

2.2 水土木施設の耐震性向上工事事例

(1) No.1-1：山内発電所導水路他改修工事

No.	1-1
発注者	東北電力(株)
施設名	東北電力山内発電所導水路
所在地	宮城県栗原市花山字本沢温湯地内
工事名称	山内発電所 導水路他改修工事
施工期間	2008年11月～2009年6月
施工者	前田建設工業(株)
キーワード	導水路トンネル、補修

概要

本工事は、岩手・宮城内陸地震(平成20年6月14日)により損傷を受けた箇所について、復旧工事を実施したものである。復旧工事については、主に導水路のクラック補修、支保工巻立てコンクリート補強、沈砂槽の建替え工事を行った。そのうち、クラック補修、欠損部補修、支保工内巻、覆工打替について示す。



図-1 工事位置図

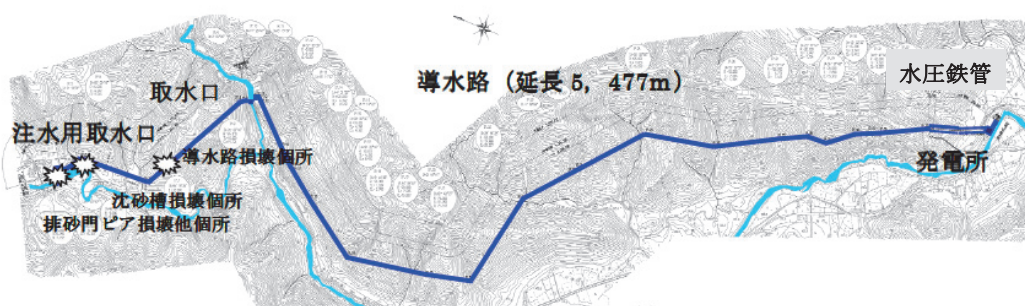


図-2 山内発電所被災箇所平面図

【被害状況】

山内発電所では、取水堰堤護岸、取水堰堤排砂門ピア、導水路において、それぞれ被害が発生した。

取水堰堤排砂門ピアは左岸側ピア上部で損壊し、ほぼ水平に左岸方向へ移動したため、10mm程度の傾きが生じ、排砂門の開閉操作が不可能となった。また導水路については、導水路総延長 5,478mのうちトンネル部の 700mにおいて地山の崩落によるものと推測されるアーチ部ほかの損壊および損傷が発生した。

表-1 山内発電所の被害状況

取水堰堤・取水口	・排砂門ピアの損壊
導水路	・トンネル覆工部の損壊、損傷(700m/5,478m)
水圧管路	・被害なし
発電所	・水車基礎のクラック



写真-1 導水路付近の地山の被災状況



写真-2 取水堰堤排砂門ピアの損壊状況



写真-3 沈砂槽の損壊状況



写真-4 取水口堰堤護岸の損傷状況

【復旧工事の概要】

山内発電所の復旧工事は、取水堰堤排砂門戸当り部の打替え、導水路他の改修などを行っているが、ここでは、被害の最も大きかった導水路改修工事について示す。

導水路は、全長約 5.5km のうち約 3 割が全巻コンクリート、その他がアーチ無巻(側壁と敷がコンクリート)、アーチ・側壁無巻(敷のみコンクリート)という構成となっており、今回の地震で被害が大きかったのは全巻コンクリート部である。

導水路の復旧方法については、被害状況により以下の基本方針とした。

- ① 損壊などが著しい個所については、取壊して再構築する。
- ② 段差や開口を伴う複数のクラックが認められ、覆工部の脱落などが予想される場合は、H形鋼材により補強の上、コンクリート内巻を行う。
- ③ 覆工部の脱落などの危険がないものの、同一箇所に複数のクラックが認められる場合は、クラック補修のうえH形鋼材により補強を行う。
- ④ 大きな開口がない単純クラックについては、クラック補修を行う。

なお、工事は全巻部延長の 1,787m のうち約 37%をクラック補修で行い、約 21%の 374m を打替えや内巻による改修を行った。

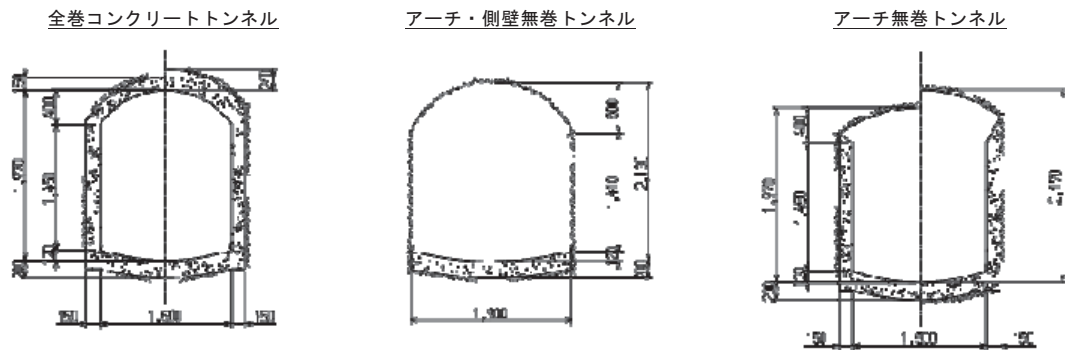


図-3 導水路標準断面図

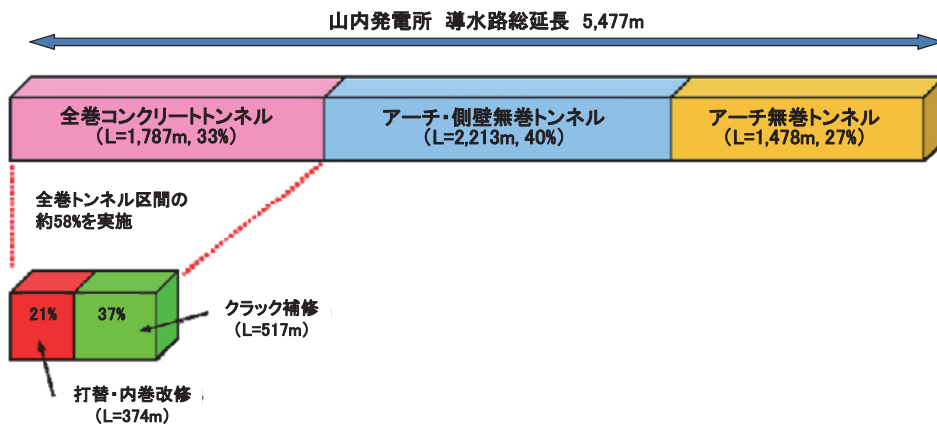


図-4 導水路の構成と復旧施工延長

導水路延長が長いので、工事に際しては、建設当時の 2 箇所作業用横坑を復活させて活用した。しかし、それでも横坑から施工場所まで最長で約 1.5km もあることから、品質確保と施工性を考慮し、H 形鋼材を建込み後に厚さ 10cm の特殊ファイバーモルタル(PF モルタル)吹付工法により内巻を行った。PF モルタルは、急結性や付着性に優れ、曲げ強度が大きく、吹付機械がコンパクトなため小断面トンネルで効率良く施工することができた。

【施工状況】

導水路の変状が大きい区間については、以下の 4 種類の施工パターンで施工した。

表-1 支保工内巻工施工パターン

区分		内張施工	内巻施工	吹付施工①	吹付施工②
支保材		H-100	H-100	H-100	なし
型枠材		鉄板(本設)t=6mm	側壁合板	なし	なし
材料	側壁	1:3 モルタル	1:1 モルタル	PF モルタル	PF モルタル
	頂部		PF モルタル	PF モルタル	PF モルタル
	敷部		21-8-25	21-8-25	なし

(1) 内張施工

導水路トンネル坑口部はコンクリートの損傷が激しく、上部に町道があるため取り壊し打替えができず、内側に H-100 支保工を建て込み、t=6mm の鉄板を溶接し背面に 1:3 モルタルを打設した。モルタル打設はコンクリート圧送ポンプ配管にて行い、鉄板は 4 層塗り塗装を施工した。



写真-5 支保組立状況

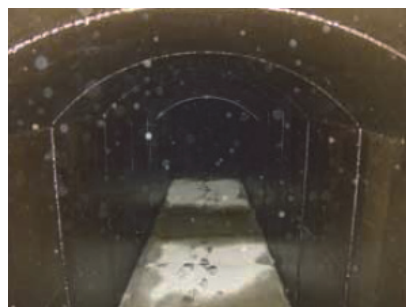


写真-6 鉄板設置完了

(2) 内巻施工

導水路トンネルにおいて、モルタルの圧送距離が 200m 以内の補修箇所は、側壁を PF モルタルより安価な 1:1 モルタルで施工した。損傷を受けたコンクリート内側に H-100 を建込み、側壁部は合板にて型枠を組み、1:1 モルタル圧送ポンプ 3 台にて打設を行った。頂部は PF モルタルを施工した。

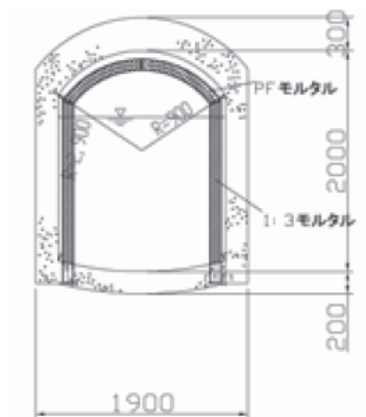


図-5 内巻工断面図

(3) 吹付施工

導水路トンネルにおいて作業坑口より 200m 以上の補修箇所はモルタル圧送が出来ないため、損傷を受けたコンクリートの内側に支保 H-100 を建込み、側壁および頂部に 5~10cm の PF モルタルの吹付けを行った。なお、コンクリートの損傷が大きい箇所は支保工なしで直接 PF モルタルを 5cm 吹付けた。

