

有効接線係数を用いた横倒れ耐荷力の計算

熊本工業大学 正 員 結城皓曠

熊本工業大学 学生員 阿南郷史

1. はじめに

軸力の作用が支配的な骨組構造物の非弾性座屈すなわち座屈耐荷力を求めるとき、有効接線係数法の有効性について検討しすでに報告^{2) 3)}してきた。本報告では有効接線係数の考え方を横倒れ座屈の耐荷力推定に拡張することを提案しその具体的方法と有効性について述べる。

2. 有効接線係数

有効接線係数法¹⁾は、座屈時の接線弾性係数の低下を考慮して固値解析によって座屈荷重を求める方法であり、耐荷力曲線とオイラー曲線の比が弾性係数の低下率、すなわち接線弾性係数/初期弾性係数と考える。この接線係数は細長比の関数となるので、実際に計算を行う場合は、固有値解析で座屈荷重を行い要素の細長比を求めながら接線係数を修正して再び固有値解析を行う、というような繰り返し計算を行うことになる。

横倒れ座屈の耐荷力曲線としては、たとえば図-1のものがある⁵⁾。

ここで、

$$\text{オイラー曲線: } \bar{\alpha} = \frac{1}{\bar{\lambda}^2} \cdots (1)$$

$$\text{耐荷力曲線: } \bar{\alpha} = f(\bar{\lambda}^2) \cdots (2)$$

$$\bar{\alpha} = \frac{M_{cr}}{M_y}, \quad \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{M_y}{M_{cr}}}$$

とすると、式(1)と式(2)より接線係数が

$$\bar{e} = \bar{\lambda}^2 \cdot f(\bar{\lambda}^2) \cdots (3)$$

$$\bar{e} = \frac{E_f}{E_0}$$

のように得られ、図-2のようになる。

式(2)と式(3)から $\bar{\lambda}$ を消去すると式(4)が得られ、図-3のようになる。

$$\bar{e} = g(\bar{\alpha}) \cdots (4)$$

これは座屈直前の作用モーメントと接線係数の関係を表している。

本研究では、式(3)を用いないで、式(4)を用いている。すなわち式(4)の拘束のもとで座屈固有値解析を行い座屈荷重を求める。

3. 計算結果

横倒れ座屈の固有値解析は、薄肉断面梁要素の有限要素法による座屈解析法⁴⁾を用いる。すなわち、梁要素のラテラル方向の変位および捩り変形を3次の放物線で仮定し、有限変位式から座屈固有値方程式を導いている。

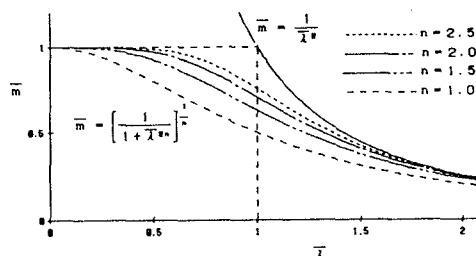


図-1

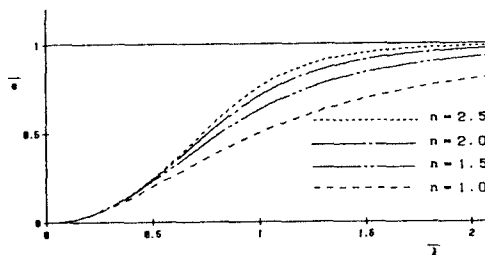


図-2

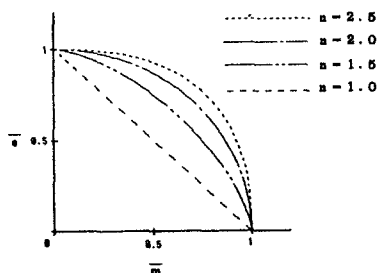


図-3

$$\sum_{i=1}^n [K(E_f) + \omega K_2(P_0)]_i = 0 \quad \cdots (5)$$

要素ごとの E_f は要素内で一定として、式 (4) から求めている。

なお、接線係数を求めるための耐荷力曲線は、簡単のため図-1の $n=1$ を用いることにする。

計算例として、両端単純支持された梁で、三つの荷重が作用する場合（一様曲げモーメント、中央集中荷重、対称2点荷重）、および片持ち梁の計4ケースについて計算を行った。断面形状は図-4に示す。要素分割はスパンを10等分割し、各要素の接線剛性は要素両端の曲げモーメントのうち大きい方を採用して式 (4) から求め、要素内で一定としている。

