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	：西鬼怒川発電所改修工事
国、地域	：日本、栃木県
プロジェクトの実施機関	：東京電力株式会社
プロジェクトの実施期間	：1997 年～1999 年
更新と増強の誘因	：(A)老朽化／故障頻発
キーワード	：改修費用・保守点検費用の低減、年間発生電力量の増加

要旨

水車発電機および発電所建屋の老朽化が進んだため、これらの改修工事を行った。改修に当たっては、改修費用と保守点検費用の低減、ならびに年間発生電力量の増加について検討を行い、最も経済的となるように改修を行った。

1. プロジェクト地点の概要（改修前）

東京電力株式会社西鬼怒川発電所は利根川水系鬼怒川中流部の栃木県宇都宮市に位置し、上流 4km 地点にある栃木県営風見発電所の発電放流水の一部を導水し、最大使用水量 12.22m³/s および有効落差 11.21m によって最大出力 1,000kW の発電を行う水路式発電所で、昭和３年５月に運転を開始した。

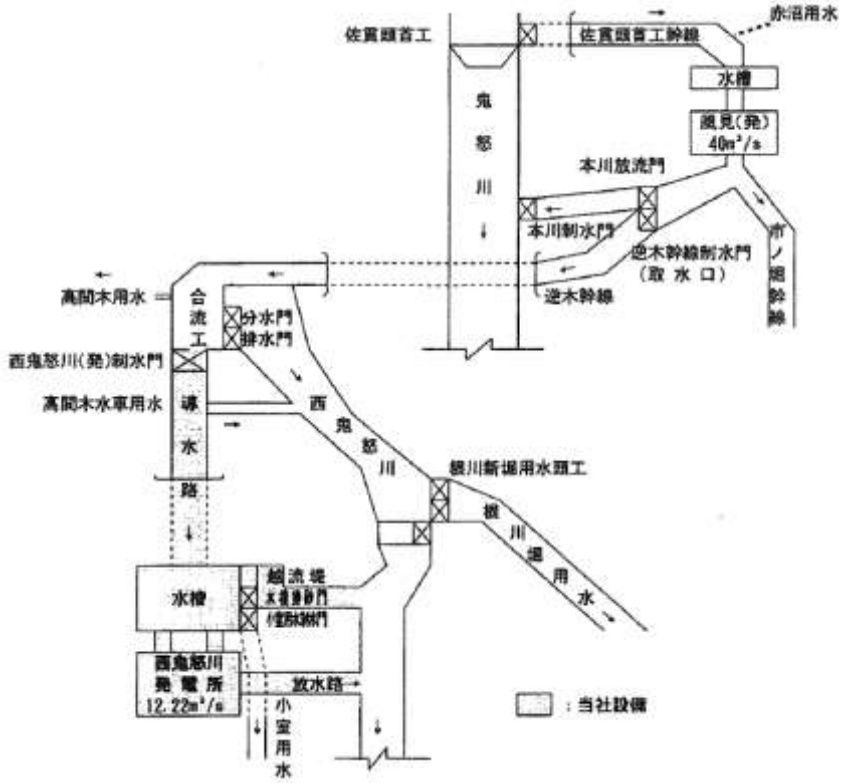

図１　西鬼怒川発電所付近概要図

表１　発電所改修前諸元

項　目		諸　元
発電所出力		1,000（kW）
年間発電量		6,813（MWh）
発電所型式		水路式
使用水量		12.22（m3/s）
有効落差		11.21（m）
水　車	型式	HF-2ROW　2 台
	出力	580kW
	回転速度	428 min-1
発電機	型式	横軸回転界磁交流三相 同期発電機　2 台
	出力	680 kVA
発電所建屋		木造モルタル
水槽制水門		鋼製スライドゲート　2 門

