

## 集合住宅内装用ストレススキンパネルの強度性能\*

瀧野 眞二郎\*\*

### Mechanical Properties of Stressed-Skin Panels for Interior of Concrete Apartments\*

Shinjiro P. TAKINO\*\*

(昭和61年8月4日受理)

#### 1. はじめに

集合住宅に使用される内装ストレススキンパネルの性能を見極めることは、住宅の安全性ならびに質的向上の上で必要な事である。また、ラワン合板用原木や木材の枯渇に伴い、開発、採用される新しい材料や工法による内装パネルに対する安全性のチェックも必要であろう。

集合住宅に多く用いられている内装ストレススキンパネルには、床パネル、壁パネル、天井パネルならびに特殊パネル（ドア付きパネル、遮音パネル、断熱パネルおよび耐火パネル）がある。また、パネルの構成材料、特に面材料には種々のものが使用されており、床用としては合板ならびにパーティクルボード、壁用としては石コウ板がほとんどで一部合板も使用されている。本報告は特に居住安全性の見地より床パネルと壁パネルの強度性能試験結果を述べたもので、住宅建設にたずさわる方々の参考となり、住宅の質的向上に役立つならば幸甚である。

なお、試験体の作製その他に種々の便宜を賜った日本住宅パネル工業組合大阪支所および組合員各社に、また実験の遂行に際し種々御協力賜った京都大学木材研究所木質材料部門の諸氏に対し心より謝意を表す。

#### 2. 静的強度試験<sup>1)</sup>

各種の床パネルと壁パネルについてその静的強度試験を行ない、性能評価を行なった。供試パネルの表面材は、壁パネルの場合はラワン合板（厚さ 4 mm）もしくは石コウ板（厚さ 9 mm）が、床パネルの場合はラワン合板（厚さ 9 mm）がほとんどである。コア材にはベイツガ、ラワンが使われている。供試パネルの詳細図や構成等は文献 1 を参照されたい。

試験方法および評価方法は、JIS A-1414、「建材の品質基準または工法の施工基準に関する研究」<sup>2)</sup>、「低層建築物の性能評定に関する内部規定」<sup>3)</sup>、ならびに「内装ユニットパネル仕様書」<sup>4)</sup>を参照し決定した。なお試験方法としては、「面に垂直な積載荷重試験」、「面に平行な積載荷重試験」、「局部荷重試験」、「衝撃荷重試験」を行なったが、その詳細は文献 1 を参照されたい。表 1～表 4 はそれぞれの試験結果用のグレード表ならびに評価基準である。「面に垂直な積載荷重試験」はグレード 4 以上、「面に平行な積載荷重試験」はグレード 7 以上、「局部荷重試験」はグレード 4 以上、「衝撃荷重試験」はグレード 5 以上のものを合

\* 第41回木材研究所公開講演会（昭和61年5月16日、大阪）において講演

\*\* 木質材料部門（Research Section of Composite Wood）

瀧野：集合住宅内装用ストレススキンパネルの強度性能

表1 面に垂直な積載荷重のグレーディング

| グレード                         | 0 | 1 | 2    | 3  | 4  | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|------------------------------|---|---|------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 単位荷重<br>(kg/m <sup>2</sup> ) |   | 5 | 12.5 | 25 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |

破壊または著しい変形を起こす荷重より2つ前の荷重\*支持スパンの1/150のたわみに到達したときの荷重もしくはパネルの表面材が破壊したときの荷重の中で最小の荷重をパネル面積(スパン×幅)で除した単位荷重(kg/m<sup>2</sup>)について評価を行う。 \*中央たわみ5mm毎の段階繰返し荷重の場合にのみ適用

表2 面に平行な積載荷重のグレーディング

| グレード       | 0 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 重量<br>(kg) |   | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |

危険な状態になったとき、または最大変形が支持スパンの1/300に達したときの荷重の2/3の重量(kg)について評価を行う。

表3 局部荷重のグレーディング

| グレード       | 0 | 1 | 2    | 3  | 4  | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|------------|---|---|------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 荷重<br>(kg) |   | 5 | 12.5 | 25 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |

