

構造用材の強さ低減に関する研究 (第2報)<sup>†</sup>繊維傾斜について<sup>\*1</sup>木 方 洋 二<sup>\*2</sup>Studies on Strength Reducing Factors of Lumber. II.<sup>†</sup>Slope of grain<sup>\*1</sup>Yoji KIKATA<sup>\*2</sup>

The reduction of strength due to the slope of the grain (aim at the slope of growth ring) was observed and discussed in relation to the slope grade (2/100~10/100).

## 1) Compression parallel to the grain

The reduction of maximum crushing strength was not particularly sharp. The reduction was limited to only 4% at the maximum. Significant strength reductions were observed at 8/100 and 10/100 compared with other slope specimens (one contained no slope). Between other moderate slope specimens and the no slope one, there were no significant strength reductions, but there was a difference of the crushing strength between outer side (bark side face) and inner side (inside face) of the sharp (over 4/100) slope specimens, and all crushing occurred at the growth ring boundary of inner side of wood (Table 1, Fig. 1, 2).

## 2) Tension parallel to the grain

There was a sudden strength reduction at between 4/100 and 6/100 slope specimens. In the sharp slope specimens (6, 8, 10/100 slope specimens), tensile ruptures occurred in storied form along the fiber direction; but in the moderate slope specimens normal tensile ruptures throughout the fiber occurred. In the sharp slope specimen, the destruction was decided by the maximum shearing strength parallel to the grain, and the storied form rupture along the fiber direction was like the shearing rupture (Table 2, 5, Fig. 3).

## 3) Static bending

In static bending tests, loading at outer side and inner side of the flat sawn side, and loading at quarter sawn side of wood were undertaken. In tests of loading at the outer side of the flat sawn side and loading at the quarter sawn side of the sharp slope specimens (6, 8, 10/100 slope of the grain), the storied form shearing ruptures occurred along the fiber directions. And in tests of loading at outer side, the work reduction was very sharp.

In tests of loading at inner side of specimen, the compression failure was preceding at the inner side (loading side), and the last rupture was a small tensile one along the fiber direction, because the crushing strength of the inner side was weaker compared with the outer side's one (Table 3, 4, 5 Fig. 4, 5).

年輪を目安とした2/100~10/100の繊維傾斜材の試験を行なった。圧縮試験では傾斜による強さの低減は少なく8/100, 10/100の傾斜において有意の減少がみられるが4%の減少に止る。引張試験では4/100と6/100の傾斜の間において急激な強さの低下を示す。6/100以上の傾斜材では繊維方向にそった破壊がおり、傾斜の少ないものでは通常の引抜けをともなる引張破壊を示すことによる。これはこの範囲の傾斜の大きさでは繊維にそった剪断応力による破壊が強さを決定するからである。曲げ試験においては木表側荷重および柁目面荷重試験では6/100以上の傾斜材では引張側の繊維方向にそった剪断応力は引張試験の時と同様に材の剪断強さに達し、破壊は剪断破壊形を示す。木裏側荷重では傾斜材の木裏側の強さが木表側に比し小さいため圧縮破壊

<sup>†</sup> Report I: This journal 15, 109 (1969)

<sup>\*1</sup> Received Apr. 8, 1969

<sup>\*2</sup> 名古屋大学 農学部 Faculty of Agriculture, Nagoya University, Nagoya

が先行し見かけの曲げ強さは大きくなる。とくに傾斜の大きい材での圧縮破壊の進行は著しく最終的な破壊も引張側での繊維にそった小さな破壊に止まる。

1. 緒言

前報において丸身による強さ低減について考究を行なったが、第2報においては繊維傾斜による強さ低減について報告する。繊維傾斜による強さ低減については従来より数多くの研究がなされているが、傾斜の角度の間隔が10°程度にとったような構造用材としての現実の範囲をはずれたものが多い<sup>1)2)</sup>。

2. 実験方法

前報におけると同様に試験材はすべて比重0.35のスギ (*Cryptomeria Japonica* D. DON) を用い、JIS に従った2cm システムでの圧縮、引張、曲げ試験を行なった。試験は20°C、65%の恒温、恒温室で行なった。含水率は12%で平衡状態に近い。

