矩形断面鋼管柱の静的２方向載荷実験

（株）鴻池組　　正会員　○水谷　圭吾
名古屋工業大学　　正会員　　小畑　誠　正会員　　後藤　芳顯

1. はじめに

鋼構造物の耐震性能をより正確に把握するため，地震外力の1方向成分のみでなく，2方向成分の連成を考慮する必要性が既に指摘されている [1]. しかしながら2方向載荷に対する実験データの蓄積は十分ではなく，鋼製橋脚の激震時の挙動についてもほとんどデータがないのが現状である. 著者らは3次元載荷装置 [2]を用いて円形断面柱については既に詳細な実験および解析的研究を行っているが [3]，本研究では鋼製橋脚に用いられる矩形断面鋼管柱の静的載荷実験を行い，2方向載荷時の耐震性能について検討する.

2. 実験の概要

使用した3次元載荷装置では，簡易で正確な3次元制御を可能にするためのボールジョイントと載荷点の3次元変位を精密に計測する立体変位計を用いている. 実験供試体を図1に示す矩形断面鋼管柱である. 内部は各補剛板中央に配置した縦リブ及びダイヤフラムで補剛され，コンクリート無充填の中空鋼管である. 縦リブ高さ r_h を 30, 40, 50mm としリブ剛度 γ/γ^* が 1.2, 2.5, 4.8 の各種類 2 体ずつ計 6 体の供試体を製作した. 表 1 に供試体諸元を示す.

載荷パターンは供試体頂部に死荷重を想定した軸力比 0.15 の一定軸力を載荷し，1方向載荷は振幅を漸増させる1方向繰り返しとした. 一方，2方向載荷は矩形断面柱に最も厳しい載荷履歴と思われる振幅を漸増させるダイアモンド型とした（図 2）. 1方向繰り返し，2方向繰り返し載荷（ダイアモンド型繰り返し載荷）ともに変位振幅増分量は x 方向の降伏変位 δ_0 の整数倍とした.

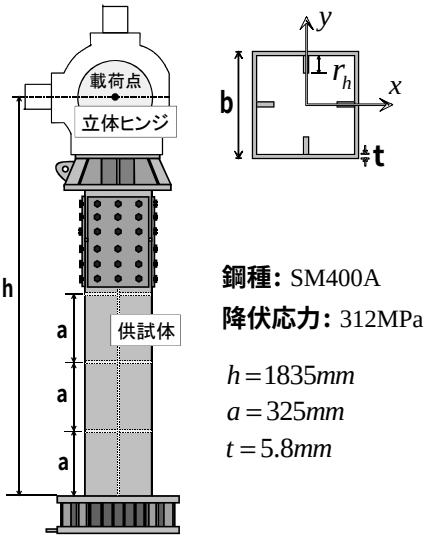


図 1　実験供試体

表 1　供試体諸元

供試体	R30-1,2	R40-1,2	R50-1,2
補剛板全幅(b)	300		
リブ高さ(r_h)	30	40	50
幅圧比パラメータ(R_R)	0.53		
縦リブ剛度(γ/γ^*)	1.2	2.5	4.8
細長比パラメータ	0.38		

