

座屈前の面内たわみを伴う集成材梁の弾塑性解析

環境構造工学講座 00455 境田 幸恵
 指導教官 薄木 征三 後藤 文彦

1. はじめに

近年、集成材が大断面・長スパンの構造部材としても用いられるようになり、こうした長スパンの集成材部材の座屈耐荷力特性を予測することの重要性が増してきている。桁高に対して幅の薄い集成材梁に曲げを与えた場合、梁長が十分に短い場合は、圧縮側に塑性が生じ、引張側の破断で破壊するが、梁長がある程度長い場合は圧縮側の塑性化により面内にたわみが生じてから横ねじれ座屈によって破壊する。つまり、梁長によって破壊のメカニズムは違うので、梁の耐荷力を梁長に対して一般的に求めるには、塑性化を伴う座屈前の面内たわみの影響を考慮した弾塑性有限変位解析を行う必要がある。こうした非線形解析は、異方性を考慮した立体要素解析などでは極めて難しくなるが、梁要素による解析なら十分に現実的である。そこで、軸方向と曲げ方向とで剛性の異なる集成材の材料特性はせん断補正係数で考慮し、更に圧縮のみに塑性領域があり、引張側は破断まで線形弾性という弾塑性モデルを仮定することで、梁要素を用いて集成材梁の弾塑性座屈解析を行う。

2. 数値解析

文献²⁾の有限変位・有限要素法では、次式のような剛性方程式を導いている。

$$f = RKT^T r$$

ここに、 f は節点力ベクトル、 R は回転と変形を表す行列、 K は微小変位理論の線形剛性行列、 T は座標変換行列、 r は節点相対変位ベクトルである。本研究では、この K を、梁の2軸曲げ2方向のせん断変形に対してそれぞれせん断補正係数で考慮した3次元ティモシェンコ梁理論の剛性行列に置き換え、接線剛性行列の固有値を調べる²⁾ことで座屈判定する。

尚、材料定数は松などの接線方向のヤング率と面内の曲げに対するせん断弾性係数などを参考にして、ヤング率 $E = 10.0 \text{ GPa}$ 、せん断弾性係数 $G = 0.7 \text{ GPa}$ の等方性材料とし、せん断補正係数 k は、

$$k = \frac{10E}{11E + 2G}$$

の関係¹⁾から与える。梁断面を分割したファイバー要素の軸方向応力のみで降伏判定を行い、応力-ひずみ関係は、図-2のように圧縮側は降伏圧縮応力 $\sigma_y = 20000 \text{ kN/m}^2$ の完全弾塑性（除荷は弾性）とし、引張側はいずれかの要素が破断応力 $\sigma_u = 50000 \text{ kN/m}^2$ に達した時点で限界荷重に達したと判定する。

3. 数値計算

図-1のような片持ち梁の端部に鉛直荷重を与え、梁長を $3\text{m} \sim 10\text{m}$ まで変化させて解析してみる。弾塑性解を、塑性が生じない条件で解析した弾性解を、面内剛性を極端に大きくして面内にたわまない条件で解析した弾塑性解を で示した。(図-3) 梁長が 5m より長い梁は、塑性化を伴わずに弾性座屈で破壊する。梁長が 5m より短い梁では、梁の下部の要素に塑性化が生じ、梁が面内にたわんでから座屈で破壊する。塑性化が生じる短い梁では、弾塑性解が、弾性解よりも大きくなっているが、これは、塑性化に伴い梁が面内に大きくたわむことで曲がり梁のようになり、座屈荷重が大きくなっているのではないかと考えられる。面内剛性を大きくした梁は、面内にたわまないで、弾性解よりもやや低めの解が得られている。弾塑性解の座屈時の応力分布の例として、梁長が 3m の梁の固定端部の応力分布を図-4に示す。

