

## ハイブリッド型箱形断面柱の繰り返しせん断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  
 JFE 山元 定弘 福山大学 学生会員 ○白川 祐樹

## 1.はじめに

円形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、ウェブでエネルギー吸収することが考えられる。円形鋼製橋脚に地震力が作用する場合、繰り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、大きな塑性せん断変形性能を発揮できるようなせん断リンクを新たに開発しようとするものである。ここでは、箱形断面柱の中間2パネルのウェブに2種類の鋼材を用いる。せん断リンクデバイス部分のウェブ厚がフランジ厚と同じ等断面供試体とウェブ厚をフランジ厚の1/2である供試体について繰り返しせん断載荷実験を行った。ここでは、実験結果のせん断強度および塑性変形性能について報告する。

## 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、そのウェブ面は普通鋼(SM400)あるいは低降伏点鋼(LY100)を用い、板厚は7mmと3.5mmとする。柱基部から450mm間隔にダイヤフラムを設置し、板幅を3分割するように150mm間隔でリブを配置した4種類の供試体を制作した。それぞれ鋼種とウェブの板厚によりSM7,LY7,SM3.5およびLY3.5と呼ぶ。

図-2に載荷装置を示す。一定軸力のもと、両端固定の供試体頂部に水平荷重を作用させる繰り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 $\delta_1$ と $\delta_2$ の和をせん断変位 $\delta$ 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 $\delta_{y1}$ と $\delta_{y2}$ とし、その和を降伏せん断変位 $\delta_{y0}$ とし、式(2)で定義する。実験で用いた降伏せん断変位 $\delta_y$ は、ウェブ1パネルでの降伏せん断変位 $\delta_{y0}$ をウェブパネル数倍として、式(3)で定義する。今回の実験は、SM鋼と比較を行うためにSM鋼の降伏せん断変位を用いて繰り返し載荷を行った。表-1に示すSM7とSM3.5のウェブに対する $\delta_y=5.58\text{mm}$ 、 $\delta_y=5.54\text{mm}$ 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。

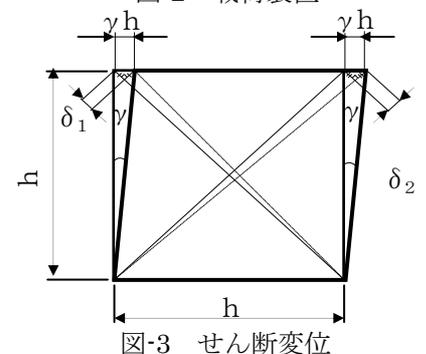
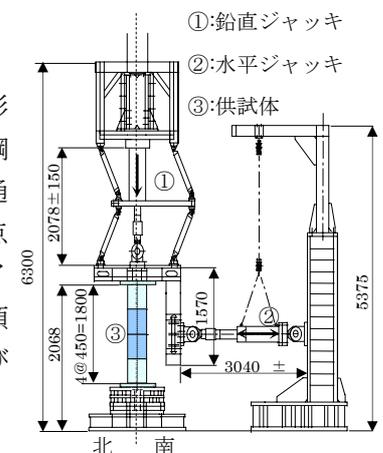
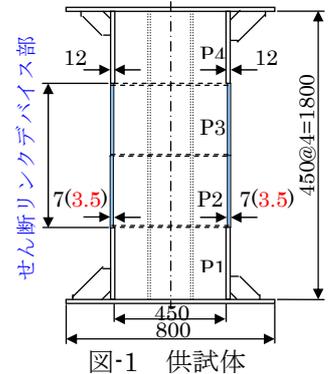


表-1 材料特性と降伏せん断変位

供試体名	$\sigma_y$ (MPa)	$\tau_y$ (MPa)	$N_y$ (kN)	N (kN)	$Q_p$ (kN)	$\delta_{y0}$ (mm)	$\delta_y$ (mm)	$R_R$	$R_\tau$
SM7	292	169	4717	<b>708</b>	1044	1.4	<b>5.58</b>	0.41	0.28
LY7	141	81	2247	337	509	0.67	2.69	0.41	0.18
SM3.5	290	167	3892	<b>584</b>	514	1.39	<b>5.54</b>	0.41	0.52
LY3.5	117	68	1560	234	199	0.56	2.24	0.41	0.34

ここに、 $\delta_{y0}$ ：1パネルの降伏せん断変位、 $\delta_y$ ：供試体全体の降伏せん断変位、 $\sigma_{yw}$ ：ウェブの降伏応力、 $\tau_{yw}$ ：ウェブのせん断降伏応力、 $\gamma$ ：せん断ひずみ、 $G$ ：せん断弾性係数、 $h$ ：パネル高さ、 $\tau_y$ ：降伏せん断応力 $N_y$ ：軸方向降伏荷重、 $N$ ：鉛直荷重(0.15 $N_y$ )、 $Q_p$ ：ウェブの塑性せん断力、 $R_R$ ：フランジの幅厚比パラメータ、 $R_\tau$ ：ウェブのせん断幅厚パラメータである。

キーワード：箱形断面柱、低降伏点鋼、繰り返し荷重、せん断強度、変形性能、エネルギー吸収

連絡先：〒729-0292 広島県福山市学園町一番地三蔵, TEL084-936-2111, FAX084-936-2023

3. 実験結果および考察

図-4 に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。縦軸はせん断力  $Q$  を SM7 の降伏せん断力  $Q_{psm7}$  で、横軸はせん断変位  $\delta$  を SM7 の降伏せん断変位  $\delta_{ySM7}$  でそれぞれ無次元化している。

