

4. 耐用年数の推定と劣化診断時期について

維持管理業務や維持管理計画策定には、対象となる構造物の耐用年数を把握することが必要である。耐用年数が明らかになることで、各維持管理段階における劣化診断の頻度（劣化診断時期）が明確になる。

加圧注入により防腐薬剤処理されたカラマツ材の耐用年数は、推定で鉛直部材（円柱加工材・地際部）17年、水平部材（円柱加工材の半割）の土壌に近接している部材は23年、非接地の部材は28年である。

各劣化診断において「経過観察」となった部材の次回劣化診断時期に関しては、一次劣化診断で4年後、二次劣化診断については診断で得られたピロディン打ち込み深さより「残存耐用年数早見表」を参照し決定する。

【解説】

屋外木質構造物の維持管理を行う上での劣化診断は、予め一定の期間を定めて定期的に行われるものである。そこで、維持管理業務や維持管理計画策定に必要な耐用年数と、初回および各劣化診断後の次回劣化診断時期を明確にした。なお、防腐処理木材の耐久性や腐朽の評価を、ここでは強度という具体的な性能に置き換え、耐用年数の推定を行った。

4.1 耐用年数の推定

北海道内の高規格道路に設置された立防柵（写真4-1）を対象に、劣化測定と部材の強度試験を行い、防腐処理木材（カラマツ）の耐用年数について推定した。

劣化測定は、旭川紋別自動車道と帯広広尾自動車道の、2000年から2014年にかけて設置された立防柵の支柱と梁材（100スパン/年）に対し、ピロディンを用いて行い（写真4-2）、「ピロディン打ち込み深さ（以下、Pe値）と経過年数の関係」を求めた。

強度試験（写真4-3）は、経年劣化した部材に残っている強度（以下、「残存曲げ強さ」）を明らかにする目的で、2001年から2009年までに設置された立防柵の2年毎、延べ5年分の支柱と梁材（15スパン/年）に対し実施した。また事前に残存曲げ強さと経年劣化の関係を把握するためPe値



写真4-1 木製立入防止柵

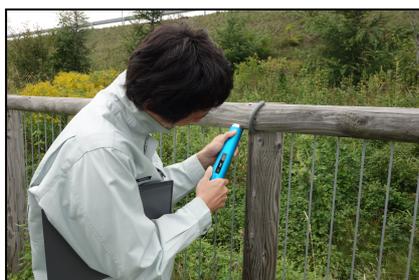


写真4-2 劣化測定の様子



写真4-3 強度試験の様子

の測定を行った。これらの結果から、「Pe値と残存する強度の関係」を求めた。

耐用年数は、劣化測定で得られた「Pe値と経過年数の関係」と、強度試験における「Pe値と残存する強度の関係」から、Pe値より推測した残存曲げ強さの平均値と経過年数の回帰直線を描き、回帰直線の値（残存曲げ強さ： F ）が部材の短期許容応力度すなわち基準材料強度の2/3（以下、許容残存強度： f_L ）に達した時（ $F = f_L$ ）と定めた（図4-1）。

