

(資料)

## ピロディンおよび目視被害度を用いたカラマツ杭材の耐用年数評価

大橋 一雄・多田野 修

Estimation of service lives of Karamatsu posts with Pilodyn and visual damage grade

Kazuo OHASHI・Osamu TADANO

### 要 旨

土木工事で多用されるカラマツ杭材の耐用年数を推定するため、施工後1～12年経過した木柵工カラマツ杭材について、ピロディン、目視の2つの評価法を用い地際部、頂部の劣化度の調査を行った。その際、使用環境として経過年数、杭材の加工方法、施工地の環境として標高、傾斜、斜面の方向などの要因を挙げ、各要因が劣化に与える影響について検討した。その結果、推定された耐用年数は杭の加工方法、評価法で異なり、ピロディンでは、皮付き材は5年程度、皮剥ぎ材は6～7年、円柱加工材は7年程度、目視では皮付き材、皮剥ぎ材は4～5年、円柱加工材は5～7年であった。また劣化度は、地際部>頂部の傾向を示し、年数の経過に伴いその格差は大きくなった。重回帰分析の結果、各要因のうち影響が最も大きかったのは経過年数となり、次いで杭の加工方法となった。施工地の環境は劣化に大きな影響を与えると考えられるが、今回の手法では各因子が劣化に与える影響を解析することはできなかった。

キーワード：カラマツ杭材、耐用年数、ピロディン、目視被害度、加工方法

### 目 次

|                        |    |
|------------------------|----|
| 緒 言                    | 36 |
| 1 調査方法                 | 36 |
| 1.1 試験体                | 36 |
| 1.2 ピロディン打ち込み深さの測定     | 36 |
| 1.3 被害度の測定             | 36 |
| 1.4 使用環境の測定            | 37 |
| 2 結果と考察                | 37 |
| 2.1 ピロディン打ち込み深さ        | 37 |
| 2.1.1 ピロディン打ち込み深さの経年変化 | 37 |
| 2.1.2 重回帰分析による影響因子の検討  | 38 |
| 2.2 耐用年数の推定            | 38 |
| 2.2.1 ピロディン打ち込み深さによる推定 | 38 |
| 2.2.2 目視被害度による推定       | 39 |
| 3 まとめ                  | 39 |
| 引用文献                   | 39 |

## 緒 言

近年、治山ダム、橋など強度保証が重要視される構造物の部材に木材が利用されている。木材は屋外で使用すると、紫外線、風雨、虫、腐朽菌などにより劣化を受け、強度が低下する。そのため木製構造物を適正に維持管理するためには、部材の交換時期を推定する必要がある、木材の耐用年数を明らかにすることが求められている。

耐用年数の推定方法は様々あるが、ピロディンや目視が多く用いられる<sup>1-3,5-9)</sup>。ピロディンとは一定の力でピンを突き刺し、打ち込み深さを測定する機器であり、破壊が小範囲にとどめられ、かつ測定が容易であるため、劣化度の指標として有効であるとされる。また、目視とは材料を肉眼で観察しその状態を分類する手法<sup>1)</sup>であり、測定が容易である。

岩手県では土木工事の杭材としてカラマツが多用されている<sup>4)</sup>。カラマツ杭材の耐用年数は、北海道では3年程度<sup>9)</sup>、山梨県では4年程度<sup>8)</sup>という報告がなされている。木材の耐用年数は加工方法や使用環境などで異なることが予想されるため、岩手県においても独自に耐用年数の推定を行う必要があると考えられる。

木材の耐用年数を評価するためには、多様な環境下に施工した場合の劣化度を詳細に追跡調査することが必要である。木製治山ダムや木橋などは施工事例が少なく施工後あまり経過していないが、木柵工は様々な環境下で数多く施工され、かつ、施工後の経過年数が長いものがあることから、現在の調査で耐用年数を推定することが可能と考えられる。

そこで本研究では、岩手県の土木工事で多用されているカラマツ材の耐用年数を推定するため、施工後1～12年経過した木柵工カラマツ杭材について、ピロディン、目視の2つの評価法を用いて劣化度の調査を行った。その際、劣化要因として経過年数、杭材の加工方法、標高、傾斜、斜面の方向などを挙げ、各要因が劣化に与える影響について検討した。

## 1 調査方法

### 1.1 試験体

試験体は岩手県内の212箇所の木柵施工地(図-1)のカラマツ杭材を用い、1箇所につき9～10本、計2086本を対象とした。試験体は直径9～13cmの無処理材であり、経過年数は1～12年であった。また、試験体の加工方法は皮付き、皮剥ぎ、円柱加工の3種類あり、それぞれ189, 1249, 648体であった。

