

木材の縦圧縮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
大野 生二

1. はじめに

部材が応力を受ける場合、断面の大きい部材の強度(単位面積あたりの強度)は断面の小さい部材の強度と比較して小さい傾向にある。そのため、木材が応力を受ける場合、その寸法効果の影響(係数)を考慮しておく必要がある。既往の研究¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾によれば圧縮試験、曲げ試験、引張試験の順に寸法効果が大きくあらわれることが実証されている。しかし、圧縮試験においては、寸法効果がほとんど認められないと記した研究¹⁾²⁾があるなど不明な点があり、この研究が望まれている。

そこで本実験では、試験体の大きさが縦圧縮強度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし実施した。

2. 実験方法

試験体一覧および寸法を表1に示す。本実験では断面の一辺の長さ(a)を40、80、120、160mmの4種で行った。なお、試験体の高さ(h)はaの2倍(h=2a)とし、各5体ずつ製作した。本実験での木材の種類は、既往の研究¹⁾²⁾³⁾に倣い、強度の大きい米松、比較的強度の小さい杉の2種類とした。試験体は、温度20℃、湿度60%に保たれた木材乾燥室で養生し、含水率25%以下になることを確認し、実験を実施した。なお、試験体名は樹種-試験体寸法-試験体番号とした。

試験の種類は縦圧縮試験とし、写真1に示すように万能試験機を用い、荷重速度を毎分9.8N/mm²に設定し、自動制御で荷重を載荷した。実験では、図1に示すように試験体の軸方向変位、荷重を測定し、縦圧縮強度とヤング率を求めた。

なお、ヤング率は木材の圧縮試験において、たとえば、杉-40×40×80の場合、荷重と変形がほぼ直線の弾性範囲内の荷重 P_1 ($\sigma_1 = 20\text{N/mm}^2$)、 P_2 ($\sigma_2 = 10\text{N/mm}^2$)を選定し、

表1 試験体の概要

試験材料	米松			
試験体の寸法(mm)	40×40×80	80×80×160	120×120×240	160×160×320
試験体数	5	5	5	5
試験時密度 平均値(g/cm ³)	0.604	0.583	0.591	0.515
試験時含水率 平均値(%)	10.9	11.0	11.3	10.1
試験材料	杉			
試験体の寸法(mm)	40×40×80	80×80×160	120×120×240	160×160×320
試験体数	5	5	5	5
試験時密度 平均値(g/cm ³)	0.406	0.415	0.437	0.491
試験時含水率 平均値(%)	12.4	16.0	19.8	15.9

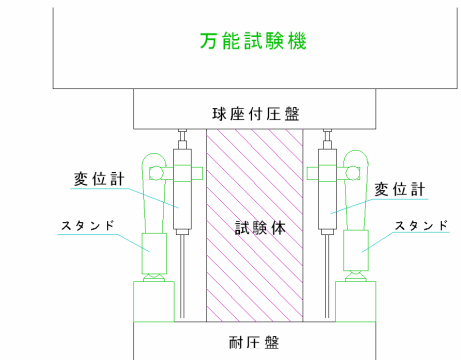


図1 各試験体の軸方向変位、ひずみ測定方法

それぞれの荷重時における変位を測定し、試験体の長さ変化を高さで除し、ひずみを求め算出した。

Influence the size of the piece of examination affects vertical compressive strength

Kazunao SUGITA and Seiji OHONO

3. 実験結果および考察

樹種および辺長の異なる各試験体の縦圧縮試験結果一覧を表2に示す。米松の縦圧縮強度とひずみの関係を図2に、また、杉の縦圧縮強度とひずみの関係を図3に示す。なお、図2、3に示した試験体は、5体の試験体のうち平均的なものを代表例として選定した。

3.1 米松および杉の破壊過程

米松および杉の各試験体の破壊状況の代表例をそれぞれ写真2および写真3に示す。米松および杉の各試験体の破壊過程については、断面寸法の小さい辺長 a が40および80mmのものは最大応力付近時に、試験体高さ方向の中央部に縦ひび割れが生じ、さらに加圧していくと折り重なるように座屈していく様子が確認された。一方、断面寸法の大きい辺長 a が120および160mmのものは最大応力時に試験体高さ方向の下部付近にひび割れが生じ、節に集中して座屈していくものもあった。なお、写真4および写真5に示すように、いずれの試験体も各5体ともほぼ同じ破壊性状を示した。

また、米松および杉ともに部材断面の大きい試験体ほど節の数が多く、また、節が大きくなり、その周辺で座屈破壊が生じた。

3.2 樹種の違いによる影響

本実験において、米松の縦圧縮強度が杉よりも大きい値を示した。理由として、米松は杉より含水率が低く、試験時の密度が大きかったことが考えられる。杉においては、白太部分の多い試験体では縦圧縮強度が小さかった。このことから、杉は米松に比べ、節以外にも強度低下に影響する因子が多かったため、縦圧縮強度が小さくなったものと考えられる。

