

乾燥収縮を伴う鋼板挿入集成材梁の有限要素解析

環境工学構造講座 00485 松熊 千史
指導教官 薄木 征三, 後藤 文彦

1. はじめに

近年、集成材を鋼板や鉄筋で補剛することにより比較的スパンの長い道路橋にも集成材が用いられるようになってきている。こうした集成材と鋼材との合成構造や複合構造は、強度的に多くの利点を持っているが、そうした利点がじゅうぶんに発揮されるためには、応力を伝える木材と鋼材との接触面が適切に接着されていて、なめらかに応力を伝達できることが必要である。

一方、木材と鋼材とでは、熱膨張率が大きく違い、更に木材は乾燥収縮の影響を受けるため、自然環境下での温度や湿度の変化により、木材と鋼材との接着面付近に応力が発生したり、そのことで接着面にずれや剥離が生じる可能性もあるが、こうした影響については、まだじゅうぶんな研究がなされていない。とはいえ、ある程度大きな試験体を製作して実験室内の温度変化や湿度変化を制御した実験を行うことは、様々な困難を伴うので、本研究では、有限要素法による数値解析の手法を模索したい。

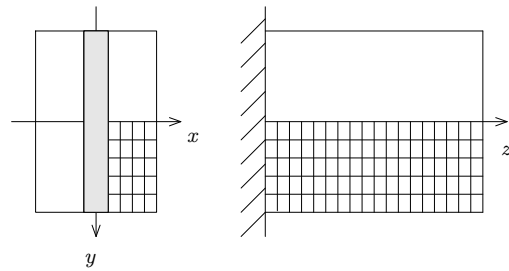


図-1 鋼補剛集成材梁

2. 解析手法

本研究では、鋼板と集成材が接触した状態で熱膨張や乾燥収縮を受ける場合の基本的な力学特性を調べたいので、二種類の材料の膨張率の違いにより梁に曲げなどが生じないように、図-1のように集成材梁の中央部に鋼板が差し挟まれている2軸対称な片持ち梁の右下1/4の部分を8節点24自由度の直方体要素¹⁾でモデル化する。温度変化と含水率変化によって発生する歪を、垂直歪成分で、次式のように与える²⁾。

$$\epsilon_i = \alpha_i \Delta T + \beta_i \Delta H \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 α_i と β_i はそれぞれ x, y, z 方向の線膨張係数と、含水率1%当たり収縮率で、 ΔT は温度変化、 ΔH は含水率変化を表す。但し、温度変化はすべての要素で一様に、含水率変化はすべての集成材要素で一様に与える。式(1)の歪に、応力-ひずみ行列と節点力-応力行列をかけて節点荷重としたものを外力として与え、節点変位を算出する。要素の応力を求める際には、求められた節点変位にひずみ-変位行列と応力-ひずみ行列をかけて求める。

3. 解析例

鋼材のみからなる梁を解析した場合も、直交異方性材料としてモデル化した集成材のみからなる梁を解析した場合も、式(1)を用いて算定される x, y, z 方向の伸び量と一致する節点変位が(1要素でも)得られることが確認できたので、実際に鋼材と木材の合成構造をいくつかの方法で解析してみる。まず、接着剤を無視し、鋼材に木材がじかに隣接しているモデルを解析した。鋼材要素の x 方向、 y 方向、 z 方向の分割は $1 \times 8 \times 4$ 、集成材要素の分割は $19 \times 8 \times 4$ とした。与える温度変化は、 $+10^\circ$ を、含水率変化は、 -10% を与えた。自由端断面の変位を図-2に示す。鋼板の端面が、1mm程度飛び出し、鋼板の近傍から離れた集成材の端面が15mm程度一様に収縮している。鋼板に隣接する集成材の要素は、変形が大きく、そのためか、集成材端面の一樣に変位している部分よりも3mm程度くびれるように収縮しているのが分かる。鋼板から2要素目に隣接している集成材要素は、集成材端面の一樣に変位している部分よりも1mm程度盛り上がっている。このように、鋼板に隣接する要素のくびれと、その次に隣接する要素の盛り上がりとが生じるのは、この部分の要素の変形が大きすぎるために数値的な乱れが入っているためではないかと考えられる。そこで、次に鋼板と集成材の間に幅1mmの接着剤要素を入れて解析

