

I-15

付加軸力法によるラーメン柱の有効座屈長

東京都立大学	正 員	野上 邦栄
新潟県	正 員	新保 孝幸
日本車両	正 員	神頭 峰磯
芝浦工業大学	正 員	山本 一之

1. まえがき

わが国の鋼構造物の設計は許容応力度設計法であり、多くの解析・実験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ている。したがって、この有効座屈長の評価が重要になる。しかし、骨組部材の有効座屈長は拘束状態や剛性分布に依存するため、任意の構造物に対して一義的に定めることは困難である。このため最近では固有値解析を多用する傾向にあるが、作用軸圧縮力が小さい部材や剛性変化の大きい部材では有効座屈長が長く算定され、それが感覚的にも不合理と思える長さになる事がある。その結果、構造物の耐荷力を実際の耐荷力よりも過小評価してしまうことになる。これを修正する対策として、現在固有値解析に基づく付加軸力法¹⁾²⁾や高次固有値法³⁾などが提案されている。ここでは、組み合わせ荷重下における作用軸圧縮力の基での付加軸力により有効座屈長を改善する方法の有用性について、弾性固有値解析と有効接線弾性係数法(E_f 法)⁴⁾により検討している。

2. 付加軸力法

構造全体系の弾性固有値解析により有効座屈長を求める基本式は

$$|K_E(E_i, I_i) + \kappa K_G(N_i)| = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\ell_{ei} = \pi \sqrt{\frac{E_i I_i}{\kappa N_i}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

で与えられる。また、 E_f 法は、式(1)式(2)の E_i を座屈応力度 σ_e と限界応力度 σ_{cri} が一致するように

$$E_{fi} = \frac{\sigma_{cri}}{\sigma_e} E_i \quad \dots\dots\dots (3)$$

で修正した有効接線弾性係数 E_{fi} に置き換え、繰り返し計算により有効座屈長を算出している。

このような固有値計算において有効座屈長が極めて長くなる断面が生じた場合の対策として、ここでは、最適設計された断面を有する各柱部材の圧縮強度は、荷重にかかわらず全て等価になると考え、不合理な有効座屈長を与える断面の軸圧縮力のみを増加させて、上記の条件を満足するように修正する方法を提案する。この場合、式(1)式(2)に代わり、

$$|K_E(E_i, I_i) + \bar{\kappa} K_G(\bar{N}_i)| = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\ell_{ei} = \pi \sqrt{\frac{E_i I_i}{\bar{\kappa} \bar{N}_i}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

により有効座屈長を決定できる。ここに、 $\bar{\kappa} : \alpha_i$ 倍の軸圧縮力を導入した場合の固有値、 $\bar{N}_i (= \alpha_i N_i)$: 微小軸圧縮力が作用する断面 i の α_i 倍の軸圧縮力、 α_i : 増分係数である。なお、 E_f 法の場合は E_i を E_{fi} に置き換えれば良い。また、式(1)あるいは式(4)における初期軸圧縮力 N_i は適切な値であれば良く、実設計では設計荷重下における軸圧縮力を用いている。

3. 数値計算例

具体的計算例として表-1⁵⁾に示すような断面諸元の部材で構成された1層ラーメン構造を取り上げ、付加軸力法を用いた固有値解析による有効座屈長について検討した。荷重は鉛直荷重 P/P_y と水平荷重 $H/H_p = \beta(H_p = 4M_p/L, M_p$: 全塑性モーメント、 L : 部材長)の組み合わせ荷重である。

図-1は、鉛直荷重 $P/P_y = 0.1$ 、水平荷重 $\beta = 0.1$ の場合における有効座屈長と部材1の軸力増分係数 α の関係を示している。 E_f 法に付加軸力を適用した方法(以後、修正 E_f 法と呼ぶ)では、 $\alpha = 1.07$ で $\ell_e = 13.6m$

に収束した。同様に、弾性固有値解析法にこの付加軸力法を適用した場合(以後、修正弾性固有値法と呼ぶ)は $l_e = 15m$ になり、修正 E_f 法が短めの有効座屈長を与えることがわかる。図-2は、水平荷重の有効座屈長への影響を比較している。水平荷重 β の増加にともなって部材1の軸力が減少するため、 E_f 法では部材1の有効座屈長が長くなる。修正 E_f 法は両部材に等価な、しかも β の増加に対してほぼ一定の有効座屈長が得られる。さらに、修正 E_f 法と修正弾性固有値法の比較より修正 E_f 法の有効座屈長が短めになっている。

