

# 鋼製円形橋脚の隅角部に関する研究

東京電機大学 学生員 田口雄介  
東京電機大学 正会員 井浦雅司

## 1. はじめに

鋼製ラーメン構造物に関する研究は、柱と梁が矩形断面の場合には数多く報告されているものの、柱が円管の場合には、奥村・石沢の研究<sup>1)</sup>や首都高速道路公団の研究<sup>2)</sup>により報告されているが、その数は少なく、いまだ検討の余地が残されている。本報告では、矩形梁が円形橋脚に埋め込まれるタイプのラーメン構造について実験を行い、ラーメン構造の最大耐力の推定、パネル耐力比による座屈形状の分類、および梁・柱の応力分布について考察する。また、汎用有限要素法プログラムNASTRANにより得られた解析結果と実験結果を比較検討する事を目的とする。

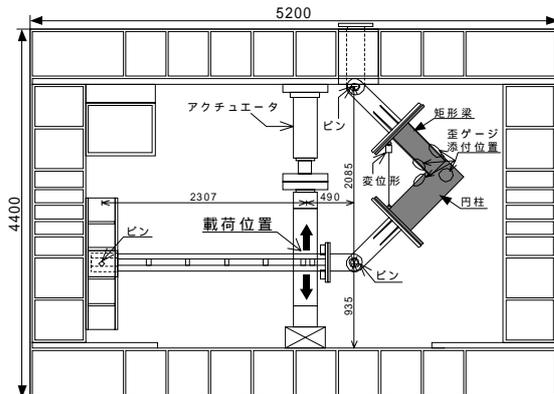


図-1(a) 全体図(mm)

## 2. 実験概要

実験装置の全体図、供試体を図-1(a)(b)に示す。載荷方法は、50tfアクチュエータを用いて変位制御により正負漸増一回繰返載荷した。基準変位は、実験で測定している耐力が、予想降伏耐力に達する時の変位である。図-1(b)に示すように、梁と柱部材が直角に交差するL型の鋼製隅角部を、表-1に示す材料諸元で計5体作製した。供試体の断面は、柱を直径360mmの円管とし、梁はフランジ幅が290mm、ウェブ幅が表-1に示すような供試体毎に異なる箱形である。

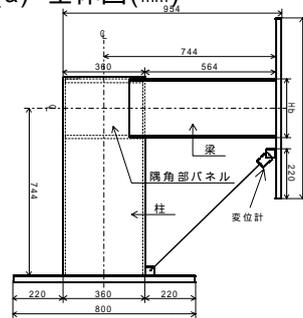


図-1(b) 供試体(mm)

表-1 材料諸元

供試体 No.	板厚(cm)			梁ウェブ幅 Hb(cm)
	柱	梁フランジ	梁ウェブ	
No.1	0.44	0.87	0.62	19
No.2	0.44	0.87	0.62	23
No.3	0.58	0.87	0.62	27
No.4	0.58	0.87	0.62	31
No.5	0.86	0.87	0.62	26

表-2 材料定数

供試体 No.	円柱			矩形梁フランジ			矩形梁ウェブ		
	ヤング率 *10 <sup>6</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	降伏応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ポアソン比	ヤング率 *10 <sup>6</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	降伏応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ポアソン比	ヤング率 *10 <sup>6</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	降伏応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ポアソン比
No.1	2.00	3150	0.285	1.97	3081	0.283	2.00	2960	0.298
No.2	2.00	3150	0.285	1.97	3081	0.283	2.00	2960	0.298
No.3	1.93	3210	0.290	1.97	3081	0.283	2.00	2960	0.298
No.4	1.93	3210	0.290	1.97	3081	0.283	2.00	2960	0.298
No.5	1.96	3189	0.288	1.97	3081	0.283	2.00	2960	0.298

## 3. 解析概要

本実験供試体とほぼ同一寸法の解析モデルを用いて、汎用有限要素法プログラムNASTRANにより数値解析を行う。応力-歪関係は、実験素材の引張試験結果に基づき、多角形曲線近似とした。硬化則は複合硬化則とし、初期不整、残留応力は無視した。その他の材料特性は表-2の値を用いた。

