

千葉演習林牛蒨沢スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) の材質

久保島吉貴*・大崎久司**・沢田知世***・折口和宏****
吉原浩*****・岡野健*****

Wood Properties of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) Planted at Gobo-zawa in the University Forest in Chiba

Yoshitaka KUBOJIMA*, Hisashi OHSAKI**, Tomoyo SAWADA***,
Kazuhiro ORIGUCHI****, Hiroshi YOSHIHARA*****
and Takeshi OKANO*****

1. 緒 言

1991年に86年生のスギが東京大学農学部附属千葉演習林牛蒨沢より伐採され、長伐期施業を確立するための施業技術研究を目的として、その成長経過の調査ならびに樹幹解析が行われた。そして、これらのスギは、その平均胸高直径、樹高、材積が持続的に増加していることから、1991年現在も成長を続けていることが明らかとなった¹⁾。なお、牛蒨沢成長測定試験地は千葉演習林の中で最も優良な林分で、その牛蒨沢のスギ林は特に成長の優れたものであるとされている。

今回、上述の成長経過調査および樹幹解析に用いられたスギ丸太を入手し、その物理的性質、機械的性質に関する材質試験を行ったので、ここに報告する。なお、材質試験を行うに当たっては、材質をなるべく詳しく知ることを目的に、半径方向の材質変動を求めることとした²⁾。

2. 供 試 木

2.1 採取地

供試木は1905年に植栽されたもので、東京大学農学部附属千葉演習林郷台作業所管内の牛蒨沢11林班C1小班北部にある郷台1号試験地の南50m以内の位置から採取された。郷台1号試験地の概要を表1に示す¹⁾。また、地況および林況を演習林視察案内³⁾より以下に転載する。

* 森林総合研究所木材利用部
Wood Technology Division, Forestry and Forest Products Research Institute.

** 北海道立林産試験場技術部 (現在, 企画指導部)
Hokkaido Forest Products Research Institute.

*** 大建工業株式会社
Daiken Corporation.

**** 積水化学工業株式会社
Sekisui Corporation.

***** 島根大学総合理工学部
Faculty of Science and Engineering, Shimane University.

***** ウッディランド東京木の何でも相談室
Wood Product Information Desk, Woodyland Tokyo.

2.2 地 況

千葉演習林のある房総南部は、一般的には海岸性気候で、温暖多雨である。最寒期の1月から2月の平均気温は、4°C位で割合に暖かく、また、真夏の7月～8月には、平均温度は25°C前後になるが、海からの風があって、しのぎ良い気候である。年間の総雨量は、2000 mmを少し超える程度である。

千葉演習林の地形は、太平洋岸に近い清澄山地(標高:383 m)を分水嶺として、南北に大別されるが、所管の森林は、そこから南に流れる二間川の流域と、北西に向かって東京湾に注ぐ小堰川の上流域とに分布している。海拔高は100～300 mの範囲で、山は低いが地形は複雑で、しかも、相当急峻である。林地全体を構成する地層は、新第三紀海成層で、基岩は、砂岩、礫岩、泥岩からなりたち、非常に風化しやすい性質を持っている。

2.3 林 況

太平洋に面する海岸の近くには、天然性のタブやスダジイ、そして、元来は植採されたものであるが、マテバシイなどの暖帯性照葉樹林がみられる。しかし、内陸の丘陵地では、シイ、カン類の常緑樹が主体となり、それにコナラ、クリ、サクラなどの落葉性のものが混ざった広葉樹林が多い。スギ、ヒノキなどの人工林地は、演習林全面積の3分の1強を占め、また、天然のモミ、ツガを上木として、下層には、常緑広葉樹の茂った中林型の林がかなり良く残っている。この地域の植物層は非常に豊富で、自生種は、木本類が、270種以上、草本類が900種で、そのうちシダ植物は、160種にも達する。これは、暖帯性植物の北限と、温帯性植物の南限が、重複しているからだといわれている。

3. 実 験

3.1 試験体

東京大学農学部附属千葉演習林牛蒡沢産スギ丸太(*Cryptomeria japonica* D. Don)を5本用いた。胸高直径の詳細は不明であるが、既報¹⁾によると伐採されたスギに関しては約500 mmもの3本と、約300 mmのもの4本が存在し、うち、前者を2本(No. 1, 2)と後者を3本(No. 3-5)を入手した。それらの長さは約1000 mmである。

図1のように、まず、帯鋸で丸太を9つのブロックに鋸断し、厚さ35 mmの板を作製した(斜線部)。鋸断線1, 2は丸太の最大直径と平行に、鋸断線3, 4は垂直になるようにした。そして、図1のようにブロック名をA-Iとし、D, E, Fを実験に用いた。その板を長さが800 mmのもの、200 mmのものに横断し、前者を力学試験用、後者を軟X線ならびに収縮試験用とした。力学試験用から22 mm角の棒を作製し、プレーナーで20 mm角に仕上げ、所定の長さに切断し、静的曲げ試験、衝撃曲げ試験、縦圧縮試験、横圧縮試験、ねじり試験、せん断試験、硬さ試験用の試験体を作製した。節などの欠点のために適当な試験体が採取できない場合には、その試験体と

表1 郷台試験地の概要¹⁾

Table 1. Outline of the Godai Forest¹⁾

試験地名	郷台1号
林, 小班	11C1
樹種	スギ
面積[ha]	0.141
土性	埴壤土
地位	上
傾斜	30°
方位	SW30°
植栽年度	1905年
樹齡(1991)	86年生

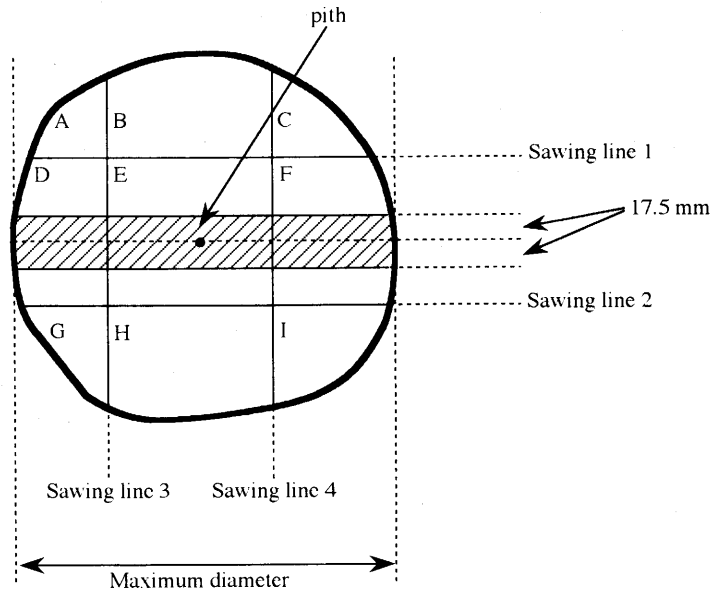


図1 試験体の木取

注: A-I: 帯鋸で鋸断された個体, 斜線部が材質試験に用いられた。

Fig. 1. The cross section of the log used for the tests.

Notes: A-I: Blocks divided with a band saw. Hatched zone was used as the specimens.