傾斜は2/100、4/100、6/100、8/100、10/100としそれに対比する傾斜なしの材での試験も行ない、繊維傾斜による強さ低減比を求めた。

繊維傾斜の目安として年輪界をとって試験片の製作を行なった。本来繊維走行は一年輪内においても長軸方向と必ずしも一致せず、年輪界をもってそのまま繊維走行とするわけにはいかないのであるが、スギはねじれが少

なく、また使用したスギ材では繊維が通直に走っていたので年輪走向で代用させることとした。このため年輪走向による特異現象を種々論ずる結果となった。

3. 結果

圧縮、引張、曲げ試験の結果を Table 1, 2, 3 および 4 に示す。

圧縮試験においては、この実験で行なった範囲での繊維傾斜による強さの低減は少なく、最大傾斜における低減も4%に止る。強さ低減に有意差の認められたのは8/100、10/100の傾斜のものに止り、それ以下の傾斜による圧縮強さの低減はみられない。

引張試験においては繊維傾斜4/100と6/100のもの間に急激な強さの低減がみられる。

曲げ試験においては木表側荷重、木裏側荷重、柁目面荷重の3通りの中央集中荷重試験を行なった。木表側荷重曲げ試験の結果は繊維傾斜4/100と6/100の間に曲げ強さの急激な低減がみられたが、木裏側荷重、柁目面荷重試験での曲げ強さの低下には急激な減少点はみられなかった。

Table 1 Compression parallel to the grain

Slope of grain	Maximum crushing strength (kg/cm <sup>2</sup> )				Modulus of elasticity (kg/cm <sup>2</sup> )			
	mean	max.	min.	reduction ratio	mean	max.	min.	reduction ratio
0	267	282	250	1.00	78000	85400	70000	1.00
2/100	274	300	261	1.02	76700	87000	67200	0.98
4/100	282	309	254	1.06	83400	95600	71300	1.07
6/100	276	293	240	1.03	82900	92100	78800	1.07
8/100	263	277	245	0.98*	77800	91500	70700	1.00
10/100	255	262	240	0.96*	76300	93900	73900	0.98

\* Significant reduction

Table 2 Tension parallel to the grain

Slope of grain	Maximum tensile strength (kg/cm <sup>2</sup> )				Modulus of elasticity (kg/cm <sup>2</sup> )				Slope angles (measured)
	mean	max.	min.	reduction ratio	mean	max.	min.	reduction ratio	
0	681	729	648	1.00	75200	87400	62200	1.00	0°
2/100	628	730	510	0.92	73300	87100	62200	0.97	1°30'
4/100	592	639	489	0.87	76600	89000	65700	1.02	2°
6/100	470	528	428	0.69	74100	78800	65300	0.99	3°30'
8/100	439	495	381	0.64	78900	98000	67600	1.05	5°
10/100	405	479	324	0.59	73500	81600	66300	0.98	5°30'

1  
S  
g  
2  
4  
6  
8  
10/  
4.1  
圧縮  
100の  
10/10  
おいて  
れたの  
下の傾  
と10/  
の傾斜  
たがそ  
しか  
ように  
しかし

Table 3 Static bending tests

Slope of grain	Modulus of rupture (kg/cm <sup>2</sup> )								
	Loading at outer side			Loading at inner side			Loading at quarter sawn side		
	mean	max.	min.	mean	max.	min.	mean	max.	min.
0	495	536	457	495	541	461	588	629	540
2/100	491	519	433	500	524	481	571	588	556
4/100	480	516	429	504	537	466	556	587	492
6/100	403	440	357	507	538	483	510	558	397
8/100	407	422	390	468	520	425	500	502	497
10/100	387	400	357	433	462	406	486	519	462

