

鋼種の異なる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 山本 定弘 大三島役場 正会員 ○藤原 洋介

1.はじめに

門形鋼製橋脚に地震力が作用する場合、繰返し作用する水平力により鋼製橋脚の柱ウェブの数パネルに形成される斜張力場を積極的に利用して、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箇所にせん断リンクデバイス部分を設けることにより、ウェブでエネルギー吸収をする。ここでは、せん断力が卓越するウェブの中間 2 パネルに普通鋼(SM400)および低降伏点鋼(LY100)を用いた 2 種類の補剛箱形断面柱供試体において繰返しせん断载荷実験を行い、強度、塑性変形性能、エネルギー吸収量について考察する。

2.供試体および実験方法

供試体は図-1 に示すように、高さ 1800mm の 4 パネルからなる補剛正方形断面柱である。柱基部から 450mm 間隔にダイヤフラムを設置している。柱上下端パネル(P1,P4)にはフランジおよびウェブともに普通鋼(SM400)板厚 12mm、中間パネル(P2,P3)はフランジに普通鋼板厚 7mm、ウェブに普通鋼板厚 3.5mm を用いた供試体と、低降伏点鋼板厚 3.5mm を用いた供試体の 2 体(それぞれ SM3.5-C、LY3.5-C と呼ぶ)を製作した。繰返しせん断载荷実験は図-2 に示すような载荷装置で行った。载荷方法は部材軸方向に鉛直荷重を载荷し、正負の繰返し荷重を油圧ジャッキによって変位制御で準静的に载荷した。基本変位はせん断による対角線方向変位とした。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、対角線方向変位を δ_1 と δ_2 の和をせん断変位 δ と呼び、式(1)および式(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} と呼び、次式(3)で定義する。実験で用いた降伏せん断変位 δ_y は、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、式(4)より計算している。図-4 に载荷サイクルを示す。図-4 に示すようにこの SM3.5-C の δ_y を片振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 材料特性

供試体名	σ_y (MPa)	τ_y (MPa)	N_y (kN)	N (kN)	Q_p (kN)	δ_{y0} (mm)	δ_y (mm)
SM3.5-C	290	167	3892	584	514	1.39	5.54
LY3.5-C	117	68	1560	234	199	0.56	2.24

$$\delta_{y0} = \delta_{y1} + \delta_{y2} = \frac{\sqrt{2}\tau_{yw}h}{G} \cdots (3) \quad \delta_y = 4\delta_{y0} \cdots (4) \quad \text{ただし、} \tau_{yw} = \frac{\sigma_{yw}}{\sqrt{3}}, G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

ここで、 δ_{y0} : 1 パネルでの降伏せん断変位, δ_y : 実験で用いる降伏せん断変位,
 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 : せん断応力, N_y : 軸方向降伏荷重, N: 鉛直荷重,
 Q_p : 塑性せん断力

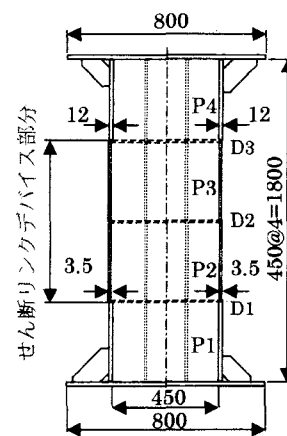


図-1 供試体

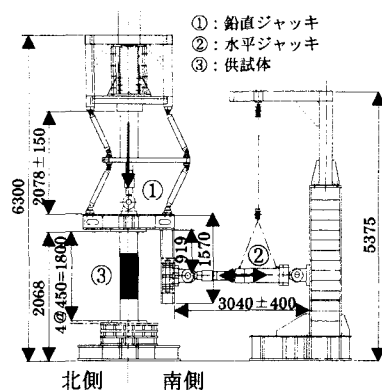


図-2 载荷装置

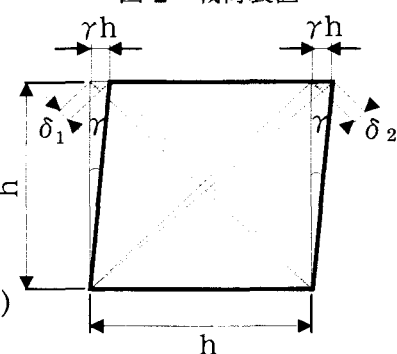


図-3 降伏せん断変位

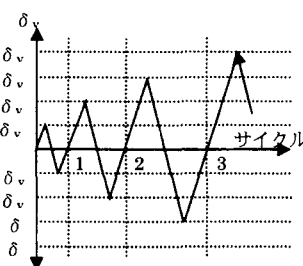


図-4 载荷サイクル

3.実験結果および考察

図-5 に供試体 SM3.5-C と LY3.5-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 (kN)、横軸はせん断変位 δ (mm) である。

