

各種防腐薬剤注入スギ材の野外効力試験結果報告

誌名	愛媛県林業研究センター研究報告 = Bulletin of the Ehime Forestry Research Center
ISSN	13489534
著者名	松岡,真悟 村口,良範 加藤,真吾
発行元	愛媛県農林水産研究所林業研究センター
巻/号	27号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-8
発行年月	2009年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



〈資料〉

各種防腐薬剤注入スギ材の野外効力試験結果報告

松岡真悟・村口良範*・加藤眞吾**

Shingo MATSUOKA, Yoshinori MURAGUCHI, Shingo KATOH

JIS規格に規定された低毒性防腐薬剤と、CCA及びクレオソート油並びに木酢液を、県産スギ材へ適用し、外構用木材への利用技術を解明するため、スギ材の条件別注入特性を調査し、さらに1995年3月から野外試験地に設置して被害状況を調査した。注入特性と設置後4年までの野外試験結果については、村口ら(2000)が報告したが、その後の野外試験について設置後12年2か月を最後に被害度調査を行い、その後、試験体を回収して重量減少率測定及び強度試験を行った。その結果、低毒性防腐薬剤は、ある程度高い防腐耐久性を示したものの、CCAとの比較においては劣勢であり、水溶性薬剤では地中での溶脱も示唆された。強度試験の結果では、動的ヤング率よりも静的ヤング率の方がより忠実に劣化度合いを反映することが示唆され、さらに、部位別圧縮強度試験の結果では、部位別被害度の傾向に沿わず、ほとんどにおいて地中部で最も弱くなっており、このことは、目視や刺針だけでは判断できない劣化の存在を意味した。また、最終的に得られた指標である重量減少率からみた耐用年数では、重量減少率が14.0%程度になったところから、耐用年数として想定した平均被害度2.5に抵触すると推定された。

キーワード — 被害度、強度、低毒性薬剤、野外杭試験

1. 緒言

土木分野でも自然型工法の採用など、環境保全への気運が高まっており、木材の外構利用が増加する中、それとともに低毒性薬剤の開発と性能評価が進められてきた。村口ら(2000)は、耐久性が国産材の中では中位にランク(心材の耐久性区分)されるスギ材に耐久性を付与することを目的に、低毒性木材防腐剤を使った耐久性向上の検討を行い、野外試験においては設置後4年までの結果を報告した。その後、野外試験の津島試験地分について、設置後12年2か月の経過を最後に、試験体を回収し、被害度測定と重量減少率測定及び強度試験を実施したので、本報では経年の被害度とともにその結果を資料的に報告する。

2. 供試材料及び試験方法

2.1 供試材

試験体は2種類用意した。一つは、末口径4cm～9cmの心持ち丸太で、材長を60±3cmとし、末口端を仕拵えたもの(以後丸太杭と称する)であり、もう一つは、県産スギ中丸太の辺材及び心材から採取した二方桁の角材で、気乾含水率まで乾燥したものをカンナ仕上げし、寸法を30(R)×30(T)×600(L)mmとしたもの(一端約40mmを削って杭状にした、以後角杭と称する)である。

丸太杭の条件は、乾燥材(気乾状態)及び生材とし、生材については背割り施行の有無を設定した計3種類である。角杭の条件は、辺材と心材の2種類である。なお、試験体数は1条件につき10体とした。

*愛媛県中予地方局久万高原森林林業課

**愛媛県南予地方局森林林業課

2.2 供試薬剤

供試薬剤は表-1のとおりである。

表-1 供試薬剤

薬剤の種類	施用の対象	備考
○アルキルアンモニウム化合物系-1* (DDAC40%)	丸太杭、角杭	低毒性
○アルキルアンモニウム化合物系-2* (DDAC37%)	丸太杭、角杭	低毒性
○銅・アルキルアンモニウム化合物系*	丸太杭、角杭	低毒性
○乳化性ナフテン酸銅系*	丸太杭、角杭	低毒性
○乳化性ナフテン酸亜鉛系*	丸太杭、角杭	低毒性
○木酢液	角杭	
○クロム・銅・ヒ素化合物系木材防腐剤 JIS 9002 2号(GCA)	丸太杭、角杭	対照
○クレオソート油	角杭	対照

*これらの薬剤の名称は、便宜的に試験開始当時のものを使用しているため、JIS K 1570制定(1995年7月)前の名称になっており、現在のJIS K 1570-2004に規定するものとは異なる。

