

## 鋼製門型ラーメン橋脚隅角部の応力特性および終局強度

首都大学東京大学院 学生会員 ○若山萌美  
 首都大学東京大学院 フェロー会員 野上邦榮  
 (株)横河技術情報 八木和也

(株)横河技術情報 正会員 藤野明義  
 長岡技術科学大学名誉教授 正会員 長井正嗣  
 大日本コンサルタント(株) 正会員 平山 博

### 1. 目的

現在、道路橋示方書に採用されている許容応力度設計法での各要求性能の照査は、梁・柱の力学理論による骨組構造解析や載荷実験結果等に基づいている。一方、橋梁の劣化損傷を受けた補修・補強設計や、複雑な構造形状の設計等において、FEM 解析等の高度な解析のニーズが出てきている。そこで、本研究では、応力性状の適切な評価が困難な複雑な構造として鋼製橋脚隅角部を取り上げ、実用的な解析手法および照査方法の提案に向けた基礎的検討を行う。具体的には、現在一般的に用いられている奥村・石沢の方法<sup>1)</sup>、一定せん断流パネル解析<sup>2)</sup>、および厳密な FEM 解析による応力性状を比較し、それらの特徴および精度比較を実施する。さらに、FEM 解析による隅角部の終局強度特性を明らかにする。

### 2. 対象橋脚

対象橋脚は、3 径間連続立体ラーメン鋼床版箱桁橋の門型鋼製橋脚とし、図 1 の隅角部に着目した。はりおよび柱の各断面を図 2 および図 3、断面諸元を表 1 に示す。

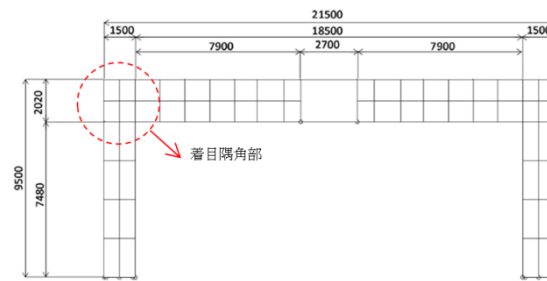


図 1：対象橋脚

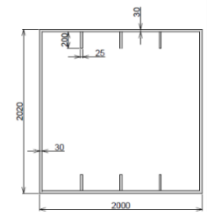


図 2：はり断面

### 3. 解析モデル

奥村・石沢の方法および FEM 解析には、汎用弾塑性有限変位解析ソフトウェア MARC2011 を用いた。奥村・石沢の方法では、図 4 のように全てはり要素でモデル化し、隅角部領域に剛部材を設定した。FEM 解析では、

表 1：断面緒元

部材	断面形状	フランジ		ウェブ		リブ		面積 A m <sup>2</sup>	断面2次 モーメント I m <sup>4</sup>
		幅 mm	厚 mm	幅 mm	厚 mm	幅 mm	厚 mm		
はり	隅角部	2000	30	2020	30	200	25	$2.71 \times 10^{-1}$	$1.08 \times 10^{-1}$
	一般部	2000	35	2020	40	200	25	$3.10 \times 10^{-1}$	$1.32 \times 10^{-1}$
柱	隅角部	2000	30	1500	30	200	25	$2.70 \times 10^{-1}$	$5.46 \times 10^{-2}$
	一般部	2000	30	1500	45	200	25	$2.72 \times 10^{-1}$	$6.30 \times 10^{-2}$

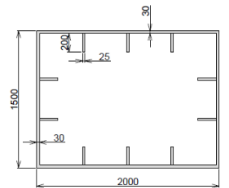


図 3：柱断面

図 5 のように着目する隅角部をシェル要素、隅角部以外をはり要素でモデル化し、厚さ 1mm の仮想剛板により接合した場合と、図 6 に示すよう橋脚全体を FEM でモデル化した場合の 2 通りで解析を行った。モデル化の際、応力集中が予想される領域については、最小要素サイズ 25mm の密な要素分割に設定した。また、耐荷力解析を行う際の構成則は、ヤング率を E としたとき、E/100 のひずみ硬化係数を有するバイリニア型を仮定した。非線形解析には弧長増分法を適用した。なお、一定せん断流パネル解析とは、せん断応力のみに抵抗する板要素とその板要素の 4 辺に曲げにともなう鉛直応力のみを負担するはり要素を用いた解析法であり、本研究では、図 7 の解析による国総研資料<sup>2)</sup> の値を参考にした。