また、米松のヤング率は表2に示すように杉の約1.6倍であった。

3.3 寸法の違いによる縦圧縮強度に及ぼす影響

杉において、試験体の一边の長さ a が40～160mmの間で容積比が大きくなるに従い、縦圧縮強度が小さくなっており、寸法効果が認められた。しかし、杉については、試験体の一边の長さ a が120～160mmの間では容積比が変化しても、縦圧縮強度が変化しないため、寸法効果が認められなかったものがあった。試験体の一边の長さ a が120mmと160mmの時の破断形状は、どちらも節の周辺で座屈破壊しており、節による影響があったと考えられる。このことから、試験体の一边の長さ a が120以上の試験体では節の有無により、その試験体の縦圧縮強度が決定するものと考えられる。また、試験体の一边の長さ a が120mmの試験体

表2 各試験体の縦圧縮試験結果一覧

樹種	辺長 (mm)	最大荷重 (KN)	最大荷重 時の変位 (mm)	縦圧縮強度 (N/mm ²)	最大耐力時 のひずみ (μ)	ヤング 率 (N/mm ²)
米松	40	96.2	1.0	60.1	11894	8722
	80	322.0	1.4	50.3	8965	9759
	120	642.7	1.8	44.6	7501	11239
	160	804.6	1.7	31.4	5391	9056
杉	40	58.3	0.7	36.4	9348	5489
	80	165.8	1.2	25.9	7178	5297
	120	318.4	1.3	22.1	5537	6558
	160	564.6	1.8	22.1	5694	6154

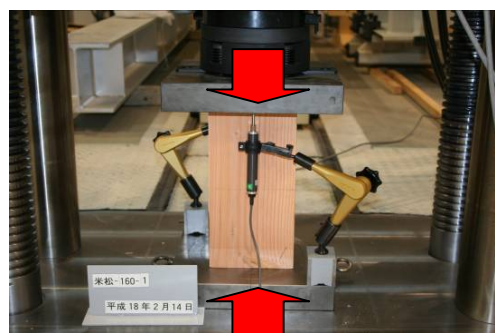


写真1 試験体の加力状況



写真2 異なる寸法による米松の破壊状況



写真3 異なる寸法による杉の破壊状況

の含水率は、他の試験体と比べて高い数値となっている。破壊形状でも試験体の下方でひび割れが生じるなどの点が見られ、含水率が縦圧縮強度に多少影響したと思われる。米松において、試験体の一边の長さ a が40～160mmの間で容積比が大きくなるに従い、縦圧縮強度が小さくなっており、寸法効果が認められた。

3.4 寸法の違いによる最大耐力時のひずみ

図2、3に示すように、試験体も一边の長さ a および容積比が大きくなると、最大耐力時のひずみが小さくなる傾向にある。容積比が大きくなると節等の欠点を含む要素に応力集中していると考えられる。

3.5 寸法の違いによるヤング率に及ぼす影響

表2に示すように米松と杉において、いずれの試験体も一边の長さ a が40～160mmの間で容積比が大きくなっても、ヤング率はほぼ同じ値を示し、ヤング率には寸法効果が認められない。

3.6 最弱リンク理論における寸法効果係数

最も弱い要素の強度が材料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²⁾³⁾がある。図4に示すように、試験体を構成する要素が直列に配列しているとき、き裂などの欠陥を含む要素は他の要素に比べて強度が低い。このため、この直列モデルに圧縮力を負荷させると、各要素に均等に圧縮応力が作用し、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 における縦圧縮強度を σ_{c1} 、各試験体 i の容積 V_i における縦圧縮強度を σ_{ci} とすると、容積比 (V_i / V_1) が小さくなれば縦圧縮強度比 $(\sigma_{c1} / \sigma_{ci})$ が大きくなるので、寸法効果の係数を k とすれば、(1)式のように表すことができる。

$$\sigma_{c1} / \sigma_{ci} = (V_i / V_1)^k \quad \cdots \cdots (1)$$

両辺を対数($\log$)でとることでグラフの傾きが大きくなり、寸法効果をより明確に把握できるので、X軸に試験体 i の容積比 (V_i / V_1) の対数を、Y軸に縦圧縮強度 σ_{ci} の対数を取り整理すると、(2)式のように表すことができる。

