

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スギについては、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

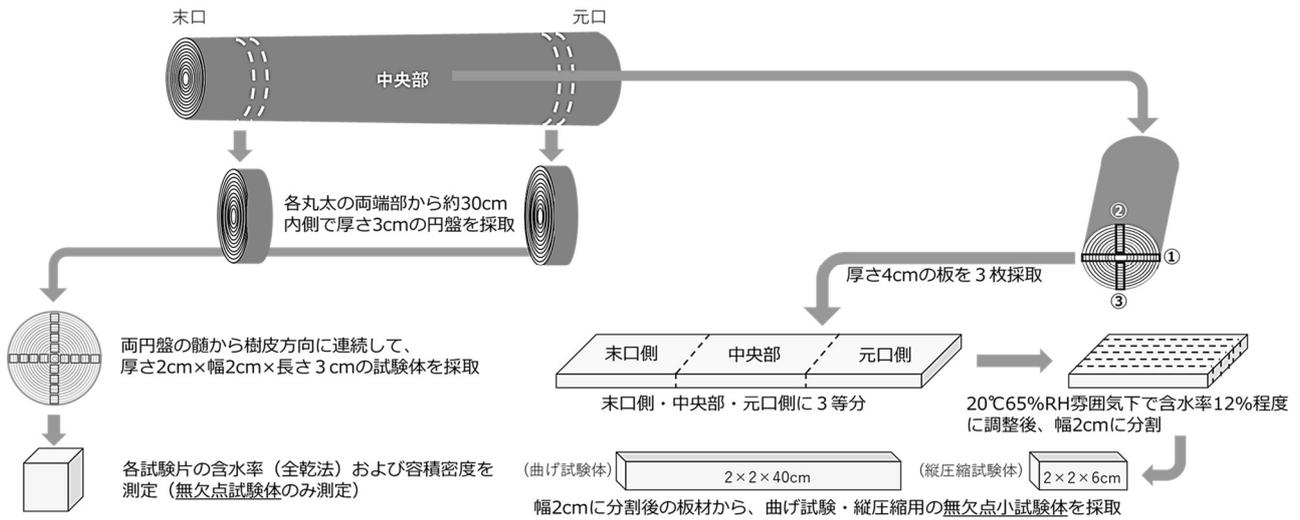


図1 各種試験体の丸太からの採取方法

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

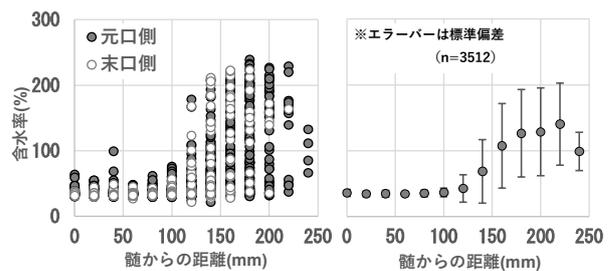


図 2 丸太横断面内半径方向における含水率の変動 (左：全データ，右：平均値)

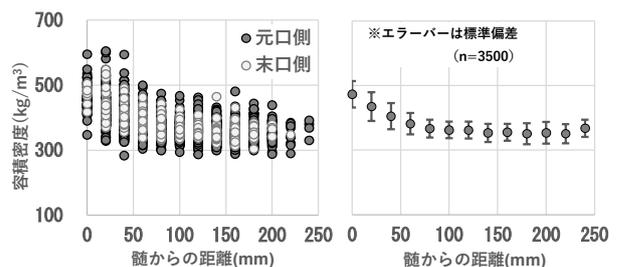


図 3 丸太横断面内半径方向における容積密度の変動 (左：全データ，右：平均値)

