

I-27

異樹種複合集成材の強度性状について

秋田大学 学生員 ○藤原 直之

秋田大学 正 員 長谷部 薫

秋田大学 正 員 薄木 征三

1. まえがき

一般に集成材は、はりの曲げ性状を考慮し低品質強度のラミナを断面の中央部に、同一樹種で高品質高強度のラミナを外層部に配置して製造される。品質および強度の差異は、同一樹種間においても存在するが、異樹種間におけるほうが顕著であり、間伐材等の低品質材と高強度の異樹種材を複合化することによって、集成材の力学的性質を改良することができる。

ここでは、米松を外層部に、杉を内層部に用いて積層した複合集成材を対象とし、複合集成材を三層はりにモデル化して弾塑性解析を行い、破壊に至るまでの曲げとせん断によるはりのたわみを求めた。

2. 応力分布と塑性域

2軸対称断面を対象とし、曲げとせん断を受ける3層はり集成材桁を考える。ここで、圧縮側外層部と内層部のヤング係数比 E_1/E_2 と圧縮強さ比 σ_{c1}/σ_{c2} の関係は、 $E_1/E_2 \geq \sigma_{c1}/\sigma_{c2}$ の一般的な場合を対象とする。図-1の(f)は、杉と米松の応力-ひずみ関係を示しており、圧縮側では完全弾塑性、引張側では破断点まで直線関係とする、bi-linear形のモデルを採用する。また、破壊に至るまで曲げによる断面内直ひずみ分布は線形と仮定する。

図-1(a)に示すように、はり上縁の木部の応力度が圧縮強さ σ_{c1} になるまでは弾性であるが、荷重を増加すると、(b)に示すように圧縮側塑性域で $\sigma_z = -\sigma_{c1}$ となる。圧縮側外層部が全塑性化後、内層部上縁の応力が $-\sigma_{c2}$ になるまでは(c)の応力分布で推移し、荷重の増加とともに(d)に示すように、内層部が塑性化を始める。終局時は、引張縁の木部が引張強さ σ_t に達するとき、あるいは圧縮縁のひずみが(f)の $-\epsilon_{cu}$ になると崩壊する。断面の圧縮側外層部が全塑性化するまでは、図1-(b)の応力分布から、弾性部の応力と塑性部の応力 σ_z が次式で示される。

$$\sigma_z = -\sigma_{c1} \quad (-e \leq x \leq -c) \quad (1)$$

$$\sigma_z = \frac{(x-\eta)\sigma_{c1}}{(\eta+c)} \frac{E_i}{E_3} = \frac{(x-\eta)\sigma_{c1}}{(\eta+c)} \frac{E_i}{E_1} \quad (-c \leq x \leq c_3) \quad (2)$$

ここで、 $c(z)$ = 弾塑性境界の位置、 $\eta(z)$ = 断面重心から中立軸までの距離、 e, c_3 = 重心から、圧縮側上縁と引張側下縁までの距離、 $E_i = E_1, E_2, E_3$ で、3層はり各層のヤング係数である。

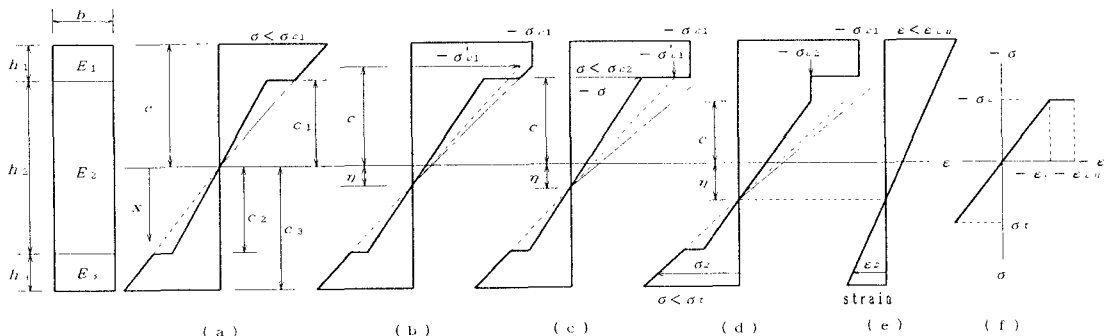


図-1 3層はりの断面内応力分布とひずみ分布および応力-ひずみ関係

ひずみは、弾性部と塑性部において

$$\epsilon_x = \frac{(x-\eta)}{(\eta+c)} \frac{\sigma_{c1}}{E_3} = \frac{(x-\eta)}{(\eta+c)} \frac{\sigma_{c1}}{E_1} \quad (-e \leq x \leq c_3) \quad (3)$$

