

I-99

算出法の違いによるラーメン柱の有効座屈長への影響

東京都立大学 正会員 野上邦榮

1. まえがき

わが国の現行の設計法^{1) 2)}は、周知のように許容応力度設計法であり、多くの解析結果を集約して柱の耐荷力を有効座屈長の関数として与えられる素材の許容応力度の形に変形して設計に用いるのが普通である。

しかし、ラーメン構造物(特に、横拘束のない構造)の全体座屈荷重では、ラーメン柱が非弾領域に入っている場合もあり、その場合はり等の腹材にはほとんど軸力が伝えられないため弾性状態に留まることから、ラーメン柱とはりの見掛けの弾性係数が等しくなくなり、その結果柱端部の相対的回転拘束が大きくなり、座屈荷重が低下するばかりでなく、有効座屈長にも変化が生じることになる。このようなラーメン柱の有効座屈長は、現行設計法により評価すると一般にかなり安全側の値になることから、構造全体系の弾性固有値解析³⁾やE_r法⁴⁾により各断面の有効座屈長を求める方法も用いられてきている。しかし、その場合でも、軸力が小さい部材ではきわめて長い有効座屈長になり、許容軸圧縮応力度がかなり低下することが指摘されている^{5) 6) 7)}。

このような現況を踏まえて、ここでは、ラーメン構造物の各断面ごとの非弾性を考慮した実用的な計算方法によるラーメン柱の有効座屈長の数値計算を行い、設計に用いられている他の計算法(ノモグラフ、弾性固有値解析、E_r法)との比較・検証をしている。

このような現況を踏まえて、ここでは、ラーメン構造物の各断面ごとの非弾性を考慮した実用的な計算方法によるラーメン柱の有効座屈長の数値計算を行い、設計に用いられている他の計算法(ノモグラフ、弾性固有値解析、E_r法)との比較・検証をしている。

2. 有効座屈長の計算法

現在、実設計において基準化されている有効座屈長の算出法を分類すると、表-1のようにまとめることができる⁵⁾。

弾性固有値解法は、対象構造モデルの面から、さらに全体構造解析法と部分構造解析法に大別できる。全体構造解析法は、最近、わが国の長大橋梁に広く用いられている。これに対して、

表-1 有効座屈長の算出法

		解析法	基本仮定
弾性固有値	全体構造系	$\det K_r(E) + \kappa K_o(N) = 0$ $\ell_o = \pi \sqrt{\frac{EI}{\kappa N}}$	(1) 挙動は弾性 (2) 全ての結合部は剛結
	部分構造系	解法-1 横拘束がない場合: $\frac{G_1 G_2 \chi^2 - 36}{6(G_1 + G_2)} = \chi \cot \chi$ 横拘束がある場合: $\frac{G_1 G_2 \chi^2 - G_1 + G_2}{4 \chi^2} (1 - \chi \cot \chi) = 1 - \frac{\tan(\chi/2)}{\chi/2}$ $G = \frac{\sum (I/\ell)_{\text{column}}}{\sum (I/\ell)_{\text{beam}}} \quad \chi = \frac{\pi}{\beta}$ $\ell_o = \beta \ell$ 解法-2 横拘束がない場合: $\beta = \sqrt{\frac{1.6 + 2.4(\xi_1 + \xi_2) + 1.1 \xi_1 \xi_2}{\xi_1 + \xi_2 + 5.5 \xi_1 \xi_2}}$ 横拘束がある場合: $\beta = \frac{3.0 - 1.6(\xi_1 + \xi_2) + 0.84 \xi_1 \xi_2}{3.0 - (\xi_1 + \xi_2) + 0.28 \xi_1 \xi_2}$ $\xi_1 = \frac{1}{1 + G_1}, \quad \xi_2 = \frac{1}{1 + G_2}$ $\ell_o = \beta \ell$ 解法-3 ノモグラフ (G ₁ , G ₂)、あるいは表から読み取る $\ell_o = \beta \ell$	(1) 挙動は弾性 (2) 全ての結合部は剛結 (3) 全ての部材は一樣断面 (4) 同一階の全ての柱は同時に座屈 (5) はりの抵抗モーメントは、その上下の柱の剛性に応じて分配 (6) 横拘束のある場合、はりの両端の回転角は大きさが同じで方向が逆符号 (7) 横拘束のない場合、はりの両端の回転角は大きさがおおよび方向とも同じ (8) 作用荷重は対称荷重
	非弾性固有値	全体構造系 $\det K_r(E_r) + \kappa K_o(N) = 0$ $\ell_o = \pi \sqrt{\frac{E_r I}{\kappa N}}$ $E_r = \frac{\sigma_{cr}}{\kappa N/A}$ 部分構造系 ノモグラフ $\ell_o = \beta \ell$ $E_r = \frac{\sigma_{cr}}{E}$	(1) 全ての柱の挙動は非弾性 (柱の基準耐荷力曲線を採用) (2) 全ての腹材の挙動は弾性 (3) 全ての結合部は剛結 (4) 全ての部材は一樣断面 (5) 繰り返し計算

