

腐朽過程におけるヒノキ材の諸性質の 相互関係について

木材化学第2研究室 布施五郎・白石信夫・西本孝一

(昭和36年5月30日受理)

Goro FUSE, Nobuo SHIRAISHI and Koichi NISHIMOTO : On the Correlation among the Several Properties of HINOKI (*Chamaecyparis obtusa* Sieb) in the Decay Process.

緒 言

木材腐朽菌は木材組織中に菌糸を蔓延させ各種の酵素を分泌し糖代謝、繊維素分解などをおこなつて木材を栄養分として吸収しながら繁殖して行く。したがつて腐朽した木材はその機械的、化学的諸性質に種々の変化がおこる。このような腐朽に伴う各種の現象については、従来生物学的、物理学的、あるいは化学的にそれぞれの観点から研究されたものが数多く存在するが、これらの現象を総合的な観点で研究しその相互関係について究明した例は少ない。僅かにブナ材の腐朽に関して浅野、藤井および赤井、上山の報告¹⁾²⁾を見るのみである。また木材の腐朽度判定の基準は JIS 規格では重量減少度によつてゐるが、これらの関係よりそれらの変化の度合を知り新しい合理的な判定基準を考察することも必要な課題であろう。

本報告はかかる見地よりヒノキ心、辺材について、*Poria vaporaria*, *Polystictus versicolor*, *Polystictus sanguineus*, *Irpex consors* の4種の腐朽菌を用い、先に検討した砂培養基によつて各種の形状の試片を強制腐朽に供し、一定期間ごとにとり出し、その材の強度、木材化学成分の変化ならびにX線写真による内部崩解などを調べ、これらの相互関係を検討したものである。

実 験 方 法

供試材料：健全材および各種腐朽材のX線写真撮影、曲げ試験および重量減少率測定用として使用された試片は1×1×16cmのヒノキ辺、心材である。同一試片についてX線写真撮影、重量減少測定、曲げ試験の順に実験した。また健全材および各種腐朽材の圧縮強度測定用として使用された試片は1×1×2cmヒノキ辺、心材でこの試片においても重量減少を測定した。試片は2方枠で曲げ試験、圧縮試験の際には、木材試片は約15%の含水率に調整して実験した。化学分析用材料としては曲げ試験、圧縮試験後それらの試片を粉碎機にかけて細碎し60meshの標準篩を通過し80meshで止まつたものを集めて試料とした。

強制腐朽法：木材を腐朽さすための培養基としては、先に報告³⁾した砂培養基を使用した。このための培養びんは圧縮用試片を入れる広口フラスコ(約500cc容)、曲げ試験用試片を入れる横びん(14×23×5cm)である。砂は10~20meshの粒度で栄養として水2lにグル

コース 90 g, ペプトン 6 g を混ぜた混液を作り, それを各々広口フラスコに砂 350 g に対し混液 100cc を加え, 横びんには砂 700 g に混液 200cc を加え綿栓した後加圧釜で滅菌する。この培養基に夫々4種の木材腐朽菌を植種する。約10日間位で全面に伸びた一様の菌叢が得られる。次に供試片は 105°C の恒温器内で48時間殺菌し, 滅菌した蒸留水を吸収させた後上記の培養基の中に一定数ずつ適切な間隔で並べる。腐朽期間としては 1, 3, 6, 9ヶ月を取り供試片の入った上記の培養びんを 28±5°C に調整された培養室に保存する。所定の期間がすぎたものは, 試片を取りだし, 表面の菌糸, 砂などを除去し恒温器で乾燥する。乾燥の際にはまず 50°C で緩く乾かし, それから 105°C の乾燥器に入れる様にする。各腐朽期間に対し X線, 重量, 曲げ試験用試片は各々17本取った。これは雑菌が入ったり菌糸の生育不充分などの事故による不良試片の発生を考えてこの様な数にしたのである。圧縮試験用は各 10 本である。

X線撮影: 腐朽の度合を知るための一方法としてヒノキ辺材について各腐朽材および健全材の柁目面, 板目面の X線撮影を行つた。フジ X線用フィルムを用い, ソフトな X線を出すソフテックスによつて行つた。X線照射時間は約 1 秒であつた。

物理強度の測定: 重量減少率は JIS の規定によるが, 曲げ試験は厚さ約 1cm. 巾約 1cm, 長さ約 14cm (両端より約 1cm ずつ切りおとす) の各々のヒノキ辺, 心材について 100kg アムスラー万能試験機を用いて中央に集中荷重を加えた。荷重速度は 20kg/min であつた。応力-たわみの関係および曲げ破壊強度を測定した。たわみの測定は 1/100mm 読みのダイヤルゲージを用いた。圧縮強度は 1×1×2cm の各ヒノキ辺, 心材について 4t アムスラー万能試験機を用いて測定した, 荷重速度は 20kg/min であつた。

木材成分分析: 木材成分分析として灰分, 冷水抽出物, 熱水抽出物, アルカリ可溶物, アルベン抽出物, ホロセルロース, リグニン, 木粉のメトオキシル基, リグニンのメトオキシル基, ペントーザン, メチルペントーザンを定量した。またアルカリ消費量を求めた。木材成分分析を行なつたのはヒノキ辺材の各種腐朽材および健全材である。分析方法は殆んど右田伸彦氏の「パルプ及び製紙工業実験法」に示された木材標準分析法⁴⁾⁵⁾に従つた。

ホロセルロース: 脱脂試料 5 g をとり亜塩素酸ソーダ 15 g と氷酢酸10滴を含む水 160cc と共にフラスコ中に入れ, 70~80°C で1時間加熱する。さらに氷酢酸 10 滴と亜塩素酸ソーダ 1.5 g を加え十分混合した後 70~80°C で1時間加熱する。その後この操作を4回繰返し白色化した残渣を氷で冷却し3号ガラスフィルターで濾過し氷水で数回洗滌し最後にアセトンで洗滌して減圧乾燥し秤量する。

全繊維素: 有効塩素10%の晒粉溶液を用いる改良法によつて定量する。

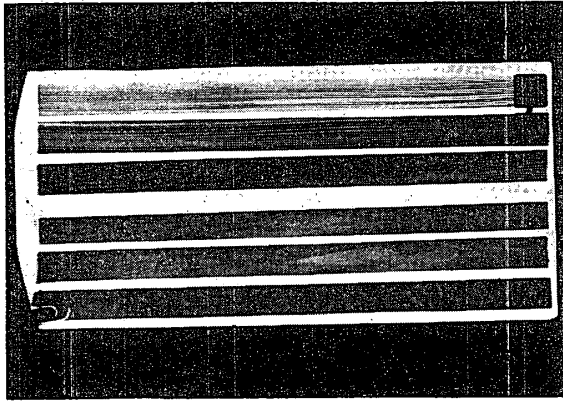
リグニン中および材中のメトオキシル基: 試料 0.3~0.5 g を正確に秤量し, ストリタール氏による装置を使用しツアイゼル法に準じて定量する。

ペントーザン, メチルペントーザン: 塩酸と塩酸フロログルシンを用いる方法でフルフラール, フロログルシツドの量からのグレーベル表によつて全ペントザン量を求め次にメチルフルフラール, フロログルシツドの量を知り, トレンス氏表によつてメチルペントーザン量を求めた。