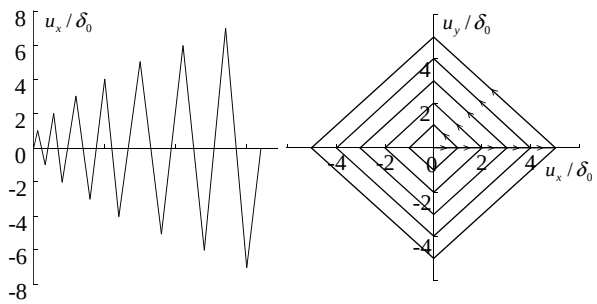
3. 実験結果及び考察

(a) 荷重変位関係

図3に剛度 $\gamma/\gamma^*=1.2$ の供試体に対する1軸および2方向載荷の水平荷重－水平変位および水平変位鉛直変位の関係を示す. 図4は $\gamma/\gamma^*=4.8$ の供試体の実験終了後の局部座屈の様子である. また図5に1方向と，2方向り返しの y 方向水平荷重－水平変位関係より求められた包絡線の比較を示す. 図5より2方向載荷では，全ての供試体において1方向載荷に較べ最大荷重が低下し，最大荷重時の変位も1方向載荷に較べ，ほぼ $1\delta_0$ 分小さくなっていることがわかる. そして最大荷重後の荷重低下も顕著である.

(b) 座屈モード

従来実験的に縦リブ剛度 γ/γ^* が 3～5 の場合に縦リブを節とする座屈モードが生じるといわれている. 本実験でも縦リブ剛度 $\gamma/\gamma^*\geq 3$ となる RT50-1,2 の供試体において，1方向，2方向載荷ともに縦リブ位置を節とする座屈モードが生じた.（図4）そして $\gamma/\gamma^*<3$ の RT30-1,2 および RT40-1,2 では載荷パターンに関係なくパネル全体が座屈した.



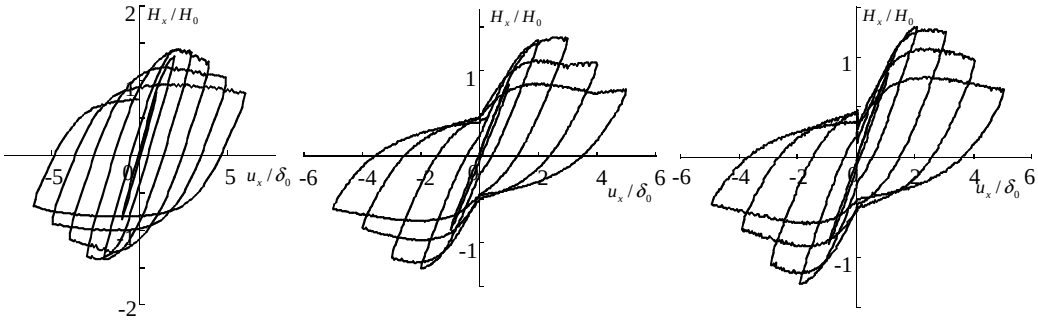
(a) 1 方向繰返載荷　　(b)ダイアモンド型載荷

図 2　載荷パターン

(c) リブ剛度 γ/γ^* の影響

実験より得られた履歴挙動をもとに履歴特性値 H_m/H_0，δ_m/δ_0 δ_{95}/δ_0 を定義し，幅厚比パラメータ γ/γ^* との関係を図6に示す.

キーワード：2 方向繰載荷実験，繰り返し載荷実験，鋼製橋脚，橋脚の耐震
連絡先　　〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学



(a) 1方向載荷　(b) 2方向載荷(x 方向)　(c) 2方向載荷(y 方向)

図 3　荷重変位曲線(R30　$\gamma/\gamma^*=1.2$)

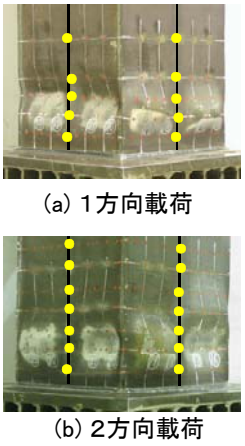


図 4 局部座屈の様子
(RT40　$\gamma/\gamma^*=4.5$)

なお，H_m は最大荷重，δ_m は最大荷重時の変位量，δ_{95} は荷重が最大荷重時に対し 95%まで低下したときの変位量である．1方向載荷では剛度 γ/γ^* が小さいほど最大荷重，変形能ともに低下している．しかしながら2方向載荷では，剛度の変化は最大荷重，変形能に対する影響がほとんど見られない．供試体基部の座屈モードそのものは1軸載荷も2方向載荷もほぼ同じでありこの原因については検討を要する．

