

海虫害を受けたスギ試験体の曲げ載荷実験

山田 昌郎¹・森 満範²

¹正会員 港湾空港技術研究所 沿岸環境研究領域 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1)

E-mail: yamada-m89wm@p.ppat.go.jp

²非会員 北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場 (〒071-0198 旭川市西神楽 1 線 10 号)

E-mail: mori-mitsunori@hro.or.jp

木材の海洋利用を進める上で、海虫類による食害が木材の力学特性に及ぼす影響を評価することは重要である。本研究では、スギ無節角材から切り出した試験体を、自然海水中、水道水中、ろ過海水中、気中に置いた後曲げ載荷実験を行い、曲げ剛性、曲げ強度、吸収エネルギーを比較した。その結果、柎面に載荷した場合、気中試験体よりも水道水中及びろ過海水中試験体の方が、粘り強い挙動を示した。海虫害による曲げ剛性減少率と曲げ強度減少率及び吸収エネルギー減少率は概ね等しかった。曲げ剛性減少率から計算した仮想的な寸法減少は、質量減少率から計算した値の約 1.75 倍であった。

Key Words: marine borer, limnoria, bending rigidity, strength, absorbed energy

1. はじめに

材料の初期欠陥や劣化が力学特性に及ぼす影響については、これまで多くの研究が行われてきた。木材についても、節や腐朽菌等による劣化の影響が評価されてきた。たとえば福田ら¹⁾は、カツラ材の腐朽初期段階で褐色腐朽菌オオウズラタケは白色腐朽菌カワラタケより曲げ強度を低下させ、きわめて小さい質量減少率の腐朽材や質量がむしろ増加しているような腐朽材でも強度低下は相当大きく、これは木材細胞壁構成セルロース鎖の切断に基づくと述べている。土居ら²⁾は、ナミダタケで実験室的に腐朽させたエゾマツ材では質量減少率 0%でも曲げ強度低下率が 20%、質量減少率 20%弱で曲げ強度低下率が 90%となり、オオウズラタケ(質量減少率 20%で曲げ強度低下率が 75%)と比べて質量減少率の割に曲げ強度低下率が大きいことを示した。また藤平ら³⁾は、オオウズラタケで腐朽させたベイマツ、ペイツガ、スプルース、スギ、ヒノキでは、表面を順次鉋削した健全材に比べ、質量の減少に対して曲げ強度が大きく低下したことや、曲げ強度の低下傾向が樹種により異なることを示した。

今後、木材を港湾構造物等に利用していくためには、甲殻類のキクイムシや、貝類のフナクイムシなどの海虫類による劣化の影響を適切に評価する必要がある。筆者は既報^{4,5)}において、海虫害を受けたスギ、ヒノキ、ナラでは質量減少率 20%で曲げ強度低下率が 60%、質量減少率 40%で曲げ強度低下率が 90%程度となることを示した。

今回はこの研究を発展させ、前回測定しなかった曲げ変位も測定し、荷重変位曲線から曲げ剛性や吸収エネルギーを求めることなどにより、海虫害の曲げ特性への影響をより詳細に検討した。

2. 実験方法

スギの無節の角材(18.4mm(T)×18.4mm(R)×2000mm(L)) 30本から 396mm(L)材各 5本を切り出し、両端の 2本を水道水浸漬用とろ過海水浸漬用、中央の 1本を気中保管用、残りの 2本を海中浸漬用に振り分けた。396mm(L)材 150本の気乾密度の平均値は 0.361g/cm³(標準偏差 0.043g/cm³)、年輪幅の平均値は 3.8mm、辺材が 69本、心材が 25本、辺心材混合が 56本であった。2000mm(L)材の L方向に辺材/心材の比率が変化するものが多かったため、水道水/ろ過海水に振り分ける際にどちらかに辺材か心材が偏らないように配慮し、同時に気乾密度の平均値が水道水/ろ過海水でほぼ等しくなるように振り分けた。

ろ過海水は、ポリエチレン製のメッシュ(PE150, 目開き 0.143mm(カタログ値))でろ過した海水である。この目開きはキクイムシ及びフナクイムシ幼生のサイズより小さいため、ろ過海水中で海虫害は生じないと考えられる⁵⁾。

海中浸漬は、港湾空港技術研究所内の海水循環水槽で行った。この水槽には久里浜湾の海水が 1日 2回給水・

排水される。試験体を4個の薄型メッシュコンテナ(外寸708mm×460mm×83mm, ポリエチレン製)に15本ずつ結束し, 重しのステンレス棒と吊り下げ用のロープをコンテナに取り付けて, L方向が水平, T方向が鉛直となるように浸漬した。

