

木材の曲げ強度試験における寸法効果

岐阜県立国際たくみアカデミー
職業能力開発短期大学校 建築科

○杉田 和直
阿部 正慶
大野 生二

1. はじめに

一般的に部材が応力を受ける場合、断面の大きい部材の応力度は断面の小さな部材と比較して小さい傾向にある。

木材が応力を受ける場合も同様と考えられ¹⁾、その寸法効果の影響（係数）を考慮しておく必要がある。しかし、実験データが十分整ってなく、既報の論文^{2) 3)}において、木材の縦圧縮試験における寸法効果の検討が行われ、圧縮強度に対し寸法効果の影響があることが確認されている。そこで本実験では、木材に曲げ応力が生じる場合、試験体断面の寸法が強度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

試験体の一覧を表1に、代表例を写真1に示す。試験体の断面寸法は、幅（b）が40, 80, 120mmとし、成（D）はbの2倍とする。また、試験体の長さ（L）は1200, 2400, 3600mmとし、曲げスパン（l）は1000, 2000, 3000mmである。試験体数は各2体であり、6体の含水率は各試験体6箇所の平均値で8.3～12.8%である。

なお、試験体から切り出したテストピース5体の試験体は、圧縮強度が平均で60.4N/mm²、ヤング係数は平均で10686N/mm²であった。

加力方式は単純梁形式の3等分点2点集中載荷である。載荷は1000kN万能試験機を用いて試験体の緑応力が $\sigma = 20, 40, 60, 80 \text{ N/mm}^2$ に達したときの荷重で一旦除荷し、繰り返し載荷を行うことを原則とし、試験体が最大荷重に達するまで行った。



写真1 各試験体の代表例

表1 試験体一覧

材料名	試験体名	断面寸法 b × D (mm)	試験体長さ L: (mm)	曲げスパン l: (mm)	純曲げスパン A: (mm)	せん断スパン B: (mm)	試験体余長 C: (mm)
米松	40-80-1,2	40×80	1200	1000	333	333	100
	80-160-1,2	80×160	2400	2000	666	666	200
	120-240-1,2	120×240	3600	3000	1000	1000	300

Effect on a Scale by Bending Test of the Lumber

Kazunao SUGITA, Masayoshi ABE and Seiji OHONO

表2 実験結果一覧

試験体名	部材寸法: b × D (mm)	スパン: L (mm)	曲げ比例限界		曲げヤング率		割れ・繊維破断時			最大荷重時					破壊形式
			荷重 Pt KN	応力度 t N/mm ²	見掛け E N/mm ²	真 E ₀ N/mm ²	荷重 Pt KN	応力度 t N/mm ²	变形	荷重 Pu KN	応力度 u N/mm ²	せん断応力度 u N/mm ²	变形 u	部材角 Ru= u/L mm	
40-80-1	40 × 80	1000	15.2	59.2	16300	202500	20.2	78.8	12.6	21.9	85.4	5.13	35.7	1/28	圧縮破壊後の引張繊維の破断
40-80-2	40 × 80	1000	15.4	60.0	12800	131100	20.5	80.1	23.1	20.5	80.1	4.80	23.1	1/43	圧縮破壊後の引張繊維の破断
平均値			15.3	59.7	14600	166800	20.3	79.5	17.9	21.2	82.8	4.97	29.4	1/34	
80-160-1	80 × 160	2000	61.4	60.0	14800	136200	70.1	68.4	26.9	72.6	70.9	4.25	34.9	1/59	圧縮破壊後の引張繊維の破断
80-160-2	80 × 160	2000	61.5	60.0	17800	172600	97.4	95.1	48.9	97.7	95.4	5.72	47.3	1/42	圧縮破壊後の引張繊維の破断
平均値			61.4	60.0	16300	154400	83.8	81.8	37.9	85.2	83.2	4.99	41.1	1/49	
120-240-1	120 × 240	3000	110.3	47.9	13400	105500	128.2	55.6	42.9	128.2	55.6	3.34	42.9	1/70	圧縮破壊後の引張繊維の破断
120-240-2	120 × 240	3000	112.2	48.7	12800	174900	112.2	48.7	32.4	112.2	48.7	2.92	32.4	1/95	圧縮破壊後の引張繊維の破断
平均値			111.3	48.3	13100	140200	120.2	52.2	37.7	119.7	52.1	3.14	38.6	1/80	