5種類の低毒性防腐薬剤は試験開始当時から市販されていたものであり、これに木酢液及び2種類の比較対照薬剤を追加し、合計8種類とした。

2.3 野外試験方法

2.1で示した丸太杭210本〔薬剤条件7種(薬剤6種+無処理)×乾燥・背割り条件別3種類×10本〕及び角杭180本〔薬剤条件9種(薬剤8種+無処理)×辺・心材別2種類×10本〕の合計390本を試験体として、1995年3月に、杭の長さの半分(仕揃えした側30cm)は地中に、他の半分は地上に出るように鉛直方向に埋めこみ、その状態が保持出来るようにし、杭の向きは常に固定した。一条件あたり10本の試験体を5本ずつの2区画に分け、これらを距離を置いて反復させた。また杭同士は60cmの間隔を置くように方形格子状に配置した。

埋め込み場所は当初は北宇和郡津島町(現在宇和島市)岩淵の林業試験場津島試験地苗畑(名称当時)であったが、設置後9年目の測定後である、2004年2月に用地の都合により、愛媛県温泉郡川内町(現在東温市)則之内の林業技術センター川内試験地内苗畑跡地(名称当時)に移設した。

その他注入条件等詳細については、前報となる村口ら(2000)の報告に委ねる。

被害の評価は木材表面の肉眼的観察状況により、表-2に示す6段階(独立行政法人森林総合研究所で行われている「杭の被害程度を評価する方法」雨宮(1963)を準用)に分類し、それを被害度で表す方法で行った。各杭の評価は1本全体を総合して評価することが困難なため3箇所(地上部の木口付近(T)、地際部付近(G)、地中部の木口付近(B))に分けて評価した。

表-2 被害度の評価

被害度	観察された状態
0	健全
1	部分的に軽度の被害
2	全面的に軽度の被害
3	2の状態の上に部分的にはげしい被害
4	全面的にはげしい被害
5	破壊

なお、耐用年数の判断基準として、供試杭10本の平均被害度が2.5に達した時点をもって耐用年数とした。調査は、設置後1年ごとに行っており、2007年5月(12年2か月後)の測定を最後とした。

2.4 重量減少率測定

試験体を回収し、屋内で約6か月間自然乾燥させた後、重量測定を行った(この重量を試験後乾燥重量とする)。

重量減少率は、次の式で算出した。なお、腐朽消滅した試験体は重量減少率100%と評価した。

$$\text{重量減少率}[\%] = \frac{(\text{設置前乾燥重量} - \text{試験後乾燥重量}) \times 100}{\text{設置前乾燥重量}}$$

2.5 強度試験方法(角杭のみ)

重量減少率測定後の試験体について、次の強度試験を施した。

2.5.1 動的ヤング率測定

長さ方向に著しい欠損が無い試験体について、リオン製FFTシグナルアナライザーを用いた縦

振動固有振動数測定を行い、動的ヤング率を算出した。ただし、材密度の算出においては、腐朽による欠損の大小にかかわらず、材体積を公称の $(30(R) \times 30(T) \times 600(L) \text{mm}^3)$ とした。

2.5.2 曲げ強度試験

1条件10体の試験体を、5本ずつに分けて埋設したもののうち、平均的な被害を呈するものを2本選抜し、地際部を荷重点とする中央集中荷重曲げ強度試験（ミネベア製TCM-10000：最大ひょう量100kN使用）を実施した。なお、スパンは42cm、荷重速度は3mm/minとし、曲げ強度及び静的曲げヤング率算出における断面には、公称の $30 \times 30 \text{mm}^2$ を用いた。

2.5.3 圧縮強度試験

1条件10体の試験体を、5本ずつに分けて埋設したもののうち、平均的な被害を呈するものを1本ずつ選抜し、杭端から約5cmを除いた地上及び地中部分並びに地際部分から、長さ60mmの試験体を採取し、荷重速度0.3mm/minにて縦圧縮試験（ミネベア製TCM-10000：最大ひょう量100kN使用）を実施した。地際部分では、地際部が試験体の中央になるように採取した。なお、無処理対照材及び木酢液については、心材の地上部にしか残存部位が無かったため、ここから5体中2体ずつの試験体を採取し試験に供した。

圧縮強度を算出する際の断面積については、公称値 $(30 \times 30 \text{mm}^2)$ と実測値（試験体両木口面積の平均値）の2種類を用い、おののから算出した圧縮強度を、それぞれ公称圧縮強度及び実圧縮強度と称した。

3. 結果及び考察

3.1 供試体の状態について

無処理対照材と木酢液以外は、10体全ての試験体を回収できた。また、腐朽消滅した部位については、被害度を5と評価した。

3.2 薬剤の状況について

今回の調査では薬剤の溶脱状態を知り得ないが、クレオソートについては常に材面に薬剤が浸み出

して固着した状態になっており、また、回収後屋内乾燥時の夏季には、地上部木口面から薬液が垂れ出していた。クレオソートについてはこの状況が、後述の重量減少率に大きく反映された。

