

普通鋼を用いた履歴型ダンパーの塑性変形性能に関する解析的研究

中原 浩之*, 伊藤 優佑**, 廣田 周一郎**, 楠本 美里***

ANALYTICAL STUDY ON PLASTIC DEFORMATION CAPACITY OF HYSTERETIC DAMPER WITH ORDINARY STEEL

by

Hiroyuki NAKAHARA *, Yusuke ITO **, Shuichiro HIROTA **, Misato KUSUMOTO ***

A hysteretic damper is effective device which reduces the seismic response of building structure under large scale earthquakes. This paper presents an analytical study to investigate a plastic behavior of the hysteretic damper with ordinary steel. The authors have conducted FEM analysis to trace the behavior of results of the tests of three H-shape specimens subjected to cyclic shearing force. The hysteretic performances of the test and analysis were strongly affected by the sectional specs of the flanges of the H-shape dampers. The recommendations of the sectional specs of the damper were provided based on this study.

Key words : *shear panel, finite element method, strength deterioration, local buckling*

1 はじめに

我が国では 21 世紀に入り, 2011 年東日本大震災, 2016 年熊本地震, 2018 年北海道胆振東部地震と, 震度 7 の極大地震が起り, 地震の活動期に入ったかのような様相を見せている. こうした強震動に備えて, 建物に高い機能維持能力を持たせることが可能となる制振及び免震構造などの応答制御機構を有する建築構造物に関する研究が進んでいる.

制振構造は, 地震動や暴風に対する応答を受動的, 能動的に制御する構造を指し, 受動的な制御とは, 一般に金属系 (制振ダンパー) や摩擦系の変位に依存するエネルギー吸収部材が用いられる. 本研究室では, 鋼材の塑性化によりエネルギーを吸収する履歴型ダンパーに関する研究を行ってきた¹⁾.

本論文は, この履歴型ダンパーのうち, せん断パネルダンパーを研究対象としている. せん断パネルダンパーについて, 地震を模擬した载荷プログラムによる静的载荷試験を行った. 併せて複合非線形有限要素法解析プログラム Marc を用いて, 本実験シリーズの解析を行って, 応答制御に有効なダンパーの断面設計に求められる諸元について検討する.

2 せん断パネルダンパー

2014 年に鋼構造制振構造設計指針が刊行され, せん断パネルダンパーが所要の塑性変形性能を維持するための設計法が提案された²⁾.

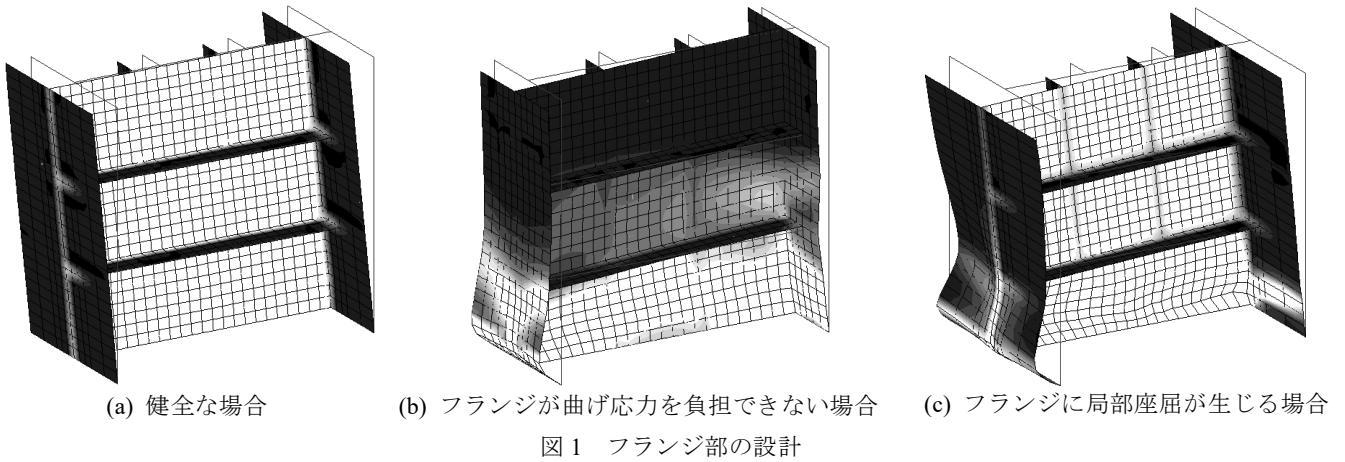
せん断パネルダンパーは, 大きく塑性変形するので, せん断力を受け持つパネルの幅厚比や補剛材の形状は重要で, 研究が十分にされている. パネルに所定のせん断力を負担させるためには, せん断力により生じる曲げ応力をフランジで負担する必要がある. 米国耐震基準である AISC³⁾では, シアリンクのフランジ軸耐力の規定がある. また, せん断パネルダンパーのフランジは, 局部座屈を避けるためにその幅厚比も制限する必要がある. そこで, 本研究では, せん断パネルダンパーに所定の性能を保持させるためのフランジ形状を検討することを目的として, 実験と解析を実行した.

まず, パネル形状を同一とし, フランジ形状を変化させた試験体について, 载荷プログラムに基づいた漸増振幅繰返し载荷実験を行い, フランジ局部座屈挙動がせん断パネルダンパーの耐力に及ぼす影響を究明する. 併せて本実験シリーズの解析を行ってフランジの断面形状を検討する.

