

## 土木・屋外空間における木製材料の利用に関する技術資料



国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所  
地域景観チーム



# **土木・屋外空間における木製材料の利用に関する技術資料**

---

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所  
地域景観チーム

目次 . . . . .

## **1. はじめに（本書の意図）**

## **2. QA**

## **3. 用語/基礎知識**

## **4. 調査結果に基づく木材の耐朽性と耐用年数の目安**

- 4-1. 木材の腐朽劣化とそれによる維持管理コストの算定にあたって
- 4-2. 土木分野における木材の耐朽性に関する調査結果から
- 4-3. 腐朽劣化の発生率（参考）

## **5. 構造物における腐朽劣化の予測、構造的配慮の例**

- 5-1. 木製柵
- 5-2. 防雪柵
- 5-3. 木製舗装

## **6. 本書における到達点と課題**

## **7. おわりに（今後の木材利用の推進にむけて）**

-----  
別冊 . . . **付録 A.** 木製部材の経年と腐朽劣化の関係に関する調査結果



# 1. はじめに（本書の意図）

本書は、土木分野など、屋外空間で木材を使うことを検討している方に向けています。

「木材」は多くの優れた特徴をもつ材である一方、腐朽劣化や個体ごとのばらつきがあることなどから、少なからずの人が木材の採用に対して疑心暗鬼の姿勢です。土木インフラの管理者は個人ではなく、組織であるため、その中に木材の採用に不安を抱く人がいれば、それらの不安を払拭するのに足る十分な知見が必要となります。

寒地土木研究所では、このような状況を解決するべく、2015年度から2019年度にかけて、実際の木製土木工作物の腐朽劣化状況に関する広範な計測調査を行い、これをもとに木材の経年と腐朽劣化の発生の関係の解明などに取り組んできました。

本書においては、これらの調査研究の成果をもとに、木材における腐朽劣化の発生率の導出結果や、それをもとにした維持管理費用の試算方法、試算事例などを示しました。これらのデータを用いることで、木材を採用した場合の将来の維持管理頻度やその際のコストの試算、木材利用の妥当性の確認、あるいは耐久性向上や維持管理低減に効果的な構造上の工夫などについて、検討することが可能と考えます。

本書を、土木分野において木材を採用する際の検討材料・判断材料として利用してもらえればと考えています。そして、土木分野における適切な木材利用と、それによる景観や地域の魅力向上が進むことを期待しています。

## 本書の適用範囲

本書では、木材の耐久性と維持管理について、構造的強度の視点からのみ検討を行っています。

手すりやベンチの座面、腰掛けともなるウッドデッキなど、人の手や肌が積極的に触れるもの、あるいは木製のサインなど、美観を保つ必要のあるものなどにおいては、腐朽劣化等による強度の低下だけでなく、人体を傷つける可能性のある鋭利なささくれや欠損、汚損による景観や印象の悪化なども避けるように、維持管理を行っていく必要がありますが、この点については検討の対象に含めていません。

また、本書で用いた木製工作物の腐朽劣化状況調査のデータには、寒地土木研究所と地方独立行政法人北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場とが共同で、北海道内にて実施した調査研究の成果を利用しています。それにしたがって、本書の記述も基本的には、北海道内の環境を対象としています。

# Photo

## 土木分野・屋外空間での木材利用の例

### ・立入防止柵



左：遠軽町  
右上：帯広市  
右下：上川町

※都道府県名の記載のない市町村名は、すべて北海道。以下同。

### ・防雪柵



左上：石狩市  
右上：猿払村  
下：遠軽町

・木製舗道



上左：上富良野町  
上右：長崎県長崎市  
左：長崎県長崎市

※橋梁高欄の手すりは前述のとおり本書の対象外（人の手が頻繁に触れる）



上：石狩市  
右上：東京都台東区  
右下：東京都豊島区



・遮音壁



左：長野県伊那市（中央自動車道）  
\*写真提供：長野県林業総合センター  
右：静岡県掛川市（新東名高速道路）

・横断防止柵



左：東京都新宿区  
右上・右下：札幌市



・支柱



左：洞爺湖町



## 2. QA

ここでは本書をお読みになるみなさんが抱いているであろう、木材に対する疑問・疑念について QA 形式で解説します。

### **木材って耐久性に劣りますよね？**

> 法隆寺の木造建築群は 7 世紀建造とされますが、数十年に一度の修繕と部分的な部材の交換を繰り返しながら、柱などの主要な部材は建造当初からの 1000 年以上に耐えています。したがって木材にとって適切な環境を維持できれば、鉄やコンクリートに比べても耐久性に劣るということはありません。

不利な環境では長持ちしないというのは、潮風にさらされると錆びやすい溶融亜鉛めっき鋼材などと同じです。ただし、そのような木材にとっての適切な環境というのが、土木などの屋外利用分野では狭い範囲に限られる、というのが実際のところですよ。

### **木材の耐久性を損ねる要因ってなんですか？**

> 屋外利用では、腐朽（腐り）が最大の原因です。木材の利用にあたっては腐朽を発生させないことが耐久性確保のためには必要不可欠です。そのほかに、蟻害・虫害（シロアリ等による食害）が問題になることもあります。

### **木材にとって適切な環境って？**

> 腐朽は、腐朽菌と呼ばれる菌類の生物的活動により生じ、水分・酸素・適度な温度が揃うことで進行します。これらのいずれかが揃わない環境が、すなわち腐朽菌の活動が困難な環境であり、木材にとって適切な環境となります。

例えば、山の中の冷たい溪流の水かかりなどでは、酸素が十分に供給されず、低温でもあるため、腐朽菌が活動できず、木製の河川構造物でも腐朽はほとんど進行しないという事例が報告されています<sup>※1</sup>。北海道は、夏も空気が乾燥しており、冬は雪に閉ざされて腐朽菌が活動できない温度となるため、木材を利用するには比較的適した環境といえます。

### **「木材の地中利用」ってなんですか？**

> 木材を基礎や地盤改良材など、地中の構造物等の材料として使おうというものです<sup>※2,3</sup>。先述のとおり、腐朽菌の活動には、水分・酸素・適温が必要ですが、木材を地下の地下水位以下に用いる場合、酸素の供給が十分に行われず、腐朽はほとんど発生しないということが複数の過去の事例の調査分析から明らかにされています<sup>※4,5,6</sup>。

木材の地中利用は、木材の不利の多くを解消する優れた利用方法で、今後の利用拡大が期待されるところでありますが、本書での検討対象とはしていません（腐朽の懸念がほぼないことが証明されている一方で、木材自体

は地中に埋められてしまうため、当研究チーム（寒地土木研究所 地域景観チーム）で期待する景観面の改善には寄与しないことなどから）。

### 具体的には何年程度の耐用年数が見込めますか？

> 先の腐朽劣化の進行のための 3 要素が揃わないか、それに近い環境を維持できれば、1000 年はわかりませんが、30～50 年以上の期間でも腐朽劣化を発生させずに維持することが可能と見込まれます。腐朽の発生を抑制するための防腐処理（木材保存処理）も耐用年数向上に効果的です。日本国内では、1985 年度に中央自動車道に設置されたカラマツ製の木製防音壁が、30 年以上を経過した現在も変わらずに供用されている事例があります<sup>\*7</sup>。

一方で、木材の腐朽劣化の進行には個体差があります。ある材は腐朽劣化が進行してぼろぼろなのに、隣の材はピンピンしている、などということが実際にありえます。「100 本の材のうち 1 本の腐朽劣化でも構造物全体の機能が失われる」という構造物であれば、耐用年数はこの最悪の 1 本で決まりますが、100 本のうち 10 本までは許容できる構造物であれば、構造物全体としての耐用年数はより長くを期待できます。あるいは、このように運悪く腐朽劣化が発生した材を部分的に交換して構造物を維持管理していくことによって、構造物全体としての寿命を延ばすことも可能です。

このようなことから、一概に「何年」、というのは言いがたく、木製工作物の耐久性・耐用年数あるいはそれにもとづく維持管理コストの算定にあたっては、部材単位で腐朽劣化の可能性を評価した上で、何年で何%の部材が要処置（要補修）などとして評価するのが妥当と考えられます。

### 木材利用の利点ってなんですか？

> 非常にたくさんあります。ここではよく言及されているものだけ列挙します<sup>\*8,9</sup>。

肌触りが良い。衝撃吸収性に優れる。

やすらぎや温かみを感じる。リラックス効果がある。

断熱性が高い。すなわち熱伝導率が低く、手で触れたときに冷たさや熱さを感じにくい。

軽くて加工が容易である。

CO<sub>2</sub> を吸収して生産される（成長する）素材であり、環境負荷が小さい材料である。

地場の材料である。このため、輸送にかかる CO<sub>2</sub> の排出が少ない。また、木材製品の調達に投じたコストは地元に戻元される。

### なぜ木材を使うことが環境貢献につながるのですか？

> 大きく 3 つの理由によります。

ひとつには、木材が CO<sub>2</sub> を吸収して成長する樹木から切り出された材料であり、木材組織に大気中の CO<sub>2</sub> 由来の多くの炭素が貯蔵されているからです。その際、木材が森林から切り出された後に、その場所に新しい樹木が成長することになれば、その樹木において新たに CO<sub>2</sub> の吸収と貯蔵が行われることとなります。したがって、森林から樹木を切り出し、木材製品として我々の生活空間に置いておくほうが、樹木をそのまま切らずに森林に置いておくよりも、より多くの CO<sub>2</sub> の貯蔵に貢献することになるのです。

つぎに、より環境負荷の大きな材料の使用量を減らす効果も期待できます。コンクリートや鉄などの材料は、セメントの生産や鉄の精錬などの際に多くのエネルギーを必要とし CO<sub>2</sub> を排出しますが、これらの材料から木材に転換することで、差額分の CO<sub>2</sub> 排出を減らす効果が得られます。

さいごに、これは過去に行われた人工林の営林の問題なのですが、戦後の時期を中心として行われた植林においては、全国的に針葉樹の単植（北海道の場合はカラマツやトドマツ、道南ではスギモ）により森の再生が行われました。このような人工林は、同一樹種・同一樹齢の樹木で構成される「単層林」で、人の手（枝打ち、除伐、間伐などの営林作業）が入らねば健全な成長が見込めません。これらの人工林の維持管理を行っていくためにも、産出される木材に適切な需要があり、林業者が継続的に収入を得られるような経済的循環が必要とされているのです。

## 木材の基本を知るのに適した書籍や資料には何がありますか？

> 一例として、以下のようなものがあります。

- ・ 土木技術者のための木材工学入門  
公益社団法人 土木学会 木材工学委員会、丸善出版、2017年3月  
※2021年現在、ほぼ絶版に近い状況のようですが、土木学会のオンデマンド販売を利用して入手が可能です。 <https://www.jsce.or.jp/publication/ondemand.asp>
- ・ 木育達人(マイスター)入門 増補改訂版  
北海道・北海道木育プログラム等検討会議、2017年12月  
<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sky/mokuiku/mokuikumaisuta-nyuumon-kaiteiban.html>
- ・ JSCE 木材利用ライブラリー 01  
土木分野における木材利用入門 ～土木分野における環境貢献に向けて～  
公益社団法人 土木学会 木材工学特別委員会、2011年9月  
<https://committees.jsce.or.jp/mokuzai/node/8>
- ・ 森林土木木製構造物設計等指針及び森林土木木製構造物設計等指針の解説等  
林野庁、2004年5月（最終改正2016年3月）  
[https://www.rinya.maff.go.jp/j/sekou/gijutu/mokuzai\\_riyou.html](https://www.rinya.maff.go.jp/j/sekou/gijutu/mokuzai_riyou.html)
- ・ 林野庁・基本政策と分野別情報  
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kouhou/bunyabetsu/index.html>  
> 「森林・林業白書」「森林・林業・木材産業の現状と課題」「森林の有する多面的機能」など
- ・ 製材の日本農林規格（平成19年8月29日農林水産省告示第1083号）  
農林水産省、2007年8月
- ・ 自然公園等施設技術指針、第2部 共通事項、第3章 施設の長寿命化  
環境省 自然環境局 自然環境整備課、2013年7月制定・2020年3月最終改正  
[https://www.env.go.jp/nature/park/tech\\_standards/02.html](https://www.env.go.jp/nature/park/tech_standards/02.html)
- ・ 道産木材データベース  
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  
<https://www.hro.or.jp/list/forest/research/fpri/gijutsujoho/doumoku-db/doumoku/doumoku-index.htm>
- ・ 改訂4版 木材工業ハンドブック  
森林総合研究所 監修、丸善出版、2004年3月

.....

## 参考文献（2.章）

- ※1 石川芳治ほか：「各種試験に基づく木製施設の耐久性、腐朽度および曲げ強度評価法」、砂防学会誌 Vol.56 No.4、p.21-31、2003 年  
> 使用されている木材は末口径 12～22cm の長野県産のカラマツ の生材（丸太）で、ほとんどの木材は皮を剥いで使用されている。> 建設後約 17 年経過した 2002 年 12 月に木製床固工および護岸工を解体して、使用されている部材 14 本を採取し次に述べる各種試験の供試体として用いた。> 流水に常時浸かっているか流水が常時かかっている部材では 17 年経過していてもほとんど腐朽していないことがわかる。
- ※2 公益社団法人土木学会 木材工学委員会 木材利用マニュアル作成小委員会：「土木技術者のための木材工学入門」、丸善出版、2017 年 3 月
- ※3 長野県林務部、長野県木材協同組合連合会：「丸太基礎杭設計マニュアル」、2014 年 3 月
- ※4 土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会（日本森林学会・日本木材学会・(社)土木学会）(社)土木学会 木材工学特別委員会：「2010 年度 土木における木材の利用拡大に関する横断的研究報告書」、p.110～111、2011 年 3 月
- ※5 佐藤信彦ほか：「既設橋梁における木杭基礎の健全性に関する基礎調査－その 1 木杭の施工状況調査および杭体の劣化試験－」、土木学会 第 60 回 年次学術講演会講演概要集（第 3 部門）、3-259、p.517～518、2005 年
- ※6 公益社団法人土木学会 木材工学委員会 木材利用マニュアル作成小委員会：「土木技術者のための木材工学入門」、p.2、丸善出版、2017 年 3 月
- ※7 同、p.179、丸善出版、2017 年 3 月
- ※8 北海道・木育プログラム等検討会議：「木育達人(マイスター)入門 増補改訂版」、2017 年 12 月
- ※9 東京都 産業労働局：「東京の木・森の仕事」、<https://mokuiku.metro.tokyo.lg.jp/role/>

## 3. 用語/基礎知識

### 木材

軽くて強度に優れた材。比強度（重量あたりの強度）では、鋼材を上回る。

加工性や入手性もよく、現代でも家具や日曜大工の材料として広く使われるほか、古来より建築や土木にも利用されてきた。土木の語に「木」が入っていることから読み取れる。

日本工業規格 JIS ではなく、農林水産省の規格である日本農林規格 JAS 等により等級管理。

コンクリートや鉄と異なり、異方性と不均質性、個体ごとの強度等のばらつきが特徴。

したがって、群として保証できる最低の強度で、材全体が管理されている。

関連基準等：製材の日本農林規格（平成 19 年 8 月 29 日 農林水産省告示 第 1083 号）※1

木材の基準強度  $F_c$ 、 $F_t$ 、 $F_b$  及び  $F_s$  を定める件（平成 12 年 5 月 31 日 建設省告示 第 1452 号）※2

### 木材の経年変化

一般的に木材は乾燥とともに強度を増すため、伐採したときよりも乾燥させて製材したとき、製材したときよりも設置されて風通しのよい空気中に置かれ、経年したときのほうが強度が増大している。

木材の内部・切断面は、黄から赤みを帯びた色であるが、日射・紫外線などの影響で徐々に退色して、年季の入った建物の縁側や外壁などに見られるような銀灰色となる。

一方で、水分に接するジメジメした環境などでは、腐朽などを原因として木材の組織の生物分解が進み、強度が低下し、部材の欠損が生じる。

### 腐朽

腐朽菌と呼ばれる菌類が、木材内部に入り込み、木材の強度の根源である細胞壁セルロースを分解してしまうことにより発生。

腐朽菌（孢子）自体は、空気中いたるところにあり、これの供給を断つことは困難。

腐朽菌の活動には、酸素、水、温度の 3 要素が必要であり、どれかを遮断することで腐朽の発生・進行を抑制できる。

このうち、酸素、温度はわれわれ人間の生活環境には欠かせないものなので、実質的には水をいかに木材から遠ざけることができるかで、腐朽の発生進行はコントロールできる。

### 干割れ

木材は乾燥すると収縮するが、その際に表面と内部の乾燥の程度（含水率）の違いや、心材と辺材の収縮率の違いなどに起因して「割れ」が入ることがある。この乾燥に伴う割れのことを「干割れ」と呼ぶ。干割れは、材を貫通するものでない限りは、強度上特段の配慮を要するものではない、とされているが、この干割れに雨水が溜まる構造になっていると、腐朽の原因となる可能性があり、この点で注意が必要である。

## 含水率

人間の体が水分で満たされているように、生きている木も細胞や細胞の間（道管、仮道管など）に多くの水分を含む。伐採され、製材された後もこの水分は樹木の内部に残っており、木材の乾燥重量に対する水分の量を「含水率」と呼ぶ。水に浸けた木材の表面が爪などで簡単に凹むように、含水率が高くなると木材の強度は落ちる。このため強度を保ち、腐朽を避けるため、含水率は低く保つことが望ましく、建築などに用いられる JAS 製材では含水率 20%以下と規定されている。

このように含水率は、木材の強度や腐朽に大きく影響を与えるパラメータである。

含水率が增大すると、材がふやけて、強度が低下する。

また、常時水分がある状況となるので、腐朽劣化が進行しやすくなる。

このため、木材の含水率は低く保つことが重要で、木製製品としても生の木材を乾燥させてから用いる。

## 防腐処理（木材保存処理）

木材の腐朽を防ぐには、木材表面の塗膜で水や腐朽菌を遮断して腐朽への耐性を高めるか、腐朽菌の活動を阻害する防腐薬剤成分を木材内部に浸透させて、木材を腐朽劣化から守る。

このうち、塗装塗膜は塗装鋼板の場合と同様、塗膜の劣化と耐久性の問題があることから、防腐薬剤による処理が土木利用では基本となる。なお、コストの問題はあるが、併用することももちろん可能である。

防腐薬剤にはいくつかの種類があり、一般的には防腐効果とあわせて、後述の蟻害・虫害を防ぐ効果も併せ持つことから、木材保存剤と呼ばれる。

木材保存処理には、これら木材保存剤の表面塗布・浸潤による方法と、加圧注入による方法があるが、耐久性向上の観点からは、木材の内部にまで十分に木材保存剤を浸透させる必要があることから、後者の加圧注入処理<sup>※3</sup>による。

主な木材保存剤：AAC（第四級アンモニウム化合物系）、ACQ（銅・第四級アンモニウム化合物系）、CUAZ（銅・アゾール化合物系）、AZNA（アゾール・第四級アンモニウム・ネオニコチノイド化合物系）など。JIS K 1570:2013（木材保存剤）<sup>※4</sup>には、これらを含む 16 種が規定されている。

## 蟻害

木材の強度を異常低下させる、腐朽以外のもうひとつの大きな要因。

シロアリが木材をかじり食べる食害により、木材内部が空洞化して強度低下、欠損に至る。

上述の木材保存剤には、シロアリ等による食害を防ぐ防蟻効果も含まれているが、腐朽同様に完全に被害を防げるものではない。

蟻害は、屋根や外壁により雨水の影響を受けにくく、腐朽の発生リスクの小さな建築の構造部材などで、相対的により深刻である。

## 間伐材

樹木は成長にともなって、より多くの空間を森の中で必要とする。したがって、ある樹木が成長するためには、他の樹木を淘汰して成長のための空間を確保しなければ健全な成長ができない。

天然の樹林には、さまざまな樹種、樹齢の樹木があり、自然と淘汰更新を繰り返して、木々が成長し、いつしか倒れて、そこに新たな樹木が芽吹き、森全体としての新陳代謝が起こり、維持されている。

日本で戦後植林された人工林は、同一樹種・同一樹齢の木で全体が構成された「単層林」が多く、同じ強さ

の木が林立しているため淘汰が起こりにくく、最低限の生存空間で細々と暮らす木ばかりになってしまい、豊かな木が育たないばかりでなく、森全体として脆弱である。

そこで、人為的に木の個体数を減らし、強く大きく成長させる木を残す作業が「間伐」で、その際に伐採により発生する材が「間伐材」である。

間伐材は、十分に成長していない若い木であるため、使いみちに限りがあり安価である一方で、それは林業者にとっても販売先に限りがあり、収入源として期待しにくいということを意味する。そこで、間伐材の流通促進が、林業者に収入をもたらすとともに間伐の実施自体を促進し、人工林の健全な管理と国土の保全にも寄与することから、近年この間伐材の利用促進がすすめられているところである。

