

集中荷重を受ける木質床の疲労特性

増 田 稔*・瀧 野 真二郎**

Fatigue Properties of Wooden Floors Under a Concentrated Load

Minoru MASUDA and Shinjiro P. TAKINO

1. 緒 言

木質系の床は体育館の床に代表されるごとく適度の剛性と緩衝性をもち、歩行時に人体に与える衝撃の小さいこと、また、断熱効果の高いことからコンクリート住宅においても木質系の内装床を用いる場合が多い。

本報では、これら木質系の内装床および木質系住宅での床が歩行や跳躍による繰返し荷重を受けた場合、たわみ増加や強度低下すなわち疲労現象がどの程度生じるか、測定を行なったので報告する。床の種類は (i) 合板および MDF (中比重乾式ファイバーボード) を用いたさねはぎ縁甲板形式の床, (ii) 根太にパーティクルボードを釘着した床, (iii) 枠材に合板やパーティクルボードを接着したストレストスキンパネルの床, の3種である。

2. 試 験 方 法

2.1 試験体

用いた3種の試験体の詳細を以下に示す。

(1) 縁甲板

縁甲板形式の床の形状および支持条件を図1に示す。断面 10 cm×10 cm の大引 (ベイツガ) の上にスパン 60 cm, 断面 4 cm×4 cm の根太 (ベイツガ) が渡っており, 根太間隔は約 30 cm, 縁甲板は幅約 10 cm で図に示すようなさねはぎ加工が施され, 根太との接合は, 酢酸ビニルエマルジョン塗付後ピン状の細長釘 (ピンパネイル) をさね部より斜め打ちし釘着されている。ただし, 飽水試験体については接着剤を用いずさね部より根太へ N-32 釘が打たれている。縁甲板には12 mm 厚1類ラワン合板 (メラミンユリア接着剤使用, 5 プライ) および 15 mm 厚 MDF (広葉樹ファイバー, メラミンフォルムアルデヒド接着剤使用) の2種を用いた。疲労試験における試験体のさねはぎ枚数は図に示すごとく5枚とした。

(2) ボード釘着床

ここに用いた床は, 図2に示すごとく断面 9 cm×9 cm の大引 (スギ) の上に断面 4.5 cm×4.5 cm の根太 (スギ) を渡し, その上に 12 mm 厚パーティクルボード (3層構造, フェノール樹脂接着剤使用) を N50 釘にて 15 cm 間隔に釘打ちした床である。寸法は 90 cm×180 cm のボードの半分, すなわち, つか

* 三重大学農学部 (Faculty of Agriculture, Mie University)

