

腐朽による木質構造ドリフトピン接合部のせん断性能の変化

Lateral capacity of dowel-type timber joints exposed to fungal attack

○澤田 圭* 佐々木貴信**

SAWATA Kei, SASAKI Takanobu

* 博（農） 公立大学法人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）

** 博（工） 公立大学法人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 shear performance of dowel-type timber joints decayed by brown rot fungus, *Fomitopsis palustris*, was obtained from the monotonic and the reversed cyclic loading tests. The stiffness, the yield strength and the ultimate strength of joints exposed to fungal attack were 60 to 75%, 47 to 61% and 31 to 46% smaller than those of clear specimen, respectively. The performance loss was noticeable in the stiffness. The equivalent viscous damping of joints with decay damage was 18 to 56% smaller than that of clear specimen.

Keywords : 劣化、初期剛性、せん断耐力、等価粘性減衰定数
degradation, stiffness, shear strength, equivalent viscous damping

1. はじめに

実際の使用環境下にある木質構造物を考えた場合、初期設計において十分な構造性能を保有していても時間の経過につれて劣化が生じやすくなり、構造性能が低下する危険性が高くなる。木質構造物の性能を大きく低下させるものの1つとして木材腐朽が挙げられ、構造部材のほとんどが健全であっても、局所的に発生した木材腐朽は構造性能へ大きく影響を及ぼす可能性がある。特に接合部の耐力・変形性能は構造物の性能を大きく左右するため、接合部に生じた腐朽劣化は構造物の性能に致命的な影響を与える可能性が考えられる。

そこで本研究では、現在広く使用されている木質構造ドリフトピン接合部を対象として、木材腐朽がドリフトピン接合部のせん断性能に及ぼす影響を調べた。先孔部に腐朽処理を施したドリフトピン接合部に対して一方向単調加力試験及び正負繰り返し加力試験を行い、得られた結果から初期剛性、せん断耐力、エネルギー吸収性能を求めて各性能の低下率について比較を行った。

2. 試験体及び試験方法

2.1 接合部試験体及び腐朽方法

試験体にはスプルー製材を用いた。試験体数は計90体で、密度の平均値は 466kg/m^3 、変動係数は6.6%である。接合形式は木材と鋼板を径(d)12mmのドリフトピン1本または2本で接合した鋼板添え板2面せん断接合とした。木材の寸法は幅105mm(縁距離=4.4d)、長さ410~490mm(端距離=7d、ドリフトピン間隔=7d)、厚さ30mm(=2.5d)とし、先孔径は12mmである。

ピン穴で腐朽劣化が生じた場合を想定し、木材の先孔部に腐朽処理を施した。手順として、初めに木材を2週間常温で浸水処理して高含水率状態とし、浸水処理後は先孔部にゴム栓をして麦芽エキス2%溶液を注入した。次に、予め培養しておいた褐色腐朽菌オオウズラタケを木片に接種して培養した後、滅

菌処理した試験体の先孔部に腐朽菌の付いた木片を詰め、試験体を換気用フィルターのついた耐熱性のビニール袋に入れた。2本のドリフトピンを有する接合部については、材端側と材内側どちらか一方の先孔に腐朽処理を施した。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5週間、8週間、11週間とした。腐朽時には木材は高含水率状態にあることから、実際の腐朽時における強度低下を調べるため、腐朽処理後に試験体を1週間浸水処理して接合部せん断試験に供した。また、気乾状態の健全材と健全材を2週間浸水処理した材についても試験を行った。ここでは前者を気乾材、後者を湿潤材と表す。気乾材の平均含水率は13.7%である。

