

耐震用鋼材の繰返しせん断特性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 福山大学 吉村 博文
学生会員○保科 充宏

1. まえがき

構造物全体としての崩壊を防ぐために地震エネルギーを局部的に吸収する方法が考えられる。塑性せん断変形により地震エネルギーを吸収するために変形性能が大きい鋼材を検討する。普通鋼 SM400, 低降伏点鋼 LY100, ステンレス鋼 SUS304 および福山大学で開発された低降伏点鋼 FLS について繰返しせん断試験を行う。これら 4 種類の鋼材の強度、変形性能およびエネルギー吸収性能について評価する。

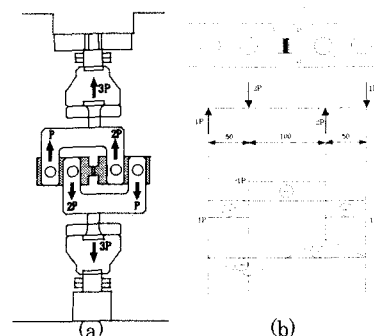


図-1 荷重装置および、M・図、Q・図

2. 試験片および実験方法

図-1(a)に示すような張出し梁の両端に引張試験機の引張および圧縮荷重を分配して、試験片の中央部が純せん断応力状態になる荷重装置を用いる。また、荷重 3P を荷重した時のせん断力図と曲げモーメント図を図-1(b)に示す。せん断試験片の試験部分(せん断パネルと呼ぶ)は I 型断面形状であり、これにより、ウェブに働くせん断応力がほぼ均一で、純せん断状態に近い。

引張試験結果の材料特性と応力-ひずみ曲線をそれぞれ表-1 と図-2 に示す。LY, FLS は明確な降伏点がないため降伏応力は 0.2% オフセット耐力とし、ヤング率 E およびポアソン比 ν の値は公称値を示す。

図-3 はせん断パネルが純せん断を受ける場合の変形を示す。実験で使用しているせん断試験片の I 型断面ウェブの降伏せん断変位 δ_y を式 (1) で定義する。試験片の降伏応力 δ_y は表-1 の値を用いる。降伏せん断応力 τ_y 、せん断弾性係数 G、降伏せん断ひずみ γ_y は式(2),(3),(4) で定義する。また、せん断試験におけるせん断ひずみは式(4)で定義する。

$$\delta_y = \gamma_y \cdot b \quad (1) \quad \gamma_y = \tau_y / G \quad (2) \quad \tau_y = \sigma_y / \sqrt{3} \quad (3) \quad \gamma = \tan^{-1} \frac{\delta}{b} \quad (4)$$

ここで、E：ヤング係数、 ν ：ポアソン比、b：ウェブ幅である。

繰返し荷重を行うにあたり、基本変位 δ_y を片振幅とし、 δ_y を整数倍させながら両振り荷重を行った。基本変位を $1\delta_y$ 、 $5\delta_y$ 、 $10\delta_y$ 、 $20\delta_y$ と 4 パターンに変えて荷重を行った。FLS は材料不足により $20\delta_y$ は行っていない。

3. 実験結果および考察

単調せん断荷重の τ - γ 曲線を図-4 に示す。SUS はひずみ硬化が著しく、どの鋼材よりも高い強度を有している。せん断試験では、体積変化がほぼ生じないので塑性域の応力は直線的に上昇して、最大せん断ひずみは各鋼材とも約 100% になる。

SM, LY, SUS, FLS の変位増分を $1\delta_y$ 、 $5\delta_y$ 、 $10\delta_y$ 、 $20\delta_y$ に変えて漸増荷重させたせん断試験結果の包絡線と単調せん断荷重を図-5(a)~(d)に示す。図-5 よりより各 δ_y ごとに比較すると最大せん断応力 τ_u は、SM に比べ、LY が約 0.7 倍、SUS が約 1.8 倍、FLS が SM の 1.2~1.4 倍になる。

