

繰返し外力を受ける変断面ラーメン柱の弾塑性崩壊挙動に関する研究

大同工業大学 正会員 ○酒造 敏廣

大同工業大学 正会員 事口 寿男

【1】まえがき

橋脚やタワーなどの鋼製ラーメン構造物では、断面寸法・材料強度を部材軸方向に変化させた溶接変断面構造物の柱が採用されている。ところが、その履歴崩壊現象については、理論的にも実験的にもほとんど説明されていない。変断面ラーメン柱は、激震時の非弾性領域にまで及ぶ大きな繰返し水平力下において、複数の断面変化点で塑性化が同時に進行する点で、等断面ラーメン柱と大きく相違する。そのため、部材軸方向の剛度低下と常時作用している定鉛直荷重との相互作用により、この種の柱は局部座屈発生による耐力低下に類似した現象を呈することが著者らによって例示されている¹⁾。

本文では、繰返し力を受ける変断面柱の断面変化位置に着目し、その履歴崩壊挙動のメカニズム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、 n 種類の断面 Sec.1~ n から構成され、柱頭部に一定鉛直荷重 P と繰返し水平外力 H (変位 δ) が作用する片持ち柱を対象とする。本文では、柱高さ h を一定($=9$ m)に保ち、Table 1に示す2つの断面からなる変断面柱を、以下の条件で解析した。

・Case 1: $n=2$ 、断面変化位置 $0.2h$ ($k_2=0.2$)、 $\bar{\lambda}_y=0.606$

・Case 2: $n=2$ 、断面変化位置 $0.4h$ ($k_2=0.4$)、 $\bar{\lambda}_y=0.489$

鉛直荷重: $P=0.48P_{y2}=0.32P_{y1}$ (=一定)、初期たわみ:

$w(x)=0.001h \cdot \{x/h - \sin(\pi x/h)\}$ 、残留応力: $\sigma_{rc}=-0.4 \cdot \sigma_y$ 。ここに、 $\bar{\lambda}_y$ 値は断面Sec.2を基準にした柱の無次元細長比であり、変断面柱としての座屈耐荷力解析を行い、等断面圧縮柱に対するSSRC²⁾の柱の耐荷力曲線IIから換算した。

(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。繰返し力を受ける鋼材の応力-ひずみ関係はBi-linear型に従うものとし、弾性・塑性域の接線係数値には、それぞれ $E=2.06 \times 10^5$ MPa および $E_t=E/100$ を仮定した。

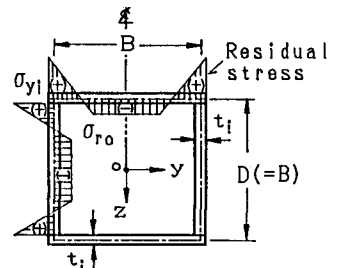
【3】解析結果とその考察

水平荷重を繰返し载荷するにあたり、除荷開始の水平変位の初期値を $h/75$ とし、1サイクル毎に25%ずつ除荷開始水平変位を増加させていった。ここで、 $h/75$ は、柱基部の初期降伏変位の約1.5倍に相当する。

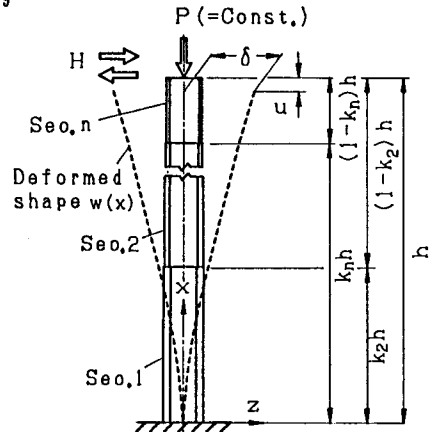
(1)荷重-変位曲線と柱の変形モード

変断面柱の水平荷重 H と柱頭部の水平変位 δ との関係を Fig. 2に示す。

この図からわかるように、Case 1は、ひずみ硬化の影響でループが徐々に大きくなり安定した $H-\delta$ 曲線を呈している。一方、Case 2のそれは、およそ5回目



(a) Cross-section of Sec. i ($i \geq 1$)



(b) Column with variable cross-section

Fig. 1 Column subjected to horizontally repeated load

Table 1 Dimension and properties of cross-section

Items	$B(=D)$ (mm)	t (mm)	σ_y (MPa)	P_y (KN)	M_p (KN·m)
Sec. 1	750	33	314	31,069	8,744
Sec. 2	750	22	314	20,713	5,827

