

耐震性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
 (株)石田組 石田 俊介 大福工業(株) 正会員 ○稲田 堅

1. まえがき

大地震時に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。変形性能が大きい低降伏点鋼を用い、塑性せん断変形により地震エネルギーを吸収する構造材料を検討する。普通鋼 SM400、低降伏点鋼 LY100 および福山大学で開発された低降伏点鋼 FLS の3種類の鋼材について、せん断強度、塑性変形性能、エネルギー吸収性能を考察する。

2. 試験片および実験方法

図-1(a)に示すような張出ばり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。せん断試験片の形状を図-2に示す。せん断パネルの断面はウェブの上下端にフランジを有する I 形断面形状である。これにより、ウェブに働くせん断応力はほぼ均一で、純せん断状態に近くなる。

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。実験で使用しているせん断試験片の I 形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 σ_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。

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

ここで、E：ヤング係数、 ν ：ポアソン比、b：ウェブ幅である。

繰返し載荷を行うにあたり、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載荷を行った。基本変位を $1\delta_y$ 、 $5\delta_y$ 、 $10\delta_y$ と3パターンに変えて載荷を行った。

表-1 材料特性と降伏せん断変位

鋼種	弾性係数 E(GPa)	ポアソン比 ν	降伏応力 σ_y (MPa)	引張強さ σ_u (MPa)	伸び ε_u (%)	降伏せん断 変位 δ_y (mm)
SM400	206	0.28	280	419	38.1	0.012
LY100	200	0.3	112	258	50.2	0.005
FLS	200	0.3	130	450	78.9	0.006

3. 実験結果および考察

せん断試験結果を図-6に示す。引張試験は最大荷重以降において、

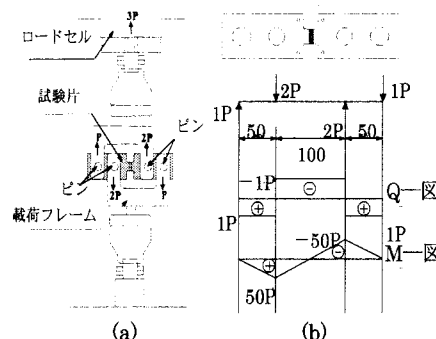


図-1 荷重装置および、M-図、Q-図

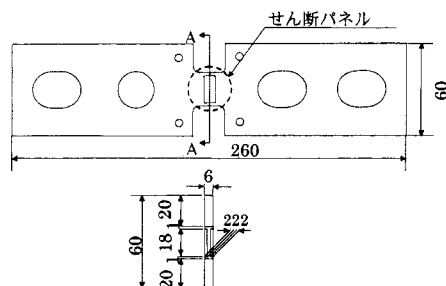


図-2 試験片形状

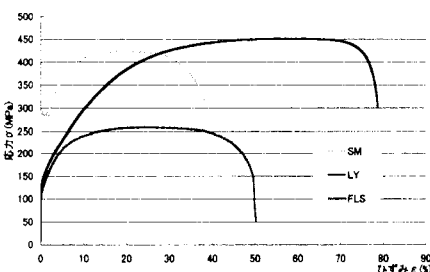


図-3 応力-ひずみ曲線

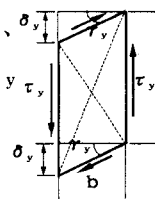


図-4 せん断変位

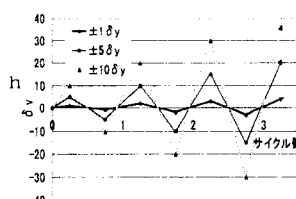


図-5 載荷サイクル

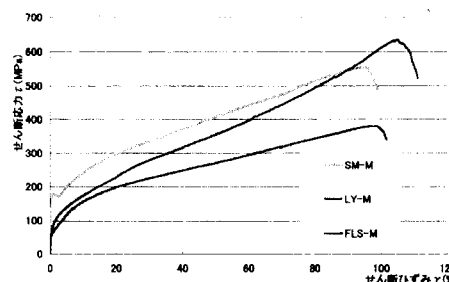


図-6 せん断応力-せん断ひずみ曲線

体積変化によるくびれが生じるが、せん断試験では体積変化が生じないために図-6 のように応力は直線的に上昇していく。各鋼材ともに100%付近で最大せん断ひずみが生じている。FLS 鋼は、ひずみ硬化が著しく、SM 鋼並みの強度があり、LY 鋼以上の変形性能を有する。

図-7 は、SM 鋼、LY 鋼、FLS 鋼の単調载荷と変位増分 $1\delta_y$ の繰返し载荷の包絡線を示す。包絡線は繰返しせん断载荷における各サイクルの正と負の最大変位点におけるせん断応力を結んだ曲線である。FLS 鋼のせん断強さ τ_u は 425MPa であり、せん断ひずみ 5%以上において SM 鋼より強くなり、繰返しによるひずみ硬化が単調载荷より著しいことを示している。

図-8 は、変位増分 $1\delta_y$ 、 $5\delta_y$ 、 $10\delta_y$ に対する繰返し载荷の包絡線を示す。変位増分が増加すると、累積ひずみが減少するためにひずみ硬化による応力上昇が緩やかになる。

