

オンライン実験法による一層鋼門形ラーメンの地震応答解析

大同工業大学 小川 将樹, 橋本 宜佳
大同工業大学 正会員 酒造 敏廣, 事口 壽男, 山田 宰

1. まえがき

筆者らは、地震時にはり中央部がせん断崩壊する鋼門形ラーメンに着目し、数値解析を行って、その非弾性地震応答性状を究明してきた^{1)~3)}。また、はり部材のせん断崩壊を忠実に追跡するために、サブストラクチャ・オンライン実験手法による解析も行って来た⁴⁾。本研究は、オンライン実験法を用いて、一層門形ラーメンに地震加速度を入力して応答解析を行い、せん断座屈を起こすはり腹板のせん断崩壊が柱基部等の損傷に及ぼす影響を調べたものである。

2. オンライン実験法による門形ラーメンの弾塑性地震応答解析

(1) 解析モデルと解析手法

せん断崩壊するはり部材を有する 1 層門形ラーメンをモデル化し、**図 1** に示す 2 自由度の逆 L 形ラーメンを解析の対象とする。柱頭部に集中質量 m 、はり中間部に回転慣性 J を仮定し、柱基部、はり中間部、および、隅角部に弾塑性回転バネ 1~3 (バネ係数 $k_1 \sim k_3$) を組み込んだ。柱基部と隅角部にはバイリニア型のモーメント M -回転角 θ 関係を仮定した。はり中間部では、せん断力 S を受ける腹板の実験³⁾から $M_2-\theta_2$ 関係を直接求めている。ここに、 $M_2=Sa/2$ 、せん断変形角 $\gamma=\theta_2$ の関係がある。

運動方程式の数値積分には、非線形の繰り返し計算を必要とせず、高次振動モードに対して数値減衰を考慮できる α -OS 法を用いた⁵⁾。水平地動加速度 a_0 が作用するとき、時刻 t_{n+1} における修正子変位ベクトル \mathbf{d}_{n+1} に関する運動方程式は、次式で与えられる。

$$\mathbf{M}\mathbf{a}_{n+1} + (1+\alpha)\mathbf{C}\mathbf{v}_{n+1} - \alpha\mathbf{C}\mathbf{v}_n + (1+\alpha)(\mathbf{K}^I\mathbf{d}_{n+1} + \mathbf{K}^E\tilde{\mathbf{d}}_{n+1}) - \alpha(\mathbf{K}^I\mathbf{d}_n + \mathbf{K}^E\tilde{\mathbf{d}}_n) = -(1+\alpha)\mathbf{M}\mathbf{a}_{0,n+1} + \alpha\mathbf{M}\mathbf{a}_{0,n} \quad \dots (1)$$

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、 \mathbf{a} 、 \mathbf{v} : 加速度と速度ベクトル、 \mathbf{d} : 修正子変位ベクトル、 $\tilde{\mathbf{d}}$: 予測子変位ベクトル、 \mathbf{a}_0 : 外力加速度ベクトル、 α : 数値減衰パラメータ (= -1/3) である。

オンライン実験模型に用いたはり中間部腹板は、一辺が 200mm の正方形の SS400 鋼板、板厚 $t=1.35\text{mm}$ 、幅厚比 148、降伏せん断応力 $\tau_y=172\text{MPa}$ 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。

(2) 解析パラメータ

本研究では、以下のパラメータを用いて解析モデルを設定した。

$$\beta_{12} = \lambda_{ck}(l/a)(M_{p2}/M_{p1}) \quad \dots (2)$$

$$\rho_b = (l/a)(M_{p2}/M_{p1})\{1+(l/a)(M_{p2}/M_{p1})\} \quad \dots (3)$$

ここに、 λ_{ck} : 弾性応答の範囲で柱基部と隅角部に発生する曲げモーメントの比 (=1.33 を設定)、 M_{p2} : はり中間部腹板の塑性モーメント (**表 1** 参照) である。

