

低降伏点鋼を用いた箱形断面柱の繰返し弾塑性挙動に関する基礎的研究

福山大学 正会員 上野野 実 福山大学 正会員 中村 雅樹 JFE 山本 定弘
福山大学 学生会員 山本 幸司 八雲村役場 正会員 ○高橋 拓也

1. はじめに

異なる性質の鋼材を鋼製橋脚に用いることで鋼製ラーメン橋脚の耐震性向上を期待できる。ここでは、低降伏点鋼を用いた箱形断面柱に一定の軸方向圧縮力のもと、繰返し水平力を載荷する実験を行う。この実験において、全5パネルからなる供試体の基部から2パネルの鋼材を供試体ごとに変化させる。実験結果から、塑性域の広がり、局部座屈挙動、塑性変形性能、水平力-水平変位履歴曲線、強度、エネルギー吸収量等を実験的に検討する。

2. 供試体および実験方法

供試体は図-1に示すように板厚6mmの無補剛正方形断面の柱である。供試体の全長は900mm、柱基部から180mm間隔に板厚6mm、板幅168mm、中心に縦・横150mmの四角形孔を有する正方形ダイヤフラムを設置している。供試体は5パネルからなり、基部側2パネルの鋼材を変化させた3種類の供試体SM6-6、LY6-6およびFLS6-6の実験を行った。供試体の英記号は使われた鋼材を表しており、FLSは福山大学で開発された新鋼材を示している。SM、LYはSM400、LY100を使用している。

図-2に載荷装置を示す。実験は一定軸力のもと、供試体頂部に水平荷重を載荷する繰返し載荷を変位制御で静的に行った。柱基部を固定端とする片持ちばりと考え、供試体最下端(基部)が鉛直荷重と水平荷重により降伏するときの水平変位を降伏水平変位 δ_{yt} とし式(1)~(4)で計算した。そして δ_{yt} に剛体回転による水平変位を加えた δ_y を実験で用いる降伏水平変位とした。ただし、LY鋼材およびFLS鋼については水平荷重が小さいため剛体回転を無視し理論で計算した δ_{yt} を降伏水平変位 δ_y として用いる。繰返し載荷はこの δ_y を片振幅とした両振り載荷を $+1\delta_y$ 、 $-1\delta_y$ 、 $+2\delta_y$ ・・・と図-3に示すように漸増するように行った。表-1に各供試体の降伏水平変位と鉛直荷重を示す。

表-1 降伏水平変位と鉛直荷重

供試体名	σ_y (MPa)	N_y (kN)	P (kN)	δ_{yt} (mm)	δ_y (mm)
SM6-6	288	1196	179	3.56	6.12
LY6-6	128	520	78.0	1.59	1.59
FLS6-6	129	547	82.0	1.59	1.59

$$P_v = \sigma_y \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$N = 0.15P_y \cdot \cdot \cdot (2)$$

$$H_y = \left(\sigma_y - \frac{A}{N} \right) \frac{Z}{h} \cdot \cdot \cdot (3) \quad \delta_{yt} = \frac{H_y h^3}{3EI} \cdot \cdot \cdot (4)$$

ここに、 σ_y ：降伏応力、A：供試体基部の断面積、P：鉛直荷重、 H_y ：降伏水平荷重、h：供試体高さ、Z：供試体基部の断面係数、E：弾性係数、I：断面2次モーメント、 δ_{yt} ：はり理論から求めた降伏水平変位である。

3. 実験結果および考察

図-4にFLS6-6のひずみ分布を示す。横軸は箱形断面の軸方向四隅に貼付したひずみゲージの値 ε_x 、縦軸は基部からの距離xをそれぞれ降伏ひずみ ε_y と供試体高さhで無次元化している。ひずみ分布を見ると全ての供試体

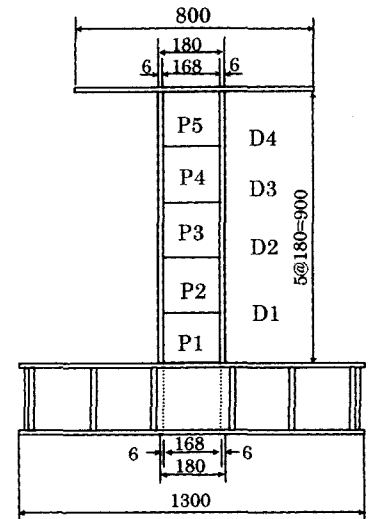


図-1 供試体

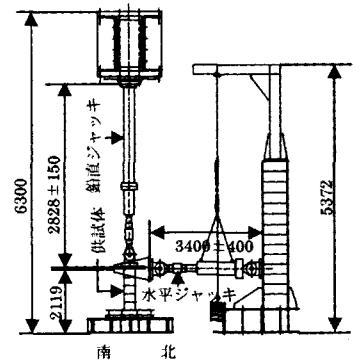


図-2 載荷装置

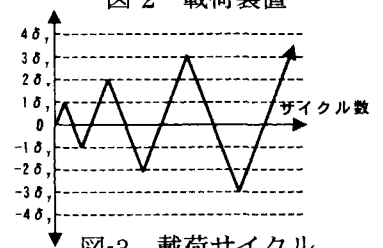


図-3 載荷サイクル

は $X/h=0.1$ において負の大きなひずみを生じている。これはこの位置で局部座屈が起こり、面外の曲げ変形により大きなひずみを生じたからである。ここには図示していないが、SM6-6 は局部座屈を起こした場所以外においてほとんどひずみが生じていないのに対して、LY6-6 は $X/h=0.3$ まで、FLS6-6 は図-4 に示すようにほぼ全域に塑性域が広がっている。これは FLS 鋼および LY 鋼はひずみ硬化が発生しやすいため局部座屈を起こしても荷重が上昇し、塑性域が広がるためと考えられる。

