

# 港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No. 1208

March 2010

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

山田 昌郎

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,  
Port and Airport Research Institute, Japan

## 目 次

要 旨 .....	3
1. まえがき .....	4
2. 海虫類食害の季節性の確認実験 .....	4
2.1 実験方法 .....	4
2.2 実験結果 .....	5
3. 海虫類食害への樹種の影響についての実験 .....	6
3.1 実験方法 .....	6
3.2 実験結果 .....	8
4. 海虫類食害が生じた木材の強度についての実験 .....	10
4.1 実験方法 .....	11
4.2 実験結果 .....	11
5. 海上の気中での暴露実験 .....	12
5.1 実験方法 .....	12
5.2 実験結果 .....	13
6. 結論 .....	13
7. あとがき .....	14
参考文献 .....	14
付録 .....	15

# Experiments on the Marine Borer Attack and the Atmospheric Physical Degradation of Non-treated Wood Materials at Tokyo Bay Coast

Masao YAMADA\*

## Synopsis

The use of more wood materials is required recently from the environmental point of view in Japan. In case of the use of wood materials for port facilities, the main deterioration factors are marine borers (limnoria, teredo, etc.) for submerged members and physical factors (climatic action, etc.) for non-submerged members. In this study, the seasonal change of the marine borer attack, the effects of wood species and the effects on the strengths were investigated by immersion tests in the real seawater, and the effects of wood species on the weathering deterioration were examined by the exposure tests in coastal atmosphere. Both the tests were carried out at Yokosuka in front of Tokyo Bay.

As the results of the immersion tests, the degradation rate by limnoria largely depended on the hardness of wood, while the degradation rate by teredo did not depend on the hardness of wood and that was small for the species such as *Icho* (*Ginkgo biloba*), *Sawara* (*Chamaecyparis pisifera*), *Koyamaki* (*Sciadopitys verticillata*) and *Kusu* (*Cinnamomum camphora*). The compressive, bending and tensile strengths of *Sugi* (*Cryptomeria japonica*) specimens deteriorated by marine borers were lower than the values expected from the weight loss ratios. As the results of the exposure tests in a coastal atmosphere with additional spray of seawater, the dimensional losses (i.e. physical deterioration) of broadleaf woods were larger than those of coniferous woods contrary to popular belief.

**Key Words:** wood, durability, marine borer, limnoria, teredo

---

\* Senior Researcher, Coastal and Estuarine Environment Research Group, Coastal and Estuarine Environment Research Division, Marine Environment and Engineering Department  
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan  
Phone : +81-46-844-5082 Fax : +81-46-844-1274 e-mail:yamada-m89wm@pari.go.jp

# 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

山田 昌郎\*

## 要 旨

近年、環境面から木材の利用拡大が望まれている。港湾の施設に木材を利用する場合、海中の部材では海虫類（キクイムシ、フナクイムシなど）、海上の部材では物理的要因（気象作用など）が主な劣化因子となる。そこで本研究では、海虫類食害の季節性、樹種の影響、強度への影響を、横須賀での実海水への浸漬実験で調べるとともに、海上の気中での物理的劣化への樹種の影響を横須賀での沿岸大気中暴露実験で調べた。

海水浸漬実験の結果では、キクイムシによる食害速度には木の硬さの影響が大きかったのに対し、フナクイムシによる食害速度は木の硬さによらず、イチョウ、サワラ、コウヤマキ、クスなどの樹種で小さかった。また、海虫類の食害を受けたスギ材の圧縮、曲げ、引張強度は、重量減少率からの予想以上に減少していた。一方、気中暴露実験の結果、海水散布を与えた条件では、一般的な知見とは逆に、広葉樹の方が針葉樹よりも寸法減少（物理的な劣化）が大きかった。

キーワード：木材，耐久性，海虫類，キクイムシ，フナクイムシ

---

\* 海洋・水工部 沿岸環境研究領域 沿岸環境研究チーム 主任研究官  
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所  
電話：046-844-5082 Fax：046-844-1274 e-mail:yamada-m89wm@pari.go.jp

## 1. まえがき

日本では戦時中、鋼材や石油等の資源の不足を補うために樹木を過度に伐採して使用した。戦後も復興用の材木や燃料用の木炭等の需要が樹木の成長量を大きく超過し、木材資源が不足していた。そこで1951年に森林法が改正され、木材需要を可能な限り他材料で代替して需要を抑制するとともに、針葉樹を植林する政策が採られた。

高度成長期を通じて身の回りの木製品をプラスチック等に、土木材料としての木材をコンクリートや鋼材に代替し、同時に針葉樹植林を進めた結果、今日では日本の森林資源は量的には回復したと言える。しかし質的には必ずしも望ましい状態にあるとは言えない。それは、針葉樹人工造林の場合、下刈りや間伐などの手入れが必要であるのに、十分なされていないためである。木材生産だけでなく、防災・環境の観点からも、人工林の手入れが課題となっている。

また現在、日本を含む既に工業化を達成した社会では、さらに便利で贅沢な生活を目指すよりも、環境負荷を抑制して後の世代への負の遺産を極力減らしつつ、ほどほどの生活を楽しむという成熟した社会が実現しつつある。木に対する評価も、高度成長期には、腐る、燃える、品質にばらつきがあるといった否定的な面が強調されていたように思うが、社会の成熟化に伴い、近年木の良さが見直されているように思う。

こうした状況を背景として、公共土木施設に木を使うことが、環境に配慮しつつ質の高い施設を整備する上で有効となってきている。港湾の施設についても、マリーナなどの小規模な係留施設や、ボードウォークなど人が直接接触する部分に木の使用例が増えている。ただし現在のところまだマリーナやボードウォークに国産材はほとんど使われておらず、もっぱら熱帯産の木材が使われており、環境面で課題がある。国産材を港湾施設の広い用途に用いることができれば、人工林の手入れなど環境面に貢献できるだけでなく、地元の木を使うことで各地の風土に合う地域色のある施設が整備できる。

木を港湾の施設に使う際に、建築物や一般土木施設と最も大きく異なる条件は、劣化要因である。陸上施設では、腐朽菌とシロアリが主な劣化因子であるが、港湾の施設では海水中に棲息する海虫類（キクイムシ、フナクイムシなど）が主な劣化因子となる。ただし港湾の施設でも海上に位置する部材では海虫類による劣化はなく、陸上の屋外施設と同様であり、腐朽菌、シロアリのほか、気象作用による物理的な劣化作用を受ける。このように港湾の施設に木材を使う際には、海中と海上の各劣化要

因への対処が必要である。

海虫類による木材の劣化進行速度は、水温や塩分などの海水の条件や、木の性質により変化する。そこで本研究ではまず、食害の季節性と樹種の影響を調べることを目的として、海中への木材試験体の浸漬実験を行った。次に、食害の強度への影響を調べるために、食害が生じた試験体の載荷試験を行った。これらの海中を対象とした実験と並行して、海上を対象とした気象因子による物理的劣化についても、樹種の影響を調べる目的で、国産無処理材の試験体の暴露実験を行った。

## 2. 海虫類食害の季節性の確認実験

筆者が初めて木材を所内の海水循環水槽に入れて実験したのは1997年3月で、以来いくつかの実験を行ってきた。2006年頃まで、水槽に木材を入れる季節については特に意識せずに実験を行っていたが、無処理のスギ材ではいずれも甲殻類（等脚類）のキクイムシと二枚貝類のフナクイムシによる食害が生じていた。しかし、既往の研究ではフナクイムシによる食害に季節性があることが示されている（例えばTsunoda, 1978など）。このため、今後も海水循環水槽で実験を行う上で、この水槽での食害の季節性について基礎的なデータを取得しておく必要性を感じ、この確認実験を行うことにした。

### 2.1 実験方法

#### (1) 実験施設の概要

海水循環水槽は、当研究所の護岸沿いにある平面寸法4m×27mの水槽である。水槽内には目前の久里浜湾の海水がポンプで1日2回給排水され、水深が1.0～2.5mの範囲で変化する。このため干満帯に相当する条件と常時海水中

