

耐用年数推定による 柵状構造物の維持管理の 手引き

Version : 2.43

2020年2月

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構

森林研究本部・林産試験場

目次

はじめに.....	1
1. 適用の範囲.....	3
2. 劣化診断の目的と手法	4
3. 劣化診断の計画.....	7
4. 耐用年数の推定と劣化診断時期.....	9
4.1 耐用年数の推定	
4.2 基準耐用年数	
4.3 耐用年数推定式（鉛直部材・土中埋設型）	
4.4 耐用年数推定式（水平部材）	
4.5 経過観察となった部材の次回劣化診断時期	
5. 柵状木質構造物の維持管理フロー.....	15
6. 任意に耐用年数を設定する場合について.....	17
6.1 耐用年数設定（延長）の手順	
6.2 耐用年数を設定（延長）する場合の設計例	
資料1 目視による腐朽被害の判定基準	
資料2-1 管理台帳（案）	
資料2-2 劣化診断シート（案）	
資料3 残存耐用年数早見表	
表3-1 鉛直部材（土中埋設型）	
表3-2 水平部材（土壌近接型）	
表3-3 水平部材（非接地型）	
資料4 参考文献	

はじめに

屋外で使用する木材は、加圧注入^{※1}により防腐薬剤処理された木材（以下、「防腐処理木材」）を使うのが一般的である。防腐処理木材の耐用年数は、各防腐薬剤メーカーがステーク試験^{※2}を実施し耐朽性能評価を行っており、おおよその耐用年数は「地上地際で10年以上^{※3}」とされている。ただ、ステーク試験では断面が3cm×3cmの小試験体を使用しているため、必ずしもそれが屋外に設置されている実大材の劣化や、腐朽による経年変化を表していないのではないかという懸念がある。また、耐用年数も「10年以上」という表現では、維持管理業務や管理計画の策定に使うには曖昧であると考えられる。

屋外での木材利用が進まない要因として、耐用年数が明確に示されていないこと、そして、どのタイミングで最初の劣化診断を開始し、その後はどの程度の期間を置いて劣化診断を実施するのかなど、維持管理サイクルに関する情報が不足しているところが大きいと考えられる。

そこで林産試験場では、2016年度から2018年度に実施した重点研究「防腐薬剤処理木材を使った道路構造物の予防保全に関する研究」において、北海道内の高規格道路に設置された防腐処理木材を部材に用いた木製立入防止柵（以下、「立防柵」）を対象に、劣化の測定と部材（鉛直および水平部材）の強度試験を行った。そこで得られたデータを元に、耐用年数の推定を行うとともに、維持管理業務における診断時期を決定するための判断基準を明らかにし、本手引きを作成した。

なお、基本となるデータは、旭川紋別自動車道（2000年度から2010年度設置分）、帯広広尾自動車道（2005年度から2014年度設置分・ただし2008年度分は除く）、名寄美深道路（2001年度設置分）の合計28調査区にて測定を行ったものである。

本手引きは、6つの項目から構成されており、項目1は適用の範囲を示し、項目2～3は劣化診断や維持管理業務における一般的な内容や注意点などについて記載した。項目4～6では、重点研究で得られた成果より、以下の内容について説明をしている。

- ・防腐処理木材（カラマツ）の耐用年数（項目4）
- ・屋外に設置後、最初の劣化診断時期（項目4）
- ・経過観察とされた部材の次回劣化診断時期の判断基準（項目4）
- ・得られた結果（項目4）より提案する劣化診断フロー（項目5）
- ・耐用年数を任意に設定するための計算手順（項目6）

本手引きの内容は、「木製外構材のメンテナンスマニュアル（改訂版）：日本木材保存協会」、「木材・木質構造の維持管理-劣化診断マニュアル-：日本木材保存協会」、「土木用木材・木製品設計マニュアル：北海道」、「木質構造設計規準・同解説：日本建築学会」などを参考にしている。参考文献の一覧は末尾に記載する。

※1：加圧注入とは、防腐薬剤の注入処理方法のひとつである。圧力容器内に材料を入れ薬液を満たした状態で圧力を加え、材料内部に薬液を押し込む方法であり、加圧処理の前後に減圧処理の工程を組み合わせて行うことが多い。

※2：ステーク試験とは、木材保存剤の防腐性能を明らかにするために行う野外試験である。木口面30mm×30mm、長さ600mmの防腐薬剤処理を施したスギ辺材を、地面に300mmの深さまで垂直に埋め込み、定期的に観察することで腐朽の被害度を判定し、防腐薬剤の性能を明らかにする。

木材保存剤－性能基準及びその試験方法（JIS K1571）より。

※3：屋外に設置される木製施設の耐久性は、材料である木材自体の耐久性能とともに、設置される環境条件にも大きく左右される。ここでは地上地際部、加圧注入処理された木材のおおよその耐用年数は「10年以上」としている。

土木用木材・木製品設計マニュアルP.16・表4.2より（北海道水産林務部林務局林業木材課利用推進グループ・<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/t-manual.htm>）

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構
森林研究本部 林産試験場性能部 構造・環境グループ
担当者：小林 裕昇（コバヤシ ヒロノブ）