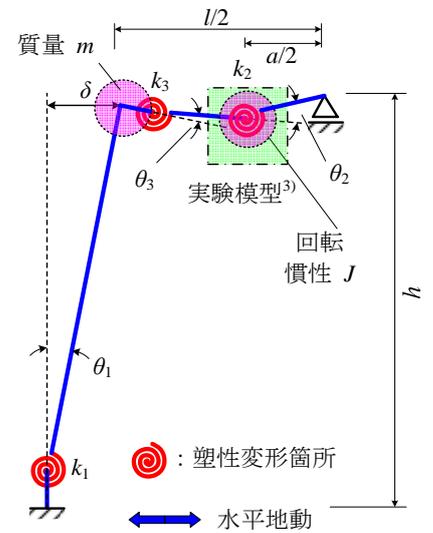


図 1 逆 L 形ラーメン

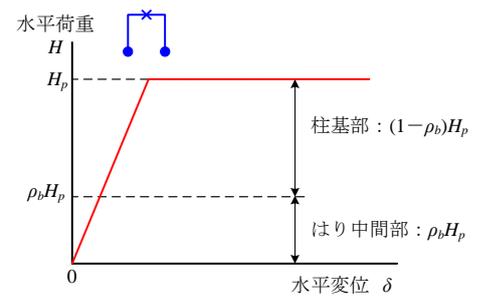


図 2 塑性崩壊荷重に対するはり中間部腹板の分担率

表 1 ラーメンの解析諸元

バネ	弾性係数 k_i (kN·m)	モーメント耐力 M_{pi} (kN·m)
1	2.29×10^8	9.17×10^4 ($\beta_{12}=0.5$)
		4.58×10^4 ($\beta_{12}=1.0$)
2	3.19×10^7	オンライン実験で評価 純数値解析: 6.68×10^3
3	2.18×10^8	7.85×10^4

注) $h=l=10\text{m}$, $a=2\text{m}$, 質量 $m=1.01 \times 10^7$ kg, $J=4.12 \times 10^{10}$ kN·m², 固有周期 $T_1=1\text{s}$, $T_2=0.02\text{s}$

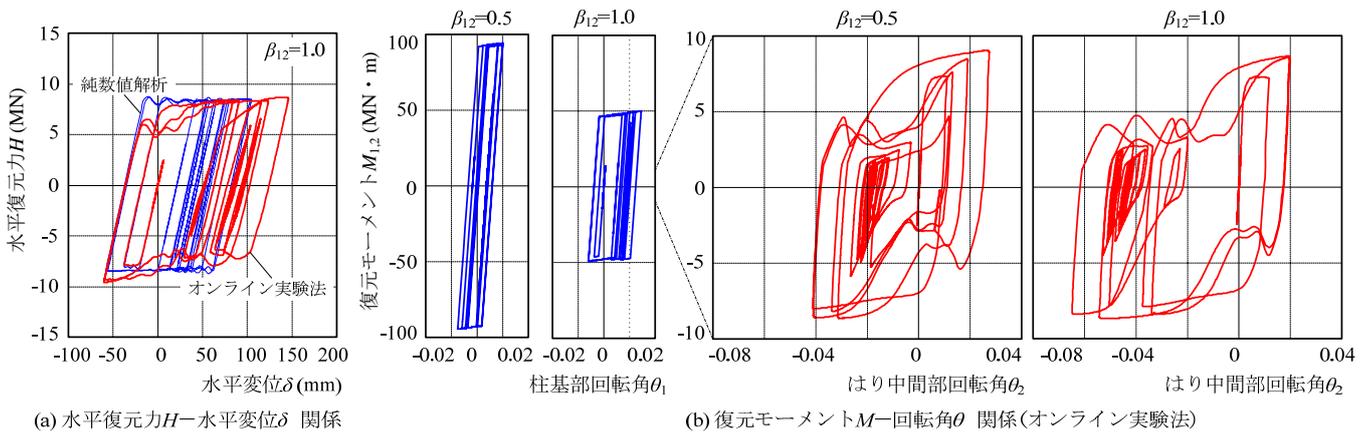


図3 水平復元力-変位関係と復元モーメント-回転角関係

式(2)は柱基部とはり中間部の塑性化順序を表し、 $\beta_{12} < 1$ のとき、はり中間部の塑性化が柱基部に先行することを意味する。式(3)は、ラーメンの塑性崩壊荷重 H_p に対するはり中間部腹板の分担率 ρ_b を表す (図2参照)。

