

# 北海道の高規格幹線道路に設置された カラマツ材製立入防止柵の耐用年数推定

今井 良<sup>1</sup>・小林 裕昇<sup>2</sup>・笠間 聡<sup>3</sup>

<sup>1</sup>非会員 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 林産試験場 (〒071-0198 旭川市西神楽1線10号)

E-mail: imai-makoto@hro.or.jp

<sup>2</sup>非会員 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 林産試験場 (〒071-0198 旭川市西神楽1線10号)

E-mail: kobayashi-hironobu@hro.or.jp

<sup>3</sup>正会員 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

E-mail: kasama@ceri.go.jp

北海道の高規格幹線道路に設置された防腐薬剤加圧注入処理カラマツ材製立入防止柵について、貫入抵抗による木材診断機(以下、ピロディン)を用いた劣化状態の測定および回収部材の曲げ強度試験を行い、ピロディン打ち込み深さと曲げ強さの関係より残存曲げ強さの経年による低減率を導いた。残存曲げ強さが短期許容応力度を下回る時期を耐用年数と設定し、部位や埋設方式ごとに耐用年数の推定を行った。

その結果、支柱は埋設方式、梁材は地面からの距離の違いによって残存曲げ強さの経年による低減率が異なることが確認された。最も低減率が大きかった条件は土中に直接埋設された支柱の地際部で、その場合の耐用年数は約15年と推定された。

**Key Words:** Larch wood, Pilodyn, wood fence, bending strength, estimation of service life

## 1. はじめに

主伐期を迎えている北海道産カラマツは、比較的高強度な建築用材として認知され始めているが、住宅着工戸数の減少などにより、需要の大幅な増加が見込めないことから<sup>1)</sup>新たな用途開発が求められている。戦後あまり木材が活用されてこなかった土木分野では、近年になり地球温暖化対策や景観向上、地域活性化などを目的とした木材の有効利用が求められるようになり、北海道産カラマツ材の新しい用途としての期待も高い。

しかし、土木分野で木材を活用する際に最も問題となるのが木材の耐久性である。コンクリートや鋼材に比べ、耐久性や耐用年数が相対的に短いまたは不透明であることが、土木技術者および管理者から利用を敬遠されている理由のひとつにあると考えられる。土木分野における木材利用を推進するためには、木材の耐久性、耐用年数に関する具体的な知見を集め、わかりやすく提供していく必要がある<sup>2)</sup>。

飯島<sup>3)</sup>は、秋田県におけるスギ丸太材および円柱加工材について、使用不能率などからの推定により耐用年数は前者で6年程度、後者で8年程度が妥当であるとしているが、カラマツ材や防腐薬剤処理木材、北海道の環境におけるデータは無い。

森ら<sup>4)</sup>は、北海道での土木利用におけるカラマツ間伐

材の劣化状況を調査し、その耐久性について明らかにした。この時得られた成果は「土木用木材・木製品設計マニュアル(H16年追加版)」<sup>5)</sup>として広く活用されているが、耐久性が明らかとなっているのは防腐薬剤処理をしていない小径間伐材に限定されるため、防腐薬剤を注入処理された木材に関する耐久性や耐用年数は明らかにしていない。

土木学会木材工学特別委員会<sup>6)</sup>は、腐朽に影響する要因を点数化することによる木橋の耐用年数推定手法を考案しており、防腐薬剤の注入処理により未処理材の2倍以上の耐用年数が期待できるとしている。しかし対象とした構造は橋梁で、既存橋梁の調査結果に基づいて点数化したものであることから、一般的な柵等の土木構造物の耐用年数推定に直接用いることは難しい。

北海道開発局では、平成12年頃から現在に至るまで、高規格幹線道路の立入防止柵に防腐薬剤注入処理木材を継続的に利用している。部材の樹種や寸法、処理薬剤は設置年によって異なっているが、最も古いものは設置されて15年以上経過した事例もあり、長期屋外使用された構造物のデータを経年ごとに収集できる貴重で価値が高いサンプルである。そこで、これらを測定対象とし、劣化状況についてデータ収集を実施し、得られたデータを用いて耐用年数について検討した。

