

# 橋梁点検の洗掘調査における 水中 3D スキャナー技術の活用と効果検証

○竹内智則<sup>1</sup>・榎本順一<sup>1</sup>・森永哲也<sup>1</sup>・古殿太郎<sup>2</sup>・坂本葉月<sup>3</sup>

<sup>1</sup>いであ（株） 社会基盤本部 道路橋梁事業部橋梁部（〒158-0094 東京都世田谷区玉川 3-14-5）  
<sup>2</sup>いであ（株） 東北支店 自然環境保全部（〒980-0012 宮城県仙台市青葉区錦町 1-1-11）  
<sup>3</sup>いであ（株） 名古屋支店 環境調査・化学部（〒455-0032 愛知県名古屋港区入船 1-7-15）

安全で健全な社会インフラの維持・管理の一環として、橋梁施設においては 5 年毎の定期点検が実施されている。点検手法は人力による近接目視が基本とされているが、現場条件によっては、近接目視による点検が困難な部材があるほか、正確な状況を確認できないといった課題があり、国土交通省が取りまとめた「点検支援技術」の利用促進が進められている。本稿では、特に橋梁点検における課題の一つである近接目視による点検が困難な下部工水中部における洗掘損傷を把握することを目的に、自社開発の点検支援技術(水中 3D スキャナー)を活用し、洗掘状況の把握、周辺河床の可視化に取り組んだ調査方法、有効性、及び効果について報告する。

**Key Words:** 橋梁点検, 洗掘調査, 点検支援技術, 三次元データモデル

## 1. はじめに

近年、5 年毎に行う定期点検や出水時の緊急点検等で記録された損傷事例では、洗掘を起因とする橋脚の傾斜や道路の安全を脅かす変状が多く報告されている。国土交通省道路局は健全な社会インフラ持続・管理の観点から、点検業務での洗掘状況の確実な把握を求め、R3,3.30 付で「定期点検要領 平成 31 年 3 月」<sup>1)</sup>の補足資料について事務連絡を行い、新たに水中部の部材や基礎周辺の把握についての条文を追加し、実施した洗掘調査の方法、その結果を記録する様式を盛り込んだ。

このような背景から、橋梁点検において洗掘損傷を正確に把握できる手法の確立は急務であり、新技術の開発・適用の検討が意欲的に行われている。本稿では、自社開発の点検支援技術(水中 3D スキャナー)を活用し、水中部の点群データを取得、別途取得した陸上部の点群データと統合し、三次元データモデルを作成した上で分析を行い、洗掘状況の把握、及び周辺河床の可視化に取り組んだ調査方法、有効性、及び効果について報告する。



写真-1 P53 橋脚現況

写真-2 湖面現況

## 2. 調査対象・調査目的

霞ヶ浦北浦に架橋された国土交通省が管理する国道 51 号の神宮橋を対象とした。橋梁諸元を(表-1)に示す。

表-1 橋梁諸元

竣工	橋長	全幅員
1960 年	950m	7.7m
上部構造形式	単純 PC プレテン T 桁橋	
下部構造形式(橋脚)	ラーメン橋脚(RC)75 基	
基礎形式(橋脚)	オープンケーソン 75 基	

神宮橋では安全上の課題を解決するため、H26 に設置された「橋脚の損傷に関する調査検討委員会」において詳細調査が行われ、橋脚梁部の著しい劣化損傷や、橋面で確認された水平変位から想定される下部工の傾斜等が報告されている。そのため、特に劣化が著しいとされた P45～P55 橋脚の内、併せて不同沈下が報告されている P53 橋脚、及び連続する P54 橋脚の 2 基の基礎周辺水中部、及び周辺河床を調査範囲とした。対象の P53 橋脚の現況を(写真-1)、湖面状況を(写真-2)に、調査範囲及び、地形現況を(図-1)に示す。

