

5.2 コンクリートダムの変状調査への UAV 活用に関する調査

研究年度：令和4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：コンクリートダムの変状調査への UAV 活用に関する調査

研究者：山口 嘉一、池田 茂、前田 佳朗、松井 剛志

【要約】

ダムの維持管理において、UAVは効率的かつ効果的な変状調査方法として期待されている。本報告では、ダム総合点検においてコンクリート構造物のひび割れ等の変状調査に UAV を活用した兵庫県の高谷ダムの事例について紹介する。高谷ダムでは、コンクリート構造物のひび割れ調査を近接目視計測と UAV を用いた画像撮影による変状確認調査で行い、UAVにより確認できたひび割れ幅が近接目視計測の結果と同等であることを確認した。

【キーワード】

コンクリートダム、維持管理、UAV(ドローン)、ひび割れ、総合点検

1. 概説

ダムは、洪水調節、流水の正常な機能の維持及び利水補給等多様な目的を持つ社会資本であり、ダムの安全性及び機能を長期にわたり保持する必要があることから、ダム施設及び貯水池の維持管理を適切に行うことが重要である¹⁾。また、ダム施設及び貯水池の維持管理は、長期的視点を踏まえ、より効果的・効率的に行う必要がある¹⁾。このうち、ダム施設の維持管理における点検・検査等は、ダム管理者が行う日常管理における巡視・点検、ダム管理者以外の専門家等が行う定期検査、ダム管理者が専門家の意見を聴取して長期的観点から行うダム総合点検により構成される(図-1 参照)¹⁾。このように、ダム施設については、日常管理における巡視・点検と、中長期的な観点からの点検・検査等を組み合わせたPDCA サイクルにより維持管理を行うことが重要である(図-2 参照)¹⁾。つまり、ダムの施設管理では、定期的な点検・検査等によって積み上げられたデータに基づく診断結果から、「予防保全型」と「事後保全型」の維持管理を適切に組み合わせて行うことが有効とされている。

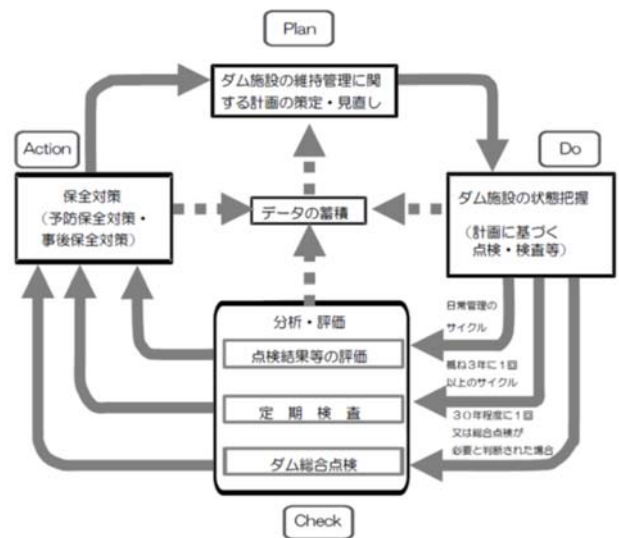


図-1 ダム施設の維持管理における点検・検査等の構成¹⁾



図-2 PDCA サイクルのイメージ (ダム施設の維持管理)¹⁾

ダムの堤体や関連施設に関するコンクリート構造物のひび割れ等の変状については、変状の抽出、その進展の経過監視、適時の評価と補修を適切に実施していく必要がある。

しかし、ダムの洪水吐きやダム上下流面等の点検・検査はアクセスが容易ではなく、人が近づくための足場の設置やロープワークによる点検は膨大な費用を要し、足場の悪い高所作業が多く危険が伴ううえに点検範囲が広いことや長年の知識と熟練した技術が必要であることなどの課題があるため、多くの場合遠方からの双眼鏡等による目視点検に頼っているのが現状といえる。

上記のようなダムの変状調査の課題を解決するために、クラックスケール内蔵光波測量器やデジタルカメラなどを用いた調査²⁴⁾なども行われているが、これらは地形の状況により点検機器の設置が不可能な箇所が発生するなど、点検範囲に限られる場合があるとされている²⁵⁾。