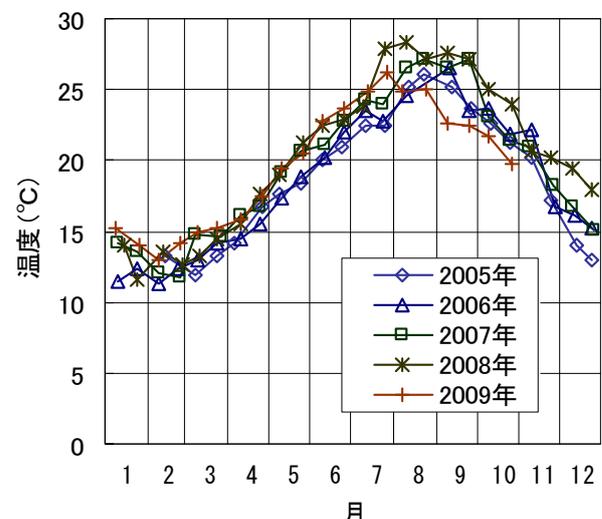


図-1 海水循環水槽の水温の測定結果

に没する条件で実験を行うことができる。今回の実験は常時海水中に没する条件で実施した。

水槽内の海水温を2005年2月から月に2回測定した結果を図-1に示す。水温の季節変動は11℃～28℃の範囲であった。また水槽内の塩分濃度を2007～2008年に16回測定した結果、季節変動は見られず、平均値は3.31%（標準偏差0.12）であった。

(2) 試験体

木材繊維方向の長さ8cm、繊維直交方向の寸法4cm×4cmで、節を含まないスギ材を横須賀市内の材木店から購入し、36×12=432個を試験体として用いた。103℃で重量が一定になるまで乾燥させたときの試験体の比重（全乾比重）は平均0.293（標準偏差0.025，最小0.237，最大0.408）であった。

(3) 海中浸漬・測定方法

2006年12月から2007年11月まで、毎月15日前後に、36個ずつの試験体を海中に浸漬した。試験体はポリエチレン製のメッシュコンテナ（外寸70.8cm×46.0cm×8.3cm）に図-2のように9段×4列に配置し、塩化ビニル被覆銅線で結び付けて固定した。各月に浸漬する試験体は無作為に選び、コンテナ内は無作為に配置した。

コンテナは海水中に立てるように（70.8cmの辺が鉛直、46.0cmの辺が水平になるように）設置した。このときコンテナが浮上しないようにコンテナ下部に重しとしてステンレス棒（質量1kg）を4本取り付けた。

海中に浸漬した各コンテナから、毎月15日前後に試験体を3個ずつ回収した。すなわち2007年1月には2006年12月に浸漬したコンテナから3個回収、2007年2月には2006年12月と2007年1月に浸漬したコンテナから各3個回収、のように進めて、2008年11月で回収を終了した。回収する3個の水槽内での高さの平均値が毎回同じになるように、回収する試験体の番号を表-1のように決定した。

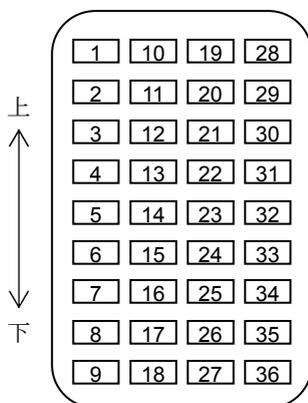


図-2 試験体の番号付け

表-1 回収する試験体番号

浸漬期間 (か月)	回収する試験体の番号		
1	1	6	35
2	2	31	36
3	3	5	34
4	7	30	32
5	4	9	29
6	8	28	33
7	10	15	26
8	11	22	27
9	12	14	25
10	16	21	23
11	13	18	20
12	17	19	24

回収した試験体は、湿潤重量を測定後、103℃で乾燥させ全乾重量を測定した。次に2cm間隔の3箇所の横断面（中間断面とその両側に各2cm離れた断面）で試験体を切断し、断面の写真をスケールとともに撮影した。

2.2 実験結果

各試験体について浸漬前の全乾重量から回収後の全乾重量を引き、浸漬前の全乾重量で割って、重量減少率を求めた。図-3に各浸漬開始月（2006年12月～2007年11月）の試験体の、各浸漬期間（1か月～12か月）の重量減少率（3個の平均値\*）を示す。浸漬初期に重量がわずかに増加したあと減少に転じた。冬季（12～2月）よりも夏季（5～9月）に浸漬を開始した方が、重量が減少に転じるまでの期間が短く、同一の重量減少率で比較すると、浸漬期間が4か月ほど短かった。

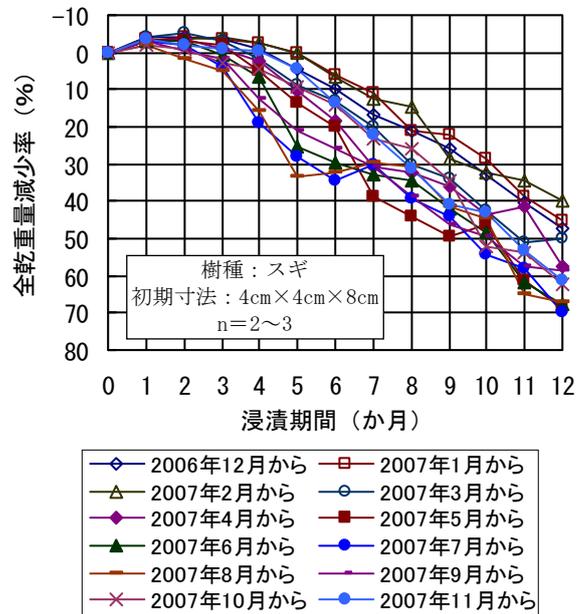


図-3 浸漬期間と全乾重量減少率

浸漬後の試験体の外観と断面の例として、付録の写真-A.1に、浸漬開始月12月および6月、浸漬期間4か月、8か月、および1年の試験体の状況を示す。試験体表面に削れたような跡が見られるのがキクイムシの食害痕であり、断面に円形の穴が見られるのがフナクイムシの食害痕である。キクイムシ食害は両浸漬開始月ともに浸漬期間の増加とともに表面全域に広がり、試験体寸法の減少を生じている。フナクイムシ食害は6月浸漬の試験体では浸漬期間4か月で既に生じているが、12月浸漬の試験体では浸漬期間1年まで生じていなかった。

本研究ではキクイムシとフナクイムシの両者が木材を

\* 結束線から外れて流失し回収できなかった試験体が13個あった。この場合は2個の平均値とした。

食害する体積を分けて評価することを試みた。既往の研究で、両者の食害による木材体積減少を分けて定量的に評価した例は見当たらない\*。本研究では、以下のように食害体積を推定した。

① 測定値から直接得られるのは全乾重量減少率であるが、密度を一樣と仮定して、全乾重量減少率=全乾体積減少率とした。試験体の初期体積×全乾体積減少率を体積減少とした。この体積減少をキクイムシとフナクイムシの両者による食害体積の合計とした。

② 2cm間隔3断面で切断した試験体断面のフナクイムシ食害面積を計測し\*\*、断面内のフナクイムシによる食害面積の平均値を求めた。これに試験体長さを掛けた体積を、フナクイムシの食害体積とした。

③ ①の体積減少から②のフナクイムシ食害体積を引いた値をキクイムシ食害体積とした。

このようにしてフナクイムシとキクイムシの食害体積を分けて、各浸漬開始月ごとに示したものが図-4である。なお、図-4の縦軸が食害速度 (mm/年) になっているのは以下の理由による。

食害体積のままでも今回の研究目的には十分であるが、今後初期体積の異なる試験体での実験と比較したり、将来的に体積の大きい部材の設計に応用したりすることを考えると、食害体積を初期表面積で割って、初期表面積当たりの食害体積 (単位は $\text{mm}^3/\text{mm}^2=\text{mm}$ ) で表した方が便利である。ここで、キクイムシは木の表面を食害するから表面積当たりの食害体積で表すのはよいとしても、木の内部を食害するフナクイムシでは妥当なのかとの疑問が生じるかもしれないが、フナクイムシについても幼生の定着は表面に生じるので、表面積当たりの食害体積で表すことに妥当性がある。木の内部を食害するフナクイムシの食害をmmで表すことに違和感を感じられるかもしれないが、初期表面積当たりの食害体積 ( $\text{mm}^3/\text{mm}^2$ ) と理解していただきたい。

また、浸漬期間の異なる実験との比較や、将来的な設計への応用には、単位時間当たりの値で表した方が便利である。今回の実験では各浸漬開始月ごとに浸漬期間1か月 (=0.083年) から12か月 (=1年) まで1か月ごとのデータがあるので、初期表面積当たりの食害体積 ( $\text{mm}^3/\text{mm}^2=\text{mm}$ ) と浸漬期間 (年) の関係を浸漬開始月ごとに回帰分析し、回帰直線の傾きを食害速度 (mm/年) とした。