### 1.2 ピロディン打ち込み深さの測定

ピロディン打ち込み深さ(以下Peという。)の測定には、スイスProceq社製のピロディン(PILODYN, 6 J-Forest, ピン直径2.5mm, 測定範囲0～40mm)を用いた(写真-1)。測定部位は、土壤に接する部位である地際部と、頂頭部から約10cm下部の頂部(図-2)の2箇所とした。それぞれについて谷側の3点を測定し、その平均値を代表値とした。

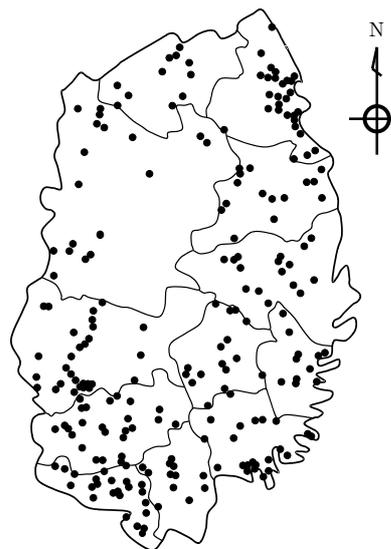


図-1 調査地の位置(212箇所)



写真-1 ピロディン  
スイスproceq社製、6 J-Forest  
ピン直径：2.5mm 測定範囲：0～40mm

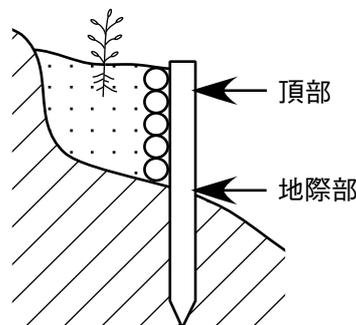


図-2 測定部位

### 1.3 目視被害度の測定

被害度の測定は、雨宮<sup>1)</sup>の6段階評価法に準拠して行った(表-1)。試験体の地際部を肉眼で観察し、その状態を、0：健全、1：部分的に軽度の被害、2：全面的

に軽度の被害, 3:2の状態の上に部分的に激しい被害, 4:全面的に激しい被害, 5:虫害または腐朽により形が崩れる, の6段階に分類した。被害度の測定には個人差が出やすいため, 同一の一人が測定した。

1.4 劣化要因の測定

試験体の劣化要因として, 経過年数, 加工方法を調査した。さらに, 施工地の環境に起因する要因として標高, 傾斜, 斜面の方向, 水分状況, 地質を測定した。なお, 数値化の困難な加工方法, 斜面の方向, 水分状況, 地質は表-2に示すように分類し, 重回帰分析を行った。

表-1 被害度の評価方法\*

| 被害度 | 状態                     |
|-----|------------------------|
| 0   | 健全                     |
| 1   | 部分的に軽度の虫害または腐朽         |
| 2   | 全面的に軽度の虫害または腐朽         |
| 3   | 2の状態のうえに部分的に激しい虫害または腐朽 |
| 4   | 全面的に激しい虫害または腐朽         |
| 5   | 虫害または腐朽により形が崩れる        |

\*雨宮<sup>1)</sup>の杭の被害度評価分類

表-2 劣化の因子

| 加工方法 | 測定項目    |      |         |   |    |
|------|---------|------|---------|---|----|
|      | 斜面の方向   | 水分状況 | 地質 (成分) |   |    |
|      |         |      | 粘土      | 砂 | レキ |
| 皮付き  | 北~北東・北西 | 乾    | 有       | 有 | 有  |
| 皮剥ぎ  | 東・西~南   | 湿    | 無       | 無 | 無  |
| 円柱加工 |         |      |         |   |    |

2 結果と考察

2.1 ピロディン打ち込み深さ

2.1.1 ピロディン打ち込み深さの経年変化

表-3に各経過年数におけるPeの平均値, 標準偏差を加工方法ごとに示す。皮付き, 皮剥ぎ, 円柱加工材とも

に年数が経過するほど, Peの平均値は増加した。2, 5, 10年経過時のPeの平均値 (±標準偏差) は, 皮付き材の場合, 地際部では20.70 (±8.70), 33.83 (±4.28), 39.66 (±1.19) mm, 頂部では18.40 (±9.50), 37.33 (±2.70), 39.32 (±2.77) mmと推移した。皮剥ぎ材の場合, 地際部では22.28 (±6.03), 31.20 (±7.80), 37.45 (±4.61) mm, 頂部では18.63 (±6.41), 26.40 (±9.40), 35.92 (±6.47) mmと推移した。円柱加工材の場合, 地際部では17.21 (±5.41), 24.90 (±8.30), 35.12 (±5.70) mm, 頂部では14.07 (±3.64), 19.70 (±8.20), 30.78 (±10.58) mmと推移した。