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

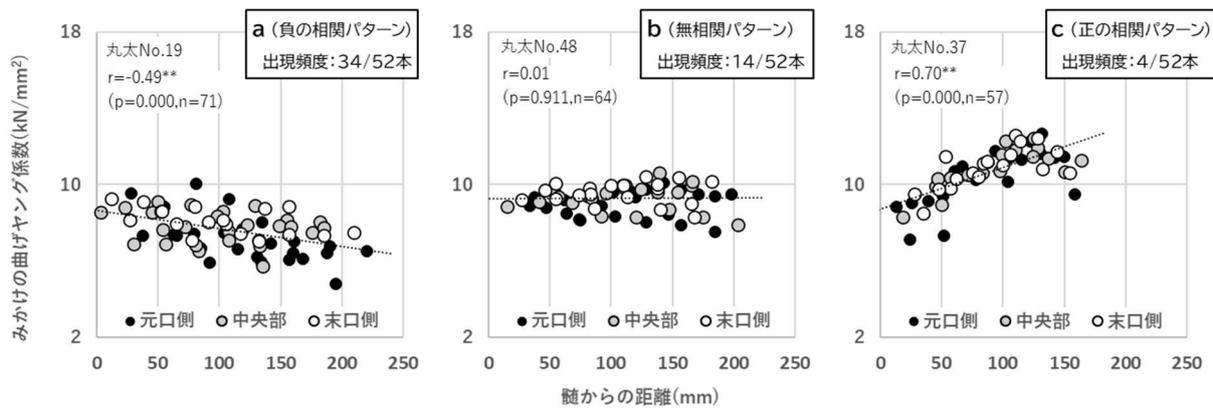


図4 丸太横断面内半径方向におけるみかけの曲げヤング係数の変動パターン(一例)と出現頻度

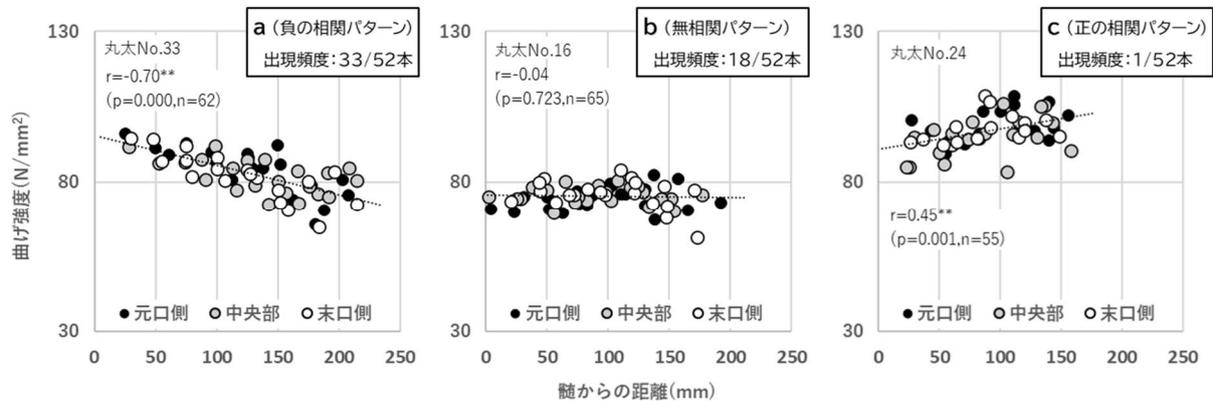


図5 丸太横断面内半径方向における曲げ強度の変動パターン(一例)と出現頻度

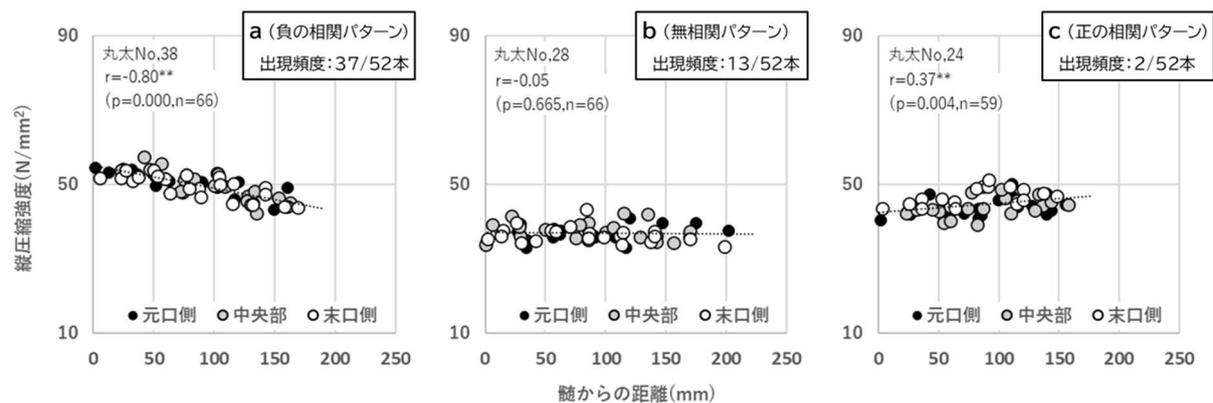


図6 丸太横断面内半径方向における縦圧縮強度の変動パターン(一例)と出現頻度

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

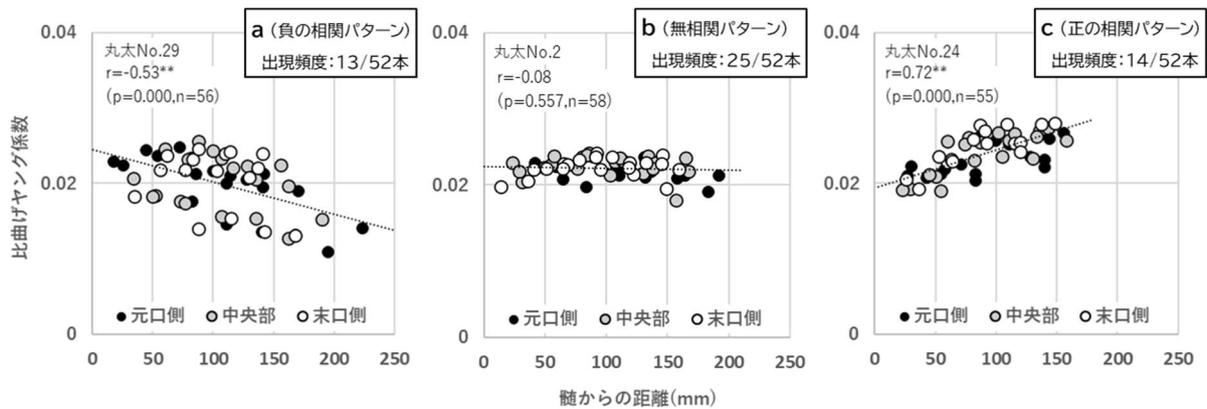


図7 丸太横断面内半径方向における比曲げヤング係数の変動パターン（一例）と出現頻度

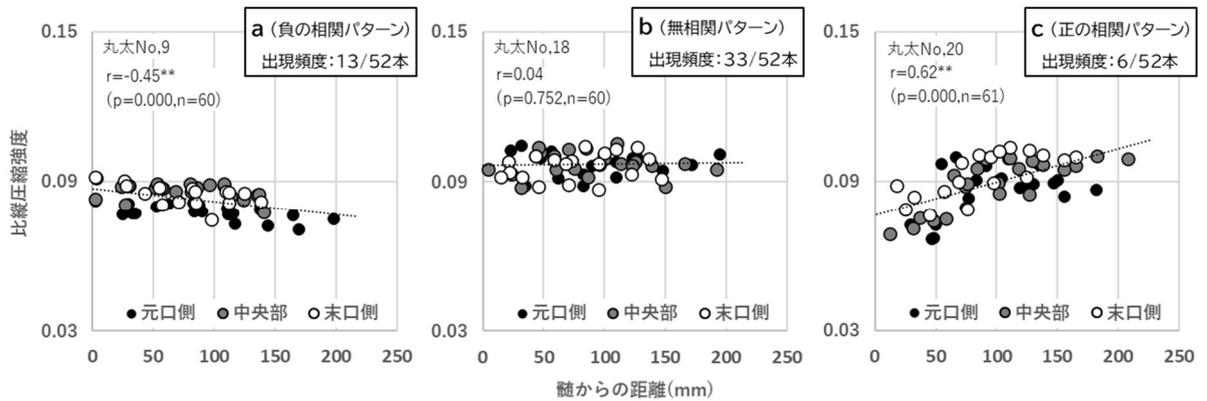


図8 丸太横断面内半径方向における比曲げ強度の変動パターン（一例）と出現頻度

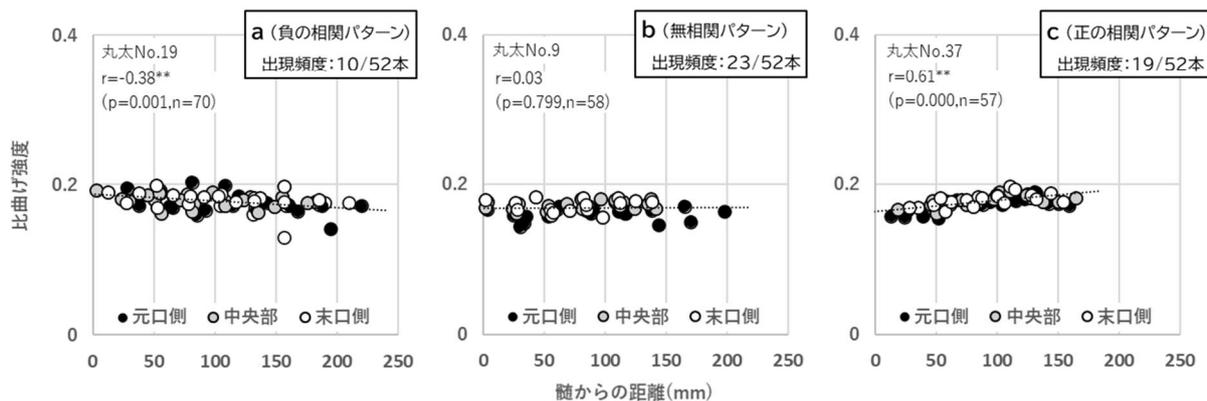


図9 丸太横断面内半径方向における比縦圧縮強度の変動パターン（一例）と出現頻度

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 昂，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

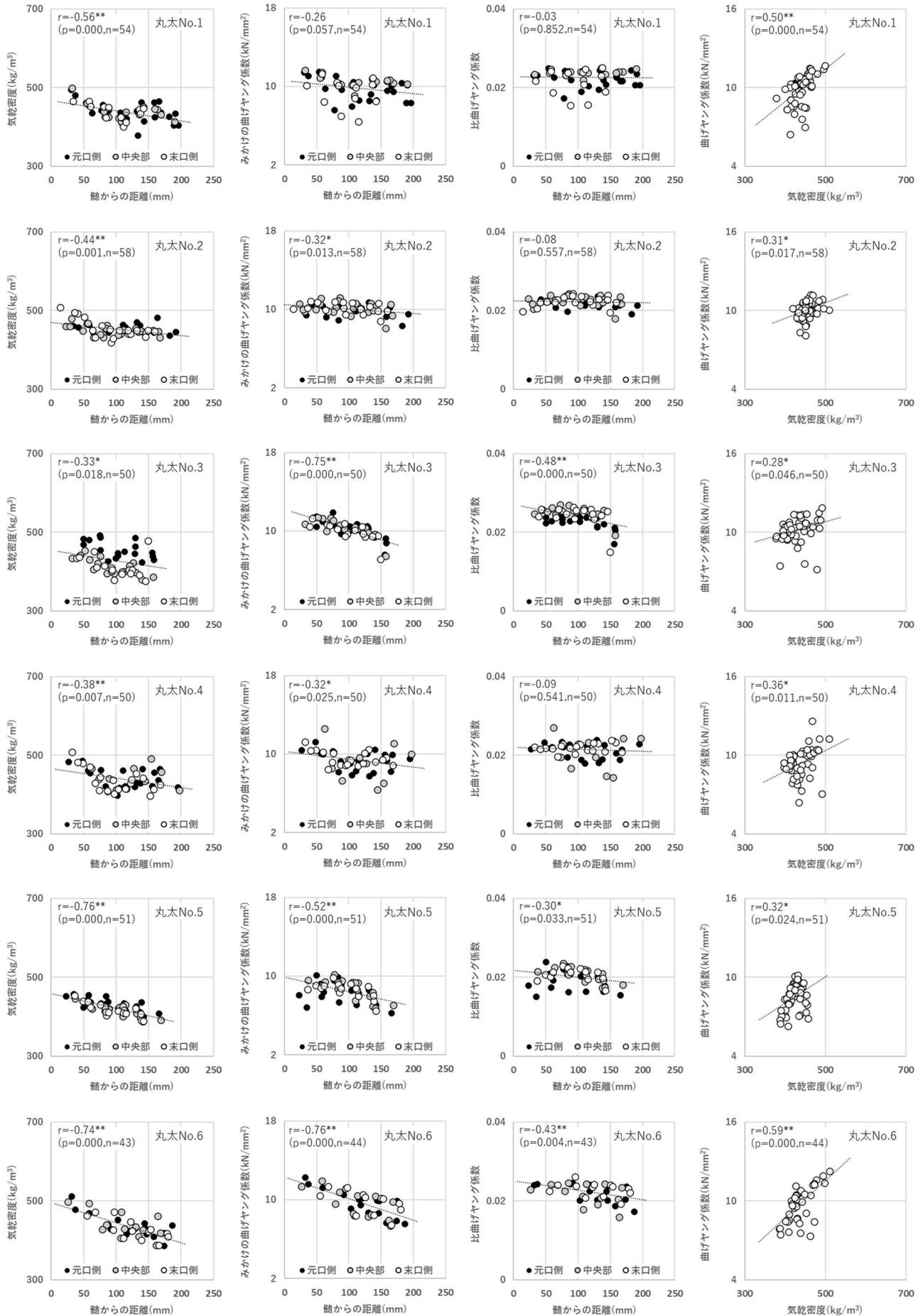
永井 智，山田範彦，山田直也，前田雅量（1988）兵庫県内産スギ材の材質（I），年輪幅・容積密度・ヤング率および比ヤング率の樹幹内変動，兵庫県立森林・林業技術センター研究報告第 45 号:17-29

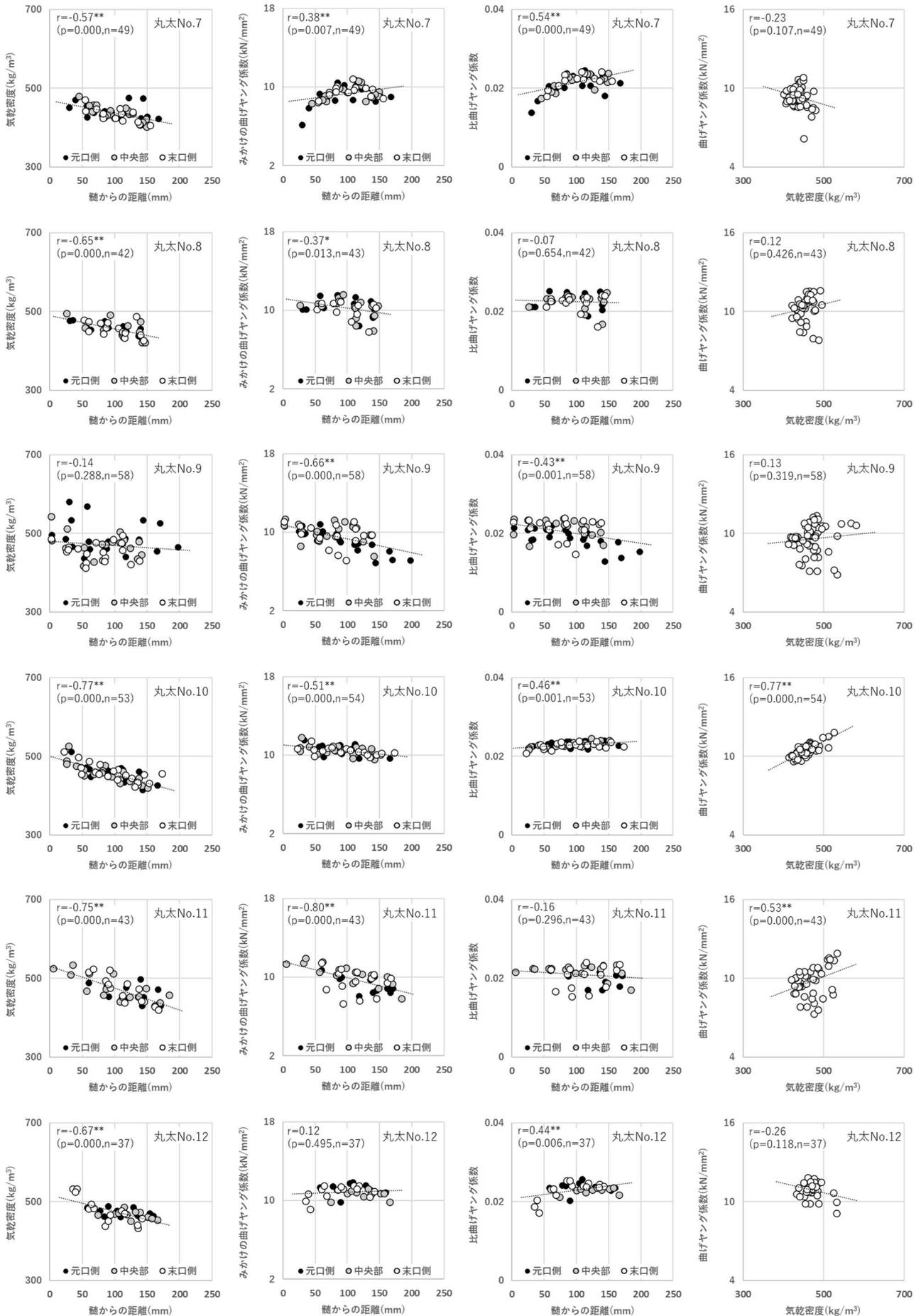
井道裕史，長尾博文，加藤英雄（2012）大径丸太から採取された心去りヒノキ製材品および無欠点小試験体の強度性能，森林総合研究所研究報告 Vol.11, No.3:121-133