* システム科学部門 (Division of System Science)

** 工学研究科 (Graduate School of Engineering)

*** 工学部構造工学コース (Department of Structural Engineering)



3 フランジ部の所要性能

図1にせん断パネルダンパーの典型的な変形状況について示す。フランジの形状は、設計で設定したせん断変形角内の繰返し载荷において、曲げ応力を十分負担するとともに局部座屈しないようなフランジ断面積と幅厚比を設定する。フランジ耐力比とフランジ幅厚比による性能は以下のように判定される²⁾。

$$\frac{A_f \cdot \sigma_{fu}}{\tau_u \cdot t_w \cdot h/2} \geq \phi \cdot \zeta, \quad \frac{b_f}{t_f} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{fy}}{E}} \leq 0.33 \quad (1.a,b)$$

ここに、

$A_f, b_f, t_f, E, \sigma_{fy}, \sigma_{fu}$: フランジの断面積, 突出幅, 板厚, ヤング係数, 降伏強さ, 引張強さ

τ_u, h, t_w : パネルのせん断強さ, 高さ, 板厚

ϕ, ζ : パネルの耐力上昇率 ($=\tau_{\max}/\tau_u, \tau_{\max}$: パネルの最大せん断応力), 反曲点高さ比 ($=2 \cdot L/h, L$: 反曲点高さ)

一方、パネルのせん断座屈によって、せん断耐力の低下をまねくせん断変形角 γ_B は次式により求められる。

$$\gamma_B = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\bar{\gamma}_B}{\gamma_y} + 1 \right) \cdot \gamma_y \quad (2.a)$$

ここに、

$$\frac{\bar{\gamma}_B}{\gamma_y} = \frac{3.65\pi^2}{12 \cdot (1-\nu^2)} \cdot \frac{1}{\left(\frac{h_s}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{\tau_y}{\kappa_c \cdot E}} \right)^2} \quad (2.b)$$

$$\frac{d_s}{h_s} \geq 1 \text{ のとき, } \kappa_c = 8.98 + 5.60 / \left(\frac{d_s}{h_s} \right)^2 \quad (2.c)$$

$$\frac{d_s}{h_s} < 1 \text{ のとき, } \kappa_c = 5.60 + 8.98 / \left(\frac{d_s}{h_s} \right)^2 \quad (2.d)$$

ここに、

$\bar{\gamma}_B$: 等価せん断座屈変形角, γ_y : 降伏変形角, E : ヤング係数, ν : ポアソン比, h_s : パネル高くないスチフナで区切られたサブパネルの高さ, t_w : パネル板厚, d_s : パネル内法幅くないスチフナで区切られたサブパネルの内法幅, τ_y : 降伏せん断応力度である。

パネルの耐力上昇率は、フランジが塑性化しているものとする、全体の最大荷重 Q_{\max} から次式で評価できる。

$$\phi = \frac{\tau_{\max}}{\tau_u} \quad (3)$$

ここに、

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{w\max}}{\tau_u \cdot d \cdot t_w} = \frac{Q_{\max} - Q_{fy}}{\tau_u \cdot d \cdot t_w} \quad (4.a)$$

$$Q_{fy} = 2 \cdot \frac{M_{fp}}{L} \quad (4.b)$$

$$M_{fp} = \frac{b_f \cdot t_f^2}{4} \cdot \sigma_{fy} \quad (4.c)$$

d : パネルの内法幅

本研究は、漸増振幅繰返し载荷試験及び複合非線形有限要素法解析により(1.a)式、(1.b)式の妥当性を検証し、せん断パネルダンパーにおける合理的なフランジ形状を明らかにすることを目的としている。

4 実験及び解析方法

4.1 実験概要

○試験体形状

図2に試験体形状を、表1に試験体シリーズを示す。表1には、 $b_f/t_f \cdot \sqrt{\sigma_{fy}/E}$ はフランジ幅厚比, χ はせん断余裕度 ($=\tau_u \cdot t_w \cdot d \cdot L / \sigma_{fu} \cdot A_f \cdot d_f$) を示す。

各試験体はフランジ幅厚比をそれぞれ 0.476, 1.092, 0.396 と(1.b)式に示す制限値より大きく設定している. SW-H30 試験体は, SW-G 試験体, SW-H 試験体に比べ, フランジ断面積を大きく減少させており, せん断余裕度を 1.0 以上としている.

表 2 に, 機械的性質を示す. 表 2 には, σ_y は降伏強さ, σ_u は引張強さ, ϵ_{st} は加工硬化開始歪, ϵ_u は破断時歪を示す.

○ 载荷装置

図 3 に示す载荷装置を示す. 試験体は, L 形载荷梁と, 全長 6000mm の反力梁(H-400x400x13x21)上に固定した H 形鋼台(H-400x400x13x21)の間に設置した. L 形载荷梁に複動油圧ジャッキを設けている. L 形载荷梁の水平移動保持のためのパンタグラフを载荷梁上部に取り付けている. また, 加力芯は, せん断パネル中心(L=100mm)とした.

○ 载荷プログラム

せん断パネルダンパー試験体には, 図 4 に示す AISC2005 規準の漸増振幅履歴を与え³⁾, フランジ面及びパネル面に局部座屈が発生し, 耐力低下が観察されるまで载荷を続けた.

○ 計測方法

試験体に作用するせん断力 Q を, ジャッキに取り付けたロードセルより計測した. せん断方向相対変形量 δ を 2 本の変位計により計測し, 試験体のせん断変形角 $\gamma (= \delta / h)$ を求めた.

4.2 解析概要

○ 解析モデル

実験結果と比較するために有限要素法解析プログラム Marc を用いて解析を行った. その概要について示す.

図 5 に解析モデルを示す. パネル部及びフランジ部は 8 節点薄板シェル要素を用いている. 要素数は 768, 節点数は 2433 とした. 1 節点は, 並進と回転の計 6 自由度を有している. 下端部は全自由度を固定した. 上端部は, Rigid Link を用いて加力芯位置に設けた代表節点と結合した. 代表節点では, x 方向変位と y, z 軸回りの回転を固定し, y 方向に漸増振幅型の強制変位を与えた.

○ 真応力—対数塑性歪関係

せん断パネルダンパーは, 大変形時の正確な挙動把握が重要なので, 解析には真応力—対数塑性歪関係を採用した. そのモデルには以下の n 乗硬化則を用いた.

