

愛知工業大学 学生員 長谷川 桂
 愛知工業大学 正員 青木 徹彦
 瀧上工業(株) 正員 安藤 浩吉

1. はじめに

都市高架道路の橋脚構造として多用されている鋼製門形ラーメン橋脚は、巨大地震時においても道路機能を確保するために崩壊してはならない。本研究では、地震時に最も大きな断面力が作用する可能性のある隅角部の挙動について載荷実験を行う。柱部は矩形および円形断面柱とし、静的および繰り返し載荷を行い、終局強度を求めるとともに、強度-変形特性を実験的に明らかにし、鋼製橋脚の耐震設計を合理的に行うための基本的資料を提供することを主な目的とする。

2. 実験計画および実験方法

実験供試体の材質はすべてSS400とし、はり、柱部が直角に交差するL形の隅角部モデルをつくる。はり部の形状は、フランジが幅400mm、板厚9mmで、ウェブが幅480mm、板厚6mmの箱形断面とする。柱部の形状は、矩形断面柱モデル(REC)はフランジと同様で、断面積 $A=129.6\text{ cm}^2$ 、断面2次モーメント $I=54100\text{ cm}^4$ 、無次元化幅厚比 $R=0.79$ とする。円形断面柱モデル(CIR)は直径558.8mm、板厚9.5mmの鋼管で、 $A=163.9\text{ cm}^2$ 、 $I=61850\text{ cm}^4$ とする。Fig. 1に示すようにはり、柱部をピン支持とし、300tf長柱試験機を用いて柱断面が矩形(REC-C)、円形(CIR-C)各1体は単調圧縮載荷実験、矩形(REC-T)1体は単調引張載荷実験、そして矩形(REC-R)、円形(CIR-R)各1体は繰り返し載荷実験を行う。

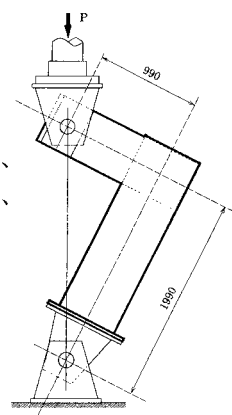
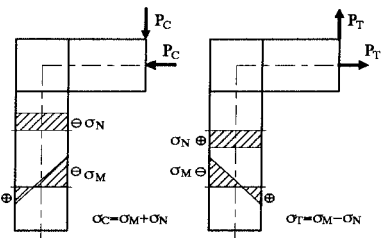


Fig. 1 Test Setup

(a) 降伏荷重の計算 予想降伏荷重 P_y は圧縮載荷と引張載荷で異なる。すなわち、降伏荷重はFig. 2に示すように、柱部の圧縮側フランジ(圧縮載荷時は隅角部内側、引張載荷時は外側)が降伏応力 α_y となる荷重より求める。フランジ応力は圧縮載荷の場合(σ_c)は柱の内側で曲げ圧縮応力 σ_M と一様軸圧縮応力 σ_N との和、引張載荷の場合(σ_T)は柱の外側でこれらの差となる。このようにして求めた降伏荷重 P_y をTable 1に示す。

(b) 単調圧縮および単調引張載荷 単調圧縮載荷では、圧縮方向に予想降伏荷重 P_y まで5tf刻みで荷重制御を行い、降伏荷重付近から変位制御をする。単調引張載荷では、引張方向に単調圧縮載荷と同様の制御法で行う。

(c) 繰り返し載荷 圧縮方向から載荷を始め変位制御で行う。圧縮側のみ3サイクルごとに降伏変位 δ_y ずつピン支承間変位が進むように載荷し、最大荷重到達後は最大荷重の1/2に達するまで繰り返し載荷を行う。引張側は、降伏変位 δ_y まで強制変位を与える。実験での δ_y は1サイクル目の隅角部最大ひずみ点のひずみが素材試験で得られた降伏ひずみ ϵ_y に達したときのピン支承間変位とした(δ_y はREC-R, CIR-Rに対してそれぞれ12.1mm, 11.2mm)。



(a) Compression (b) Tension

Fig. 2 Calculation of Yield Strength (P_y)

3. 実験結果および考察

(1) 素材引張試験 矩形断面柱フランジ材料の降伏応力は $\alpha_y=2599\text{ kgf/cm}^2$ 、鋼管柱材料では $\alpha_y=3608\text{ kgf/cm}^2$ であった。

(2) 最大荷重の比較 Table 2に単調載荷による各供試体の最大荷

Table 1 Theoretical Value of Yielding Load

	Compression (tf)	Tension (tf)
REC	60.3	76.7
CIR	96.5	118.2

重を示す。矩形断面供試体では、載荷荷重は圧縮載荷 (REC-C) より引張載荷 (REC-T) の方が約 31% 高い値となった。またこの時の圧縮側フランジの最大荷重時の応力は、単調圧縮載荷より単調引張載荷の方が約 3% 高い値となった。