海中/水道水/ろ過海水への浸漬は2018年10月15日に行った。その後随時海中試験体を引き上げて観察し, キクイムシ食害が最も進行した試験体を含む2本(同一の2000mm(L)材から切り出したもの)を回収し, 同一の2000mm(L)材から切り出した気中/水道水中/ろ過海水中試験体とともにただちに曲げ載荷実験に供した。すなわち気中試験体は気乾状態で, その他の試験体は湿潤状態で曲げ試験した。最初の回収を浸漬21日後に行った後, 海虫害による曲げ強度減少率(後述)の値が0~100(%)の範囲になるべく均等に分布した実験結果を得るため, n 組目の曲げ強度減少率が $(n/30) \times 100$ (%)より大きければ回収のペースを速め, 小さければ遅くして順次回収を行った。浸漬162日後の2019年3月26日に最終組(30組目)の回収を行った。

曲げ載荷には, ねじ式一軸試験機(東京試験機製小型卓上試験機リトルセンスターLSC-1/30-2, 容量1000N)を使用した(写真-1)。支点間隔を360mmとし, 中央集中載荷した。支点と載荷点の鋼棒の直径は10mmである。桁目面に載荷する組と板目面に載荷する組を同数(15組ずつ)とするため, 奇数組目の回収では桁目載荷, 偶数組目の回収では板目載荷とした。試験機のクロスヘッドの変位速度を毎分10mmとし, 0.1mm変位する毎に変位

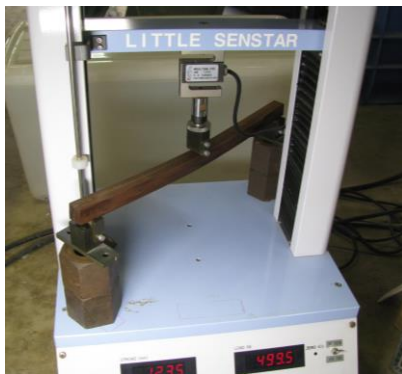


写真-1 曲げ載荷状況

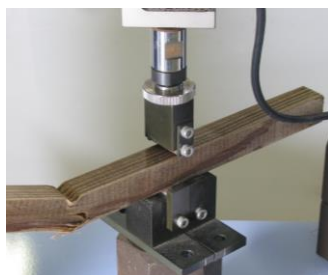


写真-2 めり込み試験の載荷状況

と荷重をデータロガーで計測した。試験体が破壊して荷重が0になるか, 変位が原則として75mmに達するまで載荷して除荷した。

荷重と変位の関係から曲げ剛性を求める際に, 支点及び載荷点の試験体へのめり込みを考慮して補正するため, 曲げ試験の直後に, 試験体を切断せずにそのまま使用してめり込み試験を行った。支点治具を密着させて支点間隔を14mmとし, 支点間中央に集中載荷した(写真-2)。曲げ載荷時に支点と載荷点の中間にあり, 曲げ載荷による割れが生じていない部分を使用した。クロスヘッド変位速度を毎分1mmとし, 0.02mm変位する毎に変位と荷重をデータロガーで計測した。荷重が各試験体の曲げ載荷時の最大荷重に達するまで載荷して除荷した。理論的には曲げ載荷で支点間中央に鉛直下向きに荷重 P を載荷したとき, 支点間隔とは無関係に両支点において支点反力 $P/2$ が鉛直上向きに生じる。ただし最大荷重後の大変形域になると支点反力の水平成分が生じ, 支点間隔による影響が生じる。今回は弾性範囲として最大荷重の0.4倍までの荷重と変位の関係から曲げ剛性を求める際の補正を目的としているので, 支点反力の水平成分の影響は考慮せず, 支点間隔14mmでの荷重 P による載荷点でのめり込みと支点反力 $P/2$ による支点でのめり込みの合計としての変位と P の関係が, 支点間隔360mmの場合と同一であると仮定して, 補正に用いた。

載荷実験後の試験体の103°C乾燥恒量を測定した。その後, 海中浸漬試験体を20mm間隔で切断し, 断面に生じたフナクイムシの孔道の面積を測定した。

3. 実験結果および考察

(1) 湿潤による影響

桁目載荷と板目載荷の荷重変位曲線と試験後の試験体の典型例を図-1, 2, 写真-3, 4に示す。

試験体の曲げ剛性は, 最大荷重の0.1倍から0.4倍までの範囲の荷重変位曲線の勾配を求め, 同じ荷重範囲のめり込み試験時の荷重変位曲線の勾配を用いて, 次式により, めり込みの影響を除去する補正を行って求めた。

$$a_c = 1 / (1/a - 1/a') \quad (1)$$

ここで

a_c : 曲げ試験での荷重変位曲線の勾配(補正後)(N/mm)

a : 曲げ試験での荷重変位曲線の勾配(補正前)(N/mm)

a' : めり込み試験での荷重変位曲線の勾配(N/mm)