接線方向に接している箇所から試験体を作製した。また、軟 X 線用の厚さ 5 mm の木口板を作製後、30 mm 角の棒を作製し、その棒から収縮試験用試験体を切り出した。作製された試験体は温度 20°C、相対湿度 65% の恒温恒湿室で調湿後、材質試験に用いられた。

髄からの距離は各試験体の木口の中心部と髄の距離とした。また、短径側を負、長径側を正とした。

3.2 材質試験

3.2.1 試験項目, 測定項目

試験項目ならびに測定項目は以下の通り。

- 1) 軟 X 線解析: 年輪内平均密度, 早材部平均密度, 晩材部平均密度
- 2) 静的曲げ試験: 静的曲げヤング率, 静的曲げ比例限度, 静的曲げ強度, 静的曲げ仕事
- 3) 衝撃曲げ試験: 衝撃曲げ吸収エネルギー
- 4) 圧縮試験: 繊維方向 (L 方向), 半径方向 (R 方向), 接線方向 (T 方向) の圧縮ヤング率, 圧縮比例限度, 縦圧縮強度
- 5) ねじり試験: 柁目面, 板目面のせん断弾性係数
- 6) せん断試験: 板目面のせん断強度
- 7) 硬さ試験: 柁目面, 板目面, 木口面のブリネル硬さ
- 8) 収縮試験: L, R, T 各方向の含水率 1% の変化に対する平均収縮率

3.2.2 軟 X 線デンストメトリ法による年輪解析

厚さ 5 mm (L) の木口板を作製した。軟 X 線撮影装置 (ソフテックス社製 EMBW 特) を用い、

試験体に軟 X 線を照射し、写真撮影を行った。撮影条件は 16 V, 14 mA, 4 min であった。フィルムの黒化度をデンシトメータ (WALESCH ELECTRONIC 社製 dendro2003) によって密度に変換した。スリット間隔および読み取り間隔は 0.02 mm である。なお、早晚材の区分は密度が 0.5 g/cm^3 を超えた部分を晩材とした。

3.2.3 静的曲げ試験

20 mm (R) × 20 mm (T) × 320 mm (L) の寸法の試験体を作製し、スパン 280 mm, クロスヘッドスピード 5 mm/min で静的曲げ試験を行い、静的曲げヤング率, 静的曲げ比例限度, 静的曲げ強度を求めた。

さらに、荷重 P -撓み δ 曲線を弾性領域, 塑性領域, 曲げ破壊領域に分けた。そして、以下の曲げ仕事を求めた。即ち、比例限度までの撓みを δ_p , 比例限度から破壊までの撓みを δ_{pr} , 破壊点での撓みを δ_r とすると、

静的曲げ弾性域仕事は、

$$W_p = \int_0^{\delta_p} P d\delta,$$

静的曲げ塑性域仕事は、

$$W_{pr} = \int_{\delta_p}^{\delta_r} P d\delta,$$

静的曲げ破壊仕事は、

$$W_r = W_p + W_{pr} = \int_0^{\delta_r} P d\delta$$

となる。

3.2.4 衝撃曲げ試験

20 mm (R) × 20 mm (T) × 300 mm (L) の寸法の試験体を作製し、スパンを 240 mm とし、シャルピー型衝撃試験機 (ハンマーの重さ 78.5 N, 速度 4.85 m/s) を用い、衝撃曲げ試験を行い、衝撃曲げ吸収エネルギーを測定した。

3.2.5 圧縮試験

20 mm (R) × 20 mm (T) × 40 mm (L) (縦圧縮試験用), 20 mm (R) × 20 mm (T) × 20 mm (L) (横圧縮試験用) の寸法の試験体を作製し、クロスヘッドスピード 1 mm/min で加力した。ひずみは縦圧縮試験では柁目面の中央部に貼付したひずみゲージから、横圧縮試験ではクロスヘッドの移動量から求めた。そして、縦圧縮試験では縦圧縮ヤング率, 縦圧縮比例限度, ならびに縦圧縮強度, 横圧縮試験では横圧縮ヤング率および横圧縮比例限度を求めた。

3.2.6 ねじり試験

20 mm (R) × 20 mm (T) × 200 mm (L) の寸法の試験体を作製し、板目面および柁目面の中心に 2 軸直交ひずみゲージを貼付し、ねじり試験機によりねじりモーメントを加えた。そして、ねじりモーメントとせん断ひずみの関係からせん断弾性係数を計算した^{4), 5)}。

3.2.7 せん断試験

20 mm (R) × 20 mm (T) × 20 mm (L) の寸法の試験体に 10 mm (R), 10 mm (T) の切れ込みを入れることにより椅子型せん断試験体を作製し、せん断強度を求めた⁶⁾。せん断断面は板目面とした。

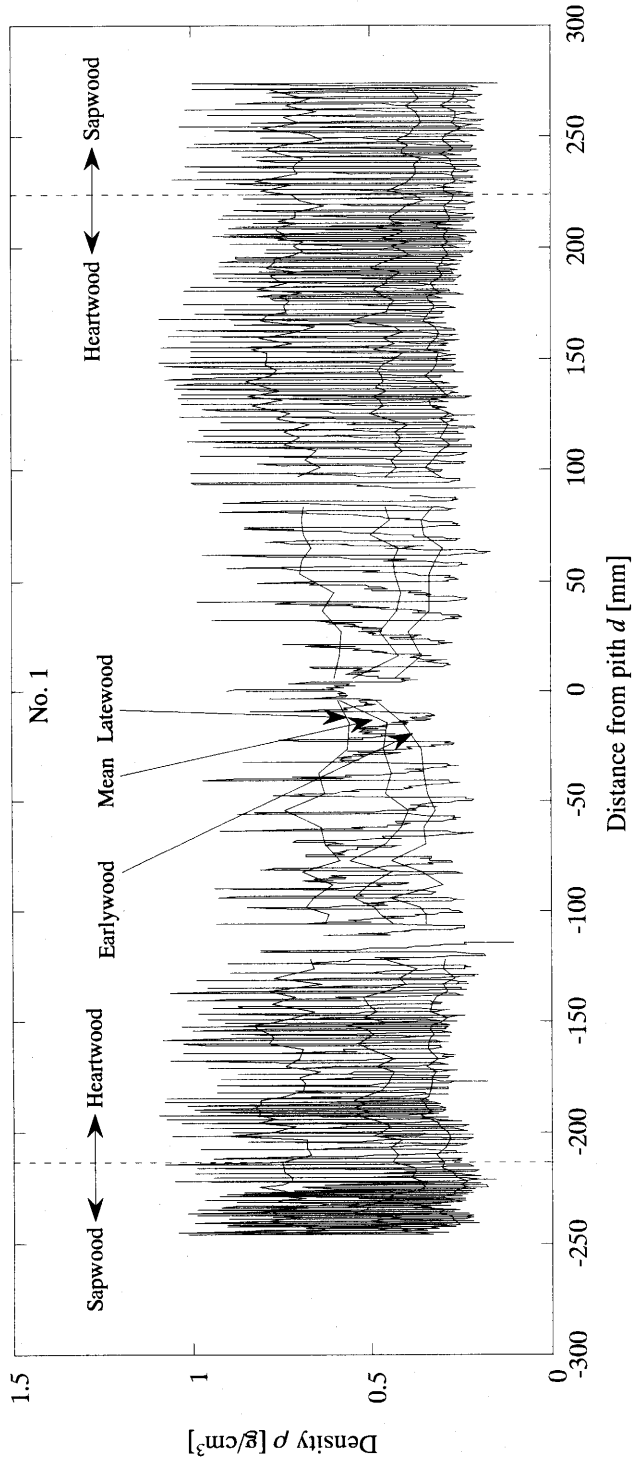


図2 軟 X 線による密度の半径方向の変動

Fig. 2. Density variation in R-direction by soft X-ray measurement.