(d) 吸収エネルギ

耐震設計において使われることが多い吸収エネルギについて考える．用いる吸収エネルギの定義は次式に示す．

$$A_E=\int H_x du_x+\int H_y du_y,\quad A_{E0}=0.5H_0\delta_0$$ (弾性範囲内)

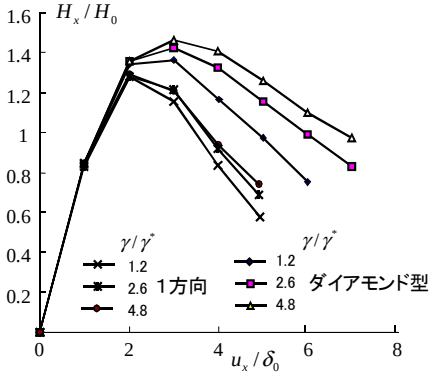
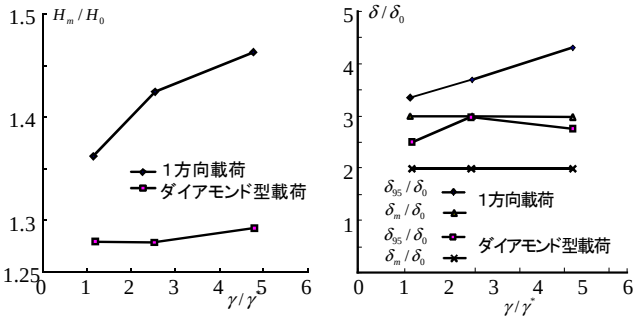


図 5　荷重変位曲線の包絡線

図 7 に吸収エネルギと水平復元力の絶対値 $H=\sqrt{H_x^2+H_y^2}$ の関係を示した．2方向載荷は1方向載荷に較べ，全ての供試体において同じ吸収エネルギレベルでの荷重が低くなっている．また，2方向載荷にかぎるが $\gamma/\gamma^*=1.2$ と 2.5 の場合にはその差は非常に小さいものになり，リブ剛度の影響は小さいものになっている．

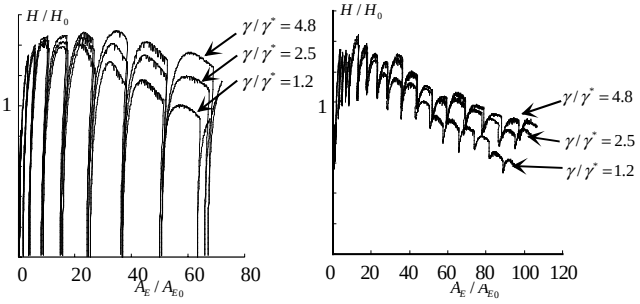


(a) 最大荷重　(b) 最大荷重時の変位

図 6 リブ剛度と履歴特性値

5. まとめ

縦リブ剛度の異なる矩形断面鋼管柱に対して2方向載荷実験を行い，その影響を検討した．2方向載荷においても縦リブ剛度が $\gamma/\gamma^*\geq 3$ のときには1方向載荷と同様縦リブ位置を節とする座屈モードとなる傾向を示した．しかし2方向載荷においては剛度 γ/γ^* が最大荷重，変形能，エネルギ吸収能に及ぼす影響は1方向載荷の場合にくらべ小さいことがあきらかになった．



(a) 1方向載荷　(b) 2方向載荷

図 7　吸収エネルギと復元力の関係

参考文献

1) Watanabe, E., Sugiura, K., and Oyawa, W. O., J. Struct. Mech./Earthquake Engrg., JSCE, No. 647/I-51, 2000
2) 小畑誠，後藤芳顯，土木学会論文集，No.752/I-66, pp.253-266, 2004
3) 後藤芳顯，江坤生，小畑誠，土木学会論文集，No.780/I-70,pp.181-198,2005