このような技術が抱える課題に対して、広範囲の点検が可能で、かつ従来の方法に比べ効率性が優れる点検手法として、UAV（ドローン）（小型無人航空機：Unmanned Aerial Vehicle）を用いたダム及び関連施設の変状調査・点検が注目されている。国土交通省においてダム管理における新技術として着目されている²⁶⁾とともに、DXによるインフラメンテナンスの安全化・効率化にも貢献するものと考えられている。

ダムの維持管理において、UAVを用いた変状調査の適用方法に関する明確な基準類が整備されるに至っていない現状においては、適用事例を増やすとともに、解決すべき課題の抽出、改善といった一連のフィードバック研究を実施して、UAVの有効性を高めていくことが必要と考えられる。

このことを踏まえて、ダム総合点検においてコンクリート構造物のひび割れ等の変状調査にUAVを適用した長谷ダムの事例について紹介する。ダム技術センターでは、昭和58年から主に供用開始後長期間を経過したダムや、施設改良や補修等の計画があるダムを対象として、ダム堤体や機械設備の健全性、あるいは洪水調節や利水補給に対してダムが適

切に機能を果たしているか、といった総合的な観点から、これまで全国の多数のダムに対して「ダム総合点検」を実施してきている。また、平成25年度には、ダム技術センターが作成に協力した「ダム総合点検実施要領・同解説」²⁷⁾が国土交通省から通達されている。

2. 長谷ダムの概要

長谷ダムは、兵庫県が洪水調節、都市開発に伴う流出増対策および不特定用水の補給を目的として建設した治水ダムである。

長谷ダムの建設事業は、昭和60年に防災調整池として予備調査を開始し、昭和63年に地域整備ダムとして建設事業採択され、平成元年に堤体コンクリート打設を開始し、平成4年3月に完成した。

長谷ダムの型式は、重力式コンクリートダムであり、堤高30.3m、堤頂長125.0m、堤体積24,000m³、集水面積1.2km²、総貯水容量240,000m³である。

長谷ダムの下流面および貯水池全景と、上流面をそれぞれ写真-1と写真-2に示す。

また、長谷ダムの諸元を表-1に示すとともに、標準断面図と平面図をそれぞれ図-3と図-4に示す。



写真-1 長谷ダム下流面および貯水池全景



写真-2 長谷ダム上流面

表-1 長谷ダム諸元

| | |
|-----------------|---|
| 完 成 年 | 平成4年3月 |
| 目 的 | 洪水調節、不特定用水の補給 |
| 堤 体 型 式 | 重力式コンクリートダム |
| 集 水 面 積 | 1.2km ² |
| 湛 水 面 積 | 0.03km ² |
| ダ ム 諸 元 | |
| 堤 高 | 30.3m |
| 堤 頂 長 | 125.0m |
| 堤 体 積 | 24,000m ³ |
| 堤 体 法 勾 配 | 上流 鉛直 下流 1 : 0.78 |
| 堤 頂 標 高 | EL.221.30m |
| 設 計 洪 水 位 | EL.219.70m |
| サ ー チ ャ ー ジ 水 位 | EL.218.70m |
| 常 時 満 水 位 | EL.211.40m |
| 計 画 堆 砂 位 | EL.205.70m |
| 基 礎 標 高 | EL.191.00m |
| 貯 水 池 容 量 配 分 | |
| 総 貯 水 容 量 | 240,000m ³ |
| 有 効 貯 水 容 量 | 215,000m ³ |
| 洪 水 調 節 容 量 | 155,000m ³ |
| 不 特 定 容 量 | 60,000m ³ |
| 堆 砂 容 量 | 25,000m ³ |
| 洪 水 調 節 方 式 | 自然調節方式 (最大放流量 6m ³ /s) |
| 放 流 設 備 諸 元 | |
| 取 水 設 備 | 多管式 (φ200mm×2、φ250mm×1) |
| 利 水 放 流 設 備 | ジェットフローゲート (φ250mm) バタフライバルブ (φ50mm) |
| 常 用 放 流 設 備 | オリフィス(自然調節)(B0.75m×H0.75m 1門) |
| 非 常 用 洪 水 吐 き | クレスト (自由越流) (B11.0m×H1.0m 2門) |
| 計 画 高 水 流 量 | 16m ³ /s |
| 洪 水 流 量 | 8m ³ /s |
| 最 大 流 入 時 放 流 量 | 4m ³ /s |
| ダ ム 設 計 洪 水 流 量 | 45m ³ /s |

