

構造用鋼材のせん断試験方法に関する研究

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 エヌケーケー総合設計(株) 正会員 ○内田正明

1. まえがき

鋼材のせん断試験方法は確立されておらず、種々の方法が提案されている。本研究は福山大学で考案された張出しばり型のせん断試験装置により構造用鋼材の載荷試験を行うとともに、汎用非線形解析ソフト MARC を用いた弾塑性大変形解析を行い、せん断試験装置の妥当性を検討するものである。

2. 試験片および実験・解析方法

図-1 に構造用鋼材 SM400 により製作したせん断試験片を示す。張出しばり型試験片は $60 \times 6 \times 260 \text{ mm}$ であり、試験片中央にせん断対象部分のせん断パネルがある。せん断パネルのウェブは $18 \times 2 \times 6 \text{ mm}$ 、上下のフランジは $6 \times 1 \times 6 \text{ mm}$ である。図-2 に SM400 の応力-ひずみ曲線を示す。降伏応力 σ_y および引張強さ σ_u はそれぞれ 280.2 MPa および 418.7 MPa である。また、汎用非線形解析ソフト MARC による解析で使った解析モデルを図-3 に示す。硬化則は移動硬化則を採用した。解析に使用した要素は、4 節点 6 自由度の四辺形厚肉シェル要素である。

図-4 にせん断载荷実験の载荷装置と試験片に作用するせん断力や曲げモーメント分布を示す. 同図に示すように载荷は引張方向に载荷し, 変位制御で行った. 図-5 に示すように降伏せん断変位 δ_y はせん断パネルが純せん断で降伏する時の変位とし, 式(1)~(4)より定義され, $\delta_v = 0.0121\text{mm}$ である.

$$\tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \quad (1) \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2)$$

$$\gamma_y = \frac{\tau_y}{G} \quad (3) \quad \delta_y = \gamma_y \cdot b \quad (4)$$

ここに、 σ_y ：降伏応力、 τ_y ：パネルの降伏せん断応力、 G ：せん断弾性係数、 E ：ヤング係数、 ν ：ポアソン比、 γ_y ：降伏せん断ひずみ、 b ：パネル幅

パネルのせん断変位は図-6 に示すように両面に取付けた変位計で計測する。

3. 実験および解析結果とその考察

変位計の測定値はせん断パネルから測定位置までの部材の曲げとせん断による変位を含む。図・7 にはり理論によるたわみの計算方法を示し、曲げ変位 δ_m およびせん断変位 δ_s をそれぞれ式(5)および式(6)により定義する。変位計による測定値は式(7)に定義する補正値の和 δ_h で補正する。載荷の基本変位は補正された鉛直変位 δ_{vh} とし、式(8)により定義する。

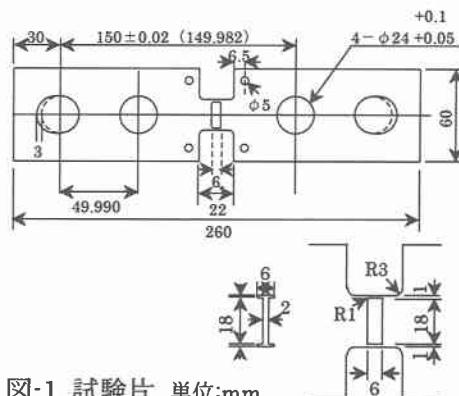


図-1 試験片 単位:mm

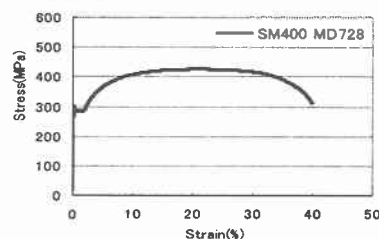


図-2 応力-ひずみ曲線

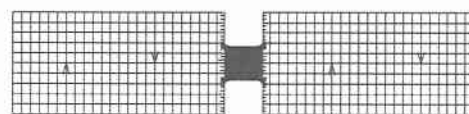


図-3 有限要素モデル

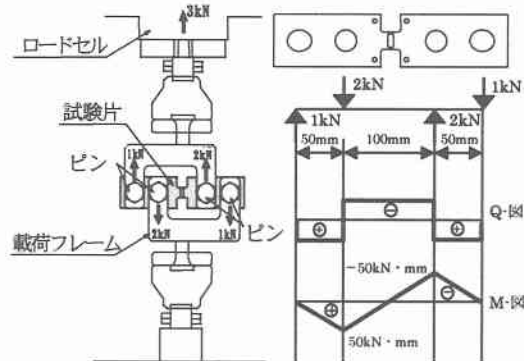


図-4 載荷装置と試験片の Q・図と M・図

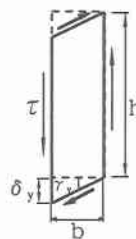


図-5 せん断変位

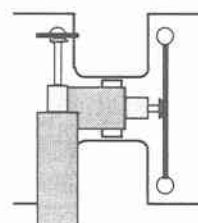


図-6 変位計

$$\delta_m = \frac{PL_1^2}{2EI_1} \left(\frac{L_3}{6} + L_2 + \frac{L_1}{3} \right) + \left\{ \frac{PL_2(2L_1 + L_2)}{2EI_2} \right\} \left\{ \frac{L_3}{6} + \left(\frac{L_2}{3} \right) \left(\frac{3L_1 + L_2}{2L_1 + L_2} \right) \right\} + \left(\frac{PL_3^2}{216EI_3} \right) (L_1 + L_2 - L_3/6) \quad (5)$$

$$\delta_s = \delta_{s1} + \delta_{s2} \quad (6)$$

$$\delta_h = \delta_m + \delta_s \quad (7)$$

$$\delta_{yh} = \delta_y + \delta_h \quad (8)$$

ここに、P：荷重、I：断面 2 次モーメントである。

図-8 にせん断荷重実験から得られた荷重・変位曲線を示す。変位計測定値は補正前と補正後に分け、ひずみゲージから算出した変位と比較する。降伏点において、変位計とひずみゲージの変位差は大きいのが、補正すれば良く近似する。

