

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	
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
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

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	1,000		
	中段 * 下端			
	中段 * 裏			
下段	下段 上端	100		
	下段 下端			
	下段 裏			

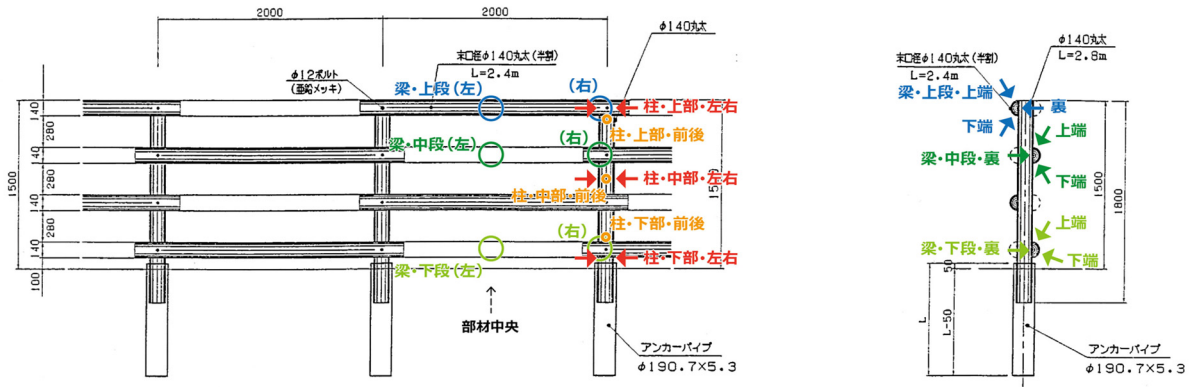
* Aタイプ仕様 (H11~16) のみ ** おおよその目安

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

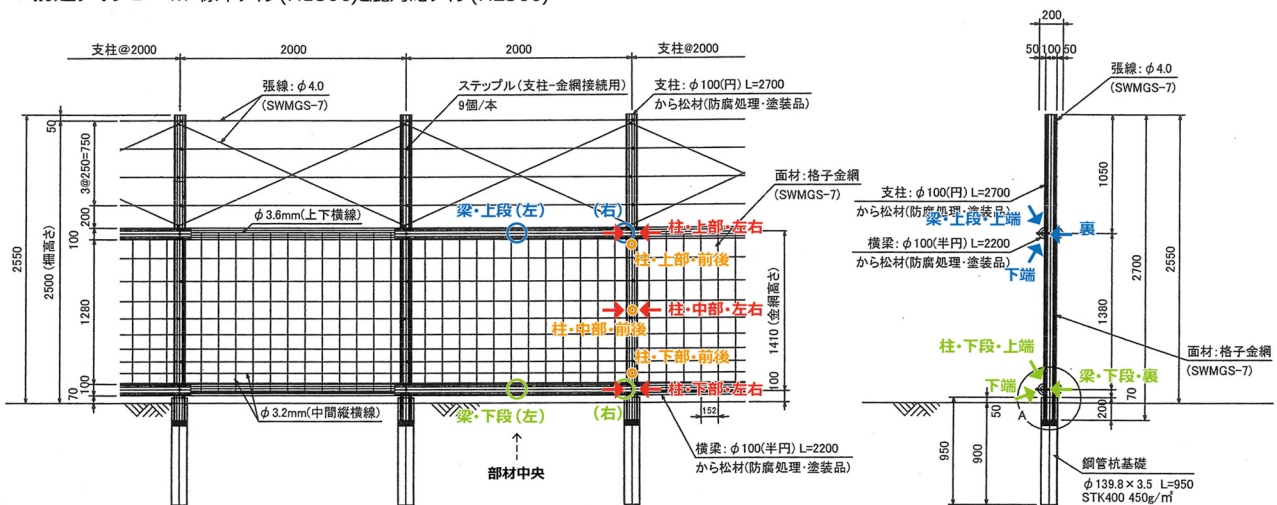
調査対象とした木製立入防止柵の構造およびピロディン計測位置

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)