北海道旭川市西神楽1線10号

電話：0166-75-4233 ファックス：0166-75-3621

1. 適用の範囲

この手引きは、屋外に設置された木質構造物の劣化診断や維持管理計画策定などの管理業務全般に適用する。

対象とする屋外木質構造物は北海道内に設置されたもので、樹種は北海道産カラマツ、加圧注入により防腐薬剤処理された木材とし、鉛直部材と水平部材で構成される柵形状のものとする。

【解説】

本手引きは、北海道内の屋外木質構造物の維持管理業務（劣化診断を含む）および、維持管理計画策定に適用するものである。

適用範囲は、樹種は北海道産カラマツ材、構造物の形態は鉛直部材と水平部材で構成された一般的な柵形状のものとする。部材の形状として、鉛直部材は円柱加工材、水平部材は円柱加工の半割材を基本とする。また防腐薬剤処理された木材とは、「JIS K1570：2010 木材保存剤」で規定されているAAC、ACQまたはAZNAを使用し加圧注入処理を行ったものとし、前処理としてインサイジングを施された部材も含む。

2. 劣化診断の目的と手法

屋外木質構造物においては、点検→劣化診断→措置→記録→（次の点検）という維持管理サイクルの構築が求められる。

劣化の診断は、屋外木質構造物の状態を把握し、長寿命化を行うための情報を得ることを目的としている。はじめに一次劣化診断を実施し、劣化状況によっては二次劣化診断を行う。劣化の程度により、「経過観察」あるいは「保全措置」を施すものとする。

これら劣化診断および保全措置で行われた内容については、随時管理台帳に記録する。

【解説】

屋外木質構造物の機能性や安全性を適切な状態に保つためには、「点検→劣化診断」という対象物の状態確認を行うとともに、その結果から「措置」すなわち「経過観察」あるいは「保全措置」のいずれかを選択・実行し、それらの結果や判断の経緯を管理台帳などへ記載する「記録」を行う。屋外木質構造物においては、このような維持管理サイクルの手順を構築する事が重要である

また記録後は、劣化診断による措置の結果により、次回の点検・劣化診断時期を決定し、その時期に達した時点で速やかに行うものとする。

なお劣化診断は、屋外木質構造物の劣化の進行状況を把握するとともに、保全措置による長寿命化を行うための情報を得る目的で実施される。

一次劣化診断は、木材の劣化を早期に発見するために目視※⁴（資料1）、触診※⁵、打診※⁶など、特殊な機器を用いずに行う簡便な診断方法である。一次劣化診断の結果から、必要であれば二次劣化診断を行う。

二次劣化診断は、木材の劣化の程度を確認するために特殊な機器を用いて行う。測定には抵抗貫入（ピロディン※⁷）、伝播速度（超音波※⁸）、穿孔抵抗（レジストグラフ※⁹）などを用いた診断方法がある。その他、FFTアナライザ※¹⁰、打音解析※¹¹などを用いる場合もある。

診断の結果より、部材をどのような方法で管理していくのかを決める必要がある。

一次劣化診断において「健全（被害度0）」とされたものは「経過観察」とし、次回の診断時期を決定する（次回診断時期については、**項目4**にて説明）。そうでないものは二次劣化診断を行い、その結果より、「経過観察」または「保全措置」の判断をする（判断基準については、**項目4**にて説明）。

保全措置としては、塗料や木材保存剤の塗布、樹脂充填、あて木、部材の部分交換、部材の全交換、金具による補強あるいは置き換え、水はけや雨仕舞いの改善などの手法があり、最終的には構造物の全交換（再施工）となる。なお保全措置を行う場合、劣化や破損の状況、施工性（施工費）、ライフサイクルコストを考慮して、適切な方法を選択する。

診断結果および部材に対して決定した事項は、その後の維持管理業務を適切に行うため、管理台帳（資料 2-1）や劣化診断シート（資料 2-2）を作成し記録することが望ましい。

管理台帳には、初期設置時の各情報（設置年月日、材料納入業者、施工業者、樹種・防腐薬剤処理などの仕様、使用部材の材料費、施工に関わる費用など）を記録するとともに、設計図書などを併せて保管することが重要である。更に、診断実施時には劣化診断シートを用い、診断結果や劣化の状態（破損状況などを含む）および、保全措置の内容や決定したプロセス、履歴などをできる限り追記する。

※4：木材の腐朽状態を判定するため最も簡単でよく利用されているのが、目視による被害度評価法(JIS K1571)である。これは劣化状況を、健全（「被害度0」）から崩壊（「被害度5」）までの6段階で評価する判断基準である（資料 1）

※5：木部が腐朽した場合には健全部より柔らかくなるため、木部を手で触って判断する方法

※6：金槌や木槌などを用い、木部を叩いて診断する方法

※7：バネの力を用い、一定のエネルギーでピンを木材に貫入させ、そのピンの貫入深さから腐朽の度合いや劣化を測定する木材試験機（写真 2-1）

※8：木材中を伝わる超音波の速さが、木材のヤング率や密度に影響されることを利用した診断方法

※9：一定速度で回転する錐などを木材の中に押し込んだ時、錐などが受ける抵抗が木材の硬さによって変化することを利用した診断方法（写真 2-2）



写真2-1 ピロティン



写真2-2 レジストグラフ

※10：金槌などで木部を叩くことで固有振動を励起させ、固有振動数をFFTアナライザで特定し、ヤング係数を推定することにより劣化状態を判断する診断方法（写真2-3）