破壊荷重もしくは中央たわみがスパンの1/150に達したときの荷重のどちらか低い荷重(kg)について評価を行う。

表4 衝撃荷重のグレーディング

| グレード | 0 | 1     | 2   | 3 | 4 | 5  | 6  | 7   | 8   | 9    |
|------|---|-------|-----|---|---|----|----|-----|-----|------|
| kg・m |   | 0,003 | 0.3 | 1 | 3 | 10 | 30 | 100 | 300 | 1000 |

実用上許容し得る破損時の最高の衝撃エネルギー(kg・m)について評価を行う。

格とした。「面に垂直な積載荷重試験」ならびに「局部荷重試験」の場合たわみが支持スパンの1/150に到達した時いずれの場合も破壊等は起こらなかったためその時点での積載荷重によるグレーディングとなった。「面に平行な積載荷重試験」の場合合格ラインに達した時のたわみは支持スパンの1/300に達しなかったため載荷は75kgf~100kgfで中止した。「衝撃荷重試験」については評価基準により行なった。

図1~図4にグレーディングによるそれぞれの結果を示した。面に垂直な積載荷重に対する壁パネルの性能は、4mmラワン合板を張ったパネルの性能はおおむねグレード4程度で、9mm石コウ板を張ったパネルはほぼグレード4に評価されたが4mmラワン合板を張ったパネルより一般に低い値で、2.5mmラワン合板を張ったパネルはグレード3となった(図1)。床パネルの性能は9mmラワン合板を張ったパネルは、中横棧が3本の場合(2種)を除けばすべて(16種)グレード4以上の評価であった(図2)。

面に平行な積載荷重に対する壁パネルの性能は積載荷重75kgf~100kgfにおいてたわみはいずれのパネル(8種)もスパンの1/300よりはるかに小さく、その15%~30%位にしか達せず、すべて十分合格の評価

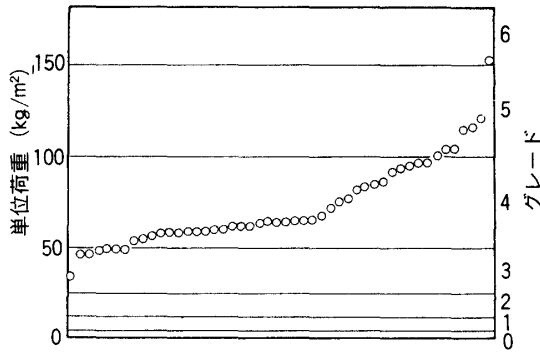


図1 面に垂直な積載荷重に対する性能—壁パネル

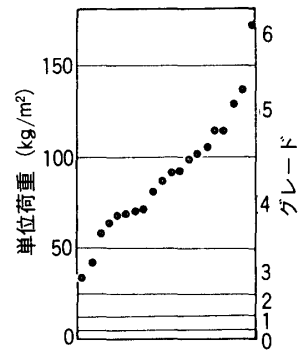


図2 面に垂直な積載荷重に対する性能—床パネル

であった。

局部荷重に対する壁パネルの性能は一部の 9 mm 石コウ板を張ったパネル (中縦棧, 中横棧ともに 1 本) を除き, 4 mm 合板ならびに 9 mm 石コウ板を張ったパネルはグレード 4 以上であった。床パネルは実際の施工状態で支持したパネル 7 種についてのみ行なった (図 3)。

衝撃荷重に対する壁パネルの性能は, 表面材に合板を用いたパネルでは面材の反発力が大きく性能評価はグレード 5 となったが, 表面材に石コウ板等を用いたものは面材の反発力が小さくグレード 5 に達しない場合が多い。床パネルは 8 種行なったが, 性能評価はグレード 4 ~ 6 となった (図 4)。

