

## 2. 「清水沢ダムの自然滝風の堤体改修」

執筆者：川崎秀明

【キーワード】 補修・補強、減勢工、自由越流、自然滝風、鋼繊維コンクリート（SFRC）

### 【概要】

清水沢ダムは、炭鉱関係の発電目的で1940年に北海道炭礦汽船（株）によって建設され、戦後は国の政策により農業目的も加えられたが、老朽化と発電専用化のため、発電所の全面更新と堤体の全面改修（頂部～下流面コンクリート補修、監査廊内計測設備一新、土砂吐き閉塞等）が北海道企業局によって2017～2022年実施された（ゲート撤去工事は国において実施）。清水沢ダムの諸元を表1に示す。

図1に堤体の劣化状況を示すが、下流面表層は凍結融解作用等によって全体的にモルタル分が流出し、粗骨材の露出が目立つほか、クラックが生じて部分的に欠損している箇所が多くあり、土砂吐きゲートは動作不良状態となっており、漏水量も多かった。

そのため、全面自由越流化のゲート撤去に伴ってのダム堤体コンクリート表面補修と欠損部の処理、土砂吐きの閉塞が計画されたが、複雑な流下形状からも堤体改修をどうするかはかなりの難問であり、北海道企業局の相談を受けて、ダム技術センターは設計における技術評価と技術支援を行った。

設計に際しては、補修の安全性と経済性重視と併せて、豊かな流況下に現流下形状を重んじた景観重視の設計が行われ、これによって自然滝風の流下が常時見られるダムが出現することになった。ちなみに、事業背景として、上流に夕張シューパロダムが2015年に完成し、下流への水補給増大によって越流頻度が25%増加する等の流況改善があり、社会的にも水力発電の価値が見直されつつあり、ダム管理者としても増電と堤体修復を兼ねた全面更新を行うには好機であった。

堤体工事は、発電所関係よりも少し遅れた2019年度秋に開始された（2018年の北海道胆振東部地震も影響）が、土砂吐き閉塞や複雑かつ薄い増厚コンクリートなど過去に経験の無い工種が多くあり、工期も水補給と融雪出水対応のために施工可能月が厳冬期を含む10月下旬～3月上旬の実質4ヶ月半に限られる等の

表1 清水沢ダムの諸元

所在地	北海道・夕張市
目的	発電
現管理者	北海道企業局
竣工	1940年
ダム型式	重力式コンクリートダム
発電所更新及び堤体改修工事	2017～2022年
堤高／堤頂長／堤体積（改修後）	27.1m／91.8m ／16（18.3）千m <sup>3</sup>
流域／湛水面積（改修後）	483.6km <sup>2</sup> ／ 14 ha
最大出力（改修後）	3490KW

下流面の状況→

上流面の状況↓



図1 清水沢ダムの補修工事前の状況（撮影 2013年9月4日）

厳しい制約条件があった。

## (1) 堤体の健全性

堤体の設計に先立って、健全性に関する諸調査が実施され、図 2 に示すように、表層、監査廊等における劣化の進行状況と範囲が確認された。図 3 に劣化の主要箇所を示す。

頂部～下流面劣化の状況は、コンクリート表層の侵食・剥離による粗骨材の露出、クラック箇所が多くあり、開口亀裂周辺は漏水によって侵食されている状況にあった。S43年の十勝沖地震時に発生した継目開口と発生クラックの補修済み5箇所（グラウチングによる止水と表面補修）は、部分的に欠損していた。

上流面については、常時水位の関係で越流頂から上位標高の劣化状況が確認されたが、門柱の錆び等の劣化が進み、門柱の水面周辺では表層の侵食・剥離による粗骨材の露出が大きく進んでいた。

監査廊内も床版と内壁コンクリートの侵食・剥離が進んでおり、既存の計測設備は機能していない状況にあった。ただし、現在の水質はほぼ中性で、鉾山閉山後の水質はかなり改善されている。

劣化の原因は、凍結融解作用と流水による摩耗が想定されたが、上流面や監査廊内のコンクリート侵食状況から炭鉱地域特有の酸性水質による侵食の影響も大きいと想定された。ただし、堤体の安定性に影響を及ぼすような大きな断面欠損は認められず、断面欠損を考慮した安定計算によっても所要の安全性を有することが確認された。