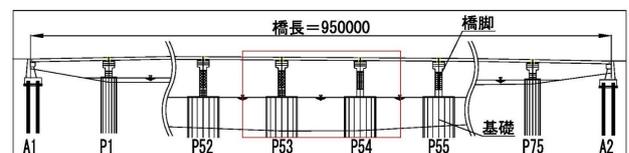


図-1 調査範囲側面図

前述の検討委員会の報告内容から、通常の定期点検による損傷の把握に加えて、基礎周辺水中部の洗掘状況や現況河床の正確な状況把握が重要と考え、洗掘調査を計画した。

周辺の水深は5m程度と深いことや、透明度が著しく低い水質のため、従来手法の潜水士や水中カメラの適用が困難であったため、水深の影響を受けず濁水中に適用可能な水中3Dスキャナーを利用する計画とした。

### 3. 水中3Dスキャナー調査の概要

調査工程略式図を(図-2)に示す。

#### (1) 現地調査

調査では国土交通省が公開する「点検支援技術性能カタログ(橋梁・トンネル)令和5年3月」<sup>2)</sup>に掲載の技術【水中3Dスキャナーによる水中構造物の形状把握システム(技術番号 BR030024-V0222)】(※以下水中3Dスキャナー)を用いP53、P54橋脚を囲うように13の測点で計測を実施した。船上より垂下し水底静置させた水中3Dスキャナーより計測対象に指向性の高い1350kHzの音波を扇状に発信(256ビーム、上下42°左右1°)し、反射波を受信して時間差を計測することにより、対象物との距離を算出する。本調査で適用した水底静置計測では音波発信機の上下角を固定して一定の速度で左右に回転することにより水中構造物や水底までの距離を点で捉えて、全体形状の三次元点群データを取得する。水中部点群データは音波発信部を原点とする極座標となる。なお、水中部の計測作業に加えて、データを補完する目的で水面より上の橋梁部分は、3Dレーザースキャナーを用いて点群を取得して統合する。

#### (2) 点群データの統合・補正

点群処理ソフトを用いて、複数の極座標系を持つ水中部点群データと、3Dレーザースキャナーにより取得した公共座標系を持つ水面上の点群データを統合する。ノイズを処理した上で、公共座標系の位置情報へ転換を行い、下部工及び、周辺河床の三次元データモデルを作成した。

取得した点群データから水底に竹竿や定置網などが点在していることが確認できた。描画により三次元データモデルの視認性を損なうほか、本調査の目的には不要であることから除去する補正処理を行った。

#### (3) 洗掘状況・河床低下の検出手法

統合・補正処理を行った三次元データモデルを用いて分析を行う。

三次元データモデルから各橋脚山側柱・海側柱・周辺河床の横断面、縦断面を複数抽出・分析することで、洗掘の有無や洗掘量・規模を検出するほか、竣工図書的设计水深値と作成した三次元データモデルの水深値の比較検証により河床低下が生じていな

