

門形ラーメンの非弾性地震応答性状と断面構成法に関する研究

大同工業大学 学生員 ○長田 好夫  
 大同工業大学 学生員 高橋 真貴  
 大同工業大学 正 員 酒造 敏廣

【1】まえがき

変断面構造のはり・柱部材からなる鋼製ラーメンが強震動を受けて非弾性応答を示すとき、塑性変形が卓越する箇所から崩壊モード（パターン）を予測するためには、構成断面間で差異がある抵抗断面力や変形性能の影響を明らかにしておく必要がある。筆者らは、変断面片持ち柱の地震応答解析を通じて、抵抗断面力の小さい部材断面で塑性化を認めても、累積ひずみに対応した効率のよいエネルギー吸収分担を期待できないことを示した<sup>1)</sup>。また、門形ラーメンについては、隅角部腹板の塑性せん断変形によって、抵抗断面力の小さい隅角部の補強範囲直下での塑性変形集中を避けることができることを確かめた<sup>2)</sup>。

本研究は、隅角部腹板の塑性せん断変形を考慮して変断面門形ラーメンの地震応答解析<sup>2)</sup>を行い、せん断卓越型の隅角部<sup>3)</sup>と抵抗断面力が大きい柱基部で塑性変形が卓越する崩壊パターンをもとにして、耐震面から変断面ラーメンの断面構成法を模索するためのパラメーター<sup>4)</sup>について検討したものである。

【2】崩壊パターンの予測のための構成断面の塑性化パラメーター $\alpha_{pi}$

本研究では、Fig.1に示すように、箱形断面Sec.1~5からなる変断面門形ラーメンを対象とし、せん断を受ける隅角部腹板と曲げ・圧縮を受ける柱基部（Sec.1）の2箇所で全塑性状態となる崩壊パターン（Mode G）を仮定して、柱中間部のSec.2で塑性変形集中しない断面構成法について検討する。

まず、この崩壊パターンに対応する柱の曲げモーメント分布は同図(c)ようになる。つぎに、柱の崩壊パターンを把握するために、隅角部腹板と断面Sec.iの塑性化に関する基本パラメーター $\alpha_{pi}$ を導入した。

$$\alpha_{pi} = M_{py} / M_{pi} \quad \dots(1)$$

ここに、 $M_{py}$ ：隅角部腹板の全塑性せん断変形に対応する塑性モーメント（ $=2D_b D_c t_w \sigma_y$ ）、 $M_{pi}$ ：Sec.i断面の全塑性モーメント、また  $k_i = h_i / h_o$ 。

さらに、Sec.2で塑性変形集中しないための条件として、 $M_{2L} < M_{p2}$ と $M_{2U} < M_{p2}$ を仮定すると、次式を誘導できる。

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{p2}^* &= \alpha_{p2} \{ \alpha_{p1} (k_1 + k_2) - k_3 \} / \alpha_{p1} < 1 \\ \text{and } \alpha_{p2}^* &= \alpha_{p2} \{ k_2 + k_3 - \alpha_{p1} k_1 \} / \alpha_{p1} < 1 \end{aligned} \right\} \quad \dots(2a, b)$$

また、Sec.3に対しては、 $M_{p3} < M_{p3}$ より、

$$\alpha_{p3} < 1 \quad \dots(3)$$

パラメーター $\alpha_{p2}^*$ によるラーメンの崩壊パターンの変化を模式的に示すと、Fig.2のようになる。以下では、図中のMode Gとなるとき $\alpha_{p2}^*$ の範囲を調べていく。

【3】塑性化パラメーター $\alpha_i$ によるひずみとエネルギー吸収分担の変動

文献2)と同様にして、柱頭部に定鉛直荷重 $P_o$ を受ける1層門形ラーメンの地震応答解析を行った。式(1)の $\alpha_{p2} = 0.97$ のときの解析モデルの諸元をTable 1に示す。はり・柱は4断面からなり、隅角部の補強範囲を $B/2$ と

