

# 全天球カメラを活用した 樋門・樋管函体内における変状把握手法の開発

油川曜佑 株式会社 北開水エコンサルタント 伊藤綱信 株式会社 北開水エコンサルタント旭川支店  
渡邊康玄 国立大学法人 北見工業大学 猪股直紀 前札幌開発建設部滝川河川事務所

## 1.研究背景・目的

- 維持管理分野におけるインフラDXの推進と、それに対応した点検手法の見直し
- 全天球カメラを活用した樋門・樋管点検の効率化および画像評価手法の高度化への期待

- 樋門・樋管函体内における全天球カメラの適用事例の不足
- 撮影方法，撮影条件および運用手法に関する標準化・基準整備の未確立

- 全天球カメラによる動画撮影を用いた点検時間の短縮効果を検討
- 函体条件に応じた機材と照明の選定による高精度な撮影方法，撮影動画を用いた展開図作成の適用性を検証
- 将来的な全天球カメラ映像を活用したAIによる変状の自動抽出を見据え，撮影画像を対象としたAI解析による変状検出の検証

## 2.撮影機材と撮影方法

### ◆樋門



### ～構成～

- 基本機材として8K対応の高解像度全天球カメラを採用
- 撮影補助機材としてジンバル（常平架），平面LEDライト，および自由雲台を組み合わせた一体型撮影システムを構築

### ～照明～

- 7つのケースで撮影時の影の動きや，壁面の明るさのムラを重点的に確認
- 棒状ライトは光が線状に広がるため影が出やすく，壁面の一部が暗くなる傾向
- 平面ライトは広い範囲を均一にし，変状の視認性が安定

- 前方から平面ライトを照射する方法（No.4）と，台車に平面ライトを1台載せて照射する方法（No.5）が最も良好
- 台車にライトを固定するだけでよく，1名で作業でき現場での運用性が高いNo.5を採用（No.4は明るさが十分に確保できるが，前方照射のために点検員が2名必要）