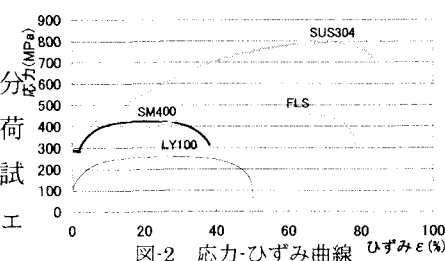


図-2 応力-ひずみ曲線

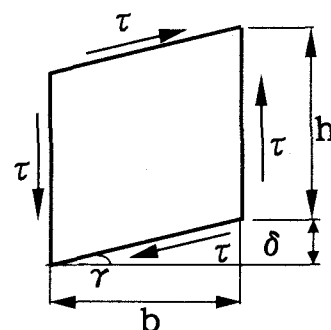


図-3 せん断変位

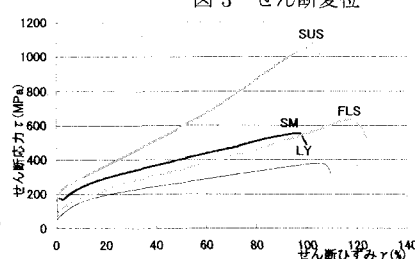


図-4 せん断応力-せん断ひずみ曲線

表-1 材料特性表

鋼種	降伏応力 σ_y (MPa)	引張強さ σ_u (MPa)	伸び ε_u (%)	ポアソン比 ν	弾性係数 E (GPa)
SM400	271	414	43	0.28	206
LY100	112	258	50	0.30	200
SUS304	305	792	84	0.27	185
FLS	130	450	79	0.30	200

変位増分が $1\delta_y$, $5\delta_y$, $10\delta_y$, $20\delta_y$ に増加すると最大せん断応力 τ_u は変位増分 $1\delta_y$ の強度に対して SM が 1.2 倍, 1.3 倍, 1.4 倍に, LY が 1.2 倍, 1.3 倍, 1.6 倍に, SUS が 1.2 倍, 1.3 倍, 1.3 倍に, FLS が 1.3 倍, 1.4 倍になっている。SM, LY, SUS は $10\delta_y$ までは同じ倍率である。また、包絡線より $1\delta_y$, $5\delta_y$, $10\delta_y$, $20\delta_y$ と変位増分すると強度、ひずみ硬化とともに単調載荷に近づく。また、全鋼材をせん断ひずみ 10% で比較すると変位増分が小さいほどひずみ履歴が長くなり、ひずみ硬化により強度がわずかに上昇している。

同じせん断変位量で SM, LY, SUS, FLS の比較をするために、変位増分が近い値の SM-5(0.06 mm), LY-10(0.05 mm), SUS-5(0.075 mm), FLS-10(0.06 mm) の包絡線を 図-6 に示す。図-6 より SUS は繰返しひずみ硬化により最大せん断応力が 720MPa と SM の 1.9 倍になっている。FLS のせん断応力は繰返しによるひずみ硬化が著しく、せん断ひずみが 10% を超えると SM より高くなる。また、最大せん断応力は 600MPa になり、SM の 1.6 倍であり。最大せん断ひずみは 29% になり、変形性能は LY より優れている。

せん断力-せん断変位曲線において、各サイクル毎の履歴ループの面積を構造物の破壊と見なせる点まで累積したエネルギー吸収量を図-7 に示す。図-7 より SUS は繰返しの変形性能に劣るために累積エネルギー吸収量が最も小さくなる。FLS は繰返しによるひずみ硬化が著しく、繰返しの変形性能に優れており、累積エネルギー吸収量は SM の 2.6 倍になり最も大きい。

4.まとめ

本研究では、SM, LY, SUS および FLS について、引張試験、単調および繰返しせん断試験を行った。その結果、強度、塑性変形性能、エネルギー吸収性能について以下のことが明らかになった。

単調載荷

- (1) 引張試験の引張強さは高い順に SUS, FLS, SM, LY となる。伸びは SUS, FLS が大きく 80% であり、SM の約 2 倍になる。
- (2) 単調載荷のせん断強度は高い順に SUS, FLS, SM, LY となる。最大せん断ひずみは引張試験のようなくびれが生じないので全鋼材とも約 100% 付近でせん断パネルの対角線方向に破断する。