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

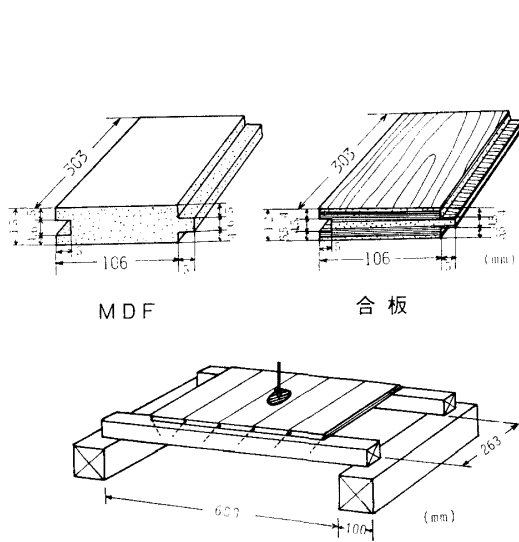


図1 木質縁甲床の形状および荷重位置
根太：ベイツガ (40 mm×40 mm)
縁甲板と根太とは酢酸ビニルエマルジョンにて釘接着

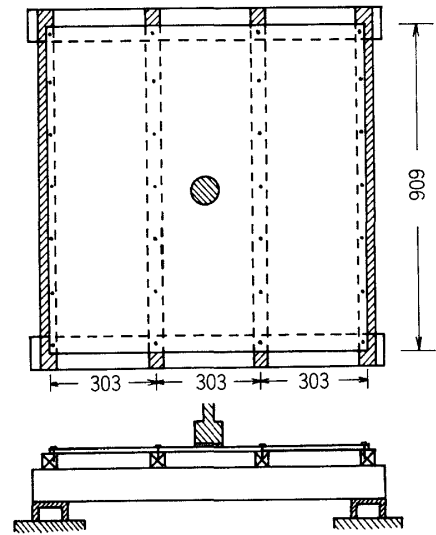


図2 パーティクルボード釘着床の形状および荷重位置
面材：パーティクルボード (12 mm厚,
フェノール樹脂接着剤使用)
根太：スギ (45 mm×45 mm)
大引：スギ (90 mm×90 mm)

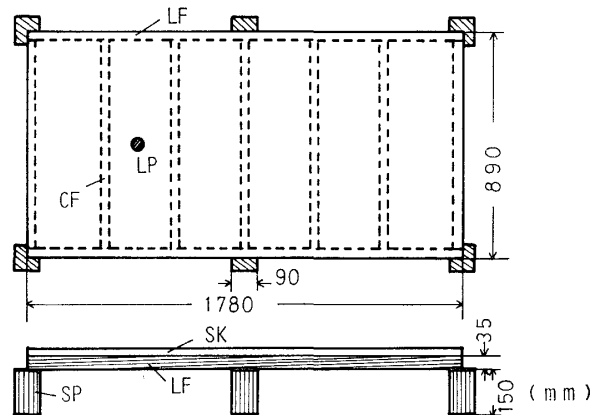


図3 木質ストレススキンパネルの形状および荷重位置
LP：荷重点 (80 mmφ)
SP：支持用木材ブロック
SK：面材
LF：縦枠材 (ラワン, 30 mm×35 mm)
CF：中さん (ラワン, 25 mm×35 mm)
枠材と面材はα-オレフィン系接着剤にて接着

などの支点に囲まれた 90 cm×90 cm の試験体を作製し試験を行なった。

(3) ストレススキンパネル床

図3に示すごとく、枠組(断面 3 cm×3.5 cm の縦枠, 2.5 cm×3.5 cm の中さん, いずれもラワン材

使用、中さんは縦枠の内側に加工された深さ 5 mm のほぞ溝に差し込み釘着)の片面に面材を α -オレフィン系接着剤にて接着したコンクリート造建物の内装床(たたみ下地)用ストレススキンパネルであり、図に示すごとく木材ブロックにより支持されている。面材としては、9 mm 厚 1 類ラワン合板(5 プライ, フェノール樹脂接着剤使用), 12 mm 厚パーティクルボード(3 層構造, フェノール樹脂接着剤使用)の 2 種類を用いた。

2.2 荷重条件

荷重は試験体中央に 80 mm ϕ の集中荷重とし、荷重部には金属円筒の角のめり込みを防ぐため試験体との接触部に 3 mm 厚の硬質ゴムを貼った。なお、静的試験および繰返し荷重試験のいずれも電気油圧サーボ式疲労試験機(森試験機製)を用いた。繰返し荷重は正弦波片振りとし、片振りの最低ベースを無負荷とせずわずかに(5 kgf)残すことによりパネルの横滑り移動を防止した。繰返し荷重速度は、大きい方が効率よく試験を行なえるが、たわみ量に応じてアクチュエータの制御可能な速度に限界があり、縁甲床では 5~7 Hz, ストレススキンパネル床では 2.5 Hz, ボード釘着床では 2~7 Hz を用いた。

3. 試験結果および考察

3.1 縁甲床

3.1.1 静的試験

(1) さねはぎ効果

さねはぎのない縁甲板に集中荷重が作用すると、1 枚の板がその荷重の総てを単独で負担することになるが、図 1 に示すごとくさねはぎ加工のある場合には、さねの部分(T&G)を介して隣接する板も順次負荷

表 1 さねはぎ枚数による曲げ剛性への影響 — 縁甲床・常態
中央集中 100 kgf に対するたわみ (mm/100 kgf)

	さ ね は ぎ 枚 数			
	1	2	3	5
合 板 12 mm 厚	3.97(1.00)	3.34(1.19)	2.63(1.51)	2.32(1.71)
MDF 15 mm 厚	3.50(1.00)	2.43(1.44)	1.72(2.03)	1.56(2.24)