### ～方法～

- 台車を押して撮影
- 撮影位置把握のため，壁面にSPマーキング

### ◆樋管



### ～構成～

- 遠隔操作型小型移動体（ラジコン機器）に8kカメラとLEDテープライトを付帯

### ～照明～

- ラジコン側面に照度100lm程度のLEDテープライトを取り付け



### ～方法～

- ラジコンによる遠隔操作
- 撮影位置は管の構造上一定間隔で配置されている継手を基準点として把握

## 3.調査結果

### 撮影結果

- 函体内部の全周囲を時系列に沿って連続的に記録
- 撮影者の視野角に制約される従来の目視点検では得難い，空間的な広がりを持つ記録媒体に

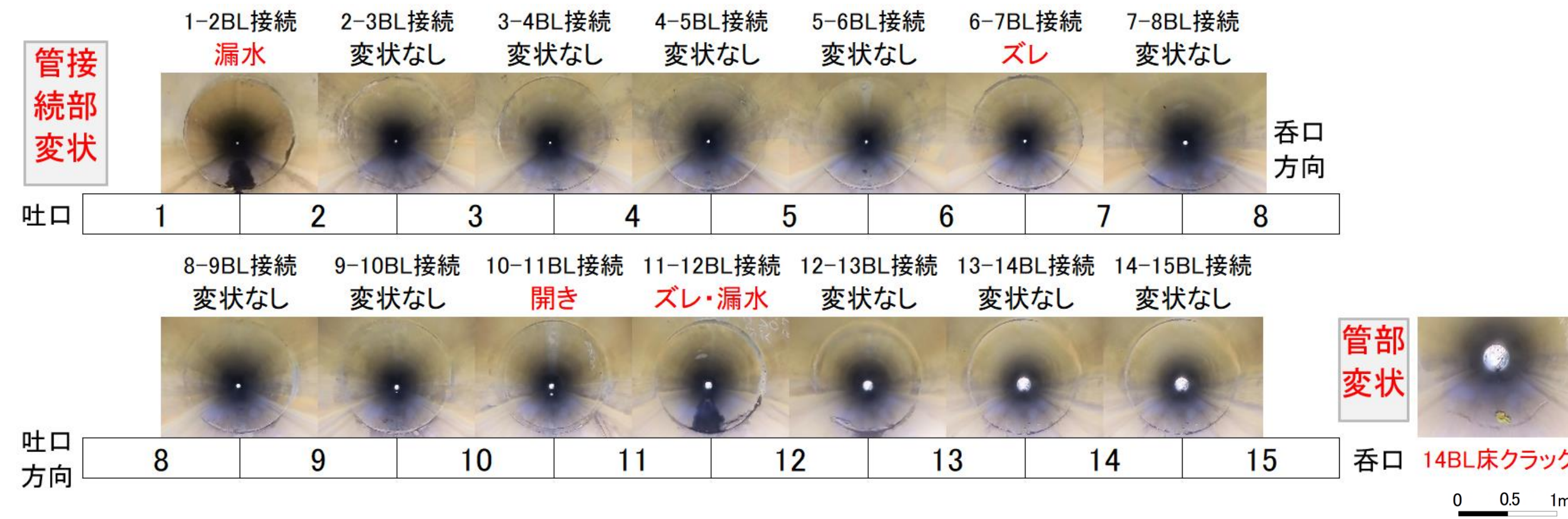


### ～樋門～

- 目視点検で確認された代表的な変状（ひび割れ，漏水，鉄筋露出）と，同一箇所を全天球カメラで撮影した画像を対比
- 全天球カメラ画像は広範囲を一貫して記録できる特性に加え，高解像度化と照明条件の最適化により，個々の変状も鮮明な視認性を確認
- 鉄筋露出のような局所的かつ深刻な変状も，画像上で明瞭に捉え，変状の位置・形状・進展の把握に有効であることを確認

### ～樋管～

- 樋管の内部空間は暗所かつ狭隘であるため，従来の目視点検では視界制約から変状の全体把握は実質的に困難
- C樋管の管接続部における漏水・ズレ，管部底面のクラック等が明瞭に確認
- 全天球カメラによる遠隔撮影が狭隘環境における有効な点検手段であることを確認



### 撮影時間

- いずれも全天球カメラ点検による所要時間は目視点検よりも40%～60%程度の短縮
- 特に，C樋管では短縮効果が顕著，遠隔撮影により屈曲姿勢での移動が不要となったため，点検者の負担の観点からも全天球カメラによる点検の有効性を確認
- 目視点検に対する全天球カメラの変状検出率は100%，目視点検と同等以上の変状検出性能を有することから，全天球カメラによる点検の効果を確認

- 動画として記録が残るため点検後に繰り返し確認が可能，記録の客観性・再現性の観点でも優位性

## 5. AI画像解析の試み

AI画像解析ソフト「ひびみっけ」（NETIS登録番号：KT-190025-VR）による変状自動検出の基礎的検討

- 目視点検で把握済みの鉄筋露出および調査孔下部のさび汁を適切に識別
- 点検時には軽微と判断されて変状リストに挙げられていなかった遊離石灰についても検出
- 目視点検は熟練した点検員の経験や判断に依存するため，軽微と判断した変状を記録から除外する場合も
- これに対しAI解析は判定基準が統一され，同一画像に対して再現性の高い結果を出力するため，人的判断では見過ごされやすい初期段階の変状を客観的に検出できる点に優位性

- 全天球カメラで得られた撮影動画からAI解析を行うこと変状を抽出できる可能性を示唆
- 全天球カメラとAIの組み合わせは点検の客観性・網羅性を高める技術として有望

## 4.樋門函体の展開図による変状把握の可能性

### 魚眼画像から平面画像への変換

全天球カメラ映像には，魚眼レンズに歪みが含まれるため，平面画像への変換処理を4段階で実施

- 第1段階：魚眼動画を正距円筒投影へ変換し，函体内部の全周囲を水平方向に展開した連続映像を生成（①）正距円筒投影は全方位映像の標準的な表現形式であり，左右壁面と頂板の連続性を保持しながら視認性が向上
- 第2段階：正距円筒動画をキューブマップ形式へ変換（②）キューブマップは映像を6つの平面に分割する方式であり，函体壁面に対応する左面・右面・上面の画像を独立して抽出する際に有効
- 第3段階：キューブマップから左面・右面・上面の静止画を切り出し（③）各面を独立した平面画像として扱うことで，変状の抽出および位置特定の精度が向上
- 第4段階：切り出した各面の画像をMetashapeおよびPhotoshopを用いて連結し，展開図を作成



