

繰返しせん断における変位増分の影響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
福山大学 学生会員 石田 俊介 福山大学 学生会員 保科 充宏

1. まえがき

福山大学では大地震時に地震エネルギーを吸収する塑性せん断リンクの研究を進めている。構造物に使用する塑性せん断リンクに適した構造材料を検討するために材料の繰返しせん断実験を行っている。今回は普通鋼 SM400、低降伏点鋼 LY100 および新しく福山大学で開発された低降伏点鋼 FLS100 の 3 種類の鋼材について、繰返しせん断試験における変位増分の変化がせん断強度、塑性変形性能、エネルギー吸収性能に及ぶ影響を検討する。

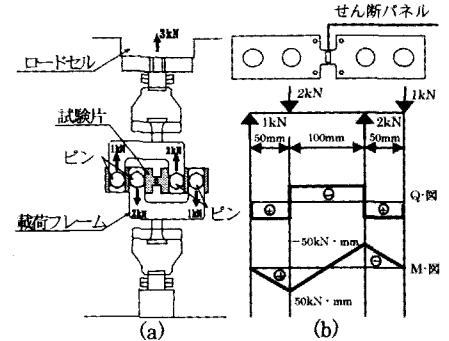


図-1 荷重装置および、M・図、Q・図

2. 試験片および実験方法

図-1(a)に示すように引張及び圧縮荷重は島津精密万能試験機オートグラフにより荷重した。このオートグラフの容量は引張、圧縮ともに最大 250kN(25t)である。また、試験片に作用するせん断力図と曲げモーメント図を図-1(b)に示す。試験片の形状寸法を図-2に示す。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-3 に示す。LY 鋼, FLS 鋼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-4 はせん断パネルが純せん断を受ける場合の変形を示す。繰返しの基本変位として降伏せん断変位 δ_y を式(1)で定義する。

$$\delta_y = \tau_y \cdot b \quad (1) \quad \tau_y = \sigma_y / \sqrt{3} \quad (2) \quad \tau_y = \sigma_y / \sqrt{3} \quad (3) \quad G = E / 2(1 + \nu) \quad (4)$$

ここで、 σ_y :降伏応力、 τ_y :降伏せん断応力、G:せん断弾性係数、 τ_y :降伏せん断ひずみ E:ヤング率、 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、図-5 に示すように基本変位 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。SM 鋼および LY 鋼は $1\delta_y$ 、 $5\delta_y$ 、 $10\delta_y$ と 3 パターンに基本変位を変えて荷重を行った。FLS 鋼は開発途中のため材料不足により $1\delta_y$ のみである。

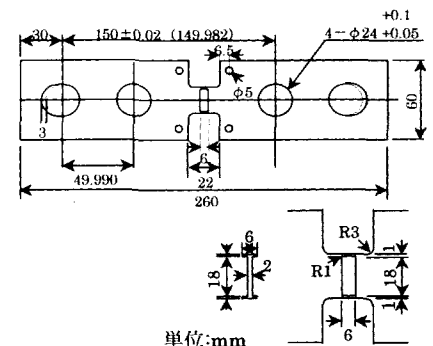


図-2 試験片

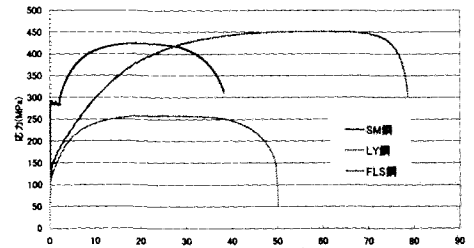


図-3 応力-ひずみ曲線

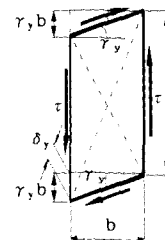


図-4 せん断変位

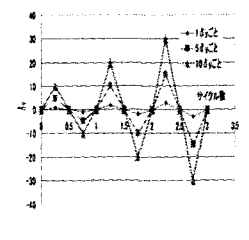


図-5 荷重サイクル

3. 実験結果および考察

図-6 に単調せん断荷重から得られた SM 鋼, LY 鋼および FLS 鋼のせん断応力-せん断ひずみ曲線を示す。図-6 より新鋼材の FLS 鋼は、ひずみ硬化が著しく大きく、SM 鋼並みのせん断強度を示し、LY 鋼以上の変形性

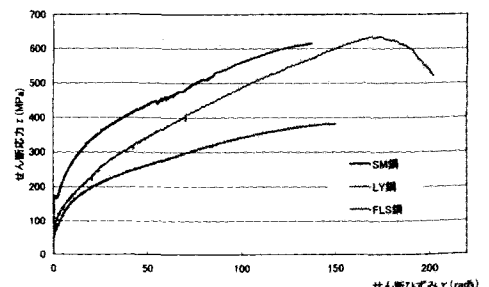


図-6 せん断応力-せん断ひずみ曲線 (単調荷重)