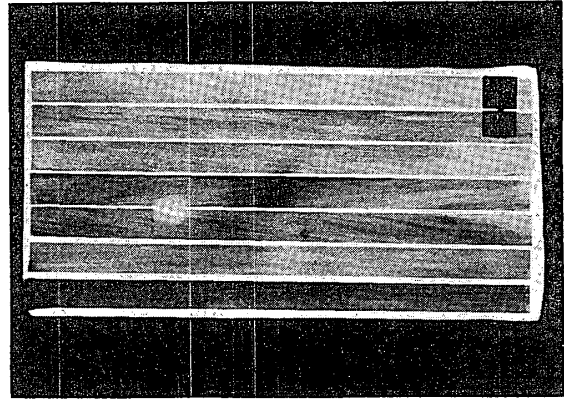
アルカリ消費量: 試料 0.1 g をとり 0.1N-NaOH を加えて30分間加熱し蛍光指示薬ウラニンを指示薬として 0.1N-HCl で定量する。

実験結果

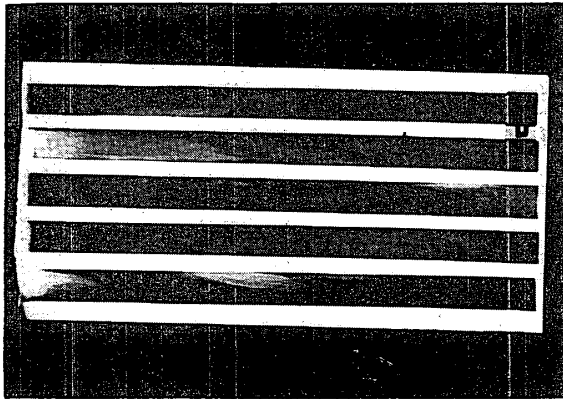
○X線撮影による写真結果は Fig. 1 に示される。



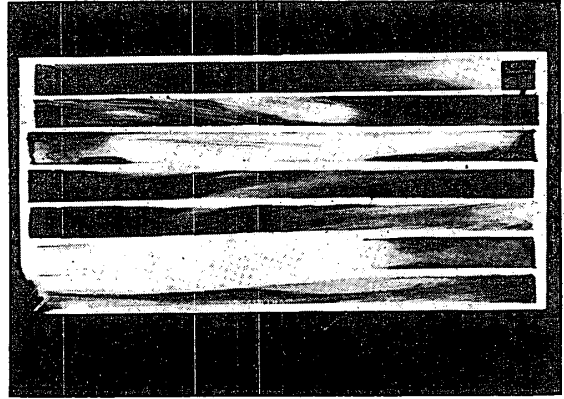
Sound wood edge grain
flatsawn grain



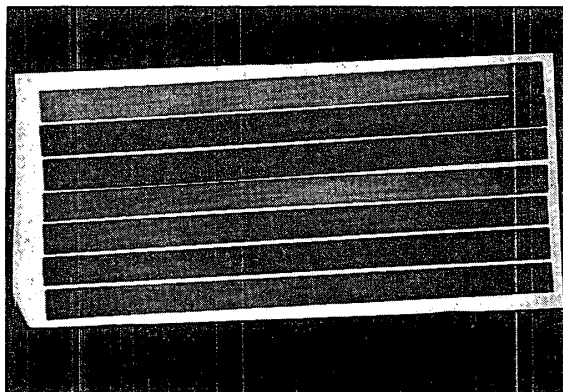
Polystictus sanguineus 1 month decay
flatsawn grain



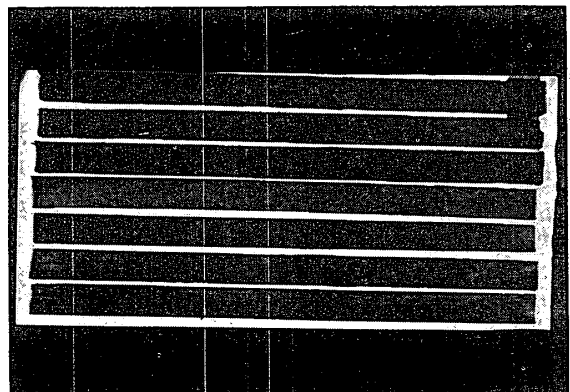
Polystictus sanguineus 3 month decay
flatsawn grain



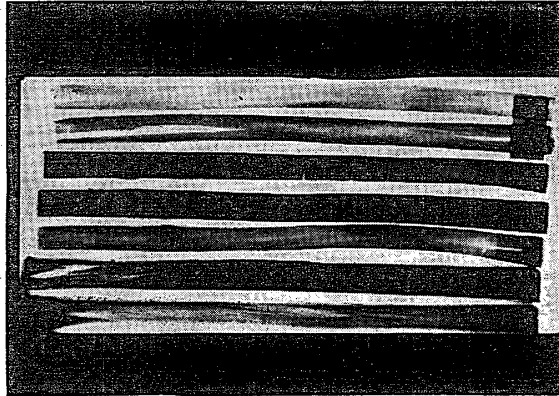
Polystictus sanguineus 6 month decay
flatsawn grain



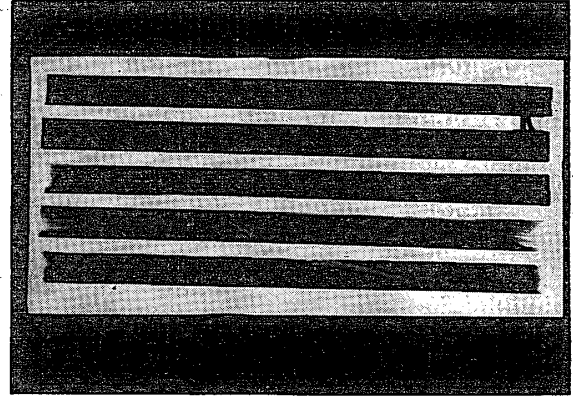
Voria vaporaria 1 month decay
flatsawn grain



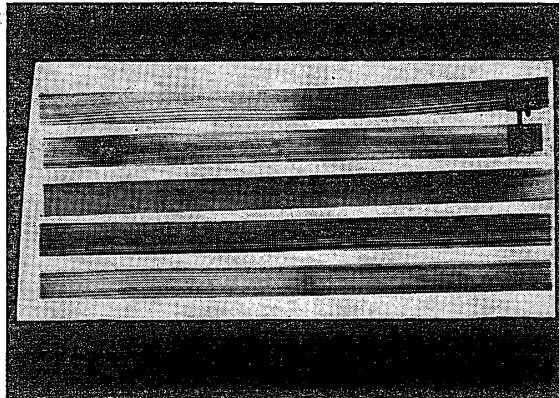
Voria vaporaria 3 month decay
flatsawn grain



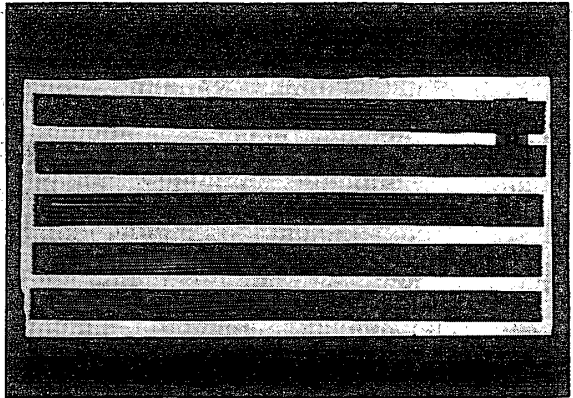
Voria vaporaria 6 month decay
flatsawn grain



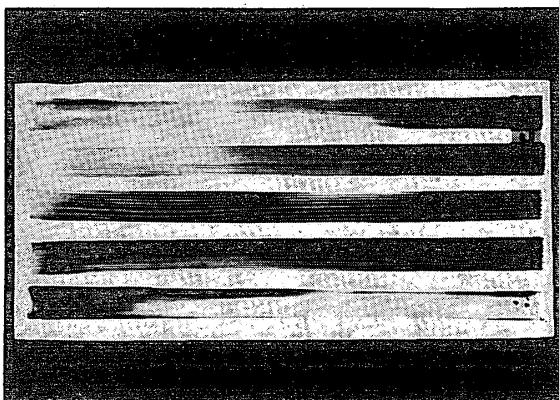
Irpex consors 3 month decay
flatsawn grain