各々 4 体の平均値

カッコ内は各々 1 枚の場合との剛性比

たわみ：中央たわみ δ_c と根太たわみ δ_J との差 $\delta_c - \delta_J$ 。2 枚はぎの場合は、中央さねはぎ部が荷重点となる。

表 2 さねはぎ枚数による曲げ破壊荷重 (kgf) への影響 — 縁甲床・常態

	さ ね は ぎ 枚 数			
	1	2	3	5
合 板 12 mm 厚	161(1.00)	291(1.81)	383(2.38)	398(2.47)
MDF 15 mm 厚	291(1.00)	477(1.64)	505(1.74)	531(1.82)

各々 3 体の平均値

カッコ内は各々 1 枚の場合との比

を分担する。表1にさねはぎ枚数の増加に伴う曲げ剛性の変化を示す。5枚はぎと1枚とを比較すると、合板で1.7倍、MDFで2.2倍の剛性となる。曲げ破壊荷重についても表2に示すごとく、合板で2.5倍、MDFで1.8倍となり、曲げ剛性、終局耐力のいずれにおいてもさねはぎの効果は大きい。破壊形態は、5枚はぎの場合、合板、MDF いずれもまずさねはぎ部の凹部コーナーではく離（割裂）により始まり、合板ではさねはぎが抜け、中央の1枚のみの曲げとなって終局破壊に至るが、MDFではさねはぎがはずれそうになるとともに終局的には荷重ヘッドが中央の1枚にめり込むような形で終局破壊に至る（写真1）。

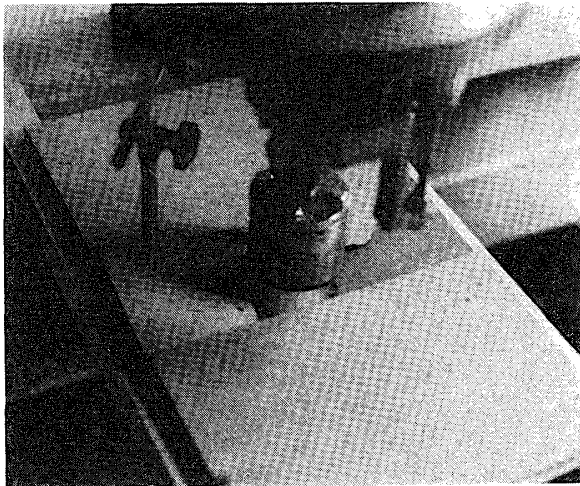


写真 1 MDF 縁甲床の静的破壊形状

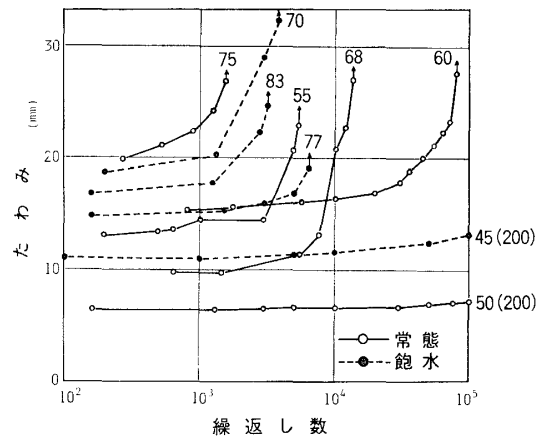


図4 繰返し荷重に伴うたわみ変化 — 合板縁甲床
図中の数字は、繰返し荷重/静的強度（%），
カッコ内は繰返し荷重（kgf）を表わす。

表3 水中浸漬が曲げ破壊荷重（kgf）に及ぼす影響 — 縁甲床

	常 態	飽 水*
合 板 12 mm 厚	383(1.00)	301(0.79)
MDF 15 mm 厚	505(1.00)	422(0.84)

