

第6回 インフラメンテナンス大賞 国土交通大臣賞（メンテナンス実施現場における工夫部門）受賞

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

鳥根県松江市に位置する千本ダムは、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す（図-1、写真-1）。現在、ダムの供用開始から105年が経過しましたが、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ます。



図-1 千本ダム位置図



写真-1 千本ダム全景（工事前）

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されています。2008年には文化庁の登録有形文化財に登録、歴史建造物としての価値も有する施設となっています。

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、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ました。

その結果、①、②の基準はクリアできたものの、③転倒では地域ごとの設計震度（鳥根県は中震帯地域）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りました。

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ますが、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し、登録有形文化財としての価値を著しく損ねるため、最善の対策とはいえません。

また、堤体補強対策として堤体上流側への増厚を検討しましたが、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

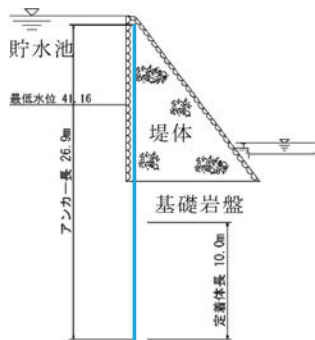


図-2 アンカー配置横断面図

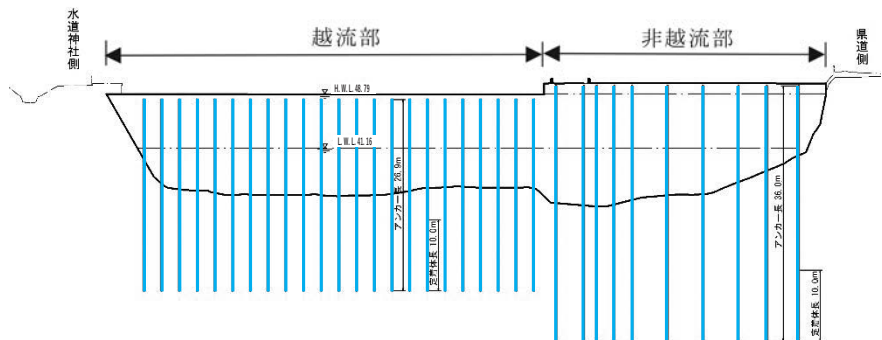


図-3 アンカー配置縦断面図

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、仮設にかかる費用が膨大となります。したがって、他工法による対策の検討も行いました。

他工法として考えられたのが、海外で事例の多い「堤体PSアンカー工法」です。堤体PSアンカー工法とは、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す（図-2、3）。

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ます。また、本堤上流側（貯水池側）での施工が不要であるため、水運用への影響が少ないと考えられます。

設計段階において、経済性、工期および水運用にかかる負担などを総合的に検討した結果、堤体PSアンカー工法が増厚案と比較し優位であると判断し、堤体PSアンカー工法による堤体補強を実施することとなりました。

3. 工事の実施について

(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ります。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、

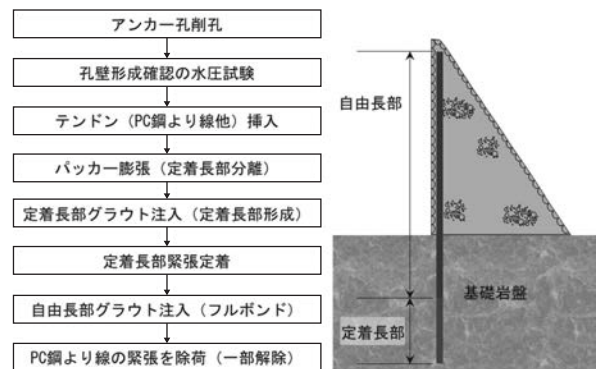


図-4 堤体PSアンカー施工フロー

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実施しました。そうして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いました。堤体PSアンカーの施工フローを図-4、工事全体の工程表を図-5、施工時の全景を写真-2にそれぞれ示します。

(2) 削孔方法の選定

削孔機的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となります。削孔方法はダウンザホールハンマー（空圧式）方式とロータリーパーカッション（二重管）方式を検討しました。

本工事の施工開始直後の非越流部3孔において、削孔状況を確認しました。削孔方法に関して比較検討したものを表-1に示します。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

