

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-a) 電気機械装置の技術革新と適用拡大

Sub : 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 : 土居(どい)発電所改修工事
 国、地域 : 日本、広島県（アジア）
 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 : 2001 年～2010 年
 更新と増強の誘因 : (A) 老朽化/故障頻発
 キーワード : 老朽化、台数の変更、出力の増加、
 横軸二輪単流渦巻両掛フランシス水車

要 旨

当該発電所は、昭和 13 年 11 月から運転を開始し、運転開始後 70 年を経過していた。この間、普通点検や細密点検を行う中で補修や部分的な部品取替を行い、設備の延命化を図りながら適切に設備を維持し運転を継続してきたが、発電機固定子・回転子の絶縁低下および水車ケーシングが補修限界である等、水車・発電機設備の老朽化が著しいことから取替を実施した。

1. プロジェクト地点の概要（改修前）

土居発電所は、広島県西北部の山県郡安芸太田町に位置し、太田川水系太田川から取水するダム水路式発電所である。（図 1 を参照）

当該発電所は当社の鱒溜ダム（ダム高 19.2m、有効貯水容量 215 千 m³）から約 4.6km の導水路により最大 7.6 m³/s を取水する有効落差 129.60m、最大出力 8,000kW の発電所であった。（発電所の主要諸元（改修前・後）は表 1 を参照）

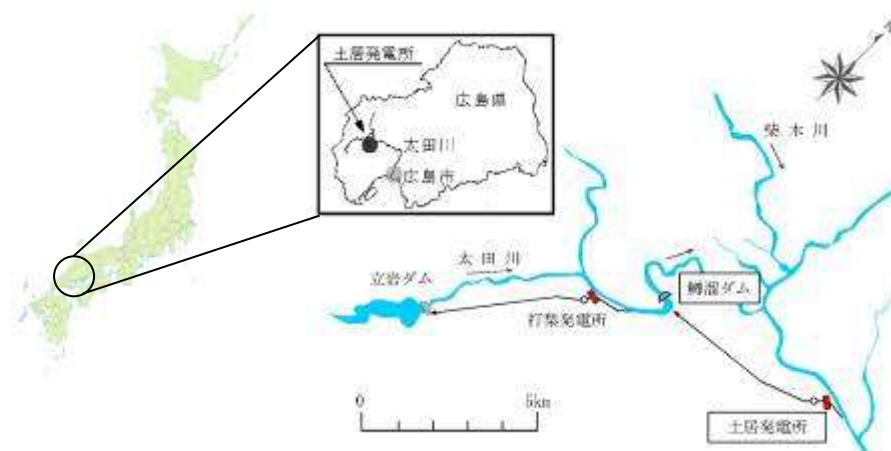


図 1：土居発電所位置図

表 1：土居発電所主要諸元（改修前・後）

項 目		単 位	改 修 前	改 修 後
最 大 出 力		kW	8,000	8,200
最 大 使 用 水 量		m³/s	7.6	変更なし
有 効 落 差		m	129.60	変更なし
ダ ム (鱒 溜 ダ ム)	形 式	—	コンクリート重力式	変更なし
	堤 長	m	98.0	変更なし
	高 さ	m	19.2	変更なし
水 圧 管 路	条 数	条	2	変更なし
	亘 長	m	1 号：205.867 2 号：205.810	1 号：205.523 2 号：205.466
	内 径	m	2.0～1.0	変更なし
水 車	台 数	台	2	1
	出 力	kW	5,000	8,470
発 電 機	台 数	台	2	1
	出 力	kVA	5,000	8,450

2. プロジェクト（更新/増強）の内容

2.1 誘因と促進要因（具体的なドライバー）

①状態，性能，リスクの影響度等

(A)老朽化/故障頻発－(a)効率向上 (b)耐久性，安全性，信頼性向上
(c)低コスト化 (d)保守性の向上

運転開始後 70 年を経過し，発電機固定子・回転子の絶縁低下および水車ケーシングが補修限界である等，水車・発電機設備全般の老朽化が著しく，安定運転に支障をきたす恐れがある。

②価値（機能）の向上

該当なし

③市場における必要性

該当なし

2.2 経緯

2001.12 改修計画ワーキンググループを立ち上げ
 2005. 3 改修計画決定（中期経営計画）
 2008. 5 水利使用規則に基づく承認（国土交通省）
 2008. 5 工事計画届出[電気事業法第 48 条第 1 項]（経済産業省）
 2008. 7 現地工事着工
 2010. 3 水利使用規則更新（国土交通省）
 2010. 5 水利使用規則に基づく変更承認（国土交通省）
 2010. 5 工事計画の変更届出[工期変更]（経済産業省）
 2010. 6 完成検査（国土交通省）
 2010. 6 運転開始
 2010. 7 使用前安全管理審査（経済産業省）