各荷重に対する性能評価を示したが, これらのグレーディングは, 実際の住宅において人間と壁や床との間に生ずる諸力, たとえば壁を足, 腰, 両手や両肩で押す, 座る, 立つ, 歩く, 走る, 跳躍する等の際の荷重<sup>5)</sup>と比べると合格ラインはかなり高いグレードとなっている。これは繰返し荷重試験や継続荷重試験を行わず, 静的強度試験のみで強度性能評価を行なう為である。

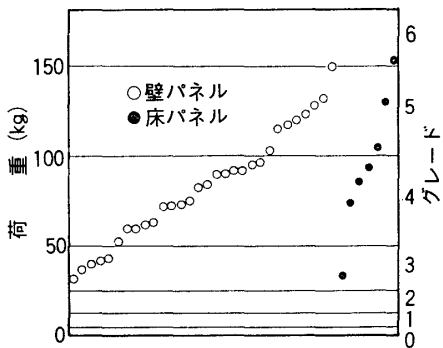


図3 局部荷重に対する性能—壁パネル・床パネル

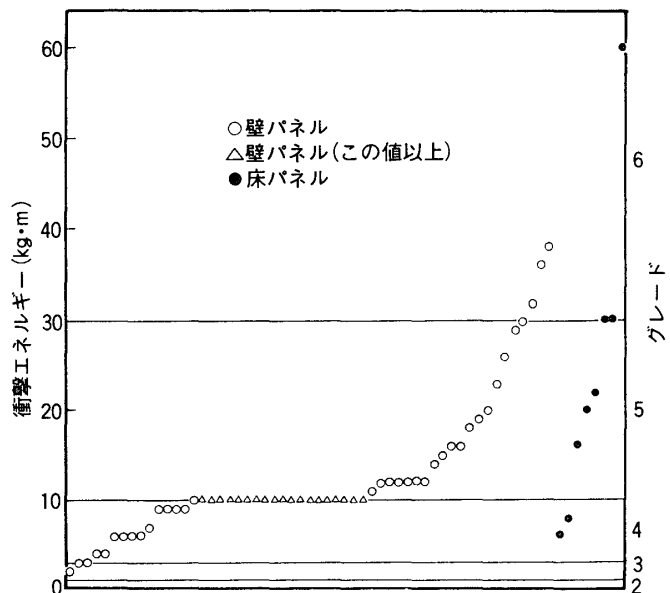


図4 衝撃荷重に対する性能—壁パネル・床パネル

### 3. 繰返し曲げ試験<sup>6,7)</sup>

合板およびパーティクルボードを面材とした片面張りストレススキン床パネルを例にとり、接着構成された木質床パネルの繰返し曲げに対する挙動を究明した。

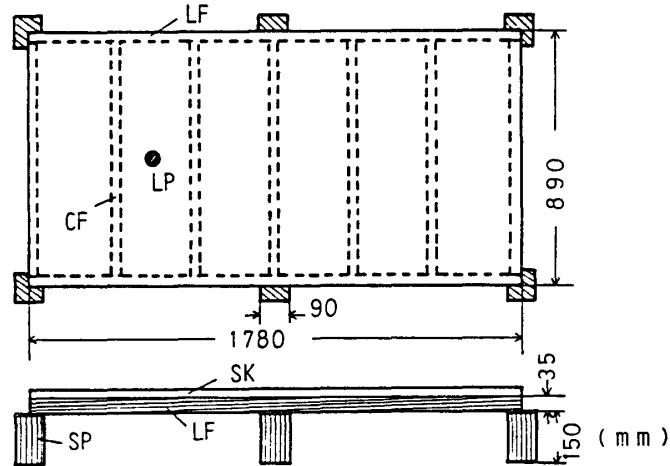


図5 木質ストレススキンパネルの形状および荷重位置  
 LP：荷重点 (80 mm $\phi$ )，SP：支持用木材ブロック，SK：面材，LF：縦枠材 (ラワン，30 mm $\times$ 35 mm)，CF：中棧 (ラワン，25 mm $\times$ 35 mm)，  
 枠材と面材は  $\alpha$ -オレフィン系接着剤にて接着。