※11：金槌などで木部を叩き、得られた周波数を分析し劣化状態を判断する診断方法（写真2-4）



写真2-3 FFTアナライザ



写真2-4 打音解析

3. 劣化診断の計画

劣化診断の実施にあたっては、適切に作業が進められるように、事前に診断対象となる構造物の資料を収集することが望ましい。また、診断する部位、部材に応じて適切に診断しなくてはならない。

なお、得られる診断結果を正確に判断するためには、以下の2項目を行っておくことを推奨する。

- ・ 設置後1年から2年以内に、構造物の初期状態を把握すること。
- ・ 冬期間の積雪や、除雪車による排雪での物理的破損も考えられることから、毎年の雪解け後に、可能であれば構造物の状態を把握すること。

【解説】

劣化診断を効率的かつ適切に行うためには、診断対象となる構造物の仕様（樹種、防腐薬剤、加工形状）、劣化状況や補修履歴などを事前に把握することが重要である。

また劣化診断のポイントとしては、湿りやすい部位や部材を中心に点検するのが効率的である。工程的に余裕があるのなら、雨が降った後、部材が乾燥しはじめたタイミングで事前に診断対象となる部位や部材をチェックすることで、湿りやすい部位部材を見極めやすくなる。

以下に、診断ポイントとして注意すべき部位部材を示す。

- ・ 部材と地盤面の接触部（鉛直部材および水平部材共・**写真3-1**）
- ・ 木口面（**写真3-2**）および、材と材の接触面（**写真3-3**）あるいは隅角部
- ・ 部材の割れ（特に水平部材の上面・**写真3-4**）が生じている部分
- ・ 接合部（金具取付部やボルト穴付近）
- ・ 水が滞留しやすい、または水（雨）が掛かりやすい部位や部材



写真3-1

部材と地盤面の接触部



写真3-2 木口面



写真3-3 材と材の接触面



写真3-4 部材の割れ

（水平部材の上面）

また、どの様な劣化状態を確認すればよいかを以下に示す（資料1参照のこと）。

- ・ 欠損（腐朽・虫害・その他）
- ・ 割れ
- ・ 変色
- ・ ささくれ
- ・ 反り
- ・ 腐朽の兆候（菌糸・子実体・その他）
- ・ 砂や泥、落葉などの堆積
- ・ 接合金具のがたつきやボルトの緩み
- ・ 構造体の傾き
- ・ 水平部材のたわみ
- ・ 干割れ周囲の不自然な浮き上がり

なお、これら劣化診断より得られた結果を有効に判断し活用するためには、以下の2つの項目を行っておくことを推奨する。

【項目1・設置後1年から2年以内の構造物の調査】

設置直後の初期状態を把握することで、その後の腐朽および劣化の進行過程を明らかにすることができる。

特に、腐朽発生の要因の一つである木材表面に発生する干割れのほとんどが1年から2年以内に発生する知見^{※12}があり、初期の割れの発生状況の把握が重要である。ただし高い安全性が求められていない構造体に関しては、その限りではない。

【項目2・雪解け後の点検】

毎年の雪解け後に構造物の「部材破損」や「曲がりや歪み、傾き」等の点検を、可能であれば実施すること。

北海道の地域的特性として、冬期間の積雪や除雪車による排雪の影響から、構造体が物理的に破損していることが考えられる。部材の腐朽および劣化による破損と物理的破損を区別するため。