Slope of grain	Modulus of elasticity (kg/cm <sup>2</sup> )								
	Loading at outer side			Loading at inner side			Loading at quarter sawn side		
	mean	max.	min.	mean	max.	min.	mean	max.	min.
0	56200	62300	48100	54400	58400	47000	64500	66900	535
2/100	54900	58300	53000	55000	60900	51200	65400	69700	611
4/100	56900	59000	55000	54800	58300	51500	61900	65900	558
6/100	54700	59100	50800	54900	57900	52600	56300	64500	420
8/100	53200	53300	53100	53900	59600	48800	57800	59600	564
10/100	51000	55400	48700	49500	53900	47400	56500	58800	548

Table 4 Modulus of rupture, modulus of elasticity and work reductions in static bending by slope of grain

Slope of grain	Reduction ratio Modulus of rupture			Reduction ratio Modulus of elasticity			Reduction ratio work		
	Loading at outer side	Loading at inner side	Loading at quarter sawn side	Loading at outer side	Loading at inner side	Loading at quarter sawn side	Loading at outer side	Loading at inner side	Loading at quarter sawn side
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2/100	0.99	1.01	0.94	0.98	1.01	1.04	0.70	0.92	0.98
4/100	0.97	1.02	0.93	1.01	1.01	0.99	0.78	0.92	1.03
6/100	0.82	1.03	0.89	0.97	1.01	0.96	0.33	0.84	0.81
8/100	0.82	0.95	0.80	0.95	0.99	0.89	0.34	0.78	0.94
10/100	0.78	0.87	0.83	0.91	0.91	0.83	0.33	0.75	0.93

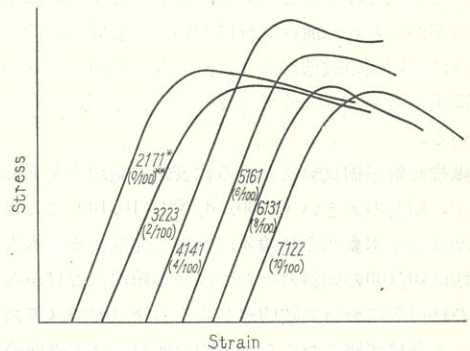
4. 考 察

4.1 圧縮試験

圧縮試験においては、この実験で行なった2/100~10/100の繊維傾斜による圧縮強さの差は少なく、繊維傾斜10/100においても強さの低減は4%に止り、Table 1において傾斜なしの材に対し有意差のある強さ低減のみられたのは8/100, 10/100の傾斜のものだけであり、6/100以下の傾斜材の圧縮強さには低減はみられない。また8/100と10/100の傾斜材の圧縮強さの間および6/100と8/100の傾斜材の圧縮強さの間には有意差のある低減がみられたがその他の傾斜材相互の間には有意差はみられない。

しかし圧縮試験時における応力-歪曲線は Fig. 1 のようになり仕事量には差がみられるようである。

しかし破壊の完了が曲線の上で明確でないため、数量的



\* Specimen's number  
\*\* Slope of grain

Fig. 1 Examples of stress-strain curves of compressive specimens with various slope of grain to the load direction (0/100, 2/100, 4/100, 6/100, 8/100, 10/100)

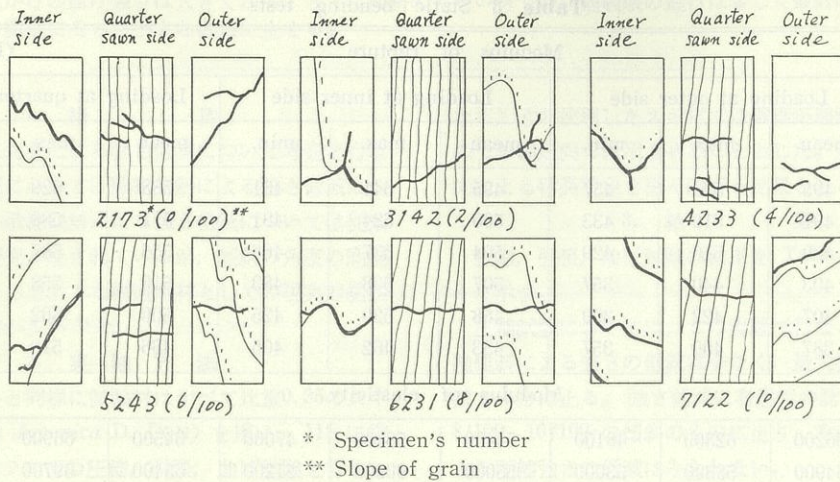


Fig. 2 Examples of fractures of compressive specimens with various slope of grain to the load direction (0/100, 2/100, 4/100, 6/100, 8/100, 10/100)

