弾性2次解析法を用いた変断面骨組の座屈設計に関する一提案

○ 名古屋大学　正員　織田博孝
名古屋大学　正員　宇佐美勉

1　まえがき：現行の骨組の設計法は構造物全体の照査に代え，有効座屈長を用いて各部材・断面の照査を行う．これに対して様々な疑問・矛盾が指摘され，有効座屈長の決定方法の改善や弾性2次解析法の導入が考えられている．弾性2次解析法では，あらゆる初期不整による非弾性効果を考慮するための等価初期たわみの決定が最も重要な問題である．ここでは，過去に提案されている等価初期たわみ式を再検討し，新たな算定式を提案する．また，これを変断面骨組に適用する方法を提案する．

2　等価初期たわみ：これまでに提案された代表的な等価初期たわみ算定式としては，以下のものがある．Eurocode 3では 節点移動のない場合として，次式を用いる．

$$f_0=\alpha\ (\bar{\lambda}-0.2)\cdot W/A \qquad (1)$$

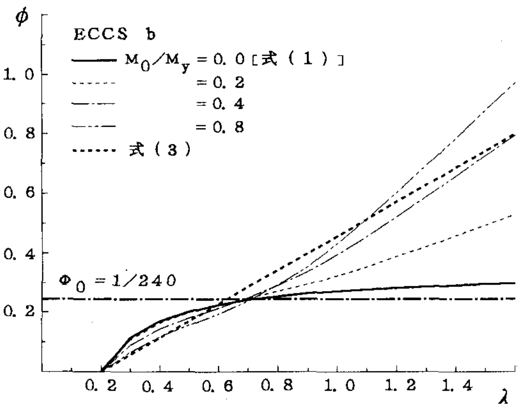
ここに，f_0=部材中央の初期たわみ，W=部材中央断面の断面係数，A=部材中央断面の断面積であり，αは柱の強度曲線を決めるための初期不整係数で，b曲線の場合 0.34 である．節点移動のある場合は，長方形ラーメンに適用可能なP－Δ法に用いる初期部材回転角として，次式を用いる．

$$\Psi_0 i=(1/200)\ r1\cdot r2 \qquad (2)$$

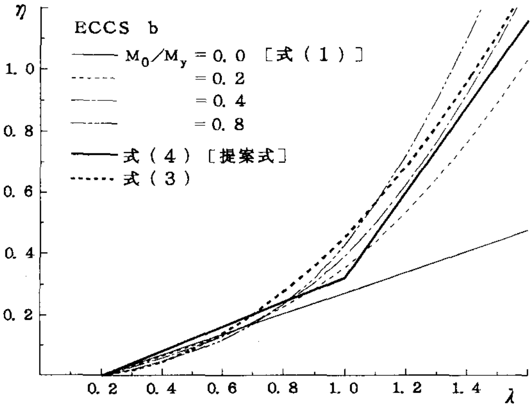
ここに，r1・r2は層の数，層の柱本数によって決まる係数で1層1径間の場合 1 である．一方，著者の一人が，箱形断面部材から成る1層1径間のラーメンに対して，有効座屈長法（軸方向強度はECCSのb曲線を用いる）とP－Δ法で求められる強度がほぼ一致する条件から次の表現式を求めた．

$$\Psi_0 i=0.25\sqrt{\sigma y/E}\ (\bar{\lambda}-0.2) \qquad (3)$$

式(1)～(3)は形の異なった表現式であり，相互の物理的関係は明らかにされていなかった．そこで，等モーメントM_0を受ける両端単純支持のはり－柱の強度相関式（軸方向強度はECCSのb曲線，曲げ強度はMy）と弾性2次解析法による強度（断面強度は降伏を限界とする）が一致する初期部材回転角および初期たわみを求めた．この結果を図－1,2に示す．図中のϕ，ηは部材回転角および初期たわみの無次元量であり，



図－1　初期部材回転角



図－2　等価初期たわみ

$\phi=\dfrac{2}{\pi}\sqrt{\dfrac{E}{\sigma_y}}\dfrac{e}{r}\Psi_0 i$，$\eta=f_0\dfrac{A}{W}$ と表される．ここに，e：中立軸から圧縮縁までの距離，r：断面2次半径である．図－2に示すようにM_0=0の初期たわみは式(1)に一致する．これを部材回転角として表すと図－1に示すように$\bar{\lambda}$ に反比例関数となる．これを最小2乗近似した一定の部材回転角$\Psi_0 i$は 1/240 となる．また，柱のc曲線の場合は 1/170 となり式(2)はb，c曲線の中間の初期部材回転角に相当することがわか