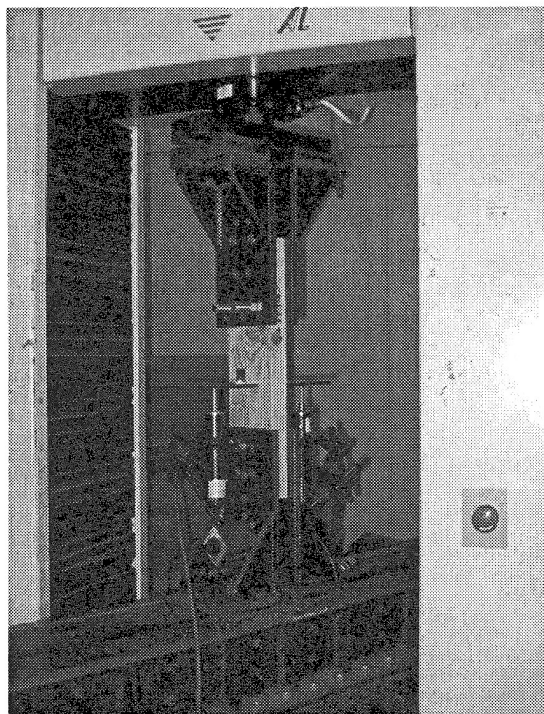


図1 接合部せん断試験の概観

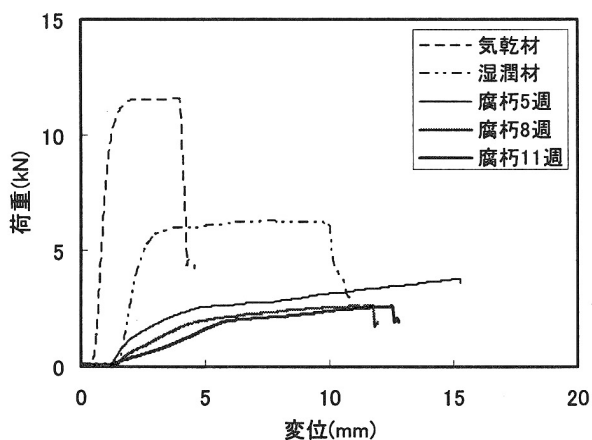
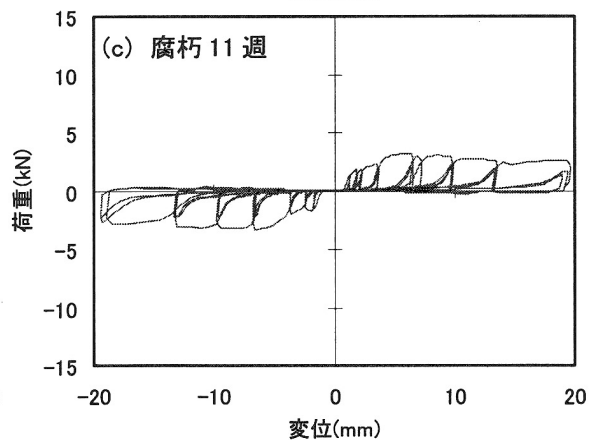
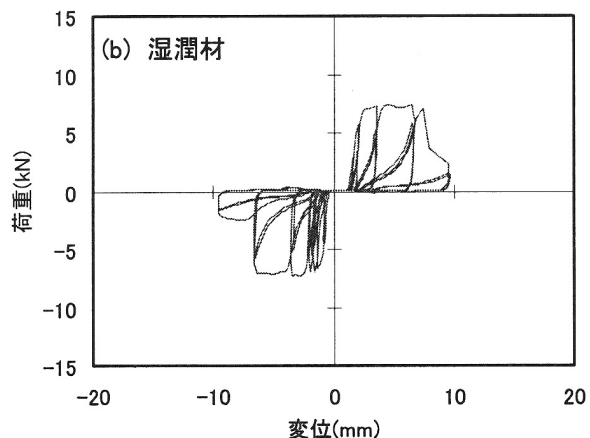
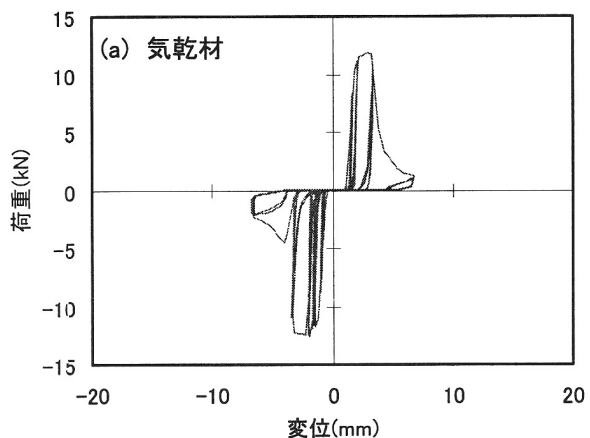