2.3 内 容（詳細）

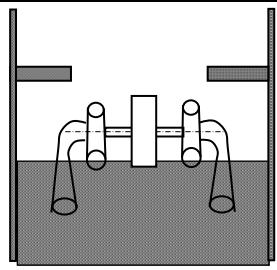
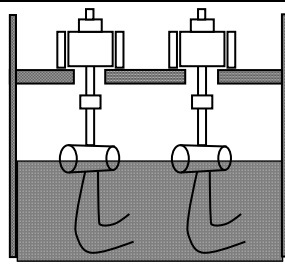
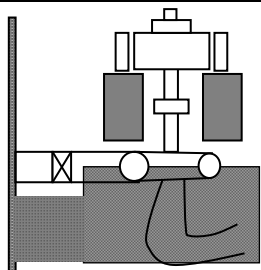
2-a) 電気機械装置の技術革新と適用拡大

(1)-1 水車形式の選定

土居発電所の改修計画の策定に当たっては、現状で設備利用率が70%を超えており、既存設備の通水能力から見ても使用水量の増加は見込めないことから、使用水量は現状の7.6m³/sとし、当発電所に適用可能と考えられる水車機種を考慮した3ケースによる比較検討を実施した結果、経済性及び保守性に最も優れるケース1「横軸二輪両掛フランシス水車」を当社で初めて採用した。（表2に比較検討結果の概要を示す。）

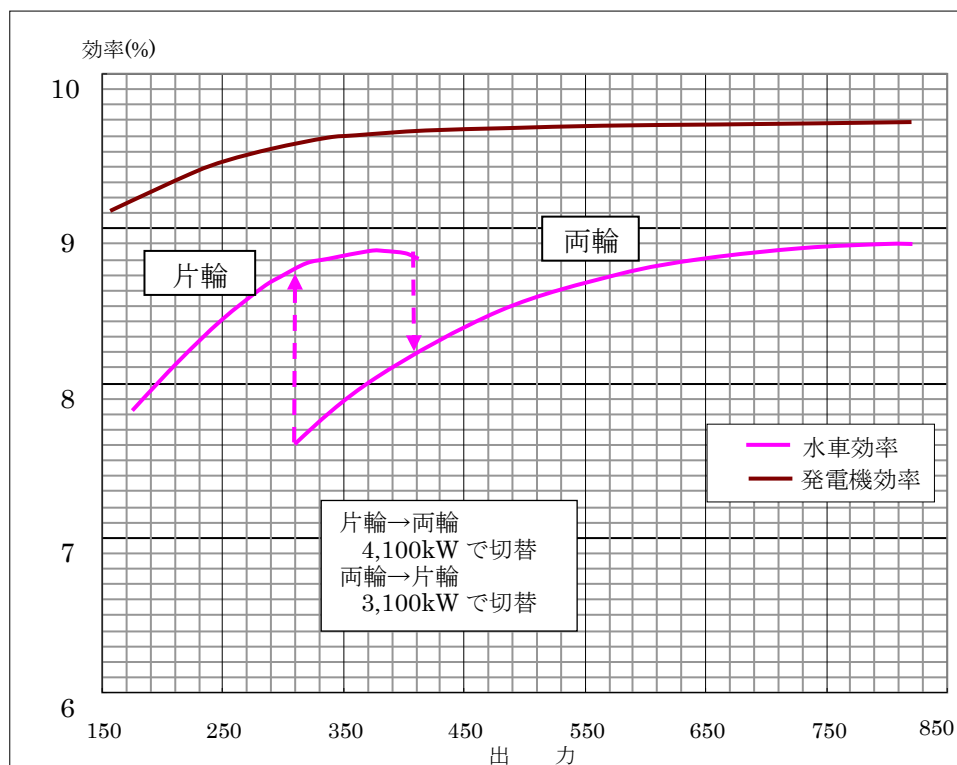
最大出力は高効率化による200kW増の8,200kWとし、発電電力量は横軸二輪両掛フランシス水車の特徴を活かし、50%出力まで片輪運転、以降は両輪運転に切替え、高効率運転により増加を図った。なお、片輪⇄両輪運転の切替えは、発電機出力と水槽水位（水調）により、片輪→両輪切替を4,100kW、両輪→片輪切替を3,100kWで行うこととした。（表3に水車・発電機効率曲線を示す。）