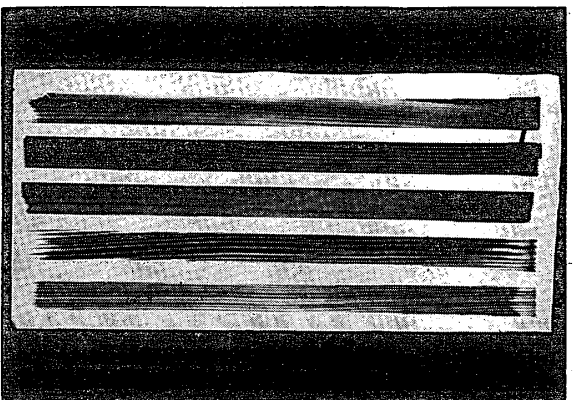
Polystictus sanguineus 1 month decay
edge grain



Polystictus sanguineus 3 month decay
edge grain



Polystictus sanguineus 6 month decay
edge grain



Polystictus versicolor 6 month decay
edge grain

Fig. 1: X-ray photograph of decayed wood

○重量減少率の結果は Table-1 に示される。

Table-1 Average weight loss of Japanese cypress by wood destroying fungi. (%)

Fungi	sap wood				heart wood			
	1	3	6	9	1	3	6	9
Polystictus sanguineus	1.678	4.798	36.250	—	0.657	1.779	-0.038	0.2838
Poria vaporaria	1.725	8.392	36.541	43.68	0.502	1.435	-0.795	-0.484
Polystictus versicolor	2.510	12.321	9.318	14.94	-0.0162	2.066	0.0367	0.103
Irpex consors	1.544	8.811	27.665	13.41	0.734	1.949	-0.641	0.956

$$\text{重量減少率} = \frac{W-W'}{W} \times 100\%$$

W : 腐朽前の全乾重量

W' : 腐朽後の全乾重量

○曲げ試験結果は Table-2~5 に示される。

Table-2 Each average of modulus of rupture and bcreaking load of bending on Japanese cypress

i) Breaking load of bending (Sap wood)

Decay period month	Sound Wood	1	3	6	9
Fungi					
Polystictus sanguineus	36.03 kg	37.05 kg	27.2 kg	5.6 kg	0 kg
Poria vaporaria	"	36.40	22.6	4.0	30.8
Polystictus versicolor	"	36.74	29.4	29.7	26.7
Irpex consors	"	32.16	24.8	16.4	23.5

ii) Modulus of rupture in bending (Sap wood)

Decay period month	Sound Wood	1	3	6	9
Fungi					
Polystictus sanguineus	616.5 kg/cm ²	624.2 kg/cm ²	460.0 kg/cm ²	99.8 kg/cm ²	0 kg/cm ²
Poria vaporaria	"	635.0	363.3	65.3	524.9
Polystictus versicolor	"	531.6	495.4	515.3	463.5
Irpex consors	"	546.4	418.3	280.6	388.4

iii) Breaking load of bending (Heart wood)

Decay period month	Sound Wood	1	3	6	9
Fungi					
Polystictus sanguineus	38.9 kg	38.7 kg	35.9 kg	35.7 kg	35.4 kg
Poria vaporaria	"	34.0	39.4	32.3	38.2
Polystictus versicolor	"	38.8	39.8	36.0	34.9
Irpex consors	"	33.8	37.7	39.0	37.4

iv) Modulus of rupture in bending. (Heart wood)

Decay period month Fungi	Sound Wood	1	3	6	9
	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
Polystictus sanguineus	779.0	707.0	669	672	658.0
Poria vaporaria	"	645.5	740	593	696.0
Polystictus versicolor	"	728.0	753	657	646.0
Irpex consors	"	630	706	713	700.0

Table-3 Strength loss of Japanese cypress

i) Sap wood (based on modulus of rupture in bending)

Decay period month Fungi	Sound Wood	1	3	6	9
	%	%	%	%	%
Polystictus sanguineus	0	-1.3	26.0	83.9	100
Poria vaporaria	"	-3.8	41.2	90.3	14.9
Polystictus versicolor	"	13.8	19.6	16.4	24.8
Irpex consors	"	11.4	32.0	54.5	37.0

ii) Heart wood (based on breaking load of bending)

Decay period month Fungi	Sound Wood	1	3	6	9
	%	%	%	%	%
Polystictus sanguineus	0	0.51	0.77	8.23	9.00
Poria vaporaria	"	12.59	-1.90	16.97	1.80
Polystictus versicolor	"	0.26	-2.31	7.46	10.28
Irpex consors	"	13.11	3.08	-0.26	3.86

Table-4 Standard value of work in bending to maximum load on sap wood of Japanese cypress destroyed by fungi.

i) Work in bending on Japanese cypress destroyed by fungi.

Decay period month Fungi	1	3	6	9	Sound Wood
	kg·cm	kg·cm	kg·cm	kg·cm	kg·cm
Polystictus sanguineus	4.46	3.09	2.30	1.98	6.6
Poria vaporaria	2.62	3.99	0	2.29	"
Polystictus versicolor	2.67	3.90	4.31	2.28	"
Irpex consors	2.45	1.87	2.37	3.68	"

ii) Work loss in bending compared to sound wood. (%)

Decay period month Fungi	1	3	6	9	Sound Wood
Polystictus sanguineus	32.4%	53.2%	65.2%	70.0%	0%
Poria voporaria	60.3	80.3	100.0	65.3	"
Polystictus versicolor	59.5	40.9	34.7	65.5	"
Irpex consors	62.9	71.7	84.2	44.2	"

Table-5 Average value of modulus of elasticity in bending on sap wood of Japanese cypress destroyed by fungi.

Decay period month Fungi	1	3	6	9	Sound Wood
Polystictus sanguineus	10 ⁴ kg/cm ² 7.75	10 ⁴ kg/cm ² 7.18	10 ⁴ kg/cm ² 1.16	10 ⁴ kg/cm ² 0	10 ⁴ kg/cm ² 6.99
Poria voporaria	7.98	6.02	0.92	6.87	"
Polystictus versicolor	7.75	5.65	5.87	5.22	"
Irpex consors	7.32	5.53	3.10	5.30	"

Decay period month Fungi	1	3	6	9	Sound Wood
Polystictus sanguineus	-10.79%	-2.64%	83.48%	100%	0%
Poria voporaria	-14.10	13.88	86.78	1.76	"
Polystictus versicolor	-10.79	19.16	16.08	25.33	"
Irpex consors	-4.63	20.93	55.73	24.23	"

曲げ試験で得られた値および試片の寸法値より下式によつて E , σ , $\frac{y}{y_{max}}$, および $\frac{\sigma}{\sigma_{max}}$ の値を得た。

$$E = \frac{Rl^3}{4bh^3y} \left[1 + 1.2 \frac{E_1}{G_1} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right] (\text{kg/cm}^2) \quad \sigma = \frac{3 P_p l'}{2 b h^2} (\text{kg/cm}^2)$$

P_p … 荷重 (kg)

b … 試片の巾 (cm)

l' … スパン長 (cm)

h … 試片の高 (cm)

y … 比例限度におけるたわみ量 (cm)

G_1 … 剛性係数
 E_1 … 弾性係数 } 既知の値を採用した。

E は比例限度内では弾性係数, 比例限度外では任意の応力の点に対する割線係数と考えられる。

σ は比例限度内では曲げの際に生ずる応力であり, 比例限度外では応力係数であり特に σ_{max} を破壊係数という。 σ/σ_{max} , y/y_{max} を各々縦軸, 横軸にとつて対応させるとこれによつて腐朽材の腐朽度がある程度表わすことができると考えられる⁹⁾。また応力—ひずみ曲線をひずみ

に関して積分することにより曲げの仕事量が得られ、これによつても材の腐朽度がある程度判定できるものと思われる。

○圧縮強度結果は Table-6 に示される。

Table-6 Compressive strength on Japanese cypress.

