

## 木質床の動的変形挙動(II) : 釘接合部の剛性低下に関する要因

浅田, 茂裕  
九州大学農学部林産学科

又木, 義博  
九州大学農学部林産学科

<https://doi.org/10.15017/10870>

---

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 66, pp.69-81, 1992-03-30. 九州大学農学部附属演習林  
バージョン :  
権利関係 :

## 木質床の動的変形挙動 (II) — 釘接合部の剛性低下に関する要因 —

浅田 茂裕\* ・ 又木 義博\*  
(1991年11月27日受理)

### Dynamic Behavior of Wood-Based Floors (II) Factors Related to Stiffness Decrease in Nailed Joint

Shigehiro ASADA\* and Yoshihiro MATAKI\*  
(Received November 27, 1991)

#### 抄 録

木質床は、歩行等によって繰返しの衝撃的荷重を受ける機会が多く、そのような動的荷重には床材や根太などの力学的性質、接合の形態や条件などが関わって、釘の弛緩や床材の疲労などの複雑な挙動を併発し、損傷を起こす。そこで、床構造体の釘接合部の剛性だけでなく、複合的に起こる力学的現象を把握し、その機構を明らかにする必要があると考えられる。

本報告においては、前報に引きつづき、釘接合木質床の接合部の剛性におよぼす要因、とくに根太の変形、釘の引き抜き抵抗、および衝撃荷重の繰返しについて、単純モデルによって実験的に検討した。

その結果、根太の変形は、床材との接触面に近いほど大きく、とくに永久変形としての圧潰は、衝撃エネルギーを吸収し釘の引き抜きを抑制する効果があることを明らかにした。しかしながら、その効果は極端に軽軟な材においてのみ顕著であり通常の根太材においては無視し得る。また、釘接合部の剛性は、釘の引き抜き抵抗に正の相関があり、釘の引き抜き抵抗が接合部の剛性を支配する主要な要因であることが認められた。さらに釘接合体が、比較的大きな衝撃力での繰返し増加は、釘の引き抜き量を増大させるばかりでなく、接合部の剛性を低下させることを把握した。

#### 1. はじめに

最近の自然への関心の高まりによって、身の回りに天然素材を生かした建築物や内部装飾を木材で行うことが多くなってきている。木質フローリング、木質ボードを下地材とするフロアもその一例であるが、それらは一般家屋はもちろん、アパート、マンションなどの集合住宅でも合板の代替部材として盛んに用いられている。そのような現状下において、

---

\* 九州大学農学部林産学科  
Department of Forest Products, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812

木質床の置かれている環境は、家具等の静荷重や、歩行等によって生じる繰返しの衝撃的荷重を受けるといった厳しい状態下にあり、材料等の疲労あるいは破壊現象(宮川ら, 1980, 1986), さらにそれに伴う雑音, 騒音の増加(高橋ら, 1987) (中尾ら, 1988), あるいは振動(安藤ら, 1983, 1985)など, さまざまな問題を抱えている。また, 別の視点, すなわちそこで生活する人間を中心に木質床を捉えた場合, そこは生活環境の中で人間が歩行という基本的動作を行うための重要な場である。そこで木質床については, その部材, 構造体などの力学的性質について明らかにすると同時に, 木質床が人間に対して与える環境, すなわち人体の疲労や心理的作用などの人間工学的性質についても明らかにする必要がある。

本研究においては, 前述の現状を踏まえた上で, 平面材としてのパーティクルボードと根太としての木材を釘接合した木質床構造を単純モデル化した試験体に, 比較的高エネルギーの衝撃荷重を繰返し与えることによって木質床の置かれる環境を再現し, その初期段階での接合体各部の動的応答を分析し, 床材や根太材などの力学的性質, 釘の弛緩や床材の疲労などによって複合的に起こる現象を明らかにしようとするものである。とくに本報では, 動的荷重を受ける木質床の釘接合部周辺の具体的な要因, 根太材の比重やボードのヤング率, 釘の引き抜き抵抗および荷重の繰返し数などの, 接合部の剛性の低下などに対する影響について考察した。

## 2. 実験方法

### 2.1. 衝撃試験および試験体

衝撃試験には, 吉田精機 K・K 製の落下衝撃試験機 DST-A200 型を用いて, 中央集中荷重方式による繰返し衝撃荷重を試験体に加えた。その際, クロスヘッドとしての落下重錘 (10.85 kgf) の頭端部を各試験体の幅方向に平行に設定し, 落下高さ 50 mm から試験体を直接打撃した。また, 落下重錘の頭端部の長さ方向の断面は, 曲率半径 25 mm の円弧とした。

