

圧縮と曲げを受ける鋼箱形断面部材の局部座屈挙動の有限要素解析

熊本大学大学院 学生員○三輪清貴

熊本大学工学部 正 員 崎元達郎

熊本大学工学部 正 員 山尾敏孝

1. まえがき： 文献1)では、残留応力を考慮した単位長の部材をはり一柱要素として断面分割法により弾塑性解析し、一定モーメント下で平均軸ひずみを漸増して得られる軸力と平均ひずみの関係(N-M- ϵ 曲線)と、一定軸力下で曲率を漸増して得られる端モーメントと曲率の関係(M-N- ϕ 曲線)を求め、その曲線を陽な式で近似した。そして、この関係を通常の棒要素を用いた骨組の有限変位解析法に持ち込み、近似曲線の勾配として接線軸剛性 EA_t 及び接線曲げ剛性 EI_t を評価し、有限変位と弾塑性を考慮した骨組の終局強度を解析する方法を提案した。この考えを発展させ、部材の構成板の局部座屈を考慮したN-M- ϵ 関係及びM-N- ϕ 関係を求め、陽な関数で近似することができれば、骨組の弾性有限変位解析の労力で弾塑性と局部座屈の影響を考慮した骨組の終局挙動が簡易に解析できることになる。このような見通しのもとに、本研究では圧縮と曲げを受ける正方形箱形断面鋼短柱について、局部座屈後領域まで弾塑性有限変位解析を行ったので解析結果を報告する。

2. 解析方法： 解析法は、文献2)の面内回転剛性を導入した一節点6自由度の板要素を用いた弾塑性有限変位解析法を用いた。N-M- ϵ 関係、M-N- ϕ 関係の解析において、短柱の軸力に対しては載荷面に対し一様強制変位を、曲げに対しては平面を保持する端面の回転を与える強制変位³⁾を与え、その反力によって断面力(N, M)を計算した。また、平均曲率 ϕ は載荷面での傾き θ と部材長 a より、 $\phi=2\theta/a$ として計算した。

3. 解析モデル： 解析モデルは、板厚 $t_r=t_w=4.5\text{mm}$ 、縦横比 $d/b=1.0$ 、アスペクト比 $a/b=0.7^{3)}$ を固定し、

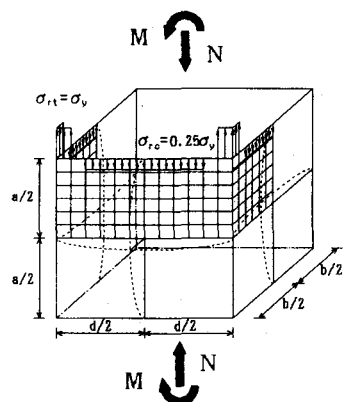


Fig. 1 Analytical model for F.E.M.

$b/t=30, 40, 60$ と変化させて解析を行った。ただし、純圧縮と純曲げについては、 $b/t=20, 50, 70$ の場合も解析した。また、材料は完全弾塑性体とし、材質はSM50相当材を考え降伏応力 $\sigma_y=3200\text{kgf/cm}^2$ 、弾性係数 $E=2.1 \times 10^6\text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.30$ を用いた。初期たわみの最大値は示方書に規定されている許容値($b/150, d/150$)とし、軸方向および板幅方向に半波の正弦波となるようFig. 1の破線のように与えた。残留応力は軸方向および厚さ方向に一定とし、最大圧縮残留応力 $\sigma_{rc}/\sigma_y=0.25^{4)}$ を用いて、断面内での自己釣り合い条件によりFig. 1に示すように与えた。なお、残留応力値は b/t に無関係に一定とした。以上のような解析モデルに対して、荷重、たわみ波形の対称性より、短柱の1/4のみを取り出して解析した。要素分割については、軸方向に6等分割、板幅方向にフランジを6等分割、ウェブを12等分割とし、板厚方向には6等