各々3体の平均値

合板、MDF いずれも3枚はぎ、カッコ内は常態との比。

* 水中24時間・取出し後 約3時間。

（2）常態と飽水との破壊荷重比較

水中24時間（25℃）浸漬後3時間静置した後静的試験を行なった場合、表3に示すごとく、合板、MDF いずれも20%程度の耐力低下が認められた。

3.1.2 繰返し荷重試験

繰返し荷重試験では、前述のごとくさねはぎ効果を考慮して5枚さねはぎ試験体を用いて行なった。飽水試験体は水分の蒸発を防止するため水中より取出した後、薄いビニールシートで被覆し試験に供した。図4に合板縁甲床、図5にMDF縁甲床の常態および飽水状態での“繰返し負荷に伴うたわみ増加曲線”を示す。試験体数が少なく、しかもバラツキが大きい、だいたいの傾向をつかむことができよう。図6に疲労破壊に関する“荷重—繰返し回数曲線”（S—N 曲線）を示す。試験体数が少なく、疲労限度強度の大まかな予測しかできないが、実用的な疲労限を100万回と考えると、静的強度の42%程度すなわち、MDF縁甲床の常態では225 kgf、飽水では185 kgf前後が疲労限度強度であろうと推察される。合板縁甲床については、

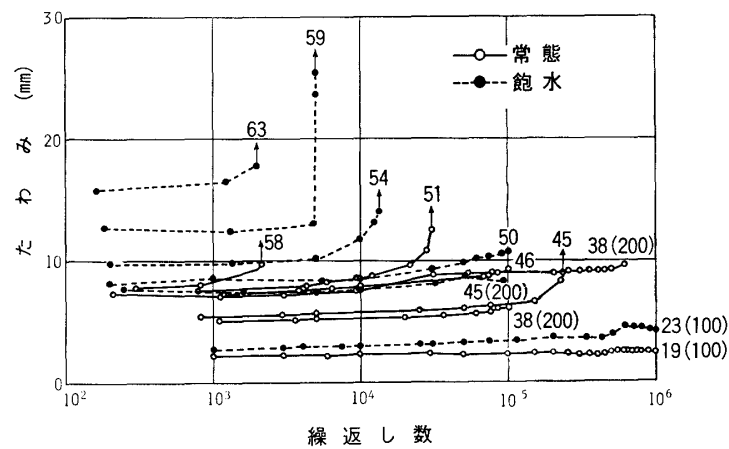


図5 繰返し荷重に伴うたわみ変化—MDF縁甲床

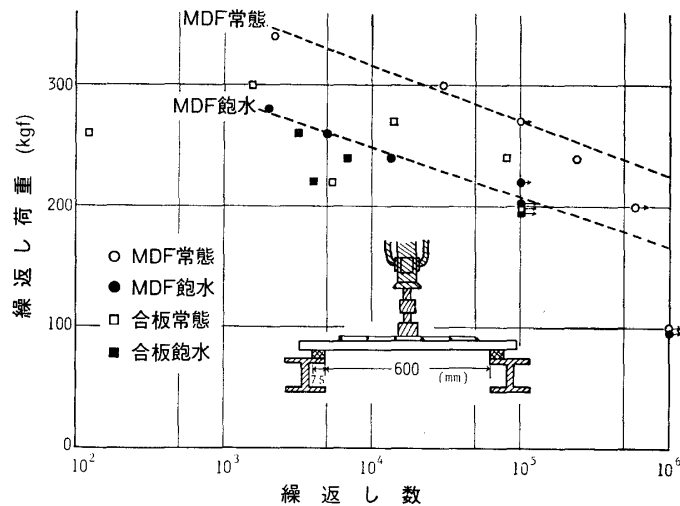


図6 疲労破壊における繰返し荷重—繰返し数の関係—縁甲床

表4 木質床パネル上での歩行および跳躍等の衝撃度¹⁾
(衝撃最大荷重/体重)

静 止	普通の歩行	荒々しい歩行	パイプ・イスに強くドンと座る	跳 躍 (6~7 cm)
1.0	1.2~1.3	1.8~2.2	2.6~2.9	3.5~3.7

バラツキが大きくまた試験体数も少ないので、疲労限荷重の予測は困難であるが、一般に人の歩行による負荷は体重の1.2~1.3倍程度であり(表4)、せいぜい100 kgfの負荷が100万回(1日90回×365日×30年)程度であろうから、これらの床が、通常の使用に対し疲労で破壊することはないものと考えられる。

