

## 5.1 総合点検に関する検討

研究年度：平成26年度～平成30年度

研究分野：既設ダム の 維持管理に関する調査研究

調査研究名：総合点検に関する研究

研究者名：山岸勝俊\*、高須修二

### 【要約】

本研究は、これまでにダム技術センターが実施、関与したダム総合点検の評価結果を整理、吟味して、ダム総合点検で着目すべき課題、課題の調査方法そして調査結果の評価方法について検討すること及び劣化状況把握のための技術の調査により、今後の合理的な総合点検の実施に寄与することを目的としている。

平成26年度は、過去の総合点検の評価結果を踏まえて着目すべき課題を抽出し、平成27年度は、抽出した課題のうち、「基礎排水孔の機能評価」、「着岩部漏水の水質分析と漏水経路の評価」、「側溝堆積物の成分分析と評価」について検討を行った。また平成28～29年度は、重力式コンクリートダムの課題抽出及び追加調査状況より、ダム総合点検の動向について検討を行った。

平成30年度は、当該年度にダム技術センターが関与した総合点検における課題抽出の中で、特徴的・特異的な事項として、堤体コンクリートや洪水吐き導流壁コンクリート等の劣化に関する検討結果を整理し、報告するものである。

### 【キーワード】

既設ダム、ダム総合点検、土木構造物、コンクリート、凍害劣化、アルカリ骨材反応

### 【背景・目的】

ダムは、治水・利水など極めて社会的影響度の高い機能を有する重要な社会資本である。国土交通省所管ダムにおいて、現在、管理開始後50年以上を経過しているダムが全体の約10%、30年以上を経過しているダムが約50%を占めており、今後、経年的な劣化・損傷が顕在化するダムの増加や設備の維持・修繕にかかる維持管理コストが増加していくことが考えられる。ダムは、長期間にわたり維持管理・運用していかなければならない重要な施設であるため、劣化・損傷の状況を早期に把握し、適切な時期に必要なに応じた補修を行うことが重要で、このことが、トータルとして維持管理費用の最小化を図り、長期的なダムの安全性と機能保持につながるのことから、ダム総合点検が制度化されることとなった。

本研究は、これまでにダム技術センターが実施または関与したダム総合点検の評価結果を整理・吟味して、ダム総合点検で着目すべき課題や課題の調査方法、調査結果の評価方法について検討すること及び劣化状況把握のための技術の調査、補修技術の調査により、今後の合理的な総合点検の実施に貢献することを目的としている。

### 【研究経緯】

ダム技術センターによる「ダム総合点検」は、「ダム機能の維持と安全性の確保」の観点から既設ダムの経年劣化に対する安全性の点検、現況の問題点などの調査・指導を目的として昭和59年度に開始し、平成13年度からは洪水時操作や警報等に関する機

能点検を加え「ダム総合評価」として実施してきている。平成20年度からは、ダムの長寿命化を念頭に置いた維持管理計画の策定も一部実施しているほか、ダム施設維持管理基準やダム長寿命化の考え方の検討を進めてきた。

これらの成果は、国土交通省が長期的視点を踏まえたダムの維持管理及び設備の更新等を、より効果的・効率的に推進していくために制度化した「ダムの長寿命化計画」の策定にあたり実施することとされる「ダム総合点検」の実施の方針及び手順を示した「ダム総合点検実施要領・同解説（平成25年10月）」（以下「実施要領」という）に反映されている。

これによりダム技術センターが平成24年度までに実施した総合点検の対象ダムは、直轄ダム35ダム（48回）、補助ダム108ダム（132回）、その他4ダムである。その後、実施要領に基づき実施された「ダム総合点検」にダム技術センターが関与したダムは、平成25～30年度まで直轄29ダム、補助84ダム（過去にダム技術センターで総合点検を実施したダムと一部重複）となっている。

平成26～29年度の本研究では、コンクリートダムにおいて、これまでダム技術センターが関与したダム総合点検の評価結果を踏まえて、堤体と基礎に係る課題の抽出と総合点検の動向について検討した。

### 【平成30年度の研究内容】

実施要領では、「ダム総合点検では、日常点検や定期検査との関連を十分認識した上で、維持管理サイクルの実施状況とその点検・検査記録を確認する

とともに、計測監視の記録はもとより長期的な視点から総合的に評価する。特にダム土木構造物に対して日常点検では手法及びコストの面で調査の難易度が高い項目、日常点検や定期検査において将来的に変状の可能性のある項目についても追加調査を行い、総合的に健全度を評価する。」として、健全度評価等を踏まえた維持管理方針は、次の事項により取りまとめることとしている。

