

I-52

局部座屈の影響を考慮した箱形断面鋼骨組の耐力解析法

熊本大学工学部 正員 崎元達郎 佛九州開発エンジニアリング 正員 李 杰
熊本大学工学部 正員 山尾敏孝

1. まえがき：骨組構造物の終局強度の解析法として文献1)では $N-(M)-\epsilon$ と $M-(N)-\Phi$ 関係の近似曲線から接線剛性を評価し、局部座屈を考慮した鋼骨組の終局強度解析法を提案した。ただし、この提案法によると解が求め得ない領域が生じたり、断面が局部座屈を生じる極限状態に達しても骨組の耐力を急激に失なうという挙動が解析できなかった。本研究では文献1)の研究を改善して、モーメント(M)一定の代わりに曲率(Φ)一定の下での軸力(N)と平均ひずみ(ϵ)の関係(以下 $N-\epsilon(\Phi)$ の曲線とする)から接線軸剛性を評価した。また、軸力(N)が一定の下でのモーメント(M)と曲率(Φ)の関係(以下 $M-\Phi(N)$ 曲線とする)から接線曲げ剛性を求め、これらを骨組解析に適用することにより局部座屈を考慮した鋼骨組の耐力力を容易に求める解析法を提案する。

2. $N-\epsilon(\Phi)$ 関係：解析モデルはFig.1に示すように軸力NとモーメントMを受ける二軸対称の薄肉箱形短柱を対象とし、文献2)の板要素による弾塑性変位解析法を用いて求める。解析手法の概要と短柱の緒元については文献3)と同様なのでここで省略する。一例として、幅厚比 $b/t=30.0$ の場合の解析結果をFig.2中の実線で示す。図中、 N_y は降伏軸力、 ϵ_y は降伏ひずみ、 ϕ_y は降伏曲率である。

$N-\epsilon(\Phi)$ 関係の近似式はFig.2の点線で示すように原点から軸力最大値の点までを放物線でそれ以降を直線で近似して求めた。その近似式を以下に示す。

$$\left. \begin{aligned} N &= -(0.14 + 0.05 * \phi / \phi_y) * \beta \\ &\quad * N_m * (\epsilon / \epsilon_y - 1.0)^2 + N_m \quad (0 \leq \epsilon \leq \epsilon_b) \\ N &= -A * N_m * (\epsilon - \epsilon_b) + C * N_m \quad (\epsilon > \epsilon_b) \end{aligned} \right\} (1)$$

ここに

$$\left\{ \begin{aligned} N_m &= N_u * (1.0 - 0.005 * \phi / \phi_y)^2 \\ \beta &= (\tan(\theta))^{(1.0 + R/2.5)} \\ \theta &= \arctan(10.0 * (N_m / N_y) / (\epsilon_b / \epsilon_y)) \\ C &= 1.018^{R/0.516}, A = 10.58 - 2.5 * R + \phi / \phi_y \end{aligned} \right.$$

ϵ_b は任意曲率が作用する時軸力が最大となる平均ひずみであり、次式で得られる。

$$\epsilon_b / \epsilon_y = (6.56 + (\phi / \phi_y)^2) / 4.0 \quad (2)$$

N_u は純圧縮強度であり、Rを用いて次式で与えられる。

$$N_u / N_y = (0.503 / R)^{0.516} \leq 1.0 \quad (3)$$

式(3)と有限要素法による解析結果との比較をFig.3に示す。同図に三輪¹⁾、北田ら⁴⁾の強度曲線も参考のため示す。式(1)に軸ひずみと曲率を

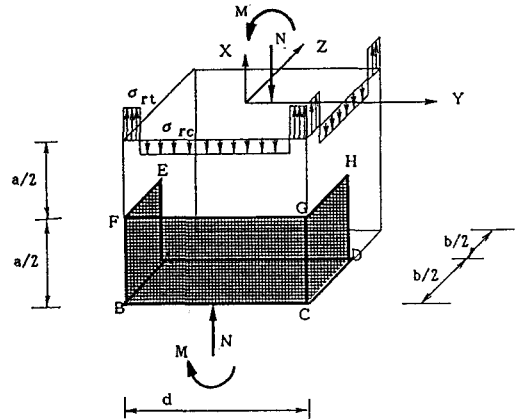


fig.1 Model for F.E.M Analysis
 N/N_y

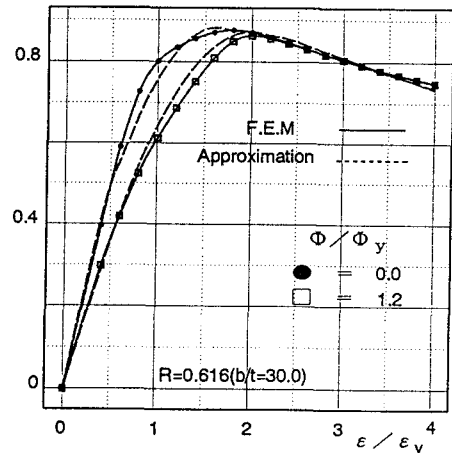


fig.2 $N-\epsilon(\Phi)$ Curves
& its Approximation

与えれば接線軸剛性と軸力が計算できる。

3. $M-\Phi(N)$ の関係: $M-\Phi(N)$ 関係について、文献1) で提案した近似式を引用する。

$$\left. \begin{aligned} M &= -M_m * (\phi/\phi_b - 1.0)^2 + M_m & (0 < \phi \leq \phi_b) \\ M &= \gamma * (\phi - \phi_b) + M_m & (\phi > \phi_b) \end{aligned} \right\} (4)$$

