

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：17501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656324

研究課題名(和文)木質材料の圧密加工により発現する復元特性のスマート制御技術とその利用

研究課題名(英文)The its application and smart control technology of restoration characteristics by densification process of wood-based materials

研究代表者

井上 正文 (INOUE, Masafumi)

大分大学・工学部・教授

研究者番号：60128337

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、圧密加工技術を利用して金物を使用しない木材接合の開発を模索している。特に圧密木材が水分や熱により変形を回復する現象を利用した木材接合部の開発に取り組んだ。圧密前処理、変形固定時の乾燥温度、復元処理時間の違いで、固定解除後に寸法変化が安定し、高い復元応力及び寸法変化が期待できる圧密木材の製作方法の検討を行い、また長期間の乾湿の繰返しによる圧密木材の応力及び寸法の変化を調べる実験を行った。この結果、初期剛性を期待する接合部では、乾湿が繰返されることで応力および寸法の変化が増加し、圧密前無処理で圧密加工後、40 で乾燥させ変形を固定し、自然復元させる圧密木材が適していることがわかった。

研究成果の概要(英文)：In recent year, for rubbish disposal and waste problem, the segregation of wood and the metal were difficult problem. The problem will be solved to use the wood based connector such as densified wood connector instead of metal connector at joints in timber structures. In this study, the densified technique of sugi was adopted. The usage of densified sugi leads to improve recycling rate because the segregation of metal is not necessary. The strength characteristics of the keyed mortise and tenon connection with key made from densified sugi were unveiled by the tension test of joint. From the test results, the key made of 70% densified ratio without steam treatment was suitable for keyed mortise and tenon connection.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：圧密木材 接合部 復元 乾湿繰返し

1. 研究開始当初の背景

地球環境問題の深刻化、とりわけ大気中二酸化炭素の増大を背景として、木材を多く使用する住宅の開発や、大型木造建築の建設促進や技術開発への積極的対応が望まれている。また、建設業界において廃棄物処理の問題が社会問題化しており、建設リサイクル法が定められた。これにより、建築廃木材のリサイクル率の向上が急務となり、その際、金物類の分別が問題とされている。

2. 研究の目的

本研究は、圧密加工され広葉樹を上回る強度特性を得た木材や鋼材並みの引張強度を得た竹材などの新しい木・竹材料の用途拡大のため、構造利用に必要な基礎物性の把握をはじめ、圧密加工された材料の課題とされてきた変形復元特性を積極的に制御し、新しい機能的接合材料として利用しようとするものである。

3. 研究の方法

(1) 乾湿繰り返しによる影響を確認する実験

表1に試験体リストを示す。圧密加工前に電子レンジによる高周波加熱を1分間行った。その後コールドプレスを使用して放射方向に圧密を行い、治具を使用して3日間変形を固定した。圧密率は70%、50%、30%の圧密木材を製作し、いずれも圧密後の寸法が15mmとなるようにした。スチームによる復元処理を5分、3分、1分とし、自然復元による実験も行った。

表1 試験体リスト

シリーズ名	復元方法	試験環境		圧密率 (%)	密度 (kg/m ³)	平均年輪幅 (mm)		試験体数
		温度 (°C)	湿度 (%)			圧密前	圧密後	
70%	応力変位	35.3°C	80%	63.98	881	3.65	1.22	応力(9体) 変位(1体)
	応力変位			66.43	890	3.11	0.98	
	応力変位			64.63	864	2.62	0.92	
	応力変位			65.32	887	2.62	0.91	
	応力変位			63.38	901	3.89	1.41	
	応力変位			63.97	1032	3.66	1.33	
50%	応力変位	35.3°C ~ -3.1°C	80%	63.47	1023	3.32	1.20	
	応力変位			64.20	1029	3.32	1.20	
	応力変位			44.20	571	2.97	1.59	
	応力変位			42.88	518	3.78	2.03	
	応力変位			45.02	662	3.78	2.04	
	応力変位			45.49	656	3.79	2.03	
30%	応力変位	35.3°C ~ -3.1°C	80%	46.28	609	3.96	2.15	
	応力変位			43.62	583	4.4	2.42	
	応力変位			47.71	629	3.81	2.02	
	応力変位			46.40	574	3.83	2.03	
	応力変位			29.34	455	2.70	1.94	
	応力変位			31.12	558	2.42	1.69	
	応力変位			26.47	402	4.95	3.61	
	応力変位			25.45	418	5.29	3.89	
30%	応力変位	35.3°C ~ -3.1°C	80%	27.46	444	3.62	2.60	
	応力変位			25.66	443	4.4	3.22	
	応力変位			21.03	416	2.22	1.72	
	応力変位			20.51	383	2.22	1.72	

