

FEM 解析による鋼桁橋の損傷が応力、変位に及ぼす影響に関する検討

独立行政法人土木研究所 正会員 ○能勢和彦 正会員 村越潤 正会員 麓興一郎
 株式会社ドーコン 正会員 次村英毅
 JIP テクノサイエンス株式会社 正会員 見原理一

1. はじめに

本文では、橋梁モニタリングの適用性に関する基礎検討として、供用中に想定される損傷に対して、損傷前後の橋梁各部の応力、変位性状についてFEM解析により検討した。具体的には、土木研究所構内の試験橋を対象として解析モデルを作成し、40ton荷重車静的载荷試験の計測結果との比較を通して、モデルの妥当性を確認した。次にモデルに擬似的変状を与え、損傷に伴う応力、変位の変化量について分析した。

図-1 に試験橋（単純合成 I 桁橋）の一般図を示す。本橋では、元々固定・可動側ともに鋼製支承（BPA 支承）を用いていたが、今回のモデル化の時点では可動側がゴム支承に取り替えられている。なお、静的载荷試験は支承取替え前後に実施している。図-2 に幅員方向载荷位置を示す。

2. 解析モデルの検討

図-3 にモデル概要を、表-1 に各部材の剛性を示す。床版と主桁上フランジは剛結合（節点共有）とし、床版と鋼桁の弾性係数比は7とし、鋼桁のシェル要素のサイズは最大 3.8cm×2.0cm、最小 1.7cm×1.45cm（ソールプレート前面）としている。

以上の橋梁モデルに対して、固定・可動側ともに鋼製支承と仮定し、荷重車载荷時（G1 桁直上载荷）に対して解析を行ったところ、過去の载荷実験結果（G1 桁支間中央下フランジの応力、変位）と一致する結果が得られた。次に、ゴム支承側について、道路橋支承便覧に従い、表-1 に示すバネに置き換えて解析したところ、同部位の応力、変位に関して、それぞれ 17.9%、26.1%の誤差が見られた。この主要因として、固定の鋼製支承側の橋軸方向移動を見込むこととした。具体的には、鋼製支承を橋軸方向自由とし、橋軸方向の移動を妨げる方向に節点力を作用させた。また、鋼製支承下台座の回転計測値を強制変位として载荷した。

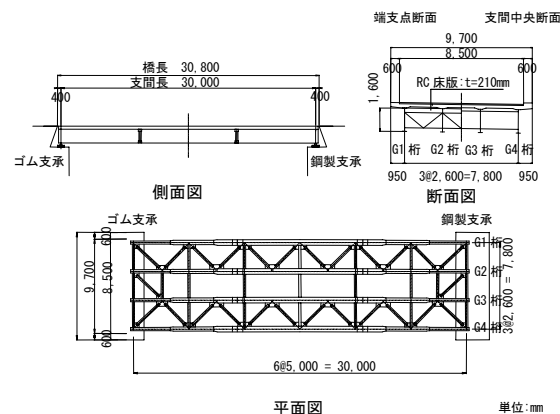


図-1 試験橋の一般図

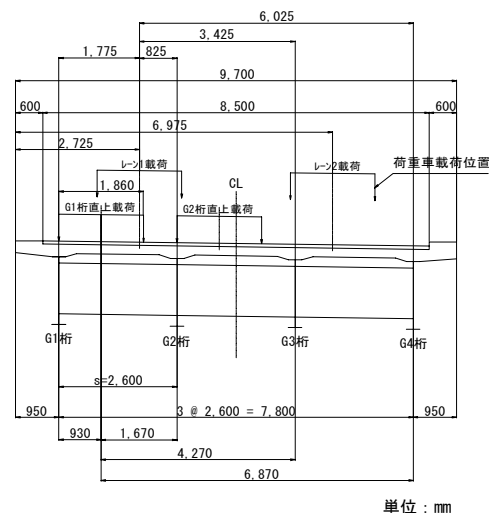


図-2 荷重車载荷位置

総節点数：293,346、総要素数：297,503

表-1 各部材の剛性

部材	弾性係数／バネ定数	ポアソン比
床版コンクリート	$2.8 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ ($\sigma_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$)	0.167
主桁等鋼部材	$2.0 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$	0.300
ゴム支承（水平バネ）	2314 kN/m	—
ゴム支承（鉛直バネ）	520714 kN/m	—
ゴム支承 （橋軸・橋軸直角回り回転バネ）	2181.5 kN・m/rad	—
ゴム支承（鉛直軸回り回転バネ）	剛	—