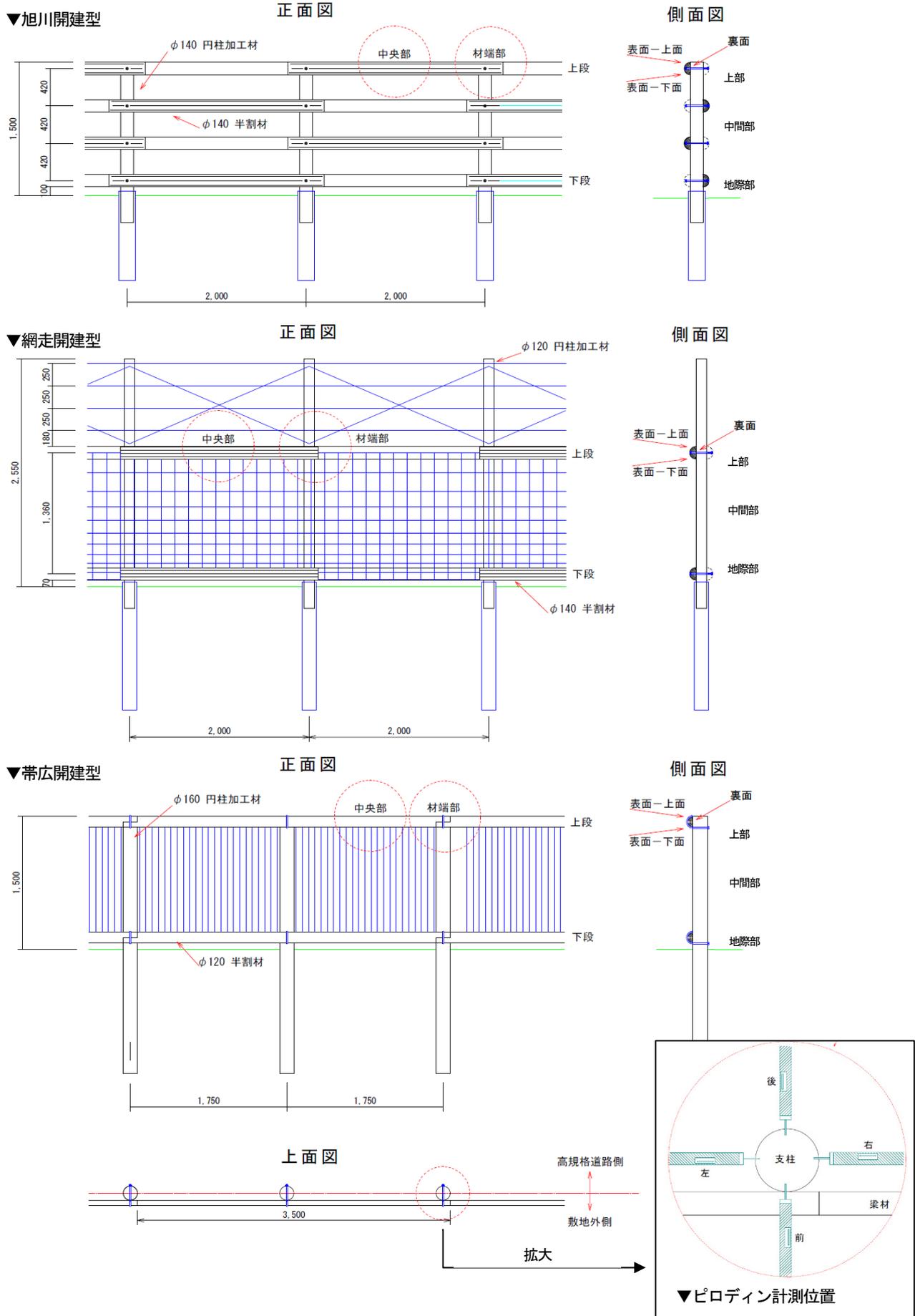


図-1 調査対象とした木製立入防止柵の構造およびピロディン計測位置

表-1 現地調査の対象とした木製立入防止柵の仕様一覧

部材 回収	経過年数 (年)	構造		調査地	加工形状	薬剤	前処理	寸法(mm)	
								支柱	横梁
-	16	旭川開建	鋼管埋設	名寄	剥皮丸太	AAC	-	160	160半割
-	16	旭川開建	鋼管埋設	愛別	剥皮丸太	AAC	-	160	160半割
-	16	旭川開建	鋼管埋設	比布	剥皮丸太	AAC	-	180	160半割
○	15	旭川開建	鋼管埋設	愛別	剥皮丸太	ACQ	-	140	140半割
-	14	旭川開建	鋼管埋設	上川菊水	剥皮丸太	ACQ	-	140	140半割
○	13	旭川開建	鋼管埋設	比布	円柱加工材	AAC	-	140	140半割
-	12	旭川開建	鋼管埋設	上川東雲	円柱加工材	ACQ	-	140	140半割
○	11	網走開建	鋼管埋設	上川菊水	円柱加工材	ACQ	-	100	100半割
-	12	旭川開建	鋼管埋設	上川天幕	円柱加工材	ACQ	-	140	140半割
-	11	旭川開建	鋼管埋設	下白滝	円柱加工材	ACQ	-	140	140半割
○	9	網走開建	鋼管埋設	上川中越	円柱加工材	ACQ	-	100	100半割
-	8	網走開建	鋼管埋設	上川中越	円柱加工材	ACQ	-	100	100半割
-	9	網走開建	鋼管埋設	旧白滝	円柱加工材	ACQ	-	100	100半割
○	7	網走開建	鋼管埋設	上川中越	円柱加工材	ACQ	-	100	100半割
-	8	網走開建	鋼管埋設	旧白滝	円柱加工材	ACQ	-	100	100半割
-	11	帯広開建	土中埋設	帯広幸福	円柱加工材	AZNA	-	125	90半割
-	12	帯広開建	土中埋設	帯広幸福	円柱加工材	ACQ	-	125	90半割
-	10	帯広開建	土中埋設	帯広幸福	円柱加工材	ACQ	-	150	120半割
-	10	帯広開建	土中埋設	帯広幸福	円柱加工材	AZNA	-	150	120半割
-	10	帯広開建	土中埋設	帯広幸福	円柱加工材	ACQ	-	150	120半割
-	7	帯広開建	土中埋設	中札内	円柱加工材	AZNA	インサイジング	160	120半割
-	8	帯広開建	土中埋設	中札内	円柱加工材	AZNA	インサイジング	160	120半割
-	6	帯広開建	土中埋設	更別	円柱加工材	AZNA	インサイジング	160	120半割
-	4	帯広開建	土中埋設	忠類	円柱加工材	AZNA	インサイジング	160	120半割
-	3	帯広開建	土中埋設	忠類	円柱加工材	AZNA	インサイジング	160	120半割
-	3	帯広開建	土中埋設	忠類	円柱加工材	AZNA	インサイジング	160	120半割

## 2. 試験方法

### (1) 立入防止柵の調査

前報<sup>2)</sup>で示した北海道内の高規格幹線道路に設置されているカラマツ材製立入防止柵（以下、立入防止柵）（図-1）について、ピロディン打ち込みによる劣化状況調査を行った。

