

繊維板の土中における材質劣化について

松本 章 西川 介 二
新納 守*

1. はじめに

ハードボードの生産量は第1表にも示したように、わずかではあるが毎年増加傾向を示している。厚さ別生産量をみてみると、3.5mmと2.5mmで全体のほぼ80%以上を占め、また用途別出荷状況(第2表)では、建築、建具・家具、電機器、自動車ではやはり80%以上を占めている。しかもこれらの用途別出荷状況は、ここ10年以上ほとんど大きな変化はなく、ハードボードの新用途開発はされずらいというのが実情であった。日本繊維板工業会では、このような需要分野の固定化傾向を背景に、1971年ころから積極的に新用途の開拓を推進するためプロジェクト・チームを組織し、その成果としてハードボード製の水稻育苗箱が開発された。これには5mm厚のハードボードが用い

られ、大きさは60×30cmで、周囲には深さ30mmの木製の枠がとりつけられている。稚苗用では孔径3又は5mmの穴が30個以上、中・成苗用では孔径5mmの穴がそれぞれ500又は950個以上あけられている。自動田植機で使用後は水で土を洗い流し、乾燥して保存し再使用するため、できるだけ長持ちしてほしいという性質がボードに対して要求される。

一方、土と接触して用いられる別の用途として、林道工事等の土木工事に試験的に開発された緑化土留材がある。これは大きさが100×60cmで60cmの部分を“コ”の字に曲げ加工したもので、ボード厚さは3.5mmの湿式法で製造された標準品が用いられ、垂直部分には直径20mmほどの大きさの穴が約100個あけられている。また凹面がボードの平滑面となり、

この面にはケンタッキーという種類の牧草の種子と肥料を含んだ紙が張っており、種子が発芽すると穴から葉が伸びて緑化の目的を達すると同時に、生長して根が張ると土砂の流出を押さえてこれを安定化する働きもする。森林地帯における土木工事は自然保護の立場から、金属あるいはコンクリート製の無機材料は、今後できる限り使用しない方向にあるということではあるが、ハードボード製の土留材に対しても緑化土留材としての目的を達成した後は、環境上の問題からできるだけ早く腐朽分解してほしいという性質が要求されている。

このように同じ土と接触して用いられるハードボードにもかわらず、相反する性質が要求されている。しかしハードボードが土と接触して用いられた場合の材質変化に関するデータはまったくなく、業界から

第1表 厚さ別ハードボード生産状況^{1),2),3)}

年次 厚さ	1976		1977		1978		1979	
	1000m ²	%						
9mm	414	0.8	374	0.7	90	0.2	100	0.2
7	3,298	6.4	3,288	6.2	3,238	5.9	3,540	6.1
5	7,699	14.9	6,078	11.4	6,052	11.0	5,797	10.0
3.5	21,197	40.9	22,532	42.3	23,304	42.2	25,022	43.9
2.5	19,138	36.9	20,851	39.2	22,159	40.1	22,654	38.8
その他	52	0.1	97	0.2	340	0.6	1,111	1.9
合計	51,798	100.0	53,220	100.0	55,183	100.0	58,224	100.0

第2表 用途別ハードボード出荷状況^{1),2),3)}

年次 用途	1976		1977		1978		1979	
	1000m ²	%						
建築	15,094	28.5	13,037	24.1	11,027	20.2	13,049	21.7
建具・家具	6,116	11.6	6,040	11.2	6,991	12.8	8,398	14.0
電機器	5,991	11.3	6,115	11.3	6,031	11.0	6,873	11.4
自動車	18,402	34.7	20,815	38.6	20,885	38.2	20,947	34.9
造船・車輛	583	1.1	430	0.8	400	0.7	411	0.7
包装	4,184	7.9	4,553	8.4	5,314	9.7	5,732	9.5
雑貨	727	1.4	813	1.5	1,465	2.7	1,660	2.8
その他	1,871	3.5	2,192	4.1	2,560	4.7	3,023	5.0
合計	52,973	100.0	53,995	100.1	54,673	100.0	60,093	100.0

