

鋼・コンクリート複合ラーメン橋における鋼箱桁断面の FEM 解析による耐震性能評価

株式会社建設技術研究所 正会員 ○小林 駿祐
株式会社建設技術研究所 正会員 光川 直宏

株式会社建設技術研究所 正会員 松本 崇志
西日本高速道路株式会社 正会員 後藤 源太

1. 背景および目的

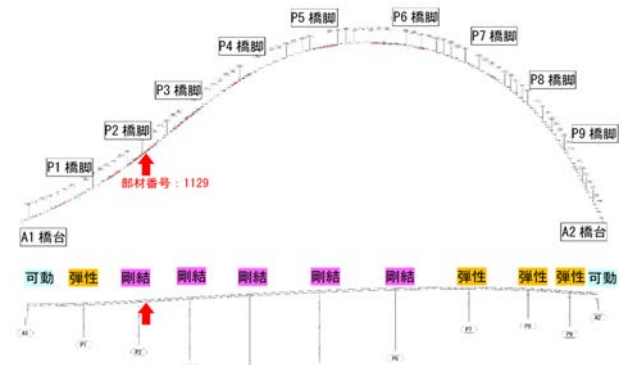
鋼上部構造と RC 橋脚をスタッドジベル等によって剛結した鋼・コンクリート複合ラーメン橋は、支承の省略によるコスト削減およびメンテナンスの軽減や、耐震性向上が図れる構造であり、今までも多く採用されてきた。しかしながら、地震力が上部構造にも伝達されるため、主桁に対する耐震設計が必要であり、剛結部付近の主桁部材に断面力が集中しやすい構造的特徴から、弾性限界を大きく超過する場合がある。

本稿は、既設の鋼連続ラーメン箱桁橋を対象とした現況耐震性能照査と、FEM 解析による主桁の当て板補強検討および設計内容を報告する。

2. 対象橋梁および動的解析モデル

対象橋梁は、平成 6 年の道路橋示方書に準拠して設計され、平成 12 年に竣工した鋼 10 径間連続非合成ラーメン箱桁橋である（図－1、図－2）。P2～P6 橋脚は鋼箱桁と RC 橋脚がスタッドジベルにより剛結され、その他中間支点は分散ゴム支承、端支点は可動支承で支持されている。

対象橋梁は曲線橋であることから、動的解析モデルは 3 次元の立体骨組みモデルとした。上部構造は主桁と RC 床版をそれぞれ線形はり要素とし、2 層でモデル化した。



図－1 対象橋梁概要図および着目要素



図－2 上部工断面図

表－1 着目部発生断面力の整理

項目		補強前	補強後
着目部発生断面力	軸力 (kN)	-9882	-10419
	せん断 (kN)	4527	5007
	曲げモーメント (kN・m)	-41284	-48825
垂直応力の照査	許容応力度 (N/mm ²)	245	245
	地震時発生応力度 (N/mm ²)	393	298
	超過率	161%	122%

3. 現況耐震性能照査および断面補強方針

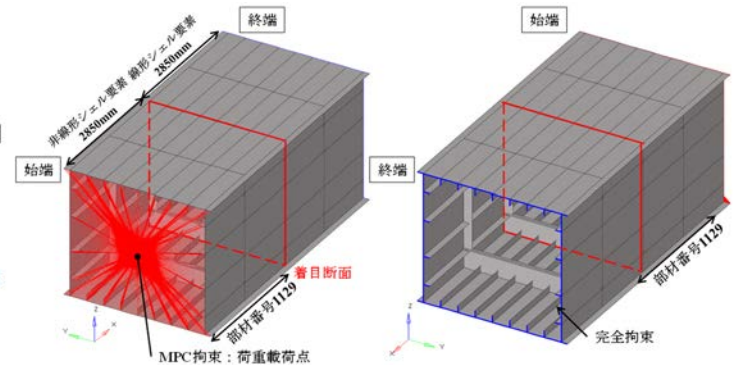
動的解析による照査を実施した結果、P2 橋脚の剛結部近傍の要素（部材番号 1129）で、要求性能を満足する限界状態（弾性域に留まる限界状態で、降伏応力と設定）に対して 1.6 倍程度の垂直応力度が確認された（表－1）。

補強検討の結果、下フランジへの当て板補強（t=53mm）に加え、ウェブへの追加フランジ補強や端部ブラケットへの縦桁増設補強を行っても、鋼重と剛度の増加により断面力がさらに増加する影響で必要剛度が収束せず、補強が成立しない状況である。

そこで、主桁補強は下フランジへの当て板のみとし、FEM 解析により鋼箱桁断面の余剰耐力や変形性能を評価することで耐震安全性を確認する設計方針とした。なお対象部材の補強板厚は 12mm とした。

4. FEM 解析モデルおよび解析条件

FEM 解析モデルを図－3 に、モデル化した部材の材料特性を表－2 に整理する。モデル化範囲は部材番号 1129 を含むダイヤフラム間とした。部材は全てシェル要素とし、降伏後の二次勾配は 1/100 のバイリニア型とした。本検討はモデル中央部に着目するため、それ以外の要素は線形シェル要素とした。



図－3 FEM 解析モデル

表－2 着目部材の断面諸元と材料特性

部材	板厚 (mm)	材質	降伏点 σ_y (N/mm ²)	ヤング係数E (N/mm ²)	ポアソン比 (ν)
上フランジ	11	SS400	245	200000	0.3
下フランジ	11				
ウェブ	10				
縦リブ	11				
横リブ	9				
垂直補剛材	10				
水平補剛材	10				

キーワード：箱桁，FEM 解析，耐震性能評価，残留変位，残留ひずみ，当て板補強

連絡先 〒541-0045 大阪市中央区道修町 1-6-7 北浜 MID ビル 株式会社建設技術研究所 大阪本社構造部 TEL 06-6206-5674(ダイヤルイン)