能を有している。

各鋼材において、 $1\delta_y$ ごと漸増载荷した繰返しせん断の包絡線を図-7に示す。繰返しせん断载荷はひずみ履歴が長くなるため単調せん断载荷(図-6)に比較してひずみ硬化による強度増加が著しい。FLS 鋼のせん断強度はせん断ひずみが 5rad% を越えると SM 鋼より大きくなる。また各鋼材ともせん断ひずみが 10rad% を越えたところで破断している。

図-8 に繰返し载荷の包絡線と単調载荷を示す。試験片の名称において、次に示す鋼種の記号は、M: 単調せん断载荷 C: 繰返しせん断载荷を意味する。単調せん断载荷において SM 鋼は LY 鋼に対し約 1.8 倍の強度を有する。繰返し载荷の最大せん断応力は単調载荷に対して SM 鋼では約 1.2 倍、LY 鋼では約 1.5 倍になっている。これは、繰返しによりひずみ履歴が長くなり、そのひずみ硬化により強度が上昇したと考えられる。変位増分 $1\delta_y \sim 10\delta_y$ の繰返しせん断载荷において、SM 鋼および LY 鋼はともに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。

せん断応力-せん断ひずみ履歴曲線において、各サイクルの履歴曲線の面積を、そのサイクルにおける鋼材のエネルギー吸収量として、図-9 に示す。SM 鋼、LY 鋼とも変位増分が変化してもほぼ同じ傾きの曲線を描き、エネルギー吸収量が比例的に増加している。同変位におけるそれぞれの鋼材のエネルギー吸収量は、SM 鋼が LY 鋼より大きく、ピーク時を比較すると、SM 鋼が LY 鋼の約 1.2 倍になる。また、せん断パネルのフランジに亀裂が生じ始めると、エネルギー吸収量が低下し始める。変位増分が変化しても両鋼材の累積エネルギー吸収量は一定になった。

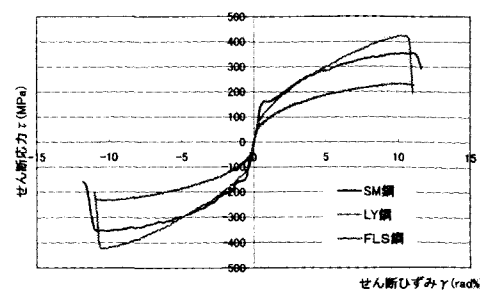


図-7 変位増分 $1\delta_y$ の包絡線

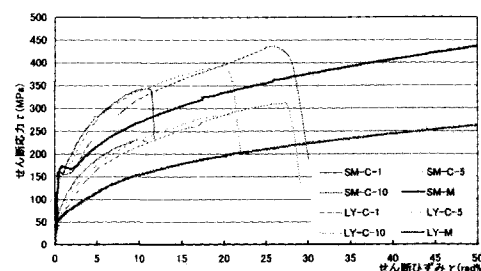


図-8 繰返し载荷の包絡線と単調载荷

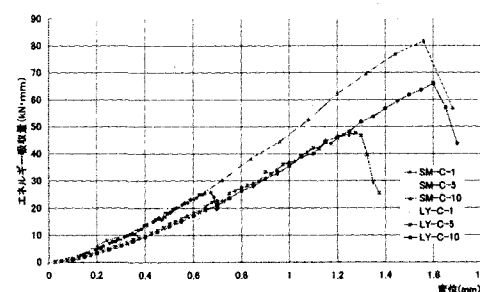


図-9 エネルギー吸収量

4. まとめ

繰返しせん断試験において、変位増分が変化する場合の SM 鋼、LY 鋼、FLS 鋼の強度、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。

- (1) 単調せん断载荷において、SM 鋼は LY 鋼に対し約 1.8 倍の強度を有する。FLS 鋼は SM 鋼並の強度を有し、LY 鋼以上の変形性能を有する。
- (2) 繰返しせん断载荷において、変位増分が $1\delta_y$ の場合、FLS 鋼は SM 鋼より大きい強度を有する。また、各鋼材はせん断ひずみが 10rad% を越えると破断する。
- (3) 繰返しせん断载荷において、変位増分が $1\delta_y \sim 10\delta_y$ に変化する場合、SM 鋼および LY 鋼はともに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上昇する。また、繰返し载荷のせん断強度は単調载荷に比べ、SM 鋼では約 1.2 倍、LY 鋼では約 1.5 倍になる。
- (4) 同変位におけるそれぞれの鋼材のエネルギー吸収量は SM 鋼が LY 鋼の約 1.2 倍になる。両鋼材の持つ累積エネルギー吸収量は変位増分に関係なく一定になる。