3. 実験結果

3.1 実験経過

米松梁の曲げ実験結果一覧を表2に示す。また、荷重と変位の関係の一例を図1に示す。いずれの試験体も実験経過は、荷重の増大とともに变形が直線的に増加し、比例限界の弹性範囲は最大荷重の2/3程度である。比例限界点位置から降伏棚が無く直接破壊音と同時に繊維方向に割れが生じて、繊維が破断されたもの、また、繊維のみが破断し荷重が急激に低下したものがあった。その破壊形状の代表例を写真2～4に示す。

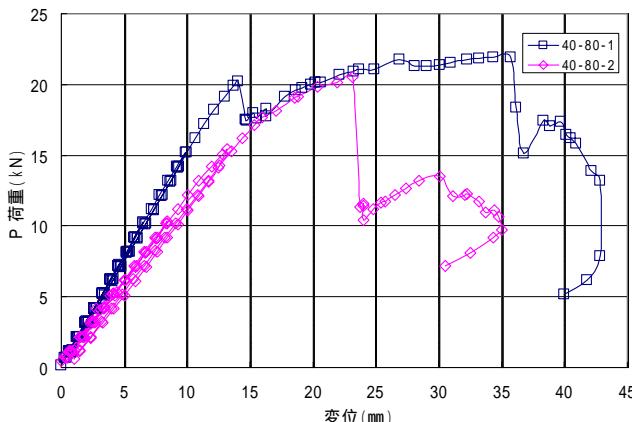


図1 荷重 変位関係(40-80-1,2試験体の比較)

3.2 曲げ比例限界

応力度と部材角の関係の一例を図2に示す。各試験体の荷重-変形関係で、ほぼ直線的で弾性域から塑性域に移ろうとする曲げ比例限界位置は、試験体寸法の小さい40-80-1, 2および80-160-1, 2試験体では約60kN/mm²であるが、120-240-1, 2試験体では、約48kN/mm²である。試験体の成が300mm位になると曲げ比例限界位置の寸法効果が認められる。



写真3 80-160-2試験体の破壊状況
(繊維破断は節位置から生じ、繊維方向に割れが生じた)



写真2 40-80-2試験体の破壊状況
(引張側の繊維の破断)



写真4 120-240-1 試験体の破壊状況
(はり成中央に、節がある場合も割れは節を貫通する)

3.3 荷重とひずみの関係

荷重-ひずみ関係の代表例を図3に示す。いずれの試験体も荷重の増大に伴いひずみは直線的に大きくなり、40-80-1, 2の各試験体は最大荷重時の纖維破断時で、縁圧縮ひずみが約 6000μ 、縁引張ひずみが約 5000μ を示していた。なお、80-160-1, 2および120-240-1, 2試験体では、すなわち試験体寸法が大きくなると纖維破断時の縁圧縮ひずみが約 4000μ 、縁引張ひずみが約 4000μ となって、破壊時の縁ひずみが小さくなつた。

3.4 ひずみ分布

ひずみ分布の代表例を図4に示す。40-80-1, 2試験体は部材の縁応力が約 $\sigma = 80N/mm^2$ までは中立軸が断面の軸にあるが、これ以上の応力状態になると、圧縮降伏領域が下方まで広がり増大し、中立軸が断面の軸より下側に移動する。また、同様なことが80-160-1, 2試験体では部材縁応力が約 $\sigma = 60N/mm^2$ 、120-240-1, 2試験体では、部材縁応力が約 $\sigma = 40N/mm^2$ 以上の応力状態になると圧縮降伏領域が下方まで大きくなり、中立軸が下側に移動する。

