

木を食べる海の生物たち

利用部 微生物グループ 森 満範

■はじめに

木材の劣化は、光、オゾン、熱、機械的な外力・摩擦、そして生物などが原因となり、これらが単独、あるいは複数の要因が相互に作用することで進行します¹⁾。特に生物による劣化（以下、「生物劣化」）は、木材の強度を短期間で著しく低下させる主な要因であり、建築物や木製品の経済的・実用的な価値を損なうため、古くから多様な予防策が講じられてきました。

代表的な生物劣化には、木材腐朽菌（キノコや一部のカビ）による「腐朽」や、シロアリによる「蟻害（ぎがい）」があります。これらは温度、水分、酸素という生物の生存に適した環境条件が整うことで進行します。一方で、河川や湖沼、地下水などの淡水中に常に浸漬されている木材については、酸素の供給が制限されるため、ほとんど生物劣化は進行しません。しかし、同じ水中でも海水域になると状況は一変します。海水域には、木材を摂食して劣化させる木材穿孔生物（以下、「海虫」）が存在しているからです。本稿では、海虫による木材の劣化（食害）について紹介したいと思います。

■主な海虫の種類と特徴（生態）

海水域で木材を食害する主な海虫として、二枚貝類の「フナクイムシ」と甲殻類の「ククイムシ」が挙げられます。それぞれの特徴は以下の通りです^{2) 3)}。

【フナクイムシ】

- ・二枚貝の仲間ですが、体が貝殻の外部に出ていて、そのまま伸長していきます。
- ・日本近海では、ニホンフナクイムシやヤツフナクイムシが体長 5～10cm、直径 5～10mm程度で、キタオオフナクイムシは体長 20～50cm、直径 10～20mmにもなります。
- ・5～11月に活動し、木材を食害します。
- ・一般的に、寿命は半年から1年程度です。
- ・フナクイムシの幼生初期は海中に浮遊していますが、約0.3mmの大きさになると木材に付着・定着します。
- ・その後、体全体が木材に入り込んだ時点で尾端を表面に固定し、二本の水管を木材の外に出して、海水の出し入れや排泄物の排出、幼生の放出を行うとともに、尾端を起点にして木材中で成長します(図1)。

- ・一旦、木材中に穿孔すると木材から出ることなく、木材中で一生を過ごします。
- ・フナクイムシの体内に生息する細菌（共生細菌）の酵素（セルラーゼ）により木材を分解し、栄養源として吸収します。

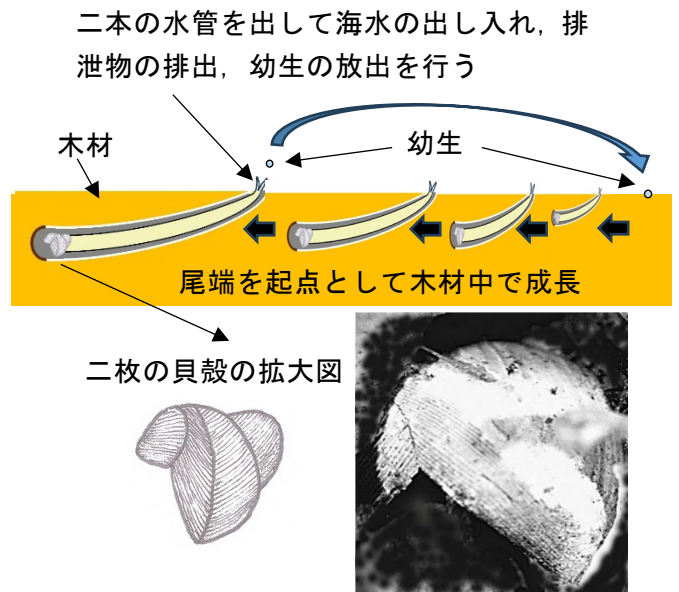


図1 フナクイムシの生活環（上）と貝殻（下）

【ククイムシ（ククイシャコ）】

- ・エビやカニなどの甲殻類に属し、体長 約3～5mm。陸上で木材を食害する昆虫のククイムシとは異なります(図2)。
- ・ククイムシは木材内部を食害・穿孔しながら増殖するため、海中構造物や船舶に使用されている木材に深刻な被害をもたらす害虫として知られています。
- ・ククイムシ自身が持つ酵素で木材（セルロース）を分解して栄養にしています。



