

低降伏点鋼腹板を有する箱形断面柱の繰返しせん断性能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
JFE 山元 定弘 福山大学 学生会員 ○白川 祐樹

1.はじめに

門形鋼製橋脚に地震力が作用する場合、繰返し作用するせん断力により鋼製橋脚の柱ウェブ数パネルに形成される斜張力場を積極的に利用し、大きな塑性変形性能を発揮できるような構造システムを新たに開発しようとするものである。剛性を上げずに鋼製橋脚の耐震性を向上させる1つの方法として、せん断力が卓越する個所にせん断リンクデバイス部分を設け、低降伏点鋼材を用いたウェブでエネルギー吸収することが考えられる。ここでは、中間2パネルのウェブに低降伏点鋼を有する箱形断面柱の載荷実験について報告し、せん断強度および塑性変形性能について考察する。

2.供試体及び実験方法

供試体は図-1に示すように、高さ1800mmで4パネルからなる正方形補剛箱形断面柱である。柱の断面形状は450×450mmであり、上下パネル(P1,P4)は普通鋼(SM)を使用し、板厚は12mmである。また中間パネル(P2,P3)のフランジ面は普通鋼(SM)の板厚7mmを使用し、そのウェブ面に低降伏点鋼(LY)の板厚7mm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間隔でリブを配置した供試体2体(それぞれLY7-M,LY7-Cと呼ぶ)を制作した。

図-2に載荷装置を示す。実験は一定軸力のもと、両端固定の供試体頂部に水平荷重を載荷する繰返し載荷と単調載荷を変位制御で準静的に行った。基本変位は、図-3に示すように正方形のウェブが純せん断を受けて変形するとき、対角線方向変位 δ_1 と δ_2 の和をせん断変位 δ と呼び式(2.1)および(2.2)で定義する。そしてウェブが純せん断で降伏するときの対角線方向変位を δ_{y1} と δ_{y2} とし、その和を降伏せん断変位 δ_{y0} とし、式(2.3)で定義する。実験で用いた降伏せん断変位 δ_y は、ウェブ1パネルでの降伏せん断変位 δ_{y0} をウェブパネル数倍として、式(2.4)で定義する。今回は後の実験でSM鋼との比較を行うためにSM鋼の降伏せん断変位を用いて繰返し載荷を行った。表-1に示すSM鋼のウェブに対する $\delta_y=5.58\text{mm}$ を片振り幅とした両振り載荷を $\pm 1\delta_y$ 、 $\pm 2\delta_y$ 、 $\pm 3\delta_y$ 、・・・のように行った。単調載荷は一定方向に強制変位を与えて載荷した。

表-1 材料特性と降伏せん断変位

供試体	σ_y (MPa)	τ_y (MPa)	N_y (kN)	N (kN)	Q_p (kN)	δ_{y0} (mm)	δ_y (mm)
SM7-C	292	169	4717	708	1044	1.395	5.58
LY7-C	141	81	2247	337	509	0.673	2.69

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \sqrt{2}\gamma h \cdots (2.2) \quad \delta_{y0} = \delta_{y1} + \delta_{y2} = \frac{\sqrt{2}\tau_{yw}h}{G} \cdots (2.3) \quad \delta_y = n\delta_{y0} \cdots (2.4) \quad \text{ただし、} \tau_{yw} = \frac{\sigma_{yw}}{\sqrt{3}}, G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

ここに、 δ_{y0} : 1パネルの降伏せん断変位、 δ_y : 供試体全体の降伏せん断変位、 σ_{yw} : ウェブの降伏応力、 τ_{yw} : ウェブのせん断降伏応力、 γ : せん断ひずみ、 E : 弾性係数(公称値 200GPa)、 G : せん断弾性係数、 ν : ポアソン比(公称値 0.3)、 h : パネル高さ、 τ_y : せん断力、 N_y : 軸方向降伏荷重、 N : 鉛直荷重、 Q_p : 塑性せん断力

