

約50年間供用された連続非合成鋼I桁橋の現地載荷試験

澤田 守* 村越 潤** 梁取直樹*** 西 弘明**** 三田村 浩*****

1. はじめに

高度経済成長期に建設された膨大な道路橋ストックの高齢化が進展していく中で、これらを健全な状態で適切かつ合理的に維持管理していくための点検、診断、対策技術が求められている。しかしながら、道路橋のように多数の部材から構成される複雑な構造物では、劣化損傷・変状の要因が多岐にわたるだけでなく、それらが橋の耐荷性能や耐久性能に与える影響は、設計・構造条件のみならず橋梁を取り巻く環境、交通状況等によっても大きく異なるものである。このため、損傷・変状の生じている橋の構造安全性の評価は極めて難しくなる場合が多い。

構造物メンテナンス研究センターでは、長期供用され劣化損傷の生じた実橋の状態や挙動を探る取り組みを臨床研究と称して、撤去橋梁等を活用した各種の現地調査・計測及び撤去部材調査を進めている。

こうした臨床研究の一環として、約50年間供用され撤去に至ったりベット接合を用いた鋼2主桁橋を対象として、活荷重に対する全体挙動の把握及び構造解析手法の適用性の検討を主な目的として、劣化損傷の目視調査、荷重車載荷試験による橋梁各部のひずみ、変位、振動特性等の挙動計測、数値解析との比較、撤去後の材料強度試験等を行った。本橋は非合成桁として設計されているが、これまでの実橋計測によれば非合成桁であっても

鉄筋コンクリート床版（以下、床版）と鋼桁間の合成挙動の事例が多数確認されている¹⁾。本橋の場合にも、上フランジにはスラブアンカーやリベット接合による鋼板継手が設けられており両者の相対変位は生じにくいものと考えられる。一方では、長期間供用され床版と鋼桁間には劣化損傷が確認されており、かつ約8m間隔に設けられた9箇所の目地によって床版が不連続の構造となっている。このような状態での合成挙動の程度は、橋の耐荷性能を評価する上で検討しておくべき点と考えられる。

本文では、各種調査のうち、主に床版と主桁との合成挙動に着目した載荷試験結果の概要を報告する。

2. 橋梁概況

2.1 橋梁諸元

対象橋梁は北海道芦別市の一般国道452号において空知川に架かる橋梁であり（図-1、図-2）、橋長82.7m（支間割：24.6m+32.8m +24.6m）の3径間連続非合成鋼I桁橋である。昭和28年に竣工し、平成14年に別線に新橋が架設され通行止めとなるまで約50年にわたり供用された。平成11年道路交通センサス調査において、大型車交通量は160（台/日）、日交通量は2,563（台/日）である。

2.2 劣化損傷の状況

本橋における主な劣化損傷を図-3に示す。床版張出し部のコンクリートには、寒冷地のため凍害が発生（図-3(a)) しており、著しい剥落・鉄筋の露出が見られた。主桁間の床版では、床版下面のほぼ全面に微細なひび割れが発生しており、パネルによっては床版に疲労と考えられる2方向のひび割れ（図-3(b)) が生じていた。床版目地の周辺では、水等の浸入による漏水、遊離石灰（図-3(c)) が確認された。床版と鋼桁の境界部では、上フランジ端部との接触部に全長のかなりの部分にわたり漏水、遊離石灰の跡（図-3(d)) が見られた。鋼桁については、平成8年に塗装塗替が行



