

### (3) ポリウレア塗装による木部材の 構造性能向上に関する実験的研究

持田 泰秀<sup>1</sup>・小原 愛美<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 立命館大学教授 理工学部建築都市デザイン学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1丁目1-1)  
E-mail: mochida@fc.ritsumei.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 立命館大学 理工学部建築都市デザイン学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1丁目1-1)  
E-mail: ru0096if@ed.ritsumei.ac.jp

現在、木造在来軸組構法における継手や仕口は標準化され、手加工ばかりでなく機械加工でのプレカット継手が多く活用されている。木材継手の構造性能は、耐震性能に大きく影響を与え、木材料の異方性や木目などにより構造計算で単純に評価しにくい。その継手の中でも、高い頻度で用いられる代表的な継手に、腰掛け鎌継ぎがある。既往研究において、腰掛け鎌継ぎの構造強度性状に関するものは未だ少ない。本研究では、手加工と機械加工で製作した腰掛け鎌継ぎに関する製造生産分析、CTスキャナーによる製品精度試験および力学的な引張試験を行い、隙間の程度や引張強度、初期引張剛性、破壊性状などの比較を行い、両者の性能の違いを明らかにする。その中で、木造建築物の腐朽や経年劣化による維持管理の在り方が課題となる。本研究では、ポリウレアという新材料に着眼して、木造部材への塗装による構造的な力学的性能の向上の可能性を検証する。具体的には、手加工と機械加工により腰掛け鎌継ぎの継ぎ手を作製し、各々にポリウレアの塗装の有無の比較の引張試験および圧縮試験を行い、両者の比較にて、ポリウレア塗装の構造的な有効性を明らかにする。

**Key Words :** *polyurea, tensile test, koshikakekamatsugi, hand work, mechanical work  
x-ray computerized tomography scanner, compression test*

#### 1. はじめに

近年、大型木造建築に注目が集まっている中、木造建築物の腐朽や経年劣化による維持管理の在り方も課題となっている。本研究では、海外の軍事産業における重機の塗装や国内の防水改修に使用されているポリウレアに着眼し、構造的な力学的性能の向上の可能性を検証する。具体的には、手加工と機械加工により施された腰掛け鎌継ぎの継手を有する引張部材と圧縮角部材に対し、ポリウレアの塗装の有無の比較試験を行う。両者の比較にて、ポリウレア塗装の構造性能への有効性を明らかにする。

#### 2. ポリウレア概要

ポリウレアは、イソシアネートとポリアミンの化学反応で生成されるウレア結合を基本とした樹脂化合物であり、ポリウレタンやエポキシと同じように、二液硬化性樹脂に分類される樹脂である。1960年代に米軍コーティ

ング・化学研究所で構造物補強への有用性が報告されたことを端緒に研究開発<sup>1)2)</sup>が進み、その後、1990年初頭、ポリウレア用のイソシアネートとポリアミンが製品として上市した素材である。樹脂の形成による超高寿命、高強度、高弾性、高伸び率、高接着性、耐水性、耐海水性、耐薬品性、耐摩耗性、引裂抵抗性、耐候性、耐衝撃性、耐食性、耐陰極剥離といった多様な性能を発揮する。また、コンクリート、プラスチック、金属、木材といった様々な素材に施工可能な適用性にも優れ、加水分解せず、数十秒程、早いものは10秒程で硬化し、短時間作業が可能である。無溶剤でVOCがなく安全な環境をもたらし、飲料用ライニング材適合であり、低温下でも施工可能である。

ポリウレアは3つに分類され、加温硬化型ポリウレア、常温硬化型ポリウレアそして手塗グレードポリウレアである。また、ポリウレア吹付の前段階に使用されるプライマーには、エキポシ系とウレタン系の2種に分類される。

本研究のポリウレアは、JIS A 6021(建築用塗膜防水材)

に従った試験性能を満足する材料樹脂(PJ-006弾性防水ポリウレア)を用いる<sup>3)</sup>。これらは先述の加温硬化型ポリウレア、エキポシ系プライマーに分類される。写真-1に塗装状況及と試験体を、表-1にポリウレア材料試験結果を示す。ポリウレアの施工手順は以下となる。①ポリウレア吹付前に木材にプライマー（下地材）を塗布し、付着程度を決定する。②リアクターにイソシアネートとポリアミンを循環させ、圧力をイソシアネートに約180psi（≒約1240kpa）ポリアミンに約30psi（≒約200kpa）掛け、イソシアネートを約70℃，ポリアミンを約50℃に温めながら攪拌させる。20～30分掛けて十分に温めた後、吹付けの作業に移る。③リアクターのレバーを切り替えて温めた材をリアクターに通して圧力をイソシアネートに約2600psi（≒約18000kpa）ポリアミンに約2400psi（≒約16500kpa）掛けてスプレーガンへ送り、噴射させ吹き付ける。



写真-1 ポリウレア塗装状況と試験体

項目		試験結果(平均値)	
引張性能	引張強さ(N/mm <sup>2</sup> )	23℃	21
		-20℃	31
		60℃	18
	破断時の伸び率(%)	410	
	拡張積(N/mm <sup>2</sup> )	1690	
引裂性能	引裂強さ(N/mm <sup>2</sup> )	71	
加熱伸縮性能	伸縮率(%)	0.0	

