

木製防雪柵の接合部における耐用年数の予測

野田 康信 森 満範^{*1} 小林 裕昇^{*2} 前田 典昭^{*3}

Estimation of the Service Life of the Connections of a Wooden Snow Fence

Yasunobu NODA Mitsunori MORI Hironobu KOBAYASHI Noriaki MAEDA

In estimation of the service life of wooden construction in civil engineering, aging due to biological degradation is the issue of greatest concern. The decrease of the resistance force of connections is an especially important factor for structural engineers. In this study, as part of a developing wooden snow fence made of Japanese larch (*Larix leptolepis*), the connection of which had been exposed to fungus (*Fomitopsis palustris*) for 5 or 8 months, a washer embedment test was conducted. The test results showed obvious strength reduction and some correlation between the grade of decay and embedment resistance force. Considering the relationship between the number of years passed and the grade of decay, the service life of such connections was estimated.

Key words: bolt joint, embedment resistance force, strength reduction, *Fomitopsis palustris*, decay
ボルト接合部, めり込み耐力, 強度低下, オオウズラタケ, 腐朽

屋外木製構造物の耐用年数を予測するにあたり, 生物劣化は重要な課題である。特に接合耐力の低下は構造設計をする際に重要視されなくてはならない要素である。本研究ではカラマツ (*Larix leptolepis*) を用いた木製防雪柵の接合部に着目し, オオウズラタケ (*Fomitopsis palustris*) を用いて5か月および8か月間の腐朽処理をしたモデル接合部における座金のめり込み強度試験を実施した。その結果, 目視による被害度と接合耐力に相関が得られた。これに屋外における経過年数と部材の被害度の関係を併せることにより, 防雪柵接合部の耐用年数を予測した。

1. はじめに

構造計算を伴う屋外構造物に使用する木材には, 防腐処理を施すことが一般的である。しかし, 撤去・処分までを考慮すると, 無処理材を使用することが望まれる。ただし, この場合には腐朽による強度低下が避けられないことが多く, 構造物の耐用年数を設定するにあたっては, 強度低下を十分に考慮する

必要が生じる。

通常, 木材の耐用年数といえば, (独) 森林総合研究所の評価結果¹⁾ によって設定された各樹種の心材の耐朽性²⁾ が基本となる。これは屋外暴露試験による10本の杭の被害度平均値が0~5区分(後述)の2.5に達したときの経過年数を耐用年数としたものである。一般的に腐朽の進行が地際で最も早いことを考慮

すれば、この耐用年数を構造物の耐用年数として適用することは安全側に設定されることと解釈できる。しかし、被害度平均値が2.5に達したときの強度については、スギの縦圧縮強度試験³⁾を除いて体系的に実測されたものはない。また、被害度が平均値で評価されていることから、全体的な腐朽状態の評価にとどまっており、局所的な腐朽による影響が大きいと考えられる接合部には適合しないことが課題として挙げられる。したがって、地際における部材の耐用年数のみで、構造計算を伴う構造物の耐用年数の根拠とするには十分ではない。

これを受けて、森ら⁴⁾はカラマツを用いた土木構造物を対象に、耐久性を考慮した設計手法を提案している。しかし、その適用範囲は木製土木構造物を対象としており、その他の構造物は想定していない。また、接合部の耐力低下については、部材の強度低下式に低減係数をかけることで表現しているが、この低減係数は実験的な評価を伴って判断されたものではないため、どのように低下するかについては未知である。

そこで、本研究ではこの設計手法の汎用性を高めることを目的として、木製防雪柵の接合部が腐朽した場合の強度低下を腐朽処理によって実験的に再現し、接合部の耐用年数の予測方法について考察したので報告する。

なお、本研究は農林水産研究高度化事業「カラマツ間伐材を用いた雪害対策・緑化用構造物の開発(平成16～18)」の一環として実施したものであり、成果の一部を第55回日本木材学会大会(京都市)⁵⁾および第9回木質構造研究会技術発表会(東京都)⁶⁾で発表した。

2. 試験体および試験方法

2.1 試験対象

第1図に本研究で対象とした木製防雪柵を示す。この構造物はH形鋼の支柱に、防雪板として長さ3m、直径120mmのカラマツ半割円柱加工材を横使いに取り付けたものである。接合部は、半割円柱加工材の両端部から25mmの位置に直径12mmの先孔を開け、外径32mmの丸座金を用いて、M10六角ボルトでH形鋼に緊結している。想定する荷重は背面



第1図 木製防雪柵

Fig. 1. The wooden snow fence.