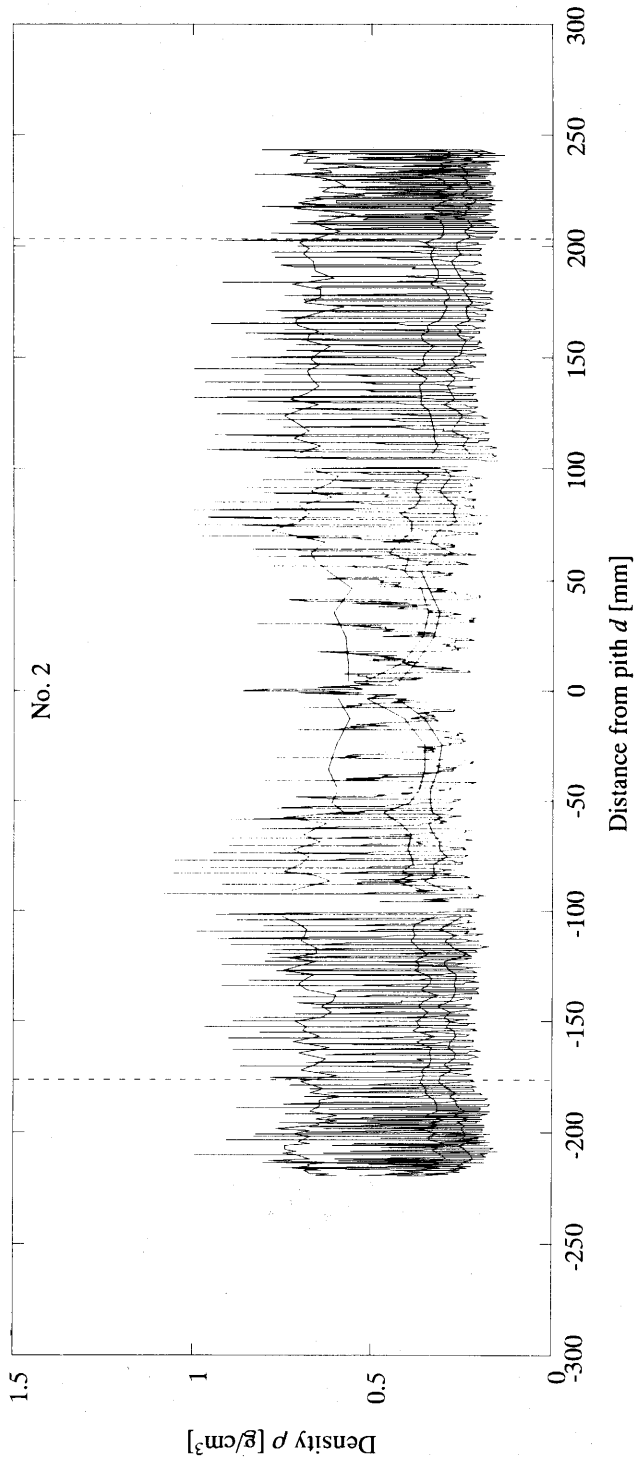


図2 続き

Fig. 2. continued.

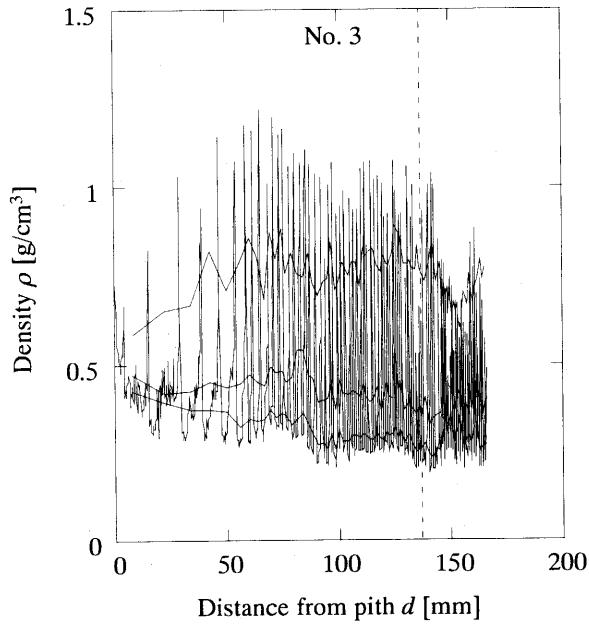


図2 続き

Fig. 2. continued.

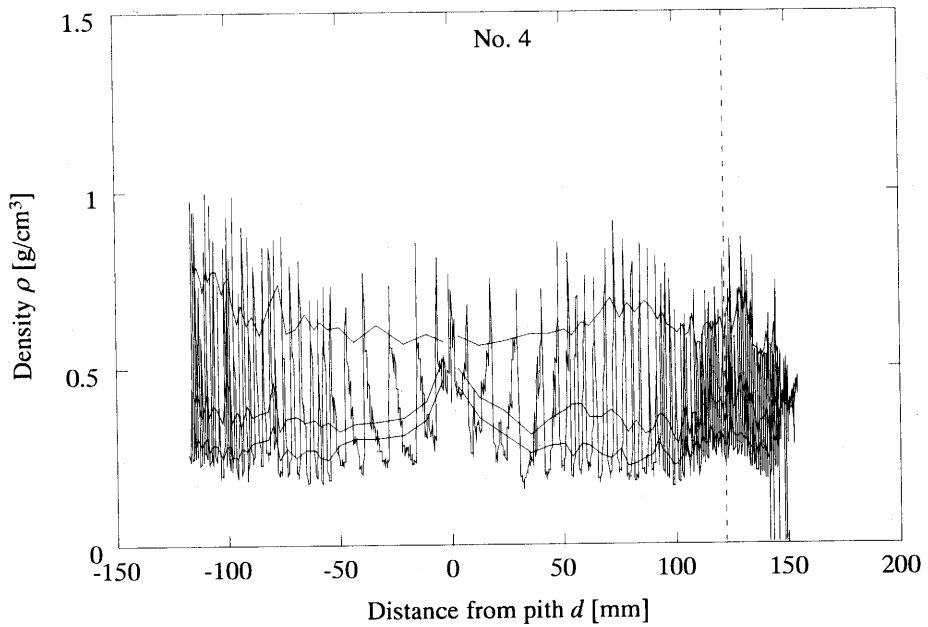


図2 続き

Fig. 2. continued.

3.2.8 硬さ試験

20 mm (R)×20 mm (T)×20 mm (L) の寸法の試験体を作製し、柾目面、板目面、ならびに木口面の中央部に万能硬さ試験機により直径 10 mm の鋼球を 0.32 mm の深さまで圧入し、ブリネル硬さを求めた。

3.2.9 収縮試験

30 mm (R)×5 mm (T)×60 mm (L) (繊維方向用) および 30 mm (R)×30 mm (T)×5 mm (L) (半径方向, 接線方向用) の寸法の試験体を作製し、気乾状態の寸法と全乾状態の寸法から含水率 1% の変化に対する平均収縮率を求めた。なお、丸太 3 では腐朽のため収縮試験片を作製できなかった。

4. 結 果

4.1 軟 X 線デンストメトリによる年輪解析

図 2 に密度の生データ, 各年輪内における, 平均密度, 晩材部平均密度, 早材部平均密度, 図 3 に各年輪内における晩材率を示す。平均密度, 早晩材部平均密度, 晩材率をプロットする際の横軸は各年輪の中央部の値とした。また, 図中の破線は心材と辺材の境界 (目視による) を示す。

平均密度は髄から樹皮に行くに従って減少し, 安定した。そして, 心材と辺材の境界の辺りまで, 増大しその後減少するもの (No. 4) と安定したままのもの (No. 1-3, 5) があった。

晩材部平均密度は髄部分から樹皮に向かって増大し, やがて安定したままのもの (No. 1, 2), 辺材部で減少するもの (No. 3, 4) があった。

早材部平均密度は全ての個体で, 髄部分から樹皮に向かって減少し, やがて安定した。

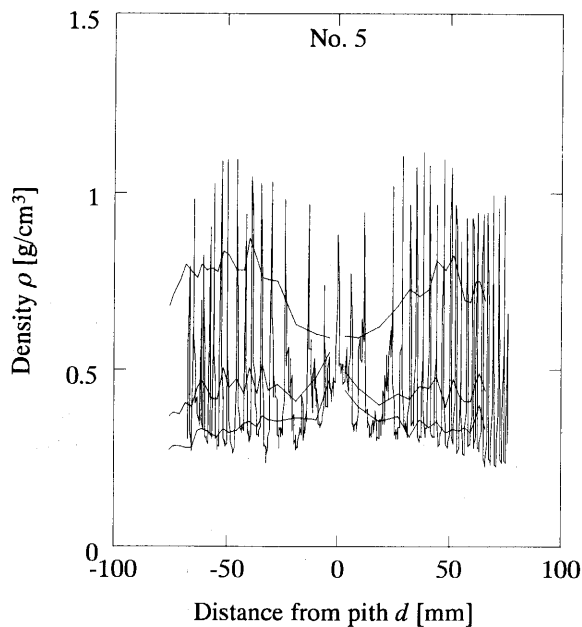


図 2 続き

Fig. 2. continued.

