

パーティクルボードの疲労に関する研究 (第2報)[†]

部分片振りによる引張り疲労^{*1}

加藤耕輔^{*2}, 鈴木滋彦^{*2}, 斉藤藤市^{*2}

Fatigue Properties of Particleboards II.[†]

Effects of partial non-reversed loading on tensile fatigue properties^{*1}

Kousuke KATO^{*2}, Shigehiko SUZUKI^{*2} and Fujiichi SAITO^{*2}

The purpose of our study was to obtain basic information on the fatigue behavior of particleboards (PB). From the viewpoints of maximum stress level, stress amplitude, frequency, and so forth, the effects of partial non-reversed loading on the fatigue behavior of PB were investigated. The behavior of partial non-reversed loading was compared with those of fully non-reversed loading and creep.

The following results were obtained.

- (1) The number of cycles to failure of PB was affected sensitively by not only maximum stress but also by stress amplitude.
- (2) Under partial non-reversed loading, the fatigue life of a specimen was found to be predictable by the slope of the second stage in a cyclic creep curve.
- (3) Maximum strains at the transition points, both from the first to the second and from the second to the third stage, decreased with increasing stress amplitudes within the same maximum stress level.
- (4) Within the scope of this experiments, the time required for the first stage in the cyclic-creep curve was almost equal to that from the third to the fourth stages, and was 1/15-1/10 of that in the second stage under any load conditions.
- (5) It could be concluded that the creep test was regarded as a special case of a partial non-reversed fatigue test in which the stress amplitude tended to be zero.

Keywords: particleboard, fatigue, creep, cyclic creep, energy loss.

パーティクルボード (PB) の疲労の基礎的な資料を得ることを目的とし、PB の疲労挙動に及ぼす部分片振りの影響を検討した。また部分片振りと片振りおよびクリープとの関連について考察した。試験結果の概要は次のとおりである。

- 1) PB の疲労寿命は、最大応力だけでなく応力振幅にも敏感に影響されることが明らかとなった。
- 2) 部分片振りにおいても、片振りと同様、サイクリッククリープ曲線のII期の傾きから疲労寿命を予測できることがわかった。
- 3) 同一最大応力では、応力振幅の小さな負荷条件ほど、I期からII期、およびII期からIII期への移行時の最大ひずみ量は大きくなる傾向にあった。
- 4) 今回の試験の範囲内では、負荷条件によらず、サイクリッククリープ曲線におけるI期とIII+IV期の時間はほぼ等しく、I期に対するII期の時間は条件によらず10~15倍であった。
- 5) 以上の結果より、クリープ試験は部分片振り試験のうちの応力振幅が0である特殊な一条

[†] Report I: This journal, 34(7), 590-596 (1988).

^{*1} Recived May 21, 1990. 本報の概要は第40回木材学会大会 (1990年4月, つくば) で発表した。

^{*2} 静岡大学農学部 Faculty of Agriculture, Shizuoka University, Shizuoka 422

件として、繰り返し疲労試験とまとめて評価できることがわかった。

1. 緒 言

パーティクルボード (PB) の疲労挙動を、材料の評価に欠すことのできない物理的・機械的特性のひとつとして、またボードの耐久性能を評価する手段のひとつとして検討している。

PB を床下地材等として用いる場合、家具等の静止荷重の上に住人の歩行等の荷重が、持続的かつ間欠的にボードに作用していることを考える必要がある。部分片振りでは、最小応力の上に一定応力振幅の繰り返し応力が加わることになり、実用上の荷重に近い条件となる。また、その応力振幅を変化させることにより、応力振幅が最大応力の1/2では片振り、応力振幅が0ではクリープといったそれぞれの挙動を結び付けることが可能となる。Kollmannら¹⁾はPBの繰り返し曲げ・片振り引張り試験について、McNattら^{2,3)}はPBの引張り及びインターラミネーション断繰り返し片振り試験について報告しているものの、部分片振りについては、ほとんど触れられておらず、部分片振りに関する資料は、極めて少ないと言える。

本実験では、PBの疲労の基礎的な知見を得ることを目的とし、疲労強度に及ぼす部分片振りの影響について検討し、部分片振りの挙動を片振りの挙動と比較考察した。またクリープと繰り返し負荷との関連についても考察した。

