

繰り返しせん断を受ける箱形はりの強度および変形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
 日本鋼管(株) 山本 定弘 福山大学大学院 学生会員 ○石川 弘幸

1. まえがき

本研究は門形鋼製橋脚に地震力が作用する場合、繰り返しに作用するせん断力により鋼製橋脚の横ばり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。ここでは、ウェブに低降伏点鋼を用いた箱形はりの繰り返しせん断載荷実験を行い、ウェブパネル数が 2,3,4 と変化するとき箱形はりの耐荷力と変形性能について報告する。

2. 供試体および実験方法

供試体の箱形はりにはウェブに低降伏点鋼 LY100、フランジと縦リブに普通鋼 SM400 を用いている。図-1 に示すようにウェブは幅と高さが 600×600mm で、厚さが 6 mm、フランジ断面は 600×8mm で、縦リブ 80×8 mm が 150mm 間隔に配置されている。ウェブパネル数が 2,3,4 の供試体はそれぞれ BG1-2, BG1-3, BG1-4 と呼ぶ。ウェブの材料特性と応力-ひずみ曲線をそれぞれ表-1 と図-2 に示す。フランジの降伏応力 $\sigma_y = 314 \text{ MPa}$ 、引張強さ $\sigma_u = 447 \text{ MPa}$ である。

せん断載荷実験の載荷装置は図-3 に示す。載荷方法は図-4 に示す変位履歴にしたがって正負の繰り返し荷重を油圧ジャッキによって変位制御で静的に載荷した。本研究の基本変位は図-5 に示すようにウェブパネルがせん断応力によって変形するときの対角線方向変位 δ_1 と δ_2 の和をせん断変位 δ とし、式(1)で表される。単位パネルのウェブがせん断応力で降伏するときのせん断変位を降伏せん断変位 δ_{y0} とし、式(2)で表される。各供試体の降伏応力の平均値を用いると、単位パネルの降伏せん断変位 δ_{y0} は 0.90mm である。繰り返し載荷の基本変位 δ_Y はウェブパネルの個数倍として、この δ_Y の整数倍の変位を片振幅とした両振り載荷を行った。

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \sqrt{2}\gamma h \cdots (1) \quad \delta_{y0} = \delta_{1Y} + \delta_{2Y} = \frac{\sqrt{2}\tau_y h}{G} \cdots (2)$$

ここに、 τ : せん断応力, γ : せん断ひずみ, h : ウェブ高, σ_y : 降伏応力, τ_y : 降伏せん断応力, Q_p : 塑性せん断力, G : せん断弾性係数である。

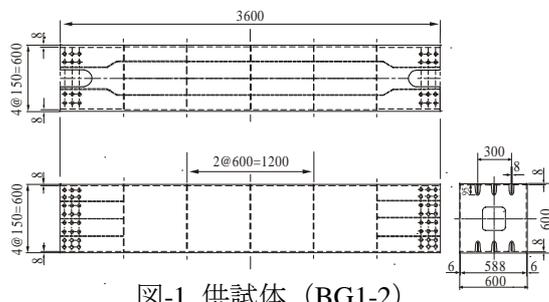


図-1 供試体 (BG1-2)

