

研究報告

No. 40

2026.3

岡山県農林水産総合センター森林研究所

岡山県農林水産総合センター森林研究所
研究報告 第40号

2026年3月

目 次

－ 研究報告 －

岡山県におけるマツタケ研究の取り組み・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

藤原 直哉

広葉樹の有効利用に関する調査研究
－ 県産広葉樹の基礎的材質－・・・・・・・・・・・・・・・・ 10

金田 利之, 阿部 剛俊

ヒノキ大径丸太の樹幹内材質変動・・・・・・・・・・・・・・・・ 16

野上 英孝, 古谷 優平

心理指標および生理指標を用いたヒノキ内装空間の快適性評価・・・ 49

松田 洋樹

CLTの新たな分野での利用方法の検討・・・・・・・・・・・・・・・・ 60

道場 隆

Bulletin of the Okayama Prefectural
Technology Center for Agriculture
Forestry and Fisheries
Research Institute for Forestry and Forest Products
No. 40

March 2026

Contents

—ARTICLES—

Naoya FUJIWARA

Research on *Tricholoma matsutake* in Okayama Prefecture 1

Toshiyuki KANEDA , Takatoshi ABE

Research on the Effective Use of Hardwoods

— Basic Wood Qualities of Hardwoods in Okayama Prefecture. — . 1 0

Hidetaka NOGAMI, Yuhei FURUYA

Variation of Wood Properties Within the Large Diameter Stem

of Hinoki (*Chamaecyparis obtuse*) 1 6

Hiroki MATSUDA

Evaluation of comfort in Hinoki interior spaces using

psychological and physiological indicators 4 9

Takashi MICHIBA

Examination of new application fields for CLT 6 0

岡山県におけるマツタケ研究の取り組み

藤原 直哉

Research on *Tricholoma matsutake* in Okayama Prefecture

Naoya FUJIWARA

要 旨

藤原直哉：岡山県におけるマツタケ研究の取り組み 岡山県農林水産総合センター森林研究所 研報40：1-9（2026） マツタケの一大生産地であった岡山県も、松くい虫被害によって徐々に生産量が低下し、近年では年間0.5トンの生産量に落ち込んでいる。県内におけるマツタケ研究の取組は、1959年から始まり、主に、マツタケの天然シロに対する気候の影響、有機物の除去、立木密度の調整等、生育条件や増産に繋がる条件が調査された。次に、国補大型プロジェクトにより、感染苗、土壌バクテリアとの関連性について研究を行った。その後、遺伝子によるマツタケ菌の同定、菌根からの検出を可能にし、実際の感染試験に応用した。マツタケ菌の培養に関しては、フラボノイドの培地添加が菌糸の伸長を促進することや、アカマツ特有のデンプンによって菌糸束の形成が顕著になることを見出した。その他に、マツタケ山の管理労力を軽減するため、省スペースのアカマツ林造成法を開発した。

近年では、人工培養したマツタケコロニーに発生刺激を与えるため、菌床栽培を行ったほか、電波による培地への通電や、超音波刺激によるコロニー変化を試した。その結果、いずれの試験でも、コロニーの形態変化は確認されなかったが、今後、技術改良の余地は残された。

キーワード：デンプン、感染苗、環境整備、マツタケ、子実体

I はじめに

(1) 県内のマツタケ生産

岡山県におけるマツタケの生産の詳細について、過去の情報は少ないが、生産量については、1904年からの統計資料（図-1）によって確認することができる。この公式な資料から、少なくとも120年以上前から、マツタケが県内市場で取り扱われていたことが推測できる。最盛期の1957年には、2,700トンを超える生産量であったことから、岡山県は、マツタケの一大生産地であったことが窺える。このため、マツタケを利用したマツタケご飯、焼きマツタケ、土瓶蒸しなどは、郷土料理の一つとして定着していた（岡山県郷土文化財団 1984）。

また、マツタケ生産者が収集した資料によると、久米南町内の商家に保存されている写真には、既に1935年には、大量のマツタケが自動車によって集荷されたことが記録されている（久米南町松茸研究会 2014）。この資料では、これらのマツタケは、久米南町特産の「弓削マツタケ」として、東京や関西地域などの大消費地に、鉄道で送られたことが伝えられている。その後、戦争需要と戦後の復興需要を背景としたアカマツの乱伐により、マツタケの生産量は急激に落ち込んだ後、徐々に回復したとされている。1970年代には、マツタケ狩りを目的とした観光ツアーなども盛んに実施され、重要な換金作物

として再認識されてきた。

しかし、この頃からマツノザイセンチュウによる松くい虫被害が発生し、全県的なアカマツの枯損によってマツタケの発生量は減少し続け、1990年代に入ると100トンを下回り、近年では1トン未満となった。

本報告では、これまでの岡山県におけるマツタケ研究の取り組みと近年の課題について記載し、今後の方向性についてまとめた。

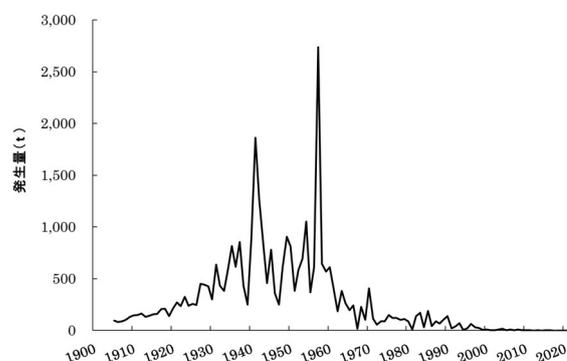


図-1 岡山県内のマツタケ発生量の推移
(岡山県特用林産物流通統計を改変)

(2) 本県におけるマツタケ研究の取り組み

岡山県のマツタケ研究は、第二次世界大戦の前後頃のアカマツの大量伐採によって、将来のマツタケ生産が危惧されたことを背景として、戦後まもなく開始された。最初に、マツタケの天然シロ（以下、シロ）におけるマツタケの増産技術に期待が集まり、「アカマツ林の施業に関する試験（まつたけ増殖試験）（1959～1963年）」（岡山県 1961, 酒本 1962, 岡山県 1963, 木本 1964）が研究課題として取り組まれた。1952年の岡山県林業試験場設立から7年後である。当時としては、マツタケ凶作の原因がどこにあるのか探ることを目的とし、アカマツ林の林齢、立木密度の調査など、マツタケ発生地環境条件の把握から実施した。また、アカマツの間伐、地面の掻き起こし、除伐等による子実体発生量への影響調査が行われ、無施業地との比較が行われた。しかし、天候の影響が大きく、降水量とマツタケの子実体発生量に相関がある可能性が示唆される結果となった。

次期課題である「マツタケ発生環境調査ならびに環境改善試験（1966～1968）」（竹内 1967a, 竹内 1969）では、これまでの気温、降水量調査や植生調査のほか、土壌調査、地温測定、きのこ相調査を行い、現況のデータ収集に努めた。また、シロへのかん水試験やシロ周辺部への施肥、雑草の刈り取り等を実施し、その影響や可能性の検討を行った。さらに、「マツタケ発生環境改善試験（1969）」（竹内 1970）では、気象調査、除伐、地かき試験のほか、かん水試験を行った。しかし、この試験では、かん水と発生した子実体の重量との間に明確な相関が見られず、今後の課題となった。

同時期に並行して実施された「マツタケ人工増殖試験（1966）」（竹内 1967b）では、発生するマツタケの菌糸コロニー上に氷を置いて人工的に菌糸層の温度を下げ、子実体を発生させようとする試みが実施された。この実験では、地温を2～3℃下げた効果を確認した。

そのため、「マツタケ発生誘導試験（1970～1972）」（竹内 1971, 竹内 1972, 竹内・岡 1972）でも、スプリンクラーによるシロへのかん水が継続された。その結果、単年度では子実体の発生量と重量との相関は不明瞭であったが、3年間の平均値では、かん水処理区の方が子実体の発生量が増加する傾向を示した。そのほか、マツタケの傘を試験地に静置し、胞子を落下させる手法や胞子の懸濁液の散布、シロの移植などの人工接種を試したが、結論は得られなかった。

1970年代になると、植物病理学の応用技術として、当場に微生物の培養技術が導入され、「アカマツ林分の土壌微生物調査（1975）」（下川 1976）では、マツタケ菌糸の培養と保存が可能になるとともに、マツタケが発生するシロ周辺の土壌細菌相の調査が始まり、土壌中での微生物相の分析に視点が当てられた。

これを引き継ぐ「マツタケ菌に関する研究（1976）」（下川・植月 1977, 下川・植月 1978）では、薬剤による土壌微生物の抑制や、マツタケ菌との拮抗性を示す糸状菌（カビ類）について、培養試験による探索を行った。また、シロ周辺へのアカマツ苗木植栽による、人為的な感染苗の育成に初めて着手した。その結果、一部ではあるが、マツタケ菌感染の可能性がある苗の育成に成功した。

国や他府県との共同研究として始まった「マツタケ人工栽培技術の開発に関する研究（1978～1982）国補大型プロジェクト」（下川・植月 1979, 下川 1980a, 下川 1980b, 下川・植月 1981a, 下川・植月 1982a）においては、マツタケの発生に適した環境の調査を充実させるとともに、特に、プロジェクトに参画した府県と役割を分担しながらマツタケ発生地土壌微生物相の研究に注力した。その上で経時的に、糸状菌や細菌の遷移について培養技術と組み合わせながら調査し、マツタケ菌感染苗の育成技術の向上に応用した。なお、この感染苗の育成については、材料となる苗木の発根促進技術の検討に加え、シロへの植栽技術、人工気象装置、人工造成地、既存アカマツ林への移植を大規模に実施した。

他府県との共同研究と並行して実施した本県の独自課題である「マツタケ増殖技術開発試験（1979～1982）」（下川 1980c, 下川・植月 1981b, 下川・植月 1982b, 下川ら 1983）では、野外試験地を追加して実施した。本研究では、マツタケ発生地周辺の土壌を所内に運搬して試験地を造成し、感染苗の材料となるアカマツの苗木を養成した。また、シロにアカマツ苗木を上乗せする手法を用いてマツタケ感染苗を育成した。これらの感染苗については、造成した試験地に植栽し、マツタケ菌の定着を図った。特に、シロについては、土壌微生物の少ない深部の土壌やアカマツの針葉で、マツタケ原基を被覆する方法により、子実体の重量が増加する効果を見出した。

前課題を基礎として発展させた「マツタケ適地としての土壌微生物条件の解明に関する研究（1983～1984）」（下川 1984a, 下川 1985a）では、改めてアカマツの環境要因を調査し、マツタケ発生との相関が高い因子が腐植層の厚さであることを明らかにし、その相関式を導き出した。

マツタケの多収穫技術の開発を目指した「食用きのこ栽培のコストダウン技術に関する調査（マツタケの多収穫技術に関する調査）（1983～1985）」（下川 1984b, 下川 1985b, 下川 1985c, 下川 1985d, 下川 1986a）においては、シロの周囲に、抗カビ剤の散布や、微生物の少ない土壌の客土により、シロが活性化される成果が得られた。次に、土壌放線菌とその産生物質による種菌

培養を検討し、雑菌に対する静菌作用を持つバクテリア資材を開発した。このほか、シロへの点滴かん水による増収効果や、子実体の冷蔵保存技術による品質保持効果を示している。

関連課題の「マツタケ栽培適地の基準判定指標の解明(1985~1986)」(下川 1986b, 下川 1987a)では、林型と土壌内微生物量を指標にしたマツタケシロの誘導条件を提案した。

これまでの研究を応用した「菌根性きのこ林地栽培化技術の開発(1986~1990)」(下川 1987b, 下川 1988, 下川 1989a, 下川 1989b, 下川 1990, 下川 1991)においては、前述のバクテリア資材に、さらに放線菌を追加した「有用抗菌連鎖系」資材について試験を重ね、マツタケ感染苗や培養菌糸を林地接種する際に、マツタケ菌以外の害菌を抑制する微生物資材を開発した。

研究成果の定着技術として、同時期に林業普及事業にて実施した「マツタケ発生環境因子調査及び現地コントロール技術の適応化(1987) 国庫・林業現地適応化促進事業」(高田 1988)では、微生物資材の実用試験として、他の環境整備施策と併せてシロへの散布を実施し、その後の経過を観察した。この時、子実体への被覆によって子実体の品質が向上する効果を確認している。

マツタケ菌の人工接種に重点を置いた「菌根菌の人工接種技術の開発(1991~1996) 国補・林業普及情報システム化事業」(下川 1992, 定金 1993, 定金 1994, 竹内・定金 1995, 竹内・藤原 1996a)では、これまで県下から収集・保存したマツタケ菌株について、無菌条件下で育成したアカマツ幼苗への接種試験を実施し、感染苗の育成効率の向上を目指した。林地接種用の培養菌糸の開発については、菌糸の繁殖状況に応じ、園芸培土や穀物の配合割合を検討した種菌を作成し、アカマツ林への接種を継続した。

全国的に感染苗によるマツタケシロの形成を期待する研究が主流となり、「マツタケ栽培の新技術に関する研究(1991~1995)」(下川 1992, 小林 1993, 竹内ら 1994, 竹内 1995, 竹内・藤原 1996b)では、育成したアカマツ苗木をシロの上や、周辺部に植栽して感染苗を育成し、別のアカマツ林に移植した。それに加え、培養菌糸をアカマツ林に埋設する試みが行われ、それぞれ、微生物資材が施用された。その結果、シロ面積が拡大する傾向が見られた。なお、従来の微生物資材は、「有用抗菌連鎖系」から「混合微生物」に名称変更された。

多くの府県が参画し、多角的な視点から研究を実施した「菌根性きのこの安定生産技術の開発(1996~2002) 国補・林業普及情報システム化事業(1996~1998), 国補・バイオテクノロジー実用化型(1999~2002)」(竹内ら 1997a, 竹内・藤原 1998a, 竹内ら 1999, 竹内・藤原 2000, 藤原・阿部 2001, 藤原・阿部 2002, 藤原

・石井 2003, 藤原・竹内 2003)では、環境整備を実施した結果、シロ数の増加を確認した。改良したマツタケ種菌と、マツタケ孢子によるアカマツ細根への接種を実施したが、感染は確認されなかった。混合微生物のシロへの散布についても、引き続き試験を実施したが、明確な効果は不明であった。また、松くい虫被害による試験地のアカマツ枯損が進行し、その処分にも追われるようになってきた。結果として、シロを対象とした各種調査の実施が困難になりつつあった。

県単独の研究課題「マツタケ・アマタケ等安定生産技術に関する研究(1996~2000)」(竹内ら 1997b, 竹内・藤原 1998b, 藤原・竹内 1999, 藤原・竹内 2000, 藤原・竹内 2001)では、マツタケ生産量の重要な目安となるシロの面積と子実体発生量の調査を継続し、データの蓄積を図った。

既存のアカマツ林へのシロ形成を目指した「菌根性きのこのシロ形成技術の開発(2004~2006)」(藤原・石井 2005, 藤原 2005, 藤原・石井 2006, 藤原・石井 2007, 藤原 2007)では、これまで、不確実であったマツタケ菌糸の特定に、初めて遺伝子鑑定を導入した。これは、アカマツの細根に感染したマツタケ菌糸のDNAを抽出・精製した後、ポリメラーゼ連鎖反応(PCR)による増幅により検出する技術である。本課題では、多数のマツタケ孢子の接種試験を行うとともに、この技術により、接種箇所へ侵入した細根について鑑定を実施した。その結果、一部の細根から、マツタケのDNAを検出したが、シロの形成には至らなかった。この頃には、アカマツ林の枯死が全県下に広がり、マツタケ発生適地が激減した。

自然環境下における抵抗性アカマツ(桃太郎松)の利用を中心に取り組んだ「アカマツを利用した菌根性きのこの栽培(2007~2009)」(藤原 2008, 藤原 2009a, 藤原 2010a, 藤原 2010b)では、抵抗性アカマツの苗木に、生分解性フィルムで被覆した培養菌糸を種菌として接種し、一定期間経過後に掘り起こし、菌根の形成状況観察とDNA鑑定を実施したが、マツタケ菌は検出されなかった。

「マツタケの発生環境制御技術の開発(2008)」(藤原 2009b)では、秋期の高温、少雨傾向によるマツタケの不作を軽減するため、庇陰試験、かん水試験、土壌改良、客土、マルチング等を試験し、土壌への竹炭(粒度1mm)の混合が土壌含水率の低下抑制に効果を示すことや、厚さ10cmの客土が、地温上昇を1℃抑制できることを示した。

アカマツそのものの細根成分に着目した「マツタケ菌の定着促進技術の開発(2010~2012)」(藤原 2011, 藤原 2012, 藤原 2013a, 藤原 2013b)では、アカマツの根に含まれるフラボノイドであるナリゲニンやナリ

ンギンを、培地に少量添加すると、菌糸成長が促進されることを見出した。

さらに、アカマツ細根の化学成分をマツタケ菌の栄養成分として探求した「生理活性物質を用いたマツタケの人工培養方法の研究（2013～2015）」（藤原 2014, 藤原 2015, 藤原 2016a, 藤原 2016b）では、 γ 線殺菌した細根粉末を基材にマツタケ菌が培養可能であることを確認した。次に、その粉末からアカマツ特有のデンプンを分離し、既存の寒天培地に添加したところマツタケ菌糸束を形成したことから特許を取得した（特許第6221039号）。野外試験では、アカマツ林伐採跡地へのフレコンバッグを利用した小規模アカマツ林の造成を目的に、アカマツの播種を実施し、幼苗の活着を認めた。

新規に育成した抵抗性アカマツ幼苗へのマツタケ菌種の接種を試みた「マツタケの省力栽培技術の開発（2016～2018年）」（藤原 2017, 藤原 2018, 藤原 2019, 藤原 2020a）では、小規模アカマツ林の育成とそこに活着した幼苗への接種を実施したが、シロの形成は確認できなかった。

岡山県山林種苗共同組合と実施した「樹木デンプンによる菌根性きのこの人工培養（2019～2021）外部知見活用型・産学官連携研究事業」（藤原 2020b, 藤原 2021, 藤原 2022, 藤原 2023a）では、既存の寒天培地中へのフィチン酸添加によってマツタケ菌糸の成長が促進されることが明らかになった。また、アカマツの内樹皮粉末を培地へ添加すると、アカマツデンプンを添加した際と同様に、マツタケの長い菌糸束が形成されることを確認した。野外試験については、従来使用されていたコンテナ苗より、さらに小さいスケールで接種が可能なセル苗へのマツタケ菌接種が可能であることを示した。

室内実験としてマツタケ子実体の発生を研究した「アカマツを有効利用したマツタケ培養技術の高度化（2022～2024）」（藤原 2023b, 藤原 2024, 藤原 2025）では、寒天培地で培養したマツタケ菌のコロニーに微弱電流を通電させる技法を試みた。また、超音波刺激を加える試験を行ったが、子実体の形成は見られなかった。野外試験では、以前設置した小規模アカマツ林が9年生を迎え、接種用試験地として利用可能になった。

なお次の項では、「アカマツを有効利用したマツタケ培養技術の高度化（2022～2024, 単県）」課題について報告する。

II 材料と方法

1. 電波送信による通電試験

(1) アンテナと培地の作成

近年の研究により、一部の菌根性きのこでは、降雨後の子実体の電位に変化が観測され、きのこの子実体間に微弱な電気シグナルの伝達が起こることが示唆されてい

る（Fukasawa *et al.* 2023）。このため、マツタケの子実体発生に関し、自然界で発生する電気が刺激になっている可能性も考えられる。きのこ菌糸の培養試験では、マツタケの菌糸コロニーに直接電極を接触させて通電しようとすると、培養容器を開放する必要がある。この場合、外気の流入によって害菌感染の可能性が高まり、継続的な菌糸培養が困難になる。このため培養容器を密封させた状態を維持し、間接的に、培地や菌糸コロニーに通電する必要がある。この条件を満たす通電方法として、以下の手法を考案した。

まず、市販のステンレス製ワイヤー（直径0.9mm）を、23.0cm（1/3波長）に切断後、それぞれ円形に加工し、3種類のループアンテナを作成した。このアンテナを、乾熱滅菌処理（150℃、3時間）後、滅菌シャーレ（直径）の底部に、同心円状に配置した。

この上に、オートクレーブ滅菌（120℃、10分間）済みのマツタケ用寒天培地{ HYPONEX（粉剤） 0.5g/l, Yeast extract 2.0g/l, Glucose 5.0g/l, Pine starch 5.0g/l, Agar 1 2.0g/l }を、クリーンベンチ内で各35mlずつ分注後、常温で冷却、固化させた。

なお、ループアンテナの1波長の長さは、次式より算出した（ $300 / 422 \text{ (MHz)} = 0.71 \text{ m}$ ）。

(2) マツタケ菌の接種・培養

予め、前培養したマツタケ菌糸3系統を、直径5mmのコルクボーラーで打ち抜き、接種片とした。この接種片を、(1)で作成した、培地の中心に、各1個を接種した後、気温24℃で50日間培養した。一部は、100ml容量のコニカルビーカーで培養した。

(3) 通電試験

通電は、電波送信により試験的に行った。市販の特定小電力トランシーバー（ICOM製 IC-4110, 422MHz, 送信出力10mW）を送信固定状態に設定（自動的に断続を繰り返す。）後、卓上に静置したマツタケ菌培養コロニーにアンテナを接近させた状態で保持し、8時間後に送信を終了した。培地中への通電は、テスターの電極（図-2）を培地に貫入させて測定した。

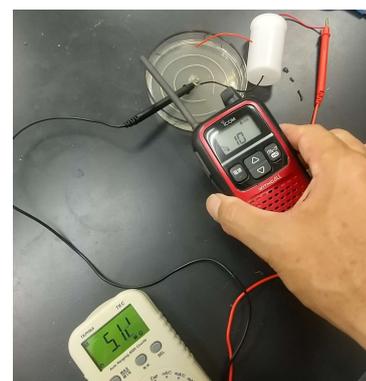


図-2 電波による培地への通電

2. プランター埋設試験

(1) 菌床培養試験

マツタケ用寒天培地を、ポリカーボネイト製の培養容器（アズワン製250ml容量）に、各125mlを分注後、オートクレーブで滅菌（120℃、10分間）した。この培地に、3菌株のマツタケ菌を接種後、110日間培養後、菌床埋設試験に供試した（図-3）。

(2) 菌床埋設試験

(1)の菌床各2個を、天然のマツタケが発生する時期に合わせ、2024年10月2日に、市販の鹿沼土（小粒）を入れた園芸プランターに埋設後、研究施設の野外エントランスに設置した（図-4）。この時、アルミホイルで園芸プランターの上面を被覆して遮光し、気温と地温を測定した。



図-3 菌床の培養状況



図-4 菌床の埋設状況

3. 超音波処理試験

(1)で作成・培養した菌床を、水道水を満たした超音波洗浄機（SHARP製 UT-106H）に浸漬後、周波数50 KHz、30分間、超音波処理した（図-5）。その後、インキュベーターで30日間培養した。



図-5 菌床への超音波処理

III 結果と考察

1. 電波送信による通電試験

接種60日経過後、コニカルビーカーに形成された一部のコロニーでは、表面上に40個以上の菌糸塊が形成された（図-6）。菌糸塊の大きさは、直径2～7 mmと推測され、単独または相互に重なって形成されているものもあった。

過去に実施したシイタケの実験では、コロニー上に多数の菌糸塊が形成された（図-7）後、うち1個が子実体へ成長した。このことから、菌糸塊はシイタケの原基と考えられた。この時、25個以上形成された原基のうちの大多数は密度が低い菌糸塊であったが、特に菌糸が高密度に充満した菌糸塊のみが子実体へ変化した。

今回形成されたマツタケの菌糸塊は、外観、大きさともシイタケの原基と酷似しており、マツタケの原基が形成された可能性もあると考えられたが、これらの菌糸塊から子実体に成長するものは確認できなかった。

シイタケの菌床栽培では、菌床ブロック表面に形成された原基が子実体に成長すると、菌床ブロック自体が著しく縮小する。これらのことから、きのこの原基が子実体へ成長するには、一定量の水分が必要と推測された。

なお、マツタケの菌糸塊が一部でも形成されたことについては、偶然性が高いものの、今後の実験において、原因を検証する必要がある。



図-6 形成されたマツタケの菌糸塊

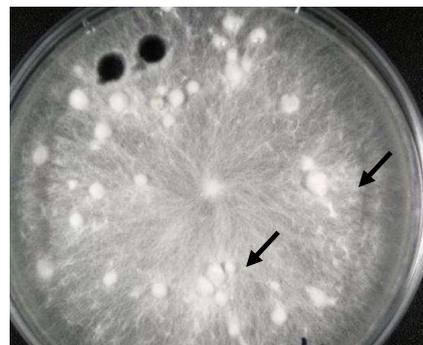


図-7 シイタケ菌のコロニーに形成された菌糸塊

トランシーバーによる培地への通電については、電波送信の結果、マツタケ菌の培養培地中への通電が測定された。この通電は、電流として40~180 μ A、電圧として0.5~1.25Vと変化し、トランシーバーと培地との距離の調整によって、電流、電圧それぞれの通電状態をコントロールすることが可能になった(図-8)。

その結果、既報で測定された500mVを通電するためには、トランシーバーとコロニーとの距離を20~30cm程度に保つことが条件であることが判った。

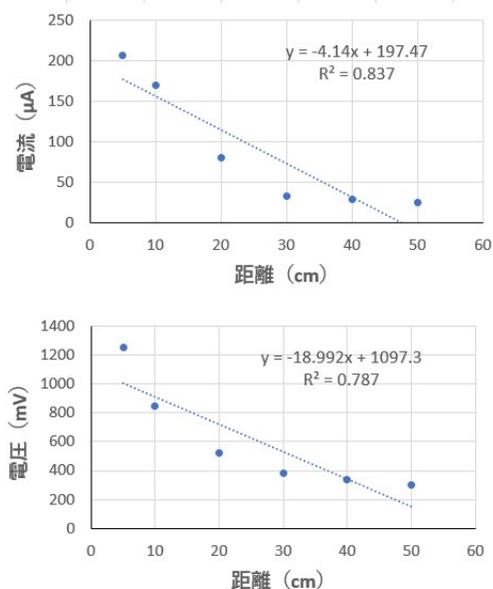


図-8 トランシーバーとコロニーの距離
上図：電流、下図：電圧)

通電試験実施後、30日間経過後までマツタケのコロニーを観察したが、外観上の変化は確認されなかった。きのこの子実体に微弱な電気シグナルが観察されることから着想し、直接コロニーに微弱な通電を試みたが、今回の試験では、通電そのものが子実体の発生を促進する刺激としては機能しないことが確認された。しかし、周波数、出力、頻度、タイミングなどの諸条件について、多様な条件下での手掛かりは得られておらず、さらに検討する必要がある。

電気による発生刺激については、雷による電撃刺激があり、原木シイタケの子実体への発生促進効果がある(清水ら 2020)。また、この電撃による発生刺激については、主に、音圧刺激と振動周波数の効果とする報告もあり(尾釜ら 2024)、周波数の影響に着目した点については非常に興味深く、菌糸の成長に与える影響は、一つの手掛かりと考えている。

また、電波照射によって間接的に培地内に通電する方法については、例えばマツタケの天然シロから発生した子実体に加害する害虫に対して、害虫の卵、あるいは幼

虫段階で電気刺激を与えることで、被害の軽減、抑制に効果を示す可能性があるため、技術のさらなる進展に繋げたい。

2. プランター埋設試験

2024年11月25日まで84日経過後、菌床上のコロニーを観察した結果、形態の変化は確認できなかった。気温は、10月初旬から子実体の発生可能温度である15~20℃を保ったが、マツタケ菌糸に不適とされる30℃を超える日も数日あった。その後、10月末を経過する頃に安定し、11月中旬には気温10℃を下回って、子実体の発生可能温度を下回った。

その後、30日間観察を続したが、コロニーの形態に変化は起こらず、原基や子実体発生の兆候は確認できなかった。過去の天然シロの観察では、白色のマツタケ菌糸がマット状に広がったコロニーの内部に、米粒大の菌糸塊が形成された後、このうちの 하나가原基としてマツタケの形状に変化し、子実体へと成長することが知られている。また、その段階では、マツタケの芳香も発生するとされる。このことから、少なくともマツタケ菌糸に生理的な変化が起こることが予想され、今回の試験では、その変化の段階に至らなかったと考えられた。

3. 超音波処理試験

超音波照射についての先行研究では、酵母や乳酸菌の増殖に対する影響が知られている(野口 2014)。このことから、糸状菌であるマツタケ子実体の発生刺激として超音波処理を試みたが、今回の試験では、マツタケのコロニーに変化は起こらなかった。この超音波処理の特性として、水温の上昇を伴うため、菌床を浸水させて行う実験としては、さらなる出力の上昇や、処理時間の延長を行う場合には、水温上昇の都度、洗浄槽の水を交換する必要があると考えられた。シイタケの原木栽培では、打撃による子実体の発生促進法が利用されているが、振動による再現性の高い刺激の一つとして超音波を試した。その結果、マツタケコロニーに変化は生じず、子実体の発生刺激としては成立しなかった。

IV 今後の方向性

マツタケの栽培については、主な宿主であるアカマツだけでなく、ネズミサシやツガなど、松くい虫被害の影響を受けにくい樹種への応用の可能性も残されているほか、生体における酵素反応など生命科学との融合、遺伝子解析による子実体発生機構の解明など、新たな着眼点の展開が期待されるところである。

本稿では、1959年から2024年の65年間に及ぶ合計30課題のマツタケ研究の取組と、直近3年間の研究内容を加えてまとめとしたが、絶滅危惧種に指定されているマツ

タケの菌株の収集・保存に努めて、今後の研究進展に備えたい。

引用文献

- 藤原直哉 (2005) マツタケ保存菌株の特性調査ー培地特性とDNA判定ー. 岡山県林業試験場研究報告 21: 87-90
- 藤原直哉 (2007) 菌根性きのこのシロ形成技術の開発. 岡山県林業試験場研究報告 23: 21-26
- 藤原直哉 (2008) アカマツを利用した菌根性きのこの栽培. 平成19年度岡山県林業試験場業務年報 48: p9
- 藤原直哉 (2009a) アカマツを利用した菌根性きのこの栽培. 平成20年度岡山県林業試験場業務年報 49: p9
- 藤原直哉 (2009b) マツタケの発生環境制御技術の開発. 平成20年度業務年報第49号. p10
- 藤原直哉 (2010a) アカマツを利用した菌根性きのこの栽培. 平成21年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 50: p10
- 藤原直哉 (2010b) アカマツを利用した菌根性きのこの栽培. 岡山県農林水産総合センター森林研究所研究報告 26: 29-43
- 藤原直哉 (2011) マツタケ菌の定着促進技術の開発. 平成22年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 51: p14
- 藤原直哉 (2012) マツタケ菌の定着促進技術の開発. 平成23年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 52: p10
- 藤原直哉 (2013a) マツタケ菌の定着促進技術の開発. 平成24年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 53: p8
- 藤原直哉 (2013b) マツタケの定着促進技術の研究. 岡山県農林水産総合センター森林研究所研究報告 29: 53-60
- 藤原直哉 (2014) 生理活性物質を用いたマツタケの人工培養方法の研究. 平成25年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 54: p7
- 藤原直哉 (2015) 生理活性物質を用いたマツタケの人工培養方法の研究. 平成26年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 55: p6
- 藤原直哉 (2016a) 生理活性物質を用いたマツタケの人工培養方法の研究. 平成27年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 56: p7
- 藤原直哉 (2016b) 生理活性物質を用いたマツタケの人工培養方法の研究ーアカマツデンプンの性状とマツタケの培養特性ー. 岡山県農林水産総合センター森林研究所研究報告 32: 19-23
- 藤原直哉 (2017) マツタケの省力栽培技術の開発. 平成28年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 57: p8
- 藤原直哉 (2018) マツタケの省力栽培技術の開発. 平成29年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 58: p7
- 藤原直哉 (2019) マツタケの省力栽培技術の開発. 平成30年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 59: p7
- 藤原直哉 (2020a) マツタケの省力的栽培技術の開発. 岡山県農林水産総合センター森林研究所研究報告 35: 1-16
- 藤原直哉 (2020b) 樹木デンプンによる菌根性きのこの人工培養. 令和元年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 60: p10
- 藤原直哉 (2021) 樹木デンプンによる菌根性きのこの人工培養. 令和2年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 61: p9
- 藤原直哉 (2022) 樹木デンプンによる菌根性きのこの人工培養. 令和3年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 62: p9
- 藤原直哉 (2023a) 樹木デンプンによる菌根性きのこの人工培養. 岡山県農林水産総合センター森林研究所研究報告 38: 11-21
- 藤原直哉 (2023b) アカマツを有効利用したマツタケ培養技術の高度化. 令和4年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 63: p9
- 藤原直哉 (2024) アカマツを有効利用したマツタケ培養技術の高度化. 令和5年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 64: p9
- 藤原直哉 (2025) アカマツを有効利用したマツタケ培養技術の高度化. 令和6年度岡山県農林水産総合センター森林研究所業務年報 65: p9
- 藤原直哉・阿部剛俊 (2001) 菌根性きのこの安定生産技術の開発. 平成12年度岡山県林業試験場業務年報 41: p19
- 藤原直哉・阿部剛俊 (2002) 菌根性きのこの安定生産技術の開発. 平成13年度岡山県林業試験場業務年報 42: p14
- 藤原直哉・石井哲 (2003) 菌根性きのこの安定生産技術の開発. 平成14年度岡山県林業試験場業務年報 43: p11
- 藤原直哉・石井哲 (2005) 菌根性きのこのシロ形成技術の開発. 平成16年度岡山県林業試験場業務年報 45: p11
- 藤原直哉・石井哲 (2006) 菌根性きのこのシロ形成技術の開発. 平成17年度岡山県林業試験場業務年報 46: p10
- 藤原直哉・石井哲 (2007) 菌根性きのこのシロ形成技術の開発. 平成18年度岡山県林業試験場業務年報 47: p10

p11

- 藤原直哉・竹内隆人 (2000) マツタケ・アマタケ等安定生産技術に関する研究. 平成11年度岡山県林業試験場業務年報 40: p17
- 藤原直哉・竹内隆人 (2001) マツタケ・アマタケ等安定生産技術に関する研究. 平成12年度岡山県林業試験場業務年報 41: p21
- 藤原直哉・竹内隆人 (2003) 菌根性きのこの安定生産技術の開発. 岡山県林業試験場研究報告 19: 35-43
- Fukasawa, Y., Akai, D., Ushio, M., Takehi, T. (2023) Electrical potentials in the ectomycorrhizal fungus *Laccaria bicolor* after the rainfall event. *Fungal Ecol.* 63:101229
- 木本弘一郎 (1964) マツタケ増殖試験. 昭和38年度岡山県林業試験場林業試験場報告 4:111-115
- 小林一貫 (1993) マツタケ栽培の新技術に関する研究 (II). 平成4年度岡山県林業試験場業務年報 33: p26
- 久米南町松茸研究会 (2014) 「マツタケ」の復活へ写真の展示会. <http://www.pocketbusiness.jp/mypage/?=25&v=1924&p=142>
- 野口明德 (2014) 食品微生物の増殖・代謝への通電処理・超音波照射の影響. 日本醸造協会誌 109: 410-416
- 尾釜遼・清水博幸・平栗健史・高木浩一・高梨琢磨・相場翔平 (2024) シイタケにおける雷撃の音圧刺激とその振動周波数が子実体発生促進に及ぼす効果. 日本きのこ学会誌. 31: 117-122
- 岡山県 (1961) アカマツ林の施業に関する試験 5 マツタケ増殖試験. 昭和34年度岡山県林業試験場報告: 38-39
- 岡山県 (1963) マツタケ増殖試験. 昭和37年度岡山県林業試験場報告第3号. P118-125
- 岡山県郷土文化財団 (1984) 松茸ごはん・焼き松茸・土瓶むし. おかやまの味. 99-101.岡山市
- 定金美代子 (1993) 菌根菌の人工接種技術の開発 (II). 平成4年度岡山県林業試験場業務年報 33: 29-30
- 定金美代子 (1994) 菌根菌の人工接種技術の開発 (III). 平成5年度岡山県林業試験場業務年報 34: p25
- 酒本裕士 (1962) アカマツ林の施業に関する試験E マツタケ増殖試験. 昭和35, 36年度岡山県林業試験場報告 2: 26-29
- 清水博幸・平栗健史・木許雅則・大田健紘・新藤卓也・星野祐希 (2020) 電撃刺激がシイタケの発生に及ぼす影響, シイタケにおける雷撃の音圧刺激とその振動周波数が子実体発生促進に及ぼす効果. 日本きのこ学会誌 28: 134-139
- 下川利之 (1976) アカマツ林分の土壤微生物調査 1 (マツタケ増殖に関する予備調査). 昭和50年度岡山県林業試験場報告 16: 75-78
- 下川利之 (1980a) マツタケ人工栽培技術の開発に関する研究 (II) (林地土壌におけるマツタケのシロ形成促進条件の解明), (マツタケ感染苗, 育成技術の開発). 昭和54年度岡山県業務報告 20: 32-33
- 下川利之 (1980b) マツタケ増殖技術開発に関する研究 (1報) 客土による活性菌帯の増殖. 岡山県林業試験場研究報告 1: 1-11
- 下川利之 (1980c) マツタケ増殖技術開発試験 (1). 昭和54年度岡山県林業試験場業務年報 20: 35-36
- 下川利之 (1984a) マツタケ適地としての土壤微生物条件の解明に関する研究. 昭和58年度岡山県林業試験場業務年報 24: 46-47
- 下川利之 (1984b) 食用きのこ栽培のコストダウン技術に関する調査 (I) (マツタケ多収穫技術に関する調査). 昭和58年度岡山県林業試験場業務年報 24: 47-48
- 下川利之 (1985a) マツタケ適地としての土壤微生物条件の解明に関する研究. 昭和59年度岡山県林業試験場業務年報 25: 37-38
- 下川利之 (1985b) 食用きのこ栽培のコストダウン技術に関する調査 (II) (マツタケ多収穫技術に関する調査). 昭和59年度岡山県林業試験場業務年報 25: P41
- 下川利之 (1985c) マツタケ増殖技術開発に関する研究II アカマツ林の下層植生とA0層の除去がきのこ土壤微生物に与える影響. 岡山県林業試験場研究報告 5 : 41-53
- 下川利之 (1985d) マツタケ増殖技術開発に関する研究III アカマツ林に生息する放線菌及び細菌の抗菌性. 岡山県林業試験場研究報告 6 : 62-85
- 下川利之 (1986a) 食用きのこ栽培のコストダウン技術に関する調査 (III) (マツタケ多収穫技術に関する調査). 昭和60年度岡山県林業試験場業務年報 26: 35-36
- 下川利之 (1986b) マツタケ栽培適地の基準判定指標の解明. 昭和60年度岡山県林業試験場業務年報 26: 32-33
- 下川利之 (1987a) マツタケ栽培適地の基準判定指標の解明 (II). 昭和61年度岡山県林業試験場業務年報 27: 39-40
- 下川利之 (1987b) 菌根性きのこ林地栽培化技術の開発 (I). 昭和61年度岡山県林業試験場業務年報 27: 40-42
- 下川利之 (1988) 菌根性きのこ林地栽培化技術の開発 (II). 昭和62年度岡山県林業試験場業務年報 28: 30-31
- 下川利之 (1989a) 菌根性きのこ林地栽培化技術の開発 (III). 昭和63年度岡山県林業試験場業務年報 29: 25-26

