

IEA 水力実施協定 ANNEX 11 水力発電設備の更新と増強
第二次事例収集（詳細情報）

事例のカテゴリーとキーポイント

Main : 2-c) 土木建築分野の技術革新、適用拡大、新材料

プロジェクト名	: 帝釈川ダム保全対策工事
国、地域	: 日本、広島県
プロジェクトの実施機関	: 中国電力株式会社
プロジェクトの実施期間	: 2003年～2006年
更新と増強の誘因	: (C) 発電機能向上の必要性 (D) 安全性向上の必要性
キーワード	: 堤体保全対策 dam body conservation measures、老朽化ダム deteriorated dam、コンクリート打ち増し cast concrete、安定性の向上 elevation of stability

要旨

帝釈川ダムは、大正13年の完成以来、電力安定供給の一翼を担うとともに地元観光資源としての役割も果たしてきた。しかし、トンネル式洪水吐の放流能力が小さく出水期の貯水池運用に制約を与えていること、最大で約35mの未利用落差が存在していること、完成後約80年を経過し現在の安定条件を満足していないことなどから、帝釈川ダムの保全対策工事（構造上の補強および洪水処理能力の向上）を実施し、近代的なダムへの転換および水資源の更なる有効活用を図った。ここでは、既設堤体の下流面にコンクリートを打ち増し、安定性の向上を図った事例について紹介する。

1. プロジェクト地点の概要（改修前）

帝釈川ダムは、広島県北東部の一級河川高梁川の支川である帝釈川の下流域に位置する帝釈川発電所（最大出力4.4MW、本格着工1923年6月、運転開始1924年3月）の取水ダムである。ダム・貯水池の周辺は、国指定の名勝および比婆道後帝釈国定公園第1種特別地域に指定されており、広島県内で有数の観光地である「帝釈峡」の中心に位置する。発電所ならびにダム等の位置図、諸元は図1、表1のとおりである。

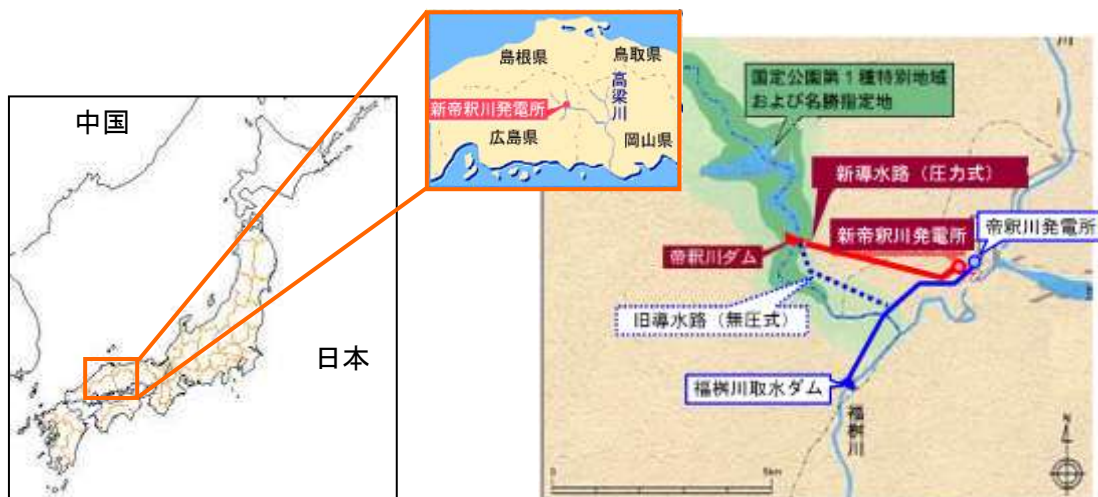


図1 帝釈川ダム位置図

表 1 発電所諸元（再開発前後）

項 目		諸 元	
		【再開発前】	【再開発後】
発電所	発電所名	帝釈川発電所	新帝釈川発電所
	最大出力	4.4 MW/unit	11 MW/unit
	最大使用水量	5.7m ³ /s	10.0m ³ /s
	有効落差	95.17m	129.0m
ダム	ダム名	帝釈川ダム	
	河川名	高梁川水系 帝釈川	
	流域面積	213.2 k m ²	120 k m ²
	タイプ	コンクリート重力式	
	高さ	62.10m	62.43m
	堤頂長	35.15m	39.50m
	堤体積	31,000m ³	45,000m ³
貯水池	総貯水容量	14.278×10 ⁶ m ³	
	有効貯水容量	12.995×10 ⁶ m ³	7.490×10 ⁶ m ³
	利用水深	34.39m	13.94m