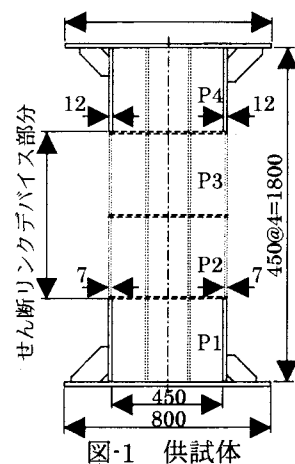


図-1 供試体

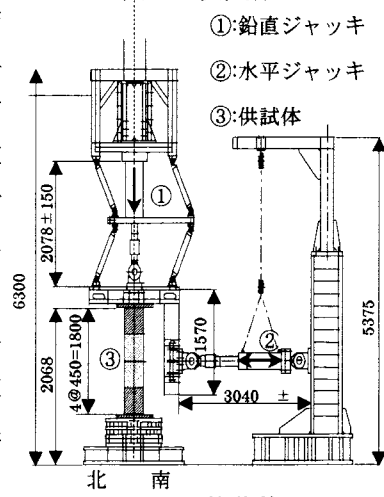


図-2 載荷装置

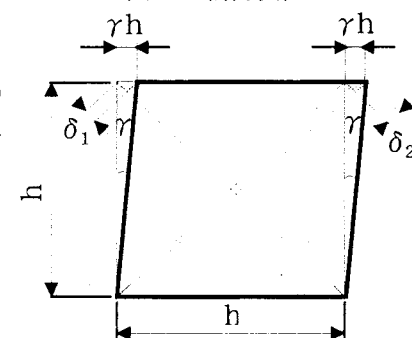


図-3 せん断変位

$$\delta_1 = \delta_2 = \frac{\gamma h}{\sqrt{2}} \cdots (2.1)$$

3. 実験結果および考察

図-5 に供試体 LY7-C のせん断力-せん断変位履歴曲線を示す。縦軸はせん断力 Q_{psm7} 、横軸はせん断変位 δ_{ysm7} である。単調載荷では座屈によるウェブの面外たわみが P2, P3 パネル全体に広がっているのに対し、繰り返し載荷では P3 に集中している。また、単調載荷、繰り返し載荷共に圧縮側から変形が広がっており、表-2 に示すように単調載荷の座屈開始変位はフランジパネルで P3 および P2 で $45 \delta_y (251mm)$ 、ウェブパネルでは P3 および P2 とともに $115 \delta_y (642mm)$ から始まる。繰り返し載荷の座屈開始変位はフランジパネルで P3 が $22 \delta_y (123mm)$ 、P2 が $23 \delta_y (128mm)$ 、ウェブパネルでは P3 および P2 とともに $25 \delta_y (140mm)$ からとなりわずかな差ではあるがフランジが先に座屈することがわかる。フランジの座屈がウェブより先に始まっていることから、せん断リンクとしてフランジの板厚が不足していると思われる。

図-6 に LY7-C の各サイクルの正と負の最大変位点におけるせん断力とせん断変位の絶対値の平均を結んだ包絡線を示す。単調載荷 LY7-M の最大せん断力は $\delta = 93 \delta_y (519mm)$ で $0.81 Q_{psm7} (849kN)$ 、繰り返し載荷 LY7-C の最大せん断力は $\delta = 27 \delta_y (151mm)$ で $0.96 Q_{psm7} (1007kN)$ となり LY7-C は LY7-M より 1.19 倍の強度を有する。LY7-C は繰り返し載荷により、ひずみ履歴が長くなり、ひずみ硬化が著しく、最大せん断力は LY7-C が LY7-M より増加したと考えられる。最終的なせん断変位を比較すると、繰り返し載荷は単調載荷の約 1/4 になる。

LY7-M、および LY7-C の実験終了後の供試体写真をそれぞれ図-7 および図-8 に示す。図-7 に示す単調載荷の LY7-M はウェブの P2 および P3 のリブ間で斜め方向に座屈が生じた。特に圧縮側に大きく現れ、ウェブ全体に座屈が生じている。図-8 に示す繰り返し載荷の LY7-C はウェブの P3 に座屈による面外たわみが大きく生じ、リブ間で上下方向に広がっている。また、P3 に大きく「くの字形」の座屈が見られ、曲げ圧縮により供試体が崩壊したと考えられる。

表-2 座屈挙動,せん断強度およびせん断変位

供試体名	パネル	座屈開始せん断力 (kN)	座屈開始変位 (mm)	最大面外たわみ (mm)	最大せん断力 (kN)	最終せん断変位
LY7-M	フランジ	P3	801	$45 \delta_y$	849	$124 \delta_y$
		P2	801	$45 \delta_y$		
	ウェブ	P3	791	$115 \delta_y$		
		P2	791	$115 \delta_y$		
LY7-C	フランジ	P3	960	$22 \delta_y$	1007	$28 \delta_y$
		P2	960	$23 \delta_y$		
	ウェブ	P3	981	$25 \delta_y$		
		P2	981	$25 \delta_y$		

4. まとめ

単調載荷および繰り返し載荷を受ける箱型断面柱に関して本実験の範囲内で、座屈挙動、耐荷力、塑性変形性能について以下のことが明らかになった。

- (1) 繰り返し載荷では、フランジがウェブよりわずかに早く座屈する。フランジとウェブ座屈挙動において単調載荷では、フランジが著しく早く座屈する。
- (2) 繰り返し載荷はひずみ履歴が長くなり、ひずみ硬化が著しく、繰り返し載荷の LY7-C のせん断強度は単調載荷の LY7-M より約 1.2 倍である。
- (3) 最大せん断力が生じる時の塑性変形性能は繰り返し載荷は単調載荷が比べ約 0.3 倍である。

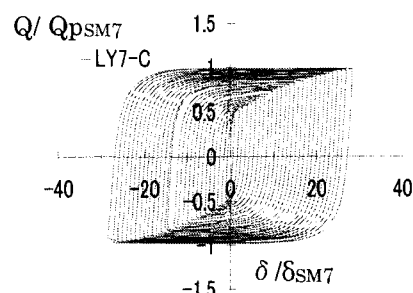


図-5 せん断力-せん断変位履歴曲線

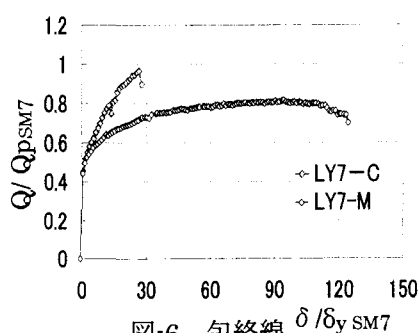


図-6 包絡線



図-7 実験後の LY7-M



図-8 実験後の LY7-C