

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 : 水管橋免震支承化工事
 国、地域 : 日本、静岡県
 プロジェクトの実施機関 : 中部電力株式会社
 プロジェクトの実施期間 : 2006年～2008年
 更新と増強の誘因 : (D) 安全性向上の必要性
 キーワード : 水管橋、耐震性評価、免震支承

要旨

当該設備は奥泉水力発電所導水路途中の河川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60.0mのローゼ型橋で支持されている。設備の特徴は全重量の約9割が水重を含む水管部に占められることであり、大規模地震時の安全性が懸念されていた。このため、耐震性評価を実施し水管橋の免震支承化工事を実施した。

1. プロジェクト地点の概要（改修前）

奥泉水力発電所は、静岡県の中央部を南北に貫流しながら太平洋に注ぐ大井川の中流域に位置し、1956年に運転を開始した、最大使用水量60m³/s、最大出力92,000kWのダム水路式発電所である（表1および図1参照）。

関の沢水管橋は、奥泉水力発電所導水路途中の河川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60.0mのローゼ型橋で支持されている。図2に関の沢水管橋の写真、表2に水管及び橋梁の諸元、図3に関の沢水管橋の側面図・断面図を示す。

表1 発電所諸元

発電所	奥泉水力発電所
水系・河川	大井川水系・大井川, 関の沢川, 栗代川
最大出力	92,000kW
最大使用水量	60.00m ³ /s
有効落差	168.70m
運転開始	1956年1月



図1 位置図



図2 奥泉水力発電所 関の沢水管橋

表2 水管及び橋梁の諸元

水管部	管路長	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	2,093kN
	橋梁部	1,460kN
	水重	17,529kN
	計	21,082kN

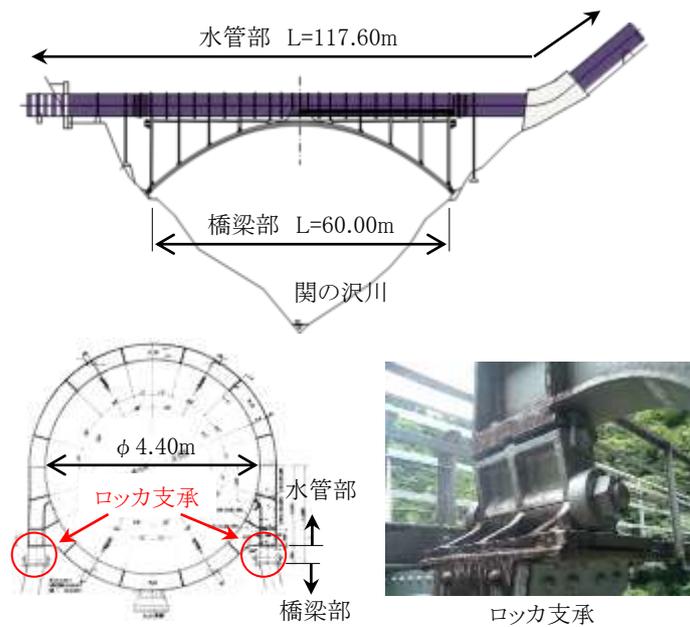


図3 関の沢水管橋 側面図・断面図

2. プロジェクト（更新/増強）の内容

2.1 誘因と促進要因（具体的なドライバー）

① 状態、性能、リスクの影響度等

(D)-(a) 安全性向上の必要性－安全性の向上

構造物は自重の93%が水重を含めた水管部であり、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。さらに想定東海地震の今後30年間の発生確率は87%といわれ、大井川水系全域が震源域であることから現実的に対処すべきリスクとして耐震性評価を行った。その結果、通水機能に影響はないものの損傷箇所の補修は事後対応では困難であると判断した。

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

- 1956.1 奥泉発電所運転開始
- 2006 プロジェクト実施設計
- 2007.11 免震支承化工事開始
- 2008.2 免震支承化工事完了

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

本プロジェクトの計画段階では現状構造における耐震性評価を目的として、三次元動的解析を実施した。解析は図4に示すように三次元骨組モデルによって水管および橋梁を表現し、伸縮継手、支承などの構造条件も解析モデルに反映した。

想定東海地震に関する入力地震動は、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5に入力地震波の一例を示す。これは、東海・東南海・南海複合型地震の関の沢地点に該当する工学的基盤面（ $V_s=700\text{m/s}$ ）での公表波形を、解析モデルの管軸、管軸直角方向に変換したものである。