## 公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律

平成 22 年法律第 36 号。

木材（国産材）の利用促進のため、国や地方自治体の公共建築物等において、木材の利用に努めるよう定めた法律。

本法律においては、公共建築物が主なターゲットとはなっているが、公共施設に係る工作物（ガードレール、遮音壁、公園の柵などが例示）における木材の利用についても、促進のための措置を講ずるよう定められている（第 18 条）。

2021 年 6 月に改正され、「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律」という名称になった。本改正により、法律の目的に「脱炭素社会の実現に資すること」が新たに盛り込まれ、国や地方公共団体のみならず、民間の事業者においても木材利用の促進に関する施策に協力するよう新たに定められた。

## カラマツ

戦後トドマツとともに北海道で多く植林され、北海道の人工林における森林蓄積の約半分を占める、北海道林業を代表する樹種のひとつ。北海道以外では、長野県や岩手県などで同様に多く植林されている。

針葉樹としては材質が硬く、腐朽菌への耐性も高めである一方で、硬さゆえに若干の扱いにくさもある材。木材組織が螺旋状に成長していく性質を持つため（螺旋木理）、製材後、乾燥に伴いねじれ・ゆがみを生じやすい。

これらの特性（北海道における人工林蓄積の多さ、北海道以外の地域での産出の少なさ、加工の難しさ）などから、カラマツ材の活用方法の研究や製品開発が、北海道立総合研究機構・林産試験場などで盛んに行われている。

## トドマツ

カラマツとともに北海道を代表する人工林材。北海道における人工林の面積としては、トドマツが最も多くの面積を占める。

カラマツよりは柔らかく、針葉樹らしく、比較的素直で加工が容易な材。適齢の材が近年増えてきている。

## 心材と辺材

木々は成長するに伴い、幹はより高く、より太くなっていく。その際、新しい組織は古い組織の外側（外周側）に作られ、それら新しい組織が根から枝葉への通水などの生命活動を担うが、一方で、古い組織は活動をやめ、幹や枝葉を支えることに専念するようになる。

これら、幹の中心部にある密実な木材の部分を「心材」、幹の周辺部のフレッシュな木材の部分を「辺材」と呼ぶ。

「辺材」は、「心材」よりも含水率が高く、一般的に強度に劣り、腐朽菌への耐性も低い。

また、これらの心材と辺材の特性の違いが、伐採・製材後に、部材内部における強度や乾燥収縮率の違いとなって現れ、ねじれ・反り・ゆがみ・くるいなどの原因となる。

### 木材の腐朽と北海道の気候環境

北海道は、日本の北海道以外の地域（本州以南の地域）に比較して、降水量が少なく、冷涼で乾燥した気候が特徴である。降雨、湿潤、温暖といった、腐朽菌の活動に有利な状況が相対的に少ないことから、木材を構造物等に利用する上では、北海道は相対的に有利な環境と言える。

国土交通省の官庁営繕部の資料<sup>※5</sup>に、「腐朽の発生リスクの地域区分」という図表が引用されて示されているが、これによると、北海道は、青森、岩手などの東北北部や、信州地方の高山帯と同様に、最も腐朽の発生リスクが小さい地域区分となっている。

### 建築物等の内装における木材利用

前述の法律とは別の流れと考えられるが、近年、居心地の良い空間を演出することなどを目的に、飲食店・商店をはじめとして建築物等の内装に木材が用いられる事例が増加している。

前述の法律でも、木材の利用が「景観の向上および癒しの醸成」に資することが言及されているが、そのような効果を経営者や利用者が認め、これに期待していることの一端と考えられる。

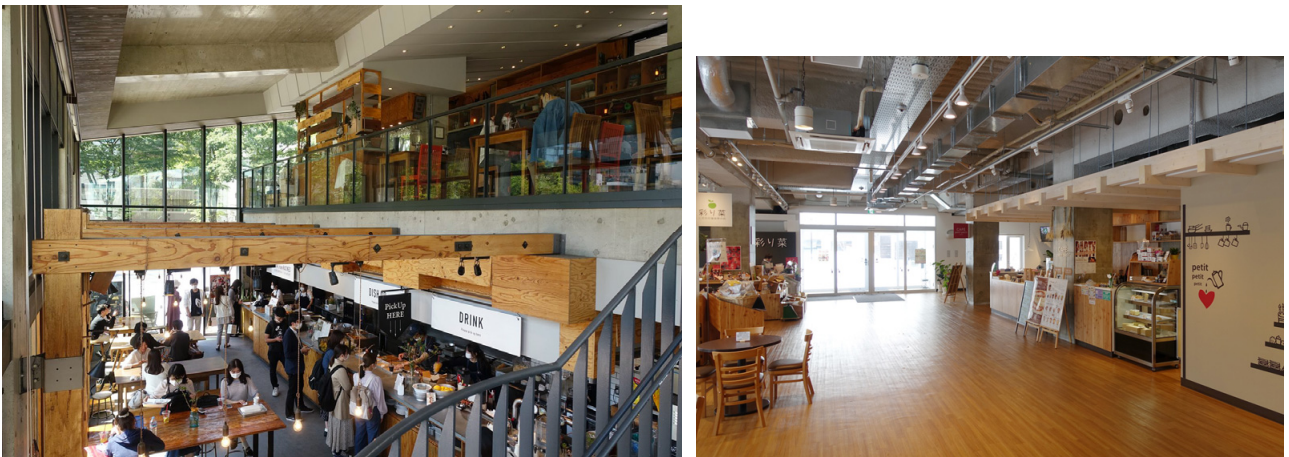


写真 3-1 内装に木材が使われた店舗等

左：南池袋公園・カフェレストラン（東京都豊島区）、右：フラノマルシェ 2（富良野市）

### 木材のカスケード利用

カスケードとは、多段落としての滝のこと。転じて、ひとつの木材を、使用や経年に伴う劣化や変化に応じて、耐久性に応じた複数の用途に転用して有効活用すること。例えば、木製構造物の構造材料→木質マルチングチップ→バイオマス燃料、など。

これにより、木材のもつ価値を最大限に利用することができる。



.....

### 参考文献 (3.章)

- ※1 「製材の日本農林規格」、平成 19 年 8 月 29 日 農林水産省告示 第 1083 号、2007 年
- ※2 「木材の基準強度  $F_c$ 、 $F_t$ 、 $F_b$  及び  $F_s$  を定める件」、平成 12 年 5 月 31 日 建設省告示 第 1452 号、2000 年
- ※3 日本工業規格 JIS A 9002:2012 「木質材料の加圧式保存処理方法」、2012 年
- ※4 日本工業規格 JIS K 1570:2013 「木材保存剤」、2013 年
- ※5 国土交通省大臣官房官庁営繕部：「木材を利用した官庁施設の適正な保全に資する整備のための留意事項」、2017 年 9 月、p.30  
[https://www.mlit.go.jp/gobuild/gutai\\_torikumi.html](https://www.mlit.go.jp/gobuild/gutai_torikumi.html)

## 4. 調査結果に基づく木材の耐朽性と耐用年数の目安

### 4-1. 木材の腐朽劣化とそれによる維持管理コストの算定にあたって

- ・木材の腐朽劣化は局所的に発生し進行する。一様ではない。
- ・そこで木材の腐朽劣化は、構造物全体一律ではなく、部位ごと、部材ごとに評価する必要がある。
- ・将来的な維持管理の発生目安は、部位ごと・部材ごとに、実材の劣化状況調査などから得られた「経年による腐朽劣化の発生率」を適用することで、見込むことが可能である。

木材・木製部材の腐朽劣化は一様に進むわけではありません。腐朽劣化の発生と進行は、個体ごとに大きな差異があり、木製工作物では、例えば10年を経過した時点でぼろぼろに腐朽劣化している材もある一方で、まったく劣化していない材がすぐ隣にある、という状況も当然のように起こります。

したがって、構造物全体の耐用年数を一律に議論することは、木材を使った構造物の場合には合理的ではありません。部材ごとに腐朽劣化と、それが構造物全体の健全性に及ぼす影響を見極め、部材単位で補修や部材交換などの維持管理を検討していく必要があります。

そこで本書では、腐朽劣化の発生と進行は部材単位で評価することとし、経年による「腐朽劣化の発生率」というパラメータで将来の腐朽劣化を予測することとしました(図4-1)。このように本書では、部材単位で補修や部材交換を行い、メンテナンスを繰り返すことで構造物を永く使い続けるという立場を主体としています。もちろん、これらのデータを用いて、構造物全体の一定の比率の材に腐朽劣化が発生した時を構造物全体の寿命として、構造物全体を撤去あるいは更新するといった判断も可能です。

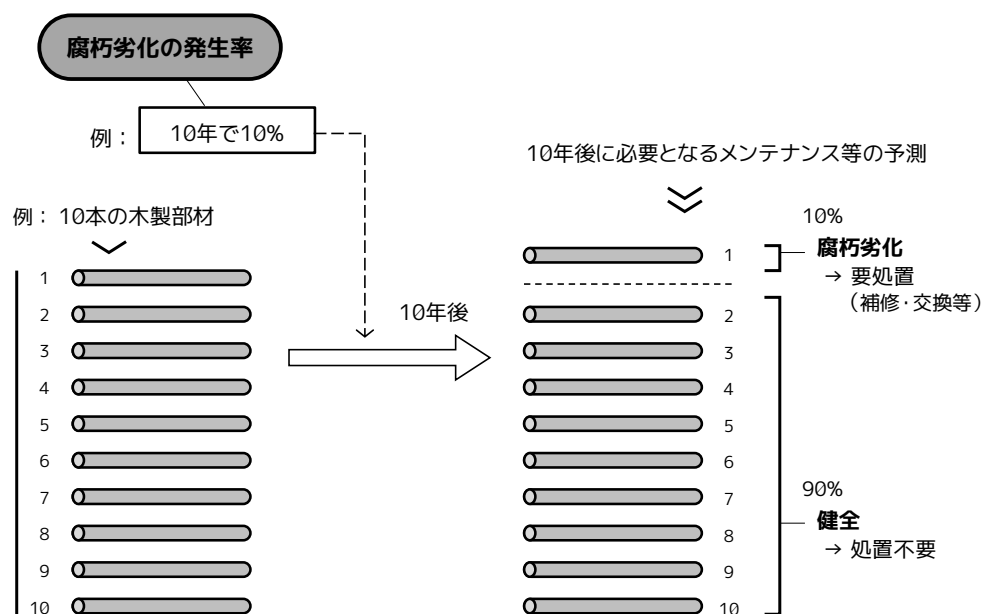


図4-1 「腐朽劣化の発生率」の予測値を用いた将来の維持管理コスト推計の考え方

次節 4-2.で本研究所における調査データを紹介しますが、既存の木製部材の経年と腐朽劣化状況の調査などから、「〇〇の条件下では、〇〇年で〇〇パーセントの材に腐朽劣化の発生が見込まれる」という、この「経年による腐朽劣化の発生率」に関するデータがあれば、当該構造物の将来の腐朽劣化状況の予測ができるようになります。

例えば、最も簡単な支柱だけの構造物として、木製の標識柱（写真 4-2）を想定した場合、「柱の根元・地面に接する部分は、5年で0.5%、10年で3%、15年で10%の材に腐朽劣化が生じる」「柱の根元以外の部分は、15年でも腐朽劣化の発生は0.1%以下」というデータがあったとします。この場合には、この木製の標識柱は5年での交換はほとんど発生しないものと考えてよいが、10年後には3%分（同一のものを100本設置していれば、そのうちの3本程度）の交換費用を見込む必要がある、ということが試算できます。あるいは、これらの腐朽劣化の発生率に関するデータをもとに、柱の根元部分のみ金属製の構造としてみれば、その他の木製支柱の部分は腐朽劣化をほとんど恐れる必要がないことから、特段の交換費用は見込む必要がない、といったことを検討することもでき、当初想定 of 構造とのライフサイクルコスト比較もできるようになります。



写真 4-2 木製の標識柱の例

本章ではこのような考え方の下、腐朽劣化の計測調査結果などから得た「腐朽劣化の発生率の予測値」をもとに、木製部材の将来の腐朽劣化の発生頻度を予測し、将来の維持管理の手間やコストについて試算する方法について提案し、解説します。

## 4-2. 木製の実在構造物の腐朽劣化状況（経年による腐朽劣化の傾向）に関する調査分析結果

寒地土木研究所では、2015 年度～2019 年度の期間、北海道立総合研究機構 林産試験場とも共同で、主に北海道内の道路に設置されている木製構造物の腐朽劣化状況に関する広範な調査を行いました。

この調査結果から、これらの構造物で用いられていた木材保存剤加圧注入処理されたカラマツ製材について、経年と腐朽劣化の関係を分析し、4-1.で述べた「腐朽劣化の発生率」の予測式を得ました。

以下に、調査の概要と調査および分析の結果を紹介します。また、調査結果の詳細は、付録 A.にまとめて示しました。

### 1) 調査の概要

- ・ピロディン計測器（写真 4-3）を用いた、既存の木製構造物の腐朽劣化状況調査。
- ・北海道内の道路に設置されている木製の「立入防止柵」、「防雪柵」、「歩道舗装」の3 構造物（写真 4-4）を対象。
- ・立入防止柵については、2000 年度～2014 年度に設置されたものを対象とし、調査時点（2015 年度～2019 年度）での経過年数は、3～16 年。
- ・部材・部位ごとに複数箇所での計測を行い、かつ個体差を考慮して、同一条件のものを各 100 個体調査。



写真 4-3 ピロディン計測器の概要と計測例



写真 4-4 調査対象とした木製の道路構造物  
（上段：立入防止柵、 左下：防雪柵、 右下：歩道舗装）

## 2) 調査結果の概要

本調査結果の詳細および生に近い計測データについては、付録 A.に示す。

木材という個体差によるばらつきの多い材料に関して、ピロディンによる計測結果は要約が困難であるため、ここでは結果を直接示すことはしないが、おおむね以下のようなことが確認できた。

### 木製工作物の腐朽劣化に関して得られた主な知見

条件： カラマツ間伐材製材、木材保存剤加圧注入処理（ACQ、AAC）、地上設置

- ・ ACQ や AAC などにより木材保存剤加圧注入処理されたカラマツ製材（以下、防腐処理カラマツ材）は、雨がかりのある屋外利用であっても、設置条件次第で 20～30 年以上の耐朽性を期待できる。
- ・ 耐朽性確保のポイントは、各部材において、湿潤状態を避け、乾燥した状態を長く保つこと。
- ・ 最も過酷なのは、地面に接する材。滞水した地面からの水分の供給もあり、また地表近くは上空に比較して風通しもよくないことから、湿潤した状態に置かれる時間が長くなる。高度な防腐処理（木材保存処理）が施された材でも 10 年で 5～10%前後の材に（健全上問題のある）腐朽劣化が発生する恐れがある。
- ・ 部材同士の接合部については、雨水が滞留しやすく乾燥しにくいことから、腐朽劣化上の弱点であるとされているが、今回の調査では系統的な調査ができていないので、現段階では知見が提供できない。
- ・ 長期の耐朽性（例えば 30 年超）を確保したい時に配慮すべきは、材表面あるいは表層部への雨水の滞留である。木材の乾燥収縮に伴って材表面には干割れが少なからず発生するが、これら干割れ内部への雨水の滞留に起因すると推察される、腐朽劣化の発生頻度の上昇が確認できている。
- ・ これらの地際および天端木口付近を除く縦部材や、天端面への雨がかりの少ない横部材では、設置後 15 年超でも腐朽劣化の発生はごくわずかである。1%以下、ゼロというケースも少なくなかった。
- ・ 剥皮丸太材は経年に伴う腐朽劣化が特に著しい。部材表面の樹皮およびそれに近い組織であった部分が、乾燥収縮に伴い大きくひび割れるとともに、場合によってはそれが剥離することによって、部材内部の木材保存材の未処理部分が露出したりすることも影響している可能性がある。



写真 4-5 支柱根元部分（地際）の腐朽劣化の例（左）と、剥皮丸太材の外観の例（右）

### 3) 調査結果に基づく、腐朽劣化の発生率の予測式の導出

これらの計測調査結果にもとづく、経年に伴う腐朽劣化の発生率に関する分析結果を示す。

2)および付録 A.の計測調査結果から、腐朽劣化の発生については、部材の設置位置により大きな差異があり、大きくは腐朽劣化が最も著しい「柱地際部」、逆に腐朽劣化がほとんどみられない「柱中部」や「梁上段/下端」「梁上段/半割面」、それらの中間に位置する「柱上部」「柱下部」「梁上段/上端」「梁下段」に大別できる。

ここでは、これらの腐朽劣化の傾向の3区分を代表するものとして、「柱地際部」「柱中部」「梁上段」を選び、それぞれについて経年と腐朽劣化の関係について分析を行った。

なお、本計測調査で用いたピロディン計測器（写真 4-3）は、計測を行った「点」あるいはそのごく近傍のみの木材の性状を調べるにすぎないものであり、部材としての健全性を評価するにあたっては、これらの「点」の評価を部材全体の評価に置き換える必要がある。そこで本書では、部材中のいずれかの断面において、断面内の複数計測点で腐朽劣化の影響がみられる場合を、「腐朽劣化」と判定することとして、分析を行った。これらの考え方の詳細を以下に示す。

#### 本分析における「腐朽劣化」の判定方法

- ・木製部材の腐朽劣化は、当初局所的に発生するが、局所的な腐朽劣化は材料自体に設定された安全率等を考慮すれば即座に危険なものではない（鉄やコンクリートなどの他の材料と同様）。したがって、同一断面内1カ所のみでのピロディン計測値の異常は、ここでは許容することとした。
- ・一方で、同一部材内・同一断面内で複数箇所のピロディン計測値が、腐朽劣化の判断目安（ここでは、北海道立総合研究機構・林産試験場のカラマツ材のピロディン計測値と材の残存強度に関する調査研究成果※1をもとに、ピロディン貫入量  $P_e$  が 30mm 以上の場合とした）を超過するという事は、当該断面において、腐朽劣化が広範に広がりつつあり、当該断面において部材の破断等の耐力上の懸念が多少なり高まっていることを意味する。
- ・したがってこのケースを、「腐朽劣化」が部材の健全性上問題のあるレベルにまで進行した段階と判定することとし、部材の交換等の何らかの処置を必要とする状態、すなわち「要処置」と扱うこととした（図 4-6）

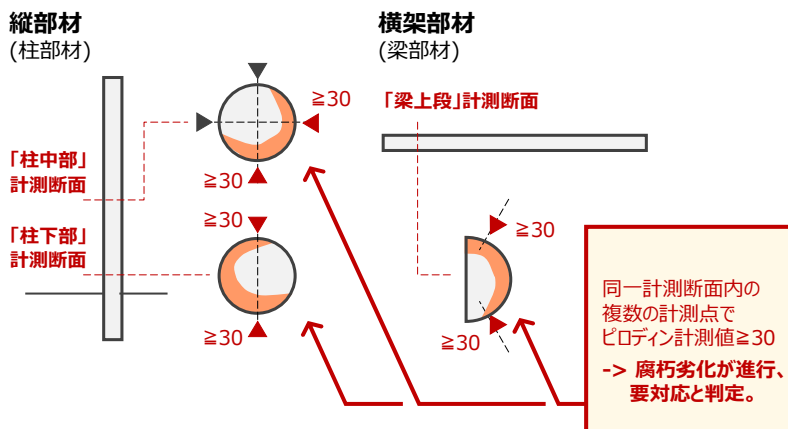


図 4-6 本調査におけるピロディン計測値に基づく腐朽劣化の判定の方法

#### 4) 経年と腐朽劣化の関係とそれに基づく腐朽劣化の発生率の予測式

本 4-2.節および付録 A.の計測調査結果に基づき、各調査ロット（80～100 体）ごと、腐朽劣化と判定された材の比率と、経年の関係についてプロットし、回帰分析により腐朽劣化の発生率の予測式を導出した。ここでは、付録 A.の5)に示した結果をもとに、最も腐朽劣化が著しいグループとして「柱地際部」、腐朽劣化がほとんどみられないグループとして「柱中部」、中庸なグループとして「梁上段」における算定の結果について示した（図 4-7）。

