

ベンダーエレメント試験の木材への適用について

環境構造工学講座 08729 滝田拓史
指導教員 後藤文彦

1. はじめに

せん断変形の大きい木材では、せん断弾性係数の測定が重要になる。木材のせん断弾性係数の測定方法には曲げ試験やねじり試験などがあるが一般には難しい。そこで土質材料のせん断弾性係数の測定に用いられるベンダーエレメント試験を木材のせん断弾性係数の測定に利用できないか検討してみる。今回はその基礎研究として、ベンダーエレメント試験を有限要素モデルで再現できるかどうかを確かめ、直交異方性材料の木材に対するベンダーエレメント試験の適用性について検討する。

2. 解析手法

解析は有限要素解析ツールの Calculix で行い、対象とする構造は、正方形断面の直方体で断面が 10cm×10cm、軸長 $L=15\text{cm}$ 、1m とし、8 節点 48 自由度の直方体要素を用いる。要素分割数は 10(桁幅方向)×10(桁高方向)×100(軸長方向)とする。境界条件は両端固定とする。下端から軸長の $\frac{1}{4}$ の高さの断面の図心位置 3cm の幅で軸直角方向にせん断波を荷重制御で入力する。モード解析を行い、入力位置からの距離が軸長の $\frac{1}{2}$ の高さの点までの変位を見ていく。解析モデルを図-1 に示す。

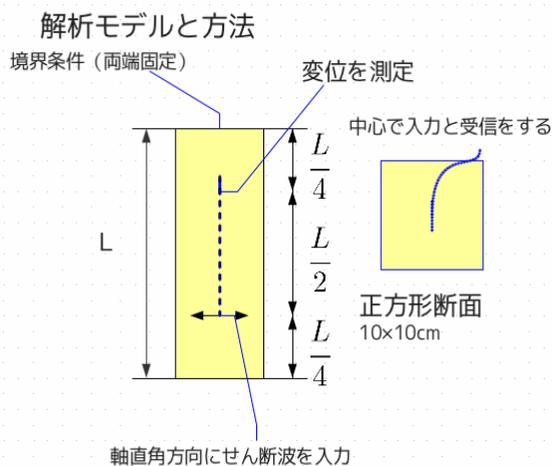


図-1 解析モデル

材料は土（ヤング率 $E=218\text{MPa}$ 、せん断弾性係数 $G=76.4\text{MPa}$ 、密度 $\rho=1.91\times 10^3(\text{kg/m}^3)$) 木材（ヤング率 $E=9\text{GPa}$ 、せん断弾性係数 $G=600\text{MPa}$ 、密度 $\rho=1.0\times 10^3(\text{kg/m}^3)$) を使用する。モード解析により得られた入力地点の変位のピーク時の時刻と受信地点の変位のピーク時刻からせん断波速度 v を求めて $G = \rho v^2$ よりせん断弾性係数 G を求め、 v から求めたせん断弾性係数と実際のせん断弾性係数とを比較する。

3. 解析結果

軸長が 15cm、せん断波の振動数が 1kHz、材料が土の場合の波を入力した地点と受信した地点の変位を比較したたものと入力地点と受信地点の間の変形の様子を図-2 に示す。

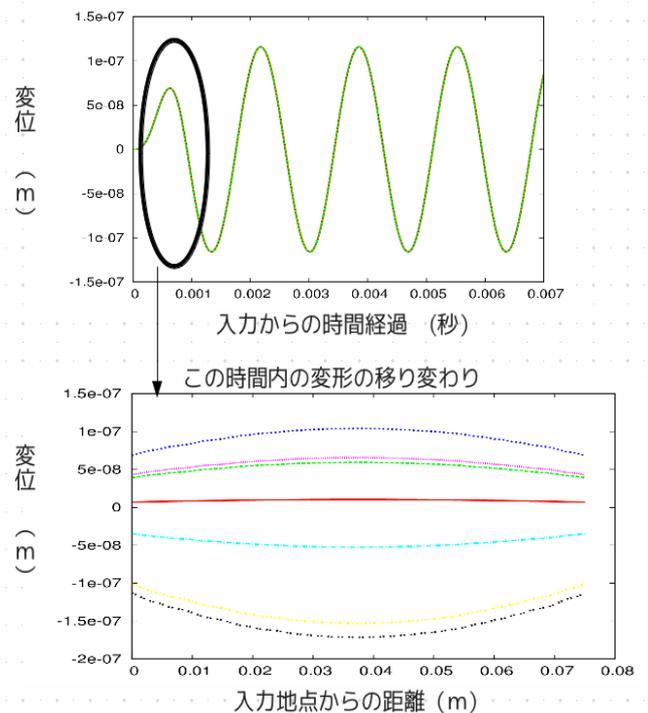


図-2 受信地点と入力地点の変位（± 15cm）

15cm の場合では、波を入れた地点と受信した地点の変位がほとんど同じになり全体の変形を見たところ、曲げ振動が卓越していて、せん断波の伝播は特に認められない。木材でも同様の結果になった。軸長が 1m、せん断波の振動数

