

曲げ試験による木材のせん断強さ測定について

著者	鈴木 直之, 大河平 行雄
雑誌名	三重大學農學部學術報告 = The bulletin of the Faculty of Agriculture, Mie University
巻	64
ページ	21-27
発行年	1982-03-01
その他のタイトル	On the Measurement of Shearing Strength of Wood by Bending Test
URL	http://hdl.handle.net/10076/3133

曲げ試験による木材のせん断強さ測定について

鈴木直之・大河平行雄

On the Measurement of Shearing Strength of Wood by Bending Test

Naoyuki SUZUKI and Yukio OKOHIRA

1. はじめに

せん断強さの測定方法は現在数十種類もあり、それぞれの方法でせん断強さが求められているが、まだ試験方法が確立されていないのが実情である。例えば JIS や ASTM では、いす型 1 面せん断試験体を、また DIN では 2 面せん断試験体を採用しているが、いずれもせん断面の応力分布が一様であると仮定して、破壊荷重をせん断面積で割った値をせん断強さと称している。しかし、これらの試験体は鋭い直角のノッチを有しているため、その部分に大きな集中応力が生じ¹⁾²⁾、さらに回転力によるモード I 型破壊が加わり、一様なせん断応力で破壊する場合に比べて破壊荷重は小さくなり、得られるせん断強さは、真のせん断強さより過小なものとなる。

一方、木材がねじりを受ける場合、棒の軸と平行に純粋なせん断応力を生ずるため、ねじり試験によって得られるせん断強さは真のせん断強さに近い値といわれている。等方体である金属材料のせん断強さは、ねじり試験によって測定されている。木材についても、ねじり試験によってせん断強さを求めようとする試みがなされ数種の樹種についてせん断強さが得られている。³⁾⁴⁾しかし、木材は著しい異方性材料であるため、解析が非常に困難であり、試験方法も複雑で特殊な試験装置を必

要とする。そこで試験方法が比較的容易であり、純粋なせん断応力に近い状態が得られると思われる曲げ試験に着目し、せん断強さ測定を試みた。曲げ試験を応用した方法は、既に RADCLIFFE⁵⁾ や MEADOWS⁶⁾ らによって行なわれているが、どちらの試験体も、せん断破壊が曲げ破壊に先行して起こるように梁の中央部を材軸に沿って狭くし I 形断面に加工してあるため、材軸に対する回転や中央部のつぶれなどの影響を避ける事ができなかった。一般に、木材梁に曲げ荷重が作用する場合、曲げ破壊係数 σ_f と最大水平せん断応力 τ_{max} との間には、 $\sigma_f / \tau_{max} = 2l/h$ の関係があり、スパン長 l と梁せい h との比の大きさによって破壊形態が変化する。SCHNEEWEISS⁷⁾ は、中央集中荷重と 4 点荷重の場合について、スパン-梁せい比 l/h と破壊形態との関係について調べ、 l/h が小さくなるほどせん断破壊の出現率が大きくなると報告している。従って、矩形断面をもった木材梁をせん断破壊させるためには、スパン-梁せい比をできる限り小さくすればよいが、そうすると着力点のめりこみの影響を受け、梁の理論式が適用できなくなる。本報で使用した試験体 (Fig. 1) は、木材接着層の mode II (面内せん断型破壊) 靱性値測定用に開発された試験体⁸⁾をもとに作られたもので、軟鋼板と木材梁とのサンドイッチ構造をしており、曲げ破壊に対してかなり大きな抵抗力を有しているため

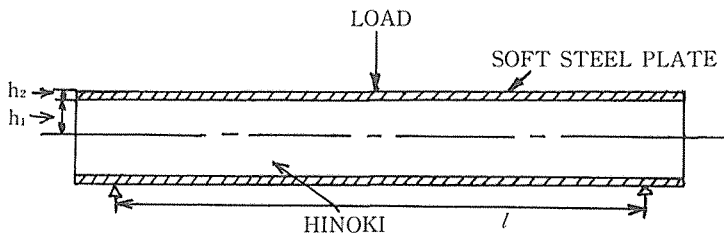


Fig. 1 The reinforced specimen with soft steel plate

せん断応力により破壊が発生するものと考えられる。

なお、本論文をまとめるにあたり、有益な助言をいただいた駒村教授、増田助教授に対し、ここにつつしんで感謝の意を表する。

II. 実 験

1. 供試材

比重 0.46 ± 0.02 , 曲げヤング率 $(76 \pm 18) \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$, 含水率 $13.5 \pm 1.1 \%$, 平均年輪幅 $3.2 \pm 1.0 \text{ mm}$ のヒノキ材を使用した。