図-6 にせん断力-せん断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せん断力の絶対値の平均を結んだ各供試体の包絡線を示す。縦軸はせん断力 Q を降伏せん断力 Q_p で、横軸はせん断変位 δ を降伏せん断変位 δ_y で無次元化している。塑性変形性能は LY3.5-C が SM3.5-C よりも 1.2 倍優れている。強度に関しては SM3.5-C が LY3.5-C よりも 1.5 倍優れている。SM3.5-C は $12\delta_y$ 付近でフランジが座屈したため耐荷力が低下したと考えられる。 $-16\delta_y$ になると西ウェブの P2 に大きなクラックが生じた。LY3.5-C も同じように $\delta=15\delta_y$ 付近からせん断座屈の波形が変化し、耐荷力が低下し始めた。また、 $22\delta_y$ から小さなクラックが東西ウェブ P2 および P3 全体で生じ始めた。表-1 に示すように、面外たわみは SM3.5-C および LY3.5-C とも東西ウェブ P2 および P3 においてリブ間の座屈により生じた。またフランジ P2 および P3 の左右端がウェブ面側に引き込まれるような変形が生じた。表-1 に示すように SM3.5-C の座屈開始変位はフランジ P3 で $-12\delta_y$, P2 では $12\delta_y$, ウェブ P3 で $6\delta_y$, P2 でも $6\delta_y$ であった。また LY3.5-C の座屈開始変位はフランジ P3 で $-13\delta_y$, P2 では $13\delta_y$, ウェブ P3 で $10\delta_y$, P2 でも $10\delta_y$ であった。SM および LY ともにウェブが座屈し、その後フランジが座屈することがわかる。

図-7 に各供試体のせん断力-せん断変位履歴曲線において、各サイクルの履歴曲線の面積をそのサイクルにおける供試体のエネルギー吸収量 Δ として示す。縦軸は各サイクルのエネルギー吸収量を SM の弾性限エネルギー吸収量 $\Delta_E = Q_p \cdot \delta_y / 2$ で無次元化している。供試体 SM3.5-C は $\delta=11\delta_y$ までエネルギー吸収量がせん断変位に比例して増加しているが、それ以降は傾きが緩やかになり、供試体 LY3.5-C は $\delta=13\delta_y$ までは緩やかにエネルギー吸収量は増加しているがその後は一定化した。これはフランジの降伏したことにより斜張力場作用の低下で耐荷力が低下し、エネルギー吸収量が増加しなくなったと考えられる。エネルギー吸収量は低下せずに一定を保っていることから供試体 LY3.5-C は吸収性能が良いことが分かる。

図-8 に累積エネルギー吸収量を示す。縦軸は累積エネルギー吸収量 Δ を弾性限エネルギー吸収量 Δ_E で、横軸はせん断変位 δ を降伏せん断変位 δ_y で無次元化している。

4.まとめ

実験結果から以下のことが明らかになった。

- (1) SM および LY ともにウェブのせん断座屈により斜張力場作用が大きくなり、フランジが大きく変形する。
また SM は LY に比べ延性が劣るために大きなクラックが生じやすい。
- (2) SM は LY の 1.46 倍の強度を有する。最大せん断力後の強度低下は LY が緩やかである。
- (3) 最大せん断力時のせん断変位では LY の変形性能は SM の 1.2 倍となりわずかに優れる。
- (4) 供試体が崩壊するまでの累積エネルギー吸収量を比べると LY は SM の 2.7 倍優れている。

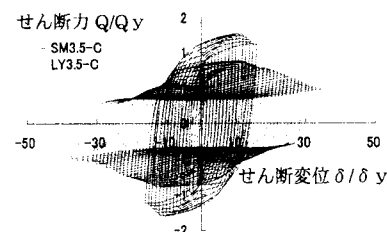


図-5 せん断力-せん断変位履歴曲線

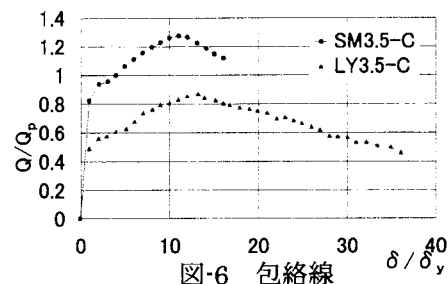


図-6 包絡線

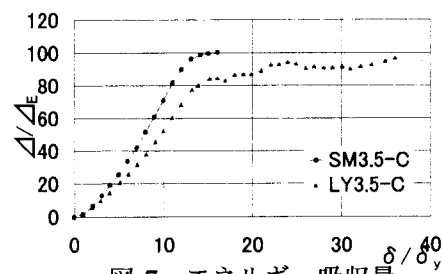


図-7 エネルギー吸収量

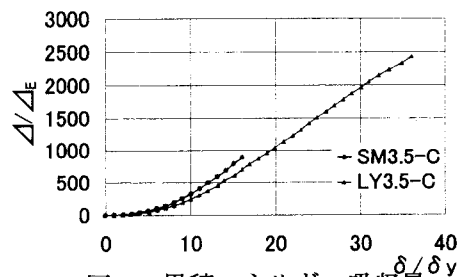


図-8 累積エネルギー吸収量

表-1 各供試体の座屈挙動

供試体名	パネル	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
SM3.5-C	フランジ	P3 $-12\delta_y$	—	12.9	$16\delta_y$
		P2 $12\delta_y$	—	21.5	
	ウェブ	P3 $6\delta_y$	—	22.6	
		P2 $6\delta_y$	$-16\sim 17\delta_y$	23.5	
LY3.5-C	フランジ	P3 $-13\delta_y$	—	28.4	$35\delta_y$
		P2 $13\delta_y$	—	20.7	
	ウェブ	P3 $10\delta_y$	$-22\delta_y$	-19.9	
		P2 $10\delta_y$	$22\delta_y$	-20.5	