

P-Δ法に関する一考察

名古屋大学 正員 宇佐美勉

1 まえがき： ラーメン構造物の設計には、有効座屈長法がわが国及び米国などで用いられている。これに代わる方法としてP-Δ法[1]があるが、この方法を適用する場合、構造物の初期不整を表す初期部材回転角 ϕ_0 を決める必要がある。また、この方法の欠点の一つとして繰り返し計算が必要なが挙げられる。この研究の目的は、は、文献[1]で提案したP-Δ法と有効座屈長法によって求められるラーメンの極限強度がほぼ同一になる条件より初期部材回転角を定めること、および繰り返し計算が不要なP-Δ法を提案することの2点にある。

2 初期部材回転角： Fig.2の挿図に示すような1層1スパンラーメンについて、文献[1]の有効座屈長法及びP-Δ法を用いて極限強度を求め、それらがほぼ一致するように最小2乗法により ϕ_0 を求めた。パラメータの変動範囲は、細長比パラメータ： $\bar{\lambda}=0.2\sim 1.2$ 、剛比： $k=0.0\sim 10.0$ 、軸力比： $0.0\sim P_u/P_y$ である。ここで、 P_u は鉛直力のみが作用したときの極限強度であり、 $\bar{\lambda}$ は次式で定義される。

$$\bar{\lambda} = (Kh/r)(1/\pi)\sqrt{\sigma_y/E} \quad (1)$$

ここに、 K =有効座屈長である。結果は、まず、断面形状に無関係な形として、次式を最小2乗法によって求めた。

$$(Ah/W)\phi_0 = \bar{\lambda}_0(\bar{\lambda} - 0.2) \quad (2)$$

ここに、 A =断面積、 W =断面係数、 h =柱の高さ、 $\bar{\lambda}_0$ =有効座屈長 K が1.0のときの細長比パラメータである。次に、フランジ幅= b 、フランジ厚= t 、ウェブ幅= d 、ウェブ厚= w の箱形断面を考えると、 $W/A \cong 2r^2/d$ であるから、

$$\phi_0 = (1.8/\pi)(r/d)\sqrt{\sigma_y/E}(\bar{\lambda} - 0.2) \quad (3)$$

となり、さらに、 $bt/dw=0.5\sim 3.0$ について $r/d \cong 0.4$ と近似できるので最終的に次式を得る。

$$\phi_0 = 0.25\sqrt{\sigma_y/E}(\bar{\lambda} - 0.2) \quad (4)$$

上式が提案する初期部材回転角である。Fig.1には、SM50材について、式(4)をECCSの提案式

$$\phi_0 = (1/200)(1/2)(1+1/n) \quad (5)$$

と比較してある。ここに、 n =各層の柱の本数である。図よりわかるように、1層1スパン門型ラーメン($n=2$)については、 λ が0.6より大きくなると提案式の方がECCSの式より大きな初期部材回転角を与えるようになる。Fig.2は数値計算結果を強度相関曲線で示したもので、上述の事実を良く表している。2層ラーメンについても1層ラーメンとほぼ同じような結果が得られた。なお、図からわかるように、 λ が0.6より小さい場合には、本方法とECCSは初期部材回転角の相違

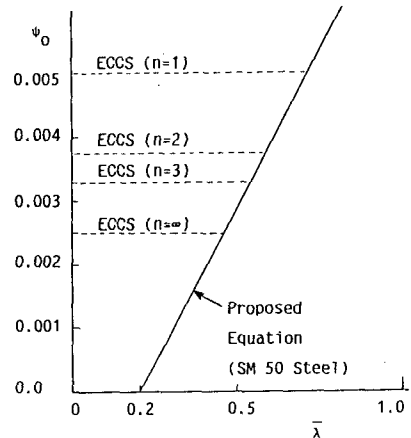


Fig.1 Comparison of Initial Rotations

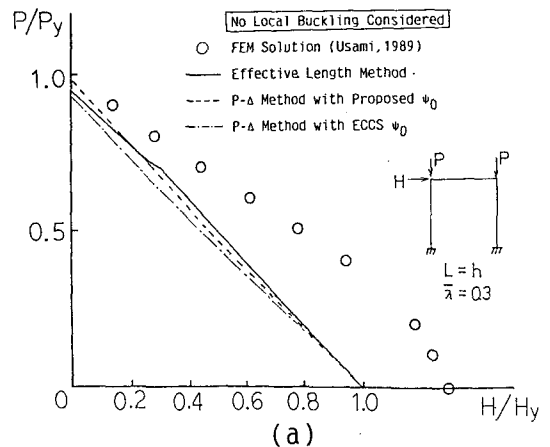


Fig.2 Comparison of Ultimate Strengths

に関わらず結果はほとんど変わらないことから、実用的には、ECCSの式を代用することも考えられる。

3 繰返し計算が不要なP-Δ法: LRFD法

[2]のStory stiffnessの考えを用いて、長方形ラーメンに適用できる繰返し計算が不要なP-Δ法を提案する。Story stiffnessの概念は、ある層iの部材回転角は、その層より上の層に働く水平力によってのみ生ずると仮定する。すなわち、Fig. 3の例では、第2層の部材回転角は、水平力 H_3+H_4 によってのみ生ずると仮定する。この考えをP-Δ法に適用すると、