本試験に用いたパネルは、図5に示す形状の片面張りパネルであり、面材としては1類ラワン合板 9mm厚、5プライ、フェノール樹脂接着剤使用)、耐水性パーティクルボード (12 mm厚、3層構造、フェノール樹脂接着剤使用) の2種類を用いた。枠材にはラワン材を用い、枠材と面材との接合は  $\alpha$ -オレフィン系接着剤を使用した。支持条件および荷重点も図5に示す。6点支持はコンクリート造住宅のたたみ下地用置床を参考にした支持条件である。

静的荷重試験および繰返し曲げ試験 いずれも電気油圧サーボ式疲労試験機を用いた。繰返し集中荷重は 1.2~2.5 Hz の正弦波片振りである。

静的試験結果を表5に示す。荷重の増加に伴うたわみは中棧と面材との接着はく離の進展に伴い急激に増加し、最終的に面材の打ち抜けで終局破壊に至る。繰返し試験での繰返し数の増加に伴う破壊の進展順序は、静的試験での荷重増加に伴うそれとほぼ同じである。図6~図9に繰返し荷重と破壊に至る繰返し数との関係を示しているが、図中  $P/P_0$  の  $P$  は繰返し荷重であり、 $P_0$  は静的試験での終局耐力の平均値である。

表5 ストレススキンパネルの静的試験結果

| 試験体<br>面材、試験条件 | 中央たわみ： $\delta_c$<br>(mm/100 kgf) | 曲げ剛性<br>$P/\delta_c$<br>(kgf/mm) | 終局耐力<br>(kgf) | 終局破壊形態とその試験体数比                |
|----------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------|-------------------------------|
| 合板，常態          | 5.95 (0.05)*                      | 16.8                             | 651 (0.15)*   | 荷重部打抜け：8/8                    |
| 合板，飽水          | 6.91 (0.14)                       | 14.5                             | 604 (0.19)    | 荷重部打抜け：4/5<br>打抜けと同時に縦枠破壊：1/5 |
| P B，常態         | 5.67 (0.05)                       | 17.6                             | 342 (0.06)    | 荷重部打抜け：8/8                    |
| P B，飽水         | 6.30 (0.07)                       | 15.9                             | 319 (0.17)    | 荷重部打抜け：5/5                    |

\* カッコ内は変動係数を表す

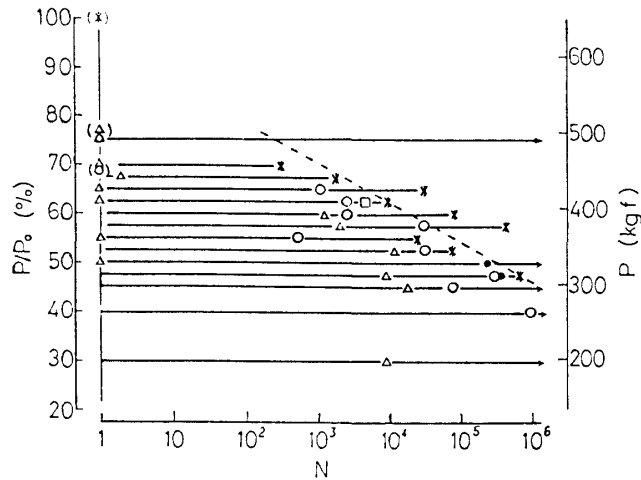


図6 合板パネルの破壊挙動と繰返し数との関係 (常態)  
 $P$ : 繰返し荷重,  $P_0$ : 終局耐力 (静的試験),  $N$ : 繰返し数,  $\Delta$ : 荷重点裏面にクラックあるいはささくれ,  $\circ$ : 面材と中棧との接着はく離,  $\square$ : 面材と縦棧との接着はく離,  $\bullet$ : 中棧の破壊,  $\blacksquare$ : 縦棧の破壊,  $\ast$ : 面材の打ち抜け, 括弧内の記号は静的試験の際の平均値を示す。