の要望もあり、検討を加えたので報告する。なお、本報告の要旨は第30回日本木材学会大会（昭和55年4月、京都市）で発表した。

2. 試験方法

市販の3.5mm厚標準品（以下3.5S）、3.5mm厚テンパー品（3.5T）、5mm厚サイディングボード（5SD）、7mm厚サイディングボード（7SD）を30×30cmの大きさに裁断し、得られた300枚のボードすべてについて比重、曲げ弾性係数（E）、曲げ剛性（EI）を測定し、いずれの材質も平均値に近いものを選んで試験に供した。

試験地の大きさは3×10mで、長手方向が南西向きである。この試験地を161個（7×23）に区分けし、各試験体をランダムに地下15cmの位置に水平に埋没させ、一定期間経過後掘り出して湿潤状態のまま比重、E及びEIを測定し、更に約30日間20℃、65%RHの条件で調湿後再度比重、E及びEIを測定した。これを適宜裁断後曲げ強さ（5×25cm）⁴⁾、同弾性係数（同）、せん断弾性係数（ねじり法、5×25cm）⁵⁾、衝撃曲げ吸収エネルギー（1.6×12.5cm、スパン7.5cm）⁶⁾、釘逆引き抜き抵抗（5×10cm、釘径2.15mm、釘頭径5.1mm、長さ38mm）⁷⁾、釘側面抵抗（5×10cm、端より6、12mm、釘径2.8mm、長さ50mm）⁸⁾、内部結合力（5×5cm、板面に垂直方向の引っ張り強さ）⁹⁾、吸水率（15×15cm）⁴⁾、同厚さ膨脹率（同）、同長さ膨脹率（同、//、⊥）、平衡含水率（衝撃曲げ吸収エネルギー測定後の試験片）、及び1%水酸化ナトリウム抽出率（強度試験後の試験片を粉碎し32～60メッシュの部分を用いた）を測定した。

比較試験用として7.5mm等厚3プライ・カラマツ合板（メラミン樹脂接着剤）、12mm5プライ・シナ合板（2+3+2+3+2mm構成、フェノール樹脂接着剤）、12mmカラマツ構造用パーティクルボード（フェノール樹脂接着剤）についても同様の試験を行った。

なお、試験地の相対的な腐朽力を評価するため、腐

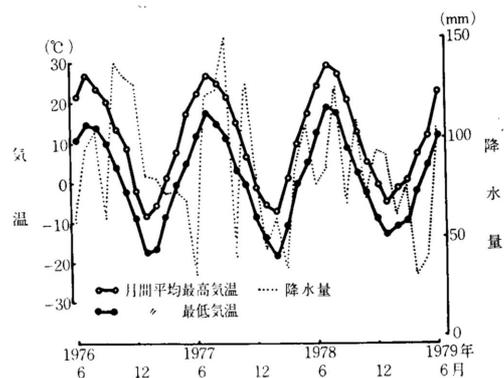
朽しづらい木の代表としてJIS A 9301「木材腐朽剤の性能試験方法通則」に規定されているスギの標準試験料と年輪幅、比重共に同等と思われる3×3×42cmのステーキと、腐朽しやすい木の代表としてJIS Z 2119「木材の耐朽性試験方法」に規定されているブナについて同寸法のステーキを用い、地下に半分埋没させて一定期間経過後の比重と圧縮強さの残存率及び1%水酸化ナトリウム抽出率を測定した。具体的には42cmのステーキについて、地上部及び地下部から3×3×6cmの圧縮試験片を計6個とり、強度試験後部位別に粉碎して32～60メッシュの部分について抽出率を測定した。

3. 試験結果

3.1 試験時の気象条件

試験開始以来（1976年6月）3年目までの気象条件のうち特に月間の平均最高気温、平均最低気温及び降水量について第1図に示した。これによると過去3年間の気温の変動には大きな差はみられない。また降水量は各月で差はみられるが、1年目及び2年目では5～10月の腐朽菌活動期（日平均気温が10℃以上）に年間降水量のほぼ50%が雨として降っている。3年目では年間降水量が960mmで前2年間（1,024、1,057mm）より若干少ないのに、5～10月では60%の降水がみられた。

