

# 部分テーパ構造を用いたはり崩壊型ラーメンの 崩壊メカニズムと地震応答

山田 幸\*, 酒造 敏廣\*\*  
Osamu YAMADA and Toshihiro MIKI

\* 大同工業大学大学院工学研究科修士課程 建設工学専攻在学中 (〒457-8532 名古屋市南区白水町 40)

\*\* 工博 大同工業大学 教授 工学部建設工学科 (〒457-8532 名古屋市南区白水町 40)

本研究は、隅角部近傍に設けた部分テーパはり部の塑性曲げ変形、および、はり中央腹板の塑性せん断変形を伴うはり崩壊型2層門形ラーメンの非弾性応答解析を行っている。まず、単調増加の水平荷重のもとで、3種類の崩壊メカニズムを呈するラーメンの弾塑性解析を行い、塑性ひずみの変動性状を比較する。つぎに、これらのラーメンの地震応答解析を通じて、復元力-変位関係、変位応答性状、塑性ひずみの累積性状、およびラーメン各部の履歴エネルギー消費特性を調べる。そして、柱基部、隅角部腹板、部分テーパはり部、およびはり中央腹板の損傷を調べて、ラーメンの崩壊メカニズムについて考察する。以上の結果を通じて、はり崩壊型のラーメンでは、柱基部の損傷をかなり軽減できることを述べている。

*Key Words: portal frame, earthquake response, partially tapered member, shear collapse of beam*

## 1. まえがき

兵庫県南部地震では、鋼製の1層あるいは2層門形ラーメン橋脚<sup>1)</sup>のはり中間部腹板で著しいせん断座屈が現れた。

筆者らは、1層および2層門形ラーメンの非弾性地震応答解析を行って、このような損傷の発生要因を探り<sup>2)~6)</sup>、はり崩壊型ラーメンの損傷メカニズムの特徴を調べてきた。すなわち、i)はり中間部腹板のせん断崩壊は、せん断耐力の小さい変断面はり中央の塑性化(あるいは弾性座屈)が隅角部腹板のそれに先行したことによって生じた可能性が高い、ii)はりのせん断崩壊は、隅角部とその近傍の柱断面の塑性変形を抑える効果が大きく、かつ、塑性化が著しい場合には柱基部の塑性変形もかなり軽減される、および、iii)はり腹板で大きな履歴エネルギーを消費させるには、そのせん断耐力が小さいために非常に大きな塑性せん断変形が必要となる、および、iv)はり上に中間横荷重が作用する場合には、はり中間部腹板の崩壊により、はりの曲げ・せん断振動が大きくなる。

また、はり中間部に鉛直荷重が作用しない場合と作用する場合について、はり腹板の塑性化の発生を予測する方法を提案した<sup>2)~4)</sup>。具体的には、せん断を受けるはり腹板と隅角部腹板の塑性化を関連づけることにより、はり腹板のせん断崩壊を伴うラーメンの崩壊モードを簡単なパラメータで推定できることを示した。この方法では、はり腹板の塑性せん断変形のみを考慮しているが、弾性座屈が先行する腹板<sup>7)~9)</sup>への応用も容易である。

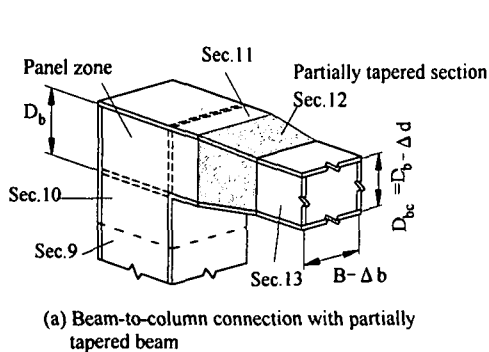
本研究は、主として、はり部材が塑性変形するはり崩壊型2層門形ラーメンの地震応答解析を行い、崩壊メカニズムによる損傷の変動について調べるものである。解析では、主として、隅角部近傍のはり部材を部分テーパ構造として塑性曲げ変形させる場合、はり中央腹板を塑性せん断変形させる場合の2つに着目している。前者の場合は、塑性曲げ変形する箇所を部分テーパ構造とすることにより、等断面構造に見られる塑性変形集中を避けて、効率のよいエネルギー消費をねらいとしたものである<sup>10)~12)</sup>。

まず、漸増水平荷重を受けるラーメンの弾塑性解析を行い、テーパ部とはり中央腹板の塑性化により、ラーメンの崩壊メカニズムがどのように変化するかを調べる。つぎに、この結果を踏まえて地震応答解析を行い、部分テーパ部とはり中央の塑性化に起因するラーメン各部の塑性ひずみや消費エネルギーの応答特性を調べる。最後に、はり崩壊型2層ラーメンの崩壊メカニズムと損傷について考察する。