\* ただしキクイムシとフナクイムシの個体数と発生量 (湿重量) を計量した例はある (伊藤, 2007 など)。

\*\*具体的には、スケールを入れてデジタルカメラで撮影した断面の画像をパソコンに取り込み、フナクイムシの開けた孔に合わせて円 (塗りつぶしあり) を描画し、この円のピクセル数をフリーソフトウェアで数えて面積を求めた。

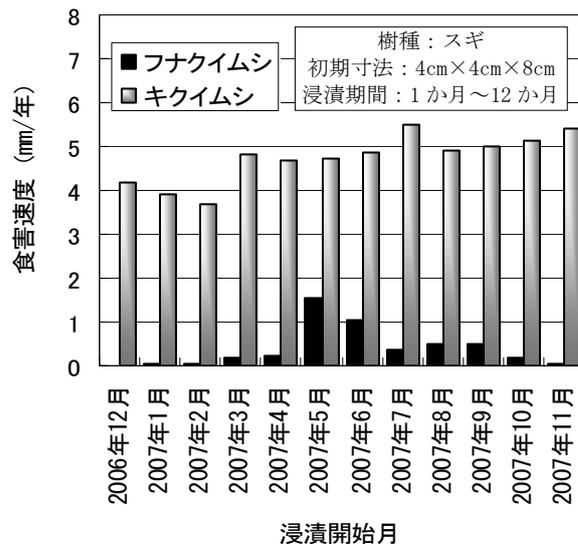


図-4 浸漬開始月と食害速度の関係

図-4より、キクイムシの方がフナクイムシよりも食害速度が大きかった。木材表面から徐々に食害するキクイムシに対して、木材内部を食害するフナクイムシの穿孔は集中的で、大きな被害を与えている印象を受けるが、食害速度はキクイムシの方が大きいことがわかった。

キクイムシ食害はいずれの浸漬開始月でも生じ、特に3月から11月までに浸漬開始した場合に食害速度が大きかった。フナクイムシ食害速度は、5月に浸漬開始した試験体で最も大きかった。11月から2月までに浸漬開始した試験体は、浸漬開始1年後までフナクイムシ食害がほとんど生じなかった。既往の研究でもフナクイムシ食害に及ぼす浸漬時期の影響は指摘されており、角田らは福井県内の海面貯木場において、フナクイムシ幼生の定着期に当たる6~9月に浸漬開始した場合に食害が激しいことを示している (Tsunoda, 1978)。

### 3. 海虫類食害への樹種の影響についての実験

前章の実験では、スギ材に対してキクイムシがフナクイムシよりも食害速度が大きかったが、他の樹種ではどうなのか調べるため、樹種を要因として実験を行った。

#### 3.1 実験方法

##### (1) 試験体

この実験には国産材18種、輸入材10種、および竹材1種の試験体を用いた。

##### a) 国産材

国産材の樹種は、針葉樹9種 (スギ, サワラ, トドマツ, コウヤマキ, ヒノキ, エゾマツ, マツ, カラマツ, ヒバ), 広葉樹8種 (クス, タモ, ケヤキ, クリ, カバ, ブナ, ナラ, カシ), および針・広葉樹のどちらにも属さないイチ

ヨウの計18種とした。現在利用拡大が期待されているのは主に植林されて手入れが不足している人工林からのスギ、ヒノキ、カラマツなどの樹種であるが、日本の潜在自然植生は広葉樹が主であり、今後人工林についても針広混合樹林への移行が図られる趨勢にあることから、広葉樹も対象とした。コウヤマキやイチョウは木材としての流通量があまり多くない樹種であるが、既往の研究(岡田, 1958)ではフナクイムシ食害が少なかった樹種であるので加えた。

試験体数は各樹種10個とした。試験体は横須賀市内の材木店から購入した。寸法は、4.0cm×4.0cm×8.0cm(ただしコウヤマキは4.2cm×4.2cm×7.9cm, クリは3.5×3.5×8.0cm)である。60℃で1~2日間乾燥して全乾重量を測定した。

全乾状態での硬さを、デュロメータ硬さ計(タイプD)(写真-1)を用いて測定した。この硬さ計はJIS等のゴムやプラスチックの硬さ試験方法に採用されているもので、大谷(2001)は木材の硬さ測定にも利用できることを示している。スプリングで支持された押針を材料に押し込み、硬さ計の底部を材料



写真-1 デュロメータ硬さ計

に接触させたときの押針の挿入深さが、硬さの相対値として表示される。タイプDの押針は直径1.25mm, 先端形状は円すい形, 先端角30°であり、スプリングの加圧力は最大44.4Nである。

各樹種の全乾比重(10試験体の平均値)と全乾硬さ(樹種ごとに10点で測定した平均値)を表-2に示す。大谷(2001)は、木材の密度 $\rho$ とデュロメータ硬さHDDの間に $HDD = 71.4\rho + 15.0$ の関係があることを示している。今回

表-2 国産材試験体の全乾比重と全乾硬さ

樹種	全乾比重	全乾硬さ	樹種	全乾比重	全乾硬さ
スギ	0.32	32	イチョウ	0.49	53
サワラ	0.34	35	クス	0.51	54
トドマツ	0.35	33	タモ	0.52	65
コウヤマキ	0.35	43	ケヤキ	0.63	67
ヒノキ	0.36	39	クリ	0.65	70
エゾマツ	0.40	44	カバ	0.69	67
マツ	0.41	40	ブナ	0.70	68
カラマツ	0.42	39	ナラ	0.73	63
ヒバ	0.44	51	カシ	0.78	72

の実験でも、表-2の比重と硬さの関係を図示すると図-5のようになり、比重(または密度)と硬さが密接に関わっていることがわかる。

例外もあるが一般的に針葉樹は広葉樹より比重が小さく、今回の試験体でも、イチョウより比重の小さかった樹種はスギからヒバまですべて針葉樹で、大きかった樹種はクスからカシまですべて広葉樹であった。

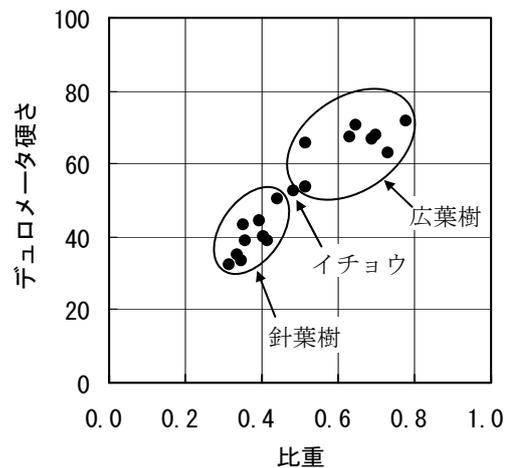


図-5 国産材試験体の全乾比重と全乾硬さの関係

#### b) 輸入材

輸入材の樹種は、針葉樹2種(レッドシダー、サイプレス)と、広葉樹8種(メルバウ、アマレラン、ジャラ、セラングンバツ、イエローバラウ、ウリン、イベ、アマゾナス)の計10種とした。産地はレッドシダーがカナダ、サイプレスとジャラがオーストラリア、メルバウとセラングンバツとウリンがインドネシア、イエローバラウがマレーシア、アマレランとイベとアマゾナスがブラジルである。試験体数は各樹種1個とした。ウッドデッキ材を販売する業者から試供品を入手して試験体としたため、寸法は表-3に示すように樹種ごとに異なる。103℃で7日間乾燥して測定した全乾比重と全乾硬さ(10点の平均値)を表-3に示した。

表-3 輸入材試験体の寸法・比重・硬さ

樹種	全乾寸法(cm)			全乾比重	全乾硬さ
	厚	幅	長		
レッドシダー	3.80	8.86	13.6	0.38	51
サイプレス	1.99	8.98	13.6	0.66	74
メルバウ	2.05	10.31	9.7	0.68	62
アマレラン	2.95	10.20	13.7	0.78	69
ジャラ	1.91	8.25	13.7	0.85	70
セラングンバツ	1.97	10.05	9.9	0.92	72
イエローバラウ	1.70	8.56	13.7	0.96	70
ウリン	1.93	9.80	14.7	0.97	71
イベ	1.90	10.10	13.7	1.04	83
アマゾナス	1.95	10.07	13.7	1.08	79

