

低降伏点鋼の繰り返しせん断特性

福山大学 正会員 上野谷 実 福山大学 正会員 中村 雅樹 福山大学 吉村 博文
JFE ホールディングス 山本 定弘 ㈱石田組 正会員 ○石田 俊介

1.まえがき

現在、地震時におけるエネルギーを局部的に吸収させることにより、構造物全体としての崩壊を防ぐ考え方が一般的になってきている。エネルギー吸収部材として様々な断面の繰り返しせん断試験が行われている。しかし、その使用材料のせん断特性や繰り返しせん断特性ははっきりと解明されていない。本研究では、福山大学で考案された張出しばり型のせん断試験装置を用いて、普通鋼(SM400)，エネルギー吸収部材の材料として注目されている低降伏点鋼(LY100)および福山大学ハイテク・リサーチ・センターで開発された耐震性新鋼材 (FLS100)について繰り返しせん断特性を強度、変形性能、エネルギー吸収性能について普通鋼を基準に低降伏点鋼、耐震性新鋼材を評価する。

2.実験概要

本実験に使用した試験片を Fig. 1 に示す。本研究では、せん断対象部分をせん断パネルと呼ぶことにする。試験片は、厚さ 6mm の普通鋼と低降伏点鋼および耐震性新鋼材の板材を使用し、それぞれ高さ 60mm × 幅 260mm の同型の試験片を製作した。せん断パネルは Fig. 2 に示すような I 型断面である。載荷装置と試験片のせん断力 - 曲げモーメントを Fig.3 に示す。また、用いた材料の引張特性を Table 1 に示す。LY100 および FLS100 の場合、明確な降伏点が存在しないため、降伏応力は 0.2% オフセット耐力とした。

Fig.4 に載荷サイクルを示す。せん断パネルが純せん断を受けて変形するときの降伏せん断変位 δ_y を次式(1)~(4)より計算した。Fig.3 に示すようにこの δ_y を片振幅とした両振り載荷を $\pm 1 \delta_y$ 、 $\pm 2 \delta_y$ 、 $\pm 3 \delta_y$ 、...と $\pm 1 \delta_y$ のように漸増載荷を行った。また、基本変位を 5 倍、10 倍とし、 $\pm 5 \delta_y$ 、 $\pm 10 \delta_y$ も同様に漸増載荷を行った。

$$\tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \tag{1}$$
$$\gamma_y = \frac{\tau_y}{G} \tag{2}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \tag{3}$$
$$\delta_y = \gamma_y \cdot b \tag{4}$$

τ_y :降伏せん断応力、
 G :弾性せん断係数、 b :
せん断ウェブ幅、 γ_y :
降伏せん断ひずみ

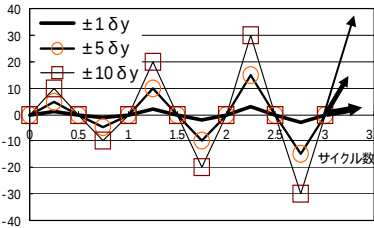


Fig.4 載荷サイクル

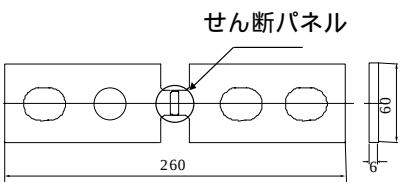


Fig.1 試験片

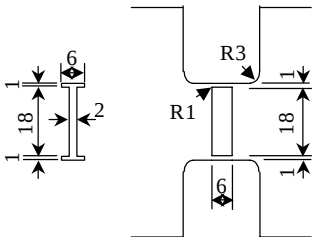


Fig.2 せん断パネル

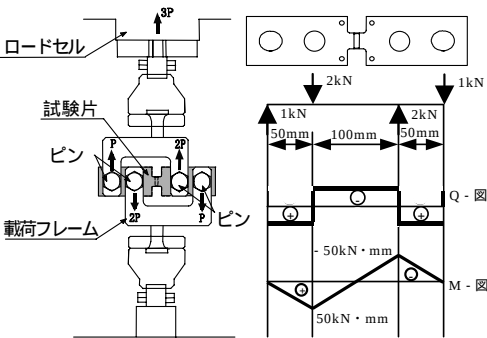


Fig.3 載荷装置と Q-図、M-図

Table 1 引張試験特性

鋼種	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	ϵ (%)	ν	E (GPa)
SM400	271	414	36	0.28	206
LY100	112	258	50	0.30	200
FLS100	130	451	79	0.30	200

キーワード：低降伏点鋼、繰り返し、せん断強度、塑性変形性能、エネルギー吸収量
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

せん断応力 τ 、せん断ひずみ γ は式(5)、(6)で定義する。Fig.5 に引張試験とせん断試験結果を示す。ここで、S はせん断、A は引張を示す。引張試験は体積変化を考慮し、真応力 - 対数ひずみに換算し、ミーゼスの降伏条件を用い換算する。Table 2 に引張試験とせん断試験結果を示す。Fig.5、Table 2 より降伏応力は 0.8~1.0 倍とほぼ一致する。せん断強さは引張強さに対して 2.3~2.6 倍とかなり大きく生じている。これは、支点降伏による X 軸方向変位が拘束されたことおよび引張試験によるネッキングなどによる不安定現象が原因である。最大せん断ひずみは、引張伸びに対して 1.1~1.5 倍とかなり誤差が大きい。

$$\tau = \frac{Q}{A_w} \quad (5) \quad \gamma = \tan^{-1} \left(\frac{\delta}{b - b_0} \right) \quad (6)$$