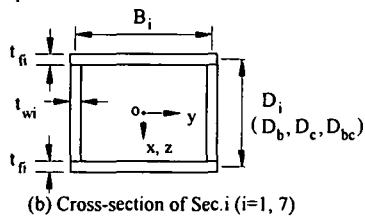
## 2. はり崩壊型門形ラーメンの解析モデルと非弾性応答解析法

### 2.1 対象とするラーメンと解析モデル

Fig.1に示すように、2層目の柱頭部に上部工の死荷重に相当する定鉛直荷重  $P$  が作用した状態で、水平地動  $a_{0z} \ddot{U}_{0z}(t)$  を受ける2層1径間門形ラーメンを解析対象とした。柱とはりは、無補剛箱形断面 Sec.1~



(a) Beam-to-column connection with partially tapered beam



(b) Cross-section of Sec.i (i=1, 7)

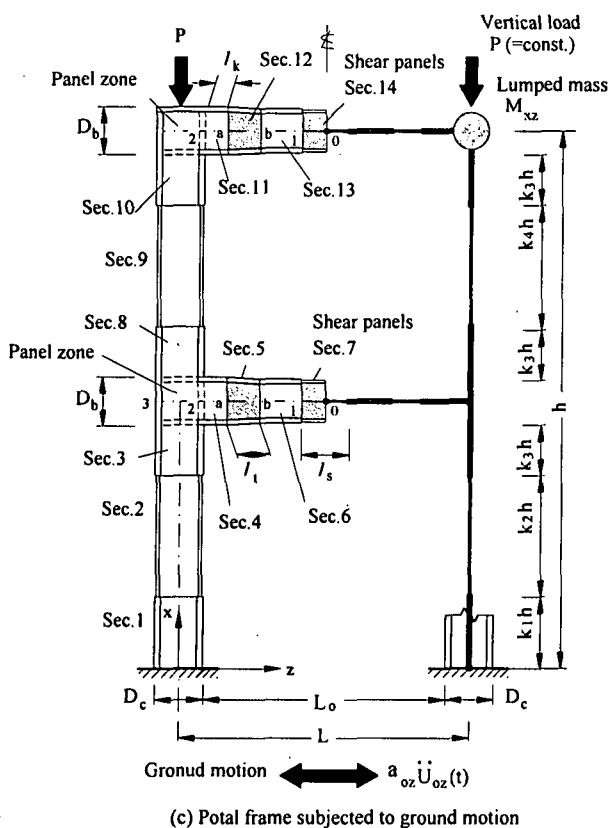
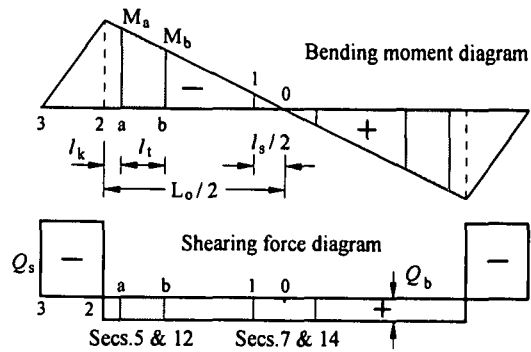


Fig.1 Numerical model of portal frame with partially tapered beam

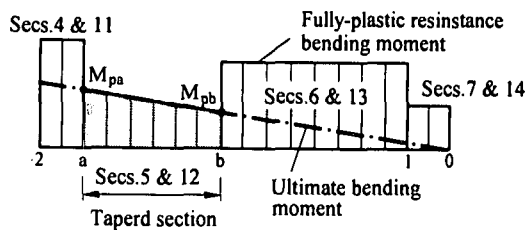
Sec.14 からなる。Sec.5 と Sec.12 は、同図(a)に示すように、フランジ・プレート幅や腹板高さを一様に変化させた部分テーパ断面である (2.3 参照)。Sec.7 と Sec.14 は、塑性せん断変形の発生を想定したはり中央腹板であり、せん断座屈が起らないように十分に補剛されると仮定している。

本研究では、崩壊パターンが異なる以下の 3 種類のラーメンについて解析した。

1) Case 1 : はり中央腹板 Sec.7 と Sec.14 は弾性状態を保



(a) Stress-resultants of beam including panel zones



(b) Variation of resistance bending moment in beam

Fig.2 Variation of resistance bending moment in beam with partially tapered section (Case 1)

ち、テーパ断面 Sec.5 と Sec.12 が早期にせん断降伏するラーメンであり、それらの抵抗曲げモーメントを Fig.2(b)のように設定したラーメン。(2.3 参照)

2) Case 2 : はり中央腹板 Sec.7 と Sec.14 が早期に塑性化し、テーパ断面 Sec.5, Sec.12 は弾性状態を保つラーメン。

3) Case 3 : はり中央腹板 Sec.7, Sec.14 と部分テーパ断面 Sec.5, Sec.12 の降伏点が高く、ともに弾性状態を保ち、柱基部と隅角部腹板が塑性化するラーメン。

Case 1 の解析モデルの寸法諸元と降伏点を Table 1 に示す。骨組寸法とはり、柱の断面寸法は実績調査<sup>9)</sup>を参考に決定した。テーパ部については、2.3 で説明する。Cases 1~3 のラーメンの寸法諸元は同一であり、柱基部、はり中央、隅角部およびテーパ部の塑性化による崩壊メカニズムの変動を捉えるため、それ以外の断面は、降伏点の高い鋼板を用いる代わりに、弾性状態を保つと仮定している。なお、Case 2 の場合で、はり中央腹板が塑性化する場合、ひずみ硬化の影響を無視している。

