

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21880025

研究課題名（和文） 間伐材の圧密加工による新しい木質系建築構造材料の創成とその応用

研究課題名（英文） Development of construction use of log timber reinforced by wood compression technique

研究代表者

北守 顕久 (KITAMORI AKIHISA)

京都大学・生存圏研究所・助教

研究者番号：10551400

研究成果の概要（和文）：

本研究では国産材、特に資源蓄積が多く有効活用法が模索されるスギ材を、建築構造材料として使用するため、丸太材の表面を圧密加工することで高強度化するための手法と、効果的な耐力発現を可能とする接合法の開発を行った。建築用利用を強く視野に入れ、木材圧密化による強度性能向上を表す算定式を導き、寸法回復特性を評価した。さらに丸太端部に挿入するパイプ・ドリフトピン接合法を開発し、有効な性能を得た。

研究成果の概要（英文）：

In this research, we developed a high strength joint method for construction use of log timber, especially for Japanese cedar wood which has sufficient amount of accumulation in the forest and have demanded useful way of utilization. The improvement of mechanical property was studied by compressed wood technique. As a result we introduced formulas to express the various improved strength property of compressed wood and evaluated their dimension stability characteristic. In addition we developed the end connection using pipe and drift-pin for log timber and it achieved sufficient strength property.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：(1) 国産材 (2) 建築構造・材料 (3) 間伐材 (4) 農林水産物 (5) 軸組構法住宅 (6) 丸太構法 (7) 圧縮木材

1. 研究開始当初の背景

(1) スギ人工林の荒廃は社会問題を引き起こしており、健全な林業経営に支えられた森林育成法の確立が求められる。一方持続型社会の実現においては、建築構造要素における長

期的なカーボンストックが有効な対処法である。これらを受け、間伐材の有効な構造利用法が模索されてきたが、製材加工すると表面に多くの節を有し、材質性能の低い小径間伐材は市場価値が低く、結果として積極的な

利用を生み出すに至っていない。

(2)多節材でも枝打ちを施し年輪が十分に節を覆った後に丸太を角材へと圧密成型すれば、表面無節の角材が得られる可能性がある。市場において高い価値が期待でき、林業経営を刺激する活性剤と成りうる。表面圧密化の高い力学性能が期待でき、構造用途としても優れた性能を有するものと考えられる。

(3)一方で角材圧密加工技術のみならず、圧密化木材の力学的物性値の評価やこのような建築部材の有効な接合技術などにおいて未解明な点が残されている。

2. 研究の目的

小径丸太に構造用途としての利用策を生み出すべく、圧密成形技術を用いて丸太を角材に加工した場合の材質性能評価、軸材料として汎用的に活用するための接合要素開発等の技術開発を行う。

3. 研究の方法

(1)圧縮木材の製造と基礎物性値の把握

①圧縮率に応じた力学物性値の推定

丸太表面付近の圧密化を考慮し、スギ材を用いて半径方向に様々な圧縮率で平板ホットプレスし、小試験体を作成した。JIS 規準に準じた各種（曲げ、圧縮、引張、横圧縮、せん断）強度試験を行い、材質力学特性値を得た。

②自然環境下における寸法安定性の評価

製造時の温度や木材含水率、圧縮率等をパラメータとして作成した半径方向圧密化圧縮木材を、20℃恒温かつ湿度を40%-80%RHと周期的に変動させた環境下に長期間設置し、寸法回復挙動を連続計測し、製造条件が非線形回復挙動に与える影響を調査した。

(2)丸太圧密成型角材の力学性能評価

①圧密成型材の曲げ性能評価

丸太を4方平面熱板プレスする手法で作成した実大圧密成型角材について、JIS 試験法に準じた三点曲げ試験を行い、曲げ特性を評価した。

②圧密成型材の断面内での強度分布

上記の圧密成型角材を分割して採取した小試験片について、縦圧縮試験を行い、断面内での強度性能の違いについて評価を行った。

(3)中空丸太の接合技術の開発

丸太の軸方向強度性能を活かすため、丸太の木口から材軸方向に縦穴を設け、径50mmの鋼管を挿入し、直交面から径12mmのドリフトピンを複数本打ち込んで接合する手法を考案した。その軸方向引張試験を行い、剛性、耐力性能を評価した。