3.2 ボード釘着床

これは、現在、木質系住宅のたたみ下地として多用されているタイプの1つであり、面材としてコンクリート型枠用合板が用いられる場合と、耐水性パーティクルボードが用いられる場合がある。ここでは後者に

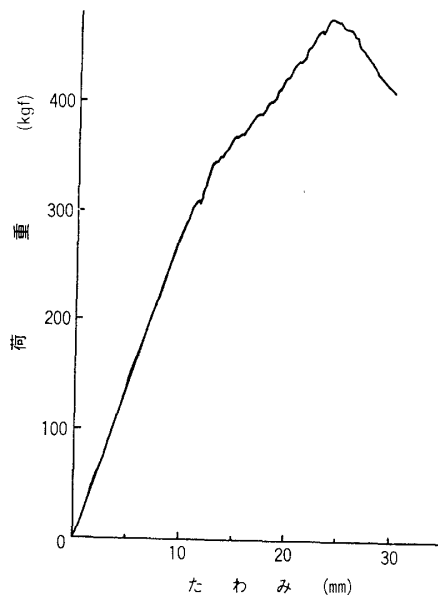


図7 パーティクルボード釘着床の荷重—たわみ曲線の一例
終局破壊は面材打抜け

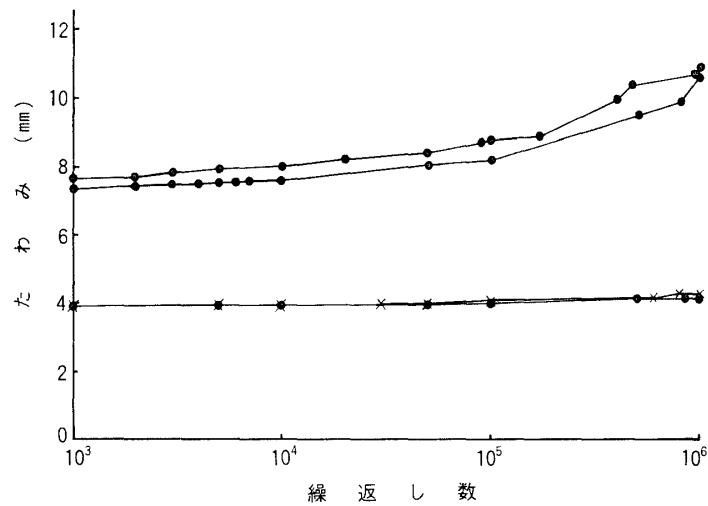


図8 パーティクルボード釘着床の繰返し荷重に伴うたわみの変化

表5 パーティクルボード釘着床の静的試験結果

試験体 No.	荷重部たわみ： δ_C (mm/ 100 kgf)	根太中央たわみ： δ_J (mm/ 100 kgf)	大引のたわみ： δ_S (mm/ 100 kgf)	$\delta_C - \delta_J$ (mm/100 kgf)	曲げ剛性 P/δ_C (kgf/mm)	終局耐力 (kgf)	破壊形態
1	3.39	1.74	0.21	1.65	29.5	478	荷重部打抜け
2	3.70	1.85	0.22	1.85	27.0	477	〃
3	3.63	1.79	0.22	1.84	27.5	481	〃
平均	3.57	1.79	0.22	1.78	28.0	479	〃

表6 パーティクルボード釘着床の疲労試験結果*

繰返し荷重		δ_i/δ_1				残留耐力	
P(kgf)	P/P _{max} (%)	10 ³ 回	10 ⁴ 回	10 ⁵ 回	10 ⁶ 回	P' _{max}	P' _{max} /P _{max}
100	20.9	1.02	1.03	1.07	1.12	479	1.00
200	41.8	1.01	1.05	1.14	1.45	468	0.98

