

静的載荷試験による既設小規模橋梁の支承挙動検討
A study of bearing behavior of the existing small-scale bridges by static loading test

○千葉 陽子* 大西 弘志** 岩崎 正二*** 佐々木 健史郎****
Yoko CHIBA Hiroshi ONISHI Shoji IWASAKI Kenshiro SASAKI

ABSTRACT In Japan, About 80% of the bridges are shorter than 15 m in length. The rate of aging bridges is also increasing. The efficient maintenance of small-scale bridges is necessary to manage road system. Then, it is important to comprehend the status of existing bridges appropriately. In many small-scale plate girder bridge, the bearing malfunction brought by corrosion of the steel bearing affects the stress state around the girder end. In this paper, we conducted a static loading test using a truck of 14 tons for small-scale steel H-girder bridge. And we tried to check whether it is possible to estimate the corrosion constraint or not.

Keywords: 構造挙動, 3次元 FEM 解析, 鋼板桁橋
Structural behavior, 3D finite element method, steel plate girder bridge

1. はじめに

我が国の道路橋のうち橋長 15m未滿の橋梁は 8割程度を占めている。今後老朽化が進行する小規模橋梁の効率的な維持管理が必要である。そのためには、供用中の小規模橋梁の損傷状況などの状況評価が重要である。鋼桁橋の損傷では鋼製支承が腐食し回転や滑りが拘束され機能障害が疑われる場合が多くみられる。支承の機能障害は桁端周辺や主桁全体の応力状況に影響を及ぼすため、橋梁全体の挙動を把握するためには支承の状況を確認することが必要である。本論文では、小規模橋梁の一般的な橋梁形式である鋼単純板桁橋を対象に、トラック載荷による静的試験を実施し、支点拘束程度の推測が可能かどうかの検討を行った。



写真-1 全景写真
表-1 橋梁諸元

| 項目 | 内容 |
|--------|--------------------------|
| 上部構造形式 | 単純鋼合成H桁橋 |
| 下部構造形式 | 逆T式橋台, 直接基礎 |
| 床版形式 | RC床版 (t=16 cm) |
| 支承形式 | 鋼線支承 |
| 橋長 | 20.000m |
| 支間長 | 19.500m |
| 幅員構成 | 0.400+5.500+0.400=6.300m |
| 鋼材 | SM490Y |
| 設計荷重 | TL-14 活荷重 |
| 竣工年 | 1974年 |

2. 対象橋梁の概要

対象橋梁である下渋川橋は、岩手県胆沢郡金ケ崎町の渋川に架かる橋長 20.0m の鋼単純合成板桁橋である。橋梁諸元は、全幅員 6,500mm, 桁高 800mm, RC床版(床版厚 t=160mm), コンクリート舗装(t=50mm)であり、1974年竣工の TL-14 活荷重による設

*岩手大学大学院工学研究科機械・社会環境システム工学専攻(〒020-8551 盛岡市上田 4-3-5)
**博士(工学)岩手大学理工学部システム創成工学科准教授(〒020-8551 盛岡市上田 4-3-5)第2種正会員
***博士(工学)(株)昭和土木設計(〒020-0891 紫波郡矢巾町流通センター南 4-1-23)第2種正会員
****岩手大学大学院工学研究科社会環境工学専攻(〒020-8551 盛岡市上田 4-3-5)

