

8. 耐久性を考慮した木製土木構造物の設計

野外の接地環境下などでは、腐朽菌などの生物によって木材は徐々に劣化していくため、構造物としての耐力も時間の経過とともに低下していく。しかし、従来、木製土木構造物の安定計算を行う場合、設置当初の応力のみを参考としているため、生物劣化による部材や構造物の耐力の経時変化は考慮されていない。そこで、木材の耐久性の指標を強度で表現し、カラマツなどを用いた土木構造物における部材の経時的な強度低下を推定するとともに、構造物としての耐力の経時変化を予測した。それらの結果をもとに「耐久性」という概念を考慮した木製土木構造物の設計例をいくつか示す。

8. (1) 部材における耐力の経年変化

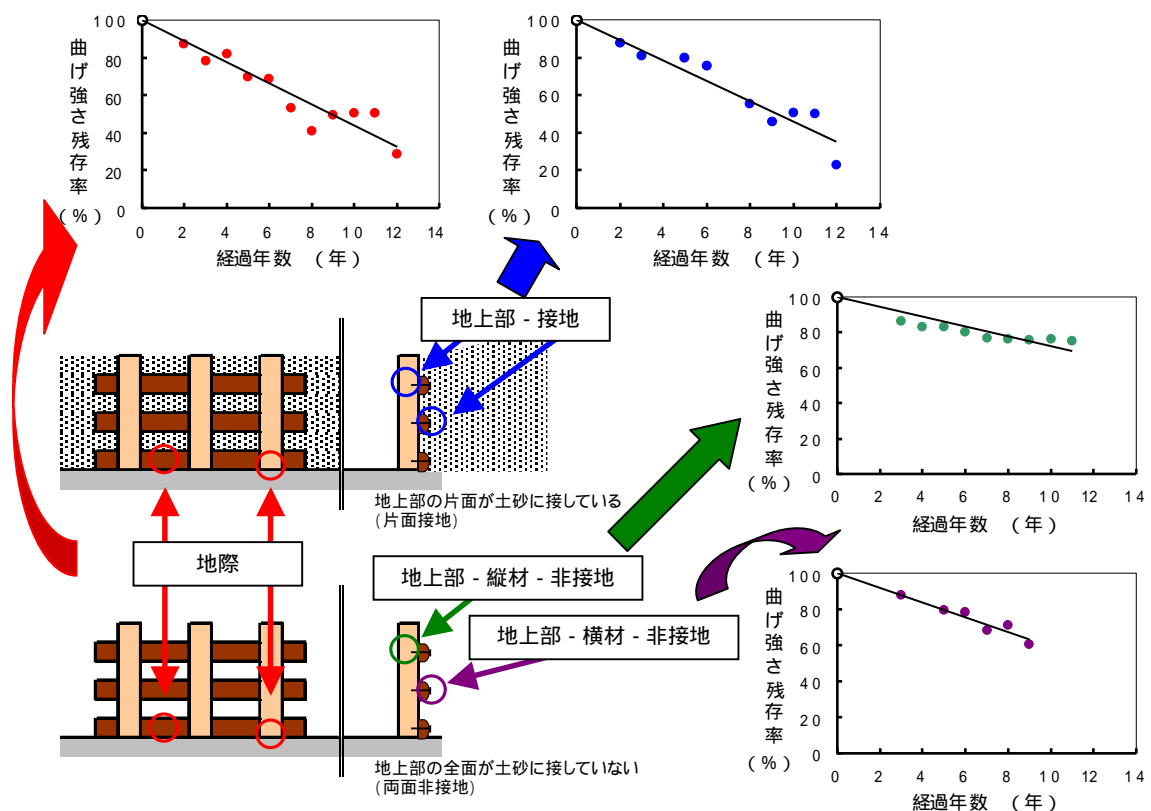
既設の土木構造物の腐朽調査（腐朽と経過年数との関係把握）、および野外暴露試験を行った丸太材の強度試験（腐朽と強度の関係把握）を行い、これらの関係から構造物を構成している各部材における強度と経過年数との関係を推定した。以下の図に示したように、結果は4つの部位に集約した。