残存曲げ強さ（ F ）は、低減係数（ a ）と経過年数（ x ）の乗算により求められる強度の低下量を、基準材料強度（ F_0 ）から差分する形で表せる。

耐用年数推定式の基本形を以下に示す（式4）。

・耐用年数推定式： $F = F_0 - ax$ （式4）

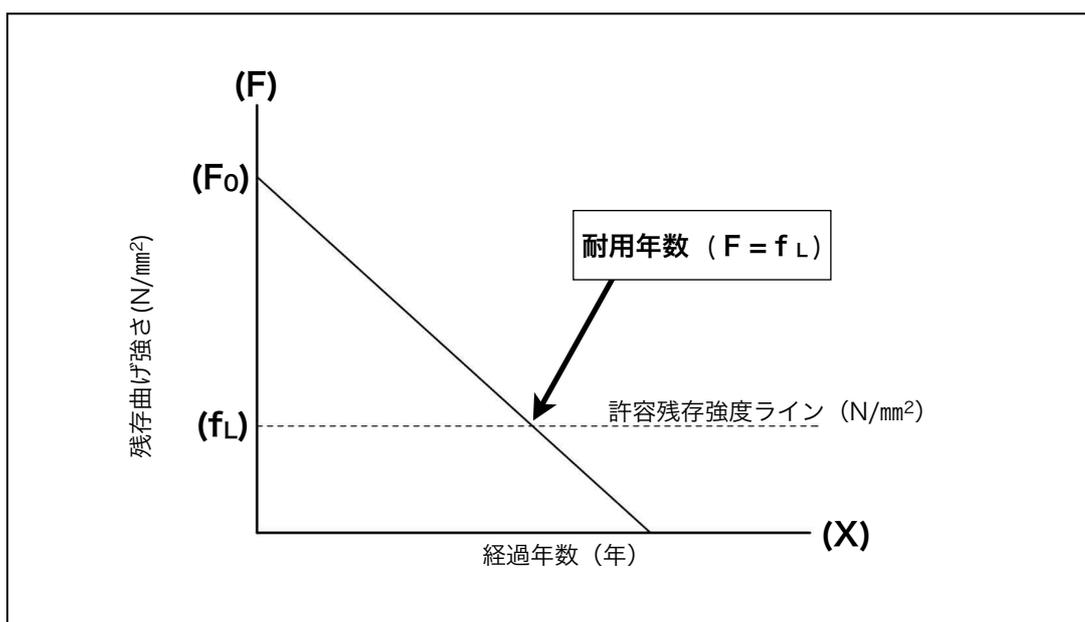


図4-1 耐用年数推定の考え方

4.2 基準耐用年数

耐用年数の推定を行う上での初期強度は、木材の「基準材料強度（建設省告示第1452号）」と設定している。基準材料強度は単位面積当たりの強度（ N/mm^2 ）であるので、部材の断面積に影響は受けない。そのため異なる構造体であっても、要求される強度性能に対し適切な強度計算を行った場合には耐用年数は全て同じ年数（基準耐用年数）となる。

基準耐用年数は、各推定式の「**F**」に許容残存強度（ f_L ）の値を入れることで求められる。本手引きは北海道産カラマツを対象としていることから、以下の値を用いている。

- ・ 基準材料強度 (F_0) : カラマツ ($29.4 N/mm^2$)
- ・ 許容残存強度 (f_L) : カラマツ ($19.6 N/mm^2$)

耐用年数は、構造別に鉛直部材と水平部材の二種類に大別して推定を行った。

鉛直部材は、地面に直接木材を埋設する一般的な「土中埋設型（写真4-4）」で推定した。

水平部材は、部材下端が地盤面からおおよそ10cm以内あるいは、常に枯れた植物などに覆われ湿潤状態が長期間継続される環境にある「土壌近接型」と、地盤面と接触していない「非接地型」の二種類について推定を行った（写真4-5）。



