

I - 36

集成材梁の横倒れ座屈

東北大学工学部

東北大学大学院工学研究科

東北大学大学院工学研究科

○学生員 賛川 拓

正 員 後藤 文彦

正 員 岩熊 哲夫

1. まえがき

近年、集成材が大断面・大スパンの構造部材としても用いられるようになり、集成材部材の横倒れ座屈特性を予測することの重要性が増してきている。集成材は直交異方性材料であり、弾塑性挙動も圧縮側と引張側で異なるため、梁モデルの有限要素法によって解析することは一般に難しい。また、鋼桁の場合と同じように、細長い梁では座屈前の面内変位の影響も考慮しなければならない。通常、長方形断面で使われる集成材桁の場合、上下縁端部から塑性化が進行すると、面外曲げ剛性の低下よりも面内曲げ剛性の低下の方が顕著になるため、塑性化が進行してからこそ面内変位の影響が現れる可能性もある。そこで本研究では、集成材片持ち梁に対して面内変位の影響を考慮した有限変位・弾塑性解析を行うとともに、座屈実験を行い、比較、考察する。

2. 数値計算

等方性材料の梁に対する有限変位・有限要素法の定式化¹⁾において、剛性行列内の剛性を表す各項 (EI_x , EI_y , GJ) に、曲げ試験及び、ねじり試験による測定値 ($E_x I_x$, $E_y I_y$, GJ) を与えることで形式的にヤング率を曲げ方向に応じて区別する。応力 - ひずみ関係は、図-1 のように圧縮側は降伏圧縮応力 $\sigma_c = -29.4 \text{ N/mm}^2$ の完全弾塑性（除荷は弾性）、引張側は本来は破断応力を与えるべきだが簡単のため降伏引張応力 $\sigma_t = 44.1 \text{ N/mm}^2$ の完全弾塑性（一旦塑性化した断面要素はそのまま）でモデル化し、梁断面を分割したファイバー要素²⁾の軸方向応力のみで降伏判定を行う。

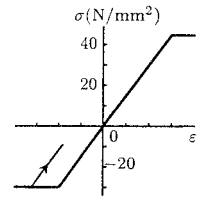
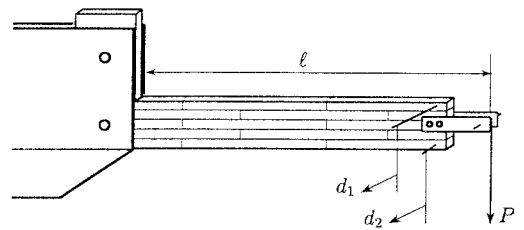


図-1 応力 - ひずみ関係

3. 実験と解析

図-2 のように供試体の両側を鋼板で挟み上側は集成材で抑えつけ、ボルトで締めることにより固定端を作った。そして、93 mm×15.5 mm の矩形断面の片持ち梁に対し、部材長 ℓ を変えて横倒れ座屈実験を行った。トランシットで桁の上下端の側方変位 d_1 , d_2 を測定し、図心位置の側方変位 δ とねじれ角 ϕ を求めた。载荷は、端部にワイヤーで錘を吊すことで行った。代表的な例として、 $\ell = 115 \text{ cm}$ のあるケースにおける荷重変位関係を図-3 に示すが、初期不整が载荷に伴って徐々に拡大している。そこで座屈荷重の算定には、Southwell 法と Meck 法を用いることにする。同じケースの $\delta/P - \delta$ 曲線を図-4 に示し、 $\phi/P - \phi$ 曲線を図-5 に示す。ここに、図中の P_{cr}^S は Southwell 法によって算出される座屈荷重であり、 P_{cr}^M は Meck 法によって算出される座屈荷重である。図-6 には Southwell 法と Meck 法によって算定された座屈荷重 P_{cr} に部材長 ℓ を掛けた座屈モーメント M_{cr} を示す。尚、図-6 には $\ell = 160 \text{ cm}$ のときの材料定数によって求めた Trahair³⁾の解と、前章の数値解析で求めた耐荷力の値とを併記する。また、表-1 ではそれらを表にまとめ Southwell 法と Meck 法による座屈荷重と本数値解との相対誤差を併記する。



材料定数

$$E_x I_x = 6.8 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_y I_y = 2.9 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$GJ = 7.0 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$$