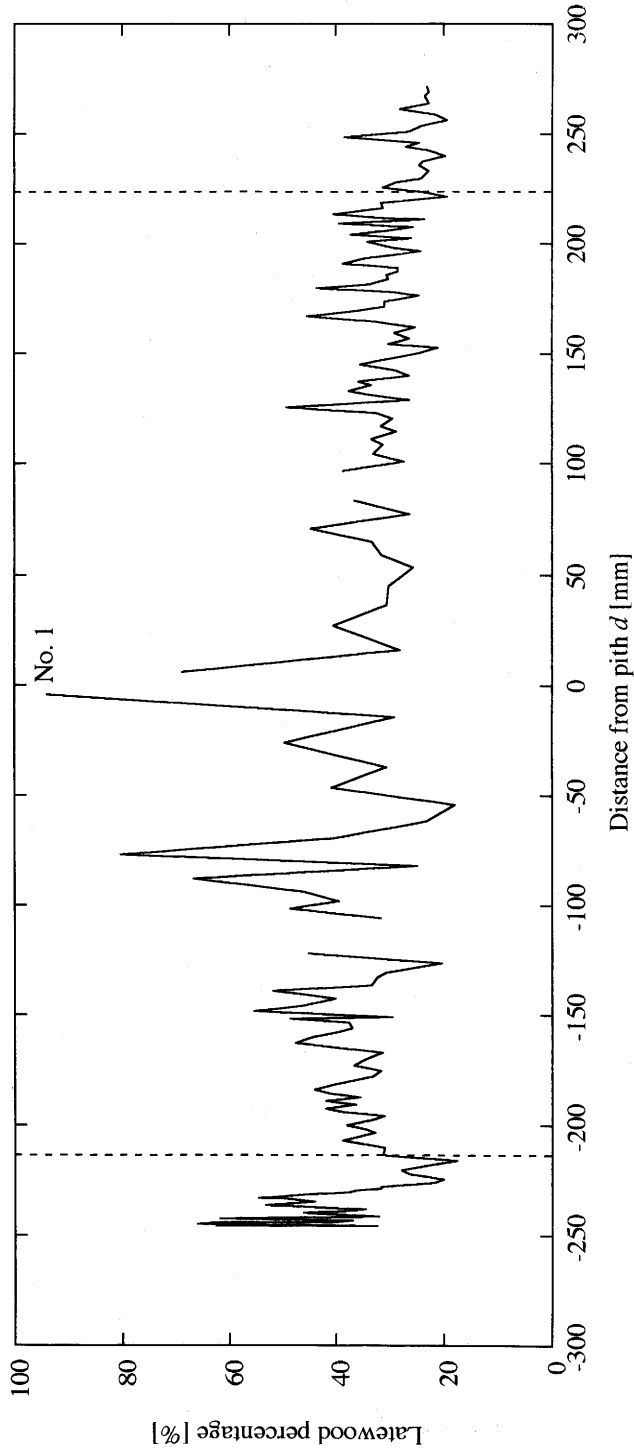


図 3 晩材率の半径方向の変動

Fig. 3. Variation in R-direction of latewood percentage.

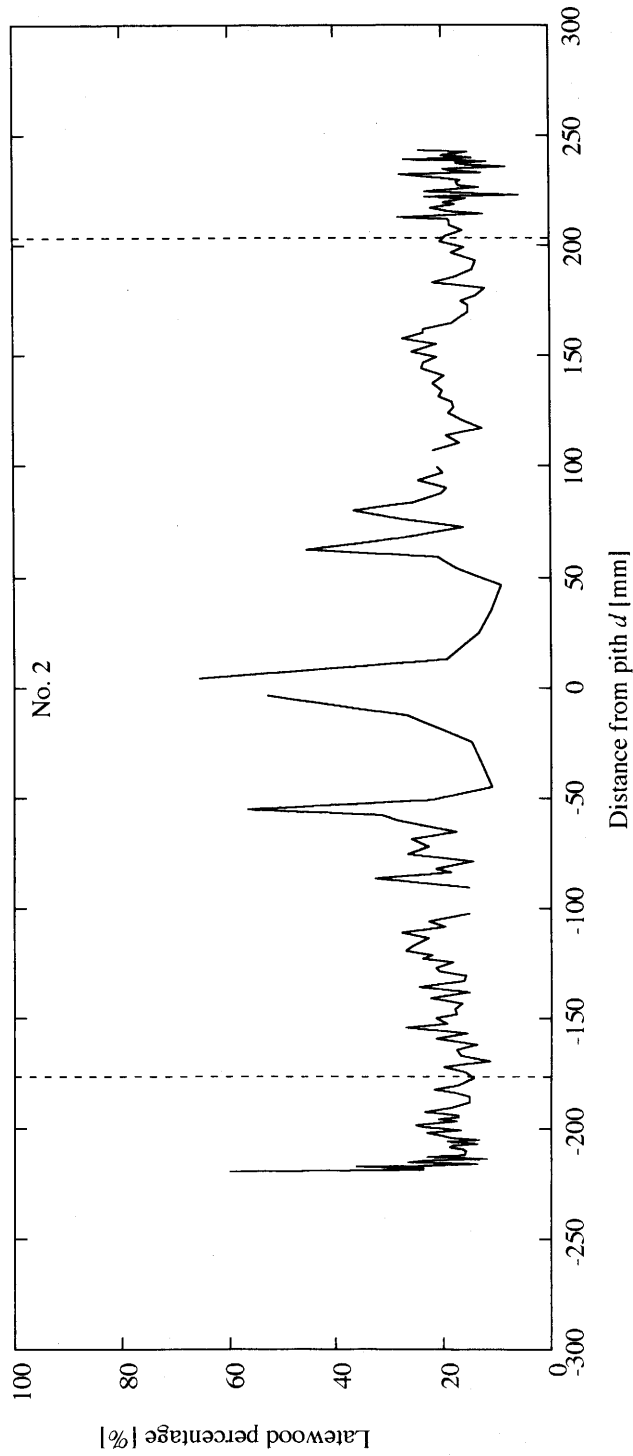


図 3 続き
Fig. 3. continued.

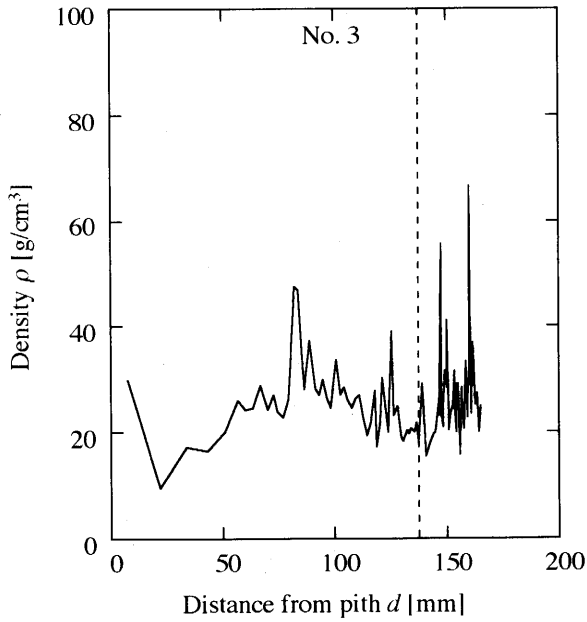


図3 続き
Fig. 3. continued.

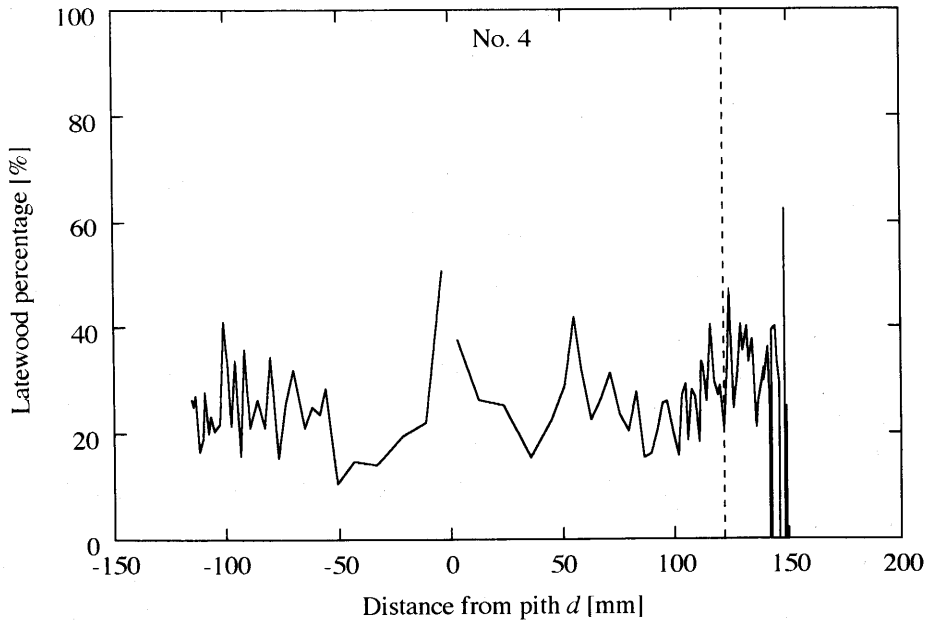


図3 続き
Fig. 3. continued.

