



Title	木ダボによる大断面円柱材の縦継ぎ（第1報）被着材含水率の木ダボ引抜耐力への影響
Author(s)	藤田, 誠; 小泉, 章夫; 佐々木, 貴信 他
Citation	木材工業, 59(4), 166-169
Issue Date	2004-04-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/68156
Rights	著作権は日本木材加工技術協会にある。利用は著作権の範囲内に限られる。
Type	journal article
File Information	59(4)_1.pdf



木ダボによる大断面円柱材の縦継ぎ（第1報） 被着材含水率の木ダボ引抜耐力への影響[†]

藤田 誠^{*1}, 小泉章夫^{*2}, 佐々木貴信^{*3}, 飯島泰男^{*3}, 樋口 聡^{*4}, 原田浩司^{*5}

End Joint with Glued-in Hardwood Dowels in Large Section Column Timber I. Effects of moisture contents on withdrawal properties[†].

Makoto FUJITA^{*1}, Akio KOIZUMI^{*2}, Takanobu SASAKI^{*3}, Yasuo IJIMA^{*3},
Satoshi HIGUCHI^{*4} and Koji HARADA^{*5}

^{*1}Forest Research center of Ehime Prefecture

^{*2}Faculty of Agriculture, Hokkaido University

^{*3}Institute of Wood Technology, Akita Prefectural Univ.

^{*4}VAN Structure Design studio

^{*5}YAMASA mokuzai Co.,ltd

The application of glued-in hardwood dowels to end-jointing of large section column timbers was considered. In this study, pull-out tests were made using sugi (*Cryptomeria japonica*) and 12mm diameter dowels (*Acer saccharum*) to investigate the effect of moisture content (MC) of the wood member on withdrawal properties. Withdrawal strengths and slip modulus by pull-out tests tended to decrease as MC increased. The gradient of regression line between the moisture content of the wood member and withdrawal strengths and slip modulus for double dowels was smaller than that for single dowels. Although differences between average withdrawal strengths of $MC \leq 20\%$ and average withdrawal strengths of $MC > 20\%$ for single dowels were significant, the results for double dowels were not significant.

1. 緒 言

木ダボを引抜抵抗型の接合具として利用した構造材の縦継ぎに関する一連の研究^{1~5)}がなされている。本研究の目的は、引抜型接合具としての木ダボを大断面製材品に適用することである。断面が大きい製材品を木ダボにより縦継ぎする場合、

乾燥工程において生じる水分傾斜の存在が危惧されることから、被着材側の因子として含水率をとりあげ、木ダボの引抜性能におよぼす影響を実験的に検討した。

2. ダボ接合部の強度と剛性

Jensen ら²⁾は木ダボの引抜挙動に、ラップジョイントの Volkersen モデルを適用し、接着層のせん断破壊に関して完全弾性を仮定した理論式を誘導した。小泉^{1), 3)}らは接着層のせん断強度 (f_w) とせん断剛性 (G) のパラメーターを用いて、木ダボ接合部の剛性と引抜強度に対する各因子の影響を詳細に評価した。また、小泉ら¹⁾は引抜荷重

[†] 本研究の一部は第52回日本木材学会大会（2002年4月、岐阜）で発表した。

^{*1}愛媛県林業技術センター

^{*2}北海道大学農学部

^{*3}秋田県立大学木材高度加工研究所

^{*4}(有)播設計室

^{*5}山佐木材(株)

(Q) と引抜変位 (s) との比を迂り係数 (K_s) として定義した。このとき、第1図に示すように x 方向での微小領域における力の釣り合いから、(1)式と(2)式が得られる。接着層に生じるせん断歪みの代わりにダボと被着材の相対変位 ($\delta_{d(x)} - \delta_{w(x)}$) を用い、(3)式のとおり、せん断弾性係数の代わりにせん断剛性係数を用いて $\Gamma(\text{N/mm}^3)$ を定義すると(4)式の微分方程式が導かれる。

$$\frac{d\sigma_w(x)}{dx} = -\frac{\pi d}{A_w} \tau(x) \quad (1)$$

$$\frac{d\sigma_d(x)}{dx} = \frac{4}{d} \tau(x) \quad (2)$$

$$\tau(x) = \Gamma \delta_{(x)} \quad (3)$$

$$\frac{d^2}{dx^2} \delta_{(x)} - \frac{\omega^2}{l^2} \delta_{(x)} = 0 \quad (4)$$

