

繰返し荷重を受ける鋼板の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

福山大学大学院 学生会員 中之前 英之 岡山大学大学院 学生会員 ○田中 広司

1. まえがき

最近、橋梁に作用する地震エネルギーの吸収を目的としたせん断型ダンパーを用いた機能分離型支承が注目されている。本研究では、普通鋼 SM400 鋼板の単調および繰返しせん断試験を行い、断面形状、アスペクト比および幅厚比と強度、塑性変形性能について考察する。

2. 実験概要

試験片に使用された SM400 鋼の引張試験結果を図-1 に示す。図-1 より降伏応力 $\sigma_y = 294 \text{ MPa}$ である。

せん断実験の荷重装置を図-2(a) に示す。荷重 $3P$ を載荷した時のせん断力図と曲げモーメント図を図-2(b) に示す。せん断による変位は試験片の中央部の試験部分(以下、せん断パネルと呼ぶ)左右に測定点を設け、画像測定器を用いて計測した。

せん断パネルの形状を正方形(アスペクト比 1)または長方形(アスペクト比 2)、断面を矩形断面または I 形断面とした場合についてそれぞれ実験を行った。せん断パネルの形状を図-3 に示す。図-3(b)および図-3(d)より、I 形断面ではフランジがせん断力を受け持たないものと考えてウェブのみの断面積で平均せん断応力を計算する。試験片名称は「M- α 1-tw1.0-tf1.0」を例にとると、「荷重方法(単調=M、繰返し=C)・アスペクト比(正方形= α 1、長方形= α 2)・ウェブ厚・フランジ厚」と表される。せん断試験片の平均せん断応力 τ および平均せん断ひずみ γ は式(1)および式(2)で定義する。また、繰返しせん断試験に用いた降伏せん断変位 δ_y は式(3)で定義する。降伏せん断ひずみ γ_y は式(4)で定義する。

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

ここで、 Q : せん断力、 A : せん断パネルの断面積、 δ : せん断変位、 b : ウェブ幅、 τ_y 降伏せん断応力、 G : せん断弾性係数である。繰返しせん断荷重は、引張方向を正、圧縮方向を負とし、変位制御で静的に載荷させた。繰返しせん断荷重の基本変位は、せん断パネルが純せん断によって降伏する時の降伏せん断変位 δ_y を片振幅とし、 $+1\delta_y$ 、 $-1\delta_y$ 、 $+2\delta_y$ 、 $-2\delta_y$ 、 $\dots$ 、 $+n\delta_y$ 、 $-n\delta_y$ と漸次振幅を増加させながら $\pm 1\delta_y$ の変位増分で載荷を行った。