いかを検出した。

点群の位置情報の高さを色相で表示することによって、直感的に洗掘状況や周辺河床断面を把握できる。

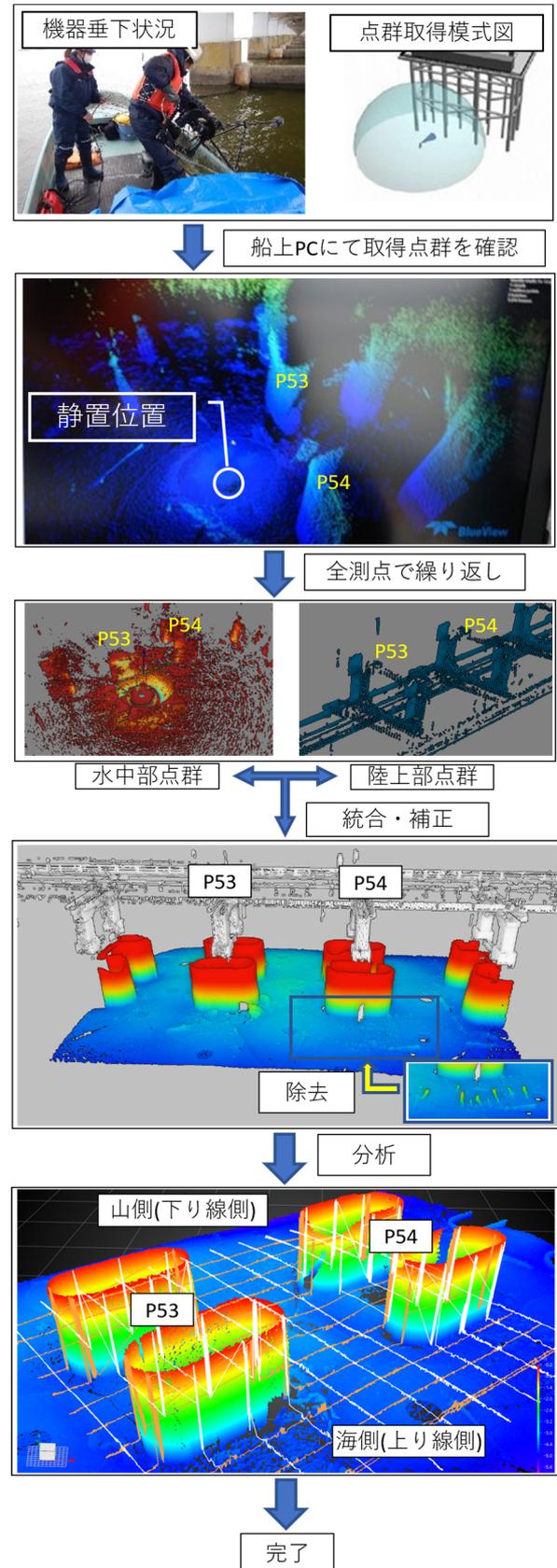


図-2 調査工程略式図

#### 4. 調査結果

前述の手法に基づき分析した洗掘状況、及び河床低下有無の調査結果を以下に示す。

##### (1) 洗掘・河床低下の検出結果

河床を基準面に各橋脚の基礎境界部において横断方向、縦断方向共に洗掘は生じておらず、水深の検出から局所的な河床低下は生じていないと判断される。P53・54 橋脚それぞれの海側柱の検出結果を(図-3)に、全橋脚の検出結果を(表-2)に示す。なお、境界部に基準面から最大 0.299m の高低差が見られるが、周辺河床形状に洗掘模様は見られず平坦であることから、洗掘損傷ではないと判断される。

