

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     | : 既設管理橋を活用したダム水門柱の耐震裕度向上工法の開発  |
| 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～2011年  |
| 更新と増強の誘因    | : (D) 安全性向上の必要性  |
| キーワード       | : 洪水吐ゲート spillway gates、水門柱 spillway piers、耐震裕度向上工法 seismic upgrading method |

要旨

既設の水門柱は現行の技術基準で要求される耐震性能を満足しているものの、東海地震等の大規模地震（以下、レベル2地震と記す）に備え、水門柱の耐震裕度をより高めておくことは保安レベル向上のため重要な課題である。

そこで、既設ダムの水門柱を対象として、動的解析によりレベル2地震に対する耐震性能照査を行い、それに基づいて、既設管理橋を活用したダム水門柱の耐震裕度向上工法を開発した。この工法を2010年より既設ダムの水門柱に実際に適用して、レベル2地震発生後の洪水吐ゲート操作の信頼性を高め、保安レベルを向上させている。

1. プロジェクト地点の概要（改修前）

1.1 プロジェクト地点

本論で述べるダム水門柱の耐震裕度向上工法を適用したダムは、静岡県を流れる大井川流域に位置する中部電力株式会社の発電用ダムである。ダムの位置図を図1に、そのうちの一つである笹間川ダムの概観を図2に示す。2010年にダム水門柱の耐震裕度向上工事を実施した4つのダムの基本諸元を表1に示す（本文では笹間川ダムのことを対象ダムと記す）。

1.2 対象ダム水門柱

ダムの水門柱は洪水吐ゲートを開閉するための支持構造物であり、大規模地震が発生した場合でも洪水処理機能を維持できる耐震性能を保有する必要がある。対象ダムの既設洪水吐の基本的な構造概要を図3に示す。対象ダムの中央部水門柱は、端部水門柱と異なり堤体非越流部と一体化しておらず、中央部水門柱を水平に揺らす地震力は、ほとんどその基部で受け持たれることになる。中央部水門柱の高さおよび左右岸方向は表1に示すとおりであり、堤体越流頂標高での上下流方向幅は17.4mであることから、その基部断面の上下流方向図心周りの断面係数は、左右岸方向図心周りの断面係数の約1/9である。よって、対象ダム水門柱では、国内外の多くの発電用ダムと同様に、レベル2地震時の水門柱の左右岸方向の揺れによる影響が支配的となる。

ダムの洪水吐構造における常時満水位よりも上部に着目すると、多くのダムにおいて水門柱の上部には洪水吐ゲートを操作するための鋼製管理橋が架かっている。鋼製管理橋は、鋼製主桁の温度伸縮の拘束に起因する主桁の座屈や支承部の損傷を防ぐため一般的に各径間の片方が可動支承になっている。径間の片方が可動支承である管理橋は水門柱の揺れを抑える制震部材としては機能していない。

また、対象ダムの水門柱の保有耐力で耐震性能を照査した結果、水門柱基部で損傷が生じないための水門柱基部に対する頂部相対変位の許容上限値は11mm程度と小さい値であった。また、水門柱と洪水吐ゲートの間の水密部すなわち戸当部の隙間は一般的に20mm程度しかないため、これを超える頂部相対変位が生じた場合、水門柱が洪水吐ゲートに接触する恐れがあった。