図1に復元応力測定のために製作した実験装置を示す。圧密材の上部にアクリル板を設置し、ロードセル（東京測器研究所：TCLA-2kNA）により復元力を測定する。

図2に寸法変化の測定を行うための実験装置を示す。溝形鋼にマグネットを2つ設置し、中間部分に防水型変位計（東京測器研究所：FDP25A）を取り付けた。

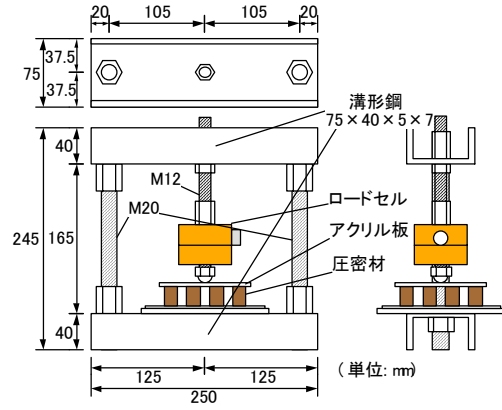


図1 応力測定装置

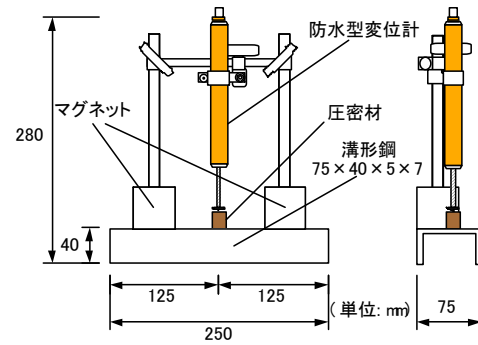


図2 寸法変化測定装置

図3に応力緩和及び寸法変化測定実験を行う試験体の形状、図4に応力緩和実験で使用する試験体の配置を示す。スチームによる復元処理には、スチーム式洗浄機を使用した。復元処理を行った後、恒温恒湿器内で乾湿繰り返しを行った。設定温度及び湿度は、2011年の大分市で観測された、1年間の最高気温35.3°C及び最高湿度80%、最低気温-3.1°Cの繰り返しとした。しかし、最低湿度は、高温高湿器の性能上、温度がマイナスになると、湿度の制御が不能となり、その時の湿度は成り行きでの変化となる。設定時間は、図5に示す時間間隔で、温度及び湿度の切り替えを6時間掛けて行った。これを1サイクルとし、16サイクル終了まで乾湿繰り返し実験を行った。またスチームによる強制復元を行う試験体は、復元処理を行う前を0として実験を行った。