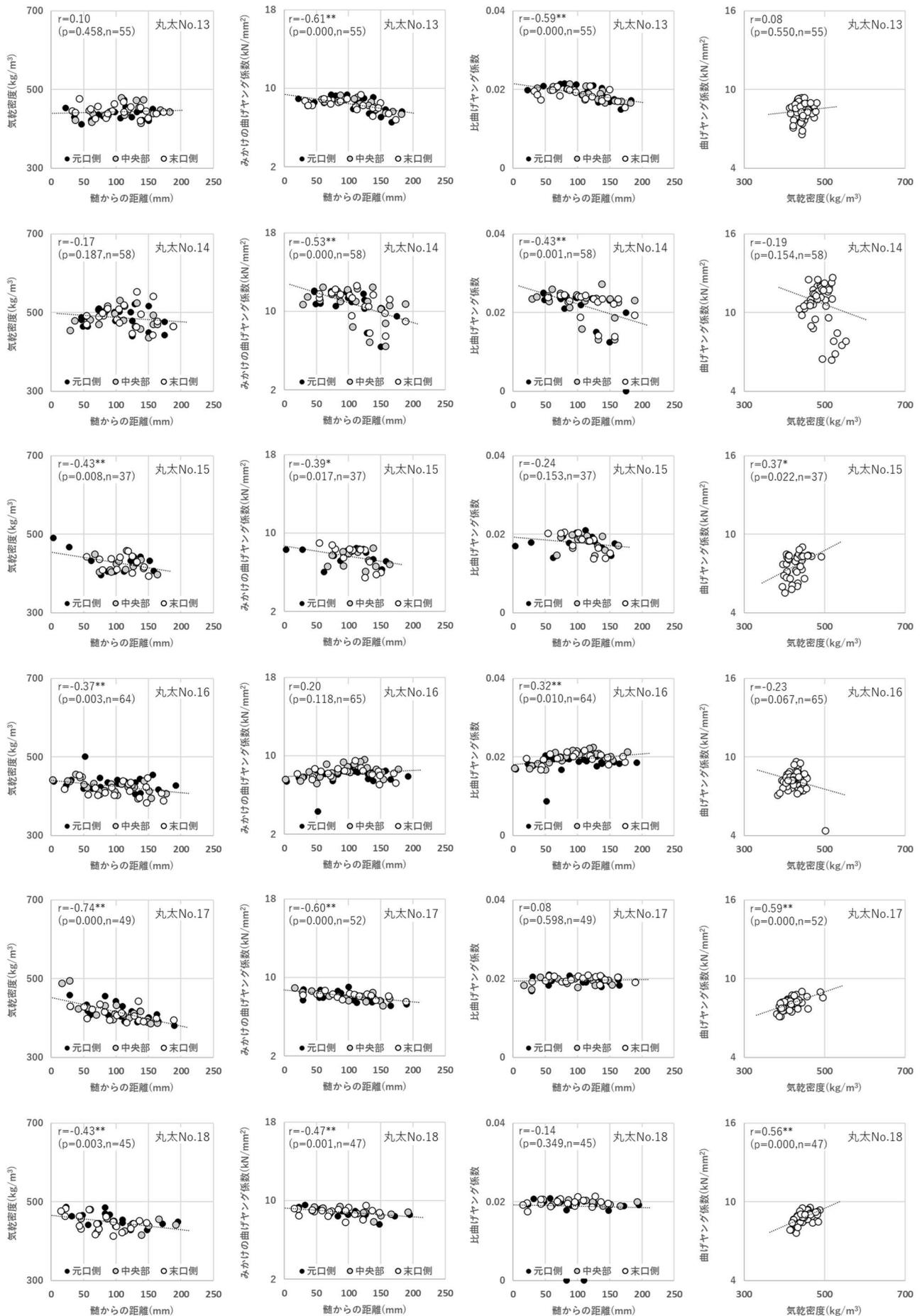
塩倉高義（1982），針葉樹幹材における未成熟材の区分とその範囲，木材学会誌 Vol.28, No.2:85-90

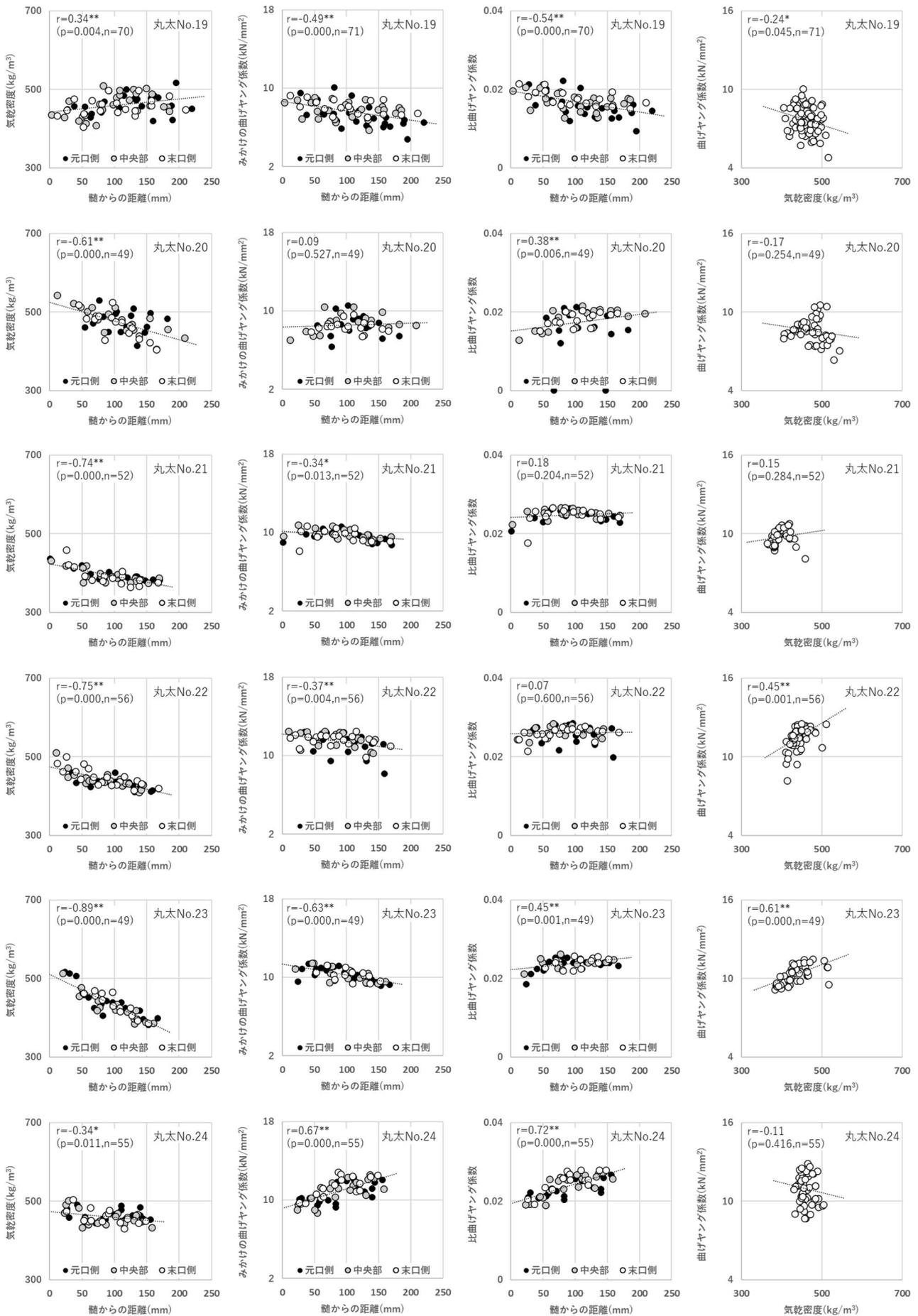
田戸岡尚樹，小泉章夫，朱 健軍（2005）スギの組織構造及び力学的特性の樹幹内変動，北海道大学演習林研究報告第 62 巻第 1 号:15-30