- a) 計測機能の保持
- b) 健全度を評価するための継続的な計測
- c) 継続的な劣化状況の把握
- d) 個別の課題に対する対応
- e) 各種データの整理等

平成 26～27 年度の本研究において、これらの項目のうち、b) と c) について、コンクリートダムに係る着目すべき課題を次のとおり選定した。

「健全度を評価するための継続的な計測」

- ・堤体変形の計測
- ・基礎排水孔での揚圧力及び漏水量の計測
- ・継目排水孔の漏水量の計測

「継続的な劣化状況の把握」

- ・堤体劣化の進展性の評価・補修方法
- ・漏水の堤体劣化への影響評価・補修方法
- ・基礎排水孔の機能評価・補修方法
- ・着岩部漏水の水質分析と漏水経路の評価
- ・側溝の堆積物の成分分析と評価

平成 28 年度は、ダム技術センターが関与した総合点検において、課題抽出や追加調査の状況を分析し、動向の把握を行った。

平成 29 年度は、当該年度にダム技術センターが関与した総合点検において、特徴的・特異的な事項を抽出・整理した。

平成 30 年度についても、平成 29 年度同様、当該年度にダム技術センターが関与した総合点検における特徴的事項として、コンクリート構造物の劣化・維持管理に着目して、本稿を取りまとめた。

## (1) コンクリートの表面劣化

一般的に、コンクリートダムの劣化は、ダムの全体積に比してその規模が小さいことから、劣化が直接ダムの構造安定上支障となることは少ない。しかし劣化の規模が小さくてもダムの長期にわたる安定性を維持する上で、あるいは局所的な劣化によるコンクリート片の剥離落下などの危険防止を図る上で、変状部の早期発見と必要に応じて、その補修・補強を行うことが肝要である。

ダムに発生する劣化の要因は、施工に起因するものとしては、温度応力や乾燥収縮があり、材料に起因するものとしては、凍結融解作用、反応性骨材やアルカリ骨材反応が考えられる。このため、これら

の要因により劣化が生じる可能性のある部位を中心に、巡視、点検を行い、劣化の発生とその進行状況を把握し、気象や貯水位などの環境条件を考慮して補修・補強の必要性を判断することが重要である。なお、ダム付属構造物には通常の鉄筋コンクリートとして施工される部位があるが、そのような部位のひび割れなどの補修については、基本的に他の構造物と同様である。

施工に起因するひび割れは、温度応力に分類される外部拘束や内部拘束によるもの、コンクリートの収縮に分類される乾燥収縮や自己収縮によるものがある。これらは主に施工直後から発生する。

一方、材料のうち骨材が原因となるひび割れは凍結融解作用、反応性骨材やアルカリ骨材反応によるものがある。骨材が原因となるひび割れは、凍結融解や乾湿の繰り返しにより発生することが多い。

その他、施工時に打継目付近や型枠付近の処理が不十分であると、長時間供用後に劣化が発生することもある。

これらの原因が単独で劣化によるひび割れ発生に結び付くケースはまれで、複数の要因が複雑に絡み合って発生する。

コンクリートダムの主な劣化の要因について、整理すると下記に分類される。

- ①温度応力が原因となる劣化
- ②乾燥収縮による劣化
- ③凍結融解作用による劣化
- ④反応性骨材による劣化
- ⑤アルカリ骨材反応による劣化
- ⑥打継目や施工型枠付近から発生する劣化

平成 30 年度に実施した総合点検においては、このうち、「凍結融解による劣化」と「アルカリ骨材反応による劣化」に事例が見られたため、次章以降に詳述する。

## (2) コンクリート凍結融解による劣化

T ダムは、竣工後 44 年が経過する高さ 40m 級の重力式コンクリートダムである。当ダムは標高約 900m の高標高部にあり、冬期は積雪 5m に及ぶ豪雪地帯で、冬期の外気温は氷点下に低下している。

当該ダムでは、堤体下流面の中標高部付近で凍結融解現象に伴う劣化(表面コンクリートモルタル分の流出)が見られている。また導流壁コンクリートに特定のリフト境界で劣化・剥離が見られ、一部では鉄筋の露出も見られる(写真-1)。

