HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	木ダボ接合の経緯と施工事例
Author(s)	小泉, 章夫
Citation	木材工業, 60(4), 185-188
Issue Date	2005-04-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/68154
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	Mokuzai2005.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

木ダボ接合の経緯と施工事例

小泉章夫*

1. はじめに

木質構造の剛性・耐力の向上は接合部の性能によるところが大きい。このため，構造材の接合具には鋼材がよく用いられる。鋼材は剛性・強度が大きいうえに，破壊にいたるまでの靭性が大きく木材の脆性を補って耐震性を高める上で効果的だからである。ただし鋼材の性能を生かすには破壊モードをうまくコントロールする必要がある。ボルトなどの接合具をせん断抵抗型で用いると，被接合部材の割裂によって破壊してしまうことも多く，その場合，強度のばらつきも大きい。

接合具をせん断抵抗型ではなく引抜抵抗型で用いる方法として，鋼棒挿入接着接合法がある。接合具は木質部材と接着して一体化することになるが，鋼材は，熱伝導率，線膨張率，膨潤性などについて，木材とは性質が大きく異なり，両者を接着した場合の長期的な性能には疑問符がつく。また建物の解体時には接合部での切断も困難である。張弦梁のような部材間のハイブリッドならよいが，鋼材を木質部材に埋め込んで使うには問題が多い。そもそも製造・加工に高いエネルギーコストがかかり，環境負荷の大きな鋼材を使わなくてすむならそれに越したことはない。

こうした観点から，秋田県立大学木材高度加工研究所（秋田木高研）でカエデの木ダボを用いた挿入接着接合法が開発された[1)]。この方法は思いのほか大きな耐力を発揮し，部材の材料強度に近い耐力を期待できることが明らかとなった。このタイプの接合で鋼棒の代わりに木ダボを使う際の問題は，深く埋め込んで使ったときに剛性の低い木ダボ自体が伸びるために接着層のせん断応力が不均一となって，埋め込み長さに見合った耐力が得られないことである。そこで，比較的剛性の低いポリウレタン樹脂接着剤を緩い嵌合で使うことで径長比 10 倍程度の長いダボの引抜強度を大きくすることに成功した。

従来，構造用の接着剤は耐水性を確保した上で木破率 100%を目標に強く硬い接着を目指してきたのに対して，木ダボ接合の接着剤では強度に加えてフレキシブルなせん断剛性が求められる。エポキシ樹脂接着剤は空隙充填性はよいが，せん断剛性が木材のそれより高いために，緩い嵌合にしても接着層のせん断剛性を下げることはできなかった。秋田木高研ではいくつかの接着剤を試した結果，ポリウレタン樹脂接着剤に着目し，さらにフレキシビリティを高めるために接着剤メーカーの技術者も加わって接着剤の設計・試作も行った。木高研の機動力と学際性を生かしたプロジェクトだったといえよう。骨格となるポリマーの分子量，NCO 基やフィラーの量などを変えてテストを繰り返したが，接着剤の強度と剛性は連動しており，適当なさじ加減にすることはなかなか難しかった。最適な接着剤の開発は今後に残された課題の一つである。

1996 年にスタートした研究プロジェクトは木ダボの基本的な引抜性能を理論と実験の両面から検討したのち，縦継ぎ，仕口の各接合形式のモデルを示し，各種の実験とあわせて設計法の検討へと進んだ。さらにプロジェクトに関わった研究者，技術者の精力的な活動によって木ダボ接合の実際の構造への適用をはかられてきた。それらを紹介させていただく。なお，写真や図の多くは秋田木高研の佐々木貴信氏にご提供いただいた。厚くお礼を申し上げます。

2. 軸組材の縦継ぎ

梁桁の縦継ぎでは大きな曲げモーメントに抵抗できるよう，写真 1 のように複層にダボ列を配置した。外層のダボが長いのは曲げ応力分布に沿わせるとともに各層のダボの先端部がそろうことによる応力集

* 北海道大学大学院農学研究科木材工学分野



写真1 縦継ぎの木ダボ配置

中を避けたものだが，こうすると接合の際に 1 層ずつ挿入していけるので施工も容易になる。梁せいの深い断面では，モーメントに対してのみ設計すると断面中央部の木ダボは不要になる。しかし，剪断荷重が大きいと断面中央部で梁が剪断破壊することがあるので，曲げと剪断の複合荷重を考慮したダボ配置が必要である [2]。ダボ接合集成材の曲げ破壊試験の結果は理論予測によく適合し，中断面集成材接合部の曲げ強さは約 30MPa に達した。とくにスギのように曲げ強度の小さい材料では高い接合効率を期待できる。

