論 文(Original Article)

試験条件の違いがベイマツ実大材のめり込み性能に及ぼす影響

井道 裕史^{1)*}•長尾 博文¹⁾•加藤 英雄¹⁾

Effects of testing methods on characteristic properties of compression perpendicular to the grain of Douglas-fir timber

IDO Hirofumi¹⁾, NAGAO Hirofumi¹⁾ and KATO Hideo¹⁾

Abstract

The effects of dimension of test specimens and bearing method on compression perpendicular to the grain of Douglas-fir (Pseudotsuga menziesii) pithless timber were investigated. Characteristic values as compression strength ($f_{c,90}$), yield strength ($f_{c,90,y}$) and compression perpendicular to the grain stiffness $(K_{c,90})$ were calculated according to proposed ISO. Density, Young's modulus measured by the longitudinal vibration ($E_{\rm fr}$) and pin penetration by pilodyn were measured and investigated for their relationship on the properties of compression perpendicular to the grain. The length of specimens and bearing plate position(s) had the greatest effect. On the other hand, the width of specimens did not affect characteristic value very much. As for the height of specimens, it did not affect $f_{c,90}$ and $f_{c,90,y}$ because the length of specimens were not long enough. Number of bearing plate did not affect $f_{c,90}$ and $f_{c,90,y}$, but as for $K_{c,90}$, top bearing value was larger than that of top and bottom bearing. Bearing plate length affected $f_{c,90}$ and $K_{c,90}$, but as for $f_{c,90,y}$, effect of bearing plate length did not become clear. The correlation of $f_{c,90}$ and $f_{c,90,y}$ with the density were higher than that of $E_{\rm fr}$, so this method has a possibility of estimating both characteristic values. Also, pin penetration by pilodyn showed a certain correlation with $f_{c,90}$ and $f_{c,90,y}$.

Key words: Compression perpendicular to the grain, testing condition, bearing method, Douglas fir, Characteristic value, Pilodyn

要旨

ベイマツ実大材を用いて、試験体の形状、加圧方法を様々に変化させてめり込み試験を行い、そ れらの違いが試験結果にどのように影響を及ぼすのか検討した。試験結果を比較する際に用いるめ り込み特性値として、ISO 案 DIS 13910 に従って、めり込み強さ、めり込み降伏強さ、めり込み剛 性を算出した。また、密度、縦振動法によるヤング係数およびピロディンによるピン打ち込み深さ とめり込み特性値との関係について検討した。その結果、めり込み特性値に影響を及ぼすと考えら れる条件は、材長 (余長)、加圧板位置であった。影響が小さいと考えられる条件は、材幅であった。 材せいに関しては、めり込み強さ、めり込み降伏強さに対する影響は小さいという結果となったが、 本実験に用いた試験体は材長(余長)が十分長くなかったことが原因であると考えられた。加圧板 数の違いがめり込み強さ、めり込み降伏強さに及ぼす影響は小さく、めり込み剛性に対しては上部 加圧の方が上下加圧よりも大きい値となる傾向が見られた。加圧板長は、めり込み強さ、めり込み 剛性に影響を及ぼし、めり込み降伏強さに対する影響は明確とならなかった。また、密度は、縦振 動法によるヤング係数よりも、めり込み強さ、めり込み降伏強さとの相関が高く、両特性値を推定 するのに有効であることがわかった。ピロディンによるピン打ち込み深さも、めり込み強さ、めり 込み降伏強さとの相関が高かった。

キーワード:めり込み、部分横圧縮、試験条件、加圧方法、ベイマツ、特性値、ピロディン

1. はじめに

現在、国内外において、実大材を用いた強度データの 整備が進められている。その中でもめり込み(部分圧 縮)は、在来軸組構法における土台が柱によって圧縮さ れる部分など、木材の性能評価には不可欠な要素である が、曲げ、縦圧縮、縦引張り強さに比べて実大材のデー

タは乏しく、我が国での現行のめり込み基準強度は、無 欠点小試験体を用いた JIS 試験による比例限度応力度か ら算出されている(日本建築学会,2002)。めり込みに 関する実大材のデータが十分でない理由として、曲げ、 縦圧縮、縦引張り強さとは異なり、実大材によるめり込 みの試験方法および特性値の評価方法が統一されていな

原稿受付:平成16年5月20日 Received May 20, 2004 原稿受理:平成16年10月12日 Accepted Oct. 12, 2004

森林総合研究所構造利用研究領域 〒 305-8687 茨城県つくば市松の里1

Department of wood Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan; e-mail: ido@ffpri.affrc.go.jp 1)森林総合研究所構造利用研究領域 Department of wood Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

いことが挙げられる。すなわち、材長、材せい、材幅な どの試験体の形状の違いや、試験体に荷重を伝達する加 圧板の長さ、数、加圧位置などの加圧方法の違いが、応 力と変形との関係に相互に作用することで、めり込み の試験結果に影響を及ぼすことが想定されるためであ る。これらについては、古くは森(1934)が、元口直 径が約 900mm の「米檜」(Chamaecyparis Lawsoniana Purlatore)から種々の長さおよび高さの試験体を採取 してめり込みの基礎的性状を報告している。山井(1955, 1959)は、エゾマツ、スギ、ブナの無欠点小試験体を 用いてめり込みにおける応力とひずみとの関係を調べ、 金谷・黒田(1985)は、貫材を想定したスギの材せい、 材幅、材長の影響に関して報告している。また、川元・ 金谷(1991)は有限要素法を用いて、材長、材せい、 加圧板長の違いがみかけの部分横圧縮ヤング係数に及 ぼす影響について解析している。以上のように、めり込 みに関する報告はいくつかあるものの、実大材を用い て、めり込みに影響を及ぼす可能性について試験体の形 状および加圧方法などの試験条件について網羅的に調べ た報告はなく、試験体数も限られている。そこで、本研 究では、ベイマツ実大材を用いて、試験体の形状、加圧 方法を様々に変化させてめり込み試験を行い、それらの 違いがめり込み特性値に及ぼす影響を検討した。これら のことを明らかにすることで、今後、実大材のデータか ら導かれるべきである「木質構造設計規準」等のめり込 み基準強度の基礎データとして活かすことができる。な お、特性値の評価方法についても様々な方法が議論され ているが、本研究では試験方法の評価に的を絞り、特性 値の算出方法は、国際的主流である現行の ISO 案 DIS 13910 (2002) に従った。また、めり込み特性値を非破 壊的に評価することを目的とし、密度、縦振動法による ヤング係数およびピロディンによるピン打ち込み深さ と、めり込み特性値との関係についてもあわせて検討し た。

2. 実験

供試体には、断面寸法が 100 × 100 mm、長さが 500 mm である気乾状態のベイマツ(*Pseudotsuga menziesii*)正 角の心去り材 178 本を用いた。試験体の採取方法を Fig. 1 に示す。全ての試験体について、密度と縦振動法によ るヤング係数 $E_{\rm fr}$ とを測定し、これらの平均値と変動係 数がほぼ等しくなるように、53 本のグループ A と 125