ピロディンは、6Jのエネルギーを持つ内蔵バネにより長さ40mm径2.5mmのストライカーピンを射出し、そのピンの打ち込み深さ（以下、Pe値）により対象材の貫入抵抗値を測定する機器であるが、もともと密度を測定する機器として開発されたものであり<sup>3)</sup>、密度と強度には正の相関があることからPe値によって強度を推定でき、腐朽による木材の密度低下<sup>7)</sup>が招く強度低下の推定に用いられている。

対象は平成12～26年に設置された立入防止柵で、柵

の構造（型）や防腐薬剤の違い等を考慮して延べ25年分の調査区を設定し、各調査区からそれぞれ100ユニットを標本として抽出した。1ユニットあたりの部材は、円柱型の支柱1本、円柱材を半割にした梁材2本である。各調査地の立入防止柵の仕様を表-1に示す。構造は大別して、旭川開建型、網走開建型、帯広開建型の3種類に分類できる。旭川開建型と網走開建型の支柱は、鋼管を地盤に建て込んだ後、鋼管の中に支柱を挿入する「鋼管埋設型」で、帯広開建型の支柱は直接地盤に建て込む「土中埋設型」である。

なお、表中に記載のとおり、使用した防腐処理薬剤は大別してAAC、ACQ、AZNAの3種に分類される。銅イオンを含む無機系薬剤であるACQは他の有機系薬剤のAAC、AZNAより耐久性が高い<sup>6)</sup>ことが知られているが、設置年や地域に偏りがあり、薬剤ごとに十分なデータセットが得られなかったことから、本稿では薬剤の違い

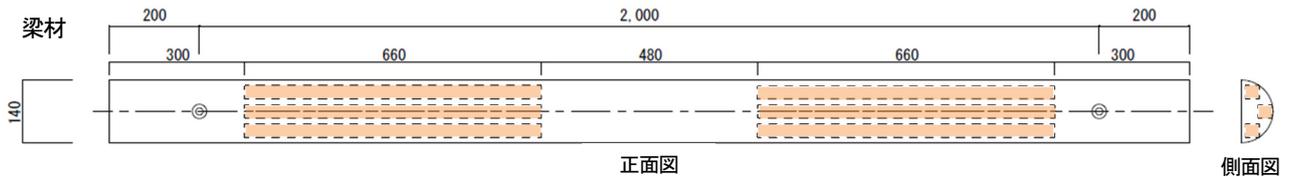


図-2 小試験片の採材方法 (点線部が小試験片)

いによる評価は行わない。

また、名寄市、比布町～遠軽町白滝および帯広～幕別町忠類は、距離にして最大で 300km ほど離れているが、C.Scheffer (1971)<sup>8)</sup>が木材腐朽菌活性の温度依存性およびアメリカ合衆国内 3 箇所における木材試料の地上暴露試験の結果をもとに提案した気候指数 (C.I.) の日本国内図<sup>9)</sup>によれば、北海道は日本海側の一部の地域を除いて  $30 < C.I. < 40$  の範囲で同一と見なせる。土木学会<sup>6)</sup>でも、年平均気温に基づく腐朽菌の生育条件の違いから日本の地域区分を 5 つに分けており、北海道は東北地方や北アルプスなどと同じ地域区分 1 (全国年平均気温を 1 としたときの地域の年平均気温の比率 0.74 未満) と分類していることから、本稿では地域による気候差を考慮しない。

現地調査における支柱のピロディン測定対象部位は上部 (頂部を除く上段梁材付近)、中間部、地際部とした。それぞれの部位で円周上の前後左右 4 点にピロディンを打ち込み (図-1 中の口囲み部)、平均値をその部位の平均 Pe 値とした。梁材については、旭川開建型には中段が存在するが、上段と下段の 2 種類のみを測定対象とした。各梁材の端部と中央部のそれぞれで、円柱加工された表面の上面と下面および裏面 (図-1 中の側面図) の 3 点、合計 6 点の Pe 値を測定した。6 点のうち腐朽の影響が大きい表面 4 点の平均値をその梁材の平均 Pe 値とした。

(2) 回収した腐朽部材の調査

任意の 5 調査地から、経過年数が 1 年おきになるよう、梁材を 50 本ずつ回収した (表-1 中の○印)。各調査地における回収対象材は、任意の連続した 25 ユニットの上下段梁材である。

a) 曲げ強度試験

回収した 250 本のうち、各調査地 20 本ずつ、計 100 本を曲げ試験に供した。各材から小試験片 (30 × 30 × 660mm) を 6 本ずつ採材した (図-2)。このときなるべく腐朽箇所が含まれるよう、また 6 本の強度性能がなるべく近くなるように芯側ではなく円柱加工面に近い部位から採材した。なお、250 本から 100 本を選抜する際には、明らかに健全なものや小試験片を採材できないほど劣化が著しいものは選抜対象から除外した。

