

繰返し荷重を受ける H 形鋼筋違材の修正復元力モデル  
Modified Hysteresis Model on H-shaped Steel Bracing under Cyclic Loading

○赤羽正寛<sup>1</sup>, 石鍋雄一郎<sup>2</sup>, 半貫敏夫<sup>3</sup>, 秋山宏<sup>4</sup>

\*Masahiro Akaba<sup>1</sup>, Yuichiro Ishinabe<sup>2</sup>, Toshio Hannuki<sup>3</sup>, Hiroshi Akiyama<sup>4</sup>

Abstract: This paper reports on a modified hysteresis model applied to H-shaped steel bracing members. Bracing members are important structural elements to improve rigidity and strength of the steel structure. The hysteresis rule of bracing members depends on the slenderness ratio, and becomes very complicated. However when slenderness ratio is larger, the compressive side of strength is not considered in conventional design method. To understand the real behaviors under earthquakes, more appropriate hysteresis models are needed. This study proposes a modified hysteresis model for H-shaped steel bracing members which has been used in low and middle-story structures.

1. 序論

鋼構造において筋違材は、剛性及び水平耐力の増大に寄与する重要な構造部材である。しかし、圧縮力を受ける部材は座屈による耐力低下が発生するため、その性状を適切に評価して耐震設計に反映することが重要である。座屈拘束ブレース<sup>[1]</sup>は座屈せず安定した履歴特性を期待できる一方、細長比がある程度大きな筋違材の設計においては、その性状が定量化されていないため、圧縮側筋違材を無視することが一般的である。

こうした現状は筋違材が保有する細長比に依存し、履歴特性が非常に複雑になるためである。地震時における筋違付骨組の挙動を明らかにするには、実挙動に近い復元力モデルで評価する必要がある。

本研究では、中低層建物に幅広く使用される H 形鋼筋違材を対象とする。既往の復元力モデル<sup>[2]</sup>を実験データ<sup>[3]-[6]</sup>を基に評価し修正モデルを提案する。

2. 復元力モデルの定義

2.1 復元力モデル

H 形鋼筋違材を対象とした代表的な復元力モデルとして若林モデル<sup>[2]</sup>と秋山モデル<sup>[3]</sup>がある。若林モデルは細長比の適用範囲が  $\lambda=30\sim 150$  と広く、繰返し载荷に伴う剛性低下を再現している。秋山モデルでは  $\lambda$  が比較的小さいケースを対象として座屈による耐力低下を簡潔に表現している。

若林モデル<sup>[3]</sup>は、適用範囲が広いという特長があるが、簡便性により座屈耐力を一定のループで評価しており、初期座屈耐力が若干低めになる傾向がある。そこで本研究では、若林モデルの修正を試みる。

履歴法則は、初期座屈耐力に達した後、圧縮耐力曲線に沿って耐力低下させる。再度、圧縮耐力に達する

と除荷開始点耐力に相当する耐力で座屈が生じる。除荷開始点からの除荷剛性や引張耐力曲線は若林モデルの履歴法則<sup>[2]</sup>を適用する。

2.2 圧縮耐力曲線

本研究では、指数型減衰曲線を用いた次式の圧縮耐力曲線  $n$  で評価する。

$$n = (q_M - q_m) \exp(-\alpha \cdot e) + q_m \tag{1}$$

無次元化耐力 :  $n = Q/Q_y$ , 無次元化塑性変形 :  $e = \delta/\delta_y$ ,  $\alpha$  : 劣化勾配

ここで、初期座屈耐力  $q_M$  は現行の鋼構造設計規準の短期耐力、座屈後安定耐力  $q_m$  は Paris の理論から得られる値で、それぞれ式(2)~(4)で表される<sup>[3]</sup>。

$$\lambda_e \leq \Lambda \text{ のとき } q_M = \left\{ 1 - \frac{2}{5} \left( \frac{\lambda_e}{\Lambda} \right)^2 \right\} / \left\{ 1 + \frac{4}{9} \left( \frac{\lambda_e}{\Lambda} \right)^2 \right\} \tag{2}$$

$$\lambda_e > \Lambda \text{ のとき } q_M = \frac{9}{13} \left( \frac{\pi}{\lambda_e} \right)^2 \tag{3}$$

Paris の理論

$$10 = \frac{2}{\lambda_e^2} \cdot \frac{1}{q_m^2} \cdot \cos^2 \left( \frac{\pi q_m}{2} \right) \tag{4}$$