(4) 打替

導水路トンネルの側壁コンクリートがずれてしまい、甚大な損傷を受けた 21m 区間については、コンクリートを撤去し、送り矢板工法にて支保組立後、バラセントルにて生コンを打設し、インバートも打替えした。

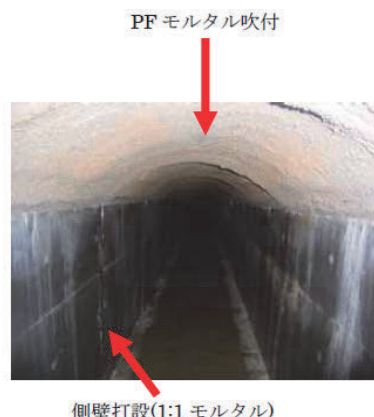


写真-7 内巻施工箇所の施工状況



写真-8 施工状況(PFモルタル吹付)



写真-9 支保工・鉄筋組立状況



写真-10 打替え箇所施工完了状況

参考文献	大内俊明：岩手・宮城内陸地震による水力発電所の被害と復旧について，平成 24 年度 中小水力発電技術に関する実務研修会テキスト
備考	

(2) No.1-2 : 栗駒発電所導水路他改修工事

No.	1-2
発注者	東北電力(株)
施設名	栗駒発電所
所在地	宮城県栗原市栗駒沼倉地内
工事名称	栗駒発電所 導水路他改修工事
施工期間	2010年5月～2011年11月
施工者	前田建設工業(株)・(株)橋本店・(株)深松組共同企業体
キーワード	導水路トンネル、補修

概要

本工事は、岩手・宮城内陸地震(平成20年6月14日)により損傷を受けた栗駒発電所導水路他について、トンネルおよび開水路の改修・修繕復旧工事を実施したものである。



図-1 工事位置図



図-2 平面図

【被害状況】

栗駒発電所では、取水堰堤・導水路・水圧鉄管・保守管理用吊橋などにおいて、それぞれ被害が発生した。第1号取水設備は河川部の斜面崩落による大量の土砂により埋没し、第2号取水堰堤および保守管理用吊橋は、崩落した岩塊と土石流により構造物が損壊した。第2号導水路(延長3,467m)では、トンネル部2,733mのうち430mにおいて、地山の崩落によるものと推測されるアーチ部ほかの損壊および損傷、開渠部678mのうち138mにおいて底部・側壁にクラックが発生するなどの損壊、損傷が発生した。また、水圧鉄管においては、地震動によるものと推測される伸縮継手部からの漏水が確認された。



写真-1 導水路トンネルの損壊状況

写真-2 水圧鉄管(伸縮継手部)からの漏水状況

表-1 栗駒発電所の被害状況

取水堰堤・取水口	<ul style="list-style-type: none"> ・集水用取水堰堤の土砂埋没 ・本取水堰堤の損壊
導水路	<ul style="list-style-type: none"> ・トンネルの崩落(4箇所) ・トンネル覆工部の損壊、損傷(1,900m／3,340m) ・開渠の損壊、損傷(520m／680m)
水圧管路	伸縮継手部からの漏水
発電所	被害なし

【復旧工事の概要】

(1) 復旧対応方針

栗駒発電所では、第1号取水設備が大量の土砂により埋没したほか、第2号取水堰堤の一部が流失するとともに、第2号導水路トンネルも4箇所崩落するなど、土木設備に甚大な被害が発生した。

このため、発電所廃止も含めた経済性、再生可能エネルギーの有効利用、地域対応の観点から検討を行った結果、存続が有利と判断し復旧作業を進めることとした。

工事費については、復旧費用が約810百万円、廃止費用が約442百万円となり、復旧した場合の発電原価の増分は2.8円/kWhで、大きな上昇にはつながらない結果となった。また、廃止費用を差し引いた復旧に必要な投資額についても、十数年程度で回収可能であることから、復旧を行った方が経済性において有利であると判断した。

なお、第1号取水設備については、国土交通省他の震災復旧工事において、当該地点の河川内土砂の搬出は計画されていないこと、取水地点を移動しても再取水することが不可能であることなどから、復旧する場合は休止扱い、廃止する場合は現場放棄するものとして検討を行った(表-2)。

表-2 工事費と発電単価

項目	復旧	廃止
工事費	土木: 800 百万円	土木: 400 百万円
	電気: 10 百万円	電気: 35 百万円
	計 810 百万円	計 442 百万円
発生電力量	5,265MWh/年	
原価増分予測	2.8円/kWh(耐用年均等)	

(2) 導水路設備の復旧

2号導水路では、トンネル部の約16%の430mについては、支保工内巻鉄板およびFRPM板ライニング工法による内巻、開渠部の約20%の138mについてはFRPM板ライニング工法による内巻で復旧を行った。また、トンネル部の崩落箇所については、薬液注入により地山の安定を図った後にトンネルを掘削し覆工を施工した。

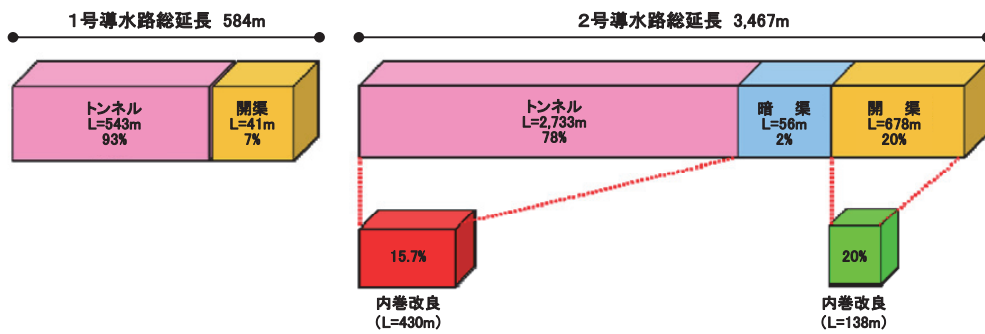


図-3 導水路の構成と復旧施工延長



写真-3 支保工内巻鉄板施工後



写真-4 FRPM板ライニング工法施工後



写真-5 鋼板取付 溶接状況

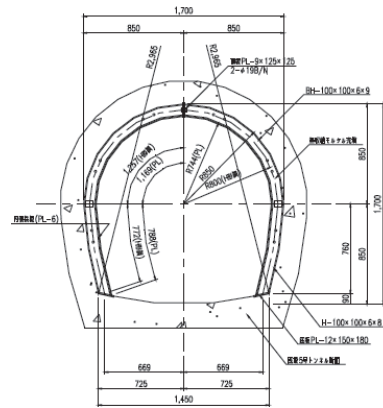


図-4 鋼板内張モルタル充填部断面図



写真-6 FRPM 板ライニング工(トンネル部)



写真-7 FRPM 板ライニング工(開渠部)

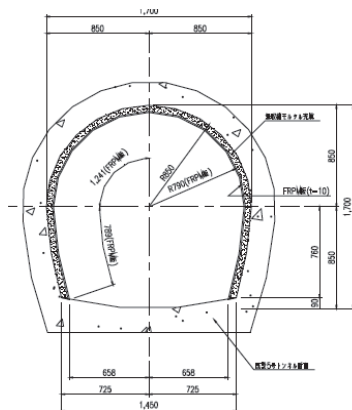


図-5 FRPM 板ライニング充填部断面図

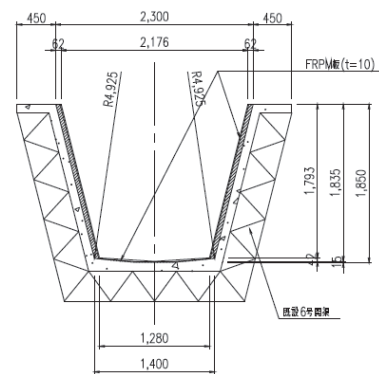


図-6 FRPM 板ライニング(開渠部)断面図

(3) 導水路トンネル部崩落個所の復旧

2号導水路トンネル部の崩落は、4箇所が発生しており、土被りが浅い1箇所については開削工法によりボックスカルバートを設置した。残り3箇所については、土被りが4~20m以上あることから、地表部から薬液注入によりトンネル周辺部の地山安定を図った後にトンネル掘削し覆工を行った。

薬液注入は、国土交通省暫定指針に基づき無機系の水ガラス材を選定し、地山が陥没して緩んだ空隙箇所を前処理注入としてセメントベントナイトにより荒詰め充填を行い、一次注入で瞬結タイプを、二次注入で中結タイプをそれぞれ注入した。