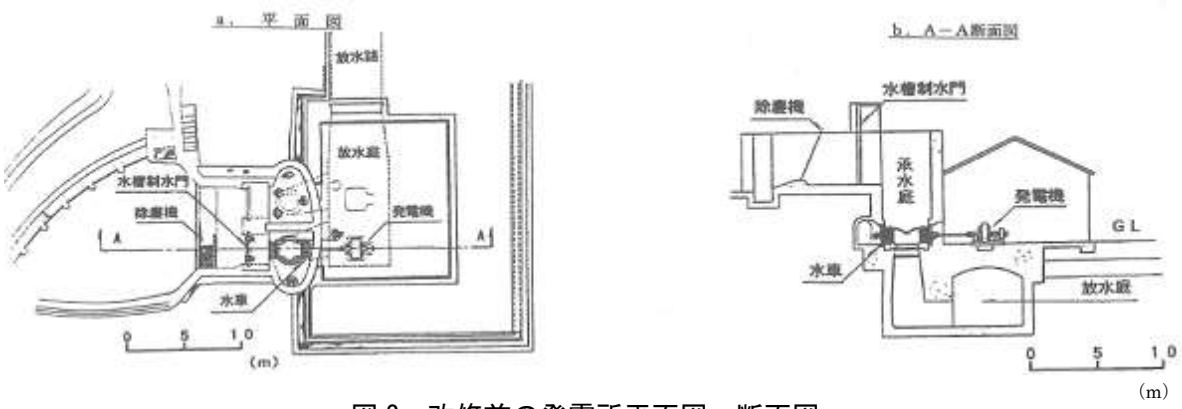

図２　改修前の発電所平面図・断面図

2. プロジェクト（更新／増強）の内容

2.1　誘因と促進要因

①状態、性能、リスクの影響度等

a．水車

既設の水車はガイドベーン操作機構が水中にあるインサイドタイプの水車で、摺動部の固渋および承水庭の基礎コンクリート劣化に伴う据付レベルの狂いからこじれが発生してガイドベーン閉鎖の不具合が発生しやすいため、毎日、定期的に全閉～全開までの動作確認を行うことに加え、年１回の分解点検を実施していた。二輪単流式水車のため、ドラフトベンド管取付面と導水枠ガイドベーン取付面２カ所（計３カ所）の据付レベルの狂いが大きく、分解点検時の調整に難渋を極めていた。

また、水車軸スラスト側ランナー取付部およびキー溝部に進行性の欠陥が発見されており、ラウンドオフの実施による軸径の減少から、水車軸の疲労強度に対する余裕度が低下していた。

b．発電所本館建屋

木造モルタル造りの建屋は、土台、梁、柱等が腐食しており、全般的に老朽劣化が著しく、耐震性に乏しかった。

c．承水庭

ケーシング機能を果たしている承水庭（改修後における立坑部分）は、承水庭内部コンクリートの一部で剥がれやクラックおよび打ち継ぎ目から発電機室側への漏水が認められた。

d．水槽制水門

水槽制水門は、巻上機のギア摩耗による振動の発生、扉体および巻上機には発錆は著しい等の老朽劣化が進んでいた。

以上のとおり、水車、発電所建物および水路設備の一部においては、全体的に不具合が認められており、部分改修のみでは機能維持が困難と判断されたため、改修工事を実施することとした。

②価値（機能）の向上

特になし

③市場における必要性

特になし

2.2 経　緯

昭和 3 年に運転を開始してから 70 年が経過したことにより老朽化が進み、水車、発電所建屋、水路設備の一部において不具合が認められ、部分改修のみでは機能維持が困難と判断されたため、改修工事を実施することにした。

1928 年　西鬼怒川発電所（既設）の運開
1964 年　上流に県営風見発電所が新設され、西鬼怒川発電所の取水口を風見発電所放水口に直結する構造に変更
1997 年 9 月　西鬼怒川発電所改修工事着工
1999 年 1 月　西鬼怒川発電所改修工事竣工