- 下川利之 (1989b) マツタケ増殖技術開発に関する研究Ⅳ－マツタケ増殖適地の土壌微生物条件と判定－. 岡山県林業試験場研究報告 8: 14-40
- 下川利之 (1990) 菌根性きのこ林地栽培化技術の開発 (Ⅳ). 平成元年度岡山県林業試験場業務年報 30:26-27
- 下川利之 (1991) 菌根性きのこ林地栽培化技術の開発 (Ⅴ). 平成2年度岡山県林業試験場業務年報 31: 28-29
- 下川利之 (1992) マツタケ栽培の新技术に関する研究 (Ⅰ). 平成3年度岡山県林業試験場業務年報 32: p28
- 下川利之 (1992) 菌根菌の人工接種技術の開発 (Ⅰ). 平成3年度岡山県林業試験場業務年報 32: p31
- 下川利之・植月輝夫 (1977) マツタケ菌に関する研究 (Ⅰ). (人工増殖に関する基礎調査). 昭和51年度岡山県林業試験場報告 17: 43-50
- 下川利之・植月輝夫 (1979) マツタケ人工栽培技術の開発に関する研究 (Ⅰ). 昭和53年度岡山県林業試験場報告 19: 39-62
- 下川利之・植月輝夫 (1981a) マツタケ人工栽培技術の開発に関する研究 (Ⅲ) (林地土壌におけるマツタケのシロ形成促進条件の解明), (マツタケ菌感染苗の育成技術の開発). 昭和55年度岡山県林業試験場業務年報 21: 40-41
- 下川利之・植月輝夫 (1981b) マツタケ増殖技術開発試験 (Ⅲ). 昭和55年度岡山県林業試験場業務年報 21: 46-47
- 下川利之・植月輝夫 (1982a) マツタケ人工栽培技術の開発に関する研究 (Ⅳ) (林地土壌におけるマツタケのシロ形成促進条件の解明), (マツタケ菌感染苗の育成技術の開発). 昭和56年度岡山県林業試験場業務年報 22: 78-79
- 下川利之・植月輝夫 (1982b) マツタケ増殖技術開発試験 (Ⅳ). 昭和56年度岡山県林業試験場業務年報 22: 81-83
- 下川利之・植月輝夫, 治郎丸肇 (1983) マツタケ増殖技術開発試験 (Ⅳ). 昭和57年度岡山県林業試験場業務年報 23: 85-93
- 高田和雄 (1988) マツタケ発生環境因子調査及び現地コントロール技術の適応化 国庫・林業現地適応化促進事業. 昭和62年度岡山県林業試験場業務年報 28: 33-34
- 竹内栄 (1967a) マツタケ発生環境調査ならびに環境改善試験. 昭和41年度岡山県林業試験場報告 7: 25-29
- 竹内栄 (1967b) マツタケ人工増殖試験. 昭和41年度岡山県林業試験場報告 7: 29-30
- 竹内栄 (1969) マツタケ発生環境調査ならびに環境改善試験 (Ⅳ). 昭和43年度岡山県林業試験場報告 9: 132-150
- 竹内栄 (1970) マツタケ発生環境改善試験 (Ⅳ). 昭和44年度岡山県林業試験場報告 10: 142-158
- 竹内栄 (1971) マツタケ発生誘導試験. 昭和45年度林業試験場報告 11: 184-202
- 竹内栄 (1972) マツタケ発生誘導試験. 昭和46年度岡山県林業試験場報告 12: 211-216
- 竹内栄・岡滋 (1972) マツタケ発生誘導試験 (Ⅲ). 昭和47年度岡山県林業試験場報告 13: 123-128
- 竹内隆人 (1995) マツタケ栽培の新技术に関する研究. 平成6年度岡山県林業試験場業務年報 35: p23
- 竹内隆人・藤原直哉 (1996a) マツタケ栽培の新技术に関する研究. 平成7年度岡山県林業試験場業務年報 36: p28
- 竹内隆人・藤原直哉 (1996b) 菌根菌の人工接種技術の開発. 平成7年度岡山県林業試験場業務年報 36: p23
- 竹内隆人・藤原直哉 (1998a) 菌根性きのこの安定生産技術の開発. 平成9年度岡山県林業試験場業務年報 38: p20
- 竹内隆人・藤原直哉 (1998b) マツタケ・アマタケ等安定生産技術に関する研究. 平成9年度岡山県林業試験場業務年報 38: p22
- 竹内隆人・藤原直哉 (2000) 菌根性きのこの安定生産技術の開発. 平成11年度岡山県林業試験場業務年報 40: p16
- 竹内隆人・藤原直哉 (1999) マツタケ・アマタケ等安定生産技術に関する研究. 平成10年度岡山県林業試験場業務年報 39: p19
- 竹内隆人・藤原直哉・治郎丸肇 (1997a) 菌根性きのこの安定生産技術の開発. 平成8年度岡山県林業試験場業務年報 37: p22
- 竹内隆人・藤原直哉・治郎丸肇 (1997b) マツタケ・アマタケ等安定生産技術に関する研究. 平成8年度岡山県林業試験場業務年報 37: p23
- 竹内隆人・藤原直哉・治郎丸肇 (1999) 菌根性きのこの安定生産技術の開発. 平成10年度岡山県林業試験場業務年報 39: p18
- 竹内隆人・小林一貫・定金美代子 (1994) マツタケ栽培の新技术に関する研究 (Ⅲ). 平成5年度岡山県林業試験場業務年報 34: 24-25
- 竹内隆人・定金美代子 (1995) 菌根菌の人工接種技術の開発. 平成6年度岡山県林業試験場業務年報 35 :p22

広葉樹の有効利用に関する調査研究 — 県産広葉樹の基礎的材質 —

金田 利之, 阿部 剛俊

Research on the Effective Use of Hardwoods

— Basic Wood Qualities of Hardwoods in Okayama Prefecture. —

Toshiyuki KANEDA, Takatoshi ABE

要 旨

金田利之：広葉樹の有効利用に関する調査研究—県産広葉樹の基礎的材質— 岡山県農林水産総合センター森林研究所研報40：10-15（2026） 県産広葉樹6樹種について、利用上の基本となる、基礎的材質を調査した。曲げ強度性能は、文献値が確認できた樹種（コナラ、クリ、オニグルミ、ホオノキ）では、既往の文献値よりも曲げ強さ、見かけの曲げヤング係数とも高い値を示した。コナラの縦圧縮強さは既往の文献値と同等であったが、クリ、オニグルミ、ホオノキは文献値より高い値を示した。表面硬さ（ブリネル硬さ）は、コナラの板目面とクリの板目面および柾目面を除いて、オニグルミ、ホオノキで既往の文献値より高い値を示した。収縮率は、樹種により多少の上下はあるが、概ね文献値と同等の値であった。気乾密度との関係について一般的な木材（国産樹種）と比較すると、曲げ強度性能は同等か高く、縦圧縮強さは高い傾向を示し、表面硬さは柾目面が低く、それ以外の面は同等の傾向を示した。収縮率は半径方向の平均収縮率が同等の傾向を示し、接線方向は低い傾向を示した。今回試験を行った樹種の供試原木数が1～2本と少ないため、さらにデータを蓄積する必要がある。

キーワード：広葉樹, 曲げ強度性能, 縦圧縮強さ, 表面硬さ, 収縮率

I はじめに

日本の広葉樹林は、薪や炭などの燃料を取る「薪炭林」として利用されてきたが、1960年代に石油を中心とする化石エネルギーへの転換、いわゆる「エネルギー革命」により、燃料は薪や炭から石油やプロパンガスに置き換えられた。このため多くの広葉樹林は、管理されず放置されてきた。その結果、樹木が過密化、大径化し、「ナラ枯れ」等の森林病虫害の蔓延などが危惧されている。

一方、広葉樹は針葉樹にない樹種特有の美観的な要素が多く、家具や内装材、フローリング材などに利用されている。しかし、国産広葉樹材はほとんどが木材チップ用として供給されており、家具や内装材、フローリング材などに供給されている量は広葉樹供給量全体の8.1%（農林水産省, 2025）と低く、これらの原料の多くは輸入材に依存しているのが現状である。

しかし、近年、輸入木材の供給リスクが顕在化したことから、国内産未利用広葉樹の利用に期待が高まっている。

このような背景から、本研究では、広葉樹の有効利用を図ることを目的として、県産広葉樹6樹種について、利用上の基本となる材質特性の調査を行った。

II 材料及び方法

1. 供試木

供試原木として岡山県森林研究所（勝田郡勝央町植月中）敷地内に生育している広葉樹6樹種（コナラ、クリ、フウ、オニグルミ、ホオノキ、ユリノキ）を選定し、その概要を表-1に示す。

選定した供試原木は、地際から約30cmの部位で伐倒し、約2mの長さに造材して供試木とし、岡山県森林研究所木材加工研究室（真庭市勝山）に搬入した。

表-1 供試原木の概要

樹種	本数 (本)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)
コナラ	1	18.3	15.3
クリ	2	26.0~26.9	15.2~15.4
フウ	1	21.6	15.1
オニグルミ	1	22.5	14.3
ホオノキ	2	22.5~26.9	15.4~15.9
ユリノキ	1	27.4	18.8

2. 材質試験用試験体作製方法

搬入された供試木から、製材機を用いて約60mm厚の柾目板を採材した。採材した柾目板は、倉庫内で約1年間天然乾燥した後、JIS Z 2101「木材の試験方法」²⁰⁰⁹に準拠して、各材質試験用試験体を作製した。

(1) 曲げ試験用試験体

曲げ試験用試験体は、一辺の長さを20mmの正方形断面とし、長手方向は繊維方向と平行に320mmとなるように作製した。試験体数は、コナラが22体、クリが24体、フウが8体、オニグルミが12体、ホオノキが24体、ユリノキが12体であった。

(2) 縦圧縮試験用試験体

縦圧縮試験用試験体は、一辺の長さを20mmの正方形断面とし、長手方向は繊維方向と平行に60mmとなるように作製した。試験体数は、コナラが22体、クリが24体、フウが8体、オニグルミが12体、ホオノキが24体、ユリノキが12体であった。

(3) 表面硬さ(ブリネル硬さ)測定用試験体

表面硬さ(ブリネル硬さ)測定用試験体は、辺長40mmの立方体とし、木口断面が二方柾目となるように作製した。試験体数は、コナラが9体、クリが24体、フウが12体、オニグルミが12体、ホオノキが24体、ユリノキが12体であった。

(4) 収縮率測定用試験体

収縮率測定用試験体は、接線方向を20mm、半径方向を20mm、繊維方向を5mmの二方柾の直方体となるように作製した。試験体数は、コナラが14体、クリが24体、フウが12体、オニグルミが12体、ホオノキが24体、ユリノキが12体であった。

3. 材質試験方法

材質試験に先立ち、すべての試験体について、密度と平均年輪幅を測定した。

材質試験は、JIS Z 2101「木材の試験方法」²⁰⁰⁹に準拠して行った。

材質試験終了後、すべての試験体について全乾法により含水率を測定した。

(1) 曲げ試験

曲げ試験は、支点間距離を280mm、荷重面を柾目面として、中央集中荷重方式で行った(図-1)。試験には、万能材料試験機(インストロン社製4206)を用い、テストスピード7mm/minで行い、最大荷重とたわみ量を測定し、次式により曲げ強さと見かけの曲げヤング係数を算出した。

$$\sigma_b = P_m L / 4 Z$$

$$E_b = \Delta P L^3 / 48 I \Delta y$$

ここで、 σ_b (N/mm²) は曲げ強さ、 P_m (N) は最大荷重、 L (mm) は支点間距離、 Z は断面係数 ($Z = a^3 / 6$, 断面の辺長 $a = 20$ mm) であり、 E_b (kN/mm²) は見かけの曲げヤング係数、 I は断面2次モーメント ($I = a^4 / 12$)、 ΔP (N) は比例限度領域における上限荷重と下限荷重の差、 Δy (mm) は ΔP に対応するスパン中央のたわみである。

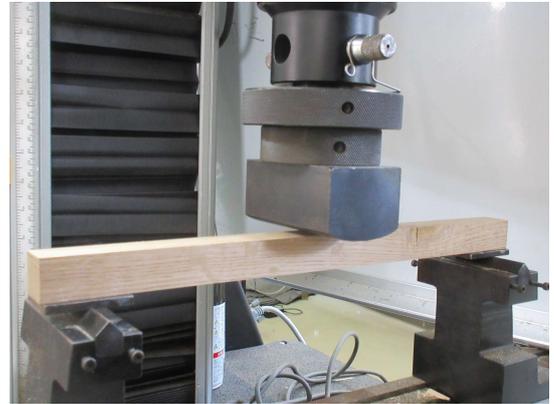


図-1 曲げ試験の状況

(2) 縦圧縮試験

縦圧縮試験は、試験体の材端両面に均一に荷重がかかるように、球座を設置し行った(図-2)。試験には、万能材料試験機(インストロン社製4206)を用い、テストスピード1mm/minで行い、最大荷重を測定し、次式により縦圧縮強さを算出した。

$$\sigma_c = P_m / A$$

ここで、 σ_c (N/mm²) は縦圧縮強さ、 P_m (N) は最大荷重、 A (mm²) は試験体の断面積である。

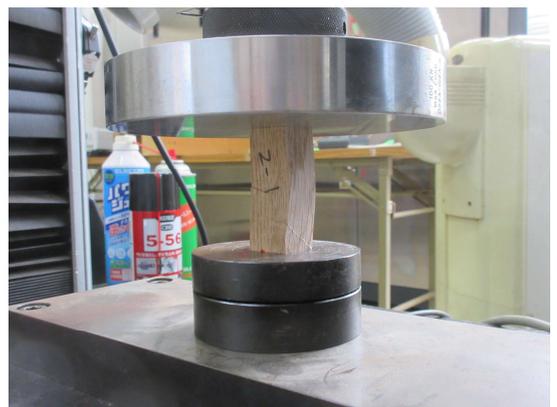


図-2 縦圧縮試験の状況

(3) 表面硬さ(ブリネル硬さ)の測定

表面硬さ(ブリネル硬さ)の測定は、試験体の木口、木表側の板目、柾目の各面において、半径5.00±0.01mmの半球状の鋼球を深さ1/πmm(約0.32mm)まで圧入し、圧入時の荷重を測定した(図-3)。試験には、万能材料試験機(インストロン社

製4206) を用い、テストスピード0.5mm/minで行った。試験体の表面硬さは、次式により算出した。

$$H = P_m / 10$$

ここで、H (N/mm²) は表面硬さ(ブリネル硬さ)、P_m (N) は深さ1/πmm (約0.32mm) まで圧入した時の荷重である。

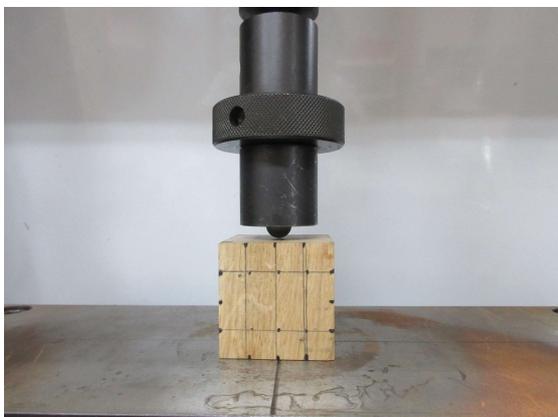


図-3 表面硬さ試験の状況

(4) 収縮率の測定

収縮率の測定は、木口面中央付近に半径方向及び接線方向の測定基準線を設定した試験体を、20±5℃の水に浸せきして試験体を繊維飽和点以上にした後、半径方向及び接線方向の長さを測定した。その後、試験体を室内環境で十分乾燥させ、半径方向及び接線方向の長さを測定した。次に、試験体を103±2℃の乾燥機中で一定の寸法になるまで乾燥した後、乾燥剤入りデシケータ中で常温に戻し、半径方向及び接線方向の長さを測定した。半径方向及び接線方向の全収縮率、含水率1%に対する平均収縮率は、次式により算出した。

$$\beta_{max} = (L1 - L4) / L1 \times 100$$

$$\beta\% = (L2 - L4) / uL15 \times 100$$

ここで、β_{max}(%)は全収縮率、L1(mm)は繊維飽和点以上での基準線の寸法、L2(mm)は気乾状態に達した時の基準線の寸法、L4(mm)は全乾状態に達した時の基準線の寸法、β%(%)は含水率1%に対する平均収縮率、u(%)はL2を測定した時の含水率、L15(mm)は含水率15%の時の基準線の寸法で、L2及びL4から比例的に算出 (L15=L4+15(L2-L4)/u) したものである。

III 結果と考察

1. 曲げ試験

各樹種の曲げ試験結果を表-2に示す。

曲げ強さの平均値は、コナラでは131.5N/mm²、クリは87.7N/mm²、フウは107.7N/mm²、オニグルミは116.3N/mm²、ホオノキは100.5N/mm²、ユリノキは79.8N/mm²となった。同様に各樹種の見かけの曲げヤング係数の平均値

は、コナラでは16.5kN/mm²、クリは10.8kN/mm²、フウは9.6kN/mm²、オニグルミは12.7kN/mm²、ホオノキは9.6kN/mm²、ユリノキが9.5kN/mm²であった。試験時の密度の平均値は、コナラでは798kg/m³、クリは592kg/m³、フウは681kg/m³、オニグルミは642kg/m³、ホオノキは566kg/m³、ユリノキは449kg/m³であった。

表-2 曲げ試験結果

樹種	N	ρ (kg/m ³)	MC (%)	ARW (mm)	E _b (kN/mm ²)	σ _b (N/mm ²)
コナラ	22	798 (21)	12.7 (0.4)	2.1 (0.7)	16.5 (1.4)	131.5 (12.5)
クリ	24	592 (54)	12.9 (0.6)	3.4 (1.2)	10.8 (1.6)	87.7 (17.2)
フウ	8	681 (18)	12.0 (0.4)	5.9 (0.3)	9.6 (0.9)	107.7 (12.4)
オニグルミ	12	642 (42)	12.3 (0.5)	4.3 (0.9)	12.7 (1.4)	116.3 (16.2)
ホオノキ	24	566 (33)	12.9 (0.4)	5.0 (0.8)	9.6 (2.2)	100.5 (13.0)
ユリノキ	12	449 (11)	13.4 (0.5)	7.9 (0.3)	9.5 (0.6)	79.8 (2.7)

記号 N:試験体数 ρ:試験時の密度、MC:試験時の含水率、ARW:平均年輪幅、E_b:見かけの曲げヤング係数、σ_b:曲げ強さ

一部の樹種については既往の文献(社団法人日本木材加工技術協会,1983;森林総合研究所,2004)に物性値が示されており、その物性値を取り纏めたものを表-3に示す。文献値と本試験結果を比較したところ、文献値が確認できないフウ、ユリノキ以外の樹種(コナラ、クリ、オニグルミ、ホオノキ)の曲げ強さ、見かけの曲げヤング係数は文献値よりも高い値を示しており、これらの樹種は、高い曲げ強度性能を有していると考えられる。

表-3 既往の文献に示された物性値

樹種	ρ (kg/m ³)	E _b (kN/mm ²)	σ _b (N/mm ²)	σ _c (N/mm ²)
コナラ	820	13.5 ~16.2	106.9 ~130.3	56.0 ~68.6
クリ	600	9.0	80.0	40.0
オニグルミ	530	9.5	80.0	40.0
ホオノキ	490	7.5	65.0	35.0

記号 ρ:試験時の密度、E_b:見かけの曲げヤング係数、σ_b:曲げ強さ、σ_c:縦圧縮強さ

注 旧単位の場合はSI単位に換算した。

出典 コナラは世界の有用木材300種

クリ、オニグルミ、ホオノキは木材工業ハンドブック

次に、今回供試した樹種が、一般的な木材と曲げ強度等に違いがあるかどうかを確認するため、気乾密度

と曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数について、「木材工業ハンドブック」に収録されている国産樹種（針葉樹15種、広葉樹28種）（以下：国産樹種）のデータとの比較を図-4～5に示す。一般的に木材の強度性能は密度の増加とともに増大し、今回供試した樹種も同様の傾向が認められた。

気乾密度と曲げ強さの関係は、一般的な木材（国産樹種）よりも高い傾向を示したが、気乾密度と見かけの曲げヤング係数の関係は、一般的な木材（国産樹種）と同様の傾向であった。しかし、今回試験を行った供試原木数が1～2本と少ないため、さらにデータを蓄積する必要がある。

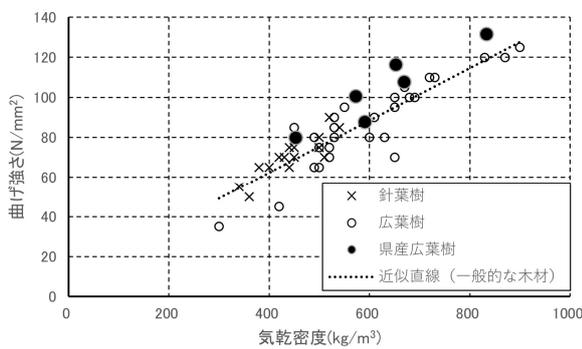


図-4 気乾密度と曲げ強さの関係

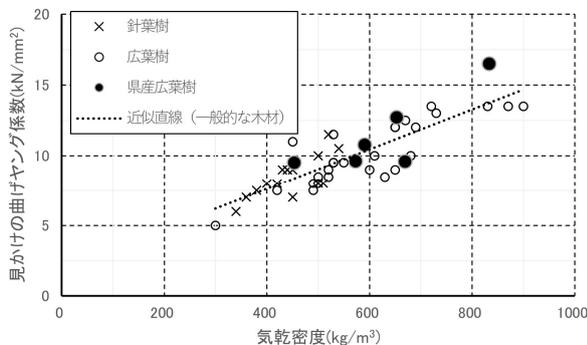


図-5 気乾密度と見かけの曲げヤング係数の関係

2. 縦圧縮試験

各樹種の縦圧縮試験結果を表-4に示す。

縦圧縮強さの平均値は、コナラでは55.3N/mm²、クリは58.4N/mm²、フウは57.7N/mm²、オニグルミは53.5N/mm²、ホオノキは51.8N/mm²、ユリノキは44.2N/mm²となった。

一部の樹種については前項と同様に既往の文献値（表-3）があり、本試験結果と比較したところ、コナラの縦圧縮強さは文献値と同等であった。クリ、オニグルミ、ホオノキは、すべて文献値より高い値を示しており、これらの樹種は、高い縦圧縮性能を有していると考えられる。

次に、今回供試した樹種が、一般的な木材と縦圧縮

強さに違いがあるかどうかを確認するため、気乾密度と縦圧縮強さについて、曲げ試験と同様に国産樹種のデータとの比較を図-6に示す。今回供試した樹種の気乾密度と縦圧縮強さの関係は、国産樹種における関係よりも高い傾向を示しており、高い縦圧縮性能を有していると考えられる。しかし、供試原木数が1～2本と少ないため、さらにデータを蓄積する必要がある。

表-4 縦圧縮試験結果

樹種	N	ρ (kg/m ³)	MC (%)	ARW (mm)	σ_c (N/mm ²)
コナラ	22	842 (22)	13.5 (0.3)	2.2 (0.9)	55.3 (3.6)
クリ	24	612 (50)	10.3 (0.2)	2.8 (0.9)	58.4 (3.5)
フウ	8	675 (20)	9.9 (0.2)	6.3 (0.8)	57.7 (1.6)
オニグルミ	12	645 (46)	10.6 (0.4)	4.5 (1.0)	53.5 (8.4)
ホオノキ	24	589 (44)	13.0 (0.3)	4.4 (0.7)	51.8 (3.1)
ユリノキ	12	444 (19)	9.8 (0.3)	8.0 (0.5)	44.2 (2.1)

記号 N: 試験体数 ρ : 試験時の密度、MC: 試験時の含水率、ARW: 平均年輪幅、 σ_c : 縦圧縮強さ

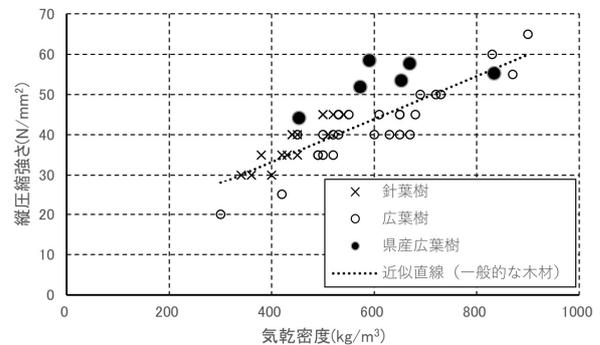


図-6 気乾密度と縦圧縮強さの関係

3. 表面硬さ（ブリネル硬さ）

各樹種の表面硬さ（ブリネル硬さ）の測定結果を表-5に示す。

木口面の表面硬さの平均値は、コナラが50.0N/mm²、クリが44.7N/mm²、フウが51.0N/mm²、オニグルミが47.4N/mm²、ホオノキが38.5N/mm²、ユリノキが31.1N/mm²であった。同様に、板目面の表面硬さの平均値は、コナラが21.7N/mm²、クリが12.5N/mm²、フウが21.5N/mm²、オニグルミが18.4N/mm²、ホオノキが15.8N/mm²、ユリノキが11.6N/mm²であった。柾目面の表面硬さの平均値は、コナラが

16.9N/mm²、クリが11.9N/mm²、フウが14.2N/mm²、オニグルミが12.8N/mm²、ホオノキが11.3N/mm²、ユリノキが6.8N/mm²であった。

一部の樹種の既往の文献値(表-6)と、本試験結果を比較したところ、コナラの板目面とクリの板目面および柁目面の表面硬さは文献値より低い値であった。オニグルミ、ホオノキは、すべて文献値以上の値を示した。

表-5 表面硬さの測定結果

樹種	N	ρ (kg/m ³)	MC (%)	ARW (mm)	HI (N/mm ²)	Ht (N/mm ²)	Hr (N/mm ²)
コナラ	9	864 (31)	11.8 (0.4)	2.0 (0.4)	50.0 (2.8)	21.7 (3.9)	16.9 (1.7)
クリ	24	594 (43)	11.2 (0.4)	2.6 (0.5)	44.7 (5.3)	12.5 (2.9)	11.9 (2.3)
フウ	12	639 (16)	9.2 (0.1)	7.7 (0.8)	51.0 (1.2)	21.5 (0.9)	14.2 (0.9)
オニグルミ	12	652 (11)	11.2 (0.3)	6.2 (0.5)	47.4 (2.1)	18.4 (2.6)	12.8 (2.4)
ホオノキ	24	556 (34)	11.8 (0.5)	5.1 (0.7)	38.5 (4.1)	15.8 (2.2)	11.3 (2.2)
ユリノキ	12	462 (16)	11.8 (0.3)	7.3 (0.7)	31.1 (2.8)	11.6 (1.6)	6.8 (1.5)

記号 N: 試験体数 ρ : 試験時の密度、MC: 試験時の含水率、ARW: 平均年輪幅、HI: 木口面の表面硬さ、Ht: 板目面の表面硬さ、Hr: 柁目面の表面硬さ

表-6 既往の文献に示された物性値

樹種	HI (N/mm ²)	Ht (N/mm ²)	Hr (N/mm ²)	β %r (%)	β %t (%)
コナラ	-	25.5 ~37.3	-	0.18 ~0.21	0.33 ~0.38
クリ	45.0	14.5	13.5	0.17	0.36
オニグルミ	35.0	12.5	12.0	0.18	0.31
ホオノキ	35.0	14.5	11.0	0.15	0.25

記号 HI: 木口面の表面硬さ、Ht: 板目面の表面硬さ、Hr: 柁目面の表面硬さ、 β %r: 半径方向の平均収縮率、 β %t: 接線方向の平均収縮率

注 旧単位の場合はSI単位に換算した。

出典 コナラは世界の有用木材300種

クリ、オニグルミ、ホオノキは木材工業ハンドブック

次に、今回供試した樹種が、一般的な木材と表面硬さに違いがあるかどうかを確認するため、気乾密度と各面における表面硬さについて、前項と同様に国産樹種のデータとの比較を図-7~9に示す。木口面と板目面では、国産樹種における関係と同様の傾向を示したが、柁目面では国産樹種における関係より低い傾向であった。しかし、供試原木数が1~2本と少なく、単純に比較できないため、さらにデータを蓄積する必要がある。

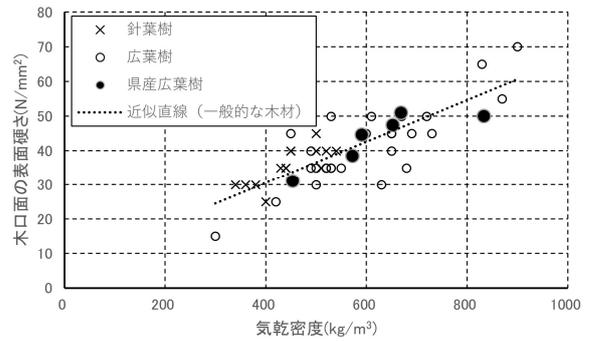


図-7 気乾密度と木口面における表面硬さの関係

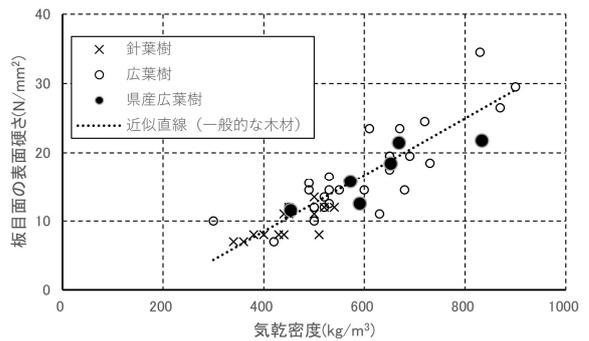


図-8 気乾密度と板目面における表面硬さの関係

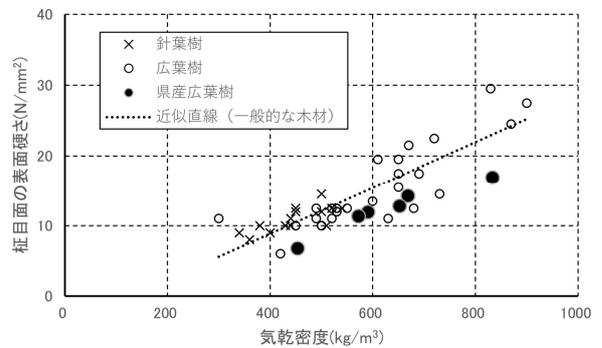


図-9 気乾密度と柁目面における表面硬さの関係

4. 収縮率

各樹種の収縮率の測定結果を表-7に示す。

半径方向及び接線方向の含水率1%あたり平均収縮率は、コナラが0.23%、0.37%であり、クリが0.16%、0.29%で、フウが0.17%、0.34%、オニグルミが0.18%、0.31%で、ホオノキが0.18%、0.26%で、ユリノキが0.17%、0.28%であった。

一部の樹種の既往の文献値(表-6)と、本試験結果を比較したところ、樹種により多少の上下はあるが、概ね同等の値であった。

次に、今回供試した樹種が、一般的な木材と収縮率に違いがあるかどうかを確認するため、気乾密度と半径方向及び接線方向における含水率1%に対する平均

収縮率について、前項と同様に国産樹種のデータとの比較を図-10~11に示す。半径方向における気乾密度と含水率1%に対する平均収縮率の関係は、国産樹種における関係と同様の傾向であったが、接線方向の気乾密度と平均収縮率の関係は、国産樹種における関係より低い傾向を示した。しかし、供試原木数が1~2本と少なく、単純に比較できないため、さらにデータを蓄積する必要がある。

表-7 収縮率の測定結果

樹種	N	ρ (kg/m ³)	ARW (mm)	β_{maxr} (%)	β_{maxt} (%)	$\beta_{\%r}$ (%)	$\beta_{\%t}$ (%)
コナラ	14	830 (46)	2.1 (0.7)	5.64 (0.67)	11.61 (0.92)	0.23 (0.02)	0.37 (0.03)
クリ	24	564 (46)	3.5 (1.8)	4.14 (0.57)	7.99 (0.69)	0.16 (0.04)	0.29 (0.05)
フウ	12	687 (20)	6.2 (0.5)	4.12 (0.25)	11.16 (0.88)	0.17 (0.01)	0.34 (0.02)
オニグルミ	12	671 (25)	4.5 (1.6)	4.43 (0.37)	9.08 (0.67)	0.18 (0.01)	0.31 (0.02)
ホオノキ	24	579 (30)	5.7 (0.7)	4.60 (0.56)	7.87 (0.26)	0.18 (0.02)	0.26 (0.02)
ユリノキ	12	458 (17)	7.2 (1.4)	3.99 (0.59)	8.14 (0.64)	0.17 (0.03)	0.28 (0.04)

記号 N:試験体数 ρ :試験時の密度、MC試験時の含水率、ARW:平均年輪幅、 β_{maxr} :半径方向の全収縮率、 β_{maxt} :接線方向の全収縮率、 $\beta_{\%r}$ 、 $\beta_{\%t}$:半径方向及び接線方向の含水率1%に対する平均収縮率

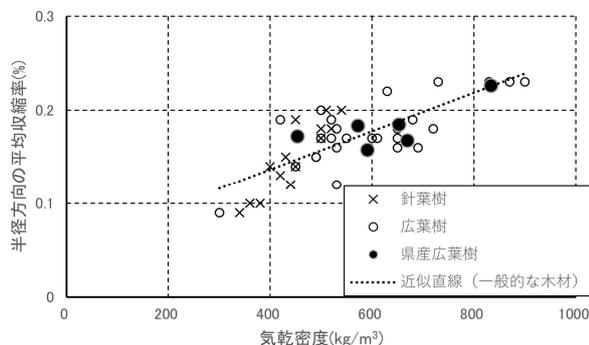


図-10 気乾密度と半径方向の含水率1%に対する平均収縮率の関係

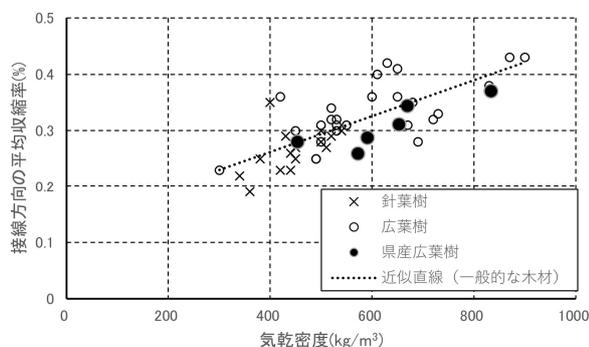


図-11 気乾密度と接線方向の含水率1%に対する平均収縮率の関係

IV まとめ

県産広葉樹6樹種について、利活用の基本となる材質特性の調査を行い、以下の結果を得た。

- (1) 曲げ試験の結果、文献値が確認できないフウ、ユリノキ以外の樹種(コナラ、クリ、オニグルミ、ホオノキ)は、既往の文献値よりも曲げ強さ、見かけの曲げヤング係数が高い値を示した。一般的な木材(国産樹種)と比較すると、気乾密度との関係において、曲げ強さは高い傾向を示したが、見かけの曲げヤング係数は同等であった。
- (2) 縦圧縮試験の結果、コナラの縦圧縮強さは既往の文献値と同等であったが、クリ、オニグルミ、ホオノキは文献値より高い値を示した。一般的な木材(国産樹種)と比較すると、気乾密度との関係において、縦圧縮強さは高い傾向を示した。
- (3) 表面硬さ(ブリネル硬さ)の測定では、コナラの板目面とクリの板目面および柁目面の表面硬さを除いて、オニグルミ、ホオノキの表面硬さは既往の文献値より高い値を示した。一般的な木材(国産樹種)と比較すると、気乾密度との関係において、木口面と板目面の表面硬さは同等の傾向を示したが、柁目面の表面硬さは低い傾向であった。
- (4) 収縮率の測定では、樹種により多少の上下はあるが、概ね文献値と同等の値であった。一般的な木材(国産樹種)と比較すると、気乾密度との関係において、半径方向における含水率1%に対する平均収縮率は同等の傾向を示したが、接線方向における平均収縮率は低い傾向を示した。
- (5) 今回試験を行った樹種の供試原木数が1~2本と少ないため、さらにデータを蓄積する必要がある。

引用文献

農林水産省 (2025) 令和6年木材統計
 日本規格協会 (2009) JIS Z 2101 木材の試験方法. 日本規格協会
 社団法人日本木材加工技術協会 (1983) 世界の有用木材 300種: 28~31.
 森林総合研究所監修 (2004) 改訂4版木材工業ハンドブック: 192~195.

