地点にあるシステムが選択できます。ここでは地下調整池容量設定システムを選択してください。決定ボタンを押すと選択したシステムのピーク運転時間、8月L5流量のデータが入力されます。

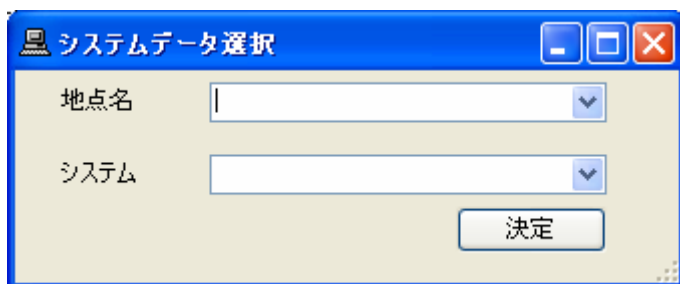
運転パターンデータ読み込みボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。



The dialog box titled 'システムデータ選択' (System Data Selection) has a blue header bar with standard window controls. It contains two dropdown menus: '地点名' (Location Name) and 'システム' (System). Two buttons, '決定' (Decide) and 'キャンセル' (Cancel), are positioned at the bottom.

地点名を選択するとその地点にあるシステムが選択できます。ここでは運転パターン選定システムを選択してください。決定ボタンを押すと選択したシステムのデータと発電所名が入力されます。

工事費算定データ読み込みボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。



The dialog box titled 'システムデータ選択' (System Data Selection) has a blue header bar with standard window controls. It contains two dropdown menus: '地点名' (Location Name) and 'システム' (System). A '決定' (Decide) button is positioned at the bottom right.

地点名を選択するとその地点にあるシステムが選択できます。ここでは工事費算定システムを選択してください。決定ボタンを押すと選択したシステムの工事費のデータが入力されます。

[算定結果]

・C/V法評価

C/V指標による地下調整池経済性評価一覧

地点名	ピーク継続時間 (h)	有効出力増分 (kW)	有効電力増分 (MW)	工事費 (百万円)	コスト (百万円)	kWh価値 (百万円)	kWh価値 (百万円)	原価 (百万円)	評価
	T	P	A	M	C=MPD	B1=P*B1	B2=A*B2	V=B1+B2	C/V
A発電所	4.0	17,864	4,545	2,369	251.15	590.52	55.45	595.97	0.39

コスト(C): 百万円 = 工事費(M: 百万円) × 年経費率(D: %)

 有効出力増分(P: kW) = 8月15日定常時出力増分(kW) × 発電所利用率(%)

 有効電力増分(MW) = 発電出力増分(MW) × 発電所利用率(%)

 kWh価値(B1: 百万円) = 有効出力増分(P: kW) × kWh価値(B1: 円/kWh)

 kWh価値(B2: 百万円) = 有効電力増分(A: MW) × kWh価値(B2: 円/kWh)

 <入力条件>

 年経費率D: 10.63%

 kWh価値B1: 12,000円/kWh

 kWh価値B2: 1,200円/kWh

 発電所利用率: 95.00%

C/V指標による地下調整池経済性評価一覧が表示されます。

・発電原価評価

発電原価指標による地下調整池経済性評価一覧

地点名	ピーク継続時間 (h)	年間発電電力量 (MWh)	工事費 (百万円)	発電原価増分 (円/kWh)	PPS取引単価 (円/kWh)	現行取引電価単価 (円/kWh)	増収単価 (円/kWh)
	T	A	M	ΔC	BPSS	BN	ΔV
A発電所	4.0	228,558	2,369	1.10	12.00	8.00	4.00

発電原価増分(ΔC: 円/kWh) = 工事費(M: 百万円) × 年経費率(D: %) / 年間発電電力量(A: MWh)

 増収単価(ΔV: 円/kWh) = PPS取引単価(BPSS: 円/kWh) - 現行取引電価単価(BN: 円/kWh)

 <入力条件>

 年経費率D: 10.63%

 PPS取引単価BPSS: 12.00(円/kWh)

 現行取引電価単価BN: 8.00(円/kWh)

発電原価指標による地下調整池経済性評価一覧が表示されます。

・電力量時間帯シフト効果

電力量時間帯シフト評価

電力量時間帯シフトによる地下調整池経済性評価一覧

地点名	ピーク継続 時間(h)	工事費 (百万円)	コスト (百万円)	固定式運転時 電力量 (MMWh)	ピーク運転 時間単位 電力量 (MMWh)	オフピーク 運転時間単位 電力量 (MMWh)	運行評価 単価(円 /kWh)	ピーク時評 価単価 (円/kWh)	オフピーク時 評価単価 (円/kWh)	時間帯シフトによる便 益(百万円)	評価
	T	M	CO=M+D	AF	AP	AO	EP	EP	OP	ΔV	ΔC/ΔV
A発電所	4.0	2,368	251.15	223.77	52.73	172.250	8.00	14.00	6.00	306.09	0.77

コスト(ΔC)(百万円) = 工事費(M)(百万円) + 年経費率(D)(%)
 時間帯シフトによる便益(ΔV)(百万円) = ピーク運転時電力量(AP)(MMWh) × ピーク時評価単価(EP)(円/kWh) + オフピーク運転時電力量(AO)(MMWh) × オフピーク時評価単価(OP)(円/kWh) - 固定式運転時電力量(AF)(MMWh) × 運行評価単価(EP)(円/kWh)
 ≪入力条件≫
 年経費率(D)(0.6%)
 運行評価単価(EP)(8.00円/kWh)
 ピーク時評価単価(EP)(14.00円/kWh)
 オフピーク時評価単価(OP)(6.00円/kWh)

電力量時間帯シフトによる地下調整池経済性評価一覧が表示されます。

・新規地点における評価

新規地点における発電計画の評価一覧

地点名	最大出力 (kW)	年間発電電力量 (MMWh)	工事費 (百万円)	kW当り建設単価 (千円/kW)	kWh当り建設単価 (円/kWh)
G発電所	6965.1	28,046	6,643	964.94	236.86

kW当り建設単価(千円/kW) = 工事費(百万円) / 最大出力(kW)
 kWh当り建設単価(円/kWh) = 工事費(百万円) / 年間発電電力量(MMWh)

新規地点における発電計画の評価一覧が表示されます。

ケーススタディ結果

「地下調整池 開発計画支援システム」を用いたケーススタディとして、下表に示す検討を行った。

表-1 ケーススタディ検討対象地点

地 下 調 整 池 接 続 パ タ ー ン	対 象 発 電 所	備 考
1. 導水路途中接続案 (page 資料 2-3～23 参照)	A、B、C 発電所	シリーズ 3 発電所 最上流の A 発電所の本川側に 地下調整池を構築する。 (システムでは、調整池直下 にダミー発電所を挿入し、支 川との合流後に A 発電所を設 置するものとした。)
2. 水槽接続案 (page 資料 2-24～44 参照)	D、E、F 発電所	シリーズ 4 発電所 最上流の D 発電所に地下調整 池を構築する。
3. 導水路調整能力付加案 (page 資料 2-45～62 参照)	G 発電所	新規計画地点の G 発電所の導 水路を拡大し、調整能力を付 加する。
4. その他(既設設備利用) (page 資料 2-63～86 参照)	H、I、J、K 発電所	シリーズ 4 発電所 H、I、K 発電所に既設調整 池が存在する。 運転パターン選定システムを 調整池毎に 3 回用いて、シリ ーズ発電所全体の運用検討を 行った。

また、ケーススタディ結果の総括表を下表に示した。

表-2 ケーススタディ結果総括表

地下調整池接続 パターン	対象発電所	地下調整池容量 設定システム	地下調整池構造 設定システム	工事費算定 システム	運転パターン選定システム	経済性評価システム
1. 導水路 途中接続案	A、B、C 発電所	(条件) TP=4.0h (結果) VR=50,809m ³ QL5=1.78m ³ /s	(条件) 調整池延長 L=4,675m (結果) B=3.0m H=3.6m(上流) H=5.8m(下流) 勾配=1/2,000 トンネル本数=1本	(条件) 発破掘削 (結果) 概算工事費 =2,369百万円 概算工期 =27.8ヶ月	(結果) 自流運転に対する発電電力量増分 kW優先運転①・・・1,204MWh(0.54%) kW優先運転②・・・2,483MWh(1.11%) kWh優先運転・・・4,754MWh(2.12%) 自流運転に対する有効出力増分 kW優先運転①②・・・18,477kW	(条件) 欄外に記載 (結果) C/V評価 C=251.15(百万円) V=635.97(百万円) C/V=0.39 発電原価評価 発電原価増分△C=1.10円/kWh 増収単価△V=4.00円/kWh 増収単価>発電原価増分 電力量時間帯シフト評価 コスト△C=251.15(百万円) 時間帯シフトによる便益△V=326.09(百万円) △C/△V=0.77
2. 水槽接続案	D、E、F 発電所	(条件) TP=4.0h (結果) VR=81,055m ³ QL5=1.37m ³ /s	(条件) 調整池延長 L=1,500m (結果) B=6.4m H=5.6m(上流) H=5.6m(下流) 勾配=1/5,000 トンネル本数=3本	(条件) 発破掘削 (結果) 概算工事費 =3,123百万円 概算工期 =13.9ヶ月	(結果) 自流運転に対する発電電力量増分 kW優先運転①・・・1,240MWh(0.92%) kW優先運転②・・・2,472MWh(1.84%) kWh優先運転・・・4,844MWh(3.61%) 自流運転に対する有効出力増分 kW優先運転①②・・・20,386kW	(条件) 欄外に記載 (結果) C/V評価 C=331.07(百万円) V=684.29(百万円) C/V=0.48 発電原価評価 発電原価増分△C=2.38円/kWh 増収単価△V=4.00円/kWh 増収単価>発電原価増分 電力量時間帯シフト評価 コスト△C=331.07(百万円) 時間帯シフトによる便益△V=227.32(百万円) △C/△V=1.46
3. 導水路調整 能力付加案	G 発電所	(条件) TP=4.0h (結果) VR=46,368m ³ QL5=0.78m ³ /s	(条件) 調整池延長 L=3,580m (結果) B=3.8m H=3.4m(上流) H=5.0m(下流) 勾配=1/2,000 トンネル本数=1本	(条件) 発破掘削 (結果) 概算工事費 =1,655百万円 概算工期 =22.9ヶ月	(結果) 自流運転に対する発電電力量増分 kW優先運転①・・・1,592MWh(6.06%) kW優先運転②・・・1,593MWh(6.07%) kWh優先運転・・・1,787MWh(6.81%) 自流運転に対する有効出力増分 kW優先運転①②・・・5,766kW	(条件) 欄外に記載 (結果) C/V評価 C=16.85(百万円) V=202.00(百万円) C/V=0.08 発電原価評価 発電原価増分△C=0.60円/kWh 増収単価△V=4.00円/kWh 増収単価>発電原価増分 電力量時間帯シフト評価 コスト△C=16.85(百万円) 時間帯シフトによる便益△V=71.11(百万円) △C/△V=0.24 新規地点における発電計画の評価 流れ込み式計画kWh建設単価=246.92円/kWh 調整池式計画kWh建設単価=236.86円/kWh 調整池式とした方が、優位となる。
4. その他 (既設設備利用) [水運用検討]	H、I、J、K 発電所	—	—	—	(結果) 自流運転に対する発電電力量増分 kW優先運転①・・・16,690MWh(6.69%) kW優先運転②・・・16,690MWh(6.69%) kWh優先運転・・・26,877MWh(10.77%) 自流運転に対する有効出力増分 kW優先運転①②・・・83,761kW	—

※) 経済性評価条件

年経費率=10.6(%)、kW単価=32,864(円)、kWh単価=12.20(円/kWh)、PPS取引単価=12.00(円/kWh)、現行取引(売電)・評価単価=8.00円/kWh、

ピーク時評価単価=14.00(円/kWh)、オフピーク時評価単価=8.00(円/kWh)

導水路調整能力付加案のコストについては、流れ込み式に対する差分で評価している(調整池式発電計画全体工事費-流れ込み式発電計画全体工事費)。

1. A、B、C 発電所（導水路途中接続案）

(1) 概要

本検討は、A、B、C のシリーズ 3 発電所に対して、A 発電所の本川側の導水路に導水路途中接続案にて地下調整池を構築した場合のケーススタディを行ったものである。図-1.1 に当該地点の水系概要図、表-1.1 に発電所の諸元表を示した。

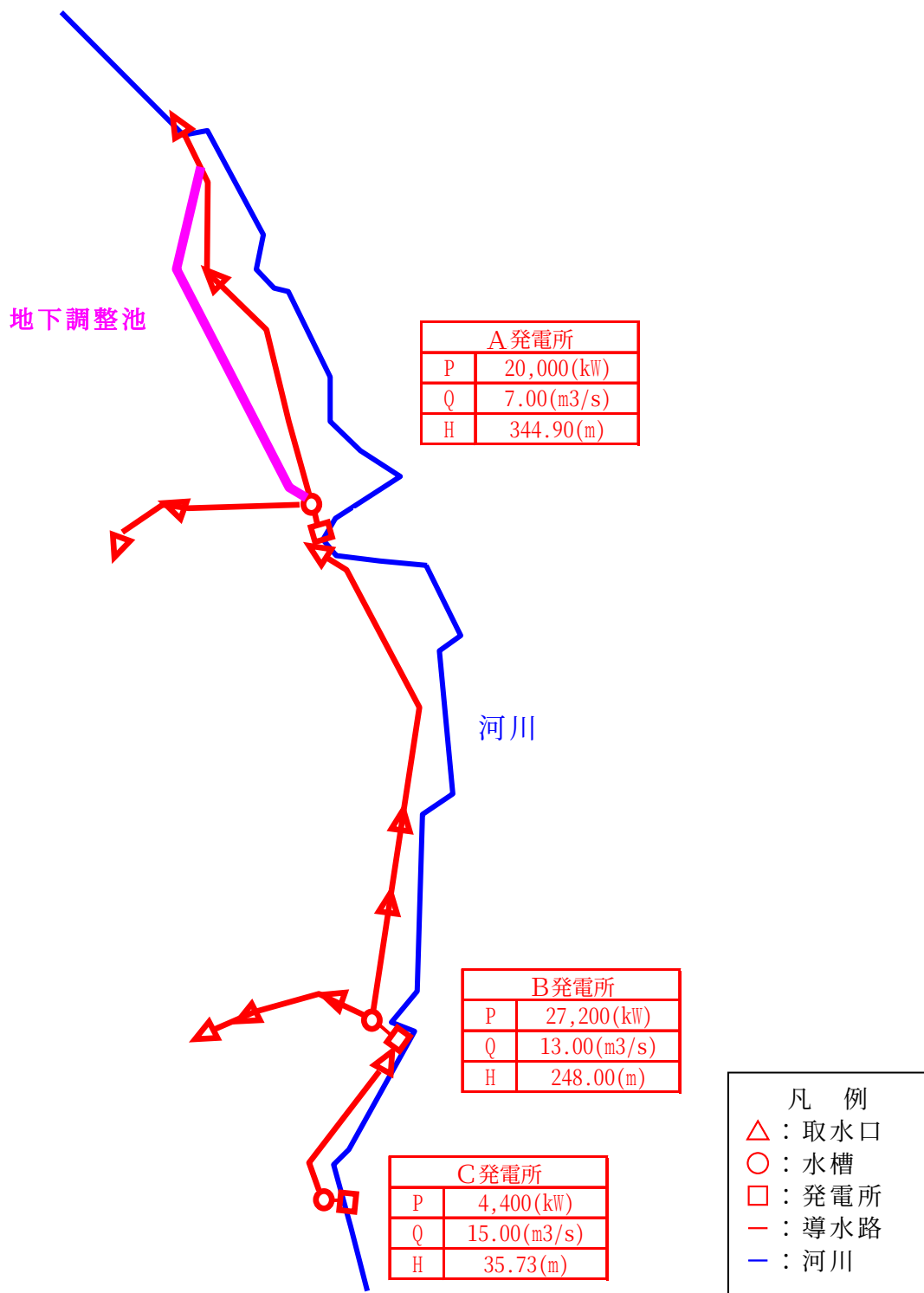


図-1.1 水系概要図

表-1.1 発電所諸元表

発電所名	A 発電所		B 発電所	C 発電所
	本川	支川		
流域面積 (km ²)	85.0		136.4	153.2
	62.2	22.8		
河川維持流量 (m ³ /s)	0.165		0.382	0.384
	0.145	0.020		
最大使用水量 (m ³ /s)	7.00		13.00	15.00
	5.31	1.69		
有効落差 (m)	344.90		248.00	35.73
最大出力 (kW)	20,000		27,200	4,400
常時出力 (kW)	2,900		3,000	480

なお、計算条件は表-1.2 のとおりとした。

表-1.2 計算条件

項目	条件
測水所流域面積 (km ²)	62.2
流量データ	1993～2002 年 (10 ヶ年)
ピーク継続時間 (h)	4.0
地下調整池接続パターン	導水路途中接続案 (本川側のみに設置:ピーク時 5.31m ³ /s を供給)
導水路始点敷高 (EL.m) (地下調整池接続位置)	1,473.783
導水路終点敷高 (EL.m) (地下調整池接続位置)	1,467.921
導水路内等流水深 (m)	1.74
地下調整池延長 (m)	4,675
地下調整池内粗度係数	0.014
岩盤等級比率	C _H : 80%、C _M : 15%、C _L : 5%
電力量計算時の留意点	地下調整池を本川側に設置することから地下調整池直下に「ー」発電所(効率 0)を便宜的に挿入する。

(2) ケーススタディ 結果

(a) 地下調整池容量設定システム

a) 設定データ

設定データ

適用 リセット

必須入力

①流量データ入力年(西暦で入力) 1993 年 ~ 2002 年

②近接排水用流出域面積 Q (m²): QAS 1022

③排水用流出域データ(m³/s): Q/D₁(m³) (保持)

④排水地点流出域面積 Q (m²): QAD 1022

⑤河川維持流量(m³/s): QSR 1145

⑥最大使用水量(m³/s): QMAX 5.31

⑦最小使用水量(m³/s): QMIN 0

⑧ピーク継続時間(h): TP 4

任意入力

①調整池容量設定流量(m³/s): QNI

②調整池容量(m³): VPM (またはプランクで自動計算します)

b) 流量データ

流量データ

適用 再計算 リセット 印刷

日付	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年
1/1	1.25	1.22	0.78	0.7	1.36	1.22	0.83	0.9	1.06	1.24
1/2	1.28	1.29	0.81	0.7	1.43	1.22	0.8	0.97	1.09	1.3
1/3	1.18	1.25	0.84	0.7	1.28	1.25	0.87	0.97	1.05	1.3
1/4	1.18	1.25	0.84	0.7	1.32	1.25	0.84	0.97	1.45	1.3
1/5	1.39	1.22	1.28	0.7	1.28	1.22	0.84	0.96	1.5	1.27
1/6	1.38	1.19	1.18	0.7	1.28	1.12	0.84	0.97	1.43	1.27
1/7	4.82	1.19	1.03	0.7	1.28	1.18	0.84	0.92	1.43	1.26
1/8	0.82	1.15	0.83	0.72	1.22	1.12	0.82	0.97	1.45	1.24
1/9	0.57	1.12	0.87	0.66	1.18	1.19	0.82	0.96	1.43	1.26
1/10	0.33	1.12	0.8	0.72	1.18	1.19	0.78	1.08	1.89	1.27
1/11	0.31	1.12	0.83	0.72	1.18	1.12	0.79	0.95	1.87	1.25
1/12	1.78	1.09	0.8	0.7	1.12	1.09	0.79	0.97	1.45	1.21
1/13	1.51	1.05	0.87	0.67	1.12	1.05	0.77	0.92	1.4	1.18
1/14	0.3	1.09	0.84	0.67	1.09	1.03	0.77	1.15	1.37	1.18
1/15	0.78	1.03	0.87	0.67	1.09	0.75	0.77	0.86	1.34	1.26
1/16	1.4	1.03	0.78	0.42	1.06	1.15	0.77	0.97	1.3	1.29
1/17	4.22	1.03	0.78	1.22	1.06	1.12	0.74	0.97	1.3	1.29
1/18	0.33	4.28	0.78	0.96	1.06	1.09	0.74	0.92	1.27	1.46
1/19	0.47	1.72	0.78	0.81	1.09	1.03	0.77	0.79	1.27	1.26
1/20	2.18	1.29	0.78	0.61	1.03	0.95	0.77	0.79	1.27	1.15
1/21	1.9	1.29	0.78	0.75	0.89	0.9	0.74	0.76	1.27	1.27
1/22	1.68	1.15	0.78	0.72	0.86	0.9	0.72	0.76	1.24	1.46
1/23	1.57	1.05	1.12	0.72	0.89	0.9	0.72	0.79	1.24	1.19
1/24	1.57	1.09	0.8	0.67	0.89	0.94	0.74	0.79	1.21	1.09
1/25	1.5	1.09	0.78	0.67	0.86	0.96	0.74	0.77	1.21	1.09
1/26	1.42	1.06	0.78	0.7	0.86	0.88	0.74	0.76	1.24	1.08
1/27	1.36	1.03	0.78	0.67	0.83	0.94	0.72	0.74	1.04	1.09
1/28	1.28	1.09	0.72	0.67	0.83	0.94	0.72	0.72	1.06	1.06
1/29	1.22	1.09	0.7	0.64	0.83	0.79	0.69	0.72	1.4	1.09
1/30	1.29	1.09	0.7	0.64	0.8	0.79	0.69	0.72	1.3	0.98
1/31	1.18	1.09	0.7	0.64	0.8	0.79	0.69	0.72	1.27	0.95
2/1	1.22	1.09	0.7	0.64	0.8	0.75	0.69	0.72	1.18	0.92
2/2	1.18	1.09	0.67	0.61	0.87	0.75	0.67	0.69	1.05	0.92
2/3	1.18	1.09	0.67	0.61	0.8	0.75	0.67	0.77	1.12	0.92
2/4	1.12	1.09	0.67	0.61	0.87	0.75	0.67	0.62	1.12	0.92
2/5	1.08	1.09	0.67	0.61	0.87	0.72	0.64	0.62	1.12	0.92
2/6	1.08	1.09	0.67	0.61	0.87	0.72	0.64	0.62	1.12	0.9
2/7	1.8	1.07	0.64	0.59	0.84	0.72	0.64	0.62	1.09	0.9
2/8	1.64	1.07	0.64	0.59	0.84	0.7	0.64	0.62	1.09	0.9
2/9	1.18	1.05	0.64	0.49	0.84	0.7	0.64	0.62	1.06	0.92

10ヶ年デイレ
ータを入力。

c) 算定結果

①取水地点流量

取水地点流量	1960年	1961年	1962年	1963年	1964年	1965年	1966年	1967年	1968年	1969年	1970年
1/1	1.11	1.15	0.67	0.56	1.22	1.16	0.88	0.76	1.42	1.29	1.35
1/2	1.11	1.15	0.67	0.56	1.22	1.16	0.76	0.75	1.38	1.35	1.35
1/3	1.05	1.11	0.70	0.56	1.15	1.11	0.70	0.70	1.38	1.35	1.35
1/4	1.05	1.11	0.70	0.56	1.15	1.11	0.70	0.75	1.32	1.35	1.35
1/5	0.95	1.08	0.70	0.56	1.15	1.08	0.70	0.70	1.36	1.32	1.32
1/6	0.95	1.08	1.08	0.88	1.15	0.88	0.70	0.75	1.28	1.32	1.32
1/7	0.90	1.05	0.69	0.56	1.11	1.01	0.70	0.70	1.29	1.30	1.30
1/8	0.88	1.01	0.79	0.88	1.08	0.88	0.88	0.70	1.32	1.32	1.32
1/9	0.87	0.88	0.75	0.56	1.05	1.05	0.58	0.70	1.28	1.30	1.30
1/10	0.87	0.88	0.75	0.56	1.01	1.01	0.58	0.82	1.35	1.32	1.32
1/11	0.87	0.88	0.75	0.56	1.01	0.88	0.58	0.84	1.32	1.32	1.32
1/12	0.81	0.85	0.75	0.56	0.90	0.85	0.58	0.70	1.32	1.32	1.32
1/13	1.42	0.82	0.75	0.53	0.82	0.82	0.53	0.75	1.28	1.28	1.28
1/14	0.85	0.85	0.70	0.53	0.95	0.89	0.53	1.01	1.23	1.28	1.28
1/15	0.81	0.88	0.67	0.73	0.88	0.81	0.53	0.81	1.28	1.30	1.30
1/16	1.26	0.89	0.64	0.73	0.92	1.01	0.53	0.70	1.16	1.26	1.26
1/17	0.88	1.08	0.64	1.18	0.82	0.88	0.88	0.70	1.18	1.28	1.28
1/18	0.89	0.84	0.64	0.82	0.92	0.85	0.58	0.80	1.13	1.32	1.32
1/19	0.82	1.08	0.64	0.81	0.89	0.89	0.53	0.85	1.13	1.32	1.32
1/20	0.82	1.15	0.61	0.81	0.89	0.82	0.53	0.85	1.13	1.32	1.32
1/21	1.16	1.15	0.61	0.81	0.85	0.76	0.88	0.80	1.13	1.32	1.32
1/22	1.04	1.01	0.64	0.88	0.92	0.76	0.58	0.80	1.18	1.32	1.32
1/23	1.42	0.82	0.60	0.58	0.85	0.76	0.58	0.85	1.18	1.32	1.32
1/24	1.42	0.88	0.75	0.83	0.88	0.76	0.58	0.85	1.18	1.32	1.32
1/25	1.05	1.05	0.64	0.53	0.82	0.76	0.58	0.80	1.18	1.32	1.32
1/26	1.28	0.82	0.64	0.88	0.82	0.76	0.88	0.80	1.18	1.32	1.32
1/27	1.32	0.88	0.61	0.53	0.79	0.76	0.58	0.80	0.88	0.82	0.82
1/28	1.11	0.85	0.88	0.53	0.79	0.81	0.58	0.88	0.85	0.82	0.82
1/29	1.05	0.85	0.56	0.88	0.79	0.84	0.58	0.80	1.28	0.82	0.82
1/30	1.15	0.82	0.56	0.58	0.76	0.84	0.58	0.80	1.18	0.88	0.88
1/31	1.05	0.78	0.56	0.88	0.76	0.84	0.58	0.80	1.18	0.82	0.82
2/1	1.05	0.82	0.56	0.41	0.76	0.81	0.58	0.80	1.18	0.82	0.82
2/2	1.05	0.78	0.53	0.41	0.79	0.81	0.53	0.85	1.18	0.82	0.82
2/3	1.01	0.76	0.52	0.41	0.76	0.81	0.53	0.80	1.18	0.82	0.82
2/4	0.98	0.76	0.53	0.41	0.79	0.81	0.53	0.80	1.18	0.82	0.82
2/5	0.95	0.76	0.52	0.41	0.79	0.80	0.58	0.80	1.18	0.82	0.82
2/6	0.98	0.73	0.52	0.41	0.79	0.88	0.58	0.88	1.18	0.82	0.82
2/7	1.16	0.79	0.52	0.45	0.79	0.88	0.58	0.80	1.18	0.82	0.82
2/8	1.05	0.73	0.52	0.45	0.79	0.88	0.58	0.80	1.18	0.82	0.82
2/9	1.01	0.76	0.52	0.41	0.79	0.88	0.58	0.80	1.18	0.82	0.82
2/10	0.95	0.76	0.52	0.45	0.79	0.88	0.58	0.80	1.18	0.82	0.82

測水所流量データを取水地点流量に流域換算し、河川維持流量を控除する。(1/1～12/31:10ヶ年)

②平均流況

平均流況	1960年	1961年	1962年	1963年	1964年	1965年	1966年	1967年	1968年	1969年	1970年	平均流量
360日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
365日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
366日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
367日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
368日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
369日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
370日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
371日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
372日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
373日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
374日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
375日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
376日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
377日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
378日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
379日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
380日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
381日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
382日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
383日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
384日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
385日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
386日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
387日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
388日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
389日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
390日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
391日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
392日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
393日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
394日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
395日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
396日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
397日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
398日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
399日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
400日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
401日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
402日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
403日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
404日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
405日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
406日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
407日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
408日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
409日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
410日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
411日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
412日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
413日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
414日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
415日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
416日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
417日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
418日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
419日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87
420日流量	0.84	0.86	0.82	0.80	0.88	0.83	0.80	0.88	0.87	0.88	0.88	0.87

365 (366) ~ 1日流量に並び替え。10ヶ年平均流況の算出

③ 流況表

各年並びに平均流況が出力される。

流況表

A発電所

(CA=62.2km²)

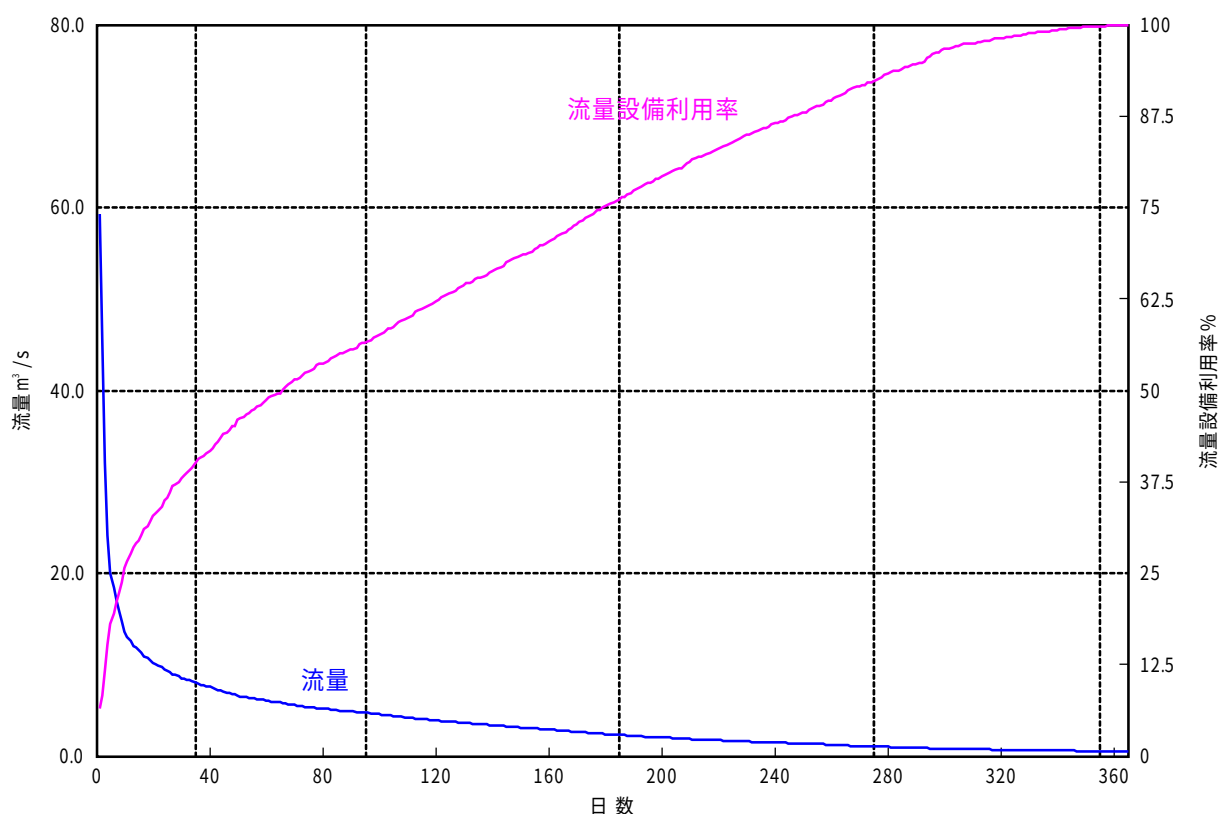
単位:m³/s

年	最大 流量	35日 流量	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小 流量	年平均 流量
1993	45.06	11.26	6.75	3.66	1.43	0.70	0.64	5.03
1994	127.86	5.23	3.22	1.49	0.89	0.61	0.56	3.09
1995	66.86	8.61	4.70	1.46	0.70	0.45	0.42	3.59
1996	46.66	7.32	4.84	2.89	1.39	0.42	0.40	3.80
1997	86.26	8.27	4.64	2.53	1.22	0.67	0.56	4.15
1998	47.66	10.76	6.03	2.45	1.08	0.58	0.53	4.55
1999	35.99	7.46	4.01	2.12	0.95	0.48	0.00	3.52
2000	25.39	7.17	4.37	2.53	0.98	0.58	0.55	3.33
2001	93.90	7.76	5.30	2.79	1.53	0.90	0.87	4.43
2002	18.18	6.64	4.17	2.00	1.26	0.68	0.65	3.11
平均	59.38	8.04	4.80	2.39	1.14	0.60	0.51	3.86

④ 流況図

平均流況図が出力される。

A発電所 10ヶ年平均流況図 (1993~2002年)



⑤ 調整池容量

8 月 L 5 流量並びに調整池容量 (V1、V2 のいずれか小さい方) が出力される。

8月L5流量

8月L5流量:QL5= m³/s

調整池容量:VR= m³

V1 (QMAX-QL5×TP×3600)= m³

V2 (QL5-QMIN×Q4-TP)×3600= m³

(結果)

調整池容量 VR=50,809m³

8 月 L 5 流量 QL5=1.78m³/s

と算定された。

(b) 地下調整池構造設定システム

a) 構造入力データ

b) 算定結果 1

① 断面データ 1

トンネル構造算出結果 1

項目		小断面 CASE 1-1	小断面 CASE 1-2	小断面 CASE 1-3	小断面 CASE 1-4
トンネル幅	B(m)	3.0	3.0	3.0	3.0
トンネル勾配	I	1/2000	1/3000	1/4000	1/5000
		0.000500	0.000333	0.000250	0.000200
トンネル延長	L(m)	4,675	4,675	4,675	4,675
河川流入量	Qin(m ³ /s)	1.782	1.782	1.782	1.782
ピーク時供給量	Qout(m ³ /s)	5.310	5.310	5.310	5.310
上流水深	H1(m)	3.524	4.304	4.693	4.927
初期容量	V(m ³)	65,823	71,287	74,019	75,658
粗度係数	n	0.014	0.014	0.014	0.014
等流水深	Ho(i)(m)	0.636	0.731	0.808	0.874
	Ho(o)(m)	1.381	1.607	1.794	1.955
貯水容量	Vi(m ³)	8,923	10,254	11,331	12,252
	Vo(m ³)	19,366	22,543	25,154	27,415
T①	(sec)	16,126	17,298	17,767	17,970
T②	(sec)	13,167	13,815	13,849	13,673
③ To'	(hr)	4.068	4.321	4.391	4.395
許容トンネル高	(m)	3.400	3.400	3.400	3.400
上流トンネル高	(m)	3.600	4.400	4.800	5.000
上流トンネル高(m)の変更		3.600	4.400	4.800	5.000
下流トンネル高		5.800	5.800	5.800	5.800
下流トンネル高(m)の変更		5.800	5.800	5.800	5.800
トンネル容量 (m ³)	上流平均断面積	9.83	12.23	13.43	14.03
	下流平均断面積	16.43	16.43	16.43	16.43
	延長	4,675.00	4,675.00	4,675.00	4,675.00
	箇所	1	1	1	1
	容量	61,402.81	67,012.81	69,817.81	71,220.31

ピーク継続時間を満足する地下調整池断面諸元の算出（地下調整池勾配 1/2000～1/5000）

このうち、工事費算定システムから CASE1-1 が最も経済的な諸元となった。

② 模式図 1

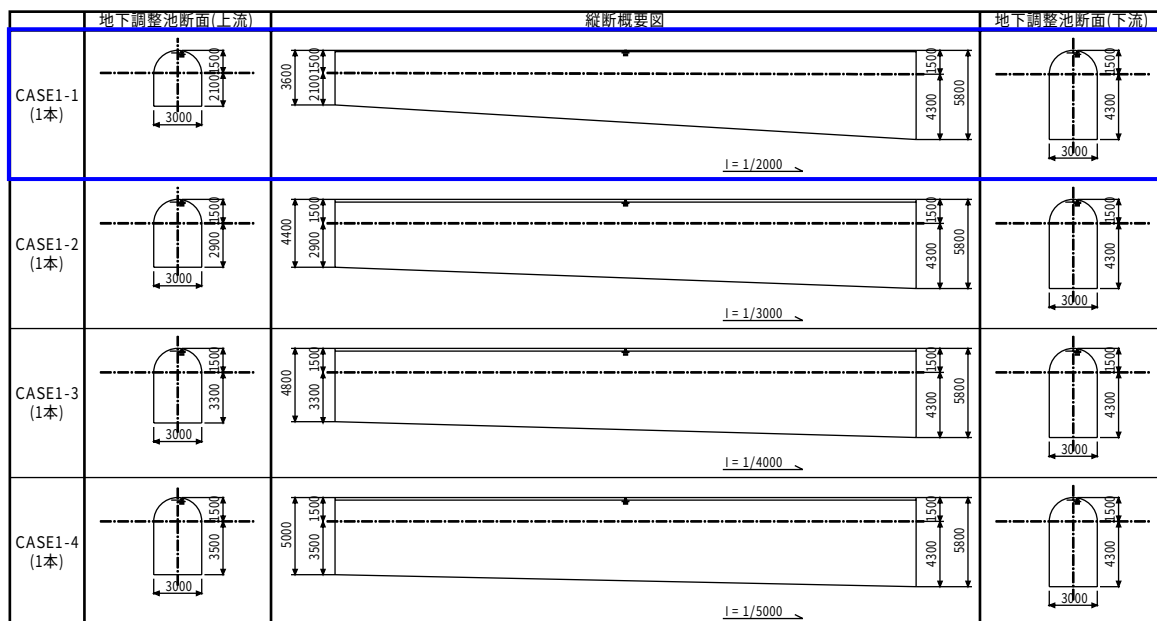
調整池上流敷高 EL.1,471.999m

(下流敷高 EL.1,469.661m + 4,675 / 2,000)

調整池下流敷高 EL.1,469.661m

(導水路敷高 EL.1,467.921m + 導水路等流水深 1.740m)

地下調整池 断面図1



ピーク継続時間を満足する地下調整池断面模式図の算出（地下調整池勾配 1/2000～1/5000）

このうち、工事費算定システムから CASE1-1 が最も経済的な諸元となった。

（結果）

地下調整池形状は、CASE1-1
の断面諸元に決定された。

(c) 工事費算定システム

a) 入力データ

① 断面地質データ

断面・地質データ

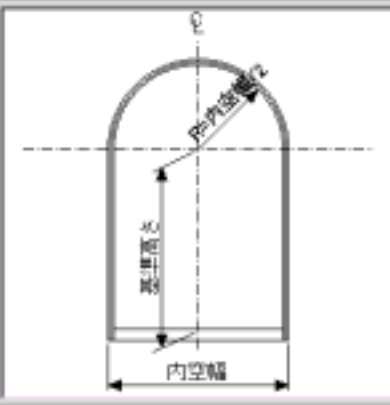
適用 リセット 構造設定システムデータ読み込み 追加工事費

断面形状

施工方法: ☒ 発破掘削 ☐ TBM(真円) ☐ TBM(楕円)

断面寸法: 内空幅(m): 基準高さ(m):

*基準高さは、上流、下流の平均高さとする。



トンネル延長(m): 縦断勾配(%): トンネル本数:

地質データ

	比率(%)	長さ(m)
岩盤等級B:	0	0.0
岩盤等級C1c:	30	3740.0
岩盤等級C1c:	15	701.3
岩盤等級C1~D:	5	233.8

追加工事費

①調整池流量制御に必要な費用(千円)

②調整池トンネル工事費仮設費用等(千円)

③地下調整池工事費以外の
発電所全付工事費(千円)

合計 千円

OK キャンセル

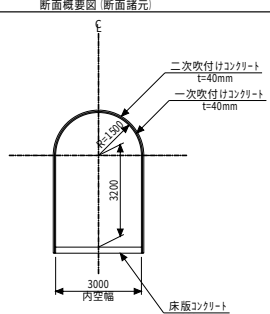
ゲート、制御システムが
改造費用、トンネル工事
仮設費用を計上。

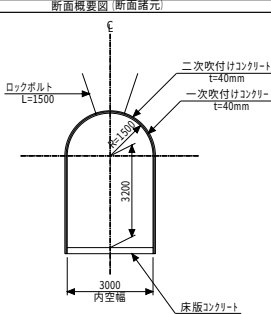
b) 算定結果

① 数量表

・ 単位数量

岩盤等級毎の単位数量が出力される。

工事区分 岩盤等級	発破掘削工法 岩盤等級C ₁		
断面概要図(断面諸元)			
			
単位数量	施工延長	数量合計	
掘削断面積(余留含む)	14.665 m ³ /m	3740.0 m	54,848.4 m ³
掘削断面積(余留含む)	16.465 m ³ /m	3740.0 m	61,580.0 m ³
一次吹付けコンクリート面積	11.638 m ² /m	3740.0 m	43,526.3 m ²
金網面積	—	—	—
鋼製支保工	—	—	—
ロックボルト本数	—	—	—
二次吹付けコンクリート面積	11.512 m ² /m	3740.0 m	43,056.3 m ²

工事区分 岩盤等級	発破掘削工法 岩盤等級C ₂		
断面概要図(断面諸元)			
			
掘削断面積(余留含む)	14.665 m ³ /m	701.3 m	10,284.1 m ³
掘削断面積(余留含む)	16.465 m ³ /m	701.3 m	11,546.2 m ³
一次吹付けコンクリート面積	11.638 m ² /m	701.3 m	8,161.2 m ²
金網面積	—	—	—
鋼製支保工	—	—	—
ロックボルト本数	1.333 本/m	701.3 m	935.0 本
二次吹付けコンクリート面積	11.512 m ² /m	701.3 m	8,073.1 m ²

工事区分 岩盤等級	発破掘削工法 岩盤等級C~D		
断面概要図(断面諸元)			
単位数量	施工延長	数量合計	
掘削断面積(余留含まず)	14.901 m ³ /m	233.8 m	3,483.2 m ³
掘削断面積(余留含む)	16.711 m ³ /m	233.8 m	3,906.1 m ³
一次吹付けコンクリート面積	11.638 m ² /m	233.8 m	2,720.4 m ²
金網面積	5.027 m ² /m	233.8 m	1,175.0 m ²
鋼製支保工	1.000 本/m	233.8 m	233.8 本
ロックボルト本数	4.000 本/m	233.8 m	935.0 本
二次吹付けコンクリート面積	11.512 m ² /m	233.8 m	2,691.0 m ²

- ・全体数量

全体の数量表が出力される。

全体数量計算結果

工法区分				発破掘削工法				
				単位	B	C _H	C _M	C _L ～D
断面諸元	施工延長			m	0.0	3,740.0	701.3	233.8
	1サイクル掘削長			m	0.0	5.0	2.5	1.0
	一次吹付けコンクリート	厚さ	cm	0	4	4	6	
	金網			—	—	—	—	(設置する)
	鋼製支保工	部材	—	—	—	—	H-100	
		間隔	m	—	—	—	1.0	
	ロックボルト	長さ	m	—	—	1.5	1.5	
		周方向	m	—	—	—	—	
二次吹付けコンクリート	厚さ	cm	0	4	4	4		
単位数量	掘削 (余堀含まず)			m ³ /m	0.000	14.665	14.665	14.901
	掘削 (余堀含む)			m ³ /m	0.000	16.465	16.465	16.711
	一次吹付けコンクリート			m ² /m	0.000	11.638	11.638	11.638
	金網			m/m	0.000	0.000	0.000	5.027
	鋼製支保工			基/m	0.000	0.000	0.000	1.000
	ロックボルト			本/m	0.000	0.000	1.333	4.000
	二次吹付けコンクリート			m ² /m	0.000	11.512	11.512	11.512
全体数量	掘削 (余堀含まず)			m ³	0.0	54,848.4	10,284.1	3,483.2
	掘削 (余堀含む)			m ³	0.0	61,580.0	11,546.2	3,906.1
	一次吹付けコンクリート			m ²	0.0	43,526.3	8,161.2	2,720.4
	金網			m ²	0.0	0.0	0.0	1,175.0
	鋼製支保工			基	0.0	0.0	0.0	233.8
	ロックボルト			本	0.0	0.0	935.0	935.0
	二次吹付けコンクリート			m ²	0.0	43,056.3	8,073.1	2,691.0

②工期

- ・概算工期

概算工期が出力される。

概算工期算出結果

工法区分		発破掘削工法				
ずり出し方式		レール方式				
		単位	B	C _H	C _M	C _L ～D
諸元	施工延長	m	0.0	3,740.0	701.3	233.8
	掘削月進	m／月	0.0	251.4	163.4	75.3
	二次吹付け	m／月	3,220.0	3,220.0	3,220.0	3,220.0
	コンクリート月進					
工期	準備工	ヶ月	3.0			
	掘削工期	ヶ月	0.0	14.9	4.3	3.1
	二次吹付け	ヶ月	0.0	1.2	0.2	0.1
	コンクリート					
	跡片付け	ヶ月	1.0			
	合計	ヶ月	27.8			

・サイクルタイム表

サイクルタイム表が出力される。

工法区分	発破掘削工法
ずり出し方式	レール方式

項目	記号	単位	B	C _H	C _M	C _L ～D	備考
掘削断面積(余堀り含まず)	A ₁	m ²	0.0	14.7	14.7	14.9	
掘削断面積(余堀り含む)	A ₂	m ²	0.0	16.5	16.5	16.7	
1発破進行長	B	m	5.0	5.0	2.5	1.0	B～C _L は長孔発破
変化率	L	—	1.85	1.70	1.60	1.50	
m ² 当り穿孔数	C	m ²	3.7	3.4	3.0	1.9	長孔発破、爆薬技術対応
穿孔長	D	m	5.2	5.2	2.6	1.1	
削岩機使用台数	E	台	2	2	2	2	
のみ下がり速度	F	m/min	1.1	1.3	1.4	1.7	コンピュータ制御自動削孔
削岩機1台当り穿孔数	G	孔	0	25	22	14	
シャトルカー積載量	H	m ³	28.0	28.0	28.0	28.0	
1発破当りシャトルカー台数	I	台	0	5	2	1	
ずり積み能力	Q _s	m ³ /h	34.0	34.0	34.0	34.0	
吹付け周長	M ₁	m	0.000	11.638	11.638	11.638	
1サイクル当り吹付け面積	M	m ²	0.0	58.2	29.1	11.6	
吹付け設計厚さ	N ₁	m	0.00	0.04	0.04	0.06	
余吹き厚さ	N ₂	m	0.00	0.00	0.00	0.00	シングルシェル対応
吹付け跳ね返り係数	K	—	1.24	1.24	1.24	1.24	高強度吹付け対応
1サイクル当りロックボルト本数	P ₁	本	0.0	0.0	3.3	4.0	ボルト長1～2m
穿孔時間		min	0	100	41	9	
削岩機移動時間		min	0	25	22	14	
積み込み時間		min	0	145	73	29	
列車入れ替え時間		min	0	20	5	0	
吹付け時間	R	min	0	59	44	39	
支保工建込	S	min	0	0	0	20	
ロックボルト工	T ₁	min	0	0	40	44	
金網工	T ₂	min	0	0	0	20	
レール設置時間	U	min	0	30	20	15	
サイクルタイム固定分		min	0	115	135	140	
計	Q	min	0	494	380	330	
掘削サイクルタイム		min	0	435	296	207	
一箇月当り進行長		m/月	0.0	251.4	163.4	75.3	

③ 工事費

・ 概算工費

概算工事費内訳書が出力される。

調整池トンネル概算工事費内訳書 発破工法

L = 4,675 m

工 種	単位	数 量	単価 (円)	工 費 (千円)	適 用
① 発破掘削工法直接工事費				888,953	
トンネル掘削				434,729	
B	m3	0	0	0	
C _H	m3	61,579	5,235	322,391	
C _M	m3	11,546	6,530	75,392	
C _L	m3	3,906	9,458	36,946	
一次吹付けコンクリート				166,356	
B	m2	0		0	
C _H	m2	43,526	2,703	117,651	
C _M	m2	8,161	3,582	29,232	
C _L	m2	2,720	7,158	19,472	
ロックボルト工				14,859	
B	本	0		0	
C _H	本	0		0	
C _M	本	926	8,318	7,700	
C _L	本	935	7,657	7,159	
鋼製支保工				6,124	
C _L	基	234	26,197	6,124	
金網工				940	
C _L	m2	1,175	800	940	
ずり処理 (坑外運搬、捨土)				115,547	
B	m3	0	1,500	0	
C _H	m3	61,579	1,500	92,369	
C _M	m3	11,546	1,500	17,319	
C _L	m3	3,906	1,500	5,859	
二次吹付けコンクリート				80,273	
B	m2	0	1,492	0	
C _H	m2	43,056	1,492	64,219	
C _M	m2	8,073	1,492	12,041	
C _L	m2	2,691	1,492	4,014	
床版コンクリート				70,125	
	m2	14,025	5,000	70,125	
② 運転経費				190,259	
仮設備費運転経費	式	1	190,259,000	190,259	
③ 仮設備費				354,255	
仮設備費	式	1	354,255,000	354,255	
純工事費 (①+②+③)				1,433,467	
④ 共通仮設費				66,843	7.52 %
⑤ 現場管理費				373,926	26.09 %
間接工事費 (④+⑤)				440,768	
工事原価 (①+②+③+④+⑤)				1,874,235	
⑥ 一般管理費				145,137	7.74 %
⑦ 追加工事費				350,000	
工事価格 (①+②+③+④+⑤+⑥+⑦)				2,369,372	千円
		1m当り工事費		507,000	円/m
		1m ³ 当り工事費		30,800	円/m ³

(結果)

概算工事費：2,369 百万円

概算工期：27.8 ヶ月

と算定された。

(d) 運転パターン選定システム

a) 入力データ

① 発電所条件データ 1～4

(ダミー発電所データ)

発電所データ1

適用 リセット 発電所追加 発電所削除

発電所名: []

流域面積km²: [50.2]

河川維持流量(m³/s): [0.145]

最大使用水量(m³/s): [5.31]

常時使用水量(m³/s): [1.76]

発電可能最小流量(m³/s): [0.25]

水槽水位(m): [1408.5]

最大使用水量時の放水水位(m): [1118.5]

常時使用水量時の放水水位(m): [1118.5]

最大使用水量時の放水水位(m): [5.1]

計算プログラム
☒ kW優先運転①
☒ kW優先運転②
☒ kW優先運転③

計算実行

Q/Qmax (%) 総合効率 (%)

Q/Qmax (%)	総合効率 (%)
100	93
80	90

ダミーデータのため効率を0とした。

(A 発電所データ)

発電所データ2

適用 リセット 発電所追加 発電所削除

発電所名: [A発電所]

流域面積km²: [58]

河川維持流量(m³/s): [0.168]

最大使用水量(m³/s): [7]

常時使用水量(m³/s): [1.76]

発電可能最小流量(m³/s): [0.25]

水槽水位(m): [1408.5]

最大使用水量時の放水水位(m): [1118.5]

常時使用水量時の放水水位(m): [1118.5]

最大使用水量時の放水水位(m): [5.1]

計算プログラム
☒ kW優先運転①
☒ kW優先運転②
☒ kW優先運転③

計算実行

Q/Qmax (%) 総合効率 (%)

Q/Qmax (%)	総合効率 (%)
100	84.57
80	85.07
60	85.34
40	85.4
20	85.22
10	84.85
5	84.24
0	83.41
0	82.86
0	82.67
0	81.45
0	79.19
0	76.89
0	71.86
0	65.9

(B 発電所データ)

発電所データ3

適用 リセット 発電所追加 発電所削除

発電所名: [B発電所]

流域面積km²: [135.4]

河川維持流量(m³/s): [0.082]

最大使用水量(m³/s): [13]

常時使用水量(m³/s): [1.6]

発電可能最小流量(m³/s): [1.8]

水槽水位(m): [1107]

最大使用水量時の放水水位(m): [222.5]

常時使用水量時の放水水位(m): [853.67]

最大使用水量時の放水水位(m): [5.5]

計算プログラム
☒ kW優先運転①
☒ kW優先運転②
☒ kW優先運転③

計算実行

Q/Qmax (%) 総合効率 (%)

Q/Qmax (%)	総合効率 (%)
100	85.36
80	85.68
60	85.84
40	85.81
20	85.61
10	85.23
5	84.7
0	84
0	83.15
0	82.15
0	81.04
0	79.74
0	76.33
0	76.8
0	85.36

(C 発電所データ)

発電所データ4

適用 リセット 発電所追加 発電所削除

発電所名: [C発電所]

流域面積km²: [763.2]

河川維持流量(m³/s): [0.304]

最大使用水量(m³/s): [75]

常時使用水量(m³/s): [2.12]

発電可能最小流量(m³/s): [2.4]

水槽水位(m): [852.29]

最大使用水量時の放水水位(m): [815.64]

常時使用水量時の放水水位(m): [814.56]

最大使用水量時の放水水位(m): [8.12]

計算プログラム
☒ kW優先運転①
☒ kW優先運転②
☒ kW優先運転③

計算実行

Q/Qmax (%) 総合効率 (%)

Q/Qmax (%)	総合効率 (%)
100	84.24
80	84.83
60	85.11
40	85.86
20	84.82
10	84.39
5	84.85
0	84.59
0	84.47
0	84.28
0	83.89
0	82.53
0	82.16
0	81.34

② 発電所流況曲線データ

発電所流況曲線データ

実行 リセット 容量設定システムデータ読み込み

容量設定データ読み込み

計算プログラム
☒ KWH優先運転①
☒ KWH優先運転②
☒ KWH優先運転
 計算実行

日付	1	A発電所	B発電所	C発電所
2000	0.887	1.008	1.453	1.020
2001	0.887	1.045	1.475	1.102
2002	0.794	1.075	1.588	1.259
2003	0.717	1.090	1.632	1.386
2004	0.717	1.090	1.572	1.356
2005	0.708	1.094	1.678	1.272
2006	0.708	1.095	1.581	1.200
2007	0.708	1.096	1.681	1.286
2008	0.708	1.090	1.621	1.020
2009	0.747	1.021	1.638	1.040
2010	0.747	1.021	1.638	1.040
2011	0.746	1.028	1.643	1.045
2012	0.746	1.028	1.643	1.045
2013	0.755	1.022	1.656	1.050
2014	0.755	1.022	1.656	1.050
2015	0.768	1.029	1.661	1.072
2016	0.768	1.045	1.676	1.004
2017	0.768	1.046	1.678	1.006
2018	0.776	1.023	1.702	1.011
2019	0.776	1.005	1.708	1.019
2020	0.768	1.077	1.728	1.041
2021	0.765	1.001	1.735	1.040
2022	0.765	1.001	1.738	1.040
2023	0.765	1.000	1.746	1.051
2024	0.802	1.096	1.768	1.076
2025	0.811	1.100	1.775	1.007
2026	0.818	1.116	1.788	2.010
2027	0.818	1.116	1.784	2.015
2028	0.827	1.128	1.804	2.027
2029	0.833	1.130	1.827	2.002
2030	0.838	1.143	1.833	2.030
2031	0.840	1.190	1.844	2.071
2032	0.840	1.190	1.844	2.071
2033	0.844	1.194	1.881	2.079
2034	0.854	1.157	1.873	2.100
2035	0.864	1.167	1.878	2.100
2036	0.857	1.172	1.876	2.111

流況データ読み込み

地点名

システム名

流況曲線データ =
 測水所平均流況 × 面積比
 測水所平均流況: 容量設定システムより取得
 面積比: 測水所に対する流域面積比

	発電所	面積比
	-	1
	A発電所	1.367
	B発電所	2.193
	C発電所	2.463
▶*		

OK キャンセル

ー、A、B、C発電所の10ヶ年平均流況データを入力する。ここでは、全て測水所に対する流域面積比で入力した。

③ 最適化パラメータ条件

最適化パラメータ条件

実行 リセット 容量設定システムデータ読み込み

共通
 調整容量の探索範囲(下限) m3
 調整容量の探索範囲(上限) m3
 調整容量の探索ピッチ m3

KWH優先運転①
 ピーク継続時間: TP h

KWH優先運転②
 貯留時間hourの探索範囲(下限) h
 貯留時間hourの探索範囲(上限) h
 貯留時間hourの探索ピッチ h
 ピーク継続時間: TP h

