

一層目の補剛箱形はり中央のせん断崩壊を伴う鋼二層ラーメンの地震応答解析

大同大学大学院 学生会員 ○戸田 智規 和歌山工業高等専門学校 正会員 山田 宰
 大同大学工学部 正会員 水澤 富作 神戸市立工業高等専門学校 正会員 酒造 敏廣

1. はじめに

筆者らは、サブストラクチャ・オンライン実験手法の考え方を応用して、はり中間部がせん断崩壊する鋼門形ラーメンの地震応答解析を行ってきた。そして、せん断座屈した腹板の斜め張力場によりフランジ・プレートが内側に引き込まれるとき、それがラーメンの全体挙動にどのような影響を及ぼすかを調べてきた^{1),2)}。

本研究では、フランジ・プレートが補剛された箱形はりのせん断崩壊を伴う鋼二層ラーメンの地震応答解析を行う。フランジ・プレートの縦補剛材の有無がラーメンの応答性状に及ぼす影響を考察する。

2. 二層門形ラーメンの解析モデルと地震応答解析法

まず、はり中間部がせん断座屈する二層門形ラーメンを図-1(a)に示すようにモデル化する。柱基部、一層目はり中間部、および、一、二層目隅角部には弾塑性変形する回転バネを組み込む(表-1 参照)。また、柱頭部には水平並進運動に対応する集中質量 m 、はり中間部には、運動方程式において、はり腹板のせん断変形角を陽的に表すために回転慣性 J を仮定する。MARC で弾塑性有限変位解析を行う部分構造の一層目はり中間部は、同図(b)に示す箱形断面とし、腹板、フランジ・プレート、および、縦補剛材ともに4節点の薄肉シェル要素でモデル化する。

運動方程式の数値積分法には、 α -OS 法を用いる。時刻 t_{n+1} における修正正変位ベクトル $\mathbf{d}_{n+1}$ に関する運動方程式は次式で与えられる³⁾。

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

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)、 $\mathbf{d}$ 、 $\dot{\mathbf{d}}$ 、 $\mathbf{P}$ 、 $\ddot{\mathbf{d}}_0$ 、 $\ddot{\mathbf{d}}$ ：加速度、速度、水平外力、水平地動加速度、および、予測子変位の各ベクトルである。地震応答解析は、MARC のユーザ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強制変位を MARC の FEM モデルに与え、せん断座屈崩壊するはり中間部の復元モーメントを計算する。

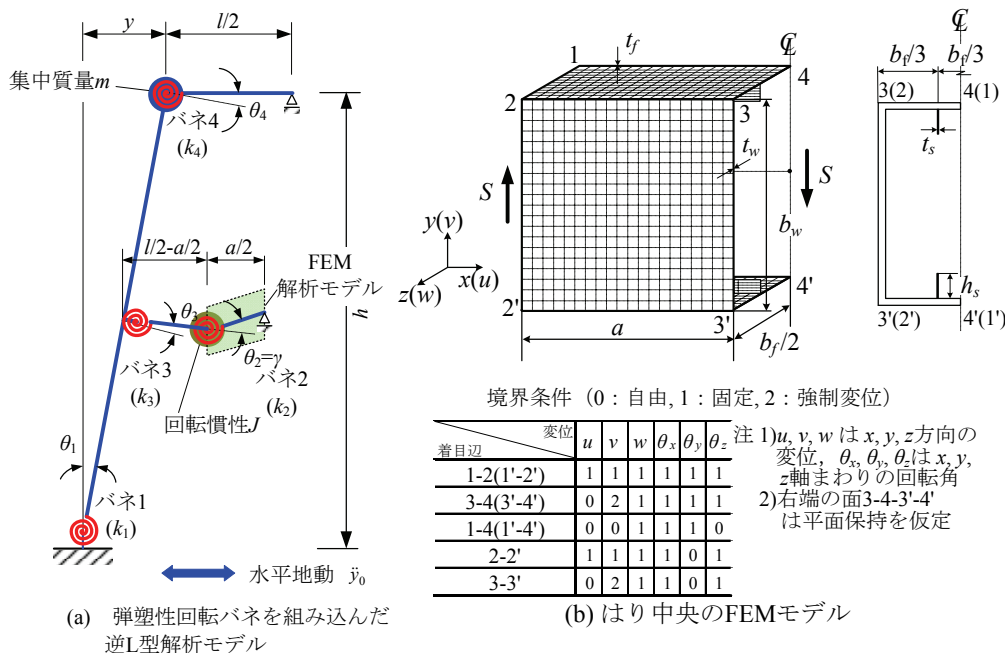


図-1 地震動を受ける鋼二層門形ラーメンの解析モデル

表-1 ラーメンの解析緒元

バネ i	弾性係数 $k_i(\text{kN}\cdot\text{m})$	塑性モーメント $M_{pi}(\text{kN}\cdot\text{m})$
1	4.18×10^6	4.88×10^4
2	1.67×10^6	MARC で解析
3	5.80×10^6	弾性状態を仮定
4	3.59×10^6	6.27×10^4