2.3 内容（詳細）

2-a) 電気機械装置の技術革新と適用拡大

2-c) 土木建築分野の技術革新、適用拡大、新材料

運転開始から 70 年が経過したことにより老朽化が進み、水車、発電所建屋、水路設備の一部において不具合が認められ、部分改修のみでは機能維持が困難と判断されたため、改修工事を実施することにした。

改修計画に当たっては、既設設備の徹底流用を図ることと、現状の流況および落差を踏まえ、年間発生電力量および改修工事費が最も経済的となる水車型式を選定することを基本にして比較検討を行った。

その結果、水車 2 台を 1 台に更新し、また水車型式としては、水車据付位置の関係から発電所基礎および放水路の増設が最小となること、および水車効率の向上によって最大出力が増強でき、更には年間発生電力量も増加が見込まれるなどから、最も経済的に優れているＳ形チューブラ水車を採用することにした。

表 2　発電所改修後諸元

項　目		諸　元
発電所出力		1,200（kW）
年間発電量		8,026（MWh）
発電所型式		水路式
使用水量		12.22（m3/s）
有効落差		11.01（m）
水　車	型式	HK-1RTS　1 台
	出力	1,220kW
	回転速度	300min-1
発電機	型式	横軸回転界磁交流三相 同期発電機　1 台
	出力	1,160kVA
発電所建屋		木造モルタル
水槽制水門		鋼製スライドゲート　2 門

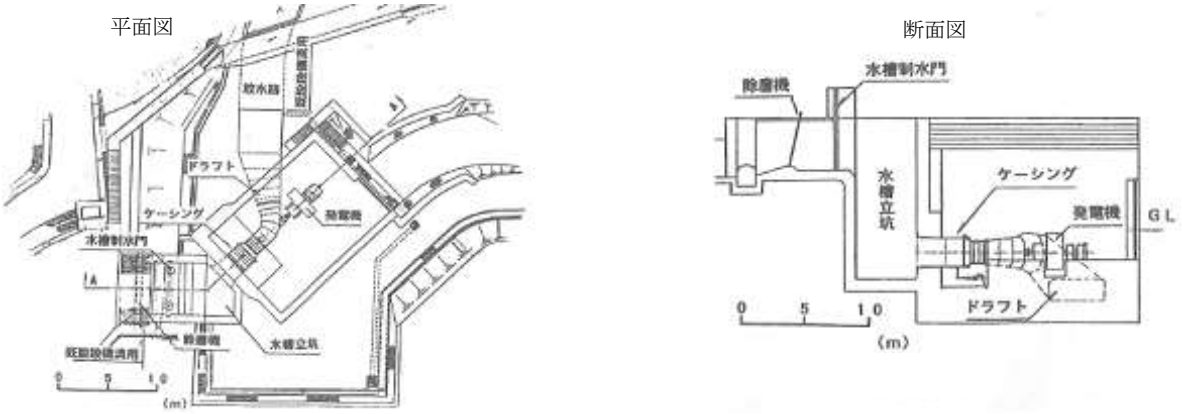

図 3　改修後の発電所平面図・断面図

⑴水車および発電機

水車は、高効率運転により年間発生電力量の増加が図れ、かつ、水車発電機の基礎改修範囲が小さく、既設放水路の利用が可能であり、また建屋高を低くできるなどの経済性メリットから、現状の横軸フランシス水車 2 台を横軸可動羽根Ｓ形チューブラ水車 1 台に変更して更新した。

発電機については、無拘束速度機を適用することとし、はずみ車効果を小さくすることで発電機重量を軽減させたほか、クレーンの小型化による工事費の削減を図った。

また、主機台数を 2 台から 1 台にスリム化することで、保守点検費用の低減を図った。

⑵水槽立坑および放水路の一部新設

水槽とケーシング接合部およびドラフトと放水路接合部については、既設設備を極力流用することを前提に、現発電所位置でのレイアウトを検討して水槽立坑および放水路の一部を新設した。

