

パーティクルボードの曲げ疲労における疲労過程およびS-N関係

朴, 鍾瑩

又木, 義博

<https://doi.org/10.15017/14816>

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 59, pp.97-108, 1988-11-25. 九州大学農学部附属演習林
バージョン :
権利関係 :

パーティクルボードの曲げ疲労における疲労過程 および S-N 関係

朴 鍾 瑩・又 木 義 博

Fatigue Process and S-N Relation of Particleboard in Bending

Jong-Young PARK and Yoshihiro MATAKI

要 旨

パーティクルボードの定荷重曲げ疲労において、S-N 関係による疲労寿命の分布挙動を静的曲げの性質と関連して検討し、サイクリッククリープ変形および MOE 変化の推移からパーティクルボードの疲労進行過程を究明した。S-N 関係での応力レベルを比応力 (σ_r/γ_a) および応力比 (σ_r/σ_m) で示すと、疲労寿命の分布特性に及ぼす、ボードの厚さ、層構成状態および製造工程での機械送り方向などの材料条件の影響が明かである。S-N 関係における推定疲労強度およびその推定精度は静的曲げの性質に依存している。さらに、S-N 曲線の傾斜と静的曲げの性質の変動係数との関係によって疲労寿命のばらつきが予測される。とくに、非破壊的方法により測定できる静的 MOE と疲労特性の関係が注目すべきである。パーティクルボードは次のような 3 段階の疲労過程を経て破断に至る。すなわち、

段階 I (遷移過程)；初期の変形急増過程、

段階 II (定常過程)；塑性変形の安定的漸増過程、

段階 III (破断過程)；終期の不安定な変形の伸展および弾性消失過程。

そして、高応力レベルほど、繰返し回数比 (N/N_f) の少ないうちに、疲労が早めに進行して段階 III に至る反面、段階 III に入ってから疲労破断への進行は低応力レベルで急激である。MOR の変化では遷移過程が認められないが、段階 II, III での変化挙動はサイクリッククリープ現象と一致する。なお、3 層ボードの疲労進行における表層の抑制効果が著しい。

1. 緒 言

動的荷重によるパーティクルボードの変形および破断現象を究明することは構造用材としての利用において重要な課題である。パーティクルボードは金属のような均一材料と異なり、木材小片が多様な形態で接着固定されている内部構造によって特有な疲労挙動を示す。パーティクルボードの曲げ疲労については、各種ボードの耐久性能を評価する方法として、繰返し荷重または応力レベルと破断繰返し回数との関係、繰返し荷重に伴うサイクリッククリープの進行現象などが報告されている (KOLLMANN *et al.*, 1961) (田中ら, 1984) (関野ら, 1985) (大熊ら, 1988)。そのほか、引張りおよび層内せん断によるパーティクルボードの疲労についての研究も行われている (Mc NATT *et al.*, 1976) (SUZUKI *et al.*, 1986)。しかし、系統的データの集積による疲労寿命分布の推定、さらに、疲労におけ

る変形と破断過程の究明などは一層望まれている。とくに、パーティクルボードは内部構造に分布する不完全接着部や小片の異常配列部、小片自体の損傷などが疲労過程に密接に関与するので、繰り返し応力による不安定な破壊挙動を明らかにする必要があると思われる。

本研究では、定荷重—低サイクルによるパーティクルボードの曲げ疲労挙動について、繰り返し応力と破壊までの繰り返し回数との関係 ($S-N$ 関係) の統計的分析を行い、材料条件による疲労寿命の分布特性を静的曲げの性質に関連して検討した。さらに、応力繰り返しに伴って生じる変形現象、いわゆるサイクリッククリープ (δ) の進行過程を弾性係数 (MOE) の残存率とともに考察した。

2. 研究方法

2.1. 供試材料

供試ボードはユリア樹脂接着剤で固めた 200 タイプの市販の 3 層パーティクルボードであり、厚さ 10, 12, 15 mm の 3 種類を用いた。さらに、厚さ 33 mm の 3 層ボードでは、上下表層を切り取って厚さ 15 mm の内層のみにしたものを供試した。これらのボードの断面の軟 X 線照射写真を図 1 に示す。また、15 mm の 3 層ボードでは、製造工程の送り方向に対する平行および直角方向の試験片をそれぞれ採取し、それ以外では、すべて平行方向に採取した。

2.2. 静的曲げ試験

疲労試験片と同一部位で採取した同数の対照試験片を用いて、Instron 型強度試験機で中央集中荷重 (荷重速度 10 mm/min) による静的曲げ試験を行い、MOE (E)、MOR (σ_m) および曲げ比例限度 (σ_p) を求めた。

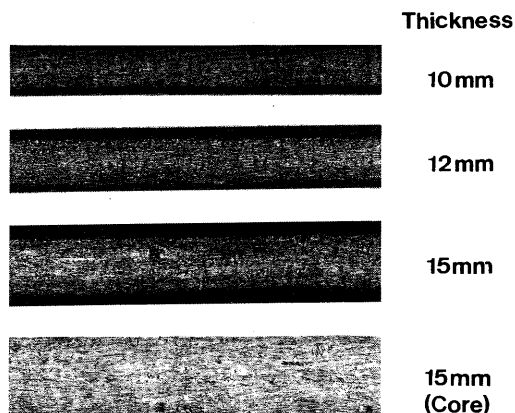


Fig. 1 Layer construction of board specimens showed by soft X-ray photography.

