

スギ柱材の実大圧縮性能

中谷 浩*, 秦 正徳**

The Compressive Resistance of Full-scale Sugi Columns

Hiroshi NAKATANI*, Masanori HATA**

スギ実大柱の圧縮性能を明らかにすることを目的に、105mm角、120mm角柱それぞれ50本の座屈試験（座屈長305cm）を行った。結果は以下のように要約される。

1) 圧縮最大荷重は105mm柱で平均65.4kN (27.8~104.5), 120mm柱で平均112.7kN(54.7~197.1)が得られた。最小値と最大値では4倍の違いがあり,ばらつきが大きい。

2) 柱の圧縮最大荷重はセッティングの偏りや柱の曲り等の影響を受けており,必ずしも座屈荷重とは言えないが,曲り等の大きな試験体ではサウスウェルの手法を用いて調整するのが効果的と思われる。

3) 実測座屈荷重（サウスウェルの方法による調整済み最大荷重）は,オイラー式による計算座屈荷重と高い相関を持ち,105mm角柱ではほぼ一致する結果を与える。しかし,120mm角柱では計算値の90%程度の値を示した。120mm角では細長比が88であることから,塑性座屈となったためと考えられる。

4) 最大荷重の中には木質構造設計基準に示される短期許容応力度以下のものも現れてくる。これは試験体に含まれる低ヤング率材が影響していると思われるが,座屈耐力設計手法の検討が必要と思われる。

1. はじめに

北陸地方のような多雪地域では,積雪荷重が大きいために鉛直荷重に対しても構造的な配慮をする必要があり,在来工法住宅では120mm角の柱や大きな梁せいの材を用いることが多い¹⁾。また,56豪雪時には住宅被害も発生しているが,主に軒先のタルキの曲げ破壊の例が多く,柱の座屈に関わるような場合は限られている²⁾。これは,積雪荷重が荷重としては緩やかに増大するため,梁の撓みによる建具の開閉困難など,危険性を示す症状が現れてからでも,雪下ろし等の対応が可能であることも関係している。したがって,現状の経験設計でも大きな問題を生じている訳ではないが,建築基準法改正に伴う性能規定化への展開により,柱の小径化や間隔の変化,パネルによる鉛直荷重の負担等の様々な工法へと変化していく可能性もあり,柱の鉛直荷重性能について

十分な評価をしておく必要がある。また,柱の鉛直荷重性能については一般にオイラーの式³⁾の有効性が確認されており,柱のヤング率によって大きく影響を受けることが明らかになっている。柱材に多用されているスギ材ではヤング率のばらつきが大きく⁴⁾,低ヤング率材もあることから柱材の圧縮性能も大きく異なっている可能性が高い。特に,富山県では他県からの移入スギ柱材の利用も多いことから,実大レベルでの柱材の圧縮性能の評価を行うこととした。柱の圧縮性能については,住宅の中では桁や土台とのめりこみを含めた全体的な圧縮性能と柱単体の座屈性能の評価との2点について行ったが,本報では柱単体の座屈性能について報告する。

2. 試験方法

試験材は,富山県産スギ105mm角50本,120mm角100

本である。乾燥後、縦振動ヤング率を測定した。120mm角では縦振動ヤング率により均等に2つのグループに分け、1つは通常の座屈試験、残りはほぞ加工を行い桁、土台を取り付けた状態で圧縮試験に供した。本報告で扱う通常の座屈試験では、縦振動ヤング率を測定後、長さを280cmに調整し、曲り、寸法



写真-1 座屈試験状況

を測定し、スパン270cm、3等分点4点荷重法で曲げヤング率を測定した。応力レベルは長期許容応力度とし、座屈予定方向と同じ方向に負荷した。

試験材を上下の座屈治具（ピン接点：座屈長は柱長+25cmとなる）に固定し、実大強度試験機（鷺宮製作所製、圧縮能力1000kN）で圧縮荷重を負荷して破壊した。接点はピンのため座屈方向は2方向に限定されている。中央部の横変位を巻き取り型変位計（東京測器製：1m）で測定した。圧縮に伴う縦方向の移動量は無視することとした。試験状況を写真1に示す。