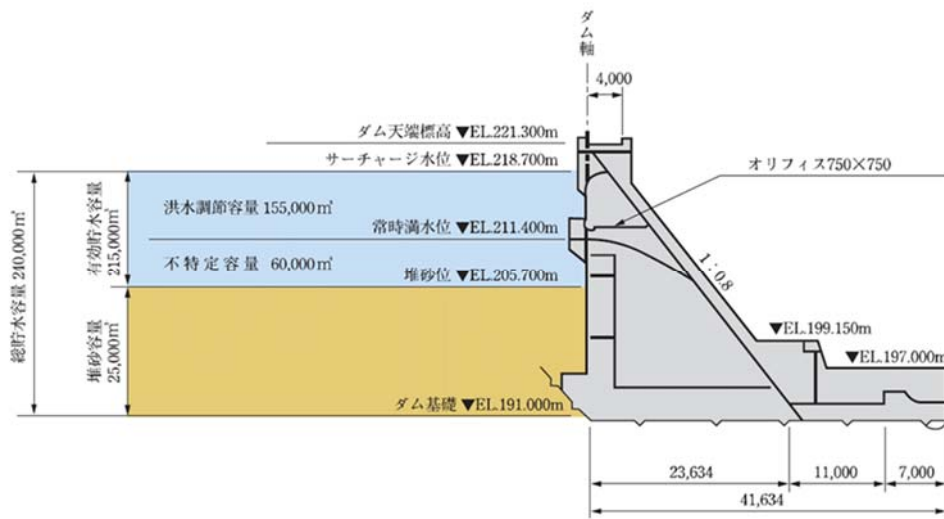


図-3 長谷ダム標準断面図

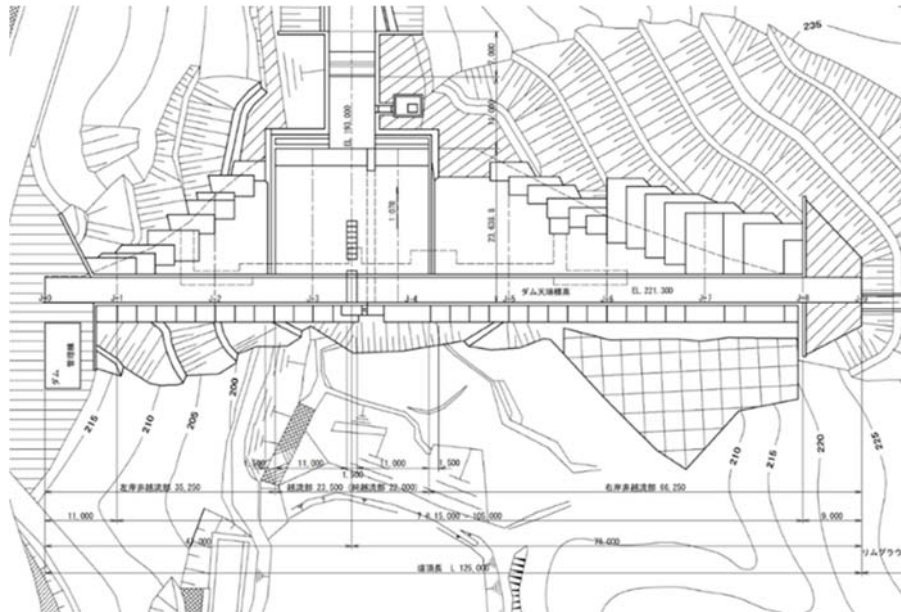


図-4 長谷ダム平面図

3. UAV を用いた変状調査の概要

(1) 調査方法

調査の概要を表-2に示す。調査対象は近接目視が行えない上下流面、ピア、導流壁、減勢工とした。また、減勢工側壁では近接目視計測も行い、UAVによる結果との比較を行った。変状調査にUAVを用いていない箇所も含めて、各部の調査方法を図-5に示す。使用したUAVの仕様を表-3に示す。

UAVとしては主に大型の機種を使用した。ピア、減勢工では天端橋梁、導流壁等とUAVの離隔がとれないため、小型の機種を使用した。また、左岸、右岸のアバット付近は、樹木により対象物に正対してUAVの画像撮影が行えなかった。

画像は画像診断サービスにより、画像の合成、ひび割れの自動判読を行い、合成画像とCAD図の重ね合わせを行った。自動判読結果は、合成画像を重ね合わせたCAD図上で技術者が確認するとともに、豆板、エフロッセンス等の変状を写真から判読し、変状図に追加した。