※12：「背割りなどの干割れ防止加工の保存処理スギ丸棒の耐久性への寄与」

栗崎宏（富山木研）、明道裕司（エコーウッド富山）、米澤尚美（エコーウッド富山）、谷口弘聡（立山山麓森林組合）

第59回日本木材学会大会研究発表要旨集（松本2009/3/15～17）（CD-ROM）

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

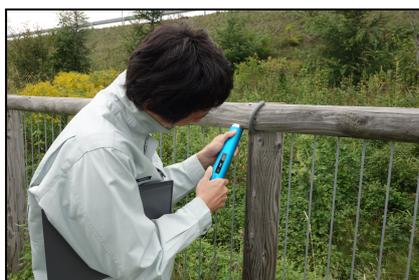


写真4-2 劣化測定の様子



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）

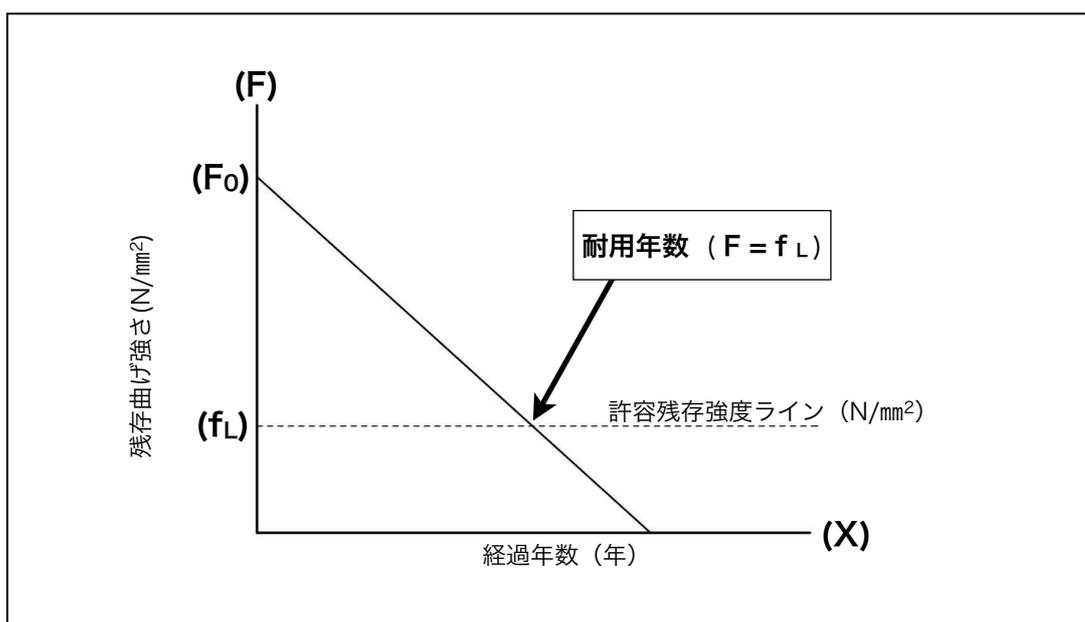


図4-1 耐用年数推定の考え方

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

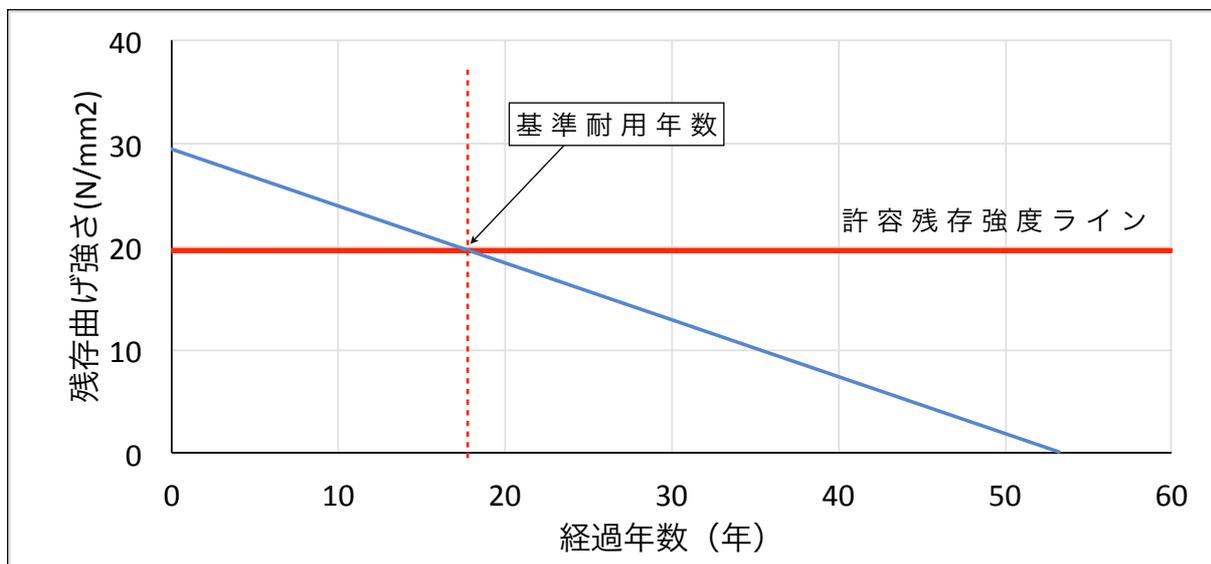


図4-2 土中埋設型

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

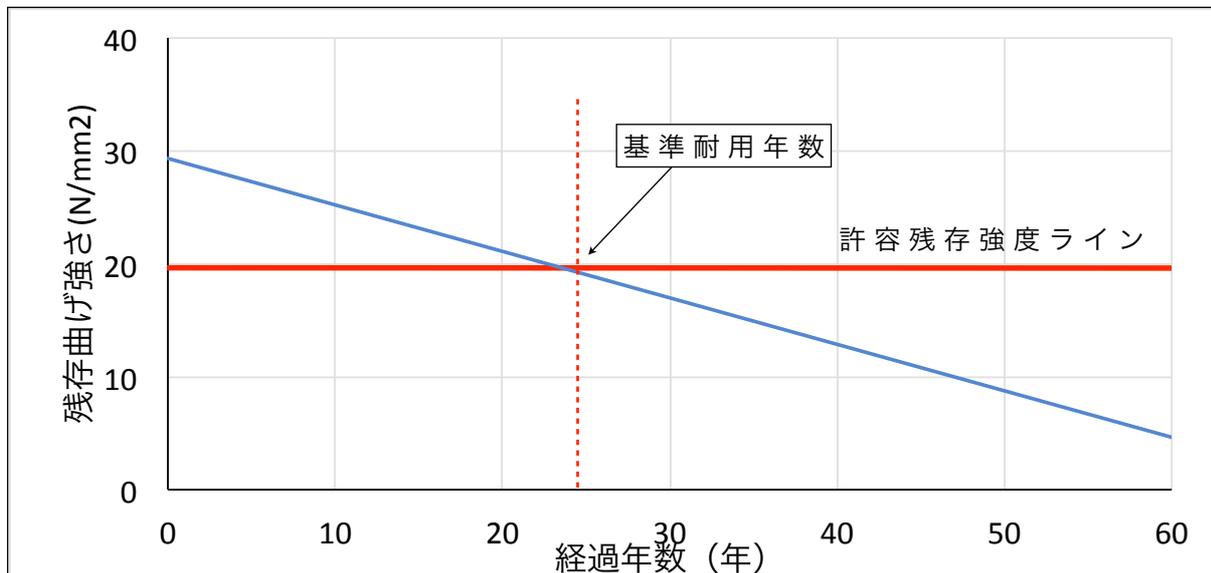


図4-3 土壌近接型

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

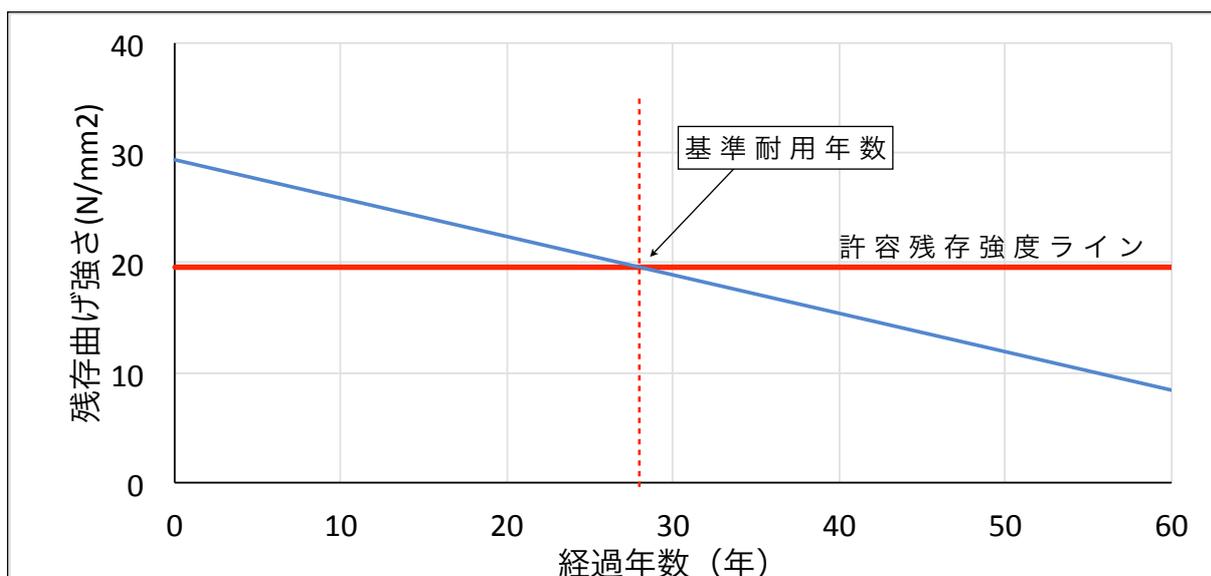


図4-4 非接地型

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。

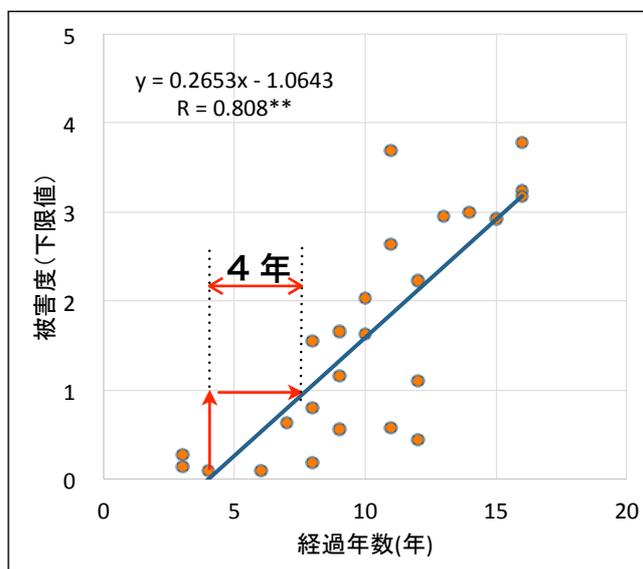


図4-5 被害度（下限値）と経過年数

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。