3. 試験結果

3.1 基礎材質

試験材の基礎材質を表-1に示す。材料のヤング率を見ると、平均で7GPaを超えており、富山県産スギの曲げヤング率としてこれまで報告された値⁵⁾からみるとやや高めの数字と考えられる。含水率は、20%程度であり、十分な乾燥状態とは言えないが、圧縮性能に直接的な影響を及ぼすとは思われない。

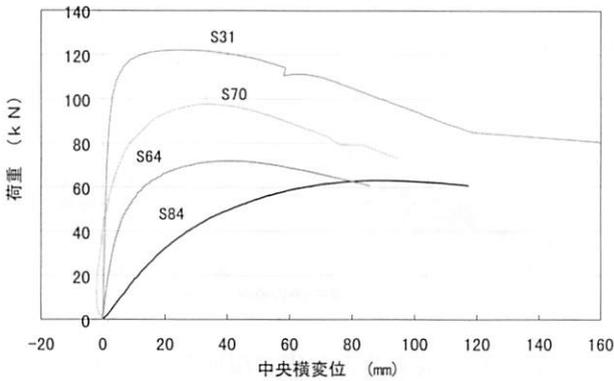
3.2 曲りと荷重-変形曲線

座屈試験では、材料の元撓みが圧縮性能に影響を与えることが指摘されている³⁾。本実験では、乾燥直後の状態で仕上げ加工を行わないで試験したため、元撓みとしての曲りの影響が考えられる。特に最近

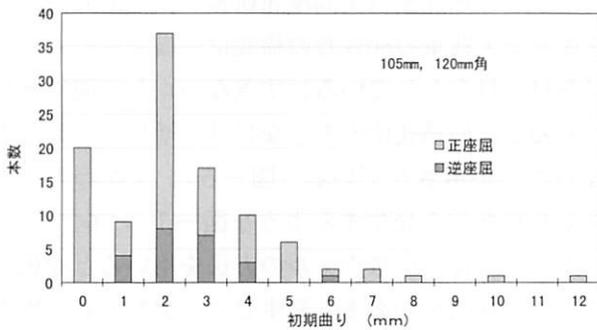
表-1 試験材の基礎材質

	105mm角 (56本)				120mm角 (51本)			
	平均	標準偏差	最小	最大	平均	標準偏差	最小	最大
材せい (mm)	102.9	0.12	100	106	120.1	1.22	117	123
材幅 (mm)	102.9	0.10	100	105	120.4	1.58	117	124
比重	0.469	0.054	0.365	0.664	0.47	0.06	0.332	0.62
含水率 (%)	24.4	7.08	13	44.6	19	6.01	10	35
曲り (mm)	2	1.59	0	8	3.43	4.26	0	28
Ed (Gpa)	7.01	1.84	3.07	11.77	6.75	1.58	3.33	10.36
Eb (Gpa)	7.14	1.71	3.55	11.44	7.54	1.68	4.52	11.26

注) 曲り：長さ280cmにおける矢高量，Ed：縦振動ヤング率，Eb：曲げヤング率



図一 1 荷重－横変位曲線



図一 2 初期曲り方向と座屈方向の関係

注) 正座屈は曲りが進む方向に座屈したものの

の住宅では大壁内部の柱であっても集成材や鉋仕上げした寸法精度の高い柱材の使用が多く、表一に見られるような曲りはほとんど無いものと考えられる。しかし、乾燥が不十分な材料の場合は、施工後に曲りを生じる可能性があるため、実用レベルを超えるような大きな曲りも存在するが、圧縮性能との関わりを検討することもあり、曲りを許容して試験した。

