

動的せん断力を受ける鋼薄板の非弾性応答性状に関する基礎的実験

大同工業大学大学院 学生会員 樋口 直紀，正会員 山田 幸

大同工業大学工学部 正会員 事口 壽男，酒造 敏廣

1. まえがき

筆者らは、これまでにせん断崩壊する鋼製ラーメン橋脚のはり中間部腹板に着目し、せん断力を受ける腹板の弾塑性応答を実験で調べてきた^{2),4)}。そして、载荷速度を変化させ、抵抗せん断応力の変動について定量的に考察してきた。本研究は、幅厚比の大きい鋼腹板（=154）の弾塑性性状に及ぼすひずみ速度依存性を実験で調べたものである。高速载荷の繰り返し载荷実験を行い、せん断変形角速度による抵抗せん断力の変動を調べ、速度とせん断余応力の関係について考察する。

2. 実験概要

(1) 実験供試体

本実験に用いる鋼腹板供試体を図1に示す^{2),4)}。3.2mm厚のSS400鋼板から、板厚1.3mm、1辺が200mmの正方形腹板を削り出し、その周りに板厚9mmのフランジ・プレートを溶接している。実験供試体の板厚、降伏点、幅厚比等を表1にまとめる。

(2) 実験装置^{2),4)}

実験供試体を組み込んだせん断力载荷治具を写真1に示す。供試体は、フランジ一辺につき3箇所、計24本のボルトで载荷治具に取り付けている。载荷治具は鉛直荷重 P をせん断力 S に変換する役割がある。供試体の四隅は治具の軸受の回転中心と一致させている。

(3) 载荷方法とせん断余応力 τ_x の求め方

鉛直せん断変位 Δ を制御し、载荷速度を変化させて、抵抗せん断応力の変動を調べた。負荷、除荷、及び、 $\dot{\Delta}=0$ の応力緩和の組み合わせで、変位 Δ の時刻歴を設定し、実験を行った。速度増大に起因して上昇する分の抵抗せん断応力を余応力 τ_x と定義し¹⁾、変位 Δ を約5秒間ホールドしたときの応力低下量から算出した。せん断応力 τ -せん断変形角 γ 曲線と余応力 τ_x を図2に例示する。