4. 研究成果

(1)圧縮率に応じた力学物性値の推定

試験によって得られた圧縮率の異なる圧縮木材の各種材料定数値について、密度との関連で比較した。圧縮前の元材料の材料定数値と密度を基準とし、特性値および密度の向上率同士の比較した。代表的なものを図1に示す。曲げや引張など、軸方向特性値は概ね密度に一次比例することが分かり、一方せん断特性値は圧縮方向に依存した複雑な性能を有すること、横圧縮性能は概ね密度の2乗に比例して上昇することなどが明らかとなった。さらに材料のばらつきを考慮し、任意圧縮率の圧縮木材の特性値について、建築用規

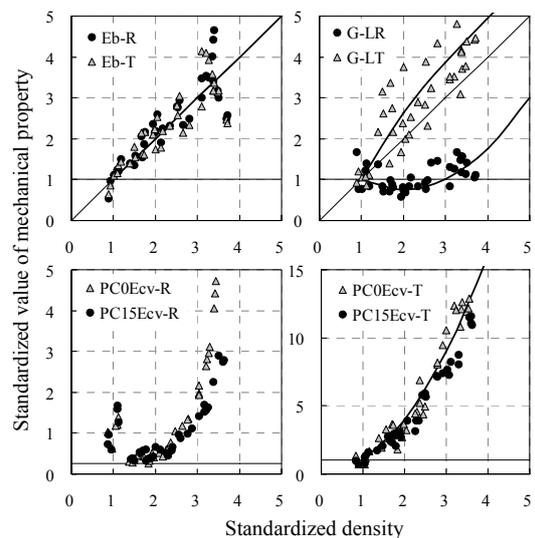


図1：各種特性値における、元材料を基準とした特性値および密度の向上率の関係（左上：曲げ弾性係数、右上：せん断弾性係数、左下：半径方向横圧縮、右下：接線方向横圧縮）

準材料定数値を用いた推定式を誘導した。図1上に推定結果曲線を重ねて示したが、簡易な数式で非常に精度良い推定が可能であることが明らかとなった。

(2) 自然環境下における寸法安定性の評価
 図2に製造条件の異なる圧縮木材の寸法回復曲線のピークを示すが、湿度変動環境に設置後数日は大きな回復を示す一方で徐々に回復力が低下する傾向があることが分かった。また高い圧縮率ほど大きな回復傾向にあったが、自然環境化では圧縮後の断面に対して最大10数パーセントの回復にとどまることが分かった。図3は湿度変動に伴う代表的寸法変化であるが、高湿度環境化で回復が進行する様子が分かる。一方でその回復ひずみは時間の低下と共に低下し、60日経過後にはほとんど回復力を失った。図3中には回復曲線の指数関数近似曲線を重ねたが、概ね傾向を表現することが出来た。

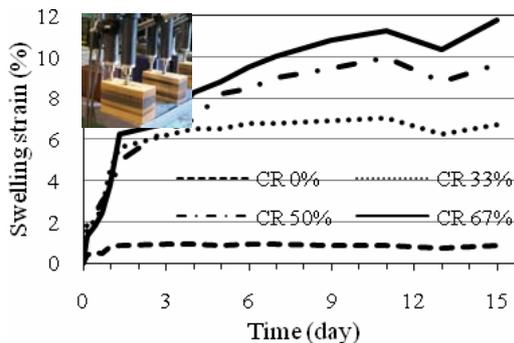


図2：圧縮木材の寸法回復試験と結果の一例

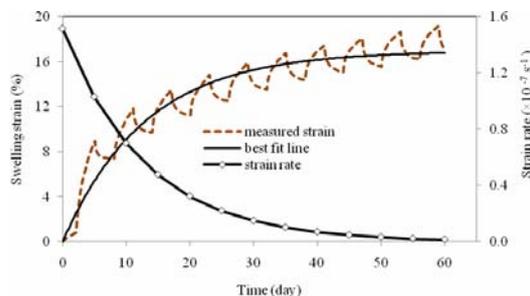


図3：寸法回復曲線の指数関数近似

(3) 圧密成型角材の曲げ性能

丸太を4方平面熱板プレスし、試験体ごとに異なるが概ね断面110mm正角程度の実大圧密成型角材を作成し、スパン1800mmで2等分

点3点曲げ試験を行った。得られた荷重-中央撓み関係から、見かけの曲げヤング係数と曲げ破壊係数を算出した。図1に代表的な荷重-撓み関係を示すが、通常の製材に比べて降伏後の粘りが非常に大きい性質を持つことが分かった。表1に特性値をまとめたが、平均値では別途行った製材の曲げ特性値と比べて、剛性で45%、強度で18%程度の向上が得られた。これは無欠点小試験片から得られた密度向上から推定される特性値の向上率と比べると良い結果とは言えない。この原因として、実大試験では節が存在し、圧密時に節の周辺で損傷を生じた結果と考えられる。また特に強度性能について、ばらつきが大きくなり、結果として下限強度値が低く算定される傾向が見られた。今後製造条件をさらに見直して強度性能を高める必要がある。