図1 本耐震裕度向上工法の適用ダム

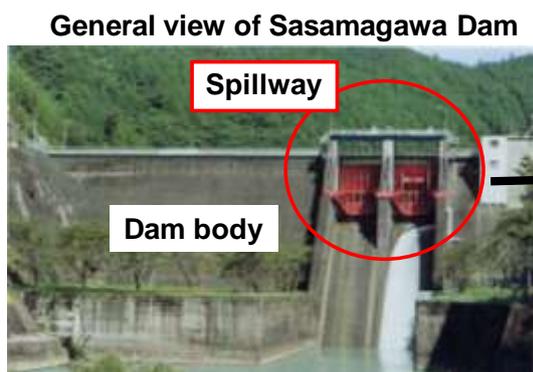


図2 笹間川ダムの概観

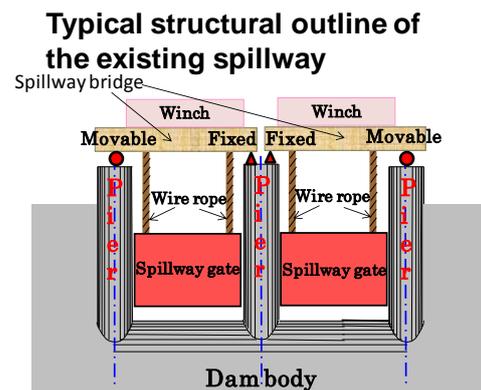


図3 既設洪水吐の構造概要

表 1 2010年にダム水門柱の耐震裕度向上工事を実施した4つのダムの基本諸元

| Dam Name   | Gate Type | Dam Body  |            | Spillway Gate, Sediment Flushing Gate |                   |           |                   |           |           |                    | Fiscal Year of Completion |
|------------|-----------|-----------|------------|---------------------------------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------|--------------------|---------------------------|
|            |           | Hight (m) | Length (m) | Central Pier                          |                   | Edge Pier |                   | Gate      |           |                    |                           |
|            |           |           |            | Hight (m)                             | Lateral Width (m) | Hight (m) | Lateral Width (m) | Hight (m) | Width (m) | The Number (Gates) |                           |
| Sasamagawa | Radial    | 46.4      | 140.8      | 16.3                                  | 2.0               | 3.7       | 1.8               | 11.8      | 9.0       | 2                  | 1960                      |
| Okuizumi   | Radial    | 44.5      | 75.6       | 17.5                                  | 2.3               | 3.0       | 2.3               | 12.3      | 9.0       | 3                  | 1955                      |
| Ikawa      | Radial    | 103.6     | 243.0      | 16.2                                  | 3.0               | 1.6       | 3.0               | 12.0      | 11.0      | 3                  | 1957                      |
| Shiogo     | Roller    | 3.2       | 146.0      | 15.0, 18.7                            | 2.5, 2.0          | 0.0       | -                 | 3.5       | 17.5      | 8                  | 1960                      |

## 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  
(該当なし)

② 価値（機能）の向上  
(D)-(a) 安全性向上の必要性－安全性の向上

既設のダム水門柱は現行の技術基準で要求される耐震性能を満足しているものの、レベル2地震に備え、洪水処理機能を維持できるようダム水門柱の耐震性能を向上させることは重要な課題であった。

③ 市場における必要性  
(該当なし)

### 2.2 経緯

- 1956. 1 奥泉ダム運用開始
- 1957. 9 井川ダム運用開始
- 1960.11 笹間川ダム、塩郷ダム運用開始
- 2006 プロジェクト検討開始
- 2010. 3 笹間川ダム、井川ダム、塩郷ダムに本工法を適用
- 2010. 5 奥泉ダムに本工法を適用
- 2011. 3 大井川ダムに本工法を適用

### 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

本工法は、水門柱上部の既設管理橋を活用した水門柱の耐震裕度向上工法である。その構造としては、①図4に示すように、管理橋各径間の片側の支承部で水門柱に管理橋主桁をピン構造部材で連結し、もう一方の支承部で高い1次剛性を有する高減衰ダンパーを介して水門柱と管理橋主桁を連結する。②既設水門柱頂部の許容相対変位よりもレベル2地震時における上記高減衰ダンパーの降伏変位を小さく設定する。③レベル2地震動により上記高減衰ダンパーに生じる最大地震力よりも同ダンパーの地震速度における降伏荷重を大きく設定する。考案した工法は、①、②、③の工程を含み、レベル2地震動に対して図4に示すように高減衰ダンパーの1次剛性と2次剛性からなる履歴減衰特性が発揮される以前の1次剛性の領域で同ダンパーを用いる水門柱耐震裕度向上工法である。

本工法で高減衰タイプのダンパーを用いる理由は、一般的に、高減衰ダンパーの2次剛性は非常に低いものの、その1次剛性は非常に高いことにある。つまり、1次剛性、2次剛性を有するこのような高減衰タイプのダンパー特性の内、地震時は1次剛性範囲、すなわち、水門柱頂部の許容相対変位内で最大地震力を受けとめられるように高減衰ダンパーの最大反力 $R_{max}$  kN（高減衰ダンパー容量）と降伏変位 $\delta_y$  mmを設定し、1次剛性（ $k_1=R_{max}/\delta_y$  kN/mm）の範囲のダンパー特性のみを活用する。常時の温度荷重は解放し、地震時には直ちに高減衰ダンパーの高1次剛性により、水門柱の揺れの拘束効果を得るものである。その際、既設管理橋を高減衰ダンパーとともに水門柱制震部材として活用し、地震時に水門柱が開口クラックを生じず、ゲートに衝突しないレベルの耐震性能を確保してレベル2地震後のゲート操作の信頼性を高める。

