

光学的計測法による損傷を有する鋼トラス橋の構造同定および変状検知

長崎大学大学院 学生会員 ○林 謙介・河村 太紀
長崎大学工学研究科 正会員 松田 浩・山口浩平

1. 序論

戦後急速に道路インフラが整備され、我が国の交通や経済を支えてきた。橋梁は近年、老朽化とともに交通量の増加や過積載車両の増加に伴い、劣化などの変状が顕在化し、また安全安心のための維持管理不足が問題視されるようになった。

現在の橋梁の点検は近接目視点検が行われているが、中には点検が高所にわたるものや大掛かりな作業・足場が必要な場合もあり、莫大な費用と時間を要する。また技術者不足などもあり橋梁の維持管理は全国的に大きな課題となっている。このような課題に求められている点検・維持管理手法は安全な作業、技量に頼らない点検および診断法、効率的で信頼性が高く低コストの手法、設計図書がない場合の対処法、等々である。

以上に鑑み、本研究では図1のフロー図に示すように、構造解析モデルを構築し、それにより構造解析を実施し、その結果を、実構造のたわみや固有振動数と比較し橋梁の構造特性を同定し、さらにその構造解析モデルを用いて、たわみの影響線の変化率に着目し、構造物の変状検知の可能性について考察する。

なお、ここに変化率は式(1)に示すように健全な状態から劣化した状態の差分を、健全な状態で除したものを絶対値化したものと定義する。

$$\text{変化率} = \frac{\left| \frac{\text{健全な状態} - \text{劣化が生じた状態}}{\text{健全な状態}} \right|}{1} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

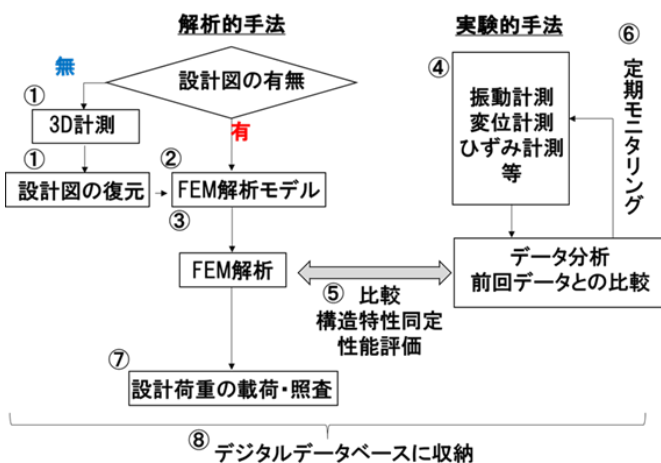


図1. 構造同定

2. 実橋梁の構造同定

本研究では長崎県島原市水無川に架かる旧島原鉄道の廃線区間にある単純下路トラス形式の鉄道橋を対象とする。この水無川橋を3Dレーザースキャナで3D計測を実施し、得られた点群データ(図2)から解析モデル(図3)の作成を行った。解析は弾性梁要素を使用してモデルを作成した。また振動計測は構造物診断用非接触振動測定システムUドップラーを用いて行った。

本解析モデルでのFEM解析による固有振動数と実測値を比較したものを表1に示す。材端条件と支承支持条件について以下のことが考察できる。

トラス部材の材端条件については、水平1次(1次モード)および鉛直1次(2次モード)で比較した場合、影響がほとんど見られないが、ねじれ1次(3次モード)ではその差が顕著に表れている。しかしその他部材の材端条件の影響はほとんどない。このことから、振動計測を用いてトラス橋の構造特性同定を行う場合には、水平・鉛直モードだけでなく、ねじれモードも捕らえられる計測を行う必要がある。また本橋においては、トラス部材の材端条件はピンよりも剛結とした場合が解析値と計測値が一致している。

支承支持条件については、固定、ピン、可動の3パターンを比較検討した。水平1次・鉛直1次モードは、固定/可動(ケース1)およびピン/可動(ケース3)がよく一致した。これより、可動支持の機能性を有しているので橋梁Aの支承部の水平方向成分は設計時の性能を十分に保っていると判断できる。逆に言えば、劣化・老朽化・維持管理不足により、水平可動機能が十分でなければ固有振動数が上がることがわかる。

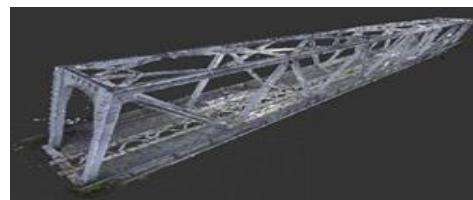


図2. 点群データ

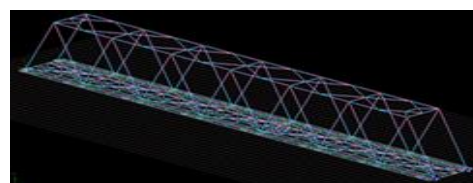


図3. 解析モデル

キーワード 構造同定 FEM 解析 固有振動数 たわみ

連絡先 〒852-8521 長崎県長崎市文教町1-14 長崎大学大学院工学研究科松田研究室

3. 解析モデルでの劣化評価の予測

部材が損傷した場合の固有振動数の変化から、部材の損傷検知の可能性を検討した。今回は部材の損傷として、部材の格点での断面欠損とボルト抜け落ちによる材端条件の変化（剛結からピン結合）を対象とした。本研究における断面欠損は断面積、80%断面欠損させたものとする（写真1参照）。損傷箇所は劣化が発生しやすい床組と斜材の格点とした。これらの損傷を与えた解析モデルの固有振動数と健全時の固有振動数を鉛直振動モードに着目し、比較検討した。この損傷部材の部位・位置を図4に示し、解析結果を表2に示す。