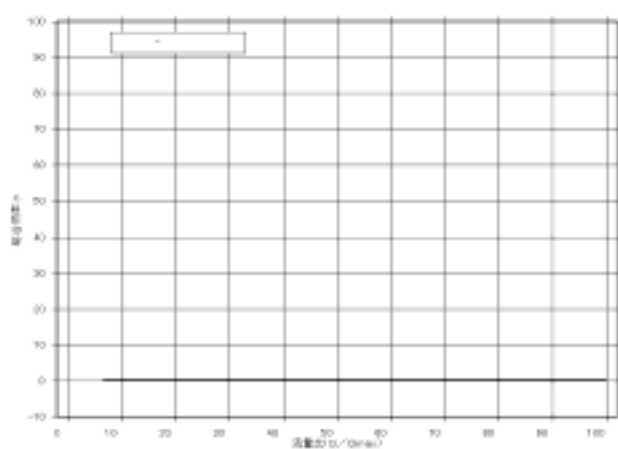
KWH優先運転
 貯留時間hourの探索ピッチ h
 発電時間hourの探索ピッチ h

計算プログラム
☒ KWH優先運転①
☒ KWH優先運転②
☒ KWH優先運転
 計算実行

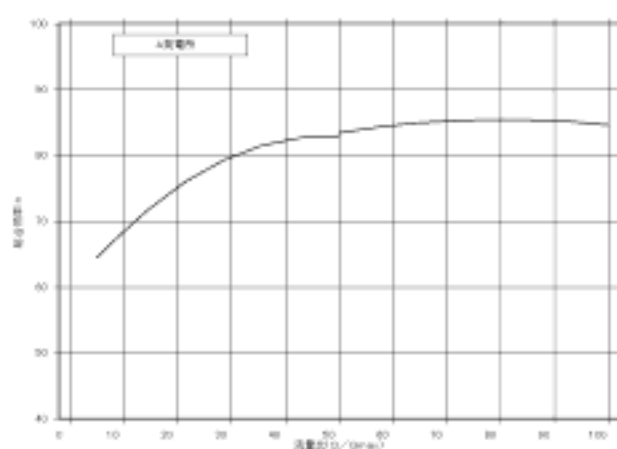
b) 効率曲線

① 効率曲線 1 ～ 4

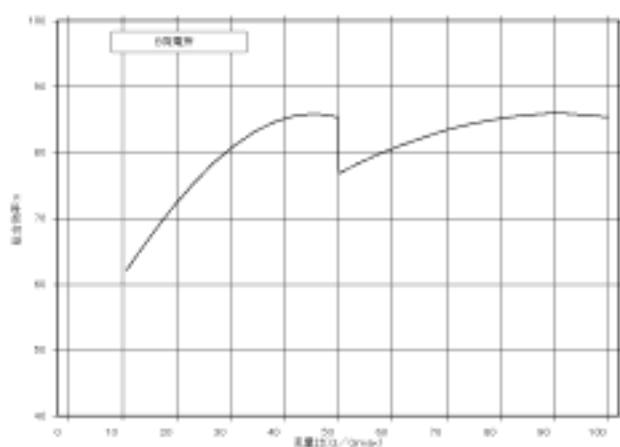
(ダミー発電所効率データ)



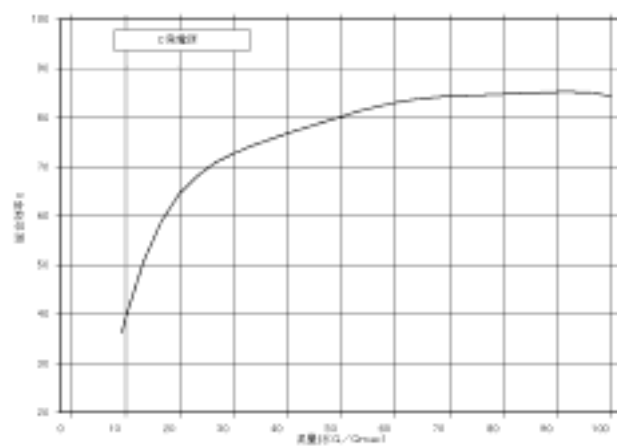
(A 発電所効率データ)



(B 発電所効率データ)



(C 発電所効率データ)



c) 算定結果

① 運用別発電電力量の変化

運用別の発電電力量の算定結果が一覧表で出力される。

調整池運用別年間発電電力量の変化

運用方法	年間発電電力量(MWh)								
	-			A発電所			B発電所		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	0	—	—	93,609	—	—	112,178	—	—
kW優先運転①	0	0	—	94,964	1,355	1.45	111,933	-246	-0.22
kW優先運転②	0	0	—	95,213	1,604	1.71	112,969	791	0.71
kWh優先運転	0	0	—	95,462	1,853	1.98	114,936	2,758	2.46
運用方法	年間発電電力量(MWh)								
	C発電所						4発電所合計		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	17,990	—	—				223,777	—	—
kW優先運転①	18,085	94	0.53				224,981	1,204	0.54
kW優先運転②	18,077	87	0.48				226,260	2,483	1.11
kWh優先運転	18,133	143	0.80				228,531	4,754	2.12

② ピーク運用時の有効出力の変化

k W 優先運転時の 8 月 L 5 流量時のピーク出力が一覧表で出力される。

ピーク運用時の8月L5出力の変化

ケース	-		A発電所		B発電所		C発電所		—		4発電所合計	
	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)
自流運転時	0,000	—	6,303	—	6,905	—	1,040	—			14,248	—
ピーク運転時間4h	0,000	0,000	16,848	10,545	13,689	6,784	2,189	1,149			32,726	18,477

(結果)

各運転パターン毎の発電電力量、8月L5出力値は、上記算出結果のとおり。

- ③ 総発電電力量グラフ (page 資料 2-19 左図参照)
- ④ 調整容量変化グラフ (page 資料 2-19 右図参照)
- ⑤ 運転パターン変化グラフ (page 資料 2-20 左図参照)
- ⑥ 発電所出力変化グラフ (page 資料 2-20 左図参照)
- ⑦ 発電所運転出力パターングラフ (page 資料 2-21, 22 参照)

上記の③～⑦の出力結果を次頁以降に示した。

概要		検討結果	
		発電電力量曲線	調整容量および発電所使用流量変化
k W 優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で4時間の調整運転を行う。		
k W 優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：k W 優先運転①に同じ。		
k W h 優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図-1.2 電力量曲線と調整容量および発電所使用流量変化（A、B、C 発電所）：調整容量 50,809^{m3}

概要		検討結果	
		運転パターンおよび発電所電力量変化	運転パターンおよび発電所出力変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で4時間の調整運転を行う。		
kW優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW 優先運転①に同じ。		
kWh優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図-1.3 運転パターンおよび発電所電力量変化、運転パターンおよび発電所出力変化（A、B、C 発電所）：調整容量 50,809m³

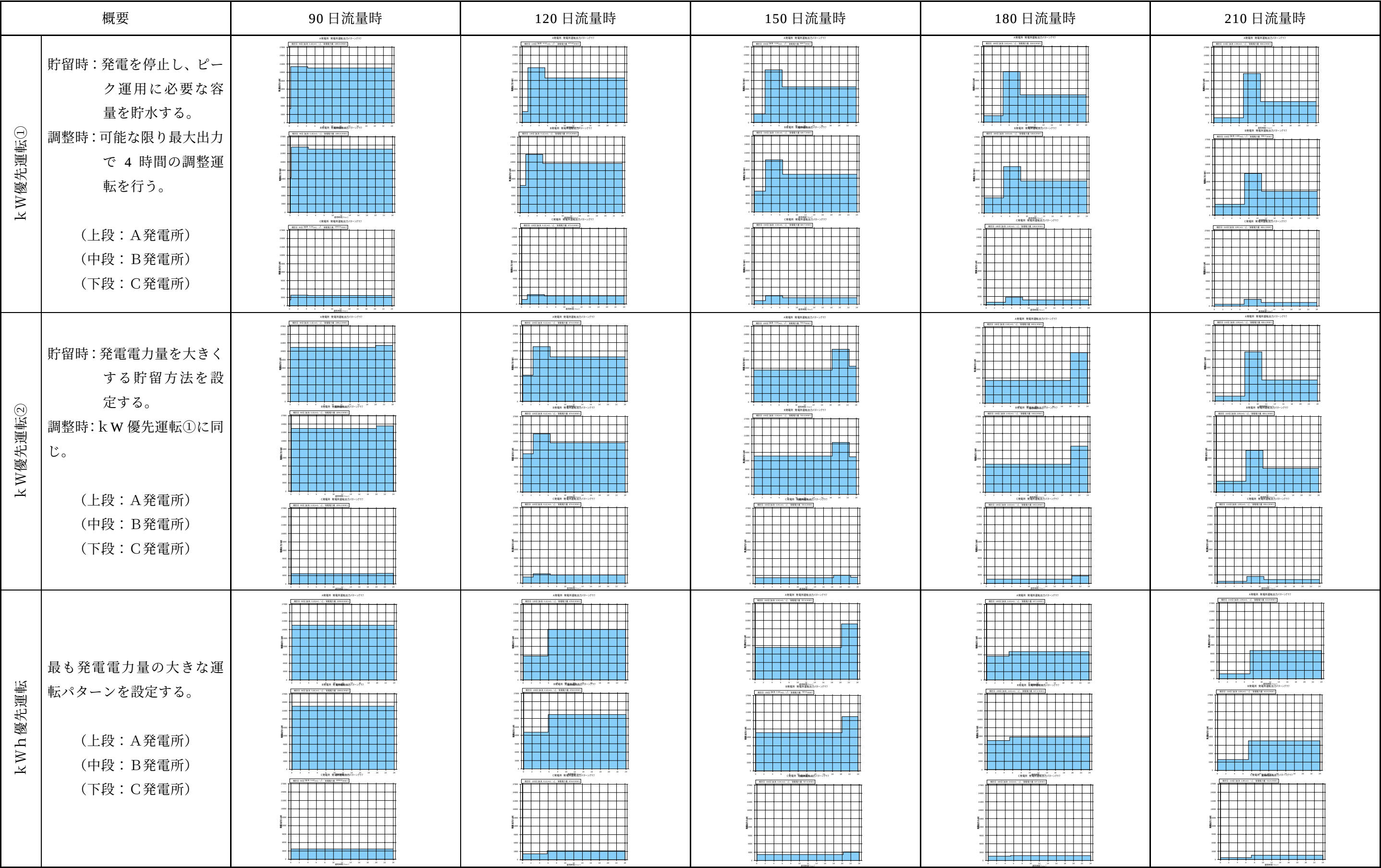


図-1.4 A、B、C 発電所流況別運転パターン：調整容量 50,809m³

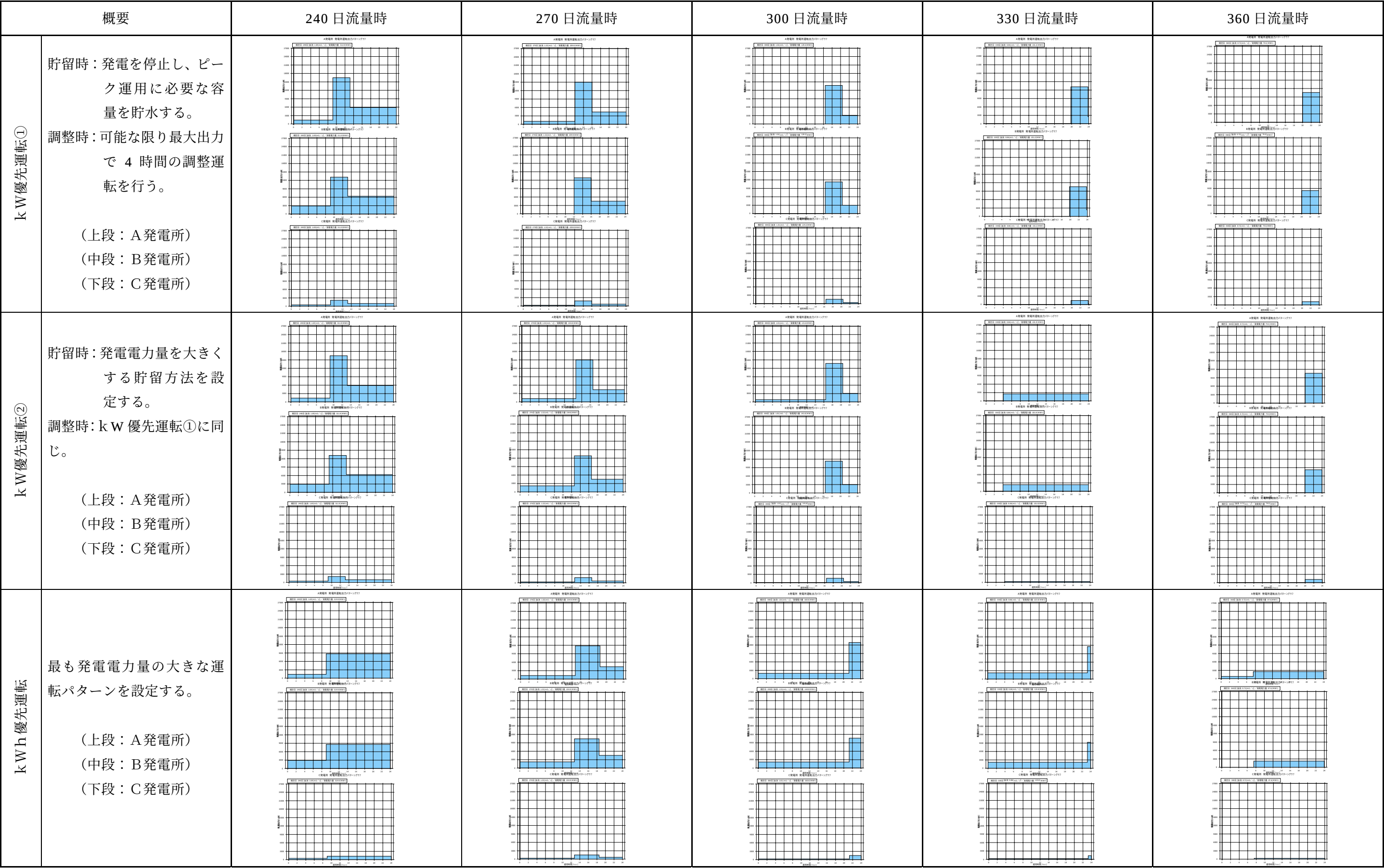


図-1.5 A、B、C 発電所流況別運転パターン：調整容量 50,809m³

(e) 経済性評価システム

a) 経済性設定データ

経済性設定データ

適用 リセット

地点名: A発電所

年経費率(%): 10.6

kWh単価(円/kWh): 32864.00

kWh単価(円/kWh): 12.20

PPS単価(円/kWh): 12

現行取引(売電)単価(円/kWh): 8

ピーク時割増単価(円/kWh): 14.00

オフピーク割増単価(円/kWh): 8.00

発電所利用率(%): 95.6

ピーク継続時間(h): 4

8月L5流量(m3): 1,7016

容量設定データ読み込み

工事費(百万円): 2369.372

工事費設定データ読み込み

新規地点における発電計画の可否

☐ 行う ☒ 行わない

白流時8月L5出力(kW): 14240.41

白流時年間発電電力量(MWh): 223777.25

8月L5流量時増分出力(kW): 18477.23

発電電力量増分(MWh): 4764.18

調整池設置後の8月L5出力(kW): 12725.64

調整池設置後の年間発電電力量(MWh): 228531.42

発電所別発電遅れ時間

発電所	発電遅れ時間
-	0
A発電所	0
B発電所	1
C発電所	1.5

運転パターンデータ読み込み

電力量時間帯シフトによる経済性評価では、下流発電所の遅れ時間を考慮した。

b) 算定結果

① C/V法評価

C/V指標による地下調整池経済性評価一覧

地点名	ピーク継続時間(h)	有効出力増分(kW)	有効電力量増分(MWh)	工事費(百万円)	コスト(百万円)	増出力による便益(百万円)	増電力量による便益(百万円)	便益(百万円)	評価
	T	P	A	M	C=M*D	B1=P*b1	B2=A*b2	V=B1+B2	C/V
A発電所	4.0	17,664	4,545	2,369	251.15	580.52	55.45	635.97	0.39

コスト(C: 百万円)=工事費(M: 百万円)×年経費率(D: %)

有効出力増分(kW)=8月L5流量時出力増分(kW)×発電所利用率(%)

有効電力量増分(MWh)=発電電力量増分(MWh)×発電所利用率(%)

kWh価値(B1: 千円)=有効出力増分(P: kW)×kWh単価(b1: 円/kWh)

kWh価値(B2: 千円)=有効電力量増分(A: MWh)×kWh単価(b2: 円/kWh)

<入力条件>

年経費率D: 10.6(%)

kWh価値b1: 32,864(円/kWh)

kWh単価b2: 12.20(円/kWh)

発電所利用率: 95.60(%)

経済性の評価値は、左記の入力条件に基づくものである。

(結果)

$C/V = 0.39 < 1.0$ より、開発効果が期待できる。

② 発電原価評価

発電原価指標による地下調整池経済性評価一覧

地点名	ピーク継続時間 (h)	年間発電電力量 (MWh)	工事費 (百万円)	発電原価増分 (円/kWh)	PPS取引単価 (円/kWh)	現行取引(売電) 単価(円/kWh)	増収単価 (円/kWh)
	T	A	M	△C	BPPS	BN	△V
A 発電所	4.0	228,531	2,369	1.10	12.00	8.00	4.00

発電原価増分(△C:円/kWh)=工事費(M:百万円)×年経費率(D:%)/年間発電電力量(A:MWh)

増収単価(△V:円/kWh)=PPS取引単価(BPPS:円/kWh)-現行取引(売電)単価(BN:円/kWh)

<入力条件>

年経費率D:10.6(%)

PPS取引単価BPPS:12.00(円/kWh)

現行取引(売電)単価BN:8.00(円/kWh)

経済性の評価値は、左記の入力条件に基づくものである。

(結果)

発電原価増分 △C = 1.10 円/kWh

増収単価 △V = 4.00 円/kWh

増収単価 > 発電原価増分より、開発効果が期待できる。

③ 電力量時間帯シフト評価

電力量時間帯シフトによる地下調整池経済性評価一覧

地点名	ピーク継続 時間(h)	工事費 (百万円)	コスト (百万円)	流れ込み 式運転時 電力量 (MWh)	ピーク運転 時間帯発 電電力量 (MWh)	オフピーク運 転時間帯 発電電力量 (MWh)	現行評価 単価(円 /kWh)	ピーク時評 価単価 (円/kWh)	オフピーク時 評価単価 (円/kWh)	時間帯シフ トによる便 益(百万円)	評価
	T	M	△C=M×D	AN	AP	AO	BN	BP	BO	△V	△C/△V
A 発電所	4.0	2,369	251.15	223,777	52,731	172,250	8.00	14.00	8.00	326.09	0.77

コスト(△C:千円)=工事費(M:百万円)×年経費率(D:%)

時間帯シフトによる便益(△V:千円)=(ピーク運転時間帯発電電力量(AP:MWh)×ピーク時評価単価(BP:円/kWh)+オフピーク運転時間帯発電電力量(AO:MWh)

×オフピーク時評価単価(BO:円/kWh))-(流れ込み式運転時電力量(AN:MWh)×現行評価単価(BN:円/kWh))

<入力条件>

年経費率D:10.6(%)

現行評価単価BN:8.00(円/kWh)

ピーク時評価単価:14.00(円/kWh)

オフピーク時評価単価:8.00(円/kWh)

経済性の評価値は、左記の入力条件に基づくものである。

(結果)

△C/△V = 0.77 < 1.0 より、開発効果が期待できる。

2. D、E、F 発電所（水槽接続案）

(1) 概要

本検討は、D、E、F のシリーズ 3 発電所に対して、D 発電所に水槽接続案の地下調整池を構築した場合のケーススタディを行ったものである。図-2.1 に当該地点の水系概要図、表-2.1 に発電所の諸元表を示した。

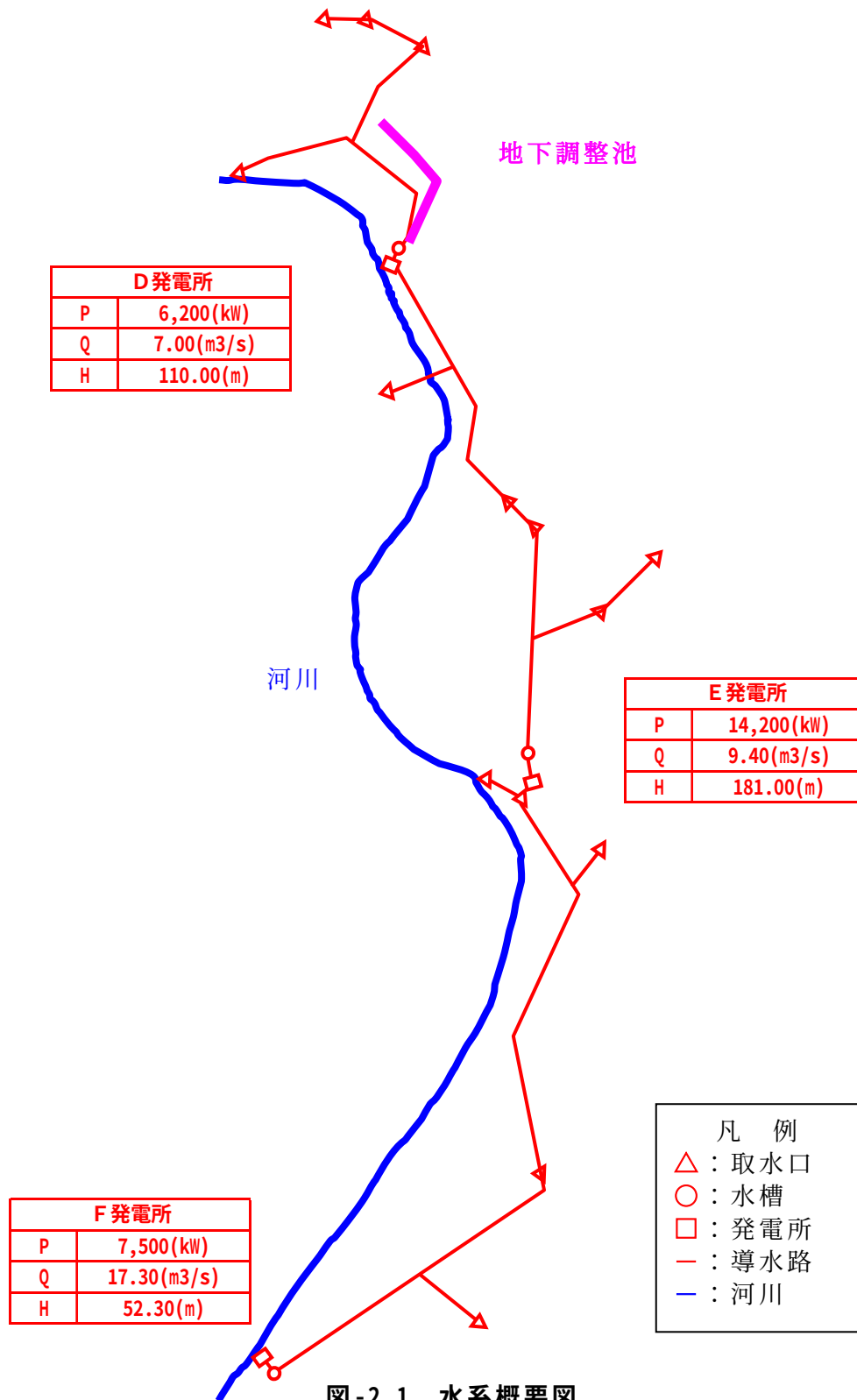


図-2.1 水系概要図

表-2.1 発電所諸元表

発電所名	D 発電所	E 発電所	F 発電所
流域面積 (km ²)	61.11	97.37	179.01
河川維持流量 (m ³ /s)	0.181	3/1～12/14 : 0.453 12/15～2月末 : 0.299	3/1～12/14 : 0.010 12/15～2月末 : 0.780
最大使用水量 (m ³ /s)	7.00	9.40	17.30
有効落差 (m)	110.00	181.00	52.30
最大出力 (kW)	6,200	14,200	7,500
常時出力 (kW)	540	1,700	480

なお、計算条件は表-1.2 のとおりとした。

表-2.2 計算条件

項目	条件
測水所流域面積 (km ²)	137.5
流量データ	1993～2002 年 (10 ヶ年)
ピーク継続時間 (h)	4.0
地下調整池接続パターン	水槽接続案
水槽 L.W.L. (WL.m)	813.000
水槽 H.W.L. (WL.m)	816.400
地下調整池延長 (m)	1,500
地下調整池内粗度係数	0.014
岩盤等級比率	C _H : 80%、C _M : 15%、C _L : 5%

(2) ケーススタディ 結果

(a) 地下調整池容量設定システム

a) 設定データ

設定データ

適用

リセット

必須入力

①流量データ入力年(西暦で入力) 1993 年 ~ 2002 年

②近後排水所流出面積 Q m^2 : QAS 1375

③排水所流量データ Q m^3/s : QYD $ly, m^3/d$ (強制)

④排水地点流出面積 Q m^2 : CAD 51.11

⑤河川補給流量 Q m^3/s : QBR 0.161

⑥最大使用水量 Q m^3/s : QMAX 7

⑦最小使用水量 Q m^3/s : QMIN 0

⑧ピーク補給時間 t : TP 4

任意入力

①調整池容量設定流量 Q m^3/s : QNE

②調整池容量 Q m^3 : VFNH

(またはプランクで自動計算します)

b) 流量データ

流量データ	適用	所定値	1/200	1/200	200	200	200	200	200	200	200
日付	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年
1/1	71	500	505	202	4.74	627	206	382	212	324	
1/2	5.36	510	437	245	8.85	423	206	3.76	206	312	
1/3	507	507	421	25	6.76	205	205	1.59	227	349	
1/4	614	517	2318	202	8.39	462	204	6.33	197	3.85	
1/5	543	467	13.91	249	4.66	448	242	5.85	199	347	
1/6	488	436	9.27	243	4.84	427	206	1.46	162	3.32	
1/7	15.06	432	6.88	243	4.19	448	509	33.72	1.61	3.12	
1/8	13.23	202	5.82	449	3.84	62	4.33	14.16	207	324	
1/9	18.2	510	5.51	457	3.34	390	4.16	8.85	349	3.37	
1/10	11.86	210	5.85	257	3.16	3.79	4.67	11.58	29.68	3.45	
1/11	9.3	511	5.15	34	3.88	35	207	8.16	12.79	3.76	
1/12	7.58	264	4.54	206	3.87	254	214	1.53	264	3.53	
1/13	647	540	4.28	216	3.76	342	207	21.88	5.12	3.26	
1/14	553	241	3.9	257	3.76	326	257	36.35	206	3.85	
1/15	8.21	208	3.76	13.38	3.84	8.83	244	14.8	1.89	3.88	
1/16	14.82	519	3.38	445	3.89	707	209	9.37	219	344	
1/17	18.88	883	3.23	12.87	3.84	8.29	322	8.13	21	26.1	
1/18	7.77	2243	3.25	929	3.66	22.2	5.16	1.81	214	12.47	
1/19	719	927	3.25	845	3.48	13.88	201	6.6	201	1.84	
1/20	618	705	3.83	504	3.43	8.85	4.12	6.84	21	6.66	
1/21	552	569	3.87	458	3.5	711	279	5.82	227	26.85	
1/22	479	499	1.82	405	3.67	5.88	261	8.88	202	20.61	
1/23	441	460	13.66	375	3.85	5.23	201	5.2	202	12.31	
1/24	428	447	8.11	345	3.86	4.74	201	6.38	206	8.89	
1/25	404	409	6.27	20	3.4	458	449	5.43	224	1.83	
1/26	389	384	8.24	316	3.4	6.3	364	4.74	316	6.12	
1/27	372	36	4.57	207	3.3	399	4.7	4.35	311	6.87	
1/28	358	356	4.16	223	3.26	38	4.63	41.2	206	1.12	
1/29	393	399	3.85	201	3.3	35	4.35	3.9	27	6.3	
1/30	345	34	3.89	279	3.35	348	279	3.83	259	5.44	
1/31	344	327	3.47	261	3.2	348	264	3.76	25	4.96	
2/1	320	261	3.33	244	3.11	32	242	3.46	205	4.5	
2/2	31	261	3.88	236	3.86	324	336	3.33	257	4.21	
2/3	311	262	3.82	259	3.11	319	216	3.2	259	3.83	
2/4	304	309	3.74	236	3.11	318	326	3.28	288	3.79	
2/5	291	294	2.78	201	3.86	313	261	3	275	3.86	
2/6	32	294	2.84	227	3.86	307	32	3.86	311	3.86	
2/7	12.9	280	2.68	225	3.81	307	31	5.36	299	4.82	
2/8	14.85	282	2.83	22	3.81	307	289	4.13	312	3.82	
2/9	13.6	284	3.86	218	3.86	313	326	3.83	309	3.82	

10ヶ年デイレ
ータを入力。

資料 2-27

①取水地点流量

測水所流量データを取水地点流量に流域換算し、河川維持流量を控除する。(1/1～12/31:10ヶ年)

② 平均流況

365 (366) ~ 1
日流量に並び替
え。10 ヶ年平均
流況の算出

③ 流況表

各年並びに平均流況が出力される。

流況表
D発電所

(CA=61.1km²)

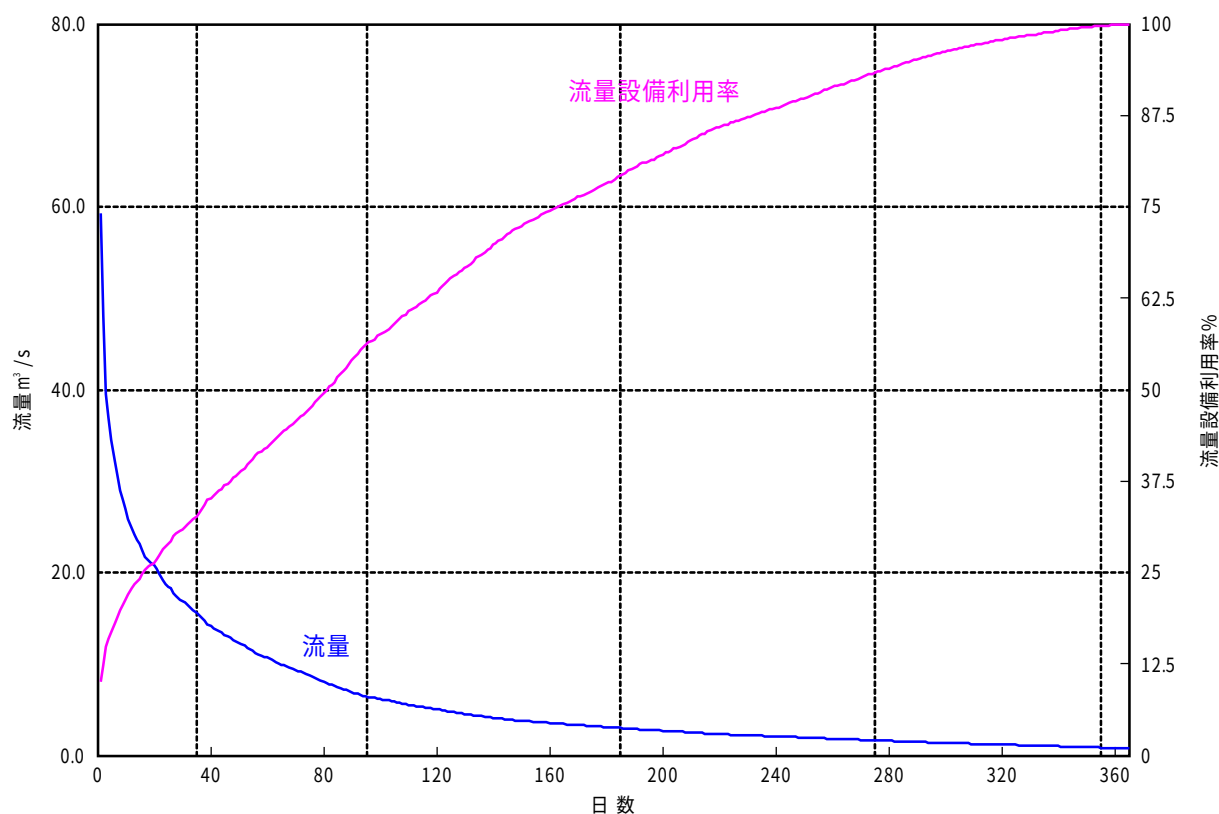
単位:m³/s

年	最大 流量	35日 流量	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小 流量	年平均 流量
1993	80.63	19.36	8.79	4.42	2.61	1.38	1.11	7.94
1994	50.30	12.31	3.88	2.09	1.27	0.56	0.47	4.16
1995	69.43	21.24	7.17	2.92	1.49	0.89	0.83	6.99
1996	84.67	17.44	6.73	2.82	1.40	0.80	0.73	6.39
1997	67.56	16.64	6.85	3.02	1.29	0.73	0.67	6.40
1998	62.51	16.00	6.66	3.75	2.31	1.29	1.16	6.68
1999	44.33	12.45	5.85	3.13	1.97	1.21	1.14	5.39
2000	27.77	13.21	5.93	2.88	1.74	0.90	0.78	5.15
2001	29.55	12.96	6.29	2.82	1.42	0.75	0.53	4.94
2002	77.32	15.57	6.97	2.86	1.57	0.72	0.67	6.02
平均	59.41	15.72	6.51	3.07	1.71	0.92	0.81	6.01

④ 流況図

平均流況図が出力される。

D発電所 10ヶ年平均流況図 (1993~2002年)



⑤ 調整池容量

8 月 L 5 流量並びに調整池容量 (V1、V2 のいずれか小さい方) が出力される。

8月L5流量

8月L5流量: QL5= 1.37 m³

調整池容量: VR= 81,055 m³

V1 (QMAX-QL5)×TP×3600= 81,055 m³

V2 (QL5-QMIN)×(24-TP)×3600= 98,728 m³

(結果)

調整池容量 VR=81,055m³

8 月 L 5 流量 QL5=1.37m³/s

と算定された。

(b) 地下調整池構造設定システム

a) 構造入力データ

b) 算定結果 1

① 断面データ 1

トンネル構造算出結果 1

項目		大断面 CASE 1-1	大断面 CASE 1-2	大断面 CASE 1-3	大断面 CASE 1-4
トンネル幅	B(m)	6.6	6.6	6.4	6.4
トンネル勾配	I	1/2000	1/3000	1/4000	1/5000
		0.000500	0.000333	0.000250	0.000200
トンネル延長	L(m)	1,500	1,500	1,500	1,500
河川流入量	Qin(m ³ /s)	0.457	0.457	0.457	0.457
ピーク時供給量	Qout(m ³ /s)	2.333	2.333	2.333	2.333
上流水深	H1(m)	2.650	2.900	3.025	3.100
初期容量	V(m ³)	29,947	31,185	30,840	31,200
粗度係数	n	0.014	0.014	0.014	0.014
等流水深	Ho(i)(m)	0.155	0.175	0.195	0.209
	Ho(o)(m)	0.425	0.483	0.540	0.580
貯水容量	Vi(m ³)	1,534	1,737	1,876	2,009
	Vo(m ³)	4,204	4,778	5,185	5,567
T①	(sec)	15,143	15,695	15,437	15,558
T②	(sec)	13,720	14,074	13,673	13,661
③ To'	(hr)	4.009	4.135	4.043	4.058
許容トンネル高	(m)	5.600	5.600	5.600	5.600
上流トンネル高	(m)	2.800	3.000	3.200	3.200
上流トンネル高(m)の変更		5.600	5.600	5.600	5.600
下流トンネル高		3.400	3.400	3.400	3.400
下流トンネル高(m)の変更		5.600	5.600	5.600	5.600
トンネル容量 (m ³)	上流平均断面積	32.29	32.29	31.44	31.44
	下流平均断面積	32.29	32.29	31.44	31.44
	延長	1,500.00	1,500.00	1,500.00	1,500.00
	箇所	3	3	3	3
	容量	145,286.87	145,286.87	141,502.29	141,502.29

ピーク継続時間を満足する地下調整池断面諸元の算出（地下調整池勾配 1/2000～1/5000）

このうち、工事費算定システムから CASE1-4 が最も経済的な諸元となった。

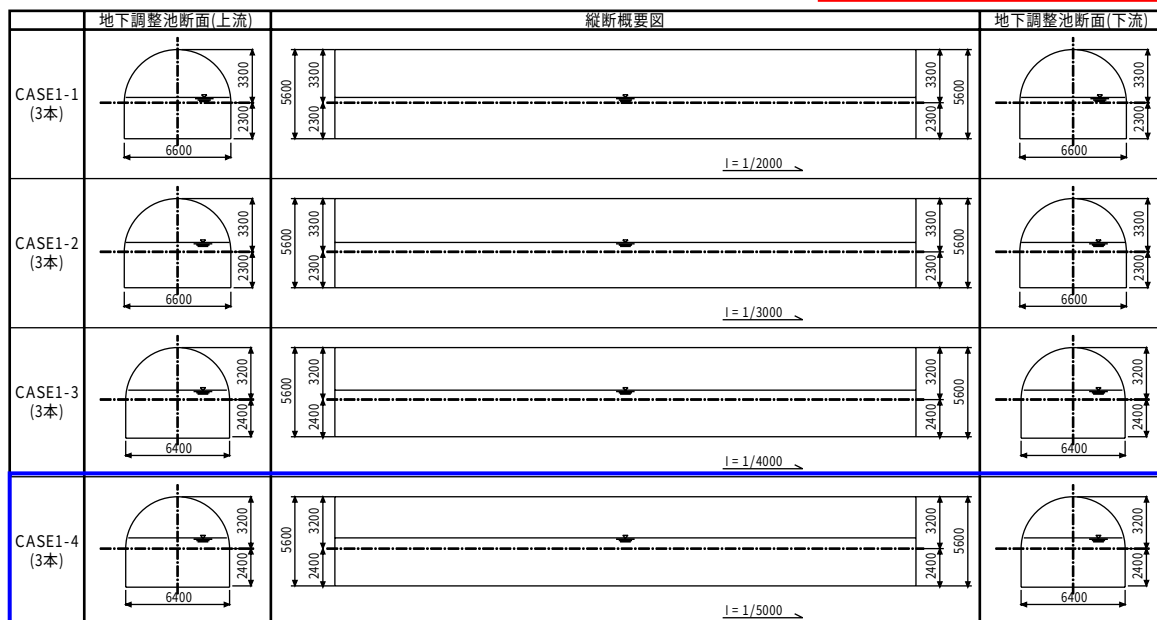
② 模式図 1

調整池上流敷高 EL.813.300m

(下流敷高 EL.813.000m + 1,500 / 5,000)

地下調整池 断面図1

調整池下流部敷高 EL.813.000m



ピーク継続時間を満足する地下調整池断面模式図の算出（地下調整池勾配 1/2000～1/5000）

このうち、工事費算定システムから CASE1-4 が最も経済的な諸元となった。

（結果）

地下調整池形状は、CASE1-4 の
断面諸元（3本）に決定された。

(c) 工事費算定システム

a) 入力データ

① 断面地質データ

断面・地質データ

適用 リセット 構造設定システムデータ読み込み 追加工事費

断面形状

施工方法: ☒ 発破掘削 ☐ TEM(真円) ☐ TEM(楕円)

断面寸法: 内空幅(m): 基準高さ(m):

*基準高さは、上流、下流の平均高さとする。

トンネル延長(m): 縦断勾配(%): トンネル本数:

地質データ

	比率(%)	長さ(m)
岩盤等級B:	0	0.0
岩盤等級C:	60	1200.0
岩盤等級C:	15	225.0
岩盤等級C~D:	5	75.0

追加工事費

①調整池流量制御に必要な費用(千円)

②調整池トンネル工事費仮設費用等(千円)

③地下調整池工事費以外の発電所全工事費(千円)

合計 千円

OK キャンセル

ゲート、制御システムが改造費用、トンネル工事仮設費用を計上。

b) 算定結果

① 数量表

・ 単位数量

岩盤等級毎の単位数量が出力される。

工事区分
岩盤等級

発破掘削工法
岩盤等級C

断面概要図(断面諸元)

	単位数量	施工延長	数量合計
掘削断面積(全掘含まず)	33.955 m ² /m	1200.0 m	40,746.3 m ³
掘削断面積(全掘含む)	36.316 m ² /m	1200.0 m	43,579.5 m ³
一次吹付けコンクリート面積	15.379 m ² /m	1200.0 m	18,454.5 m ³
金網面積	—	—	—
鋼製支保工	—	—	—
ロックボルト本数	—	—	—
二次吹付けコンクリート面積	15.253 m ² /m	1200.0 m	18,303.7 m ³

工事区分	発破掘削工法
岩盤等級	岩盤等級C

断面概要図(断面諸元)

二次吹付けコンクリート
t=40mm

一次吹付けコンクリート
t=40mm

ロックボルト
L=2000

1200

R=3200

2400

6400

内空幅

床版コンクリート
t=200mm

	単位数量	施工延長	数量合計
掘削断面積(全掘含まず)	33.955 m ² /m	225.0 m	7,639.9 m ³
掘削断面積(全掘含む)	36.316 m ² /m	225.0 m	8,171.2 m ³
一次吹付けコンクリート面積	15.379 m ² /m	225.0 m	3,460.2 m ³
金網面積	—	—	—
鋼製支保工	—	—	—
ロックボルト本数	8,000 本/m	225.0 m	1,800.0 本
二次吹付けコンクリート面積	15.253 m ² /m	225.0 m	3,431.9 m ³

工事区分	発破掘削工法
岩盤等級	岩盤等級 C ~ D

断面概要図 (断面諸元)

断面概要図 (断面諸元)

二次吹付けコンクリート
t=40mm

一次吹付けコンクリート
t=60mm

ロックボルト
L=2000

R=2000

2400

6400

内空幅

床版コンクリート
t=200mm

	単位数量	施工延長	数量合計
掘削断面積 (全掘含む)	34.266 m ² /m	75.0 m	2,569.9 m ³
掘削断面積 (全掘含む)	36.636 m ² /m	75.0 m	2,747.7 m ³
一次吹付けコンクリート面積	15.379 m ² /m	75.0 m	1,153.4 m ³
金網面積	10.367 m ² /m	75.0 m	777.5 m ³
鋼製支保工	1,000 基/m	75.0 m	75.0 基
ロックボルト本数	16,000 本/m	75.0 m	1,200.0 本
二次吹付けコンクリート面積	15.253 m ² /m	75.0 m	1,144.0 m ³

- ・全体数量

全体の数量表が出力される。

全体数量計算結果

工法区分			発破掘削工法				
			単位	B	C _H	C _M	C _L ～D
断面諸元	施工延長		m	0.0	1,200.0	225.0	75.0
	1サイクル掘削長		m	0.0	5.0	2.5	1.0
	一次吹付けコンクリート	厚さ	cm	0	4	4	6
	金網		—	—	—	—	(設置する)
	鋼製支保工	部材	—	—	—	—	H-100
		間隔	m	—	—	—	1.0
	ロックボルト	長さ	m	—	—	2.0	2.0
		周方向	m	—	—	1.2	1.0
二次吹付けコンクリート	厚さ	cm	0	4	4	4	
単位数量	掘削 (余堀含まず)		m ³ /m	0.000	33.955	33.955	34.266
	掘削 (余堀含む)		m ³ /m	0.000	36.316	36.316	36.636
	一次吹付けコンクリート		m ² /m	0.000	15.379	15.379	15.379
	金網		m/m	0.000	0.000	0.000	10.367
	鋼製支保工		基/m	0.000	0.000	0.000	1.000
	ロックボルト		本/m	0.000	0.000	8.667	16.000
	二次吹付けコンクリート		m ² /m	0.000	15.253	15.253	15.253
全体数量	掘削 (余堀含まず)		m ³	0.0	40,746.3	7,639.9	2,569.9
	掘削 (余堀含む)		m ³	0.0	43,579.5	8,171.2	2,747.7
	一次吹付けコンクリート		m ²	0.0	18,454.5	3,460.2	1,153.4
	金網		m ²	0.0	0.0	0.0	777.5
	鋼製支保工		基	0.0	0.0	0.0	75.0
	ロックボルト		本	0.0	0.0	1,950.0	1,200.0
	二次吹付けコンクリート		m ²	0.0	18,303.7	3,431.9	1,144.0

②工期

- ・概算工期

概算工期が出力される。

概算工期算出結果

工法区分		発破掘削工法				
ずり出し方式		タイヤ方式				
		単位	B	C _H	C _M	C _L ～D
諸元	施工延長	m	0.0	1,200.0	225.0	75.0
	掘削月進	m／月	0.0	193.5	120.8	64.2
	二次吹付け	m／月	2,415.0	2,415.0	2,415.0	2,415.0
	コンクリート月進					
工期	準備工	ヶ月	3.0			
	掘削工期	ヶ月	0.0	6.2	1.9	1.2
	二次吹付け	ヶ月	0.0	0.5	0.1	0.0
	コンクリート					
	跡片付け	ヶ月	1.0			
	合計	ヶ月	13.9			

・サイクルタイム表

サイクルタイム表が出力される。

工法区分 ずり出し方式		発破掘削工法 タイヤ方式					
項目	記号	単位	B	C _H	C _M	C _L ～D	備考
掘削断面積(余堀り含まず)	A ₁	m ²	0.0	34.0	34.0	34.3	
掘削断面積(余堀り含む)	A ₂	m ²	0.0	36.3	36.3	36.6	
1発破進行長	B	m	5.0	5.0	2.5	1.0	B～C _L は長孔発破
変化率	L	—	1.85	1.70	1.60	1.50	
m ² 当り穿孔数	C	m ²	3.7	3.4	3.0	1.9	長孔発破、爆薬技術対応
穿孔長	D	m	5.2	5.2	2.6	1.1	
削岩機使用台数	E	台	2	2	2	2	
のみ下がり速度	F	m/min	1.1	1.3	1.4	1.7	コンピュータ制御自動削孔
削岩機1台当り穿孔数	G	孔	0	58	51	33	
タンブトラック積載量	H	m ³	7.8	7.5	7.3	7.2	
ずり積み能力	Q _s	m ³ /h	64.4	64.4	64.4	64.4	
吹付け周長	M ₁	m	0.000	15.379	15.379	15.379	
1サイクル当り吹付け面積	M	m ²	0.0	76.9	38.4	15.4	
吹付け設計厚さ	N ₁	m	0.00	0.04	0.04	0.06	
余吹き厚さ	N ₂	m	0.00	0.00	0.00	0.00	シングルシェル対応
吹付け跳ね返り係数	K	—	1.24	1.24	1.24	1.24	高強度吹付け対応
1サイクル当りロックボルト本数	P ₁	本	0.0	0.0	22.0	16.0	ボルト長1～2m
穿孔時間		min	0	232	95	21	
削岩機移動時間		min	0	58	51	33	
積み込み時間		min	0	169	85	34	
吹付け時間	R	min	0	68	49	41	
支保工建込	S	min	0	0	0	20	
ロックボルト工	T ₁	min	0	0	99	78	
金網工	T ₂	min	0	0	0	20	
サイクルタイム固定分		min	0	115	135	140	
計	Q	min	0	642	514	387	
掘削サイクルタイム		min	0	574	366	228	
一箇月当り進行長		m/月	0.0	193.5	120.8	64.2	

③ 工事費

・ 概算工費

概算工事費内訳書が出力される。

調整池トンネル概算工事費内訳書 発破工法

L = 1,500 m

工 種	単位	数 量	単価 (円)	工 費 (千円)	適 用
①発破掘削工法直接工事費				1,457,149	
トンネル掘削				730,022	
B	m3	0	0	0	
C _H	m3	130,738	4,283	559,936	
C _M	m3	24,513	4,931	120,885	
C _L	m3	8,243	5,969	49,201	
一次吹付けコンクリート				206,231	
B	m2	0		0	
C _H	m2	55,364	2,655	147,012	
C _M	m2	10,381	3,549	36,841	
C _L	m2	3,460	6,467	22,378	
ロックボルト工				40,975	
B	本	0		0	
C _H	本	0		0	
C _M	本	5,940	4,213	25,028	
C _L	本	3,600	4,430	15,947	
鋼製支保工				9,322	
C _L	基	225	41,433	9,322	
金網工				1,866	
C _L	m2	2,333	800	1,866	
ずり処理 (坑外運搬、捨土)				245,241	
B	m3	0	1,500	0	
C _H	m3	130,738	1,500	196,106	
C _M	m3	24,513	1,500	36,770	
C _L	m3	8,243	1,500	12,365	
二次吹付けコンクリート				79,491	
	m2	68,639	1,158	0	
床版コンクリート				144,000	
	m2	28,800	5,000	144,000	
②運転経費				256,127	
仮設備費運転経費	式	1	256,127,000	256,127	
③仮設備費				194,251	
仮設備費	式	1	194,251,000	194,251	
純工事費 (①+②+③)				1,907,527	
④共通仮設費				93,619	6.42 %
⑤現場管理費				487,357	25.55 %
間接工事費 (④+⑤)				580,976	
工事原価 (①+②+③+④+⑤)				2,488,503	
⑥一般管理費				184,811	7.43 %
⑦追加工事費				450,000	
工事価格 (①+②+③+④+⑤+⑥+⑦)				3,123,314	千円
		1m当り工事費		695,000	円/m
		1m ³ 当り工事費		19,200	円/m ³

(結果)

概算工事費：3,123 百万円

概算工期：13.9 ヶ月

と算定された。

(d) 運転パターン選定システム

a) 入力データ

① 発電所条件データ 1～3

(D 発電所データ)

発電所名: [発電所]

流域面積 (km²): [21.31]

月1維持流量 (m³/s): [0.181]

最大使用水量 (m³/s): [7]

常時使用水量 (m³/s): [0.08]

発電可能最小流量 (m³/s): [12.5]

水槽水位 (m): [214.7]

最大使用水量時の排水水位 (m): [222.3]

常時使用水量時の排水水位 (m): [223.3]

最大使用水量時の排水水深 (m): [5.1]

計算プログラム:
☐ kW優先運転
☐ kW優先運転
☐ kW優先運転

計算実行

Q/Qmax (%)	総合効率 (%)
100	92
95	92.2
90.9	92.5
90	94
85	94.2
79.6	93.8
75	93.2
70	92.9
64.3	92.9
60	79.6
55	71.6
50	75
49.9	76.8
45.1	92
45	92.5

(E 発電所データ)

発電所名: [発電所]

流域面積 (km²): [27.37]

月1維持流量 (m³/s): [0]

最大使用水量 (m³/s): [3.4]

常時使用水量 (m³/s): [0.38]

発電可能最小流量 (m³/s): [0.08]

水槽水位 (m): [202.530]

最大使用水量時の排水水位 (m): [211.419]

常時使用水量時の排水水位 (m): [211.419]

最大使用水量時の排水水深 (m): [4.089]

計算プログラム:
☐ kW優先運転
☐ kW優先運転
☐ kW優先運転

計算実行

Q/Qmax (%)	総合効率 (%)
100	88.5
90.9	86.7
90.2	86.9
87	88.5
81.4	86
76.1	84.2
78.4	83.1
66.2	81.7
58.6	80.2
54.3	78.5
54.29	80
51.9	84.7
58	85.5
48.9	88.7
48.9	86

(F 発電所データ)

発電所名: [発電所]

流域面積 (km²): [179.31]

月1維持流量 (m³/s): [0]

最大使用水量 (m³/s): [11.3]

常時使用水量 (m³/s): [0.189]

発電可能最小流量 (m³/s): [0.120]

水槽水位 (m): [202.26]

最大使用水量時の排水水位 (m): [242.5]

常時使用水量時の排水水位 (m): [243.579]

最大使用水量時の排水水深 (m): [0.46]

計算プログラム:
☐ kW優先運転
☐ kW優先運転
☐ kW優先運転

計算実行

Q/Qmax (%)	総合効率 (%)
97.1	85.2
94.8	85.4
90.2	85.6
85.5	85.5
79.8	85.2
75.1	84.8
69.9	84.4
65.3	83.8
60.1	83.1
54.9	82
50.3	80.4
45.1	76.6
39.9	76
29.9	69.5

D 発電所の水槽水位は、調整運転時に変化させるため、中間水位で入力する。

維持流量が期別に設定されているため、発電所流況データを維持流量控除後としたため 0 を入力。

② 発電所流況曲線データ

発電所流況曲線データ

適用 表示 詳細 リセット グリッド

計算プログラム
☒ kWh優先運転①
☒ kWh優先運転②
☒ kWh優先運転③
☐ kWh優先運転④
☐ kWh優先運転⑤
☐ kWh優先運転⑥
☐ kWh優先運転⑦
☐ kWh優先運転⑧
☐ kWh優先運転⑨
☐ kWh優先運転⑩
☐ kWh優先運転⑪
☐ kWh優先運転⑫
☐ kWh優先運転⑬
☐ kWh優先運転⑭
☐ kWh優先運転⑮
☐ kWh優先運転⑯
☐ kWh優先運転⑰
☐ kWh優先運転⑱
☐ kWh優先運転⑲
☐ kWh優先運転⑳
☐ kWh優先運転㉑
☐ kWh優先運転㉒
☐ kWh優先運転㉓
☐ kWh優先運転㉔
☐ kWh優先運転㉕
☐ kWh優先運転㉖
☐ kWh優先運転㉗
☐ kWh優先運転㉘
☐ kWh優先運転㉙
☐ kWh優先運転㉚
☐ kWh優先運転㉛
☐ kWh優先運転㉜
☐ kWh優先運転㉝
☐ kWh優先運転㉞
☐ kWh優先運転㉟
☐ kWh優先運転㊱
☐ kWh優先運転㊲
☐ kWh優先運転㊳
☐ kWh優先運転㊴
☐ kWh優先運転㊵
☐ kWh優先運転㊶
☐ kWh優先運転㊷
☐ kWh優先運転㊸
☐ kWh優先運転㊹
☐ kWh優先運転㊺
☐ kWh優先運転㊻
☐ kWh優先運転㊼
☐ kWh優先運転㊽
☐ kWh優先運転㊾
☐ kWh優先運転㊿
☐ kWh優先運転①
☐ kWh優先運転②
☐ kWh優先運転③
☐ kWh優先運転④
☐ kWh優先運転⑤
☐ kWh優先運転⑥
☐ kWh優先運転⑦
☐ kWh優先運転⑧
☐ kWh優先運転⑨
☐ kWh優先運転⑩
☐ kWh優先運転⑪
☐ kWh優先運転⑫
☐ kWh優先運転⑬
☐ kWh優先運転⑭
☐ kWh優先運転⑮
☐ kWh優先運転⑯
☐ kWh優先運転⑰
☐ kWh優先運転⑱
☐ kWh優先運転⑲
☐ kWh優先運転⑳
☐ kWh優先運転㉑
☐ kWh優先運転㉒
☐ kWh優先運転㉓
☐ kWh優先運転㉔
☐ kWh優先運転㉕
☐ kWh優先運転㉖
☐ kWh優先運転㉗
☐ kWh優先運転㉘
☐ kWh優先運転㉙
☐ kWh優先運転㉚
☐ kWh優先運転㉛
☐ kWh優先運転㉜
☐ kWh優先運転㉝
☐ kWh優先運転㉞
☐ kWh優先運転㉟
☐ kWh優先運転㊱
☐ kWh優先運転㊲
☐ kWh優先運転㊳
☐ kWh優先運転㊴
☐ kWh優先運転㊵
☐ kWh優先運転㊶
☐ kWh優先運転㊷
☐ kWh優先運転㊸
☐ kWh優先運転㊹
☐ kWh優先運転㊺
☐ kWh優先運転㊻
☐ kWh優先運転㊼
☐ kWh優先運転㊽
☐ kWh優先運転㊾
☐ kWh優先運転㊿

