

I-A 67

はり中央腹板の塑性せん断変形を伴う鋼変断面ラーメンの地震応答と損傷メカニズム

(株)アソシエイト 正会員 長田好夫
大同工業大学 正会員 酒造敏廣, 事口壽男

1. まえがき

兵庫県南部地震で倒壊を免れた鋼製橋脚では、柱の断面変化点付近での局部座屈、はり部材中央付近の腹板のせん断座屈等、変断面構造に起因すると考えられる損傷が数多く観察されている。文献¹⁾では、これらの損傷の内、はり部材中央腹板のせん断座屈はラーメン面内の繰り返し曲げ・せん断変形挙動によって発生したものではないかと考え、はり中央腹板の塑性化を判定するための基本パラメーターを示し、門形ラーメンの崩壊モードの分類を試みた¹⁾。

本研究は、一層門形ラーメンの非弾性地震応答解析を行い、はり中央腹板が塑性せん断変形するときの弾塑性応答特性を調べ、地震時の損傷メカニズムを明らかにしようとするものである。

2. 門形ラーメンの解析モデルと崩壊モードに関する基本パラメーター

Fig.1(a)に示すように、箱形断面 Sec.1~5 から構成され、柱頭部に集中質量を有する門形ラーメンに水平地動を仮定して動的応答解析を行った²⁾。はり中央の Sec.5(Shear Panel)の部分では、塑性化はせん断によるのみ起こるものとし、隅角部腹板(Panel zone)と同様な一定せん断ひずみの弾塑性要素を組み込んだ²⁾。

これまで、塑性ひずみの累積量と履歴エネルギー分担の効率という点から耐震上有利となるラーメンの崩壊モードを調べるため、非弾性域で柱基部と隅角部腹板で塑性変形が卓越するときの柱の終局曲げモーメント図とはりの終局せん断力図を同図(b), (c)のように仮定し、以下の3つのパラメーターを導入した^{1)~2)}。

a) 柱断面 Sec.i (i=1~3) と隅角部腹板の終局曲げモーメント比²⁾: $\alpha_{pi} = M_{py} / M_{pi}$ (1)

b) 柱中間断面の塑性化パラメーター²⁾: $\alpha_{p2}^* = \text{Max.} [\alpha_{p2} \{ (k_1 + k_2) - k_3 \} / \alpha_{p1}, \alpha_{p2} \{ k_2 + k_3 - \alpha_{p1} k_1 \} / \alpha_{p1}]$ (2)

c) はり中央腹板の塑性化パラメーター¹⁾: $\beta_{py} = 0.5 (L_o / D_c) (\sigma_{yk} / \sigma_{ys}) (t_{wk} / t_{ws})$ (3)

ここに、 M_{pi} : 柱断面 Sec.i の全塑性モーメント, 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 (= $2\tau_{yk} D_c D_b t_{wk}$), τ_{yk} , t_{wk} : 隅角部腹板のせん断降伏強度と板厚である。その他の記号については Fig.1 参照。

解析では、はり中央 Sec.5 の長さを腹板高さの2倍、 $\alpha_{p2}^* = 0.667$ 、柱基部と隅角部腹板の終局曲げモーメント比 $\alpha_{p1} = 0.642, 0.785$ として、 β_{py} を約 0.65 ~ 1.5 の間で変化させた。 $\beta_{py} = 1.0$ のときのラーメンの寸法諸元と降伏点を Table 1 に示す。同表中の () 内の値は Sec.5 腹板の降伏点である。

水平地動加速度 $\alpha_a \ddot{U}_{oz}$ には、EI-Centro 波の NS 成分記録の最初の 8 秒間を 2 (= α_a) 倍に増幅して用いた。はり・柱断面内では垂直応力・垂直ひずみ、また隅角部とはり中央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。鋼材の応力-ひずみ関係には、移動・等方硬化を簡易的に考慮した Bi-linear 型を用いた。

3. 解析結果と考察

$\alpha_{p1} = 0.785$ のラーメンの水平復元力 (柱基部のせん断力) H と水平変位 δ 、および、 H とはり部材のせん断力 Q の関係を Fig.2 に示す。図中、 $\beta_{py} = \infty$ ははり中央腹板に塑性変形が生じないときの結果を

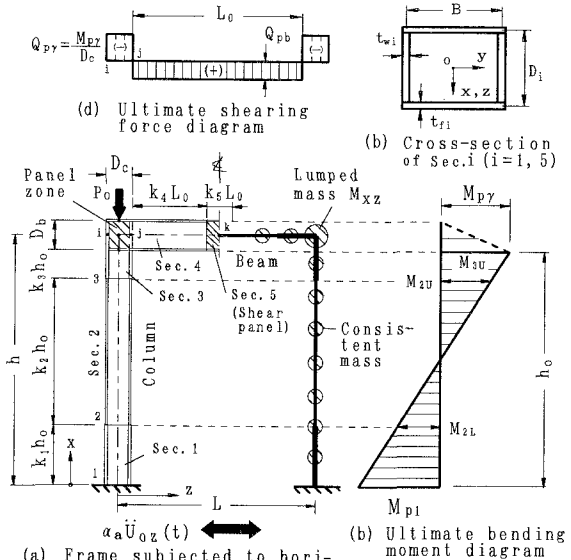


Fig.1 Frame with variable cross-sections and diagrams of ultimate stress-resultants in beam and columns ($L_o = L - D_c$)

Table 1 Dimension and yield points of frame ($\beta_{py}=1.0$)

