

木質耐力壁パネルの耐候性

満 久 崇 磨*

Longtime Performance of Wood Wall Panel

Takamaro MAKU*

従来のわが国の木造住宅の構造、すなわち軸組構造では、小住宅の耐力壁は通常計算を行なわないで、建築基準法の規定によって、地震力や風圧力に対してそれぞれ壁率を数字的に定めて、これによって有効壁の長さを算出することになっており、これらの数字は片筋かい入り耐力壁の水平せん断変形 $1/60 \text{ rad.}$ の時のせん断耐力 130 kg/m を基準にとったものである。

しかし、最近わが国でも、プレハブ壁パネル方式が急速に発展しつつあり、それにはいろいろのタイプがあるが、大別すると次の2つになる。

1. 軸組にパネルを何らかの方法で接合する、従来法との折衷方式
2. Unit panel 同志を接合して建物に加わる外力を負担する完全パネル方式

わが国と同様、木造住宅の多いカナダやアメリカでも従来法として筋かいと sheathing の併用がかなり以前から相当普及している。Sheathing の材質は木材の外、石膏ボード、ファイバーボードなどいろいろあるが、木材の場合は厚さは少くとも1", 幅6~8"の板が標準になっている。この素材の sheathing を水平または垂直にはる場合や耐力の低い石膏ボードやファイバーボードを用いる場合には当然筋かいが使用されるが、近年では素材の sheathing を斜めにはった筋かいぬきの、いわゆる diagonal sheathing が普及し、さらに合板の sheathing へと移行している。アメリカにおけるこの種の釘打壁体構造の許容せん断耐力については、素材の sheathing の場合はその幅、間柱の間隔、釘の種類、数などに応じて、また合板の sheathing の場合は合板の厚さ、釘の種類、釘打間隔などに応じて、かなりくわしい、信頼すべき資料¹⁾が業界からも出されてる。

下地フレームの上にいろいろの下地材をはった折衷方式の盲パネルと開口部をもつパネルの相対的なせん断耐力と剛性のアメリカにおける資料については以前にその一部を紹介したが²⁾、山井³⁾が軸組の上に厚さ 7.5 mm の合板を、いろいろはり方のかえて釘打した、幅 180 cm 、高さ 240 cm の実物大パネルの耐力を、大貫片筋かい入り耐力壁のそれと比較した結果の一部を紹介すると第1表のようになる。この表からわかるように筋かい入り耐力壁は意外に強いが、軸組に単に合板を釘打したパネルはこれと同等またはそれ以上とみなすことができる。

いずれにしても、わが国ではこれらのパネルの耐力に関しては各方面で資料が作られ、それに基づいて2、3の提案がなされている程度で、まだ設計規準を制定するまでにはなっていない。

この種のパネルはすべて長期間の使用に対して、安全に耐えることが必要である。とくに建物の外廻りのパネルは直接大気に暴露され、日光の直射と雨のくり返しにあらうという苛酷な条件にさらされるおそれがあるから、初期の耐力、剛性の安全性はもちろん、その力学的性質が経時的にどのような劣化挙動を示すかを十分調べておく必要がある。

しかるに、木質耐力パネルの基材として最も重要な材料である合板についてみても、接着性能の耐候性についての研究調査資料は随分報告されているが、力学的性質の耐候性についての報告は案外に少ない。まして合板を用いた耐力パネルの耐候性については、現在ほとんど公表されたものが無いといっても過言ではない。

* 木質材料学研究部門 (Division of Composite Wood)

第1表 各種木質壁パネルのせん断耐力

パネルの種類	耐 力 kg/m		
	P ₁₀₀ ²⁾	P ₆₀ ²⁾	P _m ³⁾
大貫片筋かい入り (断面 1.5×10 cm ²)	240	360	
5 プライ 7.5mm 合板 (片面2枚 N ₃₈ , P ₂₀) ¹⁾	320	470	500 ⁴⁾
同 上 (片面2枚 N ₅₀ , P ₂₀)	400	535	550 ⁴⁾
同 上 (片面2枚 N ₅₀ , P ₁₅)	555	740	830 ⁴⁾
同 上 (片面2枚 N ₅₀ , P ₁₀)	630	910	1000 ⁴⁾
同 上 (片面3枚 N ₃₈ , P ₂₀)	255	325	360 ⁴⁾

1) N₃₈…釘番号, P₂₀…釘打間隔 20 cm.