計算実行

日付	D発電所	E発電所	F発電所
005	1.000	1.000	1.000
006	1.000	1.000	1.000
007	1.000	1.000	1.000
008	1.000	1.000	1.000
009	1.000	1.000	1.000
010	1.000	1.000	1.000
011	1.000	1.000	1.000
012	1.000	1.000	1.000
013	1.000	1.000	1.000
014	1.000	1.000	1.000
015	1.000	1.000	1.000
016	1.000	1.000	1.000
017	1.000	1.000	1.000
018	1.000	1.000	1.000
019	1.000	1.000	1.000
020	1.000	1.000	1.000
021	1.000	1.000	1.000
022	1.000	1.000	1.000
023	1.000	1.000	1.000
024	1.000	1.000	1.000
025	1.000	1.000	1.000
026	1.000	1.000	1.000
027	1.000	1.000	1.000
028	1.000	1.000	1.000
029	1.000	1.000	1.000
030	1.000	1.000	1.000
031	1.000	1.000	1.000
032	1.000	1.000	1.000
033	1.000	1.000	1.000
034	1.000	1.000	1.000
035	1.000	1.000	1.000
036	1.000	1.000	1.000
037	1.000	1.000	1.000
038	1.000	1.000	1.000
039	1.000	1.000	1.000
040	1.000	1.000	1.000
041	1.000	1.000	1.000
042	1.000	1.000	1.000
043	1.000	1.000	1.000
044	1.000	1.000	1.000
045	1.000	1.000	1.000
046	1.000	1.000	1.000
047	1.000	1.000	1.000
048	1.000	1.000	1.000
049	1.000	1.000	1.000
050	1.000	1.000	1.000
051	1.000	1.000	1.000
052	1.000	1.000	1.000
053	1.000	1.000	1.000
054	1.000	1.000	1.000
055	1.000	1.000	1.000
056	1.000	1.000	1.000
057	1.000	1.000	1.000
058	1.000	1.000	1.000
059	1.000	1.000	1.000
060	1.000	1.000	1.000
061	1.000	1.000	1.000
062	1.000	1.000	1.000
063	1.000	1.000	1.000
064	1.000	1.000	1.000
065	1.000	1.000	1.000
066	1.000	1.000	1.000
067	1.000	1.000	1.000
068	1.000	1.000	1.000
069	1.000	1.000	1.000
070	1.000	1.000	1.000
071	1.000	1.000	1.000
072	1.000	1.000	1.000
073	1.000	1.000	1.000
074	1.000	1.000	1.000
075	1.000	1.000	1.000
076	1.000	1.000	1.000
077	1.000	1.000	1.000
078	1.000	1.000	1.000
079	1.000	1.000	1.000
080	1.000	1.000	1.000
081	1.000	1.000	1.000
082	1.000	1.000	1.000
083	1.000	1.000	1.000
084	1.000	1.000	1.000
085	1.000	1.000	1.000
086	1.000	1.000	1.000
087	1.000	1.000	1.000
088	1.000	1.000	1.000
089	1.000	1.000	1.000
090	1.000	1.000	1.000
091	1.000	1.000	1.000
092	1.000	1.000	1.000
093	1.000	1.000	1.000
094	1.000	1.000	1.000
095	1.000	1.000	1.000
096	1.000	1.000	1.000
097	1.000	1.000	1.000
098	1.000	1.000	1.000
099	1.000	1.000	1.000
100	1.000	1.000	1.000

D、E、F 発電所の 10 ヶ年平均流況データを入力する。

③ 最適化パラメータ条件

最適化パラメータ条件

適用 リセット 計算実行システムデータ読み込み

共通
 調整量の保水範囲(下限) 0 m3
 調整量の保水範囲(上限) 81055.4403683636 m3
 調整量の保水ピッチ 100 m3

kWh優先運転①
 ピーク継続時間: TP 4 h

kWh優先運転②
 貯留時間(hour)の保水範囲(下限) 0 h
 貯留時間(hour)の保水範囲(上限) 11 h
 貯留時間(hour)の保水ピッチ 5E-05 h
 ピーク継続時間: TP 4 h

kWh優先運転③
 貯留時間(hour)の保水ピッチ 0.25 h
 発電時間(hour)の保水ピッチ 0.25 h

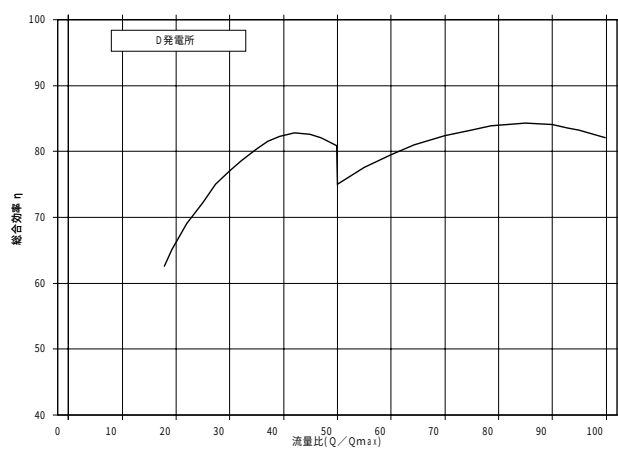
計算プログラム
☒ kWh優先運転①
☒ kWh優先運転②
☒ kWh優先運転③
☐ kWh優先運転④
☐ kWh優先運転⑤
☐ kWh優先運転⑥
☐ kWh優先運転⑦
☐ kWh優先運転⑧
☐ kWh優先運転⑨
☐ kWh優先運転⑩
☐ kWh優先運転⑪
☐ kWh優先運転⑫
☐ kWh優先運転⑬
☐ kWh優先運転⑭
☐ kWh優先運転⑮
☐ kWh優先運転⑯
☐ kWh優先運転⑰
☐ kWh優先運転⑱
☐ kWh優先運転⑲
☐ kWh優先運転⑳
☐ kWh優先運転㉑
☐ kWh優先運転㉒
☐ kWh優先運転㉓
☐ kWh優先運転㉔
☐ kWh優先運転㉕
☐ kWh優先運転㉖
☐ kWh優先運転㉗
☐ kWh優先運転㉘
☐ kWh優先運転㉙
☐ kWh優先運転㉚
☐ kWh優先運転㉛
☐ kWh優先運転㉜
☐ kWh優先運転㉝
☐ kWh優先運転㉞
☐ kWh優先運転㉟
☐ kWh優先運転㊱
☐ kWh優先運転㊲
☐ kWh優先運転㊳
☐ kWh優先運転㊴
☐ kWh優先運転㊵
☐ kWh優先運転㊶
☐ kWh優先運転㊷
☐ kWh優先運転㊸
☐ kWh優先運転㊹
☐ kWh優先運転㊺
☐ kWh優先運転㊻
☐ kWh優先運転㊼
☐ kWh優先運転㊽
☐ kWh優先運転㊾
☐ kWh優先運転㊿

計算実行

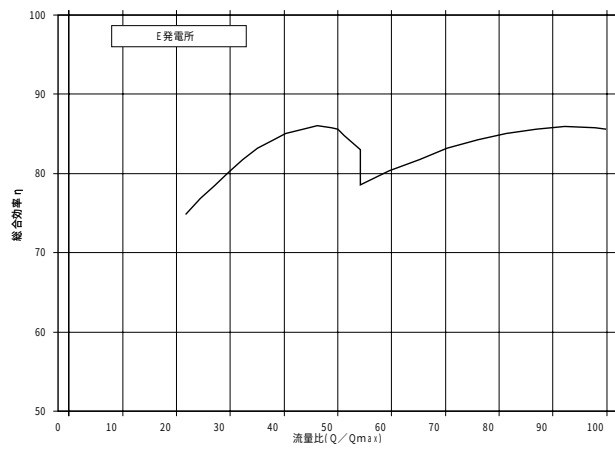
b) 効率曲線

① 効率曲線 1 ～ 3

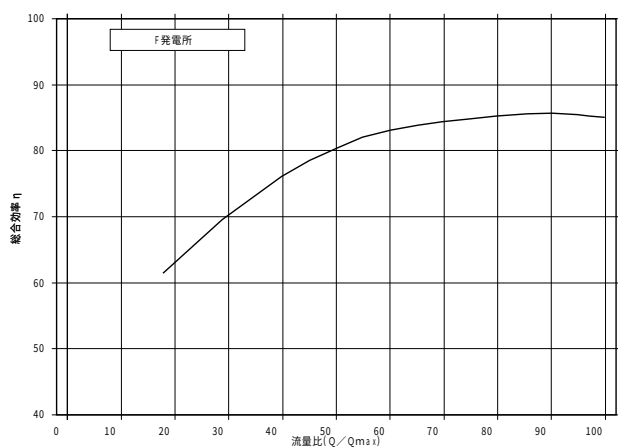
(D 発電所効率データ)



(E 発電所効率データ)



(F 発電所効率データ)



c) 算定結果

① 運用別発電電力量の変化

運用別の発電電力量の算定結果が一覧表で出力される。

調整池運用別年間発電電力量の変化

運用方法	年間発電電力量(MWh)								
	D 発電所			E 発電所			F 発電所		
	電力量	増分	増分 比率	電力量	増分	増分 比率	電力量	増分	増分 比率
自流運転	27,626	—	—	68,794	—	—	37,888	—	—
kW優先運転①	28,820	1,194	4.32	68,965	171	0.25	37,763	-125	-0.33
kW優先運転②	28,677	1,051	3.80	70,162	1,368	1.99	37,941	54	0.14
kWh優先運転	28,698	1,072	3.88	72,122	3,328	4.84	38,332	444	1.17
運用方法	年間発電電力量(MWh)								
							3発電所合計		
	電力量	増分	増分 比率	電力量	増分	増分 比率	電力量	増分	増分 比率
自流運転							134,308	—	—
kW優先運転①							135,548	1,240	0.92
kW優先運転②							136,780	2,472	1.84
kWh優先運転							139,152	4,844	3.61

② ピーク運用時の有効出力の変化

k W 優先運転時の 8 月 L 5 流量時のピーク出力が一覧表で出力される。

ピーク運用時の8月L5出力の変化

ケース	D 発電所		E 発電所		F 発電所		—		—		3発電所合計	
	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)
自流運転時	0,000	—	0,000	—	1,216	—					1,216	—
ピーク運転時間4h	6,017	6,017	11,654	11,654	3,931	2,716					21,602	20,386

(結果)

各運転パターン毎の発電電力量、8 月 L5 出力値は、上記算出結果のとおり。

③ 総発電電力量グラフ (page 資料 2-40 左図参照)

④ 調整容量変化グラフ (page 資料 2-40 右図参照)

⑤ 運転パターン変化グラフ (page 資料 2-41 左図参照)

⑥ 発電所出力変化グラフ (page 資料 2-41 右図参照)

⑦ 発電所運転出力パターングラフ (page 資料 2-42, 43 参照)

上記の③～⑦の出力結果を次頁以降に示した。

概要		検討結果	
		発電電力量曲線	調整容量および発電所使用流量変化
k W 優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で 4 時間の調整運転を行う。		
k W 優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：k W 優先運転①に同じ。		
k W h 優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		k W h 優先運転は、E発電所が高効率となるように設定されている。これは、電水比が最も高いこと、水車が2台設置されていることから効率の変化が著しいことによる。

図-2.2 電力量曲線と調整容量および発電所使用流量変化（D、E、F 発電所）：調整容量 81,055m³

概要		検討結果	
		運転パターンおよび発電所電力量変化	運転パターンおよび発電所出力変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で4時間の調整運転を行う。	D発電所 運転パターン変化グラフ このグラフは、D発電所の運転パターンを示しています。横軸は日数(0-360日)、左縦軸は発電電力量(MWh)(0-720)、右縦軸は運用時間(hour)(0-24)です。黒線は合計電力量、赤線は貯留時電力量、緑線は自流時電力量、青線はピーク時電力量を示します。貯留期間（約90-110日）は、発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する状態です。調整期間（約110-115日）は、可能な限り最大出力で4時間の調整運転を行います。	D発電所 発電所出力変化グラフ このグラフは、D発電所の出力変化を示しています。横軸は日数(0-360日)、左縦軸は発電出力(kW)(0-16800)、右縦軸は運用時間(hour)(0-24)です。赤線は貯留時出力、緑線は自流時出力、青線はピーク時出力を示します。貯留期間（約90-110日）は、発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する状態です。調整期間（約110-115日）は、可能な限り最大出力で4時間の調整運転を行います。
kW優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW優先運転①に同じ。	D発電所 運転パターン変化グラフ このグラフは、D発電所の運転パターンを示しています。横軸は日数(0-360日)、左縦軸は発電電力量(MWh)(0-720)、右縦軸は運用時間(hour)(0-24)です。黒線は合計電力量、赤線は貯留時電力量、緑線は自流時電力量、青線はピーク時電力量を示します。貯留期間（約90-110日）は、発電電力量を大きくする貯留方法を設定する状態です。調整期間（約110-115日）は、kW優先運転①に同じです。	D発電所 発電所出力変化グラフ このグラフは、D発電所の出力変化を示しています。横軸は日数(0-360日)、左縦軸は発電出力(kW)(0-16800)、右縦軸は運用時間(hour)(0-24)です。赤線は貯留時出力、緑線は自流時出力、青線はピーク時出力を示します。貯留期間（約90-110日）は、発電電力量を大きくする貯留方法を設定する状態です。調整期間（約110-115日）は、kW優先運転①に同じです。
kWh優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。	D発電所 運転パターン変化グラフ このグラフは、D発電所の運転パターンを示しています。横軸は日数(0-360日)、左縦軸は発電電力量(MWh)(0-720)、右縦軸は運用時間(hour)(0-24)です。黒線は合計電力量、赤線は貯留時電力量、緑線は自流時電力量、青線はピーク時電力量を示します。最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する状態です。	D発電所 発電所出力変化グラフ このグラフは、D発電所の出力変化を示しています。横軸は日数(0-360日)、左縦軸は発電出力(kW)(0-16800)、右縦軸は運用時間(hour)(0-24)です。赤線は貯留時出力、緑線は自流時出力、青線はピーク時出力を示します。最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する状態です。

図-2.3 運転パターンおよび発電所電力量変化、運転パターンおよび発電所出力変化（D、E、F 発電所）：調整容量 81,055m³

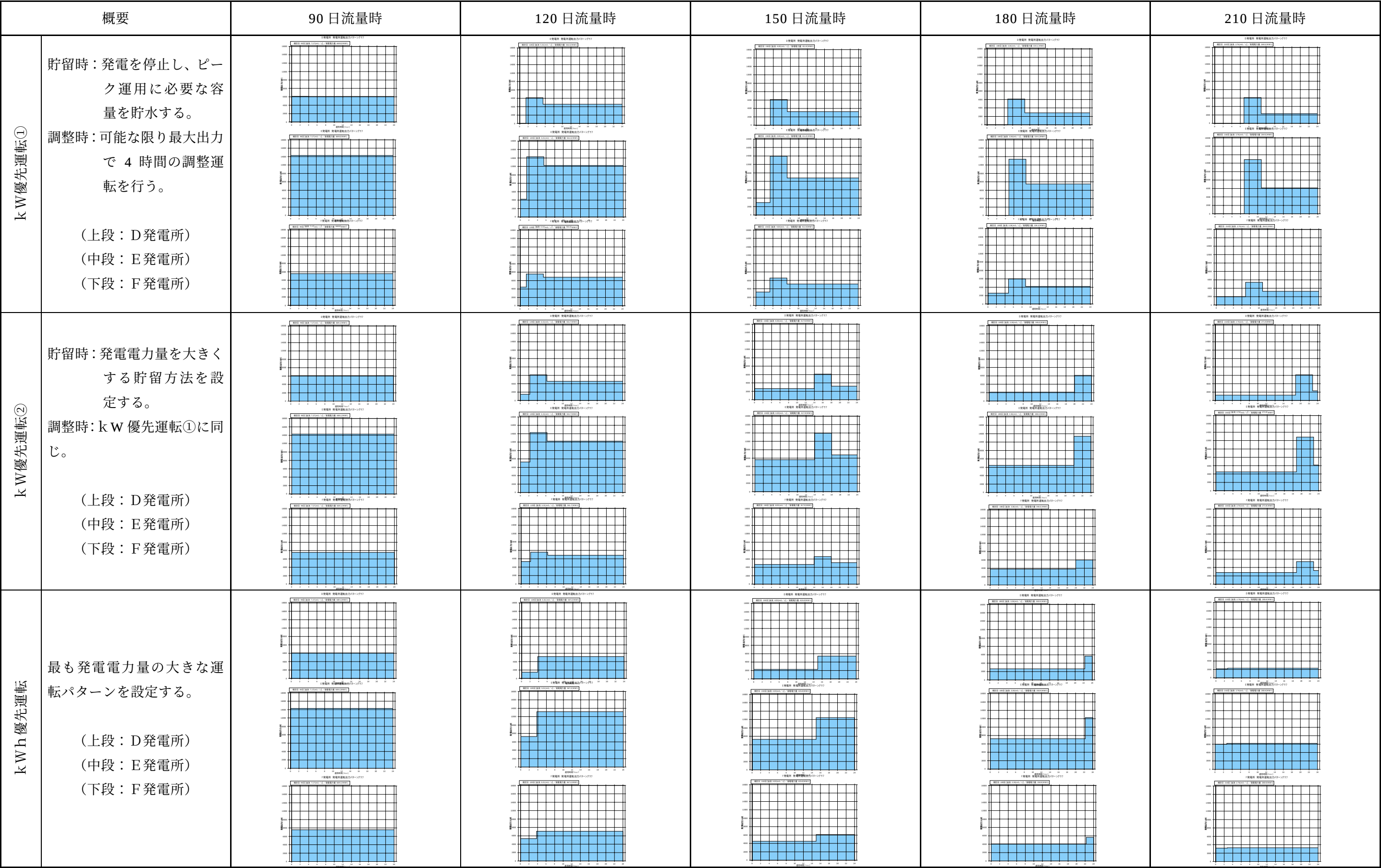


図-2.4 D、E、F発電所流況別運転パターン：調整容量 81,055m³

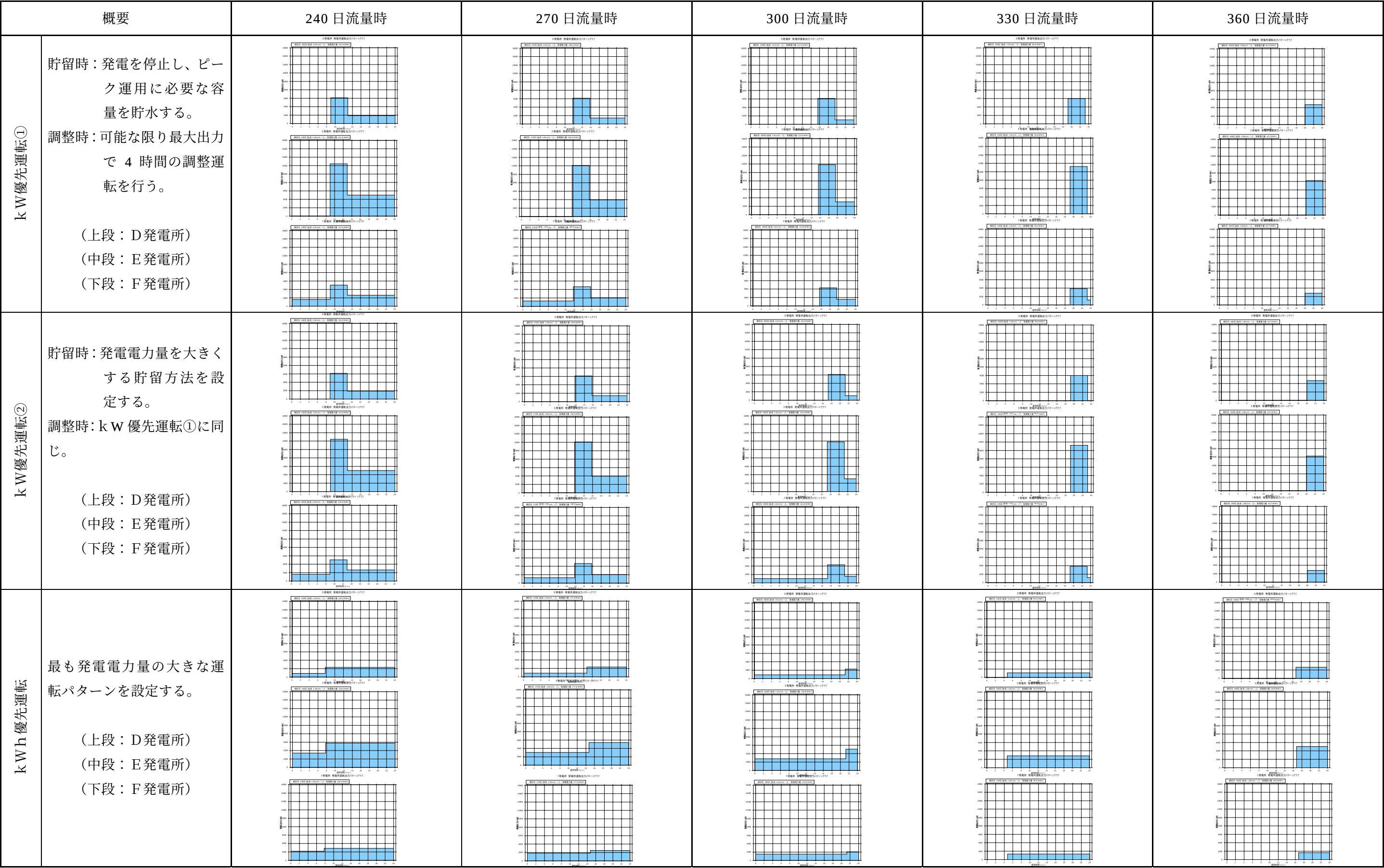


図-2.5 D、E、F 発電所流況別運転パターン：調整容量 81,055m³

(e) 経済性評価システム

a) 経済性設定データ

The screenshot shows a software interface for setting economic data. It includes input fields for location name, annual interest rate, unit costs (kW, kWh, PPS, etc.), peak and off-peak rates, and construction costs. There are also buttons to load and save data. A table at the bottom right shows power generation times for different power plants (D, E, F).

b) 算定結果

① C / V 法評価

C / V 指標による地下調整池経済性評価一覧

地点名	ピーク継続時間 (h)	有効出力増分 (kW)	有効電力量増分 (MWh)	工事費 (百万円)	コスト (百万円)	増出力による 便益(百万円)	増電力量による 便益(百万円)	便益 (百万円)	評価
	T	P	A	M	C=M*D	B1=P*b1	B2=A*b2	V=B1+B2	C/V
D発電所	4.0	19,103	4,631	3,123	331.07	627.79	56.50	684.29	0.48

コスト(C:百万円)=工事費(M:百万円)×年経費率(D:%)

有効出力増分(kW)=8月L5流量時出力増分(kW)×発電所利用率(%)

有効電力量増分(MWh)=発電電力量増分(MWh)×発電所利用率(%)

kW価値(B1:千円)=有効出力増分(P:kW)×kW単価(b1:円/kW)

kWh価値(B2:千円)=有効電力量増分(A:MWh)×kWh単価(b2:円/kWh)

<入力条件>

年経費率 D:10.6(%)

kW価値 b1:32,864(円/kW)

kWh単価 b2:12.20(円/kWh)

発電所利用率:95.50(%)

経済性の評価値は、左記の入力条件に基づくものである。

(結果)

$C / V = 0.48 < 1.0$ より、開発効果が期待できる。

② 発電原価評価

発電原価指標による地下調整池経済性評価一覧

地点名	ピーク継続時間 (h)	年間発電電力量 (MWh)	工事費 (百万円)	発電原価増分 (円/kWh)	PPS取引単価 (円/kWh)	現行取引(売電) 単価(円/kWh)	増収単価 (円/kWh)
	T	A	M	△C	BPPS	BN	△V
D発電所	4.0	139,152	3,123	2.38	12.00	8.00	4.00

発電原価増分(△C:円/kWh)=工事費(M:百万円)×年経費率(D:%)/年間発電電力量(A:MWh)

増収単価(△V:円/kWh)=PPS取引単価(BPPS:円/kWh)-現行取引(売電)単価(BN:円/kWh)

<入力条件>

年経費率D:10.6(%)

PPS取引単価BPPS:12.00(円/kWh)

現行取引(売電)単価BN:8.00(円/kWh)

経済性の評価値は、左記の入力条件に基づくものである。

(結果)

発電原価増分 △C = 2.38 円/kWh

増収単価 △V = 4.00 円/kWh

増収単価 > 発電原価増分より、開発効果が期待できる。

③ 電力量時間帯シフト評価

電力量時間帯シフトによる地下調整池経済性評価一覧

地点名	ピーク継続 時間(h)	工事費 (百万円)	コスト (百万円)	流れ込み 式運転時 電力量 (MWh)	ピーク運転 時間帯発 電電力量 (MWh)	オフピーク運 転時間帯 発電電力量 (MWh)	現行評価 単価(円 /kWh)	ピーク時評 価単価 (円/kWh)	オフピーク時 評価単価 (円/kWh)	時間帯シフ トによる便 益(百万円)	評価
	T	M	△C=M×D	AN	AP	AO	BN	BP	BO	△V	△C/△V
D発電所	4.0	3,123	331.07	134,308	36,231	99,316	8.00	14.00	8.00	227.32	1.46

コスト(△C:千円)=工事費(M:百万円)×年経費率(D:%)

時間帯シフトによる便益(△V:千円)=[ピーク運転時間帯発電電力量(AP:MWh)×ピーク時評価単価(BP:円/kWh)+オフピーク運転時間帯発電電力量(AO:MWh)

×オフピーク時評価単価(BO:円/kWh)]-流れ込み式運転時電力量(AN:MWh)×現行評価単価(BN:円/kWh)

<入力条件>

年経費率D:10.6(%)

現行評価単価BN:8.00(円/kWh)

ピーク時評価単価:14.00(円/kWh)

オフピーク時評価単価:8.00(円/kWh)

経済性の評価値は、左記の入力条件に基づくものである。

(結果)

△C/△V = 1.46 > 1.0 より、開発効果が期待できない。

3. G発電所（導水路調整能力付加案）

(1) 概要

本検討は、第5次包蔵水力調査時に流れ込み式で計画されたG地点の導水路トンネルの変わりに、地下調整池を構築した場合のケーススタディを行ったものである。図-3.1に水系概要図、表-3.1にG発電所の計画諸元表を示した。

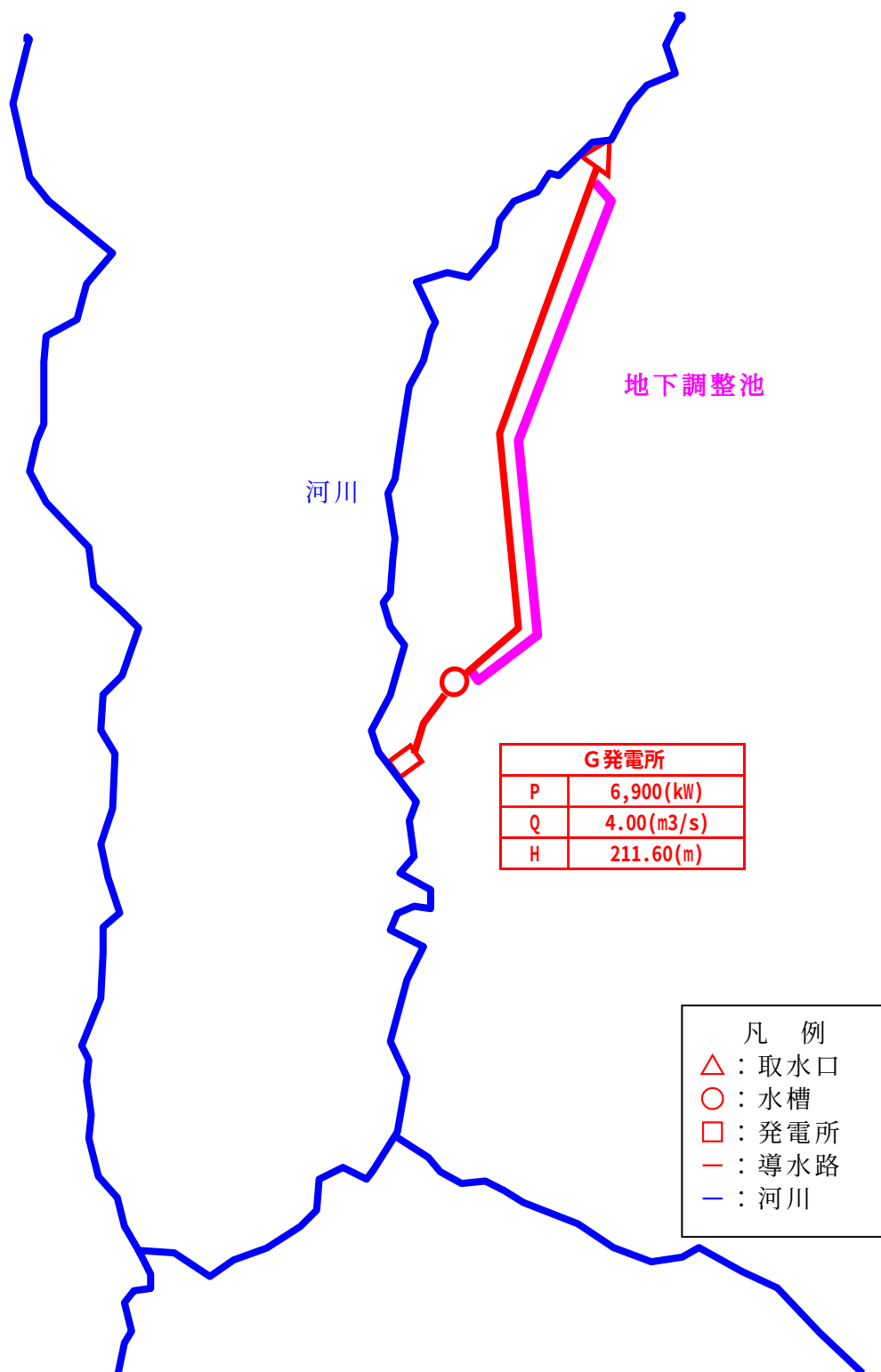


図-3.1 水系概要図

表-3.1 発電所諸元表

発 電 所 名	G 発電所
流 域 面 積 (km^2)	21.8
河 川 維 持 流 量 (m^3/s)	0.07
最大使用水量(m^3/s)	4.00
有 効 落 差 (m)	211.6
最 大 出 力 (kW)	6,900
常 時 出 力 (kW)	470

なお、計算条件は表-3.2 のとおりとした。

表-3.2 計算条件

項 目	条 件
取水地点流量データ	1966～1975 年 (10 ヶ年平均データ)
ピーク継続時間(h)	4.0
地下調整池接続パターン	導水路調整能力付加案
導水路始点敷高(EL.m) (地下調整池接続位置)	522.380
導水路終点敷高(EL.m) (地下調整池接続位置)	518.800
導水路内等流水深(m)	1.45
地下調整池延長(m)	3,580
地下調整池内粗度係数	0.014
岩盤等級比率	C_H : 80%、 C_M : 15%、 C_L : 5%

(2) ケーススタディ 結果

(a) 地下調整池容量設定システム

a) 設定データ

設定データ

適用 リセット

必須入力

①流量データ入力年(西暦で入力) 1975 年 ~ 1975 年

②治水用排水所立地面積(m²): QAS 27.8

③治水用排水所流量データ(m³/s): QYD (y,m,d) (3.44)

④排水所立地面積(m²): CAD 27.8

⑤河川維持流量(m³/s): QSE 0.07

⑥最大使用水量(m³/s): QMAX 4

⑦最小使用水量(m³/s): QMIN 0

⑧ピーク継続時間(h): TP 4

任意入力

①調整池容量設定流量(m³/s): QNE 0.78

②調整池容量(m³): VRNE (またはブランクで自動計算します)

8月L5流量が不明であるため、
275日流量(低水量)で設定

b) 流量データ

流量データ

適用 リセット クリア

日付	流量
1975年	
1/1	0.44
1/2	0.448
1/3	0.452
1/4	0.456
1/5	0.464
1/6	0.47
1/7	0.475
1/8	0.482
1/9	0.488
1/10	0.494
1/11	0.5
1/12	0.507
1/13	0.512
1/14	0.52
1/15	0.527
1/16	0.533
1/17	0.54
1/18	0.547
1/19	0.553
1/20	0.56
1/21	0.567
1/22	0.575
1/23	0.58
1/24	0.587
1/25	0.593
1/26	0.6
1/27	0.608
1/28	0.61
1/29	0.618
1/30	0.62
1/31	0.625
2/1	0.63
2/2	0.635
2/3	0.64
2/4	0.645
2/5	0.65
2/6	0.655
2/7	0.66
2/8	0.665

10ヶ年平均データを入力。

c) 算定結果

①取水地点流量

取水地点流量	10年
1/1	0.37
1/2	0.38
1/3	0.38
1/4	0.38
1/5	0.39
1/6	0.40
1/7	0.41
1/8	0.41
1/9	0.42
1/10	0.42
1/11	0.43
1/12	0.44
1/13	0.44
1/14	0.45
1/15	0.46
1/16	0.46
1/17	0.47
1/18	0.48
1/19	0.48
1/20	0.49
1/21	0.50
1/22	0.50
1/23	0.51
1/24	0.52
1/25	0.52
1/26	0.53
1/27	0.54
1/28	0.54
1/29	0.55
1/30	0.55
1/31	0.56
2/1	0.56
2/2	0.57
2/3	0.57
2/4	0.58
2/5	0.58
2/6	0.59
2/7	0.59
2/8	0.60
2/9	0.60
2/10	0.61

河川維持流量を
控除する。

②平均流況

平均流況	10年	平均流況
365日流量	0.37	0.37
364日流量	0.38	0.38
363日流量	0.38	0.38
362日流量	0.39	0.39
361日流量	0.39	0.39
360日流量	0.40	0.40
359日流量	0.41	0.41
358日流量	0.41	0.41
357日流量	0.42	0.42
356日流量	0.42	0.42
355日流量	0.43	0.43
354日流量	0.44	0.44
353日流量	0.44	0.44
352日流量	0.45	0.45
351日流量	0.46	0.46
350日流量	0.46	0.46
349日流量	0.47	0.47
348日流量	0.47	0.47
347日流量	0.48	0.48
346日流量	0.48	0.48
345日流量	0.49	0.49
344日流量	0.49	0.49
343日流量	0.50	0.50
342日流量	0.50	0.50
341日流量	0.51	0.51
340日流量	0.51	0.51
339日流量	0.52	0.52
338日流量	0.52	0.52
337日流量	0.53	0.53
336日流量	0.54	0.54
335日流量	0.54	0.54
334日流量	0.55	0.55
333日流量	0.55	0.55
332日流量	0.56	0.56
331日流量	0.56	0.56
330日流量	0.57	0.57
329日流量	0.57	0.57
328日流量	0.58	0.58
327日流量	0.58	0.58
326日流量	0.59	0.59
325日流量	0.59	0.59
324日流量	0.60	0.60
323日流量	0.60	0.60
322日流量	0.61	0.61
321日流量	0.61	0.61
320日流量	0.62	0.62

365（366）～1
日流量に並び替
え。10ヶ年平均
流況の算出

③ 流況表

各年並びに平均流況が出力される。

流況表
G発電所

(CA=21.8km²)

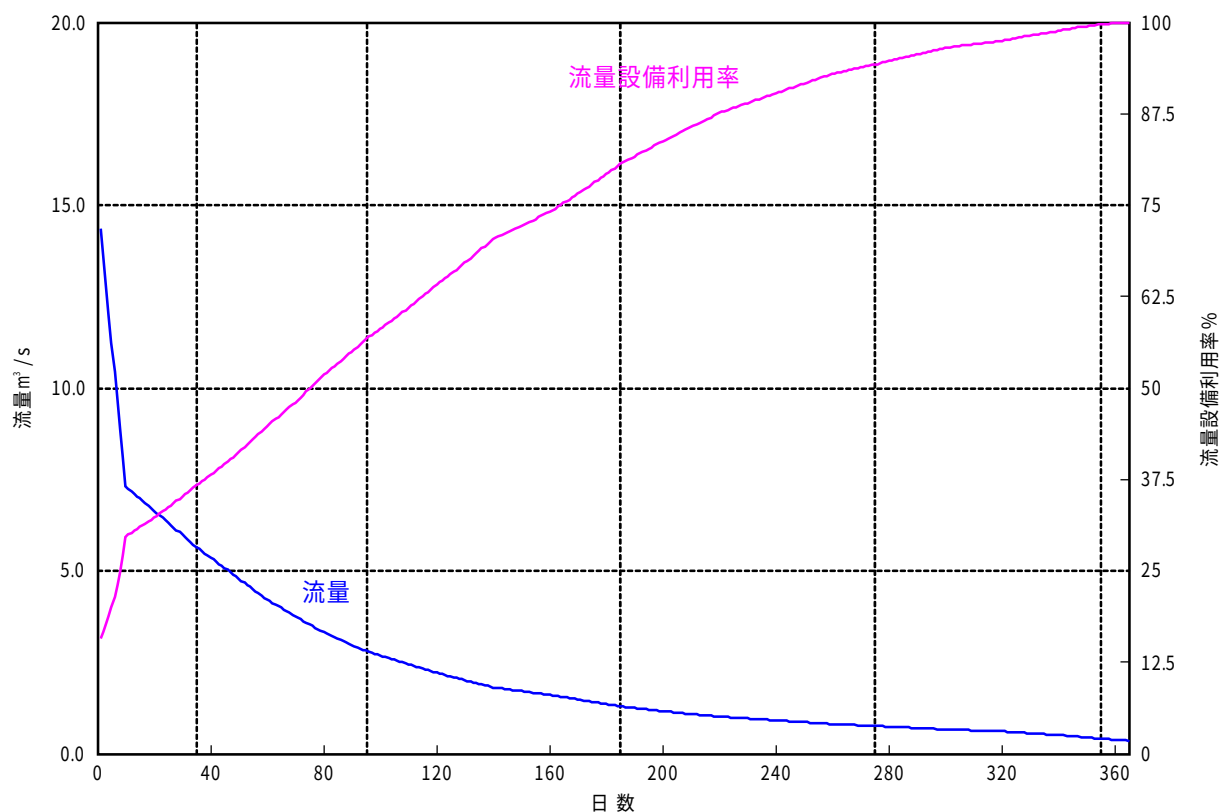
単位:m³/s

年	最大 流量	35日 流量	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渴水量 (355日)	最小 流量	年平均 流量
1975	14.36	5.67	2.83	1.31	0.78	0.43	0.37	2.28
平均	14.36	5.67	2.83	1.31	0.78	0.43	0.37	2.28

④ 流況図

平均流況図が出力される。

G発電所 1ヶ年平均流況図 (1975～1975年)



⑤ 調整池容量

8月L5流量（ここでは、275日流量）並びに調整池容量（V1、V2のいずれか小さい方）が出力される。

8月L5流量

8月L5流量:QL5= m³

調整池容量:VR= m³

V1 [(QMAX-QL5)×TP×3600]= m³

V2 [(QL5-QMIN)×(24-TP)×3600]= m³

(結果)

調整池容量 VR=46,368m³

275 流量 QL5=0.78m³/s

と算定された。

(b) 地下調整池構造設定システム

a) 構造入力データ

構造入力データ

適用 リセット 容量設定システムデータ読み込み

調整池構造パターン

☐ 雨水貯留中継提案
☐ 水櫃提案
☒ 雨水調整能力付加案

土木構造物諸元

①雨水貯留点敷高(m): DSEP 518.8

②調整池地点位置での雨水貯留高(m): 522.38

③雨水貯留内水深(m): 1.45

④水櫃H/WL(m): 519.2

地下調整池延長(m): LTYO 3080

地下調整池粗度係数: TYO5000 0.014

ピーク継続時間(h): TP 4

最大使用水量(m³/s): QMAX 4

8月1日流量(m³/s): Q15 1.78

b) 算定結果 1

① 断面データ 1

トンネル構造算出結果 1

項目		小断面 CASE 1-1	小断面 CASE 1-2	小断面 CASE 1-3	小断面 CASE 1-4
トンネル幅	B(m)	3.8	3.6	3.6	3.6
トンネル勾配	I	1/2000	1/3000	1/4000	1/5000
		0.000500	0.000333	0.000250	0.000200
トンネル延長	L(m)	3,580	3,580	3,580	3,580
河川流入量	Qin(m ³ /s)	0.780	0.780	0.780	0.780
ピーク時供給量	Qout(m ³ /s)	4.000	4.000	4.000	4.000
上流水深	H1(m)	3.240	3.837	4.135	4.314
初期容量	V(m ³)	56,253	57,137	59,059	60,213
粗度係数	n	0.014	0.014	0.014	0.014
等流水深	Ho(i)(m)	0.310	0.367	0.403	0.433
	Ho(o)(m)	0.911	1.099	1.218	1.319
貯水容量	Vi(m ³)	4,220	4,728	5,188	5,578
	Vo(m ³)	12,389	14,166	15,692	17,003
T①	(sec)	16,159	16,276	16,730	16,967
T②	(sec)	13,622	13,345	13,468	13,419
③ To'	(hr)	4.136	4.114	4.194	4.220
許容トンネル高	(m)	3.400	3.400	3.400	3.400
上流トンネル高	(m)	3.400	4.000	4.200	4.400
上流トンネル高(m)の変更		3.400	4.000	4.200	4.400
下流トンネル高		5.000	5.000	5.000	5.000
下流トンネル高(m)の変更		5.000	5.000	5.000	5.000
トンネル容量 (m ³)	上流平均断面積	11.37	13.01	13.73	14.45
	下流平均断面積	17.45	16.61	16.61	16.61
	延長	3,580.00	3,580.00	3,580.00	3,580.00
	箇所	1	1	1	1
	容量	51,589.86	53,017.58	54,306.38	55,595.18

ピーク継続時間を満足する地下調整池断面諸元の算出（地下調整池勾配 1/2000～1/5000）

このうち、工事費算定システムから CASE1-1 が最も経済的な諸元となった。

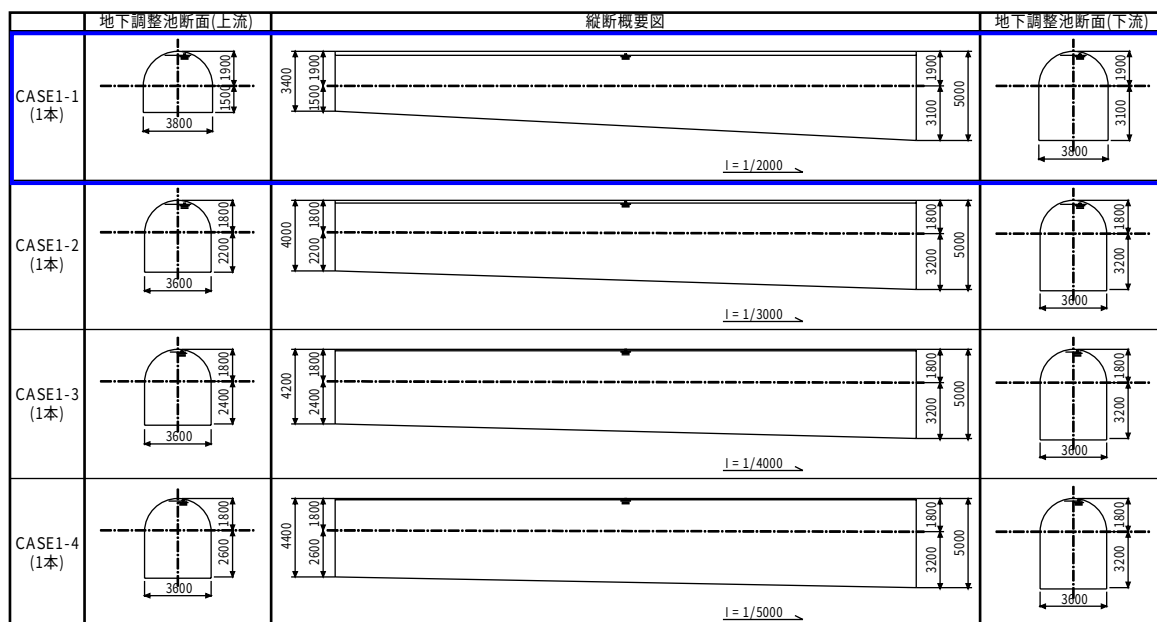
② 模式図 1

調整池上流敷高 EL.520.590m

(下流敷高 EL.518.800m + 3,580 / 2,000)

調整池下流敷高 EL.518.800m

地下調整池 断面図 1



ピーク継続時間を満足する地下調整池断面模式図の算出（地下調整池勾配 1/2000～1/5000）

このうち、工事費算定システムから CASE1-1 が最も経済的な諸元となった。

（結果）

地下調整池形状は、CASE1-1
の断面諸元に決定された。

(c) 工事費算定システム

a) 入力データ

① 断面地質データ

断面-地質データ

適用 リセット 構造設定システムデータ読み込み 追加工事費

断面形状

施工方法: ☒ 発破掘削 ☐ TBM(真円) ☐ TBM(楕円)

断面寸法: 内空幅(m): 基準高さ(m):

*基準高さは、上流、下流の平均高さとする。

トンネル延長(m): 縦断勾配(%): トンネル本数:

地質データ

	比率(%)	長さ(m)
岩盤等級B:	0	0.0
岩盤等級C:	30	2640
岩盤等級C~:	15	537.0
岩盤等級C~D:	5	179.0

追加工事費

①調整池流量制御に必要な費用(千円)

②調整池トンネル工事費仮設費用等(千円)

③地下調整池工事費以外の
発電所全付工事費(千円)

合計 千円

OK キャンセル

ゲート費用を計上。

b) 算定結果

① 数量表

・ 単位数量

岩盤等級毎の単位数量が出力される。

工事区分	発破掘削工法
岩盤等級	岩盤等級 C。

断面概要図(断面諸元)

	単位数量	施工延長	数量合計
掘削断面積(余留含まず)	16.058 m ² /m	2864.0 m	45,990.5 m ³
掘削断面積(余留含む)	17.777 m ² /m	2864.0 m	50,912.0 m ³
一次吹付けコンクリート面積	11.095 m ² /m	2864.0 m	31,775.2 m ²
金網面積	—	—	—
鋼製支保工	—	—	—
ロックボルト本数	—	—	—
二次吹付けコンクリート面積	10.969 m ² /m	2864.0 m	31,415.3 m ³

工事区分	発破掘削工法
岩盤等級	岩盤等級 C _u

断面概要図(断面諸元)

断面概要図(断面諸元)

ロックボルト
L=1500

二次吹付けコンクリート
t=40mm

一次吹付けコンクリート
t=40mm

R=1000

2300

3800

内室幅

床版コンクリート
t=200mm

	単位数量	施工延長	数量合計
掘削断面積(余留含まず)	16.058 m ² /m	537.0 m	8,623.2 m ³
掘削断面積(余留含む)	17.777 m ² /m	537.0 m	9,546.0 m ³
一次吹付けコンクリート面積	11.095 m ² /m	537.0 m	5,957.8 m ³
金網面積	—	—	—
鋼製支保工	—	—	—
ロックボルト本数	1,333 本/m	537.0 m	716.0 本
二次吹付けコンクリート面積	10.969 m ² /m	537.0 m	5,890.4 m ³

工事区分	発破掘削工法
岩盤等級	岩盤等級 C ~ D

断面概要図(断面諸元)

3800
内空幅

2300

R=1000

C

二次吹付けコンクリート
t=40mm

一次吹付けコンクリート
t=60mm

床板コンクリート
t=200mm

ロックボルト
L=1500

	単位数量	施工延長	数量合計
掘削断面積(余留含まず)	16.283 m ² /m	179.0 m	2,914.7 m ³
掘削断面積(余留含む)	18.011 m ² /m	179.0 m	3,224.0 m ³
一次吹付けコンクリート面積	11.095 m ² /m	179.0 m	1,985.9 m ³
金網面積	6.283 m ² /m	179.0 m	1,124.7 m ³
鋼製支保工	1,000 基/m	179.0 m	179.0 基
ロックボルト本数	4,000 本/m	179.0 m	716.0 本
二次吹付けコンクリート面積	10.969 m ² /m	179.0 m	1,963.5 m ³

- ・全体数量

全体の数量表が出力される。

全体数量計算結果

工法区分		発破掘削工法				
		単位	B	C _H	C _M	C _L ～D
断面諸元	施工延長	m	0.0	2,864.0	537.0	179.0
	1サイクル掘削長	m	0.0	5.0	2.5	1.0
	一次吹付けコンクリート 厚さ	cm	0	4	4	6
	金網	—	—	—	—	(設置する)
	鋼製支保工	部材	—	—	—	H-100
		間隔	m	—	—	1.0
	ロックボルト	長さ	m	—	1.5	1.5
単位数量	二次吹付けコンクリート 厚さ	cm	0	4	4	4
	掘削 (余堀含まず)	m ³ /m	0.000	16.058	16.058	16.283
	掘削 (余堀含む)	m ³ /m	0.000	17.777	17.777	18.011
	一次吹付けコンクリート	m ² /m	0.000	11.095	11.095	11.095
	金網	m/m	0.000	0.000	0.000	6.283
	鋼製支保工	基/m	0.000	0.000	0.000	1.000
	ロックボルト	本/m	0.000	0.000	1.333	4.000
全体数量	二次吹付けコンクリート	m ² /m	0.000	10.969	10.969	10.969
	掘削 (余堀含まず)	m ³	0.0	45,990.5	8,623.2	2,914.7
	掘削 (余堀含む)	m ³	0.0	50,912.0	9,546.0	3,224.0
	一次吹付けコンクリート	m ²	0.0	31,775.2	5,957.8	1,985.9
	金網	m ²	0.0	0.0	0.0	1,124.7
	鋼製支保工	基	0.0	0.0	0.0	179.0
	ロックボルト	本	0.0	0.0	716.0	716.0
全体数量	二次吹付けコンクリート	m ²	0.0	31,415.3	5,890.4	1,963.5

②工期

- ・概算工期

概算工期が出力される。

概算工期算出結果

工法区分		発破掘削工法				
ずり出し方式		レール方式				
		単位	B	C _H	C _M	C _L ～D
諸元	施工延長	m	0.0	2,864.0	537.0	179.0
	掘削月進	m/月	0.0	241.2	156.8	74.4
	二次吹付けコンクリート月進	m/月	3,220.0	3,220.0	3,220.0	3,220.0
工期	準備工	ヶ月	3.0			
	掘削工期	ヶ月	0.0	11.9	3.4	2.4
	二次吹付けコンクリート	ヶ月	0.0	0.9	0.2	0.1
	跡片付け	ヶ月	1.0			
	合計	ヶ月	22.9			

・サイクルタイム表

サイクルタイム表が出力される。

工法区分 ずり出し方式		発破掘削工法 レール方式						
項目		記号	単位	B	C _H	C _M	C _L ～D	備考
掘削断面積(余堀り含まず)		A ₁	m ²	0.0	16.1	16.1	16.3	
掘削断面積(余堀り含む)		A ₂	m ²	0.0	17.8	17.8	18.0	
1発破進行長		B	m	5.0	5.0	2.5	1.0	B～C _L は長孔発破
変化率		L	—	1.85	1.70	1.60	1.50	
m ² 当り穿孔数		C	m ²	3.7	3.4	3.0	1.9	長孔発破、爆薬技術対応
穿孔長		D	m	5.2	5.2	2.6	1.1	
削岩機使用台数		E	台	2	2	2	2	
のみ下がり速度		F	m/min	1.1	1.3	1.4	1.7	コンピュータ制御自動削孔
削岩機1台当り穿孔数		G	孔	0	27	24	15	
シャトルカー積載量		H	m ³	28.0	28.0	28.0	28.0	
1発破当りシャトルカー台数		I	台	0	5	3	1	
ずり積み能力		Q _s	m ³ /h	34.0	34.0	34.0	34.0	
吹付け周長		M ₁	m	0.000	11.095	11.095	11.095	
1サイクル当り吹付け面積		M	m ²	0.0	55.5	27.7	11.1	
吹付け設計厚さ		N ₁	m	0.00	0.04	0.04	0.06	
余吹き厚さ		N ₂	m	0.00	0.00	0.00	0.00	シングルシェル対応
吹付け跳ね返り係数		K	—	1.24	1.24	1.24	1.24	高強度吹付け対応
1サイクル当りロックボルト本数		P ₁	本	0.0	0.0	3.3	4.0	ボルト長1～2m
穿孔時間			min	0	108	45	10	
削岩機移動時間			min	0	27	24	15	
積み込み時間			min	0	157	78	32	
列車入れ替え時間			min	0	20	10	0	
吹付け時間	R	min	0	58	44	38		
支保工建込	S	min	0	0	0	20		
ロックボルト工	T ₁	min	0	0	40	44		
金網工	T ₂	min	0	0	0	20		
レール設置時間	U	min	0	30	20	15		
サイクルタイム固定分			min	0	115	135	140	
計	Q	min	0	515	396	334		
掘削サイクルタイム			min	0	457	312	212	
一箇月当り進行長			m/月	0.0	241.2	156.8	74.4	

③ 工事費

・ 概算工費

概算工事費内訳書が出力される。

調整池トンネル概算工事費内訳書 発破工法

L = 3,580 m

工 種	単位	数 量	単価 (円)	工 費 (千円)	適 用
①発破掘削工法直接工事費				720,062	
トンネル掘削				354,846	
B	m3	0	0	0	
C _H	m3	50,913	5,184	263,919	
C _M	m3	9,546	6,451	61,584	
C _L	m3	3,224	9,101	29,342	
一次吹付けコンクリート				126,776	
B	m2	0	0	0	
C _H	m2	31,776	2,819	89,564	
C _M	m2	5,958	3,781	22,526	
C _L	m2	1,986	7,395	14,686	
ロックボルト工				11,379	
B	本	0	0	0	
C _H	本	0	0	0	
C _M	本	709	8,318	5,896	
C _L	本	716	7,657	5,482	
鋼製支保工				5,330	
C _L	基	179	29,778	5,330	
金網工				900	
C _L	m2	1,125	800	900	
ずり処理 (坑外運搬、捨土)				95,525	
B	m3	0	1,500	0	
C _H	m3	50,913	1,500	76,370	
C _M	m3	9,546	1,500	14,319	
C _L	m3	3,224	1,500	4,836	
二次吹付けコンクリート				57,286	
B	m2	0	1,459	0	
C _H	m2	31,415	1,459	45,829	
C _M	m2	5,890	1,459	8,593	
C _L	m2	1,963	1,459	2,864	
床版コンクリート				68,020	
	m2	13,604	5,000	68,020	
②運転経費				137,112	
仮設備費運転経費	式	1	137,112,000	137,112	
③仮設備費				271,713	
仮設備費	式	1	271,713,000	271,713	
純工事費 (①+②+③)				1,128,887	
④共通仮設費				57,899	8.04 %
⑤現場管理費				299,633	26.54 %
間接工事費 (④+⑤)				357,532	
工事原価 (①+②+③+④+⑤)				1,486,419	
⑥一般管理費				118,961	8.00 %
⑦追加工事費				50,000	
工事価格 (①+②+③+④+⑤+⑥+⑦)				1,655,380	千円
		1m当り工事費		463,000	円/m
		1m ³ 当り工事費		26,000	円/m ³

(結果)

概算工事費：1,655 百万円

概算工期：22.9 ヶ月

と算定された。

(d) 運転パターン選定システム

a) 入力データ

① 発電所条件データ 1

(G 発電所データ)

発電所データ1

適用 リセット 発電所追加 発電所削除

発電所名: G発電所

流域面積(km²): 21.8

河川維持流量(m³/s): 0.07

最大使用水量(m³/s): 4

常時使用水量(m³/s): 0.43

発電可能最小流量(m³/s): 0.24

水槽水位(m): 519.2

最大使用水量時の放水位(m): 304

常時使用水量時の放水位(m): 304

最大使用水量時の損失水頭(m): 4.6

Q/Qmax(%)	総合効率(%)
100	83.4
95	83.5
90	83.5
85	83.5
80	83.4
74	83.1
66	82.5
60	81.9
55	81.3
50	80.1
45	79.8
40	79.4
35	79.1
30	78.6
24	73.6

