

繰返しせん断を受けるプレートガーダーパネルの耐力力と変形性能に関する実験的研究

福山大学 フェロ 福本 秀士 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 ○佐屋 裕之

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、繰返し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。その基礎資料として、ウェブに低降伏点鋼を用いた I 形プレートガーダーの繰返しせん断載荷実験を行った。今回はアスペクト比 1, 1/2 の 2 体の実験結果より耐力力と変形性能について報告する。

2. 実験方法

供試体の I 形プレートガーダーはウェブに低降伏点鋼(LY100)、フランジとスチフナーに普通鋼(SM400B)を用いて、アスペクト比が 1, 1/2 の 2 体(それぞれ LY3-10, LY3-05 と呼ぶ)を製作した。表-1 に各供試体の 1 パネルの形状寸法を示す。ここで便宜上、西側パネルを A パネル、東側パネルを B パネルと呼ぶ。図-2 にウェブに用いた低降伏点鋼の応力-ひずみ曲線を示す。材料特性は低降伏点鋼が降伏応力 $\sigma_y = 122 \text{ MPa}$ (0.2% 耐力)、引張強さ $\sigma_u = 241 \text{ MPa}$ であり、普通鋼が降伏応力 $\sigma_y = 285 \text{ MPa}$ 、引張強さ $\sigma_u = 433 \text{ MPa}$ である。繰返しせん断載荷実験は図-1 に示すような載荷装置で行った。載荷方法は正負の繰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-3 に示すようにせん断応力によってウェブが変形するときのせん断変位とし、対角線方向変位 δ_1 と δ_2 の和をせん断変位 δ とした。これは式(1)で表される。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_y とし式(3)で表される。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い、1~10 δ_y までは $\pm \delta_y$ 、10 δ_y ~ 20 δ_y までは $\pm 2 \delta_y$ 、20 δ_y からは $\pm 4 \delta_y$ というように漸次振幅を増加させながら載荷を行った。

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \sqrt{2} \gamma h \quad \cdots (1) \quad \tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \quad \cdots (2)$$

$$\delta_y = \delta_{1y} + \delta_{2y} = \frac{\sqrt{2} \tau_y h}{G} \quad \cdots (3) \quad Q_p = \tau_y A_w \quad \cdots (4)$$

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、 A_w : ウェブ断面積、 G : せん断座屈係数である。降伏せん断変位 δ_y は 1.04mm となる。

表-1 供試体の形状寸法

供試体 Type	ウェブ			
	アスペクト比	幅 b_w (mm)	高 h (mm)	板厚 t_w (mm)
LY3-10	1	800	800	7
LY3-05	1/2	400	800	7

供試体 Type	フランジ		スチフナー	
	幅 b_f (mm)	板厚 t_f (mm)	幅 b_s (mm)	板厚 t_s (mm)
LY3-10	300	12	100	9
LY3-05	300	12	100	9

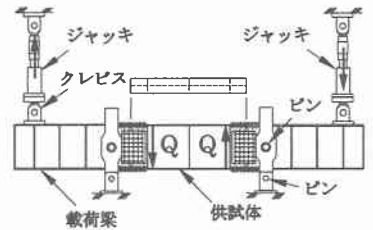


図-1 載荷装置

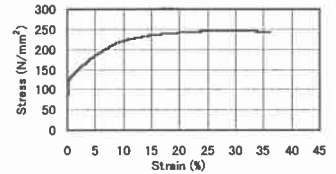


図-2 応力-ひずみ曲線

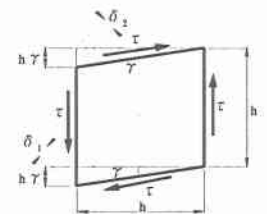


図-3 降伏せん断変位

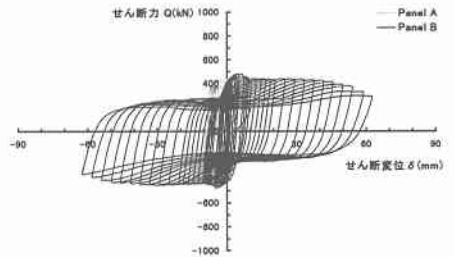


図-4 せん断力-せん断変位履歴曲線 (LY3-10)