部分構造解析法は一般橋梁設計で用いられており、特に道示では代表的構造物に対する具体的な有効座屈長が表にまとめられている。

一方、ラーメン柱の非弾性領域を考慮した非弾性固有値解法には、弾性固有値解法と同様に部分構造解析方法と吊橋主塔設計要領・同解説³⁾において基準化された全体構造解析方法いわゆるE_f法がある。

3. 数値計算例

ここでは、ラーメン構造物を計算対象にして算出法の違いが有効座屈長に与える影響について数値計算を行った。

まず、680×20mmの正方形箱形断面を持つ1層ラーメン構造⁸⁾に鉛直荷重と水平荷重が作用する場合のラーメン柱の有効座屈長について検討した。なお、材質はSM50、H_p = 4M_p / h (M_pは全塑性モーメント)である。

鉛直荷重がP/P_y=0.5と軸圧縮力に支配されるラーメン柱の場合、その有効座屈長は水平荷重の変化による影響は少ない。また、E_f法は他の方法に比べてより短い有効座屈長となる。

次に、実橋レベルのラーメン構造物として吊橋の塔などに用いられる3層ラーメン構造を取り上げ、ノモグラフを用いた従来の算出法、弾性固有値解析法、E_f法、および実用的算出法による計算方法の違いによる有効座屈長への影響について検討した。なお、荷重は鉛直荷重のみを作用した。その計算結果をまとめたのが表-2である。弾性固有値解析法、およびE_f法の全体構造解析法は、2、3層においてノモグラフによる有効座屈長に比べて小さな値を示している。しかし、1層については弾性固有値解析法、および実用的算出法による有効座屈長は長めの値を得る。これは、構造物の内部に座屈に対して弱い部材が存在すると、その部材における作用応力度に支配されるため、強い部材、つまり結果として作用応力度が小さい部材の有効座屈長は過大に評価されてしまうことに起因する。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 (I 共通編, II 鋼橋編), 1990. 2
- 2) 土木学会：国鉄建造物設計標準解説 (鋼鉄道橋), 1983.
- 3) 西野文雄他：道路橋示方書II 鋼橋編改訂の背景と運用第8回1 3章ラーメン構造, 橋梁と基礎, 1981. 10
- 4) 本州四国連絡橋公団：吊橋主塔設計要領・同解説, 1989
- 5) 野上邦栄：鋼骨組構造物の座屈設計法の問題点, 土木学会・鋼構造委員会・鋼構造終局強度研究小委員会終局強度設計分科会資料, 1991
- 6) 野上邦栄他：吊形式橋梁の塔の座屈設計に関する一考察, 土木学会論文集, No. 446/I-19, 1992
- 7) 宇佐美勉：鋼骨組構造物の座屈設計法の問題点, SGST拡大研究論文集, 1991
- 8) 宇佐美勉他：鋼ラーメン構造物の合理的設計式の一提案, 土木学会論文集, No. 404/I-11, 1989

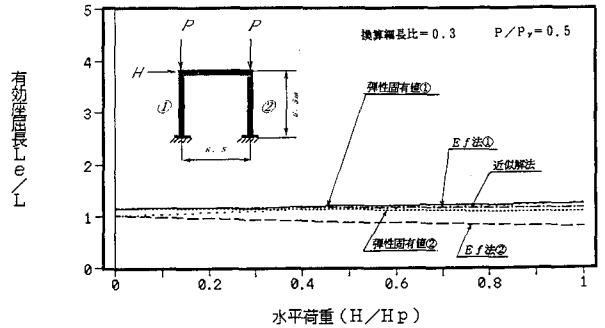


図-1 組合荷重による有効座屈長の変化

表-2 算出法の違いによる有効座屈長への影響

層	断面定数	弾性・部分構造	弾性・全体構造	非弾性・全体構造		
		ノモグラフ	弾性固有値解析	E _f 法	修正E _f 法	実用的算出法
(3)	A ₃ = 0.5488	52.0 (1.28)	49.1 (1.21)	41.7 (1.03)	36.0 (0.89)	41.0 (1.01)
	l ₃ = 1.1691					
	ℓ ₃ = 40.6					
(2)	A ₂ = 0.6327	59.6 (1.46)	56.9 (1.39)	41.7 (1.02)	41.8 (1.02)	58.6 (1.44)
	l ₂ = 1.5721					
	ℓ ₂ = 40.8					
(1)	A ₁ = 0.6800	42.9 (1.27)	63.4 (1.88)	41.7 (1.23)	46.6 (1.38)	72.2 (2.14)
	l ₁ = 1.9530					
	ℓ ₁ = 33.8					

修正E_f法：E_f法のℓを√(I₁/I_{max})倍補正 (): ℓ₀/ℓ, 単位:m