$1/a$: 曲げ試験での荷重増分1N当たりの変位増分(曲げによる変位とめり込みを含む)(mm/N)

$1/a'$: めり込み試験での荷重増分1N当たりの変位増分(mm/N)

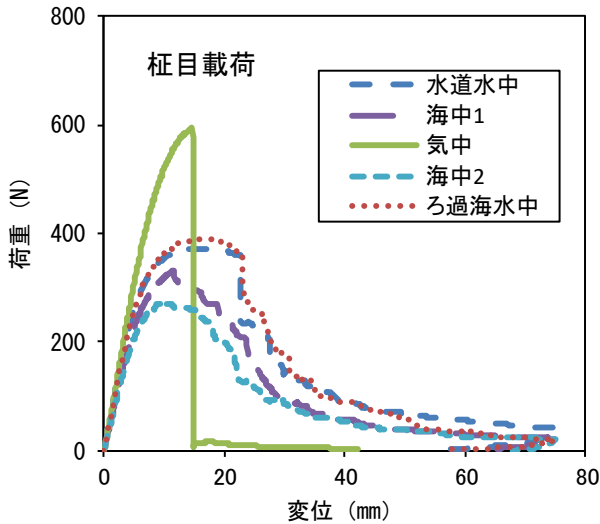


図-1 柱目載荷の荷重変位曲線の例

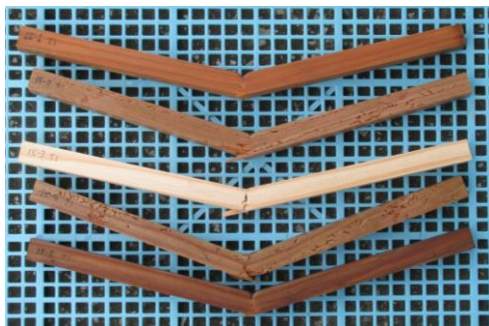


写真-3 柱目載荷の曲げ試験後の試験体の例
(上から水道水中, 海中1, 気中, 海中2, ろ過海水中)

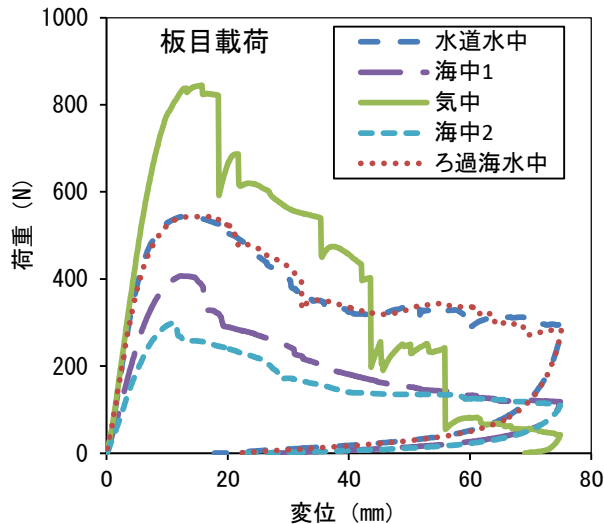


図-2 板目載荷の荷重変位曲線の例

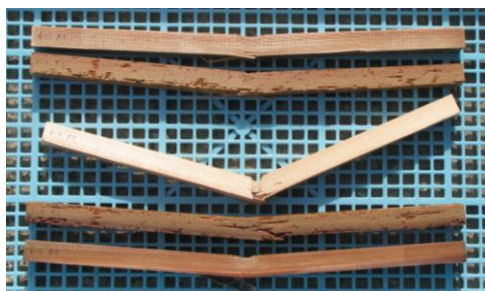


写真-4 板目載荷の曲げ試験後の試験体の例
(上から水道水中, 海中1, 気中, 海中2, ろ過海水中)

$1/a - 1/a'$: 曲げ試験での荷重増分 1N 当たりの変位増分 (めり込みを除いた値) (mm/N)

この補正による効果 (a_c/a) には, 試験体の設置環境と載荷面による有意差があり, 「気中」 < 「水道水中・ろ過海水中」 < 「海水中」, 及び柱目載荷 < 板目載荷であった. a_c/a の平均値±標準偏差は, 「気中」の柱目載荷 1.082 ± 0.016 , 板目載荷 1.153 ± 0.060 , 「水道水中・ろ過海水中」の柱目載荷 1.153 ± 0.040 , 板目載荷 1.255 ± 0.143 , 「海水中」の柱目載荷 1.207 ± 0.074 , 板目載荷 1.326 ± 0.158 であった.

補正後の曲げ剛性に関して, 「水道水中」と「ろ過海水中」, 並びに柱目載荷と板目載荷の有意差はなく, 同じ組の「水道水中・ろ過海水中」と「気中」を比較すると, 「水道水中・ろ過海水中」/「気中」の平均値は 0.895 (標準偏差 0.145) であった.