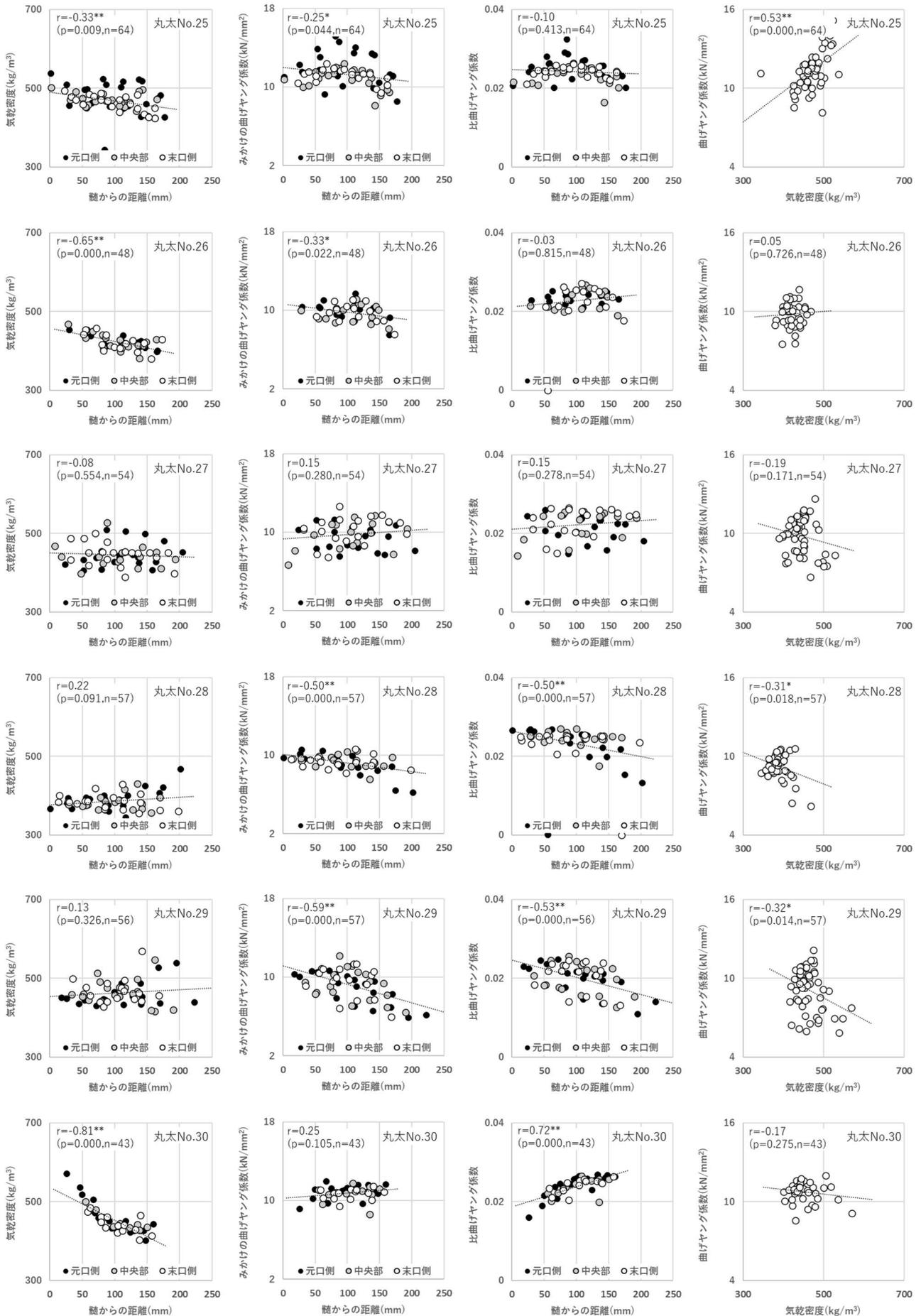
V-a 曲げヤング係数

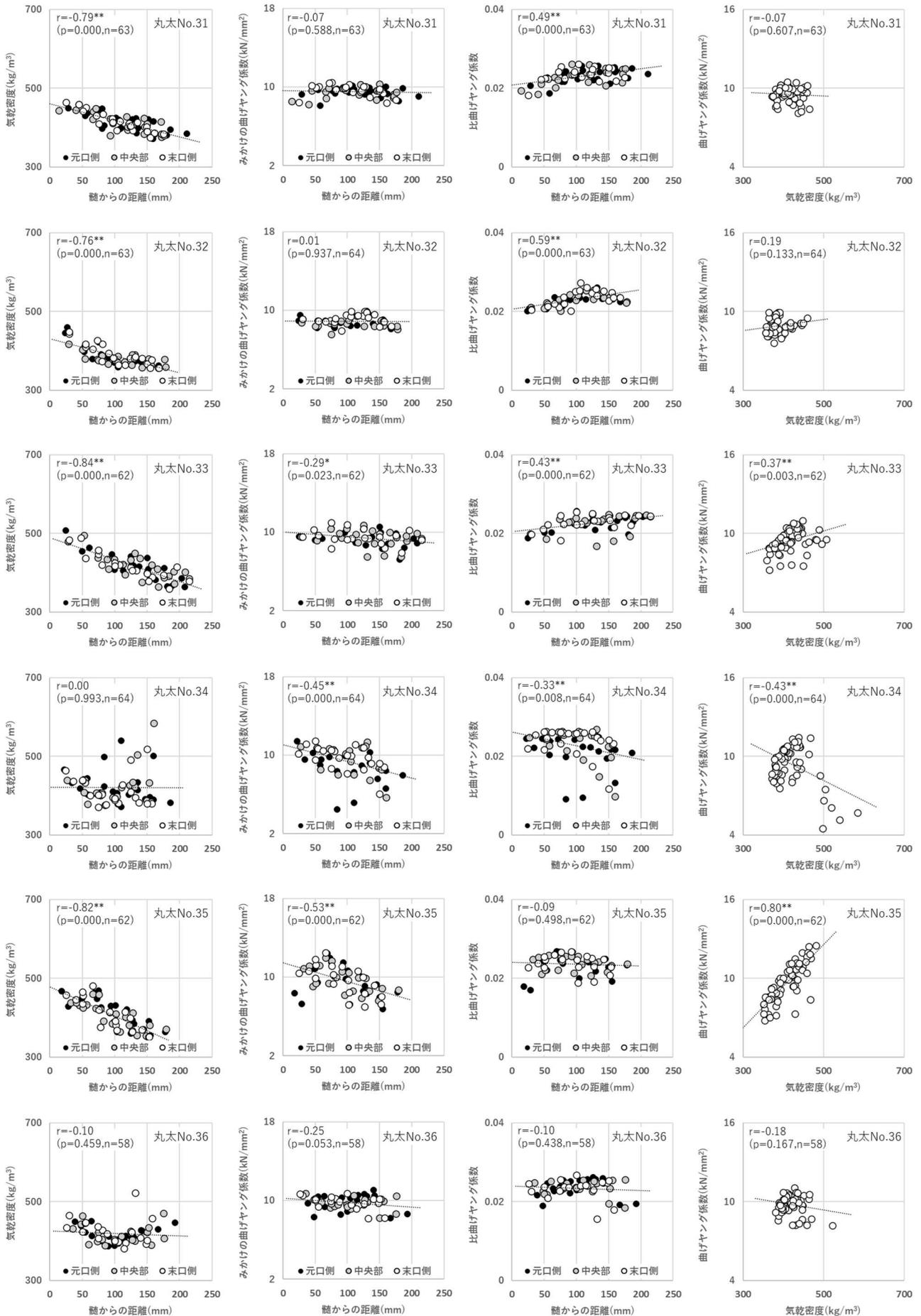


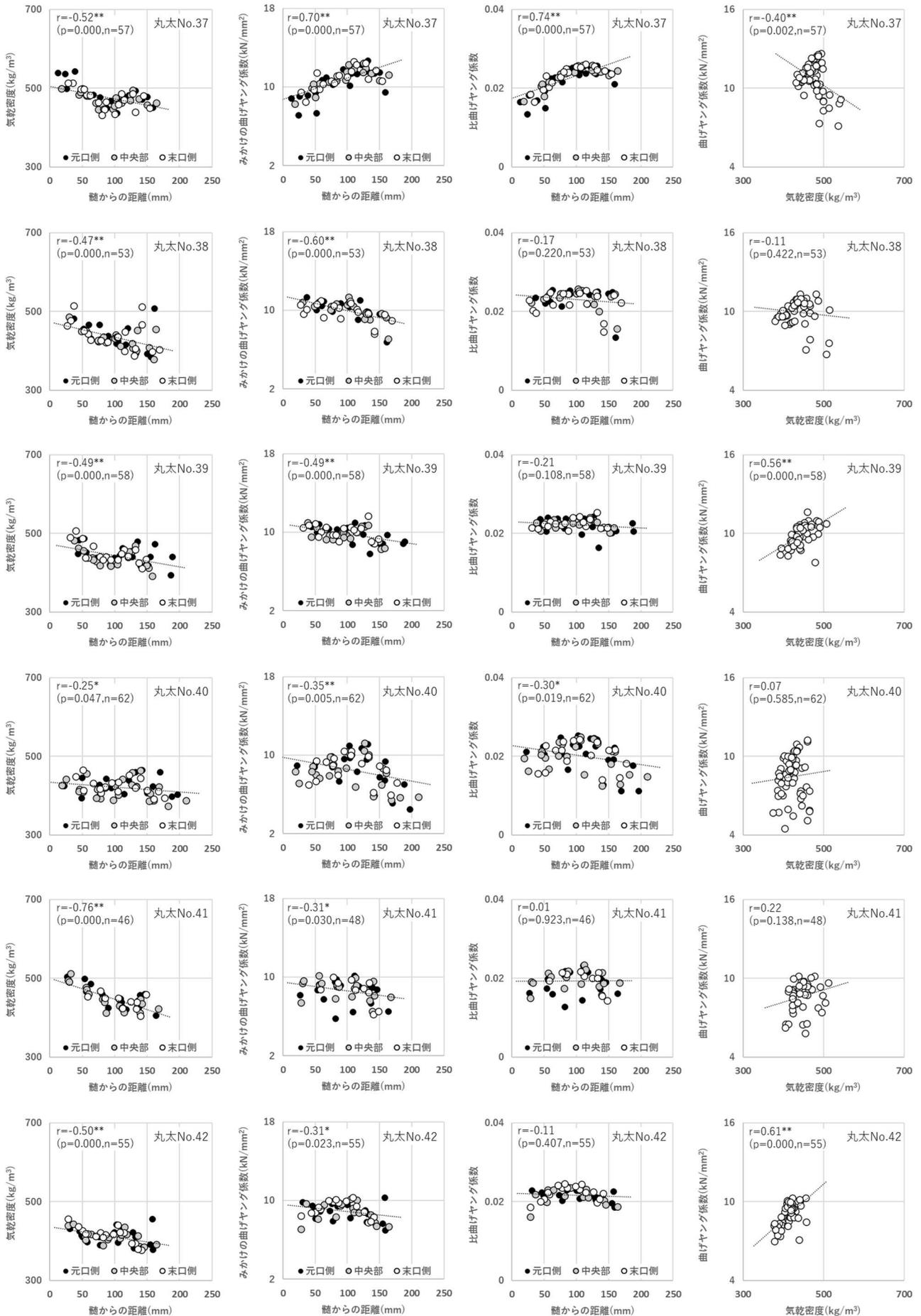