図2 ククイムシ（ククイシャコ）

■海虫による食害

フナクイムシ、キクイムシともに木材を食害して劣化させますが、食害の様子はそれぞれ異なります^{2,3)}。

【フナクイムシ】

- ・二枚の貝殻（6～8 mm）を左右に回転させたり押しつけたりすることにより、貝殻表面で木材を磨砕し、それを食料（栄養源）としています。同時に、石灰質を分泌して穿孔した壁面を固めることにより体を保護しています（図3）。
- ・木材の繊維方向に食害する傾向にあります。曲線的な穿孔も見られます。
- ・木材の内部を食害するので外観からは被害程度がわかりづらいことから、甚大な被害をもたらす場合があります。

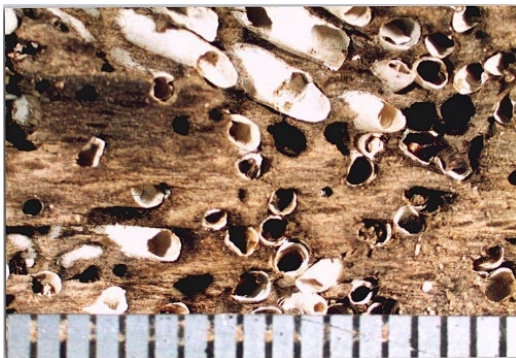


図3 フナクイムシの食害痕
（白く見えるのは穿孔壁面の石灰質）

- ・木材を磨砕しながら穿孔し、同時に穿孔した壁面を固めていくフナクイムシの穿孔様式を参考に、19世紀初頭にイギリスの技師 マーク・イズムバード・ブルネルが「シールド工法」を開発しました。「シールド工法」は、現在も地下鉄や地下道路など、都市部でのトンネル工事において必須の工法となっています（図4）。

【キクイムシ】

- ・木材表面付近で木材の繊維方向に沿って穿孔するので外観から食害を確認できます（図5）。
- ・食害が進むと表面から木材が崩壊し、新たな表面からまた食害を開始するので、被害が大きくなることもあります。
- ・木材の硬さの度合いが低いほど、また密度が低いほど食害されやすく、密度や硬さが同程度の針葉樹と広葉樹では、針葉樹の方がキクイムシに食害されやすい傾向があります⁴⁾。

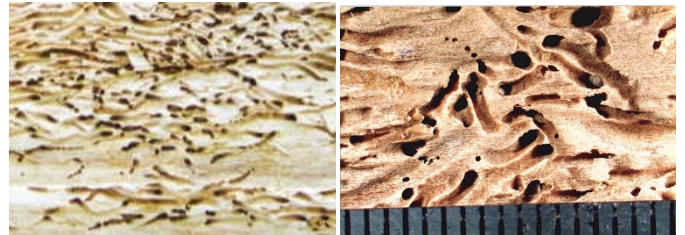


図5 キクイムシの食害痕

その他、海虫による食害の特徴として、海底の地盤中（海底の地中）にある木材ではほとんど食害が見られないこと⁵⁾や、食害された木材の質量減少が少なくても大きな強度低下を示すことがわかっています⁶⁾。

■海虫に対する防除

上記のような海虫の食害に対し、古くからさまざまな対策が行われていました。木造船の船底は海虫の食害を受けやすいため、タール（コールタール）や松脂などを塗布したり、銅板で被覆したりして木材を保護する方法が行われていました。その後、水銀や有機スズ化合物を含む塗料や、CCA（クロム・銅・ヒ素化合物）