まず、曲げ試験における加力方向の小試験片の辺長に占める腐朽部位の深さを両木口面で測定し、その平均値から断面欠損率を求めた (図-3)。次に断面欠損率が 0%

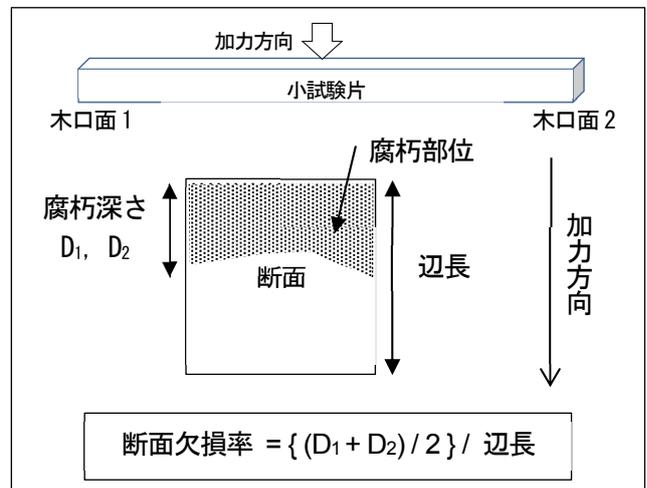


図-3 腐朽部位の測定および断面欠損率の算出方法

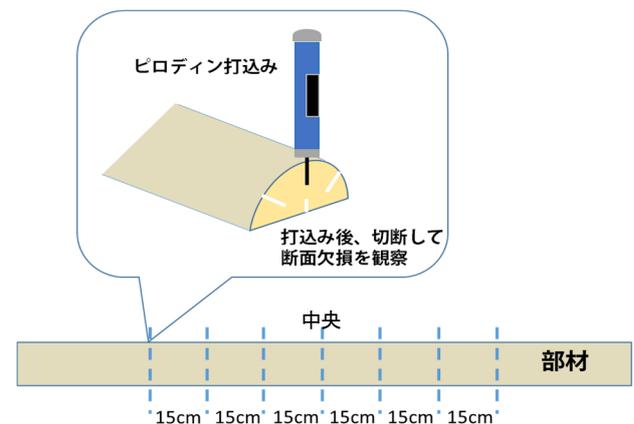


図-4 ピロディン打ち込み部

(健全材) から最大 80% のものまで幅広くデータが得られるよう選別し、合計 307 本の小試験片を 3 等分点 4 点 4 点による曲げ試験に供した。なお 600 体中 293 体については節や腐朽による断面の完全な欠損等により強度試験の実施が難しいと判断し除外した。

試験後に中央で切断し、中央部の腐朽深さを測定して両木口面と中央切断面の 3 面の腐朽深さの平均値から断面欠損率を再計算した。再計算した断面欠損率を真の断面欠損率として採用し、断面欠損率と曲げ強さの関係を求めた。

b) ピロディン打ち込み部の断面欠損深さ計測

曲げ試験に供しなかった残りの回収部材から、腐朽箇所を含む部材を選抜した。選抜した試験体は、16 年経過

した材を11本、12年経過した材を4本、10年経過した材を3本、8年経過した材を6本で、合計24本である。なおピロディンによる現地調査から1年後に回収しているため、経過年数は表-1の値より1年ずつ多い。

ピロディン打ち込み箇所は、各試験体の中央部を起点として両木口方向に向かって15cm間隔で3箇所ずつ、中央部を含めて合計7箇所設けた(図-4)。測定は、各打ち込み箇所の表面(円柱加工部)側に3点、裏面(柱目面)の中央部に1点行った。裏面打ち込み部を中央にすることで樹心付近から年輪を貫く方向のPe値を取得できる。なお、表面側は円柱加工により辺材の多くが削り取られるため辺材・心材の割合は一様ではなく、また裏面側は心材のみであるが、健全材におけるPe値に表面と裏面とで優位な差が無かったことから本研究では辺材・心材による影響は考慮しない。

Pe値を測定後、ピロディン打ち込み箇所を丸鋸で裁断し、ピロディンのピンの打ち込み痕ごとに腐朽状態を観察した。目視で明らかに腐朽が確認できる部分の長さを断面欠損深さとした。

### 3. 結果と考察

#### (1) 現地調査結果

##### a) 経過年数ごとの平均Pe値

支柱はいずれの調査地においても地際部が最も大きな平均Pe値を示した(図-5)。また、経過年数が15年を超える調査地の支柱では一部で上部の劣化が見られたが、それ以外の調査地では劣化が確認できず、また中間部にはほとんど劣化が無く平均Pe値は概ね14~17mmの範囲に収まっていた(平均15.9mm, 標準偏差2.9mm)。16年名寄, 比布, 9年上川中越, 12年および10年帯広幸福, 3年忠類などで上部および中間部の平均Pe値がやや大きかったが、ピロディン打ち込み深さは含水率の影響を強く受ける<sup>10)11)</sup>ことから、調査時の天候が雨だったため、

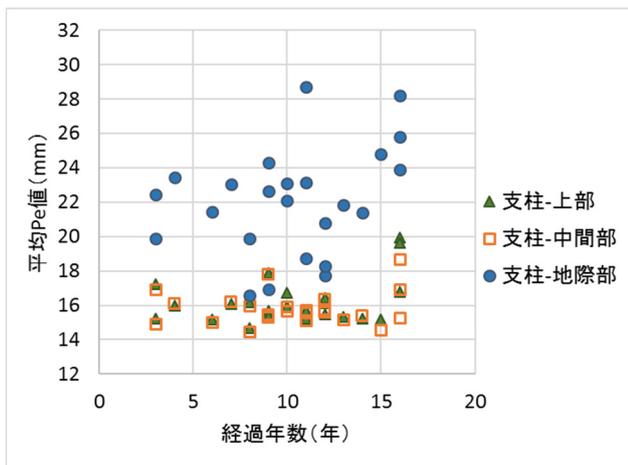


図-5 支柱各部位の平均Pe値

降水や含水率が影響したものと推察される。

梁材は、上段よりも下段で平均Pe値が大きくなる傾向が見られた(図-6)。同一部材内の端部と中央部の平均Pe値については有意な差は無かった。また表面の平均Pe値が20mmを超えるような場合でも裏面の平均Pe値は概ね14~17mmの範囲に収まっており(平均14.6mm)、標準偏差は2mm前後と安定的であった。