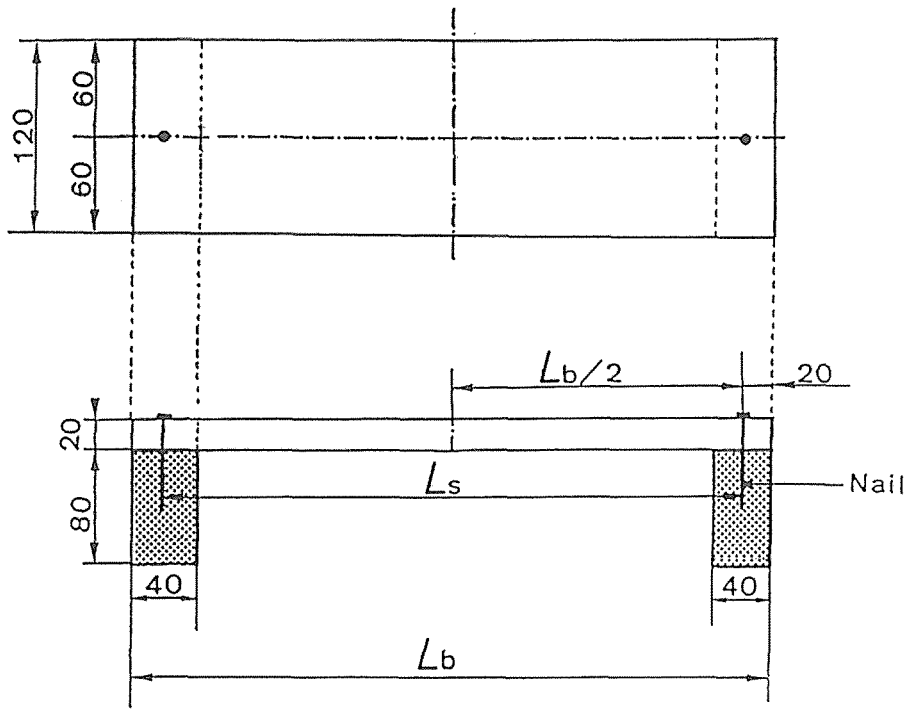
試験体は, 図 1 に示すように, 床材の両端を根太に釘接合した両端固定の釘接合体とした。これらの試験体における床材は, 市販の三層パーティクルボード (UMF, 厚さ 20 mm ± 0.5 mm) を用い, 幅を 120 mm, スパンを 300 mm に一定とし, 根太材は, 幅 120 mm 高

表 1 供試木質材料の物理的, 力学的性質

Table 1 Physical and mechanical properties of main wooden materials used for test specimens.

Properties	Materials	Hemlock	Particleboard
Specific gravity		0.46	0.76
Modulus of elasticity <sup>*)</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )		—	27000
Moisture content (%)		13	12
Remarks		Annual ring width 1.03 mm	Three layer

<sup>\*)</sup> Measured by Instron-type testing machine (speed of crosshead : 10 mm/min.) ; average value of all specimens.



(Unit: mm)

Fig. 1 Details of simplified specimen for wood-based floor.

図1 床構造をモデルとした試験体の形状

さ 50 mm 厚さ 40 mm で釘接合面が柾目となるように加工した含水率 13~14% のへムロック (*Tsuga heterophylla* Sarg.) を用いた。

供試材料の諸性質を表 1 に示す。

この床材と根太を市販の太め鉄丸釘 CN 65 によって接合したものを、上記の釘接合体とした。接合の際の釘打ちは、床材・根太それぞれにあけた釘径比 65% の案内孔に対して、釘打ち速度を 200 mm/min に一定として釘頭頂部が床材とほぼ同一面上となるように行った。

## 2.2. 根太の変形と圧潰の観察

木質床に衝撃荷重が加わると、床材の変形だけでなく、根太材も接合部近傍では相当な変形を起こし、場合によっては永久変形としての圧潰が生じることも考えられる。そこで図 2 のように床材との接触面から一定間隔離れた気乾へムロックの根太にストレインゲージを貼付し、衝撃荷重にともなう衝撃応答ひずみパルス波形を検出し、接合部近傍の根太

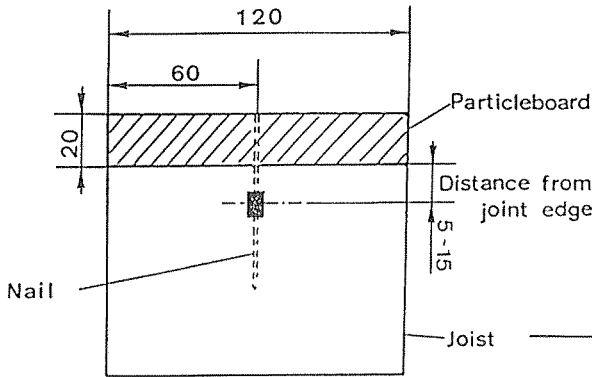


Fig. 2 Method for measure of strain at joint edge of joist.

図2 根太境界部の変形量測定法

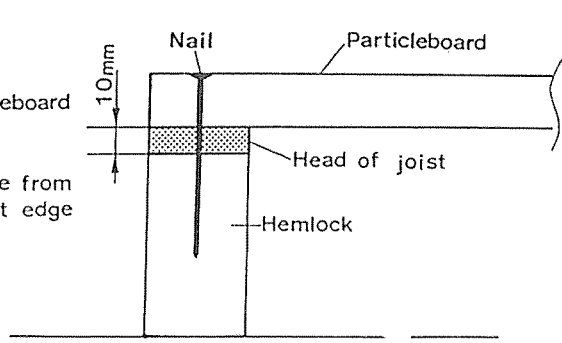


Fig. 3 Diagram of test specimen with various joist edge conditions.