ヒノキ大径丸太の樹幹内材質変動

野上 英孝, 古谷 優平

Variation of Wood Properties Within the Large Diameter Stem of Hinoki (*Chamaecyparis obtuse*)^{*1}Hidetaka NOGAMI, Yuhei FURUYA^{*2}

要 旨

野上英孝：ヒノキ大径丸太の樹幹内材質変動 岡山県農林水産総合センター森林研究所研報 40 : 16-48 (2026) 県内のヒノキ人工林は高齢級化とそれに伴う大径化が進み、今後、末口径 30cm 以上の丸太（以下、大径丸太）の供給量の増加が見込まれる。大径丸太からは、梁・桁などの大断面製材のみならず、ひき割・板類など様々な品目製造が可能であるが、ヒノキに関して、これらの木取りを検討する上で重要な、樹幹内における材質変動に関する知見が少ない。そこで本研究では、ヒノキ大径丸太から採取された無欠点小試験体を用い、物理的材質の樹幹内変動を調査した。

樹幹内放射方向における容積密度の変動は、髓付近で最も高く、樹皮側に向かって低下する傾向が認められ、曲げヤング係数、曲げ強度、縦圧縮強度も同様の変動傾向が認められる丸太が多いことから、無欠点小試験体において、密度が各種強度に及ぼす影響が大きいと考えられた。

キーワード：ヒノキ, 大径丸太, 無欠点小試験体, 樹幹内材質変動

I はじめに

岡山県は、民有林人工林面積の7割超をヒノキが占め、令和6年におけるヒノキ素材生産量は263千 m^3 で全国1位となっており（農林水産省, 2025）、国内有数のヒノキ生産県として知られている。一方、民有林における人工林蓄積のうち、主伐期である9齢級以上の蓄積が9割以上と高齢級化が進んでおり（岡山県林政課, 2025）、今後、ヒノキ大径丸太の供給量の増加が見込まれる。

大径丸太からは、梁・桁などの大断面製材のみならず、ひき割・板類など、様々な品目製造が可能であるが、これらの木取りを検討する上で、大径丸太内部における材質変動の把握が重要である。

国内人工林において比較的資源量が多いヒノキについては、主に未成熟材と成熟材の材質特性の違いや境界を明らかにするなどの視点から、樹幹内の組織構造と材質変動に関する研究が古くから行われ（例えば、渡辺ら, 1963, 1964; 深沢, 1967; 太田, 1972）、これまでに様々な知見が報告されているが、ヒノキに関する報告は極めて少ない。

本研究では、材質的な合理性に裏付けられた大径丸太の木取り検討などに資する実用的な知見を得ることを目的に、ヒノキ大径丸太の樹幹内における物理的材質変動を調査した。

II 材料と方法

本研究では、岡山県北部の共販所へ元玉として出荷されたヒノキ大径丸太（3mあるいは4m材）を52本調達し供試した。

各丸太の年輪数、みかけの密度、縦振動法による動的ヤング係数などの測定を行った後、図1に示すように、各丸太の両木口面からそれぞれ約300mm内側の位置で厚さ30mmの円盤を採取し、円盤の髓から樹皮方向に連続して、厚さ20mm×幅20mm×長さ30mmの無欠点小試験体を作製し、全乾法により含水率を、浮力法により容積密度を求めた。

次に、円盤を採取した後の丸太中央部から、厚さ40mmの柁目板を採取し、末口側、中央部、元口側で3等分し、20℃・65%RH 雰囲気下で含水率12%程度に調整後、板の髓から樹皮方向に連続して、厚さ20mm×幅20mm×長さ400mmと厚さ20mm×幅20mm×長さ60mmの無欠点小試験体を作製し、それぞれ曲げ試験と縦圧縮試験（JIS Z 2101に準拠）に供した。なお、各種強度値の試験体含水率による補正は行っていない。

III 結果と考察

1 供試丸太の諸元

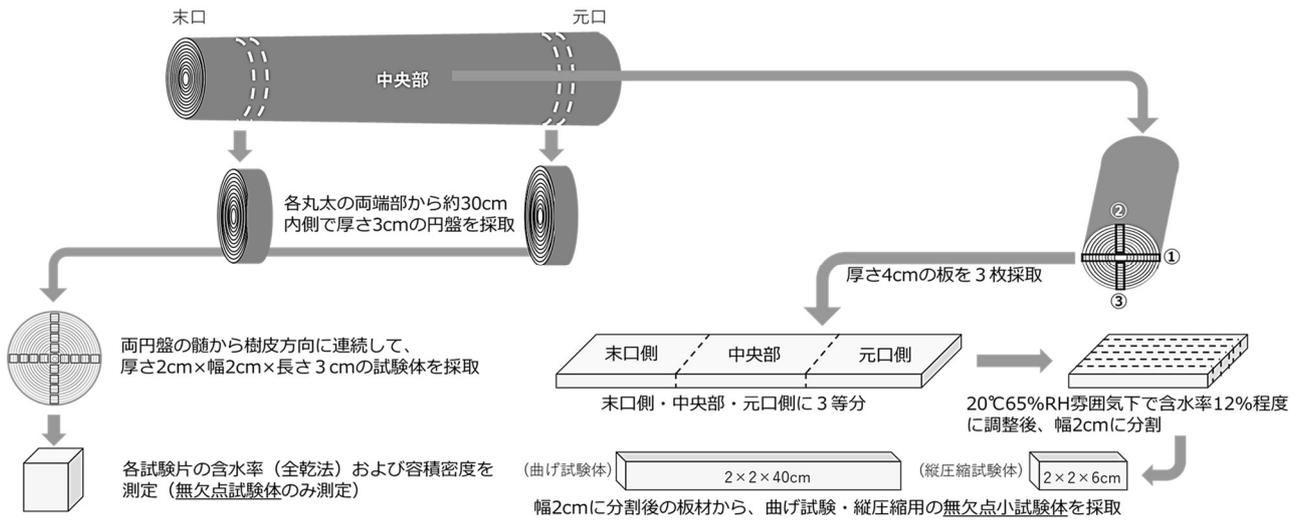


図1 各種試験体の丸太からの採取方法

供試されたヒノキ大径丸太 52 本の諸元を表 1 に示す。平均年輪数（最小値～最大値）は 63（45～94），末口の平均直径（最小値～最大値）は 33.8cm（30.6～42.2cm）であった。縦振動法によるヤング係数（以下、Efr）の平均値（最小値～最大値）は、9.6kN/mm²（6.8～12.2kN/mm²）であり、過去に調査（野上ら，2008）したヒノキ小径（末口径 14cm 未満），柱適寸（末口径 14cm 以上，20cm 未満），中径（末口径 20cm 以上，30cm 未満）丸太それぞれの Efr に比較して大きくないことがわかった（表 2）。

2 含水率と容積密度の樹幹内変動

含水率の丸太横断面内半径方向における変動を図 2 に示す。髄から約 100mm 以内の範囲では，含水率 40% 弱で安定推移し，丸太間のばらつきも小さいが，髄から約 100mm を超えた範囲では樹皮側に向けて増加し，丸太間のばらつきも大きくなる結果となった。

一般的に針葉樹における生材含水率は，スギの黒心やトマツの水くい材などの例外を除き，心材で低く辺材で高い（小田，2007）ことが知られており，本研究の供試丸太においても同様の傾向が確認された。また，生材含水率は心材では季節を通してほとんど変化しないが，辺材では変動する（小田，2007）。今回の供試丸太は，異なる季節を跨いで複数回に分けて調達したことから，辺材部の含水率における丸太間のばらつきは，この季節変動も影響しているものと考えられる。

なお，丸太長さ方向における比較では，元口側と末口側で，含水率の平均値や横断面内半径方向における変動傾向に差が認められなかった（図 2 左）。

一方，容積密度は図 3 に示すように髄付近で最も高く，樹皮側に向かって低下し，髄から約 100mm を超えた範囲では安定する傾向が認められた。

密度の樹幹放射方向の変動には樹種特有のパターン

表 1 供試丸太の諸元

n=52	年輪数	元口直径 (mm)	末口直径 (mm)	みかけの密度 (kg/m ³)	Efr [*] (kN/mm ²)
平均値	63	395	338	655	9.6
(最小値)	(45)	(340)	(306)	(479)	(6.8)
(最大値)	(94)	(530)	(422)	(854)	(12.2)

※縦振動法によるヤング係数

表 2 径級区分別の丸太 Efr (kN/mm²) の比較

径級区分 (n)	小径 (30)	柱適寸 (50)	中径 (45)	大径 (52)
平均値	11.3	11.6	10.2	9.6
(最小値)	(8.2)	(7.6)	(7.0)	(6.8)
(最大値)	(13.3)	(17.1)	(12.7)	(12.2)
標準偏差	1.2	1.8	1.4	1.2

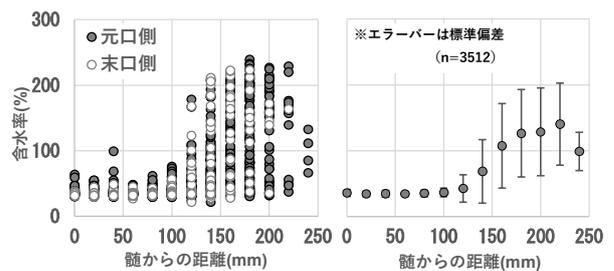


図 2 丸太横断面内半径方向における含水率の変動 (左：全データ，右：平均値)

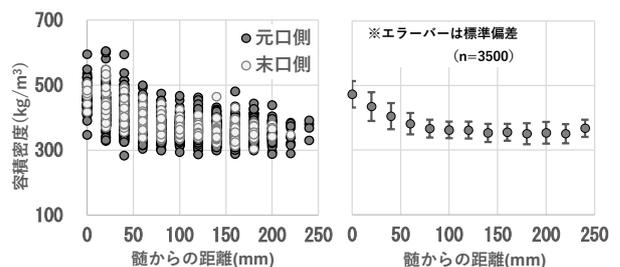


図 3 丸太横断面内半径方向における容積密度の変動 (左：全データ，右：平均値)

があり、多くの樹種では樹心部で低く、外周に向かって増加し、その後安定するが、スギ、ヒノキでは逆に、樹心部で高く外周に向かって低下し、やがて安定する(小田, 2007)とされており、本研究の供試丸太にお

いても同様の傾向が確認された。なお、この含水率と容積密度の変動傾向は、各丸太の元口側と末口側のいずれにおいてもそれぞれ同様であった。

なお、丸太長さ方向における比較では、元口側と末

表3 丸太内の長さ方向に異なる部位から採取した無欠点小試験体の各種強度試験結果

試験体採取部位	曲げ試験体					縦圧縮試験体			
	n	気乾密度 (kg/m ³)	みかけの曲げヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	含水率 (%)	n	気乾密度 (kg/m ³)	縦圧縮強度 (N/mm ²)	含水率 (%)
末口側	913	440 (39)	9.79 (1.3)	81.5 (9.3)	11.2 (1.5)	1,086	446 (38)	44.1 (6.5)	11.2 (1.4)
中央部	929	438 (38)	9.74 (1.4)	81.1 (8.9)	11.3 (1.7)	1,134	444 (37)	43.5 (6.3)	11.3 (1.8)
元口側	994	442 (35)	9.59 (1.5)	80.6 (8.9)	11.4 (1.6)	1,188	446 (41)	42.9 (6.4)	11.3 (1.6)
全体	2,836	440 (36)	9.70 (1.4)	81.0 (8.9)	11.3 (1.6)	3,408	445 (38)	43.5 (6.4)	11.3 (1.7)

※カッコ内は標準偏差

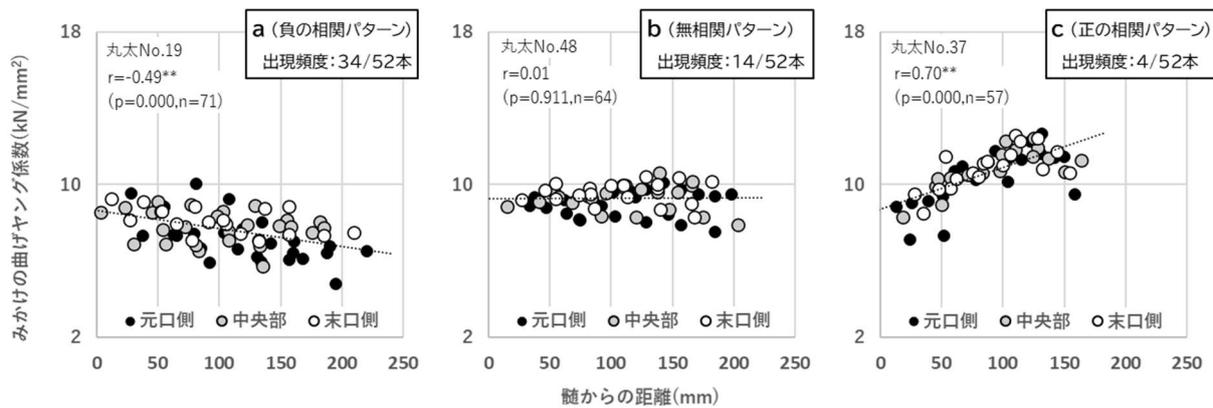


図4 丸太横断面内半径方向におけるみかけの曲げヤング係数の変動パターン(一例)と出現頻度

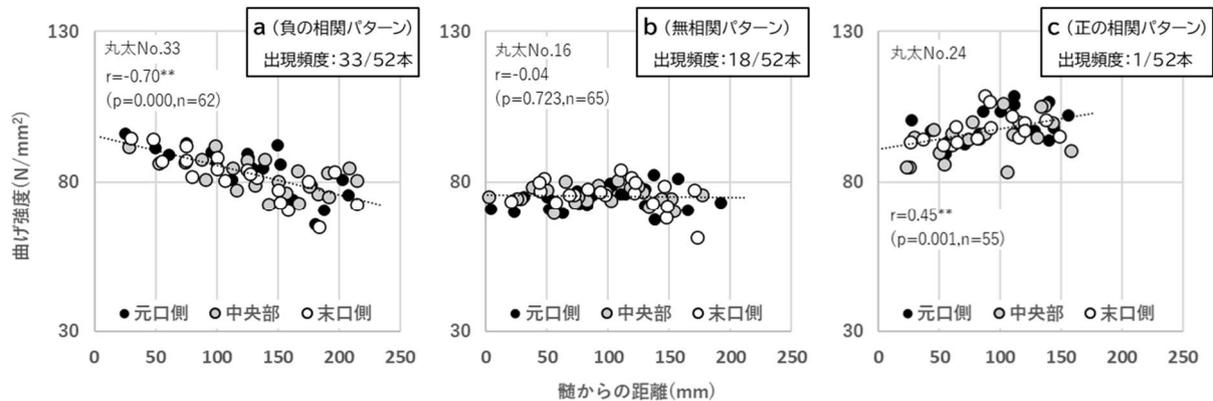


図5 丸太横断面内半径方向における曲げ強度の変動パターン(一例)と出現頻度

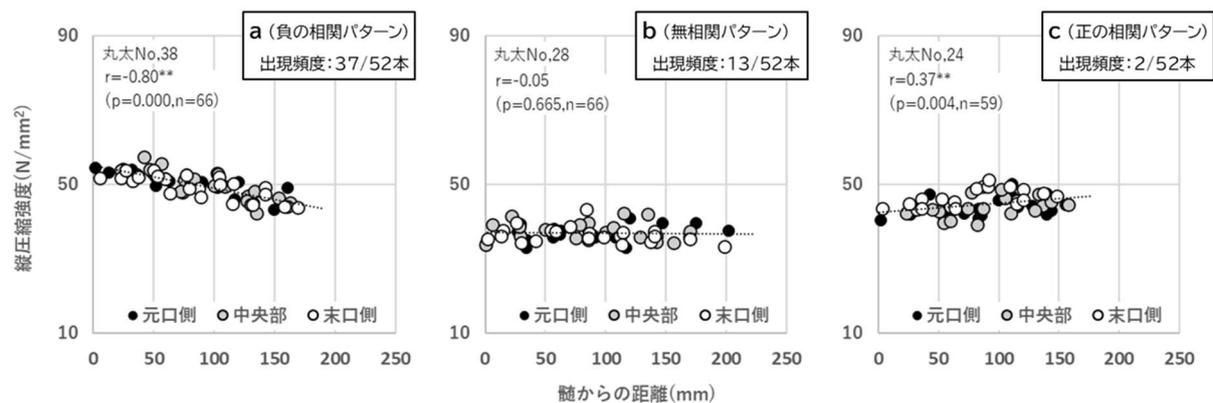


図6 丸太横断面内半径方向における縦圧縮強度の変動パターン(一例)と出現頻度

口側で、容積密度の平均値や横断面内半径方向における変動傾向に差が認められなかった（図 3 左）。

3 各種強度の樹幹内変動

各丸太から採取した無欠点小試験体の各種強度などの平均値をそれぞれ表 3 に示す。丸太長さ方向における採取位置（元口側、中央部、末口側）における各種平均値には差が認められなかった。なお、全試験体の平均値は、みかけの曲げヤング係数・曲げ強度・縦圧縮強度でそれぞれ、 9.70kN/mm^2 、 81.0N/mm^2 、 43.5N/mm^2 となり、文献（森林総合研究所、2004）におけるヒノキの各平均値である 9.0kN/mm^2 、 75N/mm^2 、 40N/mm^2 を上回っていた。

みかけの曲げヤング係数の丸太横断面内半径方向における変動の一例を図 4 に示す。有意水準 5%において、髄からの距離との間に負の相関が認められる丸太（図 4-a）が 34 本と大半を占め、次いで相関が認められない丸太（図 4-b）が 14 本と多く、正の相関が認められる丸太（図 4-c）が 4 本と最も少ない結果となった。

次に、曲げ強度および縦圧縮強度の丸太横断面内半径方向における変動の一例をそれぞれ図 5,6 に示す。みかけの曲げヤング係数と同様、有意水準 5%において、髄からの距離との間に負の相関が認められる丸太（図 5,6-a）が最も多く、次いで相関が認められない丸太（図 5,6-b）が多く、正の相関が認められる丸太（図 5,6-c）が最も少ない結果となった。なお、丸太長さ方向における比較では、元口側・中央部・末口側のいずれにおいても、各種強度の平均値や横断面内半径方向における変動傾向に差が認められなかった。（図 4～6）。

木材の力学的性質は、密度とマイクロフィブリル傾角（以下、MFA）に大きく左右され、密度と強度との間には正の、MFA と強度との間には負の相関関係があり、MFA は樹心部で大きく、髄からの年輪数が増加するにつれて減少し、その後安定することが知られている（小田、2007）。従って、樹心部で密度が高いスギ、ヒノキでは、樹心部の高い密度が強度値を増大させるものの、大きい MFA が強度を低減させるため、樹心部と外周部との強度値には大差がない（小田、2007）とされているが、スギについては、例えば、永井らの調査（永井ら、1988）に見られるように、髄から樹皮方向に向かう一定範囲では曲げヤング係数が上昇する報告も多い。一方、本研究におけるヒノキ大径丸太の横断面内半径方向に連続採取した無欠点小試験体において、曲げヤング係数の変動を見てみると、先述のとおり、髄付近で最も高く、樹皮側に向かって漸減する傾向が認められる丸太が多く、密度の変動傾向と一致した。そこで、各種強度値から密度の影響を除いた比強度（強度値／密度）について、比曲げヤング係数の丸

太横断面内半径方向における変動の一例を図 7 に示す。有意水準 5%において、髄からの距離との間に負の相関が認められる丸太（図 7-a）が 13 本、相関が認められない丸太（図 7-b）が 25 本、正の相関が認められる丸太（図 7-c）が 14 本となり、先述の曲げヤング係数における出現割合から変化し、相関の認められない丸太の出現割合が最も多くなった。また、この出現割合の変化は比曲げ強度と比縦圧縮強度においても同様であった（図 8,9-a～c）。ヒノキ樹幹内における材質変動に関する調査報告は少ないが、井道らはヒノキ大径丸太から採取された心去り製材品の髄側と樹皮側から採取した無欠点小試験体の各種強度を比較し、樹皮側から採取した試験体よりも髄側から採取した試験体の方が大きいことが、比強度で比較するとほぼ差異が認められなくなることを報告（井道ら、2012）しており、本研究は、この報告を支持する結果となった。

以上のことから、今回供試したヒノキ大径丸太横断面内半径方向における強度の変動には、MFA よりも密度が大きく影響していることが推察されるが、今回、MFA に関する直接・間接的な測定は実施していないため、今後、MFA の樹幹内変動傾向についても把握した上で、より詳細な検討を加えたい。

なお、先述のように、MFA は樹心部で大きく、髄からの年輪数が増加するにつれて減少し、その後安定することが知られており、密度の影響を除いて MFA の影響をより強く反映すると考えられる比強度は、スギでは髄から樹皮方向に向かう一定範囲で上昇し、その後安定する場合が多いことから、比ヤング係数や比強度を用いて未成熟材と成熟材の境界を定める手法が各種提案されている（渡辺ら、1964；塩倉、1982；田戸岡ら、2005）。本研究においても、比強度が正の相関を示す変動パターンにおいては、髄から樹皮方向に向かつて上昇する領域とその後安定する領域の境が現れていると認識できるものも多い（V 参考データ参照）が、全体的には無相関と負の相関を示す変動パターンが大半を占めるため、ヒノキにおいて、この手法により未成熟材と成熟材の境界を定めることは困難であると考えられる。

IV まとめ

今後、供給量の増加が予想されるヒノキ大径丸太について、材質的な合理性に裏付けられた製材木取りの検討などに資する実用的な知見を得ることを目的とし、ヒノキ大径丸太の樹幹内における物理的材質変動を調査した。

末口径 30cm 以上のヒノキ大径丸太 52 本を供試し、丸太の髄から樹皮方向に連続して採取した無欠点小試験体の含水率・容積密度・みかけの曲げヤング係数・

曲げ強度・縦圧縮強度の丸太樹幹内変動を測定し、以下の結果を得た。

含水率については、丸太横断面内半径方向における変動は、髓から約 100mm 以内の範囲では 40%弱で安定推移し、丸太間のばらつきも小さいが、髓から約 100mm を超えた範囲では樹皮側に向けて増加し、丸太間のばらつきも大きくなった。丸太長さ方向における比較では、元口側と末口側で、含水率の平均値や横断面内半径方向における変動傾向に差が認められなかった。

容積密度については、丸太横断面内半径方向における変動は、髓付近で最も高く、樹皮側に向かって低下

し、髓から約 100mm を超えた範囲では安定する傾向が認められた。丸太長さ方向における比較では、元口側と末口側で、容積密度の平均値や横断面内半径方向における変動傾向に差が認められなかった。

みかけの曲げヤング係数、曲げ強度および縦圧縮強度の丸太横断面内半径方向における変動は、髓から樹皮側に向かって低下するもの、明確な変動が認められないもの、上昇するものの3パターンが存在したが、髓から樹皮側に向かって低下するものが大半を占め、次いで明確な変動が認められないものが多く、上昇するものが最も少ない結果となった。丸太長さ方向における比較では、元口側・中央部・末口側のいずれにお

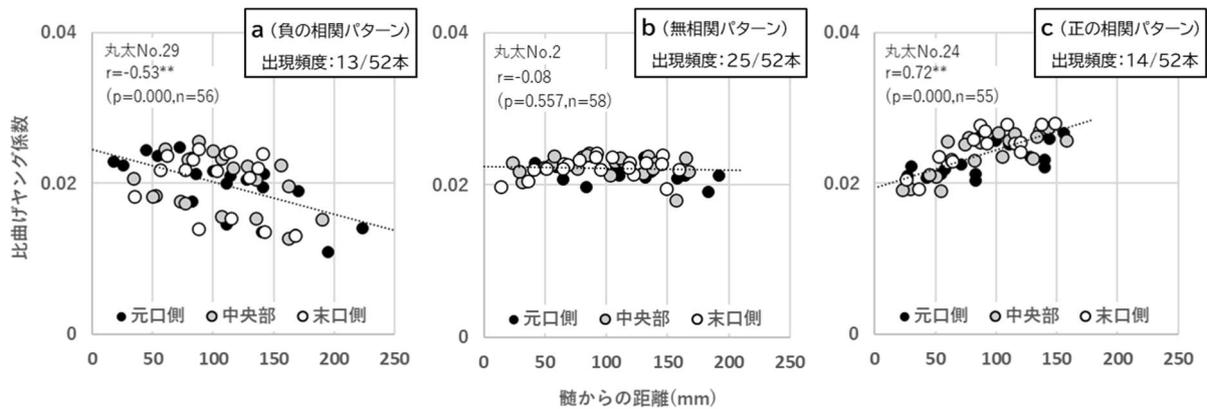


図7 丸太横断面内半径方向における比曲げヤング係数の変動パターン（一例）と出現頻度

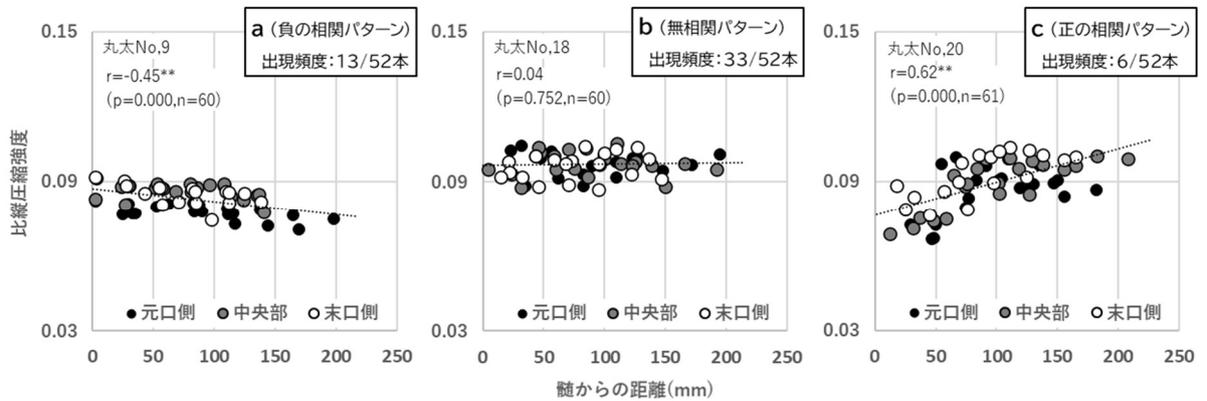


図8 丸太横断面内半径方向における比曲げ強度の変動パターン（一例）と出現頻度

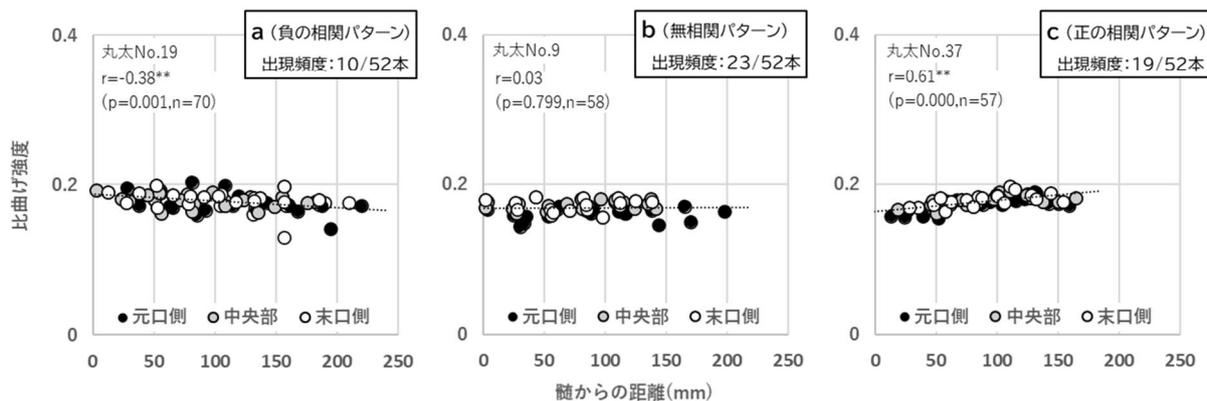


図9 丸太横断面内半径方向における比縦圧縮強度の変動パターン（一例）と出現頻度

いても、各種強度の平均値や横断面内半径方向における変動傾向に差が認められなかった。

一方、各種強度値から密度の影響を除いた比強度（強度値／密度）について、丸太横断面内半径方向における変動を見てみると、曲げヤング係数、曲げ強度、縦圧縮強度ともに明確な変動が認められないものが最も多くなり、先述の各種強度における変動傾向の出現割合が変化したことから、密度が各種強度に及ぼす影響が大きいと考えられた。

V 参考データ

各丸太から採取した無欠点小試験体の強度試験において得られた全データをp22-48に図で示す（それぞれ左から無欠点小試験体の気乾密度、強度、比強度、気乾密度と強度との関係を示す）。

VI 引用文献

農林水産省（2025），令和6年木材統計

岡山県農林水産部林政課（2025），岡山県の森林資源

渡辺治人，堤 寿一，小島敬吾（1963）未成熟材に関する研究（第1報），スギ樹幹についての実験，木材学会誌 Vol.9, No.6:225-230

渡辺治人，堤 寿一，松本 昴，太田貞明（1964）未成熟材に関する研究（第2報），スギ樹幹内の比圧縮強度と比圧縮ヤング率の分布，木材学会誌 Vol.10, No.4:125-130

深沢和三（1967）スギ樹幹内の材質変動に関する研究，産地を異にする木材樹幹の未成熟材などの区分とその材質特徴，岐阜大学農学部研究報告 25号:47-127

太田貞明（1972）スギ・ヒノキ樹幹内における未成熟材の力学特性に関する基礎的研究，九州大学演習林報告 45，1-80

野上英孝，見尾貞治（2008）ヒノキラミナの強度性能評価，各種径級の原木と得られるラミナの Efr の関係一，平成 20 年岡山県木材加工技術センター業務報告書:26-29

小田一幸（2007）生物材料としての特徴，日本木材学会編“木質の物理”，文永堂出版:9-13

森林総合研究所（2004）“木材工業ハンドブック”，改訂4版，森林総合研究所監修，丸善:192-195

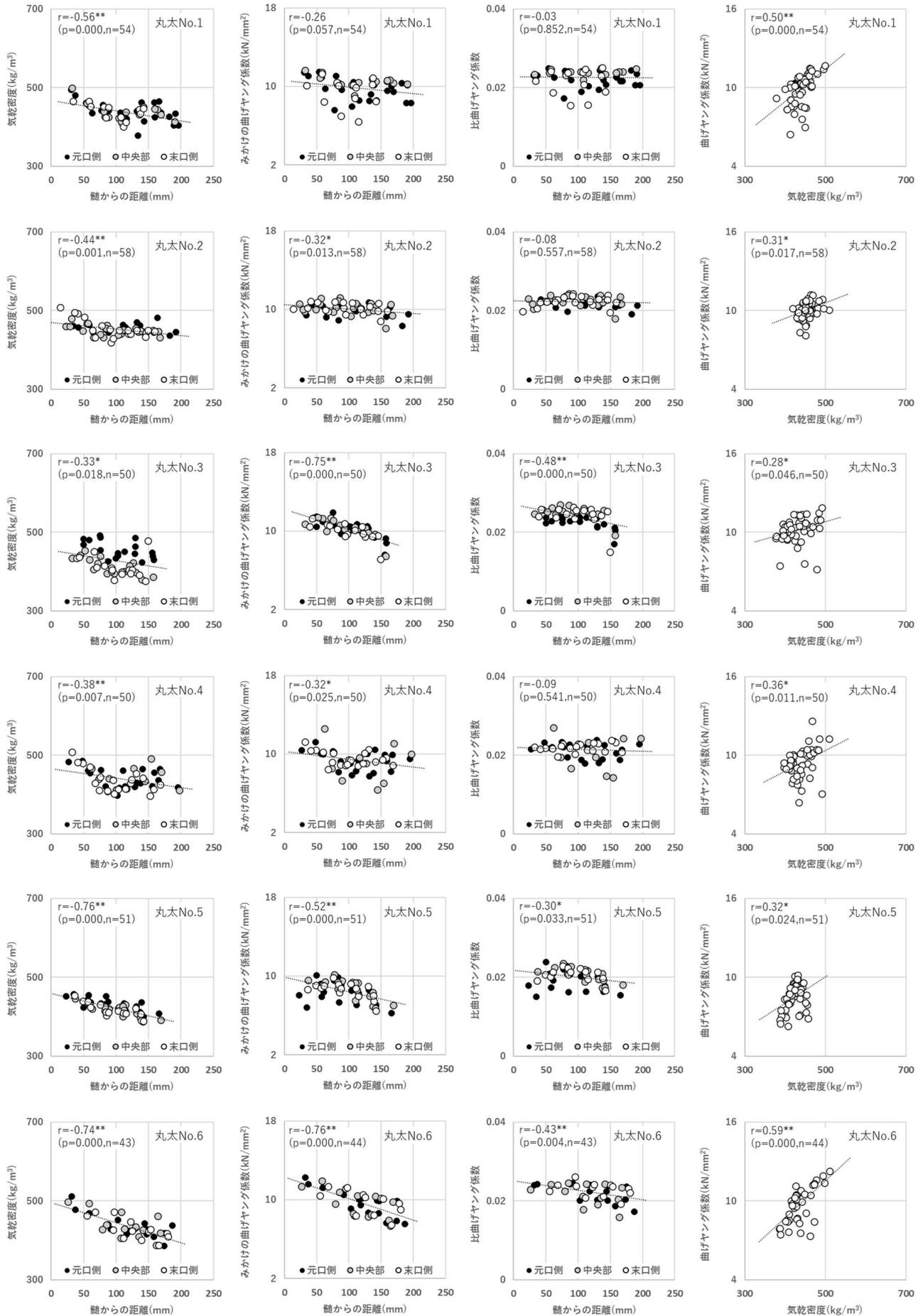
永井 智，山田範彦，山田直也，前田雅量（1988）兵庫県内産スギ材の材質（I），年輪幅・容積密度・ヤング率および比ヤング率の樹幹内変動，兵庫県立森林・林業技術センター研究報告第 45 号:17-29