Q:せん断力、 A_w :せん断ウェブ断面積、b:せん断ウェブ幅
 δ :せん断変位、 b_0 :せん断ウェブの水平変位

Fig.6 に変位増分を $1\delta_y$ 、 $5\delta_y$ および $10\delta_y$ と変化させて得られた包絡線を示す。最大せん断ひずみは、わずかながら FLS 鋼、SM 鋼、LY 鋼の順に大きい。FLS 鋼は、せん断ひずみ 5%rad. 以上では SM 鋼より強くなり、繰返しによるひずみ硬化が単調せん断試験より著しいことを示している。また、変位増分を $1\delta_y \rightarrow 5\delta_y \rightarrow 10\delta_y$ と変化させても、最大せん断ひずみおよび最大せん断応力の増加割合は各鋼材ともにほぼ同じである。

Fig.7 に各サイクルで得られたエネルギー吸収量を鋼材の破壊と見なせる点まで累積させた累積エネルギー吸収量を示す。Fig.7 より変位増分を変えても、各鋼材の累積エネルギー吸収量はほぼ一定である。FLS 鋼は、エネルギー吸収に優れていると評価されている LY 鋼よりも 2 倍のエネルギー吸収量に優れている。

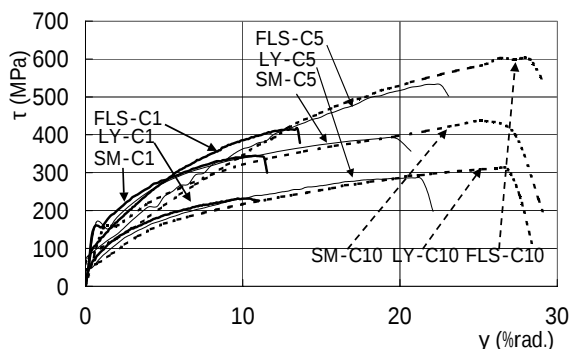


Fig.6 $1\delta_y$ 、 $5\delta_y$ および $10\delta_y$ の包絡線

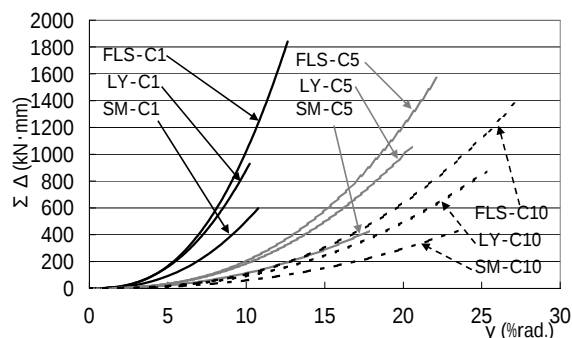


Fig.7 累積エネルギー吸収量

4. まとめ

本研究では、大塑性ひずみ下における、耐震性鋼材の単調せん断および繰返しせん断試験を行い、強度、塑性変形性能、エネルギー吸収性能を検討しせん断特性を明らかにした。

(1) せん断試験と引張試験による材料特性の違い

降伏応力はほぼ一致するが、せん断強さおよび最大せん断ひずみは引張試験の換算値よりかなり大きくなる場合がある。よってせん断特性は引張試験から理論的に換算すると、強度および変形性能は誤差が大きくなるためにせん断試験により決定すべきである。

(2) 耐震性鋼材の繰返しせん断特性

FLS 鋼のせん断強度およびエネルギー吸収性能は LY 鋼よりも特に優れている。また、FLS 鋼の塑性変形性能は LY 鋼よりもわずかに優れている。

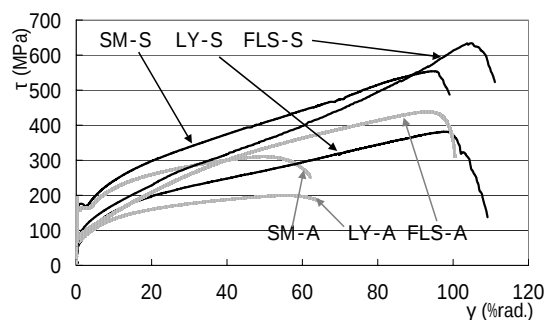


Fig.5 引張試験とせん断試験の比較

Table 2 引張試験とせん断試験の比較

鋼種	τ_y (MPa)	$\frac{\tau_y}{\sigma_y/\sqrt{3}}$	τ_u (MPa)	$\frac{\tau_u}{\sigma_u/\sqrt{3}}$	γ_u (%rad.)	$\frac{\gamma_u}{\sqrt{3} \epsilon_{max}}$
SM400	169	1.0	554	2.3	98	1.5
LY100	54	0.8	381	2.6	105	1.2
FLS100	67	0.9	634	2.4	117	1.1