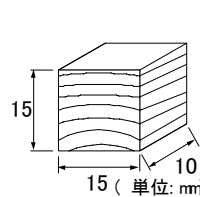


図3 試験体形状

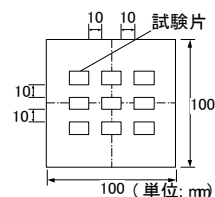


図4 試験体配置

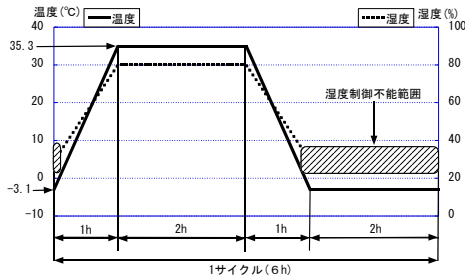


図5 乾湿繰り返し温度及び湿度設定

(2) 鼻栓接合に適用した場合の強度性能

表2に試験体リスト、図6に試験体全体及び鼻栓の形状・寸法をそれぞれ示す。鼻栓となる部分にはスギのほかに鼻栓として一般的に用いられるヒノキ及びカシも用いた。スギのみ圧密加工を行い、圧密率は30%、50%、70%のものをそれぞれ製作し、圧密加工後の寸法が15mm角となるようにした。固定解除後、圧密材はわずかに復元し30%、50%、70%圧密材の残存圧密率はそれぞれ約29%、46%、64%となった。また、強制復元はスチーム式洗浄機を用いて挿入された鼻栓の両端にスチームを噴射し、噴射した合計時間を強制復元の時間とした。強制復元後、試験体を軽く拭き、室内で約3日間乾燥させ、実験に供した。乾燥時の温度・湿度はそれぞれ平均15.1℃、63.9%であった。母材については、ばらつきを少なくするために同一等級構成構造用集成材（樹種：オウシュウアカマツ、強度等級：E95-F315）を用いた。

表2 試験体リスト

試験体名	樹種	密度 ($\times 10^3 \text{kg/m}^3$)		平均年輪幅 (mm)		残存圧密率 (%)	復元方法	試験体数
		圧密前	圧密後	圧密前	圧密後			
NPJ-S	スギ	0.34~0.38		2.40~3.91			なし	
NPJ-H	ヒノキ	0.44~0.48		2.42~2.95				
NPJ-K	カシ	0.76~0.83		2.15~2.92				
NPJ-Cw-S-30-S3	スギ	0.38~0.42	0.39~0.56	2.80~3.07	1.42~2.18	29	スチーム3分	各3体
NPJ-Cw-S-50-S3		0.35~0.40	0.52~0.60	3.01~6.18	1.27~3.34	46	スチーム3分	
NPJ-Cw-S-70-N		0.39~0.41	1.03~1.05	2.75~2.96	0.99~1.06	64	自然復元	
NPJ-Cw-S-70-S1			2.75~6.29	0.99~2.22			スチーム1分	
NPJ-Cw-S-70-S3		0.35~0.41	0.90~1.05	2.83~6.29	1.00~2.22		スチーム3分	
NPJ-Cw-S-70-S5			0.90~1.04	2.75~6.29	0.99~2.22		スチーム5分	

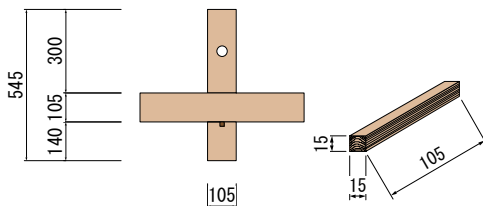


図6 試験体全体及び鼻栓の形状・寸法

加力は複動オイルジャッキにより行い、載荷速度25N/sec.の単調引張載荷とした(図7参照)。なお、荷重はロードセル(東京測器研究所:TCLP-10B)により計測した。変位はストレインゲージ式変位計(東京測器研究所:SDP-100C)を2箇所を設置してほぼ部分の開きを計測し2箇所の平均値をとった。なお、変位が40mmに達した時点で実験を終了した。

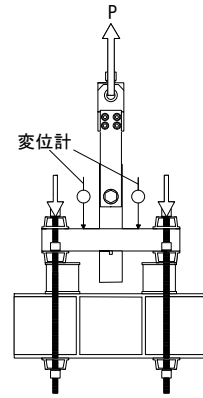


図7 加力装置

4. 研究成果

(1) 乾湿繰り返しによる影響を確認する実験

復元時間の違いによる応力の変化を図8に、復元時間の違いによる寸法の変化を図9に示す。応力に関して、圧密率70%で、自然復元による試験体が、乾湿繰り返し1サイクルによる時の応力の変化の幅が、最も大きい。また、圧密率30%で、復元処理5分の試験体が、乾湿繰り返し時の応力の変化の幅が、最も小さい。寸法変化に関しては、復元処理の違いでは見られず、圧密率毎に変化の幅が異なることがわかった。特に、圧密率30%では、乾湿の繰り返しによる変化の幅は非常に小さい。