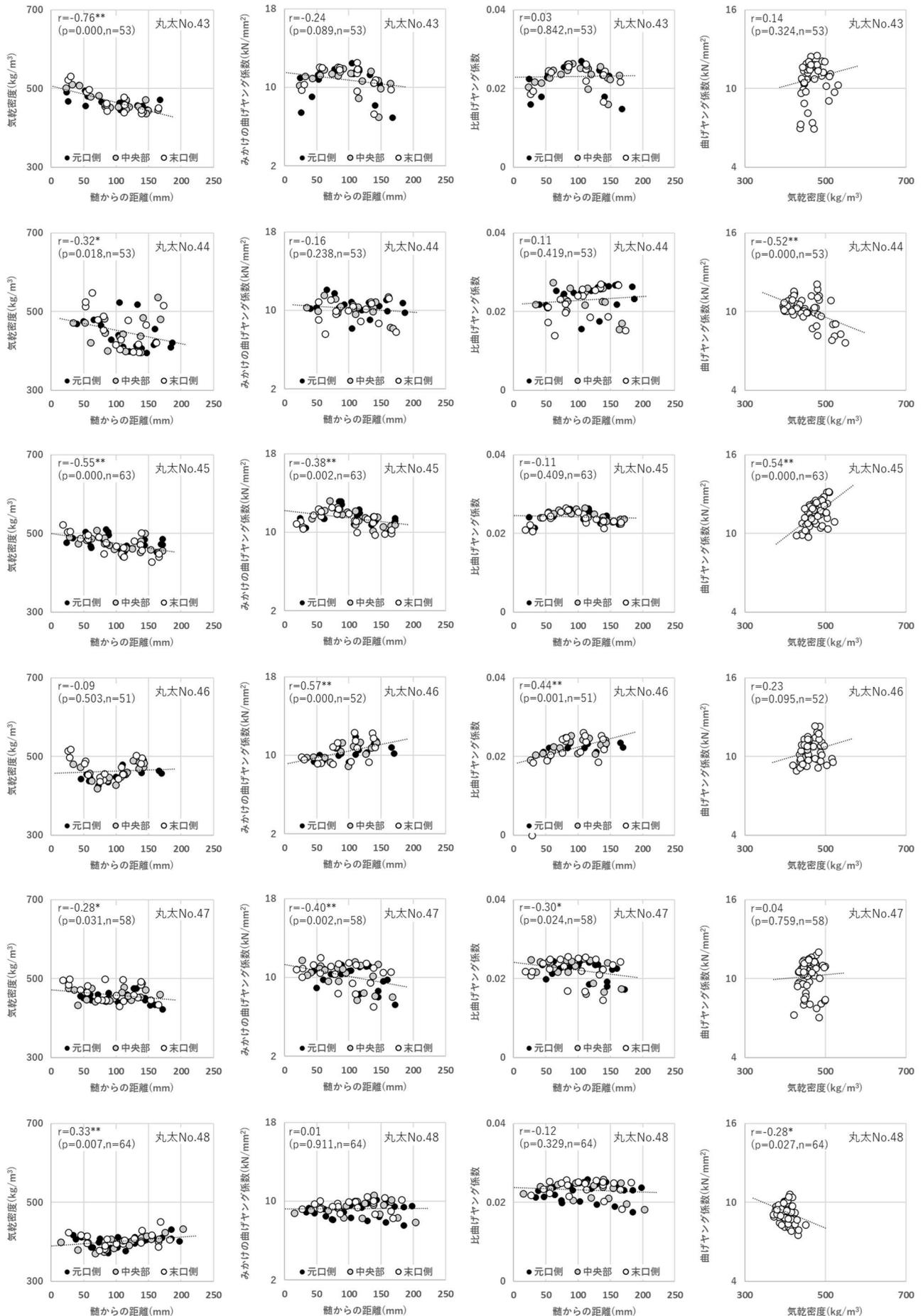


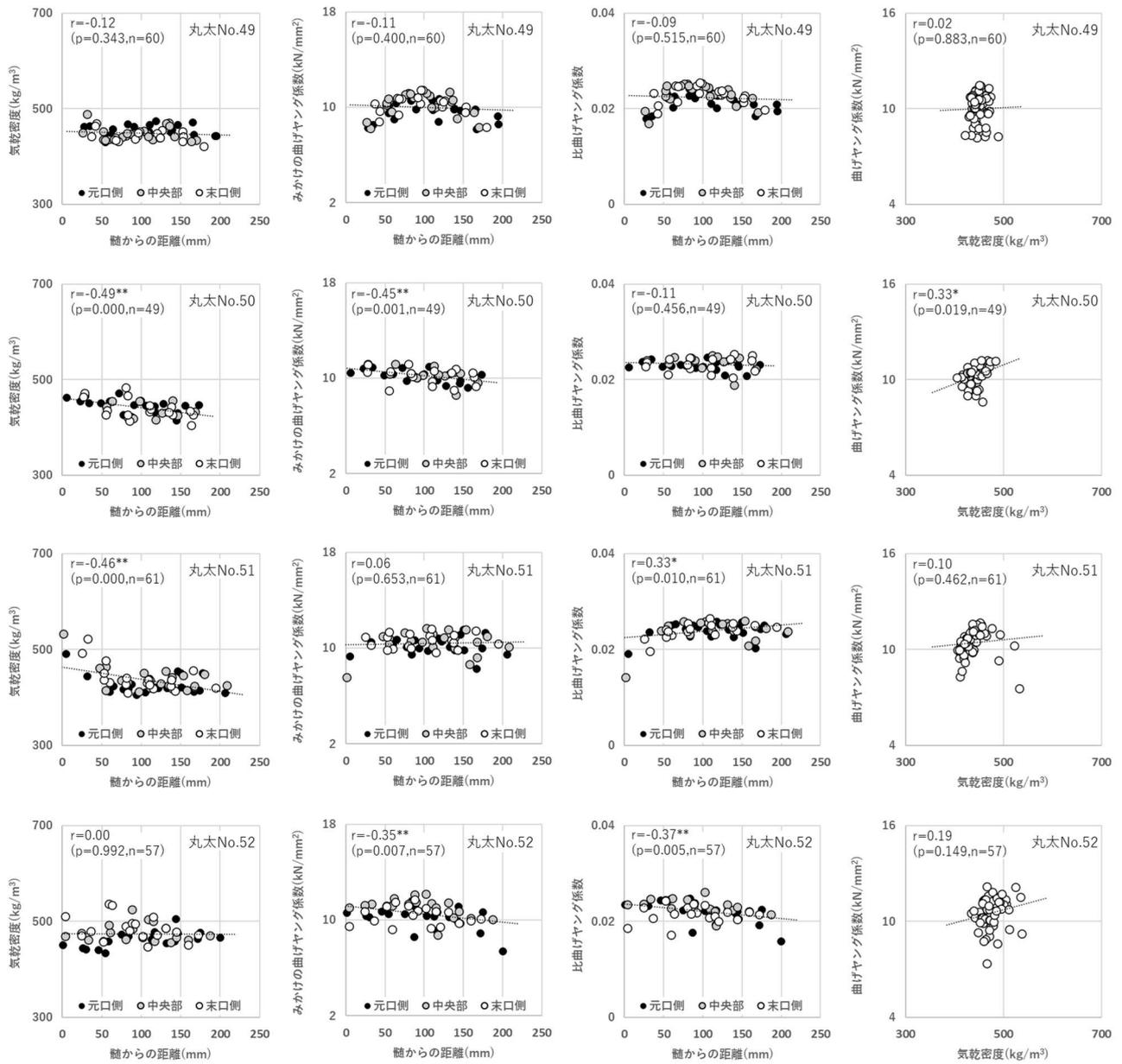




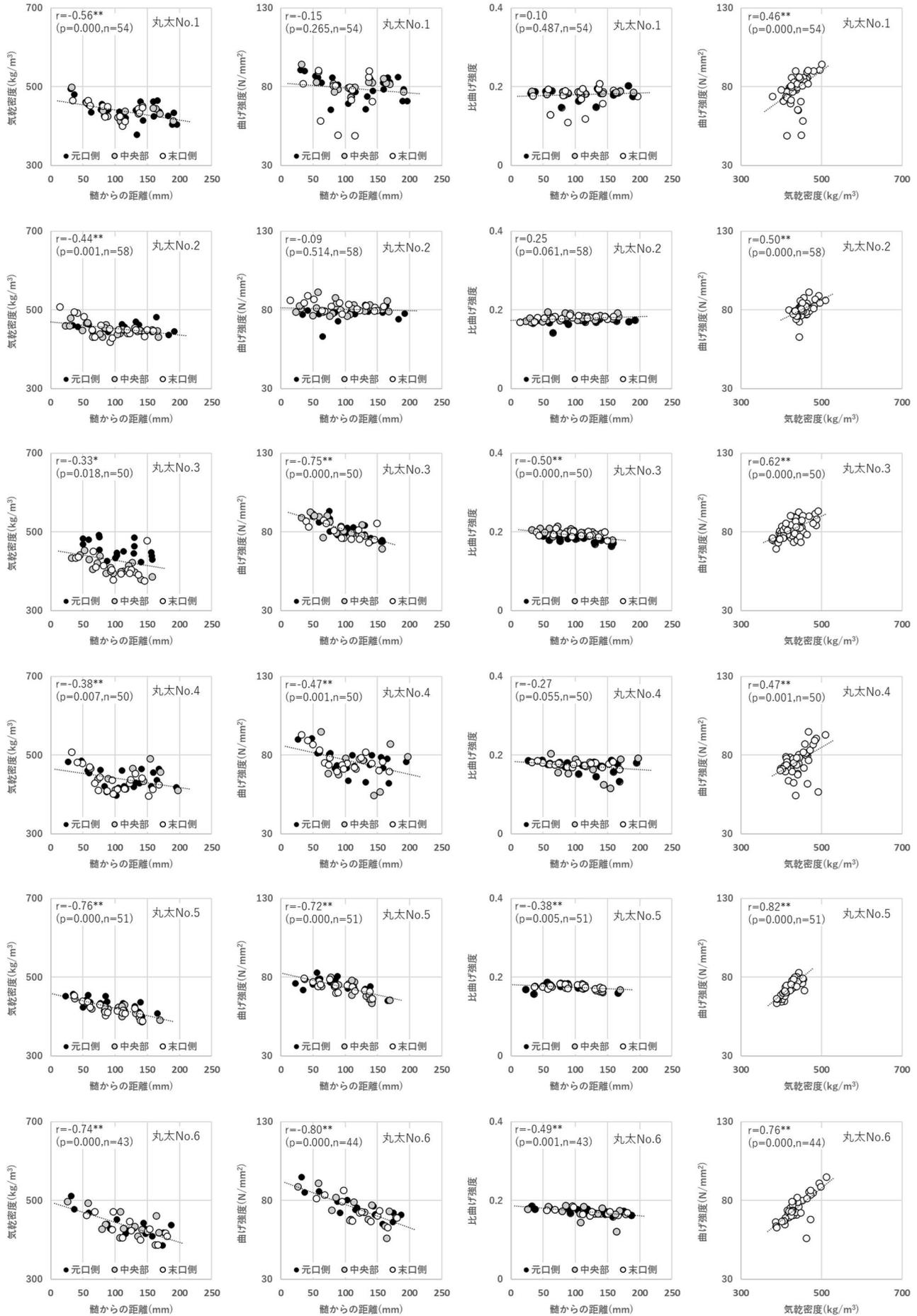


