

○ 名古屋大学 正会員 中佐美穂
清水建設 正会員 工屋信洋
建設省 正会員 永田 健

1. 序文

本論文は、圧縮力、または圧縮力と曲げを受ける薄板集成鋼圧縮部材の局部座圧と全体座圧の達成挙動の解析的研究の一部を述べたものである。ここでは前報¹⁾で得られた、局部座圧を考慮した短柱要素の平均的なモーメント-曲率-軸力 ($M-\varphi-P$) 曲線を部材の長方向に積分し、部材の全体座圧と達成挙動を求める。用いた手法は有限積分法²⁾である。

2. 解析手法

解析の対象とするものは、図1に示す (a) 偏心圧縮力を受ける柱および (b) 軸力とモーメントを両端に受ける柱である。(b) の場合、軸力は一定で、モーメントが増加する場合を考へる。以下の定式化では両端単純支持の偏心圧縮柱を考へる。圧縮力を P 、左端、右端の偏心量をそれぞれ e 、 ke ($-1 \leq k \leq 1$)、初期たわみ $\delta(x)$ 、荷重による付加たわみを $v(x)$ 柱の長さを L とし、 x, y 座標を図4のようにとる。柱を n 等分割し、各分割点で内力モーメントと外力モーメントのつり合い条件式を求める。この式を得る。

$$\{M(P, \varphi)\} - P\{\alpha\} + \{\alpha\} = 0 \quad (1)$$

すなわち、 $\{M(P, \varphi)\}$ 、および $\{\alpha\}$ はそれぞれ各分割点における曲げモーメント (内力モーメント) および外力を集めた $(n+1)$ 次元ベクトル、 $\{\alpha\}$ は分割点におけるたわみ量

$$\alpha(x) = \delta(x) + e \cdot (1 + (k-1) \cdot x/L) \quad (2)$$

を集めた $(n+1)$ 次元ベクトルである。 $M(P, \varphi)$ は分割点における軸力 P と曲率 φ を $M-\varphi-P$ 関係に代入して求めた曲げモーメントである。たわみ $\{\alpha\}$ は有限積分法の手法により曲率ベクトル $\{\varphi\}$ を用いて

$$\{\alpha\} = [N]\{\varphi\} \quad (3)$$

で表わす。すなわち $[N]$ は $(n+1) \times (n+1)$ 元の正方形行列²⁾である。式 (1)、(3) は $\{\varphi\}$ に関する $(n+1)$ 次元の非線形方程式と対峙する。この Newton-Raphson 法³⁾の考えを用いて解く。今、軸力 P_0 の時の曲率 $\{\varphi_0\}$ が既知であると、軸力を P_0 に変化させた時の曲率は $\{\varphi_0\} + \{\Delta\varphi\}$ に変化し、 $P = P_0$ 、 $\{\varphi\} = \{\varphi_0\} + \{\Delta\varphi\}$ を式 (1)、(3) に代入し、 $\{M(P_0, \varphi_0 + \Delta\varphi)\} \cong \{M(P_0, \varphi_0)\} + [M]\{\Delta\varphi\}$ と置き、式 (3) を式 (1) に代入すると次式を得る。

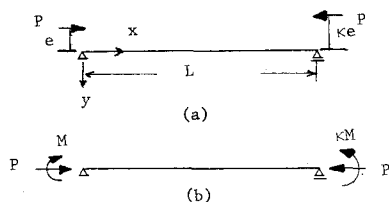


Fig. 1 Beam Columns to be Analysed

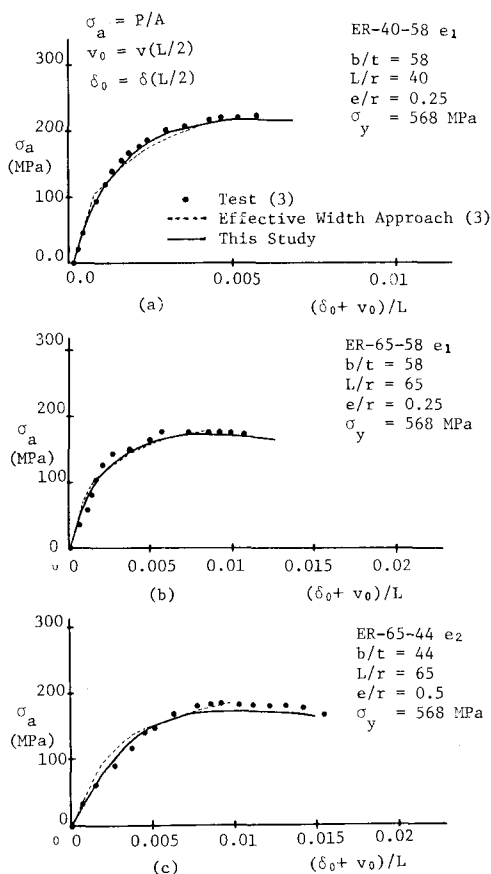


Fig. 2 Comparison with Test Results and Available Solutions (Rectangular Box Section Columns with $d/b = 0.75$)

$$\{([B_A] - P_B[N])\} \{d\} = P_B([N] \{d_A\} + \{d\}) - \{H(P_B, d_A)\} \quad (4)$$

$\{d\}$ は分割点における $H(P_B, d_A)/2$ 重を対角項とする対角行列で、 H -重- P 曲線を同配から求めることが出来る。式(4)を解いて作られる $\{d\}$ と $\{d_A\}$ とし、これを曲率の新しい値 $\{d\}$ と $\{d_A\}$ を求め、式(4)の $\{d_A\}$ に $\{d\}$ を代入するを繰り返して $\{d\}$ の新しい補正値 $\{d\}$ が求められる。以下同様の操作を繰り返して、次回目の繰り返し計算で求められた補正値 $\{d\}$ のノルム $\|d\|$ が $10^{-5} \max(\|d\|, \|d_A\|)$ 以下になった時解は収束したとみなし、 $\{d\}$ を P_B に対する解とした。 H -重- P 曲線は離散化データとして与えられた P -一定の曲線上は5次のスプライン関数による補間、重-一定の曲線上は直線補間を用いた。

