

厚い腹板を有する箱形断面柱の繰返しせん断特性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
(株)ブリッジ・エンジニアリング 学生会員 ○伊藤 都志仁

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パネルのウェブに市販されている低降伏点鋼(LY 鋼)および福山大学ハイテクリサーチセンターで開発された FLS 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、そのウェブ面は板厚 7mm で、SM,LY および FLS の鋼材を使用する。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 3 体を制作した。それぞれの供試体のウェブの鋼種により SM7,LY7,FLS7 と呼ぶ。

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力を載荷する繰返し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(1)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)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(3)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。

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \sqrt{2}\gamma h \quad \dots(1) \quad \delta_{y0} = \delta_{y1} + \delta_{y2} = \frac{\sqrt{2}\tau_{yw} h}{G} \quad \dots(2) \quad \delta_y = n\delta_{y0} \quad \dots(3)$$

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	292	169	4717	708	1044	1.395	5.58
LY7	141	81	2247	337	509	0.673	2.69
FLS7	128	74	1969	295	378	0.611	2.44

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

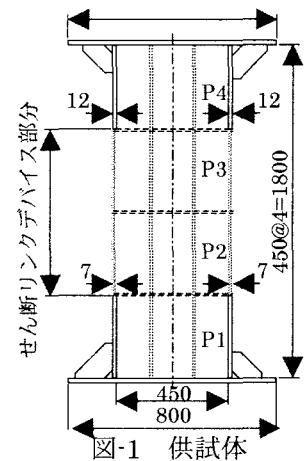


図-1 供試体

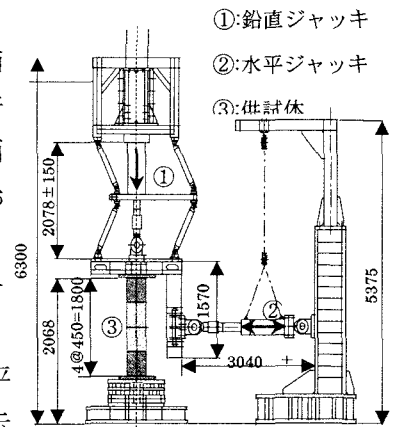


図-2 載荷装置

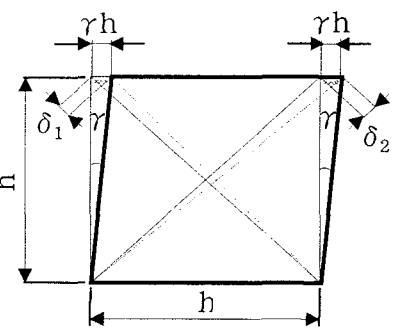


図-3 せん断変位

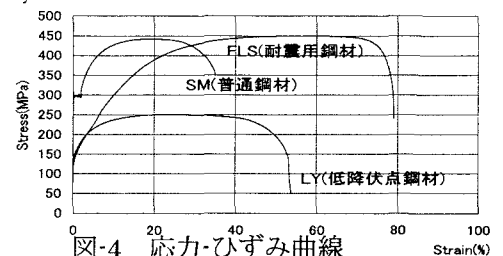


図-4 応力-ひずみ曲線

3. 実験結果および考察

図-5 に各サイクルごと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(SM7 で無次元化)を示す。縦軸はせん断力 Q/Q_{bSM7} 、横軸はせん断変位 δ_y/δ_{ySM7} である。

FLS7 および LY7 は材料の降伏強度と同じように SM7 の塑性開始強度の約 1/2 の荷重で塑性化が始まっている。LY7 は SM7 との強度差はあまり変わらないが、FLS7 はせん断変位 $6\delta_y$ で、LY7 の強度を越え、 $19\delta_y$ では、LY7 の強度を大きく上回り SM7 の強度に近づく。これは FLS のひずみ硬化が大きいことが原因と考えられる。FLS のウェブは 3 枚の板を溶接し、1 枚板として用いた。 $-19\delta_y$ でこの溶接部分にクラックが発生した。その後、水平力の載荷を続けたが、荷重の低下が続いたので $22\delta_y$ で実験を終了した。しかし、この溶接部分でクラックが発生しなければ、強度は SM7 と同等になったと推測される。

表-2 より、すべての供試体においてフランジの座屈がわずかではあるがウェブより先に始まっている。フランジとウェブの板厚が同じ場合、フランジが軸力および曲げ圧縮の影響によりウェブより先に座屈したと考えられる。せん断塑性リンクとしては、フランジの板厚を増加する必要がある。