Fig. 1. 試験体の採取手順 (n:試験体数) Sampling method of test specimens. (n: number of test specimens) 本のグループBに分けた。また、両木口面を除く4材 面で、ピロディン (Proceq 社製 Pilodyn 6J) によるピ ン打ち込み深さを測定し、平均値を算出した。グループ Aは、更に密度の平均値と変動係数がほぼ等しくなるよ うに、17体1グループと18体2グループの計3グルー プに分けた。17体のグループはそのまま材長が 500mm の試験体とし、18体の一方のグループは材長を300mm と 200mm とに切断し、18 体の他方のグループは材長 を 400mm と 100mm とに切断した。以上 5 種の材長に 切断したグループAは、材長(余長)の影響を調べる 試験に用いた。グループBは、長さが150mmとなる 試験体を2体ずつ採取し、一方は、断面寸法が100× 100mmの試験体 (グループ B-1) として使用し、他方は、 更に繊維平行方向に切断し、断面寸法が100×50mm の試験体(グループB-2)と断面寸法が100×30mm の試験体(グループB-3)とした。グループB-1は材せい、 材幅がともに 100mm となる試験に用い、グループ B-2 は材せいまたは材幅が 50mm となる試験に用い、グル ープ B-3 は同様に材せいまたは材幅が 30mm となる試 験に用いた。

試験体のグループ分けと加圧方法を Fig. 2 に示す。グループ A の試験体は長さが 100mm、厚さが 40mm、両

端部に半径 3mm の丸みのある鋼製の加圧板を用いて、 すべて中央上部加圧でめり込み試験を行った。したが って、材長が100mmの試験体については全面横圧縮 となる。グループ B-1~3の試験体はそれぞれ密度の 平均値と変動係数がほぼ等しくなるように、グループ B-1 は 4 つ、グループ B-2 および B-3 は 5 つのグルー プに分け、長さが 50mm、厚さが 50mm、両端部に半径 3mmの丸みのある鋼製の加圧板を用いて、中央上部、 材端上部、中央上下部、材端上下部加圧でめり込み試験 を行った。また、めり込み応力は加圧板直下だけではな く試験体の長さ方向にも伝達されるため(例えば、山井、 1959)、めり込み特性値を増加させるおそれのある節に ついては、応力の影響を受ける位置に存在することは本 来避けるべきであるが、実大材では非常に困難であるた め、応力の影響が最も大きい加圧板の直下に位置するこ とはできるだけ避けた。試験体は、板目材、柾目材、追 い柾材が混在していたが、グループ間の比較を平均的に 行うために、配置、加圧方向はランダムとした。それぞ れのグループ名、試験体数、試験体寸法、加圧方法の一 覧表を Table 1、各試験項目で用いた試験体のグループ を Table 2 に示す。

めり込み試験には最大容量が1000kNの材料試験機



Fig.2. 各グループの加圧方法 (n:試験体数) Bearing method of each group. (n: number of test specimens)

| 主グループ名 | グループ名 | 試験体数 | 材長 | 材せい | 材幅 | 加圧板位置 | 加圧板長さ |
|-----------------|--------------|--------|---------|---------|---------|-----------------------------|----------------------|
| Main group name | Group name | TP No. | Length | Height | Width | Bearing plate position | Bearing plate length |
| | I 50 hh10 C | 17 | (11111) | (11111) | (IIIII) | 中中 b郊 Conton Ton | (1111) |
| | L30-0110-C | 1 / | 300 | 100 | 100 | 中央上部 Center, Top | 100 |
| Group A | L40- bh10-C | 18 | 400 | 100 | 100 | 中央上部 Center, Top | 100 |
| | L30- bh10-C | 18 | 300 | 100 | 100 | 中央上部 Center, Top | 100 |
| | L20- bh10-C | 18 | 200 | 100 | 100 | 中央上部 Center, Top | 100 |
| | L10- bh10-C | 18 | 100 | 100 | 100 | 中央上部 Center, Top | 100 |
| | L15-bh10-C | 25 | 150 | 100 | 100 | 中央上部 Center, Top | 100 |
| Crown D 1 | L15-bh10-E | 25 | 150 | 100 | 100 | 材端上部 Edge, Top | 50 |
| Group B-1 | L15-bh10-CW | 50 | 150 | 100 | 100 | 中央上下 Center, Top and bottom | 50 |
| | L15-bh10-EW | 25 | 150 | 100 | 100 | 材端上下 Edge, Top and bottom | 50 |
| | L15-b10h5-C | 25 | 150 | 50 | 100 | 中央上部 Center, Top | 50 |
| | L15-b10h5-E | 25 | 150 | 50 | 100 | 材端上部 Edge, Top | 50 |
| Group B-2 | L15-b5h10-C | 25 | 150 | 100 | 50 | 中央上部 Center, Top | 50 |
| | L15-b5h10-E | 25 | 150 | 100 | 50 | 材端上部 Edge, Top | 50 |
| | L15-b10h5-CW | 25 | 150 | 50 | 100 | 中央上下 Center, Top and bottom | 50 |
| | L15-b10h3-C | 25 | 150 | 30 | 100 | 中央上部 Center, Top | 50 |
| | L15-b10h3-E | 25 | 150 | 30 | 100 | 材端上部 Edge, Top | 50 |
| Group B-3 | L15-b3h10-C | 25 | 150 | 100 | 30 | 中央上部 Center, Top | 50 |
| | L15-b3h10-E | 25 | 150 | 100 | 30 | 材端上部 Edge, Top | 50 |
| | L15-b10h3-CW | 25 | 150 | 30 | 100 | 中央上下 Center, Top and bottom | 50 |

Table 1. 各グループの概要 Abstract of each group.

Table 2. 各検討項目で用いた試験体グループ Test groups for each test items

| | 材長 (mm) | 林井山 (mm) | 材幅 (mm) | 加圧板冬件 | |
|--|---|---|--|--|-----------|
| 材長 Length (Fig. 4) | 100 (L10- bh10-C) 200 (L20- bh10-C) 300 (L30- bh10-C) 400 (L40- bh10-C) 500 (L50- bh10-C) | 100 | тутн (IIII) 100 | 中央上部 Center, top | 100 |
| 材せい Height (中央上部加圧 Center, top bearing) (Fig. 5) | 150 | 30 (L15-b10h3-C) 50 (L15-b10h5-C) 100 (L15-bh10-C) | 100 | 中央上部 Center, top | 50 |
| 材せい Height (中央上下加圧 Center, top and bottom bearing) (Fig. 6) | 150 | 30 (L15-b10h3-CW) 50 (L15-b10h5-CW) 100 (L15-bh10-CW) | 100 | 中央上下 Center, top and bottom | 50 |
| 材せい Height (材端上部加圧 Edge, top bearing) (Fig. 7) | 150 | 30 (L15-b10h3-E) 50 (L15-b10h5-E) 100 (L15-bh10-E) | 100 | 材端上部 Edge, top | 50 |
| 材幅 Width (中央上部加圧 Center, top bearing) (Fig. 8) | 150 | 100 | 30 (L15-b3h10-C) 50 (L15-b5 h10-C) 100 (L15-bh10-C) | 中央上部 Center, top | 50 |
| 材幅 Width (材端上部加圧 Edge, top bearing) (Fig. 9) | 150 | 100 | 30 (L15-b3 h10-E) 50 (L15-b5 h10-E) 100 (L15-bh10-E) | 材端上部 Edge, top | 50 |
| 加圧板数 Number of bearing plate (Fig. 10) | 150 | 30 (L15-b10h3-C, L15-b10h3-CW) 50 (L15-b10h5-C, L15-b10h5-CW) 100 (L15-bh10-C, L15-bh10-CW) | 100 | 中央上部 Center, top 中央上下 Center, top and bottom | 50 |
| 加圧板位置 Bearing plate position (材せい変化 Height changed) (Fig. 11) | 150 | 30 (L15-b10h3-C, L15- b10h3-E) 50 (L15- b10h5-C, L15- b10h5-E) 100 (L15-bh10-C, L15-bh10-E) | 100 | 中央上部 Center, top 材端上部 Edge, top | 50 |
| 加圧板位置 Bearing plate position (材幅変化 Width changed) (Fig. 12) | 150 | 100 | 30 (L15-b3 h10-C, L15-b3 h10-E) 50 (L15-b5 h10-C, L15-b5 h10-E) 100 (L15-bh10-C, L15-bh10-E) | 中央上部 Center, top 材端上部 Edge, top | 50 |
| 加圧板位置 Bearing plate position (Fig. 13) | 150 | 100 | 100 | 中央上部 Center, top (L15-bh10-C) 材端上部 Edge, top (L15-bh10-E) 中央上下 Center, top and bottom (L15-bh10-CW) 材端上下 Edge, top and bottom (L15-bh10-EW) | 50 |
| 加圧板長 Bearing plate length (Fig. 14) | 150 (L15-bh10-C) 200 (L20-bh10-C) | 100 | 100 | 中央上部 Center, top | 50 100 |