な処理は行なえなかった。Fig. 1 に示したのは各繊維傾斜における圧縮試験時の応力-歪曲線の代表的なものである。図において繊維傾斜の少ないものの試験では最大荷重を過ぎてからの荷重の低下はゆるやかであるが、傾斜の大きい 6/100, 8/100, 10/100 のものでは最大荷重を過ぎてからの減少は急激である。年輪界の位置により繊維傾斜の少ないものでも急激な減少を示す例もあり、また繊維傾斜の大きいものでもゆるやかな低下を示すものもある。しかし一般的な形としては Fig. 1 に示したような経過を示し、前述したように最大荷重に差はみられないかみられても少ないが、仕事量は傾斜が大きくなるに従って減少を示すものと思われる。

繊維傾斜の大きい試験片においては木裏側の年輪界において破壊が発生する。このことは後にのべる曲げ試験においても見られることであり、木裏側と木表側に圧縮強さの差がみられ、曲げ試験において木裏側より荷重した場合に圧縮側の破壊が先行し、みかけの曲げ強さが木表側荷重のものより強くでてくることの原因の1つとなっている。

各繊維傾斜圧縮試験における代表的な破壊形を Fig. 2 に示す。傾斜の大きい 6/100, 8/100, 10/100 においては破壊は必ず木裏側の年輪界において発生する。木表側の破壊は 10/100 の傾斜のものでは一年輪内の春材から夏材への移行部において破壊線が入るが、8/100 では年輪界にそって春材部側におこる。6/100 の傾斜では木表側の年輪界に関係なく破壊線が入る。このことは 8/100 の傾斜が追衿がかった試験片においてもみられることである。

破壊線は柾目面では年輪を横断する。一方繊維傾斜の少ない試験片および繊維傾斜のない試験片では試験片の

上下端に破壊が集中するものも多い。また繊維傾斜の少ない材では全体が平行四辺形に変形する破壊が多く出現してくる。この際にも 4/100 の傾斜の試験片では木裏側年輪界に破壊線はわずかではあるが必ずみられるが、この破壊線は進行せず破壊を決定づけることもない。この試験では平行四辺形の変形は年輪傾斜のためおよび強い夏材層があるため必ず柾目面が平行四辺形となる。繊維傾斜のない試験片の破壊は年輪界と無関係におきる。

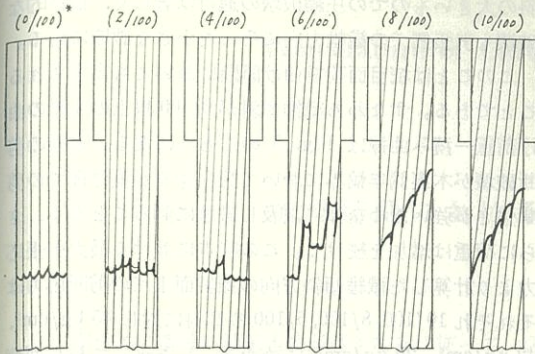
これらの結果よりみて、繊維傾斜のないものおよび 2/100, 4/100 の傾斜の少ないものと 6/100, 8/100, 10/100 の傾斜の大きいものとは破壊の経過が異なるようであるが、この2つの破壊形間の強さの差は少なく 8/100 以上の傾斜になってようやく有意差がみ出せるに過ぎない。