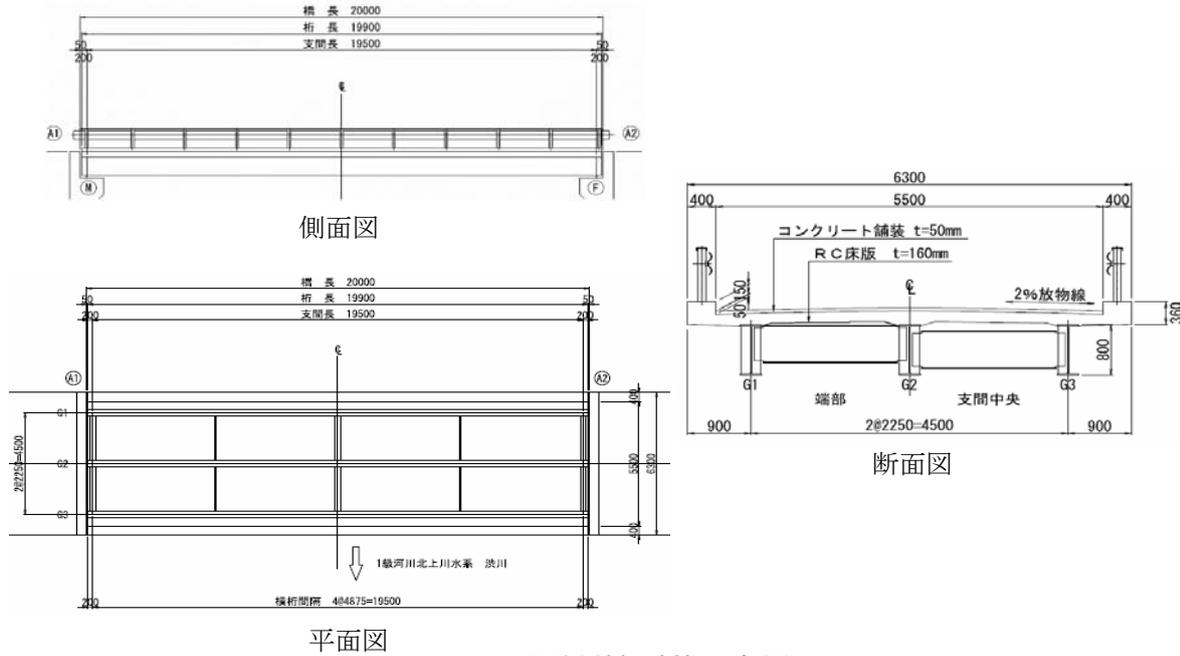


図-1 下渋川橋 橋梁一般図

計である。(図-1, 写真-1 参照). 支承は鋼製線支承で, A1 橋台側が可動支承, A2 橋台側が固定支承である。

支承の状況は, 全支承に腐食が生じているが, 表面的な腐食で断面減少には至っていない. ソールプレートにも腐食がみられ, 滑り機能が低下している状態であると推察した. また, 回転機能についてはソールプレートとサイドブロックとの間に隙間がみられることから, 完全に固定化された状態ではないと推察した. (写真-2 参照)



写真-2 A1 橋台上 G3 支承 (可動) 腐食

3. 静的荷重試験の概要

静的荷重試験は重量 14t のトラック 1 台を用いた. 荷重パターンは橋軸方向 1/4, 1/2, 3/4 断面, 幅員方向は G1 主桁側, 中央, G3 主桁側に荷重する計 7 パターンの試験を実施した (図-3 参照). 荷重パターンを表-2 に示す.

表-2 荷重パターン

| CASE | 荷重位置 |
|-------|------------------------|
| CASE1 | 橋軸方向: 1/2 幅員方向: G1 主桁側 |
| CASE2 | 橋軸方向: 1/2 幅員方向: 幅員中央 |
| CASE3 | 橋軸方向: 1/2 幅員方向: G3 主桁側 |
| CASE4 | 橋軸方向: 1/4 幅員方向: G1 主桁側 |
| CASE5 | 橋軸方向: 1/4 幅員方向: G3 主桁側 |
| CASE6 | 橋軸方向: 3/4 幅員方向: G1 主桁側 |
| CASE7 | 橋軸方向: 3/4 幅員方向: G3 主桁側 |

ひずみは 3 主桁の A1 支点, 1/2 断面, A2 支点断面の上フランジ, ウェブ, 下フランジにひずみゲージを橋軸方向に貼り計測した. 変位は, A1 支点, A2 支点の鉛直方向, 水平方向に変位計を設置し計測した (図-2 参照). 支点部付近では, ひずみゲージ及び変位計の設置位置が限られており, ひずみゲージは, 上フランジ及びウェブは支点から支間中央側に 200 mm, 下フランジは 600 mm の位置に設置した.

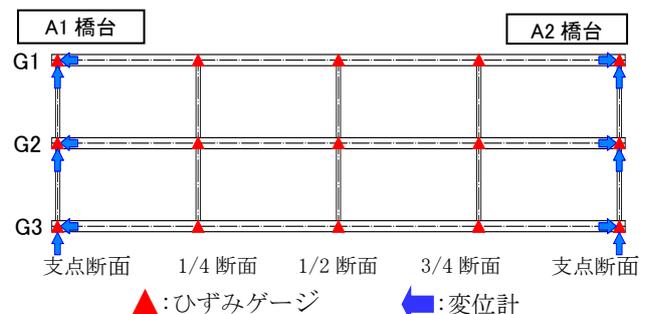


図-2 計測位置

変位計は、鉛直変位は支点から支間中央側に 200 mm、水平変位は 800 mm の位置に設置した。

4. FEM解析の概要

実測値と比較検討するために、解析値を算出した。解析は上部構造の 3 次元 FEM 解析とし、モデルは以下のとおりとした (図-4 参照)。解析ソフトは汎用構造解析ソフト「ANSYS」を用いた。

