

I-16

高次固有値法によって算定される有効座屈長に関する一考察

東京都立大学 正員 野上 邦栄
 駒井鉄工 正員 河野 明寛
 芝浦工業大学 正員 山本 一之

1. まえがき

構造物が長大化し、さらに複雑な構造形式が多くなっている現状において、構造物の座屈は荷重にも依存することから、従来のように対象部材の曲げ剛性と隣接部材の曲げ剛性、および境界条件の関数として与えられるノモグラムから有効座屈長を決定すること¹⁾では誤差が大きくなり、設計上対応仕切れない場合が生じている。そのため、より厳密とされる構造全体系の固有値解析を適用して各断面の有効座屈長を算出することが行われている²⁾。具体的には設計荷重の基での構造解析(影響線解析)により得られる作用軸圧縮力状態における分岐座屈強度 κN_i を求め、次式

$$l_{ei} = \pi \sqrt{\frac{E_i I_i}{\kappa N_i}} \dots \dots \dots (1)$$

により有効座屈長を算出している。ここに、 κ は固有値、 I_i は断面2次モーメントである。

しかし、もし、構造全体系の座屈現象に影響しない部材が存在するならば、その断面では一般に設計荷重下における軸圧縮力 N_i が小さいにもかかわらず、この小さな座屈強度 κN_i によりあたかも座屈するような極めて長い有効座屈長となり、圧縮強度を過小評価してしまうか、または限界細長比を越えてしまって設計できなくなってしまうことになる。この事実は、軸圧縮力に支配される構造系において曲げ剛性が大きい変断面でも同様存在する。このように、固有値解析法は設計上まだ問題点を残しているようである²⁾³⁾。

この対策法として、最近付加軸力法⁴⁾、高次固有値法⁵⁾および荷重条件に依存しない方法⁶⁾などが提案されているが、実際には種々の方法により比較検討し技術者の責任のもとに決定されている。このような状況において、ここでは高次固有値法によって有効座屈長を求める手法の妥当性についてラーメン構造を取り上げて考察している。

2. ラーメン構造の数値計算例

まず、表-1のような断面諸元を持つ1層ラーメン構造に非対称鉛直荷重を受ける場合について固有値解析を行った。表-2は、高次固有値の有効座屈長を含めた計算結果をまとめたものである。軸圧縮力が右柱に比べて小さい左柱では最小座屈固有値において有効座屈長が $l_e = 24.07m$ と部材長 l の2倍になる。これを不合理な部材と考える時、この部材のみが座屈する高次固有値を図-1の座屈モードから判定すると3次の固有値になり、有効座屈長が $l_e = 10.09m$ と修正される。さらに単独の座屈としては4次、5次の固有値が存在するが、座屈モードから見てこの場合の有効座屈長を採用するような誤った判断はしないと考えられるもののその保証はない。

次に、表-3のような断面諸元を持つ3層ラーメン構造に対称荷重が作用する問題について解析した。固有値解析による有効座屈長および座屈モードをまとめたのが各々表-4、図-2である。この構造は軸圧縮力に支配

表-1 1層ラーメン構造の断面諸元

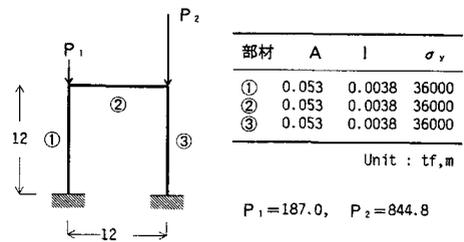


表-2 1層ラーメン構造の有効座屈長

	1次		3次		4次		5次	
	左柱	右柱	左柱	左柱	左柱	左柱		
最小固有値	8.10	8.10	46.07	85.56	97.87			
有効座屈長	24.07	10.79	10.09	7.40	7.00			
部材長	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00			