からの風圧で、接合耐力は座金のめり込み耐力で決定される。

これを踏まえて本試験では、この部材の端部から長さ120mmまでを再現して、めり込み試験を行った。ただし、試験体では座金の接触状態を一定にするため、モルダーで円弧側を切削し、座金径以上(幅37mm程度)の平面を確保したものをを用いた。なお、本製品では防腐処理材を基本仕様としているが、本研究は無処理材の使用を想定した考察である。

2.2 試験体の処理条件

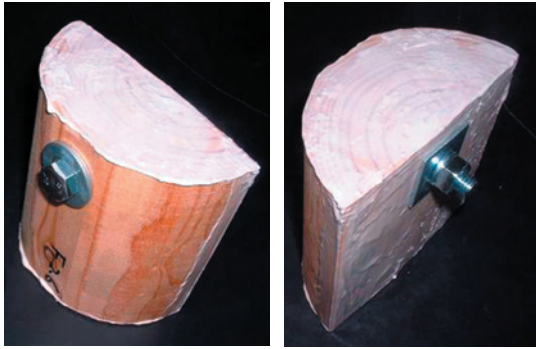
試験体の処理条件は設置初期を想定した気乾状態、湿潤時を想定した飽水状態、生物劣化後を想定した処理期間の異なる2種類の腐朽状態の計4条件である。試験体数は各条件10体で、試験体は10本の半割円柱加工材からエンドマッチングさせて採取した。

気乾試験体は試験室環境下で平衡含水率に達したものを試験に供した。飽水試験体は水を減圧注入することで繊維飽和点以上にして試験に供した。

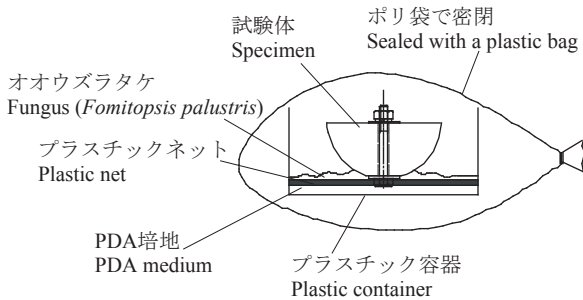
腐朽試験体は、腐朽の進行パターンのうちボルト頭周囲からの腐朽が最も接合強度に影響を及ぼすものと考えた。したがって、腐朽試験体は、ボルト頭側の円弧面以外をエポキシ樹脂でシールし、実際の仕様である丸座金(外径32mm)をM10六角ボルトで装着し、裏側から角座金(幅32mm)とスプリングワッシャを挟み、スプリングワッシャが閉じるまでボルトを締めた状態で腐朽させた(第2図)。

腐朽処理方法は第3図に示すとおりで、腐朽菌(オオウズラタケ *Fomitopsis palustris*)を培養した培地にボルト頭側を接触させて、ポリ袋で密閉し、温度26℃で暴露した。暴露期間は5か月および8か月である。

また、腐朽試験体は腐朽処理後に含水率が一定で



第2図 腐朽処理前の試験体の様子
Fig. 2. Specimens sealed with epoxy resin.



第3図 腐朽処理方法
Fig. 3. Method of exposure to fungus.

