

I - 46 局部座屈を考慮したξ法によるラーメン構造の終局強度解析

大日コンサルタント 正 員 大野 晃嗣
 芝浦工業大学 正 員 山本 一之
 東京都立大学 正 員 野上 邦榮

1、まえがき

最近、欧米を中心にしてラーメン構造の設計に、変形の影響を直接構造解析に考慮した設計法が適用されており、我が国でも、従来の許容応力設計法に対する限界状態設計法の立場から新しい設計法の検討が行われている。著者の一人は、高度な非線形解析を用いずに、しかも実務レベルにそった設計法としてξ法を提案している¹⁾。しかし、この方法は、構造型や荷重状態によっては安全側すぎる設計になることが指摘されており²⁾、さらに、局部座屈の影響が考慮されていないなどの問題点が残されている。

そこで、本研究では、このξ法に局部座屈の影響を考慮した設計法を提案し、柱部材断面の幅厚比パラメータを変化させたラーメン構造を対象にその有効性を検証している。

2、局部座屈を考慮したξ関数の設定

ξ関数は、接線弾性係数とヤング係数の比 $\xi = E_t / E$ と置いたものであり、初期たわみや残留応力などにも依存した、部材断面を包括的に見たパラメータである。この値は、換算細長比λの関数で与えられる柱の基準耐力曲線 $\bar{\sigma} = f(\lambda) (\bar{\sigma} = \sigma / \sigma_y)$ を基礎にする時、次式のように表わすことができる。

$$\xi = g(\bar{\sigma}) \bar{\sigma} \dots \dots \dots (1)$$

いま、柱の全体座屈と局部座屈の連成強度を考慮するため、ここではQファクター法を適用する。すなわち、局部座屈の考慮していない柱の強度式中の σ_y を $Q\sigma_y$ に置き換えた式を用いるものであり、この時、式(1)は次式のように書き直すことができる。

$$\xi = g\left(\frac{\bar{\sigma}}{Q}\right) \frac{\bar{\sigma}}{Q} \dots \dots \dots (2)$$

また、低減率 $Q (= \sigma_{max}^L / \sigma_y)$ は次式

$$\begin{cases} Q = 1.0 & (0 \leq R \leq C) \\ Q = C/R & (C < R) \quad C = 0.85 - \sigma_{rc} / \sigma_y \end{cases} \dots \dots \dots (3)$$

であり³⁾、Rは板の幅厚比パラメータ、 σ_{rc} は残留応力である。

したがって、局部座屈を考慮したξ法による終局強度は、図-1のようにして求めることができる。つまり、対象とする断面、荷重に対して弾性有限変位解析を行い、得られた応力を基にξ値を求め、この値を考慮した固有値解析から最小固有値 κ_n を求め、最小固有値 κ_n が収束するまで荷重Pを $\kappa_n P$ としくり返し計算を行い、限界軸圧縮力 $P_u = \kappa_n P$ を決定する（ただし、 $P_u \geq QP_y$ の時、 $P_u = \kappa_n P_y$ ）。最後に、強度式 $P/P_u + M/M_u = 1$ を満足するまで荷重を修正して繰り返し計算を行う。ここに、 M_u は限界曲げモーメントである。

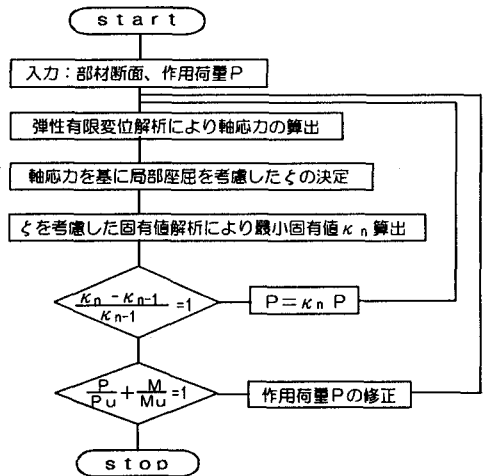


図-1 フローチャート

3、解析結果

まず、局部座屈を考慮する必要のない細長比 $L/r=120$ の一層ラーメンにおいて、鉛直荷重 P が作用する場合の終局強度について、弾性固有値解析、弾塑性有限変位解析（ $\sigma_{rc} = 0.5\sigma_y$ 、 $v^0/h = 1/2000$ ）と比較した。図-2の横軸は柱部材と水平部材の剛性比 γ であり、縦軸は耐荷力を降伏荷重で無次元化したものである。本解析による耐荷力は弾塑性有限変位解析による耐荷力とほぼ一致した値を示しており、かなり良い精度で耐荷力を評価している。