まえがきで述べたように、国内の人工林の保全や、いわゆる地産地消の観点からは国産材の使用が望ましいが、現状ではボードウォーク等にこれらの輸入材が使われており、気中での使用に関しては実績がある。一方、海中での海虫類に対するこれらの輸入材の耐久性については、これまで日本の沿岸では検証されていない。気中と海中の劣化因子の相違を無視して海中で使用されるおそれがあるため、今回実験を行うことにした。

#### c) 竹材

竹は成長が早く2~5年で伐採して利用でき、海洋でも養殖用の支柱などに使用されてきたが、その海中での劣化の原因や速度についての詳細な記録はほとんどない。適切に使用すれば港湾施設の材料としても有効に利用できる可能性があるため、筆者は大分大学と協力して海水浸漬実験を行っている(山田, 2008)。無処理竹材(青竹)のほか、油抜き処理した竹材(白竹)、圧密竹集成材、圧密竹ヒゴ丸棒等をあわせて浸漬実験しているが、本稿では樹種を要因とした実験について述べるため無処理竹材(青竹)についてのみ記述した。

試験体は、大分市内の竹林で伐採されたマダケを割竹にしたものであり、試験体数は72個とした。試験体の長さは約18cm、幅は約2.5cm、厚さは5~9mmであり、個々の試験体の寸法は計測しなかった。気乾比重は約0.7であった。103℃で2日間程度乾燥して全乾重量と全乾硬さを測定した。全乾硬さの平均値は外皮で87、内面で51であった。

### (2) 海中浸漬・計測方法

#### a) 国産材

前章の実験と同様のコンテナを用いて試験体を海中に浸漬した。国産材はコンテナ1個当たり各樹種2個ずつ36個を配置した。各樹種1個ずつ計18個を2列に配置した。樹種の順序は乱数を用いて無作為に決めた。前章の実験結果から、当所の海水水槽では1年以内にフナクイムシ食害について評価するには5~6月に浸漬開始するのがよいと思われるので、2008年6月23日に浸漬し、同年12月24日に回収した\*。全乾重量を測定し、前章の実験と同様に2cm間隔で切断して写真を撮影した。

#### b) 輸入材

輸入材はコンテナ1個に全試験体を配置し、2007年1月30日に浸漬した(前章の実験結果が出る前に開始したので、前章の結果は踏まえていない)。1か月ごとに引き

\* 結束線から外れて流失し、回収できなかった試験体があった。回収できた試験体数は以下の通り：トドマツ5個、コウヤマキ・マツ・ヒバ各6個、ヒノキ・エゾマツ・ナラ各7個、スギ、サワラ、タモ各9個、その他の8樹種各10個。

揚げて、写真撮影、硬さ測定(浸漬4か月まで)、湿潤重量測定(浸漬1年まで)を行い、浸漬を継続した。浸漬1年を経過した2008年1月30日に、クイムシによる食害が激しかったレッドシダーのみ回収して全乾重量を測定し、切断して内部を観察して浸漬を終了した。他の9個の試験体は浸漬を継続し、浸漬2年を経過した2009年2月6日に回収して全乾重量を測定した。全乾重量の減少が激しかったメルバウ、ジャラ、ウリンは切断して内部を観察し、メルバウのみ浸漬を終了した。他の8試験体は2009年5月15日に浸漬を再開し、現在浸漬を継続中である。次回は2011年5月に回収して全乾重量を測定する予定である。

#### c) 竹材

竹材は5個ずつ束ねてコンテナに結び付け、2007年3月12日に海中に浸漬した。1か月ごとに湿潤重量を測定し写真を撮影した。7か月経過後の2007年10月29日に5個を回収し、全乾重量を測定し、切断して内部を観察した。以後、2008年3月、7月、10月、2009年3月、7月、10月にも5個ずつ(2008年3月のみ10個)回収し、全乾重量を測定し、切断して内部を観察した。現在32個の浸漬を継続中であり、2010年以降も3月、7月、10月に5個ずつ回収する予定である。

## 3.2 実験結果

### a) 国産材

付録の**写真-A.2**に、6か月海中浸漬した国産材18種の横断面の例を示す。写真は各樹種の全乾比重の順に左上から右下に並べてある。写真から、サワラ、コウヤマキ、イチヨウなどでは、フナクイムシの孔道が比較的少ない。また針葉樹(スギ~ヒバ)では断面の周囲がクイムシに食害されているが、イチヨウと広葉樹(クス~カシ)では周囲の食害が少ない。

重量減少率から求めた樹種ごとの食害速度を**図-6~8**に示す。樹種は、全乾比重の順に左から並べた。食害速度の定義は前章で述べた通りである。ただしこの実験では浸漬期間が6か月(=0.5年)のデータだけであるため、初期表面積当たりの食害体積(mm)÷浸漬期間(0.5年)を食害速度とした。

**図-6**からクイムシとフナクイムシの両者による総合的な食害速度としてはイチヨウとクスが小さく1mm/年程度であり、次いでクリ、コウヤマキ、サワラ、カシ、トドマツ…となっている。**図-7**のフナクイムシ食害速度は、イチヨウ、サワラ、コウヤマキで小さく、次いでクス、スギ、ヒノキの順となっている。**図-8**のクイムシ食害速度は、針葉樹(スギ~ヒバ)で大きく、イチヨウおよび広葉樹で小さいという結果となっている。

全乾状態での各樹種の硬さは前に表-2 に示したが、木材の硬さは他の強度特性と同様に湿潤状態では乾燥状態よりも低下する。全乾状態から含水率約 30%（繊維飽和点と呼ばれている含水率）までの範囲での低下が大きく、

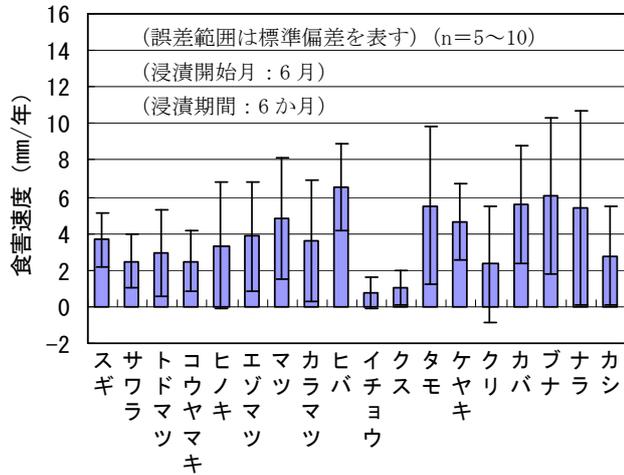


図-6 総合的な食害速度

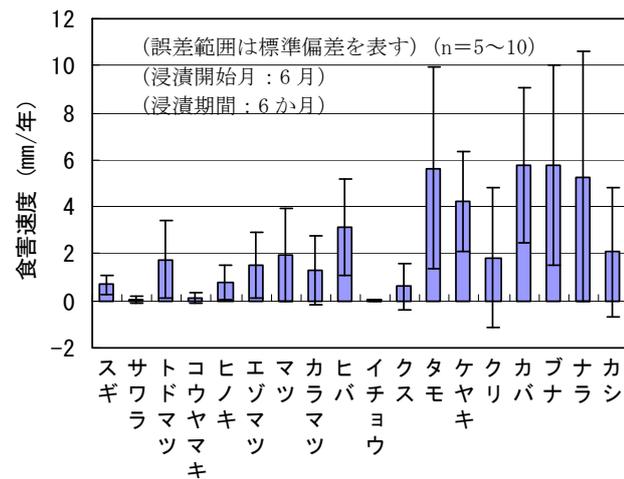


図-7 フナクイムシ食害速度

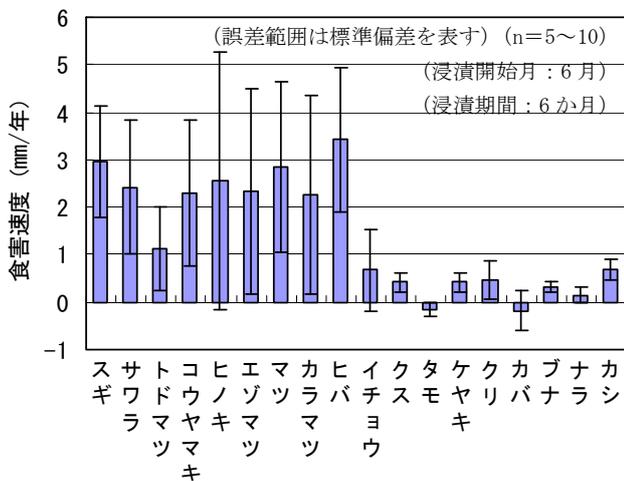


図-8 キクイムシ食害速度

繊維飽和点を超えると低下が止まりほぼ一定になることが知られている。今回の試験体について、試験終了後の各樹種の試験体切片を用いて全乾硬さをあらためて測った後、水道水に 40 日間浸漬して含水率が繊維飽和点を超えた状態での湿潤硬さを測った結果を表-4 に示す。