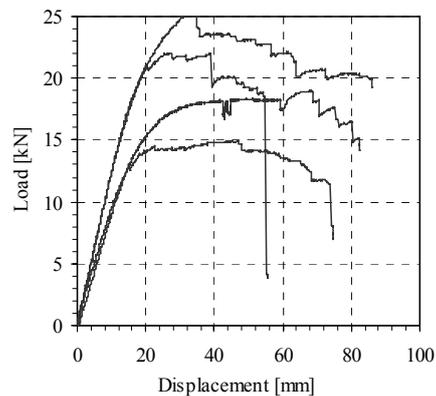


図4：圧密成型角材の曲げ試験結果の例

表1：圧密成型角材の曲げ性能特性値

	Density kg/m ³	MOE kN/mm ²	MOR N/mm ²	μ	Ds	
圧密 整形 角材	ave	734.8	9.7	37.6	3.7	0.40
	max	782.2	13.1	45.7	4.3	0.43
	min	648.5	7.7	26.6	3.3	0.36
	c.v.	0.08	0.22	0.19	0.12	0.068
	下限値	8.9	8.9	18.2		
参考: 150角 スギ材	ave		6.7	31.9	1.7	0.68
	c.v.		0.17	0.09	0.23	0.151
	下限値		6.4	25.3		

(4) 圧密成型角材断面内の強度分布

丸太圧密成型角材および通常製材から断面25*25mm、長さ60mmの小試験片を切り出し、軸方向に全面縦圧縮試験を行い、ヤング係数と縦圧縮強度値を算出した。なお、切り出した材料は角材の材縁に近い側(C0(圧縮材)、

NO(通常材)と芯に近い側(CI(圧縮材)、NI(通常材))とに分類した。図5にそれぞれのグループごとの特性値と密度との相関関係を示す。縦圧縮強度に関して、圧密材は材縁から採取したものが顕著に向上している様子が分かる一方、それほど強度上昇していないものも見られた。また特性値には密度との強い相関が見られた。圧密角材では均等に圧密することが難しく、材縁付近でも十分な密度に達していない部分存在が明らかとなった。今後ばらつきの少ない材質性能が得られる様な、圧密加工技術の一層の向上が求められる。

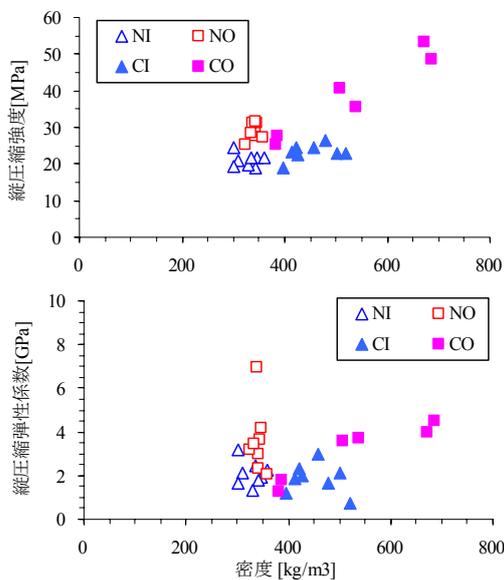


図5：圧密成型角材の曲げ試験結果の例

(5) 中空丸太の接合技術の開発

ドリフトピンの本数、木口からの端距離、ドリフトピンの挿入位置をパラメータとして図6左に示すような試験体を用いて引張加力試験を行った。ヨーロッパ型降伏理論を拡張し、鋼管との取り合いを考慮して接合部の耐力挙動の推定式を導いた(図6)。その結果、径90mmから170mmの範囲ではModeII(接合具の三点曲げ)で降伏することが予想され、試験結果と比較したところ良い精度で一致した。本方式における引張接合性能はドリフトピンを2本挿入した場合に28kN程度の耐力性能を有することが分かった(図7)。木材の高い軸方向強度性能を活かし、高強度でかつねばり強い接合部とすることが可能で