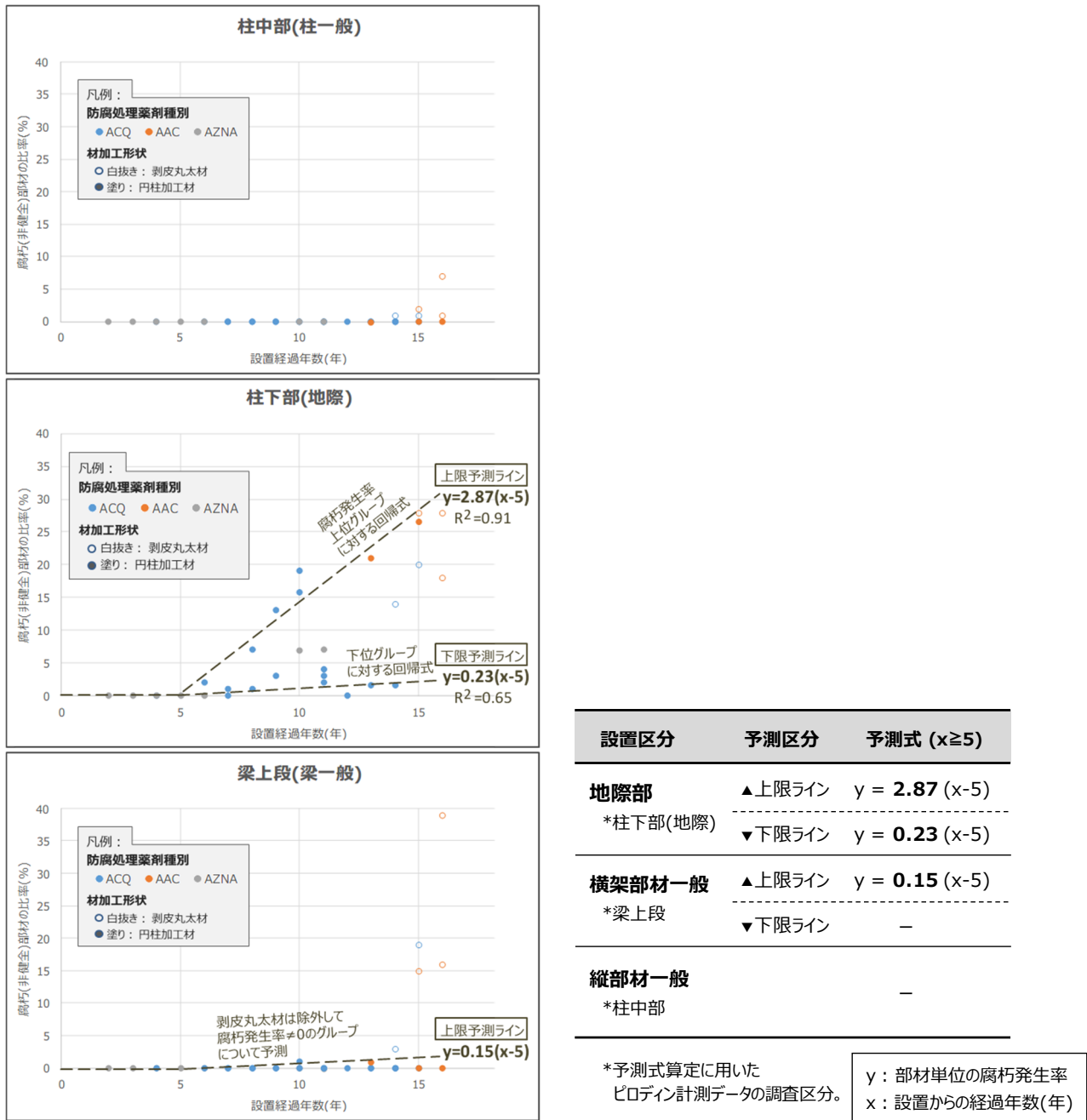


図 4-7 調査ロットごと、経年と腐朽劣化の発生率の関係

## 解説：

- ・先述のとおり、木製部材の同一断面内で、2カ所以上のピロディン計測値が30以上となった場合を、当該部材について「腐朽劣化／要処置」と判定することとし（図4-6）、この判定基準に基づき、腐朽劣化と判定される材の比率と経年の関係について調査した。
- ・図4-7のプロットからは、他の材と腐朽劣化の傾向が異なるようにみえることから、近年は採用されていない「剥皮丸太材」（図4-7中、白抜きのプロットで図示。剥皮丸太材の例は写真4-5）を除外し、「円柱加工材」に限って腐朽劣化の発生率予測式を求めることとした。
- ・また、柱地際部（図4-7左中）の場合に顕著であるが、経過年数が同一でも、腐朽劣化と判定される部材の発生比率には調査ロットごとに大きく異なるものがあることから、これらの腐朽発生率についてロットごとに上位グループと下位グループに区分し、それぞれごとに予測式（回帰式）の導出を行った。
- ・同様に、梁上段（図4-7左下）の場合には、腐朽発生率がゼロのロットを除外して、予測式の導出を行った。
- ・腐朽劣化の発生率は、設置後5年目までのケースではいずれの部位においても腐朽劣化の発生がゼロであり、一方で、6年以上経過した時点から徐々に腐朽劣化の発生がみられるようになることから、5年目までは腐朽劣化の発生率  $y=0$  とし、5年目以降の経過年数に応じて直線的に腐朽劣化の発生率が増大するモデルを適用している。

## 付記：

- ・付録Aの調査結果から、腐朽劣化が最も著しいのは「柱地際部」（ $H=0\sim 5\text{cm}$ 程度）であり、次いで  $H=5\sim 20\text{cm}$ 程度の範囲にある「梁下段」「柱下部」である。また、これら「梁下段」と「柱下部」における腐朽劣化の発生率は、「柱地際部」の下限グループと同程度である。このことから、地際の影響は地面からの距離が20cm程度になるとだいぶ和らいでくることが推察される。
- ・逆に、腐朽劣化が最も少ないのが「柱中部」と「梁の下端」であるが、梁の下端と上端は今回の腐朽劣化の判定方法では区分できないので（部材の断面ごとに腐朽劣化を判定する）、ここでは雨がかりの影響が少なく最も腐朽劣化の恐れが少ない部位として「柱中部」を代表として扱うこととした。
- ・また、腐朽劣化の傾向が中庸なのが「梁上段」であり、これを一般的な腐朽劣化の傾向として扱うこととした。



### 4-3. 腐朽劣化の発生率の参考値

- ・4-2.節および付録 A.に示した、既存の木製工作物部材の経年と腐朽劣化の関係の調査結果から、表 4-8 に示す腐朽劣化の発生率の予測値を参考として設定した。
- ・このような値を参考として用いることで、複数の部材で構成される木製工作物において、将来の経年による腐朽劣化の発生率を算定し、必要となる維持管理について試算することが可能となる。
- ・本稿で示す「経年による腐朽劣化の発生率」は、木材保存剤の加圧注入処理が施されたカラマツ間伐材製材を対象としたものであるが、この発生率は、各部材の設置環境別に「地際部材」「一般部材」「良環境部材」の3区分にて設定でき、また検討対象ごとに、各構造物・部材における腐朽劣化の発生リスクの大小を勘案して、上限・中位・下限のいずれかの区分から値を選択して用いることとする。

		予測区分	経過年数						
			5年	10年	15年	20年	25年	30年	35年
地際部材	地面に接する、または、地面から概ね20cm以内の範囲	上限	0%	15%	30%				
		中位	0%	8%	16%	24%			
		下限	0%	2%	4%	6%			
一般部材	他に該当しない部材	上限	0%	1%	2%	3%	4%	5%	
		下限	0%	0.5%	1%	1.5%	2%	2.5%	
良環境部材	部材上面に雨水の滞留が生じない構造の部材	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	

実測調査に基づく回帰分析
回帰分析に基づく予測値

表 4-8 調査結果に基づく「経年による腐朽劣化の発生率」の参考値

※適用条件：カラマツ間伐材製材、木材保存剤加圧注入処理、現場加工等により木材保存剤処理に関する未処理面が露出していないこと。

4-2.節および付録 A.に示した、既存の木製工作物部材の経年と腐朽劣化の関係の調査結果から、表 4-8 に示す腐朽劣化の発生率の予測値を参考として設定しました。この表 4-8 の値を参考として、木製工作物のメンテナンスコスト等の算定にあたり必要となる腐朽劣化の発生率とすることができます。

ここでは、部材をその設置環境別に、「地際部材」「一般部材」「良環境部材」の3区分とした上で、検討対象とする構造物/部材における腐朽劣化の発生リスクに応じて、予測区分の上限・中位・下限のいずれかから適宜選択して腐朽劣化の発生率の予測値を採用することとしました。腐朽劣化の発生リスクを高く取るべきケースとしては、風通しや日陰などの影響でじめじめした環境におかれやすい、製品品質面でなんらかの欠点や懸念がある、万が一の破損の際に重大事故に至る可能性がある、巡回・点検の頻度が低い、などが考えられるところです。

また、このうちの「地際部材」については、4-2.節の計測調査結果において、柱の地際部や梁の下段など、

地面に接する、あるいはそのごく近傍にある材で腐朽劣化が著しかったことを反映しています。地際として扱う範囲については、調査結果を踏まえ、地面からの離隔が 20cm に満たない材について適用することとしています。「良環境部材」については、梁の下端や柱の中央部など、部材表面あるいはその干割れ等の内部への雨水の滞留の生じない材では腐朽劣化の徴候がまったくと言ってよいほど見られなかったことを反映しています。部材表面あるいは内部への雨水の滞留について配慮された材については、この「良環境部材」を適用することができます。

なお、ここで示した腐朽劣化の発生率については、今回調査対象とした既存の木製工作物は、設置後 15 年程度のものまでだったことから、経過年数 15 年までについては実測値に基づき回帰分析により求めた値である一方、20 年以上の部分についてはこの回帰分析による直線を単純に延長することによって得られた予測値・想定値です。したがって、本予測値は、15 年経過時点からのさらに 15 年、すなわち 30 年を限度とし、一方で、腐朽劣化が著しく、将来の腐朽劣化の進行について予測が困難な「地際部材」などの条件においてはそれよりも短い年数を予測の上限としています（表 4-8 にて斜線表記（/）とした部分）。

将来、本調査で対象とした木製工作物などについて追跡調査を実施することで、より長期の腐朽劣化についても腐朽劣化の発生率の予測値を示すことができるようになるの見込まれます。現時点では、表 4-8 に基づき、腐朽劣化の発生率について斜線（/）と示した経過年数に達した時点で、全部材の交換が必要となると想定して、試算することを提案します。

「地際部材」「一般部材」「良環境部材」の区分の考え方と、上限・中位・下限の予測区分の選択の目安は以下のとおりです。

## 1) 地際部材

支柱の根元など、地面に接して、あるいはその近傍（おおむね地面から 20cm 程度の離隔が確保されていない状態）に設置される材に適用する。他の部材と接して敷き並べられ、それ自体が路面・床面を構成するような場合にも適用する（写真 4-4 右下）。

設置後 5 年程度までは、腐朽劣化はごくまれにしか発生しないが、それ以降については腐朽劣化の発生の可能性を意識した維持管理が必要となる。

今回の調査では、16 年経過の材まで腐朽劣化の調査を行えたが、地際部材については腐朽劣化が著しく、今後の腐朽劣化の進行については予測が困難であることから、ここでは 15 年あるいは 20 年経過までの予測値とした（表 4-8）。

調査結果（4-2.節および付録 A.）からは、同一経過年数でも調査ロットごとに腐朽劣化の発生に大きくばらつきがあり、ワーストのケースとベストのケースでは大きく差がある。ここではこれに対応して、上限・下限と中位の予測値を併記して示すこととした。将来の維持管理頻度やライフサイクルコスト等の算定にあたっては、この間のいずれかの値を、算定ケースに合わせて（腐朽劣化発生リスクの大小にあわせて）適宜選んで採用することとする。予測値の採用の判断例は、5.章の試算例に一例を示すが、以下のとおり考えることができる。

最大に近い値を採用するのが望ましいケース：

- ・ 腐朽劣化の発生や、それによる耐力の低下が致命的な状況となる場合。
  - > 構造的な冗長性を有さない、単独構造の支柱など。
  - > 万が一の破損が致命的な危険を生じる可能性がある、転落防止柵など。

最小に近い値を採用することができるケース：

- ・ 腐朽劣化の発生による局所的な耐力の低下が致命的ではない場合。
  - > なんらかの構造物が存立しているだけで、必要とされる機能の大部分を発揮できる、立入防止柵など。
  - > テープ貼りなどの応急的な処置でも当面必要な機能を損なわない、横断防止柵など。
  - > 利用者の立ち入りの少ない場所での舗装材・被覆材としての利用など。
- ・ 想定される荷重に対して、耐力に相当の余裕がある場合。  
( 辺材に比較して心材は耐朽性に優れるため、心材だけで必要な耐力が確保されている場合などには、懸念すべき腐朽劣化の発生はより重度なものだけである。 )
- ・ 破損等を早期に発見し、早急に修繕する体制が確保されている場合。
  - > 巡回点検の頻度が高く、あるいは、破損等を発見した場合の早期の通報が期待できるなど。

## 2) 良環境部材：部材表面等に雨水の滞留がない構造の部材

乾燥を保つように、部材表面等に雨水の滞留が生じないような構造上の工夫が施された部材に適用する。具体的には、雨が降りかかる空を向いた面について、(1)他の部材で雨がかりを避けるように保護されている、(2)部材表面に内部への雨水の浸透を招くような干割れを生じないように配慮されている、(3)定期的な保護塗装等により雨水の浸透から保護されている、などの材を想定する。垂直方向に用いる材については、雨が降りかかる天端木口面について対処すればこれに足りる。

今回調査した範囲では、木製防雪柵の最上段以外の材が該当する。また、北海道林務部/林産試験場の提案する柱頭に笠置の施された材<sup>※2</sup> や、木口や天端面における雨がかりを防ぐ工夫が施された材<sup>※3</sup> もこれに該当する。

図 4-7 の分析結果から、「良環境部材」については、基本的には、30 年程度では腐朽劣化は発生しないものとして扱ってよいと考えられる。

## 3) 一般の部材

屋外で用いられる、1)および 2)以外の材に適用する。

10 年前後の経年で、何パーセントかの部材には腐朽劣化が発生し、要処置となることが想定されるが、30 年程度経過でも腐朽劣化を生じない材も多く残存すると見込まれる。

ここでも、1)の地際部材と同様に、採用すべき腐朽劣化の発生率について上限と下限の 2 ケースを設定したが、この区分については、当該構造物において腐朽劣化の発生を許容できる程度によって選択してかまわないと考えられる。すなわち、腐朽劣化による耐力低下が生じはじめた時点、あるいは生じる前の時点で交換を検討する必要があるような部材については「上限」グループにあたる値を、腐朽劣化による耐力低下を短期間であれば許容できるような部材については「下限」グループにあたる値を採用することが考えられる。

ただし、地面からの離隔が 40cm に満たない部材については、付録 A.に示した調査結果や、屋外に設置される木製支柱の地面からの離隔を 40cm 以上とするように定めた資料<sup>※4,5</sup> も踏まえ、地際の影響を加味した扱いをすることとし、表 4-8 における「一般部材」の「上限」グループ、あるいは腐朽劣化の発生リスク等を強く考慮して「地際部材」の「下限」グループなどの適用を検討することとする。

．．．．．  
**参考文献（4.章）**

- ※1 今井良ほか（北海道立総合研究機構 林産試験場）：「木製立入防止柵の劣化調査におけるピロディンの有効性」、日本木材保存協会 第33回年次大会、2017年
- ※2 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：「木製遊具の耐久性向上を図る設計資料集」、2013年4月、p.1-3  
<https://www.hro.or.jp/list/forest/research/fpri/manual/mokuyugu/mokuyugu.htm>
- ※3 土木学会 木材工学特別委員会：「JSCE 木材利用ライブラリー 003：木橋の維持管理」、2011年11月、p.8～p.10  
<https://committees.jsce.or.jp/mokuzai/node/8>
- ※4 国土交通省大臣官房官庁営繕部：「木材を利用した官庁施設の適正な保全に資する整備のための留意事項」、2017年9月、p.8  
[https://www.mlit.go.jp/gobuild/gutai\\_torikumi.html](https://www.mlit.go.jp/gobuild/gutai_torikumi.html)
- ※5 国土交通省大臣官房官庁営繕部：「木造計画・設計基準（平成29年改定）」、平成29年3月29日国営整第243号、2017年3月、p.10～11  
[https://www.mlit.go.jp/gobuild/moku\\_kijun.html](https://www.mlit.go.jp/gobuild/moku_kijun.html)

## 5. 構造物における腐朽劣化の予測、構造的配慮の検討例

4.章の分析結果（腐朽劣化の発生率の予測式および予測値）を用いることで、木製工作物について将来必要となる、メンテナンスの発生頻度やコストを算定することが可能になります。

旧来においては、木製の工作物・構造物全体としての見込み耐用年数が一律で示されていることが多かったのですが（「耐用年数 10 年以上」「保証期間 5 年」など）、このような表示は最低保証期間としての年数が表示されていることが多いほか、部分的に腐朽が発生することや、部材を交換しながら維持管理していくことには対応できません。

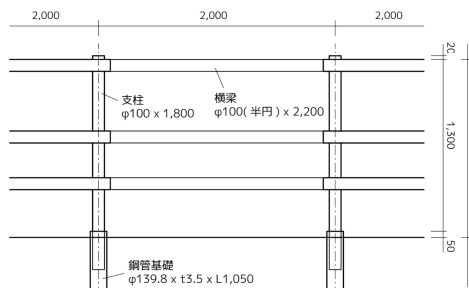
本章では、いくつかの構造物を対象として、この「腐朽劣化の発生率の予測値」（表 4-8）を用いてメンテナンス頻度およびコストに関する試算のケーススタディを行った結果について紹介します。また、この試算結果および 4.章の計測調査結果に基づき、木製工作物の維持管理上有利となる構造的配慮の例について考察した結果を紹介します。

### 5-1. 木製柵

4.章の計測調査事例でも確認されたように、柵形状の木製工作物においては、支柱根元が構造物の耐朽性を考える上での一番の課題となります。支柱根元は、地際の一番腐朽劣化が著しい部位にあたりますが、ここが痛んだ場合には、支柱が支える構造物全体の機能に重大な影響を与えるとともに、部分的な部材交換も容易ではありません。

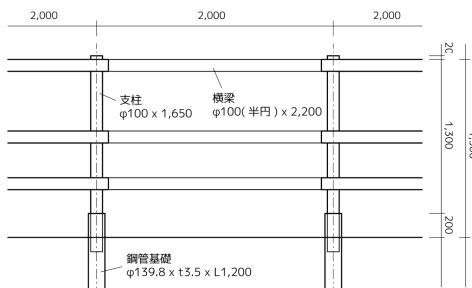
架空の構造物として、以下の図 5-1 に示す木製柵について、メンテナンスの頻度およびコストについて試算した例を以下に示します。

**(1) 基本** ・ 鋼管基礎にφ100の支柱を立て、φ100半割の横梁を3本渡す。

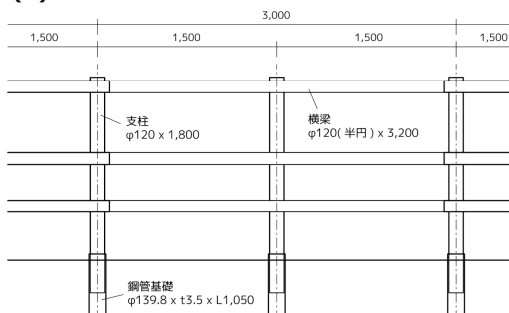


**(2) 鋼管基礎延長**

・ 鋼管基礎の立上げを50mm→200mm



**(3) 2スパン連続**



- ・ 横梁を2スパン連続とし、これを支える支柱3本のうちいずれか1本が破損しても耐える構造。
- ・ スパンを1.5mに短縮し、支柱と横梁をφ120として耐力上の余力を確保。

図 5-1 ケーススタディにおいて検討対象とした木製柵

**腐朽劣化の発生予測とメンテナンスコスト試算の例 (1) 柵状工作物**

**1) 基本案 (図 5-1 左上)**

まず、検討対象とする木製構造物について、これを構成する各木製部材に関して、表 4-8 におけるいずれの「腐朽劣化の発生率の予測値」を適用すべきかを検討します。

図 5-1 左上の構造の場合には、部材としては、支柱 1 本と横架材 3 本の計 4 部材になりますが、このうちの支柱については地面から 5cm 程度で鋼管基礎に埋め込まれているので、ここが地際に該当し、したがって部材としては「地際部材」を適用するのが妥当と言えます。横架材 3 本については、下段の材でも地面からの離隔が 40cm 程度あるので、いずれも「一般部材」の適用が妥当です。

次に、予測区分として表 4-8 の上限・中位・下限のいずれを適用するかですが、今回の算定においてはこの柵を、日常的に歩行者の往来のある交通広場内における無闇な横断を防止するために設ける柵、という想定としました。このような場合、柵の破損によって重大な事故が起こる危険は小さくなく、日常的に往来があることから腐朽劣化や破損に気づかず長期にわたって放置されるということも考えにくいことから、あまり腐朽劣化リスクが大きい工作物と判断できます。そこで予測区分については、支柱については地際部材の「中位」を、横架材については一般部材の「下限」を採用して算定を行うこととしました。

この時には、表 4-8 に従い、10 年目に 8% の支柱と 0.5% の横架材が要交換となって、部材の交換が発生。同様に 15 年目の部材交換が発生したあと、20 年目には、(15 年目までに部材交換を行った 16% を除いた) 残りの 84% の支柱のうちの 8% について交換が必要になるほか、10 年目に交換した 8% の支柱が再び 10 年を経過してこの 8% のうちの 8%、すなわち 0.64% の材についても交換が必要となる。25 年目については表 4-8 において予測値が設定できていませんが、この 25 年目には大半の支柱に腐朽劣化がみられるようになり、安全と効率性のために全数の支柱を交換することと想定します。

ここでは、部材の交換費用の単価について、仮に表 5-2 のとおりと設定しました。これと、先の経年ごとの部材の交換率を掛け合わせることで、経年に伴う部材交換により必要となるメンテナンスコストについて