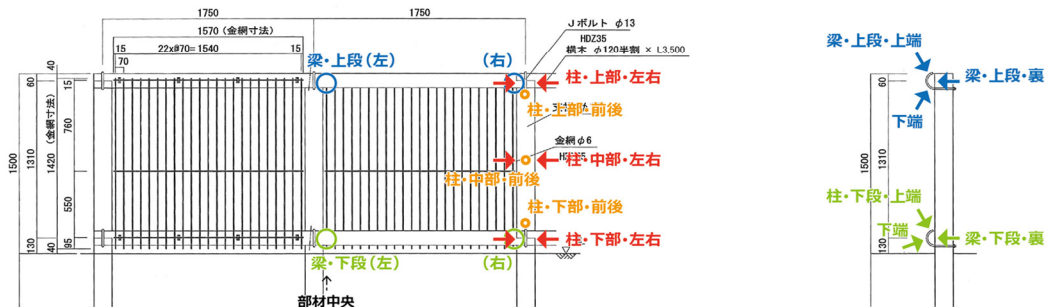


図 A-6 調査対象とした木製立入防止柵の構造図およびピロディン計測位置図

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。

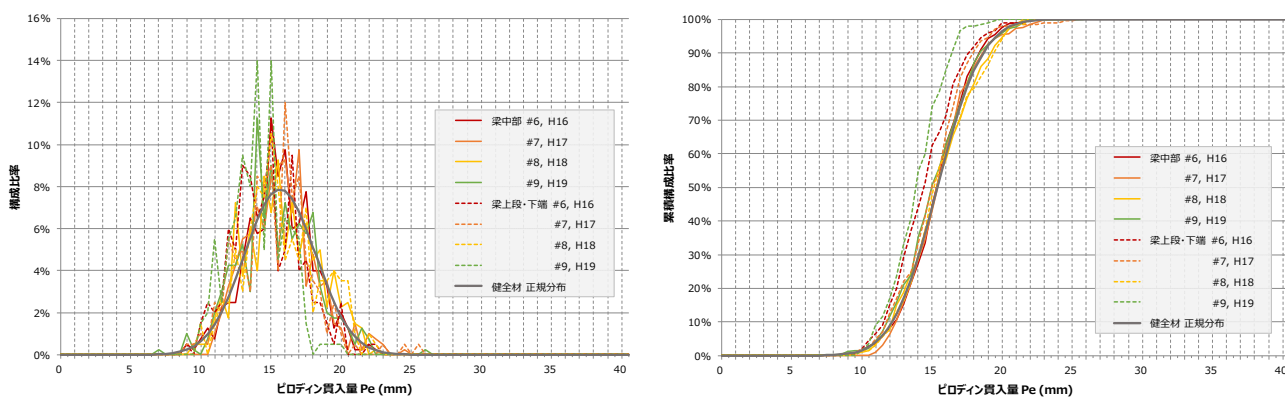


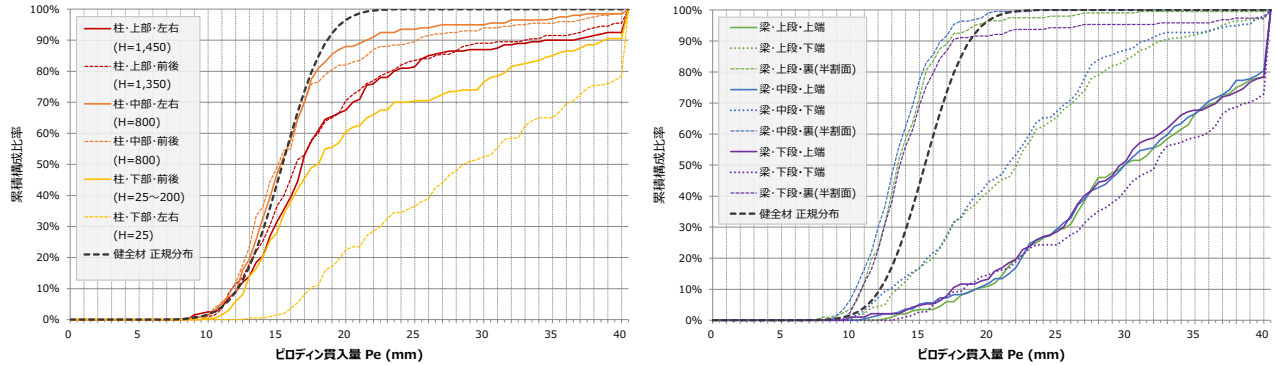
図 A-7 カラマツ健全材におけるピロディン計測値の分布（左：度数別分布、右：累積分布）

	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)

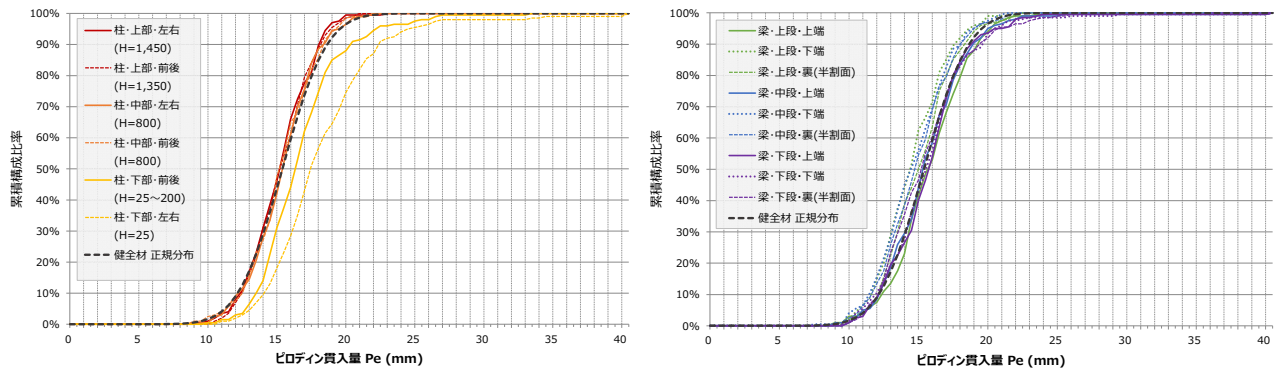


図 A-10 ロット#6 (H16 設置、調査時 12 年経過) に関する計測結果 (左: 柱部材、右: 梁部材)

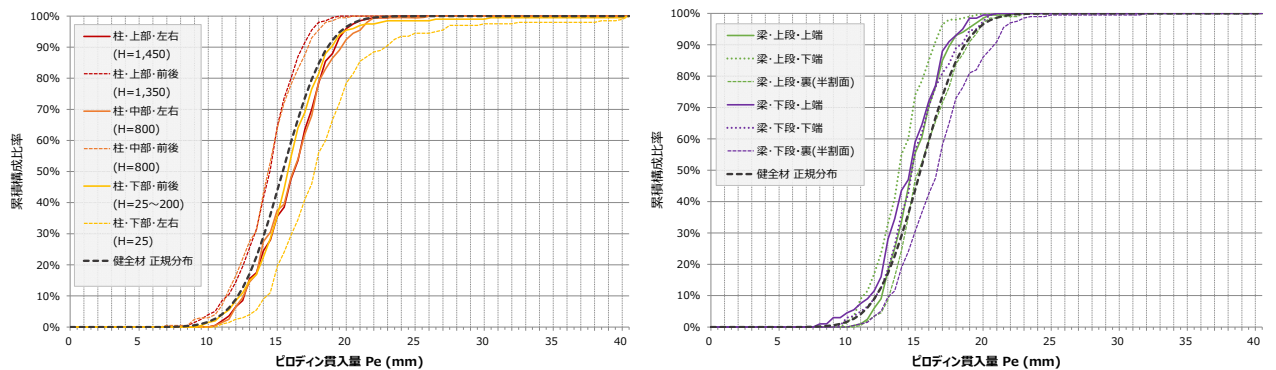


図 A-11 ロット#9 (H19 設置、調査時 9 年経過) に関する計測結果 (左: 柱部材、右: 梁部材)

