

鋼板挿入集成材梁における熱膨張と乾燥収縮

環境構造工学講座 99477 高橋 明洋
 99480 田口 雅行
 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手法が広く用いられるようになり、SW 橋 (Steel Stiffened Wooden Bridge) などの形式も多用されてきている。こうした木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。そこで本研究では、図-1 のように上下に鉛直に鋼板を挿入して補強した代表的な鋼補剛集成材梁が、温湿度変化を受けたときの挙動を、8 節点 24 自由度直方体要素の有限要素法¹⁾で解析する。

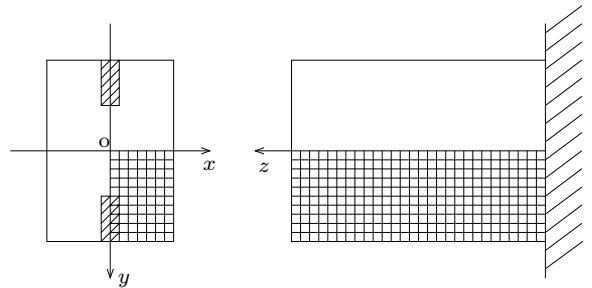


図-1 鋼補剛集成材梁

2. 解析手法

対称条件から、図のように片持ち支持された梁の右下 1/4 の部分を取り出して解析する。要素分割は、図-2 のように断面内は 4 種類のサイズに分割し、梁軸方向は等分割する。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。

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

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。

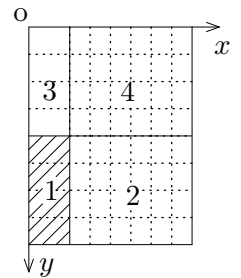


図-2 要素分割

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、実際に図-1 のような合成構造について、じゅうぶんな収束精度が得られた $10 \times 10 \times 10$ (うち、鋼材部分は 1×5) の要素分割で解析する。与える温度変化は、秋田の月平均気温の最大値と最小値の差が約 30° であることなどを考慮して $+30^\circ$ を、含水率変化は、秋田の屋外木材の月平衡含水率の最大値と最小値の差が約 5% であることなどを考慮して -10% を与える。 x, y, z 方向の要素分割を 10、鋼材の要素分割を x 方向を 1、 y 方向を 5 にした場合の、自由端の底部 (図-1 参照) における x, y, z 方向変位分布を図-3, 4, 5 に示す。 x 方向の変位は、鋼材に隣接する集成材要素から、自由側面まで、一定の減少量で減少していることから、 x 方向は一様に収縮していることが分かる。 y 方向と z 方向の変位を見ると、鋼材に隣接する集成材が大きく変形しているのが分かる。この隣接箇所から離れた自由側面に近い位置では、集成材の y 方向、 z 方向の変位はそれぞれほぼ一定の値を取っていて、一様に収縮していることが分かるが、隣接箇所に近い位置では、変位がややギザギザと変動している。これは、鋼材に隣接する集成材要素が非常に大きく変形するために生じる数値的な誤差とも考えられる

