

パーティクルボード成型パネル住宅の構造耐力に関する研究

坂口 昇

§ 1. はじめに

パーティクルボードは、細かい木片を接着剤樹脂で締め固めたもので、材質は木に似て簡単に工作加工ができる。そのうえ、材木として使用できないような間伐材や廃材を原料として任意の大きさ、形状のボードが工場生産されるので、材木や合板に比べて価格が安い。良質の木材が高価になり、入手しにくくなってきた現在、木や合板にかわって家具や住宅の床板などに盛んに利用されるようになった¹⁾。そこで、このパーティクルボードを構造主体とする安価で、しかも性能にすぐれた住宅を造ることが計画された。

本研究の目的は、この計画の中にあつて、主としてパーティクルボード建物の構造性能を明らかにすることにある。パーティクルボードは、構造用素材としては全く新しいものであるから、材料特性を把握することから始まる次の3つのプロセスに沿って研究を進めた。

①パーティクルボードの力学的特性、その他構造耐力に関係する物性を把握し、耐久性を含めた許容応力度を設定する。

②許容応力度に基づいて設計・製作されたパネルが、住宅の主要構造部材としての耐力・剛性を有するか否かを試験によって調べる。

③パネルによって構成された建物が、設計の意図する



写真—1 パーティクルボード試作住宅

耐力・剛性を保有しているかどうかを実大建物の耐力実験によって検証する。

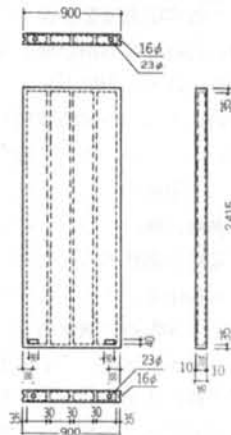
なお、本研究は建設省・通商産業省による「新住宅供給システム（ハウス55）開発プロジェクト（昭和52年～54年）」の一環として行なったものである。

§ 2. 構法

パーティクルボード成型パネルを耐力壁とする軸ボルト壁パネル構法である。基礎は鉄筋コンクリート布基礎で、2階床と2階天井は木製パネルとなっている。屋根は単なる置き屋根で、構造体として評価しないため、任意の構造・形式がとれる。

単位の壁パネルは、図—1に示すごとく厚さ1cmの表面材と幅3cmのリブ材からなる中空パネルで、全体寸法は幅90cm、高さ240cm、厚さ9cmとなっている。パネル1枚当りの重量は約50kgで、人が2人で簡単に扱える重さ、大きさになっている。

構法の概要を図—2に示す。上下につながる壁パネルを基礎から天井パネルまでつながる通し軸ボルトで固定



図—1 単位パネル図

し、左右に隣り合う壁パネルの間には、上部からスクリューボルトと呼ぶφ20、長さ600mmの特製ボルトをねじ込むことにより、互いの壁パネルにせん断力を伝達させる。また、壁パネルと土台、壁パネルと天井、床の間にはパイプを挿入して、シャーキーとして互にせん断力を伝達させる。この構法は、現場で組み立てるとき壁パネル表面での作業がないため、仕上げをすべて工場で行なえる利点がある。

今回使用したパーティクルボードは、厚さ0.3~0.5mm長さ20mmの針状のラワンシェービングチップと、製材工場のプレーナー屑(杉、桧が多い)を1:1の割合で混合し、フェノール樹脂を塗布して(含脂率13%)、温度180℃、圧力37kg/cm²でプレスしたものである。なおプレス機にはリブ用の溝があり、表面材とリブ材が一体に成型されるところが今回のパネルの大きい特徴となっている。

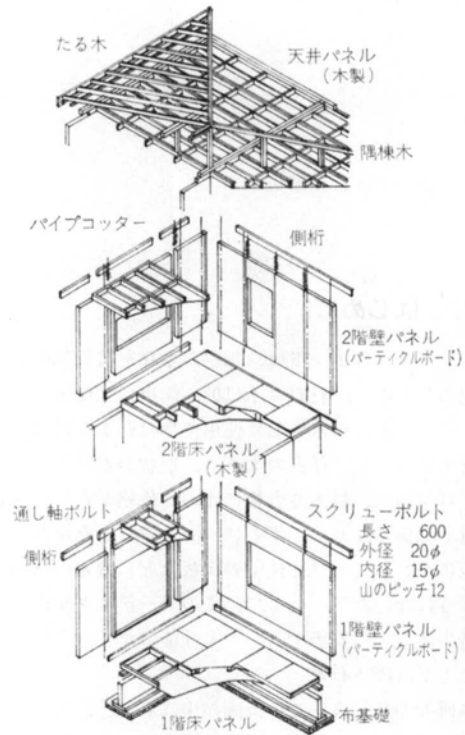
§ 3. 許容応力度

3.1 許容応力度誘導における考え方

いうまでもなく、パネル断面寸法や接合部の決定など構造設計を行なう場合、その基本となるものは材料の許容応力度である。しかし、パーティクルボードには曲げ強度に関する若干の規準²⁾があるものの、圧縮、引張、せん断といった構造用素材として不可欠な応力に対する規準が全く無い。そこで今回、木材の場合に準じて³⁾、パーティクルボードの許容応力度の誘導体系を次のように考えた。

木材の場合、無欠点材の小型試験片の標準試験による強度から基準強度を求め、強度を低減させる影響因子による低減係数を乗じて許容応力度を誘導している。具体的には、短期応力時に部材の変形が急増しないことが必要であるとの趣旨から、許容応力度としてはほぼ比例限度にとり、長期応力時、すなわち長時間加わる荷重に対しては材が破壊しないことが必要という趣旨から、許容応力度としてはクリープ限度をとっている。それに材の欠点(たとえば節や丸身、繊維の傾斜)による低減係数を掛ける。さらに、常時湿潤状態にあるものに対しては30%の強度低減や、直接雨露にさらされるものに対してはその状況に応じて最大20%の低減を規定している。

しかし、自然に産する木材と違って工場生産にかかるパーティクルボードでは、製品のばらつきを考慮する必要はあるが、欠点による低減は必要ないであろう。そのかわり、木材では考慮されていない材質の変化、すなわ



図一2 構法の概要

ち劣化による強度の低下を見込む必要がある。また、湿気や水分による強度の低減は、木材の場合と同様に重要である。以上のことを考慮して、パーティクルボードの許容応力度を次式によって算定する。

$$(短期) \quad sf = F_0 \times f_1 \times (f_2 \times m_2) \times (f_4 \times m_4) \quad \dots\dots(1)$$

$$(長期) \quad lf = F_0 \times f_1 \times (f_3 \times m_3) \times (f_4 \times m_4) \quad \dots\dots(2)$$

