

3次元データによる 橋梁洗掘調査・モニタリング



株式会社三栄コンサルタント 瀧澤 亘紀¹

¹GCCA 正会員 技術部 〒500-8223 岐阜県岐阜市水海道 4-22-12
E-mail: k-takizawa@sanei-consul.co.jp

近年、ゲリラ豪雨の発生により、河川の大規模洪水が頻発している。橋脚周辺は、一度の出水で急激に洗掘が進行する可能性があり、橋脚が沈下・傾斜進行した場合、橋梁架け替え等の甚大な被害に繋がることから、予防のための定期的な洗掘調査は重要である。本稿では、A橋梁について、橋脚の沈下・傾斜を事前に防ぐことを目的とし、3次元測量により水中部と陸上部の3次元モデルを取得した。3次元測量は、新技術である水中部と陸上部を同時計測可能な「マルチビーム測量無人ボート」を活用した。橋梁付近の河床を3次元モデル化することで、従来の調査手法では把握が困難な局所洗掘の全容を特定することができた。

1. はじめに

近年、線状降水帯によるゲリラ豪雨や記録的大雨が発生し、河川の大規模洪水が頻発している。このような状況の中、R3年に岐阜県の川島大橋において、洪水により橋脚周辺で「局所洗掘」が発生し、P4橋脚が沈下・傾斜する被害が発生した。

橋脚周辺は一度の出水で急激に洗掘が進行する可能性があり、橋脚の沈下・傾斜による架け替えや交通途絶などの甚大な被害につながることから、予防のための定期的な橋脚周辺の洗掘調査は重要である。しかしながら、従来の調査手法や点検手法では、洗掘の規模や洗掘の進行を把握することが困難である。

また、国土交通省が進める「i-Construction」により、3次元測量機器を用いた3次元測量を活用する取り組みが、全国的に進んでいる状況である。

本稿では、A橋梁について、3次元測量により水中部と陸上部の3次元データを取得し、橋梁周辺の洗掘状況の調査を行ったため、その事例を紹介する。

2. 調査手法

調査手法には、水中部と陸上部を同時計測可能な「マルチビーム測量無人ボート」（以後、MBRCボート）と「地上レーザスキャナ」を選定した。

使用した機材を写真-1、写真-2に示す。

(1) 調査目的

今回対象とするA橋梁は、全長約460mあり、6基の橋脚から構成され、左岸側の水深は浅いが、右岸側で広範囲な深掘れが推定された。このため、A橋梁の橋脚部付近の河床を調査し、洗掘状況を把握することを目的とした。

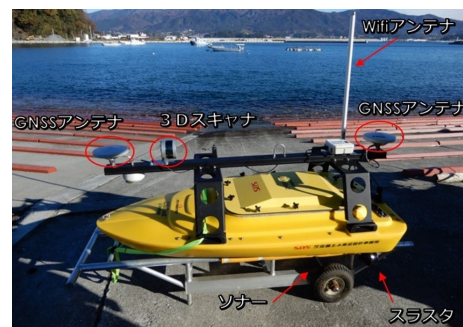


写真-1 MBRCボートの外観



写真-2 地上レーザスキャナ：RIEGL VZ-2000i

(2) 調査条件

従来の洗掘調査は、河川横断測量や、橋脚周辺において錘を垂らして1点1点水深を計測するなどの手法で行われてきた。

今回のA橋梁は、橋梁規模が大きく、かつ広範囲な深掘れが推定された。従来の横断図での“線”や、錘などの“点”などの調査手法では、洗掘規模を把握できない懸念があった。また、洗掘が大規模な場合、緊急対策が必要になるため、迅速かつ高精度に調査を完了する必要があった。

(3) 調査手法の選定

近年は ICT 技術の推進により、ラジコンボート(単測線 or マルチビーム)、ADCP、UAV-ALBなどの新技術が提案されている。

岐阜県橋梁点検マニュアル(令和4年3月改訂版)の3次元測量機器による点検手法¹⁾を図-1に示す。橋梁に異常が確認された場合の3次元測量機器による詳細調査例と適応条件が記載されている。

今回の橋梁調査は、「マルチビーム測量無人ボート」を選定した。選定理由は以下の通りである。

- マルチビームソナーは濁度に影響されず計測可能であり、河床形状を詳細に把握することができる。今回選定した機材は、計測箇所付近での流速 2m/s で安定して計測できる。
- グリーンレーザー (UAV) は、濁度による計測への影響と、橋梁下での UAV の安全な飛行に懸念があった。
- ADCP は計測の特性として、三、四点の水深を測定し、その平均値を水深とするため、局所洗掘などの急激に河床が変化している箇所には適しなかった。