2. 実 験

2.1 供試材料および試験片

15 mm 厚の市販のフェノール樹脂ボード (JIS 200 タイプ) を使用した。供試ボードの強度性質をTable 1

に、また引張り疲労試験片の形状を Fig. 1 に示した。ボードより製造方向に平行方向に長さ260×幅60 mm の試験片を約150体採取し、中央部を幅40 mm、平行部を50 mm となるように切削した。また試験機に取り付けるための穴を直径10 mm のドリルで両端部に4ヶ所ずつつけた。

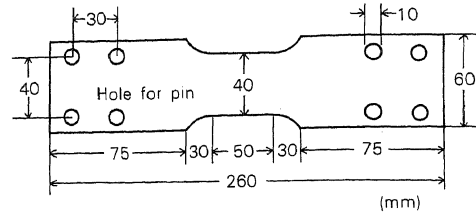


Fig. 1. Tensile fatigue test specimen.

2.2 破壊荷重の推定法

試験片の中央部切削以前に試験片全てについて比重(SG)、および破壊荷重の7~10%の小荷重を負荷して曲げヤング係数(MOE)を測定した。全試験片より全体を代表する42体の試験片を選択し、静的引張り試験を行った。SG、MOEおよび引張り強さ(F_t)の関係より、下記の破壊荷重の推定式を求めた。重相関係の検定の結果、危険率1%で有意であった。

$$F_t = -85.3 + 187SG + 98.6 \times 10^{-3} MOE \quad (1)$$

($R=0.53$)

2.3 部分片振り試験

負荷方法は荷重制御による周波数10 Hzの正弦波形繰り返し荷重で、負荷条件は最大応力(S_{max})および応力振幅(S_a)をそれぞれ5条件設定し、これらを組み合わせた16条件とクリープ2条件を含めた計18条件とした(Table 2)。負荷回数は 5×10^6 回を限度

Table 1. Properties of tested commercial board.

| Specific gravities | | 0.797 | 1.50 | 150 |
|---|-------|--------------------------------|-------------------------------|--------|
| | Units | Average (kgf/cm ²) | Coefficients of variation (%) | $n^a)$ |
| Strength Properties | | | | |
| Young's moduli in bending | | 32.8×10^3 | 5.65 | 150 |
| Bending strengths (air-dried) | | 229 | 8.95 | 12 |
| Bending strengths (wet A) ^{b)} | | 139 | 9.18 | 12 |
| Bending strengths (wet B) ^{c)} | | 136 | 6.77 | 12 |
| Young's moduli in tension | | 30.3×10^3 | 12.93 | 42 |
| Tensile strengths | | 96.1 | 5.78 | 42 |
| Internal bond strengths | | 8.2 | 7.52 | 12 |

^{a)} Number of measured specimen.

^{b)} JIS A 5908 5.5.1.

^{c)} JIS A 5908 5.5.2.

Table 2. Test conditions.

| $S_a^{b)}$ (%) | $S_{max}^{a)}$ (%) | 85 | 77 | 69 | 61 | 53 |
|-----------------|--------------------|----|----|----|----|----|
| 0 ^{c)} | | ○ | ○ | | | |
| 8 | | ○ | ○ | ○ | | |
| 16 | | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 24 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 32 | | ○ | ○ | ○ | | |
| 40 | | ○ | | | | |

a) Maximum stress levels.
 b) Stress amplitudes.
 c) Creep tests.

とし、試験個数は各条件5体である。また周波数の影響を検討するために $S_{max}=77\%$ の片振り試験を 0.1, 1, 10 Hz の3種の周波数で、各周波数10体の試験を行った。試験機は電気油圧サーボ式多機能型材料試験機を用い、繰り返し負荷に伴い連続的に変化するひずみおよび荷重を波形記録計を通し、パソコンにより記録した。

3. 結果と考察

3.1 サイクリッククリープ曲線

部分片振りの繰り返し負荷による変形挙動の一例を Fig. 2 に示す。同図は、最大応力61%、応力振幅24%で試験した場合のサイクリッククリープ曲線である。上の曲線が繰り返し負荷の進行に伴う最大のひずみの変化を、下の曲線が最小ひずみの変化を示している。関野ら⁴⁾ は、PBの曲げ疲労試験において、曲げたわみ量の増加は、I~IV期の4段階に分