が 1kHz の土と木材の場合、せん断波の伝播のようなものが認められたので、これらの変位を図-3,4 に示す。また、せん断波の伝播の様子を図-5 に示す。

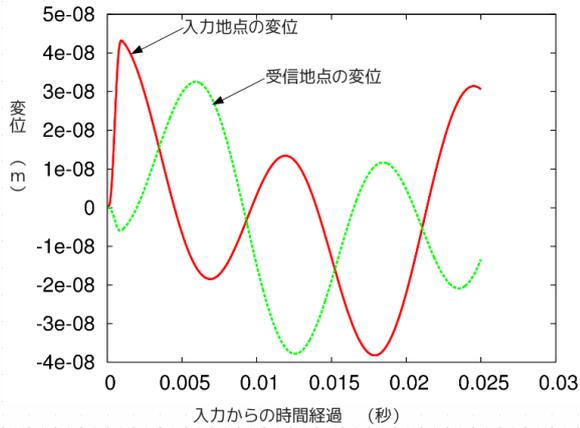


図-3 受信地点と入力地点の変位 (土 1m)

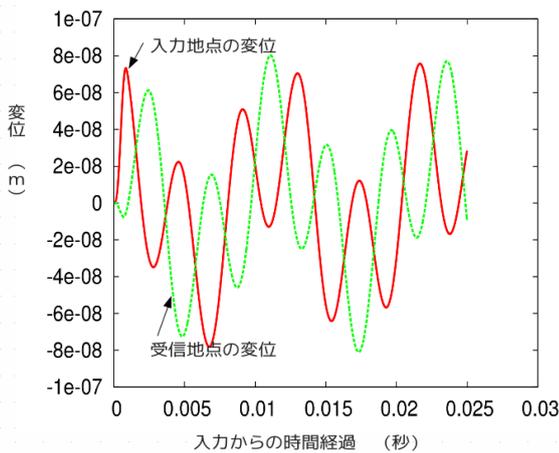


図-4 受信地点と入力地点の変位 (木 1m)

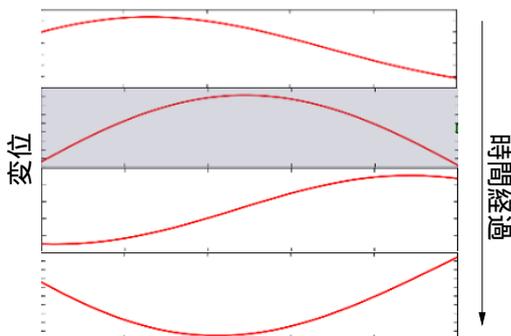


図-5 変形の様子

軸長 1m の場合では、受信地点の変位と入力地点の変位にずれが生じ、軸方向の変形の様子を見てみたところ、せん断波が伝播しているような変化が見られた。そこで、せん断波速度 v からせん断弾性係数を、有限要素モデルに与えた値 (土 : 76.4MPa, 木 : 600MPa) に対する誤差とともに表-1 に示す。いずれの場合も、誤差は非常に大きいものの

表-1 せん断波から求めたせん断弾性係数

	100Hz	1kHz	2kHz	10kHz
土 (MPa)	29.8(-61%)	19.5(-74%)	18.0(-76%)	-
木材 (MPa)	457(-24%)	98.6(-84%)	84.(-86%)	58.6(-90%)

土と木材どちらの場合でも振動数が低いほうが誤差が小さくなった。土では振動数を高くしすぎるとせん断変形が確認できなかった。

4. まとめ

- 有限要素モデルにおけるせん断波の伝播は、振動数やヤング率、形状、密度など、様々なパラメータに対して敏感で、通常、想定されるパラメータを設定した限りでは、精度の高い結果は得られなかった。ただし、パラメータを選べば、せん断波自体は、有限要素解析でも再現できているようなので、パラメータの調整によって、現実のモデルを解析できるかどうか検討していきたい。
- いずれの結果も、有限要素モデルに与えた値よりもかなり小さいせん断弾性係数が算定されている。誤差はかなり大きいものの、振動数が小さいほど、誤差は小さくなる傾向がある。入力地点の変位の応答も、入力波よりやや遅れる傾向があるので、この原因についても調べる必要がある。
- 今回、せん断波が生じるためには、軸長 1m といった長い梁にする必要があったが、現実には、もっと短い試験体でもせん断波は生じているため、その現象を数値モデルでうまく再現できない原因について、分析していくことが今後の課題である。

参考文献

- 1) <http://www.calculix.de>