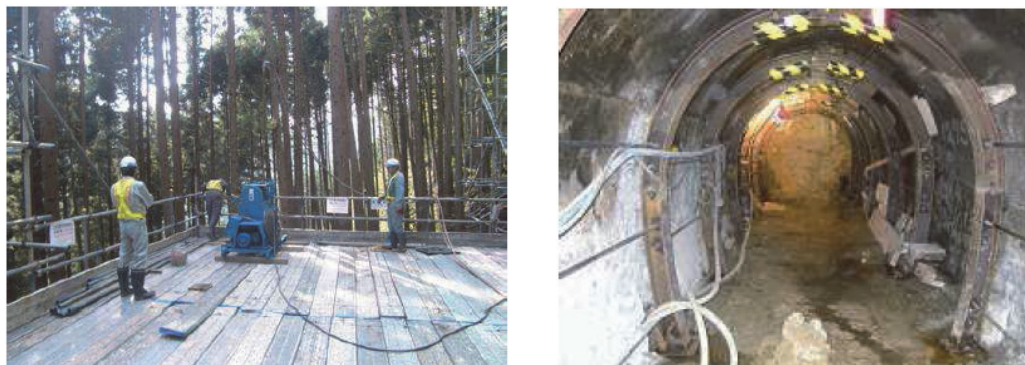


写真-8 導水路トンネル上部薬液注入施工状況

参考文献	大内俊明：岩手・宮城内陸地震による水力発電所の被害と復旧について，平成 24 年度 中小水力発電技術に関する実務研修会テキスト
備考	

(3) No. 1-3 : 奥泉水力発電所関の沢水管橋の免震支承化工事

No.	1-3
発注者	中部電力(株)
施設名	大井川奥泉水力発電所関の沢水管橋
所在地	静岡県榛原郡川根本町
工事名称	奥泉水力発電所関の沢水管橋の免震支承化工事
施工期間	2007 年度
施工者	三菱重工業(株)
キーワード	水管橋、耐震性評価、免震支承化工事

概要

中部電力(株)奥泉水力発電所は、静岡県の中央部に南北に貫流しながら駿河湾に注ぐ一級河川大井川の中流域に位置し(図-1)、昭和 31 年 1 月に運転を開始した最大使用水量 60m³/s、最大出力 87,000 kW のダム水路式発電所である。関の沢水管橋(写真-1)は、当発電所の導水路が支流関の沢を横断するために設置された管径 4.4m の逆サイフォン式水路であり、径間 60m のローゼ型橋で支持されている。

当該構造は自重の 93% が水を含む管部分であり、トップヘビーな構造であるため、大規模地震時の安全性が懸念された。そこで耐震性評価のため三次元解析を実施、耐震性裕度向上の観点から、橋梁と水管部を連結している鋼製ロッカ支承を免震ゴム支承へ取り替える工事を平成 19 年度に実施した。

【構造概要】

関の沢水管橋の諸元を表-1 に示す。

【耐震性評価】

(1) 解析条件

関の沢水管橋の耐震性を評価するため、三次元骨組解析モデルによる動的解析を実施した。解析モデルを図-2 に示す。主に当設備は、鋼部材(SS400)で構築されている。また、橋梁部と水管部を結合しているロッカ支承及び伸縮継手などは、その特性に準じた拘束条件とした。

(2) 入力地震動

東海地震に関する入力震度は、内閣府中央防災会議より公表された地震波形を用いた。図-3 に入力地震波の一例を示す。

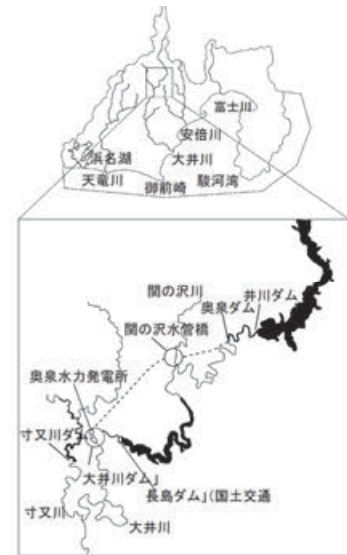


図-1 奥泉発電所の位置



写真-1 奥泉発電所
関の沢水管橋

表-1 関の沢水管橋の諸元

水路管	水路管長	117.60m
	内径	4.40m
	支承形式	ロッカ支承
橋梁部	橋形式	ローゼ型アーチ橋
	橋長	60.00m
自重	水管部	2,093 kN
	橋梁部	1,460 kN
	水重	17,529 kN
	計	21,082 kN

(3) 解析結果

数値解析の結果、得られた知見を以下に示す。

- ・ 水道部の管軸直交方向に作用する慣性力の影響が大きく、写真-2 に示す鋼製ロッカ支承を介して橋梁部に伝達される。その際に支承ボルトのせん断破壊が生じる。
- ・ 線形解析結果では、支承部ボルトがせん断破壊後も慣性力が橋梁部に伝達されるため、橋梁アーチ基礎部の発生応力も顕著になる。
- ・ 支承部ボルトのせん断破壊を摩擦モデルにより模擬した非線形解析を行った結果、橋梁部に伝達される慣性力は大幅に低減し、部分的な損傷は生じるものの地震後も現状構造で構造体を維持できることが確認できた。なお、支承部を摩擦モデル化した後の変位が微小であることも確認している。

この結果、橋梁部は一部破損するものの地震後においても通水可能で、その機能を維持できることが確認できた。しかし、耐震裕度向上の観点および損傷個所の修繕は事後対応では困難であることから、地震時慣性力を軽減するため、免震支承に取り替えることとした。

免震支承は、写真-3 に示す LRB(Lead Rubber Bearing):鉛プラグ入り積層ゴム支承)を採用した。LRB は、中央部に鉛プラグを配し、その周囲を積層ゴム(鋼板とゴムの互層)で覆う構造となっている。

本支承は、高い振動減衰効果と復元機能を有しており、裕度向上策として適している。その諸元を表-2 に示す。

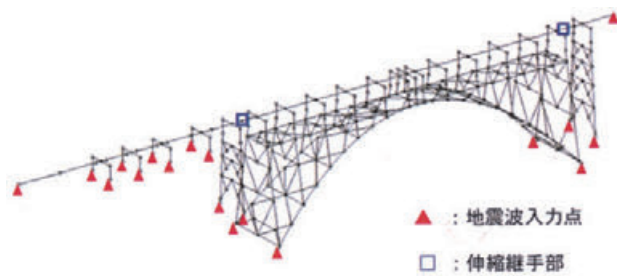


図-2 解析モデル

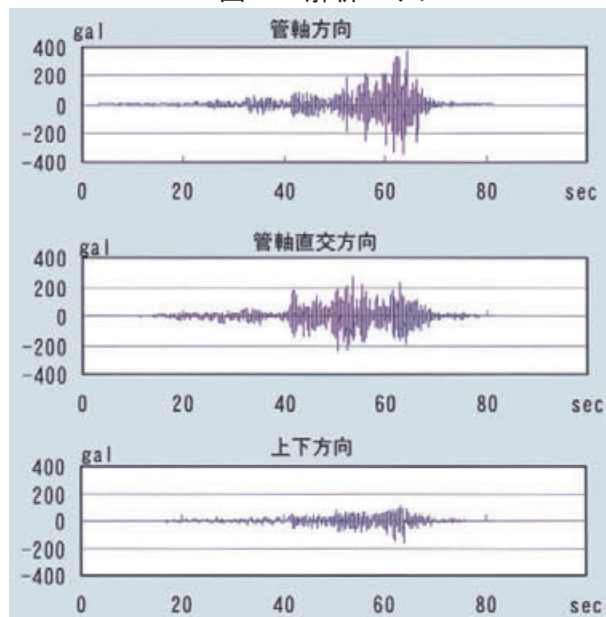


図-3 入力地震波の一例



写真-2 鋼製ロッカ支承

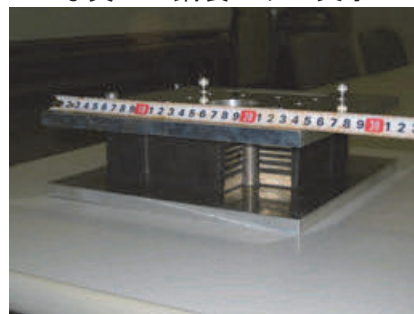


写真-3 免震ゴム支承 (LRB) の模型

【免震支承工事】

奥泉発電所は、大井川水系の水運用の点から発電停止することは難しく通水状態での施工が求められた。このため、水管部と水重を確実に支持できる仮設部材と油圧ジャッキで水管部を支持した後、免震ゴム支承に取り替えた。その状況を写真-4 に示す。

取替えに際しては、ジャッキアップによる水管、橋梁への影響を管理するため、許容ジャッキアップ量を解析で算出し管理値とした。さらに、ロックア承はガス切断により分解・撤去し施工に必要なジャッキアップ量を大幅に低減することができた。

施工管理は、取替前後で支承高さを同等とするため、免震支承の製造から現場据付の各過程で誤差が生じないように細心の注意を払った。その結果、全取替支承で据付け精度が基準内であることを確認し、無事に取替工事を完了した。

免震ゴム支障の据付状況を写真-5 に示す。黒色の部分が免震ゴム支承であり、上部の庇(ひさし)状カバーは、紫外線劣化の防止工である。通常、免震ゴム支承は橋梁下部など日陰の部分に設けられるが、水管橋では日照を遮るものがなく、ゴム材の劣化が懸念されるためカバーを設けることで劣化防止を図るものであり、当工事において工夫した点である。

表-2 免震ゴム支承諸元

寸法	320×320×118mm
積層ゴム構造	ゴム厚5mm×8層
	鋼板 3.2mm×7枚
許容せん断ひずみ	250%
設計鉛直反力	700kN
等価減衰定数	25.60%



写真-4 ジャッキアップ状況



写真-5 免震ゴム支承の設置状況

参考文献	1) 奥泉水力発電所関の沢水管橋の免震支承化工事, 電力土木, No.338, 2008. 2) 中部電力技術開発ニュース No.132, 2008. http://www.chuden.co.jp/resource/corporate/news_132_N13233.pdf
備考	