### 3. 木材継手の引張試験

本研究で取り上げる継手加工技術は、50年程度の熟練大工による手加工と、木造在来軸組構法にて標準化されている継手や仕口のプレカット工場での機械加工とした。木材継手の構造性能は、耐震性能に大きく影響を与え、木材の異方性、木目及び節などにより構造計算で単純に評価しにくい。今回の継手の形態は、継手の中でも高頻度で用いられ難易度も高くない代表的な継手である腰掛け鎌継ぎ<sup>4)</sup>を取り扱う。既往研究において、腰掛け鎌継ぎの構造強度性状に関するものは未だ少ない。本研究では、実際に手加工と機械加工で製作した腰掛け鎌継手試験体の製造生産調査、X線CTスキャナーによる製品精度試験及び引張試験を行う。それらを通して、隙間の程度、引張強度、初期引張剛性及び破壊性状などの比較を行い、両者の性能を明らかにする。

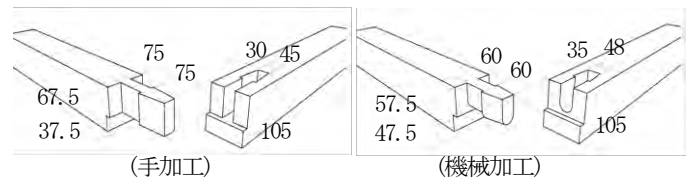


図-1 継手加工図

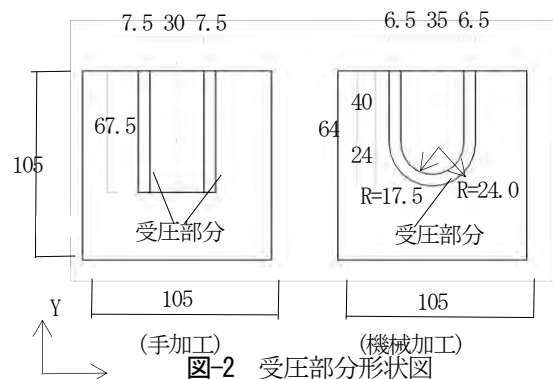


表-2 鎌頭・鎌クビ形状表

#### (1) 加工法概要

土台、柱、梁桁などに用いられる腰掛け鎌継ぎにて、長手方向を木材の繊維方向とし出来るだけ木目を通す様に試験体を製作した。図-1に継手加工図、図-2に受圧部分形状、表-2に鎌頭・鎌クビ形状表を示す。手加工は、左右対称に鎌頭の支圧部分が生じ、機械加工はドリル仕様のため、角材中央側が繋がっているU字形状となる。機械加工による鎌頭のせん断面積は、手加工の約80%の面積である。受圧部分面積は、手加工の方が約10%程度大きい、断面Y方向の角材の芯は上端から52.5mmに対し、手加工の受圧部分の芯は38.25mmで、偏心距離が

接合部部位	手加工	機械加工
鎌頭せん断形状 B×D(mm)	67.5×75	約67.5×60
鎌頭せん断面積(mm <sup>2</sup> )	10125	8097
受圧部分面積(mm <sup>2</sup> )	1013	944
受圧部分断面2次モーメント(mm <sup>4</sup> )	384434	347715
断面係数1(mm <sup>3</sup> )	11391	9935
断面係数2(mm <sup>3</sup> )	11391	11990
鎌クビ断面形状 B×D(mm)	30×67.5	35×約53.7
鎌クビ断面面積(mm <sup>2</sup> )	2025	1881
鎌クビ断面2次モーメント(mm <sup>4</sup> )	768867	465623
断面係数1(mm <sup>3</sup> )	19842	17245
断面係数2(mm <sup>3</sup> )	19842	15266

14.25mmとなる。機械加工の支圧部分の芯は35.0mmで、偏心距離が17.5mmとなる。手加工は、鎌頭の支圧部分と鎌クビの芯が一致している一方で、機械加工は、鎌クビの芯が27.0mmで、鎌頭の受圧部分と8.0mmの偏心距離が生じる。これより、角材の芯と鎌クビの芯の偏心距離は、手加工で14.25mm、機械加工で25.5mmとなり、機械加工が約79%大きな数値となる。本研究の手加工は、塾練大工1名にて標準的な腰掛け鎌継ぎとし、継手加工の所要時間は男木、女木1対で約1時間程度を要した。機械加工は工場加工ラインに乗せ、プレカット仕口加工機で所要時間は男木女木の1対で約5分を要した。経済性では今回の1箇所1対の加工費のみで、機械加工が手加工の約4倍の加工費となる。これは、手加工の費用を、大工の日当から所要加工時間で換算算出しているためである。実際に1棟建物で考えると、4m程度の多数で同様の部材では、機械加工は短時間(手加工の約12倍の加工速度)で大量な加工数となる。この結果、1対の機械加工費は低減し、手加工が実質高い費用となる。一方、手加工は、同じ樹種の優れた木目の木材の入手が可能で、改修工事では機械加工より木材量の歩留まりが良いなどの優れた点がある。

## (2) 製品精度試験概要

写真-2にX線CTスキャナーによる手加工と機械加工の3次元データを示す。X線CTスキャナー用に製作した105×105×300mmで、手加工と機械加工の各々1体とした。木材材料の内部の木目の方向や節の存在が明らかになり、夏目冬目の色調が逆転した形で鮮明に観ることが出来る。STLデータにて隙間を3次元化させ形態観察を行い、Rhincerosを用いて体積の測定を行った。写真-3,4は手加工と機械加工の隙間をSTLデータにて3次元化させたもので、着色されている部分が隙間を示す。男木と女木水平接触面、男木と女木垂直接触面、材軸直交断面などを