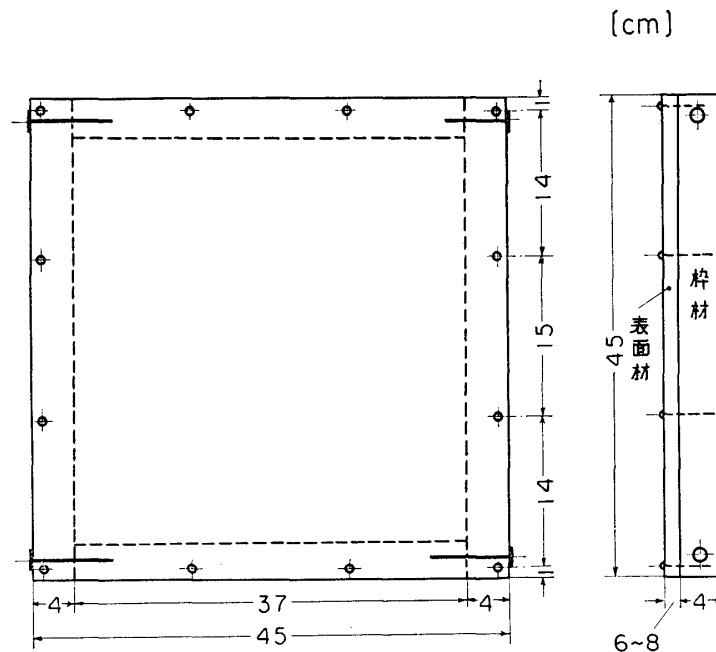
2) P_{100,60}…パネル変形 1/100, 1/60 rad. におけるパネルせん断耐力

3) P_m…破壊耐力

4) グラフから筆者が推定した概略値

そこで、われわれの研究室では、数年前この問題をとりあげることを企画した。耐候性試験としては、実験室的な促進試験方法もあるが、これと長期戸外暴露試験との相関性については、まだいろいろ問題があるので、実際の戸外暴露試験を行なうことにしたが、実物大のパネルで戸外暴露試験を実施することはいろいろの都合でとうてい出来ないで、模型パネルによることにした。模型パネルは耐力や剛性の測定ができるだけ簡単にできること、また合板の厚さ、釘の寸法、釘打間隔などはなるべく実際に近いものを使用すること、パネル耐力があまり実際の値とかけ離れないことが望ましいことなど、いろいろの条件を考慮した結果、第1図のような辺長 45cm の正方形を採用することとした。すなわち

下地 フレーム：断面 4×4 cm² の western hemlock (*Tsuga heterophylla* Sarg?),
隅は単なる突付けで、直径約 4.3 mm, 長



第1図 パネルの詳細図

さ約 10 cm の釘打, したがって枠自体の剛性はほとんどない。

フェイス：等厚 3 プライ、公称厚さ 8 mm (実測約 7.7 mm) のフェノール樹脂接着ラワン合板。一部は表面塗装および resin paper overlay, また一部にはハードボード (気乾比重 0.97, 厚さ 6.7 mm) を用いた。

フレームとフェイスの接合方法：

満久：木質耐力壁パネルの耐候性

釘打：直径 2.15 mm, 全長約 45 mm の釘を 14~15 cm 間隔に autonailer で打込んだ。

プレス接着：常温硬化フェノールレゾルシノール接着剤を使用

釘打接着：上述の釘打と接着剤の併用。

第6表備考に簡単な説明をつけた。

このパネルは上面および両側面をシールしてパネル表面だけが大气に暴露されるように枠にはめ、現在当研究所の構内で field test 中であり、計画としては最長30年までの暴露を予定している（写真1）。パネルの耐力、剛性の測定法や測定結果などについては適宜、機会をみて詳しく報告する予定であるが、本文では1~2年暴露の結果をもとにして若干この問題にふれてみたい。