降伏棚を除く歪硬化領域における真応力—対数塑性歪関係は, 次式の n 乗硬化則が良好に成立することが知られている.

$$\epsilon_p^* \geq \epsilon_{pst}^* \text{ のとき, } \sigma^* = \sigma_y^* \cdot C \cdot (\epsilon_p^* - \epsilon_0^*)^n \quad (5.a)$$

ここに, σ_y^* : 降伏強さ, ϵ_p^* : 塑性歪, ϵ_0^* : 修正歪, ϵ_{pst}^* : 加工硬化開始歪の塑性成分である.

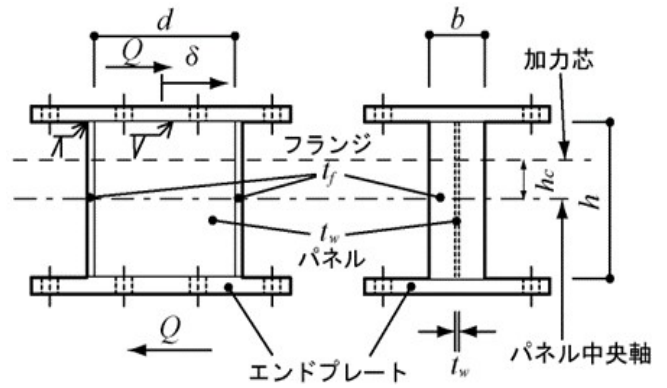


図 2 試験体形状

表 1 試験体シリーズ

	d (mm)	h (mm)	t_w (mm)	b (mm)	t_f (mm)	$\frac{b_f}{t_f} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}$	χ
SW-G	199.6	199.6	6.2	139.8	4.4	0.476	0.832
SW-H	199.6	199.6	6.2	220.1	3.1	1.092	0.732
SW-H30	199.6	199.6	6.2	79.8	3.1	0.396	2.019

表 2 鋼材の機械的性質

	鋼種	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	ϵ_{st} (%)	ϵ_u (%)
パネル	SN400B	343	425	3.1	43.0
フランジ	SS400	194	300	1.9	50.1
		184	291	2.0	55.6

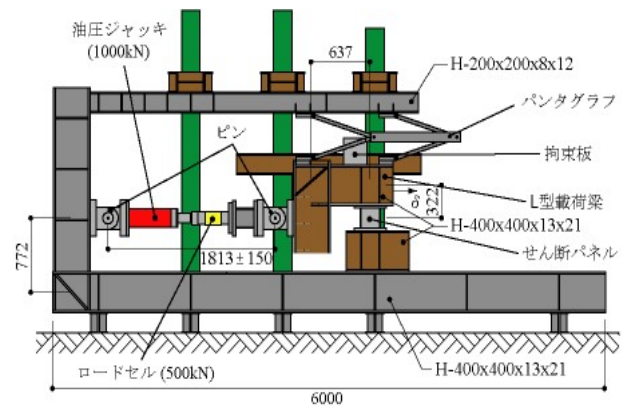


図 3 载荷装置

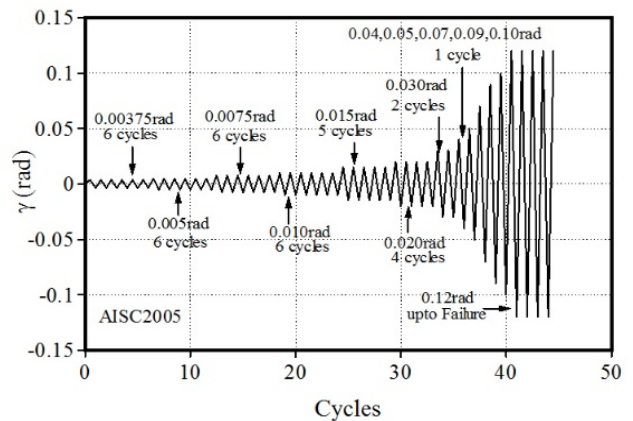


図 4 载荷プログラム

また、降伏棚の領域は次式で表せる。

$$0 \leq \varepsilon_p^* \leq \varepsilon_{pst}^* \text{ のとき, } \sigma^* = \sigma_y^* \quad (5.b)$$

塑性歪の定義から、

$$\varepsilon^* = \varepsilon_e^* + \varepsilon_p^* = \frac{\sigma^*}{E} + \varepsilon_p^* \quad (6)$$

ここに、 ε_e^* : 対数弾性歪である。

真応力 σ^* と公称応力 σ , 対数歪 ε^* と公称歪 ε とには以下の変換則が成立する。

$$\sigma^* = \sigma(1 + \varepsilon) \quad (7.a)$$

$$\varepsilon^* = \ln(1 + \varepsilon) \quad (7.b)$$

ε_p^* を定めれば、(7.a)式より真応力 σ^* が決定され、対応する対数歪は(7.b)式で得られる。(7.a,b)式より、対応する真応力-対数歪関係が弾性範囲を除いて得られる。

材料試験で降伏強さ σ_y , 引張強さ σ_u , 一様伸び ε_i が求まれば、材料定数 n , C は以下のように決定できる。

$$n = \ln(1 + \varepsilon_i) - \varepsilon_0^* \quad (8.a)$$

$$C = \frac{\exp(n + \varepsilon_0^*)}{\frac{\sigma_y}{\sigma_u} \cdot n^n} \quad (8.b)$$

修正歪 ε_0^* は、材料試験と適合するように次式で与える。

$$\varepsilon_0^* = \varepsilon_{pst}^* - m \cdot \frac{\sigma_y}{E} \quad (8.c)$$

