

360°カメラを活用した 樋門・樋管函体内の効率的な変状把握について

札幌開発建設部 滝川河川事務所 計画課 ○青柳 亮吾
札幌開発建設部 滝川河川事務所 計画課 猪股 直紀
株式会社 北開水工コンサルタント 油川 曜佑

近年、樋門・樋管函体の点検において、作業効率化、高度化に向け360°カメラによる画像情報（展開図等）を基にした変状確認及び評価の取組が進められているが、事例が少なく撮影方法等は確立されていない。本稿では、樋門・樋管函体内における変状確認の効率化・高度化を目的として、点検時間の短縮、機材・照明の選定による高精度な画像取得、ならびに取得画像を用いた展開図の作成について試行的に実施した結果について報告する。

キーワード：インフラDX、維持管理、樋門・樋管、360°カメラ

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴う台風や集中豪雨が頻発・激甚化しており、各地で大規模な洪水被害が報告されている。堤防決壊や河川氾濫などの水害を防ぐためには、河川や管理施設の状態を常時把握し、日頃から適切な維持管理を行うことが重要である。現在の定期的な点検では、変状の確認は主に目視で行っており、限られた期間内での特定および記録には多大な労力を要している。このため、点検・評価要領では、新技術の活用による作業の効率化や高度化が推奨されている¹⁾。

北海道開発局においてもインフラ DX の推進が進められており、樋門・樋管点検では、360°カメラを活用した変状の確認や、画像情報に基づく評価の効率化に向けた取り組みが進められている²⁾。多数の樋門・樋管を管理している滝川河川事務所においても、同様の手法による点検時間の短縮や労力の軽減といった効率化が求められている。一方で、360°カメラによる撮影は新技術³⁴⁾であるため、樋門・樋管函体内における撮影事例は依然として少なく、撮影方法や運用手法については基準が確立されていないのが現状である。

以上を踏まえ、本稿では変状確認の効率化および高度化を目的として、360°カメラ動画撮影による点検時間の短縮、函体高に応じた機材・照明の選定による高精度な動画の撮影方法、ならびに撮影動画を用いた展開図の作成について試行的に検証した。また、将来的な 360°カメラ映像を用いた AI による変状の自動抽出を見据え、その端緒として撮影画像を用いて AI 解析による変状の検出を行った。

2. 撮影方法

(1) 使用する撮影機材

360°カメラを用いた構造物の変状確認においては、



図-1 樋門撮影用機材

撮影画像から微細な変状を正確に視認する必要がある。そのためには、撮影画像の解像度が十分に高く、ブレや露出不足といった撮影時の不具合が最小限に抑えられていることが重要である。

本検討では、変状の視認性を確保することを目的として、高解像度の 360°カメラを使用した。また、撮影時の画像ブレや露出不足を防止するための撮影補助機材として、ジンバル（常平架）、照明装置、自由雲台等を使用した。ジンバルは、移動中の揺れや傾きを自動的に補正し、カメラを水平に保つ構造となっており、安定した映像の取得が期待される。照明装置は、暗所や陰影の強い箇所においても十分な照度を確保し、変状の視認性を向上させることを目的としている。また、自由雲台を用いることで、カメラの向きを柔軟に調整可能とし、現場条件に応じた最適な撮影アングルの確保を図った。本検討では図-1 に示すように、360°カメラを自由雲台に設置しそれをジンバルに固定した上で、後述する照明装置とともに台車上に固定して移動させる撮影方法を採用した。

また、成人が進入することが困難な小口径の樋管や、水深が深く人的な点検作業に危険が伴う樋門等



図-2 樋管撮影用機材



写真-1 樋管における牽引による撮影方法

に対しては、安全かつ効率的な点検手法の確立が求められる。これらの条件下では、従来の目視点検や徒歩による撮影が困難であるため、遠隔操作による撮影技術の導入が有効であると考えられる。