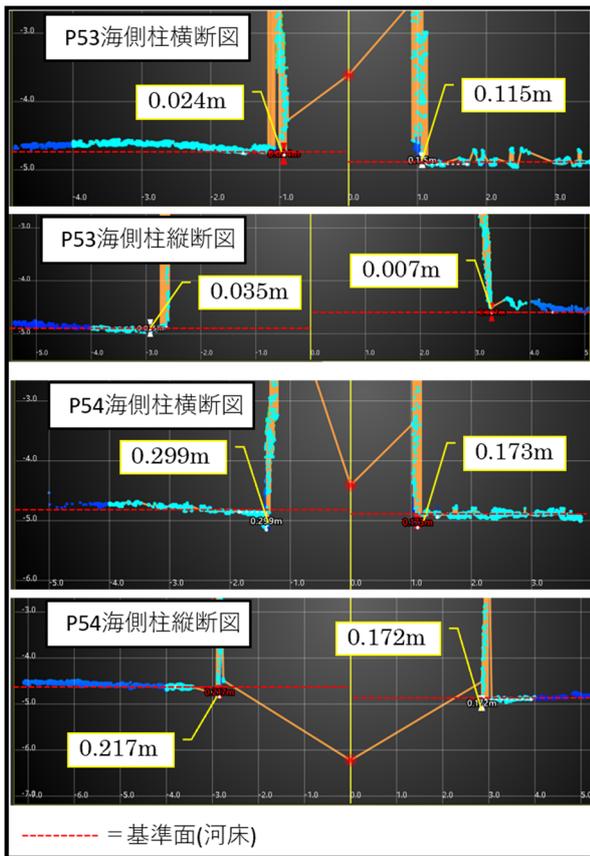


図-3 P53・54 橋脚海側柱洗掘検出状況

表-2 洗掘・水深の検出結果一覧

分析箇所		(m)			
		1	水深	2	水深
P53 海側柱	横断方向	0.024	4.782	0.115	4.803
P53 山側柱		0.144	4.638	0.098	4.475
P54 海側柱	横断方向	0.299	5.155	0.173	5.116
P54 山側柱		0.228	4.737	0.274	4.741
P53 海側柱	縦断方向	0.035	4.919	0.007	4.603
P53 山側柱		0.007	4.747	0.053	4.526
P54 海側柱	縦断方向	0.217	4.846	0.172	5.071
P54 山側柱		0.196	4.796	0.075	4.880

凡例 横断方向,1=山側断面 2=海側断面  
縦断方向,1=起点側断面 2=終点側断面

##### (2) 調査結果の妥当性の検証

神宮橋においては竣工(1960年)から現在に至るまで下部工水中部や周辺河床の詳細調査は実施されておらず、検証の基準となる既往資料は架橋時の竣工図書のみであった。そのため、竣工図書における設計基準面(Y.P)と地盤高から想定される水深と、現地で測点ごとにスタッフを用い計測した水深との比較を行い、検出結果の妥当性を検証した。

結果は(表-3)のように周辺河床においては堆積傾向であり、河床低下は生じておらず、三次元データモデルによる検出結果と整合した。

表-3 竣工時水深と実測水深の比較表

		P54 橋脚(5箇所計測)							
竣工時水深(m)	水深(m)	各測点計測値(m)							
		①	②	③	④	⑤			
5.30		5.10	5.05	5.40	5.40	5.50			
	差分	+0.20	+0.25	-0.10	-0.10	-0.20			
		P53 橋脚(8箇所計測)							
竣工時水深(m)	水深(m)	各測点計測値(m)							
		⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
5.35		4.80	4.80	5.10	4.80	5.60	4.80	5.10	5.20
	差分	+0.55	+0.55	+0.25	+0.55	+0.25	+0.55	+0.25	+0.15

##### (3) 下部工傾斜度検出の試行

以上の結果から P53,P54 橋脚の基礎周辺の水底は平坦であり、H26「橋脚の損傷に関する調査検討委員会」において橋面で確認された水平変位から想定される下部工傾斜の要因となる変状は確認されなかった。調査結果を次回以降の定期点検や別途調査が計画される際に、より有効な資料とするための、副次的項目として、P53・54 橋脚水中部のそれぞれ一断面を対象に、橋軸直角方向傾斜度の検出を点群分析によって試みた。なお、検出は上記の検討委員会で報告された内、最も今回調査箇所に近い P51 橋脚の傾斜角計測値[rag]との比較によって試みた(図-4)(表-3)。

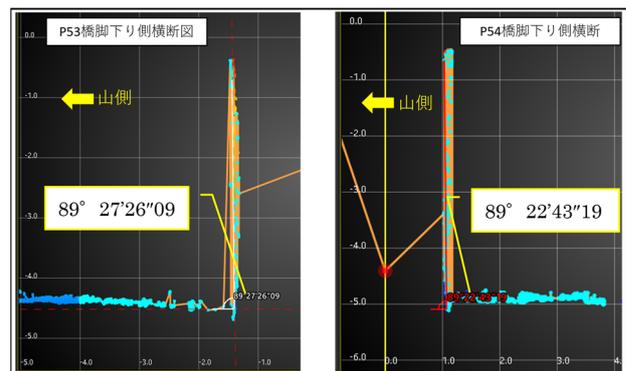


図-4 下部工傾斜度の検出結果

表-4 傾斜度比較表

項目	P51(H26)	P53(本調査)	P54(本調査)
橋軸直角方向 [rad]	-0.0067	-0.0090 (89°27'26"09)	-0.0110 (89°22'43"19)
【参考値】路面傾斜角	-0.0064(山側)		
路面との整合	一致	不一致	不一致

