

腐朽条件下に置いた木材の面圧強度の変化

Embedding strength of wood exposed to decay fungus

○澤田圭* 瀧内浩** 佐々木貴信*** 土居修一* 飯島泰男*

SAWATA Kei, TAKIUCHI Hiroshi, SASAKI Takanobu, DOI Shuichi, IJIMA Yasuo

* 農博 秋田県立大学木材高度加工研究所 (〒016-0876 能代市海詠坂 11-1)

** (株) コシイプレザービング (〒559-0026 大阪市住之江区平林北 2-9-145)

*** 博(工) 秋田県立大学木材高度加工研究所 (〒016-0876 能代市海詠坂 11-1)

ABSTRACT The objective of this study was to investigate the change of embedding strength of wood decayed by *Fomitopsis palustris*. The embedding tests were conducted on sugi (heartwood and sapwood), karamatsu, douglas-fir and spruce according to ASTM-D5764. For the specimen except for sugi (heartwood) and douglas-fir, the embedding strength of wood decreased as the incubation times increased. The remarkable strength loss was shown in sugi (sapwood), karamatsu and spruce, and the incidence of the strength loss of sugi (sapwood) and spruce were higher than the others.

Keywords : 面圧強度、腐朽、含水率、強度劣化、耐朽性

Embedding strength, decay, moisture content, strength loss, decay resistance

1. はじめに

現在、近代的な木橋や学校等の大規模な木質構造物にはドリフトピン接合が多く用いられており、一般にこのような接合部のせん断性能は構造物全体の特性を大きく左右する。ドリフトピン接合部のせん断性能は木材の面圧性能とドリフトピンの曲げ性能によって決定され、木材は水分の影響で機械的性質が大きく変化することから、接合部の性能を保つためには接合部付近に水分が留まらないようにする注意が必要となる。しかし使用状況によっては構造部分が湿潤な環境下に置かれる可能性があり、その場合木材は腐朽菌による生物劣化が発生しやすくなる。腐朽菌が生育しているときの木材の含水率が繊維飽和点以上であることを考えると、腐朽が生じている箇所の強度は腐朽劣化と含水率の影響で著しく低下していると推測される。そこで本研究では木質構造ドリフトピン接合部の木材に腐朽が生じた場合を想定し、腐朽時における木材の強度低下を調べるため、含水率を変化させた木材及び腐朽処理を施した木材について面圧試験を行った。

2. 試験体および試験方法

含水率と健全材の面圧強度の関係はスギ、カラマツ、ベイマツ、スプルーースを用いて調べた。試験体数は各樹種48体、計192体とした。試験体寸法はASTM-D5764¹⁾に準じて幅89mm、高さ89mm、厚さ24～38mmとし、試験体の端部に径13mm程度の半円形の溝を設けた。これは、ドリフトピン接合部のピン穴を中心としたときの片側半分を想定している。試験体形状を図1に示す。試験体は常温で1～3週間浸水処理した後自然乾燥し、適時試験に用いた。

腐朽劣化と面圧強度の関係はスギ心材、スギ辺材、カラマツ、ベイマツ、スプルーースを用いて調べ

た。ここではピン穴に腐朽菌が入り込んだ場合を想定し、木材に腐朽処理を施して面圧試験を行った。試験体寸法と形状は上記の面圧試験体と同様とし、試験体数は各樹種 90～119 体、計 479 体とした。腐朽菌には褐色腐朽菌オオウズラタケを用いた。ポリプロピレン製容器内の培地（麦芽エキス 2%、ペプトン 1%）上に予め培養しておいた腐朽菌を接種し、10 日間の培養後、滅菌処理した試験体をその溝部分が菌叢に接するように静置した。木材の溝部分から腐朽を生じさせるため、試験体の溝以外の面にはエポキシ樹脂を塗布した。腐朽方法を図 2 に示す。試験体は恒温恒湿器内（26℃，99%RH）で腐朽させ、腐朽処理期間は表 1 に示すように 2～10 週間とした。腐朽処理 10 週間後のスプルーを図 3 に示す。試験体の中央部分（溝部分）に腐朽菌が付着しており、中央部から材端にかけて木材が腐朽によって変色している様子が見られる。面圧試験には腐朽操作終了後すぐ試験に用いた材（未調湿材）と、腐朽操作後に 60℃で 48 時間乾燥させ気乾状態まで調湿した材（調湿材）を用いた。

試験は半円形の溝に径 12mm のドリフトピン状の鋼材を押し込むように行い（図 1）、加力方向は繊維平行および繊維直交方向とした。試験速度は 1mm/min. とし、クロスヘッドと試験体間の変位を 2 つの変位計を用いて測定した。