2. 試験体

矩形断面ヒノキ材の上下両面に、補強材として、サビや油脂分を除去処理した軟鋼板 (曲げヤング率 $1.9 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$) をエポキシ樹脂接着剤 (セメダイン No. 1,500) を用いて、 80°C で30分間加熱し接着した。サビや油脂分などの除去は接着方向上のために必要不可欠なもので、その操作手順を以下に述べる。まず軟鋼板の接着面側を研磨布でサンディングし、10%濃度の NaOH 水溶液に24時間以上浸漬後、十分に水洗し、最後にアセトンで拭きとる。さらに、軟鋼板とエポキシ樹脂接着剤との間の溶解度パラメータ (SP) をできる限り近づけ接着強度を増加させるために、表面処理が施された面にエポキシ樹脂をうすく塗布し、 40°C で24時間硬化させ樹脂膜をつくる。

試験体の長さ方向を繊維方向にとり、負荷方向に対して垂直な面が板目の L-T 試験体と柁目の L-R 試験体の2種の試験体を使用した。

3. 実験の種類

次の2種類の実験を行なった。

1) 試験体の寸法決定のため、L-T 試験体についてスパン-梁せい比を、3, 6, 9, 12の4段階に変化させて曲げせん断試験を行なった。補強材には、幅が16 mm, 厚さ4.5 mmの市販のみがき平鋼 (軟鋼) を用いた。木部の厚さが10 mm, 20 mm, 30 mmの時、すなわち試験体の高さがそれぞれ、19 mm, 29 mm, 39 mmの時の各スパン-梁せい比におけるスパンの長さを Table 1 に示す。なお、木部の厚さが30 mm, スパンの長さが468 mmの試験体は、長さがプレス板の大きさ以上あるため製作できなかった。各試験体の製作本数は22本であり、over hangの長さは、全試験体を通して2 cmにした。

Table 1 Span length of various specimens
unit: mm

<i>t</i>	<i>l/h</i>	3	6	9	12
10 mm		57	114	171	228
20 mm		87	174	261	348
30 mm		117	234	351	468

l/h: span-height ratio
t: thickness of wooden beam

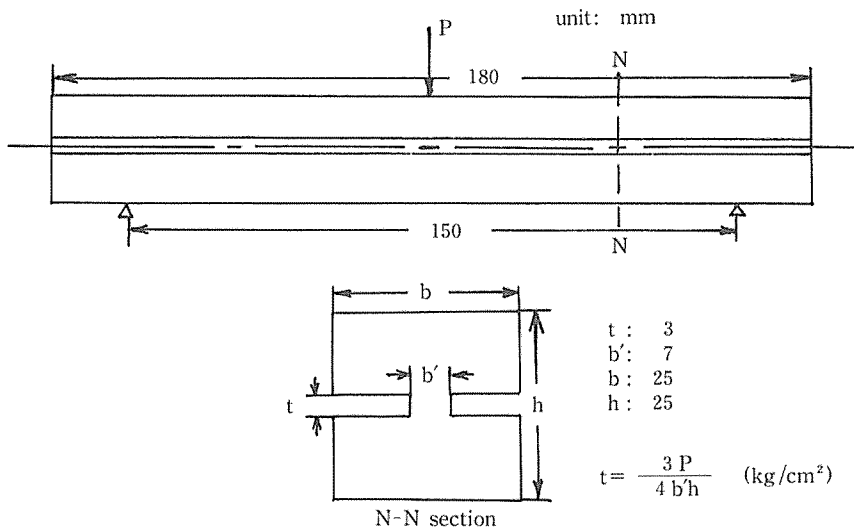


Fig. 2 The modified RADCLIFFE'S specimen.

