

フランジに低降伏点鋼を用いた箱型断面柱の繰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
岡山大学大学院 学生会員 ○木村 友季

1.はじめに

ウェブに低降伏点鋼を用い、フランジに普通鋼を用いるハイブリッド箱型断面によりせん断塑性リンクを形成して、そのせん断変形により耐震性能を向上させる方法がある。門形ラーメン型鋼製橋脚の場合、橋軸直角方向の荷重に対するウェブは橋軸方向の荷重に対してはフランジになる。この場合、せん断剛性を上げないで曲げ剛性のみ上げるためには低降伏点鋼パネルにリブ数を増加することが必要になる。本研究では低降伏点鋼パネルにリブ数を増加したハイブリッド箱型断面柱の繰り返し水平載荷実験を行い、強度、塑性変形性能およびエネルギー吸収量について考察する。

2. 供試体及び実験方法

供試体は図-1 に示すように、全長 2250mm で 5 パネルからなる正方形補剛箱型断面柱である。柱の断面形状は 450×450mm であり、載荷用上部 3 パネル(P3, P4, P5)と試験区間 2 パネル(P1, P2)の二つに分け、ボルト接合により 5 パネルの柱としている。上部 3 パネルは、普通鋼 (SM)の板厚 6mm を使用し、柱基部から 450mm 間隔にダイヤフラムを設置し、板幅を等分するように 150mm 間隔でリブを 2 本配置した。また、試験区間 2 パネルが上部と同じ条件の供試体 SM6-6-2-2 を製作した。試験区間 2 パネル(P1, P2)のうち基部 1 パネル(P1)に上部と同じ条件の SM 面と、低降伏点鋼 (LY)の板厚 4.5mm を使用し、低降伏点鋼 (LY)を使用する面では 75mm 間隔でリブを配置し、上下方向に板厚 6mm、幅 60mm のリブを 5 本配置した供試体 2 体を製作した。ウェブ面に LY を使用したものを LY4.5-6-2-5、フランジ面に LY を使用したものを SM4.5-6-5-2LY と呼ぶ。

図-2に载荷装置を示す。実験は一定鉛直荷重のもと、繰り返し水平荷重を変位制御で静的に行った。基本変位は図-3に示すように、供試体基部が鉛直荷重と水平荷重による曲げを受けて降伏するときの载荷点における水平変位を降伏水平変位 δ_y と定義する。ここで、降伏水平荷重 H_y および鉛直荷重 N はそれぞれ式(1)および式(2)により与えられる。降伏水平変位 δ_y は供試体の基部を固定端とする片持ばりとして、はり理論による降伏水平変位 δ_{yM} とせん断変位 δ_{yS} の和を δ_y と定義し、式(3)、(4)および(5)により与えられる。今回の実験は SM6-6-2-2 との比較を行うために SM6-6-2-2 の降伏水平変位 $\delta_y=14.14\text{mm}$ を片振り幅とした両振り载荷を $\pm 1\delta_y$ 、 $\pm 2\delta_y$ 、 $\pm 3\delta_y$ 、…と漸増するように強制変位を与えて実験を行った。

表-1 各供試体のパラメータ

□□□	σ_y (MPa)	τ_y (MPa)	N_y (kN)	N (kN)	H_y (kN)	d_{yM} (mm)	d_{yS} (mm)	d_y (mm)
SM6-6-2-2	398	230	4951	743	252	12.67	1.47	14.14
LY6-4.5-2-5	144	83	1997	300	223	13.00	0.51	13.51
SM4.5-6-5-2LY	144	83	1993	299	139	6.51	1.59	8.10

ここで、 H_y :降伏水平荷重、 σ_m :曲げ応力、 I :断面 2 次モーメント、 h :供試体高さ、 b_f :フランジ幅、 N :鉛直荷重、 σ_y :降伏応力(FLS:0.2%耐力)、 A :全断面積、 δ_{yM} :理論上の降伏水平変位、 E :弾性係数、 τ :せん断応力、 G :せん断弾性係数、 A_w :ウェブの断面積、 δ_{vs} :せん断変位、 δ_v :降伏水平変位である。