図 1. 軟 X 線照射によるボード試験片の層構成状態

2.3. 繰り返し曲げ試験

試作したクランク機構式疲労試験機を用いて、スパン 60 cm の片振り曲げの中央集中荷重を毎分 20 回の速度で負荷する定荷重繰り返し試験を行った。繰り返し荷重の範囲は試験片の厚さによって異なるが、 10^5 回以内の低サイクル域で破断するように設定した。試験片寸法は長さ 80 cm×幅 9 cm である。一方、繰り返し負荷に応じる動的たわみ(サイクリッククリープ)の変化を連続的に記録測定した。また、繰り返し負荷の途中の試験片について、比例限度以内の静的負荷により MOE を測定し、繰り返し曲げ荷重を与える前の MOE に対する比率を求め、これを MOE 残存率とした。

3. 結果と考察

3.1. 静的曲げの性質

供試ボードの MOE (E)、MOR (σ_m) および曲げ比例限度応力 (σ_p) は、ボードが厚いほど、比重 (γ_a) とともに減少し、比重との相関係数 (R) は増加している (表 1)。また、内層のみの場合には、3 層ボードに比べて非常に弱い曲げの性質を示しているが、その変動はやや小さく、比重との相関係数も高い。図 1 から、3 層ボードでは上下表層の厚みのアンバランスが曲げの性質のばらつきに関与する可能性が予測され、内層のみにした場合には、このような表層の影響が消去されていると考えられる。

表 1 疲労試験片の比重、静的曲げの性質および両者間の直線回帰
Table 1 Specific gravity, static bending properties, and regression equation between them, for fatigue specimens.

Particleboard specimens	Specific gravity γ_a CV(%)	Static bending properties			Regression equation	Coefficient of correlation
		Mean	CV(%)			
Board thickness (mm)	10 (3.7)	E	3.84	6.8	$E = -1.91 + 7.27 \gamma_a$	0.813
		σ_m	243	9.1	$\sigma_m = -259 + 633 \gamma_a$	0.841
		σ_p	194	8.2	$\sigma_p = -150 + 434 \gamma_a$	0.737
	12 (3.8)	E	3.60	10.6	$E = -4.91 + 10.78 \gamma_a$	0.856
σ_m		237	11.0	$\sigma_m = -344 + 736 \gamma_a$	0.847	
σ_p		171	12.3	$\sigma_p = -293 + 588 \gamma_a$	0.861	
15 (3.2)	E	3.51	7.4	$E = -4.32 + 10.13 \gamma_a$	0.954	
	σ_m	221	10.9	$\sigma_m = -424 + 835 \gamma_a$	0.871	
	σ_p	154	9.7	$\sigma_p = -251 + 524 \gamma_a$	0.862	
15 *(Core)	E	0.91	5.5	$E = -1.45 + 4.23 \gamma_a$	0.869	
	σ_m	79	8.9	$\sigma_m = -257 + 605 \gamma_a$	0.918	
	σ_p	41	7.3	$\sigma_p = -95 + 245 \gamma_a$	0.890	

γ_a : Specific gravity at air-dried condition
 CV : Coefficient of variation
 E : Modulus of elasticity (MOE) ($\times 10^4$ kgf/cm²)
 σ_m : Modulus of rupture (MOR) (kgf/cm²)
 σ_p : Stress at proportional limit (kgf/cm²)
 *Core : Only core layer after planning on 3-layered board