曲げ強さ残存率と経過年数との関係を示す回帰直線式を以下に示す（y切片は100とした）。

地際： $y = 100 - 5.62 \times x$
 地上部 - 接地部： $y = 100 - 5.39 \times x$
 地上部 - 縦材 - 非接地部： $y = 100 - 2.77 \times x$
 地上部 - 横材 - 非接地部： $y = 100 - 4.08 \times x$

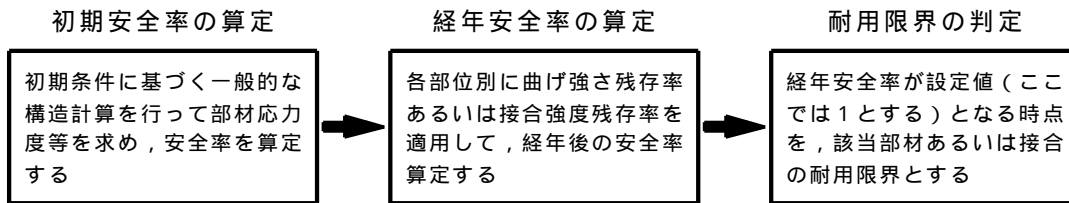
y： 曲げ強さ残存率（%）， x： 経過年数（年）

試験体：カラマツ丸太材（直径10～15cm），経過年数0～12年



8. (2) 耐久性を考慮した構造物の設計

第8章の「安定計算例(参考)」にあげられている土木構造物の部材や接合部耐力の経年変化について、前述の回帰直線式を適用し以下の手順で算出した。



ここで、安全率は許容応力度と負担応力度の比と定義した。また、接合強度残存率は曲げ強さ残存率の50%増の低下を示すものと仮定して評価を行った。

単位の表示は「SI 単位系」に統一した。丸太等部材の樹種はすべてカラマツ材と想定し、その許容応力度を適用して安全率の算定を行った。

カラマツ材の許容応力度の算定に当り、基準強度として乙種構造材二級の値を採用する。

$$F_c = 20.4, F_t = 12.6, F_b = 20.4, F_s = 2.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\text{長期曲げ許容応力度 } \quad Lf_b = 1.1F_b/3 = 1.1 \times 20.4/3 = 7.48 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

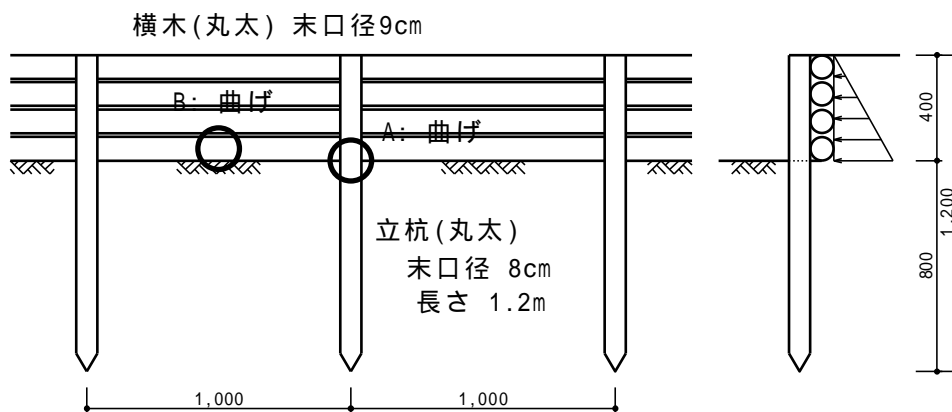
$$\text{積雪時長期曲げ許容応力度 } \quad Lf'_b = 1.1F_b/3 \times 1.3 = 1.1 \times 20.4/3 \times 1.3 = 9.72 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