図3 根太境界部の条件を変えた試験体

の変形挙動を観察し、根太の変形・圧潰が床構造体の接合部の挙動におよぼす影響について実験した。

### 2.3. 根太の変形・圧潰が釘接合部の挙動におよぼす影響

衝撃荷重によって根太に永久変形としての圧潰が生じると、極端な場合には、床材と根太材との接合面に圧潰を原因とする隙間が生じることが考えられる。そこで、図3のように示すように、床構造体モデルとして設定した釘接合体の床材と根太材との接触部分の樹種、すなわち比重を変えて衝撃試験を行い、釘の引き抜け量の変移、打撃時の衝撃加速度等の測定を行った。

本実験に用いた根太の床材との接触部分の樹種には、比重の軽いものから順に、パルサ、プライ、イタジイ、シカラシ、イスの5種類と、根太材としてこの研究の全般にわたって使用しているヘムロックを、 $120 \times 40 \times 10$  mmに加工して供試した(表2)。さらにこの接触部分は、酢酸ビニル樹脂エマルジョン接着剤を用いて、気乾ヘムロック( $120 \times 40 \times 70$  mm)に接着圧縮して実験用根太とし、パーティクルボードと釘接合した。その圧縮条件を表3に示す。また、釘の引き抜き抵抗がこの接触部分の影響を受けないようにするため、この接触部分には釘径比100%の案内孔を開け、前記と同様の条件で釘打ちを行った。

表2 根太境界部の条件設定に供試した各試験樹種の物理的性質  
Table 2 Physical properties of materials used for test of joist edge condition.

	specific gravity	moisture content (%)
Balsa	0.21	12
Pulai	0.36	13
Itazii	0.62	13
Shdrakashi	0.72	14
Isunoki	0.98	13

表3 圧縮条件  
Table 3 Gluing condition.

Adhesive	PVAc
Glue spread	200 (g/m <sup>2</sup> )
Specific pressure	5 (kgf/cm <sup>2</sup> )
Pressing time	24 (hour)

2.4. 静的試験による接合部の剛性評価

前報 (浅田ら, 1991) でも述べてきたように, 衝撃荷重の繰返しによる木質床の接合部の剛性は, 釘の引き抜け等による接合部の弛緩挙動によって低下すると考えられる. そこで, 衝撃繰返し後の試験体について, 図4のように, それぞれボードの中心から切断し, 接合部をそのままにした片持ち梁型接合体に加工し, その床材の釘接合点から 150 mm 離れた自由端に, 床材の幅にわたって静的荷重を加え, 自由端のたわみに伴う根太接合部に貼付したストレインゲージからのひずみ量, および荷重の変移を測定し, 根太との接合部の回転剛性の評価を行った (Lofferski *et al*, 1989).

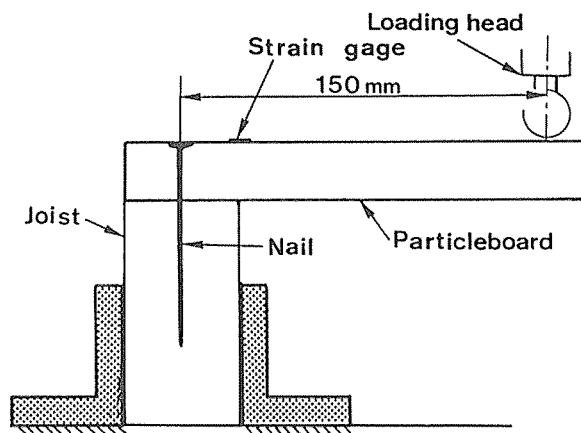


Fig. 4 Diagram of cantilever specimen for measure of stiffness in nailed joint by static bending test.

図4 静的試験による釘接合部の剛性測定のための片持ち梁試験体

2.5. 釘の引き抜き抵抗の測定

衝撃荷重の繰返しにともなって釘の引き抜けが生じると, 釘を圧縮している木材の組織破壊によって摩擦抵抗が減少し, 引き抜き抵抗が低下することが予想される. そこで, 衝撃繰返し後の試験体について, 釘の引き抜き抵抗がどのように変移するかを測定し, 接合部の剛性におよぼす影響を考察した. この実験においては, JIS Z 2121 に示されるような直接的な引き抜き試験ではなく, 衝撃後の試験体の釘接合部だけを切断後回収し, その床材と根太材それぞれに力を加え, これを分離させることによって釘の引き抜き抵抗を測定した.