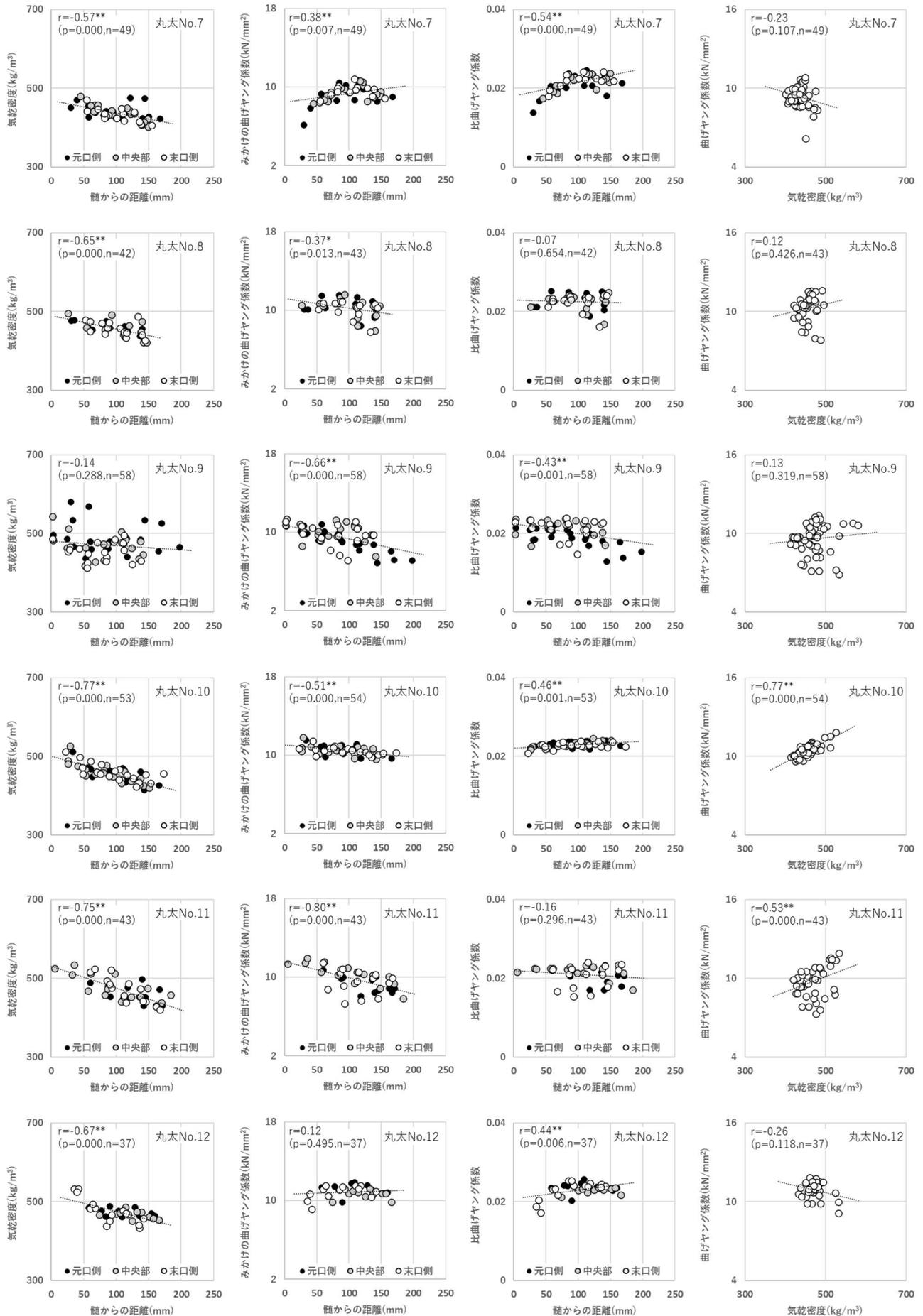
井道裕史，長尾博文，加藤英雄（2012）大径丸太から採取された心去りヒノキ製材品および無欠点小試験体の強度性能，森林総合研究所研究報告 Vol.11, No.3:121-133

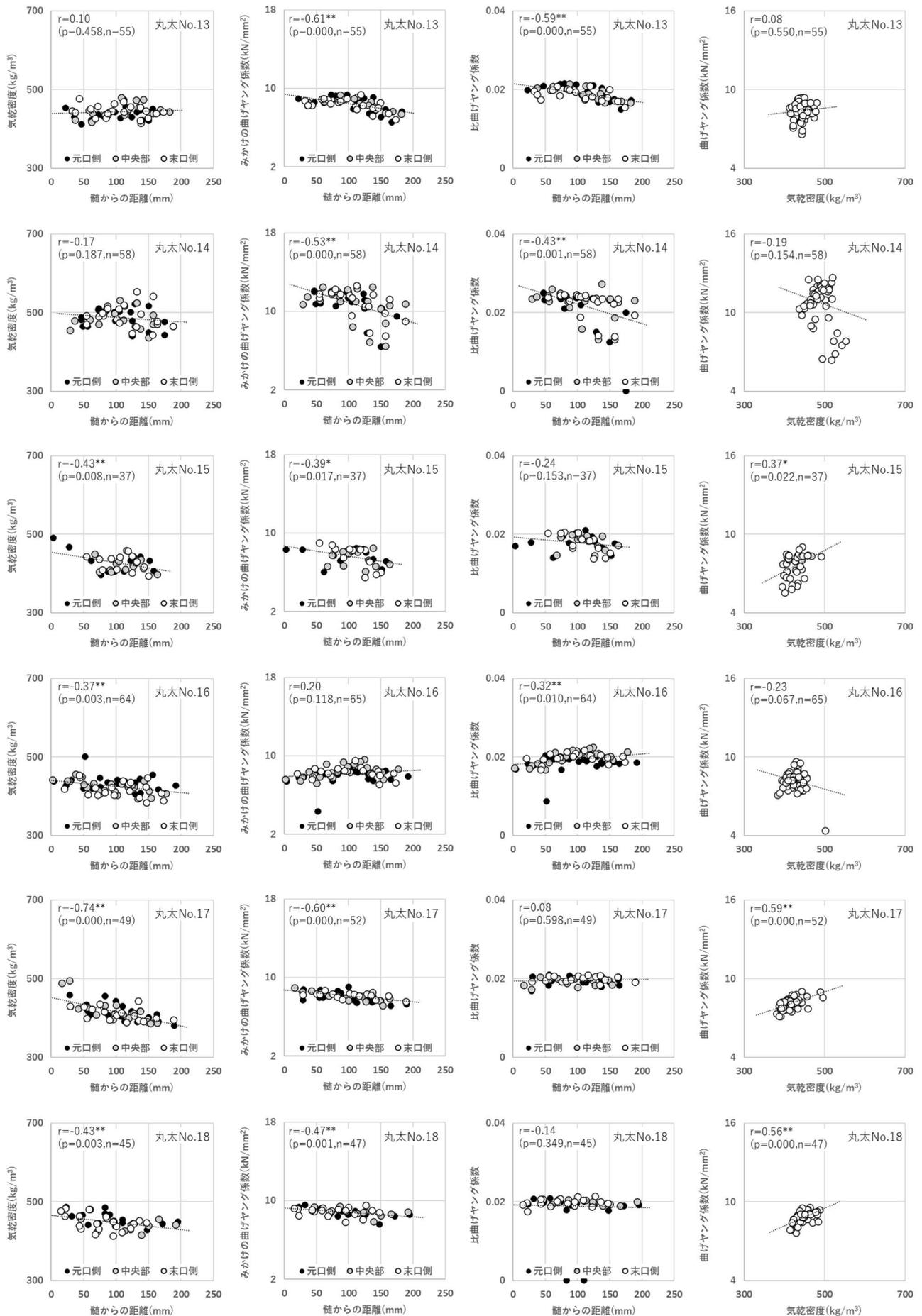
塩倉高義（1982），針葉樹幹材における未成熟材の区分とその範囲，木材学会誌 Vol.28.No.2:85-90

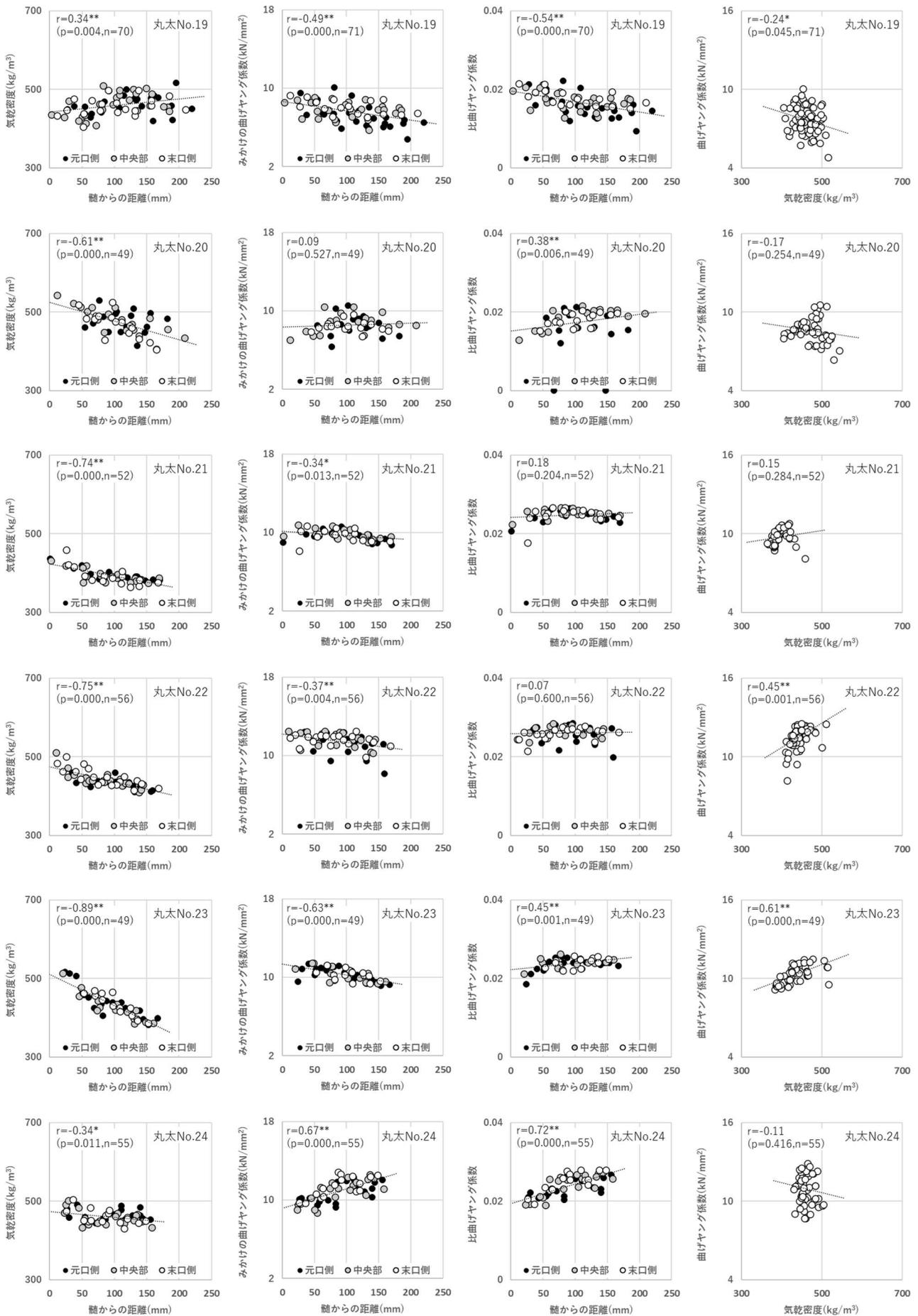
田戸岡尚樹，小泉章夫，朱 健軍（2005）スギの組織構造及び力学的特性の樹幹内変動，北海道大学演習林研究報告第 62 巻第 1 号:15-30