また、水槽立坑の平面形状は、流向がＳ形チューブラ水車のケーシング軸に対し非対象であり、またカットされた左隅から大きな旋回流が発生して渦を形成することで、空気連行を誘発し易い状況が想定された。

さらに、立坑の換算径に対する被り水深が小さいことから空気連行の誘発も心配された。このため、立坑形状については、立坑内の鉛直下向きの流速が 1m/s 未満となることに留意した。

水槽立坑における渦防止対策としては、図 4 に示すように傾斜板設置方式を採用することとし、発電機側の上部壁面を 45° 内空側へ傾斜させ、自由水面を 3 分の 2 程度遮蔽することで 2 次旋回流および空気連行渦の発生を抑制することとした。

なお、実運用においても立坑への流入部で空気連行に伴う渦の発生は認められず、また水車の振動もないことから、その抑制機能は良好に発揮されている。

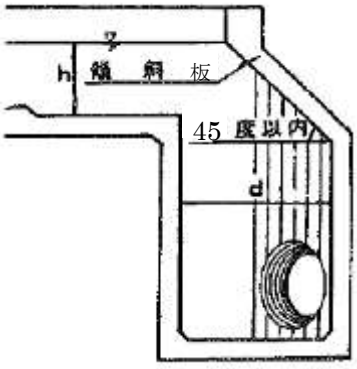

図 4　傾斜板の設置

水槽立坑部材の設計に当たっては、既設承水庭は、壁厚が 2.0m で GL－2.00m の岩盤内に根入れされており、更に壁厚 76cm の放水路トンネルと連続した構造となっていた。

新設の水槽立坑は、既設承水庭内部で床付けは GL－3.00m 以深の位置に計画した。一方、立坑部材設計で支配的となる荷重は、最大水圧が作用する立坑側壁下部である。