上述の劣化の進行と想定原因を踏まえると、このままでは将来的に劣化進行が促進され、堤体の安定性に影響を及ぼす恐れがあることから、堤体堤頂部・下流面全体の表面劣化対策、監査廊の補修・計測設備設置が必要と判断された。また、凍結融解に伴う劣化防止のため、漏水や浸透水を速やかに排水する処理（通廊内の排水孔設置、開口亀裂部の排水等）が必要と判断された。

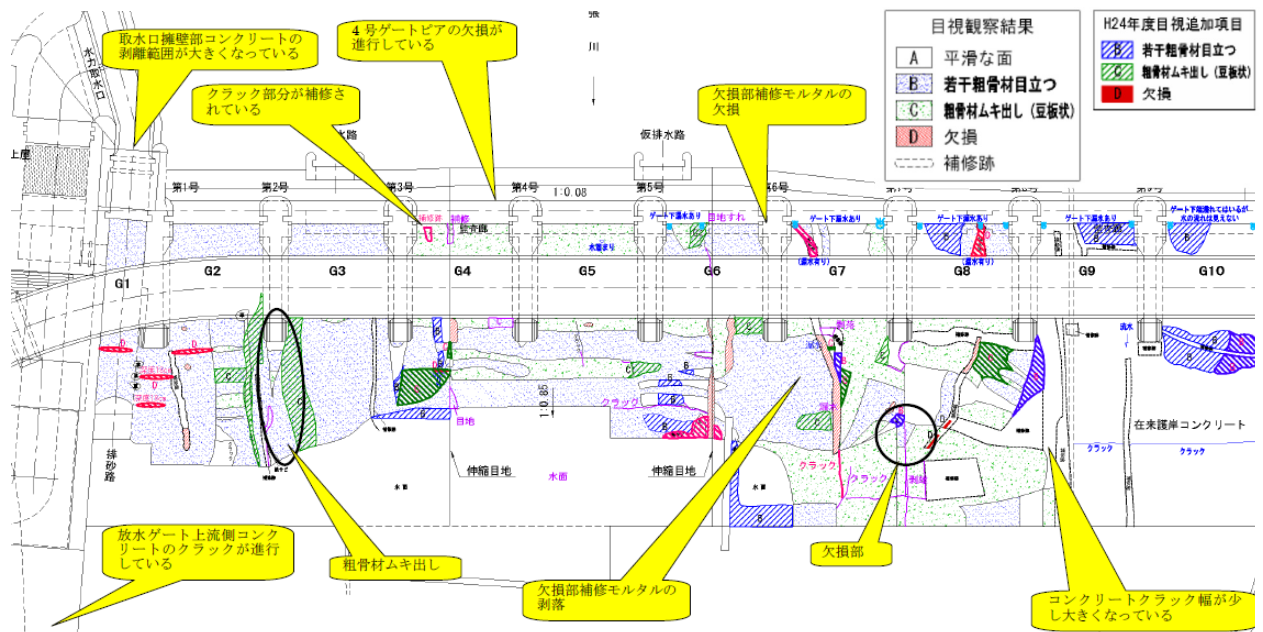


図 2 ダム本体（頂部～下流面）の表面劣化状態目視観察結果（平成 25 年度）



図 3 下流面の劣化状況



(2) 堤体下流面補修の形状設計

堤体越流頂の形状は、堤頂部の耐久性と施工性を考慮して台形越流頂を使用した。台形越流頂形状は流量係数がやや不利になるが、ゲート撤去後の全面越流の流下断面としては、十分であることが確認されている。

また、下流面の補修形状については、できるだけ多面形組合せによって複雑な現状形状を再現することで、コンクリート増厚高が不必要に大きくなることを避けた。また、既設ダム の開口亀裂やクラックを横継目として活かして、非直線の横継目ラインを採用した。さらに、下流の島状の岩も残して減勢機能を持たせることにした。これらのことは、水脈の下流面流下を自然な滝景観とすることにもつながっている。

堤体補修の最大断面の横断面を図4に示すが、新コンクリート増厚高は、新旧コンクリートの付着や表面補修の施工性を考慮して標準的に0.5m以上を確保することとした。ただし、図5に見るように多面形を多用したので場所によっては増厚高異なり、打設区画も一様ではない。旧コンクリートの研り深は中性化調査から3cm以上としたが、劣化部については5cm以上とした。

