

含浸型 WPC 処理を用いた高耐力木質接合部の開発

静岡大学大学院農学領域 小川敬多

1. 緒言

我が国では、2010 年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が制定されて以来、中大規模建築物の木造化に対する機運が高まっている。非住宅部門への木質構造の進出にあたり、従前よりも高い耐力性能を有する部材の接合方法の開発が望まれるようになった。ボルトによる接合は、木質部材同士をつなぐ一般的な方法の一つとして、かねてから多く用いられてきた。構造物に外力が与えられると、ボルト接合部にはせん断力が作用するため、せん断に対する高耐力性能化は大きな関心事である。

ボルト接合部にせん断力が作用した際の、接合部の変形の例を図 1 に示す。せん断力が作用すると部材間ですべりが生じる。その内部ではボルトが変形し、また、ボルト側面からの力により図の茶色で示した範囲では、木材がめり込み変形する。このことから、この木材のめり込みに対する抵抗力を高めることで、接合部の変形量が抑えられ、すなわち、耐荷重性能に優れた木質接合部の開発ができると考えた。

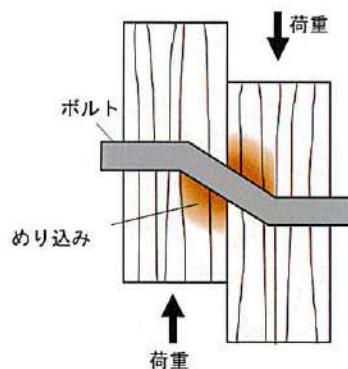


図 1 ボルト接合部がせん断変形する様子の例

木材のめり込みとは、ミクロレベルで考えると細胞の圧壊である。このめり込みに対する抵抗力を高める方法として、本研究では含浸型 WPC 処理¹⁾を用いた。これは、木材表層に UV レーザでインサイジングした後、樹脂を塗布含浸する技術である。すなわち、予め細胞内腔を樹脂で満たすことで、荷重が与えられても細胞が圧壊できないようにしてめり込みに対する抵抗力が高まることを期待している。この技術では木材の側面(板目面、柾目面)の表層の部分的な箇所樹脂含浸が可能であり、ボルト接合部のように部材内のごく一部(ボルト穴周辺)に施されればよい条件では、この技術は過度な改質の手間を削減できるため効率が良い。

本研究では、この含浸型 WPC 処理を施したことによるボルト接合部のせん断性能の向上

を調べることを目的としている。本報では、2種の樹脂を用いて含浸型 WPC 処理を試験体に用意し、せん断試験を実施したのでその結果を報告する。

2. 試験体と試験方法

2.1 接合部試験体

スギ気乾材 (*Cryptomeria japonica* D. Don) を用いて、図 2 に示すボルト接合部二面せん断試験体を作製した。図の a, b は、それぞれ繊維平行方向、直交方向に加力する試験体であり、両試験体とも、寸法 60×105×300 mm の主材と側材をボルトとワッシャーを用いて接合した。なお、全ての試験体で、ボルト頭部側に木材の辺材、ナット側に心材が向くように木材を配置した。

