

鋼製 T 型橋脚隅角部の応力評価への高度解析手法の適用

首都大学東京 学生会員 ○西優美子 首都大学東京 正会員 岸祐介
 首都大学東京 フェロー会員 野上邦栄

1. 背景と目的

橋梁設計における構造解析は、初等はり理論を基本とした骨組構造解析(以下、「骨組」)が採用されている。しかし、この解析法では正確な応力および変位を得ることのできない複雑な構造物も増加しており、適宜高度解析手法が適用されている。現在、高度解析手法として主に採用されているのは、FEM 解析(以下、「FEM」)である。しかし、実務上、「FEM」は「骨組」で把握しきれない構造や部材においての変位挙動把握、応力照査の使用にとどまっており、これらの中間的な解析手法として一定せん断流パネルと呼ばれる要素を用いた一定せん断流パネル解析(以下、「せんパネ」)が検討されている¹⁾。そこで、本研究では、部材構成が複雑で、せん断遅れ現象が発生する鋼製橋脚隅角部を取り上げ、「骨組」、「せんパネ」、「FEM」の3解析法の比較を行い、適用性を検討する。

2. 対象橋脚

対象橋脚は、高速道路ジャンクションに設置された鋼製 T 型橋脚であり、上部工形式は 5 径間連続非合成鈹桁である。設計荷重は B 活荷重、使用鋼材は、図 1 に示すように基部-J2 間は SM400、J2 から上位は SM490Y である。

3. 解析手法

鋼製橋脚隅角部の応力評価に対して比較対象とする解析手法において、ここでは、「骨組」と「せんパネ」について簡単に述べる。

「骨組」: 橋脚全体をはり要素でモデル化し、まず断面力から公称応力を算出する。応力集中部については奥村・石沢の方法により垂直応力補正係数を用いて、せん断遅れに夜迫う直を算出し、公称応力に加える手法である。

「せんパネ」: 図 2 に示す、せん断応力のみ抵抗する板要素とその 4 辺に曲げ応力のみ負担するはり要素で構成される一定せん断流パネル要素を用いる有限要素解析手法である。

なお、「FEM」ではシェル要素を用いる。

4. 解析条件

「骨組」と「FEM」は、MSC MARC2014、「せんパネ」は Analyzer²⁾を用いた線形静的解析である。荷重条件は表 2 に示すように上部工死荷重 D と各桁にかかる B 活荷重 L である D+L を適用する。「せんパネ」と「FEM」はこの各荷重を橋軸方向に分配して载荷している。また、T 型橋脚基部は 6 自由度固定である。要素分割は文献 1) を参考に設定した。「骨組」は補剛材、連結部の設置間隔で分割する。「せんパネ」は隅角部付近を 50mm、それ以外の隅角部を縦リブ間隔程度で分割する。「FEM」は隅角部付近を 25mm、それ以外の隅角部を 50mm で分割する。

5. 柱の応力分布比較

柱方向に隅角部から 50mm 離れた地点(図 4 の赤線)での応力評価を行う。

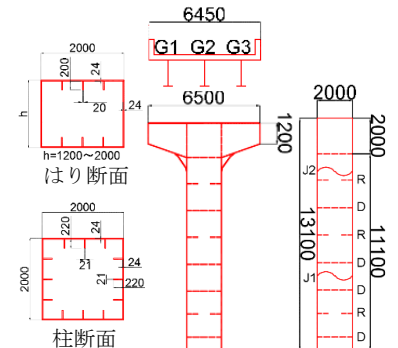


図1 橋脚寸法

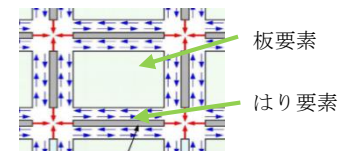


図2 一定せん断流パネル要素

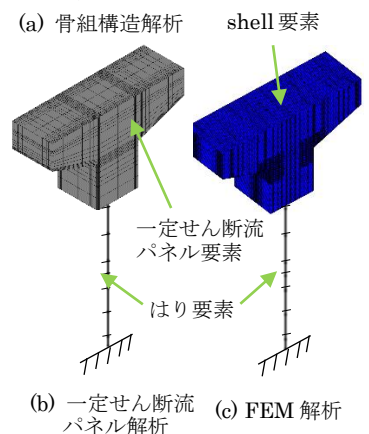
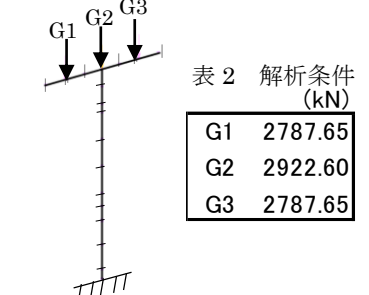


図3 要素分割

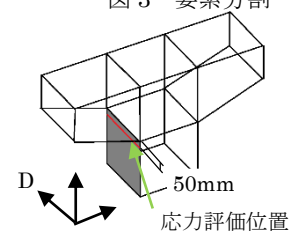


図4 応力評価位置

図5は、フィレットを有する橋脚における3解析手法の軸応力分布を示す。横軸は3解析法で得られた軸応力を降伏応力で除した無次元量、縦軸は軸方向距離を示す。「骨組」による公称応力は、「せんパネ」と「FEM」と同等な結果が得られた。なお、図中の●は奥村石沢の方法を適用して応力集中を考慮した値である。また、「せんパネ」と「FEM」では、ほぼ同等な応力性状が得られた。

