

はり中央腹板のせん断耐力に着目した門形ラーメンの地震応答解析

大同工業大学大学院 学生会員 ○ 山田 幸
大同工業大学 正会員 酒造敏廣

1. まえがき

筆者らは、これまでに、はり中間部腹板のせん断崩壊を伴う1層および2層門形ラーメンの非弾性地震応答性を数値解析によって調べてきた^{1)~4)}。このときの特徴として、隅角部近傍の塑性化が抑えられること、はり腹板の塑性化が大きい場合には柱基部の塑性ひずみの累積が小さくなること等を指摘した。これらは、はり腹板が早期に降伏すると塑性化によるエネルギー消費が大きくなり、一種の減衰効果が現れたものである⁵⁾。

本研究は、はり中央でせん断崩壊する門形ラーメンを3つの弾塑性回転バネでモデル化し、はりのせん断耐力レベルを低く設定した場合に、水平変位応答や柱基部の損傷がどのようになるかを調べるものである。

2. 3つの弾塑性回転バネを組み込んだはり崩壊型門形ラーメンの地震応答解析モデル

(1) 解析モデルと解析方法

対象とする門形ラーメンを Fig.1(a)に示す。柱基部 Sec.C, 隅角部 Sec.K, および、はり中央 Sec.B で塑性変形する場合を想定し、変形の非対称性を利用して、同図(b)に示すように3つの弾塑性の回転バネ k_c , k_k , k_b を組み込んだ1自由度逆L形ラーメンにモデル化する。

門形ラーメンの寸法諸元と各バネの耐力は、文献 2)を参考にして Table 1 のように設定した (減衰定数 $h_1=0.05$, 固有周期 $T=1s$)。

非弾性の増分復元力 ΔH - 水平変位 $\Delta \delta$ 関係は、すべてのバネが弾性であるとして誘導した $H-\delta$ 関係を増分系に直して用いた。

$$\Delta H = \frac{(k_c + k_k)k_b + (a/l)^2 k_c k_g}{h^2 \{k_g + (a/l)^2 k_g\}} \Delta \delta = K \Delta \delta \quad \dots (1)$$

ここで、回転バネの復元モーメントは、Fig.2 に示す Bi-Linear 曲線に従うものとした。はり中間部のせん断力はバネ k_b に作用するモーメント $M_b/(a/2)$ で与えられ、回転角 θ_b が腹板のせん断変形角になる。隅角部は、せん断変形域^{1)~4)}を設けずにバネ k_k で回転拘束をモデル化した。

本文では、解析パラメータとして、隅角部 Sec.K に対するはり中間部 Sec.B のモーメント耐力比を次式で定義している。

$$\zeta_{bp} = M_{ub} / M_{uk} \quad \dots (2)$$

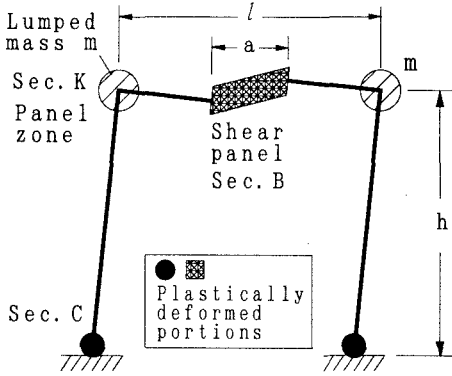
ここに、 M_{ub} , M_{uk} : はり中間部 k_b , 隅角部 k_k のモーメント耐力。

1自由度系の運動方程式の数値積分には、平均加速度法 ($\beta=0.25$) を用いた。時間増分ごとに、各バネの弾塑性判定を行い、各バネの不釣り合い力を消去するようにした。地動加速度 $\ddot{\delta}_0$ には、日本海中部地震・修正津軽大橋記録、Ⅲ種地盤用 (49.96s) を用いた。

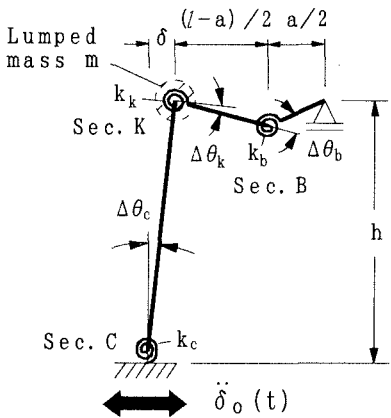
3. 解析結果と考察

(1) 水平復元力 H - 水平変位 δ 曲線

はり中央が塑性化したとき ($\zeta_{bp}=0.036$)、および、弾性域に留まっているとき ($\zeta_{bp}=0.072$) の $H-\delta$ 曲線を Fig.3 に例示する。この図からわかるように、 $\zeta_{bp}=0.036$ の復元耐力



(a) Collapse mechanism of frame



(b) Numerical model

Fig.1 Numerical model of frames with shear collapse in middle of beam

Table 1 Properties of springs 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	$K_k=3.140 \times 10^6$	$M_{uk}=8.167 \times 10^3$
Sec.B	$K_b=5.175 \times 10^5$	$M_{ub}=\zeta_{bp} M_{uk}$

Notes; $h=15m$, $l=12m$, $a=0.766m$, $M=1.04 \times 10^6 kg$, $K_{ic}=K_c/100$, $K_{ik}=K_k/100$ and $K_{ib}=K_b/10,000$.