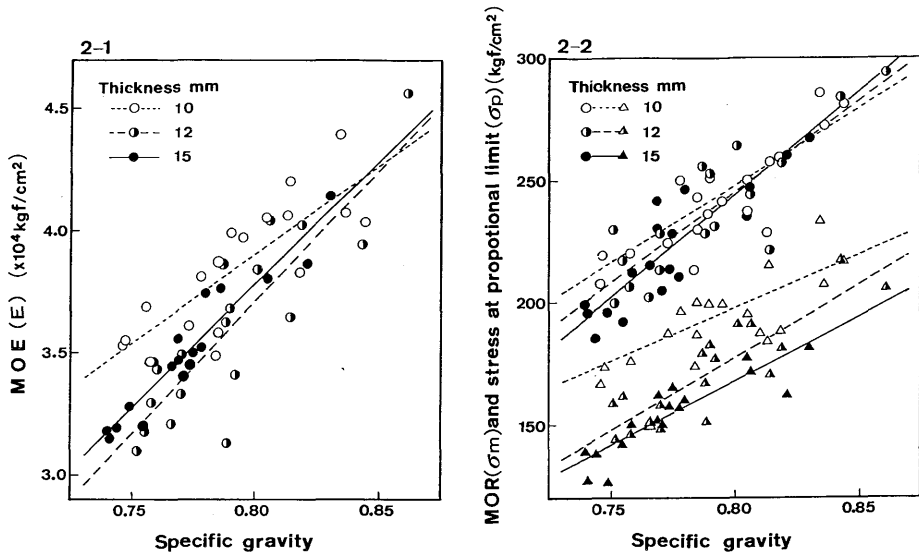


Fig. 2 Relationship between specific gravity and static bending properties for fatigue specimens.

図2 疲労試験片の比重と静的曲げの性質との関係

3.2. S-N 関係による疲労寿命分布

普通、S-N 曲線は定荷重繰り返し試験によって示しているものであり、繰り返し曲げの定荷重試験では、ひずみの進行により実際の表面応力は低下して行く(井手ら, 1978)(山本ら, 1980)。そこで、本研究の S-N 線図での繰り返し応力というのは、定荷重値により静的曲げの表面応力の計算式で求めたものであり、見掛けの応力である。破断までの繰り返し回数 (N_f) は 10^5 サイクル以下の低寿命域に分布しているので、無限回数の繰り返しに対しても破壊しない応力の上限值、いわゆる S-N 曲線の耐久限度 (Endurance limit) を求めることはできなかった。

表 2 では、曲げ疲労試験を行うとき与えた応力 (σ_r) および比応力 (σ_r/γ_a)、さらに、対照試験片の静的曲げ試験で得ている MOR (σ_m)、曲げ比例限度応力 (σ_p) に対する繰り返し応力の比 (σ_r/σ_m , σ_r/σ_p) などと破断までの繰り返し回数の対数値 ($\log N_f$) との関係を示し、その中で、 $\sigma_r/\gamma_a - \log N_f$ および $\sigma_r/\sigma_m - \log N_f$ 関係の S-N 曲線を図 3, 図 4 に表わした。S-N 関係の数式的表示方法としては従来から 5 種類の式が用いられているが(山本ら, 1980)、破断繰り返し回数が 10^5 以下の低サイクル域に分布する本実験では、応力レベルと $\log N_f$ との間の直線回帰が適している。 $\sigma_r/\gamma_a - \log N_f$ 関係による疲労寿命分布においては、ボードの厚さや層構成状態、製造工程での機械送り方向による繰り返し比応力 (σ_r/γ_a) の差が明らかであるが、 $\sigma_r/\sigma_m - \log N_f$ の関係での応力比 (σ_r/σ_m) の範囲は、いずれの場合でも約 0.4~0.8 である。

したがって、S-N 関係により、疲労強度に及ぼす材料の力学的因子の影響を検討する場合には、比応力 (σ_r/γ_a) で、材料の使用環境因子の影響を検討する場合には、材料の力学的因

表2 曲げ疲労における各タイプの S-N 関係に対する直線回帰
Table 2 Regression equation for various types of S-N relation in bending fatigue.

Particleboard specimens		Type of S-N curve	Regression equation	Coefficient of correlation
Board thickness (mm)	10	σ_r-N_f	$\sigma_r = 220 - 14.6 \log N_f$	-0.619
		σ_r/γ_a-N_f	$\sigma_r/\gamma_a = 290 - 23.8 \log N_f$	-0.783
		σ_r/σ_m-N_f	$\sigma_r/\sigma_m = 0.955 - 0.084 \log N_f$	-0.613
		σ_r/σ_p-N_f	$\sigma_r/\sigma_p = 1.206 - 0.111 \log N_f$	-0.619
	12	σ_r-N_f	$\sigma_r = 199 - 20.0 \log N_f$	-0.654
		σ_r/γ_a-N_f	$\sigma_r/\gamma_a = 254 - 26.4 \log N_f$	-0.705
		σ_r/σ_m-N_f	$\sigma_r/\sigma_m = 0.853 - 0.074 \log N_f$	-0.771
		σ_r/σ_p-N_f	$\sigma_r/\sigma_p = 1.189 - 0.100 \log N_f$	-0.768
	15	σ_r-N_f	$\sigma_r = 165 - 14.7 \log N_f$	-0.858
		σ_r/γ_a-N_f	$\sigma_r/\gamma_a = 223 - 21.1 \log N_f$	-0.867
		σ_r/σ_m-N_f	$\sigma_r/\sigma_m = 0.938 - 0.102 \log N_f$	-0.803
		σ_r/σ_p-N_f	$\sigma_r/\sigma_p = 1.424 - 0.139 \log N_f$	-0.840
	15 (Core)	σ_r-N_f	$\sigma_r = 70 - 8.4 \log N_f$	-0.884
		σ_r/γ_a-N_f	$\sigma_r/\gamma_a = 128 - 15.6 \log N_f$	-0.899
		σ_r/σ_m-N_f	$\sigma_r/\sigma_m = 0.977 - 0.130 \log N_f$	-0.837
		σ_r/σ_p-N_f	$\sigma_r/\sigma_p = 1.839 - 0.239 \log N_f$	0.860
To machine direction	Parallel	σ_r-N_f	$\sigma_r = 159 - 9.8 \log N_f$	-0.666
		σ_r/γ_a-N_f	$\sigma_r/\gamma_a = 216 - 15.2 \log N_f$	-0.815
		σ_r/σ_m-N_f	$\sigma_r/\sigma_m = 0.916 - 0.090 \log N_f$	-0.740
		σ_r/σ_p-N_f	$\sigma_r/\sigma_p = 1.329 - 0.126 \log N_f$	-0.767
	Cross	σ_r-N_f	$\sigma_r = 137 - 9.7 \log N_f$	-0.599
		σ_r/γ_a-N_f	$\sigma_r/\gamma_a = 184 - 13.7 \log N_f$	-0.688
		σ_r/σ_m-N_f	$\sigma_r/\sigma_m = 0.826 - 0.076 \log N_f$	-0.751
		σ_r/σ_p-N_f	$\sigma_r/\sigma_p = 1.230 - 0.097 \log N_f$	-0.667