Peの平均値は加工方法で異なり, その順番は, 皮付き>皮剥ぎ>円柱加工となった。

Peは40mmを最大値とする打ち切りデータであることから, 平均値の比較とともに, 分布の比較を行う必要がある。そこで, 図-3, 4に各経過年数における加工方法ごとのPeの頻度分布を地際部, 頂部に分けて示す。皮付き, 皮剥ぎ, 円柱加工材ともに年数が経過するほど最頻値が増加した。地際部の場合, 皮付き材では6年経過時に, 皮剥ぎ材では4年経過時に, 円柱加工材では7年経過時に最頻値が40mmに達した。頂部の場合, 皮付き材, 皮剥ぎ材では5年経過時に, 円柱加工材では7年経過時に最頻値が40mmに達した。皮付き材の試験体数が少ないことを考慮すると, 年数の経過に伴う最頻値の増加の順番は, 皮付き>皮剥ぎ>円柱加工となった。

図-5に各経過年数における地際部と頂部のPeの関係を加工方法ごとに示す。なお図中の実線はy=xの直線である。加工方法によらず, Peは地際部>頂部の傾向を示し, 年数の経過に伴いその格差は大きくなった。Peは地際部>頂部の傾向を示したことから, 杭材の耐用年数は地際部で決定されると考えられるため, 以下の解析には地際部のPeを用いる。

表-3 経過年数ごとのピロディン打ち込み深さの平均値、標準偏差

| 加工方法  | n     | 測定部位  | 経過年数  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |       |       | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    |       |       |       |
| 皮付き   | 189   | 地際部   | mean  | -     | 20.7  | 22.63 | 27.81 | 33.83 | 34.39 | 36.79 | -     | 39.60 | 39.66 | 32.47 | -     |       |       |
|       |       |       | s. d. | -     | 8.7   | 4.37  | 6.01  | 4.28  | 5.85  | 3.34  | -     | 1.26  | 1.19  | 4.62  | -     |       |       |
|       |       | 頂部    | mean  | -     | 18.4  | 22.00 | 24.81 | 37.33 | 30.50 | 30.73 | -     | 39.43 | 39.32 | 32.13 | -     |       |       |
|       |       |       | s. d. | -     | 9.5   | 5.35  | 6.64  | 2.70  | 8.59  | 10.36 | -     | 1.22  | 2.77  | 8.82  | -     |       |       |
|       |       |       |       |       | (n)   | (0)   | (10)  | (30)  | (30)  | (9)   | (50)  | (10)  | (0)   | (10)  | (30)  | (10)  | (0)   |
|       |       | 皮剥ぎ   | 1249  | 地際部   | mean  | 17.77 | 22.28 | 23.99 | 26.66 | 31.2  | 32.85 | 35.94 | 36.55 | 36.94 | 37.45 | 37.62 | 39.75 |
| s. d. | 3.71  |       |       |       | 6.03  | 7.01  | 8.27  | 7.8   | 6.44  | 5.10  | 5.53  | 4.96  | 4.61  | 4.16  | 1.36  |       |       |
| 頂部    | mean  |       |       | 16.03 | 18.63 | 18.94 | 20.90 | 26.4  | 29.17 | 29.54 | 34.05 | 32.60 | 35.92 | 34.7  | 39.69 |       |       |
|       | s. d. |       |       | 2.88  | 6.41  | 6.36  | 8.64  | 9.4   | 9.49  | 10.16 | 8.19  | 8.87  | 6.47  | 7.4   | 1.56  |       |       |
|       |       |       |       | (n)   | (50)  | (70)  | (120) | (130) | (120) | (70)  | (138) | (110) | (174) | (130) | (87)  | (50)  |       |
| 円柱加工  | 648   |       |       | 地際部   | mean  | 16.33 | 17.21 | 18.16 | 23.25 | 24.9  | 21.59 | 34.71 | 32.61 | 33.37 | 35.12 | 35.3  | -     |
|       |       | s. d. | 3.53  |       | 5.41  | 4.86  | 8.15  | 8.3   | 6.10  | 7.58  | 8.97  | 7.94  | 5.70  | 5.4   | -     |       |       |
|       |       | 頂部    | mean  | 13.17 | 14.07 | 16.29 | 17.43 | 19.7  | 17.68 | 29.36 | 24.33 | 30.84 | 30.78 | 34.70 | -     |       |       |
|       |       |       | s. d. | 2.33  | 3.64  | 4.74  | 7.18  | 8.2   | 7.79  | 9.54  | 11.12 | 10.40 | 10.58 | 6.43  | -     |       |       |
|       |       |       |       |       | (n)   | (50)  | (168) | (70)  | (50)  | (59)  | (40)  | (50)  | (60)  | (40)  | (20)  | (40)  | (0)   |