最終的には、レベル2地震動耐震性能照査によって、当補修断面の妥当性が確認されている。

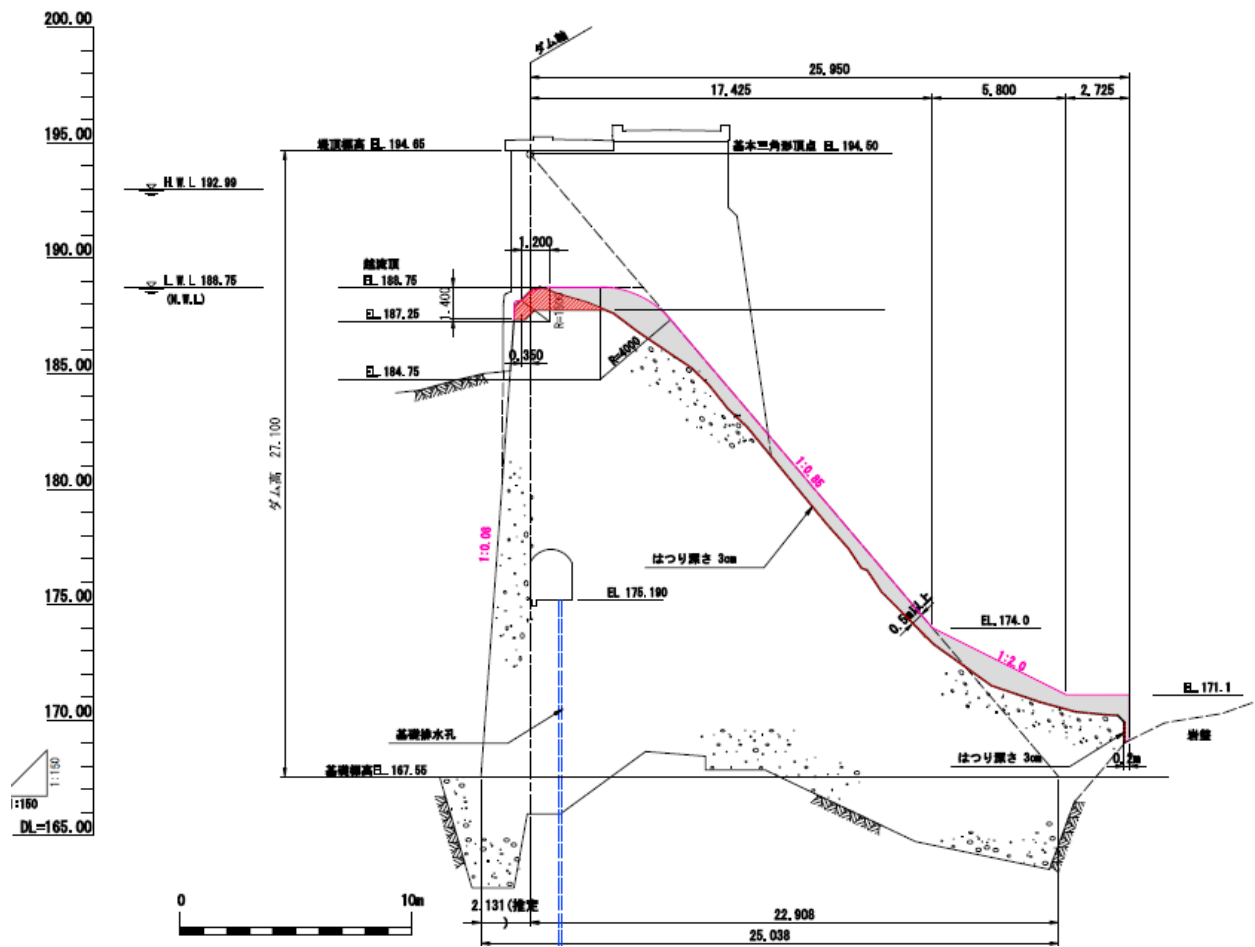
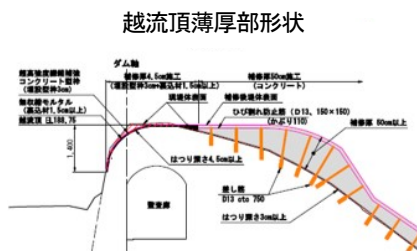