注) $m=8.33 \times 10^5 \text{ kg}$, $J=46 \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^2$
 $h=20 \text{ m}$, $l=20 \text{ m}$, $a=1.5 \text{ m}$,
 固有周期 $T_1=1 \text{ s}$, $T_2=0.001 \text{ s}$

表-2 箱形はり中央の寸法諸元

部材	幅・高さ $b(\text{mm})$	板厚 $t(\text{mm})$	無次元 幅厚比 R
腹板	1500	11.5	1.35
フランジ	1500	15	0.70
縦補剛材	139	25	0.35

注) ヤング係数 $E=2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, ポアソン比 $\nu=0.3$, 降伏点 $\sigma_y=315 \text{ MPa}$, せん断降伏点 $\tau_y=182 \text{ MPa}$

キーワード はりのせん断崩壊, 門形ラーメン, 地震応答解析, FEM, 仮動的解析

連絡先 〒457-8532 愛知県名古屋市長区白水町 40 TEL:052-612-5571 FAX:052-612-5953

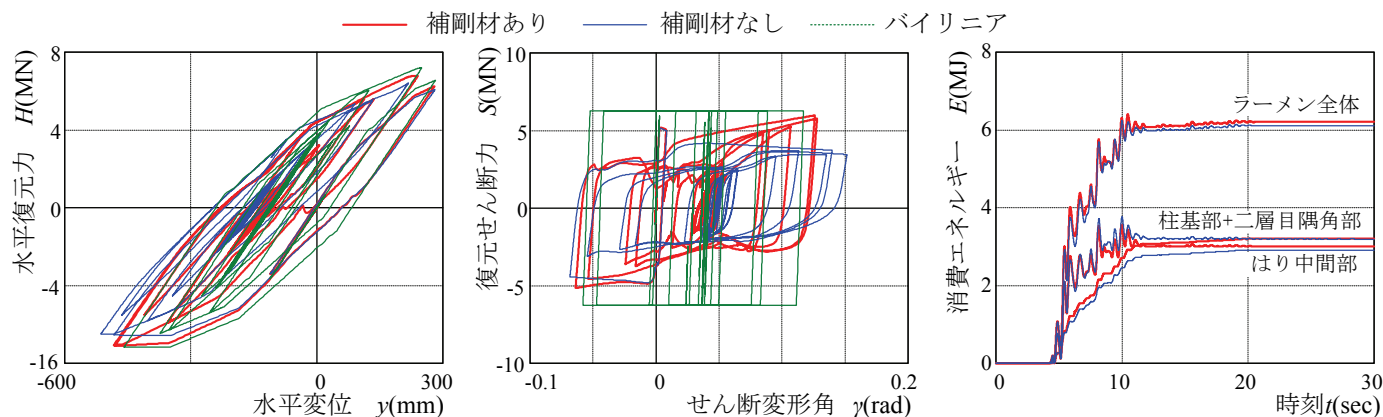
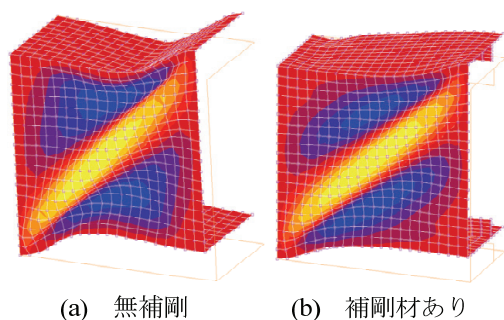
図-2 H - y 曲線, S - γ 曲線, および, 履歴エネルギーの時刻歴応答