写真4-4 土中埋設型



写真4-5 水平部材

4.3 耐用年数推定式（鉛直部材・土中埋設型）（図4-2）

- ・耐用年数推定式： $F = 29.4 - 0.5522x$
- ・基準耐用年数：17.7年

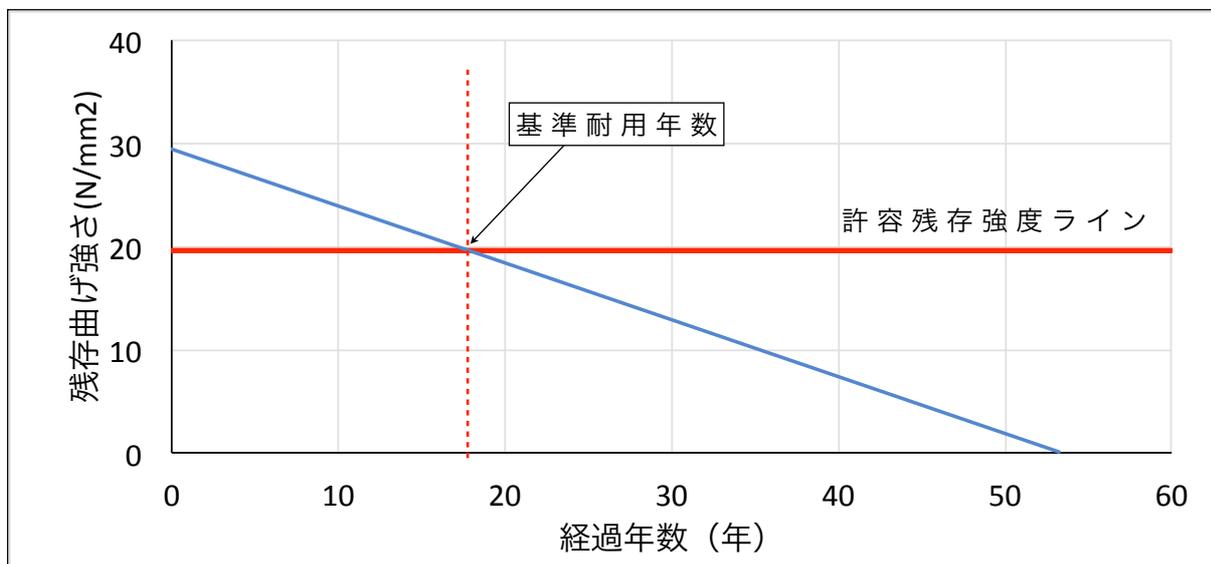


図4-2 土中埋設型

4.4 耐用年数推定式（水平部材）

4.4-1 土壌近接型（図4-3）

- ・耐用年数推定式： $F = 29.4 - 0.4125x$
- ・基準耐用年数：23.8年

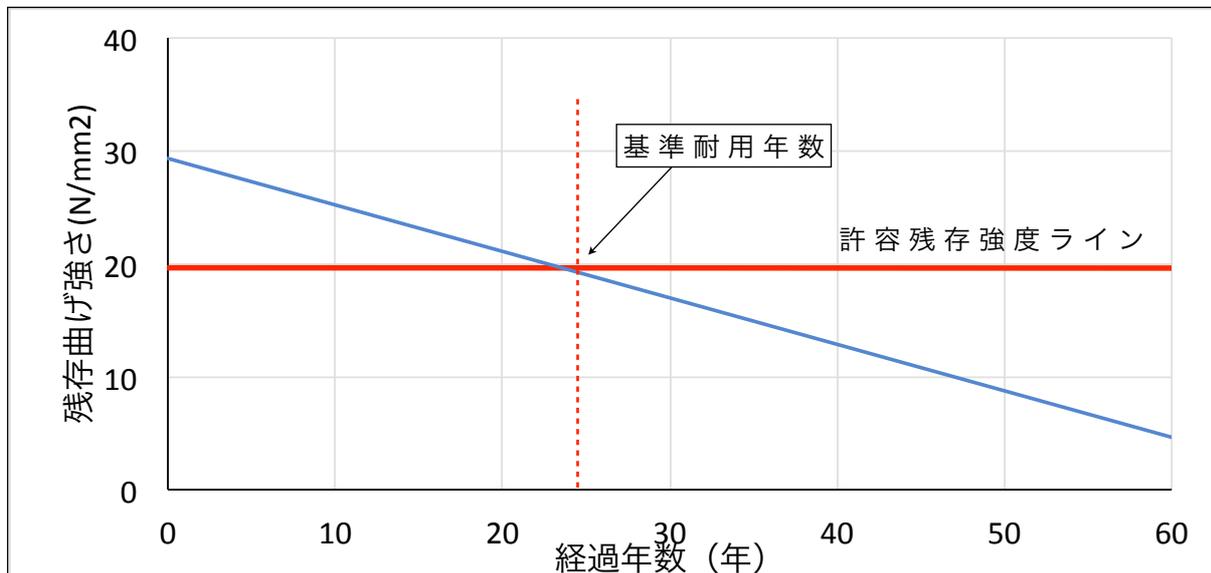


図4-3 土壌近接型

4.4-2 非接地型（図4-4）

- ・耐用年数推定式： $F = 29.4 - 0.3496x$
- ・基準耐用年数：28.0年

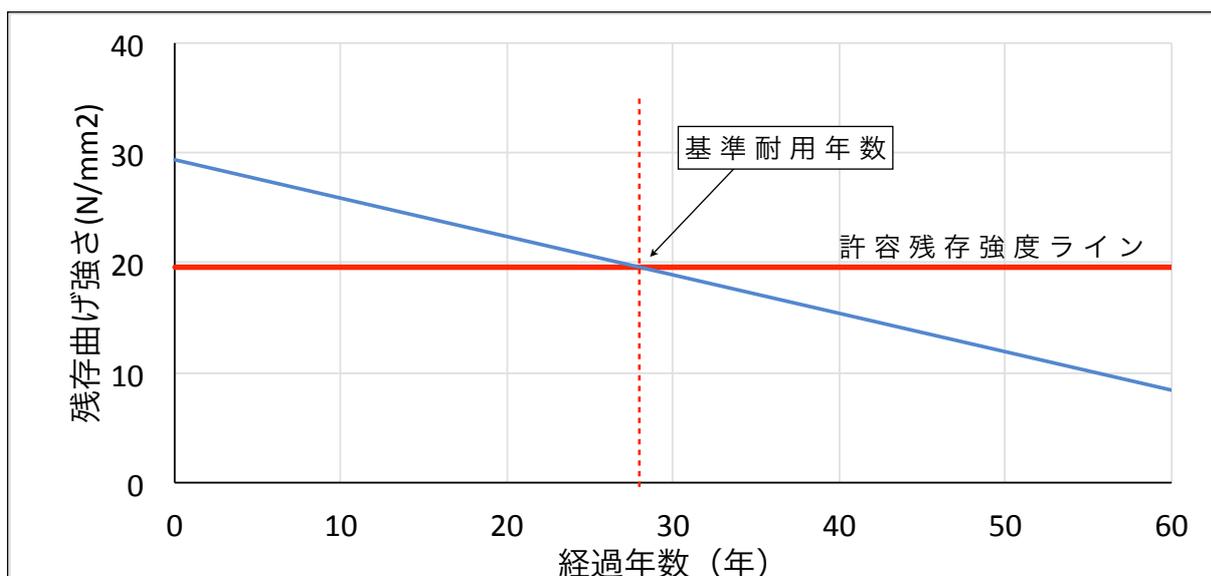


図4-4 非接地型

4.5 経過観察となった部材の次回劣化診断時期

一次劣化診断および二次劣化診断において、経過観察となった部材の次回劣化診断時期は以下の考え方に基づいた。

4.5-1 一次劣化診断（目視）

一次劣化診断（目視）において「健全（被害度0）」と判断された部材が、「部分的に軽微な腐朽（被害度1）」となる最短の期間を、現地測定した被害度と経過年数との関係から求め、4年という値を得た（図4-5）。

