

コンクリートアーチ橋の点検への点検支援技術の活用の検討と秩父橋での試行

松藤洋照・岡田太賀雄

1. はじめに

道路橋の定期点検について、質の向上と作業の省力化の観点から点検支援機器の活用への期待が高い。様々な橋で様々な取組みがされているが、それらを一事例に終わらせるのではなく、例えば構造形式毎に効果的と考えられる活用の場面や目的、留意点をまとめ、点検計画論として一般化していくことが重要と考えられる。今回、関東地方整備局関東道路メンテナンスセンター（以下「関東MC」という。）では、国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）の助言も得ながら、コンクリートアーチ橋を対象に点検支援技術も活用した点検方法を検討し、フィールド試行を行った。本報告では、これらの検討や試行の結果、得られた知見を報告する。

2. 秩父橋をフィールドとした検討

地方公共団体における道路構造物の法定点検の課題である予算、職員、技術力の不足への支援策の一つに国土交通省による直轄診断と修繕代行事業がある。関東地方整備局は、秩父市からの要請を受け、国総研、国立研究開発法人土木研究所の協力のもと、令和元年に秩父橋（以下「本橋」という。）に対する直轄診断を実施した。また、直轄診断後に、秩父市からの要請を受け、修繕代行事業が令和2年から始まり、関東MCが担当した。

秩父橋の外観を写真-1に、諸元を表-1に、直轄診断で確認された主な変状を表-2に示す。主桁には、過去に補強が行われたときに当てられたと考えられる鋼板があり、鋼板には腐食が確認された。鋼板の背後からの滞水も見られ、背後のコンクリートにはアルカリ骨材反応の発生も疑われるひび割れが見られた。アーチリブ（以下「リブ」という。）にはコールドジョイントと見られる断面欠損部があり、かつ、コンクリートに劣化が生じている様子も見られた。アーチアバット周辺地盤

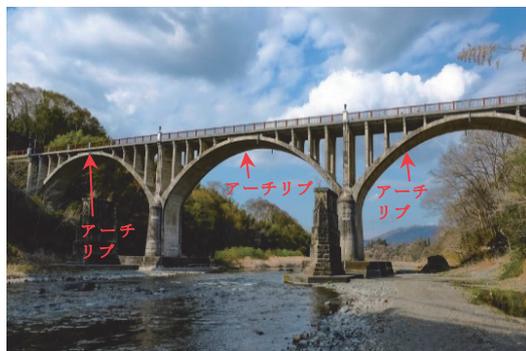


写真-1 秩父橋全景

表-1 橋梁諸元

項目	諸元
竣工年	昭和6年
道路管理者	秩父市
交差物件	一級河川荒川(埼玉県管理)
橋長及び幅員	L=134.6m,W=6.8m
橋梁形式	RC3径間連続アーチ橋
上部構造	RC-T型(床版一体構造)4主桁
下部構造	逆T式橋台2基, アーチアバット2基, 小判型橋脚2基
基礎	直接基礎

表-2 調査で確認された主な変状

構造	変状
上部構造	<p>主桁 床版 補強鋼板 腐食した補強鋼板</p>
アーチ構造	<p>アーチリブ コールドジョイント アーチリブのコールドジョイント</p>
下部構造	<p>アーチアバット 浸食 アーチアバットの浸食</p>

の浸食、河川内橋脚の洗掘は、進行した場合、アーチの軸線形状が変化し、アーチ構造の不安定化をもたらすものであり、最も懸念される変状であった。

最終的に、直轄診断では、本橋の構造安全性や耐久性の現状や見通し、並びに必要と考えられる措置の内容や今後の維持管理方法に関する技術的な所見がまとめられ、秩父市に報告された。直轄

診断における一連の調査結果や所見をまとめた報告書は、国総研橋梁研究室のウェブサイト¹⁾から入手可能である。

特に秩父橋の今後の点検の方法という点では、アーチ橋という構造の特性を考えれば、診断に必要な情報を得るための方法には、目視以外にも工夫の余地があることも助言されている。例えば、アーチとしての耐荷機構の成立性を確認するためには、リブのアーチ形状に変化がないこと、洗掘が懸念される水中部の基礎地盤の状態に変化がないことを計測することが有用である可能性が挙げられる。

