

# 腐朽による強度低下を考慮した木製土木構造物の耐久設計手法の開発

北海道立林産試験場 森 満範, 前田典昭

## はじめに

日本の人工林の多くが既に間伐期を迎えていることから、間伐材の有効利用法の開発が急務となっています。このような背景に加え、自然環境に負荷の少ない材料として木材が注目を浴び、治山事業、農業・農村整備事業などにおける土木資材として木材が積極的に使われるようになってきました。北海道においては、主にカラマツ間伐材がこれらの用途に利用されています。

これら木製の土木構造物の設置を検討する段階で、「設置した構造物は何年もつのか?」、あるいは「目標の年数まで機能させるためにどのような設計をすればよいのか?」ということが問題になります。これは木材の耐久性や腐朽というものが強度と異なり機械的性質として数値で表現し難いため、木材の耐久性をどのように捉えたらよいのか、あるいは何を目安にしたらよいのが不明瞭なためです。また、木製土木構造物の安定計算等を行う場合、従来は初期強度のみを基準とし、生物劣化による部材や構造物の耐力の経時変化については十分に考慮されていませんでした。間伐材の供給・利用、あるいは間伐材を利用した土木構造物の補修・更新を計画する上でも、木材単体の耐久性のみならず、構造物として機能する耐用年限を明らかにする必要があります。

そこで「耐久性(腐朽)」を「強度(強度低下)」という機械的性質の低下度合いに置きかえることによって耐久性の指標を明確にし、腐朽による強度低下を考慮した木製土木構造物の耐久設計手法を提示するための研究を行いました<sup>1, 2)</sup>。この成果は平成16年9月、北海道が発行する「土木用木材・木製品設計マニュアル」WEB版(<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rmm/t-manual.htm>)に追加されましたので、ここではその取り組み内容、および追加されたマニュアルの概略についてご紹介したいと思います。

## 現状の耐久性(腐朽)評価方法

木材の腐朽状態を判定するための最も汎用的な方法として被害度評価法があります<sup>3, 4)</sup>。これは、目視によって木材の腐朽による劣化状況を、健全(「被害度0」)から崩壊(「被害度5」)までの6段階で評価するものです(表1)。一般的に、被害度が2.5に達した年数を「耐用年数」とし、この「耐用年数」を基に木材の耐朽性(耐久性)が区分されています。カラマツ心材の場合、野外地条件下での「耐用年数」は6年程度とされています<sup>5, 6)</sup>。

表1 目視による被害度評価法とその判定基準

被害度	判定基準
0	健全
1	部分的に軽微な腐朽(虫害)
2	全体的に軽微な腐朽(虫害)
3	被害度2の状態で、かつ部分的に激しい腐朽(虫害)
4	全体的に激しい腐朽(虫害)
5	腐朽(虫害)により崩壊

※耐用年数：被害度が2.5(2と3の間)に達した年数

## 耐久性(腐朽)評価の課題

このように一般的となっている被害度評価法ですが、この「耐用年数」は関東地域での試験をもとにしているため、寒冷積雪地である北海道では異なった結果が得られると考えられました。また、「被害度2.5」という基準も小試験片の強度試験結果を目安にしたもので<sup>7)</sup>、北海道で土木資材として利用されているカラマツ丸太についても適用できるものなのかを確認する必要がありました。

## 不明確な耐久性・耐用年数の概念

「この木材は何年もつか?」という質問に対し、一般的には被害度評価法によって決められた耐用年数、つまり被害度が2.5に達する年数を答えています。しかし、質問している人が指している「何年もつか?」という意味が、「変色してしまうまで」であったり、「腐朽が始まるまで」、あるいは「壊れてしまうまで」であったりと、耐用限界

の考え方が一致していないことも少なくありません。また、木製土木構造物としての耐用年数（機能する年数）を問われた場合も、それを構成している部材の樹種の耐用年数を答えるにとどまっています。さらに、「被害度 2.5 に達していないものは、本当にまだ使用に耐えうるのか？」、反対に、「被害度 2.5 を超えているものは、本当にもう使用に耐えられないのか？」、「用途によって、耐用年数が変わってくるのではないか？」等の疑問も残ります。このような背景から、木材の耐用年数に関する情報を提供しても、理解が得られないというのが現状です。

### 腐朽による強度低下を考慮した木製土木構造物の耐久性の予測および耐久設計

そこで、「耐久性（腐朽）」を「強度（強度低下）」に置きかえて、カラマツを用いた土木構造物の耐久性を予測し、設計に反映させるための検討を行いました。図 1 は、研究・開発のフローを示したものです。図 1 に示したように、カラマツを用いた土木構造物の腐朽調査から「腐朽と経過年数の関係」を明らかにし、また野外暴露試験やファンガスセラー試験を行ったカラマツ丸太材等の強度試験により「腐朽と強度の関係」を明らかにしました。これらの結果から、土木構造物として使用されているカラマツの「残存強度と経過年数の関係」を推定し、さらに構造物全体としての耐力の経年変化を予測しました。以下にその概要を記します。