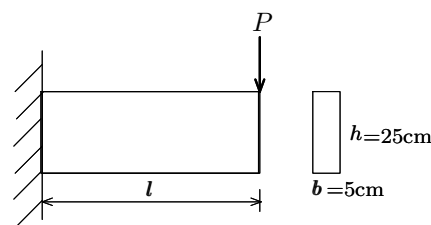


図-1 解析モデル

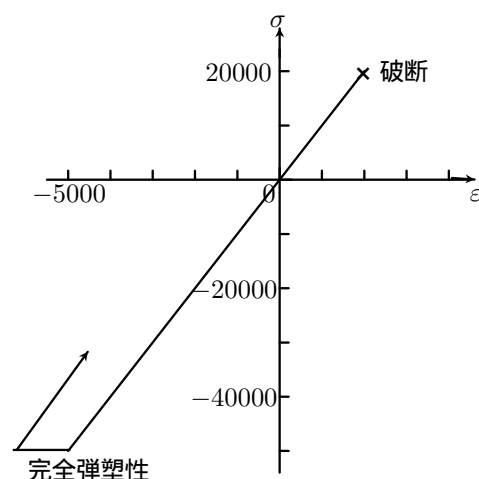


図-2 応力-ひずみ関係

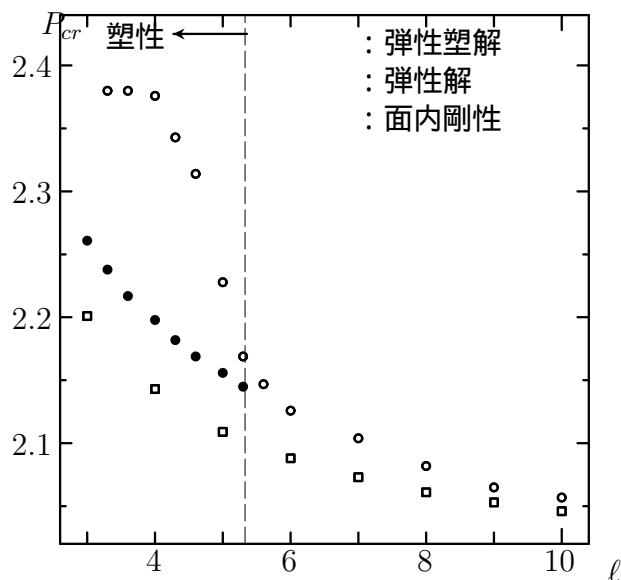


図-3 横ねじれ座屈荷重

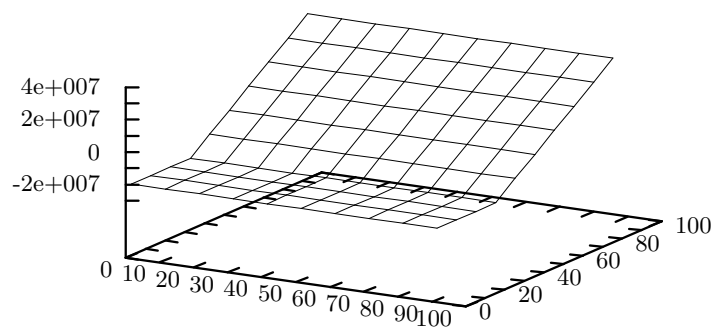


図-4 応力分布 ($l = 3\text{m}$)

実際には断面のファイバー要素分割は 100×100 であるが、ここでは作図の関係上 10 要素ごとにデータを飛ばして書き出した。断面の下部の要素から一様に塑性化が生じていることが確認できる。

次に、座屈時の面内たわみを表-1 に示してみた。弾塑性解では、塑性化による剛性低下により、弾性解よりも面内たわみが大きくなっていることが分かる。梁が短くなり塑性領域が増えるほど、剛性低下の影響も大きくなり、例えば $l = 3\text{m}$ の場合の弾塑性解の座屈時のたわみは、弾性解の座屈時のたわみよりも 10 % 程度大きくなっている。これによって、弾塑性解は弾性解よりも曲率の大きい曲がり梁の状態となり、座屈荷重が大きくなったのではないかと考えられる。

表-1 座屈時のたわみ

軸長 (m)	3	4	5	6
弾塑性たわみ (cm)	10.9	13.4	15.1	17.1
弾性たわみ (cm)	9.3	11.9	14.5	17.1
弾塑性 / 弾性	1.17	1.13	1.04	1.00

4. まとめ

軸方向と曲げ方向とで剛性の異なる材料特性をせん断補正係数で考慮することで、梁要素を用いて集成材梁の弾塑性座屈解析を行った。比較的 低い荷重レベルから塑性化が生じやすく剛性低下の起きやすい集成材梁の場合は、塑性化による剛性低下で面内にたわむことにより座屈荷重が弾性解よりも大きくなる現象が数値的に確認された。但し、今回は引張破断応力が圧縮降伏応力に対してやや高めに設定してあったことにより、破断に達しないまま座屈荷重が増加できたとも考えられるので、より現実に近い現象を数値的に再現できるモデルを今後 検討していきたい。

参考文献

- 1) 後藤文彦、麓 貴行、薄木征三、佐々木貴信：曲げ試験による木材梁せん断弾性係数推定の精度、構造工学論文集、Vol.49A,2003
- 2) 後藤文彦、小林 裕、斉木 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、1,1998,pp.319-327.