分割とした。境界条件は載荷面で面外に単純支持とし、面内せん断力が零として軸方向強制変位を与えた。

4. 解析結果： 上述の方法により得られたN-M- ϵ 曲線をFig. 2に、M-N- ϕ 曲線をFig. 3に示す。N-M- ϵ 曲線及びM-N- ϕ 曲線の解析では、それぞれMとNは M_y と N_y の20%さざみに与えた。ここに、 N_y, M_y は局部座屈を考えない場合の降伏軸力と降伏モーメント、 ϵ_y, ϕ_y はそれぞれ N_y, M_y に対応する降伏時の軸ひずみ、曲率である。なお、解析結果は全て降伏値で無次元化して示した。いずれのケースにおいても、幅厚比が大きくなるにつれ局部座屈による影響が顕著に表れ、最大荷重が低下していることがわかる。この結果を骨組解析に導入するために、これらの曲線を適当な関数で近似する必要がある。そこで、まずそれぞれの曲線の最大値を予測するため純圧縮および純曲げにおける最大強度について述べる。ここで、局部座屈の影響は次式で示される無次元化幅厚比パラメーターで表す。

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{k\pi^2}} \quad (1)$$

ここに、座屈係数は $k=4$ を用いた。

純圧縮時の解析結果より以下に示す強度曲線が得られた。

$$P_u/P_y = (0.5/R)^{0.8} \leq 1.0 \quad (2)$$

ここに、 P_u は純圧縮時の最大強度である。解析結果と強度曲線をFig. 4に示す。図中には北田ら⁶⁾および三上ら⁵⁾の強度曲線も示す。また、純曲げ時の解析結果より以下に示す強度曲線が得られた。

$$M_u/M_p = 1.147 - 0.308 * R \leq 1.0 \quad (3)$$

ここに、 M_u は純曲げ時の最大強度、 M_p は全塑性モーメントである。解析結果と強度曲線をFig. 5に示す。図中には北田ら⁷⁾の強度曲線も示す。次に圧縮と曲げを受ける場合の最大強度について述べる。W. F. Chenら⁸⁾の提案による曲げと圧縮を受けるはり一柱の相関曲線の N_y, M_y をそれぞれ N_u, M_u に変えることにより良い精度で評価できる。即ち、局部座屈を考慮した短柱の相関曲線

