

## 板厚テーパ補剛箱形断面柱の繰り返し弾塑性挙動に関する実験的研究

福山大学 正会員 上野谷 実 福山大学 正会員 中村 雅樹  
日本鋼管(株) 山本 定弘 ○(株)カナコン 正会員 佐屋 裕之

## 1. まえがき

鋼製橋脚の耐震性能を向上させる方法として、塑性化の予想される箇所において、部材軸方向に板厚の変化するテーパ部材の適用が考えられる。テーパの度合いは作用曲げモーメントと抵抗曲げモーメントの分布が等しくなるよう工夫して、塑性変形が広範囲に発生するようにする。これにより、塑性変形が一断面へ集中することを防ぎ、局部座屈による耐荷力の低下が遅延して、構造物の耐震性能の向上が期待される。本研究では、繰り返し水平荷重を受ける板厚テーパ補剛箱形断面柱の載荷実験を行い、塑性域の広がり、強度、塑性変形性能、エネルギー吸収性能などについて考察する。

## 2. 実験概要

図-1に実験供試体を示す。供試体は全高さ 2250mm の5パネルからなる正方形箱形断面柱であり、テーパ部分は高さ 1350mm の3パネルである。基部の断面形状は 450×450mm で、補剛リブ (60×6mm) はパネル幅を3分割するように配置されている。繰り返し載荷の供試体は TPRC9-6 (板厚変化 9→6mm), TPRC9-5 (9→5mm), TPRC12-6 (12→6mm) であり、単調載荷の供試体は TPRM9-6 (9→6mm) である。載荷実験は一定鉛直荷重のもとで水平荷重を変位制御で行った。

供試体基部が鉛直荷重と水平荷重により降伏するときの載荷点における水平変位を降伏水平変位  $\delta_{yt}$  とし、はり理論により次式(1)~(4)から求める。そして剛体回転による水平変位を  $\delta_{yt}$  に加えて、実験に使用する降伏水平変位を  $\delta_y$  とする。図-2の載荷サイクルに示すように、強制変位はこの  $\delta_y$  を  $\pm 1 \delta_y$ ,  $\pm 2 \delta_y$ ,  $\pm 3 \delta_y$ , ... のように漸増して載荷される。表-1に供試体の諸元を示す。

$$P_y = \sigma_y A \quad (1) \quad N = 0.15P_y \quad (2) \quad H_y = \left( \sigma_y - \frac{N}{A} \right) \frac{W}{h} \quad (3) \quad \delta_{yt} = \frac{H_y h^3}{375 E} \left( \frac{61}{I_1} + \frac{37}{I_2} + \frac{19}{I_3} + \frac{8}{I_4} \right) \quad (4) \quad \eta = \frac{h}{l} \left( 1 - \frac{M_{yU}}{M_{yL}} \right) \quad (5)$$

ここに、 $\sigma_y$ : 降伏応力,  $A$ : 基部の断面積,  $N$ : 鉛直荷重,  $H_y$ : 降伏水平荷重,  $W$ : 基部の断面係数,  $h$ : 供試体高さ,  $E$ : 弾性係数,  $\delta_{yt}$ : はり理論による降伏水平変位,  $\delta_y$ : 実験に用いた降伏水平変位,  $I_1 \sim I_4$ : 各パネル中央の断面2次モーメント,  $\eta$ : テーパ率,  $l$ : テーパ部分の高さ,  $M_{yU}, M_{yL}$ : 一定軸力を考慮したテーパ部分の上下端断面の降伏モーメントである。

## 3. 実験結果および考察

図-2に TPRC12-6 のテーパ部分の圧縮側フランジにおけるひずみ分布を示す。縦軸は基部からひずみゲージ位置までの距離  $x$  を供試体全高さ  $h$  で、横軸は直ひずみ  $\varepsilon$  を降伏ひずみ  $\varepsilon_y$  で無次元化している。本供試体は  $1 \delta_y$  までほぼ一様圧縮応力分布であり、 $1 \delta_y$  において、ほぼ全域が降伏している。他の供試体におい