ここで、

$$\omega = 2l \sqrt{\frac{\Gamma(1+\alpha)}{dE_d \alpha}} \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{E_w A_w}{E_d A_d} \quad (6)$$

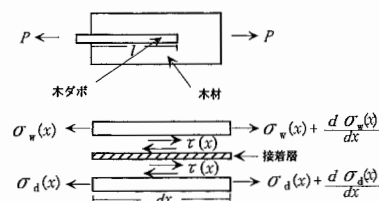
δ : ダボと被着材の相対変位, f_v : 接着層のせん断強度 (MPa), Γ : 接着層のせん断剛性係数 (N/mm^3), E : 弾性係数 (N/mm^2), d : ダボ直径 (mm), A : 断面積 (mm^2), 添字 w : 被着材, d : ダボ

木ダボを引抜抵抗型の接合具として利用した構造材の縦継ぎの場合, $x=0$, $x=1$ でダボと被着材に生じる応力は0となる。この境界条件により(4)式を解くとダボの接着層のせん断破壊を条件とする引抜強度 ($Q_{\text{max-cal}}$) は以下ようになる。

$$Q_{\text{max-cal}} = \begin{cases} \frac{\pi d l (1+\alpha) \sinh \omega f_v}{\omega (\alpha + \cosh \omega)} & (\alpha \leq 1) \\ \frac{\pi d l (1+\alpha) \sinh \omega f_v}{\omega (1 + \alpha \cosh \omega)} & (\alpha \geq 1) \end{cases} \quad (7)$$

また、ダボ1本あたりの引抜荷重 (Q) と相対変位 (δ) の比を迂り係数 (K_s) と定義すると、次のように表される¹⁾。

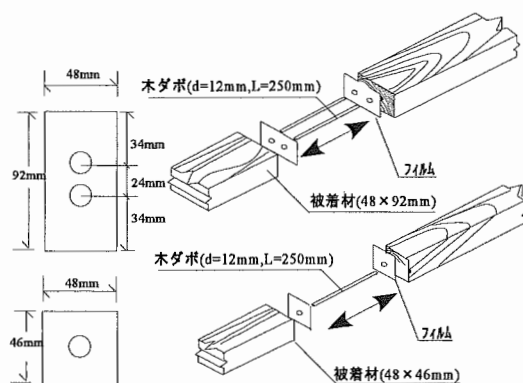
$$K_s = \frac{Q}{\delta} = \frac{\pi d l (1+\alpha) \sinh \omega \Gamma}{\omega (1 + \alpha \cosh \omega)} \quad (8)$$



第1図 ダボ接合における概念図

3. 材料と試験方法

木ダボはハードメープル (*Acer saccharum*)、被着材は愛媛県産スギ (*Cryptomeria japonica*) を用いた。木ダボは小荷重積載による弾性係数 $8.39 \sim 21.35 \text{ kN/mm}^2$ (気乾密度 $600 \sim 806 \text{ kg/m}^3$) の厚板の無欠点部位から直径12mm、長さ250mmに加工した。被着材は末口径30cm上、4mのスギ原木を用いて、愛媛県林業技術センターにおいて厚み55mm 幅110mm 長さ1300mmの芯去り断面に製材した。被着材の生材時動的弾性係数は $2.20 \sim 9.63 \text{ kN/mm}^2$ であった。被着材の乾燥は乾球温度 70°C 、乾湿球温度差 10°C 一定にて乾燥を行い、乾燥途中で試験体を適宜取り出し、含水率の異なる被着材を調達した。その後、被着材から小片を切り取り、全乾法にて被着材の含水率を測定し、ほぼ同程度の含水率の被着材を組み合わせた。実験に用いた接着剤は湿気硬化型ポリウレタン樹脂接着剤 (サンスター技研(株)製930) を用い、先穴とダボの嵌合度は -1 mm 、埋め込み長さは125mmに設定し第2図のとおり試験体を作製し、木ダボにより縦継ぎ後1週間養生し、試験に供した。なお、木ダボには防腐薬剤 (タナリス) を注入している。作製した試験体の寸法および試験体数は断面 $48 \text{ mm} \times 92 \text{ mm}$ 、長さ2,000mm、47体、 $48 \text{ mm} \times 46 \text{ mm}$ 、長さ2,000mm、23体、合計70体



第2図 試験体および試験方法

である。

実験は横引張型試験機を用い、試験体の両端540mmを引張用チャックによって支持し、破壊にいたるまで引張負荷した。引抜変位の測定は試験体の両サイドに1/100mm精度の変位計を取り付け測定した。ラム移動速度は0.1mm/minとし、試験後、破壊した被着材のダボ近傍から小片を採取、全乾法によって含水率を測定し、その試験体の含水率とした。