(3) 単調載荷の荷重-変位の関係 単調圧縮および単調引張載荷の荷重 P 、変位 δ をそれぞれ降伏荷重 P_y 、降伏変位 δ_y で無次元化した $P/P_y - \delta/\delta_y$ の関係を Fig. 3 に示す。無次元化に用いる δ_y は実験による荷重-変位曲線の弾性部分の直線から P_y に対応する値として求めた。同図より、単調圧縮載荷 (REC-C) は最大荷重後の荷重低下が大きい。これは、隅角部内側の圧縮フランジの応力集中により早期に局部座屈を生じたためであると考えられる。一方、単調引張載荷 (REC-T) は最大荷重後の荷重低下が REC-C よりも緩やかである。これは、外側圧縮フランジに応力集中がほとんどなく、応力分散により局部座屈の発生が遅れたためであると考えられる。また、CIR-C は円形断面の柱部ではなく矩形断面のはり部が座屈したために REC-C と同様の荷重-変位特性が得られた。

(4) 繰り返し載荷の荷重-変位の関係 繰り返し載荷を行った REC-R、CIR-R の $P/P_y - \delta/\delta_y$ 関係を Fig. 4 (a), (b) に示す。矩形断面柱の繰り返し載荷 (REC-R) の場合、圧縮載荷の 1 サイクル目と REC-C の最大荷重が同じになり、4 サイクル目に静的最大荷重の約 1.2 倍の最大荷重 $P_u = 80.5 \text{ tf}$ ($P_u/P_y = 1.33$, $P_u/A = 621 \text{ kgf/cm}^2$) を得た。これは、圧縮載荷時に内側フランジに早期に座屈が生じたものの、引張載荷時に圧縮座屈変形がもとに戻され、またひずみ硬化の影響などにより強度が上昇したためと考えられる。

円形断面柱 (CIR-R) では、静的載荷でははり部の方が早く座屈したために、はり部に板を溶接し鋼管部より強くした後、繰り返し載荷を行った。Fig. 4 (b) に示すように、繰り返し載荷による耐力の低下は緩やかで、ねばり強い変形特性が見られた。圧縮最大荷重は $P_u = 126.5 \text{ tf}$ ($P_u/P_y = 1.31$, $P_u/A = 772 \text{ kgf/cm}^2$) で、矩形断面柱 (REC-R) の約 1.6 倍 (柱断面積あたりでは約 1.2 倍) であった。

4. まとめ

矩形断面柱の単調圧縮および単調引張載荷の比較の結果、両最大荷重時の圧縮側フランジの応力はほぼ等しい値となったが、圧縮載荷と引張載荷の荷重-変形特性に大きな違いが現れ、引張載荷の方が大きな変形能力が得られた。矩形断面柱と円形断面柱の繰り返し載荷の比較の結果、耐力の低下は円形断面柱の方が矩形断面柱より緩やかで、ねばり強い変形特性が見られた。

なお、本研究の費用の一部には、日東学術財団からの研究助成金をあてた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 山田、青木、安藤：鋼製八角形断面柱を有する ...；土木学会第 49 回年次講演会概要集 1-90 / 1994.
- 2) 黄、西村、高津：鋼製ラーメン橋脚隅角部の強度と変形能に関する ...；構造工学論文集 Vol. 40A / 1993.

Table 2 Maximum Load

Specimen	P_u (tf)	P_y (tf)	P_u / P_y	σ_α (kgf/cm ²)	δ_y (mm)
REC-C	66.9	60.3	1.11	2887	8.7
REC-T	87.9	76.7	1.15	2978	10.7
CIR-C	103.5	96.5	1.07	3877	10.4

P_u : Maximum Load P_y : Expected Yield Load
 σ_α : Stress of Compressive Flange at Maximum Load
 δ_y : Yield Displacement (Calculated Value)

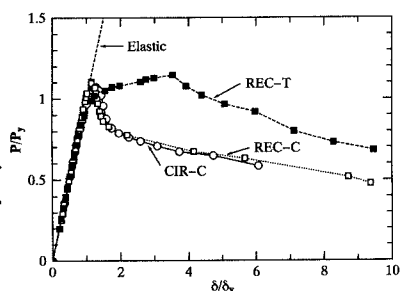
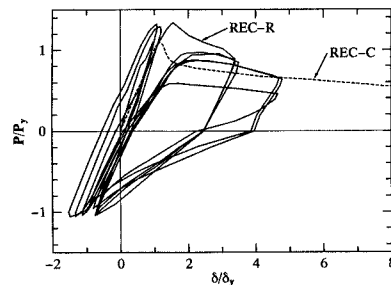
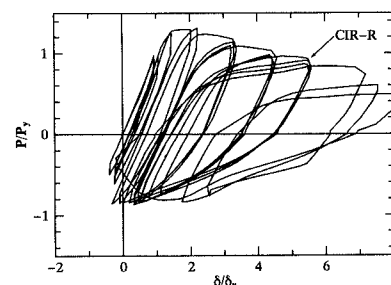


Fig. 3 Relation between Load and Displacement for Static Loading



(a) REC-R



(b) CIR-R

Fig. 4 Relation between Load and Displacement for Repeated Loading