n: 試験体数、mean: 平均値、s. d.: 標準偏差

2.1.2 重回帰分析による劣化要因の検討

目的変数を地際部のPe, 説明変数を経過年数, 加工方法の2要因, また, 標高, 傾斜, 斜面の方向, 水分状況, 地質の5要因とした線形重回帰分析を行い, 平方和と決定係数 ( $R^2$ ) を求め, 各要因がPeに及ぼす影響を比較した (表-4)。ただし, Peは最大40mmの打ち切りデータであることを考慮し, Pe=40の出現頻度が30%未満である経過年数6年目までのデータを用いて計算を行った。各要因のうち影響が最も大きかったのは経過年数であり, 次いで杭の加工方法となった。説明変数を経過年数, 加工方法とした場合,  $R^2$ は0.39, 説明変数を標高, 傾斜, 斜面の方向, 水分状況, 地質とした場合,  $R^2$ は0.07であった。劣化は紫外線, 風雨, 虫, 腐朽菌などにより生じることから, 劣化には使用環境が大きな影響を及ぼすと考えられるが, 今回の手法では使用環境の影響を評価することはできなかった。

表-4 重回帰分析による偏回帰係数、平方和と決定係数

| 因子   | 偏回帰係数  |      | 平方和   |       | $R^2*$ |
|------|--------|------|-------|-------|--------|
|      | (t)    | n    | 回帰    | 残差    |        |
| 経過年数 | 18.82  | 1127 | 32326 | 51260 | 0.39   |
| 加工方法 | -12.01 |      |       |       |        |
| 標高   | -2.34  | 1109 | 5289  | 74595 | 0.07   |
| 傾斜   | 3.21   |      |       |       |        |
| 斜面方向 | 2.02   |      |       |       |        |
| 水分状況 | 3.60   |      |       |       |        |
| 粘土成分 | 5.52   |      |       |       |        |
| 砂成分  | 1.66   |      |       |       |        |
| レキ成分 | 4.23   |      |       |       |        |

\* $R^2$ : 決定係数

2.2 耐用年数の推定

2.2.1 ピロディン打ち込み深さによる推定

飯島<sup>3)</sup>はスギ材におけるPeと曲げ強さの関係式 (曲げ強さ =  $-0.59Pe + 54.3$ ,  $R^2 = 0.097$ ,  $13 < Pe < 33$ , Pe=30の下限値: 24MPa) からPe=35のときの曲げ強さの下限値を推定し, その値 (22MPa) がスギ製材の材料強度 (22.5MPa) を下回ることから,  $Pe \geq 35mm$  を使用不能材と定義し, 治山木杭の耐用年数の目安であるとしている。さらにPe<35mmの材の残存耐力を90%と仮定した場合, 使用不能材の出現率が60%のとき, 材に設計値レベルの荷重が加われば5%は破壊するとしている。本研究ではカラマツを対象としているが, 飯島の手法に従い  $Pe \geq 35mm$  を使用不能材と定義し, 使用不能材の出現率が60%のときの耐用年数を推定する。図-6に使用不能材出現率の経年変化を加工方法ごとに示す。年数の経過に伴い使用不能材出現率は増加した。3, 5, 7年経過時の使用不能材出現率は, 皮付き材の場合, 0.0, 70.0,