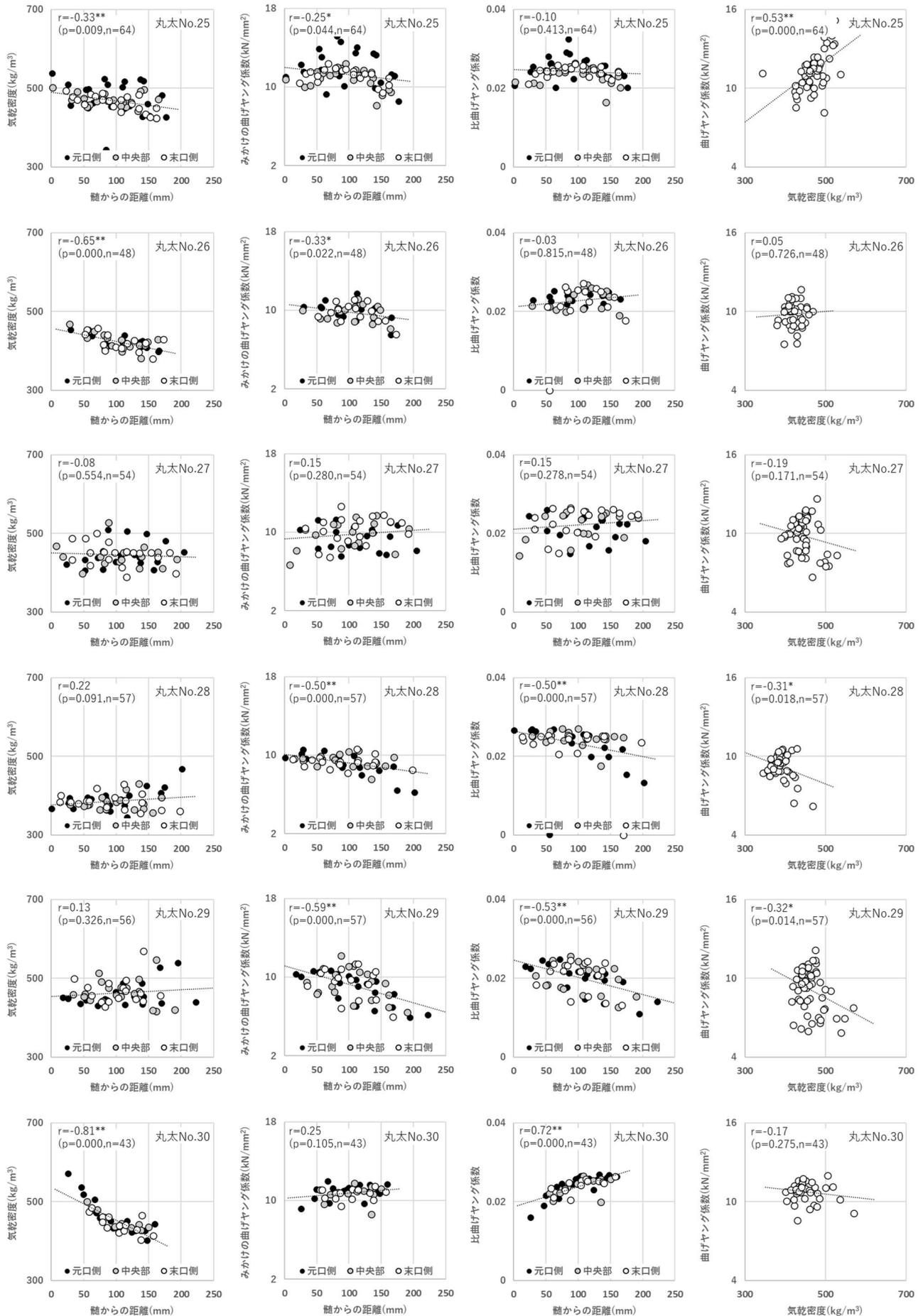
V-a 曲げヤング係数

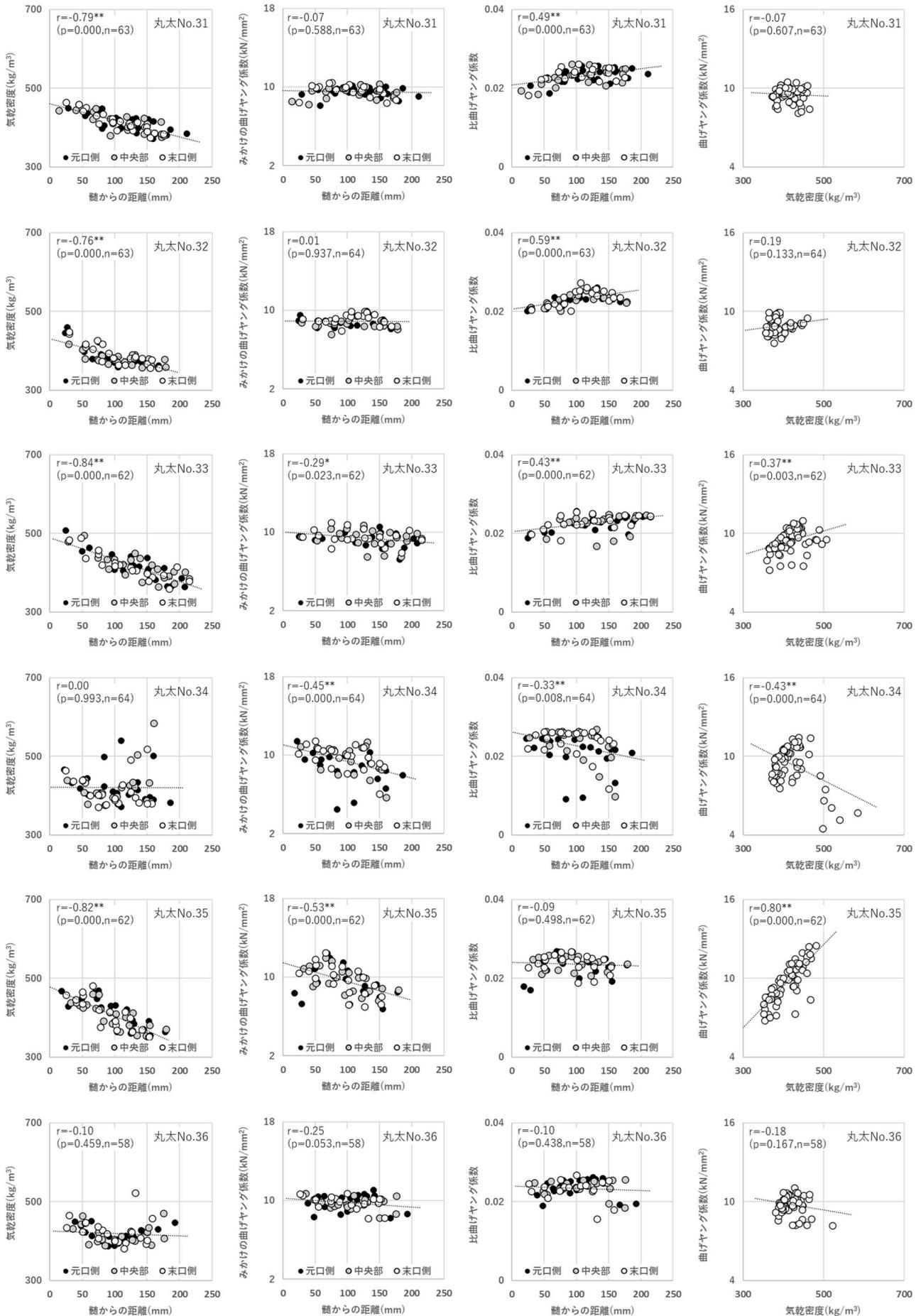


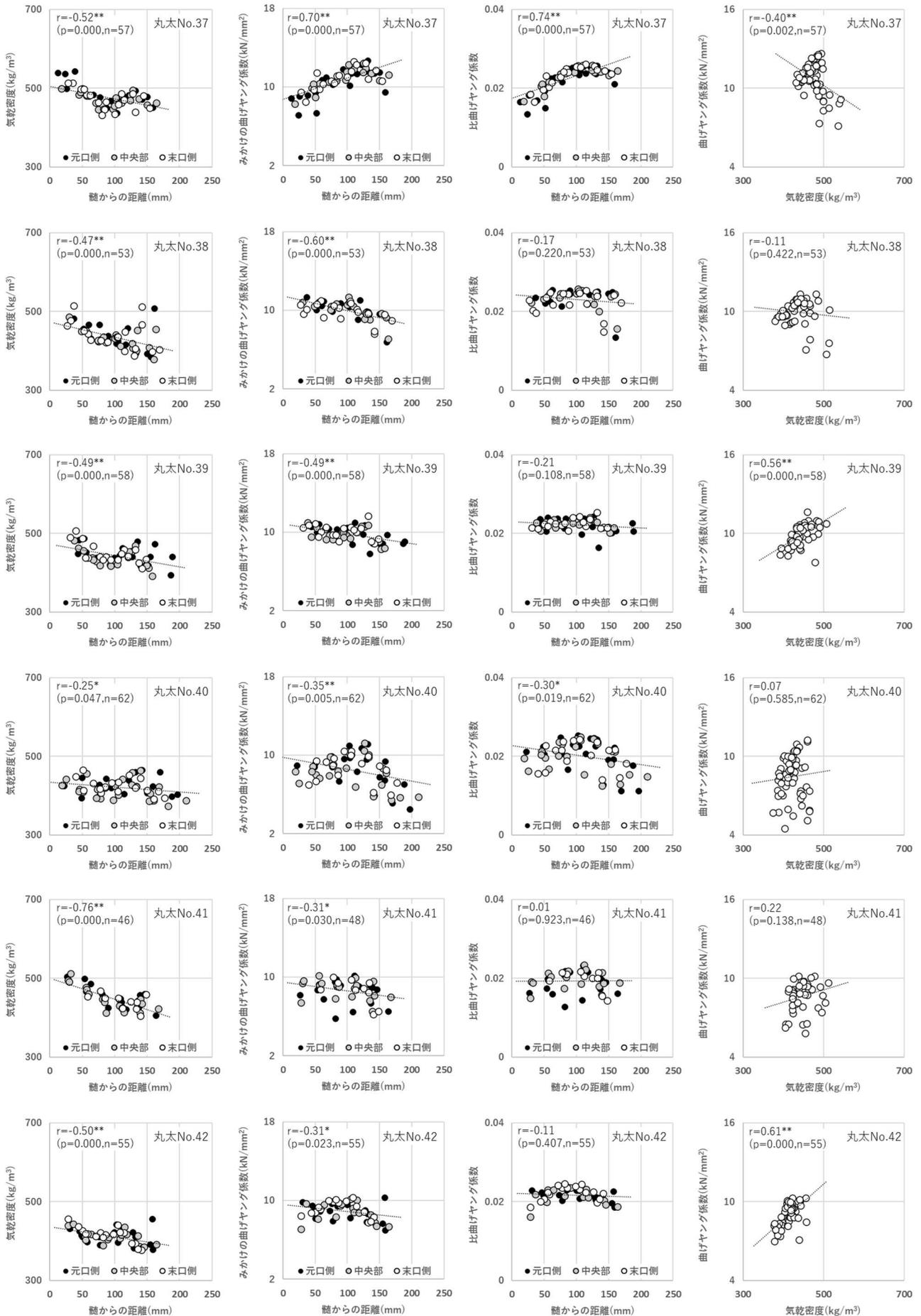


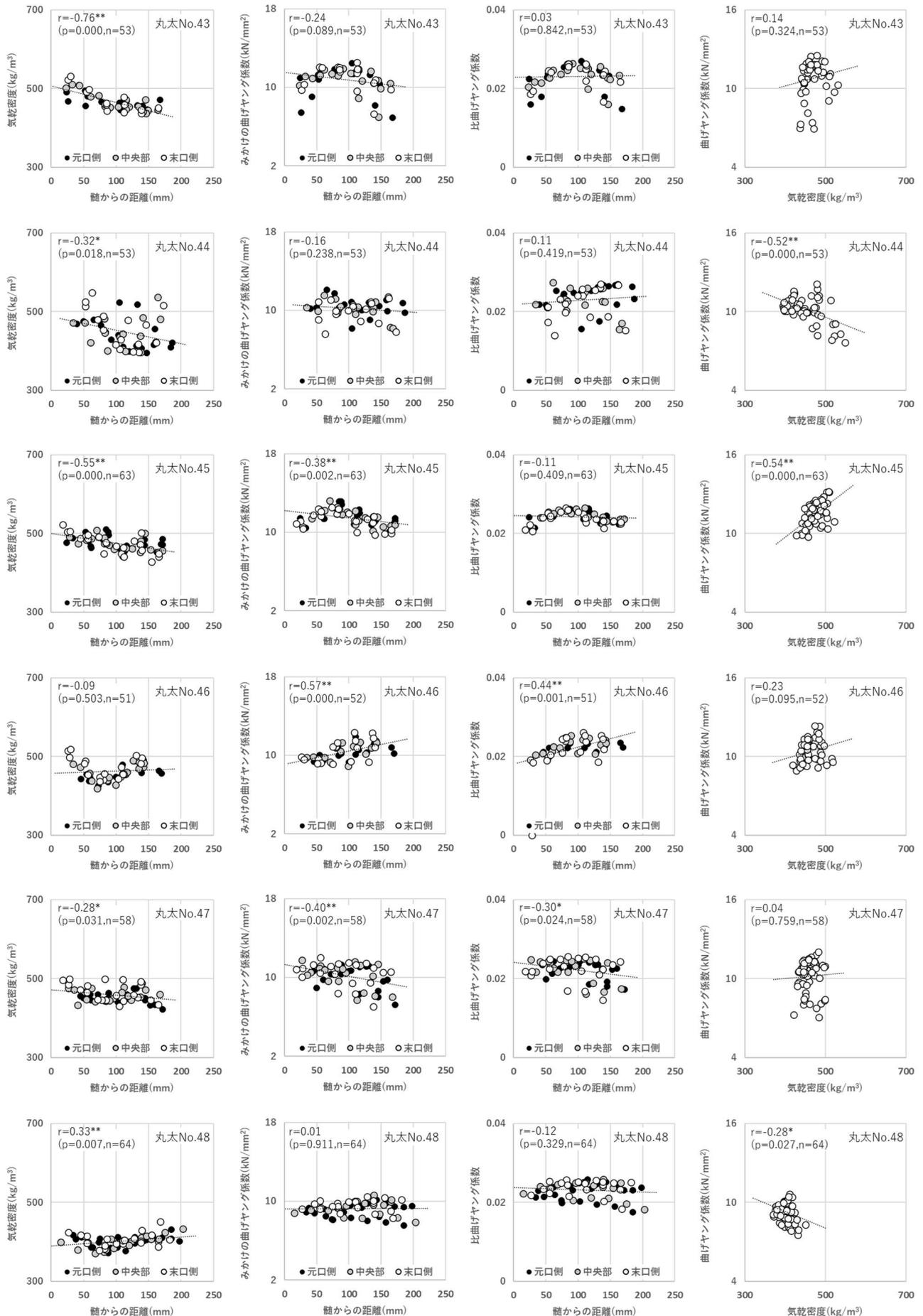


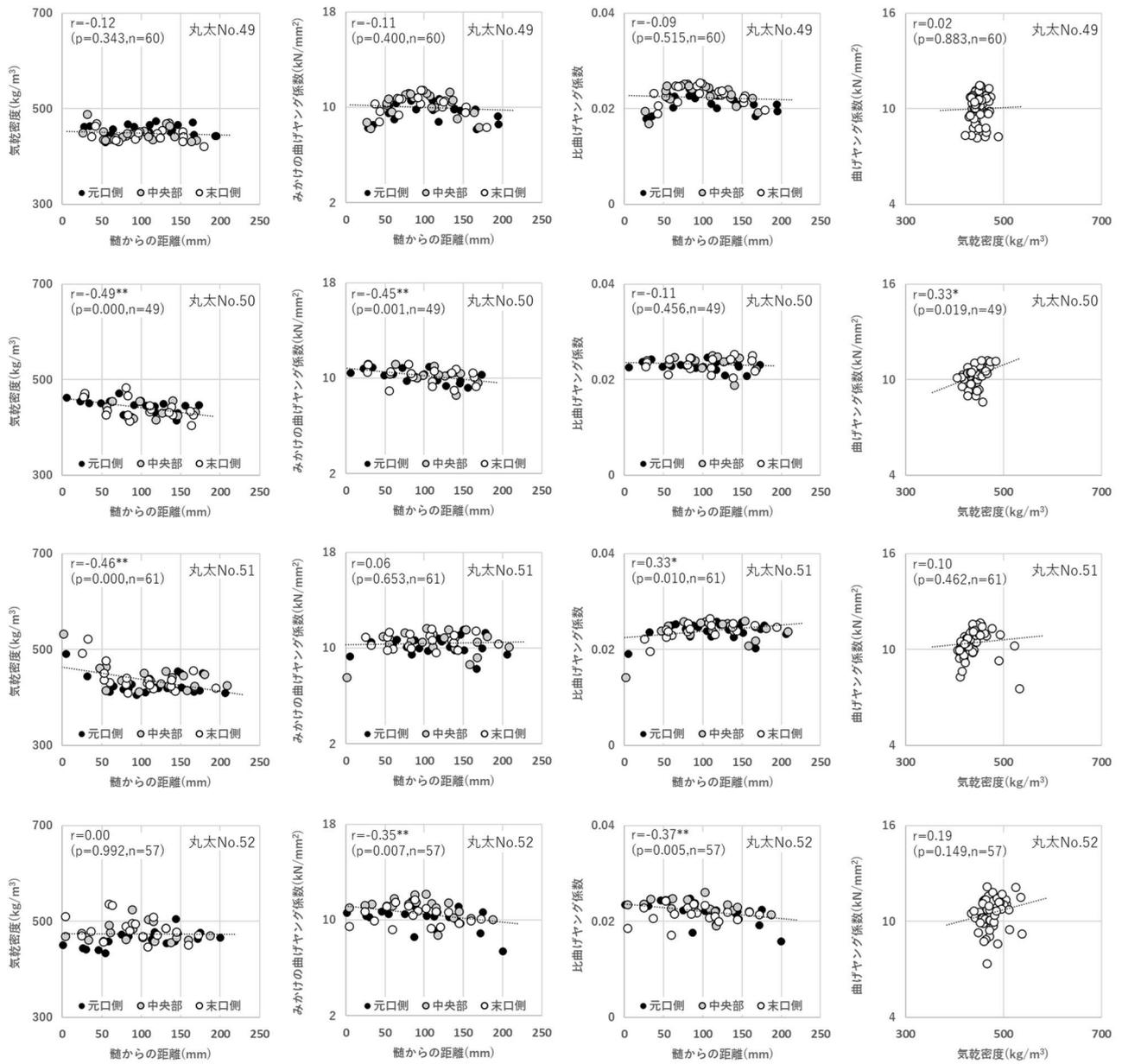




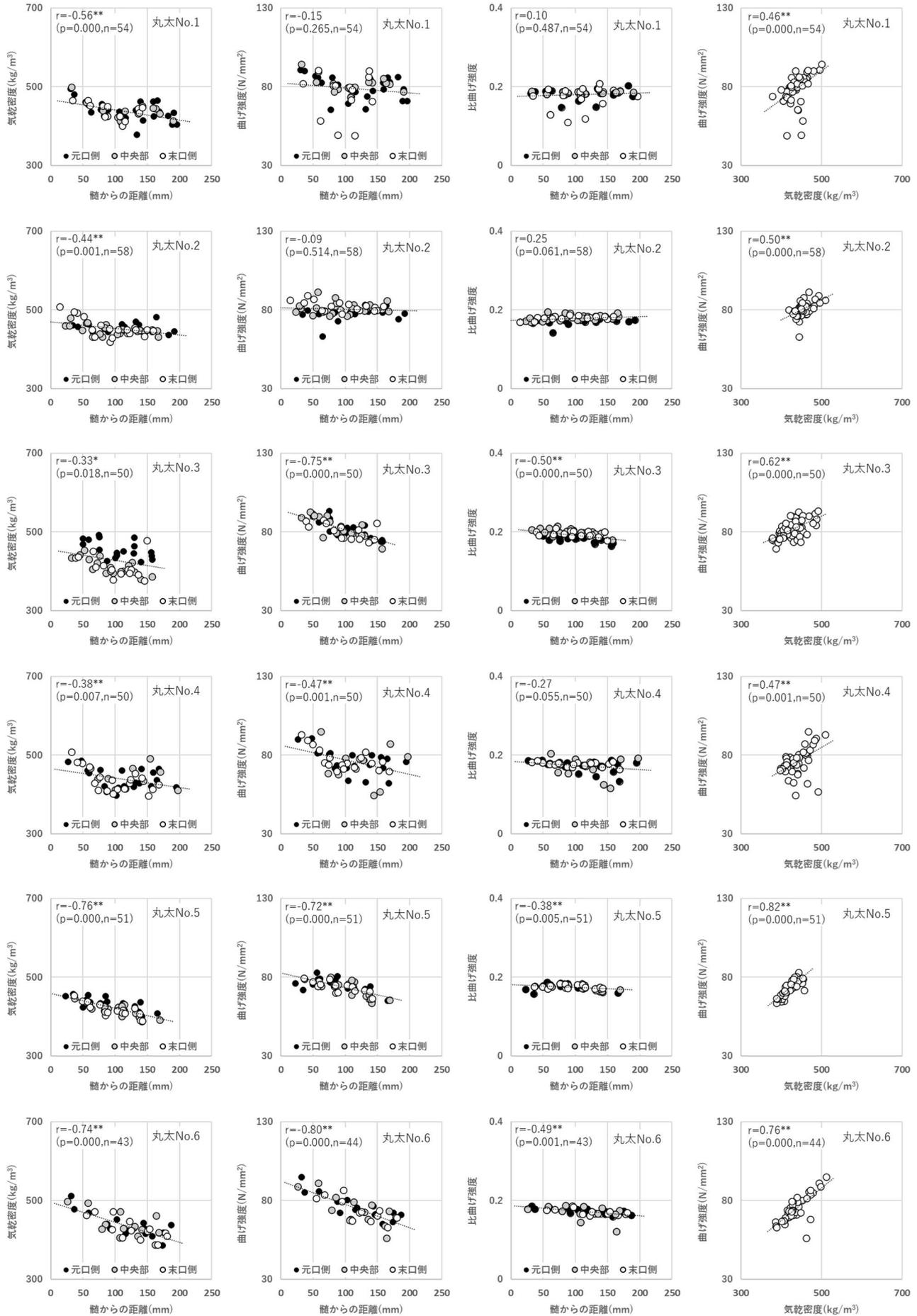


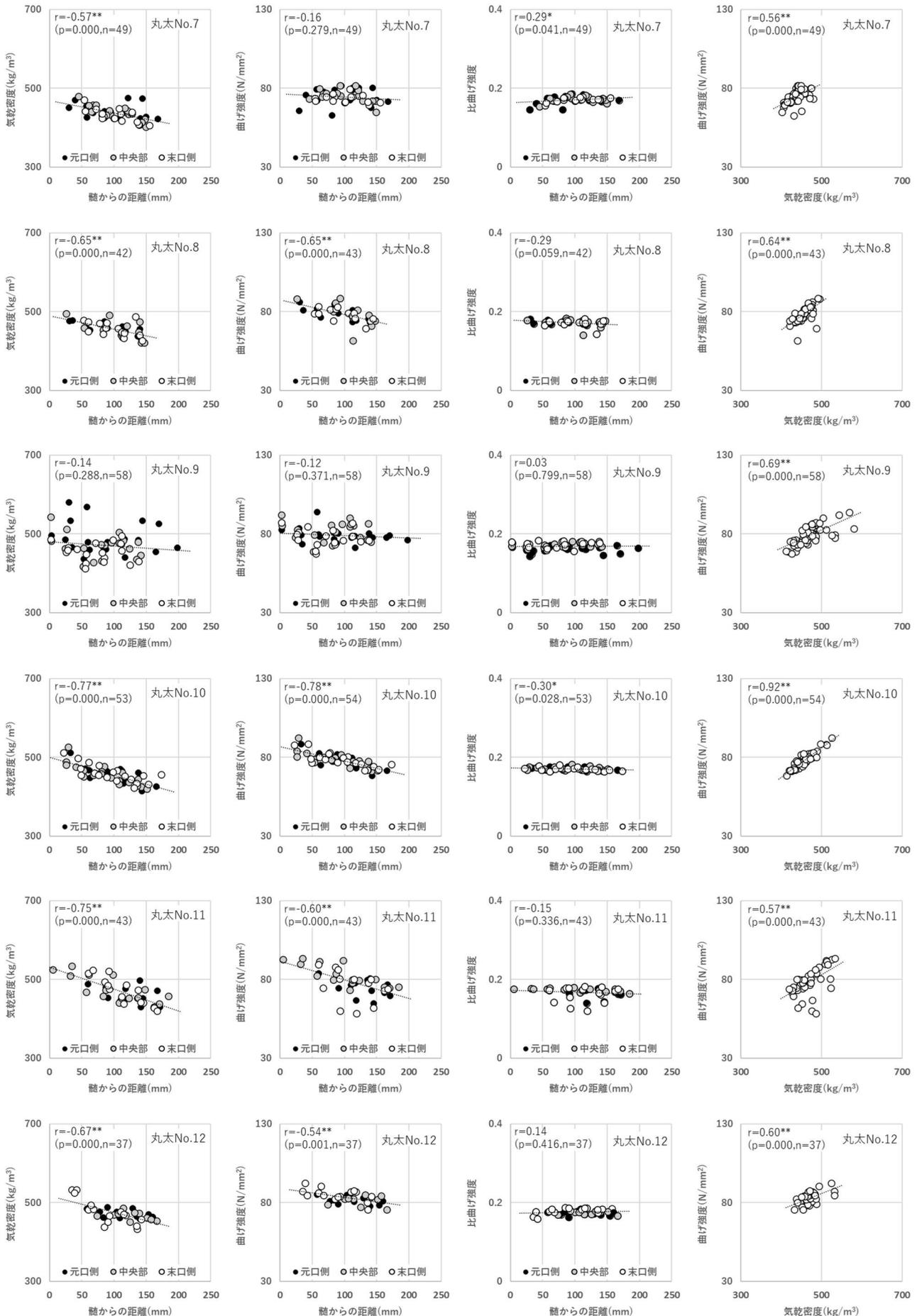


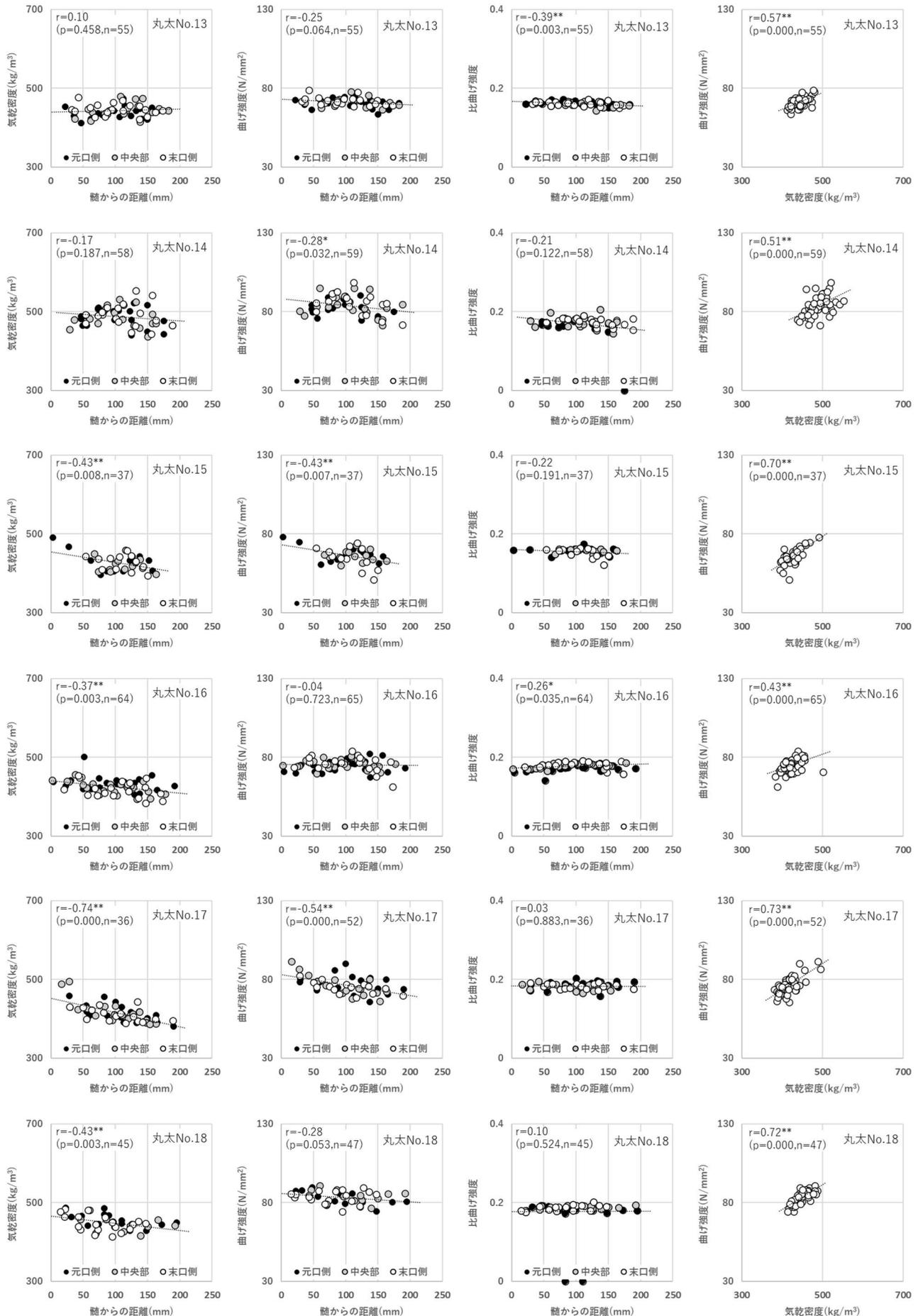


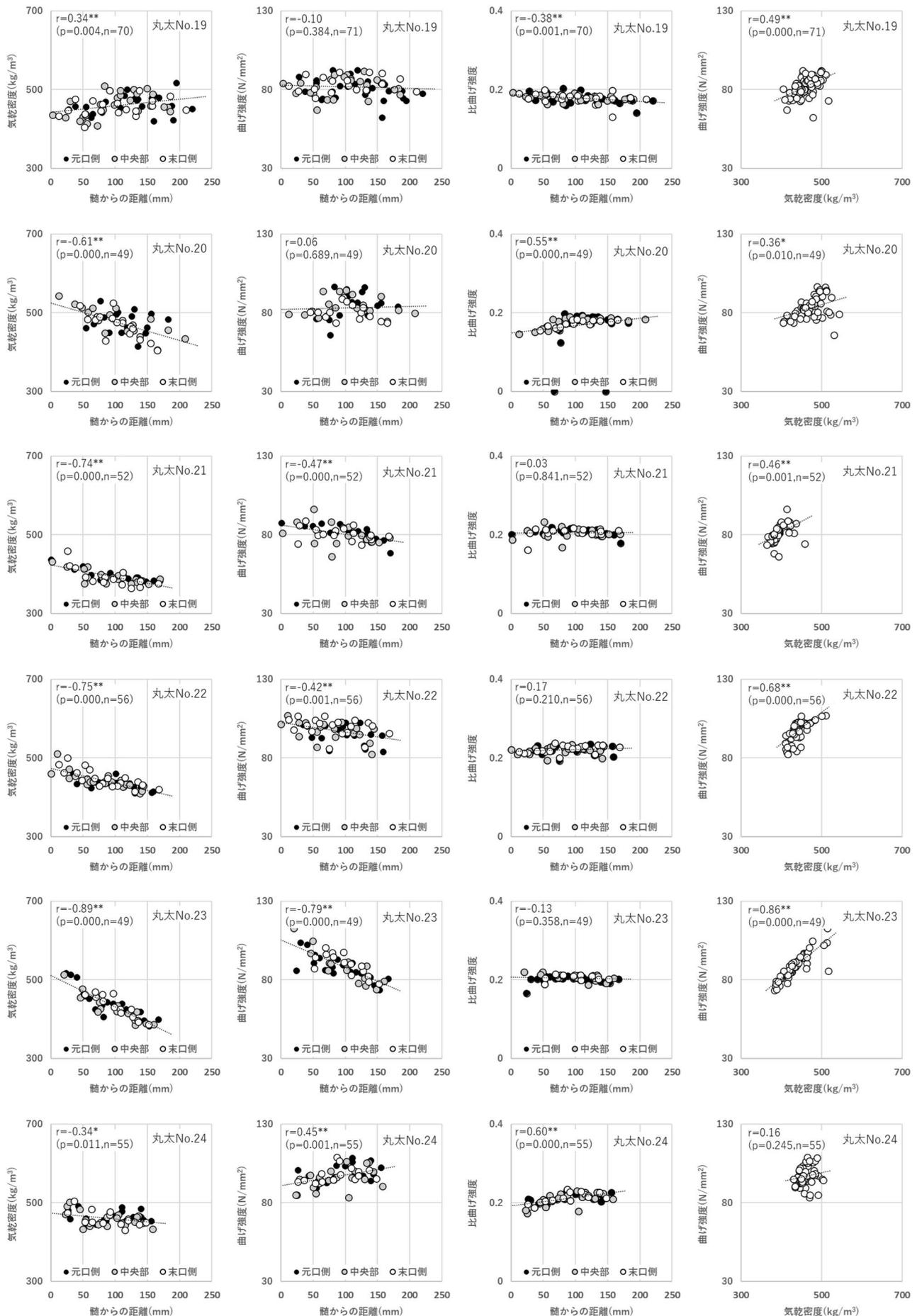


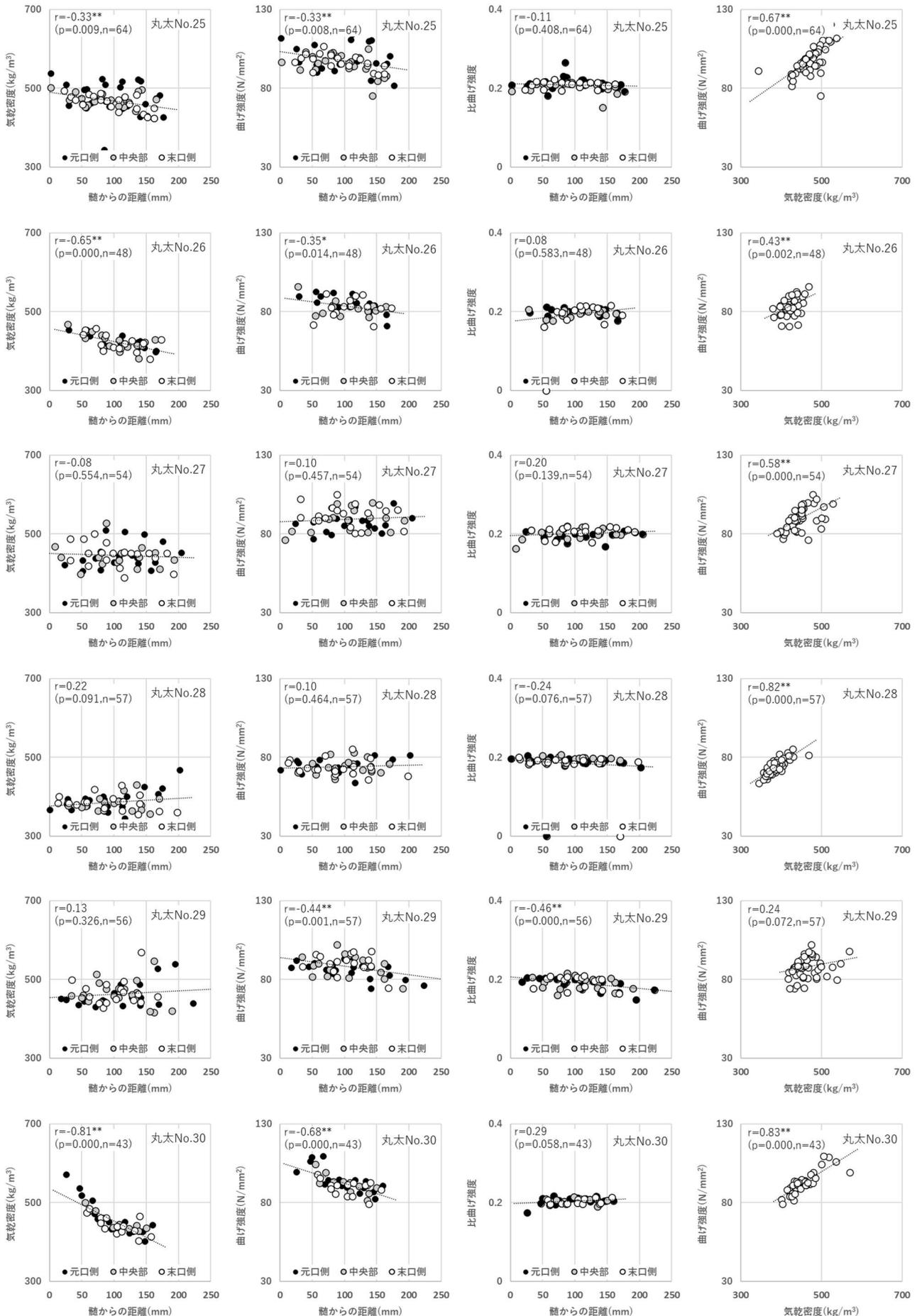
V-b 曲げ強度

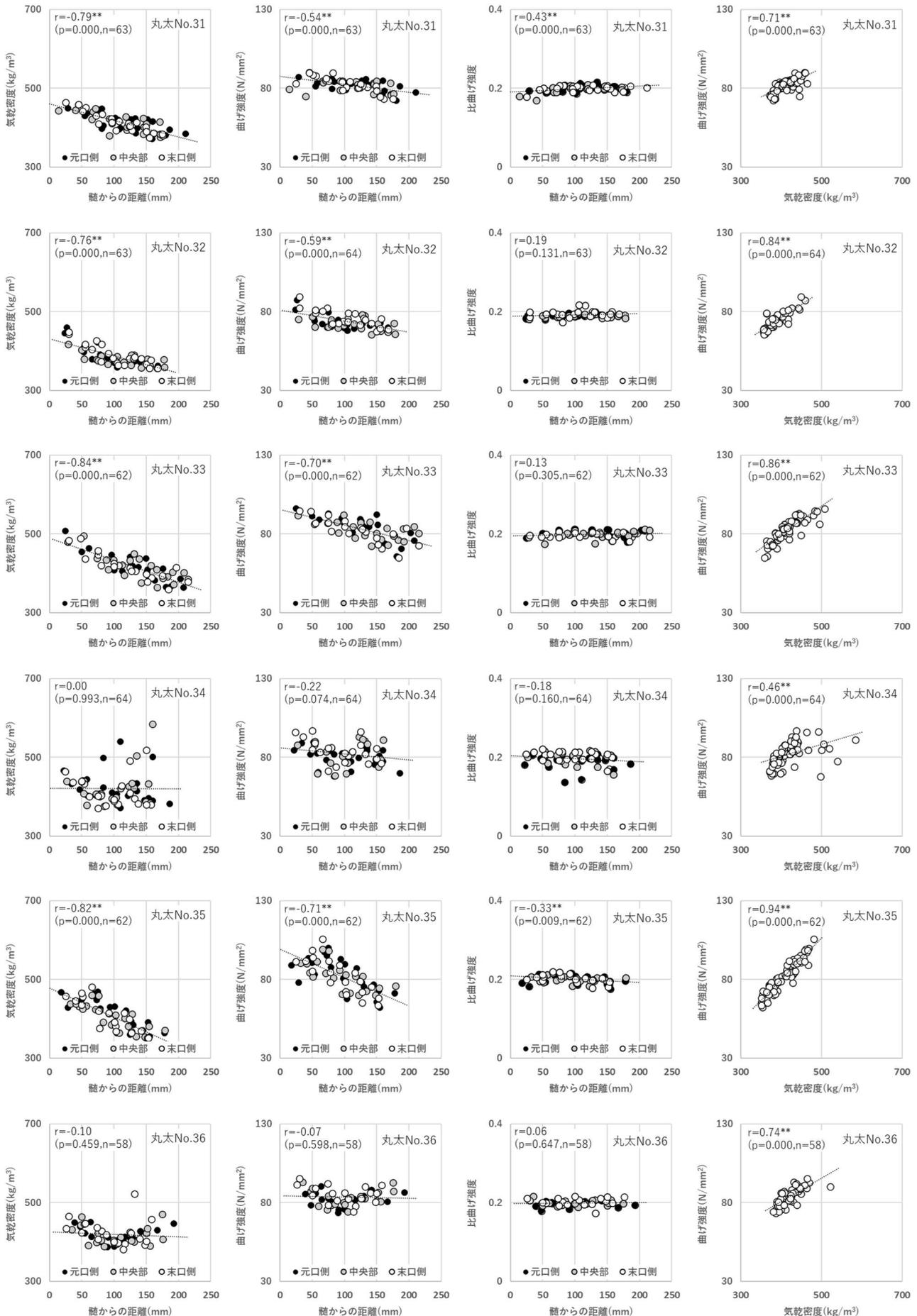


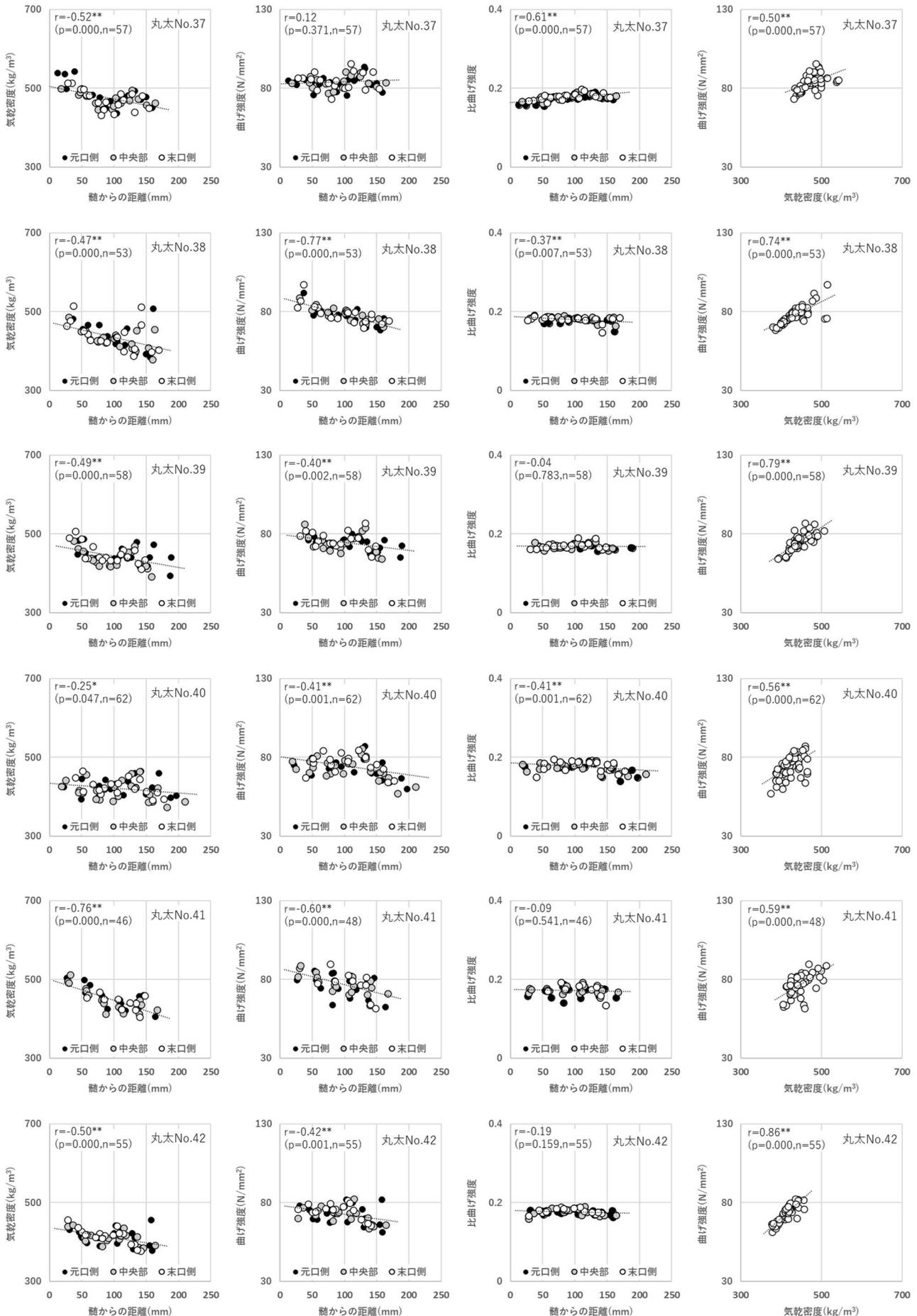


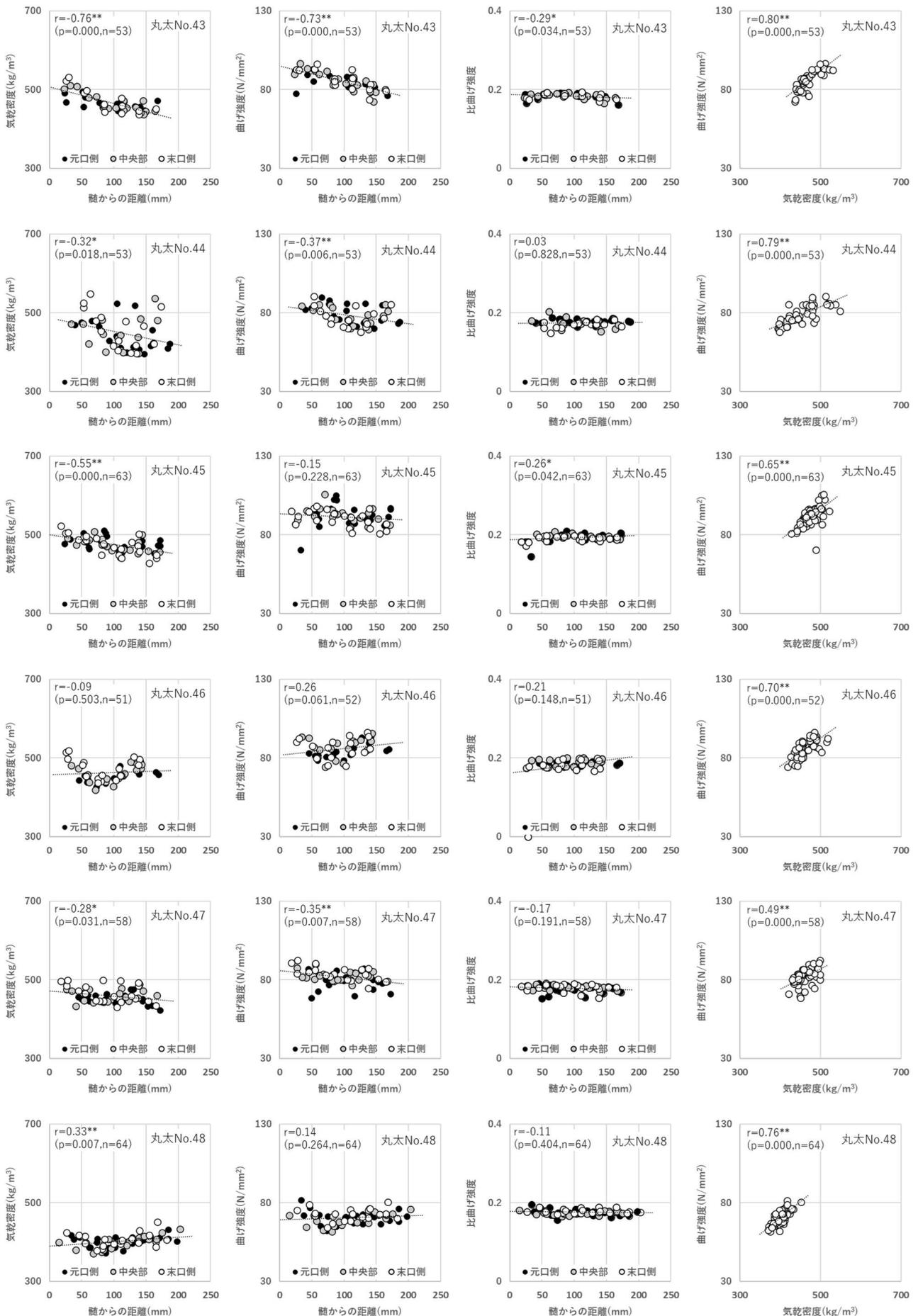


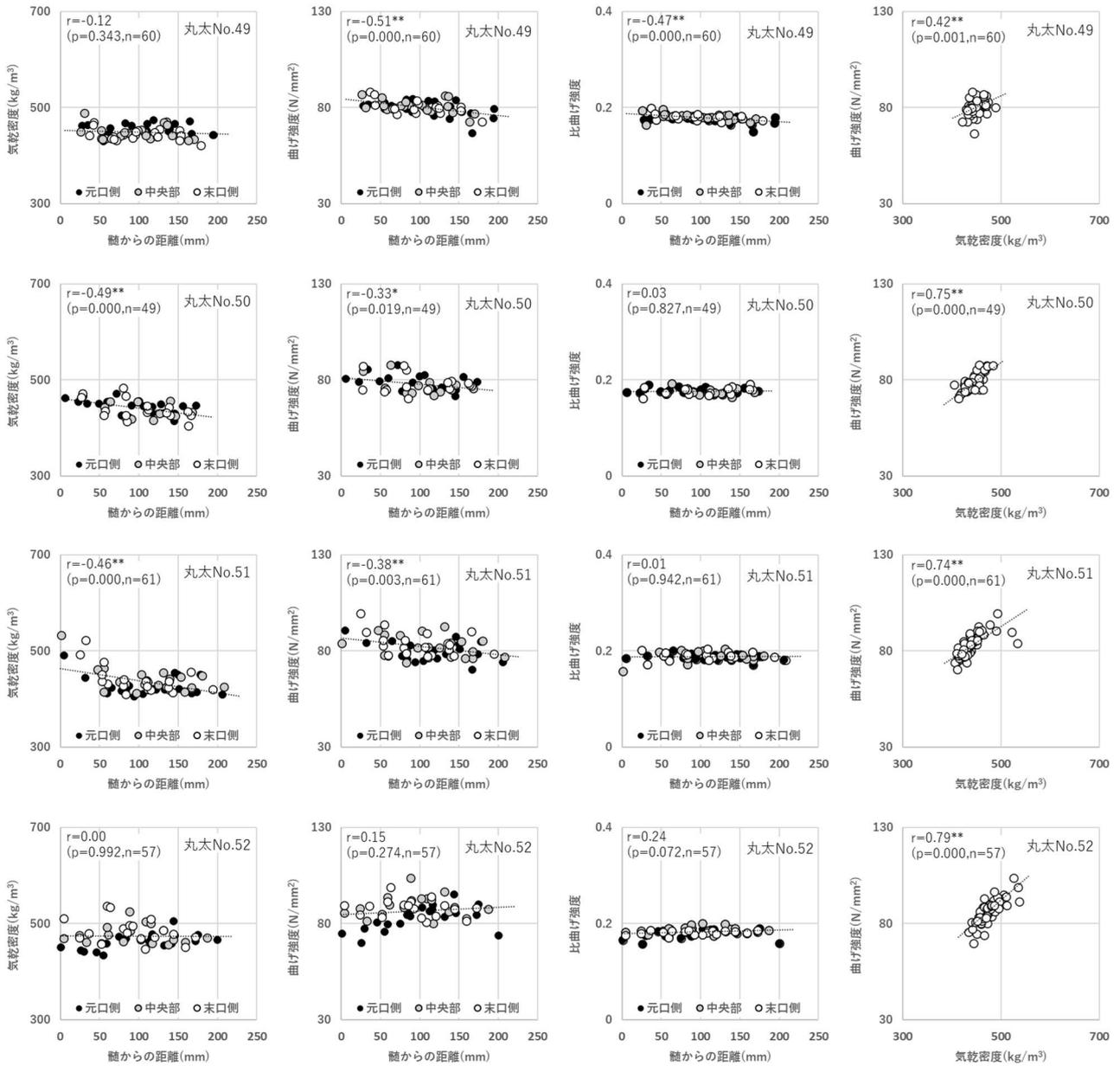




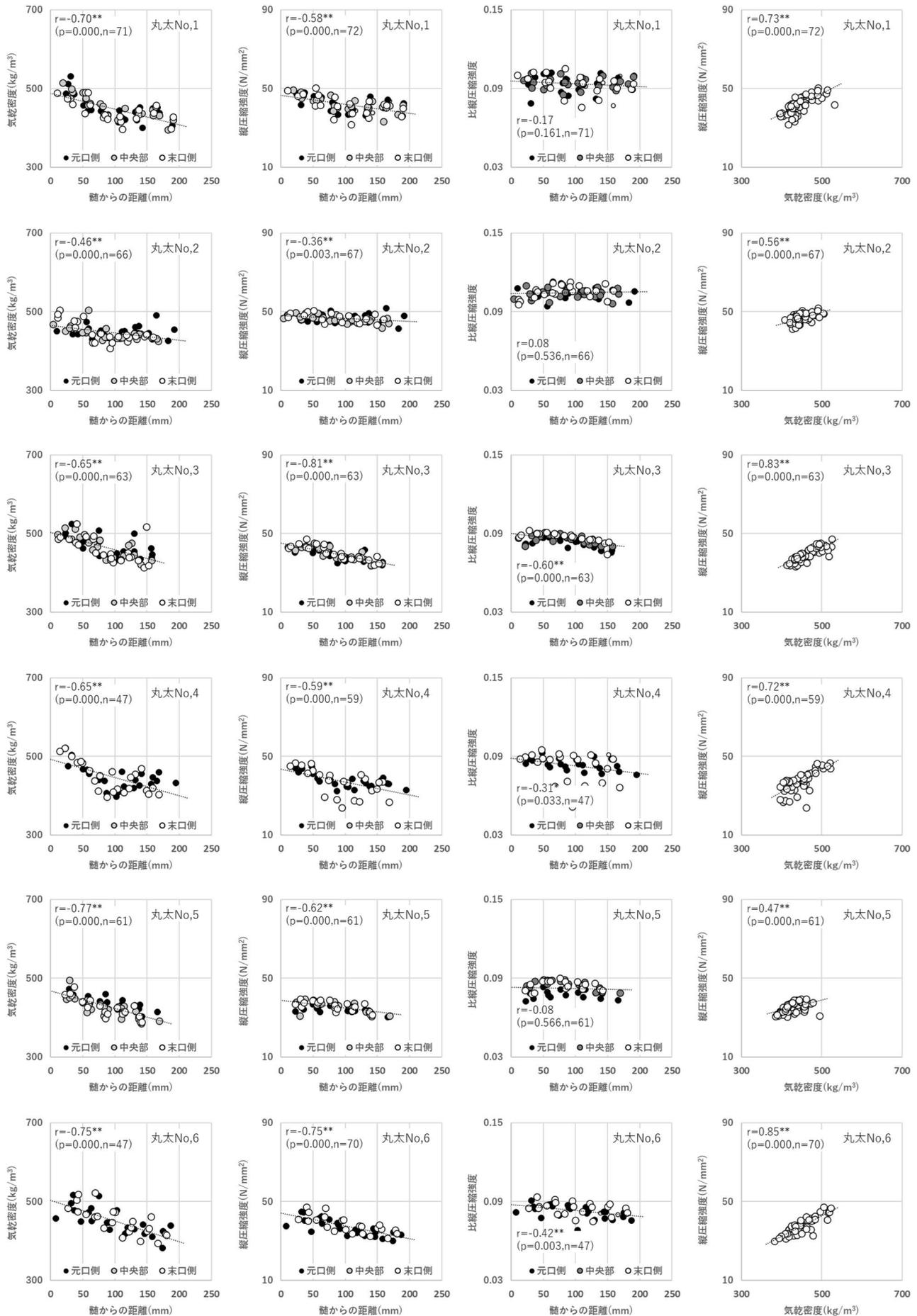


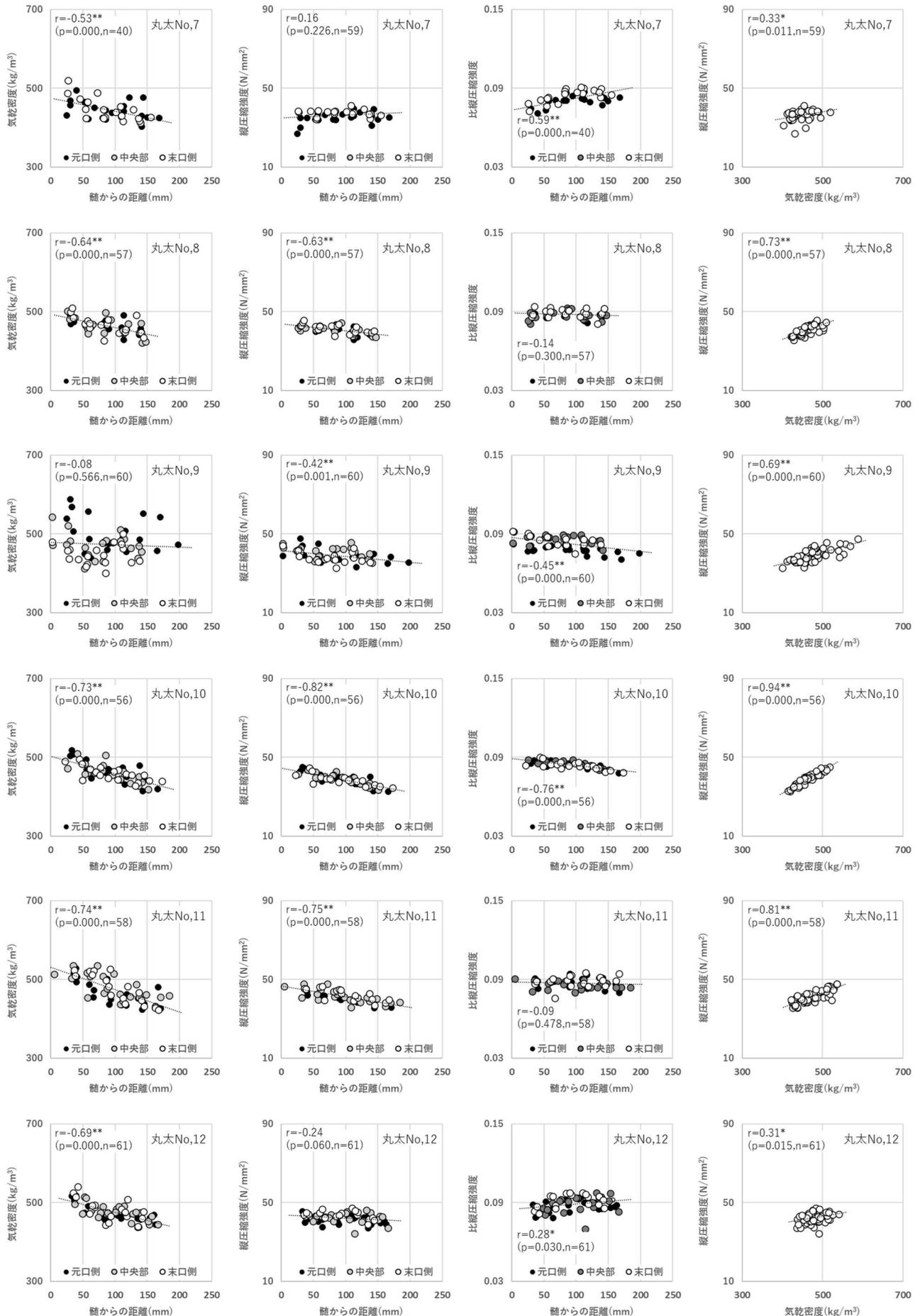


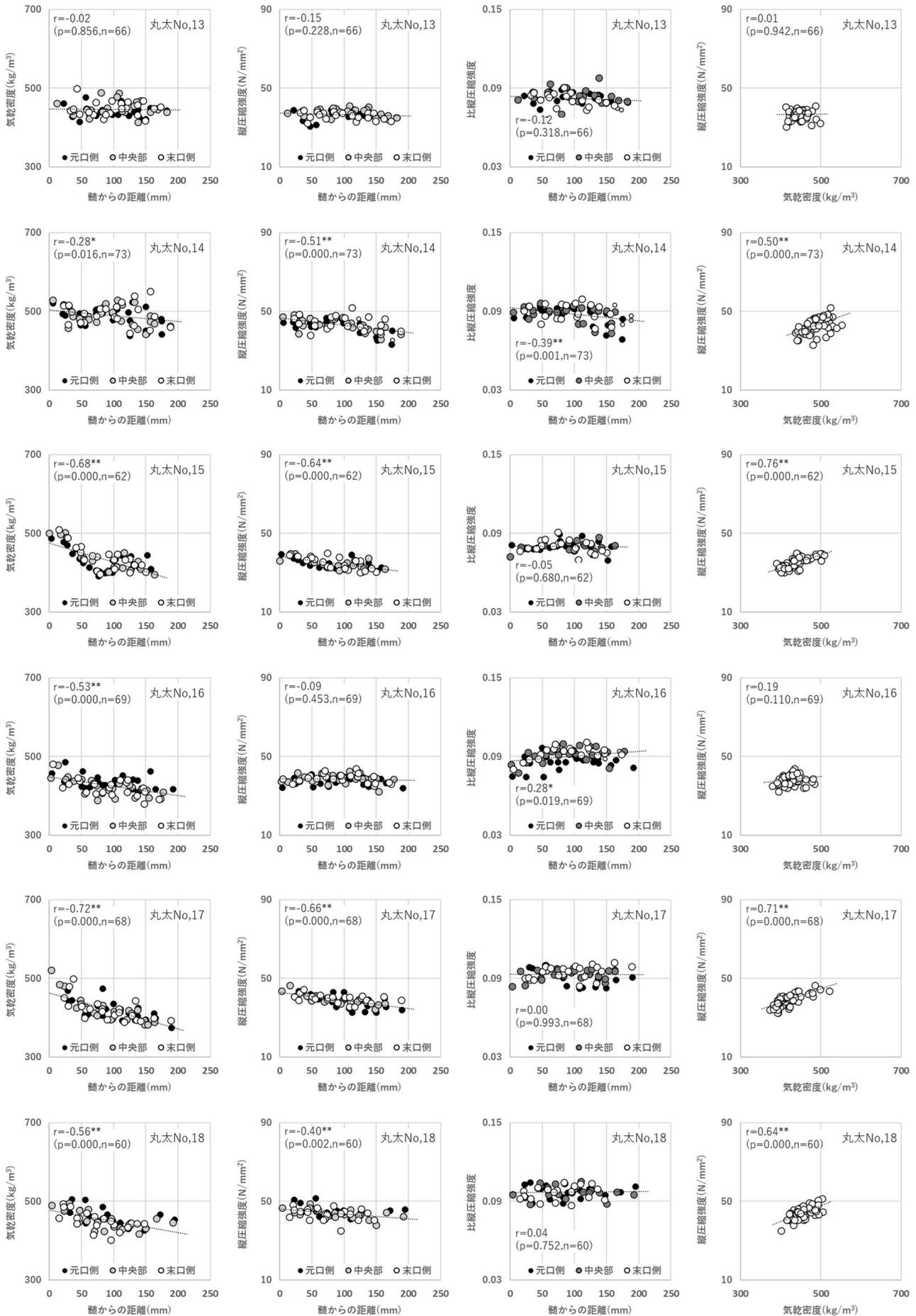


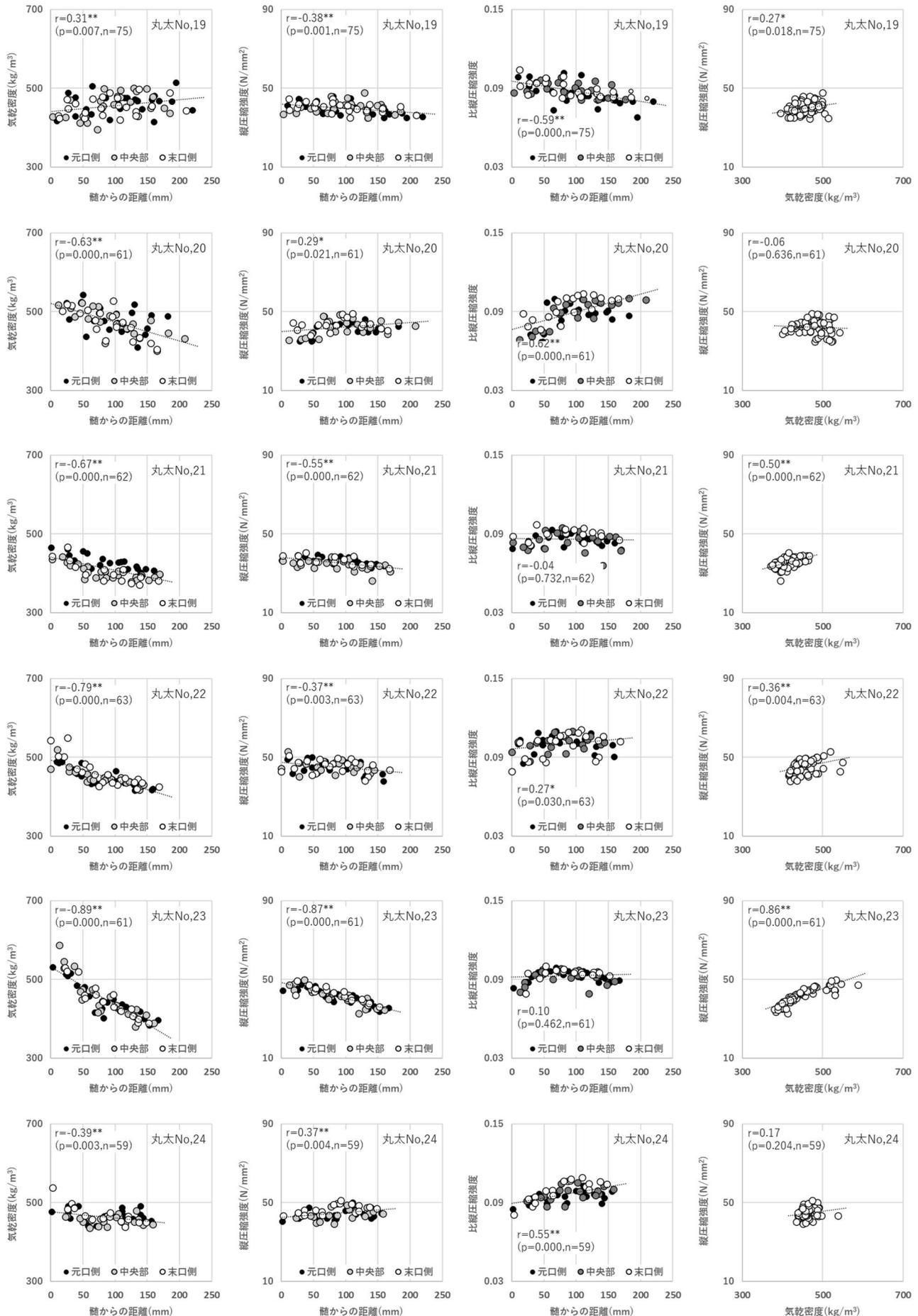


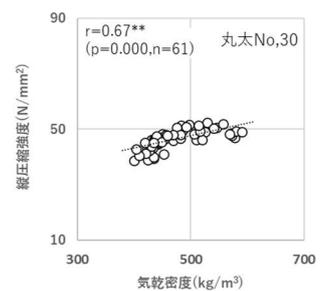
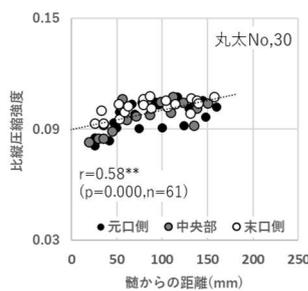
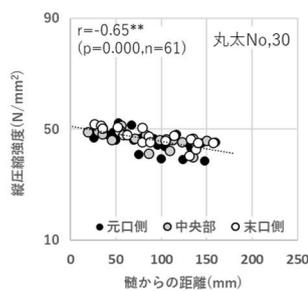
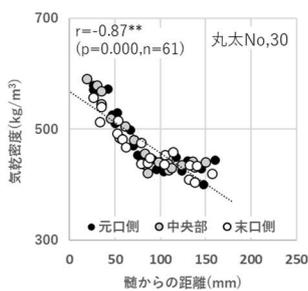
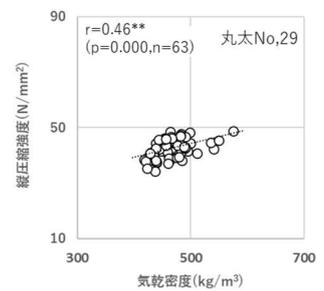
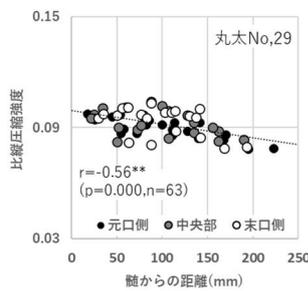
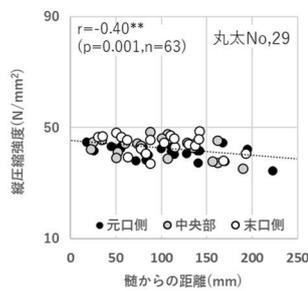
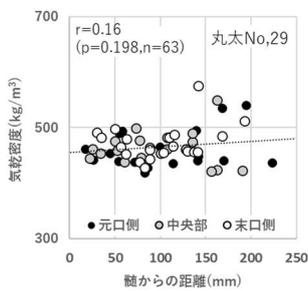
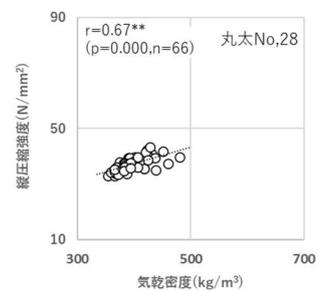
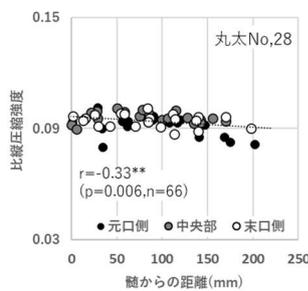
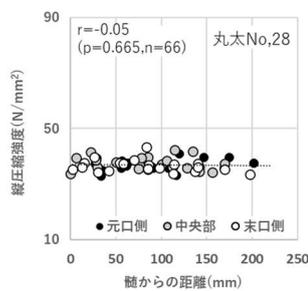
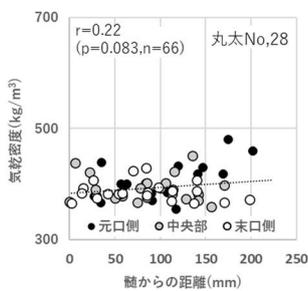
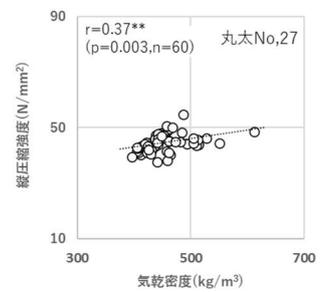
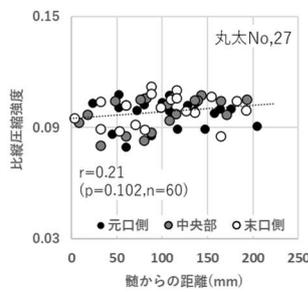
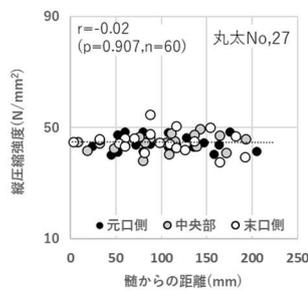
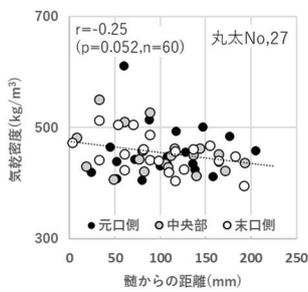
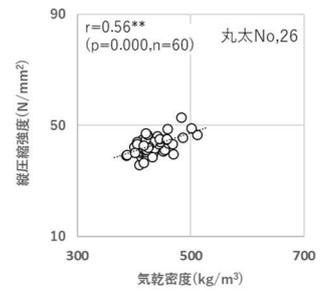
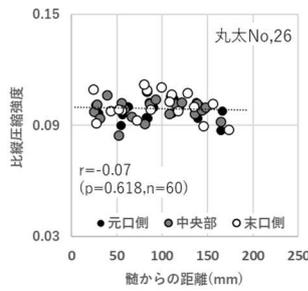
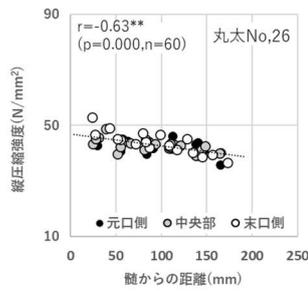
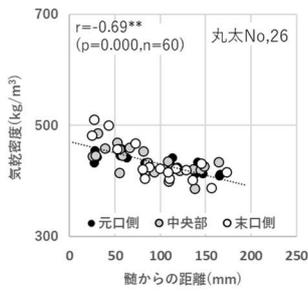
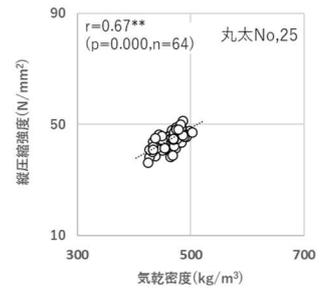
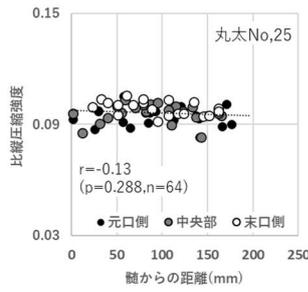
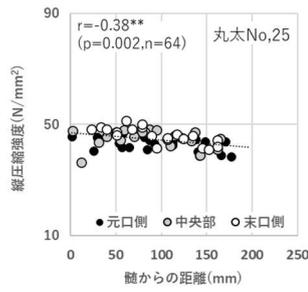
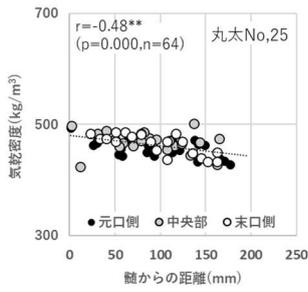
V-c 縦圧縮強度

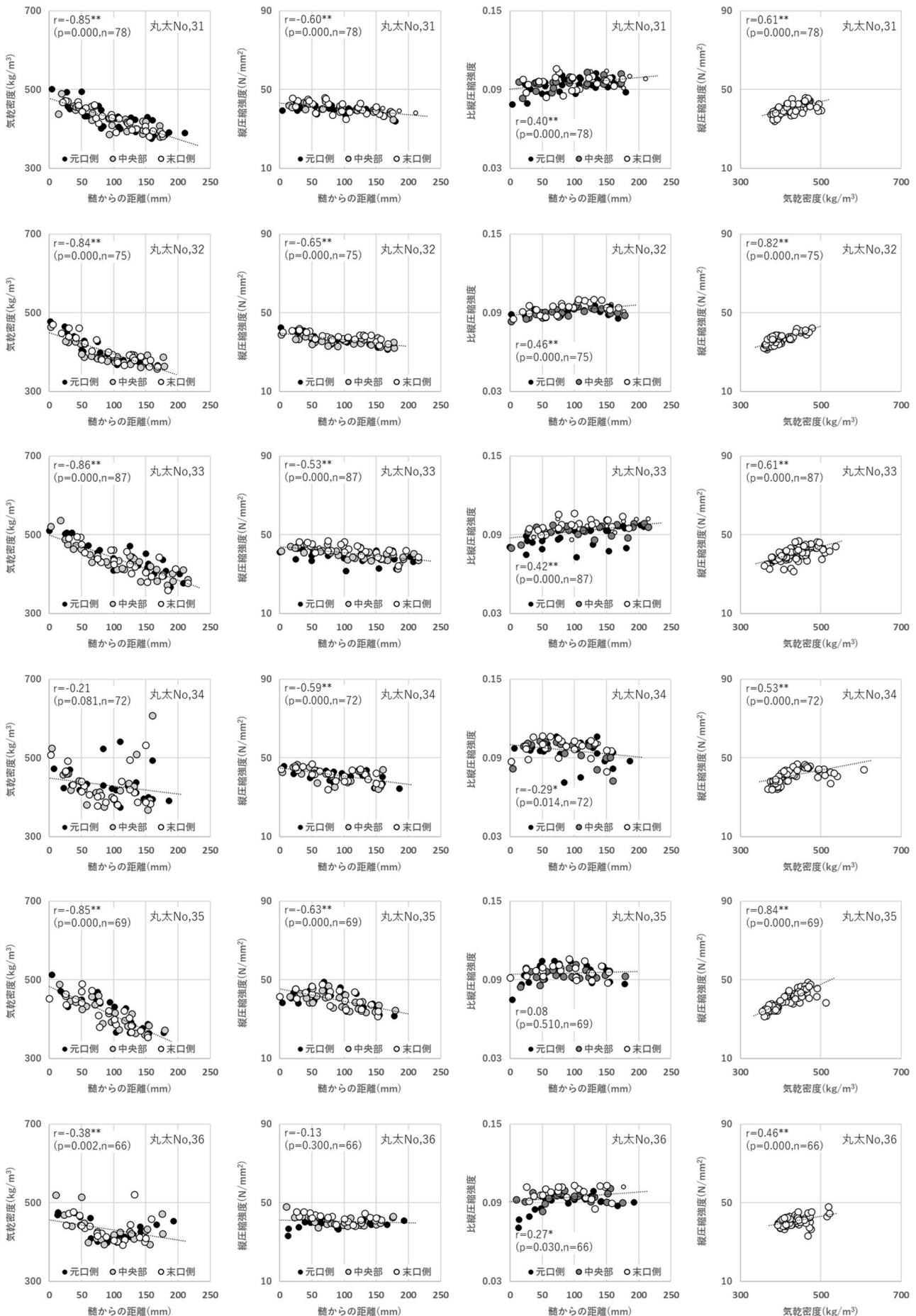


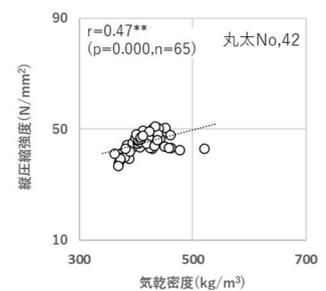
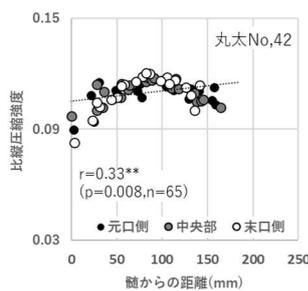
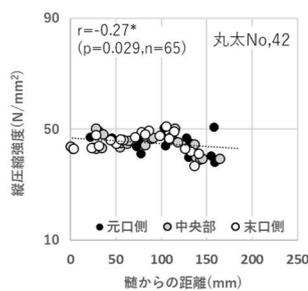
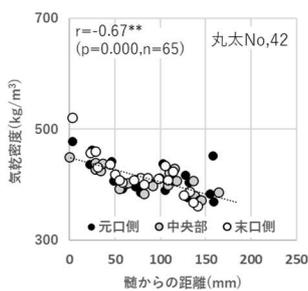