表-4 国産材試験体の全乾硬さと水道水浸漬 40 日後の湿潤硬さ

樹種	全乾硬さ	湿潤硬さ	湿潤/全乾
スギ	33	33	0.98
サワラ	36	32	0.87
トドマツ	42	31	0.73
コウヤマキ	44	41	0.92
ヒノキ	45	32	0.71
エゾマツ	49	34	0.68
マツ	48	35	0.72
カラマツ	41	32	0.79
ヒバ	53	33	0.63
イチョウ	55	42	0.75
クス	58	47	0.80
タモ	62	43	0.69
ケヤキ	69	57	0.83
クリ	67	56	0.84
カバ	73	51	0.70
ブナ	65	45	0.69
ナラ	71	48	0.68
カシ	74	59	0.80

この湿潤硬さとキクイムシの食害速度の関係を図-9 に示す。この図から湿潤硬さが約 40 を超える樹種ではキクイムシ食害速度が小さいことが示唆される。キクイムシ食害に硬さのしきい値が存在することは既往の研究では指摘されておらず、確認されれば重要な情報となり得る。今後より多くのデータを収集して検証したい。

一方、図-7 からフナクイムシ食害速度は、タモ、ケヤキ、カバ、ブナ、ナラなどの広葉樹材でも大きく、フナクイムシは密度の大きい硬い樹種でも食害することが分かる。したがって樹種による性質の違いの原因となる密

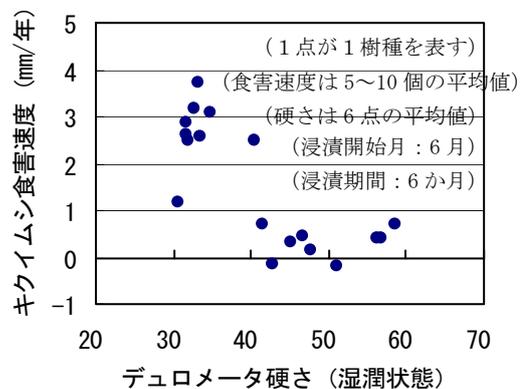


図-9 樹種の湿潤硬さとキクイムシ食害速度

度と心材抽出成分\*のうち、後者がフナクイムシの食害にとっては重要と考えられる。国産材の心材抽出成分のフナクイムシに対する作用については不明であり、今後の研究が必要である。

無処理国産材試験体の海中浸漬前後の重量減少率が示されている既往研究結果を用いて、本研究の方法で食害速度を計算した結果を表-5に示す。今後木材の硬さや心材抽出成分の種類および含有量を説明変数として食害速度を予測するためには、こうしたデータをさらに蓄積する必要がある。

表-5 既往の研究から求めた食害速度

出典	樹種	n	浸漬地	浸漬期間(年)	初期体積 (cm <sup>3</sup> )	重量減少率 (%)	食害速度 (mm/年)
近藤ら (1958)	マツ	2	大阪	0.8	1120~1173	36	5.5
	クリ	2				22	3.3
	ケヤキ	2				27	3.8
森ら (2001)	スギ	5	小樽	2	400	63	2.4
	ブナ	5				70	2.7

b) 輸入材

レッドシダーではキクイムシ食害が顕著で、浸漬1年での全乾重量減少率は50%に達していた。切断して内部を観察したが、フナクイムシの孔道は見られなかった。これが1月に浸漬開始したためか、心材抽出成分のためかは不明である。浸漬2年で全乾重量減少率の大きかったメルバウ、ジャラ、ウリンを切断して内部を観察したところ、フナクイムシの孔道が見られた(付録写真-A.3)。このことから1月に浸漬開始しても、2年間浸漬するとフナクイムシ食害を生じることがあることがわかる。また、高耐久とされる熱帯産の輸入材であってもフナクイムシによる食害が生じることがわかる。

重量減少率から食害速度を計算した結果を図-10に示す。全乾硬さが51、浸漬58日後の湿潤硬さが33と軟らかかったレッドシダーがキクイムシに食害されたのは、国産針葉樹の場合と同様である。サイプレスは針葉樹であるがキクイムシ食害をほとんど受けていないのは、全乾硬さが74、浸漬58日後の湿潤硬さが54と硬かったためと考えられる。

c) 竹材

竹材について、浸漬1年7か月で回収した試験体の外皮、内面、切断面を付録の写真-A.4に示す。外皮には食害が見られず、内面にはキクイムシ食害が部分的に生じ、

\*樹木の幹の外周の近くで細胞が生きている部分が辺材、幹の内部で細胞が死んだ部分が心材であり、特定の化学成分を心材に蓄積して耐朽性を高めている樹種がある(小泉, 1998)。こうした成分のことを心材抽出成分と呼ぶ。

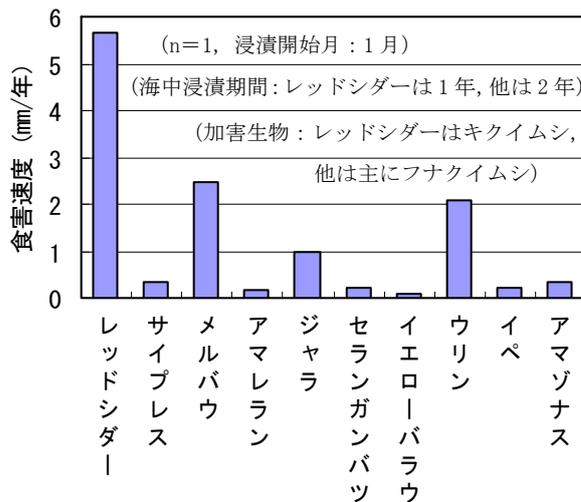


図-10 輸入材試験体の海虫による食害速度

断面にはフナクイムシの孔道が生じていた。外皮と内面のキクイムシ食害の差は、硬さの差に起因すると考えられる(外皮と内面の浸漬45日後の湿潤硬さはそれぞれ78と35であった)。

試験体の重量減少率を図-11に示す。原点を通る回帰直線の勾配を求めると24%/年となり、約4年で全て分解されるペースである。キクイムシよりもフナクイムシが主な食害生物となる点で、竹材は針葉樹よりも広葉樹に類似した食害傾向を示していた。

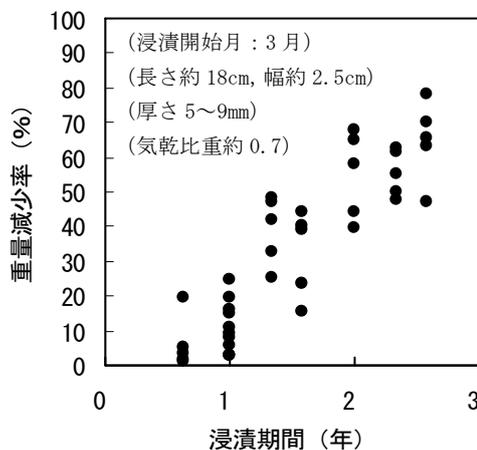


図-11 竹材(無処理マダケ)の海中浸漬実験結果

4. 海虫類食害が生じた木材の強度についての実験

前章で食害速度の樹種による違いについて述べたが、強度が期待される海中構造部材(栈橋の杭など)に木材を用いるためには、食害の程度と強度との関係についての情報が必要である。強度には圧縮強度、引張強度、曲げ強度、せん断強度、ねじり強度等があり、異方性材料

である木材では繊維方向と荷重方向の組み合わせによりそれぞれの強度の大きさが異なるが、今回は最も基本的な、繊維方向の圧縮強度と引張強度、および繊維直角方向の荷重に対する曲げ強度を検討した。

#### 4.1 実験方法

##### (1) 試験体

繊維が通直で、節を含まないスギ材を試験体として用いた。圧縮試験用は4cm×4cm×8cm、曲げ試験用は4cm×4cm×32cmとした。引張試験用は厚さ1.5cm×幅3cm×長さ39cmで、長さ方向の中央部6cmの区間は厚さを0.5cmとした。これらの試験体は横須賀市内の材木店から購入した。

