

道路橋における狭隘部の類型化と 調査機器の狭隘部進入試験法の提案

玉越隆史・星隈順一・白戸真大・宮原 史・中邨亮太

1. はじめに

1.1 背景

我が国では、既設の道路橋に対し、これまで各管理者で様々な方法で点検がなされてきたが、点検の品質確保の観点から、5年に一度の定期点検では近接目視が原則とされた¹⁾。

一方で、既設の道路橋には支承部周辺や落橋防止構造の背面など直接、近接目視ができない狭隘部が存在している。これに対し、狭隘部を調査するための様々な機器（以下「調査機器」という。）の開発も進んでおり、なかには、もともとは道路構造物以外の分野で実績を積んできた調査機器もある。しかし、道路橋の狭隘部の形状や寸法等は多様で、現地に持ち込んだ調査機器では対象の狭隘部を十分に調査ができないことが判明すると、調査計画の見直しを余儀なくされ、実務上大きな障害となることがある。

また、事前に調査機器の適用性を把握することも困難である。この理由として、第一に、調査機器の性能試験法や整理法が確立されていないことが挙げられる。第二に、そもそも道路橋のどのような部位が近接目視困難で調査機器のニーズがあるか明確化されておらず、調査機器の性能表示項目が統一的でないことが考えられる。

このような状況を改善する試みとして、狭隘部の調査方法についていくつかの考えや試みがあるものの実用的な方法の提案までには至っていない。例えば、次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会橋梁維持管理部会によって、光学機器等のセンサーを搭載したロボットの狭隘部進入能力に対して、実際の橋梁をサンプルにして現場検証をする試みがなされており、国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）や土木研究所も協力しているところである²⁾。しかし、実際の橋梁をサンプルとする方法で多くのトライアルを実施

するのは開発者も検証する側も負担が大きい。これに対して、CIM技術（Construction Information Modeling）と連動し道路橋と調査機器を3次元モデル化して、対象部材に調査機器を接近させるシミュレーションにより狭隘部への進入可否を検証する案も考えられる。しかし、図面などから既設の橋梁を3次元モデルとして構築することやシミュレーション環境の構築や提供すること自体が大きな負担となる点が課題となる。さらに、調査機器の性能表示項目が統一的でないままではシミュレーションにおける調査機器のモデル化も統一的に行うことができず、調査機器間の性能の相違を正確に捉えられない恐れがある。

1.2 研究手法

前述の背景から、本研究では数年後に調査機器の性能検証法を確立することも念頭に、調査機器の性能を確認するための試験法の提案を目的とした検証実験を実施した。まず、橋梁定期点検結果から狭隘な構造を抽出し、類型化を図ることを試みた。次に、類型化した構造ごとに調査機器の性能を確認するための狭隘部を模擬した試験体を作製し、いくつかの調査機器の性能を確認した。その結果から、模擬試験体を用いた性能確認方法の有効性や調査機器に必要な性能表示項目について考察する。なお、本研究は、平成25年度～平成26年度に土木研究所と民間3者（表-1）との共同研究にて実施したものである。

表-1 共同研究者（民間）

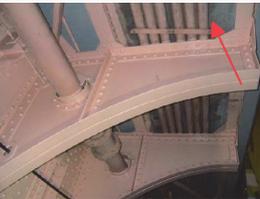
共同研究者名	
1	東日本高速道路(株)、(株)ネクスコ・エンジニアリング 東北、(株)ピーエス三菱
2	日進工業(株)、(株)西日本グリーンメンテナンス、(株)藤井基礎設計事務所
3	三井住友建設(株)、(株)日立産業制御ソリューションズ

2. 道路橋狭隘部の類型化

2.1 狭隘部の類型化

国管理の道路橋の定期点検調書には、図面、部材ごとの要素番号の定義、損傷図、要素ごとの損傷状況を記録した写真、現地状況の記事など多くの情報が含まれている。そこで、2,500橋あまりを対象に定期点検調書の写真や図面、また記事から狭隘で近接目視ができない恐れのある箇所を有