節点数:13482, 要素数 9016

鋼部材:シェル要素

床版:ソリッド要素

対象橋梁は合成桁であるため、鋼H桁と床版の接合条件は剛結構造とした。地覆は損傷がみられないため、剛性を考慮するものとした。鋼桁の弾性係数は $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、床版の弾性係数は $2.65 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ とした。

支点条件は、支承の腐食による機能障害の状況を反映させるため、①健全な状態と②滑り・回転機能に障害が生じている状態の 2 ケースをモデル化した。①健全な状態は、設計時の A1 支点がローラー、A2 支点がピンとし、②滑り・回転機能に障害が生じている状態は A1 支点、A2 支点とも滑り・回転が拘束されている固定とした。(表-3 参照)

実橋の支承の腐食状況から、回転機能はある程度機能している推察したが、実際には固定に近い可能性もあることから、表-3 に示す 2 ケースとした。

5. 静的荷重試験結果

図-5 に 14tf トラックを橋軸方向 1/2 断面での幅員方向 G1 桁側、中央、G3 桁側に荷重した場合 (CASE1 ~CASE3) の、G1 主桁下フランジの橋軸方向実測ひずみ分布を示す。図-6 に、図-5 と同様に荷重した場合の G3 主桁下フランジの橋軸方向実測ひずみ分布を示す。図-5 において各荷重ケースとも G1 主桁下フランジの A1 支点及び A2 支点到に圧縮ひずみが発生しており、G1 主桁側荷重の場合では支間中央引張ひずみの 60%程度発生している。A1 支点、A2 支点到の支点到拘束の影響によるものと推定される。

図-6 において各荷重ケースとも G3 主桁下フランジの A2 支点到に圧縮ひずみが発生しており、G3 主桁側荷重の場合で $-37 \mu\text{m}$ となっている。一方、A1 支点到では各ケースとも圧縮ひずみが小さく G3 主桁側荷重の場合で $-14 \mu\text{m}$ 程度であり、A2 支点到の 40%程度となっている。A2 支点到が A1 支点到に比較し拘束さ

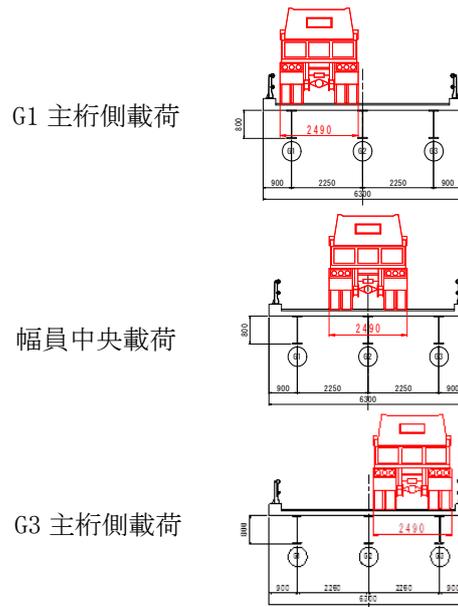


図-3 トラック荷重位置図(橋軸直角方向)

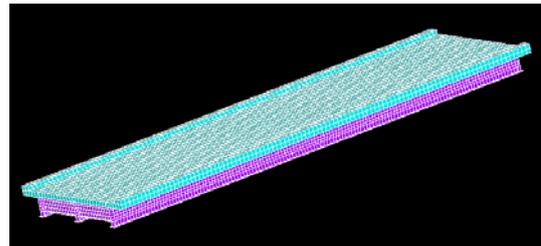


図-4 FEM モデル図

表-3 支点到条件

| 支点到の状態 | A1 支点到(可動) | A2 支点到(固定) |
|-------------|----------------------------|--------------------------|
| ①健全な状態 | ローラー 並進成分:自由 回転成分:回転 | ピン 並進成分:固定 回転成分:回転 |
| ②回転・滑り機能が障害 | 固定 並進成分:固定 回転成分:固定 | 固定 並進成分:固定 回転成分:固定 |

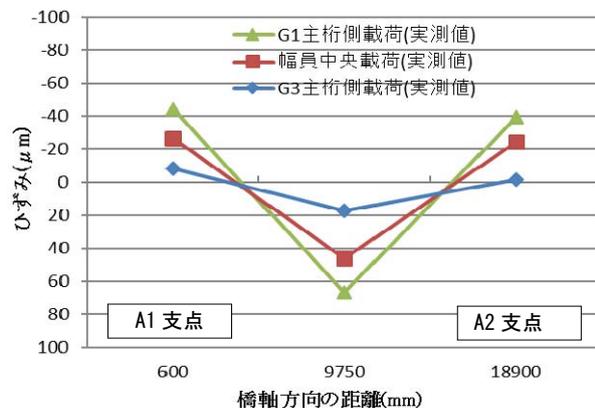


図-5 G1 主桁側、幅員中央、G3 主桁側荷重時の実測ひずみ分布(G1 主桁着目)