3. 実験結果および考察

図-4、図-5に供試体 LY3-10, LY3-05 のせん断力-せん断変位履歴曲線（ヒステリシスループ）を示す。縦軸はせん断力で横軸はせん断変位である。座屈によるウェブの面外たわみは2体ともBパネルで大きく生じた。LY3-10, LY3-05 の耐力力は、せん断変位 $1\delta_y$ (1.04mm) からそれぞれ $7\delta_y$ (7.28mm), $20\delta_y$ (20.8mm) までひずみ硬化により徐々に増加し最大耐力力に到達する。その後ウェブが座屈して斜張力場が形成され耐力力はそれぞれ $32\delta_y$ (33.28mm), $52\delta_y$ (54.08mm) までほぼ一定となる。このほぼ一定になる耐力力を終局強度と呼ぶ。それ以後はフランジが大きく変形して、耐力力が低下する。これはフランジの変形が大きくなることによって、斜張力場作用の低下が原因と考えられる。LY3-10 の A パネルはせん断変位が B パネルより著しく小さい。これは B パネルが先に座屈し、B パネルの強度が低下し、B パネルに変形が集中したと考えられる。LY3-05 の A パネルのせん断変位も B パネルよりかなり小さく、せん断変位はマイナス方向にかたよって増加している。A パネルでは、負のせん断力に対するせん断座屈モードしか生じなかった。そのため、負のせん断変位は座屈の影響を受けて増大するが、正のせん断変位に対しては、アスペクト比が小さく、面外たわみが生じにくいいため、強度の低い B パネルに変形が集中して、A パネルのせん断変位は増加しなかったと考えられる。

図-6に各供試体においてせん断変位が集中したBパネルのせん断力-せん断変位履歴曲線の包絡線を示す。LY3-10, LY3-05 は最大耐力力、終局強度などが異なるが、ほぼ同様の挙動を示す。LY3-10, LY3-05 の終局強度はそれぞれ 445 kN, 637kN が、それぞれのせん断変位が 33.3 mm, 54.1 mm まで保持される。表-2 に各供試体の最大耐力力、終局強度の変形性能などを示す。

図-7にエネルギー吸収量を示す。エネルギー吸収量はサイクル毎のA, B両パネルの和を示している。LY3-10, LY3-05 のエネルギー吸収量は、それぞれのせん断変位 $5\delta_y$ (5.20mm), $24\delta_y$ (24.96mm) まで一定の割合で増加し、それ以降から最大値までは、座屈によりエネルギー吸収量の増加割合が小さくなる。LY3-10 のエネルギー吸収量はフランジの変形後も増加し最大値の 51kN・m になり、それ以降低下する。これは、耐力力の低下割合が緩やかであるためと考えられる。LY3-05 のエネルギー吸収量の最大値は 119kN・m で、それ以降の低下はフランジの変形によるものと考えられる。

4. まとめ

繰り返しせん断力を受けるプレートガーダーに関して本実験の範囲内で、耐力力、変形性能およびエネルギー吸収量について以下のことが明らかになった。

- (1) 耐力力はひずみ硬化により、塑性せん断強度を超えて増加する。終局強度は座屈の生じにくいアスペクト比 1/2 の供試体が、アスペクト比 1 の 1.43 倍になる。
- (2) 変形性能は座屈の生じにくいアスペクト比 1/2 の供試体が優れており、アスペクト比 1 の 1.62 倍になる。
- (3) エネルギー吸収量はアスペクト比 1/2 の供試体が多くなり、最大値はアスペクト比 1 の 2.33 倍になる。

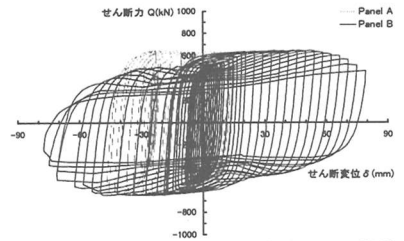


図-5 せん断力-せん断変位履歴曲線

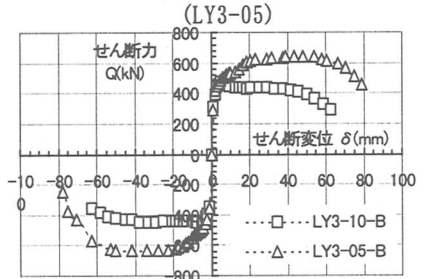


図-6 各供試体の包絡線

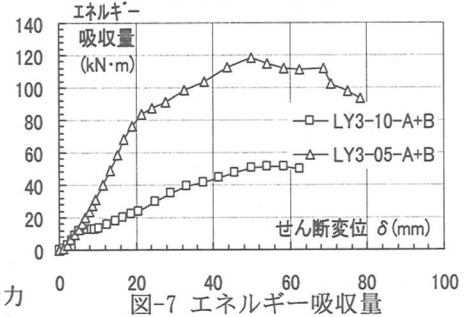


図-7 エネルギー吸収量

表-2 各供試体の変形性能

供試体 No	弾性座屈せん断力 $Q_{cr,th}$ (kN)	塑性せん断力 $Q_{p,th}$ (kN)	座屈せん断力 $Q_{cr,ex}$ (kN)
LY3-10	777	398	218~241
LY3-05	1852	405	365~423

供試体 No	最大耐力力 (kN)	終局強度 (kN)	終局強度の最大せん断変位 (mm)	
			A パネル	B パネル
LY3-10	474	445	10.5	33.3
LY3-05	637	637	47.3	54.1