

一層目はり中央腹板のせん断崩壊区間長による二層門形ラーメンの地震応答性状の変動

大同工業大学 学生会員 都築 禅, 戸田 智規, 山田 幸
大同工業大学 正会員 酒造 敏廣

1. まえがき

鋼門形ラーメンのはり中間部で曲げモーメントが小さくせん断力が支配的になるとき、地震時に腹板がせん断座屈崩壊する可能性がある¹⁾。筆者らは、はり中央腹板を部分構造の実験モデルに置換し、オンライン実験法を用いて、そのせん断座屈挙動を忠実に考慮して、地震応答解析を行ってきた。本文は、はり中央のせん断崩壊区間長が二層ラーメンの地震応答性状に及ぼす影響を調べたものである。

2. 二層門形ラーメンの弾塑性地震応答解析法

図-1 に示すように、せん断崩壊するはり部材を有する二層門形ラーメンをはり中央でローラー支持された骨組としてモデルとする。柱頭部には集中質量 m 、一層目はり中間部には回転慣性 J を仮定している。また、バネ 2 は一層目はり中央における区間 a の腹板のせん断挙動を表し、実験モデルに置換する²⁾。地震応答解析に用いる数値積分法には、 α -OS 法³⁾を用いた。水平地動加速度 $\ddot{y}_0$ が作用するとき、時刻 t_{n+1} において、柱頭部の水平変位 y とバネ 2 の回転角 θ_2 を表す変位ベクトル $\mathbf{d}_{n+1}$ に関する運動方程式は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} & \mathbf{M}\ddot{\mathbf{d}}_{n+1} + (1+\alpha)\mathbf{C}\dot{\mathbf{d}}_{n+1} - \alpha\mathbf{C}\dot{\mathbf{d}}_n \\ & + (1+\alpha)(\mathbf{K}^I\mathbf{d}_{n+1} + \mathbf{K}^E\tilde{\mathbf{d}}_{n+1}) \\ & - \alpha(\mathbf{K}^I\mathbf{d}_n + \mathbf{K}^E\tilde{\mathbf{d}}_n) \\ & = -(1+\alpha)\mathbf{M}\ddot{\mathbf{d}}_{0,n+1} + \alpha\mathbf{M}\ddot{\mathbf{d}}_{0,n} \quad (1) \end{aligned}$$

ここに、 $\mathbf{M}$ 、 $\mathbf{C}$ ：質量と減衰マトリクス、 $\mathbf{K}^I$ 、 $\mathbf{K}^E$ ：線形・非線形部分の剛性マトリクス、 α ：数値減衰パラメータ ($=-1/3$) である。 $\ddot{\mathbf{d}}$ 、 $\dot{\mathbf{d}}$ 、 $\mathbf{d}$ 、 $\tilde{\mathbf{d}}_0$ 、 $\tilde{\mathbf{d}}$ は、加速度、速度、修正変位、入力加速度、予測子変位の各ベクトルである。予測子変位 $\tilde{\mathbf{d}}$ から、各バネの復元力を求め、式(1)の修正子変位を Newmark β 法で求める²⁾。

実験に用いたはり中間部腹板は、一辺が 200mm の正方形、板厚 $t=1.35\text{mm}$ 、幅厚比 148、降伏せん断応力 $\tau_y=193\text{MPa}$ である。入力地震加速度には神戸海洋気象台で観測された兵庫県南部地震の NS 成分の最初の 30 秒間を用いた。