(4) No1-4 : 大井川(発)大井川ダム水門柱の耐震裕度向上工事

No.	1-4
発注者	中部電力(株)
施設名	大井川発電所 大井川ダム 水門柱
所在地	静岡県榛原郡
工事名称	大井川(発)大井川ダム水門柱の耐震裕度向上工事
施工期間	2010年11月～2011年3月
施工者	日立造船(株)
キーワード	洪水吐ゲート、ダム水門柱、高減衰ダンパー、追加桁、耐震裕度向上工事

概要

中部電力(株)では、東海地震等の大規模地震に備え、洪水処理機能を維持し、保安レベルを向上させるため、既設管理橋の主桁あるいは既設管理橋を代替する追加桁に高減衰ダンパーを設置することで、水門柱の地震時変位を拘束するダム水門柱耐震裕度向上工法を開発し、平成21年度から実際のダムに適用している。

平成22年度に水門柱耐震裕度向上工事の対象とした大井川発電所(最大出力68,200kW)大井川ダムを写真-1に示す。本ダムに採用した工法は、既設管理橋を代替する追加桁に高減衰ダンパーを設置することで、水門柱の地震時変位を拘束する耐震裕度向上工法である。

【設計概要】

(1) 設計方針

本ダムの既設管理橋は、大規模地震に対する水門柱制震部材として活用できない。したがって、管理橋支承部は各径間の片側が可動になっている既設構造のままとし、隣り合う水門柱の各径間に、耐震性能照査用レベル2地震動に対して座屈等を考慮した桁を追加する。この追加桁に高減衰ダンパーを取付け、水門柱と連結する。

大井川ダムに設置した追加桁や高減衰ダンパー等の変位制限装置の概要を表-1に示し、設置箇所を図-1に示す。

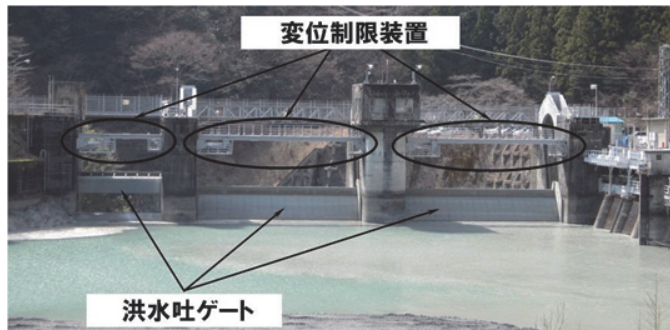


写真-1 大井川ダム上流面

表-1 大井川ダム水門柱の変位制限装置概要

部材名	緒元
高減衰ダンパー	定格抵抗力1,500(kN)×6基
ピン構造部材	6基
鋼製追加桁	H460×420×30×50 2並列桁 全長：8,791mm(1号洪水吐ゲート) 17,882mm(2,3号洪水吐ゲート)

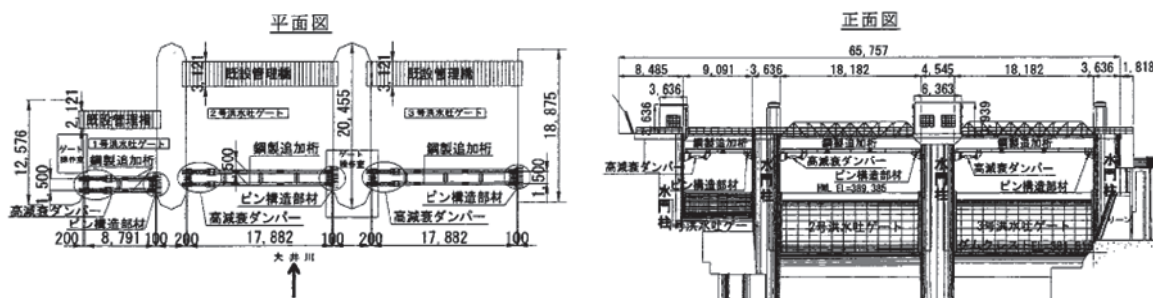


図-1 大井川ダム平面図・正面図

本工法では、追加桁とつながった高減衰ダンパーが常時の温度荷重を解放する。レベル2地震時は追加桁を水門柱制震部材とし、開発工法で提案された高減衰ダンパー特殊適用法により、同ダンパーの1次剛性領域で水門柱の揺れの拘束効果を得る。そのため、水門柱がゲートに衝突しなくなり、水門柱の耐震裕度向上策として成立する。

(2) 変位制限装置の性能

a) 高減衰ダンパー

ダム水門柱の地震時変位を制限する装置に求められる高減衰ダンパーの性能を図-2に示す。

この高減衰ダンパーは、地震時に高い1次剛性の領域内で水門柱の揺れを抑え、常時には鋼製追加桁の温度伸縮を低い抵抗力で吸収する性能が必要であるため、寸法や外観検査の他に試験機により性能試験を行い、実機性能を確認した。

レベル2地震動に対して、要求される高減衰ダンパーの性能は、表-2に示すとおりである。1次剛性は、地震速度における変位量2.5mm 時の抵抗力が1,500kNであることを変位と抵抗力の計測により確認した。また、低速度特性は、鋼製追加桁の温度伸縮に追従することのできる抵抗力(定格抵抗力の1/5以下、すなわち300kN以下)であることを確認した。

b) 鋼製追加桁および支承部の構造

鋼製追加桁は、各径間でH型钢を2本ずつ並列で配置する構造とし、東海地震等の大規模地震時においても2本が一体となり性能を発揮するよう、中間部に鋼製横つなぎ梁を配置した。

【施工概要】

(1) 仮設計画

当該工事において、架設する鋼製追加桁は1組当たりの重量が約20tfであった。

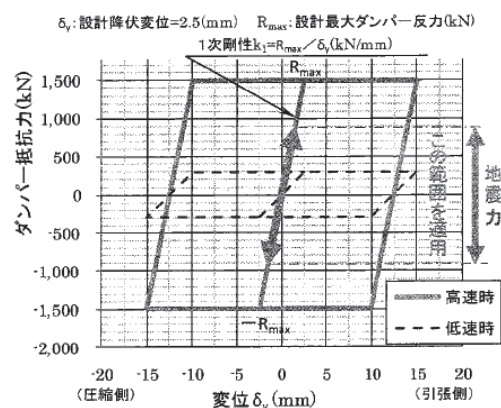


図-2 高減衰ダンパーの性能

表-2 1,500kN 高減衰ダンパーの性能表

	1次剛性	低速度特性
変位速度(cm/秒)	50	6.0×10^{-7}
要求性能	1,500(kN)以上	300(kN)以下

大井川ダムは、写真-2に示すとおり急峻な谷に位置しており、唯一の資機材搬入路は、制限荷重8tfの通勤用吊橋のみである。

施工にあたっては、大型クレーンおよび資材搬入のため、大井川ダム調整池を抜水した後、大井川ダム上流1.5km地点から、河川内仮設道路を造成した。

また、水門柱と支承部材を連結するアンカーボルトは、ダム抜水期間を短縮するために、貯水状態で堤頂より仮設足場を設けて設置した。



写真-2 大井川ダム付近航空写真

(2) 架設設備

大井川ダム直上流は、抜水した後も水深が深いため、分解運搬が可能な台船上の60tfラフタークレーンにより部材の架設を行った。また、台船使用時の出水リスクを考慮し、台船係留設備を設置した。

(3) 据付状況

変位制限装置の据え付けは、あらかじめ水門柱に取り付けてあるアンカーボルトに支承部材を吊り込み、固定した。写真-3に高減衰ダンパー側の支承部材設置状況を、写真-4にピン構造側を示す。



写真-3 支承部材設置状況
(高減衰ダンパー側)



写真-4 支承部材設置状況(ピン側)

その後、写真-5のように約1.5tfの高減衰ダンパーを設置し、鋼製追加桁の架設までは、吊チェーン等により水門柱に仮吊した。

2本のH型桁を連結した鋼製追加桁は、1本の追加桁毎に地上で地組みした後台船で運搬して、60tfラフタークレーンにて架設した。その後、中間部の鋼製横つなぎ梁を取付けた。この



写真-5 高減衰ダンパー仮吊状況

方法により、据付け時の最大重量が半分となり、クレーンおよび台船の規模を小さくすることができた。写真-6に架設状況を示す。



写真-6 追加桁架設状況

参考文献	北澤智，伊豫田光，望月真：追加桁と高減衰ダンパーによるダム水門柱の耐震裕度向上工事，電力土木，No.355，P22～P26，2011.
備考	

(5) No. 1-5 : 大井川(発)寸又川ダム上部橋梁改良他工事

No.	1-5
発注者	中部電力(株)
施設名	大井川発電所 寸又川ダム
所在地	静岡県榛原郡川根本町
工事名称	大井川(発)寸又川ダム上部橋梁改良他工事
施工期間	2010年10月～2011年3月
施工者	(株)間組
キーワード	ダム水門柱、洪水吐ゲート、RC管理橋、耐震裕度向上工事

概要

中部電力(株)では、東海地震等の大規模地震に備え、水力土木構造物を対象に耐震裕度向上工事を順次実施している。静岡県大井川水系のダムおよびえん堤については、平成21年度から水門柱耐震裕度向上工事を実施しており、本工事はそのうちの一つである「大井川(発)寸又川ダム上部橋梁改良他工事」である。本工事は、寸又川ダムの水門柱およびRC管理橋を対象に耐震検討を実施して、RC管理橋を高流動コンクリートと無収縮モルタルで増厚することにより、ダム水門柱の耐震裕度を向上させ、地震後の洪水吐ゲート操作の信頼性を高めたものである。