木ダボ接合はもともと住宅部材の縦継ぎを想定したものであり，木高研の実験住宅では 2 階床梁の接合に用いられている。しかし，この方法は現場接着が必要となるので一般の住宅のようなオープンな工法に組み込むことは容易ではない。個別の木質構造の施工例としては高知県物部川の林道橋（奥ものべ紅香橋，設計荷重 25tf）の主桁の現場接合に用いら



写真 2 奥ものべ紅香橋の主桁接合

れている [3]。350×850㎜^{2} のスギ集成材の 1 接合面あたり，直径 16㎜ の木ダボを 200 本ほど配置したが，1 時間ほどでトラブルなしに挿入接着を完了することができた。挿入と圧締は集成材の外側に取り付けた引きボルトを締めて行った（写真 2)。

柱の縦継ぎはモーメント負荷がそれほど大きくないので，梁に比べると設計も容易である。2003 年に竣工した松山市の愛媛県武道館（写真 3）ではエントランスの妻側の屋根を 22 本のスギの丸太柱(直径 620㎜）で支える構造だが，棟木に近いところでは柱の長さが 28m にもなるため，3 箇所で木ダボ接合が



写真 3 建設中の愛媛県武道館



写真 4 丸太柱断面のダボ配置

施されている。丸柱のため，すべての方向で同じ耐力を確保できるよう，直径 16㎜ の木ダボを 4 層，同心円状に配置した [4]。総数 100 本の木ダボは，内側のダボを外側より短くすると挿入できなくなるおそれがあるので，施工の便宜を考え，内側のダボに余長を持たせて外側より長くした（写真 4)。むくの丸柱には背割りが入れられ，埋め木処理されているが，施工後の収縮による変化も継続して観察する必要があろう。

3. 軸組材の仕口

在来軸組構法の柱脚･柱頭仕口モデルについては，直径 12㎜ の木ダボを 4 本配置するだけで 70kN を超

える引抜耐力を実現できた。筋かいを設けた壁の水



写真 5 筋かい壁の剪断試験(1/30rad 変形時)

平剪断試験を行った結果，1/30 ラジアン程度で筋かいが面外に座屈して破壊したが，ダボ接合部の引き抜けは生じなかった（写真 5)。筋かいを設けない 105㎜ 角の軸組フレーム（壁長 910㎜）の実験では 1.0 程度の壁倍率が得られ，木ダボ接合とすることで開口部についても水平耐力を加算できる可能性が示された。この形式の仕口は秋田県協和町の木橋(百目石橋）の歩行者用防護柵の接合に適用されている（写真 6）[5]。この橋は車道部のみで歩行者の防護柵は当初の予定になかったため，あとから幅員両側の



写真 6 百目石橋(集成材タイドアーチ橋)

地覆木の集成材にダボ孔をあけ，支柱と笠木を木ダボで現場接合したものである（写真 7)。支柱の実大試験の結果，計算したとおり設計荷重に対して 2 倍以上の安全率を確保できることが確かめられた。

モーメント抵抗性を高めるためには接合面のダボ数を増やすのが手っ取り早いが，部材が直交する仕



写真 7 木ダボによる高欄の取付け

口では片方の部材は繊維直交方向に多数の孔をあけることになり，ダボ孔の断面欠損のために部材が曲げ破壊してしまう。木ダボの引抜けで破壊する設計にするためにはダボ数を減らして破壊モードのバランスをとる配慮が必要になる。秋田県立大では構造骨組みとそれ以外の壁や建具を分けて建物の高寿命化，フリースパン化をはかる「スケルトン-インフィル型」住宅の開発研究を進めているが，骨組みの接合部に木ダボ接合を取り入れた実験住宅を本荘キャンパス内に建てて実験を行っている（写真 8）[6]。骨



