

鋼桁のひずみ測定による桁の応力推定精度に関する実験的検討

名城大学 学生会員 ○川上 峻幸

名城大学 正会員 渡辺 孝一

1. 研究背景と目的

平成 28 年に発生した熊本地震では、主に中小の既設橋梁の桁端部の損傷が多く確認された¹⁾。損傷した桁橋を適切に補修補強し、早期に橋の機能を回復させることは被災地の復旧復興のために重要であり、かつ急性が求められる。地震によって桁橋の支承部を含めた主桁端部周辺が損傷した場合、機能回復のための構造解析では橋の設計荷重で計算され、作用応力が安全側になるよう余裕を見た断面補強が行われる。過度に安全側の補修によって予期せぬ応力集中の発生や、疲労損傷等も考慮すると、実橋梁の実測応力を適切に反映した補強構造が適用されることは、補修後の橋梁を長期的に安全に使用する観点からも重要である。本研究は、こうした補修補強構造を適切な断面とするための設計手法の確立を目標としている。そのための基礎的実験として、単純桁を対象に弾性荷重作用時に得られる実測ひずみデータから推定される桁の応力推定の精度について実験的に検討する。

2. 解析によるひずみ測定点検討

検討対象とする桁は長さ 1,800mm の H 鋼(呼び寸法 300×150)を使用する。支間は 1,600mm の単純支持形式とし、桁端から 100mm と支間中央部のウェブ両側にそれぞれ縦リブを設けた。図 1 に桁全体モデル、図 2 に断面を示す。実験桁の解析モデルは、公称断面寸法により、ウェブ高さ $H_f=282\text{mm}$ 、ウェブ厚 $t_w=6.5\text{mm}$ 、フランジ幅 150mm、フランジ厚 $t_f=9\text{mm}$ をそれぞれ与えて、シェル要素によって作成し、初期たわみや残留応力は与えていない。材料定数はミルシートより降伏応力 $\sigma_y=360\text{MPa}$ とした。ヤング率 $E=200\text{GPa}$ 、ポアソン比 0.3 とし、材料構成則は二次勾配が $E/100$ のバイリニア型を与えた。両支点端部は、変位のための拘束を与える単純支持とした。

荷重は支間中央部に載荷板を介して強制変位として与え、リブや荷重作用直下の応力集中影響を把握するため、桁端部から 250~650mm の範囲で梁理論と解析の比較を検討した。

表 1 に応力の理論値との誤差を示す。支点付近や載荷点近傍はリブや載荷板の影響により 28%程度の誤差が生じることが分かった。従って、理論値と整合する 350~550mm を着目範囲とした。

続いて、図 3 に桁の高さ方向の要素分割数と曲げ応力の応力分布の整合について理論値も合わせて比較検討した。中立軸からの距離が桁上端、下端方向へそれぞれ 125mm 以上となるフランジとの接合部近傍において、解析の応力推定値が小さめを推定する結果となった。しかし、桁高さ方向の要素分割数(5~10 分割)の違いは見られないため、最も少ない分割数で中立軸のひずみが取得できる 5 分割での解析モデルと実験供試体のゲージ測定を比較する。

3. 実験方法

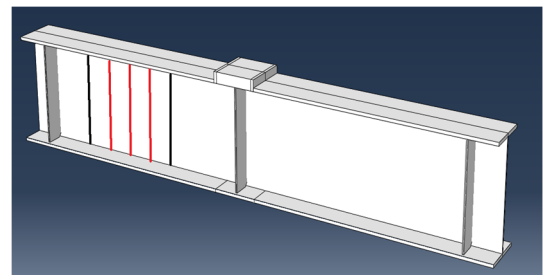


図 1 桁全体モデル

表 1 応力取得位置における理論値とのずれ

端部リブからの距離 $x(\text{mm})$	理論値と解析値 の応力誤差(%)
250	28.4
350	8.5
450	8.0
550	13.8
650	18.6

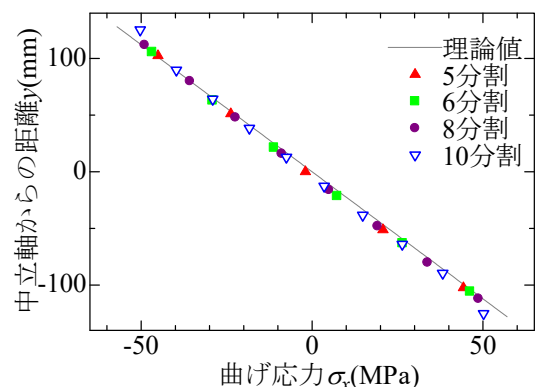


図 3 要素分割と推定理論値の比較

図4に実験桁と載荷装置の外観、図5に実験供試体の全体図を示す。ひずみゲージ(3軸型式 KFGS-3-120-D17-11 L5M3S)の測定位置は、解析結果より端部から360mm, 500mmの位置に高さ方向に50mmの間隔で5箇所均等に貼付した。荷重は1MN容量の油圧ジャッキで与え、変位制御により載荷を行う。支間中央の鉛直たわみや支点沈下は、ダイヤルゲージ(最小読み1/500mm)を用いて測定し、支点沈下の影響を無視したもの(補正前)、考慮したもの(補正後)として、解析結果と比較した。

