

1. まえがき

筆者らは、兵庫県南部地震の後、はり中間部のせん断崩壊を伴う鋼製の 1, 2 層門形ラ - メンの非弾性地震応答解析を行い<sup>1)-3)</sup>、この崩壊メカニズムが現れると、まず隅角部近傍の塑性化が抑えられ、はり中央の塑性化が著しい場合には、柱基部の損傷も軽減されることを示した。また、部分テーパ構造を用いて、はり端の塑性曲げ変形が先行するような解析を行って上記と同様な効果が期待できることを示し<sup>4)</sup>、はり崩壊型ラ - メンの非弾性応答の基本的特性を明らかにした。

本研究は、はり崩壊型 2 層門形ラ - メンを弾塑性回転バネでモデル化して地震応答解析を行い、1 層目ははり中央のせん断耐力レベルによって、各部の塑性変形の累積やエネルギー消費の応答がどのように変動するかを調べるものである。

2. 弾塑性回転バネを組み込んだはり崩壊型門形ラ - メンの地震応答解析モデルと解析方法

Fig.1(a)に示すように水平地動加速度 $\ddot{y}_o$ を受け、柱基部 Sec.C とはり両端部 Secs.K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> が塑性曲げ変形し<sup>4)</sup>、かつ、はり中央 Secs.B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> が塑性せん断変形する 2 層ラ - メンを研究対象とする。変形の対称性を利用すると、このラ - メンは、5 つの弾塑性回転バネ  $k_c, k_{k1}, k_{k2}, k_{b1}, k_{b2}$  を組み込んで、図(b)のようにモデル化できる<sup>5)</sup>。バネ部を除いたはり・柱部材は剛体とし、隅角部は弾性状態を保つものと仮定している。はり中央のせん断力はバネ  $k_{bi}$  に作用するモーメント  $M_{bi} / (a_i/2)$  に等しく、回転角  $\theta_{bi}$  がせん断変形角  $\gamma$  に対応する。

柱頭部の増分水平変位  $\Delta y$  に関する運動方程式は、次式で与えられる。

$$m\Delta\ddot{y} + c\Delta\dot{y} + K\Delta y = -m\Delta\ddot{y}_o \quad \dots(1)$$

ここに、 $m$ : 柱頭部の集中質量、 $c$ : 減衰係数 ( $=2h\sqrt{mK}$ , 減衰定数  $h=0.05$ ) である。 $K$  はラ - メンの水平剛度であり、増分復元力  $\Delta H$  - 増分変位  $\Delta y$  関係が微小な時間刻み毎に区分線形近似できると仮定すると、次のように誘導できる。

$$K = \frac{(a_1/l)^2 k_{k1} \{ (a_2/l)^2 k_c k_{k2} + k_{b2} (k_c + k_{k2}) \} + k_{b1} \{ (a_2/l)^2 (k_c + k_{k1}) k_{k2} + k_{b2} (k_c + k_{k1} + k_{k2}) \}}{(h_1 + h_2)^2 \{ k_{b1} + (a_1/l)^2 k_{k1} \} \{ k_{b2} + (a_2/l)^2 k_{k2} \}} \quad \dots(2)$$

ただし、各回転バネの復元モーメント  $M_i$  - 回転角  $\theta_i$  関係は Fig.2 に示す Bi-Linear 曲線に従うものとしている。

解析に用いたラ - メンの骨組寸法と各バネの弾性剛性  $k$  および耐力  $M_u$  を Table 1 に示す<sup>4)</sup>。本文では、2 層目ははり中央 Sec.B<sub>2</sub> は弾性状態を保つものとし、Sec.B<sub>1</sub> のバネ耐力  $M_{ub1}$  を変化させて、1 層目ははり中央のせん断崩壊の有無による履歴減衰特性を調べることとする。また、第  $i$  層目ははり両端 Sec.K<sub>i</sub> に対するはり中央 Sec.B<sub>i</sub> のモーメント耐力比

$$\zeta_{pi} = M_{ubi} / M_{uki} \quad \dots(3)$$

を解析パラメータとして用いる。ここに、 $M_{ubi}$ ,  $M_{uki}$ : はり中央  $k_{bi}$ , 端部  $k_{ki}$  のモーメント耐力である。

運動方程式の数値積分には平均加速度法を用いた。時間増分毎に各バネの弾塑性判定を行い、不つり合い力を消去するようにした。地動加速度  $\ddot{y}_o$  には、日本海中部地震・修正津軽大橋記録、種地盤用を用いた。

