

# 集成材梁の横ねじれ座屈特性

環境構造工学講座 01468 平間 匠  
指導教官 薄木 征三・後藤 文彦

## 1. はじめに

近年、鋼で補剛したハイブリット型の集成材梁の登場により、集成材が比較的スレンダーで長スパンの部材としても用いられるようになり、こうした集成材部材の横ねじ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はあるが、面内の曲げ挙動に関しては梁理論でもじゅうぶんに解析できる。但し、集成材は曲げ面内のせん断変形に対するせん断弾性係数が、梁軸方向の単軸圧縮・引張ヤング率の 1/15 程度と極めて小さいために、せん断剛性が低くなり、せん断変形が大きくなる特徴があるので、せん断補正係数などで適切にせん断変形の影響を考慮する必要がある。横ねじれ座屈は、細長い梁に生じるので、一般にせん断変形の影響は小さいと考えられるが、せん断弾性係数の小さい集成材梁では、梁長/桁高が 10 程度のじゅうぶんな細長さでも、たわみにせん断変形の影響が数% も表れることもあるので<sup>1)</sup>、せん断変形が横ねじれ座屈に及ぼす影響を確かめることは重要である。本研究では、弾性有限変位・有限要素法により、梁のせん断弾性係数やせん断補正係数を変化させて座屈解析を行い、材料のせん断変形特性が座屈荷重ひ及ぼす影響について考察する

## 2. 解析手法

本解析で用いる有限変位・有限要素法<sup>2)</sup>の定式化は、次式のような剛性方程式で与えられる。

$$\mathbf{f} = \mathbf{RKT}^T \mathbf{r} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $\mathbf{f}$  は節点力ベクトル、 $\mathbf{R}$  は回転と変形を表す行列、 $\mathbf{K}$  は微小変位理論の線形剛性行列、 $\mathbf{T}$  は座標変換行列、 $\mathbf{r}$  は節点相対変位ベクトルである。本研究では、この  $\mathbf{K}$  を梁軸直角 2 方向のせん断変形を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<sup>3)</sup> に置き換え、接線剛性行列の固有値を調べることで座屈判定する。

## 3. 片持ち梁の横ねじれ座屈

せん断補正係数  $k$  は等方性材料の矩形断面ではポアソン比を 0 とすると  $k = \frac{5}{6}$  であるが、木材の  $k$  を厳密に求めるのは困難である。そこでここでは、両極端な場合を想定し  $k = \frac{5}{6}$  を  $\frac{1}{10}$  倍と 10 倍にした場合について比較してみる。

はじめに片持ち梁の端部に鉛直荷重を与え、 $E = 10\text{GPa}$ 、 $G = 0.7\text{GPa}$  にし、ティモシェンコ梁のたわみ式

$$v = \frac{Pl^3}{3EI} + \frac{Pl}{GkA} \dots\dots\dots (2)$$

で与えられるせん断補正係数は  $k = \frac{5}{60}, \frac{5}{6}, \frac{50}{6}$  と変化させ、各々を梁/桁高之比  $\frac{l}{h} = 4 \sim 40$  に変化させて解析した結果を図-1 と図-2 に示す。図-1 は梁長に対する座屈時の無次元化面内たわみ  $\frac{v}{l}$  を示したものである。梁長 5m までは  $k = \frac{5}{60}, \frac{5}{6}$  と比べ、 $k = \frac{50}{6}$  の値が梁長が短いほど大きな値となっている。図-2 は梁長に対する無次元化座屈荷重  $\frac{Pl^2}{EI_y}$  を示したものである。図-1 では、桁高が大きいほどせん断変形の影響が大きく、無次元化座屈荷重  $\frac{Pl^2}{EI_y}$  の値は梁長に関係なくほぼ同じ値になっており、せん断変形による座屈時のたわみの差が座屈荷重に影響していないこととなる。

次に  $k = \frac{5}{6}$  にし、 $G = 0.7, 2, 5\text{GPa}$  と変化させ、各々を梁の長さ 1m~10m に変化させて解析した結果を図-3 と図-4 に示す。図-3 は梁長に対する座屈時の無次元化面内たわみ  $\frac{v}{l}$  を示したものである。 $G$  を一定にして  $k$  を変化した場合と違って、 $G$  の値の変化が梁長に関係なくたわみの無次元化量に大きく影響している。また、図-4 は梁長に対する無次元化座屈荷重  $\frac{Pl^2}{EI_y}$  を示したものであるが、これも  $G$  の値の変化が、明らかに座屈の無次元化量に影響している。(1) 式では、 $G$  と  $k$  は同じ項のみに使われ、(2) 式からたわみに関しては

$k$  も  $G$  も同等の影響を及ぼすが、座屈に関しては座屈前の面内たわみが木材の  $k$  や  $G$  の小ささによって、大きくなる影響よりもねじれ剛性  $GJ$  が小さくなる影響の方が支配的だということがわかる。