4. 結果の検討

4.1 最大耐力および変形性能

図1および表2よりバラツキが生じた80-160-2試験体を除けば、試験体の寸法が大きくなるに従い、最大耐力および変形性能が顕著に小さくなる傾向を示した。なお、実験結果からも分かるように試験体が大きくなれば、節等の欠陥部が占める面積等が大きくなり、最弱リンク理論における寸法効果が認められる。最大応力度については、既往の文献⁴⁾の木材の力学的性質に用いられている $77.5N/mm^2$ と比較すると40-80-1, 2および80-160-1, 2試験体の実験値は約 $83N/mm^2$ で文献の値より大きいが、120-240-1, 2試験体の実験値は $52N/mm^2$ で小さい値を示している。これから文献で用いられている木材の力学的性質の値は、断面が $40 \times 80mm$ および $80 \times 160mm$ と比較的小さい部材の実験データを用いていると思われる。

4.2 寸法の違いが見掛けの曲げヤング率に及ぼす影響

試験体の寸法が大きくなると見掛けの曲げヤング率は各2体の平均で $15000N/mm^2$ 、 $16000N/mm^2$ 、 $13000N/mm^2$ となり、試験体断面寸法による規則はない。試験体が大きくなると曲げヤング率が小さくなっているが、節等による単なるバラツキと考えられ、同じ材料なので、ヤング率はほぼ一定と考えられる。

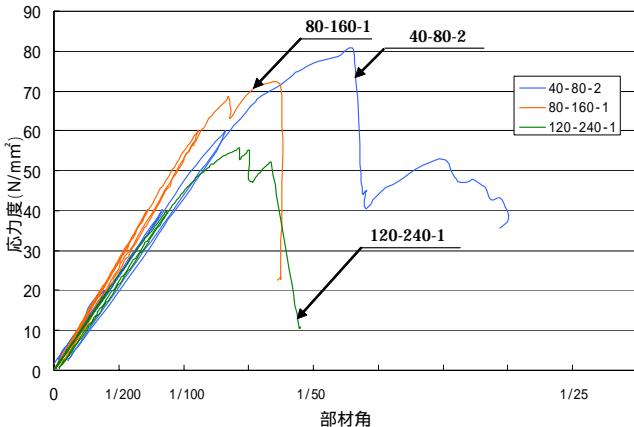


図2 応力度と部材角の関係(代表例)

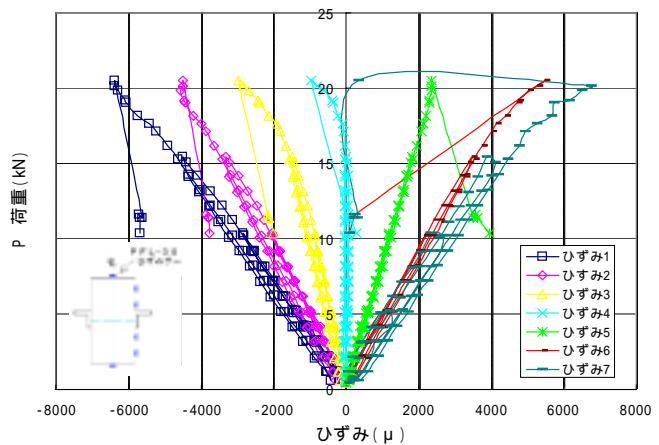


図3 荷重-ひずみの関係例(40-80-2)

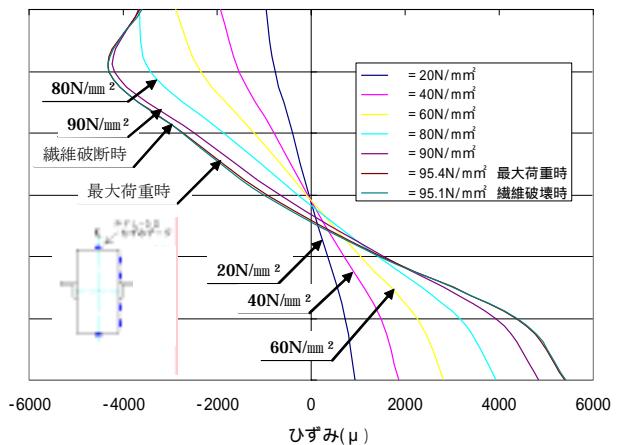


図4 ひずみ分布例(80-160-2)