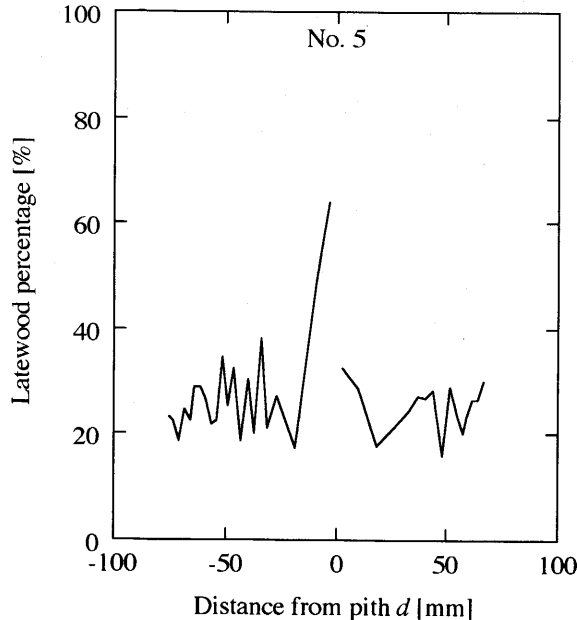


図3 続き
Fig. 3. continued.

晩材率は全ての個体で髄部分で高く、樹皮に向かって減少し安定した。そして、さらにその後安定する場合と上昇する場合があった。なお、本研究においては密度が 0.5 g/cm^3 以上の領域を機械的に晩材としたので、ばらつきは大きいと考えられる。

4.2 静的曲げ試験

4.2.1 半径方向の変動

図4に静的曲げ試験用試験体の半径方向の密度変動を示す。図中の破線は心材と辺材の境界で軟X線解析用試料より求めた値を便宜的に用いた。軟X線用試料は元口側より作製されているので、この境界線は力学試験用の場合よりも若干外側であることが考えられるが、末口と元口の直径の差が約50 mmであるので、このような境界線の実際とのずれは片側で約25 mm、即ち試験体1個分、図中では点1個分であると考えられる。以下の図においても同様である。また、図中の1点鎖線は「木材工業ハンドブック」^{7), 8)}に掲載されている最大値、平均値、ならびに最小値を示す。本研究においてはこれらの値をスギの標準的な物性値と考えた。

髄より樹皮に向かって一度増大してその後減少するもの (No. 1, 3)、髄付近でピークを持ち、樹皮に向かって増大するもの (No. 4)、髄付近から心辺材の境界まで安定でその後減少するもの (No. 2, 5) があった。

図5に静的曲げヤング率の半径方向の変動を示す。全ての個体で髄から樹皮に向かって増大する傾向が認められた。No. 1-3 では心辺材の境界辺りから減少する傾向が認められた。

図6に比静的曲げヤング率の半径方向の変動を示す。これは静的曲げヤング率と同様の傾向を示した。比ヤング率は細胞壁実質のヤング率とみなすことができるので、このように比静的曲げ

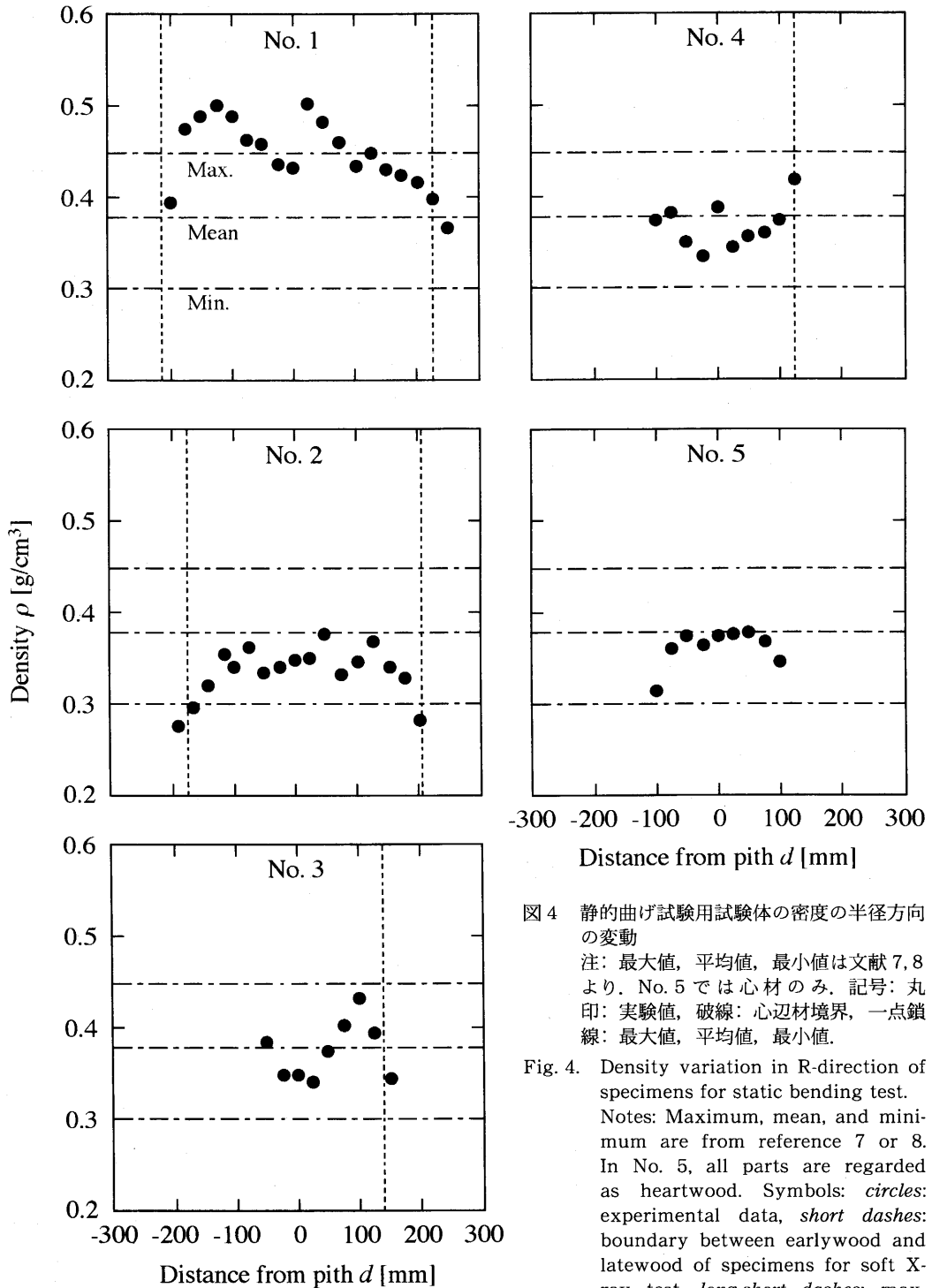


図4 静的曲げ試験用試験体の密度の半径方向の変動
 注: 最大値, 平均値, 最小値は文献7, 8より. No. 5では心材のみ. 記号: 丸印: 実験値, 破線: 心辺材境界, 一点鎖線: 最大値, 平均値, 最小値.

Fig. 4. Density variation in R-direction of specimens for static bending test.
 Notes: Maximum, mean, and minimum are from reference 7 or 8. In No. 5, all parts are regarded as heartwood. Symbols: circles: experimental data, short dashes: boundary between earlywood and latewood of specimens for soft X-ray test, long-short dashes: maximum, mean, or minimum.