される系ではあるが変断面のため、曲げ剛性の大きい基部の有効座屈長が $l_e = 64m$ とかなり長くなる。この着目部材のみが座屈する高次座屈モードを調べると8次の固有値になることがわかる。この時の有効座屈長は $l_e = 20.7m$ と修正されるので有効座屈長係数は $\beta = 0.613$ となり、両端固定部材の $\beta = 0.5$ から一端ヒンジの $\beta = 0.7$ の中間値を示していることがわかる。

さらに、基部の有効座屈長係数について現在有効座屈長算出法として広く用いられているノモグラム、有効接線弾性係数法 (E_f 法)⁷⁾、および修正 E_f 法 (断面ごとに E_f 変化) の結果を含めて比較したのが図-3である。従来法に比べて高次固有値法による有効座屈長係数は極めて短くなり設計上有利になっている。しかし、ノモグラム、 E_f 法に比較して本当に妥当な圧縮強度を評価しているかは明確でなく、実際には別途弾塑性有限変位解析や実験などにより確認が行われている。

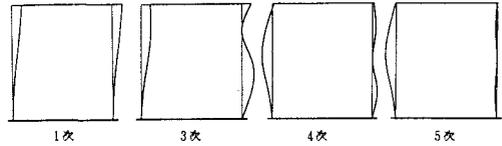


図-1 1層ラーメン構造の座屈モード

表-3 3層ラーメン構造の断面諸元

	部材	A	I	σ_c
	①	0.6800	1.9530	36000
	②	0.6327	1.5721	36000
	③	0.5488	1.1691	36000
	④	0.5488	1.1691	36000
	⑤	0.6327	1.5721	36000
	⑥	0.6800	1.9530	36000
	⑦	0.3365	0.9941	24000
	⑧	0.2957	0.8959	24000
⑨	0.2499	0.7367	24000	
軸重荷重 $V_c = 9000.8$ Unit : m, tf				

表-4 3層ラーメン構造の有効座屈長

	1次		8次	
	頂部	中央部	基部	基部
最小固有値	10.93	10.93	10.93	104.57
有効座屈長	49.62	57.54	64.13	20.74
部材長	40.60	40.80	33.80	33.80

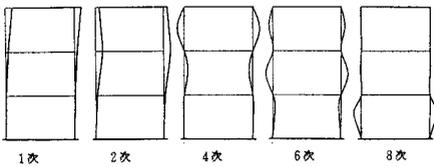


図-2 3層ラーメン構造の座屈モード

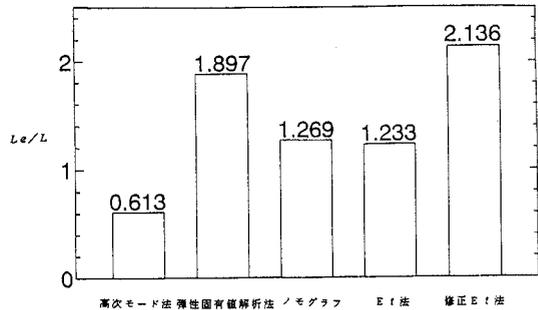


図-3 算出法の違いによる有効座屈長の比較

3. まとめ

以上、高次固有値法によって修正される有効座屈長の有用性についてラーメン構造により検討したが、

- (1) 軸圧縮力分布、剛性分布の複雑な構造系における着目部材を支配する座屈モードの判定が困難である。
- (2) 高次固有値法によって有効座屈長を修正する物理的意味が不明確である。

などを明らかにしておく必要がある。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 1990.2
- 2) 西野文雄他: 道路橋示方書・鋼橋編改訂の背景と運用, ラーメン構造, 橋梁と基礎, 1981.10
- 3) 野上邦栄: ラーメン柱の有効座屈長算出法に関する一考察, 構造工学論文集, No.39A, 1993.3
- 4) F.Nishino et al.: A proposal for in-plane stability design of steel framed structure, Proc. of JSCE, 1992.1
- 5) 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
- 6) 依田照彦・広瀬剛: 平面骨組構造の有効座屈長に関する一考察, 土木学会第20回関東支部技術研究発表会, 1993.3
- 7) 本州四国連絡橋公団: 吊橋主塔設計要領・同解説, 1988.2