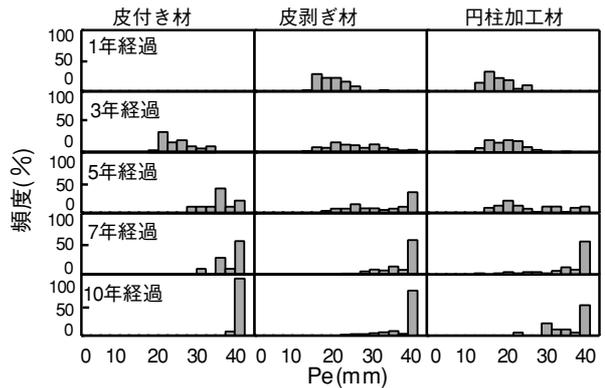


図-3 地際部のPeの頻度分布の経年変化

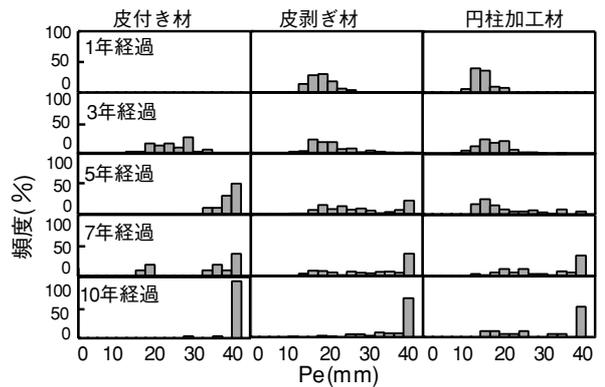


図-4 頂部のPeの頻度分布の経年変化

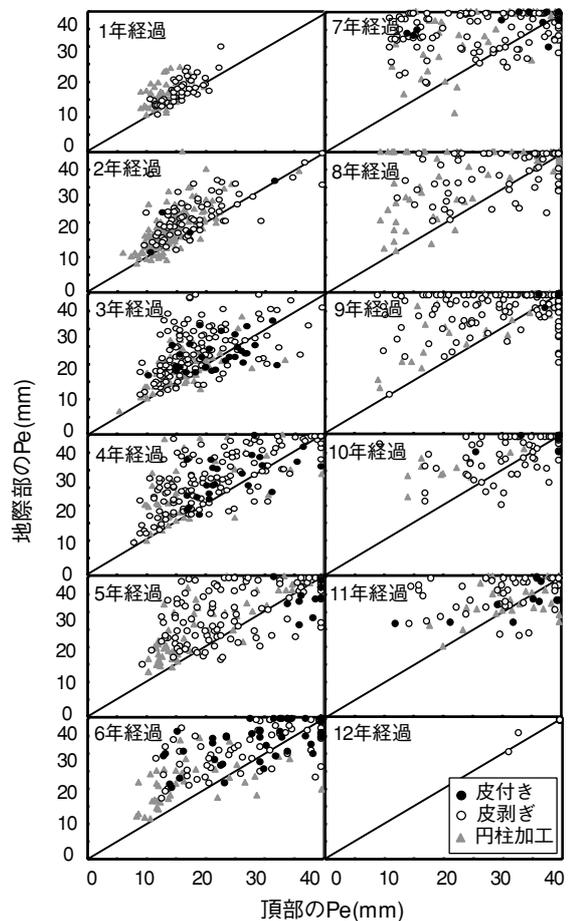


図-5 地際部と頂部のピロディン打ち込み深さの関係

100.0%, 皮剥ぎ材の場合12.5, 50.0, 84.5%, 円柱加工材の場合, 1.4, 20.0, 60.0%であった。使用不能材出現率60%を使用限界とすると, 耐用年数は, 皮付き材は5年程度, 皮剥ぎ材は6~7年, 円柱加工材は7年程度であった。

2.2.2 目視被害度による推定

雨宮<sup>1)</sup>の被害度評価法では, 全面的に軽度の被害の上に部分的に激しい被害があるものを被害度3としている。そのことから飯島は, 激しい被害がある被害度3以上を腐朽材としている<sup>3)</sup>。図-7に, 腐朽材出現率の経年変化を示す。腐朽材出現率は皮付き, 皮剥ぎ, 円柱加工材とも, 3年経過までは3%以下であったが, 4年経過時に急増した。5年経過時の腐朽材出現率は, 皮付き材では100.0%, 皮剥ぎ材では75.4%, 円柱加工材では33.9%となった。腐朽材出現率60%を使用限界とすると, 耐用年数は, 皮付き材, 皮剥ぎ材は4~5年, 円柱加工材は5~7年であった。