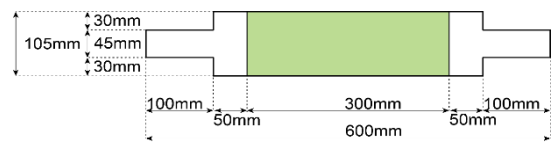


図-3 ポリウレア試験体概要

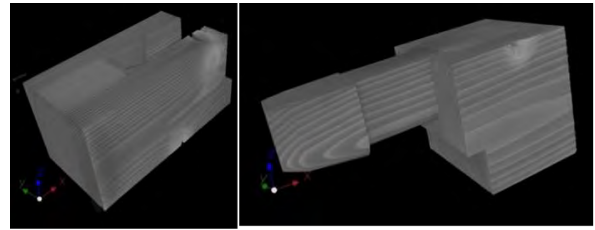


写真-2 女木と男木のCTスキャナーの3次元データ

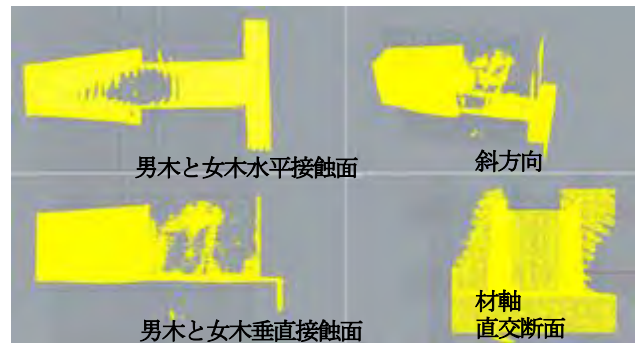


写真-3 手加工の男木と女木の隙間のSTLデータ

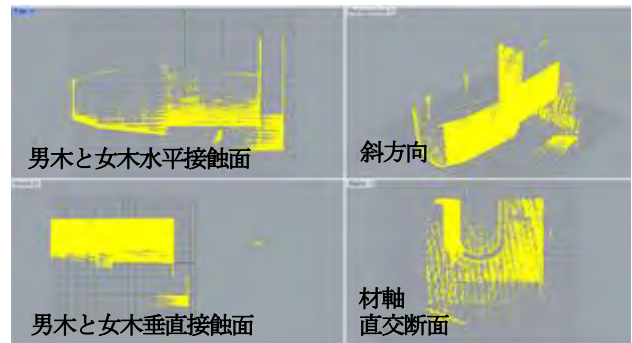


写真-4 機械加工の男木と女木の隙間のSTLデータ

表-3 試験体一覧表

引張試験体名	ポリウレア塗装	加工方法	含水量 (%)	最大引張荷重 (kN)	最大引張荷重時変位 (mm)	初期引張剛性 (kN/mm)	破壊形式
P-I-1	あり	手加工	10.3	39.0	14.8	8.7	せん断破壊 (男木部分)
P-I-2			10.3	28.6	5.8	10.5	せん断破壊 (男木部分)
P-I-3			10.0	37.6	10.1	9.4	せん断破壊 (男木部分)
P-II-1		機械加工	9.2	33.8	7.3	7.0	せん断破壊 (男木部分)
P-II-2			9.6	27.6	5.7	8.1	せん断破壊 (男木部分)
P-II-3			9.8	28.8	5.3	12.6	せん断破壊 (男木部分)
I-1	なし	手加工	10.2	22.5	3.5	6.4	せん断破壊 (女木左部分) せん断破壊 (男木右部分)
I-2			9.7	20.4	3.6	5.7	せん断破壊 (男木右部分) ややめり込み破壊 (左部分)
I-3			9.1	15.9	3.1	5.1	せん断破壊 (男木右部分) めり込み割裂破壊 (左部分)
II-1		機械加工	9.8	24.3	4.6	5.3	せん断破壊 (男木部分)
II-2			9.2	23.2	4.0	5.9	せん断破壊 (男木部分)
II-3			9.3	23.0	4.5	5.1	せん断破壊 (男木部分)

各々示す。手加工は男木、女木の接触面に多くの隙間がみられ、平らな面の中央部のみ接触が特徴的である。また隙間厚にも平面的に相当のばらつきがみられ、機械加工は、平らな面には隙間が少なく、隙間厚も平面的なばらつきが少ない。Rhinoceorsでの体積測定では、手加工隙間体積が27451.1mm<sup>3</sup>、機械加工隙間体積が1604.3mm<sup>3</sup>となり、継手接触面積で除すと、手加工隙間平均厚が0.62mm、機械隙間平均厚が0.051mmとなった。手加工による平均隙間は、機械加工の約10倍を有する。

### (3) 継手の引張試験概要

表-3に試験体一覧を示す。樹種は、すべてヒノキとしジグ取付部を両端に有する105mm×105mm×600mmの形状にて、試験体中央の継手位置の4側面表面に全長300mmのポリウレタ塗装した試験体も作製した。ポリウレタなし6体(手加工3体、機械加工3体)、ポリウレタあり6体(手加工3体、機械加工3体)の計12体を用いる。

### (4) 引張試験結果

写真-5にポリウレタなしの試験体の破壊形式を示す。3つに分類され、①男木の鎌がせん断破壊する形式、②男木の鎌により女木をせん断破壊させる形式、③男木の鎌が女木にめり込み、女木の割裂破壊形式となった。機械加工は、すべての試験体で男木の鎌がせん断破壊する形式で左右同様の男木の鎌で破壊した。しかし、手加工では、左右同様に男木の鎌でせん断破壊する形式、右が男木の鎌のせん断破壊で左が男木の鎌の女木へのややめり込み破壊形式、右が男木の鎌のせん断破壊で左が男木の鎌の女木へのめり込み、さらには割裂破壊形式があるなど破壊形式が混在し、左右で異なる場合も生じた。しかし、ポリウレタありの試験体の破壊形式は、全数男木鎌のせん断破壊であった、図-4と図-5に、手加工と機械加工の荷重と変位関係図を示す。ポリウレタなしの最大引張荷重は、手加工で15.9~22.5kN、平均19.6kN、標準偏差2.5kN、機械加工で23.0~24.3kN、平均23.6kN、標準偏差0.5kNとなった。最大引張荷重時変位は、手加工で3.1~3.6mm、平均3.4mm、標準偏差0.19mm、機械加工で4.0~4.6mm、平均4.4mm、標準偏差0.23mm、初期引張剛性は、手加工で5.1~6.4kN/mm、平均5.7kN/mm、機械加工で