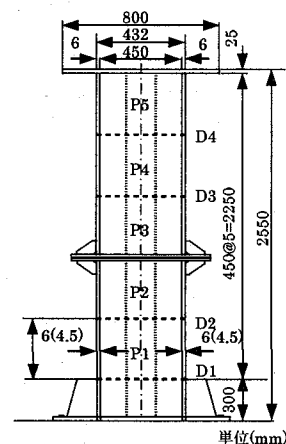


図-1 供試体

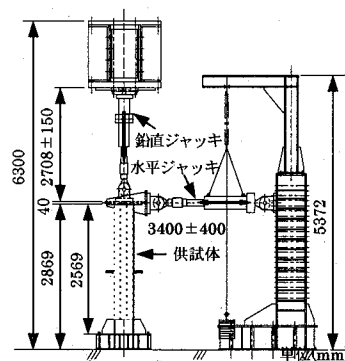


図-2 載荷装置

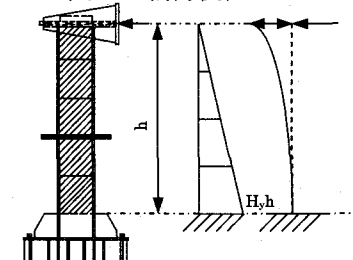


図-3 曲げモーメント

およびたわみ図

$$H_y = \frac{2\sigma_m I}{hb_f} \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$N = 0.15 \sigma_v A \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

$$\delta_{yM} = \frac{H_y h^3}{3EI} \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

$$\delta_{yS} = \frac{H_y h \tau}{GA_w} \quad \cdot \cdot \cdot (4)$$

$$\delta_v = \delta_{vM} + \delta_{vS} \dots (5)$$

フランジ幅, N:鉛直荷重

3. 実験結果および考察

図-4 に各供試体の水平荷重-水平変位履歴曲線(ヒステリシス)を示す。縦軸は水平荷重 H を SM6-6-2-2 の降伏水平荷重 H_{ySM} で、横軸は水平変位 δ を SM6-6-2-2 の降伏水平変位 δ_{ySM} で無次元化している。

図-5 に水平荷重-水平変位履歴曲線の各サイクルの最大変位点における水平荷重の絶対値の平均を結んだ各供試体の包絡線を示す。フランジおよびウェブがともに SM 鋼の SM6-6-2-2 は、フランジの局部座屈が先行し崩壊した。ウェブのみ LY 鋼の LY6-4.5-2-5 は基準の柱 SM6-6-2-2 と同様に、フランジの局部座屈が先行し崩壊した。フランジのみ LY 鋼の SM4.5-6-5-2LY はリブ間隔が狭く局部座屈は起こるもののフランジの全体座屈で崩壊した。LY6-4.5-2-5 および SM4.5-6-5-2LY の強度はそれぞれ SM6-6-2-2 より 0.9 倍および 0.84 倍とわずかに劣る。また、SM4.5-6-5-2LY はフランジ面で局部座屈は起こるものの全体座屈で崩壊するため最大荷重時の変位(変形性能)が大きくなったと考えられる。以上のことより、各供試体の強度は SM6-6-2-2, LY6-4.5-2-5, SM4.5-6-5-2LY の順に高く、変形性能は SM4.5-6-5-2LY がもっとも優れており、LY6-4.5-2-5 と SM6-6-2-2 は同じであった。SM4.5-6-5-2LY と LY6-4.5-2-5 は载荷方向の違いによる強度やエネルギー吸収量についての違いはないため、橋軸直角方向および橋軸方向の両方向に対する耐震性能は十分である。ただし、変形性能については SM4.5-6-5-2LY が優れている。また、SM4.5-6-5-2LY および LY6-4.5-2-5 は、強度の低い LY を使用しているがリブ数を増やすことにより強度を十分に補えると考えられる。

