

矢木沢ダムにおける劣化コンクリートの補修事例

○山本 晃世¹・中原 忠義²・中尾 武史³

概要：

管理開始から 51 年を迎えた矢木沢ダムは、堤体の他、洪水吐き及びその他周辺の構造物において、コンクリートの劣化が顕在化してきている。

この要因は、矢木沢ダム周辺は冬季の多くの積雪を伴う厳しい気象環境とともに、堤体下流面が南面であることから、コンクリート中の水分の凍結融解作用及び融雪による水分の進入に起因する凍害によるものであると考えられてきた。また、詳細調査の結果、アルカリシリカ反応（以下「ASR」という。）も劣化の要因である可能性が高いことが確認された。

コンクリートが劣化しひび割れが発生すると、そのひび割れから水分が進入し、更なる劣化を招くとされていることから、適切に対策を施す必要がある。

本稿は、凍害及び ASR により劣化したと考えられるコンクリートの補修を行うための調査・設計及びその施工について、近年施工した洪水吐きコンクリートの事例を基に報告するものである。

キーワード：凍害、ASR、複合劣化、断面修復、含浸材塗布

1. 矢木沢ダム及びその周辺の気象環境

矢木沢ダムは利根川本川の最上流部に建設された多目的ダムであり、ダムの形式はアーチ式コンクリートダム、重力式コンクリートダム、フィルタイプダムの3タイプから構成される。重力式コンクリートダムの中央部に越流堤を設けて洪水吐きとし、約380mのコンクリート水路で矢木沢川に放流する（図-1）。

矢木沢ダムは日本有数の豪雪地帯に位置しており、過去 5 カ年の矢木沢ダム地点における最大積雪深の平均は約 247cm である。この豊富な雪が関東平野の貴重な水資源となっているが、冬季の気象環境は厳しく、矢木沢ダム地点における過去 5 カ年の冬季（12 月から翌年 2 月）最低気温の平均は約-5℃であった。

また、堤体下流面、洪水吐き等のコンクリート構造物が南面であることから、晴天時の日中は日射によりコンクリート表面の温度が上昇する。

このため、コンクリート中の水分の凍結融解作用及び融雪による水分の進入により、凍害劣化が生じやすい環境となる。

管理開始から51年目を迎える矢木沢ダムは冬季の厳しい気象条件に繰り返し曝されており、堤体、洪水吐き等のコンクリート構造物の劣化が顕在化している。

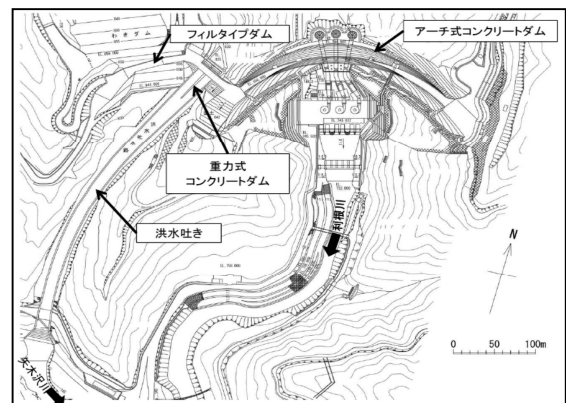


図-1 矢木沢ダム平面図

2. 劣化コンクリートの調査経緯等

矢木沢ダムにおけるコンクリートの劣化に対する調査は、本体コンクリート打設完了後5年目の昭和46年に、堤体下流面でヘアクラックが確認されたことにより調査を開始した。平成15年には有識者との意見交換も踏まえ、堤体下流面の劣化の原因は「矢木沢ダム特有の気象条件と骨材性状のもとで、堤体コンクリート表面に付く水分の凍結・融解が繰り返されたことによる複合的な要因」と整理され必要な対策を実施している。

洪水吐きコンクリートにおいては、昭和56年から調査を開始し、クラックの発達状況を中心に観察が行われ、

1. 沼田総合管理所 管理課 主幹 2. 川上ダム建設所 副所長（前 沼田総合管理所 管理課 管理課長）
3. 沼田総合管理所 矢木沢ダム管理所 副参事

平成26年度には詳細な調査を実施し、劣化の原因は凍害及びASRの複合劣化の可能性があることが判明した。

この調査結果を踏まえて、洪水吐きコンクリートの補修設計を行い平成28年度から平成29年度にその対策を実施している。そのため、本稿では、近年調査・設計及び対策を実施した洪水吐きコンクリートの事例を基に、劣化コンクリートの補修事例を報告する。

