

## (58) 鋼コンクリート合成桁の劣化診断における 支承回転拘束の影響に関する検討

菅原 智大<sup>1</sup>・大西 弘志<sup>2</sup>・里見 瑞樹<sup>3</sup>・千葉 陽子<sup>4</sup>・高橋 明彦<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生会員 岩手大学総合科学研究科 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5)  
E-mail:g0120031@iwate-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 岩手大学教授 理工学部 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5)  
E-mail:onishi@iwate-u.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 岩手大学 理工学部システム創成工学科 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5)  
E-mail:s0818038@iwate-u.ac.jp

<sup>4</sup>非会員 山形産業短期大学校教授 (〒990-2473 山形県山形市松栄2丁目2-1)  
E-mail:chiba@yamagata-cit.ac.jp

<sup>5</sup>非会員 新和設計株式会社 (〒992-0021 山形県米沢市大字花沢880番地)  
E-mail:ak.takahashi@sinwasekkei.co.jp

鋼コンクリート合成桁は通常、鋼桁の上にコンクリート床版を配置し、合成する形式をとることになる。このような形式の桁の健全性を調査するために各種点検を行うが、その中でも力学的な調査である車両載荷試験や振動試験では合成桁の境界条件となる支承の健全性が問題になる。特に支承が腐食等で固着し、回転運動が妨げられている状態であると、支点部には負の曲げモーメントが生じる可能性があり、合成桁内のひずみ分布や振動の状態が影響を受けるものと考えられる。このため、本研究では合成桁における劣化の進行と支承の回転拘束がひずみや固有振動数に与える影響について有限要素解析を用いた検討を実施することとした。

**Key Words :** *Bearing deterioration, Strain distribution, Natural frequency, Spring element*

### 1. はじめに

現在、国内では約72万の橋が供用されており、そのうち約7割は地方自治体が管理している。近年では橋梁の老朽化が問題となっており、2030年までに供用中の橋梁の約半数が供用後50年以上経過するといわれている<sup>1)</sup>。しかし、多くの橋梁を管理している地方自治体では、橋梁保全業務に携わる技術者不足や維持管理費用の捻出が困難になっているなどの課題が挙げられる。そこで点検手法の定量化や補修・補強に関する手法の容易化などが課題となっている。

平成26年から5年に1度の近接目視による定期点検が行われ、現在では2巡目が実施されている。しかし、目視点検では外観に現れている劣化については評価可能だが内部の劣化の評価には適していない。また、支承部や桁端部における腐食やさび、土砂堆積が橋梁にどの程度の影響を与えているかについても評価は難しいといった現状がある。

### 2. 支承の機能低下と合成桁への影響

橋梁を構成する部材のうち、支承部は上部構造にかかる活荷重や死荷重を下部構造に伝達する役割や温度変化や活荷重により生じる水平変位や回転変位に追随するといった役割を担っている<sup>2)</sup>。また、風荷重や地震荷重を支持する主要構造物と位置づけられている<sup>2)</sup>。今後増加するといわれている老朽化橋梁のうち、特に小規模橋梁の多くには鋼製の支承が多く採用されている。これらの支承ではさび・腐食や土砂堆積の影響で架設当初に想定した機能から低下している可能性がある。

支承の機能が低下することにより橋軸方向の水平移動や橋軸直角方向の回転が制限されることになる。鋼桁とコンクリート床版が一体となって動くように設計されている鋼コンクリート合成桁では支承の機能が制限されることにより支点付近に負の曲げモーメントが発生する。それによって床版上部にひび割れなどの損傷が発生する可能性がある<sup>3)</sup>。しかし、支承の機能低下による他部材