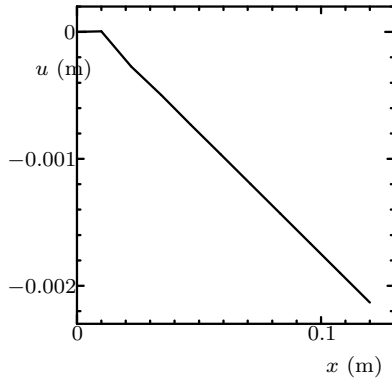


図-3 端部底面の変位 u

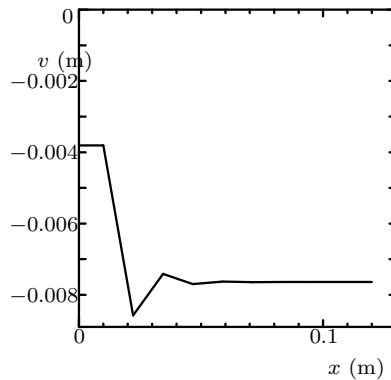


図-4 端部底面の変位 v

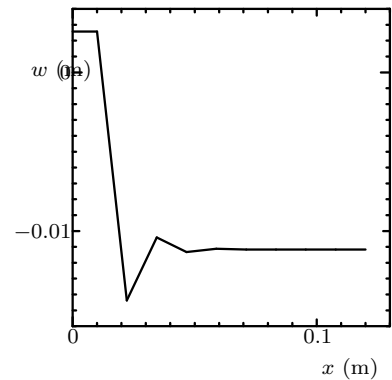


図-5 端部底面の変位 w

が、 x 方向の要素分割数を 17 (うち鋼材は 2) まで増やした限りでは、それほど改善は見られなかった。このとき、自由端において鋼材に隣接する集成材要素の各応力成分を表-1 に示す。図-6 は表-1 の要素番号の説明である。表-1 よりこの隣接部の集成材要素は、最大で -2.08×10^7 Pa の z 方向垂直応力が発生していることがわかる。文献²⁾では、鋼材片と集成材片とを接着剤で接着した試験片の引張せん断試験を行っているが、通常温度では集成材の破壊まで接着剤の凝集破壊が起きないことが確認されている。集成材の強度は、長期許容応力の 3 倍をとったとして圧縮で繊維方向には $2.1 \sim 3.5 \times 10^7$ Pa、繊維直角方向には $2.3 \sim 4.2 \times 10^6$ Pa、せん断で $2.4 \sim 3.6 \times 10^6$ Pa 程度である。今回は極端な乾燥条件を与えたために集成材の垂直応力成分が破壊強度に近い値となっているが、このような(極端な)条件でも、隣接要素のせん断応力は、強度より十分に小さい。よって、集成材が自らの圧縮応力で破壊することはあっても、せん断応力により集成材と鋼材との間に剥離が生じることは(本解析の条件では)起こり得ないと考えられる。

表-1 自由端における木材の、鋼材に隣接する縦 5 要素の応力 (Pa)

木材の要素番号	σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{xz}	τ_{yz}
1	-1.52×10^7	-1.85×10^7	-2.06×10^7	-1.03×10^{-3}	-7.94×10^{-1}	-2.34×10^{-3}
2	-1.56×10^7	-1.86×10^7	-2.08×10^7	-3.42×10^{-3}	-7.90×10^{-1}	7.69×10^{-4}
3	-1.55×10^7	-1.86×10^7	-2.07×10^7	-5.79×10^{-3}	-7.91×10^{-1}	-2.56×10^{-4}
4	-1.55×10^7	-1.86×10^7	-2.07×10^7	-8.17×10^{-3}	-7.91×10^{-1}	7.06×10^{-5}
5	-1.55×10^7	-1.86×10^7	-2.07×10^7	-1.05×10^{-2}	-7.91×10^{-1}	-3.48×10^{-5}

4. まとめ

熱膨張と乾燥収縮を受ける鋼補剛集成材梁を直方体要素の有限要素法で解析した。熱膨張と乾燥収縮による歪は、節点荷重として与えた。やや極端な温度変化と含水率変化を、鋼材要素と集成材要素のそれぞれに一樣に与えた本解析においては、鋼板に隣接する集成材要素の軸方向、軸直角方向の垂直応力は、集成材要素の繊維方向においては強度内におさまったが、繊維直角方向は強度を越えてしまった。また、せん断応力においてはそれぞれ強度内におさまった。集成材だけでも乾燥収縮で圧縮破壊を起こすような極端な条件を与えてしまったがそれでもせん断による剥離は起こらないという結論に至った。但し、ごく限られた特殊な条件での試算しか行っていないので、もっと様々なケースについて、解析手法の妥当性を含め、考察していきたい。

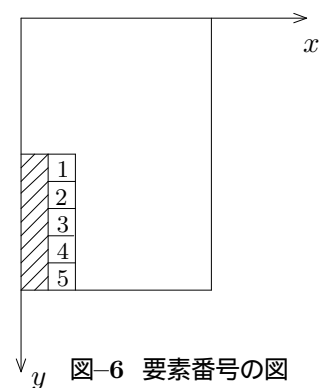


図-6 要素番号の図

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 (掲載予定)
- 2) 木質複合建築構造の開発平成 13 年度報告書 - 構造分科会 -：国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所、(財)日本建築センター