

木材梁の横ねじれ座屈について

環境構造工学講座 03457 工藤 康広
指導教官 後藤 文彦

1. はじめに

集成材はせん断弾性係数が軸方向ヤング率の 1/10 ~ 1/20 程度の異方性の高い材料であるが、近年、集成材は比較のスレンダーで長スパンの部材として使用される機会も増えてきており、こうした部材の横ねじれ座屈挙動を知ることも重要になってきている。集成材や木材の横ねじれ座屈の実験もいくつか報告されているが^{1),2),3)}、そうした実験の座屈荷重を曲げ剛性とねじれ剛性で無次元化すると、梁が長くなるほど座屈荷重が大きくなるケースがいくつか確認された⁴⁾。Trahair の座屈公式⁵⁾や梁モデルの数値解⁴⁾では、梁が長くなるほど無次元化座屈荷重も小さくなるので、こうした実験結果とは一致しない。そこで、オープンソースの有限要素解析ツール CalculiX⁶⁾を用いて、片持ち梁を立体要素でモデル化して座屈解析を行い、こうした現象が数値的にも確認できるか考察する。

2. 解析手法

小野ら¹⁾が行った集成材の片持ち梁の横ねじれ座屈試験のモデルを、有限要素解析ツール CalculiX⁶⁾で解析する。断面は、幅 $b = 5\text{cm}$ 、高さ $h = 25\text{cm}$ とし、梁の軸長 ℓ を 2 ~ 10m まで変化させ解析を行う。要素分割は幅 (x 軸) 方向、桁高 (y) 軸方向、軸長 (z) 軸方向それぞれ、6, 20, 100 要素に分割する。境界条件は固定端断面 (xy 断面) 上にある接点の z 方向変位を拘束し、対称面 (yz 面) 上の節点の x 方向変位を拘束する。載荷方法は、図-1 に示すように等間隔にメッシュを切って、自由端断面の各節点に等分布に荷重を分散させて載荷した。また、CalculiX は線形化座屈解析を行っているため、座屈前の面内たわみの影響は考慮されない。そこで、比較のために梁モデルの有限変位有限要素解析⁴⁾により、座屈前の面内たわみを考慮した座屈荷重もあわせて求める。なお、片持ち梁の横ねじれ座屈に対して Trahair⁵⁾ が導いた座屈公式は次式で表される。

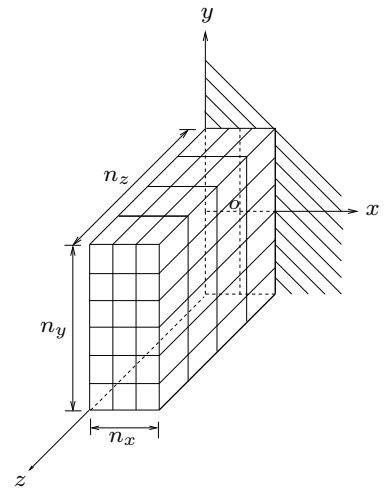


図-1 解析モデル

$$P_{cr} = \frac{\sqrt{EI_y GJ}}{\ell^2} \left(3.95 + 3.52 \sqrt{\frac{\pi^2 EI_\omega}{GJ \ell^2}} \right) \dots \dots \dots (1)$$
上式には面内曲げ剛性 (EI_x) の項が含まれていないことからわかるように、座屈前の面内たわみの影響は考慮されていない。

3. 解析結果

CalculiX の解、梁モデルの有限変位解析による解、Trahair の座屈公式の解、小野らの実験値を図-2 に示す。また、これらを面外曲げ剛性 (EI_y) とねじれ剛性 (GJ) を用いて $P_{cr} \ell^2 / \sqrt{EI_y GJ}$ と無次元化したものを図-3 に示す。無次元化しない場合、いずれの解も軸長が長くなるほど値は小さくなる。CalculiX と Trahair の座屈公式の解を比較した場合、前者の方がやや高めの数値が出た。また、座屈前の面内たわみを考慮できる梁モデルの有限変位解析による解では、Trahair よりも高い数値が出た。ところが、これを無次元化した図-3 を見ると、CalculiX では軸長 ℓ が 4m より小さい領域では無次元化した値が小さくなっていくが、それより大きい領域では値は大きくなり、Trahair の無次元化した値とは異なる挙動を示す。小野らの実験値は、軸長が長くなるほど値は大きくなっていく。こうした現象が木材の異方性によるものなのかどうかを確認するため、等方性材料の鋼材に対して同様の解析を行ったものを図-4、図-5 に示す。無次元化しない場合、上の集成材の解と同様に軸