この結果より、ボルト抜け落ち（剛結からピン結合）では固有振動数に変化は見られなかったため本文では省略する。一方、部材の断面欠損では、下弦材では変化が小さかったが、斜材では固有振動数に大きな変化が見られた。表2より、固有振動数をモニタリングすることで斜材の断面欠損を検知できると考えられる。しかし固有振動数からは、損傷の有無は検知できるが損傷箇所の特定までには至らない。そのためたわみの影響線の変化率に着目し部材の欠損箇所を特定する。

斜材および下弦材の欠損箇所を特定するために式（1）により、たわみの影響線の変化率を算出した（図5、6）。両図より断面欠損した斜材2のある節点2（図5）および下弦材1のある節点2（図6）において、たわみの影響線の変化率がどの節点に载荷しても最大となったため、本手法により欠損箇所の特定が可能である。また下弦材の断面欠損では固有振動数ではわずか0.1Hzの変化だったが、たわみの影響線の変化率では値が約6%近くになっている。このことから、たわみが精度よく測定できれば欠損箇所の特定が可能である。

4. まとめ

- ・3Dレーザースキャナで取得した点群データは一般図面の代用になりえる。
- ・振動計測を行うことで材端条件、支承支持条件を精度よく同定できた。
- ・固有振動数、変位を計測することで欠損の有無、欠損箇所を特定することができる。

以上の結果より、簡易で効率的な橋梁の点検の可能性を見出すことができた。今後実験によりさらに明確にしていく必要がある。

参考文献

1)国土交通省 HP
(http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf)
2) (公益財団法人) 東京都道路整備保全公社
3)内閣府：SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術、2000
4)たわみの影響線を利用した橋梁の劣化箇所同定の試み、武田龍國，中島章典，Nguyen Minh Hai：土木学会平成28年度全国大会第71年次学術講演会講演概要集，I-071，2016.9.

表 1. 計測値と解析値の比較

ケース	支持条件	トラス部材	その他部材	1次固有振動数(Hz)			2次固有振動数(Hz)			3次固有振動数(Hz)		
				水平1次モード			鉛直1次モード			ねじれ1次モード		
				計測値	解析値	解析値/計測値	計測値	解析値	解析値/計測値	計測値	解析値	解析値/計測値
1	固定/可動	剛結	剛結	2.2	100%		3.9	103%		5.7	98%	
			ピン	2.2	100%		3.9	101%		5.5	95%	
			剛結	1.8	78%		3.9	102%		4.8	84%	
			ピン	1.8	78%		3.8	101%		4.7	82%	
2	固定/固定	剛結	剛結	2.4	107%		4.3	113%		5.7	99%	
			ピン	2.4	107%		4.2	112%		5.5	96%	
			剛結	1.8	79%		4.3	113%		4.8	84%	
			ピン	1.8	79%		4.2	111%		4.7	82%	
3	ピン/可動	剛結	剛結	2.1	96%		3.9	102%		5.6	98%	
			ピン	2.1	96%		3.8	101%		5.4	95%	
			剛結	1.6	73%		3.9	102%		4.8	83%	
			ピン	1.6	73%		3.8	100%		4.7	81%	
4	ピン/ピン	剛結	剛結	2.3	103%		4.3	113%		5.7	99%	
			ピン	2.3	103%		4.2	111%		5.5	96%	
			剛結	1.7	74%		4.3	113%		4.8	83%	
			ピン	1.7	74%		4.2	111%		4.7	82%	

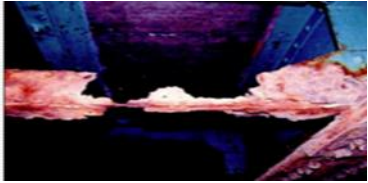


写真 1. 断面欠損例 2)



図 4. 損傷位置

表 2. 解析値一覧

損傷部材	損傷ケース	固有振動数(Hz)
		鉛直振動モード
なし	なし	3.9
斜材 2	断面欠損	3.5
下弦材 1	断面欠損	3.8

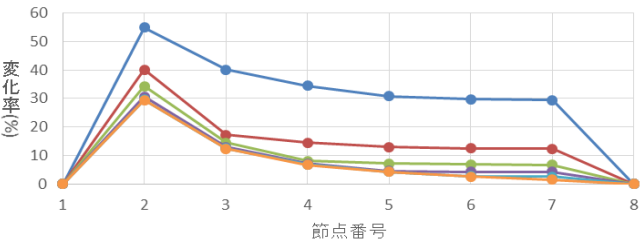


図 5. 節点 2 斜材 2 80%断面欠損 たわみの影響線の変化率

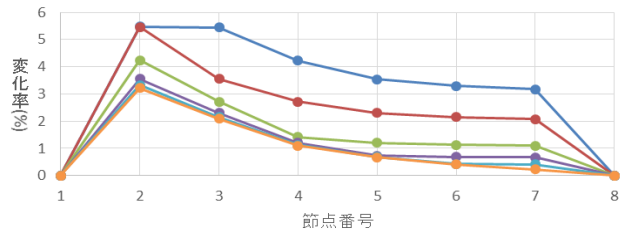


図 6. 節点 2 下弦材 1 80%断面欠損 たわみの影響線の変化率