

一層目はり中央のせん断座屈崩壊を考慮した鋼二層門形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 藤コンサル(株) 正会員 篠瀬圭介
和歌山工業高等専門学校 正会員 山田 宰 大同大学 正会員 酒造敏廣

1. まえがき

筆者らは、これまでに、数値解析と実験を組み合わせたオンライン実験法により、鋼製ラーメンの地震応答解析を行ってきた^{1),2)}。その際、運動方程式の数値積分に予測子-修正子法³⁾を応用した α -OS法⁴⁾を用いると、部分構造の載荷実験プロセスは、非線形構造解析ソフト等を用いて、静的な弾塑性有限変位解析プロセスに容易に置換できることを述べた⁵⁾。
この種の解析法は、着目する部分構造をより精巧にモデル化できる点で、今後検討していく価値があると考えている。

本研究は、非線形構造解析ソルバー Marc (以下、MARC と略す) を用いて、一層目はり中央がせん断座屈する二層ラーメンの地震応答解析を行うものである。

2. 二層門形ラーメンの地震応答解析法

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)のような剛体・回転バネモデルに近似する。柱頭部に集中質量 m 、一層目はり中間部に回転慣性 J を仮定する。一層目はり中間部は、薄肉シェル要素を用いて MARC で弾塑性有限変位解析 (EPFDA プロセス) を行う⁵⁾。その FEM 解析モデルと境界条件を図-1(b)に示す

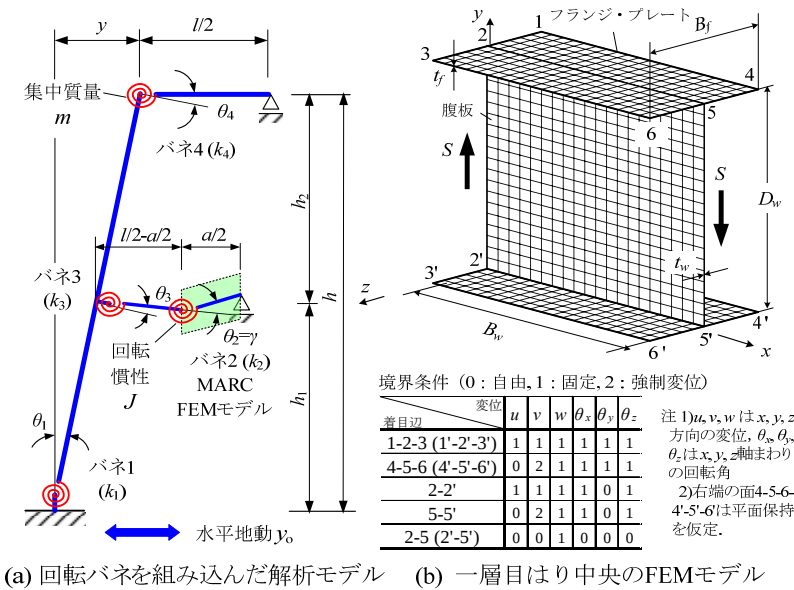


図-1 地震動を受ける二層門形ラーメンの解析モデル

時刻 t_{n+1} における変位ベクトル $\mathbf{d}_{n+1} = \{y_{n+1} \ \theta_{2,n+1}\}^T$ に関する α -OS 法⁴⁾ の運動方程式は次式で表される。

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

ここに、 $\mathbf{M}$ 、 $\mathbf{C}$: 質量と減衰マトリックス、 $\mathbf{K}^I$ 、 $\mathbf{K}^E$: 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)、 $\ddot{\mathbf{d}}$ 、 $\dot{\mathbf{d}}$ 、 $\mathbf{d}_0$ 、 $\tilde{\mathbf{d}}$: 加速度、速度、水平地動加速度、および、予測子変位の各ベクトルである。

ラーメンの時刻歴応答解析は、

表-1 二層ラーメンの解析諸元

バネ i	弾性係数 k_i (kN・m)	塑性モーメント M_{pi} (kN・m)
1	1.35×10^6	1.18×10^4
2	3.26×10^5	(MARC で解析)
3	2.21×10^6	7.56×10^3
4	1.16×10^6	1.51×10^4

注) $h=20\text{m}$, $l=10\text{m}$, $a=2\text{m}$, 固有周期 $T_1=1\text{s}$, $T_2=0.001\text{s}$, 減衰定数 5%, ヤング係数 $E=2.06 \times 10^5 \text{N/mm}^2$, ポアソン比 $\nu=0.3$.