$$\log \sigma_{ci} = k \log (V_i / V_1) \quad \cdots \cdots (2)$$

(2)式から求められる、米松および杉の各試験体の容積比 (V_i / V_1) と縦圧縮強度 (σ_{ci}) の関係をそれぞれ図5、6に示す。図5、6



写真4 同寸法による米松の破壊状況



写真5 同寸法による杉の破壊状況

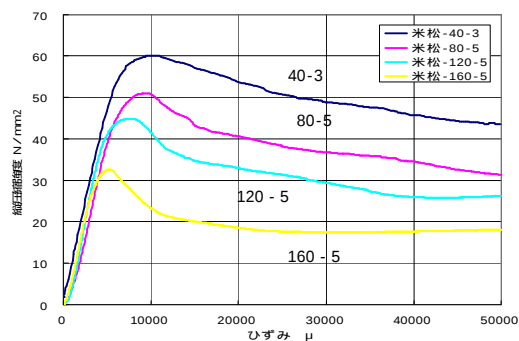


図2 米松における縦圧縮強度とひずみの関係

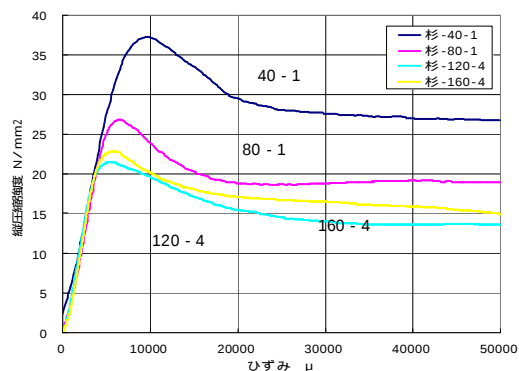


図3 杉における縦圧縮強度とひずみの関係

に示した近似線を $y = (-b)x + a$ と表すと、 $-b$ が k となり、直線の傾き b が寸法効果係数 k の値を示すことになる。

本実験では、米松および杉の試験体の一边の長さ a が120mmの試験体の試験結果を基準とし、求めた寸法効果係数 k の値は米松が0.14、杉が0.13であった。

4.まとめ

米松、杉の縦圧縮試験を行った結果、以下の点が明らかになった。

米松と杉のどちらも試験体の一边の長さ a および容積が小さくなるに従い、縦圧縮強度が大きくなる傾向が見られた。よって、米松および杉のどちらも寸法効果が認められた。

いずれの試験体も一边の長さ a および容積比が大きくなると最大耐力時のひずみが小さくなっており、節等の欠点を含む要素に応力が集中していると考えられる。

いずれの試験体も一边の長さ a および容積比が大きくなっても、ヤング率はほぼ同じ値を示し、ヤング率には寸法効果が認められない。

本実験における、米松および杉の試験体の一边の長さ a が120mmの試験体の試験結果を基準とし、最弱リンク理論を当てはめた場合、寸法効果係数 k の値は米松0.14、杉0.13となった。

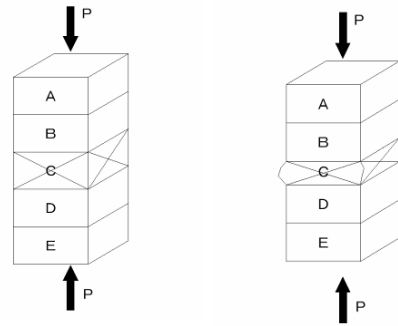


図4 寸法効果直列モデル

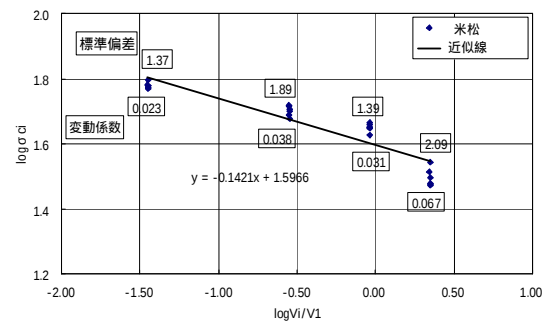


図5 米松における縦圧縮強度と容積比の関係

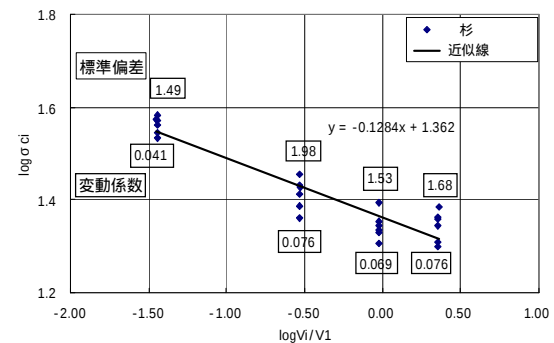


図6 杉における縦圧縮強度と容積比の関係

「参考文献」

- 1) 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、PP. 13～21、1998年3月
- 2) 鈴木直之：木材強度の寸法効果 木材工業 Vol.52、No.6、1997年
- 3) 宮澤直希、椎名聡、竹村雅行、大塚秀三、中田善久、田中文男：無欠点小試験体の大きさが縦圧縮強さ及び縦圧縮ヤング係数に及ぼす影響 日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道） PP. 953～954 2004年8月
- 4) 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 PP. 61～69 1985年12月
- 5) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説 PP. 151～153 2002