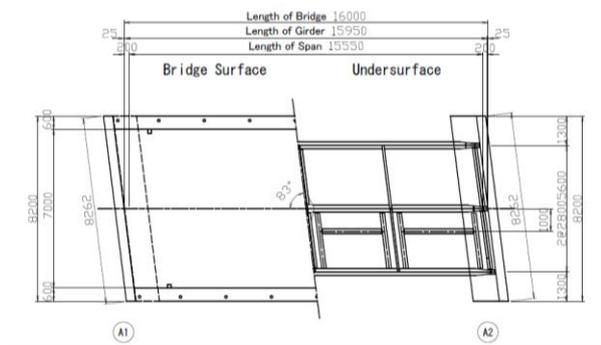


図1. 赤山橋平面図

表1. 赤山橋諸元

| 赤山橋諸元 |                       |
|-------|-----------------------|
| 竣工年   | 1974年3月               |
| 設計荷重  | TL-14                 |
| 上部工形式 | 鋼合成単純H形桁              |
| 橋長    | 16,000mm              |
| 支間長   | 15,550mm              |
| 幅員    | 600+7,000+600=8,200mm |
| 斜角    | 83°                   |



図2. 支承部劣化状況

への影響も不明確な部分が多いため、変位分布やひずみ分布、固有振動数に影響を与えている可能性も考えられる。そのため、機能低下が他部材へ与える影響や支承劣化の評価手法を確立する必要がある。

そこで著者らは供用開始後45年以上経過している鋼コンクリート合成桁を有する橋梁を対象に静的荷重試験を実施し、鉛直変位とひずみ・固有振動数を計測した。さらに対象橋梁の解析モデルを作成し、解析を行った。実測値と解析値の比較から支承の劣化度や支承の機能低下に伴う橋梁挙動への影響について検討した。

### 3. 対象橋梁及び実験概要

#### (1) 対象橋梁

本研究では山形県に架橋されている赤山橋を対象とした。対象橋梁は架橋後45年以上経過しており、斜角83度を有する鋼単純合成H形桁橋である。対象橋梁の支承には線支承が採用されており、設置が容易であったり、コストが安いといった特徴から小規模橋梁に多く採用されて



図3. 静的荷重試験実施状況

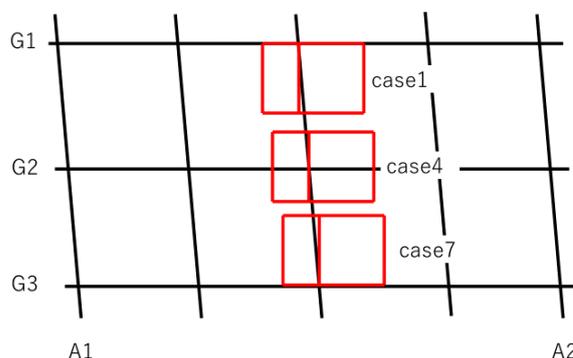


図4. 静的荷重試験のトラック荷重位置

いた支承である。しかし、可動部が金属間の摩擦のため、比較的摩擦係数が大きく、防錆対策が不十分なことにより損傷発生の事例が多いといった特徴がある。そのため近年の新設橋ではあまり採用されていない形式である<sup>2)</sup>。対象橋梁の諸元を表1に示す。

対象橋梁は2019年に床版取替工事が行われている。そのため本実験で得られる実測値に床版劣化の影響が現れている可能性は低い。床版取替の際には主桁や支承の交換は行っていないため、支承劣化の影響が実測値に現れている可能性は十分に考えられる。

#### (2) 実験概要

静的荷重試験では重量14tfのトラックを用いた(図3)。荷重位置及び荷重ケースは図4に示すように各桁の支間中央に荷重した。変位はA1支点、1/4断面、1/2断面、3/4断面、A2支点にて計測を行った。トラックの荷重位置は後輪の前タイヤを基準としている。ただし、G2主桁支間中央に荷重する際には後輪前タイヤの中心が支間中央に来るように荷重した。なお、計測は各ケースごとに2回実施し、その平均値を実測値とした。計測した項目は各計測点における鉛直変位と支間中央の橋軸方向ひずみである。鉛直変位の計測については桁下が2m以上あったため、単管パイプを用いて架台を構築し変位計を設置した。