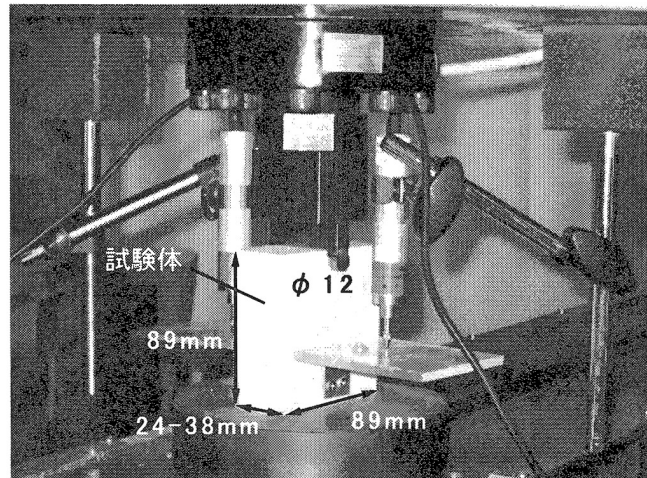


図 1. 面圧試験の概観

3. 試験結果と考察

3.1 面圧強度の評価法

面圧試験から得られた荷重を試験体の厚さ（24～38mm）とピンの直径（12mm）で除して面圧応力を求めた。含水率 10%と 30% のスプルー健全材及び腐朽材の面圧応力－変位曲線を図 4 に示す。健全材の面圧応力－変位曲線は、繊維平行方向加力の場合には初め応力が直線的に増加して、降伏後は

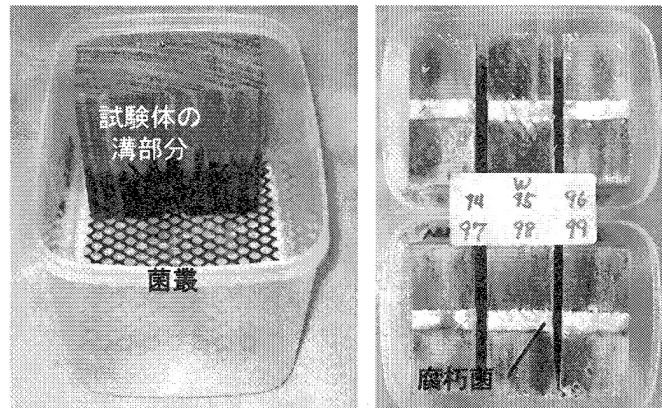


図 2. 腐朽方法

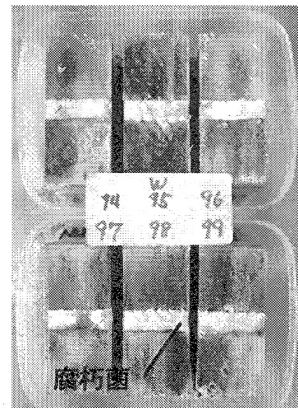


図 3. 腐朽期間 10 週間後のスプルー

表 1. 腐朽操作スケジュール

| 試験体 | 腐朽期間(weeks) | | | | | | | | | |
|------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|----|---|
| | 0 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| スギ心材 | 調湿 | ○ | - | - | ○ | - | - | - | ○ | ○ |
| カラマツ | 未調湿 | ○ | - | - | - | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ベイマツ | 未調湿 | ○ | - | - | - | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| スギ辺材 | 調湿 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - |
| スギ辺材 | 未調湿 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | - | ○ | - | ○ |
| スプルー | 調湿 | ○ | - | - | ○ | - | - | - | ○ | ○ |
| スプルー | 未調湿 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

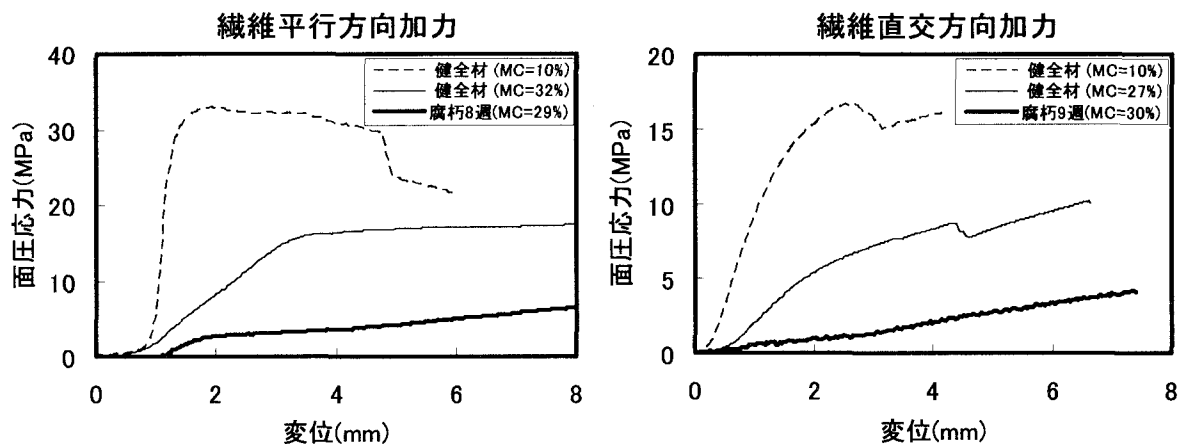


図4. 面圧応力—変位曲線

変位の増加にかかわらずほぼ一定であったが、繊維直交加力の場合には降伏後も応力が漸増した。しかし、腐朽材の面圧応力—変位曲線の形状は健全材と大きく異なり、繊維平行加力の場合には加力後すぐに降伏し、降伏後の応力は漸増した。繊維直交加力では明確な降伏点が見られず応力は直線的に増加する傾向を示した。