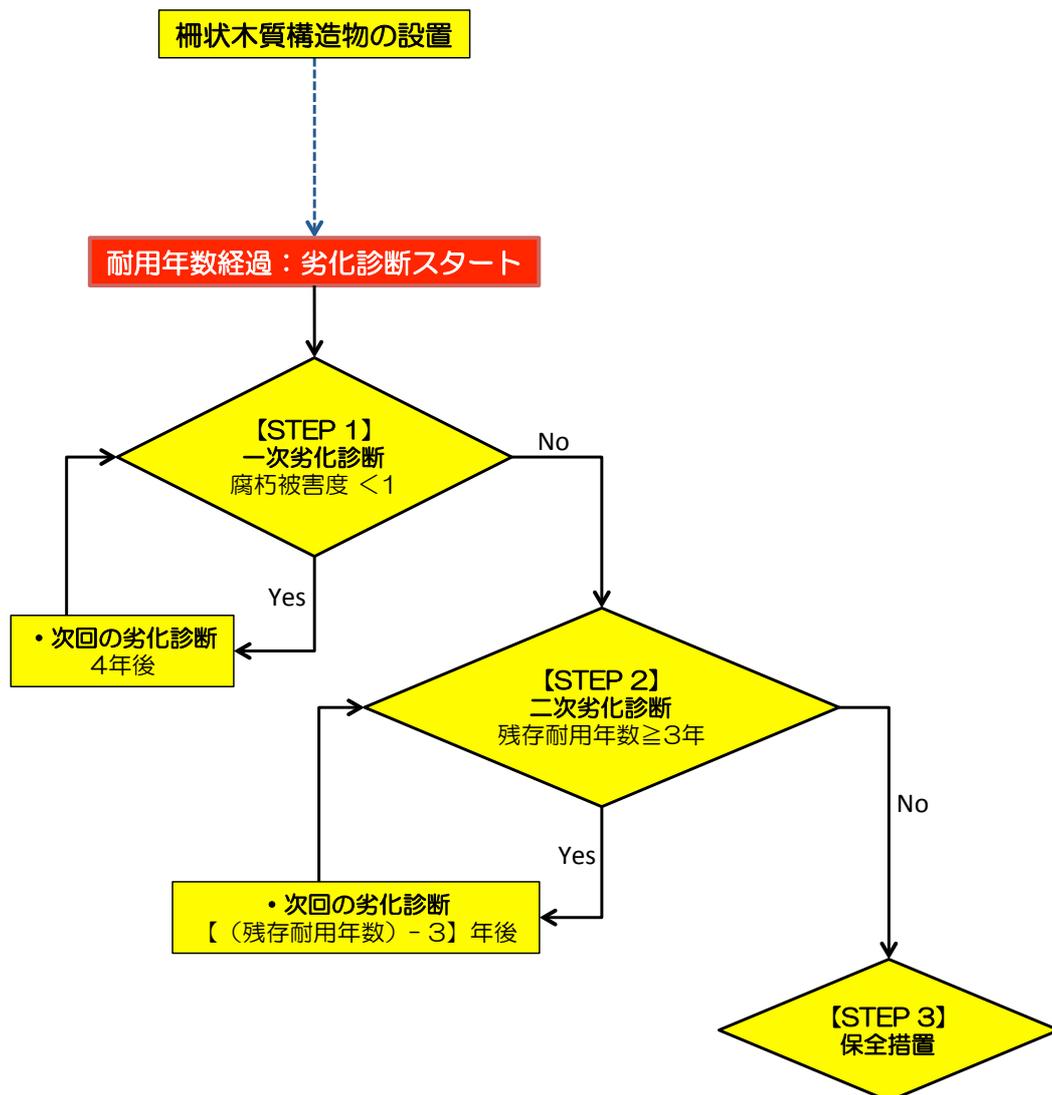


図5 柵状木質構造物の維持管理フロー

【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。

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

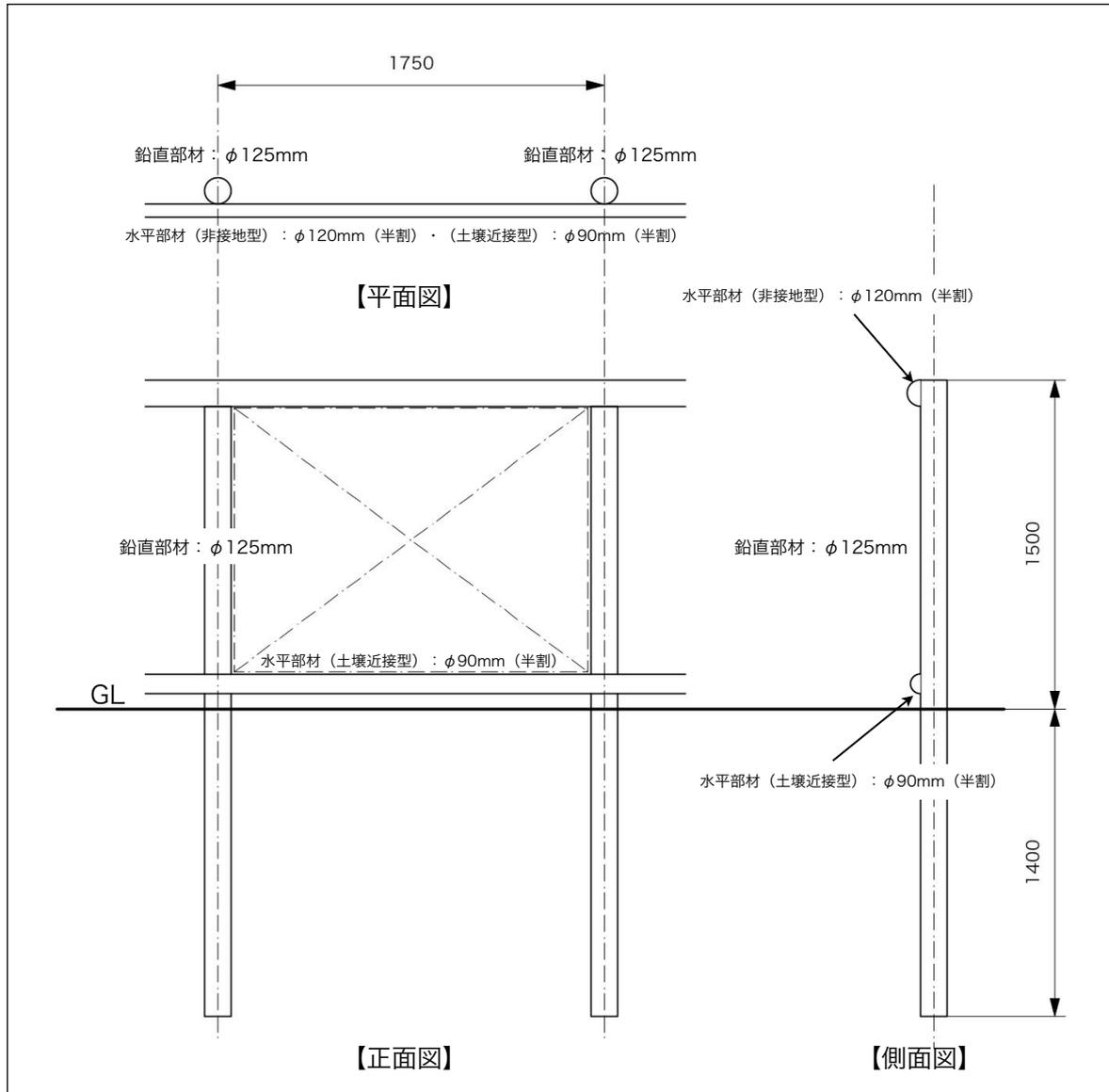


図 6-2 木製立入防止柵設計例

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 $19.6 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 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 $\phi 125\text{mm}$ 、水平部材（土壌近接型）は円柱加工材 $\phi 90\text{mm}$ （半割）、水平部材（非接地型）は円柱加工材 $\phi 120\text{mm}$ （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 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】

$Z_0 (\text{mm}^3) = R^3 \pi / 8$ 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。

資料1 目視による腐朽被害の判定基準

表1 目視による腐朽被害度の判定基準※13

被害度	判定基準 (JIS K 1571)	断面の大きな部材に適用する判定基準
0	健全	健全
1	部分的に軽度の腐朽または蟻害	表層部に部分的に軽度の腐朽または蟻害
2	全面的に軽度の腐朽または蟻害	表層部に全面的に軽度の腐朽または蟻害