Fungi	Sap Wood			Heart Wood		
	1	3	6	1	3	6
Polystictus sanguineus	kg/cm ² 317.5	kg/cm ² 254.4	kg/cm ² 131.0	kg/cm ² 416.2	kg/cm ² 402.1	kg/cm ² 362.0
Poria voporaria	318.5	316.1	101.0	411.7	395.6	351.6
Polystictus versicolor	263.6	176.5	231.0	406.4	389.2	372.0
Irpex consors	227.0	301.3	(70.0)*	416.2	408.3	438.3
Sound Wood	324.7					

Table-7 Compressive strength loss on Japanese cypress. (%)

Fungi	Sap Wood			Heart Wood		
	1	3	6	1	3	6
Polystictus sanguineus	2.22 %	21.65 %	59.66 %	1.61 %	4.94 %	14.42 %
Poria voporaria	1.91	2.65	68.89	2.67	6.48	16.88
Polystictus versicolor	18.82	45.64	28.29	3.92	7.99	12.06
Irpex consors	30.09	7.21	78.44	1.61	3.48	-3.62

各種腐朽材各々10本宛についての圧縮破壊強度の測定を行ないその平均値を求めた。圧縮強度減少率の求め方に個々の試片の全乾比重から予め求められた関係式によりその試片の健全時の全乾状態の圧縮強度を求め、その値との比較において圧縮強度減少率を求める方法がある。しかし本実験では健全材の10個の平均値を基準に減少率を求めた。

○木材成分分析結果は Table-8~11 に示される。

Table-8 Percentage of chemical composition of Japanese cypress based on oven-dry weight of decayed condition.

Test piece decayed by polystictus sanguineus.

Chemical Compositions	0	1	3	6	9
Cold water extract	1.20 %	1.75 %	2.32 %	5.10 %	6.24 %
Ash	0.25	0.28	0.35	0.62	1.17
Hot water extract	2.00	3.45	5.90	6.23	7.43

布施・白石・西本：腐朽過程におけるヒノキ材の諸性質の相互関について

Alkali extract	13.30	13.20	12.00	15.50	21.50
Alcohol Benzolextract	1.10	1.39	1.26	3.10	2.68
Hollocellulose	68.50	67.60	62.39	60.20	61.45
Lignin	30.60	32.40	27.80	26.30	26.20
Methoxyl group in Wood	4.61	3.06	4.81	5.27	4.82
Methoxyl group in Lignin	6.02	4.89	6.12	14.22	15.59
Total pentosan	10.70	11.12	10.60	9.58	10.08
Methyl pentosan	6.60	7.80	6.11	5.82	5.45
Alkali titration	0.71	0.96	1.62	3.96	3.12

Table-9 Test pieces decayed by *Poria vaporaria*.

Chemical Composition	0	1	3	6	9
Ash	0.20	0.17	0.64	1.78	1.22
Cold water extract	1.20	1.33	4.48	6.25	5.38
Hot water extract	2.00	2.54	4.54	7.03	4.96
Alkali extract	13.30	9.48	17.45	18.60	12.45
Alcohol Benzol extract	1.10	1.17	2.87	3.51	2.90
Hollocellulose	68.50	66.44	60.28	36.49	47.68
Lignin	30.60	32.10	35.90	46.30	42.30
Methoxyl group in Wood	4.61	4.75	5.33	6.19	5.36
Methoxyl group in Lignin	6.02	8.23	9.12	11.30	8.10
Total pentosan	10.70	11.60	7.84	4.52	5.38
Methyl pentosan	6.60	7.62	3.39	2.14	3.22
Alkali titration	0.71	0.87	1.36	2.71	2.35

Table-10 Test pieces decayed by *Polystictus versicolor*.

Chemical Composition	0	1	3	6	9
Ash	0.20	0.18	0.23	0.36	0.28
Cold water extract	1.20	3.42	4.32	2.38	2.86
Hot water extract	2.00	2.10	3.12	2.98	2.52
Alkali extract	13.30	22.30	18.90	17.60	14.00
Alcohol Benzol extract	1.10	1.90	2.21	2.43	2.31
Hollocellulose	68.50	62.27	61.14	59.90	60.20

Lignin	30.60	29.70	27.30	28.80	28.70
Methoxyl group in Wood	4.61	3.84	3.91	4.86	4.88
Methoxyl group in Lignin	6.02	9.91	9.82	10.30	9.83
Total pentosan	10.70	9.59	8.41	8.22	7.37
Methyl pentosan	6.60	4.56	4.31	4.20	6.41
Alkali titration	0.71	0.79	1.71	2.86	2.89

Table-11 Test pieces decayed by Irpex consors.

Chemical Composition	0	1	3	6	9
Ash	0.20	0.10	0.23	0.31	0.28
Cold water extract	1.20	0.67	1.31	12.30	10.40
Hot water extract	2.00	3.47	5.09	12.60	9.80
Alkali extract	13.30	11.78	10.91	10.71	10.76
Alcohol Benzol extract	1.10	1.29	1.55	1.86	1.83
Hollocellulose	68.50	62.33	60.11	57.20	59.90
Lignin	30.60	33.20	28.10	25.70	26.60
Methoxyl group in Wood	4.61	5.20	4.88	5.26	5.16
Methoxyl group in Lignin	6.02	9.56	9.21	10.33	9.52
Total pentosan	10.70	11.91	9.50	9.13	9.44
Methyl pentosan	6.60	7.15	6.48	6.21	6.26
Alkali titration	0.71	0.92	2.15	2.28	2.18

木材成分の変化率は各種腐朽材の対健全材全乾試料還元値としての木材成分量で示すことによりつて明らかとなる。そのため各種腐朽材の対腐朽絶乾試料分析値(%)に各対応重量残存率を乗じてその還元値を求める。

考 察

〔I〕 X線写真上での考察

ヒイロタケによる腐朽材は1ヶ月では木材組織上の変化は残んど認められない。尚培養びん内での菌糸の着生状態は接地面および両木口部に著しく上面部までは菌はまわっていないかつた。3ヶ月では木口部の侵蝕されていることがわかり、春材部がやや腐朽の進んでいるため秋材部とに濃淡の差がはつきりあらわれている。菌糸の着生状態は全面的で材の表面は白色化していた。6ヶ月では急激な腐朽の増大がX線写真で認められる。菌糸は完全に材に着生していた。

ワタグサレタケによる腐朽材は1ヶ月でも木口部に腐朽の食込みがみられ、これは明らかに

春材部がやられており板目方向の写真では現われにくい。菌糸は試片によく着生し接地面および側面の2/3に褐色化が起つていた。3ヶ月では板目方向でもかなりの腐朽が観察され、特に木口からの腐朽が良く見られる。菌糸は試片の全面に薄く着生し全面に褐色化を見た。6ヶ月では亀裂の生じているのが目立つ。これはワタグサレ腐朽材の特徴で、ワタグサレ腐朽材は乾燥するとこの様に亀裂が生じる。

カワラタケによる腐朽材は1ヶ月ではほとんど健全材と変りない。しかし菌糸の着生は薄かつたが全面的にのびていた。3ヶ月では木口に明らかに腐朽がみとめられる他に柾目方向の春、秋材の区別が明らかになつており春材部が腐朽していることが知られる。菌糸は全面におい柾目表面の春材部が線状に侵食されている。6ヶ月ではさらにこの腐朽が進行して見られる。6ヶ月の腐朽の終了時においてカワラタケの菌糸は旺盛な勢いで試片をおおつていた。

