

# 低降伏点鋼腹板を有するプレートガーダーパネルの繰返し載荷特性

福山大学    福本 湧士    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    〇石川 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。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せん断載荷実験を行った。今回は単調載荷と繰返し載荷における実験結果より耐荷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）を用いて図-1 に示すようにウェブ幅と高さが 800×800mm で厚さが 4.1、4.3 mm の 2 体（それぞれ LY0,LY1 と呼ぶ）を製作した。フランジ断面は 2 体とも 300×12mm である。ここで便宜上、左側パネルを A パネル、右側パネルを B パネルと呼ぶ。図-2 にウェブに用いた低降伏点鋼ウェブの応力-ひずみ曲線を示す。材料特性は低降伏点鋼が降伏応力  $\sigma_y=91MPa$ （0.2%耐力）、引張強さ  $\sigma_u=252MPa$  であり、普通鋼が降伏応力  $\sigma_y=271MPa$ 、引張強さ  $\sigma_u=425MPa$  である。せん断載荷実験は図-3 に示すような載荷装置で行った。単調載荷は同図に示すように行い、繰返し載荷は図-4 に示すように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。単調載荷した供試体が LY0、繰返し載荷した供試体が LY1 である。本研究の基本変位は図-5 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  $\delta_1$  と  $\delta_2$  の和をせん断変位  $\delta$  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  $\delta_y$  とし、式 (2) で表される。

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

$$\tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \cdots (3) \quad Q_p = \tau_y A_w \cdots (4)$$

ここに、 $\tau$  : せん断応力,  $\gamma$  : せん断ひずみ,  $h$  : ウェブ高,  $\sigma_y$  : 降伏応力,  $Q_p$  : 塑性せん断力,  $\tau_y$  : 降伏せん断応力,  $A_w$  : ウェブ断面積,  $G$  : せん断弾性係数である。降伏せん断変位  $\delta_y$  は 0.75mm となる。

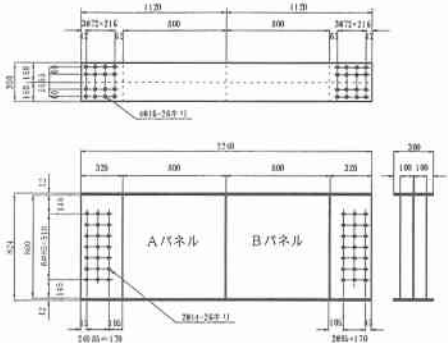


図-1 供試体 (LY0,LY1)

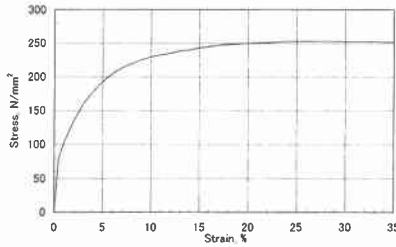


図-2 応力-ひずみ曲線 (LY100)

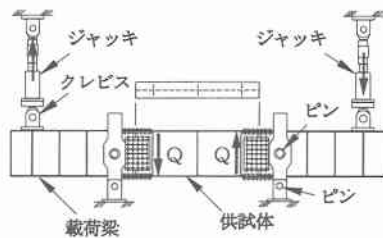


図-3 載荷装置

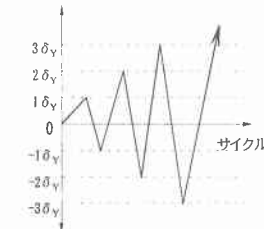


図-4 繰返しせん断載荷

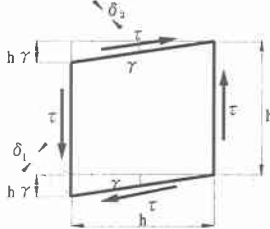


図-5 降伏せん断変位

### 3. 実験結果および考察

図-5 に単調載荷の供試体 LY0 のせん断力-せん断変位曲線を示す。縦軸はせん断力で横軸はせん断変位である。LY0 の耐力力は  $2\delta_Y$  (せん断変位 1.5mm) 付近までせん断変位に比例して直線的に増加する。せん断変位が  $2\delta_Y$  (1.5mm) を越えると、面外たわみが降伏により急激に増加する。その影響で耐力力が一時的に抑制され、 $4\delta_Y$  (3mm) から  $8\delta_Y$  (6mm) では曲線がほぼ一定になる。その後、耐力力はひずみ硬化により徐々に増加する。B パネルでは、 $40\delta_Y$  (30mm) 付近から斜張力場が形成され始める。下フランジでは  $80\delta_Y$  (60mm)、上フランジでは  $112\delta_Y$  (84mm) で降伏することによって耐力力は一定になる。このほぼ一定になる耐力力を単調載荷の終局強度  $Q_{u,ex}$  と呼ぶ。耐力力は  $160\delta_Y$  (120mm) 付近でフランジが大きく変形して、斜張力場のアンカーとしての役割を果たせなくなると、低下し始める。A パネルのせん断変位は B パネルより小さい。これは B パネルが先に座屈して、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。