2) 上の実験により決定された寸法で、L-T, L-R 試験体をおのおの23本ずつ製作しせん断強さを測定した。さらに、比較のため、同一 lot の材から作られた JIS せん断試験体や RADCLIFFE 試験体 (Fig. 2) についても、せん断強さを測定した。

4. 試験方法

試験機は、島津製 REH-10 型万能試験機で、単純支持された試験体を、毎分 1 mm の変位速度で中央集中荷重方式により負荷した。

この試験体は、組合わせ梁と考えられ、破壊まで弾性状態を保持するものと仮定すれば、せん断強さ τ_{max} は

$$\tau_{max} = \frac{P_{max} \Sigma (ES)}{2 b \Sigma (EI)}$$

$$= \frac{E_1 (h_1^2 - x^2) + E_2 (2 h_1 h_2 + h_2^2)}{E_2 (3 h_1^2 h_2 + 3 h_1 h_2^2 + h_2^3) + E_1 h_1^3} \cdot \frac{3}{8 b} P_{max}$$

により求めることができる。ここで P_{max} は破壊荷重、 S は断面 1 次モーメント、 I は断面 2 次モーメント、 b は試験体の幅、 E_1 、 E_2 はそれぞれ木部および軟鋼補強板のヤング率、 h_1 、 h_2 は木部の厚さの 1/2 および軟鋼板の厚さ、 x は中立面から破壊点までの距離である。

III. 結果および考察

Table 2 に、11 種類の L-T 試験体におけるせん断破壊本数 (上段の数字) とせん断強さを示した。これらの結果から、試験体の高さが 29mm (木部の高さ 20mm) の時、せん断破壊した試験体数が最も多いことがわかる。また、スパン-梁せい比とせん断破壊の関係をみると、必ずしも、比が小さくなるにつれてせん断破壊の出現率が単調増加するというわけではなく、むしろ、スパン-梁せい

比が 6 のあたりにせん断破壊数の極大値があるように思われる。さらに、スパン-梁せい比が等しい場合、木部の厚さがうすい程、大きなせん断強さが得られるが、せん断破壊が著しく減少してしまう。従って、以上の結果より、梁せいが 29 mm でスパン-梁せい比 6 の試験体がせん断強さの測定には適当であると思われたので、実験 2) では、梁せい 29 mm、スパン 18 cm の試験体を使用した。

Table 3 は、補強 L-T および L-R 試験体を用いて測定された破壊荷重およびせん断強さである。この試験体は、上下両面が木材のヤング率に比べてはるかに大きなヤング率を持った軟鋼板で補強されているため、試験体端部のどの部位からもせん断破壊が起こり得るものと考えられ、事実、あらゆる場所でせん断破壊が発生した。せん断強さの算出式には、試験体の厚さの midpoint から破壊発生点までの距離 x の項が入っており、せん断強さを求めるためには、各試験体ごとに x を測定しなければならない。しかし、この試験体の木部には、ほぼ均一な水平せん断応力が作用しているものと考えられ、 x の実測値を算出式に代入して得られたせん断強さと、 $x = 0$ 、すなわち、midpoint で破壊が生じたときと仮定したときのせん断強さとの間には、ほとんど差異がないことから、本報では、試験体の中央部に破壊が生じたものとして取り扱うことにする。Table 4 は、30mm × 30mm のせん断面をもつ JIS 試験体により、また、Table 5 は、RADCLIFFE 試験体を用いてせん断試験を行ない、得られた結果である。なお、本報の RADCLIFFE 試験体は、材料の都合上、RADCLIFFE が用いた試験体⁶⁾の各寸法の 1/2 とし、また応力集中を避けるため、両支点上半分に切欠きを入れなかった。L-T, L-R いずれの試験体においても、得られたせ

Table 2 Shearing strength and the number of specimens that were fractured by shearing stress in L-T specimen

t	l/h	3	6	9	12
10 mm	N	0	1	7	4
	τ_{max}	—	125	112 ± 14.3	120 ± 9.8
20 mm	N	0	18	15	5
	τ_{max}	—	97 ± 16.0	86 ± 7.1	74 ± 7.7
30 mm	N	3	3	0	—
	τ_{max}	67 ± 4.3	77 ± 7.3	—	—