3. 実験結果とその考察

(1) 繰り返し载荷の実験結果

繰り返し载荷した供試体の τ - γ 曲線を図3に示す。この図から、载荷速度にかかわらず τ - γ 曲線の弾性

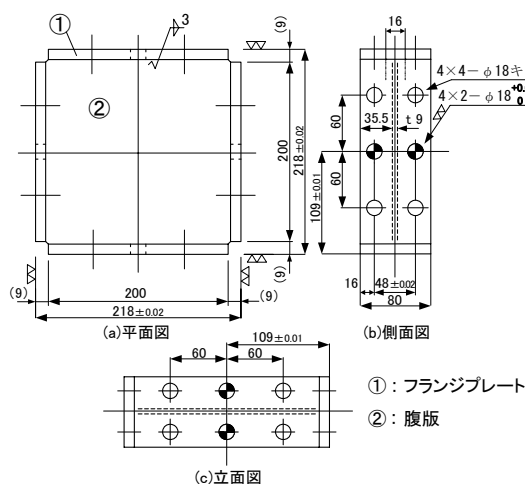


図1 実験供試体の一般図

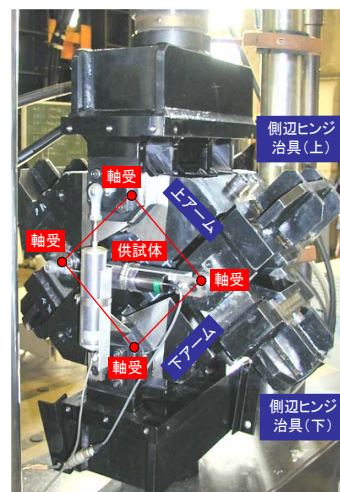


写真1 実験装置

表1 供試体の機械的性質（SS400）および载荷条件

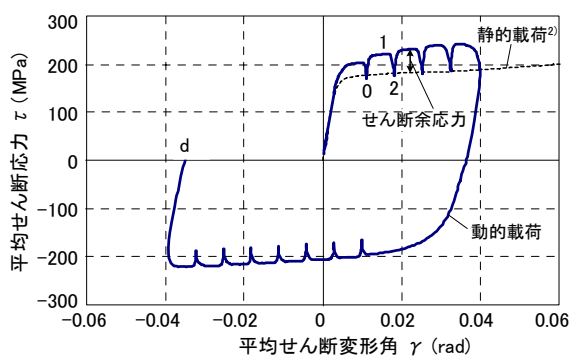
項目 供試体	板厚 t (mm)	せん断 降伏点 τ_y (Mpa)	無次元 幅厚比 R_r	最大変位		最大変形速度等	
				鉛直変位 (軸受間) Δ (mm)	せん断 変形角 γ (rad)	鉛直速度 (軸受間) $\dot{\Delta}$ (mm/s)	せん断変 形角速度 $\dot{\gamma}$ (rad/s)
SM-154	1.3	175.5	1.17	—	—	—	—
SCc-154				±5.15	±0.0413	0.113	0.001
SCi-154				2 δ_y ずつ振幅を漸増		—	—
DsCc-154				±5.15	±0.0410	32.4	0.229
DrS-154				±5.15	±0.0408	0.001 ~19.03	7×10^{-6} ~0.134

注1) 供試体の表示方法：[S:静的, Ds:動的的正弦波, Dr:動的ランプ波] [M:単調载荷, Cc:定振幅の繰り返し载荷, Ci 漸増振幅, S:速度効果] — 幅厚比 b/t

2) $R_r = b/t \sqrt{11.1\tau_y/k_s/E/\pi^2}$, $k_s=14.58$, ヤング係数 $E=2 \times 10^5$ MPa,

キーワード：鋼腹板，せん断力，非弾性応答性状，ひずみ速度，せん断余応力

〒457-8532 名古屋市南区白水町40 Tel 052-612-5571 Fax 052-612-5953

図2 $\tau - \gamma$ の実験曲線

勾配はほぼ一致し、载荷速度の増大によってせん断降伏点が約 5%上昇していることがわかる。各ループの変位反転点以降に座屈たわみは蝶型になり、抵抗せん断力が繰り返し毎に低下している。9 サイクル目で降伏せん断応力のおよそ 25%程度にまで低下している。

(2) 漸増振幅の繰り返し载荷の実験結果

変位振幅を徐々に増加させる繰り返し実験（準静的）による $\tau - \gamma$ 履歴曲線を図 4 に示す。変位振幅が大きくなると、抵抗せん断力の低下が著しくなっている。これは、せん断座屈たわみの方向が交番し、腹板中央が裂け始めるためである⁴⁾。

(3) ひずみ速度によるせん断余応力の変動

ひずみ速度 $\dot{\gamma}$ によるせん断余応力 τ_x の変動を図 5 にまとめる。これまでに実施した幅厚比 35 の結果も示している。図中の N は繰り返し载荷による履歴ループの番号を意味し、実験開始から最初の変位反転点までを 0 サイクルとしている。図中の実線と点線は実験結果を次式で近似したものである^{1), 3)}。

$$\tau_x = S_N \cdot \ln \left\{ 1 + \left(\frac{\dot{\gamma}}{\sqrt{3}\dot{\epsilon}_*} \right)^{1/N} \right\} \quad \dots (1)$$

この図からわかるように、初めて非弾性域に入る $N=0$ ループでは余応力が大きくなる傾向にある。サイクル数 N が増えると、幅厚比の大きい供試体 ($b/t=154$) では余応力にばらつきが見られる。また、幅厚比にかかわらず、 N が増大すると、ひずみ速度による余応力の値が小さくなっている。これは、ひずみ硬化の影響が大きいと考えられる。