骨組みモデルの動的解析から得られた着目要素の正負最大曲げ断面力を FEM 解析モデルに与えた。作用力は、箱桁重心位置に設けた節点（荷重集中点）から MPC 拘束によって上下フランジおよびウェブ節点を結合させ、荷重集中点に断面力を与える載荷方法とした。

5. FEM 解析結果を踏まえた鋼箱桁断面の耐震性能評価

(1) 評価方針

道路橋示方書V耐震設計編¹⁾に規定される橋の耐震設計の要求性能は、地震による損傷が限定的なものに留まること、落橋に対する安全性を確保することである。要求性能を満足するための鋼上部構造の限界状態として、断面が降伏に達しないことを一般的に照査するが、本設計では FEM 解析を踏まえ、「①耐力低下が生じない限界の状態」「②可逆性のある変形性能が確保できる限界の状態」を鋼上部構造の限界状態と定義し、断面の最大耐力、残留変位、残留ひずみを照査項目とした。

(2) 最大耐力の検討

載荷点変位と着目断面における断面力の関係を図-4に、Mises 応力コンター図を図-5にそれぞれ示す。図-4には、FEM 解析結果において上フランジまたは下フランジに発生する Mises 応力が断面直交方向に一樣に降伏応力に達した時点を最外縁降伏としている。

補強後における上部構造は、地震時の断面力に対して 1.18 倍程度、降伏断面力（平面保持を仮定し算出した理論値）に対して 1.44 倍程度の耐荷性能が期待できる。

降伏断面力と FEM 解析での最外縁降伏を比較すると、FEM 解析におけるフランジの降伏は理論値に対して 1.22 倍以上であり、地震時にはフランジ全体の降伏は生じず、降伏断面力載荷時には、フランジ端部の降伏のみに留ま

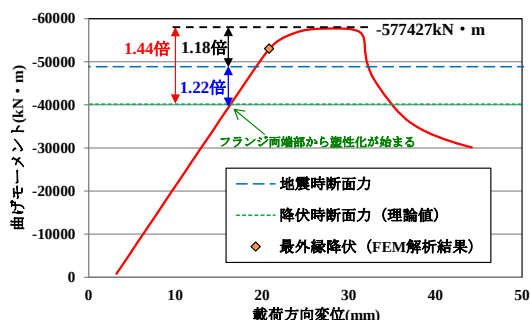


図-4 変位-曲げモーメント関係

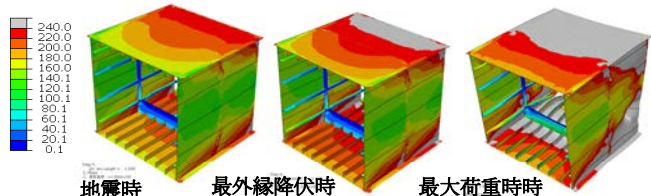


図-5 Mises 応力コンター図(単位:N/mm²)

る。よって地震時において本橋の上部構造は「①耐力低下が生じない限界の状態」を満足しているといえる。

(3) 残留変位および残留ひずみの検討

地震時断面力載荷後に死荷重状態まで除荷を行った結果、図-6に示すとおり、残留変位は 0.01mm に留まる。道路橋示方書II鋼橋編²⁾では、部材精度として部材の製作誤差の最大値が規定されているが、本解析の残留変位量は製作誤差の範囲内であり、地震時相当の断面力を載荷したとしても、有害な残留変形は生じないと考えられる。

地震時断面力載荷後、死荷重状態まで除荷した場合の残留ひずみコンターを図-7に示す。軟鋼以外の鋼材のように明確な降伏点が現れない鋼材は、除荷後の永久ひずみが 0.2% となる箇所を降伏と定義されているが、対象断面における除荷後の残留ひずみ発生箇所は局所的であり、その値はすべて 0.2% 以下であった。このことから地震時相当の断面力に対しても、除荷後における断面性能の低下は小さいと考える。

以上のことから本橋の上部構造は断面全体として「②可逆性のある変形性能が確保できる限界の状態」を満足する程度の塑性化範囲に留まっているといえる。

6. まとめ

橋としての要求性能を満たすための上部構造の限界状態の照査項目として、最大耐力および残留変位、残留ひずみに着目して、鋼箱桁断面の FEM 解析を行った結果、設定した要求性能を満足することを確認した。その結果、本橋は下フランジの当て板による断面補強により、大規模地震に対する耐震安全性を確保することができた。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説I～V編，社団法人 日本道路協会，H24.3

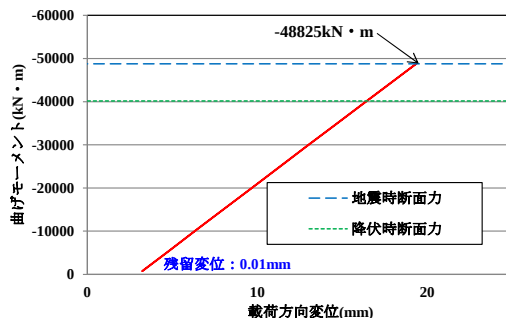


図-6 変位-曲げモーメント関係（除荷時）

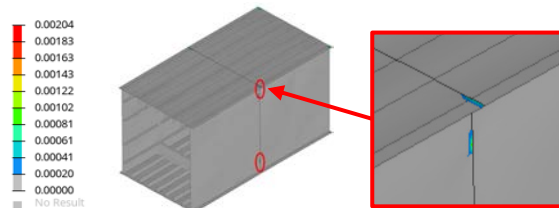


図-7 除荷後における残留ひずみコンター図