

箱形はり中央のせん断座屈を考慮した鋼一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
 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

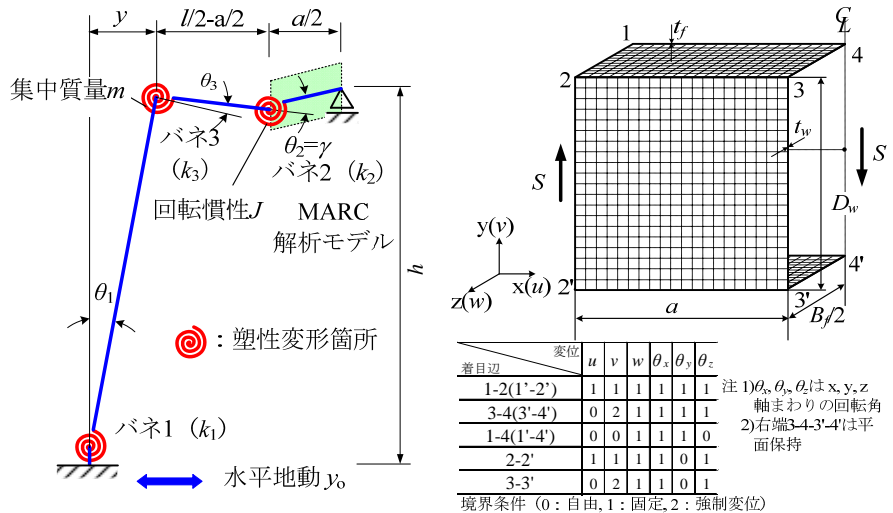
筆者らは、サブストラクチャ・オンライン実験手法の考え方を応用し、はり中間部を部分構造の FEM モデルに置き換えて、はり中央がせん断座屈する鋼製ラーメンの地震応答解析を行ってきた^{1),2)}。そして、はり中央のフランジ・プレートの剛性に着目し、斜め張力場を形成する腹板の弾塑性性状を考察した²⁾。

本研究は、はり崩壊型鋼製ラーメンの地震応答性状を明らかにするために、はり中間部に箱形断面を想定し、文献 2)の解析手法に基づき、非線形構造解析ソルバー Marc を用いて、一層門形ラーメンの地震応答解析を行うものである。

2. 一層門形ラーメンの解析モデルと地震応答解析法

門形ラーメンの解析モデルとはり中間部の FEM モデルを図-1 に示す。門形ラーメンは、はりの曲げ変形の逆対称性を利用して同図(a)に示すように逆 L 型ラーメンにモデル化し、柱基部、はり中間部、隅角部に弾塑性変形する回転バネを組み込んでいる (表-1 参照)。また、柱頭部にラーメンの水平並進運動に対応する集中質量 m を仮定し、かつ、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、はり中間部に回転慣性 J を仮定している¹⁾。はり中間部のバネ 2 は、同図(b)のように薄肉シェル要素でモデル化し、MARC で弾塑性有限変位解析を行う。なお、はり中央部は、変形挙動がフランジ中央で対称になることを利用してモデル化している。

本研究では、運動方程式の数値積分法として α -OS 法を用いた³⁾。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 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-2 参照)。



(a) 弾塑性回転バネを組み込んだ解析モデル (b) はり中央の FEM モデル
 図-1 地震動を受ける一層門形ラーメンの解析モデル

表-1 一層ラーメンの解析諸元

バネ	弾性係数	塑性モーメント
i	$k_i(\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_{pi}(\text{kN} \cdot \text{m})$
1	2.13×10^7	9.45×10^4
2	1.86×10^6	(MARC で解析)
3	1.57×10^7	7.09×10^4

注) $m=8.72 \times 10^6 \text{kg}$, $J=56 \text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$, $h=10\text{m}$, $l=10\text{m}$, $a=1.5\text{m}$, 固有周期 $T_1=1\text{s}$, $T_2=0.001\text{s}$, 減衰係数 5%

表-2 FEM モデルの寸法等緒元

Case	$t_w(\text{mm})$	$t_f(\text{mm})$	R_r	R_f
1	11.5	11.5	1.35	2.7
2		15		2.1
3		45		0.7

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 $\sigma_y=315 \text{MPa}$ 。