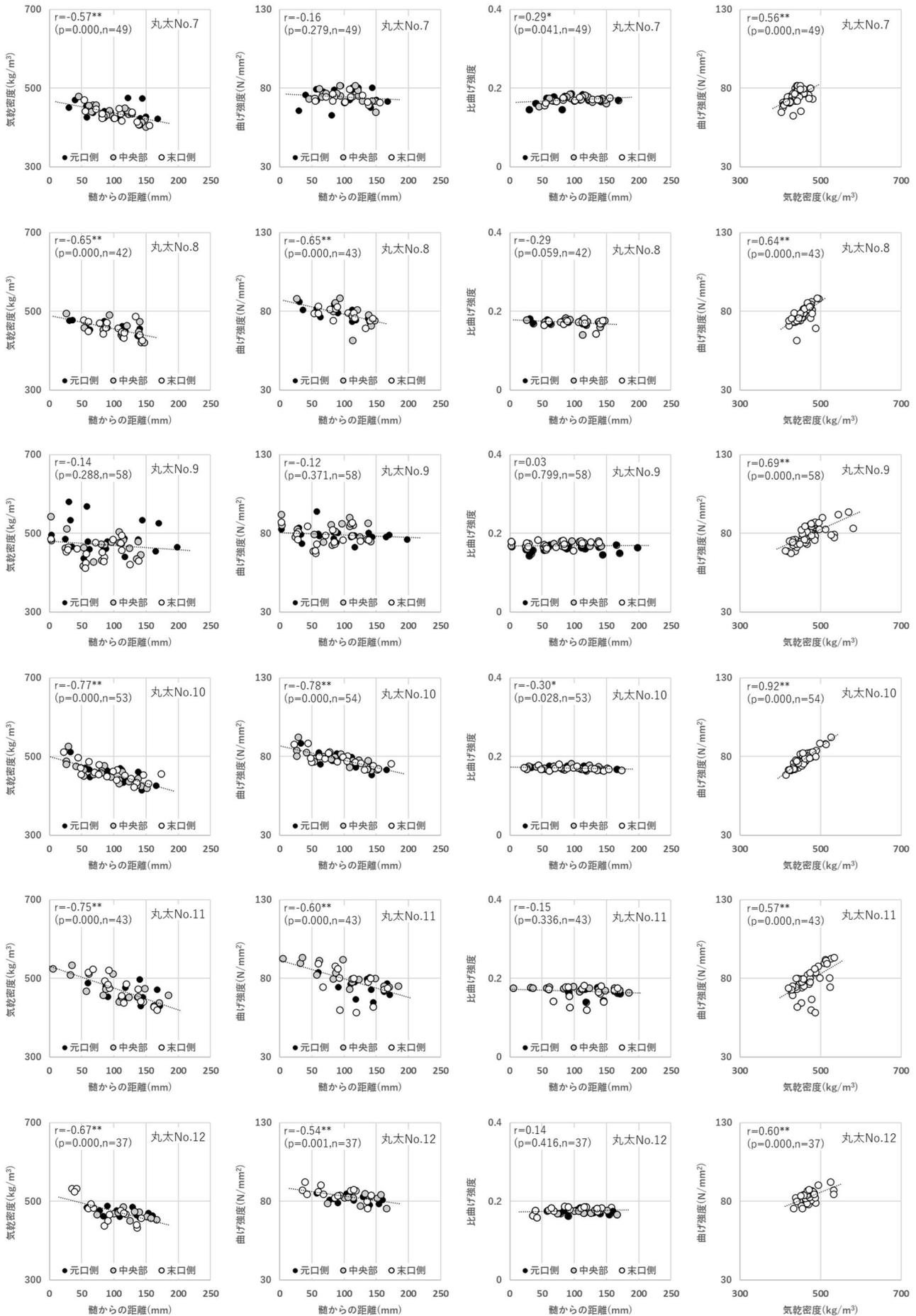


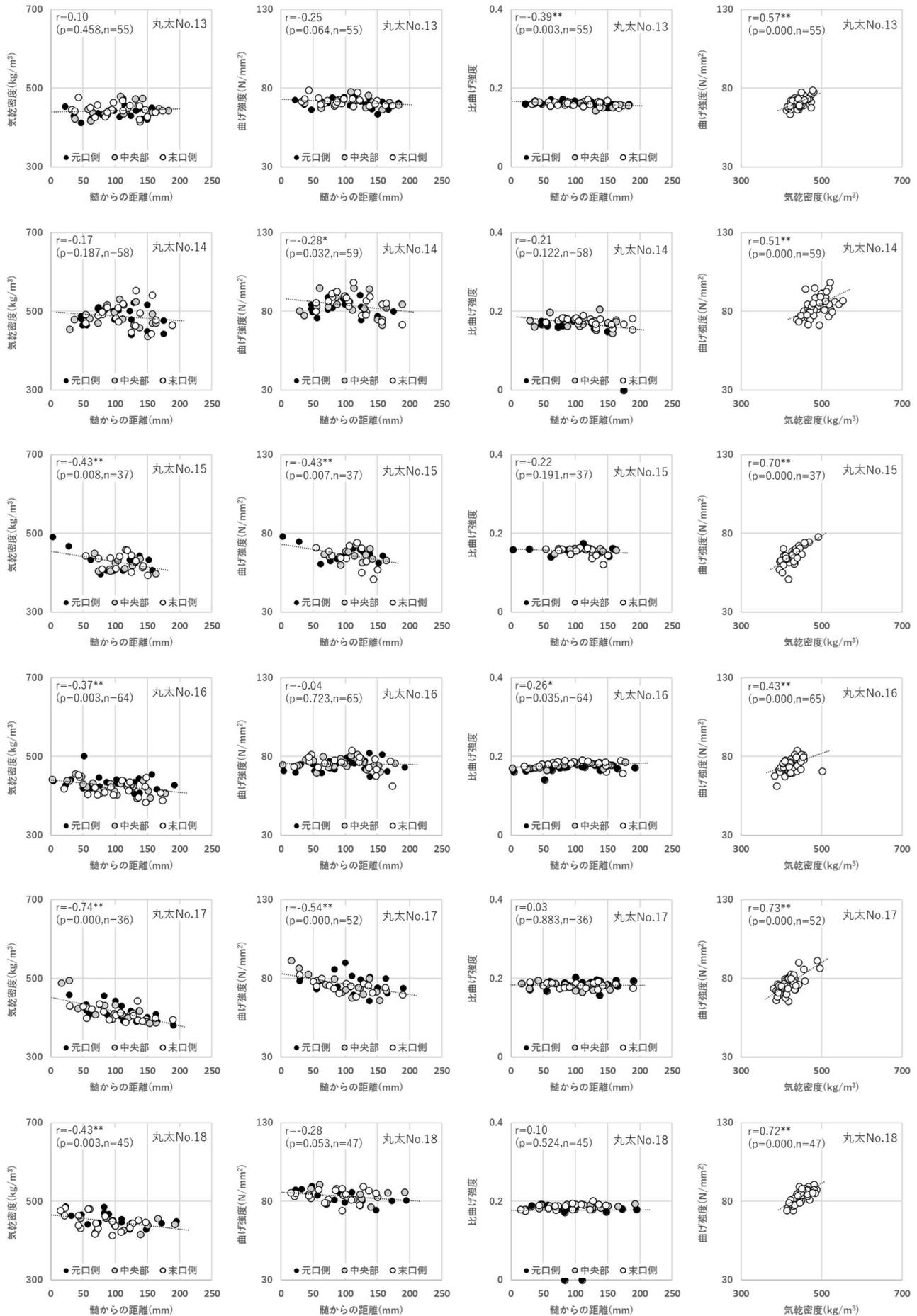


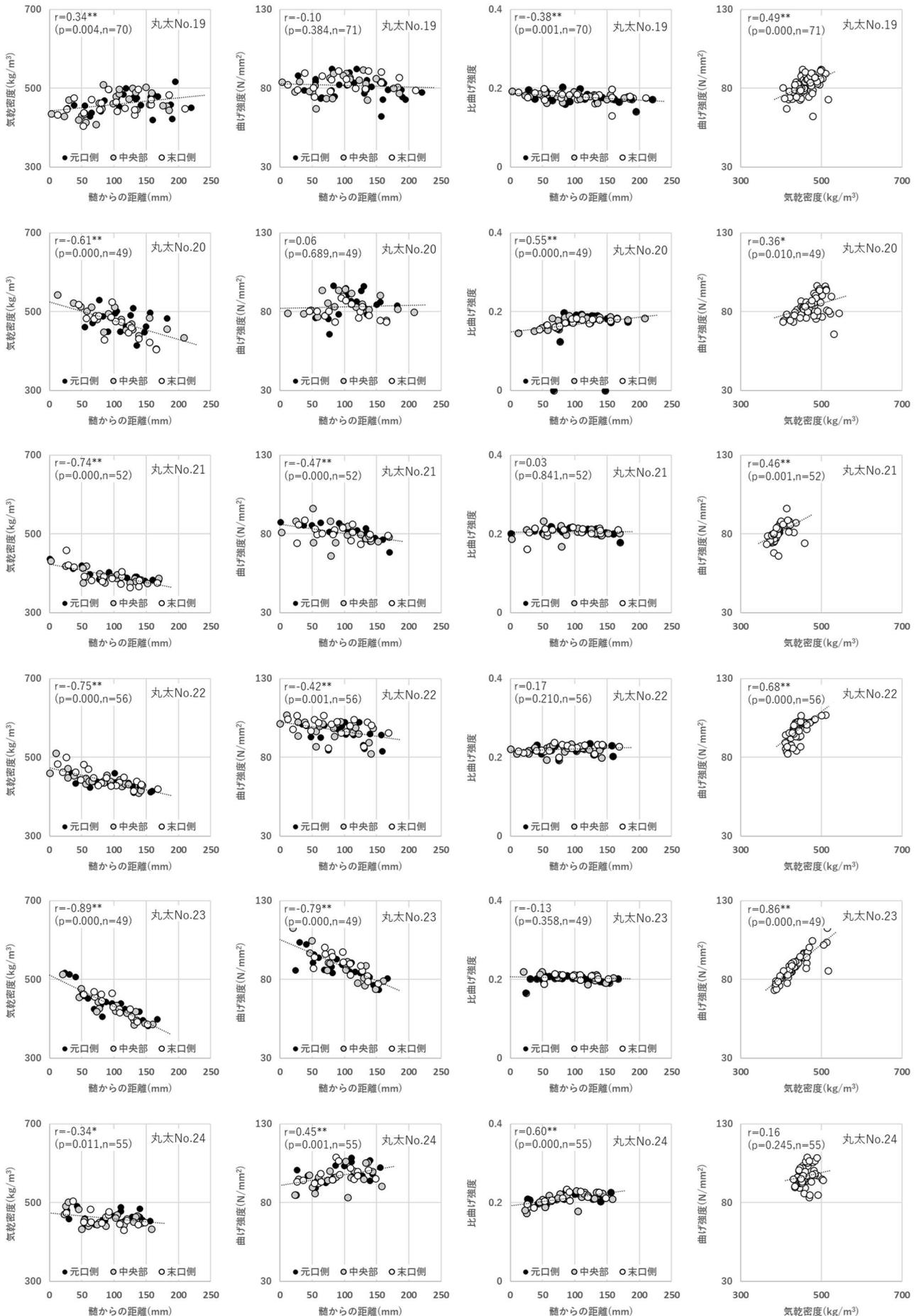