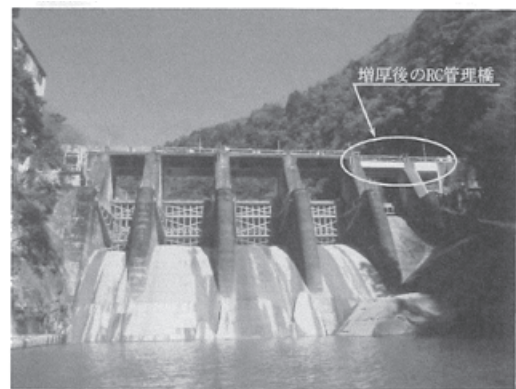


写真-1 寸又川ダムの外観(施工後)

【設計概要】

設計地震動と設計方針を以下に示す。

- ・設計地震動：レベル2地震動に対する既設構造物の耐震性能を照査するため、内閣府中央防災会議による東海D2波を選定した。基礎岩盤、堤体、水門柱、ゲート、RC管理橋等を一体化したモデルによる三次元線形動的FEM解析を実施しており、ダムの上下流方向、左右岸方向、鉛直方向の3方向に基礎岩盤底部から同時加震で入力地震動を与えた。
- ・設計方針：既設構造についての耐震性能照査の結果、水門柱は耐震裕度が比較的高いのに対し、RC管理橋の一部については耐震裕度が小さいことがわかった。そこで、RC管理橋の下部のコンクリートを増厚し、RC管理橋の耐震性能を高めることにより、それと一体となった水門柱の耐震裕度を向上させる方法について検討し、ケース2の方法を採用した。

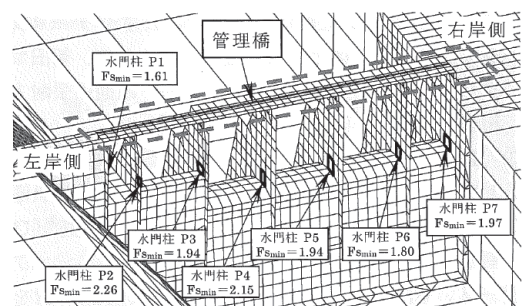


図-1 解析モデルおよび各水門柱の

表-1 耐震裕度向上策検討ケース

検討対象	既設構造	ケース1 (a,b にコンクリートを増厚)	ケース2 (a,b,c にコンクリートを増厚)
管理橋1 (A-A) 断面			
管理橋2 (B-B) 断面			

【施工概要】

RC 管理橋の増打ちコンクリートの施工に際して、打継目は、全て既設 RC 管理橋の下面で逆打ちとなるため、打設後硬化時のブリーディングや体積収縮により、打継目における引張応力や隙間の発生が懸念された。また、閉塞空間に増打ちコンクリートを打設するため、バイブレータによる締め固めが行えないという状況が想定された。そこで、水平打継ぎの施工を以下の手順で実施した。

(1) 無収縮モルタル充填用空気孔と材料投入孔設置

既設 RC 管理橋と新たに打設するコンクリートの一体化を目的に、既設 RC 管理橋スラブに無収縮モルタル充填用の鉛直方向の空気孔(φ10mm)を設ける。また、スラブの鉛直方向の材料投入孔(φ150mm)も設置する。

(2) 鉄筋、型枠組立て

ひび割れ防止鉄筋や型枠を組み立てる。アンカー筋は、コンクリートドリルで削孔後、ケミカルアンカーで固定した。

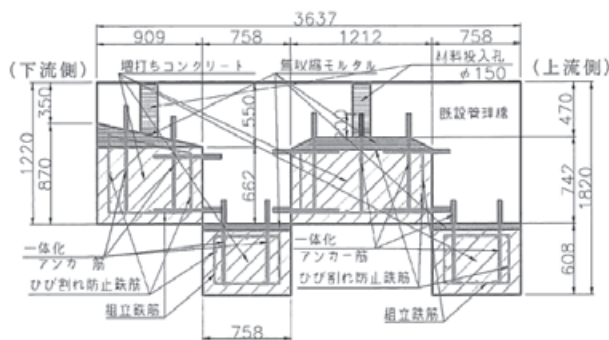


図-2 管理橋2の用心鉄筋の配筋

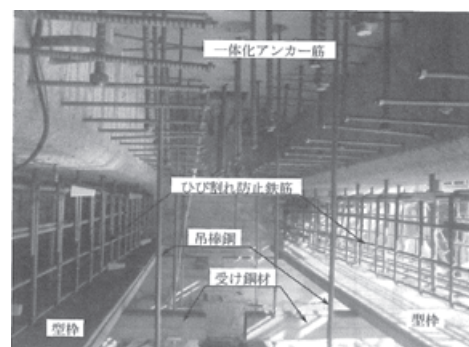


写真-2 鉄筋型枠組立状態

(3) 増打ちコンクリート打設

打設範囲の既設 RC 管理橋下面を目ならし後、レイタンス処理が不要な粉体系の高流動コンクリートを打継目より約 50mm 低い位置まで打設し、一旦打ち止めて十分に硬化させる。

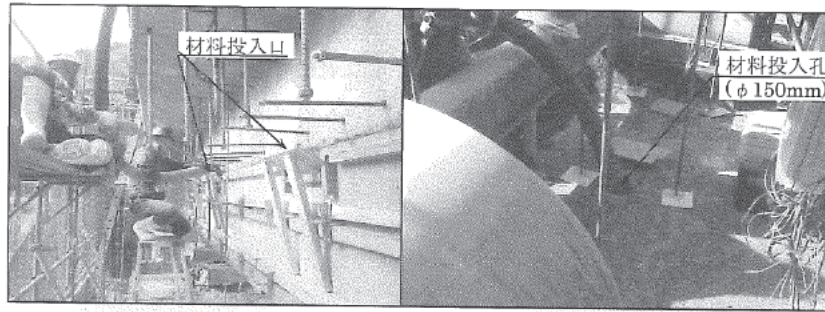


写真-3 コンクリート打設状況

(4) 無収縮モルタル充填

コンクリート硬化後(打設より 30 日後)、上記の約 50cm の隙間に、無収縮モルタルを充填し、上記の空気孔からの無収縮モルタル漏れ出し状況確認により、一体化を図る。

(5) 施工後の品質管理

硬化後、打継目の状態を確認する目的で、スラブ上面より打継目を含むφ30mmのコアボーリングを行い、一体化状態を確認した。

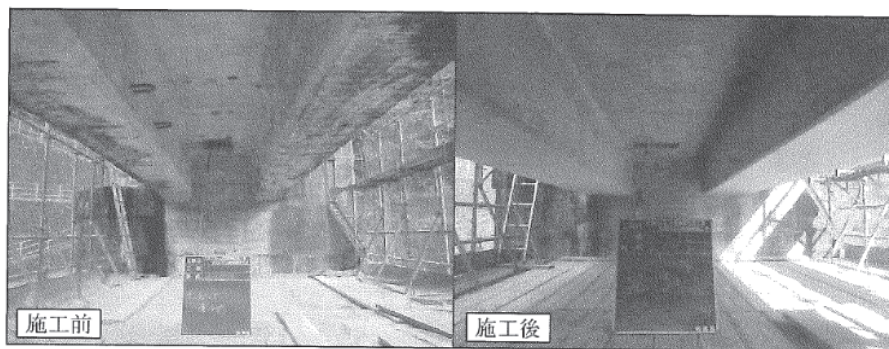


写真-4 管理橋 2 における施工前後の状況

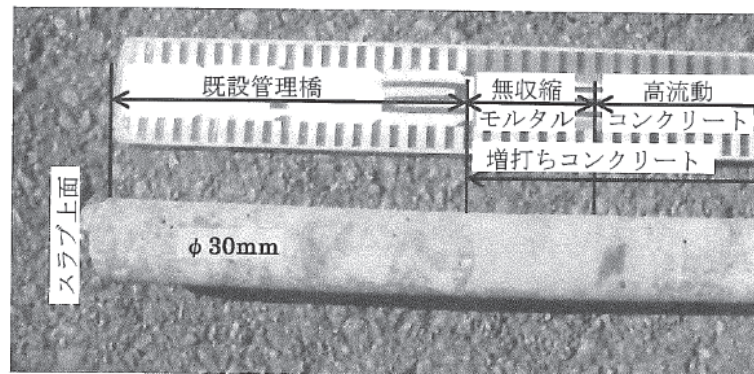


写真-5 スラブ上面より実施した鉛直ボーリングのコア

参考文献	北澤智, 伊豫田光, 望月真: 既設RC管理橋の増厚によるダム水門柱の耐震余裕度向上工事, 電力土木, No.357, 2012.
備考	類似工事: 「湯山(発)千頭ダム水門柱改良他工事」

(6) No. 1-6 : 湯山(発)千頭ダム水門柱改良他工事

No.	1-6
発注者	中部電力(株)
施設名	湯山発電所 千頭ダム
所在地	静岡県榛原郡川根本町千頭
工事名称	湯山(発)千頭ダム水門柱改良他工事
施工期間	2011年8月～2012年8月
施工者	間・シーテック共同企業体
キーワード	ダム水門柱、洪水吐、排砂門、耐震裕度向上工事