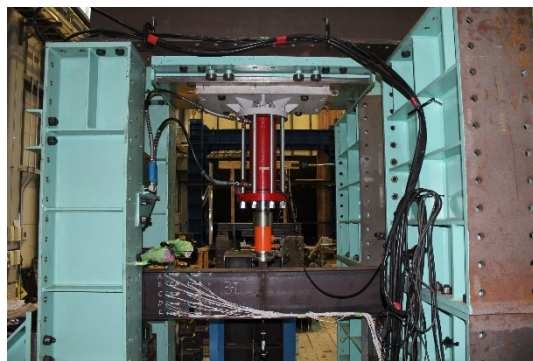


図4 実験装置の外観

4. 実験結果

図6に弾性荷重の変位履歴を実験値と解析値を比較して示す。図中に示した、理論値(せん断変形の影響を考慮した梁理論)を合わせて示す。本実験桁は、桁高さと支間長の比率が0.19であり、荷重作用時のせん断変形の影響は26%程度である。



図5 実験供試体

解析値はよく一致したことにより、結果が重なっている。まず、支点沈下を無視すると、実験結果は解析よりもかなり剛性を小さめに評価していることが分かる。実験桁は十分に剛な支点で単純支持しているが、載荷で生じる支点部の鉛直方向のわずかな沈下が、本実験の載荷条件においては鉛直たわみに大きく影響しており、支点沈下を単純に差し引いた補正後の実験値は、解析値や理論値と比較して、約8%剛性を高めに評価した。この誤差の要因については、支点沈下を計測する変位計の据え付け方法や測定位置について精査中である。

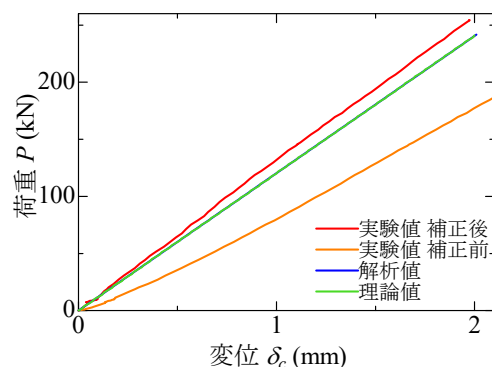


図6 荷重変位

このような比較的単純な載荷条件のもとで、実験結果(ゲージ測定結果)を信頼値として仮定した場合、解析結果との応力推定誤差について検討した結果を図7に示す。比較条件として弾性範囲で与えた荷重が概ね一致した時点(188kN)でのせん断応力分布と曲げ応力分布を比較する。

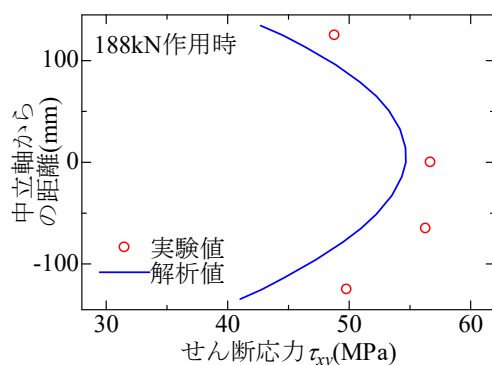


図7 同一荷重でのせん断応力分布

図7より、実測結果から得られるせん断応力は、解析値より全体的に安全側に推定している。特に実験との誤差が大きいゲージ位置で比較すると16%高めとなっている。図8より、中立軸に近づくほど、解析値からの誤差が大きくなっている。これは、フランジとウェブが溶接されていて、それによって固定されていないウェブ中心付近で面的に曲げられていることが影響していると考えられる。

5. まとめ 今後の課題

現場実測で得られる実測情報からより高い精度で、応力を推定するためには、ゲージの設置位置や変位の計測精度など、測定対象の状態(損傷による変形)など、多くの条件を考慮する必要がある。今後、計測条件についてさらに精査し、推定精度を高めるよう継続して実験を実施予定である。

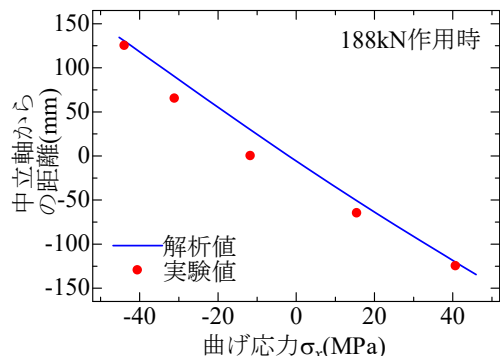


図8 同一荷重での曲げ応力分布

参考文献 1) 日本橋梁建設協会:「熊本地震橋梁被害調査報告書」, 2016. 10.