本橋の伸縮装置では水平変位や傾斜の進展を観測するため上下線端部の遊間量計測を H26 の調査時より継続実施しているが、P51・P53・P54 共に遊間量はほとんど変化していないため、状態は安定しており進展はないものと判断できる。しかし、傾斜方向は検討委員会の報告と同様に山側で一致したものの、検出値は整合しなかった。

その要因として、点群は水中 3D スキャナーの静置位置によっては密度が不十分であったり、バラつきが大きくなる箇所があるほか、三次元データモデルの作成過程では複数データの統合の際に設計値や既往図面と重ね合わせ行う人力補正により取得した断面形状と僅かではあるが差異が生じてしまうことが考えられる。そのため、極微細な傾斜度の検出は困難であり、今回の検出では橋脚水上柱部の傾斜度と整合せず、結果は参考値に留まる。精度が高い傾斜の検出には別途手法による調査が必要と考えられるが、三次元データモデルでは構造物の傾斜状況を立体的に確認できるため、全容把握の手法として活かせるものとする。

## 5. まとめ・今後の展望

従来の潜水士や水中カメラでは近接目視や状態の把握ができない透過率の低い濁水中の点検に水中 3D スキャナーを活用し、洗掘状況、及び周辺河床形状を三次元データモデルにより可視化することで精度よく把握できた。加えて作成した三次元データモデルは、写真等による報告と比較して、より直感的に状況を理解できる成果であると共に、公共座標系の位置情報を持つことから、次回定期点検時や別途詳細調査が計画される際に利用可能であり、基礎資料として有効性が高い。よって本技術は定期点検における洗掘調査手法として非常に有効であったと考えられる。

本調査は定期点検業務における追加工種である特定点検(詳細調査)として、対象範囲を限定し洗掘調査を実施したものであるが、今後の定期点検では、

原則全橋脚に対する水中部材の調査・記録や洗掘調査の実施・報告が求められる。

そういった背景からも、本技術は有効性が高く、今後、活用する機会が増えていくと考える。

しかし、本技術により取得した点群データの解析には工数を要し、データ量に比例し増大するため、全ての対象施設に適用するには工数・コストが膨大になってしまうといった課題もある。また、腐食やひびわれ等の外性変状については本技術での記録が困難であることから、水中部の点検を完遂するためには別途手法との併用が必要となる。

一方、現地で取得した処理を行う前の点群生データは、洗掘の有無を把握することに限れば、十分な精度があり、近接目視による調査に対し優位である。定期点検の目的は健全性の診断の根拠となる状態の把握であることから、今後の点検業務では本技術を近接目視に代替する点検手法として、点群生データを点検写真の代替とし、定期点検で実施する洗掘調査に適用する運用方法をとることで、解析に係る工数・コストの削減をすることが可能と考えている。

加えて、現地作業の省人化やコスト減、適用条件の緩和を目的に小型の無人ボートにスキャナーを艀装し計測を行う技術の開発を進めており、多径間橋や長大橋の全下部工水中部に適用することを前提とした、橋梁点検に適した過不足ない運用方法の検討や更なる技術開発・発展を進め省人化、コスト削減を実現したいと考える。

**謝辞：**本発表にあたって、関連資料、及び洗掘調査結果データの使用を承諾いただいた関東地方整備局常陸河川国道事務所の方々の協力を得たことを付記し謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 道路局：定期点検要領 平成31年3月
- 2) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ 令和5年3月