表2：水車の比較検討結果

項 目	【ケース1】 単床式横軸二輪両掛 フランシス水車	【ケース2】 二床式立軸 フランシス水車	【ケース3】 単床バレル式立軸 フランシス水車
概念図			
最大出力	8, 2 0 0 k W	8, 2 0 0 k W	8, 2 0 0 k W
年間発電電力量※1	③	①	②
建設工事費※1	①	②	③
建設単価※1	①	②	③
得 失	◎最も工期が短く，工事期間中の溢水電力量が少ない ○水車は2輪であるが発電機が1台のためケース2よりも維持費が安い ○単床式となるため水車室への資機材搬入が容易 ▲建物補強工事が必要 ○最低使用水量が小さく渇水時に効率的な運用が可能	○工期がケース1よりも長い ▲水車・発電機が2台のため維持費が高い ○二床式のため水車室への資機材搬入が困難 ○建物補強工事が不要 ○最低使用水量が小さく渇水時に効率的な運用が可能	▲最も工期が長く，工事期間中の溢水電力量が多い ◎水車・発電機が1台に統合されるため維持費が最も安い ◎資機材搬入が最も容易 ▲建物取替費用が必要 ▲最低使用水量が他ケースよりも大きく渇水時に効率的な運用が不可能
評 価	◎	○	△

※1：「発生電力量」は多い順，「建設工事費」及び「建設単価」は安い順に①→③とした。

表 3：水車・発電機効率曲線



【回転数・流量の選定】

900, 720, 600, 514 min⁻¹ について、基礎掘削量、据付スペース、吸出し高さの関係について検討した結果、600min⁻¹ とした。(表 4 に水車回転数比較表を示す。)

表 4：水車回転数比較表

回転数 (min ⁻¹)	9 0 0	7 2 0	6 0 0	5 1 4
基礎掘削量	×	×	○	○
据付スペース	○	○	○	×
吸出し高さ (m)	×	×	○	○

単機流量は、既設設備（改修前の水車流量 4.7m³/s）の流用面から可能性の考えられる 3.8, 4.1, 4.4, 4.7m³/s について検討した結果、経済性で最も有利な 3.8m³/s とした。

(1)-2 制圧機の省略

既設鉄管流用のため水圧変動値、水圧変動率は許容値に限界があるため、速度変動率を検討し、制圧機省略可能とした。

(1)-3 水車冷却水

片輪運転時の空転側水車の加熱防止として、ランナーシール部へ冷却水を給水することとし、このためストレーナーを設置した。(図 2 に水車断面図を示す。)

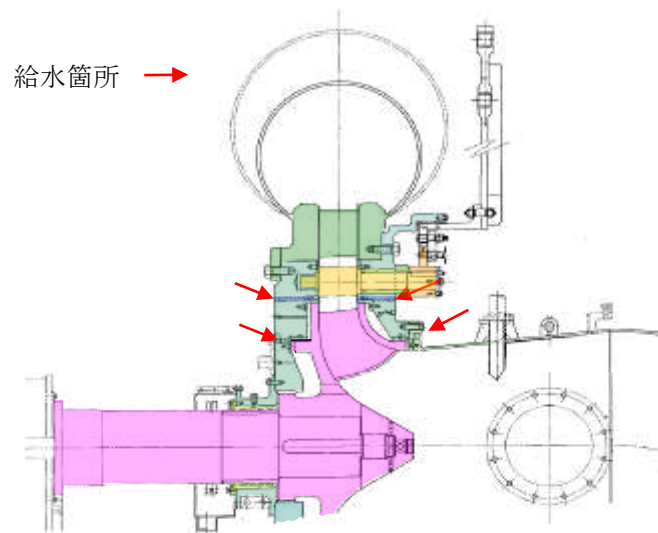


図 2：水車断面図

(1)-4 変圧器

経済性・保守性を考慮し発電機電圧は 6.6kV とし、これに合せ主要変圧器と老朽化で取
替えが必要となった配電用変圧器（L R 別置型）を統合するとともに、発電機母線はスイ
ッチギア（密閉化）とし、設備のスリム化を図った。（図 3 に主回路結線図を示す。）