劣化が顕著に見られるのは、堤体下流面で、特に積雪期に躯体上部の露出面に広範囲なスケーリングが認められる。スケーリングは各ブロックで発生頻度に若干の差が見られ、深さ方向の劣化は外観から推察することは難しい。洪水吐き導流壁には、特定

リフトのスケーリングが激しく、深さ 100mm 以上の剥離が見られ、一部はかぶり厚さを超えて面的に鉄筋露出している箇所も見られる。監査廊内部は、概ね健全状態で遊離石灰や曲げひび割れなどは非常に少ない状況である。これらの状況は、基本調査において、堤体上流面のクラック調査を行い、クラック、破損、エフロッセンス等について、写真撮影を行い、結果をクラックマップや写真台帳に整理した(図-1)。

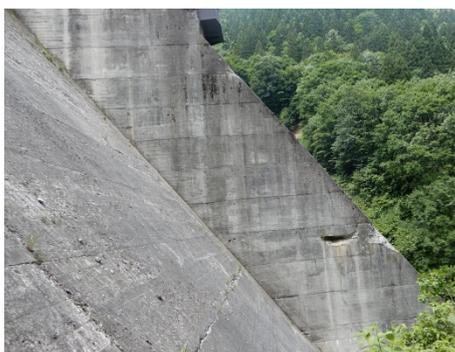


写真-1 堤体下流面および導流壁劣化状況

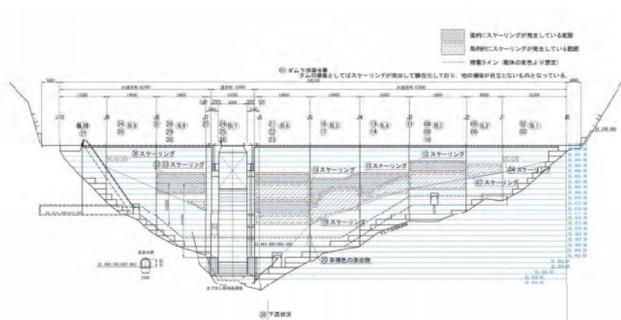


図-1 堤体下流面クラックマップ

上記を踏まえ、以下の追加調査を実施した。

### ① コンクリート表面の劣化調査

堤体下流面と監査廊とで、コンクリートのシュミットハンマーによる強度試験、および中性化深さ試験(ドリル法)を実施した。

#### (強度試験)

測定された推定圧縮強度は、堤体下流面で 9.9~22.0N/mm<sup>2</sup> (平均値 17.6N/mm<sup>2</sup>)、導流壁で 38.3N/mm<sup>2</sup>、監査廊では 24.5N/mm<sup>2</sup> ~44.7N/mm<sup>2</sup>

(平均値 33.1N/mm<sup>2</sup>) となった。ダム の 施 工 記 録 によ る と T ダ ム の 設 計 基 準 強 度 は 外 部 コ ン ク リ ー ト で 22.6N/mm<sup>2</sup> であり、洪水吐きや監査廊のコンクリートの設計基準強度は不明であるが、当時の一般的な鉄筋コンクリートの値としては 21N/mm<sup>2</sup> 程度と考えられる。堤体下流面では設計基準強度をやや下回ったが、洪水吐きや監査廊のコンクリートは設計基準強度を十分

に上回る結果となった。

#### (中性化試験)

堤体下流面の中性化試験は 3.9~4.4mm と 平均 的な 中 性 化 深 さ は 4.2mm であり、非常に小さい。

導流壁の平均的な中性化深さは 5.6 mm と 非 常 に 小 さ い。中 性 化 が 導 流 壁 の 鉄 筋 ま で 到 達 す る の は、概ね 1 万 年 後 である。

監査廊も平均は 3.8 mm と 非 常 に 小 さ く、中 性 化 が 監 査 廊 の 鉄 筋 ま で 到 達 す る の は、概ね 2 万 年 後 である。

なお、堤体は無筋構造物であり、鋼材腐食は発生しないため、中性化の照査は省略した。

### ② 採取コアによる圧縮強度調査

堤体下流面凍害調査として、健全部でのコア抜きを行い(写真-2)、採取コアによるシュミットハンマーおよび圧縮強度試験を 1 箇所で行うこととした。採取したコアは、試験室にて深度別に計 4 箇所の供試体を作成し、圧縮試験機による一軸圧縮強度試験、およびテストハンマーによる反発度測定(抜き取りコアの側面打撃)を実施した。