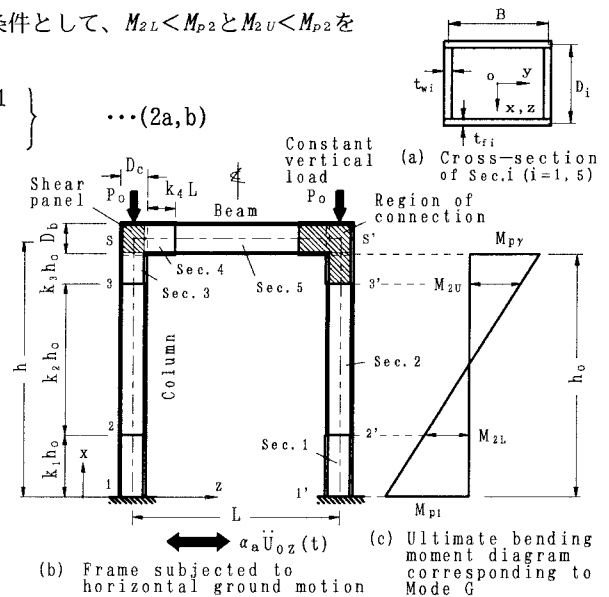


Fig.1 Frame with variable cross-section and ultimate bending moment diagram of columns

している ( $B$ : フランジ・プレートの幅)。  $\alpha_{p2} = 0.6 \sim 1.3$  となるように、Sec.2の降伏点  $\sigma_{y2}$  を変化させて、Sec.2の塑性変形性状を調べた。水平地動加速度  $\ddot{U}_z$  には、El-Centro波のNS成分記録の最初の8秒間を2 ( $= \alpha_a$ ) 倍に増幅して用いた。材料の応力  $\sigma$  - ひずみ  $\epsilon$  関係にはBi-linear型を用い、部材一般部の降伏を垂直応力・ひずみにより評価した。ここで、 $\sigma$  -  $\epsilon$  曲線の弾性・塑性域の勾配には、それぞれ  $E = 2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$  および  $E/100$  を仮定した。また、隅角部腹板については、降伏せん断応力を  $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$  とし、せん断弾性係数  $G = 7.92 \times 10^4 \text{ MPa}$ 、塑性せん断係数  $G_t = G/100$  とした。

(1) 柱構成断面の累積ひずみの変動

まず、式(2)の  $\alpha_{p2}$  によるSec.  $i$  ( $i = 1, 2$ ) の軸ひずみ  $\epsilon_{oi}$ 、曲率  $\phi_i$ 、および、隅角部腹板のせん断変形角  $\gamma$  の絶対最大応答値の変動を Fig.3(a) に示す。図中、 $\epsilon_{oi}$ 、 $\phi_i$  および  $\gamma$  は、降伏ひずみ  $\epsilon_{yi}$ 、降伏曲率  $\phi_{yi}$ 、および降伏せん断ひずみ  $\gamma_y$  で無次元化している。

この図から、 $\alpha_{p2} < \text{約} 0.8$  のとき、Sec.2のひずみはほぼ弾性範囲内に留まり、塑性変形を柱基部と隅角部腹板に限定できることがわかる。

(2) 構成断面のひずみエネルギー吸収分担

つぎに、Sec.1、2および隅角部腹板が吸収したひずみエネルギーをそれぞれ  $W_1$ 、 $W_2$  および  $W_r$  とし、 $\alpha_{p2}$  による  $W_1/W_T$ 、 $W_2/W_T$  および  $W_r/W_T$  の変動を Fig.3(b) に示す。ここに、 $W_T$ : ラーメン全体で吸収したひずみ吸収エネルギー。

この図から、解析したラーメンの崩壊パターンは、 $\alpha_{p2} > \text{約} 0.75$  でMode G、 $0.75 < \alpha_{p2} < \text{約} 1$  でMode F、および、 $\alpha_{p2} > 1$  でMode Pとなっていることがわかる。