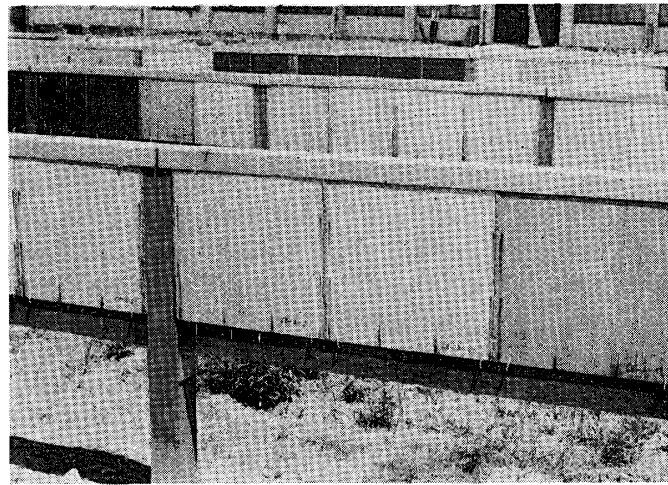


写真1 フィールドテスト中のモデル壁パネル

第2表は対角線圧縮法で求めたパネルの耐力を示したもので、この小型模型パネルの初期のせん断耐力は

釘打パネル（合板フェイス）	628 kg/m
プレス接着パネル（ 〃 ）	2740
釘打接着パネル（ 〃 ）	2895~3200
同 上（ハードボードフェイス）	3320

となっている。それではこの種の実物大パネルは一体どの程度のせん断耐力をもっているだろうか？ これは、もちろん、パネル構成の如何によってかなり幅の広い値を示すであろうが、たとえば山井⁴⁾が幅 90 cm, 高さ 240 cm のいろいろの形のスプルー下地フレームの両面に、厚さ 6 mm のラワン合板をいろいろの方法で接合比較した応力パネルのせん断耐力の測定結果の一部を紹介すると第3表のごとくである。また、第4表は杉山⁵⁾がいろいろの構成の幅 90 cm, 高さ 240 cm の下地フレームの片面に3プライ、4 mm 厚合板を、他面にそれぞれ3プライ、4 mm 厚合板、5プライ、7.5 mm 厚合板および厚さ 3 mm の合板とセメントアスベスト板をプレス接着した（いずれも尿素樹脂接着）応力パネル、第5表は下地フレームの両面に3プライ、4 mm 厚合板を釘打、プレス接着、釘打接着した応力パネルの耐力を比較した結果の一部である。

パネル耐力は、いうまでもなく下地フレーム材の樹種、断面寸法、構成、接合法、フレームとフェイスの接合法その他、あるいは破壊状態などによっても大きな影響をうけるから、これらの測定結果を全部一律に比較することはできないが、釘打小型模型パネルの耐力は、釘の大きさ、釘打間隔などを考慮した場合、実物大パネルの耐力とはほぼ同じオーダーの値を示しているといえよう。またプレス接着および釘打接着パネルは従来の多くの実験結果から耐力にあまり差のないことが明かにされているから、これを一括して考えると、

第2表 暴露前後のパネルせん断耐力

パネル の種類	初期せん断 耐力 P_0 kg/m		1年ばくろ後の せん断耐力・比率		2年ばくろ後の せん断耐力・比率	
			P_1 kg/m	P_1/P_0 %	P_2 kg/m	P_2/P_0 %
A	628	南 面	604	96.8	613	97.7
		北 面	608	96.8		
		平 均	606	96.5		
B	2740	南 面	2440	89.1	651	104.0
		北 面	2630	96.1		
		平 均	2535	92.5		
C	2960	南 面	2440	82.5	632	101.0
		北 面	2720	91.8		
		平 均	2580	87.1		
D	3120	南 面	2675	85.6		
		北 面	2985	95.8		
		平 均	2830	90.7		
E	3200	南 面	3155	98.5		
		北 面	3015	94.1		
		平 均	3085	96.5		
G	2895	南 面	2680	92.6		
		北 面	3170	109.6		
		平 均	2925	101.1		
K	3320	南 面	2430	73.2		
		北 面	2605	78.5		
		平 均	2518	75.8		

第3表 各種木質壁パネルのせん断耐力

フェイス合板の接合方法	P_{100} せん断耐力 kg/m	P_m せん断耐力 kg/m
釘打 N_{25} , $P_{7.5}$	485~ 670	550~ 700
プレス接着(レゾルシノール樹脂)	1290~1730	1555~3220
釘打接着 (上記併用)	1160~1730	1445~2500