次に、図-3は2段階の変断面柱を有する1層ラーメンに $P/P_y = 0.1$ の移動荷重が作用した時の結果である。部材3,4の軸力は、荷重位置2までは $N \approx 0$ であるため、弾性固有値解析による有効座屈長は極めて長くなる。一方、修正弾性固有値法では荷重の変化に対して、部材1,4で $18.3 \sim 18.8m$ 、部材2,3で $12.3 \sim 13.3m$ になった。図-4はさらに $H/H_p = 0.3$ の水平荷重が作用した時の結果を示したものである。この場合部材1,2と部材3,4の軸力差が大きくなるため、各部材の最大座屈長は鉛直荷重位置2に移動するとともに、水平荷重の増加にともない有効座屈長の変化は大きくなる。以上の結果から、構造全体系の弾性固有値解析により得られる長めの有効座屈長は、付加軸力法を用いることにより妥当な値に修正され、構造物の耐荷力を精度よく評価できることが期待される。

表-1 断面諸元

等断面	変断面
$A_c, A_b = 0.0528m^2$	$A_{c1} = 0.01739m^2$
	$A_{c2}, A_b = 0.01348m^2$
$I_c, I_b = 0.003837m^4$	$I_{c1} = 0.000403m^4$
	$I_{c2}, I_b = 0.000215m^4$
$\sigma_y = 32000tf/m^2$	$\sigma_y = 24000tf/m^2$

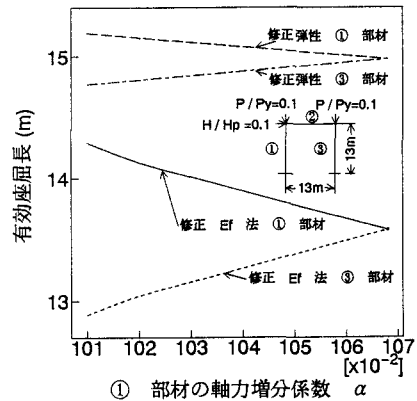


図-1 有効座屈長と増分係数

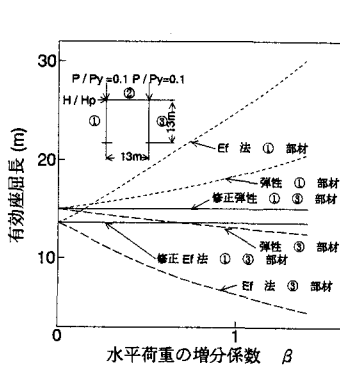


図-2 水平荷重の影響

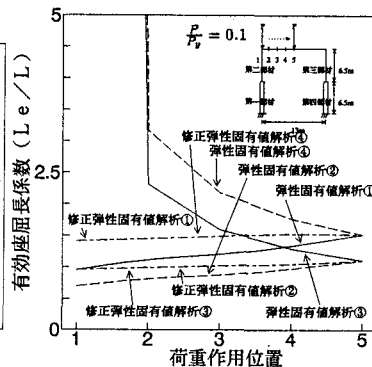


図-3 荷重位置の影響

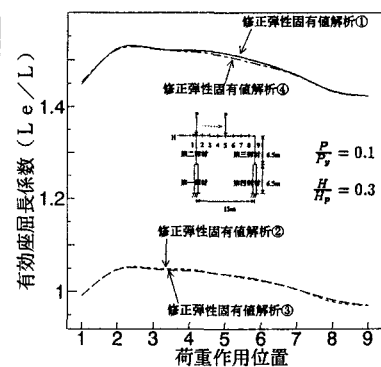
(P/P_y = 0.1)

図-4 荷重位置の影響

(P/P_y = 0.1, H/H_p = 0.3)

参考文献

- 1) F.Nishino et al.: A proposal for in-plane stability design of steel framed structure, Proc. of JSCE, 1992.1
- 2) 野上邦栄・上田浩章・山本一之: 微小軸圧縮力を受ける骨組部材の有効座屈長に関する一考察, 構造工学における数値解析法シンポジウム論文集, 第16巻, 1992.7
- 3) 尾下里治・吉田昭仁: 高次の座屈固有値を用いた有効座屈長の決定方法の提案, 土木学会第47回年講, 1992.9
- 4) 本州四国連絡橋公団: 吊橋主塔設計要領・同解説, 1988.2
- 5) 宇佐美勉・垣内辰雄・水野亘彦: 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, 1989.4