春から秋にかけては外気温がその日の13～15時頃に最高気温に達するのに、ボード類を埋没させた地下



第1図 試験時の気象条件

第3表 ボード掘り出し時のボードと土の含水率 (%)

区分	月数	含水率 (%)					
		1	3	6	12	24	36
土	ボード上	35.3	35.0	35.0	23.6	36.9	33.8
	ボード下	29.7	36.3	35.0	25.6	33.5	36.6
	平均	32.5	35.6	35.0	24.6	35.2	35.2
	3.5 S	27	44	49	41	65	82
	3.5 T	30	49	50	45	73	100
	5 S D	—	—	38	36	48	55
	7 S D	—	—	45	36	56	70

のボード含水率との間には高い相関性 ($r = 0.898$) が認められた。

3.2 試験地の腐朽力

スギ, プナステーキの6, 12, 24, 36ヵ月経過後の比重と圧縮強さの残存率及び1%水酸化ナトリウム抽出率の変化について第2図に示した。図は特にハードボードを

15cmの位置の温度は16~18時頃と多少ずれ込んで最高温度を記録した。外気温との差は5~-10度であるが、気象条件により土中温度が5度ほど外気温よりも高いことがあった。一方、日最高気温との差は1~5度で土中の方が低い温度を示した。また10月の末から降雪のみられる頃までは、外気温の変動に余り影響を受けずに、しだいに土中温度は低くなり10月末で5~10, 11月初旬で3~7, 中旬以降は1.5~2と変化は小さくなり、積雪がみられる頃には1.2と一定の値を示した。

ボードを掘り出した時のボードと土の含水率については第3表に示した。これはボードを掘り出した時に、ボードの上側と下側より採取した土を105で乾燥して求めたものである。一年目の土中含水率がボードの上下ともに他の期間に比べて少ないのは、第1図に示した1977年6月の降水量の少なさからも理解できる。一方、ボードの含水率は土の含水率の低かった一年目を除くと、時間の経過とともに増加傾向を示し、かつ腐朽等による重量減少の大きいものほど高い含水率であった。ちなみにボードの重量減少と掘り出し時

第4表 位置の違いによる腐朽力の差

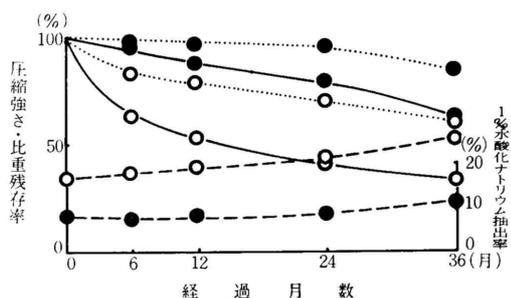
区分	月数	位置(cm)			
		24		36	
		1~7	13~19	1~7	13~19
比重	スギ	95.3	95.5	88.4	84.1
	プナ	68.6	69.2	54.2	60.7
圧縮強度	スギ	79.8	78.8	70.9	62.9
	プナ	41.0	41.4	25.2	32.3
1%水酸化ナトリウム抽出率	スギ	8.0	8.3	11.1	11.7
	プナ	21.4	21.3	27.9	26.8