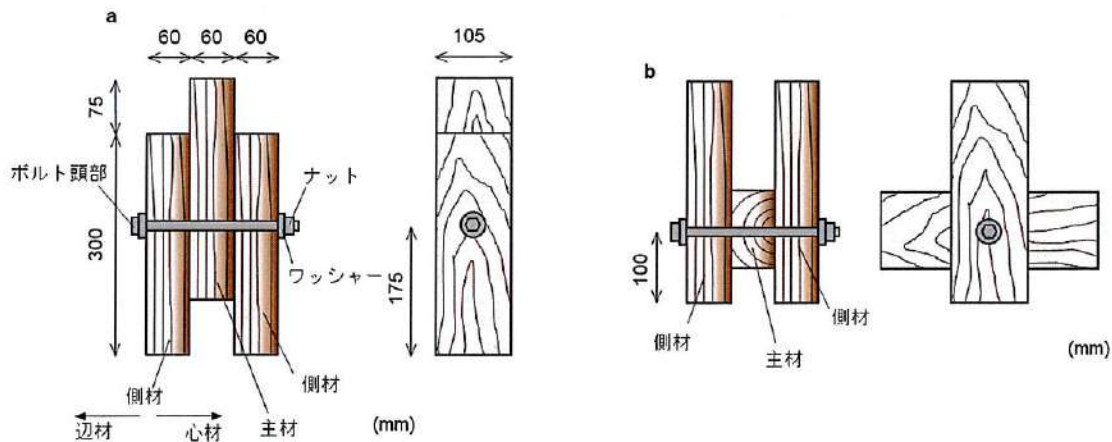


図 2 ボルト接合部二面せん断試験体

接合部試験体を作製する過程を記す。木材のボルト穴をあける前に、その周辺の材面 30×30 mm の範囲 (図 3 のドット部分) に含浸型 WPC 処理を施した。はじめに、UV レーザ発振器 (Spectra-Physics 製, LD 励起 Q スイッチ固体レーザー Talon355-15SH) とガルバノスキャナを使用し、当該範囲に 667 holes/cm²、深さ 4 または 10 mm (ともに目標値) の UV レーザインサイジング処理を施した。この様子を図 4 に示す。供試樹脂はアクリルモノマー (東栄化成製, DIAKITE PF-2730) (以下, アクリル) とウレタンプレポリマー (寿化工製, PS-NY6) (以下, ウレタン) を用い、インサイジングした部分に刷毛等で塗布した後、前者では嫌気環境において 140°C で 30 分間加熱し、後者では室内環境で 1 週間以上養生した。その後、直径 12.5 mm の穴をあけ、M12 ボルトとワッシャー (厚さ 3 mm, 直径 40 mm) を用いて接合部試験体を作製した。ボルト締めは手作業で行い、ワッシャーがスギ材に 1.0~1.5 mm 程度めり込んだのを目視で確認するまで締め付けた。なお、主材-側材間の摩擦を軽減させる処置は行わなかった。

試験体シリーズは、表 1 で示す通りの 10 通りとした。コントロール試験体 (A, F シリー

ズ)に加え、加力方向、樹脂、インサイジング深さが異なる全10シリーズとした。試験体数は各シリーズ6体とした(A, C, Jシリーズは5体)。

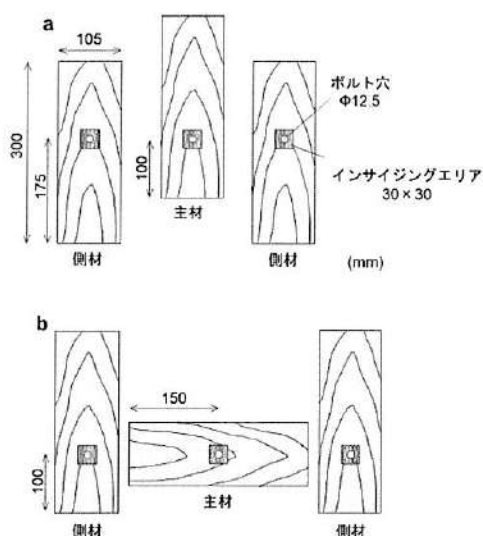


図3 インサイジング加工位置

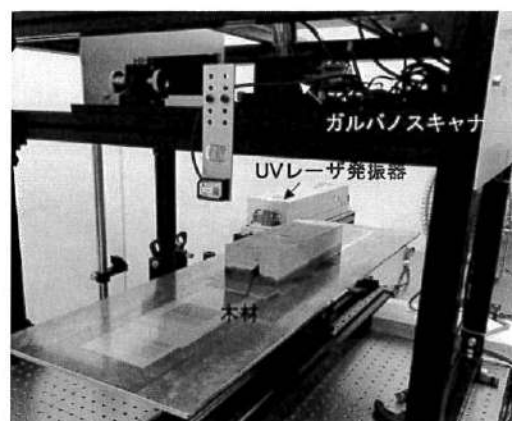


図4 インサイジング加工の様子

表1 接合部試験体シリーズ

シリーズ	負荷方向	樹脂	インサイジング深さ (mm)
A	繊維平行方向	なし	—
B	繊維平行方向	アクリル	4
C	繊維平行方向	アクリル	10
D	繊維平行方向	ウレタン	4
E	繊維平行方向	ウレタン	10
F	繊維直交方向	なし	—
G	繊維直交方向	アクリル	4
H	繊維直交方向	アクリル	10
I	繊維直交方向	ウレタン	4
J	繊維直交方向	ウレタン	10

2.2 接合部せん断試験

試験は材料試験機(前川試験機製作所製, IPU-B43)を用いて図5に示す通りに実施した。繊維平行方向加力の試験(図5a)では、側材下面が剛盤上に接するように設置し、主材上面から鉛直下向きに加力することで、主材-側材間にせん断力を作用させた。主材に変位計(東京測器研究所製, SDP-100C)、側材にターゲットを取り付け、加力にともなう主材-側

材間の変位を測定した。変位には、主材の両面に取り付けた2つの変位計の読み取り値の平均値を採用した。繊維直交方向加力の試験体(図5b)では、主材両端部を鉄製台に設置し、鉄板を介して側材の上部から加力した。最大荷重後にその80%に低下するまで加力を続けた。側材に変位計、主材にターゲットを取り付け、加力にともなう主材-側材間の変位を測定した。変位には、主材の両面に取り付けた4つの変位計の読み取り値の平均値を採用した。加力速度は概ね2 mm/minとした。