## 4. 実験結果及び解析結果

### 4.1 最大耐力

最大耐力と座屈発生ループを表-3に、また縦軸に実験における最大耐力Pmaxを降伏耐力Pyで無次元化したPmax/Pyを取り、横軸に最大耐力時の変位 maxを降伏変位 yで無次元化した max/ yの包絡線を図-2に示す。図-2より、No.1～4で無次元耐力が異なっていないものの、ほぼ同様の傾向が見られるのに対し、No.5では、無次元最大耐力後の耐力低下が著しく、これは梁の局部座屈による影響と考えられる。

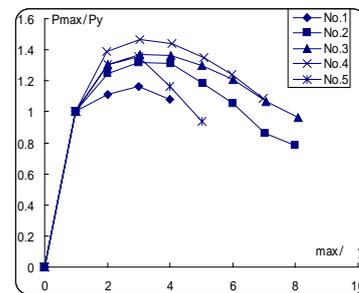


図-2 包絡線

### 4.2 最大耐力推定

ここでは、式(1)、(2)、(3)に示す鈴木、石澤、井浦の研究<sup>3)</sup>により提案されている最大耐力推定パラメータにより最大耐力(Pmax)を推定した。パネルの耐力(cQp)は、文献4)を参考にして、式(4)より求めた。

$$M^* = \frac{P_{max} \cdot h}{E \cdot t^3 \sqrt{1-n^*}} \dots (1) \quad Z^* = \frac{Z \cdot \sigma_y}{E \cdot t^3 \sqrt{1-n^*}} \dots (2) \quad M^* = 1.1438(Z^*)^{0.9923} \dots (3) \quad cQ_p = 2D_m \cdot t \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \dots (4)$$

キーワード: joint panel, cylindrical shell, local buckling

〒350-0311 埼玉県比企郡鳩山町大字石坂 tell(0492)96-2911

ここで、 $Z$ :塑性断面係数、 $n$ :軸力比、 $t$ :等価板厚、 $D$ :柱平均直径( $=D-t$ )、 $t$ :柱板厚、 $\sigma_y$ :鋼管素材の降伏応力である。なお本報告では軸力比は考慮していない。上式による最大耐力を表-3に示すが、実験による最大耐力は、予想最大耐力(梁、柱、パネルの内最も低い値)よりかなり高い値であることがわかる。また供試体 No.2 ~ 5 では、表-3で示すように、予想最大耐力の小さい値の部材が座屈していることがわかる。

表-3 最大耐力,座屈モード

供試体 No.	最大耐力(KN)			予想最大耐力			座屈モード	座屈発生ループ
	+ループ	-ループ	-ループ	梁	柱	パネル		
No.1	125	-142		113	116	84	柱・接合部溶接割れ	3
No.2	150	-165		144	116	107	柱局部・せん断座屈	3
No.3	215	-239		176	158	179	柱局部・せん断座屈	3
No.4	231	-257		210	158	216	柱局部・せん断座屈	3
No.5	281	-304		168	230	247	梁局部座屈	4

4.3 パネル耐力比( $R_p$ )

実験供試体の座屈モードをパネル耐力比<sup>4)</sup>(以後、 $R_p$ と略す)を用いて調べる。この $R_p$ は式(5)で与えられ、梁あるいは柱部材の全塑性モーメントに対するパネル降伏モーメントの比で与えられる。ここで、 $pMp$ はパネル降伏モーメントであり、式(4)のパネル全塑性耐力( $cQp$ )に梁ウェブ中心間距離を掛けた。 $R_p$ をパラメータとして、奥村ら<sup>1)</sup>と首都高速道路公団<sup>2)</sup>、および本実験の座屈パターンを整理した結果を図-3に示す。同図より、 $R_p=0.7$ 以下でせん断座屈が現れ、 $R_p=0.7 \sim 1.15$ でパネルのせん断座屈と柱・梁の局部座屈が連成し、 $R_p=1.15$ 以上で柱・梁の局部座屈となることがわかった。

$$R_p = \frac{PMP}{\min[CMP, BMP]} \dots (5)$$



図-3 パネル耐力比,座屈モード

4.4 梁上フランジ応力分布

梁上フランジの応力分布について考察する。供試体No.2について、円管と梁との接合部付近における梁の軸方向直角断面上におけるフランジの応力分布を図-4に示す。図より実験と解析結果は、同様の傾向を示しており、通常言われてるせん断遅れでなく、むしろせん断進み現象が観察されている。一方、円管と梁との接合部付近における梁フランジの応力分布を図-5に示す。文献1)に指摘されてるように、ここではせん断遅れの現象が見られる。