キーワード: 箱形断面柱, 板厚テーパ, 繰り返し載荷, 塑性変形性能, エネルギー吸収性能

連絡先: 〒729-0292 広島県福山市学園町一番地三蔵, TEL084-936-2111, FAX084-936-2023

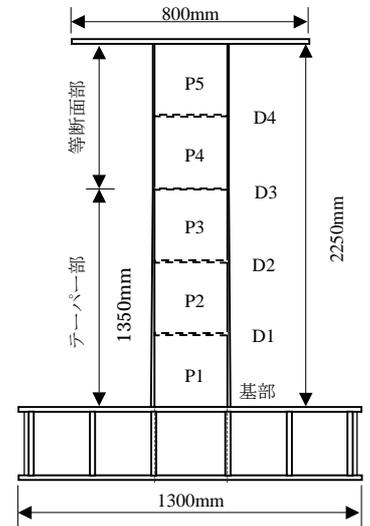


図-1 供試体

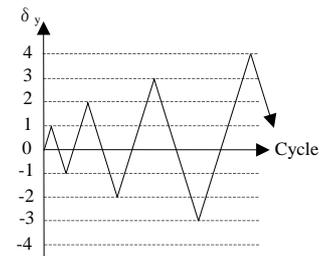


図-2 載荷サイクル

表-1 供試体の諸元

供試体	$\sigma_y$ (MPa)	N (kN)	$H_y$ (kN)	$\delta_{yt}$ (mm)	$\delta_y$ (mm)	$\eta$
TPRC9-6	273	757	262	9.78	14.90	0.56
TPRC9-5	259	746	249	9.73	15.62	0.77
TPRC12-6	264	970	326	10.56	18.03	0.91
TPRM9-6	270	772	259	9.51	15.85	0.56

でも、応力勾配はテーパー率の大きい供試体ほど小さく、 $1\delta_y$ の降伏範囲が広くなり、降伏後の塑性域はテーパー部分の上部まで大きく広がり、テーパー部分全体が大きく変形する。これはパネルがリブにより補剛されているので、局部座屈による変形が一断面のみに集中せず、強度低下が急激に生じないことが原因と考えられる。また、局部座屈が生じたパネルは PRC9-6 と TPRM9-6 がパネル 1 (幅厚比パラメータ  $R_f=0.32$ ) であり、TPRC9-5 と TPRC12-6 がパネル 2 ( $R_f=0.38, 0.31$ ) であり、テーパー率が大きくなると、局部座屈はテーパー部分の上部パネルに移行している。

図-3 に水平荷重 - 水平変位履歴曲線(ヒステリシス)の包絡線を示す。縦軸は水平荷重  $H$  を降伏水平荷重  $H_y$  で、横軸は水平変位  $\delta$  を降伏水平変位  $\delta_y$  で無次元化している。また表-2 に供試体の強度と変形性能を示す。表中の  $H_p$  は軸力を考慮した全塑性水平荷重である。TPRC9-6 と TPRC9-5 および TPRC12-6 はそれぞれ  $4\delta_y$  および  $5\delta_y$  において  $H/H_y$  の最大値に達する。それ以後、強度はフランジの局部座屈によって徐々に低下する。テーパー率の小さい供試体ほど、強度が高いのはその供試体の剛性が高いためと考えられる。基部の板厚が 9mm の TPRC9-6 と TPRC9-5 の塑性変形性能はテーパー率の小さい TPRC9-6 がやや優れている。TPRC12-6 はテーパー率が大きく、塑性域がテーパー部分全域に大きく広がる。基部の板厚が 12mm で厚いために幅厚比パラメータが小さく、塑性変形性能は最も優れる。

