

はり中央のせん断座屈崩壊を考慮した鋼門形ラーメンの地震応答シミュレーション

大同工業大学 学生会員 篠瀬 圭介, 山田 幸
大同工業大学 正会員 酒造 敏廣

1. まえがき

地震動を受ける鋼製ラーメンのはり中央ではせん断力が卓越して、腹板がせん断座屈する場合がある。筆者らは、オンライン実験手法を適用して、このような門形ラーメンの地震応答解析を行い、はり腹板のせん断耐力の変動によるラーメン各部の塑性変形性状について考察してきた^{1),2)}。

本研究では、はり腹板を部分構造にモデル化したオンライン実験と同様の考え方により、汎用 FEM コード MARC を用いてはり腹板のせん断座屈崩壊を考慮し、一層門形ラーメンの地震応答解析を行うものである。

2. 門形ラーメンの地震応答解析法

(1) 解析モデル

門形ラーメンは、はりの曲げ変形の逆対称性を利用して、**図 1 (a)**のように骨組の剛体バネモデルに近似する。柱頭部とはり中間部には、集中質量 m と回転慣性 J を仮定している。また、MARC で解析するはり中間部は、薄肉シェル要素を用いて同図 **(b)**のようにモデル化する。

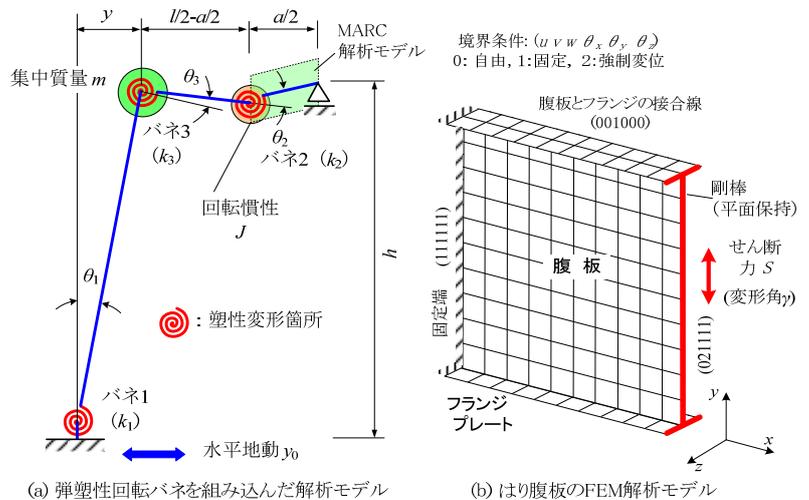


図 1 地震動を受ける一層門形ラーメンの解析モデル

(2) 時刻歴応答解析の方法

地震応答解析の数値積分法には α -OS 法³⁾を用いた。水平地動加速度 \ddot{d}_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³⁾。

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

ここに、 \mathbf{M} 、 \mathbf{C} ：質量と減衰マトリックス、 \mathbf{K}^l 、 \mathbf{K}^E ：線形・非線形部分の剛性マトリックス、 α ：数値減衰パラメータ (= -1/3)。

ラーメンの時刻歴応答解析は、MARC のユーザーサブルーチンの中で進める。予測子変位を計算する毎にはり腹板のせん断変形角に相当する変位を MARC の FEM 腹板モデルに与えて、せん断座屈崩壊する腹板の復元せん断力を計算する (**図 2** 参照)。それをユーザーサブルーチンに取り込んで、修正子変位、速度、加速度の各ベクトルを計算する。なお、MARC・バイリニアプロセスでの復元せん断力の変換は、文献 1), 2) に示した手法に従っている。

表 1 弾塑性回転バネの特性

バネ	弾性係数 k_i (kN·m)	モーメント耐力 M_{ip} (kN·m)
1	2.29×10^8	1.03×10^4
2	3.19×10^7	(MARC で解析)
3	2.18×10^8	7.84×10^6

注) $h=10\text{m}$, $l=10\text{m}$, $a=2\text{m}$, 固有周期 $T_1=1\text{s}$, $T_2=0.001\text{s}$, ヤング係数 $E=2 \times 10^5 \text{N/mm}^2$, ポアソン比 $\nu=0.3$ 。