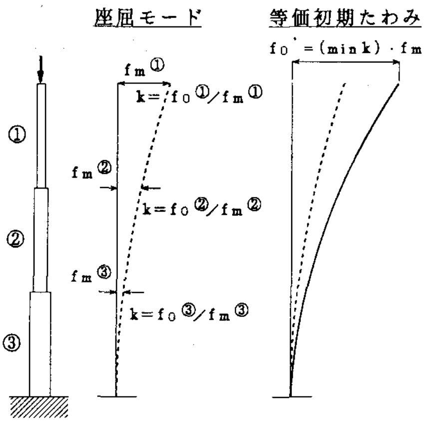
った．式(3)はモーメントが作用する場合に，部材回転角を直線で最小２乗近似したものにほぼ等しいことがわかった．式(3)が最も合理的と考えられるが，たわみの形で表現した場合２次式であり，他の柱強度曲線を用いる場合余り相関が良くないことが分かった．そこで，次式を考えた．

$$\eta=\alpha_1(\overline{\lambda}-0.2)\qquad(0.2\leqq\overline{\lambda}\leqq1.0)\qquad(4.1)$$

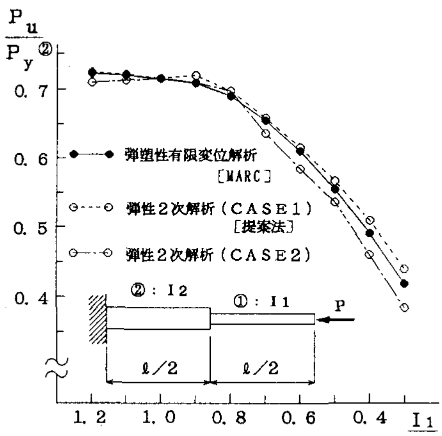
$$=\alpha_2(\overline{\lambda}-\beta)\qquad(\overline{\lambda}>1.0)\qquad(4.2)$$

ここに，最小２乗近似により柱強度曲線がｂ曲線の場合，α_1=0.404, α_2=1.388, β=0.767である．

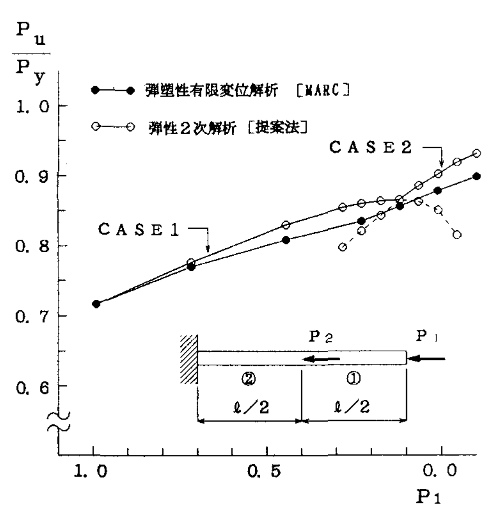
3　変断面骨組への適用：式(4)では有効座屈長が必要であり，これは任意の荷重・構造条件に対して固有値解析により求める．弾性２次解析法に有効座屈長の概念を用いることは矛盾に感じられるが，任意の場合に等価初期たわみを精度良く算定するために必要である．変断面に対しては図−３に示すように，あらゆる断面において式(4)から求められる初期たわみ量 f_0 と座屈モード値 f_m の比ｋを計算する．次に最小のｋを選び，座屈モードに掛けて等価初期たわみとする．つまり，骨組の中で有効座屈長（すなわち等価初期たわみ f_0）の小さい部材が座屈に対して弱いが，それが骨組の強度を支配するかどうかは座屈モードに対応して決まると考えられる．適用可能性については，以下の解析例で示す．２例とも箱形断面（圧縮残留応力 0.2σy）から成る柱で基準状態で $\overline{\lambda}$ =0.9である．比較を厳密にするため，式(4)のαは基準状態で弾塑性有限変位解析と弾性２次解析が一致するものを用いた． (a)変断面片持柱：CASE1は小さい方の $\overline{\lambda}$ （小さい断面の部材）から決まる f_0 を柱先端に当てはめたものであり，CASE2は大きい方の $\overline{\lambda}$ から決まる f_0 を柱先端に当てはめたものである．提案法はCASE1に一致する．提案法では，I_1/I_2<0.8の場合に①部材で崩壊する現象をとらえて，より精度がよいことがわかる． (b)中間荷重を受ける片持柱：P_1 が小さくなるに従って①部材の $\overline{\lambda}$ は次第に大きくなり，P_1=0で∞ に至る．CASE1は①部材の $\overline{\lambda}$ から決まる f_0 を柱先端に当てはめたものであり，CASE2は②部材の $\overline{\lambda}$ から決まる f_0 を ℓ/2点にに当てはめたものである．提案法はCASE1からCASE2につながる実線で誤差は最大で 3 %であり，等価初期たわみ決定の考え方を変更することなく強度を精度良く推定できる．



図−３　初期たわみ量,モードの決定



図−４　変断面柱



図−５　中間荷重を受ける柱

4　あとがき：提案した方法は簡単な考え方ながら汎用性があり，現行法では困難な骨組も合理的に設計できる可能性がある．詳しい内容は講演当日述べる．

参考文献：宇佐美勉：鋼骨組構造物の座屈設計法の問題点，第1回SGST拡大研究会論文集，1991年11月