・関係式： $y = 0.2653x - 1.0643$

これにより「健全」と判断された部材の次回劣化診断時期は、4年後（推奨）とする。

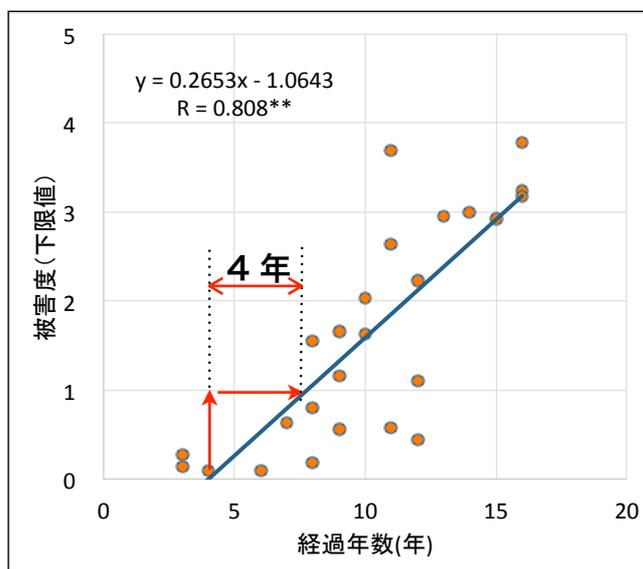


図4-5 被害度（下限値）と経過年数

4.5-2 二次劣化診断（ピロディンの使用を前提とする）

二次劣化診断で得られた診断結果より、残存する耐用年数が「3年以上」ある場合は「経過観察」とする。

この「3年」という年数の根拠は「劣化診断」、「予算請求」、「部材調達」という維持管理側のスケジュールから、少なくとも3年前には判断・決定する必要があるとの考えからである。

残存する耐用年数は、二次劣化診断で得られたPe値から求めることが可能であるが、計算が煩雑となるため、鉛直部材および水平部材の各条件（耐用年数推定式と同条件）ごとに「残存耐用年数早見表」を作成したので活用されたい（資料3）。