N_f : Number of cycles to failure
 σ_r : Repetitive stress (kgf/cm²)
 σ_r/γ_a : Specific stress (kgf/cm²)
 $\sigma_r/\sigma_m, \sigma_r/\sigma_p$: Stress ratio

子が消去される応力比 (σ_r/σ_m) で繰り返し応力レベルを表わす方が良いと考えられる。

3.3. S-N 曲線と静的曲げの性質との関係

いずれのタイプの S-N 関係においても、ボード厚さの増大とともに、応力レベルと $\log N_f$ との相関は高くなり、対照試験片の比重と静的曲げの性質間の相関係数の変化と同じような傾向を示す(図5)。なお、 σ_r/σ_m-N_f および σ_r/σ_p-N_f の S-N 関係の回帰式より推定された $N = 10^6$ における疲労強度 (σ_{me}, σ_{pe}) と対照試験片の静的曲げの性質 (σ_m, σ_p) を比較している(図6)。ボード厚さの増加によって、 σ_{me} は σ_m と並行しながら減少する。ここで、 σ_{me} は σ_m の 30~45% の範囲である。したがって、S-N 関係からの推定疲労強度はその推定精度とともに静的曲げの性質に依存すると言われる。

一方、S-N 関係による疲労寿命分布の考察において欠かせない問題の一つは破断寿命のばらつきである。寿命のばらつきの原因としては、大まかに (1) 材料の処女状態における

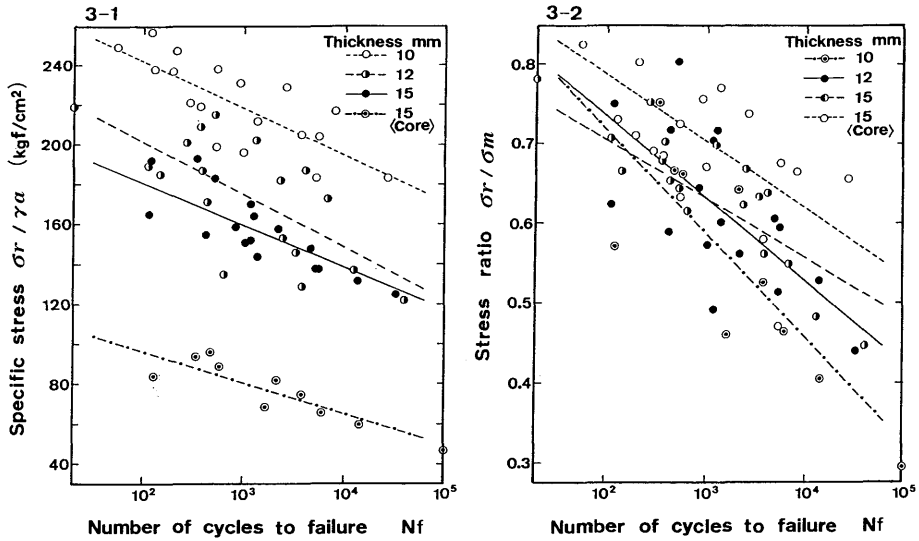


Fig. 3 Relationship between stress levels (σ_r/γ_a , σ_r/σ_m) and number of cycles to failure for various board thicknesses.