本検討では、図-2に示すように360°カメラとモバイルバッテリーを備えたLEDテープライトを搭載可能な小型移動体として、「ホバークラフト型」「水陸両用車型」「ボート型」「オフロード車型」など、複数のタイプのラジコン機器を活用する方法を検討した。これらの機体は対象施設の構造や水位条件に応じて適切に選定し、遠隔操作により内部の撮影を行うことを想定している。また、写真-1に示すように吐口から呑口に向けて台車をロープで牽引しながら撮影する方法も試験的に併用した。

(2) 撮影位置の把握

函体内部においては、一般的なGPS（全地球測位システム）による位置情報の取得が困難であるため、撮影画像と撮影位置との対応関係を明確にする工夫が必要である。

本検討では、撮影位置の特定を容易にするため、写真-2に示すように函体の吐口側から0.5m間隔で壁面に「SP（Station Point）」を記載し、各SPを含むように360°カメラで撮影を行う方法を採用した。これにより、後処理において撮影位置を明確に特定することが可能となる。SPの記載には視認性の高いマーキング材を用い、暗所でも容易に視認できるよう配慮した。また、樋管内における撮影位置の把握については、管内に概ね一定間隔で設けられている継手を基準とした。樋管の構造上、継手は明確な位置が定められているため、撮影画像中に継手が確認できれば、吐口からの距離を推定することが可能となる。



写真-2 函体内壁面におけるSP標記例

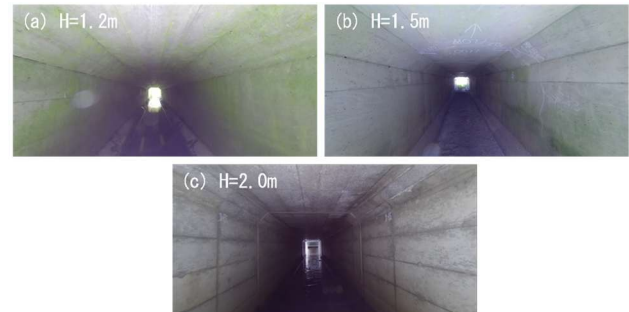


図-3 函体高の違いによる撮影画像の比較

(3) 照明の設置

360°カメラを用いて函体内部の変状を鮮明に記録し、得られた画像を平面画像（写真）に変換して展開図を作成するためには、撮影時の照明条件が極めて重要である。特に、照度の不足や照明の偏りによって生じるムラは、変状の視認性や展開図の精度に大きく影響を与える。樋門と樋管では撮影条件が異なるため、それぞれで照明条件の検討を行った。

a) 樋門の照明条件

撮影条件を最適化することを目的として、図-4に示すように、照明機器の照度および設置位置の異なる7つのケースを設定し、それぞれの条件下で360°カメラによる撮影を実施した。函体高の異なる樋門（H=1.2m, 1.5m, 2.0m）を対象とし、LEDライトの照度や照射方向、設置位置を変化させることで、照明ムラや表裏ムラの発生状況を比較した。照明は写真-3に示すよう棒状LEDライトおよび平面LEDライトを用いて検証した。図-3にNo.5の撮影条件における函体高の違いによる撮影画像の違いを示す。いずれの撮影条件においても函体高による顕著な違いは見られなかった。

7つのケースを検討した結果、360°カメラによる撮影動画が鮮明であり、照明ムラや表裏ムラも小さく抑えられる方法として、「平面LEDライト2台を設置し前方から照射する方法（以下、No.4）」および「平面LEDライト1台を台車に設置して照射する方法（以下、No.5）」が良好であることがわかった。このうち、点検員の人数がNo.4と比較して2人から1人に抑えられるNo.5の方法を採用し、台車を押し移動させながら撮影することを基本とした。

b) 樋管の照明条件

ラジコン機器にLEDテープライトを設置し、位置や照度の条件を組み合わせることで複数のトライアルを実施した結果、写真-4に示すようにラジコンの側面に照度100lm程度のLEDライトを使用する方法を採用した。