計算プログラム

☒ kW優先運転①

☒ kW優先運転②

☒ kWh優先運転

計算実行

② 発電所流況曲線データ

流況データ読み込み

地点名: G発電所

システム名: 地下調整池容量設定システム

流況曲線データ =

測水所平均流況 × 面積比

測水所平均流況: 容量設定システムより取得

面積比: 測水所に対する流域面積比

	発電所	面積比
	G発電所	1
▶*		

OK キャンセル

容量設定データから読み込み。

③最適化パラメータ条件

最適化パラメータ条件

適用 リセット 容量設定システムデータ読み込み

共通

調整容量の探索範囲(下限) 0 m3

調整容量の探索範囲(上限) 48368 m3

調整容量の探索ピッチ 100 m3

kWh優先運転①

ピーク継続時間: TP 4 h

kWh優先運転②

貯留時間(hour)の探索範囲(下限) 0 h

貯留時間(hour)の探索範囲(上限) 50 h

貯留時間(hour)の探索ピッチ 5E-05 h

ピーク継続時間: TP 4 h

kWh優先運転③

貯留時間(hour)の探索ピッチ 0.25 h

発電時間(hour)の探索ピッチ 0.25 h

計算プログラム

☒ kWh優先運転①

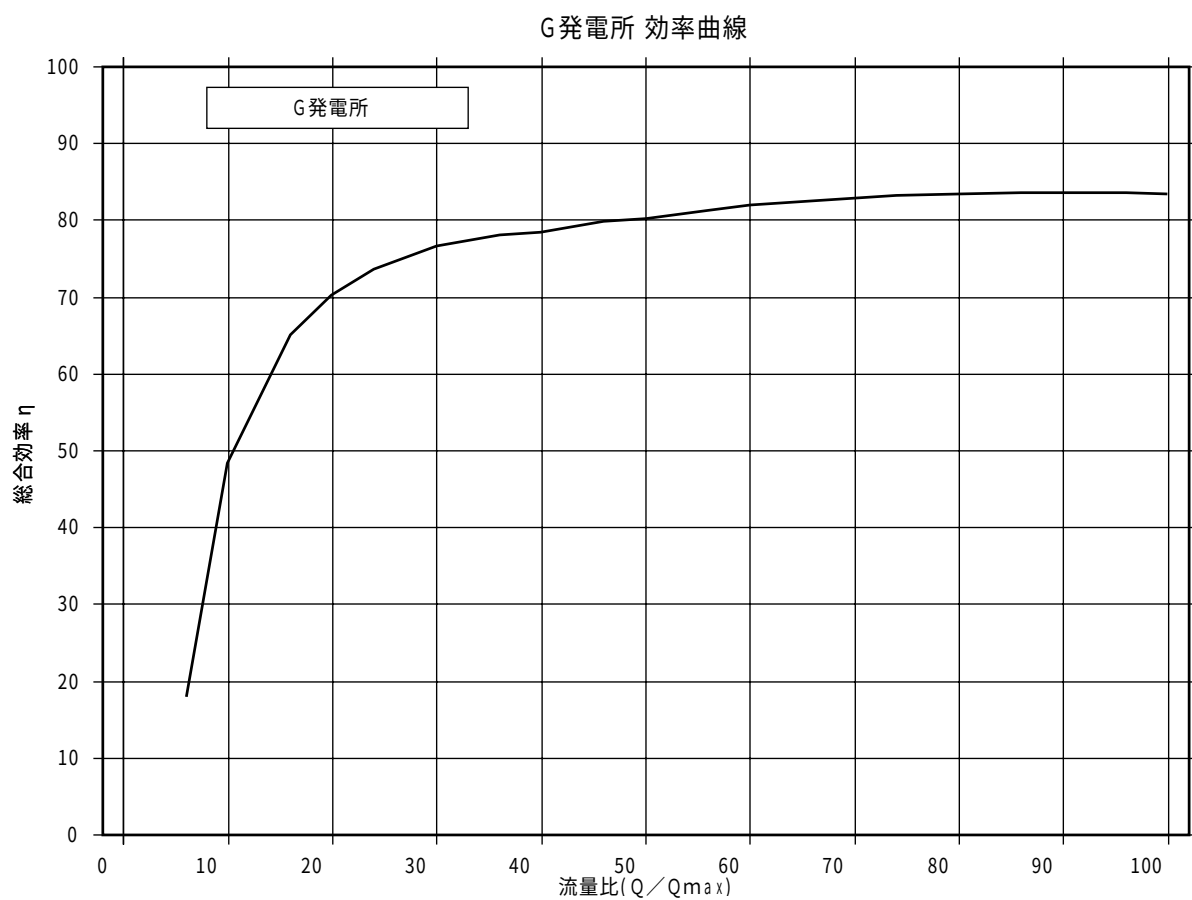
☒ kWh優先運転②

☒ kWh優先運転③

計算実行

b) 効率曲線

① 効率曲線 1



c) 算定結果

① 運用別発電電力量の変化

運用別の発電電力量の算定結果が一覧表で出力される。

調整池運用別年間発電電力量の変化

運用方法	年間発電電力量(MWh)								
	G 発電所								
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	26,259	—	—						
kW優先運転①	27,851	1,592	6.06						
kW優先運転②	27,852	1,593	6.07						
kWh優先運転	28,046	1,787	6.81						
運用方法	年間発電電力量(MWh)								
							1発電所合計		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転							26,259	—	—
kW優先運転①							27,851	1,592	6.06
kW優先運転②							27,852	1,593	6.07
kWh優先運転							28,046	1,787	6.81

② ピーク運用時の有効出力の変化

k W 優先運転時の 8 月 L 5 流量時のピーク出力が一覧表で出力される。ここでは、275 日流量（低水量）相当時のピーク出力を表示している。

ピーク運用時の8月L5出力の変化

ケース	G 発電所		—		—		—		—		1 発電所合計	
	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)
自流運転時	1,010	—									1,010	—
ピーク運転時間4h	6,776	5,766									6,776	5,766

(結果)

各運転パターン毎の発電電力量、8 月 L5 出力値は、上記算出結果のとおり。

③ 総発電電力量グラフ

④ 調整容量変化グラフ

⑤ 運転パターン変化グラフ

⑥ 発電所出力変化グラフ

⑦ 発電所運転出力パターングラフ

上記の③～⑦の出力結果については、ここでは省略する。

(e) 経済性評価システム

a) 経済性設定データ

ここでは、下表の全体工事費の差分を入力した。

NEF積算基準による概算工事費

(百万円)

項目	発電型式 最大使用水量	流れ込み式 4.0	調整池式 4.0	備考
(1)土地補償費		244	250	[(2)+(3)+(4)+(5)) × 5%
(2)建物関係		106	106	
(3)土木関係		3,156	3,266	①+②
①水路		2,939	3,045	Σ a~j
a.取水ダム		202	202	
b.取水口		29	29	
c.沈砂池		146	146	
d.導水路		1,554		在来工法
e.地下調整池			1,655	新技術導入
e.水槽		60	60	
f.余水路		163	163	
g.水圧管路		563	563	
h.放水路		57	57	
i.放水口		25	25	
j.雑工事		140	145	Σ a~i × 5%
②機械装置		217	221	k+l
k.基礎		125	125	
l.諸装置		92	95	((1)+k) × 3%
(4)電気関係		1,179	1,179	
(5)仮設備費		444	455	[(2)+(3)+(4)] × 10% + α
(6)総係費		830	851	[(2)+(3)+(4)+(5)) × 17%
(7)小計		5,959	6,106	Σ (1)~(6)
(8)建設中利子		465	476	工期3年 利子6.5%
(9)分担関連費		60	61	(7) × 1%
(10)計	発電所本体	6,484	6,643	(7)+(8)+(9)

*:両者とも現在の積算基準で再計算している。

b) 算定結果

① C / V 法評価

C / V 指標による地下調整池経済性評価一覧

地点名	ピーク継続時間 (h)	有効出力 増分(kW)	有効電力量 増分(MWh)	工事費 (百万円)	コスト (百万円)	増出力による 便益(百万円)	増電力量による 便益(百万円)	便益 (百万円)	評価
	T	P	A	M	$C=M \times D$	$B1=P \times b1$	$B2=A \times b2$	$V=B1+B2$	C/V
G発電所	4.0	5,512	1,709	159	16.85	181.16	20.85	202.00	0.08

コスト(C:百万円)=工事費(M:百万円)×年経費率(D:%)

有効出力増分(kW)=8月L5流量時出力増分(kW)×発電所利用率(%)

有効電力量増分(MWh)=発電電力量増分(MWh)×発電所利用率(%)

kW価値(B1:千円)=有効出力増分(P:kW)×kW単価(b1:円/kW)

kWh価値(B2:千円)=有効電力量増分(A:MWh)×kWh単価(b2:円/kWh)

<入力条件>

年経費率 D:10.6(%)

kW価値 b1:32,864(円/kW)

kWh単価 b2:12.20(円/kWh)

発電所利用率:95.50(%)

経済性の評価値は、左記の入力条件に基づくものである。

(結果)

$C/V = 0.08 < 1.0$ より、開発効果が期待できる。

② 発電原価評価

発電原価指標による地下調整池経済性評価一覧

地点名	ピーク継続時間 (h)	年間発電電力量 (MWh)	工事費 (百万円)	発電原価増分 (円/kWh)	PPS取引単価 (円/kWh)	現行取引(売電) 単価(円/kWh)	増収単価 (円/kWh)
	T	A	M	ΔC	BPPS	BN	ΔV
G発電所	4.0	28,046	159	0.60	12.00	8.00	4.00

発電原価増分(ΔC :円/kWh)=工事費(M:百万円)×年経費率(D:%)/年間発電電力量(A:MWh)

増収単価(ΔV :円/kWh)=PPS取引単価(BPPS:円/kWh)-現行取引(売電)単価(BN:円/kWh)

<入力条件>

年経費率 D:10.6(%)

PPS取引単価 BPPS:12.00(円/kWh)

現行取引(売電)単価 BN:8.00(円/kWh)

経済性の評価値は、左記の入力条件に基づくものである。

(結果)

発電原価増分 $\Delta C = 0.60$ 円/kWh

増収単価 $\Delta V = 4.00$ 円/kWh

増収単価 $>$ 発電原価増分より、開発効果が期待できる。

③電力量時間帯シフト評価

電力量時間帯シフトによる地下調整池経済性評価一覧

地点名	ピーク継続 時間(h)	工事費 (百万円)	コスト (百万円)	流れ込み 式運転時 電力量 (MWh)	ピーク運転 時間帯発 電電力量 (MWh)	オフピーク運 転時間帯 発電電力量 (MWh)	現行評価 単価(円 /kWh)	ピーク時評 価単価 (円/ kWh)	オフピーク時 評価単価 (円/ kWh)	時間帯シフ トによる便 益(百万円)	評価
	T	M	$\Delta C = M \times D$	AN	AP	AO	BN	BP	BO	ΔV	$\Delta C / \Delta V$
G発電所	4.0	159	16.85	26,259	9,727	18,124	8.00	14.00	8.00	71.11	0.24

コスト(ΔC :千円)=工事費(M:百万円)×年経費率(D:%)

時間帯シフトによる便益(ΔV :千円)=(ピーク運転時間帯発電電力量(AP:MWh)×ピーク時評価単価(BP:円/kWh)+オフピーク運転時間帯発電電力量(AO:MWh)×オフピーク時評価単価(BO:円/kWh))-(流れ込み式運転時電力量(AN:MWh)×現行評価単価(BN:円/kWh))

<入力条件>

年経費率 D:10.6(%)

現行評価単価 BN:8.00(円/kWh)

ピーク時評価単価:14.00(円/kWh)

オフピーク時評価単価:8.00(円/kWh)

経済性の評価値は、左記の入力条件に基づくものである。

(結果)

$\Delta C / \Delta V = 0.24 < 1.0$ より、開発効果が期待できる。

④新規地点における評価

地下調整池開発支援システム - C:\Documents and Settings\kaysb\デスクトップ\開発計画支援システムV.G.m

ファイル(F) 編集(E) ウインドウ(W) ヘルプ(H)

経済性設定データ

適用 リセット

地点名: G発電所

年経費率(%): 10.6

kWh単価(円/kWh): 32004.00

kWh単価(円/kWh): 12.20

PPS取引単価(円/kWh): 12

現行取引(売電)・評価単価(円/kWh): 8

ピーク時評価単価(円/kWh): 14.00

オフピーク時評価単価(円/kWh): 8.00

発電所利用率(%): 95.5

ピーク運転時間帯(h): 4

8月LS流量(m3): 178

容量設定データ読み込み

工事費(百万円): 6643

工事費設定データ読み込み

新規地点における発電計画の評価

☒ 行う ☐ 行わない

自流時8月LS出力(kW): 1010.48

自流時年間発電電力量(MWh): 26258.56

8月LS流量時増分出力(kW): 5766.01

発電電力量増分(MWh): 1787.48

調整池設置後の8月LS出力(kW): 5776.49

調整池設置後の年間発電電力量(MWh): 28046.04

運転パターンデータ読み込み

ルティ

ここでは、page 資料 2-61 に示す調整池式の発電所全体工事費を再入力し、新規地点における発電計画の評価を“行う”を選択した。

新規地点における発電計画の評価一覧

地点名	最大出力 (kW)	年間発電電力量 (MWh)	工事費 (百万円)	kW当り建設単価 (千円/kW)	kWh当り建設単価 (円/kWh)
G発電所	6885.1	28,046	6,643	964.84	236.86

kW当り建設単価(千円/kW)＝工事費(百万円)／最大出力(kW)

kWh当り建設単価(円/kWh)＝工事費(百万円)／年間発電電力量(MWh)

(結果)

流れ込み式の kWh 当たり建設単価＝246.92 (円/kWh)

調整池式の kWh 当たり建設単価＝236.86 (円/kWh)

調整池式とした方が、優位な結果となる。

4. H、I、J、K発電所（その他、既設調整池を利用した運転パターンの検討）

(1) 概要

本検討は、既設のH、I、J、Kのシリーズ4発電所に対して、既存の調整池を活用した水運用検討のケーススタディを行ったものである。図-4.1に当該地点の水系概要図、表-4.1に発電所の諸元表を示した。

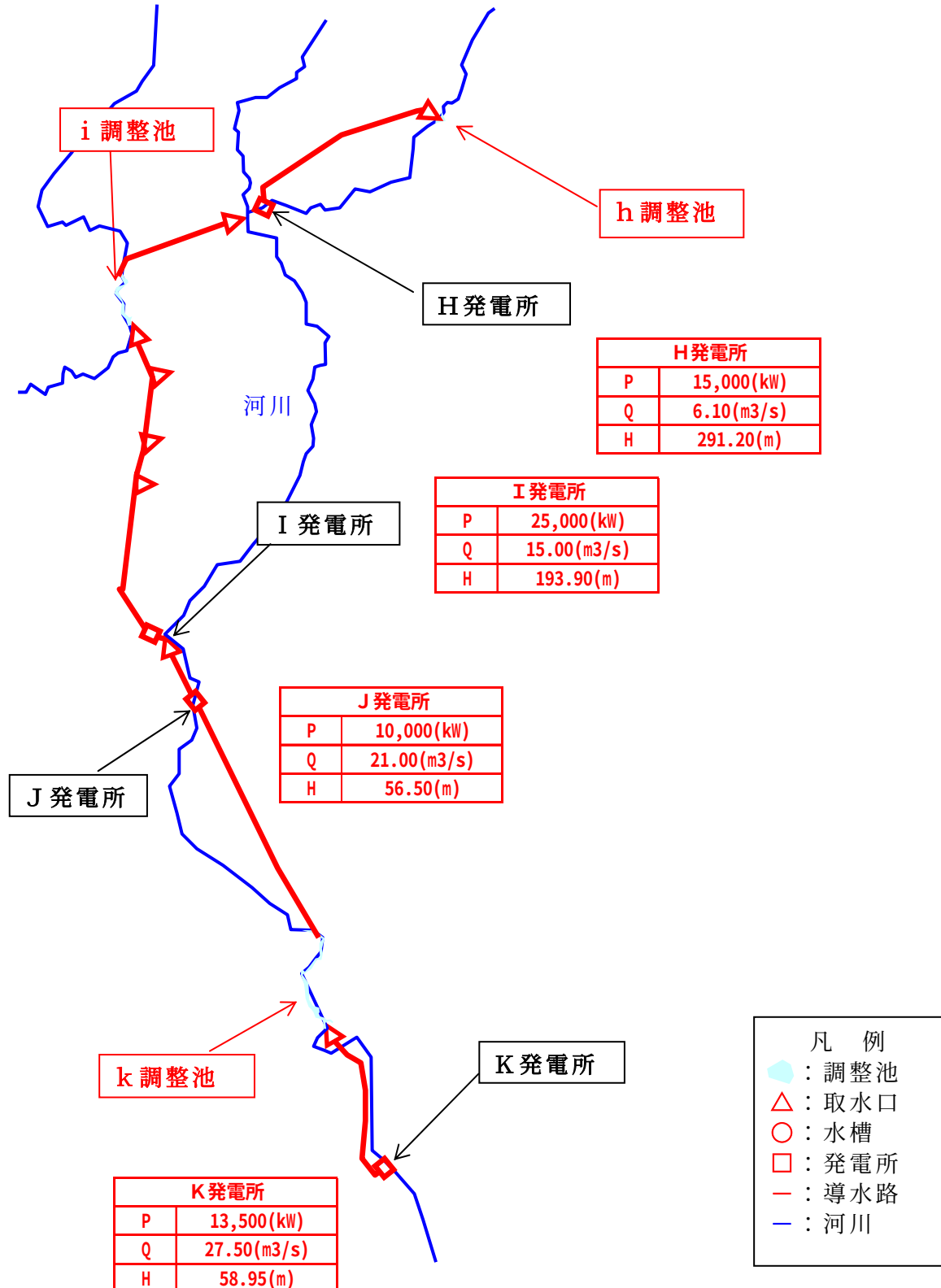


図-4.1 水系概要図

表-4.1 に示すとおり、4 発電所のうち 3 発電所が調整池を有していることから、開発計画支援システム運転パターン選定システムを調整池毎に 3 回に分けて計算を行い、シリーズ全体についてのとりまとめを行った。

表-4.1 発電所諸元表

発 電 所 名	H 発電所	I 発電所	J 発電所	K 発電所
流 域 面 積 (km^2)	52.0	205.0	516.4	644.0
河 川 維 持 流 量 (m^3/s)	4/1～11/30 : 0.220 12/1～3/31 : 0.050	0.200	2.620	0.000
最大使用水量(m^3/s)	6.10	15.00	21.00	27.50
有 効 落 差 (m)	291.20	193.90	56.50	58.95
最 大 出 力 (k W)	15,000	25,000	10,000	13,500
常 時 出 力 (k W)	7,300	9,294	3,200	1,740
調整池有効容量(m^3)	155,000	300,000	—	560,000

なお、計算ケースは、表-4.2 のとおりとし、各調整池への流入量は、上流発電所のピーク立の影響を考慮せず、日平均着水量とした。また、kW 優先運転時のピーク継続時間は、各ケースとも 3 時間とした。

表-4.2 計算ケース

ケース名	対象発電所	対象調整池	調整池容量(m^3)	ピーク継続時間(h)
ケース 1	H 発電所	h 調整池	155,000	3.0
ケース 2	I ・ J 発電所	i 調整池	300,000	3.0
ケース 3	K 発電所	k 調整池	560,000	3.0

(2) ケーススタディ結果

(a) ケース1

a) 入力データ

① 入力データ

・発電所諸元データ

発電所データ1

適用 リセット 発電所追加 発電所削除

発電所名: H発電所

流域面積 (km²): 82

河川維持流量 (m³/s): 0

最大使用水量 (m³/s): 8.1

常時使用水量 (m³/s): 0.64

発電可能最小流量 (m³/s): 1.22

水槽水位 (m): 773.75

最大使用水量時の放水水位 (m): 476.3

常時使用水量時の放水水位 (m): 476.3

最大使用水量時の損失水頭 (m): 7.5

Q/Qmax (%)	総合効率 (%)
100	86.3
80	86
60	82.4
40	74.7
20	62.9

計算プログラム
☒ kW優先運転
☒ kW優先運転
☒ kWh優先運転

計算実行

維持流量が期別に設定されているため、維持流量控除後の流況データを入力。したがって、ここでは維持流量を0とした。

・発電所流況曲線データ

発電所流況曲線データ

適用 所登録 リセット 出力 計算プログラム
☒ kW優先運転
☒ kW優先運転
☒ kWh優先運転

計算実行

日別	H発電所
365	0.447
364	0.411
363	0.468
362	0.500
361	0.611
360	0.620
359	0.649
358	0.664
357	0.677
356	0.691
355	0.664
354	0.686
353	0.660
352	0.667
351	0.666
350	0.642
349	0.646
348	0.660
347	0.66
346	0.662
345	0.675
344	0.68
343	0.65
342	0.666
341	0.665
340	0.635
339	0.678
338	0.677
337	0.696
336	0.696
335	0.681
334	0.68
333	0.687
332	0.68

期別に維持流量を控除した後の10ヶ年平均流況データを入力。(365日流量～1日流量)

・最適化パラメータ条件

最適化パラメータ条件

適用 リセット 容量設定システムデータ読み込み

共通

調整容量の探索範囲(下限) 0 m3

調整容量の探索範囲(上限) 166000 m3

調整容量の探索ピッチ 100 m3

KW優先運転①

ピーク継続時間: TP 3 h

KW優先運転②

貯留時間(hour)の探索範囲(下限) 0 h

貯留時間(hour)の探索範囲(上限) 21 h

貯留時間(hour)の探索ピッチ 1E-05 h

ピーク継続時間: TP 3 h

KW優先運転③

貯留時間(hour)の探索ピッチ 0.25 h

発電時間(hour)の探索ピッチ 0.25 h

計算プログラム

☒ KW優先運転①

☒ KW優先運転②

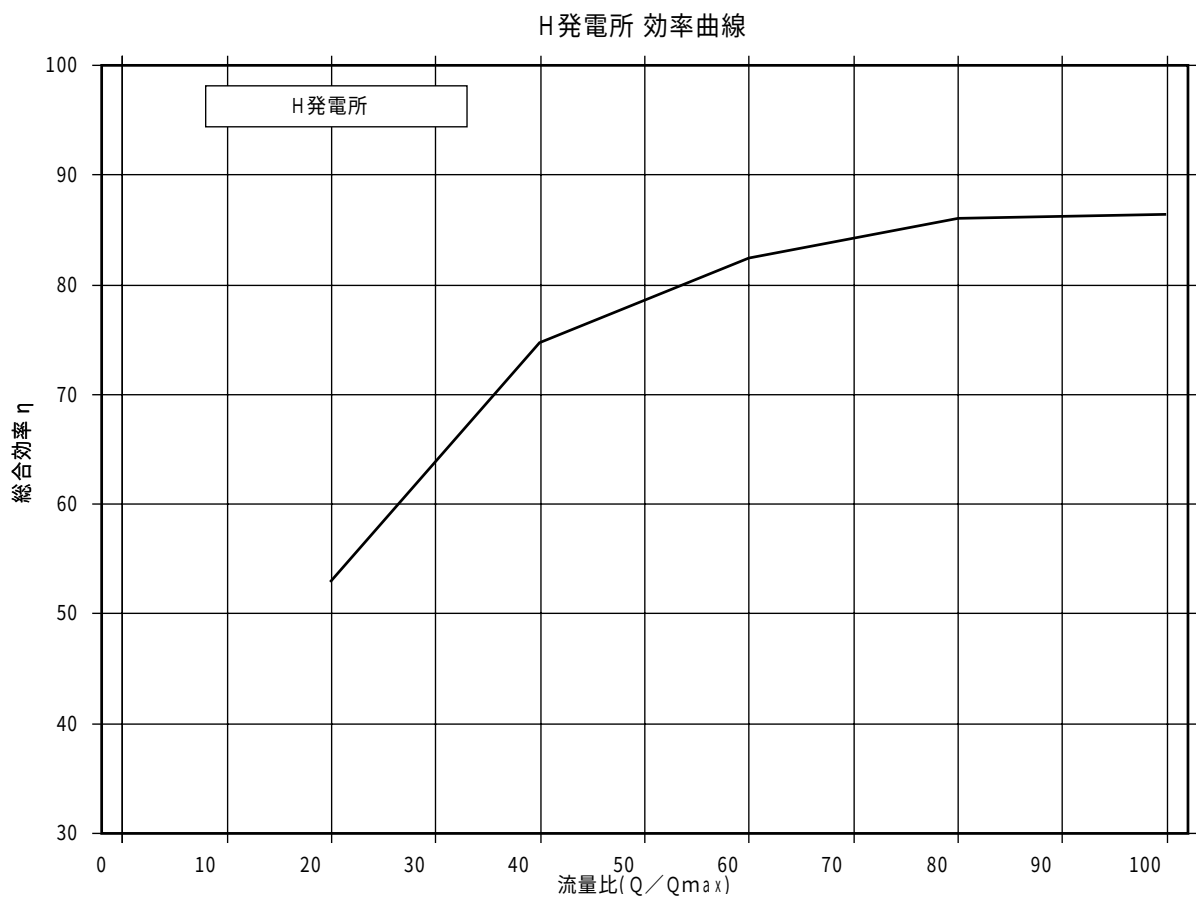
☒ KW優先運転③

計算実行

b) 効率曲線

① 効率曲線

入力データより、グラフ出力される。



c) 算定結果

① 運用別発電電力量の変化

運用別の発電電力量の算定結果が一覧表で出力される。

調整池運用別年間発電電力量の変化

運用方法	年間発電電力量(MWh)								
	H 発電所								
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	36,512	—	—						
kW優先運転①	43,325	6,813	18.66						
kW優先運転②	43,325	6,813	18.66						
kWh優先運転	47,000	10,489	28.73						
運用方法	年間発電電力量(MWh)								
							1発電所合計		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転							36,512	—	—
kW優先運転①							43,325	6,813	18.66
kW優先運転②							43,325	6,813	18.66
kWh優先運転							47,000	10,489	28.73

② ピーク運用時の有効出力の変化

k W 優先運転時の 8 月 L 5 流量時のピーク出力が一覧表で出力される。ここでは、275 日流量（低水量）相当時のピーク出力を表示している。

ピーク運用時の8月L5出力の変化

ケース	H 発電所		—		—		—		—		1 発電所合計	
	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)
自流運転時	0,000	—									0,000	—
ピーク運転時間3h	14,959	14,959									14,959	14,959

(結果)

各運転パターン毎の発電電力量、8 月 L5 出力値は、上記算出結果のとおり。

- ③ 総発電電力量グラフ（page 資料 2-71 左図参照）
- ④ 調整容量変化グラフ（page 資料 2-71 右図参照）
- ⑤ 運転パターン変化グラフ（page 資料 2-72 左図参照）
- ⑥ 発電所出力変化グラフ（page 資料 2-72 右図参照）
- ⑦ 発電所運転出力パターングラフ（page 資料 2-73, 74 参照）

上記の③～⑦の出力結果を次頁以降に示した。

概要		検討結果	
		発電電力量曲線	調整容量および発電所使用流量変化
k W 優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
k W 優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：k W 優先運転①に同じ。		
k W h 優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		k W h 優先運転は、単独発電所であることからH発電所がピーク時に高効率（5.0m³/s程度）となるように設定されている。自流の低下に伴い、運転時間を短縮している。

図-4.2 電力量曲線と調整容量および発電所使用流量変化（H発電所）：調整容量 155,000m³

概要		検討結果	
		運転パターンおよび発電所電力量変化	運転パターンおよび発電所出力変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
kW優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW優先運転①に同じ。		
kWh優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図-4.3 運転パターンおよび発電所電力量変化、運転パターンおよび発電所出力変化（H発電所）：調整容量 155,000m³

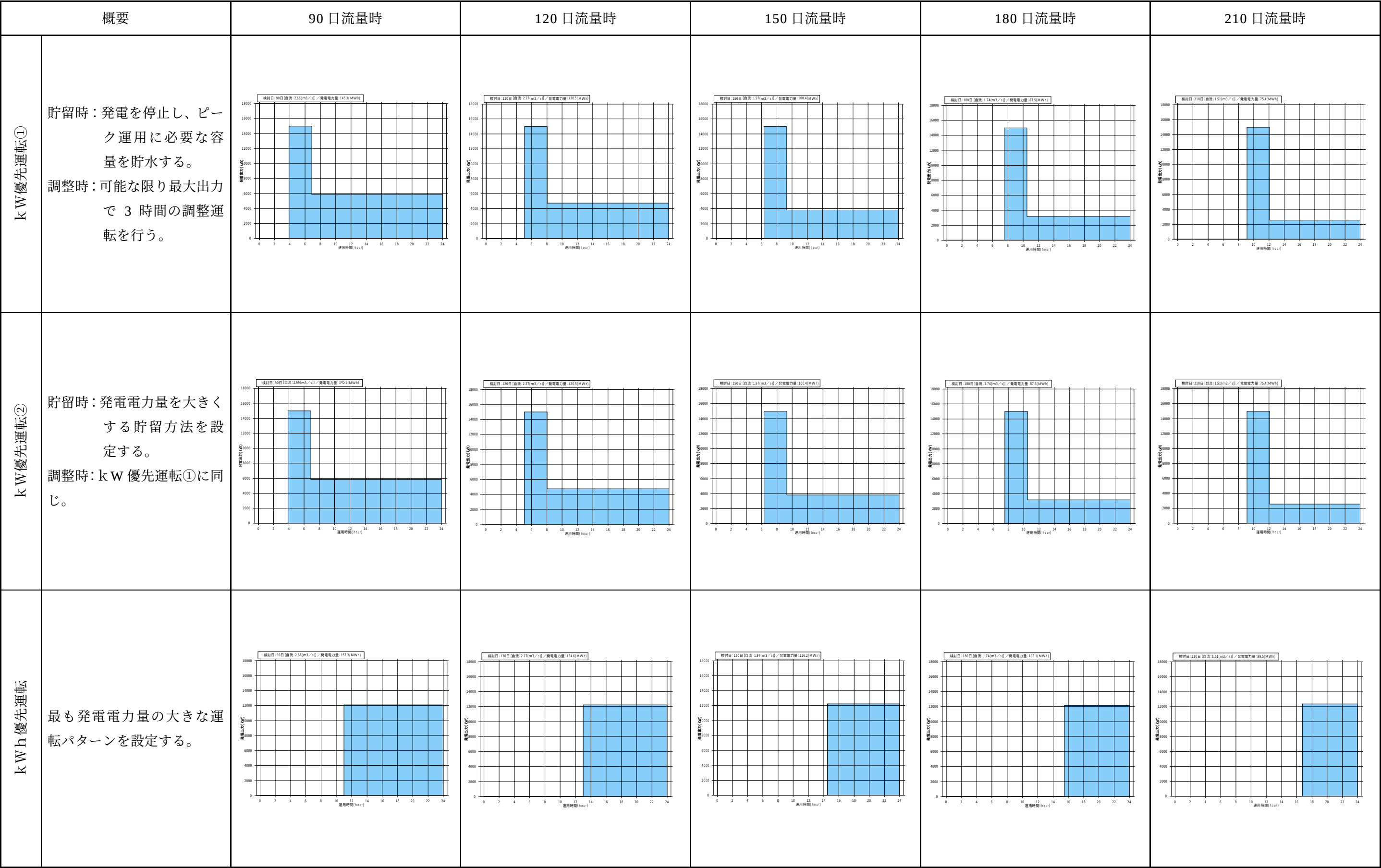


図-4.4 H発電所流況別運転パターン：調整容量 155,000m³

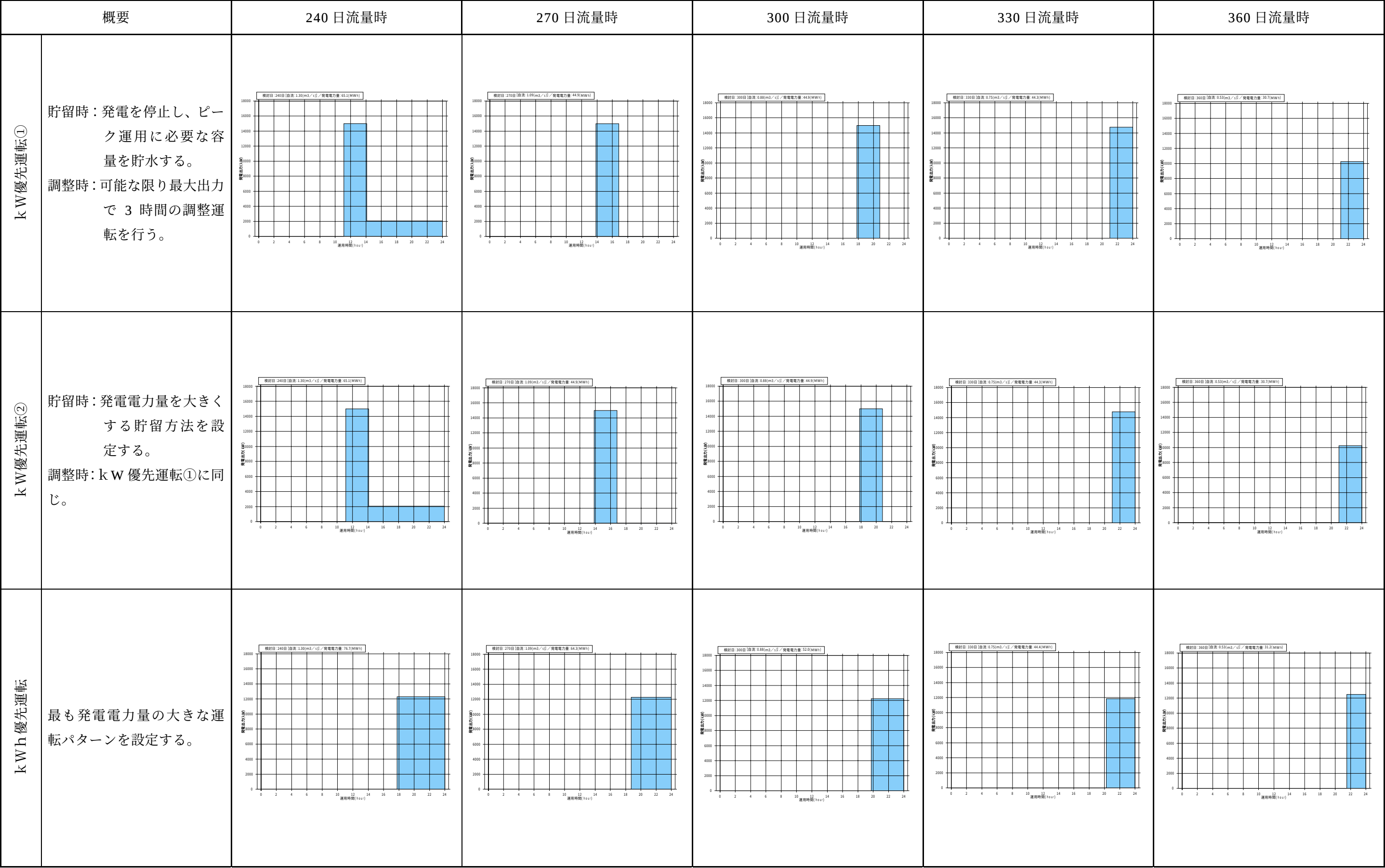


図-4.5 H発電所流況別運転パターン：調整容量 155,000m³

(b) ケース 2

a) 入力データ

① 入力データ

・発電所諸元データ 1、2

発電所データ1

適用

発電所名: J.発電所

流域面積km²: 100

河川維持流量(m³/s): 0

最大使用水量(m³/s): 0.5

常時使用水量(m³/s): 0.12

発電可能最小流量(m³/s): 0

水櫃水位(m): 458.85

最大使用水量時水位(m): 459.4

常時使用水量時水位(m): 458.33

最大使用水量時最低水位(m): 458.5

計算プログラム
☒ kW優先運転
☒ kW優先運転
☒ kW優先運転

Q/Qmax (%)	総合効率 (%)
100	98.1
80	97
60	95.9
40	92.8
20	88.7

発電所データ2

適用

発電所名: J.発電所

流域面積km²: 100

河川維持流量(m³/s): 0

最大使用水量(m³/s): 0.5

常時使用水量(m³/s): 0.12

発電可能最小流量(m³/s): 0

水櫃水位(m): 458.85

最大使用水量時水位(m): 459.4

常時使用水量時水位(m): 458.33

最大使用水量時最低水位(m): 458.5

計算プログラム
☒ kW優先運転
☒ kW優先運転
☒ kW優先運転

Q/Qmax (%)	総合効率 (%)
100	96.4
80	95.6
60	95.6
40	92.1
20	88.5

・発電所流況曲線データ

発電所流況曲線データ

適用

計算プログラム
☒ kW優先運転
☒ kW優先運転
☒ kW優先運転

日付	I.発電所	J.発電所
365	1.185	4.283
364	1.225	4.459
363	1.272	4.641
362	1.308	4.811
361	1.388	4.685
360	1.374	4.769
359	1.429	4.827
358	1.498	4.88
357	1.49	4.942
356	1.516	5.018
355	1.55	5.087
354	1.571	5.118
353	1.55	5.182
352	1.586	5.184
351	1.619	5.282
350	1.609	5.276
349	1.693	5.384
348	1.674	5.345
347	1.688	5.384
346	1.703	5.385
345	1.722	5.473
344	1.74	5.433
343	1.768	5.483
342	1.751	5.491
341	1.796	5.688
340	1.798	5.642
339	1.807	5.672
338	1.822	5.888
337	1.804	5.621
336	1.882	5.84
335	1.881	5.691
334	1.886	5.788
333	1.913	5.782
332	1.943	5.74
331	1.964	5.746
330	1.979	5.775

I、J 発電所の 10 ヶ年平均流況データを入力。(365 日流量～1 日流量)

・最適化パラメータ条件

最適化パラメータ条件

適用 リセット 容量設定システムデータ読み込み

共通

調整容量の探索範囲(下限) 0 m3

調整容量の探索範囲(上限) 300000 m3

調整容量の探索ピッチ 100 m3

KWh優先運転①

ピーク継続時間: TP 3 h

KWh優先運転②

貯留時間(hour)の探索範囲(下限) 0 h

貯留時間(hour)の探索範囲(上限) 71 h

貯留時間(hour)の探索ピッチ 1E-05 h

ピーク継続時間: TP 3 h

KWh優先運転

貯留時間(hour)の探索ピッチ 0.25 h

発電時間(hour)の探索ピッチ 0.25 h

計算プログラム

☒ KWh優先運転①

☒ KWh優先運転②

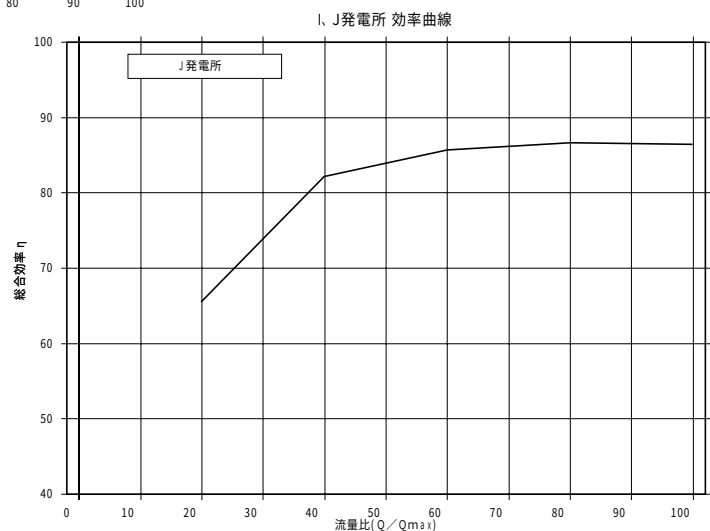
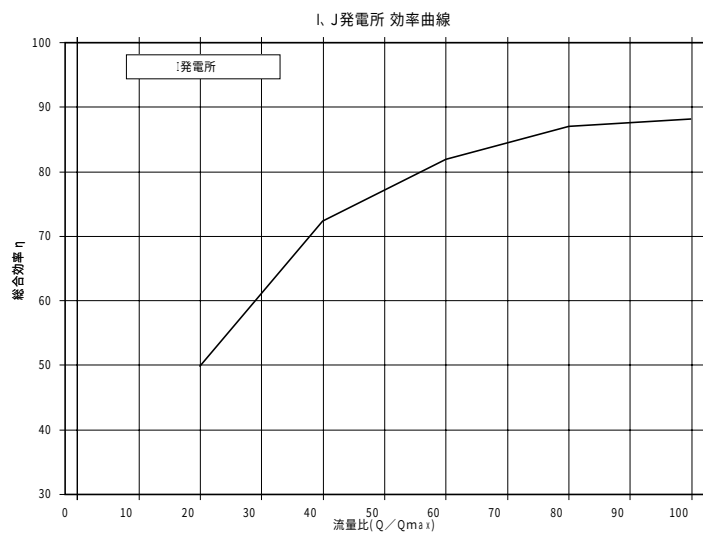
☒ KWh優先運転

計算実行

b) 効率曲線

① 効率曲線

入力データより、グラフ出力される。



c) 算定結果

① 運用別発電電力量の変化

運用別の発電電力量の算定結果が一覧表で出力される。

調整池運用別年間発電電力量の変化

運用方法	年間発電電力量(MWh)								
	I発電所			J発電所					
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	82,089	—	—	50,634	—	—			
kW優先運転①	91,635	9,546	11.63	50,133	-501	-0.99			
kW優先運転②	91,635	9,546	11.63	50,133	-501	-0.99			
kWh優先運転	96,860	14,772	17.99	49,981	-653	-1.29			
運用方法	年間発電電力量(MWh)								
							2発電所合計		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転							132,723	—	—
kW優先運転①							141,768	9,045	6.82
kW優先運転②							141,768	9,045	6.82
kWh優先運転							146,841	14,119	10.64

② ピーク運用時の有効出力の変化

k W 優先運転時の 8 月 L 5 流量時のピーク出力が一覧表で出力される。ここでは、275 日流量（低水量）相当時のピーク出力を表示している。

ピーク運用時の8月L5出力の変化

ケース	I発電所		J発電所		—		—		—		2発電所合計	
	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)
自流運転時	0,000	—	2,569	—							2,569	—
ピーク運転時間3h	25,111	25,111	9,056	6,487							34,168	31,598

(結果)

各運転パターン毎の発電電力量、8 月 L5 出力値は、上記算出結果のとおり。

③ 総発電電力量グラフ

④ 調整容量変化グラフ

⑤ 運転パターン変化グラフ

⑥ 発電所出力変化グラフ

⑦ 発電所運転出力パターングラフ

上記の③～⑦の出力結果を次頁以降に示した。

概要		検討結果	
		発電電力量曲線	調整容量および発電所使用流量変化
k W 優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
k W 優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：k W 優先運転①に同じ。		
k W h 優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		kWh優先運転は、電水比の高いI発電所がピーク時に高効率（12.0m³/s 程度）となるように設定されている。自流の低下に伴い、運転時間を短縮している。 電水比：I 発電所 1,667kW／m³/s J 発電所 476kW／m³/s

図-4.6 電力量曲線と調整容量および発電所使用流量変化（I、J 発電所）：調整容量 300,000m³

概要		検討結果	
		運転パターンおよび発電所電力量変化	運転パターンおよび発電所出力変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
kW優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW 優先運転①に同じ。		
kWh優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図-4.7 運転パターンおよび発電所電力量変化、運転パターンおよび発電所出力変化（Ⅰ、Ⅱ発電所）：調整容量 300,000m³

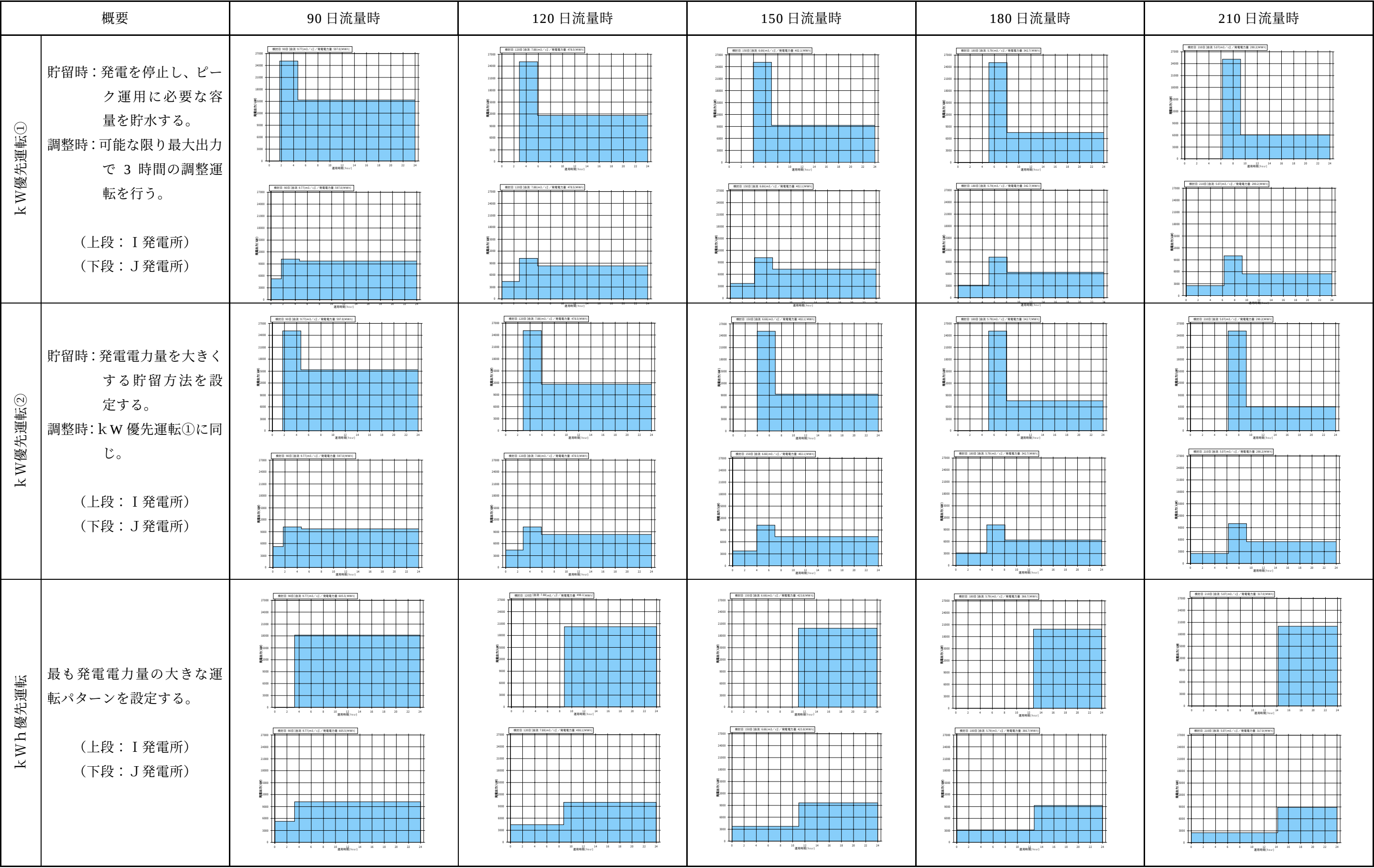


図-4.8 I、J 発電所流況別運転パターン：調整容量 300,000m³

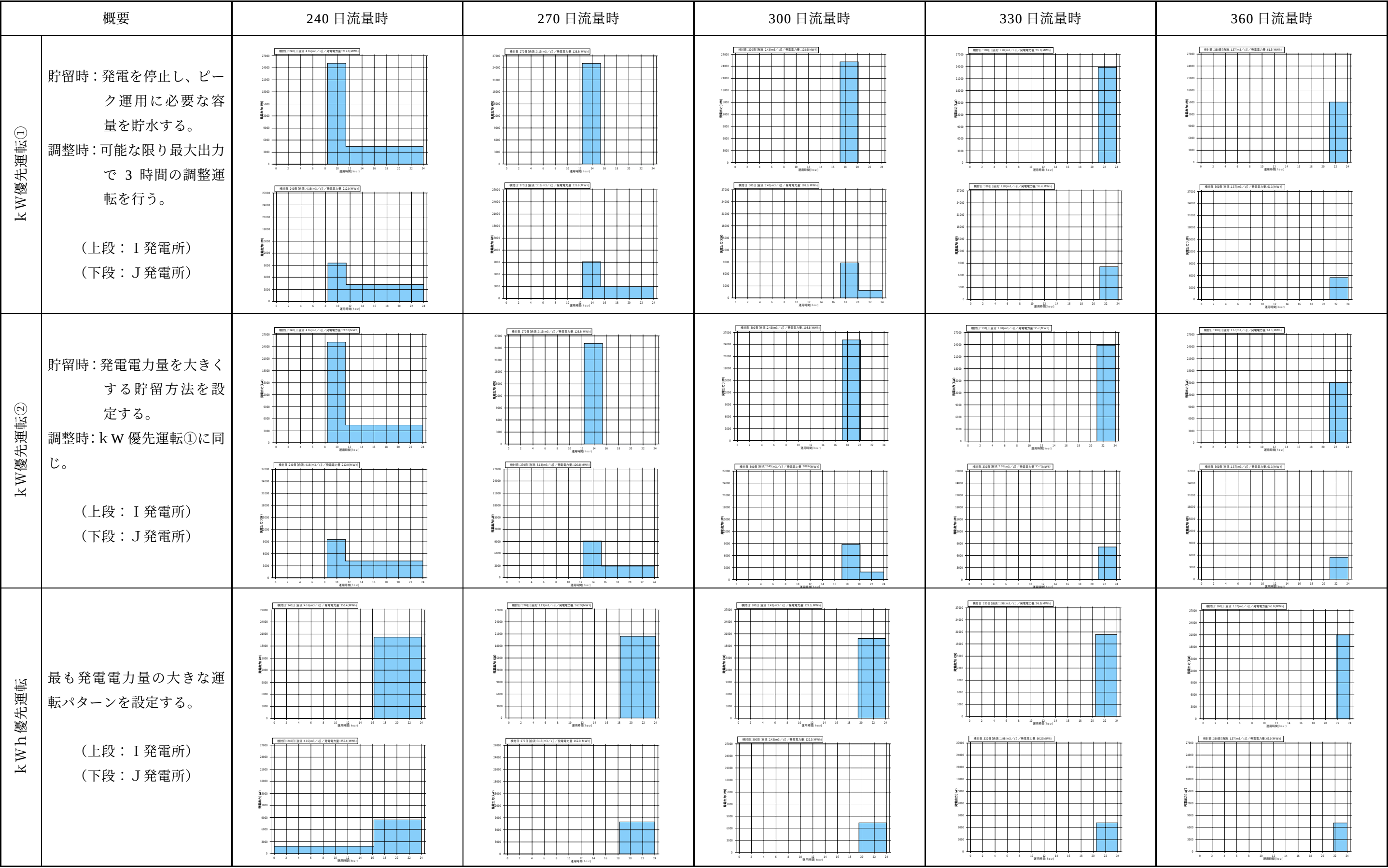


図-4.9 I、J発電所流況別運転パターン：調整容量 300,000m³

(c) ケース3

a) 入力データ

① 入力データ

・発電所諸元データ

発電所データ1

適用 リセット 発電所追加 発電所削除

発電所名: K発電所

流域面積(km²): 644

河川維持流量(m³/s): 0

最大使用水量(m³/s): 275

常時使用水量(m³/s): 524

発電可能最小流量(m³/s): 429

水槽水位(m): 136.5

最大使用水量時の放水位(m): 136.26

常時使用水量時の放水位(m): 136

最大使用水量時の損失水頭(m): 1.29

Q/Qmax(%)	総合効率(%)
100	87.5
90.5	87.3
86.2	87.1
79.3	86.5
72.4	86
65.8	84.9
58.9	84.1
52.4	82.6
45.8	80.8
39.5	77.7
33.5	73.6
27.3	67.6
21.5	57.2
15.6	39.3

計算プログラム
☒ kW優先運転
☒ kWh優先運転
☒ kWh優先運転
 計算実行

・発電所流況曲線データ

発電所流況曲線データ

適用 変更 保存 リセット 削除

計算プログラム
☒ kW優先運転
☒ kWh優先運転
☒ kWh優先運転
 計算実行

登録設定データを読み込み

日数	10年流況
365	6.824
364	6.844
363	6.787
362	6.236
361	6.236
360	6.454
359	6.813
358	6.633
357	6.684
356	6.876
355	6.853
354	6.94
353	6.87
352	1.889
351	1.182
350	1.188
349	1.281
348	1.236
347	1.255
346	1.214
345	1.383
344	1.324
343	1.384
342	1.422
341	1.449
340	1.585
339	1.621
338	1.553
337	1.682
336	1.677
335	1.621
334	1.67
333	1.725
332	1.741
331	1.752
330	1.788

10ヶ年平均流況データを入力。
(365日流量～1日流量)

・最適化パラメータ条件

最適化パラメータ条件

適用 リセット 容量設定システムデータ読み込み

共通

調整容量の探索範囲(下限) 0 m3

調整容量の探索範囲(上限) 500000 m3

調整容量の探索ピッチ 100 m3

KW優先運転①

ピーク継続時間: TP 3 h

KW優先運転②

貯留時間(hour)の探索範囲(下限) 3 h

貯留時間(hour)の探索範囲(上限) 31 h

貯留時間(hour)の探索ピッチ 1E-05 h

ピーク継続時間: TP 3 h

KWh優先運転

貯留時間(hour)の探索ピッチ 0.25 h

発電時間(hour)の探索ピッチ 0.25 h

計算プログラム

☒ KW優先運転①

☒ KW優先運転②

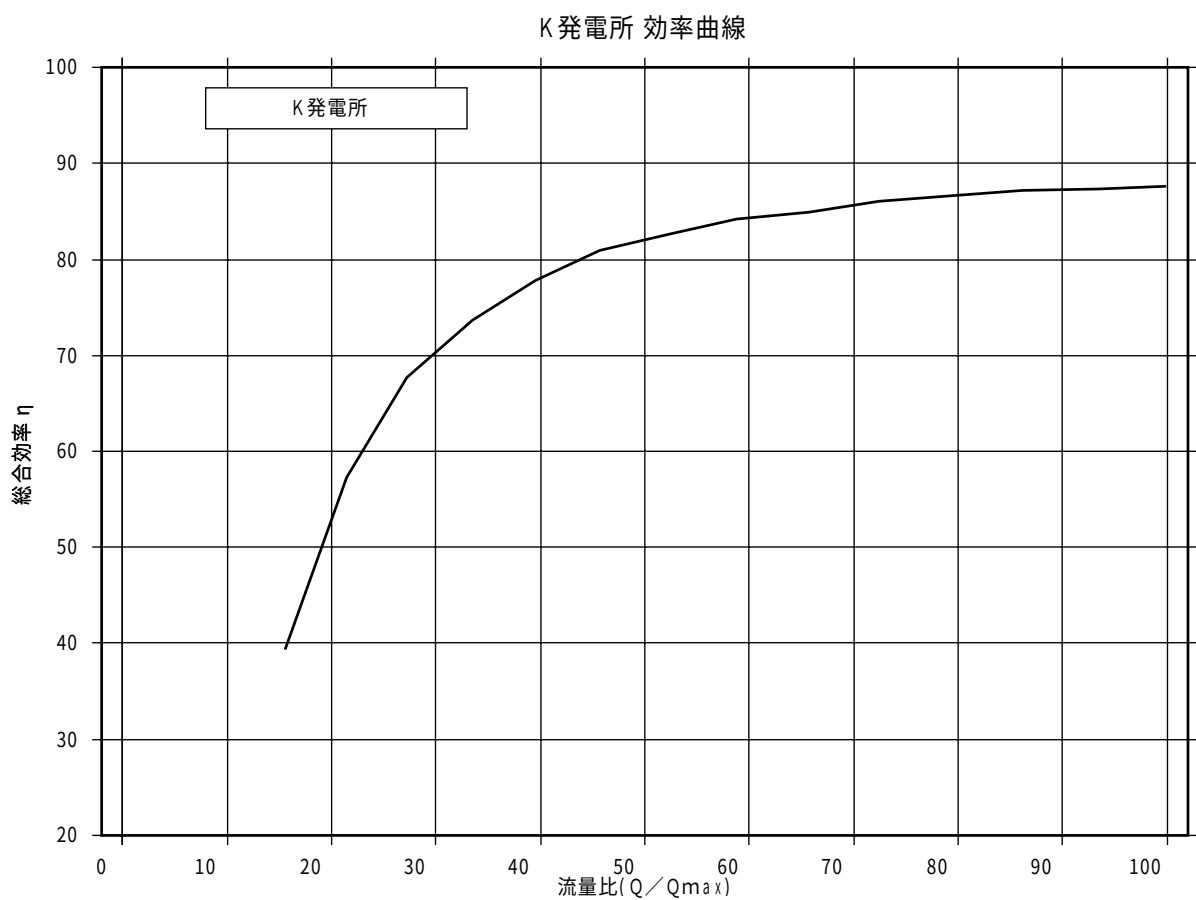
☒ KWh優先運転

計算実行

b) 効率曲線

① 効率曲線

入力データより、グラフ出力される。



c) 算定結果

① 運用別発電電力量の変化

運用別の発電電力量の算定結果が一覧表で出力される。

調整池運用別年間発電電力量の変化

運用方法	年間発電電力量(MWh)								
	K 発電所								
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	80,205	—	—						
kW優先運転①	81,037	832	1.04						
kW優先運転②	81,037	832	1.04						
kWh優先運転	82,476	2,271	2.83						
運用方法	年間発電電力量(MWh)								
							1発電所合計		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転							80,205	—	—
kW優先運転①							81,037	832	1.04
kW優先運転②							81,037	832	1.04
kWh優先運転							82,476	2,271	2.83