ここで、

sf : 短期許容応力度

lf : 長期許容応力度

F_0 : 標準試験による基準破壊強度

f_1 : ばらつきによる低減係数

f_2 : 比例限度係数

m_2 : 比例限度の湿度・含水率による低減係数

f_3 : クリープ破壊限度による低減係数

m_3 : クリープ破壊限度の湿度・含水率による低減係数

f_4 : 耐久性に関する低減係数

m_4 : 耐久性に影響をおよぼす因子による低減係数

3.2 ヤング係数の考え方

ヤング係数の誘導体系も許容応力度の場合と同様、標準試験による基準値に各種の低減係数をかけて求める。

$$(短期) \quad sE = E_0 \times f_1' \times m_2' \times (f_4' \times m_4') \quad \dots\dots(3)$$

$$(長期) \quad lE = E_0 \times f_1' \times (f_3' \times m_3') \times (f_4' \times m_4') \quad \dots\dots(4)$$

ここで、

sE : 短期ヤング係数

lE : 長期ヤング係数

E_0 : 標準試験による基準ヤング係数

f_1' : ばらつきによる低減係数

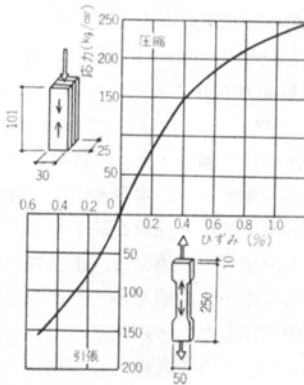
m_2' : ヤング係数の湿度・含水率による低減係数

f_3' : クリープ変形限度による低減係数

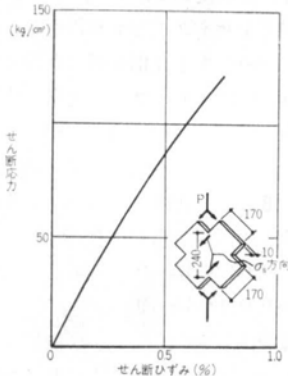
m_3' : クリープ変形限度の湿度・含水率による低減係数

f_4' : 耐久性に関する低減係数

m_4' : 耐久性に影響をおよぼす因子による低減係数



図—3 応力—ひずみ (圧縮および引張)



図—4 応力—ひずみ (表面材, セン断)

3.3 強度試験

(1) 基準破壊強度・ヤング係数

パネルから切り出した試験片について、ASTM⁽⁴⁾やJIS⁽⁵⁾の試験方法を参考にして、曲げ、圧縮、引張、せん断等強度試験を行ない、図—3、4のような応力—ひずみ曲線が得られた。

パーティクルボードの強度・ヤング係数は比重によって異なり、また含水率によっても変化する⁽⁶⁾⁽⁷⁾。そこで全乾比重 $\rho_0=0.688$ のものが、含水率 $M_c=9\%$ のときにもつ強度・ヤング係数を基準値 F_0 、 E_0 として決める。これを表—1 に示した。なお全乾比重は、105℃のオープンで48時間乾燥させたものの比重である。全乾比重 ρ_0 のものが、含水率 M_c のときにみせる見掛けの比重 (ρ) との間には次式の関係があるので、基準破壊強度・ヤング係数は、見掛けの比重が0.75で、含水率が9%のもものがつ強度・ヤング係数ということになる。

$$\rho = (M_c + 1)\rho_0 \quad \dots\dots(5)$$

応力—ひずみ曲線から判断して、比例限度応力は破壊強度の2/3とみなせるので、 $f_2=0.67$ とした。

(2) ばらつき

パーティクルボードは、全乾比重が大きいものほど強度・ヤング係数も大きくなる。全乾比重が0.55から0.8までの試験片について、圧縮および曲げ強度試験を行な

応力の種類		基準破壊強度 F_0 (kg/cm ²)	基準ヤング係数 E_0 ($\times 10^3$ kg/cm ²)
曲	げ	231	36.2
	圧縮	チップ層に平行	177
チップ層に垂直		88	3.3
引張		150	37.5
せん断	リブ材 チップ層に平行	58	—
	リブ材 チップ層に垂直	166	—
	表面材 注) 面 内	139	16.8
部分圧縮 (リブ材)	中央集中応力 チップ層に平行	259	56.1
	中央集中応力 チップ層に垂直	144	3.4
	端部集中応力 チップ層に平行	235	10.9
	端部集中応力 チップ層に垂直	151	1.9

注) この表は全乾比重 $\rho_0=0.688$ 、含水率 $M_c=9\%$ としたものであるが、この欄だけ試験治具の関係で ρ_0 が不明である

表—1 基準破壊強度と基準ヤング係数

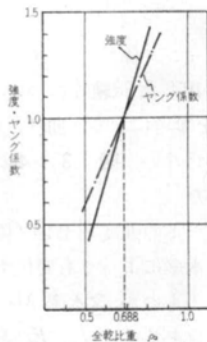


図-5 比重と強度・ヤング係数の関係

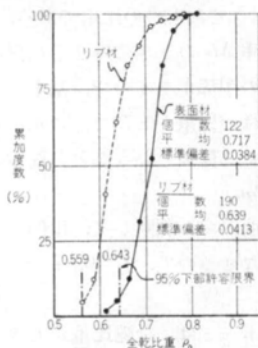


図-6 比重の累加度数曲線

った結果、図-5に示すような全乾比重 ρ_0 と強度・ヤング係数の関係が得られた。すなわち、 $\rho_0=0.688$ の場合を1として、全乾比重が ρ_0 の場合の強度・ヤング係数は次式で与えられる。

$$\sigma/\sigma_0=1+3.324(\rho_0-0.688) \quad \dots(6)$$

$$\varepsilon/\varepsilon_0=1+2.160(\rho_0-0.688) \quad \dots(7)$$

ここで、

σ, ε : 全乾比重 ρ_0 における強度およびヤング係数

σ_0, ε_0 : $\rho_0=0.688$ における強度およびヤング係数

このように、強度・ヤング係数が比重によって表わされることは、工場における品質管理上都合がよい。すなわち、強度のばらつきを調べるのにいちいち強度試験を行わずとも、比重のばらつきから求めることができる。今回のパーティクルボードの比重分布は図-6のようになっている。これより、信頼度95%における95%下部許容限界を求めると、表面材では0.643、リブ材では0.559となった。許容応力度の下限值としてこれらの比重における強度を使用すれば、ばらつきについては安心できるので、式(6)に代入して表面材では $f_1=0.85$ 、リブ材では $f_1=0.57$ となる。