図4 清水沢ダム最大断面図

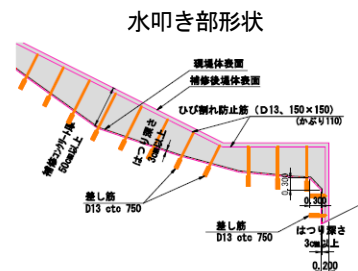
凡 例	
	はつり工(最小はつり厚3cm)
	[薄厚部]補修厚4.5cm以上(超高強度繊維補強コンクリート型枠) [既設撤付]補修厚5cm以上(高強度セメント砂浆)
	補修厚50cm以上(コンクリート)



越流頂標準部増厚形状



監査廊に近いため増厚を最小限とした



下流端は河床との擦りつけが必要

図5 各部断面図

場所によって異なる増厚形状 さし筋(橙色)

(3) 仮締切の方法及び施工の手順

堤体改修は、非出水期の10月下旬～3月上旬の年工期で実施され、1年目の2019年度は土砂吐き部の閉塞が行なわれ、2年目の2020年度は右岸側の半川締切りによる堤体補修（4門分）、3年目の2021年度は左岸側の半川締切りによる堤体補修（6門分）が行なわれた。

図6の3年目の左岸側補修は、①鋼製締切りゲートの設置 →②工事用道路・作業ヤードの造成 →③大型土のう締切りの設置 →④ダム堤体補修（右岸側→左岸側） →⑤大型土のう締切りの撤去 →⑥作業ヤード・工事用道路の撤去 →⑦鋼製締切りゲートの撤去の施工手順で行なわれた。

左岸側の仮締切は、10門あるゲートのうち中央部の5号～7号の3門を鋼製締切りゲート、8号～10号の3門を大型土のうによって行われた。鋼製締切りゲートは、今回工事のために特注したもので、図7に示すように軽量小型化された簡易ゲートであり、施工性、止水性、経済性ともに問題なかった。従来は転流工のために大型の高価な締切り設備が必要とされる場合が多かったが、凡そ5m以下の水圧条件であれば、今回のような小型で軽量の仮締切ゲートを用いることで機動性のある経済的な仮締切が可能になると考えられる。



図6 左岸側の半川締切りによる改修直前の状況（右岸側は前年に改修終了） R3年10月28日撮影



図7 左岸側仮締切設置後の堤体上流側の状況 2021年12月2日撮影



#### (4) 鋼繊維コンクリート (SFRC) の採用

従来ダムコンクリートの薄い増厚においては、接着面一体化のためのさし筋と増厚部表面のひび割れ防止のための表面格子筋はほぼ必須である。しかし、北海道企業局から、これらの打設前の作業は煩雑で手間もかかるため冬期4ヶ月に制限された工程が間に合わないとの相談を受けて、鋼繊維コンクリート (Steel fiber Reinforced Concrete、以降はSFRC) を用いることを助言して、検討の結果、SFRCが採用された。

SFRCは、引張り強度と靱性に優れ、ひび割れが生じにくく打設面での付着力も強い。そのことで表面格子筋省略と打設区画拡大が可能となり、所定の品質を確保した上で工期内に打設を終えることができた。

SFRCの品質については、付着性の高い波状のSF製品 (図8左) を採用して適切な配合が定められ、室内試験によって強度が確認された (図8右)。また、増厚高0.2~1mの実施工においても施工性と仕上がりに問題ないことが確認され、打設1年後も、図9に示すように20cm増厚のコンクリートに表面ひび割れは見られず、既設コンクリートと十分に付着している状況が確認された。さらに、錆び対策として、表面に含浸材を塗布したが、現在まで発錆は見られない。

経済性については、SFRCは高価であるが、上記の施工省力化との相殺関係にある。なお、配合試験を繰り返し行って最小限の鋼繊維混入量が採用されたが、施工性保持のためにも鋼繊維は少ない方がよい。