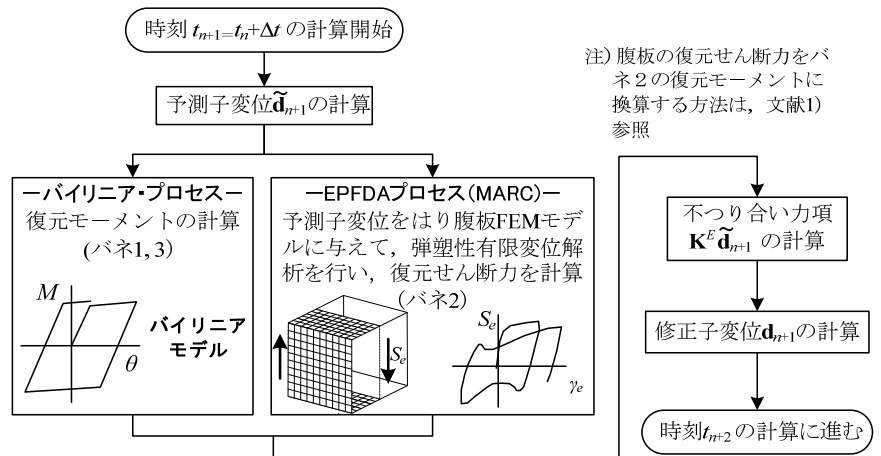


図-2 α -OS 法による時刻歴応答解析の手順

3. 解析結果と考察

腹板寸法を一定（無次元幅厚比 $R_f=1.35$ ）にして，フランジ板厚による腹板のせん断座屈挙動の変動に着目して解析を行った．入力地震加速度には，兵庫県南部地震の神戸海洋気象台観測波の NS 成分の最初の 30 秒間を用いた．

バネ 2 に完全弾塑性の $M-\theta$ 関係を用いた結果（バイリニア解析）と MARC を用いた結果を **図-3** に比較する．また，はり中央の変形状況を **図-4** に示す．さらに，水平変位の応答スパン y_s/y_{r1} による柱基部とはり中間部の消費エネルギー分担率の変動を **図-5** に示す．ここに， y_{r1} は柱基部の水平降伏変位である．

まず，**図-3** からわかるように，いずれの場合も，せん断耐力の変動が大きくなっている．それに伴い，ラーメン全体の水平復元力 H が低下している．また，**図-4** から，フランジ板厚が小さくなると，斜め張力場形成時により，フランジ・プレートが大きく引き込まれていることがわかる．しかし，Case 1~3 において， $H-y$ 曲線の差異は比較的小さい．

つぎに，**図-5** からわかるように，ラーメン全体の履歴エネルギーには，フランジ板厚による違いはほとんど現れていない．はり中間部のエネルギー分担率は，フランジ板厚が小さくなるに従って減少し，それに対応して柱基部の分担率が大きくなっている．

4. まとめ

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，一層門形ラーメンの地震応答解析を行った．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)山田 幸，酒造敏廣：土木学会論文集 A, Vol65, No2, pp348~361, 2009 年 4 月． 2)山田 幸，篠瀬圭介，酒造敏廣：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, pp231~238, 2009 年 1 月． 3)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, pp61~71, 1993 年 12 月．