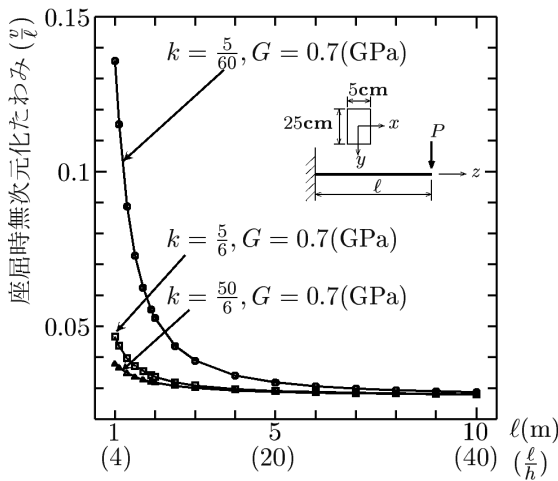


図-1 たわみ ( $k$  を変えた場合)

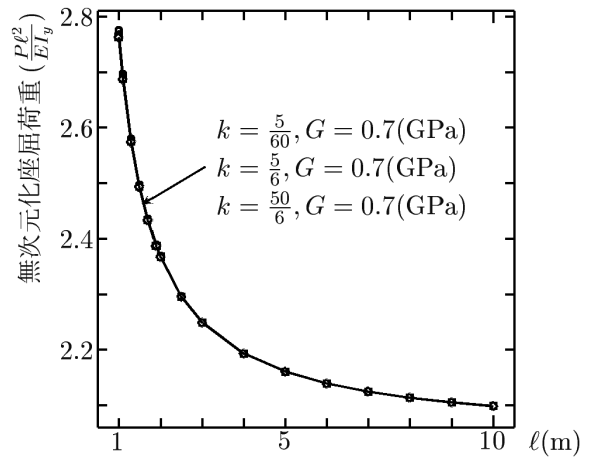


図-2 座屈荷重 ( $k$  を変えた場合)

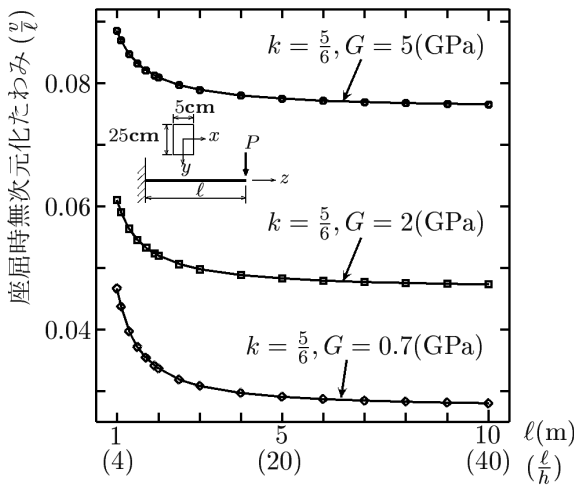


図-3 たわみ ( $G$  を変えた場合)

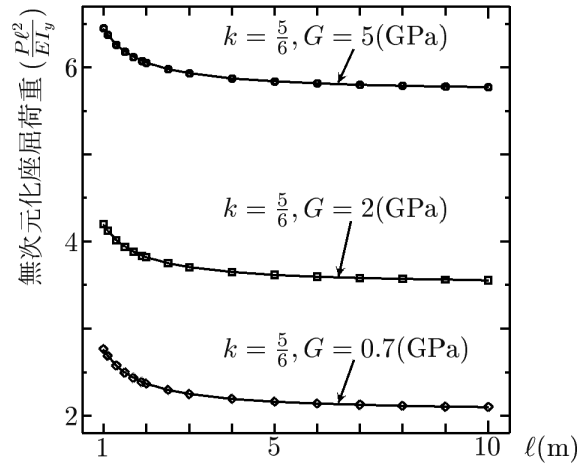


図-4 座屈荷重 ( $G$  を変えた場合)

#### 4. まとめ

木材のようなせん断変形の影響を無視できない材料を想定して、片持ち梁の横ねじれ座屈を有限変位・有限要素法で解析した。式(2)からたわみに関しては  $k$  も  $G$  も同等の影響を及ぼすので、座屈に関しては座屈前の面内たわみは  $k$  や  $G$  の小ささに応じて大きくなるが、座屈荷重は  $k$  の大きさが変化してもほとんど変わらず、 $G$  の大きさが変化するとそれに応じて変化する。つまり座屈荷重には、 $k$  や  $G$  が座屈前の面内たわみを変化させる影響よりも、ねじれ剛性  $GJ$  の変化の方が支配的に影響していることがわかった。

#### 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) 千田知弘, 後藤文彦, 長谷部薫, 薄木征三: 集成材梁の横ねじれ座屈耐荷力, 構造工学論文集, Vol. 51A, 2005 (掲載予定)
- 3) 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, 土木学会, 1996.