以下に、SFRCの適用性について記すが、今回事例は今後の増厚工法の参考に大いになると考えられる。

#### 【SFRC (鋼繊維補強コンクリート) の一般的特徴とダムへの適用性】

- ① 強度等： 繊維混入によって接着面において剥がれにくい (接着面の一体化)。靱性があるため表面ひび割れが入りにくい (表面筋の省略化)。強度が高いため増厚高も薄くできる可能性がある。
- ② 圧送性： ポンプ打設が用いられることが多いが、鋼繊維を入れるほど流動性が低下し、圧送性が低下する。振動・混練りのかけすぎも鋼繊維を偏らせるので圧送性を低下させる。
- ③ 耐摩耗性： SFRCは舗装コンクリートやトンネル覆工に使われてきた材料だが、摩耗に強いため洪水吐きにおける流下面や減勢工側壁への使用にも適している。
- ④ 経済性： 鋼繊維の価格が高いため、SFRCの $m^3$ 単価は値段は一般コンクリート単価の1.5~2倍である。ただし、施工省力化と増厚高減による増厚体積縮小によって相殺できる可能性が高い。
- ⑤ 外観： 表面の鋼繊維が錆びやすい。防錆のためにステンレスSFや樹脂系繊維を使う選択もあるが、値段がより高い。清水沢ダム増厚表面の今後の発錆状況に注目すべきである。



図8 補修に用いた鋼繊維サンプル (左) と清水沢ダムSFRCの圧縮試験後の供試体 (右)



波形状によって付着を強くしている



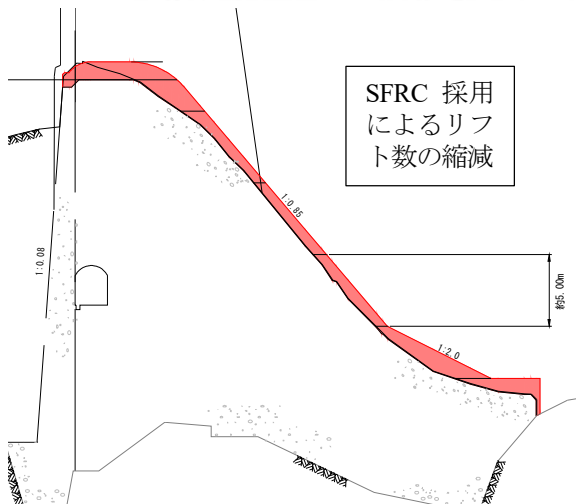
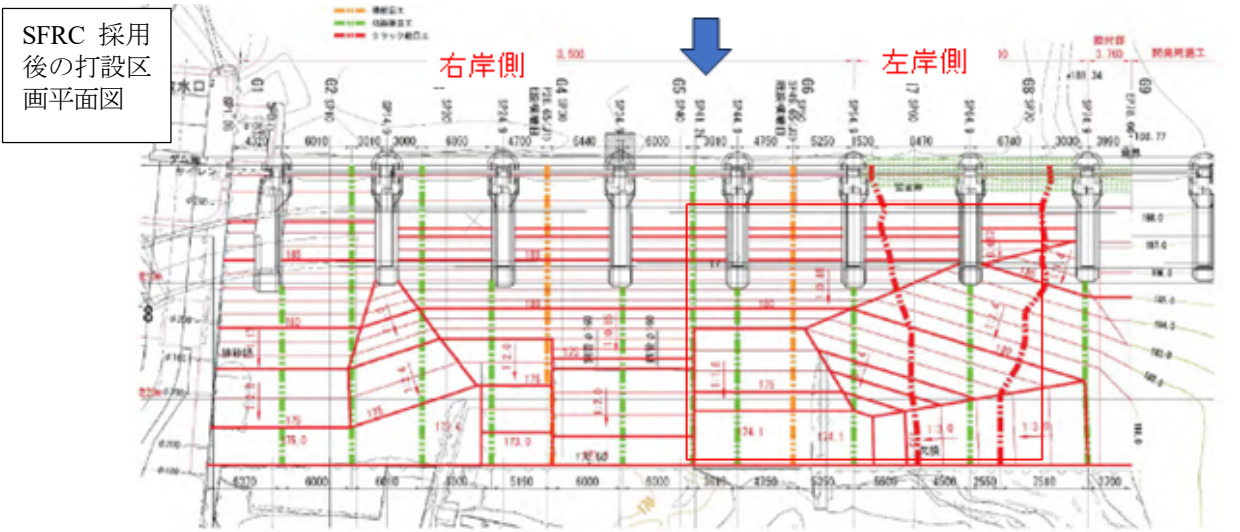
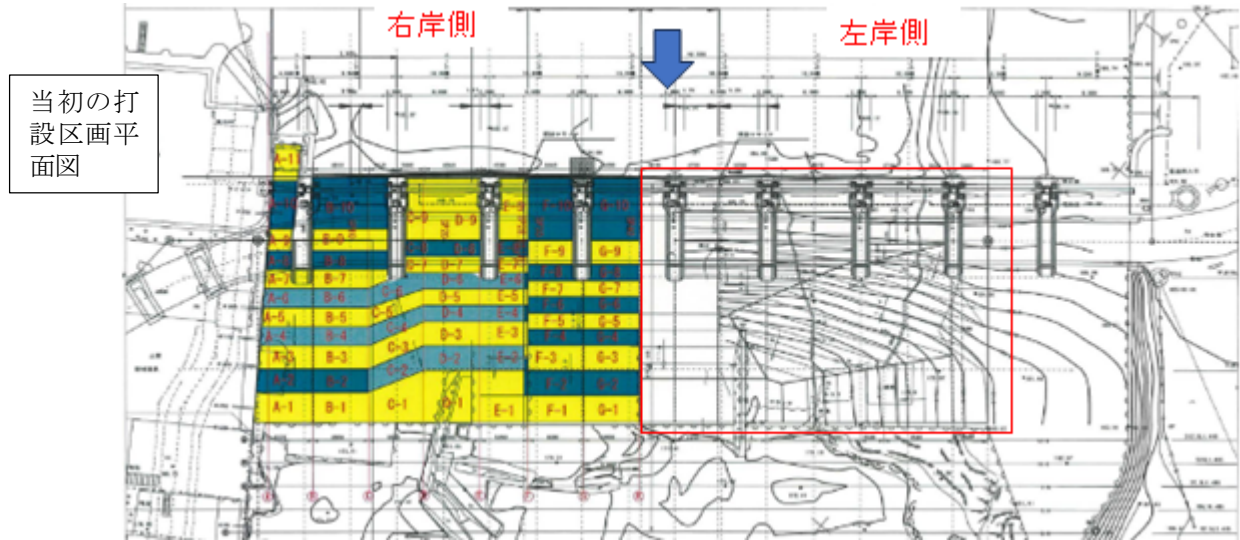
図9 増厚50cm部のSFRCの打設1年後の状況 (手前は当年度打設面) 2021年12月