表-2 狭隘部の類型化と橋梁数

<p><Case1>狭隘な支承部</p>  <p>547橋 (44.9%)</p>	<p><Case2>端横桁背面</p>  <p>220橋 (18.1%)</p>
<p><Case3>落橋防止システム背面</p>  <p>138橋 (11.3%)</p>	<p><Case4>添架物(進入口が狭隘)</p>  <p>118橋 (9.7%)</p>
<p><Case5>添架物(添架物と対象部材が狭隘)</p>  <p>107橋 (8.8%)</p>	<p><Case6>ゲルバー部</p>  <p>27橋 (2.2%)</p>
<p><Case7>鋼トラス上下弦材内部</p>  <p>31橋 (2.5%)</p>	<p><Case8>狭隘な桁下空間</p>  <p>30橋 (2.5%)</p>
<p>合計 1,218橋 (100%)</p>	

する橋梁を抽出した。抽出における狭隘部の定義は、一般的な点検用マンホール寸法の最小値³⁾から、進入口の最小寸法が400mm以下の構造とした。その結果、調査対象橋梁のほぼ半数である1,200橋が何らかの狭隘部を有していることが分かった。

抽出した橋梁の狭隘部を部材別に分類し類型化を図った(表-2)。この結果、狭隘部の約45%は支承部(支承高が低く、桁下と橋座面間が狭隘な構造)に存在していることがわかる。一般に支承部は、支承本体が様々な部品から構成されていることで狭隘であるだけでなく、橋座面、横桁、落橋防止システムなどの設置により複数の部材が輻輳することが多い。例えば、表-2のCase2~3、6に示すように、端横桁の背面や落橋防止システムの背面、ゲルバー部などが狭隘となることがある。これら支承部並びに支承近傍だけ(Case1~3、

6)で、抽出した狭隘部全体の75%近くを占める結果となった。これまでに国総研で調査した直轄の定期点検結果では橋全体の中で桁端部において腐食などの劣化が発生しやすく、かつ顕著に進行しやすいことがわかっており⁴⁾、橋座面の狭隘部は近接目視が困難であることが多い一方で、できるだけ詳細に状態を把握することの重要度が高い。

続いて多いのが、Case4~5に示すような添架物の設置によるもので、全体の20%近くを占める結果となった。その他、Case7~8に示すような部材内部、桁下空間に分類した。

2.2 狭隘部の寸法調査

代表的な橋梁形式の1つである鋼鈹桁橋の支承部に対して、近接が困難であると考えられる進入口が400mm程度以下を対象に、その隙間寸法を調べた結果を表-3に示す。同じ鋼鈹桁橋の支承部においても狭隘部の寸法にはばらつきがあり、現状では狭隘部の点検のしやすさに配慮した設計がなされていない場合があると考えられる。このことから、既設橋の狭隘部に対する調査手法を確立する一方で、新設橋の設計における維持管理の容易性に対する要求水準を明確化して基準類に反映するなどの対策の必要性もうかがえる。

表-3 狭隘部の寸法(支承部)

		胸壁と端横桁の水平距離				計
		200mm程度未満	250mm程度	300mm程度	400mm程度	
下フランジと橋座面の鉛直距離	50mm程度	35橋	6橋	4橋	0橋	45橋
	100mm程度	60橋	14橋	4橋	0橋	78橋
	150mm程度	46橋	33橋	18橋	4橋	101橋
	250mm程度	69橋	53橋	84橋	17橋	223橋
	400mm程度	7橋	8橋	9橋	20橋	44橋
計		217橋	114橋	119橋	41橋	491橋

2.3 類型化した狭隘部の簡易的な空間形状への分類

表-2に狭隘部の事例を示したように、狭隘部への進入方向は鉛直方向(Case4, 5, 7)や水平方向(Case1~3, 6, 8)が考えられる。また、対象面にもよるが、ゲルバー部に代表されるように一旦、狭隘部に進入してもその後、進行方向を変更して奥に進む必要のある場合も存在している。

これらの点に着目し、狭隘部をより簡易的な空間形状として分類することを試みた。まず、進入方向については鉛直方向と水平方向の2種類が考えられ、このうち鉛直方向については、抽出した狭隘部の事例からも下向きに進入するケースは稀であると考え、上向きの進入を対象とした。また、進入後の向きの変更については、鉛直方向、水平方向に向きを変える可能性がある。ただし、上向きに進入した後には下向きに進行方向を変更するこ

表-4 狭隘な構造の簡易的な空間・構造への分類

No.	曲り回数	進入方向	概略図	代表ケース	狭隘な構造
1	0	上向き			(4) 添架物(進入口が狭隘) (5) 添架物 (添架物と対象部材が狭隘) (7) 鋼トラス上下弦材内
2	0	横向き			(1) 狭隘な支承部 (2) 端横桁背面 (6) ゲルバー部
3	1	上向き			(6) ゲルバー部
4	1	横向き①			(3) 落橋防止システム背面
5	1	横向き②			(1) 狭隘な支承部 (6) ゲルバー部
6	1	横向き③			(1) 狭隘な支承部 (6) ゲルバー部