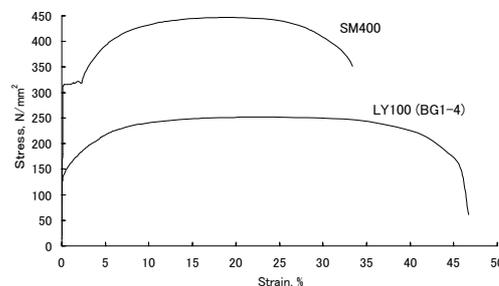


図-2 応力-ひずみ曲線

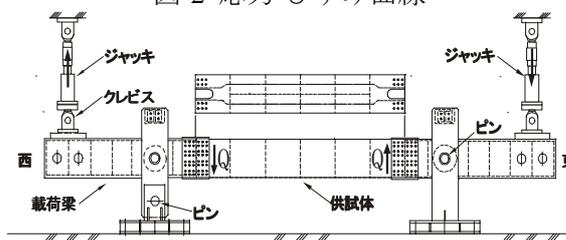


図-3 載荷装置

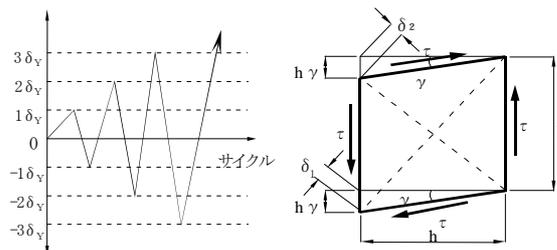


図-4 載荷サイクル 図-5 降伏せん断変位

表-1 腹板の材料特性

供試体	パネル数	ウェブ鋼種	*降伏応力 (MPa)	引張強さ (MPa)	降伏せん断変位 δ_{y0} (mm)
BG1-2	4	LY100	148	247	3.6
BG1-3	6	LY100	148	247	5.4
BG1-4	8	LY100	138	250	7.2

* : 降伏応力は 0.2%耐力

キーワード : 箱形はり, 繰り返し荷重, せん断強度, 変形性能, 低降伏点鋼

連絡先 : 〒 729-0292 広島県福山市学園町1番地三蔵, TEL 0849-36-2111, FAX 0849-36-2023

3. 実験結果および考察

図-6に4パネルの供試体BG1-4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 、横軸はせん断変位 δ をそれぞれ塑性せん断力 Q_p と降伏せん断変位 δ_Y で除して無次元化している。ただし、塑性せん断力 Q_p は、供試体BG1-2,3では611kN、BG1-4では574kNである。供試体BG1-4の耐荷力は座屈が生ずるせん断変位 $6\delta_Y$ まで材料特性による増加をするが、せん断変位 $7\sim 14\delta_Y$ では座屈により一時的に増加しなくなる。その後、耐荷力はひずみ硬化、斜張力場作用により徐々に増加し、せん断変位 $44\delta_Y$ で最大 $1.06Q_p$ になる。これを終局強度 $Q_{u,ex}$ と呼ぶ。終局強度の95%以上になる耐荷力はせん断変位 $24\delta_Y$ から $60\delta_Y$ までほぼ一定になり、斜張力場作用によって優れた変形性能が保持される。それ以後は耐荷力が徐々に低下する。これはフランジが降伏して、斜張力場作用が低下することが原因と考えられる。

図-7にせん断力-せん断変位履歴曲線の包絡線を示す。各供試体とも終局強度開始変位と終局強度低下変位がほぼ同じ変位で生じた。ウェブパネル数が増えると、終局強度はやや低下するが、変形性能はパネル数に関係なくほぼ同等である。表-2に各供試体の終局強度、変形性能などをまとめて示す。

図-8にエネルギー吸収量 Δ を示す。これはせん断力-せん断変位履歴曲線において、各変位サイクル毎のループ面積をその変位サイクルでの供試体のエネルギー吸収量とする。縦軸はエネルギー吸収量 Δ を弾性限のエネルギー吸収量 $\Delta_E = Q_p \cdot \delta_Y$ で除して無次元化している。各供試体のエネルギー吸収量は約 $40\sim 44\delta_Y$ までせん断変位に比例して増加するが、以後、徐々に傾きが緩やかになり、約 $68\sim 80\delta_Y$ で一定化した。これは、フランジの降伏による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思われる。耐荷力が終局強度の95%に低下するせん断変位 $60\delta_Y$ のエネルギー吸収量を比較すると、BG1-2に対してBG1-3とBG1-4は、それぞれ約1.5倍と約2.0倍となり、全パネルのエネルギー吸収量はウェブパネル数に比例する。