図-6 に各供試体の累積エネルギー吸収量を示す。縦軸は SM7 の弾性限エネルギー吸収量 ΔE_{SM7} で無次元化した累積エネルギー吸収量 $\Delta/\Delta E_{SM7}$ であり、横軸はせん断変位 δ_y/δ_{ySM7} である。ここでも、FLS7 は LY7 を上回り SM7 に近づいている。そのため、クラックが発生しなければ、累積エネルギー吸収量においても SM7 と同等になったと推測される。

せん断リンクに用いた FLS7 のウェブ溶接部分にクラックが入り、最終的な結果が得られなかった。せん断材料実験では、FLS 鋼は強度、変形性能、エネルギー吸収量においては、SM 鋼、LY 鋼を上回っており、ウェブが 1 枚板の柱で実験すれば、同じような結果が得られるものと推測される。

4. まとめ

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繰返しせん断載荷実験を行った。供試体 FLS7 および LY7 は材料の降伏強度と同じように SM7 の塑性開始強度の約 1/2 の荷重で塑性化が始まる。LY7 は SM7 との強度差はあまり変わらないが、FLS7 はひずみ硬化が大きく、LY7 の強度を越え、せん断変位が $19\delta_y$ では、LY7 の強度を大きく上回り SM7 の強度に近づく。しかし、FLS7 はせん断変位が $19\delta_y$ のとき、ウェブの溶接部分にクラックが発生して急激な強度低下を生じたため、変形性能が SM7 および LY7 より劣る。

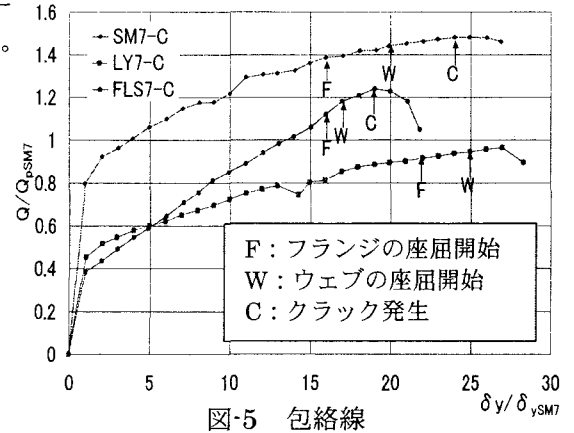


図-5 包絡線

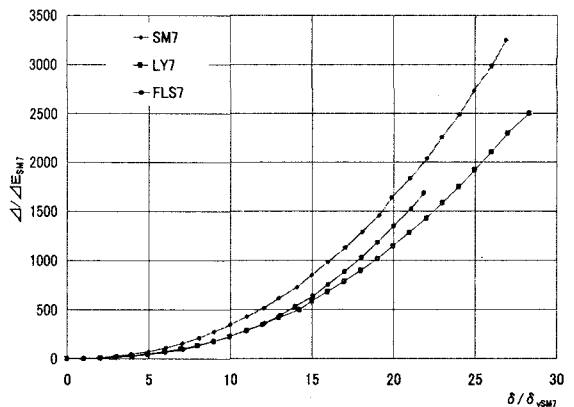


図-6 累積エネルギー吸収量

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	クラック 発生変位	最大面 外たわ み(mm)	最終せん断 変位
SM7	フランジ	P3 1453	$16\delta_y$	—	-5.19	$27\delta_y$
		P2 1453	$16\delta_y$	$-24\delta_y$	17.3	
	ウェブ	P3 1330	$20\delta_y$	—	6.65	
		P2 1149	$20\delta_y$	$-24\delta_y$	-20.67	
LY7	フランジ	P3 -960	$-22\delta_y$	—	41.2	$28\delta_y$
		P2 960	$23\delta_y$	—	-18.4	
	ウェブ	P3 981	$25\delta_y$	—	19.9	
		P2 981	$25\delta_y$	—	8.12	
FLS7	フランジ	P3 -1113	$-16\delta_y$	—	-25.8	$22\delta_y$
		P2 -1113	$-16\delta_y$	—	-27.0	
	ウェブ	P3 968	$17\delta_y$	—	-21.0	
		P2 968	$17\delta_y$	$-19\delta_y$	34.3	