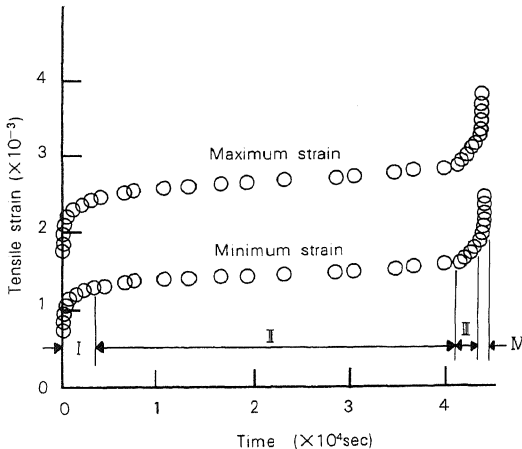


Fig. 2. Example of cyclic creep behavior in the partial non-reversed fatigue test.
 Notes: Maximum stress level=61%, Stress amplitude=24%.

けることができることを報告している。引張りの部分片振り試験でも同様に、変形量が初期にやや増加するI期、その後一定増加率で進行するII期、引き続いて増加割合が増すIII期、急激に増加して破壊に至るIV期に分けられることが確認された。この傾向は、クリープ試験を含めたその他の条件についても同様であった。

I~IV期のなかでII期が破壊に至るまでの期間の大部分を占めていることは明らかである。各サイクリッククリープ曲線を比較すると、破壊までの時間に対するII期の時間の割合はほぼ一定であることが確認された。そこでI~IV期までの各時間に関して、全ての片振り条件について比較を行った。その結果、I期とIII+IV期の時間はほぼ等しく、I期に対するII期の時間は負荷条件によらず10~15倍となっているということが明らかとなった。

またひずみ振幅（負荷1サイクル当たりの最大ひずみから最小ひずみを引いた値）もサイクリッククリープ曲線と同様にI期からIV期に分けられる形をとったが、III期に至るまでは、大きな変化は見られず、急激な強度低下は認められなかった。これは、他の部分片振りの条件でも同様の傾向であった。これにより繰り返し負荷によっては、負荷形態によらず、破壊直前までは大きな強度低下は見られないと予想される。このことから、曲げ試験の挙動と同様に⁴⁾、II期からIII期への移行時に疲労破壊の直接的な原因となる損傷が内部に発生すると考えられる。

Fig. 3 は、サイクリッククリープ曲線におけるII期の傾きと破壊までの時間との関係を表わしてい

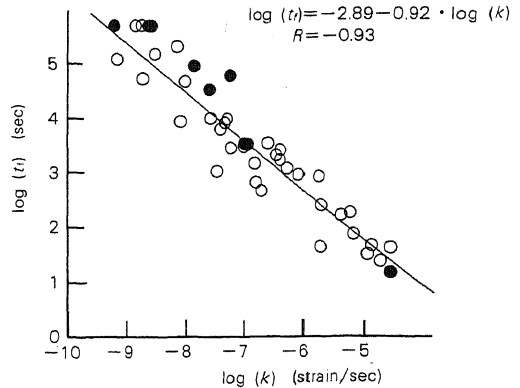


Fig. 3. Relationships between slopes of cyclic creep in the second stage and times to fracture.
 Legend: ●: Creep tests. ○: Partial non-reversed fatigue tests. t_f : Times to fracture. k : Slope in second stage. R : Correlation coefficient.

る。この図より負荷条件によらず、両者の間に直線関係があり、傾きの大きなものほど疲労寿命は短い傾向にあることがわかる。大熊ら⁵⁾ならびに朴ら⁶⁾は、繰返し曲げ試験を行い、サイクリッククリープ曲線のII期における傾きから破壊までの繰返し数を推定する方法を報告しているが、この図より引張りにおいては片振りだけではなく、部分片振りについてもII期における傾きから破壊までの時間を予測できることがわかった。また、図中の黒丸は、応力振幅0, すなわちクリープ試験の結果であるが、これらの点についてもほぼ直線上にあることがわかり、このことからクリープは、部分片振りの条件のうちの特異なケースの一つと言える。

