

集成材の耐久性に関する研究*

確率過程論による積層材の曲げクリープ破壊の解析**

木材物理第3研究室 角 谷 和 男

(昭和36年5月31日受理)

Kazuo SUMIYA : On the Endurance of Glued-Laminated Wood. An Analysis of Bending Creep Fracture of Laminated Wood from the Standpoint of Stochastic Theory

筆者は先に素材の死荷重下における破壊時間おくれを確率過程論の立場よりヒノキ、ブナについて解析し、その破壊過程において内部構造変化あるいは集中応力の低下が起りうることを予測した¹⁾。ここでは集成材の耐久性に関する研究の一環として、積層された小試片の死荷重下の破壊時間のばらつきを同様の立場より解析し、接着層の存在による破壊機構の差異を素材と比較し、検討する。

実 験 方 法

破壊現象に関する測定値はそのばらつきが大きく、ことに死荷重下の破壊時間おくれのばらつきは非常に大きい²⁾。したがってこのばらつきを破壊が本質的に確率統計的なものであるという立場から問題にするためには、同一材より取られたと見なされる多数の試片より出発しなければならない。

素材と比較する意味において素材と全く同一のしかも一本の材より得られたブナ、ヒノキの積層材試片それぞれ 100本ずつを次の方法で準備した。

繊維方向長さ約 220mm, 接線方向長さ約 45mm, 半径方向長さ 1.4mm の任意に抽出した板5枚を1組とし、板目面において市販の尿素樹脂接着剤(樹脂含有量: 65%)で接着し、かくして得られた各板より繊維方向 190mm, 断面積 $7 \times 7 \text{ mm}^2$ の試片を3~4本ずつ取る(Fig. 1 参照)。接着条件は接着剤の塗布量約 20 g/ft^2 , 圧縮温度 135°C , 圧縮圧 10 kg/cm^2 , 圧縮時間約10分であり、接着後2~3日室内に放置、試片を製作し、さらに最小2週間 $5 \sim 10^\circ \text{C}$ の室内に放置後試験を行つた。

試験装置、試験方法も素材の場合と全く同様で、支持点間の距離 170mm, 荷重点間の距離 70mm の4点で一定量の砂によつて荷重し、ストツプウオッチで破壊迄の時間をよんだ。

死荷重下の破壊時間おくれの測定に先立ち、試片の強度を知るために上記 100本の中10本を流速一定の砂を滴下して荷重する方式で4点荷重による静的曲げ破壊試験を行い、残り90本を死荷重試験に用いた。

死荷重の場合の荷重は応力に換算した値が静的曲げ強度の破壊応力近傍(ヒノキで 9.5 kg/

* 文部省科学研究費による総合研究(代表者 満久崇磨)。

** 本報の概要は第11回日本木材学会大会(京都)に発表した(1961-4-8)。

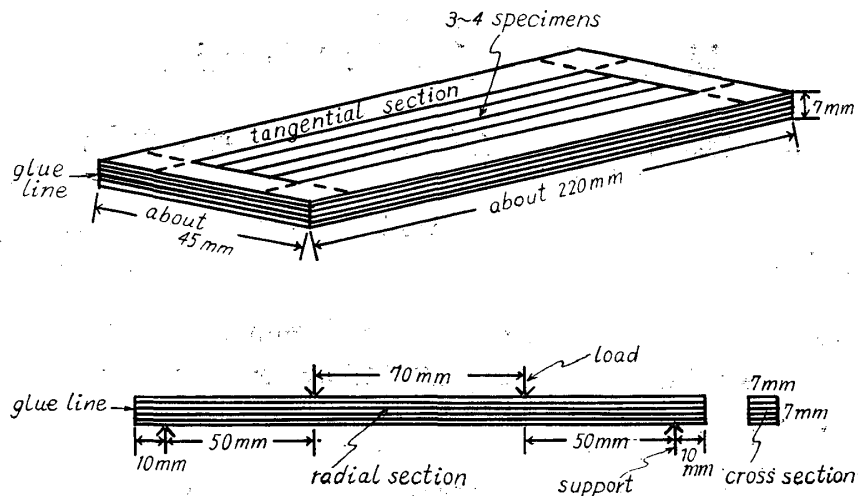


Fig. 1. Collection and size of specimen.