れていると考えられる。

支間中央引張ひずみにおいては、図-5のG1主桁側載荷のG1主桁は、図-6のG3主桁側載荷のG3主桁の約70%となっており、G1主桁は支点拘束の影響により引張ひずみが減少していると推定される。

6. 静的載荷試験結果とFEM解析結果との比較

6.1 橋軸方向主桁ひずみ分布の比較

5. 載荷試験結果から、G1主桁側載荷時のG1主桁とG3桁側載荷時のG3主桁に、支点拘束の影響の差がみられるため、この2ケースについて実測値と解析値の比較を行った。なお、支点部の下フランジのひずみ計測位置はA1支点、A2支点とも支点から支間中央側に600mmの位置であるため、支点部の他に計測位置についても解析値を算出しひずみ分布をグラフ化した。

図-7にG1主桁側載荷時のG1主桁下フランジ橋軸方向ひずみの実測値及び解析値を示す。A1支点固定支持・A2支点固定支持の支点付近の解析値に応力集中がみられ圧縮ひずみが突出している。同様にA1支点ローラー支持・A2支点ピン支持のA2支点ピン支持付近の解析値にも圧縮ひずみの応力集中がみられる。

実測値については、支間中央引張ひずみではA1支点固定支持・A2支点固定の解析値付近に位置しているが、支点部圧縮ひずみについては、A1支点固定支持・A2支点固定の解析値の約50%となっている。このことから、主桁全体としては支点が拘束された応力状態となっている。支点部については実際には解析値よりも応力が分散されていることなどの影響が考えられる。また、支間中央ひずみにおいては、実測値がA1支点固定支持・A2支点固定の解析値の約80%となっている。トラック載荷位置の実測値と解析値のずれや実橋との横分配効果の差と考えられる。

図-8にG3主桁側載荷時のG3主桁下フランジ橋軸方向ひずみの実測値及び解析値を示す。解析値は図-7と同様のひずみ分布である。実測値については、支間中央引張ひずみは、A1支点固定支持・A2支点固定の解析値に比較して1.1倍程度であり、支点部については、A1支点は16%、A2支点は44%である。主桁全体としては拘束の影響を受けているがA1支点の拘束力が低く、実際にはA1支点固

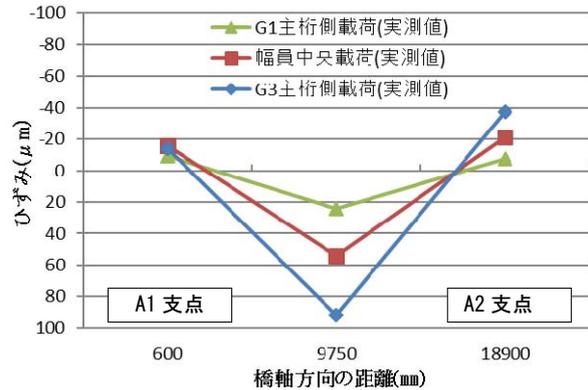


図-6 G1主桁側,幅員中央,G3主桁側載荷時の実測ひずみ分布(G3主桁着目)

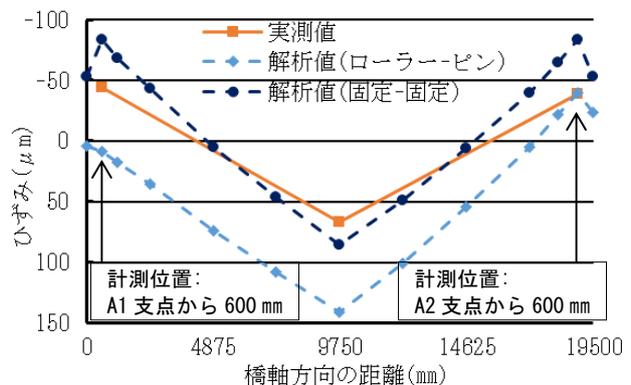


図-7 G1主桁側載荷時の実測及び解析ひずみ分布(G1主桁着目)

