

I-8

骨組構造物の簡易耐荷力評価法への ζ 法の適用について

日本橋梁(株)	正員	新井 克典
復建エンジニアリング	正員	大島 誠
芝浦工業大学	正員	山本 一之
東京都立大学	正員	野上 邦栄

1. まえがき

一般に、弾塑性有限変位解析は、耐荷力実験を行わずに骨組の耐荷力を数値実験的にかなり精度良く評価することができる。しかし、その汎用コード、ならびに自主開発コードは、現状において解の信頼性および経済性などに問題があるとともに、設計技術者の人為的誤差が入りやすいことなどから、その適用には大変困難な問題が存在する。そのため、実務設計ではより簡易にしかも精度の高い耐荷力を求めることが可能な実用的算出法が望まれている。このような状況において、高度な非線形解析を用いずに、骨組の終局耐力に影響する非線形性を簡易に取り込み、しかも計算労力を少なくできる方法として、著者の一人はこれまでに ζ 法による簡易耐荷力算出法¹⁾を提案している。ここでは、さらに局部座屈の影響を考慮した ζ 関数を用いた固有値解析による方法²⁾と曲げ変形による剛性低下を考慮した弾性有限変位解析による方法(修正 ζ 法)の2方法³⁾を提案し、具体的にラーメン構造を取り上げて、これらの方法の有効性を検討している。

2. ζ 法

この方法は、軸力に支配される構造系の耐荷力に対する部材の初期不整(初期たわみや残留応力)の影響を、柱の基準耐荷力曲線を用いた ζ 関数に考慮し、固有値解析により評価する解析法である。 ζ 関数は、接線弾性係数とヤング係数の比 $\zeta = E_t/E$ 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荷力曲線 $\bar{\sigma} = f(\lambda)$ ($\bar{\sigma} = \sigma/\sigma_y$)を基礎にし、さらに、柱の全体座屈と局部座屈の連成強度を考慮できるQファクター法を適用する時、

$$\zeta = g(\bar{\sigma}/Q)\bar{\sigma}/Q \dots\dots\dots (1)$$

のように表すことができる。ここに、 Q は板の幅厚比パラメータ R により与えられる低減率である。

この時、終局強度を求める手順は次のようになる。①対象とする荷重、断面に対して弾性有限変位解析を行い、②得られた応力の ζ 値を求め、③この値を考慮した固有値解析から最小固有値 κ を求め、④限界軸圧縮力 $P_u = \kappa P$ を決定する(但し、 $P_u \geq Q P_y$ の時、 $P_u = Q P_y$)。⑤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。

3. 修正 ζ 法

大きな曲げモーメントを受ける部材の場合、前述の2.の方法のように軸力の増加により降伏した断面に対して、式(1)の ζ 関数により逐次剛性を低減することだけでは充分ではなく、曲げ変形挙動により生ずる付加的な断面の塑性化の広がりによる曲げ剛性低下を新たに考慮する必要がある。ここでは、部材の曲げ剛性に対して降伏開始点から塑性強度にわたる剛性低減を、はり-柱の限界強度相関式の関数として評価する簡易法を提示する。このような構造系は固有値問題とはならず、弾性有限変位解析により耐荷力を算出することになる。

いま、曲げ剛性低下を表すパラメータとして、はり-柱の強度相関式の関数により変化する次のような

$$\phi = \begin{cases} 1 - \frac{(\alpha - \beta)^2}{(1 - \beta)^2}, & \alpha > \beta \\ 1.0, & \alpha \leq \beta \end{cases} \quad \alpha = \frac{P}{P_y} + \frac{1}{1.18} \frac{M}{M_p}, \quad \beta = \alpha_0 \frac{1}{1.18} \frac{M_y}{M_p} + \frac{P}{P_y} \left(1 - \frac{1}{1.18} \frac{M_y}{M_p} \right) \dots (2)$$

M, P の非線形式で与えられる ϕ を新たに導入する。ここに、 M, M_p, P, P_y は曲げモーメント、全塑性モーメント、軸圧縮力、降伏軸力、 α_0 は初期降伏パラメータである。

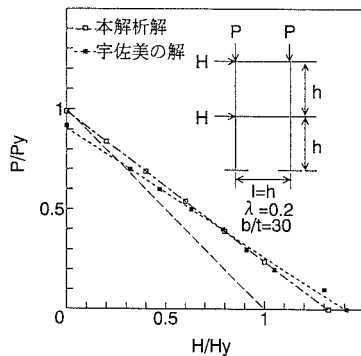
したがって、耐荷力を算出する手順は次のようになる。①想定荷重に対して構造物の弾性解析を実施し、各部材の断面力を求める。②各部材の断面力と部材の断面積および曲げ剛性から各部材の軸応力度および曲げ応