ヤング係数については、最低値を保証するというより

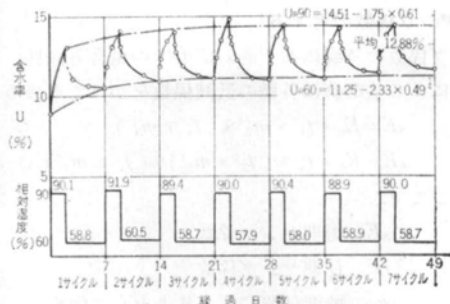


図-7 吸・脱湿繰返しによる含水率変化 (90% RH, 48hr~60% RH, 120hr=1 cycle)

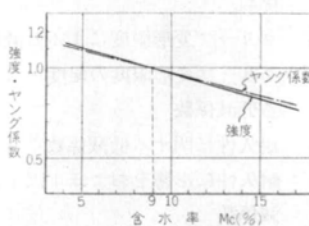


図-8 含水率と強度・ヤング係数の関係

は、むしろ最も真に近いものを用いるという考えから、平均比重のものを用いる。比重の平均値は、表面材が0.717、リブ材が0.639であるから、式(7)より表面材については $f_1'=1.06$ 、リブ材については $f_1'=0.89$ とする。

(3)含水率変化に伴う強度・ヤング係数の変化

パーティクルボードは、水分や湿気を吸収し含水率が上昇すれば強度・ヤング係数が低下する。したがって、許容応力度を決定するためには、①実際に使用される環境の中で、含水率の上限値をいくらにみればよいか、②含水率が上限に達したときの強度・ヤング係数は、基準含水率 $M_c=9\%$ のときに比べてどれくらい低下するのかの2点について知る必要がある。

まず①については、気象庁のデータから東京における6~9月の外気湿度変動を、60% RH が5日間、90% RH が2日間を1サイクルとする繰返しモデルにおき、この環境条件での含水率変化を調べた。その結果、図-7に示すようにほぼ4サイクルで定常状態になり、平均含水率は $M_c=13\%$ であることが分かる。

次に②については、含水率をかえて強度試験を行なった結果、図-8および次式で示されるような含水率と強度・ヤング係数の関係が得られた。

$$\sigma/\sigma_0=1-0.0279(M_c-9) \quad \dots(8)$$

$$\varepsilon/\varepsilon_0=1-0.0249(M_c-9) \quad \dots(9)$$

ここで、

σ, ε : 含水率 $M_c(\%)$ における強度・ヤング係数

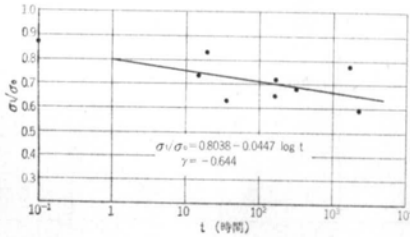


図-9 曲げ破壊強度と破壊までの時間

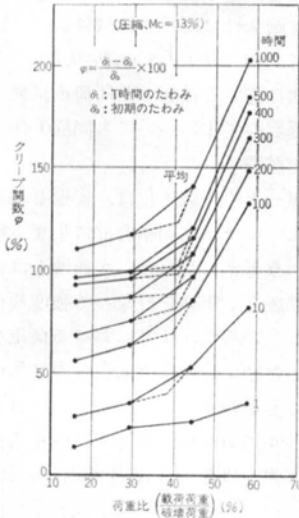


図-10 クリープ関係と荷重比

$\sigma_0, \varepsilon_0: M_c=9\%$ における強度・ヤング係数

これらの式に、使用環境下における含水率の上限值 $M_c=13\%$ を代入して、湿気・含水率による低減係数 $m_2=0.89, m_2'=0.90$ が得られた。

3.4 クリープ試験

(1) クリープ破壊限度

長期間連続して加わる荷重に対しては、応力の大きさが小さくてもクリープ現象をおこし、変形が増大し、ついには破壊することがある。したがって、長期許容応力度としてはクリープで破壊しない限度の応力に押えておく必要がある。これをクリープ破壊限度と呼ぶ。

M. Kufner 等の研究⁹⁾によれば、荷重継続時間の対数と破壊強度との関係は直線で表わされる。今回のパーティクルボードについて曲げクリープ試験を行なった結果、図-9に示すような破壊する応力と破壊までの時間の関係が得られた。データは少ないが、ほぼ直線関係が認められる。

$$\sigma_t = (0.8039 - 0.0447 \log t) \cdot \sigma_0 \quad \dots (10)$$

ここで、

σ_t : 連続荷重時間 t (時間) に対する破壊強度

σ_0 : 静的破壊強度

建物の耐用年数を30年とすれば、この間に破壊しない応力レベルは $\sigma_t/\sigma_0=0.56$ となる。

一方、杉山博士はクリープ関数の変化からクリープ破壊限度を求める方法を提案している⁹⁾。これは図-10に示すごとく、「縦軸にクリープ関数(継続荷重試験開始時の初期弾性変形に対するクリープ変形の百分比, 初期変形に塑性変形が含まれているときは塑性変形に等しいクリープ変形が初めから存在するというように考える)を、横軸に荷重比(継続荷重の推定静的破壊荷重に対する比で百分比で表わす)をとり、ある経過時間における両者の関係をプロットし、傾斜の異なる2つの折線の交点としてクリープ限度を決める」ものである。今回の試験では、荷重比が40%の点でクリープ関数の変化がみられるので、クリープ破壊限度としては $(f_3 \times m_3) = 0.4$ とした。

(2) クリープ変形限度

長期ヤング係数は、長期荷重によって部材が耐用年数中に達するであろうクリープ変形量を算定するためのものである。したがって、クリープ試験によって初期弾性変形に対して何倍の変形に達するかを知る必要がある。