してみた(図-3)。鋼材要素の x 方向、 y 方向、 z 方向の分割は $1 \times 8 \times 4$ 、接着材要素の分割は $10 \times 8 \times 4$ 、集成材要素の分割は $9 \times 8 \times 4$ とし、接着剤の部分を 10 要素と細かく分割してみた。しかし、端部の変位は先と同じように、鋼板の端面が、1mm 程度飛び出し、鋼板の近傍から離れた集成材の端面が 15mm 程度一様に収縮している。やはり鋼板に隣接する要素にはくびれと盛り上がりが生じている。接着剤の剛性は木材の剛性に対して相対的に非常に大きいので、接着剤の部分は殆ど変形せずに、接着剤に隣接する集成材に変形が集中してしまい、結果として、接着剤なしの場合と特に差が認められない。そこで接着剤要素を入れるよりは、鋼板と隣接する集成材の要素分割を細かくした方が、変形の大きい鋼板隣接部付近の数値的な乱れが小さくなるかも知れないと考え、先のケースの接着剤要素の材料定数を集成材要素の材料定数と置き換えてその部分の(幅 1mm の)集成材だけ要素分割を細かくして計算してみた(図-4)。鋼板要素の x 方向、 y 方向、 z 方向の分割は $1 \times 8 \times 4$ 、鋼板に隣接する幅 1mm の集成材の要素分割は $10 \times 8 \times 4$ 、鋼板から 1mm 以上離れた残りの集成材の要素分割は $9 \times 8 \times 4$ とした。変位は多少なだらかになったものの、やはり前述の 2 ケースと同じように鋼板に隣接している要素に変形が集中し「くびれ」と「盛り上がり」が入る。さて、鋼板部分の熱膨張は、集成材部分の乾燥収縮に比べてじゅうぶんに小さいので、鋼板部分を剛体とみなして、剛体の境界面に集成材が連結された構造を解いてみる(図-5)。要素分割は、鋼板に隣接する幅 10mm の集成材を $10 \times 8 \times 4$ 分割、鋼板から 10mm 以上離れた残りの集成材も $10 \times 8 \times 4$ 分割とした。温度変化は与えず、含水率変化は -10% を与えた。剛体に隣接する幅 10mm の要素分割の細かい集成材の端面は、鋼板側から 8 要素目ぐらいまでは殆ど変位を生じず、9 要素目でちょっと飛び出して 10 要素目(細かい要素の最後の要素)に変形が集中して、縮んでいる。

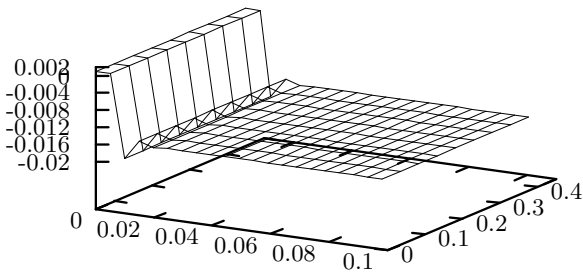


図-2 端面の変位(鋼板 + 集成材)

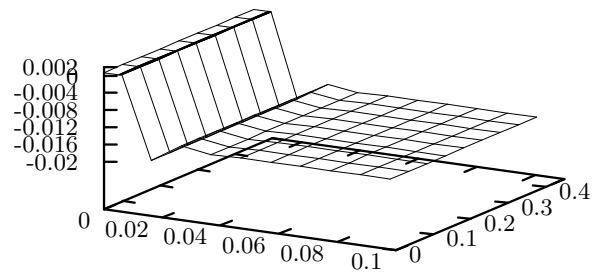


図-3 端面の変位(鋼板 + 接着剤 + 集成材)

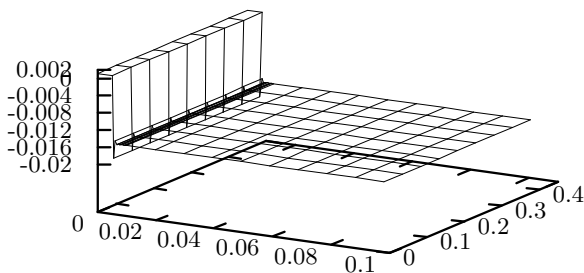


図-4 端面の変位(鋼板 + 集成材 + 集成材)

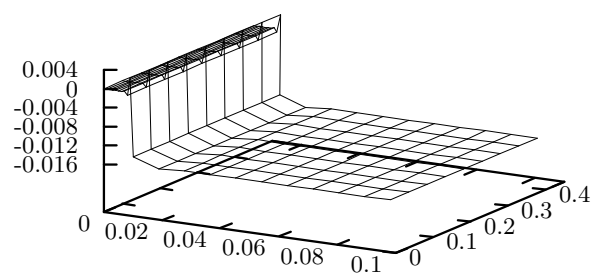


図-5 端面の変位(剛体 + 集成材 + 集成材)

4. まとめ

鋼材と木材の合成構造を、いくつかの方法で数値解析してみた。変形の集中しない部分に関しては、いずれの解析方法でも、同様の結果が得られ、比較的簡単なモデル化でも解析できることが分かったが、変形が集中する箇所では、要素分割を細かくしても、いくつかの要素に変形が集中してしまう傾向があり、変位に数値的な乱れが生じているようである。要素分割の方法や、他の立体要素の使用などを更に検討し、解析手法の妥当性を含め、考察していきたい。

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・高橋明洋・薄木征三・佐々木貴信：第 2 回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集，pp. 97-100, (2003)