図2 一方向加力試験から得られた荷重-変位曲線

図3 繰り返し加力試験から得られた履歴曲線

2.2 試験方法

ドリフトピン接合部せん断試験は試験体の一端をドリフトピン1本または2本で鋼板と接合し、他端を径16mmのドリフトピン2本で試験装置と固定して行った。ここで、ドリフトピン1本で接合した試験体を単位ボルト接合部、ドリフトピン2本で接合した試験体を多数本ドリフトピン接合部と表す。試験の概観を図1に示す。

試験は一方向単調加力と正負繰り返し加力で行い、一方向単調加力試験は試験速度1mm/min.で試験体に引張加力を加えた。正負繰り返し加力試験はISO16670¹⁾に準じ、一方向加力試験の結果から降伏変位を求め、ボルト接合部の変形が降伏変位の25%、50%の値をピークとして1サイクル、75%、100%、200%、400%、600%、800%（以下400%ずつの増分）の値をピークとして3サイクルずつ正負繰り返し加力で行った。クロスヘッドと試験体の間にロードセルを設置して荷重を測定し、鋼板と試験体間の変位を2つの変位計を用いて測定した。試験は荷重が最大荷重の50%まで低下した時点、またはき裂が材端まで達した時点で終了とした。

3. 試験結果

3.1 荷重－変位関係

図2に一方向単調加力試験から得られた荷重－変位関係を、図3に正負繰り返し加力試験から得られた荷重－変位関係を示す。気乾材の荷重－変位曲線は初め直線的に荷重が増加し、降伏後の荷重は変位の増加に対して一定であった。湿潤材の荷重－変位挙動は気乾材と同様の傾向を示したが、湿潤材は気乾材より降伏から破壊に至るまでの変形が2倍程度大きく、最大荷重は50%程度低い値を示した。腐朽処理材の荷重－変位挙動は健全材と異なり降伏後も荷重が漸増する形状を示し、荷重は大きく低下している。

3.2 評価法

得られた荷重－変位曲線から初期剛性、降伏耐力、降伏変位、最大耐力、最大耐力時変位を求めた。初期剛性は最大荷重の10%と40%に対応する荷重－変位曲線上の点を結んだ直線で評価した。この直線をドリフトピン径の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荷重－変位曲線の交点の荷重を降伏耐力と評価した(ASTM-D5764²⁾)。荷重－変位曲線上の降伏耐力に相当する変位を降伏変位、最大耐力に達した時の変位を最大耐力時変位として求めた。