図3 各ボード厚さにおける応力レベルと破断繰返し数の関係

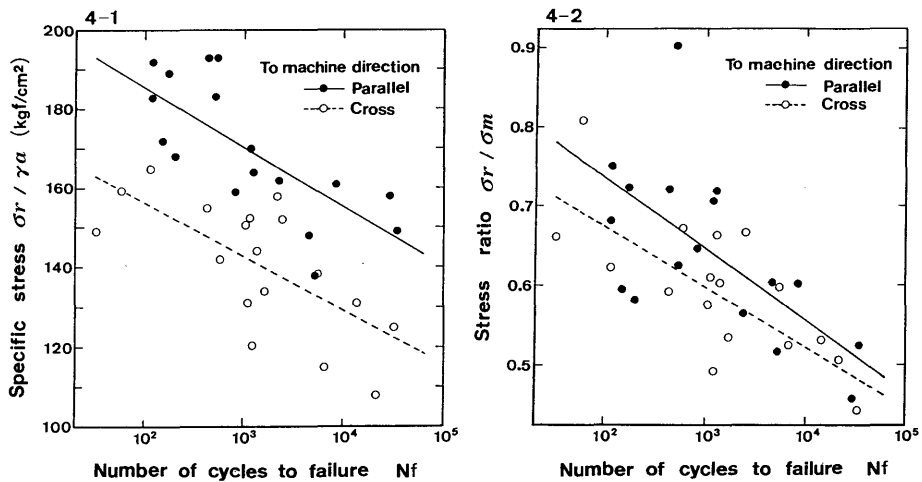


Fig. 4 Relationship between stress levels (σ_r/γ_a , σ_r/σ_m) and number of cycles to failure for parallel and cross to manufacturing machine direction.

図4 製造機械の送り方向に対する平行および直角方向における応力レベルと破断繰返し数との関係

差異, (2) 試験条件の不揃い, (3) 疲労損傷進行の確率的現象などが上げられ, この原因とともに作用する多くの影響因子がある (下河ら, 1980). 本報では, 上の (1) の因子について着目し, 静的曲げの性質においての変動係数と疲労破断寿命のばらつきとの関連性

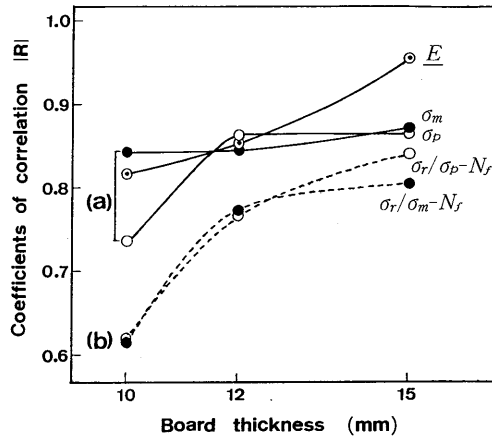


Fig. 5 Changes in coefficient of correlation from static bending properties-specific gravity (a) and S-N (b) relationships with board thickness.
 図5 ボード厚さによる静的曲げの性質と比重の関係(a)および各種応力レベルでの S-N 関係(b)の相関係数の変化

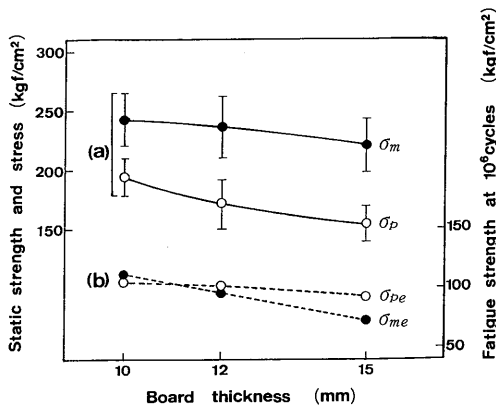


Fig. 6 Changes in static bending properties (a) and estimated fatigue strength (b) with board thickness.
 σ_{me}, σ_{pe} : Estimated fatigue strength at 10^6 cycles by regression equation for each relationship of $\sigma_r/\sigma_m - N_f$ and $\sigma_r/\sigma_p - N_f$.
 *The range of the mean values shows the standard

図6 ボード厚さによる静的曲げの性質および推定疲労強度の変化

を予備的に検討した。S-N 曲線の傾斜と疲労寿命のばらつきとの関係に対しては、金属材料の疲労寿命データを使用した統計的解析が行われ、材料の種類にも関わらず、S-N 曲線の傾斜と疲労寿命の変動係数の間には強い相関があることを示している (下河ら, 1980) (佐々木ら, 1988)。そこで、S-N 曲線の傾斜を疲労寿命のばらつきを表すパラメータとして見なすとすれば、パティクルボードの静的曲げの性質の変動係数と S-N 曲線の傾斜との関係によって、破断寿命のばらつきが予測できると考えられる。図7に示すように、S-N

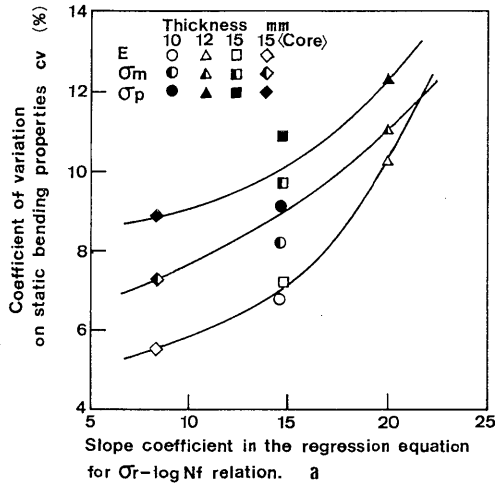


Fig. 7 Relationship between slope of $S-N$ curve and coefficient of variation on static bending properties.