これらの例は秩父橋に限らず、コンクリートアーチ橋全般に当てはまるものである。そこで、コンクリートアーチ橋の点検の質の向上と作業の省力化に向けた知見を得るため、関東MCでは、修繕代行の期間を活用し、秩父橋をフィールドとして点検支援機器を用いたコンクリートアーチ橋の点検の方法を検討した。

3. コンクリートアーチ橋の点検における点検支援技術の活用方策の検討

定期点検において健全性の診断を行う上で、構造安全性は最も重要な観点である。そして、コンクリートアーチ橋の点検において、アーチ構造（ここではリブや下部構造を指すことにする）の安全性の把握は、最も重要な着目点の一つであるが、アーチの寸法が大きくなると、近接して点検することの作業負担が大きい。そこで、アーチ部分の診断を行うための情報を得ることに注目して、点検支援技術の活用方策の検討を行った。

構造力学的な観点からは、リブの軸線に沿って圧縮力が伝達されるというアーチ機構が成立していれば、アーチ構造が死荷重等の鉛直力に対して突発的な破壊に至る可能性は小さくなる。加えて、アーチ構造の断面定数等の力学的パラメータに関連する情報を把握できれば、軸力以外の断面力の伝達に懸念があるかどうかを検討できる。従来の点検においても、部材のとおりや、部材の曲げ、せん断変形の結果として生じるひび割れや内部鉄筋の腐食等が疑われるひび割れ等の部材表面の異常を把握することは、アーチ構造の形状や断面定数などの力学的パラメータの異常を疑う余地がないかどうかを判断していると言える。

以上の考察に基づけば、アーチ形状を直接計測することは、アーチ機構の成立性を把握するうえで有用である。また、近接、打音・触診の一連を行うことに比べれば外観の変状を把握しにくいこともあるかもしれないが、近接に替えて画像情報から把握できる範囲の表面の状態の情報であっても、アーチ機構の成立性を検討するうえで最も重要である形状情報と組みあわせて用いることで、総合的には、アーチ構造の崩落の可能性を見逃す危険性は低い可能性がある。そこで、アーチの形状の計測と表面性状の情報の取得について点検支援技術の活用の可能性があると考え、以下の技術を試してみることにした。

- 1) 地上レーザースキャナを用いたリブ形状の三次元点群データの生成
- 2) 1)の点群データによる外観の異常の把握
- 3) UAVによる得た画像から生成されるオルソモザイク画像による外観の異常の把握

なお、基礎の洗掘もアーチ形状の保持に重要な要因であるが、水中部の情報は、直轄診断の過程で得られていることから、今回は検討の対象としなかった。

4. 点検支援技術の試行及び結果

4.1 三次元点群データでのリブの軸線形状の計測 (1)計測条件・計測方法

リブの形状を把握するために、図-2に示すように橋軸方向の測線間隔を設け、橋梁中心線上の各測線での高さ方向の座標を計測した。測線間隔は各径間を8等分して4.75mとした。

計測には近年の公共工事等の測量で用いられている地上レーザースキャナ（以下「TLS」という。）を用いることとした。計測機器の仕様を表-2に示す。公共測量では、今回の地図情報レベルでは点群密度を対地物では1,600点/m²以上確保する必要があり、一般的にレーザー入射角が低くなると精度が低下するため、今回は45°以上となるようにした。これを満足するために、TLSとリブ下面との距離を40m以下となるようにTLSの配置を計画した。

計測は令和3年3月と9月の2回計測した。計測結果の誤差を把握するにあたっては、温度によるコンクリートの伸縮を考慮する必要があると考え、計測日の気温も記録した（表-3）。

(2)計測結果

取得した点群データにより復元した秩父橋を図-3に、測線位置のリブ下面の高さ方向座標を表-4に示す。座標は、橋梁中心線と測線の交点から橋軸直角方向に±10cmの範囲、高さ方向には±5mmの範囲にある範囲の点群データの高さを平均化して、算出した。また、表-4には、計測1回目と2回目の差分も示した。正の値は2回目の計測結果が大きい場合を示している。程度に差はあるが、どの径間でも、図-4の模式図のように、2回目の計測は1回目の計測と比べてリブ中心がプラス側（高くなる）に、端部がマイナス側（低くなる）となる傾向があった。

