

柱基部の損傷に着目したはり崩壊型一層鋼門形ラーメンの地震応答解析

大同工業大学 学生会員 ○山田 幸, 篠瀬 圭介

大同工業大学 正会員 酒造 敏廣

1. まえがき

筆者らは、これまでに鋼門形ラーメンの数値解析を行い、その弾塑性地震応答性状を究明してきた¹⁾。その中で、はり中間部腹板が早期にせん断崩壊するとはりのせん断耐力が頭打ちになり隅角部の塑性化が抑えられ、柱基部の損傷が軽減される場合があることを指摘した¹⁾。

本研究は、弾塑性地震応答解析を通じて、ラーメン各部の損傷と履歴エネルギーという点から、はり崩壊型ラーメンの柱基部の損傷について考察したものである。

2. 一層門形ラーメンの解析モデルと履歴曲線

本研究では、一層門形ラーメンを図1に示す逆L型にモデル化して解析した。柱基部、はり中間部、隅角部にバイリニアモデルの弾塑性回転バネ $k_1 \sim k_3$ を組み込み、その他の部分については剛体としている。また、柱頭部に集中質量 m を仮定している。解析モデルの諸元は表1に示すとおりである。数値積分法には非線形の収束計算を必要としない予測子-修正子法(OS法)を用いた。

OS法の運動方程式は以下のように表される。

$$m\ddot{y} + C\dot{y} + K^L y + K^E \tilde{y} = -m\ddot{y}_0 \quad (1)$$

ここに、 m 、 C ：質量と減衰係数、 K^L 、 K^E ：線形・非線形部分の剛性、 $\ddot{y}$ 、 $\dot{y}$ ：加速度と速度、 y ：修正子変位、 $\tilde{y}$ ：予測子変位、 $\ddot{y}_0$ ：地震加速度である。また、剛性 K は以下のように表される²⁾。

$$K = k_1/h^2 + l^2 k_2 k_3 / (l^2 k_2 + a^2 k_3) \quad (2)$$

本研究では、柱基部とはり中間部で崩壊メカニズムを形成するものとした。はり中間部の塑性モーメントを変化させて、はり中間部と柱基部の降伏変位比 y_{p2}/y_{p1} が0.1~1.0となるように解析モデルを設定した。表1には $y_{p2}/y_{p1}=0.5$ のときの値を示している。

図2に示すように、 $y_{p2}/y_{p1}=1.0$ のとき柱基部とはり中間部は同時に塑性化し、履歴曲線はバイリニア型になる。また、 $y_{p2}/y_{p1}<1.0$ の範囲では、はり中間部が柱基部に先行して塑性化し、履歴曲線はトリリニア型になる。

3. ラーメン各部の塑性化による履歴エネルギー

柱基部、はり中間部、隅角部が塑性化するとき、それぞれの塑性ひずみによる履歴エネルギー $E_{1p} \sim E_{3p}$ は、水平変位 y の関数として以下のように表される。

$$E_{1p} = (1/h) M_{p1} y, \quad E_{2p} = (l/a/h) M_{p2} y \quad (3a, b)$$

表1の数値を用いて計算した結果から、ラーメン全体の履歴エネルギー E_{total} に対する柱基部の分担率 R_{E1} と水平変位の関係を図3にまとめる。水平変位については柱基部の降伏変位 y_{p1} で無次元化している。同図(a)、(b)から、変位が増大すると、柱基部の履歴エネルギーははり中間部のそれに比べて大きくなることわかる。同図(c)か

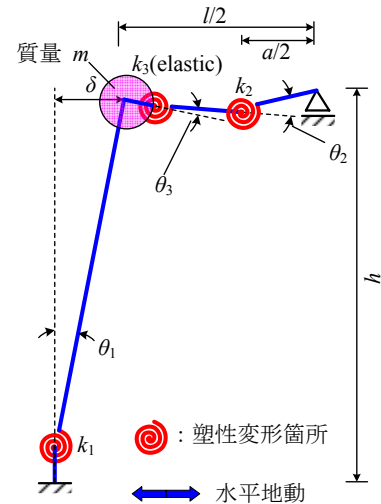


図1 解析モデル²⁾

表1 ラーメンの解析諸元

バネ	弾性係数 k_i (kN・m)	塑性モーメント M_{pi} (kN・m)
1	2.29×10^8	9.01×10^4
2	3.19×10^7	6.76×10^3 ($y_{p2}/y_{p1}=0.5$)
3	2.18×10^8	elastic