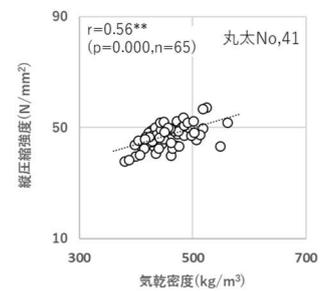
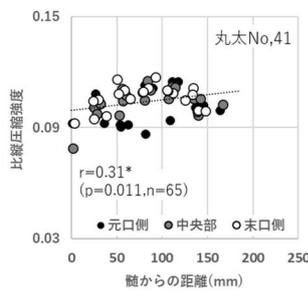
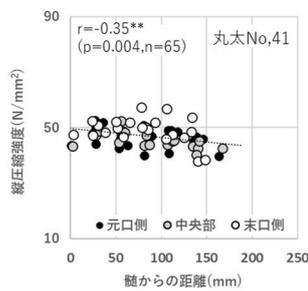
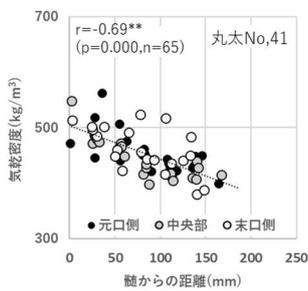
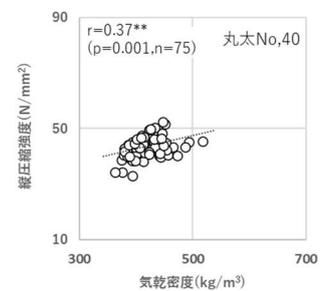
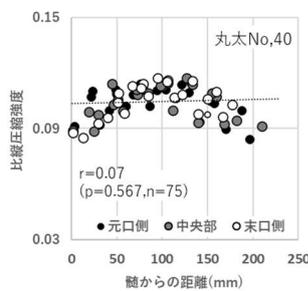
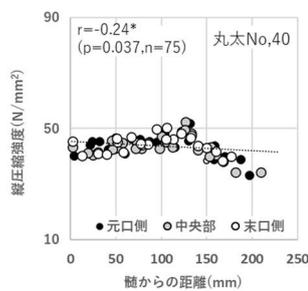
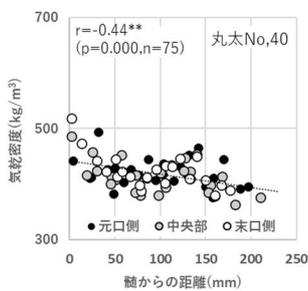
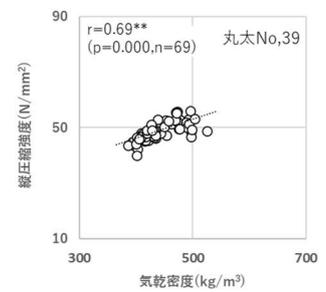
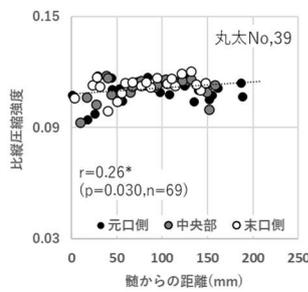
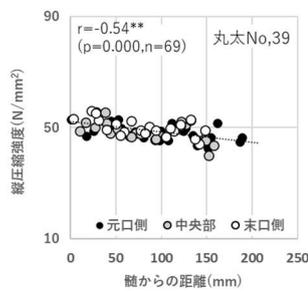
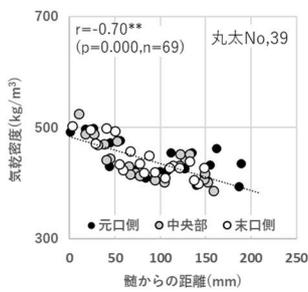
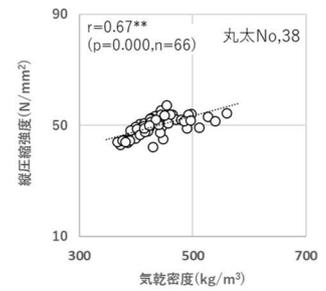
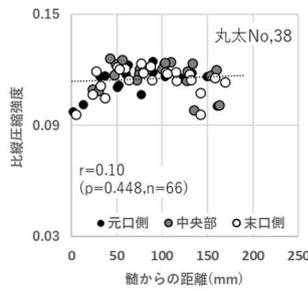
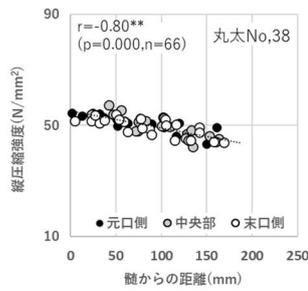
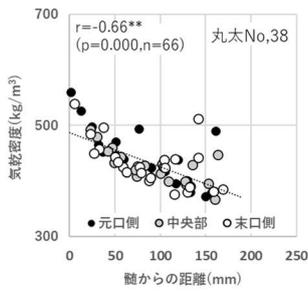
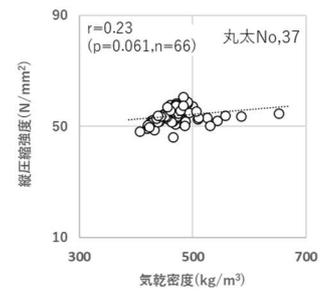
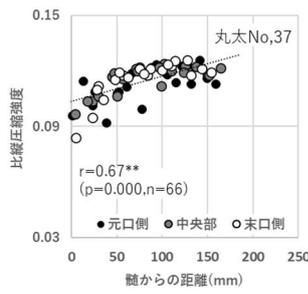
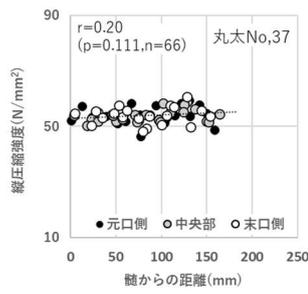
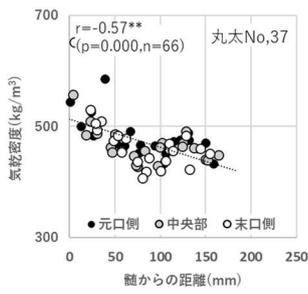


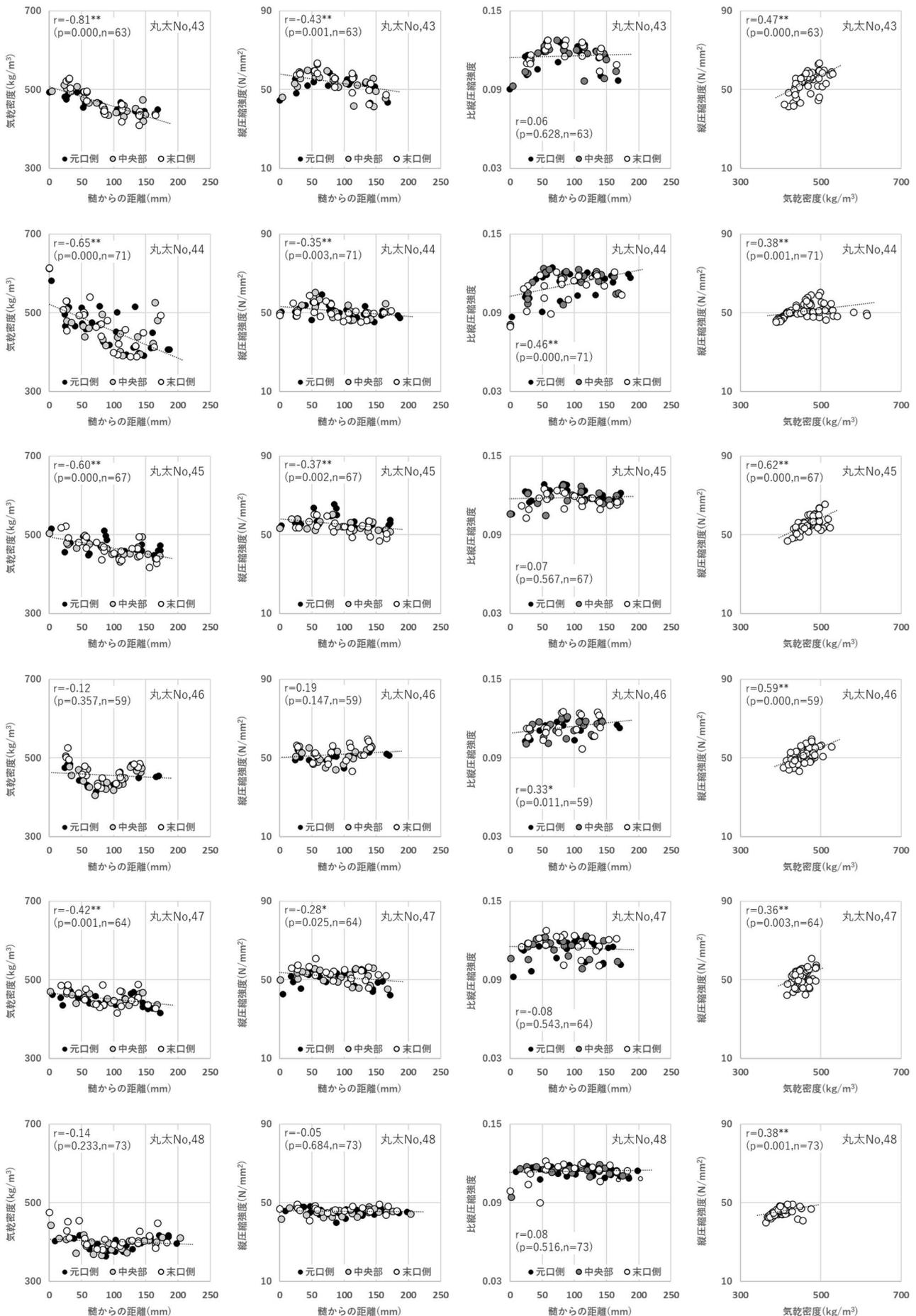


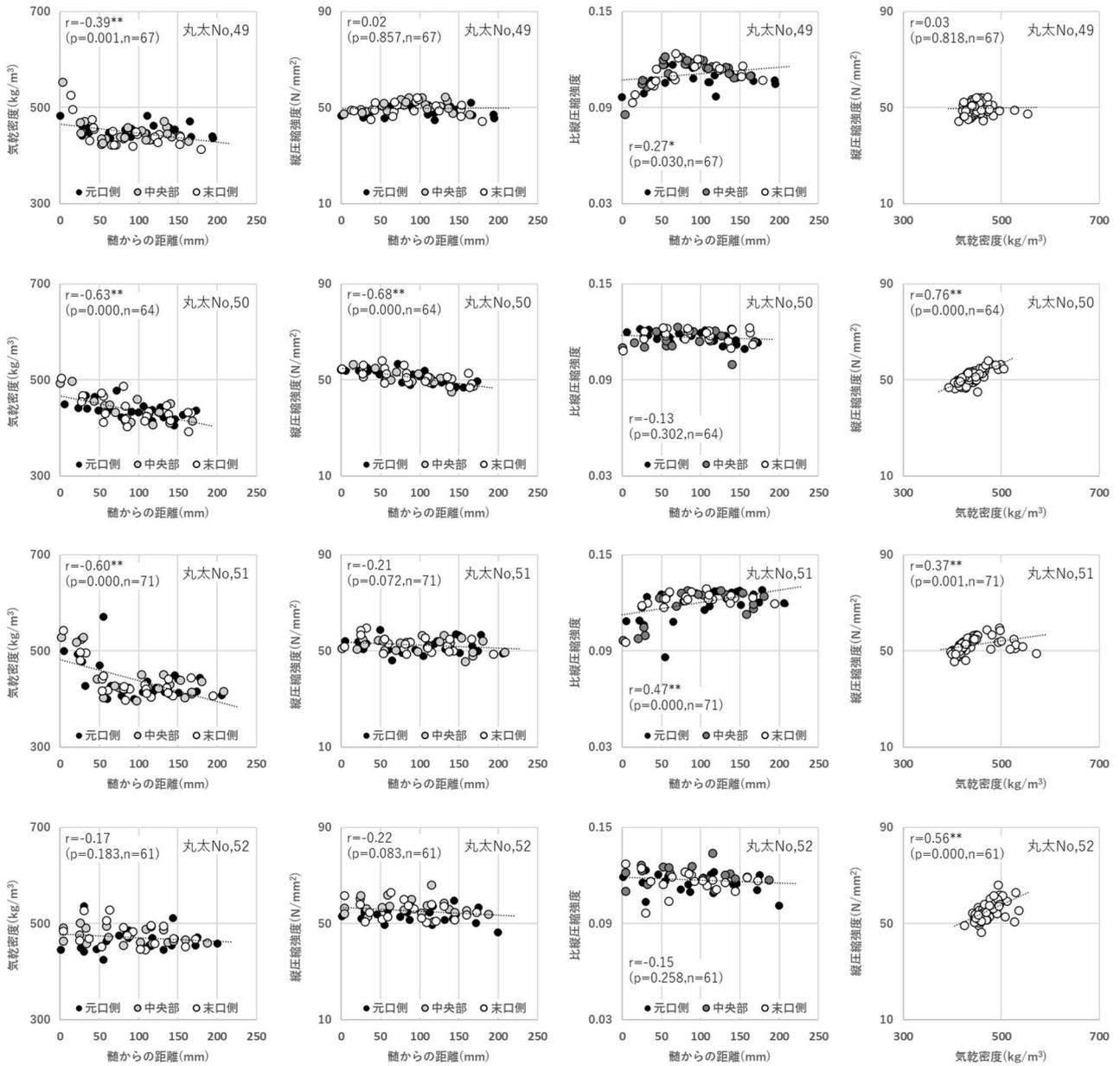












心理指標および生理指標を用いたヒノキ内装空間の快適性評価

松田 洋樹

Evaluation of comfort in Hinoki interior spaces
using psychological and physiological indicators

Hiroki MATSUDA

要 旨

松田洋樹：心理指標および生理指標を用いたヒノキ内装空間の快適性評価 岡山県農林水産総合センター森林研究所研報40：49-59 (2026) 内装にヒノキ材を用いた空間が人の心理面・生理面に及ぼす影響について検討した。供試空間として、フローリングと腰壁にヒノキ材を用いた部屋と、非木質の部屋の2部屋を用意した。被験者は10代～60代までの男女34名であり、入室前後において各種心理および生理指標を測定した。また室内の環境要因として香気成分濃度を測定した。ヒノキ内装室は、非木質室に比べテルペン類の気中濃度が高くなった。心理指標の評価において、ヒノキ内装室は非木質室に比べ有意に快適であると評価された。生理指標の評価において、唾液アミラーゼ活性や心拍変動及び脳波の結果からヒノキ内装室では非木質室に比べよりリラックスする傾向が見られたものの統計的な有意差は得られなかった。

キーワード：唾液アミラーゼ活性、ヒノキ、香り、内装木質化、脳波、心拍変動、テルペン類

I はじめに

令和3年10月に施行された「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律」（以下、「都市の木造化推進法」）（国土交通省・農林水産省 2021）において、木材利用は、地球温暖化の防止、循環型社会の形成、森林の有する多面的機能の発揮、地域経済の活性化に貢献するとし、わが国では今後一層の木材利用促進を図ることとされている。また、近年の人口減少に伴い新設住宅着工戸数は長期的に減少していく可能性を踏まえると、非住宅・中高層建築物での木造化・木質化を進め、新たな木材需要を創出することが重要（林野庁 2024）であり、構造材だけでなく内装材についても木材の需要を高めることは重要であると考えられる。岡山県においても、「都市の木造化推進法」を踏まえて「県産材利用促進条例」に基づく「岡山県県産材建築物利用促進指針」を定めており、木造住宅の普及のほか非住宅建築物の木造化、木質化を促進するとし、木質化が可能な床や壁等の内装材についても、積極的に木質化を図ることとしている（岡山県 2022）。