図-1 橋梁全景

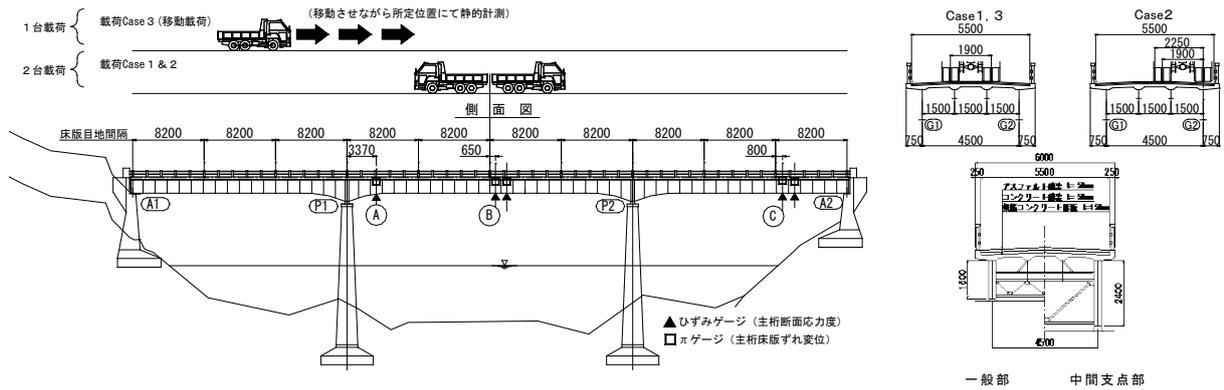


図-2 橋梁一般図、荷重ケース、計測位置

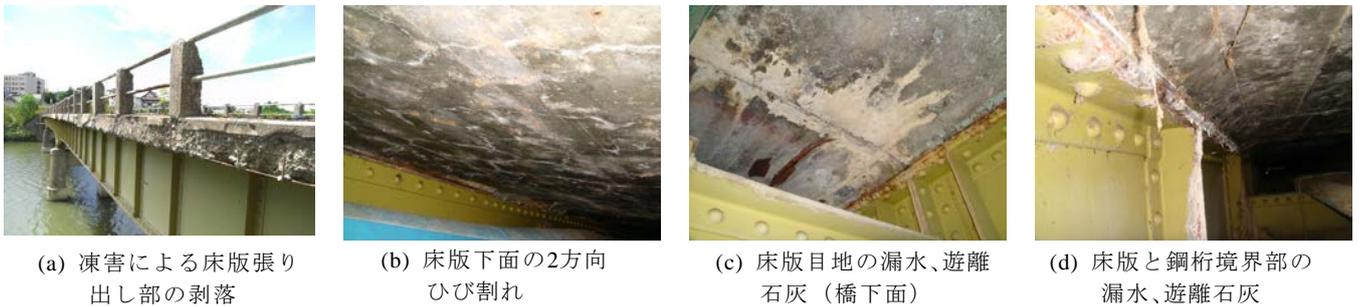


図-3 本橋における主な劣化損傷の状況

われており、外観上比較的健全な状態であったが、主桁上フランジと床版との境界部や目地直下の横構ガセットプレート周りなどでは、漏水の影響による局所的な腐食が生じていた。

3. 荷重試験方法

3.1 静的荷重試験

活荷重に対する全体挙動を把握するため、約200kNに調整したダンプトラックを荷重車（前輪重55kN、後タンデム軸重150kN）として用いて静的荷重試験を行った。図-2に荷重ケース、計測断面を示す。荷重は荷重車2台を静的に荷重するケース（Case1,2）および、荷重車1台を移動させながら所定位置に静的に荷重するケース（移動荷重）（Case3）の2方法により行った。中央径間中央付近を計測対象とし、桁ひずみを計測した。また、床版と鋼桁上フランジの橋軸方向の相対変位についてπゲージを用いて計測した。

3.2 振動試験

振動試験については、強制加振後の鉛直方向加速度の自由減衰振動波形から固有振動数等の振動特性を把握するため実施した。中央径間支間中央位置で人力加振（10数名で鉛直方向に加振）を実施し、鉛直方向加速度を加速度計により計測した。

3.3 計測結果との比較に用いた数値解析

本橋の活荷重に対する全体挙動の把握及び構造解析手法の適用性の検討を行うため、各種のモデルで数値解析を行い、静的荷重試験および振動試験で得られた各種計測値との比較を行った。以下にモデルを説明する。

3.3.1 骨組モデル

鋼桁の設計計算に一般的に用いられる格子桁解析のモデル（以下、骨組モデル）を用いて、床版と鋼桁との合成を考慮しない場合と考慮する場合について解析を行った。骨組（合成）モデルでは、主桁および縦桁と床版間は完全合成と仮定している。

3.3.2 FEMモデル

FEMモデルでは、主桁、縦桁、横桁をはり要素とし、床版をシェル要素でモデル化している。床版に主桁間の合成挙動を表現するためのせん断バネ定数については、既往のスラブアンカーの水平せん断試験結果²⁾を参考に、せん断バネ定数(3.75×10⁵kN/m)を基本値として、これをオーダー単位で変化させた。また、床版のシェル要素に不連続部分を設けて床版目地を考慮したモデルと、考慮しないモデルについて解析を行った。

4. 載荷試験結果³⁾

4.1 主桁断面応力分布

図-4に荷重車2台載荷時 (Case1, 2) の中央径間支間中央の主桁断面応力分布を示す。図中には、骨組 (非合成)、骨組 (合成) モデル、および目地が無いと仮定し完全合成となるように十分に大きいせん断バネ定数を設定したFEM (合成、目地無) モデルの解析結果を示す。実測値に対して、骨組 (非合成) モデルでは特に上フランジ側で異なる分布を示している。一方、床版と鋼桁との合成を仮定した骨組 (合成) モデルとFEM (合成、目地無) モデルでは、実測値と比較的近い分布を示した。