これらのことから、承水庭基礎を最大限残置して新設立坑側壁の拘束効果を向上させることにより、立坑部材を削減した。

水槽立坑部材検討モデルを図 5 に示す。

この承水庭の一部残置により、全面撤去と比較して、新設立坑のコンクリート部材厚の薄小化およびコンクリート撤去量の 20%削減を可能とした。

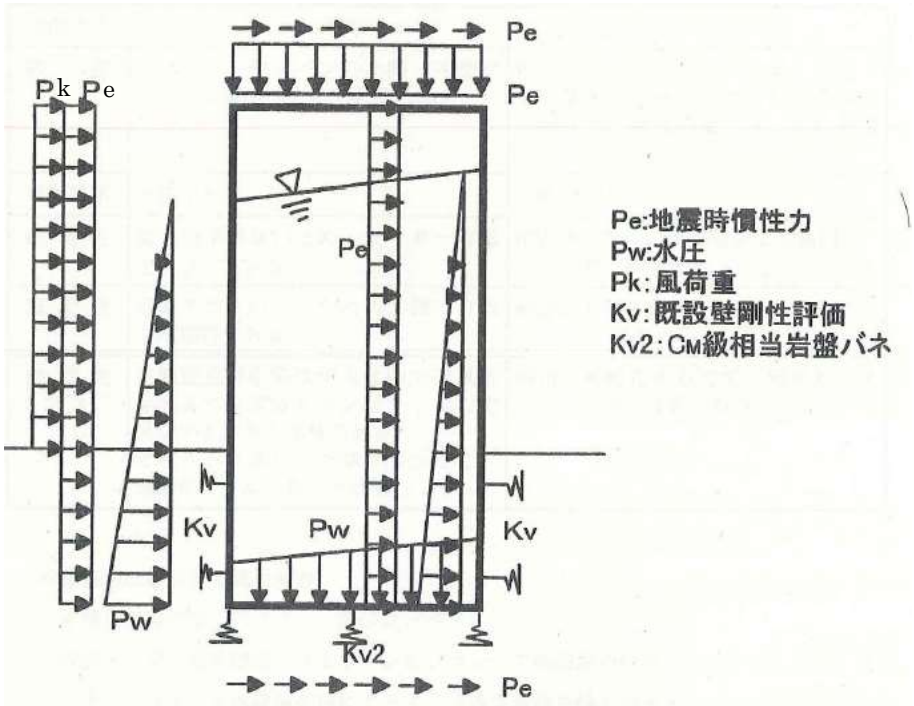

図 5　水槽立坑検討モデル

(3)電動サーボモータ

ガイドベーンおよびランナベーン操作機構への電動サーボモータの採用を行い、圧油装置や冷却水装置等の付帯設備を省略することで、設備の簡素化と保守点検費用の削減を図った。また圧油装置を省略することで河川への油流出のリスクを軽減した。

(4)スラスト軸受

スラスト軸受は風冷化を行い、設備の簡素化と保守点検費用の削減を図った。

(5)水槽制水門および入口弁

水槽制水門については、水車台数に併せて 2 門から 1 門に変更し、制水門に自動降下機能を持たせることで水車入口弁を省略した。

その結果、入口弁設置と比較して、発電所建物の奥行きを 3m 程度縮小することができ工事費を削減することができた。

また、自動降下機能付き制水門の開閉装置についてはワイヤーロープ式とラック式について経済比較を行い、ラック式はワイヤーロープ式に比べて巻き上げ装置に汎用品の適用が可能のため経済的であり、かつ点検周期も長く取れるなどのメンテナンス面でも優れていたため、開閉装置としてはラック式を採用した。

3. プロジェクトの特徴

3.1 好事例としての要素（注目点）

(1)横軸Ｓ形チューブラ水車の採用

・最大出力と年間発電電力量の増加が図れた。

・既設放水路の流用と水車基礎改修範囲を小さくすることで改修費用の低減が図れた。

(2)主機台数統合と圧油装置や冷却水装置などの補機省略

・設備がスリム化され、将来の保守点検費用の削減が図れた。

(3)発電機の無拘束速度機と電動サーボモータの採用

・クレーンの小型化による改修費用の低減､油レスによる油流出リスクの低減が図れた。

(4)水槽立坑における空気連行と渦の防止対策

・立坑形状の検討と傾斜板の設置により良好に抑制されている。

(5)既設承水庭基礎活用

・既設承水庭の基礎を残置することで水槽立坑のコンクリート部材厚の薄小化を図った。

3.2 成功の理由

改修費用の低減と年間発生電力量の増加を図るために、適切に水車型式や水槽立坑の形状、機器のレイアウトを設計したことで経済的に改修を行うことができた。また、主機の台数統合や補機省略など設備をスリム化したことで、保守点検費用の削減を図ることができた。

水槽立坑の設計に当たっては、傾斜板の設置により渦防止対策を図ったことで水車への異常振動を抑制しており、運転開始からこれまで大きなトラブルは発生していない。

4. 他地点への適用にあたっての留意点

改修工事にあたり、経済性のある発電所とするためには、発生電力量あたりの改修費用と将来のメンテナンス費用を最小限にするように改修計画を設計することが重要であり、本改修工事では、そのような観点からＳ型チューブラ水車の採用、主機台数の選定（２台から１台に統合)、既設設備の徹底流用、機器レイアウトの工夫、補機類の省略などを行っている。

5. その他（モニタリング、事後評価）

この改修工事は平成 9 年 9 月に着工し、平成 11 年 1 月に竣工して営業運転を開始し、現在まで大きな不具合が発生することなく運転を継続している。

6. 詳細情報

6-1 参考文献

新エネルギー財団 中小水力発電技術に関する実務研修会
「西鬼怒川発電所改修における計画、設計および施工」平成 11 年 11 月

6-2 問合せ先

会社名: 東京電力株式会社
URL: http://www.tepco.co.jp/index-j.html