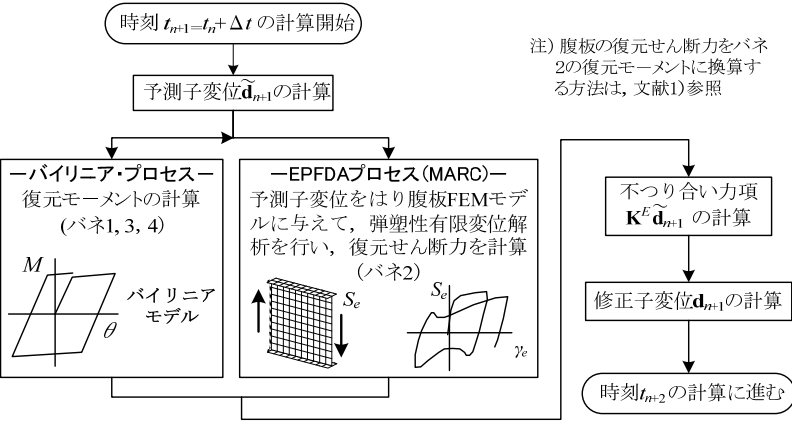


図-2 弾塑性有限変位解析 (EPFDA) のプロセスを含む応答解析

キーワード はりのせん断崩壊, 二層門形ラーメン, 地震応答解析, α -OS 法

連絡先 〒457-8532 名古屋市南区白水町 40 TEL 052-612-5571 FAX 052-612-5953

MARC のユーザーサブルーチンの中で進める．予測変位を計算する毎にはり腹板のせん断変形角 γ に相当する変位を MARC の FEM 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 S を計算する（図-2 参照）^{1), 2)}．

3. 地震応答解析の結果と考察

一層目はり中央の平均せん断応力 τ —せん断変形角 γ 関係は，文献 1), 2) のオンライン実験に合わせて，一辺が 200mm の正方形腹板（1.35mm 厚，SS400）を持つ I 形断面のそれで近似できるものとした（図-1 (b) 参照）．I 形断面全体とフランジ・プレートの断面 2 次モーメントを I , I_f とし， $I_f/I=0.75$, 0.95 の 2 ケースを解析した．ラーメンの諸元を表-1 にまとめる．水平地動には，兵庫県南部地震・神戸海洋気象台観測波 (NS 成分) の最初の 30 秒間を用いた．

MARC を用いた数値解析とバイリニア解析（完全弾塑性の $M_2-\theta_2$ 関係を仮定）の結果を図-3 に比較し，履歴エネルギーの時刻歴応答を図-4 に示す．また，時刻 $t=8\text{sec}$ のときの腹板の変形状況を図-5 に示す．

これらの結果から，フランジ・プレートが小さい $I_f/I=0.75$ のとき，一層目はり中央の $S-\gamma$ 曲線の履歴ループでは，せん断座屈に起因した復元せん断力の低下が大きいことがわかる．一方， $I_f/I=0.95$ の結果では，斜張力場発生による抵抗せん断力の上昇が顕著になっている．水平復元力 H —水平変位 y 曲線では， $I_f/I=0.75$ のときに，はり腹板のせん断座屈の影響が現れている． $I_f/I=0.95$ のときは，バイリニア解析結果と比較的よく一致し，フランジ・プレートは腹板の斜張力場のアンカーの役割を果たしていると言える．また，全体の履歴エネルギーは， I_f/I の値によって大きな違いは見られない．しかし，一層目はり中間部の履歴エネルギーは， $I_f/I=0.75$ のとき，せん断座屈の影響で， $I_f/I=0.95$ に比べて約 15% 低下している．