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。

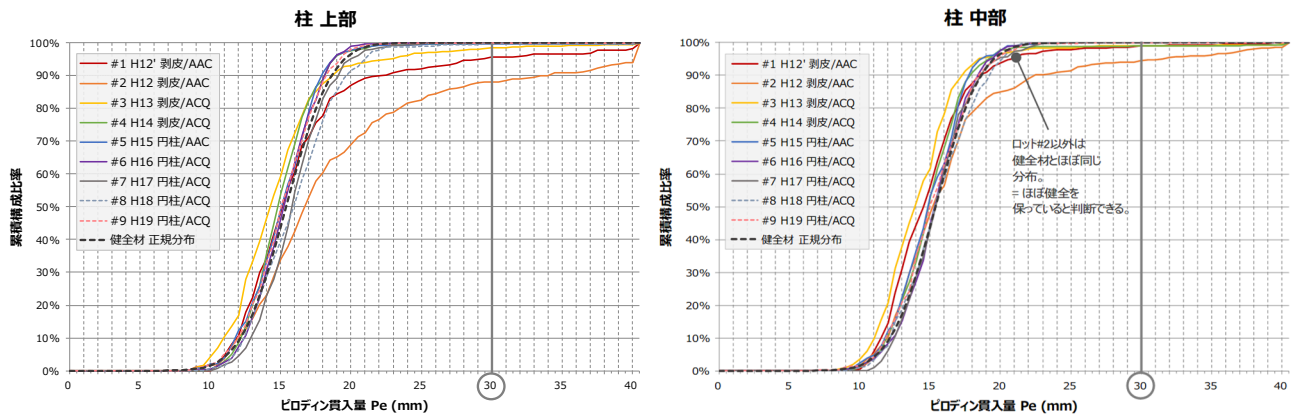


図 A-12 柱上部および柱中部

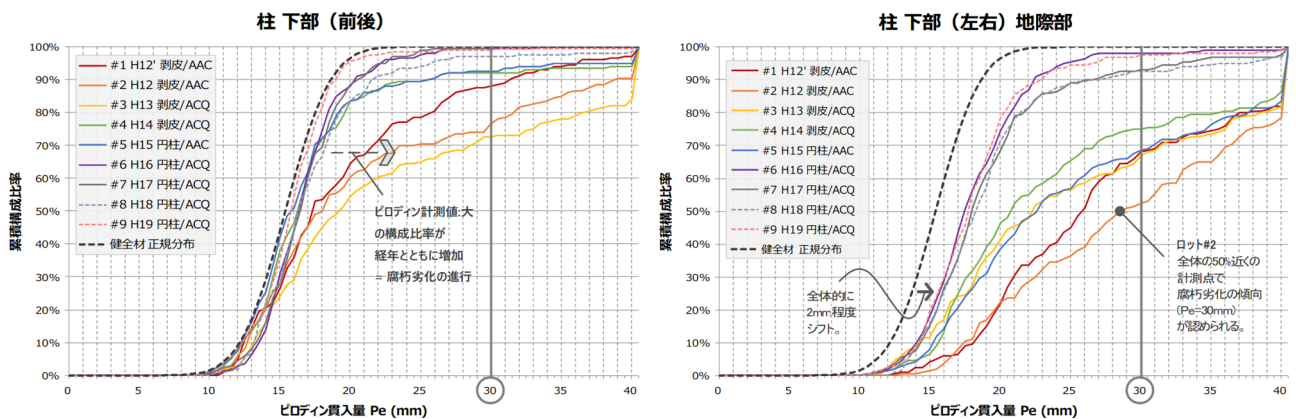


図 A-13 柱下部および柱地際部

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。

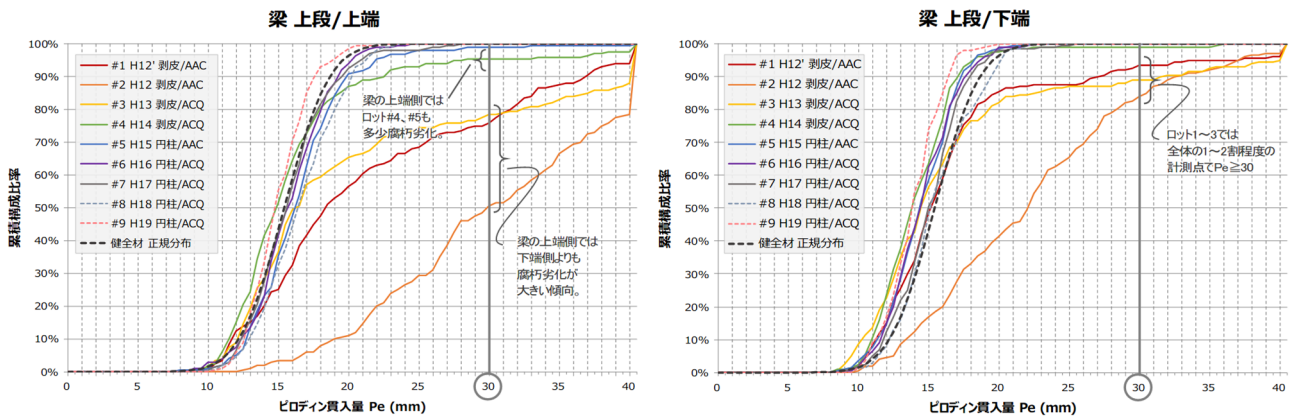


図 A-14 梁上段

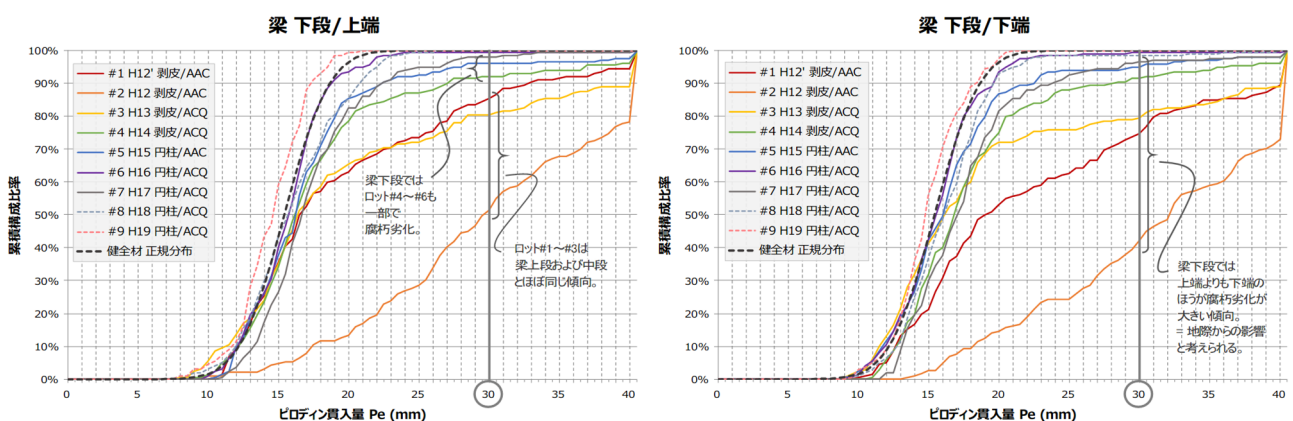


図 A-15 梁下段

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。

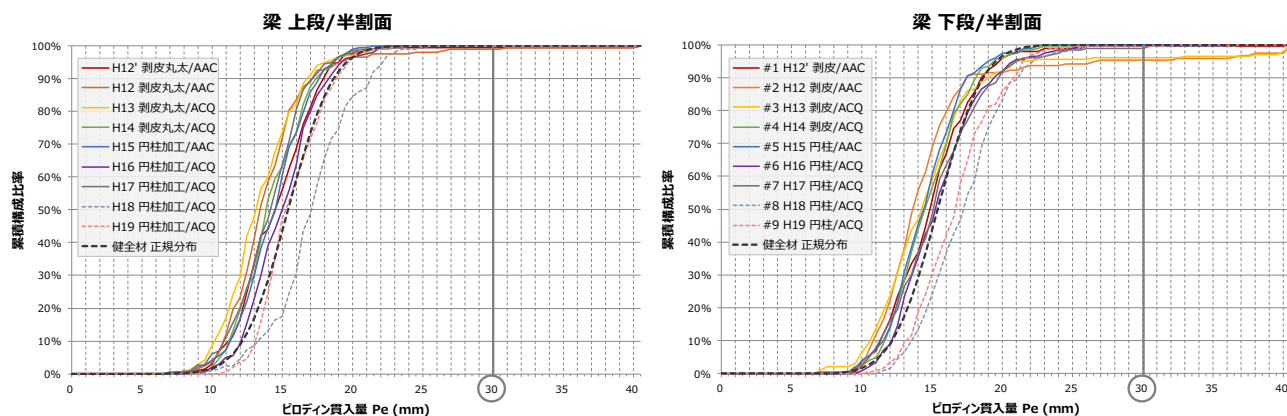


図 A-16 梁半剖面

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 測定点のうちの 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、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、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。））