Cases 2, 3 の解析では、Table 2 に示すように、はり中央 Sec.7, Sec.14 とテーパ部 Sec.5, Sec.12 に対して、降伏点を変化させるか、弾性状態を保つと仮定し、Case 1 の弾塑性性状と比較できるようにした。

## 2.2 解析方法

本研究では、ラーメンが漸増水平荷重を受ける場合と水平地動を受ける場合について、2 種類の解析を行う。

動的応答解析は、概ね文献 2) および 13) に従っている。

**Table 1** Dimension and yield point of portal frame (Case 1)

Items Cross-section <i>i</i>	Width $B_i$ (cm)	Depth $D_i$ (cm)	Thickness (cm)		Yield point $\sigma_{fyi}$ ( $\sigma_{wyi}$ ) (MPa)
			$t_{fi}$	$t_{wi}$	
Sec.1	137	110	3.20	3.2	314 (314)
Sec.2 & Sec.9	137	110	3.20	2.56	(Elastic)
Sec.3 & Sec.8	137	110	5.06	5.06	(Elastic)
Panel zone	—	—	—	5.06	— (353)
Sec.4 & Sec.11	137	85	5.06	5.06	(Elastic)
Sec.5a & Sec.12a	137	85	3.2	2.5	314 (314)
Sec.5b & Sec.12b	87.1	85	3.2	2.5	314 (314)
Sec.6 & Sec.13	87.1	85	3.3	2.5	(Elastic)
Sec.7 & Sec.14 (Shear panels)	—	85	—	1.0	(Elastic)

Notes:  $h=30\text{m}$ ,  $L_0=10.9\text{m}$ ,  $L=12\text{m}$ ,  $M_{xz}=1,337\text{kg}$ ,  $P=0.1N_{y1}$ ,  $N_{y1}$ : Squash force of Sec.1,  $\sigma_{fyi}$  and  $\sigma_{wyi}$ : Yield point of flange and web plates, respectively, of Sec.*i*,  $k_1=0.3$ ,  $k_2=0.62$ ,  $k_3=0.04$ ,  $k_4=0.52$ ,  $l_2=0.5B_1$ ,  $l_1=1.1B_1$ ,  $l_3=0.88B_1$ ,  $\beta_{pr}=0.47$ ,  $k=1$  and  $\xi_{cp}=1.0$

**Table 2** Yield point of Sec.5 and Sec.7 (Cases2, 3)

Items Case	Yield point $\sigma_{fyi}$ ( $\sigma_{wyi}$ ) (MPa)	
	Sec.5 and Sec.12	Sec.7 and Sec.14
2	(Elastic)	— (235)
3	(Elastic)	— (Elastic)

解析では、部材要素の質量ならびに減衰の影響を無視し、

鉛直荷重の作用位置に鉛直・水平並進運動に対する集中質量  $M_{xz}$  を仮定した。Table 1 の Notes に示した  $M_{xz}$  に対して、解析モデルの弾性 1 次固有周期  $T_0$  は約 1s となる。

弾塑性せん断変形を仮定した隅角部とはり中間部では、腹板を囲むフランジ・プレートやダイヤフラムによる枠組効果を見捨てるものとして、一定せん断ひずみの弾塑性要素にモデル化している<sup>2)</sup>。

鋼材の応力  $\sigma$  - ひずみ  $\epsilon$  曲線には、文献 2)~4) と同様に、等方・移動硬化を簡易的に考慮できる Bi-Linear モデルを用いた<sup>14)</sup>。ヤング係数  $E=2.05 \times 10^5 \text{MPa}$ 、塑性域では  $E_t=E/100$  としている。ただし、Case 2 の解析では、はり中央腹板 Sec.7, Sec.14 は、完全弾塑性 ( $E_t=0$ ) の  $\sigma$  -  $\epsilon$  曲線に従うものとした。

**2.3 テーパー構造部の無次元テーパー率  $\xi_{cp}$**

隅角部近傍でテーパーを付けたはり断面 Sec.5, Sec.12 の弾塑性曲げ性状は、文献 10)~12) を参考にして、次の無次元テーパー率を用いて考察することとした。

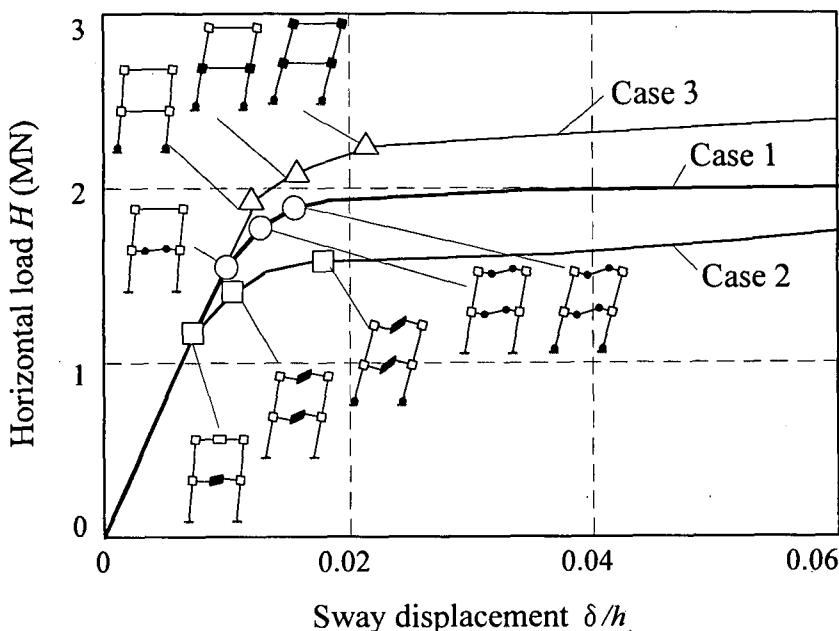
$$\xi_{cp} = \frac{1}{k} \left( 1 - \frac{M_{pb}}{M_{pa}} \right) \quad (1)$$