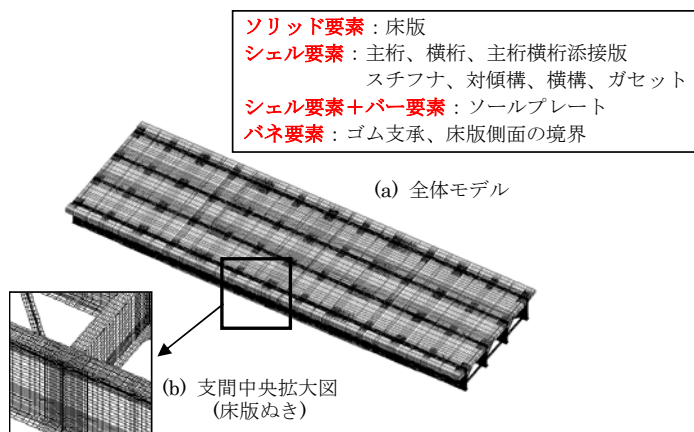


図-3 FEM モデル概要

キーワード：橋梁、劣化損傷、ひずみ、変位、3次元 FEM 解析

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 TEL：(029)879-6793 FAX：(029)879-6739

3. 解析モデルと実橋計測結果との比較

(1) ひずみと変位の比較

図-4 に G1 桁直上載荷時に対して、各部の応力・変位の実験値と解析値の関係を示す。図中には横構を全て取外した場合の、実験値と解析値も含めてプロットしている。応力・変位ともに比較的よく一致しているが局部応力（垂直補剛材上端部やウェブガセット溶接止端近傍等）については実験値の方が大きく、本モデルでは表現できていないことがわかる。

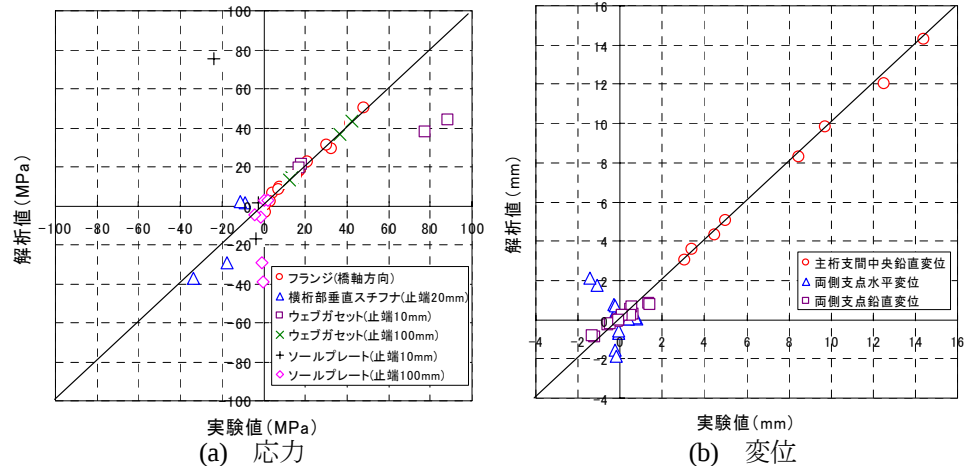


図-4 応力・変位比較

(2) 荷重の横分配効果の比較

図-5 に G1 桁直上載荷時について、各主桁の支間中央下フランジ応力の実験値と解析値を比較して示す。横分配の影響を概ね表現できることがわかる。

4. FEM による変状感度分析

上述の解析モデルに擬似的変状を与え、損傷に伴う橋梁各部の応力、変位の変化量を分析した。変状ケースを表-2 に示す。図-6 に G1 桁載荷時の変状別 G1 桁下フランジ(橋軸方向)応力分布を示す。図-7 に変状別の橋梁各部位の応力を示す。極端に大きい変状を想定したが、ウェブ亀裂を除き応力変動は高々1～17MPa程度であり、供用下の応力変動（温度変化、活荷重変動）と比較してそれほど大きい値ではなく、急激な変化でない限り変状監視のためのモニタリングは難しいものと考えられる。すなわち、変状を特定した上で局部的な応力集中箇所をねらった測定を行うか、橋梁全体に網羅的にセンサを設置しない限り、変状監視のためのモニタリングは実務的には難しいことが確認された。