基準化細長比 :  $\lambda_e = \sqrt{\sigma_y/E} \cdot \lambda$  基準化限界細長比 :  $\Lambda = \sqrt{\pi^2/0.6}$

$\sigma_y$ : 筋違材の降伏応力度  $E$ : ヤング係数  $\lambda$ : 細長比

Fig.1 に式(1)の圧縮耐力曲線と筆者らの繰返し载荷実験結果<sup>[4]</sup>との関係図を示す。実験結果の圧縮耐力曲線を繋ぎ合わせたものと、同等の変形範囲で面積が等しくなる勾配を劣化勾配  $\alpha$

と定義する。式(1)による圧縮耐力曲線の初期座屈耐力以降の劣化勾配  $\alpha$  は、損傷の程度などの地震応答特性

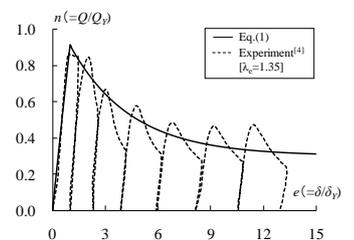


Fig.1 Relation between Eq.(1) and experiments.

1 : 日大理工・院(前)・建築, Student, Graduate School of Nihon Univ. 2 : 日大理工・教員・建築, Nihon Univ., Dr. Eng.

3 : 日大名誉教授, Prof. Emeritus, Nihon Univ., Dr. Eng.

4 : 東大名誉教授, Prof. Emeritus, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

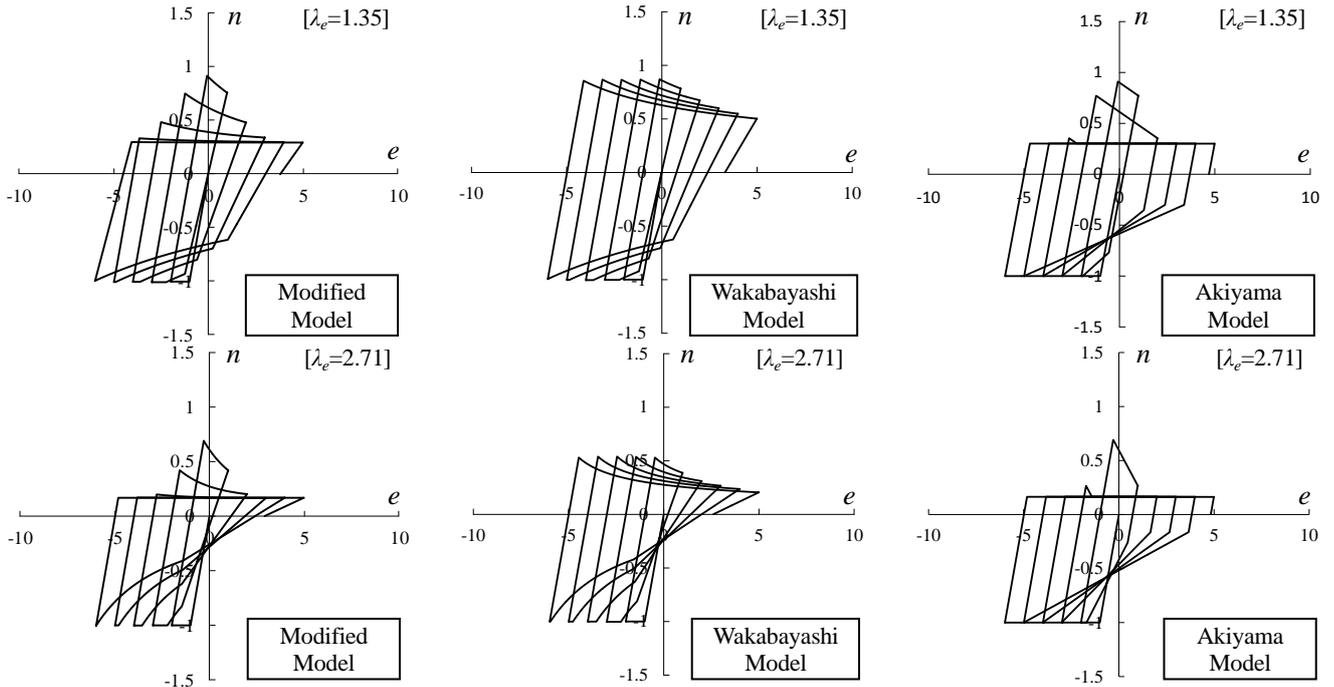


Fig.4 Comparison of hysteresis models.