また, 最大荷重に関しても, 「水道水中」と「ろ過海水中」, 並びに柱目載荷と板目載荷の有意差はなく, 同じ組の「水道水中・ろ過海水中」と「気中」を比較すると, 「水道水中・ろ過海水中」/「気中」の平均値は 0.629 (標準偏差 0.090) であった.

「気中」試験体は破断音とともに荷重が急低下し, 柱目載荷では荷重が 0 近くまで低下するか, 破断して荷重 0 となった. 板目載荷では破壊が年輪で止まり, さらに載荷するとまた破断音を生じて破壊が上の年輪で止まる過程を経て段階的に荷重が低下した. 一方, 「気中」以外の試験体では破断音はなく, 徐々に荷重が低下し, 「気中」試験体と比較して粘り強い (靱性・変形能力の大きい) 挙動を示した.

「気中」試験体は気乾状態で載荷し, 載荷時の含水率は 30 本の平均値で 11.8% (標準偏差 1.3%) であったのに対し, 「気中」以外の試験体は浸漬後ただちに湿潤状態で載荷したので, 載荷時の含水率は浸漬期間によるが最小値でも 66.7% に達しており, 一般に約 28% とされる繊維飽和点は超えていたと考えられる. 一般に含水率が繊維飽和点を超えると強度性能はほぼ一定となるが, 繊維飽和点以下の範囲では, 含水率増加に伴い木材実質が膨潤するとともにその凝集力が低下するため, 木材の強度性能が低下するとされている. また繊維飽和点以下の含水率の変化に伴う繊維方向引張強度の変化率は, 繊維方向圧縮強度の変化率より小さいとされている⁷⁾. このため湿潤状態では気乾状態より, 曲げの引張側での破壊が生じにくくなり, 粘り強い挙動を示したのではないかと考えられる.

粘り強さを定量的に評価するために, 変位 75mm までの吸収エネルギーを荷重×変位増分の積算値 (荷重変位曲線下の面積) として求めた. 柱目載荷, 板目載荷各 15 組について, 「水道水中」と「ろ過海水中」に有意差は

なく、「水道水中」及び「ろ過海水中」の吸収エネルギーの「気中」に対する比の平均値は柱目載荷で 2.03 (標準偏差 0.57), 板目載荷で 1.14 (標準偏差 0.46) であった。板目載荷の場合, 気乾状態でも引張破壊による亀裂の上方への進展が年輪で止まったため粘り強い挙動となり, 湿潤状態との差が小さかったと考えられる。

湿潤状態の木材が気乾状態より粘り強くなる性質は, 曲げ木加工などに応用されており, 経験的には知られているが, 土木材料の性質としての定量的な検討例は見られない。ただ, Ido⁸⁾は, スギ丸太 80 本を生材状態と気乾状態で各 40 本曲げ試験した際, 生材 40 本中 9 本が試験機のラムシリンダーの限界で破壊を示さなかったのに対し, 気乾丸太はすべて破壊したと述べている。丸太の場合, 柱目載荷と板目載荷の中間的な状況となるため, 生材の方が粘り強い挙動を示したと考えられる。

(2) 海虫害の影響

海中/水道水中/ろ過海水中の試験体の曲げ剛性, 最大荷重, 吸収エネルギーの値から, 海虫害による減少率を次式で求めた。

$$R_{mb} = (1 - V_m / V_w) \times 100 \quad (2)$$

ここで

R_{mb} : 海虫害による減少率 (%)

V_m : 「海中」試験体での値

V_w : 「海中」試験体切り出し前に隣り合っていた「水道水中」または「ろ過海水中」試験体での値

海中/水道水中/ろ過海水中の試験体は, 浸漬前には 103°C 乾燥恒量を測定しなかったため次式のように推定し, 質量減少率を求めた。

$$w = (M_{Aa} - M_{Ad}) / M_{Ad} \times 100 \quad (3)$$

$$M_b = M_a / (1 + w / 100) \quad (4)$$

$$R_m = (1 - M_d / M_b) \times 100 \quad (5)$$

ここで

w : 試験体の気乾状態での含水率 (%)

M_{Aa} : 「気中」試験体の気乾質量測定値

M_{Ad} : 「気中」試験体の試験後の 103°C 乾燥恒量測定値

M_b : 海中/水道水中/ろ過海水中試験体の浸漬前の 103°C 乾燥恒量推定値

M_a : 海中/水道水中/ろ過海水中試験体の浸漬前の気乾質量測定値

R_m : 質量減少率 (%)