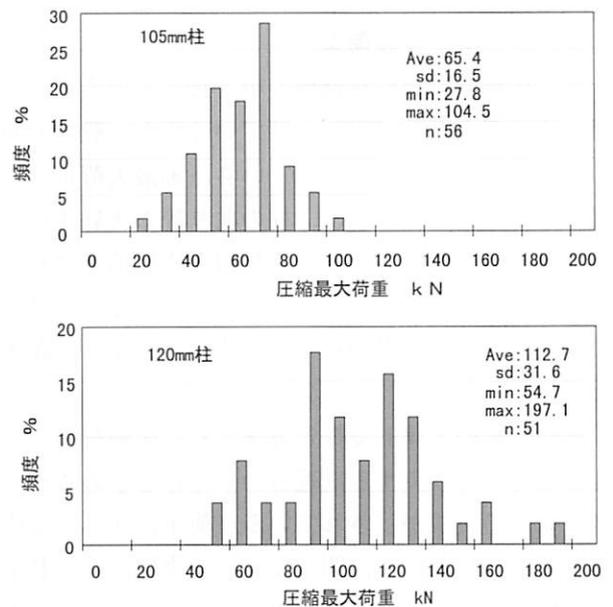
120mm柱の圧縮時の中央横変位と荷重の典型的な例を図一1に示す。元撓みが無く均質な場合は最初に横変位は発生せず、荷重が座屈荷重に近づいたところに急速に横変位を生じて破壊に至る。現実的には仮に集成材であっても材質的な偏りや試験材セッティング時の偏りをゼロにすることはできないので、S31程度が曲りの無い状態の試験に近いものであると思われる。曲りが加わると、S64のように(曲り2mm)初期から横変位を生じつつ最大荷重に達し、以降、荷重が低下しながら破壊に至る。また、極端

に曲りの大きいS84(曲り28mm)では初期から相当量の横変位を生じている。このような初期曲りの存在は、荷重当初から横変位を生じさせ、それに伴う曲げ応力により、座屈荷重に達する前に曲げ破壊を生じる結果となる。

かなり特殊な例として、S70に見られるように、当初の横変位と途中で逆方向に座屈するタイプが観察された。このタイプは、荷重当初は曲り(S70では4mm)の方向に変位が増加するが、途中で逆転するもので、材質的な不均質性やセッティングの問題が関わっていると考えられるが、明らかではない。初期の曲りと座屈の方向との関係を図一2に示す。一般的には曲りを進める方向に座屈するのが大半だが、2~3mm程度の曲りでは逆方向へ座屈する場合も3割程度見られるようである。最も大きなもので6mmの曲りで逆方向に座屈したものが認められた。

3. 3 圧縮最大荷重

富山県産スギの実大圧縮性能の分布を図一3に示す。105mm柱では平均65.4kN(最小27.8~最大104.5)、120mm柱では平均112.7kN(最小54.7~最大197.1)となり、120mm柱では105mm柱の1.7倍の圧縮性能を持っている。しかし、最小値と最大値では4倍近い性能差があり圧縮性能に大きな違いがあることが示されている。



図一 3 スギ柱材の圧縮性能

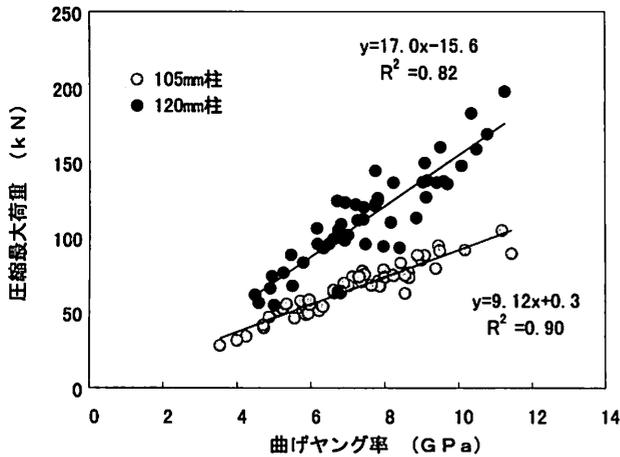


図-4 曲げヤング率と圧縮最大荷重

3.4 圧縮最大荷重の推定

細長比が100以上の長柱の圧縮耐力の推定には先に述べた座屈荷重式の有効性が確認されている。今回の実験では105mm角柱は細長比101だが、120mm角柱は細長比88であり、中間柱に属していることから、座屈荷重との関係が異なると考えられる。座屈荷重の推定は、寸法を除けばヤング率のみが関わっていることから、圧縮最大荷重と曲げヤング率の関係を図-4に示した。図に見られるように、圧縮最大荷重はヤング率との相関が極めて高く、十分な精度で推定可能と考えられる。柱長が限定されるような場合、ヤング率計測での強度等級区分による柱の耐力表示も十分可能と思われる。