3.3 被害度

設置後5年目以降の平均被害度を表-3に示す。村口ら（2000）もすでに報告したように、無処理対照材及び木酢液では腐朽が激しく、無処理対照材では用意された角杭20本と丸杭30のうち、残っていたのは角杭心材で9本（うち8本は地上部のみ残存）、丸太杭生材背割り無しで1本のみであり、木酢液では用意された20本の角杭のうち心材で10本、辺材で1本であり、いずれも地上部を残すのみであった。次に、防腐薬剤処理をしたものに目を向けると、丸太杭では注入時に生材であったもので耐用年数を超えたものが目立った。村口ら（2000）は、防腐処理前の乾燥処理は、注入性の向上を促進し、使用時の耐久性を向上させるための必要条件としているが、そのことが年を経たことでより深く実証された。ただし、乳化性ナフテン酸金属塩系薬剤注入材においては、乾燥材でも生材と同程度に被害度が高いが、これは、村口ら（2000）が報告しているように、乳化性薬剤の場合には、乾燥材と生材の注入量にそれほど大きな差がないことに由来する。ただ、丸太杭において、乾燥や背割りの処理条件に関わらず、クロム・銅・ヒ素化合物系では、すべての試験体で耐用年数（平均被害度が2.5に達した年限）に達していないと推定され、ここに低毒性薬剤の限界が現れたものと感じさせられる結果となった。次に角杭であるが、丸太杭乾燥材では比較的被害度が軽かったアルキルアンモニウム化合物系-1及び-2において、角杭では地中部に3に近い平均被害度が現れ、他の薬剤よりも劣化が激しい傾向を見せた。他の薬剤でも、丸杭と違う傾向を見せており、被害度の軽さではクロム・銅・ヒ素化合物系やクレオソート油と同程度の被害で済むものも現れ、特に乳化性ナフテン酸銅系では被害が軽微であった。また、部位別に見ると、丸太杭では一様に地際部

表-3 設置後5年目以降の平均被害度

薬剤区分	杭の位置	種類 区分 経過年	丸太杭																							
			乾燥材												生材(背割無)											
			5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年
無処理対照材	(T)		5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.5	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	(G)		4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.4	4.5	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	5.0	4.6	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	(B)		4.6	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	4.6	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.5	4.8	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
アルキルアンモニウム化合物系-1	(T)		0.0	0.6	1.0	1.0	1.0	1.3	1.3	1.7	1.5	1.8	1.9	2.1	2.1	2.2	2.2	2.8	2.0	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
	(G)		1.4	1.7	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	3.4	3.6	3.8	4.4	4.5	4.5	4.5	4.7	3.7	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2
	(B)		1.1	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1	2.2	2.6	2.8	2.8	3.7	3.7	3.9	4.1	2.6	2.8	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.2
アルキルアンモニウム化合物系-2	(T)		0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.4	1.4	1.4	1.2	1.7	1.6	1.8	1.8	1.8	1.8	2.0	1.8	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3
	(G)		1.4	1.5	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.5	2.7	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.8	3.1	3.5	3.6	3.9	3.9	3.9	3.9	4.0
	(B)		1.4	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1	1.8	2.0	2.2	2.2	2.4	2.6	2.6	3.1	2.4	2.6	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	3.1
銅・アルキルアンモニウム化合物系	(T)		0.4	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.8	1.8	1.8	1.1	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
	(G)		1.4	1.8	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0	2.5	3.3	3.5	3.7	3.9	3.9	4.1	4.1	4.4	3.4	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	4.0
	(B)		0.9	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.9	2.1	2.5	2.5	2.5	2.9	2.9	3.0	3.2	2.3	2.6	2.6	2.6	2.9	2.9	2.9	2.9	3.1
乳化性ナフテン酸銅系	(T)		0.0	0.0	0.4	0.7	1.0	1.4	1.4	1.4	0.2	0.6	0.8	0.8	1.0	1.3	1.3	1.5	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.4	1.4	1.3
	(G)		1.6	1.9	2.5	2.8	2.8	3.3	3.6	4.0	2.1	2.3	2.4	2.7	2.7	3.0	3.2	3.2	1.5	2.1	2.2	2.4	2.4	2.5	2.5	2.9
	(B)		0.4	0.8	1.1	1.1	1.1	1.1	1.3	1.7	0.7	0.9	1.1	1.1	1.4	1.4	1.5	1.6	0.6	0.8	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
乳化性ナフテン酸亜鉛系	(T)		0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.3	1.3	1.5	0.8	1.1	1.1	1.3	1.3	1.7	1.7	2.0	0.5	0.9	1.1	1.5	1.5	1.8	1.8	2.3
	(G)		2.4	2.8	3.0	3.3	3.3	3.7	3.7	4.1	3.1	3.5	3.5	4.0	4.1	4.1	4.3	2.5	3.1	3.2	3.2	3.2	3.4	3.4	3.9	3.9
	(B)		1.3	1.6	1.8	2.2	2.9	3.1	3.1	3.2	1.3	2.1	2.2	2.5	2.7	3.0	3.1	1.2	1.7	2.0	2.0	2.2	2.2	2.2	2.9	2.9
クロム・銅・ヒ素化合物系(CGA)	(T)		0.0	0.0	0.1	0.3	0.9	1.0	1.0	1.0	0.3	0.2	0.2	0.3	1.0	1.1	1.1	1.1	0.2	0.2	0.2	0.3	1.0	1.3	1.3	1.3
	(G)		0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	0.7	0.8	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.8	0.5	1.0	1.1	1.2	1.2	1.4	1.4	2.3
	(B)		0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.9