M_d : 海中/水道水中/ろ過海水中試験体の試験後の 103°C 乾燥恒量測定値

その結果, 「水道水中」試験体の質量減少率は, 平均

値 2.0% (標準偏差 0.47%) であり, 主に水に可溶性成分の溶脱による質量減少と考えられる。海中/ろ過海水中試験体の溶脱による質量減少率として, 同じ組の「水道水中」試験体の質量減少率の値を用いた。

「ろ過海水中」試験体の質量減少率は, 平均値 -3.7% (標準偏差 1.7%) であった。浸漬中に吸収された海水の塩分の質量が, 溶脱した可溶性成分の質量よりも大きかったため, 質量減少率が負の値となった(質量が増加した)と考えられる。試験体に吸収された海水の塩分濃度を次式で求めた。

$$c_{sw} = (m_s / M_{sw}) \times 100 \quad (6)$$

$$m_s = M_d - (M_b - m_F) \quad (7)$$

$$m_F = M_b \times (R_{mF} / 100) \quad (8)$$

$$M_{sw} = M_c - (M_a - m_F) \quad (9)$$

ここで

c_{sw} : 試験体に吸収された海水の塩分濃度 (内割%)

m_s : 試験体に吸収された塩分の 103°C 乾燥質量

M_{sw} : 試験体に吸収された海水の質量

M_d : 浸漬後の「ろ過海水中」試験体の 103°C 乾燥恒量

M_b : 浸漬前の「ろ過海水中」試験体の 103°C 乾燥恒量推定値 (式(4))

m_F : 「ろ過海水中」試験体の溶脱による質量減少量

R_{mF} : 同じ組の「水道水中」試験体の質量減少率 (%)

M_c : 浸漬後の「ろ過海水中」試験体の湿潤質量

M_a : 浸漬前の「ろ過海水中」試験体の気乾質量

上式で求めた塩分濃度を用いて, 同じ組の「海中」試験体中に残留した塩分質量を推定し, 海虫害による質量減少率を次式で求めた。

$$R_{mb} = (m_{mb} / M_b) \times 100 \quad (10)$$

$$m_{mb} = M_b - M_d - m_s + m_F \quad (11)$$

ここで

R_{mb} : 海虫害による質量減少率 (%)

m_{mb} : 海虫害による質量減少

M_b : 浸漬前の「海中」試験体の 103°C 乾燥恒量推定値 (式(4))

M_d : 浸漬後の「海中」試験体の 103°C 乾燥恒量

m_s : 「海中」試験体に吸収された塩分の 103°C 乾燥質量

m_F : 「海中」試験体の溶脱による質量減少量

その結果, 「海中」試験体 60 本の海虫害による質量減少率の平均値は 14.8% であった。また, 切断面のフナクイムシ孔道面積から推定したフナクイムシによる質量減少率の平均値は 0.4% であった。(14.8 - 0.4) / 14.8 = 0.97 より, 今回の海虫害による質量減少率の 97% がキクイムシ, 3% がフナクイムシによるものと推定された。スギの

食害でキクイムシがフナクイムシより優勢となることは、これまでの実験結果^{5,9)}と同様であった。

海虫害による質量減少率と、曲げ剛性、曲げ強度、吸収エネルギーの減少率の関係を、図-3, 4, 5 に示した。(曲

げ強度減少率=最大荷重減少率とした。) 既報^{4,5)}と同様に、質量減少率 20%で曲げ強度減少率が 60%、質量減少率 40%で曲げ強度減少率が 90%程度となった。曲げ剛性、吸収エネルギーについても同様の結果となった。

曲げ剛性減少率と曲げ強度減少率及び吸収エネルギー減少率の関係を図-6, 7 に示した。回帰直線の傾きと寄与率 R^2 が 1 に近いことから、曲げ剛性減少率を用いて曲げ強度及び吸収エネルギーの減少率を推定できることが確認された。

(3) 質量減少率と曲げ剛性減少率の関係についての考察

質量減少率と曲げ剛性減少率の関係について、以下に若干考察した。海虫害によって実際には局所的に断面に穴があき、体積(質量)、剛性等が減少するが、仮に試験体の表面から一定の厚さの木材が消失したとして辺長を減少させた正方形断面を想定すれば、体積(質量)、剛性等の減少率からこの仮想的な正方形断面の辺長を計算できる。今回は、(a)質量減少率、(b)曲げ剛性減少率、