一方で、行政が木質化を進めるにあたっては、木質化による費用係り増し分に相当する効果をPRすることが重要であり、「木材の良さ」の科学的エビデンスの蓄積が強く求められている（杉山 2015）。また、近年生活空間に自然を取り入れる空間設計手法である「バイオフィリックデザイン」が健康維持や生産性向上に効果があると注目されており、その一種である建築内装や家具・什器への木材利用についてもその効果が期待されている（杉

山 2024）。そのため、今後一層内装材として木材の使用を普及していくためには、木材の良さを客観的に説明していく必要があると考えられる。

これまでも木材の良さや内装木質化の効果に関しては多数の報告があり、その研究の一端は「内装木質化した建物事例とその効果」（日本住宅・木材技術センター 2025）にまとめられている。同報告にも示されるように、近年は特に木材の良さを人間の生理的変化から解明しようとする試みが多く、木材がもたらす視覚、嗅覚、触覚刺激が人に及ぼす影響（Nakamura et al 2019, Matsubara et al 2014, Ikei et al 2018）については知見の蓄積が進んでおり、その評価手法の整理も進んでいる（恒次 2017）。また、実際の内装木質空間が人に与える影響についての評価の試みも行われている。例えば、木村らはヒバ材使用量のみを変化させた4部屋の実大モデル空間を用いることで視覚・嗅覚刺激を変化させ、人の心理・生理指標の変化を測定し、ヒバ材使用量の違いが自律神経系の活動に違いをもたらす可能性があること（木村 2011）、岡村らはスギ材をメインとした空間と非木質空間を比較し、内装木質空間を好ましいと感じている場合は生理指標もリラックス傾向があること（岡村 2013）を報告している。これらの研究の多くは、木材や内装木質空間による様々な刺激がリラックス効果に影響を与えていることを示唆する結果を示しており、木材を使用することは快適な空間の形成に寄与すると考えられる。しかし、これらの結果は特定の樹種に限られており、岡山

県の主要造林樹種であるヒノキの材を用いた報告は少なく、特に実大のヒノキ内装空間が人の心理、生理面に与える影響を測定し、その快適性を評価した事例はほとんどない。また、内装木質化が人に与える影響の評価は、その研究の特性上、ケーススタディとなる場合が多く、様々な条件における結果を蓄積していくことが重要であると考えられる。

そこで、本研究では、ヒノキ材を用いた実大のヒノキ内装空間が人の心理・生理指標に及ぼす影響を評価することでその快適性を評価することを目的とし、ヒノキ内装室と非木質室において被験者の入室前後の様々な心理指標・生理指標を測定することにより、ヒノキ内装空間がもたらす快適性を評価した。

II 材料と方法

(1) 材料の作製方法

フローリングと腰壁用の板材は、岡山県北部で伐採されたヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の原木から作製した。原木は、それぞれ板材に製材したのち木材乾燥機 (OHV4-1HSV特殊型、大井製作所) により中温乾燥を行い、最終的に90mm[W]×18mm[T]×1000mm[L]の板材に調整し面取り加工を施した。なるべく節が少なくなるように配慮して加工したが少なからず節は含まれた。辺材心材の区別はしなかった。加工後は香りの揮発が進むため、最終的な加工から2日以内に試験室のフローリングと腰壁として施工した。

(2) 供試空間と環境指標の測定方法

岡山県森林研究所木材加工研究室の敷地内にあるテストハウスの試験室を用いた。テストハウスは予備室を挟んで同様の試験室が2部屋ある (図-1)。試験室は非木質の無機質な空間であり、壁の1面はカーテン付きの窓、他の面と天井は白のビニルクロス張り、床はビニルタイルで施工されている。その一室において、ヒノキの腰壁とフローリングを施工しヒノキ内装室とし、別の一室はそのままの状態为非木質室とした (図-2)。ヒノキ内装室は、フローリング全面と壁4面のうちの2面に腰壁を施工した。木質面積を全体表面積で除した木質化率は33%程度、木質面積を部屋容積で除した試料負荷率は0.65 m²/m³となった。いずれの部屋にも24時間換気装置があり、試験中は常時稼働させた。この換気装置稼働中にJIS A 1406 (屋内換気量測定法) に準拠したトレーサーガス減衰法で求めた換気量は、いずれの部屋もおおよそ0.64回/hであった。またいずれの部屋にも、エアコン、加湿器、サーキュレーターが備わっており、被験者試験中は室内の空気を循環させ、部屋の温度が25度、湿度が50%程度になるように調整した。照明はいずれの部屋も同様のLED機器が設置されており、明るさの設定を同じ設定値にセットした。外光が入らないようにカーテンは常

時閉めた状態で試験を行った。

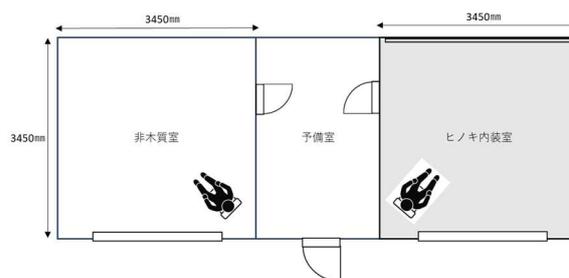


図-1 テストハウスの簡易平面図



図-2 非木質室 (左) とヒノキ内装室 (右)

材料の施工直後は、香気成分の変化が大きいため、1か月間ほど養生し、その後2週間程度で被験者試験を行った。ヒノキ内装室と非木質室の香りの違い及びその経時的変化を明らかにするため、養生中の各室内における香気成分の気中濃度を以下の方法で測定した。すなわち、材料施工後1, 3, 5, 7, 14, 28日目において、吸着管 (充填剤: TENAX TA) に、ポンプ (MP-Σ20, 柴田科学株) 流速0.1L/min, 捕集量5Lで室内空気を捕集した。捕集前の強制換気などは行わず、24時間換気装置による換気を常時行った。捕集後、熱脱着装置及びガスクロマトグラフ質量分析計 (GC-MS QP-2020NX, 株式会社島津製作所) により分析を行い、各香気成分の同定はNISTライブラリにより行った。代表的なクロマトグラムを図-3に示す。検出された主なピークはヒノキ由来と思われるテルペン類であったため、分子量によりテルペン類をモノテルペン類 (分子量136) とセスキテルペン類 (分子量204) に分類し、そのピーク面積の総和から気中濃度を求め香気成分の気中濃度とした。濃度は、モノテルペン類はα-Pinene, セスキテルペン類はδ-Cadinene (いずれも東京化成工業株) の標品を用いて検量線を作成し求めた。

(2) 被験者

被験者は岡山県職員28名と岡山県立大学に在籍する大学生5名および教員1名の計34名 (女性10名, 男性24名, 年齢10代~60代) とした。試験当日、試験内容を説明後、口頭により心身の健康状態を確認した後、書面により試験の同意を得た。なお、本実験は岡山県立大学研究倫理委員会の承認を得て実施した。

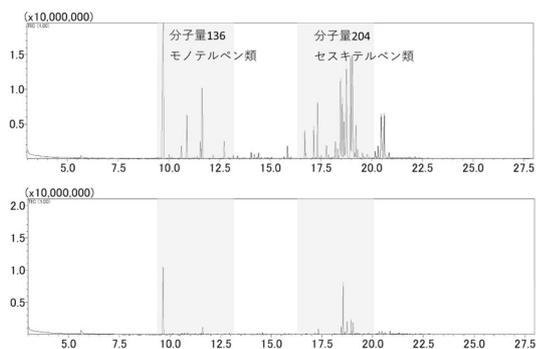


図-3 代表的なクロマトグラム 測定28日目
(上：ヒノキ内装室，下：非木質室)

(3) 人の心理指標・生理指標の測定方法

心理指標として、主観的なアンケート調査により入室後のリラックス度、好感度、香りの快適度、部屋全体の快適度を7段階評価尺度（1非常に～、2とても～、3やや～、4どちらでもない、5やや～でない、6とても～でない、7非常に～でない）で測定し、部屋の香り強度は6段階評価尺度（1無臭、2やっと感じ取れるにおい、3なんのにおいかわからないにおい、4楽に感じ取れるにおい、5強いにおい、6強烈なにおい）で測定した。また空間の香りも含めた全体のイメージをSD法により調べた。評価項目には、既存の研究（木村 2011, 坂口 2024, 野上 2014）を参考に選定、創作した14形容詞対を用いた。またリラックス度を客観的に測る指標として、STAI状態不安検査を用いた。STAI（State-Trait Anxiety Inventory）は、不安の程度を測定する代表的な質問紙法（20項目の質問項目）であり、医療・心理・産業保健など多領域において広く用いられている尺度である（清水 1981）。「状態不安（State Anxiety）」と「特性不安（Trait Anxiety）」の2つの概念から構成され、不安を“その瞬間に感じている一時的な情動状態”として捉える状態不安と、不安を感じやすい“個人の性格傾向”として捉える特性不安をそれぞれ独立に評価できる特徴をもつ。本研究では、部屋の違いが被験者の状態に及ぼす影響を評価するため、入室前後で状態不安のみの評価を行った。

生理指標は、中枢神経系、自律神経系、内分泌系の3つに大別して測定され（恒次 2017）、試験結果の整合性を確認するためにも、なるべく複数の系で測定を行うことが望ましいとされる。そこで本研究では、自律神経系の指標として唾液アミラーゼ活性および心拍変動、中枢神経の指標として脳活動を反映する脳波を測定した。

唾液アミラーゼ活性は、唾液アミラーゼモニター（CM-3.1, ニプロ株）により測定した。唾液アミラーゼ活性は交感神経の支配を受け、ストレスにより増加するとされており、不快な刺激では上昇し、快適な刺激では低下する傾向がある（山口 2007）。本研究では、専用の

チップで舌下の唾液を採取する際、データのばらつきを抑える工夫として、「なるべく多量の唾液を付着させるイメージでくわえてください」と指示し測定した。測定は入室直前と刺激提示後に行い、被験者ごとに変化率を求めた。

心拍変動（Heart Rate Variability : HRV）は、電極パッドおよび心拍センサ（WHS-1, ユニオンツール株）により測定した。心拍変動は、連続する心拍間隔（R-R間隔）の揺らぎのことであり、その揺らぎは周波数解析により分解し、低周波成分（LF ; 0.04-0.15 Hz）と高周波成分（HF ; 0.15-0.40 Hz）に分けことができる。LFは交感・副交感双方の影響を受け、HFは主に副交感神経活動を反映することが知られている（中川 2016）。本研究では、交感神経と副交感神経の相対的バランスを評価する指標としてLF/HFを算出した。LF/HFの上昇は交感神経活動の優位を、低下は副交感神経活動の優位を示すと解釈されるため、リラックス状態の変化を捉えることが可能であると考えられる。本研究では、拍動ごとに求められるLF/HFの1分ごとの平均を求め、刺激提示前後における1分ごとの時間変化を調べた。

脳波（Electroencephalography : EEG）は簡易型脳波計（BrainPro FM-939, フューテックエレクトロニクス株）を用いて測定した。測定は、開眼時の筋電位の影響を受けにくい測定位置として、国際10-20法に基づきC3およびC4部位に電極（SEN-PRO, フューテックエレクトロニクス株）を配置して行った。付属の解析ソフトを用い、得られた脳波信号に対して短時間フーリエ変換（FFT）による周波数解析を行い、1秒ごとに α 波（8-13 Hz）、 β 波（13.5-30 Hz）等の帯域パワーを算出した。 α 波は主に安静時や閉眼時に優勢となる周波数帯であり、その出現割合が高い状態は、相対的にリラックスした心理・生理状態を反映すると解釈される。一方、 β 波は覚醒水準の上昇や集中時に出現・増加する傾向がある（兒玉 2020）。本研究では、全脳波成分に占める α 波成分の割合（以下、 α 波占有率）を指標として用い、 α 波占有率が高い状態をリラックス傾向、低い状態を覚醒・緊張傾向にある状態として評価した。データは1秒おきに測定されるため、1秒ごとに求められる α 波占有率の1分間の平均値を求め、刺激提示前後における1分毎の時間変化を調べた。

(4) 実験スケジュールと測定タイミング

測定は、2025年4月30日から5月9日の間で、1日あたり2人から8人の測定を行った。順序効果を考慮して、試験は2人1組でヒノキ内装室、非木質室への入室順が交互になるように測定を行った。

図-4に実験スケジュールを示す。実験開始前に事務所にて、被験者に対し試験内容の説明と健康状態の確認等を行った。このとき、胸部に電極パッドを装着した。

次に、50mほどを徒歩でテストハウスまで移動させ、予備室に入室した。予備室入室後、脳波電極を装着し、スリッパに履き替え、活性炭マスクを装着した。準備完了後、開眼着席にて3分ほど安静の時間を設けた後、唾液アミラーゼ活性の測定と、事前アンケートおよびSTAI状態不安特性の測定を行った。その後、被験者には閉眼を促し部屋を見せないように試験室に入室して、ローラー付きの椅子に着座させ、実験者が所定の測定位置（図-1）まで移動させた。そして、閉眼、マスク着用のまま安静の時間を3分間設けた後、被験者に知らせることなく心拍変動および脳波の測定を開始し、安静状態のまま3分間測定を行った。次に、被験者に目を開け、マスクを外し、座ったまま周囲の状況を自由に観察するよう指示（刺激提示）し、開眼、マスク非着用の状態で6分間測定を行った。解析に用いた心拍変動と脳波のデータは、測定開始直後の30秒および開眼指示直前の30秒を除いた刺激提示前2分間のデータと開眼指示後30秒および測定終了直前30秒のデータを除いた刺激提示後5分間のデータを用いた。なお、脳波計は同時に2人の測定ができないため、一方の被験者のみを測定した。

脳波、心拍変動の測定が終了した後、実験者が入室し、唾液アミラーゼ活性の測定、さらにアンケートおよびSTAI状態不安特性の測定を行った。

III 結果と考察

(1) 気中濃度変化と臭気強度評価

ヒノキ内装室においては、既報（松田 2023）にもあるようにヒノキから放散する複数のテルペン類が検出され、モノテルペン類の α -Pinene、セスキテルペン類の α -Murolene、 δ -Cadineneなどが主だった成分であった。施工直後から被験者試験までの各テルペン類の気中濃度変化を図-5に示す。各テルペン類の気中濃度は、時間とともに減少した。また、非木質室とヒノキ内装室では

テルペン類の量に大きな差が見られた。なお、非木質室においても若干のテルペン類が検出された。これは、建物の構造材にヒノキ材が使われていることなどの影響が示唆されたが、具体的な要因は特定できなかった。

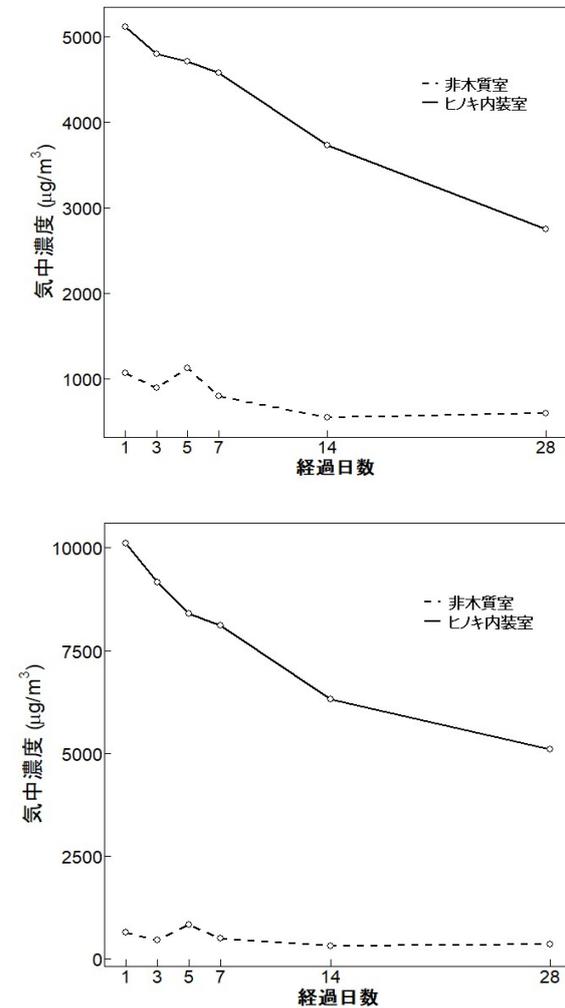


図-5 香気成分の気中濃度変化
(上段：モノテルペン類、下段：セスキテルペン類)

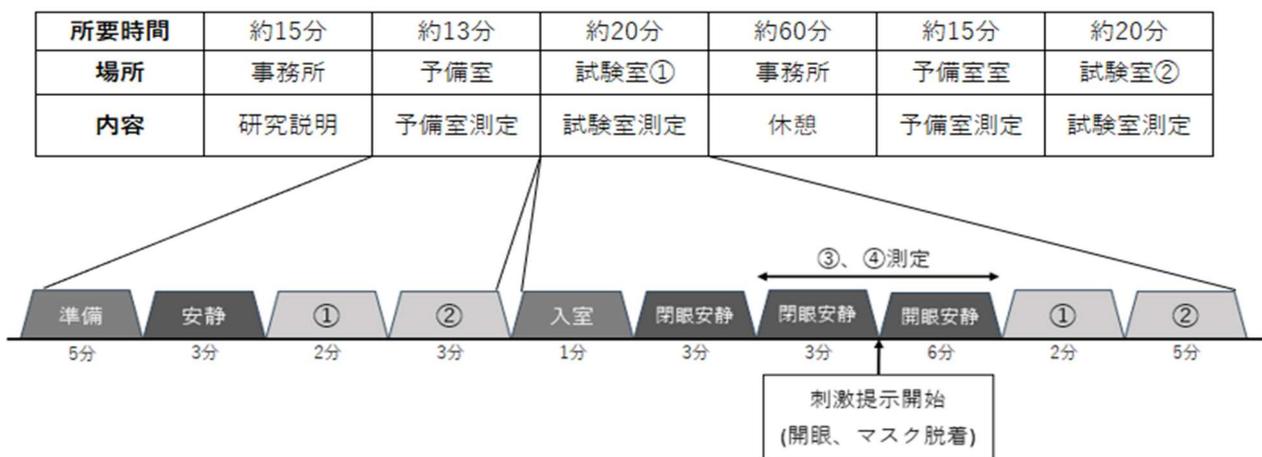


図-4 実験スケジュール

注： ①唾液アミラーゼ測定 ②アンケート及びSTAI状態不安測定 ③脳波測定 ④心拍変動測定

また今回の測定では、ヒノキ内装室の α -pineneの測定値に破過が見られたため、モノテルペン類の気中濃度は過小評価されている可能性がある。ヒノキ内装室では α -pineneが他の成分に比べ極端に大きなピークを持つため、捕集量や捕集方法について今後検討が必要であると思われる。次に、被験者による6段階臭気強度評価を図-6に示す。ヒノキ内装室は平均で臭気強度が4付近（楽に感知できるにおい）、非木質室は2付近（やっと感知できるにおい）となり、主観評価においても、ヒノキ内装室の香りが有意に強いことが明らかとなった。これらの結果から、施工から1か月経過時点においてもヒノキ内装材から揮発した香り成分により、空間の香りは大きく変化することが明らかとなった。

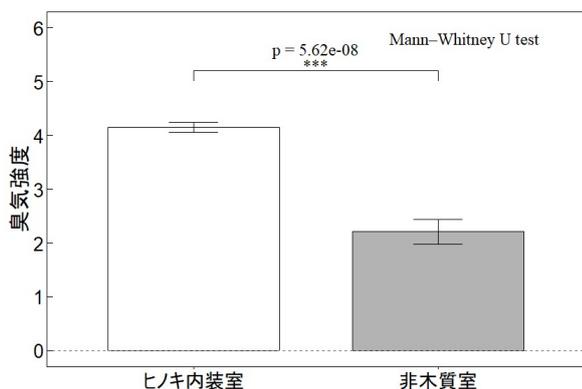


図-6 臭気強度の比較

(2) 心理指標の評価結果

リラックス度、好感度、空間の香りの快適性および視えも含めた空間全体の快適性について、部屋間で比較した結果を図-7~10に示す。いずれの指標においても、ヒノキ内装室と非木質室との間に有意差が認められた。これらの結果から、多くの被験者が心理的にヒノキ内装室をより好ましく感じ、よりリラックスでき、快適であると評価していることが明らかとなった。特に空間の香りの快適性において、臭気強度評価の結果と合わせて考えると、ヒノキのにおいが楽に感知できる空間においてもヒノキ内装室の香りは有意に快適であると評価されることが明らかとなった。

SD法による部屋の印象の評価結果を図-11に示す。すべての項目において有意差が認められ、多くの項目でよりポジティブな印象を持つ傾向がみられた。これらの結果から、ヒノキ内装を施工することにより、部屋の印象は大きく変化することが明らかとなった。

STAI状態不安得点の変化量を部屋間で比較した結果を図-12に示す。部屋間には有意差が認められ、ヒノキ内装室では刺激提示後に状態不安得点が減少したのに対し、非木質室では逆に増加する傾向が示された。これはヒノキ内装空間が状態不安の低減に寄与する可能性を示唆す

るものであり、主観評価やSD法の評価結果と合わせて考えると、ヒノキ内装室の暖かさや心地よさ、落ち着きのある雰囲気、あるいは香りの快適性や香り成分そのものが心身に影響した結果と考えられる。一方、非木質室における得点増加傾向は、人工素材中心の空間が心理的負荷や刺激を増加させた可能性が考えられた。

以上の心理指標の評価結果から、ヒノキ内装室は非木質室と比較して、被験者の心理的快適性を高める環境であることが示唆された。

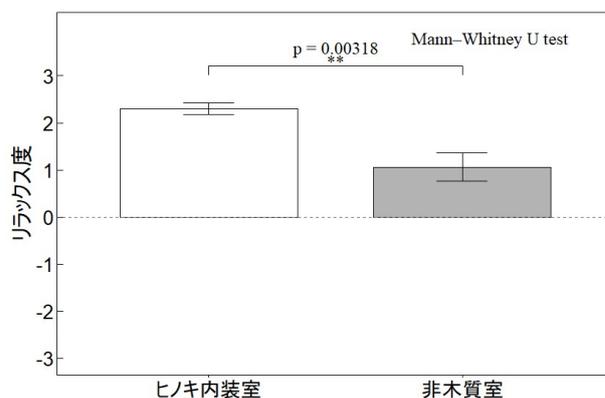


図-7 リラックス度の比較

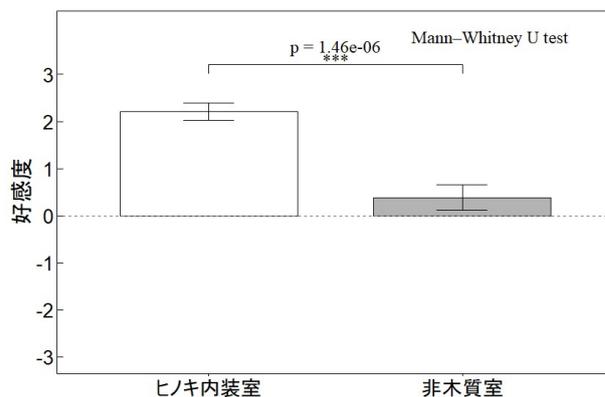


図-8 好感度の比較

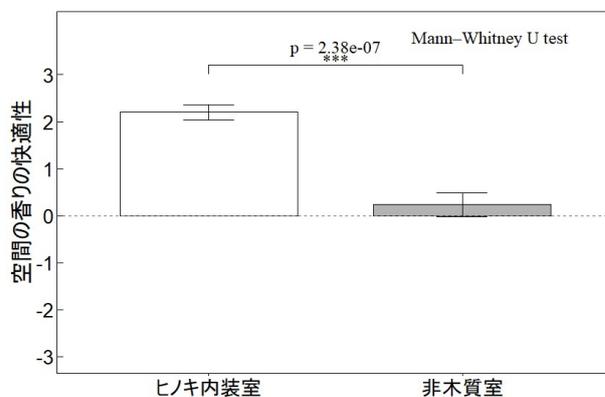


図-9 空間の香りの快適性の比較

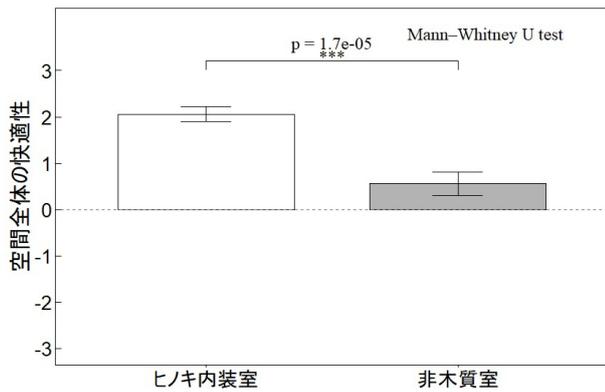


図-10 空間全体の快適性の比較

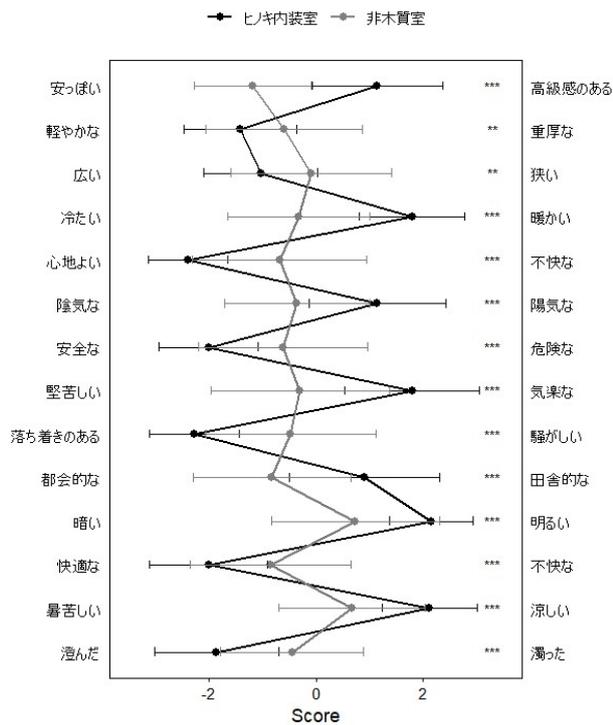


図-11 SD法による部屋の印象評価

(Mann-Whitney U test,

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$)

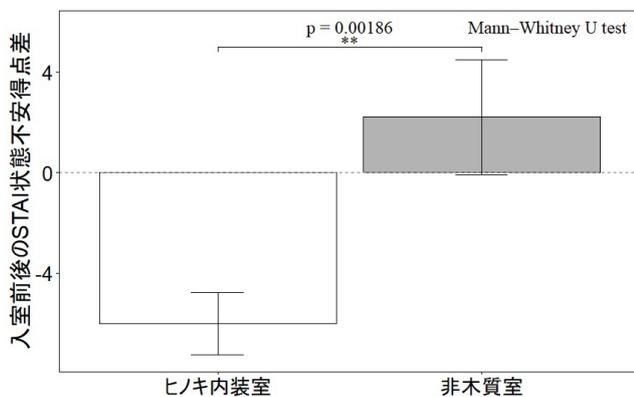


図-12 STAI状態不安得点の入室前後の得点差の比較

(3) 生理指標の結果

唾液アミラーゼ活性の測定値は、被験者によるばらつきが大きく、極端に小さくなることがあった。そのため、入室前後のいずれかの測定値が10kIU/L未満となった被験者のデータは除外して解析を行った。入室前後の測定値の変化率を求め、部屋間で比較した結果を図-13に示す。唾液アミラーゼ活性の入室前後の変化率には、部屋間で有意差は認められなかった (Welch's t-test, $p = 0.203$)。ただし、入室前後の変化率の平均値はヒノキ内装室でマイナス、非木質空間でプラスの値となり、心理評価と一致する傾向が見られた。これは、ヒノキ内装室における視覚・臭覚刺激により被験者が快適と感じ、副交感神経系活動が相対的に優位となった可能性を示唆するものである。しかし、個人差が大きいことや、いずれの部屋の測定でも全サンプルの半数以上にあたる18サンプルにおいて測定値が10kIU/L未満となりデータから除外されてしまったことから、測定方法について検討の余地が残った。

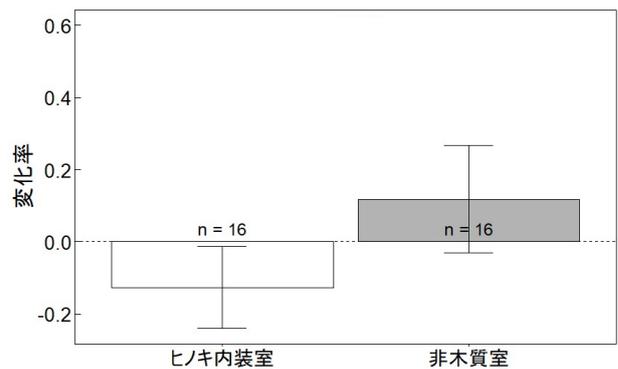


図-13 唾液アミラーゼ活性の入室前後の変化率

心拍変動の測定は全被験者を対象に実施したが、測定機器の不具合および不整脈等に起因すると考えられる異常な心拍を含むデータを除外した結果、解析対象となった被験者数は29名であった。測定結果から拍動ごとのLF/HFを求め、1分ごとの平均値を算出した。刺激提示前の2分間 (0, 1分)、刺激提示後の5分間 (2, 3, 4, 5, 6分) のLF/HFの平均値の時間変化を図-14に示す (エラーバーは標準偏差を示す)。LF/HFの時間変化は部屋間で明確な差は認められなかったが、いずれの部屋においても刺激提示後にわずかに上昇する傾向が見られた。これは刺激提示に伴う開眼により交感神経活動が促進されたことが一因と考えられた。また刺激提示期間中5分間の平均LF/HFの各被験者の平均値を図-15に示す (エラーバーは標準偏差を示す)。刺激提示期間中の平均 LF/HF について、正規性が認められなかったため、対応のある2群の差を調べるWilcoxon符号付順位検定を用いて部屋間の比較を行った。その結果、部屋

間に有意差は認められなかった ($p = 0.413$)。しかし、平均値はヒノキ内装室の方が低く、唾液アミラーゼ活性の測定結果と一致する傾向を示した。自律神経系の指標として総合的に考察すると、いずれの指標においても有意差は認められなかったものの、非木質室に比べヒノキ内装室では副交感神経が優位となる傾向が示され、よりリラックス状態にあった可能性が示唆された。

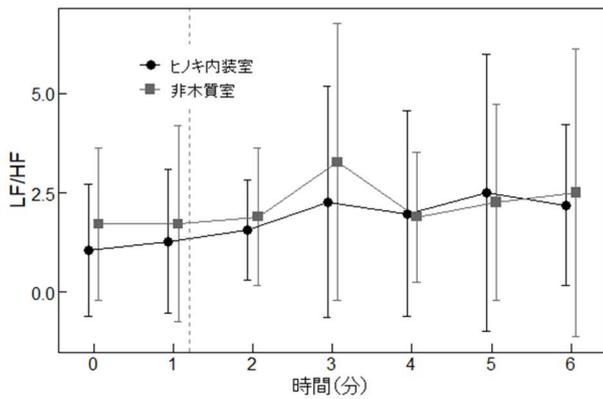


図-14 LF/HFの時系列変化

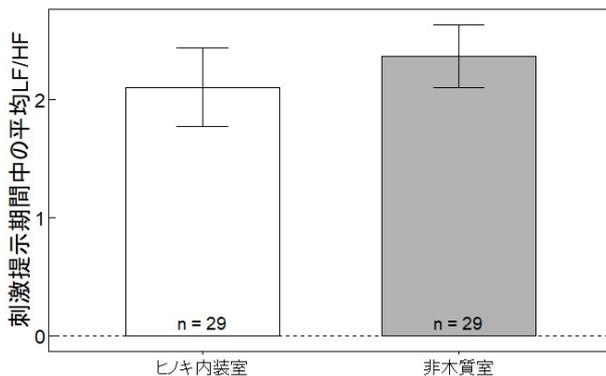


図-15 刺激提示期間中のLF/HFの平均値比較

脳波の測定は全被験者のうち半数を対象に実施したが、試験中に電極が外れるなどの不備があったデータを除外した結果、解析対象となった被験者数は14名であった。測定結果から刺激提示前の2分間(0, 1分)、刺激提示後の5分間(2, 3, 4, 5, 6分)の1分ごとのα波占有率の平均値を求めた。α波占有率の時間変化を図-16に示す(エラーバーは標準偏差を示す)。いずれの部屋においてもα波占有率は刺激提示後に大きく減少する傾向が見られた。この低下は、開眼によって交感神経活動が促進し、副交感神経活動が相対的に抑制された結果であると推察された。またその後の経過をみると、ヒノキ内装室では徐々に上昇し、非木質室では徐々に減少する傾向が示された。これは、ヒノキ内装室では時間経過とともに環境に順応しリラックス度が高まった一方、非木質室では時間経過とともに落ち着きが低下した様子を

反映している可能性も考えられるが、図に示す通りデータのばらつきや個人差が大きいことから、今回の結果だけで結論づけるのは困難である。次に、刺激提示期間中5分間の平均α波占有率について、各被験者の平均値を図-17に示す(エラーバーは標準偏差を示す)。刺激提示期間中の平均α波占有率について、正規性が認められなかったため、Wilcoxon 符号付順位検定を用いて部屋間を比較した。その結果、部屋間に有意差は認められなかった ($p = 0.773$)。このことは、本研究で提示した視覚刺激・臭覚刺激の違いは中枢神経系の指標である脳波に明確な影響を及ぼさなかったことを示している。ただし先述のとおり、個人差が大きいことに加え、ヒノキ内装室の方が時間経過とともによりリラックスする傾向があるように見えること、また提示刺激以上に開眼による変動を大きく反映してしまっている可能性も考えられる。したがって、今後は刺激提示方法や提示時間の設定に加え、性差や年齢などの被験者属性も含めた詳細な検討を行い、ヒノキ内装室の効果をより厳密に検証する必要がある。

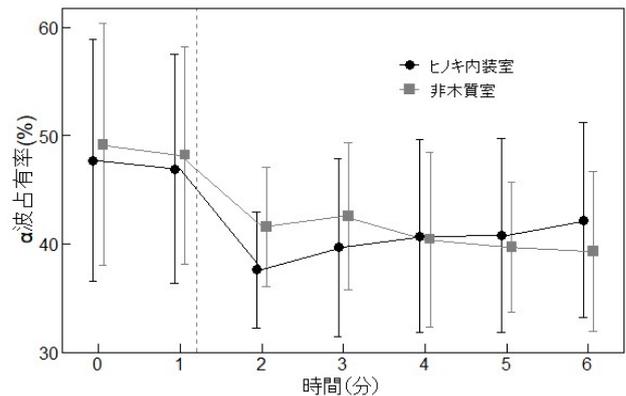


図-16 α波占有率の時系列変化

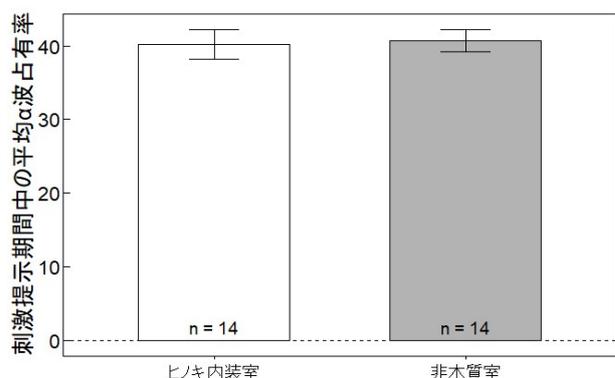


図-17 刺激提示期間中のα波占有率の平均値比較

IV まとめ

本研究では、ヒノキ内装空間と非木質空間において空气中の香気成分の測定および被験者の入室前後の心理指

標・生理指標を測定することにより以下の結果を得た。

- (1) ヒノキ内装室では非木質室に比べ、 α -pinene, α -Muroloene, δ -Cadineneを中心とした香気成分が多く検出され、臭気強度も高くなった。ヒノキ内装室の香りは1か月間で漸減したが1か月後においても十分な臭気強度が認められた。
- (2) 心理指標の評価の結果、多くの被験者がヒノキ内装室を非木質室に比べより快適でリラックスできると評価し、SD法によるイメージ評価でもポジティブな印象で評価された。また、より客観的な指標であるSTAI状態不安の結果においても、ヒノキ内装室では、入室後に状態不安得点が減少する傾向が認められた。これらの結果からヒノキ材による内装木質化は、被験者の心理的快適性に大きく寄与する可能性が示唆された。
- (3) 生理指標の評価の結果、自律神経系の指標である唾液アミラーゼ活性と心拍変動では、部屋間で統計的な有意差は得られなかった。しかし、ヒノキ内装室では非木質室と比較して、各指標がリラックス状態を示す傾向があった。脳波の測定では、ヒノキ内装室において徐々に α 波占有率が増加する傾向が見られた。しかし、各値とも個人差や時間的変動が大きく、心理指標の結果に比べ、生理指標では明確な違いを示すまでには至らなかった。今後、刺激の提示方法や測定条件、解析手法を検討し、より詳細に検討する必要がある。