計算結果を表-1に示す。これを図-1のグラフ上にプロットすると図-5のようになる。当然のことであるが一様曲げモーメントのモデルは耐荷力曲線上に一致する。曲げモーメントが変化する集中荷重や片持ち梁のモデルでは大きめの値となる。座屈時の各要素の接線係数と曲げモーメントの関係をプロットすると図-6のようになる。

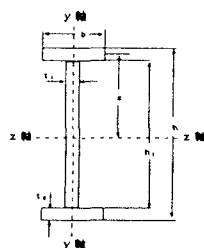


図-4

断面寸法

$h = 162.4 \text{ cm}$

$h_1 = 160.0 \text{ cm}$

$b = 22.0 \text{ cm}$

$z = 80.6 \text{ cm}$

$t_1 = 0.9 \text{ cm}$

$t_2 = 1.2 \text{ cm}$

断面2次モーメント

$I_y = 2.14 \times 10^8 \text{ cm}^4$

$I_z = 6.50 \times 10^8 \text{ cm}^4$

曲げねじり定数

$I_w = 1.38 \times 10^7 \text{ cm}^6$

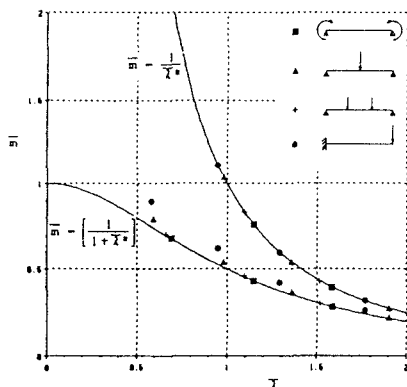


図-5

表-1

荷重条件	l	M_y	M_{y0}	M_z	M_{y0}/M_y	$\bar{I}$	M_z/M_y
	300	19218000	40029816	12684327	2.083	0.693	0.676
	500	19218000	14613476	8301844	0.761	1.147	0.432
	700	19218000	7810642	3431808	0.396	1.399	0.284
	1000	19218000	3684762	3231334	0.202	2.224	0.188
	300	19218000	34600608	13213824	2.841	0.593	0.762
	500	19218000	16934676	10438316	1.057	0.982	0.544
	700	19218000	10380333	7101809	0.340	1.381	0.399
	1000	19218000	3267846	4309389	0.276	1.803	0.224
	300	19218000	43828775	13493615	2.261	0.662	0.702
	500	19218000	13978044	8812970	0.833	1.067	0.439
	700	19218000	8341772	3879223	0.433	1.318	0.306
	1000	19218000	4231386	3311400	0.223	2.129	0.183
	300	19218000	38626727	17212898	2.982	0.381	0.699
	500	19218000	21324638	11862088	1.110	0.949	0.819
	700	19218000	11496336	8146976	0.369	1.283	0.424
	1000	19218000	6129959	3067036	0.316	1.771	0.264

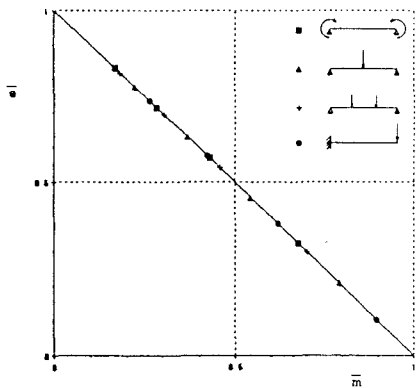


図-6

4. まとめ

有効接線係数法の考え方を横倒れ座屈の問題に拡張し、具体的に解析方法を示すとともに計算結果によって有効性を検証した。この方法を適用することによって種々なモーメント分布とサポート条件をもつ構造物の横倒れ耐荷力を推定することが可能となる。

参考文献

- 1) 土木学会・本四連絡橋上部構造研究委員会：主塔設計に関する検討 昭和55年3月
- 2) 崎元、結城、ほか：有効接線係数を用いた鋼骨組みの強度設計について 土木学会西部支部研究発表 1992年
- 3) 結城、野村、ほか：接線剛性による骨組構造の耐荷力推定法について 土木学会西部支部研究発表 1993年
- 4) 結城、前田：薄肉断面構造の3次元挙動の解析 土木学会論文報告集第224号 1974年
- 5) 土木学会：座屈設計ガイドライン 1987年