4.2 振動特性

表-1に人力加振及び固有値解析によって得られた中央径間支間中央の固有振動数を示す。実測値は、骨組 (合成) モデルやFEM (合成、目地無) モデルの解析値に近く、振動特性からも本橋が合成桁に近い挙動を示していることが確認された。

4.3 床版と鋼桁間のずれ挙動

図-5に移動載荷時 (Case3) におけるπゲージにより計測された床版と鋼桁間の相対変位を示す。以下、図中ではせん断バネ定数をkと記載する。横軸は、荷重車の後タンデム軸の中心位置を示している。図中には比較的相対変位が近いせん断バネ定数 ($k=3.75 \times 10^6 \text{ kN/m}$)とした解析値および、 $k=3.75 \times 10^5, 10^7, 10^8 \text{ kN/m}$ とした解析値 (実測値のピーク値近傍のみ) を併せて示す。実測値は、荷重載荷位置がP-1支点からP-2支点方向に移動するにともない、相対変位は増加し、計測位置直上付近に荷重載荷された時点でピーク値を示し、その後、荷重位置が遠ざかるにつれ、再び零に戻るという弾性的な挙動を示している。図-6に中央径間中央の荷重車2台載荷 (Case1) 時における床版と鋼桁間の相対変位を示す。図中にはせん断バネ定数 $k=3.75 \times 10^5, 10^6, 10^7, 10^8 \text{ kN/m}$ とした場合の解析結果を併せて示す。以上の図-5、図-6によれば、実測値が小さく計測点も少ないため評価は難しいが、オーダーとして $k=3.75 \times 10^6 \text{ kN/m}$ とした解析値が実測値の傾向と比較的近い。本橋の鋼桁と床版間のずれ剛性はスラブアンカーのせん断バネ定数よりも1オーダー程度大きく、コンクリートとの付着もしくはリベット頭やフランジ厚

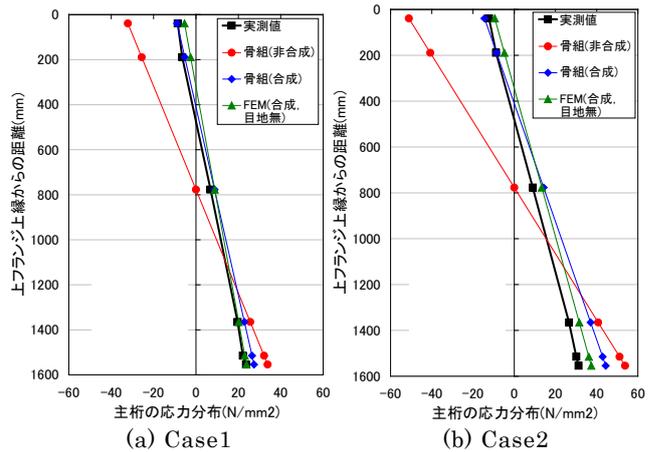


図-4 主桁断面応力分布 (B断面)

表-1 鉛直対称一次モードの固有振動数

測定および解析ケース		固有振動数 (Hz)
実測値 (人力加振)		3.26
解析値	骨組 (非合成) モデル	2.31
	骨組 (合成) モデル	3.21
	FEMモデル (合成、目地無)	3.43