概要

中部電力(株)では、東海地震等の大規模地震に備え、水力土木構造物を対象に耐震裕度向上工事を順次実施している。静岡県大井川水系のダムおよびえん堤については、平成21年度から水門柱耐震裕度向上工事を実施しており、本工事はそのうちの一つである「湯山(発)千頭ダム水門柱改良他工事」である。本工事は、千頭ダムの水門柱を対象に耐震検討を実施して、水門柱をコンクリートで増厚することにより、ダム水門柱の耐震裕度を向上させ、地震後の洪水吐ゲート操作の信頼性を高めたものである。

【設計概要】

設計地震動と設計方針を以下に示す。

- ・設計地震動：レベル2地震動に対する既設構造の耐震性能を照査するため、想定東海地震による波を選定した。この設計地震動を用いて、図-1に示すような堤体、水門柱等を一体化したモデルによる三次元線形動的FEM解析を実施した。
- ・設計方針：既設構造についての耐震性能照査の結果、水門柱については耐震裕度が小さいことがわかった。そこで、水門柱のコンクリートを増厚し、水門柱の耐震裕度が向上される増打ちコンクリートの仕様の検討を行った。検討では、増打ちコンクリートと既設水門柱との一体化や温度ひび割れ(三次元温度応力解析)についての検討も行った。

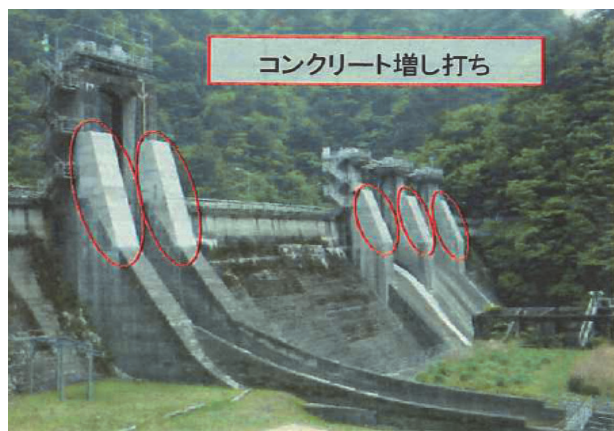


写真-1 千頭ダムの外観(施工後)

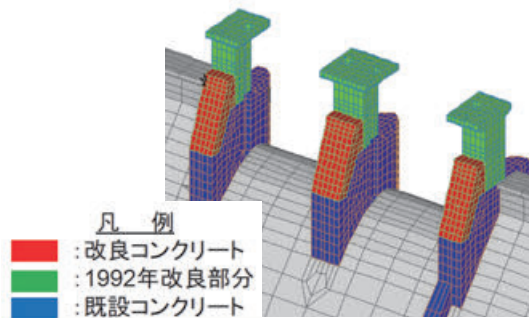


図-1 解析モデル(洪水吐部)

【施工概要】

① ブランケット・枠組足場設置

水門柱壁に仮設足場を設けた。ここで、放流水流下範囲は流水阻害とならないようにブラケット構造とし、その上部に枠組足場を手摺り先行にて設置した。

② 鉄筋探査

打設リフト毎に既設コンクリートの配筋位置を確認するため、非破壊検査(レーダー探査)による調査を行い、挿し筋位置を決定した。

③ 構造物取り壊し、チッピング

新旧コンクリートの一体化を良好なものとするためにコンクリート面をチッピングした。また、新設コンクリートが薄厚となる箇所はエアブレーカ、チッパーを使用して欠き取りを行った。

④ 挿し筋

新旧コンクリート接合部にケミカルアンカー(削孔長550mm)の削孔、挿入を行った。

⑤ 鉄筋・型枠組立

主筋(D32、D38)は打設リフト毎の延長で組み立て、各リフトの鉄筋継手は機械式継手(FDグリップ)にて行った。また、型枠は既設水門柱に合板パネルを用いて、セパレータ固定にて下方側よりリフト毎に組み立てた。

⑥ コンクリート打設・養生

型枠固定の完了した箇所より、生コン(40L)をケーブルクレーンにてバケット打設した。また、養生は電気式マットにより確実に保温養生を行った。



写真-2 施工状況

参考文献	
備考	類似工事：大井川(発)寸又川ダム上部橋梁改良他工事

(7) No. 1-7 : 川口(発)水圧鉄管支承部改良工事

No.	1-7
発注者	中部電力(株)
施設名	川口発電所 水圧鉄管
所在地	静岡県島田市身成
工事名称	川口(発)水圧鉄管支承部改良工事
施工期間	2007年2月～2010年3月
施工者	—
キーワード	ダム、水圧鉄管、支承、耐震裕度向上工事

概要

図-1 に示すように、東海地震等の大規模地震に備え、中部電力の大井川水系のダム水門柱、水圧鉄管等では耐震裕度向上対策を実施している。

川口発電所は、最大使用水量 90m³/s、最大出力 58,000kW の発電所であり、発電放流水は下流地域の利水(農・工・上水)として常時利用される重要な設備である。大規模地震後も速やかに下流へ送水する必要があるため、詳細な動的解析により水圧鉄管の耐震性能を評価した。その結果、流水機能に問題はないが、耐震裕度向上の観点から支承部の改良方法を詳細に検討し、運転を行った状態で工事を実施した。

【設計概要】

最初に、現状構造の耐震性能を評価するため、三次元動的解析を実施した。図-2 に示すように、水圧鉄管を梁要素、リングガーターを剛体要素とした三次元骨組モデルによって水圧鉄管を表現し、伸縮管、支承などの構造条件も解析モデルに反映した。

入力地震動は、図-3 に示すように、内閣府中央防災会議の想定東海地震の公表波をもとに、水平地震動を管軸方向、管軸直角方向に変換したものである。

三次元動的解析により得た知見を以下に示す。

- ・ 水圧鉄管軸直角方向に大きな慣性力が作用した場合、支承ピン、下杓アンカーボルト、台座コンクリートにおいて不具合が懸念される。



図-1 耐震裕度向上策の実施状況

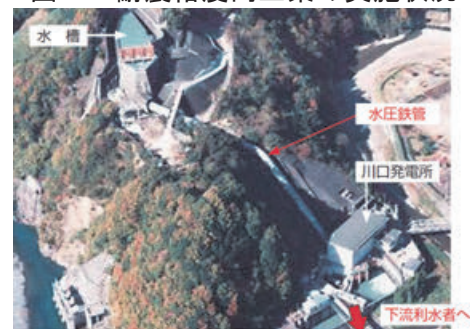


写真-1 川口発電所全景

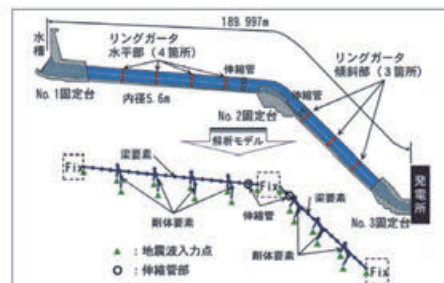


図-2 解析モデル

- ・ 支承部で最初に不具合が発生する支承ピンを摩擦モデルで模擬して詳細解析すると、支承ピンより下部に伝達する力が低減する。それとともに、水圧鉄管軸直角方向の変位は、小さい範囲で収まるため、地震後も現状構造で流水機能の維持はできる。

解析の結果、水圧鉄管支承部に不具合が懸念されるため、耐震裕度向上工事を実施した。

【施工概要】

工事概要を表-1、工事イメージを図-4 に示す。

ここで、新しい支承ピンは、既設支承ピンより高い強度が必要であるため、焼き入れ及び焼きなましを行うが、直径 80mm と比較的太いため、材料中心部の熱処理効果の低下が懸念された。そこで、中心の強度低下を見込んで熱処理を行うとともに、誤差が生じないように削出し時に細心の注意を払い製造した。

今回の工事では、下流利水確保のため、通水状態での施工が求められた。特に支承ピン取替作業では、水圧鉄管と水重を確実に支持できるジャッキアップ補剛材をリングガーターに現場溶接し、油圧ジャッキで水圧鉄管を支持した後、支承ピンを取り替えた。

施工管理では、リングガーターの両支承をミリ単位で同量上げる必要があることから、ダイヤルゲージで上昇量を管理するなどして、細心の注意を払い作業した。その結果、取替支承ピンは、基準値以内の精度で据え付けることができ、取替前後で支承高さの変化もないことを確認した。

台座拡幅及び補強プレート設置の作業についても部材の製造から現場作業の各過程で綿密に施工管理を行った結果、基準内の品質を確保することができた。

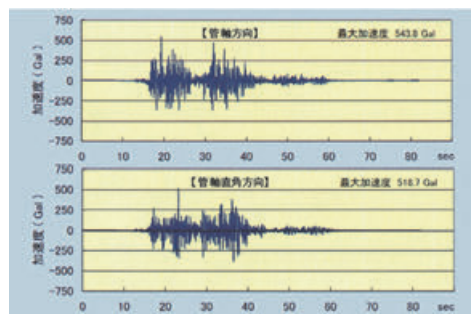


図-3 入力地震動

表-1 工事概要

耐震性能照査位置	耐震裕度向上策	
支 承 ピ ン	支承ピン取替	全 14箇所
下管アンカーボルト	補強プレート設置	
台座コンクリート	台座拡幅	

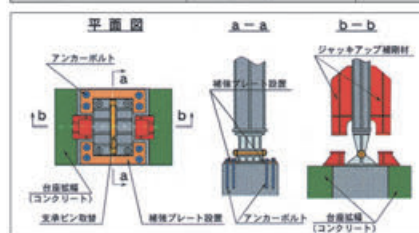


図-4 工事イメージ図



写真-2 支承ピン取替状況



写真-3 耐震裕度向上工事完了状況

参考文献	北澤智：川口発電所水圧鉄管支承部の改良工事 大規模地震に対する水力土木設備の耐震裕度向上，中部電力技術開発ニュース No.141，2011.
備考	類似工事：畑薙第一(発)水圧鉄管支承部改良工事 畑薙第二(発)水圧鉄管支承部改良工事 井川(発)水圧鉄管支承部改良工事

