

# 鋼構造立体ラーメン骨組の倒壊挙動を把握するための解析モデルに関する研究 (その1 局部座屈による耐力劣化を考慮した柱の Multi-Spring モデル)

## 1.はじめに

E ディフェンスで実施された鋼構造実大4層骨組振動実験における倒壊挙動を表現するために、高精度に解析できる統合化構造解析システム<sup>1)</sup>が提案されている。同システムによる解析は、高精度を達成できる代わりに解析自由度が非常に多く、扱いにくいというデメリットがあった。一方、汎用解析ソフトを用いて、簡便な立体解析モデルを用いて倒壊挙動を表現する試みもある<sup>2)</sup>。建物全体倒壊を把握するためには、各部材について耐力劣化を表現できる解析モデルによって建物の地震時の挙動を検証する必要がある。その1では柱について検証する。

局部座屈を伴う箱型断面の荷重-変形関係のモデル化については、加藤<sup>3)</sup>、山田ら<sup>4)</sup>の研究がある。溶接組立・プレス成形・ロール成形の製造方法の異なる鋼材について、応力度-歪関係をモデル化している。本論その1では、山田らの応力度-歪関係モデルとバウジニング効果を考慮できる大井らの履歴則<sup>5)</sup>を組み合わせた Multi-Spring 要素を用いた解析モデルと実験値との比較を行う。

## 2.柱のモデル

柱の塑性ヒンジ部分を Multi-Spring モデルを使ってモデル化する(図1参照)。文献3)、4)の応力度-歪関係を採用すると、圧縮側の復元力特性は図2に示すように5折れ線でモデル化できる。その5折れ線のパラメータの求め方を表1に示す。第1折れ点を降伏点( $\sigma_y$ )、第2折れ点を最大耐力点( $S\sigma_y$ )、第3折れ点を劣化第一勾配と劣化第二勾配の遷移点( $T\sigma_y$ )、第4折れ点を劣化第二勾配と劣化第三勾配の遷移点( $T_2\sigma_y$ )の5折れ線とする。幅厚比と材料強度が分かればこの5折れ線を求めることができる。引張側の復元力特性は、引張強さまでの二次剛性比を0.01とする。三次勾配は、初期剛性に対

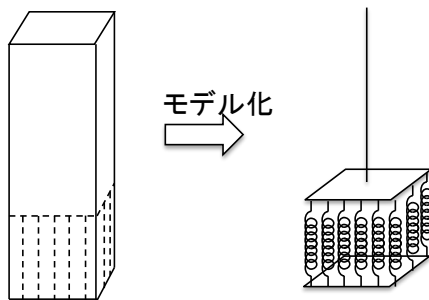


図1 Multi-spring モデル

して0.001とする。履歴則は、バウジニング効果を考慮した大井らの履歴則とする。変位軸に沿って平行移動する塑性変形量の係数を表すパラメータ $\Psi$ は0.5にし、RO関数で表される履歴部分の丸みを表すパラメータ $\gamma$ を5.0とする。解析プログラムはSNAPver.7を用いる。