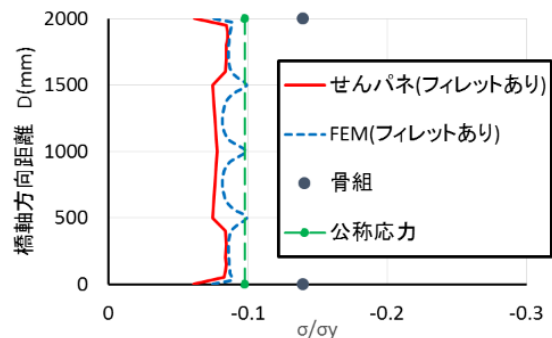


図5 3解析手法の応力分布比較

図6は、フィレットの有無の橋脚に対して3解析法により得られた応力分布の比較結果である。フィレット無しの場合でも、「せんパネ」、「FEM」はほぼ同程度の応力性状を示している。また、「骨組」と「せんパネ」及び「FEM」の結果を比較すると、「骨組」の最大応力は25～40%程度小さく評価されている。また、「せんパネ」と「FEM」ではフィレットを設置することによる応力集中低減をよく表している。また、「FEM」ではスティフナーの設置位置で応力が大きく評価されている。

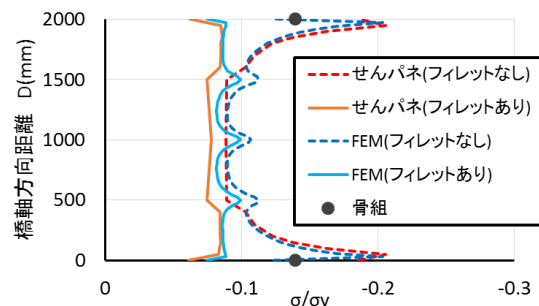
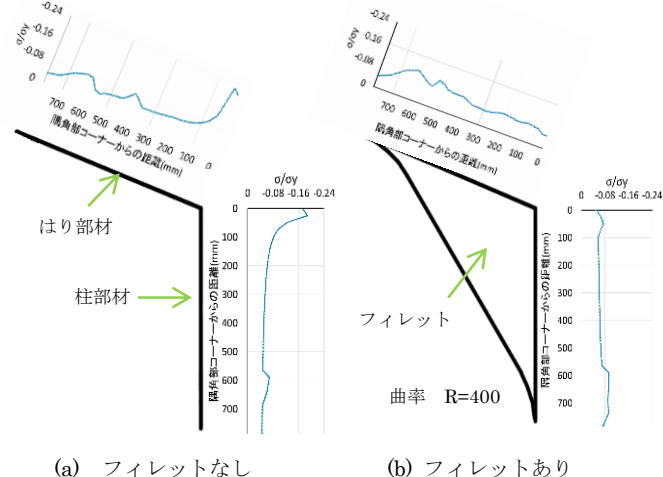


図6 フィレット有無の応力分布

また、図7には「FEM」において、フィレットのはり部材や柱部材との境界部の応力を評価したものを示す。フィレットを考慮していない場合は、隅角部コーナー付近で大きな集中応力が発生しているが、フィレットを考慮することにより、応力集中が緩和され、フィレットが設置している範囲全体がほぼ一定の応力となった。なお、フィレットの曲率の変化する位置では、他の領域に比して大きな応力が発生している。



(a) フィレットなし

(b) フィレットあり

図7 フィレット境界部の応力性状

6. 適用性比較

各解析手法の適用性を比較したものを表3に示す。「骨組」は、作業も容易に行え、解析時間も短いものの、局部応力が適切に考慮できないことが課題となる。「せんパネ」は、「FEM」と同様にせん断遅れの影響を考慮できおり、設計基準への適応も可能である。一定せん断流パネル要素の断面剛性を手作業で入力しているため、断面変更の多いモデルほど、入力方法、計算時間などに課題が残る。「FEM」は、モデル化の作業性には課題はないものの、設計時に必要とされている影響線載荷、断面力出力が困難なことが課題となる。

7. 結論

・「せんパネ」と「FEM」は、「骨組」に比して複雑な応力分布を精度よく算出できる。

・実務設計への高度解析手法である「せんパネ」、「FEM」の適用の可能性は、共に課題を残すが十分にある。

謝辞 本研究を進めるにあたり、Analyzerの使用に際して、株式会社横河技術情報の藤野・八木様にご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献 1) 玉越他：道路橋の鋼製橋脚隅角部の疲労設計法に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，2006.1

2) Apollo Analyzer 株式会社横河技術情報

表3 解析手法による適用性評価

要因		骨組構造解析	一定せん断流 パネル解析	FEM解析
節点数		21	3943	70887
要素数	はり要素数	20	9	9
	一定せん断流 パネル要素	0	4072	0
	shell要素	0	0	71927
作業性	作業時間	7時間	124時間	56時間
	計算時間	1秒	205秒	525秒
特徴	影響線載荷	可能	可能	困難
	局部応力	不適當	可能	可能
	断面力出力	可能	可能	困難
	設計基準への適応	可能	未定	未定