表-2 調査の概要

| 調査箇所 | 上下流面、ピア、導流壁、減勢工 |
|------|---|
| 調査内容 | UAVによる画像撮影 各画像のラップ率70%以上*となるように撮影 幅0.2mm以上のひび割れが判読可能な距離で撮影 *：使用した画像診断サービスの仕様 |

表-3 使用した UAV の概要

| UAV | サイズ (mm) | 重量 (kg) | 最大 飛行時間 | カメラ | 撮影距離* |
|-----|-----------------|------------|------------|----------------|-------|
| 大型 | 810×670× 430 | 6.3 | 約 55 分 | 4K 4500 万画素 | 2m |
| 小型 | 229×274 ×126 | 0.8 | 約 27 分 | 4K 1200 万画素 | 1m |

*: 撮影距離は表中の値を基本としたが、植生等により一部接近できない箇所があった。

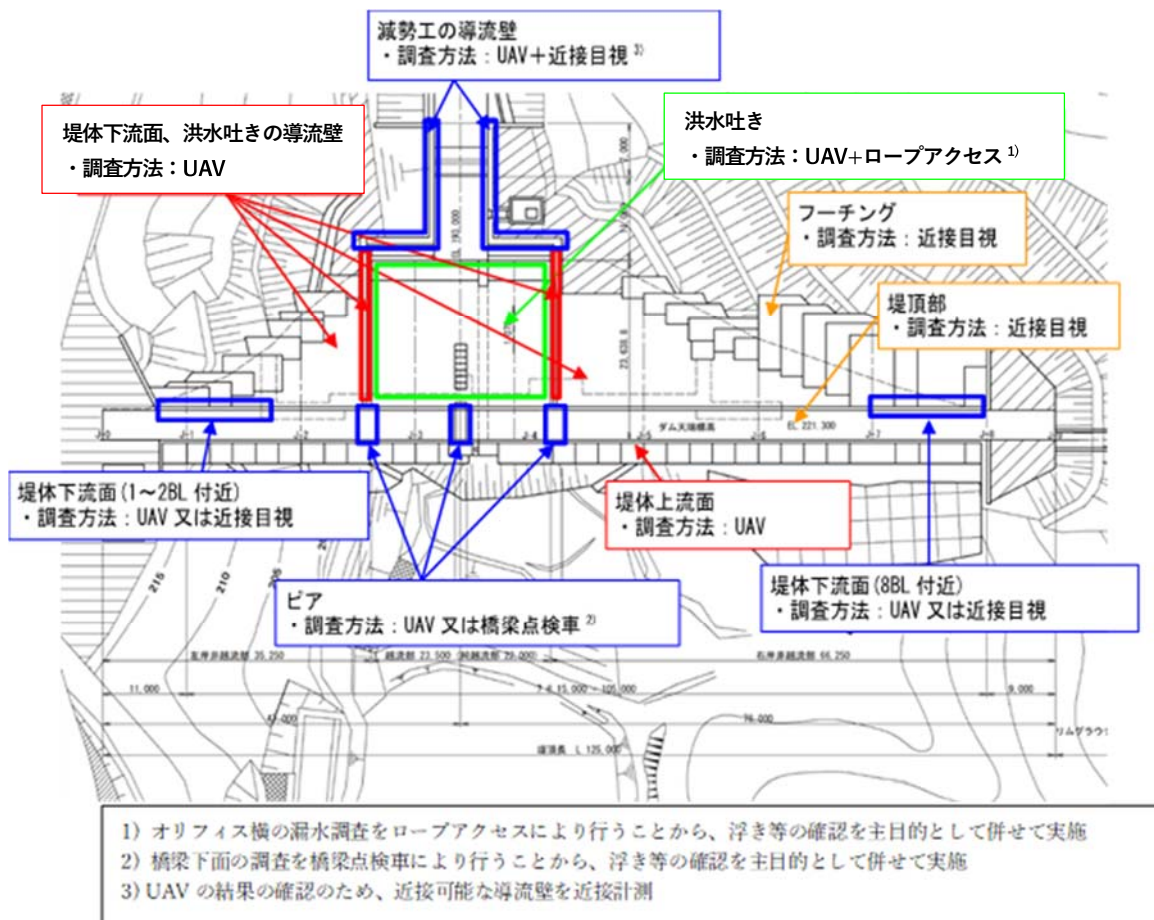


図-5 各部の調査方法

(2) UAVによる変状図作成方法

① 画像データ取得

UAVにより各画像のラップ率70%以上(画像診断サービスの仕様)となるように撮影した。

表-4 本調査で使った UAV の撮影条件と画素数

| | |
|---|---|
|  | 大型 ・画素数：4000万画素 ・対象から2mで撮影 ・0.2mm*以上のひび割れが判読可能 |
|  | 小型 ・画素数：1200万画素 ・対象から1mで撮影 ・0.2mm*以上のひび割れが判読可能 |