(8) No.1-8 水圧鉄管小支台補修工事

No.	1-8
発注者	電源開発(株)
施設名	足寄発電所
所在地	北海道足寄町
工事名称	水圧鉄管小支台補修工事
施工期間	2005年9月～2005年11月
施工者	(株)JP ハイテック
キーワード	水圧鉄管、小支台コンクリート打替、炭素繊維補強、空隙充填補強

概要

足寄発電所の水圧鉄管(昭和30年竣工)は、平成15年9月26日の十勝沖地震時(発電所所在地：北海道足寄町震度5弱)において小支台コンクリートの一部に損傷を受けた為、損傷が著しい小支台コンクリートの応急復旧を実施して発電運転を再開した。その後、水圧鉄管の挙動監視、健全性の検討等を継続して行ない、十勝沖地震では損傷を受けなかったが、健全性に問題が見られる小支台について、平成17年度に19基の小支台コンクリートを打替えた他、炭素繊維補強5基、超微粒子無機系セメントの注入による空隙充填補強17基を施工した。

【設計概要】

足寄発電所は、十勝川水系ピリベツ川に建設した活込ダムから取水し、十勝川水系利別川に発電放流を行うダム水路式発電所で、昭和30年10月に運転を開始し50年以上が経過している。発電所諸元を表-1に、発電所および水圧鉄管全景を写真-1に示す。また、水圧鉄管の仕様を表-2に、水圧鉄管の概要を図-1に示す。

表-1 発電所諸元

発電所名	足寄発電所
発電出力	(最大)40MW, (常時)15.9MW
使用水量	(最大)56m ³ /s, (常時)20.89m ³ /s
有効落差	(最大)84.39m, (常時)90.37m

表-2 水圧鉄管仕様

項目	仕様
条数	1条分岐後2条
延長	L=455.15m(分岐管108.374m)
内径	D4.40～4.00m(分岐管2.80～2.40m)
管厚	12～23mm(分岐管17～21mm)
材質	SM400(SM41)
固定台	コンクリート
支承	リングガータ・ロッカ支承
設計水頭	最大静水頭 95.00m
	最大水撃水頭 70.00m

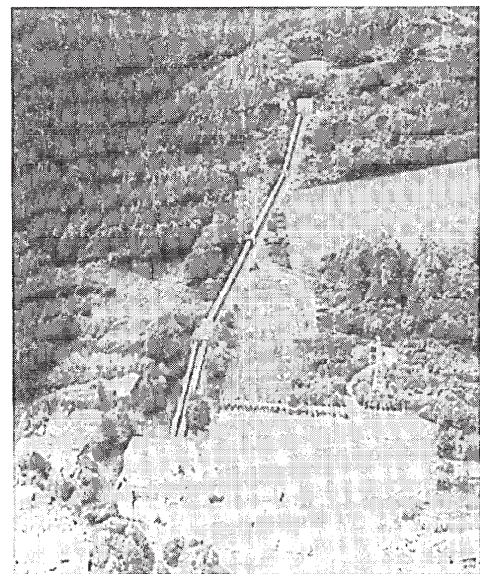


写真-1 水圧鉄管全景

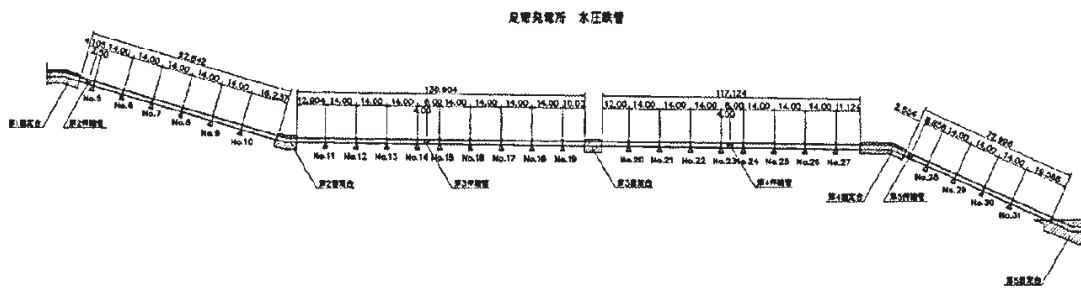


図-1 水圧鉄管模式図

平成 15 年 9 月 26 日の十勝沖地震による水圧鉄管ロックアサをを支える小支台コンクリートの損傷原因としては、二次(打ち増し)コンクリート部の片側に偏った沈下と二次コンクリートの強度不足による圧壊等が生じ、支台コンクリート部にクラックを発生させたと考えられる。

小支台コンクリートの損傷後、水圧鉄管の健全性評価および復旧方法を検討するため、次の調査および検討を実施した。①水圧鉄管の外観検査、②超音波伝播速度調査、③コンクリートの性状、④応力測定、⑤最大許容支持径間の試算、⑥水準測量結果を用いた健全性の検討、⑦十勝沖地震シミュレーションによる検討。

被災原因、平成 15 年応急復旧工事結果、その後の調査検討結果等から、補修方法は、小支台二次コンクリートの脆弱部を密実な状態に改善し、小支台全体で応力を受け持つよう改良することが最も有効な方法であると判断し、平成 17 年に 37 日間の発電所停止期間を設け小支台コンクリート補修を行なうこととした。

【施工概要】

(1) コンクリート打替工

二次コンクリートに空隙、クラック他の存在が懸念される小支台およびロックアサに傾動余裕量が少なく水平力が小支台に掛かる可能性が大きいと判断した小支台を対象とし、ロックアサ底部の二次コンクリートを含む小支台頂部の脆弱コンクリートを取壊し、新設コンクリート(早強 24 N/mm²)に打ち替えを行なった。

既設コンクリートとの一体化等を考慮し、ケミカルアンカーを使用して鉄筋を配置するとともに、ロックアサ部の位置調整および固定のために埋設アンカープレートを設置した。コンクリート打替工に伴う水圧鉄管の一時ジャッキアップは、変位量±1mm を管理値として千鳥に配置して施工を行なった。

(2) 炭素繊維補強工

勾配が急で打替工の実施が困難であり、かつコンクリート表面にクラックの発生が比較的多く、H15 年の応急復旧時に注入剤による注入効果が十分ではないと判断した小支台を補強の対象とした。炭素繊維補強材は、繊維目付 200g/m²、引張強度 3,400N/mm²を使用し、重ね継ぎ 0.20m 以上、小支台天端から 0.80m 間に 1 層貼付けとして施工した。

(3) 空隙充填補強工

二次コンクリート部の補強が必要と判断した小支台を対象とし、超微粒子無機系セメントを使用し手動ポンプによる低圧注入を行なった。また、二次コンクリート部への注入効果を高めるために、支承ベースプレートの四方向に切欠きを設け、支承ベースプレート下部へ集中的な注入材の充填を図った。さらに、注入効果の確認のため、施工後に超音波伝播速度調査により検証を行い、伝播速度の向上を確認することができた。

(4) 小支台表面の防水処理

小支台天端表面については、二次コンクリート部への水浸透による凍結融解の影響を防ぐ目的で、急硬性ポリマーセメントモルタルによる防水処理を施工した。

表-3 補修工法一覧

補修工法	区分	補修工法	基数
H17年	露出部	コンクリート打替工	19基
		炭素繊維補強工	5基
		空隙充填補強工	17基
H15年	露出部	コンクリート打替工	6基
		空隙充填補強工	15基
-	トンネル部	(補修無し)	8基
		計	70基