Notes; σ_y : Yield point, P_y : Squash load and M_p : Fully-plastic moment

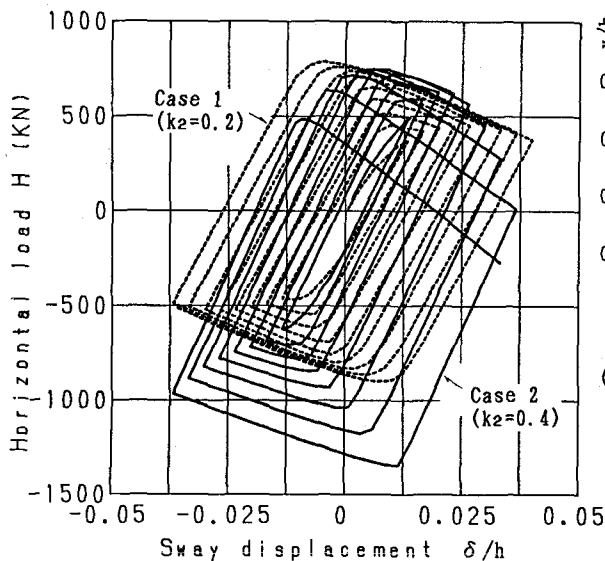


Fig. 2 Horizontal load H - displacement δ curves
 のループから、 H の負側に大きく移動していることがわかる。また、Fig. 3からわかるように、対称な変形モードの Case 1に対して、Case 2では断面変化点付近で折れ曲がる非対称な変形モードが現れている。これらは、Fig. 2 に示した履歴曲線と深く関連していると考えられる³⁾。

(2) エネルギー吸収特性

以上の結果を詳細に分析するため、断面 Sec.1および 2の部分で 0.5サイクルごとに吸収されるひずみエネルギー、それぞれ ΔE_1 および ΔE_2 の変動を調べた。それらの結果を Fig. 4に示す。ここで、1 回目の除荷開始点を 0.5サイクル点とし、ある除荷開始点から次の除荷開始点までを 0.5サイクルと数えている。

この図から、Case 1では、Sec.2 断面によるエネルギー吸収がほとんどであり、断面変化位置がほぼ固定端になっているといえる。一方、Case 2 では、2.5サイクル以後、半サイクル毎の Sec.1と Sec.2断面による吸収エネルギーの変動が著しい。このことは、これまでに明らかにしたように¹⁾、塑性変形が集中する箇所が半サイクル毎に移動することを意味し、1サイクルの繰り返し载荷で2つの崩壊メカニズムが生じていることになる。

【4】まとめ

変断面柱の弾塑性履歴崩壊挙動は、断面変化位置によって大きく相違するというを示した。2つの崩壊メカニズムが交互に現れるときの変断面柱の履歴挙動は一種の不安定現象であると考えられ、断面構成の方法について、今後十分な検討が必要である。

参考文献 1) 酒造敏廣、林田雅樹：繰り返し水平外力を受ける変断面ラーメン柱の履歴崩壊挙動に関する基礎的研究、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) SSRC: Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 4th Edition, John & Wiley Sons, 1988. 3) 中村恒善、上谷宏二：弾塑性構造物の臨界挙動、材料、Vol. 30、No. 333、昭和56年 6月、pp. 535~548。

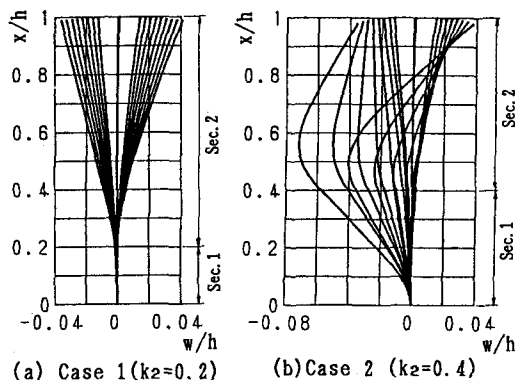
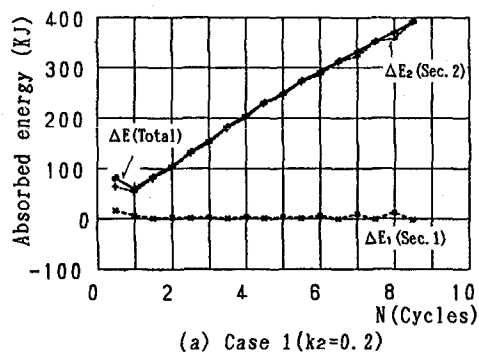
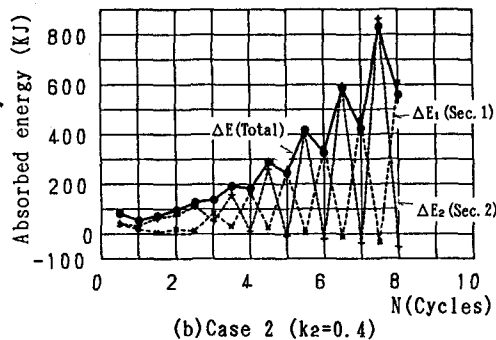


Fig. 3 Sway mode of columns



(a) Case 1 ($k_2=0.2$)



(b) Case 2 ($k_2=0.4$)

Fig. 4 Variation of incremental absorbed energy