

I-50

はり-柱の等価初期不整に関する一考察

市川工務店 正 員 山本幸浩
 東京都立大学 正 員 野上邦栄
 東京都立大学 正 員 成田信之

1. まえがき

最近、鋼を主たる使用材料とする構造物の比較的たわみの有限性が問題となる鋼構造物に対して、既存の設計法に比べて、有効座屈長を用いないなど大幅に変更した弾性有限変位解析に基づく設計法（等価初期不整を用いる方法）¹⁾が提案されている。この設計法において重要な設計因子である等価初期不整については、構造形式、境界条件および荷重条件が影響するため一義的に与えることは困難であり、まだ充分には解明されていない。そこで、著者らは、これまでに柱²⁾、一層ラーメン³⁾、はり³⁾の等価初期不整について報告した。さらに、今回ははり-柱の面内問題として荷重条件、境界条件が等価初期不整に及ぼす影響について検討している。

2. 等価初期不整の形状・大きさの決定法

初期たわみ、初期荷重偏心、および残留応力等の不整要因の相乗作用やパラツキによる骨組構造の終局強度に与える影響は、等価な初期不整を全体構造系に導入することにより考慮する。いま、等価初期不整に初期たわみを用いる場合、初期たわみの形状として、本研究では初期変形モードを用いることにする。また、その大きさは、ここでは図-1の手順で決定している。まず、ある端モーメント M_1/M_y に対して、等価初期たわみの大きさ w^0/L (L は部材長) を仮定して弾性有限変位解析により各断面の応力度 σ を求める。その応力度が初期降伏応力度 σ_y に達するまで、つまり、

$$\frac{P}{P_y} + \frac{M}{M_y} = 1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

の条件式を満足するまで軸荷重 P を修正する。そして、収束したときの軸荷重 P が式 (2) の限界強度相関式

$$\frac{P}{P_u} + \frac{C_m M}{M_y(1 - P/P_E)} = 1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

を満足するまで等価初期たわみを修正して繰り返して計算を行う。ここに、 P_y , P_u , P_E は各々降伏荷重、限界荷重、オイラー荷重、 M_y , M_1 , M_2 は降伏モーメント、端モーメント ($|M_1| > |M_2|$)、および C_m はモーメント換算係数である。

3. 数値計算例

いま、具体的な計算例として単純支持された H 型断面はり-柱 ($150 \times 130 \times 10$) を取り上げ、この場合の等価初期たわみを求めた。用いた端モーメント比 M_2/M_1 は -1 , -0.5 , 0 , $+0.5$, $+1$ の 5 ケースである。図中の記号 (○▲□▼◇) は M_1/M_y のパラメータに対して 2. の手順にしたがって求められた等価初期たわみである。図-2 より明かなように、柱 ($M_1/M_y = 0$) においては $w^0/L = 0.0032$ の一定値で表せる。また、はり-柱では、 $\lambda \geq 0.6$ の領域において、端曲げモーメントが増加するにしたがって等価初期たわみが増加していることがわかる。この結果を基にして、等価初期たわみを換算細長比 $\lambda (= 1/\pi \sqrt{\sigma_y/E} \cdot l_e/r)$ の線形式 (近似式 1)

$$w^0/L = \begin{cases} 0.007\lambda - 0.001 & 0 \leq \lambda < 0.6 \text{ のとき} \\ 0.002(1 + 3M_1/M_y)(\lambda - 0.6) + 0.0032 & \lambda \geq 0.6 \text{ のとき} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (3)$$

