

ダム用アンカーによる千本ダム堤体補強事業について

松江市上下水道局浄配水課 副主任 福島 隆宏

1. はじめに

千本ダムは1918年に完成した山陰では最も古い石積み堰堤の水道専用ダムである(図-1に千本ダム位置図、写真-1に千本ダム全景を示す)。現在ではダムの供用開始から103年が経過し、松江市域の約4分の1に飲料水を供給する重要な施設となっている。

また、石積み堰堤では珍しく堤体表面の石材が谷積みで構築され、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おり、2008年には文化庁の登録有形文化財に登録されており、歴史構造物としての価値も有している。

2013年度に、河川法に基づき地震時の安全性について検証するために、

①滑動(すべり)、②堤体強度(応力)、③転倒(ダム堤体の上流端に上向きの力・引張応力を発生させないこと)の三つの安定条件を確認した。

その結果、①、②の基準はクリアできたが、③転倒では地域ごとの設計震度(島根県は中震帯地域)で慣性力を作用させた場合、堤体を転倒させる可能性のあることが判明し、堤体の耐震補強対策の実施が必要となった。

2. 堤体耐震補強の検討

一般的な堤体補強対策工法としては堤体の増厚が考えられるが、堤体下流面においては、現在の石積み堰堤の景観が大きく変貌することとなり、登録有形文化財としての価値を著しく損ねるため、最善の対策とは言い難い。

また、堤体補強対策としての堤体上流側への増厚を検討したが、貯水池を運用しながらの施工となるため、堤体上流に鋼管矢板二重の仮締切を設けて工事期間中に仮締切の設置と撤去を繰り返す二期工事となり、工期がかなり長くなることと、仮設に掛



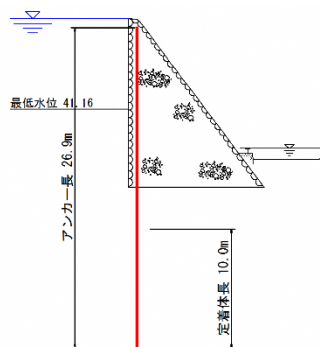
図-1 千本ダム位置図



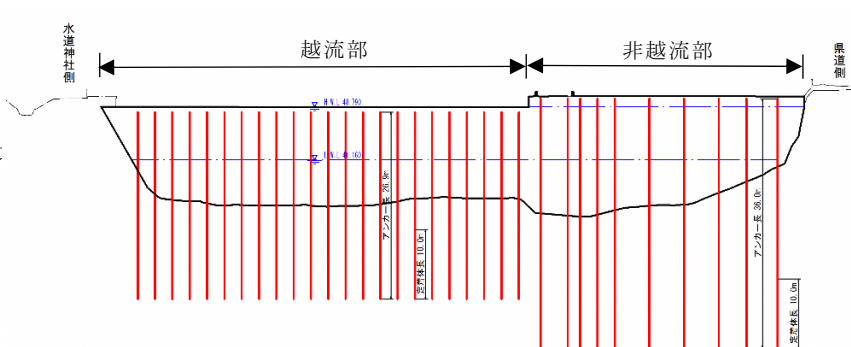
写真-1 千本ダム全景(工事前)

る費用が膨大となる．よって，他工法による対策の検討も行った．

他工法として考えられたのが，海外で事例の多い堤体 PS アンカーである．堤体 PS アンカーとは，ダム堤体本体の天端から鉛直下方の基礎岩盤に向けて PS アンカー（鋼より線）を設置し，ダム堤体を基礎岩盤に固定する方法である（アンカーの配置イメージを図－2，3に示す）．本工法はダム堤体上流側で発生する引張応力への抵抗力を高め，ダムの転倒に対する安全性を高める効果が期待できる．本工法は本堤上流側（貯水池側）での施工がないため，水運用への影響が少ない．