写真-5 破壊形式

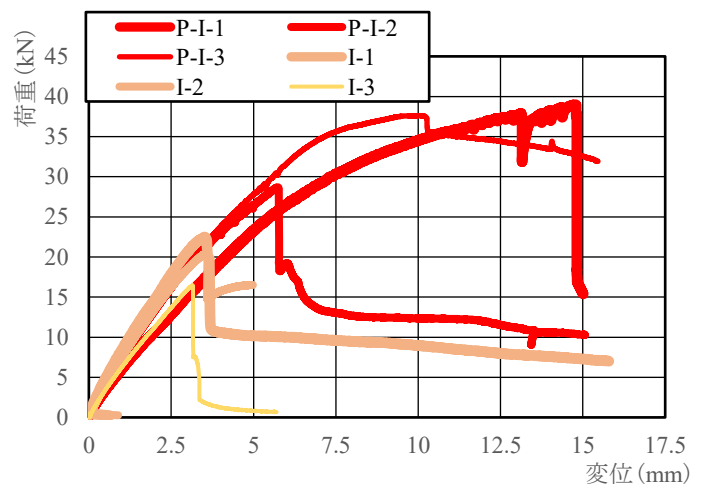


図-4 手加工の荷重と変位関係図

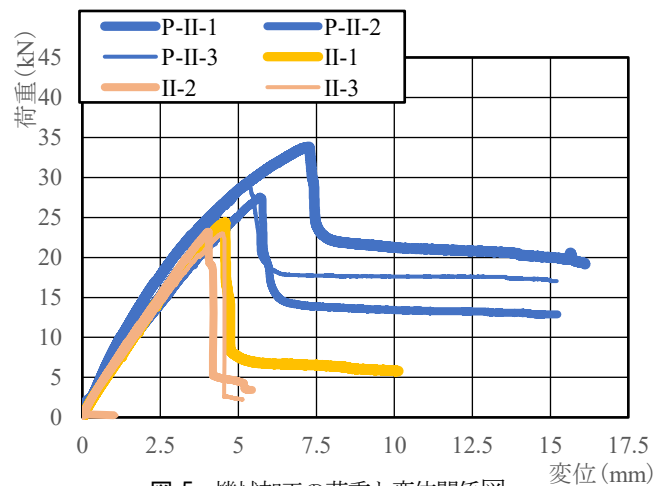


図-5 機械加工の荷重と変位関係図



写真-6 手加工の破壊状況(P-I-1)



写真-7 機械加工の破壊状況(P-II-1)

5.1~5.9kN/mm, 平均5.4kN/mm, となった。最大引張荷重と最大引張荷重時変位は, 手加工が機械加工より平均で約20%低く, 最大引張荷重と最大引張荷重時変位のばらつきは, 手加工が機械加工より大きく, その中でも最大荷重が顕著であった。

ポリウレア有の最大引張荷重は, 手加工で28.6~39.0kN, 平均35.1kN, 機械加工で27.6~33.8kN, 平均30.2kN, 最大引張荷重時変位は, 手加工で5.8~14.8mm, 平均10.2mm, 機械加工で5.3~7.3mm, 平均6.1mm, 初期引張剛性は, 手加工で8.7~10.5kN/mm, 平均9.5kN/mm, 機械加工で7.0~12.6kN/mm, 平均8.4kN/mmとなった。

ポリウレア塗装により, 最大引張荷重では約30~80%増加した。この効果は, 破壊形式を男木部分のせん断破壊に移行させた手加工が顕著であった。最大引張荷重時変位では, 約40~200%の増加が生じた。この増加は, 継手隙間の大きい手加工が顕著であった。初期引張剛性は, 約60~70%の増加がみられた。写真-6, 7に手加工と機械加工の最終破壊状況を示す。両者ともにポリウレアは男木首元のほぼ全断面同等の位置で破断しており, 男木とポリウレアは付着破壊が生じた。

図-6に, 材軸方向ひずみゲージ位置, 図-7, 8に手加工の試験体 I-2と機械加工の試験体 II-2の荷重と位置の材軸方向ひずみの関係を示す。Position14が男木鎌, Position5, 8が女木鎌下, Position2, 3が男木鎌横, Position6, 7が男木クビに配す。男木鎌と女木鎌下は, 機械加工は, ほぼ対称に圧縮ひずみが線形に挙動を示す。手加工は, 対称ではなく初期から15kN程度までひずみは増加せず, それ以降から圧縮ひずみは進行する。これは, 他の手加工の試験体も同様である事から隙間の影響と考えられる。これらは, 全般に女木鎌下のひずみ値が大きい傾向がある。男木鎌横と男木クビは, 機械加工, 手加工共に小さな範囲で引張ひずみが生じた。