### 3. 結果および考察

#### 3.1. 根太の変形と圧潰

図5は衝撃荷重による根太材の瞬時的な変形量であるが、根太の変形は床材との接触面に近い部分ほど著しく変形し、接触部分ではかなりの圧潰が生じていることが十分に推定できる。

つぎに、衝撃加速度については、根太の比重が小さく、圧潰が生じ易いバルサ材を根太材の接触部分として用いた場合では、得られる衝撃加速度が小さくなるが、その他では余り差がみられない。このバルサ材についての結果は、根太の変形と圧潰に、加えられた衝撃エネルギーが吸収されていることを表している(図6)。また釘の引き抜け量については、バルサ材を用いた場合を除き、きわだった違いはみられない(図7)。

以上のことから、根太の変形、特に圧潰は、衝撃エネルギーを吸収することによって釘の引き抜け挙動を抑制する効果があるものの、その効果は極端に軽軟な材においては顕著であり、通常根太材による木質床においては、根太材の変形の影響は無視し得る範囲にあると考えられる。

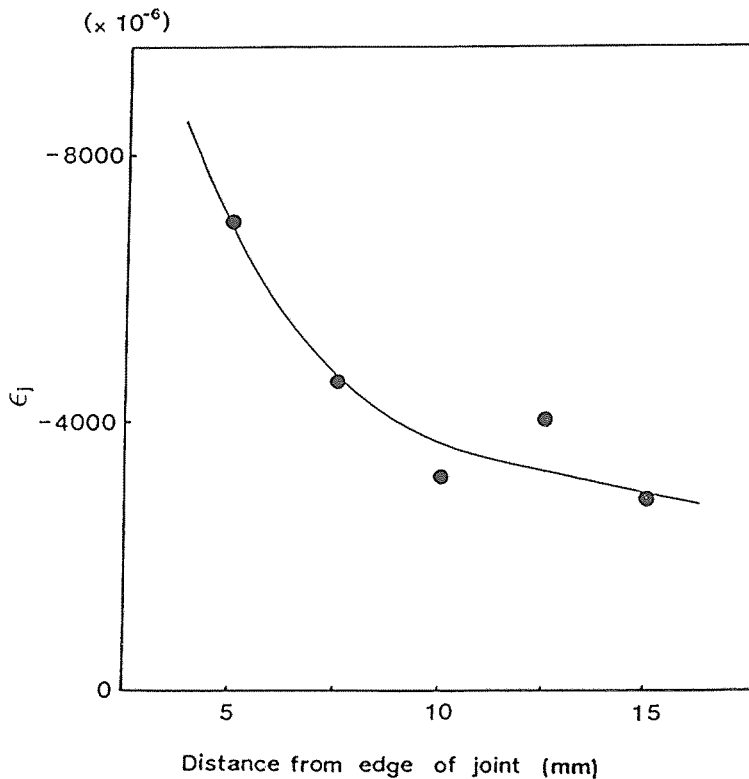


Fig. 5 Development of compressive strain at joint edge of joist( $\epsilon_j$ ).

図5 根太境界部の圧縮変形

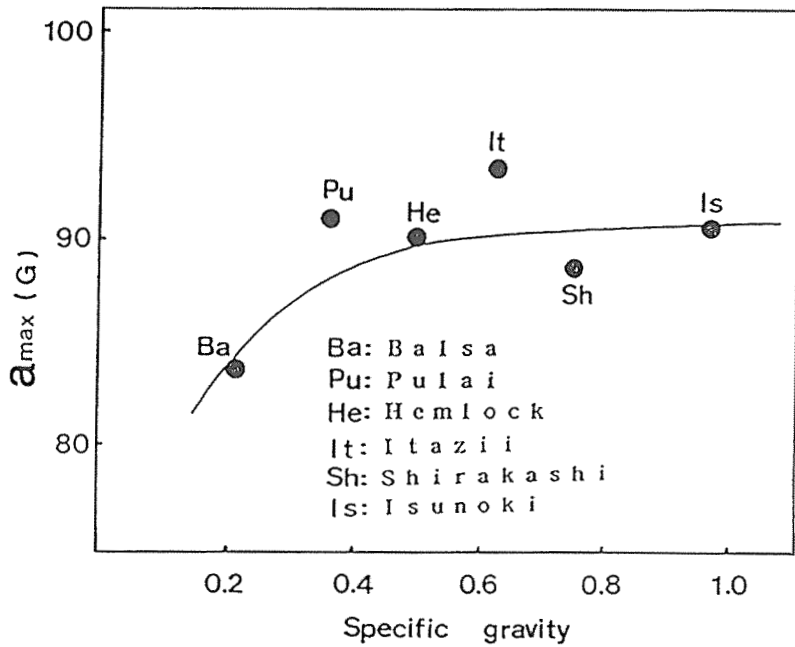


Fig. 6 Effect of specific gravity of joist head on maximum acceleration( $a_{max}$ ).  
 図6 根太境界部の比重が衝撃加速度におよぼす影響