薬剤区分	杭の位置	種類 区分 経過年	角杭												心杭											
			辺材												心材											
			5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年
無処理対照材	(T)		4.6	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	0.9	1.6	2.4	2.7	2.7	2.7	2.8	3.1								
	(G)		4.6	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.6	3.9	4.2	4.5	4.6	4.8	4.8	4.8								
	(B)		4.8	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.8	3.9	4.1	4.5	4.6	4.8	4.8	4.9								
アルキルアンモニウム化合物系-1	(T)		0.6	1.0	1.4	1.5	1.5	1.8	1.8	2.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.6								
	(G)		1.2	1.5	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.7	1.0	1.1	1.1	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1								
	(B)		1.9	2.4	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.9	1.2	1.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.4								
アルキルアンモニウム化合物系-2	(T)		0.5	1.1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.8	0.0	0.2	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.6								
	(G)		2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.5	1.2	1.4	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9								
	(B)		2.8	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.9								
銅・アルキルアンモニウム化合物系	(T)		0.3	0.3	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0								
	(G)		0.9	1.1	1.5	1.6	1.7	1.9	1.9	1.9	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9	1.1	1.1	1.4								
	(B)		1.7	1.8	2.0	2.0	2.2	2.3	2.3	2.4	0.7	0.8	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.6								
乳化性ナフテン酸銅系	(T)		0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	1.0	1.0	1.1	0.0	0.0	0.5	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1								
	(G)		0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.7	0.7	0.8	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5								
	(B)		0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2								
乳化性ナフテン酸亜鉛系	(T)		0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.7	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.7								
	(G)		0.0	0.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.1	1.7	0.0	0.0	0.5	0.7	0.8	1.0	1.0	1.0								
	(B)		0.0	0.3	0.9	1.2	1.2	1.5	1.6	1.7	0.1	0.2	1.0	1.2	1.2	1.5	1.5	1.7								
クロム・銅・ヒ素化合物系(CGA)	(T)		0.0	0.0	0.4	0.4	0.8	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8								
	(G)		0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.5	0.5	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3								
	(B)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1								
クレオソート油	(T)		0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.2	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.4								
	(G)		0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5								
	(B)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
木酢液	(T)		4.2	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	1.2	1.5	2.0	2.0	2.0	2.1	2.6									
	(G)		5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.8	4.2	4.5	4.7	4.7	4.9	5.0									
	(B)		4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.6	4.4	4.5	4.6	4.7	4.9	5.0									

注) 表中の網掛け部分は、村口ら(2000)の報告でも行っていたとおり、雨宮(1969a)に習い、それぞれの集団のその部位が耐用年数に達していると推定した平均被害度 2.5 以上のものを示している。

で被害度が最も高かったが、角杭では、アルキルアンモニウム化合物系-1、アルキルアンモニウム化合物系-2及び銅・アルキルアンモニウム化合物系の、全体的に被害度が比較的大きいものについては地中部分が、それ以外の、アルキルアンモニウムを含まない薬剤のもので、比較的被害度が小さいものについては地上部分が、最も被害度が大きくなっていた。原因としては、アルキルアンモニウム化合物系-1、アルキルアンモニウム

化合物系-2及び銅・アルキルアンモニウム化合物系の3種は水溶性薬剤であって、これらの地中での溶脱が起こったものと考えられ、それが、丸太杭よりもより条件が均一な角杭において如実に現れたものと思われた。