N : the number of specimens that were fractured by shearing stress
 τ_{max} : shearing strength (kg/cm²)
 l/h : span-height ratio
 t : thickness of wooden beam

Table 3 Shearing strength of L-T and L-R specimens that were reinforced with soft steel plates

specimen No.	P_{\max}	τ_{\max}	specimen No.	P_{\max}	τ_{\max}
LT- 1	1,109	142	LR- 1	824	106
2	1,102	141	2	818	105
3	880	113	3	698	89
4	1,050	135	4	760	97
5	997	128	5	758	97
6	970	124	6	818	105
7	960	123	7	885	113
8	1,142	146	8	820	105
9	1,034	133	9	812	104
10	1,106	142	10	820	105
11	928	119	11	740	95
12	774	99	12	898	115
13	856	110	13	834	107
14	818	105	14	958	123
15	848	109	15	863	111
16	882	113	16	748	96
17	1,060	136	17	867	111
18	846	108	18	666	85
19	1,016	130	19	758	97
20	934	120	20	720	92
			21	714	92
			22	822	105
			23	669	86
mean \pm S.D.	966 \pm 109.9	124 \pm 14.1		794 \pm 75.1	102 \pm 9.6

P_{\max} : fracture load (kg)

τ_{\max} : shearing strength (kg/cm²)

S.D.: standard deviation

せん断強さは、JIS 試験体、軟鋼補強試験体、RADCLIFFE 試験体の順に大きくなり、補強試験体のせん断強さは予想に反して小さかった。その原因として、破壊まで弾性状態が保持されると仮定したことが考えられる。弾性状態での中立面は梁の中央部に存在するが、塑性域の進行に伴い、引張側へと移行し、最大せん断応力 τ_{\max} も増大する傾向にあるため^{9),10)}、実際のせん断強さは、得られた値より大きいと思われる。RADCLIFFE 試験体は、他の2試験体より大きなせん断強さを示すが、中央部に溝を入れているために、狭くしている部分のつぶれがひどく、摩擦などがせん断強さに影響を及ぼしているものと思われる。さらに、L-T 試験体においては、製作本数23本のうち、せん断破壊によるものは9本しかなく、他の試験体は、試験体の上面に、材軸に沿った割れが入り、せん断強さの測定は不可能であった。

一方、ヒノキ材について、ねじり試験によりせん断強

さが求められており、南によれば³⁾ 175 kg/cm² (円形断面)、大草によれば⁴⁾ 204 kg/cm² (L-T 長方円断面)、189 kg/cm² (L-R 長方円断面) と報告されているが、ねじりについては目下検討中であり、ここでは数値をあげるにとどめたい。

IV. ま と め

ヒノキ梁を軟鋼板ではさむことにより曲げ破壊に抵抗力を持たせた試験体を用いて、中央集中荷重曲げせん断試験を行ない、次の結果を得た。

- 1) 梁せいとスパン長さをそれぞれ変化させた11種類の試験体について破壊試験を行ない、梁せいが29mmでスパン-梁せい比が6の試験体が曲げせん断試験体として最も適していた。
- 2) 軟鋼補強試験体の他に、JIS 試験体と RADCLIFFE 試験体についてもせん断試験を行ない、補強試験体に

Table 4 Shearing strength (by JIS shearing specimen)

specimen No.	P_{max}	τ_{max}	specimen No.	P_{max}	τ_{max}
LT- 1	1,062	121	LR- 1	710	80
2	822	92	2	710	81
3	918	103	3	664	74
4	950	107	4	710	79
5	992	112	5	690	78
6	1,046	117	6	737	83
7	626	70	7	748	85
8	901	103	8	785	89
9	834	95	9	760	86
10	1,012	115	10	737	83
11	972	110	11	614	69
12	997	113	12	797	89
13	932	105	13	708	80
14	957	108	14	846	96
15	854	96	15	802	90
16	1,010	116	16	680	77
17	940	105	17	738	83
18	998	114	18	810	92
19	916	103	19	736	83
20	866	99	20	736	83
21	918	103	21	672	76
22	1,030	117	22	652	72
23	1,122	127	23	785	89
24	760	85	24	714	81
25	1,020	115	25	796	90
26	1,050	118	26	670	75
			27	750	83
mean \pm S.D.	943 \pm 105.6	107 \pm 12.2		732 \pm 55.0	82 \pm 6.4