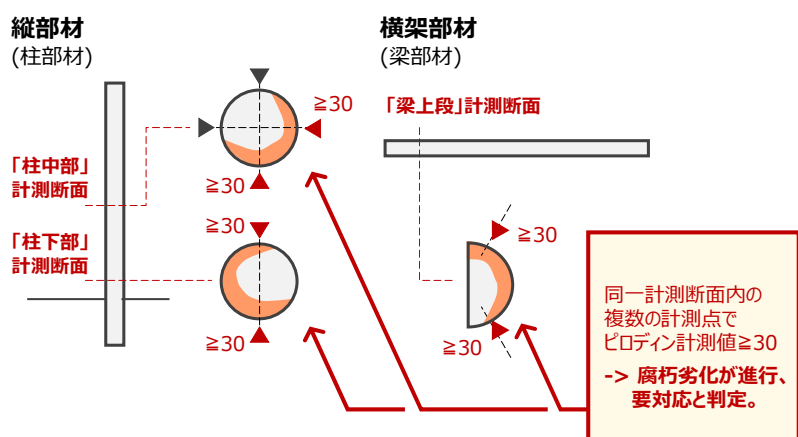


図 A-17 本稿で用いたピロディン計測値に基づく腐朽劣化の判定の基準

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。

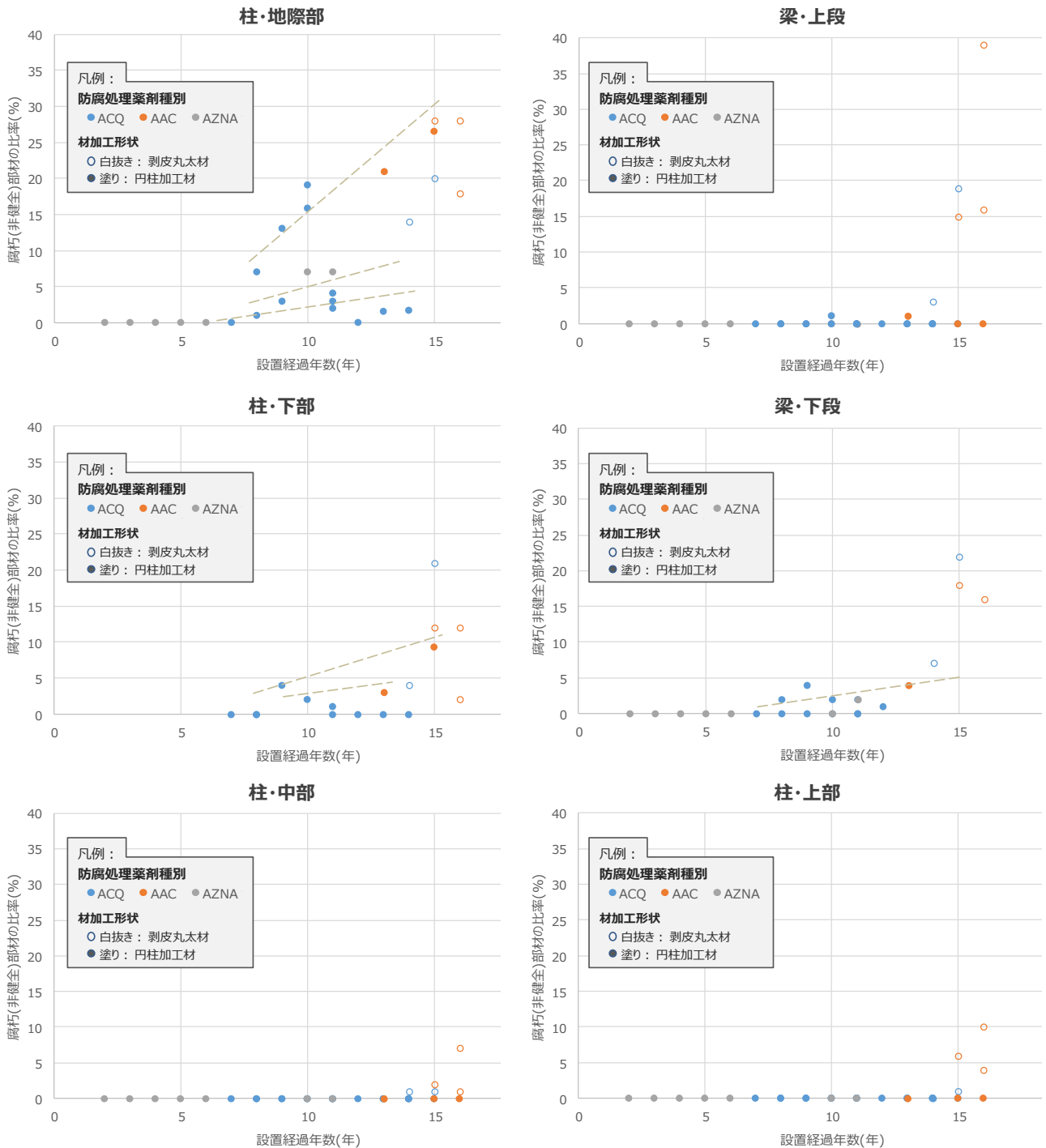


図 A-18 経年と腐朽劣化と判定された部材の比率

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、カラマツ・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。

