

## 高解像度カメラを用いて水管橋の点検を実施した業務事例

オリジナル設計(株) 東日本支店 新潟事務所 家井拓也

本稿は近年、技術革新が進む高解像度カメラを用いて実施した下水道水管橋における点検手法の紹介である。点検を実施する水管橋は建設から 35 年が経過しており一級河川の河口付近に位置することから老朽化に伴う劣化に加え、海からの塩害による劣化も懸念されていた。水管橋の構造は、トラス補剛形式の独立水管橋であり、橋長が約 280m と長大で、かつ、高所作業となることから直接目視が困難な橋梁上部構造を対象に高解像度カメラを用いた映像による損傷部位の評価・判定を行った。高解像度カメラを用いた点検の結果、異常の有無の確認を迅速に行い、点検コストの縮減および安全な作業を成しとげた。

*Key Words* : 下水道水管橋、点検、ドローン、全天球カメラ

### 1. はじめに

近年、わが国では重要な公共施設の耐震化など防災・減災・国土強靱化を図る政策を推進している。そのような社会状況下で 2021 年に発生した和歌山県水道橋崩落事故は、その被害の大きさから、厚生労働省が「全国上水道水管橋緊急調査」を実施するなかで水管橋の点検調査について見直しが図られ、災害対策の観点からも、生活基盤施設耐震化等交付金において、水管橋の補強、改築・更新等にかかる国庫補助が創設された。

一方、下水道の分野では下水道法改定に伴い、腐食環境下における管きよの点検が法定義務として定められたものの、一般環境下における点検には義務化がなされておらず、N 市においても下水道水管橋の点検・調査は余り行われていないのが実状である。

一般に、下水道水管橋の点検・調査は、仮設足場を設置し、高所や難所はロープアクセスにより行うが、この作業では転落の危険性が高く、安全器具の設置や安全教育の向上などの転落防止策を必要とする。さらに、近接目視による点検・調査は、足場の設置と撤去に係る作業に時間を要することから、作業期間が長期化し、費用が嵩む傾向にある。

そこで早急に点検を行い、異常の状況を踏まえ対策の必要性を確認したい N 市の要望をかなえるべく、下水道水管橋を対象に、高解像度カメラとドローンを使用して損傷箇所の特定および評価・判定を実施した事例について報告する。

### 2. 点検対象施設の概要

#### 2-1 現場条件

点検を実施する水管橋は川幅約 300m の一級河川の河口付近を横断しており、海岸線からの距離が約 2 km と近いことから塩害地域に存在している。現場は N 市の中心市街地であり、周辺地域一帯は D I D 地区に指定されているほか、鉄道橋が下水道水管橋に近接している。

## 2-2 対象施設の諸元

形式 : 4 径間トラス橋 (写真-1)  
橋長 : 283.5m  
添架管 : 塗覆装鋼管 φ 600 mm×2 条  
竣工年 : 1984 年  
点検前の損傷状態 : 構造自体の大きな損傷は認められない。  
塗装の所々に錆が発生している。



写真-1 水管橋全景

## 3. 下水道水管橋の点検における課題

### 3-1 点検に係る評価手法の確立

下水道水管橋の点検・調査におけるマニュアル・指針等は 2020 年時点において存在せず、異常の判定基準や緊急性の評価手法の確立が課題となっている。ゆえに、委託業者によって点検・調査の結果を比べた際に、異常判定に乖離が生じる可能性が存在していた。

### 3-2 近接目視による点検の困難性

道路橋の点検には橋梁点検車が用いられ、専用の車を使用することで近接目視を簡易に行うことが可能である。しかし、下水道水管橋の場合、橋梁点検車が使用できないことから、これまでは点検用の仮設足場や台船を設置後に、高所や難所においてはハーネスとロープを用いたロープアクセスによる近接目視にて点検を行う方法を用いていた。これらの方法は船上作業や高所作業に伴う調査員の転落リスクのほか作業期間が長期化する傾向にあり、費用が嵩むことから定期的な点検が行われていない。

## 4. 高解像度カメラを用いた点検における課題の解決策

### 4-1 点検方法

点検の実施計画の策定にあたっては道路橋の点検方法が示されている「道路橋定期点検要領 平成 31 年 2 月 国土交通省 道路局」(以後「道路橋点検要領」と言う。)および、水管橋(管きよ)の点検方法が示されている「露出鋼管(水管橋等)～外面塗装劣化診断評価の手引き～平成 25 年 3 月」(以後「水管橋診断手引き」と言う。)を参考とした。