本研究の結果から、無機質な非木質空間をヒノキ材内装空間にすることで、香りや見た目の印象から心理的には快適性が高まることが明らかとなった。一方で、これらの結果を生理指標によって十分に裏付けることは、本試験の条件下では困難であった。これは、様々な原因が考えられるが、刺激の提示方法などの測定条件が大きく影響した可能性がある。例えば本研究では刺激による生理指標の変化よりも開眼による変化を大きく評価してしまい、純粋に刺激の影響を測定できていない可能性などが考えられる。また刺激の強度（香気成分の気中濃度や木質化率）やその提示時間によっても生理指標は影響を受ける可能性があり、詳細に検討する余地がある。

今後は、本研究で得られた知見を踏まえ、ヒノキ内装空間が心理や生理指標に及ぼす影響についてより詳細に検討を行い、ヒノキ内装空間の快適性を裏付ける客観的データの蓄積を図りたい。

V 参考データ

参考データとして、今回取得したLF/HFと α 波占有率の時系列変化の被験者ごとの結果を図-18、図-19に示す。

VI 謝辞

本研究を遂行するにあたり、実験およびデータ取得において岡山県立大学保健福祉学部こども学科高橋多美子先生ならびに同大学学生の皆様から多大なご協力をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

引用文献

- Eri Matsubara, Shuichi Kawai (2014) VOCs emitted from Japanese cedar (Cryptomeria japonica) interior walls induce physiological relaxation. *Building and Environment* 72: 125-130.
- Harumi Ikei, Chorong Song, Yoshifumi Miyazaki (2014) Physiological effects of touching hinoki cypress (Chamaecyparis obtusa) *J Wood Sci* 64: 226-236.
- 木村彰孝・佐々木靖・小林大介・飯島泰男・谷田貝光克 (2011) 室内空間への木材使用量の違いが二桁加算・減算の作業効率に与える影響. *木材学会誌* Vol.57, No.3: 160-168.
- 木村彰孝・杉山浩之・佐々木靖・谷田貝光克 (2011) ヒバ材を用いた室内空間での視覚・嗅覚刺激が人の心理・生理面に与える影響. *木材学会誌* Vol.57, No.3: 150-159.
- 兒玉隆之 (2016) 「匂い」を脳波から捉える. *感性工学* Vol.18 No.4
- 国土交通省・農林水産省 (2021) 脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律
- Masashi Nakamura, Harumi Ikei, Yoshifumi Miyazaki (2019) Physiological effects of visual stimulation with full-scale wall images composed of vertically and horizontally arranged wooden elements. *J wood Sci* 65, 55
- 松田洋樹 (2023) ヒノキ板材の中温乾燥処理における揮発性テルペン類の残存割合について. *岡山県農林水産総合センター森林研究所報* 38: 1-6
- 中川千鶴 (2016) 特集3人間工学のための計測手法 第4部:生体電気現象その他の計測と解析 (5) 1 -自律神経系指標の計測と解析. *人間工学会誌* Vol.52 (1) : 6-12.
- 日本住宅・木材技術センター (2025) 内装木質化した建物事例とその効果
- 野上英孝・河崎弥生・藤本登留 (2014) ヒノキ内装材の着色が視覚的印象に及ぼす影響. *木材学会誌* Vol.60, No.6: 319-327.
- 岡山県 (2022) 岡山県産材利用促進指針. 4pp.
- 林野庁 (2024) 令和6年度森林・林業白書. 151pp.
- 坂口大和・前田啓・恒次祐子 (2024) 中学生を対象とした教室内装における木材使用量の違いが見た目の印

- 象に与える影響の調査. 木材学会誌Vol.70, No.1, 1-11
- 清水秀美・今栄国晴 (1981) STATE-TRAIT ANXIETY INVENTORYの日本語版(大学生用)の作成. Japanese Journal of Educational Psychology, VOL.29, No.4
- 杉山真樹 (2015) 20年後の木材産業のために「木材と人の科学」を活かす方策. 木材学会誌Vol.61, No.3: 148-153.
- 恒次祐子・松原恵理・杉山真樹 (2017) 木質居住環境が人間にもたらす影響の評価手法. 木材学会誌Vol. 63, No.1: 1-13.
- 山口昌樹・花輪尚子・吉田博 (2007) 唾液アミラーゼ式交感神経モニタの基礎的性能. 生体医工学会誌45 (2) : 161-168.

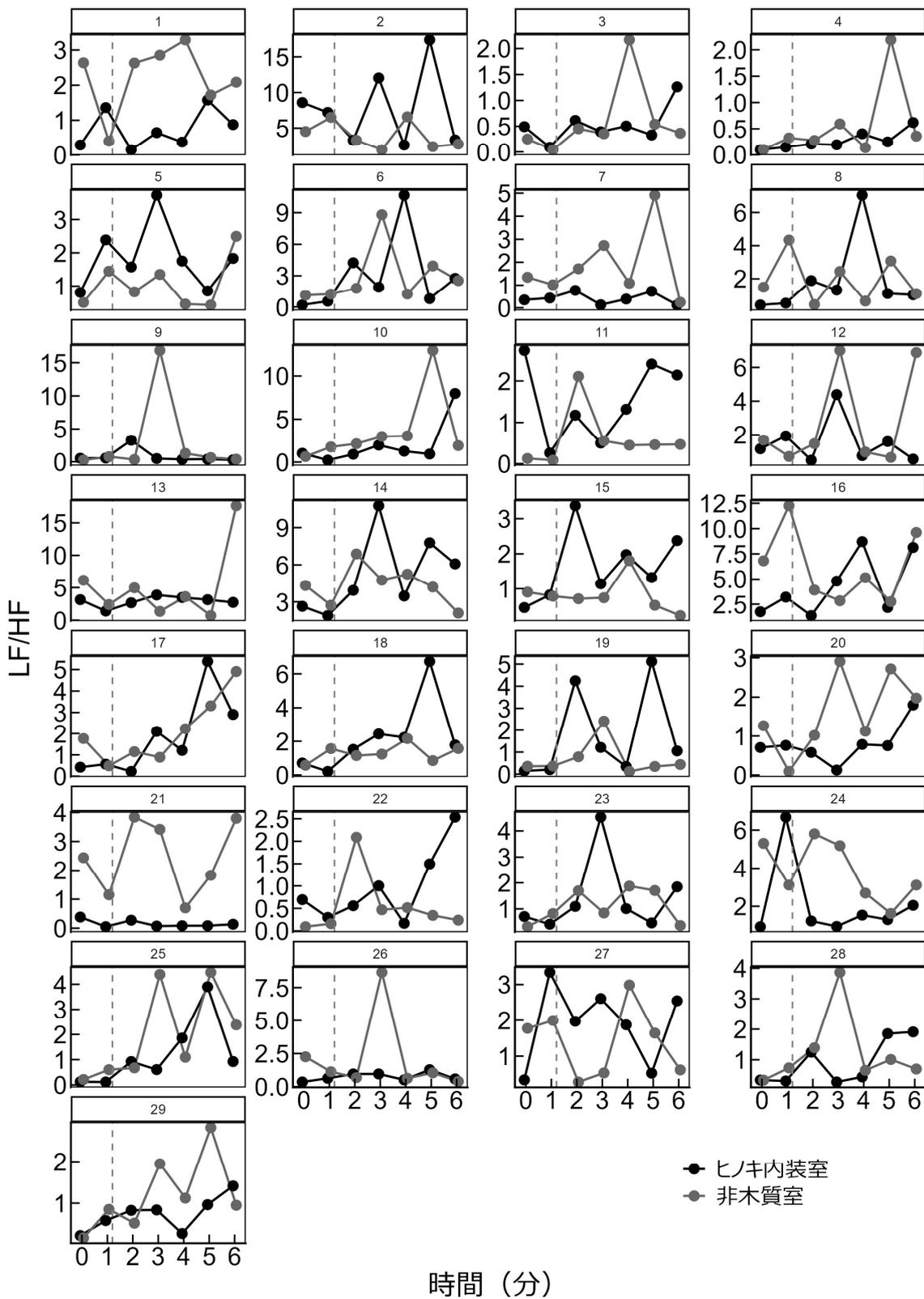


図-17 被験者ごとのLF/HFの時系列変化

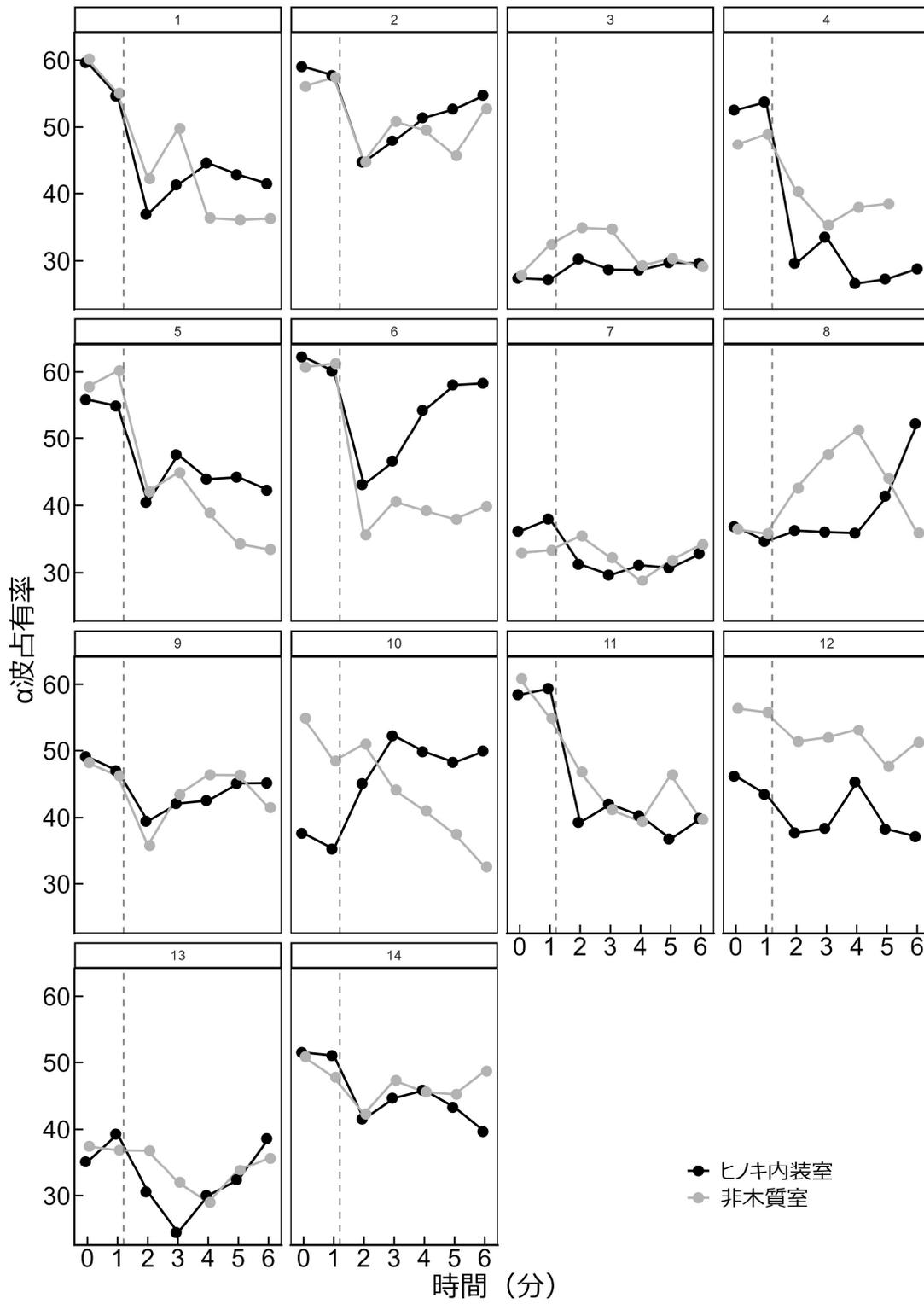


図-18 被験者ごとのα波占有率の時系列変化

CLTの新たな分野での利用方法の検討

道場 隆

Examination of new application fields for CLT

Takashi MICHIBA

要旨

道場 隆：CLTの新たな分野での利用方法の検討 岡山県農林水産総合センター森林研究所研報 40：60-65 (2026) CLT（直交集成板）は、ひき板（ラミナ）を繊維方向が直交するように積層接着した木質系の材料で、建築分野はもとより、土木分野においても利活用に向けた様々な取り組みがなされている。

そこで、本研究では、土木分野で使用する場合、用途によっては建築分野で求められているような高品質な要件が必ずしも必要ではないことから、ヒノキ小径木から採材した丸身ラミナを外層に使用した3層3プライのCLT（以下：土木用CLT）が仮設橋等の土木分野で活用できないか検討した。その結果、小径木から採材した丸身ラミナでもCLT製造工場のラインで生産が可能なこと、また、製造した土木用CLTが森林作業道等で利用できる可能性が示唆された。

キーワード：CLT, 土木分野, 土木利用, 丸身ラミナ

I はじめに

CLT（直交集成板）は、ひき板（ラミナ）を繊維方向が直交するように積層接着した直交構造を特徴とし、寸法安定性や面内剛性に優れた木質材料である。近年では大判厚物のパネルとして利用できることから、建築分野において低層はもとより中高層建築物の壁・床等のパネルとして採用が進んでいる。

また、CLTの歴史は1990年代中頃、オーストリアを中心として発展し、現在、欧州をはじめ北米など世界各地で普及が進んでいる。

日本では2013年12月にCLTの製造規格となるJAS（日本農林規格）が制定され、2016年4月に建築基準法に基づくCLT関連の告示が公布・施行された。これらにより、CLTの建築分野での幅広い利用が進められた。一方、建築以外の分野での利用は限定されており、国においては、2021年に策定したCLTの更なる利用拡大を目指した新たなロードマップにより、建築以外の分野での活用として「土木分野での活用」が明記され、土木分野においても利活用に向けた様々な取り組みがなされている（公益土木学会木材工学委員会 2022, 野田ほか 2023）。

CLTを土木用途へ使用する場合、建築用CLTとは異なる観点での性能評価が求められる。例えば、仮設橋等では、面外曲げ強度に加え、繰返し走行による耐摩耗性能、屋外暴露環境に対する耐久性など、土木特有の要求性能が重要となる。また、比較的短期間の利用であれば、製造コストの抑制が重視されるため、材料選択や製造工程の簡素化が可能であるかも検討すべき重要な視点となる。

以上の背景から、本研究では、ヒノキ小径木から採材

した丸身ラミナを外層に用いた3層3プライのCLT（以下、土木用CLT）に着目し、その土木用途への適用可能性を検討した。

検討にあたっては、ヒノキ小径木から採材した丸身ラミナがCLT製造工場のラインで使用可能かを確認するとともに、まず、土木用CLTの面外曲げ試験、走行摩耗試験、腐朽に対する耐久性試験を実施し、あわせて仮設橋を想定した実証試験を行った。

II 材料と方法

1 土木用CLT

より安価で強度のあるCLTを製造するため、単価の安い小径木（原木市場では柱材として使えない直径14cm程度のヒノキ丸太）の直材を原木市場から購入し、1本当たり3枚のラミナ（製材寸法 幅120mm, 厚み39mm, 長さ3,000mm）を102本の原木から製材した。製材には、帯鋸盤（富士製作所製）を用い、図-1のように採材した。

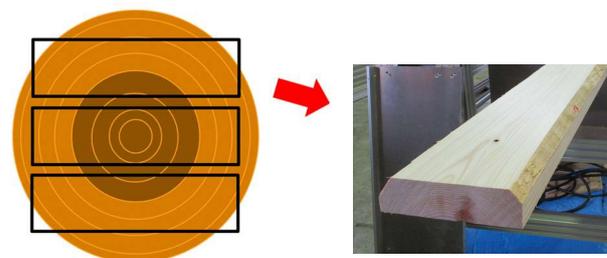


図-1 小径木の採材とヒノキ丸身ラミナ

採材したラミナは、目標含水率を12%程度とし、蒸気式乾燥機（OHV4-1HSV特殊型、大井製作所製）により中温乾燥を行った。この直径では、髄を含むラミナは丸身のないものが採材できるが、上下のラミナは図-1のように丸身が部分的に出現するため、髄を含むラミナを内層に、上下のラミナは丸身を外向きに外層へ使用した（図-2）。なお、外層に使用する丸身ラミナ（仕上げ寸法 幅110mm、厚み30mm、長さ3,000mm）は、曲げ強度を持たせるために、強度低下の要因となる縦継ぎを行わず、内層に使用するラミナのみ縦継ぎを施した。

土木用CLTは、マザーボード（幅2,940mm、厚み90mm、長さ8,010mm）を銘建工業（株）で製造し、そこから各種試験体を切り出した。製造した土木用CLTは、幅はぎ接着を行わず、積層接着のみとし、接着剤は、一般的にCLTに使用されている水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤（API）を使用した。

なお、製材したラミナのグレーディング結果は、表-1のとおりであり、この中からランダムに選定して土木用CLTに供した。



図-2 丸身を外層外向きとした土木用CLT

表-1 ラミナのグレーディング結果

等級区分	区分値	枚数
1	120MPa以上	118
2	90MPa以上 120MPa未満	169
3	60MPa以上 90MPa未満	17
4	30MPa以上 60MPa未満	2
5	30MPa未満	0
	計	306

2 試験方法

①面外曲げ試験（強軸）

面外曲げ試験は、土木用CLT（図-3）に加え、比較対象として銘建工業（株）から購入した既製品のスギCLT（S60-3-3）（以下：スギCLT）について実施した。

試験体は、所定の寸法（幅300mm、厚み90mm、長さ2,070mm）に採材し、それぞれ3体ずつ供試した。試験には、木材実大強度試験機（WU-3MN、テークスグループ製）

を用い、荷重点間距離630mmの3等分点4点荷重方式によって実施した（図-4）。



図-3 土木用CLT



図-4 面外曲げ試験の状況

②グラップル付きバックホウによる走行摩耗試験

走行摩耗試験は、図-5に示すように、土木用CLT（幅1,000mm、厚み90mm、長さ2,940mm）3枚とスギCLT（幅1,000mm、厚み90mm、長さ3,000mm）3枚を、進行方向が弱軸になるように並べて設置し、その上をグラップル付きバックホウ（ZAXIS50U HITACHI製）で走行させて実施した。走行には、ゴム製キャタピラーと金属製キャタピラーを用い、それぞれ直進で100往復させた。走行後、図-6に示す位置で最大摩耗量を測定した。



図-5 走行摩耗試験の実施状況

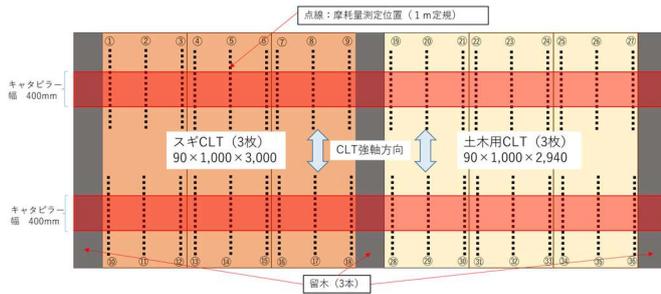


図-6 摩耗量の測定位置

③腐朽等に対する耐久性試験

腐朽等に対する耐久性を評価するため、土木用CLTおよびスギCLTについて、地表面からCLTの厚さを埋設し、表面を露出した試験体と、完全に地中へ埋設した試験体を設置し、目視による被害度の確認ならびに接着層の剥離状況を経時的に観察した。

試験体は、土木用CLTおよびスギCLTともに、幅300mm、厚み90mm、長さ300mmに採材したものを供試した。試験地は、当研究所（勝田郡勝央町）敷地内とし9カ所を設定した。試験地1カ所あたりの設置枚数は、土木用CLTおよびスギCLTをそれぞれ地表面に1枚、表層から50cm下の地中部に1枚、表層から100cm下の地中部に1枚設置した（図-7）。

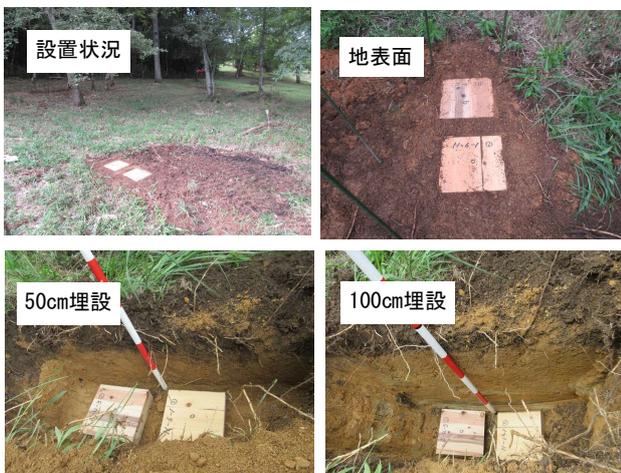


図-7 試験体の設置状況

なお、設置した9カ所のうち、3カ所は乾燥した礫質土が主体の斜面であり、残りの6カ所は、水分の多い粘性土が主体の傾斜の緩やかな平地である。

また、耐久性試験は、令和3年8月に試験体を設置し、設置から約1年、2年、3年が経過した時点で、それぞれ2カ所の試験地において試験体を掘り起こし、目視による被害度の判定及び接着層の剥離状況等の確認を行った。

④森林作業道の仮設橋としての実証試験

森林作業道の仮設橋としての適用可能性を確認する

ため、真庭市内の搬出間伐施工地において実証試験を実施した。図-8に示すように、従来の丸太横断工の代替として、土木用CLT（幅1,000mm、厚み90mm、長さ2,940mm）を車両の進行方向が強軸となるように2枚設置した。



図-8 仮設橋としての実証試験

走行は木材運搬車であるフォワーダー（車両重量 6 t、積載重量 4 t、ゴム製キャタピラー）が19往復した。

なお、設置した土木用CLTは、前述したグラブ付バックホウによる走行摩耗試験で使用した試験体を転用した。

III 試験結果と考察

①面外曲げ試験（強軸）

試験結果を表-2に示す。土木用CLTの面外曲げ強度は、スギCLTの2倍程度であった。土木用CLTの面外曲げ強度がスギCLTよりも強い主な要因としては、次のことが考えられる。まず、ヒノキはスギと比較して材質強度が相対的に高いこと（木材工業ハンドブック2007, 木構振2011）、次に、曲げ強度への大きな影響を及ぼす外層ラミナに、強度低下の要因となる縦継ぎを行っていないこと、図-9に示すように、外層に流れ節の出現が非常に少ないことなどが挙げられる。これらから、森林作業道等で使用する仮設橋を想定し、支点間隔が1.5mの中央集中荷重とした場合でも、面外曲げ強度から逆算すると幅300mmで、約6 tの耐荷重があり、仮設橋としての使用の可能性が示唆された。

表-2 面外曲げ試験 試験結果

試験体	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	最大荷重 (kN)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	破壊形態
No.1 土木用CLT	521	15.0	81.4	11.21	62.6	曲げ・せん断
No.2 土木用CLT	521	14.6	83.6	11.38	64.4	曲げ・せん断
No.3 土木用CLT	493	14.3	75.1	11.10	57.8	曲げ
No.1 スギCLT	420	12.5	44.3	6.91	34.0	曲げ
No.2 スギCLT	439	12.2	41.4	7.25	31.9	曲げ
No.3 スギCLT	401	13.0	28.2	7.10	21.6	曲げ



図-9 ラミナの節の状況

②グラブ付きバックホウによる走行摩耗試験

走行後、図-6の位置に1mのステンレス製定規を当て、最大摩耗量を測定した。測定結果を表-3に示す。ゴム製キャタピラーの最大摩耗量の平均値は、スギCLTが0.53mm、土木用CLTが0.06mmであった。また、金属製キャタピラーの場合、スギCLTが0.58mm、土木用CLTが0.36mmであった。各測定箇所における最大摩耗量はいずれも1mm以下であり、外層が摩耗により消失するまで往復走行を繰り返すと仮定した場合、計算結果から約3,000往復を要することが示された。これらの結果より、スギCLTと比較して土木用CLTの摩耗量は小さく、ゴム製・金属製キャタピラーのいずれにおいても、表面にわずかな摩耗が認められたものの、5tクラスのバックホウによる走行に対して使用上の問題は無いことが確認された(図-10)。

表-3 走行摩耗試験の結果

ゴム製キャタピラー				金属製キャタピラー				
種類	No.	摩耗量 (mm)	種類	No.	摩耗量 (mm)	種類	No.	摩耗量 (mm)
スギ CLT	(1)	0.5	土木用 CLT	(19)	0.0	スギ CLT	1	0.0
	(2)	0.5		(20)	0.0		2	0.5
	(3)	0.5		(21)	0.0		3	0.5
	(4)	0.5		(22)	0.0		4	0.0
	(5)	0.5		(23)	0.0		5	1.0
	(6)	0.5		(24)	0.0		6	1.0
	(7)	0.5		(25)	0.0		7	1.0
	(8)	0.5		(26)	0.0		8	0.5
	(9)	0.5		(27)	0.0		9	1.0
	(10)	1.0		(28)	0.0		10	1.0
	(11)	0.5		(29)	0.0		11	1.0
	(12)	1.0		(30)	0.0		12	0.5
	(13)	0.5		(31)	0.0		13	0.0
	(14)	0.5		(32)	0.0		14	0.5
	(15)	0.0		(33)	0.0		15	1.0
	(16)	1.0		(34)	0.0		16	1.0
	(17)	0.5		(35)	0.0		17	0.0
	(18)	0.0		(36)	1.0		18	0.0
平均	0.53	平均	0.06	平均	0.58	平均	0.36	



図-10 土木用CLTの摩耗状況
(金属製キャタピラーの試験後の状況)

③腐朽等に対する耐久性試験

設置後、約1年、2年、3年が経過した時点で、それぞれ2カ所の試験地から試験体を掘り起こし、腐朽状況を確認した。

腐朽等による被害状況の評価は、CLTの幅方向の両面について、目視および触診によって実施した。被害程度の判定は、表-4に示す森林総合研究所の基準(雨宮1963)に基づき評価した。被害度判定結果を表-5に示す。

表-4 被害度判定基準

被害度	観察状態
0	健全
1	部分的に軽度の虫害、または腐朽
2	全面的に軽度の虫害、または腐朽
3	2の状態の上に部分的に激しい虫害、または腐朽
4	全面的に激しい虫害、または腐朽
5	虫害または腐朽により形が崩れる

表-5 被害度判定結果

試験体	土質	埋設深さ	被害度判定					
			設置1年後		設置2年後		設置3年後	
			上面	下面	上面	下面	上面	下面
土木用 CLT	地点1 (H43) 粘性土	地表面	0	0				
		50cm埋設	0	0				
		100cm埋設	0	0				
	地点2 (H41) 礫質土	地表面	0	4				
		50cm埋設	3	3				
		100cm埋設	1	2				
	地点3 (H53) 粘性土	地表面		0	2			
		50cm埋設		2	3			
		100cm埋設		0	0			
	地点4 (H61) 礫質土	地表面		0	0			
		50cm埋設		0	0			
		100cm埋設		0	0			
	地点5 (H63) 粘性土	地表面				2	3	
		50cm埋設				0	1	
		100cm埋設				3	2	
	地点6 (H51) 礫質土	地表面				2	1	
		50cm埋設				1	0	
		100cm埋設				1	0	
スギ CLT	地点1 (S42) 粘性土	地表面	0	0				
		50cm埋設	0	0				
		100cm埋設	0	0				
	地点2 (S61) 礫質土	地表面	0	1				
		50cm埋設	0	0				
		100cm埋設	0	0				
	地点3 (S63) 粘性土	地表面		0	1			
		50cm埋設		1	2			
		100cm埋設		0	0			
	地点4 (S43) 礫質土	地表面		0	0			
		50cm埋設		0	0			
		100cm埋設		0	0			
	地点5 (S53) 粘性土	地表面				1	2	
		50cm埋設				0	0	
		100cm埋設				3	4	
	地点6 (S51) 礫質土	地表面				2	0	
		50cm埋設				0	0	
		100cm埋設				0	0	

3年とも、判定に用いた試験体は毎年2カ所の試験地から掘り起こしており、いずれの年も1カ所は乾燥した礫質土の斜面、もう1カ所は水分の多い粘性土の傾斜の緩やかな平地である。

設置1年後の被害度判定結果については、乾燥した礫質土の斜面に設置した土木用CLT(H41)の地表面に設置した下面がシロアリの食害を受け、被害度4と大きな被害が確認された(図-11)が、他の地点では、ほとんど被害は認められなかった。同一地点の地表面に土木用CLTとスギCLTを並べて設置したにもかかわらず、土木用CLTの被害が大きかった要因としては、土木

用CLTが丸身を外側に向けて製造されており、表面がシロアリに食害されやすい辺材部で構成されていたことが影響したと考えられた。

設置2年後の被害度判定結果については、水分の多い粘性土で傾斜の緩やかな平地の地表面に設置した土木用CLT (H53) の下面に一部シロアリ食害が見られたものの被害は軽度であった。ただし、地表下50 cmでは、腐朽による被害が最も大きく (図-12 左), 同一地点のスギCLT (S63) についても同様の結果であったが、乾燥した礫質土の斜面に設置した土木用CLT (H61) やスギCLT (S43) については、2年経過後であってもほとんど被害は確認できなかった (図-12 右)。

設置3年後の被害度判定結果については、設置2年後に被害の大きかった水分の多い粘性土の傾斜の緩やかな平地の地表下50cmでは、一部に軽度な被害が認められたが、顕著な被害はほとんど確認されなかった (図-13)。しかし、地表面および地表下100cmに埋設した試験体では、土木用CLT (H63) およびスギCLT (S53) とともに被害が大きかった (図-14)。

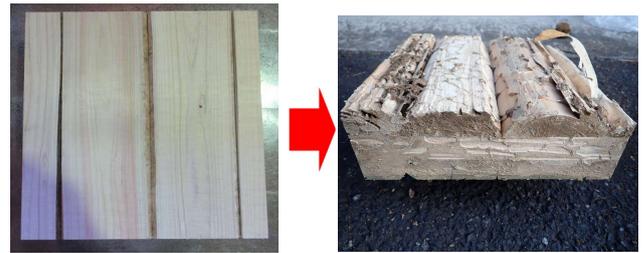
次に、掘り起こし直後の試験体について接着層の剝離状況を目視で確認した。その結果、節に起因すると考えられる局所的な剝離がわずかに認められたものの、約1年間の埋設において土木用CLTの接着層剝離は確認されなかった。

一方、設置2年後および3年後の試験体については、接着層の剝離か木破 (木材自体の破断) によるものか判別が困難であったため、接着層付近に割れが認められたものをカウントした。その結果、設置2年後に割れが確認された土木用CLTは1体 (1体は測定不可)、設置3年後では1体であった。これに対し、スギCLTは設置2年後で3体、設置3年後で5体に割れが確認され、スギCLTに比べて土木用CLTの割れ発生は少ないことが明らかとなった。

これらの結果から、土木用CLTは設置1年後に一部で顕著なシロアリ被害が確認されたものの、乾燥した礫質土の斜面では、設置後3年を経過しても、地中に埋設された面における腐朽やシロアリ被害は軽度であった。一方、水分の多い粘性土の平地では、設置年数の増加に伴い被害が顕在化する傾向が確認された。

さらに、接着層の耐久性に着目すると、土木用CLTでは埋設1年後に接着層の剝離は確認されず、設置2年後および3年後においても、接着層付近に生じた割れの発生数はスギCLTより少なかった。

以上から、土木用CLTは、シロアリ被害を考慮しつつ適切な設置環境を選定した場合には一定の性能を有していると考えられるものの、様々な場所での使用を前提とした実用上十分な性能を有すると判断するには、さらなる検討が必要である。



土木用CLT (H41) 設置前 土木用CLT (H41) 1年後

図-11 耐久性試験 (地表面設置1年後の状況)



土木用CLT (H53) 土木用CLT (H61)

図-12 耐久性試験 (地表下50cmでの設置2年後の状況)



土木用CLT (H51) (軽度な被害)

図-13 耐久性試験 (地表下50cmでの設置3年後の状況)



土木用CLT (H63)

図-14 耐久性試験 (地表下100cmでの設置3年後の状況)

④森林作業道の仮設橋としての実証試験

横断溝の幅は約1mであったが、車両走行時に顕著なたわみは認められず、走行安定性は良好であった。さらに、撤去後に目視による破損状況の確認を行った結果、接着層の剝離を含め、使用上の支障となるような大きな破損は認められなかった (図-15)。



フォワーダーの走行状況

使用後の状況

図-15 土木用CLT設置状況等

IV まとめ

土木用CLTは、厚さ90mmの3層3プライ構成であっても、森林作業道に設置される横断溝の仮設橋として、10tクラスの木材運搬車の走行に十分耐え得る性能を有することが明らかとなった。

一方、長期間設置する場合には、腐朽やシロアリ被害への対策が不可欠であることが示されるとともに、適切なメンテナンス間隔や設置期間と面外曲げ強度との関係について、今後さらなる検証が必要である。また、小径木から採材した丸身ラミナはCLT製造工場の既存ラインで使用可能であることが明らかとなったが、低コスト化を図るためには、ラミナの天然乾燥や仕上げ工程の省略などについての検討も必要であることから、引き続き、CLTの土木分野における利活用の可能性について検討し、木材需要の拡大に寄与することを目指す。

謝辞

本研究にあたり、銘建工業株式会社、服部興業株式会社の方々には多大なる協力をいただきました。記して深謝いたします。

引用文献

公益社団法人土木学会木材工学委員会(2022)

土木における木材の利用拡大に関する横断的研究報告書

野田龍，足立幸司，山内秀文(2023)

土木分野への直交集成板（CLT）の利用拡大に向けた取り組み—製造方法の検討—，第73回日本木材学会大会，Y16-03-1000

木材工業ハンドブック(2007) 改訂4版

木構造振興株式会社(2011)

木材の強度等データおよび解説

雨宮昭二(1963)

浅川実験林苗畑の杭試験（1）杭の被害程度を評価する方法 林業試験場試験報告，第150号，143-156

編集・発行	研究報告第40号
郵便番号	岡山県農林水産総合センター森林研究所 709-4335
所在地	岡山県勝田郡勝央町植月中 1001
電話番号	(0868) 38-3151(代)
F A X	(0868) 38-3152
ホームページ	http://www.pref.okayama.jp/ soshiki/209/

B U L L E T I N

N o . 40

OKAYAMA PREFECTURAL TECHNOLOGY CENTER FOR
AGRICULTURE, FORESTRY AND FISHERIES
RESEARCH INSTITUTE FOR FORESTRY AND FOREST PRODUCTS

Uetsukinaka. Shoo-cho. Katsuta-gun.

OKAYAMA-Ken. 〒709-4335. Japan

M a r c h 2026

<http://www.pref.okayama.jp/soshiki/209/>