断面図

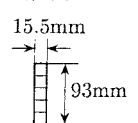


図-2 実験装置

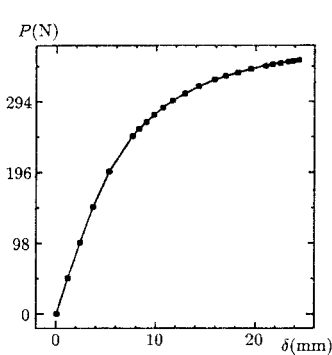


図-3 $P-\delta$ 曲線

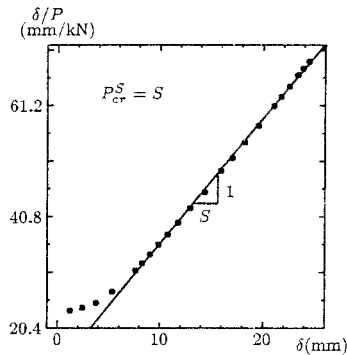


図-4 $\delta - \frac{\delta}{P}$ 曲線

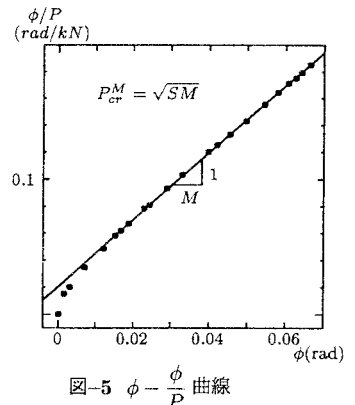


図-5 $\phi - \frac{\phi}{P}$ 曲線

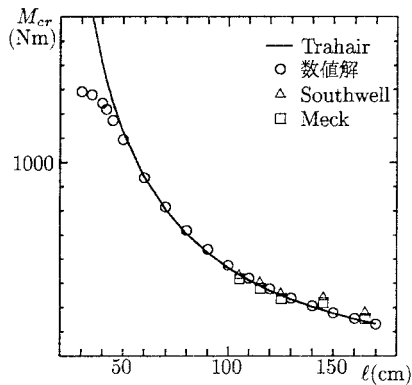


図-6 実験値と解析値との比較

表-1 解析解・数値解と実験結果との比較

ℓ (cm)	P_{cr} (N)			
	Trahair	数値解	Southwell法	Meck法
165	207.2	215.3	230(+6.8%)	215(-0.5%)
145	255.7	265.7	304(+14.4%)	289(+8.8%)
125	355.5	369.6	365(-1.2%)	349(-5.6%)
115	418.2	434.7	436(+0.3%)	416(-4.3%)
105	488.7	508.1	506(-0.4%)	506(-3.2%)

本数値解は、 $\ell = 70 \sim 130$ cm では、Trahair の解よりもやや高めにしているが、Trahair の解では座屈前の面内変位の影響を考慮していないため、本数値解よりもやや低めの解が出る。座屈荷重が低い領域ではこの影響は殆どない。本数値解は $\ell = 80$ cm で埋め込み端圧縮側の断面が降伏し始め、それより短くなるほど塑性領域が拡大して耐荷力が落ちている。実験値は、Southwell 法による算定値の方が Meck 法による算定値よりもやや高くなった。Southwell 法による算定値は、 $\ell = 125$ cm 以下の長さではほぼ数値解と一致した。また、Meck 法では、 $\ell = 165$ cm のときには数値解とほぼ一致し、 $\ell = 125$ cm 以下の長さでは Trahair の解とほぼ一致する値が得られた。 $\ell = 145$ cm の時は材料定数の測定値も他の長さの時の測定値よりも高かったため、部材内の堅い部分が影響したとも考えられる。一般に、荷重とねじれ角の両方の関係を考慮している Meck 法による算定値の方が正確と考えられるが、桁上下縁の側方変位からねじれ角を計算する際の誤差を考えると、必ずしも Meck 法の方が正確とも言えない。

4. まとめ

等方性材料の梁に対する有限要素モデルを利用して、集成材の有限変位・弾塑性解析を行った。本数値解は弾性域においては Trahair の解と比較して面内変位の影響が出ていることが確認された。また、弾性域で行った実験値では、一部、本数値解よりもやや高い結果となったが、それ以外の長さでは、誤差が $-6.0\% \sim +7.0\%$ の範囲で本数値解とほぼ一致した。今後の課題として、弾塑性の範囲でも実験を行い、本数値解の予測と比較してみたい。

参考文献

- 1) 後藤 文彦, 小林 裕, 斎木 功, 岩熊 哲夫: 空間固定三軸回りの回転自由度を用いた空間梁解析, 応用力学論文集 Vol. 1, pp. 319-327, 1998.
- 2) 土木学会: 構造工学シリーズ 7, 構造工学における計算力学の基礎と応用, pp. 169-175, 1996.
- 3) Trahair, N. S.: Flexural-torsional buckling of structures. E & FN Spon. Chapman and Hall, London, England, 1993.