

## 水資源・水環境研究分科会 活動報告（千本ダムの視察）

水資源・水環境研究分科会 田中秀典、大掛敏博、角谷篤志、西田修三、宅和由男

### 1. はじめに

千本ダムは、大正時代に建設された水源地堰堤である。ダムの供用開始から 100 年以上が経過しているが、松江市域の約 4 分の 1 に水供給を行う重要な施設となっている。堤体内部は粗石コンクリートを用い、表面は石積み堰堤では珍しく堤体表面の石材が間知石の谷積であり、建設当時としては非常に精密で高度な技術を要する施工がなされている。

2003 年に日本土木学会選奨土木遺産に指定され、2008 年には登録有形文化財に登録されている。また、2020 年に日本初のダム堤体 PS アンカー工法による堤体補強工事も行われた。

当分科会では 2019 年の土木学会 選奨土木遺産 三滝ダムの視察に続いて 2 回目の土木学会 選奨土木遺産として千本ダムについての視察を行った。

以下視察についての報告を行う。

### 視察内容

1. 日時 令和 4 年 11 月 3 日（祝） 10 時～12 時
2. 視察場所 松江市忌部町千本ダム、同管理所
3. 参加者 大掛敏博、角谷篤志、西田修三、田中秀典、宅和由男、松浦 寛司、遠藤公作、土江徹郎、土江久裕（中学生）、土江遼平（小学生）、藤原建史、吉田 進、川本朋幸、幸前 徹、三浦洋治（計 15 名、太字は分科会員）。



管理所での概要説明



現地視察（千本ダム堤頂）

## 2. 千本ダムの概要

千本ダムは、大正7年に忌部地区に建設され、山陰地方初のコンクリートを用いた水源地堰堤であり、山陰地方で最初の水道専用ダムである。このダムは、重力式コンクリートダムで、外部は石積み、堤体内部は粗石コンクリートが使用されている。ダムの諸元は表1の通りである