ないことが考えられたため、処理後に水を減圧注入して繊維飽和点以上にしてから強度試験に供した。

2.3 腐朽被害度の判定

腐朽試験体については処理後に丸座金周囲の腐朽状態を目視で観察した。状態の判定には第1表に示す被害度評価基準¹⁾を準用し、各被害度の中間的な状態も考慮した11段階で区分して評価した。

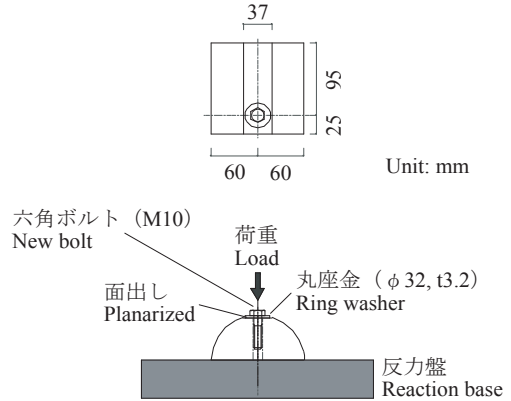
2.4 めり込み試験方法

めり込み試験方法を第4図に示す。試験には島津

第1表 被害度の評価基準

Table 1. Standards of damage grading.

被害度 Damage grade	観察状態 Observed condition
0	健全 Sound (no damage)
1	部分的に軽度な虫害または腐朽 Partial, slight damage
2	全面的に軽度な虫害または腐朽 Slight damage all over the inspected points
3	2の状態のうえに部分的にはげしい虫害または腐朽 Partial, severe damage, in addition to damage grade 2
4	全面的にはげしい虫害または腐朽 Severe damage all over the inspected points
5	虫害または腐朽により形がくずれる Destroyed



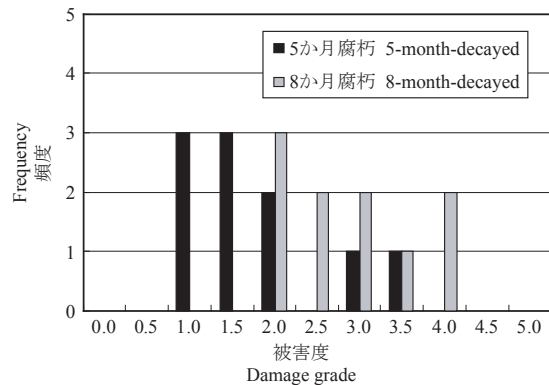
第4図 めり込み試験方法
Fig. 4. Configuration of embedding test.

製作所製強度試験機オートグラフ DSS-10T-S (容量100kN)を用いた。加力方法は、新たに用意したM10六角ボルトの頭を介して丸座金を試験体にめり込ませた。腐朽試験体は腐朽処理時に装着していた丸座金を、気乾試験体および飽水試験体では新品の丸座金を使用した。なお、腐朽処理したものは下面がエポキシ樹脂でシールされているため平滑ではないが、すべて反力盤に直置きとした。変位はクロスヘッドの移動量とし、荷重が上昇しはじめてからの変位(変形量)が6mm(材厚の約10%)以上に達するまで加力した。クロスヘッドの速度は1mm/minとした。