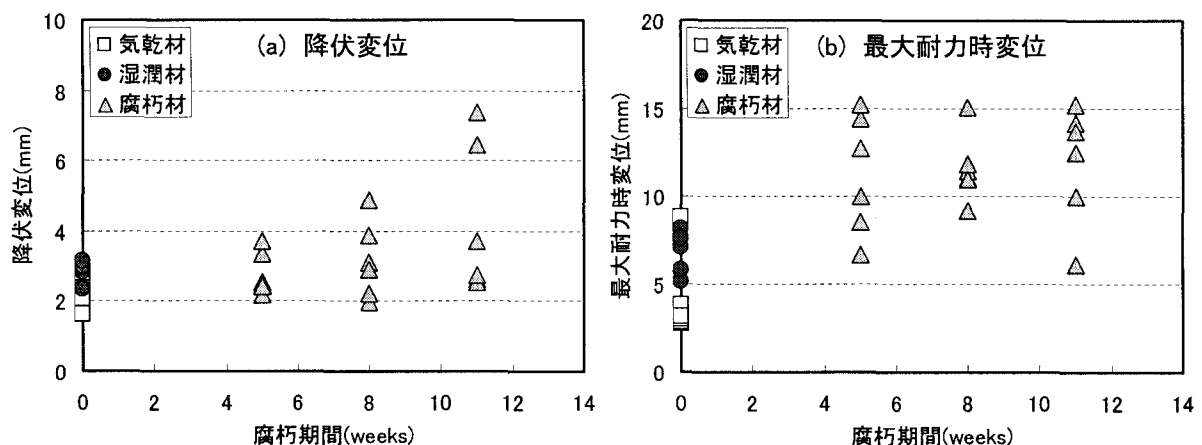


図4 腐朽期間に対する降伏変位及び最大耐力時変位の変化

3.3 木材腐朽とドリフトピン接合部のせん断性能の関係

3.3.1 単位ドリフトピン接合部のせん断性能

単位ドリフトピン接合部の降伏変位および最大耐力時変位を図4に示す。気乾材の降伏変位に対して、湿潤材の降伏変位は約1.2倍大きく、腐朽処理材の降伏変位は1.2～1.8倍大きな値を示した。最大耐力時変位は気乾材に対して湿潤材が約1.9倍、腐朽処理材が3.1～3.2倍大きな値を示した。水分や腐朽劣化の影響は最大耐力時変位で強く現れている。

図5～7にドリフトピン接合部の初期剛性、降伏耐力、最大耐力を示す。気乾状態から湿潤状態になることで初期剛性は約50%低下し、降伏耐力・最大耐力は約40%低下した。腐朽処理材のせん断性能値は湿潤材の値に対して初期剛性が60～75%、降伏耐力は47～61%、最大耐力は31～46%低い値を示した。腐朽劣化によるせん断性能の低下率は初期剛性が最も大きく、降伏耐力、最大耐力の順に小さくなっていく。この実験ではドリフトピンと木材の接触部分から腐朽が生じるように処理しており、接合部の初期の変形性能である初期剛性が腐朽の影響を強く受けている。また腐朽処理材は木材が割裂破壊するまで荷重が増加していくため、腐朽劣化が最大耐力に与える影響は初期剛性・降伏耐力よりも小さい。

3.3.2 多数本ドリフトピン接合部のせん断性能

多数本ドリフトピン接合部においては材内側と材端側の先孔いずれか一方に腐朽処理を施した。ドリフトピン接合部の初期剛性、降伏耐力、最大耐力を図8～10に示す。材内側、材端側のいずれに腐朽が生じてもせん断性能値の低下率に顕著な差は見られなかった。腐朽処理材の値は湿潤材に対して初期剛性が29～59%、降伏耐力は25～53%、最大耐力は15～44%低い値を示した。腐朽処理した多数本ドリフトピン接合部は片方の先孔にのみ腐朽処理を施しているため、各せん断性能値の低下率は単位ボルト接合部の場合よりも小さい。