あった。

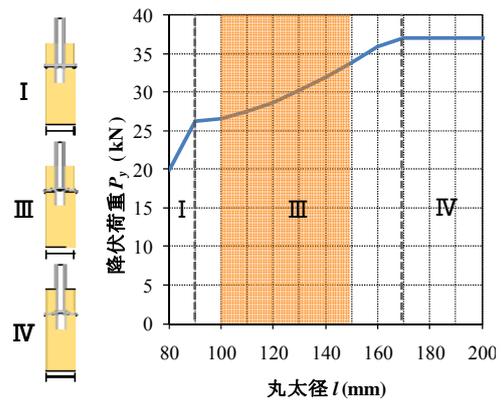


図6：鋼管挿入ドリフトピン接合部の降伏耐力評価

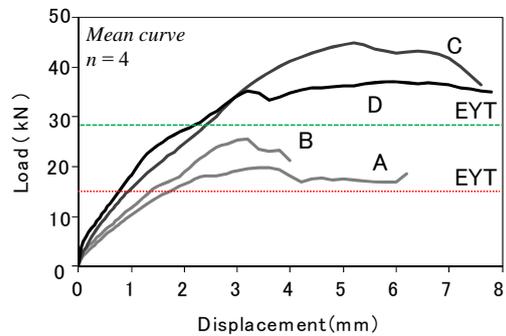


図7：試験結果と算定値の比較

(6) まとめ

本研究では丸太を圧密整形した材料を用い、建築構造材料として利用することを目指し、材料・接合の観点から一連の研究を行った。研究は未だ途上にあり、最終的な結論に至ったわけではない。結果の要点は以下である。

- ①小試験片の場合、圧縮に伴う材質特性の変化は密度(圧縮率)との関係で予想することが可能である。
- ②寸法回復は生じるが、通常環境化では一定の範囲に収まる。
- ③実大圧密整形角材では節等欠点の影響や、不静定な圧縮効果の影響で、現時点では理想的な力学特性値の向上を得ることは困難である。
- ④軸材料に適した接合技術を開発することが出来た。
- ⑤今後さらに圧密整形技術を進化させ、ばらつきの少ない材料を製造することが、建築構造用途開発にとって不可欠である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

1. B. Anshari, Z.W. Guan, A. Kitamori, K. Jung, I. Hassel, K. Komatsu, “Mechanical and moisture-dependent swelling properties of compressed Japanese cedar”, Construction and Building Materials, vol.25, pp. 1718-1725, 2011 (査読有)
2. 北守顕久, 鄭 基浩, 森 拓郎, 小松幸平, “圧縮木材の力学特性に及ぼす圧縮率の影響”, 木材学会誌, vol.56, no.2, pp.67-78, 2010 (査読有)

[学会発表] (計5件)

1. 中島昌一, 北守顕久, 小松幸平, “丸太と鋼管による貫接合を用いた格子壁の水平せん断耐力評価”, 2010年度日本建築学会大会(北陸) 学術講演梗概集, 2010年9月9日, 富山(富山大学)
2. B. Anshari, A. Kitamori, K. Jung, K. Komatsu and Z.W. Guan, “Mechanical and moisture-dependent swelling properties of compressed Japanese cedar”, Proceedings of the 11th World Conference on Timber Engineering, 2010年6月20日, Trentino, Italy
3. 中島昌一, 北守顕久, 小松幸平, “トラス構造のための鋼管挿入ドリフトピン接合部の圧縮及び引張実験”, 第60回日本木材学会大会研究発表要旨集, 2010年3月17日, 宮崎(宮崎市民プラザ)
4. 中島昌一, 南 宗和, 北守顕久, 小松幸平, “丸太と足場鋼管を用いた簡易建築物の構築”, 第14回木質構造研究会技術発表会, 2009年12月13日, 東京(東京大学)
5. Akihisa Kitamori, Kiho Jung, and Kohei Komatsu, “Utilization of compressed wood as mechanical fasteners of friction joint in timber building”, The 11th International Conference on Non-Conventional Materials and Technologie, 2009年9月8日, Bath, UK

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北守 顕久 (KITAMORI AKIHISA)

京都大学・生存圏研究所・助教

研究者番号：10551400