符号は第1表と同様

第4表 各種木質壁パネルのせん断耐力

フェイス		せん断耐力 kg/m	
一 面	他 面	P_{200}	P_m
3 プライ	3 プライ 4mm 合板	450	660
4mm	5 プライ 7.5mm 合板	450	930
合 板	{ 3mm 合 板	500	880
	{ 3mm 石綿板		

第5表 各種木質壁パネルのせん断耐力

接 合 方 法	せん断耐力 kg/m
釘打 (D ₁) N ₂₁ , P ₁₀	270 ¹⁾
プレス接着 (A ₂) 尿素樹脂	770 ²⁾
釘打接着 (A ₂) 同上併用	710 ¹⁾

1) グラフから筆者が推定した値

2) 総平均値

横型パネルの値は実物大パネルのそれと比較した場合、そう桁外れの値ではなく、とくに山井の値⁴⁾とは驚くほどよく一致している。これらを比較総合して、小型模型パネルによる耐候性性能の観察は、耐力の点から見て実物大パネルのそれにかなり沿うものであると考えることができよう。以下第2表によってフェイスと下地フレームの接合方法やフェイスの表面処理などが耐候性とどのような関係をもつか調べてみよう。

(1) フェイスと下地フレームの接合法の影響

パネル A, B, C, を比較すると、その初期せん断耐力は従来の定説通り、プレス接着と釘打接着パネルにはあまり差がなく、両者は釘打パネルのそれより断然大きく約4.5倍である。

1年暴露後の耐力の比率は、どのパネルも90%前後またはそれ以上であるが、数字だけをみれば釘打が最もよく、釘打接着パネルが最も悪いといえよう。釘打パネルは2年暴露後も耐力の劣化はほとんどみとめられず、ほぼ初期の耐力と変らない。釘打の場合、荷重がますとフェイス合板は下地フレームの変形に応じきれないため、釘頭付近のせん断的変形がおこり、釘頭が曲り一部はフェイス合板にくいこんでくる。釘頭の曲りかたは場所によって様ではないが、引張対角線上の釘頭はあきらかに対角線にそって内側に、圧縮対角線上の釘頭は反対に外側に曲がり、1年暴露、2年暴露でも同様の現象があらわれている。山井³⁾の実験でも同様のことが認められている。この事を逆にいえば、フェイス合板も釘の引抜抵抗もこの程度の暴露では本質的に劣化しないことを意味する。

釘の引抜抵抗の耐候性あるいは乾湿繰返しの影響については多くの報告⁶⁾があるが、SENFT⁷⁾らの最近の報告によると、初期含水率が5%および20%の Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) と red oak (?) にいろいろの釘を打ちこみ、それぞれ含水率20%および5%に増減する乾湿繰返しをかなり長期(約2年)にわたって与えた結果では、釘の引抜抵抗は腐食によってむしろ若干増加することが認められており、これらの資料からみても、本実験の範囲では釘の引抜抵抗は低下していないと考えるのが妥当であろう。これに対してプレス接着および釘打接着パネルではフェイス合板とフレーム間のせん断的変形がゆるされず大部分が H.P. シェル形の座屈破壊またはせん断破壊をしめし、ハードボードパネルではボード自体の層間せん断破壊が多いのが特長的である。

さてこの種のパネルとくに釘打パネルの場合、荷重-変位曲線は文字通り曲線であって、一般に直線部分はほとんど認められないため、そのどの部分をとるかによって剛性率の値がかなり違ってくる。われわれは荷重と変位がかなり比例的であると思われる点で剛性率を求めたが、結果的には変位の非常に小さい区間での値となった。剛性率の測定には比較のため対角線圧縮法以外に一部にラッキング法を採用した。第6表には前者の測定値だけを示したが、以上のような理由で、数字にはあまり細かくこだわらないで、大体の傾向をみるための参考資料程度にとどめたい。さてそのような意味で第6表の初期剛性率をみるとやはり釘打パネルが最も低い。プレス接着と釘打接着パネルの剛性についてははたして有意差があるかどうかははっきりいえない。

暴露1年における釘打パネルの剛性の低下は他のパネルに比較してかなり大きい。釘の引抜抵抗がこの程度の暴露ではむしろ初期のそれより増加しているであろうこと、またパネル耐力が暴露1年でもほとんど低