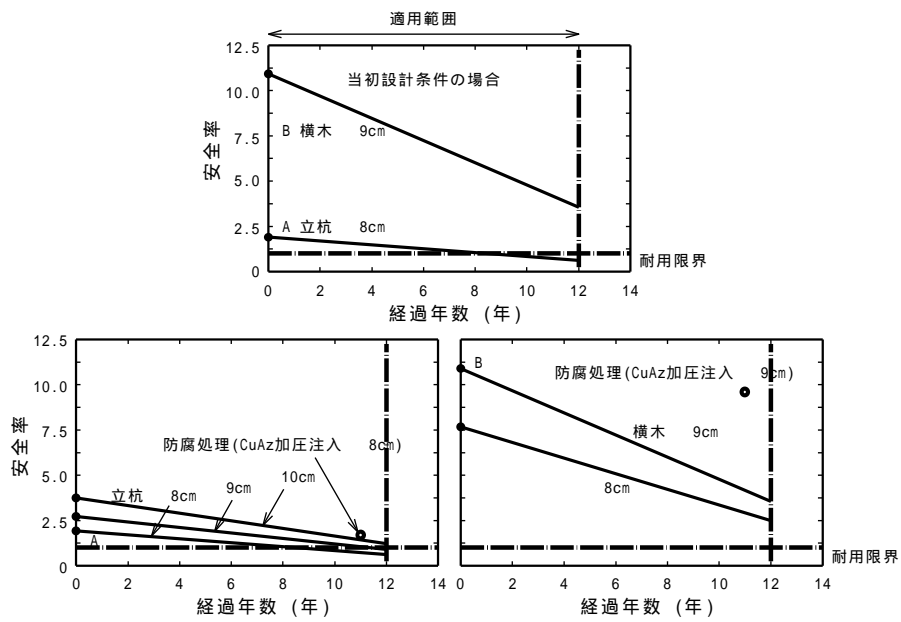
$$\text{短期許容曲げ応力度 } \quad sf_b = 2F_b/3 = 2 \times 20.4/3 = 13.60 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

8. 1 予測計算適用例 その1 丸太柵工

部位 A (曲げ): 初期安全率 = 許容応力 Lf_b / 負担応力 $b = 7.48/3.92 = 1.91$
 回帰直線式(1)を適用

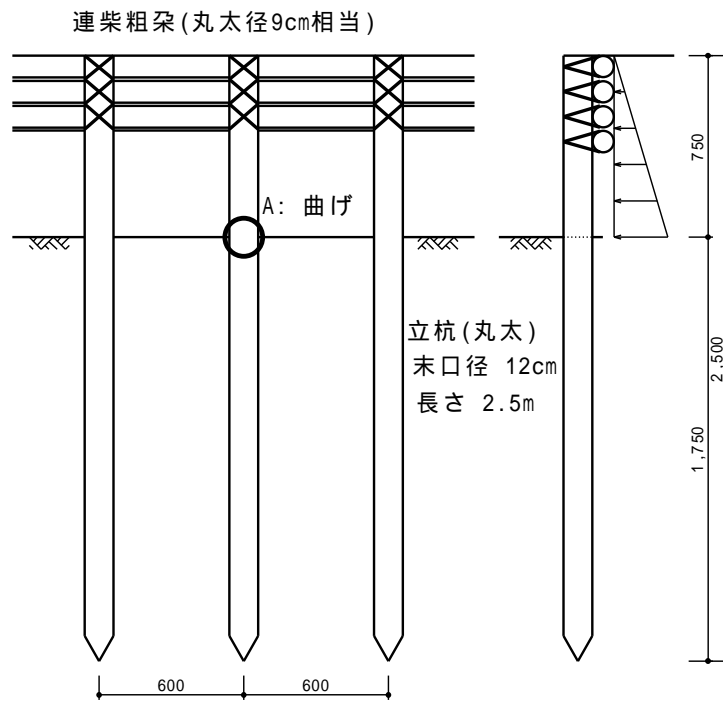
部位 B (曲げ): 初期安全率 = 許容応力 Lf_b / 負担応力 $b = 7.48/0.686 = 10.90$
 回帰直線式(1)を適用