2. プロジェクト（更新/増強）の内容

2.1 誘因及び具体的なドライバー

① 状態、性能、リスクの影響度等
（該当なし）

② 価値（機能）の向上

(C)―(a) 発電機能向上の必要性―効率向上、増設、出力・アワー増

導水路を無圧トンネルから圧力トンネルに変更して未利用落差（35m）を有効活用することで11MWの新帝釈川発電所を増設した。なお、既設帝釈川発電所は、帝釈川ダムからの取水を取り止め、帝釈川の支川である福柵川からの取水のみとすることで規模を縮小した。全体では、合計9MW出力増加した（表2）。

表 2 帝釈川発電所および新帝釈川発電所の最大出力

	最大出力 (MW)		変化量 (MW)
	再開発前	再開発後	
新帝釈川発電所	—	11.0	+11.0
帝釈川発電所	4.4	2.4	-2.0
合 計	4.4	13.4	+9.0

(D)―(a) 安全性向上の必要性―安全性の向上

帝釈川ダムは大正年代に設計・施工されたもので、現在の設計基準に照らせば所要の安定条件を満足していなかった。

③ 市場における必要性
（該当なし）

2.2 経緯

1924	帝釈川発電所（既設）の運開
1995.7	地元に調査申入れ、プロジェクト本格検討開始
2003.6	土木本工事着工
2004.3	ダム堤体コンクリート打設開始
2005.12	ダム堤体コンクリート打設完了
2006.6	営業運転開始（11 MW）

2.3 内容（詳細）

2-c) 土木建築分野の技術革新、適用拡大、新材料

帝釈川ダムは大正年代に設計・施工されたもので、現在の設計基準に照らせば所要の安定条件を満足していないことから、洪水吐の増設に併せて安定条件を満足するよう既設堤体下流面にコンクリートを打ち増した（図2）。

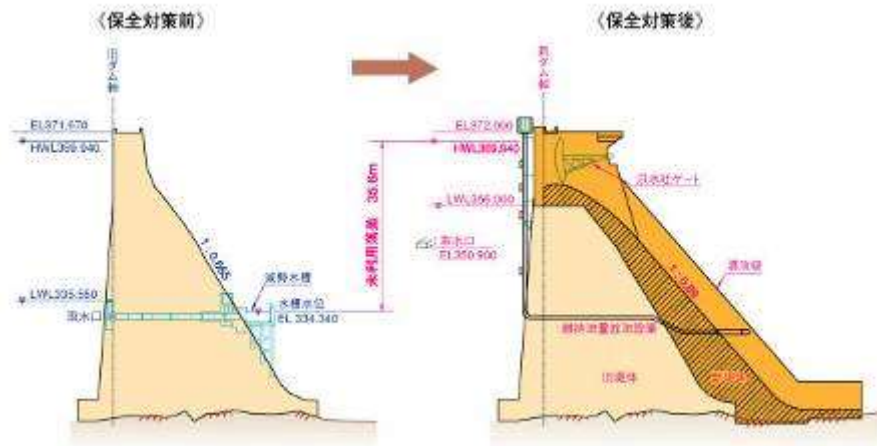


図2 帝釈川ダム断面図（保全対策前後）

本プロジェクトでは、堤体の嵩上げは行わず、既設堤体下流面にコンクリートを打ち増したが、それに伴う技術的な課題は嵩上げと基本的に同様である。堤体の嵩上げにおける構造上の課題は大きく以下の3点に集約される。

- ① ダムの安定性
- ② ①に関して、新旧堤体の一体化
- ③ 新コンクリートを旧堤体背面に打設するために生じる水和熱に伴う温度応力（特に旧堤体への影響）

a. ダムの安定性【①】、新旧堤体の一体化【②】

本工事は、貯水池が重要な観光資源であること等を考慮し、貯水した状態で実施することとし、ダムの安定計算は、嵩上げを行わないものの、工事中の貯水位を考慮できる「垣谷の嵩上げ公式（以下「垣谷公式）」の考え方に基づいて行った。

垣谷公式は、「工事中の荷重は旧堤体が受け持ち、完成後新たに加わる荷重は新旧堤体が一体となって受け持つ」という基本的な考えのもと剛体理論に基づいて導かれた公式であり、わが国の嵩上げダムの大半がこの公式に基づいて設計されている。

垣谷公式の仮定では、新旧堤体が一体となって外力に抵抗する必要があるため、新旧堤体打継面に作用する応力と強度の関係を把握し、新旧堤体の一体化を確認する必要がある。このため、水圧や地震慣性力等の外力の作用時や新コンクリートの水和熱により打継面に発生するせん断応力・引張応力の大きさを温度応力解析等により求め、原位置せん断試験により確認した打継面の強度と比較することにより、その安全性を確認した。