3.5 実測座屈荷重

柱の圧縮性能を設計技術の中で扱っていくためには、座屈荷重として取り上げていくのが一般的である。しかし、実験で得られている圧縮最大荷重は、図-1にみられるように、柱の曲り等の実験条件の影響が避けられないため、理想的な座屈荷重より小さな荷重で曲げ破壊していると考えられる。特に、柱の曲りが大きい試験材では、その傾向がより顕著と考えられる。

座屈荷重の実験的な推定方法として圧縮荷重-横変位曲線から収束する漸近線のy座標を求めるサウスウェルの方法が示されている。簡単に述べると荷重Pと中央横変位 δ に関して δ をx座標、 δ/P をy座標にとり、この相関直線の傾きmを求める。 $1/Pcr = m$ の関係から座屈荷重が求められる³⁾。以下、この座屈荷重を実測座屈荷重(Pcr exp)とする。

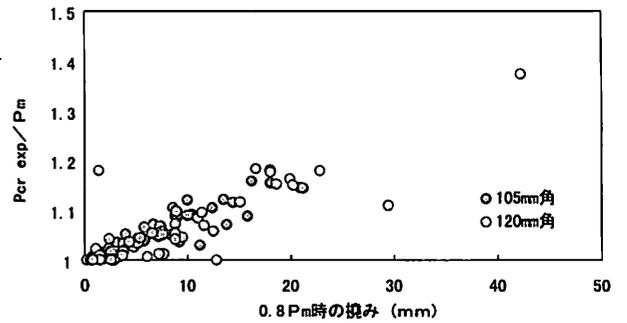


図-5 最大荷重と実測座屈荷重の関係

この方法を用いた場合の実測座屈荷重の圧縮最大荷重からの増加率(実測座屈荷重/圧縮最大荷重)を圧縮最大荷重の80%時の横変位(横変位の大きな試験材の目安としているにすぎない)との関係としてみると、同横変位の大きな材ほど増加率が大きくなることが示されている(図-5)。すなわち、初期から横変位を発生するような図-1のS64やS84のタイプではサウスウェルの方法を用いると変化が大きく、横変位があまり発生せず、突然座屈を始めるような図-1のS31のタイプでは、圧縮最大荷重とほとんど変わらない。

実験座屈荷重(Pcr exp)と計算座屈荷重(Pcr cal)の関係を図-6に示した。105mm角については計算座屈荷重と一致しており、極めて良好であるが120mm角では傾きは0.9程度に低下している。これは、細長比100以上ではオイラーの座屈式がよく一致するが、100以下では塑性座屈となり誤差を生じてくるという報告と同様の結果である⁵⁾。