図-4 に水平荷重 - 水平変位履歴曲線の履歴面積から計算したエネルギー吸収量を示す。縦軸はサイクル毎のエネルギー吸収量  $\Delta$  を弾性限エネルギー吸収量  $\Delta_E=1/2 \cdot H_y \cdot \delta_y$  で無次元化し、横軸は水平変位  $\delta$  を降伏水平変位  $\delta_y$  で無次元化している。エネルギー吸収量は、いずれの供試体も  $6\delta_y$  まで、テーパー率に関係なく水平変位に比例して増加し、ほぼ同じである。しかし  $7\delta_y$  では、TPRC12-6 のエネルギー吸収量のみ増加している。これは TPRC12-6 が塑性変形性能に優れているためと思われる。

#### 4. まとめ

繰り返し水平荷重を受ける板厚テーパー補剛箱形断面柱の載荷実験から、テーパーの度合いと塑性域の広がり、強度、塑性変形性能、エネルギー吸収性能の関係について以下のことが明らかになった。

1. 塑性域はテーパー率が大きくなると、基部のパネルから上部のパネルに大きく広がる。
2. 局部座屈はテーパー率が大きくなると、基部のパネルから中部のパネルに生じ、幅厚比パラメータは 0.4 以下のパネルに生じる。
3. 最大水平荷重はテーパー率が大きくなると低下する。
4. 塑性変形性能は局部座屈を生じるパネルの幅厚比パラメータが小さいほど優れる。
5. エネルギー吸収性能はテーパー率に関係なく水平変位に比例して増加するが、エネルギー吸収量は塑性変形性能に優れる TPRC12-6 が最も大きい。

なお、この実験は福山大学ハイテク・リサーチ・センターの実験設備を利用して行った。

**参考文献** 上野谷実, 中村雅樹, 福本昤士, 山本定弘: 板厚テーパー箱形断面柱の繰り返し弾塑性挙動に関する実験的研究, 鋼構造論文集, 第9巻, 第33号, pp.25-35, 2002.3.

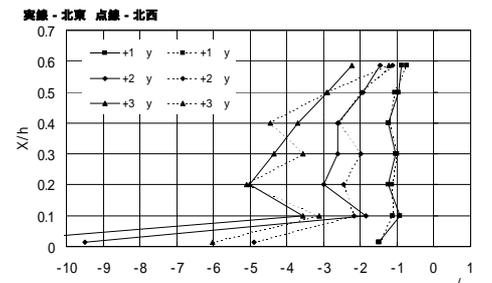


図-2 TPRC12-6 のひずみ分布

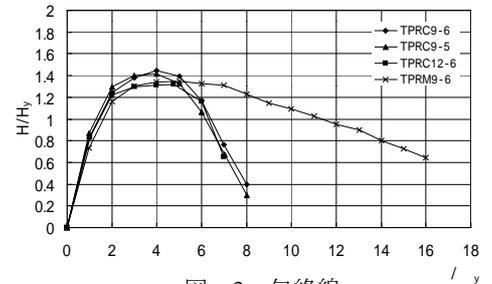


図-3 包絡線

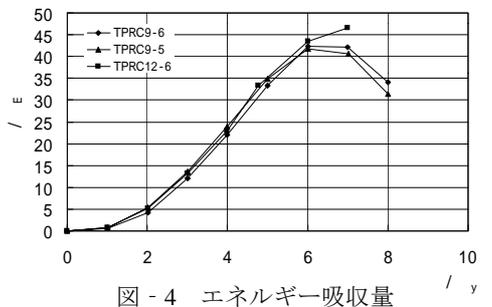


図-4 エネルギー吸収量

表-2 供試体の強度と変形性能

供試体	$\frac{\delta_{max}}{\delta_y}$	$\frac{\delta_{95}}{\delta_y}$	$\frac{H_{max}}{H_y}$	$R_f = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}}$		
				P1	P2	P3
TPRC9-6	4.00	4.93	1.45	0.32	0.36	0.42
TPRC9-5	3.99	4.77	1.42	0.32	0.38	0.48
TPRC12-6	4.77	6.24	1.32	0.25	0.31	0.40
TPRM9-6	5.00	8.11	1.35	0.32	0.36	0.42