以上のように、本工法では1次剛性と2次剛性を有する高減衰ダンパーを用いるものの、レベル2地震動に対する高減衰ダンパーの従来の一般的な適用技術と異なり、高減衰ダンパーの地震エネルギー吸収能である履歴減衰には期待していない。本工法はレベル2地震動に対して、履歴減衰が発揮される以前の弾性的挙動の1次剛性領域のみを適用するという高減衰ダンパーの特殊な使い方に基づくものである。

本工法は、2010年に静岡県にある4つのダムで実適用され、2011年にも1つのダムで実適用された。現在までに5ダムとも本工法による水門柱耐震裕度向上工事が完了している。本工法を適用し、洪水吐水門柱の耐震裕度を向上させた例を図5に示す。また、適用実績を表2に示す。

本工法の適用のメリットとしては、ダム水位よりも上部にある管理橋支承部の改良のみでダム水位低下を必要とせず、耐震工事中も発電を継続でき減電力量が生じないという経済性を満たすものである。例えば、対象ダムにおいては、本工法を適用しない場合、代替案は水門柱基部以下へのダム水位低下を要し、多大な減電力量が生じる水門柱再建設案であった。対象ダムは最大出力58,000kWの川口発電所へ導水するダムであることから、代替案を採用する場合、多大な減電力量を伴うため、この費用を含めた工事額は約11億円となる。これに対し、本工法の場合は、管理橋支承部の改良だけであり、減電力量が生じず工事費が約7千万円の実績となったため、約10億3千万円のコスト低減（コスト低減率93.9%）となった。

また、本工法は管理橋支承部の改良だけで行えるため、洪水吐の設計洪水量に対する通水面積、通水能に一切影響せず洪水吐形状を保持できる工法である。さらに、設置するピン構造部材や高減衰ダンパーおよび取付け用金具等の付加質量は、既設構造のダム本体や水門柱の質量に対して非常に小さいため、本工法適用後も対象ダムが現行の技術基準で要求される安定性を満足することに変わりない。