3	2のうえに部分的に激しい腐朽または蟻害	部分的（目安は1/2以下）に内部まで進行する腐朽または蟻害
4	全面的に激しい腐朽または蟻害	全面的に内部まで進行する腐朽または蟻害
5	腐朽または蟻害により形が崩れる	腐朽または蟻害により大部分で形が崩れる

※13 JIS K1571の被害度の区分は、小断面のステーキ試験の結果より作成されている。
そこで断面が大きい材料にも適用出来るように、ここでは表現を追加している。

表2 丸太を例にした被害度判定の具体例

	左右 被害度1 被害が表層部の一部分
	左右 被害度2 被害が表層部の大部分
	左右 被害度3 一部に内部まで進行する被害
	左右 被害度4 辺材部の大部分が腐朽・蟻害で形がくずれる
	左右 被害度5 心材まで腐朽・蟻害が進行して形がくずれる

・出典(表1および2):「木材保存を観点とする間伐材の土木利用マニュアルー計画・保守管理のための基礎知識」
奈良県森林技術センター(2011年発行)

資料 2 - 1 管理台帳 (案)

屋外木質構造物管理台帳(基本情報)

作成日: 年 月 日

工事名称			
構造種別			
管理番号			
設置場所(住所)			
設置年月日			
樹種			
防腐薬剤処理 (加圧注入)	薬剤の注入量		防腐薬剤(木材保存剤)の種類
	浸潤度		インサイジングの有無 (有・無)
	吸収量(または相当するJASの性能区分)		
材料納入業者			
施工業者			
防腐処理業者			
備考			

劣化診断シート

管理番号		診断実施日	
一次劣化診断		二次劣化診断	
経過観察		保全措置	
劣化診断実施者 (会社名)			
写 真			
備 考			

表 3-1 鉛直部材 (土中埋設型)

d (mm)	平均ピロティン打ち込み深さ(mm)																														
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30															