繊維平行方向の面圧強度はASTM-D5764¹⁾に準じて5%off-set法から求めた。5%off-set法は図5に示すように、応力—変位曲線上の初めの直線部分をピン径の5%相当の変位だけX方向へ平行移動し、平行移動した直線と応力—変位曲線の交点から面圧強度を算出する方法である。しかし繊維直交加力においてはこの評価法で強度が求まらない場合(例えば、図4の腐朽材)があるため、ここでは降伏変位に相当する2.5mm変形時までの最大応力を繊維直交方向の面圧強度とした。

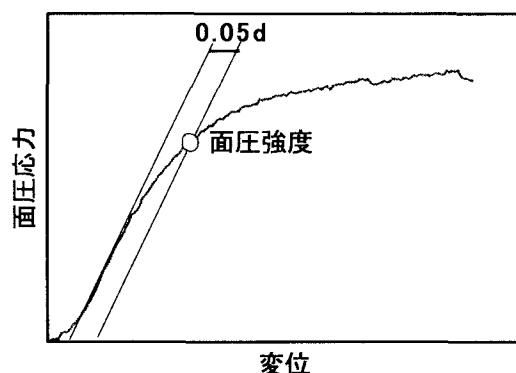


図5. 面圧強度の評価法(d:ピン径)

3.2 面圧強度と含水率

面圧試験後、試験体から溝部分を含む小片を切り出し、溝近傍の含水率を全乾法により求めた。この試験から含水率10～80%間の面圧強度のデータが得られ、この強度を気乾材の強度の平均値で除して面圧強度の比を求めた。図6に健全材の面圧強度比と含水率の関係を示す。含水率10%～約28%(繊維飽和点)間は、含水率の増加とともに面圧強度は低下し、含水率が繊維飽和点以上になると面圧強度はほぼ一定であった。樹種や加力方向にかかわらず同様の傾向が見られ、含水率が繊維飽和点以下では含水率1%当たりの面圧強度の増減率は3.0～3.7%で、繊維飽和点以上の面圧強度は気乾時の約0.5倍であった。この面圧強度比と含水率の関係をバイリニア型にモデル化した(図6中の近似モデル)。モデル式を(1)式に示す。

$$\begin{aligned}
 fe,e &= \left\{ 1 - (ue - ud) \times \frac{r}{100} \right\} \times fe,d \quad (\text{測定含水率} 28\% \text{未満}) \\
 fe,e &= \left\{ 1 - (28 - ud) \times \frac{r}{100} \right\} \times fe,d \quad (\text{測定含水率} 28\% \text{以上})
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

ここで、 fe,e は推定面圧強度(MPa)、 ue は測定含水率(%)、 ud は気乾時の含水率(%)、 r は含水率1%あたりの面圧強度の増減率(%)、 fe,d は気乾時の面圧強度(MPa)。