ここに、 $k$  はテーパー部の長さ  $l_t$  に関する無次元パラメータであり、次式で定義している。

$$k = \frac{l_t}{L_0/2 - l_k} \quad (2)$$

また、 $M_{pa}$  と  $M_{pb}$  は、テーパー部両端の断面の全塑性モーメントである ( $M_{pa} \geq M_{pb}$ , Fig.1 と Fig.2 参照)。

式(1)は、はり部材に Fig.2(a) のような曲げモーメントが作用して、テーパー部両端が同時に全塑性状態に達するという条件から導いたものである。すなわち、 $\xi_{cp}=0$



**Fig.3** Horizontal load  $H$  - sway displacement  $\delta$  curves

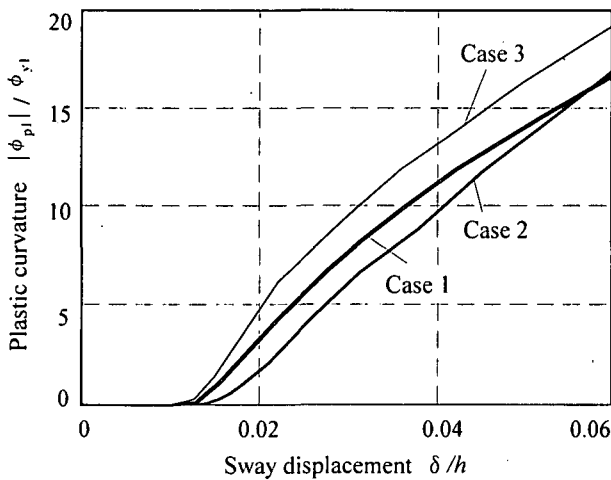


Fig.4 Variation of cumulative plastic curvature of Sec.1 with sway displacement

のとき、Sec.5とSec.12はテーパ無し等の断面構造であり、 $\xi_{cp}=1$ のときはテーパ有り、テーパ部全体が同時に全塑性状態になることを示す。また、同式で $\xi_{cp}=1$ とおくと、テーパ部の全塑性モーメント比  $M_{pb}/M_{pa}$  は  $1-k$  で表される。したがって、テーパ部が長くなると、小断面 Sec.5b および Sec.12b を小さくしなければならぬことになる。

解析モデルのテーパ部 Sec.5, Sec.12 はフランジ・プレート幅のみ変化させた片テーパで、 $k \approx 0.3$  とした。また、テーパ部の塑性化の影響を調べる Case 1 の解析モデルでは、 $\xi_{cp}=1$ 、 $M_{pb}/M_{pa} \approx 0.7$  となる (Table 1 参照)。

### 3. 漸増水平荷重を受ける2層門形ラーメンの崩壊メカニズムの変動

まず、Cases 1~3 の門形ラーメンに対して、柱頭部に  $H/2$  ずつの漸増水平荷重を作用させて弾塑性解析を行い、主として Case 1 のテーパ部 Sec.5, Sec.12 の塑性化の影響を考察する。

なお、数値解析結果のうち、ひずみに関する結果は、文献 2)~4) を参考にして、柱基部 Sec.1 とテーパ断面 Sec.5, Sec.12 の増分塑性曲率、および、隅角部とはり中央腹板 Sec.7, Sec.14 の増分塑性せん断変形角の各絶対値和、それぞれ  $\Sigma|\Delta\phi_{pi}|$  および  $\Sigma|\Delta\gamma_{pi}|$  として整理した。以下において、これらは対応する断面の塑性曲率  $\phi_{yi}$  と降伏せん断ひずみ  $\gamma_y$  で無次元表示している (以下、総称して累積塑性ひずみと呼ぶ)。

#### 3.1 水平荷重 $H$ -水平変位 $\delta$ 曲線

Cases 1~3 のラーメンの水平荷重  $H$ -水平変位  $\delta$  曲線を Fig.3 示す。柱基部 Sec.1, 隅角部腹板, はり中央腹板およびテーパ部ばり部の塑性ひずみの発生状況から、塑性化した箇所を求めて、図中に示している。

まず、Case 1 のラーメンでは1層目テーパ部、続いて2層目テーパ部、そして柱基部の順で塑性化している。水平耐力は、隅角部と柱基部が塑性化する Case 3 のラーメンよりも14%程度小さいが、はり中央腹板が塑性化する Case 2 よりも同程度大きい。