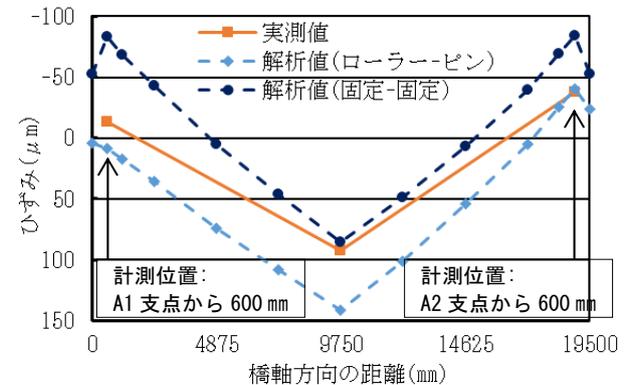


図-8 G3主桁側載荷時の実測及び解析ひずみ分布(G3主桁着目)

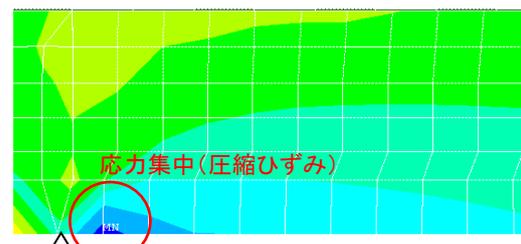


図-9 FEM解析A1支点部ひずみ分布図(G1主桁側載荷時G1主桁)

定支持・A2 支点固定支持と A1 支点ローラー支持・A2 支点ピン支持の中間の挙動と考えられる。

6. 2 支点部主桁断面ひずみ

3次元 FEM 解析結果において、支点部下フランジ付近に応力集中が生じているため(図-9 参照)、支点部付近主桁断面ひずみの実測値と解析値を比較した。

図-10, 11 に G1 主桁側載荷時の G1 主桁 A1 支点, A2 支点の主桁断面実測ひずみ分布及び解析値を示す。図-11, 12 に G3 主桁側載荷時の G3 主桁 A1 支点, A2 支点の主桁断面実測ひずみ分布と解析値を示す。

図-10 の G1 主桁 A1 支点の実測値は、下フランジでは解析値の A1 支点ローラー支持・A2 支点ピン支持と A1 支点固定支持・A2 支点固定支持のほぼ中間に位置している。

図-11 の G1 主桁 A2 支点の実測値は、下フランジでは解析値の A1 支点ローラー支持・A2 支点ピン支持と近似している。

図-12 の G3 主桁の A1 支点の実測値は下フランジのひずみはローラー支持側に近づいている。

図-13 の G3 主桁の A2 支点の実測値は下フランジが A1 支点ローラー支持・A2 支点ピン支持と近似している。

全体的に上フランジはひずみがほとんど発生していないが、図-12 の G3 主桁については上フランジひずみが引張側を示し、ほぼ正常なひずみ分布となっている。

以上から、全ケースにおいて下フランジ付近に圧縮応力ひずみが集中していることがわかる。G3 主桁 A1 点以外の下フランジのひずみは、A1 支点固定支持・A2 支点固定支持の 50%程度で A1 支点ローラー支持・A2 支点ピン支持と同程度のひずみが生じている。実際の主桁断面ひずみの発生分布も A1 支点ローラー支持・A2 支点ピン支持の解析値と同様の分布と推定される。

G3 主桁 A1 点においては、下フランジひずみが少なく、上フランジに引張ひずみが生じていることから、支承拘束が少ないためと考えられる。

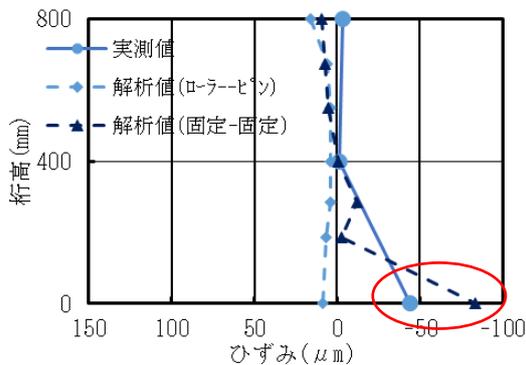


図-10 G1 主桁側載荷時 A1 支点断面ひずみ (G1 主桁着目)

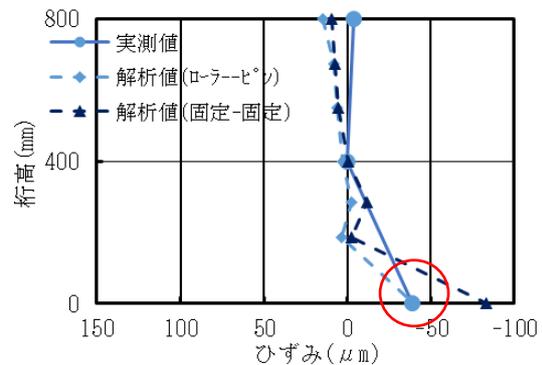


図-11 G1 主桁側載荷時 A2 支点断面ひずみ (G1 主桁着目)

