

通水状態での水路トンネルの機能診断調査について

独立行政法人水資源機構 香川用水管理所 木平 康介
復建調査設計株式会社 保全構造部 今井田 敏宏

1. はじめに

香川用水施設は、吉野川総合開発計画の一環として建設された全長約 106km の用水路で、徳島県三好市池田町の池田ダム湛水域から吉野川の水を取水し、香川県内の 8 市 5 町へ用水を供給している。香川県の年間降水量は 1,000mm 程度と全国有数の小雨地域であり、香川用水は県内水道の約 46%、農業用水の約 26%、工業用水の約 16% を担っており香川県内の水不足解消に寄与し、県内の社会経済活動を支える「さぬきの大動脈」として貢献してきた。(図-1)



図-1 香川用水概要図

そうした中、香川用水は 1975 (昭和 50) 年の本格通水開始から 49 年が経過し、施設の老朽化が顕在化していく状況において、今後も安定した用水供給を継続していくため、合理的かつ経済的な機能保全対策を念頭にストックマネジメントに取り組んできた。

香川用水施設では、これまで緊急改築事業として 1999 (平成 11) 年～2008 (平成 20) 年に

開水路のアルカリシリカ反応によるコンクリートひび割れ対策として炭素繊維シートによる補強などを行っている。また、緊急対策事業として、2020 (令和 2) 年～2025 (令和 7) 年に施設の機能回復を図っているが、これらの事業により老朽化対策が行われた施設は水資源機構が管理する香川用水施設約 47km のうち約 14km と約 30% となる。残る未対策施設に対して機能診断による機能保全の計画的な実施が重要となり、事業により改築を行った施設に対しても経年的に劣化が進行するため、既存施設と同様にストックマネジメントの取組が重要となる。

本稿では、香川用水施設の約 7 割を占めるトンネル区間におけるストックマネジメントに係る取組について報告する。

2. 従前の調査状況

香川用水のストックマネジメント調査は概ね 5 年に 1 回の頻度でこれまでに 9 回、対象エリアを分割し実施している。

調査の時期は、農業用水の通水量が最も少ない 10 月 11 日から 11 月 30 日の間を対象としている。(図-2)

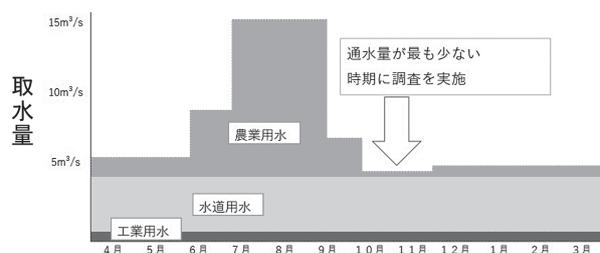


図-2 年間計画取水量

ストックマネジメント調査にあたっては関係利水者の協力の元、必要に応じ対象箇所を空水状態とし水路施設の調査を行ってきた。

3. 令和5年度の調査対象について

2023（令和5）年度、調査対象とした阿讃トンネルは、取水工がある徳島県側から取水した用水を直接香川県側へ導水する延長約8kmの水路トンネルであり、配水を行う前の全量が通過している。

トンネル水路の状態を詳細に確認するには取水を停止し無水状態での点検実施が望ましいが、近年は渇水による県内水源への影響が大きく取水停止は農業用水、水道用水、工業用水の全てに影響を与えるため、施設調査のための取水停止は困難である。

そのため今回阿讃トンネルのストックマネジメント調査を行うにあたって、取水停止を伴わない通水状態での点検実施を計画した。

表-1 阿讃トンネルの概要

	形式	延長
コンクリート覆工	標準馬蹄形	約2.4km
コンクリート覆工	円形 (一部馬蹄形、ホ口型)	約5.2km
現場打ちコンクリート	標準馬蹄形	約0.3km

4. 阿讃トンネル調査の目的

前回の阿讃トンネルの調査は2010（平成22）年度に空水状態での目視調査を実施しており前回調査から13年が経過している。



図-3 前回調査（2010（平成22）年度）の状況

今回調査は、当時劣化が見られたトンネル天井・左右岸壁の劣化（図-3）の進行状況について調査を行うとともに、調査結果を踏まえたトンネル健全度の再評価の必要性について検討することを目的とした。