式(4)の各係数の意味は文献1)では詳しく説明したのでここで省略する。式(4)により軸力と曲率を与えれば接線曲げ剛性と曲げモーメントが求められる。

4. 解析法: 解析法は通常の棒要素による弾性有限変位解析法において、 $N-\varepsilon(\Phi)$ 、 $M-\Phi(N)$ 関係の勾配として接線軸剛性と接線曲げ剛性を評価し、次の段階の接線剛性マトリックスを作成し、式(1)と(4)により得られる N 、 M と外力のつり合いを求めながら、変位増分法により解析を行う。

5. 解析結果: 骨組解析の対象はFig. 4に示す一定鉛直荷重 P と増大する水平荷重 H を受ける一層一支間の門形ラーメンで、 H と荷重載荷点での水平変位 Δ の関係を求める。ただし、部材は全て幅厚比 $b/t = 30$ ($R=0.616$) の正方形箱形断面とし、ヤング率: $E=2.1 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$ 、降伏応力: $\sigma_y = 3200.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、板厚 $t=1.0 \text{ cm}$ とし、はり、柱とも10部材に分割した。解析結果をFig. 5に示す。図中、 H_y は降伏水平荷重、 Δ_y は降伏水平変位、 P_y は降伏軸力である。同図には、宇佐美・寺尾⁶⁾の解析結果も比較のため示した。

6. 結論: 提案の解析法によると最大曲率面で曲げモーメントが断面の局部座屈に対する極限状態に達すると骨組の耐荷力が失われることをよく示し得た。この解析法は現時点では正方形箱形断面部材に限定されるが、手法としては汎用性を有している。

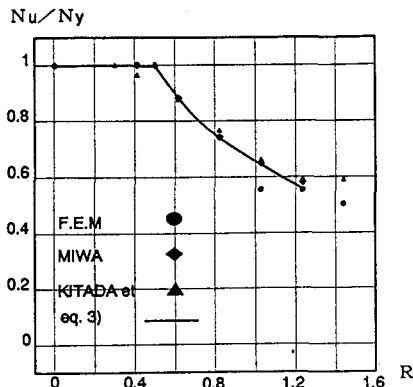


Fig. 3 Ultimate Strength of Box Stub-Column

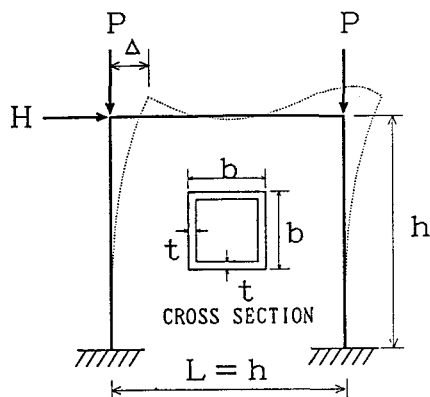


Fig. 4 Analytical Frame

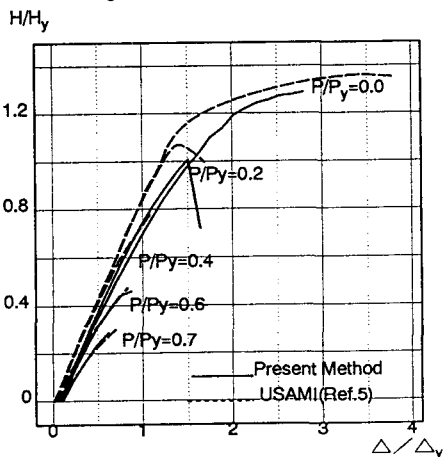


Fig. 5 Load Deflection Curve of Locally Buckled Portal Frame

- 参考文献 1) 三輪・崎元: 局部座屈の影響を考慮した箱形鋼骨組の終局強度解析法。土木学会第48回年次学術講演会講演要録集第1部1993. 5. 9 PP202-20
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) 三輪・崎元・山尾: 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、土木学会西部支部研究発表会、1993. 3, pp. 42-43
4) 中井・北田: 圧縮を受ける薄肉箱形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
5) 宇佐美・寺尾: 局部座屈を考慮した箱形断面鋼骨組構造物の強度、土木学会論文集、第398号、1988. 10, PP197-206