る。繰返し荷重に対する常態合板パネルの典型的な破壊の進展順序は、まず荷重点直下の面材裏面に単板のささくれが生じ ( $\Delta$ )、次に中棧と面材との接着はく離が中棧の端部で起り ( $\circ$ )、荷重の繰返しとともにはく離が進展し、最終的には面材が打ち抜け ( $\ast$ )、終局破壊に至る (図6)。常態 PB パネルの場合には、まず荷重点直下の面材裏面に割れが生じ、極くまれに中棧と面材との接着はく離が生じるが、通常はく離を経ることなく荷重点部の打ち抜けにより終局破壊に至る (図7)。

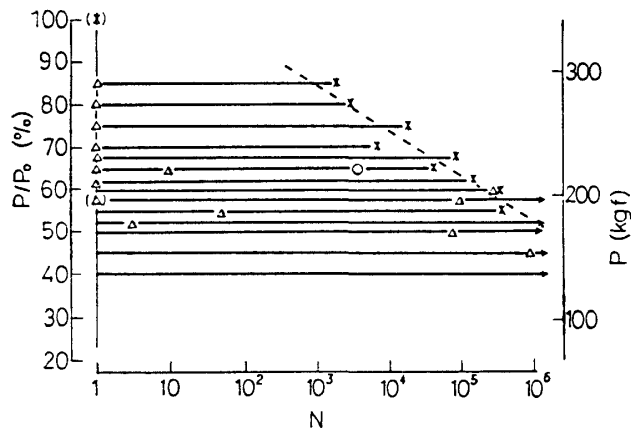


図7 パーティクルボードパネルの破壊挙動と繰返し数との関係 (常態)  
 (図6 参照)

飽水合板パネルでは、裏面単板のささくれが生じるより先に、面材と中棧との接着はく離が生じ、また打ち抜け破壊の前に縦棧材と面材との接着はく離も生じる (図8)。飽水 PB パネルにおいては、面材裏面に割れが生じた後、多くの場合、繰返し数の増加とともに中棧と面材との接着はく離が起こり、その後、荷重点部の打ち抜けで終局破壊に至る (図9)。合板, PB, いずれのパネルにおいても、飽水疲労試験では、面材と

