

I - 5

弾性2次解析による2軸曲げを受けるはり一柱の設計法

瀧上工業 正員 ○織田 博孝 N K K 正員 長谷川 雄一
名古屋大学 正員 宇佐美 勉

1. まえがき： 著者らは、平面骨組に対して弾性2次解析を用いた設計法を提案してきた¹⁾²⁾。本研究では提案法を立体骨組へ拡張し、軸圧縮力と2軸曲げを受けるはり一柱の強度解析例を示す。

現行の骨組の座屈設計法は、部材安定照査式と断面強度照査式の2式を用いて行われる。この安定照査式は有効座屈長の概念を用いて、骨組の座屈強度を両端ピンのはり一柱の強度に換算するものである。しかし、有効座屈長が合理的に算定できない場合がある。この問題に対して提案法では、安定照査式に考慮されている初期不整と幾何学的非線形性による強度低下を、実際の初期たわみより大きな等価初期たわみを導入することにより弾性2次解析の中で考慮し、有効座屈長を含まない断面強度式のみで照査する。

著者らが平面骨組に対して提案した方法では、断面強度式として線形相関式を用いていた。しかし、立体骨組に拡張する場合に線形式を用いると過度に安全側になるので、非線形相関式を導入することを検討する。

2. 非線形断面強度式を前提とした等価初期たわみ： 文献1), 2)では、両端ピンのはり一柱に対して線形の断面強度式を前提として、弾性2次解析から得られる強度が、安定照査式から得られる強度にほぼ一致するように等価初期たわみを定めた。ここで用いた断面強度式を2軸曲げ部材に拡張すると次式のようになる。

$$\frac{N}{N_y} + \frac{M_y}{M_{py}} + \frac{M_z}{M_{pz}} = 1 \quad (1)$$

ここで、 N ：作用軸力、 M_y, M_z ：それぞれ強軸、弱軸まわりの作用曲げモーメント、 N_y ：全断面降伏軸力、 M_{py}, M_{pz} ：それぞれ強軸、弱軸まわりの全塑性モーメントである。式(1)と文献1), 2)で提案した等価初期たわみを用いて、2軸の等曲げを受けるH形断面のはり一柱の強度を推定した結果と弾塑性有限変位解析から求めた強度を比較すると図-1のようになる。ここで、等価初期たわみは弱軸まわりに座屈する方向、すなわち図-1の挿図で y 方向に与えた。図からわかるように、弱軸まわりの曲げが支配的な場合の精度は良いが、その他の場合はかなり安全側になってしまう。そこで、次式の非線形断面強度式を用いることを検討する。

$$\left(\frac{M_y}{M_{py}} \right)^{a1} + \left(\frac{M_z}{M_{pz}} \right)^{a2} = 1 \quad (2)$$

ここで、

$$M_{py} = 1.18 M_{py} \left[1 - \frac{N}{N_y} \right] \leq M_{py} \quad (3a)$$

$$M_{pz} = 1.19 M_{pz} \left[1 - \left(\frac{N}{N_y} \right)^2 \right] \leq M_{pz} \quad (3b)$$

である。また、H形断面に対しては $a1=2, a2=1$ 、箱形断面に対しては $a1=a2=1$ とし、式(3b)は式(3a)に置き換える。式(2)から得られる断面強度は式(1)より当然高いが、軸力のみ作用する柱や、図-1の例題で弱軸まわりの曲げのみ作用する場合に弾性2次解析で求められる部材強度は、使用する断面強度式が式(1)でも式(2)でも同じでなければならない。すなわち、式(2)を用いる場合は従来のものよりも大きい等価初期たわみ

表-1 等価初期たわみ算定式の係数

	箱形断面 ECCS-b	H形断面 ECCS-c
α_1	0.483	1.299
α_2	0.894	1.549
β_1	0.568	0.329

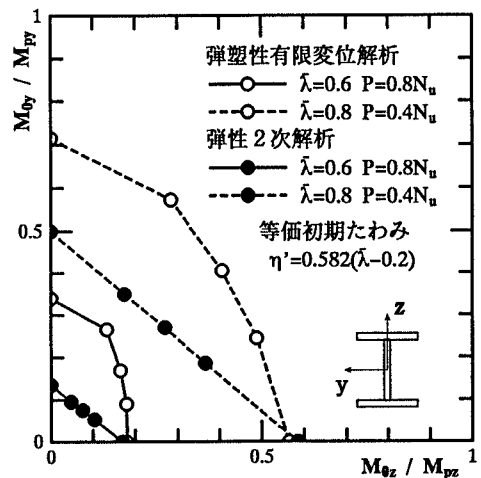


図-1 2軸曲げを受けるH形断面はり一柱（線形断面強度式）

を与えなければならない。そこで、式(2)の断面強度式を用い、弾性2次解析と弾塑性有限変位解析から得られる強度がほぼ等しくなるように次の等価初期たわみ算定式を定めた。