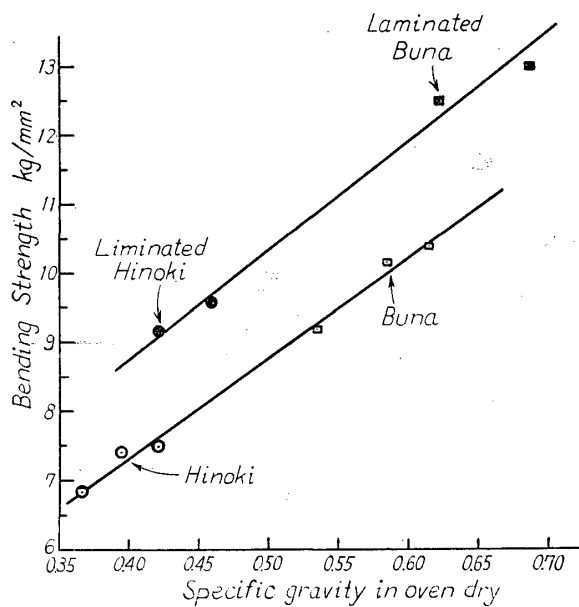


Fig. 2. The relation between specific gravity in oven dry and bending strength.

mm², プナで 12.9kg/mm²) である。

これらの荷重はすべて接着層に直角方向すなわち板目面より加え、11±1.5°C で試験した。試験後ただちに試片の両端より 4.5 cm づつを切りとり、JIS に準じて絶乾比重、含水率を測定し、二個の平均をもつてその試片の比重、含水率とした。

実験結果および考察

強度、死荷重下の破壊時間の全試片における平均値およびそのばらつきの程度を示す標準偏差、変動係数、さらにそれら試片の絶乾比重、含水率を Table 1 に示す。なお比較のために強度試験については前に発表した¹⁾ 素材の場合の結果も併記しておいた。

この結果、死荷重下の破壊時間のばらつきは素材¹⁾ その他の物質²⁾ と同じく非常に大きい

ことが明らかである。さらに比重、含水率を小さい方より 2～3 水準に分けて分散分析を行った結果強度、破壊時間ともこれらの影響が積層材に対しては現われない（素材の場合では比重が両者に影響し、比重の小なるものが強度、破壊時間とも低い値を示した）。また強度については積層材にすることによって明らかにその上昇が認められる。

積層することにより比重のばらつきがやや小になり、材質が均質化されることが認められるが、接着すること自身が補強的役割をはたし、そのために強度、破壊時間に対する比重の影響がないと考えるべきであろう。

このことは分散分析の結果得られた比重と強度の関係図 (Fig. 2) よりもいいうる。すなわ

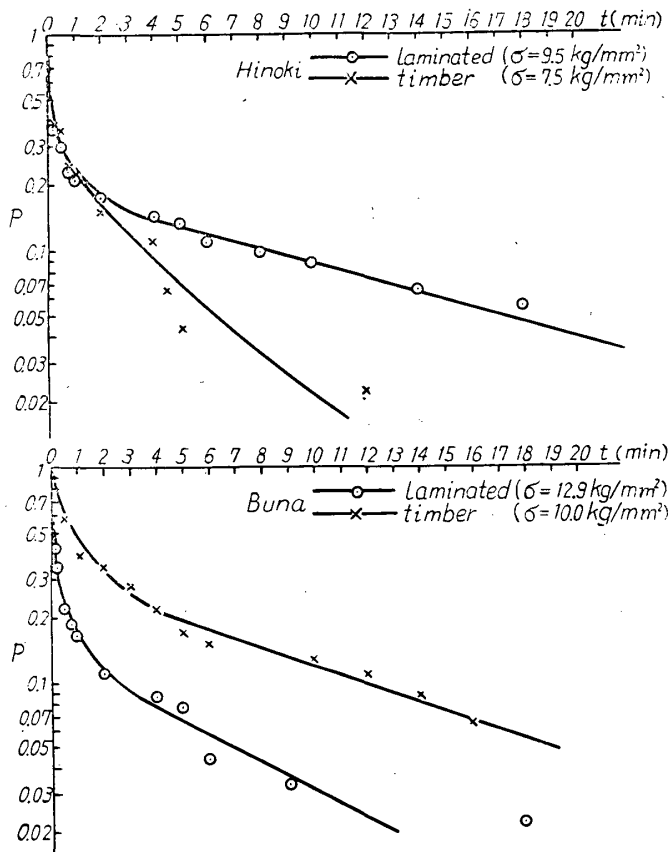
Table 1.

a) The bending strength and some characteristics of their specimens.

		Bending strength kg/mm^2			Specific gravity in oven dry			Moisture content %		
		mean	standard deviation	coefficient of variation	mean	standard deviation	coefficient of variation	mean	standard deviation	coefficient of variation
Hinoki	laminated wood	9.37	0.904	9.65 %	0.445	0.0261	5.87 %	12.1	1.11	9.17 %
	timber*	7.24	0.759	10.5	0.396	0.0253	6.37	12.3	0.782	6.38
Buna	laminated wood	12.8	1.01	7.89	0.654	0.0358	5.47	11.5	0.597	5.19
	timber*	9.90	0.913	9.23	0.577	0.0366	6.34	10.5	0.655	6.24

b) The lapsed time until fracture occurred and some characteristics of their specimens.