ウスバタケによる腐朽材は1ヶ月では殆んど腐朽の痕は見られずわずかに柾目方向の木口部に見られる程度で、その菌糸の着生も各面に薄くのびているが外観は健全材と変らなかつた。3ヶ月では木口部に腐朽の痕が明瞭に認められる。また表面春材部の腐朽も認められる。菌糸は全面に着生し6ヶ月になると更に腐朽が激しく特に木口部に大である。菌糸も旺盛に試片全面を覆つていた。

ヒイロタケ、ワタグサレタケによる腐朽が強く6ヶ月になると春秋の区別なく蝕害し、木材の組織を著しく破壊した。しかしカワラタケ、ウスバタケによる腐朽材は僅かに木口部および表面春材部に腐朽が見られるのみでX線写真では明瞭にあらわれなかつた。これはカワラタケ、ウスバタケが自然界で広葉樹または広葉樹枯幹枝に寄生する⁷⁾⁸⁾腐朽菌であるところから来るものと思われる。

X線写真の腐朽判定はかなり腐朽の進んだ材においてその材の腐朽進行度や腐朽位置を示しある場合には甚だ有効であるが、腐朽の初期では有効な腐朽度の指標とはなり得ない。

〔II〕 重量減少率に関する考察

ヒノキ心材のこの実験の条件下では重量減少率はすべて2.1%以下であり、マイナスの値をとることもある。6ヶ月、9ヶ月腐朽材でもマイナスの値を示すことがあり、このことはヒノキ心材はこれらの菌によつて殆んど腐朽されないことを示す。尚このように強制腐朽で重量減少率がマイナスを示すことは腐朽の初期に良く経験することであつて、その理由として菌糸の侵入や培養基中の物質の移行などが考えられているが明らかでない。辺材部分の重量減少率はFig. 2に示される様にかかなりの減少を示している。また菌種によつて差がありワタグサレタケ、ヒイロタケは大きく、広葉樹材を侵害するウスバタケ、カワラタケは小さい。ヒイロタケは最初の1~3ヶ月の腐朽は小さいがその後急激に進行する。大体ヒノキ辺材で1ヶ月で約2%前後、3ヶ月で10%前後で6ヶ月になるとワタグサレタケ、ヒイロタケで40%近く減少率を示すが、カワラタケで15%前後、ウスバタケは25%前後で前2者にくらべて低い。またこの減少率はブナ辺材やスギ辺材にくらべると著しく低い。この様な腐朽されにくいヒノキ辺材を選んだのは腐朽の進行を徐々にしてその間の腐朽材の諸性質の相互関係を知るためである。9ヶ月後の測定値は培養室が恒湿でなく培養基の水分が蒸発して菌の生育を妨げまた雑菌のためなど実験上の不手際で満足な結果が得られず若し適切な生育であればFig. 2で矢印で示した方向に重量減少率をなすものと思われる。

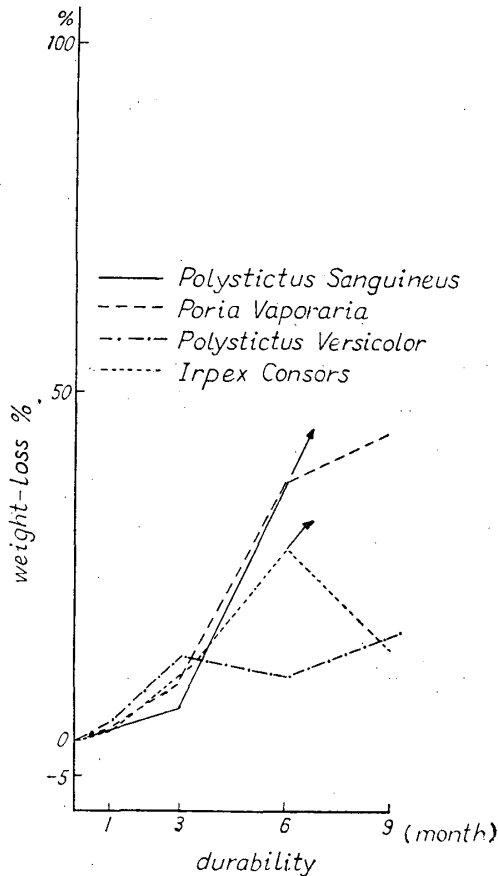


Fig. 2. Average weight loss of sap wood destroyed by fungi.

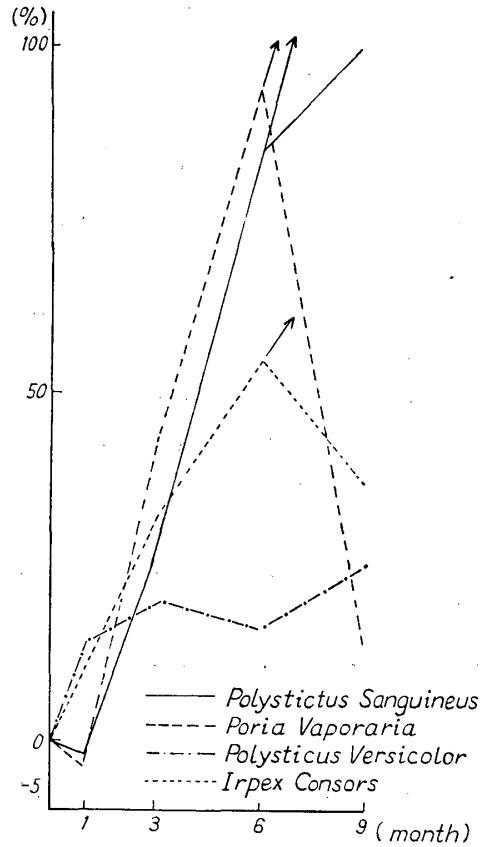


Fig. 3. Average modulus of rupture in bending. (sap wood)

〔III〕 曲げ試験結果に関する考察

曲げ破壊荷重はヒノキ心材、辺材とも夫々 36kg, 39kg というほぼ類似した値を持つているが、腐朽によつて辺材の方が最高 100% までの大きな減少を来すのに反し、心材の方は最高で 16.9% であつた。この様に心材と辺材との間に大きな差があり、また木材腐朽菌の種類によつて木材強度の減少の仕方に差があることは、重量減少率に関する項で述べたものと類似している。Fig. 3 は破壊係数に基づく強度減少率を示すが木材の腐朽現象の進行度を重量減少率よりもより明瞭に表わすことがわかる。すなわち同量の腐朽程度は重量よりも強度の減少により大きく影響を与えることを示している。

次にヒノキ辺材の各種腐朽材における曲げ仕事量および健全材に対する曲げ仕事量減少率を求めて腐朽現象との関係を検討した。各種の腐朽材から代表的な試片各 3 本宛選びその曲げ仕事量の平均値より、健全材に対する減少率を求めた値が Fig. 4 である。この曲げ仕事減少率は腐朽につれて変化の割合が大きく、木材の腐朽度測定のための有効な指標となり得る。ただ曲げ仕事量が応力-撓み曲線から得られるため材の腐朽につれて脆性になるものは撓みが測定しやすく都合が良いが、反対に撓性になるものは撓みが測定しにくく都合が悪い。

またヒノキ辺材の各種腐朽材におけるヤング率の変化を見ると、腐朽期間の短かい材は弾性率が一度増大し更に腐朽が進むとだんだん弾性率は小さくなる。すなわち腐朽の初期には腐朽

