

モニタリングやソフト対策などを取り入れた老朽化小規模橋梁に対する維持管理手法の高度化

トキワコンサルタント株式会社 正会員 ○池末 二郎
 徳山工業高等専門学校 正会員 海田 辰将
 徳山工業高等専門学校専攻科 学生会員 丸橋 憲伸
 徳山工業高等専門学校土木建築工学科 学生会員 井上 綾

1. はじめに

国内に存在する橋梁 73 万橋のうち、約 94%の橋梁は地方自治体が管理している。そのうち、約 1 割の 6.1 万橋（中国地方では 0.9 万橋）においては、「道路橋定期点検要領（国土交通省道路局）」に基づく健全性診断結果が III もしくは IV であり早期な対策が必要な状況であるが、措置の着手率は 3 割程度に留まっている。2021 年度末現在において、IV 評価がなされた橋梁数は 1029 橋を数え、増加の一途を辿っている。これらの橋梁については、通行規制もしくは応急対策などの措置が施された後、修繕・架替や撤去・廃止、機能転換などが施されているものの、対応未定となっている橋梁も年々増加している¹⁾。

一方、地方公共団体における財政状況は厳しく、現状の予算では既存道路施設の維持管理の困難を懸念する地方公共団体の割合は約 9 割を占める。さらには、道路橋の維持管理を担う土木技術者の人材不足も問題視されている。2021 年 5 月時点において、橋梁の維持管理に携わる土木技術者が存在しない市区町村の割合は、市区では 5%に留まるものの、町では 23%、村では 57%を占めており、その問題は深刻である²⁾。

このような現状を踏まえ、2016 年度の橋梁点検において IV 判定となり現在も通行止め規制がなされている老朽化橋梁に対し、加速度センサー³⁾を用いてたわみ計測を実施し、FEM 解析にてその妥当性を評価した。それらの結果を踏まえて、本研究で対象とした老朽化橋梁の今後の維持管理のあり方について、モニタリングやソフト対策を取り入れることで高度化を図った手法の提案を行った。

2. 対象橋梁諸元

本研究では、山口県光市内の市道上に存在し 2 級

河川を渡河する束荷橋（写真-1、表-1）を主対象とした。上部構造形式は 6 主桁を有する 4 径間単純鋼鈹桁橋である。竣工年は不明であるが、周辺の住民の証言を踏まえ、60 年程度の供用年数を経ていると想定している。この束荷橋に認められる主な外観変状を表-2 および写真-2 に示す。



写真-1 束荷橋側面状況

表-1 束荷橋の諸元

項目	内容
架橋年	不明（1960 年頃と推定）
橋梁規格	不明（T-12t と推定）
橋長	30.6m（7.65m×4）
幅員	5.5m（0.25+5.0+0.25）
上部工形式	4 径間単純鋼鈹桁橋（6 主桁）
下部工形式	重力式橋台、壁式橋脚
基礎工形式	杭基礎（木杭）

表-2 主な変状状況

部位・部材			変状・措置	
			時期	
			2016 年	2022 年
上部工	主桁 (端部)	外桁	貫通孔への当て板補修 (写真-2)	
		中桁	貫通孔	当て板 補修
下部工	橋脚(基部)		洗掘	

キーワード 構造ヘルスマニタリング, たわみ計測, FEM 解析, ソフト対策, 維持管理の高度化

連絡先 〒759-0132 山口県宇部市山中 700-10 トキワコンサルタント株式会社 TEL0836-62-5300



写真-2 主桁端部におけるウェブの貫通孔

主桁端部に貫通孔が認められ、当て板補修が施されているものの、当て板と母材との接合が不十分であり、補修効果が懸念される状況である。

主桁の断面形状について、中桁はH形鋼が用いられている。その一方、外桁には中桁より断面諸元の小さい溝形鋼が採用されており、横倒れの兆候が認められる桁も存在している。

主桁端部に発生した顕著な貫通孔の影響と応急対策的な当て板補修の効果を確認し、橋梁の耐荷性能を評価するためにたわみ計測を実施した。

3. たわみ計測およびFEM解析

3.1 たわみ計測

図-1の赤丸で示すとおり、すべての径間の支間中央部において加速度センサーを用いたたわみ計測を実施した。加速度センサーは、図-2に示すように地覆上に設置した。載荷重は本橋の利用実態に基づく通行ニーズを踏まえ、20kN(2tf)・40kN(4tf)・80kN(8tf)の3種類とした。載荷位置については、すべての径間を対象に図-2に示すように幅員の中央とした。計測状況を写真-3に示す。