3. 洪水吐コンクリートの劣化状態調査とその評価

3.1 調査方針

堤体下流面の劣化の主たる原因は、表面付近における凍結融解によるものと整理されていたことから、洪水吐きコンクリートについても劣化原因は同様と考え次の調査を実施した。

3.2 コンクリート表面部の状態確認

コンクリート表面部のコンクリート内部の劣化状態を把握するため、デジタルカメラによる画像解析を行った。写真はあらかじめ測量により定めた位置から撮影し、撮影した画像については画像編集ソフトを用いて編集した。その後、ひび割れ等外観で確認出来る劣化状況をスケッチし、スケッチした結果を踏まえて洪水吐きコンクリート全区間の劣化程度を状態①～④の4区分に分類した(表-1)。

表-1 劣化程度の区分

劣化区分	特徴(外観)
状態①	健全
状態②	コンクリート表面の劣化が進行し美観を損なう状態
状態③	コンクリート表面の劣化がかなり進んでいる状態
状態④	最も劣化の程度が高い状態

3.3 コンクリート内部の状態確認

調査に先立ち調査場所の選定を行った。調査場所は表-1で区分した①～④の各状態から1地点選定した。

なお、コンクリート打設時期等を考慮して、なるべく均一な条件でコンクリートが打設された地点を選定した(写真-1)。

3.2.1 表面走査試験による劣化深調査

(1) 調査目的等

コンクリート表面部の劣化深さを非破壊で推定する調査である。

コンクリート表面に超音波の発・受振子を設置し、受振子を発振子から遠ざけた際の超音波伝達時間を計測し、その変化により表面部の劣化深さを推測する。

これは、超音波は劣化部分をなるべく迂回し、健全部

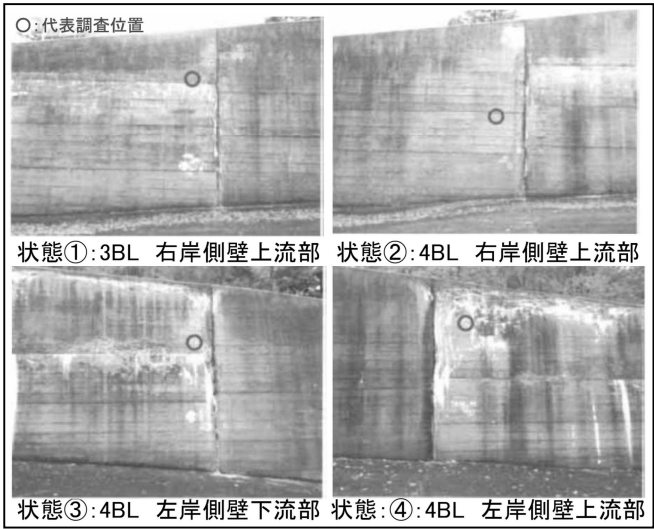


写真-1 調査場所の選定

を伝播経路に選ぶという特徴を生かした調査であり、コンクリートの表層に劣化した部分が存在する場合は、発・受振子間の距離の増加に対する超音波の伝搬時間の増加が小さくなる(図-2)。このため、コンクリート表面から内部に向かい劣化が進む凍害の状態を確認するために有効な調査であると考えられている。

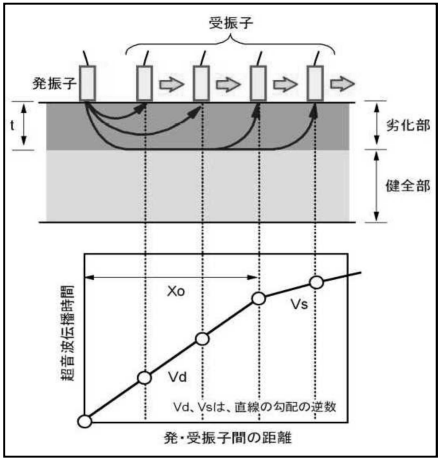


図-2 表面走査試験

(出典：参考文献1) 図 4. 11)