ここに、 m : 修正係数である。

表 3 に解析に用いた真応力-対数塑性歪関係の n 乗硬化則モデルの諸定数を示す。

○解析シリーズ

表 4 に解析シリーズを示す。解析シリーズは、実験で用いた SW-G 試験体, SW-H 試験体, SW-H30 試験体の 3 ケース(解析シリーズ A)に加えて、板厚を 9mm としてフランジ幅を変化させた SW-J 試験体, SW-J20 試験体, SW-J40 試験体の 3 ケース(解析シリーズ B)の計 6 ケースとした。

図 6 に解析で用いた Mises の降伏条件を、図 7 に解析シリーズ B における材料モデルを示す。材料モデルは、バイリニア型の弾塑性モデルを用い、表 5 にその諸定数を示す。加工硬化係数は鋼材に 20%の歪が生じた際に引張強さとなるような値を用い、これらの値を真応力-対数塑性歪関係に変換し、解析に適用した。

5 結果及び考察

硬化則に関する解析結果を図 8 に、解析シリーズ A に関する実験及び解析結果を図 9, 10 に示す。解析シリーズ B に関する解析結果を図 11, 12 に示す。また、加力芯に関する解析結果を図 13 に示す。

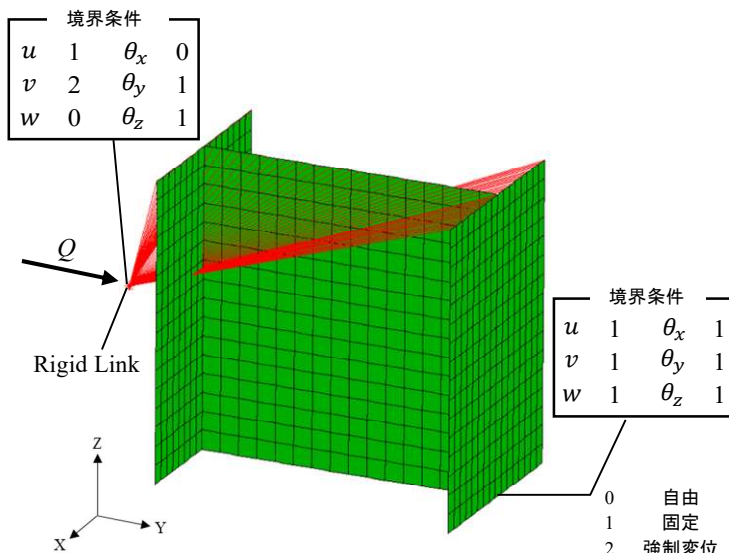


図 5 解析モデル

表 3 解析用の n 乗硬化則

	鋼種	σ_y	ε_{pst}^*	ε_0^*	m	C	n
		(N/mm ²)	-	-	-	(N/mm ²)	-
パネル	SN400B	343	0.029	0.024	3.0	2.04	0.122
		194	0.008	0.000	8.0	2.57	0.185
フランジ	SS400	184	0.021	0.016	6.0	2.60	0.174

表 4 解析シリーズ

		d (mm)	h (mm)	t_w (mm)	b (mm)	t_f (mm)
A	SW-G	199.6	199.6	6.2	139.8	4.4
	SW-H	199.6	199.6	6.2	220.1	3.1
	SW-H30	199.6	199.6	6.2	79.8	3.1
B	SW-J	200	200	6.0	70.0	9.0
	SW-J20	200	200	6.0	50.0	9.0
	SW-J40	200	200	6.0	30.0	9.0
		σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	$\frac{b_L}{t_f} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_u}{E}}$	χ	
A	SW-G	184	291	0.476	0.832	
	SW-H	194	300	1.092	0.732	
	SW-H30	194	300	0.396	2.019	
B	SW-J	235	400	0.132	0.559	
	SW-J20	235	400	0.094	0.783	
	SW-J40	235	400	0.056	1.304	

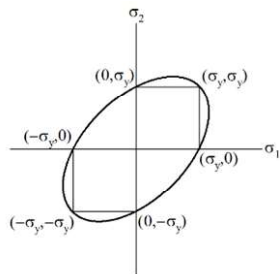


図 6 Mises の降伏条件

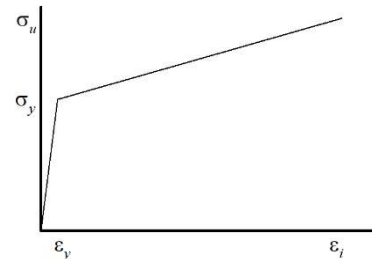


図 7 材料モデル

表 5 材料モデルにおける諸定数

σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	ε_{st} (%)	ε_i (%)
235	400	0.11	20