※：「ひび割れ発生状況調査要領」(国土交通省事務連絡 平成13年4月4日)より

② 変状図作成

変状図は図-6に示す手順で作成した。

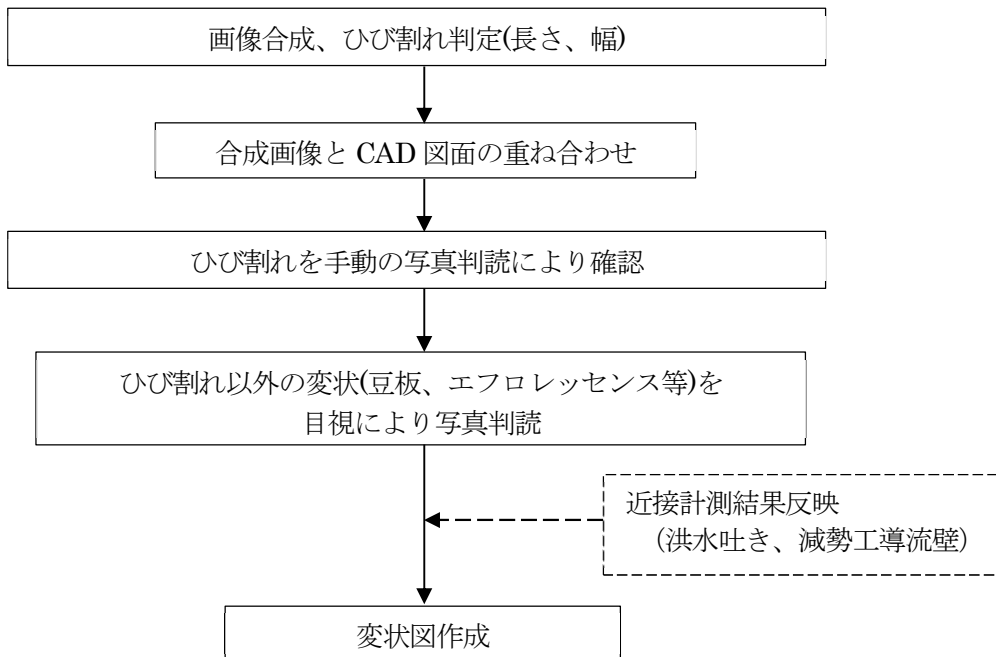


図-6 変状図作成フロー図

4. UAV 画像撮影技術の精度検証の概要

減勢工導流壁において、コンクリートのひび割れ幅の近接目視計測と UAV による調査結果との比較を行った。減勢工導流壁のクラックマップを図-7に示す。

表-5に示すとおり、減勢工導流壁の UAV の画像診断サービスによる自動判読の結果を技術者が画像から確認、修正した結果は、近接目視計測結果と比較し、同程度のひび割れ幅となった。

これより、UAV を用いた変状調査は、近接目視計測では調査できない箇所の変状規模の把握に有効な技術であると考えられる。

表-5 ひび割れ幅比較表

| 調査方法 | UAV | 近接目視計測 |
|------|--------|--------|
| 測定単位 | 0.01mm | 0.1mm |
| 導流壁 | 10 | 0.43mm |
| | 11 | 0.50mm |
| | 12 | 0.24mm |
| | | 0.4mm |
| | | 0.5mm |
| | | 0.2mm |