図7 $S-N$ 曲線の傾斜と静的曲げの性質の変動係数との関係

曲線の傾斜である $\sigma_r - \log N_f$ 関係における回帰係数 (a) は対照試験片の静的曲げの性質の変動係数 (CV) とともに増加する傾向が見られる。とくに、非破壊的方法により測定できる MOE の変動係数は疲労破断寿命のばらつきの評価に有用になると思われる。しかし、パティクルボードの静的性質のばらつきと疲労寿命のばらつきとの定量的関係を検討するためには、同一応力レベルで多種多数の試験片に対する繰り返し試験を行わなければならない。

3.4. サイクリッククリープ進行挙動

サイクリッククリープは、定荷重により低サイクル疲労試験を行う場合、負荷方向に変形が進行する動的クリープ現象であり、比例限度以下の応力レベルでもこのサイクリッククリープが生じる。サイクリッククリープの進行過程は、図8に示すように、変形が急速に増加する初期の遷移過程(段階I)、繰り返し回数の増加とともに徐々に安定して進行する定常過程(段階II)、さらに、破断に至るまで加速的に変形が増加する破断過程(段階III)など3段階に分けられる。この過程の段階IIからIIIへ移る境界の繰り返し回数 (N_c) は、繰り返し初期から発生して蓄積された微小なクラックや本来のボードの内部構造に存在した欠陥部が大きく成長し始まる移行点であり、不安定な破断過程を引き起こす真の疲労寿命と考えられる。一方、木材やボード類のサイクリッククリープの進行挙動を4段階に分けて検討している場合もあるが(今山ら, 1971)(関野ら, 1985)、本研究では、段階IIIがさらに分割されるような移行現象は認められない。

破断繰り返し回数 (N_f) に対する進行過程の繰り返し回数 (N) の比、つまり繰り返し回数比 (N/N_f) の増加に伴うサイクリッククリープ (δ) の変化挙動を見ると(図9)、いずれの場合でも、段階Iは非常に短く、すぐ定常領域(段階II)に移行する。段階IIは全

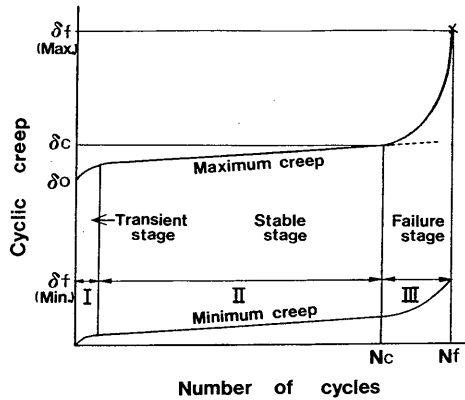


Fig. 8 Progression of cyclic creep with repetition of loading.

- δ_0 : Initial cyclic creep
- δ_c : Critical cyclic creep
- δ_f : Cyclic creep directly before failure
- N_c : Critical life
- N_f : Number of cycles to failure