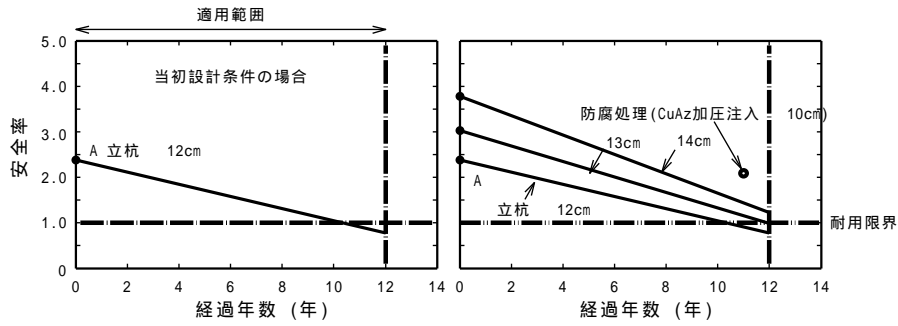




8. 2 予測計算適用例 その2 連柴柵工

部位 A (曲げ): 初期安全率 = 許容応力 L_{fb} / 負担応力 $b = 7.48/3.14 = 2.38$
 回帰直線式(1)を適用





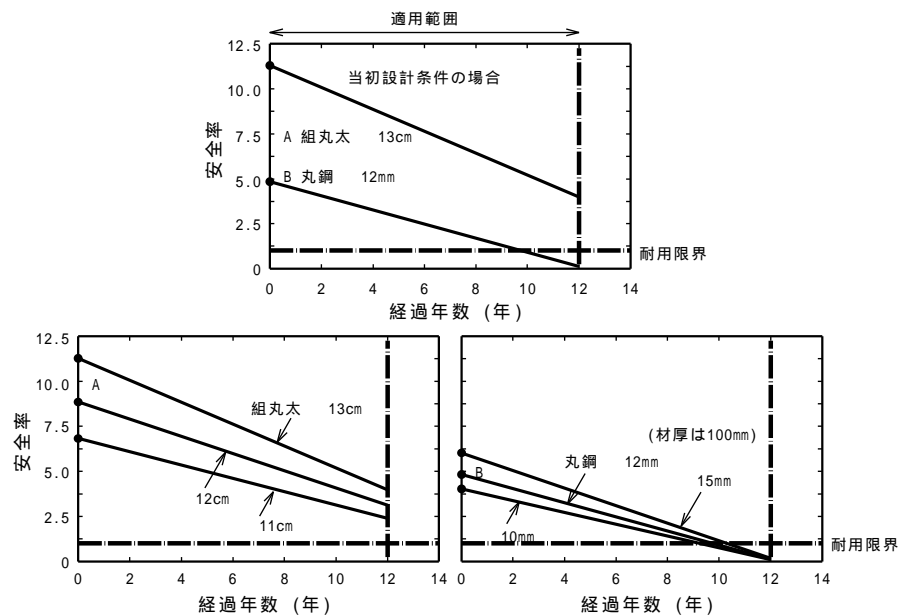
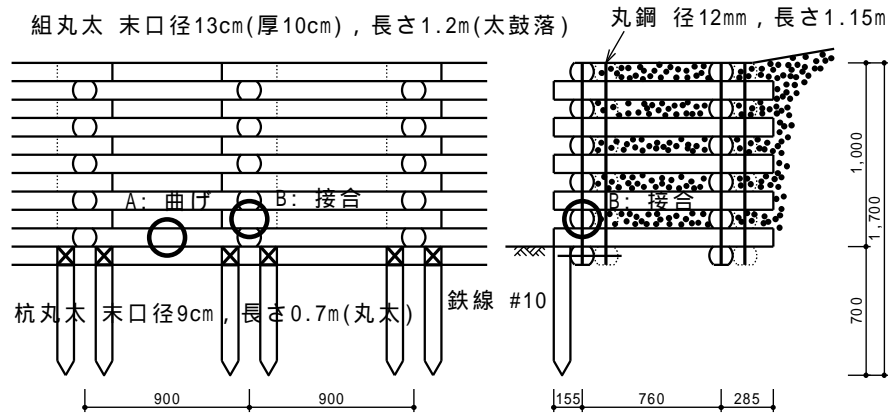
8. 3 予測計算適用例 その3 丸太杭工