4. まとめ

せん断変形角速度を種々変化させて鋼薄板の非弾性応答実験を行い、せん断余応力の変動を調べた。

謝辞：本研究の実施にあたり、平成 16～17 年度の科学研究費補助金・基盤研究(C)、および、平成 15～17 年度の大同工業大学・研究奨励金の補助を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) 酒造：構造工学論文集 Vol. 47A, 土木学会, pp. 771～782, 2001 年 3 月。 2) 酒造, 事口, 今井：鋼構造年次論文報告集, 日本鋼構造協会, No. 12, 2004 年 11 月。 3) Izzuddin, B.A. and Fang, Q.: An International Journal of Structural Engineering and Mechanics, Vol. 5, No. 3, pp. 221-237, 1997。 4) 樋口, 酒造：土木学会第 60 回年次学術講演会・講演概要集, 1-354, 2005 年 9 月。

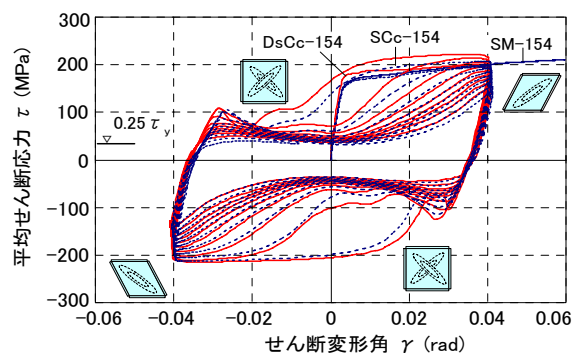


図3 静的・動的履歴曲線の比較

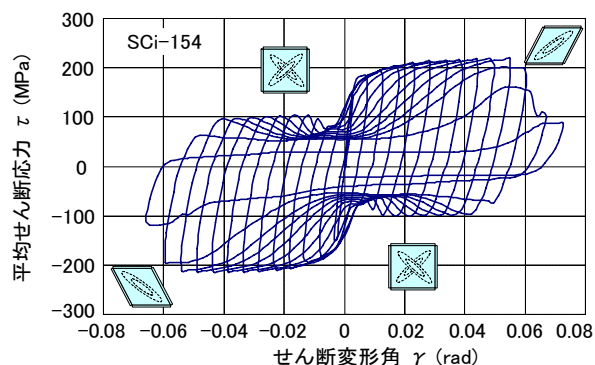
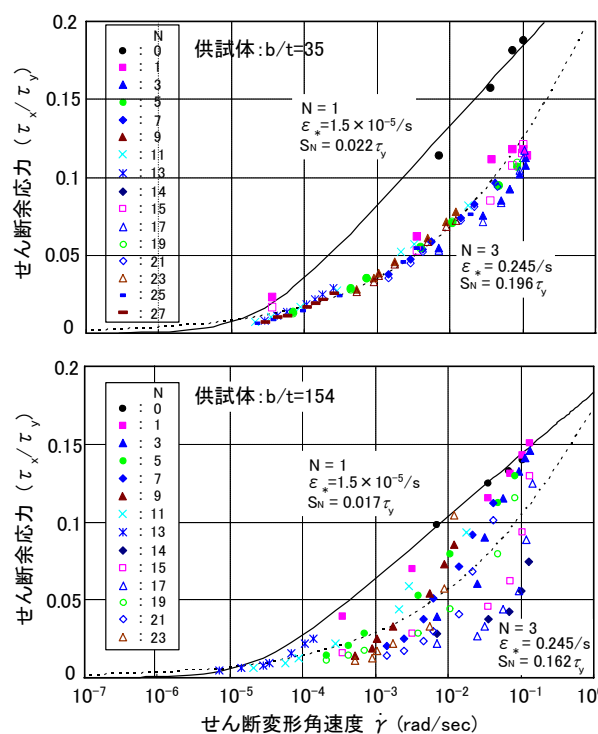


図4 漸増振幅载荷の繰り返し実験による履歴曲線

図5 せん断変形角速度 $\dot{\gamma}$ とせん断余応力 τ_x との関係