表 5-3 のとおり試算できます。

結果からは、20 年目までの交換費用は 5 年ごとに初期コストの 3%程度であるが、25 年目の全数交換費用が負担となり、35 年間では初期コストの約 1.8 倍の費用が必要という試算となりました。

費用等区分	適用	単位	材	工	材工計
<b>基本 2mスパン</b>					
一式設置		m	6,500	4,000	10,500
一式撤去		m	0	3,000	3,000
支柱交換	φ100, L=1,800	本	1,500	6,000	7,500
横梁交換	φ100半割, L=2,200	本	1,000	3,000	4,000
<b>鋼管基礎延長 立上げ200mm</b>					
一式設置		m	7,000	4,000	11,000
一式撤去		m	0	3,000	3,000
支柱交換	φ100, L=1,650	本	1,400	6,000	7,400
横梁交換	φ100半割, L=2,200	本	1,000	3,000	4,000
<b>2スパン連続 (1.5mスパンx2)</b>					
一式設置		m	9,200	5,500	14,700
一式撤去		m	0	4,200	4,200
支柱交換	φ120, L=1,800	本	1,800	6,000	7,800
横梁交換	φ120半割, L=3,200	本	1,600	3,600	5,200

表 5-2 ケーススタディにおいて試算に用いた部材交換等単価  
(類似構造物に関する物価版資料や見積りなどをもとに仮に設定)

		初期費用 (円)	部材交換費用内訳							
			部材交換(1)		部材交換(2)					
			単価(円)	適用	数量	交換頻度区分	単価(円)	適用	数量	交換頻度区分
木製柵 L=1mあたり	(1)基本	10,500	7,500	支柱	0.50 本/m	地際・中位	4,000	梁	1.50 本/m	一般・下限
	(2)鋼管基礎延長	11,000	7,400	支柱	0.50 本/m	一般・上限	4,000	梁	1.50 本/m	一般・下限
	(3)2スパン連続	14,700	7,800	支柱	0.67 本/m	地際・中位(ダブル)	5,200	梁	1.00 本/m	一般・下限

部材交換費用 (円)						ライフサイクルコスト (円)		
5年目	10年目	15年目	20年目	25年目	30年目	35年	25年	
0	330	330	354	<b>6,750</b>	0	<b>18,264</b>	<b>11,514</b>	(1)基本
0	67	67	68	68	69	<b>11,338</b>	<b>11,202</b>	(2)鋼管基礎延長
0	93	93	104	<b>9,600</b>	0	<b>24,589</b>	<b>14,989</b>	(3)2スパン連続

※ 太字は100%交換で、交換基礎を除く撤去費用と再設置費用を計上。

表 5-3 ケーススタディとしての木製柵のメンテナンスコストに関する試算結果

## 2) 鋼管基礎延長 (図 5-1 右上) および 2 スパン連続構造 (図 5-1 下)

1)の算定結果からは、基本案 (図 5-1 左上) の構造においては「地際部材」に該当する支柱の根元部が弱点であり、ここの腐朽劣化によって工作物の維持管理頻度が高まっていることが考察されます。

そこで、図 5-1 右上と下の 2 つの構造を検討することとしました。

図 5-1 右上は、交換基礎の立ち上げを高さ 5cm から 20cm に変更して、「地際部材」に該当する材をな

くした構造を検討したものです。この場合の支柱部材については、地面から 20cm 程度であっても多少なり地際としての影響は受けること、支柱が破損した場合には柵全体の構造に支障を及ぼすことから念入りな管理が求められることを考慮し、「一般部材」のうちの「上限」区分を適用することとしました。

一方の図 5-2 下は、鋼管基礎は基本案の構造のまま、横架材で 2 スパン分を連続の構造とし、各部材に耐力上の余裕を持たせた構造としたものです。これにより、連続構造とされた 2 スパンの間において、3 本中 2 本の支柱が健全であれば、1 本の支柱が腐朽劣化により要交換となった場合でも部材交換不要とすることを想定しました。

これらについての試算も 1) の場合と同様に行い、結果は表 5-3 の中段および下段に示したとおりです。

結果からは、図 5-1 右上のように「地際部材」に該当する材をなくすことで、工作物全体としての維持管理費用の大幅な低減が期待できることがわかります。表 5-3 の結果からは、基本案に対する試算結果と比較して 10～20 年目の部材交換費用も 1/5 程度になっているほか、基本案の場合に必要となっていた 25 年目の支柱の一斉交換も不要になるという試算結果です。結果として、25 年および 35 年の総コストのいずれでも基本案の場合の総コストを下回る結果となりました。また、35 年間の部材交換費用の総計も、初期費用の 3%程度におさまっています。

一方の図 5-1 下のように、構造物全体として冗長性を持たせるような構造的工夫は、都度都度の維持管理の低減には効果的と期待されます（表 5-3 の試算結果では、10～20 年目の 5 年ごとの維持管理費用は、基本案の場合の 1/3 におさまっている）。一方で、構造的冗長性を持たせるための全体的なスペック向上が災いして、初期費用の面で大きく不利であり、25 年の総コストでもこれを挽回するには至っていません。また、25 年目の支柱の一斉交換を経るために、35 年の総コストでは逆に差が増大してしまうという試算結果になりました。



## 5-2. 防雪柵

高さが 4m を超える構造物となるため、支柱を木製とすることは部材調達や維持管理上のリスクが大きく、事例（写真 4-4）にあるように鋼材とのハイブリッドの構造が現実的です。ここでは、事例同様、支柱を鋼製、防雪板を木製とする構造を想定して、将来のメンテナンスの頻度およびコストについて試算を行いました。

### 腐朽劣化の発生予測とメンテナンスコスト試算の例（2）防雪柵

今回の試算において想定する構造は、図 5-4 のとおりです。

木製の部材は防雪板（図中の有孔パネル、無孔パネル）だけで、厚さ 3cm のカラマツ板がビス留めによりユニット化されて用いられています。各防雪板ユニットは、支柱に小幅の鋼製山形鋼で押さえ込まれるように固定されており、これを一時的に緩めることで、ユニット単位あるいは 1 本単位で防雪板を交換することが可能な構造を想定しました。

この場合の防雪板については、最上段の材以外は天端面に雨がかりを受けることがないことから、全体としては 4.3 節の「良環境部材」を適用することができると考えられます。この場合、表 4-8 に基づき、35 年間では部材の交換が一切発生しないことから、35 年間の木製部材交換によるメンテナンス費用も発生しないと試算することができます（表 5-5、(1)の欄）。

なお、表 5-5 の(2)の欄には、防雪板について「一般部材」の「下限」を適用した場合の試算結果も示しました。この場合、10 年目以降、5 年ごとに 0.5% 程度の防雪板の交換が必要となりますが、コンクリート基礎や鋼製支柱を含めた総コストに比べれば大した費用ではなく、35 年間のメンテナンスコストの総計でも、初期費用の 1.5% 程度に収まるという試算結果になりました。

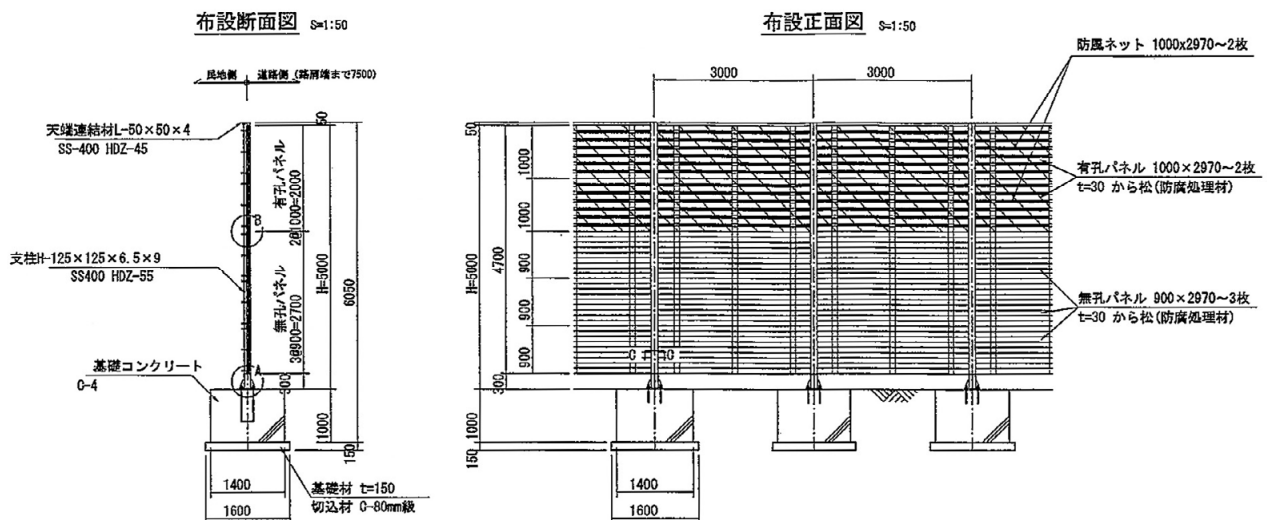


図 5-4 ケーススタディにおいて検討対象とした防雪柵

費用等区分	適用	単位	材	工	材工計
<b>木製防雪柵 H=5,000 (スパン W=3,000)</b>					
一式設置		m	80,000	45,000	125,000
防雪板交換	30x100, L=2,970	本	2,000	5,000	7,000

5-5 表 ケーススタディにおいて試算に用いた部材交換等単価  
(類似構造物に関する物価版資料や見積りなどをもとに仮に設定)

		初期費用	部材交換費用内訳		
		(円)	部材交換		
			単価(円)	適用 数量	交換頻度区分
防雪柵 L=1mあたり	(1)良環境部材として算定	125,000	... ※良環境部材のみのため、部材交換なし		
	(2)一般部材・下限として算定	125,000	7,000	防雪板 13.7 本/m	一般・下位

部材交換費用						ライフサイクルコスト		
(円)						(円)		
5年目	10年目	15年目	20年目	25年目	30年目	35年	25年	
0	0	0	0	0	0	125,000	125,000	(1)良環境部材として算定
0	478	478	481	483	486	127,406	126,437	(2)一般部材・下限として算定

5-6 表 ケーススタディとしての防雪柵のメンテナンスコストに関する試算結果

この試算結果からもわかるとおり、このような防雪柵の構造は、支柱を鋼製とすることから、支柱地際部の腐朽の懸念もなく、構造物全体としての耐久性は非常に高いものが見込めると言えます。防雪板の腐朽劣化リスクも低いと見込まれることに加え、防雪板だけの交換も比較的容易な構造としておくことで、維持管理・ライフサイクルコストの面でも不利は非常に少ないと評価できます。

本州以南では、同種の構造物として、木製の遮音壁が過去に複数の事例において設置されましたが、その際に課題となった、木材の乾燥収縮に伴う部材間の空隙と、それによる遮音性能の低下も大きな問題とはならないと考えられます。

### 5-3. 木製舗装

路面等の舗装材あるいは被覆材として、木材を敷き並べた構造を想定して試算を行いました。

木材を用いた路面は、公園や遊歩道、歩道橋などで多くの事例（写真 5-7）がありますが、これらで用いられるデッキ構造の路面ではなく、もう少し簡易な図 5-8 のような構造をここでは想定しました。



写真 5-7 路面材料として木材が用いられた例

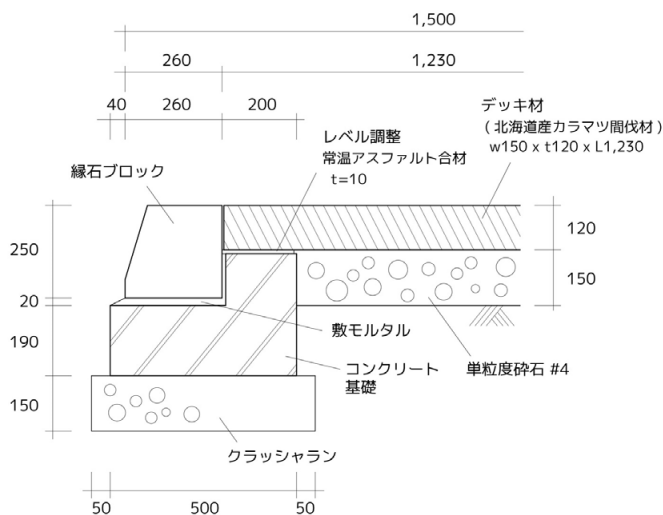
.....

#### 腐朽劣化の発生予測とメンテナンスコスト試算の例 (3) 木製歩道

今回の試算においては、図 5-8 に示す構造を想定しました。木製の角材を舗装/被覆材として、縁石同様にコンクリート基礎で支え、舗装/被覆材の下は、水はけと部材破損時等の荷重負担を想定して砕石を充填した構造としています。

この構造の場合の舗装材としては、地面に連続して敷かれる材であることから、表 4-8 の「地際部材」を適用するのが適当と言えます。一方で、万が一の破損や折損の際も、舗装材下に充填した砕石が荷重を支えてくれることから、部材の多少の腐朽劣化は許容できる構造となります。したがって、予測区分としては「下限」を採用して試算を行いました。部材等の交換費用については、表 5-9 に設定したとおりです。

試算の結果を、表 5-10 に示しました。10 年目～20 年目の部材交換は各年全数の 2%程度、費用は、初期費用の 1%程度に収まっていますが、やはり 25 年目の全数交換が維持管理上の負担に考えられます。



5-8 図 ケーススタディにおいて検討対象とした木製舗装

費用等区分	適用	単位	材	工	材工計
<b>中央分離帯 W=3,000 (木材 W=2,460)</b>					
一式設置		m	58,000	22,000	80,000
部材交換	150x120, L=2,460	本	4,500	2,500	7,000
部材一括交換		m	30,000	7,000	37,000

表 5-9 ケーススタディにおいて試算に用いた部材交換等単価  
(類似構造物に関する物価版資料や見積りなどをもとに仮に設定)

	初期費用	部材交換費用内訳			
	(円)	部材交換 単価(円)	適用	数量	交換頻度区分
<b>シール舗装</b>					
L=1mあたり	80,000	7,000	舗装板	6.67 本/m	地際・下位

部材交換費用						ライフサイクルコスト	
(円)						(円)	
5年目	10年目	15年目	20年目	25年目	30年目	35年	25年
0	933	933	952	<b>37,000</b>	0	119,819	82,819

※ 太字は100%交換で、鋼管基礎を除く撤去費用と再設置費用を計上。

表 5-10 ケーススタディとしての防雪柵のメンテナンスコストに関する試算結果

このような構造については、歩道舗装としての採用もひとつですが、中央分離帯の舗装に使用できないかとの考えから試算と検討を行ってみたものです（写真 5-11）。道路の中央分離帯については、近年、維持管理の削減などを目的としてシールコンクリートやアスファルトコンクリートによって舗装/被覆されることが多く、緑化された中央分離帯に比較して、景観を損ねています。

今回の試算の結果からは、25年目の全数交換が本当に必要になるのかが、実際に導入を検討する場合の課題になるかと考えられます。本書における調査研究では、設置からの経過年数が限られた木製工作物しか

調査できなかったため、特に腐朽劣化の傾向の大きい「地際部材」については、腐朽劣化の発生率の予測は20年を限度とし（表4-8）、25年目にはすべての部材を交換することになると仮に設定して今回の試算を行なっています。今後将来、追跡的な計測調査により、20年超を経過した木製工作物の腐朽劣化状況の調査などが行えれば、それをもとに地際部材についても20年超の腐朽劣化の発生率の予測値の提供が可能になると考えられます。



図5-11 木材を被覆材に用いた中央分離帯のイメージ（合成写真）

## 6. 本技術資料における到達点と課題

本技術資料と、これに関連する調査研究で新たに明らかにできたことの概要は以下のとおりです。

- ・既存の実際に供用中の木製工作物（カラマツ間伐材、木材保存剤加圧注入処理、φ100～160 程度、16 年程度経過まで）に関する腐朽劣化状況の調査から、経年と腐朽劣化の発生率の関係について明らかにした（付録 A、図 A-18）。
- ・個体ごとに強度や耐久性、腐朽劣化の発生に大きなばらつきをもつ木製部材について、部材単位で腐朽劣化の発生と、それにより将来必要になると見込まれる部材交換等の維持管理の頻度を予測評価する方法論を提示した（4-1 節）。
- ・またこの方法論に基づき、屋外設置される工作物等の木製部材について、部材単位に適用できる、経年に伴う腐朽劣化の発生率の目安を提示した（4-3 節、表 4-8）。
- ・これらの知見は、計画中的木製部材を用いた工作物等において将来発生すると見込まれる、部材交換の発生頻度やそれに伴う維持管理コストの試算、構造等の妥当性の検討などに利用できる（5.章に試算例）。

一方で、以下の課題を残しています。

今後の調査研究の拡充により、これらの課題の解決がすすめられていくことを期待します。

### 長期の腐朽劣化の進行に関する調査結果および知見の不足

本書における調査分析では、おおよそ 15 年程度までの経年とそれに伴う腐朽劣化の関係しか調査出来ていません。図 4-7 および表 4-8 では、経年に伴い、腐朽劣化と判定される材の比率が、直線的に増加するモデルを採用し、腐朽劣化の発生率の予測値を提示していますが、長期の場合にも直線的な増加傾向を維持するのかについては確証がありません。場合によっては、図 4-7 において、5 年目から腐朽劣化が進行するモデルを採用したように、15 年目以降のいずれかの段階で腐朽劣化が急激に進行したり、より長期でみると指数関数的に増大するモデルが適当である可能性も残されています。

より長期の腐朽劣化の進行について正確な知見を提供するためには、さらなる調査が必要といえます。

### 腐朽劣化の傾向に差異をもたらす要因や、腐朽発生率を増大させる要因の特定

図 4-7 にもみられるように、本書における調査分析の範囲では、同一経過年数でも調査ロットにより腐朽劣化の発生率に大きなばらつきがありました。このようなばらつきの要因としては、工作物の設置環境の違い（日射、通風、微地形の影響など）のほか、納入当初の微妙な仕様の違い（心材辺材率、含水率、強度密度、節等の欠点の有無など）が可能性として考えられますが、これらの要因については特定できていません。

これらの腐朽劣化の傾向に差異をもたらす要因が特定できれば、現状は「ばらつき」として扱っている腐

朽劣化の傾向の違いについても、より精緻な分析と腐朽劣化の発生率の予測が可能になるはずで

さらには、腐朽劣化の発生率を増大させる要因について明らかにすることができれば、表 4-8 に示す腐朽劣化の発生率の「上限」をとらなければならないような条件を回避することで、木製部材の長寿命化を図ることも可能と期待できます。

### 木材保存剤（防腐処理薬剤）の保存効果

本研究の範囲では、木材保存処理に用いる木材保存剤の種類や、加圧注入処理の前処理（インサイジング処理や圧縮処理）が、耐朽性に及ぼす影響については把握できませんでした。インサイジング処理や圧縮処理は、木材保存剤の注入性を高め、耐朽性を向上させる効果が期待されているほか、木材保存剤についても、銅イオン成分を含む ACQ や CUAZ が、他の木材保存剤よりも耐朽性に優れるという調査報告<sup>※1</sup>もあるところ

です。また、木材保存処理された木材が腐朽劣化に至る要因についても、雨水等による木材保存剤成分の容脱により保存効果（防腐効果）が弱まるのが原因なのか、木材保存剤の浸透が十分でなかった部位に腐朽菌が侵入することによって腐朽劣化が進行するのか、その発生モデルについても特定できていません。

### 地際の部材として扱うべき範囲

地面近くに設置された材は、保水・滞水した地面からの水分や湿気の影響を受け、また、周囲に草本や背丈の低い木々などの植生がある場合には通風や日射も妨げられることから、腐朽劣化の懸念が特に高くなります。しかしながら、このように腐朽劣化の恐れが高いものとして、「地際の部材」として扱うべき範囲が明確に線引きできていません。

本書では、付録 A. に示す木製柵の調査結果（柱下部や梁下段の上端など、地面からの高さが 20cm 程度までの範囲では、梁中段や柱中部に比較して腐朽劣化の傾向が強いことが明確）を踏まえ、「地面との間に 20cm 程度のクリアランスを確保できていない材」を「地際の部材」として扱うこととしました。しかしながら、調査における梁中段や柱中部は、地面からの高さが 80cm～100cm 程度であり、本調査ではこれらの間、地面からの高さが 20cm～80cm 程度の部材に関する調査データが得られておらず、断絶があります。

これに関して、北海道立総合研究機構・林産試験場では「木製遊具の耐久性向上を図る設計資料集」<sup>※2</sup>にて、柱の根元（柱脚部）について、地盤面から 3cm の離隔を確保して鋼製金具にて接合することを提案しています。一方で、国土交通省の営繕部では、「木材を利用した官庁施設の適正な保全に資する整備のための留意事項」<sup>※3</sup>においては屋外の独立柱について、「木造計画・設計基準（平成 29 年改定）」<sup>※4</sup>においては屋外に位置する構造耐力上主要な部分について、周囲の地面から 40cm 以上の高さを確保して設置することを求めています。