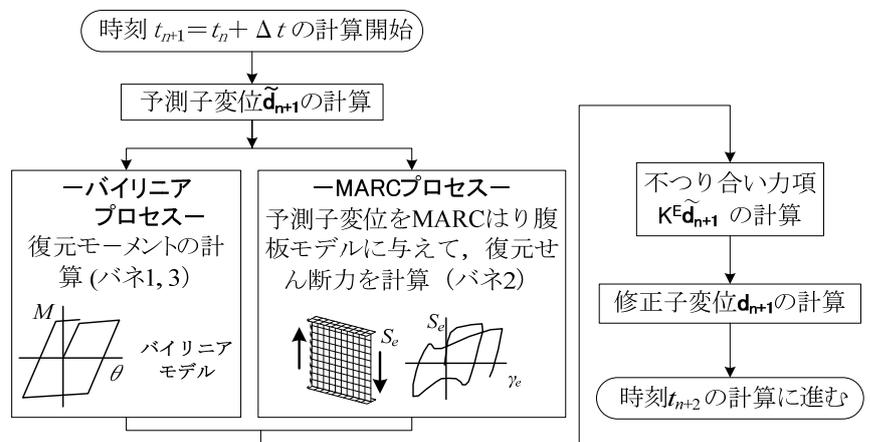


図 2 はり腹板のせん断崩壊を考慮したラーメンの地震応答解析の流れ

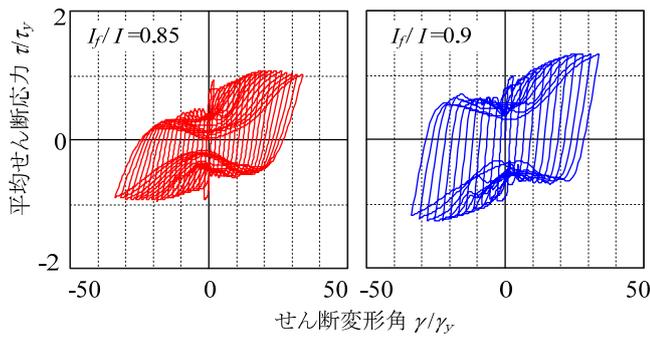


図3 腹板のせん断座屈崩壊挙動の解析例

(3) 腹板 FEM モデルの数値解析例

図1 (b)の腹板モデル(無次元幅厚比 $R_t=1.15$)のみにせん断変形角を繰り返し漸増させた解析を行った。その結果を図3に示す。フランジが分担する断面2次モーメント I_f の割合を変化させている。

この図からわかるように、 $I_f/I=0.9$ のとき、フランジが斜張力場に抵抗するため、平均せん断応力の上昇が顕著になっている。

3. 門形ラーメンの地震応答シミュレーション

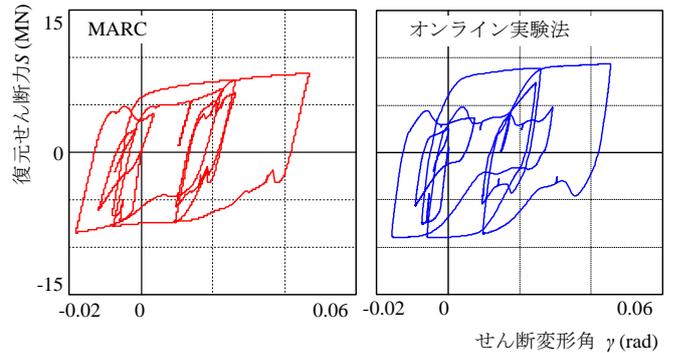
文献1), 2)のオンライン実験供試体に合わせて、腹板は、一辺が200mmの正方形(SS400, $t=1.35\text{mm}$)で、フランジ厚を大きく設定した。MARCを用いた数値解析結果とオンライン実験法の結果を図4, 5に示す。水平地動には、El-Centro波のNS成分の最初の8秒間を用いている。

これらの結果から、腹板のせん断力-せん断変形角曲線を見ると、MARC解析による抵抗せん断力の上昇は、オンライン実験法(フランジが剛)より小さくなっていることがわかる。また、MARCによる水平復元力-変位曲線、腹板のせん断変形角とせん断力の時刻歴応答は、オンライン実験法の結果と比較的よく一致していると言える。

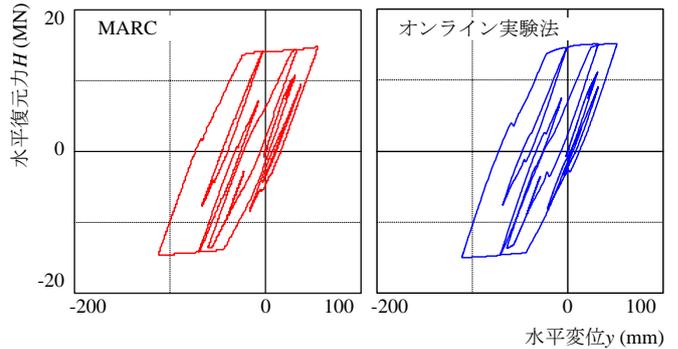
4. まとめ

はり中央腹板を部分構造のFEMモデルに置換し、オンライン実験法と同様にして、汎用ソフトMARCを用いて門形ラーメンの地震応答解析を行った。MARCによる解析の結果はオンライン実験法の結果をよく再現できていることがわかった。今後は、フランジ・プレートの剛度を変化させて、腹板の斜張力場形成時の挙動を究明していきたい。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)山田 幸, 酒造敏廣: はりがせん断崩壊する鋼一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, 土木学会論文集(投稿中)。 2)酒造敏廣, 山田 幸, 都築 禅: 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。



(a) 復元せん断力-せん断変形角関係



(b) 水平復元力-水平変位関係

図4 MARC とオンライン実験法による結果の比較

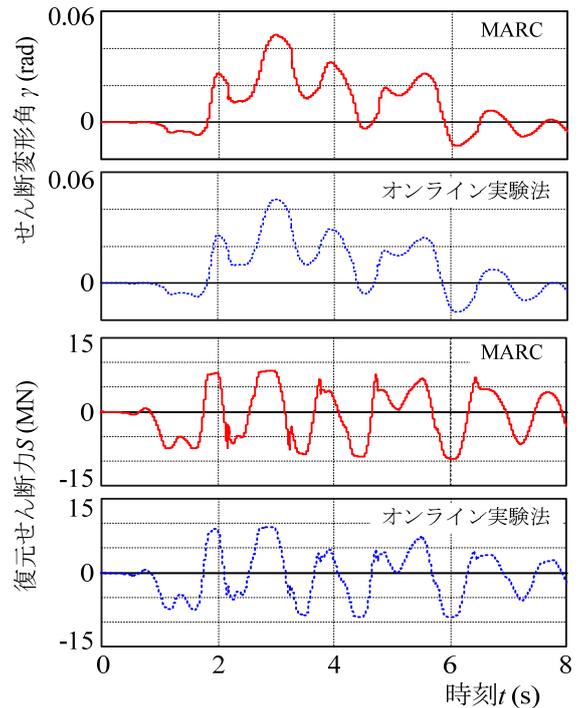


図5 復元せん断力とせん断変形角の時刻歴応答