各試験とも、海中浸漬用7体、実験室内の気中保管用3体と、これらの対照試験体として水道水中に浸漬する10体を使用した。対照試験体と対応する試験体とは連続した材から作成した。

##### (2) 浸漬・載荷・計測方法

海中および水道水中への浸漬は、圧縮試験用と曲げ試験用については2009年6月15日、引張試験用については同年8月6日に行った。海中浸漬には前章までの実験と同様のコンテナを用いた。水道水中への浸漬試験体は、ステンレス棒を重しとして結び付けて、ふた付きコンテナ（容量100L）に満たした水道水に浸漬した。

圧縮試験体は2009年10月20日、引張試験体は同21日、曲げ試験体は同22日に回収し、載荷試験を行った（付録写真-A.5）。載荷には1MN型油圧式万能試験機を使用した。曲げ試験での支点間隔は26cm、載荷点間隔は10cm、載荷点と支点の距離は8cmとした。試験時の重量と、全乾重量を測定した。

#### 4.2 実験結果

食害による重量減少率と各強度減少率の関係を図-12～14に示す。ここで強度減少率は、水道水に浸漬した対照試験体での最大荷重と海中に浸漬した試験体での最大荷重との差を、対照試験体での最大荷重で除して求めたものであり、含水による強度低下の影響を含まない。ちなみに、気中保管した試験体と水道水に浸漬した対照試験体の最大荷重の比は、圧縮1.70、曲げ1.42、引張1.00（いずれも平均値、n=3）であり、既往の知見と同様に圧縮>曲げ>引張の順に含水による強度低下が大きかった。

食害による重量減少率の平均値は、圧縮19%、曲げ17%、引張42%であり、強度減少率の平均値は、圧縮66%、曲げ58%、引張99%であった（いずれもn=7）。すなわち約2割の重量減少で圧縮強度と曲げ強度が約6割減少し、約4割の重量減少で引張強度がほぼ0になった。重量減少率から寸法減少率を計算し、圧縮試験体の断面積減少率を計算すると16%、曲げ試験体の断面二次モーメント減少率

を計算すると16%、引張試験体の断面積減少率を計算すると42%であり、断面積ないし断面二次モーメントの減少率と強度減少率とが近い値となることを予想したが、実際には強度減少率の方がはるかに大きかった。

このことから、構造部材について前述のような食害速

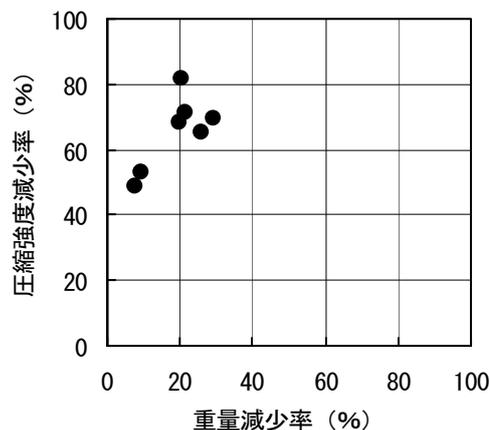


図-12 食害による重量減少と圧縮強度の関係

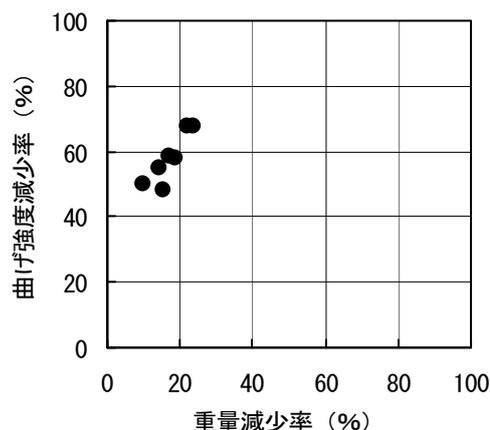


図-13 食害による重量減少と曲げ強度の関係

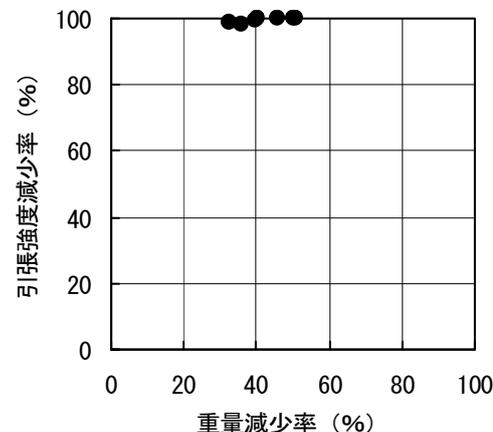


図-14 食害による重量減少と引張強度の関係

度を用いて寸法減少を予測し、減少後の寸法による断面積ないし断面二次モーメントを用いて単純に強度計算すると危険側となる恐れがある。今後、樹種や試験体寸法を変えて、より多くの実験を行い、食害と強度減少の関係について適切にモデル化することが課題である。

## 5. 海上の気中での暴露実験

前章までは、海中に浸漬して使用される木材の海虫類による食害について述べたが、本章では海上の気中で使用される木材の物理的な劣化について述べる。

### 5.1 実験方法

#### (1) 実験施設の概要

本章の実験は、海水シャワー場と海上大気暴露試験場で実施した。

海水シャワー場（付録写真-A.6）は前述の海水循環水槽に隣接した場所にあり、海水循環水槽から排水される海水がスプリンクラーで散布される。海水飛沫を受ける栈橋上部工や防舷材などの使用環境条件に相当する。散布時間は海水循環水槽の排水時間と等しく1日2回、各約3時間である。散布量を実測した結果では約0.14m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>hrであった。

海上大気暴露試験場（付録写真-A.7）は、海水シャワー場に隣接した場所にあり、海水散布がない点以外は海水シャワー場とほぼ同一の環境条件である。ボードウォークなど臨海部で通常は海水飛沫を受けない箇所の使用環境条件に相当する。

#### (2) 試験体

国産材の針葉樹4種（スギ、ヒノキ、マツ、カラマツ）と広葉樹6種（クリ、クス、ブナ、ケヤキ、ナラ、カシ）の計10樹種を用いた。試験体寸法は2cm×2cm×38cmとした。試験体数は各樹種6本とした。これらは横須賀市内の材木店から購入した。

#### (3) 荷重・計測・暴露方法

本実験では、暴露前後の試験体の曲げ剛性（曲げ載荷した時の変形にくさ）の比を用いて、試験体の劣化を寸法減少として評価した。まず2007年10月9～11日に、暴露前の試験体の気乾重量を測定し、曲げ載荷を行った（付録写真-A.8）。曲げ載荷には1MN型油圧式万能試験機を用いた。支点間隔を34cm、載荷点間隔を10cm、載荷点と支点の距離を12cmとした。

試験体の2cm×38cmの面4面にA～Dの記号を付し、各面を載荷面として1回ずつ曲げ載荷した。ここでB面は暴露のとき上面とする面で、なるべく板目面かつ木表となるようにし、D面はB面の裏面で木裏、A面とC面は柾目面と

なるようにした（図-15）。

曲げ載荷時の試験体の中央位置での変位と両支点位置での変位を変位計で測定し、中央での変位から両支点での変位の平均値を差し引いて、たわみを求めた。荷重は、両支点下に容量100Nの荷重計を2

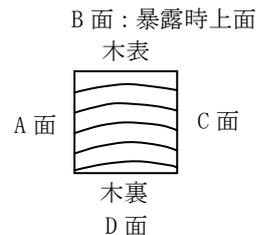


図-15 面の記号

個ずつ設置して測定した。たわみが1mm（カラマツでは0.75mm、カシでは0.9mm）に達したときの荷重を記録した。また、デュロメータ硬さ計（タイプD）で各樹種の柾目面の早材（＝年輪の色の薄い部分）・晩材（＝年輪の色の濃い部分）各10点での硬さを測定した。