また、これらの要領・手引きにおいては近接目視以外の方法も示されていることから、本事例ではこれを参考として高解像度カメラを用いた撮影を行い、撮影した映像を基に損傷箇所の特定および評価・判定を行った。以下に参考とした要領・手引きの抜粋を示す。

#### 「道路橋点検要領」

定期点検を行う者は、健全性の診断の根拠となる道路橋の現在の状態を、近接目視により把握するか、または、自らの近接目視によるときと同等の健全性の診断を行うことができる情報が得られると判断した方法により把握しなければならない。

#### 「水管橋診断手引き」

当該水管橋が、高所又は直近で調査が出来ない場所にある場合、また劣化部分について詳細に評価を行う場合、デジタルカメラの光学高倍率ズームを活用して、画像をパソコンに取り込み、画像を拡大してから判定を行う。

## 4-2 撮影方法

撮影に使用した高解像度カメラは主にドローンに搭載した小型カメラと全天球カメラの 2 種類である。撮影の方法は両岸からドローンを操縦する「ドローン撮影」と調査員が歩廊上を全天球カメラで撮影しながら往復する「全天球カメラ撮影」で実施した。

### (1) ドローン撮影

ドローン撮影は水管橋上部工、支承部、落橋防止装置等の川の両岸や管理用歩廊からの直接目視が困難な箇所の撮影を担当する。撮影方法はドローンを水管橋の上面、下面および左右側面を動画撮影しながら往復飛行することにより行う（写真-2）。なお、ドローンの飛行に関しては、条例等による規制のほか、航空法の改正も頻繁に行われているため、最新の法規制を遵守した内容とした。

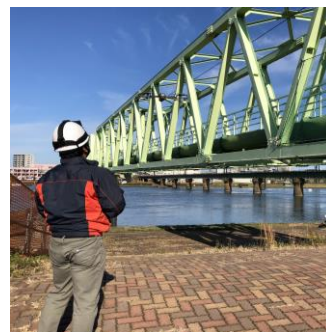


写真-2 ドローン撮影作業

### (2) 全天球カメラ撮影

全天球カメラ撮影は水管橋鋼管、管理用歩廊、水管橋上部工を対象に、管理用歩廊から直接目視が可能な箇所の撮影を担当する。

撮影方法は調査員が管理用歩廊上を全天球カメラで動画撮影しながら往復することにより行う（写真-3）。また、全天球カメラの死角となる管理用歩廊下の管および管の支承部等はデジタルカメラでスチール撮影し、補完を行った。



写真-3 全天球カメラ撮影作業

## 4-3 撮影機材

本事例では家電量販店等で販売されている汎用品の機種から、水管橋の点検・調査の現場条件における要求性能を有する機種を選択した。撮影機材の要求性能は表-1 の内容が挙げられる。

表-1 高解像度カメラ要求性能

機材	要求事項	要求性能
共通	映像から画像を拡大して切り抜ける	高画質の撮影が可能であること（4K 以上）
	対象施設が長大なため軽量	持ち運びが簡単であること（3kg 以内）
	撮影時間が長い	連続 20 分以上の撮影が可能な電池容量であること
ドローン	構造物に接触するリスクを減らす	自動で障害物を回避する機能を有していること
	支承部を撮影する際に細かく撮影位置を調整する必要がある	継続飛行時間が長いこと（20 分以上）

(1) ドローン

本事例では**表-1**の要求性能を満たす DJI 社製の「MAVIC 2 Pro (**写真-4**)」を使用して点検・調査を実施した。本機の性能を**表-2**に示す。



**写真-4 使用ドローン機体**

**表-2 ドローン性能一覧**

名称	MAVIC 2 Pro
製造社名	DJI
寸法	322×242×84mm (飛行時)
重量 (バッテリー込)	907g (1204g)
伝送距離	8km
継続飛行時間	31分
バッテリー	交換可
動画解像度	4K 30fps
その他機能	障害物回避機能 (自動追尾)