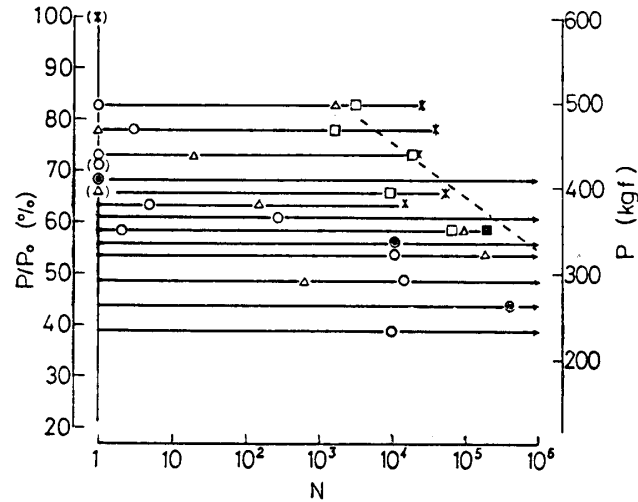


図8 合板パネルの破壊挙動と繰返し数との関係（飽水）  
（図6参照）

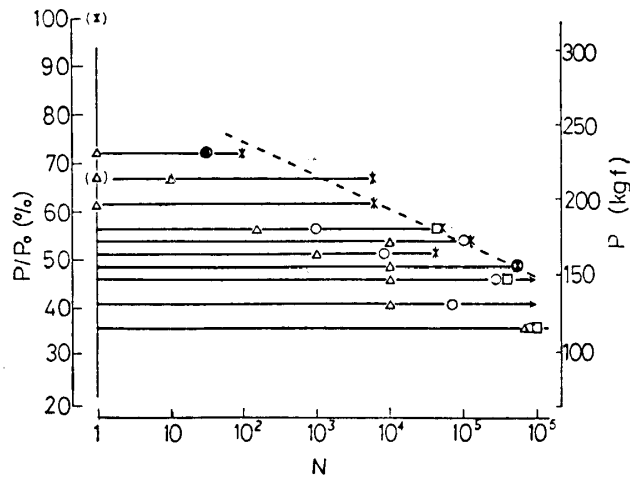


図9 パーティクルボードパネルの破壊挙動と繰返し数との関係（飽水）  
（図6参照）

中棧，面材と縦枠との接着はく離が飽水静的試験以上に生じやすくなる。これは，飽水による接着強度の低下が荷重繰返しおよび試験時間の増加（すなわち飽水時間の増加）によりさらに促進されるためと考えられる（接着接合の疲労と劣化）。ところで，常態，飽水のいずれの場合も中棧の折れや縦枠材の破壊がまれに見られるが，これらはいずれも破壊の断面形状から見てぜい心材ではないかと判断される。

住宅の床における荷重（例えば人の歩行）の繰返し限度を  $10^6$  回程度（約 100回/1日を30年）と仮定すると，常態における合板パネルの疲労限度強度は 293 kgf，PB パネルのそれは 179 kgf であり，飽水での合板パネルは 328 kgf，PB のそれは 149 kgf である。合板パネルにおいて飽水が常態より高い疲労強度となっているが，これは一つには，“荷重-たわみ曲線のヒステリシスによる発熱”が荷重付近の面材を除々に乾燥させること，もう一つには，“合板と枠材との接着はく離がたわみを増加させ，それに伴って面内力（膜応力）が外力に抵抗する主体となること”が考えられる。後者は，単純重ね（枠材と面材との接着なし）の破壊強度が接着パネルのそれとほとんど変わらないことも関連があるが，もちろん，合板強度のばらつきのためこのような結果となった可能性も否定できない。

一方、PB パネルでの飽水における疲労強度は、常態のそれに比して17%低く、静的強度の7%に比してかなり大きな低下である。このことは、パーティクル相互の結合力が、飽水あるいは水分非定常下の荷重繰返しにおいて特に劣化しやすいことを示している。ところで、上述のパネルはいずれも通常の歩行（体重の1.2~1.3倍<sup>8)</sup>）に対し疲労破壊することはない。しかしながらイスにドスンと座る（同2.6~2.9倍）とか、軽度の跳躍（6~7 cm）（同3.5~3.7倍）では、70 kg の人で 200 kgf~260 kgf の負荷となる。これに対する合板パネルの寿命はいずれも  $10^6$  回以上であるが、常態の PB はそれぞれ30万回あるいは5,500回、飽水の PB で5,000回、20回の寿命となる。実際の使用においてこのような負荷が何回生じるか検討の余地はあるが、設計に際し留意すべき事項と考えられる。

#### 4. 継続荷重試験<sup>9)</sup>

前章で繰返し曲げ試験を行なったのと同じのパネルについて継続荷重試験を行ない継続荷重に対する挙動を究明した。なお、試験体ならびに支持条件等は同一である。試験環境は、温・湿度をコントロールせず通