中央載荷によるたわみの計測結果を図-3に示す。各径間のたわみ量に相違が認められ、最も大きい第2

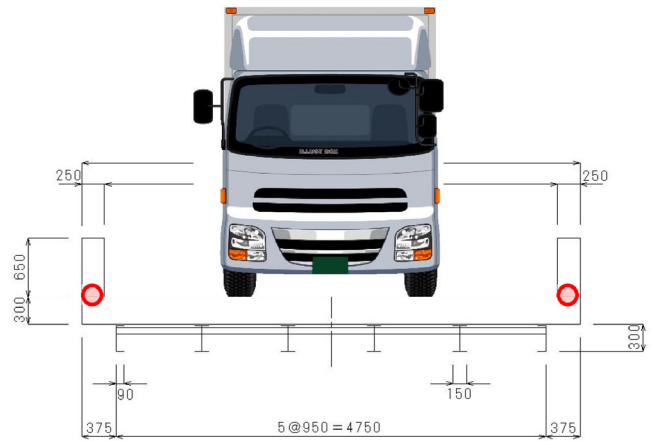


図-2 中央載荷概要図

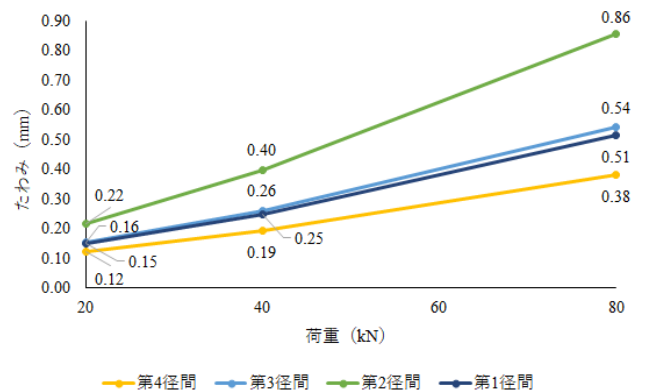


図-3 中央載荷におけるたわみ計測値（全径間）

径間のたわみ量は0.86mmであり、最も小さい第4径間のたわみ量0.38mmの2.3倍であった。そこで、その第2径間を対象に、中桁よりも断面諸元が小さく腐食により桁端部のウェブに大きな貫通孔を有する外桁のたわみ挙動を把握するため、図-4に示すように外桁の直上付近に輪荷重が作用させたたわみを計測した。その結果を図-5に示す。

図-3に示す中央載荷でのたわみ計測結果より、以下に示す事項が確認できた。

- 各径間ではたわみ量が同様ではなく、径間により異なる。これは、径間毎に変状状況が異なることに起因していると考えられる。

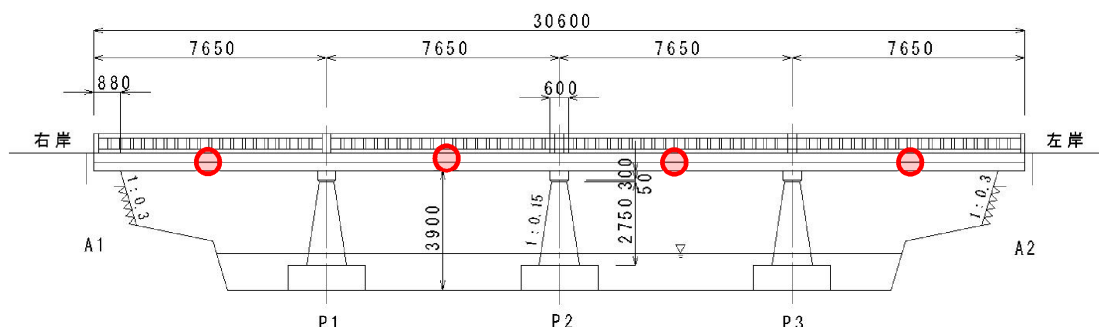


図-1 計測箇所図



写真-3 たわみ計測状況 (80kN 荷重車)