表-6 海上気中暴露試験体の比重、ヤング係数、硬さ（暴露前に気乾状態で測定した樹種ごとの平均値）

樹種	気乾比重	曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	気乾硬さ
スギ	0.42	11.0	44 (早材)
			41 (晩材)
ヒノキ	0.49	14.6	49 (早材)
			53 (晩材)
マツ	0.51	12.4	45 (早材)
			48 (晩材)
カラマツ	0.88	19.0	56 (早材)
			66 (晩材)
クリ	0.49	9.0	51 (早材)
			46 (晩材)
クス	0.59	11.1	52 (早材)
			55 (晩材)
ブナ	0.78	14.5	62 (早材)
			66 (晩材)
ケヤキ	0.72	12.1	64 (早材)
			59 (晩材)
ナラ	0.78	11.9	61 (早材)
			60 (晩材)
カシ	0.94	16.9	67 (早材)
			70 (晩材)

つづいて2007年10月25日に、海水シャワー場と海上大気暴露試験場に各樹種3本ずつ試験体を設置した。前章までの実験と同様のコンテナ4個を用い、コンテナと試験体が直接接触しないようにコンテナ上に2本のポリエチレンロープ（太さ9mm）を敷いた上に、コンテナ1個当たり15本の試験体を置いて、試験体両端部付近を塩化ビニル被覆銅線でコンテナに結び付けた。海水シャワー場ではコンクリート床版上に高さ5cmの木材を置いた上にコンテナを置いた。これは床版上を流れる海水が試験体に触れないようにするためである。海上大気暴露試験場ではコンクリート床版上にコンテナを直接置いた。

暴露開始から1か月ごとに試験体の写真を撮影した。暴

露23か月を経過した2009年9月25日、試験体を回収して重量を測定した後、実験室内に置いて暴露前と同様の気乾状態となるようにし、10月16～20日に気乾重量を測定し暴露前と同様に曲げ載荷した。試験体各面の写真を撮影し、10月23日に暴露を再開した。次回は暴露開始から4年後の2011年10月に曲げ載荷を行う予定である。

## 5.2 実験結果

いずれの試験体も外観に顕著な劣化はなく（付録写真-A.9）、腐朽菌、シロアリ、海虫類による生物劣化は生じておらず、劣化を生じさせる原因は、海水散布による磨耗作用、紫外線による損傷、乾湿繰り返しによる微細ひび割れ発生等の物理的な風化（weathering）と考えられる。

暴露前後で木材の弾性係数は変わらず、曲げ剛性の減少は寸法の減少によって生じると仮定することにより、本研究では物理的な劣化（曲げ剛性の減少）を寸法減少として表した。試験体のA～Dの各面に載荷したときの曲

げ剛性から、高さ方向と幅方向の寸法減少をそれぞれ求めた。ここで、高さ方向とは暴露時に鉛直方向になる方向であり、幅方向とは暴露時に水平方向になる方向である。また、暴露期間が23か月なので、12/23を掛けて1年当たりの値に換算した。このように求めた樹種ごとの寸法減少を図-16, 17に示した。

高さ方向（図-16）と幅方向（図-17）の結果を比較すると、針葉樹でシャワーありの場合に高さ方向の方が寸法減少が大きい他は、現在のところ大きな差は生じていない。両方向とも、シャワーなしの条件では樹種ごとの差ははっきりしないが、シャワーありの条件では広葉樹（クリ、クス、ブナ、ケヤキ、ナラ、カシ）の寸法減少が針葉樹より大きい。一般的には、比重（密度）及び硬さが大きい広葉樹の方が針葉樹よりも風化作用を受けにくいとされている。今回、表-6に示したように、カラマツの比重が大きくクリの比重が小さいが、他の広葉樹（クス、ブナ、ケヤキ、ナラ、カシ）の比重は針葉樹（スギ、ヒノキ、マツ）より大きいにもかかわらず針葉樹より寸法減少が大きく、一般的な知見と逆の結果となった。なお、前回報告した実験（山田、2006）でも、海水シャワー場での5年間の暴露でクリの方がスギよりも寸法減少が大きかった。このようにシャワーありの場合に広葉樹の寸法減少が大きくなる理由については、広葉樹と針葉樹の組織構造の相違等を含めて今後検討を要する。

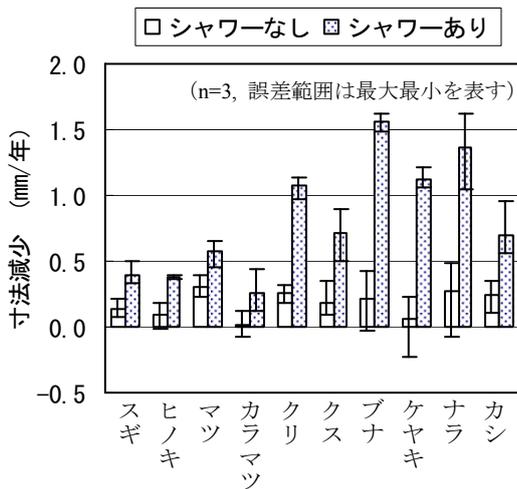


図-16 高さ方向の寸法減少

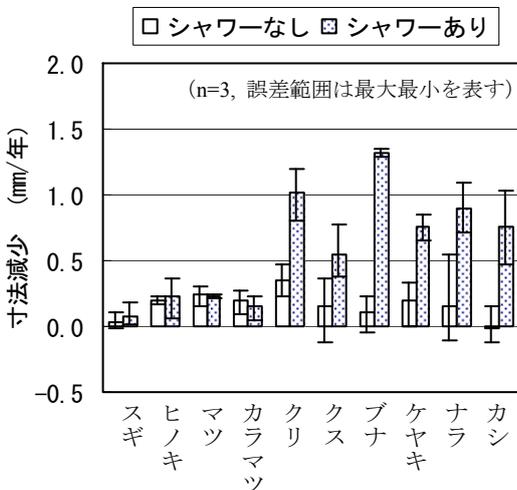


図-17 幅方向の寸法減少

## 6. 結論

無処理木材の海水中的での海虫類による食害の季節性、樹種による差、強度への影響を、横須賀での海中浸漬実験によって調べた。また、無処理木材の海上の気中の物理的な劣化の樹種による差を、横須賀での暴露実験によって調べた。主な結論を以下に列挙する。

- ① スギ試験体を浸漬開始月を変えて最長1年間海中に浸漬し、重量減少率と断面のフナクイムシ食害面積からキクイムシとフナクイムシによる食害速度（＝単位時間・単位表面積当たりの食害体積）を分けて求めた。その結果、いずれの月に浸漬を開始してもキクイムシの方がフナクイムシよりも食害速度が大きかった。キクイムシ食害速度は3～11月に浸漬開始した場合に特に大きかった。フナクイムシ食害速度は、5月に浸漬開始した場合に最大で、11～2月に浸漬開始した場合にはほぼ0であった。
- ② 国産材18樹種を6月から12月まで6か月間海中に浸漬した結果では、キクイムシ食害速度は湿潤デュロメータ硬さが約40を超える樹種（イチョウと広葉樹）で小さかった。一方、フナクイムシ食害速度には硬さの影響は小

さく、イチョウ、サワラ、コウヤマキ、クスなどの樹種で小さかった。輸入材10種を1月から1年間ないし2年間海中に浸漬した結果でも、食害と硬さの関係は国産材と同様であった。竹材（マダケ）を3月から2年7か月間海中に浸漬した結果では、食害の傾向は広葉樹と類似していた。

- ③ 6月から4か月間海中に浸漬して海虫類の食害を生じたスギ試験体の圧縮と曲げ、ならびに8月から2か月間海中に浸漬して海虫類の食害を生じたスギ試験体の引張試験を行い、最大荷重をそれぞれ水道水中に浸漬した対照材での最大荷重と対比した結果、食害の強度への影響は、重量減少率からの予想以上であった。
- ④ 国産材10種を23か月間海上の気中（海水散布あり、なしの2条件）に暴露した結果、生物劣化は生じず、物理的な劣化を寸法減少で表した結果では、海水散布ありの場合に広葉樹の方が針葉樹よりも寸法減少（物理的な劣化）が大きかった。

## 7. あとがき

今回の実験では、いくつか予想外の結果が得られたが、その原因ないしメカニズムについては、まだほとんど不明である。今後引き続き以下の点について、より多くのデータを蓄積して検討したい。

- ① キクイムシ食害と硬さの関係
- ② フナクイムシ食害と心材抽出成分の関係
- ③ 食害と強度低下の関係
- ④ 海上の気中での物理的劣化と樹種の関係

①, ②, ④をメカニズムも含めて定量的に説明することにより、従来のような「〇〇という樹種は腐りやすい、腐りにくい」という水準から、適切な説明変数を用いた定量的な劣化速度予測評価が可能な水準へと到達することが目標である。さらに③の解明によって、強度部材としての木材の設計にも応用できるようにしたい。