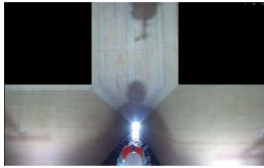

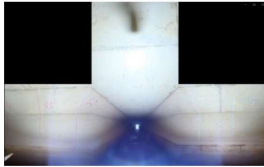

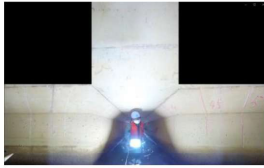
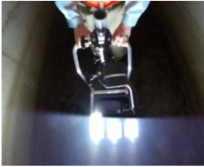


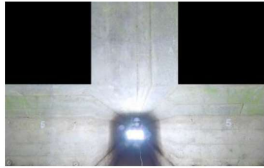


No.	方法	照明設置状況	撮影画像	撮影結果
1	棒状 LED ライト 4 台を台車に設置 【棒状ライトの照度】 700lm+700lm+700lm+700lm			照明ムラや表裏ムラが大きく展開図作成が困難となり、展開図の精度が十分に確保できないため、いずれの函体高においても照明としては適さない。
2	棒状 LED ライト 4 台を台車に設置 + 平面 LED ライト 1 台を台車に設置 【棒状ライトの照度】 700lm+700lm+700lm+700lm 【平面ライトの照度】 4,000 lm			照明ムラや表裏ムラが大きい。また、棒ライトの影が映り込むため展開図作成が困難となり、展開図の精度が十分に確保できないため、いずれの函体高においても照明としては適さない。
3	平面 LED ライト 3 台を台車に設置 【平面ライトの照度】 3,000lm+4,000lm+3,000lm			影とカメラの表裏の照明ムラが多く見られるため展開図作成が困難となり、展開図の精度が十分に確保できないため、いずれの函体高においても照明としては適さない。
4	平面 LED ライト 2 台を台車に設置 + 前方から平面 LED ライトを照射 【平面ライトの照度】 3,000lm+3,000lm 【前方照射する平面ライトの照度】 4,000 lm			カメラの表裏の照明ムラが少し見られるが展開図の精度が確保でき、いずれの函体高においても照明としては適する。
5	平面 LED ライト 1 台を台車に設置 【平面ライトの照度】 21,000lm			カメラの表裏の照明ムラが少し見られるが展開図の精度が確保でき、いずれの函体高においても照明としては適する。
6	前方から平面 LED ライトを照射 【前方照射する平面ライトの照度】 21,000lm			照明ムラと表裏ムラが見られるため展開図にやや歪みが生じるため、いずれの函体高においても照明としては、あまり適さない。
7	平面 LED ライト 1 台を台車に設置 + 前方から平面 LED ライトを照射 【平面ライトの照度】4,000lm 【前方照射する平面ライトの照度】 21,000lm			照明ムラと表裏ムラが見られるため展開図にやや歪みが生じるため、いずれの函体高においても照明としては、あまり適さない。

図-4 照明設置の検討ケース



写真-3 検証に使用した棒状ライトおよび平面ライト

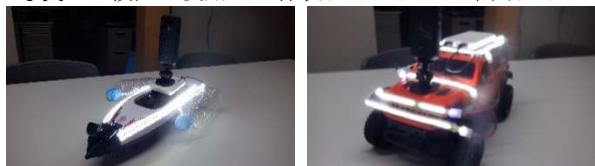


写真-4 樋管点検時における照明設置



写真-5 360°カメラによる函体内部の撮影結果
(左：樋管全景 右：樋管全景)