森林総合研究所研究報告 第3巻4号, 2004





((株)東京衡機製造所製)を使用した。試験機の荷重ヘッドは、加圧板に傾きが生じないように球座は用いなかった。変位の測定は、加圧板の両端からアングルを伸ばし、アングルの先端各1個所を最大ストローク25mmの変位計((株)東京測器研究所製 CDP-25)を用いて行い、その平均値を測定変位とした。荷重と変位をデータロガー((株)東京測器研究所製 TDS-601またはTDS-602)で収録した。

3. 各特性値の算出方法

めり込み試験後、荷重と変位との関係から、めり込 み強さ(f_{c,90})、めり込み降伏強さ(f_{c,90,y})、めり込み剛 性(K_{c,90})を算出した。Fig. 3 に特性値の算出方法を図 示し、(1) - (3) に算出式を示す。算出方法は ISO 案 DIS 13910 (2002) およびそれを参考とした「木質構造 限界設計指針(案)・同解説」(2003) に記載されてい る構造用木材の強度試験法に従ったが、ISO 案では上下 加圧のみのため、上部加圧の場合は上下加圧の試験体の 上半分を加圧したと仮定して、Fig. 3 (b)の上下加圧で は変形をそれぞれ 2mm、20mm とするところを、Fig. 3 (a)の上部加圧では 1mm、10mm として算出した。試験 体が破壊したときの荷重は、木口割れが生じた時点とし た。荷重変形曲線の直線部分は基本的に最大荷重の 10 %と 40%の 2 点を結んで求めたが、明らかに異なると 思われた場合は範囲を狭めて再度求めた。

 $f_{c,90} = F_{max}/(bl) \cdots (1)$ $f_{c,90,y} = F_y/(bl) \cdots (2)$ $K_{c,90} = (\Delta F/\Delta w)/(bl) \cdots (3)$ $\zeta \subset \mathcal{C}_{\lambda}$

- *f*_{c,90} : めり込み強さ (N/mm²)
- f_{c,90,y}:めり込み降伏強さ(N/mm²)
- *K*_{c,90}: めり込み剛性 (N/mm³)
- F_{max}: 試験体が破壊したときの荷重 F_{ult}、あるいは材せいの変形が 20mm(上部加圧の場合は 10mm)

生じたときの荷重 F_{20mm}(上部加圧の場合は F_{10mm})の小さい方の荷重

Fy :荷重変形曲線の直線部分を延長し、さらに変形の増加方向に 2mm(上部加圧の場合は 1mm) ずらした直線と、荷重変形曲線との交点における荷重

ΔF/Δw:荷重変形曲線の直線部分の荷重と変形の比

- *b* : 材幅
- 1 : 加圧板長

4. 結果と考察

各グループの密度、縦振動法によるヤング係数、ピン打ち込み深さ、めり込み強さ ($f_{c,90}$)、めり込み降伏強 さ ($f_{c,90,y}$)、めり込み剛性 ($K_{c,90}$)の値を Table 3 に示す。 なお L15-b10h3-E の $f_{c,90}$ の値は、 F_{max} 測定以前に試験 を終了したために欠落している。

4.1 材長(余長)の影響

材せい、材幅、加圧板長を100mmと一定にして、材 長を100mm、200mm、300mm、400mm、500mmと変 化させて中央上部加圧を行ったときの材長と各特性値 との関係を Fig. 4 に示す。すべての特性値において、各 特性値の平均値は材長が長くなるのに従って大きくな り、材長が 300mm ~ 400mm 程度の長さを超えると平 均値はほぼ一定となる傾向がみられた。TukeyのHSD 検定の結果、すべての特性値において、材長が 300mm、 400mm、500mmの試験体の間には有意水準5%で有 意差はなかった。本実験の試験体の断面で加圧板長が 100mmの場合、材長300mm(余長100mm)付近が余 長の影響の有無を分ける境界であると考えられる。この ことに関しては、野口ら(1997, 1999)が有限要素法を 用いた実験および解析により、余長の有効最小長さとし て 100mm という数値を示しているが、本実験でも同様 の結果となった。また、材長(余長)が短くなるのにし たがって各特性値、特にめり込み強さ、めり込み降伏強

Table 3. 各グループの密度、縦振動法によるヤング係数、ピン打ち込み深さおよび特性値 Density, Efr, pin penetration and characteristic values of each group.