図8 繰返し負荷に伴うサイクリッククリープの進行

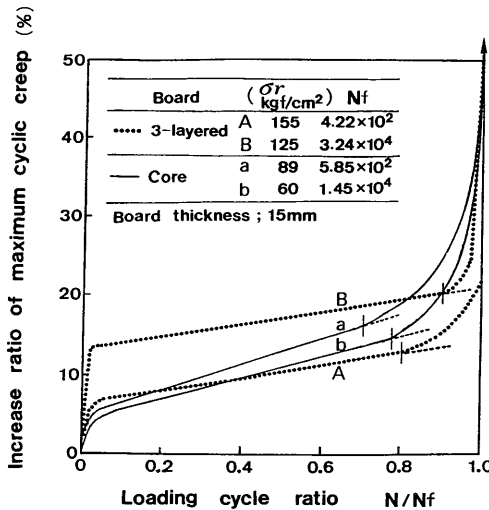
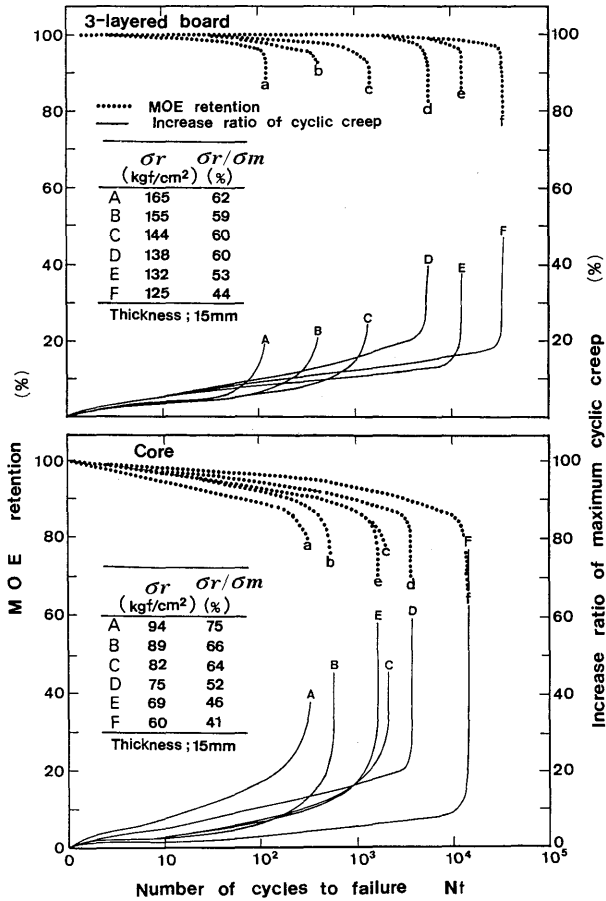


Fig. 9 Relationship between increase ratio of cyclic creep and loading cycle ratio.

図9 サイクリッククリープ増加率と繰返し数比との関係

寿命の約70~90%を占め、サイクリッククリープは徐々に直線的な増加を示す。この段階IIからIIIへの移行点 (N_c) での繰返し回数比 (N_c/N_f) は、高応力の場合が低応力よりも、内層のみの場合が3層ボードよりも小さい。応力レベルが高いほど初期サイクリッククリープ量 (δ_0) が大きいことは当然であるが、 δ_0 に対する段階IIIでの増加率は低応力ほど高い。このような現象により、各応力レベルにおける破断繰返し回数 ($\log N_f$) と破断直



* A~F and a~f: Point directly before failure.

図 10 各応力レベルでの繰返し負荷に伴う MOE 残存率とサイクリッククリープ増加率の変化

前 (N_{f-1}) でのサイクリッククリープ増加率の最大値 (図 10 の A-F 点) との関係はほぼ右上の直線上に現われていることになる。

3.5. 疲労過程における MOR の変化

サイクリッククリープの変形に応じる MOE の変化を初期 MOE に対する繰返し途中の MOE の比率, すなわち, MOE 残存率で表した (図 10). 3 層ボードの場合, サイクリッククリープ進行段階 I, II 中の MOE の低減は 5% 程度に過ぎず, 段階 III に入ってから急激に低下するものの, ほぼ破断に至るまで約 90% 程度の残存率を保つことが認められる. 内層のみの場合には, 3 層ボードよりも段階 II の過程に MOE が著しく低減し, 破断に至るまで約 70~80% の残存率を示している. しかし, MOE 変化挙動における遷移過程 (段階 I) は認められない. 図 10 に示す a~f の点は破断直前 (N_{f-1}) の MOE 残存率である. MOE

は弾性変形下での応力-ひずみ関係の傾斜 ($E = \sigma_r/\epsilon_e$) と定義されるものであるが、ここでは、便宜上図 8 のサイクリッククリープ変形量により、 $E(N_f-1)/E_0 \times 100 = \delta_0/(\delta_f(\max) - \delta_f(\min)) \times 100(\%)$ の式で破断直前の MOE 残存率を求めた。

以上のような疲労過程中の MOE 残存率と前述のサイクリッククリープ現象により、パーティクルボードの疲労進行挙動を見ると、まず、繰り返し低応力ほど、全寿命に対する定常過程 (段階 II) の比率は大きくなる反面、破断過程 (段階 III) での疲労の進行は急激である。これは疲労段階 I, II で蓄積されて、ある限界に達した微小クラックの加速的伸展が急激な弾性消失を招いているためと考えられる。つぎに、内層のみにした場合、全寿命にわたる MOE 残存率の低減およびサイクリッククリープの増加率は、同じ破断寿命域での 3 層ボードの場合よりも約 2 倍になり、3 層ボードの上下表層による疲労進行の抑制効果が著しく示されている。

4. 結 語

近年、構造用木質材料として一層期待されているパーティクルボードの疲労寿命分布特性および疲労進行挙動を明らかにするため、定荷重の曲げ疲労試験を行い、S-N 関係における疲労寿命分布に及ぼすいくつかの材料条件の影響を静的曲げの性質と関連して検討した。さらに、サイクリッククリープ変形および MOE の変化によりパーティクルボードの疲労過程を追究した。その結果は次の通りである。