(2) 調査結果

状態①～④のいずれにおいても発・受振子間の距離の増加に対する超音波の伝搬時間の増加割合の低下は確認出来なかった。

このため、この調査からは凍害やその他の劣化状態を確認することは出来なかった。

3.2.2 はつり調査

(1) 調査目的等

コンクリート主筋位置まではつり、コンクリート内部の状況や鉄筋の腐食状況等を目視で確認する。

(2) 調査結果

調査結果は表-2のとおりである。

表-2 はつり調査結果

劣化区分	はつり時の硬さ	鉄筋の状態
状態①	表面からはつり面まで一様に硬い	錆等無く健全
状態②	表面から30mm前後まで硬いが、それ以降はもろい	錆等無く健全
状態③	表面からはつり面まで一様に容易にはつれた	点錆を1箇所で確認
状態④	一部表面に硬い箇所はあったが、大部分は容易にはつれた	点錆を複数箇所で確認

3.2.3 コアリング及び超音波伝達試験

(1) 調査目的等

コア（φ150mm）を採取しコンクリート内部の劣化状態を確認するとともに、コア直径方向の超音波伝達試験を、深度方向におおむね20mmピッチで実施し劣化状況を確認した。

(2) 調査結果

状態①～④のいずれにおいても参考文献1)にて示されている、健全と判定する基準速度を上回ったが、状態③及び④のコアでは内部ひび割れによりコアが欠損し、伝達速度の測定が出来ない箇所が多数あった。

また、コアの状況については、状態①では劣化が確認されなかったが、状態②～④では確認され、内部ひび割れ発生箇所にアルカリシリカゲルの反応リムが確認された（写真-2及び写真-3）。

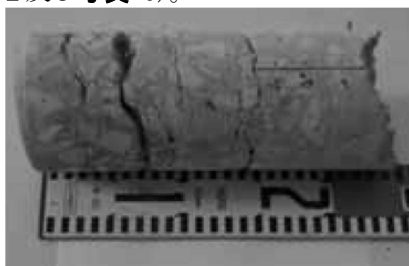


写真-2 採取コア（状態④）

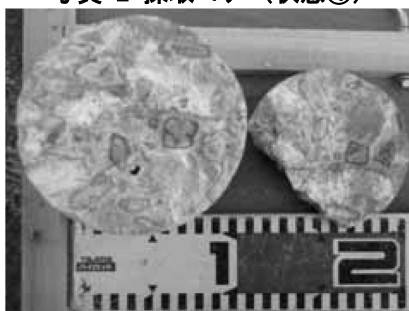


写真-3 アルカリシリカゲルの反応リム（状態③）

3.2.4 調査結果の総評

表面走査試験及びはつり調査の結果により、劣化原因は凍害に限らないことが判明した。これは劣化原因が凍害の場合、その劣化は表面が起点となることから、表面の劣化度と凍害の進展には高い相関があるのが一般的だが、その相関が確認出来なかったためである。

また、コアリングによりアルカリシリカゲルの反応リムが確認されたことから、ASRによる劣化が進行してい

ると判断することが合理的な結果となった。

しかし、矢木沢ダム周辺の厳しい冬期の気象条件や、これまでの堤体下流面の調査結果を踏まえると、今回の詳細調査結果で凍害による劣化を否定することはできない。

また、凍害とASRはいずれも水が劣化の誘因となることから、洪水吐きコンクリートの劣化原因は、凍害又はASRもしくはそれらの複合劣化による可能性があるものと考え対策工の設計を行うこととした。

4. 対策工の選定

4.1 対策工選定における課題

凍害及びASRの複合劣化によるおける対策工の選定手法は、参考文献を含む様々な技術図書であまり整理が進んでおらず、明確に確立されていないという課題がある。

そこで矢木沢ダム洪水吐きでは次の通り対策工の選定を行うこととした。

- ① 凍害及びASRのそれぞれの劣化原因に対応する劣化程度を整理
- ② ①で整理した劣化程度に対応する対策工を整理
- ③ ②で整理した対策工が凍害とASRで異なる場合はより確実な工法を採用

このように整理した理由は、凍害及びASRの個別の対策工は確立されており、いずれも水が劣化の誘因となるためである。

4.2 劣化程度の評価

劣化程度は参考文献2)を基に整理した。

整理した結果は表-3のとおりである。なお、劣化程度が低い順に潜伏期、進展期、加速期として整理した。

表-3 劣化状況の評価

劣化区分	劣化状態	凍害の劣化程度	ASRの劣化程度
状態①	外観上の変状が認められない。	潜伏期	潜伏期
状態②	外観上の変状が認められるが、鉄筋の腐食はない。	進展期	進展期
状態③	外観上の変状が認められ、鉄筋に点錆を確認したが、断面欠損はなく、腐食による耐荷性の低下は考えにくい。	加速期	加速期
状態④			