繰返し載荷

- (1) 最大せん断強度は高い順に SUS, FLS, SM, LY となり、FLS はひずみ硬化による強度増加が著しい。最大せん断ひずみは大きい順に FLS, LY, SM, SUS になる。
- (2) 変位増分の変位が同じ場合、最大せん断ひずみは大きい順に FLS, LY, SM, SUS となり、SUS は強度が高いが最大せん断ひずみは最も小さい。FLS と LY の最大せん断ひずみは SM の約 1.5 倍となり、繰返しの変形性能に優れている。
- (3) 鋼材の累積エネルギー吸収量は大きい順に FLS, LY, SM, SUS となり、変位増分に関係なくほぼ一定になる。

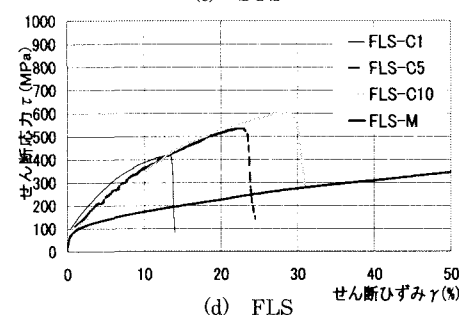
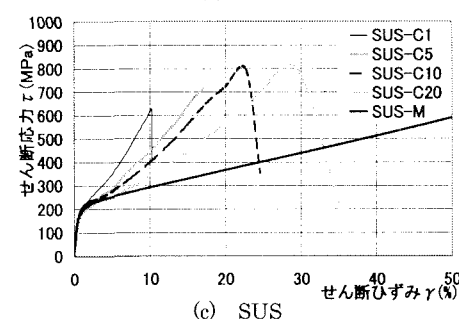
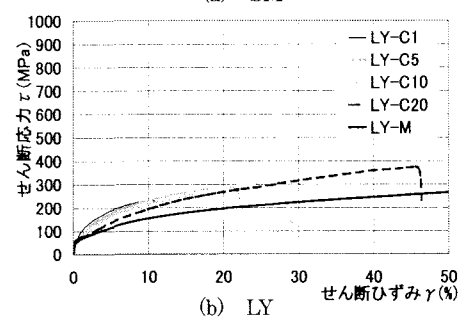
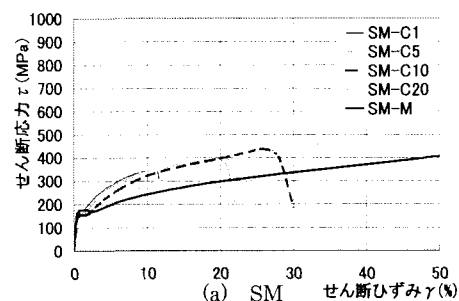


図-5 せん断応力-せん断ひずみ (M, $1\delta_y$, $5\delta_y$, $10\delta_y$, $20\delta_y$)

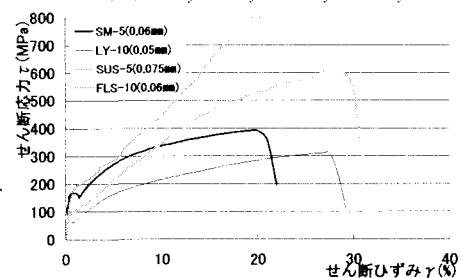


図-6 包絡線(変位増分の変位が同じ場合)

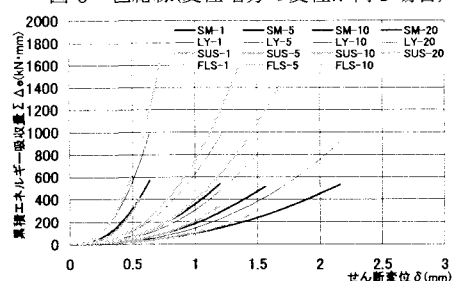


図-7 累積エネルギー吸収量(全 δ_y)