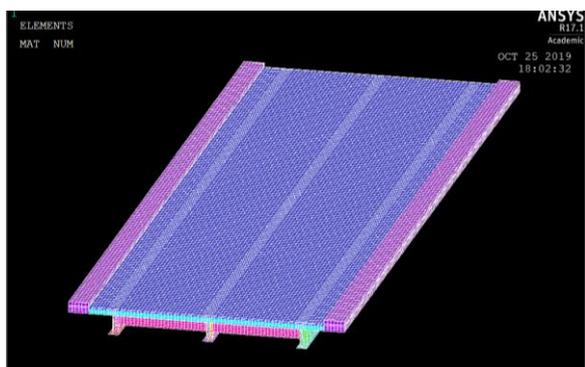


図5. 対象橋梁の3次元FEMモデル

表2. 解析に使用した物性値

| 表2. 解析に使用した物性値 |    |  |
|----------------|----|--|
|                | 部材 | 物性値  |
| ポアソン比          | 床版 | 0.167                                      |
|                | 鋼材 | 0.3  |
| ヤング係数          | 床版 | 31,000N/mm <sup>2</sup>                    |
|                | 鋼材 | 200,000N/mm <sup>2</sup>                   |
| 密度             | 床版 | 7.85 × 10 <sup>-6</sup> kg/mm <sup>3</sup> |
|                | 鋼材 | 2.45 × 10 <sup>-5</sup> kg/mm <sup>3</sup> |

## 4. 再現解析

### (1) 解析概要

本研究で対象とした橋梁のうち、主桁部分をshell要素、床版部分をsolid要素でモデル化した。対象橋梁のモデルを図5に示す。解析モデルに使用した物性値は表に示すとおりであり、取替後の床版は設計基準強度が40N/mm<sup>2</sup>だったため、それに該当するヤング係数を用いている。

解析時の支承条件は架設当初の支承条件を考慮した「pin-roller」と支承の機能低下を考慮した「pin-pin」の2種類を用いて解析を実施した。

### (2) 再現解析結果

図6にcase4のG2の橋軸方向の鉛直変位を比較したグラフを示す。2種類の解析値と実測値を比較すると支間中央では実測値と解析値は近似しているが、そのほかの計測点では実測値と誤差が生じていることが読み取れる。また、支承の機能低下が生じていないときの方が機能低下時よりも変位量が増加するということが確認できた。これはトラック荷重が載荷された際、橋梁が鉛直方向にたわみが生じるのに対して、支点部において水平方向の移動が拘束されていることにより部材が移動できていないということが読み取れる。実測値と解析値を比較すると「pin-roller」の解析値が実測値の2倍ほど大きな値となった。その一方で「pin-pin」は実測値と類似する結果となった。また、載荷位置から離れるほど実測値と解析値

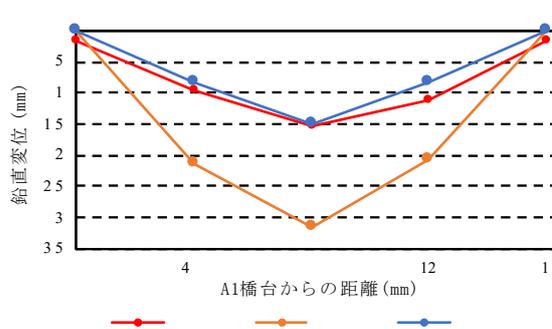


図6. G2橋軸方向の実測値と解析値の比較

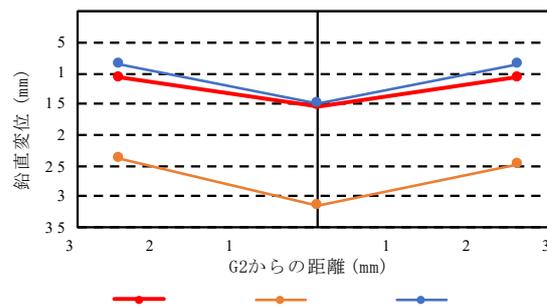


図7. 支間中央の実測値と解析値の比較  
(G1:2800mm, G3:2800mm)

の差が大きくなることから支承機能は低下していることが予想できる。しかし、各計測点では変位が完全に一致していないことから支承の機能が完全に低下しているわけではないということも考えられる。

次に図7に橋軸直角方向の支間中央の変位を比較する。橋軸方向の解析結果と同様に、「pin-roller」は実測値より2倍ほど大きくなった。その一方で「pin-pin」は実測値に近い結果となった。G2では実測値と「pin-pin」の解析値が近似したが、G1とG3ではG2と比較して実測値と解析値に差が生じている。