3. オンライン実験法による地震応答解析の結果と考察

表-1 に示すように、一層目はり中央腹板のせん断崩

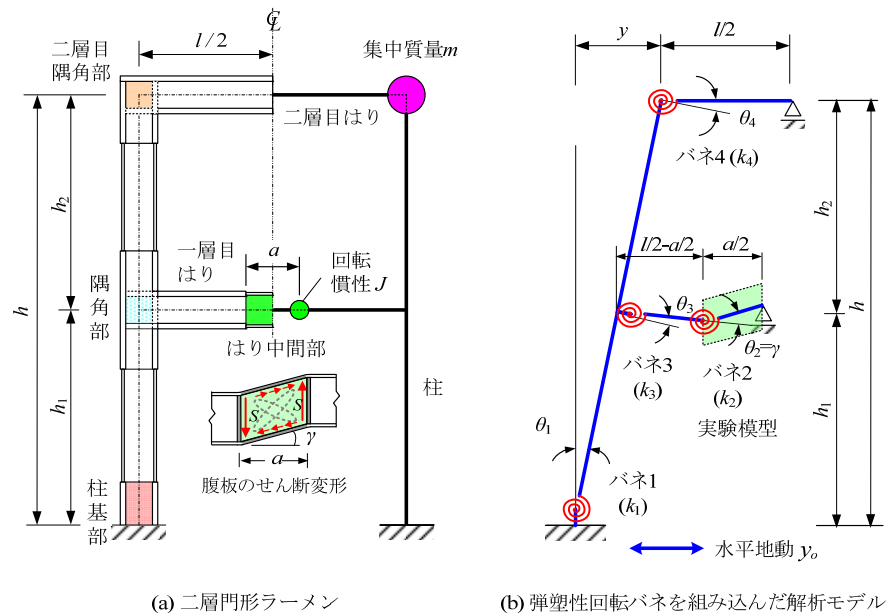


図-1 二層門形ラーメンと解析モデル

表-1 二層門形ラーメンの解析ケースと各種諸元

バネ i	弾性係数 $k_i(\text{kN}\cdot\text{m})$		モーメント耐力 $M_{ip}(\text{kN}\cdot\text{m})$	
	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
1	1.37×10^6	6.01×10^4	1.54×10^6	6.01×10^3
2	3.31×10^5	1.54×10^3	実験で評価する	
3	2.24×10^6	1.54×10^4	2.24×10^6	1.54×10^4
4	1.18×10^6	1.54×10^4	1.32×10^6	1.54×10^4

注 1) Case 1: $h=20\text{m}$, $l=10\text{m}$, $a=2\text{m}$, $R_f=1.17$, 質量 $m=2.73\times 10^6\text{kg}$, $J=10.7\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^2$, Case 4: $h=20\text{m}$, $l=10\text{m}$, $a=1\text{m}$, $R_f=1.17$, $m=3.06\times 10^6\text{kg}$, $J=4.76\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^2$ 2) 固有周期 $T_1=1\text{s}$, $T_2=0.001\text{s}$ 3) $M-\theta$ 曲線の塑性域の勾配 $\mu_1=\mu_4=0.01$ 4) バネ 3 については常に弾性状態を仮定。

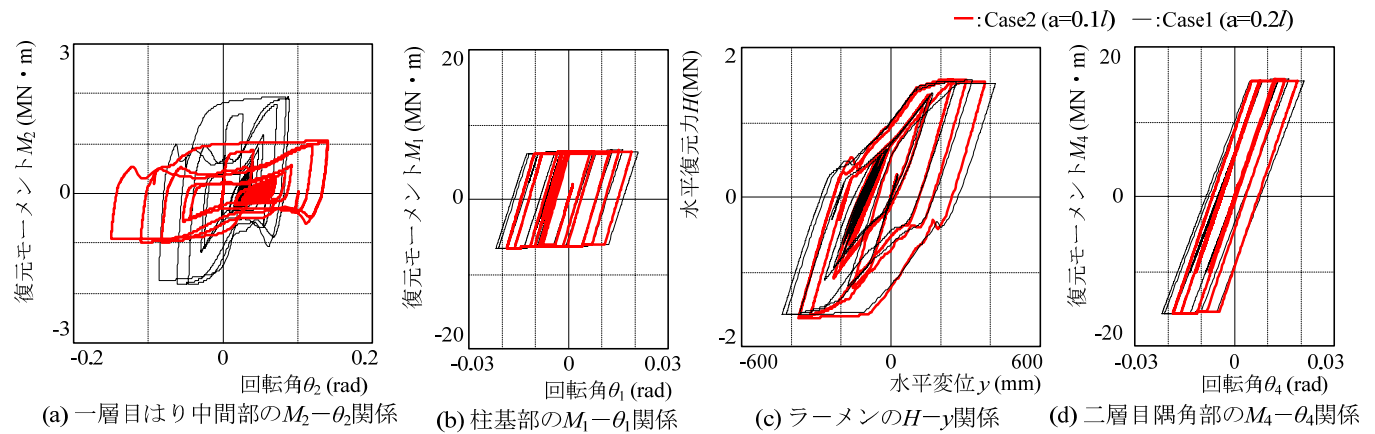


図-2 地震応答解析の結果 (その 1)