5. 柵状木質構造物の維持管理フロー

屋外に設置された柵状木質構造物は、劣化の状態や現状を把握するため、定期的な点検や巡回などを実施する。

なお、耐用年数が明らかになっている柵状木質構造物において耐用年数に達した後は、**図5**のフロー図に沿って維持管理を実施することを推奨する。

このフロー図では、一次劣化診断は「目視」で、二次劣化診断では「ピロディン」を使用して行う。

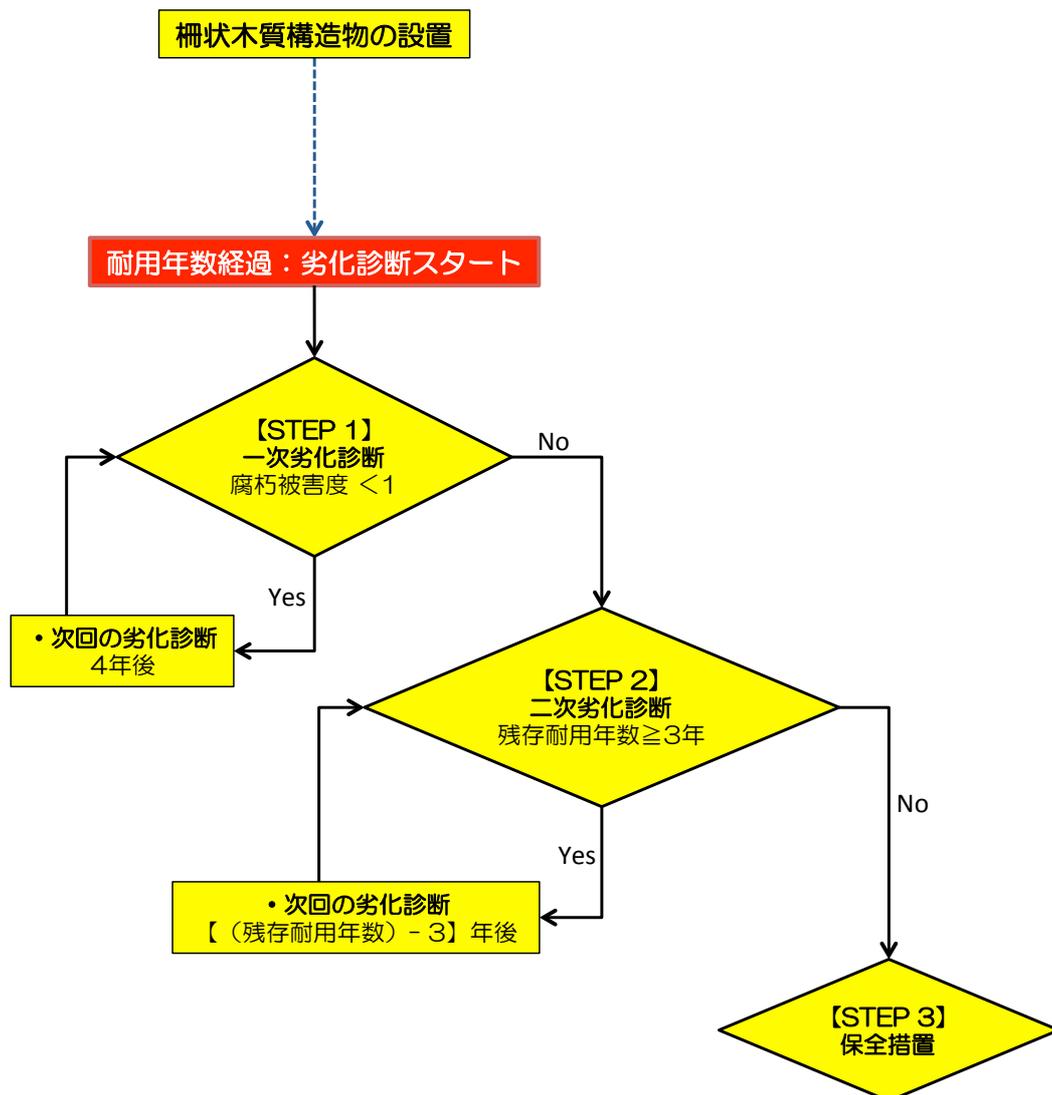


図5 柵状木質構造物の維持管理フロー

【解説】

屋外に設置された柵状構造物の劣化や破損などの状況確認および現状の把握は、通常の定期点検や巡回などにより行うものとする。

また、構造物が基準となる耐用年数に達した時には、**図5**のフロー図に基づいて維持管理を始めることを推奨する。

なお、ここでは一次劣化診断は「目視」により、二次劣化診断は「ピロディン」を用いて実施するものとする。

【基準耐用年数】

- ・鉛直部材（土中埋設型）：17.7年
- ・水平部材（土壌近接型）：23.8年
- ・水平部材（非接地型）：28.0年

【劣化診断の流れ】

i) Step: 1 (一次劣化診断)

腐朽被害度が「1」未満の部材は経過観察とし、次回劣化診断を「4年後」と設定する。「1」以上の部材は「Step:2」に進む。

なお、耐用年数経過後の最初の劣化診断において、腐朽被害度が「2.5」以上になった部材に関しては、防腐薬剤処理に何らかの瑕疵があると判断できるため、その部材は「Step:3」に進むものとする。

目視による腐朽被害度の判断基準は、資料1を参照されたい。

ii) Step: 2 (二次劣化診断)

ピロディンの測定で得られたPe値を残存耐用年数早見表に当てはめ、測定した部材の残存耐用年数を求める。残存耐用年数が「3年以上」の場合は経過観察とし、次回の劣化診断は残存耐用年数早見表で得られた年数から「3年」を引いた年数に達したときに行う。残存する耐用年数が「3年未満」のものは「Step:3」に進む。

iii) Step: 3 (保全措置)

保全措置については、「2.劣化診断の目的と手法」の中で、一般的な手法について説明しているので参照されたい。

【本手引きにおける耐用年数の考え方（補足説明）】

本手引きでは、耐久性や腐朽の評価を、強度という具体的な性能に置き換えて耐用年数の推定を行った。

従って、ここで言う「耐用年数」とは、劣化や腐朽により使えなくなった状態になる年数を示すものではなく、この年数に達した時に許容する曲げ強さを超える負荷が部材に生じた場合「壊れる可能性がある」ということを示している。

また、推定に用いている基準材料強度は「5%下限値」という安全側の値を採用していることから、「耐用年数」に達したとしても、構造体が壊れてしまうことは少ないものとする。

6. 任意に耐用年数を設定する場合について

耐用年数は「強度」を指標としているため、基準耐用年数（ X_0 ）を任意の耐用年数（ X_1 ）に設定（延長）するためには、構造体の初期耐力を増加させる必要がある。ただし部材の「基準材料強度（ F_0 ）」は樹種を変更しない限り常に一定であることから、断面寸法を大きくすることで耐力の増加を図るものとする。

ここでは、「強度」と「断面係数」から得られる「許容曲げモーメント」の関係式より任意の耐用年数に必要な耐力の増加分を求め、その値から部材断面寸法を算出する。

【解説】

求められる強度性能に対して、適切な強度計算を行った構造体の耐用年数は、推定式の各項目に明示した年数が基準となる。

しかし、この基準以上の耐用年数を任意に設定する場合は、以下の考え方で年数の延長を図るものとする。耐用年数延長のイメージを図6-1に示す。

基準耐用年数（ X_0 ）を任意の耐用年数（ X_1 ）に延長するためには、構造体の初期耐力を増加させる必要がある。しかし、樹種を変更しない限り部材が持つ「基準材料強度（ F_0 ）」は変わらないので、耐力の増加には、部材の断面寸法を大きくすることで対応する。