支柱、梁材のいずれでも円柱加工していない剥皮丸太での劣化が著しかった。円柱加工材は耐久性の低い辺材部分の大半が加工時に削り取られ<sup>3)</sup>、防腐薬剤が浸透した残りの辺材部と比較的耐久性の高い心材部からなるため剥皮丸太よりも耐久性が高かったと推察される。

##### b) Pe値の平準化

支柱の評価は、最も劣化が大きく構造的にも重要な部位である地際部のPe値で行うべきである<sup>3)</sup>。しかし、調査地(製品ロット)ごとに部材の密度や含水率等が異なるため、目視による劣化の度合いが同程度でも密度の影響を受けるPe値<sup>3)12)</sup>の差が顕著になる場合があることから、生データによる解析では誤った判定をしてしまう恐れがある。つまり、個体差が大きい木材の場合は、部材の固有値に起因しない“劣化度合いを示す指標”で評価する必要があると考えられ、各部材の初期値を基準値 $Pe_B$ とし、劣化が進行した時の値との“差分値”で評価する手法を考案した<sup>10)13)</sup>。しかし、長期間屋外に曝されていた部材の初期値は不明である。そこで、支柱は腐朽劣化が生じていなかった中間部のPe値を、梁材も同様に腐朽劣化が生じていなかった裏面のPe値を基準値として用いたところ、この手法で対応できることがわかった<sup>10)13)</sup>。また、Pe値は直接強度値に換算できるが、差分値のみでは強度値に置き換えることが難しいため、次式(1)のとおり全25調査地の基準値の平均値 $\overline{Pe}$ (柱材:15.9mm, 梁材:14.6mm)を足し戻して、通常Pe値と同様に強度値に換算できるように平準化した。

$$Pe_L = (Pe - Pe_B) + \overline{Pe} \quad (1)$$

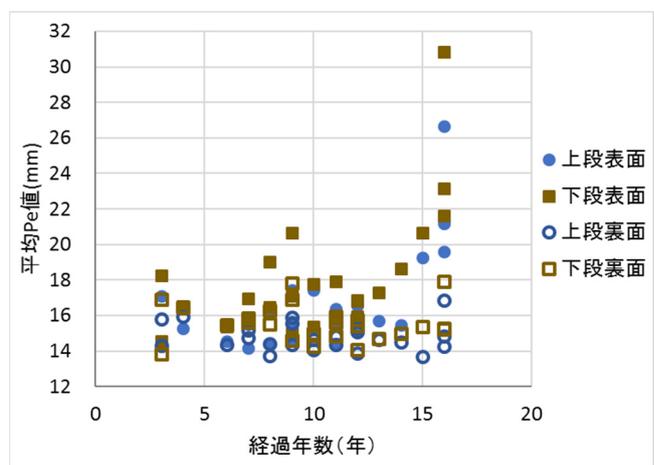


図-6 梁材各部位の平均Pe値

ここで、

- $Pe_L$  : 平準化 Pe 値(mm)
- $Pe$  : 測定部の Pe 値(mm)
- $Pe_B$  : 測定対象材の基準 Pe 値(mm)
- $\bar{Pe}$  : 全測定対象材の基準 Pe 値の平均値(mm)

Pe 値の平準化により部材間・ロット間のバラつきの影響は排除されるので、平準化 Pe 値の差異は劣化の影響が支配的と考えられ、この手法により劣化の影響のみを評価することが可能と考える。なお以下の考察における現地調査で得られた平均 Pe 値は、すべて平準化 Pe 値の平均 Pe 値を示す。

(2) 腐朽部材の調査結果

a) 断面欠損率と残存曲げ強さの関係

腐朽は外側から全周にわたり均一に進行するという仮定の下で、平均 Pe 値と断面欠損深さに一定の関係があることが明らかとなっており<sup>14)</sup> 平均 Pe 値から曲げ強さの推定が可能であることが示唆されていたが、これまで耐用年数の推定には活用されてこなかった。断面欠損深さの二乗に断面係数は比例するため、断面欠損深さが大きくなるほど許容できる曲げモーメント(耐力)も減少する。しかし、外側から劣化が進行すると実際には部材の断面積は減少しているが、強度計算上では部材の断面積は不変として曲げ強さを算出すれば、平均 Pe 値の増加は部材の曲げ強さ低下と見なすことができる。平均 Pe 値から低下した曲げ強さ(残存曲げ強さ)を推定することで、耐用年数の推定や耐久設計が容易になる。

小試験片の曲げ試験により得られた曲げ強さを縦軸、小試験片の断面欠損率を横軸に関係図を作成した(図-7)。曲げ試験に供した小試験片の断面欠損率と曲げ強さは指数関数による曲線回帰で、相関係数が 0.847 と有意水準 1%での高い負の相関が認められた。得られた関係式を式(2)に示す。

$$\sigma_b = 54.6e^{-3.2R} \quad (2)$$

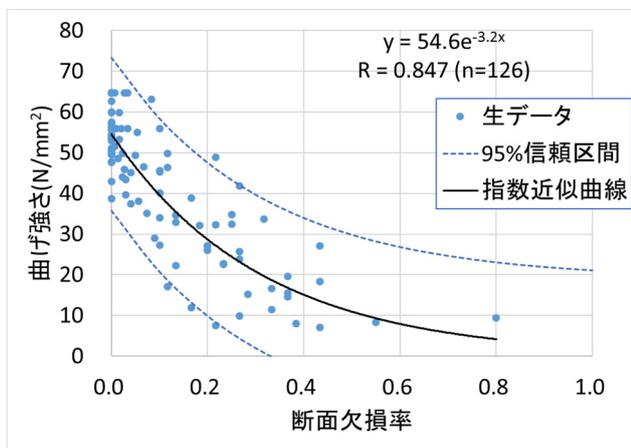


図-7 断面欠損率と曲げ強さの関係

ここで、

- $\sigma_b$  : 曲げ強さ(MPa)
- $R$  : 断面欠損率

断面欠損率が 0%のとき、すなわち部材が全くの健全材であったとき、曲げ強さは 54.6MPa となる。この値は今回サンプル材として回収した材の平均的な曲げ強さであり、カラマツ材の母集団の曲げ強さではない。関係式をカラマツ材製立入防止柵全般に適用できるように、断面欠損に応じた曲げ強さの低下率の関係性はそのまま保ったうえで、係数である 54.6MPa をカラマツの強度の下限値に相当する基準材料強度(甲種 1 級) 29.4MPa<sup>15)</sup> に置き換えて用いることとした(式(3))。

$$\sigma = 29.4e^{-3.2R} \quad (3)$$

ここで、

- $\sigma$  : 残存曲げ強さ(MPa)