図-3 腹板の変形状況

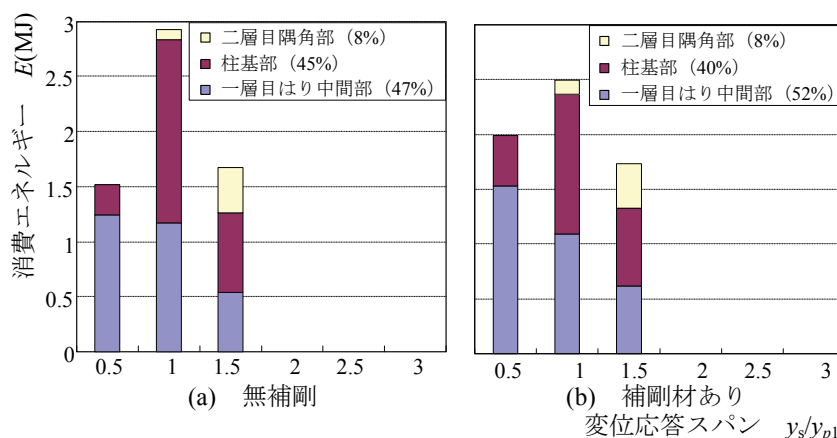


図-4 ラーメン各部のエネルギー分担率

3. 解析結果の比較と考察

表-1, 2 の諸元を用いて, ラーメンの地震応答解析を行った. MARC を用いた数値解析結果とはり部材に座屈を考慮しないバイリニア解析の結果を図-2に比較する. 前者については, 腹板の変形状況を図-3に示す. また, 各部の履歴エネルギー分担率を図-4に示す. 図中の y_s は, 復元力 H - 変位 y 関係における変位反転点間での残留変位であり, 柱基部の降伏変位 y_{p1} で無次元化している.

これらの結果から, フランジ・プレートを補剛した場合は, 斜め張力場発生により, 無補剛の場合に比べて, 抵抗せん断力が上昇し, 水平変位の最大応答値も若干減少していることがわかる. また, 履歴エネルギーの時刻歴応答, および, 各部のエネルギー分担率を見ると, フランジ・プレートを補剛すると, 比較的小さい変位応答スパンの発現頻度が高くなり, はり中間部での消費エネルギーが増加している.

つぎに, フランジ・プレートと腹板の変形の時刻歴応答を図-5に示す. この結果から, フランジの軸方向変位, および, 腹板の凹み量は, フランジを補剛するとかなり抑えられることがわかる.

4. まとめ

汎用 FEM 解析ソフト MARC を用いて, 補剛箱形はり部材を持つ鋼二層門形ラーメンの地震応答解析を行った. フランジ・プレートを補剛することにより, はり中央のせん断耐力の低下が抑えられていることを確かめた. なお, 本研究の実施には平成 20~21 年度科学研究補助金・基盤研究(C)の補助を受けたことを付記する.

参考文献 1)戸田, 篠瀬, 山田, 酒造: 土木学会, 第 64 回年次学術講演会概要集, pp1~2, 2009 年 9 月. 2)戸田, 山田, 酒造: 土木学会中部支部研究発表会, 講演概要集 I-33, 2010 年 3 月. 3)中島, 赤澤, 阪口: 日本建築学会構造系論文集, 第 454 号, pp61~71, 1993 年 12 月.

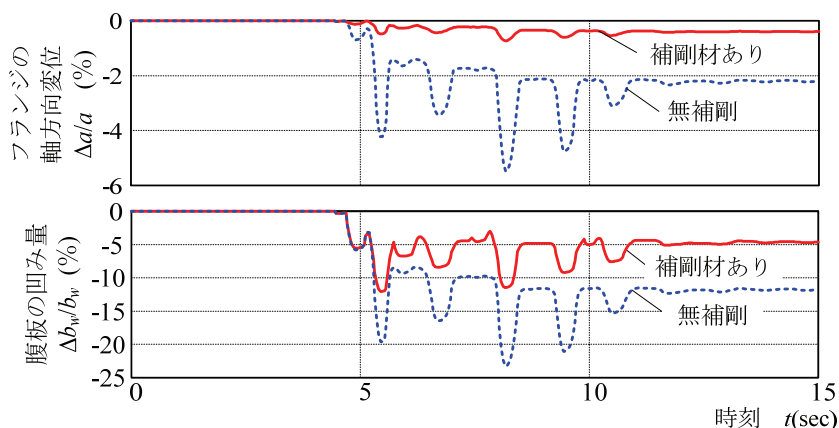


図-5 フランジと腹板の変形の時刻歴応答