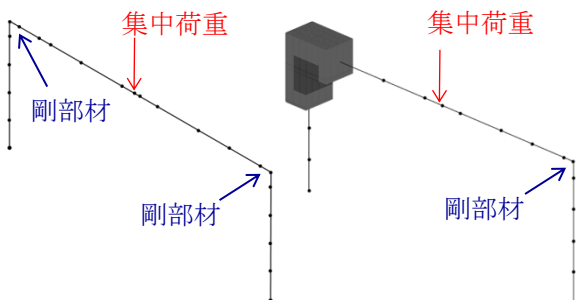


図 4：奥村・石沢の方法

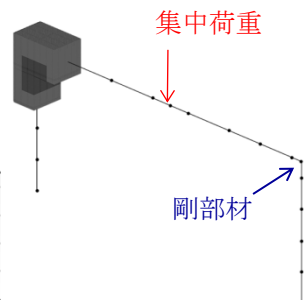


図 5：FEM モデル (shell&beam)

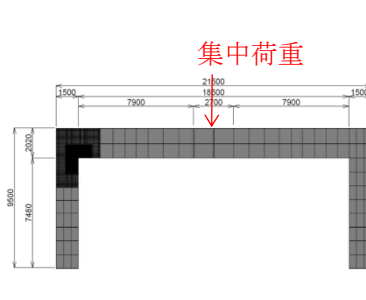


図 6：FEM モデル (allshell)

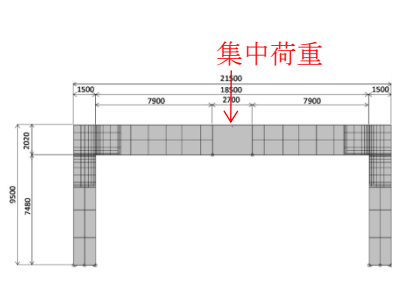


図 7：一定せん断流パネル解析

キーワード 鋼製橋脚, 隅角部, 有限要素法, 一定せん断流パネル解析

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL042-677-1111 内線(4564)

4. 応力性状

奥村・石沢の方法，FEM 解析，一定せん断流パネル解析の 4 モデルについて解析を行い，はりおよび柱のフランジ，腹板の応力について考察した．また，フィレットを別途設計し，応力値の比較のためにその有無について 2 種類のモデルを作成し，それぞれ比較解析を行った．荷重条件は，基部反力から簡易的に集中荷重を計算し，梁中央部に集中荷重で 2779kN を載荷した．ここでは紙面の都合上，表 2 および図 8 に各手法によるはり下フランジの応力分布を示す．なお，コーナー直近では応力が急変し，解析手法同士や実測結果との比較が困難であるため，応力評価位置は図 9 に示すように，隅角部から 50mm 離れた位置とした．フィレットが有る場合の最大応力は，FEM 解析は奥村・石沢の方法の 1/2 程度である．一方，フィレット無しモデルでは，フィレット有りモデルに比べて各解析結果ともコーナー部付近でせん断遅れなどによる応力集中がみられる．また，FEM 解析の隅角部コーナー部の発生応力は，奥村・石沢の方法と比べて 1.8 倍程度大きく，一定せん断流パネル解析とはほぼ同等の値を示す．

5. 終局強度特性

FEM 解析により耐力解析を実施した．荷重条件は応力性状評価で用いた基本荷重 2779kN を漸増載荷し，耐力性能を評価する．

図 10 に荷重変位関係を示す．なお，図中の横軸は，載荷方向を正としたときの梁中央部の鉛直変位である．基本荷重の約 8.3 倍の 23079kN を載荷したところで初期降伏を起こし，約 13.0 倍の 36126kN を載荷したところで終局を向かえた．柱フランジの応力算出結果を図 11 に示すと共に，フィレット有りモデルの初期降伏時および終局時のミーゼス応力分布を図 12 に示す．なお，4. と同様に，応力評価位置は図 9 に示すように隅角部から 50mm 離れた位置する．図 11 より，初期降伏時は設計荷重時以上に，せん断遅れなどが原因とみられる応力集中が顕著である．更に図 12 (a)からも，降伏が隅角部コーナー部から始まっていることが分かる．一方，終局時の柱フランジ応力は，せん断遅れなどによる応力集中はなくなると共に，全幅で降伏している．