$$\text{Story Stiffness} = \Sigma H / \phi_i = \{ \Sigma H + (\Sigma N)(\phi_{0i} + 1.2\phi_i') \} / \phi_i' \quad (6)$$

ここに、 ΣH =層iより上方の層に働く水平力の総和、 ΣN =層iの柱に働く軸圧縮力の総和、 $\phi_i=1$ 次理論によるi層の部材回転角、 $\phi_i'=2$ 次理論によるi層の部材回転角、 ϕ_{0i} =i層の初期部材回転角である。上式の第2式は1次理論における剛性、第3式はP-Δ効果を考えた2次理論によるそれを表す。式(6)の第2、3式を ϕ_i' について解くことにより次式を得る。

$$\phi_i' = \phi_i \cdot \{ 1 + (\Sigma N / \Sigma H) \phi_{0i} \} / \{ 1 - 1.2 (\Sigma N / \Sigma H) \phi_i \} \quad (7)$$

上式中の ϕ_i 、 ΣN は1次理論によって簡単に求められるから、上式よりP-Δ効果を考えた部材回転角が求まり、後の操作は、通常のP-Δ法と同じようにすれば良い。1層ラーメンの場合には、式(7)より求められる ϕ_i' は厳密値(繰返し計算によって求められる値)に一致する。2層以上の場合の精度は、はりの剛度に支配され、はりの剛度が無限大のときは厳密値に一致し、剛度が小さくなるほど誤差が出てくる。しかし、2層ラーメンで、はりの剛比が0.1と極端に小さい場合について数値計算した結果によると実用的な範囲内で誤差はほとんど無かった。

4 あとがき: より詳しい内容については、講演当日述べる。この研究は、文部省科学研究費(試験研究(1))の補助を受けた。

参考文献 [1]宇佐美勉: 構造工学論文集, Vol. 36A, 1990. 3. [2]Chen, W. P. and Lui, E. M.: Structural Stability, Elsevier, 1987.

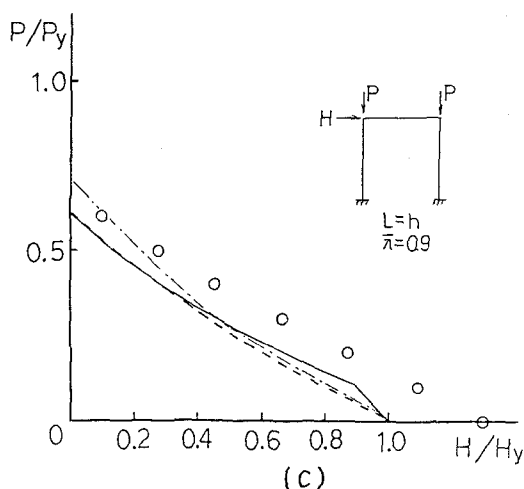
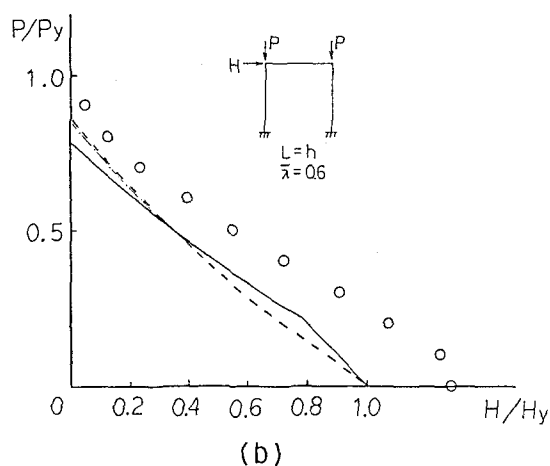


Fig. 2 Comparison of Ultimate Strengths (continued)

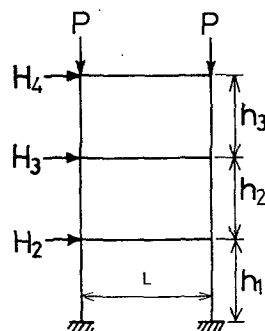


Fig. 3 Three Story Rigid Frame