* 各々2体の平均値
 δ_1 : 第1回目のたわみ(静的),
 δ_i : 第*i*回目のたわみ,
P_{max}: 静的終局耐力

表7 ストレストスキンパネルの静的試験結果

試 面材,	験 試験条件	中央たわみ: δ_c (mm/100 kgf)	曲げ剛性 P/ δ_c (kgf/mm)	終局耐力 (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 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

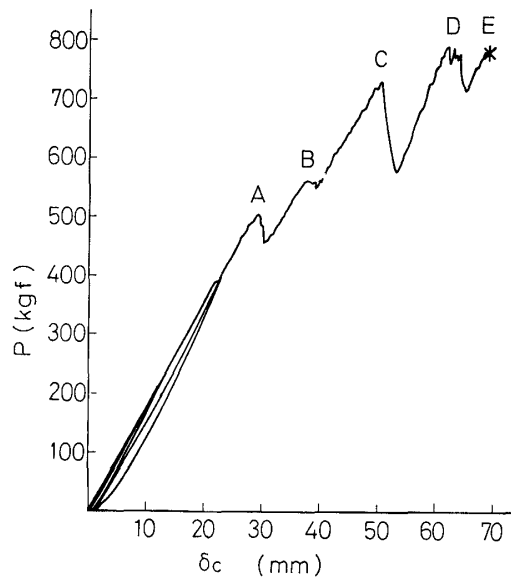


図9 ストレストスキンパネルの荷重—たわみ曲線の一例

面材: パーティクルボード, 飽水条件
P: 集中荷重, δ_c : 荷重点たわみ
A, B: 面材と中さんとのはく離進展,
C: 面材と中さんとの完全なはく離
D, E: 荷重部の面材の破壊→打抜け

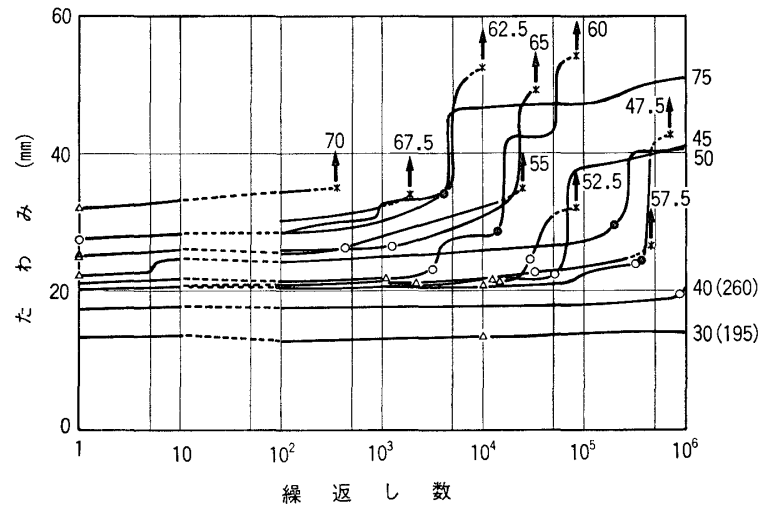


図10 繰返し荷重に伴うたわみ変化 — 合板ストレススキンパネル，常態
図中の数字は静的強度に対する繰返し荷重との比(%)，カッコ内は静的強度(kgf)を表わす。
△：荷重部裏面にクラックあるいはささくれ
○：面材と中さんとの接着はく離
●：中さんの破壊
□：縦枠材の曲げ破壊
＊：面材の打抜け