計測には必ず誤差が生じる。例えば、同一日に複数回計測したとしても、計測結果が完全に一致しない。誤差要因として以下が挙げられる。

- ・ TLS機器自体の有する精度。たとえば、今回使用した機器では、対象物に正対して計測したときに、距離では±2mm、位置方向では±3mmの誤差が生じる。
- ・ TLSと側線が必ずしも正対していないこと。
- ・ 点群の座標算出の基準となる標定点の座標自体も誤差を有すること。

従って、少なく見積もっても±3mmを超える誤差を有すると考えられる。このことから、表-4の結果はアーチ形状に変化が生じていないとも見れる。

しかし、上述したように、1回目と2回目の差はプラス・マイナス方向にランダムには生じていないことから、1回目と2回目の計測結果の違いには別な要因も考えられる。例えば、1回目(3月)より2回目(9月)の気温が高かったことによる温度変化により、桁部分が伸び、上方にそりあがるような挙動を示したことが考えられる。

以上から、橋の状態の把握にあたり有用な情報を得るためには、日射の影響等も考慮した計測の時間帯の設定や異なる外気温での複数回の計測により気温による挙動を予め把握しておくことも必要と考えられる。また、リブの形状の計測結果だけではなく、例えば、橋面での測量により確認した橋長や、リブの外観の撮影画像から得られる外観性状の変化の有無等の別のデータと組み合わせることにより、本橋の挙動や状態を解釈して構造安全性を評価する必要があると考えられる。

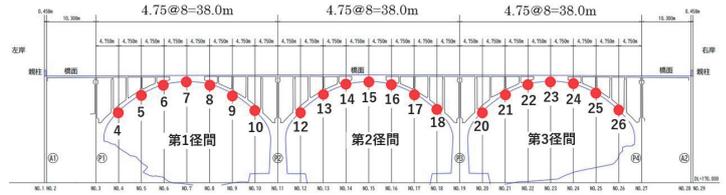


図-2 形状を把握するために設定した測線

表-2 計測機器の仕様

項目	計測条件等
測距精度	1.2mm+10ppm
座標精度	3mm@50m
視野角	水平360° ×鉛直290°
測定距離	270m(反射率34%)

表-3 計測月日と気温

回数	年月	最低気温および最高気温
1	令和3年3月	3.8℃～18.4℃
2	令和3年9月	15.2℃～24.3℃

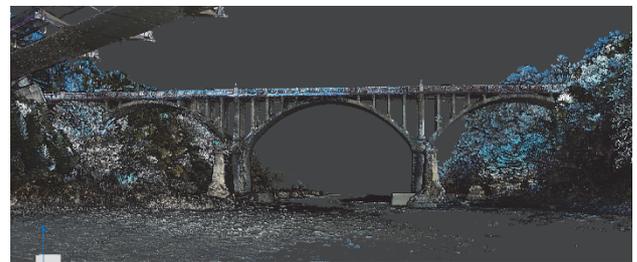


図-3 点群データにて復元した秩父橋

表-4 各測線の高さ方向座標の比較結果

径間	リブ中心						
	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
1	184.964	188.577	190.554	191.207	190.623	188.688	185.075
	-2	1	4	1	1	0	-2
2	184.911	188.536	190.518	191.202	190.607	188.717	185.175
	-1	0	2	2	4	4	0
3	184.934	188.580	190.580	191.271	190.679	188.756	185.158
	-4	-3	-0	4	8	5	-6

上段：測線 No.、中段：座標(標高:m)R3.9 計測、下段：差分(mm)