| 77V ^a 7 A Oloup A | | | | | | | |
|------------------------------|-------------|------------|------------------------------|-----------------|------------------|------------|------------|
| グループ名 Group name | 密度 | 縦振動法による | ピン打ち込み深さ | $f_{\rm c,90}$ | $f_{\rm c,90,y}$ | $K_{c,90}$ | |
| 加圧板位置 Bearing plate position | | Density | ヤング係数 <i>E</i> _{fr} | Pin penetration | (N/mm^2) | (N/mm^2) | (N/mm^3) |
| 加圧板長 Bearing plate length | | (kg/m^3) | (kN/mm ²) | (mm) | | | |
| L50-bh10-C | 試験体数 TP No. | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| 中央上部 Center, Top | 平均值 Ave. | 506 | 13.10 | 11.8 | 9.3 | 7.1 | 5.7 |
| 100mm | 最大値 Max. | 582 | 18.70 | 14.8 | 12.7 | 11.3 | 10.9 |
| | 最小值 Min. | 416 | 7.74 | 8.5 | 7.0 | 5.1 | 3.5 |
| | 標準偏差 SD | 43.14 | 2.56 | 1.51 | 1.61 | 1.96 | 1.87 |
| | 変動係数 COV | 8.5 | 19.5 | 12.8 | 17.3 | 27.5 | 32.6 |
| L40- bh10-C | 試験体数 TP No. | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 中央上部 Center, Top | 平均值 Ave. | 515 | 13.46 | 11.1 | 9.3 | 7.9 | 5.7 |
| 100mm | 最大値 Max. | 592 | 18.79 | 14.5 | 14.5 | 14.0 | 9.9 |
| | 最小值 Min. | 442 | 9.22 | 8.8 | 6.1 | 4.9 | 3.0 |
| | 標準偏差 SD | 44.59 | 1.29 | 1.61 | 2.16 | 2.19 | 1.89 |
| | 変動係数 COV | 8.7 | 17.0 | 14.6 | 23.1 | 27.8 | 33.1 |
| L30- bh10-C | 試験体数 TP No. | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 中央上部 Center, Top | 平均值 Ave. | 512 | 13.34 | 12.0 | 8.3 | 7.2 | 5.2 |
| 100mm | 最大値 Max. | 597 | 15.98 | 17.3 | 14.8 | 12.0 | 9.5 |
| | 最小值 Min. | 426 | 7.55 | 8.8 | 4.5 | 5.2 | 2.0 |
| | 標準偏差 SD | 47.22 | 1.95 | 1.95 | 2.11 | 1.64 | 1.64 |
| | 変動係数 COV | 9.2 | 14.6 | 16.2 | 25.4 | 22.7 | 31.4 |
| L20- bh10-C | 試験体数 TP No. | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 中央上部 Center, Top | 平均值 Ave. | 510 | 13.34 | 12.0 | 6.8 | 6.3 | 4.4 |
| 100mm | 最大値 Max. | 620 | 15.98 | 17.3 | 11.2 | 9.2 | 9.0 |
| | 最小值 Min. | 437 | 7.55 | 8.8 | 4.8 | 5.2 | 1.8 |
| | 標準偏差 SD | 44.94 | 1.95 | 1.95 | 1.62 | 1.20 | 1.69 |
| | 変動係数 COV | 8.8 | 14.6 | 16.2 | 24.0 | 19.1 | 38.0 |
| L10- bh10-C | 試験体数 TP No. | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 中央上部 Center, Top | 平均值 Ave. | 509 | 13.46 | 11.1 | 3.9 | 3.9 | 2.9 |
| 100mm | 最大値 Max. | 628 | 18.79 | 14.5 | 6.8 | 6.6 | 5.5 |
| | 最小值 Min. | 423 | 9.22 | 8.8 | 2.3 | 2.5 | 1.0 |
| | 標準偏差 SD | 51.63 | 2.29 | 1.61 | 1.07 | 1.20 | 1.31 |
| | 変動係数 COV | 10.1 | 17.0 | 14.6 | 27.3 | 30.3 | 44.6 |
| | | | | | | | |

| グループ A | Group A |
|------------|---------|
| $// / \pi$ | OTOUP A |

グループ B-1 Group B-1

| グループ名 Group name | | 密度 | 縦振動法による | ピン打ち込み深さ | $f_{c,90}$ | $f_{\rm c.90v}$ | K _{c 90} |
|------------------------------|-------------|----------------------|-----------------------|-----------------|------------|-----------------|-------------------|
| 加圧板位置 Bearing plate position | | Density | ヤング係数 <i>E</i> ff | Pin penetration | (N/mm^2) | (N/mm^2) | (N/mm^3) |
| 加圧板長 Bearing plate length | | (kg/m ³) | (kN/mm ²) | (mm) | | | |
| L15-bh10-C | 試験体数 TP No. | 25 | 22 | 22 | 25 | 25 | 25 |
| 中央上部 Center, Top | 平均值 Ave. | 506 | 12.72 | 12.6 | 8.8 | 7.2 | 6.2 |
| 50mm | 最大値 Max. | 589 | 16.54 | 16.4 | 15.2 | 11.4 | 10.3 |
| | 最小值 Min. | 409 | 8.83 | 10.3 | 6.7 | 5.4 | 3.7 |
| | 標準偏差 SD | 46.90 | 2.10 | 1.68 | 1.89 | 1.71 | 1.65 |
| | 変動係数 COV | 9.3 | 16.5 | 13.3 | 21.5 | 23.8 | 26.6 |
| L15- bh10-E | 試験体数 TP No. | 25 | 21 | 21 | 25 | 25 | 25 |
| 材端上部 Edge, Top | 平均值 Ave. | 509 | 11.96 | 11.9 | 7.1 | 6.1 | 4.4 |
| 50mm | 最大値 Max. | 591 | 14.70 | 14.9 | 10.3 | 9.1 | 8.8 |
| | 最小值 Min. | 441 | 8.93 | 8.3 | 4.4 | 4.2 | 2.1 |
| | 標準偏差 SD | 44.95 | 1.82 | 1.52 | 1.43 | 1.28 | 1.57 |
| | 変動係数 COV | 8.8 | 15.3 | 12.7 | 20.1 | 21.1 | 35.8 |
| L15- bh10-CW | 試験体数 TP No. | 50 | 43 | 43 | 48 | 49 | 49 |
| 中央上下 Center, Top and bottom | 平均值 Ave. | 507 | 12.99 | 12.2 | 8.4 | 7.3 | 4.9 |
| 50mm | 最大値 Max. | 603 | 18.11 | 16.3 | 16.2 | 10.3 | 9.9 |
| | 最小值 Min. | 421 | 7.48 | 8.5 | 4.6 | 5.2 | 2.2 |
| | 標準偏差 SD | 46.77 | 2.06 | 1.79 | 2.12 | 1.26 | 1.48 |
| | 変動係数 COV | 9.2 | 15.8 | 14.6 | 25.3 | 17.3 | 29.9 |
| L15- bh10-EW | 試験体数 TP No. | 24 | 22 | 22 | 23 | 24 | 24 |
| 材端上下 Edge, Top and bottom | 平均值 Ave. | 509 | 13.49 | 11.9 | 5.4 | 5.3 | 3.6 |
| 50mm | 最大値 Max. | 598 | 18.75 | 15.0 | 9.4 | 9.4 | 7.1 |
| | 最小值 Min. | 421 | 9.39 | 8.8 | 2.5 | 3.1 | 1.6 |
| | 標準偏差 SD | 46.77 | 1.94 | 1.63 | 1.46 | 1.36 | 1.52 |
| | 変動係数 COV | 9.2 | 14.4 | 13.7 | 27.0 | 25.5 | 41.6 |