次に垂直荷重と水平荷重が作用する一層ラーメンを取り上げ、局部座屈の影響を考慮した解析解⁴⁾と比較した。対象としたのは図中に示した正方形断面を持つ一層ラーメンであり、幅厚比は30、40、60の3種類とした。（幅厚比パラメータ R で表わすと、それぞれ0.616、0.821、1.232となる。）部材の材質についてはSM50相当材（ $\sigma_y = 3200 \text{ kgf/cm}^2$ ）である。

図-3は $P/P_y + M/M_u = 1.0$ 、 $P/QP_y + M/M_u = 1.0$ を満たす垂直荷重と水平荷重の関係を示したものである。強度照査式の限界曲げモーメントは、 $M_u = M_y(5Q+3)/8$ を用いている。また、□は本解析結果であり、■はラーメンの近似強度相関式を数値計算から得られた厳密解（ $\sigma_{rc} = 0.3\sigma_y$ 、板要素の最大初期たわみ $v^0/b = 1/250$ での $M-P-\phi$ 曲線）である。

本解析結果は局部座屈を考慮しない場合（図-3,a）は照査式の N_u 、 P_u が各々 N_y 、 P_y に支配されるため、曲げ変形の大きな荷重状態では、安全側の結果となった。一方、局部座屈を考慮した場合（図-3,b,c）は厳密解とほぼ同じ様な値となった。

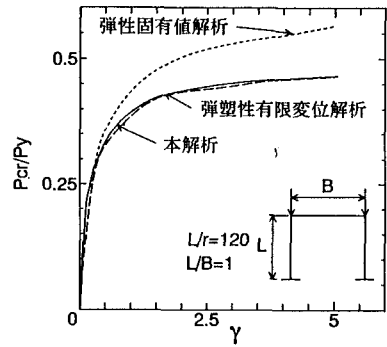


図-2 水平部材と柱部材の剛性比 γ の耐荷力に対する影響

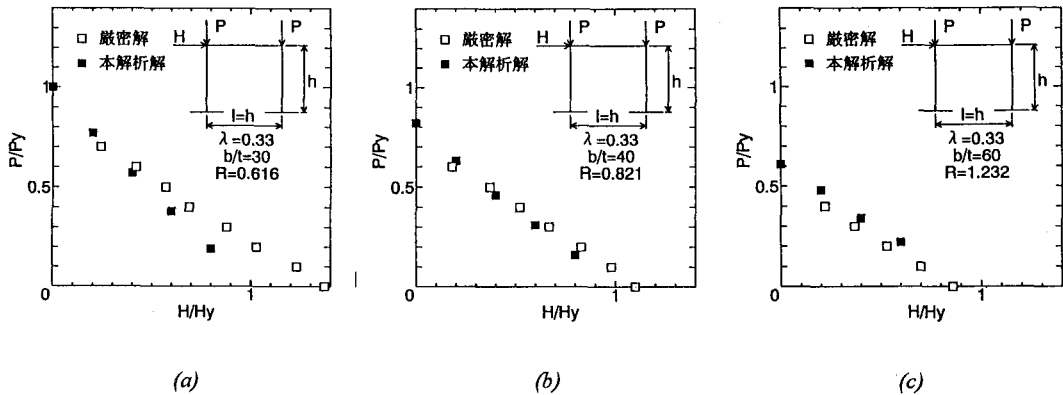


図-3 相関曲線

参考文献

- 1) 野上邦榮：鋼ラーメン柱の実用的座屈設計法に関する一提案，土木学会論文集，NO.460/I-22、1993.1
- 2) 田中朝一・崎元達郎・平野邦昭：ε法を用いた鋼アーチの面内耐荷力設計法に関する研究，第48回土木学会年次講演会，1993.9
- 3) 土木学会：座屈設計ガイドライン，1987
- 4) 宇佐美勉・寺尾圭史：局部座屈を考慮した箱型断面鋼骨組構造物の強度，土木学科論文集，NO.398/I-10、1988.10