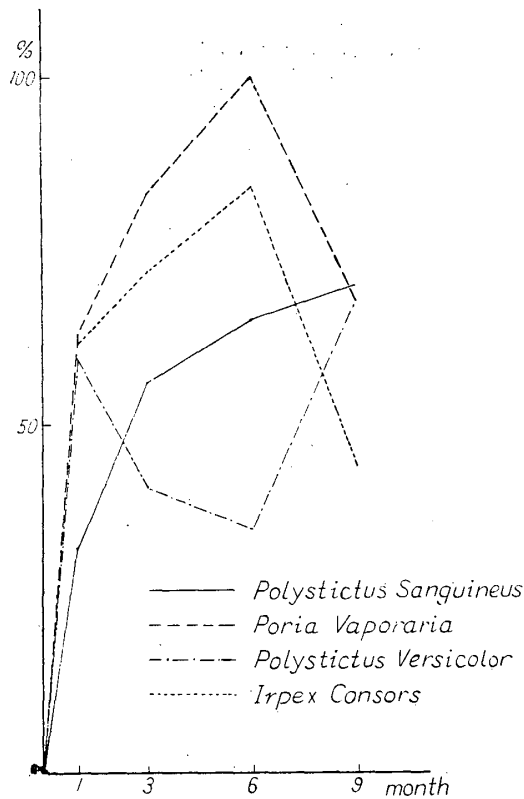


Fig. 4 Percentage of work loss in bending to maximum load on sap wood destroyed by fungi.

応する y は大きくなるが、これらの曲線の変化から材の腐朽度が殊に y の変化に大きな影響を与える。健全材の曲線において直線状態の $\sigma/\sigma_{max} \approx 6.3$ 以下では比例範囲にあり、しかもこ

材は一定応力に対して撓み量が小さく表われる様になり、腐朽が更に進むにつれ逆に一定応力に対し撓み量が大きく表われる様になると云える。

[IV] $\sigma/\sigma_{max}-y/y_{max}$ の関係に対する考察

曲げ試験によつて得たデータから σ/σ_{max} , y/y_{max} を計算によつて求め、菌種、腐朽期間の相違によつて生ずる各種の腐朽材群毎に平均応力歪曲線を求めて、その曲線に最も近い応力歪曲線を持つ試片を選んでその群の代表として取り、その $\sigma/\sigma_{max}-y/y_{max}$ を各木材腐朽菌種毎に Fig. 5~Fig. 8 の様にプロットし、得た曲線について考察する。

ヒイロタケにより種々の期間腐朽されたヒノキ辺材試片の $\sigma/\sigma_{max}-y/y_{max}$ 曲線群について見ると Fig. 5 の如く健全材、1ヶ月腐朽材、3ヶ月腐朽材、6ヶ月腐朽材の順に右手下方へと位置を換えている。このことから一定の σ/σ_{max} に対し腐朽するほど y/y_{max} は大になると云える。腐朽が進むにつれて σ_{max} は小さくなり、 y_{max} はやはり減少しまた各応力に対応

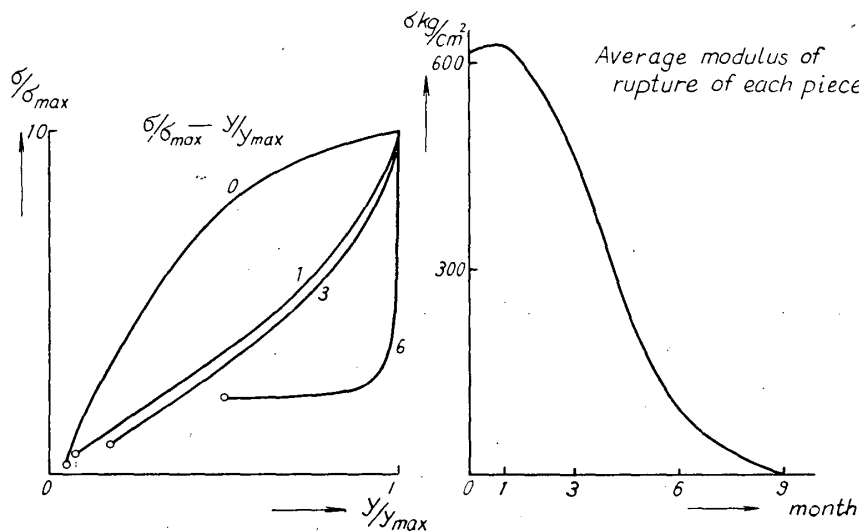


Fig. 5. The relation between σ/σ_{max} and y/y_{max} . (Polystictus sanguineus)

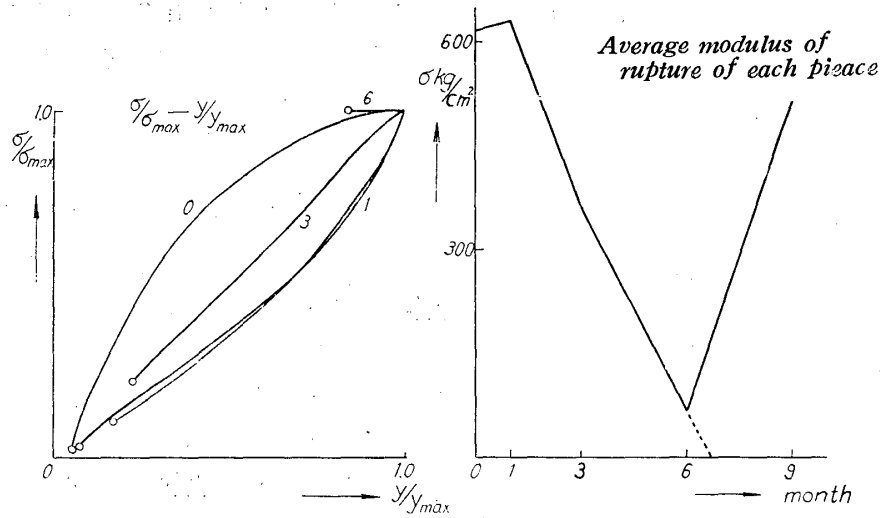


Fig. 6. (*Poria vaporaria*).

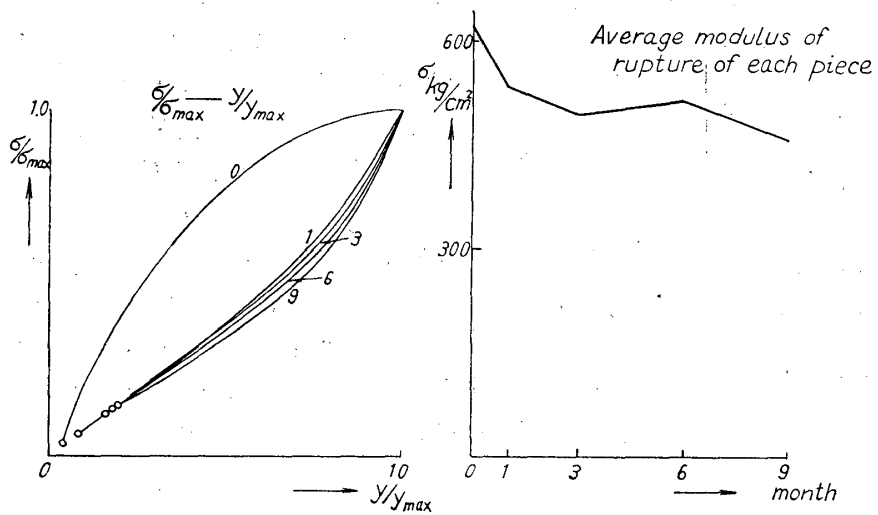


Fig. 7. (*Polystictus versicolor*).