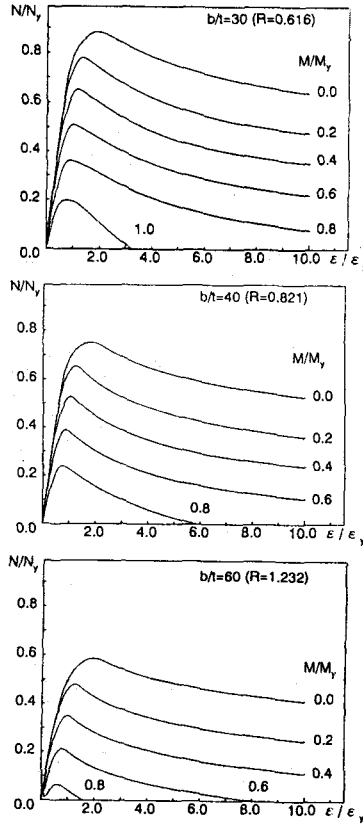


Fig. 2 Thrust-Moment-Mean Strain Curves

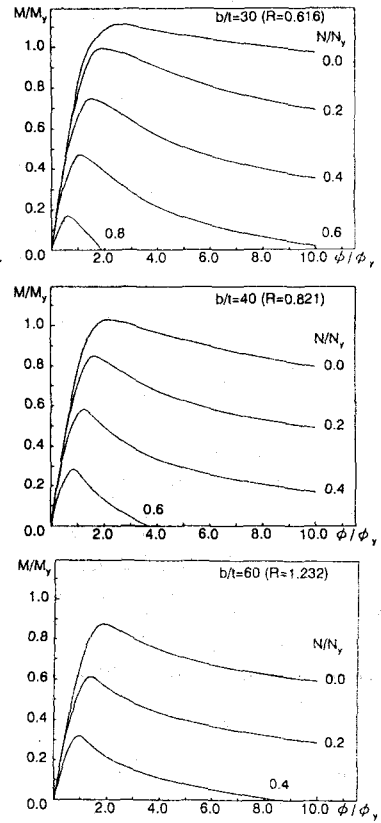


Fig. 3 Moment-Thrust-Curvature Curves

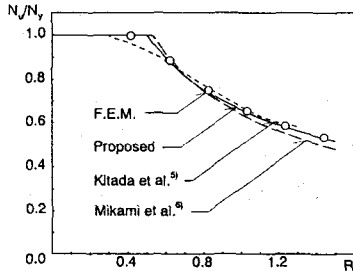


Fig. 4 Ultimate Strength of Box Stub-Column

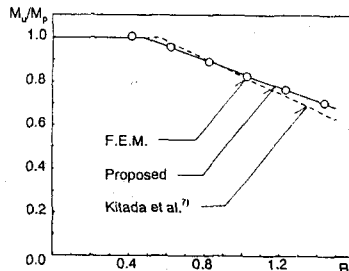


Fig. 5 Ultimate Bending Strength of Box Stub-Column

式を次式で与えることができる。 $(N/N_y)^{1.8} + (M/M_y) = 1.0 \quad (4)$

$b/t=30, 40, 60$ の場合の相関曲線(4)と解析結果をFig. 6に示す。図中には局部座屈を考慮しない相関曲線も実線で示す。

5. あとがき： 本研究で得られた、局部座屈を考慮した $N-M-\epsilon$ 曲線及び $N-M-\phi$ 曲線を陽な関数で近似することにより、弾塑性と局部座屈を考慮した骨組の終局強度解析が可能となる。

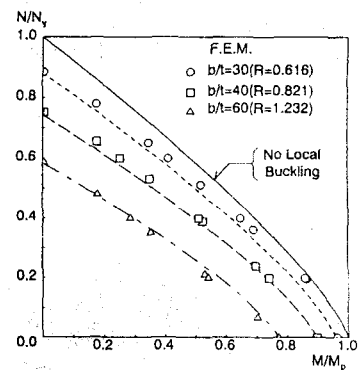


Fig. 6 Interaction Curves of Locally Buckled Box Stub-Column

参考文献：

- 1) 崎元・嶋田：有効接線係数を用いた鋼骨組の全体強度設計法，土木学会第47回年次学術講演会講演概要集第1部，1992. 9，pp. 288-289
- 2) 山尾・崎元：板要素とはり要素の結合による薄肉鋼構造物の有限変位弾塑性解析，構造工学論文集，Vol. 32A，1986. 3，pp. 291-301
- 3) 宇佐美・土屋・大谷・福本：薄板集成短柱の弾塑性有限変位解析，土木学会論文集，第362号，1985. 10，pp. 293-302
- 4) 小松・牛尾・北田：補剛板の溶接残留応力及び初期たわみに関する実験的研究，土木学会論文集，第265号，1977. 9，pp. 25-35
- 5) 中井・北田・酒造：圧縮を受ける薄肉箱形短柱の終局強度特性と終局強度算定法に関する研究，構造工学論文集，Vol. 31A，1985. 3，pp. 65-77
- 6) 三上・堂垣・米沢：補剛箱形板実験の調査と強度簡易算定法の評価，土木学会論文報告集，第334号，1983. 3，pp. 181-184
- 7) 中井・北田・國康・中村・岸田：組み合わせ断面力を受ける薄肉箱形断面短柱の局部座屈を考慮した……，構造工学論文集，Vol. 36A，1990. 3，pp. 89-100
- 8) F. Al-Mashary, W. F. Chen: Simplified second-order inelastic analysis for steel frames, The Structural Engineer/Volume 69/No. 23/3, 1991. 12