3. 結果

3.1 腐朽被害度の判定結果

第5図に腐朽被害度の判定結果を処理期間別に示す。5か月処理よりも8か月処理の方が腐朽は進行していたといえるが、いずれの処理期間においても



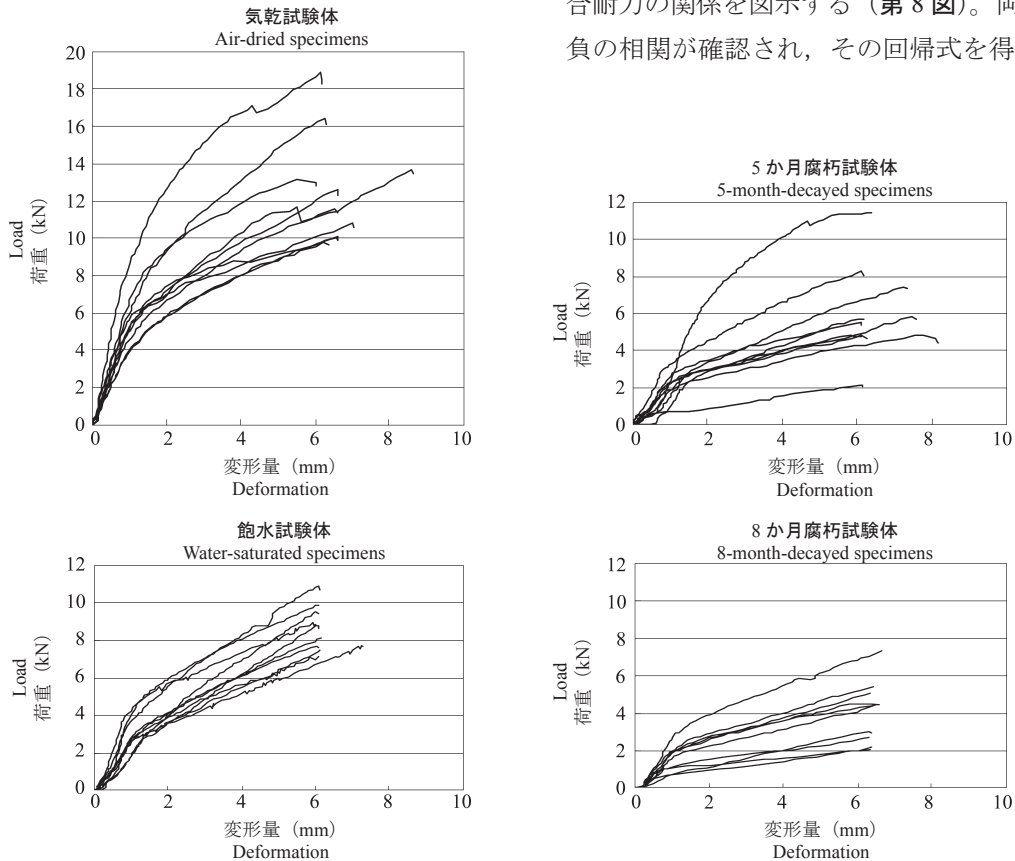
第5図 腐朽処理後の被害度の頻度
Fig. 5. Frequency histogram for damage grade observed in decay-accelerated processing.

腐朽状況の個体差は大きかった。

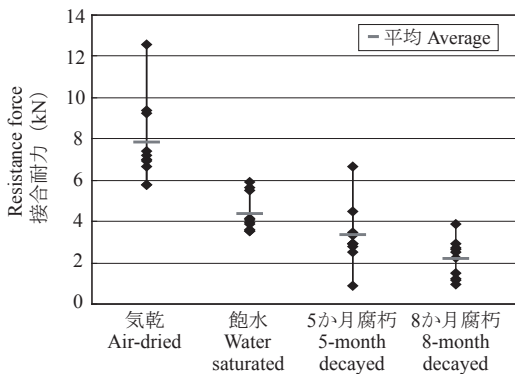
3.2 むり込み試験結果

荷重—変形量曲線を処理別に第6図に示す。飽水試験体は気乾試験体に比べ顕著に荷重が低下している。5か月処理で強度が突出している1体は材中にアテが確認されたものである。それ以外については飽水試験体よりも低い傾向にあり、8か月処理ではさらに低かった。

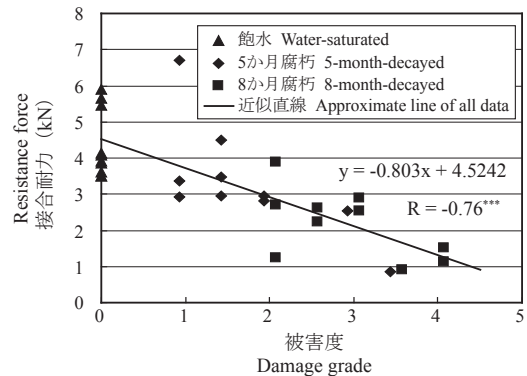
ここで、実際の施工におけるスプリングワッシャがボルトの脱落防止に有効に働く緩み量の限界を2mmと想定し、変形量が2mmに達したときの荷重を本接合部の接合耐力と定義して、処理別にまとめたものを第7図に示す。ばらつきは大きいものの、処理期間が長いほど接合耐力が低下する傾向にあった。ここで、飽水試験体の接合耐力を被害度0の接合耐力と見なして、腐朽試験体と併せて被害度と接合耐力の関係を図示する(第8図)。両者間に有意な負の相関が確認され、その回帰式を得た。