前回の主な調査内容を次に示す。

(1) ひび割れ調査

トンネル内面全周について目視点検を実施した。

(2) コンクリート強度推定調査

コンクリート表面をシュミットハンマーにより打撃し、その反発硬度から圧縮強度を求めた。

(3) 背面空洞化調査

トンネル覆工厚、背面空洞高の連続的な調査を電磁波レーダー法により行った。計測測線は天端部、アーチ左右の3測線とした。

5. 施設調査の内容と点検方法

2023（令和5）年度の調査では通水状態での調査となるため、船形のカメラ装置を用いてトンネル内を連続撮影し、劣化の進行状態の調査を行うこととした。

調査の内容及び方法については以下に示すとおりである。

(1) 予備調査1（模擬浮体流下調査）

模擬浮体（樹脂製φ350mm、3個）を流下させ、全ての模擬浮体の確実な流達を確認した。

流達時間及び流水の水深の記録を行った。

(2) 予備調査2（障害物確認）

球形360°カメラを用いトンネル内の流下障害物の有無を確認した。

流達時間及び流水の水深の記録を行った。

(3) 本調査（図-4）

船型カメラ¹⁾（図-5）を用いてトンネル内の連続撮影を行い、劣化の進行状態を調査した。

調査範囲（図-6）は、水面より上側の前方、天井、左右側壁とした。なお、カメラによる判別可能な精度は次のとおりであった。

- ・幅1.0mm以上のひび割れ（幅、長さ）
- ・浮き（ひび割れを伴うものを対象）、剥離

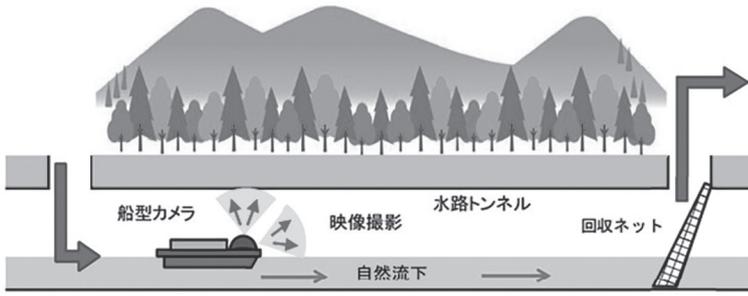


図-4 流下調査概要図

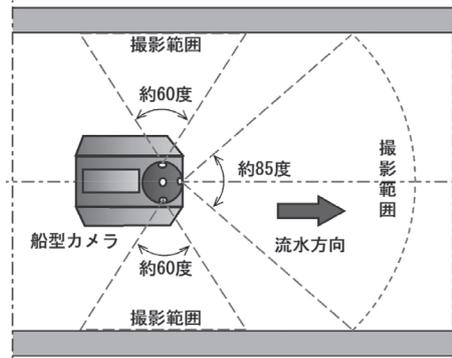


図-6 (2) 撮影範囲平面図