写真-2 コア採取状況

一軸圧縮強度試験は 51~62N/mm<sup>2</sup> であり、シュミットハンマー試験による換算値は、概ね 38~43N/mm<sup>2</sup> を示した。一軸圧縮試験結果とシュミットハンマー試験結果の相関は、概ね正の相関を示していた。

以上より、一軸圧縮強度は、設計基準強度や施工時の品質管理試験結果を十分満足した。このため、堤体下流面の強度は凍害の影響でやや低いものの、それ以深のダムのコンクリートは健全であると考えられる。

但し、下流面は凍害の影響が面的に大きいため、今後も注視することとし、特にコンクリートの剥離箇所の劣化は今後も進行していくが、管理者が忘れて放置してしまう可能性もあるため、然るべきタイミングで補修することを、

維持管理方針に織り込んでいる。

### ③ 劣化発生原因の調査

特定リフト面の劣化状況調査として、越冬面、洪水生起等との関連性を確認し、劣化の原因分析を行った。

リフトスケジュールと洪水時期を照らし合わせたところ、洪水発生時期は、当該リフト面打設時期と関係ないことが判明した。

劣化しているリフトは、越冬面の直上であり、4月に打設したものである。当時の気温は不明であるが、ダム地点は標高約900mで4月でも最低気温は氷点下以下であった可能性は否定できない。このため劣化の原因は、養生が不十分であったことも考えられる。

今後は経過観察を行い、劣化が進行するようであれば対策工の検討を行うことで、維持管理方針を策定した。

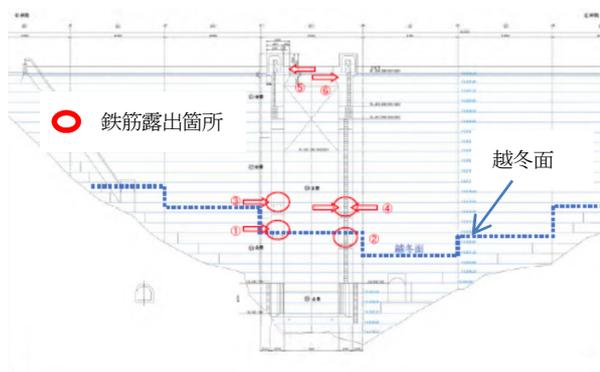


図-2 鉄筋露出箇所と越冬面リフト

### ④ 鉄筋露出箇所対策

鉄筋の露出箇所は、導流壁に4箇所、機械室基礎部に2箇所の合計6箇所の鉄筋露出が認められた(図-2, 写真-1)。変状は軽微から中程度である。

全ての鉄筋露出箇所は、荷重が大きく作用する箇所ではなく(作用しても圧縮側)、ダムの安定上、運用面でも問題ないため、必要に応じて対策工を検討することとして、長寿命化計画を策定した。

今後の管理において、ダム安定上、運用上に影響するような箇所に鉄筋露出が認められた場合は、早急な対策が必要となる。具体的には、導流壁水路側の付け根部、ゲート基礎部および天端橋梁基礎部などが挙げられる。その際の、補修方法としては、耐凍結融解性のあるポリマーモルタルによる断面修復法が適当である。

### (3) アルカリ骨材反応によるひび割れ事例

Kダムは、竣工後約40年が経過する高さ60m級の中央コア型ロックフィルダムであり、ダムの左岸に設計洪水流量600m<sup>3</sup>/sを流下できる洪水吐きを有している(図-3)。ダム堤体には顕著な変状は見られていないが、洪水吐き導流壁コンクリート表面にアルカリ骨材反応と見られる大面積の亀甲状のクラックが以前より多数確認されていた(写真-3)。

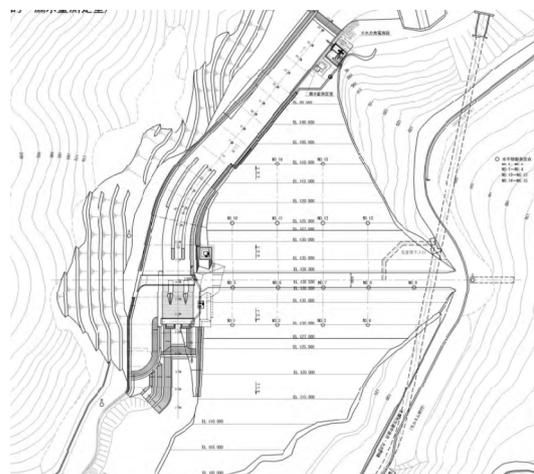


図-3 Kダム洪水吐き



写真-3 洪水吐きコンクリート状況

このため、追加調査として、洪水吐き導流壁、越流部および水叩き部のコンクリート劣化部にアクセスし、ロープアクセス等によりできるだけ近接した場所から目視による劣化状況を確認する調査、およびコア抜きによる内部状況の確認、コンクリート表面の簡易試験を行い、その健全性を評価した。