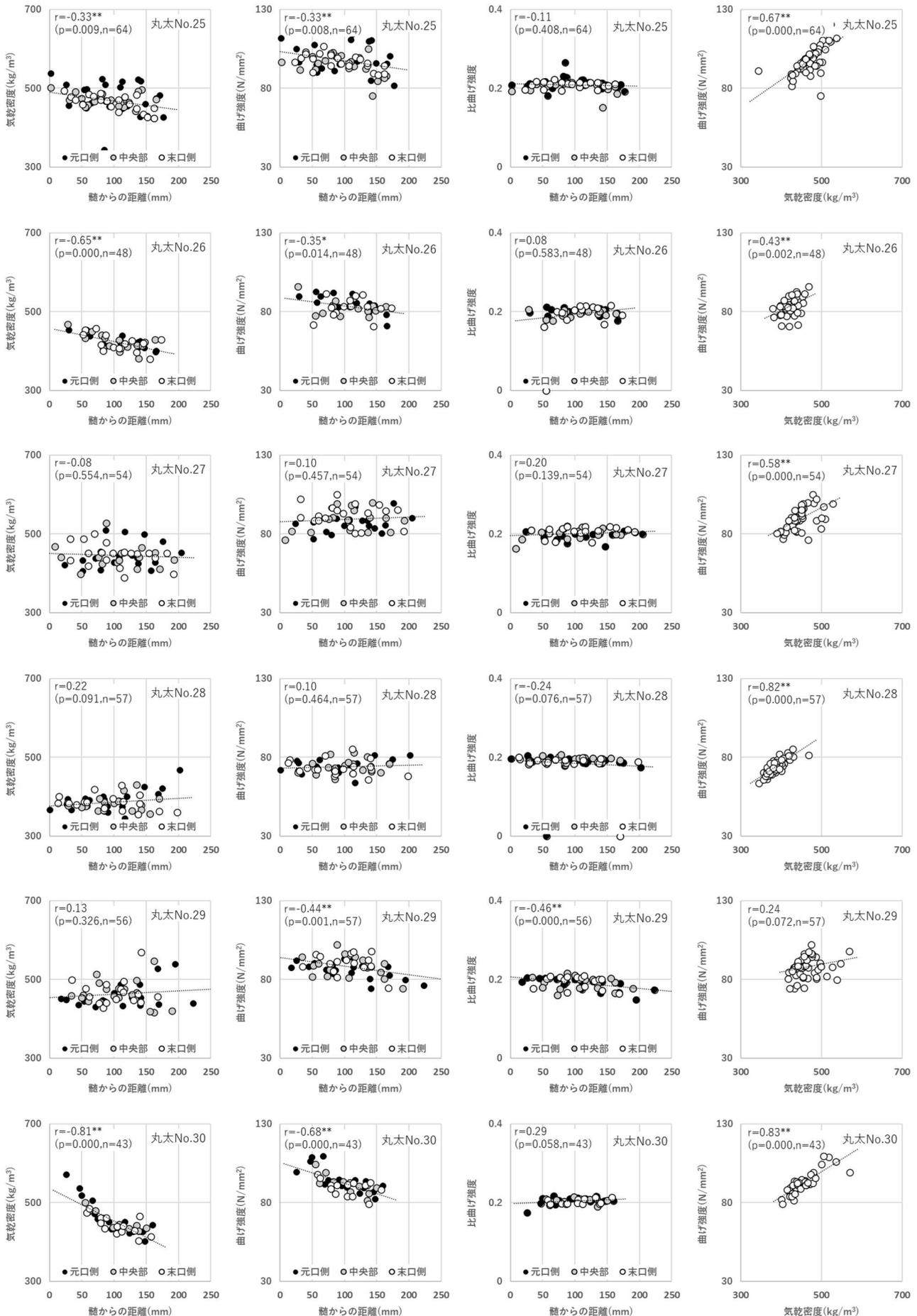
V-b 曲げ強度

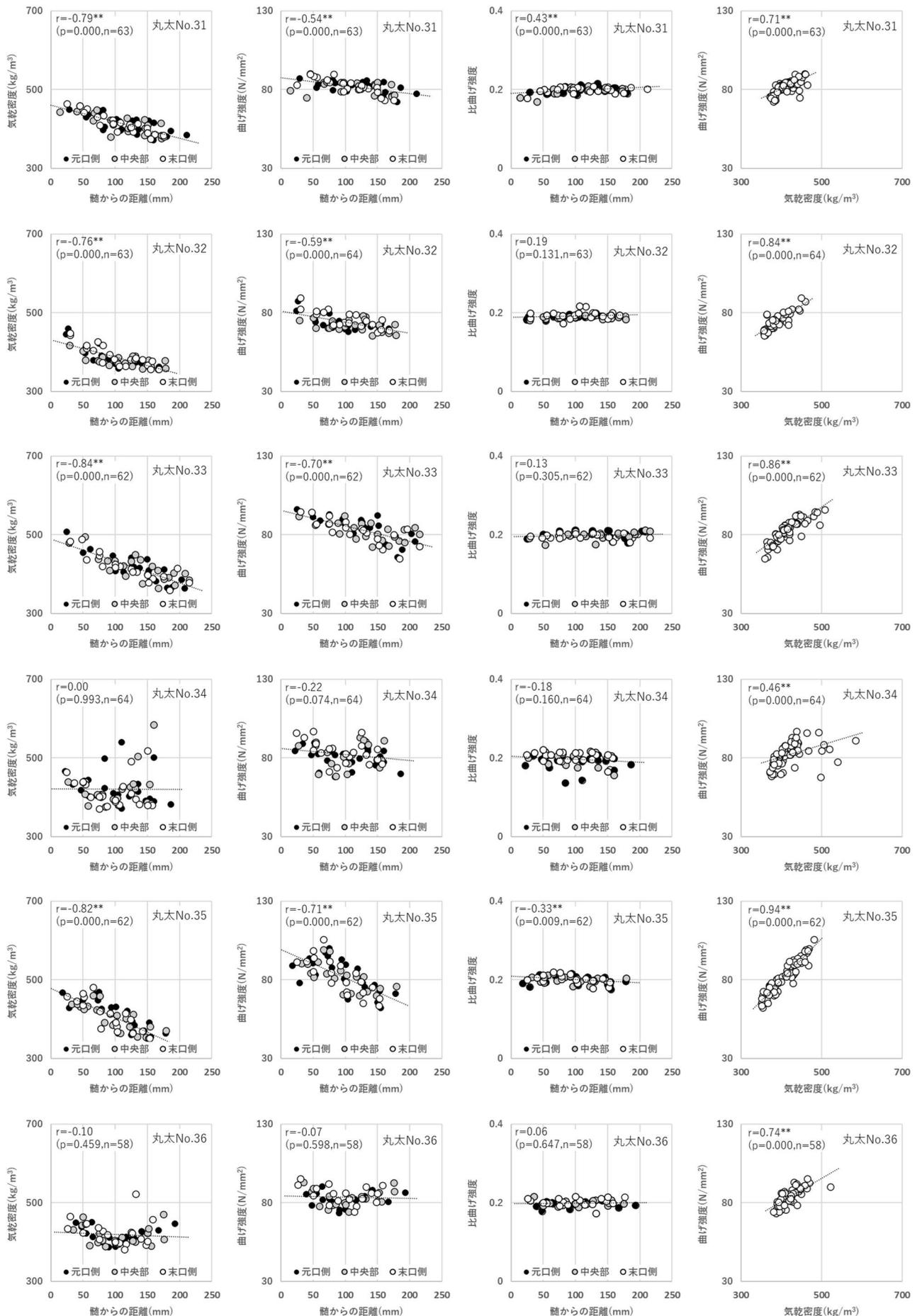


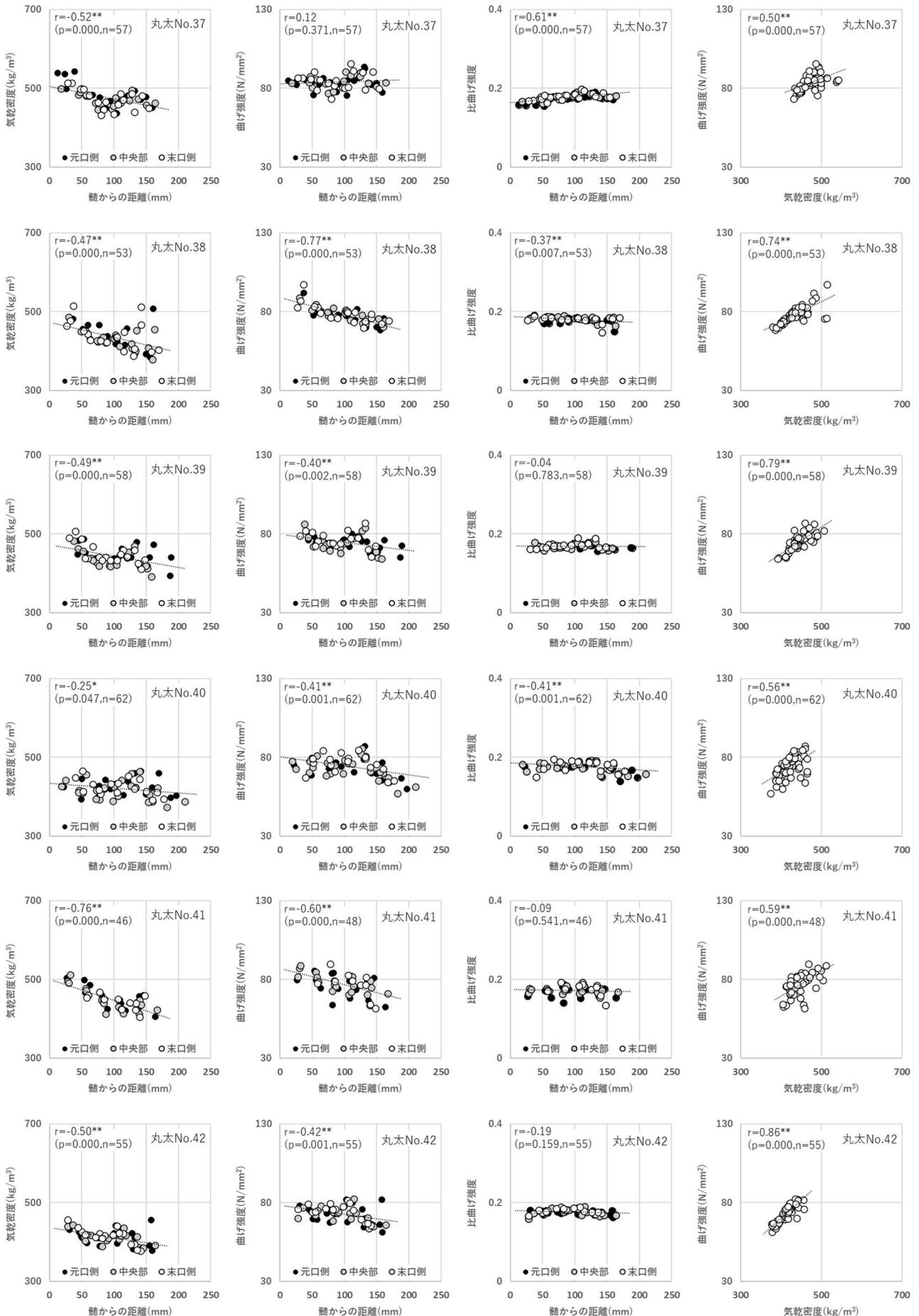