注) 比重, 圧縮強度はコントロールに対する残存率(%)。1%水酸化ナトリウム抽出率は実測値(%)。位置とは地表面からの距離。

埋没させた位置に近い部位(地下13~19cm)の値について示してある。一般的にステーキを土中に埋没させた場合、地際の腐朽力が一番高いと言われている。本試験地について、地際(1~7cm)とボードを埋没させた位置(13~19cm)に相当する部分から採取した試験片を用い、比重、圧縮強度及び1%水酸化ナトリウム抽出率でその差をみた(第4表)。2年目まではスギ, プナについていずれの測定項目にも試験片採取位置による差はなく、3年目では位置による腐朽力はスギとプナとでは相反する結果が得られた。地下13~19cmのスギのステーキでは3年目で比重は84%、圧縮強さは63%の残存率を示した。1%水酸化ナトリウム抽出率はコントロールで8.1%であったものが、3年で11.7%と若干の増加が認められた。一方、プナステーキでは同じく3年経過後で比重は61%、圧縮強さは32%の残存率を示し、1%水酸化ナトリウム抽出率はコントロールで17.0%のものが26.8%と約10%の増加を示した。

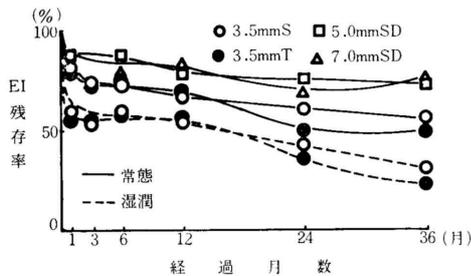
3.3 強度的性質の変化

掘り出し直後湿潤状態であったボードは、約30日間の調湿処理によっても、厚さはコントロールの3.2~



(●スギ, ○プナ, —圧縮強度, ---比重, ---1%水酸化ナトリウム抽出率)

第2図 スギ, プナステーキの腐朽状態の変化



第3図 常態及び湿潤状態のEIの変化
(コントロールに対するパーセント)

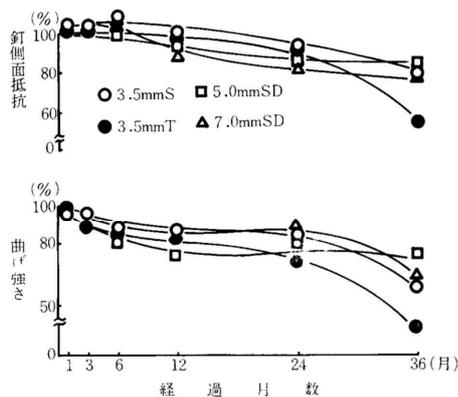
8.5%増となっていた。一般的に暴露処理などで厚さが変化した場合の強度的性質は、処理前の厚さをもつて算出する例が多いので、ここでもその方法によった。したがって試験時の厚さで算出される値よりも大きくなる。ただし、曲げ剛性(EI)については試験時の厚さを用いた。

掘り出し直後と調湿後の30×30cmの大きさの試験体について、断面形状の変化も加味したEIの残存率について第3図に示した。図中5及び7mm SDの湿潤状態のEIは、調湿処理した3.5mmのS及びTの変化と重なり、図が煩雑になるので割愛した。3.5mmボードについてみると、湿潤状態のままでは12ヵ月以内でもボード含水率が27~50%と高く、EIの残存率は50~60%である。更に月数が経過すると、コントロールの1/3~1/4程度のEIしか残存していないことが分かる。5及び7mm SDでも36ヵ月後には50%前後まで低下した。しかしいずれのボードについても約30日間の調湿処理により、EI残存率は平均して約17%程度の