*□囲いの数字は、図-7のクラック箇所を示す。

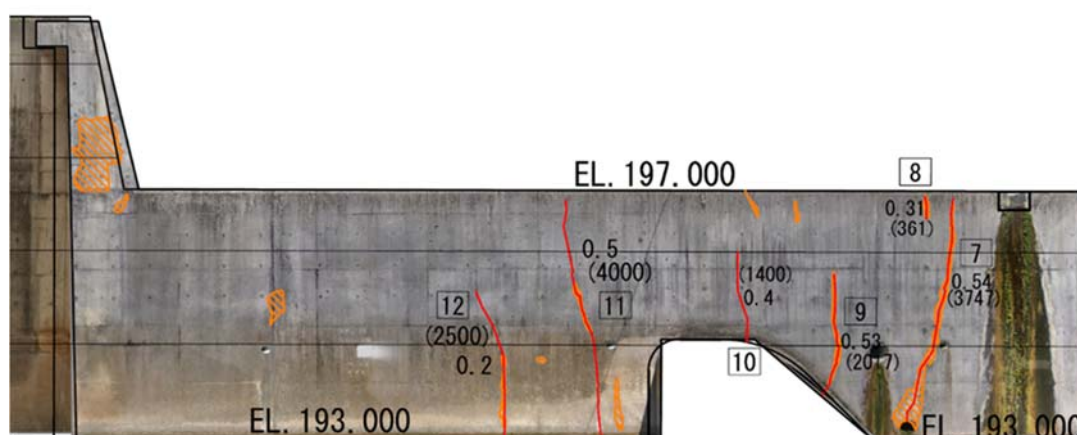


図-7 クラックマップ（減勢工導流壁）

なお、今回行った UAV を用いた変状調査において画像診断サービスによる自動判読で検出したひび割れには目地や汚れ等が検出される場合があり、技術者により検出結果を精査する必要があった。また、今回の調査では発生しなかったが、今回利用した UAV を用いた画像診断サービスによる変状調査においては以下のような課題が発生することがある。

- 対象構造物の形状により撮影面に近接できない場合、ひび割れの検出精度が悪くなる可能性がある。
- 撮影面に対して正対した画像を撮影できない場合、ひび割れ幅が判読できない。

- 合成写真から現地の正確な寸法が判別できるポイントが設定できない場合、ひび割れ幅に誤差が生じる。
- 合成を行うための特徴点がない画像を合成する場合、手動で特徴点を指定し合成する必要がある。

5. おわりに

本調査においては、「ダム総合点検実施要領・同解説」策定後に実施したダム総合点検を基に、コンクリートダムのひび割れ調査を近接目視計測と UAV（ドローン）を用いた画像撮影による変状確認調査の比較検討結果について整理した。UAV（ドローン）により確認できたひび割れの幅が近接目視計測結果と同等であることが確認できた。

国土交通省より発出された、「ダム長寿命化計画の策定に関する事務連絡」⁸⁾において、参考的に添付されている「ダム管理における新技術の活用によるコスト削減事例」では、点検時の UAV（ドローン）等の新技術の活用事例が掲載されている。

今後実施予定のダム総合点検においても UAV（ドローン）を用いた画像撮影による変状確認調査を行い、適用事例を増やすとともに、解決すべき課題の抽出、改善といった一連のフィードバック研究を実施していくことが必要と考えられる。

本報告の検討内容は、「(二) 千種川水系長谷川長谷ダム総合点検業務」（兵庫県西播磨県民局光都土木事務所）における検討内容を一部編集・再構成したものである。検討結果の公表についてご承認いただきました関係各位には心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局:国土交通省河川砂防技術基準維持管理編（ダム編）
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guide_line/gijutsu/gijutsukijunn/ijikanri_dam/pdf/ijikanri_dam.pdf
- 2) 佐藤 勝、恩田実之留：藤原ダムの表面劣化診断及び今後の管理、ダム技術、No.308、pp.30-33、2012年5月。
- 3) 交久瀬磨衣子、中庭和秀、建山和由：クラックスケール内蔵光波測量器を用いたダム堤体のひび割れ調査について、土木学会第65回年次学術講演会、pp.305-306、2010年9月。
- 4) 吉田次男、河野幸彦、石井正博、小出 博：デジタルカメラによるダム表面状態調査、ダム工学、Vol.18、No.2、pp.118-125、2008年。
- 5) 東出 唯、下鳴恒彰、原田耕平、杉山孝聡：UAV等を用いた画像撮影によるダムの構造物点検。
- 6) 国土交通省水管理・国土保全局：河川・ダム管理における新技術導入について（ppt スライド）、令和4年3月。
- 7) 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。
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guide

[line/dam/pdf3/03.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guide_line/dam/pdf3/03.pdf)

- 8) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：「ダムの長寿命化計画の策定について」事務連絡、令和4年3月24日。