(5) SFRC 採用による打設区画の拡大

SFRC の室内試験の結果、強度と靱性の増が確認されたが、鋼繊維が分散していることと相まって、表面ひび割れを大きく減らせることができると考えられる。そこで、表面格子筋省略以外に打設区画を拡大して打設数を減らすことで、工期を更に短縮することにした。

当初の打設区画平面図 (図 10 上段) を見直した結果を図 10 中段に示すが、既存堤体の局面形状に合わせて、区画を拡大するとともにさらに多様化した多面形を用いている。



工事用足場兼雪囲いの設置状況

図 10 SFRC 採用による打設区画の拡大と現地状況



(6) SFRC の打設状況

図 11 に 2021 年度冬の左岸側施工状況を示す。作業は、既設ダム打設面の研り（手動ハンマー）、表面格子筋の設置、足場・型枠・横継目部の設置を経て、打設となる。SFRC コンクリート製造は、ミキサー車搬入のコンクリートに鋼繊維を現地混入して短時間で練り混ぜることで行われ、ポンプ車に移送して、ポンプ車から打設面までコンクリートが運搬されることで打設された。

なお、SFRC は通常のコンクリートと比べて圧送性が低下するとともにコンクリートの圧送性も温度が低下すると悪化するが、配合上の工夫と鋼繊維の量を最小限とすることによって、現地では冬期における良好な圧送性が保持された。今回施工ではさし筋を残したが、重力荷重のかかりやすい水平に近い接着面等の場合は、さし筋についても省略できる可能性が高く、それによってさらに省力化と工程短縮が可能となる。