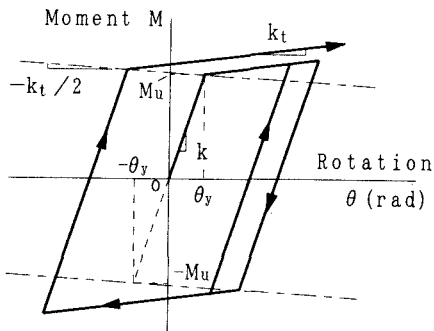


Fig.2 Moment M - rotation θ relationship of springs

は, $\zeta_{bp}=0.072$ のそれよりも約 30%小さく, 変位応答は最大で約 18%大きくなっている。

(2)変位の時刻歴応答

Fig.4 は, 上図に対応させて, 水平変位 δ の時刻歴応答を示したものである。時刻 $t > 約 30s$ の範囲において, はり中央のモーメント耐力が低い $\zeta_{bp}=0.036$ の変位応答が $\zeta_{bp}=0.072$ よりも少し大きくなっている。

(3)各パネの累積塑性回転角の時刻歴応答

ζ_{bp} を変化させて各パネの損傷を調べた結果を Fig.5 に示す。損傷には増分塑性回転角 $\Delta\theta_p$ の絶対値と $\Sigma|\Delta\theta_p|$ をとり, 各パネの降伏回転角 $\theta_y (=M_u/k)$ で無次元表示している。この図から, $\zeta_{bp} > 約 0.04$ の範囲では, これまでの解析結果と同様な傾向が見られる^{1)~4)}。すなわち, ζ_{bp} の減少とともに, はり中央の損傷は大きくなり, 柱基部と隅角部の損傷は小さくなっている。しかし, $\zeta_{bp} < 約 0.04$ の範囲では, 隅角部は弾性状態に留まったままであるが, 柱基部の損傷は ζ_{bp} の減少に伴って大きくなっている。

これは, はりのせん断耐力低下に起因して, ラーメンの復元耐力が低下し過ぎたためであると考え⁵⁾。

4. まとめ

- 1)柱基部, 隅角部, およびはり中央を弾塑性回転パネで置換した門形ラーメンの地震応答解析モデルを示した。
- 2)腹板のせん断耐力が小さくなると, 柱基部の損傷が大きくなり, 変位応答が増大する場合がある。
- 3)はり腹板のせん断崩壊を伴う崩壊メカニズムの良否についての判断は, 腹板のせん断耐力レベルや損傷の大きさに対応させて各種応答を把握することが重要になり, 慎重な検討を要する。

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。 2)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。 3)酒造敏廣, 山田 幸: はり中間部腹板のせん断崩壊を伴う鋼 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。 4)酒造敏廣, 山田 幸: はり崩壊型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)。 5)柴田明徳: 最新耐震構造解析, 森北出版, 1981 年 6 月, pp.120~129。

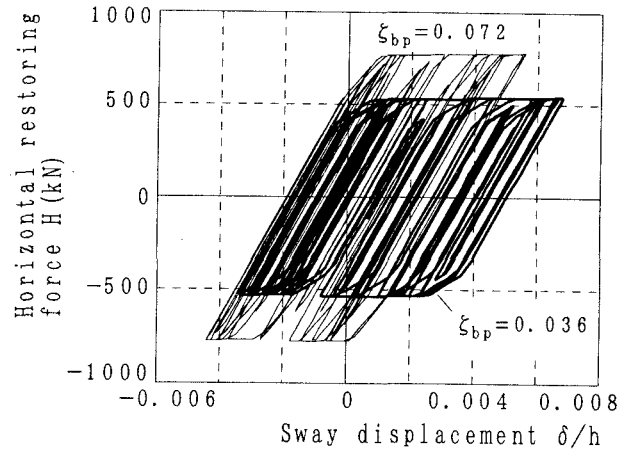


Fig.3 Restoring force H - sway displacement δ curves

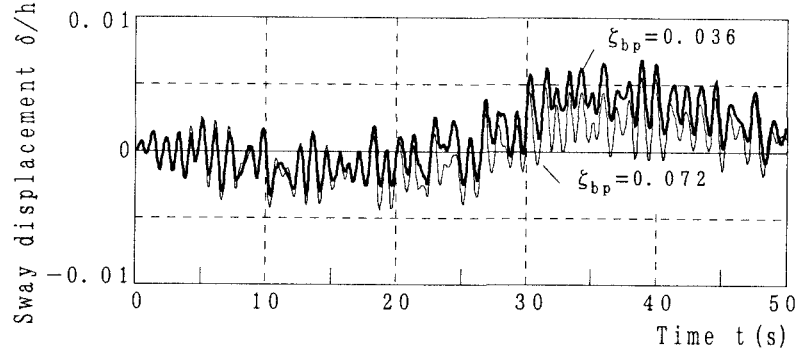


Fig.4 Time history of sway displacement

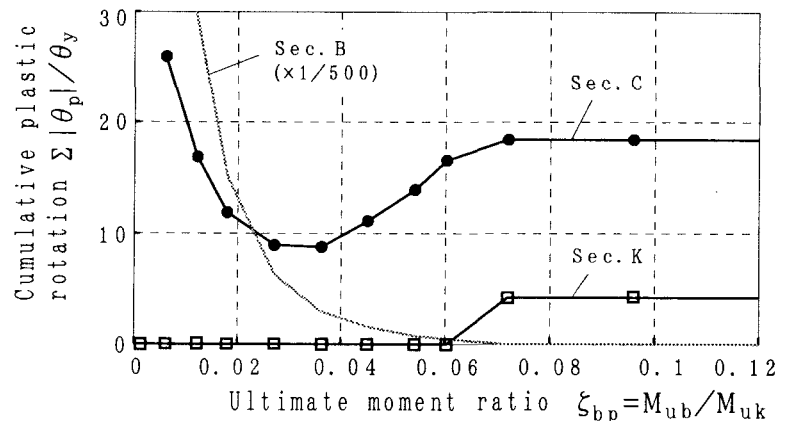


Fig.5 Variation of plastic rotation of each spring with strength M_{ub} of spring k_b in middle of beam