耐用年数の推定は, 加工方法, 評価法により異なり, その順番は加工方法では皮付き<皮剥ぎ<円柱加工とな

った。また評価法ではピロディン>目視の傾向が認められ, 目視では, 安全側に耐用年数が推定された。

3 まとめ

土木工事で多用されるカラマツ杭材の耐用年数を推定するため, 施工後1~12年経過した木柵工カラマツ杭材について, ピロディン, 目視の2つの評価法を用い地際, 頂部の劣化度の調査を行った。その際, 使用環境として経過年数, 杭材の加工方法, 施工地の環境として標高, 傾斜, 斜面の方向, 水分状況, 地質の要因を挙げ, 各要因が劣化に与える影響について検討した。結果を以下に示す。

- (1) 劣化度は地際部>頂部の傾向を示し, 年数の経過に伴いその格差は大きくなった。
- (2) 推定された耐用年数は加工方法, 評価法で異なり, ピロディンでは皮付き材は5年程度, 皮剥ぎ材は6~7年, 円柱加工材は7年程度, 目視では皮付き材, 皮剥ぎ材は4~5年, 円柱加工材は5~7年であった。
- (3) 各要因のうち劣化に対する影響が大きかったのは経過年数と杭の加工方法であった。施工地の環境は劣化に大きな影響を与えられられるが, 今回の手法では劣化に対する施工地の環境の影響を解析することはできなかった。

引用文献

- 1) 雨宮昭二 (1963) 浅川実験林苗畑の杭試験 (1) 杭の被害程度を評価する方法. 林業試験場研究報告 150: 143~156
- 2) 長谷川益夫・中谷 浩・飯島泰男・安田 洋・嘉戸昭夫・長谷川幹夫・相浦英春・石田 仁・上杉徳久 (1993) 富山県における治山木杭の耐久性 (第1報). 木材保存19-1: 13~22
- 3) 飯島泰男 (1999) 土木用木質構造物の耐用年数評価について. 木材保存25-5: 209~218
- 4) 岩手県農林水産部森林保全課 (2004) 平成15年度公共土木事業などにおける木材利用実績
- 5) 町田初男・茂木のり恵・伊藤英敏 (2003) 落石防護柵の緩衝材に使用されている針葉樹間伐材丸太の劣化調査. 木材保存29-6: 253-258
- 6) 松岡昭四朗・雨宮昭二・庄司要作・井上 衛・阿部寛・内藤三夫 (1970) 浅川実験林苗畑の杭試験 (3) 各樹種の野外試験による耐朽性調査結果. 林業試験

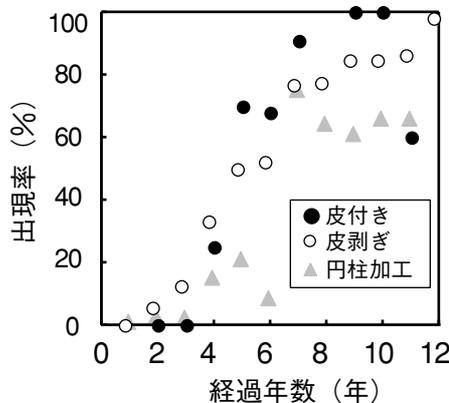


図-6 経過年数ごとの使用不能材出現率  
\*使用不能材: 打ち込み深さ $\geq$ 35mm

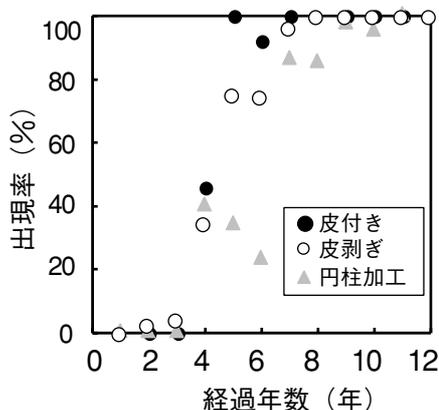


図-7 経過年数ごとの腐朽材出現率  
\*腐朽材: 目視被害度 $\geq$ 3

場研究報告232：109～135

- 7) 森 満範・前田典昭・宮内輝久・杉山智昭・藤原拓哉・今井 良 (2004) 木製土木構造物の耐力変化の予測 (I) 各部材における耐力の経年変化. 第54回日本木材学会大会研究発表要旨集：684
- 8) 名取 潤 (1995) 防腐処理した小丸太の野外耐久性. 木材保存21-1：16～22
- 9) 奥村真由己・森 満範・菊池伸一・土居修一 (1997) 防腐剤塗布処理丸太の野外耐久性. 林産試験場報告11-1：1～6