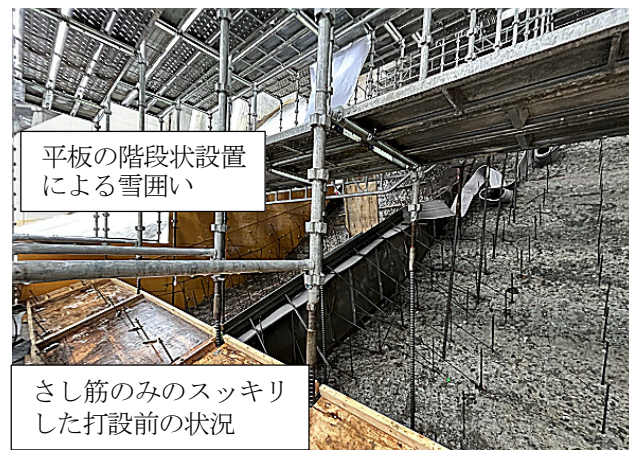
堤体下流面の表面研り (3cm 以上)



表面ひび割れ防止用の格子筋の設置状況



横継目部の止水板設置後の打設直前状況



平板の階段状設置による雪囲い

さし筋のみのスッキリした打設前の状況



ミキサーへの鋼繊維の投入状況



ミキサー車からの SFRC 供給によるポンプ車による打設状況

図 11 2021 年度冬の左岸側施工状況 表面研り後の打設面



## (7) 流水の流下状況

図 12 は常時における越流水の流下状況であり、図 13 は完成 1 年前における小出水時の流下状況であり、両者とも動画からの写真である。これらから、豊富な流況下において自然滝風の景観が保持されているのが判る。特に、左岸側からの斜交する向きの水脈によって複雑な減勢が為されるとともに、直下流の島から下流では白波は収まっており、小出水時ではあるが効果的に減勢されていることが判る。直下流の島については、減勢を複雑にしているが、洪水流の島への衝突によって流下量が多いほど減勢効果が高いことが予想される。

清水沢ダム改修の完成後間もないが、すでに地元やダム愛好家の方々において、自然滝に近い景観が話題になっていることから、今回設計は、ある程度狙い通りの効果を得つつあると思われる。



図 12 常時における越流水の流下状況 2022 年撮影



図 13 小出水における越流水の流下状況 2021 年撮影



## (8) おわりに

清水沢ダム堤体改修の計画段階では、マニュアル通りの所定の減勢効果を得るために、下流面を直線化し直下流の島を撤去して通常の副ダムつき跳水式減勢とする案もあったが、実際の設計では、景観性と経済性を重視して、曲面形状と島を残した複雑な流況を持つ減勢を採用した。これは、洪水流下の安全面において問題ないという全体判断に依っているが、今後も洪水出水後の目視点検によって、下流河岸を含めた洗掘や侵食の有無を確認しておくことが重要である。

最後に清水沢ダム堤体改修の経験から、自然滝風の洪水吐きの設計のコツについて以下に整理した。設計の前提として以下の条件が満足されれば、自然滝風の洪水吐き設計を試みるのがよいと思われる。

- ① 落差エネルギーが過大でないこと
- ② 普段の流況が豊かであること
- ③ 自由越流式（ゲートレス）であること
- ④ 堤体直下流での減勢に適した淵や露出岩があるほどよい

設計上の工夫点として以下がある。

- ① 流下面を一樣な平面にせず、多面形を多用してなだらかにする。
- ② 表面劣化の度合や流線形の変化に応じて増厚高に変化をつける。
- ③ ①、②のために、SFRCを使うことを検討すべきである。
- ④ 既設ダムの開口亀裂等を残して、非直線の横継目ラインを採用する。
- ⑤ ダム軸方向の流線方向を取り入れて複雑な流れにする。
- ⑥ 直下流の露出岩を残して減勢に利用する。
- ⑦ 手間がかかり過ぎるが、表面に大きな石を配置して打設することも有効である。

## 謝辞

北海道企業局発電課の寺崎課長をはじめ歴代課員各位のご協力とご理解に心から感謝申し上げます。また、設計を担当された日本工営(株)、施工にあられた三鈇建設(株)、(株)西村組、タカハタ建設(株)の関係各位のご努力に敬意を表します。

## 参考資料

工藤和法、金子弘幸、「清水沢ダム堤体補修工事」、ダム技術 No.441、2023年6月