とは考えにくいいため、この場合は横向きを対象として分類した。

その結果、表-2で類型化した狭隘部に接近するための進入経路を6パターンに集約した(表-4)。

3. 模擬試験体の提案

類型化した狭隘部ごとに調査機器の性能を確認することを目的に模擬試験体を作製した。

表-5に、作製した模擬試験体8体の概要を示す。作製した模擬試験体は表-2の類型化した狭隘部の構造に対応するものとした。

これらの構造は表-4に示した6つの構造に集約できるが、この中で最も多い4つの構造に該当するゲルバー部の模擬試験体は、多くの狭隘部の空間形状を再現できるものと考えられる。

図-1に、作製した模擬試験体の内、Case6を代表例として示す。模擬試験体は、安価かつ容易に検証実験が行えるようFRPグリッドやポリマーセメント、スタイロフォームで製作し、2.で示したように狭隘部の寸法がまちまちであることを踏まえ狭隘部の幅、高さ、奥行きを変更できる構造を基本とした。

表-5 模擬試験体概要

	再現した模擬試験体概要
Case1	狭隘な支承部を再現
Case2	端横桁背面(端横桁の背面と橋台パラベット前面等)を再現(鋼橋・コンクリート橋)
Case3	落橋防止システムの背面等を再現
Case4	添架物と桁の組合せ部(進入口が狭隘)を再現
Case5	添架物と桁の組合せ部(対象部材との離隔が狭隘)を再現
Case6	ゲルバー部を再現
Case7	鋼トラス・鋼アーチ等の上下弦材(箱断面の内側)を再現
Case8	狭隘な桁下空間を再現

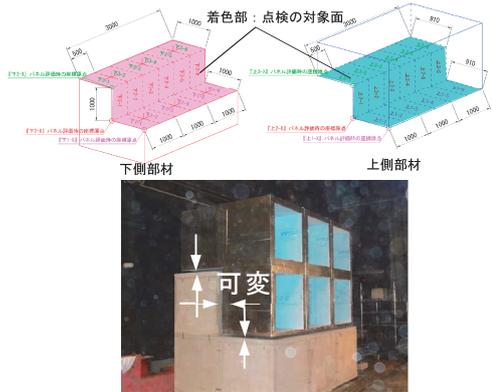


図-1 作製した模擬試験体 (Case6)

なお、道路橋の定期点検では、知識と技能を有する技術者が自ら近接して外観性状を視認し、診断する必要がある。そのため、近接目視が困難な狭隘部のように調査機器が取得する画像情報を診断の参考にせざるを得ない場合、画像品質は診断に大きく影響する要素である。そこで、模擬試験体では画像取得性能も確認できるように、狭隘部の壁面に模擬ひび割れや彩色板を設置し、画像情報の品質(ひびわれ幅の評価、色調の判別、変状位置の特定)も評価できるようにしているが、本稿では、狭隘部の点検に際してもっとも重要となるアクセス性に関する実験結果を紹介する。

4. 模擬試験体の有効性に関する検証実験

狭隘部を模擬した試験体を用いて調査機器の性能を把握するための検証実験を実施し、その有効性を確認した。検証実験の対象とした調査機器は表-6に示す5タイプである。

表-7に、検証実験結果を示す。ここでは、Case6の結果のみを示している。結果として調査機器ごとに、狭隘部のパターンや寸法によって進入可能レベルに大きな差があり、これは他のケースでも同様の傾向であった。

表-6 対象とした調査機器一覧

点検機器	特徴
機器A	ポールを延長し、離れた箇所の損傷をポールの先に設置されたカメラを用いて点検する技術
機器B	ロボットのアームを対象部材へ進入させ、アームの先端に設置されたカメラを用いて点検する技術
機器C	橋面からアームを張出し、橋梁桁下面の点検を行う技術
機器D	ガイド上をカメラに走行させ、桁端部狭隘部の点検を行う技術
機器E	ファイバースコープを用いて狭隘部の点検を行う技術