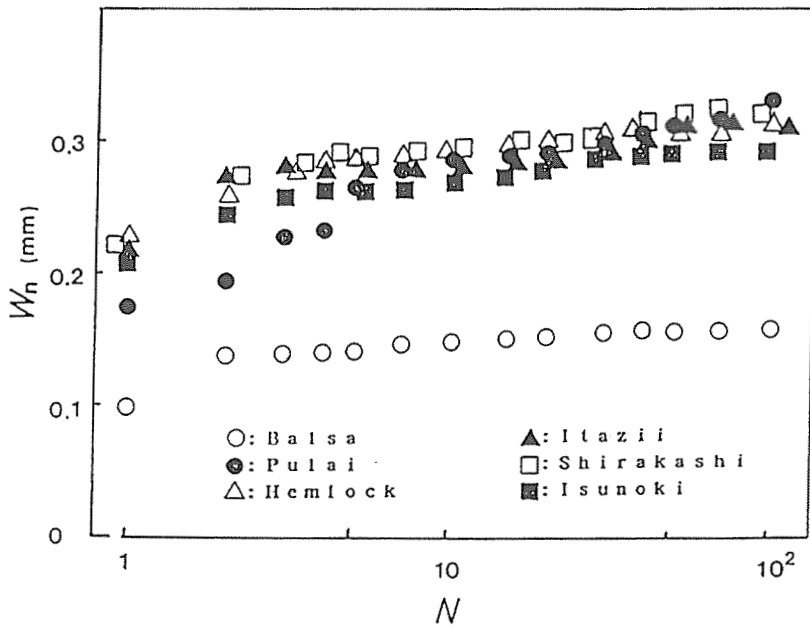


Fig. 7 Variations of nail withdrawal( $W_n$ ) with respect to the number of loading cycles( $N$ ) for various joist edge conditions.  
 図7 根太の境界部の条件と繰返しにともなう釘の引き抜け量の変移



### 3.2. 床材の接合部の剛性

静的試験において、床材ボードのたわみに対応した荷重および根太接合端ボード上のひずみは、ともに初期に比例域をもち、それが降伏した後に、振動しながら漸増するという変移過程を示す(図8)。この比例域内での釘の引き抜けはなく、降伏点をむかえてはじめて釘の引き抜けが発生する。また振動の変移は、釘の引き抜けが木材との摩擦によって段階的に生じるためである。さらにその後、荷重、ひずみともに最大値をむかえるに至るが、この最大値は、この実験における試験体の釘接合部の剛性を表しているが、通常の床構造においてこの最大値をむかえるような床材のたわみ、あるいは変形はあり得ない。そこで、この変移過程の中で、荷重およびひずみが降伏する点  $P_y$ 、 $\epsilon_y$  を木質床の剛性を表すパラメータとして考えた。

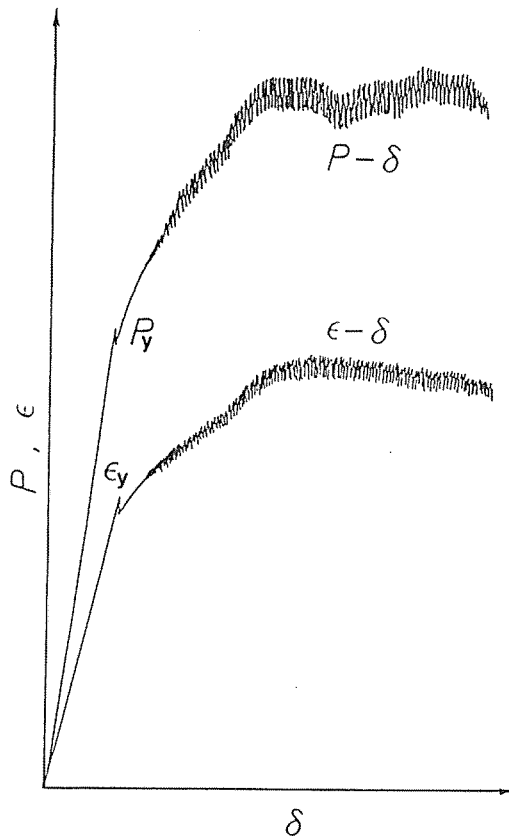


Fig. 8 Typical curves of  $P-\delta$  and  $\epsilon-\delta$  from static bending test.  $P_y$ ,  $\epsilon_y$ : Yield points of  $P$  and  $\epsilon$ , respectively.

図8 静的曲げ試験から得られる荷重-たわみ、ひずみ-たわみ曲線例

図9は根太材の引き抜き抵抗と荷重の降伏点  $P_y$  およびひずみの降伏点  $\epsilon_y$  の関係を表したものである。荷重の降伏点  $P_y$  の値は、

$$P_y = -4.79 + 1.28 R_n \quad (r^2 = 0.701) \quad \dots\dots (1)$$

で表せる。同様にひずみの降伏点  $\epsilon_y$  は

$$\epsilon_y = 237.32 + 22.57 R_n \quad (r^2 = 0.542) \quad \dots (2)$$

となる。

ここで、 $R_n$  は釘の引き抜き抵抗である。

$P_y$  の値には、高い相関関係がみられるが、ひずみの降伏点  $\epsilon_y$  では  $P_y$  よりもばらつきが大きく、寄与率も小さい。これはボード上で発生するひずみが、引き抜き抵抗だけでなく、ボードのヤング率にも影響を受けるためと考えられる。