第6図 荷重—変形量曲線
Fig. 6. Load-deformation curves.



第7図 処理別の接合耐力
Fig. 7. Bolted-connection resistance force of each status for 2mm embedding.



第8図 被害度と接合耐力の関係
Fig. 8. Relation between damage grade and resistance force.
*** 危険率0.1%水準で有意
***Significant at the 0.1% level.

4 耐用年数の考察

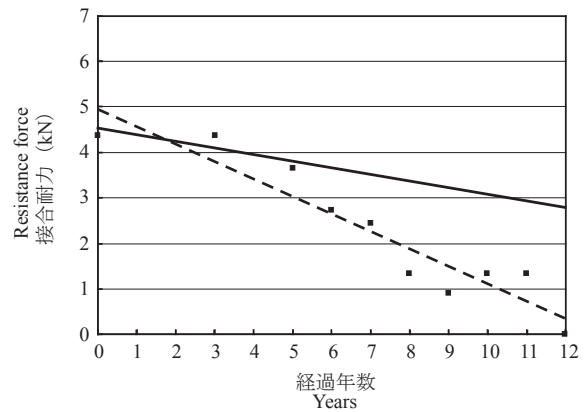
耐用年数は第8図で得られた被害度と耐力の関係式に、経過年数と被害度の関係を併せることで誘導できる。ここで、森らの土木構造物における耐用設計手法⁴⁾を引用した。

第9図に、森らの設計手法の根拠とする調査結果のうち、本研究で対象とした接合部の設置条件に該当する「地上部-非接地」における部材の経過年数と被害度平均値の関係を、被害度の出現率と併せて示す。なお、10年以降については、筆者らの追加調査によるものである。

腐朽の進行は環境に左右されるため、経過年数と被害度の関係は設置現場の環境に合わせて考察することが望ましいが、ここでは、経過年数と被害度の関係に被害度平均値の回帰直線を採用して耐用年数を予測する。

第10図に、経過年数と被害度平均値の回帰直線と、被害度と平均接合耐力の近似直線から得られる経過年数と接合耐力の関係の予測を示す(実線)。

これによって、接合部に要求される耐力が3kNである場合には、耐用年数は10年であると予測される。ただし、被害度は第9図で見られたように、ばらつきを持った値である。したがって、第9図の被害度の最大値を採用した場合には、接合耐力の低下予測結果は異なり(第10図中■およびその回帰直線(破線))、耐用年数は5年と予測される。これが