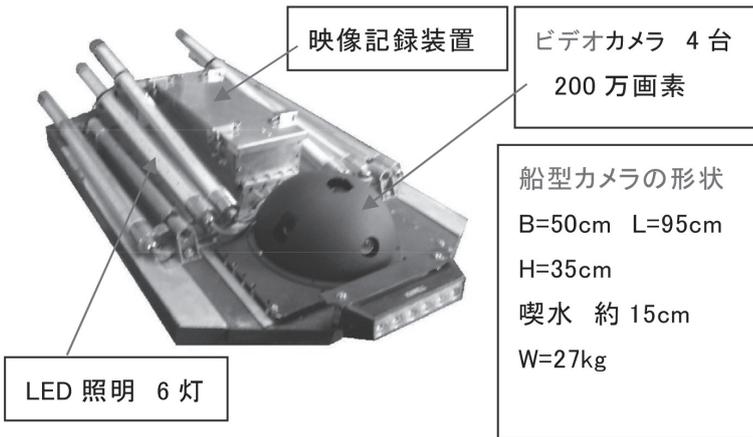


図-5 船形カメラ撮影装置

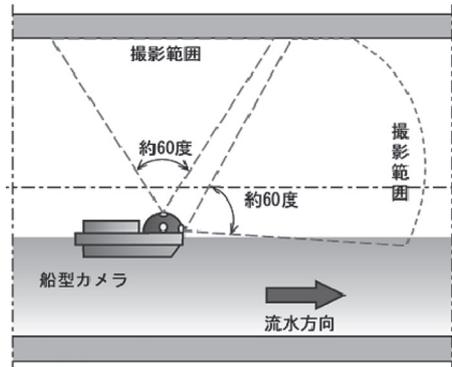


図-6 (3) 撮影範囲側面図

等の規模（面積），位置

- ・鉄筋の露出の有無及び腐食状況
- ・ひび割れや施工継ぎ目等からの湧水の有無，折出物の有無

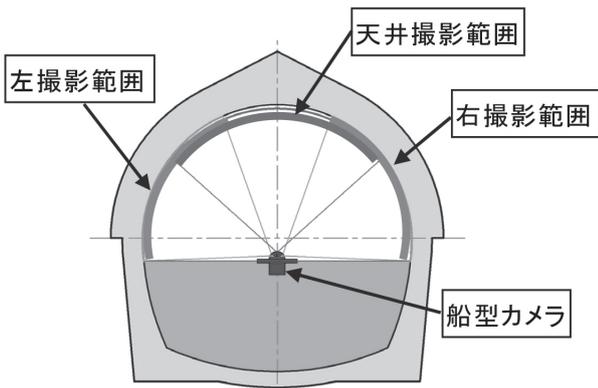


図-6 (1) 撮影範囲横断面図

6. 通水点検の実施状況

(1) 点検期間

点検期間は，トンネル通水量が減少しトンネル内水位が低くなる（壁面の調査範囲が広がる），10月11日～11月30日の期間内に実施した。

(2) 点検実施工程

実施日	実施項目
11月14日	・仮設置工 （機材投入足場，機材回収ネット） ・予備調査1
11月15日	・予備調査2 ・本調査（1回目）
11月16日	・本調査（2回目） ・仮設撤去工

(3) トンネル内流下調査条件

- ・トンネル断面 標準馬蹄形 2R = 3.50m
円形 2R = 3.70m
- ・トンネル勾配 $i = 0.0005221$ （標準）
- ・トンネル延長 $L = 8.00\text{km}$
- ・トンネル通水量 $Q = 3.86\text{m}^3/\text{s}$ （調査時）
- ・トンネル内水深 $h_2 = 3.10\text{m}$ （下流端）
 $h_1 = 1.15\text{m}$ （上流端）
- ・トンネル内流速 $v = 0.35 \sim 1.15\text{m/s}$
- ・機材流下時間 $T = \text{約} 2\text{時間} 40\text{分}$