図-6 に繰り返し載荷の供試体 LY1 のせん断力-せん断変位履歴曲線を示す。LY1 の耐力力は  $1\delta_Y$  (0.75mm) から約  $30\delta_Y$  (22.5mm) までひずみ硬化により徐々に増加し、その後、斜張力場によりピーク荷重は 240kN 付近でほぼ一定となる。このほぼ一定になる耐力力を繰り返し載荷の終局強度  $Q_{u,ex}$  と呼ぶ。それ以後は耐力力が徐々に低下する。これはフランジの変形が大きくなることによって、斜張力場作用が低下することが原因と考えられる。

図-5 に繰り返し載荷の供試体 LY1 のせん断力-せん断変位の包絡線を示す。耐力力は LY1 が LY0 よりかなり大きいことが分かる。終局強度は LY0 で約 200kN、LY1 で約 240kN となり、LY1 は LY0 の 1.2 倍の強度である。この理由として、LY1 は繰り返し載荷によって、ひずみ履歴が長くなる。ひずみ硬化はひずみ履歴に比例するので、LY1 の耐力力が LY0 より大きくなったものと考えられる。しかし、繰り返し載荷の終局強度の最大せん断変位は単調載荷の約 1/3 倍であり、単調載荷に比較して著しく小さい。繰り返し載荷の供試体 LY1 は座屈モードの逆転が繰り返し生じるので、 $-48\delta_Y$  (22 サイクル)、 $52\delta_Y$  (23 サイクル)、 $56\delta_Y$  (24 サイクル)、 $60\delta_Y$  (25 サイクル) のときに十字状の亀裂がウェブ面 4 力所に生じた。表-1 に各供試体の終局強度の変形性能などをまとめて示す。

### 4. まとめ

単調せん断載荷と繰り返しせん断載荷を受けるプレートガーダーに関して本実験の範囲内で変形挙動、耐力力について以下のことが明らかになった。

- (1) 繰り返し載荷はひずみ履歴が長くなり、ひずみ硬化によって耐力力が上昇し、終局強度は単調載荷の約 1.2 倍になる。
- (2) 繰り返し載荷による面外たわみは累積するので、単調載荷より著しく増加する。このため、繰り返し載荷における変形能は単調載荷の約 1/3 になる。
- (3) 繰り返し載荷の場合、22~25 サイクルで低サイクル疲労による亀裂が生じる。

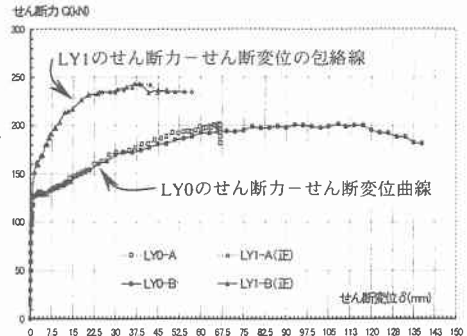


図-5 せん断力-せん断変位曲線

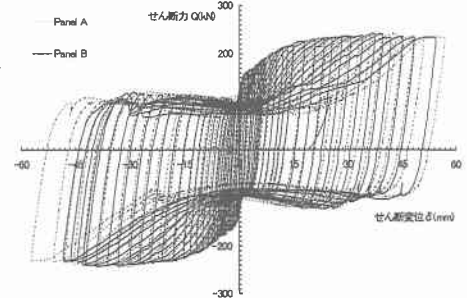


図-6 LY1 のせん断力-せん断変位履歴曲線

表-1 各供試体の変形性能

| 供試体 No | ウェブ厚 t (mm) | 弾性座屈せん断力 $Q_{cr,yb}$ (kN) | 塑性せん断力 $Q_{p,yb}$ (kN) | 座屈せん断力 $Q_{cr,ps}$ (kN) |
|--------|-------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|
| LY0    | 4.1         | 145                       | 172                    | 126                     |
| LY1    | 4.3         | 168                       | 181                    | 96~121                  |

| 供試体 No | 終局強度 $Q_{u,ex}$ (kN) | 終局強度の最大せん断変位 $\delta_{p,max}$ (mm) |       |
|--------|----------------------|------------------------------------|-------|
|        |                      | A パネル                              | B パネル |
| LY0    | 200                  | 66.8                               | 117.2 |
| LY1    | 240                  | 42.3                               | 39.1  |