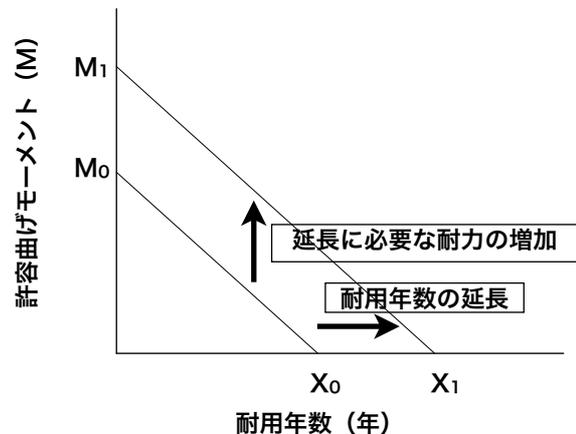


図6-1 耐用年数延長のイメージ

6.1 耐用年数設定（延長）の手順

「強度」と「断面係数」から得られる「許容曲げモーメント」の関係式を用い、基準耐用年数時の許容曲げモーメント「 M_0 （ $N \cdot m m^2$ ）」と耐用年数延長に求められる許容曲げモーメント「 M_1 （ $N \cdot m m^2$ ）」を求める。

【（参考）許容曲げモーメント（ M ）】

$$M \text{ (} N \cdot m m \text{)} = F \text{ (強度} \cdot N / m m^2 \text{)} \times Z \text{ (断面係数} \cdot m m^3 \text{)}$$

各耐用年数推定式における 基準材料強度「 F_0 」は固定値であることから、 M_1 と M_0 は以下の式となる。

$$\bullet M_1 = F_0 \times Z_1 \quad (\text{式6-1})$$

$$\bullet M_0 = F_0 \times Z_0 \quad (\text{式6-2})$$

Z_1 : 断面係数(耐用年数延長時)

Z_0 : 断面係数(基準耐用年数)

F_0 : 29.4N/mm²(基準材料強度)

また「 F_0 」は式6-1と式6-2において共通であり、耐用年数延長による許容曲げモーメント「 M_1 」の増加分は断面係数（ Z_1 ）を大きくすることで対応することになる。すなわち、 M_1 と M_0 の関係は式6-3で表せる。

$$\bullet M_1 : M_0 = F_0 \times Z_1 : F_0 \times Z_0 = Z_1 : Z_0$$

$$\therefore M_1 : M_0 = Z_1 : Z_0 \quad (\text{式6-3})$$

最終的に求めたいのは「 Z_1 」である。そこで、部材の断面寸法は「 Z_0 」のまま変更せず、耐用年数延長による許容曲げモーメント「 M_1 」の「 F_0 」が「 F_1 」になると仮定をすると「 M_1 」は式6-4で表せる。

$$\bullet M_1 = F_1 \times Z_0 \quad (\text{式6-4})$$

この時の「 F_1 」は、対応する耐用年数推定式（式4）の低減係数（ a ）と延長した耐用年数（ X_1 ）を乗算し、これに許容残存強度（ f_L ）を加算することで求められる（式6-5）。

$$\bullet \text{耐用年数延長時の「} F_1 \text{」算定} : F_1 = f_L + a X_1 \quad (\text{式6-5})$$