部位 A (曲げ): 初期安全率 = 許容応力 L_f/b / 負担応力 $b = 7.48/0.663 = 11.28$

回帰直線式(2)を適用

部位 B (接合): 初期安全率 = 許容耐力 P_d / 負担力 $F = 3.07/0.635 = 4.83$

回帰直線式(2)の 50% 増を適用



前面の組丸太が、その背面土の土圧を負担するものとして算定する。静止土圧係数 $K = 0.4$ として
 最下段の負担土圧 $p = \gamma h K = (1.8 \times 9.8) \times 1.0 \times 0.4 = 7.056 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

組丸太の曲げ応力度

$$M = wl^2/8 = 7.056 \times 0.2 \times 0.9^2/8 = 0.1429 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

$$Z = \pi/32 d^3 = \pi/32 \times 13^3 = 215.7 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$\sigma_b = M/Z = 14290/215.7 = 66.25 \text{ (N/cm}^2\text{)} \quad 0.663 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{fb}$$

接合部の負担せん断力

$$F = 7.056 \times 0.2 \times 0.9 \times 1/2 = 0.635 \text{ (kN)} < P_a$$

ドリフトピン（丸鋼）接合の許容せん断耐力 $P_y = CF_e d l$

$$\text{側材厚/主材厚}(l/l) = 1, \quad \text{側材と主材の支圧強度比 } F_e'/F_e = 9.0/22.2 = 0.405$$

木部（カラマツ）の基準支圧強度 繊維方向 22.12, 繊維直交方向 9.0 (N/mm²)

$$\text{ドリフトピン基準材料強度と主材の基準支圧強度の比 } F/F_e = 240/22.2 = 10.81$$

木材の主材および側材よりなる 2 面せん断接合の場合、C は以下の 4 式の最小値

$$C_2 = 2 \times 1 \times 0.405 = 0.810$$

1

$$\sqrt{\{8 - 2(1 + \gamma)/(2 + \gamma)^2 + 8 \gamma (d/l)^2/(3(2 + \gamma))\}} - 2 \gamma/(2 + \gamma) = 0.363$$