$$\eta' = f_0 \frac{A}{Z} = \alpha_1 (\bar{\lambda} - 0.2) \quad (0.2 < \bar{\lambda} \leq 1.0) \quad (4a)$$

$$= \alpha_2 (\bar{\lambda} - \beta_1) \quad (1.0 < \bar{\lambda}) \quad (4b)$$

ここに、 f_0 ：等価初期たわみ、 A ：断面積、 Z ：弱軸まわりの塑性断面係数、 $\bar{\lambda}$ ：弱軸まわりの細長比パラメータである。箱形とH形断面部材に対する上式の係数は表-1に示す。図-1と同じ例題に対して、式(4)の等価初期たわみと式(2)の断面強度式を用いた提案法の結果を図-2に示す。非線形断面強度式を導入したことにより、かなり精度が向上したことがわかる。

3. 2軸の不等曲げを受けるはり一柱：ここでは、非線形断面強度式を用いる弾性2次解析法の応用例題として、2軸の両軸とも不等曲げを受ける箱形断面はり一柱の解析例を示す。材端モーメント比 κ は、一方の軸で $\kappa = M_2/M_1 = -1.0$ （逆曲げ）—— M_1, M_2 は材端モーメント（ $M_1 > M_2$ ）——に固定し、他方の軸で $\kappa = 1.0 \sim -1.0$ （等曲げ～逆曲げ）に変化させる。このように材端モーメント比を変化させた場合の強度を、弾塑性有限変位解析および現行設計法の安定照査式から得られる強度と比較する。2軸曲げ部材の安定照査式は次式で表される。

$$\frac{N}{Nu} + \frac{C_{my}}{1 - N/N_{ey}} \frac{M_y}{M_{py}} + \frac{C_{mz}}{1 - N/N_{ez}} \frac{M_z}{M_{pz}} = 1 \quad (5)$$

ここに、 Nu ：柱の耐力力曲線から求められる中心軸圧縮強度、 N_{ey}, N_{ez} ：それぞれ強軸および弱軸まわりのオイラー座屈軸力である。また、不等モーメントによる修正係数 C_{my}, C_{mz} は次式で与えられる。

$$C_{my} \text{ or } C_{mz} = 0.6 + 0.4 \kappa \quad (6)$$

図-3は、軸力を $0.5N_y$ に固定し、上述の材端モーメント比でモーメントを比例増加したときの強度を求めたものである。図から弾性2次解析法は弾塑性有限変位解析の結果によく一致していることがわかる。しかし、安定照査式(5)による強度は材端モーメント比が小さくなるほど低い強度を与えている。これは式(6)の精度がよいことが原因と考えられる。

4. まとめ：著者らが平面骨組に対して提案した弾性2次解析を用いた座屈設計法を、立体骨組に拡張する方法を提案した。具体的には、断面強度の非線形相関式を導入し、それに対応する等価初期たわみを定めた。この方法により2軸曲げを受けるはり一柱の強度が精度良く求められることが示された。

参考文献：〔1〕織田・宇佐美：弾性2次解析による変断面骨組の座屈設計法，土木学会論文集，No.489/I-27, 1994.4. 〔2〕織田・宇佐美：骨組構造物の座屈設計法の比較と評価，構造工学論文集，Vol.40A, 1994.3.

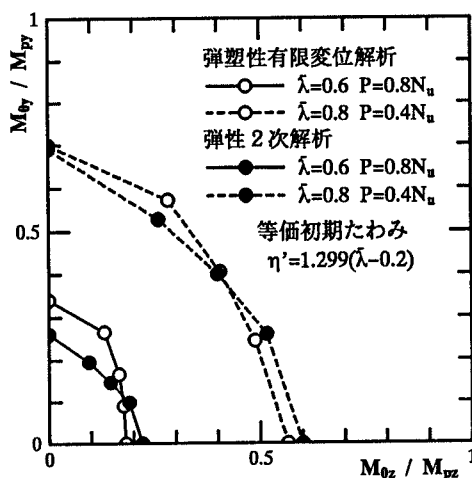


図-2 2軸曲げを受けるH形断面はり一柱（非線形断面強度式）

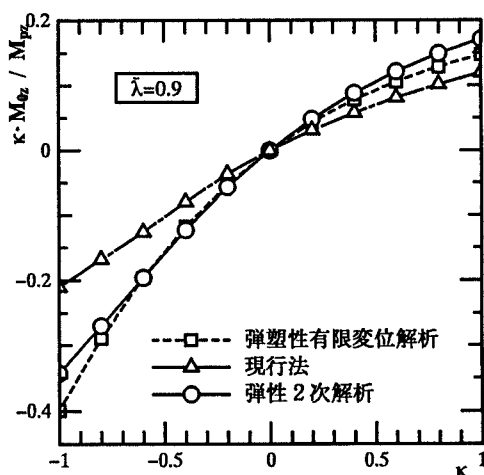


図-3 2軸の不等曲げを受けるはり一柱