なお、目視等級区分の「甲種構造材」は主として曲げ性能が求められる部材が対象で、節や割れ等の欠点が軽微なものが「1 級」に区分される<sup>16)</sup>。本報の対象とする立入防止柵は曲げ性能が重視され、かつ直径 100~160mm の円柱加工材で欠点が軽微であることからこの区分(甲種 1 級)に適合すると考え、カラマツ甲種 1 級の基準材料強度値を採用した。

b) Pe 値と断面欠損深さの関係

平均 Pe 値から曲げ強さを推定するために、回収部材から得た Pe 値とピロディン打ち込み部の断面欠損深さの関係性について検討した。合計 672 点分のデータが得られる予定であったが、部材の物理的な破損により欠測があったためピロディンを打ち込まず、総打ち込み数は 664 点であった。なお、裏面についてはすべての測定点において表面に腐朽被害は目視で確認できず、裏面の全測点 166 点中表面側の劣化が著しかった 12 測定点以外の断面欠損深さの測定結果は全て 0 mm であった。

表面 Pe 値が計測可能範囲(40 mm)を超えたものが 62 点で測定された。ピン長さが無限長の場合に示すと推定される理論上の Pe 値(理論 Pe 値)が 50 mm や 60 mm であっても“40 mm”として、断面欠損深さを縦軸に、Pe 値を横軸にプロットする場合、40 mm の部分に打ち切りデータが集中するため断面欠損深さと Pe 値の関係式を導く際の弊害となる恐れがある。そこで表面 Pe 値が 40 mm を超えたものについては次の手順により理論 Pe 値を求めた。なお、今回の測定では全ての欠損深さが 40 mm 以下であったため問題ないが、この手法では欠損深さが 40 mm を超える場合は適用できない。

① ピロディンのピン射出エネルギー(6J)を全て吸収する木材の厚さは健全な裏面 Pe 値に相当すると仮定

- (同一断面上にある裏面と表面の密度は等しいと仮定)
- ② 切断面からピン貫通部に占める健全部の長さを測定
- ③ ①と②の差より、理論 Pe 値を算出 (式(4))
- ④ 横軸が 40mm を超える範囲のプロットを補完

$$Pe_t = Pe_s + \gamma \quad (4)$$

ただし、 $Pe_s > 40$  のとき

$$\gamma = (Pe_b - L_b) - (Pe_s - L_s)$$

$Pe_s \leq 40$  のとき

$$\gamma = 0$$

ここで、

- $Pe_t$  : 理論 Pe 値(mm)
- $\gamma$  : 打ち込み補正係数
- $Pe_b$  : 裏面 Pe 値(mm)
- $Pe_s$  : 表面 Pe 値(mm)
- $L_b$  : 裏面断面欠損深さ (mm)
- $L_s$  : 表面断面欠損深さ (mm)

腐朽劣化部位へ打ち込んで得られた Pe 値を横軸に、打ち込み箇所の切断面の観察により得た断面欠損深さを縦軸にとり関係図を作成した (図-8)。

直線回帰により、相関係数 0.9456 と非常に高い相関を示す関係式(5)が得られた。

$$L = 0.94Pe_t - 14.5 \quad (5)$$

ただし  $Pe_t < 15.5$  のとき  $L = 0$

ここで、

$L$  : 断面欠損深さ(mm)

部材の断面寸法によって断面欠損深さが強度に与える影響は異なるため、Pe 値を強度データに置き換える際には断面欠損深さ  $L$  を断面欠損率  $R$  に変換する必要がある。ここでは立入防止柵の部材である円柱加工材を想

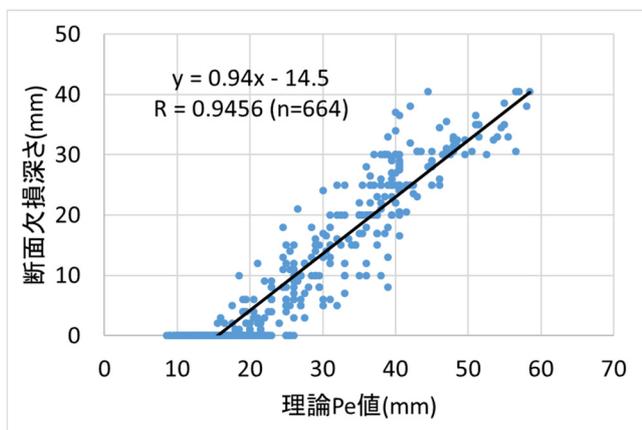


図-8 理論 Pe 値と断面欠損深さの関係

定し、半径  $d$  と  $L$  の比を  $R$  とした (式(6))。

$$R = (0.94Pe - 14.5)/d \quad (6)$$

ここで、

$d$  : 部材半径(mm)