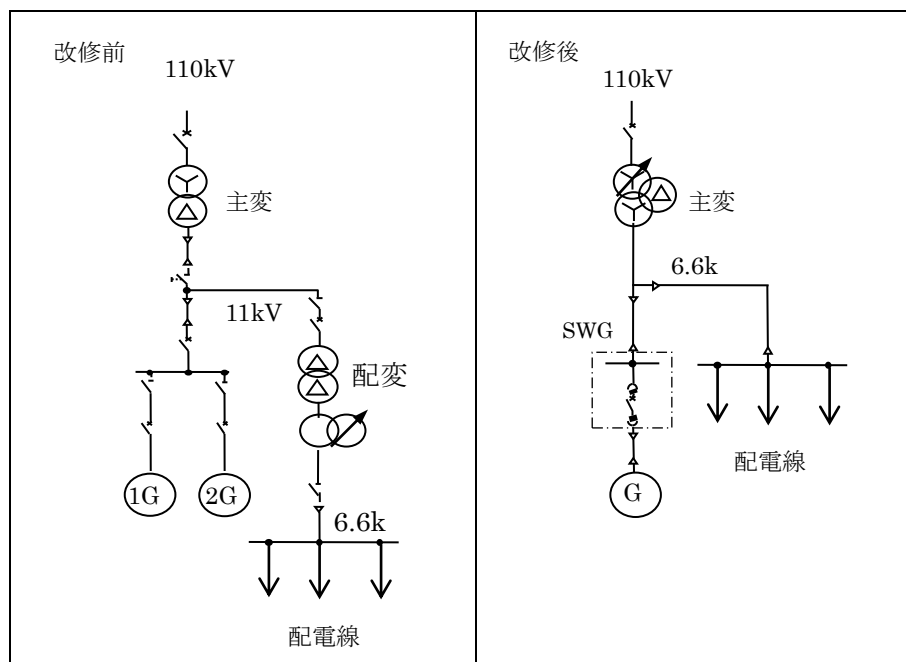


図 3：主回路結線図

2-c) 土木建築分野の技術革新, 適用拡大, 新材料

(2)-1 既設水車・発電機基礎の除却工事

既設の発電所建物内の配電盤室には、電力供給上停止できない電力系統の保護装置が存在した。保護装置は施工中に発生する許容振動値を超過した振動や粉塵混入等の影響により誤動作を起こし、電力系統を停電させる可能性がある。そのため、誤動作発生の危険性が最も高い基礎コンクリート取壊し時において振動・粉塵低減対策を実施する必要があったため、SD工法（Slot Drilling method）とワイヤーソーイング工法を併用し、コンクリートをブロック状に切断する工法を採用した。

（補足説明）

- ・SD工法：専用のスロット削岩機（SD機）により岩盤やコンクリートに溝（スロット）を削孔し縁切りする工法
- ・ワイヤーソーイング工法：切断用ビーズを詰め込んだチェーンを切断体に巻き付け、駆動機によって張力を与えながら 20～30m/sec で高速回転させることにより切断する工法

(2)-2 発電所建物の構造変更（補強対策）

既設水車室周辺の建物構造は5本の大梁が存在し、発電所基礎の主要構造をなしていた。今回の工事において水車・発電機基礎を二床式から単床式へ変更することに伴い、発電機回転子等の機器搬入や保守管理を考慮して既設大梁1本を撤去することとしたため、地震発生時における建物本体の構造耐力低下を補うことを目的として建物補強工を実施した。

