

## I - 12

## 局部座屈を考慮した鋼製門形ラーメンの強度と変形性能に関する解析的研究

○清水建設 正員 戸谷和彦 名古屋大学 正員 宇佐美勉

## 1. 序

鋼製門形ラーメン構造物の繰り返し載荷実験や数値解析については、建築の分野で高層フレームを対象として既に数多く行われている。しかしながら、そのほとんどは比較的厚肉のH型断面を用いたもので、比較的薄肉の補剛箱形断面を多用する土木構造物に利用できるデータは多くない。最近、土木の分野では薄肉箱形断面骨組の隅角部を対象とした研究が行われているが、これらの研究は、主に隅角部に着目しており、鋼製ラーメン構造物全体をとらえた挙動特性に関する研究については著者らの実験的研究[3]以外は見あたらない。

本研究では、1層1スパンの門形ラーメン(無補剛正方形断面)を想定し、隅角部のみではなくフレーム構造物全体を考え、基部の形式を柱脚ヒンジ、柱脚固定の2種類について解析を行った。

## 2. 解析の概要

本研究で想定している本来のフレームの構造形態は、1層1スパンの鋼製門形ラーメンであり、荷重条件は柱に一定鉛直荷重、はりに漸増水平荷重を作用させるものである。したがって、構造は対称、荷重は逆対称であるので、Fig.1 (a) のように対称軸より片側半分だけを取り出し逆L字形の構造とし、はり先端部をローラー支持とした。また、断面形は、はり部、柱部同一形状の無補剛正方形断面とした(Fig.1 (b))。

Fig.2 に柱脚固定の場合の解析モデルを示す。局部座屈を生じる可能性のある部分(柱基部、隅角部パネル、隅角部近傍のはり、柱部)には板要素を使用した。それ以外のはり、柱部は、はり要素を使用した。柱脚ヒンジの場合については、柱基部に板要素を使用せず、はり要素を使用しており、その他は柱脚固定の場合と同じである。解析を行った各種パラメータは次のようにする。フランジパネルの幅厚比パラメータ  $R_f = 0.5$ 、柱部材の細長比パラメータ  $\bar{\lambda} = 0.4$ 、軸圧縮力比  $P/P_y = 0.2$ 、剛比  $k = 1.0$ 、柱の長さ/はりの長さ = 2.0 と一定とし、ウェブパネルの幅厚比パラメータ  $R_w = 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ 、隅角部パネルの幅厚比パラメータ  $R_p = 0.3, 0.5, 0.7$  のように変化させた。 $R_f, R_w, R_p$  は、次式で定義される。

$$R_f = \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{4\pi^2}} \cdot \frac{\sigma_y}{E}, R_w = \frac{b}{t_w} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{4\pi^2}} \cdot \frac{\sigma_y}{E} \quad (1), (2)$$

$$R_p = \frac{b}{t_p} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{9.34\pi^2}} \cdot \frac{\tau_y}{E} \quad (3)$$

ここで、 $b$ :フランジ(ウェブ)幅、 $t_f$ :フランジの板厚、 $t_w$ :ウェブの板厚、 $t_p$ :隅角部パネルの板厚、 $\tau_y$ :せん断降伏応力( $=\sigma_y/\sqrt{3}$ )である。

また、鋼種はSS400( $E = 206000 \text{ N/mm}^2, \sigma_y = 235 \text{ N/mm}^2, \nu = 0.3$ )を想定した。残留応力は、溶接部に隣接する要素では引張残留応力 $\sigma_y$ 、その他の要素では圧縮残留応力 $\sigma_{rc}$ を $0.3\sigma_y$ とし、初期たわみの最大値は $b/500$ とした。本研究では、汎用構造解析プログラム MARC を使用して弾塑性有限変位解析を行った。

## 3. 柱脚ヒンジ構造物の解析結果

解析終了後の各解析モデルの変形図を観察して、崩壊形式を部材一般部の曲げ座屈型(TYPE F.Bu.(Flexural Buckling))、隅角部パネルのせん断座屈型(TYPE S.Bu.(Shear Buckling))、隅角部パネルのせん断降伏型(TYPE S.Yi.(Shear Yield))の3種類に分類した。これらの崩壊形式を、縦軸に隅角部パネル幅厚比パラメー