表-7 実証実験結果

	点検機器					
	A	B	C	D	E	
通過可能な狭隘寸法※	150mm	50mm/150mm	400mm	20mm	10mm	
模擬試験体の狭隘寸法	30~100mm					
<Case6> ゲルバー部	対象面への接近可否	水平面:○ 鉛直面:○	水平面:○ 鉛直面:×	×	水平面:×	水平面:○ 鉛直面:×
	点検可能最小寸法	100mm	50mm	—	30mm	50mm
	対応可能なコーナー数	0	0	—	0	0

※カタログ上の表示がないものは、カメラ本体の寸法(高さ、幅、厚みの最大値)を示す。

検証実験の結果、調査機器の開発者が作成したカタログ内の情報だけでは容易に調査可否を判断することは難しく、またカタログに記載の狭隘寸法以内でも進行方向を変更する必要性といった橋梁の構造が原因で接近できないケースや、逆にカタログに記載の狭隘寸法より狭小な空間でも進入可能なケースも確認された。

これらの結果から、近接目視が困難な狭隘部に調査機器を進入させて画像情報を取得する場合、今回行ったような実橋に近い条件でアクセス性を事前に確認することが現地での円滑で確実な調査の実施に有効であると考えられる。事前に近接目視が困難な部位を特定できれば、予め他の調査機器の併用を検討するなど、手戻りない計画的な点検の実施が可能となることが期待される。

また、狭隘部に進入後、進行方向を変えて狭隘部の最奥部まで進入できた調査機器はなかった。そのため、調査機器にはどの程度の寸法を通過できるかという単純な性能だけでなく、進行方向の変更や最大の距離（深さ）に関する性能も必要で、これについても表示すべき項目として位置付ける必要があると考えられる。

5. おわりに

本研究では、直接、近接目視ができない狭隘部を類型化するとともに、調査機器の狭隘部内部への進入性能を事前に把握するため模擬試験体を用いて基礎的な検討を行った。

その結果、進行方向を変更する必要がある構造（ゲルバー部など）に対しては、調査機器のカタログなどによる機器寸法等の情報のみからは進入性能を必ずしも正確に把握することはできないことが課題として確認された。また、調査機器の性能項目には、従来から表示されていることの多い

通過可能寸法だけでなく、狭隘部に進入後、進行方向を変える性能と進入可能な最大距離（深さ）に関する性能も含むべきであると考えられる。

本研究で行った簡易な模擬試験体による調査機器の検証実験は、調査機器の性能を把握し、実橋の近接困難箇所に対する調査の可否を判断するにあたって有効な方法と考えられる。また、現地へ行かずとも事前に対象橋梁の狭隘部への進入可否を適切に判断できるようになること、調査機器のカタログ等に記載すべき諸元等の統一的なルール の確立や適用性に優れた調査機器の開発につながることも期待できる。本文ではアクセス性についての模擬供試体とその適用試験結果を紹介したが、その他の項目に対する結果も含めた共同研究報告書を現在とりまとめ中である。

本研究に加え、国総研では道路橋の耐久性の信頼性向上のための構造細目や仕様に関する共同研究を実施しており、道路橋の設計においてこれまで近接目視が困難であった箇所に対して点検員がアクセス可能となる具体的な数値規定や推奨される構造細目の検討も実施している。今後も国総研では、調査機器を用いた調査手法の確立だけでなく、構造面からも維持管理が確実かつ容易に行える道路橋の実現を目指して参りたい。

参考文献

- 1) 社会資本整備審議会 道路分科会：第45回基本政策部会資料、平成26年3月
- 2) 次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会、橋梁維持管理部会：橋梁維持管理技術の現場検証・評価の結果 平成28年3月
- 3) 東北地方整備局：設計・施工マニュアル（案）[道路橋編]、P4-57、平成28年3月
- 4) 玉越隆史、横井芳輝、石尾真理：全国規模の実測データによる道路橋の劣化特性とその定量的評価：土木学会論文集F4（建設マネジメント）、Vol.70、No.4、I_61～I_72、平成26年

玉越隆史



研究当時 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長、現 土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員
Takashi TAMAKOSHI

星隈順一



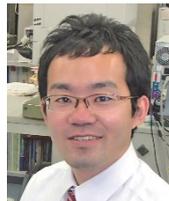
国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部橋梁研究室長、工博
Dr.Junichi HOSHIKUMA

白戸真大



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
Masahiro SHIRATO

宮原 史



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研究官
Fumi MIYAHARA

中邨亮太



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交流研究員
Ryota NAKAMURA