

曲げと軸力が作用する骨組の耐荷力計算法

熊本工業大学 学生員 田中仁視

熊本工業大学 正 員 結城皓曠

1. まえがき

軸力の作用が支配的な骨組構造物の座屈耐荷力を求めるとき、有効接線係数法¹⁾は有効な方法であり、この考え方を横倒れ座屈の耐荷力推定に適用できることは報告²⁾してきた。本研究では、この考え方を応用して、骨組構造部材に軸力と曲げが作用するときの耐荷力推定法について提案し、有効性について検証している。

2. 有効接線係数法

有効接線係数法は、座屈時の接線弾性係数の低下を考慮して固有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、固有値解析を行い座屈荷重を求め、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計算を行う。

横倒れ座屈の耐荷力曲線としては、例えば図-1のものがある。

ここで、オイラー曲線： $\bar{m} = \frac{1}{\bar{\lambda}^2}$ (1)

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

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

とすると、式(1)と式(2)より接線係数が

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

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

のように得られ、図-2のようになる。

式(2)と(3)から $\bar{\lambda}$ を消去すると式(4)が得られ、応力-接線係数の関係は図-3のようになる。

$$\bar{e} = g(\bar{m}) \quad (4)$$

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。式(4)の拘束のもとで固有値解析を行い座屈荷重を求める。

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ねじり変形を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。

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

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。

3. 軸力と曲げが作用する骨組構造の耐荷力推定法

耐荷力に対応する応力-接線係数の関係は、横倒れ座屈に対しては

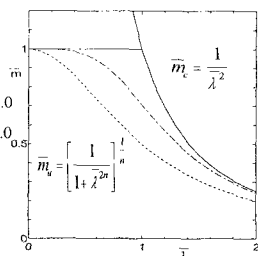


図-1

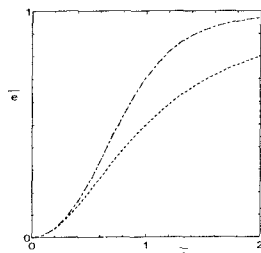


図-2

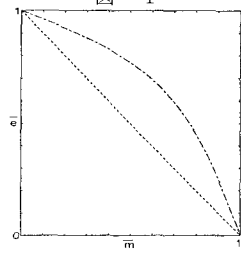


図-3

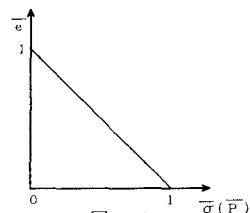


図-4

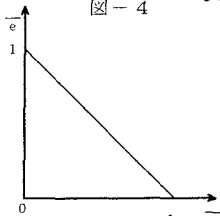


図-5

図-4、柱の座屈に対しては図-5を採用することし、曲げと軸力が同時に作用するときは図-6のような三軸上の平面で表すものとする。

すなわち
$$\overline{P} + \overline{m} + \overline{e} = 1 \tag{6}$$

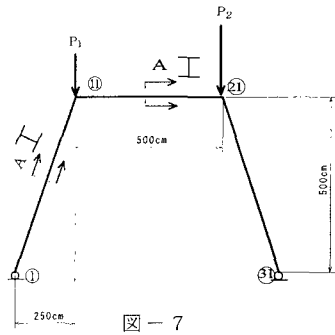
ここで
$$\overline{P} = \frac{P_{cr}}{P_y}, \overline{m} = \frac{m_{cr}}{m_y}, \overline{e} = \frac{E_f}{E_0}$$

となる。本研究では式(6)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。

4. 計算例

軸力と曲げを受ける台形ラーメン構造（図-7）を解析する。
 $P_1 = 700kgf, P_2 = 1000kgf$ とする。図-8 に示すように節点は 31, 要素 30 とする。

拘束条件は図-7の節点 1, 31はヒンジで、節点 11,21は面外方向の変位を拘束する。
 部材断面は図-9に示した 2 軸対称断面の I 形鋼を使用し、断面諸定数は表-1 を用いる。



計算結果より、弾性座屈の場合 $P_{2cr} = 2462924kgf$ に対して耐荷力は $P_{2cr} = 736071kgf$ となり、要素の座屈時応力は図-10 のとおりである。番号は要素番号を示している。

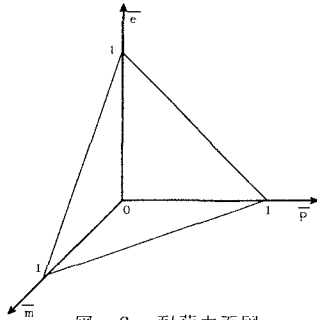
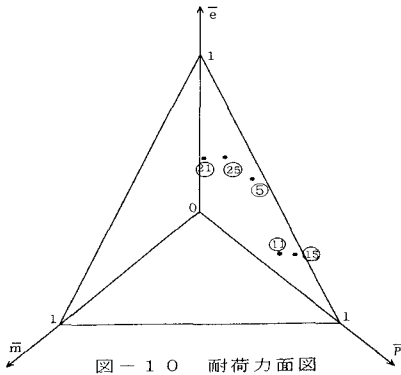
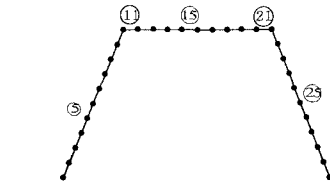


図-6 耐荷力面図

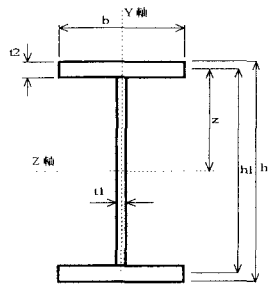


図-9

表-1

h	150cm
h1	144cm
b	42cm
z	73.5cm
t1	1.0cm
t2	3.0cm
断面積A	396cm ²
ねじり定数J(I _x)	804cm ⁴
断面2次モーメントI _y	37056cm ⁴
断面2次モーメントI _z	1610199cm ⁴
曲げねじれ定数C _w	200120949cm ⁶
弾性係数E ₀	210000kgf/cm ²
降伏モーメントM _y	1185792 cm ⁴
せん断弾性係数G	810000 kgf/cm ²
降伏応力σ _y	2400 kgf/cm ²

5. まとめ

有効接線係数の考え方を、軸力と曲げが作用する骨組構造物の耐荷力推定をする問題に拡張し、具体的な解析方法を示し計算結果によって有効性を検証した。この方法を用いることにより、軸力および曲げが作用する構造物の耐荷力を固有値計算によって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) 結城，阿南：有効接線係数を用いた横倒れ耐荷力の計算 土木学会西部支部研究発表 1995 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 224 号 1974 年