

## 交通荷重下の鋼桁橋の応答計測と FEM を利用した局部応力の評価

東京大学 正会員 ○三輪 陽彦  
 東京大学 正会員 長山 智則

東京大学 正会員 蘇迪  
 東京大学 フェロー会員 藤野 陽三

### 1. はじめに

我が国の橋梁の多くは、高度経済成長期の建設から年月を経て、老朽化が進んでおり、鋼桁橋の高架橋が総延長の大多数を占める首都高速道路(以下首都高)では、この傾向が特に顕著である。効率のよい補修や改修作業を行うには、橋梁の損傷挙動を定量的に把握することが重要である。鋼桁の損傷は重交通による局部的な応力集中による疲労の蓄積が主であり、局部応力の精緻な予測を実測データに基づいて行うことが、橋梁の状態を推定する上で必要不可欠である。そこで本研究では、首都高の鋼桁橋において、25 tf 荷重車通行時の応力応答の計測と、FEM モデルによる応力応答を比較し、モデルの再現度についての検討を行った。

### 2. 首都高での応力応答計測

首都高 3 号渋谷線の鋼桁橋において、25 tf 荷重車を走行速度 60 km/h で単独通過させた際の応力応答を計測した。この橋梁の諸元は、片側 2 車線の往復 4 車線で、支間長 31.9 m、幅員は 16.5 m である。また、支承には、ゴム支承が用いられている。応力を測定するひずみゲージは、図 1-A~図 1-E に示すように、主桁下フランジ・ウェブなどの主部材や、ガセット横・横構・垂直補剛材・横桁など(図 2)の局部応力が大きく、実際に亀裂が発生している二次部材などに設置した。

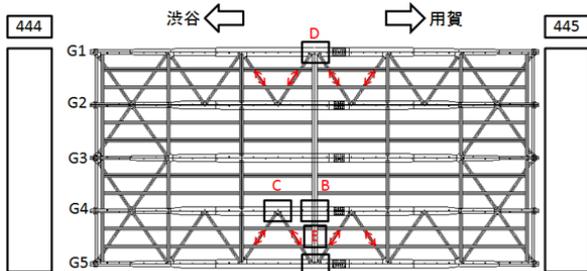


図 1 対象橋梁とひずみゲージ設置図

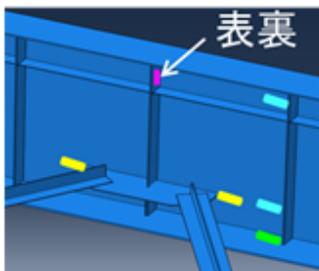


図 2 A・B・C・D 部ひずみゲージ設置位置詳細図

### 3. 応力応答再現のためのモデル

計測で集録した応答を再現するために、汎用有限要素ソフト ABAQUS を用いて橋梁モデルを作成した(図 3)。すべての構造要素をソリッド要素とし、支承はゴム支承の特性を考慮し、線形ばねを用いている。固有振動解析を行った結果、たわみ 1 次モードは 3.19 Hz、ねじれ 1 次モードは 3.81 Hz となり、どちらも実測との差は 10% 以内に収まっている。また、荷重車は図 4 のように、11 自由度系でモデル化を行った。

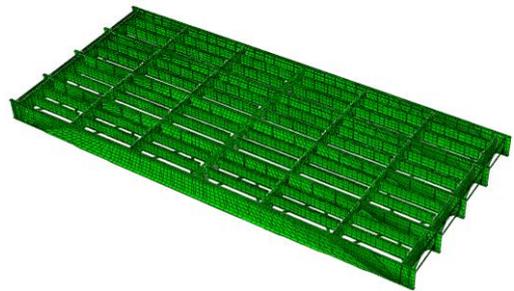


図 3 橋梁の FEM モデル

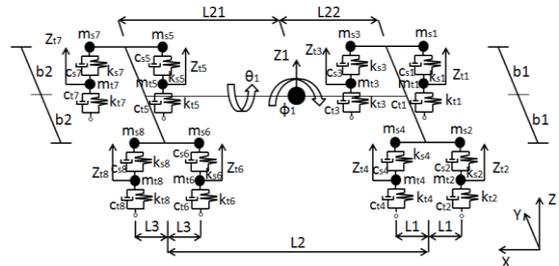


図 4 荷重車モデル

上記のモデルにより、荷重車走行時の橋梁の応答を算出する。荷重車の運動方程式は式(1)・橋梁の運動方程式は式(2)のようになる。

$$[Mv]\{\ddot{Z}v\} + [Cv]\{\dot{Z}v\} + [Kv]\{Zv\} = \{Fc\} + \{Fg\} \quad (1)$$

$$[Mb]\{\ddot{Z}b\} + [Cb]\{\dot{Z}b\} + [Kb]\{Zb\} = \{Rb\} \quad (2)$$

ここで、 $M$  は質量、 $C$  は減衰、 $K$  は剛性を、 $\ddot{Z}$  は加速度、 $\dot{Z}$  は速度、 $Z$  は変位を表し、 $Fc$  と  $Rb$  は接触力、 $Fg$  は荷重車の自重である。車両-橋梁システムの連成方程式(1)および(2)は、接触力  $\{Fc\}$  を介し分離して扱い、Newmark の数値積分法を用いて逐次積分解析をして求める<sup>1)</sup>。

### 4. 実測データと解析の比較

表 1 のようにメッシュサイズを設定した初期モデルの応答と実測データとの比較を行ったところ、主

桁 G5 の下フランジなどの応力波形は同様の応答を示しているが(図 5), 最大応力応答を示したガセット横の応答がモデルではうまく再現できていないことがわかった(図 6).