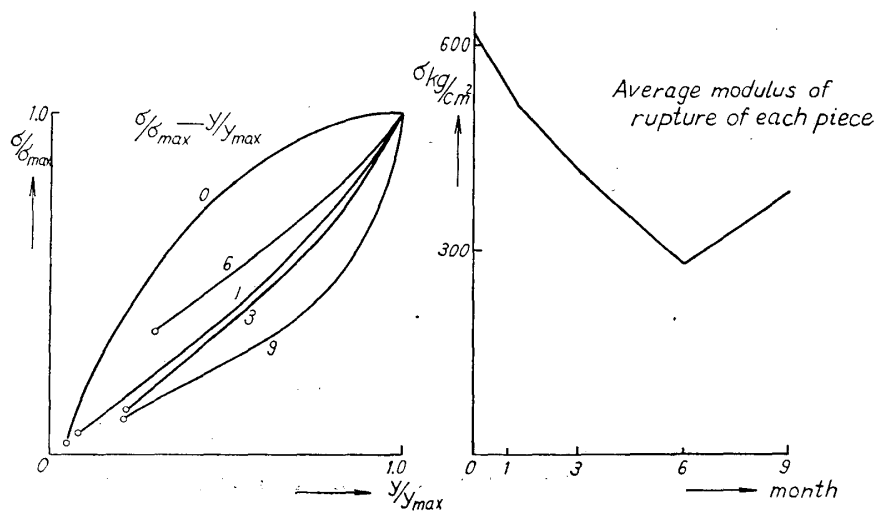
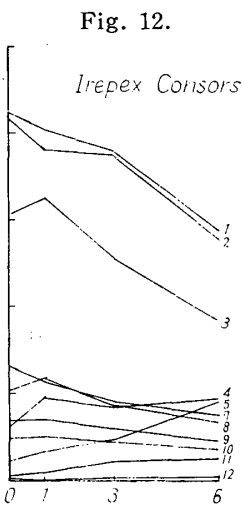
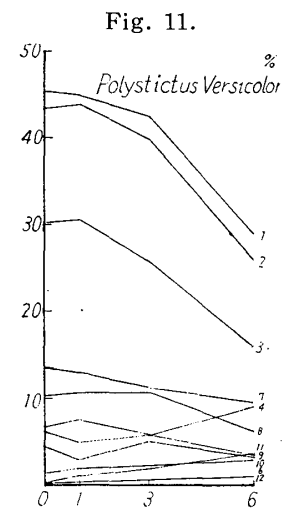
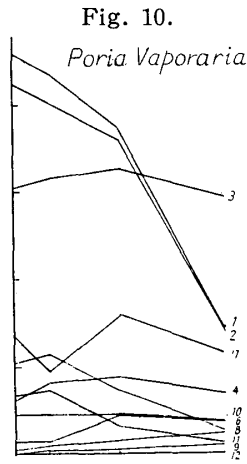
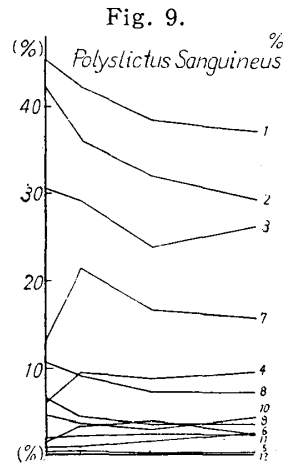


Fig. 8. (*Irpex consors*).

の範囲では σ_{max} に対する各 σ の割合は y_{max} に対する各 y の割合の $7/4$ の値を示し、比例範囲外すなわち 6.3 以上では曲線の各点における接線の勾配は累進的に減少する。但し当曲線の出発点〔○印〕が直線からはずれて比例範囲外にあるように見えるのは、中央集中荷重に当る材のへこみが最初に大きく（相対的に）生じるための見かけ上の誤差によるものと考えられる。1ヶ月腐朽材の曲線の場合には直線状態の $\sigma/\sigma_{max} \approx 4.0$ 以下では比例範囲にあり σ/σ_{max} は y/y_{max} に対し $5/7$ の値を示しており比例範囲以上では曲線の各点における接線の勾配は健全材の場合とは逆に累進的に増大している。このことが健全材と腐朽材の曲線の大きな相異点である。3ヶ月腐朽材の場合にはこの実験の測定点では比例範囲を明瞭につかめないが、ほ

Percentage of chemical compositions decayed wood based on oven-dry weight of sound wood.



- | | |
|-----------------------------|----------------------------|
| 1. Total cellulose | 7. Alkali extract |
| 2. α -cellulose/l. | 8. Total Pentosan |
| 3. Lignin | 9. Methyl pentosan |
| 4. Methoxyl group in Lignin | 10. Methoxyl group in Wood |
| 5. Hot water extract | 11. Alkali titration |
| 6. Cold water extract | 12. Ash |

ぼ $\sigma/\sigma_{max} \approx 2.5$ 以下において両者は比例関係にありその勾配は $5/8$ である。比例範囲をこえた領域においては曲線上の各点における接線の勾配は1ヶ月腐朽材の場合よりもさらに累進的に増大している。6ヶ月腐朽材では測定点が少くてやや不正確な曲線と思われるが、上記の各特徴はさらに著しくなっている。以上の事実より健全材と腐朽材は著しく異なることがわかる。すなわち σ/σ_{max} と y/y_{max} の比例限度が腐朽材では小さくなりその勾配も小さくなる。また比例限度をこえた場合、健全材では累進的に $\sigma/\sigma_{max}-y/y_{max}$ の曲線の勾配が減少するのに比し、腐朽材では反対に累進的に増大している。しかもこのことは腐朽の程度の進むにつれて著しくなる。結局腐朽するほど木材特有の弾性曲線を示さなくなると云える。

腐朽期間毎に得たデータは規則正しく並びこの $\sigma/\sigma_{max}-y/y_{max}$ のプロットにより正確な腐朽度の表現ができると云える。特に右の図の平均破壊係数の曲線では1ヶ月腐朽材の方が健全材よりも見かけ上大きい破壊係数を示しており判断に迷うものであるが、左図の $\sigma/\sigma_{max}-y/y_{max}$ のプロットでは明瞭に腐朽を掴むことができる。但しこの方法では撓み量の測定と云うやつかいな手順をとらねばならないのが難である。

カワラタケにより腐朽されたもの $\sigma/\sigma_{max}-y/y_{max}$ 曲線についてもヒイロタケによる場合のものと同様のことが云える。またウスバタケにより腐朽されたものの場合では6ヶ月

腐朽材を例外として他は同様の傾向を有している。ただしこの両者は破壊係数のグラフを見てもわかる様に1ヶ月, 3ヶ月, 6ヶ月, 9ヶ月腐朽材の間に強度的な差がヒヨタケほどないのでそれらの $\sigma/\sigma_{max}-y/y_{max}$ 曲線は相接近したものである。

ワタグサレタケによる腐朽材では健全材と腐朽材の差は明らかであるが, 腐朽材各々の間の順列は乱れている。この菌は木材に亀裂性褐色朽を惹起するので材は非常に脆性となり腐朽の進むにつれて破壊係数は急速に小さくなりまた撓みも小さい。それで応力, 撓みの関係を曲げ試験中に測定する技術が難かしいものとなりその関係を元とした $\sigma/\sigma_{max}-y/y_{max}$ 曲線は混乱する。特に撓み測定の方法をより正確にして再度実験して検討すべきものと考える。

