

はりのせん断崩壊を伴った門形ラーメンの非弾性地震応答に関する研究

大同工業大学 学生会員 ○長田好夫, 西澤功典

大同工業大学 正会員 酒造敏廣, 事口壽男, 水澤富作

【1】まえがき

筆者らは、これまでに鋼変断面構造の片持ち柱や門形ラーメンの地震応答解析を行い、変断面部材の断面構成法を検討してきた<sup>1), 2)</sup>。その中で、耐震性を考慮して断面構成を決定していくための基本的事項として、ラーメンの崩壊パターン（塑性変形パターン）を分類・把握すること、ならびに、構成断面の累積ひずみに対応する履歴エネルギー分担を知ることが重要であることを示した。

本研究では、兵庫県南部地震（1995年1月）で損傷を受けた鋼製ラーメン橋脚の内、はり部材中央の腹板が大きくせん断座屈変形した崩壊パターンに着目し、この崩壊パターンが耐震上どのような意味を持つのかを数値解析によって調べたものである。すなわち、はり部材のせん断崩壊に関する基本パラメーター<sup>2)</sup>を用いて門形ラーメンの地震応答解析を行い、塑性ひずみ性状と履歴エネルギー分担特性を考察する。

【2】はり中央のせん断崩壊予測のためのパラメーター $\beta_{py}$

**Fig.1(a)**に示すように、箱形断面Sec.1~5から構成され柱頭部に定鉛直荷重 $P_o$ を受ける門形ラーメンを対象とした。解析プログラムには、はり中央のSec.5の部分に一定せん断ひずみ<sup>2)</sup>の弾塑性要素を組み込んでいる。この箇所のせん断崩壊の有無によるラーメンの応答性状の変化を調べるため、隅角部補強範囲に相当する断面Sec.4の区間を大きくして塑性化しないようにし、また柱中間断面Sec.2における塑性ひずみ集中を避けるため、文献<sup>2)</sup>で示したパラメーター $\alpha_{py}$ を0.7とした。

隅角部の断面力伝達の特徴<sup>3)</sup>を考慮し、隅角部域を含めたはり部材において、隅角部腹板のみ塑性化すると仮定すれば、終局の曲げモーメント図とせん断力図は**Fig.1(b) ~ (c)**のようになる。柱の腹板高さを $D_c$ 、隅角部域を除いたはり部材長を $L_o$ とすると、 $L_o/D_c$ が大きいほど隅角部域とはり部材のせん断力差は大きくなる。この図から、はり中央腹板の降伏が隅角部腹板のそれに先行しないための条件は、次式で与えられる。

$$\beta_{py} = 0.5 \cdot (L_o/D_c) \cdot (Q_{bp}/Q_{kp}) > 1 \quad \dots(1)$$

ここに、 $Q_{kp}$ ：隅角部腹板の降伏せん断力（ $=M_{py}/D_c$ ）， $Q_{bp}$ ：はり中央腹板（Sec.5）の降伏せん断力， $M_{py}$ ：隅角部腹板のせん断降伏に対応する塑性モーメント（ $=2\tau_y D_o D_b t_w$ ）である。

このパラメーターを用いると、**Fig.2**に示すように、ラーメンの崩壊パターンをKSとBSに分類できる。Pattern BSを呈する $\beta_{py}=1.30$ のときの解析モデルの諸元を**Table 1**に示す。

水平地動加速度 $\alpha_a \ddot{U}_{oz}$ にはEl-Centro波のNS成分記録の最初の8秒間を用いた（ $\alpha_a=2.0$ ）。はり・柱断面内では垂直応力・垂直ひずみ、また隅角部腹板ではせん断応力・せん断ひずみを用いて、弾性・塑性の判定を行った。ここで、材料の $\sigma$ - $\epsilon$ 関係には、鋼材の履歴特性の影響を調べるため、藤本ら<sup>4)</sup>によって提案されている繰り返し $\sigma$ - $\epsilon$ モデルを用いた。

【3】 $\beta_{py}$ によるラーメンの崩壊性状の変化

Pattern BS（ $\beta_{py}=0.97$ ）とKS（ $\beta_{py}=1.30$ ）の門形ラーメン

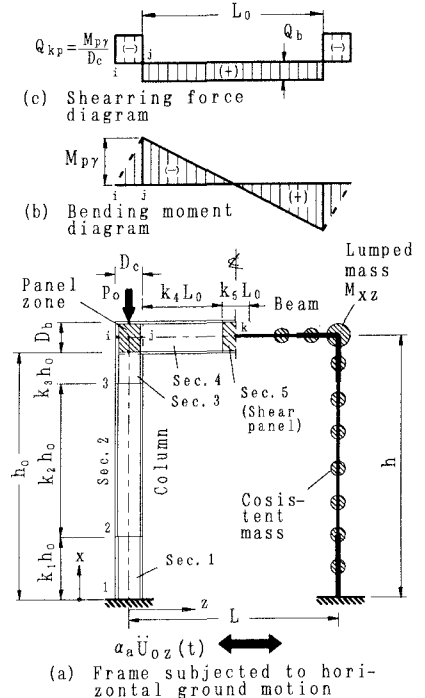


Fig.1 Frame with variable cross-sections and diagrams of ultimate stress-resultants in beam