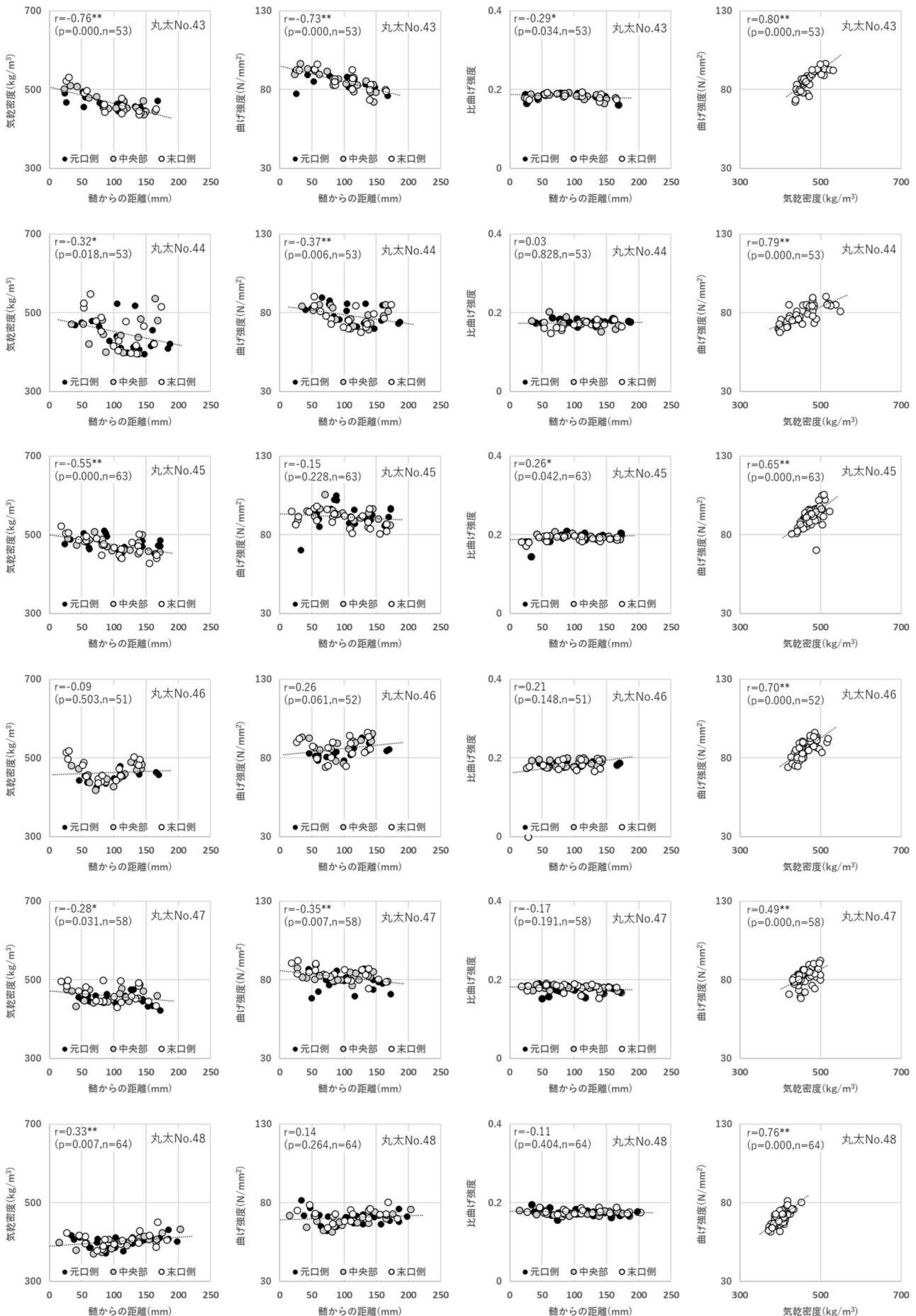


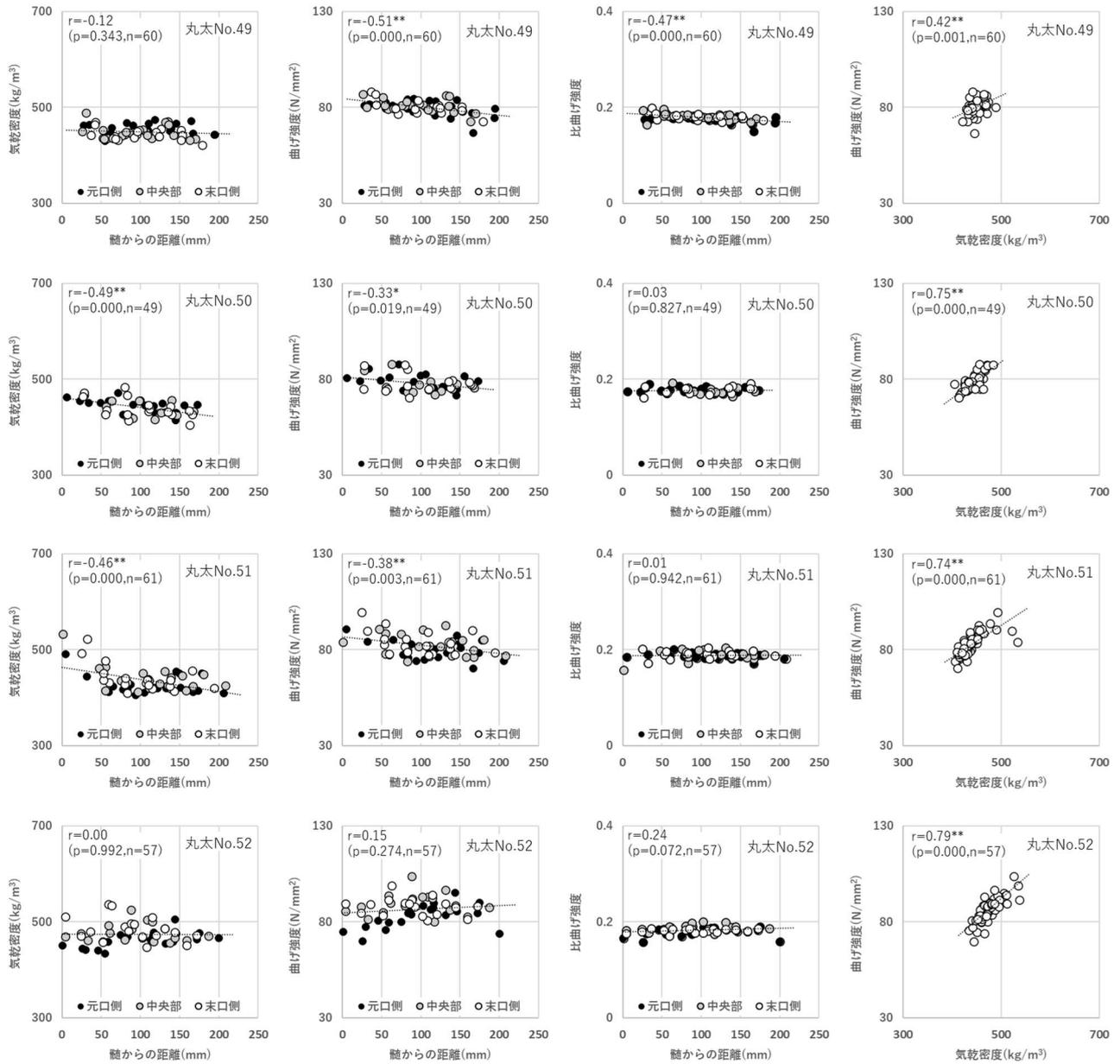












V-c 縦圧縮強度

