

## I-A230

## 繰り返し载荷を受ける Shear panel の弾塑性挙動

日本技術開発株式会社 正会員 天野麻衣<sup>1</sup> 名古屋大学  
名古屋大学フェロー会員 宇佐美勉<sup>2</sup>  
正会員 葛漢彬<sup>2</sup>

## 1. 緒言

鋼製ラーメン橋脚の梁腹板において、激震時にせん断座屈の被害例が報告されており、ラーメン橋脚の変形性能を算定する上で、梁腹板及び隅角部 shear panel におけるせん断変形挙動の影響を考慮する必要がある。既存の研究は、強度に関するものが多く、変形性能に関してはほとんどなされていない。本研究は、単調及び繰り返しせん断载荷を受ける板パネルの弾塑性有限変位解析を行い、せん断パネルの繰り返し载荷時での変形性能を明らかにすることを目的としている。

## 2. 解析手法

本研究では、汎用有限要素解析プログラム ABAQUS を使い、弾塑性有限変位解析を行うが、構成則として、名古屋大学で開発された修正二曲面モデルを用いた。本研究では無補剛板を Fig.1 に示すようなモデルを用い、周辺単純支持で直線保持の条件で解析を行った。有限要素分割数は  $14 \times 14$  で、4 節点シェル要素を用いた。ここで、 $a$  は板の長さ、 $b$  は板幅、 $\bar{\tau} = \text{せん断力}/bt (= \text{平均せん断応力})$ 、 $\bar{\gamma} = \text{载荷辺の水平変位}/a$  である。また、初期たわみは半波長正弦波を用い、最大初期たわみ  $\delta_p = b/150$ 、残留応力は自己平衡の矩形分布を用い、引張残留応力  $\sigma_{rt} = \sigma_y$ 、圧縮残留応力  $\sigma_{rc} = -0.3\sigma_y$  である。载荷方法は、単調载荷、片振り繰り返し载荷、両振り繰り返し载荷の3パターン用意し、Fig.2 に示す通りである。繰り返し载荷は、Fig.1 に示す载荷辺にせん断変位を与えた後除荷し、1 サイクル毎に降伏変位  $\delta_y (= a \cdot \gamma_y)$  ずつ増加させる载荷方法である。パラメータとしてパネル幅厚比パラメータ  $R_p$  を用いる。

$$R_p = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{k_s \pi^2} \cdot \frac{\tau_y}{E}} \quad (1)$$

$$k_s = \begin{cases} 5.34 + 4.0/\alpha_s^2 & (\alpha_s \geq 1) \\ 4.0 + 5.34/\alpha_s^2 & (\alpha_s \leq 1) \end{cases} \quad (2)$$

ここに、 $t$  = パネル板厚、 $\nu$  = ポアソン比、 $E$  = ヤング係数、 $\tau_y$  = 鋼材のせん断降伏応力、 $k_s$  = 座屈係数、 $\alpha_s = a/b$  である。用いた鋼材は SS400 で、 $R_p$  を 0.3 ~ 0.9、 $\alpha_s$  を 1.0 ~ 3.0 に変化させて解析を行った。

## 3. 解析結果

Fig.3 は、単調载荷における平均せん断応力-平均せん断ひずみをパネル幅厚比パラメータに関して比較したものである。平均せん断応力  $\bar{\tau}$  は降伏せん断応力  $\tau_y$  で無次元化し、平均せん断ひずみ  $\bar{\gamma}$  は降伏せん断ひずみ  $\gamma_y$  で無次元化している。Fig.3 から、パネル幅厚比パラメータが大きいと強度が低くなっており、 $R_p = 0.3$  の場合は繰り返しひずみ硬化による強度上昇が生じている。

また Fig.4 は、パネル幅厚比パラメータ  $R_p = 0.3$  および 0.9 における平均せん断応力-平均せん断ひずみに関して、単調载荷、片振り繰り返し载荷、両振り繰り返し载荷で比較したものである。繰り返し载荷においては、各履歴ループの正方向の折り返し点を結んだ包絡線を示している。

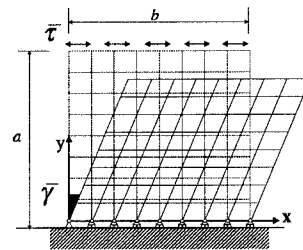


Fig.1 解析モデル (板厚=t)

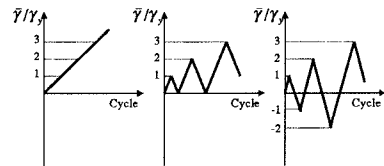


Fig.2 载荷条件

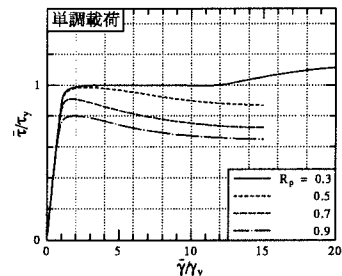


Fig.3 パネル幅厚比パラメータによる影響

Key Words: Cyclic loading, Ultimate shear strain, Two-surface plasticity model

<sup>1</sup> 〒164-8601 東京都中野区本町5丁目33番11号 Tel: 03-5385-5111<sup>2</sup> 〒464-8603 愛知県名古屋市中種区不老町 Tel: 052-789-4617