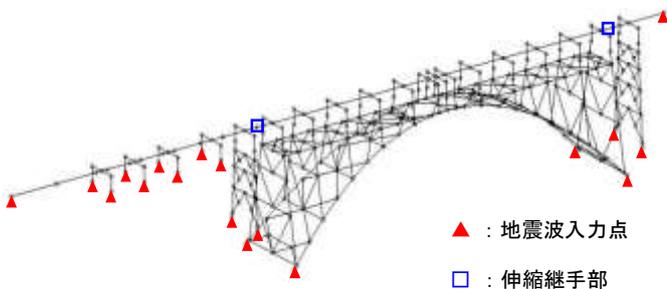


図4 解析モデル

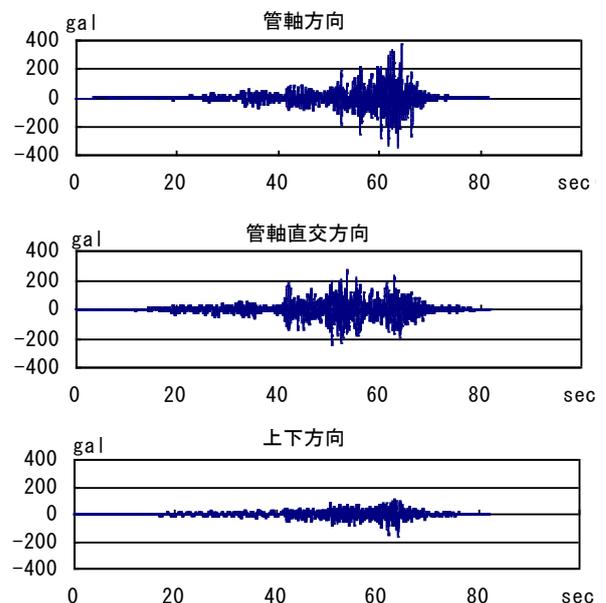


図5 入力地震波形の一例

数値解析の結果、得られた知見を以下に示す。

- 水管部の管軸直交方向に作用する慣性力が大きく、既設ロック支承を介して橋梁部へ伝達される。その際に支承部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、橋梁アーチ基部の発生応力が顕著となる。
- 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少であることも確認している。

この結果、橋梁部は一部損傷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箇所の修繕は事後対応では困難であると判断したため改良工事を実施することにした。改良方法としては解析結果を踏まえ水管部と橋梁部の結合部を分離し、水管を鉛直支持すると共に水平力の伝達経路となっている鋼製ロック支承を免震ゴム支承化し、水管に伝わる地震力を低減し、水管と橋梁との動的相互作用を軽減することが最も合理的であると考えた。

免震支承は、図6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、当構造物に適している。その諸元を表3に示す。



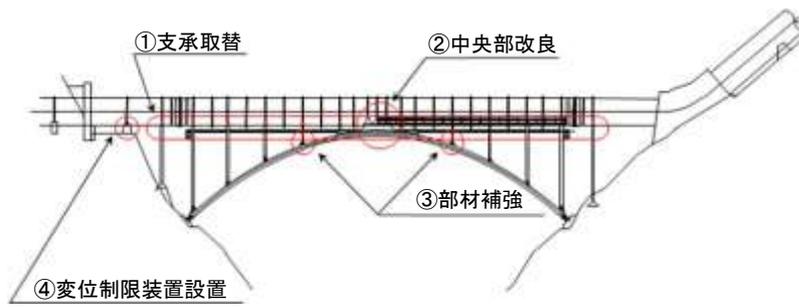
図6 免震ゴム支承（LRB）の模型

表3 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	25.6%

また、免震化の効果は数値解析により評価し、免震支承を採用することにより全部材で発生応力が許容応力以下となった。特に橋梁構造の維持に重要なアーチ部分の安全率も向上しており、免震化の有用性が確認できた。

なお、免震支承化以外にも、落橋防止のために変位制限装置の設置や既設の部材断面の部分的補強を行うこととした。工事の概要を図7に示す。



① 支承取替



② 中央部改良



③ 部材補強



④ 変位制限装置設置



図7 水管橋免震支承化工事概要

3. プロジェクトの特徴

3.1 好事例としての要素（注目点）

- ・ 構造物の免震機能を長期的に発揮できるよう耐久性を考慮した設備構築
- ・ 既設構造物への影響低減を図り、発電や利水運用に支障が無い通水作業の実施

3.2 成功の理由

本プロジェクトの成功の要因は、三次元動的解析を行い大規模地震時の水管橋の挙動を定量的に評価した上で、リスク軽減と施工性・経済性を勘案した対策を樹立したことにあ

る。
また、このような大規模な水管橋の免震化、さらには通水しながらの作業については事例がなく、既設構造物への影響低減を最優先に考え、事前の綿密な計画と施工時の適切な対応によって工事を遂行した結果であると自負している。

なお、免震構造物の施工事例などを日常的に収集し、道路橋や高層建築物では採用実績が多い免震支承を積極的に取り入れたことも成功の一因である。

4. 他地点への適用にあたっての留意点

- ・ 免震支承採用時の減衰性能の設定
- ・ 設置箇所によるゴム劣化に対する検討

5. その他（モニタリング、事後評価）

- ・ 大規模地震時における水管橋の挙動を定量的に評価した。
- ・ 地震後も構造系を維持していることを確認できた。
- ・ 数値解析をもとに、合理的な対策工を選定し、その有効性（解析上では管軸直交方向の固有周期を約20%長周期化）を確認した。
- ・ 高所作業、通水等の条件下で、無事故・無災害で工期内に完工した。

6. 参考情報

6-1 参考文献

西澤邦夫、服田雅雄、近藤伸介／奥泉水力発電所関の沢水管橋の免震支承化工事／社団法人 電力土木技術協会 電力土木／2008.11

6-2 問合せ先

会社名：中部電力株式会社

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