② ピーク運用時の有効出力の変化

k W 優先運転時の 8 月 L 5 流量時のピーク出力が一覧表で出力される。ここでは、275 日流量（低水量）相当時のピーク出力を表示している。

ピーク運用時の8月L5出力の変化

ケース	K 発電所		—		—		—		—		1 発電所合計	
	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)	出力 (kW)	増分 (kW)
自流運転時	5,063	—									5,063	—
ピーク運転時間3h	13,901	8,838									13,901	8,838

(結果)

各運転パターン毎の発電電力量、8 月 L5 出力値は、上記算出結果のとおり。

③ 総発電電力量グラフ（page 資料 2-86 左図参照）

④ 調整容量変化グラフ（page 資料 2-86 右図参照）

⑤ 運転パターン変化グラフ（page 資料 2-87 左図参照）

⑥ 発電所出力変化グラフ（page 資料 2-87 右図参照）

⑦ 発電所運転出力パターングラフ（page 資料 2-89, 90 参照）

上記の③～⑦の出力結果を次頁以降に示した。

概要		検討結果	
		発電電力量曲線	調整容量および発電所使用流量変化
k W 優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
k W 優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：k W 優先運転①に同じ。		
k W h 優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		k W h 優先運転は、単独発電所であることから K 発電所がピーク時に高効率（24.0m³/s 程度）となるように設定されている。自流の低下に伴い、運転時間を短縮している。

図-4.10 電力量曲線と調整容量および発電所使用流量変化（K 発電所）：調整容量 560,000m³

概要		検討結果	
		運転パターンおよび発電所電力量変化	運転パターンおよび発電所出力変化
kW優先運転①	貯留時：発電を停止し、ピーク運用に必要な容量を貯水する。 調整時：可能な限り最大出力で3時間の調整運転を行う。		
kW優先運転②	貯留時：発電電力量を大きくする貯留方法を設定する。 調整時：kW 優先運転①に同じ。		
kWh優先運転	最も発電電力量の大きな運転パターンを設定する。		

図-4.11 運転パターンおよび発電所電力量変化、運転パターンおよび発電所出力変化（K発電所）：調整容量 560,000m³

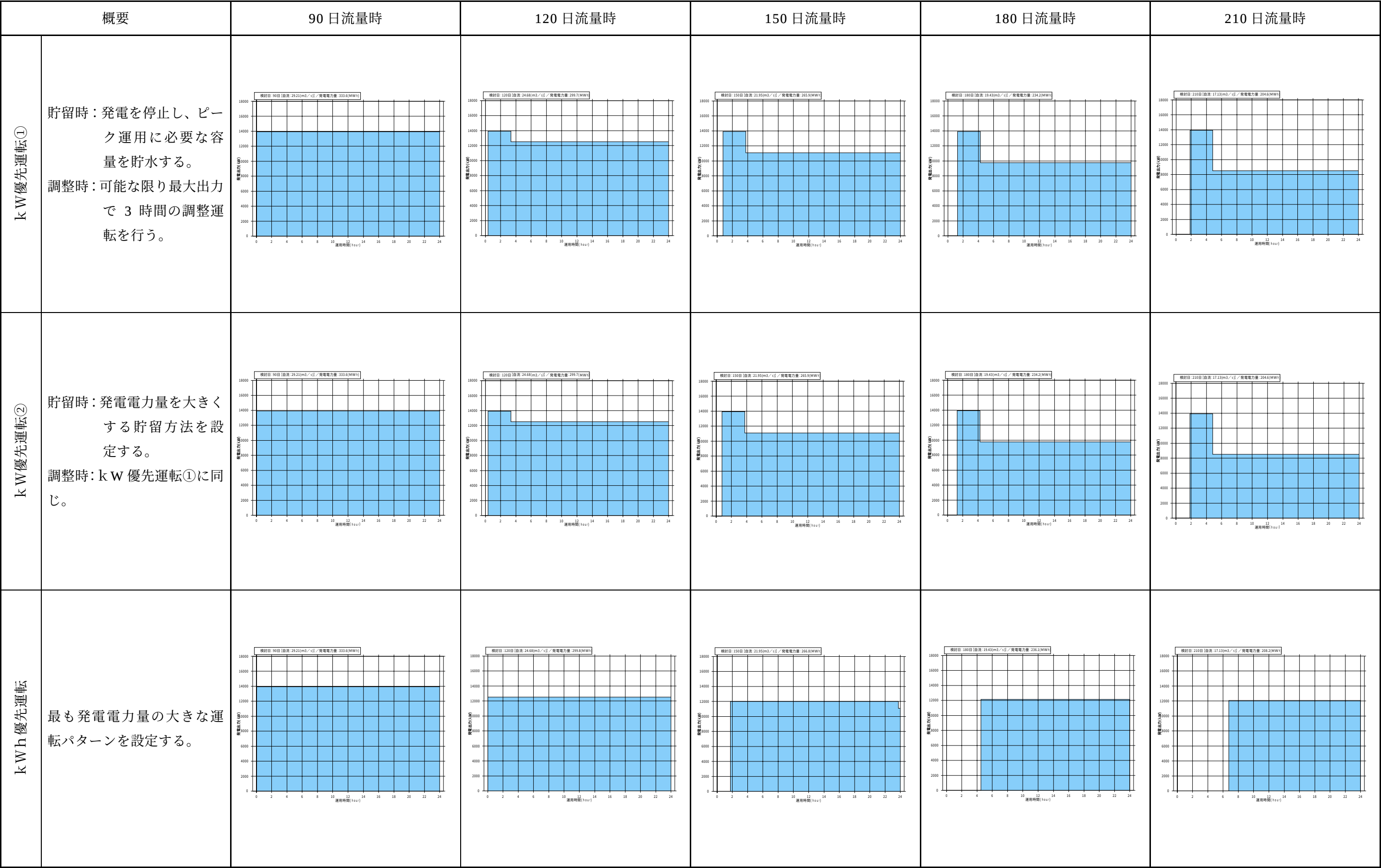


図-4.12 K 発電所流況別運転パターン：調整容量 560,000m³

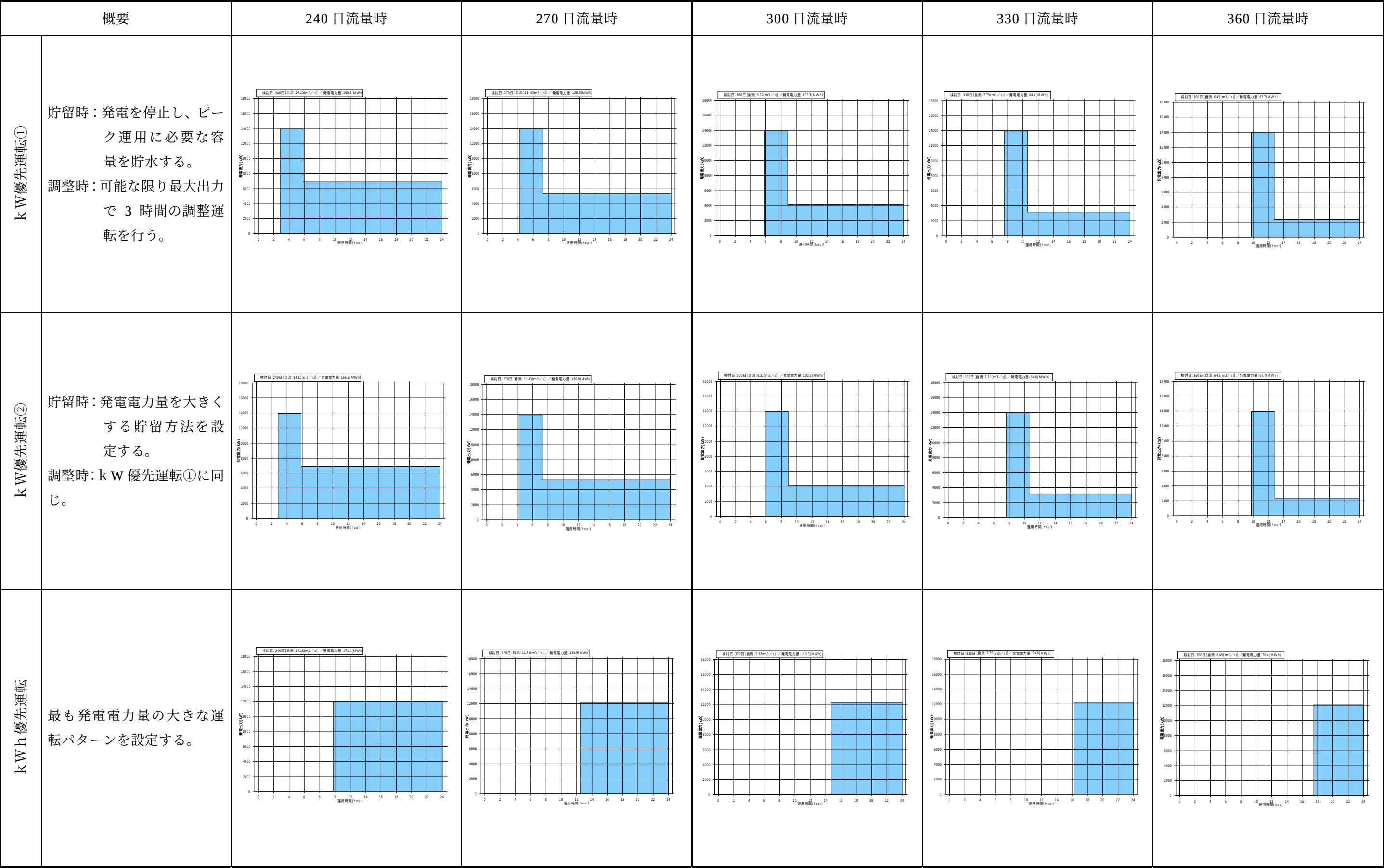


図-4.13 K発電所流況別運転パターン：調整容量 560,000m³

(d) シリーズ発電所群総括

上記検討結果を基に、シリーズ発電所群全体の発電電力量並びに有効出力について総括を行う。

但し、計算における前提条件は、以下のとおりである。

- ・各調整池への流入量は、日平均流量である。
- ・各調整池の調整池容量は、有効容量である。
- ・kW優先運転①、②のピーク継続時間は、3時間である。
- ・比較の対象は、自流運転時をベースとする。

表-4.3に各運用パターン別の電力量計算結果、表-4.4にkW優先運転①、②における有効出力（275日流量（低水量）相当時）計算結果を示した。

表-4.3 各運用パターン別の電力量計算結果

運用方法	年間発電電力量(MWh)														
	H発電所			I発電所			J発電所			K発電所			4発電所合計		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	36,512	—	—	82,089	—	—	50,634	—	—	80,205	—	—	249,440	—	—
kw優先運転①	43,325	6,813	18.66%	91,635	9,546	11.63%	50,133	-501	-0.99%	81,037	832	1.04%	266,130	16,690	6.69%
kw優先運転②	43,325	6,813	18.66%	91,635	9,546	11.63%	50,133	-501	-0.99%	81,037	832	1.04%	266,130	16,690	6.69%
kWh優先運転	47,000	10,488	28.72%	96,860	14,771	17.99%	49,981	-653	-1.29%	82,476	2,271	2.83%	276,317	26,877	10.77%

表-4.4 有効出力計算結果

運用方法	有効出力(kW)									
	H発電所		I発電所		J発電所		K発電所		4発電所合計	
	出力	増分	出力	増分	出力	増分	出力	増分	出力	増分
自流運転	0	—	0	—	2,569	—	5,063	—	7,632	—
kw優先運転①②	43,325	43,325	25,111	25,111	9,056	6,487	13,901	8,838	91,393	83,761

この結果、4発電所合計でkW優先運転①、②では発電電力量が16,690MWh増、有効出力が83,761kW増、kWh優先運転では発電電力量が26,877MWh増となった。

なお、本計算結果は、あくまで1つの条件下における計算値であり、実際にはH、I発電所は、現行でピーク運用がなされている。また、K発電所では、上流のピーク運用を平滑化する逆調整運用がなされている。

工事費算定システム基準

1. 工事費算定システム内容（発破掘削工法）

1.1 適用範囲

工事費算定システムは、地下調整池用トンネルを発破掘削工法および TBM 掘削工法により計画する場合における概算工事費および概算工期を算出するものである。

なお、工事費算定システムを用いて発破掘削工法による概算工事費および概算工費を算出するにあたっては以下の事項に留意するものとする。

- ① 爆破掘削方式以外には適用しない。
- ② 地質、湧水等により補助工法を必要とする場合、及び早期に断面閉合を必要とする仮インバートの場合は実情に即して別途積算する必要があるため、本システムでは対応していない。
- ④ ずり搬出方式は、内空幅に対応してタイヤ方式またはレール方式を選定しているため、これ以外のずり搬出方式については対応していない。
- ⑤ トンネル片押し延長は、トンネル 1 本当りの延長が 5.0km 程度以下に適用するものとする。システム上は、5km 以上を入力しても工事費の算定は可能であるが、仮設備が異なる恐れがあり、概算工事費を過小に算定する場合があるので注意が必要である。

1.2 積算価格の構成

(1) 積算価格の構成

積算価格（概算工事費）の構成は、下図に示すとおりとする。

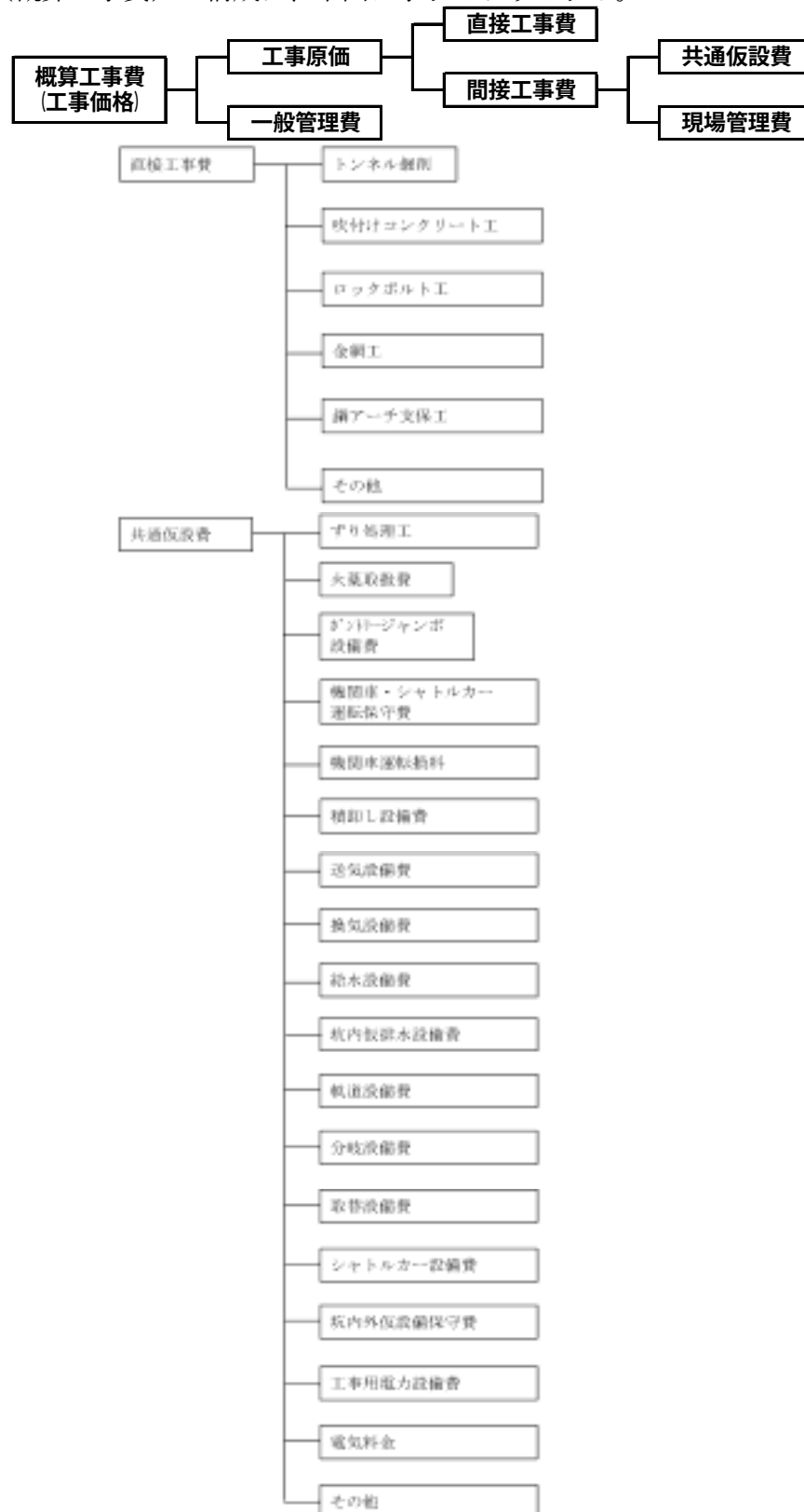


図1-1 積算価格の構成

(2) 諸経費

工事費算定システムでは、共通仮設費（率計上分）、現場管理費、一般管理費は、下表のとおりに算出する。

表 1－1 共通仮設費（率計上分）の算出

直接工事費 (P)	※直接工事費額 (P) に応じて下記数値を用いる。		
	1000万円以下	1000万円～20億円	20億円超
共通仮設費率 Kr (%)	31.37	5304.0	5.81
		$Kr=5304 \times P^{-0.3183}$	
	※直接工事費に上記率 (Kr) を乗じたものとする。		

表 1－2 現場管理費の算出

純工事費 (Np)	※純工事費額 (Np) に応じて下記数値を用いる。		
	1000万円以下	1000万円～20億円	20億円超
現場管理費率 Jo (%)	37.43	$Jo = 120.8 \times Np^{-0.0727}$	25.46
	※純工事費に上記率 (Jo) を乗じたものとする。		

表 1－3 一般管理費の算出

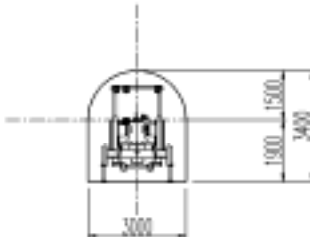
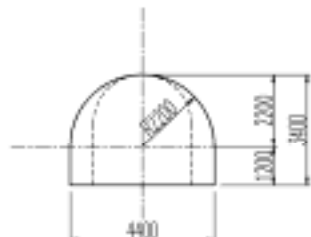
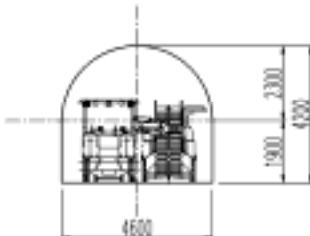
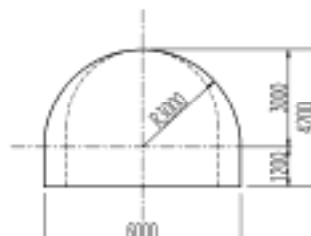
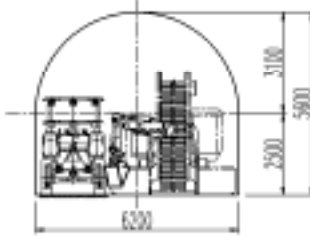
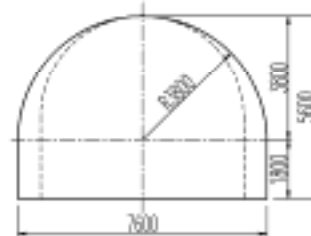
工事原価 (Cp)	※工事原価額 (Cp) に応じて下記数値を用いる。		
	500万円以下	500万円～30億円	30億円超
一般管理費率 Gp (%)	14.38	$-2.57651 \times \log(Cp) + 31.63531$	7.22
	※工事原価額に上記率 (Gp) を乗じたものとする。		

1.3 トンネル断面

断面規模と施工機械編成については、表1-4に示すとおり設定し、各機械編成において施工上必要となる最小断面寸法の設定を行っている。地下調整池としての機能面を考慮した場合、掘削高さを抑えつつ掘削幅を広くした断面の方が有利となる。したがって、掘削高さについては、各断面規模で機械編成毎の最小断面を設定し、その高さを最小高さとする。それと同じ高さで掘削幅を広げた断面を各内空幅に対する最小断面として設定するものとした。

なお、地下調整池トンネルの上流側と下流側とで断面高さが異なる場合には、平均断面高さを用いて工事費および工期の算定を行うものとし、本システムには平均断面高さを入力するものとする。

表1-4 施工機械編成毎の最小断面と内空幅を変化させた場合の最小断面（例）

	施工機械から決まる最小断面	内空幅を広げた場合の最小断面（例）
レール式 （単線）		
レール式 （複線）		
タイヤ式		

注1）破線は機械編成における必要最小内空断面を示す。

注2）必要最小内空断面を満足させるように、内空幅毎の最小内空断面を設定する。

注3）同一機械施工機械編成では、最小内空高さが規定されることとなる。

1. 4 施工機械の組合せ

標準施工機械の組合せは、断面規模、施工法、施工機械規模を考慮し、内空幅 6.2m 未満の地下調整池トンネルはレール方式を採用し、内空幅 6.2m 以上のトンネルはタイヤ方式を採用している。発破掘削工法におけるトンネル内空幅に応じた標準掘削機械の組合せを下表に示す。

表 1－5 標準掘削機械の組合せ（発破掘削工法）

	せん孔 ^{注2)}		ずり積		ずり搬出	
	機械	台数	機械	台数	機械	台数
内空幅 3.0m 以上 4.6m 未満	レール走行式 2 ブーム油圧ジャンボ [〃] (ドリフタ重量 100kg 級) バッテリー機関車 6t (けん引用)	1	クローラ式 バックホウ型 ずり積機 (コンベア能力 150m ³ /h)	1	バッテリー機関車 (12 t) シャトルカー (15～28m ³ 級)	注 1)
内空幅 4.6m 以上 6.2m 未満	ガントリー型 2 ブーム油圧ジャンボ [〃] (ドリフタ重量 100kg 級)	1	クローラ式 バックホウ型 ずり積機 (コンベア能力 150m ³ /h)	1	バッテリー機関車 (12 t) シャトルカー (15～28m ³ 級)	注 1)
	レール走行式 2 ブーム油圧ジャンボ [〃] (ドリフタ重量 100kg 級) バッテリー機関車 6t (けん引用)	1				
内空幅 6.2m 以上 7.6m 以下	ホイル式 2 ブーム油圧ジャンボ [〃] (ドリフタ重量 100kg 級)	1	トンネル工事用 排出ガス対策型 サイドダンプ式 ホイルローダ (2.3m ³ 級)	1	ダンプトラック (11t 積)	注 1)

注 1) ずり搬出機械の台数は、掘削サイクルタイムに影響を与えないようにずり積込能力に合わせて適切に設定する必要がある。

注 2) せん孔に使用するドリルジャンボは、コンピュータ制御自動削孔対応機を標準とする。

1.5 標準支保パターン

発破掘削工法による工事費算定システムでは、岩盤等級およびトンネル断面規模に応じて以下に示す標準支保パターンを用いている。

表 1-6 標準支保パターン表（発破掘削：内空幅 3.0m 以上 4.6m 未満）

内空幅 3.0m以上 4.6m未満 (発破掘削)								
岩盤等級	一発破進行長 m	ロックボルト			鋼製支保工		一次吹付け厚 cm	二次吹付け厚 cm
		長さ m	施工間隔		部材寸法	建込み間隔 m		
			周方向 m	延長方 m				
B	5.0	—	—	—	—	—	4	4
C _H	5.0	—	—	—	—	—	4	4
C _M	2.5	1.5	2本	2.5	—	—	4	4
C _L ～D	1.0	1.5	4本 (1.0) (天端)	1.0	H-100	1.0	6	4

- 注1) 吹付けコンクリートは、高強度吹付けコンクリート ($f_{ck}=30\text{N/mm}^2$) とする。
 注2) ロックボルトは、天端部への打設を基本とし、C_M級については2本を標準とし、C_L～D級については4本 (天端部、周方向1.0mピッチ) を標準とする。
 注3) C_L～D級については、吹付けコンクリート内に金網を設置する。

表 1-7 標準支保パターン表（発破掘削：内空幅 4.6m 以上 7.6m 未満）

内空幅 4.6m以上 7.6m未満 (発破掘削)								
岩盤等級	一発破進行長 m	ロックボルト			鋼製支保工		一次吹付け厚 cm	二次吹付け厚 cm
		長さ m	施工間隔		部材寸法	建込み間隔 m		
			周方向 m	延長方 m				
B	5.0	—	—	—	—	—	4	4
C _H	5.0	—	—	—	—	—	4	4
C _M	2.5	2.0	1.2	2.5	—	—	4	4
C _L ～D	1.0	2.0	1.0	1.0	H-100	1.0	6	4

- 注1) 吹付けコンクリートは、高強度吹付けコンクリート ($f_{ck}=30\text{N/mm}^2$) とする。
 注2) C_L～D級については、吹付けコンクリート内に金網を設置する。

1. 6 工事工程の算出

工事工程の算出は、地下調整池トンネル計画地の地質状況を考慮し、トンネル区間の岩盤等級比率を設定した上で、岩盤等級とトンネル断面規模に応じたサイクルタイム表を使用して設定している。

(3) 工期の設定

発破掘削工法による地下調整池トンネル構築の標準的な工程は、下表のように設定する。

表 1－8 標準的な工期設定（発破掘削）

	標準工期	備考
準備工	3 ヶ月	注 1)
掘削工期	トンネル延長÷1 箇月当り進行長により算出	注 2)
二次吹付け工	トンネル延長÷1 箇月当り進行長により算出	注 3)
後片付け	1 ヶ月	

注 1) 工事用進入路整備、坑口付け、仮設備設置を含む。なお、新たに工事用道路を設ける必要がある場合には必要工期を別途計上する必要がある。

注 2) 掘削工期に対する 1 箇月当り進行長は、サイクルタイム表により算出する。

注 3) 二次吹付け工は、掘削終了（貫通）後に連続して行うことを基本とする。そのため、二次吹付け工の 1 箇月当り進行長はサイクルタイム表の吹付け時間の計算式を用いて掘削工期に対する 1 箇月当り進行長とは別に算出したものを使用する必要がある。

注 4) トンネル施工以外の諸設備設置等の工期は、設備規模に応じて別途計上する必要があるため、本システムでは考慮していない。

(4) 1 箇月作業日数と作業時間

工事費および工期を算出する上での、発破掘削工法により地下調整池トンネルを施工する場合の 1 ヶ月の作業日数は、平均 23 日とする。また、作業別の 1 日の作業方数および労働時間は、下表のとおりである。

表 1－9 作業別の作業方数と労働時間（発破掘削）

作業内容	作業方数	1 方当りの 実働時間	1 方当りの 実作業時間
1) 坑外仮設、撤去等坑外一般 2) トンネル掘削、覆工作業完了後のインバート掘削等 3) 坑門工関係	1 方 (昼間施工)	8 時間	7 時間
4) 坑内コンクリート関連作業 5) 坑内仮設、保守等	1 方 (昼間施工)	10 時間	9 時間
6) 坑内掘削及びこれに関連する作業、機械運転保守等 7) トンネル掘削と併行作業のインバート掘削等	2 方 (昼夜施工)	10 時間	9 時間

(5) サイクルタイム

発破掘削工法により地下調整池トンネルを標準支保パターンおよび標準施工機械の組合せに基づいて施工する場合のサイクルタイム表は、レール方式では表1-10を、タイヤ方式では表1-11を用いる。

表1-10 サイクルタイム表（発破掘削・レール方式：内空幅 3.0m 以上 6.2m 未満対応）

項目	記号	単位	B	C _H	C _M	C _L ~D	備考
掘削断面積 (余掘り含まず)	A ₁	m ²					小数第二位四捨五入
掘削断面積 (余掘り含む)	A ₂	m ²					小数第二位四捨五入
1発破進行長	B	m	5.0	5.0	2.5	1.0	B~C _L は長孔発破
変化率	L	—	1.85	1.70	1.60	1.50	
m2当り穿孔数	C	m ²	3.7	3.4	3.0	1.9	長孔発破、爆薬技術対応
穿孔長	D	m	B+0.2		B+0.1		
削岩機使用台数	E	台	2	2	2	2	
のみ下がり速度	F	m/min	1.1	1.3	1.4	1.7	コンピュータ制御自動削孔
削岩機1台当り穿孔数	G	孔	A ₁ ×C÷E				小数第一位四捨五入
シャトルカー積載量	H	m ³					
1発破当りシャトルカー台数	I	台	A ₂ ×B×L÷H				小数第一位四捨五入
ずり積み能力	Qs	m ³ /h	34.0	34.0	34.0	34.0	
吹付け周長	M ₁	m					
1サイクル当り吹付け面積	M	m ²	M ₁ ×B				
吹付け設計厚さ	N ₁	m	0.00	0.04	0.04	0.06	
余吹き厚さ	N ₂	m	0.00	0.00	0.00	0.00	シングルシェル対応
吹付け跳ね返り係数	K	—	1.24	1.24	1.24	1.24	高強度吹付け対応
1サイクル当りロックボルト本数	P ₁	本					ボルト長 1~2m
穿孔時間		min	D×G÷F				
削岩機移動時間		min	G×1.0				
積み込み時間		min	A ₂ ×B÷Qs×60				
列車入れ替え時間		min	(I-1)×5				
吹付け時間	R	min	M×(N ₁ +N ₂)×K×60/6+30				
支保工建込	S	min	0	0	0	20	
ロックボルト工	T ₁	min	P ₁ ×3.6+20				
金網工	T ₂	min	0	0	0	20	
レール設置時間	U	min	30	30	20	15	
サイクルタイム固定分		min	105	115	135	140	
計	Q	min					
掘削サイクルタイム		min	Q-(R+S+T ₁ +T ₂ +U)				
1箇月当り進行長		m/月	540×B×2×23÷Q				

表1-11 サイクルタイム表（発破掘削・タイヤ方式：内空幅 6.2m 以上 7.6m 以下対応）

項目	記号	単位	B	C _H	C _M	C _L ~D	備考
掘削断面積 (余掘り含まず)	A ₁	m ²					小数第二位四捨五入
掘削断面積 (余掘り含む)	A ₂	m ²					小数第二位四捨五入
1発破進行長	B	m	5.0	5.0	2.5	1.0	B~C _L は長孔発破
変化率	L	—	1.85	1.70	1.60	1.50	
m2当り穿孔数	C	m ²	3.7	3.4	3.0	1.9	長孔発破、爆薬技術対応
穿孔長	D	m	B+0.2		B+0.1		
削岩機使用台数	E	台	2	2	2	2	
のみ下がり速度	F	m/min	1.1	1.3	1.4	1.7	コンピュータ制御自動削孔
削岩機1台当り穿孔数	G	孔	A ₁ ×C÷E				小数第一位四捨五入
ダンプトラック積載量	H	m ³	7.8	7.5	7.3	7.2	
ずり積み能力	Qs	m ³ /h	64.4	64.4	64.4	64.4	
吹付け周長	M ₁	m					
1サイクル当り吹付け面積	M	m ²	M ₁ ×B				
吹付け設計厚さ	N ₁	m	0.00	0.04	0.04	0.06	
余吹き厚さ	N ₂	m	0.00	0.00	0.00	0.00	シングルシェル対応
吹付け跳ね返り係数	K	—	1.24	1.24	1.24	1.24	高強度吹付け対応
1サイクル当りロックボルト本数	P ₁	本					ボルト長 1~2m
穿孔時間		min	D×G÷F				
削岩機移動時間		min	G×1.0				
積み込み時間		min	A ₂ ×B÷Qs×60				
吹付け時間	R	min	M×(N ₁ +N ₂)×K×60/6+30				
支保工建込	S	min	0	0	0	20	
ロックボルト工	T ₁	min	P ₁ ×3.6+20				
金網工	T ₂	min	0	0	0	20	
サイクルタイム固定分		min	105	115	135	140	
計	Q	min					
掘削サイクルタイム		min	Q-(R+S+T ₁ +T ₂ +U)				
1箇月当り進行長		m/月	540×B×2×23÷Q				

1. 7 掘削工

(6) 掘削作業の編成人員

掘削作業における 1 方当り編成人員は、下表のとおりとする。

表 1-12 掘削作業の編成人員（人／1 方当り）

工 法	全断面掘削		
断面区分 (内空幅)	3.0m 以上	4.6m 以上	6.2m 以上
	4.6m 未満	6.2m 未満	7.6m 未満
トンネル特殊工	6.1	6.1	6.1

(7) 材料費

a 火薬

火薬は、サイトミキシングバルクエマルジョンを使用するものとする。火薬使用量は余堀りを含めない設計掘削量 1m^3 に対するものとする。

表 1-13 火薬使用量

地山区分	B	C _H	C _M	C _L	摘要
火薬使用量 (kg/m ³)	2.700	2.700	2.644	1.557	

注 1) 火薬使用量の算定は余堀りを含めない断面とする

注 2) 火薬はサイトミキシングバルクエマルジョンとする

b 雷管

雷管は非電気式雷管を使用するものとする。

c ビット、ロッド

ビット、ロッドは削孔長に応じて選定し、ビット、ロッドの耐用命数は下表のとおりとする。

表 1-14 ビット、ロッド

	摘要
ビット	クロスビットφ42
ロッド	φ32

注 1) スリーブ、シャンクロッドはロッドに換算してある。

注 2) ビットの研磨、修理費を含む

表 1-15 ビット、ロッドの耐用命数

地山区分	B	C _H	C _M	C _L	摘要
ビット(m/個)	120	220	280	340	クロスビットφ42
ロッド(m/本)	410	650	700	770	φ32

1.8 ずり処理工

(8) ずり処理工（レール方式）

a ずり処理工の区分

ずり処理工の範囲は、下図のとおりとする。

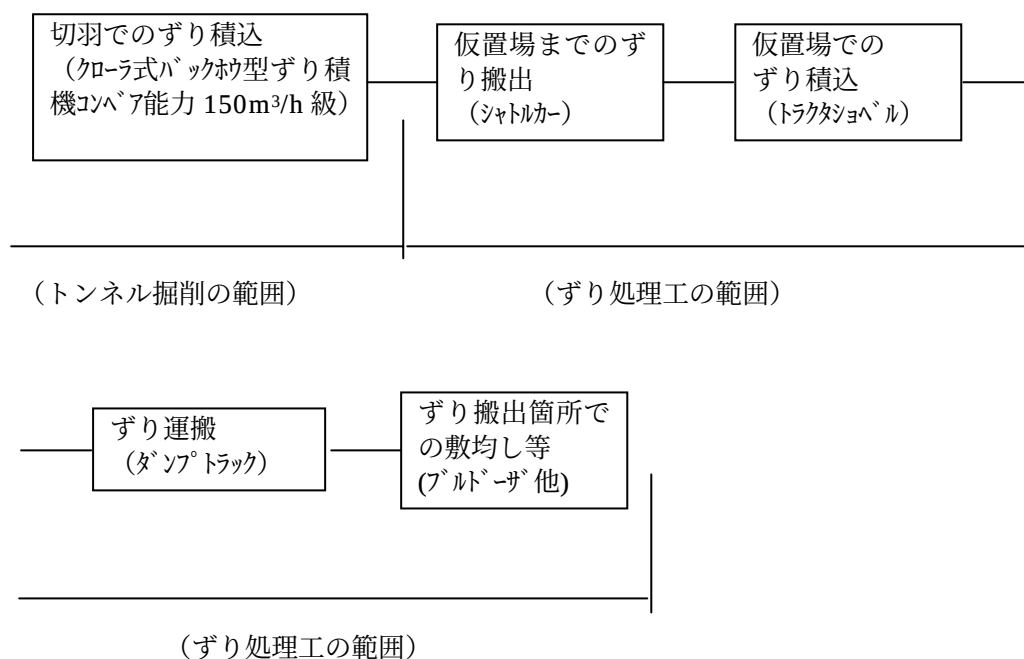


図1-2 ずり処理工の範囲区分（レール方式）

b シャトルカー規格

レール方式では 12t 機関車牽引のシャトルカーを使用するものとし、シャトルカーの規格は軌道の最急勾配（地下調整池の縦断勾配）にて決定する。なお、工事費算定システムにおける縦断勾配の入力は、突込み施工の場合をマイナス表示とする。

表1-16 制動により決定する場合（順勾配での施工の場合）の勾配別シャトルカー規格

軌道勾配	1.0%まで	1.5%まで	2.0%まで	2.5%まで
シャトルカー規格	28m ³	24m ³	20m ³	15m ³

表1-17 牽引により決定する場合（突込み施工の場合）の勾配別シャトルカー規格

軌道勾配	0.5%まで	1.0%まで	2.0%まで	2.5%まで
シャトルカー規格	28m ³	24m ³	20m ³	15m ³

c シャトルカー台数

トンネル延長に応じて、シャトルカー台数は下表を標準とする。

表 1－18 トンネル延長とシャトルカー台数

シャトルカー規格 \ シャトルカー台数	2 台	3 台	4 台
シャトルカー 28m ³ 級	2400m	5000m	—
シャトルカー 24m ³ 級	2000m	4775m	5000m
シャトルカー 20m ³ 級	1600m	3950m	5000m
シャトルカー 15m ³ 級	1050m	2900m	4900m

d 運転保守費

掘削ずり搬出用の機関車・シャトルカーの運転手で、3 列車編成以上につき、1 人/台を計上する。

表 1－19 機関車・シャトルカー運転保守労務

種別	名称	単位	数量	摘要
運転労務費	トンネル特殊工	人/台	1	ずり処理用機関車 3 台以上につき 1 人

(9) ずり処理工（タイヤ方式）

a ずり処理工の区分

ずり処理工の範囲は、下図のとおりとする。

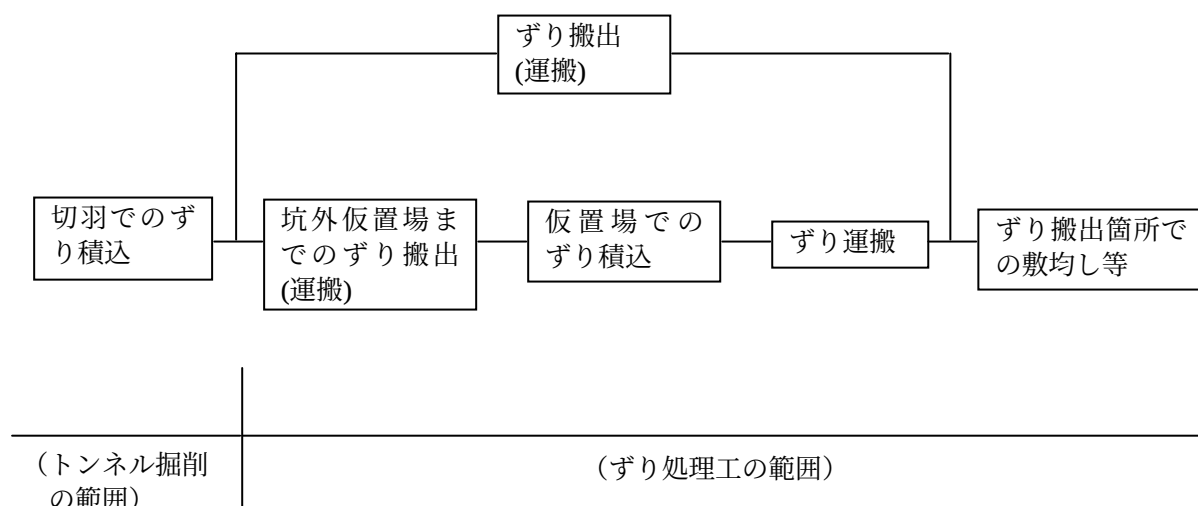


図 1－3 ずり処理工の範囲区分（タイヤ方式）

b ダンプトラックの所要台数

ダンプトラックの所用台数は、次式による。

$$N = C_m \times n / t_1$$

$$C_m = t_1 + t_2 + t_3$$

t₁：ずり積機によるダンプトラック 1 台当りの積込所要時間(5min/台)

t₂：往復走行に要する時間(min)

t₃：荷卸し及び荷卸し待ちに要する時間(2min)

n：ずり積機の使用台数(通常は 1 台)

$$t_2 = (H / V_1 + R / V_2) \times 2$$

H：坑内運搬距離(m)

R：坑口から搬出場所までの運搬距離(m)

V₁：坑内運搬速度(m/min) (表参照)

V₂：坑外平均運搬速度(m/min) (表参照)

表 1－20 坑内ダンプトラック走行速度

区分	坑内全延長に対する平均速度	摘要
坑内	250m/min(15km/h)	

表 1－21 坑外ダンプトラック走行速度

区分	坑外平均運搬速度	摘要
坑外	250m/min(15km/h)	

c ずり運搬補助労務

前項 b. で算出したダンプトラック所用第数分の損料は、運転時間損料と供用日損料に分けて計上する。このダンプトラックの運転労務は、下表に示す台数分については坑内作業員が行う（掘削に含む）ものとする。下表に示す台数を超える場合は、増加台数分について、坑内ずり運搬補助等として、トンネル特殊工を計上する。

表 1－22 坑内作業員が行うダンプ台数

工法	方式	ダンプ種別	ダンプ台数	摘要
全断面掘削	爆破掘削	11 t	3	黒煙浄化装置付

1. 9 支保工

(10) 吹付けコンクリート

a 吹付けコンクリートの材料・配合

表 1－2 3 高強度吹付けコンクリートの配合

W/C	セメント	単位 細骨材量	単位 粗骨材量	急結剤 (高強度用)	減水剤	粉じん 抑制剤
45	450kg	1052kg	567kg	セメントの 10%	4.66kg	セメントの 0.1%

注) 粗骨材の最大寸法は 15mm とし、セメントの種類は普通ポルトランドセメントとする。

b 労務編成

吹付け作業の労務編成は、掘削作業と同じとする。

c 吹付け機械の機種・規格

表 1－2 4 吹付け機械（レール方式）

機種	規格	単位	数量	摘要
吹付けロボット	吹付け範囲半径 8m 級	台	1	
吹付け機	湿式 10～15m ³ 級	台	1	
急結剤供給装置	5.5kw	台	1	
機関車	バッテリー式 12t	台	1	吹付けロボット等けん引 (掘削と併用)
アジテータカー	被けん引式 4.0m ³ 級	台	1	
機関車	バッテリー式 12t	台	1	アジテータカーけん引 (掘削と併用)

表 1－2 5 吹付け機械（タイヤ方式）

機種	規格	単位	数量	摘要
吹付けロボット	吹付け範囲半径 8m 級	台	1	
吹付け機	湿式 10～15m ³ 級	台	1	
急結剤供給装置	5.5kw	台	1	
アジテータトラック	1.6～1.7m ³ 級	台	1	

d 混合設備

表 1－2 6 吹付けコンクリートの混合設備

名称	規格	単位	数量	摘要
コンクリートプラント	全自動強制練型 0.5m ³ ×1	台	1	高強度用 25m ³ /h

注) 骨材供給装置、セメント供給装置およびベルトコンベア等を含む。

(11) ロックボルト工

a 労務編成

ロックボルト工の労務編成は、掘削作業と同じとする。

b 穿孔機械等

せん孔機械及び作業足場は、トンネル掘削で計上しているジャンボ 1 台とする。
したがって、削岩機損料、ジャンボ本体の供用日損料は掘削費に含まれる。また、モルタル混合設備、注入設備、ロックボルト打込み打設機械等は雑品で計上する。

(12) 鋼製支保工

a 労務編成

鋼製支保工の労務編成は、掘削作業と同じとする。

b 支保工建込

支保工建込は、掘削用ジャンボを使用するものとし、この費用は掘削費に含まれる。

(13) 金網工

a 労務編成

金網工の労務編成は、掘削作業と同じとする。

b 金網材料

金網工に使用する材料は、溶接金網 150×150×φ5 を標準とする。

1. 10 共通仮設費

(14) 火薬取扱費

爆破掘削方式の火薬取扱に要する労務費を算出する。

計上する労務費は、トンネル延長、交替制の区分により下表のとおり（トンネル 1 本単独施工）とする。

計上する期間は、掘削開始より掘削終了までの火薬を使用する期間とする。

表 1-27 火薬取扱労務歩係（人・日）

トンネル延長 L(m)	$0 < L \leq 500$	$L > 500$	摘要
昼夜 2 交替 (10h 2 方)	2.4	2.0	
昼間 1 交替 (10h 1 方)	1.2	1.0	

(15) 積卸し設備費

支保工等材料の積卸しに必要な門型クレーン 3t 吊りの費用を算出する。（門型クレーンのレール敷設等含む）

門型クレーンの設置・撤去費は下表のとおりとする。

計上する期間は、掘削開始より掘削終了までの門型クレーンを使用する期間とする。

表 1-28 門型クレーンの設置・撤去費

	設置	撤去	摘要
普通作業員	12 人	6 人	
4.8～4.9t トラッククレーン	2 台	1 台	

(16) 換気設備

換気設備は、掘削片押し延長 50m 以上のトンネルについて計上し、設置期間は坑口より 50m 掘削した時点から貫通までの期間とする。

風管は、難燃性ビニル風管を標準とし、切羽からの控え長を 40m、坑外延長を 10m とする。

トンネル断面規模に応じた換気設備の設定を下表に示す。

表 1－29 トンネル断面規模別換気設備

内空幅		3.0m 以上 4.6m 未満	4.6m 以上 6.2m 未満	6.2m 以上 7.6m 未満	摘要
送風機	風量	1000m ³ /min	1000m ³ /min	1500m ³ /min	
	全圧	3.2MPa	3.2MPa	4.9MPa	
	動力	74kW	74kW	160kW	
風管径		φ1100mm	φ1200mm	φ1300mm	ファスナー式
送風機設置間隔		2000m	1500m	1200m	

また、送風機の設置・撤去費に要する費用は下表のとおりとする。

表 1－30 送風機の設置・撤去

	歩掛	設置	撤去	摘要
特殊作業員	3.0 人	1.0	0.5	
トンネル作業員	3.0 人	1.0	0.5	
4.8～4.9t トラッククレーン	1.0 台	1.0	0.5	

(17) 送気設備費

a 送気設備の設置

送気設備（コンプレッサー設備）は下表を標準とする。

表 1-31 送気設備

機種	規格	台数	摘要
コンプレッサー	定置式スクルー型 12.0～12.3m ³ /min ×0.686MPa(7kg/cm ²)×75kW	2	

b 運転時間・運転日数

コンプレッサー1台当りの運転時間は下表によるものとし、コンプレッサー1月当りの運転日数は23日/月とする。また、設置期間は、掘削開始から掘削完了までの期間とする。

表 1-32 コンプレッサー運転時間

項目	交替制の区分	単位	運転時間	摘要
コンプレッサー 運転時間	昼夜2交替 (10h2方)	h/日	6.0	
	昼間1交替 (10h1方)	h/日	3.0	

c 送気管

送気管はつる巻鋼管を標準とする。

つる巻鋼管の種別は敷設延長により下表を標準とする。

表 1-33 送気管の標準

	$L \leq 1000$	$L \leq 1500$	$1500 < L$	摘要
つる巻鋼管	φ100	φ150	φ150	L:敷設延長(m)

つる巻鋼管の損率は下表を標準とする。

表 1-34 送気管の損率

区分	損率	摘要
$L > 1500$	0.585	L:敷設延長(m)
$t \leq 16.7$	$t/16.7 \times 0.55$	t:設置期間(月)
$t > 16.7$	$(t-16.7)/t \times 1.1 + 16.7/t \times 0.55$	

また、つる巻鋼管の補正率は下表を標準とする。

表 1-35 送気管の補正率

	$L \leq 1000$	$L \leq 1500$	$1500 < L$	摘要
つる巻鋼管	1.49	1.43	1.43	L:敷設延長(m)

d 送気管の設置歩係

坑内外の送気管の設置歩掛は下表を標準とする。

表 1－36 送気管の設置歩係（人／m）

区分	職種	設置	摘要
坑外	配管工	0.040	8h
	普通作業員	0.080	8h
坑内	トンネル特殊工	0.032	10h1方
	トンネル作業員	0.080	8h

また、設置・撤去の補正率は下表を標準とする。

表 1－37 送気管設置・撤去の補正率

	設置	移設	撤去	摘要
坑外	1.0	—	0.3	
坑内	—	1.0	0.5	

e コンプレッサーの設置・撤去

コンプレッサーの設置・撤去費に要する費用は下表のとおりとする。

表 1－38 コンプレッサーの設置・撤去費

	歩掛	設置	撤去	摘要
特殊作業員	6.0人	1.0	0.6	
11tトラッククレーン	1.0台	1.0	0.6	

(18) 給水設備費

a 給水設備の設置

給水設備は下表を標準とする。

表 1－39 給水設備

機種	規格	台数	摘要
タービンポンプ	φ80×3段 7.5kW	1	
水槽	鋼板製 20m ³		

b 設置期間・運転日数

設置期間は、掘削開始から掘削完了までの期間を標準とする。

タービンポンプ 1月当りの運転日数は 23 日/月を標準とする。

c 給水管

送気管はガス管（白ネジ付）とし、下表を標準とする。

表 1－4 0 給水管の標準

	1（標準）	2	摘要
ガス管（白ネジ付）	φ 80	φ 100	

給水管の損率は下表を標準とする。

表 1－4 1 給水管の損率

区分	損率	摘要
$t \leq 16.7$	$t/16.7 \times 0.55$	t :設置期間(月)
$t > 16.7$	$(t-16.7)/t \times 1.1 + 16.7/t \times 0.55$	

坑内外の送気管の設置歩掛は下表を標準とする。

表 1－4 2 送気管の設備歩係

区分	職種	設置	摘要
坑外	配管工	0.020	8h
	普通作業員	0.020	8h
坑内	トンネル特殊工	0.016	10h 1 方
	トンネル作業員	0.016	10h 1 方

また、設置・撤去の補正率は下表を標準とする。

表 1－4 3 送気管の補正率

	設置	移設	撤去	摘要
坑外	1.0	—	0.3	
坑内	—	1.0	0.3	

d 給水ポンプの設置・撤去

給水ポンプの設置・撤去費に要する費用は下表のとおりとする。

表 1－4 4 給水設備の設置・撤去費

	設置	撤去	摘要
給水設備設置・撤去費	1.0	0.3	

(19) 坑内仮排水設備

a 坑内仮排水設備

坑内仮排水設備として、トンネル延長分の素掘側溝及びサンドポンプ（φ50mm）2 台を準備する。

b 素掘り側溝の掘削歩掛

素掘り側溝の掘削歩掛は下表を標準とする。

表 1－4 5 素掘側溝の掘削労務歩係（人／m）

掘削方式の区分	タイヤ方式	レール方式	摘要
労務歩掛	0	0.16	

c 設置期間

設置期間は、掘削開始から掘削完了までの期間を標準とする。

d 架設 P U の設置

仮設 P U の設置は湧水量が多い場合や土砂トンネル等で、特に必要と認められる場合に限る。

e 突込み施工の場合

突込み施工を行う区間については、想定される湧水に見合った排水設備を別途計上するものとする。

(20) ガントリージャンボ設備費

ガントリー型油圧 2 ブーム 100kg 級ジャンボの設置・撤去にかかわる費用を算出（レール方式の場合に適用する）する。

設置・撤去歩掛は下表を標準とする。

表 1－4 6 ガントリージャンボ設置・撤去費

	設置	撤去	摘要
トンネル特殊工	23	11	

(21) 機関車・シャトルカー運転保守

a 機関車・シャトルカー運転保守

機関車の運転労務費、供用日損料及びシャトルカーの供用日損料を算出するものである。

b 機関車運転労務

シャトルカー台数が3台以上になった場合、機関車運転労務としてトンネル特殊工を機関車・シャトルカー1台につき1人計上する。

c 機関車・シャトルカー搬入・撤去期間

機関車、シャトルカーの搬入・撤去期間の供用日損料を計上するものとし、その期間は下表を標準とする。

表1-47 機関車、シャトルカーの設置・撤去期間

	設置	撤去	摘要
機関車・シャトルカー	10	5	

(22) 機関車運転損料

a 機関車運転損料

シャトルカー及び吹付け機械等のけん引用機関車の運転損料及びシャトルカーの運転損料を算出するものである。

b 機関車運転時間

機関車・シャトルカー運転時間は下記のとおりとする。

- ・ ずり搬出用機関車・シャトルカー運転時間
＝（往復走行時間＋（ずり積込み＋ずり捨て時間））×1.1
- ・ 吹付け用機関車
＝（往復走行時間＋吹付け時間）×1.1

ずり積込み＋ずり捨て時間は下表を標準とする。

表1-48 ずり積込＋ずり捨て時間

シャトルカー規格(m ³)	15	20	24	28	摘要
積込＋ずり捨て時間(min)	29	37	44	51	

(23) シャトルカー設備費

a シャトルカー設備費

シャトルカーの設置・撤去に要するすべての費用を算出するものである。

b シャトルカーの設置・撤去

シャトルカーの設置・撤去に要する歩掛は下表を標準とする。

表 1-49 シャトルカー設置・撤去（1台当り）

	設置	撤去	摘要
機械工	12	6	
トラッククレーン 25 t 吊り	2	1	

(24) 軌条設備費

a 軌条(レール)設備

軌条設備の設置、撤去、損料に要する費用を算定する。

ただし、坑内の設置はトンネル掘削に含むものとし、計上しない。

軌条数量は下表を標準とする。

表 1-50 軌条設備数量の標準

	単位	単線	複線	摘要
レール(30kg)	m/m	0.02	0.04	
継ぎ目板	本/m	0.4	0.8	
ボルトナット	本/m	0.8	1.6	
犬釘	本/m	4.8	14.4	
まくら木(1.5m)	本/m	1.2	2.7	
まくら木(3.0m)	本/m	0	0.3	

b 待避所

坑内に待避車線を 500m程度に 1 箇所複線にて設けるものとする。

(25) 分岐器設備費

a 分岐器設備費

分岐器の設置、撤去、損料に要する費用を算定するもので、配線計画に基づき計画する。

ただし、坑内での移動式分岐器の掘削の進行に伴う移設は計上しない。

b 分岐器設置・撤去

分岐器の設置・撤去に要する費用は下表を標準とする。

表 1-51 分岐器設置・撤去期間（人・日）

区分	種別	設置	撤去	摘要
坑外	固定片開き	6.5	5.9	
坑内	移動式Y型	9.0	9.0	
	移動式N型、X型	13.5	12.5	

(26) 取替設備費

a 取替設備費

バッテリー機関車を使用する場合で、バッテリー取替用の設備に要する費用を算定するものである。

バッテリー取替用設備の設置・撤去費及び取替用の電動ホイス（3t吊）の損料を計上する。

b 取替設備設置・撤去

取替設備の設置・撤去に要する費用は下表を標準とする。

表 1－5 2 取替設備設置・撤去期間（人・日）

	設置場所	歩掛	設置	撤去	摘要
機械工	坑内	2.95	1.0	0.5	
	坑外	3.79	1.0	0.5	

(27) 坑内外仮設備保守費

坑内外の仮設備の運転、保守に要する費用を算出する。

坑内外仮設備保守に要する費用は下表を標準とする。

表 1－5 3 坑内外仮設備保守（人・日）

設置場所	昼夜 2 方 (10h2 方)	昼間 1 方 (10h1 方)	摘要
特殊作業員	1.7	1.0	
電工	1.7	1.0	
普通作業員	1.7	1.0	
割増率	0.406	0.313	