写真 8 軸組材仕口の木ダボ接合

組みを木造ラーメンとするためには接合部の高剛性・高耐力が要求されるが，仕口の木ダボ接合でいかに高耐力を実現するかも課題となろう。

仕口のダボ数を増やして耐力を大きくする一つの方法として，接合部の部材間に厚物合板を挿入し，被接合部材とそれぞれ木ダボでつなぐ方法が考えられる。合板木端面からの木ダボの引抜強度は製材からのそれと差がないので，大きな接合効率を期待できる。100×200㎜^{2} 断面の集成材の接合では被接合材の部材断面に換算して約 30MPa の曲げ強さを達成することができ，計算値の適合性も高かった（写真 9)[7]。



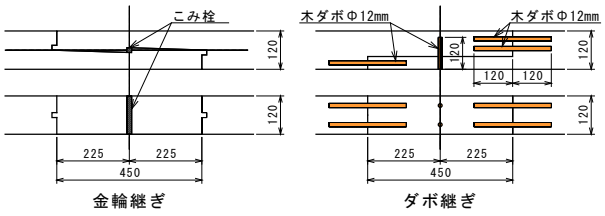
写真 9 合板部材を介したコーナージョイント

4. 既存軸組材の補修

伝統構法では柱の足もとが腐朽劣化した際，腐朽部を取り除いてそこだけ新しい部材と入れ替える補修法（根継ぎ）が行われてきた。根継ぎ部には金輪継ぎなどの嵌合接合が用いられるのが普通だが，ここに木ダボ接合を用いることでモーメント抵抗性を



写真 10　土蔵柱腐朽部の木ダボによる根継ぎ



第 1 図 接合部試験体

付与し施工性の向上を図ることができる。現在，秋田市によって復元整備事業が進められている，旧金子家住宅（秋田市文化財）の土蔵の柱の根継ぎでは金輪継ぎとともに木ダボ接合が採用された（写真 10)。施工にあたって第 1 図のような実大接合部を製作し，曲げ試験を行って性能を確認した [8]。その結果，金輪継ぎでは強軸方向で平均 11.8MPa，弱軸方向で 4.8MPa の曲げ強さであったのに対し，木ダボ接合では（金輪継ぎの）強軸方向で 12.0MPa，弱軸方向の曲げ強さは 16.3MPa ととくに大きく，伝統構法の根継ぎ法として十分な性能を確認できた。相欠きの形状，ダボ配置にはさまざまなバリエーションを考えることができ，既存建物の補強や補修に活用することができるだろう。

5. おわりに

木ダボ接合は接着に頼っているため，長期的な性能の確認が求められる。これまでに接着後 1 年までの養生時間の影響，8 回までの乾湿繰り返し，また梁の縦継ぎについて長期許容応力レベルで 1 年までの長期載荷試験を行い，養生時間，乾湿繰り返しについては耐力の減少がないことを確認した [9]。今後，DOL 影響についても確認したいと考えている。なお，ポリウレタン樹脂の代わりに天然樹脂接着剤を用いた接合や，接着剤を使わないで圧密処理した木ダボだけで接合するといったアイデアが京都大学生存圏研究所で試行されている [10]。環境負荷をかけない接合工法の開発にはさまざまなアプローチが考えられるが，木ダボ接合はその一つの流れをつくる可能性をもっていると思う。

文献

(1) たとえば，小泉章夫：“木ダボを接合具に用いた柱-土台仕口の開発”，文部省科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))研究成果報告書，2001，pp.1-88.
(2) Jensen,J.L.，Gustafsson,P.J.：J. Wood. Sci.，**50**(2)，123-129（2004).
(3) 西内 豊：木材工業，**56**(8),377-380（2001).
(4) 藤田 誠ほか 5 名：木材工業，**59**(8)，353-359（2004).
(5) 佐々木貴信ほか 4 名:第 50 回日本木材学会大会研究発表要旨集，214（2000).
(6) 板垣直行ほか 5 名:第 54 回日本木材学会大会研究発表要旨集，220（2004).
(7) Jensen,J.L.，Sasaki,T.，Koizumi,A.：J. Wood Sci.，**48**(4)，289-294（2002).
(8) 佐々木貴信ほか 4 名:第 54 回日本木材学会大会研究発表要旨集，230（2004).
(9) 小泉章夫，佐々木貴信，松木裕一:木材学会誌，**50**(4)，248-254（2004).
(10) たとえば，北川美穂，黄権煥，小松幸平：第 54 回日本木材学会大会要旨集，112（2004).