〔V〕 圧縮試験に関する考察

Table-7 でわかる様に圧縮強度の減少率も腐朽期間によりかなり大きく変化し, 充分腐朽を測定するに足るもので, 殊に腐朽の初期に重量減少率で示されなかつた腐朽の範囲でも強度低下を示す。すなわち腐朽初期では強度低下の傾向が大である。しかし腐朽が進むとわずかの応力で容易に形がくずれ断面積が大きくなり健全材では表われる材の軸にほぼ 45° の面を生じなくなり, 正確な圧縮強度が得ることが困難になる傾向がある。むしろ引張り強度の方が腐朽の判定に適していると思われる様な障害を感じた。しかし引張り強度では試験片に問題があり, また衝撃吸収エネルギーの測定は偏差が大で, 圧縮強度の場合の2~3倍の偏差をもち, 標準試験の尺度としては不適當である。従つて重量減少率と同時に初期腐朽に対して敏感であり偏差も比較的少ない圧縮強度の測定によつて木材腐朽度の判定を行うことは甚だ意義があることと考える。

〔VI〕 木材成分に関する考察⁹⁾¹⁰⁾

木材成分と腐朽期間の関係を見るに, 灰分では殆んど変化なく, 僅かに増大しているのは菌糸の無機成分が定量された為と思われる。冷水, 熱水抽出物は腐朽の初期には除々に増大しているが, 腐朽がかなり進むとあまり変化しない。アルベン抽出物は非常に低い含有率で, その変化量も僅かに増大しているがこの程度では問題にならない。アルカリ抽出物は抽出物中最も大きな含有率を示している。腐朽材においてリグニンは先づ側鎖に分解を起しアルカリに溶解し易くなると云われているが, この実験によつてもヒヨタケ, ワタグサレタケの腐朽によつてかなり増大し, 腐朽の進行していることがわかる。ワタグサレタケは3ヶ月以後あまり変化がない。またウスバタケ, カワラタケは腐朽の初期にアルカリ抽出量が多くなり, 腐朽が進むにつれて減少する傾向があり, これは白色朽に共通な特徴と云われる。アルカリ抽出量はかなりの含有率であるが, 腐朽期間に対し必ずしも一定の関係をしめさず, 腐朽判定の有効な指標とはなり得ない。なおこれらヒノキ辺材の抽出量は, ブナ材のそれにくらべて低い値である。次にホロセルローズと全繊維素量の変化であるが, ホロセルローズではセルローズ溶解菌たるワタグサレタケでは腐朽の進行に応じて減少している。またリグニン溶解菌たる他の3種の菌においても, 腐朽の進行によつてホロセルローズは減少しているが, その減少率はワタグサレタケの方が急激である。これに反し, リグニン量はワタグサレタケでは大きな変化はないが, リグニン溶解菌ではかなりの減少率を示している。この事より褐色腐朽材ではセルローズ, 白色腐朽材ではリグニンの定量によつて或る程度腐朽度の判定が出来る。しかし自然界における

腐朽は種々の菌によつて分解せられ、またリグニン溶解菌でもリグニンの分解と同時にセルロースも比較的早くから栄養分として吸収するので、それらの関係は複雑で正確な指標となり難い。全繊維素の変化量はホロセルロースと大差なく同傾向である。

メトオキシル基は腐朽によつてやや増加しているが、腐朽期間との間には特定の関係は見だせなかつた。

全ペントーザンはいづれの腐朽菌においても栄養分として摂取されるため、一定の減少率をしめし化学成分中もつともまとまつた数値であつた。殊にワタグサレタケは明瞭な関係をしめし、腐朽を判定する指標として有効である。このペントーザン量とともにアルカリ消費量も腐朽に従つて漸次増大し判定の基準として正確な値を示す。

これは木材成分が腐朽菌によつて分解され、セルロースもリグニンも腐朽の進行にともなつて種々の有機酸に変化して行き、褐色腐朽菌では蔞酸が最終産物で材中に多量に集積してくる。また白色腐朽菌で更に蔞酸分解酵素によつて分解され蟻酸と炭酸ガス¹¹⁾になる。従つてそれらの生産量を知ることは腐朽判定上有益なことで、アルカリ消費量はそのための一手段である。その結果は比較的良好な値であつた。しかしそれらの変化量は物理的測定値に比べて低い値である。

結 論

- 1 X線撮影により木材の腐朽個所や腐朽度を知ることが出来た。しかし初期の腐朽は明瞭にあらわれず3ヶ月以後において腐朽状態が観察された。この方法では腐朽の進行方向や木材内部の腐朽個所の探索に適當であるが腐朽判定の尺度とはなり得ない。
- 2 重量減少率はヒノキ辺材ではかなりの変化率を示し、殊にワタグサレタケ、ヒイロタケは良い結果を得た。しかし初期の腐朽では重量減少率が明瞭でない傾向がある。
- 3 曲げ仕事量、曲げ弾性率、曲げ破壊係数はいずれもヒノキ辺材の場合腐朽により大きな変化を示した。特にそれらの値の減少率は重量減少率よりも低下の度合が激しくいずれも腐朽度を示す指標となり得る。
- 4 $\sigma/\sigma_{max}-y/y_{max}$ のプロットによつて得られる指標は、健全材、各種腐朽材の間に明らかな差異を示す。殊に初期腐朽材でも健全材との間に明らかに差を示した。
- 5 圧縮強度も材の腐朽につれて大きく変化するが、重量減少率とは反対に長期腐朽材において測定上の不正確がともなう欠点がある。
- 6 木材化学成分の変化は物理的性質の変化よりも小さく、有効な指標とは云い得ないが、ワタグサレタケ腐朽材ではセルロース、他の白色腐朽材の場合は比較的リグニンの変化量が判定の指標となり得る。また全ペントーザン、アルカリ消費量が何れにおいてもほぼ同程度の比較的大きな減少率をしめし、有効な指標と考え得る。

Résumé

This study has been discussed on the correlation among change of weight, strength and components of Japanese cypress by the decay with *P. vaporaria*, *P. versicolor*, *P. sanguineus* and *I. consors*, and saw within the decaying test pieces

by the X ray. The experiment had been come to the following conclusion.

1. The decaying parts and extents of wood is inferred by the X ray, but the incipient decay is not clearly.

2. The sapwood inoculated by P. v. and P. ver. showed the large decrease in abverage dry weight but the drecrease is small in the incipient decay.

3. The work in bending to maximum load and breaking stress of bending of sapwood test block are decreased by all wood-decaying fungi used in this experiment. Their decrease rate is so larger than the rate of weight that it may be the index of the degree of decay.

4. In the index resulted from the relation of $\sigma/\sigma_{\max} - y/y_{\max}$, there is a wide difference between that of saund test block and decaying blocks.

5. Compressive strength is changed with more decaying, and the accurate results are obtained in the incipient decay, but is not so in the last decay because the measurement is uncertain to get out of shape of test blocks.

6. The chenge of chemical components is less than that of physical properties, and thereby this change is not efficient index. But the change of all pentosan amounts and alkali loss value is the efficient index for all wood decaying fungi tested.

文 献

- 1) 浅野猪久夫・藤井正道：木材工業 8, 118 (1953).
- 2) 赤井重恭・上山昭則：第6回木材学会講演要旨集 (1958).
- 3) 布施五郎, 西本孝一：木材誌 7, 6 (1961).
- 4) 右田伸彦：パルプ及び製紙工業実験法 共立出版社
- 5) 東大農学部林産教室：林産化学実験書 (1956).
- 6) Kollman, F. : Technologie des Holzes und Holzwerkstoffe. 2 Aufe II Band (1951).
- 7) 伊藤一雄：木材腐朽 (1953).
- 8) 逸見武雄・赤井重恭：木材腐朽菌学 (1947).
- 9) Kawase, K. : Chemical study of decayed wood., Res. Bull Exp. For. Hokkaido Univ., 19 (2) (1958).
- 10) 西田屹二・仲寛：腐朽木材の化学的研究 林学会誌 13 1 (1929).
- 11) Nord N. N. : Advance in Enzymology, 8 (1948).