各サイクルのエネルギー吸収量は地震時に構造物が地震外力をどの程度吸収、散逸できるかという耐震性能を評価する上で重要な指標である。SM 鋼、LY 鋼、FLS 鋼のエネルギー吸収量を図-9 に示す。エネルギー吸収量は、SM 鋼、LY 鋼、FLS 鋼いずれも各変位増分でほぼ同じ傾きの曲線を描き、放物線的に増加していく傾向が見られる。図-9 より、最大エネルギー吸収量は FLS 鋼、SM 鋼、LY 鋼の順に大きいことがわかる。

各サイクルのエネルギー吸収量を構造物の破壊と見なせる点まで累積した、累積エネルギー吸収量を図-10 に示す。累積エネルギー吸収量は、LY 鋼が SM 鋼の 1.7 倍、FLS 鋼が SM 鋼の 2.8 倍で FLS 鋼が最も大きいことがわかる。LY 鋼と SM 鋼は各サイクルのエネルギー吸収量では SM 鋼が大きい、累積エネルギー吸収量では LY 鋼が高い。変位増分が増加すると各サイクル毎のエネルギー吸収量は増加している。図-10 から累積エネルギー吸収量は変位増分に関係なくほぼ一定であることがわかる。以上の結果から、累積エネルギー吸収量においても FLS 鋼は SM 鋼、LY 鋼に比べエネルギー吸収能力が高いことがわかる。

4.まとめ

- (1) 単調载荷のせん断強度において、FLS 鋼は、ひずみ硬化が著しく、SM 鋼並みの強度があり、LY 鋼以上のひずみを有する。繰返し载荷では単調载荷と比べひずみ硬化による強度上昇が著しく、変位増分が小さいほど強度上昇が大きい。
- (2) 単調载荷のせん断塑性変形性能において、どの鋼材もほぼ同じ最大せん断ひずみで破断する。繰返し载荷でも変位増分ごとに全ての鋼材でほぼ同じせん断ひずみで破断する。
- (3) 各サイクルのエネルギー吸収量はどの変位増分においても FLS 鋼、SM 鋼、LY 鋼の順に大きく、累積エネルギー吸収量は FLS 鋼、LY 鋼、SM 鋼の順に大きい。また、累積エネルギー吸収量は変位増分に関係なくほぼ一定である。したがって、FLS 鋼は SM 鋼、LY 鋼よりエネルギー吸収性能に優れている。

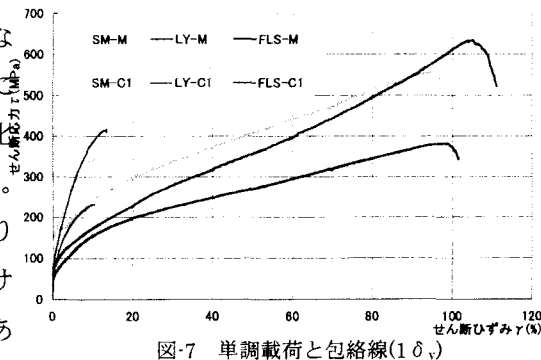


図-7 単調载荷と包絡線($1\delta_y$)

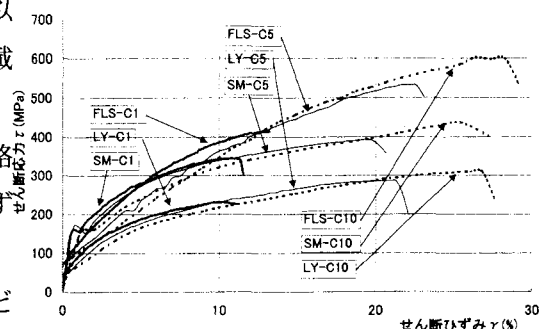


図-8 包絡線($1\delta_y$, $5\delta_y$, $10\delta_y$)

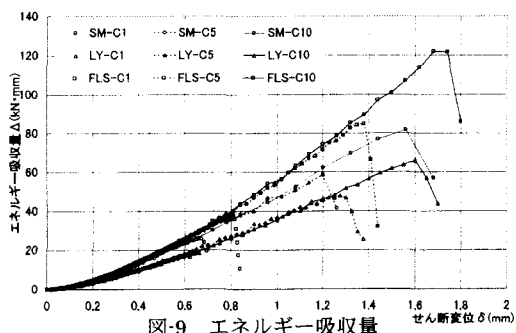


図-9 エネルギー吸収量

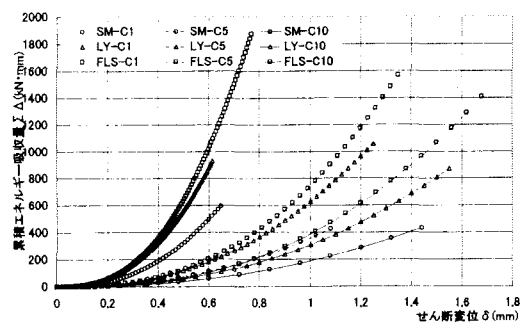


図-10 累積エネルギー吸収量