

鋼製逆 L 型橋脚隅角部の応力評価への高度解析手法の適用性

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

1. 背景と目的

橋梁設計における構造解析には、一般に初等はり理論を基本とした骨組構造解析(以下、「骨組」)が適用されている。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適用されているのは、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や、応力照査で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 解析法の比較を行う。そのうえで、実務設計に向けた適用性を検討する。

2. 对象橋脚

対象橋脚は、図 1 に示す鋼製逆 L 型橋脚である。この形式のはり部材は変断面が多い。対象はり部材は、非合成鈹桁(D=0 側)と鋼床箱桁(D=3400 側)の 2 種の異形式な上部構造を支持しているので、ねじりの影響も受ける。設計荷重は B 活荷重、使用鋼材は 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する．ここでは、「骨組」と「せんパネ」について簡単に述べる．なお、「FEM」ではシェル要素を用いる．

「骨組」は、橋脚全体をはり要素でモデル化し、断面力から公称応力を算出する手法である。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、せん断遅れによる応力を算出し、公称応力に加えることにより応力を算出する。

「せんパネ」は、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。

4. 解析条件

「骨組」と「FEM」は、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1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, 地盤の沈下GDであるD+L+GDを適用する。

「FEM」と「せんパネ」はこの各荷重を支承設置範囲に分配して載荷している．図3に示すように，HGL,DGRはD=600付近，G1,G2,G3はD=2900付近に載荷している．また，橋脚基部は6自由度固定とする．要素分割および詳細にモデル化する範囲は文献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．

「FEM」はフランジ交差部付近を 25mm、それ以外のシェル要素を 50mm で分割する。「せんパネ」はフランジ交差部付近を 50mm、それ以外の一定せん断流パネル要素を縦リブ間隔程度で分割する。

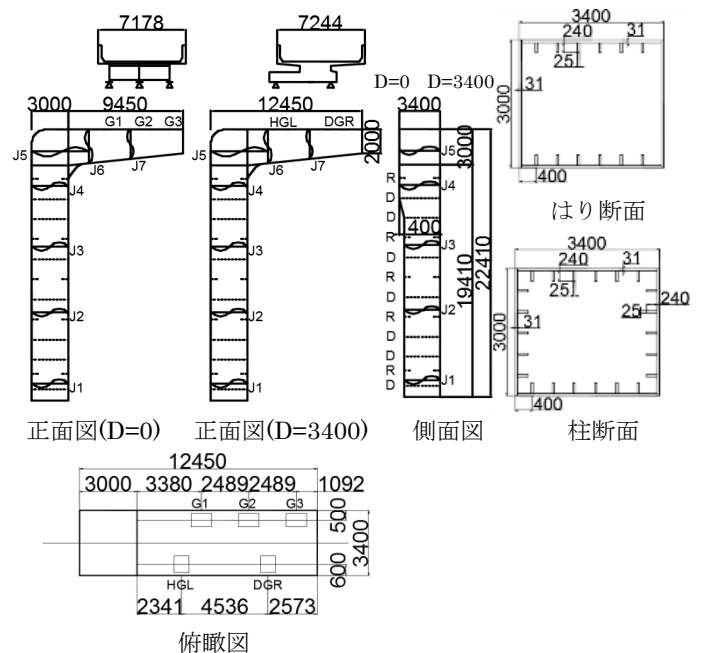


図 1 橋脚寸法

表 1 適用荷重

載荷位置	G1	G2	G3
荷重方向	鉛直	鉛直	鉛直
荷重(kN)	1012	757	652

載荷位置	HGL		DGR	
荷重方向	鉛直	橋軸直角	鉛直	橋軸直角
荷重(kN)	3090	106	1629	106

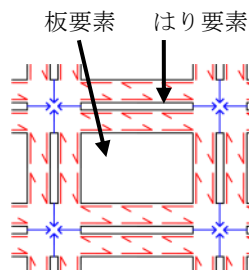


図2 一定せん断流パネル要素

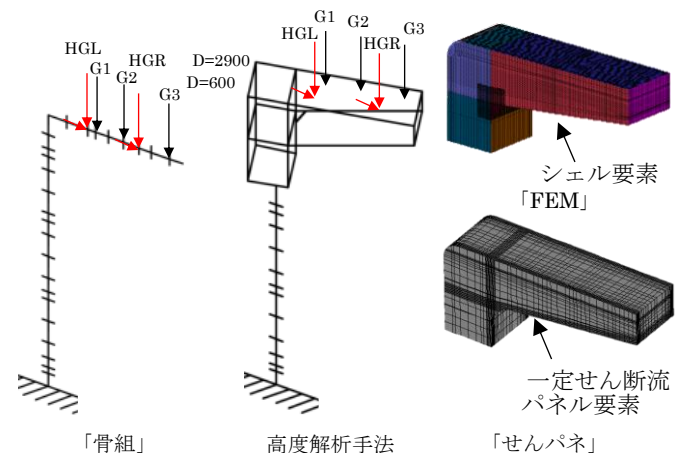


図3 解析モデル

キーワード 鋼製橋脚 隅角部 FEM 解析 一定せん断流パネル解析 応力評価
連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL 042-677-2782 内線(4564)

5. 柱の応力分布比較

高度解析手法を用いた場合、はりフランジ、柱フランジ上の隅角部から 50mm 離れた地点での軸応力を評価する(図 4 に示す赤線)。「FEM」の結果が実験値と良い一致を示した既往の研究³⁾の成果に基づき、ここでは「FEM」の解析結果を正解として他の解析値と比較する。