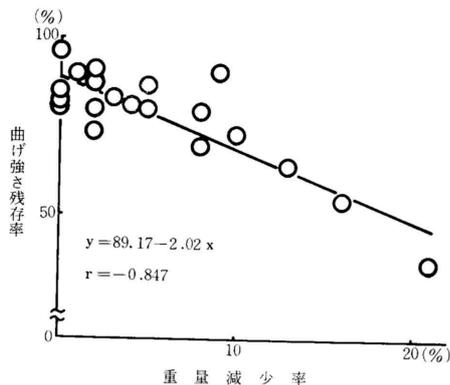
第5表 供試ハードボード材質試験結果

	3.5S	3.5T	5SD	7SD	
曲げ強さ (kg/cm ²)	347	373	419	302	
曲げ弾性係数 (10 ⁸ kg/cm ²)	33.8	33.6	49.1	31.8	
せん断弾性係数 (10 ⁸ kg/cm ²)	16.1	16.7	17.4	13.5	
釘逆引き抜き抵抗 (kg)	37	42	52	91	
釘側面抵抗	端より 6mm	28	38	45	57
	〃 12mm	60	70	91	118
内部結合力 (kg/cm ²)	11.9	15.8	11.0	6.3	
衝撃曲げ吸収エネルギー (kg·cm/cm ²)	11.6	12.0	10.5	4.9	
吸水率 (%)	11.1	11.7	6.7	5.4	
吸水厚さ膨脹率 (%)	9.2	10.8	3.8	2.3	
吸水長さ膨脹率 (%)	//	0.22	0.23	0.15	
平衡含水率 (%) 20°C, 65% RH	8.2	8.9	8.4	9.3	

〔林産誌月報 1980年8月〕



第4図 土中埋没初期における強度低下パターンの相異
(コントロールに対するパーセント)



第5図 ハードボードの重量減少率と曲げ強さ残存率の関係

回復を示した。

供試ボードの処理前の基礎材質については第5表に示した。

調湿後の曲げ強さ残存率の変化については第4図に示した。いずれのボードも24ヵ月まではゆるやかな低

下曲線を描くが、36ヵ月目では5SDを除くと残存率は大きく低下し、特に3.5Tでは38%の強度しか保持していないことが分かる。曲げ強さについては特にボードの腐朽等による重量減少率との相関性も大きい(第5図)。パーティクルボードの腐朽による重量減少率と曲げ強さの残存率について、松岡がカワラタケ等の腐朽菌を用いて検討している⁹⁾。それによるとパーティクルボードは10%の重量減少により、強度残存率は約40%低下すると報告している。本

試験で用いたハードボードは図よりも明らかなように、10%の重量減少により強度残存率は20%の低下でおさまっている。

一方、比較試験したカラマツを原料とする構造用パーティクルボードが、24ヵ月で1%水酸化ナトリウム抽出率が55%（コントロールの3倍）と大幅に増加するなど、材質試験ができないほど腐朽していたことなどを加味すると、ハードボードはパーティクルボードに比較して腐朽しづらい材料であることが分かる。ただし腐朽などによる重量減少率については、同じ原料を用いた材料であっても比重の影響がかなり大きいということも念頭に置く必要がある¹⁰⁾。すなわちパーティクルボード（比重0.5~0.7）がハードボード（0.9~1.0）よりも腐朽しやすかったのは、その構成単位（パーティクル、ファイバー）の大きさや前処理の有無（チップの蒸煮）もさることながら、ボード自体の比重が小さく、腐朽菌の侵入が容易であることも大きな原因の一つと考えられるからである。

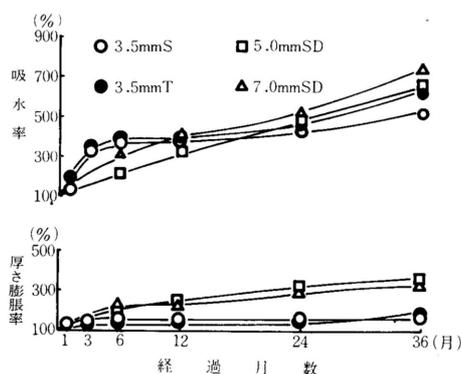
曲げ弾性係数、せん断弾性係数、内部結合力についても、曲げ強さとほとんど同じパターンを示したので図は省略する。ただし3.5Tについては、36ヵ月後の曲げ強さ残存率（38%）以上に内部結合力のそれ（27%）は悪く、他の材質については50%台の残存率であった。