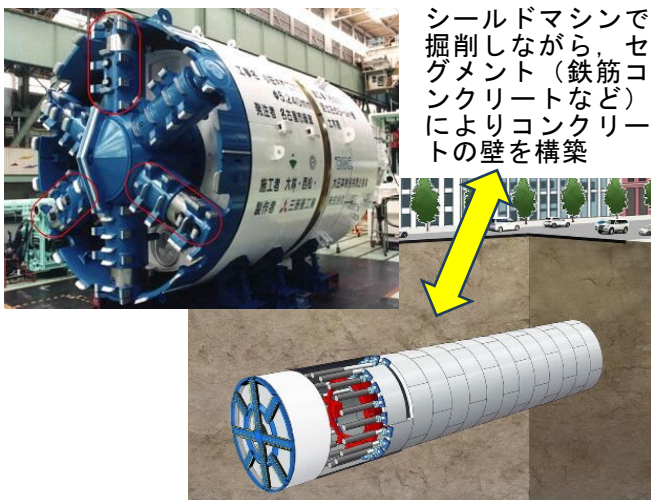


図4 シールドマシン（上）とシールド工法（下）
（出典：株式会社大林組ホームページ）

物) を処理した木材などが広く使われるようになりましたが、環境への配慮から、その使用や製造が規制されるようになりました。

昭和から平成に移る頃から低毒性で環境に優しい木材保存剤が多数開発され、建築物や外構の保存処理に利用され始めました。そこで林産試験場では、これらの新しい木材保存剤の海虫に対する抵抗性について調べました。

■保存処理木材の海虫抵抗性（北海道小樽市）

図6に示したような試験体に2種類の木材保存剤(A：非銅系，B：銅系)をそれぞれ処理した後に治具に固定し、北海道小樽市の忍路湾おしよるに設置して経過観察を行いました⁷⁾。

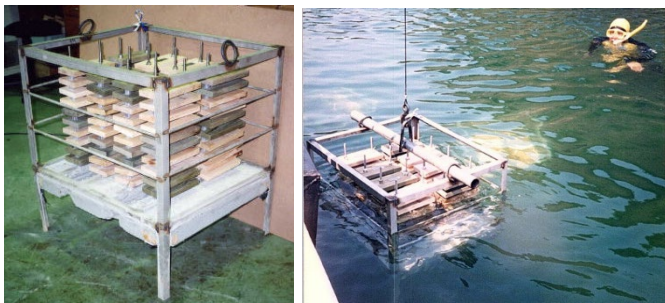
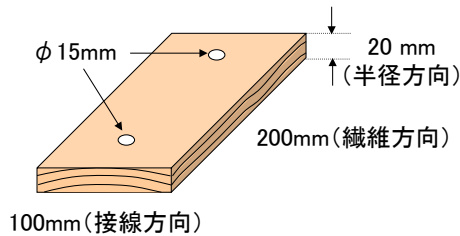


図6 忍路湾に設置した試験体および設置の様子

図7は、4カ月を経過したスギの外観および軟X線画像です。外観では、表面に小さな孔は見られますが、大きな被害を受けているようには見えません。しかし内部の様子を観察すると、多数のフナクイムシが試験体の中に入り込んで、食害している様子がわかります。

図8は、木材保存剤Aで処理したスギを海中に35カ月間設置した後の外観および内部の様子です。フナクイムシの食害は見られませんが、キクイムシに食害されている様子がわかります。無処理と比較して食害は抑えられていますが、35カ月以上を経過すると部分的に崩壊するほど食害が進みました。

