

鋼変断面ラーメン柱の動的弾塑性性状に関する研究

大同工業大学 正会員 ○酒造 敏廣

大同工業大学 学生員 井上 英俊

【1】まえがき

従来の強度設計法において、変断面構造の鋼製ラーメン柱（以下、変断面ラーメン柱、あるいは、変断面柱という）の断面構成には、地震時の動的繰返し力下での弾塑性挙動はとくに考慮されていない¹⁾。ところが、このようなとき、この種の柱の部材格点部や断面変化点の付近では塑性域が同時に発生し、構成断面ごとに塑性変形が進展することが考えられる。そのため、変断面性に起因したこのような塑性変形性状が地震時の柱の動的応答性状に不都合な影響²⁾を与えないかどうかについて、十分に検討しておく必要がある。

本研究では、地震動を受ける片持ち柱を対象に、主として構成断面ごとの塑性ひずみの累積量に着目し、数値解析³⁾によって変断面柱特有の動的弾塑性性状を調べたものである。

【2】解析モデル

(1) 変断面片持ち柱のモデル化

本研究では、ラーメン面外の動的変形挙動を片持ち柱に置換できるものとし、下部断面 Sec.1と上部断面 Sec.2とからなる柱を Fig.1のように多自由度系にモデル化した。柱頭部には、定鉛直荷重 $P(=N_{y2}/3, N_{y2}$ は Table1参照)が作用するものとし、弾性1次固有周期 T が0.75秒となるように集中質量 M_{xz} を仮定した。また、分割した部材要素の質量マトリックスには Lumped Mass形式のものを用いた。

(2) 運動方程式の数値積分と応力-ひずみ曲線

多自由度系モデルの運動方程式では減衰の影響を無視し、その数値積分には線形加速度法を用いた(時間刻み $\Delta t \leq T/100$)³⁾。復元力の計算に際しては、材料学的・幾何学的非線形性を考慮し、要素ごとに断面を細分割して塑性領域の広がりも把握できるようにした²⁾。その際、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 $E=2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$ および $E_t=E/100$ を仮定した。

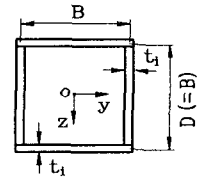
(3) 解析モデルの諸元と仮定した地震動

解析した柱はC1とC2の2種類であり、Table 1に示すように、寸法諸元が等しく、降伏点 σ_{yi} の組み合わせが異なる。ちなみに、柱C1では、定鉛直荷重下で単調増加の水平荷重を受けるとき、初期降伏が柱基部および断面変化点で同時に発生し、柱C2では、断面変化点での降伏が先行する。簡単のため、柱基部(Sec.1)および断面変化位置(Sec.2)の初期降伏に対応する水平荷重、それぞれ H_{y1} および H_{y2} を下部・上部断面の抵抗荷重という。

地動加速度には、日本海中部地震(第Ⅲ種地盤)の実加速度波¹⁾を4倍に増幅して用いた。

【3】数値解析結果と考察

数値解析結果から、一方向に変位 δ が大きくなった時刻 $t \approx 30$ 秒までの結果を以下にまとめる。



(a) Cross-section of Sec. i (i=1, 2)

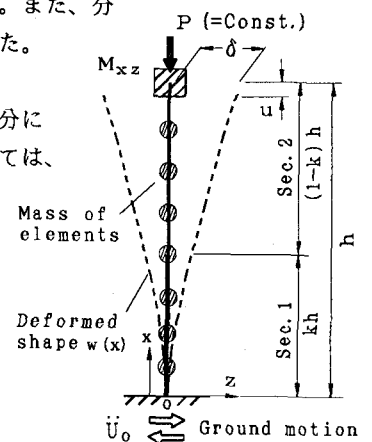
(b) Column with variable cross-section
Fig.1 Column subjected to ground acceleration

Table 1 Properties of column with variable cross-section

Items Column	σ_{yi} (MPa)		N_{y1} N_{y2}	M_{p1} M_{p2}	H_{y1} H_{y2}
	Sec.1	Sec.2			
C1	235	235	1.293	1.294	1.00
C2	235	314	1.725	1.725	1.45

Notes; 1) $h=9\text{m}$, $B=750\text{mm}$, $t_1=30\text{mm}$, $t_2=23.2\text{mm}$ and $k=0.3$, 2) σ_{yi} , N_{yi} and M_{pi} : Yield stress, squash force and fully-plastic moment of Sec. i, respectively, 3) H_{y1} and H_{y2} : Horizontal loads when initial yield occurs at $x=0$ (Sec.1) and $x=kh$ (Sec.2), respectively, 4) $M_{xz}=9.263 \times 10^4 \text{ kg}$.

