

断面高さが一様に変化する柱基部を持つ鋼変断面柱の非弾性地震応答性状

大同工業大学 正会員 酒造敏廣

大同工業大学

○水谷真吾, 竹内英人

【1】まえがき

鋼変断面ラーメンの非弾性地震応答時に、抵抗断面力の小さい断面で塑性変形が生じる崩壊パターンが現れると、塑性変形した箇所のひずみの累積が著しくなり、局部座屈の早期発生が予想される点で耐震上好ましくない^{1),2)}。そのため、抵抗断面力の大きな断面を隅角部や柱基部の付近にバランスよく配置し、小さな損傷で履歴エネルギーを効率よく消費できる断面構成を行うことが重要である¹⁾。しかし、柱基部では、軸力比(=鉛直荷重/断面の圧壊荷重)が小さいために、繰り返し力下で部材軸方向への塑性域進展が小さく、ごく限られた範囲内で塑性変形が累積することが避けられない。これまでに、柱基部の損傷を軽減し耐震性能を改善することを目的にして、コンクリート充填や種々な断面補強の方法が提案されているが³⁾、ねばりのある鋼材の特性を有効に利用した柱基部構造については提示されるに至っていない。

本研究は、実橋脚に採用される溶接集成の大型断面を有する柱基部に変厚鋼板⁴⁾とテーパ部材を組み合わせて累積損傷を小さくできる構造を開発していこうとするものである。本文では、まず、鋼製の柱基部断面に若干のテーパをつけて塑性変形を柱基部内で分散させることにより、塑性ひずみの累積をどの程度低減できるかを地震応答解析を行って検討する。

【2】変断面柱の解析モデルと柱基部の無次元テーパ率

(1)解析モデルと解析方法

本研究では、Fig.1 に示すように、Sec.1 と Sec.2 の2つの断面からなり、定鉛直荷重 P の作用下で水平地動を受ける片持ち柱を解析対象とした。Sec.2 は等断面であり、Sec.1 は柱基部 ($x=0$) から断面変化点 ($x=kh$) まで腹板高さが一様に d_1 だけ変化する。Sec.1 上下端の腹板高さが等しい等断面の基準解析モデル ($d_1=0$) の寸法諸元、降伏点等を Table 1 に示す。解析方法は文献2)に従っている。水平地動 $a_a \ddot{U}_{oz}$ には El-Centro 波の最初の8秒間を2倍に増幅して用いた。鋼材の応力-ひずみ曲線には等方・移動硬化を簡易的に考慮した Bi-Linear 型を仮定した⁵⁾。

(2)無次元テーパ率 α_{cp}

まず、Sec.1 の上下端の腹板高さの差 d_1 をテーパ率 $d_1/2D_1$ として表すこととし、かつ、上下端の抵抗断面力の差異を考慮できるように、無次元テーパ率 α_{cp} を次式で定義した。

$$\alpha_{cp} = \frac{1}{1-k} \frac{M_{pIU}}{M_{pIL}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 M_{pIU} 、 M_{pIL} : Sec.1 の上下端の全塑性曲げモーメントである。

上式は、柱頭部に漸増水平荷重を仮定して、Sec.1 の上下端が同時に全塑性状態になるという条件から導いたものである。 $d_1=0$ のときは $\alpha_{cp}=1/(1-k)$ となり、 $\alpha_{cp}>1$ のときは Sec.1 下端の塑性化が先行する。

本文の数値解析では、 $1 \leq \alpha_{cp} \leq 1/(1-k)$ の範囲で d_1 を変化させた。その際、 α_{cp} が変動しても、柱の初期降伏水平荷重が等しくなるように、Sec.2 断面の寸法諸元と降伏点は一定とした。

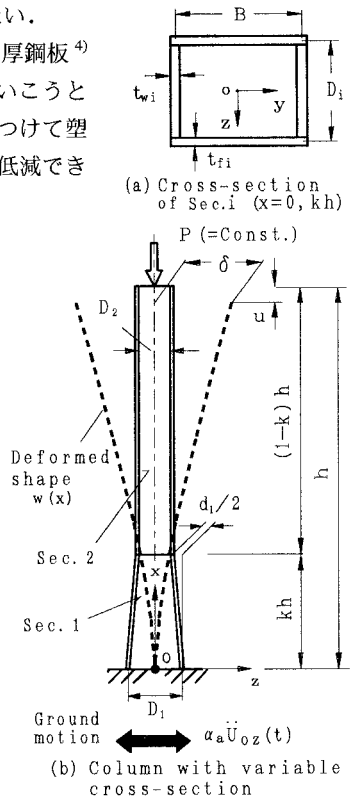


Fig.1 Column subjected to ground motion

Table 1 Properties of column ($d_1=0$)

Item	t_f (cm)	t_{wi} (cm)	Yield point σ_w (MPa)
Sec.1			
1 and 2	3.2	3.2	314

Notes: $h=9\text{m}$, $B=D_2=0.9\text{m}$, $k=0.3$, $P=0.2N_{y2}$, $\alpha_{cp}=1.428$, $M_{KZ}=3.29 \times 10^5 \text{ kg (T=1s)}$, N_{y2} : Squash force of Sec.2

【3】解析結果と考察

(1) 復元力特性とひずみ分布

水平復元力 H -変位 δ 曲線と柱基部内の増分塑性曲率の絶対値和 $\Sigma|\Delta\phi|$ (以下、絶対累積曲率と呼ぶ) の分布を Fig.2 に示す。ここに、 $\Sigma|\Delta\phi|$ は断面の塑性曲率 ϕ_y で無次元表示している。