（図4に建物補強工概要図を示す。）

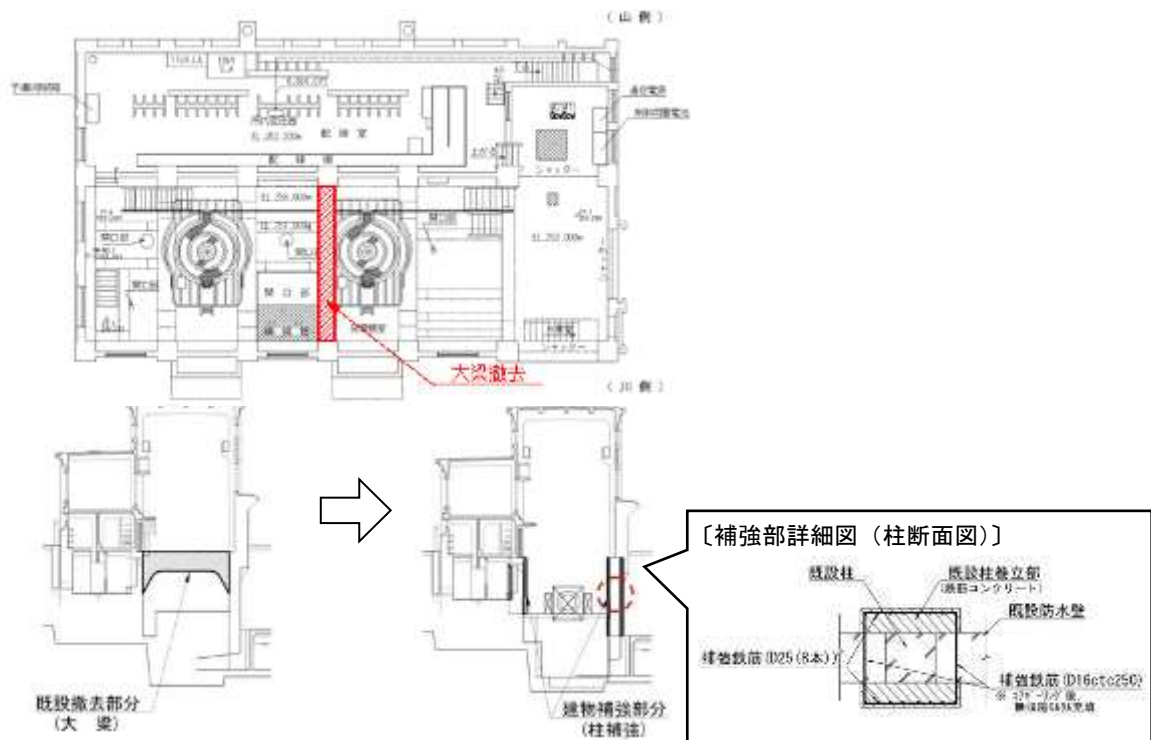


図4：建物補強工概要図

(2)-3 橋補強工事

土居発電所構内への通行経路は、既設橋梁（土居橋）が唯一である。既設土居橋は昭和30年頃に設置された支間長約105mの複合橋（7径間鋼桁橋+1径間トラス橋）であり、老朽化の進行等も考慮して通行に当たっては4t車両の重量制限を実施してきた。

今回の取替工事に伴う水車・発電機等の重量物搬出入時には耐荷力が不足することから、補強工事を実施した。

補強工事に関しては、補強鋼材設置箇所が河川区域内となることから設置可能期間が非出水期（10/26～6/10）のみに限定されるため、重量物の搬出入を伴う工事は非出水期に実施するよう関係箇所と調整し、計画どおり実施した。（図5に土居橋補強概要図および施工状況写真を示す。）