断面に生じる軸力 N ($=0$) と、曲げモーメント M は、図-1 (b) の弾塑性状態に対して式(1)、(2)を用いて表示でき、これより η と c が次式のように得られる。

$$\eta = \frac{c^2 - 2ec + B_1}{A_1} \quad (4)$$

$$A_1 b \sigma_{c1} c^3 - (D_1 - 6M) c^2 + \{2D_1 e - 3A_1 b \sigma_{c1} e^2 + 6(A_1 - 2e)M\} c - B_1 \{D_1 - 6M\} - 2A_1 b \sigma_{c1} \{c_1^3(n_1 - 1) + c_2^3(n_1 - n_2) + c_3^3 n_2\} = 0 \quad (5)$$

ここで、 b = 3層はりの断面の幅、 c_1, c_2 = 断面重心から内層部の上縁と下縁までの距離、

$$n_1 = E_2/E_1, \quad n_2 = E_3/E_1$$

$$A_1 = 2\{e - c_1 + n_1(c_2 + c_1) + n_2(c_3 - c_2)\}$$

$$B_1 = c_1^2 + n_1(c_2^2 - c_1^2) + n_2(c_3^2 - c_2^2)$$

$$D_1 = 3b \sigma_{c1} \{e^2 + c_1^2(n_1 - 1) + c_2^2(n_2 - n_1) - n_2 c_3^2\}$$

式(5)は、 c に関する3次式であるので、弾塑性境界 c はニュートン法を用いて求める。

断面の圧縮側外層部が全塑性化する、内層部が塑性化を始めるまでは、 c は定数となり $c = c_1$ である。この場合、式(2)と式(3)で σ'_{c1} を未知数とし、軸力と曲げモーメントの定義式から η と σ'_{c1} が得られる。図-1 (c) の状態に対して、

$$\eta = \frac{-2n_3 c_1 \sigma_{c1} (e - c_1) + \{c_2^2 - c_1^2 + n_3(c_3^2 - c_2^2)\} \sigma'_{c1}}{2n_3 \sigma_{c1} (e - c_1) + 2\{c_2 + c_1 + n_3(c_3 - c_2)\} \sigma'_{c1}} \quad (6)$$

$$\sigma'_{c1} = -\frac{H_2}{H_1} \quad (7)$$

ここで、 $n_3 = E_3/E_2$ 、

$$H_1 = 4b\{c_1 + c_2 + n_3(c_3 - c_2)\} \{ \{c_2^3 + c_1^3\} + n_3(c_3^3 - c_2^3) \} - 3b\{c_2^2 - c_1^2 + n_3(c_3^2 - c_2^2)\}^2$$

$$H_2 = 2n_3 b \sigma_{c1} (e - c_1) [n_3\{2(c_3^3 - c_2^3) - 3c_1(c_2^2 - c_3^2)\} + (c_2 + c_1)^2(2c_2 - c_1)] + 3n_3\{b \sigma_{c1}(e^2 - c_1^2) - 2M\} \{ (c_2 + c_1)^2 + n_3(c_3 - c_2)(2c_1 + c_2 + c_3) \}$$

次に、図-1 (c) において、さらに荷重が増加し、内層部が塑性化を始めた後の応力は、図-1 (d) の応力分布より

$$\sigma_x = -\sigma_{c1} \quad (-e \leq x \leq -c_1) \quad (8)$$

$$\sigma_x = -\sigma_{c2} \quad (-c_1 \leq x \leq -c) \quad (9)$$

$$\sigma_x = \frac{(x-\eta) \sigma_{c2}}{(\eta+c)} \frac{E_1}{E_2} \quad (-c \leq x \leq c_3) \quad (10)$$

この時の η と c は、上記と同様な方法により、次式で与えられる。

$$\eta = \frac{\sigma_{c2} c^2 + 2\{\sigma_{c1}(c_1 - e) - \sigma_{c2} c_1\} c + B_2}{A_2} \quad (11)$$

$$A_2 b \sigma_{c2} c^3 + \sigma_{c2} \{6M - D_2\} c^2 + [2\{6M - D_2\} \{\sigma_{c1}(c_1 - e) - \sigma_{c2} c_1\} + 6A_2 M - 3A_2 b \{\sigma_{c1}(e^2 - c_1^2) + \sigma_{c2} c_1^2\}] c + B_2 \{6M - D_2\} - 2A_2 b \sigma_{c2} \{c_2^3 + n_3(c_3^3 - c_2^3)\} = 0 \quad (12)$$

ここで、

$$A_2 = 2\{\sigma_{c1}(e - c_1) + \sigma_{c2}(c_1 + c_2) + n_3 \sigma_{c2}(c_3 - c_2)\}$$

$$B_2 = \sigma_{c2} \{c_2^2 + n_3(c_3^2 - c_2^2)\}$$

$$D_2 = 3b\{\sigma_{c1}(e^2 - c_1^2) + \sigma_{c2}(c_1^2 - c_2^2) + n_3 \sigma_{c2}(c_2^2 - c_3^2)\}$$

謝辞：本研究を進めるに当たり、ご協力いただいた学部4年生の草薙義美君に謝意を表します。