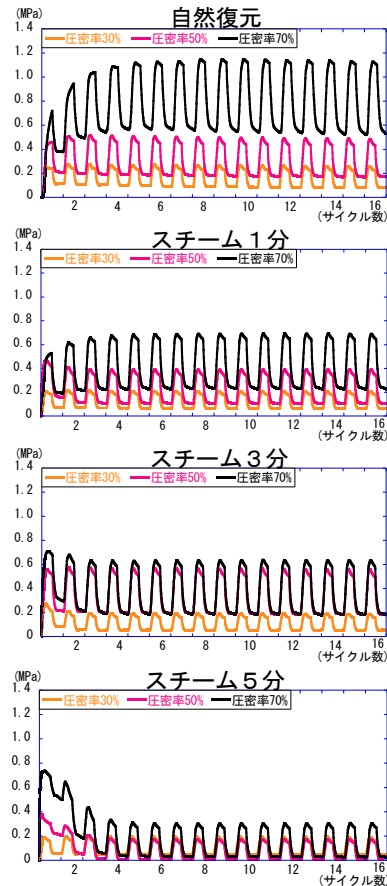


図8 応力の変化

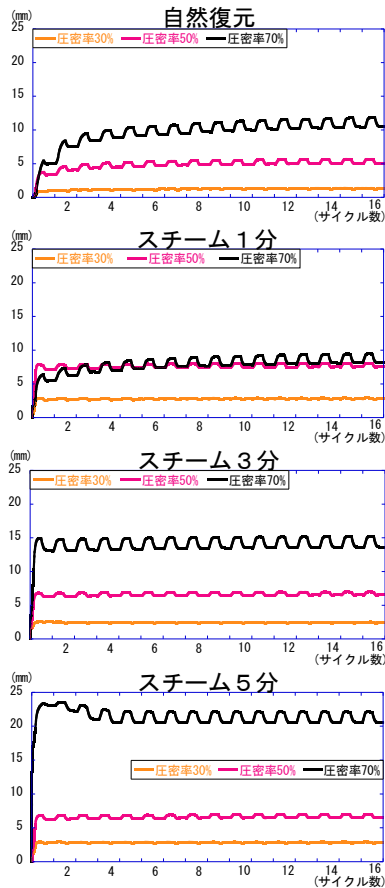


図9 寸法の変化

図10に1サイクルと16サイクルの最大応力の差、図11に1サイクルと16サイクルの最大寸法の差を示す。圧密率30%の試験体は、復元時間に関わらず乾湿繰り返しによる応力変化は小さく、これに対して圧密率70%の試験体は、自然復元と復元1分では応力が増加しているが、復元5分の試験体では大きな応力緩和が生じている。寸法変化においても、圧密率70%については復元方法の違いにより、その性状が大きく異なり、自然復元と復元1分の試験体では、寸法がプラス方向（膨脹方向）の変化を示すが、復元5分の試験体では、寸法がマイナス方向（縮小方向）の変化を示している。これらは、圧密すぎ材を接合具として使用し復元による初期剛性の向上や、復元による機械的な引っ掛り等を期待する際には大きく影響を受けるので、その利用方法には注意が必要であることを示している。

接合部に圧縮木材を使用する際、乾湿が繰り返されることで応力の変化の幅が大きくなるが、乾湿を繰り返すごとに応力及び寸法の変化が増加する。圧密率70%で自然復元による圧縮木材が、最も適していると考えられる。