またこの間における圧縮ヤング係数の差はみられない。

#### 4.2 引張試験

引張試験においては繊維傾斜 4/100 と 6/100 のものとの間に急激な強さ低減がみられる。Fig. 3 に示したように繊維傾斜の大きいものでは年輪界にそって破壊がおこり、繊維傾斜の小さいものでは通常の繊維の引き抜けをともなう引張破壊を示すことによる。これは次のように解釈される。この試験におけるようなあまり大きくない繊維傾斜の範囲では、繊維傾斜材の強さは繊維にそって方向での剪断応力による破壊が破壊強さを決定づける。この試験における破壊時のそれぞれの繊維方向すなわち年輪方向における剪断応力を求めてみると Table 5 のごとくになる。これは単軸引張りにおける傾斜面上の応力として求めたものである。スギ材の剪断強さは 40~60

~80k  
他の引  
るもの  
の剪断  
わち材  
は剪断  
った真  
斜材に  
し 45°  
である  
はなく  
局部的  
その時  
なる。  
にそっ



\* Slope of grain

Fig. 3 Examples of fractures of tensile specimens with various slope of grain to the load direction (0/100, 2/100, 4/100, 6/100, 8/100, 10/100)

Table 5 Maximum shearing stresses along to the grain directions (kg/cm<sup>2</sup>)

Slope of grain	At tensile test*	At static bending test**	
		Loading at outer side	Loading at quarter sawn side
0	0	0	—
2/100	16.4	12.8	—
4/100	16.9	12.5	—
6/100	28.7	21.2	28.7
8/100	38.2	28.3	42.2
10/100	38.7	40.2	45.3

\* Calculated from the each maximum tensile stresses

\*\* Calculated from the stresses at the first breaking point (Fig. 5) in bending test

~80kg/cm<sup>2</sup>)とされているが本実験に用いたスギ材は他の強さより類推して最低値の40kg/cm<sup>2</sup>に近い値をとるものと思われるので8/100, 10/100での傾斜試験片での剪断応力は破壊値に達しているものと思われる。すなわち本実験での6/100, 8/100, 10/100の傾斜のもの破壊は剪断破壊であると思われる。したがって繊維方向にそった剪断応力が破壊に達する6/100の傾斜以上の繊維傾斜材における引張強さは激減する。この際引張方向に対し45°の傾斜の方向において剪断応力は最大となるはずであるが夏材層を切って45°方向に破壊が進行することではなく破壊は繊維の傾斜方向にそって進行する。しかし局部的にみた破壊発生時での破壊方向は45°方向に近くその時の剪断応力はTable 5での値よりさらに大きくなる。この際繊維を横切る方向での材の剪断強さは繊維にそった方向の剪断強さより大きくなるが剪断力はこれ

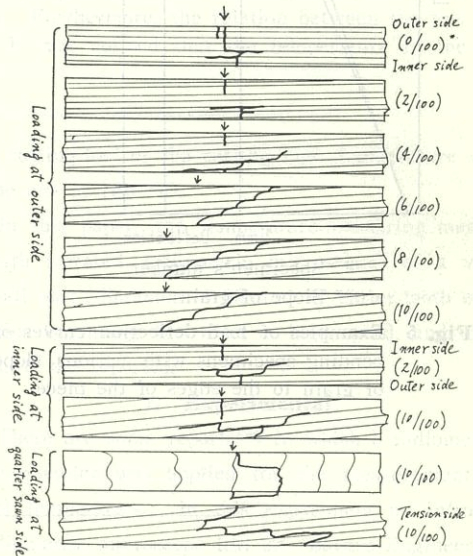
をこえ十分剪断破壊をおこすに足るものと思われる。これらの破壊が組み合さってFig. 3のような階段状の破壊形を示すものと思われる。

また引張試験においても引張ヤング係数の低減はみられない。

### 4.3 曲げ試験

曲げ試験においては木表側荷重, 木裏側荷重, 柱目面荷重の3通りの中央集中荷重試験を行なった。

この場合も木表側荷重試験の破壊時における引張側の繊維方向にそった傾斜面上での剪断応力はTable 5のごとくである。この剪断応力は引張試験におけると同様に曲げ試験片での破壊時の最大引張応力より算出したものである。10/100の傾斜のものでは十分剪断応力は材の剪断強さに達し破壊は剪断破壊によるものと思われる。6/100, 8/100の傾斜材でも剪断応力はそれぞれ約20kg/cm<sup>2</sup>, 28kg/cm<sup>2</sup>に達し破壊形もFig. 4に示したご