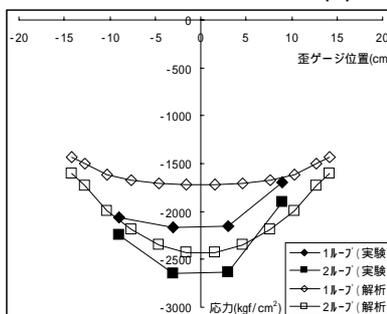


図-4 梁上フランジ応力分布

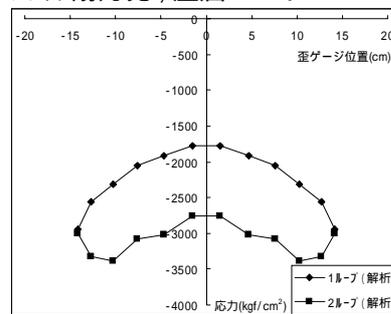


図-5 梁上フランジ円周方向応力分布

4.5 隅角部パネルでの主歪

図-6(a)(b)は供試体No.2, No.5の隅角部パネルにおける主歪方向と主歪を示している。なおこれらの値は、最大耐力を迎えた次のループにおけるものである。パネル部分で座屈した供試体No.2の主歪が大きく、梁で座屈した供試体No.5の主歪が、かなり小さいことがわかる。

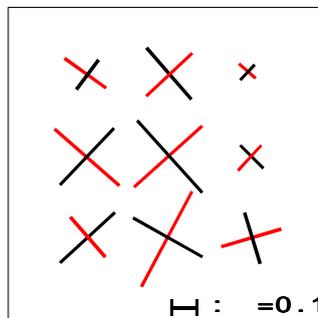


図 6(a) No.2 パネル 主歪方向分布

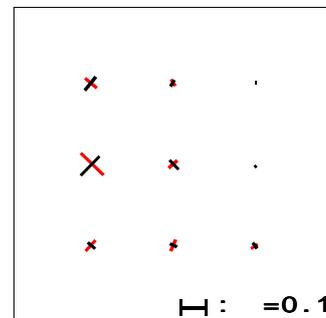


図-6(b) No.5 パネル 主歪方向分布

5. まとめ

本報告では、円形橋脚と矩形梁からなるラーメン構造について繰返実験を行い、その挙動特性について検討した。得られた結果を以下に要約する。

- (1) 予想最大耐力は、実験による最大耐力よりかなり小さい値であるが、座屈パターンを推定できることがわかった。
- (2) パネル耐力比( $R_p$ )により、座屈モードを分類することができた。
- (3) 梁の軸直角断面上におけるフランジの応力分布では、せん断遅れではなく、せん断進み現象が見られた。

参考文献

- 1) 奥村敏恵, 石沢成夫: 薄板構造ラーメン隅角部の応力計算について, 土木学会論文集, No.153, pp.1-16, 1968
- 2) 木暮深, 増井隆, 宇都宮紳三, 田中祐人: 鋼製円形橋脚の隅角部に関する実験的研究(その1, 2), 土木学会第48回年次学術講演概要集, -455 ~ 456, 1993年9月
- 3) 鈴木賢治, 石澤俊希, 井浦雅司: 矩形断面鋼製橋脚柱の最大耐力推定法, 土木学会論文集, No.111/ -11, 1998年12月
- 4) 難波尚, 田淵基嗣, 田中剛: 円形鋼管柱・梁接合部パネルの弾塑性挙動に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第518号, pp95-102, 1999年4月