(2) 全天球カメラ

本事例では**表-1**の要求性能を満たすリコー社製の「RICOH THETA SC2 (**写真-5**)」を使用して点検・調査を実施した。カメラの性能を**表-3**に示す。



**写真-5 使用全天球カメラ**

**表-3 全天球カメラ性能一覧**

名称	RICOH THETA SC2
製造社名	リコー
寸法	45.2×130.6×22.9mm
重量	約104g
電池寿命	約60分
動画解像度	4K 30fps

#### 4-4 損傷程度の評価・判定

ドローンおよび全天球カメラにより撮影した映像から損傷箇所を発見し、損傷箇所については映像から静止画を切り出し、静止画を基に損傷程度の評価・判定を行った。

評価・判定に際し、準拠する基準が異なることから水管橋構造物を管の外面塗装と管構造部材 (空気弁、伸縮管等)・上部工 (橋梁構造部) の部位に分け、各部位を損傷種類ごとに評価を行った。

(1) 管の外面塗装

管の外面塗装は「水管橋診断手引き」を参考に景観性 (白亜化、変退色、汚れ、外観) と防食性 (さび、われ、はがれ) を各 4 段階で評価を行った。

(2) 管構造部材 (空気弁、伸縮管等)・上部工 (橋梁構造部)

管構造部材は「水管橋診断手引き」を参考に点検項目を設定し、上部工は N 市の橋梁定期点検要領を参考に点検項目を設定した。点検項目の評価基準は N 市の橋梁定期点検要領を参考に 5 段階で評価を行った。点検項目を**表-4**、**表-5**に、評価基準を**表-6**に示す。

表-4 上部工部材点検項目

部位・部材区分			対象とする項目 (損傷の種類)	
大区分	中区分	小区分	鋼	コンクリート
上部構造	主桁	上弦材	①腐食 ②亀裂 ③ゆるみ・脱落 ④破断	-
		下弦材	⑤防食機能の劣化 ⑥遊明の異常 ⑦定着部の異常	
	トラス	⑧異常なたわみ ⑨変形・欠損		
	斜材・垂直材	⑩漏水・滞水 ⑪異常な音・振動		
横桁	横桁			
その他	橋門構 下横構			
支承部	支承	支承本体	①腐食 ②亀裂 ③ゆるみ・脱落 ④破断 ⑤防食機能の劣化	⑥支承の機能障害 ⑦漏水・滞水 ⑧変形・欠損 ⑨土砂詰り ⑩沈下・移動・傾斜
		アンカーボルト	①腐食 ②亀裂 ③ゆるみ・脱落	④破断 ⑤変形・欠損
	落橋防止システム	①腐食 ②亀裂 ③ゆるみ・脱落 ④破断	⑤防食機能の劣化 ⑥異常な音・振動 ⑦異常なたわみ ⑧変形・欠損	
	沓座モルタル	-	⑥ひびわれ ⑦剥離・鉄筋露出 ⑧漏水・遊離石灰 ⑨うき ⑩変色・劣化	
	台座コンクリート	-	⑥ひびわれ ⑦うき ⑧変形・欠損	

表-5 管構造部材点検項目

番号	部位	点検内容
①	圧送管	漏水 (塗装については塗替え基準による)、変形
②	リングサポート	腐食、傾き、変形、破損、アンカーボルトの状態
③	沓 (アンカーボルト)	移動可能量 (ストッパーとの当たり) 腐食、変形、破損、アンカーボルトの緩み
④	伸縮管 (継輪)	漏水、腐食、異常変形 (伸び、縮み)
⑤	空気弁	漏水、フランジ部の腐食
⑥	管理歩廊	腐食、変形、破損

表-6 損傷評価基準

損傷区分	一般的状況
a	損傷が特に認められない。
b	軽微な損傷が発生している。
c	損傷が発生している。
d	損傷が大きい。
e	深刻な損傷が発生している。

(3) 対策区分・健全度評価

損傷程度の判定後は圧送管については「水管橋診断手引き」に従い対策の判定を行い、管構造部材・上部工については N 市の橋梁定期点検要領に従い対策区分及び健全度評価を行った。