4.3 対策工の整理

対策工の選定は、参考文献3)を基に凍害及びASRのそれぞれの劣化原因に対応する補修工法を劣化区分毎に整理した。その後、それぞれの補修工法の中で最も安全な工法を選定した（表-4）。

今回全ての状態において含浸材塗布を選定する計画とした。

これは、洪水吐き背面が埋戻し土であり背面からの水分の進入が想定されたためである。通気性に乏しい表面被覆工法では、コンクリート表面より水分を逃せないため、より通気性のある含浸塗布工を選定することが適切であると考えた。

表-4 工法選定

劣化区分	凍害劣化による補修工法	ASR劣化による補修工法	今回選定した補修工法
状態①	潜伏期 ・表面被覆 ・含浸材塗布	潜伏期 ・表面被覆 ・含浸材塗布	含浸材塗布
状態②	進展期 ・表面被覆 ・ひび割れ補修 ・断面修復	進展期 ・表面被覆 ・ひび割れ補修 ・含浸材塗布	含浸材塗布 + 断面修復
状態③ 及び 状態④	加速期 ・表面被覆 ・ひび割れ補修 ・断面修復	加速期 ・表面被覆 ・ひび割れ補修 ・断面修復	含浸材塗布 + 断面修復

5. 対策工の施工状況

5.1 断面修復

断面修復は、はつり除去を行い、はつり深さが 30mm 程度の場合はコテで仕上げる左官工法を、はつり深さが 150mm 以上である場合は、型枠を用いてグラウトを充填する充填工法により補修を行った（写真-4 及び写真-5）。



写真-4 左官工法

写真-5 充填工法

いずれの工法も断面修復材は、乾燥収縮が小さなポリマーセメント系充填モルタル材を使用した。

また、セメントもしくはグラウトの付着をよくするため、はつり後に高圧洗浄にてはつり面を洗浄するとともに、プライマーを塗布した。また、はつり面が必要な表面付着強度を有していることを確認した。

なお、鉄筋の露出及び発錆箇所を確認した場合は、ワイヤーブラシでケレンし、粉塵清掃後防錆材を塗布した。

5.2 含浸材塗布

含浸材塗布は、含浸材が確実に浸透されるよう高圧洗浄後、複数回に分けて塗布した（写真-6）。なお、今回施工した範囲では試験的にシラン系含浸材とけい酸塩系含浸材（反応型）の 2 種類の含浸材を使用した。

シラン系含浸材はコンクリート表面部に撥水性を付与させることで水分の進入を防ぐ効果を有する。形成された撥水層はコンクリートの細孔を閉塞しないことから、

コンクリート内部の水分を発散することが可能な特徴を有しているとされている。

けい酸塩系含浸材（反応型）は、表面部コンクリートを緻密化することで水分浸入を抑制する効果を有する。コンクリート中のセメント水和物と反応した残りの成分が、一時的に乾燥して固化するものの、水の供給により再溶融するため、施工後に生じたひび割れにも閉塞する効果が期待できるとされている。

けい酸塩系含浸材（反応型）はシラン系含浸材と比べコスト面で有利であることから、地下水の影響を受けにくい洪水吐き中壁部の一部について試験的に使用した。



写真-6 含浸材塗布

6. まとめと今後の取組み

矢木沢ダムにおける劣化コンクリートの補修事例として、劣化状態を把握するための調査方法及びその結果を報告するとともに、凍害と ASR との複合劣化による対策工法の設計・施工状況について報告した。

今後は、採用した補修方法が劣化現象の抑制に効果があることを確認した上で、経済性も含めて適切な方法を選択し施工していく。特に含浸材塗布については 2 種類の材料を使用したことから、調査及び観察を続け、適切に使用材料を選定する必要がある。その後、劣化程度と重要度等を考慮して、洪水吐きコンクリートの補修を順次行う予定である。

また、ダム本体やその他周辺のコンクリート構造物においても必要な調査を継続して行い、その結果を踏まえ必要に応じて対策工の設計・補修を行う予定である。

参考文献

- 1) 凍害が疑われる構造物の調査・対策手引き書（案）平成 23 年 10 月 独立行政法人 土木研究所寒地土木研究所
- 2) 2013 年度制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕平成 25 年 10 月 公益社団法人 土木学会
- 3) コンクリート診断技術 '12 公益社団法人 日本コンクリート工学会