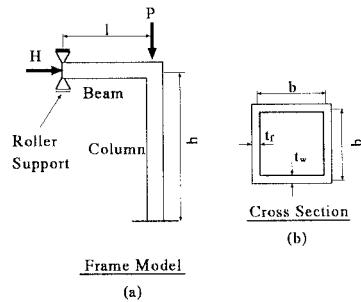


Fig.1 Frame to be Analysed

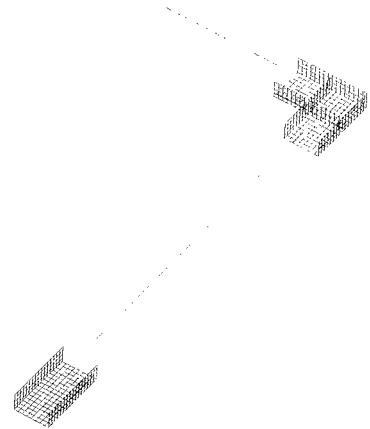


Fig.2 Analytical Model

タ  $R_p$ 、横軸に柱部材のウェブの幅厚比パラメータ  $R_w$  をとり、分類すると Fig.4 のようになる。また、各崩壊形式に対する水平荷重-水平変位曲線を Fig.5 に示す。無次元化には、柱頂部の水平荷重により、隅角部が初期降伏を起こす荷重と変位を初期降伏荷重  $H_{y0} = M_y/h$ 、初期降伏変位  $\delta_{y0} = h^3 H_{y0}/2EI$  を用いた。ここで、 $M_y$ ：降伏モーメント、 $I$ ：断面2次モーメントである。この図より、TYPE S.Yi. の崩壊形式が隅角部近傍柱部の局部座屈により強度が低下しつつも、隅角部パネルの塑性変形が支配的となるため強度と変形性能ともに有利で安定的であることがわかる。また、TYPE S.Bu. の崩壊形式も最高荷重を過ぎた後、安定した挙動を呈するが隅角部パネルのせん断座屈が卓越するため耐荷力が低く強度の面で不利であり、TYPE F.Bu. の崩壊形式は隅角部近傍柱部に局部座屈が集中し最高荷重を過ぎた後の劣化が著しく、安定性の面から考えると最も不利な崩壊形式といえる。

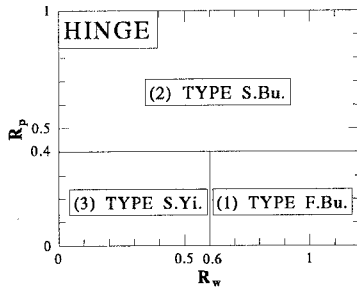


Fig.4 Classification of Collapse modes (HINGE)

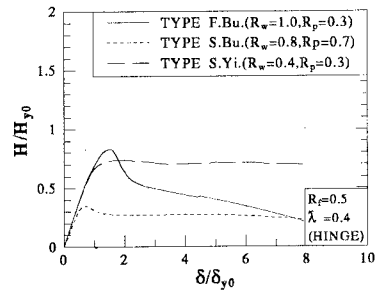


Fig.5 Horizontal Load versus Horizontal Displacement Curves (HINGE)

#### 4. 柱脚固定構造物の解析結果

解析終了後の各解析モデルの変形図を観察して、崩壊形式を柱基部の曲げ座屈型 (TYPE F.Bu.)、隅角部パネルのせん断座屈先行型 (TYPE S.Bu.)、柱基部の曲げ座屈と隅角部パネルのせん断降伏同時進行型 (TYPE F.Bu./S.Yi.) の3種類に分類した。これらの崩壊形式を、柱脚ヒンジの場合と同様、縦軸に隅角部パネル幅厚比パラメータ  $R_p$ 、横軸に柱部材のウェブの幅厚比パラメータ  $R_w$  をとり、分類すると Fig.6 のようになる。また、各崩壊形式に対する水平荷重-水平変位曲線を Fig.7 に示す。無次元化には、柱頂部の水平荷重により、柱基部が初期降伏を起こす荷重と変位を初期降伏荷重  $H_{y0} = 7M_y/4h$ 、初期降伏変位  $\delta_{y0} = 5h^3 H_{y0}/42EI$  を用いた。この図より、TYPE F.Bu./S.Yi. の崩壊形式は柱基部の局部座屈が生じつつも、隅角部パネルのせん断降伏が同時に進行するため、強度と変形性能ともに有利で安定的であることがわかる。また、TYPE F.Bu. と TYPE S.Bu. の崩壊形式はどちらも最終的には柱基部の曲げ座屈が支配的となるため最高荷重を過ぎた後の劣化が著しく、安定性の面から考えると TYPE F.Bu./S.Yi. に比べ不利な崩壊形式といえる。

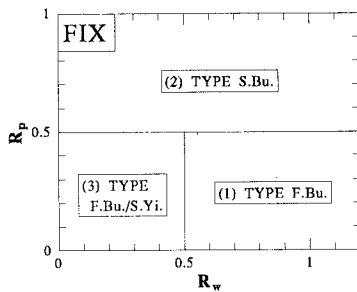


Fig.6 Classification of Collapse modes (FIX)

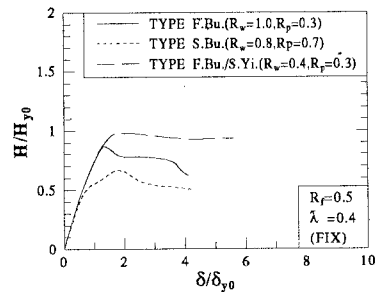


Fig.7 Horizontal Load versus Horizontal Displacement Curves (FIX)

#### 参考文献

- [1] 酒造敏廣・事口寿男：構造工学論文集, Vol.37A, 1991, pp.121-134.
- [2] 黄元燮・西村宣男・高津秀俊：構造工学論文集, Vol.40A, 1994, pp.201-214.
- [3] 宇佐美勉・戸谷和彦：構造工学論文集, Vol.41A, 1995, 3.