

大同工業大学 正会員 ○酒造 敏廣
日本電子計算機 横山 知正

【1】まえがき

鋼製ラーメン構造物においては、断面寸法や材料強度が部材軸方向に変化する変断面構造の柱(以下、変断面ラーメンまたは変断面柱という)が採用される機会が多い¹⁾。ところが、弾塑性領域にまで及ぶこの種の柱の地震時挙動、すなわち、部材格点部と複数の断面変化点とで塑性変形が同時に進行する弾塑性挙動については、未だほとんど検討されていない。これまで、上記の点に着目して、変断面片持ち柱の準静的な弾塑性履歴解析を行い、部材の変形と力との関係を表す復元力特性は、部材軸方向に累積する残留曲率とP-Δ効果に起因して、等断面柱のそれとはかなり異なる場合があることを確かめてきた²⁾。

本研究では、任意の変位履歴に適用できる復元力特性を把握できるように、平面骨組の動的弾塑性解析手法³⁾により、変断面性に起因した柱の変位応答や復元力の特性を明らかにしようとしたものである。

【2】解析モデルと解析方法

(1)解析モデル

Fig.1 に示すように、断面Sec.1とSec.2とからなり、柱基部からkhの位置で塑性断面性能が変化する変断面片持ち柱を解析対象とした。対象の柱は、上部構反力に相当する定鉛直荷重Pが柱頭部に作用した状態で、水平(z軸)方向に地動加速度を受けるものとした。なお、柱は多自由度系にモデル化し、かつ、柱頭部には付加集中質量 M_f を仮定し、柱の弾性一次固有周期 T_0 が実構造物のそれにできるだけ近くなるようにした。

(2)運動方程式

時刻 t から時間増分 Δt に対して、多自由度系にモデル化した柱の運動方程式は、減衰はないものと仮定すると、次のように与えられる³⁾。

$$[M]\{\Delta \ddot{U}\} + [K_t]\{\Delta U\} = \{\Delta P\} - [M][I]\Delta \ddot{u}_0 \quad \dots(1)$$

ここに、 $[M]$: 質量マトリックス、 $[K_t]$: 接線剛性マトリックス、 $\{\Delta U\}$ 、 $\{\Delta \ddot{U}\}$ 、 $\{\Delta P\}$ 、および $\Delta \ddot{u}_0$: 時間増分 Δt に対する増分変位ベクトル、増分加速度ベクトル、増分外荷重ベクトル、および、増分地動加速度。

本研究では、数値積分法に線形加速度法を用いて上式を若干変形し、変位 $\{\Delta U\}$ を未知数とする Clough らの方法³⁾ に従って解析を進めた。時間刻み Δt は弾性1次固有周期 T_0 の $1/100 \sim 1/200$ に設定した。

(3)復元力の計算方法と応力-ひずみ曲線

式(1)の左辺第2項の復元力の計算に際しては、Updated-Lagrangian法を用い、要素ごとに断面を細分割して塑性領域の広がりも考慮した。その際、幾何学的・材料学的非線形性に起因した不釣り合い力の収束計算には修正 Newton-Raphson 法を用い、各時刻でエネルギー・バランス $W_n + W_s = W_{n0} + W_{s0}$ も確かめるようにした³⁾。ここに、 W_n : 運動エネルギー、 W_s : ひずみエネルギー、 W_{n0} : 地動加速度による仕事、および、 W_{s0} : 外荷重による仕事。

なお、鋼材の応力 σ -ひずみ ϵ 関係には Bi-linear型を用い、断面の降伏は部材軸方向の応力とひずみのみにより評価できるものとし、 σ - ϵ 曲線の弾性・塑性域の勾配には、それぞれ $E = 2.06 \times 10^5$ MPa および $E_t = E/100$ を仮定した。

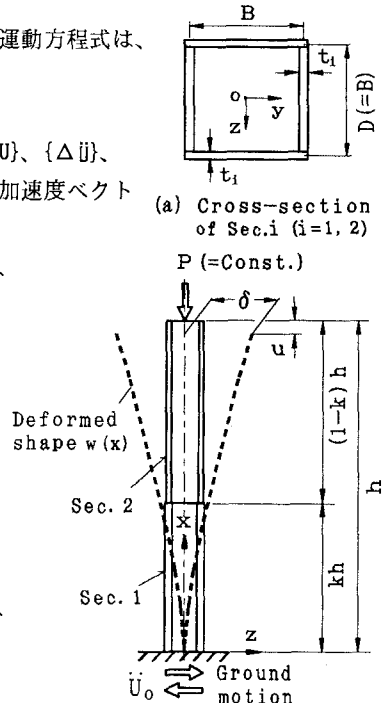


Fig. 1 Column subjected to ground acceleration

【3】数値解析結果と考察

柱高さ $h=9m$ 、断面寸法が部材軸方向に一定 ($B=D=780mm$, $t_1=t_2=33mm$)、降伏点 σ_y が柱基部から $h/3$ ($k=1/3$) の位置で、353MPa (Sec.1) から 235MPa (Sec.2) に変化する片持ち柱を解析した。鉛直荷重 P は、構成断面最小の圧壊荷重の 0.3倍とした。ちなみに