【4】まとめ

以上から、 $\alpha_{p2} < \text{約} 0.75$  となると、門形ラーメンは柱基部と隅角部腹板で塑性変形が卓越する崩壊パターンを呈することがわかった。この  $\alpha_{p2}$  を用いて崩壊パターンを精度よく予測できるようにするには、隅角部腹板のせん断耐力や柱構成断面の曲げ耐力に及ぼす軸力の影響等について、検討する必要がある。

参考文献 1) 酒造敏廣: 水平地動を受ける鋼変断面片持ち柱の動的弾塑性挙動に関する研究、土木学会論文集、No.501/I-29、pp.75-84、1994年10月。 2) 酒造敏廣、長田好夫: 隅角部腹板の弾塑性せん断変形を考慮した鋼変断面ラーメンの地震応答解析、第49回土木学会年次学術講演会・概要集、I-20、1994年9月。 3) 酒造敏廣、事口壽男: 鋼製ラーメン隅角部の崩壊性状と変形性能に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol.37A、土木学会、pp.121-134、1991年3月。 4) 中井 博、酒造敏廣、橋本良之: せん断遅れ現象を考慮した鋼製ラーメン隅角部の限界状態設計法について、土木学会論文集、No.455/I-21、pp.95~104、1992年10月。

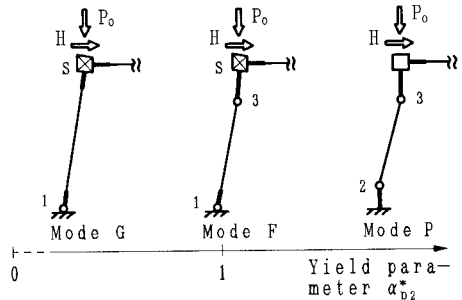
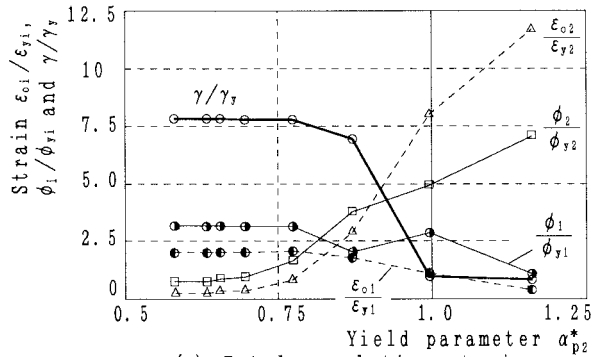


Fig. 2 Fundamental collapse patterns (□, ○: Plastic deformation)

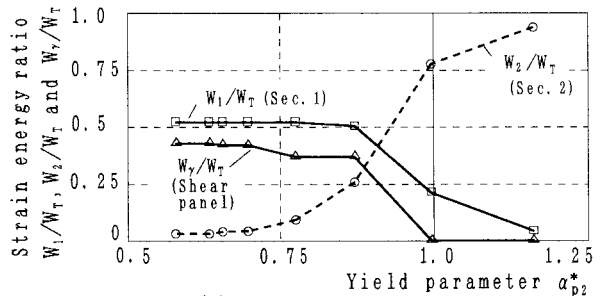
Table 1 Dimension and yield point of frame<sup>2)</sup>

Items	$D_i$ (cm)	$t_{ri}$ (cm)	$t_{wi}$ (cm)	$\sigma_y$ (MPa)
Sec.i \ 1	96	3.2	2.56	353
2	96	2.6	2.08	314
3	96	3.6	2.88	314
4 and 5	120	3.6	2.88	314

Notes:  $h=15\text{m}$ ,  $L=12\text{m}$ ,  $B=120\text{cm}$ , Shear panel  $D_s \times D_b \times t_{ws} = 96\text{cm} \times 120\text{cm} \times 2.88\text{cm}$ ,  $k_1=0.24$ ,  $k_2=0.72$ ,  $k_3=0.041$ ,  $P_0=8,028\text{kN}$  and  $\alpha_{p3}=0.70$



(a) Total cumulative strain



(b) Strain energy ratio

Fig. 3 Variation of strain and energy ratio due to yield parameter  $\alpha_{p2}$