ここで式6-3の M_1 と M_0 に式6-2と式6-4を代入する。

$$(F_1 \times Z_0) : (F_0 \times Z_0) = Z_1 : Z_0$$

$$Z_1 \times (F_0 \times Z_0) = Z_0 \times (F_1 \times Z_0)$$

$$Z_1 \times F_0 = Z_0 \times F_1 \quad \therefore Z_1 = F_1 / F_0 \times Z_0$$

得られた「 Z_1 」から、部材の断面寸法を求めることができる。

※部材の断面寸法を求めるために使用している断面係数「 Z 」は、断面形状ごとに異なるため、適切な式を選択し用いること。

6.2 耐用年数を設定（延長）する場合の設計例

推定式を用い、耐用年数を任意に設定する手順について解説する。

【ケーススタディとする構造体の基本情報（図6-2）】

- ・ 構造体・構造種別：立入防止柵（耐雪型）SA3
- ・ 樹種：カラマツ ・ 鉛直部材の施工方法：土中埋設型

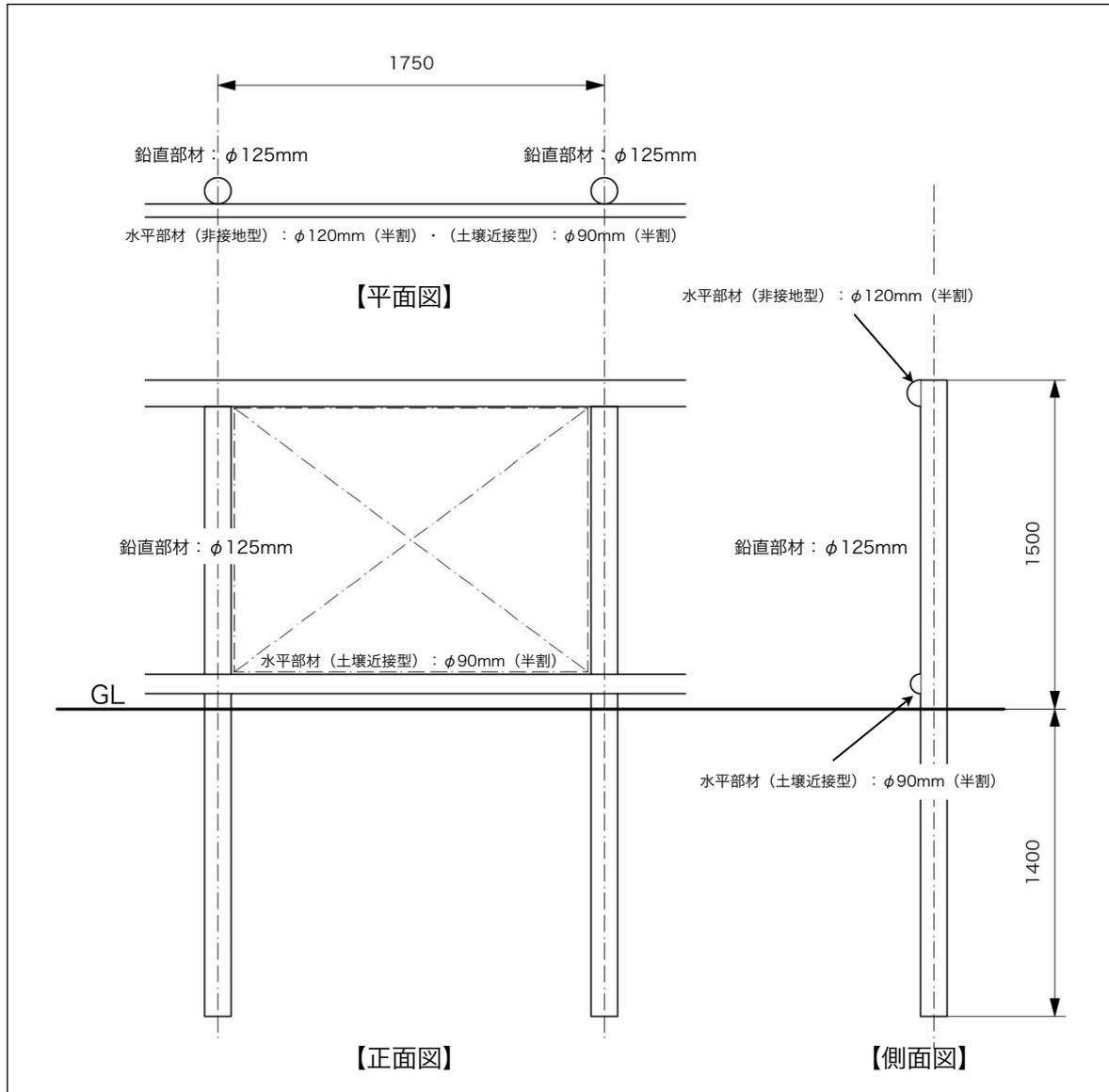


図 6-2 木製立入防止柵設計例

設置する構造体の強度計算を実施する。立入防止柵では高い安全性は求められず、また雪の影響は無いと考え、ここでは木材の荷重継続期間影響係数は短期2.0、設計強度は19.6（N/mm²）の値を採用する。

また強度計算より、この設計例において鉛直部材は円柱加工材φ125mm、水平部材（土壌近接型）は円柱加工材φ90mm（半割）、水平部材（非接地型）は円柱加工材φ120mm（半割）とする。

耐用年数を任意に設定するには、「6.1 耐用年数設定（延長）の手順」で示した通り、任意の耐用年数に必要な「強度（ F_1 ）」と「基準材料強度（ F_0 ）」との比率（ F_1/F_0 ）を、「基準耐用年数時の断面係数（ Z_0 ）」に乗算することで、任意の耐用年数に必要な「断面係数（ Z_1 ）」を算出し、任意の耐用年数における断面寸法を再計算する。

以下に示す計算例では、鉛直部材および水平部材（土壌近接型）の耐用年数を水平部材（非接地型）の耐用年数28年に合わせ、部材の断面寸法を再計算する。

【鉛直部材】

① 「 F_1 」の算出

$F = F_0 - a \times x$ より（ F_0 を F_1 に置き換えて計算を行う）

$$19.6 = F_1 - 0.5522 \times 28$$

$$F_1 = 19.6 + 0.5522 \times 28 \quad F_1 = 35.06 \text{ N/mm}^2$$

（参考）

- ・耐用年数推定式（鉛直部材）： $F = 29.4 - 0.5522 \times (\text{耐用年数})$ （耐用年数： $F = f_L$ ）
- ・ F_0 ：29.4 N/mm²（基準材料強度）
- ・ f_L ：19.6 N/mm²（許容残存強度・基準材料強度の2/3）