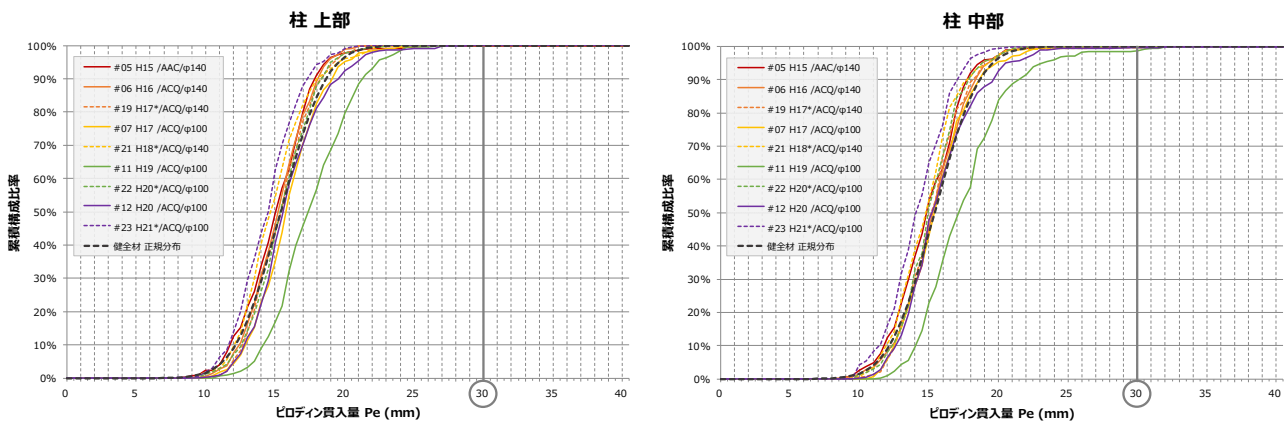


図 A-19 柱上部および柱中部

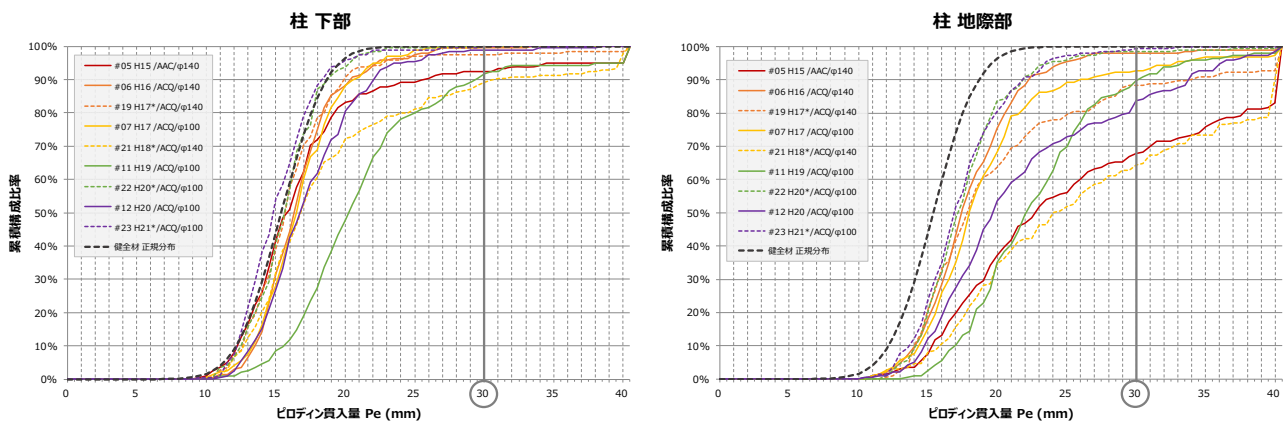


図 A-20 柱下部および柱地際部

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。

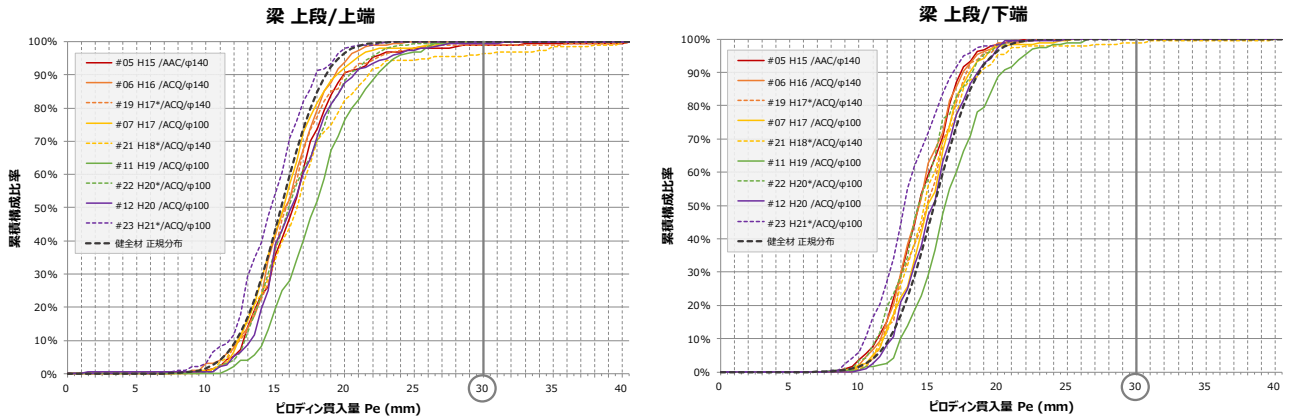


図 A-21 梁上段

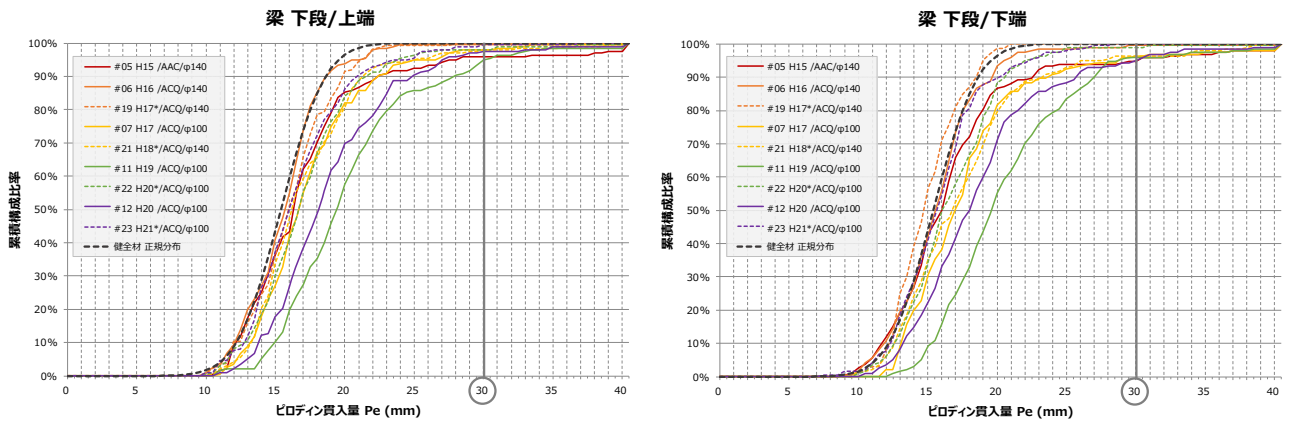


図 A-22 梁下段

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。