第6表 ばくろ前後のパネル剛性率

パネル の種類		初期剛性率 $G_0 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	1年ばく露後の剛性率 $G_1 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	$G_1/G_0 \times 100\%$	備 考
A	南 面	0.489	0.0957	19.6	釘打ち
	北 面	0.506	0.130	25.7	
	平 均	<u>0.498</u>	<u>0.113</u>	<u>22.8</u>	
B	南 面	0.704	0.559	79.4	プレス接着
	北 面	0.720	0.503	69.9	
	平 均	<u>0.712</u>	<u>0.531</u>	<u>74.6</u>	
C	南 面	0.982	0.644	65.6	釘打接着
	北 面	0.784	0.583	74.4	
	平 均	<u>0.883</u>	<u>0.614</u>	<u>69.5</u>	
D	南 面	0.711	0.583	82.0	釘打接着 塗 装
	北 面	0.715	0.563	78.7	
	平 均	<u>0.713</u>	<u>0.573</u>	<u>80.4</u>	
E	南 面	0.911	0.729	80.0	釘打接着 オーバーレイ
	北 面	0.841	0.698	83.0	
	平 均	<u>0.876</u>	<u>0.714</u>	<u>81.5</u>	
G	南 面	0.784	0.694	88.5	釘打接着 塗 装 U-groove
	北 面	0.709	0.622	87.7	
	平 均	<u>0.747</u>	<u>0.658</u>	<u>88.1</u>	
K	南 面	2.86	1.40	49.0	釘打接着 ハードボード
	北 面	2.95	2.44	82.7	
	平 均	<u>2.91</u>	<u>1.92</u>	<u>66.0</u>	

下していないことを考えれば、この剛性の低下は主として釘頭付近のわずかのゆるみが影響しているものと考えられる。さきに述べたように、この種のパネルの剛性率の測定値はかなりバラツキが予想されるので、今後長期間の暴露挙動を観察したうえで改めて考察を加えたいと思っている。

(2) フェイスの表面処理、材質の影響

第2表の C, D, E, G を比較した場合、初期のせん断耐力にはほとんど差がないが、暴露1年後ではやはり表面無処理パネルの劣化がやや大きく、表面処理をしたものがわずかに秀れているようである。表面処理の種類による差異はまだ現われていない。それでも、いずれも比率は90%前後またはそれ以上である。

ハードボードパネルの初期耐力は合板パネルのそれにまさるとも劣らないといえるが、耐候性は合板パネルのそれよりかなり落ちるようである。これが今後長期の暴露によってどのような挙動を示すか興味もたれる。

合板パネルについて表面処理の剛性率におよぼす影響をみると、初期の剛性率はバラツキが大きく傾向をつかむことはむづかしいが、1年暴露の結果では明らかに表面処理パネルの耐候性が無処理パネルのそれよりややまざっていることが認められる。

ハードボードパネルの初期剛性率は抜群にすぐれているが、南北両面の平均的耐候性は合板のそれよりかなり劣っている。合板パネルの場合、南面と北面の差は耐力、剛性率ともに、きわめて少く、ハードボードも耐力ではそれほど差はないが、剛性率は北面の耐候性が合板なみであるのに対して南面の劣化が著しい。

満久：木質耐力壁パネルの耐候性

この特異な現象が本質的なものかどうか、今後の経過を眺めることにしたい。

筆者の知る範囲では、この種のパネルのせん断耐力の耐候性に関する報告はないが、北米の林産研究所が1947年に各種の サンドイッチパネル で組立てたモデルハウスによるパネルの耐候性試験の結果の一部を第7, 8表に紹介しておく。このモデルハウスは冬期には室内温度を $65^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{F}$ に、また湿度は実際生活のそれに似たように調節されたもので、パネルの一部は適宜取外して曲げ剛性、強度、そりなどを調べ、必要に応じて新しいパネルを補充してきたが、1968年には一応全パネルを取外して各種の測定を行なった後、他へ移転された。この結果をみると wall panel ではアルミ、ペーパーボード、テンパードハードボードをフェイスとするパネルの曲げ強度の劣化が目立つが、roof panel, floor panel の剛性はほとんど低下していないことが認められる。同研究所では1935年と1937年にもダグラスファーの下地フレームにダグラスファー合板やハードボードなどをプレス接着または釘打接着した応力パネルによるモデルハウスを建て25年後の1962