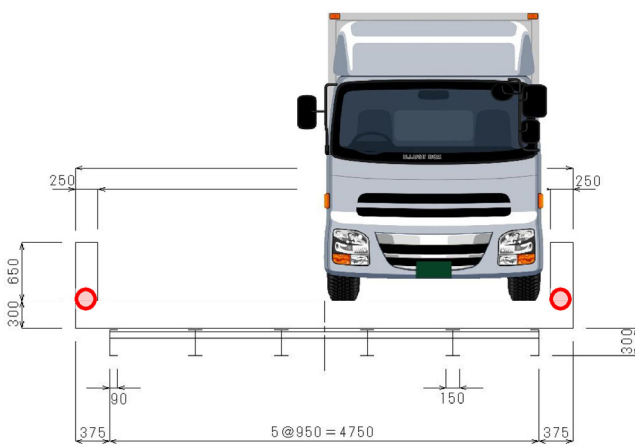


図-4 偏載荷概要図

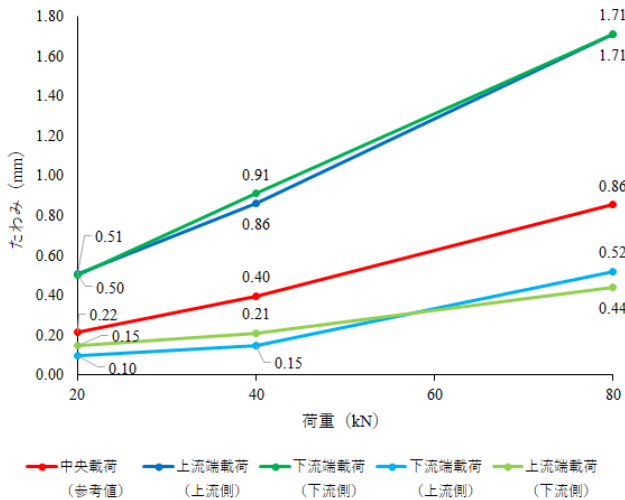


図-5 端部载荷におけるたわみ計測値 (第2径間)

- 全径間中、変状が最も顕著な第2径間のたわみが最も大きい。
- すべての径間において、载荷荷重とひずみの推移には概ね線形関係が認められた。このことにより、80kN までの荷重に対しては弾性領域でたわみ挙動を示し、塑性域におよぶ異常なたわみや残留た

わみの発生はないものと考えられる。

図-5 に示す偏載荷でのたわみ計測結果より、以下に示す事項が確認できる。

- 偏載荷側のたわみ値は、中央载荷時の値よりも約2倍大きい。これは、中央载荷と比べて荷重分配効果が低いことが考えられる。さらには、本橋梁の中桁はH形鋼であるが、外桁は溝形鋼であり断面諸元(断面二次モーメント)が中桁よりも小さいことも起因していると考えられる。
- 一方、他方のたわみ値は、中央载荷時の値に比べ0.5~0.6倍となった。
- 上流载荷時と下流载荷時のそれぞれのたわみ値は、若干の差はあるものの概ね同様の値となっていた。このことより、それぞれの外桁に大きな変状の差は生じていないものと考えられる。

3.2 FEM 解析

汎用有限要素法解析ソフト ABAQUS2022 を用いて、第2径間の全橋解析モデルを構築し、弾塑性非線形有限要素解析によって、新設時と現段階のたわみ量および発生応力度を求めた。その結果を図-6 および表-3 に示す。

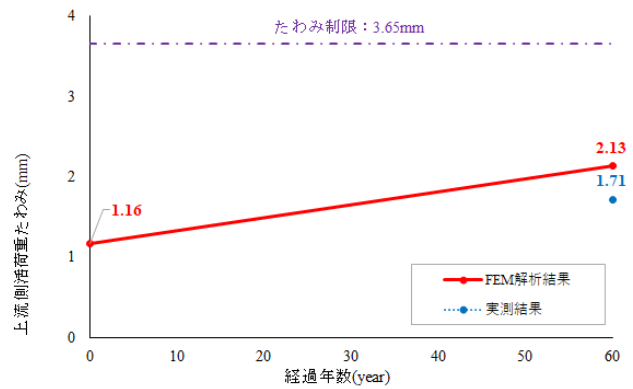


図-6 たわみの解析結果

表-3 FEM 解析による評価結果

評価種別	荷重種別	算出種別	単位	評価
たわみ	活荷重(80kN)	FEM 解析	mm	2.13
		計測値		1.71
	たわみ制限	-		3.65
	判定	FEM 解析		Okay
		計測値		Okay
引張 応力度	死荷重	FEM 解析	N/mm ²	25.62
	活荷重(80kN)			22.3
	死活荷重			47.92
	許容値	-		140
	判定	-		Okay

FEM 解析で求めた活荷重(80kN, 偏載荷)によるたわみ量は 2.13mm であり, 計測値 1.71mm と概ね近似していた. なお, いずれの結果でもたわみ制限値 3.65mm を超過していない. FEM 解析で求めた主桁の発生引張応力度は許容値を満足している.