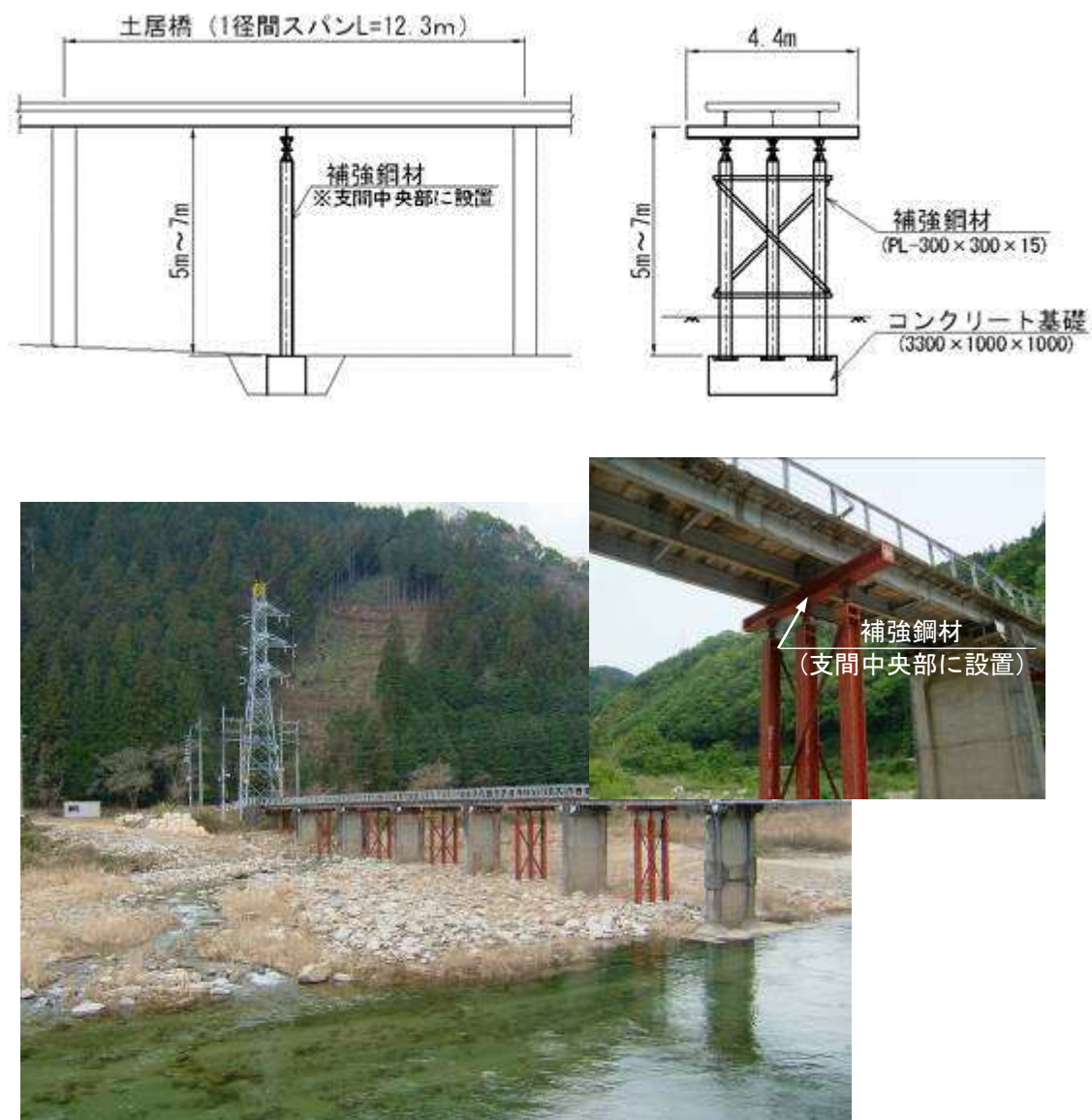


図5：土居橋補強概要図および施工状況

(2)-4 発電所内への河川水流入防止

発電所基礎除却工事に先立ち、工事期間中における発電所内への河川水流入防止を図るため、放水庭前面に仮締切（止水コンクリート壁）を設置した。設置に当たっては、放水口に一次仮締切（鋼製ゲート）を設置後、一時的に放水庭内を排水し施工した。（仮締切設置箇所および施工状況写真を図 6 に示す。）