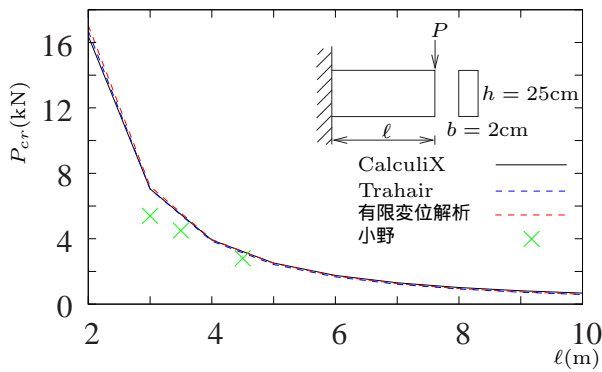


図-2 集成材はり部材における横ねじれ座屈荷重

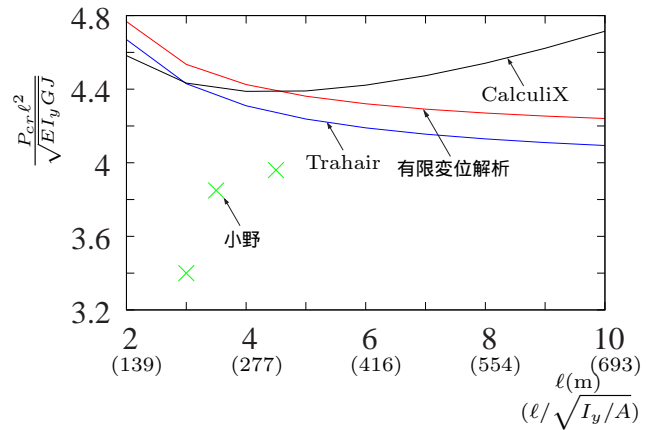


図-3 横ねじれ座屈荷重の無次元化 (集成材)

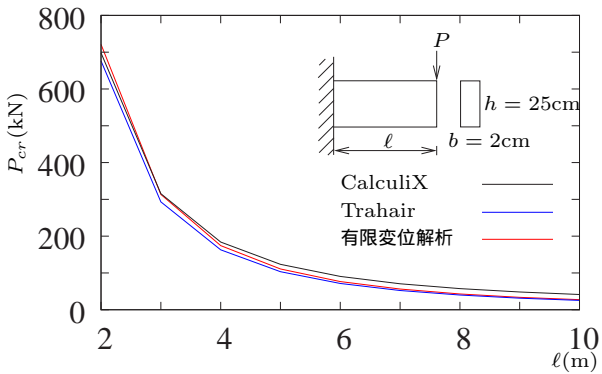


図-4 鋼材はり部材における横ねじれ座屈荷重

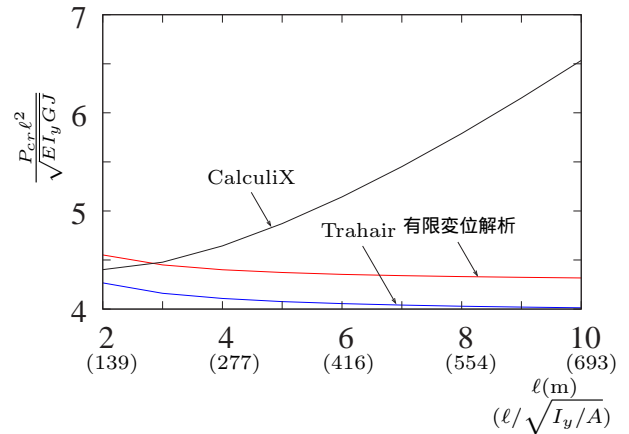


図-5 横ねじれ座屈荷重の無次元化 (鋼材)

長が長くなるほど値は小さくなる。CalculiX と Trahair の座屈公式の解を比較した場合も同様に、前者の方が高い数値が出た。有限変位解析による解では、Trahair よりも高い数値が出た。無次元化した図-5 を見ると、Trahair と有限変位解析の値は軸長が長くなるほど値は小さくなるが、CalculiX の解は軸長が長くなるほど値は大きくなり、等方性材料でも数値的には似たような現象が確認された。

4. まとめ

集成材や木材梁の横ねじれ座屈においては、梁が長くなるほど無次元化座屈荷重が大きくなるケースが見受けられるため、立体要素を用いた座屈解析でそれを確認してみた。Trahair の座屈公式や梁モデルの有限変位解析ではこのような現象は確認できないが、立体要素を用いた座屈解析では近い現象が確認された。但し、等方性材料についても同様の現象が確認されていることから、これが解析ツールに依存する数値的な誤差の影響である可能性もあるので、今後慎重に検討していきたい。

参考文献

- 1) 小野 徹郎, 井戸田 秀樹, 加藤 征宏: 集成材はりの横座屈耐力に関する考察, 日本建築学会構造系論文集 第 547 号, pp.121-128, 2001.
- 2) 山本 宏, 松本 勝彦: 木質梁の横安定性について (第 1 報), 北海道林産試験場研究報告, 第 62 号, pp.1-29, 1974.
- 3) 長谷部 薫・薄木 征三: 集成木材はりの横座屈解析と実験, 構造工学論文集, Vol.38A, pp.963-970, 1992.
- 4) 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力, 構造工学論文集, Vol.51A, pp.1187-1192, 2005.
- 5) Trahair, N.S.: Flexural-Torsional buckling of structures, E & FN Spon, Chapman and Hall, London, England. 1993
- 6) <http://www.calculix.de/>