図-6 に累積エネルギー吸収量を示す。水平荷重-水平変位履歴曲線において各サイクルの履歴ループの面積がそのサイクルにおける部材のエネルギー吸収量を示している。縦軸は累積エネルギー吸収量 Δ (kN・m)を弾性限エネルギー吸収量 Δ_{ESM} (kN・m)で、横軸は水平変位 δ を降伏水平変位 δ_{ySM} で無次元化している。SM6-6-2-2 の最終変位における累積エネルギー吸収量と比較すると、SM4.5-6-5-2LY は LY6-4.5-2-5 および SM6-6-2-2 の 0.96 倍、0.97 倍であり、3 体ともほぼ同じである。

4. まとめ

耐震性能を向上させる目的で LY 鋼を使用した柱の繰返し曲げ挙動において、LY 鋼を使用した面にリブ数を増やすことによって強度およびエネルギー吸収量はほとんど変わらず、変形性能は良くなる結果が得られた。

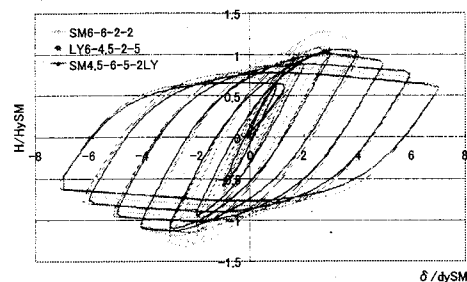


図-4 水平荷重-水平変位履歴曲線

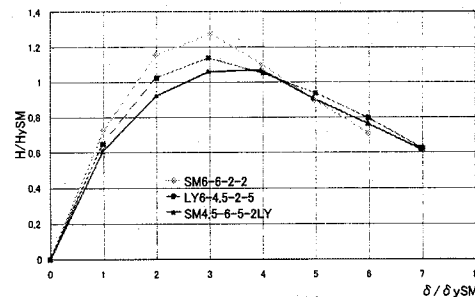


図-5 包絡線

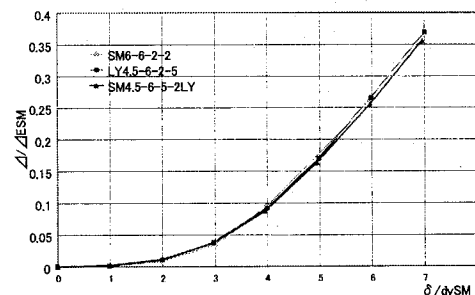
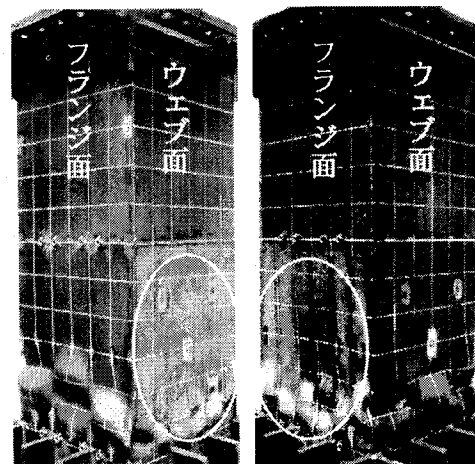


図-6 累積エネルギー吸収量



LY6-4.5-2-5 SM4.5-6-5-2LY

図-7 実験後の供試体

表-2 各供試体の座屈挙動

供試体名	パネル	座屈開始変位 δ	座屈開始荷重 (kN)	クラック発生変位 (mm)	最大面外変位 (mm)	最終水平変位 δ
SM6-6-2-2	フランジ	P1	2 δ	271	5~6 δ_y	6 δ_y
	ウェブ	P1	3 δ	322	5~6 δ_y	
LY6-4.5-2-5	フランジ	P1	2 δ	258	6~7 δ_y	7 δ_y
	ウェブ	P1	3 δ	287	7~7 δ_y	
SM4.5-6-5-2LY	フランジ	P1	3 δ	257	5~6 δ_y	7 δ_y
	ウェブ	P1	3 δ	257	—	