これらの結果から劣化度が各支承によって異なることや支承機能の低下が考えられる。よって、支承の劣化度を定量的に変化させて支承状態の再現が可能かどうかを検証する。

## 5. 支承劣化度の定量化

4章の実測値と解析値の比較から支承状態が架設当初のままの状態ではないということが確認できた。通常の定期点検における維持管理基準では表3のようになっており、劣化度を5段階評価することとなっている<sup>2)</sup>。しかし、近接目視による点検では段階的には評価できていないものの支承の機能がどの程度低下しているのかは定量的に判断できていない。橋梁部材の劣化度を定量評価する例としてはコンクリート床版があげられる。コンクリー

表3. 支承の移動・回転機能に関する維持管理基準

| 判定区分       |           | 判定基準  |
|------------|-----------|---|
| I 健全       | 健全期       | 支承の機能不全が認められない，または機能不全の要因が認められない                      |
|            | 損傷進展期     | 支承の機能不全は認められないが，機能不全の要因となる腐食や土砂堆積などが認められる             |
| II 予防保全段階  | 損傷加速期     | 支承の移動・回転機能が明確に確認できず，腐食や部材損傷がみられる                      |
|            | 機能劣化期     | 移動・回転の形跡が明確に確認できず，部材の一部に欠損や脱落等が生じている                  |
| III 早期措置段階 | 機能不全交換期   | 支承機能が全く失われており，主桁に沈下や傾斜またはき裂などの損傷がみられる．またはそれらの発生が危惧される |
|            | IV 緊急措置段階 | 支承機能が失われ，鉛直荷重を支持できていない．路面上の段差が認められる                   |

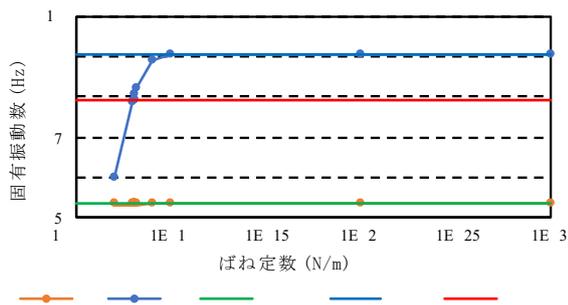


図8. 各支承条件における固有振動数と実測値の比較

ト床版はコア供試体を採取して静弾性係数試験等を実施して物性値を計測し，設計時の値よりどれくらい低下しているのかを比較することで評価することができる。しかし，支承の場合はそのように橋梁から切り離して個別に試験をするというのが困難である。

そこで既設橋梁を対象として行った静的載荷試験の結果を用いて支承の定量化が可能かどうかを検討する。解析モデルの支点部分にばね要素を導入し，ばね定数を変化させることで実測値にどの程度近似するかで評価する。導入したばね要素は橋軸方向の移動と橋軸直角方向を軸とした回転の2種類である。それぞれのばね要素を導入した2種類の解析を実施し，移動機能低下および回転機能低下が橋梁の挙動やひずみ分布，固有振動数にどの程度影響があるのかを検討した。

## 6. 支承劣化度の定量化

### (1) 固有振動数による比較

図8に固有振動数の変化のグラフを示す。なお，ばね定数は1e10のような形で変化させているため，横軸は対数表示している。対象橋梁の固有振動数を高速フーリエ変換で求めた結果7.94Hzだった。支承状態が「pin-roller」の場合は5.3315Hzだったのに対し，「pin-pin」は9.0770Hzとなった。この結果から支承が劣化することにより橋梁