で近似したのが実線である。

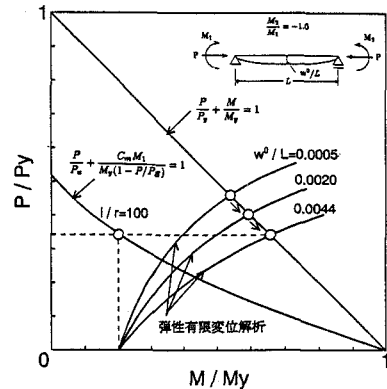


図-1 等価初期たわみの決定法

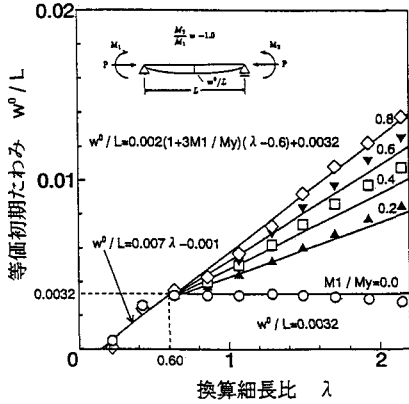


図-2 はり-柱の等価初期たわみ（等曲げ）

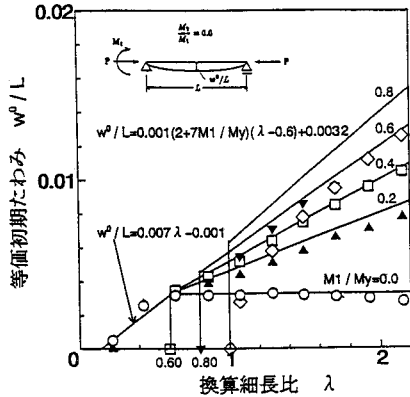


図-4 はり-柱の等価初期たわみ（片曲げ）

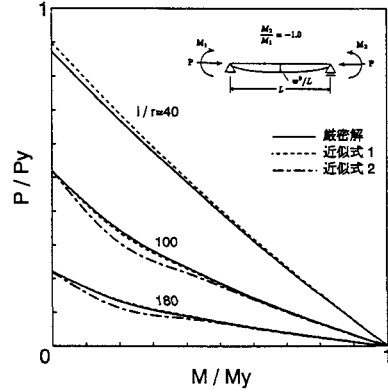


図-3 厳密解と近似式の比較（等曲げ）

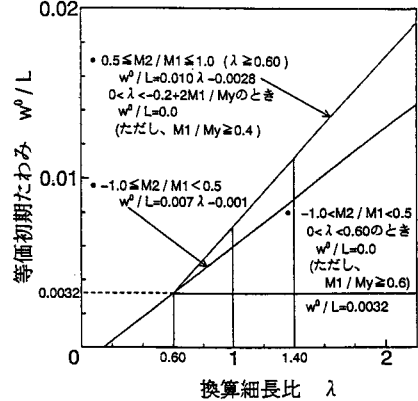


図-5 提案式（単純支持、強軸まわり）

図-3は、この近似式、および λ の全領域に式(3)の第1式(近似式2)を用いて得られる等価初期たわみを部材形状に与えて弾性有限変位解析を行った曲線と厳密解を比較した結果である。近似式2において、多少の差がみられるがかなり精度のよい結果が得られた。

同様に、図-4は片曲げの場合の解析結果である。等曲げの場合と異なり、等価初期不整を必要としない領域が存在し、部材長が長くなり、さらに端モーメントが増すにしたがって、等価初期不整を必要としない領域が広がるがわかる。

最終的に、不等曲げを受ける単純支持されたはり-柱の等価初期たわみは、初期変形モードを用いることにより、換算細長比の線形式で近似できる。その結果をまとめたのが図-5である。 $M_2/M_1 = 0.5$ を境とし、次のような近似式を用いることにより精度よく耐荷力を評価できた。

$$w^0/L = \begin{cases} 0.007\lambda - 0.001, & -1 \leq M_2/M_1 < 0.5 \\ & \text{ただし、} M_1/M_y \geq 0.6, 0 < \lambda < 0.6 \text{ において } w^0/L = 0 \\ 0.01\lambda - 0.0028, & 0.5 \leq M_2/M_1 < 1.0 \\ & \text{ただし、} M_1/M_y \geq 0.4, 0 < \lambda < -0.2 + 2M_1/M_y \text{ において } w^0/L = 0 \end{cases} \quad (4)$$

なお、他の境界条件などの計算結果については、当日発表予定。

参考文献

- 1) 長谷川彰夫・西野文雄：線形化有限変位解析による構造物の設計法の提案，土木学会第44回年次講演会，1989.10
- 2) 野上邦栄・福田悦生：弾性有限変位解析に基づく設計における等価初期不整，土木学会第47回年次講演会，1992.9
- 3) 野上邦栄・高木 真・林 一輝・成田信之：弾性有限変位解析に基づく設計における骨組構造の等価初期不整，構造工学論文集，Vol.40A，p.263～p.273，1994.3