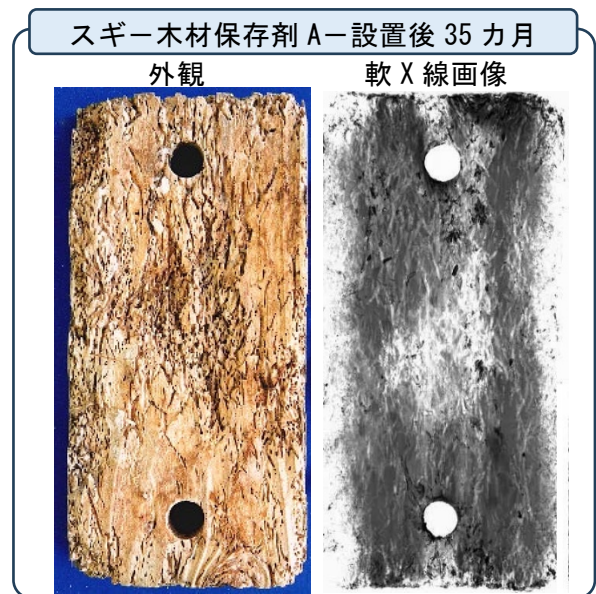


図8 木材保存剤Aで処理したスギの海中設置後35カ月の外観および内部の様子

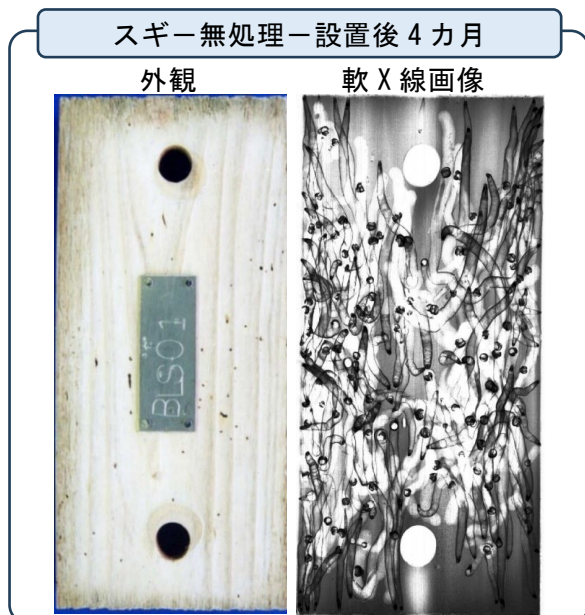


図7 海中設置後4カ月のスギの無処理試験体の外観および内部の様子

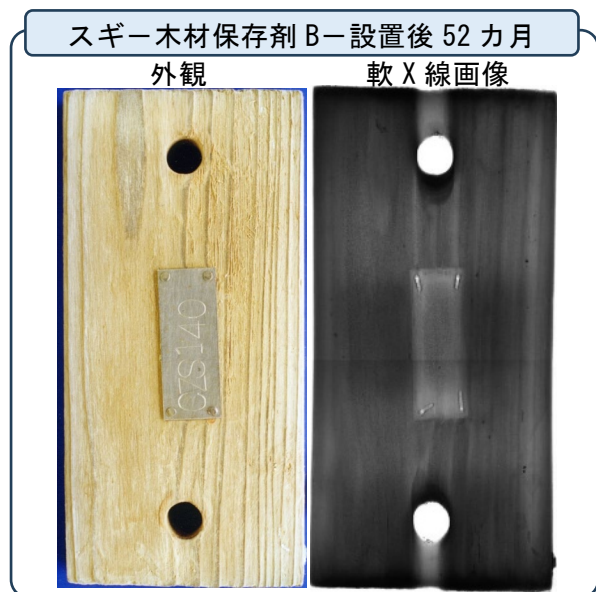


図9 木材保存剤Bで処理したスギの海中設置後52カ月の外観および内部の様子

一方、木材保存剤Bで処理したスギでは、土砂による若干の摩耗はありましたが、外観および内部にフナクイムシやキクイムシの食害は見られず、健全な状態を維持していました（図9）。

これらの試験体の質量減少率を図10に示しました。上記の結果を裏付けるように、無処理では設置後まもなく質量減少が激しく進み、24 カ月以降に試験体が崩壊しました。一方、木材保存剤 A についてはある程度の海虫抵抗性を示し、木材保存剤 B に至っては 52 カ月を経過しても質量減少率は低い値で推移し、海虫抵抗性が高いことがわかりました。

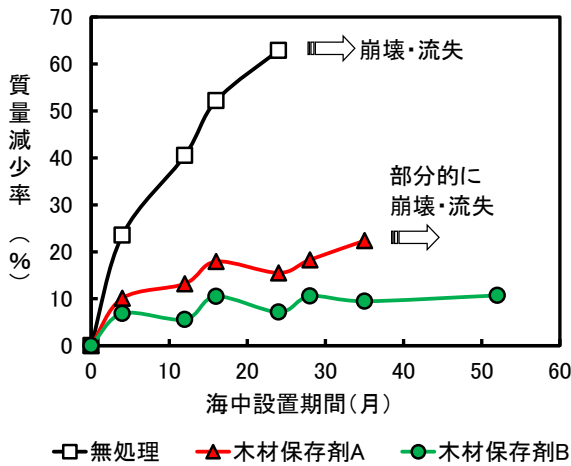


図10 小樽市忍路湾に設置したスギ試験体の質量減少率

■保存処理木材の海虫抵抗性（神奈川県横須賀市）

同様の試験を、神奈川県横須賀市にある（国研）海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所の海水循環水槽において実施しました⁸⁾。図11に示したような試験体に2種類の木材保存剤（C：銅系、D：銅系）をそれぞれ処理した後に、試験体をプラスチックコンテナに固定して海中に設置しました。