3.4 重量減少率測定結果

図-1、図-2にそれぞれ、丸太杭及び角杭の平均重量減少率を示す。

角杭においても丸太杭においても、被害度が表

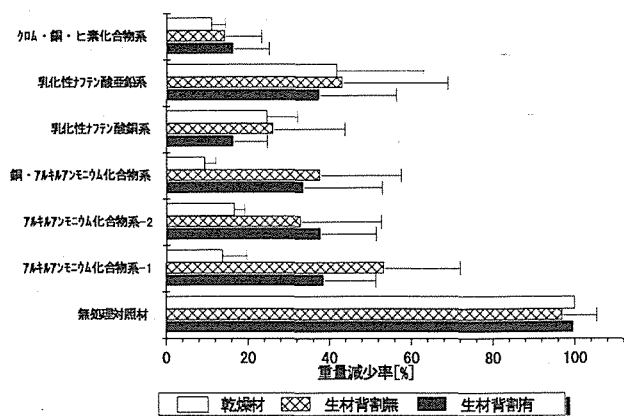


図-1 丸太杭の重量減少率

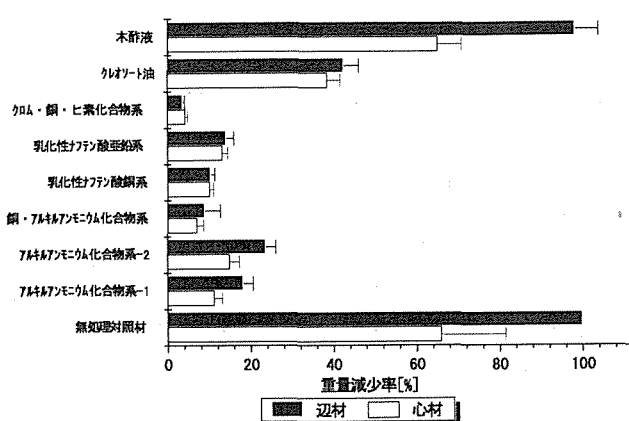


図-2 角杭の重量減少率

していたとおり、無処理区と木酢液で重量減少率が非常に高い。次に目立つのは、角杭のクレオソート油であるが、これは薬剤の流出によるものであり、後述の強度等、他の性質に大きく反映されるものではなかった。

そもそも材に劣化による欠損があった場合、これは、多くを目視に頼る被害度判断と同時に、重量減少にも直接的に作用する。そのため重量減少率は、被害度を客観的に証明するものと言えるが、平均被害度のところで述べたとおり丸太杭の重量減少率においても、乳化性薬剤では乾燥材と生材が同等の値を示し、それ以外の薬剤では生材で大きくなっている。また、角杭でも、アルキルアンモニウム化合物系-1及び-2で重量減少率が大きく、さらに、丸太杭・角杭ともにクロム・銅・ヒ素化合物系で重量減少率が小さいことなど、被害度の結果を大きく反映するものとなった。

ここで、地上、地際、地中それぞれの平均被害度の平均（以後平均指標とする）と平均重量減少率との相関図を図-3に、そして地上、地際、地中のうちの最大平均被害度（以後最大指標とする）と平均重量減少率との相関図を図-4に示す。ただし、薬剤量減少による重量減少が激しかったクレオソート油は除いており、また、最大指標については、最大平均被害度が極限值である5.0となるものでは、一部の被害度が5.0であるものと全ての被害度が5.0であるもので同じ扱いとなってしまうため、平均被害度が5.0のものと限りなく5に近いもの（無処理対照材で4プロット、木酢液で1プロット）は、2次回帰線該当プロットから削除した。

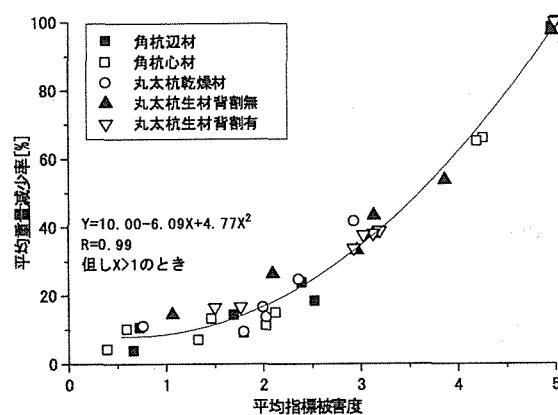


図-3 平均指標被害度と平均重量減少率

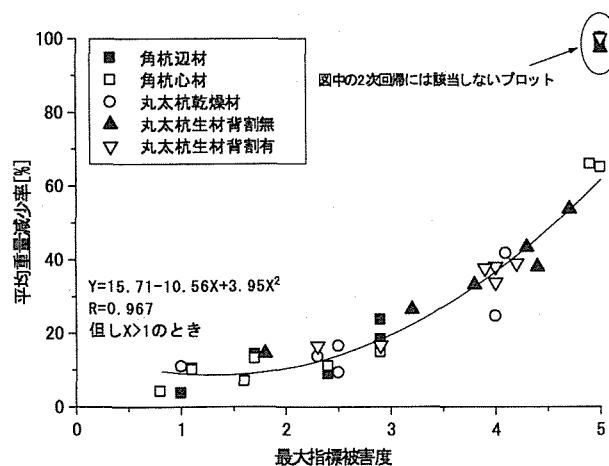


図-4 最大指標被害度と平均重量減少率

これらから得られた2次回帰式に、被害度を1から0.5刻みで入力したものを表-4に示す。

表-4 被害度と推定重量減少率

被害度	推定重量減少率[%]	
	平均指標	最大指標
1.0	8.68	9.10
1.5	11.6	8.8
2.0	16.9	10.4
2.5	24.6	14.0
3.0	34.7	19.6
3.5	47.1	27.1
4.0	62.0	36.7