第7表 Sandwich wall panel の耐候性

フェイス	コア	接着	曲 げ 撓 み ⁴⁾				曲 げ 強 度 ⁵⁾			
			初 期 時	ばく露後 時	低下率 %	ばく露間 年	初 期 psf	ばく露後 psf	低下率 %	ばく露間 年
1/4" 合 板 ¹⁾	コルゲート ³⁾	フェノール系 常 温	0.121	0.117	3	21	263	365	-38	15
0.1" ペーパー ²⁾ ボ ー ド	ハネカム	"	0.302	0.291	4	7	118	76	21	1
0.02" アルミ	"	フェノール ビニール系	0.370	0.361	2	21	200	160	20	15
1/2" セミハード	"	フェノール 常 温	0.268	0.246	8	6	123	155	-26	6
1/8 テンパード ボ ー ド	"	感圧系 ニップロール	0.286	0.309	-9	6	109	84	23	6
1/8" 硬 質 ハードボード	コルゲート	フェノール レゾルシノー ル 熱圧	0.245	0.249	-2	20	201	200	0	20

1) レジンペーパーオーバーレイ、ダグラスファー

2) ポリエチレンフィルムによる積層

3) 直交コルゲート

4) 設計荷重 20 psf の値

5) 4 等分点荷重からの換算

第8表 Sandwich roof panel, floor panel の耐候性

フェイス	コア	曲 げ 撓 み ²⁾				
		初 期 時	ばく露後 時	低下率 %	ばく露間 年	
Roof panel						
1/4" 合 板	コルゲート	0.361	0.357	+1	21	厚さ 4.5吋
" ¹⁾	"	0.305	0.309	-1	21	"
0.02" アルミ	ハネカム	1.085	1.110	-1	21	3.0
Floor panel						
3/8", 5 プライ合板		0.297	0.243	+18	21	厚さ 6" 4 枚の平均値

1) レジンペーパーオーバーレイ

2) 設計荷重

roof : 25 psf

floor : 40 "

アルミフェイス : 15 "

年にパネルの曲げ強度、接着性能などを調査している⁹⁾。パネルの曲げ強度については対照値がないためにはっきりしたことはいえぬが、25年の暴露後もあまり劣化していない事が推定されている。この林産研究所のある北米ワイスコンシン州の一般気候は4月～9月は温暖でその平均の木材平衡含水率は12%前後、冬期は寒く気温が零下に下る日が多いが、平均の平衡含水率は14～15%¹⁰⁾で含水率の変化は年間を通じてそれ程大きくはない。これに対してわが国の気候は一般に梅雨という木質系構造物にとっては有難くない、独特の季節があるため、太平洋側では冬期は平衡含水率12～13%、夏期には17%前後となり、日本海側ではこの高湿が冬と夏と年間2回もくりかえされ、いずれも年間の水分変化が大きく、かなり苛酷であると考えねばならないから、木質系構造物の耐候性については特に注意する必要がある。

以上木質パネルの耐候性について、筆者らが行なっているせん断耐力を中心にして、主な関連研究を紹介したが、わが国では前にも述べたように木造建築物とくにプレハブ住宅のパネル化が次第に進んでいるにもかかわらず、パネル構造の設計補準を作るための資料が十分公表されていない。1日も早くこれらの資料が集積されて立派な規準が作られることを期待している。

文 献

- 1) たとえば Douglas Fir Use Book, Western Wood Products Association (1958), G. E. PARKINS, Plywood (1962).
- 2) 満久崇麿, 木材研究 38 (1966).
- 3) 山井良三郎, 木材工業 25, 421 (1970).
- 4) 山井良三郎, 木材工業 23, 411 (1968).
- 5) 杉山英男, 鈴木克臣, 日本建築学会論文報告集173 (1970).
- 6) たとえば L. L. BOYD, A. C. DALE & H. GIESE, Agric. Eng. 31, 178 (1950), NOREN, Svenska Träfor. Trät. Medd. 158B (1968).
- 7) J. F. SENFT & S. K. SUDDARTH, For. Prod. J. 21, (4), 19 (1971).
- 8) G. E. SHERWOOD, U. S. D. A. For. Serv. Res. Paper FPL 144 (1970).
- 9) O. C. HEYER & R. F. BLOMQUIST, U. S. D. A. For. Serv. Res. Paper FPL 18 (1964).
- 10) E. C. PECK, For. Prod. J. 9, 4 (1959).