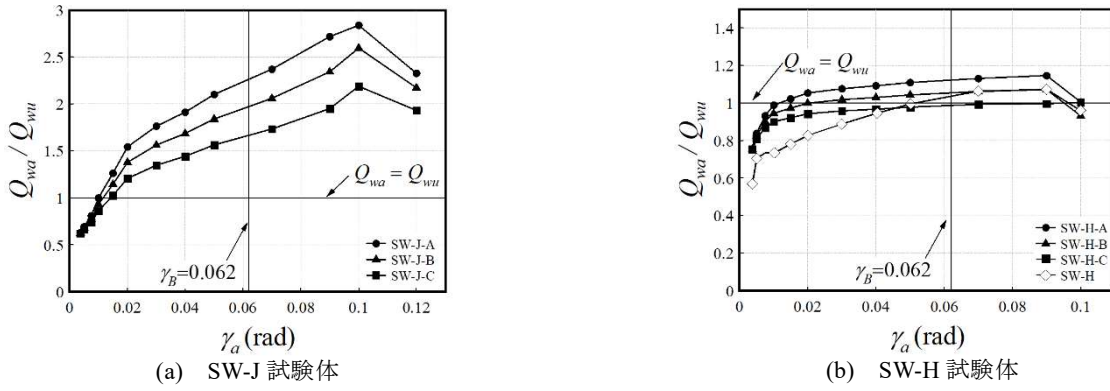


図 8 移動硬化則割合の及ぼす影響

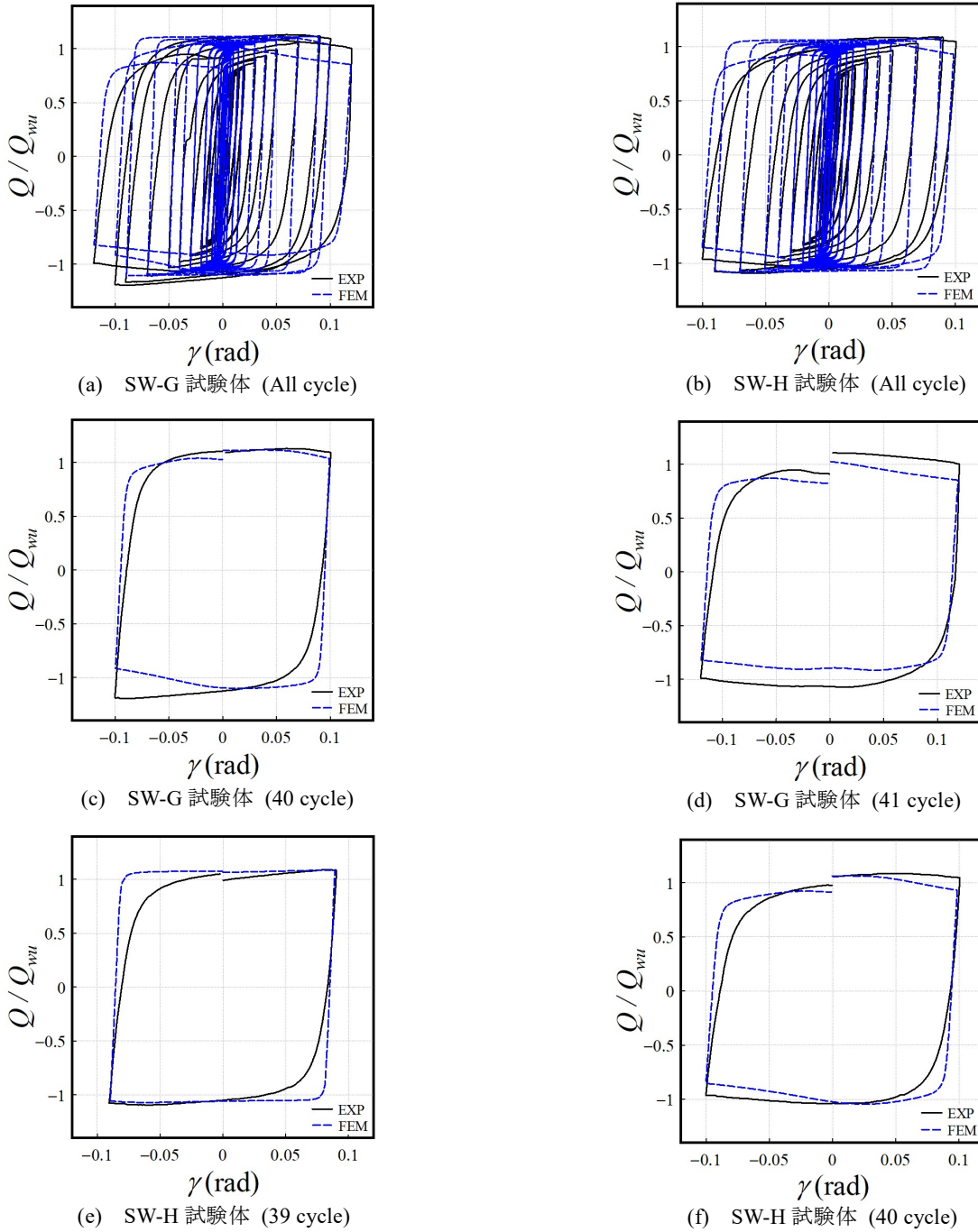


図 9 無次元化せん断荷重—変形角振幅関係

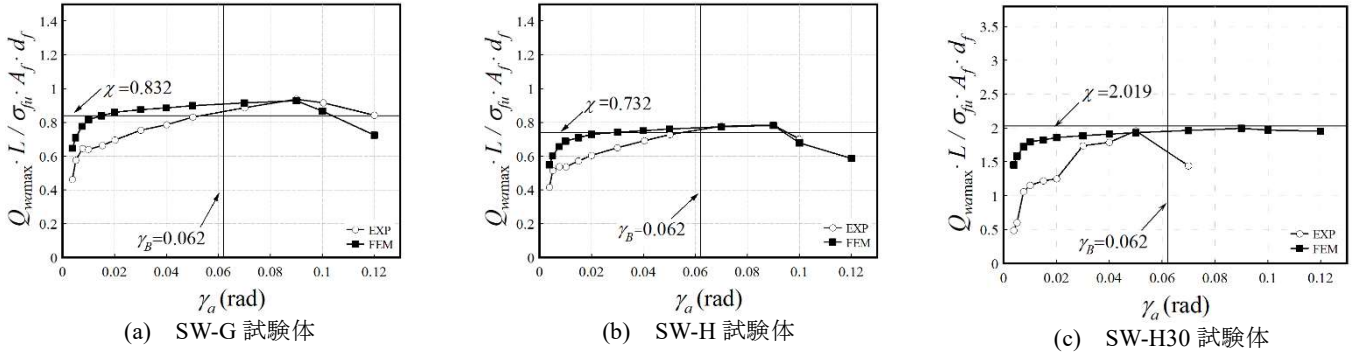


図 10 パネル曲げ耐力比—変形角振幅関係 (解析シリーズ A)

