

鋼製門型ラーメン橋脚隅角部の弾塑性挙動と終局強度

JFE スチール株式会社 正会員 ○若山萌美

首都大学東京 フェロー会員 野上邦栄

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。その中で、鋼製橋脚隅角部は、せん断遅れ現象等により生じる局所的な応力が設計に適用されるため、施工性や経済性の面で合理的な断面設計から乖離している。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ラーメン橋脚隅角部を取り上げ、合理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、まず、隅角部特有の構造細目の一つであるフィレットの形状、および橋脚の初期不整に着目し、それらが耐荷力に及ぼす影響について検討を行うとともに、鋼製ラーメン橋脚の崩壊モードを明らかにする。さらに、フィレット構造の耐荷力について評価を行う。

2. 対象とした鋼製橋脚

対象とした鋼製橋脚は、Model I～IIIの門型一層ラーメン橋脚である。一例として、図1にCase I 橋脚¹⁾を示す。また、その断面諸元を表1に示す。荷重条件は、はり中央部の集中荷重 4096kN を基本荷重とし、基本荷重を漸増載荷する。なお、紙面の都合上、ここでは Model I 橋脚について述べる。

3. 解析手法

解析には、汎用弾塑性有限変位解析ソフトウェア MARC2011 を用いる。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する。荷力解析を行う際の構成則は、ヤング率 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する。なお、非線形数値計算には弧長増分法と Newton-Raphson 法を適用する。

4. 解析パラメータ

解析パラメータとして、フィレット形状および初期不整（初期たわみおよび残留応力）を橋脚に設定する。フィレット形状は、フィレットの突出比 P （フィレットの突出長 W とはりフランジの高さ b との比）をパラメータとし、0%、10%、20%を設定する。また、初期たわみとしては、柱、板、フィレットのたわみを考慮する。ただし、柱のたわみについては、道路橋示方書²⁾より、正弦半波形状を仮定し、柱の曲がり δ に $L/1000$ (L : 測線長) を与え、板の初期たわみについては、板の曲がり δ に $d/150$ (d : ウェブ高さ) あるいは $b/150$ (b : フランジ幅) を与える。また、フィレットのたわみについては、フィレットの曲がり δ に $l_{fl}/50$ あるいは $l_{fl}/100$ (l_{fl} : フィレット自由辺長) を与える。たわみ形状としては、図2に示すような正弦波を入力する。また、残留応力は、理想的直線分布を仮定し、引張応力として $1.0\sigma_y$ 、圧縮応力として $0.25\sigma_y$ (σ_y : 降伏応力) を入力する。

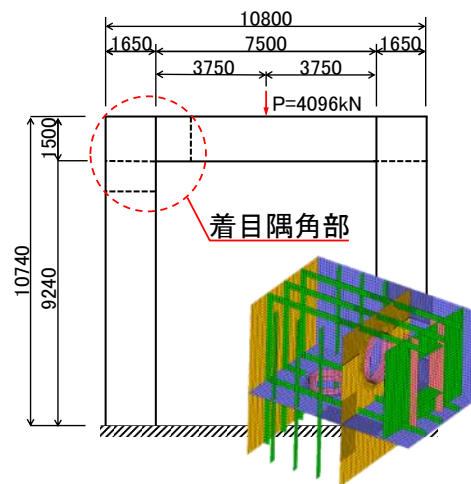


図1：着目隅角部（Model I 橋脚）

表1：断面緒元（Model I 橋脚）

部材		フランジ		ウェブ		リブ		面積A m ²	断面二次 モーメントI m ⁴
		幅 mm	厚 mm	幅 mm	厚 mm	幅 mm	厚 mm		
はり	隅角部	1800	15	1500	15	120	12	1.08×10^{-1}	4.53×10^{-2}
	一般部	1800	13	1500	12	120	12	9.14×10^{-2}	3.77×10^{-2}
柱	隅角部	1800	32	1650	15	120	12	1.82×10^{-1}	9.88×10^{-2}
	一般部	1800	25	1650	15	120	12	1.57×10^{-1}	8.04×10^{-2}

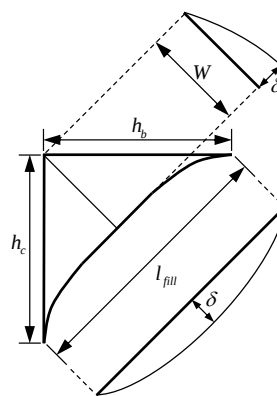
ヤング率 E (N/mm²): 2.05×10^5 ポアソン比 ν : 0.3

図2：フィレットの初期たわみ

キーワード：鋼製橋脚，隅角部，FEM 解析，フィレット

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

5. 終局強度特性と崩壊モード

Model I 橋脚のフィレットの初期たわみが耐荷力に及ぼす影響について示す。解析結果として、荷重-変位関係を図3、最大荷重の比較を図4に示す。解析結果より、フィレットの突出比に関わらず、フィレットに初期たわみを入れても最大荷重の差は1%以内に収まり、その影響は極めて小さいと言える。一方で、突出比が大きい、つまりフィレットの面積がより大きい場合の方が、初期たわみの影響も大きくなることも分かった。