Fig. 4は、最大応力77%について応力振幅とI期からII期への移行時の最大ひずみとの関係を示している。この図より同一最大応力では応力振幅が小さいほど移行時のひずみは大きい傾向があることがわかる。図中の黒丸で示されている点は、クリープ試験の結果であるが、クリープは最大応力一定で、応力振幅が小さくしていった結果の延長線上にあることがわかる。また他の最大応力、II期からIII期への移行時のひずみについても同様の傾向が見られた。これは、応力振幅が大きいほど、応力減少時の変形のもどり量が多いことに関係していると思われる。

これまでの結果から明らかとなったサイクリッククリープ曲線の特徴を模式図を用いてまとめている (Fig. 5)。例えば最大応力一定で、応力振幅が変化した場合を考えてみる。片振り試験をして得られた曲線を①とする。最大応力は一定のまま、応力振幅を小さくして部分片振り試験をした場合、まず1サイクル目の最大ひずみは等しく、応力振幅が小さくなったことでI期の時間は長くなり、またI期からII期への移行時のひずみは大きくなる。II期の傾きは小さくなり、II期からIII期への移行時のひずみは大きく、①の片振りよりも破壊までの時間は長くなり、②の曲線が得られた。また応力振幅を0%, すなわち定荷重クリープ試験をした場合には、③の曲線が得られた。つまり、片振り試験から最大応力一定で、応力振幅を小さくしていくことで、曲線は、①から③に近づいていくことになる。またこれらの結果から、II期からIII期への移行時に疲労破壊の直接的な原因となる損傷が内部に発生すると考えたならば、実際の使用下において、その負荷形態により、変形の限界は異なってくることが予想できる。

3.2 $\tan \delta$ とエネルギーロス

部分片振りによる疲労過程でのエネルギー損失と $\tan \delta$ を検討した。一例として、Fig. 6に、最大応力

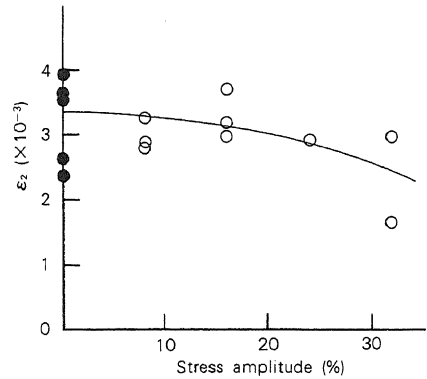


Fig. 4. Relationships between stress amplitudes and the maximum strains at the transition points from the first to the second stages of cyclic creep ($S_{max}=77\%$).

Legend: ●: Creep tests. ○: Partial non-reversed fatigue tests. ϵ_2 : Maximum strain at the transition points from the first to the second stages.

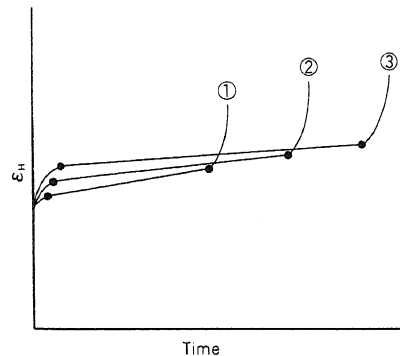


Fig. 5. Resulting model of cyclic creep in non-reversed fatigue, partial non-reversed fatigue, and creep test.

Legend: ①: Non-reversed fatigue. ②: Partial non-reversed fatigue. ③: Creep test. ●: Defined transition points in cyclic creep. ϵ_{II} : Maximum strain.