これらのことから本書では、前述の通り「地面との間に 20cm 程度のクリアランスが確保できていない材」を「地際の部材」として扱うこととしましたが、地面から 20～40cm の範囲についても、腐朽劣化の発生のリスクを高め

て扱うことを提案しています（4.章）。今後、地面からの離隔距離と腐朽劣化の関係について、調査等により明らかにすることができれば、この地際として扱うべき材の範囲を明確化できると考えられます。

### カラマツ以外の木材、北海道以外の気候環境

本書における、調査分析の対象としたのは、北海道の気候環境において屋外設置された、カラマツ製の木製工作物（製材、木材保存剤加圧注入処理）のみです。北海道以外の気候環境における腐朽劣化や、カラマ

ツ以外の、例えばトドマツやスギなどの樹種の木製工作物の腐朽劣化については、一切の知見が得られていません。

これらの材や気候環境条件における腐朽劣化については、別途調査研究を行う必要があります。

．．．

#### 参考文献（6.章）

- ※1 土木学会 木材工学特別委員会：「JSCE 木材利用ライブラリー 002：木橋の耐用年数」、2011年11月、p.8～9  
<https://committees.jsce.or.jp/mokuzai/node/8>
- ※2 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：「木製遊具の耐久性向上を図る設計資料集」、2013年4月、p.1-1  
<https://www.hro.or.jp/list/forest/research/fpri/manual/mokuyugu/mokuyugu.htm>
- ※3 国土交通省大臣官房官庁営繕部：「木材を利用した官庁施設の適正な保全に資する整備のための留意事項」、2017年9月、p.8  
[https://www.mlit.go.jp/gobuild/gutai\\_torikumi.html](https://www.mlit.go.jp/gobuild/gutai_torikumi.html)
- ※4 国土交通省大臣官房官庁営繕部：「木造計画・設計基準（平成29年改定）」、平成29年3月29日 国営整第243号、2017年3月、p.10～11  
[https://www.mlit.go.jp/gobuild/moku\\_kijun.html](https://www.mlit.go.jp/gobuild/moku_kijun.html)



## **7. おわりに（今後の木材利用の推進にむけて）**

本書における調査研究でも明らかになったように、木材は設置環境や構造的工夫により、同一の材料でも腐朽に対する耐久性や期待される耐用年数に大きな差があります。木製工作物の長寿命化を検討する上では、ひとつには、木材を、腐朽を極力生じないような構造上の工夫を行なったうえで、適材適所で利用するということが必要になります。

また木材は、特に防腐処理（木材保存処理）を施した場合には、鋼材やコンクリートと比較しても、特段安価な材料というわけではありません。屋外空間で木材を利用した工作物等を設置しようと決断した施設管理者等を失望させないためにも、木材の耐久性や将来必要となる維持管理の頻度については、精度の高い予測データが提供されることが望まれるところです。

本技術資料については、そのための第一歩となっているはずと自負するところですが、6.章にも示したとおり、さらなる課題も残しているところです。

本技術資料において提示した研究成果等が活用されることにより、屋外空間における木材利用の推進と、それを支援するための調査研究・技術開発がさらに進展することに、今後とも期待を寄せています。

---

本技術資料は、寒地土木研究所において 2015 年度～2019 年度の期間で実施した「土木分野における木材利用に関する研究」の成果を活用して、取りまとめたものです。

本研究については、調査研究の一部を、地方独立行政法人北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場との共同研究として実施したほか、同試験場からは、木材に関する研究を専門とする立場から、上記の研究の実施にあたって多くの助言・指導をいただきました。ここに御礼を申し上げます。

---



**土木・屋外空間における木製材料の利用に関する技術資料（本編）**

2021年10月版

国立研究開発法人土木研究所

寒地土木研究所 地域景観チーム

<https://scenic.ceri.go.jp>

[scenic@ceri.go.jp](mailto:scenic@ceri.go.jp)



## 土木・屋外空間における木製材料の利用に関する技術資料：付録



国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所  
地域景観チーム



## 付録 A :

### 木製部材の経年と腐朽劣化の関係に関する調査結果

寒地土木研究所では、2015 年度～2019 年度の期間、北海道立総合研究機構 林産試験場とも共同で、主に道路に設置されている木製構造物の腐朽劣化状況に関する広範な調査を行いました。

本編 4.2 にも概要を紹介しましたが、ここでは、調査結果の少し詳細を紹介します。

屋外利用される木製部材の腐朽劣化の傾向や、本編で論じた腐朽劣化の発生の予測式・予測値の算定根拠について、より詳しく把握されたい場合などにご参照ください。

また、今回の我々の調査研究では、経年 16 年までの北海道の道路に設置されたカラマツ製工作物を対象に調査を行いました。同様の調査を行うことで、他の樹種の樹木や、北海道以外の気候環境における腐朽劣化の発生率を算出することも可能になるはずで

す。成果をご活用、ご参考にさせていただければと考えております。

#### 1. 調査の概要

##### 調査方法

- ・ピロディン計測器（写真 A-1）を用いた、既存の木製構造物の腐朽劣化状況調査。
- ・北海道内の道路に設置されている木製の「立入防止柵」、「防雪柵」、「歩道舗装」の 3 構造物（写真 A-2）。
- ・立入防止柵については、2000 年度～2014 年度に設置されたものを対象とし、調査時点（2015 年度～2019 年度）での経過年数は、3～16 年。
- ・部材・部位ごとに複数箇所での計測を行い、かつ個体差を考慮して、同一条件のものを各 100 個体調査。



写真 A-1 ピロディン計測器の概要と計測例

### 調査対象とした構造物：

北海道内の道路に設置されている木製の「立入防止柵」、「防雪柵」、「歩道舗装」の3構造物を対象とした。調査対象とした構造物は、2000年度（平成12年度）～2014年度（平成26年度）に設置されたもので、調査時点（2015年度～2019年度）での経過年数は、3～16年。

	材	構造	設置年	調査年	経過年数	調査数量
木製立入防止柵	カラマツ(間伐材) 防腐薬剤加圧注入処理	H=1.5～2.5m 柱：φ100～180 梁：φ100～160半割	平成12年度 ～26年度	平成27年度 ～31年度	3年～16年	3000体* (計測72000点)
木製防雪柵	同上	支柱は鋼製 防雪板：t30xW100xL2970を ユニット化	平成16年度	平成29年度	13年	23体 (計測69点)
木製歩道舗装	同上	H18施工：t140xW200xL2000 砕石路盤の上に敷き並べ H19施工：t120xW180xL2500 デッキ構造(コンクリート基礎の上に ボルト留め)	平成18・19年度	平成29年度	10年～11年	25体 (計測200点)

\* 概数。延べ調査数量。

表 A-2 調査対象とした木製構造物の一覧



写真 A-3 調査対象とした木製の道路構造物

(上段：立入防止柵、 左下：防雪柵、 右下：歩道舗装)



**調査対象とした構造物のうち、立入防止柵の仕様一覧：**

立入防止柵は設置事例が豊富で、経年が異なる構造物を比較して調査結果を分析できることから、主たる調査対象として広範に調査を行った。柵の構造や、用いられている材の樹種や加工形状、防腐処理薬剤、寸法などの仕様は、表 A-4 のとおり、それぞれに異なる部分があった。

なお、ロット 15~17 については、樹種がカラマツではなく、トドマツであったため、以降の分析では除外している。

ロット No.	施工年度	加工形状	樹種	防腐処理	前処理	寸法		構造	鹿対応	調査/設置地点	調査年度/経過年数			
						支柱	横梁				H28	H29	H30	R1
1	H12	剥皮丸太	カラマツ	AAC	-	160	160半割	A		愛別	16			
2	H12	剥皮丸太	カラマツ	AAC	-	180	160半割	A	H	比布	16			
3	H13	剥皮丸太	カラマツ	ACQ	-	140	140半割	A		愛別	15			
4	H14	剥皮丸太	カラマツ	ACQ	-	140	140半割	A	H	上川	14			
5	H15	円柱加工材	カラマツ	AAC	-	140	140半割	A		比布	13		15	16
6	H16	円柱加工材	カラマツ	ACQ	-	140	140半割	A		上川	12		14	15
7	H17	円柱加工材	カラマツ	ACQ	-	100	100半割	B	H	上川	11		13	14
8	H18	円柱加工材	カラマツ	ACQ	-	150	120半割	C		幸福	10			
	H18	円柱加工材	カラマツ	AZNA	-	150	120半割	C		幸福	10			
9	H19	円柱加工材	カラマツ	ACQ	-	150	120半割	C		幸福	9			
10	H17	円柱加工材	カラマツ	AZNA	-	125	90半割	C		幸福	11			
11	H19	円柱加工材	カラマツ	ACQ	-	100	100半割	B	H	上川中越	9			
12	H20	円柱加工材	カラマツ	ACQ	-	100	100半割	B	H	上川中越	8			
13	H24	円柱加工材	カラマツ	AZNA	インサイジング	150	120半割	C		忠類	4			
14	H25	円柱加工材	カラマツ	AZNA	インサイジング	150	120半割	C		忠類	3			
15	H21	円柱加工材	トドマツ	ACQ	圧縮処理	150	120半割	C		中札内	7			
16	H22	円柱加工材	トドマツ	ACQ	圧縮処理	150	120半割	C		中札内	6			
17	H24	円柱加工材	トドマツ	ACQ	圧縮処理	150	120半割	C		更別	4			
18	H13	剥皮丸太	カラマツ	AAC	-	160	160半割	B	H	名寄		16		
19	H17	円柱加工材	カラマツ	ACQ	-	140	140半割	B	H	上川		12		14
20	H17	円柱加工材	カラマツ	ACQ	-	125	90半割	C		幸福		12		
21	H18	円柱加工材	カラマツ	ACQ	-	140	140半割	A	H	下白滝		11		13
22	H20	円柱加工材	カラマツ	ACQ	-	100	100半割	B	H	白滝		9		
23	H21	円柱加工材	カラマツ	ACQ	-	100	100半割	B		白滝		8		
24	H22	円柱加工材	カラマツ	AZNA	インサイジング	160	120半割	C		中札内		7		
25	H23	円柱加工材	カラマツ	AZNA	インサイジング	160	120半割	C		更別		6		
26	H26	円柱加工材	カラマツ	AZNA	インサイジング	150	120半割	C		忠類		3		

※ 防腐処理	
水溶性木材保存剤 種別	
<b>AAC</b>	第四級アンモニウム化合物系
<b>ACQ</b>	銅・第四級アンモニウム化合物系
<b>AZNA</b>	アゾール・第四級アンモニウム・ネオニコチノイド化合物系

表 A-4 調査対象とした木製立入防止柵の仕様等一覧

## ピロディン計測器について

- ・写真 A-1 に示したとおり、内蔵のバネで打ち出した 2.5mm の計測ピンが、計測対象に何 mm 貫入するかで、計測点のごく近傍の木材の強度や密度を推計する装置。
- ・一定のエネルギー（6 ジュール）で計測ピンが打ち出されるよう、機器自体は校正されているため、最低限の計測方法さえ学べば、だれが扱っても同一の計測データが得られる。
- ・ただし、ピロディンによる計測値は、計測ピンを打ち込んだ木材のごく近傍の性状しか反映しないものであるため、計測箇所は適切に選ぶ必要がある（干割れの近傍や、節を避けるなど）。
- ・木材の腐朽劣化など、健全性の評価に最も一般的に使われている計測器具であるが、計測値自体は、腐朽劣化の程度だけでなく、もともとの木材の強度や密度などの特性の影響を受ける。
- ・このため、腐朽劣化の診断目的では、同種の健全な材における計測値を把握した上で、健全材における計測結果との比較で結果を評価する必要がある。
- ・また前述の通り、ピロディンによる計測値は、計測ピンを打ち込んだ木材のごく近傍の性状しか反映しないものであるため、材のうちの部分的に腐朽が発生しているケースなどでは、1 点の計測値では、部材全体の腐朽劣化の傾向を適切に示す結果とはならない。
- ・したがって、各部材等で複数点の計測を行い、結果を総合的に処理して、腐朽劣化の傾向を把握・評価する必要がある。

## 計測ロットごとの計測内容一覧：

支柱については、上部・中部・下部の GL（地面）からの高さ違いで 3カ所。ただし、支柱下部については、地面ぎりぎりを想定して計測対象として設定したものの、柵の構造と部材の取り合いから、柱下部/前後は GL 付近での計測が困難で、一部を除き GL+200 前後での計測となった。このため、地際（GL ぎりぎり）の腐朽劣化傾向については、柱下部/左右の結果のみを用いて分析を行った。以降、柱下部/前後を「柱下部」、柱下部/左右を「柱地際部」と区分して扱う。

横梁については、GL+1450 程度の上段と、GL+100 程度の下段のほか、中間にも横梁がある構造の柵の場合には中段を追加して調査対象とした（図 A-6）。

計測箇所	GLからの高さ(mm)**	計測数	計	
柱	上部 左右	1,450	各2カ所 (柱左右または前後) x100ユニット = 200	調査ユニットあたり 24または30カ所 x100ユニット
	上部 前後	1,350		
	中部 左右	800		
	中部 前後	800		
	下部 前後	25~200		
	下部 左右	25		
梁	上段 上端	1,450	各2カ所 (スパン左右) x100ユニット = 200	各調査区間ごと 2,400または 3,000カ所
	上段 下端			
	上段 裏			
	中段* 上端			
	中段* 下端			
	中段* 裏			
下段	上端	100		
	下端			
	裏			

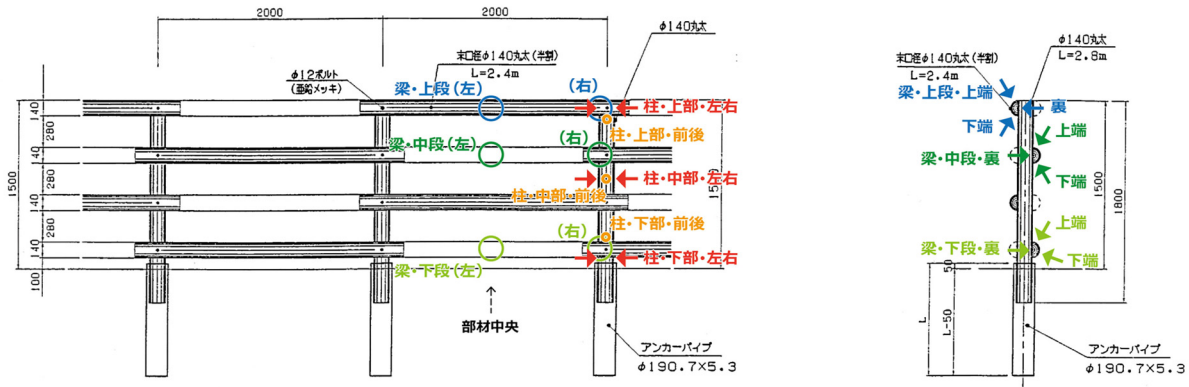
\* Aタイプ仕様 (H11~16) のみ      \*\* おおよその目安

表 A-5 木製立入防止柵の腐朽劣化状況調査におけるピロディン計測の概要

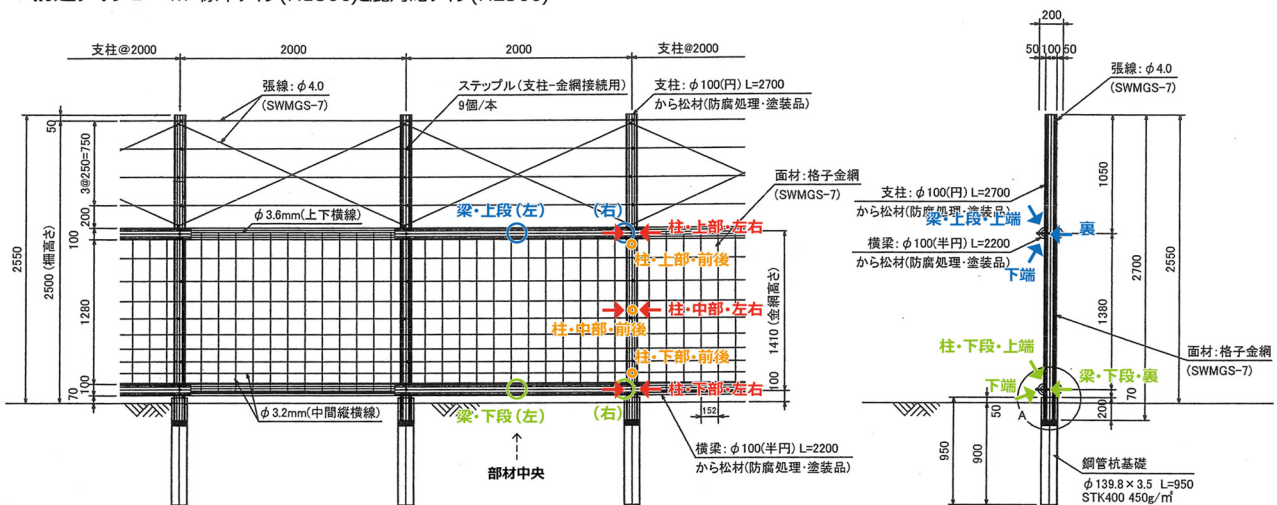
## 調査対象とした木製立入防止柵の構造およびピロディン計測位置

調査対象とした木製柵の構造は3種類(図A-6、A~C)。ただし、材の寸法や柵の高さ(鹿対応)については様々ある。柱は各力所、手前・奥・左・右の4点を計測対象としたが、横梁との取り合いなどの関係で、計測位置はわずらざるを得なかった部分がある。横梁については、いずれも半割材が用いられており、上端側・下端側と、垂直面となる半割面の計3点を、材の中央と端部の2カ所で計測した。

### ▼構造タイプA ※ 標準タイプ(H1500)と鹿対応タイプ(H2500)，初期型(材径大)と一般型(φ140)などのバリエーションあり



### ▼構造タイプB ※ 標準タイプ(H1500)と鹿対応タイプ(H2500)



### ▼構造タイプC ※ 標準タイプ(H1500)と鹿対応タイプ(H2500)

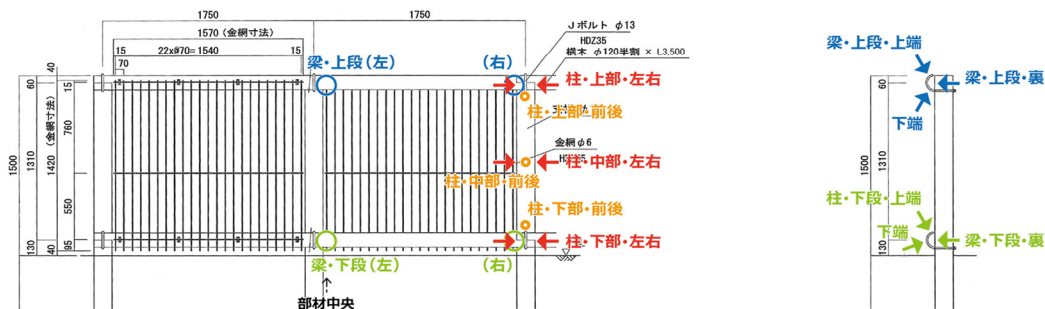


図 A-6 調査対象とした木製立入防止柵の構造図およびピロディン計測位置図

## 2. 計測結果

### 1) 健全材のピロディン計測値（Pe 値）の分布

表 A-4 および表 A-5 に示した計測調査結果のうち、腐朽劣化がほとんど見られないロット・調査部位のピロディン計測値を取り出して、計測値の分布をプロットしたのが図 A-7 および表 A-8 である。具体的には、表 A-4 のロット#6～#9 の木製立入防止柵（カラマツ、円柱加工材）について、その柱中部および梁上段/下端のピロディン計測値の分布（最も腐朽劣化の傾向が小さい部位にあたる）をプロットしたものである。

これらのピロディン計測値は、平均 15.5 程度、標準偏差 2.5 程度の正規分布形状を示した。

同様に屋外に設置されて供用されている木製工作物において、その木製部材が健全を保っているのであれば、ピロディン計測値はこれらの図表に示したような分布を示すはずと考えることができる。したがって、これらの分布形状からの計測値のズレを把握することで、木製部材の腐朽劣化状況について考察することが可能となる。