一方、衝撃曲げ吸収エネルギー、釘逆引き抜き抵抗、釘側面抵抗等は前述の強度的性質に比べると、やや異なったパターンを示したので、釘側面抵抗（端より12mm）の例を図示する（第4図）。曲げ強さや曲げ弾性係数などは6ヵ月以内に10~20%の強度低下を示したのに対し、これらの材質は12ヵ月でも10%より少ない低下ですみ、24ヵ月で10~20%の低下が認められた。両図を比較すると初期における材質低下のパターンが異なることが分かる。一般的にボードの材質低下は表面や木口部分から先に進行するが、表面材質の劣化が強度的性質に強く影響するものについては第4図の下のようなパターンが、そうでないものについては同図の上のようなパターンが観察されるものと思われる。

土の中にボードを埋没させることにより、このように強度的性質が低下する原因として、まず第1に土中から水分を吸収することによりファイバーが膨潤し、そのファイバー同志の結合点にゆるみが生じたものと考えられる。次に腐朽菌に侵されることによって、ファイバー自体の強度が低下することも大きな原因と考えられる。吸水による材質低下は比較的初期の段階から発生するが、微視的観察を行っていないので腐朽による強度低下がいつの時点で始まるかは、はっきりとは分らないが、肉眼的には早いもので12ヵ月で発生し、多くは24ヵ月で観察された。24ヵ月では5~9%の重量減少が認められ、12ヵ月（2~5%）のほぼ2倍で、36ヵ月では実に10~21%の値を示し、強度的性質低下の大きな原因となっている。

3.4 耐水性の変化

吸水率のコントロールの値は第5表にも示してあるように、3.5mmボードで11%台、サイディングボードでは5.4~6.7%と極めて低い値である。しかし3.5mmボードではわずか1ヵ月で吸水率が1.5~2.5倍に増え、3ヵ月で3.4~3.5倍と大幅に増加している。第6図にも示したように、薄いボードは立ち上がり早く、サイディングボードでは逆に立ち上がりこそ遅いが24ヵ月で3.5mmボードを追い越し、36ヵ月ではコントロールの実に6.2~7.4倍と高い値を示した。吸水による厚さ膨脹率は3.5mmボードではやや落ち着きを見せてはいるが、厚いボードではまだ増加の傾向



第6図 吸水率及び厚さ膨脹率の変化
（コントロールに対するパーセント）

を示している。図には示さなかったが、吸水による長さ膨張率は3.5mmボードと5SDでは吸水率と厚さ膨張率の間に納まり、7SDでは厚さ膨張率の変化よりも若干低いカーブを描いた。平衡含水率は前述の三材質ほどではないが36ヵ月でコントロールの1.3~1.4倍とわずかな増加を示した。平衡含水率の増加は腐朽等により結晶領域が非晶領域化し、実質表面積が増加したことも一因と考えられる。また強度的性質の変化の項でも述べたように、ファイバー同志の結合が弱まったことも吸水率の増加や厚さが膨潤しやすくなった原因と考えられる。

3.5 1%水酸化ナトリウム抽出率

化学的に腐朽の程度を判定する目安として、1%水酸化ナトリウム抽出率が用いられているが、ハードボードについての結果を第6表に示した。ボード中の水可溶分が土中へ移行するため、一時的に減少を示すものもあるが、一部を除くと24ヵ月で腐朽のきざしがみられ、36ヵ月では3.5mmのような薄いボードについて、特に顕著に認められた。

3.6 他材料との比較

比較試験したパーティクルボードについては、既に述べたように24ヵ月で材質試験ができないほど腐朽劣化していた。5プライシナ合板は36ヵ月で表層が完全に腐朽し、第2層もかなり腐朽が進行していた。中心層のみが健全と認められ、重量減少率は実に35%と大きな値を示した。カラマツ合板の重量減少は36ヵ月で11%で、5SDの10%、7SDの13%と近い値であった。

カラマツ合板の曲げ強さは36ヵ月で76%の比較的高い残存率を示したが、シナ合板では同じく36ヵ月でわずかに8%しか強度が残存しておらず、パーティクルボードでは24ヵ月で23%の残存率であった。カラマツ合板の衝撃曲げ吸収エネルギーは36ヵ月で28%の残存