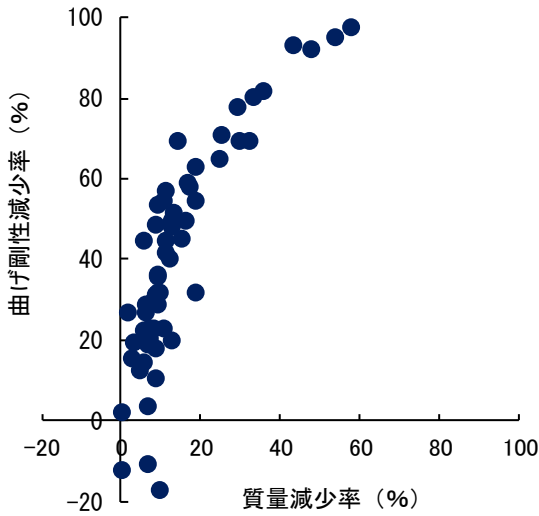


図-3 質量減少率と曲げ剛性減少率の関係

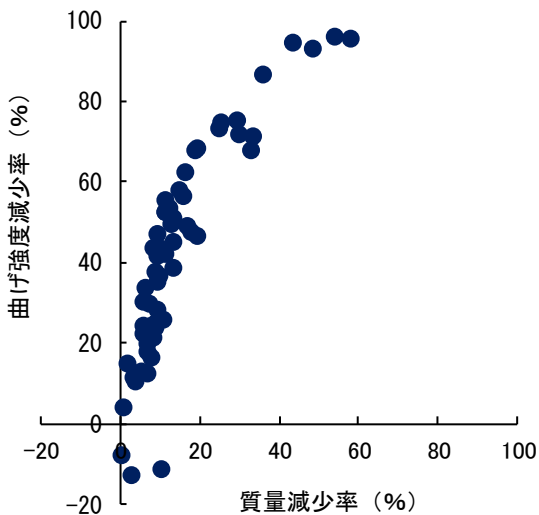


図-4 質量減少率と曲げ強度減少率の関係

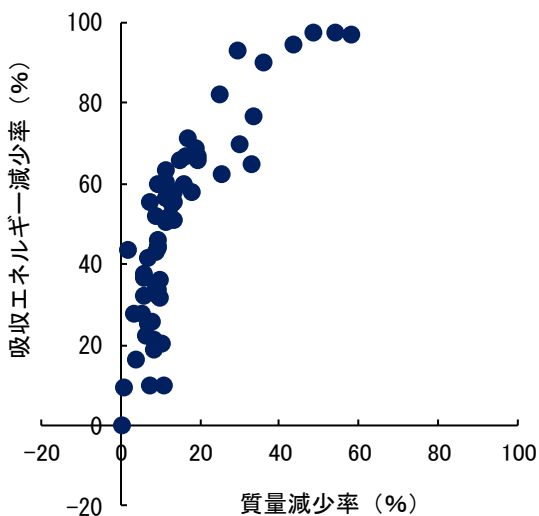


図-5 質量減少率と吸収エネルギー減少率の関係

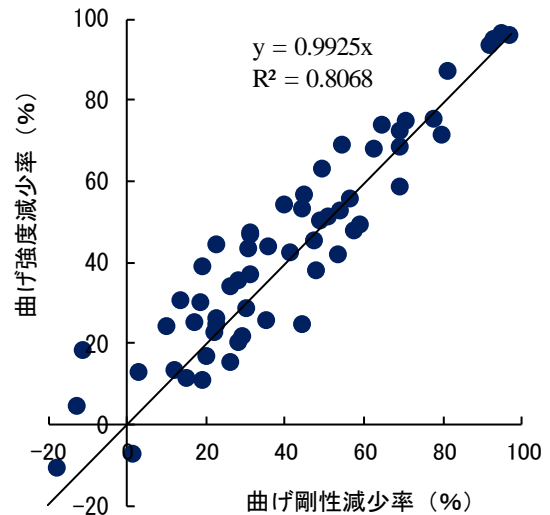


図-6 曲げ剛性減少率と曲げ強度減少率の関係

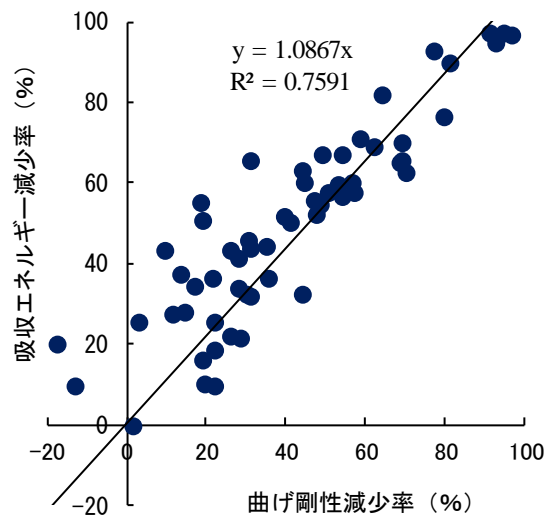


図-7 曲げ剛性減少率と吸収エネルギー減少率の関係

からそれぞれ以下のように仮想的な正方形断面の辺長減少率を計算した。

(a)質量減少率からの計算：今回の試験体は表面積に木口の面積が占める割合が小さいので、体積（質量）減少率への木口面の食害の寄与を無視し、辺長が体積（質量）の0.5乗に比例すると仮定し、辺長減少率を質量減少率から次式で求めた。