変状	目視点検時写真	360° カメラ撮影
ひび割れ		
漏水		
継手開き		

図-5 目視点検時と 360° カメラによる画像の比較

B 樋管接合部および管部変状

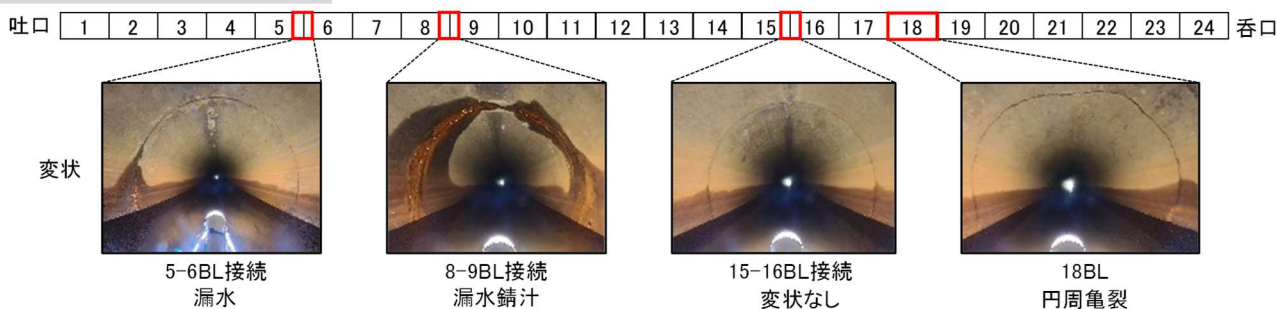


図-6 B 樋管における 360° カメラ点検結果

3. 樋門・樋管撮影

(1) 撮影結果

前述の撮影方法により得られた 360°カメラによる撮影動画から静止画として切り出し、整理することで得られた函体内部の全景画像を写真-5 に示す。撮影時には、照明条件やカメラの安定性に配慮し、変状の視認性を最大限に確保するよう努めた。

図-5 に、函体内において従来の目視点検により確認された変状箇所の一例（ひび割れ、剥離、漏水跡）および同一箇所を 360°カメラで撮影した画像を比較して示す。これらの比較結果から、360°カメラによる撮影画像は、函体内部の全景を広範囲かつ一貫して記録できるだけでなく、個別の変状についても鮮明に捉えていることが確認された。特にひび割れのような小さな変状についても、動画上で視認可能であり、変状の位置や形状、広がりを把握する上で有効であると考えられる。

図-6 には、B 樋管内部において 360°カメラを用いて撮影した画像を示す。B 樋管は点検時の水深が深かったことから、ラジコンボートによる遠隔撮影を行った。同樋管は 24 個の管から形成されており、本画像は、管内の代表的な接続部および管部の状態を記録したものである。撮影画像から、管接続部における漏水や錆汁ならびに管部における円周方向のクラック等が明瞭に確認された。これらは従来の目視点検では視界の制約や作業空間の狭さなどから、把握や記録が極めて困難であった変状である。

(2) 点検時間

表-1 に代表的な樋門・樋管における従来の目視点検と 360° カメラ点検の所要時間を示す。対象とする樋門・樋管の寸法および目視点検による変状数を記載し、所要時間は機器準備および点検時間の合計とした。目視による点検時間とは函体全体の変状確認および確認された変状の計測に要した時間のことである。また、360° カメラによる点検時間とは、動画の撮影と撮影動画から変状を確認するのに要した時間の合計である。結果として、樋門・樋管ともに目視点検よりも 360° カメラによる点検時間の短縮が図られた。特に樋管については成人が侵入する場合、屈みながら点検することになるため、点検者の負担の観点からみても 360° カメラによる撮影は効果的であると考えられる。

表-1 目視点検と 360° カメラ点検の時間比較

樋門管	寸法	変状数	方法	機器準備	点検時間	所要時間
A 樋門	H=2m B=2m L=23m	3	目視	0分	25分	25分
			360° カメラ	5分	10分	15分
B 樋管	$\phi=0.9\text{m}$ L=56.4m	9	目視	0分	35分	35分
			360° カメラ	3分	10分	13分



図-7 ①正距円筒動画変換 ②キューブマップ動画変換
③切り出し画像事例

4. 樋門函体における展開図の作成

(1) 魚眼画像から平面画像への変換

展開図を作成するためには 360°カメラで撮影された動画から画像（写真）を抽出することが基本となる。360°カメラで撮影された画像は魚眼レンズ特有の歪みを含むため、歪みを含む撮影データを平面画像に変換し、視認性の高い形式とする必要がある。本検討では、以下の手順により魚眼データから展開図作成までの処理を行った。