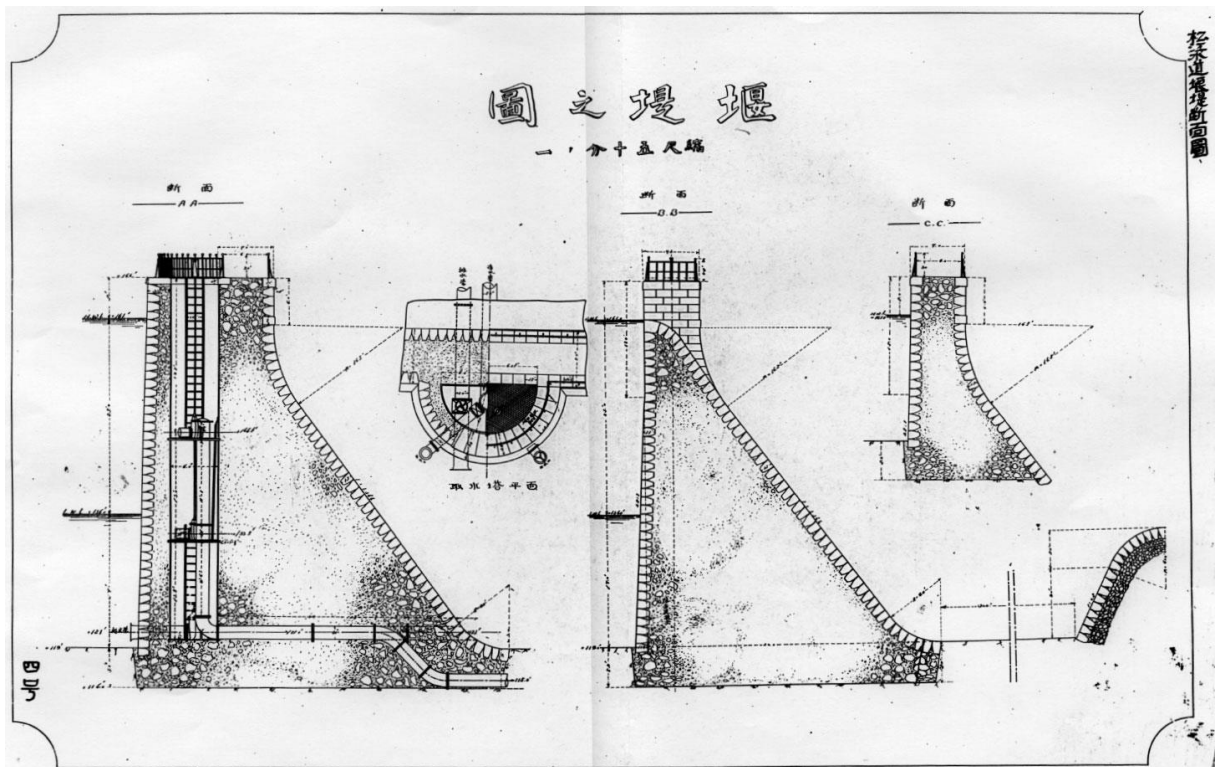
表 1 千本ダム諸元

着工／竣工	1915年／1918年
河川	斐伊川水系忌部川
ダム管理者	松江市上下水道局
形式	重力式コンクリート
堤体	堤高 15.8m、堤頂長 109.1m、堤体積 7000m <sup>3</sup>
流域	流域面積 15.4km <sup>2</sup> 湛水面積 10ha
貯水池	総貯水容量 387 千m <sup>3</sup> 有効貯水容量 379 千m <sup>3</sup>



千本ダムの全景





建設当時の図面



選奨土木遺産（日本土木学会）



登録有形文化財（文化庁）

### 3. 千本ダムの安定照査と耐震工事の必要性について

2013年（平成25年）のダム健全度調査により、河川管理施設等構造令第4条に基づき、地震発生時の千本ダムの安定性が検証された。検証は①滑動に関する条件、②堤体強度に関する条件、③転倒に関する条件の3つで行われた。

#### 3-1 滑動に関する条件

基準：ダムに発生している水平力の4倍以上のせん断摩擦抵抗力を有すること。  
診断結果：最小安全率のポイントにおいても、水平力の5.45倍の抵抗力を有しており、滑動はしないとの結果であった。対応の必要なし。

#### 3-2 堤体強度に関する条件

基準：標準許容応力の4倍以上の安全率を有すること。千本ダムの場合は21.1kgf/cm<sup>2</sup>以上の圧縮強度が必要とされる。  
診断結果：千本ダムは、160.0kgf/cm<sup>2</sup>の圧縮強度を有しており、強度を満たしている結果であった。対応の必要なし。

#### 3-3 転倒に関する条件

基準：構造令で定められている地域ごとの設計震度（島根県の場合は中震帯地域）の慣性力をダムに作用させても転倒しない。  
診断結果：堤体部の上流部が浮き上がることで、下流側に倒れる力が働き、堤体を損傷させる可能性があるとの診断結果。対応の必要がある。

以上の結果、地震時の堤体の安定性に問題がある（耐震性能を満足していない）ことが確認されたため、耐震補強対策が行われた。

### 4. 耐震対策の検討について

千本ダムには以下の2つの工事の制約条件があった。

- ① 千本ダムは国の登録有形文化財に指定されている。
- ② 現在も松江市の水源として使用されている。

比較検討された工法（表2参照）

- ① 堤体増厚工法：ダムの堤体の上流側の堤体の厚みを増して対策を実施する工法（上流面増厚工法）。ダム堤体の一般的な補強工法
- ② PS アンカー工法：ダム堤体の天端から地盤までPC鋼線を束ねたアンカー体を打込んで基礎岩盤に定着させ、設置・緊張することによって大規模地震などによる堤体の転倒を防止する対策を実施する工法。