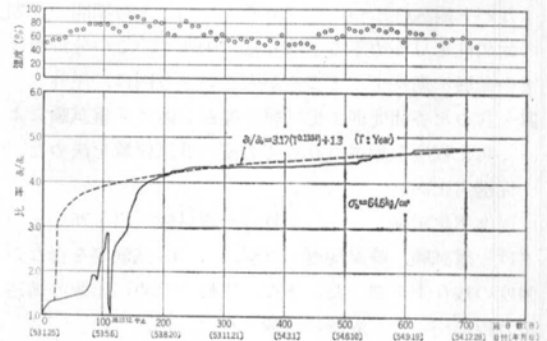


図-11 素材の曲げクリープ

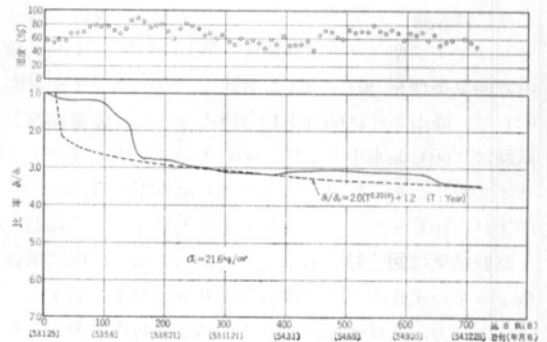


図-12 素材の圧縮クリープ

今回のパーティクルボードについて、荷重経過日数(t)とクリープ変形比(荷重日数のときの変形量の初期弾性変形に対する比)の関係を示す。また、上段に試験室の湿度変動を示してある。図から明らかなように、夏の高湿度期に急激にクリープ量が増大し、冬の乾燥期に安定する。したがって、1年を単位としてクリープを論じるべきである。最初の1年間で大きく増加したクリープ量は、2年目以後その増加速度が遅くなるのがわかる。安定期に入る点を結んでみると、次式が当てはまるようである。

$$(曲げ) \quad \delta_T/\delta_0 = 1.3 + 3.17T^{0.1334} \quad \dots\dots(1)$$

$$(圧縮) \quad \delta_T/\delta_0 = 1.2 + 2.00T^{0.2016} \quad \dots\dots(2)$$

ここで、 T は経過年数をとる。 $T=30$ 年を代入すれば曲げクリープについては $\delta_{30}/\delta_0=6.29$ 、圧縮クリープについては $\delta_{30}/\delta_0=5.17$ となる。したがって、長期ヤング係数のクリープ変形限度係数はこれらの逆数をとって、曲げが0.16、圧縮が0.19とすべきであるが、実際には仕上げ材料などによって含水率変動が緩和されると考え、今回は一応($f_3' \times m_3'$)=0.2と設定した。

3.5 耐久性試験

パーティクルボードを構造用材料として使用するに当たって最も懸念されることは、長期にわたる強度の劣化、すなわち耐久性についてである。しかし、短期間で長期の耐久性を見極めることは非常に困難で、この分野の今後の発展に期待するところが大きい。今回は、屋外ばく露を含めた各種促進劣化試験と繰返し曲げ荷重試験によって劣化程度を調べ、許容応力度の低減係数を決めた。

(1)促進劣化試験

促進劣化試験として、屋外ばく露試験、ウェザーメータばく露試験、乾湿繰返し試験、V313試験等を行ない強度の残存率を調べた。また、比較のために市販の構造用合板についても同時に試験を行なった。

屋外ばく露は、小口をシールした30cm角の表面材を南45度にばく露したものである。ウェザーメータばく露はサンシャイン型(スガ試験機製)WE-SUNにより、槽内雰囲気条件を40℃、65%RH、ブラックパネル温度63℃で、降雨条件は60分中12分降雨とした。乾湿繰返し試験は、60℃温水中に3日、60℃オープン中に4日を1サイクルとした。V313法は、20℃温水中3日、-12℃中1日、70℃オープン中3日を1サイクルとして繰返す。

試験結果は図-13に示すように、圧縮強度は構造用合板より早い劣化をみせ、残留率は0.5近くまで低下している。一方、曲げ強度については構造用合板と大差がなく、試験方法によってはむしろ構造用合板よりよい結果

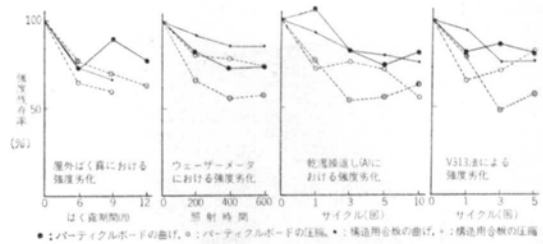


図-13 促進劣化試験による強度劣化

を示した。そこで耐久性に関する低減係数は、圧縮、引張、せん断応力については($f_4 \times m_4$)=0.55とし、曲げ応力については次に述べる繰返し曲げ荷重試験より0.85とした。ヤング係数の劣化についても同様0.70とした。

(2)繰返し曲げ荷重試験

パーティクルボードの性能劣化は、繰返し加わる荷重や水分の変動によってチップ間結合部に生ずる繰返し応力に起因するという考えに基づき、大熊博士は含水率と荷重をかえた曲げ繰返し実験を行なって強度残存率を調べる方法を提案している¹⁰⁾。住宅における荷重や湿度の日間変動を検討した結果、曲げ破壊強度の2%の応力が1日1回生ずることがわかった。そこで、十分安全をみて20%の応力レベルで70000回繰返し試験を大熊博士にお願いした結果、強度残存率0.85を得た。

3.6 許容応力度

前節までの強度試験、クリープ試験、耐久性試験の結果から、今回のパーティクルボードの許容応力度・ヤング係数を表-2のように定めた。

§ 4. 壁パネルの性能試験

4.1 壁パネルの水平せん断試験

本構法では、地震や風による横力に対して、パネルの面内せん断剛性と軸ボルトの引張耐力で抵抗することになっている。したがって、軸ボルトを含めた壁パネルの

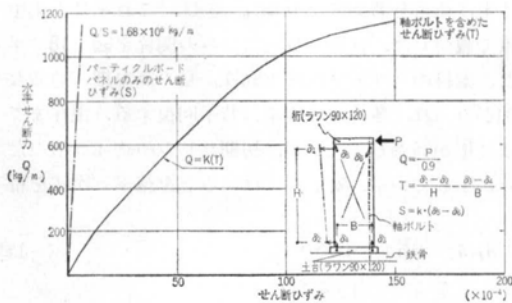
	長期許容 応力度 (kg/cm ²)		短期許容 応力度 (kg/cm ²)		長期ヤング 係 数 ($\times 10^9$ kg/cm ²)		短期ヤング 係 数 ($\times 10^9$ kg/cm ²)	
	表面材	リブ材	表面材	リブ材	表面材	リブ材	表面材	リブ材
曲 げ	62	42	93	63	5.4	4.5	24	20
圧 縮	33	22	49	33	5.2	4.4	23	20
引 張	28	19	42	28	5.5	4.6	25	11
せん断	26	21	39	31	2.5	—	11	—