61%, 応力振幅24%における $\tan \delta$ 及びエネルギーロスの時間変化を示した。 $\tan \delta$ 及びエネルギーロス (H_c) は次式より求めた。

$$\tan \delta = \frac{\sin \delta}{\cos \delta} = \frac{\Delta \sigma}{\sigma_0 \sqrt{1 - (\Delta \sigma / \sigma_0)^2}} \quad (5)$$

$$H_c = \frac{\pi}{4} \cdot \sigma_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \tan \delta \quad (6)$$

ここで、 σ_0 は応力振幅、 ϵ_0 はひずみ振幅であり、 $\Delta \sigma$ は $\epsilon = \epsilon_0 / 2$ の時の応力差である。(Fig. 6)

$\tan \delta$ はいずれの負荷条件においても破壊寸前で一定の値となる傾向が認められた。この結果より、

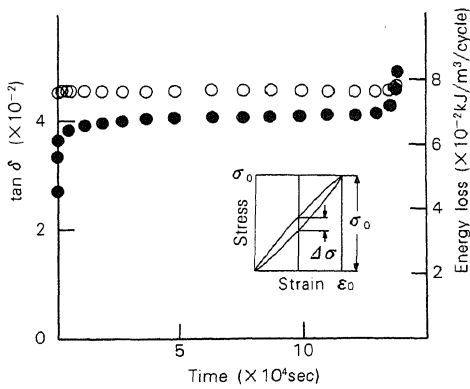


Fig. 6. Example of courses of $\tan \delta$ and energy losses in the partial non-reversed fatigue process.

Notes: Maximum stress level=61%, Stress amplitude=24%.

Legend: ○: $\tan \delta$. ●: Energy losses.

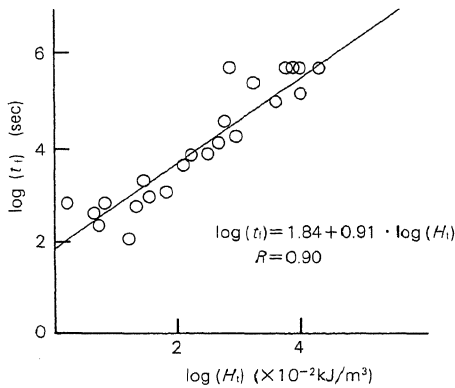


Fig. 7. Relationships between total energy losses and times to fracture.

Legend: t_f : Times to fracture. H_t : Total energy losses. R : Correlation coefficient.

繰り返し負荷試験については、破壊寸前まで材質にはほとんど変化が見られないと考えられる。またエネルギーロスの時間変化に関しては、いずれの負荷条件においてもこの図と類似した傾向が見られた。 $\tan \delta$ が一定であるということは、エネルギーロスの変化が、(6)式の ϵ_0 におもに依存していることを意味する。すなわちエネルギーロスの変化は破壊寸前までひずみ振幅の変化と等しいものになることがわかる。

Fig. 7は、破壊までの時間とエネルギーロスの総量との関係を表わしている。木材についても同様の結果が得られているが、負荷条件に関係なく、パーティクルボードの場合にも両者の間に直線関係があることが明らかとなった。

3.3 疲労寿命に及ぼす周波数の影響

クリープを部分片振りの条件の一つと考え、疲労寿命を比較する場合、どの周波数と比較するかという疑問が生じる。すなわち、疲労寿命は、負荷の周波数に依存し変化するため、破壊までの時間についても周波数の影響を受けると考えられる。そこで疲労寿命に及ぼす周波数の影響を検討した。Fig. 8に、周波数と破壊までの時間との関係を示した。この図より木材と同様に⁷⁾、周波数が高くなると破壊までの時間は低下する傾向があることが明らかとなった。これは周波数の高い方が一定時間内に繰り返される負荷回数が多いため、当然の結果であるが、逆に疲労破壊までの繰り返し回数で比較すると、周波数が高い方が破壊までの繰り返し数は大きくなった。

疲労破壊に及ぼす負荷周波数の効果とは、負荷の繰り返し数の効果、負荷速度の効果、負荷継続時間の効果が、複合されているものと考えることができる。

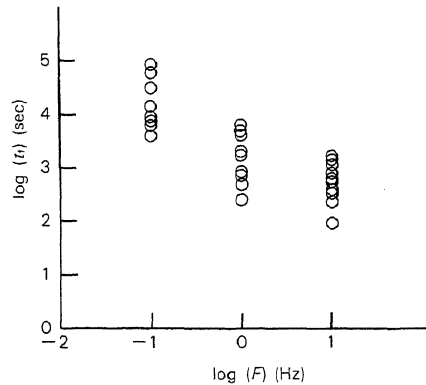


Fig. 8. Effects of frequencies on times to fracture in tensile non-reversed loadings.