(4) 使用機器概要

a) MBRC ボート「EchoBoat-ASV-G2」

水中部の計測機器の概要を表-1に示す。

表-1 EchoBoat-ASV-G2 の概要

全長×全幅	168cm×81cm
重量(ボート本体)	34 kg
巡行速度/最大速度	3 kts / 10 kts
スワス角/ビーム数	120° / 256 本
実用水深範囲	80m
最小レンジ分解機能	1.8cm
ビーム測定精度※	±2cm※

※島山ら²⁾による検証結果による

マルチビーム測深機・慣性 GNSS ジャイロ・自動航行システム・3D スキャナを搭載した無人ボートである。

計測に必要な機器がボートに装備済みであるため、艀装の必要がない。従来の洗掘調査に比べ、現地での準備・片付けの時間が大幅に軽減される。また、小型無人ボートであるため浅瀬での計測が可能であり、座礁等の事故のリスクを低減することができる。

b) 地上レーザスキャナ「RIEGL VZ-2000i」

陸上部の3次元データを取得するため、表-2に示すレーザスキャナを活用した。

表-2 RIEGL VZ-2000i の概要

重量	9.8 kg
計測方式	ToF 方式
測定角度	鉛直 100° × 水平 360°
測定距離	1.0m~2500m
測定精度	±5mm

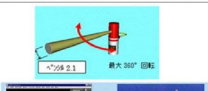


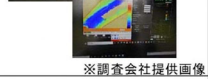
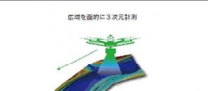



■形状測量系の点検手法		シングルビームスキャニングソナー	ナローマルチビームソナー
点検手法			
概要図			
		※広和株式会社 HP参考	※調査会社提供画像
適用条件	最大測深	約100m ○	約120m ○
	濁度	濁っていても使用可能。 ○	濁っていても使用可能。 ○
	流速	支持棒の先端にカメラを設置し点検することで、ある程度の流速に抵抗可能。 ○	流速が1.5m/sより速い箇所では使用できない。*1 △
	必要機材等	橋梁によっては、ボートや橋梁点検車等が必要。 ○	本体のみで測定が可能。 ◎
特徴	取得データ	断面図により洗掘状況が把握可能。 ○	河床形状図により、洗掘及び付近の河川状況が把握可能。(主に詳細調査で使用) ◎
		○	◎
*1製品により適応流速は異なる。			
■形状測量系の点検手法		グリーンレーザー (UAV)	超音波ドップラー流速系 (ADCP)
点検手法			
概要図			
		※株式会社バスコHP参考	※調査会社提供画像
適用条件	最大測深	約3m ○	約80m ○
	濁度	濁っている場合、正確に計測できない場合がある。 △	濁っていても使用可能。 ○
	流速	ドローンによる空撮であるため、流速に関係なく点検可能。 ◎	流速が5m/sより速い箇所では使用できない。*2 △
	必要機材等	本体のみで測定が可能。 ◎	本体のみで測定が可能。 ◎
特徴	取得データ	形状図により、洗掘及び付近の河川・陸地状況が把握可能。(主に詳細調査で使用) ◎	河床形状図により、洗掘及び付近の河川状況、流速分布が把握可能。(主に詳細調査で使用) ◎
		◎	◎
*2製品により適応流速は異なる。橋面からロープで係留した場合			