P_{max} : fracture load (kg)
 τ_{max} : shearing strength (kg/cm²)
 S.D.: standard deviation

において、JIS 試験体より大きく、RADCLIFFE 試験体より小さなせん断強さが得られた。

3) 破壊まで弾性状態が続くと仮定した時、補強試験体において、L-T 試験体では、124 \pm 14 kg/cm²、L-R 試験体では102 \pm 10 kg/cm²のせん断強さが得られた。

文 献

- 1) 佐々木, 満久, 木材の応力解析, 木材研究 41:90-96, 1967
- 2) 大草克己, 木材のせん断に関する弾塑性論および破壊力学的研究(第3報) 鹿大農学報 30:201-215, 1980
- 3) 南 義夫, 木材の振り試験, 木材工業 8:32-34, 1953
- 4) 大草克己, 直交異方弾塑性体としての木材の棒の振り, 木材学会誌 23(5):217-227, 1977
- 5) B.M. RADCLIFFE and S.K. SUDDARTH. The Notched Beam Shear Test for Wood. Forest Prod.J. 5:131-135, 1955
- 6) J.C. MEADOWS. Longitudinal Shear in Wooden Beams. Forest Prod.J. 6:337-339, 1956
- 7) G. SCHNEEWEISS. The Influence of Method of Loading, Span Length and of Compressive Strength Perpendicular to Grain on the Bending Strength. Holz R.W. 22:418-423, 1964

Table 5 Shearing strength (by RADCLIFFE'S specimen)

specimen No.	P_{max}	τ_{max}	specimen No.	P_{max}	τ_{max}
LT- 1	371	162	LR- 1	348	152
2	422	184	2	335	146
3	390	170	3	343	149
4	406	177	4	335	146
5	415	181	5	330	144
6	392	171	6	335	146
7	385	168	7	293	128
8	370	161	8	329	143
9	403	176	9	354	154
			10	338	147
			11	366	159
			12	334	146
			13	322	140
			14	314	137
			15	357	155
			16	339	148
			17	389	169
			18	370	161
			19	341	149
			20	361	157
			21	347	151
			22	343	149
			23	345	150
mean \pm S.D.	395 \pm 18.2	172 \pm 8.0		342 \pm 19.7	149 \pm 8.4

P_{max} : fracture load (kg)

τ_{max} : shearing strength (kg/cm²)

S.D.: standard deviation

8) N. SUZUKI and Y. OKOHIRA. Toughness of Glue-line in Relation to Forward Shear Force (continued). Bull. Fac. Agr. Mie Univ. No. 62: 143-150, 1981

9) 松浦 誠, 木材の塑性に就いて (第1報), 広大工研

報, 2/3: 299-309, 1953

10) 大草克己, 木材のせん断に関する弾塑性論および破壊力学的研究 (第2報), 鹿大農演報 7: 29-68, 1979

Summary

Since the chair-type specimen in use as JIS shearing specimen has a sharp right-angled notch, the shearing plane of this specimen undergoes an influence of stress concentration and couple of forces. Consequently, shearing strength of this specimen is very small in comparison with true shearing strength. Accordingly, taking note of the bending test that gives pure horizontal shearing stress, the experiment of the measurement of shearing strength was carried out by the bending test by means of the reinforced Hinoki specimen with soft steel plates in order to prevent bending fracture.

The results obtained are summarized as follows:

1. The test for the measurement of shearing strength of eleven kinds of specimens with various beam height and span length was carried out by the bending test. The specimen with beam height of 29 mm and span-height ratio of 6 was most suitable for the measurement of shearing strength of Hinoki.
2. As a result of measurement of shearing strength of the reinforced specimens with soft steel plate, JIS specimens

and RADCLIFFE's specimens, shearing strength of the reinforced specimen was larger than that of JIS specimen and was smaller than that of RADCLIFFE's specimen.

3. On the assumption that the state of elasticity went on until the fracture, shearing strength of the reinforced Hinoki specimen was $122 \pm 14 \text{ kg/cm}^2$ in L-T specimen and was $102 \pm 10 \text{ kg/cm}^2$ in L-R specimen.