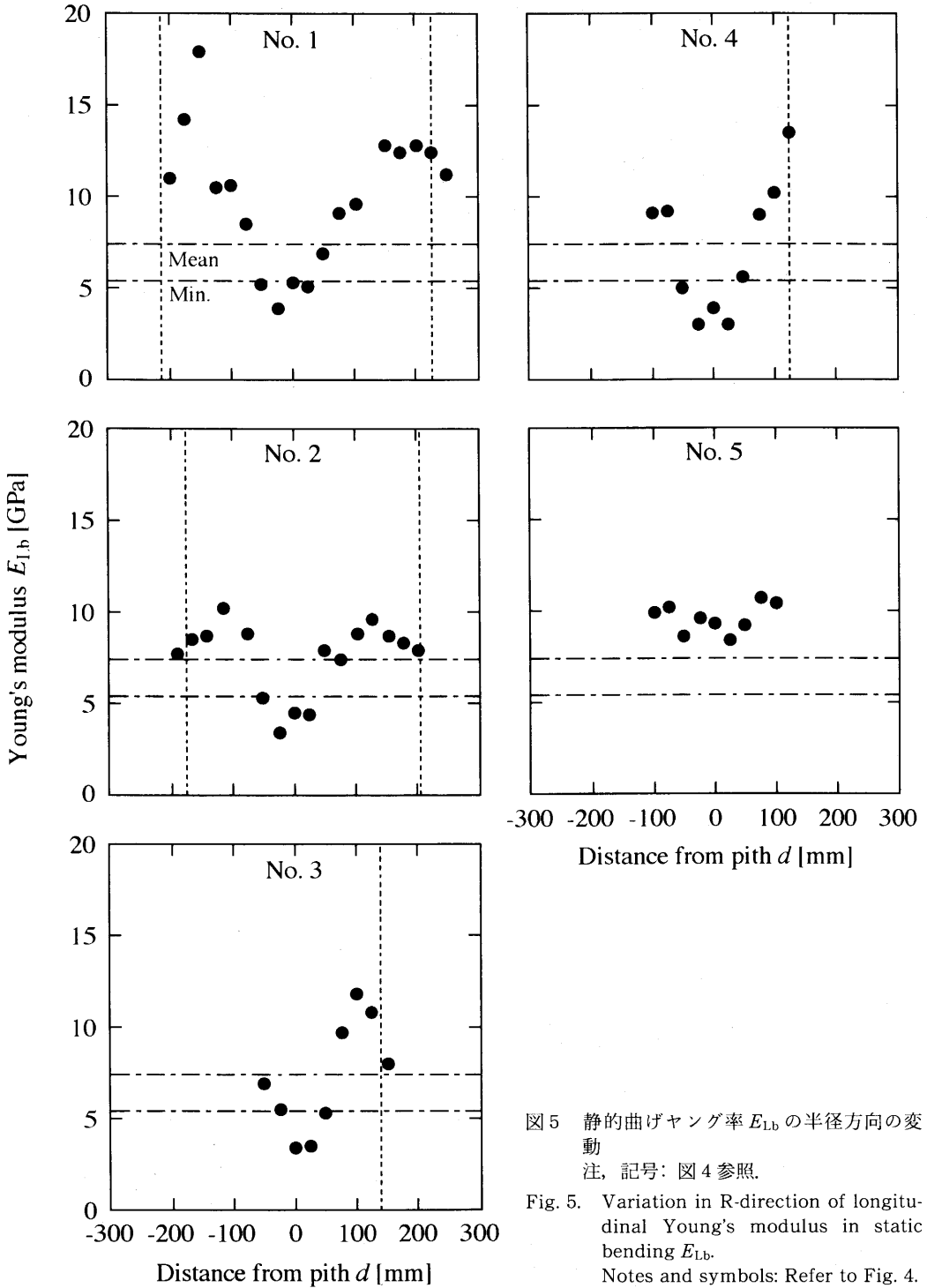


図5 静的曲げヤング率 E_{Lb} の半径方向の変動
注, 記号: 図4 参照.

Fig. 5. Variation in R-direction of longitudinal Young's modulus in static bending E_{Lb} .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

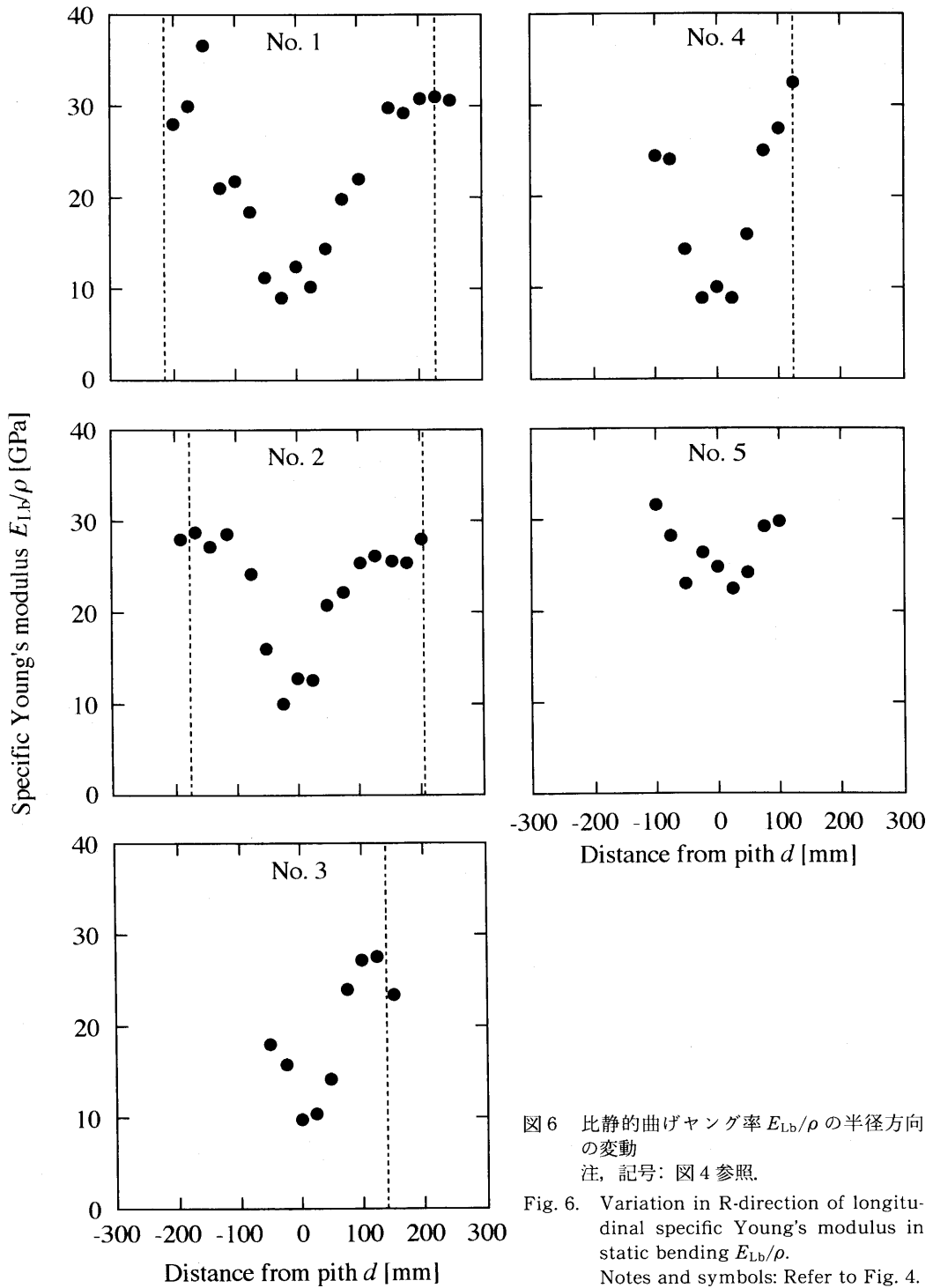


図6 比静的曲げヤング率 E_{Lb}/ρ の半径方向の変動
注, 記号: 図4 参照.