## (6) 考察

既往の研究<sup>5)6)</sup>では, 120×120mm角材での腰掛鎌継手での引張荷重に対して, 破壊形式がせん断, 混在, めり込みの順に, 最大荷重と最大荷重時変位も大きくなり, せん断では脆性的な破壊であることが示されている。本研究では, 105×105mm角材のため, 手加工においてはクビ幅30mmで同様のため, 面外方向に寄与する女木幅が小さく, めり込み割裂による破壊の最大荷重と最大荷重時変位が, せん断破壊より低くなったと考えられる。機械加工においては, せん断面積が手加工より20%程度, 受圧面積は10%程度小さく, 継手内の偏心モーメントも多く, U字形のクビで面外剛性も期待でき, 全てせん断破壊となったと考えられる。As(せん断面積)/Ad(受圧面積)による破壊形式の評価では, 今回の実験の手加工

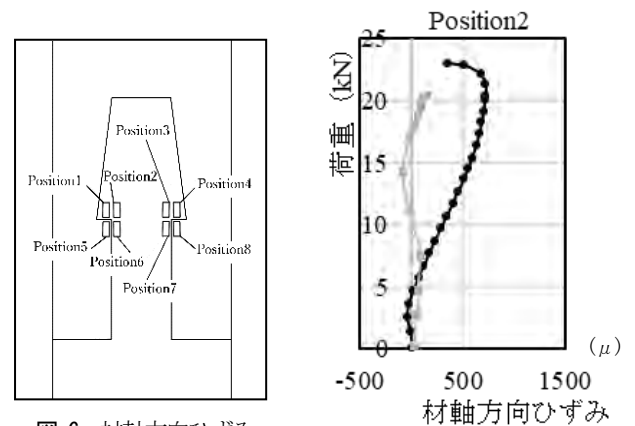


図-6 材軸方向ひずみゲージ位置図

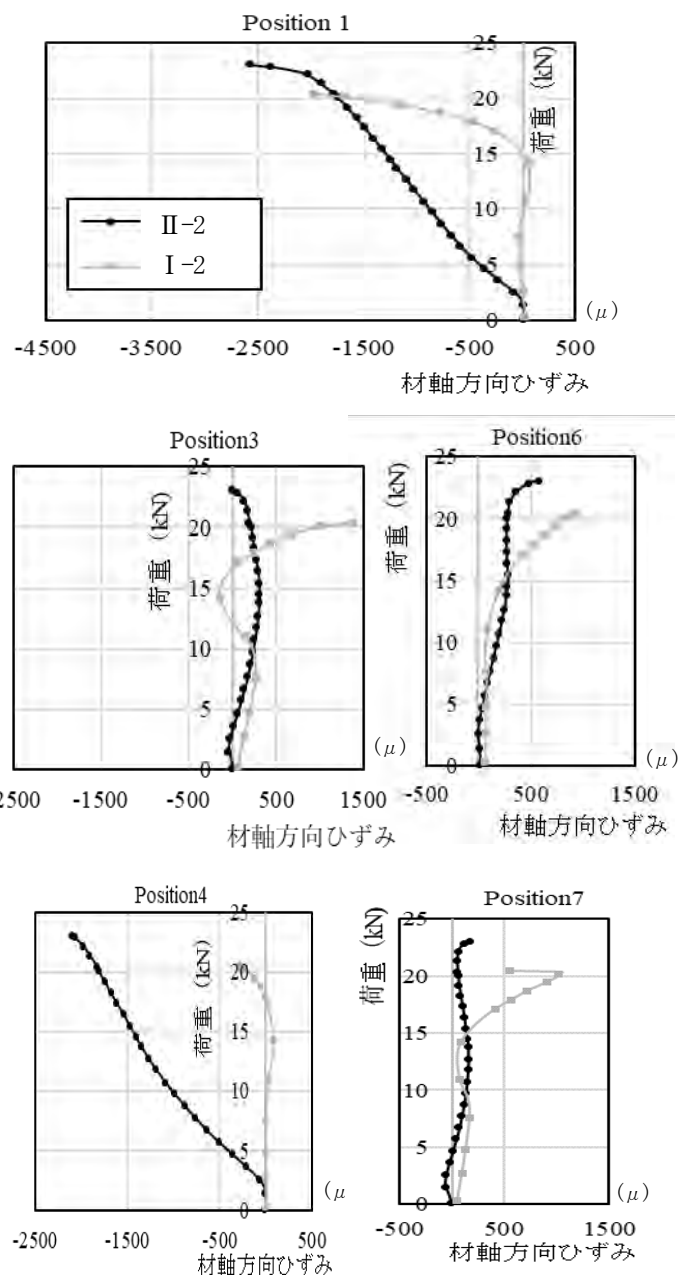


図-7 手加工と機械加工の試験体の荷重と Position1~7 (5 除く)の材軸方向ひずみの関係図

As/Ad=10.0(せん断, むり込み破壊混在), 機械加工  
As/Ad=8.6(せん断破壊のみ)であったことから, これま  
でのAs/Ad=9でむり込み破壊とせん断破壊の境界である  
ことの妥当性を示した.

$$P_{max} = P_{wmax} + P_p, \quad P_{wmax} = A_s \cdot \tau_{max}, \quad P_p = \sigma_{max} \cdot A_p \quad (式1)$$

$P_{max}$ : ポリウレア塗装木部材の最大引張荷重 (kN)

$P_{wmax}$ : 木部材のせん断破壊での最大引張荷重 (kN)

$P_p$ : ポリウレア塗装が付加する引張荷重 (kN)

$A_p$ : ポリウレア断面積 (mm<sup>2</sup>) 今回は,  $A_p = 856 \text{ mm}^2$

$A_s$ : せん断面積 (手加工  $A_s = 10125 \text{ mm}^2$ , 機械加工  $A_s = 8097 \text{ mm}^2$ ),