耐用年数に達したと推定する基準となる被害度が2.5の時、重量減少率は、平均指標で24.6%、最大指標で14.0%と、かなりの開きになった。ただ、最大指標の場合、一つの部材の、例えば地際など一部分のみに被害が集中する場合においては、重量減少率が小さくても被害度は5となるため、材全体を表す重量減少率とは相応しないかもしれないが、部材のメンテナンス等の指標とする場合には、被害が最大である部位を考慮するべきなので、最大指標が活きるものと思われる。

3.5 強度試験結果

各強度試験結果については、雨宮ら(1969b)が圧縮強度や容積重について調査したような経年のものではなく、設置後12年と2か月を経た最終的なデータに限られるため、特に腐朽度と照らし合わせた考察は行わず、基本的に参考資料とする。

3.5.1 動的ヤング率測定結果

表-5に角杭の平均密度と平均動的ヤング率を示す。

無処理対照材と木酢液に関しては、消失した試験体も多いため考慮に入れないが、他の薬剤処理間の平均密度と平均動的ヤング率の間には、際だった相関関係は無く、特にクレオソート油においては先述のとおり、密度の高さは材内の薬剤量に由来している。動的ヤング率においては、設置前後の比較が無い場合、特に被害度等との相関は論じられないところであるが(参考:心材、辺材ともに動的ヤング率と最終平均被害度の間に有意な相関は無かった)、いずれも7 kN/mm²前後のスギとしての妥当な値を有していると思われる。

表-5 角杭の平均密度と平均動的ヤング率

薬剤区分	項目	辺材		心材	
		密度	動的曲げヤング率	密度	動的曲げヤング率
		kg/m ³	kN/mm ²	kg/m ³	kN/mm ²
無処理対照材	平均値	0	0	136	1.17
	標準偏差	0	0 (0)	66	- (1)
アルキルアンモニウム化合物系-1	平均値	279	7.87	342	6.90
	標準偏差	19	0.72	51	1.08
アルキルアンモニウム化合物系-2	平均値	273	7.38	360	6.45
	標準偏差	28	1.73	30	1.74
銅・アルキルアンモニウム化合物系	平均値	308	7.91	361	7.82
	標準偏差	30	1.37	44	1.85
乳化性ナフテン酸銅系	平均値	356	8.25	401	7.44
	標準偏差	29	1.12	35	1.36
乳化性ナフテン酸亜鉛系	平均値	310	7.64	351	6.59
	標準偏差	19	1.16	33	1.20
クロム・銅・ヒ素化合物系	平均値	318	7.88	385	7.18
	標準偏差	21	0.95	40	1.70
クレオソート油	平均値	439	7.42	478	7.05
	標準偏差	38	1.57	17	2.03
木酢液	平均値	8	0	139	0
	標準偏差	23	0 (0)	28	0 (0)

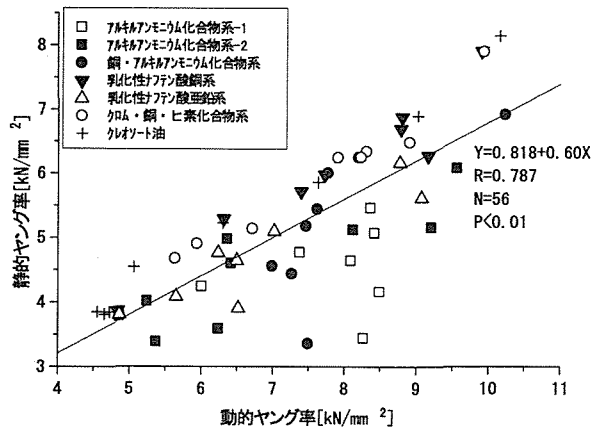
注)三段目()書き数字は、測定が可能であり、平均値計算に供した試験体数。表記がない場合は10体。