(28) 汚濁水処理設備費

a 汚濁水処理設備費

トンネルの濁水処理は湧水量 $30\text{m}^3/\text{h}$ と想定している。

表 1－5 4 汚濁水処理設備の標準

設備規模	処理能力	摘要
$30\text{m}^3/\text{h}$	$20\sim 30\text{m}^3/\text{h}$	ポータブル型

b 汚濁水処理工

(a) 汚濁水処理工（運転）

汚濁水処理設備（凝集沈殿、中和、脱水設備）の運転損料及び動力費を計上する。

凝集沈殿、中和設備の運転時間は $24\text{h}/\text{日}$ 、脱水設備の運転時間は $5\text{h}/\text{日}$ 、稼働日数は $23\text{ 日}/\text{月}$ を標準とする。

汚濁水処理設備の負荷容量は下表を標準とする。

動力費算定時の電気料金は、電力会社の供給規定に基づく契約種別に応じ決定する

表 1－5 5 汚濁水処理設備負荷容量

設備規模	$30\text{m}^3/\text{h}$	摘要
負荷容量(kW)	174	

(b) 汚濁水処理工（供用）

汚濁水処理設備（凝集沈殿、中和、脱水設備）の供用日損料を計上する。

供用日数は $30\text{ 日}/\text{月}$ とする。

c 汚濁水処理設備設置・撤去

汚濁水処理設備の運搬、設置及び撤去費を計上する。

汚濁水処理設備の設置・撤去に要する費用は下表を標準とする。

表 1－5 6 汚濁水処理設備の設置・撤去費（人・日）

設置場所	$30\text{m}^3/\text{h}$	摘要
土木世話役	4	
特殊作業員	9	
普通作業員	5	
電工	4	
トラック台数	1	10t 換算
供用日数	2	設置撤去期間

設置・撤去の歩掛の比率は下表を標準とする。

表 1－5 7 設置・撤去歩掛比率

項目	設置	撤去	摘要
歩掛比率	1.0	0.6	

(29) 工事用電力設備費

a 工事用電力設備費

工事用電力設備費は、概算の仮設電力設備費と工事用電力料を計上するものとし、爆破掘削方式、単独施工とする。

b 仮設電力設備費

トンネル内・外の引込設備、受電設備、配電設備及びトンネル坑内の照明設備に要する費用で、その算出は次式による。

なお、トンネル坑外の照明及び修理工場の電力設備に要する費用は、共通仮設費の率に含まれる。

$$Y = 10.4 \times L + 5,000$$

Y：仮設電力設備費（千円）

L：トンネル片押し延長（km）

c 工事用電力料

トンネル坑内外の動力及びトンネル坑内の照明用の使用電力料で、その算出は次式による。

なお、電力基本料金は別途計上する。

また、トンネル坑外の照明及び修理工場の動力料は、共通仮設費の率に含まれる。

$$E = Kw \times 23 \text{ 日/月} \times T \times K \times e$$

E：使用電力料（円）

Kw：総負荷設備合計容量(kw)

T：1日当り作業時間(h) 10h2方作業の場合=20h

10h1方作業の場合=10h

K：消費係数

K = 0.061 × L + 0.184 （爆破掘削 トンネル1本単独施工）

L：トンネル片押し延長(km)

e：電力使用料金単価（円/kWh）

（電力会社の供給規定に基づく契約種別に応じ決定する）

2. 工事費算定システム内容（TBM 掘削工法）

2.1 適用範囲

工事費算定システムは、地下調整池用トンネルを発破掘削工法および TBM 掘削工法により計画する場合における概算工事費および概算工期を算出するものである。

なお、工事費算定システムを用いて TBM 掘削工法による概算工事費および概算工費を算出するにあたっては以下の事項に留意するものとする。

- ① 円形および楕円形 TBM 工法に摘要する。
- ② トンネル断面規模については、想定している施工機械の組み合わせから、トンネル掘削外径 2.0m 以上 6.2m 以下を適用範囲とする。
- ③ 地質条件については、岩盤等級 B、CH、CM、CL および D 等級を適用範囲とする。
なお、断層破碎帯などの軟弱地山区間や多量の湧水が予想される区間において補助工法を必要とする場合には、実情に即して別途積算する必要があるため、本システムでは対応していない。
- ⑤ トンネル片押し延長は、トンネル 1 本当りの延長が 5.0km 程度以下に適用するものとする。システム上は、5km 以上を入力しても算定可能であるが、仮設備が異なる恐れがあるため、概算工事費を過小に算定する場合があるため注意が必要である。

2.2 積算価格の構成

(30) 積算価格の構成

積算価格（概算工事費）の構成は、下図に示すとおりとする。

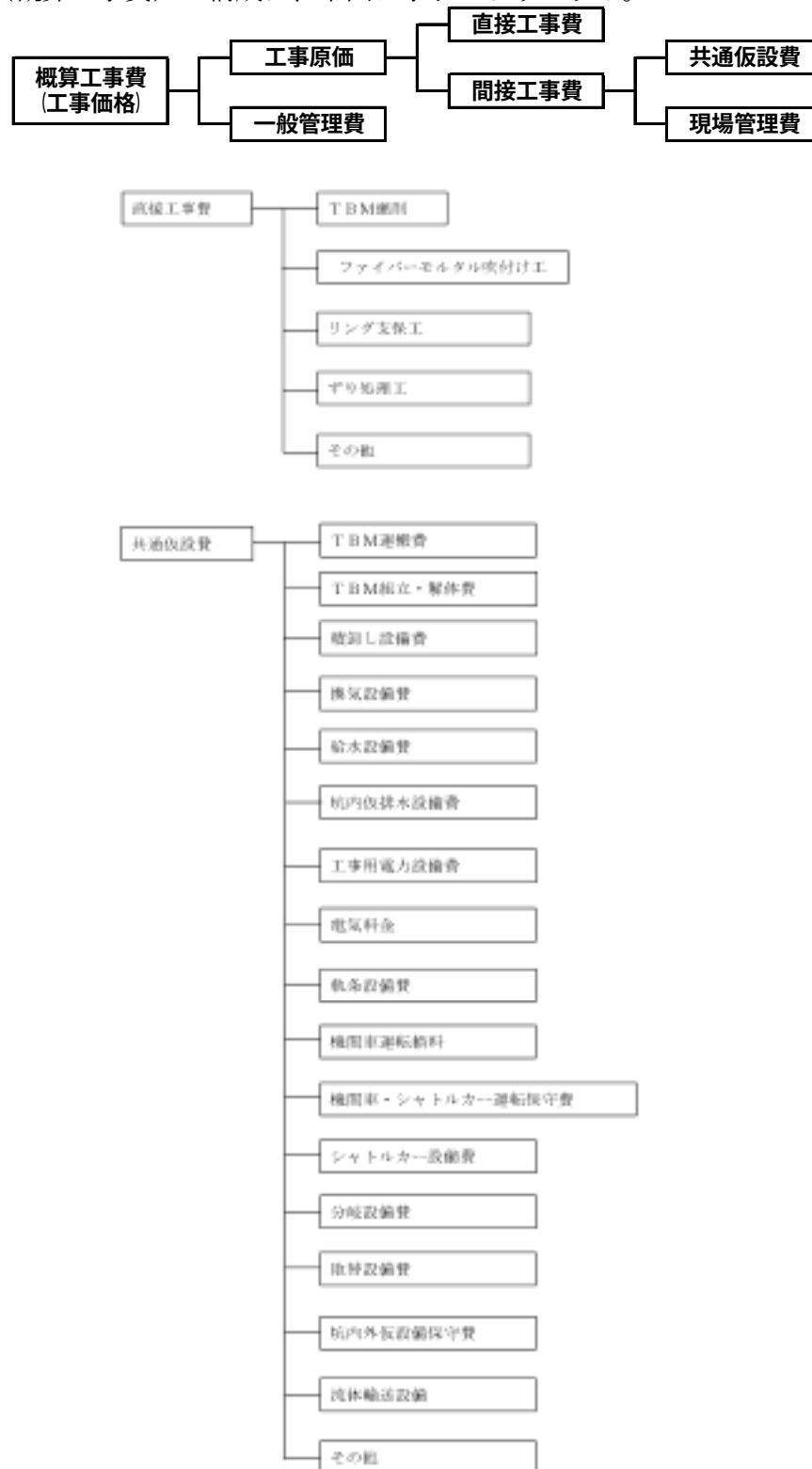


図2-1 積算価格の構成

(31) 諸経費

工事費算定システムでは、共通仮設費（率計上分）、現場管理費、一般管理費は、下表のとおりに算出する。

表 2－1 共通仮設費（率計上分）の算出

直接工事費 (P)	※直接工事費額 (P) に応じて下記数値を用いる。		
	1000万円以下	1000万円～20億円	20億円超
共通仮設費率 Kr (%)	31.37	5304.0	5.81
		$Kr=5304 \times P^{-0.3183}$	
	※直接工事費に上記率 (Kr) を乗じたものとする。		

表 2－2 現場管理費の算出

純工事費 (Np)	※純工事費額 (Np) に応じて下記数値を用いる。		
	1000万円以下	1000万円～20億円	20億円超
現場管理費率 Jo (%)	37.43	$Jo = 120.8 \times Np^{\wedge} (-0.0727)$	25.46
	※純工事費に上記率 (Jo) を乗じたものとする。		

表 2－3 一般管理費の算出

工事原価 (Cp)	※工事原価額 (Cp) に応じて下記数値を用いる。		
	500万円以下	500万円～30億円	30億円超
一般管理費率 Gp (%)	14.38	$-2.57651 \times \log(Cp) + 31.63531$	7.22
	※工事原価額に上記率 (Gp) を乗じたものとする。		

2.3 トンネル断面

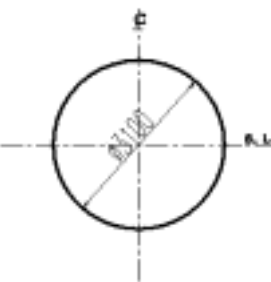
地下調整池としての機能面を考慮した場合、掘削高さを抑えつつ掘削幅を広くした断面の方が、デットスペースが少なく有利となる。しかし、TBM工法を採用する場合には、その機構上、円形もしくは楕円形を基本とする。

断面規模とTBM機械編成については、TBM機およびずり搬出方式の組み合わせを考慮して設定するものとし、下表に示す組み合わせを標準とする。

下図に、TBM方式における断面規模と施工機械編成の適用範囲を示す。

なお、地下調整池の縦断方向の断面形状については、TBM掘進の特性上、地下調整池全線に亘り一定の断面形状とする。

表2-4 TBM方式における断面規模と施工機械編成の適用範囲

断面規模		φ2.0m～φ2.3m	φ2.3m～φ3.1m	φ3.1m～φ6.2m
モデル断面		 (約 3 m ²)	 (約 8 m ²)	 (約 20 m ²)
ずり搬出	短距離	流体輸送	シャトルカーまたはずり鋼車	
	長距離		ベルトコンベア	
適用	シールドタイプ	←		→
	オープンタイプ			←
	流体輸送	←		
	シャトルカー		←	→
	ずり鋼車		←	→
	ベルトコンベア		←	→

2.4 標準施工機械の組合せ

標準施工機械の組合せは、断面規模に応じて、下表によるものとする。なお、楕円 TBM を用いる場合には、楕円 TBM の掘削高さが下表の TBM 掘削径に対応するものとする。

表 2－5 標準掘削機械の組合せ（TBM 掘削工法）

	掘削		ずり搬出	
	機種・規格	台数	機械	台数
φ2.0～2.3m 級	シールド型 TBM (設備動力 250kW)	1	流体輸送設備	1 式
φ2.3～3.1m 級	シールド型 TBM (設備動力 600kW)	1	バッテリー機関車 (12 t) シャトルカー (7.5～28m ³ 級)	注)
φ3.1～5.0m 級	シールド型 TBM (設備動力 1100kW)	1	バッテリー機関車 (12 t) シャトルカー (7.5～28m ³ 級)	注)

注) ずり搬出機械の台数は、掘削サイクルタイムに影響を与えないようにずり積込能力に合わせて適切に設定する。

2.5 標準支保パターン

TBM 掘削工法による工事費算定システムでは、岩盤等級およびトンネル断面規模に応じて、以下に示す標準支保パターンを用いている。

表 2-6 標準支保パターン表 (TBM 掘削：TBM 掘削径 2.0m～2.3m)

掘削径 2.0m ～ 2.3m (TBM)						
岩盤等級	一サイクル進 m	一次吹付け		簡易ライナー		二次吹付け厚 cm
		厚さ cm	周方向 m	鋼製ライナー	建込間隔 m	
B	1.5	—	—	—	—	4
C _H	1.5	—	—	—	—	4
C _M	1.5	—	—	—	—	4
C _L	1.0	—	—	鋼製支保工 (リング支保工) (H-100)	1.0	4
D	0.5	—	—	鋼製ライナー	0.5	4

注1) 一次吹付けは、繊維補強高強度吹付けモルタル ($f_{ck}=30\text{N/mm}^2$) とする。

注2) 二次吹付けは、繊維補強高強度吹付けコンクリート ($f_{ck}=30\text{N/mm}^2$) とする。

表 2-7 標準支保パターン表 (TBM 掘削：TBM 掘削径 2.3m～6.2m)

掘削径 2.3m ～ 6.2m (TBM)						
岩盤等級	一サイクル進 m	一次吹付け		鋼製支保工等		二次吹付け厚 cm
		厚さ cm	周方向 m	支保構造	建込間隔 m	
B	1.5	—	—	—	—	4
C _H	1.5	—	—	—	—	4
C _M	1.5	2	天端180° 範囲	—	—	4
C _L	1.0	3	天端180° 範囲	鋼製支保工 (リング支保工) (H-100)	1.0	4
D	0.5	—	—	鋼製ライナー	0.5	4

注1) 一次吹付けは、繊維補強高強度吹付けモルタル ($f_{ck}=30\text{N/mm}^2$) とする。

注2) 二次吹付けは、繊維補強高強度吹付けコンクリート ($f_{ck}=30\text{N/mm}^2$) とする。

2.6 工事工程の算出

工事工程の算出は、地下調整池トンネル計画地の地質状況を考慮し、トンネル区間の岩盤等級比率を設定した上で、岩盤等級とトンネル断面規模に応じたサイクルタイム表を使用して設定している。

(32) 工期の設定

TBM 掘削工法による地下調整池トンネル構築の標準的な工程は、下表のように設定する。

表 2-8 標準的な工期設定 (TBM 掘削)

	標準工期	備考
準備工	1 ヶ月	
TBM 設計・製作 仮設備工	6 ヶ月	注 1)
TBM 搬入・組立・発進準備	2 ヶ月	
掘削工期	トンネル延長÷1 箇月当り進行長により算出	注 2)
TBM 解体・搬出	1.5 ヶ月	注 3)
二次吹付け工	トンネル延長÷1 箇月当り進行長により算出	注 4)
後片付け	1 ヶ月	

注 1) 工事用進入路整備、坑口付け、仮設備設置を含む。

注 2) 掘削工期に対する 1 箇月当り進行長は、サイクルタイム表により算出する。

注 3) 出口側から TBM 解体・搬出が可能であり、TBM 解体・搬出作業と二次吹付け工が同時に行える場合には、TBM 解体・搬出工期は計上しない。

注 4) 二次吹付け工は、掘削終了（貫通）後に連続して行うことを基本とする。そのため、二次吹付け工の 1 箇月当り進行長はサイクルタイム表の吹付け時間の計算式を用いて掘削工期に対する 1 箇月当り進行長とは別に算出したものを使用する必要がある。

注 5) トンネル施工以外の諸設備設置等の工期は、設備規模に応じて別途計上する必要があるため、本システムでは考慮していない。

(33) 1 箇月作業日数と作業時間

工事費および工期を算出する上での、TBM 掘削工法により地下調整池トンネルを施工する場合の 1 ヶ月の作業日数は、平均 23 日とする。また、作業別の 1 日の作業方数および労働時間は、下表のとおりである。

表 2-9 作業別の作業方数と労働時間 (TBM 掘削)

作業内容	作業方数	1 方当りの 実働時間	1 方当りの 実作業時間
1) 坑外仮設、撤去等坑外一般 2) 坑門工関係	1 方 (昼間施工)	8 時間	7 時間
3) 坑内コンクリート関連作業 4) 坑内仮設、保守等	1 方 (昼間施工)	10 時間	9 時間
5) 坑内掘削及びこれに関連する作業、機械運転保守等	2 方 (昼夜施工)	10 時間	9 時間

(34) サイクルタイム

TBM 掘削工法により地下調整池トンネルを標準支保パターンおよび標準施工機械の組合せに基づいて施工する場合のサイクルタイム表は、TBM 掘削径に応じて表 2-10～表 2-12 を標準として用いるものとする。

表 2-10 サイクルタイム表 (TBM 掘削：TBM 掘削径 ϕ 2.0m～2.3m)

項目	記号	単位	B	C _H	C _M	C _L	D	備考
1ストローク長	A	m	1.5	1.5	1.5	1.0	0.5	
純掘進速度	B	m/hr	2.4	2.4	3.1	3.1	2.9	
吹付け周長	C	m					—	
吹付け設計厚さ	D	m					—	
純掘削時間	E	min	A ÷ B × 60					
測量・位置修正 およびグリッパー盛替	F	min	13	13	13	13	13	
小計 (TBM運転時間)	G	min	E + F					
支保工組立	H	min	0	0	0	25	25	
ファイバーモルタル吹付け	I	min	A × C × D × 1.1 × 60 / 0.9 + 10			A × C × D × 1.1 × 60 / 0.9		
中計 (TBM掘進サイクルタイム)	J	min	G + H + I					
交換・延伸・その他	K	min	41	41	36	42	42	
計 (全体サイクルタイム)	L	min	J + K					
1日当りストローク回数	M	回/日	540 × 2 ÷ L					
1日当り進行長	N	m/日	M × A					
1箇月当り進行長	O	m/月	N × 23					

表 2-11 サイクルタイム表 (TBM 掘削：TBM 掘削径φ2.3m～3.1m)

項目	記号	単位	B	C _H	C _M	C _L	D	備考
1ストローク長	A	m	1.5	1.5	1.5	1.0	0.5	
純掘進速度	B	m/hr	2.4	2.4	3.1	3.1	2.9	
吹付け周長	C	m					—	
吹付け設計厚さ	D	m					—	
純掘削時間	E	min	A ÷ B × 60					
測量・位置修正 およびグリッパー盛替	F	min	13	13	13	13	13	
小計 (TBM運転時間)	G	min	E + F					
支保工組立	H	min	0	0	0	25	25	
ファイバーモルタル吹付け	I	min	A × C × D × 1.1 × 60 / 0.9 + 10			A × C × D × 1.1 × 60 / 0.9		
中計 (TBM掘進サイクルタイム)	J	min	G + H + I					
延伸・その他	K	min	33	33	28	37	39	
1ストローク当り 積み込みロス	P	min	5	5	5	5	0	
1ストローク当り カッター交換時間	Q	min	2	2	2	1	1	
計 (全体サイクルタイム)	L	min	J + K + P + Q					
1日当りストローク回数	M	回/日	540 × 2 ÷ L					
1日当り進行長	N	m/日	M × A					
1箇月当り進行長	O	m/月	N × 23					

表 2-12 サイクルタイム表 (TBM 掘削：TBM 掘削径φ3.1m～6.2m)

項目	記号	単位	B	C _H	C _M	C _L	D	備考
1ストローク長	A	m	1.5	1.5	1.5	1.0	0.5	
純掘進速度	B	m/hr	2.4	2.4	3.1	3.1	2.9	
吹付け周長	C	m					—	
吹付け設計厚さ	D	m					—	
純掘削時間	E	min	A ÷ B × 60					
測量・位置修正 およびグリッパー盛替	F	min	13	13	13	13	13	
小計 (TBM運転時間)	G	min	E + F					
支保工組立	H	min	0	0	0	25	25	
ファイバーモルタル吹付け	I	min	A × C × D × 1.1 × 60 / 0.9 + 10			A × C × D × 1.1 × 60 / 0.9		
中計 (TBM掘進サイクルタイム)	J	min	G + H + I					
延伸・その他	K	min	33	33	28	37	39	
1ストローク当り 積み込みロス	P	min	5	5	5	5	0	
1ストローク当り カッター交換時間	Q	min	6	6	5	3	3	
計 (全体サイクルタイム)	L	min	J + K + P + Q					
1日当りストローク回数	M	回/日	540 × 2 ÷ L					
1日当り進行長	N	m/日	M × A					
1箇月当り進行長	O	m/月	N × 23					

2.7 TBM 掘削

(35) TBM 掘削作業の編成人員

表 2-13 TBM 掘削作業の編成人員 (人/1 方当り)

工 法	T B M掘削		
	φ 2.0～2.3m 級	φ 2.3～3.1m 級	φ 3.1～5.0m 級
トンネル世話役	1	1	1
トンネル特殊工	3	3	3
トンネル作業員	2	2	2
特殊作業員 (運転工)	1	1	1
電 工	1	1	1
特殊作業員 (機械工)	1	1	1
合 計	9	9	9

(36) TBM 掘削機の本体価格

T B Mの本体価格については、楕円 T B Mと円形 T B Mの両方について価格調査した結果から、図 2-2 に示すような近似式により数式化した。

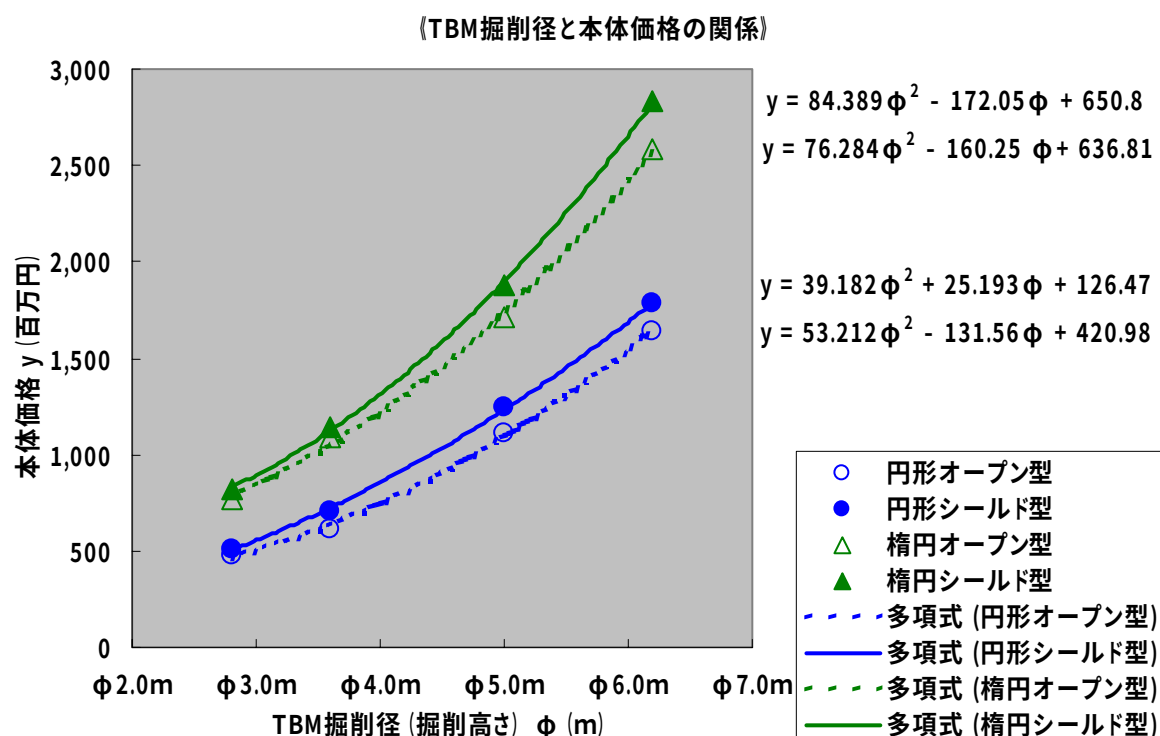


図 2-2 T B M掘削径と本体価格の関係

(37) 材料（カッター類）

カッター類（カッターリング、シングルハブ、ダブルハブ）の使用量は下表を標準とする。

表 2-14 φ2.0m～φ2.3m 級 TBM カッター類損耗量（個／m³）

地山区分	B	C _H	C _M	C _L	D
カッターリング	0.0073	0.0032	0.0018	0.0013	0.0013
シングルハブ	0.00243	0.00107	0.0006	0.00043	0.00043
ダブルハブ	0.00037	0.00016	0.00009	0.00007	0.00007

表 2-15 φ2.3m～φ6.2m 級 TBM カッター類損耗量（個／m³）

地山区分	B	C _H	C _M	C _L	D
カッターリング	0.00487	0.00213	0.0012	0.00087	0.00087
シングルハブ	0.00243	0.00107	0.0006	0.00043	0.00043
ダブルハブ	0.00037	0.00016	0.00009	0.00007	0.00007

(38) TBM 機械損料

TBM 運転時間損料に計上する時間は、1 ストローク当りの運転時間（純掘削時間＋測量、位置修正、グリッパ盛替時間）とする。また、TBM 損料率は次表により算定する。

表 2-16 TBM 損料率の算定

	項 目	単 位	採用値	算 式
A	耐用距離	km	10	
B	耐用工事現場数	現場	3	
C	1現場当たり掘進距離	km	3.333	A/B
D	耐用年数	年	4.5	新日本財団
E	平均月進距離	m/月		
F	平均日進距離	m/日		E/23
G	純掘進速度	m/hr		
H	1現場当たり標準運転時間	hr		(C/G+(C/X*13)/60)*1000 X: 平均ストローク長
I	1現場当たり標準供用日数	日		(C/(G*20*(E/G*20*23)))*1000+87.4+60
J	償却費率	%	90	
K	転用補修費率	%	50	
L	現場修理費率	%	10	
M	年間管理費率	%	7	
N	運転1時間当たり損料率	*10 ⁻⁴		(0.5*J+K+L)/(B*H)*10000/100
O	供用1日当たり損料率	*10 ⁻⁴		(0.5*J+M*D)/(B*I)*10000/100

TBM 機械損料額 TBM 査定価格（(2) で示した本体価格）

ビット交換装置：TBM 本体価格の 0.1%

1 現場当り標準運転時間＝(C/G+(C/X×13)/60)×1000

13 : 測量、位置修正及びグリッパ盛替時間

1 現場当り標準供用日数＝(C/(G×20×(E/G×20×23)))×1000+87.4+60

87.4 : 日曜、祝祭日による作業の休止日

60 : 工事現場での組立、解体に要する日数

2.8 ずり処理工

(39) ずり処理工（レール方式）

a ずり処理工の区分

ずり処理工の範囲は、下図のとおりである。

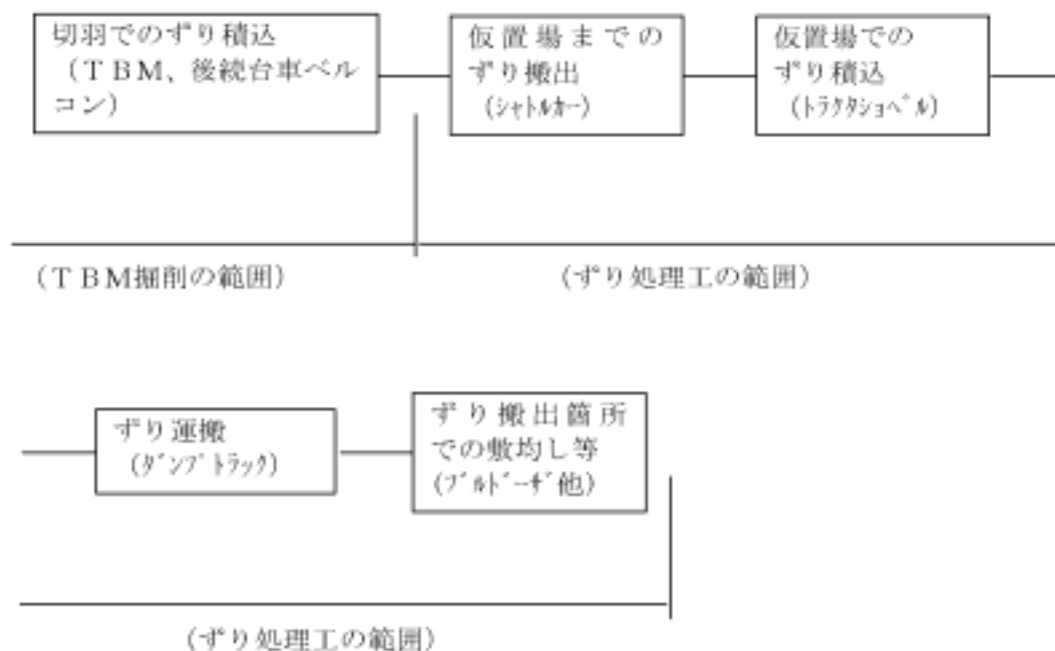


図2-3 ずり処理工の範囲区分（レール方式）

b シャトルカー規格

レール方式では 12t 機関車牽引のシャトルカーを使用するものとし、シャトルカーの規格は軌道の最急勾配（地下調整池の縦断勾配）にて決定する。なお、工事費算定システムにおける縦断勾配の入力は、突込み施工の場合をマイナス表示とする。

表2-17 制動により決定する場合（順勾配での施工の場合）の勾配別シャトルカー規格

軌道勾配	1.0%まで	1.5%まで	2.0%まで	2.5%まで
シャトルカー規格	28m ³	24m ³	20m ³	15m ³

表2-18 牽引により決定する場合（突込み施工の場合）の勾配別シャトルカー規格

軌道勾配	0.5%まで	1.0%まで	2.0%まで	2.5%まで
シャトルカー規格	28m ³	24m ³	20m ³	15m ³

c シャトルカー台数

TBM 施工における機関車・シャトルカー台数は、掘削区分別の 1 ストローク当りの最大ずり量から算出するものとし、算出方法は下式による。

シャトル準備台数＝ $A2 \times B \times L / H$ (台) 少数以下切上げ整数

A2：余堀を含む掘削断面積(m²)

B：1 発破掘進長(m)

L：変化率

H：ずり運搬車積載量（車両上）（下表参照）

表 2－19 ずり運搬車積載量

地山区分			B	C _H	C _M	C _L
シャトルカー	15m ³ 級	地山	—	—	—	—
		車両上	8.1	8.8	9.4	10.0
	20m ³ 級	地山	—	—	—	—
		車両上	10.8	11.8	12.5	13.3
	24m ³ 級	地山	—	—	—	—
		車両上	13.0	14.1	15.0	16.0
	28m ³ 級	地山	—	—	—	—
		車両上	15.1	16.5	17.5	18.7

d 運転保守費

掘削ずり搬出用の機関車・シャトルカーの運転手で、3 列車編成以上につき、1 人/台を計上する。

表 2－20 機関車・シャトルカー運転保守労務

種別	名称	単位	数量	摘要
運転労務費	トンネル特殊工	人/台	1	ずり処理用機関車 3 台以上につき 1 人

(40) ずり処理工（流体輸送方式）

a ずり処理工の区分

ずり処理工の範囲は、下図のとおりとする。

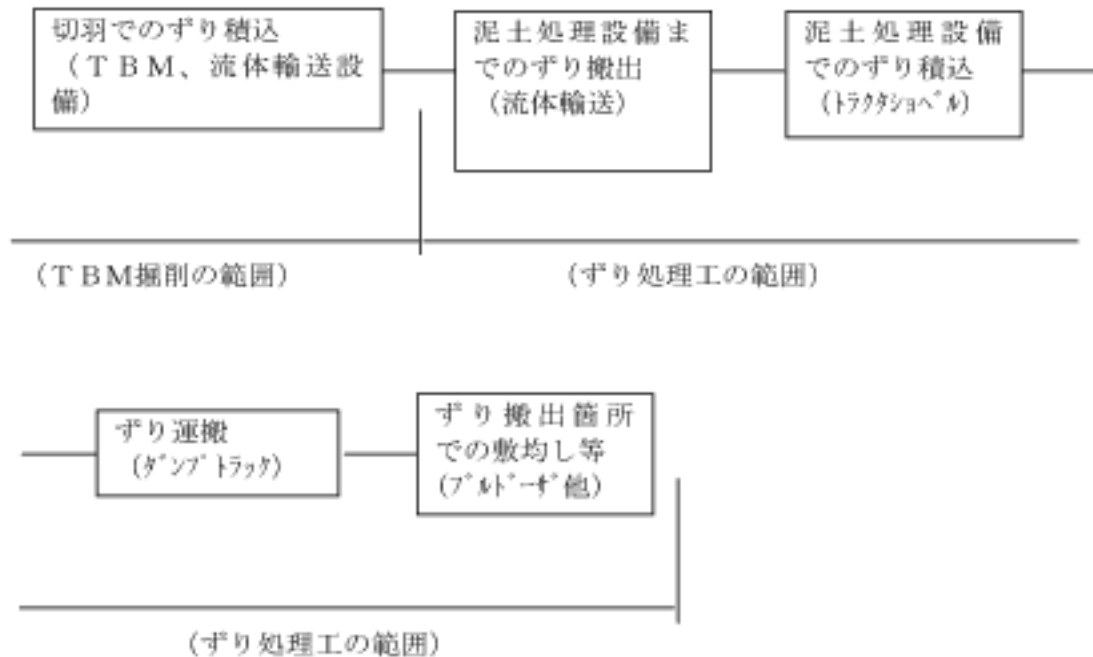


図 2-4 ずり処理工の範囲区分（流体輸送方式）

b 流体輸送設備

流体輸送設備は、下表による。

表 2-21 流体輸送設備

機械	規格	台数	摘要
一次処理設備		1	
二次処理設備		1	
濁水処理設備		1	
泥水管理設備		1	
制御盤		1	
坑内ポンプ		1	
坑内制御、監視機器等		1	

2.9 支保工

(41) 支保工の労務編成

支保工の労務編成は、掘削作業と同じとする。

(42) ファイバーモルタル吹付け工

ファイバーモルタルの設計厚さは標準支保パターンによる。

また、材料はプレミックスモルタルとする。

(43) リング支保工（鋼製支保工）

リング支保工の材料区分は標準支保パターンによる。

(44) 吹付けコンクリート工

a 吹付けコンクリートの材料、配合

表 2-22 吹付けコンクリートの暫定配合

W/C	セメント	単位 細骨材量	単位 粗骨材量	急結剤	摘要
57	360kg	1086kg	675kg	セメントの 7%	

注1) 粗骨材の最大寸法は 15mm である。

注2) セメントの種類は普通ポルトランドセメントとする。

b 吹付け機械の機種・規格

吹付け機械の機種・規格は下表を標準とする。

表 2-23 吹付け機械の標準（レール方式）

機種	規格	単位	数量	摘要
吹付けロボット	吹付け範囲半径 8m 級	台	1	
吹付け機	湿式 10～15m ³ 級	台	1	
急結剤供給装置	5.5kw	台	1	
機関車	バッテリー式 12t	台	1	吹付けロボット等けん引 (掘削と併用)
アジテータカー	被けん引式 4.0m ³ 級	台	1	
機関車	バッテリー式 12t	台	1	アジテータカけん引 (掘削と併用)

c 混合設備

混合設備は、下表を標準とする。

表 2-24 吹付けコンクリート混合設備の標準

名称	規格	単位	数量	摘要
コンクリートプラント	全自動強制練型 0.5m ³ ×1	台	1	高強度用 25m ³ /h

注) 骨材供給装置、セメント供給装置およびベルトコンベア等を含む。

d 吹付け設備工

吹付け設備工は坑外の骨材、セメント貯蔵設備等で、設備期間は吹付けコンクリートを施工する期間とする。

(45) 金網工

金網工に使用する材料は、溶接金網 150×150×φ5 を標準とする。

2. 1 0 共通仮設備費

(46) TBM運搬費

基地から現場までの、TBM本体、後続台車及びTBM付帯設備の運搬費を算出する。運搬の基地は、TBMの製作能力を有する工場の所在都市のうち、最も近い都市とする。

搬入又は搬出に要する歩掛は下表のとおりとする。なお、TBMはフルシールド型とする。

表 2 - 2 5 TBM運搬歩掛

TBM運搬費	φ2.0m	φ3.1m	φ5.0m	摘要
30tトレーラ	3.0	5.2	11.0	
20tトレーラ	1.1	1.9	4.0	
10tトラック	1.6	2.8	6.0	

注) 上表は、各TBM径に対応した歩係である。システム内では、上表と異なるTBM径の歩係をTBM本体重量に対する比率にて算出する。

(47) TBM組立・解体費

TBMの組立・解体に要する費用を算出する。なお、この期間のTBMの供用日損料を含む。TBMの組立・解体に要する歩掛は下表のとおりとする。

表 2 - 2 6 TBM組立・解体歩掛

TBM 組立・解体	φ2.0m		φ3.1m		φ5.0m	
	組立	解体	組立	解体	組立	解体
土木世話役	37	25	17.5	11.8	10.0	6.8
特殊作業員	165	110	77.9	51.9	44.7	29.8
電工	32	23	15.1	10.9	8.7	6.2
とび工	100	61	47.2	28.8	27.1	16.5
溶接工	27	18	12.7	8.5	7.3	4.9
配管工	26	18	12.3	8.5	7.0	4.9
トラッククレーン 25t 吊	5	3	2.4	1.4	1.4	0.8
トラッククレーン 40～45t 吊	6	4	2.8	1.9	1.6	1.1
トラッククレーン 160t 吊	15	8	7.1	3.8	4.1	2.2
TBM供用日	37	25	17.5	11.8	10.0	6.8

注) 上表は、各TBM径に対応した歩係である。システム内では、上表と異なるTBM径の歩係をTBM本体重量に対する比率にて算出する。

(48) 積卸し設備費

支保工等材料の積卸しに必要な門型クレーン 3t 吊りの費用を算出する。(門型クレーンのレール敷設等含む)

門型クレーンの設置・撤去費は下表のとおりとする。

計上する期間は、掘削開始より掘削終了までの門型クレーンを使用する期間とする。

表 2-27 門型クレーンの設置・撤去費

	設置	撤去	摘要
普通作業員	12 人	6 人	
4.8～4.9t トラッククレーン	2 台	1 台	

(49) 換気設備費

a 換気設備

換気設備については、送風機は 74kW(37kW×2)、管径φ800 を標準とする。

なお、送風機の設置台数は坑口から L=3000m以下が 74kW 1 台とし、以後 3000m毎に 74kW 1 台増設するものとする。

b 風管

風管は難燃性ビニル風管を標準とする。

表 2-28 風管の損率

	$L < 2000$	$2000 \leq L < 6000$	$6000 \leq L$	摘要
風管の損率	0.59	0.74	0.89	L:風管の延長(m)

c 設置・撤去

送風機の設置・撤去費に要する費用は下表のとおりとする。

表 2-29 送風機の設置・撤去

	歩掛	設置	撤去	摘要
特殊作業員	3.0 人	1.0	0.5	
トンネル作業員	3.0 人	1.0	0.5	
4.8～4.9t トラッククレーン	1.0 台	1.0	0.5	

(50) 給水設備費

a 給水設備の設置

給水設備は下表を標準とする。

表 2-30 給水設備

機種	規格	台数	摘要
タービンポンプ	φ80 6.8kW	1	
水槽	鋼板製 20m ³		

b 設置期間

設置期間は、掘削開始から掘削完了までの期間を標準とする。

c 運転日数

タービンポンプ 1 月当りの運転日数は 23 日/月を標準とする。

d 給水管

送気管はガス管（白ネジ付）とし、下表を標準とする。

表 2-31 給水管の標準

	1（標準）	2	摘要
ガス管（白ネジ付）	φ80	φ100	

給水管の損率は下表を標準とする。

表 2-32 給水管の損率

区分	損率	摘要
$t \leq 16.7$	$t/16.7 \times 0.55$	t:設置期間(月)
$t > 16.7$	$(t-16.7)/t \times 1.1 + 16.7/t \times 0.55$	

坑内外の送気管の設置歩掛は下表を標準とする。

表 2-33 送気管の設備歩係

区分	職種	設置	摘要
坑外	配管工	0.020	8h
	普通作業員	0.020	8h
坑内	トンネル特殊工	0.016	10h 1 方
	トンネル作業員	0.016	10h 1 方

また、設置・撤去の補正率は下表を標準とする。

表 2-34 送気管の補正率

	設置	移設	撤去	摘要
坑外	1.0	—	0.3	
坑内	—	1.0	0.3	

e 給水ポンプの設置・撤去

給水ポンプの設置・撤去費に要する費用は下表のとおりとする。

表 2-35 給水設備の設置・撤去費

	設置	撤去	摘要
給水設備設置・撤去費	1.0	0.3	

(51) 坑内仮排水設備費

a 坑内仮排水設備

突込み区間について坑内の湧水を排出するために必要な次の設備費用を算出するものとし、設備期間は、突込み区間のTBM掘削開始からTBM掘削完了までの期間を標準とする。

- ① 配水管の損料
- ② 排水用サンドポンプ、緊急用予備ポンプ及び非常用電源（発電機）の損料

b 排水管

送気管はガス管（白ネジ付）とし、下表を標準とする。

表 2-36 排水管の標準

ガス管（白ネジ付）	φ80	φ100	φ150

排水管の損率は下表を標準とする。

表 2-37 排水管の損率

区分	損率	摘要
$t \leq 16.7$	$t/16.7 \times 0.55$	t:設置期間(月)
$t > 16.7$	$(t-16.7)/t \times 1.1 + 16.7/t \times 0.55$	

坑内外の排水管の設置歩掛は下表を標準とする。

表 2-38 排水管の設備歩係

区分	職種	設置	摘要
坑外	配管工	0.020	8h
	普通作業員	0.020	8h
坑内	トンネル特殊工	0.016	10h1方
	トンネル作業員	0.016	10h1方

また、設置・撤去の補正率は下表を標準とする。

表 2-39 排水管の補正率

	設置	移設	撤去	摘要
坑外	1.0	—	0.3	
坑内	—	1.0	0.3	

c 排水ポンプ

排水ポンプはサンドポンプとし、予備サンドポンプ及び非常用電源（発電機）は供用日損料のみを当初計上する。

(52) 機関車・シャトルカー運転保守

a 機関車・シャトルカー運転保守

機関車の運転労務費、供用日損料及びシャトルカーの供用日損料を算出するものである。

b 機関車運転労務

シャトルカー台数が3台以上になった場合、機関車運転労務としてトンネル特殊工を機関車・シャトルカー1台につき1人計上する。

c 機関車・シャトルカー搬入・撤去期間

機関車、シャトルカーの搬入・撤去期間の供用日損料を計上するものとし、その期間は下表を標準とする。

表2-40 機関車、シャトルカーの設置・撤去期間

	設置	撤去	摘要
機関車・シャトルカー	10	5	

(53) 機関車運転損料

a 機関車運転損料

シャトルカー及び吹付け機械等のけん引用機関車の運転損料及びシャトルカーの運転損料を算出するものである。

b 機関車運転時間

機関車・シャトルカー運転時間は下記のとおりとする。

・ ずり搬出用機関車・シャトルカー運転時間

$$= (\text{往復走行時間} + (\text{ずり積込み} + \text{ずり捨て時間})) \times 1.1$$

・ 吹付け用機関車

$$= (\text{往復走行時間} + \text{吹付け時間}) \times 1.1$$

ずり積込み+ずり捨て時間は下表を標準とする。

表2-41 ずり積込+ずり捨て時間

シャトルカー規格(m ³)	15	20	24	28	摘要
積込+ずり捨て時間(min)	29	37	44	51	

(54) シャトルカー設備費

a シャトルカー設備費

シャトルカーの設置・撤去に要するすべての費用を算出するものである。

b シャトルカーの設置・撤去

シャトルカーの設置・撤去に要する歩掛は下表を標準とする。

表 2-42 シャトルカー設置・撤去（1台当り）

	設置	撤去	摘要
機械工	12	6	
トラッククレーン 25 t 吊り	2	1	

(55) 軌道設備費

a 軌条(レール)設備

軌条設備の設置、撤去、損料に要する費用を算定する。

ただし、TBM坑内の設置はトンネル掘削に含むものとし、計上しない。

軌条数量は下表を標準とする。

表 2-43 軌条設備数量の標準

	単位	単線	複線	摘要
レール(100m/本)	本/m	0.02	0.04	
継ぎ目板	本/m	0.4	0.8	
ボルトナット	本/m	0.8	1.6	
犬釘	本/m	4.8	14.4	
坑内鋼製枕木	本/m	1.0	1.0	

(56) 分岐器設備費

a 分岐器設備費

分岐器の設置、撤去、損料に要する費用を算定するもので、配線計画に基づき計画する。

なお、TBM坑内における分岐器の掘削進行に伴う移設は掘削費に含むものとし計上しない。

b 分岐器設置・撤去

分岐器の設置・撤去に要する費用は下表を標準とする。

表 2-44 分岐器設置・撤去期間(人・日)

区分	種別	設置	撤去	摘要
坑外	固定片開き	6.5	5.9	
坑内	固定式Y型	0	4.6	
	移動式Y型	9.0	9.0	
	移動式N型、X型	13.5	12.5	

(57) 機関車運転損料（資材及び人員の輸送用）

a 機関車運転損料（資材及び人員の輸送用）

資材等の運搬及び人員の輸送に必要な機関車、資材運搬車、人車の損料を算出するものである。なお、運転労務はTBM掘削に含む。

b 機関車運転時間

資材運搬及び人員の輸送回数は4回/日とし、機関車の運転時間は下記のとおりとする。

機関車運転時間＝往復走行時間＋10min

(58) 取替設備費

a 取替設備費

バッテリー機関車を使用する場合で、バッテリー取替用の設備に要する費用を算定するものである。バッテリー取替用設備の設置・撤去費及び取替用の電動ホイス（3t吊）の損料を計上する。

b 取替設備設置・撤去

取替設備の設置・撤去に要する費用は下表を標準とする。

表2-45 取替設備設置・撤去期間(人・日)

職種	設置場所	歩掛	設置	撤去	摘要
特殊作業員	坑外	3.79	1.0	0.5	

(59) 汚濁水処理設備費

a 汚濁水処理設備費

トンネルの濁水処理は湧水量30m³/hと想定している。

表2-46 汚濁水処理設備の標準

設備規模	処理能力	摘要
30m ³ /h	20～30m ³ /h	ポータブル型

b 汚濁水処理工

(a) 汚濁水処理工（運転）

汚濁水処理設備（凝集沈殿、中和、脱水設備）の運転損料及び動力費を計上する。

凝集沈殿、中和設備の運転時間は24h/日、脱水設備の運転時間は5h/日、稼動日数は23日/月を標準とする。

汚濁水処理設備の負荷容量は下表を標準とする。

動力費算定時の電気料金は、電力会社の供給規定に基づく契約種別に応じ決定する

表2-47 汚濁水処理設備負荷容量

設備規模	30m ³ /h	摘要
負荷容量(kW)	174	

(b) 汚濁水処理工（供用）

汚濁水処理設備（凝集沈殿、中和、脱水設備）の供用日損料を計上する。
供用日数は 30 日/月とする。

c 汚濁水処理設備設置・撤去

汚濁水処理設備の運搬、設置及び撤去費を計上する。
汚濁水処理設備の設置・撤去に要する費用は下表を標準とする。

表 2－48 汚濁水処理設備の設置・撤去費（人・日）

設置場所	30m ³ /h	摘要
土木世話役	4	
特殊作業員	9	
普通作業員	5	
電工	4	
トラック台数	1	10t 換算
供用日数	2	設置撤去期間

設置・撤去の歩掛の比率は下表を標準とする。

表 2－49 設置・撤去歩掛比率

項目	設置	撤去	摘要
歩掛比率	1.0	0.6	

(60) 工事用電力設備費

a 工事用電力設備費

工事用電力設備費は、概算の仮設電力設備費と工事用電力料を計上するものとし、TBM 掘削方式、単独施工とする。

b 仮設電力設備費

トンネル内・外の引込設備、受電設備、配電設備及びトンネル坑内の照明設備に要する費用で、その算出は次式による。

なお、トンネル坑外の照明及び修理工場の電力設備に要する費用は、諸経費費の率に含まれる。

$$Y = 22,000 \times L / 3.0$$

Y：仮設電力設備費（千円）

L：トンネル片押し延長（km）

c 工事用電力料

トンネル坑内外の動力及びトンネル坑内の照明用の使用電力料で、その算出は次式による。

なお、電力基本料金は別途計上する。

また、トンネル坑外の照明及び修理工場の動力料は、共通仮設費の率に含まれる。

$$E = K_w \times 23 \text{ 日/月} \times T \times K \times e$$

E：使用電力料（円）

K_w ：総負荷設備合計容量(kW)

T：1日当り作業時間(h) 10h2方作業の場合=20h

10h1方作業の場合=10h

K：消費係数 = 0.300

e：電力使用料金単価（円/kWh）

（電力会社の供給規定に基づく契約種別に応じ決定する）

地下調整池ピーク継続時間の簡易算定方法

１．概要

地下調整池上流から河川流入量 (Q_i) が流入し、下流から同量 (Q_i) が越流している定常状態において、調整池下流端に設置したゲートから最大使用水量 (Q_o) を放流した場合、調整池内の流量は「時間」と「場所」で変動し、貯水池水位は時間の経過とともに低下していく。やがて、放流量は減少し最大使用水量 (Q_o) を放流できなくなり、最終的には、上流から流入してくる河川流入量 (Q_i) に等しくなる。

このとき、最大使用水量 (Q_o) を放流できる時間（以下、ピーク継続時間）は、1次元一様斜面開水路の非定常流れの計算（数値シミュレーション）によって求めることができる。しかしながら、非定常流れの計算は煩雑で調整池の基本形状の検討には不向きである。このため、ピーク継続時間を簡易に算定する方法について検討した。

図－１に示すように、最大使用水量 (Q_o) を放流できなくなる時点の流量は、上流で河川流入量 (Q_i)、下流で最大使用水量 (Q_o) となっている。この時点における貯水池内の水面形は、上流では河川流入量 (Q_i) が等流で流下しているときの水面形に近く、下流では最大使用水量 (Q_o) が等流で流下している水面形に近くなる。

これより、最大使用水量 (Q_o) を放流できなくなった時点での水面形は、(Q_o) の等流水深と (Q_i) の等流水深の間にあるものと考えられる。ピーク運転開始前の初期容量から最大使用水量 (Q_o) を放流できなくなるまでの容量を差し引いたものがピーク運転に利用できる容量であり、これを求める方法として、初期状態から (Q_o) の等流水深までの容量と同じく初期容量から (Q_i) の等流水深までの容量を平均することで代用し、調整池から出ていく流量（最大使用水量 (Q_o) － 河川流入量 (Q_i)）で除すことによってピーク継続時間を簡便に算定することとした。

2. ピーク継続時間の簡易算定方法

(1) 各種容量の算定

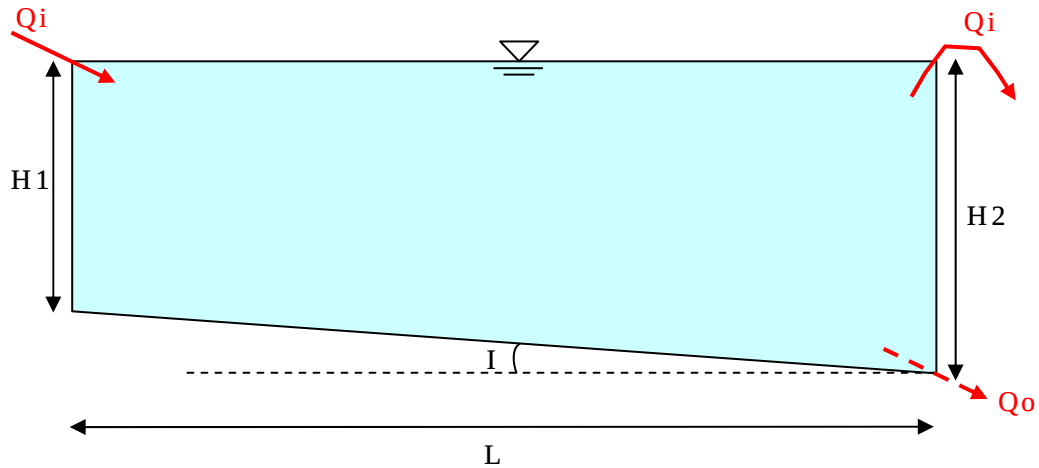
① 初期容量 (V) の算定

初期容量 (V) は、(1) 式により算出する。(図－2 参照)

$$V = (H_1 + H_2) / 2 \times B \times L \quad \text{----- (1)}$$

ただし、 H_1 ：上流水深 H_2 ：下流水深

B ：トンネル幅 L ：トンネル長



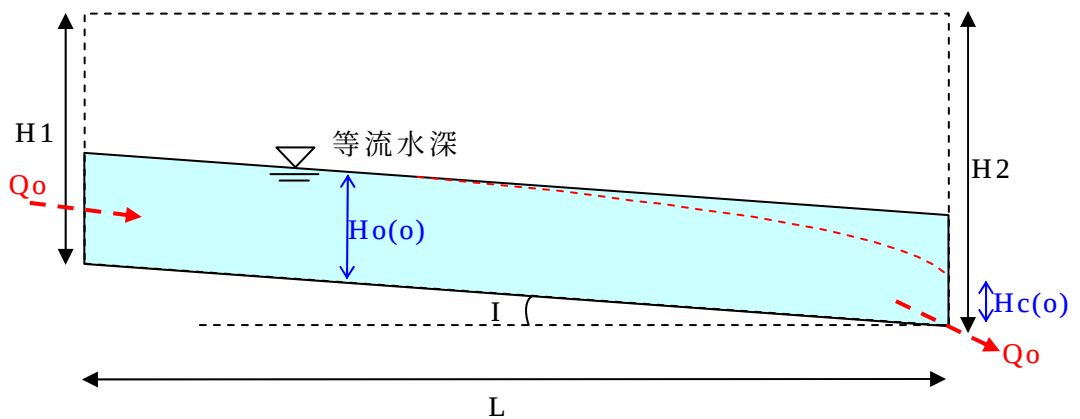
図－2 初期容量 (V)