3.4 エネルギー性状

一方向単調加力試験から得られた荷重－変位

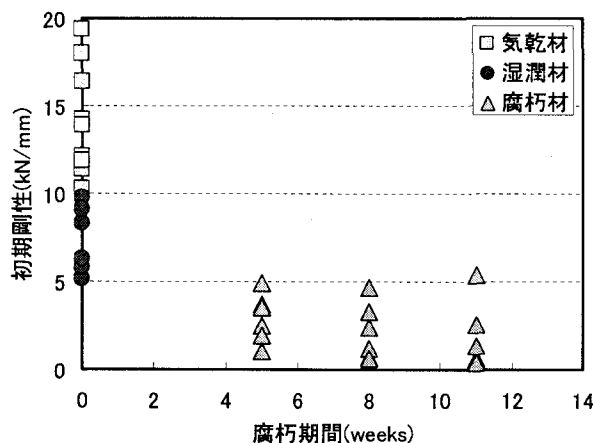


図5 腐朽期間に対する初期剛性の変化

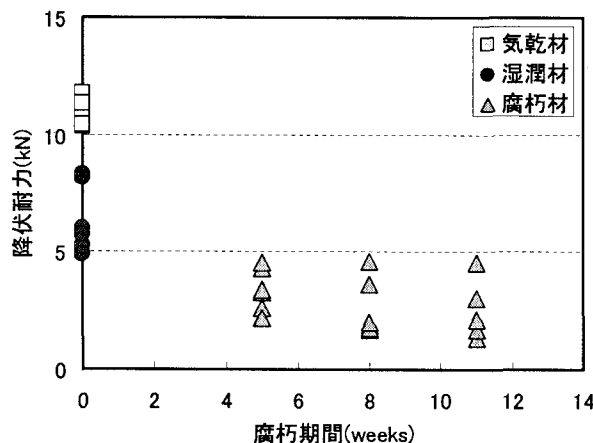


図6 腐朽期間に対する降伏耐力の変化

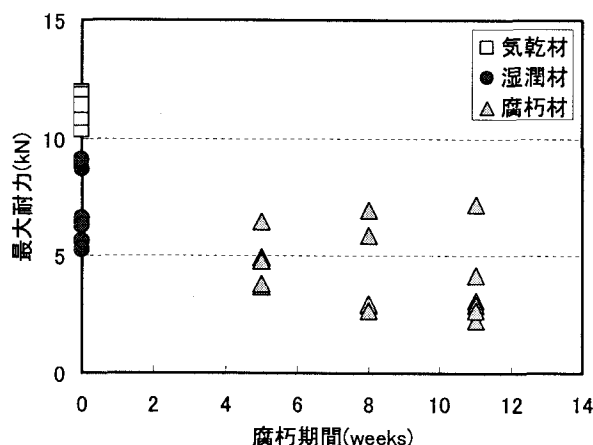


図7 腐朽期間に対する最大耐力の変化

曲線より、接合部が破壊までに吸収したエネルギーを求めた。図11にドリフトピン1本当たりの吸収エネルギーを示す。気乾材は湿潤材に比べて最大荷重は2倍近く高いが脆性破壊を起こすものが多く見られたため、吸収エネルギーは湿潤材の方が高い値を示した。単位ボルト接合部においては値のばらつきが大きい。湿潤状態から腐朽期間が長くなるに従い吸収エネルギーは低下する傾向が見られる。腐朽期間が長くなるとともに降伏変位は増加する(図4)が、初期剛性・降伏耐力・最大耐力は低下(図5~7)しており、破壊までに吸収されたエネルギーも各せん断性能値が低下した影響を強く受けている。

正負繰り返し加力試験より得られた荷重-変位曲線から等価粘性減衰定数を求めた。等価粘性減衰定数は加力履歴1ループにおいて吸収されたエネルギーとピーク時におけるポテンシャルエネルギーとの比から算出した。図12に2サイクルおよび3サイクル目の各ループから得られた等価粘性減衰定数と各ループの最大応答変位との関係を示す。健全材、腐朽処理材ともに最大応答変位が大きくなるにつれ減衰定数は増加する傾向を示した。

等価粘性減衰定数は湿潤材が3.1~11.2%、腐朽処理5週目は1.6~8.0%、8週目は1.8~8.1%、11週目は1.5~8.1%であり、木材腐朽によって減衰定数は湿潤材よりも1.5~3%低下している。腐朽処理材の減衰定数はほぼ同じ範囲内にあるが、腐朽処理5週目に対して、8週目の減衰定数は1.4~15.9%低い値を示し、11週目では17.6~28.8%低い値を示した。木材腐朽部に力加わることによってその箇所の変形が回復されず、その結果繰り返し加力によるエネルギー吸収性能が低下したと考えられる。