この柱は、柱頭部の静的鉛直・水平荷重下では、柱基部よりも断面変化点(Sec.2)での降伏が先行する。

地動加速度には、変断面柱の応答性状の把握を容易にするため、最大加速度 $\alpha=300gal$ 、周期 $T_L=1.0sec$ の正弦波 $\ddot{u}_g = -\alpha \cdot \sin(2\pi t/T_L)$ を仮定した。また、質量マトリックス $[M]$ には Lumped Mass 形式のものをを用い、付加集中質量は $M_T=112.8kg$ とした ($T_0=0.75s$)。

(1) 柱の部材回転角の時刻歴応答

まず、柱の部材回転角 R 、 R_1 および R_2 を Fig.2 中のように定義し、それらの変動を調べた。この図から、 $t \geq 2s$ で R_2 の振幅中心が負方向に移動し始め、Sec.2 部分での残留変形が大きくなっていることがわかる。一方、緩慢ではあるが R_1 の振幅中心も $t \geq 5s$ で移動し始め、Sec.1 部分でも塑性変形が進行して、残留変形が徐々に大きくなっていることがわかる。

(2) 水平反力-変位関係

復元力に柱基部の水平反力 F をとり、これと柱頭部の水平変位 δ との関係を図 3 に示す。この図から、 δ の増大とともに、 $F-\delta$ 曲線が描く 1 回の履歴ループが小さくなり、 F の負方向へは除荷弾性範囲に留まるような挙動を呈していることがわかる。

(3) 変位反転時の柱のたわみモード

柱頭部の水平変位 δ が反転した際のたわみモードを図 4 に示す。この図から、柱は断面変化点の付近で変位の負方向に折れ曲がるようなモードを呈し、Fig.2 と照合すると、その傾向は加速されていることがわかる。これは柱基部および断面変化点での塑性変形集中とそれに伴う残留変形が大きく影響していると考えられる。

【4】まとめ

変断面片持ち柱の動的弾塑性解析を行い、柱の変形性状や復元力特性を調べた。等断面柱の応答性状との違いや構成断面ごとのエネルギー吸収特性については、実際の地震動を用いた解析を行い、別途報告したい。

参考文献 1)酒造敏廣、池田篤行：鋼製ラーメン部材の変断面性に関する設計パラメータの調査研究、研究発表会講演概要集 I-11、土木学会中部支部、1992年3月。 2)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.440/I-18、1992年4月。 3)Clough, R.W. and Penzien, J.: Dynamic Structures, McGraw-Hill, New York, N.Y., 1974.

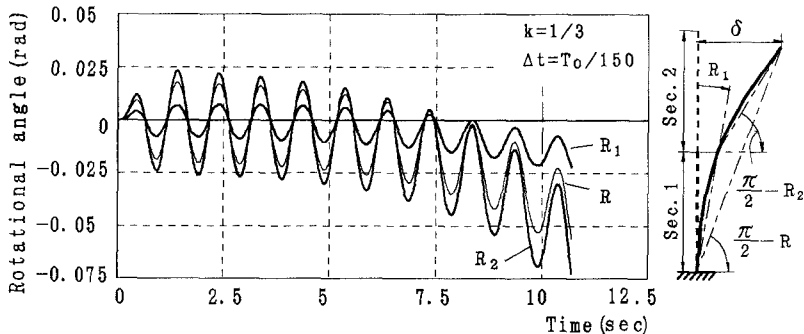


Fig.2 Time histories of rotational angle R , R_1 and R_2

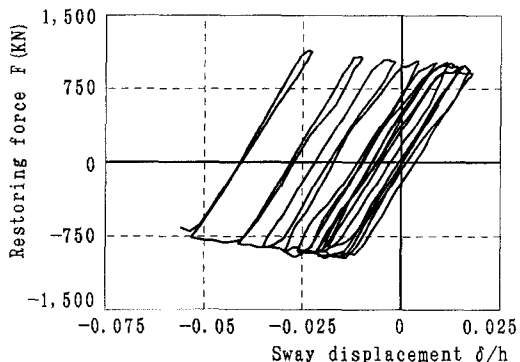


Fig.3 Restoring force - displacement curve

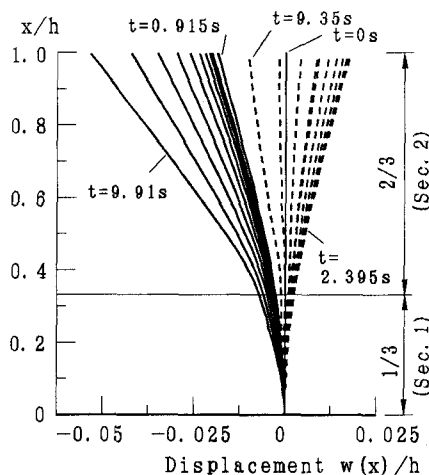


Fig.4 Variation of sway displacement $w(x)/h$