施工にあたっては、新旧堤体の一体化を確実にする観点から、旧堤体表面の石張り撤去と合わせて、大型ブレイカーにより旧コンクリートのチップングを行った（写真1）。



写真1 旧堤体チップング状況

b. 温度応力対策【③】

既に温度的に平衡に達している既設堤体に新コンクリートを打ち増すと、既設堤体は背面に巨大な熱負荷を負うことになる。この熱負荷に伴う堤体の温度変化は、既設堤体上流面に引張応力を発生させる等、特有の温度応力を発生させることが知られていることから、現象を把握するために温度応力解析を実施するとともにその対策について検討を行った。

解析結果の一例として、図3に最大引張応力分布図を示す。新堤体の低標高部と高標高部の2箇所引張応力の大きいゾーンが見られるが、これは夏季打設の影響によるものと考えられる。また、既設堤体最上部の新旧境界面付近と旧堤体上流面にも引張応力の大きいゾーンが見られる。これは、発熱した新コンクリートが冷却により収縮することで発生する嵩上げダム特有の引張応力が本ダムでも現れたものと考えられる。

解析結果から夏季打設に伴う新コンクリートの引張応力および新旧堤体の上流面に発生する引張応力は、それぞれのコンクリートの引張強度以内であり、特段の対策は必要ないと判断した。しかし、更なる止水性向上を図ることから、引張応力の発生する旧堤体上流面にグラウトを実施した（図4）。一方、既設堤体最上部の新旧堤体境界面付近については、鉄筋により補強を行うとともに、止水板をダム軸方向に入れることにより止水対策に万全を期した。

なお、コンクリートの製造は、コンクリートの総打設量が約15,600m³と少ないこと、大幅なコスト低減が図れることから、レディミクストコンクリート製造工場を一部改造して利用することとした。工場の改造は、ダム工事特有の仕様（最大骨材寸法が大きい、低スランプ、特殊セメント等）に対応するため、発注段階では骨材プラント等の大規模な改造を計画していたが、ミキサーユニットの能力向上等の小規模な改造に留め、コスト低減を図った。