80		15.7	12.0	8.5	5.3	2.4																									
90		15.9	12.6	9.5	6.6	3.8	1.3																								
100		16.1	13.1	10.2	7.6	5.0	2.7	0.4																							
110		16.3	13.5	10.9	8.4	6.1	3.8	1.7																							
120		16.4	13.8	11.4	9.1	6.9	4.8	2.9	1.0																						
130		16.5	14.1	11.9	9.7	7.7	5.7	3.8	2.1	0.4																					
140		16.6	14.4	12.3	10.3	8.3	6.5	4.7	3.0	1.4																					
150		16.6	14.6	12.6	10.7	8.9	7.1	5.5	3.8	2.3	0.8																				
160		16.7	14.8	12.9	11.1	9.4	7.7	6.1	4.6	3.1	1.7	0.3																			
170		16.8	15.0	13.2	11.5	9.9	8.3	6.7	5.3	3.8	2.5	1.2																			
180		16.8	15.1	13.4	11.8	10.3	8.8	7.3	5.9	4.5	3.2	1.9	0.7																		
190		16.9	15.2	13.7	12.1	10.6	9.2	7.8	6.4	5.1	3.9	2.6	1.4	0.3																	
200		16.9	15.4	13.8	12.4	11.0	9.6	8.2	6.9	5.7	4.5	3.3	2.1	1.0																	