### c) 耐用年数予測

a), b)より平均 Pe 値を残存曲げ強度に変換する方程式を導き、調査地で測定した平準化した平均 Pe 値を残存曲げ強度に変換した。各調査地の Pe 値取得時点の経過年数を横軸に、変換した残存曲げ強さを縦軸に散布図を作成し、経年による残存曲げ強さの低減式を求めた。この関係式より得られる残存曲げ強さは基準材料強度を健全時の値(初期値)としているため下限値に相当する。

許容応力度設計に準拠して、残存曲げ強さが短期許容応力度を下回るタイミングを耐用年数と設定した。短期許容応力度は基準材料強度の 2/3 に相当するため、耐用年数時点における安全率 1 に対して初期安全率は 1.5 に相当する。

式(3)および(6)より、残存曲げ強さと Pe 値および部材寸法の関係式(7)が得られる。

$$\sigma = 29.4e^{-3.2(0.94Pe-14.5)/d} \quad (7)$$

式(5)に全調査地から得られた平準化した Pe 値を代入し、経過年数と残存曲げ強さの関係、すなわち経年による曲げ強さの低減式を求めた(図-9)。低減式は、支柱で埋設型ごと、梁材で地面からの距離ごとに作成した。それぞれの曲げ強さ低減式を式(8)~(11)に示す。

支柱 (鋼管理設型) :

$$\sigma = -0.52Yr + 29.7 \quad (8)$$

支柱 (土中埋設型) :

$$\sigma = -0.55Yr + 27.9 \quad (9)$$

梁材 (完全非接地型) :

$$\sigma = -0.35Yr + 30.8 \quad (10)$$

梁材 (土壌近接型) :

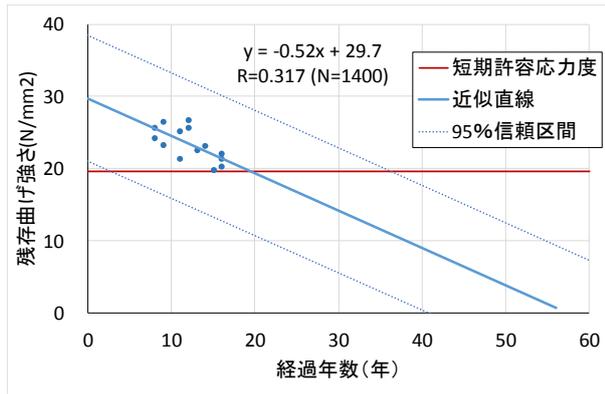
$$\sigma = -0.41Yr + 30.8 \quad (11)$$

ここで、

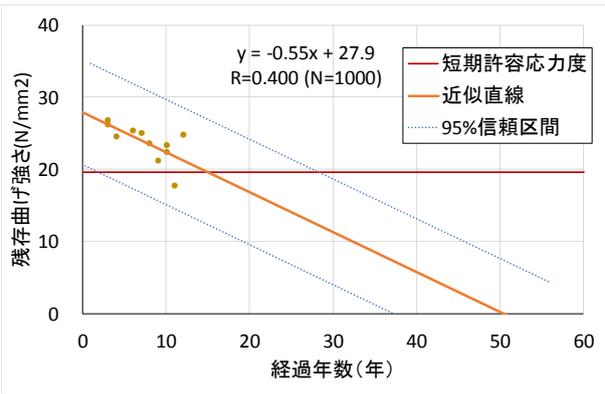
$Yr$  : 経過年数 (年)

各式の  $\sigma$  にカラマツ (甲種 1 級) の短期許容応力度 19.6MPa を代入すると、耐用年数を推定できる。推定した耐用年数は、鋼管理設型支柱の地際部で 19.6 年、土中埋設型支柱の地際部で 15.1 年、完全非接地型の梁材で 32.1 年、土壌近接型の梁材で 27.2 年となった。

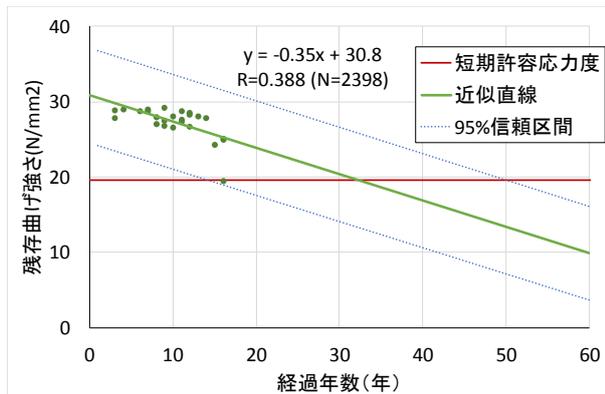
▼支柱地際部－鋼管理設型



▼支柱地際部－土中埋設型



▼梁材表面－完全非接地型



▼梁材表面－土壌近接型

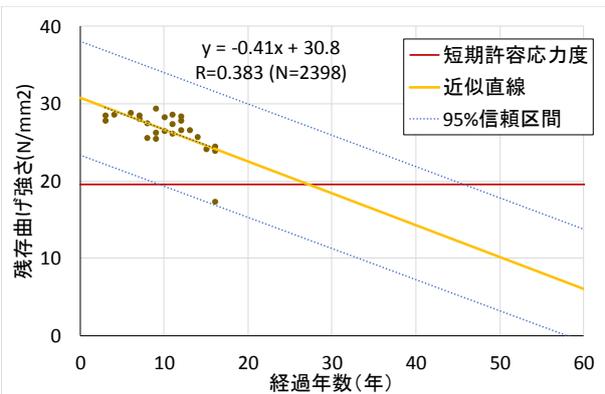


図-9 経年による曲げ強さの低減式

これは栗崎ら<sup>17)</sup>によるスギ丸棒を用いた試験結果(AAC-1: 18年, ACQ: 30年以上, いずれも地際部)と同程度か短い結果となった。この理由は、曲げ強さは下限値に相当する基準材料強度に置き換えられていることから、実際には耐用年数に達しても曲げ強さが短期許容応力度まで低下している可能性は低く、かなり安全側の評価となっているためである。また、図に示した95%信頼区間は  $P_e$  値のバラつきを考慮した予測範囲であり、95%信頼区間の下限側に相当するものが出現する確率は極めて低いと推測できることから、梁材については10年程度の経過年数では、ほとんど耐用限界に達するものは出現しないと判断できる。