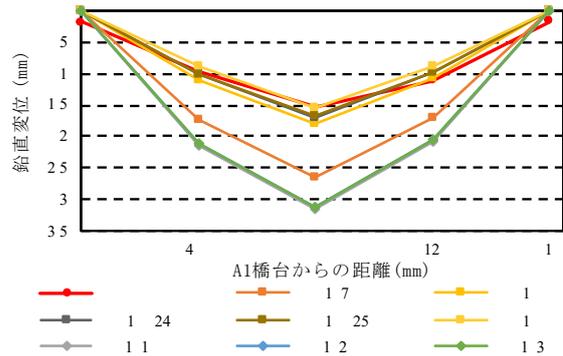


図9. 各支承条件における鉛直変位と実測値の比較

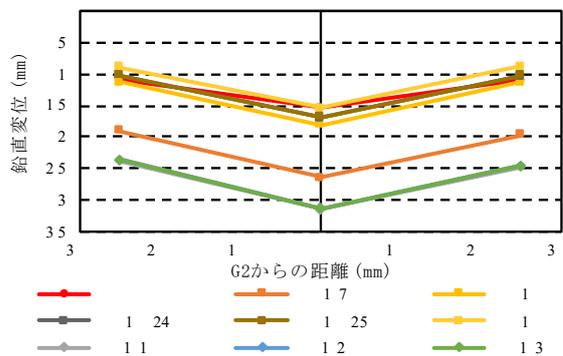


図10. 各支承条件における鉛直変位と実測値の比較  
(G1:2 , G3:2 )

の固有振動数が変化するということが確認できる。次に橋軸方向の移動方向にばねを入れた場合を「spu」，回転のばねを入れた場合を「spr」として実測値と比較する。「spu」ではばね定数が1e7から1e9にかけて固有振動数が大きく変化することが確認できる。一方，「spr」ではばね定数を1e30まで変化させても固有振動数は大きく変化することがなく，実測値に近似しなかった。「spu」は1e8.035付近で実測値と最も近似することが分かった。このことから支承の水平方向の移動機能が低下することで橋梁の固有振動数に影響を及ぼすことが確認できた。

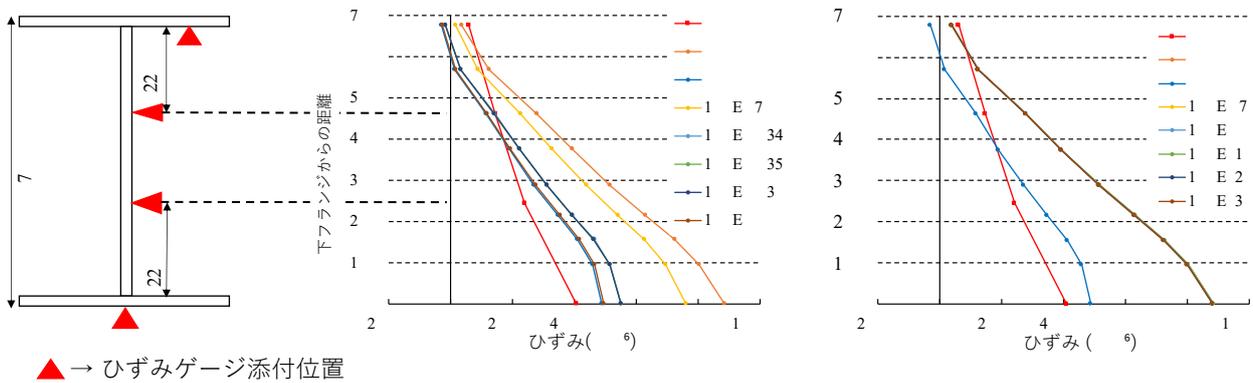


図 11. 橋軸方向ひずみの実測値と各支承条件におけるひずみの比較

## (2) 変位分布による比較

図9, 10にcase4の変位分布の比較を示す. G2の橋軸方向の鉛直変位を比較すると, 「spr」はばね定数を $1e30$ まで変化させても実測値に比べて変位が2倍近く大きい値となった. また, ばね定数による変位分布の変化が小さく, 回転が制限されることによって生じる挙動への影響が小さいということが確認できた. 一方, 支承の移動機能低下を考慮した「spu」では実測値に近似するばね定数が存在することが確認できた. 固有振動数と同様にばね定数が $1e7 \sim 1e9$ の時に実測値に近似し,  $1e8.24 \sim 1e8.25$ で鉛直変位の実測値と最も近似することが確認できた. しかし, 固有振動数では「spu」が実測値に近似したばね定数は $1e8.035$ 付近であり, 近似したばね定数に差が生じることが確認できた. このことから鉛直変位においてもばね定数を変化させることによって変位分布が変化し, 支承状態の再現可能性があることを確認できた.