Fig. 6. Variation in R-direction of longitudinal specific Young's modulus in static bending E_{Lb}/ρ .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

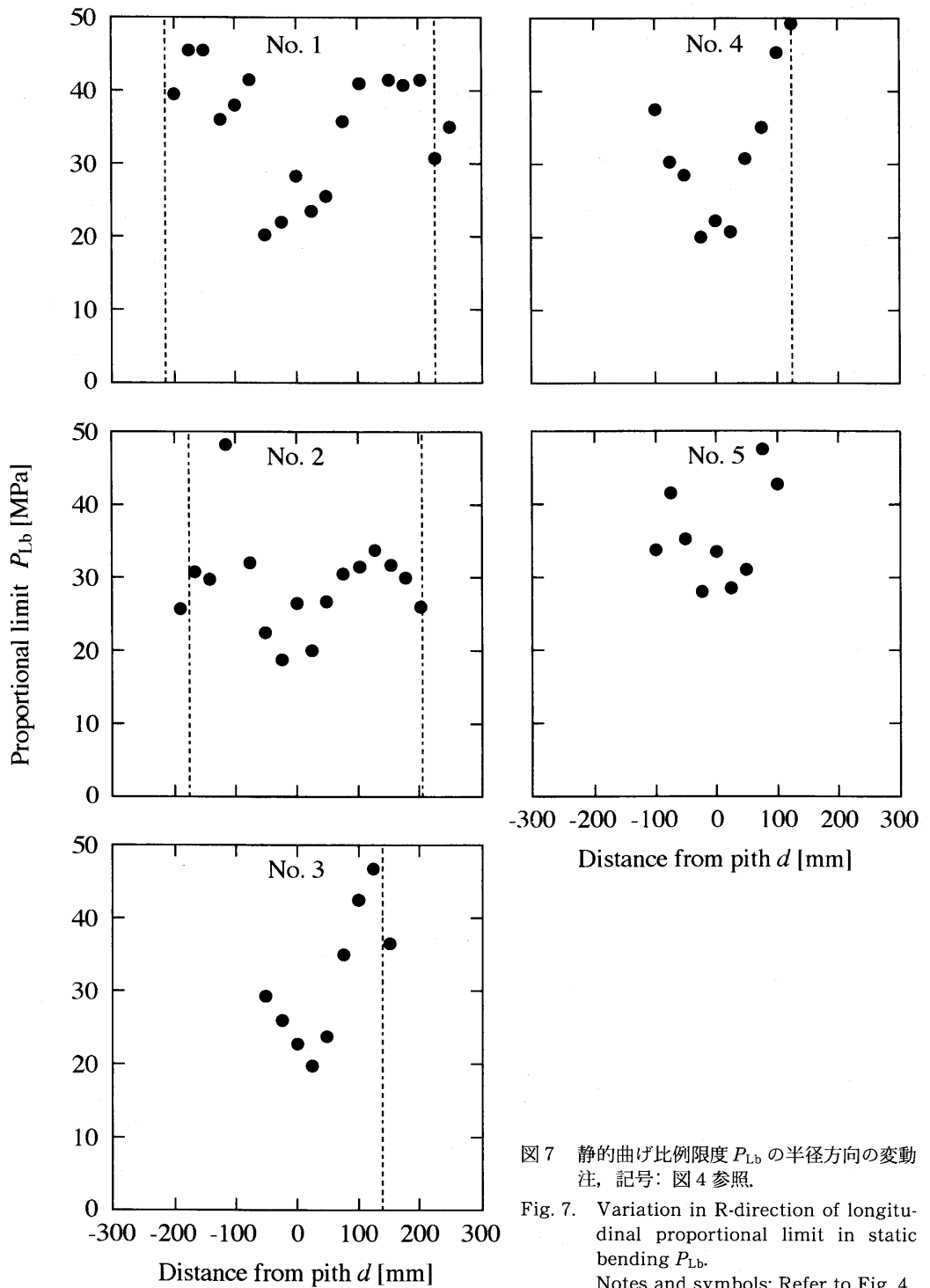


図7 静的曲げ比例限度 P_{Lb} の半径方向の変動
注、記号：図4参照。

Fig. 7. Variation in R-direction of longitudinal proportional limit in static bending P_{Lb} .

Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

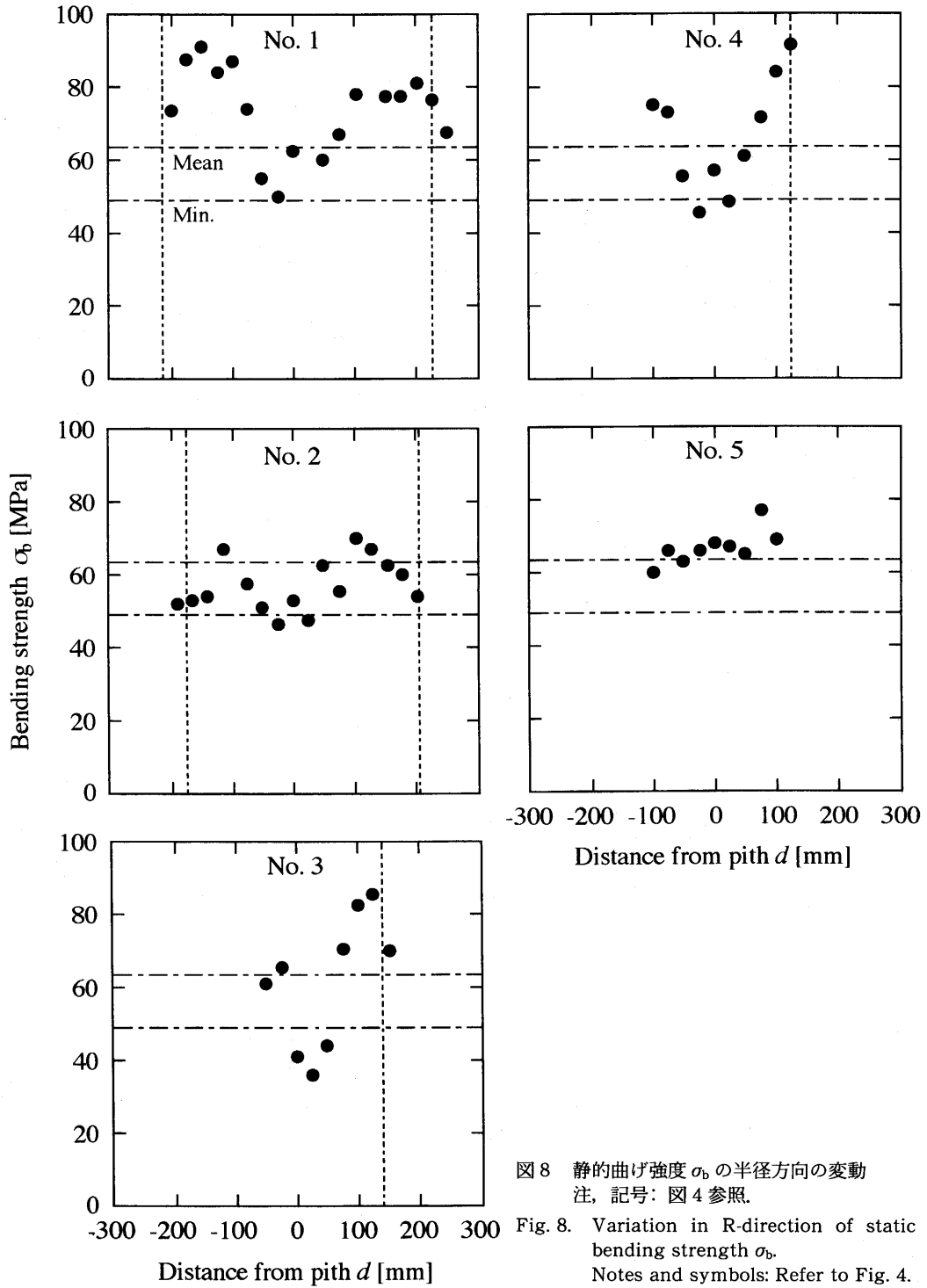


図8 静的曲げ強度 σ_b の半径方向の変動
注, 記号: 図4 参照.