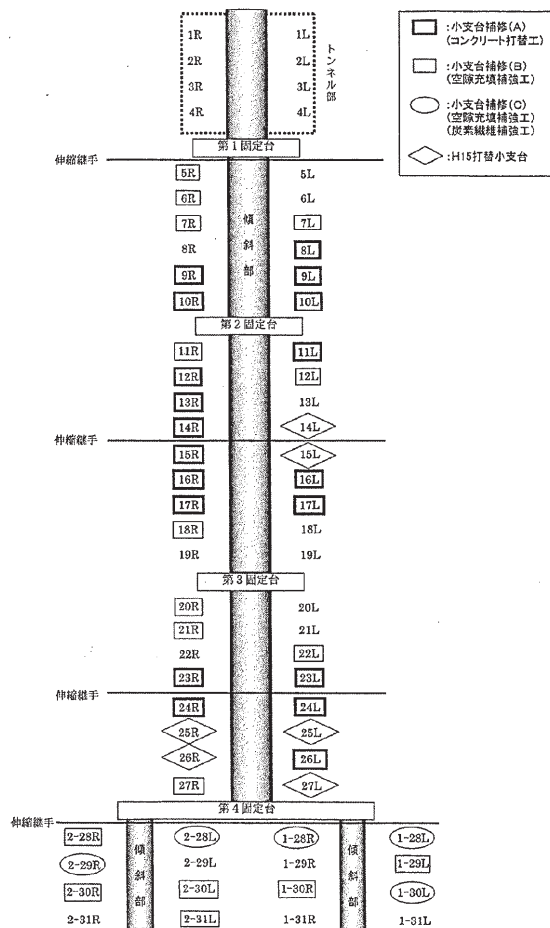


図-2 補修位置図

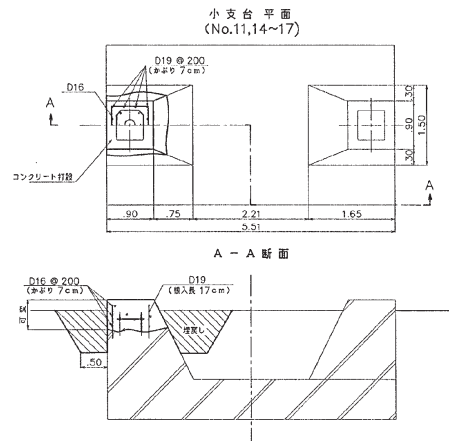


図-3 コンクリート打替工施工図

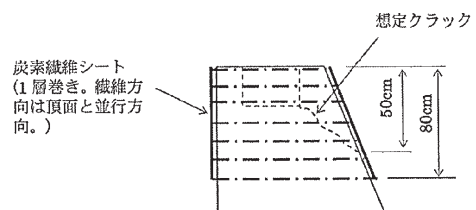


図-4 炭素繊維補強工施工図

参考文献

- 1) 中川武, 岩崎健, 廣瀬太一, 小森歩: 足寄発電所水圧鉄管小支台補修工事報告, 水門鉄管, No.227, 2006.
- 2) 十勝平野からの保守だより, 電力土木, No.325, 2006.

備考

(9) No.1-9 : 十津川第一発電所 野尻水路橋耐震補強工事

No.	1-9
発注者	電源開発(株)
施設名	十津川第一発電所
所在地	奈良県吉野郡十津川村
工事名称	十津川第一発電所 野尻水路橋耐震補強工事
施工期間	2009年10月～2010年2月
施工者	(株)JP ハイテック
キーワード	水圧鉄管、水路橋、大規模地震、耐震設計

概要

近年の社会的な防災意識の高まりの中で、大規模地震の発生を想定した防災対策の実施が、電気事業者にも求められている。電源開発(株)では、東海・東南海・南海地震等、切迫性のある大規模地震に対し、公衆災害および事業損失を防ぐため、自社設備に対する耐震性能照査およびその結果を基にした耐震対策を順次実施しているところである。十津川第一発電所の野尻水路橋は、奈良県十津川村の国道および河川を跨ぐ設備であり、大規模地震発生により水路橋が損傷した場合、公衆災害の発生が懸念されることから、耐震性能照査を実施し、対策が必要とされた部位に対して、耐震補強工事を実施した。

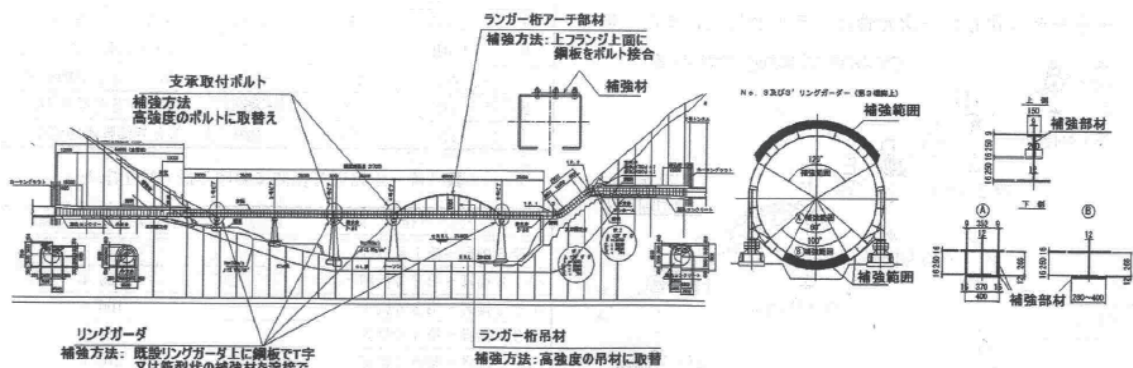


図-1 耐震補強概要図

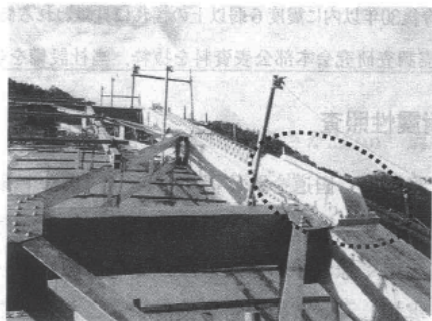


写真-1 ランガー桁アーチ部補強状況

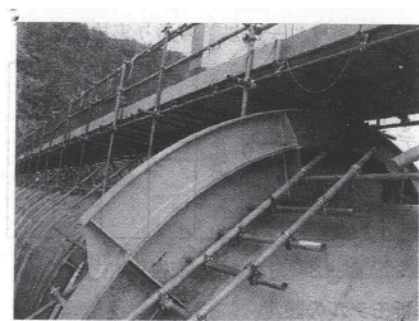


写真-2 リングガーダ補強状況

【設計概要(設計条件、設計方針等)】

(1) 対象地震

発電用設備である本水路橋の耐震設計は、建設時には水平震度法により、設計水平震度 0.12 にて耐震設計を行っていた。ここでは、H17 年に総理府(現文部科学省)の地震調査研究推進本部より公表された「今後 30 年以内に震度 6 弱以上の揺れに見舞われる確率分布」において、特に切迫性が高く影響の大きい東海・東南海・南海地震を対象地震とすることとした。

(2) 入力地震動

入力地震動は、内閣府中央防災会議により公表された東海・東南海・南海地震連動発生時の地震波形から求まる野尻水路橋地点での 3 方向模擬地震波とした。地震時応答解析は、水路橋と地盤を考慮した連成モデルにて算出された橋脚基部および橋台部の地震応答加速度および変位を用いて、汎用解析ソフトにて実施した。解析諸元を下表に示す。

表-1 解析諸元

使用要素	線形三次元はり要素
常時解析	初期変形・断面力として考慮
減 衰	Rayleigh減衰(固有値解析による等価減衰行列)
ひずみエネルギー算出時粘性減衰係数	鋼材(水路管, ランガー桁) : 0.02 鉄筋コンクリート(橋脚) : 0.05
モード解析手法	サブスペース法
解析時間	T = 115.0秒
時間刻み	$\Delta t = 0.002$ 秒
応答解析手法	線形弾性・直接積分法(時刻歴応答解析)
数値積分法	Newmark- β 法($\beta = 1/4$)

(3) 耐震性能照査結果

地震応答解析結果から、水路橋水路管とランガー桁については、応答加速度および変位から求まる部材断面力について、リングガーダと支承の照査については、解析から得られた応答加速度を震度換算し、震度法により、降伏応力(支承取付ボルトは許容せん断応力度の 2 倍)を許容値として耐震性能を行った。耐震性能照査結果を下表に示す。

表-2 耐震性能照査結果

対象部位	耐震評価結果	
	発生応力 (N/mm ²)	判 定
水路管 管胴本体	210	発生応力が許容値以下
支承・ピン(支圧)	219	発生応力が許容値以下
支承・ピン(引張)	275	発生応力が許容値以下
支承取付ボルト(せん断)	263	せん断応力が許容値を超過
リングガーダ(合成応力)	649	リング外縁合成力が許容値を超過
ランガー桁アーチ部材 (合成応力)	288	合成応力が許容値を超過
ランガー桁吊材(軸方向引張)	304	軸応力が許容値を超過

【施工概要(制約条件、留意点等)】

本補強工事は、吊材の取替え等があり、施工管理を行ううえで、水路管抜水に伴う荷重の軽減等が必要であったことから、水路管抜水期間中に実施した。

ランガー桁吊材に分担されている荷重バランスを保持したまま吊材の取替えを実施する必要があった。このため、吊材の取替えにあたっては、取替え時に設置する仮吊材に荷重測定機能付き油圧ジャッキを取付け、荷重バランスを把握できる構造にすることとした。また、施工時に水路管に生じる変位量の把握が重要だったため、測量により施工前、吊材取替え時及び施工後の水路管のキャンバー観測を行い、水路管に生じる変位量管理を行った。

以下に吊り材取替え時の施工概要を示す。

- ① 水路管満管時の既設吊材固定部の高さ(基準高)を測定
- ② 水路管抜水後、基準高に対する吊材固定部の変位量を測定
- ③ 既設吊材を設置した状態で、仮吊材を取付け、各ジャッキを調整して、仮吊材にかかる張力を設計張力にセットし、既設吊材の張力を全て仮吊材に負担させる。
- ④ 各仮吊材の張力調整後、新吊材の取替えを行い、新吊材のターンバックルを均等に締め付けることにより、仮吊材にかかる張力を新吊材へ移行させる。同時に基準高に対する新吊材固定部の変位量を測定
- ⑤ 仮吊材を撤去し、水路管充水後の基準高に対する新吊材固定部の変位量を測定

参考文献	1) 上村宏孝, 栗原昭夫, 櫻井渉: 十津川第一発電所 野尻水路橋耐震補強工事, 電力土木, No.351, 2011. 2) 河田暢亮, 栗津誠: J-POWER グループの地震防災対策, 電力土木, No.338, 2008.
備考	