(1) $\sigma_r/\gamma_a - \log N_f$ 関係によって疲労寿命分布を示す場合には、ボードの厚さ、層構成状態および製造工程での機械送り方向などによる繰り返し比応力 (σ_r/γ_a) の差が明かであり、 $\sigma_r/\sigma_m - \log N_f$ 関係では、それらの因子の影響が消去され、いずれの場合でも同様な応力比 (σ_r/σ_m) の範囲で分布する。

(2) S-N 関係から推定された疲労強度およびその推定精度は同一試験片の静的曲げの性質の変化に強く依存する。なお、S-N 曲線の傾斜は静的曲げの性質の変動係数とともに増加する傾向を示し、この関係により疲労寿命のばらつきが予測される。

(3) サイクリッククリープ進行現象により、パーティクルボードの疲労過程は遷移過程 (段階 I)、定常過程 (段階 II)、破断過程 (段階 III) の 3 段階に分けられる。MOR の変化における遷移過程は認められないが、段階 II, III での変化挙動はサイクリッククリープ進行と一致する。

(4) 疲労段階 II から III への移行点 (N_c) での繰り返し回数比 (N_c/N_f) は、高応力の場合が低応力よりも、内層のみの場合が 3 層ボードよりも小さい。反面、繰り返し低応力レベルほど、破断過程に入ってから疲労進行が急速であり、MOE が急激に低減する。なお、内層のみにした場合の MOE 残存率の低減およびサイクリッククリープの増加は、同じ破断寿命域での 3 層ボードに比べて約 2 倍になる。

引 用 文 献

井手龍一郎・吉田総仁・白鳥英亮 (1978)：真応力制御繰り返し引張り圧縮試験におけるサイクリック

- クリーブ変形挙動と不安定破壊. 日本機械学会論文集 44 (379): 798~805
- 今山延洋・松本 島 (1970): 木材の疲れに関する研究 (第1報). 木材誌 16: 319~325
- KOLLMANN, F. and KRECH, H. (1961): Zeitfestigkeit und dauerfestigkeit von holzspanplatten. Holz als Roh-und Werkstoff 19 (3): 113~118
- 松岡三郎・湯山道也・西島 敏 (1987): 低サイクル疲労におけるヤング率とポアソン比. 日本機械学会論文集 (A編) 53 (488): 724~730
- McNATT, J. D. and F. WERREN (1976): Fatigue properties of three particleboards in tension and interlaminar shear. For. Prod. J. 26 (5): 45~48
- 大熊幹章・大城拓也・古橋正基 (1988): パーティクルボードの疲労特性. 木材工業 43 (4): 161~165
- 佐々木茂美・越智保雄・石井 明・阿部浩文 (1988): 表面疲労き裂の発生, 伝波および破断寿命のばらつき特性に及ぼす材料組織の影響. 日本機械学会論文集 (A編) 54 (499): 426~431
- 関野 登・大熊幹章 (1985): 構造用パーティクルボードの耐久性能 (第1報). 木材誌 31: 801~806
- SUZUKI, S. and SAITO, F. (1986): Fatigue behavior of particleboard in tension perpendicular to the surface II. Mokuzai Gakkaishi 32: 801~807
- 田中淳裕・鈴木正治 (1984): パーティクルボードの曲げ疲労強度について. 木材誌 30: 807~813
- 下河利行・浜口泰正 (1980): S-N 曲線による疲労寿命分布測定. 材料 29 (316): 75~81
- 山本義秋・河本 実 (1980): 疲労試験結果における S-N 曲線の数式的表示について. 材料 29 (316): 51~56

Summary

The influence of different material conditions on the fatigue life distribution of particleboard could be showed by representing the stress level of $S-N$ curve in specific stress σ_r/γ_a and stress ratio σ_r/σ_m . Both the estimated bending fatigue strength and the coefficient of correlation in $S-N$ relation depended on the static bending properties of non cyclic loaded specimen. Moreover a quantitative relationship expected to be found in statistical variation between the fatigue life and the static bending properties since the slope of $S-N$ curve increased with the coefficient of variation of static bending properties. In particular, it was worthy of notice that fatigue properties were closely related static MOE.

From the behavior of cyclic creep and MOE retention in low-cycle bending fatigue under the controlled load, the fatigue process of particleboard could be divided into three stages as follows;

Stage I (Transient stage): The early step where strain increases rapidly.

Stage II (Stable stage): The middle step where the plastical strain gradually increases through the most part of fatigue life.

Stage III (Failure stage): The end step where strain increases acceleratively with elasticity loss and then the unstable failure occurs.

While the fatigue proceeded to the stage III within low cyclic ratio (N/N_r) under high stress level, the fatigue progression in the stage III was rapid under low stress level. Transient stage was not recognized in the behavior of MOE, but MOE changed inaccordance with cyclic creep in the stages II and III. The face layers had a remarkable effect to restrain the fatigue progression on three-layer particleboard.