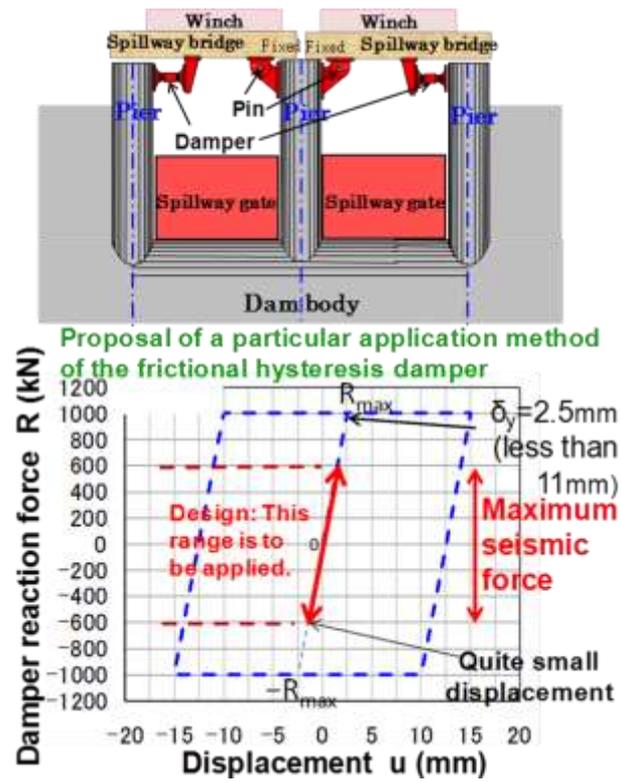


図4 開発した工法の概要と高減衰ダンパーの適用法

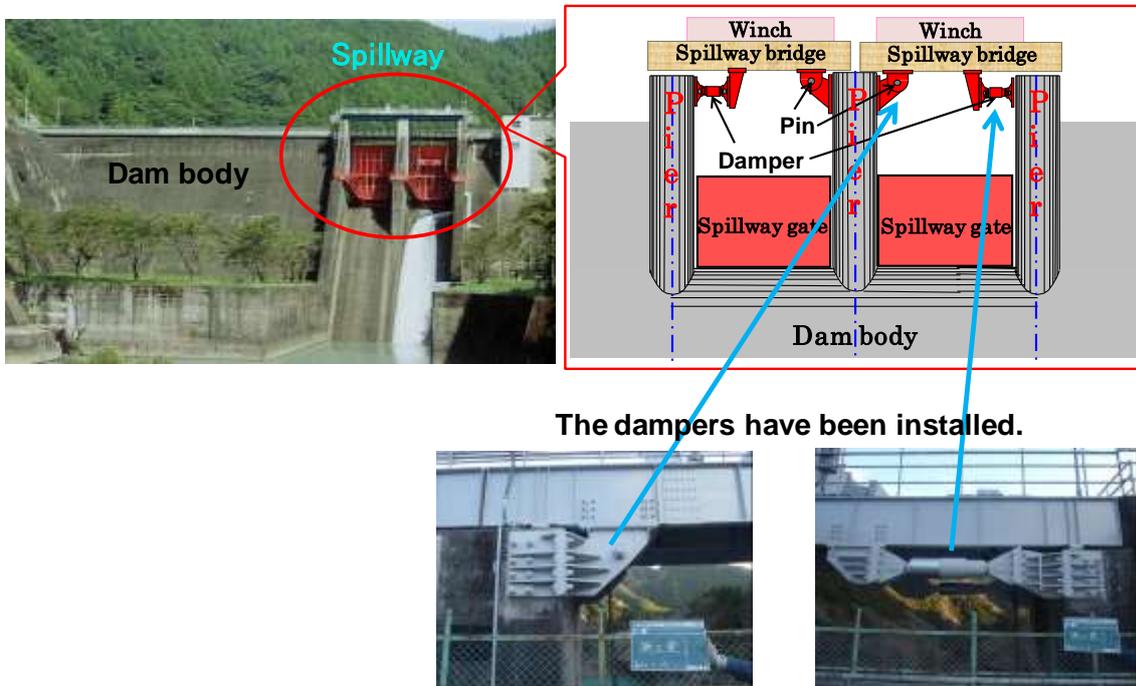


図5 本工法を適用した笹間川ダムの水門柱耐震裕度向上策実施後の構造

表2 本工法の2010年適用実績

| Dam Name   | The Number of Bridge Main Girders | Capacity of Damper with High Hysteresis Damping (kN) |       | First Rigidity of Damper with High Hysteresis Damping (kN/mm) |     | The Number of Applied Dampers |   | Cost Reduction Rate (%) |
|------------|-----------------------------------|--|-------|---|-----|-------------------------------|---|-------------------------|
|            |                                   |  |       |   |     |                               |   |                         |
| Sasamagawa | 4                                 | 1,000  |       | 400   |     | 4                             |   | 93.9                    |
| Okuizumi   | 9                                 | 1,000  |       | 400   |     | 9                             |   | 96.0                    |
| Ikawa      | 6                                 | 1,500  | 2,000 | 600   | 800 | 3                             | 3 | 94.2                    |
| Shiogo     | 20                                | 1,500  |       | 600   |     | 20                            |   | 86.1                    |

### 3. プロジェクトの特徴

#### 3.1 好事例としての要素（注目点）

- ・既設構造を活用した大規模地震に対する水門柱の耐震裕度向上
- ・耐震裕度向上工事後の洪水吐の通水面積、通水能の確保
- ・耐震裕度向上工事期間中の減電力量の削減

#### 3.2 成功の理由

本工法の成功の要因は、国内外の多くのダムの水門柱上部に架橋されている鋼製管理橋を制震部材として活用することに着目したこと。加えて、従来の一般的な高減衰ダンパーの適用技術と異なり、高減衰ダンパーの地震エネルギー吸収能である履歴減衰には期待せず、履歴減衰が発揮される以前の弾性的挙動の1次剛性領域のみを適用するという高減衰ダンパーの特殊な使い方をしていることによるものである。

### 4. 他地点への適用にあたっての留意点

#### 【既設構造活用の観点】

- ・既設構造の鋼製管理橋がダム水門柱の制震部材として必要な耐力を有していること
- ・高減衰ダンパーの設置位置が洪水吐ゲートの可動範囲外にあり、ゲート操作によって高減衰ダンパーとゲートが接触しないこと

### 5. その他（モニタリング、事後評価）

特になし

### 6. 参考情報

#### 6-1 参考文献

熊崎幾太郎、澤井洋介／既設管理橋を活用したダム水門柱の耐震裕度向上工法の開発／電力土木No.352／2011.3

#### 6-2 問合せ先

会社名：中部電力株式会社

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