(4) 仮設置状況

通水点検装置の投入・回収作業のため，トンネル上流坑口近傍に機材投入足場（図-7）

を設置した。下流坑口近傍には、回収ネット（図-8）を設置した。作業完了後に、仮設は撤去し、現状復旧を行った。



図-7 機材投入足場設置状況



図-8 回収ネット設置状況

(5) 予備調査状況

・予備調査1

模擬浮体（図-9）を5分間隔で3個流下させ、確実な流達を確認した。

・予備調査2

球型360°カメラ（図-10）による全線流下撮影調査を行い、撮影映像からトンネル内に流下障害物が存在しないことを確認した。

(6) 本調査状況

予備調査により、調査機材の確実な流達が確認されたため、船型カメラ（図-11）による本調査を実施した。船型カメラによる流下撮影調査は2回実施し、作業を完了した。



図-9 模擬浮体



図-10 球型360°カメラ



図-11 船型カメラ流下状況

※図中、樹脂製水中アンカーは、3社（復建調査設計株式会社、岡三リビック株式会社、株式会社ゲット）の特許技術である。

水中アンカー

7. 通水点検による効果

(1) 船型カメラ撮影映像

船型カメラに搭載した4台のビデオカメラで、独立した4方向（下流、天井、右、左）のトンネル内全線のカラー映像を撮影した。

(2) トンネル覆工の変状損傷展開図

トンネル内の撮影映像（水面上）から、覆工変状・損傷状況を把握し、前回調査の変状損傷展開図の表示を確認するとともに、今回調査結果による報告項目を追記した。

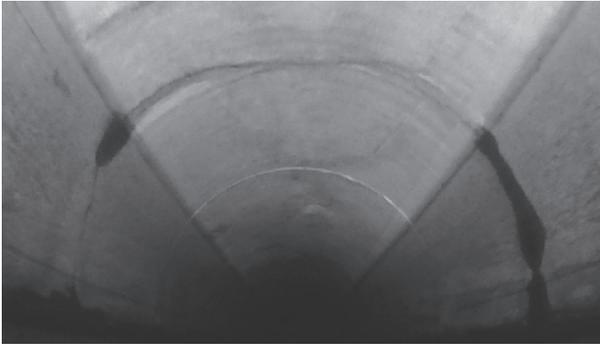


図-12 下流方向撮影映像（例）



図-13 天井方向撮影映像（例）

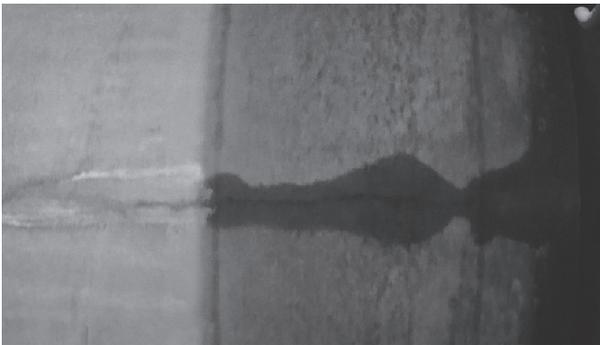


図-14 右方向撮影映像（例）



図-15 左方向撮影映像（例）

(3) 変状損傷写真帳

変状損傷状況を報告する写真帳は、報告箇所に対して4方向（下流、天井、右、左）の写真を1セットとして作成した。

報告写真は、代表的な損傷に対して作成した。

（例：図-12～図-15を1セットとして報告）

(4) トンネル覆工内面の展開写真作成

本業務では、要注意バレル（幅1.0mm以上のひび割れが報告されたバレル）に対して、トンネル内面撮影映像（天井、右、左）から内面展開写真を作成した。作成数量は、全410バレル（延長8.0km）の内、60バレル（延長1.2km）分を作成した。

内面展開写真は、トンネル変状損傷展開図と並列で表示し（図-16）、変状損傷の把握が容易となるよう工夫した。内面展開写真を作成することで、今後の点検結果報告時において、過年度調査結果との比較が容易になることが期待できる。

(5) 変状・損傷の進行状況

今回調査による変状・損傷抽出写真と、前回調査の報告写真を比較し、変状・損傷状況の変化（主にひび割れの進行性）について評価を行った。ひび割れの進行性は、ひび割れ範囲とひび割れ幅により評価を行った。ひび割れ幅の評価は、映像撮影距離（カメラと壁面との距離）に応じたひび割れ幅テンプレートを作成し、今回調査結果のひび割れ幅を評価（図-17）するとともに、前回調査時からの進行性について検討を行った。

検討の結果、顕著な変状損傷の進行は見られず、トンネル健全度の再評価は不要と判断した。一方で、数バレルで2.0mm以下のひび割れも新たに確認されている状況から、経年劣化は進行していると考えられ、継続的な調査の重要性を再認識した。