3.5.2 曲げ強度試験結果

表-6に、角杭の静的曲げヤング率と曲げ強度の薬剤別平均値を示す。また、図-5に個体ごとの動的ヤング率と静的曲げヤング率の相関図を示す。

表-6 角杭の平均静的曲げヤング率と平均曲げ強度

薬剤区分	項目 N=4	辺材		心材	
		静的曲げヤング率	曲げ強度	静的曲げヤング率	曲げ強度
		kN/mm ²	N/mm ²	kN/mm ²	N/mm ²
無処理対照材	平均値 標準偏差	実施可能な試験体無し		実施可能な試験体無し	
アルキルアンモニウム化合物系-1	平均値	4.25	32.9	4.63	39.7
	標準偏差	0.52	5.9	0.66	2.1
アルキルアンモニウム化合物系-2	平均値	4.30	34.2	4.91	45.0
	標準偏差	0.83	4.3	0.75	3.0
銅・アルキルアンモニウム化合物系	平均値	4.97	33.3	5.56	38.0
	標準偏差	1.30	10.5	0.65	6.6
乳化性ナフテン酸銅系	平均値	6.47	42.4	5.68	40.8
	標準偏差	0.85	4.9	1.21	7.3
乳化性ナフテン酸亜鉛系	平均値	5.08	37.1	4.44	35.6
	標準偏差	0.87	7.2	0.52	4.9
クロム・銅・ヒ素化合物系(CCA)	平均値	5.99	37.9	5.98	40.1
	標準偏差	0.49	2.6	1.30	11.1
クレオソート油	平均値	5.28	41.4	5.26	48.4
	標準偏差	1.18	4.2	1.76	7.1
木酢液	平均値 標準偏差	実施可能な試験体無し		実施可能な試験体無し	



図－5 角杭の静的曲げヤング率と曲げ強度の相関図

動的ヤング率と静的ヤング率の間には高い相関があることは一般的に知られているが、図－5で見る限り、相関は高いものの回帰直線の傾きが0.6であり、静的ヤング率が動的ヤング率に比べて通常以上に小さい傾向が分かる。これは、荷重部位とは離れたところに腐朽部分があった場合でも、荷重とたわみの関係に大きく影響が出る静的ヤング率と、材全体の強度を一元的に測り得る動的ヤング率との違いが現れたものと思われ、実際に、図－5の回帰直線から大きく外れ、静的ヤング率がより低い傾向にあるアルキルアンモニウム化合物系－1及び－2においては、表－3に示した部位別平均被害度が示していたとおり、地際から地中側にかけて材が細っており、曲げ試験中も、

たわみの形状が荷重点を中心にした左右で大きく異なっていたことが観察されている。また、銅・アルキルアンモニウム化合物系においても、静的ヤング率が低いものではこれと同じであった。つまり、重量減少率のように、材全体として評価するものに対しては、動的ヤング率が客観的に対応し得るが、被害度のように部分別の評価に照らし合わせるときには、動的ヤング率では正確さを欠く可能性が大きいと言える。なお、静的ヤング率と曲げ強度の相関係数は0.68（ $P<0.01$ ）であった。

3.5.3 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験結果を表－7に示す。網掛け部分は地上部、地際部、地中部の中の最小値であり、また、その最小値を最大値で除した値も併記した。

ここで見て取れるのは主に強度劣化の偏りであるが、辺材、心材ともに地中部で最も強度が小さいものがほとんどである。当然ながら劣化が激しく、断面積が大きく減少しているものでは、公称圧縮強度は小さくなるのだが、ここでは、実圧縮強度でも地中部が最も小さい傾向にあり、材の劣化はただ単純にその断面積を減少させただけではないことが推測された。また、表－3の角杭の被害度と照らし合わせてみると、最終年において地中部で最も被害度が大きかったものは、アルキル

表－7 圧縮強度試験結果

薬剤区分	項目	辺 材								心 材							
		公称圧縮強度[N/mm²]			最小/最大	実圧縮強度[N/mm²]			最小/最大	公称圧縮強度[N/mm²]			最小/最大	実圧縮強度[N/mm²]			最小/最大
		地上部	地際部	地中部		地上部	地際部	地中部		地上部	地際部	地中部		地上部	地際部	地中部	
無処理対照材	平均値									27.4				29.4			
	標準偏差									3.3				3.3			
アルキルアンモニウム化合物系-1	試験体1	22.3	27.1	24.5	0.82	23.3	28.1	30.2	0.77	25.2	24.6	22.3	0.89	26.0	25.2	24.5	0.94
	試験体2	31.1	31.2	26.7	0.86	32.3	33.1	30.2	0.91	34.1	31.0	28.3	0.83	35.2	31.6	31.4	0.89
アルキルアンモニウム化合物系-2	試験体1	24.3	21.1	19.0	0.78	25.6	22.6	23.3	0.89	29.6	26.7	22.1	0.75	30.4	27.3	24.0	0.79
	試験体2	31.3	27.1	20.8	0.66	33.0	30.9	29.2	0.89	35.2	30.7	25.0	0.71	36.1	32.0	29.8	0.83
銅・アルキルアンモニウム化合物系	試験体1	23.9	23.7	19.8	0.83	23.8	23.7	21.4	0.90	24.6	20.8	18.6	0.76	24.3	20.3	18.2	0.75
	試験体2	28.6	28.0	24.2	0.84	28.4	28.8	27.7	0.96	38.3	33.8	27.3	0.71	38.0	34.1	29.4	0.77
乳化性脂肪酸銅系	試験体1	30.7	28.3	26.9	0.88	31.6	28.6	27.1	0.86	31.7	33.6	32.7	0.94	32.5	32.5	31.7	0.97
	試験体2	25.7	25.2	27.2	0.93	26.0	24.8	26.7	0.93	34.6	33.8	30.8	0.89	34.2	32.7	29.6	0.87
乳化性脂肪酸亜鉛系	試験体1	26.9	25.8	20.6	0.77	27.2	26.4	23.6	0.87	28.7	28.3	27.1	0.94	29.8	28.8	28.8	0.97
	試験体2	26.1	27.4	25.5	0.93	27.6	28.2	25.5	0.90	27.5	29.2	28.9	0.94	29.0	29.9	28.9	0.97
クロム・銅・ヒ素化合物系(GCA)	試験体1	28.0	27.0	26.8	0.96	27.6	26.7	26.0	0.94	33.3	29.6	26.1	0.78	32.7	28.9	25.5	0.78
	試験体2	23.9	23.3	24.8	0.94	24.2	23.4	24.9	0.94	28.4	27.4	24.7	0.87	28.3	26.8	24.1	0.85
クレオソート油	試験体1	39.6	38.4	37.3	0.94	40.6	38.4	37.2	0.92	37.1	33.1	29.6	0.80	38.2	33.0	29.4	0.77
	試験体2	40.8	37.2	35.2	0.86	40.5	35.7	33.4	0.82	31.2	29.7	22.8	0.73	32.0	29.7	22.7	0.71
木酢液	平均値									31.0				32.4			
	標準偏差									2.5				2.8			