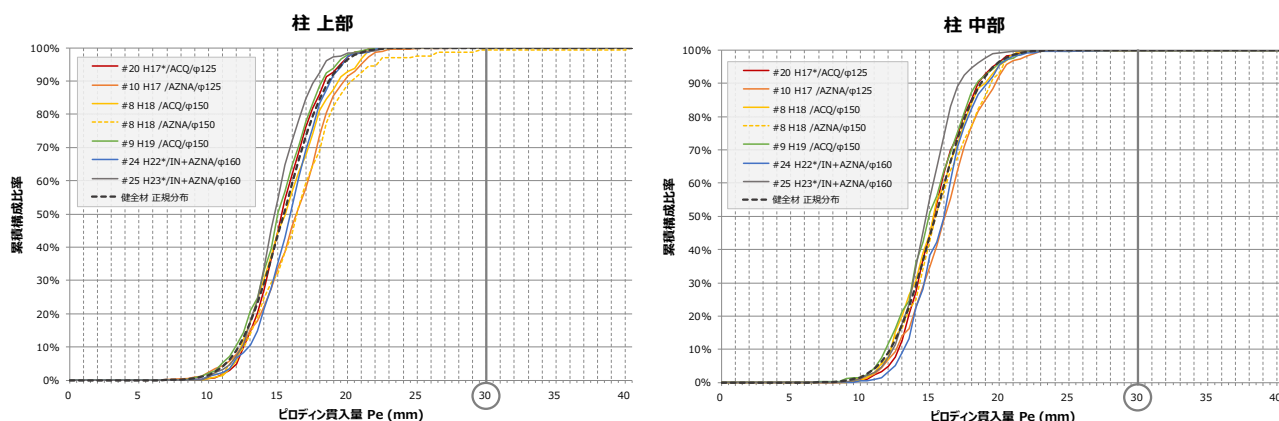


図 A-23 柱上部および柱中部

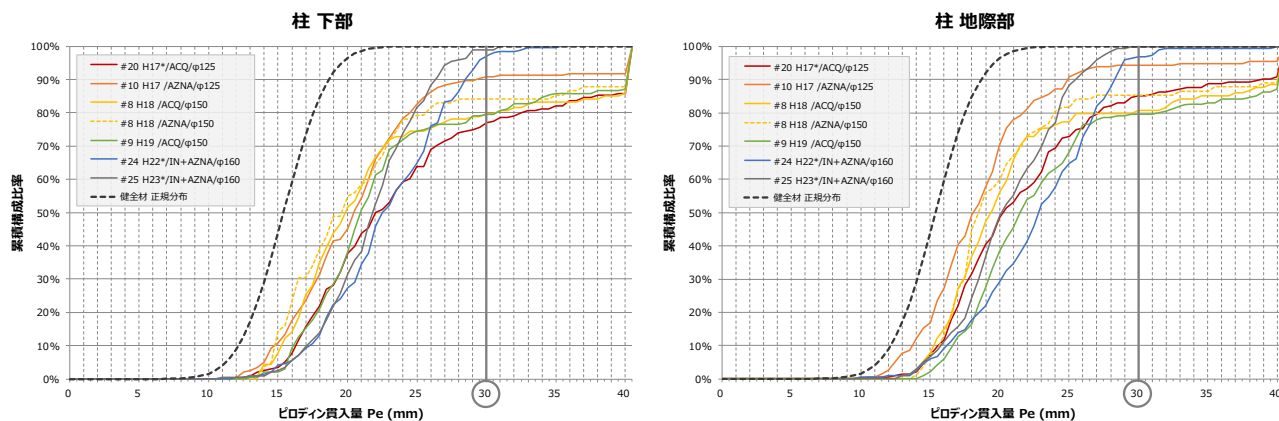


図 A-24 柱下部および柱地際部

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。

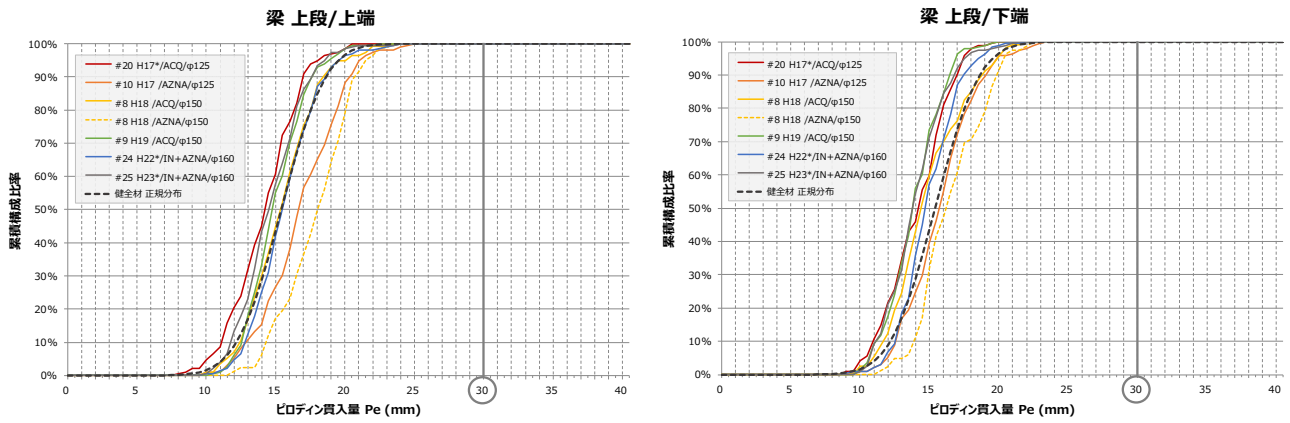


図 A-25 梁上段

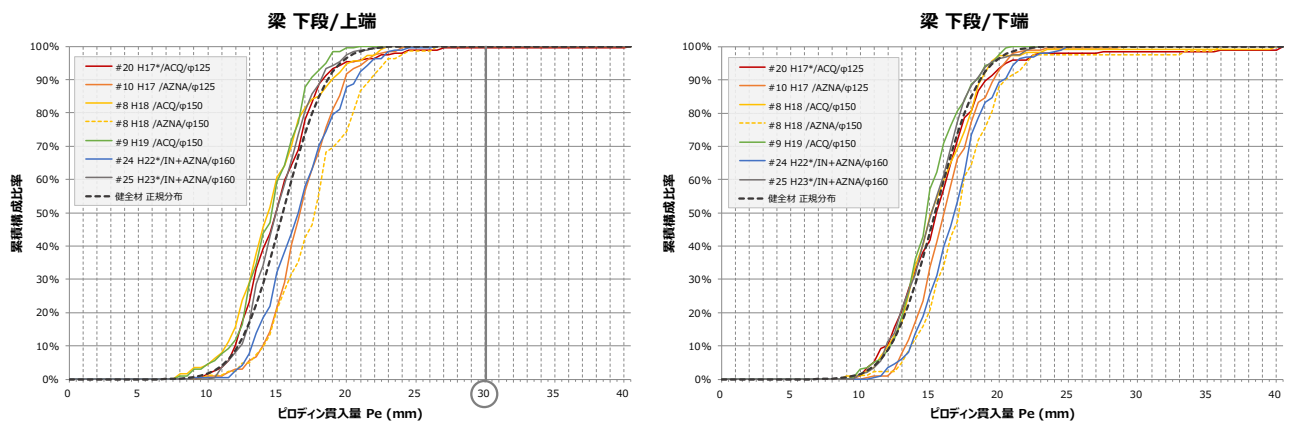


図 A-26 梁下段

