

Fatigue Behavior of Wood-Based Panel under Variable Panel Shear Load

Takanori SUGIMOTO, Yasutoshi SASAKI and Machiko TAKAHASHI

1 緒 言

循環型社会構築に向けた木質構造の長寿命化や近年の部材のリユース・リサイクルに対する関心の高まりを背景として、使用中に作用する繰返し負荷に対する木質材料の性能評価の重要性が高まりつつある。また、生物材料特有の組織構造や性質のばらつきを有する木質材料の疲労挙動を明らかにすることは材料科学の観点においても意義深い。このような背景から、我々は木造住宅などに用いられる代表的な木質材料の一つである構造用木質パネルの面内せん断疲労に関する研究を行っている^{1)~4)}。本報では、実荷重の不規則性を考慮した変動荷重下における構造用合板の面内せん断疲労挙動を検討した。

2 実験方法

2.1 試験体 供試パネルには、JAS 構造用合板特類 2 級に類される市販の公称厚さ 9 mm のラジアータパイン合板を用いた。供試パネルから、試験体短辺方向を表層単板の繊維方向と一致させ、寸法 350 mm×240 mm の試験体を裁断した。裁断した試験体長辺の表裏に計 4 枚の重硬木をレゾルシノール樹脂接着剤で貼り付け、補強した。その後、治具固定のためのボルト孔をあけた。

2.2 疲労試験 実験には、電気油圧サーボ式疲労試験機を用い、“ASTM D 2719 Method C ; Two Rail Shear Test for Larger Specimens” (TRS 法) に準じて行った。作製した試験体長辺を幅 60 mm の L 型スチールレール対で挟み、片側 7 本、計 14 本のボルトで固定して、これを介してせん断力を負荷させた (Fig. 1)。あらかじめ、負荷

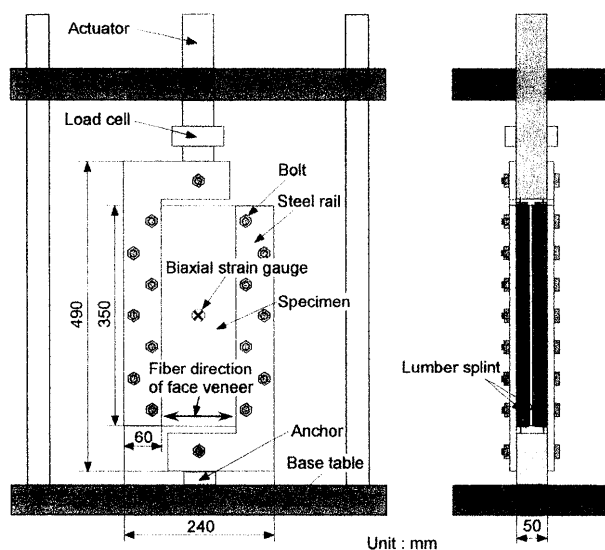


Fig. 1. Schematic illustration of panel shear fatigue test.

波形が三角波、負荷周波数が 0.5 Hz における一定応力レベル下での疲労試験を行った⁵⁾。得られた $S-N$ 関係に基づいて、負荷応力を途中で増加させる場合と減少させる場合の各々 4 パターンの変動荷重条件を設定し (Fig. 2, Table 1), 1 パターンあたり 3 体を用いて三角波・0.5 Hz における変動荷重疲労試験を行った。なお、試験体の静的せん断強さは 5.16 ± 0.35 MPa である。試験中には、試験体中央部に貼付した 2 軸ひずみゲージを用いてせん断ひずみを検出し、同時にアクチュエータの変位と荷重を計測した。

3 結果・考察

3.1 疲労寿命と累積被害則 Fig. 3 に変動荷重条件下で得られた疲労寿命を示す。縦軸には第 1 段階における負荷応力 S_1 をとった。変動荷重下における疲労寿命は、途中で応力レベルを下げた HL パターンでは S_1 に等しい一定応力下での疲労寿命より長くなり、途中で応力レベルを上げた LH パターンでは疲労寿命が短くなった。