※色分けについて (黄) : 耐用年数が10年未満
(橙) : 耐用年数が3年未満

表 3-2 水平部材 (土壌近接型)

(mm)	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
80		21.0	16.0	11.4	7.1	3.2										
90		21.3	16.9	12.7	8.8	5.1	1.7									
100		21.6	17.5	13.7	10.1	6.7	3.6	0.6								
110		21.8	18.1	14.6	11.2	8.1	5.1	2.3								
120		21.9	18.5	15.3	12.2	9.3	6.5	3.8	1.3							
130		22.1	18.9	15.9	13.0	10.3	7.6	5.1	2.8	0.5						
140		22.2	19.2	16.4	13.7	11.1	8.7	6.3	4.0	1.8						
150		22.3	19.5	16.9	14.3	11.9	9.6	7.3	5.1	3.1	1.1					
160		22.4	19.8	17.3	14.9	12.6	10.4	8.2	6.2	4.2	2.3	0.4				
170		22.5	20.0	17.7	15.4	13.2	11.1	9.0	7.1	5.2	3.3	1.5				
180		22.5	20.2	18.0	15.8	13.7	11.7	9.8	7.9	6.0	4.3	2.6	0.9			
190		22.6	20.4	18.3	16.2	14.2	12.3	10.4	8.6	6.9	5.2	3.5	1.9	0.4		
200		22.7	20.6	18.5	16.6	14.7	12.8	11.0	9.3	7.6	6.0	4.4	2.8	1.3		

※色分けについて (黄) : 耐用年数が10年未満

(橙) : 耐用年数が3年未満

表 3-3 水平部材 (非接地型)

直径 (mm)	平均ピロティン打ち込み深さ(mm)																													
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30														
80		24.8	18.9	13.5	8.4	3.7																								
90		25.2	19.9	15.0	10.4	6.0	2.0																							
100		25.4	20.7	16.2	11.9	8.0	4.2	0.7																						
110		25.7	21.3	17.2	13.3	9.6	6.1	2.7																						
120		25.9	21.8	18.0	14.4	10.9	7.6	4.5	1.5																					
130		26.0	22.3	18.8	15.4	12.1	9.0	6.1	3.2	0.6																				
140		26.2	22.7	19.4	16.2	13.1	10.2	7.4	4.7	2.2																				
150		26.3	23.0	19.9	16.9	14.0	11.3	8.6	6.1	3.6	1.3																			
160		26.4	23.3	20.4	17.6	14.9	12.2	9.7	7.3	4.9	2.7	0.5																		
170		26.5	23.6	20.8	18.2	15.6	13.1	10.7	8.3	6.1	3.9	1.8																		
180		26.6	23.9	21.2	18.7	16.2	13.8	11.5	9.3	7.1	5.0	3.0	1.1																	
190		26.7	24.1	21.6	19.1	16.8	14.5	12.3	10.2	8.1	6.1	4.1	2.3	0.4																
200		26.7	24.3	21.9	19.6	17.3	15.1	13.0	11.0	9.0	7.0	5.2	3.3	1.6																

※色分けについて (黄) : 耐用年数が10年未満
(橙) : 耐用年数が3年未満

資料4 参考文献

- ・ 一般社団法人 日本公園緑地協会：平成27年度全国中核都市等における公園緑地の課題に関する調査研究報告書（2015）
- ・ 日本木材保存協会：木製外構材のメンテナンスマニュアル（改訂版）（2008）
- ・ 日本木材保存協会：木材・木質構造の維持管理-劣化診断マニュアル（2014）
- ・ 北海道：土木用木材・木製品設計マニュアル（2010）
- ・ 理工学社：建築土木構造マニュアル（1996）
- ・ 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説（2005）
- ・ 北海道立林産試験場平成15年度重点領域特別研究報告書「間伐材等を使用した土木構造物の仕様基準の開発」（2003）
- ・ 国土交通省 道路局 国道・防災課：歩道橋定期点検要領（2014）
- ・ 国土交通省 道路局 国道・防災課：橋梁橋定期点検要領（2014）
- ・ 木を活かす建築推進協議会：平成23年度林野庁補助事業「木造公共建築物等の整備に係る設計段階からの技術支援報告書」（2011）
- ・ 土木学会木材工学特別委員会：JSCE木材利用ライブラリ003「木橋の維持管理」（2011）
- ・ 環境省 自然環境局自然環境整備担当参事官室：自然公園等施設技術指針（2014）
- ・ 横浜市：木材利用に係る維持管理「点検と劣化診断」（2016）

- ・ 森 拓郎：木造建築の残存性能評価のための取り組み、木材保存Vol.39-6 P272-279（2013）
- ・ 吉田 善彦：「第33回木材保存講座」で得られたこと、木材保存Vol.42-2 P93-97（2016）
- ・ 大橋 一雄、他1名：ピロディンおよび目視被害度を用いたカラマツ杭材の耐用年数評価、岩手林技セ研報 No13、P35-40(2005)
- ・ 津島 俊治：ピロディン打込み深さに影響を与える諸要因、九州森林研究 No.55、P192-195（2002.3）