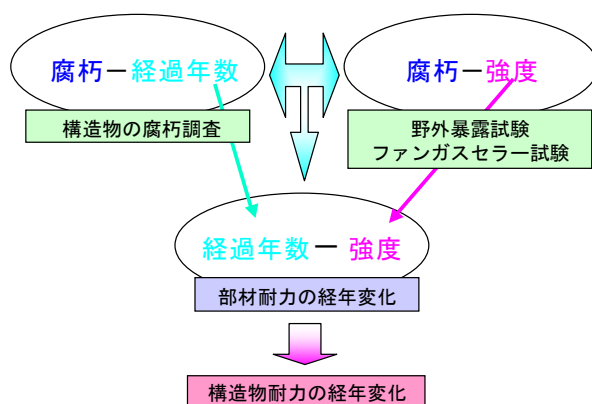


図 1 研究・開発スキーム

#### ①腐朽と経過年数の関係<sup>8)</sup>

北海道内で土木構造物として使用されているカラマツ丸太（主に無処理）の腐朽と経過年数の関係を把握するために、道内の 12 か所・38 地点に設置された土木構造物の約 2,000 の部位について調査を行いました。目視による被害度およびピロディンの打ち込み深さ（以下、 $P_e$ ）を劣化の指標とし、地際部分や接合部分などにおける腐朽と経過年数の関係を明らかにしました。

#### ②腐朽と強度の関係<sup>9, 10)</sup>

林産試験場の野外暴露試験地に設置したカラマツ剥皮丸太（直径 11 ~ 17 cm × 長さ約 200 cm）を試験体として用い、地際部分の被害度、 $P_e$ 、曲げ強さ、および残存している断面積を評価・測定し、試験体における腐朽と強度の関係を求めました。

また、道産材を用いた室内促進劣化手法を開発し、ファンガスセラー（室内促進劣化槽）に設置したカラマツ杭材（2 × 2 × 10 cm）の被害度および縦圧縮強さを所定期間ごとに評価・測定して、試験体における腐朽と強度の関係を求めました。

#### ③残存強度と経過年数の関係（残存強度の経年変化の推定）

これらの試験で得られた結果から、土木構造物の部材として使用されているカラマツ丸太の残存強度の経年変化を、4 つの部位に分けて推定しました（図 2）。

#### ④構造物としての耐力の経年変化の推定および腐朽による強度低下を考慮した設計手法の開発

現在、公共工事などで利用されている木製土木構造物のなかから、いくつかの代表的なモデル構造物を選定しました。それらについて上記で得られた経過年数と部材の強度低下の関係式を適用し、腐朽による強度性能の低下を考慮に入れた土木構造物における耐力の経年変化の試算を行いました（図 3）。その一例を図 4 に示します。ここでは安全率が 1 となる時点を耐用限界としました。また、推定に適用した回帰直線が、経過年数が 12 年前後までの調査データに基づいて求められたものであることから、その適用範囲を 12 年までに限定しま

した。

図4の①に示したように、部位ごとの安全率が示す直線が、最も小さくなる部位により構造物としての耐力が決定します。これは設計段階で推定できることから、部材断面などの変更(図4の②、③)や防腐処理材を使用することにより、耐用限

界をある程度の範囲で調節できます。また、設置する前に部材交換やメンテナンスのスケジュールを予測できることから、コスト試算を行う上でも有用な資料となります。

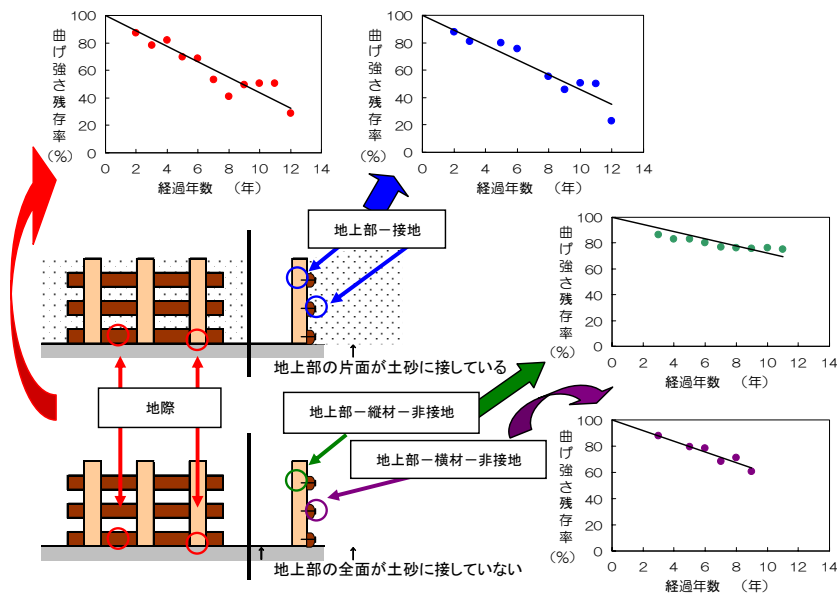


図2 木製土木構造物の各部材における残存強度の経年変化(推定値)