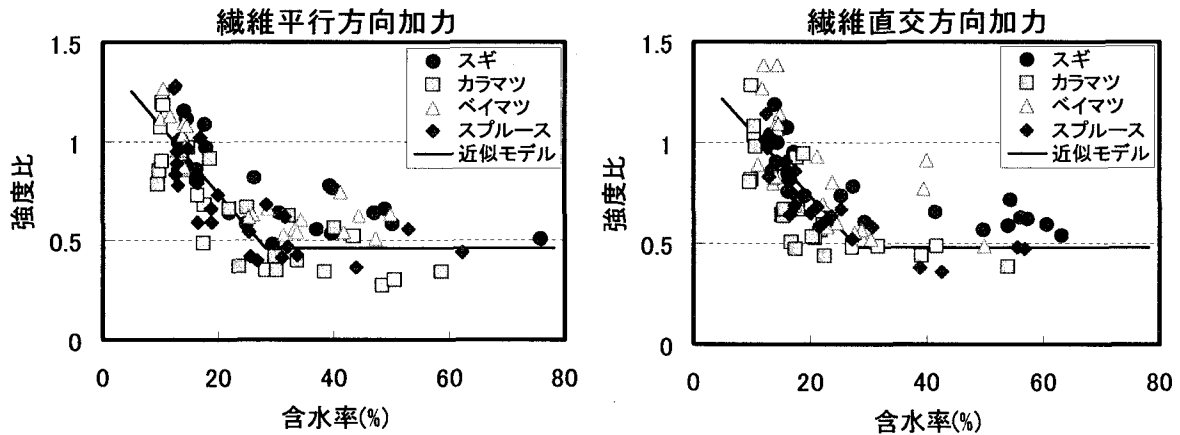


図6. 強度比(任意の含水率における面圧強度/気乾時の面圧強度)と含水率の関係

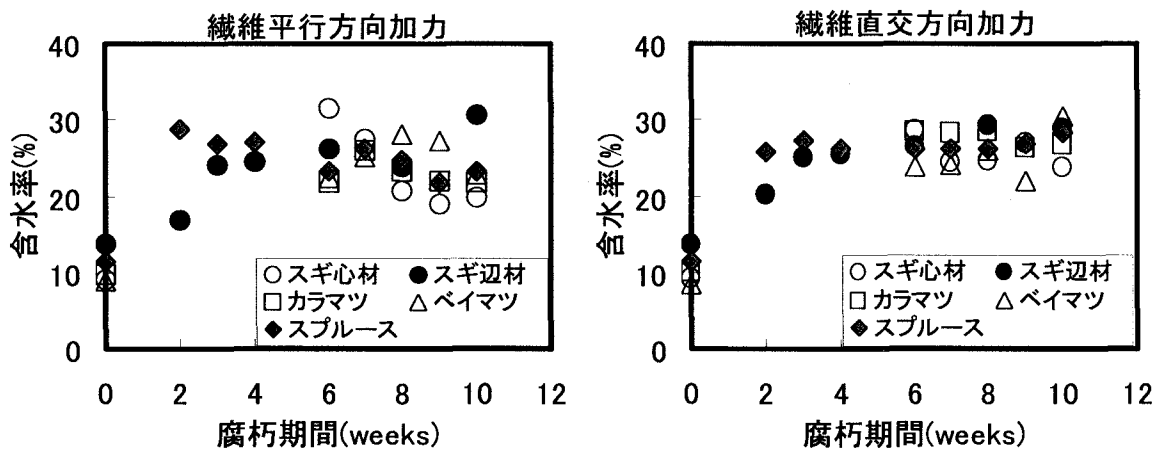


図7. 腐朽処理材の含水率の変化

3.3 腐朽処理材の面圧強度

腐朽期間に対する腐朽処理材の含水率変化を図7に示す。この腐朽操作では木材の含水率は腐朽3週目まで増加し、3週以降は概ね一定であった。図8に面圧強度と腐朽処理期間の関係をスギ心材とスプルースについて示す。ここで、腐朽期間0週には含水率10%程度と28%以上の健全材の面圧強度をそれぞれ調湿材、未調湿材として示した。スギ心材は腐朽10週目でも菌の付着量は少なく、腐朽処理材と健全材の強度は同程度であったが、スプルースでは腐朽菌の付着が顕著に見られ(図3)、腐朽4~6週目以降で腐朽処理材の強度は健全材よりも低い値を示した。腐朽処理9、10週間後の試験体を気乾状態まで乾燥させた場合、木材腐朽が見られないスギ心材では健全材と同程度まで強度が回復したが、腐朽が生じていたスプルースでは多くの試験体に強度低下が見られた。図9に腐朽期間9、10週目の木材の強度を健全材の気乾時強度で除した値の平均値を示す。繊維平行加力のスギ心材、カラマツ、ベイマツと直交加力のスギ心材、ベイマツの強度比は、調湿材が約1.1、未調湿材が0.5~0.6で健全材と同程度の値であった。スプルースと繊維直交加力のカラマツには強度低下が観察され、スプルース調湿材の強度比は0.4~0.7、未調湿材は0.2~0.3で、カラマツの調湿材は0.8~0.9、未調湿材は0.2~0.4であった。腐朽材の調湿時と未調湿時の強度比を単純に比較することは材質や木材の耐朽性にばらつきがあるため難しいが、含水率が気乾状態から繊維飽和点まで増加した場合、腐朽材の強度は健全材と同様におよそ半減する傾向を示した。

木材腐朽による強度劣化を調べるために木材の含水率から(1)式を用いて健全時の面圧強度を推定し、実験値との比較を行った。図10に腐朽処理材の強度を健全材の気乾時強度で除した値を示す。な