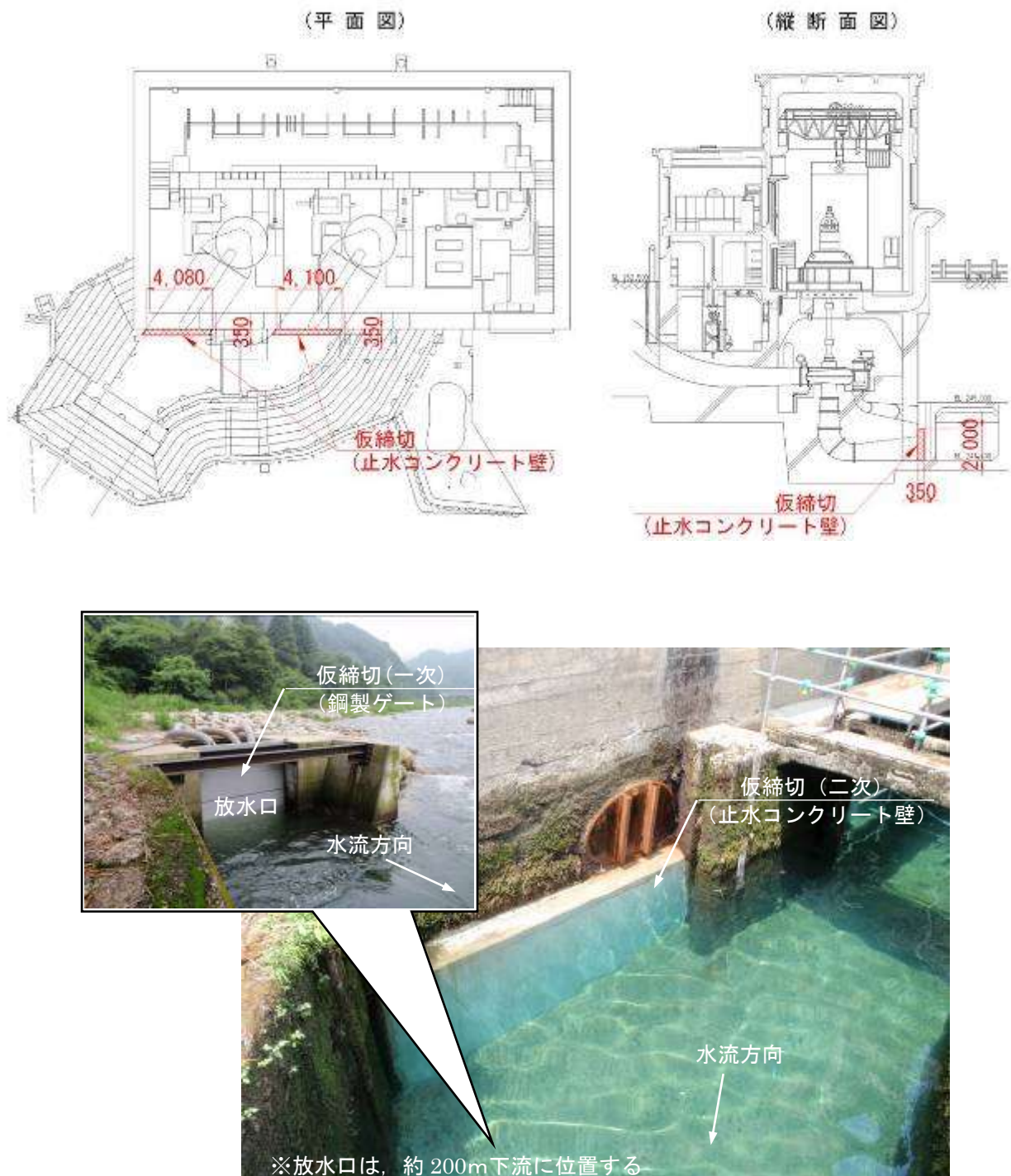


図 6：仮締切設置箇所および施工状況

(3) 改修後の設備仕様

改修後の設備諸元，改修状況写真および改修計画図を表 5，図 7～9 に示す。

表 5：土居発電所諸元（改修前・後）

項	目	改 修 前	改 修 後
水 車	形 式	立軸単輪単流フランシス	横軸二輪両掛フランシス
	出 力	5,000 [kW]	8,470[kW]
	流 量	4.7 [m³/s]	7.6(3.8×2 台) [m³/s]
	回 転 数	600 [min⁻¹]	600 [min⁻¹]
	吸 出 管	エルボ	エルボ
	台 数	2 台	2 台
入 口 弁	形 式	蝶形弁	複葉弁
	口 径	1000 [mm]	1000 [mm]
	操 作 方 式	油圧	電動
調 速 機	形 式	電気式	電気式
	級 別	Y 級	Y 級
	操 作 方 式	油圧	電動
制 圧 機	種 類	横型	なし
	操 作 方 式	油圧	
圧 油 装 置	方 式	セントラル式	なし
	駆 動 方 式	電動－電動	
潤 滑 油 装 置	方 式	セントラル式	なし
	駆 動 方 式	圧油ポンプ直結	
給 水 装 置	方 式	セントラル式	ユニット式
発 電 機	形 式	立軸三相同期出口通風形	横軸三相同期出口通風形
	出 力	5,000 [kVA]	8,450 [kVA]
	電 圧	11 [kV]	6.6 [kV]
	力 率	80 [%]	97.1 [%]
	回 転 数	600 [min⁻¹]	600 [min⁻¹]
	固 定 子 コイル 絶 縁 種 別	B 種	F 種
	台 数	2 台	1 台
	制 動 方 式	油圧式	電磁式
励 磁 装 置	方 式	静止形励磁方式	ブラシレス交流励磁方式
中性点接地装置	方 式	抵抗接地 50 [Ω]	非接地（中性点用避雷器有）
天 井 ク レ ーン	定格荷重・ 揚 程	主巻：定格荷重 30[t] 補巻：定格荷重 10[t]	既設流用
水 圧 鉄 管			既設流用
放 水 庭			既設流用
建 物			既設流用（一部補強）

