

橋梁点検支援技術の適用性の検討と今後の展開

国土交通省 中国地方整備局 松江国道事務所	特別会員	○奥川 廉太郎
国土交通省 中国地方整備局 松江国道事務所	特別会員	近藤 弘嗣
国土交通省 中国地方整備局 松江国道事務所	特別会員	板持 光雄
	いであ株式会社	非会員 都関 雄介
株式会社インフラ・ストラクチャーズ	非会員	鶴鷹 誠

1. はじめに

道路橋は全国で73万橋と多く建設されており、建設後50年以上経過する割合は2033年で約63%と大きく増え、点検等の技術者の確保や老朽化による補修・補強の事業費の増大等が予想されており、維持管理の負担軽減が課題となっている。そこで、点検作業の効率化やコスト削減を目的に様々な点検ロボット技術が開発され、点検支援技術として社会実装され始めている。

また、近年、i-Constructionも維持管理分野でも活用されつつあり、特に平成25年12月に公表された『次世代社会インフラ用ロボットの開発・導入を推進する5つの重点分野』の中に、維持管理分野として「橋梁」も選定され、道路構造物及び橋梁の効率的な維持管理に向けた取り組みが重要となっている状況である。

本論文では、実地検証を踏まえて橋梁点検支援技術の適用性について検討した結果について報告するものである。

2. 橋梁点検に関する課題

橋梁の定期点検は、平成26年から法令により5年に1回の頻度で近接目視を基本として実施するものとされている。近接目視を行う場合、対象部材までアプローチする必要があり、その方法としては梯子、リフト車、橋梁点検車、ロープアクセス等が挙げられる。この中で特に橋梁点検車及びロープアクセスは他の点検方法と比較して効率的でなく、点検作業の労力が大きくなる。

ここで、松江国道事務所管内の橋梁点検方法について、橋梁数と点検面積の割合をグラフ化したものを図-1に示す。図-1より、橋梁点検車及びロープアクセスを適用する橋梁数としては全体の2割程度であるが、点検面積の割合としては5割以上となることから分かる。これは、橋梁点検車やロープアクセスによる点検方法は河川に架かる渡河橋梁やハイピアを有する大規模橋梁等の点検に適用されることが多いためである。したがって、労力が大きく、点検面積も大きい橋梁点検車やロープアクセスによる点検方法に代わる方法を確立することが点検効率化において重要である。

一方で、河川を渡る橋梁の河川内橋脚はしばしば洗堀等が生じていることが報告されている。しかし、状況によっては水中の目視ができず、状況が不明確

な状態で点検を終えている場合もある。橋脚基礎は構造を支える重要な箇所であり、詳細な状況の把握は重要なことである。実際に、令和2年度では洗堀に起因する路面陥没が生じた事例があり、水中でも確実に洗堀等の点検を実施していくことも課題である。

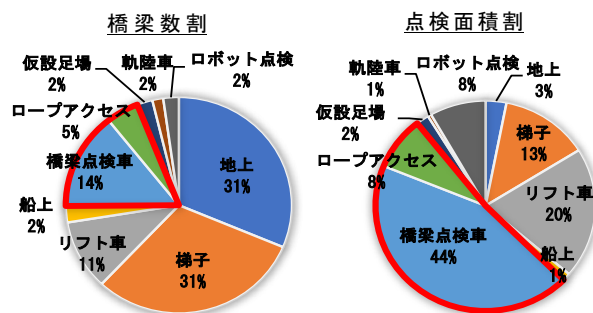


図-1.橋梁点検方法の割合

3. 無人航空機(UAV)による点検の適用性

(1)実施内容

橋梁点検車及びロープアクセスの代替となる点検支援技術のうち、最も有効な技術の一つとして、無人航空機（以下、UAV）が挙げられる。



図-2.無人航空機(UAV)

本論文では、「ドローン・AIを活用した橋梁点検・

キーワード i-Construction, 橋梁点検, 点検支援技術, 点検ロボット

連絡先 〒690-0017 島根県松江市西津田2丁目6番28号 松江国道事務所 管理第二課 TEL:0852-60-1347

調書作成支援技術（BR010026-V0021）」を活用した点検を実施し、近接目視点検との比較検証を行い、UAVによる点検の適用性について検討する。

松江国道事務所管内の橋梁について、橋梁点検車及びロープアクセスを適用して点検を実施している橋梁の中から次の代表的な2橋を対象にUAVによる点検を実施し、検証を行った（図-3）。