図-1 3次元測量機器による点検手法¹⁾

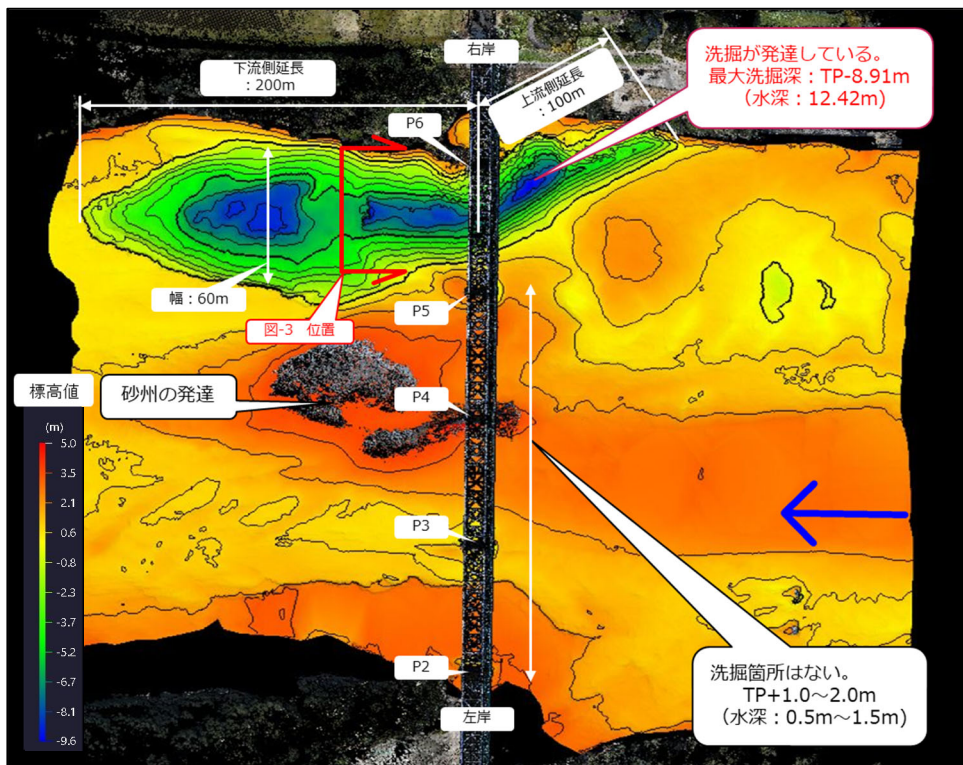


図-2 水中部と陸上部の3次元データ合成

3. 調査結果

(1) 結果・考察

MBRC ボートと地上レーザによる3次元点群データを点群ソフト「TREND POINT」で座標から合成した。

水中部の3次元モデルを段彩図に表現したものを図-2に、洗掘部を拡大したものを図-3示す。

計測の結果、右岸側のP5橋脚とP6橋脚の間で局所洗掘が確認できた。P5～P2橋脚間の河床では洗掘は見られず、特にP4橋脚の上下流では砂州の発達も見られた。P5～P6橋脚間の洗掘の範囲について、上流側に100m、下流側に200mあり、最大幅は60mにも達することが判明した。河床を3次元モデル化したことで洗掘の規模や形状、橋脚や護岸との位置関係などの河床の状況を正確に把握することができた。

今後、出水などで右岸側の洗掘が進行した場合、P6橋脚の基礎の下面が露出し、橋脚の沈下・傾斜に繋がる懸念がある。洗掘の要因を推定するには、河床全体の地質と関係があることが推定されるため、地質調査を行う必要がある。

(2) 3次元データの活用

3次元モデルは設計・施工・維持管理などにおいて、広く活用することができる。今回は、特定した洗掘範囲の洗掘された土量を3次元モデルより算出した。

図-4に洗掘土量のグラフを示す。

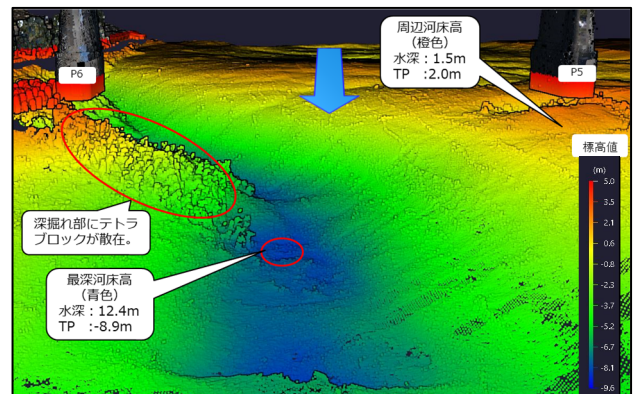


図-3 洗掘部の拡大図

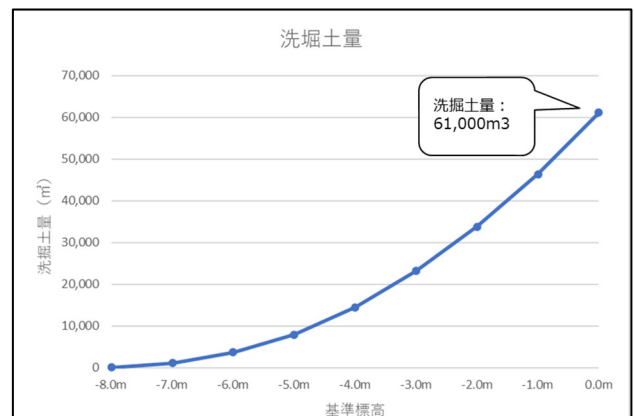


図-4 洗掘土量

従来では、平均断面法により算出していたが、ソフト上で迅速かつ正確に数量を算出することができる。

4. モニタリング

今回の調査では、A橋梁付近の水中部及び陸上部の高精度な3次元データを取得した。今後、予防保全及び維持管理の観点から、継続的なモニタリング等に活用することが望ましい。モニタリングの目的と具体的な手法を以下に整理した。