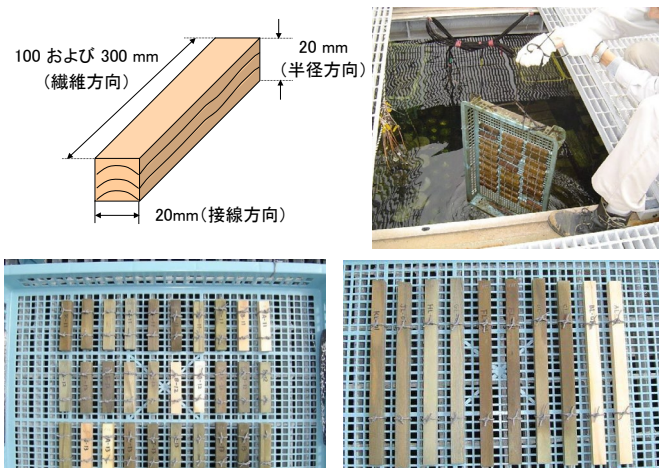


図11 横須賀市に設置した試験体および設置の様子

海中設置後の試験体（長さ100 mm）の外観および軟X線画像を図12に示しました。無処理については既に12カ月で多数のフナクイムシの侵入が見られ、食害が進んでいることがわかります。図では示していませんが、木材保存剤Cは12カ月以降から食害が始まり、その後、徐々に食害が進行しました。それに対し、木材保存剤Dでは48カ月を経過した時点で木口面（端面）がわずかに食害される程度に抑えられていました。

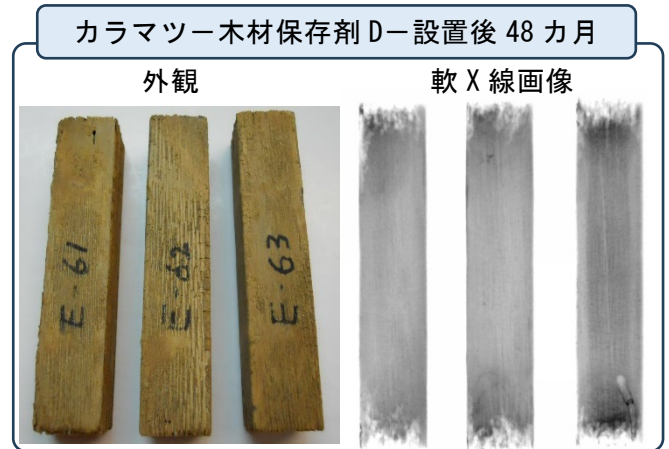
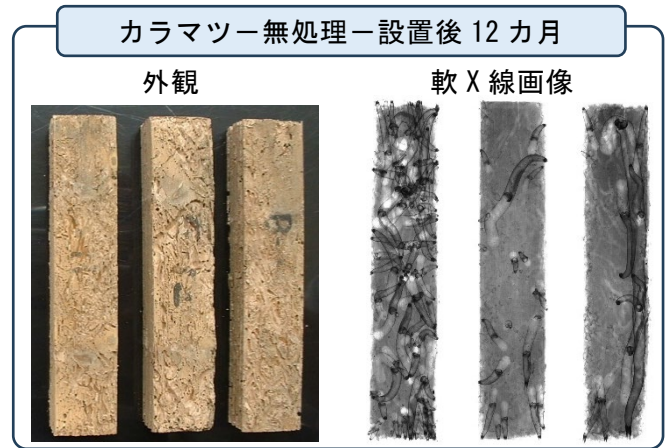