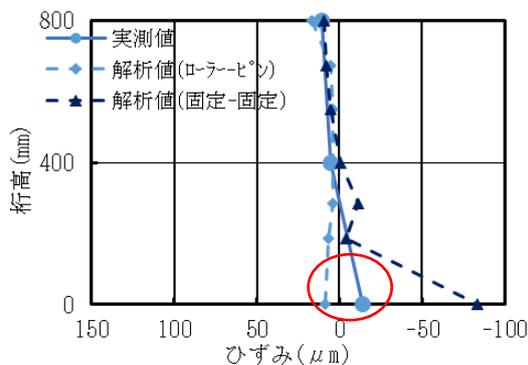


図-12 G3 主桁側載荷時 A1 支点断面ひずみ (G3 主桁着目)

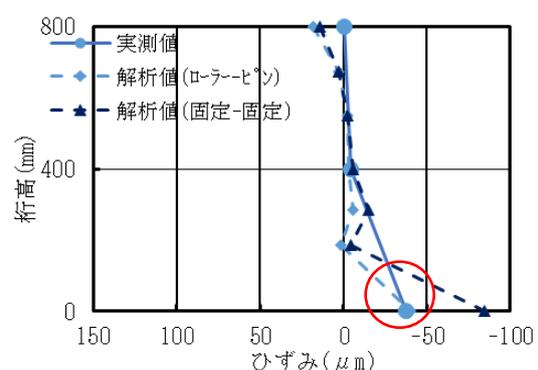


図-13 G3 主桁側載荷時 A2 支点断面ひずみ (G3 主桁着目)

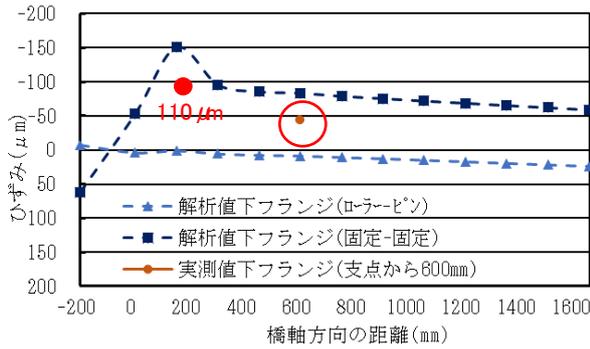


図-14 G1 主桁側載荷時 A1 支点下フランジ
軸方向ひずみ(G1 主桁着目)

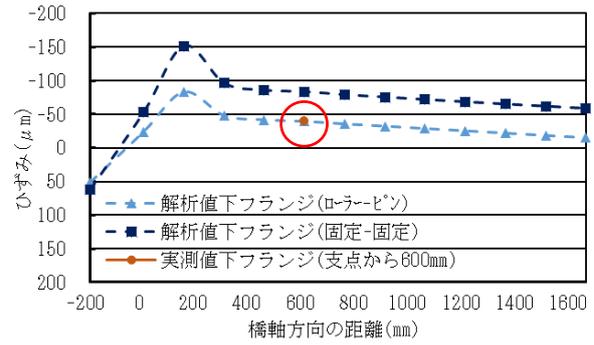


図-15 G1 主桁側載荷時 A2 支点下フランジ
軸方向ひずみ(G1 主桁着目)

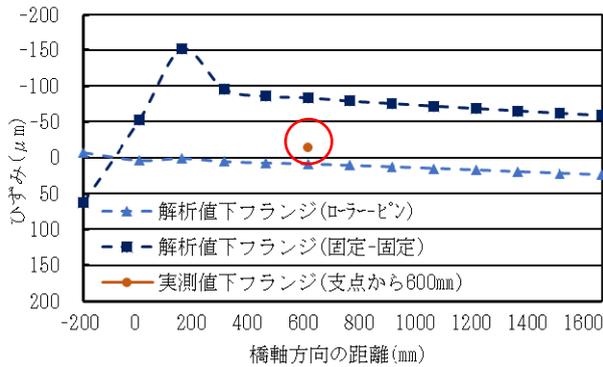


図-16 G3 主桁側載荷時 A1 支点下フランジ
軸方向ひずみ(G3 主桁着目)