② 最大使用水量 (Q_o) 流下時の水面形並びに容量 (V_o) の算定

最大使用水量 (Q_o) 流下時の水面形を等流と簡略化する。いま、等流水深を $H_{o(o)}$ とすれば、最大使用水量 (Q_o) 流下時の容量 (V_o) は (2) 式により算出できる。(図－3 参照)

$$V_o = H_{o(o)} \times B \times L \quad \text{----- (2)}$$

ただし、 $H_{o(o)}$ ：最大使用水量 (Q_o) 流下時の等流水深



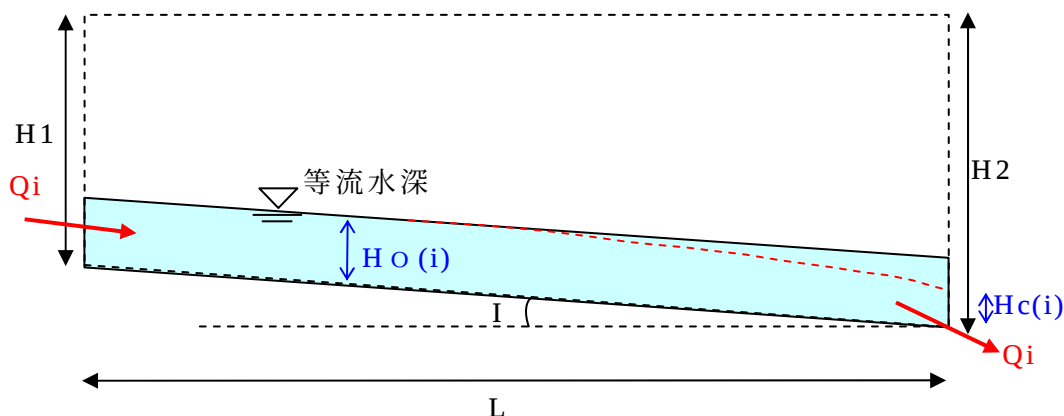
図－3 最大使用水量 (Q_o) 流下時の水面形並びに容量 (V_o)

③ 河川流入量（ Q_i ）流下時の水面形並びに容量（ V_i ）の算定

河川流入量（ Q_i ）流下時の水面形を等流と簡略化する。いま、等流水深を $H_{o(i)}$ とすれば、河川流入量（ Q_i ）流下時の容量（ V_i ）は（3）式により算出できる。（図－4 参照）

$$V_i = H_{o(i)} \times B \times L \quad \text{----- (3)}$$

ただし、 $H_{o(i)}$ ：河川流入量（ Q_i ）流下時の等流水深



図－4 河川流入量（ Q_i ）流下時の水面形並びに容量（ V_i ）

(2) ピーク継続時間の算定

図－5 に示すとおり、調整池容量（ V ）のうち運転に利用できる容量（ $V - V_i$ ）を Q_{out} で連続してピーク運転できると仮定した場合の運転時間（ $T①$ ）は、以下に示すとおりであり、簡易モデルの運転時間（ T_o' ）より長くなる。

$$T① = (V - V_i) / (Q_{out} - Q_{in})$$

$$T① > T_o'$$

また、 $V - V_o$ を Q_{out} で連続してピーク運転できると仮定した場合の運転時間（ $T②$ ）は、以下に示すとおりであり、簡易モデルの運転時間（ T_o' ）より短くなる。

$$T② = (V - V_o) / (Q_{out} - Q_{in})$$

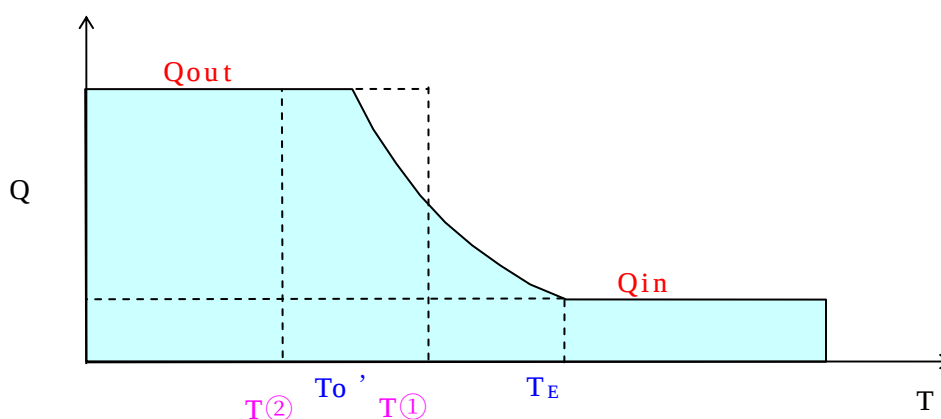
$$T② < T_o'$$

以上より、簡易モデルの運転時間（ T_o' ）と $T①$ 及び $T②$ の関係は（4）式のようになる。

$$T② < T_o' < T① \quad \text{----- (4)}$$

実運転時間（ T_0 ）は数値シミュレーションにより求めることができるが、調整池の幅、高さ、延長、勾配等の形状、調整池容量等の基本検討段階においては、運転時間を（5）式により簡便に求めることとし、設計条件が固まった段階で数値シミュレーションを実施して運転時間が設計条件を満足しているかを照査し、満足しない場合は基本設計を修正することとした。

$$T_0 = T_0' = (T① + T②) / 2 \quad \text{----- (5)}$$



図－５ ピーク継続時間

３．簡易算定方法によるピーク継続時間の妥当性

以下に示す計算条件のもと、前述した簡易法によってピーク継続時間の概算値を算出し、１次元一様斜面開水路の非定常流れの計算（数値シミュレーション）結果と比較し、簡易法によるピーク継続時間の妥当性について検討した。

（１）計算条件

河川流入量 $Q_{in} = 2\text{m}^3/\text{s}$

最大使用水量 $Q_{out} = 7\text{m}^3/\text{s}$

トンネル勾配 $I = 1/2,000$ 、 $1/3,000$ 、 $1/4,000$ 、 $1/5,000$

トンネル延長 $L = 4,184\text{m}$ 、 $4,572\text{m}$ 、 $4,823\text{m}$ 、 $5,000\text{m}$

上流水深 $H_1 = 2.3\text{m}$

下流水深 $H_2 = 4.392\text{m}$ 、 3.824m 、 3.506m 、 3.300m

トンネル幅 $B = 3.8\text{m}$

調整池容量 $V = 53,200\text{m}^3$

(2) ピーク継続時間の算定結果

ピーク継続時間の概算値と数値シミュレーション結果比較表を表－１に示す。これより、ピーク継続時間の概算値は、数値シミュレーションから算出した実運転時間の約 1.002 倍で非常に精度が高いことが確認された。

表－１ ピーク継続時間の概算値と数値シミュレーション結果の比較

トンネル勾配	トンネル延長	運転時間の概算値	シミュレーションによる実運転時間	T_o' / T_o
I	L(m)	T_o' (sec)	T_o (sec)	
1/2000	4,184	7,590	7,620	0.996
1/3000	4,572	6,790	6,700	1.013
1/4000	4,823	6,130	6,150	0.997
1/5000	5,000	5,580	5,580	1.000
			平均	1.002

４．ピーク継続時間の簡易算定方法

ピーク継続時間の簡易算定方法を提案する。

- ①初期容量（V）を求める

$$V = (H_1 + H_2) / 2 \times B \times L$$

- ②河川流入量（ Q_{in} ）の等流水深（ $H_{o(i)}$ ）を求め、水面下の容量を求める。

$$V_i = H_{o(i)} \times B \times L$$

- ③最大使用水量（ Q_{out} ）の等流水深（ $H_{o(o)}$ ）を求め、水面下の容量を求める。

$$V_o = H_{o(o)} \times B \times L$$

- ④最大使用水量（ Q_{out} ）によるピーク継続時間（ T_o ）を求める。

$$T_o = (T① + T②) / 2$$

$$T① = (V - V_i) / (Q_{out} - Q_{in})$$

$$T② = (V - V_o) / (Q_{out} - Q_{in})$$

遺伝的アルゴリズム（GA）の概要

1. GAの基本概念

(1)遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm ; GA)とは

遺伝的アルゴリズム(以下 GA と称する)は、生物進化（選択淘汰・突然変異）の原理に着想して、計算機学者の J. H. Holland よって最初に考案されたアルゴリズムであり、最適化・確率的探索・学習の一手法である。ここでは GA をシリーズ発電所の運転パターンの最適化手法として用いる。最適化手法としての GA は、

- ①確率的探索：従来の決定論的規則ではなく、確率的なオペレータを用いる探索
- ②多点探索：従来は1点探索、すなわち1つの解を勾配などを考慮して最適解を導く方法であるのに対して、複数の解（多点）を基に探索する方法
- ③直接探索：従来は目的関数の微分などにより勾配を求めて、それを利用して最適解を求めるのに対して、パラメータを直接コーディング（二値化）したものをを用いて探索する方法
- ④並列探索：多点探索と同じような意味であるが、複数の解を同時に（独立に）並列して探索可能な方法である。最近の並列型コンピュータを用いることで極めて効率よく計算できる。

の4つの特徴を有する。運転パターンの最適化問題においては、電力量最大となるように、調整容量と貯留時間、ピーク継続時間の3つのパラメータを決める。これらのパラメータ間には様々な制約条件が存在し独立ではない。このため問題空間はパラメータの値範囲において不連続となる場合があり、微分等を定式化することが困難で、一般的な勾配法による最適化は難しい。このような問題特性に有効となるのが、③直接探索である。問題空間の性質（微分値など）を利用しないで、多数の探索点の順序づけを利用した直接探索は、評価関数を与えるだけで簡易に適用できるという点で定式化の困難な問題に有用である。

①の確率的探索は、探索領域が極めて広い問題に対して、効率的に最適解を見つけるのに有用である。今回実施した運転パターン最適化問題のパラメータは、調整容量、貯留時間、ピーク継続時間の3つであり探索領域はあまり大きくはないため、全ての組合せについて計算することも可能であり、①確率的探索という点におけるGAのメリットは少ない。しかし問題が拡張されて、例えば昼間の電力単価と夜間の電力単価を考慮して、貯留時間およびピーク時間を1日の何時に設定するかを含めて最適化を行うとすれば、パラメータは2つ増えて5つとなり、探索領域はかなり広くなる。この場合は全ての組合せを計算するのは不可能であり、確率的探索が有効になる。

最適化手法としての GA は、問題特性に応じて拡張された様々な GA が提案されており、未だ発展途上の手法である。それは GA があくまでも確率的探索を基本としており、必ずしも最適解を探索することができないことに起因しており、この克服が重要なテーマとなっているからである。しかし本業務では、探索領域もあまり大きくない単純な問題への適用ということから、手軽でかつロバストな性能を有する、一般的な Simple GA を用いている。

(2) 遺伝的アルゴリズムによる最適化の手順

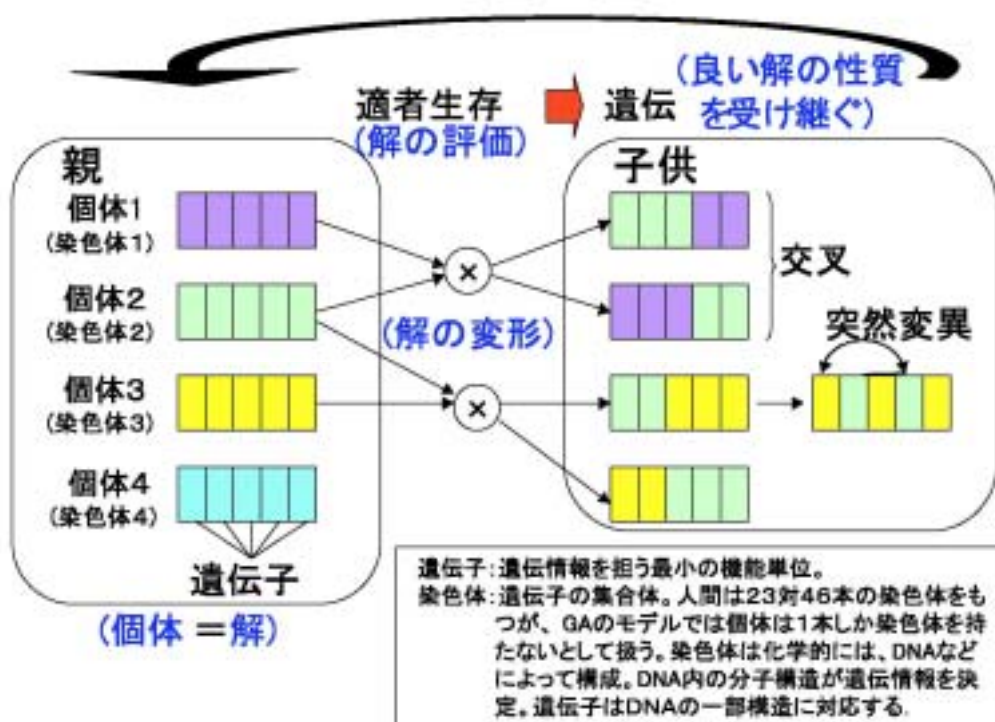
GA は生物の進化の原理に着想して考案されたアルゴリズムである。図－1 は遺伝的アルゴリズム (GA) の仕組みを図解で示したものである。

生物進化の過程は、図に示すように、まず遺伝子の集まりである染色体により生物個体が特徴づけられ、幾つかの個体を親として、「交叉」や「突然変異」といった遺伝的操作により子孫を作る。そして適者生存の原理に基づいて、環境への適合度の高い個体が「選択」され生き残る。これを繰り返して世代交代が何度も進むに従って環境に適合した生物となっていくものである。

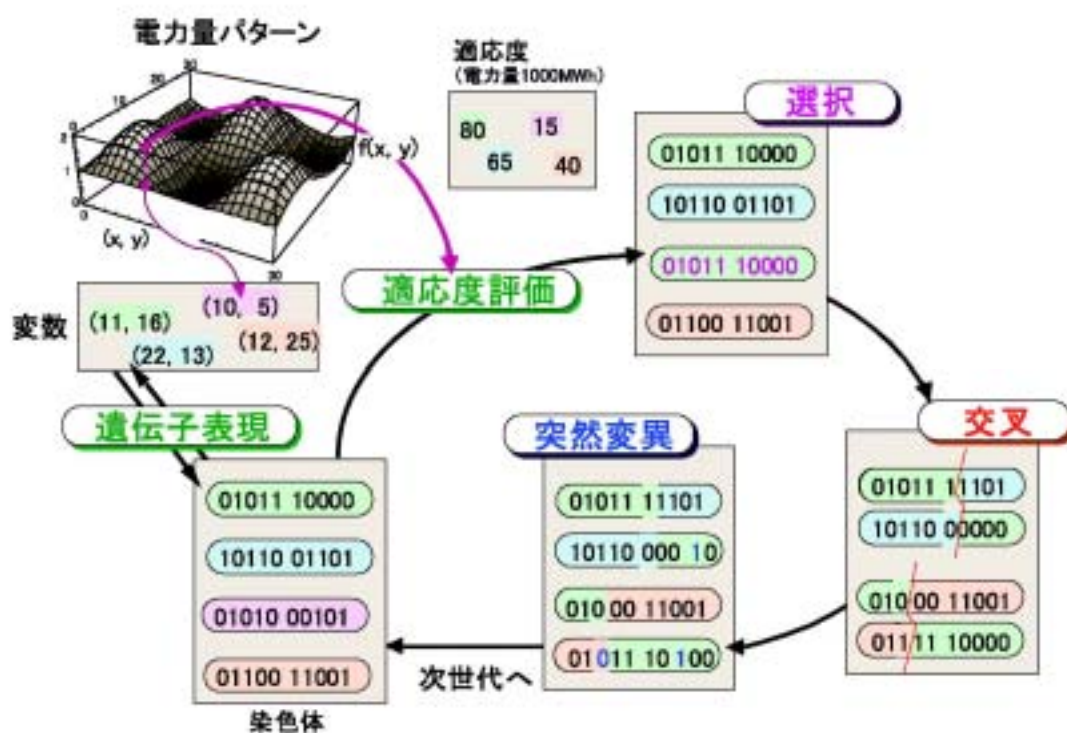
ここで各個体に相当するものが求めようとしている問題の「解」である。遺伝的操作によって「解の変形」を行い、子供の「解」を生成する。その解を基に適応度（今回の問題では総電力量）の評価を行い、適応度の高い良い解の性質を受け継いだ子供を次の世代の親として世代交代を繰り返し、適応度の最も高い解を求めようとするのが、GA の概略イメージである。

図－2 は、GA のメカニズム（フロー）を具体的な例を示して表した図である。大きな流れとしては、実パラメータから GA に持ち込むための「遺伝子表現」を行い、「適応度評価」を経て、「選択」「交叉」「突然変異」の遺伝的操作を行って次世代へ移っていくというものである。それぞれの過程をより詳しく示した図が、図－3～図－6 である。以下にこれらの図を基に具体的な GA のメカニズムについて説明する。

まず問題を単純にするため、2つのパラメータ x, y （それぞれ 0～30 の範囲整数をとる）によって定義される 3次元曲面を問題空間（図－2 の左上図参照）とする。すなわち、例えば発電電力量が x と y によって決まる関数 $f(x, y)$ （左上図）で表されるものとする。



図－1 遺伝的アルゴリズムの仕組み



図－2 遺伝的アルゴリズムのメカニズム（フロー）

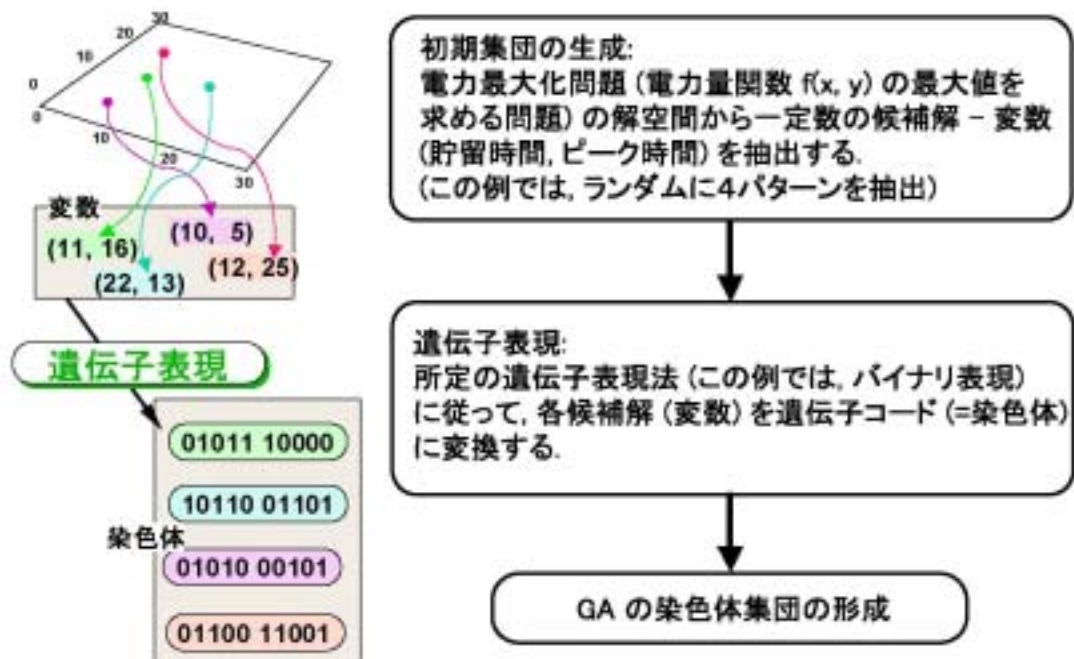
図－3（Step 1）では、まず問題空間からランダムに x と y の組み合わせを取り出して、初期集団を生成する。この例の場合 (11, 16)、(10, 5)、(22, 13)、(12, 25) の 4 つの個体を取り出している。このパラメータを 0、1 の 2 値（これを遺伝子型という）で構成される文字列で表す。これを遺伝子表現と呼び、この文字列のことを染色体（もしくは遺伝子コード）という。この例では、具体的に 1～30 の整数を 5 ビットの 2 進数で表し、 x, y を合わせて 10 ビットの 2 進数で表されている。この操作により、GA における初期の染色体集団が形成されることになる。

次に図－4（Step 2）では、選出された染色体の適応度（解の優秀さ）を対応する変数の目的関数値 $f(x, y)$ として算出する、いわゆる「適応度評価」を行う。この例では、各染色体はそれぞれ 80、15、65、40 という値が得られている。そしてこの適応度評価に基づいて、優秀な染色体ほど高い確率で自己の複製を生成できるという所定のルールに従って、染色体を複製／削除する。これを「選択」と呼んでいる。この例では 15 と最も値の低かった 1 つの染色体が、最大値 80 の染色体に置き換わっていることがわかる。この操作により、集団内に優秀な染色体が増えていくことになる。

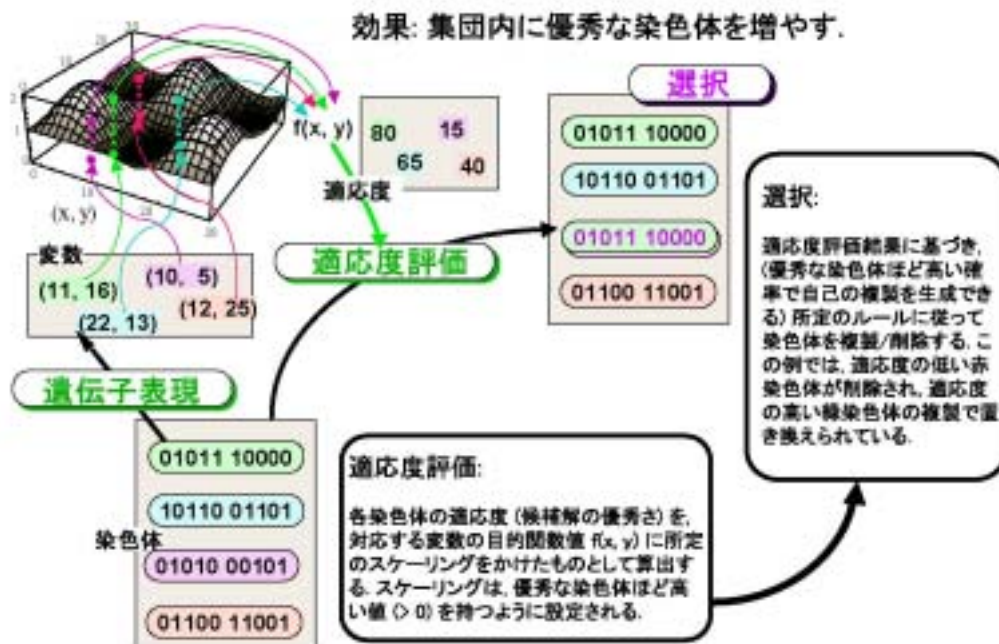
図－5（Step 3）では、「交叉」という遺伝的操作の様子を表している。集団内で染色体のペアを作り、各ペア内で所定のルールに従って（通常はランダムな位置で）染色体の一部分を交換して新たな染色体を生成する。この例では緑と黄、緑と青の染色体ペアとなり、それぞれ左から 6 番目、3 番目の遺伝子位置で切り取って交換している。この操作では、優秀な染色体どうしの遺伝子情報を交換することにより、さらに優秀な染色体の生成が期待される。

図－6（Step 4）では、「突然変異」という遺伝的操作の様子を表している。所定の確率に基づいて、染色体の一部にランダムな変化を加える操作である。この例では矢印で示した遺伝子の値がそれぞれ $0 \rightarrow 1$ 、 $1 \rightarrow 0$ に変化していることがわかる。この操作では、染色体の低位の遺伝子に変化が生じる場合には、解空間上の詳細な探索に役立ち、また高位の遺伝子に変化が生じる場合には、新しい領域への探索が期待され、局所的な解に陥るのを防止するのに役立つ。

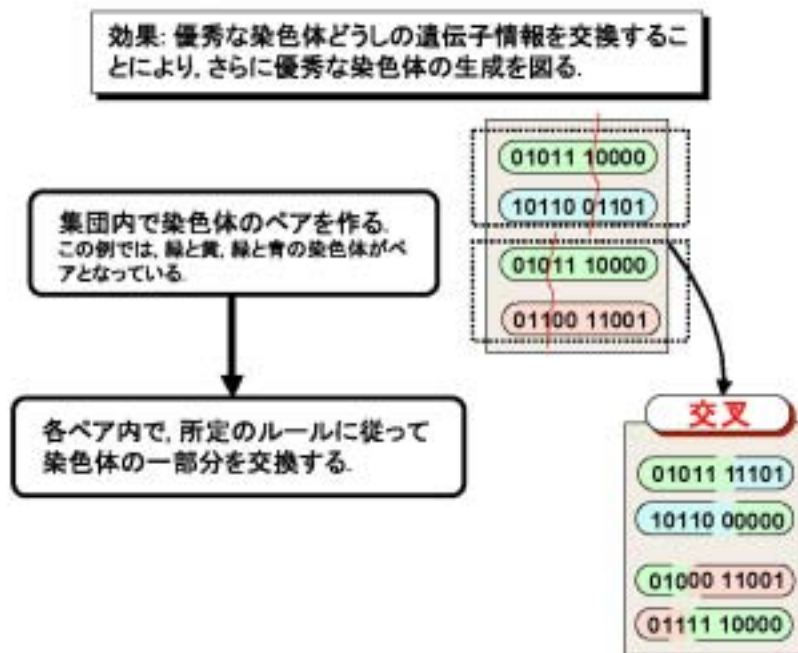
以上の操作を経て、染色体集団は次の世代へ受け継ぐ。この一連の操作で世代交代を繰り返すことで、優秀な染色体（解）を探すのが GA による最適化のメカニズムである。



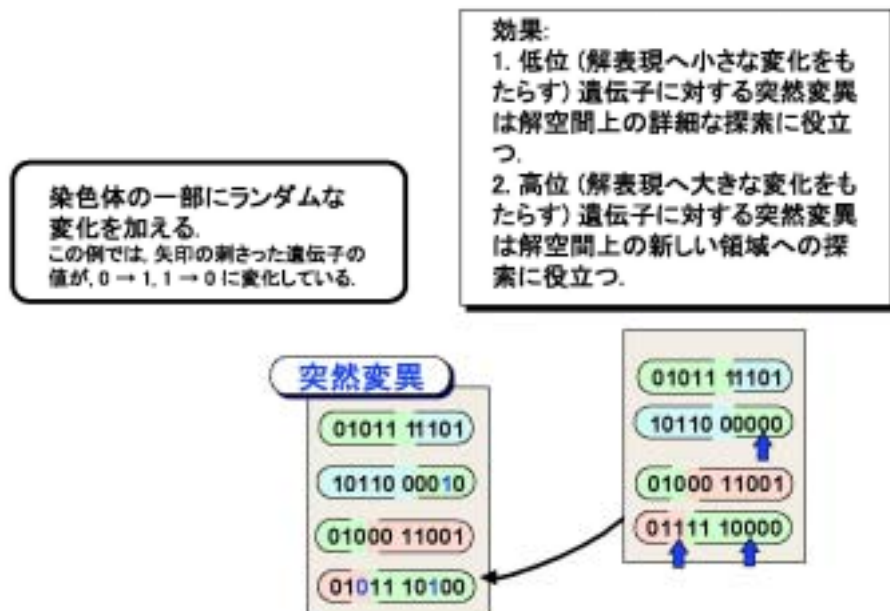
図－3 Step1:初期集団形成と遺伝子表現



図－4 Step2:適応度評価および選択



図－5 Step3:交叉



図－6 Step4:突然変異

遺伝アルゴリズム

— Genetic Algorithm (GA) —

生物の進化のメカニズムをまねた確率的探索
による最適化手法
準最適解を実用的な計算コストで探索

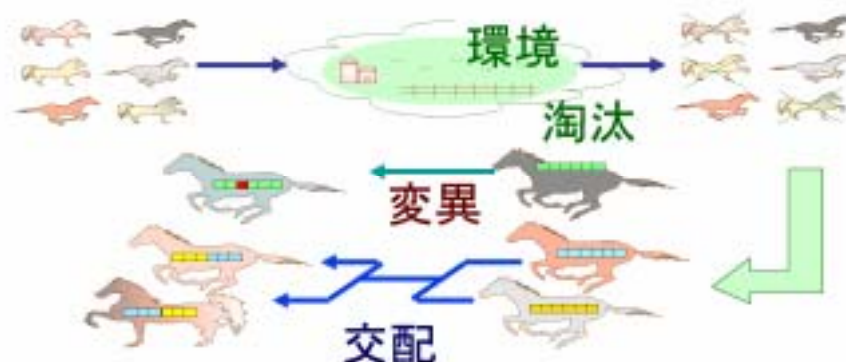
1960 年代に J. Hollandが開発
類似の方法は他にも同時期に開発

問題解決の方法としての位置付け

	数学的方法	AI/エキスパート	モダンヒューリスティックス (発見的方法)
基本的 考え方	問題を数式化して 数学的に解く。	エキスパートの ノウハウ論理化	多くの解の中から、 より良いものを探す。 探索方法は自然界の プロセスを模倣。
長所/ 短所	・厳密な最適解。 ・計算時間が掛る。 ・実務適用に制約大。	・経験則記述可能 ・ノウハウの一般化 が困難	・短時間で実用的な解。 ・複雑な問題に適用可能。
代表的 方法	・線形計画法	各種エキスパート システム	・ 遺伝アルゴリズム ・焼きなまし法 ・タブー探索
	1970年代～	1980年代～	1990年代～

遺伝アルゴリズムの適用

生物の進化メカニズム

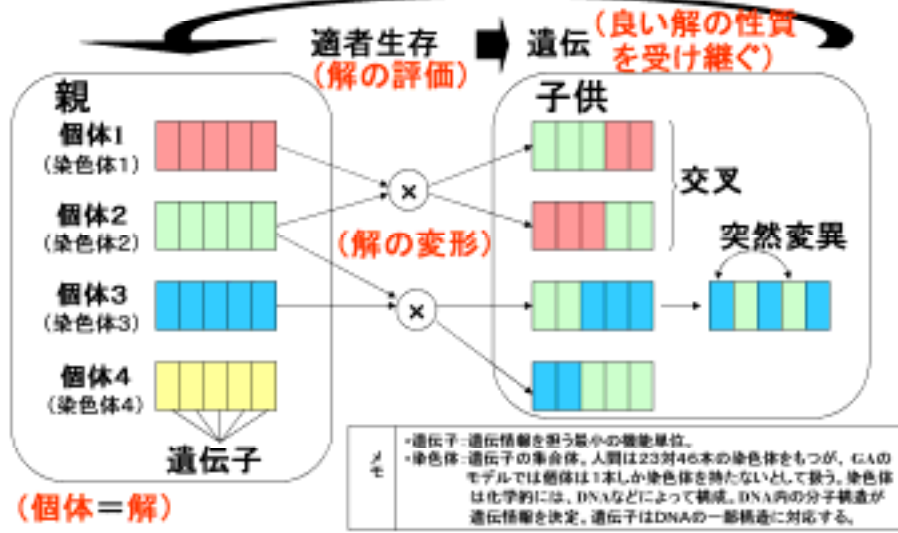


組合せ最適化問題の解決と生物の進化



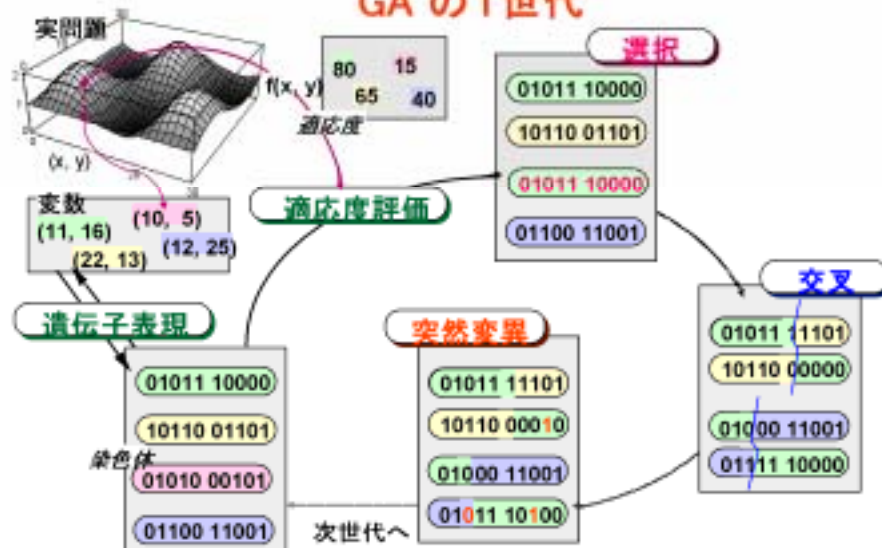
遺伝アルゴリズムの仕組み

遺伝アルゴリズム: 生物の進化プロセスを模倣

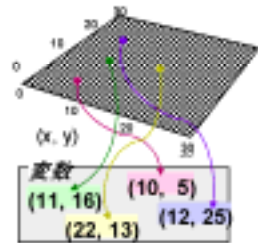


GA のメカニズム - 関数最適化問題を例に -

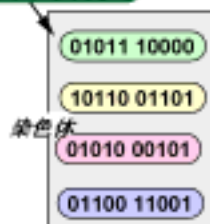
GA の1世代



GA: Step 1. 集団形成と遺伝子表現



遺伝子表現



初期集団の生成:

実問題 (この例では、関数 $f(x, y)$ の最大値を求める問題) の解空間から一定数の候補解 - 変数 (x, y) を抽出する。
(この例では、ランダムに4変数を抽出)

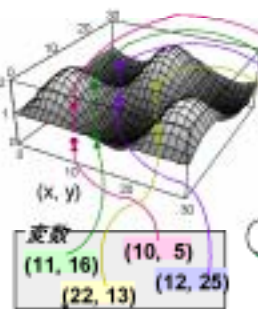
遺伝子表現:

所定の遺伝子表現法 (この例では、バイナリ表現) に従って、各候補解 (変数) を遺伝子コード (= 染色体) に変換する。

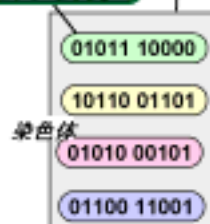
GA の染色体集団の形成

GA: Step 2. 適応度評価および選択

効果: 集団内に優秀な染色体を増やす。



遺伝子表現

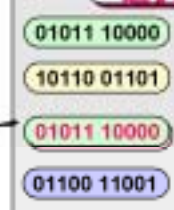


適応度評価

適応度評価:

各染色体の適応度 (候補解の優秀さ) を、対応する変数の目的関数値 $f(x, y)$ に所定のスケールリングをかけたものとして算出する。スケールリングは、優秀な染色体ほど高い値 (> 0) を持つように設定される。

選択



選択:

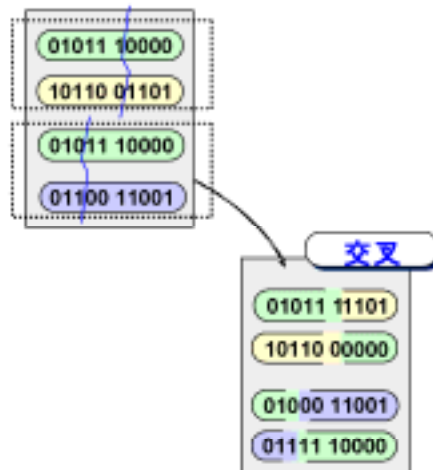
適応度評価結果に基づき、(優秀な染色体ほど高い確率で自己の複製を生産できる) 所定のルールに従って染色体を複製/削除する。この例では、適応度の低い赤染色体が削除され、適応度の高い緑染色体の複製で置き換えられている。

GA: Step 3. 交叉

効果: 優秀な染色体どうしの遺伝子情報を交換することにより、さらに優秀な染色体の生成を図る。

集団内で染色体のペアを作る。
この例では、緑と黄、緑と青の染色体がペアとなっている。

各ペア内で、所定のルールに従って
染色体の一部分を交換する。

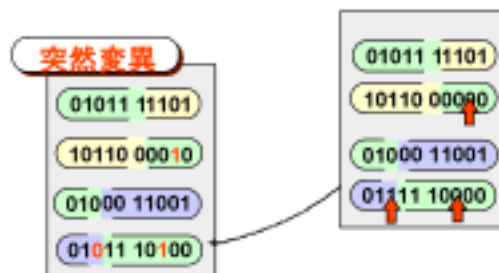


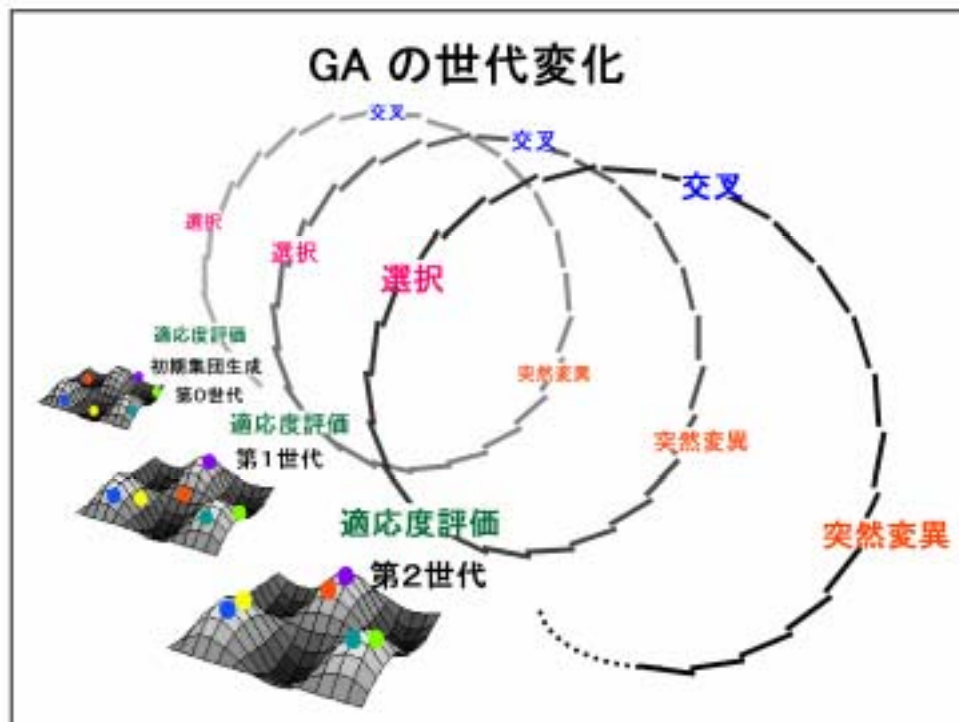
GA: Step 4. 突然変異

染色体の一部にランダムな変化を加える。
この例では、矢印の刺さった遺伝子の
値が、0 → 1, 1 → 0 に変化している。

効果:

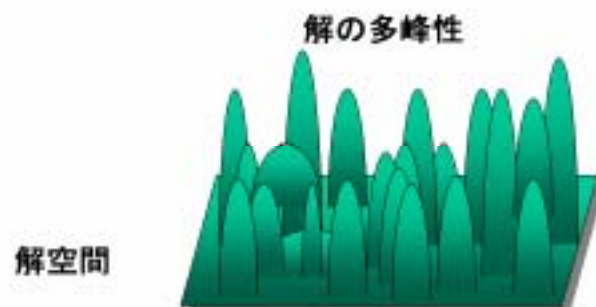
1. 低位 (解表現へ小さな変化をもたらす) 遺伝子に対する突然変異は解空間上の詳細な探索に役立つ。
2. 高位 (解表現へ大きな変化をもたらす) 遺伝子に対する突然変異は解空間上の新しい領域への探索に役立つ。





GAはどんな問題に向くのか？

- 複数の解を同時に探索可能
- 最適ではないが、最適に近い解が多数存在する
(多峰性のある)問題を効率良く解くことができる。



遺伝アルゴリズムの実用事例 ー輸配送の最適化ー

輸配送の最適化

・輸配送における納入時刻厳守、積載率向上は配送計画で決まる。



・配送計画は、ベテランの元ドライバーに依存。



・多様化する配送条件や道路条件の変化への対応には限界。



コンピュータによる
最適配送計画



配送計画の原点： 巡回セールスマン問題

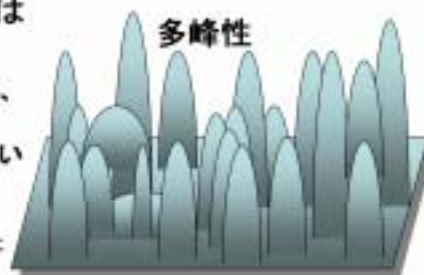
問題：目的の都市を最短距離で回るルートは？
(1940年代から研究が始まる)

解法：すべての回り方を、しらみつぶしに調べて
最適なものを探す(組合最適化)。

問題の特徴：

- ・都市の数が増えれば、回り方は
指数的に増加(NP困難)。
例えば、都市の数が100とすれば、
回り方は、 $100!$ (約10の150乗)
- ・最適とは言えないまでも、最適に近い
ものは多数存在する(多峰性)。

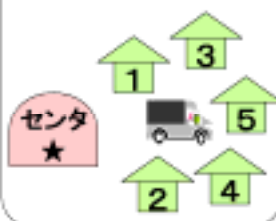
NP困難：問題の規模の大きさによって、計算時間が指数関数的に
(Non-deterministic Polynomial) 増加するような特性



遺伝アルゴリズムの適用例

問題

センターから
1台のトラックで
5個所の店を回る、
走行距離最小の
ルートは？



個体・遺伝子の割付

個体 → 1つの回り方、
遺伝子 → 回る店

(遺伝子の並びは、回る順番に
対応)

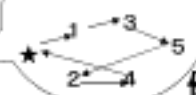
個体1 1 3 5 2 4

個体2 1 5 3 4 2

⋮

個体の優劣

走行距離：6km

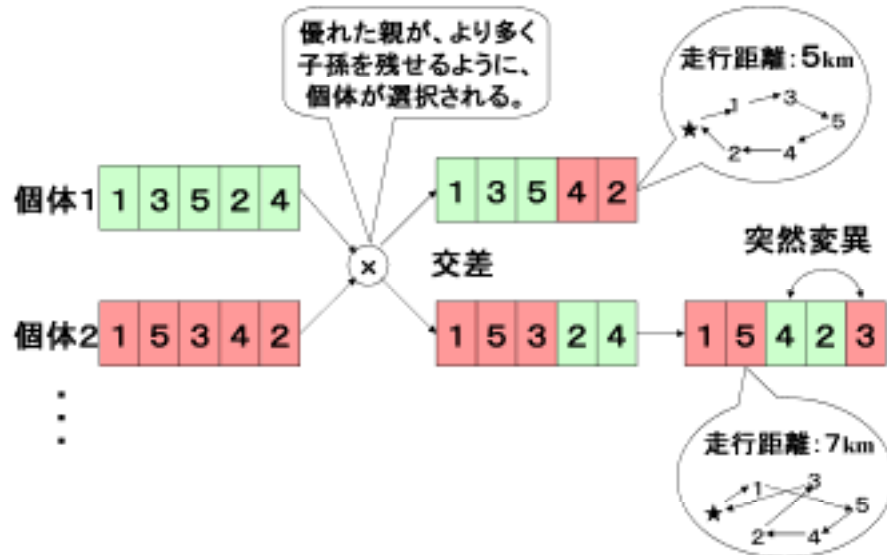


優
V
劣

走行距離：7km



遺伝アルゴリズムの適用例(続き)



実用化へのハードル1: 物理的条件

- 実務規模の問題には、十分なコンピュータパワーが必要
 - » 急速なコンピュータの性能向上。
 - » それに適した解法の考案。
- 輸送距離や輸送時間を正確に測ることが必要
 - » デジタル地図によって、道路に沿った正確な距離が算出可能。
 - » ITS技術によって、道路別や時間帯別の走行速度が算出可能。

物理的な条件はクリアされつつある。

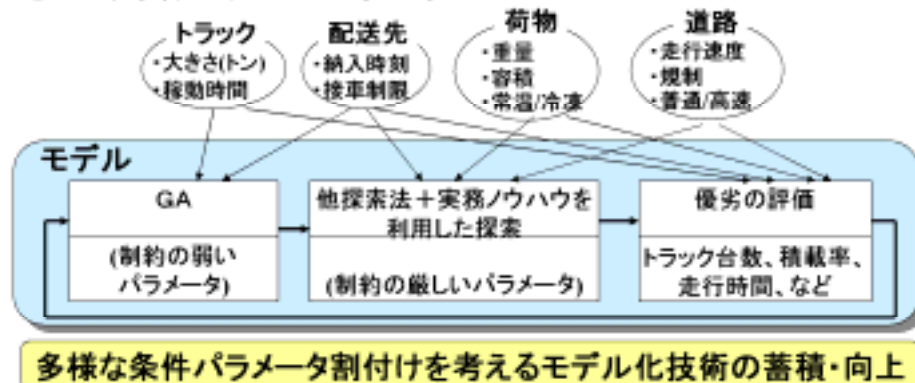
実用化へのハードル2:モデル化

例題のような簡単な問題ならGAも単純だが...

実務問題には、規模の大きさに伴う複雑さがある。

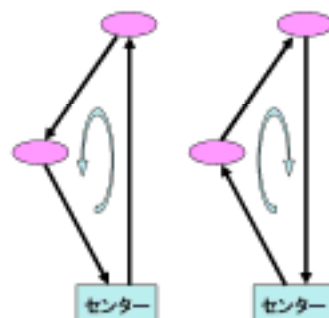
(例えば、500個所の店に、トラック50台による最適化)

さらに、条件パラメーターが多い。



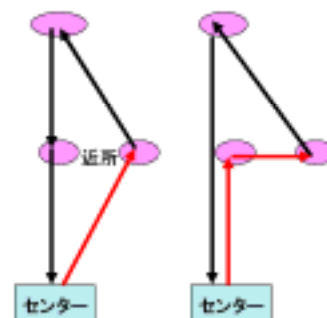
実用化へのハードル3:運用最適化

どちらも同じ、しかし
運用最適解は？



走行距離が長くなれば、
時間の誤差が生じる。

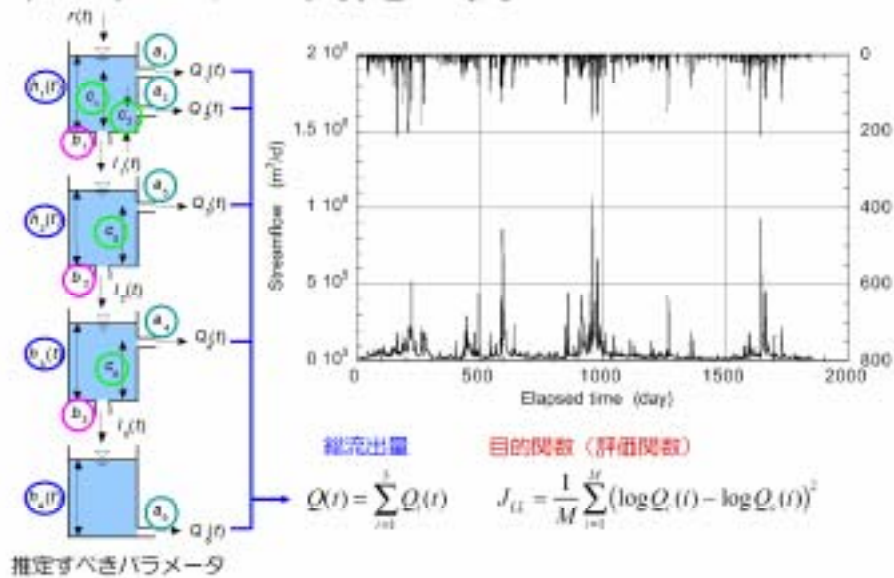
最適解 = 運用最適解？



近所にある所は一緒に配るほうが、
顧客の不満解消、ドライバーの安全
を確保しやすい。

実務を通じたモデルの洗練

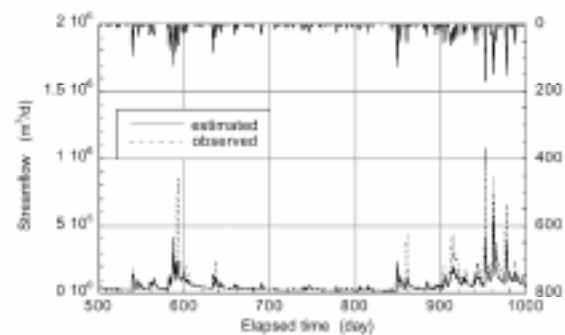
タンクモデル同定の例



タンクモデル同定の例

表-2 解析結果

Parameter	Estimated value	Parameter	Estimated value
a_1	0.174	c_1	108.0
a_2	0.119	c_2	14.9
a_3	0.179	c_3	41.2
a_4	0.0189	c_4	11.4
b_1	0.0001	h_{10}	41.7
b_2	0.203	h_{20}	16.9
b_3	0.491	h_{30}	97.2
b_4	0.0139	h_{40}	754.0
d_1	0.3105		



参考文献

- D. E. Goldberg 1989; Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesley
- 北野編1993; 遺伝的アルゴリズム 産業図書、続編あり

地下調整池 構築技術 コスト低減要因

新技術を導入した場合における工期・コストについて、モデルケースによる試算を行い、工期短縮・コスト低減効果の評価を行った。

第1章 コスト算出条件の設定

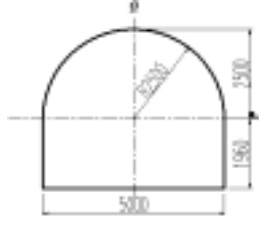
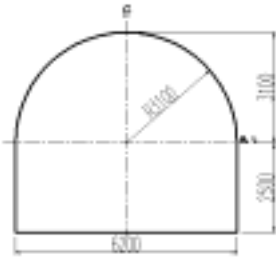
1.1 発破方式によるコスト算出条件

1.1.1 断面規模と施工機械編成の設定

地下調整池の対象となる断面規模に対しては、削孔機械に大きな差異は生じないため、断面規模設定時のコントロールとなる施工機械はずり搬出設備となる。

ずり搬出方式の違いに応じて設定した発破方式における施工機械編成と断面規模の設定結果を表 1－1 に示す。

表 1－1 発破方式における施工機械編成と断面規模の設定

断面 規模	内空断面積	10～16 m ²	16～30 m ²	30 m ² ～
	内空幅	3.0m以上 4.5m未満	4.5m以上 6.2m未満	6.2m以上
モデル断面				
		(約 10 m ²)	(約 20 m ²)	(30 m ²)
削孔		2 ブームジャンボ		
ずり積込		ヘグローダ		トラクターショベル
ずり搬出		シャトルカー ずり鋼車		ダンプトラック (車両転回所拡幅が必要)
適用	レール式 (単線)	←→		
	レール式 (複線)		←→	
	タイヤ式			←→

注 1) シャトルカーとずり鋼車の適用範囲は、施工延長や掘削断面による違いがコストに大きな影響を与えるため、システム上は各ずり搬出に対する工事費算定を行なうものとする。

注 2) ずり搬出に連続ベルトコンベアを使用するには、移動式のクラッシャー設備が必要となるが、小断面トンネルでは設置が困難であるため、採用不可とした。

1.1.2 レール式（複線）の断面設定根拠

複線レール式におけるドリルジャンボ施工範囲を図 1-1 に、複線による離合を考慮した最小断面を図 1-2 に示す。このように、複線によるレール方式の適用は施工幅 4.5m 以上となり、ドリルジャンボ施工範囲から同一機械編成にて施工幅 6.5m までの適用が可能となる。また、これよりも小さい断面では、単線レールによる施工となる。

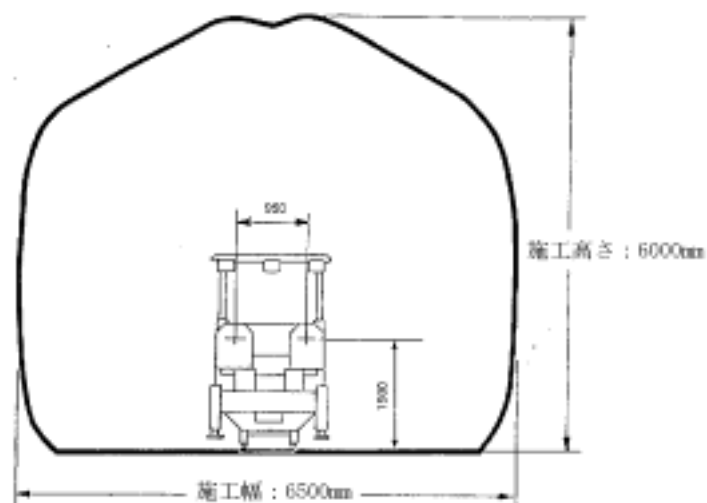


図 1-1 レール式ドリルジャンボの施工可能範囲

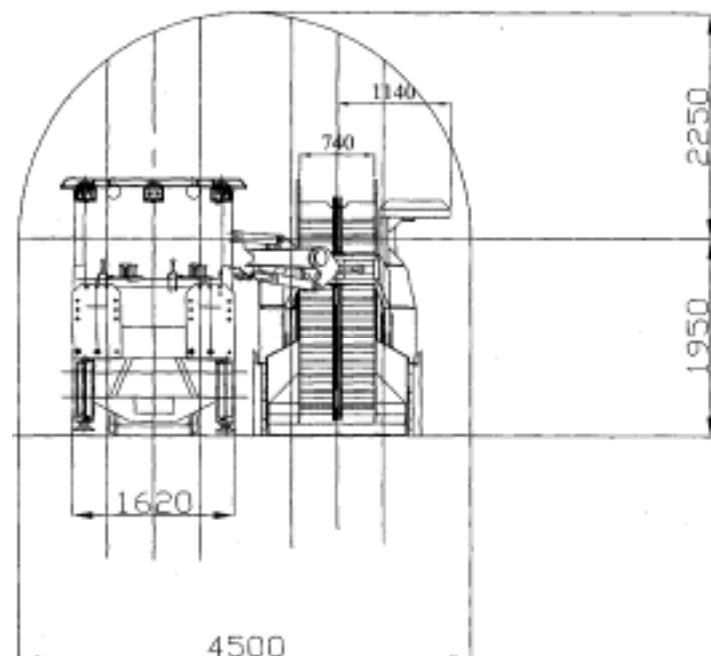
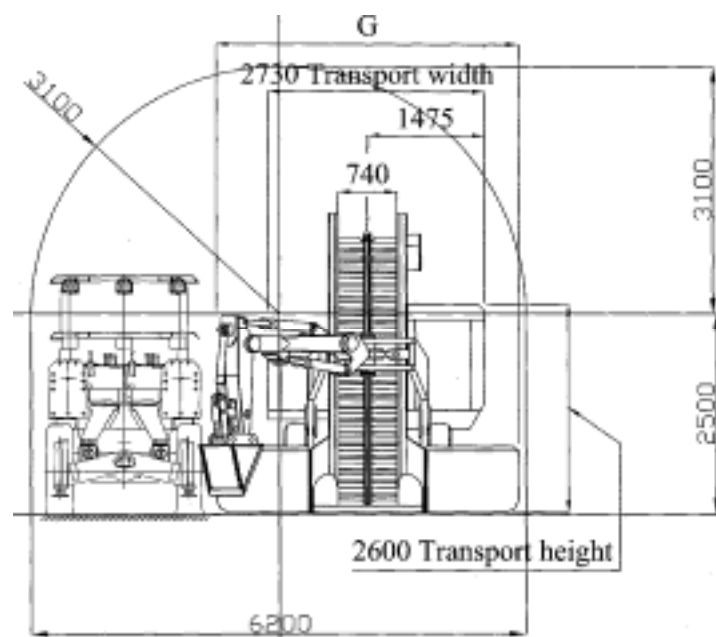
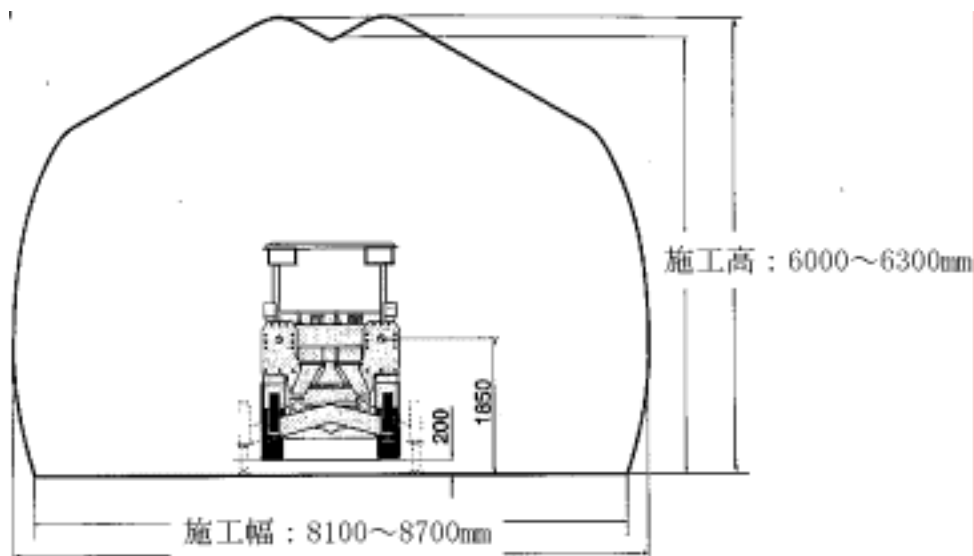