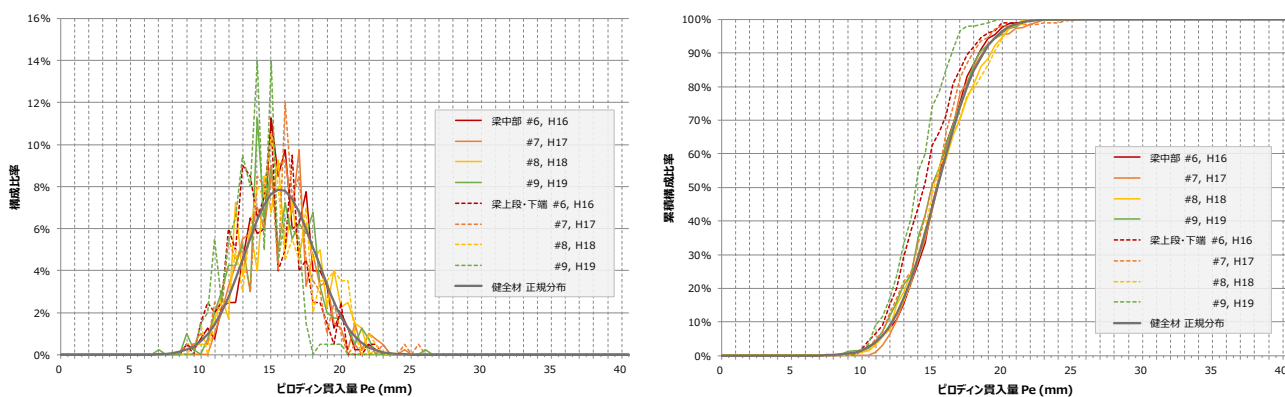


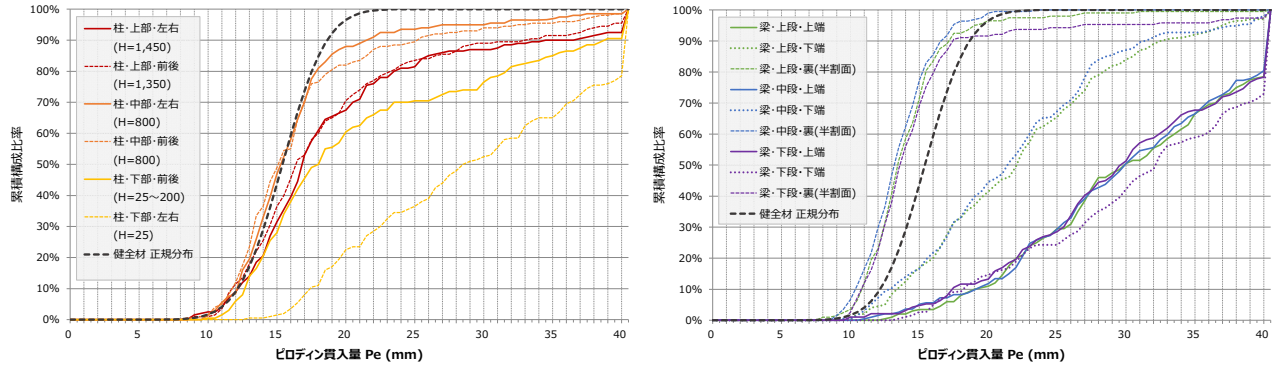
図 A-7 カラマツ健全材におけるピロディン計測値の分布（左：度数別分布、右：累積分布）

	柱中部 各4点 x 100スパン					梁上段/下端 各2点 x 100スパン					Total
	H16	H17	H18	H19	Total	H16	H17	H18	H19	Total	
平均	15.6	15.7	15.8	15.4	15.6	14.7	15.3	15.8	14.1	15.0	15.4
標準偏差	2.37	2.43	2.63	2.65	2.52	2.42	2.54	2.66	1.93	2.48	2.53
最大値	22.5	24.5	22.5	26.0	26.0	22.5	25.5	22.5	20.0	25.5	26.0
最小値	9.0	11.0	9.5	7.0	7.0	9.0	9.0	10.0	10.0	9.0	7.0

表 A-8 カラマツ健全材におけるピロディン計測値の平均値および標準偏差

## 2) 代表的ロットにおけるピロディン計測値の分布

表 A-4 の調査ロットのうち、腐朽劣化の傾向（ピロディン計測値の分布）が代表的なものとして、ロット #2、#6、#9 の計測結果を以下に示す。



A-9 図 ロット#2 (H12 設置、調査時 16 年経過) に関する計測結果 (左: 柱部材、右: 梁部材)

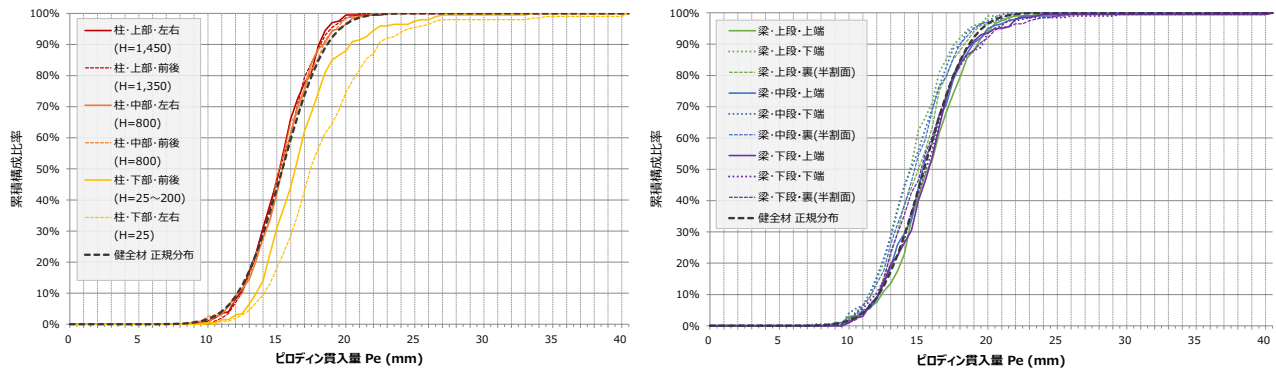


図 A-10 ロット#6 (H16 設置、調査時 12 年経過) に関する計測結果 (左: 柱部材、右: 梁部材)

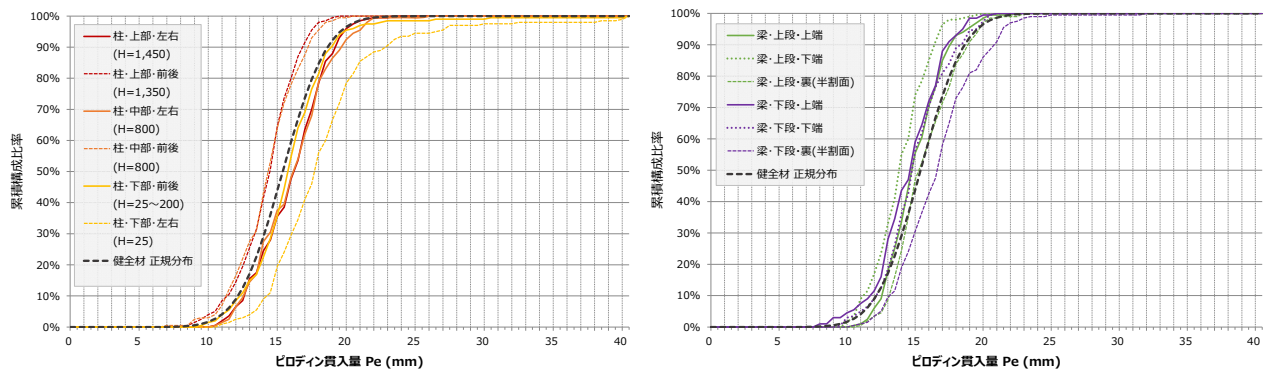


図 A-11 ロット#9 (H19 設置、調査時 9 年経過) に関する計測結果 (左: 柱部材、右: 梁部材)

ロット#2 (図 A-9) の計測結果は、図 A-7 の健全材のピロディン計測値分布とは明らかに違う傾向となっている。ピロディン計測値が 20 を大きく超えるものが多数にのぼり、分布形状も左右対称の正規分布形状とはなっていない。

図 A-9 左の支柱に関する計測結果からは、ピロディン計測値は最も地際に近い柱下部の左右で最も大きい傾向にあり、次いで柱下部の前後、柱上部、柱中部という順になっている。柱の地際部および下部について

は、地面からの水分や風通しのよい上部と比較すると湿潤になりがちな環境といったことが影響していると考えられる。柱の上部と中部を比較したときに、上部のほうが成績が悪いのは、天端小口面からの雨がかりの影響と考えられる。

図 A-9(右)の梁に関する計測結果からは、ピロディン計測値の分布傾向が、各梁部材の上端側か下端側か半割面かできれいに 3 分されており、ピロディン計測値が最も大きい傾向にある各梁の上端側、健全材の正規分布に近い傾向の半割面、中庸の下端側、という結果である。ただし、梁の下段に関してのみ、梁の下端側も他の材の上端側と同等のピロディン計測値の分布を示している。

梁の上端側の成績が悪いのは、部材表面への雨がかりと、それら雨水が、部材の表面に乾燥によって生じる干割れを通じて、部材内部に滞留することが影響していると考えられる。結果としては、地面に直接接している柱の地際の結果よりも悪い傾向にあるが、他のロットの計測結果も総合して勘案すると、ロット#2の剥皮丸太という材の加工形状が影響している可能性がある。梁の下端側については、これらの雨水の滞留の影響はほとんどないものと考えられるが、健全材の正規分布のラインに残ったものがほとんどみられない結果となっているのは、梁上端側で生じた腐朽が下端側にまで影響を及ぼしはじめているからであろう。梁下段のみ梁の下端も、他の梁上端側と同等の結果となっているのは、地際近くゆえの湿潤環境の影響と考えられる。

また梁の半割面について、計測結果が他の部位と比較して抜きんでて良く、健全材の正規分布よりも Pe 値で 1~2mm 程度全体的に計測結果が良い傾向にあるのは、これらの計測部位が 100%木材の心材部分にあたる（他の計測部位は、木材の心材部分よりも柔らかい傾向にある辺材部分である場合がある）ことが影響していると考えられる。心材部分は、辺材部分よりも腐朽劣化に強いともされている。

ロット#6（図 A-10）に関しては、多くの測定値がピロディン貫入量 Pe が 10~20mm の範囲に収まっており、図 A-7 の健全材の計測値分布と非常に良く似ている。したがって、構造物全体としても、設置初期同等に健全な状況を保っていると考えられる。ただし、図 A-10(左)に黄色で示した柱下部のグラフでは、計測値 Pe が 20 を超えるものが 1~2 割にのぼっている。

ロット#9（図 A-11）においては、多くの計測部位で、健全材の正規分布と同等か、それよりも成績が良いくらいの傾向にある。ただし、柱地際部（柱下部/左右）では、ピロディン計測値分布の左右対称形状が崩れ、ピロディン計測値が 40 近くになる計測点もあることから、いくらかの材では腐朽劣化が生じていることがみてとれる。

### 3) 各部位における経年に伴うピロディン計測値分布の変化

表 A-4 に示したうちの、ロット#1～#9 に関する計測結果を、調査部位ごとに示したのが、以下の図 A-12～16 である。

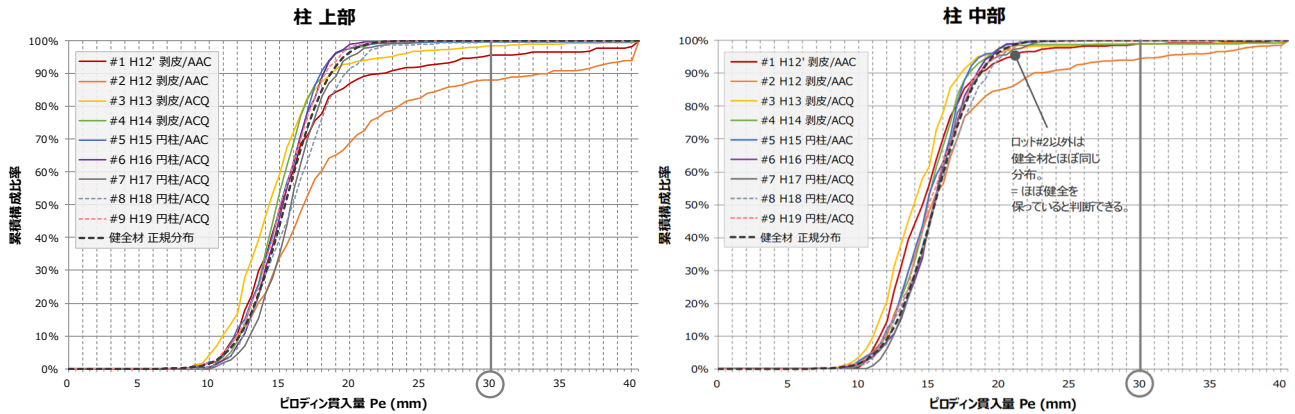


図 A-12 柱上部および柱中部

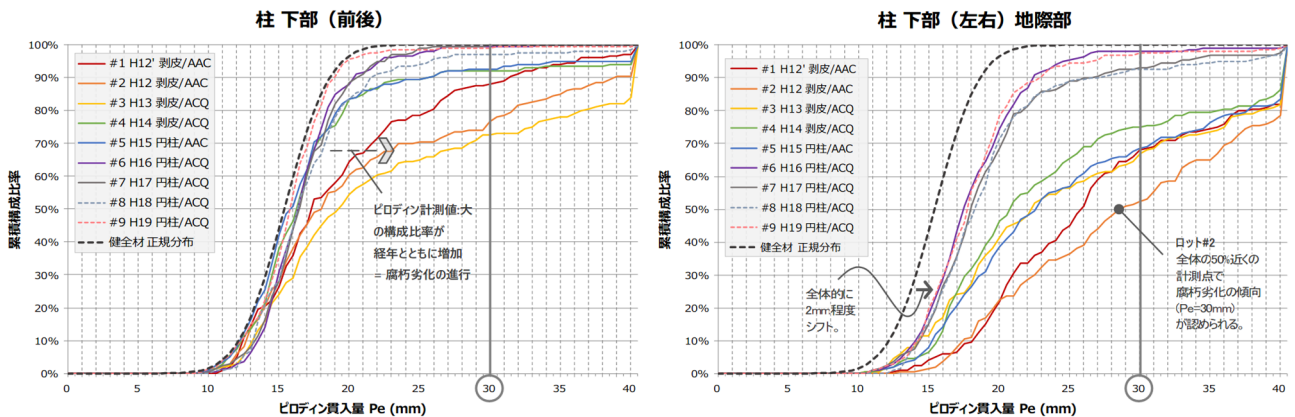


図 A-13 柱下部および柱地際部

図 A-12～13 は柱部材における計測結果を調査部位ごとに示したものである。

柱上部 (図 A-12 左) ではロット#1～3、柱中部 (図 A-12 右) ではロット#2 を除き、ほぼ腐朽劣化の傾向はみられない。健全材と同様のピロディン計測値の分布を保っている。

柱地際部 (左右/H=25、図 A-13 右) では、ロット#1～5 で腐朽劣化が著しく、カラマツ材における腐朽劣化の目安とされるピロディン貫入量  $Pe=30$  を基準として考えれば、おおよそ 3 割以上の計測点でこれを超えている。ロット#6～9 では、これらほど腐朽劣化の傾向は著しくないが、数%～10%程度の計測点で  $Pe=30\text{mm}$  を超えている。

柱下部 (前後/H=25～200、図 A-13 左) では、柱地際部ほど顕著ではないが、ロット#1～3 で腐朽劣化の傾向が強く、ロット#4～5 もそれに続く。一方で、ロット#6～9 では腐朽劣化の傾向を示す計測点は多くない。

また、これらのグラフ (図 A-12、13) からは、腐朽劣化の目安とされる  $Pe=30$  を超える計測点が 10% 程度までの段階であれば、残りの多くの計測点 (累積で 80%程度まで) では健全材と同様の計測値分布を保っていることが見て取れる (図 A-12 左: 柱上部のロット#1、図 A-13 左: 柱下部のロット#4 や#5 など)。

その後、経年と腐朽劣化が進行し、 $Pe=30$  を超える計測点が 3 割近くになる段階になると、グラフ全体が大きく右下方向に崩れ、多くの計測点で、健全材の計測値分布から逸脱した計測値を示すようになってきている。例えば、図 A-13 左：柱下部のロット#1～3 では、健全材同様の分布ラインに残っている計測点は 3 割程度にすぎない。

一方で、図 A-13 右：柱地際部のロット#6～9 では、グラフ全体が健全材の分布ラインから右方向にシフトしている様子が見て取れる。健全材同等の分布ラインにある計測点は一切ない。これは前述の腐朽劣化の進行に伴うとみられるピロディン計測値の分布形状の変化の傾向とは大きく異なる。ピロディン貫入量  $Pe$  でいえば 2mm 程度であるが、これは含水率の影響の可能性がある。木材は含水率が高くなると材がふやけ、硬度や強度が低下する傾向にあるが、これはそれを反映したものと推察される。したがってこのようなピロディン計測値の分布全体のシフトは、腐朽劣化の発生の増大とは直接の関係がない現象と考えることができるが、一方で、含水率の高さ、湿潤な環境は、腐朽劣化の進行の要因のひとつであることから、耐朽性上問題のある状況ではある。

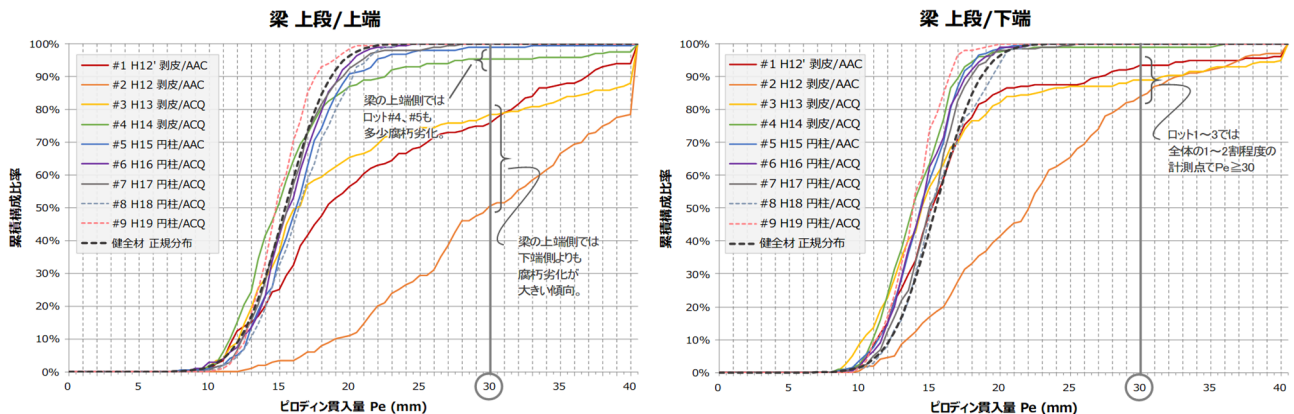


図 A-14 梁上段

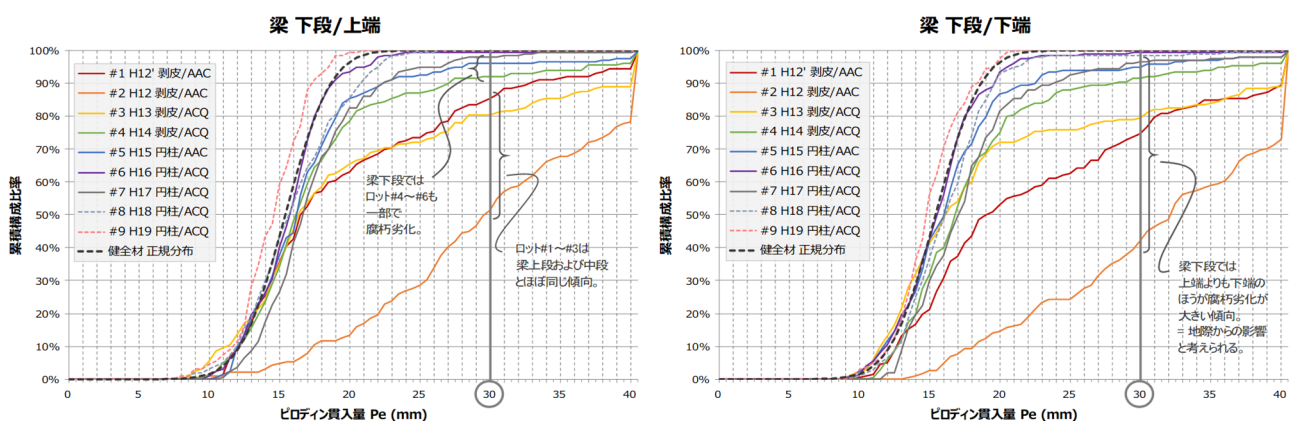


図 A-15 梁下段

図 A-14 および図 A-15 は、梁上段および梁下段の部材について、それぞれ上端側と下端側の計測点 (図 A-6) について計測結果を示したものである。

このうち梁上段 (図 A-14) では、梁下端側 (同図右) よりも上端側 (同図左) のほうが計測結果が悪い



傾向にあり、上端面側の雨がかりの影響がうかがえる。

一方、梁下段（図 A-15）では、上端側と下端側であまり差が見られず、全体的には梁上段/上端と同等よりやや悪いくらいの調査結果となっている。このことから梁下段では、梁上段と異なり、雨がかりの影響よりも地際からの影響のほうが強く、部材の腐朽劣化に影響していると考えられる。

ロットごとにみても、梁上段/上端ではロット#1～4、梁上段/下端ではロット#1～3 を除いては腐朽劣化がほとんどみられない。一方、梁下段ではロット#1～3 に加え、ロット#4、5、7 でもいくらかの腐朽劣化の傾向がみられる。