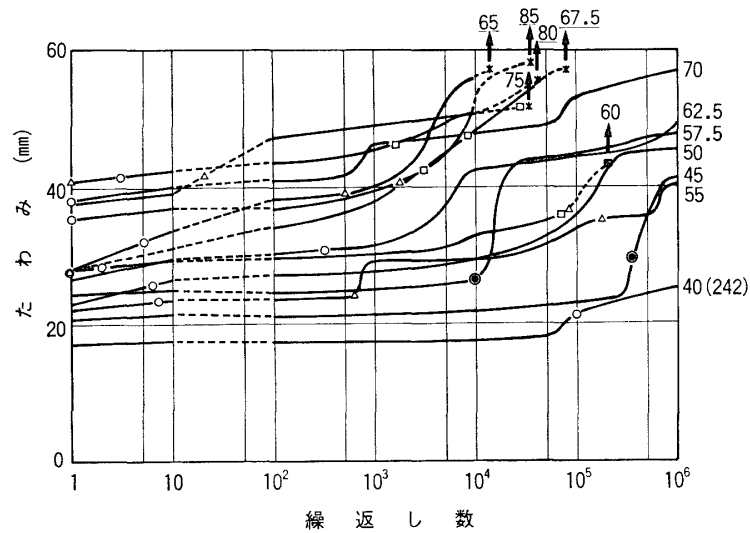


図11 繰返し荷重に伴うたわみ変化 — 合板ストレススキンパネル，飽水
図10参照

について測定を行なった。荷重—たわみ曲線の1例を図7に，静的試験結果を表5に示す。荷重の繰返しに伴うたわみ変化を図8および表6，また， 10^6 回繰返し荷重後の残留耐力を表6に示す。

5～100 kgf (静的強度の21%) の繰返しでは，外観上何らの損傷も観察されなかったが，5～200kgf (同42%) の繰返しでは10万回を越えるあたりから荷重部裏面に微小なクラックが発生し，100万回後には延べ長さ約 30 cm 程度の数本のクラックへと伸展した。従って，100 kgf の繰返し荷重における100万回でのたわ