## (3) ひずみ分布による比較

図にG2支間中央の橋軸方向ひずみの計測結果と解析結果の比較を示す. 「pin-pin」と「pin-roller」の結果を実測値と比較すると支承劣化を考慮した「pin-pin」の方が実測値に近い結果となった. 回転機能の低下を考慮した「spr」ではばね定数を変化させてもひずみ分布が大きく変化することはなかった. 下フランジに近づくほどひずみの値の差が大きくなることを確認できた. 「pin-roller」ではばね定数が変化することによりひずみ分布が変化することが確認できた. しかし, 鉛直変位や固有振動数とは異なり, 実測値に限りなく近似するばね定数は存在しなかった. 「spr」と「spu」を比較するとひずみの値や分布も「spu」の方が実測値に近い結果となった. ひずみ分布の傾向としてばね定数の増加に伴い, ひずみが0になる高さが低くなっていることが確認できる. ひずみに関してばね定数を変化させることで値や分布が変化することから支承状態の再現可能性があるといえる.

## 7. まとめ

本研究では静的載荷試験を用いた支承劣化度の定量評価に関する検討を行った. 静的載荷試験の実測値と架設当初の支承条件である「pin-roller」, 支承の劣化を考慮した「pin-pin」の2種類の解析値と比較した結果, 実測値が2つの解析値の間だったことから, 支承が完全に劣化していないということが確認できた. 解析モデルの支点部にばね要素を導入した解析の結果, 橋軸方向の移動方向にばね要素を導入した「spu」では固有振動数, 鉛直変位, ひずみ分布の各項目においてばね定数の変化に伴って数値が変化することが確認できた. 一方, 「spr」ではどの項目においても数値の大きな変化が確認できなかった. このことから本研究では支承が劣化した場合, 回転機能の低下よりも水平方向の移動機能低下の方が橋梁挙動やひずみに大きな影響を与えるということが確認できた. しかし, 各パラメータにおいて「spu」の数値が実測値に近似したときのばね定数の値が異なっていた. また, 6章の解析結果においても部材の橋軸方向への伸縮を制限される方が固有振動数やひずみ分布に大きな影響を与えていることが予想される.

また, 本研究では1つの既設橋梁を対象としているが, 供用年数の異なるほかの橋梁においても同様の解析を実施する必要がある. 各橋梁で実測値と近似するばね定数の値が異なるのかを検証し, 実用化に向けてどのパラメータに着目すべきかを検討していく必要がある.

## 参考文献

- 1) 国土交通省：道路の老朽化対策, 老朽化対策の取組み.
- 2) 土木学会：道路橋支承部の点検・診断・維持管理技術, 2016.
- 3) 西土隆幸, 福本伸太郎, 今川峻：橋梁支承の機能低下がコンクリート床版に与える影響, pp.34-40, IHI 技報 Vol.58 No.2, 2018.
- 4) 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編, 2012.
- 5) 岩崎正二, 出戸秀明, 兼子清, 宮本裕, 上野大介：支点状態を考慮した既設鋼鉄桁橋の簡易健全度評価に関する一考察, pp.727-738, 構造工学論文集 Vol.53A, 2007

(Received September 10, 2021)

## EFFECT OF BEARING ROTATION RESTRAINT ON DETERIORATION DIAGNOSIS OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE GIRDER BRIDGES

Tomohiro SUGAWARA, Hiroshi ONISHI, Mizuki SATOMI, Yoko CHIBA  
and Akihiko TAKAHASHI

Steel-concrete composite girder is usually placed concrete deck on top of the steel girder, it will take the form of composition. Various inspections are carried out to investigate the health of these types of girders. However, among them, in the vehicle loading test and the vibration test, which are mechanical investigations, the soundness of the bearing, which is the boundary condition of the composite girder, becomes a problem. In particular, when the bearing is fixed due to corrosion or the like and the rotational movement is hindered, a negative bending moment may be generated at the fulcrum portion. In that case, the strain distribution and vibration state in the composite girder are considered to be affected. Therefore, in this study, we decided to investigate the effects of deterioration progress in composite girders and rotational restraints of bearings on strain and natural frequency using finite element analysis.