Items	t_{ei} (cm)	t_{wi} (cm)	σ_{yi} (MPa)	
			$\alpha_{p1}=0.642$	$\alpha_{p1}=0.785$
Sec.1	3.2	2.4	337	290
2	2.6	1.95	353	353
3 and 4	3.6	2.7	379	399
5	3.6	0.9	314 (315)	314 (342)

Notes: $h=15m$, $L=12m$, $B=2m$, $D_i=1.5m$,
 $t_{wk}=2.7cm$, $k_1=0.25$, $k_2=0.633$,
 $k_3=0.117$, $k_4=2D_i/L_0$ and $P=0.132N_{y1}$

表す。同図(a)からわかるように、 $\beta_{py}=0.69$ の $H-\delta$ 曲線は $\beta_{py}=\infty$ のそれよりもループが小さくなるが、両者の差異は比較的小さい。この理由としては、同図(b)から、はり中央腹板が塑性化する場合の降伏せん断力 Q_{pb} は $\beta_{py}=\infty$ の最大応答値よりも 25% 小さい程度でありラーメンの復元力特性に与える影響が小さいこと、塑性化した腹板のひずみ硬化によってせん断抵抗が上昇していることがあげられる。

つぎに、 β_{py} による柱基部、隅角部腹板、はり中央腹板の増分塑性ひずみの絶対値と(絶対累積塑性ひずみ)の変動を Fig.3(a)に示す。図中、 ϵ_{op1} と ϕ_{p1} は Sec.1 の軸ひずみと曲率成分、 γ_p は隅角部とはり中央のせん断変形角成分を表し、それぞれ降伏ひずみ ϵ_{y1} 、降伏曲率 ϕ_{y1} 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、 $\beta_{py} \leq 1$ の範囲では、はり中央腹板の塑性変形が著しくなり、柱基部よりも隅角部腹板の塑性ひずみの累積を大きく減少させていることがわかる。

さらに、ラーメン全体、柱基部、隅角部腹板、およびはり中央腹板による履歴消費エネルギーをそれぞれ W_T , W_i , W_o および W_b とし、 β_{py} と W_i/W_T , W_o/W_T および W_b/W_T の関係を Fig.3(b)に示す。この図から、はり中央腹板ではひずみの累積量に対してエネルギー吸収の効率が悪いこと、および、 β_{py} は約 0.75 になると、 α_{p1} 値にかかわらず、履歴エネルギーは柱基部とはり中央腹板でほぼ半分ずつ分担されることがわかる。

4. まとめ

- 1) せん断によって塑性化するせん断卓越型の部材では、溶接割れ等が生じない限りせん断降伏に相当するせん断抵抗が保証されると考えられるので³⁾、はり中央腹板をエネルギー吸収部材として利用できる可能性が大きい。
- 2) はり中央の塑性せん断変形区間(= k_3L_0)と β_{py} 値をどの程度に設定すればよいかを検討する必要がある。

謝辞：平成7～8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) 長田好夫, 西澤功典, 酒造敏廣, 事口壽男, 水澤富作: 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, 平成7年度研究発表講演概要集, I-55, 土木学会中部支部, 1996年3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, 1996年7月, pp.469-472。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, 1991年3月, pp.121-134。

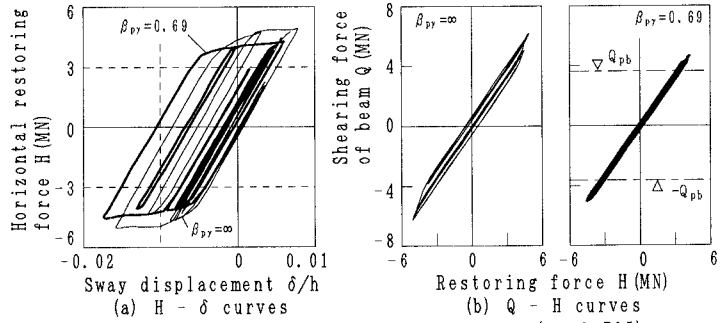


Fig.2 H - δ and Q - H curves ($\alpha_{p1}=0.785$)

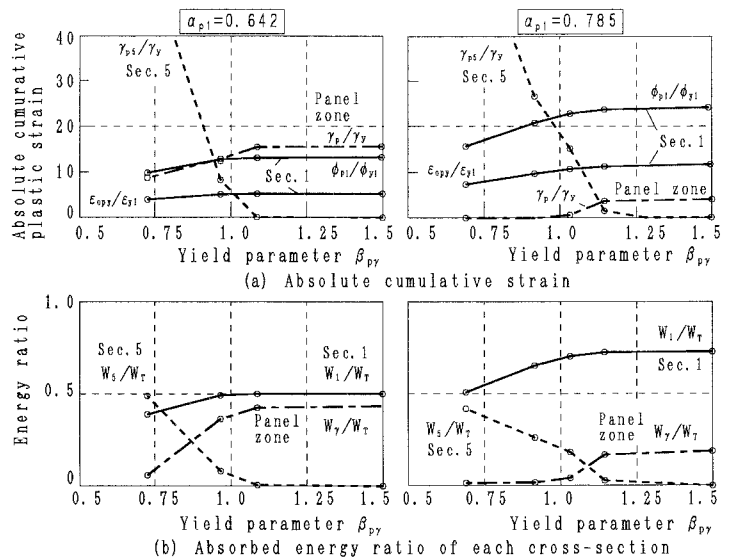


Fig.3 Variation of cumulative strain and absorbed energy of each cross-section with yield parameter β_{py}