また、この実験によって得られる、接合部のボードのひずみと荷重は、繰返し数に関係なく比例関係にある (図10)。

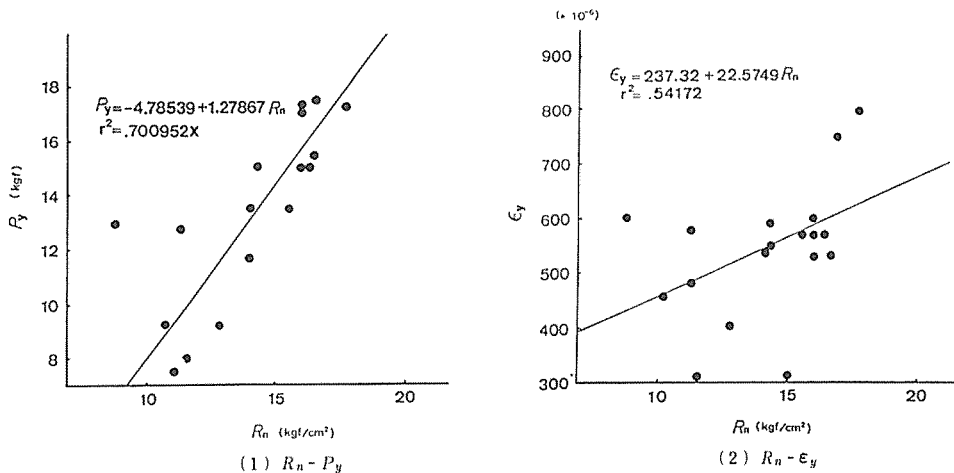


Fig. 9 Relationships of resistance of nail withdrawal to  $P_y$ (1) and  $\epsilon_y$  (2).

図9 釘の引き抜き抵抗と釘接合体の剛性との関係

(1)降伏点荷重, (2)降伏点ひずみ

### 3.3. 接合部の剛性低下

図11は繰返しに伴う  $P_y$ ,  $\epsilon_y$ , および釘の引き抜け量  $W_n$  の変移を表したものであるが、比較的大きい衝撃力での繰返しの増加によって、釘の引き抜け量 (接合部の弛緩) が増大するとともに、降伏点の荷重およびひずみが減少した。とくにこれらの傾向は繰返しの初期に顕著である。

以上のことから、木質床が繰返し衝撃荷重を受けることによって、その接合部の剛性は低下するといえる。

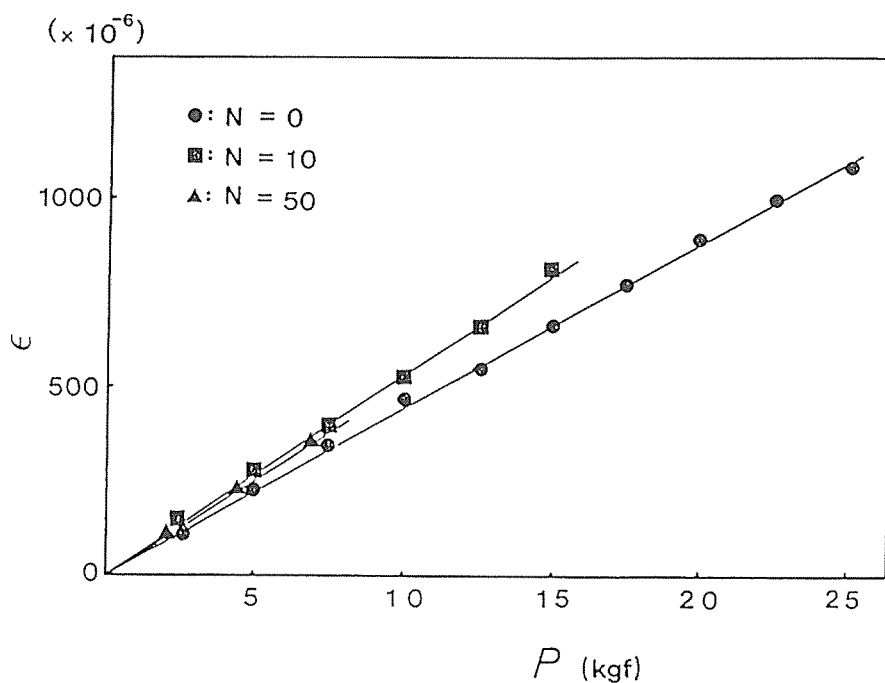


Fig. 10 Relationships between  $\epsilon$  and  $P$  from static bending test when  $N=0, 10, 50$ .