この実験結果について、以下に示す Miner 則の適用を検討した。

$$n_1/N_{f1} + n_2/N_{f2} = 1 \quad (1)$$

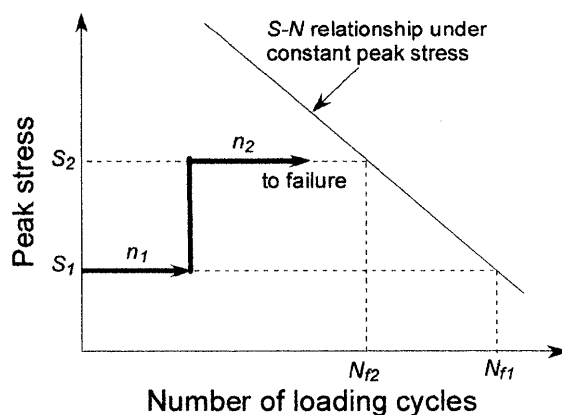


Fig. 2. Two-stage fatigue test.

Table 1. Loading conditions in two-stage fatigue test.

	1st stage S_1 [MPa] (Stress level)	n_1 [cycle]	2nd stage S_2 [MPa] (Stress level)	n_2 [cycle]
<i>High-Low sequence</i>				
HL1	3.86 (0.77)	500	3.38 (0.67)	
HL2	4.34 (0.86)	50	2.89 (0.57)	
HL3	4.34 (0.86)	1	3.38 (0.67)	
HL4	4.34 (0.86)	10	3.86 (0.77)	
<i>Low-High sequence</i>				
LH1	2.89 (0.57)	50000	4.34 (0.86)	
LH2	3.38 (0.67)	5000	3.86 (0.77)	
LH3	3.38 (0.67)	5	4.34 (0.86)	
LH4	3.86 (0.77)	10	4.34 (0.86)	

to failure

S_i , peak stress at i th stage; n_i , number of loading cycles at i th stage ($i = 1, 2$)

(1)式の左辺の2項をそれぞれx, y軸として全試験体の結果をプロットしたのがFig. 4であり, x軸の1とy軸の1を結ぶ直線が(1)式を表す。プロットは, Miner則を表す直線から大きくはずれており, Miner則には当てはまらなかった。

そこでMiner則を基として, 負荷回数の対数値を用いた新たな累積被害則を次式のように考案した。

$$\log(n_1)/\log(N_{f1}) + \{\log(n_1 + n_2) - \log(n_1)\}/\log(N_{f2}) = 1 \quad (2)$$

これは, 木質材料の疲労における力学特性の変化が負荷回数の対数値を基準として捉えられる場合が多いことから考案したものである。(2)式の左辺の2項をそれぞれx, y軸として全試験体の結果をプロットしたのがFig. 5であり, x軸の1とy軸の1を結ぶ直線が(2)式を表す。プロットは, 概ね新たな累積被害則を表す直線に沿うように位置しており, 新たな累積被害則に適合することが明らかとなった。

3.2 ひずみエネルギーに基づく疲労挙動

木材や木質材料の疲労現象は負荷波形や負荷周波数などの負荷条件に依存することが知られている。我々は, 構造用合板の面内せん断疲労に及ぼす負荷条件の影響を検討し, 疲労寿命やせん断剛性の低下が負荷条件に依存することを明らかにした^{4,5)}。また, 負荷1サイクル毎の応力-ひずみヒステリシスループの負荷時の曲線とx軸及び応力の最大値を通るy軸に平行な直線で囲まれるひずみエネルギーを算出し, 疲労破壊まで積算した累積ひずみエネルギーと疲労寿命の関係を調べると, 異なる負荷条件に共通の関係が得られた⁵⁾。このことから, 累

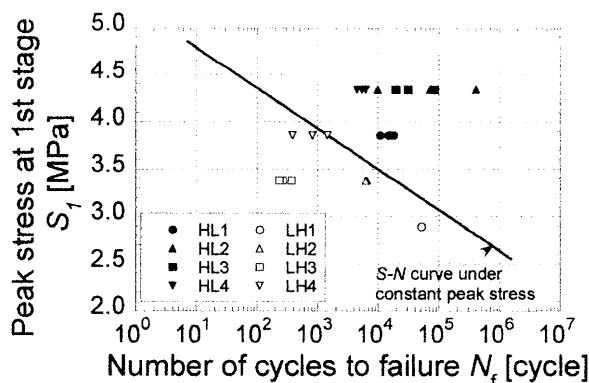


Fig. 3. Fatigue life under two-stage fatigue loading.