| グループ名 Group name | | 密度 | 縦振動法による | ピン打ち込み深さ | $f_{c,90}$ | $f_{\rm c,90,v}$ | K _{c,90} |
|------------------------------|-------------|------------|-------------------|-----------------|------------|------------------|-------------------|
| 加圧板位置 Bearing plate position | | Density | ヤング係数 <i>E</i> fr | Pin penetration | (N/mm^2) | (N/mm^2) | (N/mm^3) |
| 加圧板長 Bearing plate length | | (kg/m^3) | (kN/mm^2) | (mm) | | | |
| L15-b10h5-C | 試験体数 TP No. | 25 | 22 | 22 | 25 | 25 | 25 |
| 中央上部 Center, Top | 平均值 Ave. | 502 | 12.72 | 12.6 | 10.1 | 8.6 | 11.7 |
| 50mm | 最大値 Max. | 632 | 16.54 | 16.4 | 14.7 | 13.4 | 19.2 |
| 平使い Flat wise | 最小値 Min. | 419 | 8.83 | 10.3 | 7.0 | 5.6 | 6.9 |
| | 標準偏差 SD | 46.83 | 2.10 | 1.68 | 2.03 | 1.87 | 3.02 |
| | 変動係数 COV | 9.3 | 16.5 | 13.3 | 20.1 | 21.6 | 25.8 |
| L15-b10h5-E | 試験体数 TP No. | 24 | 23 | 23 | 18 | 24 | 24 |
| 材端上部 Edge, Top | 平均值 Ave. | 512 | 13.49 | 11.9 | 7.3 | 6.0 | 8.2 |
| 50mm | 最大値 Max. | 598 | 18.75 | 15.0 | 12.5 | 11.0 | 14.2 |
| 平使い Flat wise | 最小値 Min. | 431 | 9.39 | 8.8 | 5.3 | 4.0 | 4.7 |
| | 標準偏差 SD | 46.67 | 1.90 | 1.60 | 1.59 | 1.46 | 2.24 |
| | 変動係数 COV | 9.1 | 14.1 | 13.4 | 21.8 | 24.4 | 27.4 |
| L15-b5h10-C | 試験体数 TP No. | 25 | 22 | 22 | 25 | 25 | 25 |
| 中央上部 Center, Top | 平均值 Ave. | 507 | 13.63 | 12.2 | 8.5 | 6.8 | 4.5 |
| 50mm | 最大値 Max. | 616 | 18.11 | 15.6 | 11.3 | 10.1 | 10.0 |
| 縦使い Edge wise | 最小値 Min. | 433 | 10.39 | 9.1 | 5.1 | 3.8 | 2.1 |
| | 標準偏差 SD | 51.51 | 2.06 | 1.68 | 1.84 | 1.53 | 1.63 |
| | 変動係数 COV | 10.2 | 15.1 | 13.7 | 21.8 | 22.4 | 35.9 |
| L15-b5h10-E | 試験体数 TP No. | 25 | 21 | 21 | 24 | 25 | 25 |
| 材端上部 Edge, Top | 平均值 Ave. | 497 | 11.96 | 11.9 | 6.0 | 5.7 | 3.5 |
| 50mm | 最大値 Max. | 611 | 14.70 | 14.9 | 9.4 | 9.5 | 8.1 |
| 縦使い Edge wise | 最小値 Min. | 418 | 8.93 | 8.3 | 3.9 | 3.9 | 1.9 |
| | 標準偏差 SD | 49.66 | 1.82 | 1.52 | 1.44 | 1.61 | 1.54 |
| | 変動係数 COV | 10.0 | 15.3 | 12.7 | 24.0 | 28.2 | 43.5 |
| L15-b10h5-CW | 試験体数 TP No. | 25 | 22 | 22 | 25 | 25 | 25 |
| 中央上下 Center, Top and bottom | 平均值 Ave. | 503 | 12.51 | 12.1 | 8.0 | 8.2 | 9.8 |
| 50mm | 最大値 Max. | 600 | 16.29 | 16.3 | 13.1 | 13.4 | 14.3 |
| 平使い Flat wise | 最小値 Min. | 424 | 7.48 | 8.5 | 5.9 | 6.0 | 7.0 |
| | 標準偏差 SD | 50.55 | 2.01 | 1.95 | 1.82 | 1.82 | 2.09 |
| | 変動係数 COV | 10.0 | 16.0 | 16.2 | 22.8 | 22.4 | 21.3 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

| グループ B-2 | Group B-2 |
|----------|-----------|

グループ B-3 Group B-3

| グループ名 Group name | | 密度 | 縦振動法による | ピン打ち込み深さ | $f_{c.90}$ | $f_{c.90,v}$ | K _{c.90} |
|------------------------------|-------------|------------|-----------------------------|-----------------|------------|--------------|-------------------|
| 加圧板位置 Bearing plate position | | Density | ヤング係数 <i>E</i> _f | Pin penetration | (N/mm^2) | (N/mm^2) | (N/mm^3) |
| 加圧板長 Bearing plate length | | (kg/m^3) | (kN/mm ²) | (mm) | | | |
| L15-b10h3-C | 試験体数 TP No. | 25 | 22 | 22 | 25 | 25 | 25 |
| 中央上部 Center, Top | 平均值 Ave. | 507 | 12.72 | 12.6 | 8.7 | 7.9 | 13.3 |
| 50mm | 最大値 Max. | 621 | 16.54 | 16.4 | 13.9 | 13.0 | 21.8 |
| 平使い Flat wise | 最小値 Min. | 438 | 8.83 | 10.3 | 6.1 | 5.3 | 5.0 |
| | 標準偏差 SD | 42.69 | 2.10 | 1.68 | 2.01 | 2.09 | 4.30 |
| | 変動係数 COV | 8.4 | 16.5 | 13.3 | 23.1 | 26.4 | 32.4 |
| L15-b10h3-E | 試験体数 TP No. | 24 | 23 | 23 | 0 | 24 | 24 |
| 材端上部 Edge, Top | 平均值 Ave. | 517 | 13.49 | 11.9 | - | 6.5 | 11.4 |
| 50mm | 最大値 Max. | 662 | 18.75 | 15.0 | - | 9.9 | 17.3 |
| 平使い Flat wise | 最小値 Min. | 420 | 9.39 | 8.8 | - | 4.1 | 6.7 |
| | 標準偏差 SD | 65.18 | 1.90 | 1.60 | - | 1.46 | 2.75 |
| | 変動係数 COV | 12.6 | 14.1 | 13.4 | - | 22.5 | 24.2 |
| L15-b3h10-C | 試験体数 TP No. | 25 | 22 | 22 | 25 | 25 | 25 |
| 中央上部 Center, Top | 平均值 Ave. | 508 | 13.63 | 12.2 | 8.0 | 6.3 | 4.4 |
| 50mm | 最大値 Max. | 602 | 18.11 | 15.6 | 11.3 | 10.1 | 10.7 |
| 縦使い Edge wise | 最小值 Min. | 421 | 10.39 | 9.1 | 5.1 | 3.2 | 1.6 |
| | 標準偏差 SD | 46.70 | 2.06 | 1.68 | 1.74 | 1.68 | 2.23 |
| | 変動係数 COV | 9.2 | 15.1 | 13.7 | 21.8 | 26.8 | 50.3 |
| L15-b3h10-E | 試験体数 TP No. | 25 | 21 | 21 | 25 | 25 | 25 |
| 材端上部 Edge, Top | 平均值 Ave. | 510 | 11.96 | 11.9 | 6.0 | 5.5 | 3.7 |
| 50mm | 最大値 Max. | 610 | 14.70 | 14.9 | 10.3 | 9.8 | 6.7 |
| 縦使い Edge wise | 最小値 Min. | 421 | 8.93 | 8.3 | 4.5 | 3.9 | 2.3 |
| | 標準偏差 SD | 51.87 | 1.82 | 1.52 | 1.45 | 1.44 | 1.33 |
| | 変動係数 COV | 10.2 | 15.3 | 12.7 | 24.1 | 26.5 | 35.6 |
| L15-b10h3-CW | 試験体数 TP No. | 25 | 22 | 22 | 25 | 25 | 25 |
| 中央上下 Center, Top and bottom | 平均值 Ave. | 507 | 12.51 | 12.1 | 8.2 | 8.6 | 13.2 |
| 50mm | 最大値 Max. | 600 | 16.29 | 16.3 | 14.4 | 14.8 | 23.5 |
| 平使い Flat wise | 最小值 Min. | 423 | 7.48 | 8.5 | 5.0 | 5.5 | 7.6 |
| | 標準偏差 SD | 53.73 | 2.01 | 1.95 | 2.18 | 2.32 | 3.85 |
| | 変動係数 COV | 10.6 | 16.0 | 16.2 | 26.4 | 27.0 | 29.1 |