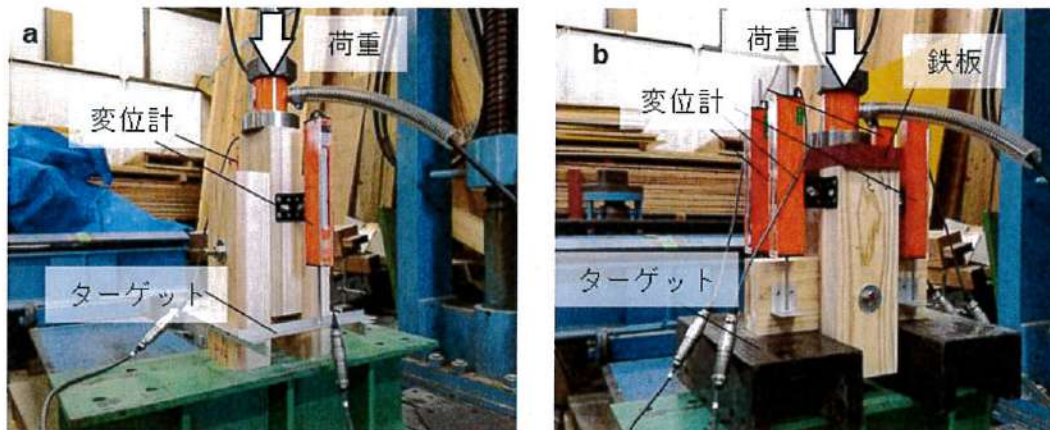


図5 接合部のせん断試験の様子

3. 結果と考察

3.1 荷重-たわみ関係

繊維平行方向加力をしたシリーズの荷重-変位関係を図6に示す。全ての試験体で、荷重初期ではほぼ変形せずに荷重が3~6kN程度に達した。これは、部材間の摩擦によるものと考えられる。その後は変位が増加しながら荷重値が増加した。最大荷重後は、図7に示すように(aは繊維平行方向負荷、bは繊維直交方向負荷のシリーズ)、主材の割裂破壊が生じ、急激に耐力を低下した。

シリーズ間で比較すると、コントロールよりも含浸型WPC処理を施したシリーズの方が耐力は高く、また、ウレタンよりもアクリル使用時の方が、耐力が高かった。インサイジング深さが4mmよりも10mmの方がより高く、深さが耐力増加に影響することが示された。繊維平行方向負荷試験体のシリーズ(図6a)をみると、WPC処理を施したシリーズではより小さい変位で割裂破壊が生じた。無処理のシリーズAではほとんどの試験体で最大荷重時の変位を30mmを超えているにもかかわらず、例えばシリーズCではおおよそ15mmで最大荷重に至った。これは、細胞壁が樹脂で固められ、変形の柔軟性が損なわれたためと考えられる。繊維直交方向加力の結果(同図b)でも同様に、WPC処理シリーズでは剛性が高くなった。また、変形性能はコントロールよりも劣ったものの、繊維平行方向加力時ほどの明確な違いは現れなかった。