② F_1 と F_0 の比率を求め、 Z_0 と乗算することで Z_1 を算出する

$Z_0 (\text{mm}^3) = d^3 \pi / 32$ より（ d :直径）

$$= 125^3 \times \pi / 32 = 191.74 \times 10^3$$

$Z_1 (\text{mm}^3) = Z_0 \times (F_1/F_0)$ より

$$F_1/F_0 = 35.06 / 29.4 = 1.19$$

$$Z_1 (\text{mm}^3) = 191.74 \times 10^3 \times 1.19 = 228.17 \times 10^3$$

$228.17 \times 10^3 = d^3 \pi / 32$ より（ d :直径）

$$d^3 = 228.17 \times 10^3 \times 32 / \pi = 2324.1 \times 10^3$$

$$\therefore \underline{\underline{d = 132.46 \text{ (mm)}}}$$

※耐用年数を17年から28年に延長するには、支柱寸法 $\phi 125 \text{ mm}$ を $\phi 133 \text{ mm}$ へ変更する。

【水平部材（土壌近接型）】

① 「F₁」の算出

$F = F_0 - a \times$ より（ F_0 を F_1 に置き換えて計算を行う）

$$19.6 = F_1 - 0.4125 \times 28$$

$$F_1 = 19.6 + 0.4125 \times 28 \quad F_1 = 31.15 \text{ N/mm}^2$$

（参考）

・耐用年数推定式（水平部材・土壌近接型）

$$: F = 29.4 - 0.4125 \times (\text{耐用年数} : F = f_L)$$

・ F_0 : 29.4 N/mm^2 （基準材料強度）

・ f_L : 19.6 N/mm^2 （許容残存強度・基準材料強度の2/3）

② F₁とF₀の比率を求め、Z₀と乗算することでZ₁を算出する】

$Z_0 (\text{mm}^3) = R^3 \pi / 8$ より（R:半径）

$$= 45^3 \times \pi / 8 = 35.78 \times 10^3$$

$Z_1 (\text{mm}^3) = Z_0 \times (F_1 / F_0)$ より

$$F_1 / F_0 = 31.15 / 29.4 = 1.05$$

$$Z_1 (\text{mm}^3) = 35.78 \times 10^3 \times 1.05 = 37.56 \times 10^3$$

$37.56 \times 10^3 = R^3 \pi / 8$ （R:半径）

$$R^3 = 37.57 \times 10^3 \times 8 / \pi = 95645.75$$

$$\therefore \underline{\underline{R = 45.73 \text{ (mm)}}}$$

※耐用年数を23年から28年に延長するには、水平部材（土壌近接型）の寸法 $\phi 90 \text{ mm}$ （半割）を $\phi 92 \text{ mm}$ （半割）へ変更する。

【部材の断面寸法から耐用年数を求める】

最初に使用する部材の寸法を決め、その断面寸法より耐用年数を求める方法を解説する。ここでは、鉛直部材の計算例を示す。

使用する部材の耐用年数を求める前に、要求される強度性能より「基準耐用年数」を満たす部材寸法を求める。ここではP19（図6-2）の設計例を用いる。

【基本情報（図6-2）】

- ・ 構造体・構造種別：立入防止柵（耐雪型）SA3
- ・ 樹種：カラマツ ・ 鉛直部材の施工方法：土中埋設型
- ・ 鉛直部材：円柱加工材 $\phi 125\text{ mm}$

（参考）

- ・ 耐用年数推定式（鉛直部材）： $F = 29.4 - 0.5522x$ （耐用年数： $F = f_L$ ）
- ・ F_0 ： 29.4 N/mm^2 （基準材料強度）
- ・ f_L ： 19.6 N/mm^2 （許容残存強度・基準材料強度の $2/3$ ）

構造計算より、必要な鉛直部材の断面寸法は円柱加工材 $\phi 125\text{ mm}$ であるが、ここでは円柱加工材 $\phi 130\text{ mm}$ を使うものとし、その場合の耐用年数を推定する。

$$Z(\text{mm}^3) = d^3 \pi / 32 \text{ より (d:直径)}$$

$$Z_1(\text{mm}^3) = 130^3 \pi / 32 = 215.68 \times 10^3$$

$$Z_0(\text{mm}^3) = 125^3 \pi / 32 = 191.74 \times 10^3$$

$$Z_1 = Z_0 \times (F_1 / F_0) \text{ より}$$

$$215.68 \times 10^3 = 191.74 \times 10^3 \times (F_1 / 29.4)$$

$$F_1 = 33.07\text{ N/mm}^2$$

$$F = F_0 - ax \text{ より (} F_0 \text{を} F_1 \text{に置き換えて計算を行う)}$$

$$19.6 = 33.07 - 0.5522x$$

$$0.5522x = 33.07 - 19.6$$

$$x = 24.3 \quad \therefore \underline{\underline{24\text{ 年}}}$$

※支柱寸法 $\phi 125\text{ mm}$ を $\phi 130\text{ mm}$ へ変更した場合、耐用年数は24年となる。