4-5 点検の課題と対応策

(1) 周辺構造物への影響範囲

ドローンの飛行に際しては、関係機関に対して事前に調査内容を説明し、調整事項の確認及び承諾許可を得る必要がある。そのため、ドローンによる点検・調査の内容を分かりやすくまとめた飛行計画を作成した上で説明を行った。また、飛行計画の中でドローンの飛行する範囲を設定し、影響範囲を見える化した飛行範囲図 (図-1) を添付することにより調査のイメージの共有を図った。

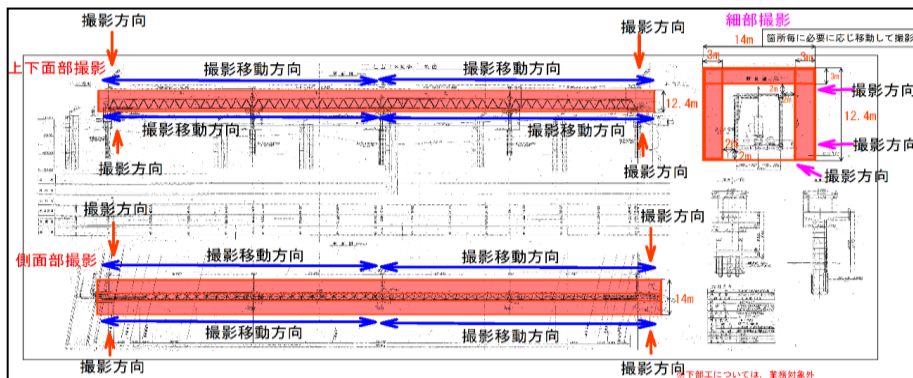


図-1 飛行範囲図

(2) 映像の撮り逃し防止

点検前に調査員と具体的な撮影箇所の共有を行った。特に支承部等の狭小箇所は一面からの撮影では死角が多いことから、調査員には複数の角度からの撮影を指示することで映像の撮り逃しを防いだ。

4-6 点検結果

高解像度カメラにより撮影した映像から、水管橋全体で 145 箇所の損傷を確認した。撮影した損傷箇所の静止画の例を写真-6 に示す。

写真説明	上横構	写真ファイル名	
損傷程度	b	損傷の種類	腐食
			メモ
			腐食-b ボルト周辺に錆が見られる。

写真説明	橋門構	写真ファイル名	
損傷程度	b	損傷の種類	腐食
			メモ
			腐食-b ボルト部に錆が見られる。

写真-6 損傷箇所の静止画

静止画を基に健全度診断を行った結果、空気弁に「損傷程度 c」の腐食が確認されたことから空気弁構造物の補修が必要であると判断した。また、塗装については塗替えから 20 年が経過し、腐食等が 140 箇所確認されたことから塗替えが必要であると判断した。

## 5. まとめ

### 5-1 下水道水管橋の点検における高解像度カメラの効果

(1) 早急に異常の有無を確認することが可能

水管橋の点検に要した現場作業日数は 1 日程度であり、水管橋の点検に高解像度カメラを用いることで異常の有無を早急に行うことができた。

(2) 調査員の安全性が向上

危険を伴う高所作業は歩廊上での高解像度カメラによる撮影のみであったことから、仮設足場の設置による点検と比べ、安全に作業が実施できることが実証された。

(3) 損傷判定の精度が向上

支承部の錆の判定を迷う箇所が存在したが、高解像度カメラによる高画質な映像により異常の把握を複数の人員で共有と確認ができたことで正確な評価・判定につながった。

### 5-2 下水道水管橋の点検における高解像度カメラの課題

(1) 点検データの管理方法

画像が鮮明で異常の有無や程度の判定を容易にしたが、その反面、データ量の増大に伴う画像データ整理や蓄積できる容量の制約を受けることが判明した。報告書に記載する方法や膨大なデータの保存方法について模索する必要がある。

(2) 損傷箇所の判定作業

撮影した映像から損傷箇所を探し、損傷箇所の判定作業に時間を要したことから、効率的に判定を行うことのできるマニュアルまたは手順書などの作成が課題である。

## 6. 今後の展望

高解像度カメラにより得られた映像データは容量が大きいことから、クラウドサーバに保存・共有することが有効である。さらに、クラウドサーバに蓄積したデータを基に損傷箇所の評価、判定を行う自動解析技術の導入と精度の向上を図ることで、損傷箇所の評価・判定を即時に行えるようなシステムの構築が可能と考えている。