3.3 考察

本研究の取り組みにより, 加速度センサーを用いたたわみ計測値は, FEM 解析値と概ね近似しており, 木下ら⁴⁾や梅川ら⁵⁾の既往研究と併せて勘案しても, 計測精度は高いものと評価できる. また, 主桁に発生する引張応力度は許容値以下であったこと, 外桁については施された当て板を考慮せずに検討した FEM 解析結果とたわみ計測値に大きな相違は認められなかったことから, 現場溶接によって施工された当て板補修の効果は低いと考えられた.

4. 東荷橋に対する今後の維持管理についての提案

当該橋梁は現在通行止め規制中であるが, 本研究での検討結果を踏まえ, 下記の対策を講じることで抜本的な改善措置を講じるまでの短期間において一時的に供用を復活させることは可能と考えられた.

- 重量規制
- 通行領域規制
- 定期的なモニタリング

a) 重量規制

実橋載荷試験や FEM 解析により, 80kN 車両までの短期安全性は確認することができた. しかしながら, これは一時的な対策であり, 長期にわたる安全性が担保されているわけではない. そこで, 当該橋梁が存在する路線における常時の交通状況を勘案し, 当該橋梁を通行する車両の重量制限を 20kN 程度とする. ただし, 緊急車両の一時的な通行は許容する.

b) 通行領域規制

外桁は中桁よりも断面諸元の小さな溝形鋼が使用されていること, 横倒れの兆候が認められること, 外桁の直上付近に偏載荷した際のたわみは中央載荷時に比べ約 2 倍となっていることから, 外桁への外力作用を低減することが望ましい. そこで, 図-7 に示すように側方領域については路面への加工(ゼブラ処理やチャッターバーの設置など)を施し, 車両の通行を許容しない対策を講じる.

c) 定期的なモニタリング

根本的な改善対策を施すまでの間は, 上記の措置を

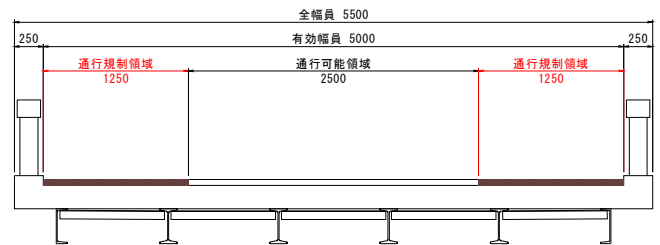


図-7 通行領域規制概念図

講じるとしても定期的かつ継続的なモニタリングにより変状の進行や使用限界時期の確認を実施する必要がある. その手段のひとつとして, 本研究で採用した加速度センサーを用いたたわみ計測が挙げられる. 具体的な計測インターバル案として, 暫定供用開始後 1 年間は半年に 1 回, その後は毎年実施することが望ましいと考えられる.

5. まとめ

本研究の主な要点を以下にまとめて示す.

- 現行の橋梁点検業務における点検事項である目視点検および打診に加え, たわみ計測および FEM 解析を実施することで橋梁の耐荷性能を評価することができた.
- 橋梁の耐荷性能を評価することで, 現在通行規制を実施している橋梁に対し, 暫定的な供用復活策を提案することができた.

ここで対象とした東荷橋は地方に多く存在する老朽化した小規模橋梁であり, 同様の橋梁は他にも数多く存在している. そのような橋梁に対しても, 状況に応じて, 従来の橋梁点検に加えてモニタリングやソフト対策を適切かつ柔軟に採用し, 維持管理の高度化を図ることが重要と考えられる.

参考文献

- 1) 国土交通省道路局: 道路メンテナンス年報, 2022.8.
- 2) 国土交通省道路局: 道路橋の集約・撤去事例, 2022.3.
- 3) NETIS: KT-200116-A, 橋梁たわみ計測技術.
- 4) 木下幸治, 毛利健太郎, 菅沼久忠: 浜松市における IoT 端末を活用した広域たわみ計測の試み, 日本道路会議論文集, 2019.
- 5) 梅川雄太郎, 菅沼久忠, 木下幸治, 小野友樹: 車輛通行に伴う加速度データを用いた橋梁の変位モニタリングに関する検討, 第 72 回土木学会年次学術講演会, I-350, 2017.