なお、今回の実験では加害生物はキクイムシとフナクイムシの2種類のみであったが、汽水域ではキクイムシよりも大型の甲殻類であるコツブムシも存在し（村田, 2000）、北海道、四国、九州などにはフナクイムシ（*Teredo*）属よりも成長が速いオオフナクイムシ（*Bankia*）属が確認されている（角田, 1979）ことなどから、木材を海中で使用する場合には、事前に現地で使用予定の木材の海中浸漬実験を少なくとも半年間行って食害速度を求めることを推奨する。その際に本資料が何らかの参考になれば幸いである。

（2009年11月12日受付）

## 謝辞

本研究の実験を行うに当たり構造研究領域の皆様にお世話になりました。また実験データを取りまとめるに当たり、沿岸環境研究領域、海洋・水工部、公表審査委員会の皆様から貴重なご意見をいただきました。ここに謝意を表します。なお本研究は科研費（19380102）ならびに農水省実用技術開発事業（21027）の助成を受けて実施しました。

## 参考文献

- 伊藤靖, 三浦浩, 押谷美由紀, 深瀬一之, 柳瀬知之: 魚礁における間伐材の特性と活用事例, 水産工学, Vol. 44 No. 2, pp. 91-100.
- 大谷忠 (2001): デュロメータ硬さ計を用いた木材の表面硬さ特性と早晚材密度計測への応用可能性, 木材工業, Vol. 56 No. 7, pp. 317-322.
- 岡田要, 佐々木信男 (1958): フナクイムシの諸種木材に対する食害について, 「木船木材蝕害とその防除」(岡田要編), 日本学術振興会, pp. 192-196.
- 小泉章夫 (1998): 辺材・心材・移行材, 「コンサイス木材百科」(秋田県立大学木材高度加工研究所編), 秋田県木材加工推進機構, pp. 52-53.
- 近藤泰夫・石井文雄 (1958): 南洋産木材の耐蝕害性に関する研究, 「木船木材蝕害とその防除」(岡田要編), 日本学術振興会, pp. 183-191.
- 角田邦夫, 西本孝一 (1979): 海面貯木場におけるフナクイムシの食害と防除 (1) - フナクイムシの種類と分布 -, 木材工業, Vol. 34 No. 7, pp. 293-295.
- 村田優子, 和田恵次 (2000): 潮間帯に生息するコツブムシ科穿孔性等脚類の分布に関係する要因, 日本ペントス学会誌 Vol. 55 pp. 25-33.
- 森満範, 宮内輝久, 三浦真由己, 長野行紘, 新井野憲昭, 白石徹治 (2001): 保存処理木材の海中における性能 - 海虫抵抗性および薬剤残存量 -, 第51回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 427.
- 山田昌郎 (2006): 無処理木材および木粉プラスチック複合材の海洋環境での耐久性試験 (その2), 港湾空港技術研究所資料No. 1117, 20p.
- 山田昌郎, 井上正文, 田中圭 (2008): 竹材の海虫類による劣化進行速度について (第1報), 第12回木質構造研究会技術発表会技術報告集, pp. 17-20.
- Tsunoda, K. and Nishimoto, K. (1978): Effect of the time of immersion on the rates of shipworm attack on wood, *Mokuzai Gakkaishi* Vol. 24, No. 10, pp. 760-765.

付録

		浸漬期間 4 か月	浸漬期間 8 か月	浸漬期間 1 年
2006 年 12 月 浸漬開始	側面			
	断面			
2007 年 6 月 浸漬開始	側面			
	断面			

写真-A.1 回収したスギ試験体の状況の一例（初期寸法 4cm×4cm×8cm）

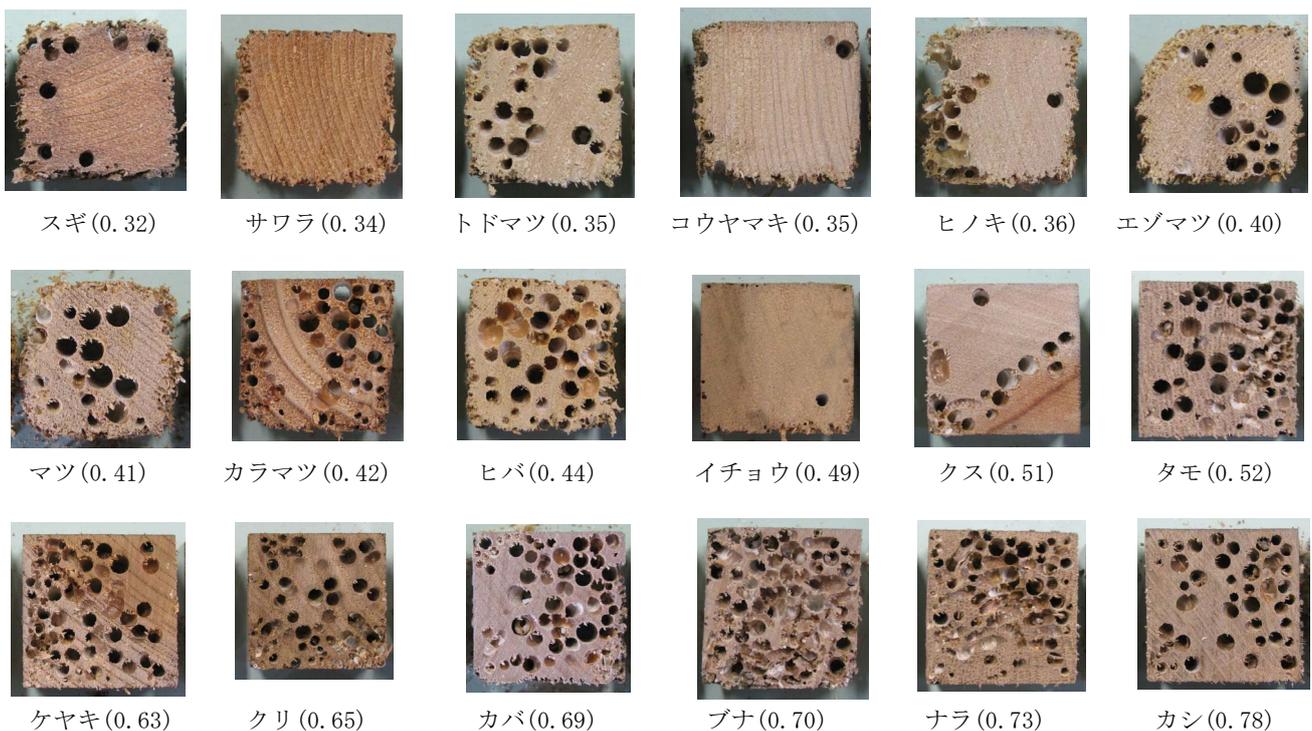


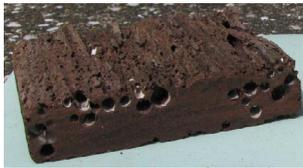
写真-A.2 海中浸漬した国産材 18 種の断面（）内は浸漬前の全乾比重（浸漬開始月：6 月，浸漬期間 6 か月）



レッドシダー (浸漬1年, 外観)



メルバウ (浸漬2年, 断面)



ジャラ (浸漬2年, 断面)



ウリン (浸漬2年, 断面)

写真-A.3 輸入材の食害状況  
(浸漬開始月: 1月)



外皮

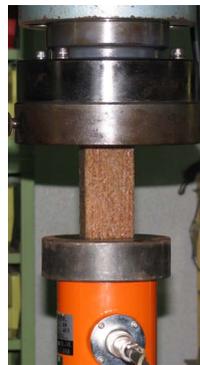


内面



断面

写真-A.4 竹材 (マダケ) の食害状況 (浸漬開始月: 3月, 浸漬期間: 1年7か月)



圧縮試験



曲げ試験



引張試験

写真-A.5 食害が生じたスギ材の強度試験状況



写真-A.6 海水シャワー場



写真-A.7 海上大気暴露試験場



写真-A.8 気中暴露試験体の曲げ载荷状況



シャワーあり



シャワーなし

写真-A.9 気中に23か月間暴露した国産材10樹種の試験体の上面

港湾空港技術研究所資料 No. 1208

2010. 3

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号  
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 昭和情報プロセス株式会社

Copyright © (2010) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。