塑性座屈を伴う柱の座屈、いわゆる中間柱の座屈

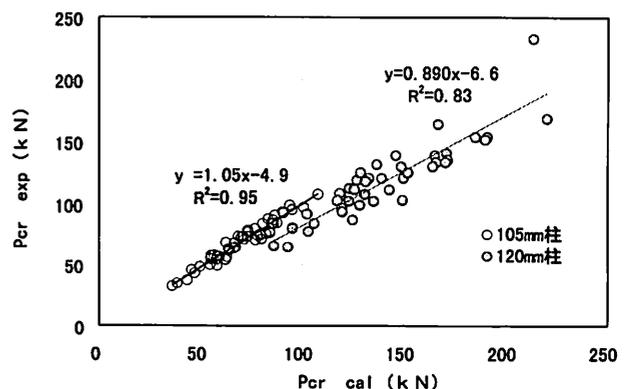


図-6 実測座屈荷重と計算値との関係

荷重は実験式で扱われており、木質構造設計基準⁶⁾でも細長比100の時の許容座屈応力と細長比30とした短柱の許容圧縮応力を直線で補間して許容座屈応力が与えられている。短期許容座屈応力は、スギ材の短期許容圧縮応力度を11.8N/mm²とすると、細長比101, 88に対してそれぞれ3.47, 4.96N/mm²となる。この値を荷重に変換すると、105mm柱で38kN, 120mm柱で71kNが短期許容荷重となる。しかし、今回の実験における最大荷重の値は図-3に見られるように、短期許容荷重以下のものが存在している。これは、柱材のヤング率が設計基準時に想定したものより低いことに起因したものと推察され、より実態に即した座屈設計手法が必要と考えられる。

4. まとめ

スギ柱材の圧縮性能を評価するために、105mm角, 120mm角の柱各50本の実大圧縮試験を行った。結果は以下のとおりである。

- 1) 富山県産スギ柱材の圧縮耐力(座屈長305cm)は、105mm角で平均65.4kN(最小27.8~最大104.5), 120mm角で平均112.7kN(最小54.7~最大197.1)が得られた。最小と最大で4倍近い大きなばらつきを持っている。
- 2) 柱の最大荷重はセッティングの偏りや柱の曲り等の影響を受けており、必ずしも座屈荷重とは言え

ないが、曲り等の大きな試験体ではサウスウェルの手法を用いて調整するのが効果的と思われる。

3) 実測座屈荷重(サウスウェルの方法による調整済み最大荷重)は、オイラー式による計算座屈荷重と高い相関を持ち、105mm角柱ではほぼ一致する結果を与えるが、120mm角柱では計算値の80%程度の値を示した。120mm角では細長比が88であることから、塑性座屈となったためと考えられる。

4) 最大荷重の中には木質構造設計基準に示される短期許容応力度以下のものも現れてくる。これは、試験体に含まれる低ヤング率材が影響していると考えられ、座屈耐力設計手法の検討が必要と思われる。

文 献

- 1) 中谷浩, 大森幹夫「富山県における在来工法住宅の木材使用実態調査」, 富山林技セ研報 No.8, p43-48, 1994.
- 2) 56豪雪状況報告, 1981.
- 3) 富山県産スギの材質と強度, 富山県林業技術センター, 42p, 2000.
- 4) チモシェンコ, 材料力学, 東京図書, p261, 1971.
- 5) 杉山英男, 木構造, 彰国社, p79-93.
- 6) 木質構造設計基準, 日本建築学会1998p194-199.
- 7) 改正建築基準法(2年目施行)の解説, 建設省住宅局建築指導課, 2000.

Summary

In this report, the compressive resistance of full-scale Sugi columns was studied. We carried out a buckling test (buckling length 305 cm) on 50 columns with 105 mm and 120 mm square sections, respectively.

Results are summarized as follows.

- 1) The average compressive resistance was 65.4 kN (27.8~104.5) for the 105x105 mm square column and 112.7 kN (54.7~197.1) for the 120x120 mm square column. The compression resistance varied so widely that the maximum values were 4 times larger than the minimum values.
- 2) The maximum compressive load from the results of the buckling test was not equal to the buckling load, because the maximum load was affected immensely by the bow of the column or the eccentric setting of the specimen. The Southwell's method to calculate buckling load from experimental observations was effective on columns with a large bow.
- 3) Experimental buckling loads (calculated by the Southwell's method) correlated highly with Euler's buckling loads. Especially, the experimental values agreed with Euler's buckling load of columns with a 105 by 105 mm square section. For columns with a 120 by 120 mm square section, however, the experimental values were 90 % of Euler's values. This is probably because columns with a 120 by 120 mm square section (slenderness ratio 88) buckled plastically.
- 4) There were some maximum compressive stresses lower than the short term allowable buckling stress that is standard for the structural design of timber structures, because this is caused by columns with low Young's modulus. Thus, it is necessary to re-examine the design method for compressive stress.