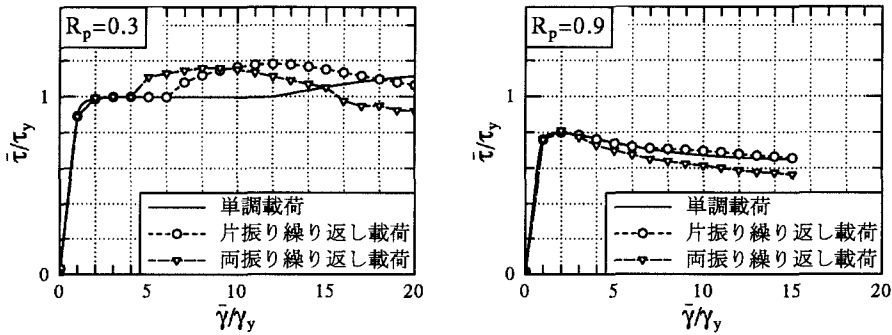


Fig.4 荷重パターンによる影響

Fig.4における $R_p = 0.3$ の場合から、単調載荷、片振り繰り返し載荷、両振り繰り返し載荷の順にひずみ硬化による強度上昇が生じる平均せん断ひずみが早くなっている。ひずみ硬化による強度上昇は、局部座屈が生じる前にひずみ硬化域に達するためであると考えられるため、この順に、パネルの損傷が大きくなっていることがわかる。また、Fig.4における $R_p = 0.9$ の場合では、 $R_p = 0.3$ に比べ荷重パターンによる相違はあまりないが、両振り繰り返し載荷の場合が強度低下が一番大きくなっている。

Fig.5は、本解析における終局せん断ひずみの定義を示したものである。平均せん断応力-平均せん断ひずみ曲線において、最大平均せん断応力 $\bar{\tau}_{max}$ の95%まで強度が低下したときのせん断ひずみを、終局せん断ひずみ $\bar{\gamma}_u$ と定義する。ひずみ硬化による強度上昇が生じる場合は、最大せん断応力 $\bar{\tau}_{max}$ の95%を採用せず、強度上昇が生じる前の第一ピーク強度の95%を終局せん断ひずみとしている。

Fig.6は、パネル幅厚比パラメータ $R_p$ -終局せん断ひずみ $\bar{\gamma}_u$ 関係を、単調載荷、片振り繰り返し載荷、両振り繰り返し載荷について比較したものである。Fig.6より、パネル幅厚比パラメータが小さいと変形能（終局せん断ひずみ）は大きくなり、荷重パターンにより変形能の相違があり、両振り繰り返し載荷による解析結果が一番低くなっている。 $R_p = 0.5$ 以降では、終局せん断ひずみがほぼ一定となり、両振り繰り返し載荷の場合は $4\gamma_y$ より小さくなっている。文献[1]では、単調載荷において隅角部腹板のせん断に関する限界値を $4\gamma_y$ としているが、本解析結果からこの限界域とするには $R_p = 0.5$ 以下にする必要があることがわかる。

#### 4. 結言

本研究では、曲げ圧縮よりせん断が卓越すると考えられる構造部材に対して、せん断に関する変形能の評価基準に対する基礎的データの提供が主要な目的であった。本研究による結果をまとめると、次のようである。1) 繰り返し載荷の場合、パネル幅厚比パラメータ $R_p$ が大きいと、繰り返しひずみ硬化の影響による強度および変形能の増加はあられず、単調載荷の場合とあまり相違がないが、 $R_p$ が小さいと、強度および変形能は単調載荷の場合と大きく異なる。2) 終局せん断ひずみの最低値は $4\gamma_y$ であり、 $R_p \leq 0.5$ では、それ以上の変形能が期待できる。今後の課題として、本研究では4辺単純支持として解析を行ったが、フランジの剛性の影響を調べるため、それを含めたモデルによる解析を行うこと、及び補剛板のせん断変形能を調べることである。

#### 参考文献

- [1] Krawinkler, H., and Popov, P. (1982): Seismic Behavior of Moment Connections and Joints, J. of Structural Division, ASCE, Vol.108, No.ST2, pp.373-391.

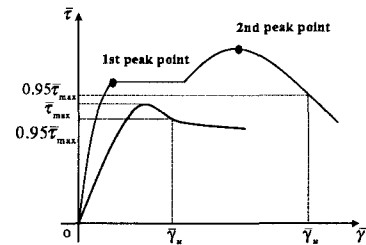
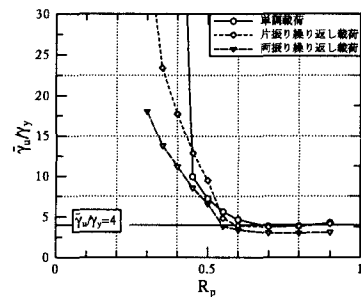

 Fig.5 終局せん断ひずみ $\bar{\gamma}_u$ の定義


Fig.6 終局せん断ひずみ