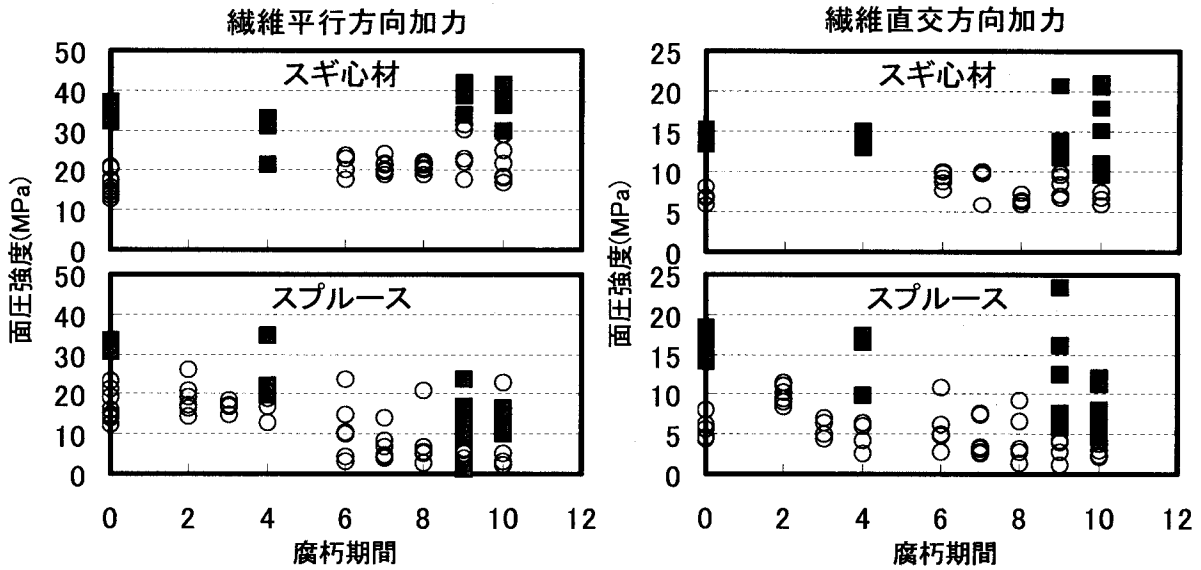


図8. 面圧強度と腐朽処理期間の関係 (■：調湿材，○：未調湿材)

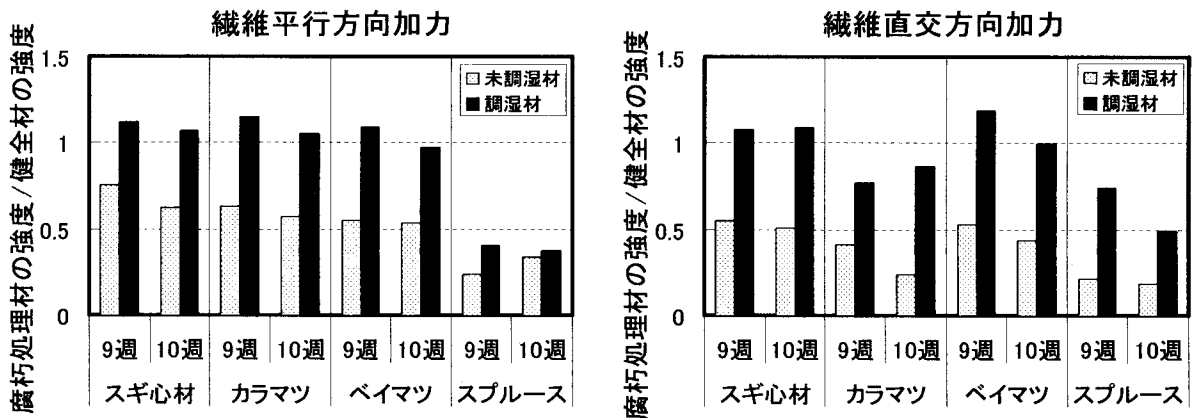


図9. 腐朽処理期間9,10週目の面圧強度比

お、腐朽処理材は未調湿材について示した。推定値は3週目までは低下、3週目以降はほぼ一定で、含水率の変化(図7)と対応している。繊維平行加力のスギ心材、カラマツ、ベイマツ、直交加力のスギ心材とベイマツにおいては実験値と推定値は概ね一致した。その他の試験体では3～7週目から実験値が推定値より低い値を示し始め、腐朽期間が長くなる程実験値と推定値の差は大きくなる傾向を示した。

図11に各腐朽期間における実験値を推定値で除した値を示す。推定値は健全材の強度と仮定しているため、実験値が推定値より小さくなる程腐朽による強度劣化が著しいと推測される。繊維平行加力のスギ心材、カラマツ、ベイマツと直交加力のスギ心材は、ばらつきがあるものの実験値と推定値は近い値を示した。直交加力のベイマツにおいても実験値と推定値は概ね等しいが、腐朽8週目と10週目には大きく強度低下しているものが見られた。スギ心材は腐朽4週目までは実験値と推定値は等しいが、6週目以降に著しい強度低下を示し、スプルースは3～4週目以降から、繊維直交加力のカラマツは7週目以降から強度低下が生じ始めた。強度低下を示した試験体において、腐朽期間が長くなるとともに実験値は小さくなり、腐朽10週目にはスギ心材は約80%、スプルースは約55%、直交加力のカラマツは約30%の強度低下を示した。この強度低下率のバラツキは試験体によって異なり、スギ心材とスプルース