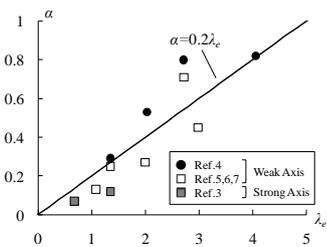


Fig.2 Relation between  $\alpha$  and  $\lambda_e$ .

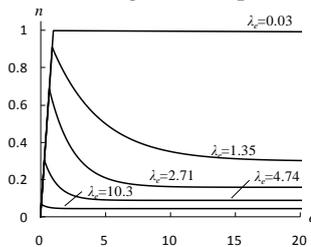


Fig.3 Compressive strength curves.

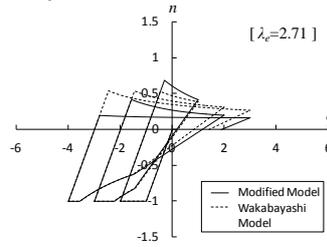


Fig.5 Comparison of hysteresis models.

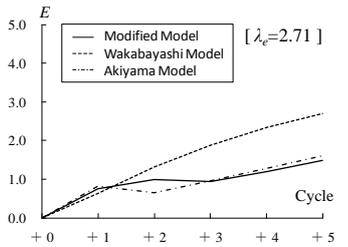


Fig.6 Absorbed energy on each compression cycle.

を考慮し、 $e$  の上限を 15 とする。

Fig.2 は実験結果<sup>[3]-[7]</sup>から算出した劣化勾配  $\alpha$  と基準化細長比  $\lambda_e$  との関係を示したものである。劣化勾配  $\alpha$  は基準化細長比と相関性があり、直線として近似できる。Fig.2 より定義した圧縮耐力曲線を Fig.3 に示す。

### 3. 比較と考察

Fig.4 に解析結果(修正モデル, 若林モデル, 秋山モデル)を示す。また, Fig.5 は修正モデルと若林モデルの復元力モデルを比較したものである。修正モデルは若林モデルと比べて初期座屈耐力を高め評価し、座屈後安定耐力までの耐力低下を表現している。

Fig.4 に示したサイクル毎の圧縮側エネルギー吸収量の推移を Fig.6 に示す。若林モデルは圧縮耐力を一定のループで評価しているため、サイクル数が増加するほどエネルギー吸収量を過大評価することになる。修正モデルでは、耐力劣化を表現しており座屈後のエネルギー吸収量は低下する。

### 4. 結論

H 形鋼筋違材を対象とした復元力モデルの評価方法の修正を行った。本研究で得られた知見を以下に示す。

圧縮耐力曲線の劣化勾配は細長比と相関性があり、直線として近似できる。若林モデルではサイクル数が増加したほど過大評価となる傾向があり、修正モデルでは初期座屈耐力から座屈後安定耐力までの耐力低下を模擬できる。

### 5. 参考文献

- [1] 日本建築学会：鋼構造座屈設計指針, pp.74-79, 2009.11
- [2] 柴田道生, 中村武, 若林實：鉄骨筋違の履歴特性の定式化 - その 1 定式化関数の誘導 -, 建築学会論文報告集, No.316, pp.18-24, 1982.6
- [3] 加藤勉, 秋山宏：鋼構造筋違付骨組の復元力特性, 日本建築学会論文報告集, No.260, pp.99-107, 1977.10
- [4] 赤羽正寛, 竹ノ谷幸宏, 石鍋雄一郎, 新井佑一郎, 半貫敏夫, 秋山宏：繰返し荷重を受ける H 形筋違材の実験的研究 その 1 その 2, 日本建築学会大会学術講演便概集, pp.875-879, 2011.8
- [5] 若林實, 野中泰二郎, 中村武, 森野捷輔, 吉田望：繰返し軸方向力を受ける部材の挙動に関する実験 (その 1), 京都大学防災研究所年報, 第 16 号, pp.201-204, 1971.6
- [6] 辻文三, 西野孝仁, 塩雅夕祐：単一筋違材の弾塑性変形及び崩壊性状に関する研究(II:H形断面筋違:細長比30,60,90), 日本建築大会近畿支部研究報告集, pp.389-392, 1984.6
- [7] 穂積秀雄, 牧野行伸, 坂井誠, 平野道勝：繰返し軸力を受ける鋼部材の弾塑性挙動と軸部破断に関する研究 その 1, 日本建築学会構造系論文集, 第 491 号 pp.111-119, 1997.1