6. 結論

構造設計の範囲でコーナー部の応力に着目した場合，FEM 解析は一定せん断流パネル解析と共に，奥村・石沢の方法に比べて，高い精度で応力を算出できた．また，FEM 解析により全体系での耐力評価を行うと，せん断遅れなどが原因の応力集中により，隅角部コーナー部から降伏し，最終的に全幅で降伏した．

参考文献：1)奥村，石沢：薄板構造ラーメン隅角部の応力計算について

て，土木学会論文集，No.153，1968，2)玉越，中洲，石尾，木内：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解析を用いた解析法の検討～，国土技術政策総合研究所資料，No.296，2006

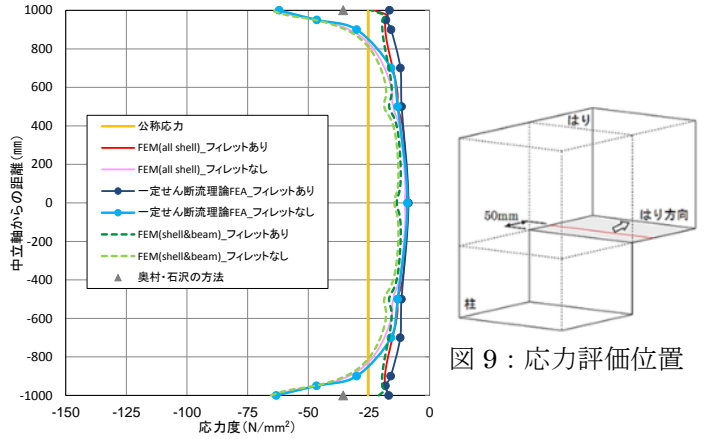


図 8：柱フランジ軸方向応力分布比較

表 2：はり下フランジ最大応力比較

	公称応力 (N/mm <sup>2</sup> )	最大応力(N/mm <sup>2</sup> )	
		フィレット有り	フィレット無し
FEM解析(all shell)	-32.91	-22.93	-63.62
一定せん断流理論FEA		-18.16	-63.17
FEM解析(shell&beam)		-24.01	-65.23
奥村・石沢の方法		—	-35.58

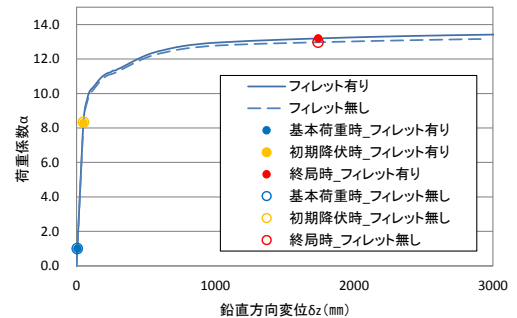


図 10：荷重変位関係

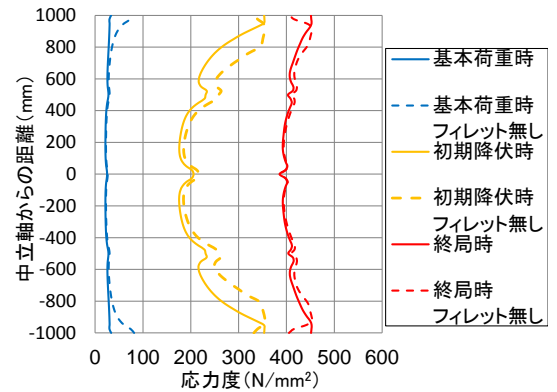


図 11：荷重変位関係

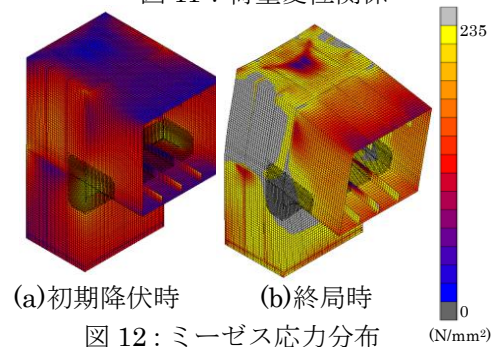


図 12：ミーゼス応力分布