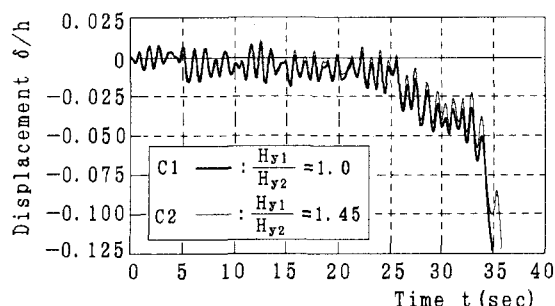


Fig. 2 Time history of sway displacement at the top of column

(1)変位およびの軸ひずみの時刻歴応答

まず、柱頭部の水平変位 δ の時刻歴応答を Fig.2に示す。この図からわかるように、柱C1とC2の変位応答は、残留変形が大きく現れる $t \approx 25$ sまではほぼ一致し、それ以後徐々に差異が大きくなっている。

つぎに、柱基部(Sec.1)・断面変化点(Sec.2)の近傍の軸ひずみ ε の時刻歴応答を Fig.3に示す。図中、 ε_{yi} は断面の降伏ひずみ($=\sigma_{yi}/E$)である。この図から、柱C1のように上・下部断面の抵抗荷重差を小さくすれば、繰返しによって累積する軸ひずみ量を小さくできることがわかる。抵抗荷重差が大きい柱C2の上部断面では、柱C1に比してほぼ2倍の軸ひずみが現れている。この累積軸ひずみは残留変形や局部座屈発生に影響を及ぼすため、地震時には、柱C2よりもC1の断面構成が有利になる可能性がある。

(2)曲率分布とたわみモード

柱の曲率 ϕ の分布を Fig.4に示す。 ϕ は構成断面の降伏曲率 ϕ_{yi} ($=2\varepsilon_{yi}/(B+t_i)$)で無次元表示している。この図から、柱C1では、構成断面ごとに塑性域が進展していることがわかる。

最後に、変位 δ が反転したときの柱C1およびC2のたわみモードを Fig.5に示す。この図から、残留変形と慣性力の影響で、負側へのたわみが卓越したものとなっていることがわかる。

なお、柱C1の場合、上部断面の履歴エネルギー吸収分担率は約30%であった。この分担率は断面変化位置によって影響を受けるため、累積塑性ひずみの集中・分散という点と合わせて検討の余地がある。

あとがき 地震時に柱の構成断面ごとに塑性変形進展を許すと、ひずみの累積を小さくできるという結果が得られた。この点は慣性力が有利に作用していると考えられるが、本文の結果は限られた範囲のものであるため、さらに検討が必要である。最後に、本研究を実施するにあたり、平成4年度の文部省科学研究費・一般研究(C)、および、大同工業大学・研究奨励金の補助を受けたことを付記し、謝意を表します。

参考文献 1)日本道路協会：道路橋示方書・同解説、V耐震設計編、(株)丸善、1991年2月。 2)酒造敏廣：繰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、pp.127~136、1992年4月。 3)酒造敏廣、横山知正：変断面ラーメン柱の動的弾塑性挙動に関する基礎的研究、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、I-43、1992年9月。

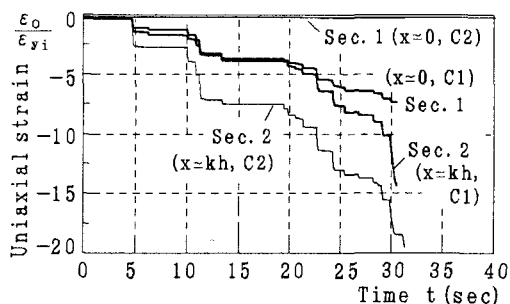


Fig. 3 Time history of uniaxial strain of cross-section at $x=0$ and $x=kh$

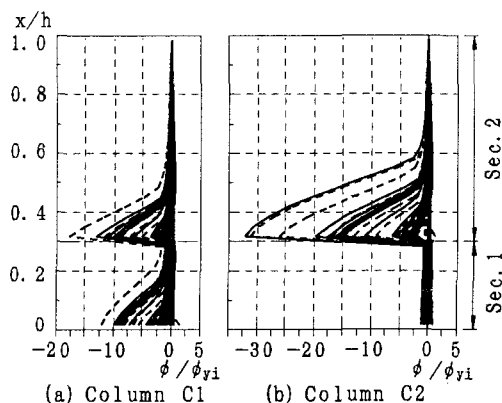


Fig. 4 Distribution of curvature

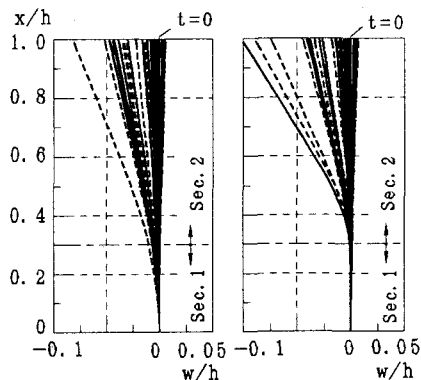


Fig. 5 Sway displacement modes of columns