図－2 アンカー配置横断面図



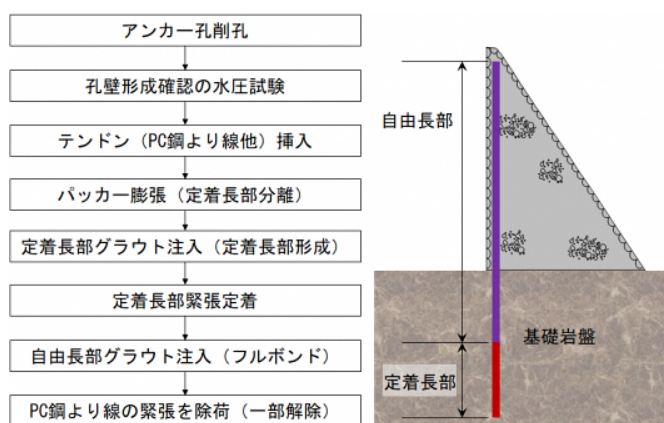
図－3 アンカー配置縦断面図

設計を行い，経済性，工期及び水運用に係る負担などを総合的に検討した結果，堤体 PS アンカーが増厚案と比較し優位であると判断し，堤体 PS アンカーによる堤体補強を実施することとなった．

3. 工事の実施について

3-1 全体工程

千本ダム堤体補強工事のうち，越流部の施工は河川内作業の扱いとなり，非出水期（10月21日～6月25日）に限定されるため，越流部工事は工程管理上の最優先事項となる．よって，施工期間の制約がない非越流部の工事から開始し，PS アンカー工の施工仕様を確立し，非出水期の始まりに併せて越流部の施工を優先して行い，越流部のアンカー施工が完了した後に，非越流部と全体仕上げ用の残工事を行う．堤体 PS アンカーの施工フローを図－4に，施工時の全景を写真－2に示す．



図－4 堤体 PS アンカー施工フロー

3-2 削孔方法の選定

削孔機の能力によって施工サイクルは大きく影響されるため、削孔機の選定が工程管理において大きな課題であった。

削孔方法はダウンザホールハンマー方式とロータリーパーカッション（二重管）方式を検討した。



写真－2 施工時全景写真

本工事の施工開始直後の非越流部 3 孔において、削孔状況を確認した。削孔方法に関して比較検討したものを表－1 に示す。削孔の結果、孔壁の荒れが認められたこととオイル漏れ防止の観点から、千本ダムでは「ロータリーパーカッション（二重管）方式による削孔」を主体として選定した（掘削状況を写真－3 に示す）。

項目	ダウンザホールハンマー (空圧式)		ロータリーパーカッション (二重管)	
	◎	○	◎	○
①削孔速度	速い	◎	遅い	○
②削孔精度	高精度	◎	管理規格値±2.0%に対して1%未満	○
③削孔時の振動・騒音	表層削孔時は振動・騒音があるが、その後は静かになる	○	削孔中を通じて、一様な振動・騒音がある	○
④水運用への影響	空圧式の場合、水みちがあると、オイル漏れの恐れがある	△	圧縮空気を使用しない水掘りを採用することで油漏れの心配なし	○

表－1 削孔方法の比較検討

3-3 削孔による孔壁への影響

堤体は普通コンクリートに御影石の巨石を投入した粗石コンクリート工法で施工され、完成から100年以上が経過していることから、削孔後の粗石の緩みによる孔壁の崩壊が予想され、再施工が発生した場合の工程遅延が懸念された。



写真－3 削孔状況

3-4 全孔プレグラウトによる孔壁補強

アンカー工では削孔後の孔壁保持が大きな課題と考えられた。そこで、削孔直後にプレグラウトを行って、孔壁が崩落する前に孔壁を固め、翌日再削孔することで孔壁を保持することとした。全孔をプレグラウトすることで、各孔で1日多く施工日数かかることになるが、孔壁の崩落やアンカー体が引っ掛かることによる再施工といった施工における手戻りのリスクを排除でき、施工サイクルを確実につかみ全体工程の管理精度を高めることができた。