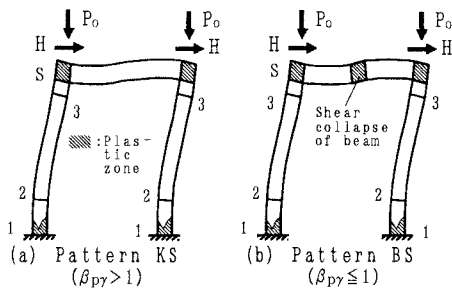


Fig. 2 Collapse patterns with and without shear collapse of beam

の地震応答解析を行った。

(1)隅角部腹板とはり中央腹板の $\tau-\gamma$ 曲線  
まず、隅角部腹板(Panel zones)とはり中央腹板(Sec.5)のせん断応力 $\tau$ -せん断変形角 $\gamma$ 曲線を Fig.3 に示す。

この図から、Pattern BSのとき、はり中央腹板の $\tau-\gamma$ 曲線は隅角部腹板に比べてかなり大きなループを描いていることがわかる。

(2)構成断面の履歴エネルギー分担と絶対累積塑性ひずみ

つぎに、曲率 $\phi$ とせん断変形角 $\gamma$ の塑性成分の増分絶対値和と構成断面のエネルギー分担率を Fig.4 に示す。ここに、 $W_T$ : ラーメンの履歴エネルギー、 $W_i$ : Sec.  $i$ の吸収エネルギー、および、 $W_k$ ,  $W_b$ : 隅角部腹板とはり中央腹板の吸収エネルギーである。

この図からわかるように、Pattern BSとKSを比べると、はり中央腹板の塑性化は、柱基部よりも隅角部腹板の累積ひずみ量を小さくする効果がある。しかし、塑性化した部分の累積ひずみに対する履歴エネルギー分担に注意する必要がある。

【4】まとめ

1)はり中央腹板の塑性化の判定のための基本パラメーター $\beta_{py}$ を示した。2)はり中央腹板の塑性化は隅角部の累積塑性ひずみを低減させる。3)この崩壊パターンが現れたときの主たる履歴エネルギー分担の箇所は柱基部断面である。4)はり部材と隅角部腹板のせん断力差が  $L_o/D_o$ の関数となるため、この種の崩壊パターンが耐震上有利であるとすれば、はり中央腹板の降伏せん断耐力をかなり小さく設定する必要があり、 $\beta_{py}$ 値と塑性化の範囲をどの程度に設定すればよいかを今後検討していく必要がある。

謝辞:平成7年度の文部省科学研究費・試験研究B(2)の補助を受けたことを付記し、謝意を表します。

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: 鋼変断面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, 第23回・地震工学研究発表会・講演概要, 土木学会, 1995年7月, pp.469~472. 3)酒造敏廣, 事口寿男: 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, 1991年3月, pp.121~134. 4)藤本盛久, 橋本篤秀, 中込忠男, 山田文富: 構造用鋼材の多軸応力状態における繰返し応力-ひずみ関係, 日本建築学会構造系論文報告集, No.356, pp.93~102, 1985年10月.

Table 1 Dimensions and mechanical properties of portal frame

Items	Dimension			Mechanical properties			Cross-section of Sec.i
	$D_i$ (cm)	$t_{r1}$ (cm)	$t_{w1}$ (cm)	$\sigma_{y1}$ (MPa)	$\sigma_{in}^B$ (MPa)	$E^B$ (MPa)	
1	96	3.2	2.56	353	541	833	0.0125
2	96	2.6	2.08	392	601	833	0.0125
3	96	3.6	2.88	314	448	784	0.0130
4	120	3.6	2.88	314	448	784	0.0130
5	120	3.6	1.10	314	448	784	0.0130

Notes:  $\beta_{py}=1.30, h=15m, L=7.5m, B=1.2m$ , Panel zones:  $D_o \times D_o \times t_o=96cm \times 120cm \times 2.88cm, k_1=0.24, k_2=0.72, k_3=0.041, k_4=0.41, k_5=0.18, P_o=8,028kN$ , and  $\alpha_{ps}=0.70, \sigma_{y1}$ : Yield point of sec.i,  $\sigma_{in}^B$  and  $E^B$ : Initial size and slope of bounding surface, respectively,  $\epsilon_{st}$ : strain at initial strain hardening and Poisson's ratio:  $\nu=0.3$ .

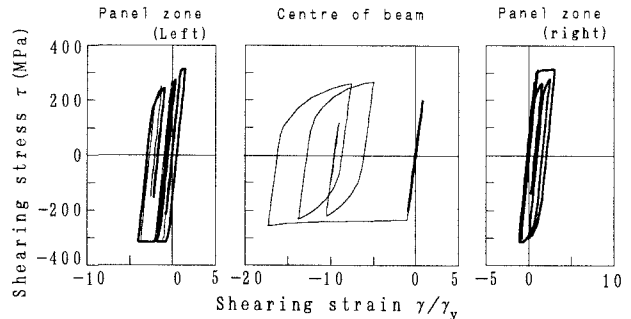


Fig. 3 Variation of  $\tau-\gamma$  curves at panel zones and centre of beam with collapse patterns KS (—) and BS (---)

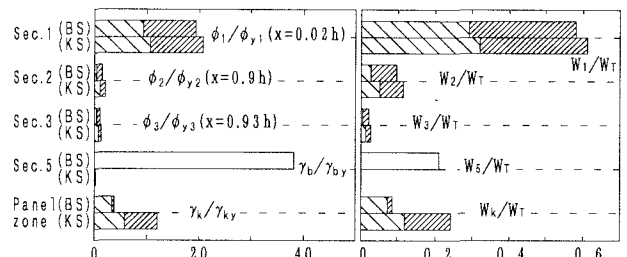


Fig. 4 Histograms of cumulative plastic strain and absorbed strain energy of every cross-section (□:Left column, ▨:Right column)