(1) モニタリング目的

- ・橋脚や上部工に構造上の変状が発生する前に、河床洗掘の進行や河床変動の動向を面的(3次元)に把握すること
- ・対策工の効果や対策工周辺への影響を確認すること

(2) モニタリング手法

今回実施した調査手法と同様にMBRCポートにより計測を行う。時間の短縮のため地上レーザスキャナによる計測は必要に応じて検討する。

最初取得した3次元モデルを初期値とし、調査時に取得した3次元モデルとの標高の差分を段彩図化することで、洗掘・堆砂の進行を把握することができる。

(3) 対策工後調査結果

初回の調査後、P6橋脚の上流側に袋詰め玉石を施工した。対策工はP6橋脚の上流右岸側で延長43.3mで袋詰め玉石N=355袋が施工された。対策工の施工状況と効果を検証するため、追跡調査を行った。

対策工施工前の段彩図を図-5に、対策工施工前と施工後の点群データの差分図を図-6に示す。

差分図では施工前より標高の高くなっている箇所を赤く、低くなっている箇所を青く表現した。施工範囲以外は薄い色もしくは緑色となっているため、河床の変化がほぼ見られないことが把握できた。施工範囲内は袋詰め玉石の形状で赤く表現されていることから、袋詰め玉石が設置されていることが把握できた。今回取得したデータは、今後の追跡調査に活用する。

5. おわりに

今回の調査によって、橋梁付近の河床を3次元モデル化することで、従来の測量手法では把握が困難な、大規模な局所洗掘の全容を把握することができた。また、陸上部での3次元測量により、橋脚や、河岸・堆砂などの河道状況の位置関係を明確に把握することができた。また、高精度な3次元データを得たほか調査手法の確立や、実施された対策工のモニタリング調査を実施した。今後、今回取得したデータをモニタリング調査や差分

解析に活用し洗掘対策の効果を検証することができる。3次元計測手法を行うことにより、以下の効果が得られた。

- ・局所洗掘の把握：高精度な3次元計測データの取得
- ・進行度の把握：定期的に計測を実施し、差分解析を行い洗掘・堆砂の進行把握

- ・施工・維持管理に活用：施工後の河床状況の把握

また、今後はCIMを活用し、調査、設計、維持管理、施工までの「3次元管理」を行うことで、効率的かつ効果的なインフラのマネジメントを行うことができる。

参考文献

- 1) 岐阜県道路維持課：岐阜県橋梁点検マニュアル（令和4年3月改訂版），pp446-447，2022.3
- 2) 畠山直樹，武田光弘，佐久間謙史，永沼佳洋：土木学会年次学術講演会講演概要集，第73回，NO.6，pp354-355，2018

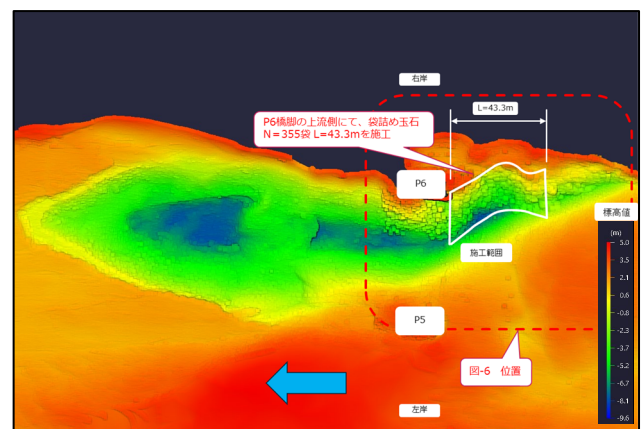


図-5 対策工施工前 段彩図

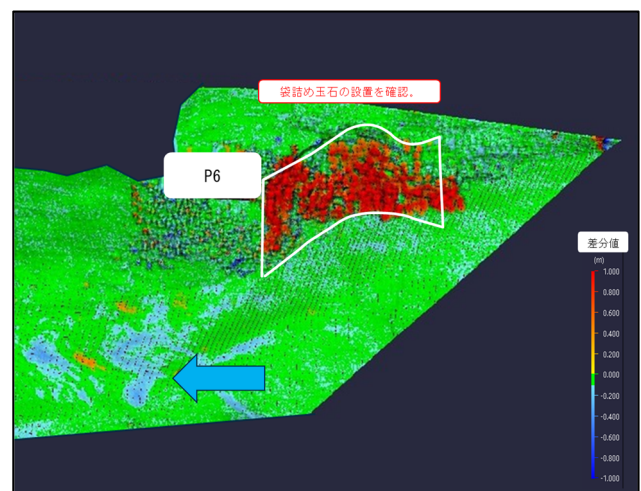


図-6 対策工施工後 差分図