表-2 パーティクルボードの許容応力度・ヤング係数

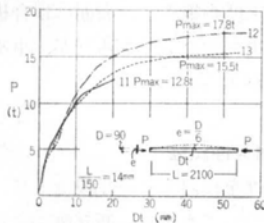
	最大耐力 (t)	特定変形時の 荷重 (t)	短期許容力 (kg)
水平せん断 耐力試験	1.245	0.545	400
軸方向圧縮試験	15.4	12.0	3830
曲げ耐力試験	3.50	1.08	1750

*) 特定変形とは、水平せん断試験ではせん断ひずみが $T=1/200$ 、軸方向圧縮試験では中央のたわみが高さの $1/150$ 、曲げ耐力試験では中央のたわみがスパンの $1/150$ をいう

表一三 壁パネルの耐力試験結果



図一四 単位壁パネルの荷重一変形曲線(壁パネルの水平せん断試験)



図一五 中央たわみと軸力の関係(壁パネル軸方向圧縮試験) 水平せん断試験によって、単位壁パネルの許容せん断耐力を明らかにしておく必要がある。試験は、JIS A 1414「パネルの面内せん断試験B¹¹⁾」に従って行なった。

試験結果を表一三および図一四に示す。図の縦軸は長さ1m当りの平均せん断力を表わし、横軸はボルトの伸びを含めた壁パネル全体のせん断ひずみ(T)と、パーティクルパネル部分のみのせん断ひずみ(S)を表わす。壁パネルのせん断変形の大部分は軸ボルトの伸びや土台の局部変形などによるもので、パーティクルパネルのせん断ひずみは全体の3%に過ぎない。すなわち、パーティクルボードパネルの剛性が大きいことがわかる。最大耐力は軸ボルトの破断で決まり、 $P_{max}=1.245$ ton、 $T=1/36$ であった。

日本建築センターの内規¹²⁾では、耐力壁の許容せん断

力を次の各荷重のうち最小のものに3/4を乗じて求めることになっている。

- ①せん断ひずみ(T)が $1/200$ ラジアンのときの荷重
 - ②最大荷重の $2/3$ の荷重
 - ③せん断ひずみが最大荷重時ひずみの $1/2$ の時の荷重
- 今回の壁パネルの短期許容耐力は①で決まり、1枚当り400kgとなった。

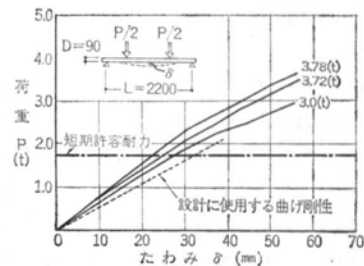
4.2 壁パネルの軸方向圧縮試験

壁パネルの軸方向圧縮耐力を調べるため、JIS A 1414「パネルの軸方向圧縮試験」を行なった。軸力と中央のたわみ(横方向変形)の関係を図一五に示す。この試験方法では加力点に偏心を与えているので、パネルは軸力によって徐々にわん曲し、中央の横変形が20~60mmに達した後、瞬間的に破壊する。3体のうち2体は表面材に沿ってリブ材がせん断破壊し、1体は曲げ破壊した。

日本建築センターの内規では、長期許容耐力は①パネル中央部の横方向変形が高さの $1/150$ に達するときの荷重、②最大耐力の $2/3$ の荷重、①と②のうちいずれか小さい値に $3/8$ を乗じたものとなっている。今回のパネルは②で決まり、3.8 ton/枚となった。設計鉛直力は最大で1.5 ton/枚と考えているので、壁パネルは長期の鉛直荷重に対して十分安全といえる。

4.3 壁パネルの曲げ耐力試験

壁パネルが面外からの風圧力に対して安全か否かを調べるため、JIS A 1414「パネルの単純曲げ試験」を行なった。荷重一たわみ曲線を図一六に示す。曲線は明確な比例限度を示さないまま、たわみが約60mm(スパンの $1/37$)に達すると急激に破断する。最大荷重の平均値は3.5 tonであった。曲げ剛性は $1.12 \times 10^8 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ であった。これより、設計に使用する曲げ剛性は $3/4$ を乗じて $0.84 \times 10^8 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ とする。日本建築センターの内規に従って算定した結果、短期許容耐力は1.75 ton/枚となった。設計荷重は速度圧 120 kg/m^2 、風力係数0.9とした場合233kg/枚であるから、短期許容耐力は設計荷重に



図一六 壁パネル曲げ試験：荷重一たわみ曲線

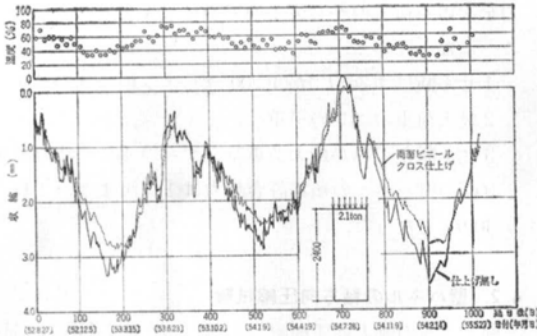


図-17 壁パネルの圧縮クリープ

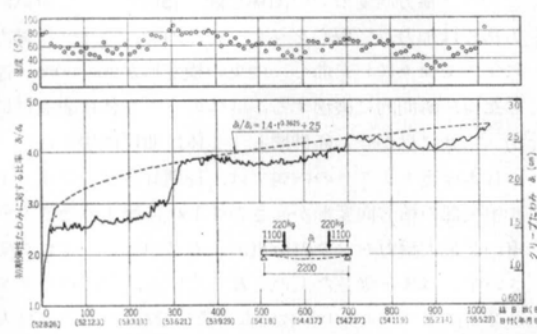


図-18 壁パネルの曲げクリープ

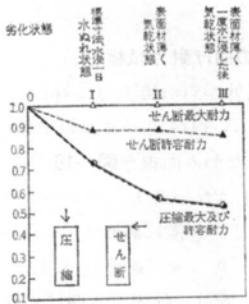


図-19 壁パネルの耐久性試験
対して7.5倍の安全率がある。

4.4 壁パネルの軸方向圧縮クリープ試験

素材のクリープ試験によってクリープ特性はかなり明確になったが、ここでは実際の壁パネルが長期荷重に対してどの程度クリープ変形をするかを調べる。設計荷重の約1.4倍の軸力2.1tonを加えて、軸方向圧縮クリープ試験を行なった。その結果、図-17のような経過日数と軸方向変形量の関係が得られた。年間の湿度変動に伴って伸縮を繰返すのみで、圧縮クリープは全く認められない。素材のクリープ試験では最初の1年間でクリープ量の大部分が進行していることからみて、今後壁パネル