表 1 モデルの各部材のメッシュサイズ

cm	初期モデル	モデル B	モデル C
床板	20×50	20×50	20×20
主桁	30×30	10×10	20×20
床板補強縦桁	10×10	10×10	10×10
横桁	30×30	30×30	30×30
横構・対傾構 垂直補剛材	10×10	10×10	10×10
ガセット	2×2	2×2	2×2

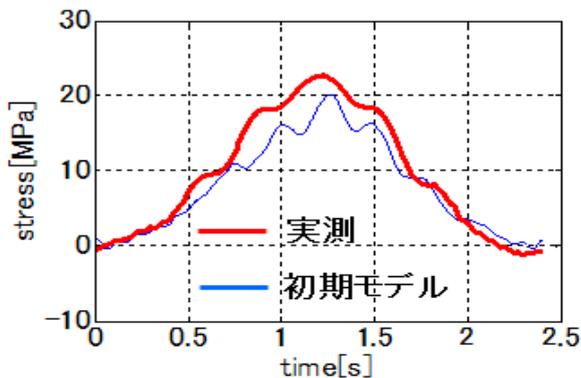


図 5 G5 桁下フランジの応力波形

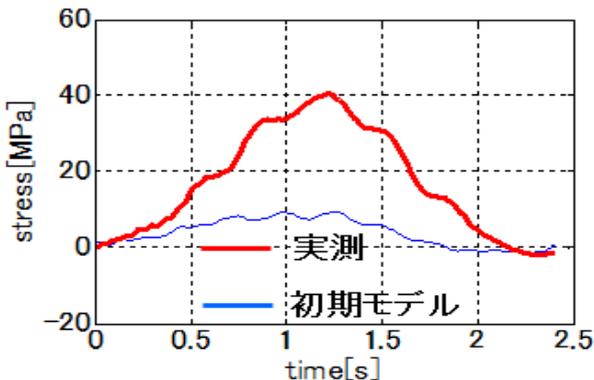


図 6 ガセット右横の応力波形

原因として、主桁のメッシュサイズが大きすぎるため、応力推定精度が低下していること、タイヤの接地面積が適切に考慮されていないこと、などが挙げられる。そこで、メッシュのサイズを変えたモデル B と、タイヤの接地面積を小さくしたモデル C で再度シミュレーションをして、実測との比較を行った。その結果、設置面積を適切に考慮したモデル C の応力応答がより実測に近い応答波形になるという結果が得られた(図 7)。

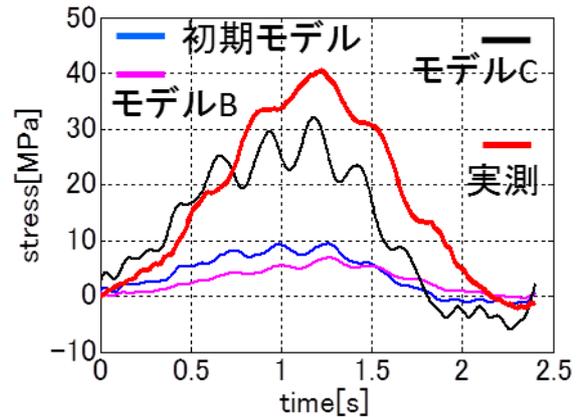


図 7 ガセット右横の応力波形

道路橋示方書における T 活荷重の荷重設計である前後輪ともに 20×50 cm での載荷と、モデル C のように接地面積 20×20cm での載荷、そして、実際の計測に即した前輪を 20×20 cm で、後輪を 20×50 cm の接地面積で載荷したときの 2 次部材の最大応力値を比較したところ、図 8 のようになり、示方書の荷重設計方法では、応力応答を過小評価する可能性があることも判明した。

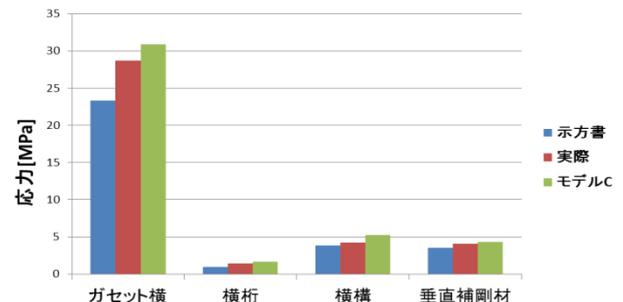


図 8 タイヤの接地面積を変化させたときの各 2 次部材の最大応力応答

### 5. 結論

実際の鋼桁橋において、局部応力を実測とモデルの双方の比較を行った。荷重車走行時に応力応答が最大となったガセット横では、タイヤの接地面積に対する影響が大きく、実測に即した接地面積を考慮することで、応力応答はより実測に近いものへと改善された。また、道路橋示方書における T 活荷重の荷重設計では、局部応力応答を過小評価してしまう可能性がある。

### 参考文献

1) 蘇迪・藤野陽三・Wyss, J.-C. : 汎用有限要素コードを利用した車両-橋梁連成系の動的応答予測と鋼 I 桁斜橋への適用, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), 67(2), pp374-385, 2011