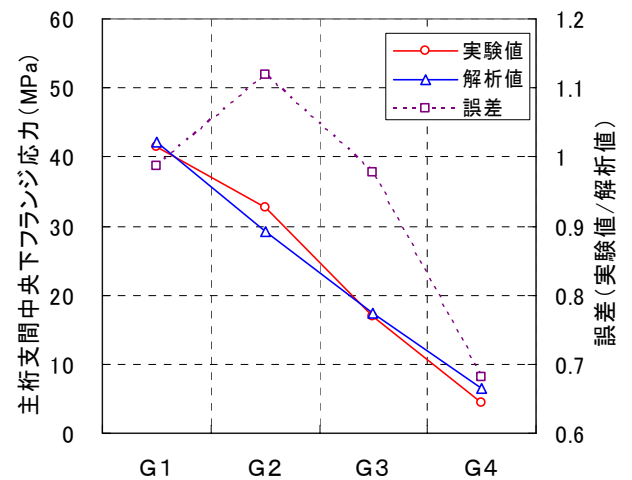


図-5 主桁支間中央下フランジ応力横分配の評価

表-2 変状ケース

変状ケース	内容
変状なし	橋梁に何も手を加えないそのままの状態
支承拘束	支承に対して、腐食等による機能損失を想定し、全支承（8箇所）の回転及び移動の動きを妨げた状態
全横構開放	地震及び腐食により桁端支点における劣化損傷を想定し、全横構のボルトを除いた状態
支点開放	地震及び腐食により桁端支点における劣化損傷を想定し、G1桁Fix側の支点の支持を取り除いた状態
ウェブ亀裂	G1桁の横桁取付部ガセット付近から亀裂が発生し、ウェブの上下フランジ間及び下フランジも貫通した状態

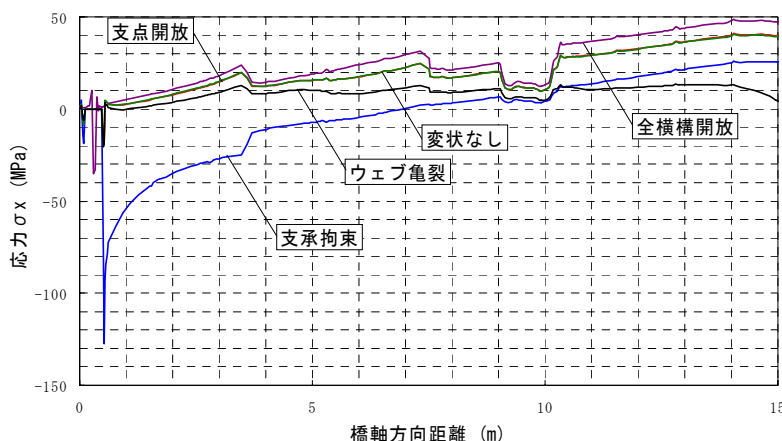


図-6 G1 直上載荷時の G1 桁下フランジ（橋軸方向）応力分布

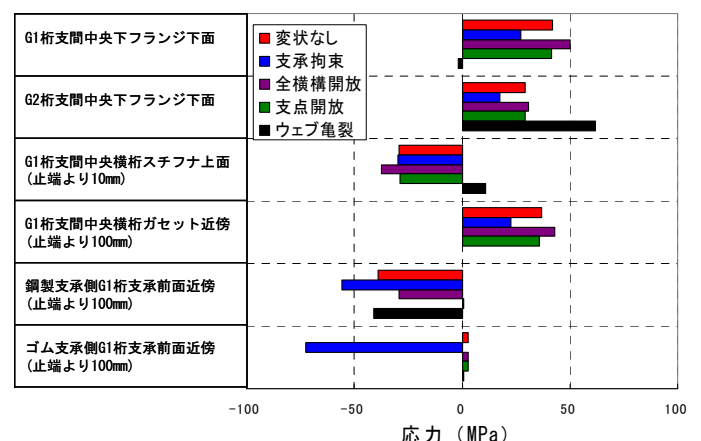


図-7 変状別応力変化