

## I-117 繰り返し水平力を受ける変断面ラーメン柱の弾塑性履歴挙動

大同工業大学 正会員 ○酒造 敏廣  
鉄建建設㈱ 豊田 新二1. まえがき

鋼製の橋脚やタワーでは、部材軸方向に断面寸法諸元や材料強度を変化させた溶接変断面構造の柱部材が多用されている。しかし、地震時の繰り返し力がその弾塑性領域にまで及ぶとき、この種の変断面ラーメン柱がどのような履歴挙動を呈するかは、これまでにほとんど明らかにされていない。

筆者らは、これまでに変断面性に着目した柱の弾塑性解析を行い、変断面ラーメン柱には複数の塑性崩壊モードが存在することに起因して崩壊モードが半サイクル毎に移行し、等断面ラーメン柱とはかなり相違した履歴挙動を示す場合があることを例示した<sup>1), 2)</sup>。

本研究は、変断面ラーメン柱の断面変化位置に着目し、その弾塑性履歴挙動の特性を数値解析によって考察するものである。

2. 解析対象と解析方法

(1) 解析モデル: Fig.1 に示すように、2種類の断面 Sec.1、Sec.2(Table 1 参照)から構成され、柱頭部に一定鉛直荷重  $P$  と繰り返し水平力  $H$ (変位  $\delta$ )が作用する片持ち柱を対象とした。

本文では、柱高さ  $h (= 9 \text{ m})$  および軸力比(=定鉛直荷重/構成断面最小の圧壊荷重=0.5)を一定に保ち、断面変化点( $k$  値)をパラメータとして、解析を進めた。初期不整としては、

初期たわみ  $w(x) = 0.001h \cdot \{x/h - \sin(\pi x/h)\}$ 、残留圧縮応力  $\sigma_{rc} = -0.4\sigma_y$  を仮定した。なお、解析対象の変断面柱の座屈耐荷力解析を行い、Sec.2 の圧壊荷重  $N_{y2}$  を基準にして、SSRC<sup>3)</sup>の柱の耐荷力曲線IIから無次元細長比  $\lambda_y$  を換算すると、0.37~0.61となった。

(2) 解析方法: 数値解析には、Updated-Lagrangian法による平面骨組の弾塑性有限変位解析法を用いた。鋼材の応力  $\sigma$ -ひずみ  $\varepsilon$  関係は Bi-linear型に従うものとし、 $\sigma$ - $\varepsilon$  曲線の弾性・塑性域の勾配には、それぞれ  $E = 2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$  および  $E_t = E/100$  を仮定した。

3. 塑性崩壊曲線の誘導(モード V( $V_u$ ) および Y( $Y_u$ ))

弾塑性解析結果との比較のため、変断面片持ち柱の2次剛塑性解析を行った。Fig.2 に示すように、柱基部あるいは断面変化点に塑性ヒンジを仮定すると、水平荷重  $H$  と柱頭部の水平変位  $\delta$  との関係は次のように誘導できる。

i) 柱基部の Sec.1 断面に塑性ヒンジを仮定したモード V;

$$H = (M_{p1} - P\delta)/h \quad \dots (1)$$

ii) 断面変化点の Sec.2 断面に塑性ヒンジを

ンジを仮定したモード Y;

$$H = (M_{p2} - P\delta)/h/(1-k) \quad \dots (2)$$

ここに、 $M_{pi}$  は軸力( $=P$ )の影響を考慮した Sec.i の全塑性モーメント。

さらに、上式中の  $M_{pi}$  の代わりに、

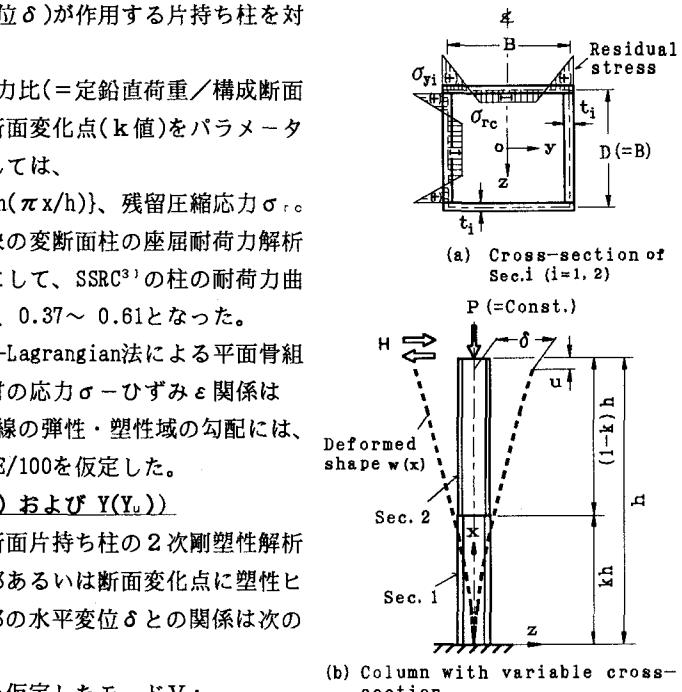
Fig. 1 Column subjected to cyclic load,  $H$ 

Table 1 Dimension and properties of cross section

Items	$B (=D)$ (mm)	$t_i$ (mm)	$A_i$ ( $\text{cm}^2$ )	$I_i$ ( $\times 10^5 \text{ cm}^4$ )	$\sigma_{yi}$ (MPa)	$N_{yi}$ (KN)	$M_{pi}$ (KN·m)
Sec.1	750	33	990	9.2992	314	31,069	8,744
2	750	22	660	6.1928	314	20,713	5,827

Notes;  $A_i$ : Cross sectional area,  $I_i$ : Moment of inertia,  $\sigma_{yi}$ : Yield point,  $N_{yi}$ : Squash force, and  $M_{pi}$ : Fully-plastic moment.

