

大同工業大学 正 会 員 酒 造 敏 廣

大同工業大学 学生会員 ○長田 好夫

【1】まえがき

変断面部材からなる鋼製ラーメンでは、構成断面間で基本的な断面強度や変形性能が異なる。そのため、この種のラーメンが非弾性地震応答時にどのような弾塑性性状を呈するかを明らかにして、どのような崩壊モードが耐震上有利であるかを把握しておく必要がある。これまでに、変断面片持ち柱では、構成断面ごとの履歴エネルギー分担の効率という点から柱基部断面崩壊型が有利であることを示した¹⁾。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り、隅角部の補強範囲直下での塑性変形集中を低減できることを示し²⁾、ラーメンの崩壊パターンを分類していくための基本パラメーターを提案した³⁾。

本研究は、変断面門形ラーメンの地震応答解析²⁾を行い、せん断卓越型の隅角部と抵抗断面力が多い柱基部で塑性変形が卓越する崩壊パターンをもとに、耐震面からラーメン部材の断面構成法を検討している³⁾。

【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 α_{pi}

本研究では、Fig.1に示すように、箱形断面Sec.1~5からなる門形ラーメンを対象とした。これまでの研究を参考にして^{1)~3)}、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）で全塑性状態となる崩壊パターン（Mode G）を仮定した。このときの柱の終局曲げモーメント分布を同図(c)に示す。

まず、ラーメンの崩壊パターンの把握が容易になるように、隅角部腹板と断面Sec. i の塑性化に関するパラメーター α_{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（ $=2D_o D_c t_w \tau_y$ ）、 M_{pi} ：Sec. i 断面の全塑性モーメント、また $k_i = h_i / h_o$ 。

すると、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。

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

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 α_{pi} によるラーメンの崩壊パターンの変化をFig.2に例示する。以下では、図中のMode Gとするために、 α_{p2}^* の範囲をどのように設定すればよいかを検討する。

【3】塑性化パラメーター α_{p2} によるラーメンの崩壊性状の変化

文献2)~3)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5断

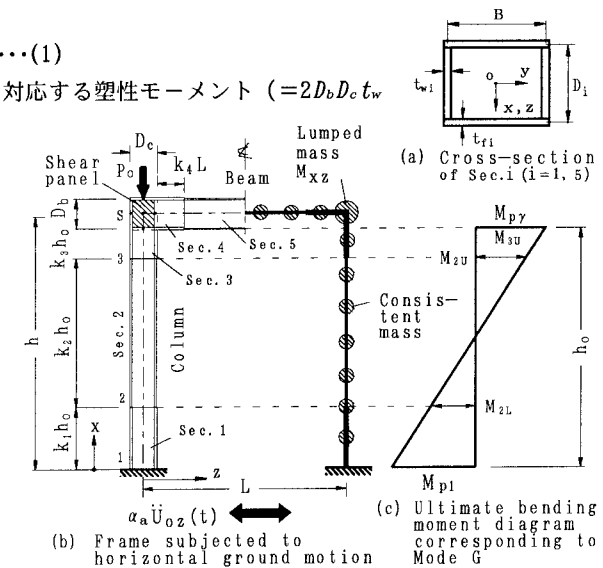


Fig.1 Frame with variable cross-section and ultimate bending moment diagram of columns

Table 1 Dimension and yield point of frame^{2)~3)}

Items	D_i (cm)	t_{fi} (cm)	t_{wi} (cm)	σ_y (MPa)	Notes
Sec. i					
1	96	3.2	2.56	353	h=15m, L=12m, B=1.2m, Shear panel $D_c \times D_o \times t_w$ =96cm×120cm×2.88cm, $k_1=0.24$, $k_2=0.72$, $k_3=0.041$, $P_o=8,028$ kN and $\alpha_{p3}=0.70$
2	96	2.6	2.08	314	
3	96	3.6	2.88	314	
4 and 5	120	3.6	2.88	314	

面からなり、隅角部の補強範囲を $B/2$ としている（ B ：フランジ・プレートの幅）。 $\alpha_{p2}^* = 0.6 \sim 1.2$ となるように、Sec.2の降伏点 σ_{y2} を変化させた。水平地動加速度 $\ddot{U}_x$ には、El-Centro波のNS成分記録の最初の8秒間を $2(=\alpha_s)$ 倍に増幅して用いた。材料の応力 σ -ひずみ ε 関係にはBi-linear型を用いた。部材一般部については垂直応力・ひずみにより弾塑性判定を行い、 σ - ε 曲線の弾性・塑性域の勾配をそれぞれ $E=2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$ および $E/100$ とした。また、隅角部腹板は純せん断状態にあるものとし、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) 隅角部腹板パネルの弾塑性せん断変形状