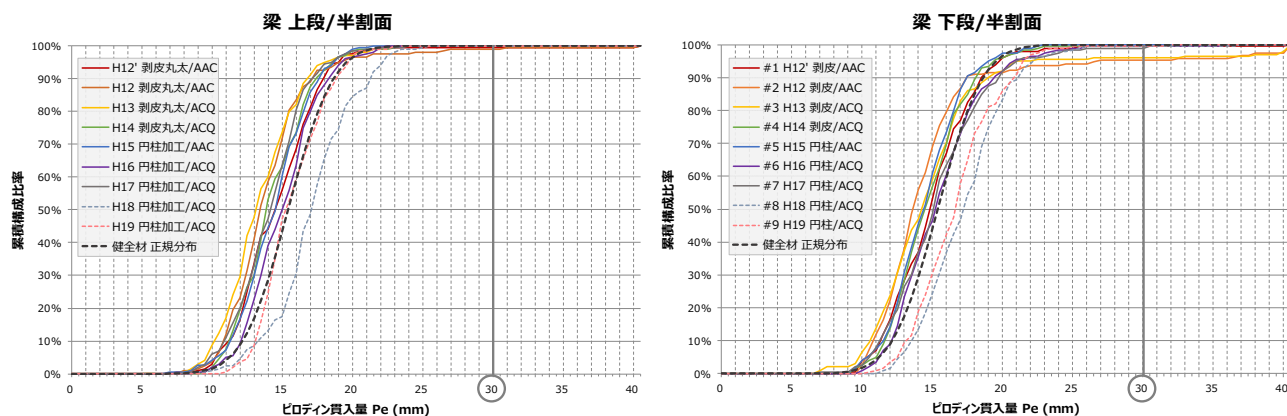


図 A-16 梁半剖面

図 A-16 は、梁の半剖面（図 A-6）における計測結果を示したものである。

これらの計測点は、図 A-6 に示したとおり、地面に垂直な面にあり、部材表面における雨水の滞留が発生しない。また、木材の心材にあたる部位であり、もともと辺材に比べて硬く腐朽劣化にも強い部位にあたる。

これらの影響もあってか、多くのロットで、図 A-7 の健全材のピロディン計測値の分布よりも、ピロディン計測値が小さいくらいの傾向にある（ピロディン貫入量 Pe にして 1～2mm 程度、全体的に分布が左にシフト）。ただし、梁下段のロット#2 および#3 では、5%ほどの材で Pe=30 超えとなっているほか、ロット#8 および#9 では、全体的にピロディン計測値が大きい方向にシフトしている。

#### 4) 経年と腐朽劣化の発生率に関する分析結果

以上 3)までの分析考察では、ピロディンによる各計測点における計測値をもとに分析考察を行ってきたが、前述のとおり、ピロディンによる計測値は、計測点のごく近傍の木材の性状しか反映されない。

本調査では、表 A-5 および図 A-6 のとおり、柱と梁で構成される柵構造物について 24～30 の測定部位を設定し、かつ各調査ロットごと 100 個体を調査の対象とした。

例えば柱の中部には 4 の測定点を設定して、それを 100 個体分計測したので、全部で 400 点分の計測値データがある。ただし、このうちの 100 点についてピロディン計測値  $P_e$  が腐朽のレベルを示したとしても、それが 100 個体それぞれの 4 測定点のうち 1 点ずつだけに分布していたとすれば、100 個体すべてに局所的に軽微な腐朽がみられる、ただし、4 測定点のうち残り 3 点では計測値はまだ健全を示しており、即座に危険という状況ではない、という判定になる。しかし一方で、腐朽劣化の傾向を示す 100 計測点が 25 の個体に集中していて、それらの材では 4 測定点がすべて腐朽劣化判定、ということであれば、それら 25 個体では腐朽劣化が部材全体に蔓延していて、即座に処置が必要な危険な状態、という判定になる。

したがって、部材交換や補修などの処置が必要な部材の比率を、ピロディン計測値をもとに判定するにあたっては、複数計測点のデータを組み合わせて、個体ごとに腐朽劣化を判定する必要がある。

そこで本調査では、図 A-17 のとおり、腐朽劣化を判定することとした。

各調査部位、同一断面内にある計測点のデータを組み合わせ、同一断面内の複数の計測点で腐朽劣化（ピロディン貫入量  $P_e$  が 30 以上）となった場合に、部材全体に腐朽劣化が進行しているとして、当該部材を腐朽劣化・要処置として判定する。（ただし、計測点数の不足により、柱下部・地際部などでは同一断面内に 2 点しか計測点がないため、1/2 はセーフ、2/2 になるとアウトという、若干危険側の判定方法となっている（同一断面内の計測点数が 4 点の柱中部などでは、2/4 でアウトの判定。））

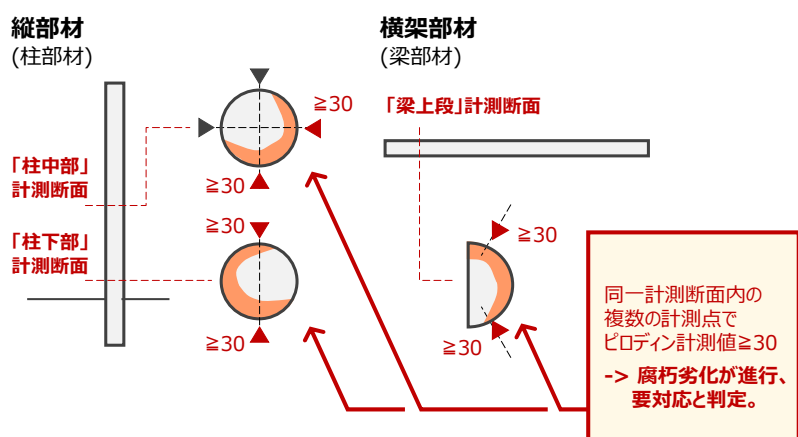


図 A-17 本稿で用いたピロディン計測値に基づく腐朽劣化の判定の基準

この判定基準に基づき、柱地際部、柱下部、柱中部、柱上部、梁下段、梁上段の各断面において腐朽劣化を判定し、各調査ロットごとに腐朽劣化と判定された個体の比率をプロットしたのが、図 A-18 である。図中において、プロットの色は木材保存剤（防腐処理薬剤）の種別を、白抜きと塗りは、材の加工形状の違いを示す。

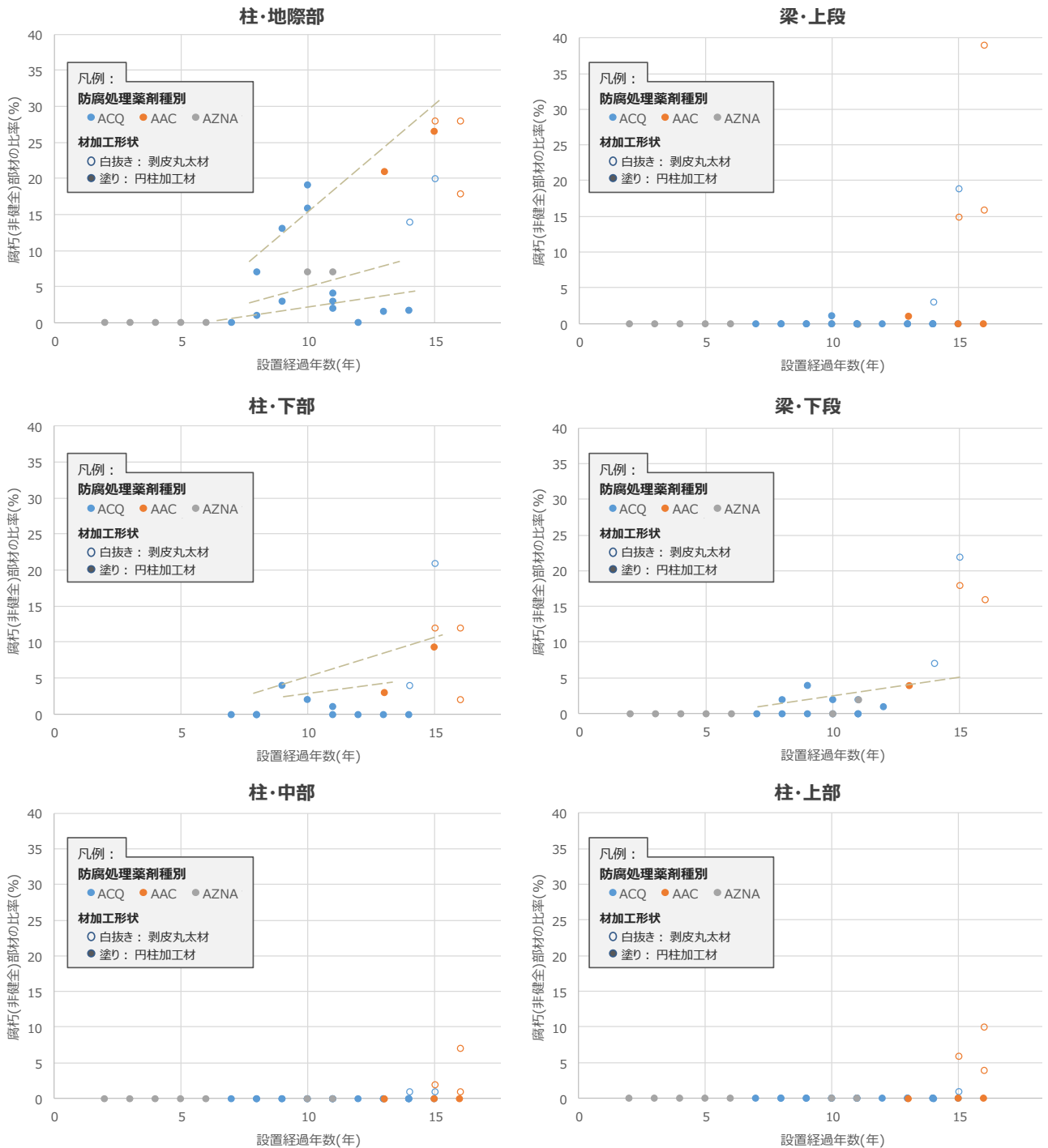


図 A-18 経年と腐朽劣化と判定された部材の比率

図 A-18 からは、白抜きで表される剥皮丸太材で腐朽劣化の傾向が著しいほか、部位ごとの腐朽劣化傾向の大きな違いも読み取れる。ただし剥皮丸太材（図中の白抜きプロット）を除くと、腐朽劣化と判定される個体数は多くの部位で数%以下であり、これを超えるのは、柱地際部と柱下部だけである。

また、柱地際部で顕著であるが、同一仕様・同一経過年数であっても腐朽部材の発生比率に倍以上の差があるケースや、経過年数が古いものよりも若いもので腐朽部材の発生比率が高くなる逆転の結果も少なからず確認される。調査対象の工作物の設置環境の違いや、納入当初の微妙な仕様の違いなどが影響している可能性があるが、本調査の範囲では特定できていない。

これらから、各部材における腐朽劣化の発生率の傾向は、大きく 4 つに分類できる。1 つめは、剥皮丸太材を除きほとんど腐朽劣化の発生がみられない「柱中部」および「柱上部」。次に、10～15 年で一部のロットにおいてわずかながら腐朽劣化がみられる「梁上段」。3 つめに、もっとも腐朽劣化が著しい「柱地際部」。柱地際部では、最も腐朽劣化著しい傾向にあるロットでは、10 年で 15～20%、15 年で 25～30%の材に腐朽劣化が生じている。最後に、それよりは腐朽劣化が穏やかではあるものの、少なからずの材に腐朽劣化が生じている「柱下部」および「梁下段」。これらは、地面からの高さが 20cm 程度までの範囲にある部材の部分であり、柱地際部同様に、地面からの湿気など、地際近くの湿潤な環境の影響を受けていると考えられる。腐朽劣化の発生率の程度としては、「柱地際部」の中庸程度～腐朽劣化が最も少ないグループと同程度である。

## 5) ピロディン計測値の詳細

4)で述べたとおり、剥皮丸太材は、円柱加工材などのその他の製材とは異なる腐朽劣化の傾向を示している可能性がある。そこでここでは、最も代表的な仕様である、カラムツ・製材部材のロットにつき、部位別のピロディン計測値の分布を改めて掲載しておく。

図 A-19～22 には、表 A-4 の計測結果のうち、柵の構造が図 A-6 に示すタイプ A およびタイプ B のものを、図 A-23～26 には構造タイプ C のものの計測結果を、2)同様の方法で示した。

### 構造タイプ A・B の木製立入防止柵の計測結果

図 A-19～23 に、柵の構造タイプが A あるいは B のものの計測結果を示す。

柱上部および中部（図 A-19）では、ほぼ腐朽劣化の傾向（ピロディン計測値の異常）はみられない一方、柱下部および地際部（図 A-20）では、3)において示した結果同様に、腐朽劣化の傾向がみられる。

なお、図に緑実線で示したロット#11 のみ、全体的にピロディン計測値が 2mm 前後大きい傾向にある。この傾向は図 A-20 の柱下部や地際部でより顕著になるが、計測値が 30 を大きく超えるような結果はそれほど多くなく、計測値の分布も左右対称の形状を比較的保っている。全体的にピロディン計測値が大きめの傾向にあるのは、このロット特有のようであるが、その要因等までは本調査の範囲では不明である。

ピロディン計測値の悪化は、きれいな経年順とはなっておらず、相対的に結果が悪いのは、黄点線のロット#21、紫実線のロット#12、前述の緑実線ロット#11 である。逆に経年のわりに結果が良いのは橙実線のロット#6 である。

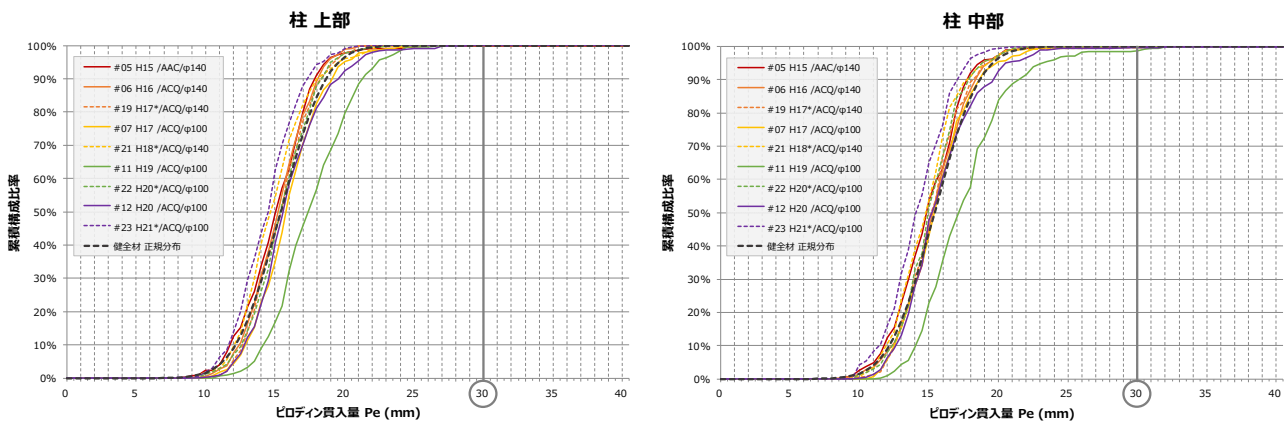


図 A-19 柱上部および柱中部

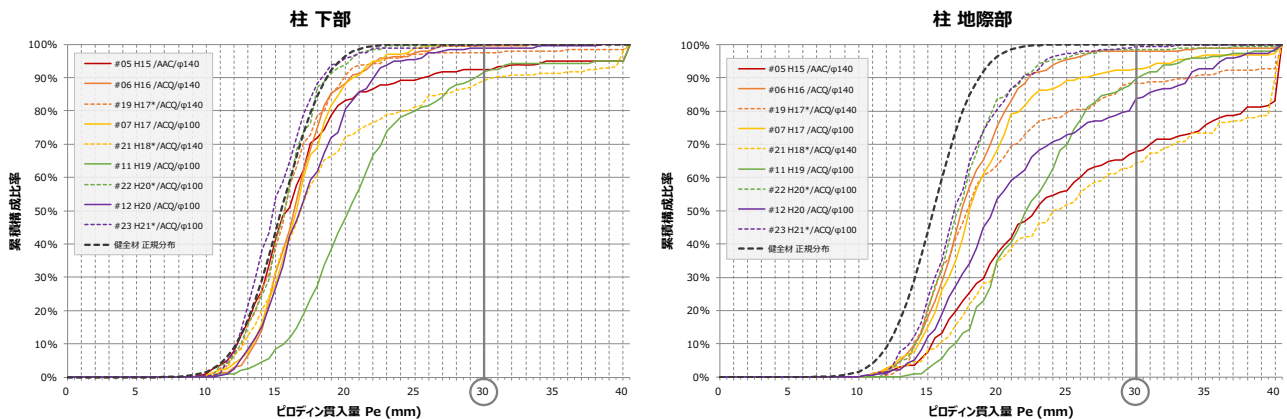


図 A-20 柱下部および柱地際部

図 A-21 および 22 については、梁部位の計測結果について示したものである。

これまでに示した結果の傾向に比較して特筆すべきことは特にないが、やはり緑実線のロット#11 と紫実線のロット#12 が、ピロディン計測値が大きい傾向にある。

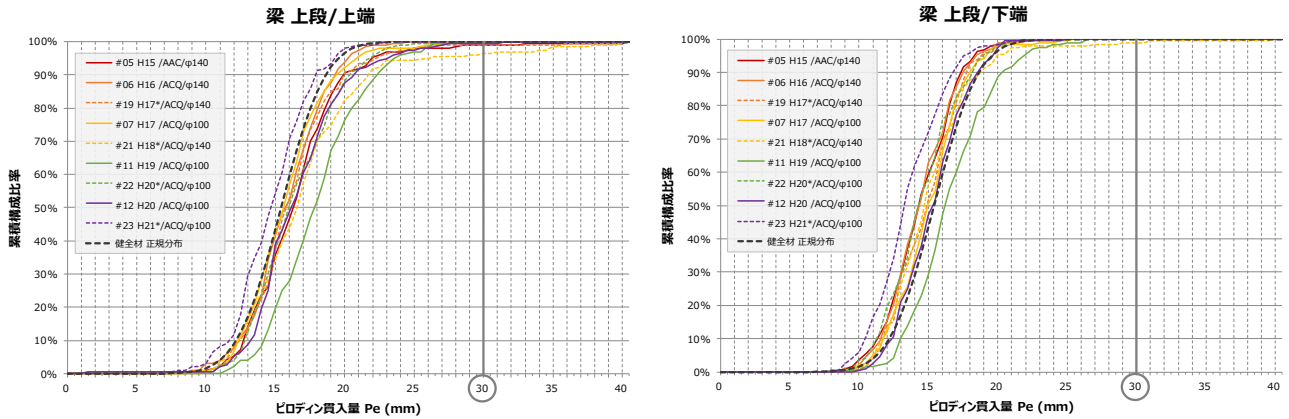


図 A-21 梁上段

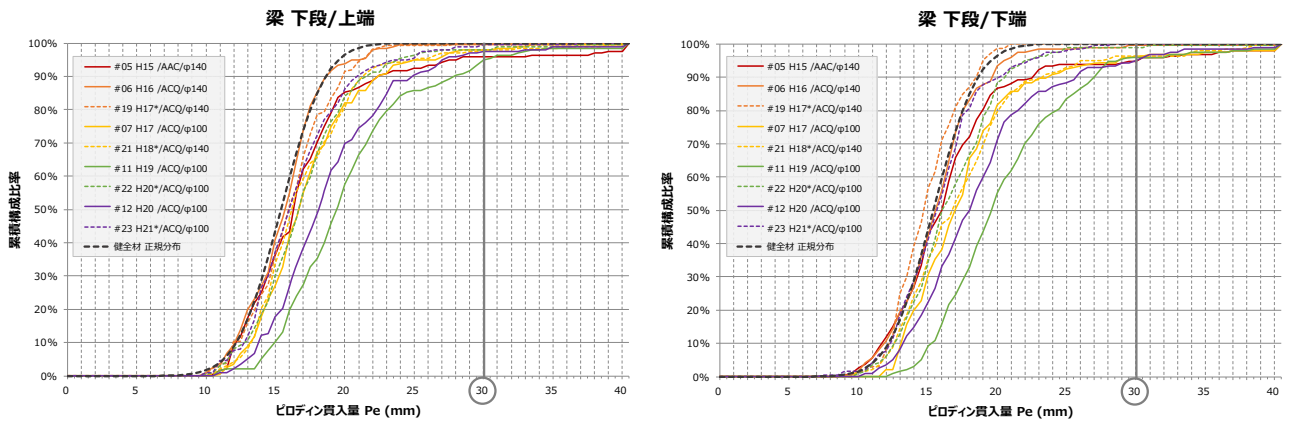


図 A-22 梁下段

## 構造タイプCの木製立入防止柵の計測結果

表 A-4 のうち、構造タイプCの木製立入防止柵の計測結果を、図 A-23～26 に示す。ただしここでは、計測時点での経年が5年以下のもの（ロット#13、14、26）は結果を割愛した。なお、掲載の結果のうち、ロット#24、#25 は、木材保存剤の加圧注入処理の前に、薬液の浸透を改善するためのインサイジング処理が施されたものである。