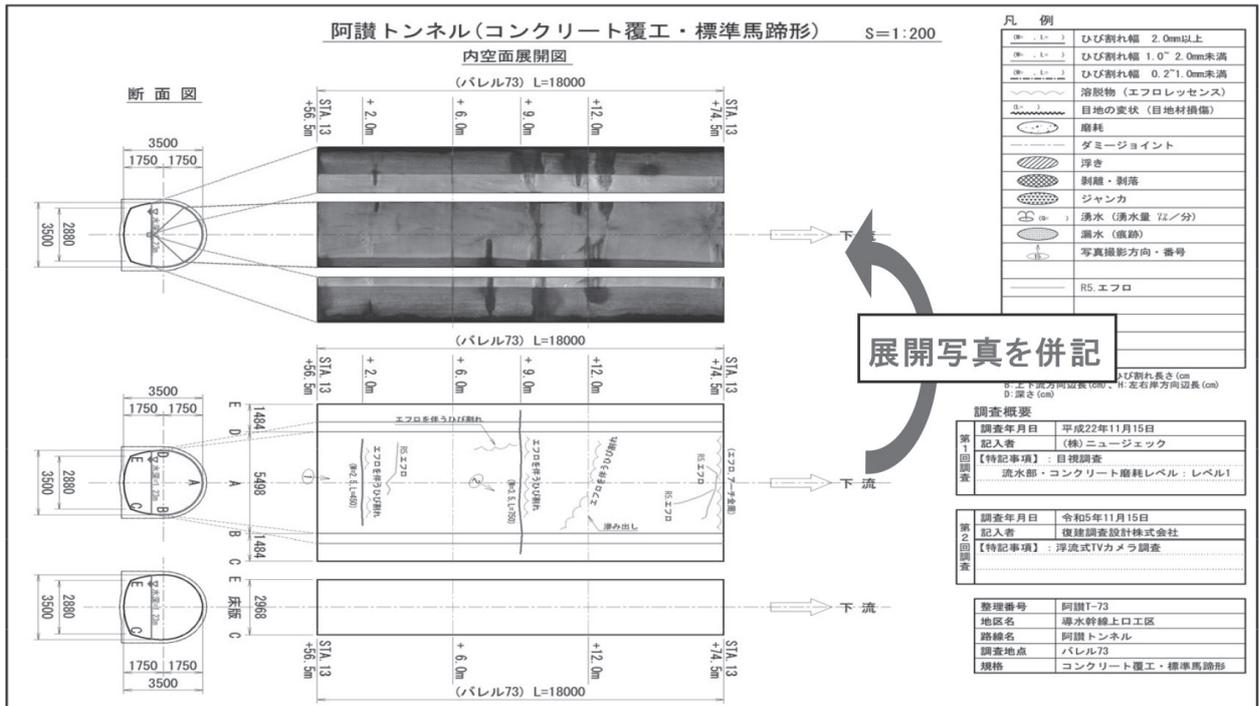


図-16 変状損傷展開図(内面展開写真)

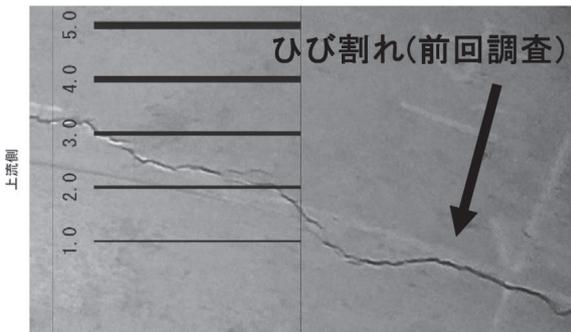


図-17 ひび割れ幅評価写真(例)
(ひび割れ幅 1.4mm, 撮影距離 0.5m) (前回)

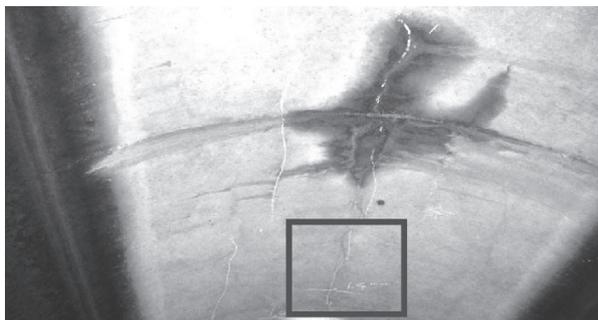


図-18 ひび割れ報告写真(前回)
(赤枠部の拡大が図-17に相当する)

(6) 目視調査(従前)方法との比較

従前は、空水目視調査方法が多く採用されてきた。近接調査作業が可能なので、損傷種別や規模の把握が詳細に実施可能な反面、施設状況

の全体的再現把握は、報告写真等が存在する該当箇所は可能であるが、それ以外の箇所は把握できにくいという面があった。

今回の調査方法では、トンネル全線の壁面映像を撮影記録しているため、事後に懸念される箇所が生じた際に、記録映像による再確認を行うことができる。

また、調査の作業環境の面でも、限定された作業時間(断水時間)内でトンネル内の調査作業を実施する必要が無い等、調査員の負担軽減効果は大きいと考える。

8. おわりに

香川用水施設の約7割を占めるトンネル区間におけるストックマネジメントを適切に推進していくためには、空水目視調査だけでなく通水点検方法を適切に導入・活用していく必要がある。

今回調査は、通水点検機材として船型カメラを用いて実施したが、要求する変状損傷の検出性能等が発揮されて、所定の目的を達成することができたと考える。

気候変化に起因する湧水発生リスクの上昇や空水目視調査に伴う利水者へのリスク負担の依

頼が困難になる中で、計画的に機能診断調査を行っていくために、新しい通水調査技術導入の必要性が高まっている。ドローン等による調査技術、非接触型の各種探査システム、AI等を活用したひび割れ検出システムのほか、新たな調査技術の登場に期待したい。

今回は、トンネル水中部の調査ができなかつ

たので、今後は水中部の調査が可能となる調査機材についても、情報収集を行い調査業務への導入を検討していきたい。

参考文献

- 1) LTM 協会ホームページ (<http://lrm-ajp/>)