図10 静的曲げ試験における荷重とひずみの関係

繰返し数=0, 10, 50

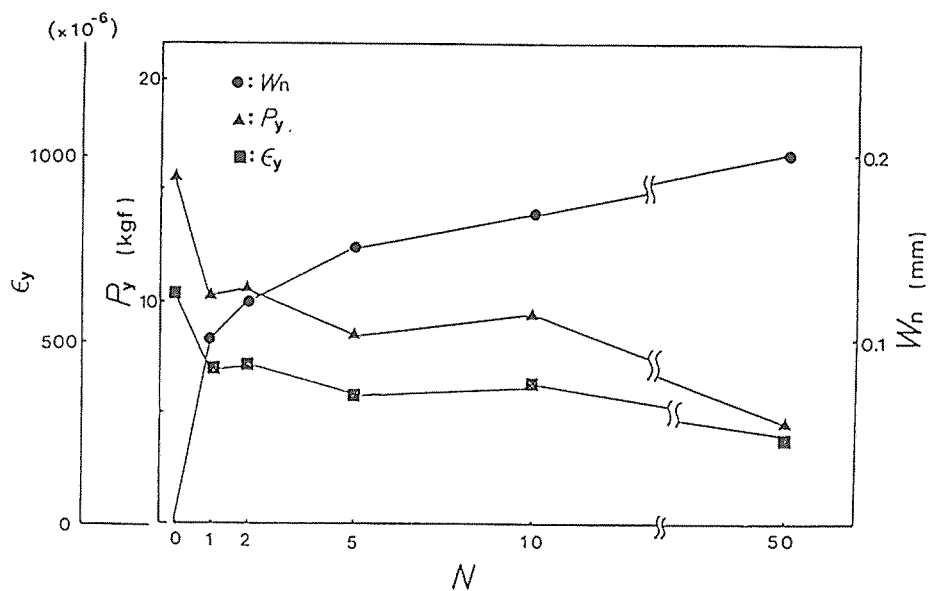


Fig. 11 Variations of  $P_y$ ,  $\epsilon_y$  and  $W_n$  with respect to the number of loading cycles ( $N$ ).

図11 繰返し数の増加にともなう降伏点の荷重およびひずみと釘の引き抜け量の変移

### 3.4. 釘引き抜き抵抗の変移

引き抜き抵抗は釘と木材との接触面積と摩擦係数の関数であるから、衝撃荷重の繰返しによって釘の引き抜きが増大すると、被接合材料（主に根太材）と釘の接触面積は小さくなり、結果的に引き抜き抵抗が低下する。図 12 に示したように、釘の引き抜き抵抗はこれよりさらに低下することがわかった。すなわちこれは、衝撃繰返しによって、釘の引き抜きによる接触面積の減少と、釘に接触する部位の木材組織の破壊による、摩擦抵抗の低下が原因であると考えられる。

3.2. で述べたように、接合部の剛性と引き抜き抵抗には高い相関関係があることから、この結果は、引き抜き抵抗の低下が直接剛性の低下につながることを表している。そこで繰返し後の釘の引き抜き強さを式 (1) に代入し、そのときの剛性を求めると、図 13 の関係が得られる。実験値も計算値もほぼ同様の傾向を示したことから、釘の引き抜き抵抗が接合部の剛性の低下に関わる最も重要な要因であるといえる。

## 4. 結 論

釘接合木質床の接合部の剛性低下に関する要因、とくに根太の変形、釘の引き抜き抵抗、および衝撃荷重の繰返しについて、単純モデルによって実験的に検討した結果、次のことが明らかになった。

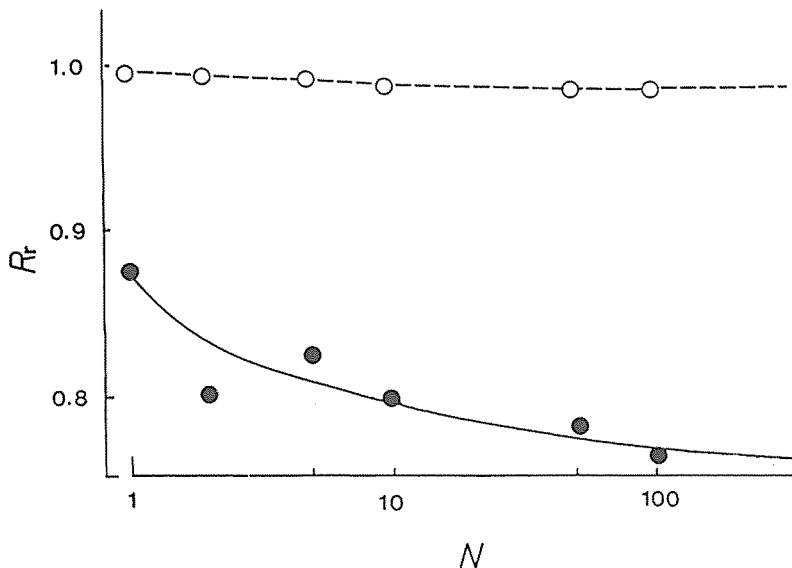


Fig. 12 Variations of nail withdrawal resistance with respect to the number of loading cycles(N).