$$d/l \times \sqrt{\{8 \gamma/(3(1 + \gamma))\}} = 0.346$$

$$P_y = 0.346 \times 22.2 \times 12 \times 100 = 9217 \text{ (N)}$$

$$\text{長期許容せん断耐力 } P_a = 1/3 P_y = 3072.5 \text{ (N)} \quad 3.07 \text{ (kN)}$$

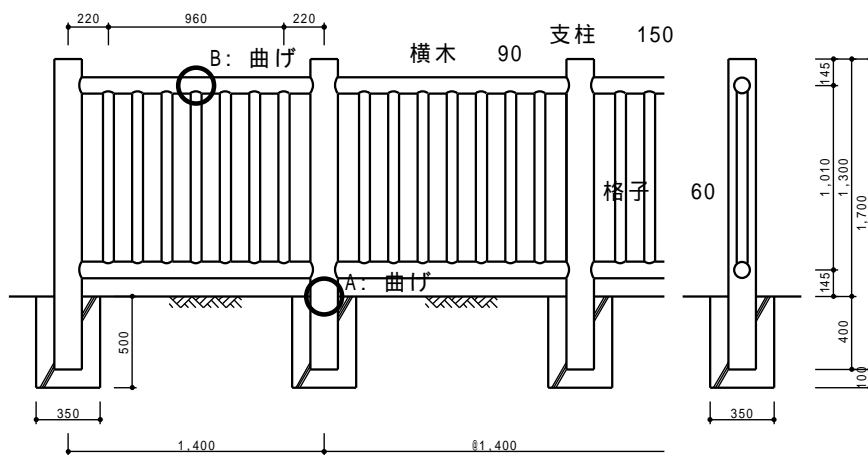
8. 4 予測計算適用例 その4 防護柵

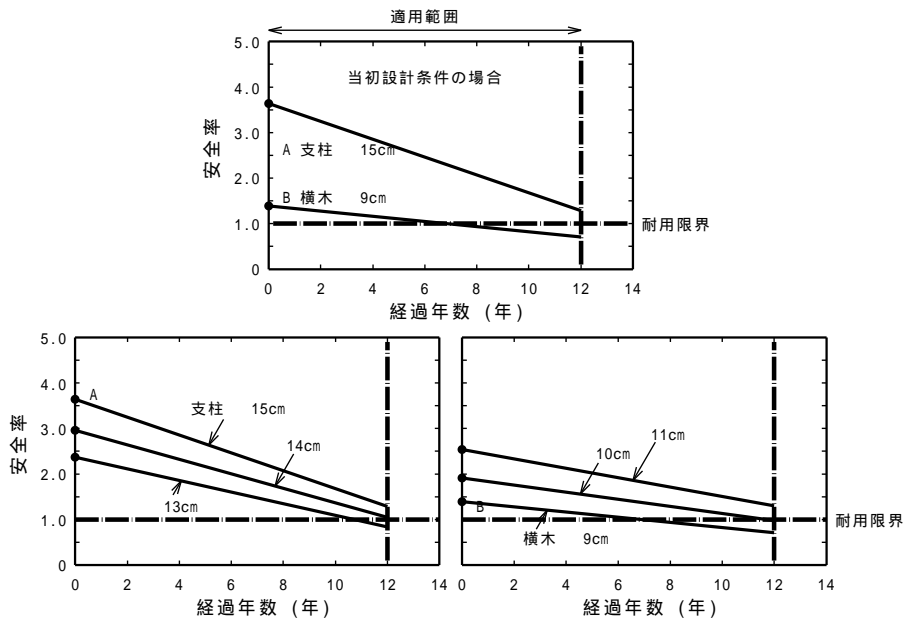
部位 A (曲げ): 初期安全率 = 許容組合せ応力度/組合せ応力度 = 1.00/0.275 = 3.64

回帰直線式(2)を適用

部位 B (曲げ): 初期安全率 = 許容応力 σ_{fb} /負担応力 $\sigma_b = 9.72/7.00 = 1.39$

回帰直線式(4)を適用



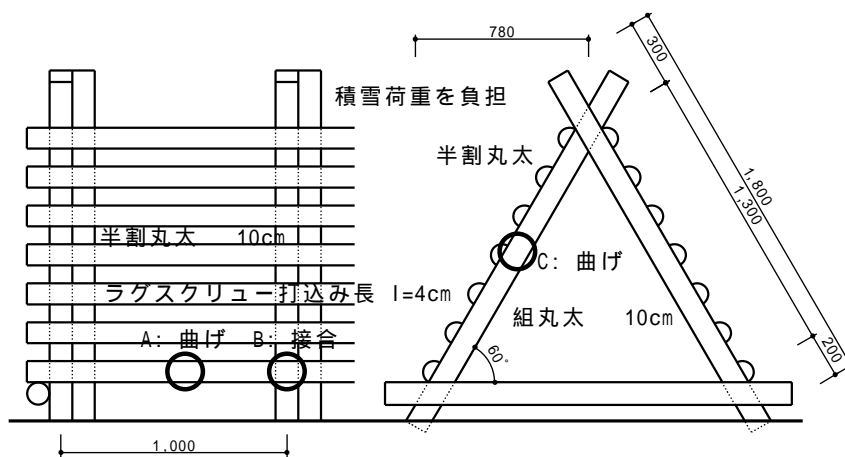


8. 5 予測計算適用例 その5 防風柵工

部位 A (曲げ): 初期安全率 = 許容応力 L_{fb} /負担応力 $b = 9.72/3.23 = 3.01$
 回帰直線式(4)を適用

部位 B (接合): 初期安全率 = 許容耐力 P_d /負担力 $F = 922.3/579.0 = 1.59$
 回帰直線式(4)の 50% 増を適用

部位 C (曲げ): 初期安全率 = 許容応力 L_{fb} /負担応力 $b = 9.72/4.65 = 2.09$
 回帰直線式(3)を適用



機能としては耐風であるが、耐用期限は冬期間における積雪により破損するか否かで決定される。したがって、長期の積雪荷重による鉛直力に対して試算を行う。

対象とする長期積雪荷重 (積雪深 200cm とする)