### 作成した展開図の精度検証

A樋門：SP10.5付近の鉄筋露出，SP12.5付近の鉄筋露出・剥離，SP16.5付近の断面欠損・剥離の3箇所の変状  
B樋門：SP20.0付近の継手の開き，SP22.0付近の側壁ひび割れ等，SP27.0付近の鉄筋露出，SP36.0～38.0付近の側壁の遊離石灰等，SP40.0付近の断面欠損の6箇所の変状

- A樋門：目視点検と展開図上の変状位置の比較結果，上流側側壁の3箇所の変状（緑枠：監視段階）1箇所，黄色枠：予防保全段階）2箇所）がすべて展開図上で同一位置に確認
- B樋門：上下流側側壁の6箇所の変状（緑枠：監視段階2箇所，黄色枠：予防保全段階4箇所）が確認

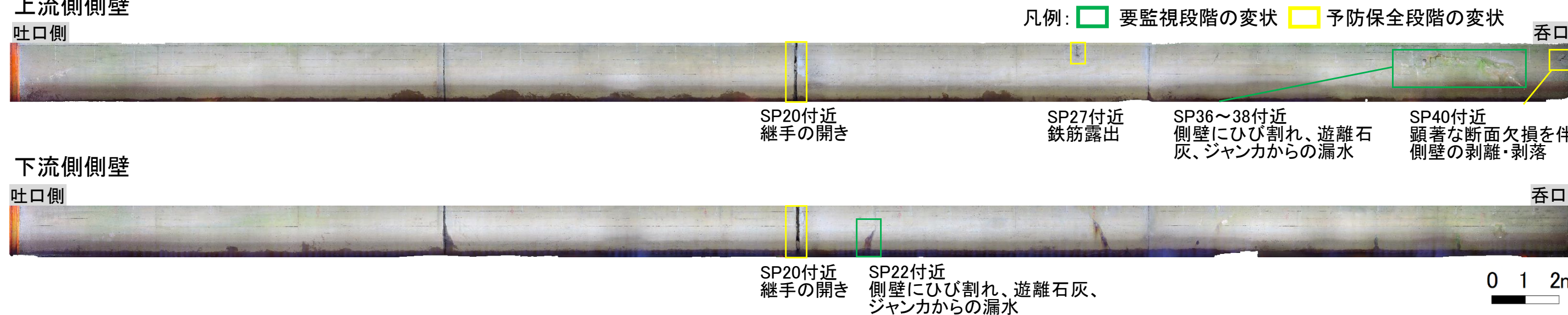
- これまで展開図は図式的に作成することが多かったが，撮影した動画を用いて，変状状態が画像で確認できるリアルでシームレスな展開図の作成に成功

- 全天球カメラ映像を基にした展開図は変状の空間的位置関係を反映可能に
- 展開図は変状の全体像を俯瞰的に把握できる目視点検にはない利点を持ち，複数の変状間の位置関係・進展方向の評価や，経年変化の比較において有効

### A樋門展開図



### B樋門展開図



## 6.まとめと今後の課題

### 撮影方法

- 大規模な専用機材を用いることなく，汎用性の高い安価な機材で構成可能な全天球カメラ撮影システムを開発し，展開図作成に必要な幾何学的整合性を確保した映像取得を実現
- ラジコンによる遠隔撮影は，小口径の樋管でも高精度な動画データの取得を可能に  
→撮影映像の安定性に影響を与える函体床面の不陸・堆積土砂に起因する台車の微小な上下動を緩和する手法や幅・長さが数mm程度の微細な変状を計測する手法の開発

### 展開図作成

- 全天球カメラ映像を基に従来の目視点検では困難であった変状の空間的広がり・位置関係の連続的把握を可能とする展開図を作成
- 変状の優先度評価や補修計画立案時に，点検員の判断を支援する有効なツールに  
→画像結合時に壁面上のSP標示や変状位置のわずかな不一致の解消やSfM（Structure from Motion）や深度センサーとの組み合わせによる三次元モデルの生成

### AI解析

- 全天球カメラ×AIにより，軽微な変状の補完的検出と点検品質の均質化の可能性
- AI解析の高度化と変状マッピングの実装によりインフラ維持管理DXへの展開が期待  
→AI解析精度に最適化された撮影条件の定量的基準化，学習データの拡充，および多様な変状カテゴリへの対応拡大