つぎに、はり中央腹板が塑性化し、テーパ部は弾性状態にある Case 2 のラーメンは、1層目はり腹板 Sec.7 が早期に塑性化し、引き続いて2層目はり腹板が塑性化している。はり中央腹板には完全弾塑性を仮定しているため、1, 2層目はり中央腹板が塑性化すると耐力上昇は小さくなり、水平耐力は Case 1 よりも約15%小さい。

隅角部が早期に塑性化した Case 3 では、最終的に隅角部と柱基部で塑性化している。塑性化した断面の抵抗断面力が大きいので、Cases 1~3 の中で、水平耐力は最も大きくなっている。

#### 3.2 水平変位 $\delta$ の増大による柱基部の塑性曲率の関係

Cases 1~3 について、柱基部の塑性曲率と変位  $\delta$  の関係を Fig.4 に示す。

この図からわかるように、柱基部の塑性曲率は、Case 3 の場合が最も大きくなり、テーパ部が塑性化する Case 1 とはり中央腹板が塑性化する Case 3 の場合よりも、約15%~30%の差異がある。したがって、せん断

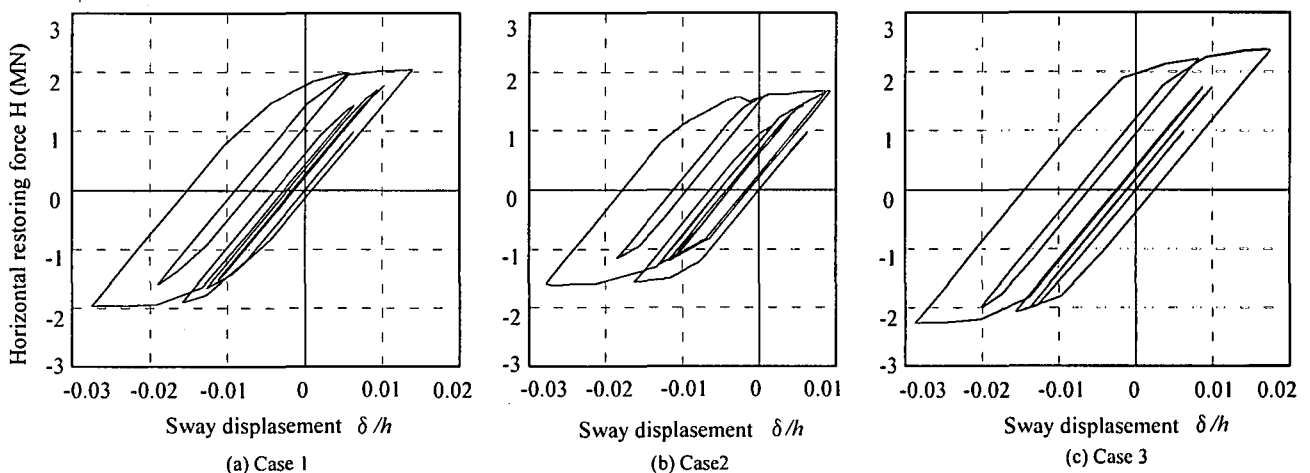


Fig.5 Restoring force  $H$  - sway displacement  $\delta$  curves

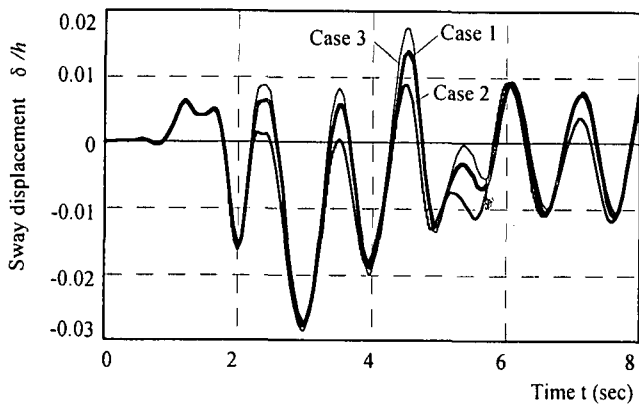


Fig.6 Time history of sway displacement  $\delta$  at top of columns

耐力の大きな隅角部腹板よりも、はり部材を塑性化させる方が柱基部の損傷を小さくできることになる。また、変位 $\delta < \text{約 } 0.015h \sim 0.05h$ の範囲では、Case 1 よりも Case 2 の塑性曲率が小さくなっている。Fig.3 を参照すると、はり中央腹板の塑性化による損傷軽減率がテーパばりを用いる方法よりも若干大きくなるのがわかる。

#### 4. はり崩壊型門形ラーメンの非弾性地震応答、崩壊メカニズム、および損傷に関する考察

Cases 1~3 のラーメンについて、地震応答解析を行った。水平地動加速度  $a_{oz} \ddot{U}_{oz}(t)$  としては、El Centro 波 (1941) NS 成分記録の最初の 8 秒間を用いた。ただし、ある特定の地震加速度波に対して、ラーメン各部が適度に塑性変形するように寸法諸元を定めることが難しいため、本文では、加速度倍率を大きくして解析を行っている ( $a_{oz}=6$ )。