4. まとめ

本研究では、腐朽処理を施した木質構造ドリフトピン接合部について一方向加力試験及び正負繰り返し加力試験を行い、木材の腐朽劣化がドリフトピン接合部のせん断性能に及ぼす影響を調べた。これらの実験より以下の知見が得られた。

- ① ドリフトピン接合部の荷重-変形挙動は腐朽の有無で大きく異なり、健全状態では降伏後の

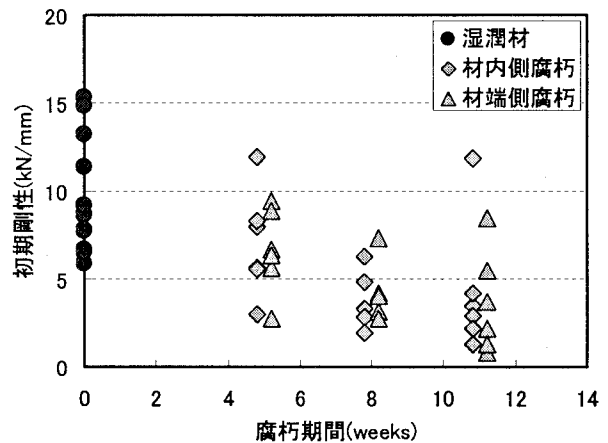


図8 多数本ドリフトピン接合部における腐朽箇所と初期剛性の関係

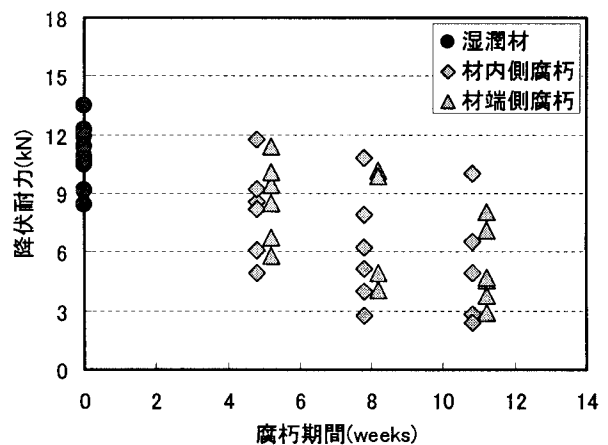


図9 多数本ドリフトピン接合部における腐朽箇所と降伏耐力の関係

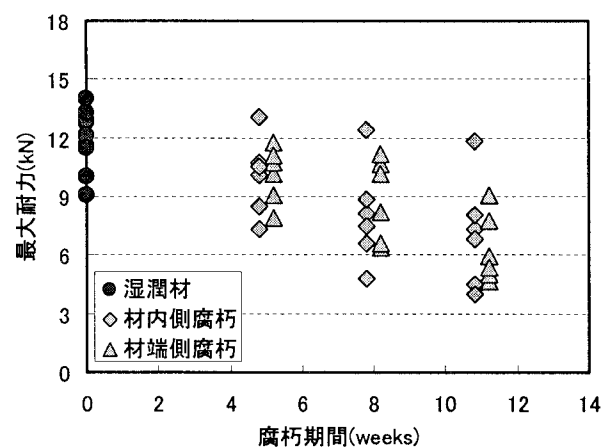


図10 多数本ドリフトピン接合部における腐朽箇所と最大耐力の関係

荷重は一定であるが、腐朽劣化が生じた場合は木材が破壊に達するまで荷重は漸増している。健全材と比べて、腐朽が生じている材は破壊に達するまでの変形は大きい荷重は低い。