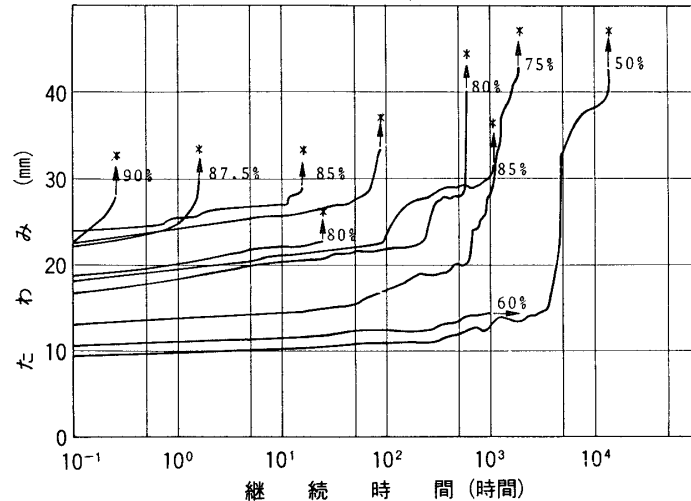


図10 継続荷重に伴うたわみ変化—パーティクルボードパネル  
図中の数字は静的強度に対する継続荷重の比 \* 終局破壊

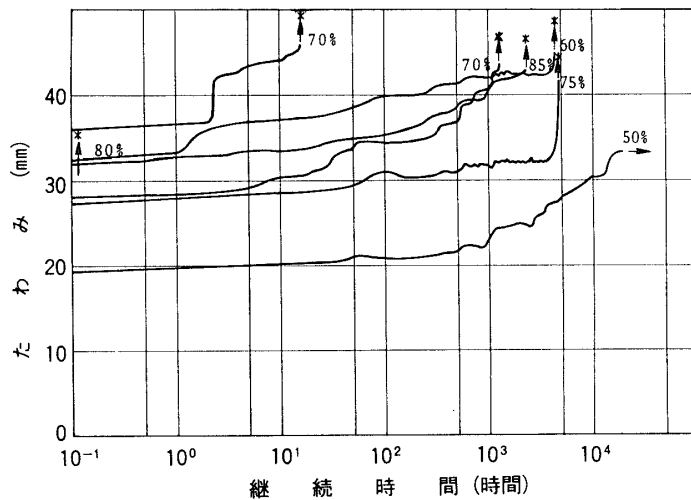


図11 継続荷重に伴うたわみ変化—合板パネル (図10参照)

常の屋内環境条件で行なった。その環境条件における、温度は 6.5°C~35°C、湿度は45%~84%の範囲であり、木材含水率で示すと 8%~17.5%であった。

荷重の継続に伴う破壊は、途中経過で中棧との接着はく離は生じず、いずれも面材の打ち抜けで最終破壊となった。荷重継続時間による継続荷重に伴うたわみ変化を図10, 11に示す。パーティクルボードパネル、合板パネルとも、たわみは最初ゆるやかに増加し、その後面材の割れに伴って急激に増加し破壊に至っている。荷重をかけたままで静止しておくならば、時間が経過しても荷重は仕事をしないはずである。にもかかわらず時間とともにたわみは増大する。たわみの増大が何によるものかを考えてみることにする<sup>10)</sup>。繰返し载荷の場合と同様、载荷によるエレメント相互の結合点移動あるいは部分的な切断が生じ、まず応力の再配分が順次行なわれる。それに伴い結合は安定的となるが、量子論的揺らぎの影響でわずかつながら結合の転移・破断が生じる。载荷が大きい程、転移確率および転移量も大きく、かつ結合破断も生じやすい。このようにして、転移→破断→分担力の再配分が時間とともに徐々に進展する。また、水分変化も内部応力の増大、水分子による転移の活性化を誘発し、エレメント相互のすべりあるいは変形を助長する。以上のような現象によりたわみは増大し、最終破壊に至るものと考えられる。