率であったが、他の強度的性質はいずれも70~80%の高い残存率であった。一方、シナ合板についても衝撃曲げ吸収エネルギーの低下が特に激しく(16%)、他の強度的性質についても、カラマツ合板より腐朽が進行していたため、小さな残存率(31~59%)であった。この衝撃曲げ吸収エネルギーについては、ハードボードが45~73%の値を示したのに比べると、曲げ強さ(もちろん曲げ弾性係数も)と共に低下の激しい測定項目であった。

吸水率についても腐朽の激しいものほど増加が大きく、パーティクルボード(24ヵ月、5.2倍)、シナ合板(36ヵ月、3.3倍)、カラマツ合板(同、1.5倍)の順であった。腐朽が分子レベルの水の吸着量に影響を及ぼすと考えられる平衡含水率についても同様の傾向を示した。

4. おわりに

繊維板を土中に埋没させてその材質低下の状況を観察した。本試験は多雪かつ寒冷な地域での試験のため、11月以降4月末までは土中温度も0 をわずかに上回る程度で、この間の6ヵ月間というものは腐朽菌の活動は停止しているものと考えられる。したがって期間的にみただけの場合、温暖な地域で同様の試験を行った場合の半分程度にしかすぎない。このことを念頭に置いて、これまでの試験結果を要約すると次のようになる。

比重がほぼ同じレベルにあるハードボード4種については、当然ながら薄いものほど腐朽が早く進行し、3.5Tでは36ヵ月で21%の重量減少を示し、3.5S(16%)、5SD(10%)、7SD(13%)に比べて大きな値を示した。

強度的性質については、試験実施の初期の段階(6ヵ月以内)で10~20%材質が低下するものと、そうでないもの(12ヵ月でも10%未満)に大別された。また強度的性質8項目を平均した残存率は3.5Sで64%、3.5Tで44%、5SDで72%、7SDで73%であった。

吸水率、同厚さ膨張率などの水に対する性質を平均

第6表 1%水酸化ナトリウム抽出率の変化(%)

種 類	月 数							
	0	1	3	6	12	24	36	
3.5S	16.1	15.8	15.1	16.9	16.5	17.3	22.6	
3.5T	13.5	13.3	13.5	13.4	14.7	15.6	22.2	
5SD	17.1	—	—	17.2	18.2	19.0	21.1	
7SD	11.8	—	—	10.9	11.2	11.4	13.7	

すると3.5Sでコントロールの2.8倍, 3.5Tで3.2倍, 5SDで4.5倍, 7SDで3.5倍であった。

本試験結果から実際の用途に要求される耐朽性をながめると, 緑化土留材に対して要求される「早く腐朽してほしい」という性質については, 36ヵ月(腐朽菌の活動する期間は実質18ヵ月程度)では腐朽分解という状態にはほど遠いことが分かった。一方, 水稻用育苗箱についてみると, 育苗箱の使用期間は4月を中心とした前後2ヵ月と考えられ, 36ヵ月の土中埋没処理では材質も低下していたことから, 使用に耐えるのはせいぜい24ヵ月までと考ええると, 実質12ヵ月間腐朽菌の攻撃を受けたとすれば, 単純計算で6回の使用に耐えることになる。しかし実際は乾湿くり返し使用となるので, 条件は厳しくなるものと考えられる。

なお, 本試験は現在も続行中である。

- 2) 同 上; No.83, 11 (1979)
- 3) 同 上; No.86, 7 (1980)
- 4) JIS A 5907
- 5) 山本 宏ほか3名; 林産誌月報, 321, 16 (1978)
- 6) ASTM D 805
- 7) JIS A 5910
- 8) ASTM D 1037
- 9) 松岡昭四郎; 第29回日本木材学会大会研究発表要旨, 364 (1979)
- 10) 松岡昭四郎; 木材工業, Vol.35, No.2, 53 (1980)

- 林産化学部 繊維化学科 -
- *指 導 部 長 -
(原稿受理 昭和55.7.16)

文 献

- 1) ハードボード・パーティクルボード・インシュレーションボード; No.79, 2 (1978)