$\tau_{max}$ : 平均せん断強度 (実験より手加工  $\tau_{max} = 1.93 \text{ N/mm}^2$ ,

機械加工  $\tau_{max} = 2.90 \text{ N/mm}^2$ ),  $\sigma_{max}$ : ポリウレアの最大引

張強度 (実験より  $21 \text{ N/mm}^2$ ) 尚, シリーズ1の破壊性状の異

なる最大引張荷重の差より木部材のせん断破壊移行の付

加引張荷重は,  $4.35 \text{ kN}$ と期待できる. 式1から算出され

る手加工の推定  $P_{max} = P_{wmax} + P_p = 19.6 + 4.35 + 21 \times 856 / 1000$

$= 41.9 \text{ kN}$ に対し, 実験の平均  $P_{max} = 35.1 \text{ kN}$ となった. 機械

加工の推定  $P_{max} = P_{wmax} + P_p = 23.5 + 21 \times 856 / 1000 = 41.5 \text{ kN}$ に

対し, 実験の平均  $P_{max} = 30.1 \text{ kN}$ と過大な評価となった.

#### 4. 木材継手の圧縮試験

##### (1) 圧縮試験概要

表-4 に圧縮試験体一覧表を示す. 樹種は, 石川県産  
スギと集成材のホワイトウッド, 形状  $B \times D \times H = 105 \times$   
 $105 \times 315 \text{ (mm)}$  のポリウレア無し6体(スギ3体, ホワイ  
トウッド3体), 形状  $B \times D \times H = 105 \times 105 \times 235 \text{ (mm)}$  のポ  
リウレア有り6体(スギ3体, ホワイトウッド3体), 形  
状  $B \times D \times H = 105 \times 105 \times 315 \text{ (mm)}$  のポリウレア中央のみ  
(スギ2体)の計14体を用いる. P-Sシリーズ3体はスギ  
角材の4側面表面に, P中-Sシリーズ2体は, 両端部  $40$   
 $\text{mm}$ 幅を無塗装とし中央4側面表面にポリウレアを吹付け  
た試験体とした. 引張, 圧縮試験共に, プライマーはエ  
ポキシ樹脂とポリアミンを混合させた材料を使用し, ポ  
リウレアの吹付厚は約  $2 \text{ mm}$ で行った.

##### (2) 圧縮試験結果

表-5 に各試験体の最大荷重, 最大圧縮荷重時変位,  
及び初期圧縮剛性を示す. 図-9 にスギ材の荷重変位関  
係, 図-10 にホワイトウッドの荷重変位関係, 図-11 に  
中央のみ塗装スギ材と無塗装スギ材の荷重変位関係を示  
す. ポリウレア有りの最大圧縮荷重は, スギで  $311.0 \sim$   
 $486.0 \text{ kN}$ , 平均  $405.1 \text{ kN}$ , ホワイトウッドで  $353.4 \sim$   
 $365.0 \text{ kN}$ , 平均  $360.4 \text{ kN}$ , 最大圧縮荷重時変位は, スギで  
 $2.4 \sim 3.3 \text{ mm}$ , 平均  $2.8 \text{ mm}$ , ホワイトウッドで  $2.5 \sim 2.6 \text{ mm}$ ,  
平均  $2.6 \text{ mm}$ , 初期圧縮剛性は, スギで  $144.9 \sim 212.7 \text{ kN/mm}$ ,

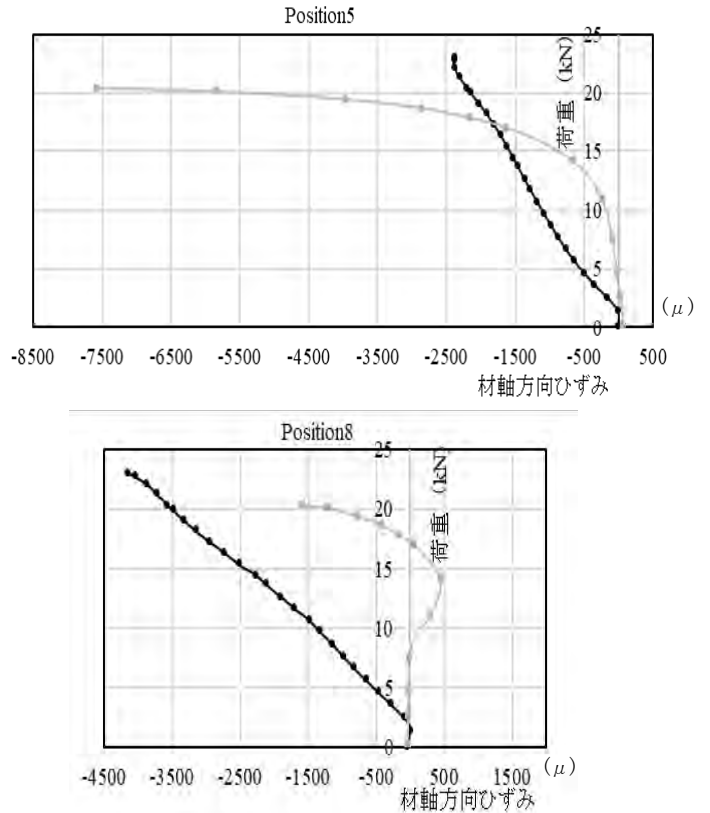


図-8 手加工と機械加工の試験体の荷重とPosition5、8の材軸方向ひずみの関係図

表-4 圧縮試験体一覧表

圧縮試験体名	材種	ポリウレア塗布	含水率 (%)
P-S-1	石川県産スギ	有り	13.5
P-S-2			13.1
P-S-3			13.1
P中-S-1		中間のみ	13.1
P中-S-2			12.5
P-W-1	ホワイトウッド	有り	11.4
P-W-2			12.1
P-W-3			11.8
S-1	石川県産スギ	無し	12.6
S-2			12.5
S-3			13.1
W-1	ホワイトウッド	無し	12.2
W-2			11.5
W-3			11.6