注) 無処理対照区と木酢液については、試験体4体の平均値と標準偏差を掲載。

アンモニウム化合物系-1及び-2及び銅・アルキルアンモニウム化合物系の3種のみなのにも関わらず、圧縮強度では全ての種類の薬剤処理材において地中部が最も低い材を含んでおり、腐朽は見た目や刺針だけでは測りがたいものであることが改めて感じられた。

無処理対照材及び木酢液については心材杭しか残っていなかったが、薬剤処理したものとは比べ、特に強度低下が著しいようなこともなく、平均的な数値を有していた。

4. 結論

低毒性防腐薬剤として市販されている下記の5種類

アルキルアンモニウム化合物系-1 (DDAC40%)

アルキルアンモニウム化合物系-2 (DDAC37%)

銅・アルキルアンモニウム化合物系

乳化性ナフテン酸銅系

乳化性ナフテン酸亜鉛系

及び木酢液、並びに比較対照の薬剤としてクロム・銅・ヒ素化合物系木材防腐剤(CCA)及びクレオソート油の併せて8種類を注入したスギ杭と無処理スギ杭について、野外耐久性試験を実施し、設置後12年2か月を最後に試験体を回収して、重量減少率測定と強度試験を実施し、結果は次のとおりであった。

①被害度調査において、防腐処理前の乾燥処理は、注入性の向上を促進し、使用時の耐久性を向上させることが証明された。しかしながら、それにも増してクロム・銅・ヒ素化合物系ではすべての乾燥条件で耐用年数に達しておらず、ここに低毒性薬剤の限界が現れた。

②角杭では、アルキルアンモニウム化合物系-1、アルキルアンモニウム化合物系-2及び銅・アルキルアンモニウム化合物系で全体的に被害度が比較的大きく、他の薬剤と違い、特に地中部分で被害度が最大であったが、これには、水溶性薬剤の地中での溶脱の可能性が推測された。

③重量減少率は、被害度と傾向が一致しており、丸太杭では生材が乾燥材より大きく、生材丸太杭

や角杭では、アルキルアンモニウム化合物系-1及び-2で重量減少率の大きさが目立った。また、クロム・銅・ヒ素化合物系で重量減少率が小さいことも確認された。

④耐用年数とされる平均被害度2.5についてみると、各部分の平均被害度の平均が2.5であるときは重量減少率が24.6%であり、各部位平均被害度のうちの最大が2.5であるときは重量減少率が14.0%であることが推定された。

⑤曲げヤング率では、材の被害が一樣ではなく、部位別に偏っている場合には、動的ヤング率よりも静的ヤング率の方がより安全側に、忠実に評価することができると示唆された。

⑥薬剤注入材における部位別圧縮強度試験の結果は、部位別被害度の傾向と全く同じにはならず、ほとんどにおいて地中部で最も強度が低かった。このことは、目視や刺針による被害度調査だけでは判断できない劣化の存在を意味した。

参考文献

雨宮昭二(1963)浅川実験林苗畑の杭試験(1)杭の被害度を評価する方法:林業試験場研究報告第150号:143-156

雨宮昭二(1969a)各種防腐処理外柵の被害経過と耐用年数:林業試験場研究報告第225号:133-143

雨宮昭二(1969b)浅川実験林苗畑の杭試験(2)防腐処理杭の10年間の被害経過:林業試験場研究報告第230号:105-142

村口良範ら(2000)スギの耐久性向上に関する研究-各種防腐薬剤のスギ材への注入性の検討と野外効力試験-:愛媛県林業試験場研究報告第20号:38-53