4. 結果および考察

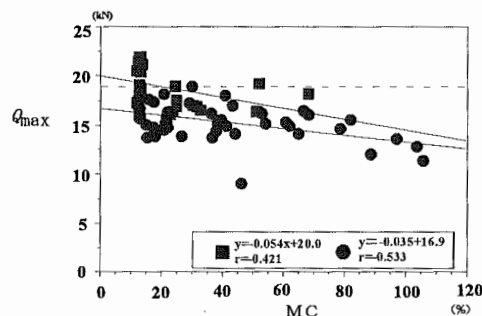
4.1 被着材含水率による破壊形態

被着材の含水率を変えた引抜試験の破壊形態は70体中数体にダボ自体の引張破壊が見られた。ダボの埋め込み長さがダボ直径の約10.4倍となっていることから、破壊時の木ダボに生じた引張応力は平均で136N/mm²であり、ダボが引張破壊したものと考えられる。このことは既報と同様な結果であった¹⁾。

木ダボ2本で行った試験体では、1本が接着層のせん断破壊、他の1本がダボの引張で破壊した試験体も見られた。試験体加工時に2本の木ダボが若干偏心して加工された可能性や試験体寸法が2,000mmと長いこと、試験体自体に若干の曲がりや反りが生じ、引張試験時に木ダボが偏心していたことも考えられる。また、被着材の含水率が高い試験体では木部での破断が多く見られた。これは、繊維飽和点以上の含水率の試験体では被着材木部のせん断破損が引抜耐力に対し、影響していることを示唆している。

4.2 含水率の引抜強度への影響

被着材の含水率と引抜強度との関係を第3図、また、図中に(7)式から求められる計算値($Q_{\max\text{-cal}}$)を点線で示す。なお、計算において、 α はもっとも安全側の評価となる ∞ とした²⁾。今回の試験での被着材の含水率範囲(12.5%~106%)では被着



第3図 被着材の含水率と引抜強度の関係

注1. ■ : ダボ1本の試験体 $Q_{\max}$

● : ダボ2本の試験体 $Q_{\max}$

注2. ---- : (7)式から求められる引抜強度 ($Q_{\max\text{-cal}}=17.7\text{kN}$)

材の含水率が高いほど、引抜強度が低下する傾向を示した。また、引抜強度と被着材含水率との回帰直線の傾きはダボ2本よりダボ1本で評価した場合の方が大きくなった。ダボを複数設けた場合、ダボと先穴との間で偏りが生じ、接着層の厚さが不均一になることにより、引抜強度が20%程度低下することが指摘されている³⁾。今回の試験結果も同様にダボ2本の引抜強度は同含水率域でダボ1本での引抜強度より低くなった。含水率20%以下の試験体 ($n=24$) の引抜強度を第1表に示す。ダボ2本で実施したダボ引抜強度は1本の場合と比較して平均で0.81と既報³⁾と同程度の値が得られた。よって、ダボ2本で評価した場合、引抜強度に対して、被着材の含水率以外の因子が加わるることにより、回帰直線の傾きが小さくなったものと推察される。試験結果を被着材含水率20%で区分し、引抜強度の平均値を検定した結果を第2表に示す。引抜強度の平均値はダボ1本の結果では危険率1%で有意な差が認められたが、ダボ2本で行った試験結果では危険率5%で有意な差は認められなかった。ただし、実際にダボを用いて構造材を縦継ぐ場合、1本のみで縦継ぐことは考えにくく、複数本使用することを想定すれば、被着材含水率により引抜強度が極端に低くなることは考えにくい。

第1表 ダボ本数と引抜強度の関係

ダボ本数	試験体数	引抜強度(kN)			
		最大値	最小値	平均値	標準偏差
1	12	22.0	17.4	20.0	1.7
2	12	19.2	13.8	16.3	1.6
比率		0.87	0.79	0.81	0.95