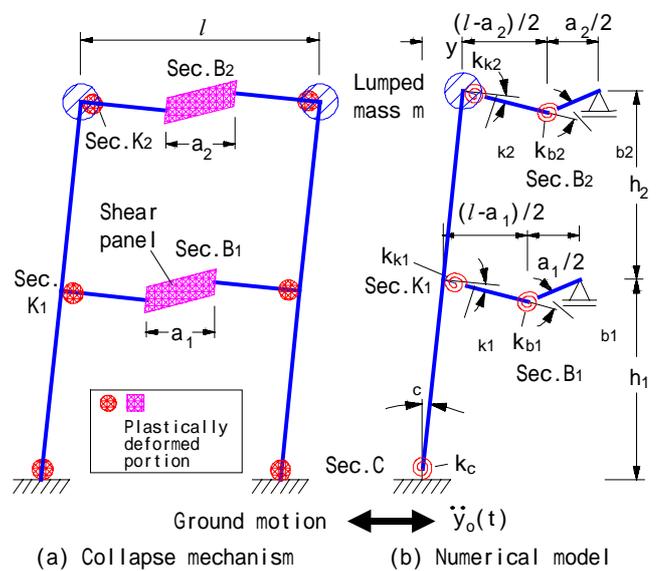


Fig.1 Numerical model of 2-story portal frames with beam collapse type mechanism

Table 1 Spring properties of numerical model

	Stiffness $k$ (kNm)	Strength $M_u$ (kNm)
Sec.C	$k_c = 1.571 \times 10^6$	$M_{uc} = 3.263 \times 10^3$
Sec.K <sub>1</sub>	$k_{k1} = 1.571 \times 10^6$	$M_{uk1} = 2.697 \times 10^3$
Sec.B <sub>1</sub>	$k_{b1} = 5.175 \times 10^3$	$M_{ub1} = \zeta_{p1} M_{uk1}$
Sec.K <sub>2</sub>	$k_{k2} = 1.571 \times 10^6$	$M_{uk2} = 2.942 \times 10^3$
Sec.B <sub>2</sub>	$k_{b2} = 5.175 \times 10^3$	$M_{ub2} = 5.884 \times 10^4$

Notes;  $h_1=h_2=15m$ ,  $l=12m$ ,  $a=3.6m$ ,  $m = 1.136 \times 10^5 kg$   
 $T=1s$ ,  $K_{ic}=K_c/100$ ,  $K_{ki}=K_{ki}/100$  and  $K_{bi}=K_{bi}/10,000$ .

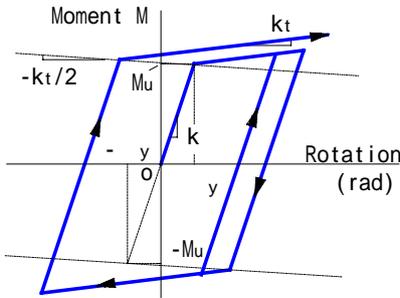


Fig.2 Moment  $M$  - rotation  $\theta$  relationship of springs

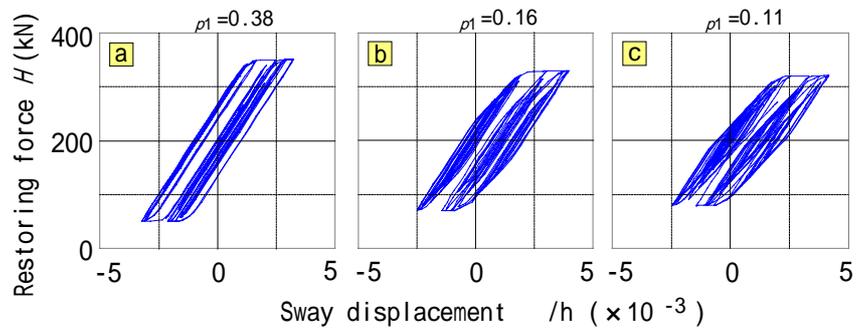


Fig.3 Restoring force  $H$  - displacement  $\delta$  curves

### 3. 解析結果と考察

パラメータ  $\zeta_{p1}$  に関するパラメトリック解析の結果を Figs.3~4 にまとめる．図中の点 a~d は互に対応している．

#### (1) 復元力 $H$ - 変位 $\delta$ 曲線

まず, Fig.3 から, 1層目はり中央 Sec.B<sub>1</sub> の塑性化が著しくなると ( $\zeta_{p1}$  が小),  $H$ - $\delta$  ループが小さくなり, 変位応答が若干大きくなるのがわかる．

#### (2) 復元耐力, 損傷およびエネルギー消費の応答

Fig.4(a) は,  $\zeta_{p1}$  が約 0.38 (点 a) より小さくなると復元耐力  $H_{max}$  が低下し,  $\zeta_{p1}$  = 約 0 (点 d) で 1層ラメンになることを示している．このときの各パネの累積塑性回転角  $\sum \Delta\theta_{pi}$  (= 損傷) の変動は図(b)で与えられ,  $\zeta_{bp}$  > 約 0.17 (点 b) の範囲では,  $\zeta_{p1}$  の減少とともに, Sec.B<sub>1</sub> の損傷が著しくなり, 柱基部と隅角部の損傷は小さくなっている<sup>1)~4)</sup>．しかし,  $\zeta_{bp}$  < 約 0.17 となると,  $\zeta_{b1}$  の減少に伴って柱基部と 2層目はり端の損傷が大きくなる．また, 図(c)のように, Sec.B<sub>1</sub> のエネルギー消費は  $\zeta_{bp}$  = 約 0.11 (点 c) のときに最大となり,  $\zeta_{bp}$  < 約 0.11 (点 c~d) の範囲では, Sec.B<sub>1</sub> の塑性化による履歴減衰は小さくなっている．