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。

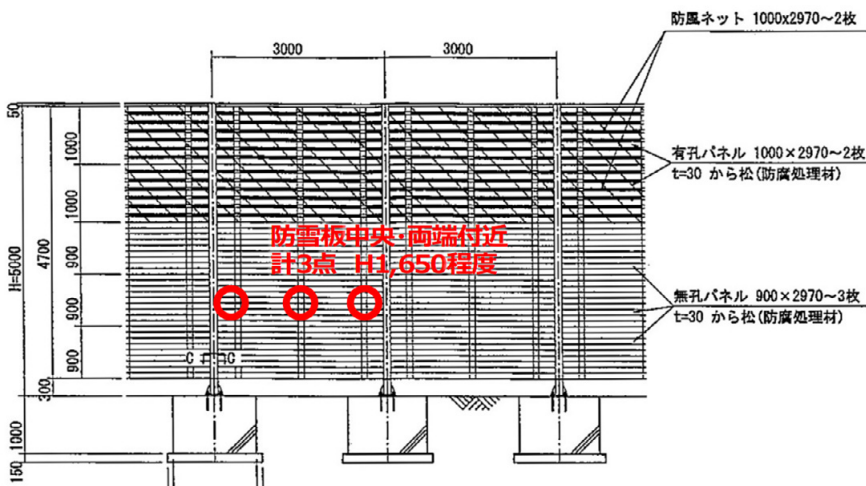


図 A-27 調査対象とした木製防雪柵の構造図およびピロディン計測位置図

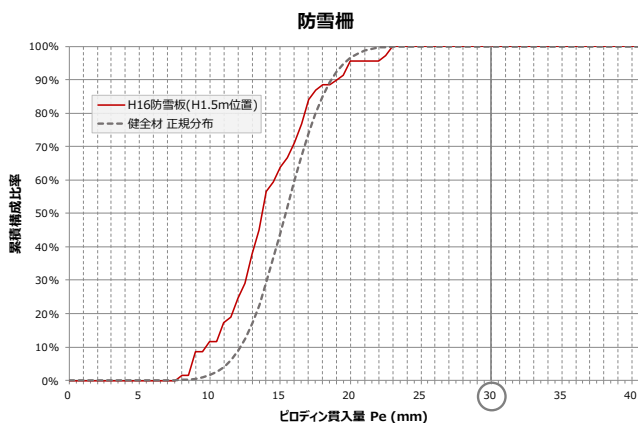


図 A-28 木製防雪柵の防雪板に関するピロディン計測調査結果

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。

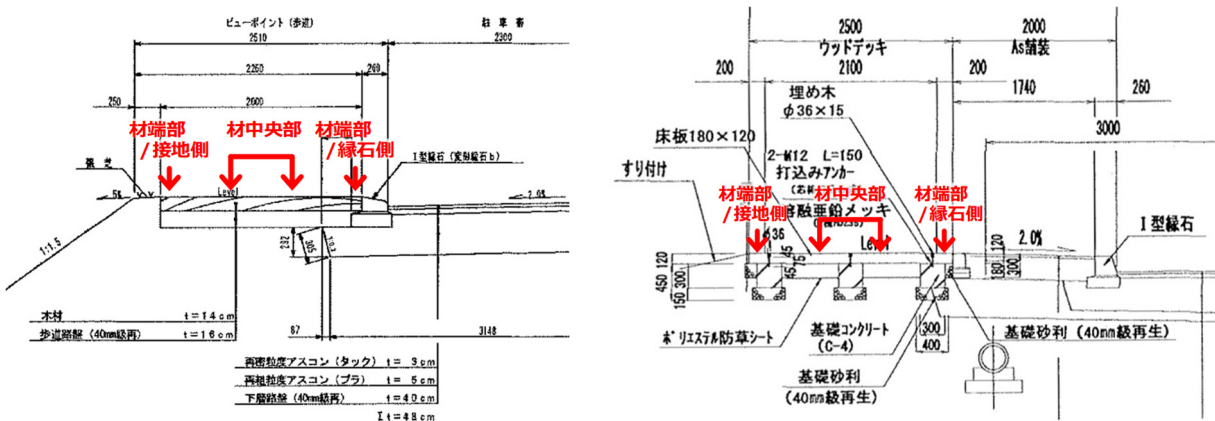


図 A-29 調査対象とした木製歩道の構造図およびピロディン計測位置図