同図(a)から、柱基部のテーパ率 $d_1/2D_1$ が大きくなるにつれて (α_{cp} が小)、最大耐力後の H - δ 曲線の各ループの勾配が小さくなり、 $\alpha_{cp}=1.03$ のときには復元力特性が劣化型となる傾向にある。しかし、同図(b)からわかるように、テーパ率が大きくなると塑性域が柱基部全体に広がって、絶対累積曲率の最大値は激減し、塑性ひずみの累積をかなり低減できることがわかる。

(2) α_{cp} による最大ひずみの変動

柱基部内の $x \approx 0.025kh$, $0.475kh$ および $0.975kh$ における絶対累積曲率を調べ、これと α_{cp} との関係を Fig.3 に示す。

この図から、Sec.1 下端の累積曲率 (□印) はほぼ α_{cp} に比例して小さくなり、 α_{cp} は約 1.1 のときには、Sec.1 上端 (△印) にまで塑性変形が及んでいることがわかる。また、 α_{cp} は約 1.04 のときに、累積曲率は Sec.1 内でほぼ平均化されている。 $\alpha_{cp} < 1.04$ の範囲では Sec.1 上端の累積曲率が最も大きい、等断面柱の場合と比べて、その大きさは 1/3 以下になっている。

【4】まとめ

1) 柱基部をテーパ部材とすることにより、塑性変形の累積による損傷をかなり低減できる。2) この効果は変厚鋼板⁴⁾を用いても同様に期待できるものであり、テーパ部材との組み合わせについても検討する価値がある。3) この種の柱では崩壊メカニズムの交番による不安定現象⁶⁾の発現が予想されるため、弾塑性性状を十分に把握して、最適な柱基部高さやテーパの形状・テーパ率を定めていく必要がある。

【謝 辞】本研究の実施には平成 8 年度の文部省科学研究・基盤研究(C)の補助を受けたことを付記します。

【参考文献】1) 酒造敏廣, 事口壽男, 長田好夫: 鋼変断面ラーメンの非弾性地震応答性状と崩壊モードに関する研究, 構造工学論文集 (投稿中)。2) 酒造敏廣: 水平地動を受ける鋼変断面片持ち柱の動的弾塑性挙動に関する研究, 土木学会論文集, No.501, 1994 年 10 月, pp.75-84。3) 土木学会鋼構造委員会・構造新技術小委員会・耐震設計研究 WG: 鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術, 平成 8 年 7 月。4) 森田千尋: 薄板および扁平シェルの幾何学的・材料非線形問題の離散的近似解析に関する研究, 学位請求論文 (九州大学), 1996 年 4 月。5) 若林 實, 柴田道生: 筋違部材の座屈後の挙動に関する研究 (その 4), 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第 16 号, pp.201-204, 1976 年 6 月。6) 酒造敏廣: 繰り返し水平力を受ける鋼変断面片持ち柱の弾塑性挙動に関する研究, 土木学会論文集, No.446/I-19, 1992 年 4 月, pp.127-136。

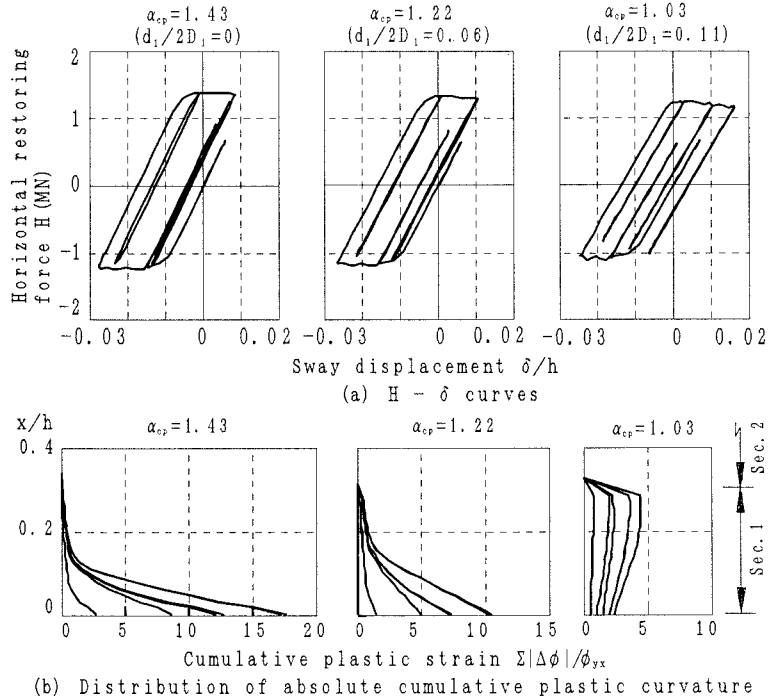


Fig.2 Variation of inelastic responses of columns with α_{cp}

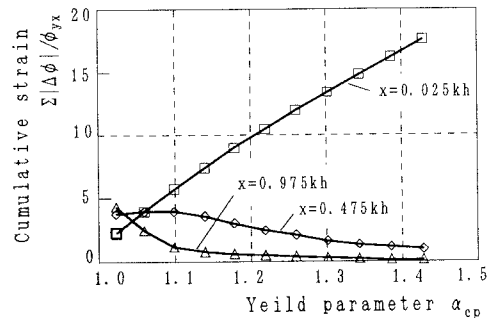


Fig.3 Variation of cumulative plastic strain at column base part with α_{cp}