3. 数値解析結果
 本研究により求めた偏心圧縮長柱の荷重変形曲線と文献(3)より得られた実験値及び有初幅理論により求めた解析値とを比較した例を図2(a)-(c)に示す。図示した柱は、細長比 $L/r = 40$ 、幅厚比 $b/t = 58$ 、偏心率 $e/r = 0.25$ 、柱中央の初期欠けり $\delta_0/L = 1.42 \times 10^{-4}$ (図a)、細長比 $L/r = 65$ 、幅厚比 $b/t = 58$ 、偏心率 $e/r = 0.25$ 、柱中央の初期欠けり $\delta_0/L = 1.81 \times 10^{-4}$ (図b)、細長比 $L/r = 65$ 、幅厚比 $b/t = 44$ 、偏心率 $e/r = 0.5$ 、柱中央の初期欠けり $\delta_0/L = 0.55 \times 10^{-4}$ (図c) の長方形箱形断面柱であり解析に当り柱の長さを同じ30分割した。用いた H -重- P 曲線は前報(1)に示してある。また、本解析によ、得られた最高荷重を実験値及び有初幅理論による値と比較して図3に示す。本解析によ、得られた結果は、全体的に多少低い最高荷重を与えるがその荷重-変形挙動は、特に幅厚比 b/t の比較的大きなものを対して、実験値と大変良く一致している。幅厚比が小さいものに対しては、有初幅理論により得られた値と比較して本解析結果はかなり実験値に近い最高荷重を与える。

3. 数値解析結果

本研究により求めた偏心圧縮長柱の荷重変形曲線と文献(3)より得られた実験値及び有初幅理論により求めた解析値とを比較した例を図2(a)-(c)に示す。図示した柱は、細長比 $L/r = 40$ 、幅厚比 $b/t = 58$ 、偏心率 $e/r = 0.25$ 、柱中央の初期欠けり $\delta_0/L = 1.42 \times 10^{-4}$ (図a)、細長比 $L/r = 65$ 、幅厚比 $b/t = 58$ 、偏心率 $e/r = 0.25$ 、柱中央の初期欠けり $\delta_0/L = 1.81 \times 10^{-4}$ (図b)、細長比 $L/r = 65$ 、幅厚比 $b/t = 44$ 、偏心率 $e/r = 0.5$ 、柱中央の初期欠けり $\delta_0/L = 0.55 \times 10^{-4}$ (図c) の長方形箱形断面柱であり解析に当り柱の長さを同じ30分割した。用いた H -重- P 曲線は前報(1)に示してある。また、本解析によ、得られた最高荷重を実験値及び有初幅理論による値と比較して図3に示す。本解析によ、得られた結果は、全体的に多少低い最高荷重を与えるがその荷重-変形挙動は、特に幅厚比 b/t の比較的大きなものを対して、実験値と大変良く一致している。幅厚比が小さいものに対しては、有初幅理論により得られた値と比較して本解析結果はかなり実験値に近い最高荷重を与える。

4. 結論

本解析結果は実験値とも良く一致しており、その精度は大変良好なものであった。なお、著者が文献(3)、(4)で提案している柱、はり柱の局部座圧と全体座圧の達成強度推定式との比較は、講演当日述べることにする。

参考文献

- 1) 工屋信洋ら, "薄板集成短柱の複合非線形挙動", 第39回年次学術講演会概要集, 1984年10月。
- 2) 宇佐美勉, T.V. Galambos, "2軸対称変形山形鋼柱の強度" 土木学会論文報告集, 第191号, 1971年7月, pp.31-44。
- 3) 宇佐美勉, 福本浩士, "鋼圧縮部材の達成座圧強度実験と有初幅理論による解析", 土木学会論文報告集 第326号, 1982年10月, pp. 41-50
- 4) 宇佐美勉, 福本浩士, 青木敏彦, "薄板箱形断面柱の局部座圧と全体座圧の達成強度に関する実験的研究" 土木学会論文報告集 第308号, 1981年4月, pp. 47-58

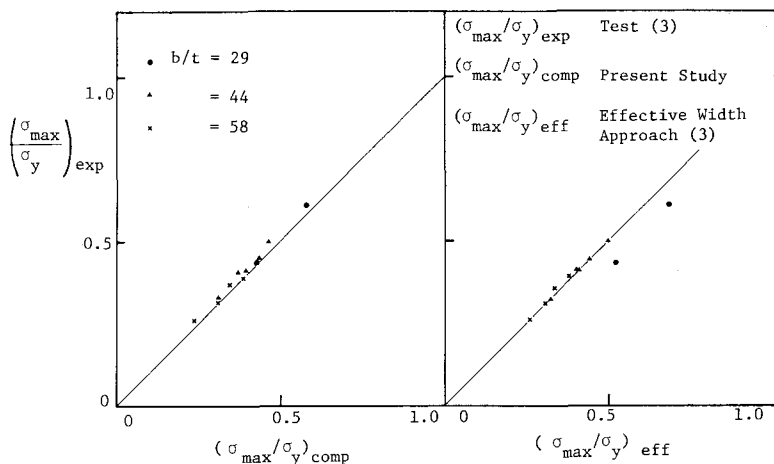


Fig. 3 Comparison of Experimental and Computed Maximum Loads
 $(\sigma_{\max} = \text{average stress at maximum load, } \sigma_y = \text{yield stress})$