図12 横須賀市に設置したカラマツ試験体（100mm）の外観および内部の様子

図13に試験体（長さ300 mm）の曲げ剛性の低下の様子を示しました。小樽市忍路湾の結果と同様、無処理は設置後6カ月までに急激に曲げ剛性が低下し、強度がほとんど残っていない状態でした。一方、木材保存剤Cで処理した試験体については、設置後20カ月以降に曲げ剛性の低下が進んでいきましたが、木材保存剤Dで処理した試験体では全体的に緩やかに低下し、60カ月を経過しても曲げ剛性の低下が少なく、劣化の程度が小さいことがわかりました。

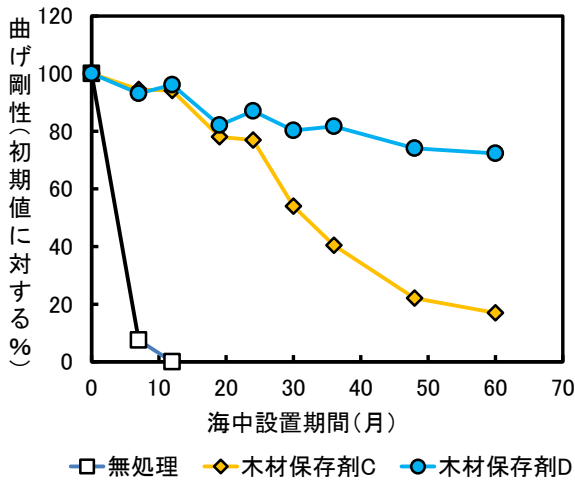


図13 横須賀市に設置したカラマツ試験体 (300mm) の曲げ剛性の経時変化

■その他の防除方法の検討

その他、フナクイムシの幼生をはじめとした海虫類の侵入を防ぐために、目開き(開口部の大きさ)が0.3mm未満のポリエチレンメッシュ(ネット)で木材を被覆する方法⁹⁾や、木材へのフェノール樹脂処理¹⁰⁾も海虫抵抗性を示すことがわかっています。

■おわりに

海水域は木材にとって過酷な環境の一つで、特にフナクイムシやキクイムシに激しく食害されます。今回の一連の研究結果から、木材保存剤の種類によっては一定期間、海虫に対し抵抗性を示すことがわかりました。また、樹種や木材保存剤の種類によって、食害する海虫の種類も異なる傾向があることが分かりました。

現状では、養殖筏^{いかだ}などに保存処理木材が活用されていますが、今後は利用可能な範囲で木材を積極的に採用し、海域周辺における木材の用途がさらに拡大することを期待しています。

■謝辞

横須賀での試験に際し、(国研)海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所の上席研究官 山田昌郎氏に多大なご協力をいただきました。また、本稿に掲載したシールドマシンおよびシールド工法の図版は、株式会社大林組の許可を得て引用したもので、理事・生産技術本部統括部長の松原健太氏をはじめとした同社の快いご協力に対し、厚く御礼申し上げます。

■参考文献

- 1) 田中裕美：“木材保存学入門 改定4版”，(公社)日本木材保存協会，p.42，東京(2018)。
- 2) 井上嘉幸：“木材の劣化と防止法”，森北出版，東京，pp.200-205(1972)。
- 3) 山田昌郎：“木材保存学入門 改定4版”，(公社)日本木材保存協会，pp.85-87，東京(2018)。
- 4) 山田昌郎，森満範：木材利用研究論文報告集 17，pp.66-76(2018)。
- 5) 山田昌郎，森満範：木材利用研究論文報告集，11，pp.61-66(2012)。
- 6) 山田昌郎，森満範：木材利用研究論文報告集，10，pp.124-129(2011)。
- 7) 森満範，宮内輝久：第60回日本木材学会大会研究発表要旨集 CD-ROM PN007(2010)。
- 8) 森満範，宮内輝久，東智則，山田昌郎：第62回日本木材学会大会研究発表要旨集 CD-ROM N15-P-PM13(2012)。
- 9) 山田昌郎，森満範：第61回木材学会大会研究発表要旨集 CD-ROM N19-P-AM23(2011)。
- 10) 山田昌郎，森満範，内倉清隆：第63回木材学会大会研究発表要旨集 CD-ROM N28-P-PM16(2013)。