

九州大学 正員 太田俊昭

" 学生員 ○藤崎和久

1. まえがき

さきに著者らは、曲げと軸力を受けるはりに対して幾何学的非線形と材料的非線形を考慮した弾塑性大たわみ理論を発表したが、これは、従来の一貫した有限要素法による解法に対して、部材要素に対して塑性を考慮した座屈たわみ角式を用いることにより計算容量を減じようという試みにもとづき、1に、

すなわち、塑性曲率 ϕ^p を導入することにより塑性を考慮した座屈たわみ角式(図-1参照)

$$\left. \begin{aligned} M_A &= (4EI/l + 4Nl/30) \cdot \tau_A + (2EI/l - Nl/30) \cdot \tau_B - EI\phi_A^p \\ M_B &= (2EI/l - Nl/30) \cdot \tau_A + (4EI/l + 4Nl/30) \cdot \tau_B - EI\phi_B^p \\ N &= EA(l - l_0)/l + EA(2\tau_A^2 - \tau_A \cdot \tau_B + 2\tau_B^2)/30 - EA(\epsilon_{CA}^p + \epsilon_{CB}^p)/2 \end{aligned} \right\} \text{-----}(1)$$

より、荷重増分に対して、材端力増分 Δf と部材変形増分 $\Delta \tau$ の関係は、次式で与えられる。

$$\Delta f = k \cdot \Delta \tau + \Delta f^p \quad (\Delta f = [\Delta M, \Delta N]^T, \Delta \tau = [\Delta \tau_A, \Delta \tau_B]^T) \text{-----}(2)$$

また、変形の適合条件より $\Delta \tau$ と材端変位増分 Δu の関係は、次のようになる。

$$\Delta \tau = \alpha_A \cdot \Delta u_A + \alpha_B \cdot \Delta u_B \quad (\Delta u = [\Delta u, \Delta x, \Delta y]^T) \text{-----}(3)$$

さらに、A点とB点の材端力の座標変換式は、荷重増分に対して

$$\Delta P_A = A_A \cdot \Delta f + b \cdot \left(\frac{\Delta R}{\Delta l} \right), \quad \Delta P_B = A_B \cdot \Delta f - b \cdot \left(\frac{\Delta R}{\Delta l} \right) \text{-----}(4)$$

となる。ここで

$$\left(\frac{\Delta R}{\Delta l} \right) = C \cdot \Delta u_A - C \cdot \Delta u_B \quad (\Delta P = [\Delta M, \Delta x, \Delta y]^T) \text{-----}(5)$$

式(2),(3),(4),(5)より、部材要素に対する剛性方程式が得られ、次のようになる(文献1参照)。

$$\begin{bmatrix} \Delta P_A \\ \Delta P_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{AA} & k_{AB} \\ k_{BA} & k_{BB} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u_A \\ \Delta u_B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_A \cdot \Delta f^p \\ A_B \cdot \Delta f^p \end{bmatrix} \quad \left(\begin{aligned} k_{AA} &= A_A \cdot k \cdot \alpha_A + bC, k_{AB} = A_A \cdot k \cdot \alpha_B - bC \\ k_{BA} &= A_B \cdot k \cdot \alpha_A - bC, k_{BB} = A_B \cdot k \cdot \alpha_B + bC \end{aligned} \right) \text{-----}(6)$$

あとは、通常の方法により部材全体の剛性方程式が求まる。

本研究は、式(6)を用いて偏心圧縮荷重を受ける鋼薄肉断面柱の非線形挙動を解析し、他の解析解および実験値との比較を行ない、本理論の精度および実用性について検討した結果を報告するものである。

解析例は、一貫した有限要素法を用い、塑性域の広がりやを考慮した解析を行っている藤田氏の数値解析例題と、著者らが行った実験例題をとりあげ報告する。数値解析にあたっては変位増分法を用い、また、Newton-Raphson法により収束計算を行った。

2. 数値解析例および考察

図-2は、藤田氏が行ったH型鋼偏心圧縮の例題である。藤田氏らの20分割に対し本法は10分割である。最高荷重については、本法は、藤田氏らの実験値および解析解より高目の値を与えるが、全体的変形性状はかなり良い一致を示している。 $l/r=60$ は最高荷重付近で少々ずれが大きくなるが、細長比の小さい柱では初期たわみおよび残留応力の影響が大きいので参考までに残留応力を考慮した解析を行った。

