

I - A116 全体座屈時の座屈モードによる骨組構造物の有効座屈長に関する一考察

○芝浦工業大学大学院 学生員 及川 祐也
 パシフィックコンサルタンツ 正会員 中田 隆
 東京都立大学 正会員 野上 邦栄
 芝浦工業大学 正会員 足立 格一郎

1. はじめに 骨組構造物の座屈設計において、有効座屈長の適切な評価が重要になる。この算出法として、本州四国連絡橋公団の吊橋主塔設計要領¹⁾では、柱の基準耐荷力曲線を用いて非弾性を考慮した有効接線弾性係数法（以後、 E_T 法と呼ぶ）により決定しているが、構造系によっては不合理な有効座屈長が得られるなど問題を残している²⁾。本研究では、これを修正する方法として提案された、座屈モードから求まる各部材の座屈軸力によって有効座屈長を算出する方法（以後、座屈軸力法と呼ぶ）³⁾と、従来の方法との比較を行い、その有効性を検討する。

2. 座屈軸力法 ある釣合状態（ κ ）において、接点変位モード（ X ）に対して接点力が生じない状態が構造の座屈状態であるから、

$$[K_E(E) + \kappa K_G(N_s)]X = 0 \quad \cdots \cdots (1)$$

となり、有効座屈長 le は、

$$le = \pi \sqrt{\frac{EI}{\kappa N_s}} \quad \cdots \cdots (2)$$

となる。ここに、 (K_E) は剛性行列、 (K_G) は幾何剛性行列、 (N_s) は作用軸力である。このように有効座屈長を作用軸力から算出するのが従来の方法である。座屈軸力法は以下のような修正を加える。

式(1)は変位座屈モード方向への2次仕事は0になることと等価であり

$$X^T [K_E(E) + \kappa K_G(N_s)]X = 0 \quad \cdots \cdots (3)$$

と表すことができる。これは、部材の総和として

$$\sum_i x_i^T [k_E(E) + \kappa k_G(N_s)]_i x_i = 0 \quad \cdots \cdots (4)$$

と書き直すことができる。式(3)は、構造全体系として中立状態であるが、各部材の2次仕事は正負の値が混在する。そこで、次式

$$x_i^T [k_E(E) + N_C k_G^*]_i x_i = 0 \quad \cdots \cdots (5)$$

を満足するように作用軸力に変えて、変位座屈モード（ x ）に対する座屈軸力（ N_C ）を用いると

$$N_C = -\frac{x_i^T \cdot k_E \cdot x_i}{x_i^T \cdot k_G^* \cdot x_i} \quad \cdots \cdots (6)$$

を得るので、有効座屈長は座屈軸力を用いて

$$le = \pi \sqrt{\frac{EI}{N_C}} \quad \cdots \cdots (7)$$

により求めることができる。ここに (k_G^*) は単位軸力による幾何剛性行列である。

この座屈軸力法を E_T 法に適用する。 E_T 法とは有効接線弾性係数 E_T を用いて弾塑性分岐座屈強度を近似的に求める方法である。

3. 解析モデル 対象とした構造は i) 1400m 吊橋主塔と ii) 600m 斜張橋主桁である。i) は図1のような変断面柱を有する4層ラーメン形式主塔であり、その断面諸元は表1に示す。荷重は、ケーブルを介して塔頂部に作用する鉛直力とタワーリンクに作用する鉛直力である。ii) は図2に示すようなA形主塔2面吊マルチファンタイプの斜張橋で、両端は定数 2000tf/m のバネによって支持されている。主桁の断面積 0.875 m² とし、死荷重のみを考慮して解析を行った。

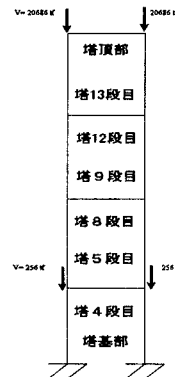


表1 塔の断面諸量

部材	A(m ²)	I(m ⁴)
塔頂部、15段目	1.179	3.884
14, 13段目	1.360	4.249
12, 11段目	1.520	4.770
10, 9段目	1.659	5.226
8, 7段目	1.784	5.538
6, 5段目	1.889	5.995
4, 3段目	1.969	6.272
2段目、塔基部	2.023	6.471
上部水平材	0.720	3.105
中間水平材	0.840	5.845
下部水平材	0.870	1.807