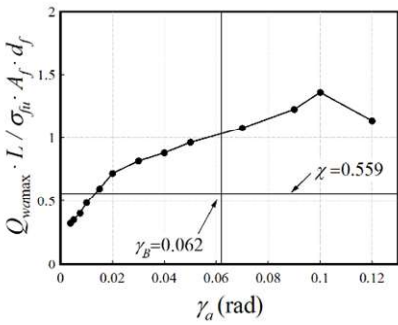


図 11 パネル曲げ耐力比—変形角振幅関係 (SW-J 試験体)

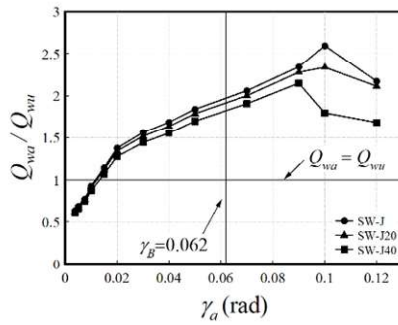


図 12 パネル耐力上昇率—変形角振幅関係 (解析シリーズ B)

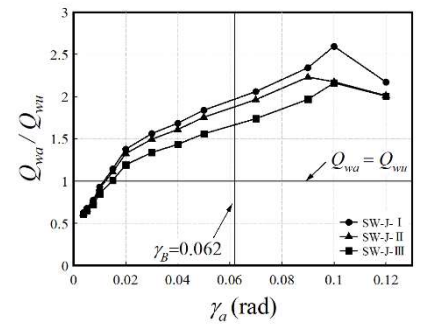


図 13 加力芯位置の及ぼす影響

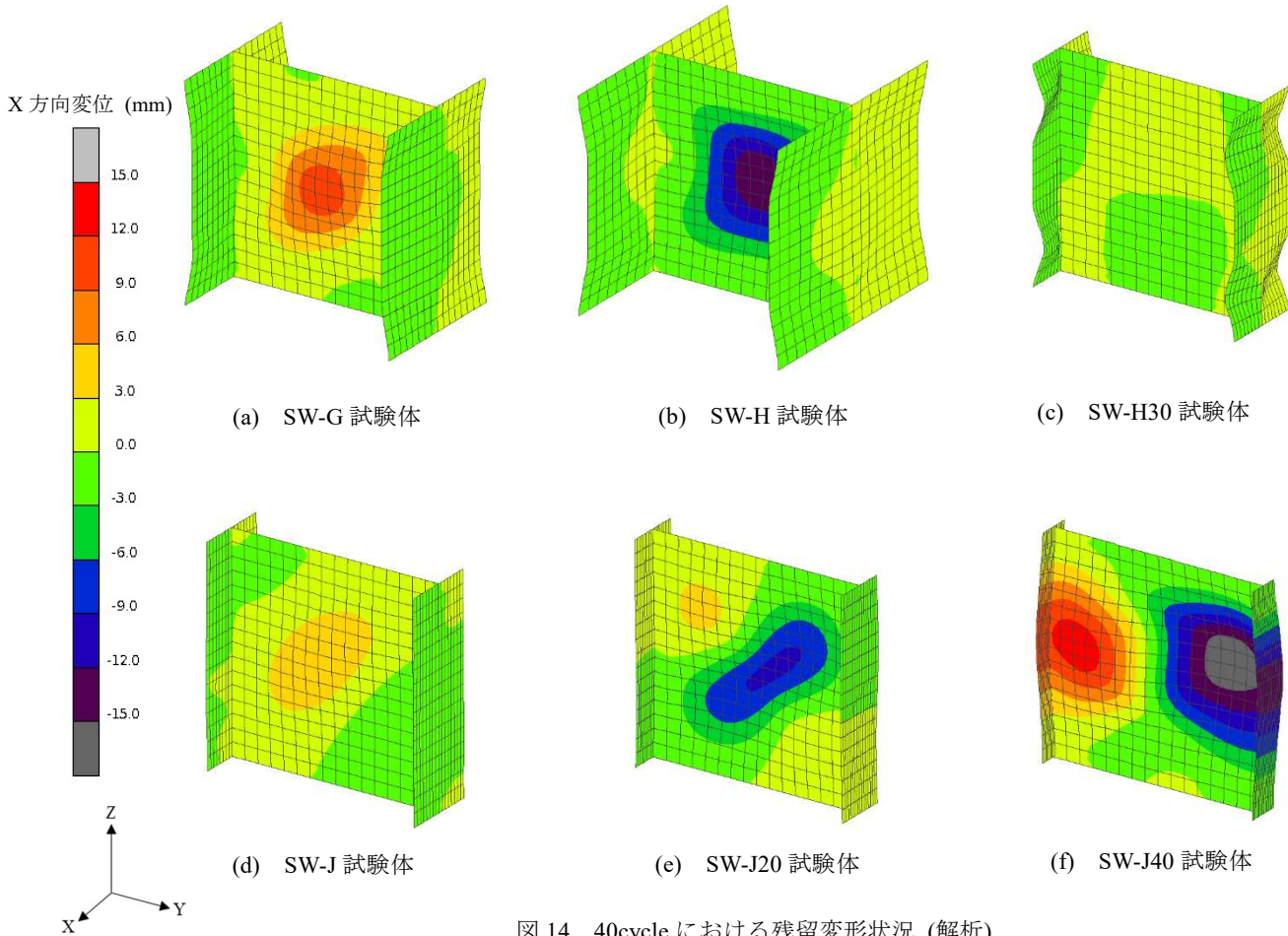


図 14 40cycle における残留変形状況 (解析)

