

一定せん断流パネル解析を用いた方杖ラーメン橋隅角部の耐震補強検討

株式会社横河ブリッジ (研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所) 正会員 ○水口 知樹
 国土交通省国土技術政策総合研究所 正会員 玉越 隆史
 本州四国連絡高速道路株式会社 (研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所) 正会員 横井 芳輝

1. まえがき

耐震補強構造や疲労等に対する補修補強設計等を行う場合、局所変形や2次応力の影響など、必ずしも棒モデルを用いた骨組解析では得られない局所的な挙動を正確に見積もることが重要となることも多い。しかし、既設橋の損傷時に迅速な対応が求められる場合、詳細な FEM 解析のモデル化や解析に時間を要することがリスク要因となり得る。そこで、解析の品質を確保しつつ迅速に行うことができる設計手法の確立を目的として、比較的解析モデルの作成が容易で、かつ板組形状に起因する局所的な応力性状の再現が可能と考えられる一定せん断流パネルを用いた、部材の板組形状をモデル化した解析^{1,2)}(以下、「一定せん断流パネル解析」という)による既設橋の補強設計への適用性に関する検討を行う。

2. 方杖ラーメン橋の隅角部の応力性状

局所的に複雑な応力性状を有する既設橋の構造部位として、図1に示す方杖ラーメン橋の隅角部の湾曲フランジを検討対象とする。隅角部の拡大図を図2に示す。まず、既設橋の耐荷力の評価から行う。

従来の設計では、図2に示す断面①~③のそれぞれにおいて、以下に示す Bleich の近似式³⁾から湾曲フランジの作用応力度を算出する。

$$\sigma_m = \frac{N}{A} - \frac{M}{RA} - \frac{My}{z} \cdot \frac{y}{z+y}$$

ここに、

$z = R^2 \sum RB \log \frac{R+y_1}{R+y_2} - f = R^3 \sum B \log \frac{w_1}{w_2} - AR^2$ 、 N ：作用軸力、 M ：作用曲げモーメント、 y ：図心からの鉛直方向距離、 A ：部材の断面積、 R ：部材重心軸の曲率半径、 B ：フランジ幅、 w_1 ：曲率中心から各材片外側までの距離、 w_2 ：曲率中心から各材片内側までの距離を示す。

これに対し、対象部位の板組形状を再現した一定せん断流パネル解析では、レベル2地震動を橋軸方向あるいは橋軸直角方向から作用させた線形時刻歴応答解析から作用応力度を算出する。死荷重応力度も考慮した計算結果を表1に示す。これより、R止まり位置での作用応力度は、近似式に対する一定せん断流パネル解析結果の誤差が15~1%の精度である。一定せん断流パネル解析では、近似式よりさらに詳細な応力分布を求めることができ、実際には生じる、近似式よりも28%も大きな最大応力を把握できることがわかった。この例では、提案手法によって湾曲フランジ部で、使用材料 SM490Y の降伏点 355N/mm²を大きく超過する作用応力が生じ

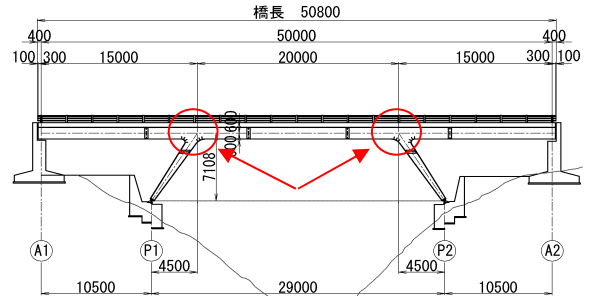


図1 方杖ラーメン橋の概要図

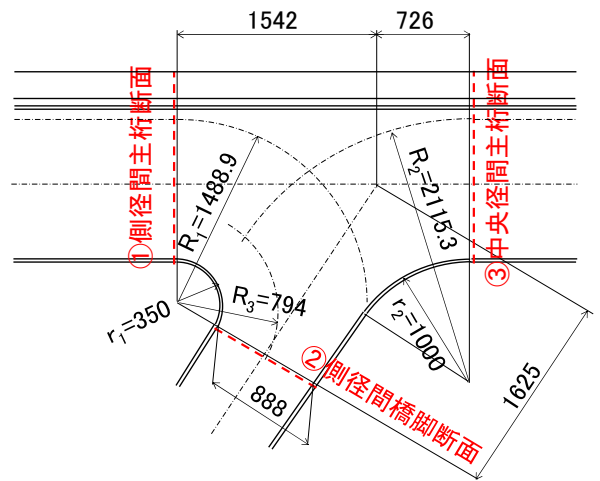


図2 隅角部拡大図

表1 隅角部の作用応力度 [N/mm²]

部位		近似式	解析結果	(解析/近似)
側径間側	①主桁断面(R止まり部)	-162.6	-168.8	(1.038)
	応力最大値	-	-470.8	(0.993)
	②橋脚断面(R止まり部)	-474.3	-405.5	(0.855)
中央径間側	③主桁断面(R止まり部)	-355.1	-357.6	(1.007)
	応力最大値	-	-455.0	(1.281)