- 1) 正距円筒動画への変換：360°カメラで撮影された魚眼動画を図-7①に示す正距円筒投影方式に変換する。これにより、全周囲の映像を水平方向に展開した形式で表示可能となる。
- 2) キューブマップ動画への変換：正距円筒動画を図-7②に示すキューブマップ形式に変換する。キューブマップは、360°映像を各面（左面・右面・上面画像）に分割して表示する方式であり、特定方向の画像を抽出することが可能となる。
- 3) 左面・右面・上面画像の切り出し：キューブマップ形式から函体壁面に相当する左面・右面・上面の静止画像を切り出す。これにより図-7③に示すように各面の変状を個別に確認できる画像が得られる。

A 樋門展開図

上流側側壁
吐口側

凡例: 要監視段階の変状 予防保全段階の変状

呑口側

下流側側壁
吐口側

SP10.5 付近
鉄筋露出

SP12.5 付近
鉄筋露出・剥離

SP16.5 付近
断面欠損・剥離

呑口側

頂板
吐口側

呑口側

図-8 A 樋門函体内の展開図

4) 展開図の作成：切り出した各面の画像を、画像結合ソフトである Metashape や Photoshop を用いて連結し展開図を作成する。

(2) 作成した展開図の精度検証

図-8 に前述の方法で作成した展開図を示す。展開図の作成により、上流側・下流側・頂板の各部位における吐口から呑口までの変状の位置関係や形状、広がり把握することが可能となった。また、写真-6 に目視点検時の写真および作成した展開図の拡大写真を示す。函体内の上流側側壁には、目視点検により 3 箇所の変状が確認されており、そのうち監視段階の変状が 1 箇所、予防保全段階の変状が 2 箇所であった。360°カメラによる撮影動画を元にした展開図においても目視点検時に確認された変状を視認することができ、目視点検では把握しづらかった変状の全体像を視覚的に把握し精度の高い図面が得られることが示された。

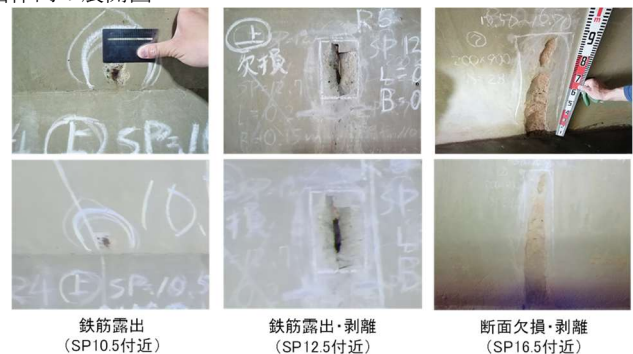


写真-6 A 樋門上流側壁の変状箇所
(上: 目視点検時の写真 下: 展開図の拡大写真)

5. AI 画像解析の試み

360°カメラで撮影した動画から切り出した画像に対して、AI 画像解析ソフトである「ひびみつけ」(NETIS 登録番号: KT-190025-VR、技術番号: BR010024-V0121) を使用し、「ひびわれ」「剥離・鉄筋露出」「漏水・遊離石灰」などの変状の検出を試みた。

AI 解析に用いた画像および解析事例を図-9 に示す。その結果、点検時には軽微なため変状として挙げられていない遊離石灰 (図-9b・図-9c) や調査孔からの漏水・さび汁 (図-9b)、目視点検時に確認された鉄筋露出 (図-9a) などの変状が AI 解析によって検出された。このことから、360°カメラで得られた撮影動画から AI 解析を用いることにより変状を抽出できる可能性が示唆された。

6.まとめと今後の課題

本検討により得られた結果および課題を以下に示す。

(1) 撮影方法

函体内点検において、360°カメラを台車に固定し、

使用画像	AI 解析
(a)	AI 解析では鉄筋露出を検出している。また、調査孔下部のさび汁を検出している。
(b)	遊離石灰は軽微なため変状として挙げてないが、AI 解析では遊離石灰を一部検出している。また、漏水は軽微なため変状として挙げてないが、AI 解析では漏水を検出している。
(c)	遊離石灰は軽微なため変状として挙げてないが、AI 解析では遊離石灰を一部検出している。