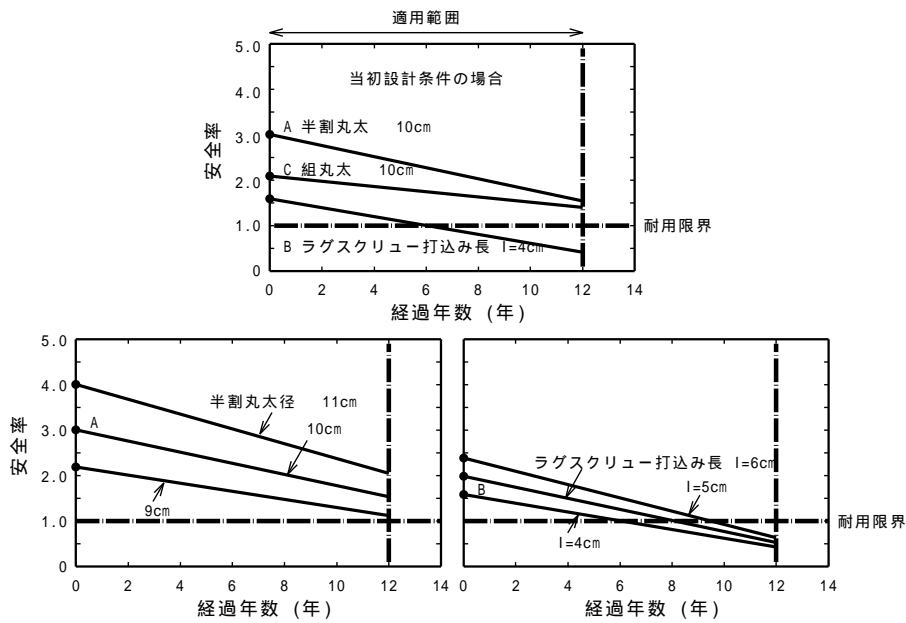
$$30(\text{N/cm}^2) \times 200(\text{cm}) = 6000 (\text{N/m}^2)$$

半割丸太の負担曲げ応力度 σ_b

$$M = wl^2/8 = 6000 \times (0.78/7) \times 1^2/8 = 83.57 \text{ (N}\cdot\text{m)} \quad 8357 \text{ (N}\cdot\text{cm)}$$

$$Z_1 = R^3/8 = 49.09 \text{ (cm}^3\text{)}, \quad Z_2 = 0.1908 R^3 = 23.85 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$\sigma_b = M \sin 60^\circ / Z_1 + M \cos 60^\circ / Z_2 = 322.6 \text{ (N/cm}^2\text{)} \quad 3.23 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{fb}$$



組丸太の負担曲げ応力度 σ_b

$$M = wl^2/8 = 6000 \times 1.0 \times 0.78^2/8 = 456.30 \text{ (N}\cdot\text{m)} \quad 45630 \text{ (N}\cdot\text{cm)}$$

$$Z = d^3/32 = 10^3/32 = 98.17 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$\sigma_b = M/Z = 464.8 \text{ (N/cm}^2\text{)} \quad 4.65 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{fb}$$

ラグスクリュー接合部の負担せん断力 P

$$P = 6000 \sin 60^\circ \times 1.0 \times (0.78/7) \times 1 = 579.0 \text{ (N)} < P_a$$

ラグスクリューの長期せん断耐力 P_a (側材は鋼板を想定している)

$$P_a = 6.1 \quad d l = 6.1 \times 0.42 \times 9 \times 40 = 922.3 \text{ (N)}$$

8. (3) 木製土木構造物の耐用年数向上のための方策例

初期的な安全率設定の違いや、部材配置の条件により腐朽劣化の進展度が異なることから、部位毎の安全率低下の経年推移は異なる。これらの推移を適正化することにより、耐用年数の向上を図ることが可能となる。

最初の例(ア)は、効率的な設計方法の採用である。部材ならびに接合部の配置位置による強度劣化特性を考慮した上で部材断面や接合仕様を定め、それぞれの部位で最適な安全率を導入することにより、効率のよい設計が可能となる。

また、耐用年数の短い部材を対象に防腐処理材を使用することによって、安全率低下の開始時期を遅らせたり、その劣化速度を減少させることも耐用年数の延長に有効な方法である(イ)。

最後の例(ウ)は、部材の交換による向上策である。交換によって初期の設計耐力の100%が回復するものとして示した。推定図よりどの部材をいつの時期に交換すべきかの判断が可能である。