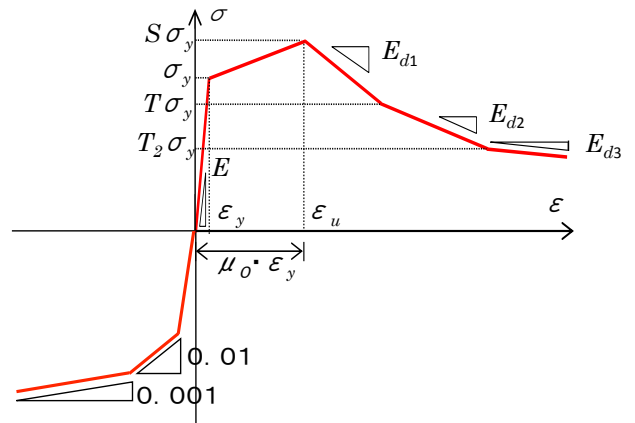


図2  $\sigma$ - $\epsilon$  関係のモデル化

表1 応力-歪関係の圧縮側5折れ線の諸元

局部座屈長さ領域の長さ $L_B=0.8L_S$	溶接組立	$L_S=B(14.3 \leq B/t \leq 50)$
	プレス成形	$L_S=B(16 \leq B/t \leq 50)$
	ロール成形	$L_S=B(26 \leq B/t \leq 54.7)$
塑性率 $\mu_0$ と $\alpha$ の関係 $\alpha$ : 基準化幅厚比 $\alpha = \epsilon_y(B/t)^2$	溶接組立	$\mu_0=16.0/\alpha-12.7(3.01 \geq 1/\alpha \geq 1.09)$ $\mu_0=4.8/\alpha-0.52(1.09 > 1/\alpha \geq 0.23)$
	プレス成形	$\mu_0=17.4/\alpha-9.6(2.51 \geq 1/\alpha \geq 0.72)$ $\mu_0=4.8/\alpha-0.52(0.72 > 1/\alpha \geq 0.23)$
	ロール成形	$\mu_0=8.7/\alpha-1.20(2.62 \geq 1/\alpha \geq 0.19)$
劣化第一勾配 $E_{d1}$	溶接組立	$E_{d1}/E=-0.014\alpha^2-0.005$ ( $3.14 \geq \alpha \geq 0.33$ )
	プレス成形	
	ロール成形	
劣化第二勾配 $E_{d2}$	溶接組立	$E_{d2}/E=-0.005$ ( $3.70 \geq \alpha \geq 0.62$ )
	プレス成形	
	ロール成形	
劣化第三勾配 $E_{d3}$	溶接組立	$E_{d3}/E=-0.001$
	プレス成形	
	ロール成形	
最大耐力点の応力上昇率 $S$	溶接組立	$1/S=0.710+0.167\alpha^2$
	プレス成形	
	ロール成形	
$T/S$	溶接組立	$T/S=-0.079\alpha+0.81$ ( $3.70 \geq \alpha \geq 0.62$ )
	プレス成形	
	ロール成形	
$T_2/S$	溶接組立	$T_2/T=0.9$
	プレス成形	
	ロール成形	

### 3. 実験結果と解析結果の比較

比較する実験は文献6)の結果を用いる。柱はいずれも外径  $B=300\text{mm}$  で、柱の部材長さは  $1640\text{mm}$  である。軸力比は  $0$  または  $0.25$  である。鋼材の製造方法は溶接組立・冷間プレス成形・冷間ロール成形の3種類であり、幅厚比は  $B/t=33$  (板厚  $t=9$ )、 $B/t=25$  (板厚  $t=12$ )、 $B/t=19$  (板厚  $t=16$ ) の3種類である。解析モデルは柱脚を固定端とし柱頭を自由端としている。荷重方法は単調荷重と繰返し荷重が行われている。

材端モーメント  $M$ —部材回転角  $\theta$  関係の解析値と実験値との比較を図3に示す。幅厚比が小さいと最大耐力の差が大きくなる場合もあるが、概ね評価できている。山田らの応力-歪関係モデルについては中心軸圧縮試験の結果に基づいており全断面が局部座屈する。しかし、曲げモーメントが作用すると引張応力を受ける断面が局部座屈を拘束するので異なる性状を示すと考えられる。そこで、より精度の高いモデル化を行う方法について検討する。最大耐力点の応力上昇率  $S$  を  $1.1$  倍、 $1.2$  倍、 $1.3$  倍、 $1.4$  倍しそれぞれ実験結果と比較した。最大耐力点の応力上昇率  $S$  を  $1.3$  倍したとき最大耐力点の実験値に最も近くなった。最終勾配が大きくずれていることから最大耐力点の応力上昇率  $S$  を  $1.3$  倍したまま  $E_{d3}/E=-0.003$  に調整した際の実験値との比較を図4に示す。解析値と実験値の対応が改善されたことがわかる。