（左：H18 設置タイプ、右：H19 設置タイプ）

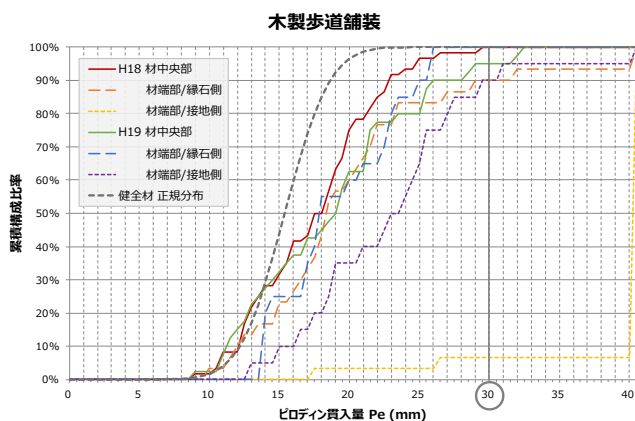


図 A-30 木製歩道に関するピロディン計測調査結果

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。

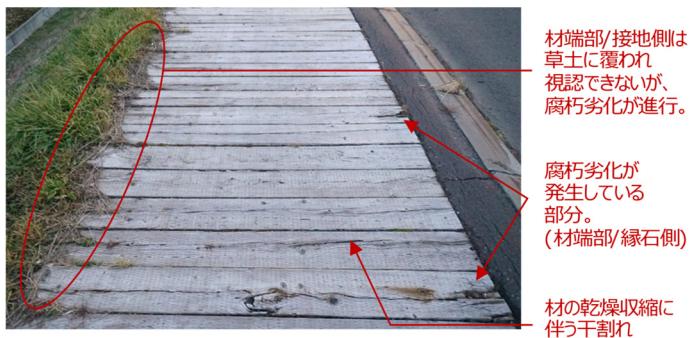


写真 A-31 木製歩道舗装に関する腐朽劣化状況の一例

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：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