

I-97 微小軸圧縮力を受ける骨組構造物の 弾性固有値解析

東京都立大学 正会員 野上邦栄
 利エンガルコンサルト 正会員 高瀬 弘
 芝浦工業大学 正会員 山本一之

1. まえがき

骨組構造物を構成する部材の耐荷力は、換算細長比をパラメータとする柱の基準耐荷力曲線から評価されるため、有効座屈長の概念を用いることにより設計上対処している。したがって、この有効座屈長の正確な評価が重要になる。道路橋示方書¹⁾では、骨組部材の有効座屈長を陽な形で定めているが、有効座屈長は荷重条件や剛性分布にも依存するため、任意の構造系に対して現行法での対応が困難になっている。これに対処する方法として、最近弾性固有値解析⁴⁾による算出法が用いられているが、構造解析による軸圧縮力が小さい断面ではその有効座屈長は極めて長くなり、得られる耐荷力が実際の耐荷力よりかなり低く評価されてしまうなどの理由から、実務上においては設計技術者に近似的な有効座屈長の判断を委ねている場合も多くなっている²⁾。

ここでは、このような不合理性を修正する方法として最近提案された、微小軸圧縮力を受ける断面に対して付加軸圧縮力を導入して補正する修正法³⁾について、ラーメン構造物を対象にして従来の弾性固有値解析法との比較により検討している。

2. 微小軸圧縮力を受ける断面の有効座屈長

設計荷重を受ける構造物に対して構造解析を行うことにより得られた断面力において、微小軸圧縮力を受ける断面に対してのみ、

$$\bar{N}_i = \alpha_i N_i, \quad \alpha_i \geq 1 \quad \dots (1)$$

と増分係数 α_i 倍した修正軸圧縮力 \bar{N}_i を導入する。この値を、

$$|K_E + \bar{\kappa} K_G(\bar{N}_i)| = 0 \quad \dots (2)$$

の幾何剛性行列 K_G に代入し、固有値解析を行うことにより、座屈荷重 N_{cri} が

$$N_{cri} = \bar{\kappa} \bar{N}_i = \bar{\kappa} \alpha_i N_i \quad \dots (3)$$

と与えられるので、有効座屈長 l_{ei} は

$$l_{ei} = \pi \sqrt{\frac{EI_i}{-N_{cri}}} \quad \dots (4)$$

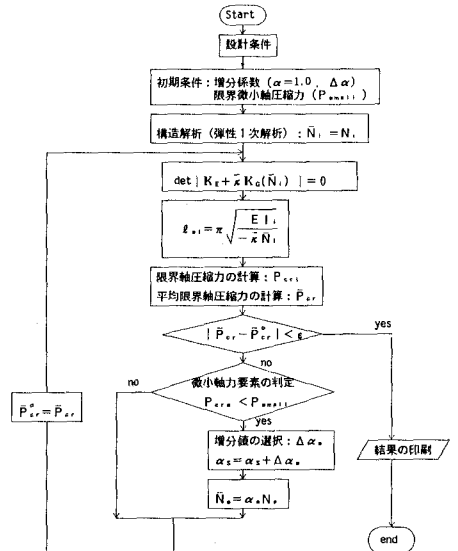
により算出することができる。

一般的な変断面構造物の耐荷力は、断面中の最小限界強度に支配されることから、全断面の限界強度が一致したとき、その耐荷力は最大になる。したがって、加えるべき増分係数 α_i の値は、この条件を満足するように繰り返し計算を行うことにより決定すれば良い。その具体的な計算手順を示したのが表-1である。

3. 数値計算例

ここでは、図-1に示すような鉛直荷重と水平荷重を受ける1層ラーメン構造物の有効座屈長について数値計算を行った。まず、等断面1層ラーメン構造に $P_1 = P_2 = 0.1P_y$, $H/H_p = \gamma = 1.3$ (ここに $H_p = 4M$ 、

表-1 増分係数 α_i の決定法



／h, M_p は全塑性モーメント) の荷重が作用した場合のラーメン柱(3) に対する(1) の軸圧縮力比と固有値の関係をまとめたのが図-2である。固有値解析により得られる最小固有値 $\bar{\kappa}$ は、断面力が等価になるように各 α_i の増加にともなって弾性固有値解析の κ より減少していくことがわかる。したがっ

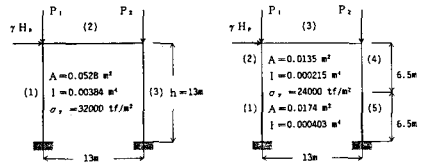


図-1 解析モデル

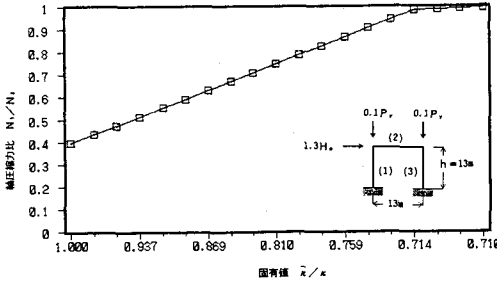


図-2 軸圧縮力比と固有値の関係

て、得られる有効座屈長は図-3のように $\alpha_1=1.0$ での $\ell_{e1}/h=1.55$ から $\alpha_1=2.5$ での $\ell_{e1}/h=1.16$ へ短くなっている。