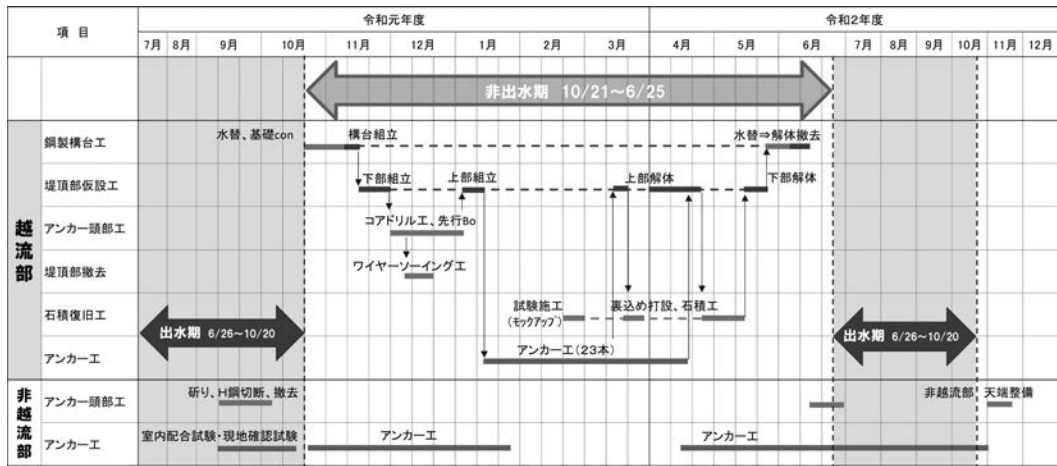


図-5 工事全体工程表



写真-2 施工時全景



写真-3 削孔状況

表-1 削孔方法の比較検討

| 項目 | ダウンザホールハンマー (空圧式) 方式 | ロータリーパーカッション (二重管) 方式 |
|------------|----------------------------|---------------------------------|
| 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 | ○ 削孔中ををを通じて、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 |

て選定しました (写真-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ています。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ました。

(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ました。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ました。全孔をプレグラウトすることで、各孔で1日多く施工日数を要しますが、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、

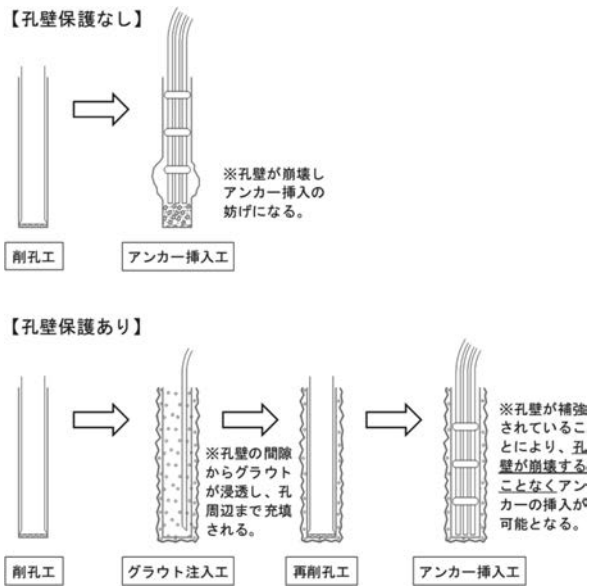


図-6 孔壁保護の効果

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掴み全体工程の管理精度を高めることが期待できます（図-6）。

(5) プレグラウトの評価

プレグラウト工法では、グラウトと再削孔を追加するため工程が1日多くかかることになりましたが、孔壁の崩落やテンドンが引っか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することができました。

施工サイクルの確立による全体工程の管理精度の向上と孔周辺の補強に寄与しました。

また、孔内の観察では既存の CCD カメラの他に、濁水中でも孔壁観察が可能な孔内観察カメラを用いて孔壁観察を行い、孔壁展開図を作成しました。設計地質図と孔壁展開図を比較することで実際の弱層位置を把握するとともにプレグラウトの必要性を示す根拠にもなりました（図-7）。