また、各条件モデルの崩壊モードについて考察する。ここでは、フィレット有り突出比 $P=10\%$ 、初期たわみがない場合の崩壊モードを示す。まず、基本荷重時に着目すると、フィレットの擦付半径の始点付近で最も高い応力を示し、初期降伏時には図5(a)のように、フィレットのほぼ全域が降伏することで、橋脚全体の初期降伏を向えることが分かる。また、終局時に着目すると、図5(b)に示すように、フィレットおよびはりのウェブ、応力集中部である柱およびはり上フランジの一部、隅角部コーナー部の柱ウェブの一部が降伏する。また、図5(c)のように、はりウェブでせん断座屈が生じているのが特徴的である。なお、これらの傾向はフィレット無しモデルにおいても、同様の傾向を示す。

6. フィレットの耐荷力

フィレットは、はりと柱から同時に力を受けるため、載荷荷重とフィレットに作用する応力の直接的な関係を求めるのは難しい。そこでここでは、フィレット境界辺における、モデル上での各節点の応力を算出し、それらを平均化したものをフィレットの応力と定義する。フィレットの最大応力を降伏応力で無次元化したものと、フィレットの幅厚比の関係を図6に示す。図6より、フィレットの幅厚比が30を上回ると、フィレットの耐荷力が低下する。

7. 結論

本研究で得られた主な成果を以下にまとめる。

- 1) フィレットの形状および初期不整が鋼製門型ラーメン橋脚の終局強度に及ぼす影響は小さい。
- 2) 鋼製門型ラーメン後脚隅角部の終局強度特性およびその崩壊モードを明らかにした。
- 3) 本研究で対象とした鋼製門型ラーメン橋脚は、はりウェブのせん断座屈等により、終局を向える。
- 4) フィレットの耐荷力は、幅厚比が30を上回ると低下する。

参考文献：1)玉越ら：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 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，2012.3

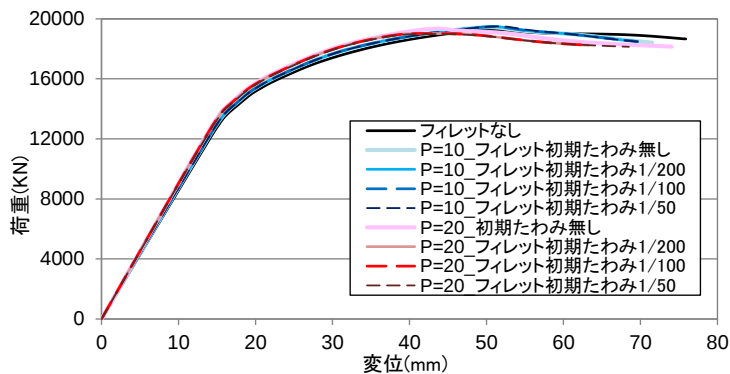


図3：荷重 - 変位関係 (Model I)

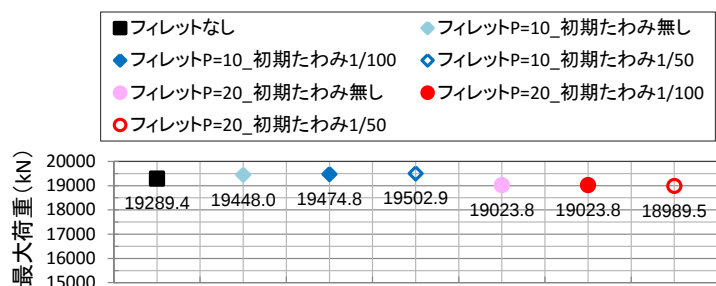


図4：最大荷重比較 (Model I)

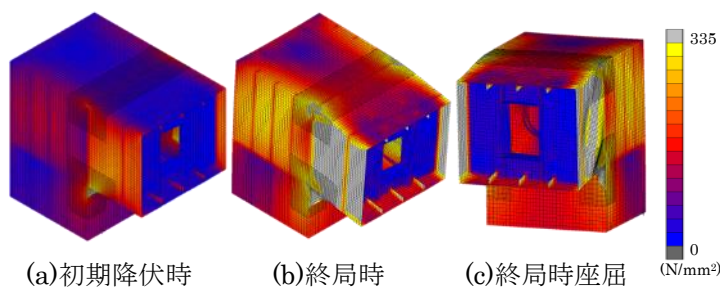


図5：ミーゼス応力分布 (Model I)

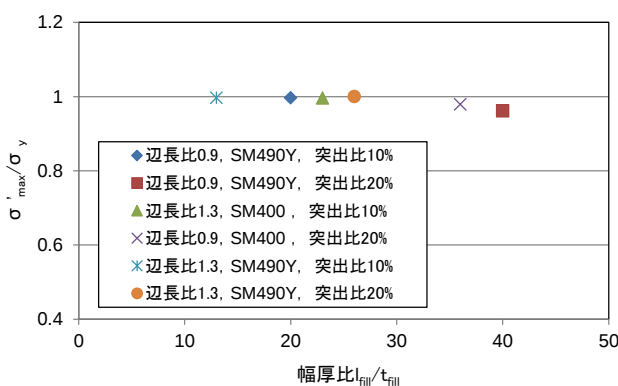


図6：フィレットの耐荷力分布