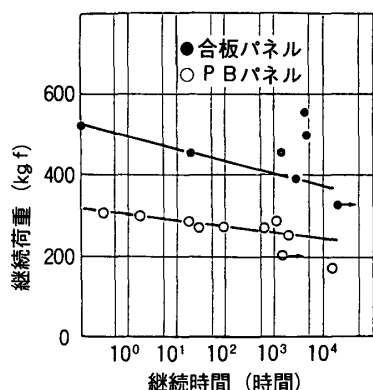


図12 クリープ破壊における継続荷重—継続時間の関係

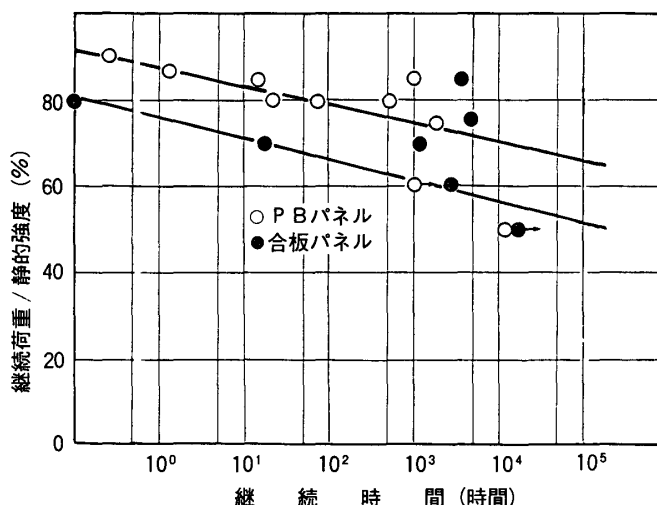


図13 クリープ破壊における継続荷重/静的強度—継続時間の関係

図12, 13に、破壊における継続荷重と継続時間との関係を示す。継続時間 10<sup>4</sup> hours における限度強度は、PB パネルで 239 kgf (静的強度の70%)、合板パネルで 365 kgf (静的強度の56%) である。継続時間を30年とし、クリープ限度強度を単純に外そうとすると、PB パネルで 219 kgf (静的強度の64%)、合板パネルで 326 kgf (静的強度の50%) となるが、これは10<sup>4</sup>時間の26倍の期間となるので他の様々な因子 (たとえば継続荷重+繰返し荷重、湿度変化等) を考慮すると明確でないと考えられる。また、住宅の床としての性能は破壊しなければ良いというだけでなく、そのたわみも重要な問題である。

## 5. おわりに

以上、各種の集合住宅用内装ストレススキンパネルの静的強度性能、ならびに面材に合板あるいはパーティクルボードを用いた片面張りストレススキンパネル床の繰返し曲げ (集中荷重) 疲労性能と継続曲げ (集中荷重) クリープ性能を評価した。各種パネルの各静的強度性能は一部を除いておおむね満足すべきグレードのものであった。合板ならびにパーティクルボードパネルの疲労性能はいずれも通常の使用に対し、



疲労破壊はもちろん疲労によるたわみ増加もほとんどないであろうことが明らかになった。一般に、静的破壊と疲労破壊の形態がほぼ同一の場合には、静的終局耐力40%以上の負荷の繰返しに対するたわみ増加はほとんどないと考えることが出来る。

クリープ性能において、継続荷重試験結果と繰返し荷重試験結果の間には、共通したところがあり、荷重継続時間の増加に伴うたわみおよび破壊の進展状況と繰返し荷重における繰返し数の増加に伴うそれとが非常によく類似している。また、クリープ限度荷重と疲労限度荷重もよく似た値であった。

なお、集合住宅の内装用ストレススキンパネルに要求される性能として破壊が起らなければ良いというだけでなく、居住性の点から見れば、継続荷重と繰返し荷重の重なり合い、すなわち食器棚、本棚等が設置された前面の歩行等が考えられ、歩行によるそれらの揺れが小さいことが必要である。住宅の床に要求される性能は、緩衝性を備えた適度な剛性であり、このような床すなわち歩行時のたわみが1~2 mm程度の床は、繰返し負荷によるたわみ増加をまず心配しなくてもよい床である。

## 文 献

- 1) 瀧野眞二郎, 佐々木光: 木材研究・資料, **17**, 206 (1983)
- 2) 日本住宅公団建築部調査研究課: (1973)
- 3) 日本建築センター: (1978)
- 4) 日本住宅公団: (1978)
- 5) 建築研究所: 昭和52年度総合プロジェクト (住宅性能) (1978)
- 6) 増田 稔, 冬木敏夫, 瀧野眞二郎, 佐々木光: 材料, **30**, 691 (1981)
- 7) 増田 稔, 瀧野眞二郎: 木材研究・資料, **18**, 131 (1983)
- 8) 増田 稔, 冬木敏夫, 瀧野眞二郎, 佐々木光: 第30回日本木材学会大会研究発表要旨集, 96 (1980)
- 9) 瀧野眞二郎, 増田 稔, 冬木敏夫: 木材研究・資料, **22**, 145 (1986)
- 10) 増田 稔: 昭和56年度日本木材学会強度研究会発表要旨集, 48 (1981)