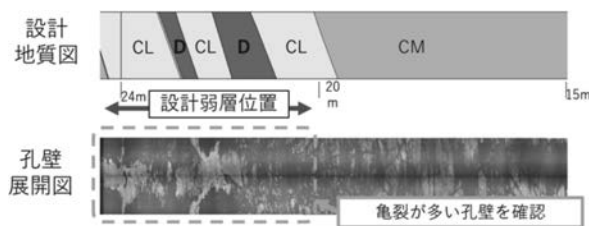


図-7 設計地質図と孔壁展開図（写真）

(6) 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、ダム堤体へは堤体下流の仮設栈橋に設置したラフタークレーンにより鉛直に吊り上げ、挿入しました。アンカー体の挿入後、定着長部にグラウトの注入を行い、定着長部の形成を行いました（写真-4）。



写真-4 PC 鋼より線

(7) 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、アンカー長の長いアンカーにおいて長期試験を行いました（図-8）。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ました。

長期試験は約2週間、実施しました。その実測結果より、最初は緊張力の低減速度が急となりましたが、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ました。

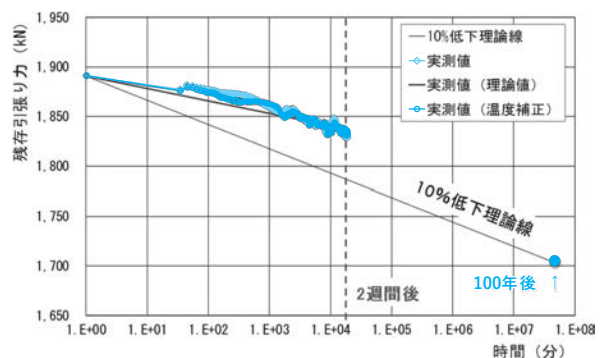


図-8 長期試験結果

(8) 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いました。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ました。

(9) 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ります（図-9、10）。

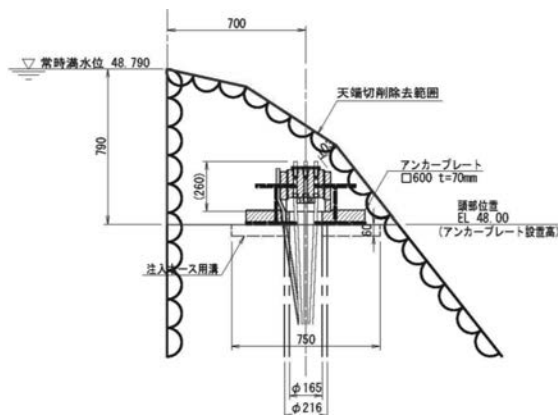


図-9 越流部頂部断面図

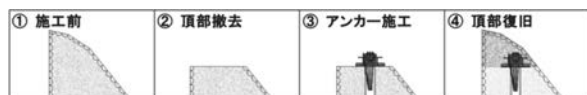


図-10 越流部頂部施工手順

石積みの施工は石工の能力に左右されるため不確定な部分がありますが、出来栄は工期および文化遺産としての景観に影響します。そこで事前に仮設ヤードにて同質石材での試し積みを行い、作業時間や出来栄などを確認しました。

既設の石積みはワイヤーソーイングにより切取りを行いました（写真-5）。しかし、ワイヤーソーイングでは切取り面が水平のため既設石積みの一部が残ってしまいます。そこで、ダム上下流面の凹部の石を人力で除去し、既存の石積み部の凸凹面を確保しました（写真-6）。



写真-5 既設石積み切取り面



写真-6 既設石積み撤去完了

4. おわりに

本耐震補強事業では、PSアンカー工法を国内で初めてダム堤体に採用しました。試験的な部分もありましたが、PSアンカー工法は完成後100年以上経過しているダムにおいても耐震補強に対応が可能であることが確認できました。

今回採用した工法での耐震補強事業の実施は、国内では初の試みであったため、設計基準等が整備されていない中でどのように進めていけばよいか、課題が山積していましたが、国土交通省国土技術政策総合研究所や一般財団法人ダム技術センターをはじめ、多くの関係機関の皆さまから助言やご指導をいただきながら実施することができました。

PSアンカー工法による耐震補強は、ダムを供用しながらの施工が可能であるため、当局の事例が、同様の問題を抱える自治体の皆さまのお役に立てれば幸いです。