4. まとめ

本研究は、土木分野における木材利用の課題となっていた耐用年数について、実際に屋外使用して劣化した工作物のピロディン打ち込み深さや曲げ試験結果を用いて推定したものである。従来、北海道におけるカラマツ材の屋外利用における地際部の耐用年数は、防腐薬剤未処理材で5年程度、防腐薬剤加圧注入処理材で10年以上

とされてきたが、本研究により防腐薬剤加圧注入処理材で最低15年以上の耐用年数を有する可能性が明示された。また、土壌との接触面や距離を設計で工夫することで、より長い耐用年数が得られることを明らかにした。

今後は同一の防腐処理薬剤を用いた構造物のデータを増やし、防腐薬剤の種類別に耐用年数の推定を行うとともに、これらの知見を基に、土木用、屋外用の柵状構造物の設計および維持管理に関する技術資料を整備して、木材の土木利用拡大を目指す。

謝辞：本研究における立入防止柵の調査、部材回収の実施にあたり快く承諾をいただいた、北海道開発局旭川開発建設部、同上川道路事務所、北海道開発局網走開発建設部遠軽道路事務所、北海道開発局帯広開発建設部、同帯広道路事務所の方々に、ここに深く謝意を表す。

参考文献

- 1) 平成29年度北海道森林づくり白書, pp.6-7, 北海道, 2018.
- 2) 笠間聡, 小林裕昇, 今井良, 松田泰明: 北海道の高規格幹線道路に設置されたカラマツ製立入防止柵の劣化状況調査について, pp.51-60, 木材利用研究発表会講演概要集16, 2017.

- 3) 飯島泰男：土木用木質構造物の耐用年数評価について，木材保存，Vol.25-5, 1999.
- 4) 森満範，宮内輝久，杉山智昭，前田典昭，藤原拓哉，今井良：北海道内で土木資材として使用されているカラマツの耐朽性，林産試験場報 20(1)，pp.17-24, 2006.
- 5) 土木用木材・木製品設計マニュアル 追加版「耐久性を考慮した木製土木構造物の設計」，北海道，pp.1-8, 2004.
- 6) JSCE 木材利用ライブラリー002：木橋の耐用年数，公益社団法人土木学会 木材工学特別委員会，2011.
- 7) 吉村剛ら：シロアリの事典，p.466，海青社，2012.
- 8) Theodore C. Scheffer：A Climate Index for Estimating Potential for Decay in Wood Structures Above Ground, For. Prod. J., 21 (10), pp.25-31, 1971.
- 9) 長谷川益夫：木造住宅を長持ちさせる防腐土台(1)，とやまの木材 8, pp.5-6, 1981.
- 10) 今井良，小林裕昇，宮内輝久，伊佐治信一：個体差や含水率に影響されないピロディン打ち込み深さの評価方法の検討，日本木材保存協会第34回年次大会研究発表論文集，pp.84-85, 2018.
- 11) 山田ら：木材の含水率がピロディンとドライバーの貫入深さに及ぼす影響に関する一斉試験，土木学会第72回年次学術講演会概要集 CD-ROM, 2017.
- 12) 山下香菜，岡田直紀，藤原健：ピロディンを用いた容積密度推定法とスギ生材丸太のクラス分けへの応用，木材学会誌，Vol.53, No.2, pp.72-81, 2007.
- 13) 今井良，小林裕昇，宮内輝久，伊佐治信一，笠間聡：高規格道路用立入防止柵の梁材の劣化要因解明とピロディンによる劣化判別手法の確立，第69回日本木材学会大会研究発表要旨集，2019.
- 14) 越湖了，前田典昭，森満範：腐朽による強度低下を考慮した木製土木構造物の設計について，平成16年度技術研究発表会，環-20, 2005.
- 15) 木質構造設計規準・同解説一許容応力度・許容耐力設計法一，日本建築学会，p.335, 2002.
- 16) 製材の日本農林規格，農林水産省，pp.10-11, 2007.
- 17) 栗崎宏ら：JAS K 4 保存処理スギ丸棒の地際部寿命推定の試み，木材保存，38 (4)，pp.163-171, 2012.

(Received August 31, 2019)

(Accepted November 11, 2019)

## SERVICE LIFE ESTIMATION DERIVED FROM DETERIORATION INVESTIGATION OF LARCH WOOD FENCE INSTALLED ON A HIGHWAY IN HOKKAIDO

Makoto IMAI, Hironobu KOBAYASHI and Satoshi KASAMA

We investigated the deterioration state of larch wood fence installed alongside a highway in Hokkaido using Pilodyn and a bending strength test of the removed members. Furthermore, we derived the yearly reduction rate of residual bending strength from the relationship between Pilodyn penetration depth and residual bending strength. We set the time when the lower limit value of the remaining bending strength was below the short-term allowable stress level as the service life, and estimated the service life for each part and each burying method. As a result, we confirmed that the rate of decrease in residual strength along time differs depending on the method burying for the columns and the distance from the ground to the beams. The condition, where the rate of deterioration of residual strength was the highest, was the grounded part of the columns directly buried in the soil, in which case the service life was estimated to be about 15 years.