##### 4.1 水平復元力 $H$ -水平変位 $\delta$ 曲線

ラーメンの水平復元力  $H$  と柱頭部の水平変位  $\delta$  の関係を Fig.5 に示す。

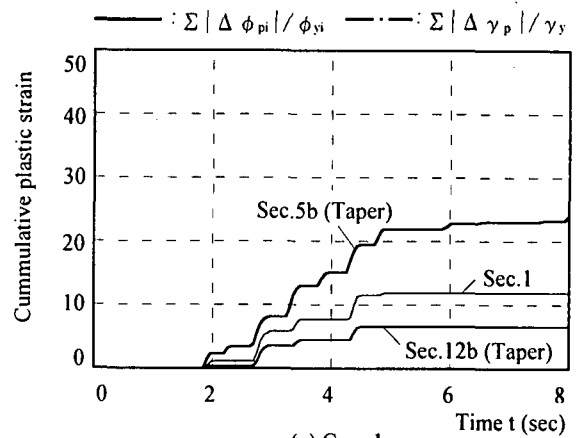
この図からわかるように、水平復元力、変位の最大応答値は、Case 3 の場合が最も大きくなり、はり中央腹板が塑性化した Case 2 の場合が最も小さくなっている。Case 2 では、はり腹板の早期塑性化の影響で、履歴ループがトリリニア型になっている。テーパばりを用いた Case 1 は、両者の中間に相当する応答を呈している。これらのことから、ラーメンの崩壊メカニズムによって、その復元力特性にかなりの差異が現れると言える。

##### 4.2 柱頭部の水平変位 $\delta$ の時刻歴応答

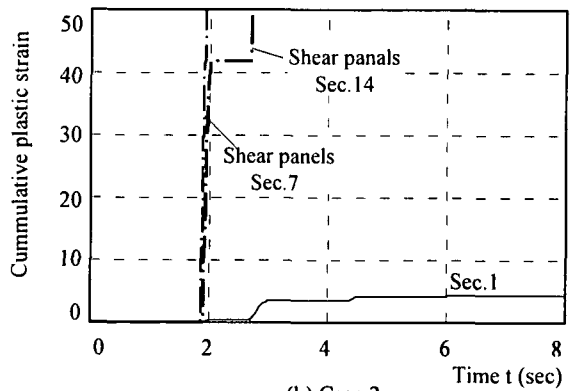
つぎに、柱頭部の水平変位の時刻歴応答を Fig.6 に示す。

この図から、Case 1~Case 3 の崩壊メカニズムの差異は、ラーメンが非弾性域に入った時刻  $t \approx \text{約 } 2 \sim 5$  秒の範囲で現れていることがわかる。上記 3.1 で述べたように、最大変位応答は、Case 3、Case 1、および Case 2 の順に大きい。

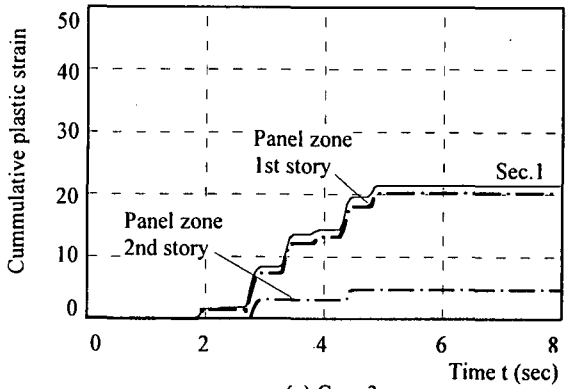
この理由としては、Case 2 および Case 1 のラーメン



(a) Case 1



(b) Case 2

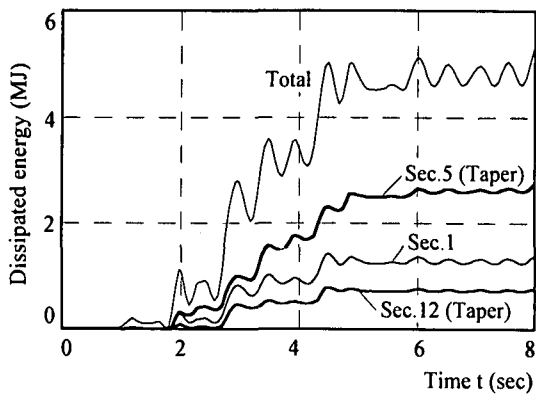


(c) Case 3

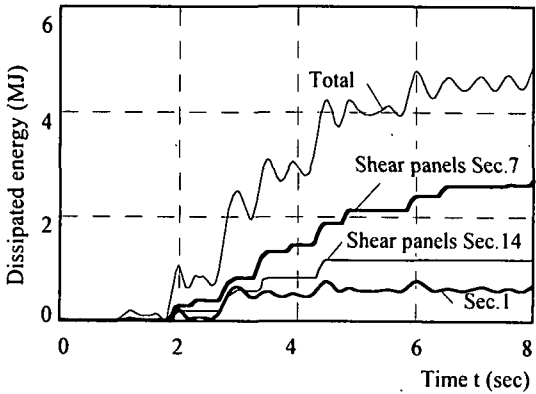
Fig.7 Time history of cumulative plastic strain in column base part, panel zones, tapered parts in beam and shear panels in middle of beam