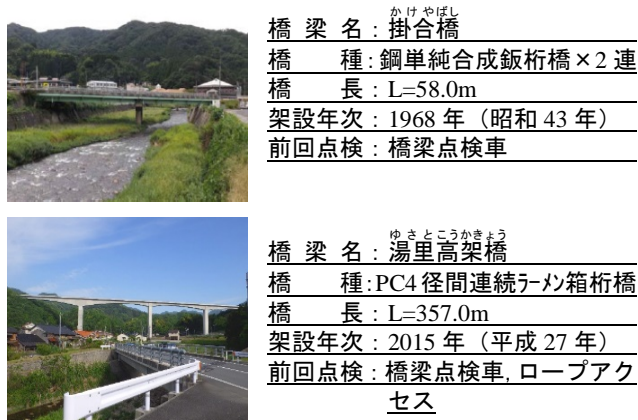


図-3. UAV実地検証対象橋梁

(2)点検精度の検証

橋梁定期点検要領では、近接目視によらない場合は、「知識と技能を有するものが定期点検を行うにあたって、自らの近接目視によるときと同等の診断ができると判断した場合」にその他の方法で部材の状態を把握してもよいとされていることから、近接目視と同等以上の精度で検出が可能か検証を行った。

1)UAV撮影写真による損傷検出精度の検証

①コンクリート部材の損傷検出

コンクリート部材に生じるひび割れは、幅 0.2mm の検出精度が要求されるが、高性能カメラにより撮影された写真からでも幅 0.15mm のひび割れを確認することができた（写真-1）。

剥離・鉄筋露出についても、高性能カメラにより剥離部の鉄筋露出有無や腐食状況も確認できた。また、連続写真と合わせて点群データも取得することができ、机上での損傷規模の計測も可能であった。

一方、内部的な損傷であるうきの検出までは困難であった。但し、表面上にひび割れなどの変状が生じ始めたうきであれば検出は可能と考える。



写真-1.ひびわれ検出精度

写真-2.沓座部点検

②鋼部材の損傷検出

鋼部材の腐食損傷については、俯瞰的な観測ができるため、その範囲や位置を把握しやすくなる。但し、減肉が生じている箇所について、板厚の測定が困難である。

鋼部材の亀裂については、高性能カメラにより溶接部近傍も確認できたため、ひび割れと同程度の幅であれば、検出可能と判断される。但し、汚れ等により視認が難しい場合がある。

ボルトの緩み・脱落については、打音調査ができないため、緩みの検出は困難である。脱落が生じている場合は、視認できるため、検出が可能である。

桁端部はUAVの進入が困難なため、桁尻及び伸縮装置下側の点検はできなかったが、支承については、細部まで点検することが可能であった（写真-2）。

2)AI技術によるひび割れ検出の検証

UAVで撮影した高解像度写真を用いて、AI技術によるひび割れ検出を行い、前回の近接目視点検での実測値との誤差及び相関係数を求め、検証を行った。なお、相関係数は1に近づくほど実測値とAI検出値の関係が強い(≒近接目視と同等)と考えた。



図-4. AIによるひび割れ検出結果

ひび割れ幅については、概ね誤差±0.1mm に収まっており、相関係数は0.44と弱い相関はみられた（図-5）。弱い相関となった要因として、ひび割れ幅の計測は0.1mm単位で計測されるため、0.1mmの誤差でも数値上は大きな差となって表れてしまうためである。

また、ひび割れ延長については、延長が長いひび割れでは、誤差が大きいものも見られたが、概ね±100mmで収まっており、相関係数も0.92と強い相関がみられた（図-6）。

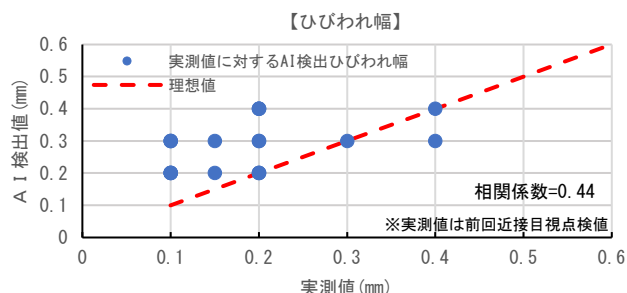


図-5.ひび割れ幅のAI検出値と実測値との相関

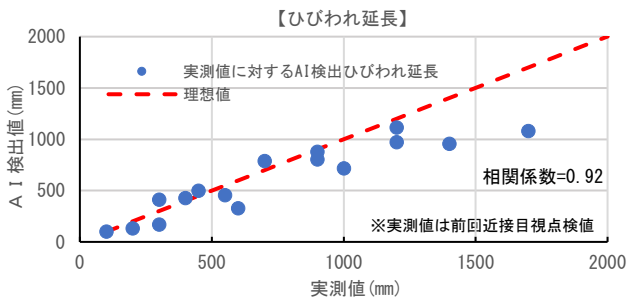


図-6.ひび割れ延長のA I 検出値と実測値との相関

比較検証の結果、若干の誤差はみられるが、点検技術者の支援としては十分に活用できる結果が得られた。コンクリート部材にひび割れが広範囲に多数発生している状況では、現場で詳細にスケッチするために要する時間と労力が大きく、非効率的である。したがって、机上で精度よくひび割れを検出することが可能なA I 技術の活用は有効である。