千本ダムは水道専用ダムであり、水道水を供給しながら工事を実施する必要がある。一般的な補強工法では大規模な仮設が必要となり、工事費、工期、水道水の供給面から比較検討を行った。

その結果、ダムの機能を維持しながら文化遺産としての姿を保持するため、堤体への影響が小さく、経済性も高い案②のPSアンカー工法が選択された。

(PS工法については、左の図1を参照。)

なお、PSアンカー工法については、国外では数多くの事例があるものの、国内のダム堤体での施工例がなかったため、国の研究機関に工法の妥当性について、検討を依頼したとのことであった。

表 2 工法の比較検討結果

検討項目	① 堤体増厚工法	② PSアンカー工法	備考
経済性	15億円	6億円	案①は大規模な仮締切工事が必要になるため施工費が高くなる。
工期	65ヶ月	16ヶ月	案①は左岸と右岸を分割して施工。
耐久性	100年以上		
堤体への影響	大きい	小さい	案①は堤体の上流側を0.5mほど覆うため既設堤体への影響が大きい。
安全性	不利		良好 案①は、出水時期にも施工するため、安全性の十分な確保が必要。
維持管理費	小		案②は緊張力の管理が必要。

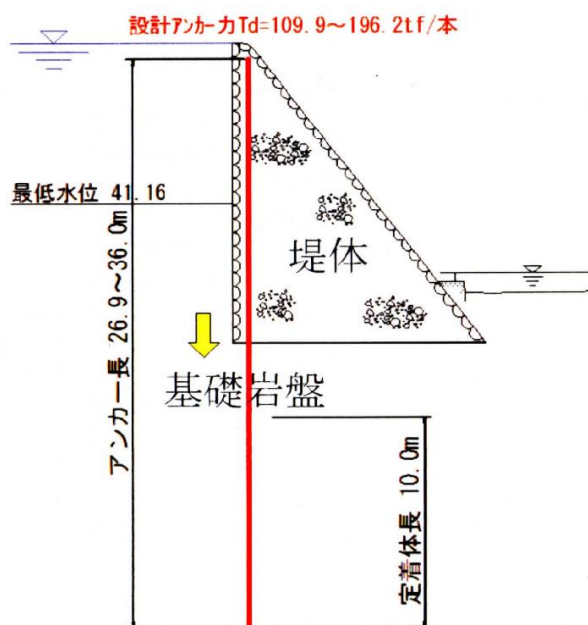
## 5. 設計について

地震時に発生するダム堤体上流端に発生する引張応力(上向きの力 $-1.1\text{kgf}/\text{cm}^2$ )に対し、堤体天端から鉛直下方の基礎岩盤にアンカー体を設置・緊張(下向きの力 $0.08\text{kgf}/\text{cm}^2$ )することにより安定性を確保する(図1参照)。

設計アンカー力：765～1,104kN/本×38本 である。

緊張力計           ： 3万8400kN

国内ではロックアンカーの実績が少なく、アンカー工法によるダム堤体の補強方法に関する研究(ダム技術研究所報告書)を参考に海外事例を国内指針類に照合して設計を行ったとのことである。