のクリープが大きく進行するとは考えにくい。これは、荷重軸力による平均応力が7.37 kg/cm²と小さいためと思われる。また、湿度変動に伴う伸縮幅はほぼ±1.5mmで、構造的にはほとんど問題がないと考えられる。表面にビニールクロスをつけた場合、伸縮幅が小さくなっていることから、もっと透湿抵抗の大きい仕上げ材を使うことによってさらに伸縮変動を押えることも可能と考えられる。

4.5 パネルの曲げクリープ試験

壁パネルと同じものを1階床にも使用するため、パネルの曲げクリープ特性を調べた。荷重は、床の積載荷重と仕上げ荷重を考慮して220 kg/m²とし、これを2点集中荷重で載荷した。経過日数とたわみの関係を図-18に示した。素材のクリープ試験と同様、夏の高湿期に急激な増加がみられ、冬の乾燥期には若干回復する。現在までほぼ3年が経過しているが、初期たわみの約4.5倍のたわみが生じている。安定期にはいる点を結ぶと次式を得る。

$$\delta_T/\delta_0 = 2.5 + 1.4 T^{0.3925} \quad \dots\dots(13)$$

ここで、

δ_T : 載荷年数Tにおけるたわみ

δ_0 : 初期弾性たわみ

実際には防湿仕上げが施され、表面には合板を張るので、クリープ量は少なくなるであろうが、束や根太を適当に配置する必要がある。

4.6 壁パネルの耐久性試験

壁パネルの耐久性を検討する一手段として、故意に劣化させたパネルについて水平せん断試験および軸方向圧縮試験を行ない、劣化していないパネルに比べてどの程度強度が低下するかを調査した。ここでは、劣化現象として次の3つの場合を想定して試験を行なった。

①パーティクルボードは、水にぬれたり、湿気を吸収すると膨潤する。このとき、チップ間の距離が増大するので接着剤の結合力が弱められ、あるいは切れる。これが劣化の一因と考えられる。したがって、試験はパネル全体を24時間浸水させて、まだぬれている状態での強度を調べる。

②劣化は表面から徐々に進行するとして、仮に表面の厚さが1/2欠損したとすれば、強度はどの程度低下するか。

③表面材が半分欠損したうえに残りの半分も一度膨潤を経験し、チップ間の結合力が低下した後、再び乾燥した場合ではどうか。

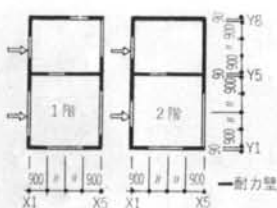


図-20 実験建物平面図

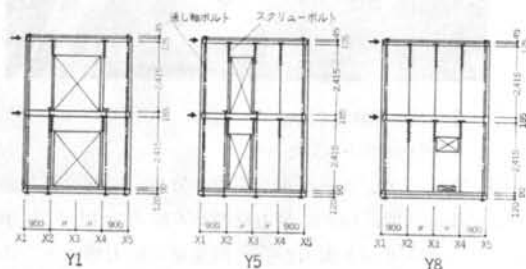


図-21 実験建物軸組図

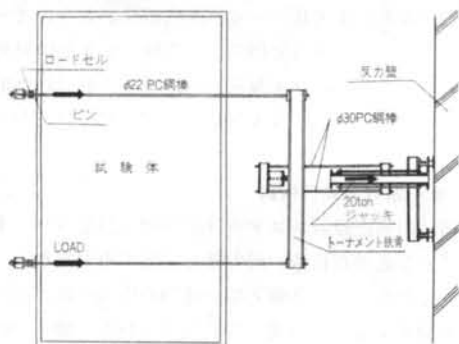


図-22 加力方法(平面図)

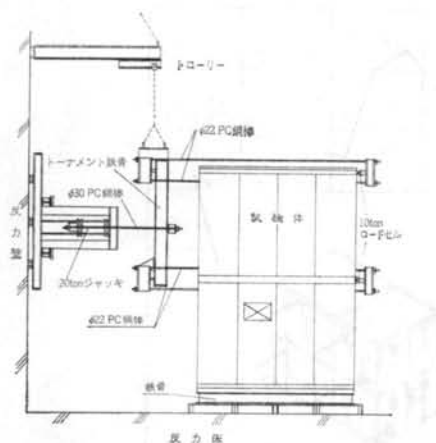


図-23 加力方法(立面図)

加力方法は4.1, 4.2と同じである。最大耐力および許容耐力の残存率を図-19に示す。軸方向圧縮試験では、劣化状態⑥で耐力、剛性ともに50%低下している。

水平せん断試験では、最大耐力は軸ボルトの破断で決まるため、パーティクルボードの劣化は全く影響していない。しかし、許容耐力については変形量で決まるので、劣化状態①, ②, ③ともにほぼ85%まで低下している。全体的にみて、パネルの劣化に対する低減率は0.5を見込めばよいようである。

§ 5. 実大建物の水平耐力実験

5.1 実験方法

実験建物は、図-20, 21に示すように6.48m×3.60mの総2階建てで延床面積は46.7㎡である。荷重は長手の面(X1面)に加わる風荷重を想定して、2階床と2階天井の高さで、端部より辺長の1/4の点、計4点に加力した。加力方法は図-22, 23に示すごとく、加力点に鉄骨を当て、床あるいは天井の上下にPC鋼棒を通し、反対側からジャッキで引張る方法をとった。荷重の検出は、各加力点に配した4個のロードセルによる。

水平外力に抵抗する構面は3つで、1階の耐力壁の数は8枚である。4.1で示されたように耐力壁1枚当りの許容せん断耐力は400kgであるから、実験建物の許容耐力は3.2tonとなる。なお、実験は大型実験棟の大反力床壁を使って行なったため、基礎は鉄骨で、沈下・浮き上がりは生じない、また屋根は無く、建具や間仕切り壁等の非構造部材は全て除いてある。

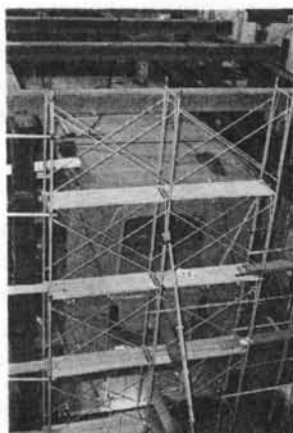
5.2 実験結果

図-24に総水平荷重 P と変形の関係を示す。変形は1階床と2階床との間の層間変形角 γ で示してある。 $P=9.1$ ton, $\gamma=1/116$ で壁パネル間に相互ずれが生じ始め、曲線の勾配が若干低下する。したがって、この点を建物の降伏点とみなす。その後、耐力はさらに上昇し、 $\gamma=1/45$ で最大耐力 $P_{max}=15.1$ tonに達し、 $\gamma=1/40$ で引張力の大きいY8構面隅のアンカーボルト、およびそれに隣接する直交壁のアンカーボルトが相続いで破断して耐力が低下した。しかし、その後も $P=12$ ton前後の耐力を保持し、 $P=13.3$ ton, $\gamma=1/27$ に至ってY1構面のアンカーボルトが破断し、耐力が11.9tonまで低下したので実験を終了した。