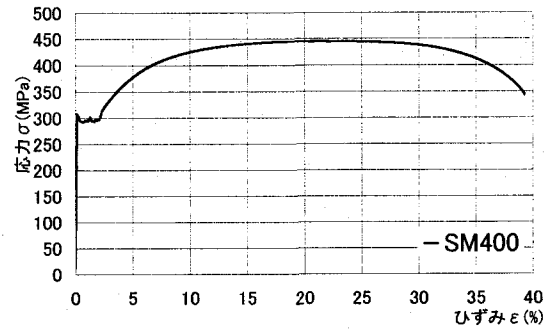


図-1 応力 - ひずみ曲線

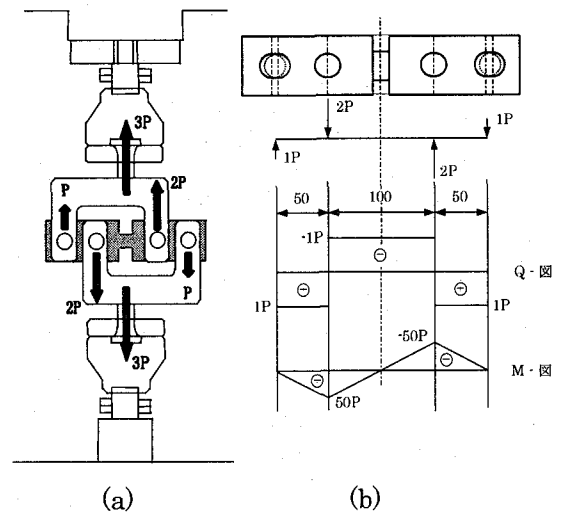
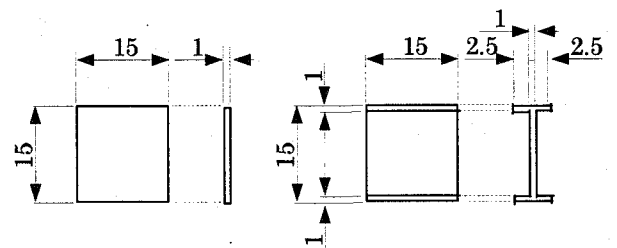
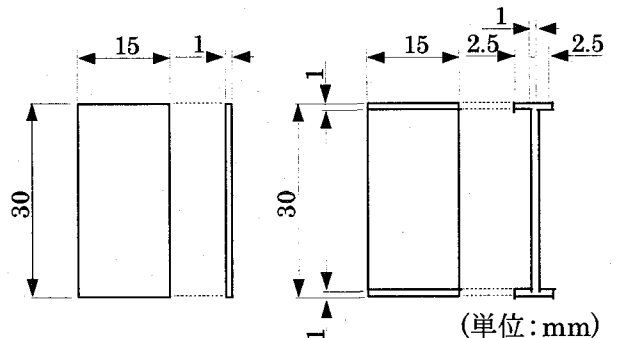


図-2 荷重装置および M・図・Q・図



(a) 正方形パネル・矩形断面 (b) 正方形パネル・I 形断面



(c) 長方形パネル・矩形断面 (d) 長方形パネル・I 形断面

図-3 せん断パネルの形状

3. 実験結果および考察

全ての試験片はせん断パネルの隅角部に発生したクラックの進展により崩壊した。ここで、最大平均せん断応力をせん断強度、最大平均せん断応力時の平均せん断ひずみを塑性変形性能と定義する。

単調せん断载荷の τ - γ 曲線を図-4に示す。矩形断面およびI形断面の正方形せん断パネルの τ - γ 曲線を図-4(a)に示す。せん断強度および塑性変形性能はI形断面パネルが矩形断面パネルより、それぞれ約1.7~2.3倍および約1.3~2.0倍大きい。矩形断面およびI形断面の長方形せん断パネルの τ - γ 曲線を図-4(b)に示す。せん断強度および塑性変形性能はI形断面パネルが矩形断面パネルより、それぞれ約1.1~1.6倍および約1.0~2.4倍大きい。

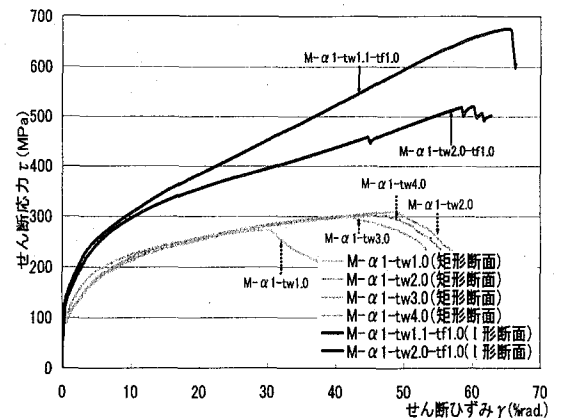
繰り返しせん断载荷の包絡線を図-5に示す。矩形断面およびI形断面の正方形せん断パネルの包絡線を図-5(a)に示す。せん断強度および塑性変形性能はI形断面パネルが矩形断面パネルより、それぞれ約1.6~1.7倍および約1.6~2.6倍大きい。矩形断面およびI形断面の長方形せん断パネルの包絡線を図-5(b)に示す。せん断強度および塑性変形性能はI形断面パネルが矩形断面パネルより、それぞれ約1.2~1.3倍および約1.8~2.0倍大きい。