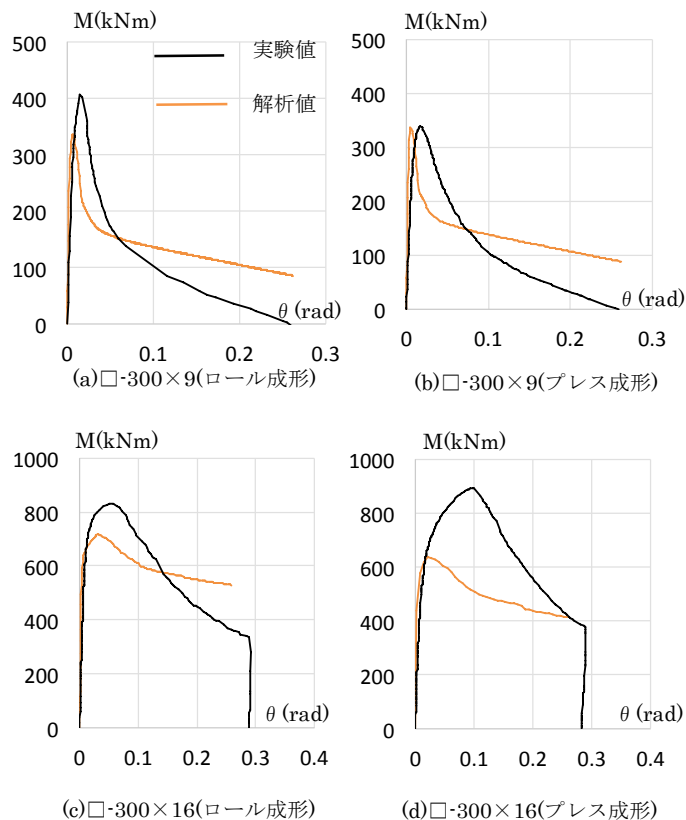


図3 実験値と解析値の比較  
( $S$ ,  $E_{d3}/E$  の数値変更なし)

### 4. まとめ

既往の研究に基づいて角形鋼管柱を Multi-spring モデルで表現した解析結果と大変形域荷重実験の結果を比較・検証したところ、最大耐力点  $S$  を  $1.3$  倍し大きくすることと劣化第三勾配  $E_{d3}/E$  を  $-0.003$  にすることで実験値に近づけることができた。ただし、まだ改善の余地は残されており、履歴則で用いられるパラメータ  $\Psi$ ,  $\gamma$  についても調整が必要なため今後の課題としたい。

#### 参考文献

- 1) 森前直樹, 向出静司, 多田元英: 様々な地震動に対する鋼構造立体ラーメンの倒壊性状比較, 日本建築学会講演梗概集, pp.1027-1028, 2014.9
- 2) 片岡大, 田中俊輔など: 部材の耐力劣化を考慮した鋼構造骨組の地震応答解析(その1~その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 分冊, pp.1031-1034, 2014.9
- 3) 山田哲, 石田孝徳, 島田侑子: 局部座屈を伴う角形鋼管柱の劣化域における履歴モデル, 日本建築学会構造系論文集, 第674号, pp.627-636, 2012.4
- 4) 加藤勉: 閉断面部材の局部座屈と変形能力, 日本建築学会構造系論文集, 第387号, pp.27-36, 1987.8
- 5) 孟令樺, 大井謙一, 高梨晃一: 鉄骨骨組地震応答解析のための耐力劣化を伴う簡易部材モデル, 日本建築学会構造系論文報告集, 第437号, pp.115-124, 1992.7
- 6) 向出静司, 奥伸之, 松尾克也, 多田元英: 製造方法が異なる箱形断面柱の大変形域荷重実験, 鋼構造論文集, 第23巻, 第90号, pp.51-64, 2016.6

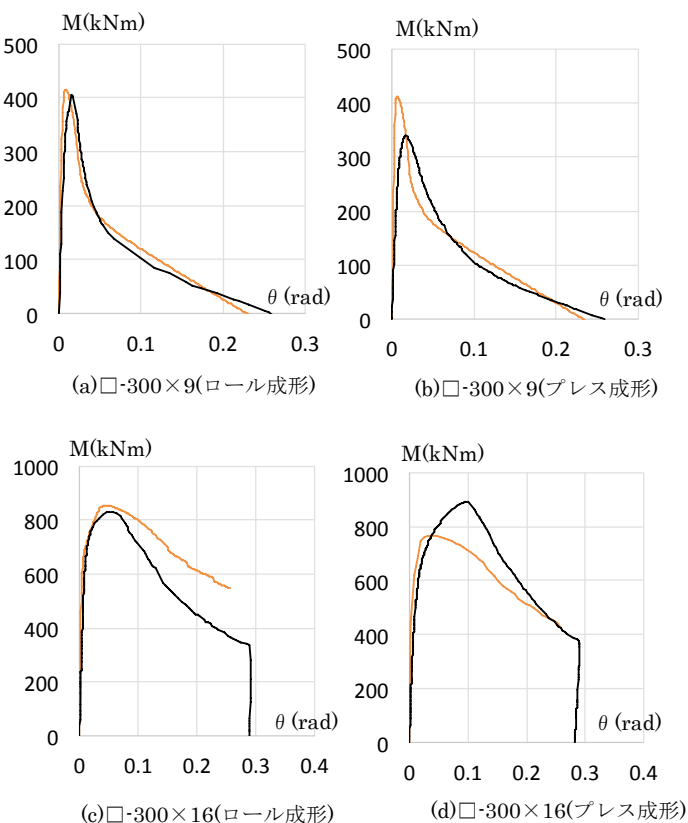


図4 実験値と解析値の比較  
( $1.3S$ ,  $E_{d3}/E=-0.003$ )  
(向出研究室)