まず、式(2)の α_{p2}^* による隅角部腹板のせん断応力 τ -せん断ひずみ γ 曲線の変動をFig.3に示す。

この図から、 α_{p2}^* が小さくなると、隅角部の塑性せん断変形が徐々に大きくなることがわかる。

(2) 構成断面ごとの累積塑性ひずみ性状と履歴エネルギー分担率

つぎに、柱基部(Sec.1)と中間断面上部(Sec.2)の累積塑性ひずみ、および隅角部腹板の累積塑性せん断変形角 γ_p の絶対値との変動をFig.4(a)に示す。図中、 ε_{opi} ：軸ひずみ成分、 ϕ_{pi} ：曲率成分である。これらの諸量は、降伏ひずみ ε_{yi} 、降伏曲率 ϕ_{yi} 、および降伏せん断ひずみ γ_y で無次元化している。

この図から、 $\alpha_{p2}^* < \text{約} 0.75$ に設定すれば、柱中間断面Sec.2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。

さらに、Sec.1~3、および隅角部腹板のひずみエネルギー量をそれぞれ $W_1 \sim W_3$ および W_r とし、 α_{p2}^* による $W_1/W_r \sim W_3/W_r$ および W_r/W_r の変動をFig.4(b)に示す。ここに、 W_r ：ラーメンの履歴エネルギー量。

この図から、門形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

$\alpha_{p2}^* < \text{約} 0.75$ に設定すると、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し、塑性変形した断面の履歴エネルギー分担の効率がよくなることを示した。今後、変断面ラーメンの崩壊パターンに及ぼす鋼材特性の影響を検討していく必要がある。

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)長田好夫、高橋真貴、酒造敏廣：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、土木学会中部支部、平成6年度研究発表会・概要集I-25、1995年3月。

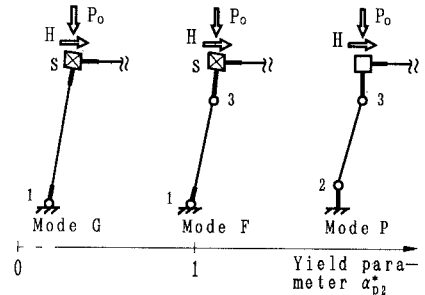


Fig. 2 Fundamental collapse patterns (□, ○: Plastic deformation)

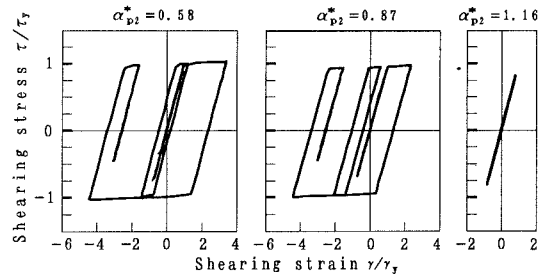
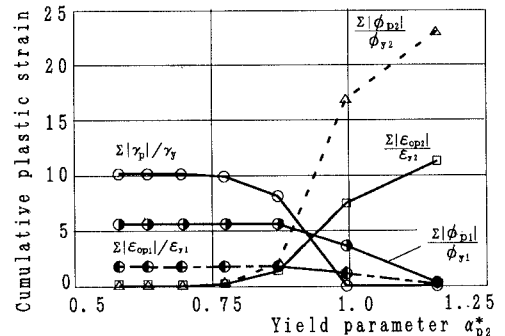
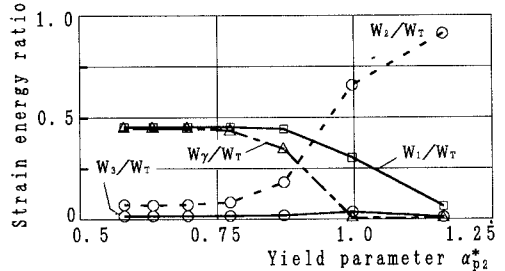


Fig. 3 $\tau - \gamma$ relationships of shear panel



(a) Total cumulative plastic strain



(b) Absorbed strain energy ratio
Fig. 4 Variation of cumulative strain and absorbed energy every cross-section due to yield parameter