図-4および図-5において、試験片名称が四角で囲まれた試験片は、载荷から破断までにせん断パネルに座屈が生じたことを表す。座屈に対する幅厚比とアスペクト比の関係を比較すると、単調载荷の場合、矩形断面パネルとI形断面パネルともにアスペクト比2かつ幅厚比15で座屈が発生した。繰り返し载荷の場合、矩形断面パネルはアスペクト比2かつ幅厚比15で座屈が発生したが、I形断面パネルは座屈が発生しなかった。これは、I形断面は上下端のフランジによって座屈による面外たわみが小さく抑えられたためと考えられる。また、繰り返し载荷は交番荷重によって塑性変形が元に戻るため座屈が生じにくくなったためと考えられる。

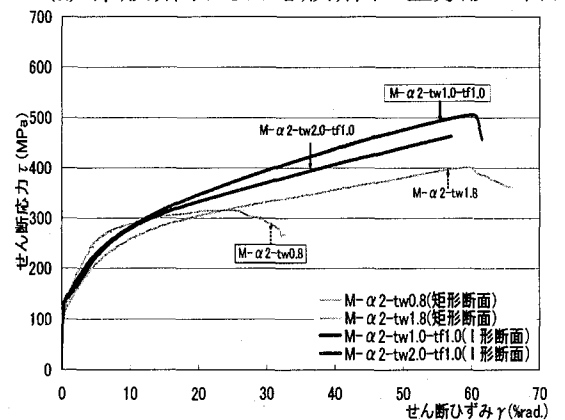
単調载荷で幅厚比15のパネルの場合、矩形断面パネルではせん断パネルの隅角部にクラックが早期に生じたために、塑性変形性能は小さくなったと考えられる。しかし、I形断面パネルではフランジによって座屈による面外たわみが小さく抑えられてクラックの発生が遅れたために、塑性変形性能が向上したと考えられる。

4. まとめ

本研究では、SM400鋼のせん断パネルにおいて断面形状が矩形断面またはI形断面、パネル形状が正方形(アスペクト比1)または長方形(アスペクト比2)、幅厚比が7.5または15について単調および繰り返しせん断試験を行った。その結果、塑性変形性能について次のことが明らかになった。即ち、繰り返しせん断载荷の場合、I形断面パネルはフランジによって座屈による面外たわみが小さく抑えられてクラックの発生が遅れる。これにより、塑性変形性能は矩形断面パネルよりも、正方形せん断パネルおよび長方形せん断パネルはそれぞれ約1.6~2.6倍および約1.8~2.0倍大きくなる。

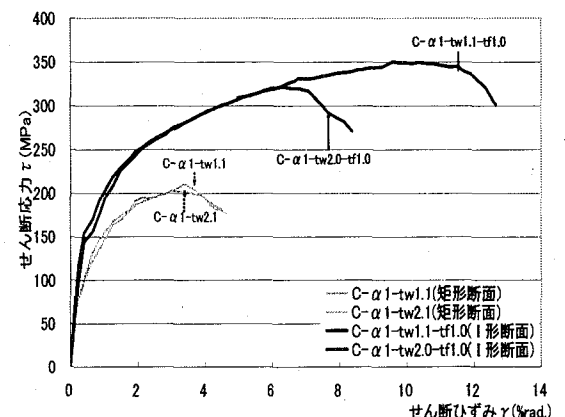


(a) 矩形断面およびI形断面の正方形パネル

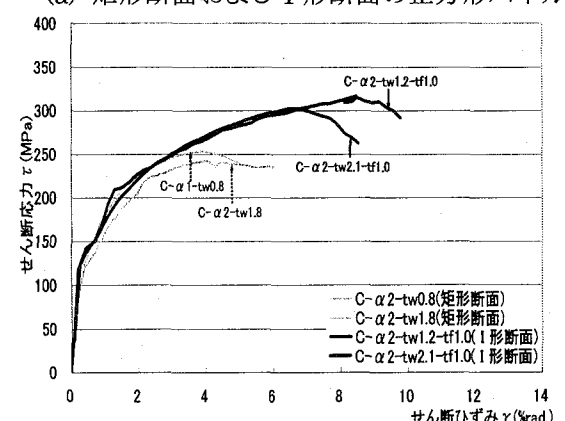


(b) 矩形断面およびI形断面の長方形パネル

図-4 単調せん断载荷の τ - γ 曲線



(a) 矩形断面およびI形断面の正方形パネル



(b) 矩形断面およびI形断面の長方形パネル

図-5 繰り返しせん断载荷の包絡線