図1 吊橋主塔

キーワード：座屈モード 有効座屈長 E_T 法

連絡先：〒108-0023 東京都港区芝浦3-9-14 芝浦工業大学 土木工学科 TEL03-5476-3047 FAX03-5476-3166

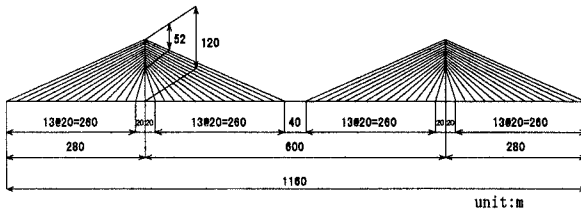


図2 斜張橋解析モデル

4. 解析結果と考察 図3、図5は従来の方法および座屈軸力法によって求められた有効座屈長 l_e を部材長 l で無次元化したのものである。図4、図6は、作用軸圧縮応力度 σ_c を有効座屈長から求められた許容軸圧縮応力度 σ_{ca} で無次元化したのものである。

i) 吊橋主塔 図3において、塔基部に向かって断面積が大きくなるにしたがって座屈軸力法が従来の方法に比べより短めの有効座屈長を算出している。したがって、図4に示すように σ_c / σ_{ca} の値がより低くなり設計上有利な値を示している。このように、座屈軸力法を用いることによって、従来の方法で生じていた変断面における有効座屈長の不合理性が改善されている。

ii) 斜張橋主桁 図5において、有効座屈長の分布を比べてみると、従来の方法では作用軸力の小さい主桁の両端部や中央部にいくにつれて有効座屈長が極端に長くなり、最も短い塔付近と比べてその値は約6倍となる。これは、明らかに不合理な長さである。それに対し座屈軸力法は、従来の方法に比べてより短く算出され、また主桁全体で $l_e/l \approx 0.6$ とほぼ一定の値となった。このことから、図6のように従来の方法に比べて座屈軸力法はより低い σ_c / σ_{ca} の値を算出し、吊橋主塔と同様に設計上有利な値を示している。

5. まとめ 座屈軸力法を用いて有効座屈長を求めた結果、従来の方法による変断面や作用軸力の小さい部材に対する不合理性が改善され、また、設計上有利な値を算出することができた。今後の課題は、本研究で得られた有効座屈長の妥当性を数多くの実構造レベルの耐荷力解析結果との比較から明らかにしていく必要がある。

参考文献 1) 本州四国連絡橋公団：吊橋主塔設計要領（案）・同解説、1980。； 2) 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、vol.39A、pp.221-220、1993。； 3) F.,Nishino, M.,Ai and T.,Nakano：On the Stability of Frame Members in A Global Buckling、Journal of JSCE、No.577/1-41、pp.17-26、1997。

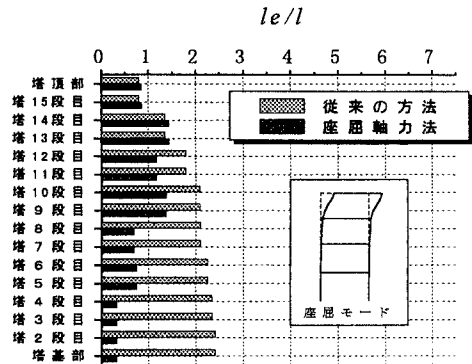


図3 吊橋主塔の有効座屈長

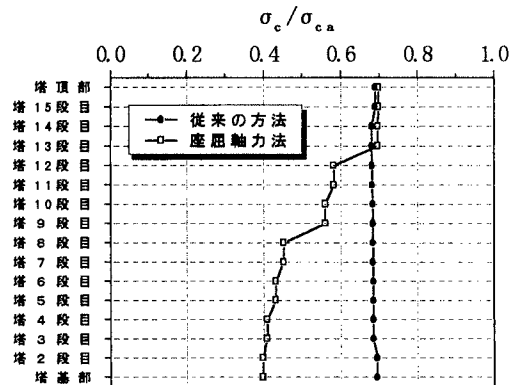


図4 吊橋主塔の許容軸圧縮応力度

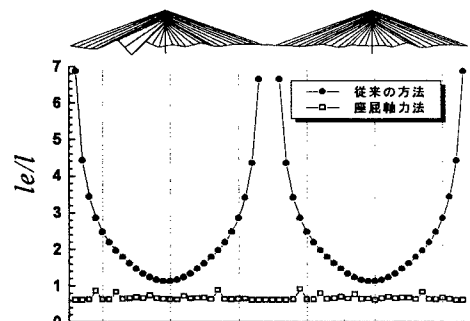


図5 斜張橋主桁の有効座屈長

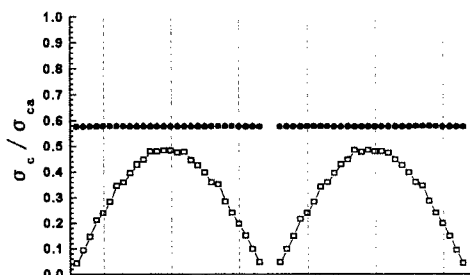


図6 斜張橋主桁の許容軸圧縮応力度