軸力を零とおいた全塑性モーメントの上限値  $M_p$  (Table 1 参照) を用いたときのモードVおよびYを、それぞれモード  $V_u$  およびモード  $Y_u$  と定義する。

#### 4. 解析結果とその考察

繰り返し水平力は漸増変位振幅の条件で載荷した。その際、除荷開始時の正負の水平振幅の初期値を初期降伏変位  $\delta_y$  に設定し、1サイクル毎に  $0.5\delta_y$  ずつ増加させた。

断面変化点パラメータk値を0.2、0.4、0.6としたときの柱のたわみモードと荷重-変位曲線とをFig.3に示す。

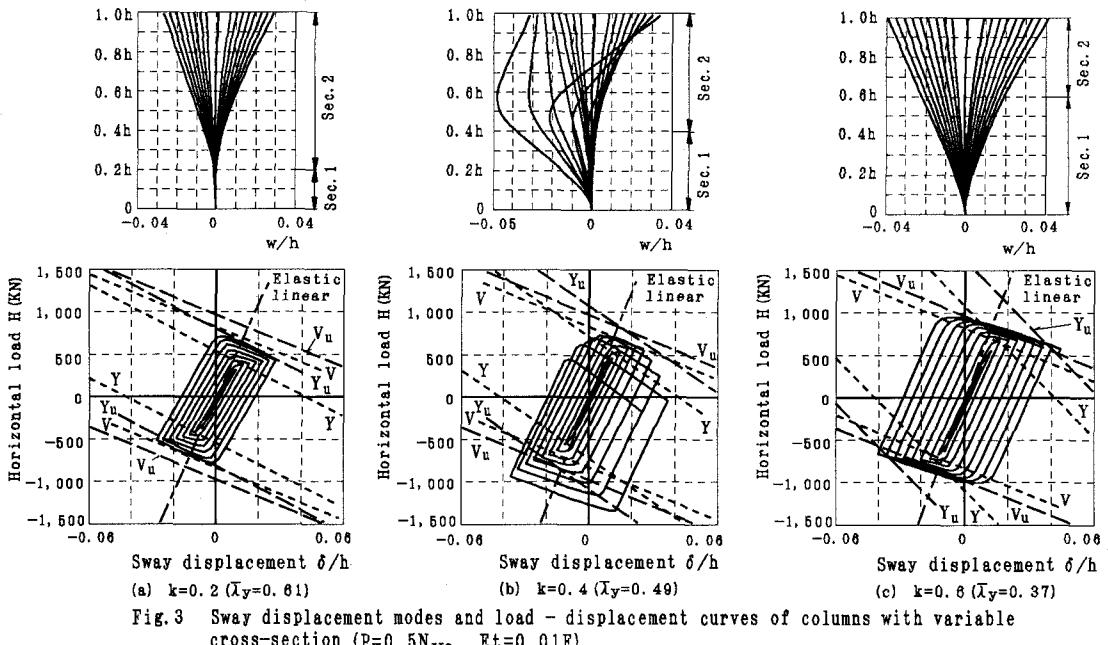
同図(a)および(c)より、 $k=0.2$ から $0.6$ となって、断

面変化点が柱の上方に移動することにより、たわみモードの固定端に相当する位置が断面変化点から柱基部に移っていることがわかる。また、荷重-変位の履歴ループは繰り返しサイクル数の増加に伴って大きくなり、それぞれモード  $Y_u$  およびモード  $V_u$  の塑性崩壊曲線に漸近している<sup>1), 2)</sup>。

一方、同図(b)から、 $k=0.4$ の柱では、繰り返しサイクル数が増えると、たわみモードが非対称になるとともに、履歴曲線の最大耐力後の勾配は、Hの正・負の領域において、それぞれモードY( $Y_u$ )およびV( $V_u$ )のそれにほぼ等しくなり、1回の履歴ループに2つの崩壊モードが交互に現れていることがわかる。したがって、この柱は、解析した水平振幅の範囲内で、変断面性に起因した2つの崩壊モードの遷移領域にあるといえる。また、 $k=0.4$ の柱は $k=0.2$ の柱よりも大きな曲げ強度・全体座屈強度を有していることから、柱の終局強度からは、このような現象を予測できないことを指摘できる。

#### 5.まとめ

半サイクル毎に崩壊モードが移行するという変断面ラーメン柱に特有の弾塑性挙動は、2つの崩壊モードの遷移領域に達するような繰り返し力を受けける場合に現れることを示した。



参考文献 1)酒造敏廣、林田雅樹：土木学会第45回年次学術講演会概要集、I-64、平成2年9月。2)酒造敏廣、事口寿男：土木学会中部支部研究発表会講演概要集、I-26、平成3年3月。3)SSRC: Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 4th Edition, John & Wiley Sons, 1988.