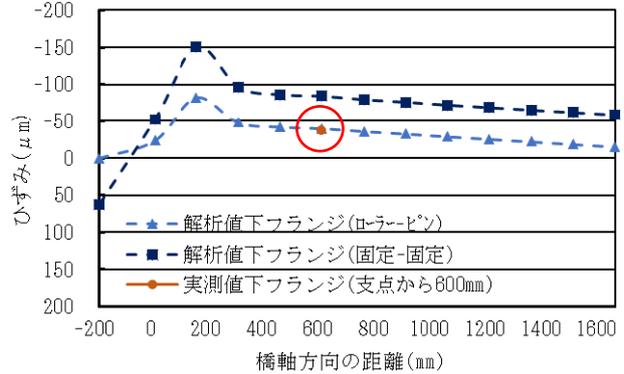


図-17 G3 主桁側載荷時 A2 支点下フランジ
軸方向ひずみ(G3 主桁着目)

6.3 支点部主桁軸方向ひずみ

図-14, 15 に G1 主桁側載荷時の G1 主桁下フランジの A1 支点, A2 支点各々から 1600 mm の範囲についての解析ひずみ分布を示す. A1 支点, A2 支点とも支点部から 200 mm 付近に応力集中がみられる. 実橋においても同位置に応力集中が想定されることから, 実測値から応力集中の程度を推測する.

図-14 においては, 解析値の A1 支点固定支持-A2 支点固定のグラフを実測値の位置にスライドさせた場合, 支点から 200 mm の位置で 110 μm 程度となる.

図-15 では, 計測位置での実測値と A1 支点ローラー支持-A2 支点ピン支持の解析値が近似しているため, 支点から 200 mm 付近でも解析値と同程度と考えたと推定できる.

図-16, 17 に G3 主桁側載荷時の G3 主桁下フランジの A1 支点, A2 支点各々から 1600 mm の範囲についての解析ひずみ分布を示す.

図-16 では, G3 主桁の A1 支点では実測ひずみが小さく, 200 mm の位置でもほとんど変化がないもの

と推定される.

図-17 の A2 支点については, 図-15 の A2 支点と同程度であると考えられる.

図-14 の G1 主桁側載荷時の支点から 200 mm の位置での発生応力度を試算すると次のようになる.

死荷重応力度を 14t トラック荷重と同程度と仮定する. これに 14t トラックが載荷すると応力度は合計 440N/mm² となり, 降伏応力度 355N/mm² (SM490Y) を超過することとなる.

図-15, 図-17 において, 実測値は A1 支点ローラー支持-A2 支点ピン支持の解析値と近似していることから, 健全な状態での応力状態と同程度となる. 支間中央部での引張りひずみは近似しないため, 今後詳細な検討が必要と考える.

6.4 支承の変位

表-4 に G1 主桁側載荷時の G1 主桁支点, G3 主桁側載荷時の G3 主桁支点の鉛直変位及び水平変位の実測値と解析値を示す. G3 主桁 A1 支点の実測値は, 鉛直変位, 水平変位ともに他の実測値より大きい. 支点部付近に応力集中がみられないことから, 変位が影響しているものと考えられる.

表-4 支承の鉛直変位及び水平変位 (mm)

| | | A1支点 (可動) | | A2支点 (固定) | | |
|-------|-----|-----------------|--------|-----------|--------|--------|
| | | 鉛直変位 | 水平変位 | 鉛直変位 | 水平変位 | |
| G1主桁側 | 実測値 | -0.223 | -0.253 | -0.195 | -0.403 | |
| | 解析値 | ローラー(A1)・ピン(A2) | -0.203 | -1.188 | -0.175 | -0.043 |
| | | 固定・固定 | -0.051 | -0.085 | -0.052 | -0.085 |
| G3主桁側 | 実測値 | -0.355 | -0.524 | -0.237 | -0.247 | |
| | 解析値 | ローラー(A1)・ピン(A2) | -0.204 | -1.188 | -0.174 | -0.043 |
| | | 固定・固定 | -0.051 | -0.085 | -0.051 | -0.086 |

(- 数値は鉛直：下方向，水平：主桁端部方向)