(3)適用性の検討結果

実地検証を踏まえてUAVによる点検の適用性について検討した結果、内部的損傷の検出や狭隘部の点検方法等の課題は残るが、従来の点検方法（近接目視）と同等の点検精度が確保でき、また、安全且つ効率的に点検が可能であった(表-1)。特にうきや剥離が少ない健全性の高い橋梁や現場での損傷スケッチに時間を要するひび割れが多い部材については、A I 技術と併用することで、有効性が高い結果が得られた。

表-1.UAVによる橋梁点検の適用性

		UAVによる橋梁点検の適用性
点検準備	長所	・ 人員の確保や資機材が少なく、 <u>点検準備に手間がかからない。</u>
	短所	・ UAVの飛行可能区域か確認が必要である。 ・ UAV離発着場所が必要である。
現地作業	長所	・ 地上からのリモート点検のため、 <u>安全性が高い。</u> ・ 交通規制が不要のため、 <u>社会的損失が生じない。</u> ・ <u>短時間且つ少ない労力で点検作業が可能であり、</u> <u>トータルコストの軽減が図れる。</u>
	短所	・ <u>打音調査、触診ができないため、内部的損傷が検出できない。</u> ・ <u>桁端部等の狭隘部にはUAVが進入できない。</u> ・ <u>鋼部材の板厚計測ができない。</u>
損傷図作成	長所	・ <u>構造物全体の画像を記録できるため、現場で見逃した損傷があっても机上で再確認できる。</u> ・ <u>A I 技術により、ひび割れ損傷を検出し、図化することで精度向上及び省力化が図れる。</u>
	短所	・ 画像から確認できること以上の情報は得られない。
総評		・ 触診や打音調査ができないため、内部的な損傷等は検出できないが、 <u>安全且つ短時間で構造物全体の点検が可能</u> であり、 <u>点検の効率化に有効</u> である。 ・ <u>構造物全体の現状記録方法として有効</u> である。（回数を重ねることにより、経年変化の比較が可能）

4. 水中3Dスキャナーによる水中調査の適用性

(1)実施内容

もう一方の課題である水中の洗堀点検については、水深や濁水の影響を受けず、且つ、音波で点群データを取得することで高精度な状態把握が可能な「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 (BR030024-V0020)」の適用性について検討した。



外形寸法	267×234×391 (mm)
使用周波数帯	1350kHz
最大測定距離	30m (最適距離1~10m)
測定時間	1回当たり 5~20分

図-7.水中3Dスキャナー

松江国道事務所管内の橋梁の内、特に洗堀が疑われる橋梁について、洗堀調査を行った。

対象とした橋梁は、パイルベント式の橋台であり、パイルベントを覆う前面の護岸が崩壊し、鋼管の一部が露出し、腐食が進行している状況である (写真-2)。洗堀による護岸の崩壊が疑われるが、水深が1.6m程度と深く、濁水のため、近接目視や水中カメラでは状況の把握が困難であることから、水中3Dスキャナーによる調査を行うこととした。

橋梁名	同道橋
橋種	単純PCプレテンT桁橋
橋長	L=11.44m
架設年次	1965年 (昭和40年)



写真-2.洗堀が疑われる橋梁の変状状況

(2)水中3Dスキャナー調査結果

水中3Dスキャナーによる調査を行った結果、崩壊部の河床に掘れ込みのような洗堀は生じていないことが分かった。

しかし、崩壊部の断面図をみると護岸下の石積み崩壊部が崩壊しており、護岸下に空洞が生じていることが分かった (図-8)。

この空洞が生じた要因として、護岸前面に木杭が一定間隔で設置されているが、崩壊部は河床にコンクリートの隔壁のようなものが存在するため、木杭が設置されておらず、その隙間より吸出しが生じ、崩壊したものと推測された。