#### ① ロープワークによる近接調査

近接調査では、ひびわれ、ひびわれ幅、コンクリートの浮き等を確認した結果をクラックマップに追記するとともに、撮影した写真を台帳に整理した。近接調査の結果、遊離石灰で覆われているひびわれの表面幅は微細な幅であることを確認した。微細なひびわれは内部水分を保持し、水酸化カルシウムが析出したためと考えられる。一方、幅1mmを超えるひびわれには、遊離石灰は概ね確認できなかった。近接調査では、ダムの安定性に支障を与えるクラック

クは存在せず、ただちにダム の安定上問題となるような劣化状況ではないと判断されたが、クラックは雨水滞水、凍結融解等により今後拡大する可能性があるため、クラックの進展状況（ひびわれ範囲・ひびわれ幅・ひび割れ密度）について継続して経過観察をしていく必要があると考えられる。

また鉄筋の露出・腐食とコンクリート剥離・剥落の見られた箇所があったが、鉄筋幅の減少は生じておらず、鉄筋の腐食は表面的であると評価した。今回の近接調査時に、露出した鉄筋に対して防錆処理を施した。

## ② コンクリート表面の簡易調査

コンクリート表面の劣化度把握のため、洪水吐きおよび監査廊のコンクリートにおいて、それぞれ3箇所を選定し、シュミットハンマー試験、および中性化試験を実施した。

シュミットハンマーの推定反発度は、洪水吐きで26~30N/mm<sup>2</sup>程度、監査廊で24~37N/mm<sup>2</sup>程度であり、著しく強度が低下する箇所はないことから、コンクリートの強度性状は健全であると判断される。

今後も定期的にテストハンマー試験等を実施し、健全度を経過確認する必要がある。

## ③ アルカリ骨材反応の進展確認調査

洪水吐き導流壁部でのアルカリ骨材反応による劣化が顕著な箇所でもコア採取をし、表面から内部におけるクラックの進行状況を目視判定した。

コア採取箇所は洪水吐きコンクリートのうち、近接作業が可能な場所で、アルカリ骨材反応が収束している箇所を2箇所選定した。それぞれで、ひび割れ幅、ひび割れ密度を計測すると共に、コア観察、コア孔内観察、内部鉄筋状況を確認した。

表面から内部のクラック進行状況を確認すると、2箇所とも鉄筋位置と無関係にひび割れが発生していた。ひび割れ深さは表面の巨視的なひび割れ箇所（ひび割れ幅2mm）では鉄筋深度（かぶり140mm）以上であり、表面ひび割れ幅が1mm以下では鉄筋かぶりと同程度であった。

コンクリート内部には表面から連続的でないクラックが存在したが、目視観察の結果、微細であることが確認された。

かぶり深さ140~150mmに位置する鉄筋は2箇所とも鉄筋の腐食やコンクリートの付着状態については健全であることが確認された。

ひびわれ密度は、壁面上部で既に飽和状態（亀甲状が卓越）であり、今後、ひびわれ密度は増加しないと考えるが、水の侵入等の外的劣化因子による凍結融解や鉄筋腐食を起こす可能性は否定できない。現況は、鉄筋かぶりが十分確保された状態ならば、

減肉腐食まで至らず、構造物の耐荷力の低下への影響は軽微であると考えられる。

ただし表面クラックより雨水等が侵入することで、長期的には鉄筋の腐食に至ることも懸念されることから、クラックの進展を経過監視するとともに、錆汁発生の有無についても管理で注視していく必要がある。

## ④ 使用骨材の確認調査

今後の膨張性や損傷度を推定する目的で使用骨材の調査を行った。洪水吐き導流壁コンクリートからコアを採取し骨材を目視観察した結果は、骨材岩種として、安山岩、花崗岩、泥岩、砂岩等が確認された。安山岩、流紋岩系はアルカリ骨材反応が生じやすい骨材であることを確認した。