また、表-2は、 $P_1=0.1P_y$, $P_2=0.5P_y$ なる非対称鉛直荷重を受けるラーメン柱に水平荷重が作用する時、その変化に伴う弾性固有値解析と修正弾性固有値解析による増分係数、有効座屈長および安定照査式について比較した結果である。ラーメン柱(1)は、修正後有効座屈長が短くなり、しかも照査式の値が小さくなり、限界強度を高める効果が現れている。

次に、2階段状の変断面柱を持つ1層ラーメン構造に $P_1=P_2=0.1P_y$, $\gamma=0.1$ の荷重が作用した場合について解析した結果をまとめたのが表-3である。ラーメン柱(1)~(4)の軸圧縮力を α_i 倍増分させて収束させた結果、全要素の限界強度が等価になり、ラーメン柱(1)および(2)の有効座屈長はより短くなるとともに安定照査式の値を低減することが可能となった。

以上のことから、軸圧縮力に支配されるラーメン柱に対しては弾性固有値解析を、微小軸圧縮力を受けるラーメン柱には修正弾性固有値解析により有効座屈長を算出することが有効である。

参考文献 1)日本道路協会：道路橋示方書, 1990 2)宇佐美勉：鋼骨組構造物の座屈設計法の問題点：SGST 論文集, 1991 3)F. NISHINO etc. :A PROPOSAL FOR IN-PLANE STABILITY DESIGN OF STEEL FRAMED STRUCTURES Proc. of JSCE, 1992 4)西野文雄他：道路橋示方書Ⅱ鋼橋編改訂の背景と運用, 橋梁と基礎, 1981

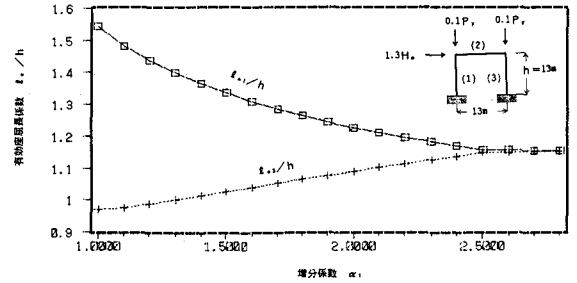


図-3 有効座屈長と増分係数の関係

表-2 弾性固有値解析と修正法との比較(等断面)

γ	弾性固有値解析					
	(1)部材			(3)部材		
	ℓ_{e1}	$\frac{N_1}{P_{u1}} + \frac{C_m M_1}{M_{y1}(1-N_1/P_{u1})}$	$\frac{C_m M_1}{M_{y1}(1-N_1/P_{u1})}$	ℓ_{e3}	$\frac{N_3}{P_{u3}} + \frac{C_m M_3}{M_{y3}(1-N_3/P_{u3})}$	$\frac{C_m M_3}{M_{y3}(1-N_3/P_{u3})}$
0	25.902	0.230	11.604	0.621		
0.1	26.343	0.285	11.568	0.681		
0.2	26.807	0.345	11.533	0.747		
0.3	27.297	0.405	11.498	0.812		
0.4	27.814	0.465	11.464	0.878		
0.5	28.360	0.525	11.430	0.944		
0.59	28.881	0.579	11.399	1.003		

γ	修正弾性固有値解析					
	(1)部材			(3)部材		
	α_1	ℓ_{e1}	$\frac{N_1}{P_u} + \frac{C_m M_1}{M_{y1}(1-N_1/P_{u1})}$	α_3	ℓ_{e3}	$\frac{N_3}{P_u} + \frac{C_m M_3}{M_{y3}(1-N_3/P_{u3})}$
0	4.936	14.983	0.146	1.000	14.954	0.693
0.1	5.166	14.984	0.192	1.000	14.956	0.761
0.2	5.383	14.985	0.244	1.000	14.958	0.835
0.3	5.615	14.987	0.295	1.000	14.960	0.911
0.4	5.866	14.988	0.346	1.000	14.962	0.987
0.42	5.918	14.989	0.356	1.000	14.962	1.002

表-3 弾性固有値解析と修正法との比較(変断面)

部材	弾性固有値解析				修正弾性固有値解析			
	(1)	(2)	(4)	(5)	(1)	(2)	(4)	(5)
α	—	—	—	—	1.37	1.58	1.14	1.00
N	34.95	34.95	48.52	48.52	48.32	55.73	55.78	48.52
ℓ_e	19.13	13.97	11.86	16.23	18.44	12.54	12.53	18.40
P_u	160.44	147.71	180.35	199.70	168.88	168.99	169.08	169.36
照査式	0.467	0.319	0.351	0.492	0.453	0.286	0.370	0.550