力度を求める。③ 各部材の軸応力度を用いて、 ζ 値を求める。④ 前回の ζ と今回の ζ が一致した時、その時の外力に対して収束したことになる。そうでなければ、 ζ を修正して同様の計算を ① から繰り返す。⑤ 各部材の断面力から曲げ剛性低下パラメータ ϕ を求める。⑥ 得られた ζ を用いて、軸剛性 EA および曲げ剛性 EI の弾性係数を置き換える。さらに、置き換えられた曲げ剛性 ζEI に曲げ剛性低下パラメータ ϕ を掛けることにより見かけの弾性係数を求める。⑦ 各部材はそれぞれの見かけの弾性係数を持つものとして、弾性有限変位解析を行う。

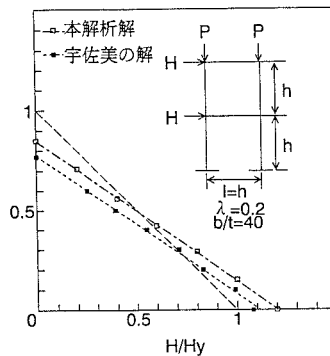
4. 数値計算例

まず、鉛直荷重と水平荷重を受ける2層ラーメン構造を数値計算例として取り上げ、提案する ζ 法と弾塑性有限変位解析による解⁴⁾との比較検討を行った。用いた断面は正方形箱形断面、パネル間の柱の換算細長比は $\lambda = 20$ 、降伏応力度は $\sigma_y = 3200 \text{ kgf/cm}^2$ である。なお、2.⑤の強度相関式中の M_u には、 $M_u = (5Q + 3)M_y/8$ を用いた。いま、 $b/t = 30, 40$ に対する解析結果を示したのが、図-1 である。局部座屈が生じない断面である $b/t = 30$ ($Q = 1.0$) の場合、本解析解は宇佐美らの弾塑性有限変位解析による解曲線と良い一致を示している。さらに、 $b/t = 40$ ($Q = 0.853$) の局部座屈を考慮した断面では、本解析法の解曲線が宇佐美らの曲線と同様の傾向を示したが、少し高めの曲線となった。

次に、修正 E_f 法により、鉛直荷重 P と水平荷重 H が作用する1層ラーメン構造 ($600 \times 600 \times 20 \text{ mm}$ の箱形断面、 $h = 1.907 \text{ m}$) を対象にして耐荷力解析を行った。なお、初期降伏パラメータは $\alpha_0 = 0.5$ を用いた。図-2 は、鉛直荷重 $P/P_y = 0.3$ の基、水平荷重を増加した場合の荷重変形挙動、ならびにその時の ζ, ϕ 関数値の変化を示している。ここに、 H_y, Δ_y は水平荷重のみが作用する時の初期降伏モーメントに達する時の荷重、変位である。鉛直荷重 P の作用により、まず ζ 値の低下が現れ、この時 ϕ 値に変化はなく、さらに水平荷重 H の載荷とともに ζ の他に ϕ の値も低下しており、耐荷力に影響していることがわかる。



(a) $b/t = 30$



(b) $b/t = 40$

図-1 ζ 法による2層ラーメン構造の強度相関曲線

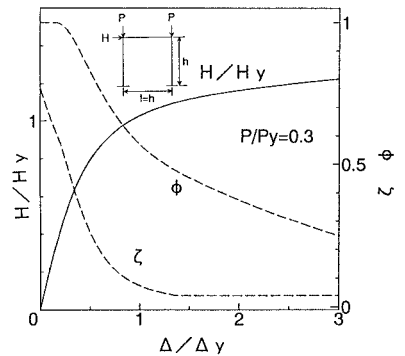


図-2 修正 ζ 法による荷重変形曲線と ζ 値と ϕ 値の変化

参考文献

- 1) 野上邦栄：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) 野上邦栄・大野晃嗣・山本一之：局部座屈を考慮した ζ 法によるラーメン構造の終局強度解析，第49回土木学会年次講演会，1994.9
- 3) 野上邦栄・佐古田圭一・山本一之：弾性有限変位解析による骨組構造の簡易耐荷力算出法の提案，構造工学における数値解析法シンポジウム，1994.7
- 4) 宇佐美勉・寺尾圭史：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，No.398，1988.12