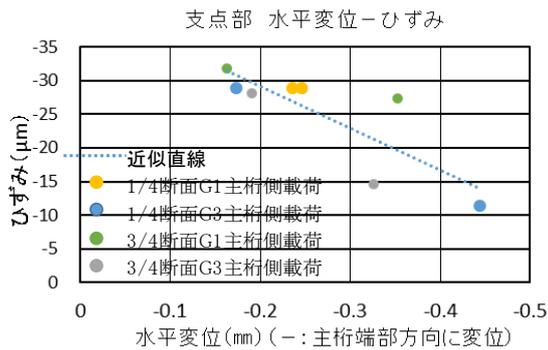


図-18 支点部主桁下フランジ 水平変位とひずみの関係

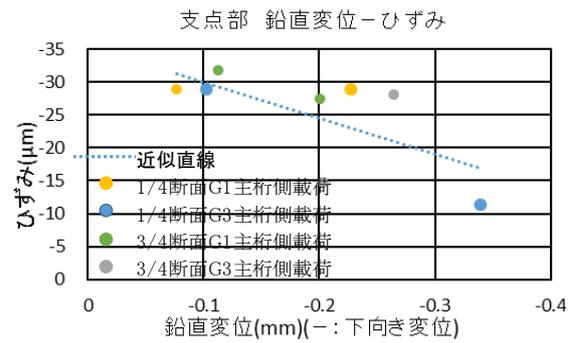


図-19 支点部主桁下フランジ 鉛直変位とひずみの関係

A2 支点 (固定) の実測値は解析値を上回っているが、ソールプレートとストッパーとの接触部は2 mm程度の遊間があるため、その範囲内で変位したものと考えられる。

図-18, 19 は支点部の実測変位と実測ひずみの相関をグラフ化したものである。鉛直変位と水平変位の各々についてグラフ化した。採用した荷重ケースは同じ荷重状態となるものの内、データ数が多い橋軸方向 1/4 点, 3/4 点の G1 主桁側, G3 主桁側荷重 (CASE4~CASE7) のケースとした。

鉛直, 水平方向ともに変位が減少する程ひずみが増加する結果となり, 拘束力が影響していることがわかる。

7. まとめ

今回実施した下渋川橋の静的荷重試験と解析から, 以下の結果が得られた。

- 荷重試験の結果から, 支承の回転及び滑り機能が拘束される場合は主桁の支点部の圧縮ひずみが大きく, 支間中央引張ひずみが小さくなる。また, 同じ橋梁でも支承の鉛直変位, 水平変位が大きい主桁については支点部の圧縮ひずみはほとんど発生せず, 支間中央引張ひずみは大き

くなる傾向にある。

- FEM 解析では, 健全な状態の A1 支点ローラー支持・A2 支点ピン支持でもピン支持の場合は支点部付近に応力集中がみられた。A2 支点 G1 主桁, G3 主桁の実測値は同程度のひずみとなっており健全な状態とも判断できるが, 支間中央引張ひずみは健全な状態の解析値の 65%となっているため, 今後の検討が必要である。
- 実測値と FEM 解析から, 支承の拘束状況は A1 支点ローラー支持・A2 支点ピン支持と A1 支点固定支持・A2 支点固定支持の中間に位置していると推定される。
- 支承の回転機能や滑り機能に障害が生じると支点付近に応力集中が発生するが, FEM 解析では支点部から支間中央側に 200 mm程度の箇所集中している。A1 支点での 14t トラック 1 台荷重した場合の実測値から試算した発生応力度は 440N/mm²と推定され, 降伏応力度 355N/mm²を超過している。本橋においては, 支承が著しい腐食により完全に固定化されている状況ではないため, 現状では健全性を損なう状況ではないが, 今後, 腐食進行により支承拘束が進んだ場合, 応力集中に留意が必要である。

- ・目視による支承の腐食状況は、表面的な腐食で回転機能まで完全に拘束する状況ではないと判断したが、実測値及び解析値から妥当であったと考える。ただし、実測値は一様な結果ではなく、同様の腐食でも変位やひずみに差が生じることがわかった。

8. おわりに

今回の载荷試験において、支承の腐食状況と支承の回転や滑り機能の状況や支点拘束による支点付近の応力集中の程度を確認した。実橋における支点拘束、変位、ひずみは様々な要因が影響するため、今後もデータを収集・蓄積し、検討していく必要がある。

【参考文献】

- 1) 佐々木 健史郎, 大西 弘志, 出戸 秀明, 岩崎 正二, 千葉 陽子, 葛西 智文: 静的载荷試験に基づく既設小規模橋梁の健全度評価, 平成 28 年度土木学会東北支部技術研究発表会, 1-9, 2017. 3
- 2) ルウンミーグェット, 岩崎正二, 出戸秀明, 大西弘志, 杉澤康友: 静的载荷試験を用いた 78 年供用鋼鉄桁橋の静的挙動に関する検討, 鋼構造年次論文報告集, 第 21 巻, pp. 907-912, 2013. 11
- 3) 葛西智文, 岩崎正二, 大西弘志, 出戸秀明, 山村浩一: 静的及び動的载荷試験を用いた九年橋の剛性評価に関する一考察, 鋼構造年次論文報告集, 第 23 巻, 2015. 11
- 4) 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, 構造工学論文集 Vol. 53A, 2007