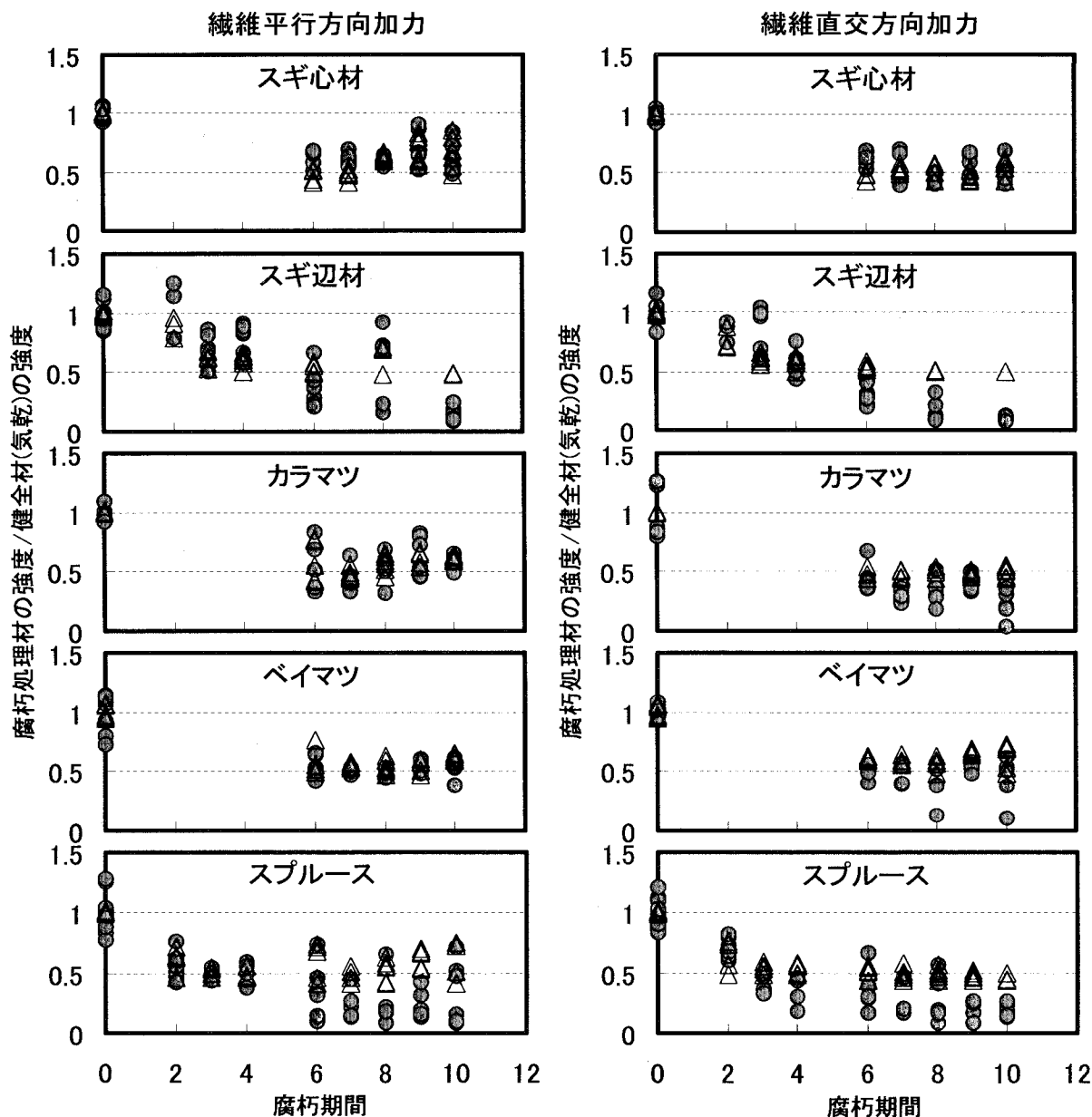


図 10. 強度比(腐朽処理材の強度 / 気乾材の強度)と腐朽処理期間の関係
 (● : 実験値, △ : 推定値)

スではいずれの腐朽期間でもほぼ同程度のバラツキであるが、直交加力のカラマツにおいては腐朽期間が長くなる程、バラツキが大きくなる傾向を示した。

強度低下率から腐朽期間毎の強度劣化の出現頻度を求めた。ここでは、材料強度のばらつきを考慮して実験値が推定値よりも30%以上低下(強度分布を正規分布、変動係数を18%と仮定したとき下限5%値以下に相当)し、木材に腐朽菌が付着していたものを腐朽により強度劣化が生じたものと仮定した。図12に各腐朽期間における強度劣化の発生率を示す。スギ心材とベイマツは腐朽10週目までに強度劣化はほとんど生じなかったが、スギ辺材とスプルースでは腐朽6週目で半数以上の試験体に強度劣化が生じた。カラマツにおいては、繊維平行加力の場合はほとんど強度劣化が見られないが、繊維直交加力では腐朽7週目以降で多くの試験体に強度劣化が生じた。木材保存学入門²⁾では木材を心材の耐朽性別に「極大」、「大」、「中」、「小」、「極小」の5つに区分しており、スギ、カラマツ、ベイマツは「中」に、スプルースは「極小」に位置付けられている。腐朽処理を10週間まで行った今回の実験では、腐