では、Case 3 に比べて水平耐力が小さいために、早期に非弾性域に入って塑性変形による履歴エネルギー消費が大きくなり、これが減衰効果となって現れたことが考えられる。また、早期の塑性化によるラーメンの長周期化も原因していると考えられる。図中に見られるわずかな位相差が変位応答にどの程度影響を及ぼしているかは今後検討する必要がある。

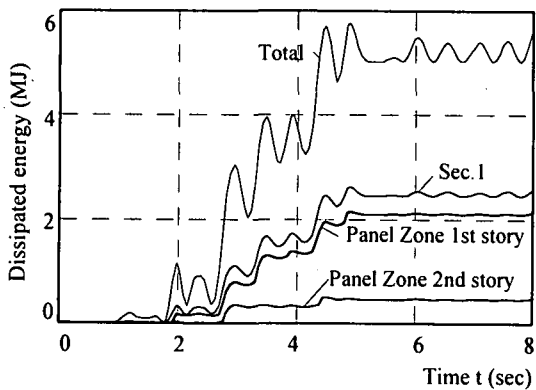
このことから、はり部材が塑性化する Case 1 や Case 2 のラーメンに対しては、エネルギー消費が有効になって減衰効果が期待できるようにするためには、水平耐力を



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

Fig.8 Time history of cumulative plastic strain in column base part, panel zones, tapered parts in beam and shear panels in middle of beam

どの程度に設定すればよいか検討する必要がある。

#### 4.3 ラーメン各部の累積塑性ひずみの時刻歴応答

Fig.7 は、柱基部、隅角部腹板、テーパり部、およびはり中央腹板の累積塑性ひずみの時刻歴応答を示している。柱基部 Sec.1、隅角部腹板およびテーパり断面 Sec.5b、Sec.12b については、ラーメン左右で塑性ひずみの大きい方をプロットしている。

この図からわかるように、各ケースにおける断面の塑性化の順序は、単調増加の水平荷重を作用させた静的解析の Fig.3 の崩壊メカニズムにほぼ従っている。

Cases 1~3 を比較すると、Case 2 の 1, 2 層はり中央腹板の累積塑性ひずみが著しく大きくなっている。柱基部の塑性ひずみについては、上述のように、Case 2 の場

合が最も小さい。Case 1 の場合、柱基部の塑性化は、はり中央腹板が著しく塑性化する Case 2 に比べると約 2 倍になっているが、Case 3 の場合の約半分に留まっている。

なお、Case 1~Case 3 において、2 層目よりも、1 層目の隅角部、テーパり部、あるいは、はり中央腹板において、塑性ひずみの累積が大きい。

#### 4.4 ラーメン各部の履歴消費エネルギーの時刻歴応答

塑性変形したラーメン各部の消費エネルギーの時刻歴応答を Fig.8 に示す。着目した断面は Fig.7 と同様である。

まず、Total の消費エネルギーを比較すると、上述した  $H-\delta$  曲線の履歴ループ (Fig.3 参照) の大きさに対応して、Case 2、Case 1 および Case 3 の順に大きく、崩壊メカニズムの差異が比較的顕著に現れている。

ラーメン各部に着目すると、Case 1 では 1 層目テーパり部 Sec.5 と柱基部 Sec.1 で約 80% の履歴エネルギーを消費している。また、Case 2 については、1 層目と 2 層目のはり中央腹板 Sec.7、Sec.14 で、それぞれ約 60%、および約 25% のエネルギーを消費している。柱基部では塑性変形が小さいために、エネルギー消費は Case 1 の約半分である。さらに、Case 3 のエネルギー消費は、柱基部が全体の約 50% を占めており、1 層目隅角部、2 層目隅角部の順に大きい。

Case 1~Case 3 を通じて、1 層目の隅角部、テーパり部およびはり中央のエネルギー消費が大きい。

#### 4.5 2 層ラーメンの崩壊メカニズムに関する考察

以上の結果を踏まえると、はり崩壊型 2 層門形ラーメンの損傷メカニズムについて、以下のことを考察できる。

- 隅角部近傍のはり部材をテーパり構造とした場合 (Case 1)、はり中央腹板でせん断崩壊させるのと同様に、隅角部の塑性化を抑えて、かつ柱基部の損傷を小さくする効果がある。
- Case 2 のようなラーメンでは、はり中央に塑性変形が集中すると、これまでに指摘しているように隅角部を弾性域に留めて、柱の塑性変形も小さくする効果がある。はり中央の塑性変形が著しくなるために、エネルギー消費部材と言うよりも、一種のヒューズ機能を果たしていると考えられる。著しいせん断変形により、せん断崩壊するはり腹板の耐力がかなり増減すると予想されるため、せん断耐力がかなり小さくなる時に、ラーメンがどのような弾塑性性状を呈するかを検討する必要がある。