$$R_s = [1 - (1 - R_{mb}/100)^{0.5}] \times 100 \quad (12)$$

ここで

R_s ：辺長減少率（%）

R_{mb} ：海虫害による質量減少率（%）

(b)曲げ剛性減少率からの計算：曲げ剛性は断面2次モーメント I に比例し、正方形断面の I は辺長の4乗に比例するので、辺長が曲げ剛性の0.25乗に比例すると仮定し、辺長減少率を曲げ剛性減少率から次式で求めた。

$$R_s = [1 - (1 - R_{br}/100)^{0.25}] \times 100 \quad (13)$$

ここで

R_s ：辺長減少率（%）

R_{br} ：海虫害による曲げ剛性減少率（%）

辺長の初期値（18.4mm）と、辺長減少率から、次式で辺長減少を求めた。

$$r = (R_s/100) \times S_i \quad (14)$$

ここで

r ：辺長減少（mm）

R_s ：辺長減少率（%）

S_i ：辺長の初期値=18.4（mm）

(a) と (b) から求めた辺長減少率をそれぞれ x 軸と y 軸にとると、回帰直線の勾配は約 1.75 であった（図-8）。すなわち曲げ剛性から計算した辺長減少は、質量から計算した辺長減少の約 1.75 倍であった。食害によって木材の繊維が切断されると、質量としては残存していても力学的には無効な部分が生じる。この効果が辺長減少の倍率 1.75 に相当していると考えられる。

質量減少率から計算した辺長減少の 1.75 倍の辺長減少を仮定して曲げ剛性減少率を計算し、計算値の曲線を実験結果とあわせて図-9 に示す。実験結果から求めた 1.75 という倍率を用いた計算結果なので当然ながら、全体的な傾向は実験結果とよく一致している。図-9 で同じ質量減少率に対応する曲げ剛性減少率の計算値と実験値の関係を 図-10 に示す。計算値と実験値の相関係数は、0.847 であった。今回の 1.75 という倍率が、異なる樹種や実験条件ではどうなるか、今後さらに検討する必要がある。