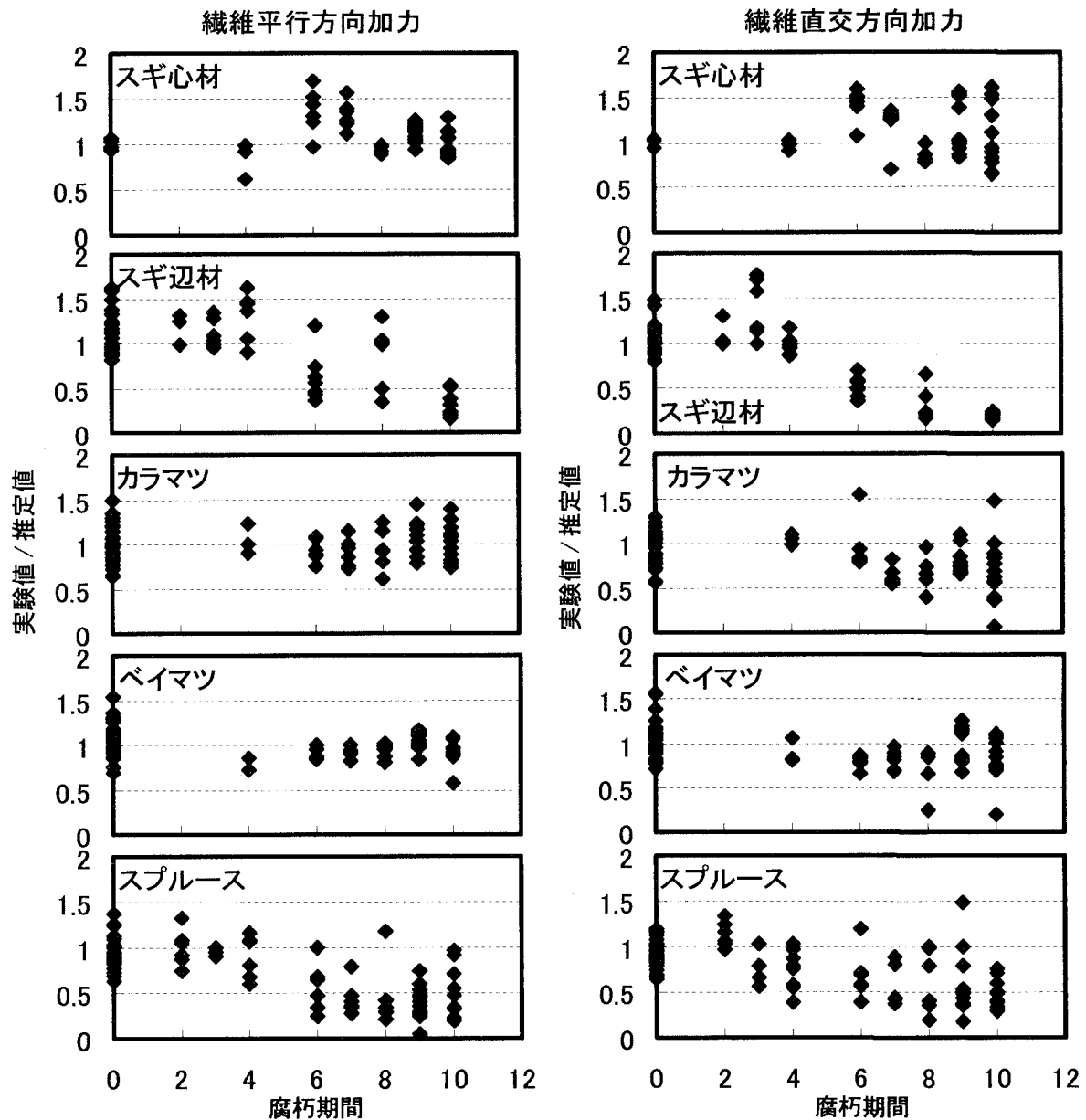


図 11. 実験値を推定値で除した値と腐朽処理期間の関係

朽による強度劣化はスギ辺材、耐朽性区分「極小」のスプルース、「中」のカラマツで顕著に現れ、「中」のスギ心材とベイマツではほとんど生じなかった。

4. まとめ

本研究では腐朽処理したスギ(心材・辺材)、カラマツ、ベイマツ、スプルースを用いて面圧試験を行い、各樹種の強度劣化の比較から以下に示す結果を得た。

- ① 木材が気乾状態から繊維飽和点以上の高含水率状態になると、健全材では約 50% 強度が低下し、腐朽材においても強度の低下率は大きい。腐朽菌生育時の木材の含水率は繊維飽和点以上であることから、腐朽時の木材の面圧強度は腐朽劣化によって低下した強度の半減近い値となると推測される。
- ② 強度劣化は耐朽性区分「極小」のスプルースで最も早く発生した。スギ心材、カラマツ、ベイマツはいずれも耐朽性区分「中」であるが強度の劣化程度には差が見られ、腐朽 10 週目までに強度