## 5. 結論

本研究は、隅角部近傍の部分テーパり断面で塑性曲げ変形し、はり中央で塑性せん断変形するはり崩壊型 2 層門形ラーメンの弾塑性応答解析を行い、崩壊メカニズムによる地震応答の変動性状を明らかにしたものである。

本文で得られた主な結論を以下にまとめる。

- 1) 隅角部近傍のテーパ部分，はり中央腹板のいずれが塑性化しても，ラーメンの水平復元耐力は，柱基部と隅角部が塑性化する際の耐力よりも小さくなる．とくに，後者の場合に耐力低下が大きい．
- 2) 部分テーパ構造の塑性曲げ変形，および，はり中央腹板の塑性せん断変形は，ともに柱基部の損傷を軽減する効果がある．
- 3) 隅角部腹板，テーパ部分，または，はり中央が塑性化すると，いずれの場合も，2層目よりも1層目の損傷が大きくなる．
- 4) ラーメンがはり崩壊型の崩壊メカニズムを呈すると，水平復元耐力が低下して，早期の塑性化によるエネルギー消費が有効に作用する．
- 5) したがって，水平耐力レベルが低い場合に，はり崩壊型ラーメンの地震応答性状がどのように変動するかを今後究明する必要がある．

謝辞: 本研究は，平成10～11年度の文部省科学研究費・基盤研究(C)，平成10～11年度の大同工業大学・特別研究費，ならびに，平成11年度の(社)鋼材倶楽部・土木鋼構造教育助成金の補助を受けて実施したものである．ここに記して謝意を表します．

#### 参考文献

- 1) 中井 博，河井章好，吉川 紀，北田俊行，酒造敏廣：鋼製ラーメン橋脚の実績調査(上)，(下)，橋梁と基礎，Vol.16, No.6, pp.35～40, 1982年6月，および，Vol.16, No.7, pp.43～49, 1982年7月．
- 2) 酒造敏廣，事口壽男，長田好夫：鋼変断面ラー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, 土木学会，pp.205～216, 1997年3月．
- 3) 酒造敏廣：せん断崩壊型はり部材を有する鋼門形ラー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, 土木学会，pp.169～178, 1998年3月．
- 4) 酒造敏廣，山田 宰：せん断崩壊型はり部材を有する鋼2層門形ラーメンの非弾性地震応答解析，構造工学論文集，Vol.45A, 土木学会，pp.227～234, 1999年3月．
- 5) 山田 宰，酒造敏廣：せん断崩壊型はり部材を有する鋼製ラーメンの崩壊メカニズム，第25回地震工学研究発表会・講演論文集，E2-5, pp.953～956, 1999年7月．
- 6) 酒造敏廣，山田 宰：はり崩壊型門形ラーメンの崩壊メカニズムと非弾性地震応答性状に関する研究，構造工学論文集，Vol.46A, 土木学会(投稿中)．
- 7) 武田八郎：せん断パネルの非弾性交番座屈実験，鋼構造年次論文報告集，第2巻，pp.1～8, 1994年11月．
- 8) 武田八郎：せん断を受ける桁パネルの非弾性交番座屈試験，舞鶴工業高等専門学校紀要，第32号，pp.74～78, 1997年．
- 9) 福本嘖士：土木鋼構造物のダクティリティ向上のためのせん断型塑性リンクの開発，平成9年度～10年度科学研究費補助金(基盤研究B(2))，研究成果報告書，1999年3月．
- 10) 酒造敏廣：テーパ付き柱基部を有する鋼変断面柱の非弾性地震応答性状に関する研究，第24回地震工学研究発表会・講演論文集，D8-3, pp.1041～1044, 1997年7月．
- 11) 酒造敏廣，川田真也，岩村俊幸：テーパ付き柱基部を有する変断面柱の弾塑性履歴崩壊性状に関する研究，第10回日本地震工学シンポジウム論文集，F1-15, pp.2151～2156, 1998年10月．
- 12) 酒造敏廣，川田真也：部分テーパ付きはり柱の弾塑性履歴性状に関する基礎的実験，土木学会論文集(投稿中)．
- 13) 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, pp.75～84, 1994年10月．
- 14) 若林 實，柴田道生：筋違部材の座屈後の挙動に関する研究(その4)，日本建築学会近畿支部研究報告集，第16号，pp.201～204, 1976年6月．

(1999年11月19日受付)

## COLLAPSE MECHANISM AND EARTHQUAKE RESPONSE OF TWO-STORY PORTAL FRAMES WITH COLLAPSE OF BEAM BY USING PARTIALLY TAPERED MEMBER

Osamu YAMADA and Toshihiro MIKI

This paper presents the numerical study on the inelastic earthquake response of steel two-story portal frames which has the collapse of beams. Two collapse mechanisms are compared with each other. One is the mechanism with the plastic deformation of partially tapered sections in the vicinity of beam-to-column connections and the other is with the plastic shear deformation of shear panels in the centre of

beams. The variation of the collapse mechanism of frames with sway response is investigated under the condition of increasing horizontal loads as well as seismic load. The numerical results show the collapse mechanisms and corresponding damage of column base parts, panel zones, tapered sections and shear panels in beams. It is concluded that the inelastic behaviour of beams could be efficient for the decrease in damage of the column base parts and panel zones.