3-4 アンカー体の挿入と定着

アンカー体の組み立ては仮設ヤードに設置した専用の組立架台の上で行い、アンカー体のダム堤体への挿入は堤体下流の仮設棧橋に設置したラフタークレーンにより鉛直に吊り上げ挿入した。アンカー体の挿入後、定着長部にグラウトの注入を行

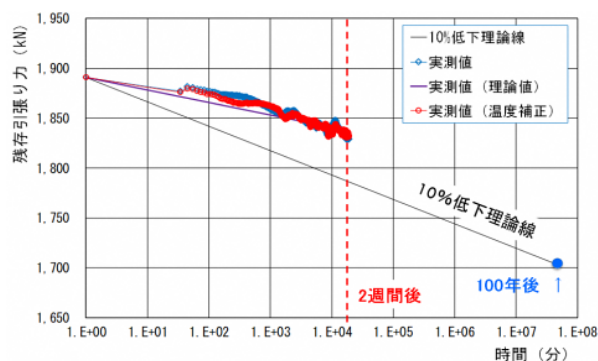


写真－4 アンカー体に用いる PC 鋼より線

い、定着長部の形成を行った（アンカー体に用いるPC鋼より線を写真－4に示す）。

3-5 アンカー緊張力の確認

アンカーの長期荷重低下量を確認するために長期試験を実施した。アンカー長の長いアンカーにおいて長期試験を行った（図－5）。設計では、残存緊張力の低下を10%見込んでおり、初期緊張荷重の妥当性を確認した。



図－5 長期試験結果

長期試験には約2週間に要した。2週間の実測結果より、最初は緊張力の低減速度が急であるが、次第に低減速度が減じていく低減曲線を用いると100年後においても、緊張力は94%が保持される結果が得られた。

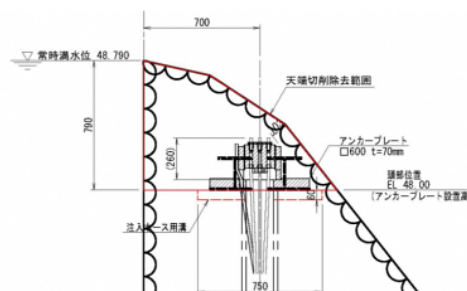
3-6 緊張・自由長部注入・除荷定着

定着長部へのグラウト注入後、所要の圧縮強度を確認して緊張作業を行った。緊張作業は確認試験として計画最大荷重（＝設計アンカー力の1.25倍）まで載荷し、施工したPSアンカーが設計アンカー力に対して安全であることを確認した後、初期緊張力を導入し、自由長部へのグラウト注入を行い、アンカー頭部を除荷し定着させた。

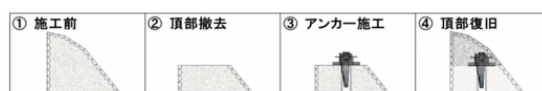
3-7 石積みの復元

千本ダムは重力式コンクリートダムの表面に御影石を積み上げた構造となっており、越流部ではアンカー施工後の石積みの復旧が必要となる（図－6，7参照）。

石積みの施工は工期及び文化遺産としての景観に影響する出来栄えが石工の能力に左右されるため不確定な部分があり、事前に仮設ヤードにて同質石材での試し積みを行い、作業時間や出来栄えなどを確認した。



図－6 越流部頂部断面図



図－7 越流部頂部施工手順

4. 総括

本工事においてPSアンカー工法による耐震補強を日本で初めてダム堤体に採用したものであり、試験的な部分もあった工事であるが、完成後100年以上経過しているダムの耐震補強に対応可能である事が確認できた。

ダムを供用しながらの施工が可能であり、外観を損なわない事を考えれば他のダムや構造物にも適用の可能性が伺える。