

せん断力を受ける鋼薄板の動的弾塑性履歴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

大同工業大学工学部 室 輝匡

大同工業大学工学部 正 会 員 酒造 敏廣

大同工業大学工学部 奎野 広太

1. まえがき

地震時に鋼製ラーメン橋脚のはり中間部がせん断崩壊するとき、せん断変形速度が著しく大きなものになる。これまでに実施した鋼門形ラーメンの地震応答解析¹⁾によって、腹板は最大でせん断降伏ひずみ γ_y の100~300倍/秒の速度で、 $\pm 50\gamma_y$ の塑性域まで応答する場合があることを指摘した。

本研究では、せん断力を受ける鋼腹板（幅厚比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は図1に示すとおりである^{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図2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している。

(3) せん断力の载荷方法

繰り返し载荷実験と鉛直せん断変位 Δ （図2参照）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。

a. 鉛直変位 Δ の時刻歴

負荷、除荷、及び、 $\dot{\Delta}=0$ の応力緩和の組み合わせで、せん断変位 Δ の時刻歴を実験前に設定した。図3は Δ の時刻歴の一例である。

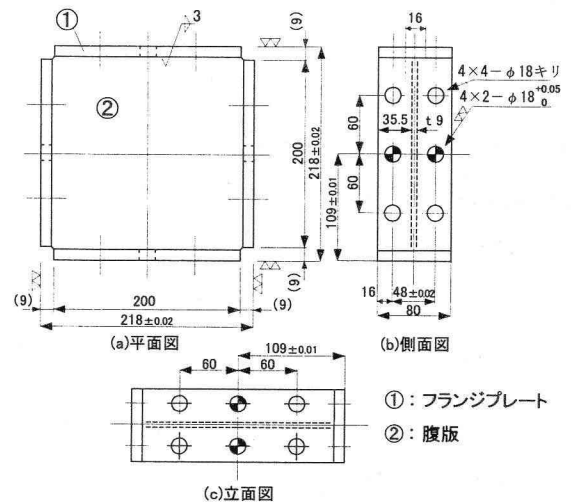


図1 実験供試体の一般図

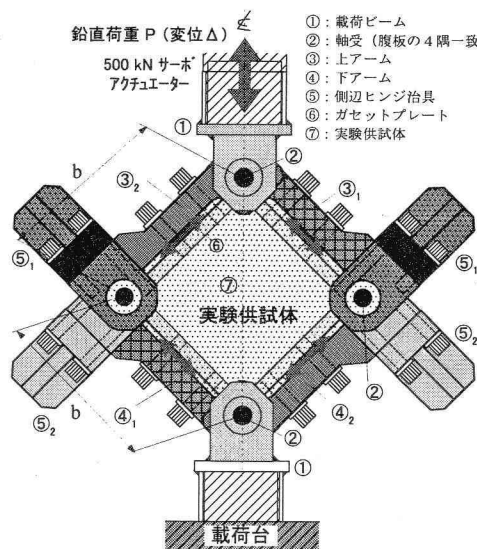


図2 せん断力载荷治具の平面図

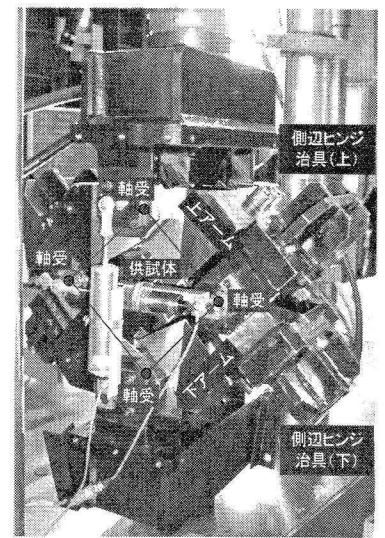


写真1 実験装置

表1 供試体の機械的性質（SS400）および载荷条件

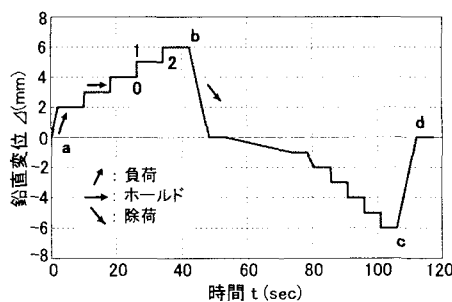
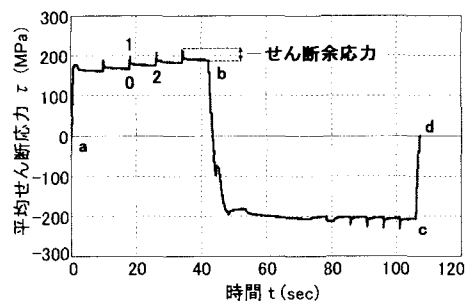
項目 供試体	板厚 t (mm)	せん断 降伏点 τ_y (Mpa)	無次元 幅厚比 R_t	最大変位		最大変形速度等	
				鉛直変位 (軸受間) Δ (mm)	せん断 変形角 γ (rad)	鉛直速度 (軸受間) $\dot{\Delta}$ (mm/s)	せん断変 形角速度 $\dot{\gamma}$ (rad/s)
SM-154	1.3	175.5	1.17	—	—	—	—
SCc-154				± 5.15	± 0.0413	0.113	0.001
SCi-154				$2\delta_y$ ずつ振幅を漸増		—	—
DsCc-154				± 5.15	± 0.0410	32.4	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) $R_t = b/t \sqrt{11.1\tau_y/k_s/E/\pi^2}$, $k_s=14.58$, せん断弾性係数 $G=8.1 \times 10^4$ MPa,