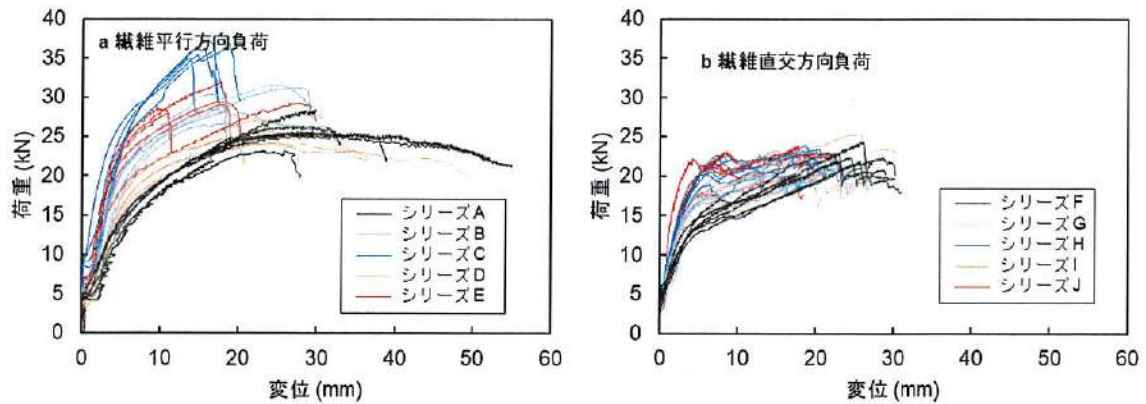


図6 接合部せん断試験により得られた荷重-変位関係

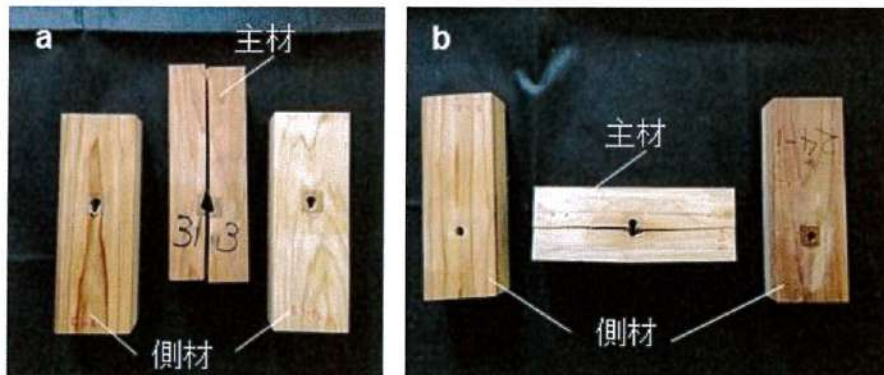


図7 最大荷重後の主材の割裂破壊の様子

3.2 力学的特性値

特性値を算出するにあたり、完全弾塑性モデルを適用した。得られた特性値（各シリーズの平均値）を表2に示す。これにより、WPC処理によるせん断性能の向上を定量的に評価した。例えば繊維平行方向加力シリーズでのアクリル使用時の剛性では、コントロールと比較して、インサイジング深さが4mmの場合には39.1%、10mmの場合では103.9%増加した。また、ウレタン使用時ではそれぞれ21.9%、91.4%の増加であり、アクリル使用時の方が増加の割合は大きかった。降伏耐力でも、アクリル使用時はインサイジング深さ4mmで43.4%、10mmで73.4%増加し、ウレタン使用時でそれぞれ15.9%、38.2%増加した。同様に繊維直交方向加力の場合でも、剛性が最大で65.7%（シリーズH）、降伏耐力が最大で39.8%（シリーズJ）増加した。

含浸型WPC処理により終局耐力も増加したが、その増加の割合は剛性や降伏耐力ほど大きくなかった（例えば、シリーズBとEではそれぞれ50.2%、17.1%の増加）。この結果が現れた理由として、今回の含浸型WPCは材表面から深さ4または10mmのみに処理するため、試験初期から降伏点に至るまで範囲のように材表面付近の物性が大きく影響する特性値（例えば、剛性や降伏耐力）で、顕著に値が増加したと推察した。なお、図6で含浸型

WPC 処理による変形性能が低下することが示されたが、定量的には、繊維平行方向加力時
で終局変位が最大で 57.8 % (シリーズ C), 直交方向では最大で 29.2 % (シリーズ J) の減
少であった。

表 2 完全弾塑性モデルにより得られた特性値

シリーズ	初期剛性 (kN/mm)	降伏耐力 (kN)	降伏変位 (mm)	終局耐力 (kN)	終局変位 (mm)	最大荷重 (kN)	最大荷重 時の変位 (mm)
A	2.56	14.3	5.62	23.2	41.4	25.2	28.2
B	3.56	20.5	6.06	28.1	26.7	29.8	21.4
C	5.22	24.8	5.23	34.8	17.5	36.3	15.9
D	3.12	16.6	5.40	23.4	33.3	25.2	22.6
E	4.90	19.7	4.09	27.1	18.5	29.4	16.9
F	3.38	12.7	3.78	19.0	29.0	22.6	24.5
G	4.74	13.9	3.05	19.7	22.8	21.9	18.1
H	5.60	15.2	2.80	20.9	21.7	22.6	16.0
I	4.11	14.3	3.65	19.4	26.2	21.8	21.6
J	5.30	17.6	3.38	21.3	20.5	22.3	17.2

4. 結論

含浸型 WPC 処理技術を用いることで、ボルト接合部のせん断における高耐力化を試みた。
ボルト接合部のせん断試験を実施した結果、含浸型 WPC 処理を施すことで耐力が向上した。
例えば、繊維平行負荷において、アクリル使用、インサイジング深さが 10 mm の場合には、
無処理 (コントロール) と比較して、初期剛性が 103.9% 増加した。また、降伏耐力は 73.4%
増加した。しかしながら、含浸型 WPC 処理を施したボルト接合部では比較的小さい変位で
破壊することが確認でき、靱性の確保が課題となった。

謝辞

本研究は江間忠・木材振興財団の助成による実施した。試験体の含浸型 WPC 処理には、
あいち産業科学技術総合センター・福田聡史主任研究員に多大なご協力をいただいた。また、
試験方法やデータ解釈において、静岡大学学術院農学領域の小林研治准教授にご助言をい
ただいた。ここに記して謝意を表す。