表-5 圧縮試験結果

圧縮試験体名	最大荷重 (kN)	最大荷重時変位 (mm)	初期圧縮剛性 (kN/mm)
P-S-1	486.0	2.6	144.9
P-S-2	311.0	2.4	167.0
P-S-3	418.4	3.3	212.7
P-W-1	365.0	2.6	208.3
P-W-2	353.4	2.6	172.4
P-W-3	362.8	2.5	200.0
P中-S-1	393.8	3.7	181.8
P中-S-2	390.8	1.5	172.1
S-1	398.4	5.6	119.0
S-2	349.6	4.4	104.2
S-3	348.0	5.7	105.3
W-1	405.8	3.1	120.4
W-2	400.0	2.8	113.6
W-3	388.8	2.7	142.9

平均174.9kN/mm, ホワイトウッドで172.4~208.3kN/mm, 平均193.6kN/mmとなった. ポリウレア無しの最大圧縮荷重は, スギで348.0~398.4kN, 平均365.3kN, ホワイトウッドで388.0~405.8kN, 平均397.9kN, 最大圧縮荷重時変位は, スギで4.4~5.7mm, 平均5.2mm, ホワイトウッドで2.7~3.1mm, 平均2.9mm, 初期圧縮剛性は, スギで104.2~119.0kN/mm, 平均109.5kN/mm, ホワイトウッドで113.6~142.9kN/mm, 平均125.6kN/mmとなった.

写真-8 にポリウレア全面塗装の破壊性状, 写真-9 にポリウレア中間塗装の破壊性状を示す. 破壊形式は, ポリウレアを伴う材軸方向繊維の局部座屈を伴う圧壊となった. ポリウレア有りのホワイトウッドはラミナが分離した挙動となり, ラミナ直交方向の座屈を伴う圧壊となった. 中央のみの塗装では, 端部未塗装部で圧壊が生じた. 中央塗装のみの最大圧縮荷重は, 390.8, 393.8kN, 平均391.9kN, 最大圧縮荷重時変位は, 1.5, 3.8mm, 平均2.6mm, 初期圧縮剛性は, 181.8, 172.1kN/mm, 平均176.9kN/mmとなった.

### (3) 考察

最大圧縮強度ではスギ製材が約10%増加したが, ホワイトウッド集成材が約10%低下した. これは, ポリウレア施工時温度によりラミナ間接着のレゾルシノールを変質させた影響が考えられる. 最大圧縮荷重時変位では, 約10~50%の低下が生じた. この低下は, スギ製材で顕著であった. 初期圧縮剛性は, 約50~60%の増加となり, 引張と圧縮で同程度の増加がみられた. 中間塗装では, ほぼ全塗装と最大荷重, 最大荷重時変位および初期圧縮剛性となった.

今回の圧縮試験にて, スギ材のポリウレア塗装による効果を以下の式にて評価する.

$$P_{max} = P_{wmax} + P_p, \quad P_{wmax} = A \cdot \sigma_{max}, \quad P_p = \sigma_{pmax} \cdot A_p \quad (式2)$$

$P_{max}$ : ポリウレア塗装木部材の最大圧縮荷重 (kN)

$P_{wmax}$ : スギ材の最大圧縮荷重 (kN)

$P_p$ : ポリウレア塗装が付加する圧縮荷重 (kN)