図-5 に水平荷重-水平変位履歴曲線の各サイクルの正と負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。SM 鋼と比較するため、横軸は水平変位 δ を SM6-6 の降伏水平変位 δ_{ySM} で、縦軸は水平荷重 H を SM6-6 の降伏水平荷重 H_{ySM} で無次元化している。表-2 に強度と塑性変形性能を示す。最大水平荷重 H_{max} は SM6-6 が最大であり、以下 FLS6-6、LY6-6 の順に小さくなる。最大水平荷重に達した後の水平荷重の減少は、SM6-6 は急激に、LY6-6 は緩やかに、FLS6-6 はしばらくの間ほとんど変化せず、その後緩やかに低下する。表-2 より LY6-6 および FLS6-6 の最大水平荷重時の水平変位 δ_{max} は SM6-6 に比べてそれぞれ 1.4 倍および 1.8 倍と優れていることがわかる。また FLS6-6 の最大水平強度がしばらくの間ほとんど低下しない理由は、LY6-6 に比べ鋼材のひずみ硬化が大きく、繰り返し载荷により強度が上昇したと考えられる。

図-6 に各供試体の水平荷重-水平変位履歴曲線において、各サイクルの履歴曲線の面積をエネルギー吸収量 Δ として示す。横軸は包絡線と同じく水平変位を SM6-6 の降伏水平変位で、縦軸は各サイクルのエネルギー吸収量 $\Delta E_{SM} = (H_{ySM} \cdot \delta_{ySM}/2)$ で無次元化している。各供試体のエネルギー吸収量は $4\delta_y$ までほぼ同じであるが、 $4\delta_y$ 以降 SM6-6、FLS6-6、LY6-6 の順に高くなる。しかし LY6-6 および FLS6-6 が最大水平荷重に達した時のエネルギー吸収量 Δ_{max} (図中の矢印)は、SM6-6 に対してそれぞれ 1.9 倍および 3.1 倍になっている。

4.まとめ

- 三種類の鋼材 SM、LY、FLS の箱形断面柱の繰り返し弾塑性実験を比較した結果、次のことが明らかになった。
1. 塑性域において、LY 鋼および FLS 鋼は早期のひずみ硬化による強度上昇のため SM に比べて塑性域は広く、特に FLS はほぼ全域に塑性域が広がる。
 2. 最大水平強度において、LY 鋼および FLS 鋼は低降伏応力にもかかわらず、ひずみ硬化によりそれぞれ SM の降伏水平強度およびそれ以上の強度まで増加する。
 3. 最大水平荷重時の変形性能において、LY 鋼および FLS 鋼は局部座屈による強度低下が生じていてもひずみ硬化による強度上昇により大きくなる。特に FLS 鋼は SM 鋼の 1.8 倍となる。
 4. 最大荷重時のエネルギー吸収性能において LY 鋼および FLS 鋼は、SM 鋼と比較してそれぞれ 1.9 倍および 3.1 倍と優れている。

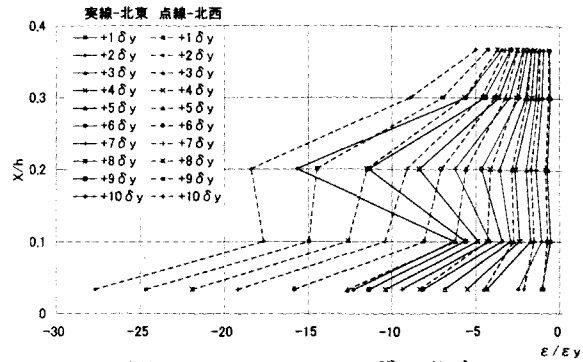


図-4 FLS6-6 のひずみ分布

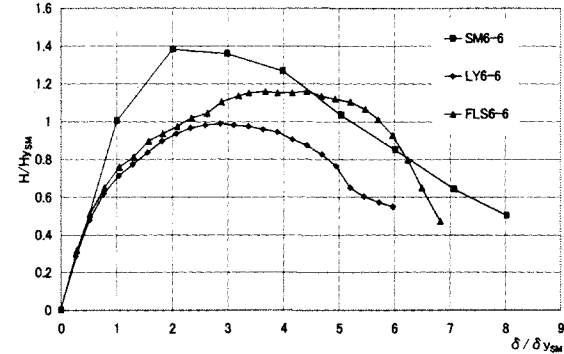


図-5 水平荷重-水平変位の包絡線

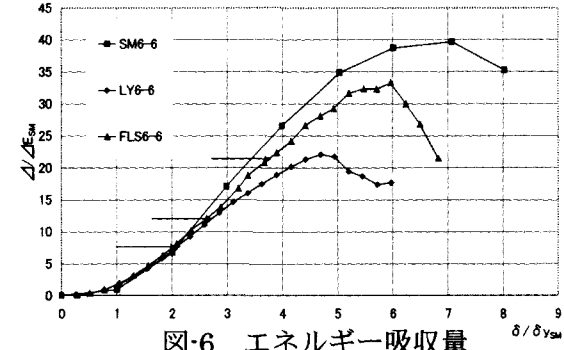


図-6 エネルギー吸収量

表-2 強度と塑性変形性能

供試体名	$\frac{\delta_{max}}{\delta_{ySM}}$	$\frac{\delta_{95}}{\delta_{ySM}}$	$\frac{H_{max}}{H_{ySM}}$	$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{ESM}}$	R_f
SM6-6	2.01	3.43	1.38	6.7	0.47
LY6-6	2.87	3.96	0.99	13.0	0.39
FLS6-6	3.68	5.20	1.16	20.8	0.38