4. まとめ

2~4パネルの低降伏点鋼腹板を有する箱形はりが繰り返しせん断力を受ける場合、耐荷力、変形性能およびエネルギー吸収量について本実験の範囲内で以下のことが明らかになった。

- (1)耐荷力は座屈後もひずみ硬化、斜張力場作用により徐々に増加し、せん断変位が $24\delta_Y$ から $60\sim 72\delta_Y$ まで一定化するが、その後フランジの降伏により、徐々に低下する。
- (2)終局強度 $Q_{u,ex}$ はひずみ硬化によって $1.06\sim 1.11Q_p$ まで上昇する。
- (3)エネルギー吸収量はせん断変位に比例して増加するが、せん断変位 $60\sim 72\delta_Y$ から耐荷力の低下にともない増加の割合が減少する。エネルギー吸収量はウェブパネル数に比例する。

なお、本研究は福山大学ハイテク・リサーチ・センター「構造物の耐震性能向上に関する研究」の一部である。

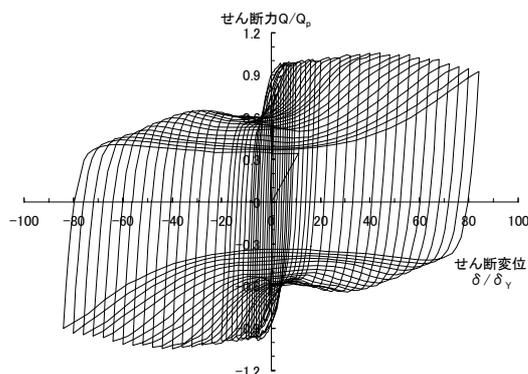


図-6 4パネル (BG1-4) のせん断力-せん断変位履歴曲線

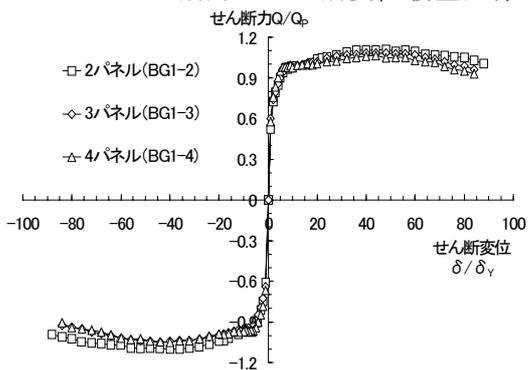


図-7 包絡線

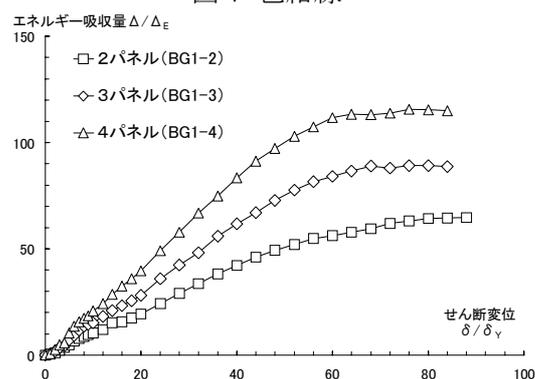


図-8 エネルギー吸収量

表-2 終局せん断強度および変形性能

供試体	弾性座屈せん断力 $\frac{Q_{cr,th}}{Q_p}$	終局強度 $\frac{Q_{u,ex}}{Q_p}$	0.95 $Q_{u,ex}$ 開始変位 $\frac{\delta}{\delta_Y}$	$Q_{u,ex}$ 発生変位 $\frac{\delta}{\delta_Y}$	0.95 $Q_{u,ex}$ 低下変位 $\frac{\delta}{\delta_Y}$
BG1-2	1.99	1.11	24	44	72
BG1-3	1.99	1.08	24	44	64
BG1-4	2.12	1.06	24	44	60