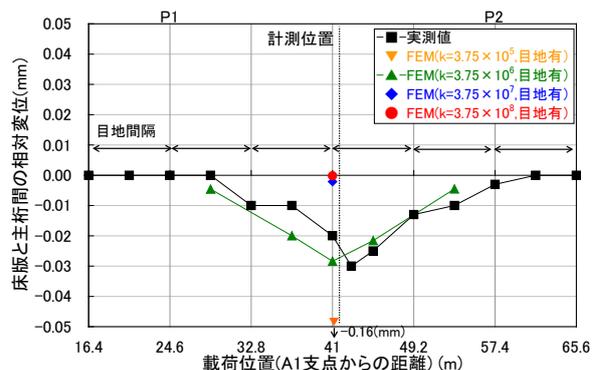


図-5 Case3における床版と主桁間の相対変位

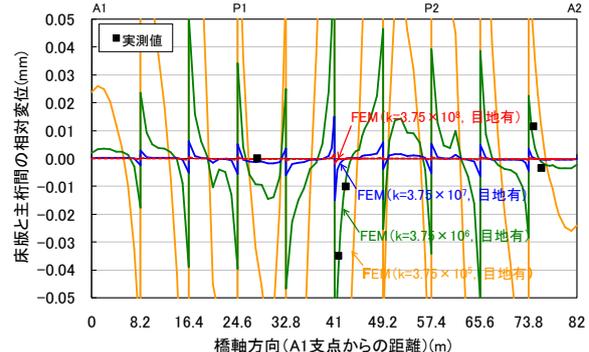


図-6 Case1における床版と主桁間の相対変位

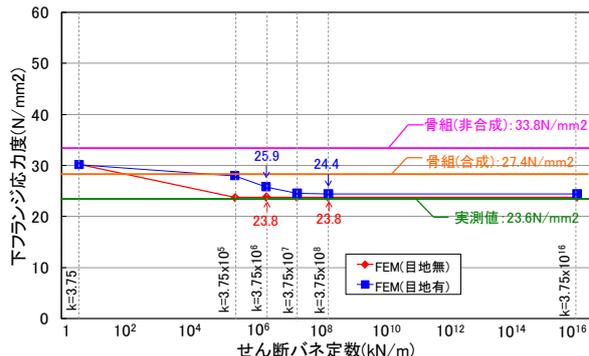


図-7 Case1の実測値と解析値の比較 (B断面)

の変化による凹凸の存在により床版と鋼桁間の接合に実質的に大きなずれ剛性を有していたことが推察される。

図-7に、せん断バネ定数を変化させた場合の床版目地モデル化の有無の違いによる、荷重車2台載荷時（Case1）における中央径間支間中央の主桁下フランジ応力度を示す。本橋の場合には、床版目地のモデル化の有無に関わらず、 $k=3.75 \times 10^7 \sim 10^8 \text{ kN/m}$ で概ね収束している。実測値は、このモデルによる解析値に近く、前述のようにずれ挙動は計測されたものの完全合成としたFEMモデル（目地無）で概ね挙動を再現できるものと思われる。なお、せん断バネ定数が大きく合成桁に近い挙動となる条件下では、床版目地および床版と鋼桁のずれ挙動のモデル化の有無による影響は小さかった。

5.まとめ

約50年間供用され、一部劣化損傷が見られるとともに、床版目地を有する鋼I桁橋を対象として、荷重車載荷試験を行った。その結果、床版と鋼桁間に関して、完全な合成挙動ではないものの合成桁に近い挙動を示していることが確認された。また、構造解析におけるモデル化の検討を行い、本橋においては、目地無しで床版と主桁が完全合成と仮定したFEMモデルで概ね挙動を再現することが確認された。劣化損傷を考慮していない

モデルで挙動が概ね再現できていることから、今回載荷試験を行った弾性範囲内の橋の全体挙動については、前述の劣化損傷が見られたものの健全時とそれほど違いがないものと推察される。得られた知見は、既設橋の実挙動を把握する上でのモデル化の参考に資するものと考えられる。

今後こうした劣化損傷の生じた古い橋梁の損傷状況、実挙動の調査事例の蓄積を図り、既設橋の健全性評価に対する技術支援の参考にするとともに、耐荷性能の診断技術の開発に活かしていく予定である。

謝 辞

本橋を撤去前に現地載荷試験のフィールドとして提供頂いた国土交通省北海道開発局札幌開発建設部滝川道路事務所の皆様に深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 村越、高橋、吉岡、野中、加藤：FEM解析を用いた鋼多主桁橋の設計合理化の検討、鋼構造論文集第11巻、第43号、pp.131～145、2004.9.
- 2) 柘田、平城、渡辺、高田、宮地、牛島：スラブアンカーの静的ずれ耐力特性に関する実験的研究、構造工学論文集 Vol.47A、pp.1373～1380、2001.3.
- 3) 村越、梁取、澤田、西、三田村：約50年間供用された床版目地を有する連続非合成鋼I桁橋の損傷状況と現地載荷試験、構造工学論文集Vol.56A、pp.710～721、2010.3.

澤田 守*



独立行政法人土木研究所
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 研究員
工修
Mamoru SAWADA

村越 潤**



独立行政法人土木研究所
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、工修
Jun MURAKOSHI

梁取直樹***



独立行政法人土木研究所
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 主任研
究員、MS
Naoki YANADORI

西 弘明****



独立行政法人土木研究所
寒地土木研究所寒地
基盤技術研究グループ
寒地構造チーム 上席
研究員、博(工)
Dr.Hiroaki NISHI

三田村 浩*****



独立行政法人土木研究所
寒地土木研究所寒地
基盤技術研究グループ
寒地構造チーム 主任
研究員、博(工)
Dr.Hiroshi MITAMURA