Bulletin of FFPRI, Vol.3, No.4, 2004





さが低下するのは、余長の短い試験体はある程度加圧が 進行すると、木口面で荷重面に対してほぼ水平方向に割 れが生じ、それ以降荷重の増加が緩やかになるためと考 えられる。

また、余長を十分に取った試験体と全面横圧縮との関 係を見るため、材長が 500mm と 100mm の試験体の各 めり込み特性値の平均値の比を比較すると、めり込み強 さが 0.42、めり込み降伏強さが 0.55、めり込み剛性が 0.51 となり、いずれの特性値についてもおよそ 1/2 で あった。

4.2 材せいの影響

材長を150mm、材幅を100mm、加圧板長さを50mm と一定にして、材せいを 30mm、50mm、100mm と 変化させたときの材せいと各特性値との関係を、中 央上部加圧、中央上下加圧、材端上部加圧の3種類 の加圧方法別にそれぞれ Fig. 5-7 に示す。Fig. 7の めり込み強さにおいて1体突出して高い値があるが、 これは加圧面の直下に縦長い節が存在したためであ る。めり込み強さとめり込み降伏強さは、すべての加 圧方法において、材せいが 30mm、50mm、100mm と高くなっても各特性値に明確な違いは認められなかっ た。しかしながら、川元・金谷(1991)が、めり込み を受ける木材を弾性床上に置かれた梁としてモデル化 し、計算例として材長が 300mm、材幅が 50mm と等し く、材せいがそれぞれ 25mm、50mm、100mm のベイ ツガ材が、加圧板長さが 50mm の鋼板を介して 500kgf の荷重を受けたとして求めた梁のたわみ曲線では、材 せいが高くなるほど加圧板直下の変形および余長が100 ~125mm 程度までの変形が大きくなることを報告して いる。このことから、材せいと余長とは、ある程度の長 さおよび高さまでは互いに影響を及ぼすと考えられる。 本試験項目で用いた試験体は、すべて材長が150mm、 加圧板長さが 50mm であり、中央加圧の場合は余長が 50mm、材端加圧の場合は短い方の余長が0mmとなる。 川元・金谷のモデルと、4.1 で示した余長が 100mm 以

下の試験体であれば余長の影響を受けるとしたことを考 え合わせると、余長を十分取った試験体であれば、この 範囲の材せいにおいては、材せいが高いほどめり込み強 さ、めり込み降伏強さは大きくなるが、本実験項目で用 いた試験体は余長が十分でなかったため、材せいの高い 試験体が比較的早い段階で木口で破壊することにより、 材せいによる明確な違いは現れなかったものと考えられ る。一方、比較的初期の荷重—変形挙動を示すめりこみ 剛性については、すべての加圧方法において、材せいが 高くなるのに従って、剛性が小さくなる傾向を示した。 Tukey の HSD 検定の結果、中央上部加圧では材せいが 30mm、50mm の試験体と 100mm の試験体の間で、中 央上下加圧と材端上部加圧ではすべての試験体の間で有 意水準 5%で有意差が認められた。

4.3 材幅の影響

材長を150mm、材せいを100mm、加圧板長さを 50mm と一定にして、材幅を 30mm、50mm、100mm と変化させたときの材幅と各特性値との関係を、中央 上部加圧、材端上部加圧の加圧方法別に Fig. 8-9 に示 す。加圧方法にかかわらずすべての特性値において、材 幅が 30mm、50mm、100mm と大きくなっても平均値 はほぼ等しいか、やや増加する傾向がみられた。Tukey の HSD 検定の結果、有意水準 5%で有意差が認められ たのは、中央上部加圧のめり込み剛性において、材幅 が 30mm、50mmの試験体と 100mmの試験体の間と、 材端上部加圧のめり込み強さにおいて、材幅が 30mm、 50mmの試験体と100mmの試験体の間のみであり、他 の4つの特性値では有意差は認められなかった。金谷・ 黒田(1985)および川元・金谷(1991)がスギを用いて、 材幅を18mmと30mmと変化させて材幅の影響を比較 した報告では、材幅による応力度の差は明確にはならな かったとしている。本実験の各特性値に関しても一部に 有意差は認められたものの、条件、特性値に関する一定 の傾向はなく、材幅がめり込み特性値に及ぼす影響は小 さいと考えられる。



Fig. 5. 材せいと各特性値との関係(材せい変化、材長 150mm、材幅 100mm、加圧板長 50mm、中央上部加圧) Relationship between height and each characteristic value. (Height: changed, length: 150mm, width: 100mm, bearing plate length: 50mm, center, top bearing)



Fig. 6. 材せいと各特性値との関係(材せい変化、材長 150mm、材幅 100mm、加圧板長 50mm、中央上下加圧) Relationship between height and each characteristic value. (Height: changed, length: 150mm, width: 100mm, bearing plate length: 50mm, center, top and bottom bearing)



Fig. 7. 材せいと各特性値との関係(材せい変化、材長 150mm、材幅 100mm、加圧板長 50mm、材端上部加圧) Relationship between height and each characteristic value. (Height: changed, length: 150mm, width: 100mm, bearing plate length: 50mm, edge, top bearing).





20 20 25 × : Average × : Average × : Average 20 K_{c,90} (N/mm³) 12 15 15 $f_{c,90,y} \underset{\overline{0}}{(N/mm^2)}$ $f_{\rm c,90} \, ({
m N/mm^2})$

8





Relationship between width and each characteristic value. (Width: changed, length: 150mm, height: 100mm, bearing plate length: 50mm, edge, top bearing)

4.4 加圧板数の影響

10

5

0

ISO 案 DIS 13910 (2002) では、加圧板を試験体の中 間部の上下に設置してめり込み試験を行うとする両側加 圧が採用されている。一方、JIS や ASTM では、加圧板 は上部のみの片側加圧であり、これに従い、数多くのめ り込み試験が実施されてきた。そこで、材長を150mm、 材幅を100mm、加圧板長を50mmと一定にして、材せ いを 30mm、50mm、100mm と変化させた 3 種類の試 験体を用いて、加圧板数が1つの中央上部加圧、加圧板 数が2つの中央上下加圧を行い、加圧板数の違いが各 特性値に及ぼす影響を比較した。その結果を Fig. 10 に 示す。Studentのt検定の結果、有意水準5%において、 めり込み強さは、材せいが 50mm の試験体でのみ上部 加圧の方が上下加圧に比べて平均値は大きいという結果 となったが、材せいが 30mm と 100mm の試験体では加 圧板数による差は認められなかった。めり込み降伏強さ は、全ての材せいにおいて加圧板数による差は認められ なかった。めり込み剛性は、材せいが 50mm と 100mm の試験体において上部加圧の方が平均値は大きいという

結果となった。上部加圧の場合は、試験体の上下材面の うち表面の剛性が大きい側が加圧面になると、その逆の 場合よりも変形が小さくなる。それに対して上下加圧の 場合は、上下材面ともに加圧面であるために、表面の剛 性が小さい側から変形し始める。初期変形の挙動を表す めり込み剛性に関してはこの影響が大きいと考えられる ため、上部加圧の平均値は上下加圧のそれよりも大きく なったと推測される。

0000

125

以上のことより、加圧板数はめり込み強さ、めり込み 降伏強さに及ぼす影響は小さいが、めり込み剛性に対し ては上部加圧の方が上下加圧よりも大きな値を示す可能 性があると考えられる。