LY7 および LY3.5 は材料の降伏強度と同じように SM7 および SM3.5 の塑性開始強度の約 1/2 の荷重で塑性が始まっている。最大せん断強度は SM7 および SM3.5 が LY7 および LY3.5 よりそれぞれ約 1.5 倍となり、SM 鋼ウェブの供試体の強度が大きくなっている。最大せん断強度時の塑性変形性能は LY7 および LY3.5 が SM7 および SM3.5 よりそれぞれ約 1.1 倍および 1.2 倍大きくなっている。

ウェブ厚 7mm の供試体の場合、ウェブおよびフランジの座屈が進展しても強度は上昇傾向を示すが、ウェブ厚が 3.5mm の供試体の場合、ウェブのせん断座屈が始まっても強度は上昇するが、フランジの塑性変形が始まるせん断変位 12~13  $\delta_y$  の前後に最大強度に達し、その後は低下する。これは、板厚がフランジ厚の 1/2 と薄いため、ウェブ厚が 7mm の供試体に比べ座屈による面外たわみが大きくなり、その影響によりフランジの塑性変形が大きくなり強度が低下したと考えられる。また、SM3.5 は LY3.5 に比べ延性が劣るため大きなクラックが生じやすく、その後の強度低下が著しい。LY3.5 は SM3.5 に比べ塑性変形性能に優れているためクラックの発生は遅く、発生したクラックもあまり大きくなりません。

表-2 に示すように、ウェブ厚 3.5mm の供試体 SM3.5 および LY3.5 はともにウェブのせん断座屈が先行し、フランジはウェブの座屈に巻き込まれるようにせん断変位 12~13  $\delta_y$  付近で大きく塑性変形する。一方、ウェブ厚 7mm の供試体では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。このことから、せん断リンク部の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。このことから、フランジとウェブの板厚が同じ供試体において、せん断塑性リンクとして、フランジの健全性を保持するためには板厚を増加する必要がある。また、供試体 SM7 の場合、せん断リンク部の強度が高いために柱上下パネルの固定端の溶接線にそってクラックが生じたり、補剛リブに座屈が生じた。

図-5 に各供試体の累積エネルギー吸収量を SM7 の弾性限エネルギー吸収量  $\Delta/E_{SM7}$  で無次元化して示す。縦軸は累積エネルギー吸収量  $\Delta/E_{SM7}$ 、横軸はせん断変位  $\delta/\delta_{ySM7}$  である。最大せん断力時の累積エネルギー吸収量で比較すると、SM7 が LY7 の約 1.1 倍、LY3.5 が SM3.5 の約 1.1 倍となり、あまり差がない。このことから、LY 鋼の供試体はひずみ硬化などの影響により SM 鋼の供試体より最大せん断強度に達するのが遅く、累積エネルギー吸収量が材料の強度差以上に大きくなったと考えられる。

4.まとめ

ウェブに SM 鋼および LY 鋼を用いたせん断リンクを有する 4 種類の箱形断面柱について繰り返しせん断載荷実験を行った。その結果、ウェブ厚 7mm の SM 鋼を用いた供試体はせん断リンク部分の強度が高く、せん断リンク部分以外が先に損傷する場合がある。また、ウェブ厚 3.5mm の供試体は座屈およびクラック発生後の強度低下が著しく変形性能に劣る。以上のことから、ウェブ厚 7mm の LY 鋼を用いた供試体の変形性能およびエネルギー吸収性能に優れおり、せん断リンクに適する。

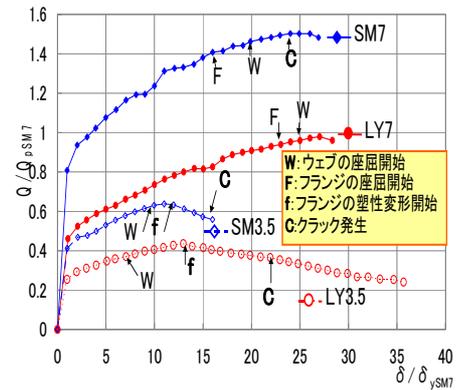


図-4 包絡線(無次元化)

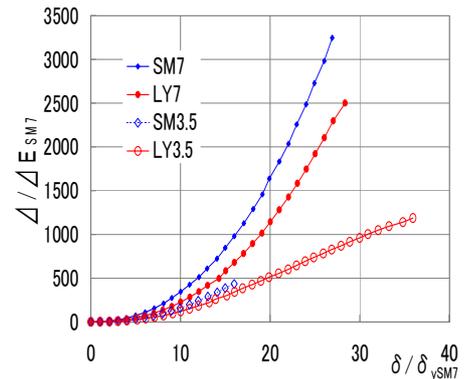


図-5 累積エネルギー吸収量

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
		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
		P2	960	23 $\delta_y$	—	-18.4
	ウェブ	P3	981	25 $\delta_y$	—	19.9
		P2	981	25 $\delta_y$	—	8.12
SM3.5	フランジ	P3	-656	-12 $\delta_y$	—	12.9
		P2	646	12 $\delta_y$	—	21.5
	ウェブ	P3	563	10 $\delta_y$	—	22.6
		P2	563	10 $\delta_y$	-16 $\delta_y$	23.5
LY3.5	フランジ	P3	-448	-13 $\delta_y$	—	28.4
		P2	447	13 $\delta_y$	-22 $\delta_y$	20.7
	ウェブ	P3	412	-7 $\delta_y$	22 $\delta_y$	-19.9
		P2	412	8 $\delta_y$	—	-20.5