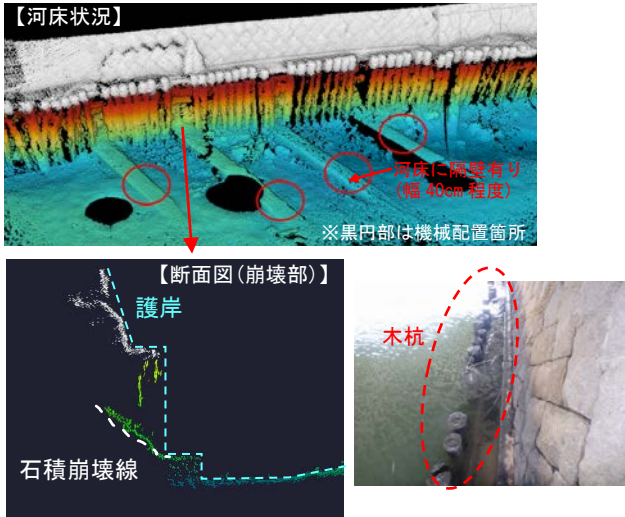


図-8. 水中3Dスキャナーによる調査結果

(3)適用性の検討結果

実地検証を踏まえて水中3Dスキャナーによる点検の適用性について検討した結果、従来の近接目視点検では不可能であった水中部の状況を把握することができ、確実な点検を実施することが可能となることから、有効性が高い結果が得られた(表-2)。

表-2. 水中3Dスキャナーによる水中点検の適用性

水中3Dスキャナーによる水中点検の適用性	
長所	<ul style="list-style-type: none"> 通常点検では目視困難だった水中部の変状を明確に把握することができる。 音波による技術のため、水質に左右されずに、計測データを取得することができる。 点群データとして記録されるため、机上でも精度よく変状の範囲等を計測することが可能である。
短所	<ul style="list-style-type: none"> 微細な損傷（ひび割れ等）は検出が困難。 水流が流速 2m/sec 超となると調査が困難となる。
総評	<ul style="list-style-type: none"> 濁水等の水質に関わらず、水中の状況把握が可能となるため、点検精度の向上が図れる。 調査範囲は全て点群データとして、記録されるため、机上でも詳細に計測することが可能であり、補修設計の基礎資料としても有効性が高い。

5. 今後の展開

本検証を踏まえて、今後、点検支援技術を活用していくための方策について整理した。

(1)取得データの有効活用

点検支援技術を活用することにより、従来の点検方法よりも多くの情報を取得することが可能となる。しかし、点検調書の様式や点検データの保管方法等の制約があり、活かしきれていない。例えば、点検支援技術によって得られた連続写真をパノラマ合成化(図-10)し、そのまま、損傷図として利用する等、取得したデータを柔軟に有効活用していく方法を考察することがあげられる。

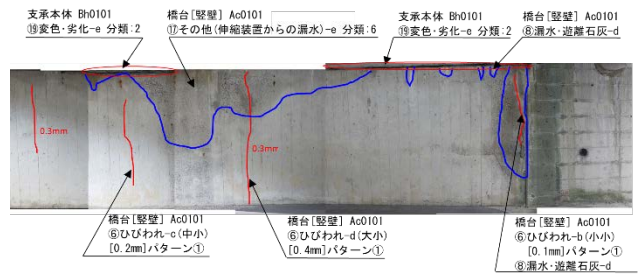


図-10.パノラマ合成写真による損傷図作成例

(2)定期点検サイクルの再考

橋梁の定期点検は現在、5年サイクルで近接目視を基本として実施することとされている。しかし、今回の検証からも分かるようにUAV等の点検ロボットカメラでも十分に近接目視と同等の点検能力を有していると考える。したがって、健全性が高い橋梁については、定期点検を「詳細点検」と「中間点検」に分け、「10年に1度は詳細点検として近接目視とし、その間を補完(5年)する中間点検は点検ロボットカメラ等を近接目視の代替として適用する(表-3)」等、点検サイクルを再考し、維持管理を効率化していくことが望まれる。

表-3. 点検サイクル再考例

経過年数	2年	5年	10年	15年	20年	...
初回点検	○					
定期点検	中間	○		○		...
	詳細			○	○	...

(3)維持管理記録データの保管

点検支援技術で得た情報は今後、維持管理を行っていく上で重要性が高いと考える。しかし、そのデータ容量はビッグデータとなってしまったため、その保管方法が課題となる。したがって、維持管理データを保管・管理できるクラウド型プラットフォーム等を構築し、運用していくことが望まれる。

6. おわりに

今回の検証により、点検支援技術を活用することで、従来の点検方法と比較して効率化や安全性の向上が図れる場合があることが確認できた。その一方で今後、点検支援技術を普及していくにあたり、解決すべき課題も存在するが、建設50年以上の橋梁が増加し、老朽化していく中、維持管理の効率化を早急に進める必要がある。そのため、点検支援技術の積極的な活用計画→実施→課題抽出→改善→…のPDCAサイクルを確実に・早期に実施することで、効率的且つ確実なメンテナンスサイクルを達成できると考える。