図-9 に解析結果におけるせん断パネルのせん断応力とひずみの分布を示す。せん断ひずみ $\gamma_{xy}=10.2\text{rad}\%$ のとき、せん断パネル内で応力とひずみが均一に分布しており、せん断状態がよく実現できていると思われる。図-10 に示すように、せん断パネルは降伏すると、すぐに上下フランジの両端が降伏し、せん断パネルとつながり、パネルのせん断変形はフランジによりほとんど拘束されないようである。図-11 に引張試験とせん断試験の比較を示す。SM-M(AL)は式(9)~(12)により、単軸引張試験結果の公称応力 σ_N とひずみ ε を真応力 σ_A と真ひずみ e に変換し、さらに、せん断応力 τ_{xy} とせん断ひずみ γ_{xy} に変換している。

$$\sigma_A = \sigma_N (1 + \varepsilon) \quad (9)$$

$$e = \ln\left(\frac{\ell}{\ell_0}\right) = \ln\left(\frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} + 1\right) = \ln(1 + \varepsilon) \quad (10)$$

$$\sigma_x = \sqrt{3}\tau_{xy} \quad (11)$$

$$\gamma_{xy} = \gamma_{xy}^e + \gamma_{xy}^p = \frac{2(1+\nu)}{\sqrt{3}} \left(\frac{\sigma_x}{E} \right) + \sqrt{3} \left(\varepsilon_x - \frac{\sigma_x}{E} \right) \quad (12)$$

本実験では、せん断ひずみが破断時には $167\text{rad}\%$ に至り、引張試験によるひずみ 69% に比べ 2.4 倍にもなった。

4. まとめ

本研究において提案した張出しばり型荷重装置によるせん断試験方法について、以下のことが明らかになった。

- (1) 変位計によるせん断変位の測定における補正方法を提案した。
- (2) 変位計によるせん断変位の測定は変位が小さい弾性域では精度よく測定できないが、塑性域ではひずみゲージにより測定できない大変形まで精度よく測定できる。

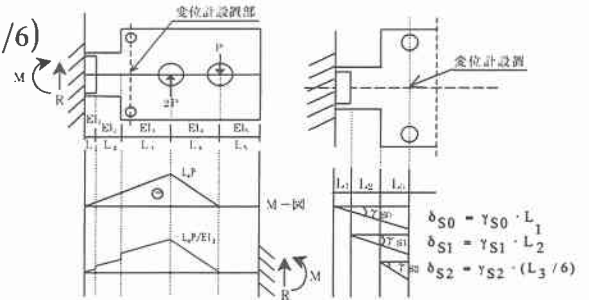


図-7 曲げ補正(左)とせん断補正(右)の概念図

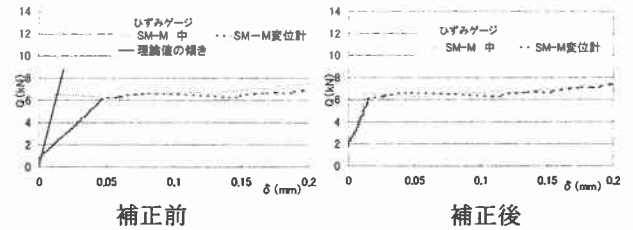


図-8 変位計測定値の補正

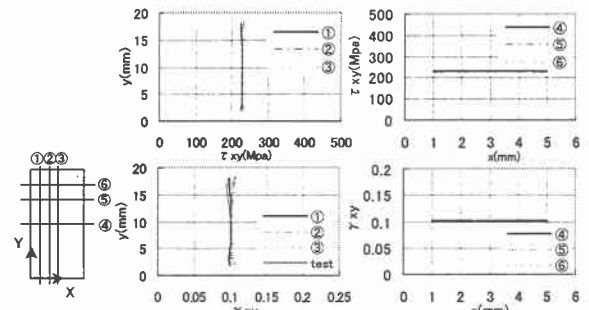


図-9 せん断パネルの応力とひずみの分布 ($\gamma=10.2\text{rad}\%$)

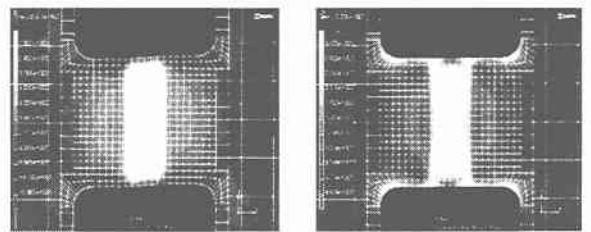


図-10 せん断応力(左)とせん断部の降伏域

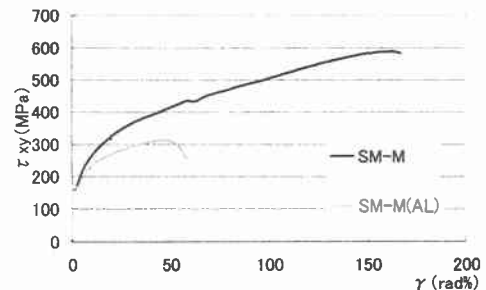


図-11 引張試験とせん断試験の比較