### 4. まとめ

1) 1層目はり中央の塑性せん断変形によって, そのエネルギー消費が最大になる点 c と柱基部の損傷が最小になる点 b が存在する．2) これら b~c 間では, はり中央のせん断耐力が小さく, 塑性変形の累積が著しくなるため<sup>1)~3)</sup>, 大きなひずみ速度で非常に大きな塑性域までせん断変形する鋼板の弾塑性挙動について検討する必要がある．3) 隅角部や柱基部の損傷を軽減するというはり崩壊型ラメンの利点を耐震設計に応用するには, はり端で塑性曲げ変形する崩壊メカニズムについても検討の余地がある<sup>4)</sup>．

謝辞: 本研究の実施には, 平成 11 年度の文部省科学研究費・基盤研究(C)の補助を受けたことを付記します．

参考文献 1) 酒造, 山口, 長田: 鋼変断面ラメンの非弾性地震応答性状と崩壊モードに関する研究, 構造工学論文集, Vol.43A, pp.205~216, 1997年3月. 2) 酒造: せん断崩壊型はり部材を有する鋼門形ラメンの非弾性地震応答性状に関する研究, 構造工学論文集, Vol.44A, pp.169~178, 1998年3月. 3) 酒造, 山田: はり中間部腹板のせん断崩壊を伴う鋼2層門形ラメンの非弾性地震応答解析, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.227-234, 1999年3月. 4) 山田, 酒造: 部分テーパ部材を用いたはり崩壊型ラメンの崩壊メカニズムと地震応答, 第3回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計法の応用に関するシンポジウム論文集, pp.149~156, 2000年1月. 5) 山田, 酒造: はり中央腹板のせん断耐力に着目した門形ラメンの地震応答解析, 平成11年度研究発表会講演概要集, 土木学会中部支部, pp.93~94, 2000年3月.

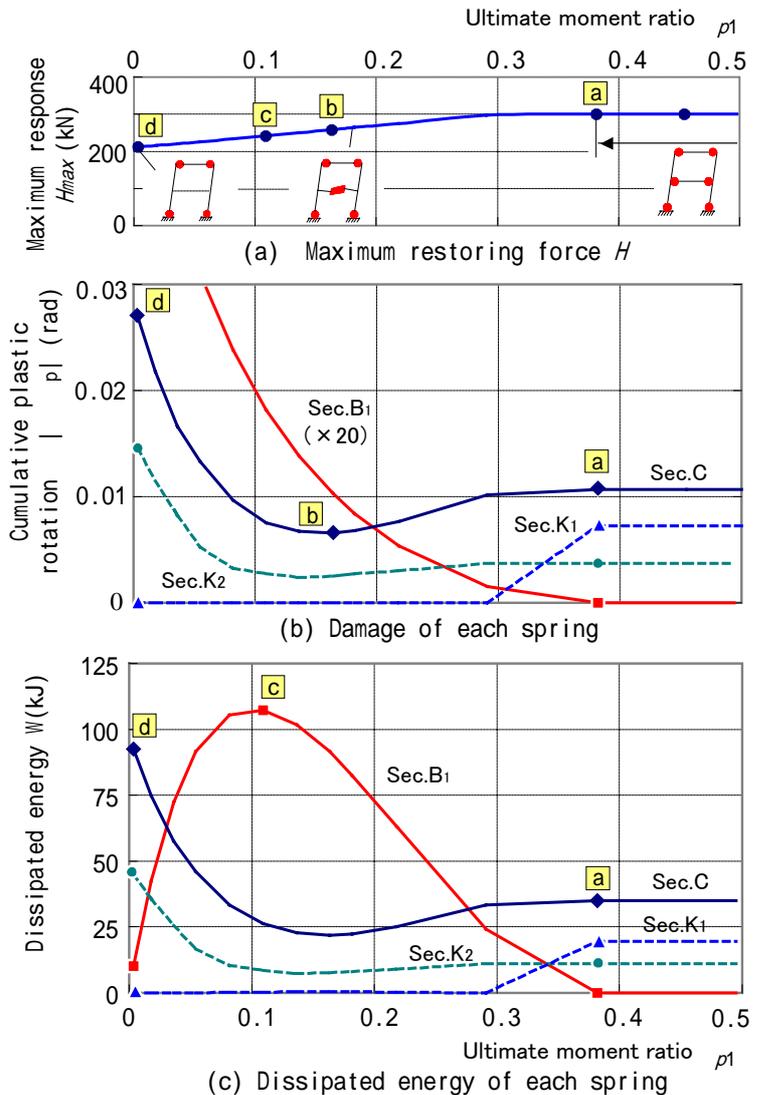


Fig.4 Variation of dynamic response with  $\zeta_{p1}$