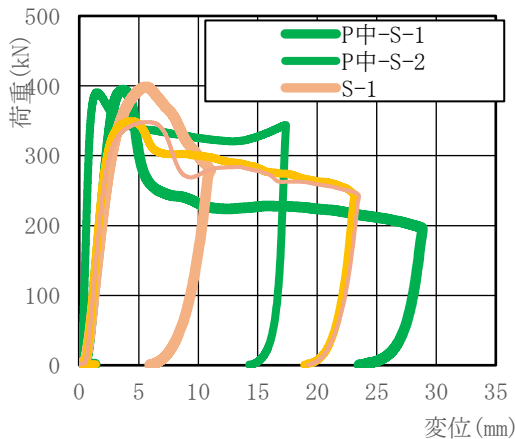


図-11 中央のみ塗装スギ材と無塗装スギ材の荷重変位関係図

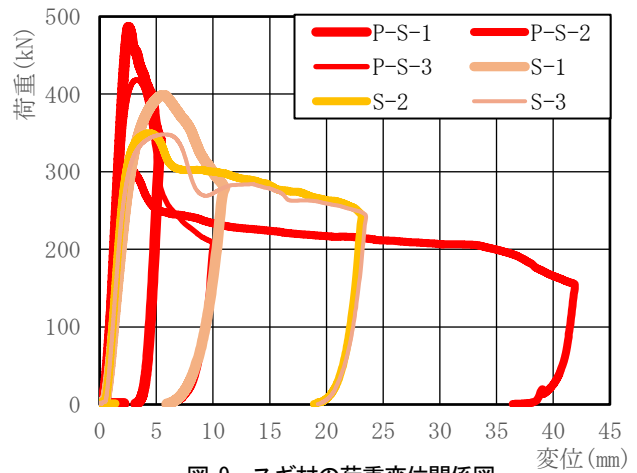


図-9 スギ材の荷重変位関係図

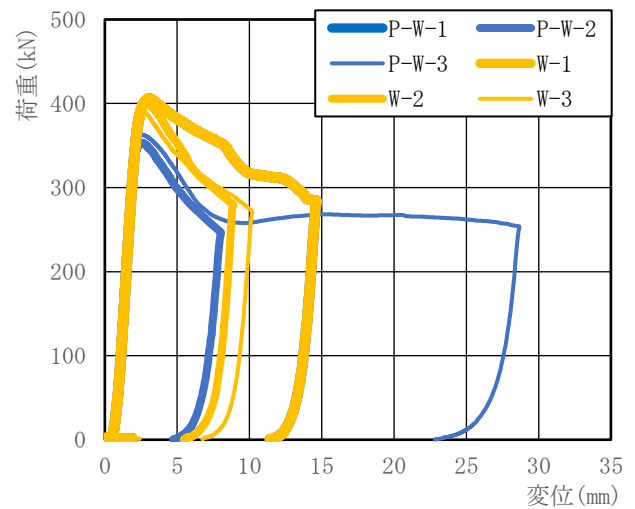


図-10 ホワイトウッド材の荷重変位関係図



写真-8 ポリウレア全面塗装の破壊性状

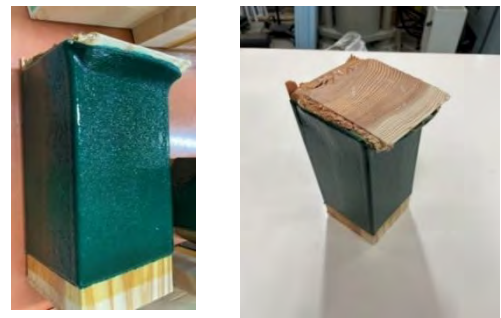


写真-9 ポリウレア全面塗装の破壊性状

$A_p$ : ポリウレア断面積 ( $\text{mm}^2$ )  $A_p=856\text{mm}^2$

$A$ : 軸断面積 ( $A=11,025\text{mm}^2$ ),  $\sigma_{\max}$ : スギ材平均圧縮強度 (実験より  $\sigma_{\max}=33.14 \text{ N/mm}^2$ ),  $\sigma_{p\max}$ : ポリウレアの最大引張強度 (実験より  $21\text{N/mm}^2$ )

スギ材の平均最大圧縮荷重 (実験より  $P_{w\max}=398.2\text{kN}$ ) となる. 式2より  $P_p=21 \cdot 856=18.0\text{kN}$ ,  $P_{\max}=398.2+18.0=$

ポリウレアを伴う局部座屈による  $\sigma_{p\max}$  の低下が影響していると考えられる.

## 5. 最後に

本研究では, 多様な継手としてプレカットや熟練大工などによる継手の構造性能の確保について実験を通して明らかにした. 今後の木造建築の応急処置等の活用において, 新材料のポリウレア塗装による構造性能の向上やばらつきを低減を目的に実験を行った. この結果, 引張圧縮の強度や剛性について, ポリウレア塗装による木材の構造性能の向上が確認できた. 今後, ポリウレアの特性の加水分解しない耐久性, 簡単に吹付けられる短工期施工の生産性を踏まえて, 性能向上の定量的評価を行い, 今後多くの建物に活用されることを期待する.

謝辞: 本研究は, 立命館大学工学部建築都市デザイン学科生産・材料研究室卒業生の福井開人氏, 中川元太氏, 前田龍山氏, 石川工業専門学校の関係者, (株)ポリウレアジャパン, (株)沢野建設工房, (株)ウッディパーツの協力により遂行した. ここに皆様に, 感謝の意を表わす.

### 参考文献

- 1)西岡航汰, 三木朋広: ポリウレア樹脂の引張特性ならびにコンクリートとの付着特性に関する基礎的研究, 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要 NO.V-13, 2021.
- 2)塩澤雄用, 同本多光, 高橋治: ポリウレア樹脂を塗布した建築構造用部材の力学的特性に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1525-1526, 2017.
- 3)ポリウレアジャパン: 株式会社ポリウレア評価資料, 2022.
- 4)住吉寅七, 松井源吾: 木造の継ぎ手と仕口, pp.7, 2005.
- 5)木島裕行, 隈澤文俊: 腰掛け鎌継ぎの引張強度特性に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第 25 巻, 第 59 号, pp155-158, 2019.
- 6)中村匠, 荒井優子, 小島朋久, 辻知章: 一軸引張荷重を受ける鎌継手の応力解析と応力集中係数計算式, 日本機械学会論文集, Vol.86, No.886, p.1-14, 2020.

(Received August 25, 2023)

## WOOD MEMBERS WITH POLYUREA COATING EXPERIMENTAL STUDY ON STRUCTURAL PERFORMANCE IMPROVEMENT

Yasuhide MOCHIDA and Manami OBARA

Currently, the joints and joints in the traditional wooden framework construction method are standardized, and not only manual processing, but also pre-cut joints by machine processing are widely used. Structural performance of wooden joints greatly affects seismic performance, and it is difficult to simply evaluate by structural calculation due to the anisotropy and wood grain of wooden materials. Among these joints, the representative joint that is frequently used is the stool kamatsugi. In the past research, there is still little about the structural strength properties of the seat kamatsugi. In this study, manufacturing production analysis, product precision test by CT scanner, and the mechanical tensile test were conducted on seat sickle joints manufactured by hand processing and machine processing. A comparison will be made to clarify the difference in performance between the two. Among these issues, how to maintain and manage the decay and aging of wooden buildings becomes an issue. In this study, we focus on a new material called “polyurea”, and examine the possibility of improving the structural mechanical performance of wooden members by painting them. Specifically, joints stool joints were prepared by hand processing and machine processing, and tensile and compression tests were performed to compare the presence or absence of polyurea coating on each joint. Reveal effectiveness.