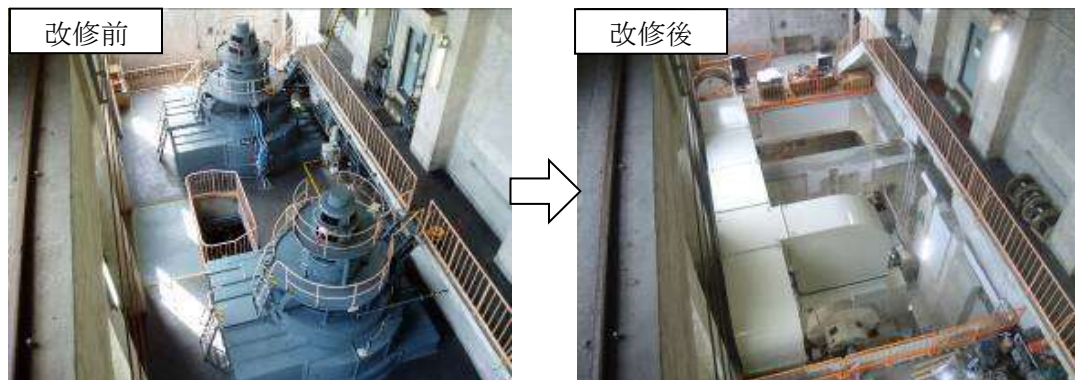


図 7：発電機室状況



図 8：水車室状況

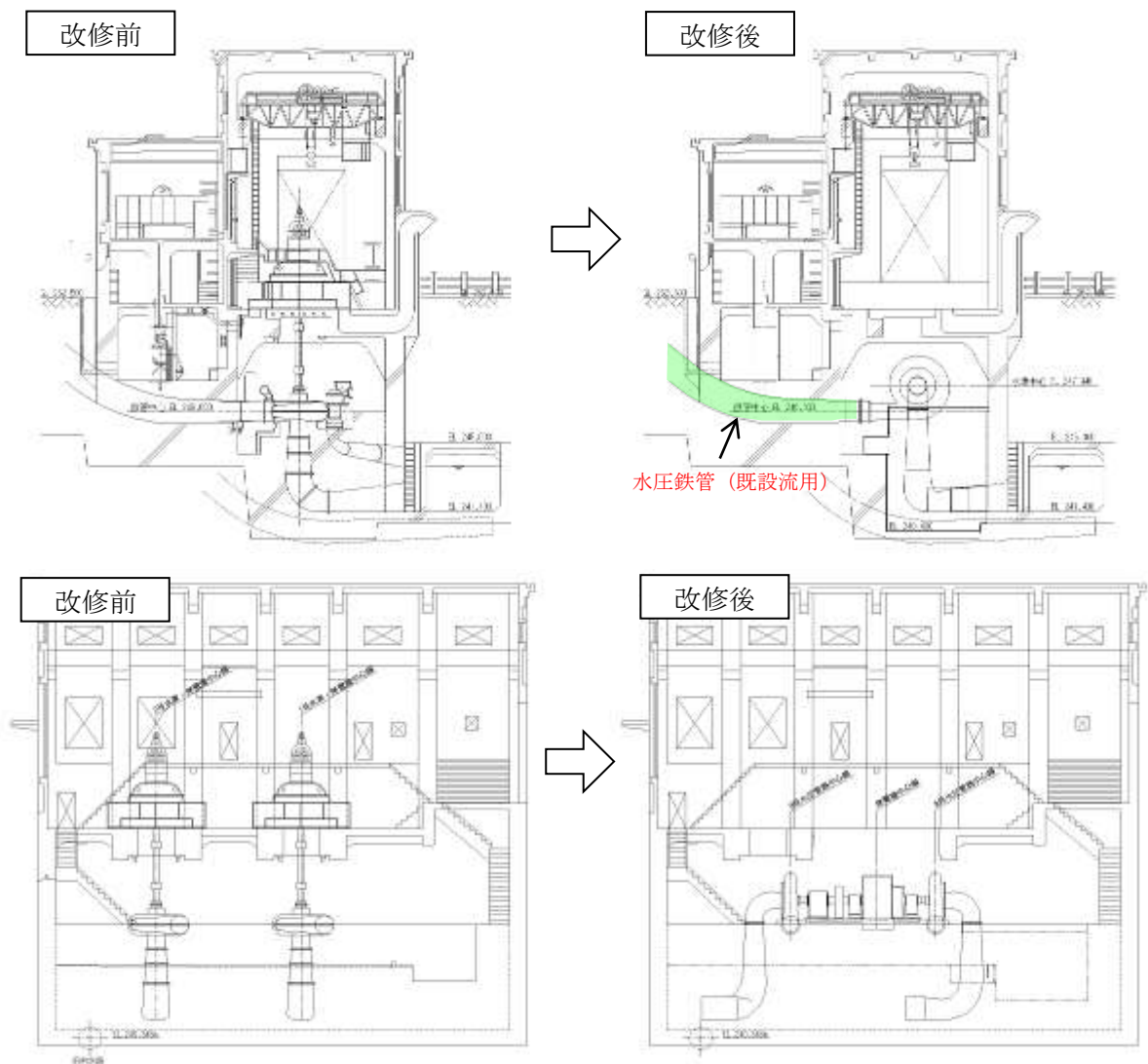


図 9：改修計画図

3. プロジェクトの特徴

3.1 好事例としての要素（注目点）

- ・可能な限り既設設備を利用し、改修範囲を必要最小限に留めた。
- ・水車・発電機および附属設備は、オイルレス、水レスとし保守の簡素化を図った。
- ・運転中の機器に対する影響（振動等）に配慮した施工を実施した。

3.2 成功理由

計画検討段階からワーキンググループを立上げ、社内関係部門と改修方針や工事施工方法等について協議を進めたところにある。

4. 他地点への適用にあたっての留意事項

- ・既設水圧鉄管を流用する場合は、水車形式の変更による既存水圧鉄管管胴本体への振動の影響を検討、調査する必要がある。（本工事においては、レーザー変位計を鉄管円周方向の2測点（水平方向1測点、鉛直方向1測点）に設置し、周波数および片振幅を測定した。測定方法は、レーザー変位計から測点までの距離を赤外線にて感知し、変位波形データを記録計にて連続記録するもので、得られた変位波形データを周波数分析することにより周波数毎の片振幅を抽出した。測定結果は、最大片振幅：0.01mm程度と小さく、水門鉄管技術基準に規定された算定式に基づく許容値：0.77mm以下であり、管胴本体に悪影響を及ぼす振動が発生していないことを確認した。）
- ・工事中において運転中の機器がある場合は、運転中の機器に影響を与えないよう施工方法を十分に検討する必要がある。

5. その他

なし

6. 参考情報

6.1 参考文献

- ・財団法人 新エネルギー財団 水力本部
中小水力発電技術に関する実務研修会 第90回テキスト 2010年
「土居発電所改修工事の計画、設計および施工」
- ・株式会社電気評論社
電気評論 1月号 2011年 「水車・発電機の改修工事」

6.2 問合せ先

会社名：中国電力株式会社

URL: <http://www.energia.co.jp/>