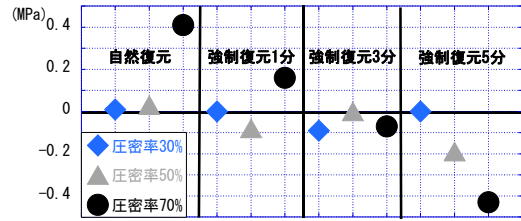


図10 1サイクル目と16サイクル目の最大応力の差

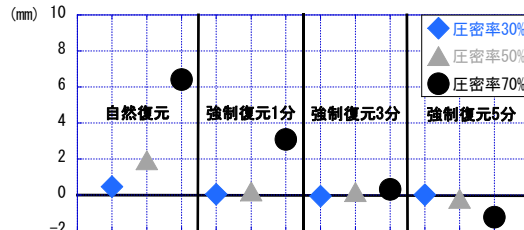


図11 1サイクル目と16サイクル目の最大寸法の差

(2) 鼻栓接合に応用した場合の強度性能

図12に主なパラメータの代表的な荷重-変位曲線、写真1及び写真2に破壊性状をそれぞれ示す。いずれの試験体も一度荷重が低下した後、再び荷重が上昇する傾向がみられた。これは鼻栓が曲げ破壊を起こして一旦荷重が低下し、その後折れた鼻栓がくさび状に母材にめり込んでいくため、再び荷重が上昇すると考えられる。破壊性状はいずれの試験体も鼻栓の曲げ破壊であり、鼻栓が繊維方向に沿って割れているものや鼻栓が母材にめり込んでいるものが多くみられた。

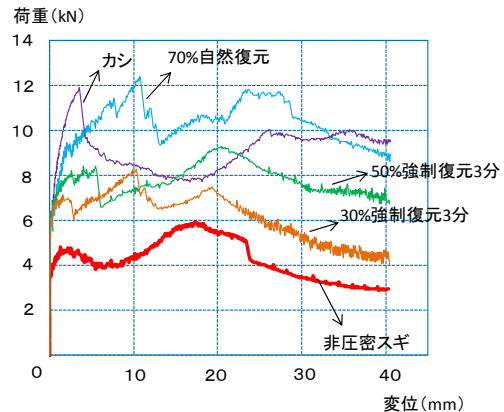


図12 代表的な荷重-変位曲線



NPJ-Cw-S-70-S3
写真1 破壊性状
(鼻栓の割れ)



NPJ-K
写真2 破壊性状
(めり込み)

図 13 に初期剛性、図 14 に降伏荷重、図 15 に最大荷重をそれぞれ示す。なお、降伏荷重の計算値はヨーロッパ型降伏理論に基づいて算出し、圧密材の基準材料強度は既往の研究 4) の値を用いた。初期剛性においては、非圧密材は樹種に関係なくほぼ同じ値を示した。圧密率の違いでは、50%強制復元 3 分の試験体が最も大きな値を示し、その他の試験体はほぼ同じ値を示した。強制復元の時間の違いでは自然復元を行った試験体が最も大きな初期剛性を示し、強制復元の時間が長くなるに従って徐々に低下していく傾向がみられた。

降伏荷重では、非圧密材はヒノキ、カシがほぼ同じ平均値を示し、非圧密スギが小さな値を示した。圧密率の違いにおいては 30%強制復元 3 分の試験体が最も大きな値を示した。強制復元の違いでは自然復元を行った試験体が最も大きな値を示した。実験値と計算値の比較をみると、非圧密材を用いた試験体ではほぼ正確に推定できていたのに対し、圧密スギを用いた試験体では過大評価となる傾向がみられた。これは用いた文献 4) の値が本報で用いた圧密材の強度よりも高い可能性のほかに復元による圧密率の低下を考慮していないためであると考えられる。

最大荷重では、非圧密材は密度が大きな樹種を用いた試験体ほど大きな値を示した。圧密率の違いにおいては 70%の試験体が最も大きな値を示した。強制復元の違いでは、自然復元を行った試験体が最も大きな値を示し、強制復元時間が長くなると徐々に耐力が低下する傾向がみられた。