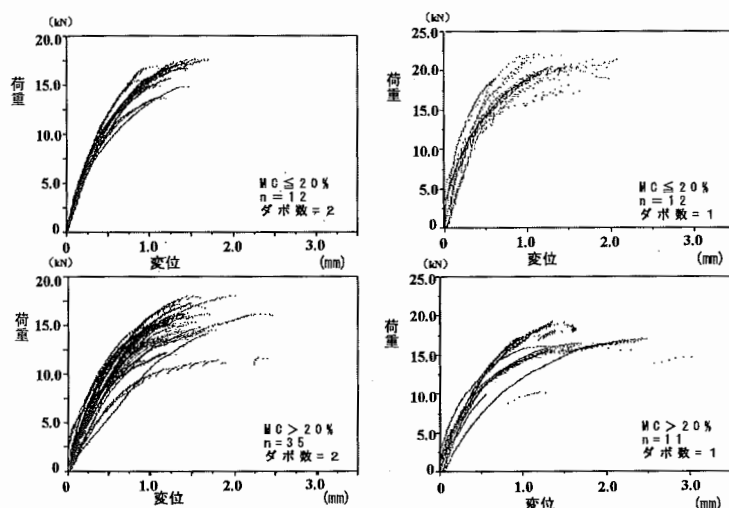
第2表 含水率区分による平均値の検定

ダボ本数	含水率区分	試験体数	平均値	標準偏差	F-値	t-値
			kN	kN		
1	MC ≤ 20%	12	20.0	1.7	2.487*	4.433**
	MC > 20%	11	17.3	1.1		
2	MC ≤ 20%	12	16.3	1.6	0.728*	1.793
	MC > 20%	35	15.2	1.9		

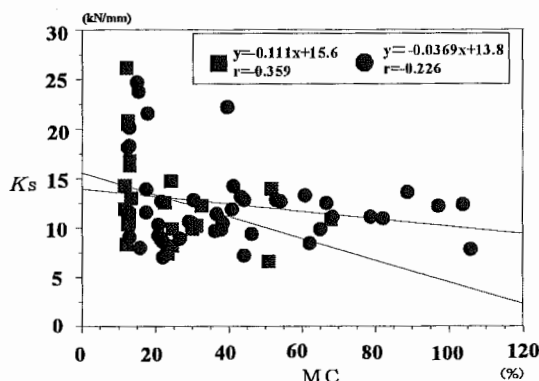
注 * 5%有意, ** 1%有意

4.3 含水率のりり係数への影響

被着材の含水率20%で区分した木ダボ引抜試験の荷重—変位曲線を第4図に示す。被着材の含水率が20%以上の試験体では低荷重域から引抜変位が大きく、荷重—変位曲線の勾配が緩くなっている。この傾向は、ダボ本数に関係なく同様であった。実験結果からりり係数 (K_s) を求めた。なお、りり係数 (K_s) は最大荷重時と原点とを結んだ勾配から求めている。引抜強度と同様、含水率が高くなるにつれ、低下傾向を示すとともに、ダボ1本の回帰直線の傾きはダボ2本より大きかった (第5図)。



第4図 荷重—変位曲線



第5図 被着材含水率とすべり係数の関係
注) ■: ダボ1本の試験体の K_s
●: ダボ2本の試験体の K_s

3. 結 論

被着材の含水率がダボの引抜性能に及ぼす影響について、実験により検討した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 被着材の含水率が高いほど、ダボの引抜強度とりり係数とも低下する傾向にあった。
- (2) 複数のダボにより試験した場合、被着材含水率以外の因子が加わることにより、ダボの引抜強度とりり係数とも低下傾向は小さくなった。また、含水率20%で区分し引抜強度の平均値を検定した結果、有意な差は確認できなかった。

謝 辞

本研究の遂行に際して、試験材の提供に協力いただいた愛媛県森林組合連合会の皆様に感謝いたします。

文 献

- 1) 小泉章夫, ヨンゲル・イエセン, 佐々木貴信, 飯島泰男, 田村靖夫: 木材学会誌, 44(1), 41-48 (1998).
- 2) Jensen, J. L. et al: Wood Science and technology, "Axially Loaded Glued-in Hardwood Dowels" (inpress).
- 3) 小泉章夫, ヨンゲル・イエセン, 佐々木貴信, 飯島泰男, 田村靖夫: 木材学会誌, 44(2), 109-115 (1998).
- 4) 佐々木貴信, 小泉章夫, ヨンゲル・イエセン, 飯島泰男, 田村靖夫, 小松幸平: 木材学会誌, 45(1), 17-24 (1999).
- 5) 小泉章夫, ヨンゲル・イエセン, 佐々木貴信, 飯島泰男, 松本裕一, 小松幸平: 木材学会誌, 45(3), 230-236 (1999).
- 6) 小泉章夫, 佐々木貴信, ヨンゲル・イエセン, 飯島泰男, 小松幸平: 木材学会誌, 47(1), 14-21 (2001).

(2003.7.16受理)