また使用セメントについては、2種類のコンクリートが使用されており、高炉セメントが使用された洪水吐き越流部、固定堰部等の部位では、アルカリ骨材反応は確認されなかった。導流壁等の部位においては普通ポルトランドセメントを使用したことがアルカリ骨材反応発生の原因として推定される。

## ⑤ 維持管理方針

今後もアルカリ骨材反応の進展状況（ひびわれ範囲・ひびわれ幅・ひびわれ密度）について経過観察（10年に一度程度）をする必要がある。特に、クラックの表面幅が大きいクラックは、遊離石灰等が存在しないために水が浸入しやすいとともに、コア抜き結果よりクラック深度が鉄筋かぶり以上であることから、標点を設置し、クラック幅を経過観察することとした。

さらに、クラックの進展が顕著になってきた場合には、具体的対策として、下記の方法を念頭に試験施工等で効果を確認して行う方針とした。

- 全体的に微細なクラックが存在する箇所は、撥水系の表面含浸材を塗布し、外部からの水の供給を抑制する。
- 幅が大きいクラック（目安として1mm以上）は水の浸入防止のため、接着効果が期待できる充填工を実施する。

上記の対策を実施し、対策効果が十分にあるかを経過観察する。

## 【平成30年度の研究成果】

### （1）凍結融解劣化に対する維持管理

コンクリート構造物に凍結融解作用が原因とされる劣化が見られる場合の、維持管理・補修対策について、今回の事例を基に整理を行った。

- ・凍結融解劣化箇所とその規模を図面に整理し、その分布から、施工時の環境条件、日照等の気象条件を評価し、経過観察を行う。
- ・コンクリート表面の簡易な強度試験、中性化試験により現状を評価する。
- ・劣化状況に応じて、コンクリート内部への進行を把握する目的で、コア採取を行い、圧縮強度試験、テストハンマーにより、深度方向に強度の低下が生じてないか確認する。
- ・劣化の原因が打設中の洪水生起や越冬面による冷却等、施工的な要因がないか確認する。
- ・定期的な目視観察で劣化の進行を把握するとともに、中長期的には、強度や中性化などで定量的に劣化の進行を評価することは、補修時期の判断に有効と考えられる。

## (2) アルカリ骨材反応による劣化の維持管理

コンクリート構造物にアルカリ骨材反応が原因の劣化が見られる場合の、維持管理・補修対策について、今回の事例を基に整理を行った。

- ・アルカリ骨材反応における劣化では、コンクリート表面に亀甲状のクラックが広がるため、近接調査で、ひび割れ分布、ひび割れ幅、浮きを整理し、劣化の程度と今後の拡大の可能性を評価し、補修対策、経過観察をしていくことが肝要である。
- ・コンクリート表面の強度試験、中性化試験など簡易調査や、コンクリートコア採取による内部のクラック進展状況や、鉄筋への影響を把握し、構造物の現状把握を行うことが、健全性評価に有効である。
- ・アルカリ骨材反応の今後の膨張性や損傷度を推定する目的で、使用骨材の把握が重要である。工事誌等の設計・施工記録や、地域のコンクリート事情に詳しい有識者へのヒアリング、およびコア抜きによるコンクリート骨材の確認などで、アルカリ骨材反応が生じやすい骨材か確認することが有効である。
- ・アルカリ骨材反応による劣化は有効な対策をとることが困難であるが、外部からの水の浸入抑制を行い、クラックの拡大防止を図ることが重要である。対策時には、部分的に試験施工を行い、材料、工法の効果が十分か経過観察をする必要がある。

## 【今後の課題】

本研究においては、実施要領策定後に実施したダム総合点検事例を基に、経年ダムの長寿命化の観点で課題の抽出、整理を行った。ダムの総合点検は、今後も概ね30年サイクルを基本に、管理のPDCAを

回していくことでダムの長寿命化を図っていくこととなる。長寿命化計画に基づいた維持管理が今後成果を現していくか、継続して注視していきたい。

## 【参考文献】

- (1) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：「ダム総合点検実施要領・同解説」、平成25年10月
- (2) 国土交通省：「河川砂防技術基準 維持管理編（ダム編）」平成26年4月
- (3) 宮川豊章：「コンクリート補修・補強ハンドブック」平成23年6月