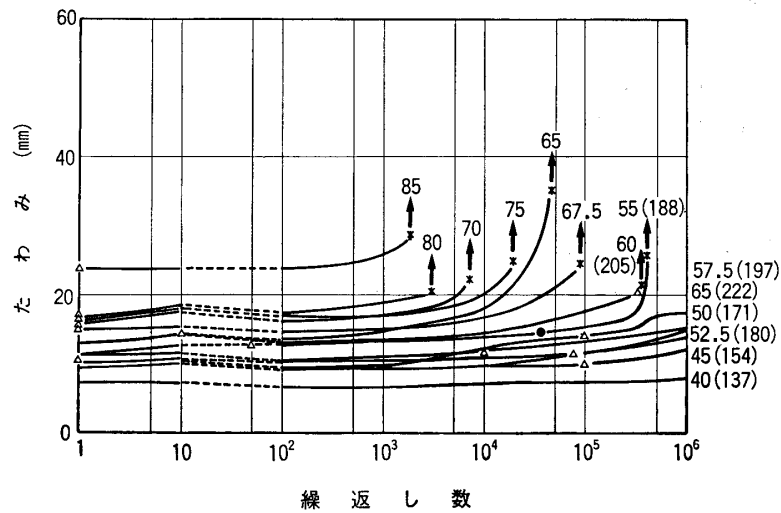


図12 繰返し荷重に伴うたわみ変化 — パーティクルボード・ストレストスキンパネル，常態
図10参照

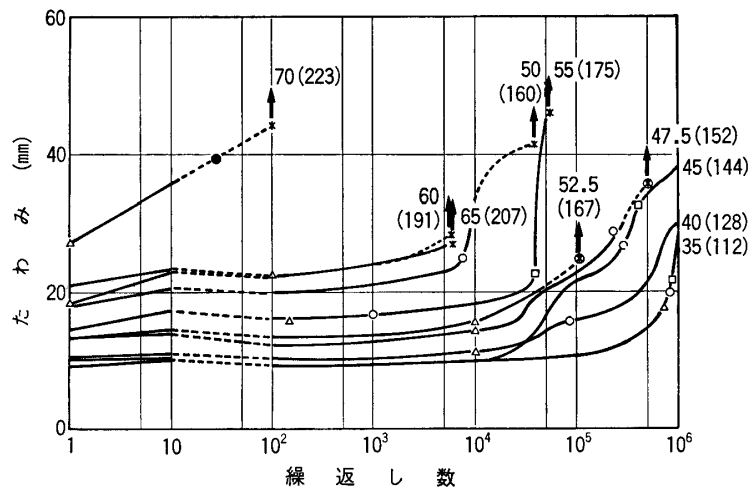


図13 繰返し荷重に伴うたわみ変化 — パーティクルボード・ストレストスキンパネル，飽水
図10参照

み増加が12%程度であるのに対し，200 kgf の繰返しでは45%であった。

通常の歩行時の作用荷重は，前述のごとく体重の1.2～1.3倍程度であるから，まず 100kgf を越えることはなく，たわみ増加はほとんどないであろう。200 kgf（標準的体重の3倍余）に相当する衝撃力は，イスにドンッと強く座るか，跳びはねてドンッと降りる場合等であり，このような荷重は30年間に1万回（1日約1回）を越えることはないであろう。従って，通常の使用状態でのたわみ増加は12%程度であろうと考えられる。階段下のようなところでは，場合によっては100万回に至る可能性も考えられるが，この場合には，たわみの増加が45%となり，また仮に，20万回（1日約20回程度）なら19%のたわみ増加となる。しかしながら，200 kgf・100万回の繰返しの後でも，床の終局耐力の低下はほとんどなく，また，釘の浮上りも外観上は認められなかった。

3.3 ストレストスキンパネル床

ストレストスキンパネルの静的試験結果を表7に、荷重-たわみ曲線の一例を図9に示す。中さんと面材との接着はく離の進展に伴いたわみが急激に増加し(A, B, C), 最終的には面材の局部打抜け(D, E)で終局破壊に至る。図中, 反復載荷で生じるループは, 繰返し荷重試験時の発熱ならびに亀裂の伸展に関連している。

繰返し負荷に伴う接着はく離の進展およびたわみの増加を図10~13に示す。図に示すごとく, 接着複合パネルの疲労破壊の進展形態は, 面材亀裂の進展 → 接着はく離の進展 → 面材打抜けをたどり, “静的試験での荷重増加に伴う破壊進展順序”と, “繰返し荷重試験での繰返し数の増加による破壊進展順序”はほぼ同一である。たわみの増加は, 中さんのはく離が生じると促進され, さらに中さんの曲げ破壊で急激に増大する。終局破壊に対する10⁶回疲労強度は静的強度の45~54%程度であり²⁾, 静的耐力の40%以下の荷重の繰返しでは終局破壊に至ることはない。さらにまた, 人の歩行のような100 kgfの繰返しに対しては, たわみの増加もほとんどなく, 疲労によるたわみ増加は, 階段下のような大きな負荷の予想される場所において, しかも湿潤状態においてのみ留意の対象となる。なお, ストレストスキンパネルの疲労特性の詳細に関しては既報2)を参照されたい。

4. 結 言

以上, 3種の床の疲労特性について測定結果を述べたが, いずれの床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となった。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, 静的終局耐力の40%以下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できる。

それでは, この条件を満たせば住宅床として充分であるかというところではなく, 歩行時のたわみが小さいこと, すなわち, 歩行による食器棚等の揺れが小さいことが必要である。また逆に, コンクリート床に直接硬質のタイルをはったようにたわみがほとんどない場合も, 人体に与える衝撃力が大きく, 不適當である。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。

以上, 3種の木質床に対する繰返し負荷に関する性能につき述べたが, それぞれの測定は, 異なる時期に異なる実験主眼のもとに行なわれたため荷重レベルや試験体数が十分であるとはいえないが, 本報が木質床の疲労挙動を考える上で何らかの参考になれば幸いである。

なお, 以上の測定に際しては, 朝日特殊合板開発部の諸氏, 元日本住宅パネル工業協同組合・山本莊二氏, 京都大学木材研究所木質材料部門・佐々木光教授, 林知行氏(現・農林水産省林業試験場), 冬木敏夫氏(現・大建工業㈱), 勝山三千代夫人の多大の協力を得た。また, 3.2については昭和57年度文部省科学研究費補助金・総合研究(A)「プレハブ壁および床パネルの力学的挙動とその要因の理論的解析」(代表者・東京大学農学部・杉山英男教授)の補助を得た。ここに記して各位に対し心より謝意を表したい。

文 献

- 1) 増田 稔, 冬木敏夫, 瀧野真二郎, 佐々木光: 第30回日本木材学会大会研究発表要旨集, 96 (1980)
- 2) 増田 稔, 冬木敏夫, 瀧野真二郎, 佐々木光: 材料, 30, 691 (1981)