4.5 加圧板位置の影響

材長を150mmと一定にして、材せいおよび材幅を 30mm、50mm、100mm、加圧板数を上部加圧、上下加 圧と変化させて、それぞれ中央加圧と材端加圧を行い、 加圧板位置の違いが各特性値に及ぼす影響を比較した。 各条件における加圧板位置と各特性値との関係につい て、材せいを変化させたときの結果を Fig. 11、材幅を



Fig. 10. 加圧板数と各特性値との関係(材せい変化、材長150mm、材幅100mm、加圧板長50mm、中央上部/中央上下加圧) Relationship between number of bearing plate and each characteristic value. (Height: changed, length: 150mm, width: 100mm, bearing plate length: 50mm, center, top/top and bottom earing)



Fig. 11. 加圧板位置と各特性値との関係(材せい変化、材長 150mm、材幅 100mm、加圧板長 50mm、中央上部/材端上部加圧) Relationship between bearing plate position and each characteristic value. (Height: changed, length: 150mm, width: 100mm, bearing plate length: 50mm, center/edge, top bearing)







Fig. 13.加圧板位置と各特性値との関係(加圧板数変化、材長 150mm、材せい・材幅 100mm、加圧板長 50mm、中央 /材端加圧)

Relationship between bearing plate position and each characteristic value.

(Number of bearing plate: changed, length: 150mm, height, width: 100mm, bearing plate length: 50mm, center/edge bearing)

変化させたときの結果を Fig. 12、加圧板数を変化させ たときの結果を Fig. 13 に示す。Student の t 検定の結果、 すべての条件、すべての特性値において、中央加圧の平 均値が材端加圧のそれを上回った。中央加圧に対する材 端加圧の比を、各特性値において平均値を用いて計算す ると、0.54 ~ 0.87 の範囲となったが、条件、特性値に 関する一定の傾向は見られなかった。

「木質構造設計規準」(日本建築学会,2002)では、針 葉樹の場合の中間部加力に対する材端における部分圧 縮の比は 0.8 と記載されているが、この値は基準強度 と同様に、無欠点小試験体の比例限度応力度の値に基 づいていると推測される。そこで、比例限度応力度に より近い値であると考えられるめり込み降伏強さの平 均値を用いて、中央加圧に対する材端加圧の比を算出 すると、0.81(材せい 100mm、材幅 100mm、上部加 圧)、0.73(材せい 100mm、材幅 100mm、上部加 圧)、0.73(材せい 100mm、材幅 100mm、上部加 圧)、0.82(材せい 30mm、材幅 100mm、上部加圧)、0.84(材 せい 100mm、材幅 50mm、上部加圧)、0.87(材せい 100mm、材幅 30mm、上部加圧)となり、どの条件に おいても木質構造設計規準の比 0.8 とほぼ等しく、実大 材に関しても妥当な値であることがわかった。

4.6 加圧板長の影響

材せいを100mm、材幅を100mm、余長を50mm と一定にして、中央上部加圧の加圧板長を50mm、 100mm(したがって材長はそれぞれ150mm、200mm) と変化させたときの加圧板長と各特性値との関係をFig. 14に示す。野口ら(1999)がベイマツ構造用集成材を 用いて、加圧板長を6種類に変化させてめり込み試験を 行った結果、同材せいにおいて、加圧板長が小さくなる につれ降伏応力度、剛性ともに高くなったと報告してい る。しかしながら、平均値について Student の t 検定を 行った結果、有意水準5%で有意差が認められたのはめ り込み強さとめり込み剛性で、めり込み降伏強さは有意 水準5%においては有意差が認められなかった。しかし ながら、p 値は 0.059 であったため、加圧板長はめり込 み降伏強さには影響を及ぼさないとは現時点では断言で きない。

4.7 各パラメータとめり込み特性値との関係

試験条件を検討した本実験では、めり込み性能を評価



Fig. 14. 加圧板長と各特性値との関係

Relationship between bearing plate length and each characteristic value.



Fig. 15.密度と各特性値との関係

Relationship between density and each characteristic value.

[**]: 有意水準 1%で有意差あり Significant at 1% level of significance

[*]: 有意水準 5%で有意差あり Significant at 5% level of significance

[N.S.]: 有意水準 5%で有意差なし No significant at 5% level of significance



縦振動法によるヤング係数 E_{fr} (N/mm²) 縦振動法によるヤング係数 E_{fr} (N/mm²)

Fig. 16. 縦振動法によるヤング係数と各特性値との関係 Relationship between Efr and each characteristic value. [N.S.]: 有意水準 5%で有意差なし No significant at 5% level of significance



[*]: 有意水準 5%で有意差あり Significant at 5% level of significance

[N.S.]: 有意水準 5%で有意差なし No significant at 5% level of significance

する指標としてめり込み強さ、めり込み降伏強さ、めり 込み剛性を用いた。しかしながらこれらの指標は、曲げ 強さ、圧縮強さ、引張り強さとは異なり、密度、縦振動 法によるヤング係数等の試験体自体の物性値に対する関 係が現在のところ十分には明らかではない。そこで、本 試験項目では、めり込み特性値と物性値との関係を調べ るため、物性値のパラメータとして、密度、縦振動法に よるヤング係数、また、密度との相関が高い(Görlacher, 1987) ピロディンによるピン打ち込み深さを用いて、 最も試験体数の多いグループである L15-bh10-CW につ いて検討した。結果を Fig. 15-17 に示す。各パラメータ と特性値とを比較すると、密度は、めり込み強さおよび めり込み降伏強さとの間にそれぞれ有意水準5%、1% で相関が認められ、相関係数rは、めり込み強さが0.361、 めり込み降伏強さが 0.551 であった。一方、めり込み剛 性との間には有意水準5%で相関は認められず、相関係 数rは0.152であった。縦振動法によるヤング係数は、 各特性値との間にいずれも有意水準5%で相関は認めら れず、相関係数rは、めり込み強さが-0.137、めり込み 降伏強さが-0.201、めり込み剛性が-0.175となり、い ずれの特性値とも相関は低かった。ピロディンによるピ ン打ち込み深さは、めり込み強さ、めり込み降伏強さと の間に有意水準5%で相関が認められたが、めり込み剛 性との間には有意水準5%で相関は認められず、相関係 数rは、めり込み強さが-0.347、めり込み降伏強さが - 0.331、めり込み剛性が- 0.067 となり、密度と同じく、 めり込み強さ、めり込み降伏強さとの相関が高く、めり 込み剛性との相関は低かった。以上のことから、めり込 み性能、特にめり込み強さ、めり込み降伏強さは、曲げ、 縦圧縮、縦引張り強さとは異なり、縦振動法によるヤン グ係数よりも密度と関連深いことがわかった。すなわ ち、縦振動法によるヤング係数は、主に木材の軸方向の 強度との相関を示すのに対して、めり込みは軸方向と垂 直の強度であるため、縦振動法によるヤング係数よりも 密度との相関が高くなったと考えられる。また、密度と 相関の高いピン打ち込み深さを測定することにより、構 造物など寸法および重量測定が困難な部材においてもめ り込み性能を推測することが可能であると考えられた。