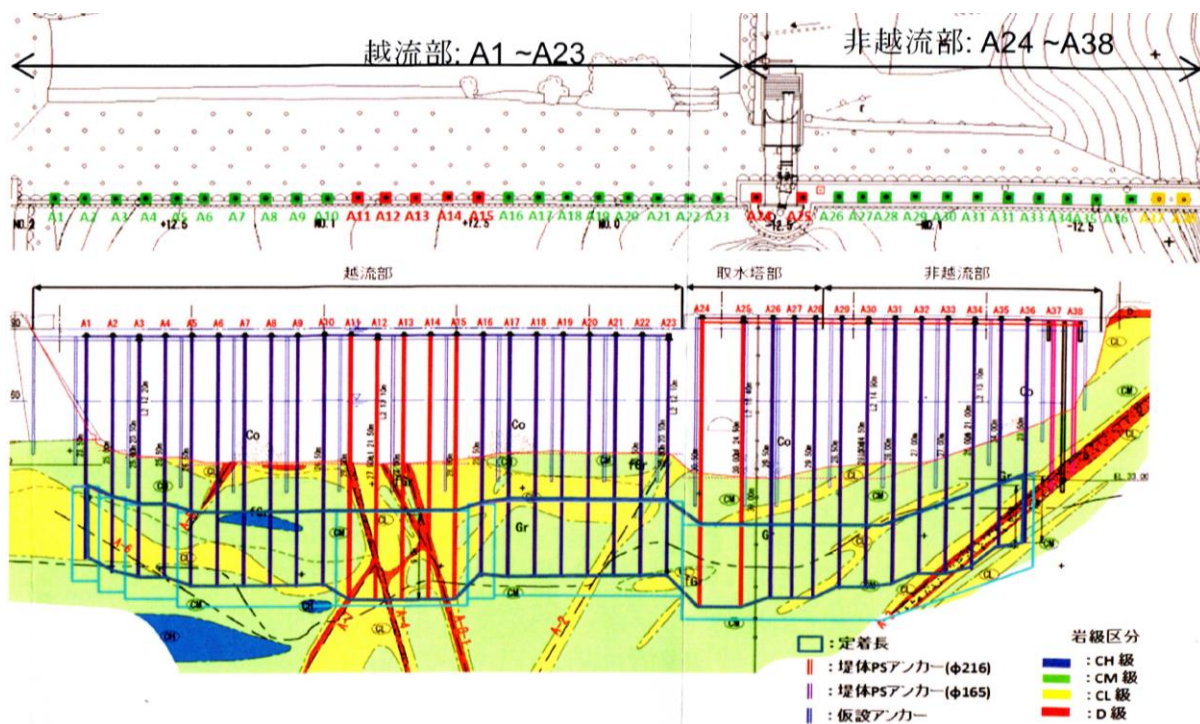


PS アンカー工法 (配布資料より)

## 6. 施工について

転倒に関する条件を満たすためには、非越流部 15 本、越流部 23 本、計 38 本の PS アンカー(最長約 30m)を設置することが必要である。取水設備などの堤体内部に設置してある設備への影響を避けるため、右岸側と左岸側でアンカーの間隔が異なっている。アンカー数、長さ、間隔などの概要を図2に示す。

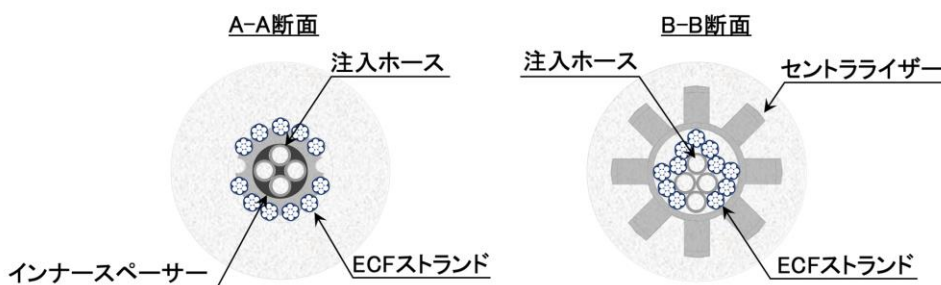
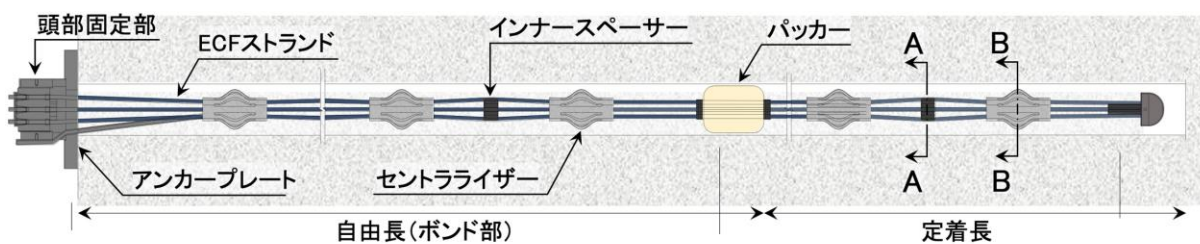