$R_r$ : Ratio of nail withdrawal resistance after loading to initial one

○ : Calculated value from nail withdrawal

● : Measured

図 12 繰返し数の増加にともなう引き抜き抵抗の変移

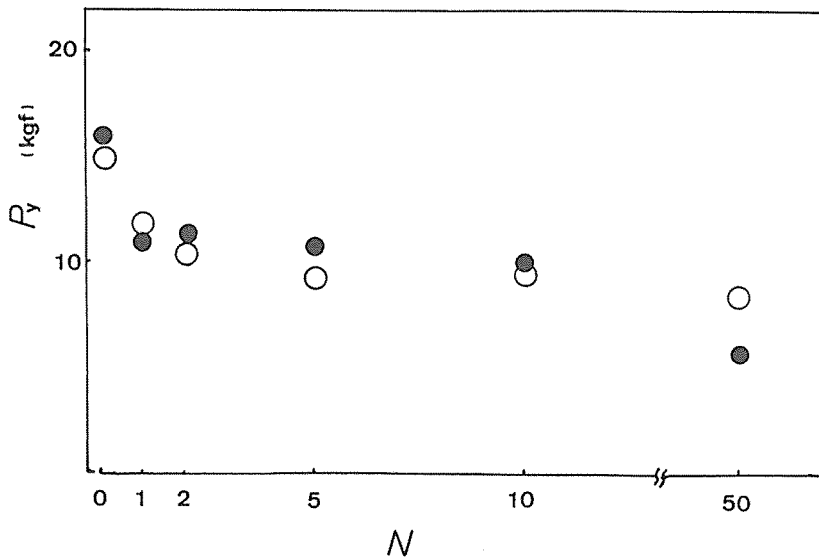


Fig. 13 Variations of  $P_y$  with respect to the number of loading cycles( $N$ ).

○ : Calculated value

● : Measured

図 13 繰返し数の増加にともなう接合体の剛性の変移

#### 1) 根太の変形と圧潰：

根太の変形は、床材と接触面に近いほど大きく、とくに永久変形としての圧潰は、衝撃エネルギーを吸収し釘の引き抜きを抑制する効果がある。しかしながら、その効果は極端に軽軟な材においてのみ顕著であり、通常の場合は無視し得る。

#### 2) 床材の接合部の剛性：

釘接合部の剛性は、釘の引き抜き抵抗との間に高い正の相関があり、釘の引き抜き抵抗が接合部の剛性を支配する最も大きな要因であると考えられる。

#### 3) 接合部の剛性低下：

釘接合体が、比較的大きな衝撃力での繰返し増加は、釘の引き抜き量を増大させるばかりでなく、接合部の剛性を低下させる。

## 引用文献

浅田茂裕・又木義博 (1991)：木質床の動的変形挙動，衝撃荷重を受ける木質床の釘接合部，木材学会誌 37：309-315

ANDO, N. and SUGIYAMA, H. (1983)：Dynamic properties of wood floors I, effect of supporting conditions on the natural frequency of joist. Mokuzai Gakkaishi 29：738-743

安藤直人・杉山英夫 (1985)：木質床の振動性状 (第2報)，ストレス・スキン・パネルの振動性状，木材学会誌，29：738-743

- LOFERSKI, J. R. GAMALATH, S. (1989) : Predicting rotational stiffness of nail joints. Forst Prood. J. 39 : 8-16
- 宮川秀俊・森 稔 (1980) : 九大農学芸誌, 木材および木質材料の衝撃的性質 (第6報), 繰り返し衝撃曲げによる木材, 合板, パーティクルボードの疲労現象, 九大農学芸誌 34 : 81-95
- 宮川秀俊・森 稔 (1986) : 木材の衝撃破壊に及ぼす緩衝材の影響 (第2報), 衝撃接触面に緩衝ゴムを介した繰り返し衝撃曲げ試験, 木材学会誌 32 : 80-86
- 中尾哲也・高橋 徹・田中千秋 (1988) : 木質床で発生する歩行音の特性について, 木材学会誌 34 : 14-20
- 高橋 徹・田中千秋・中尾哲也・岩重博文・南澤明子・アルノ P. シュニービント (1987) : 木質床の床衝撃音特性について, 木材学会誌 33 : 941-949

## Summary

Some simplified specimens for wood-based floors fastened with common nails were tested by repeating dynamical bending load in order to analyze the factors related to rotational stiffness in nailed joints, particularly, edge deformation and crushing of wood joist, nail withdrawals, and the number of loading cycles.

Results were obtained as follows :

- 1) In wood joist, the portion near the interface with subflooring. i. e., the upper edge of wood joist showed the greater deformation and crushing than the portion far from the interface. Because of this behavior of absorption of the impact energy generated by the applied load, nail withdrawal was limited to small. This effect was clearly shown for the wood joist with extremely low density. However, it was shown that such effect was negligible for the wood having a common density in wood constructions.
- 2) Rotational stiffness and withdrawal resistance of nail showed very high correlations, that is, withdrawal resistance is one of the important factors related to rotational stiffness in nailed joint.
- 3) Under repeating the dynamic load, the decrease of rotational stiffness of nailed joint was great during the initial stage of loading cycles and associate with the increase of nail withdrawal. However, the rate was decreased very fast as to the number of loading cycles increased.