キーワード 既設橋の補修補強検討、一定せん断流パネル、方杖ラーメン橋、隅角部、湾曲フランジ

連絡先 〒273-0026 千葉県船橋市山野町27番地 株式会社横河ブリッジ TEL 047-435-6277

る可能性が指摘でき、耐震補強を行う必要性が高いことが評価できた。

3. 方杖ラーメン橋の隅角部の補強構造の検討

次に、降伏点を大きく超過する作用応力度に対する補強の検討を行う。具体的な補強構造は図3に示すように、I断面の主桁・橋脚の湾曲フランジに対して放射方向に、 $240 \times 9 \times 160$ の補強リブを均等な間隔で配置する。補強リブの大きさは主桁の水平補剛材との干渉を避けることから決定し、ウェブの両側に現場溶接にて追加することを想定する。

従来の設計では湾曲フランジの曲率の放射方向の作用応力度をBleichの近似式で算出³⁾し(ここでは式を省略)、その抵抗部材として補強リブの断面を検討する設計が行われている。その場合、リブ間隔や断面による湾曲フランジへの補剛効果を定量的に評価できない。そこで、一定せん断流パネル解析において、補強リブの形状を解析モデルで再現し、湾曲フランジの作用応力度の低減について評価を行う。

補強リブを設置した構造において、2章と同様にレベル2地震動を作用させた場合の湾曲フランジの最大作用応力度を表2に示す。これより、補強リブを追加した場合の湾曲フランジの局所的な応力状態を一定せん断流パネル解析によって算出できていることがわかる。その結果、補強リブの追加によって最大作用応力度は 470.8 N/mm^2 から 409.5 N/mm^2 まで13.0%の低減効果が見られた。なお、前述した湾曲フランジの降伏点 355 N/mm^2 に対して最大作用応力度は依然、大きく超過している。補剛リブを追加してこれ以上リブの間隔を小さくすることは、現場作業性から困難であることから、この例では、湾曲フランジへの当て板による板厚増加、あるいは制震ダンパーの追加などによる地震時慣性力の低減など、他の耐震補強工法の検討も必要と考えられる。いずれにしても一定せん断流パネル解析を用いることで、このような精度の高い応答値を踏まえた具体的な細部構造の検討の試行錯誤が比較的容易に行えることは、条件によっては確実であり、実務に有効な手法となるものと考えられる。

局所的な応力性状の評価は、橋に求められる性能を發揮・保持するために設定した限界状態と、供用中に想定される設計状況を表現した荷重あるいはその組合せとの間に、基準で求められる安全率とその信頼性を確保することを目的として、橋ごとの条件を踏まえて個別に行う必要があると考えられ、これらの判断基準の確立が提案手法の実用化においては鍵となる。

4. まとめ

- ・一定せん断流パネル解析によって、方杖ラーメン橋隅角部の湾曲フランジの局所的な応力状態を求めることができ、補強リブ追加の効果も定量的に把握することができた。
- ・本検討で対象とした湾曲フランジの例では、補強リブを追加することによって応力低減の効果が見られたものの、補強リブを密に配置しても作用応力度の低減は13%であり、さらに応力低減の必要がある場合は、別の耐震補強工法との併用が必要となることがわかった。

参考文献

- 1) 玉越隆史, 中洲啓太, 石尾真理, 木内耕治: 道路橋の鋼製橋脚隅角部の疲労設計法に関する研究 ―一定せん断流パネルを用いた解析法の検討―, 国土技術政策総合研究所資料, 第296号, 2006.1
- 2) 玉越隆史, 白戸真大, 横井芳輝, 水口知樹: 鋼道路橋の合理的な設計解析手法に関する研究 ―一定せん断流パネルを主体とした鋼道路橋の設計手法―, 国土技術政策総合研究所資料, 第841号, 2015.3
- 3) Bleich, F. (池部宗薫他訳): 鉄骨構造, 下巻, p.691, 1936.9, コロナ社

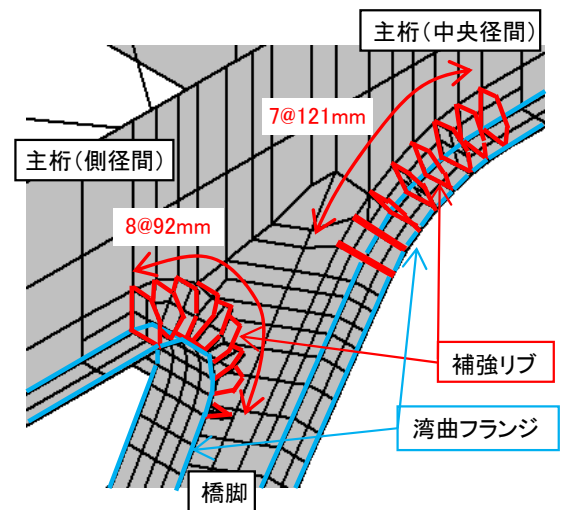


図3 隅角部の補強リブ(図は補強前の解析モデル図に補強リブのイメージ図を追加したもの)

表2 補強後の隅角部の作用応力度 [N/mm²]

部位	補強前	補強後	(補強後/前)
側径間側 応力最大値	-470.8	-409.5	(0.870)