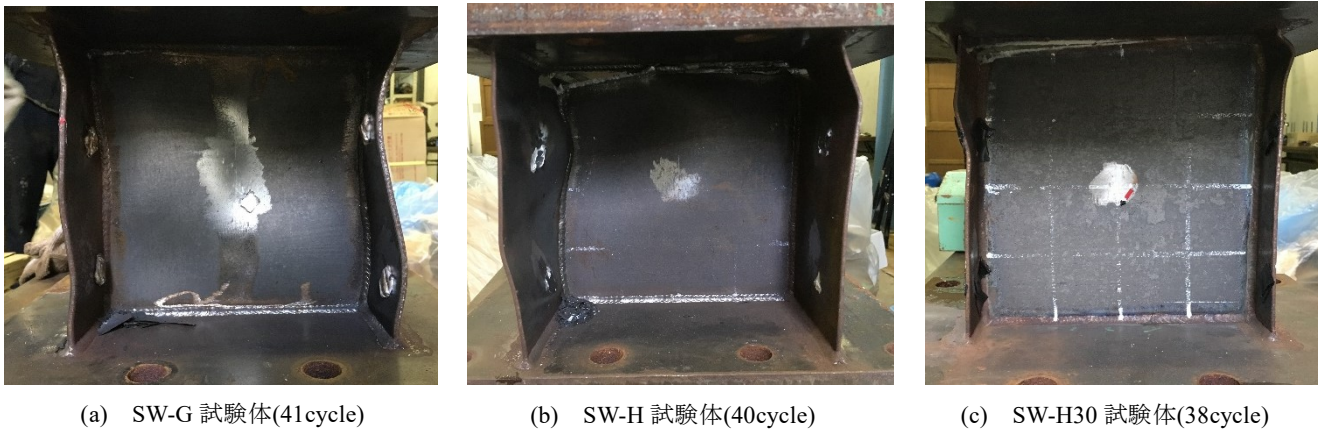


図 15 載荷終了後の残留変形状況 (実験)

解析シリーズ A 及び B に関して 40cycle における解析結果を図 14 に示す. 載荷後のせん断パネルダンパーの様子を図 15 に示す.

図 8 は, SW-J 試験体, SW-H 試験体について, 全硬化に対する移動硬化の割合を 0.5, 0.6, 0.7 と変化させた各試験体のパネルせん断耐力で無次元化した変形角毎の最大荷重振幅 Q_{wa}/Q_{wu} (パネル耐力上昇率)とせん断変形角振幅 γ_a の関係を示す. 図 8(a)では, 割合ごとにそれぞれ SW-J-A 試験体, SW-J-B 試験体, SW-J-C 試験体とし, 図 8(b)では, それぞれ SW-H-A 試験体, SW-H-B 試験体, SW-H-C 試験体としている. また, 図 8(b)では, 実験結果も併せて示している.

図 9 は, SW-G 試験体, SW-H 試験体について, パネルせん断耐力で無次元化したせん断荷重 Q/Q_{wu} とせん断変形角振幅 γ の関係を示している. 図 9(a),(b)は, 各試験体について, 実験における載荷終了までについて示している. 図 9(c),(d)及び(e),(f)は, 各試験体の実験での載荷終了付近について示している.

図 10 は, SW-G 試験体, SW-H 試験体, SW-H30 試験体について, 各振幅時のパネル曲げ耐力比 $Q_{wa,max} \cdot L/\sigma_{fu} \cdot A_f \cdot d_f$ とせん断変形角振幅 γ_a の関係を示す. 同図には, パネルがせん断座屈を生じると予測されるせん断座屈変形角振幅 $\gamma_B (= 0.062\text{rad})$ 及びフランジの軸耐力が不足していると判定できる χ の値をそれぞれ示している.

図 11 は, SW-J 試験体について, 図 10 と同様, パネル曲げ耐力比 $Q_{wa,max} \cdot L/\sigma_{fu} \cdot A_f \cdot d_f$ とせん断変形角振幅 γ_a の関係を示す.

図 12 は, SW-J 試験体, SW-J20 試験体, SW-J40 試験体について, パネル耐力上昇率 Q_{wa}/Q_{wu} とせん断変形角振幅 γ_a の関係を示す.

図 13 には, 加力芯をせん断パネル中心, 中心から 50mm 上昇, 中心から 100mm 上昇させた試験体について, パネル耐力上昇率 Q_{wa}/Q_{wu} とせん断変形角振幅 γ_a の関係を示す. 試験体は, 加力芯ごとにそれぞれ SW-J-I 試験体, SW-J-II 試験体, SW-J-III 試験体としている.

図 14 には, 解析シリーズ A,B の 40cycle 経過後の残留変形状況について示す. 同図は, X 方向, つまりパネル面外方向変形をコンタープロットしており, その変位量は図の左端に示す.

図 15 には, SW-G 試験体, (b)SW-H 試験体, (c)SW-H30 試験体について, 各試験体の載荷終了後における残留変形状況について示している.

以上の結果をもとに以下の各項目について考察する.

○硬化則の及ぼす影響

図 8(a)より, 全硬化に対する移動硬化の割合を大きくすると, すべてのせん断変形角振幅について, パネル耐力は減少していくことがわかる. これは, 移動硬化の割合を大きくすると, 加工硬化の表現が難しくなることから, 次第に増加するせん断変形角振幅に対して, パネル耐力が上昇しなかったためと考えられる. また, 移動硬化の割合が大きいのほど急激な耐力低下が生じていることがわかる. これは, フランジの局部座屈が早期に生じることにより, パネルのせん断座屈が顕著に表れたためと考えられる.

図 8(b)は, 図 8(a)と同様, 移動硬化の割合を大きくすると, パネル耐力は減少することがわかる. 実験を行った SW-H 試験体では, 移動硬化の割合を 0.6 とした解析結果では, 39cycle から 40cycle にかけて最も精度よく評価できていることがわかる. したがって, 本研究では, 以降より示すすべての解析シリーズでは移動硬化の割合を 0.6 とした.

○履歴特性

図 9(a),(b)より, SW-G 試験体及び SW-H 試験体では, パネルせん断座屈変形角振幅 $\gamma_B (= 0.062\text{rad})$ までは良好な紡錘形の履歴特性を有している. また, 図 9(c),(d)及び(e),(f)より, 実験における最終サイクル付近のパネル耐力低下を解析によって再現できていることがわかる. 有限要素法解析では, 繰返し軟化現象やバウシンガー効果による履歴性状の追跡状況はやや悪いが, 等方硬化による耐力上昇やパネルのせん断座屈に起因する耐力低下特性は良好に追跡できていることがわかる.