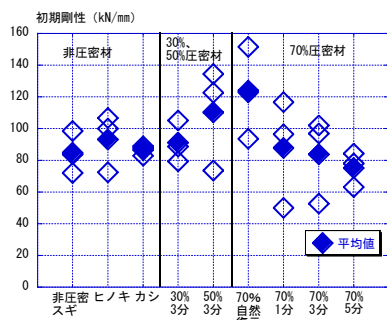


図 13 初期剛性

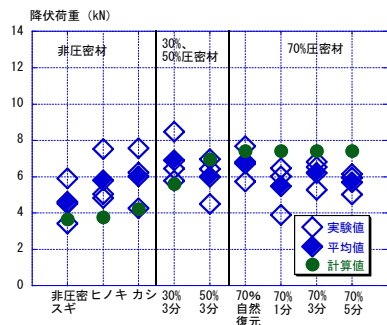


図 14 降伏荷重

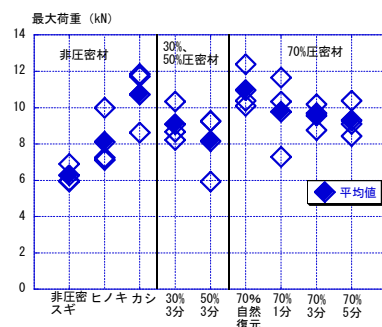


図 15 最大荷重

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 8 件)

- ① 井上正文・加藤誠也・岩崎在憲・田中 圭、圧密木材の変形復元を用いた接合具をちぎり状に挿入した接合部の強度性能、第 64 回日本木材学会大会研究発表要旨集、2014 年 3 月、H13-P-06
- ② 岩崎在憲・加藤誠也・田中 圭・井上正文、圧密木材の変形復元を用いた木材接合法の開発 (その 8) 圧密加工方法の違いによる寸法及び復元力の変動、日本建築学会九州支部研究報告、第 53 号・1、2014 年 3 月、pp. 701-704
- ③ 加藤誠也・岩崎在憲・田中 圭・井上正文、圧密木材の変形復元を用いた木材接合法の開発 (その 9) 側面からちぎり状に挿入した場合、日本建築学会九州支部研究報告、第 53 号・1、2014 年 3 月、pp. 705-708
- ④ 岩崎在憲・加藤誠也・田中 圭・井上正文、圧密木材の復元特性を利用した木材接合法の開発 (その 6) 乾湿繰り返しによる応力緩和及び寸法変動、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1 分冊、2013 年 8 月、pp. 61-62
- ⑤ 加藤誠也・岩崎在憲・田中 圭・井上正文、圧密木材の復元特性を利用した木材接合法の開発 (その 7) 圧密木材の鼻栓接合への応用、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1 分冊、2013 年 8 月、pp. 63-64
- ⑥ 岩崎在憲・加藤誠也・田中 圭・井上正文、圧密木材の変形復元を用いた木材接合法の開発 (その 6) 乾湿繰り返しによる応力緩和及び寸法変動、日本建築学会九州支部研究報告、第 52 号・1、2013 年 3 月、pp. 721-724
- ⑦ 加藤誠也・岩崎在憲・田中 圭・井上正文、圧密木材の変形復元を用いた木材接合法の開発 (その 7) 圧密木材の鼻栓接合への応用、日本建築学会九州支部研究報告、第 52 号・1、2013 年 3 月、pp. 725-728
- ⑧ 井上正文、岩崎在憲、加藤誠也、田中 圭、圧密木材の変形復元を用いた鼻栓接合の強度性能、第 63 回日本木材学会大会研究発表要旨集、2013 年 3 月、H28-P-AM02

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 正文 (INOUE Masafumi)
大分大学・工学部・教授
研究者番号：60128337

(2) 研究分担者

田中 圭 (TANAKA Kei)
大分大学・工学部・助教
研究者番号：00325698

(3) 連携研究者

井上雅文 (INOUE Masafumi)
東京大学・アジア生物資源環境研究センター・准教授
研究者番号：20263155