注) $h=l=10\text{m}$, $a=2\text{m}$, 質量 $m=1.01 \times 10^7$ kg, 固有周期 $T=1\text{s}$, 柱基部降伏変位 $y_{p1}=39.5\text{mm}$, 塑性崩壊荷重 $H_p=12.4\text{MN}$ ($y_{p2}/y_{p1}=0.5$)。

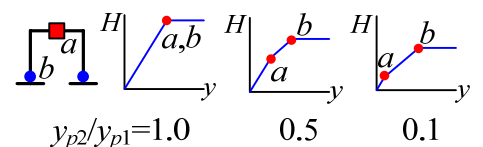
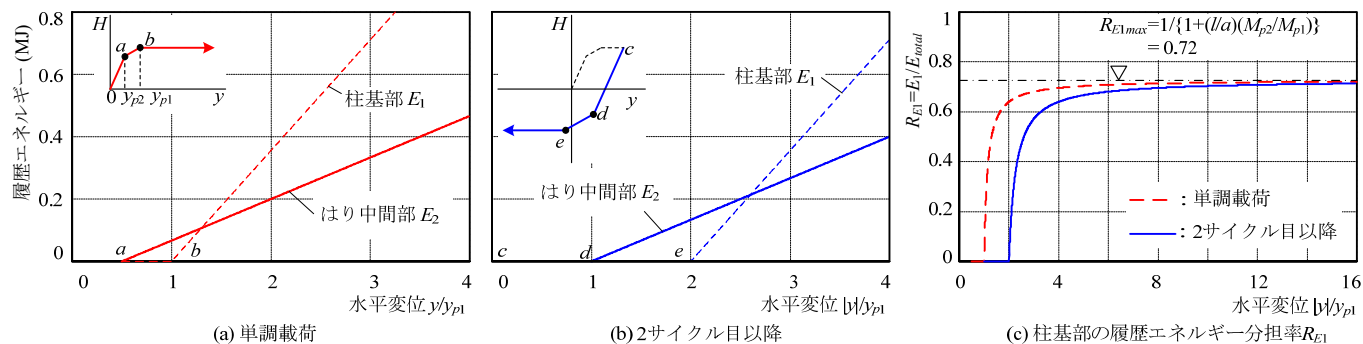


図2 降伏変位比と履歴曲線

キーワード：門形ラーメン、はりのせん断崩壊、履歴エネルギー、柱基部の損傷

〒457-8532 名古屋市中区白木町40 TEL 052-612-5571 FAX 052-612-5953

図3 ラーメン各部の塑性ひずみによる履歴エネルギーと水平変位の関係 ($y_{p2}/y_{p1}=0.5$)

ら、変位の増大とともに R_{E1} は R_{E1max} ($=0.72$) に漸近している。

4. 柱基部の損傷に着目したラーメンの地震応答解析

上記の消費エネルギー特性を知るため、弾性最大応答値 y_{maxE} が $2y_{p1} \sim 16y_{p1}$ となるように地震加速度を変化させ、弾塑性応答解析を行った。地震加速度としては El-Centro 波の NS 成分 (8 秒間) と神戸海洋気象台観測波 (兵庫県南部地震) の NS 成分 (30 秒間) を用いた。

$y_{p2}/y_{p1}=0.5$ のときの柱基部の履歴エネルギー分担率 R_{E1ep} と弾性最大変位応答の関係を図 4 に示す。ここで、 R_{E1ep} は弾性変形によるエネルギーも含んでいる。この図から、入力加速度の増大とともに柱基部での履歴エネルギー吸収が支配的になっていくことがわかる。

$y_{maxE}/y_{p1}=2$ のときの水平変位の時刻歴応答を図 5 に示す。この図から、変位応答が比較的小さいとき、はり中間部が早期に塑性化すると、はり中間部での履歴エネルギー吸収が有効に働き変位応答が小さくなっていることがわかる。