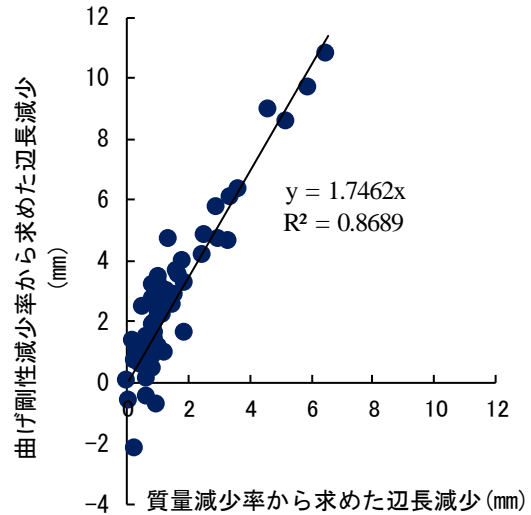


図-8 質量と曲げ剛性の減少率から求めた辺長減少の関係

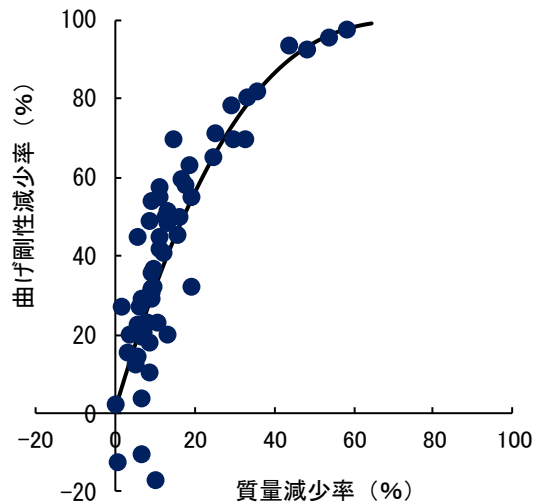


図-9 質量減少率から計算した辺長減少の 1.75 倍を用いた曲げ剛性減少率の計算結果と実験結果

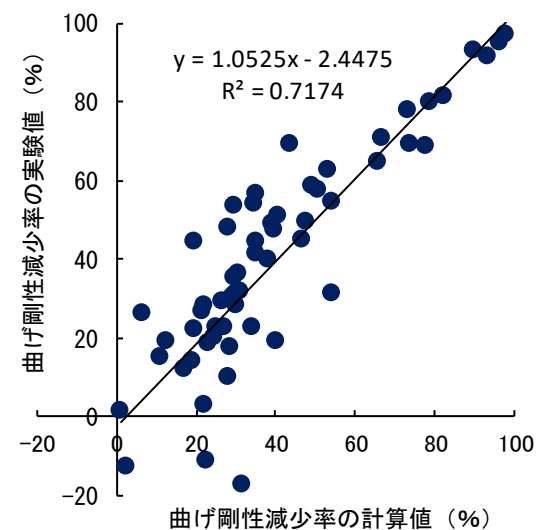


図-10 質量減少率から計算した辺長減少の 1.75 倍を用いた曲げ剛性減少率の計算値と実験値の関係

質量減少率から曲げ剛性減少率が推定でき、曲げ強度減少率及び吸収エネルギー減少率が曲げ剛性減少率とほぼ等しいとすれば、木材の海中浸漬試験での質量減少率の結果を構造物の設計や維持管理などの実務に用いる上で有益である。例えば、木製海洋構造物の計画段階や供用中に、実構造部材と同種の木材の試験体を現地で海中に浸漬し、定期的に一定数を回収し質量減少率を求めて部材の強度性能の減少率を推定することによって、部材交換周期を決定する等の用途が考えられる。

4. 結論

本研究では、スギ無節角材(18.4mm×18.4mm×2000mm) 30本から長さ396mmの試験体を各5本切り出し、自然海水中、水道水中、ろ過海水中、気中に置いた後、曲げ載荷実験を行った。

- (1) 柁目面に載荷した場合、気中試験体よりも水道水中及びろ過海水中試験体の方が、吸収エネルギーが大きく粘り強い挙動を示した。
- (2) 自然海水中で海虫害を受けた試験体の曲げ剛性減少率は、曲げ強度減少率及び吸収エネルギー減少率と概ね等しかった。
- (3) 曲げ剛性減少率から計算した仮想的な寸法減少は、質量減少率から計算した値の約1.75倍であった。

謝辞：本論文の査読を担当された3名の方々から多くのご意見をいただき、元原稿に大幅な加筆修正を加えて本

稿を作成した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 福田清春, 原口隆英: かつ色腐朽材と白色腐朽材の差異について(第2報), 東京農工大学農学部演習林報告第11号, pp.25-29, 1974.
- 2) 土居修一, 西本孝一: ナミダタケで腐朽したエゾマツ材の曲げ強度と化学成分, 木材学会誌 Vol.32, No.9, pp.724-729, 1986.
- 3) 藤平真紀子, 中村嘉明, 磯田憲生, 疋田洋子: 枠組壁工法構造用木材の耐朽性と曲げ強度性能の変化, 木材学会誌 Vol.43, No.7, pp.589-594, 1997.
- 4) 山田昌郎, 森満範: 海虫害を受けた木材の質量減少と強度低下, 木材利用研究論文報告集 10, pp.124-129, 2011.
- 5) 山田昌郎: 木材の海虫害とその防除法ならびに臨海部の気中での風化に関する実験, 港湾空港技術研究所資料 No.1281, 2014.
- 6) 伏谷賢美ら: 木材の物理, 文英堂出版, 第3版, p.109 (執筆者: 竹村富男), 1991.
- 7) Smith, I., Landis E., Gong M.: Fracture and Fatigue in Wood, p.32, John Wiley & Sons Inc., 2003.
- 8) Ido, H., Nagao, H., Kato, H., Miura, S.: Strength properties and effect of moisture content on the bending and compressive strength parallel to the grain of sugi (*Cryptomeria japonica*) round timber, Journal of Wood Science, Vol.59, No.1, pp.67-72, 2013.
- 9) 山田昌郎: 無処理木材の東京湾沿岸での海虫類食害ならびに気中での物理的劣化に関する実験, 港湾空港技術研究所資料 No.1208, 2010.

(Received August 31, 2019)

(Accepted November 11, 2019)

BENDING TESTS OF SUGI (*CRYPTOMERIA JAPONICA*) SPECIMENS INFESTED WITH MARINE BORERS

Masao YAMADA and Mitsunori MORI

It is important to estimate the effects of marine borers' infestation on the mechanical properties of wood in order to promote the marine use of wood. In this study, test specimens cut out from sugi (*Cryptomeria japonica*) square timbers without knots were set in natural seawater, tap water, filtered seawater and the air, then tested for bending rigidity and strength and absorbed energy. As a result the specimens in tap water and filtered seawater showed better ductilities than those in the air when load was applied on the radial section. The decrease ratios of bending rigidity due to marine borers were almost the same as those of bending strength and absorbed energy. Fictitious dimensional losses calculated from decrease ratios of bending rigidity were about 1.75 times as large as the values calculated from decrease ratios of mass.