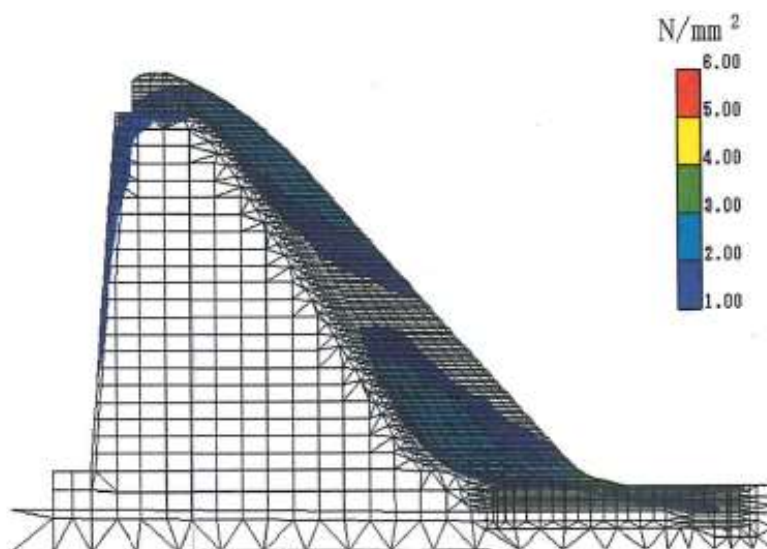


図3 温度応力解析結果

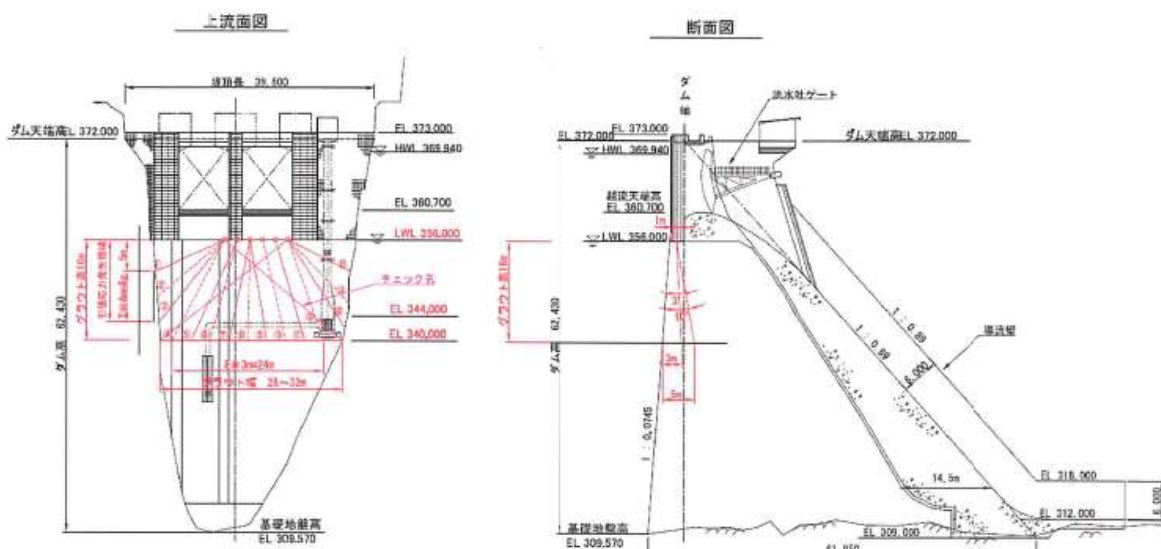


図4 堤体へのグラウト実施状況（朱記部）

また、解析の結果、夏期の昼間コンクリート打設に伴う温度上昇の影響が懸念されたことから、液化窒素（ LN_2 ）によるコンクリートのプレクーリングを実施した。プレクーリングはプラントミキサー投入案とトラックミキサー現地投入案の2案について検討した結果、投入時の温度制御が容易なことから前者を採用した（写真2）。プレクーリングの打込み温度は、温度応力解析結果から $20^{\circ}C$ を目標とし、平成16~17年（6~9月）の間実施した。コンクリート温度の低下効率を示す液化窒素の冷却原単位は $13kg/m^3 \cdot ^{\circ}C$ として計画・実施し、低下温度が $10^{\circ}C$ 程度までは所定の効果を確認した。さらに、コンクリートミキサー車の外側に断熱材を取り付け、運搬中におけるコンクリートの温度上昇を極力低下させた（写真3）。

コンクリート打設期間中における温度等のモニタリング結果については、「5. その他」に示す。



写真2 液化窒素 (LN₂) プラント設備設置状況
(レディミクストコンクリート製造工場内)



写真3 断熱材を取り付けたミキサー車

3. プロジェクトの特徴

3.1 好事例としての要素（注目点）

- ・ダムの安定性検討実施
- ・温度応力対策の実施

3.2 成功の理由

本プロジェクトの成功の要因は、保全対策工事におけるダムの安定性検討を確実に実施したところにある。嵩上げにおける構造上の課題は、当社王泊ダム（昭和10年完成、昭和34年嵩上げ）で初めて本格的な検討が行われ、続いて中部電力黒田ダム（昭和9年完成、昭和53年嵩上げ）や北海道電力新中野ダム（昭和35年完成、昭和58年嵩上げ）などで詳細に検討されている。その検討結果より集約された課題に対して安定性を確認し、対策を検討した。

4. 他地点への適用にあたっての留意点

【建設費増大の観点】

- ・レディミクストコンクリートの採用可否検討

（本プロジェクトでは、コンクリートの総打設量が約 15,600m³ と少ないことや大幅なコスト低減が図れることから、既存のレディミクストコンクリート製造工場を一部改造のうえ採用。事前にコンクリートの製造能力、製造から打設までの運搬時間、一般工事へのコンクリート供給の影響等の調査を行い、十分な品質確保が可能であることを確認。）

【運用の観点】

（該当なし）

5. その他（モニタリング、事後評価等）

コンクリート打設期間中および打設後の新旧堤体の挙動を監視する目的として、表3に示すとおり埋設計器を設置した。現在までのところ特段問題となる変位等は発生していない。

表3 埋設計器の設置数

種類	数量	摘要
温度計	26箇所	新堤体内：18、旧堤体内：8箇所
ひずみ計	30箇所	新堤体内：26、旧堤体内：4箇所
継目計	7箇所	新旧継目
せん断変位計	7箇所	新旧継目

6. 参考情報

6.1 参考文献

- 1) 沖田俊治、吉岡一郎、市原昭司：「新帝釈川発電所建設工事の概要」、電力土木 No.309、2004.1
- 2) 市原昭司、林淳一、清水雄一：「帝釈川ダム保全対策工事の施工」、電力土木 No.324、2006.7
- 3) 吉岡一郎：「帝釈川ダムの保全対策工事について」、ダム日本 No.728、2005.6

6.2 問合せ先

会社名： 中国電力株式会社

URL：<http://www.energia.co.jp/>