図 5 は、柱フランジに着目した橋脚のフィレットの有無に対して 3 解析法により得られた応力分布の比較結果である。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、縦軸は橋軸方向距離を示す。「せんパネ」では「FEM」と同様に、フィレット無しの場合の応力集中の傾向、及びフィレットを設置することによる応力集中低減の傾向をよく表している。応力集中を考慮した「骨組」では、フィレットなしの「FEM」よりも 36% 小さな応力集中となった。すなわち、フィレットなしの橋脚において、「骨組」では応力集中を「FEM」のように精度良く評価できない。また、「FEM」と「せんパネ」において、フィレットを考慮した場合には、公称応力程度の応力となっていることがわかる。

図 6 は、「せんパネ」と「FEM」の軸応力の比較である。横軸は「FEM」の軸応力を降伏応力で除した無次元量、縦軸は「せんパネ」による軸応力を「FEM」による軸応力で除した無次元量である。軸応力が降伏応力に近く、比較的大きな軸応力が発生している範囲では、誤差率は 20% 以内に収まっている。

図 7 は「FEM」と「せんパネ」において、载荷条件を変更することにより、ねじりの影響を考慮した結果である。「FEM」と「せんパネ」はいずれにおいても、分布形状はおおむね近い傾向を示している。片側の上部工のみ载荷している場合は、両方の上部工を载荷した状態より応力は小さいことからねじりの影響は、対象橋脚においては小さい。

6. 適用性比較

各解析手法の適用性を比較したものを表 2 に示す。「骨組」は、作業性は優れているが、局部応力の算出は困難であるという課題を有する。「FEM」は、局所応力は適切に算出できるものの、設計時に必要とされている影響線载荷、断面力出力が困難なことが課題となる。「せんパネ」は、「FEM」と同様に応力集中の影響を考慮できており、作業時間も FEM 解析と大差はない。「せんパネ」は要素数が少ないことから、計算時間が短い場合が多い。しかし、対象橋脚のように、フランジ交差部から支承位置までが近い場合、文献 1) に示すモデル化範囲でモデル化を行うと、要素数が増加し、計算時間が「FEM」よりも長くなってしまふ。そこで、今後は現在の結果精度を保ちながら詳細にモデル化する範囲等の最小化を行い、高度解析手法の計算時間低減を行う必要がある。

7. 結論

- ・「骨組」(応力集中考慮)の場合、「FEM」と「せんパネ」に比して最大応力は小さかった。
- ・「せんパネ」は、「FEM」に比べ少ない要素数でも、応力性状を概ね同等程度に評価できることが確認された。

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
3) 三木他：鋼製箱形断面ラーメン橋脚隅角部の疲労特性，土木学会論文集 No.710，2002.7

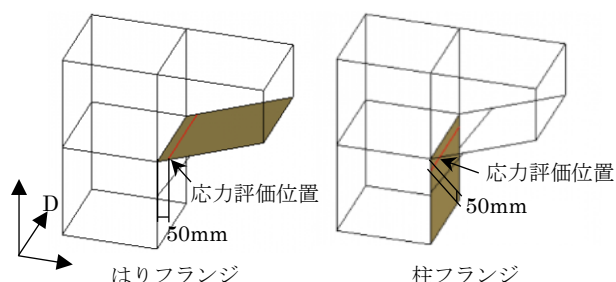


図4 応力評価位置

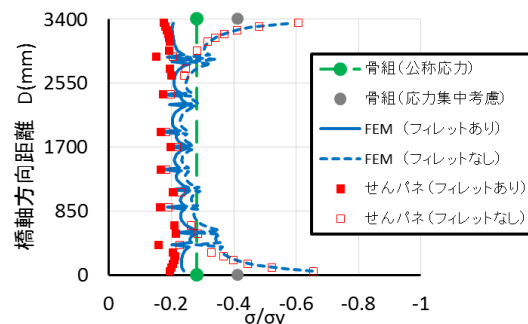


図5 フィレット有無の応力分布(柱フランジ)

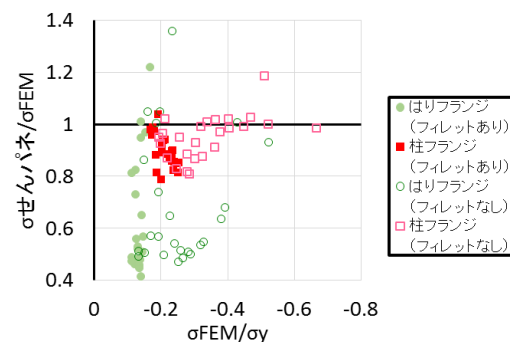


図6 「せんパネ」と「FEM」の応力比較

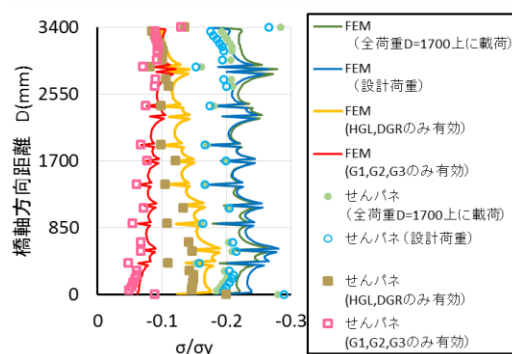


図7 高度解析手法のねじりの影響の考慮

表2 各解析手法の適用性の評価

		骨組	FEM	せんパネ
要素数	節点数	33	203415	11484
	はり要素	32	278	94
	一定せん断流 パネル要素	—	—	11888
	シェル要素数	—	206022	—
作業性	作業時間 [時間]	21	81	91
	計算時間 [秒]	1	3187	3664
特徴	影響線载荷	可能	困難	可能
	断面力出力	可能	困難	可能
	局部応力の算出	困難	可能	可能