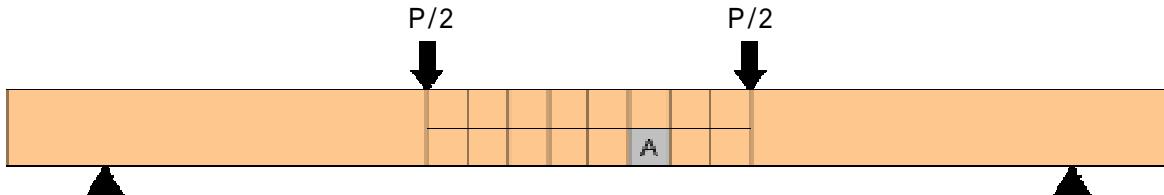


図5 最弱リンク理論

4.3 最弱リンク理論による寸法効果係数

最も弱い要素Aの強度が材料の全体の強度を決定するという考え方として最弱リンク理論⁵⁾がある。図5に示すように試験体を構成する要素が横に直列に配列しているとき、節などの欠陥を含む要素は他の要素に比べて曲げ強度が低い。このため、この下段の直列モデルに曲げ引張力を負荷させると、各要素に均等に引張力が作用し、それが欠陥を含む要素の強度値に達した時点で試験体が破壊する。他の要素ではまだ余力を残しているが、試験体の強度は欠陥を含む要素の強度により決定される。したがって、試験体寸法が大きくなればなるほど欠点が多く含まれ曲げ強度が小さくなる。

基準となる試験体の容積 V_1 における曲げ強度を σb_1 、各試験体 i の容積 V_i における曲げ強度を σb_i とし、容積比と曲げ強度の関係を両辺の対数をとることで整理する³⁾と図6のようになる。米松の試験体断面が $40 \times 80\text{mm}$ の試験体の実験結果を基準とし、求めた米松の寸法効果係数 k の値は0.13であった。試験体の容積が大きくなると、曲げ耐力が小さくなる傾向を示している。

5.まとめ

- 本実験から以下のことが明らかになった。
- ①試験体の寸法が大きくなる従い、最大耐力および変形性能が顕著に小さくなり、寸法の効果が認められる。
- ②曲げ比例限界位置は、最大耐力の約 $2/3$ 程度のところにあり、試験体寸法が大きくなるとその点は約 60kN/mm^2 から約 48kN/mm^2 と小さくなる傾向にある。
- ③破壊が生じる終局状態は、圧縮降伏領域が部材下方まで広がり増大し、中立軸が断面の軸より下方に移動する。

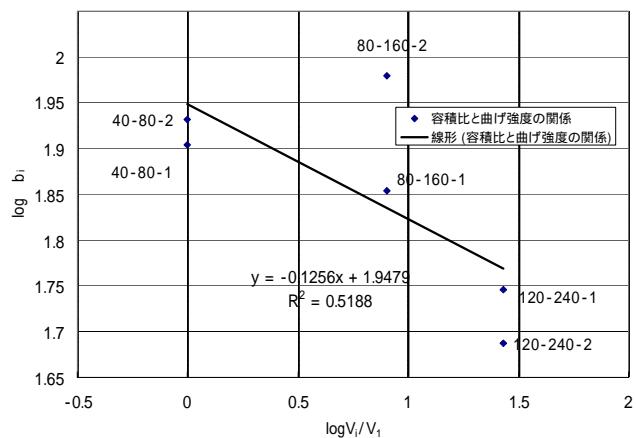


図6 容積比と曲げ強度の関係

参考文献

- 1) 増田稔、大河平行雄：木材の曲げにおける寸法効果 三重大学農学部学術報告 No. 71 1985年12月 P.P. 61～69
- 2) 大河平行雄、増田稔、鈴木直之：木材の圧縮強さの寸法効果 三重大学生物資源学部紀要 第2号、1998年3月 P.P. 13～21
- 3) 杉田和直、大野生二：木材の縦圧縮試験における寸法効果、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東） 2006年9月 P.P. 1007～1008
- 4) 島津孝之 他5名：建築材料 第3版、森北出版 P.P. 27
- 5) 鈴木直之：木材強度の寸法効果 木材工業 Vol. 52, No. 6, 1997年