■ ひび割れ ■ 剥離 ■ 鉄筋露出 ■ さび汁 ■ 漏水 ■ 遊離石灰 ■ 浮き ■ その他

図-9 AI による解析結果

撮影高さを一定に保ちながら台車を移動させる撮影方法により、撮影時のブレを可能な限り低減し、画像の結合精度および変状の視認性を確保した。また、調査が困難な小口径の樋管に対しては、ラジコンを使用した遠隔操作による点検を行った。

その結果、樋門および樋管において高精度な動画が得られ、従来の目視点検よりも点検時間が短縮した。このことから、360°カメラによる点検手法は樋門・樋管涵体内の状態把握において有効な手段であると考えられる。しかし、涵体内部の床面は必ずしもフラットではなく、コンクリート表面の不陸や接手部の段差、堆積した土砂等の影響により、台車移動時に上下方向の微小なブレが生じることが避けられなかった。今後は衝撃を緩和するための物理的工夫が必要と考えられる。

さらに、樋門および樋管において、ひび割れのように幅や長さが数 mm 程度の微細な変状については、画像上での視認は可能であっても、正確な寸法の計測は困難な状況である。今後は画像解析による変状抽出技術の高度化に加え、基準スケールの導入や、画像上での寸法の補正方法の確立など、小規模な変状に対する定量的評価を可能とする技術の検討が必要である。

(2) 展開図作成

360°カメラで撮影した動画をもとに、現実に即した視認性の高い展開図を作成した。これにより、目視点検では把握しづらかった変状の全体像や位置関係を、効率的かつ視覚的に把握することが可能となった。

しかし、画像を結合する際に、図-10 に示すように、壁面に表示された SP や変状の位置が完全には一致しないケースが確認された。これにより、変状の形状が歪んで見えるなど、展開図の精度に影響を及ぼす可能性が懸念される。これらの課題に対しては、画像を結合する際に使用される静止画のラップ率（画像間の重複率）を高めることにより、画像間の対応点の検出精度を向上させ、より滑らかで高精度な展開図を作成することが可能であると考えられる。

(3) AI解析

360°カメラで撮影した動画から切り出した画像に対して AI 画像解析を試行的に実施し、実際に存在する変状を検出した。撮影時のブレや照度等の影響により、変状が正確に写っていない箇所では変状の未検出や誤検出等も一部で見られたが、360°カメラで得られた撮影動画を用いた AI 解析により変状を抽出できる可能性が示唆された。

近年、AI を活用した河道管理の効率化・高度化が進展しており⁵⁾、360°カメラを用いた撮影動画から変状を自動で抽出する技術は、点検作業の省力化および精度の両立を図るうえで有望である。今後は、AI 解析に適した画像の撮影方法についても検証を進めるとともに、実用化に向けた技術的課題の抽出を



図-10 展開図の歪み（左：全体図 右：拡大図）

行っていく必要がある。

参考文献

- 1)国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課：堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領,令和5年3月.
- 2)国土交通省北海道開発局：「AI/Eye River ワーキングの取組について」,北海道開発局ホームページ掲載資料,令和4年3月.
- 3)陳瑜,山根達郎,久保栞,全邦釘：360 度画像を活用したインフラ点検情報管理システム：雨水排水管事例研究,第7回 i-Construction の推進に関するシンポジウム,pp85-pp88, 2025.
- 4)鏡原聖史,立川浩祥,塩谷智基,麻植久史,久保大樹,福地良彦：360 度動画によるリアリティキャプチャ技術を用いた施設点検の事例,第36回日本情報地球学会講演会 講演要旨集,pp31-pp32,2025.
- 5)吉井貴弘,AI（人工知能）技術を活用した河川監視の高度化に向けた取り組みについて（完了報告）,2022.