図 1-2 複線（等三線）レールにおける最小断面寸法

1.1.3 タイヤ式の断面設定根拠

タイヤ式におけるドリルジャンボ施工範囲を図 1-3 に、離合を考慮した最小断面を図 1-4 に示す。この結果、施工機械の離合を確保したタイヤ式の適用は、施工幅 6.2m 以上となる。なお、施工幅 6.2m～6.5m では、レール式（複線）とタイヤ式の双方とも適用可能であるが、施工性の面でタイヤ方式の方が優れることから、施工幅 6.2m 以上はタイヤ式を採用するものとした。



1.1.4 ずり搬出設備の設定根拠

レール式による場合には、断面規模が小さいことから、小断面におけるずり積込能力に優れるずりかき寄せ・積込装置一体型となるずり積機（ヘグローダ）を採用する。なお、タイヤ式となる内空幅 6.2m 以上の断面では、ずり積込のための施工余裕が確保されることから、施工能力および経済性の面（表 1－2 参照）で有利なトラクタショベルを採用する。

表 1－2 ずり積機（ヘグローダ）とトラクタショベルの能力・損料比較

			ずり積機（ヘグローダ）	トラクタショベル	備考
機種・規格			クローラ式バックホウ型 150 m ³ /h級	サイドダンプ式ホイール型 山積 2.3 m ³ 級	
施工能力		m ³ /h	34.0	64.4	注1)
機械損料	運転時間当り	円/h	5,180	2,480	
	供用日当り	円/日	22,100	9,430	
m ³ 当り換算損料		円/m ³	152	39	注2)

注1) トラクタショベルの能力については、「国土交通省土木工事積算基準」における同一機種の施工能力による。

注2) 両者の損料差を比べるため、便宜上、(運転時間当たり機械損料) / (施工能力) として単位施工量当りの損料に換算したもの。

1.1.5 支保構造の設定

従来技術における岩盤等級ごとの標準支保パターンを表 1－3 のように設定し、モデルケースによるコスト算出を行なうものとする。なお、新技術を導入した場合における支保構造低減方法は、以下のとおりである。

- ① 高強度吹付けコンクリートを採用することにより、吹付けコンクリートの薄肉化を図る。
- ② シングルシェル構造の採用により、現場打ちコンクリートによる二次覆工の省略化を図る。

表 1-3 従来技術における支保工・覆工パターンの設定（発破方式）

	B	C ₁	C ₂	C ₃ ~D
掘進長 2.5m/サイクル	掘進長 2.3m/サイクル	掘進長 2.0m/サイクル	掘進長 1.5m/サイクル	掘進長 1.0m/サイクル
10 ~ 16 m ²				
16 ~ 30 m ²				
30 ~ 30 m ²				

1.2.1 断面規模と施工機械編成の設定

TBM方式における機械編成と断面規模の設定結果を表 1-4 に示す。

表 1-4 TBM方式における機械編成と断面規模の設定

断面規模		φ2.0m～φ2.3m	φ2.3m～φ3.1m	φ3.1m～
モデル断面		 (約 3 m ²)	 (約 8 m ²)	 (約 20 m ²)
ずり搬出	短距離	流体輸送	シャトルカー ずり鋼車	
	長距離		ベルトコンベア	
適用	シールドタイプ			
	オープンタイプ			
	流体輸送			
	シャトルカー			
	ずり鋼車			
	ベルトコンベア			

注3) $\phi 2.3\text{m} \sim \phi 3.1\text{m}$ では、シャトルカー、ずり鋼車およびベルトコンベアは特注品となる。

1.2.2 シールド形式の設定根拠

TBM形式は、シールドタイプとオープンタイプに大別される。小口径のオープンタイプではその機構上メインビームが他の設備機器設置における支障となるため、φ3.1m以下の小口径断面ではシールドタイプが設定される。

1.2.3 ずり搬出設備における断面区分設定根拠

連続ベルコンおよびシャトルカー等を使用した場合の最小断面は図 1-5 に示すように $\phi 3.1\text{m}$ 以上となる。また、連続ベルコンおよびシャトルカーについては、特注品により断面の縮小化を図ることも可能であり、その場合の最小径は図 1-6 に示すように $\phi 2.3\text{m}$ となる。

$\phi 2.3\text{m}$ よりも小さい径の場合には、連続ベルコンやシャトルカー等による搬出は困難であるため、流体輸送によるずり搬出を計画する必要がある。

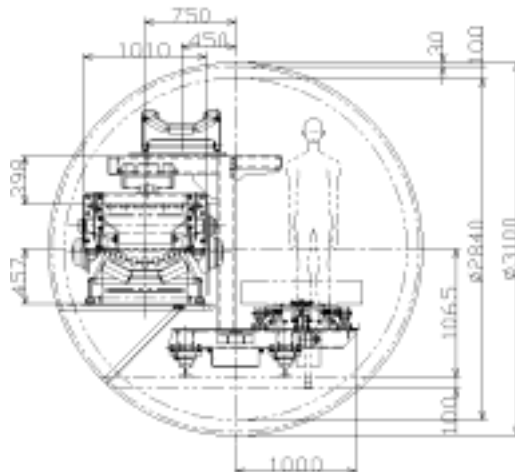


図 1-5 連続ベルコン（汎用品）における最小断面

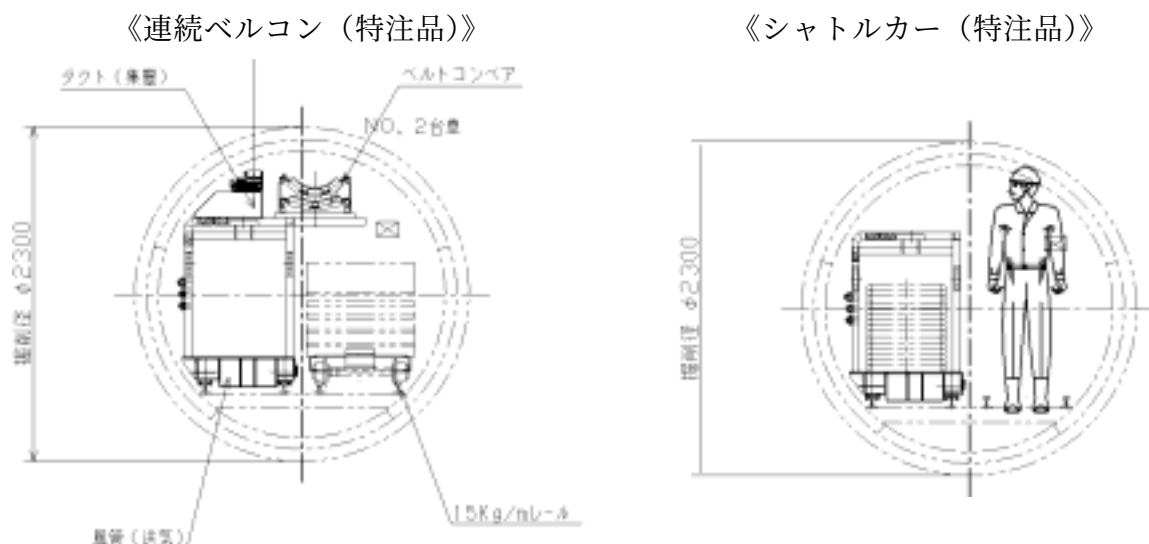


図 1-6 連続ベルコン（特注品）およびシャトルカー（特注品）における最小断面

1.2.4 ずり搬出設備の設定

シャトルカー、ずり鋼車および連続ベルコンの適用範囲については、施工延長や掘削断面による違いがコストに大きな影響を与えるため、システム上は各ずり搬出に対する工事費算定を行なうものとする。ずり搬出方式がコストに与える影響についての試算結

果を以下に示す。

《ずり搬出方式とコストの試算結果》

TBM径が $\phi 2.3\text{m}$ 以上の場合には、施工性の面から選定されるずり搬出方式は①シャトルカー、②ずり鋼車、③連続ベルコンのいずれも適用が可能である。このため、岩盤等級および施工延長に対するコスト分析を行なった。この結果、施工延長2.5kmの場合では、一部のパターンを除いてシャトルカーによるずり搬出方式が経済的となる結果が得られた（図1-7参照）。また、 C_H 級のみを対象とした場合、施工延長3.5km以上では連続ベルコンがコストの面で有利であり、それよりも延長が短い場合には、シャトルカーが有利である結果となった（図1-8参照）。コストの面で有利となるずり搬出方式は、岩盤等級、断面規模によって多少異なるが、システム上ではほとんどのケースで経済性に優れるシャトルカーを採用した。

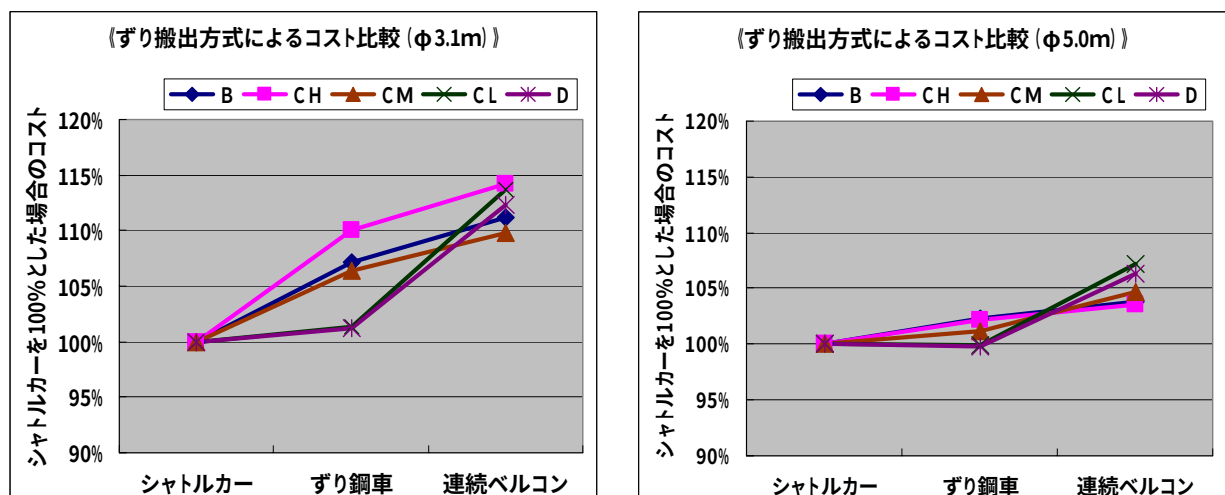


図 1-7 岩盤等級の違いによるずり搬出方式のコスト比較（施工延長2.5kmの場合）

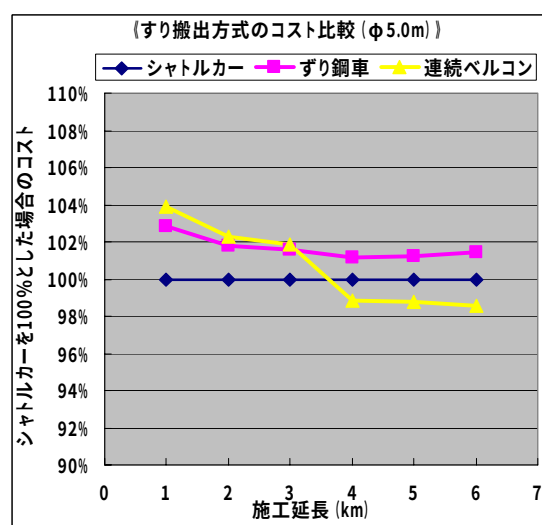


図 1-8 施工延長の違いによるずり搬出方式のコスト比較（岩盤等級 C_H 級の場合）

1.2.5 代表断面と支保構造の設定

従来技術における岩盤等級ごとの標準支保パターンを表 1－5のように設定し、モデルケースによるコスト算出を行なうものとする。なお、新技術を導入した場合における支保構造低減方法は、以下のとおりである。

- ① 高強度吹付けコンクリートを採用することにより、吹付けコンクリートの薄肉化を図る。
- ② シングルシェル構造の採用により、現場打ちコンクリートによる二次覆工の省略化を図る。

表 1-5 従来技術における支保工・覆工パターンの設定 (TBM方式)

	B	C _H	C _B	C _L
掘進長 - m/サイクル φ2.0m (3.1m) ? φ2.3m (4.2m)				
掘進長 - m/サイクル φ2.3m (4.2m) ? φ5.0m (19.6m)				
掘進長 - m/サイクル φ5.0m (19.6m) ?				

第2章 発破方式におけるコスト低減効果の評価

地下調整池を構築する際の発破方式における新技術を選定するために、新技術について、仮想積算を行い、従来技術に対する工期・コスト低減効果进行评估する。新技術の工期・コスト分析検討モデルの条件を表 2－1 に示す。

表 2－1 新技術の工期・コスト分析検討モデル（発破方式）

	工期・コスト分析検討モデル	備 考
断面モデル	① 10 m ² モデル ② 20 m ² モデル ③ 30 m ² モデル	注 1)
岩盤等級	① 岩盤等級 B ② 岩盤等級 C _H ③ 岩盤等級 C _M ④ 岩盤等級 C _L ～D	注 2)
施工延長	L=2.5km	注 3)
新技術	① 長孔発破技術 ② 爆薬技術 ③ コンピュータ制御自動削孔技術 ④ 高強度吹付けコンクリート技術	

注 1) トンネル断面、コストおよび工期に大きく影響する施工機械編成および規模（規格）により、『表 1－1 発破方式における施工機械編成と断面規模の設定』において設定したそれぞれ 3 種類のモデル断面とする。

注 2) 岩盤等級は、B、C_H、C_M、C_L～D の 4 種類とし、支保構造等は過去の実績より、『表 1－3 従来技術における支保工・覆工パターンの設定（発破方式）』のとおりとする。なお、トンネル 1 本当たりの岩盤等級は、実際は各種等級が混在すると考えられるが、岩盤等級の差異によるコスト低減効果を明確にするため、本検討では、単一岩盤等級とする。

注 3) トンネル延長は、コスト低減率には大きく影響しないものと考えられるため、2.5km（内空容積 25 000～75 000m³程度）で検討を行う。

2.1 各新技術の工期・コスト低減効果の評価（発破方式）

2.1.1 各新技術の工期短縮効果（発破方式）

図 2-1 に各新技術を導入した場合における工期（新技術／従来技術）を示す。

長孔発破技術の導入が工期短縮に与える効果が高く、その傾向は断面規模が小さい程高い。他の新技術に対しては、工期短縮の面では数%の効果が期待でき、長孔発破技術とは異なり、断面規模が大きいほどその効果が高い傾向が見られる。

いずれの新技術においても、導入することで工期短縮効果が得られることが確認された。

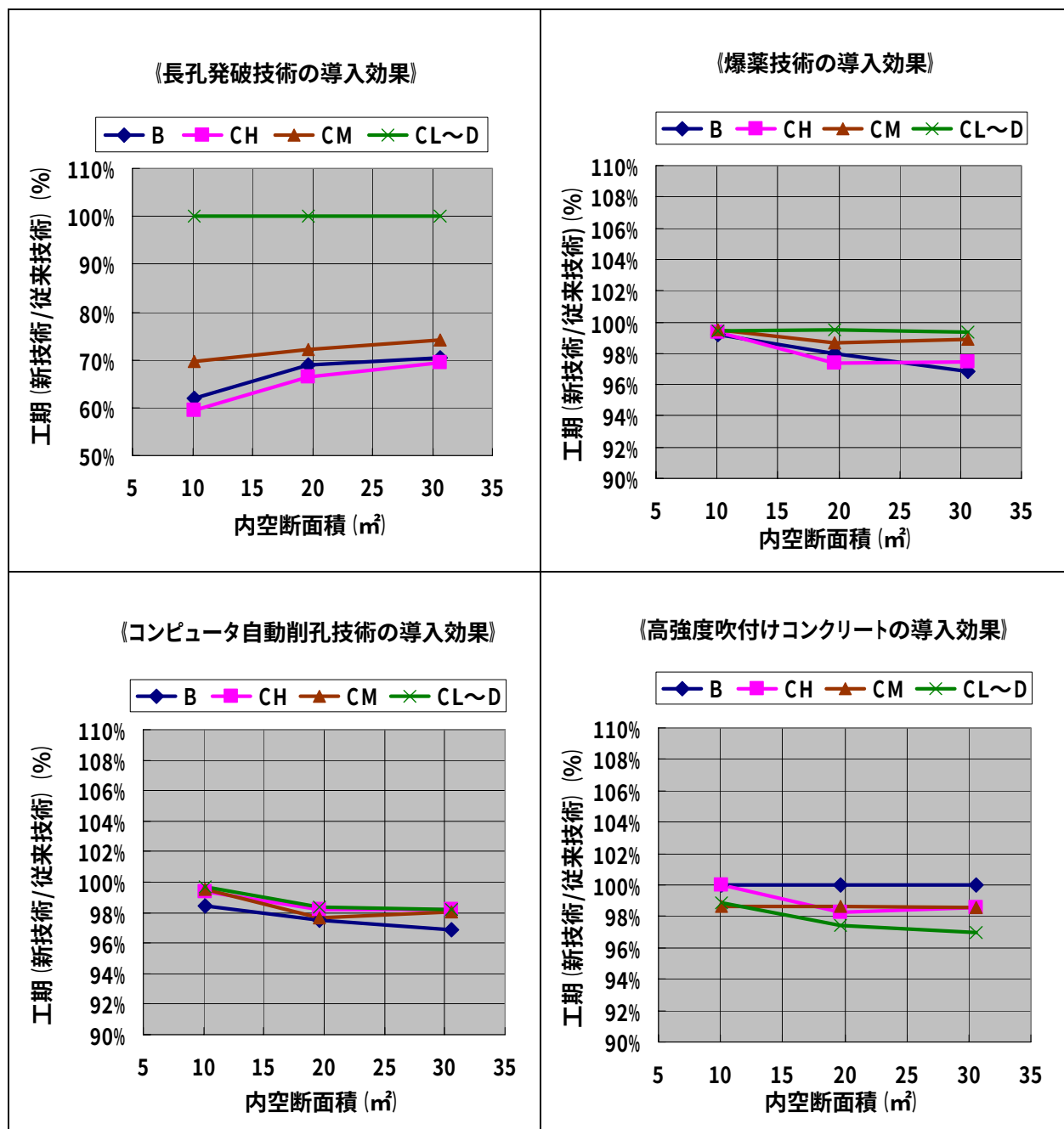


図 2-1 新技術導入が工期に与える影響（発破方式）

2.1.2 各新技術のコスト低減効果（発破方式）

(1) 長孔発破技術のコスト低減効果

全体的な傾向として、適用される全断面、全岩質において、コスト低減効果は高い。

- ① 適用される全断面、全岩質において、従来技術の約 70～85%のコストとなり、コスト低減効果は高い。
- ② コスト低減は、1 発破進行長の延伸による工期短縮の影響が大きいと考えられる。
- ③ 断面が小さい方が、コスト低減効果は高い傾向にある。これは、断面規模が小さい程工期短縮効果が高いことから、工期短縮によるコスト低減効果が得られているものと考えられる。

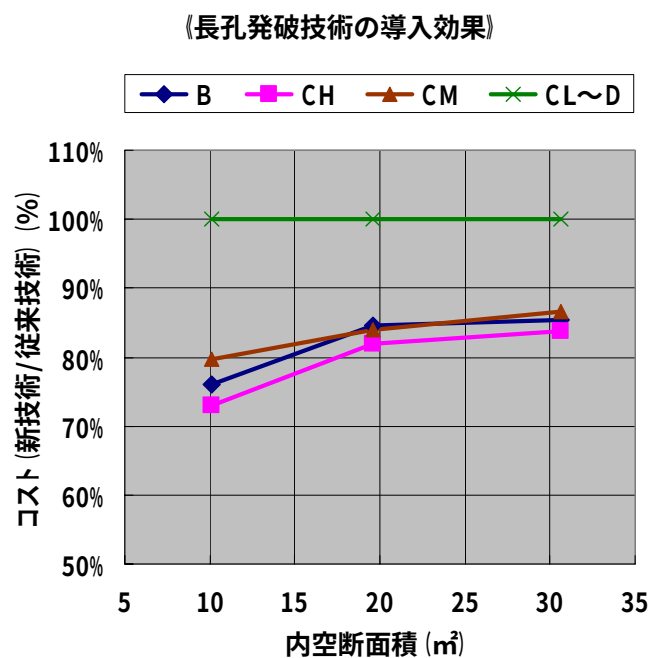


図 2-2 長孔発破技術の導入効果

(2) 爆薬技術のコスト低減効果

全体的な傾向として、工期短縮・爆薬単価減によるコスト減と使用数量増によるコスト増が相殺し、従来技術とほぼ同等コストとなる。

- ① 岩盤等級 $B \sim C_H$ では、従来技術の約 101~104%のコストとなり、コスト増となるが、岩盤等級 $C_M \sim C_L$ では、従来技術の約 98%のコストとなり、コスト減となる。
- ② 地山条件によるコストの増減については、以下の理由によるものと考えられる。
 - ・ バルクエマルジョンは、通常爆薬に比べ、単価は約 6 割と安価であるが、単位当り爆薬使用量が多い。なお、爆薬単価については、火薬類製造責任者（正、副、現場常駐）人件費が含まれる。
 - ・ 硬質地山は、爆薬の使用量が多くなるため、単価減に比べ、使用量増によるコスト増が大きいと考えられる。
- ③ 地山条件によりコストの増減があるため、適用可能な地山条件の範囲を検討する。
- ④ 爆薬技術は、装薬に専用ポンプを用い長孔においても施工性が良いため、サイクルタイム短縮の可能性がある、長孔発破技術との組合せによる総合的なコスト検討を行うものとする。

《爆薬技術の導入効果》

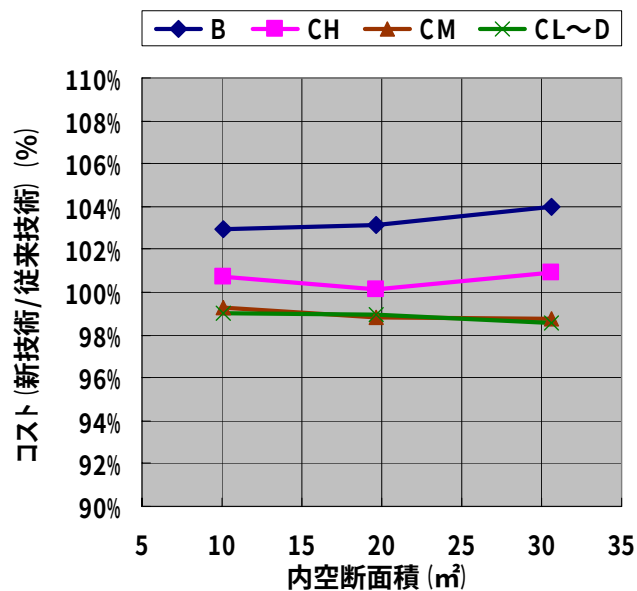


図 2-3 爆薬技術の導入効果

(3) コンピュータ制御自動削孔技術のコスト低減効果

全体的な傾向として、工期短縮・余掘り減によるコスト減と機械損料増によるコスト増が相殺し、従来技術とほぼ同等コストとなる。

- ① 適用される全断面、全岩質において、従来技術の約 101～102%のコストとなり、コスト増となる。
- ② コスト増は、工期短縮（約 97～99%）および余掘り量減によるコスト減に比べ、機械損料（1.5 倍）によるコスト増が大きいためと考えられる。
- ③ コンピュータ制御自動削孔技術は、単体ではコスト増となるが、余掘りの削減に伴う余吹きの削減により、高強度吹付けコンクリート技術の削減効果を増加させるため、組合せによる総合的なコスト検討を行うものとする。
- ④ コンピュータ制御自動削孔技術は、削孔精度が向上するため、長孔発破技術採用時の施工性向上に寄与することが考えられるため、組合せによる総合的なコスト検討を行うものとする。

《コンピュータ制御自動削孔技術の導入効果》

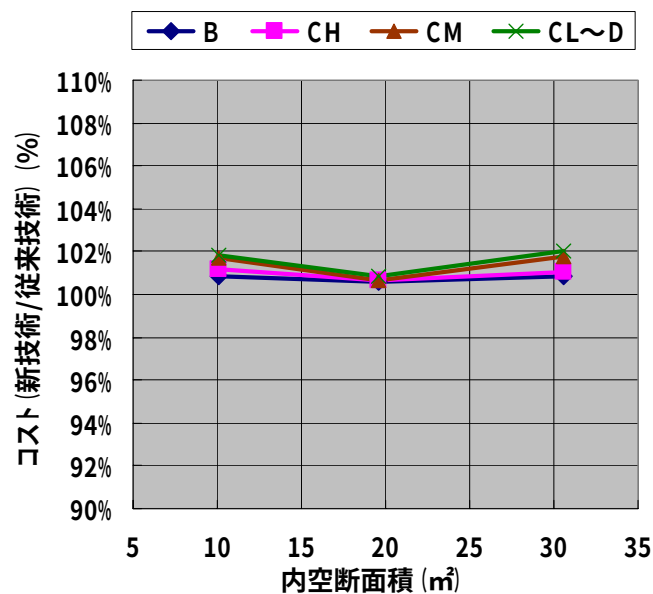


図 2-4 コンピュータ制御自動削孔技術の導入効果

(4) 高強度吹付けコンクリート技術のコスト低減効果

全体的な傾向として、工期短縮・余吹き減によるコスト減と材料単価増によるコスト増が相殺し、従来技術とほぼ同等コストとなる。

- ① 岩盤等級 C_M では、従来技術の約 101% のコストとなり、コスト増となるが、岩盤等級 C_H 、 C_L では、従来技術の約 99% のコストとなり、コスト減となる。
- ② 地山条件によるコストの増減については、以下の理由によるものと考えられる。
 - ・ 高強度吹付けは、通常吹付けに比べ、単価は約 1.4 倍と高価であるが、吹付け厚を $2/3$ に削減できると考えられる。
 - ・ 吹付け厚によっては、吹付け厚の減によるコスト減に比べ、単価増によるコスト増が大きいためと考えられる。
- ③ 高強度吹付けコンクリート技術は、余吹きの影響が大きいため、精度良く掘削することにより余吹きの低減効果があるコンピュータ制御自動削孔技術との組合せによる総合的なコスト検討を行うものとする。
- ④ 高強度吹付けコンクリート技術は、耐久性、止水性が向上するため、シングルシェルと組合せて総合的なコスト検討を行うものとする。

《高強度吹付けコンクリートの導入効果》

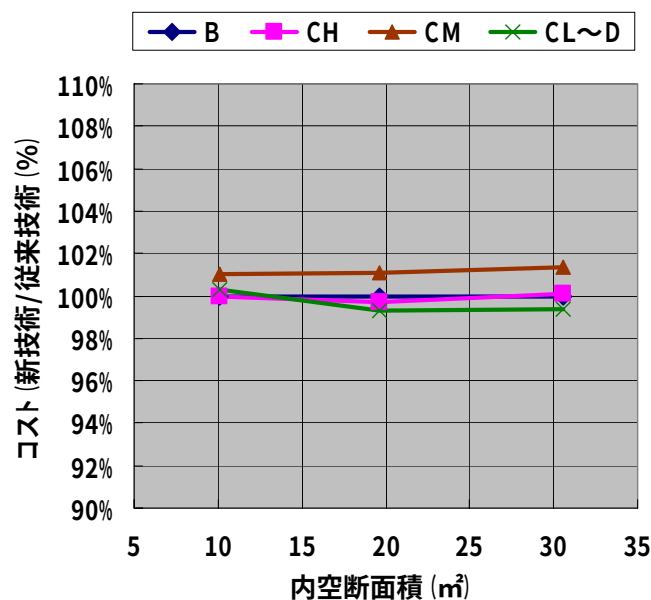


図 2-5 高強度吹付けコンクリート技術の導入効果

2.2 新技術の組合せによる工期・コスト低減効果の評価（発破方式）

各新技術ともに、工期短縮効果は確認できた。また、長孔発破技術については、適用される全断面、全岩質においてコスト低減効果が高いことが確認できた。高強度吹付けコンクリート技術については、コスト減は小さいが、それなりに効果的であることが確認できた。爆薬技術、コンピュータ制御自動削孔技術については、工期短縮等に伴うコスト減が、材料単価や機械損料増によるコスト増と相殺されてしまうことから、各技術を単独で導入した場合には、従来技術と同等コストとなった。ただし、これら新技術については、他の新技術と組み合わせることによる工期短縮およびコスト減に対する相乗効果が期待できる組合せが考えられる。

このことから、工期短縮およびコスト減の効果が大きく期待できる長孔発破技術を基本とし、各技術の得失を考慮した上で表 2-2 に示す各新技術の組合せに対する工期短縮およびコスト効果の検討を行う。

表 2-2 新技術の組合せによる工期・コスト低減効果検討ケース（発破方式）

	期待される効果	組合せ検討ケース				
		case -1	case -2	case -3	case -4	case -5
長孔発破技術	・単独でも効果が見込める。	○	○	○	○	○
爆薬技術	・長孔発破技術におけるサイクルタイム短縮効果が期待できる。	—	—	○	—	○
コンピュータ制御自動削孔	・削孔精度向上による長孔発破技術の施工性向上効果が期待できる。	—	—	—	○	○
高強度吹付けコンクリート	・単独でもそれなりの効果が見込める。	—	—	○	○	○
シングルシェル	・単独でも効果が見込める。	—	○	○	○	○

注 1) case-1 は、各新技術組合せによる効果確認のために行う基本ケースである。

注 2) シングルシェルに対する効果は、case-1 と case-2 を比較することで評価する。なお、掘削量低減、覆工費低減効果が期待できることは自明の理であるため、case-2 以降のすべての組合せに対して計上するものとする。

注 3) 爆薬技術については、専用ポンプを用いることによるサイクルタイム短縮効果も期待できるが、実績等が不足することから、期待値としてサイクルタイム短縮時間を 10 分（従来技術に対して 2/3 程度の装薬時間）として設定した。なお、期待値については、今後試験施工等による確認を行うことが望ましい。

注 4) シングルシェルを導入した場合には、現場打ち覆工打設時に用いるようなセントル型枠が不要となることから、余吹きの概念はない。

2.2.1 新技術の組合せによる工期短縮効果（発破方式）

図 2-6 に、各新技術を組合せた場合における工期（新技術／従来技術）を示す。

case-1 と case-2 の比較により、従来技術にて二次覆工が施工される 20 m²および 30 m²モデルにてシングルシェルの導入効果 10～15% 見られる。

長孔発破技術に対して、爆薬技術、コンピュータ制御自動削孔技術、高強度吹付けコンクリート技術の全てを組合せた場合が、工期短縮の面で最も効果が高く、その傾向は断面が大きくなるほどより顕著に見られる。また、断面が小さい方が工期短縮効果が高い傾向を示す。

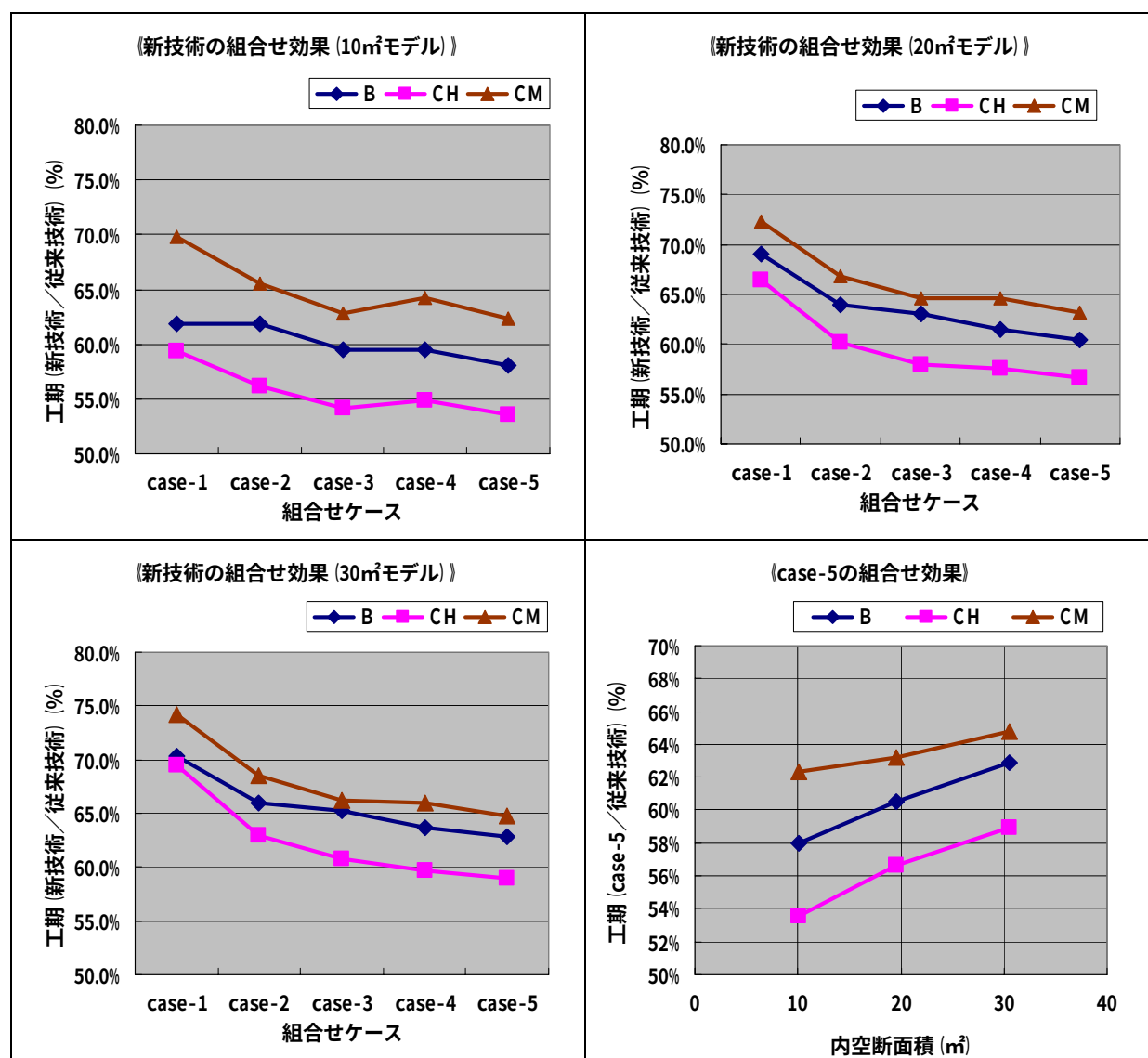


図 2-6 新技術の組合せが工期に与える影響

2.2.2 新技術の組合せによるコスト低減効果（発破方式）

各新技術の組合せによるコスト低減効果を図 2-7 に示す。各新技術の組合せ効果について、case-2～case-5 を比較した場合、いずれの組合せも従来技術に対するコスト低減効果が大きく、各ケース間の差は小さい。なお、10 m²モデルにおいてシングルシェル採用による効果が小さいのは、従来技術においてすでにシングルシェルが採用されているためである。

case-2～case-5 の差は軽微であり、各新技術のコスト（基礎価格、単価等）については今後普及するにしたがって安くなることが予想される。したがって、新技術の導入は、case-5 の組合せを採用するものとする。

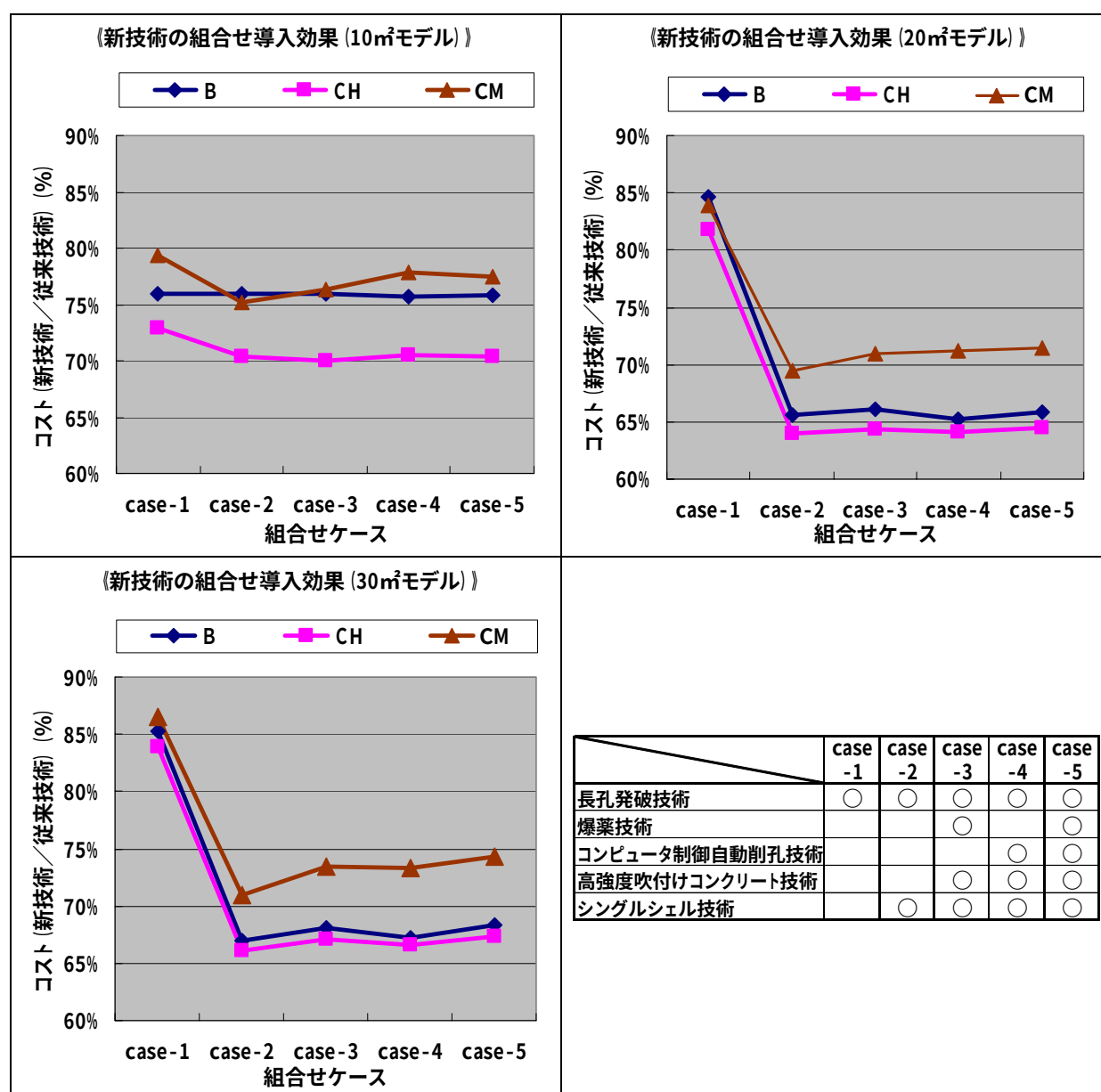


図 2-7 新技術の組合せによるコスト低減効果

第3章 TBM方式におけるコスト低減効果の評価

地下調整池を構築する際のTBM方式における新技術を選定するために、新技術について、仮想積算を行い、従来技術に対する工期・コスト低減効果を評価する。従来技術に比べて工期・コスト低減効果が認められる新技術については、今後、地下調整池構築概算コスト算出、施工法・工事費の関係の標準化、工事費算定フローの作成に取り組むものとする。新技術の工期・コスト分析検討モデルの条件を表 3-1 に示す。

表 3-1 新技術の工期・コスト分析検討モデル

	工期・コスト分析検討モデル	備 考
断面モデル	① φ2.0mモデル ② φ3.1mモデル ③ φ5.0mモデル	注 1)
岩盤等級	① 岩盤等級 B ② 岩盤等級 C _H ③ 岩盤等級 C _M ④ 岩盤等級 C _L ⑤ 岩盤等級 D	注 2)
施工延長	円形 TBM : L = 2.5km 楕円 TBM : L = 1.915km	注 3)
新技術	① ビットの急速交換技術 ② ビットの長寿命化技術 ③ 簡易ライナーの導入 ④ 楕円 TBM	

注 1) トンネル断面は、コストおよび工期に大きく影響する施工機械編成および規模（規格）により、『表 1-4 TBM方式における機械編成と断面規模の設定』において設定したそれぞれ 3 種類のモデル断面とする。なお、施工延長が長くなると連続ベルコンが有利といわれていることから、φ3.1mとφ5.0mについてはずり搬出を連続ベルコンとした。

注 2) 岩盤等級は、B、C_H、C_M、C_L、Dの 5 種類とし、支保構造等は過去の実績より、『表 1-5 従来技術における支保工・覆工パターンの設定（TBM方式）』のとおりとする。なお、トンネル 1 本当たりの岩盤等級は、実際は各種等級が混在すると考えられるが、岩盤等級の差異によるコスト低減効果を明確にするため、本検討では、単一岩盤等級とする。

注 3) トンネル延長は、コスト低減率には大きく影響しないと考えられるため、2.5km（内空容積 25 000～75 000m³ 程度）で検討を行う。なお、楕円 TBM に関しては同一内空高さに対して貯留面積が増えることから、同一高さの円形 TBM と同等の貯留量になる延長として 1.95km として検討を行う。

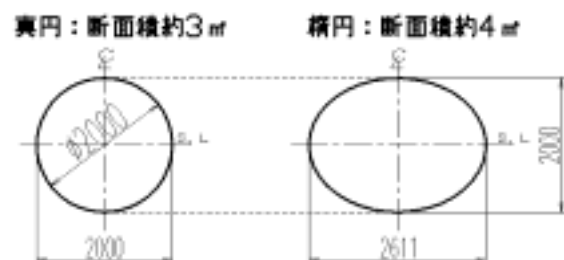


図 3-1 楕円断面の設定（例）

3.1 各新技術の工期・コスト低減効果の評価（TBM方式）

3.1.1 各新技術の工期短縮効果（TBM方式）

ビットの急速交換技術および長寿命化技術は、数%の工期短縮効果が見込まれ、TBM径が大きいほどビットの個数が増えるため、工期短縮効果が高くなる。なお、ビットの急速交換技術については、ずり搬出方式が流体輸送方式（φ2.0m）の場合や連続ベルコン方式の場合には、流体輸送用の配管の延伸作業時やベルコンの延伸作業時にビット鋼管を行うことが出来るため、ビットの急速交換技術は工期に対して影響を与えないこととなる。

簡易ライナーは、サイクルタイムに影響を与えないため、工期短縮効果はない。

楕円TBMは、同一掘削高さにおいて円形TBMと比べた場合に貯水断面積が大きく取れることから、同一貯水量に対して施工延長を短くすることが可能となることによる工期短縮効果大きい。

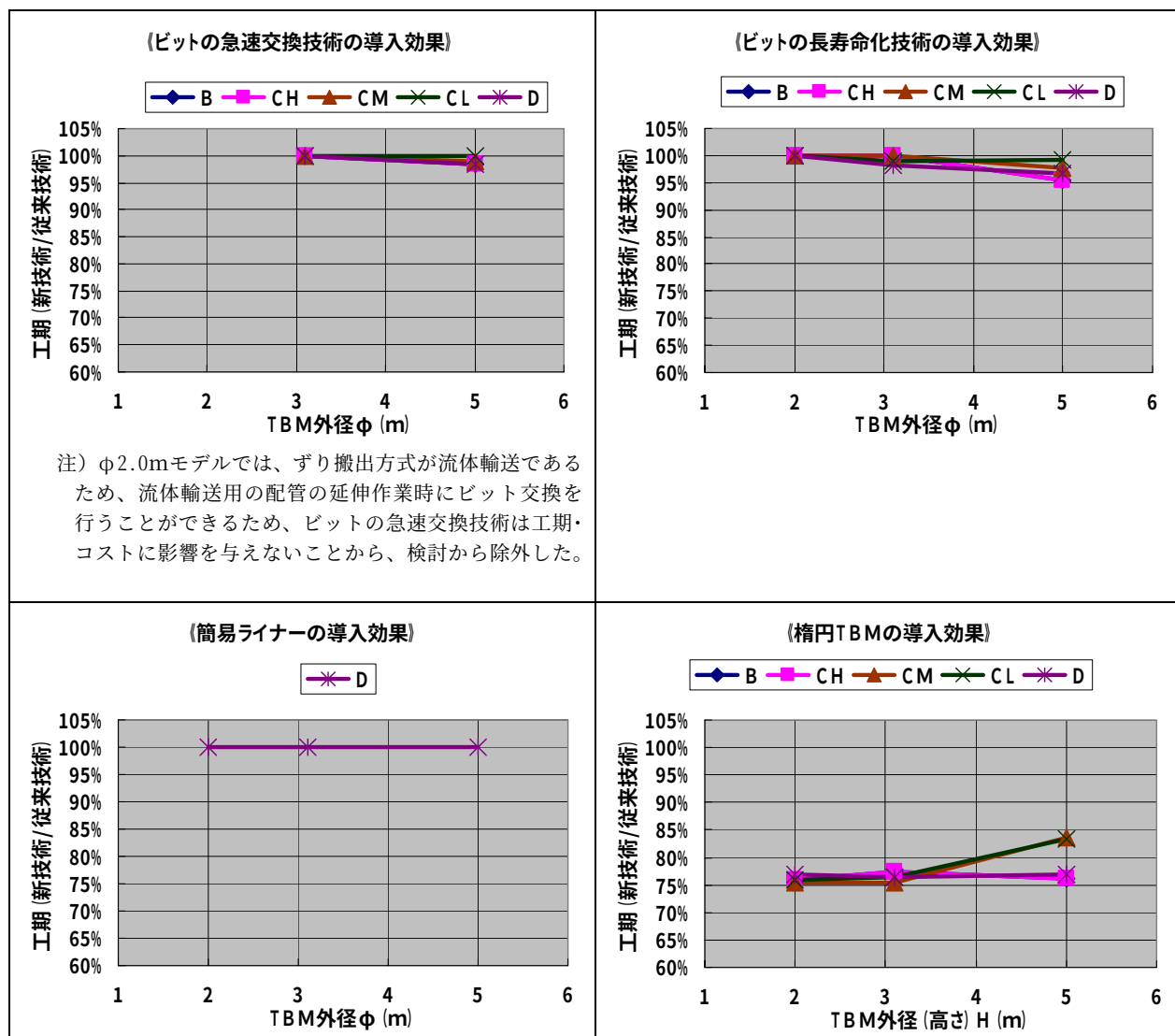


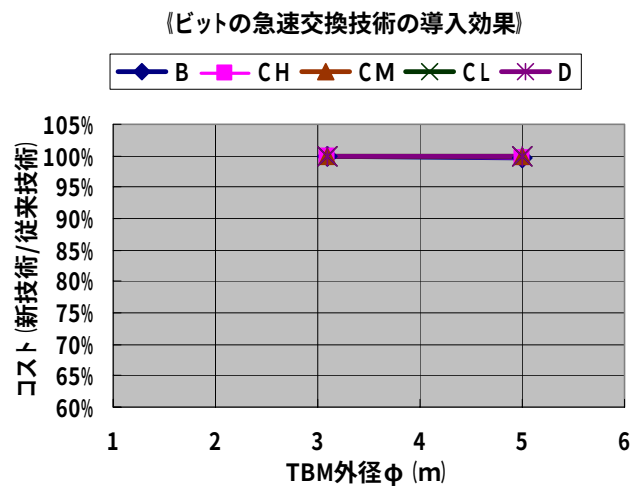
図 3-2 新技術導入が工期に与える影響（TBM方式）

3.1.2 各新技術のコスト低減効果（TBM方式）

(1) ビットの急速交換技術のコスト低減効果

全断面、全岩種とも従来技術とほぼ同等のコストとなる。

- ① 工期短縮に伴うコスト減と、急速施工対応機械導入によるコスト増が相殺されているものと考えられる。



注) φ2.0mモデルでは、ずり搬出方式が流体輸送であるため、流体輸送用の配管の延伸作業時にビット交換を行うことができるため、ビットの急速交換技術は工期・コストに影響を与えないことから、検討から除外した。

図 3-3 ビットの急速交換技術の導入効果

(2) ビットの長寿命化技術のコスト低減効果

全断面、全岩種とも従来技術とほぼ同等のコストとなる。

- ① ビット単価が高いことによるコスト増と、ビット交換個数減によるコスト減が相殺されているものと考えられる。

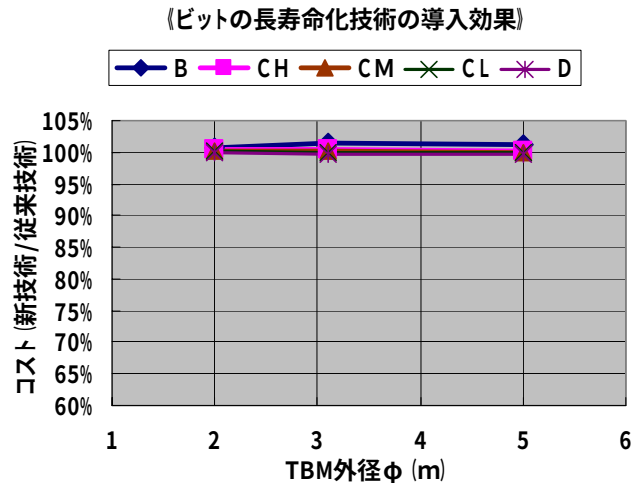


図 3-4 ビットの長寿命化技術の導入効果

(3) 簡易ライナーの導入によるコスト低減効果

適用岩種となる岩盤等級Dにおいて、コスト低減効果が70%と高い。

- ① 断面規模によってコスト低減効果がことなるが、φ3.1m以上ではほぼ70%のコスト低減効果が得られ、コスト低減効果は高い。
- ② コスト低減効果は、簡易ライナーの単価によるものの影響である。

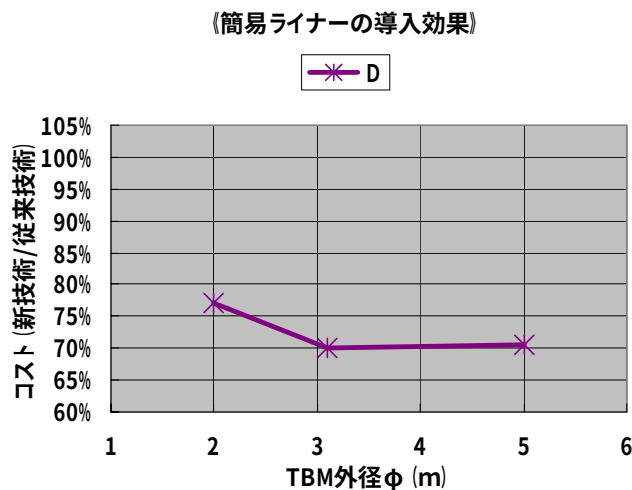


図 3-5 簡易ライナーの導入効果

(4) 楕円TBMによるコスト低減効果

岩種、断面におけるばらつきが多きく、岩盤等級によってコスト増とコスト減に分かれる。

- ① 岩盤等級B～C_Mでは数%程度のコスト増となる。これは、延長が短くなることによる工期短縮のコスト減よりもマシンコスト増（掘削工費）の影響が若干大きいことによるものと考えられる。
- ② 岩盤等級C_L～Dでは5～10%程度のコスト減となる、マシンコスト増（掘削工費）よりも、延長が短くなることによる工期短縮のコスト減の影響が大きいことによるものと考えられる。
- ③ 地下調整池の立地条件により、地下調整池の延長、高さに制限がある場合には、有効な工法であると考えられる。

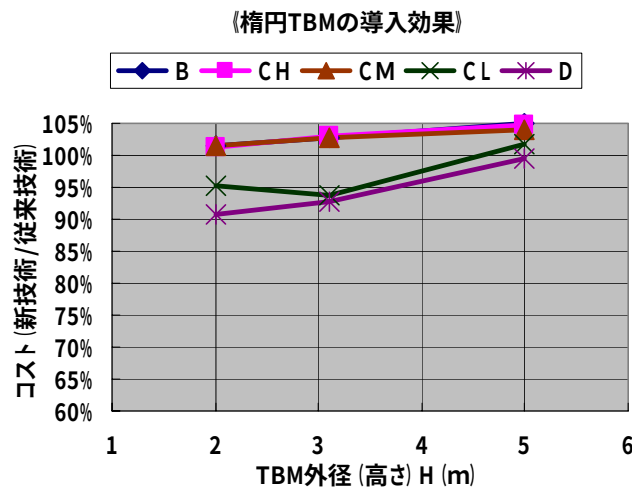


図 3-6 楕円TBMの導入効果

3.2 新技術の組合せによる工期・コスト低減効果の評価（TBM方式）

TBM方式においては、各新技術を単純に組み合わせることが可能である。円形TBMおよび楕円TBMのそれぞれに対して、新技術をすべて導入した場合のコスト低減効果を評価する。

3.2.1 円形TBMにおける新技術組合せによるコスト低減効果

簡易ライナーを除く各新技術は、従来技術とほぼ同等であったことから、岩盤等級B～C_L級は従来技術とほぼ同等であり、岩盤等級D級は簡易ライナー導入によりコスト減となる。（図 3－7 参照）

3.2.2 楕円TBMにおける新技術組合せによるコスト低減効果

TBMマシンコスト増による影響により、岩盤等級B～C_M級は若干のコスト増となるが、C_L級ではコスト減となる。また、岩盤等級D級は簡易ライナーの導入効果によりコスト減となる。（図 3－8 参照）

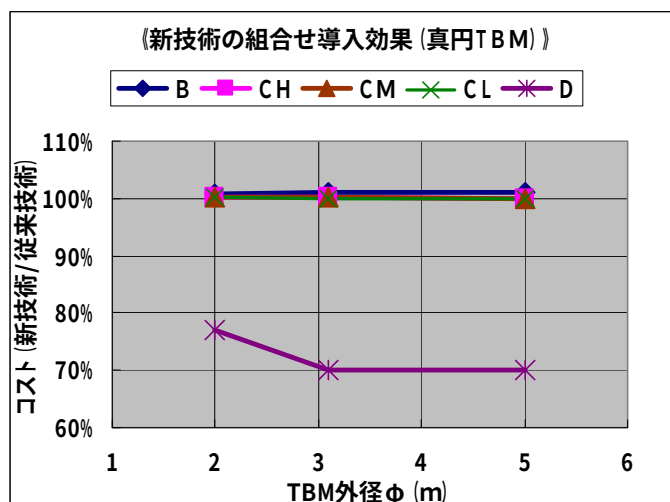


図 3－7 円形TBMに対してすべての新技術を導入した場合の効果

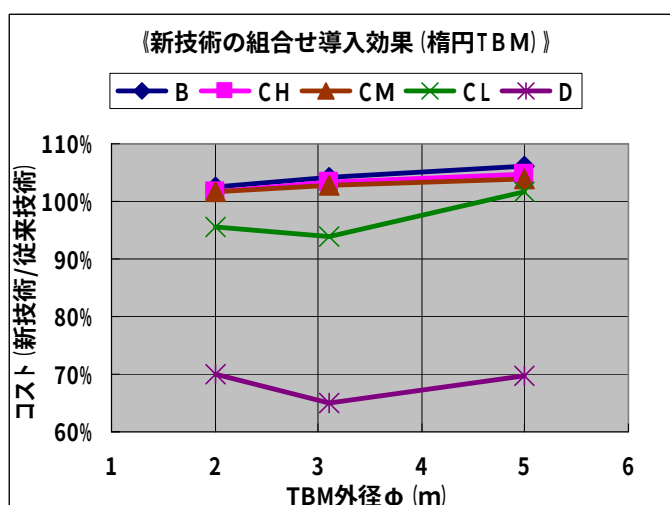


図 3－8 楕円TBMに対してすべての新技術を導入した場合の効果