\* Slope of grain

Fig. 4 Examples of fractures of bending specimens with various slope of grain to the edges of the piece (0/100, 2/100, 4/100, 6/100, 8/100, 10/100)

とく, 繊維の傾斜方向にそった剪断破壊形を示す。すなわち引張側, 圧縮側を貫く, 一つの破壊面が進行し試験片が分離するに到るものが多い。繊維傾斜4/100と6/100の間の急激な曲げ強さの低減はこのためと思われる。またこれら木表側荷重試験においては試験片の圧縮側における圧縮破壊はみられない。すなわち圧縮側の応力が圧縮破壊強さの約250kg/cm<sup>2</sup>に達する以前に剪断破壊が生ずるためである。

一方木裏側荷重試験片においては先に圧縮試験の時のべたごとく、繊維傾斜材の木表側と木裏側に圧縮強さの差があり、木表側に比べ木裏側の圧縮強さは小さいために曲げ試験時における引張側の剪断破壊に先行して圧縮側に圧縮破壊がおきる。このために荷重点の接触面積の増加、スパンの減少、中立軸の移動などのため剪断破壊はおくれ破壊荷重は上昇し、見かけの曲げ強さは大きくなる。Fig. 4 の破壊形もこのことを裏書きし、繊維傾

斜の大きいものでの圧縮破壊の進行は著しく、最終的な破壊も引張側での繊維方向にそった小さな破壊に止る。

このことは柁目面荷重曲げ試験においても実証されることである。すなわち繊維傾斜が6/100以上のものの曲げ荷重一撓み曲線は Fig. 5 のごとくなる。最初の剪断破壊が木裏側年輪界において発生するが夏材部での剪断強さが強いため全体に波及し破壊に到ることなく、さらに荷重は増加を続ける。この時点における最大引張応力より計算した繊維傾斜方向の傾斜面上での剪断応力はそれぞれ10/100, 8/100, 6/100の傾斜に対し45 kg/cm<sup>2</sup>, 42 kg/cm<sup>2</sup>, 29 kg/cm<sup>2</sup>に達する。したがって柁目面荷重での曲げ強さの低減は木表側荷重での曲げ強さの低減と似ている。この際夏材部が曲げ方向に対し、縦に入っているため曲げ強さの全体的な増加は当然みられる。

曲げヤング係数の低減は強さの低減より少ない。

仕事量の低減は木表側荷重曲げ試験において著しくみられ、荷重一撓み曲線は圧縮側の塑性破壊をとみなない曲線を示す。代表的な荷重撓み曲線を Fig. 5 に示す。木表側荷重、木裏側荷重ともに仕事量の低減は強さの低減より大きく、低減比は小さくなる。柁目面荷重における仕事量の低減は少なく、低減比は大きい。

文 献

- 1) GABER, E : Die Bautechnik. 15 and 453 (1937)
- 2) GEHLMETZU, N. : Holz als Roh-und Werkstoff 1. and 585 (1938)
- 3) 木材工業編集委員会：日本産主要木材（1960）
- 4) その他欠点一般に関するものは前報を参照されたい。

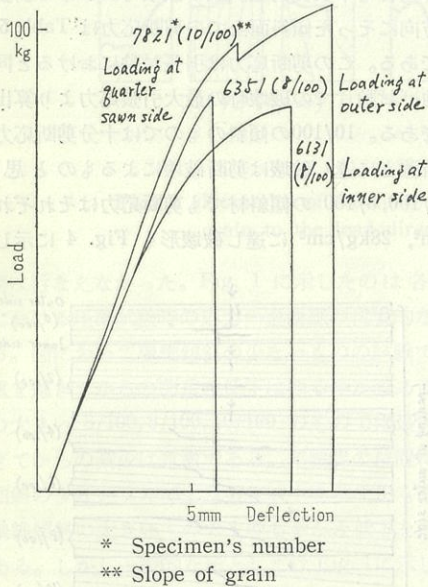


Fig. 5 Examples of load-deflection curves of bending specimens with various slope of grain to the edges of the piece