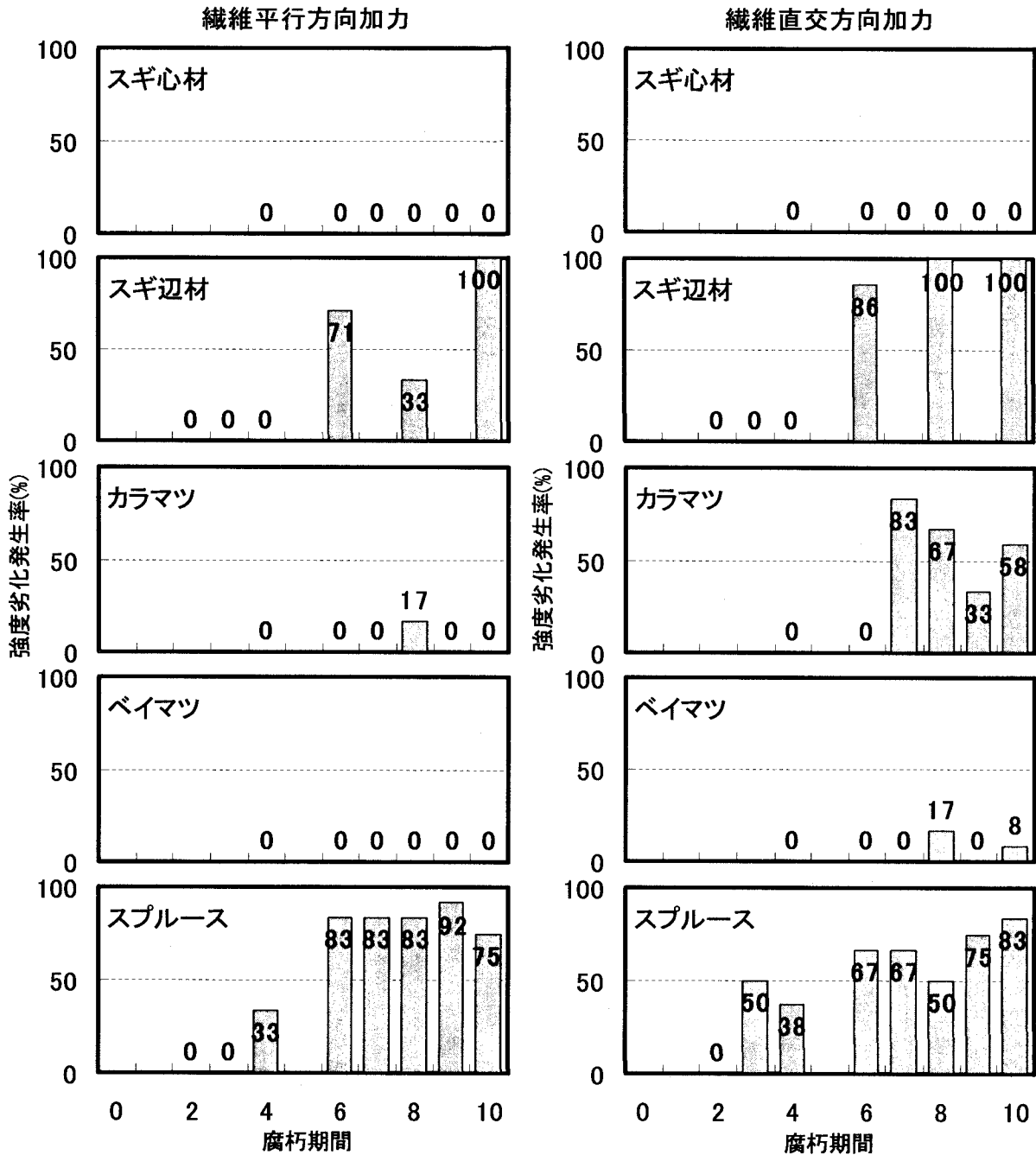


図 12. 腐朽処理期間に対する強度劣化発生率

劣化が生じていないのはスギ心材のみであった。

- ③ スギ辺材とスプルースは強度劣化が発生した頻度が高く、カラマツ、ベイマツ、スギ心材の順に強度劣化の発生頻度は低くなった。このことは、樹種内における木材の耐朽性のばらつきを示していると考えられる。

参考文献

- 1) Standard Test Method for Evaluating Dowel-Bearing Strength of Wood and Wood-Base Products, Annual Book of ASTM Standards, 04.10, 1997, pp.608-611
- 2) (社) 日本木材保存協会：木材保存学入門, 2001, p.80