○所要のパネル曲げ耐力比(解析シリーズ A)

図 10(a), (b)より, SW-G 試験体及び SW-H 試験体は, 実験・解析ともに $\gamma_B (=0.062\text{rad})$ 以降かつ χ の値を超えてから耐力低下が生じており, この 2 シリーズの耐力低下特性は, 予測と良好な一致が見られる. 図 10(c)より, SW-H30 試験体は, 実験値と解析値が大きく異なっている. これは, フランジが曲げ応力を十分に負担できておらず, 実験での挙動が不安定となったためと考えられる. したがって, フランジ部の設計では, 幅厚比とともに断面積も考慮する必要がある.

○所要のパネル曲げ耐力比(解析シリーズ B)

図 11 より, SW-J 試験体は, 実験値・解析値ともに $\gamma_B (=0.062\text{rad})$ 以降かつ χ の値を大きく超えて耐力低下が生じており, これらの試験体の耐力低下特性は良好であるといえる. 尚, SW-J20 試験体, SW-J40 試験体でも同様の傾向が見られた. したがって, 解析シリーズ B では, いずれの試験体もフランジ部が十分に曲げ応力を負担できていることがわかる.

○パネル耐力上昇率

図 12 より, SW-J 試験体, SW-J20 試験体, SW-J40 試験体は, パネルせん断耐力を大きく超え, フランジ部でも十分にせん断力を受け持っていることがわかる. これは, 各試験体ともに, フランジ幅厚比が十分小さいためと考えられる. また, フランジ幅及び断面積が小さいほど, 同一変形角振幅時のパネル耐力は上昇せず, 早期に耐力低下が生じている. これは, フランジ部が受け持つせん断力及びフランジ部に生じる曲げ応力が起因するものと考えられる.

○加力芯位置の及ぼす影響

図 13 より, 加力芯をパネル中心に近づけるほど, 同一変形角振幅時のパネル耐力は上昇しており, 加力芯をパネル中心($L=100\text{mm}$)とした SW-J-I 試験体では, 加力芯をパネル上端($L=200\text{mm}$)とした SW-J-III 試験体に比べ, 最大で 1.2 倍程度高い値が得られた. また, SW-J-II 試験体は, 40cycle 経過後に SW-J-III 試験体とほぼ等しい挙動を示しており, 大変形時には, この 2 つの試験体間に性能の差異はないといえる. さらに, パネル耐力上昇率は, 加力芯位置によって非線形的に変化することがわかる. したがって, せん断パネルダンパーのエネルギーマグニチュードを高めるには, 加力芯位置をパネル中心に近づけたほうが良いことがわかる.

○終局変形状況

図 14 より, 解析シリーズ A, B では全試験体において, 40cycle 経過後にパネルせん断座屈及びフランジ局部座屈が生じている. 特に, (c)SW-H30 試験体では, パネルせん断座屈に比べ, フランジ局部座屈が顕著に表れている. また, (f)SW-J40 試験体では, フランジ部がパネル面外方向に変形しており, パネル耐力に大きく影響を及ぼしていると考えられる.

図 15(a), (b)より, SW-G 試験体, SW-H 試験体では, 載荷中にパネル部及びフランジ部に座屈変形が生じたことが確認できる. 図 15(c)より, SW-H30 試験体では, パネルがせん断座屈する前にフランジ部に局部座屈が生じ, 耐力低下したことがわかる. また, SW-H 試験体, SW-H30 試験体では, 上部エンドプレートの溶接部に大きな亀裂が生じており, 破断寸前まで亀裂が進行していたことがわかる. これは, フランジ部に板厚 3mm の薄い鋼材を用いたため, 板厚全体に溶接熱が入り, 溶接部強度が所要の値より低下したためと考えられる. 溶接部がパネル耐力に大きな影響を及ぼすことは明らかであり, せん断パネルダンパーの設計では, 十分な溶接部強度を確保するために, パネル部及びフランジ部に適切な板厚を設定する必要がある.

6 まとめ

せん断パネルダンパーのパネル部の材質と形状を同一にしてフランジ部形状を変化させた 3 シリーズの試験体について実験を行った. また, 実験での 3 シリーズを含めた計 6 シリーズの試験体について解析を行い, 諸性能に関して考察した. 得られた知見は以下のように要約できる.

- 1) フランジ部の断面形状は, せん断パネルダンパーの耐力及び耐力低下後の挙動に大きく影響する. また, 加力芯位置等の条件によっても, せん断パネルダンパーの諸性能は変化する.
- 2) せん断パネルダンパーの溶接部において, 十分な溶接強度を確保するためには, 適切な板厚を有したパネル部及びフランジ部の設計が必要である.
- 3) 有限要素法解析は, 繰返し載荷下におけるせん断パネルダンパーの加工硬化による耐力上昇やせん断座屈による耐力低下特性を良好に再現できる.
- 4) 数少ない実験・解析からの知見であるが, せん断パネルダンパーのフランジ幅厚比を SW-H 試験体のフランジ幅厚比 1.092 まで緩和しうる. ただし, 部材形状の正確な定量評価については, 更なる実験及び解析データを必要とする.

参考文献

- 1) 玉井宏章, 三久保里弥, 山西央朗, 高松隆夫: せん断パネルフランジの所要幅厚比について, 鋼構造年次論文報告集, 第24巻, pp.457-463, 2016.11.
- 2) 日本建築学会: 鋼構造制振設計指針, pp. 60-112,138-161, 2014.11.
- 3) American Institute of Steel Construction, Inc.,(AISC), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, Standard ANSI/AISC 341-05, Chicago (IL, USA); 2005.