4. まとめ

一層目はり中央を部分構造の FEM モデルに置換し，オンライン実験手法に準じて，二層門形ラーメンの地震応答解析を行った．本研究の実施には平成 20 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)山田，酒造：土木学会論文集（掲載予定）． 2)酒造，山田，都築：土木学会構造工学論文集，Vol.55A，pp.525～536，2009 年 3 月． 3)Hughes, T.J.R. and Liu, W.K.: Journal of Applied Mechanics, Vol.45, pp.371～374, June 1978. 4)中島，赤澤，阪口：日本建築学会構造系論文集，第 454 号，pp.61～71，1993 年 12 月． 5)山田，篠瀬，酒造：第 12 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，pp.231～238，2009 年 1 月．

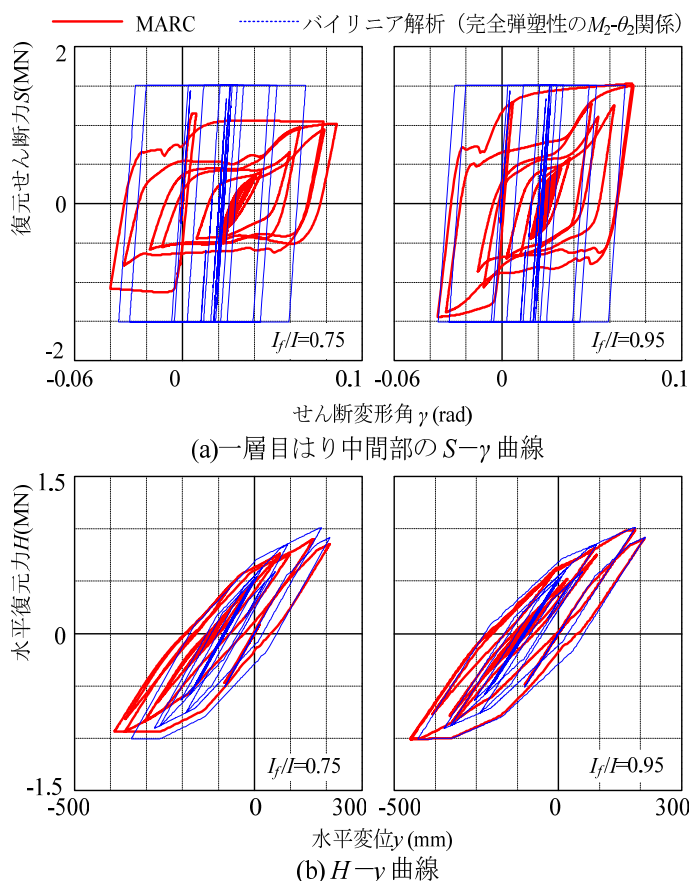


図-3 一層目はり中央部のせん断座屈を考慮した解析結果

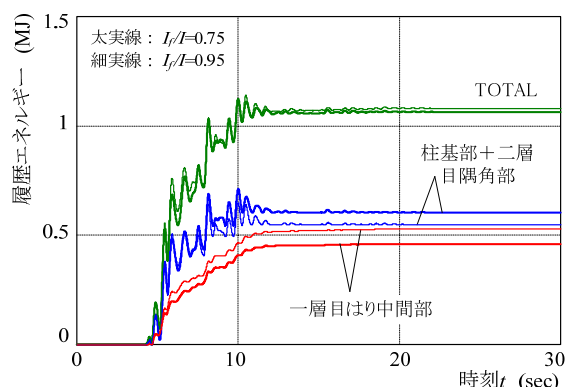


図-4 各部の履歴エネルギーの時刻歴応答

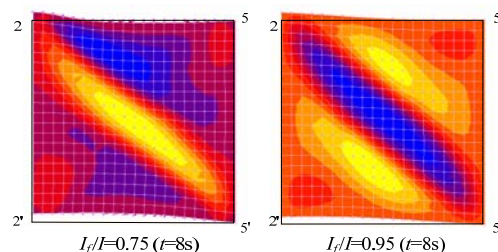


図-5 腹板の変形状況