第10図 経年による接合耐力低下予測式

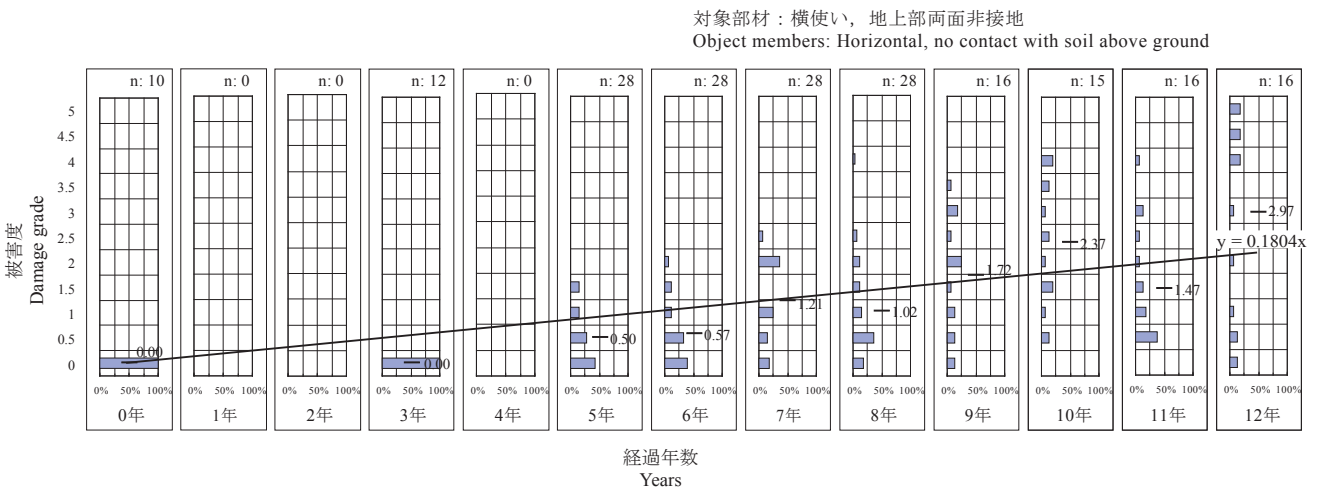
Fig. 10. Estimated line of decreasing resistance force of the wooden snow fence connections.

- : 平均被害度 × 平均耐力, ■: 最大被害度 × 平均耐力,
- - -: 回帰直線 (最大被害度 × 平均耐力)
- : Average damage grade × average resistance force,
- : Maximum damage grade × average resistance force,
- - -: Approximate line (maximum damage grade × average resistance force)

最も劣悪な環境下であるかどうかについては議論が必要であるが、第9図のデータが充実されることで設置環境に応じた強度低下式の導出が可能になると考えている。

5. おわりに

本研究ではカラマツを用いた木製防雪柵の接合部を対象に、腐朽処理した試験体の残存耐力を測定し、被害度との相関を得ることで、実設計に反映で



第9図 経過年数と被害度の関係

Fig. 9. Relation between years passed and damage grade.

棒グラフ：頻度 (%), - : 平均被害度, 直線：回帰直線, n : 判定対象数

Bar: Frequency for each year, - : Average damage grade, Line: Approximate line of average damage grade, n: Number of objects

きる強度低下式が導出できることを示した。

今後は、他の接合形態についての検討を進めるが、接合形態によっては平均耐力ではなく最小値や下限値を採用して設計上の安全性を確保すべき場合があると考えている。

引き続き、経過年数と被害度の関係のデータを充実させ、最終的には、接合形態ごとに接合耐力の低下式を決定し、汎用性の高い設計手法として提案したい。

文 献

- 1) 松岡昭四郎, 雨宮昭二, 庄司要作, 井上衛, 阿部寛, 内藤三夫: 林業試験場研究報告 No.232, 109-153 (1970).
- 2) 日本木材保存協会: “木材保存学入門改訂版”, 1998, p.80.

- 3) 松岡昭四郎, 井上衛, 庄司要作, 鈴木憲太郎, 山本幸一: 林業試験場研究報告 No.329, 73-106 (1984).
- 4) 森満範, 前田典昭, 宮内輝久, 杉山智昭, 藤原拓哉, 今井良: (社) 日本木材保存協会第 23 回年次大会研究発表論文集, 東京, 2007, pp.14-19.
- 5) 野田康信, 森満範, 前田典昭: 第 55 回日本木材学会大会研究発表要旨集, 京都, 2005, p.88.
- 6) 野田康信, 森満範, 前田典昭: 第 9 回木質構造研究会技術発表会技術報告集, 東京, 2005, pp.34-35.

— 性能部 構造性能科 —
— *1: 性能部 耐朽性能科 —
— *2: 企画指導部 デザイン科 —
— *3: 性能部 主任研究員 —
(原稿受理: 08.1.8)