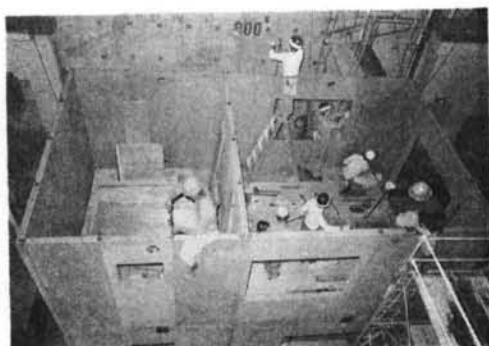
最大耐力 $P_{max}=15.1$ tonは、設計許容耐力3.2tonの約4.7倍であること、最大荷重時の層間変形角が $\gamma=1/45$ であること、 $\gamma=1/27$ に至ってもなお最大耐力の88%の耐力を有することなどは、本構造がいかに耐震耐風性にすぐれているかを示すものである。



写真一2 実験建物：1階壁パネル建方



写真一4 実大建物の耐力実験：実験終了時の状態



写真一3 実験建物：2階壁パネル建方

(スクリーボルトねじ込み)

図-25(a)にアンカーボルト張力の分布, 同(b)に天井面の水平変位状態, 同(c)に耐力壁のせん断力分担率を示す. アンカーボルト張力から, 直交壁が耐力構面と一体となって建物の剛性・耐力に大きく寄与していることがわかる. (b)から床天井パネルの面内剛性が大きいことがわかる. (c)のせん断力分担率は, 各壁パネル毎の対角線方向変形からせん断ひずみを求め, 4.1で得られた単位壁パネルのせん断ひずみ S を基に算定したものである.

5.3 せん断耐力式の検討

本構法の構造設計システムは, 建物に想定される水平外力に対し必要な枚数の耐力壁を配置する方式をとっている. したがって, 各耐力壁が建物の中でそれぞれの機能を十分果たすことが重要となる. すなわち, 建物の耐力・剛性について次式が成立しなければならない.

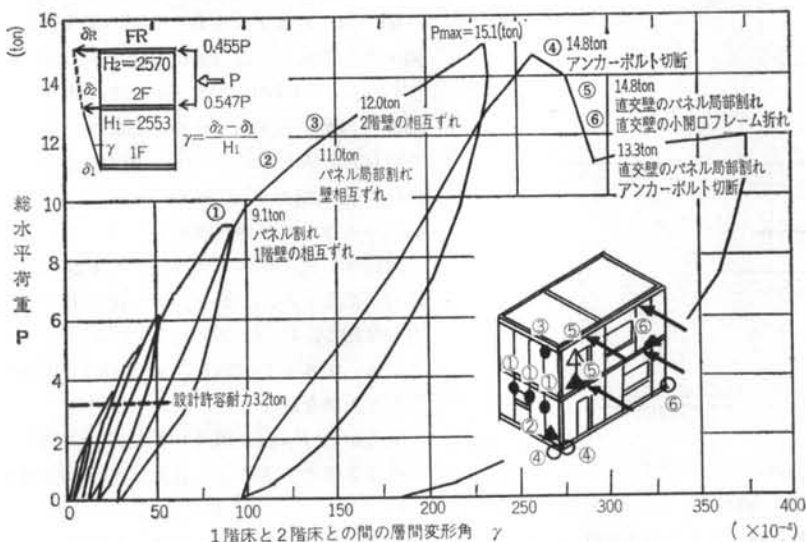


図-24 実大建物実験：荷重-変形曲線

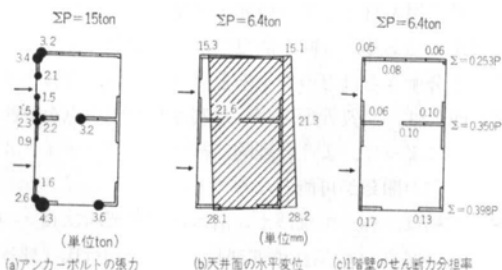
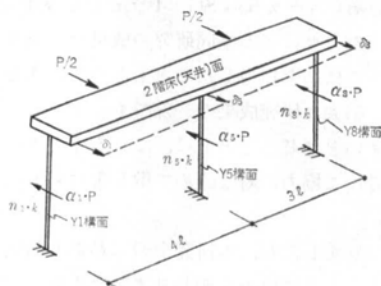


図-25 実大建物耐力実験結果



P : 層せん断力 $N = 32n_1 \cdot n_2 + 18n_2 \cdot n_3 + 98n_3 \cdot n_1$
 $K(T)$: 単位耐力壁のせん断剛性 $\alpha_1 = n_1(4n_2 + 49n_3)/N$
 $n_{1,2,3}$: 各構面内の耐力壁の数 $\alpha_2 = n_2(28n_1 + 21n_3)/N$
 $\alpha_{1,2,3}$: 各構面のせん断力分担率 $\alpha_3 = n_3(49n_1 - 3n_2)/N$

図-26 実大建物における構面のせん断力分担率

(耐力) $P_{max} \geq n \cdot Q_{max}$ (14)

(剛性) $P(T) \geq n \cdot K(T)$ (15)

ここで、 P_{max} : 建物の最大耐力

Q_{max} : 単位耐力壁の最大耐力

n : 建物に含まれる単位耐力壁の枚数

$P(T)$: 建物の剛性、すなわちせん断ひずみ T における建物の総水平せん断力

$K(T)$: 単位耐力壁の剛性、すなわちせん断ひずみ T における単位耐力壁の水平せん断力

式(14)については、 $n=8$ で 4.1 より $Q_{max}=1.245$ ton であるから、 $15.1/(8 \times 1.245)=1.5$ で成立する。

式(15)については各構面ごとに検討する。2階床、天井の面内剛性は完全剛とし、構面の剛性は耐力壁の枚数に比例するとする。力の釣合、変位条件から図-26のように各構面のせん断力分担率 α_i を算定し、次式から各構面の剛性を求める。

$$P'_i(T) = n_i \cdot K(T) / \alpha_i \quad \dots\dots(16)$$

ここで、

$P'_i(T)$: 構面の剛性、すなわちせん断ひずみ T における構面の水平せん断力 (計算値)