つぎに、El-Centro 波を入力し、はり中間部の耐力を変化させて降伏変位比 $y_{p2}/y_{p1}=0.1 \sim 1.0$ になるときの柱基部損傷の変動を図 6 に示す。はり中間部の早期の塑性化は、入力加速度が比較的小さい場合は柱基部の損傷を抑えているが、入力加速度が増大すると柱基部の損傷軽減に対する効果がなくなることがわかる。

5. まとめ

1 層門形ラーメンの弾塑性地震応答解析を行った。はり腹板の履歴エネルギー吸収が有効に働き、柱基部の損傷を抑えるのは、変位応答が比較的小さい場合であることを示した。

参考文献 1)酒造敏廣, 山田 幸: 構造工学論文集, Vol.45A, pp.227~234, 1999 年 3 月. 2)山田 幸, 酒造敏廣: 平成 11 年度研究発表会, 土木学会中部支部, 講演概要集 I-38, 2000 年 3 月. 3)小川厚治, 井上一朗: 日本建築学会学術講演概要集 (中国), pp.905~906, 1999 年 9 月.

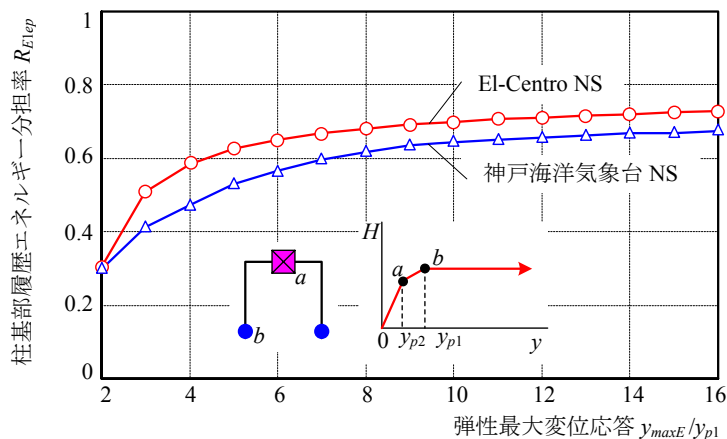
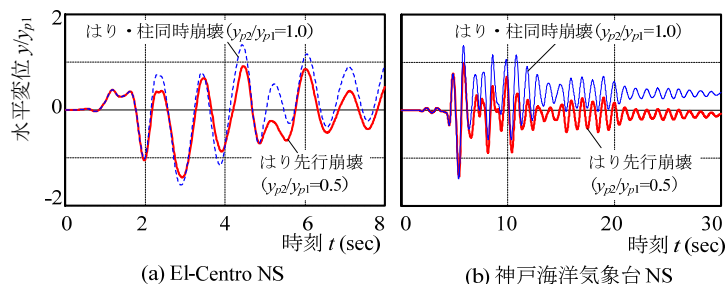
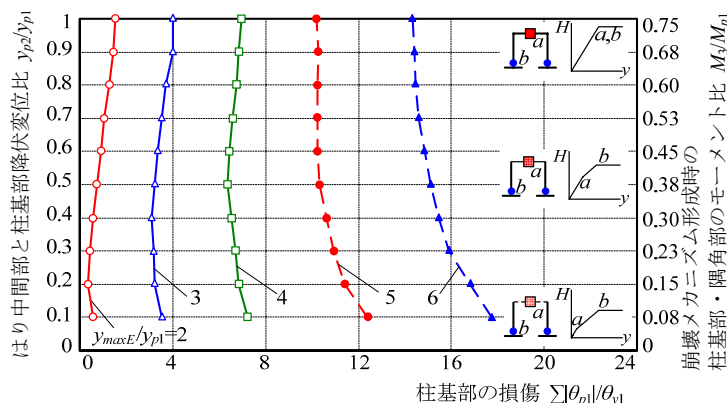
図4 R_{E1ep} と弾性最大変位応答の関係図5 水平変位の時刻歴応答 ($y_{maxE}/y_{p1}=2$)

図6 柱基部の損傷の変動