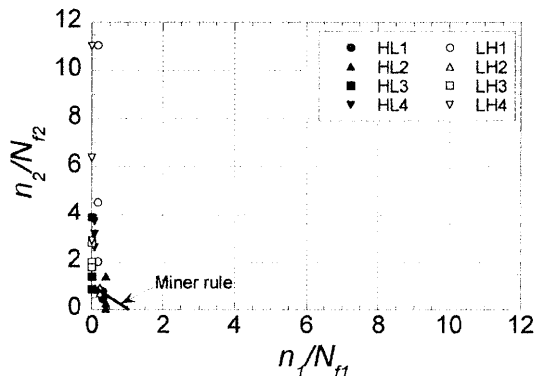


Fig. 4. Miner rule applied to the two-stage fatigue of plywood.

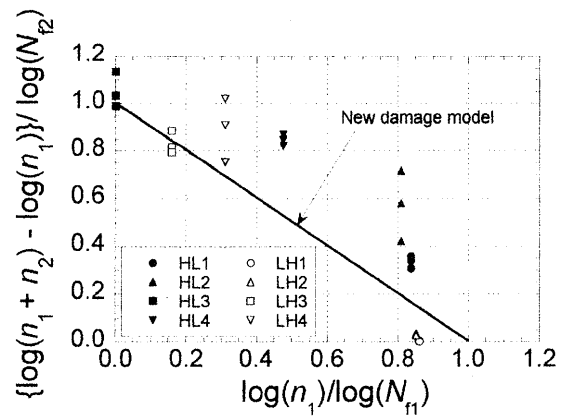


Fig. 5. New cumulative fatigue damage model applied to the two-stage fatigue of plywood.

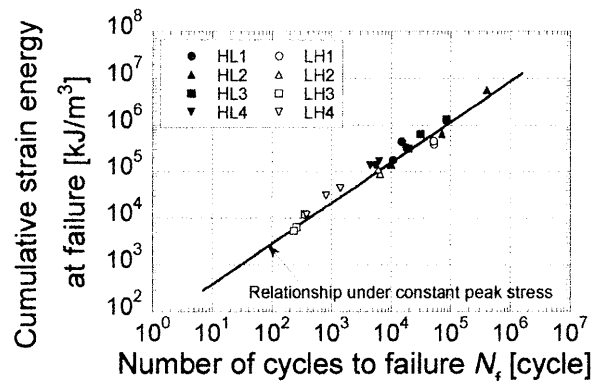


Fig. 6. Relationship between cumulative strain energy at failure and fatigue life.

積ひずみエネルギーと疲労寿命の関係は, 材料固有の疲労破壊クライテリオンであることが示唆された。その関係が材料固有のものであるなら, 疲労の過程で負荷応力が変動する場合にも同じ関係が得られると推察される。そこで本実験における疲労破壊までの第1段階+第2段階の累積ひずみエネルギーと疲労寿命の関係を調べると, 上記の推察を説明する結果が得られた (Fig. 6)。

4 結 言

変動荷重下における構造用合板の疲労寿命は, Miner則では説明できないものの, 負荷回数の対数値を用いて新たに提案した累積被害則には適合することが明らかとなった。また, 疲労破壊までの累積ひずみエネルギーと疲労寿命の関係は一定及び変動負荷下に共通のものであり, 材料固有の疲労破壊クライテリオンであると考えられた。

参 考 文 献

- 1) 佐々木康寿, 安藤勝幸, 山崎真理子, 伊藤隆之, 鈴木滋彦, 材料, **52**, 827 (2003).
- 2) 杉本貴紀, 佐々木康寿, 日本材料学会第55期学術講演会講演論文集, 367 (2006).
- 3) T. Sugimoto, M. Yamasaki, and Y. Sasaki, Wood and Fiber Science **38**(2), 215 (2006).
- 4) T. Sugimoto and Y. Sasaki, Wood Science and Technology **40**(6), 501 (2006).
- 5) T. Sugimoto, Y. Sasaki, and M. Yamasaki, Journal of Wood Science (in press).