	Lapsed time until fracture occurred sec			Specific gravity in oven dry			Moisture content %		
	mean	standard deviation	coefficient of variation	mean	standard deviation	coefficient of variation	mean	standard deviation	coefficient of variation
Laminated Hinoki	154.2	435.6	282.5 %	0.440	0.0227	5.16 %	12.2	1.15	9.44 %
Laminated Buna	69.4	240.0	345.8	0.666	0.0330	4.97	9.54	0.420	4.40

 * This was reported previously¹⁾.

 Fig. 3. Log P - t diagrams.

ち積層材における強度の上昇は絶乾比重の上昇の割合以上のものを示すからである。

つぎに死荷重下の破壊時間おくれを破壊現象は本質的に確率統計の性質を持つものであるという立場から確率過程の考えの上に立つて解析してみよう。

$m(t)$: 任意の時間 t で単位時間に破壊の起る確率, いわば非破壊状態より破壊状態への遷移確率

$P(t)$: 時間 t まで破壊が起らない確率

とすれば,

$$P(t) \cdot m(t) dt = -dP(t) \quad (1)$$

したがって

$$m(t) = -d(\ln P)/dt \quad (2)$$

である。なお $P(0)=1$

よつて P の対数を各時間 t に対してプロットすれば、その傾斜の符号を変えたものとして各時間における破壊状態への遷移確率が得られる。

Fig. 3 はわれわれの結果の $\log P-t$ 図を示す。なお比較のために図中には素材の場合の一例をも示しておいた。ただしこの場合 P の近似式として総数 N の試片を破壊時間の小さい方から順にならべた時の n 番目の非破壊平均頻度

$$1-n/(N+1) \quad (3)^{3)}$$

を用い、その時の時間に対してプロットした。

この図より言うことは木材では積層されているか否かにかかわらず、一定荷重下においても荷重時間の経過に伴つて試片の破壊する確率が漸次減少し、ある時間後でなければほぼ一定と見なし得ないということである。このことは接着そのものが補強的役割をなしているとは言え、積層材においても破壊過程において木材材質特有の内部構造変化あるいは集中応力の低下が現われ、木材の特性が何ら失われていないことを示すものであろう。

摘 要

ブナ、ヒノキの 1.4mm 厚 5-プライの尿素樹脂による積層材の一定荷重下の破壊時間 おく れを気乾状態において測定した結果

1) 単位時間における破壊状態への遷移確率は素材の場合と全く同様に荷重直後に減少し、ある時間後にはほぼ一定と見なしうるようになり、その破壊過程において素材と全く同様の変化が起りうることを示した。

2) ただ接着層の影響は曲げ強度値に現われ、比重の上昇による強度上昇以上に強度が改善され、接着自身の補強的役割を示している。

最後に本研究に対し多くの御助言、御指導をたまつた杉原教授および本研究に必要な多数の試片の製作に尽力された吉田技官に対し深く感謝の意を表する。

Résumé

The delay of bending fracture of laminated wood, which was made of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* SIEB.) or Buna (*Fagus crenata* BLUME) and was glued on the tangential section with urea resin adhesive (resin content : 65%), was investigated under dead load and was compared with that of timber¹⁾ from the standpoint of stochastic theory.

Our gluing condition was as follows :

Spread : about 20 g/ft², press temperature : 135°C, pressure : 10 kg/cm², pressing time : about 10 min.

One hundred specimens which were 190 mm long in fiber direction, 7 mm wide and 7 mm thick were cut off from 5-ply laminated wood which were 1.4 mm in thickness of each layer. See Fig. 1.

The bending strength of ten specimens were measured by the method of con-

stant rate of loading. In the bending creep test ninety specimens were used and the lapsed time until fracture occurred under dead load were measured by a stop-watch. Our experimental results are shown in Table 1.

From the standpoint of stochastic process, the probability of occurrence of fracture in unit time after lapse of time t , $m(t)$, are given by the tangent of $\log P$ - t diagram, where $P(t)$ is the probability of occurrence of fracture after t . See Eqs. (1) and (2). $\log P$ - t diagrams in laminated wood and in timber are shown in Fig. 2. The variation of m with the lapse of time in the former are the same as in the latter. Then, the same variation of structure or stress will happen in the specimen whether the glue line exists or not.

We may suppose that the gluing will act on the roll as armature, because the increase in the bending strength of laminated wood compared with the timber is larger than the increase in specific gravity. See Fig. 2.

文 献

- 1) 角谷和男・杉原彦一：木材誌，**7**，167（1961）
- 2) 横堀武夫：“材料強度学”，4（1955）
- 3) 高分子学会編：“高分子実験学講座3”，198（1958）