初期安全率の算定

初期条件に基づく一般的な構造計算を行って部材応力度等を求め、安全率を算定する

経年安全率の算定

各部位別に曲げ強さ残存率あるいは接合強度残存率を適用して、経年後の安全率を算定する

耐用限界の判定

経年安全率が設定値(ここでは1とする)となる時点、該当部材あるいは接合の耐用限界とする

図3 耐力の経年変化の試算手順

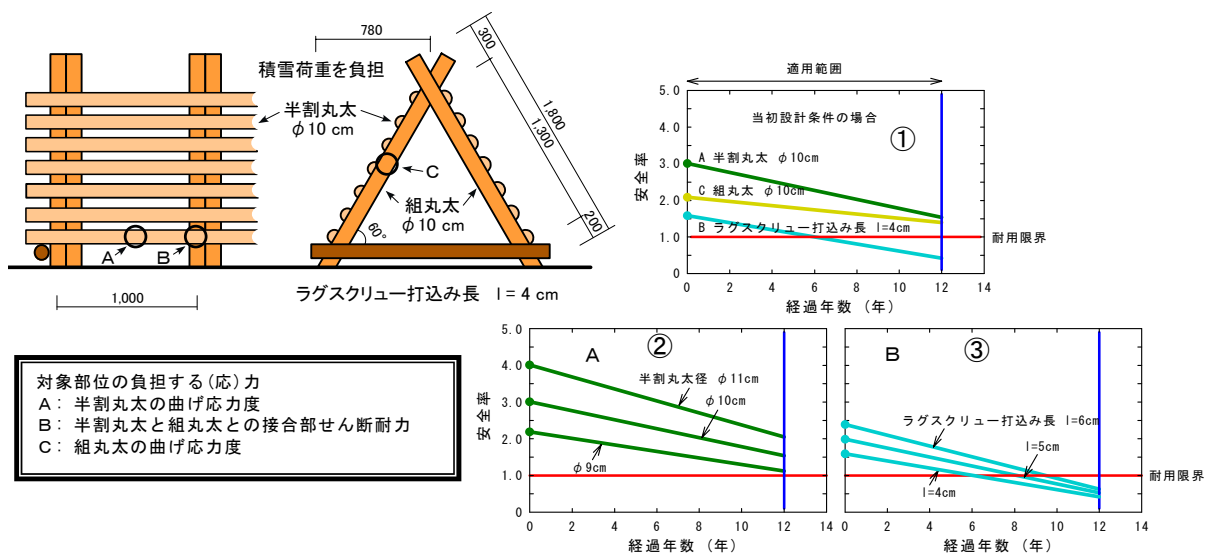


図4 腐朽による強度低下を考慮した安定計算例(耐用限界を安全率=1とした場合, 防風工)

## おわりに

今回ご紹介した「腐朽による強度低下を考慮した設計手法」は実験結果を中心にまとめたものですが、もともと腐朽の進行状況にバラツキがある上にいくつかの推定や仮定も含まれているため、木製土木構造物の耐用限界を完璧に割り出せるものではありません。しかし、今まで木材単体の「耐用年数」しか情報がなかった耐久性という概念をより具体的に表現でき、使用状況に応じた強度的な耐用限界を構造物単位で予測できるようになりました。北海道が発注する工事においてこの考え方を取り入れた試験施工も実施され、道や市町村の関連部署、民間企業などに対しても、この設計手法を盛り込んだマニュアルの普及を進めています。今後も、データの追加や推定の検証等を行うことによって精度の向上を図り、木製土木構造物の信頼性の向上に寄与できればと考えています。そのためには、北海道だけではなく日本の各地域、他の樹種についても同様の設計手法を適用していく必要があると考えていますので、今後、多くの方々のご協力をお願いできればと思います。

## 参考資料

- 1) 森 満範, 前田典昭, 宮内輝久, 杉山智昭, 藤原拓哉, 今井 良: 第54回日本木材学会大会研究発表要旨集, 札幌, 2004, p.684.
- 2) 前田典昭, 森 満範, 宮内輝久, 杉山智昭, 藤原拓哉, 今井 良: 第54回日本木材学会大会研究発表要旨集, 札幌, 2004, p.685.
- 3) 木材防腐研究室: 林試研報 **103**, 155-158 (1957).
- 4) 木材防腐研究室: 林試研報 **103**, 159-166 (1957).
- 5) 松岡昭四郎, 雨宮昭二, 庄司要作, 井上衛, 阿部寛, 内藤三夫: 林試研報 **232**, 109-135 (1970).
- 6) (社) 日本木材保存協会編: "木材保存学入門改訂版", 2001, p.80.
- 7) 雨宮昭二: 林試研報 **150**, 143-156 (1963).
- 8) 森 満範, 宮内輝久, 杉山智昭, 前田典昭, 藤原拓哉, 今井 良: 林産試験場報 **20(1)**, 17-24 (2006).
- 9) 森 満範, 宮内輝久, 三浦真由己, 藤原拓哉, 杉山智昭: 第52回日本木材学会大会研究発表要旨集, 岐阜, 2002, p.416.
- 10) 森 満範, 宮内輝久, 杉山智昭: 第53回日本木材学会大会研究発表要旨集, 福岡, 2003, p.688.