5. まとめ

在来軸組構法における土台が柱によって圧縮される 部分など、めり込みは木材の性能評価には不可欠な要素 であるが、試験条件が異なると試験体内の応力分布が複 雑に変化するということもあり、試験条件がめり込み性 能に及ぼす影響を把握することは困難であった。そのた め、実大材の試験結果から導くことが理想とされる基準 強度の設定においても、めり込みに関しては、どのよう な試験条件で試験を行うのか、もしくは、試験条件の違 いによる試験結果の違いをどのように標準化するのかと いう点が十分に議論されているとは言い難い現状にあ る。そこで本実験では、実大材を用いためり込み試験の 試験条件に対する基礎データとして活かすことを目的と して、ベイマツ実大材を用いて、試験条件を様々に変化 させてめり込み試験を行い、試験条件の違いが試験結果 に及ぼす影響について検討した。その結果、めり込み特 性値に影響を及ぼすと考えられる条件は、材長(余長)、 加圧板位置であった。影響が小さいと考えられる条件 は、材幅であった。また、影響を及ぼす可能性がある、 もしくは、一部の特性値に影響を及ぼすと考えられる条 件は、材せい、加圧板数、加圧板長であった。以下に各 検討項目から得られた結果を摘録する。

- 1) 材長(余長)の影響:材せい、材幅、加圧板長を 100mmと一定にして、材長を100mm、200mm、 300mm、400mm、500mmと変化させて中央上部加 圧を行い、材長(余長)が各特性値に及ぼす影響を 調べた。材せいが100mmから300mm(余長が0mm から100mm)の範囲では、材長を長く取るほど各特 性値は大きくなり、材長(余長)の影響があると考 えられるが、それ以上になると各特性値はほとんど 変化しなかった。そのため、余長100mm付近が材長 の影響の有無を分ける境界であると考えられた。
- 2) 材せいの影響:材長を150mm、材幅を100mm、加 E板長さを50mmと一定にして、材せいを30mm、 50mm、100mmと変化させて、それぞれ中央上部加 E、中央上下加圧、材端上部加圧を行い、材せいが 各特性値に及ぼす影響を調べた。すべての加圧方法 において、材せいが30mm、50mm、100mmと高くなっ てもめり込み強さ、めり込み降伏強さには明確な違 いは認められなかったが、木口破壊を生じない程度 に余長を十分(100mm以上)取ると、材せいが高い ほどめり込み強さ、めり込み降伏強さが大きくなる 可能性がある。比較的初期の荷重—変形曲線を示す めり込み剛性は、すべての加圧方法において、材せ いが高くなるのにつれて、剛性が小さくなる傾向を 示した。
- 3) 材幅の影響:材長を150mm、材せいを100mm、加 E板長さを50mmと一定にして、材幅を30mm、 50mm、100mmと変化させて、それぞれ中央上部加圧、 材端上部加圧を行い、材幅が各特性値に及ぼす影響 を調べた。加圧方法にかかわらずすべての特性値に おいて、材幅が大きくなっても平均値はほぼ等しい か、やや増加する傾向が見られた。有意差は一部に 認められたものの、条件、特性値による一定の傾向 はなく、材幅に関してはめり込み特性値に及ぼす影 響は小さいと考えられた。
- 4) 加圧板数の影響:材長を150mm、材幅を100mm、 加圧板長を50mmと一定にして、材せいを30mm、 50mm、100mmと変化させた3種類の試験体を用い て、中央上部加圧(加圧板数が1つ)、中央上下加圧 (加圧板数が2つ)を行い、加圧板数の違いが各特性

値に及ぼす影響を調べた。加圧板数の違いがめり込 み強さ、めり込み降伏強さに及ぼす影響は小さかっ た。めり込み剛性は、上部加圧の方が上下加圧より も大きい値となる傾向が見られた。この理由として、 上部加圧の場合に試験体の上下材面のうち表面の剛 性が大きい側が加圧面になると、その逆の場合より も変形が小さくなるために、上下材面ともに加圧す る上下加圧よりも大きい値となると推測された。

- 5) 加圧板位置の影響:材長を150mmと一定にして、材 せいおよび材幅を30mm、50mm、100mm、加圧板 数を上部加圧、上下加圧と変化させて、それぞれ中 央加圧と材端加圧を行い、加圧板位置の違いが各特 性値に及ぼす影響を調べた。すべての条件、すべて の特性値において、中央加圧の平均値が材端加圧の それを上回り、加圧板位置の影響が明らかにあるこ とがわかった。
- 6)加圧板長の影響:材せいを100mm、材幅を100mm、 余長を50mmと一定にして、中央上部加圧の加圧板 長を50mm、100mm(したがって材長はそれぞれ 150mm、200mm)と変化させて、加圧板長が各特性 値に及ぼす影響を調べた。今回の試験では、有意水 準5%で、めり込み強さとめり込み剛性は差が認めら れ、めり込み降伏強さには差が認められなかったが、 めり込み降伏強さについては、加圧板長の影響を受 けないとは現時点では判断できなかった。
- 7) 各パラメータとめり込み特性値との関係:密度、縦振動法によるヤング係数、ピロディンによるピン打ち込み深さの各パラメータと、めり込み特性値との関係を、最も試験体数の多いグループであるL15-bh10-CWについて調べた。めり込み強さ、めり込み降伏強さは、曲げ、縦圧縮、縦引張り強さとは異なり、縦振動法によるヤング係数よりも密度と関連深いことがわかった。また、ピン打ち込み深さを測定することにより、構造物など寸法および重量測定が困難な部材においてもめり込み性能を推測することが可能であると考えられた。

謝辞

本論文の実験に際し協力して頂いた島根県中山間地域 研究センターの後藤崇志氏と、めり込み特性値を算出す るためのワークシートを作成し、利用させて頂いた広島 県立林業技術センターの藤田和彦氏に謝意を表します。

引用文献

- Görlacher, R. (1987) Zerstörungsfreie Prüfung von Holz: Ein "in situ"-Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte, Holz als Roh-und Werkstoff, **45**, 273-278.
- 金谷紀行・黒田紀雄(1985)木材(スギ)の部分横圧縮 強度 —材せい、材幅、材長の影響—,日本建築学 会大会学術講演梗概集,1259-1260.
- 川元紀雄・金谷紀行(1991)横圧縮を受ける木材の弾性 変形 材長、材せい、加圧板長さが部分横圧縮に及 ぼす影響,木材学会誌,37,16-23.
- 森 徹(1934)部分的圧縮荷重を受ける木材の機械的性 質に関する研究,建築学会大会論文,207-218.
- 日本建築学会(2002)"木質構造設計規準・同解説 許容応力度・許容耐力設計法—"日本建築学会編, 丸善,352p.
- 日本建築学会(2003)"木質構造限界状態設計指針(案)· 同解説"日本建築学会編,丸善,pp. 346-348.
- 野口弘行・橋爪靖彦(1997)有限要素法を用いた木材の めり込み規定に関する解析的考察 木材の繊維に直 角方向の圧縮に関する研究,日本建築学会構造系論 文集,491,81-87.
- 野口弘行・小林幹大・橋爪靖彦(1999)許容めり込み応 力度に関する検討と提案 木材の繊維に直角方向 の圧縮に関する研究,日本建築学会構造系論文集, 518,65-70.
- Proposed ISO DIS 13910 (2002) Structural timber Sampling, full size testing, and evaluation of the characteristic values of strength graded timber, 2002-06-28, pp. 9-10.
- 山井良三郎(1955)木材の応力—歪曲線(第2報) 部 分圧縮応力—歪曲線(1),林業試験場研究報告,78, 101-147.
- 山井良三郎(1959)木材の部分圧縮に関する研究(第1 報)荷重方向歪の分布について(1),木材学会誌, 5,189-193.