アンカー数など（配布資料より）

また、使用されるアンカーには、ダム の 堤 体 内 で 使 用 さ れ る こ と や 永 久 的 構 造 物 であることから防食クラス I の仕様とし、設計耐用年数を 100 年としたエポキシ被覆の鋼より線（ECF ストランド）が採用された。

PS アンカー工法は工事完了後、堤体安定のために引張力の保持が必要であり、アンカー軸力計、ひずみ計を設置して適切な維持管理を行うこととしている。

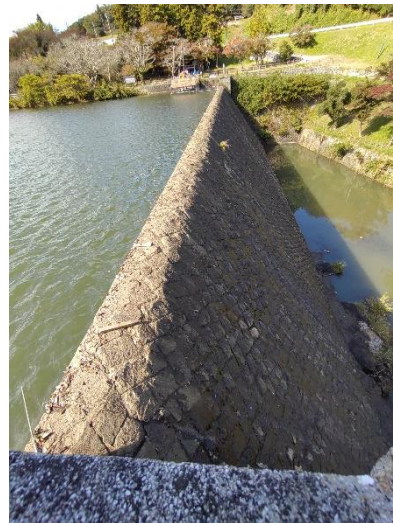


堤体 PS アンカー構造図

## 7. 景観対策



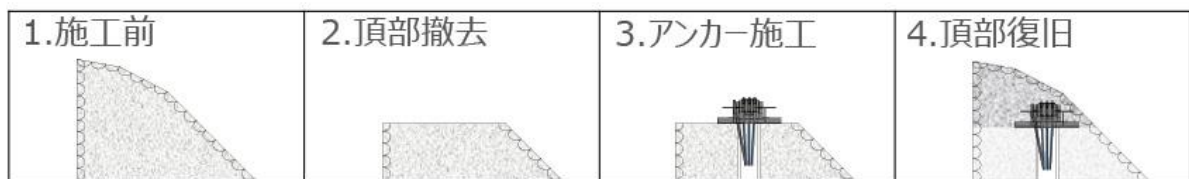
非越流部



越流部

前述したように、千本ダムは国の登録有形文化財であり、景観に配慮した仕上げが必要になった。非越流部に関しては、上の左写真のように堤体の外観に影響を与えることなく、アンカーの施工を行うことができたようである。

それに対して越流部は、上の右写真のように石積みの外観をしており、アンカーの施工が行われたことが一見しただけでは、わからないようになっている。これは、堤体の上側をカットして平面にし、そこにアンカーを施工しその上から新たに石積みを行ったとのことであった。







撤去した頂部



撤去した頂部

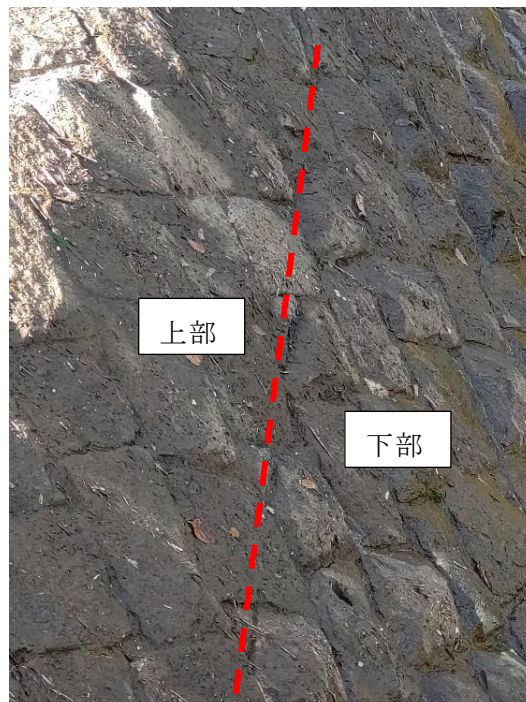
千本ダムで積まれている積み方は、上の石と下の石が噛み合った積み方で、「谷積み」と呼ばれる方法である。この積み方は、石が他の石に触れている箇所が多く、大きい荷重を分散できることから耐久性にすぐれている。