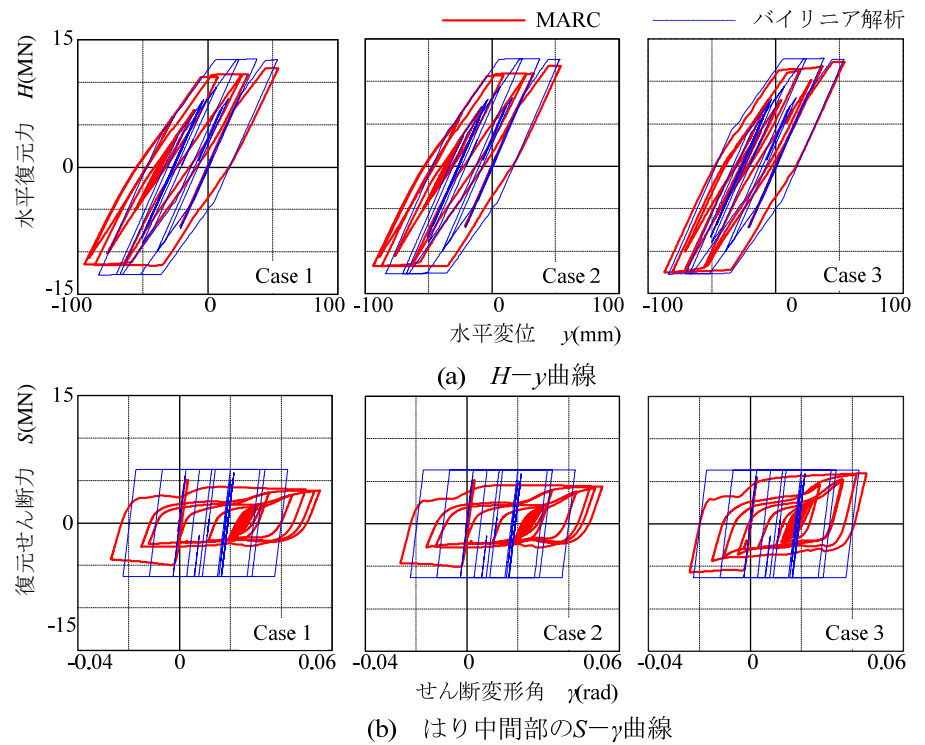


図-3 はり中央のせん断座屈崩壊を考慮した地震応答解析の結果

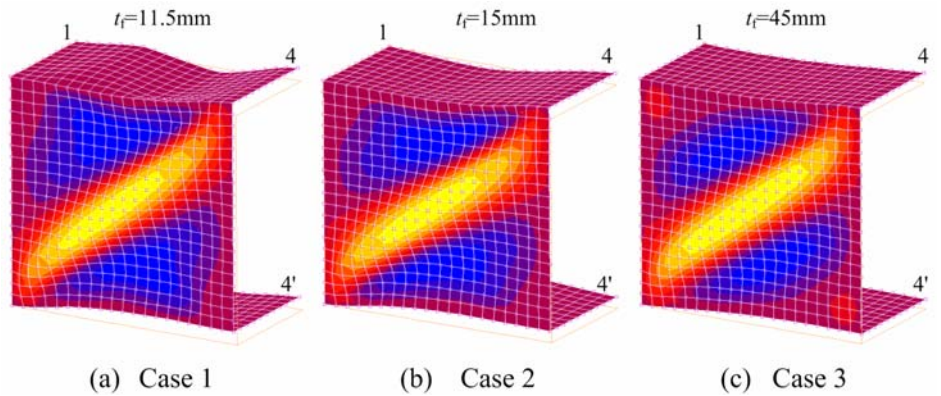


図-4 腹板の変形状況($t=5.5s$)

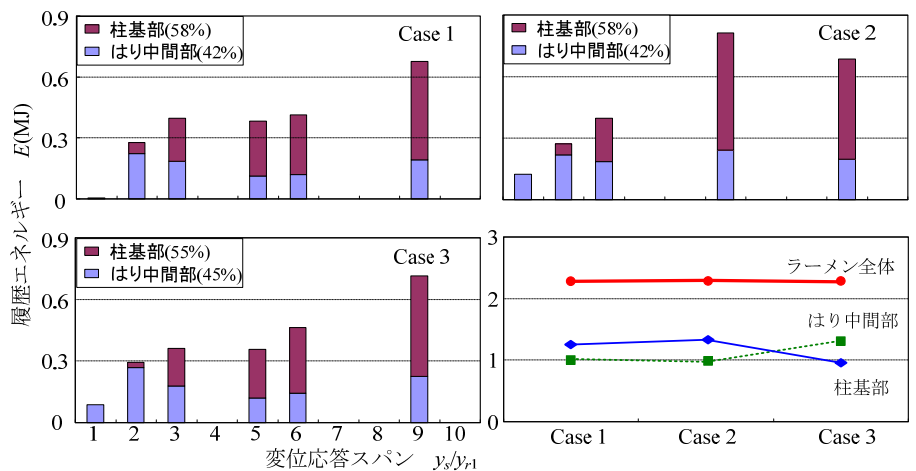


図-5 履歴エネルギーの分担率