b. せん断余応力 τ_x の求め方

載荷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⁾、鉛直変位 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。せん断余応力 τ の時刻歴を

図3 入力鉛直変位 Δ の時刻歴の例図4 せん断余応力 τ の時刻歴応答例

3. 実験結果とその考察

(1) 繰り返し載荷の実験結果

繰り返し載荷した供試体の τ - γ 曲線を図5に示す。この図から、載荷速度にかかわらず τ - γ 曲線の弾性勾配はほぼ一致し、載荷速度の増大によるせん断降伏点の上昇(約5%)が確認できる。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載荷の実験結果

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 τ - γ 履歴曲線を図6に示す。この図から、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。

(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7にまとめる。図中の N は繰り返し載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。

この図からわかるように、サイクル数が増えると、余応力にばらつきが見られ、ひずみ速度の影響が小さくなっている。これは、ひずみ硬化や斜張力場の形成が関係していると考えられる。

4. まとめ

せん断変形角速度を種々変化させて鋼腹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。

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) 樋口, 若林, 酒造: 平成16年度研究発表会・講演概要集, I-28, 土木学会中部支部, 2005年3月。 4) 樋口, 酒造: 平成17年度研究発表会・講演概要集, I-354, 土木学会, 2005年9月。

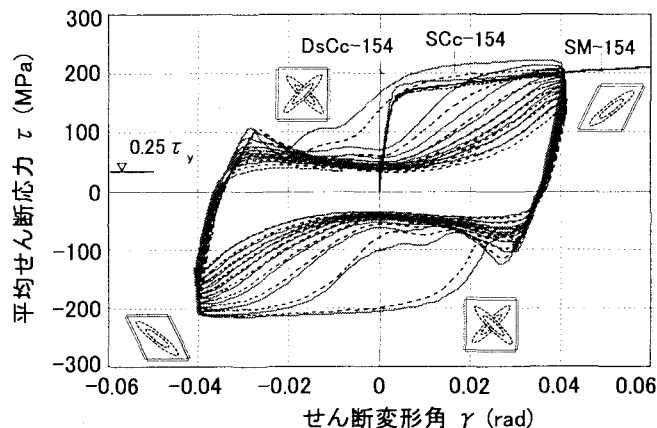


図5 静的・動的履歴曲線の比較

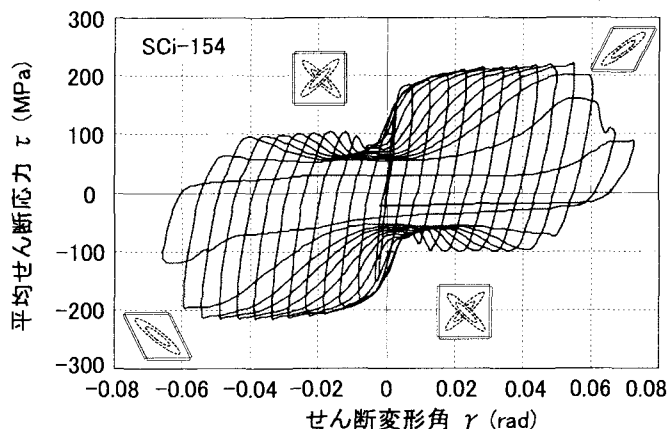
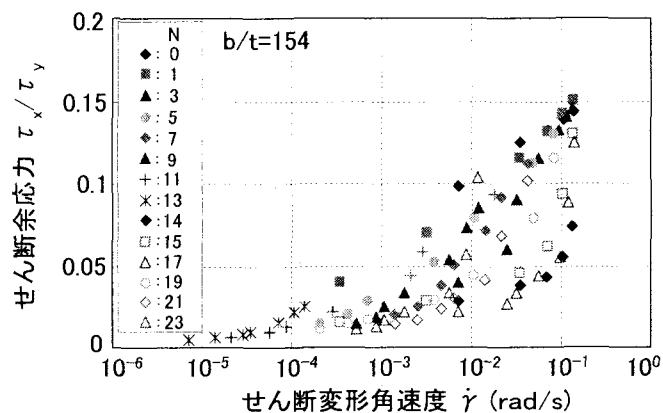


図6 漸増振幅載荷の繰り返し実験による履歴曲線

図7 せん断変形角速度 $\dot{\gamma}$ とせん断余応力 τ_x との関係