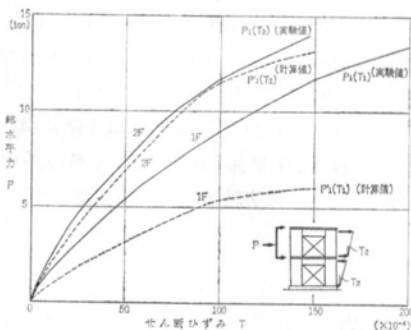


図-27 構面の荷重-変形曲線 (Y1 構面)

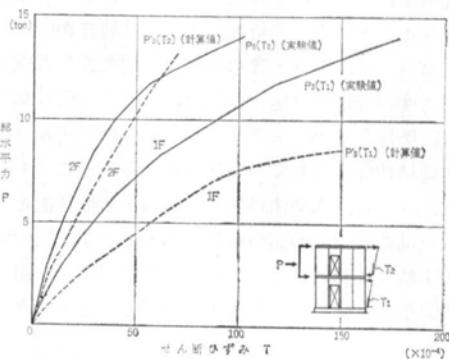


図-28 構面の荷重-変形曲線 (Y5 構面)

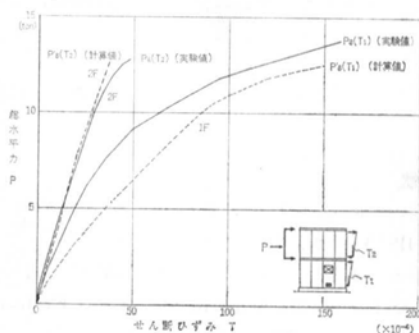


図-29 構面の荷重-変形曲線 (Y8 構面)

算値)

n_i : i 構面に含まれる耐力壁の枚数 (小開口パネルは 0.5 枚と数える)

α_i : i 構面のせん断力分担率

図-27~29に、式(16)で計算された $P'_i(T)$ と実験による構面の剛性 $P_i(T)$ との比較を示す。1階の各構面については実験値が計算値を大きく上まわっているが、2階については実験値と計算値がほぼ一致している。これは、1階構面は2階構面に押えられて変形が拘束されているうえ、直交壁の効果もあって単位パネルの場合より剛性が上がったものと考えられる。2階については単位耐力壁パネル試験に比べて足元の固定度が小さく、回転しや

すくなったことが直交壁の効果を相殺しているようである。いずれの場合についても式(10)が成立し、建物の剛性は単位壁パネルの剛性の累加式で求められることが示された。なお、式(10)のせん断力分担率 α_i は1階について、Y1 構面が0.344, Y5 構面が0.364, Y8 構面が0.292で、図-25(c)に示された実験値に近い値となっている。

§ 6. まとめ

構造用素材としては全く新しい未知の材料であるパーティクルボードの力学的特性、クリープ特性が明らかになり、ばらつき、湿度・含水率および耐久性を考慮した許容応力度の設定が可能となった。許容応力度に基づいて設計、製作されたパーティクルボード壁パネルは、住宅の主要構造部材としての要件を備えていることも実証された。さらに、本構法の建物は耐力・変形性能ともにもすぐれた構造安全性の高い建物であることが、実大建物の耐力実験で確認された。また、単位壁パネルの耐力・剛性の累加式で建物の耐力・剛性が算定できることも明らかになった。

パーティクルボードは木材資源の再利用、有効利用の面からも、今後各方面で大いに活用されるであろう。し

かし、構造用素材としての研究・開発はやっと端緒についたばかりである。今回の開発では、不確定な部分については十分すぎるほどの安全率を見込んだが、今後クリープや耐久性、品質管理といった残された問題点を解決することによって、より合理的、経済的なパーティクルボード住宅の開発が可能となるであろう。

謝辞 本稿は、丸一俊雄博士(清水建設研究所次長)のもと、三浦寛氏(建築技術部課長)、山田利行氏(建築設計部)、千田巳佐夫氏(木工場)、小林和彦氏(技術開発部)はじめ「ハウス55・SG-4プロジェクト」に関係された多くの方々による協同研究の成果を、筆者が同プロジェクトで構造を担当したこともあって、まとめたものである。膨大な研究成果の一部でもうまくまとめられておれば幸いと念じるとともに、これらの方々の方々の並々ならぬご苦勞、ご協力に対し改めて敬意をはらう次第であります。

最後になりましたが、本研究全般にわたり親切にご指導下され、多大なご協力を賜りました小原二郎博士(千葉大学教授)、岩下睦博士(農林省林業試験所)、大熊幹章博士(東京大学助教授)、佐々木光博士(京都大学教授)はじめ諸先生方に対し、ここに謹んで篤くお礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 藤山彰介, 佐野弥三郎, 岩下睦: “ファイバーボード, パーティクルボードの加工(実用木材加工全書⑦)” 森下出版
- 2) “JIS A 5908-78: パーティクルボード”
- 3) 日本建築学会: “木構造設計規準・同解説” 丸善
- 4) “ASTM D1037: Standard Methods of Evaluating the Properties of Wood-Base Fiber and Particle Materials”
- 5) “JIS Z 2101~2114: 木材の試験方法”
- 6) “複合材料技術集成” 産業技術センター(昭和51年2月)
- 7) 北原覺一, 丸山憲一郎: “ファイバーボード, パーティクルボード(実用木材加工全書⑧)” 森下出版
- 8) Max Kufner: “Das Kriechen von Holzspanplatten bei langzeitiger Biegebeanspruchung” Holz als Roh und Werkstoff, Jg. 28, Heft 11 (Nov. 1970)
- 9) 杉山英男: “木構造(建築構造学大系22)” 彰国社(昭和46年3月)
- 10) 大熊幹章: “構造用パーティクルボードの製法と材質(第2報)” 木材学会誌 Vol 22, No. 3 (1976)
- 11) “JIS A 1414: 建築用構成材(パネル)及びその構造部分の性能試験方法”
- 12) 日本建築センター: “低層建築物の構造耐力の性能評定に関する内部規定” ビルディンセンター(1977年5月)
- 13) 有馬孝禮: “木質材料のクリープ性能に関する研究(パーティクルボードの曲げクリープ)” 日本建築学会大会学術講演梗概集(昭和49年10月)
- 14) Henry Hall, J. Haypreen & B. Neise: “Creep of Particle Board and Plywood Floor Deck under Concentrated Loading” Forest Products Journal, Vol. 27, No. 5 (May 1977)