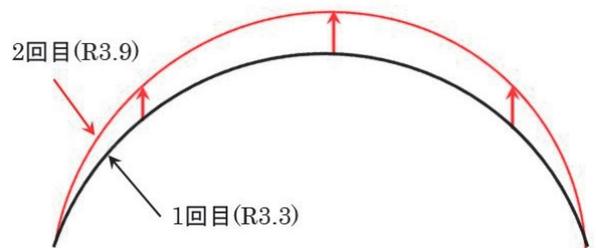


図-4 気温の変化によるリブの挙動イメージ

4.2 UAV搭載カメラ画像や点群データによる表面性状の調査

UAVの飛行にあたり、事前に航空法に基づく航空局の許可および河川管理者の許可を得て、計測条件をできるだけ満足するようにUAVを飛行させた。撮影の範囲はリブ下面全面とし、撮影画像からオルソモザイク画像を作成した。

表-5にリブのコールドジョイント部で露出している鉄筋とその周辺の表面性状を示す。定期点検(平成28年)にて近接し静止撮影された写真、本試行のUAV撮影画像、及び、4.1の点群データに含まれる、測定面からのレーザー光の反射率を図化した画像を比較した。定期点検ではうきの範囲がチョーキングにより示されている。UAV画像では、同じ位置で、定期点検で見られたうきの下側の境界付近とも思われる位置にひびわれらしき変状が生じているように見える。一方で、外観の性状はわかっても、計測時にうきの範囲がどのようであったのかはわからない。

点群データに含まれるレーザー光の反射率データからは、露出している鉄筋らしき棒状のものが浮かびあがっているように見える。一方、うきやひび割れを示すような明瞭な異状は分からない。図中の赤点線に沿って点群の座標を追うことでコンクリート表面の凹凸を確認したところ、表-5に示すように、約8mmの凹凸があることがわかった。ただ、この凹凸がうきであるのかはわからないし、うきの存在の可能性があるという予備情報が無ければこのような整理を行ったとは考え難い。

4.3 従来手法との経済比較

参考までに、本試行にて適用した点検支援技術の組合せと従来手法による近接目視に要する費用(経済性)を比較した結果を表-6に示す。経済性は従来技術と比較して僅かに劣ることとなった。しかし、通行規制が比較的容易な人道橋の本橋での比較であるため、通行規制に費用と手間を要する道路橋の場合には1割程度のコスト差ならば、経済性の評価が逆転する結果もあると考えられる。

また、第三者被害防止のための打音検査の必要性によっても、違う結果となることが考えられる。

5. まとめ

本試行では、コンクリートアーチ橋への点検支援技術の活用方策について検討した。コンクリートアーチ橋の耐荷機構の診断に必要な情報を整理した結果、アーチの形状計測及び画像情報の活用が考えられた。また、これらの情報の取得に点検支援技術を試した結果、複数の技術を組み合わせることにより診断に必要な情報が得られる見込みを確認できた。換言すれば、単一の技術では診断に必要な情報が充足できないとも言える。今回検

討した定期点検への支援技術の活用方策の検討手順や検討の着眼点を一般化していくことが今後の課題である。

また、試行した橋では、点検支援技術の利用が従来法を用いることに対して経済的に優位とはならなかったが、必要な通行規制等の現場の条件によっては支援技術を用いる方が経済性においても優位となる可能性がある。

表-5 前回点検と本試行での画像との比較

	画像	点群からの画像・点群データ
定期点検(平成28年)		なし
今回		 ひび割れらしき変状 鉄筋らしき棒状のもの 赤破線の断面

表-6 従来手法との経済比較

	近接目視	点検支援技術	
手段	ロープ等を用いて近接し打音・触診する	UAVによる撮影	点群の取得
費用	約450万円(1.00)	約150万円	約350万円
		約500万円(1.11)	

謝辞

本橋のフィールド活用にご了解いただいた管理者の秩父市へこの場を借りて謝意を示します。

参考文献

- 1) 直轄診断報告書-秩父橋-、国土交通省、令和元年12月
<https://www.nilim.go.jp/lab/ubg/suguni/pdf/tyokatusinndann/12houkokusyo.pdf>

松藤洋照



執筆当時 国土交通省関東地方整備局関東道路メンテナンスセンター 技術第一課長、現 東京国道事務所管理第二課長
MATSUFUJI Hiroteru

岡田太賀雄



国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部橋梁研究室 主任研究官
OKADA Takao