柱上部および柱中部（図 A-23）に関しては、傾向としては、構造タイプ A・B のもの（図 A-19）と同様であり、腐朽劣化の傾向（ピロディン計測値の異常、健全材正規分布からの逸脱）はほとんどみられない。

柱下部（図 A-24 左）の結果が、構造タイプ A・B の結果（図 A-20 左）に比べて悪い傾向にあり、図 A-24 右の柱地際部の結果に類似しているのは、構造タイプ C における柱下部の計測位置（GL から 25～200mm の範囲で、他の部材との取り合いで計測不可能な箇所を除き、なるべく GL に近い位置）が、構造タイプ A・B の場合に比較して GL に近くなりがちであったことを反映していると考えられる。

なお、図 A-24 の柱下部および地際部で、ロット#24 および#25 のみ、計測値が 30mm を大きく超えるような計測結果がほとんどなく、計測値分布の左右対称形状も比較的保たれている。すなわち、腐朽劣化の傾向が他に比較して顕著に少ない傾向にあるように見受けられるが、これが前述のインサイジング処理の寄与か、単純に経年が浅いことによる影響か、またはまったく別の影響かまでは、残念ながらわからない。

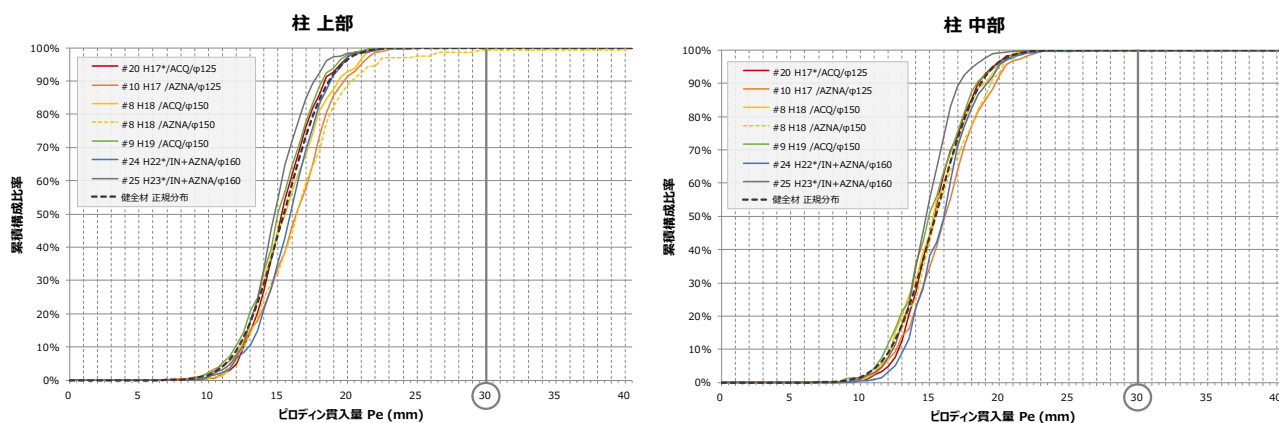


図 A-23 柱上部および柱中部

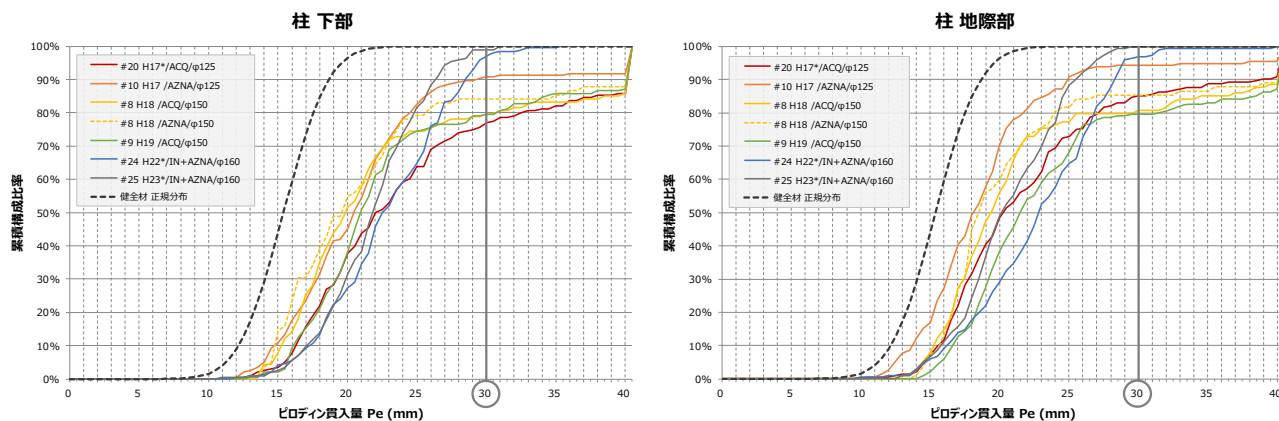


図 A-24 柱下部および柱地際部

図 A-25 および図 A-26 の梁部材の結果に関しては、計測値の分布に 1~2mm 程度のずれはあるものの、正規分布の左右対称形状はいずれでも維持されており（梁下段/上端および下端のロット#20 のみ若干怪しいが）、ほぼすべての部材で健全な状態が保たれていると判断できる。

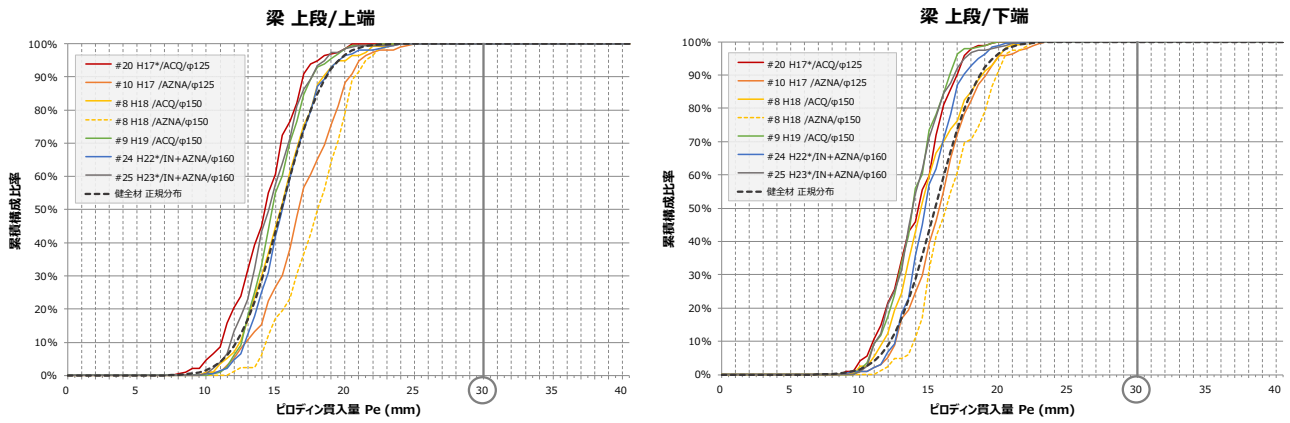


図 A-25 梁上段

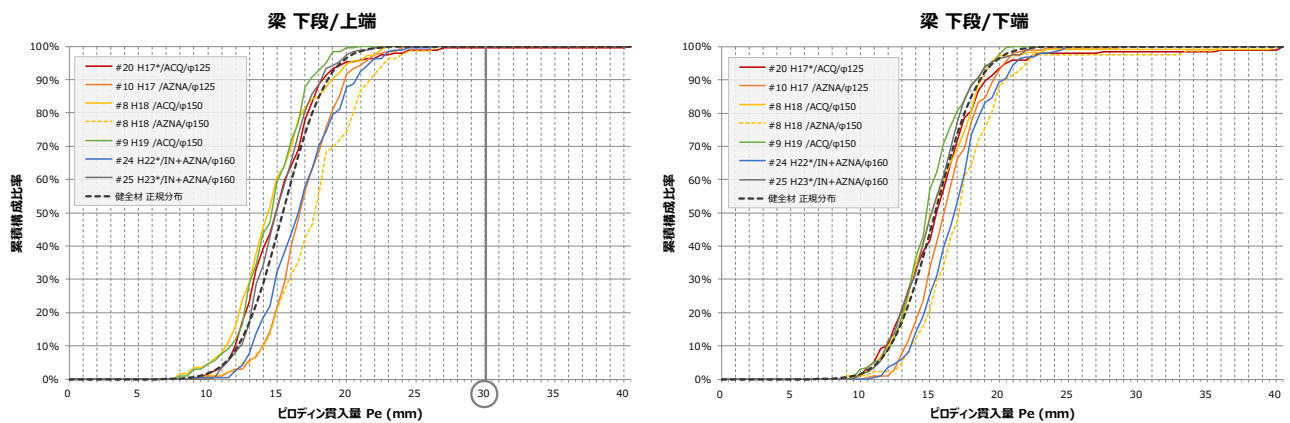


図 A-26 梁下段



### 3. 立入防止柵以外の構造物

#### 1) 木製防雪柵

表 A-2 に示した木製防雪柵に関する調査結果を紹介する。

調査対象とした木製防雪柵は、北海道オホーツク地方の道路に設置されたもので、設置は平成 16 年度、調査時点での経過年数は 13 年であった。基礎をコンクリート、支柱を鋼製 H 型鋼とし、防雪板のみを木製としており、支柱にボルト留めされた山形鋼で挟み込むように木製防雪板は固定されている（写真 A-3）。同様の構造の防雪柵は、平成 16 年度以降も複数年にわたって設置されているが、事前の調査によっていずれにおいても腐朽劣化がほとんど見られないことが確認されており、ピロディンによる計測調査は、これらのうちで最も古い、平成 16 年度設置のものについてのみ実施した。

当該木製防雪柵の構造およびピロディン計測位置を図 A-27 に、計測調査結果を図 A-28 に示す。

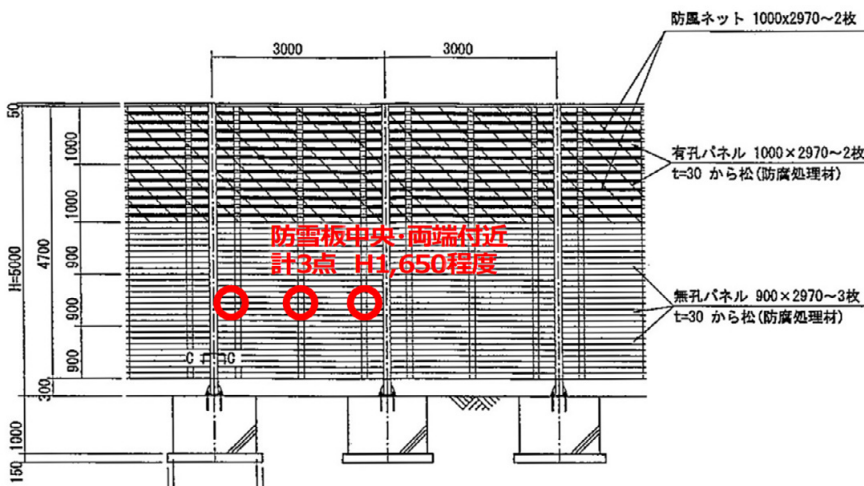


図 A-27 調査対象とした木製防雪柵の構造図およびピロディン計測位置図

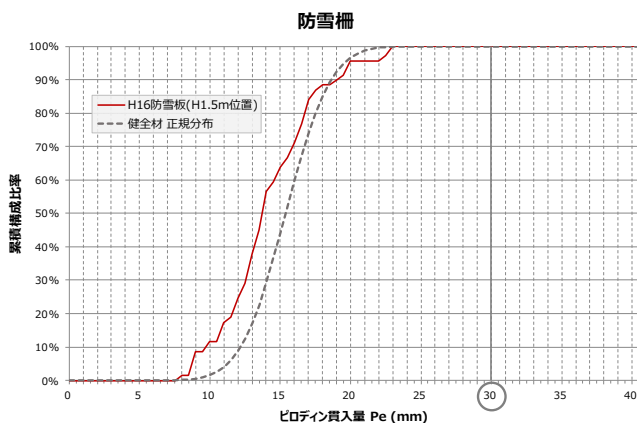


図 A-28 木製防雪柵の防雪板に関するピロディン計測調査結果

図 A-28 にては、計測点数が少ない（69 点）ためにグラフの分布形状が多少いびつであるが、いずれの計測点も、健全材同等の分布ライン上にあることが読み取れる。

目視による調査のみを行ったものを含め、これらの木製防雪柵について、腐朽劣化の傾向は見当たらなかった。これには、木製防雪板部材は、最上段以外は雨がかりのない横架部材であることなどが寄与していると考えられ、このような構造では、優れた耐腐朽性が期待できると評価できる。

これらの調査結果から得られる考察は以下のとおりである。

- ・防雪板は、地際の影響も部材表面における雨水の滞留の影響も受けない横架材であり、腐朽劣化の一因となる水分の影響下になく、優れた耐腐朽性が期待できる。
- ・構造物全体としても、支柱を鋼製としているため、木製立入防止柵の場合に見られたような支柱根元部材の腐朽劣化に伴う、構造物全体としての健全性低下、部材交換等の必要性が生じにくい、維持管理性に優れた木材利用工作物であると評価できる。

## 2) 木製歩道

表 A-2 に示した木製歩道の舗装板に関する調査結果を示す。

北海道上川地方の道路に設置されたもので、設置は平成 18 年度および平成 19 年度、調査時点での経過年数はそれぞれ 10 年および 11 年であった。材はカラマツ間伐材、角柱状の製材で、他の構造物同様に木材保存剤の加圧注入処理が行われている。

平成 18 年度設置のもの（図 A-29 左）は、砕石路盤の上に木材を直接敷設した構造、平成 19 年度設置のもの（図 A-29 右、写真 A-3 右下）は、コンクリート布基礎の上に木材を渡したデッキ構造である。いずれの舗装も片方の端はコンクリート縁石またはアスファルト舗装に接しており、もう片方の端部は路肩の土に接している。

これらに関する計測結果をプロットしたのが図 A-30 である。

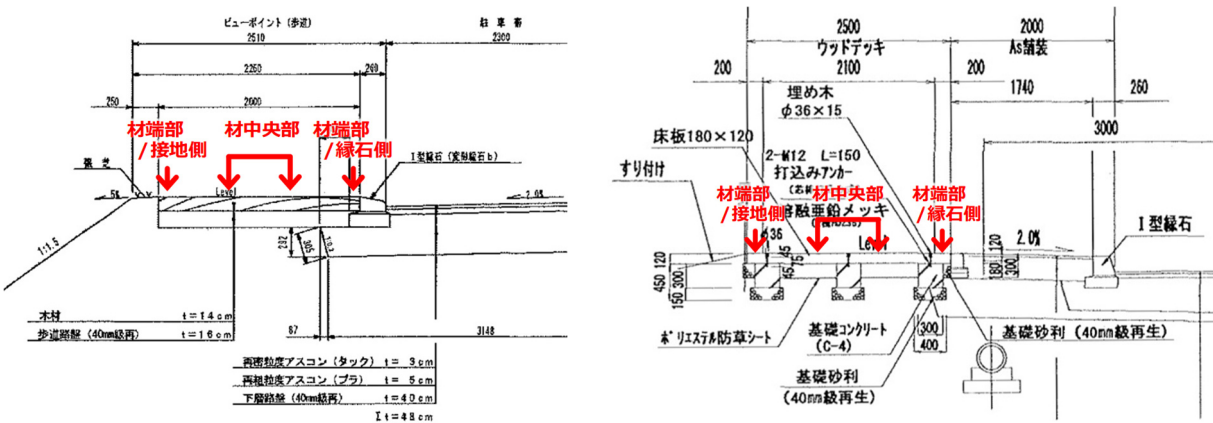


図 A-29 調査対象とした木製歩道の構造図およびピロディン計測位置図  
（左：H18 設置タイプ、右：H19 設置タイプ）

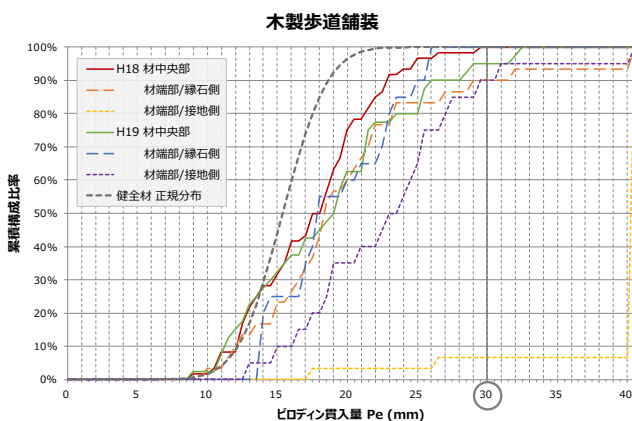


図 A-30 木製歩道に関するピロディン計測調査結果

図 A-30 からは、接地側の材端部で腐朽劣化が最も著しく、特に H18 年度設置のものではほぼすべての材で Pe40mm となっている。材中央部などでは比較的腐朽劣化が軽微ではあるが、木製立入防止柵の柱地際部（図 A-20 右）と同等には劣化が進行しているように読み取れる。また、H18 と H19 を比較すると、経年が

1年しか変わらないにも関わらず、H18設置のものの方が、腐朽劣化が進行している。写真A-31は、これらの木製歩道舗装に関する腐朽劣化の状況の一例である。

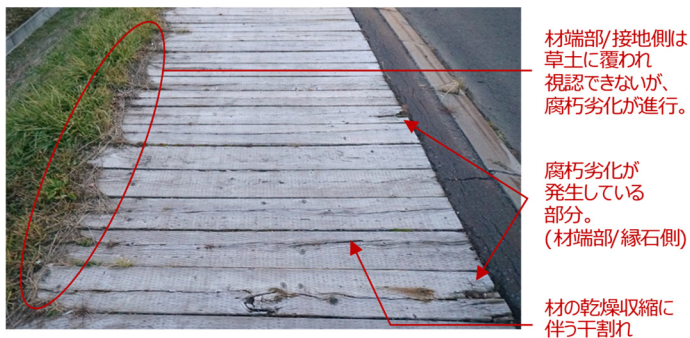


写真 A-31 木製歩道舗装に関する腐朽劣化状況の一例

これらの調査結果から得られる考察は以下のとおりである。

- ・ 地面に接する端部側の十センチメートル程度の範囲は、特に腐朽劣化が著しく（図 A-30 の紫線および黄線）、腐朽劣化が進行してぼろぼろになり、欠損した部分については土や草に覆われている。このように土に接する部分を作るのであれば、土に還ることを前提とし、これを想定した構造とする必要がある。
- ・ その他の部分についても、木製歩道柵の支柱地際部分と同等には腐朽劣化が進行しており、このように地面や舗装面に並べて木材を敷き並べる構造においては、部材のすべてを地際相当として、腐朽劣化の傾向を扱うのが妥当である。
- ・ H18設置のものは、碎石路盤の上に木材を敷き並べただけの簡易な構造であるが、H19設置のもののようにデッキ構造とする場合に比較すると、耐腐朽性の面で課題がある可能性がある。

#### 4. 調査結果から得られた考察のまとめ

本付録 A.を通じて紹介してきた、本調査を通じて得られた知見および考察を改めて簡潔にまとめると、以下のとおりである。

- ・健全材（カラマツ・辺材部）におけるピロディンによる計測値は、最も一般的な場合、平均 15.5 程度、標準偏差 2.5 程度の正規分布を示す。
- ・含水率の増大などにより、ピロディン計測値の平均値は、増大する方向にシフトする場合があるが、その場合でも、腐朽劣化等による一部の部材における強度低下等が発生していなければ、ピロディン計測値全体の分布は正規分布を維持する。
- ・一部の部材等に腐朽劣化が発生し、強度低下が発生するようになってくると、ピロディン計測値の分布の正規分布形状および左右対称性が崩れるようになる。これを腐朽劣化の発生の兆候として扱うことが可能である。
- ・工作物の木製部材の腐朽劣化は、地際部で最も著しく、その他の腐朽劣化要因としては、垂直部材（柱等）の天端木口、横架部材の天端面に生じた干割れへの雨水滞留などが確認された。
- ・剥皮丸太材については、円柱加工材などの製材材料に比較して、腐朽劣化の程度が著しい。これには、木材保存剤が十分に浸透した材表面部分が、剥皮丸太材では樹皮部分にあたることが多く、それが部材設置・供用後の乾燥により収縮・剥離しやすいことなどが影響していると考えられる。

本付録にて紹介した調査結果・計測データ等を、本技術資料における提案内容の根拠の理解や、今後の同種の調査分析に活用いただければ幸いである。



**土木・屋外空間における木製材料の利用に関する技術資料：付録**

2021年10月版

国立研究開発法人土木研究所  
寒地土木研究所 地域景観チーム

<https://scenic.ceri.go.jp>

[scenic@ceri.go.jp](mailto:scenic@ceri.go.jp)