- ② 腐朽が進むにつれドリフトピン接合部のせん断性能値は低下していき、その低下率は初期剛性が最も大きく、次いで降伏耐力そして最大耐力の順であった。これは、初期の変形挙動である初期剛性、初期の変形挙動に左右される降伏耐力、変形がかなり進んだ段階で記録された最大耐力の順であることから、加力面付近で生じる木材腐朽はドリフトピン接合部の初期変形挙動に強く影響を及ぼすと考えられる。
- ③ 多数本ドリフトピン接合部のせん断試験から、腐朽位置とドリフトピン接合部せん断性能値の低下率との間に顕著な差は見られなかった。多数本ドリフトピン接合部においては腐朽箇所よりも腐朽の程度が、ドリフトピン接合部のせん断性能に大きく影響すると考えられる。
- ④ 腐朽が生じたドリフトピン接合部の等価粘性減衰定数は健全材よりも低い値を示した。ドリフトピン接合部に繰り返し力が加わる場合、木材の弾性挙動がドリフトピン接合部のエネルギー吸収性能に大きく影響する。しかし、木材腐朽が生じた箇所に加力されると木材の変形は元の状態に戻らず、そのためにドリフトピン接合部のエネルギー吸収性能は低下すると考えられる。

本研究は財団法人トステム建材産業振興財団の補助のもとに行われたものである。

参考文献

- 1) ISO (2003) Timber Structures – Joints made with mechanical fasteners – Quasi static, reserved-cyclic test method. ISO16670
- 2) ASTM (1997) Standard Test Method for Evaluating Dowel-Bearing Strength of Wood and Wood-Base Products. ASTM D-5764. ASTM, West Conshohocken, PA, USA

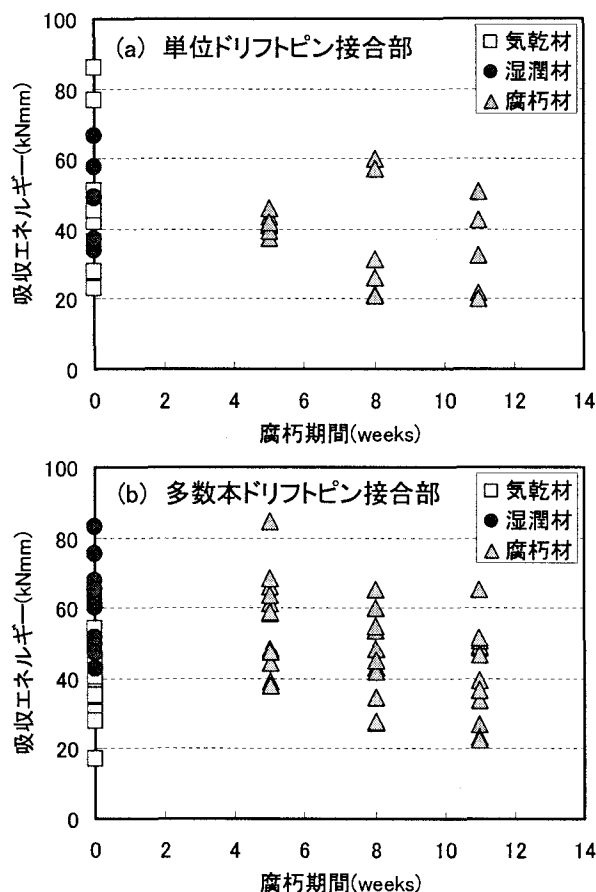


図11 腐朽期間に対する吸収エネルギーの変化

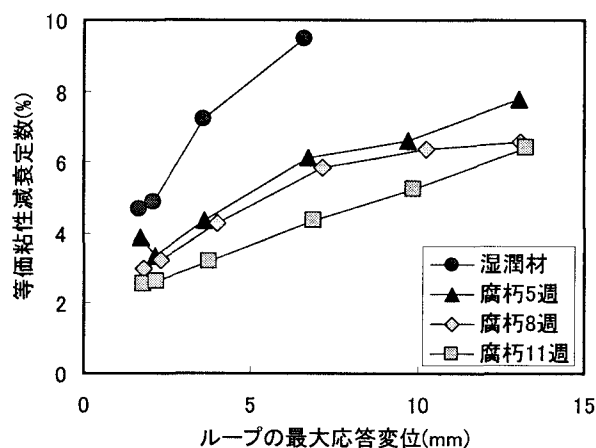


図12 等価粘性減衰定数の平均値と応答変位の関係