3. オンライン実験法による応答解析の結果と考察

上記のパラメータ $\beta_{12}=1, \rho_b=0.43$ と $\beta_{12}=0.5, \rho_b=0.27$ の2ケースについて解析を行った。解析モデルの諸元を表1にまとめる。水平復元力 H -水平変位 δ 関係と柱基部、はり中間部の復元モーメント-回転角関係を図3示す。また、水平変位と各バネの消費エネルギーの時刻歴応答を図4に示す。図中には、バネ2をバイリニア $M-\theta$ 関係でモデル化した純数値解析の結果も示している。

これらの図からわかるように、解析したラーメンでは、はり腹板のせん断座屈が顕著に現れ、 $H-\delta$ 関係に影響を及ぼしている。また、はり腹板と柱基部が同時に塑性化する $\beta_{12}=1$ のとき、はり腹板の降伏が先行する $\beta_{12}=0.5$ に比べて水平変位応答が大きくなっている。全体の消費エネルギーについては、オンライン実験法と純数値解析の間で大きな違いは見られない。しかし、はり腹板の消費エネルギーは、せん断座屈の影響で純数値解析に比べて低下している。それに伴って柱基部の消費エネルギーが増加している。すなわち、損傷が大きくなっている。

4. まとめ

サブストラクチャ・オンライン実験法を用いて、一層門形ラーメンの地震応答解析を行った。はり腹板のせん断座屈が顕著になると、純数値解析の結果に比べて柱基部の損傷が大きくなる場合があることを示した。本研究の実施には平成17年度の科学研究費補助金・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, 山田 幸: 構造工学論文集, Vol.46A, pp.663~673, 2000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) 酒造敏廣, 山田 幸, 樋口直紀: 構造工学論文集, Vol.53A, pp.117~124, 2007年3月. 4)都築 禅, 酒造敏廣, 事口壽男, 山田 幸: 第62回年次学術講演会・講演概要集, I-449, 土木学会, 2007年. 5)中島正愛, 赤澤隆士, 阪口 理: 日本建築学会構造系論文集, 第454号, pp.61~71, 1993年12月.

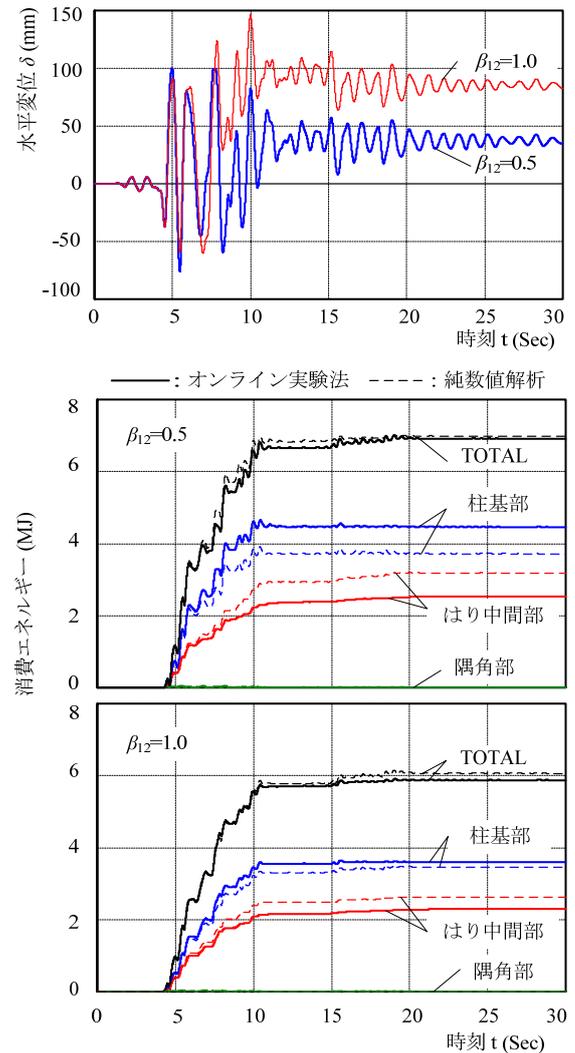


図4 水平変位と消費エネルギーの時刻歴応答