Legend: t_f : Times to fracture. F : Frequencies.

3.4 部分片振りによる疲労寿命

Fig. 9は破壊までの時間に及ぼす部分片振りの最大応力、応力振幅の影響を表わしている。最大応力85%のみ、先に行った10体を加えた15体の、その他の条件については5体の破壊までの時間の平均値を示してある。実線は最大応力の等しいものを、また点線は応力振幅の等しいものをそれぞれ結んでいる。カッコ付きの4点については、 5×10^7 秒で破壊しなかった試験体がカッコ内の数だけ存在したので、実際の疲労寿命は、図上ではさらに上方にあることになる。この図より最大応力一定の場合、応力振幅の減少に伴い破壊までの時間は増加しているこ

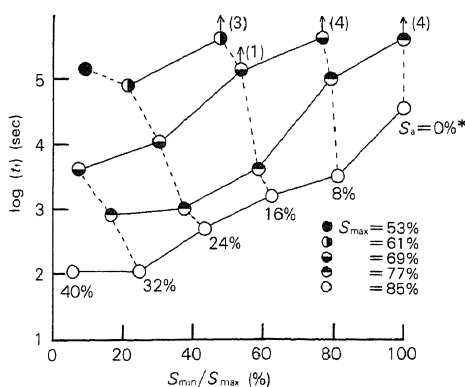


Fig. 9. Lifetime by partial non-reversed fatigue tests.

Legend: *: Creep tests. t_f : Times to fracture. S_{min} : Minimum stress levels. S_{max} : Maximum stress levels. S_a : Stress amplitudes = $(S_{max} - S_{min})/2$.

とが明らかである。また応力振幅一定の場合、最大応力の減少に伴い破壊までの時間は増加していることもわかる。これらよりPBの疲労寿命は最大応力だけでなく応力振幅にも敏感に影響を受けることがわかった。また、 $S_{max} = 85$, 77%の繰り返し負荷試験において応力振幅を小さくしていった結果とクリープ試験の結果はかけ離れた値ではなく、滑らかに結ばれた。3.5で述べた周波数の影響を考えると、周波数を小さくすることにより、繰り返し負荷試験による結果は図上である程度上方に移ると考えられるが、クリープの結果とは滑らかに結ばれることになる。これらのことから、クリープは部分片振りにおいて応力振幅が0である特殊な場合であると考えることができよう。

4. 結 論

PBの疲労強度に及ぼす部分片振りの影響を検討した。またこれらの結果を基に部分片振りと片振り

およびクリープとの関連について考察した。試験結果の概要は次のとおりである。

1) PBの疲労寿命は、最大応力だけではなく応力振幅にも敏感に影響されることが明らかとなった。

2) 片振りだけではなく部分片振りにおいても、サイクリッククリープ曲線のII期の傾きから疲労寿命を予測できることがわかった。

3) 同一最大応力では、応力振幅の小さな負荷条件ほど、I期からII期、及びII期からIII期への移行時の最大ひずみ量は大きい傾向にあった。

4) 今回の試験の範囲内では、負荷条件によらず、サイクリッククリープ曲線におけるI期とIII+IV期の時間はほぼ等しく、II期が全期間の大部分を占めることが明らかであった。

5) 以上の結果より、クリープ試験は部分片振り試験のうちの応力振幅が0である特殊な一条件として、繰り返し疲労試験とまとめて評価できることがわかった。

文 献

- 1) Kollmann, F.; Krech, A.: *Holz Roh. Werkst.*, **19**(3), 113-118 (1961).
- 2) McNatt, J. D.; *Forest Prod. J.*, **26**(5), 45-48 (1976).
- 3) McNatt, J. D.; *Wood Sci.*, **11**(1), 39-41 (1978).
- 4) 関野 登, 大熊幹章: *木材学会誌*, **31**(10), 801-806 (1985).
- 5) 大熊幹章, 大城拓也, 古橋正基: *木材工業*, **43**(4), 161-165 (1988).
- 6) 朴 鍾瑩, 又木義博: *木材学会誌*, **35**(7), 609-615 (1989).
- 7) Okuyama, T.; Itoh, A.; Marsoem, S. N.: *Mokuzai Gakkaishi*, **30**(10), 791-798 (1984).