熟練した高度な技術が必要となるが、近年は石工では後継者が少なくて不足しているうえに、高齢化している。施工する石工を苦労して探してやっと見つけ、松江城の石垣の修繕をおこなった石工に依頼したとのことであった。

また、復旧部と既存部の色調差をなくすために堤体洗浄も実施していて、視察時にはこれらをほとんど区別することはできなかった。



堤体表面（谷積み）

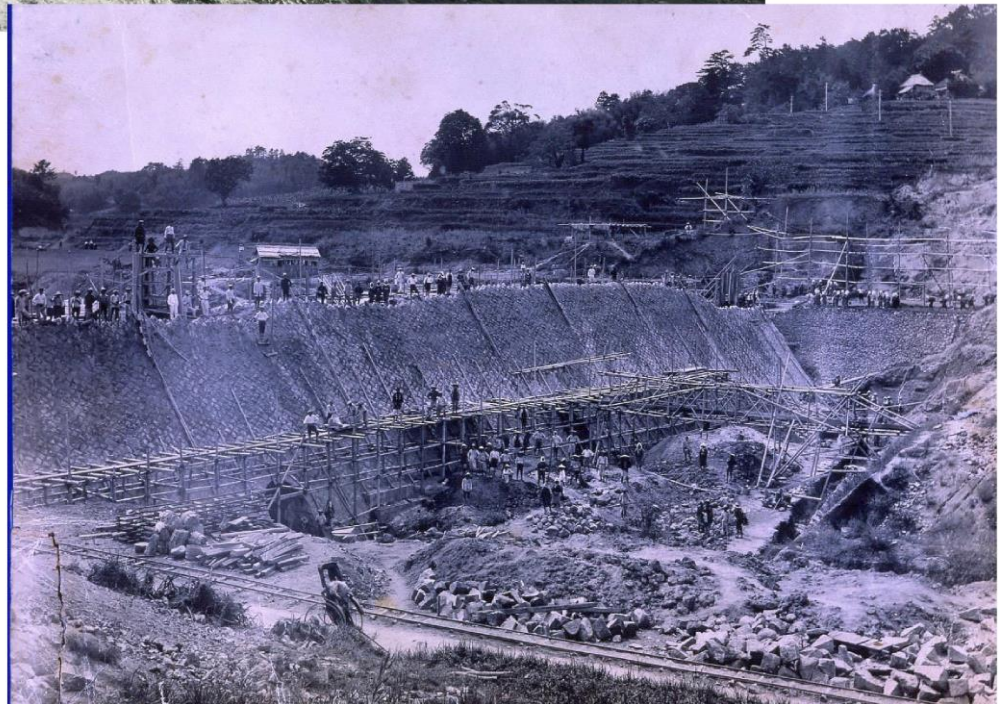


堤体の拡大



## 8. おわりに

今回は、PS アンカー工法を使って日本で初めてダムの堤体の耐震工事が行われた千本ダムの視察をおこなった。特に登録有形文化財で、現在も使用中であるという稀な制約条件のもとでの耐震工事であり、施工時の様々な技術的な工夫がされており、大変参考になる視察だったと思われる。今後も水資源・水環境研究分科会では、関連施設の見学や分析などを通じてメンバーのスキルアップに努めたいと考えています。



千本ダム 築造工事（松江市 HP より）