壊区間が異なる Case 1, 2 の 2 つのラーメンについて解析を行った．解析結果を図-2, 3 に比較する．また，実験終了後の供試体の状況を写真-1 に示す．

まず，せん断崩壊区間長 $a=0.1l$ の Case 2 において，一層目はり中間部の復元モーメント M_2 は， $a=0.2l$ の Case 1 の約 1/2 になっていることがわかる．すなわち，同じ地震動に対して同程度のエネルギーを消費するためには，2 倍の変形が要求されることになる．それに伴い，Case 2 の回転角 θ_2 の応答は Case 1 のその約 2 倍になり，せん断変形による損傷が著しくなっていることがわかる．また，水平復元力 H —水平変位 y ，および，柱基部と二層目隅角部のモーメント—回転角関係 ($M_1-\theta_1$, $M_4-\theta_4$) において，Case 1 のときの履歴ループは，Case 2 のときよりも若干大きくなる傾向がある．この傾向は図-3(c)に示したラーメン各部の消費エネルギーの応答に現れている．すなわち，せん断崩壊区間長が大きくなると，一層目はり中央腹板，柱基部+二層目隅角部，および，ラーメン全体の消費エネルギーは，それぞれ約 5%, 8%, および，10%大きくなっている．

4. まとめ

一層目はり腹板のせん断崩壊区間が短くなると，腹板の損傷が激しくなる．また，せん断崩壊区間が長くなると，柱基部+二層目隅角部の塑性変形が若干大きく現れ，ラーメン全体の消費エネルギーが大きくなる．本研究の実施には平成 20 年度の科学研究補助金・基盤研究(C)の補助を受けたことを付記する．

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，山田 幸，都築 禪：一層目はり中央がせん断崩壊する鋼二層門形ラーメンのオンライン実験法による地震応答解析，構造工学論文集（投稿中）．3)中島正愛，赤澤隆士，阪口 理：実験誤差制御機能を有したサブストラクチャ仮動的実験のための数値積分法，日本建築学会構造系論文集，第 454 号，pp. 61～71，1993 年 12 月．

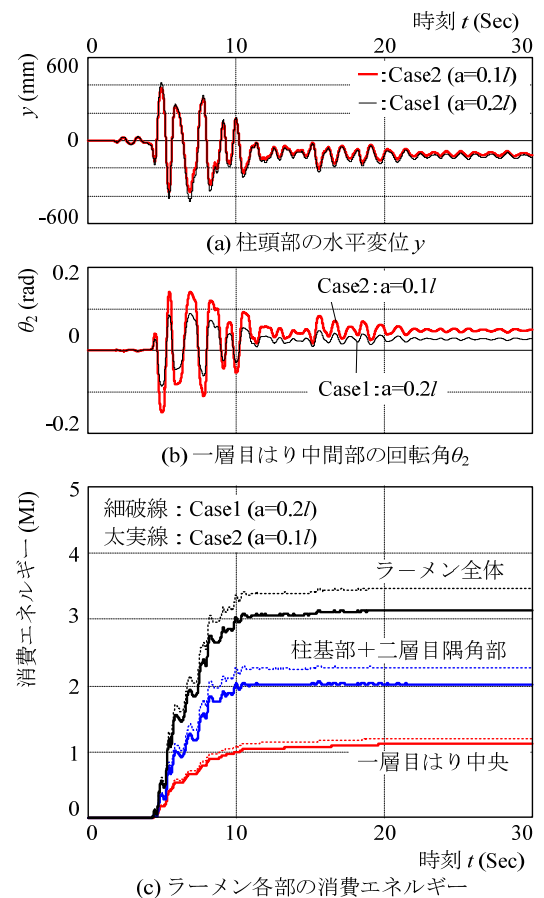


図-3 地震応答解析の結果 (その 2)

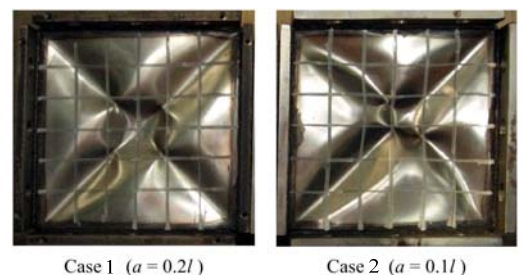


写真-1 実験終了後のはり腹板供試体