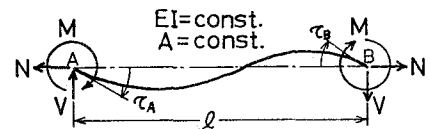


図-1

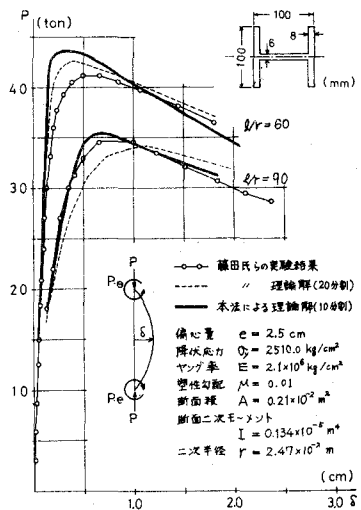


図-2 H型鋼偏心圧縮

結果は図-3に示すように、残留応力を考慮することによりかなり良い一致を示すことが期待される。

図-4は、リーハイ大学で行われたBeam-ColumnのM-Q関係を求める例題である。この場合も本法は実験値ならびに藤田氏の解析解よりも高目のMを与えるが、実験値にかなり良い一致を示していることがわかる。

図-5は、着者が行った鋼箱型断面柱の偏心圧縮実験結果と数値解析結果を示したものである。 $l/r=90$ ではかなり良い一致を示しているが $l/r=60$ の場合には少々ずれが目立つ。最高荷重の違いについては、部材長が70cmぐらいで比較的小さく実験時の不整による影響が大きいこと、また使用材料の材料定数のばらつきが大きかったことなどが原因に考えられる。また塑性産生の後、荷重が急激にダウンしているのは局部産生が起こったにめだと思われる。

また、本例題に対して有限変形理論による解析も行ったので参考までに図-6に示す。変形の小さい領域ではほとんど一致するが、塑性産生後大変形になるにつれて大たねみ理論との差がひらいていくことがわかる。

以上の結果より、本理論は次のような特徴をもつと言える。

- 部材要素に対して産生にわみ角式を用いることにより容量の低減がはかれ、吊橋の主塔など全体構造系の中の曲げと軸力を受ける部材の弾塑性大たねみ解析等に有利である。
- 容量の低減により演算時間の短縮がはかれ、しかも、工学的に十分な精度を期待しうる。

<参考文献>

1. 太田俊昭, 藤崎和久他: “曲げと軸力を受けるはりに対する弾塑性大たねみ理論”, 工学会西部支部, 昭和57年度研究発表講演集
2. 藤田謙也: “平面骨組構造物の最高荷重(弾塑性有限変形解析)”, 日本鋼構造協会第5回大会スリク構造解析法研究発表論文集, 846.6
3. Galambos, T. V., Lay, M. G.: “Studies of Ductility of Steel Structures”, A.S.C.E. ST4, August, 1965

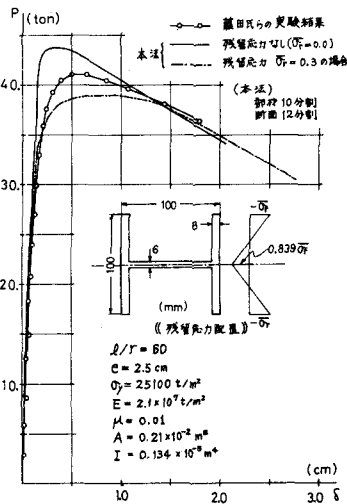


図-3 $l/r=60$ 残留応力考慮

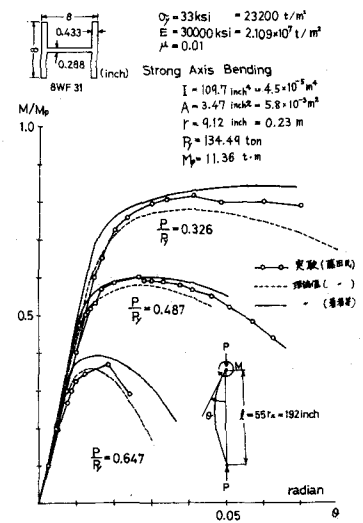


図-4 Beam-ColumnのM-Q関係

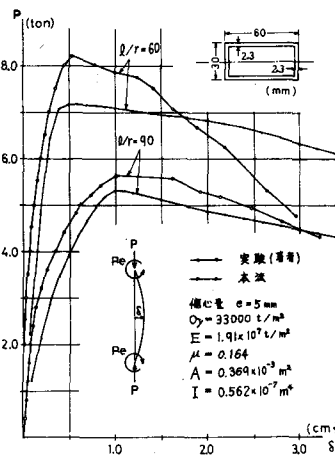


図-5 Box断面柱偏心圧縮

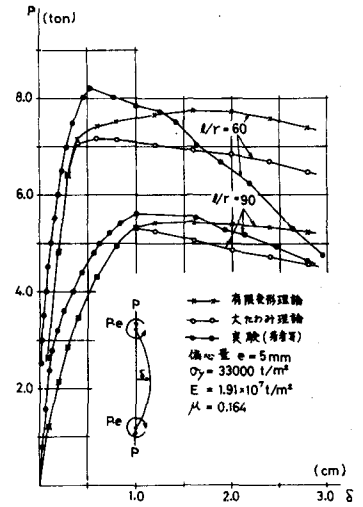


図-6 理論による比較