Fig. 8. Variation in R-direction of static bending strength σ_b .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

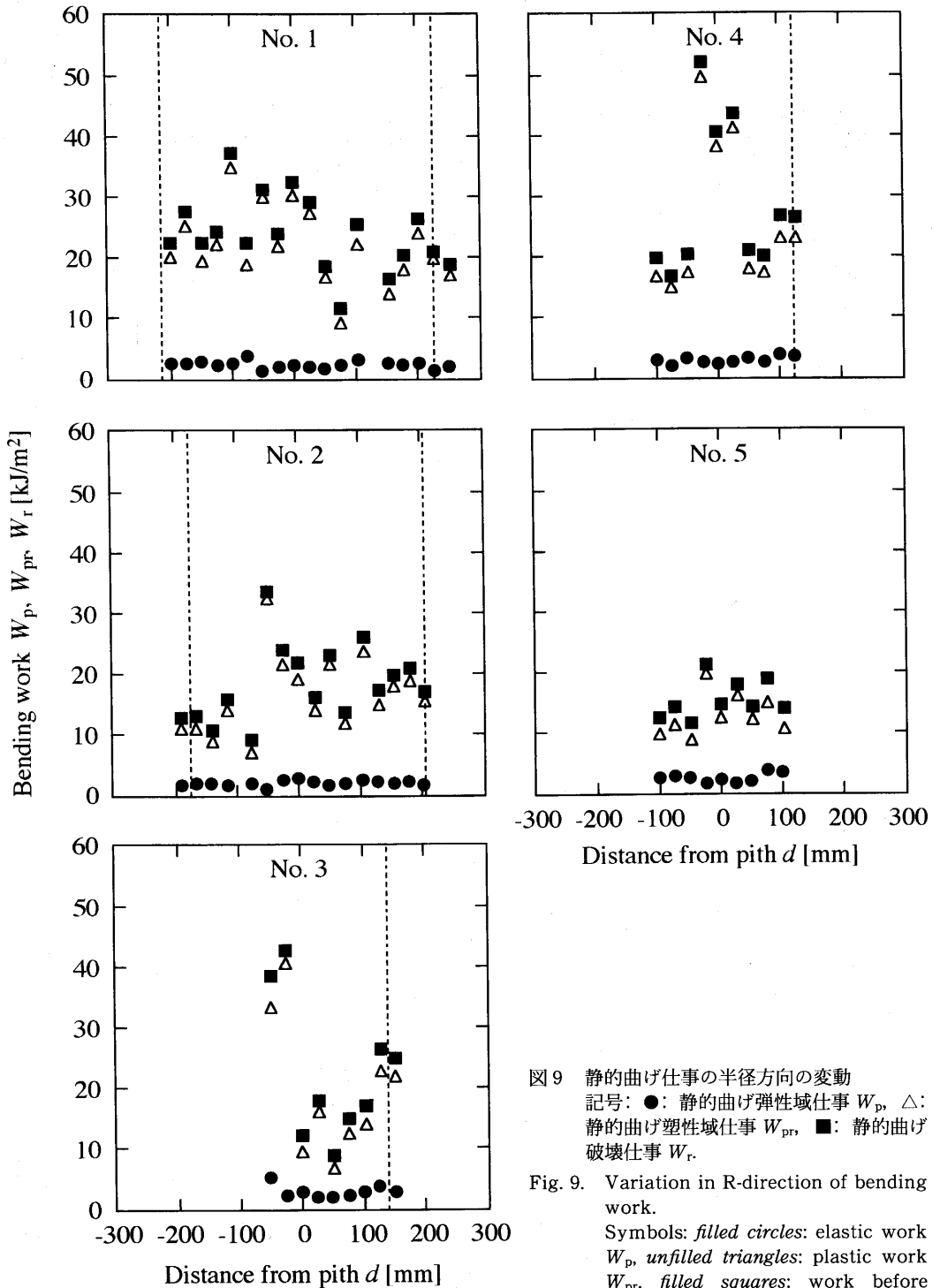


図9 静的曲げ仕事の半径方向の変動
 記号: ●: 静的曲げ弾性域仕事 W_p , △: 静的曲げ塑性域仕事 W_{pr} , ■: 静的曲げ破壊仕事 W_r .

Fig. 9. Variation in R-direction of bending work.
 Symbols: *filled circles*: elastic work W_p , *unfilled triangles*: plastic work W_{pr} , *filled squares*: work before rupture W_r .

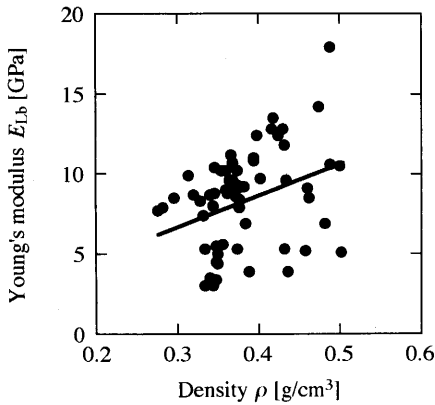


図 10 静的曲げヤング率 E_{Lb} と密度 ρ の関係
注: 回帰式: $E_{Lb}=19.8\rho+0.871$ ($\rho=0.341^{**}$). **: 1% 有意.

Fig. 10. Relationship between longitudinal Young's modulus in static bending E_{Lb} and density ρ .
Notes: The regression equation is $E_{Lb}=19.8\rho+0.871$ ($r=0.341^{**}$). **: 1% significant level.

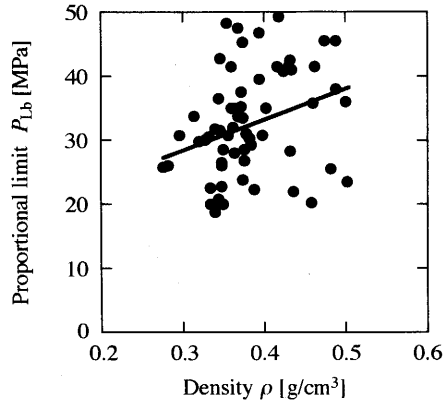


図 11 静的曲げ比例限度 P_{Lb} と密度 ρ の関係
注: 回帰式: $P_{Lb}=48.1\rho+14.2$ ($r=0.309^*$). *: 5% 有意.

Fig. 11. Relationship between longitudinal proportional limit in static bending P_{Lb} and density ρ .
Notes: The regression equation is $P_{Lb}=48.1\rho+14.2$ ($r=0.309^*$). *: 5% significant level.

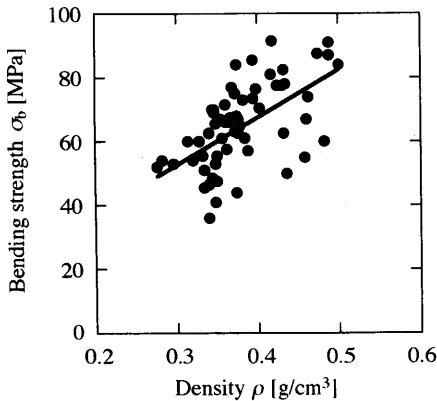


図 12 静的曲げ強度 σ_b と密度 ρ の関係
注: 回帰式: $\sigma_b=150\rho+8.34$ ($r=0.591^{**}$). **: 1% 有意.

Fig. 12. Relationship between static bending strength σ_b and density ρ .
Notes: Regression equation is $\sigma_b=150\rho+8.34$ ($r=0.591^{**}$). **: 1% significant level.

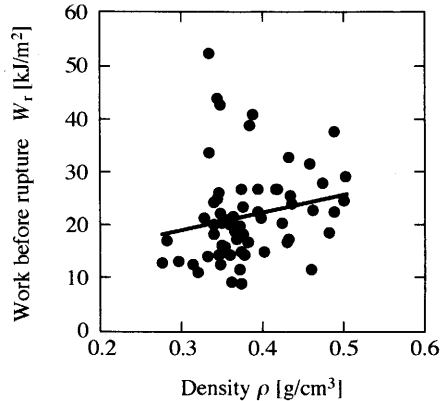


図 13 静的曲げ破壊仕事 W_r と密度 ρ の関係
注: 回帰式: $W_r=34.2\rho+8.96$ ($r=0.204$ NS). NS: 相関なし.

Fig. 13. Relationship between work before rupture W_r and density ρ .
Notes: The regression equation is $W_r=34.2\rho+8.96$ ($r=0.204$ NS). NS: not significant.

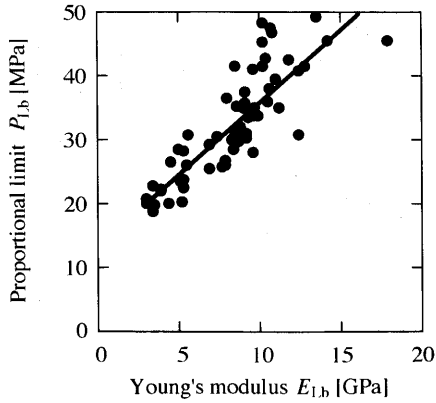


図 14 静的曲げ比例限度 P_{Lb} と静的曲げヤング率 E_{Lb} の関係

注: 回帰式: $P_{Lb} = 2.28E_{Lb} + 13.4$
($r = 0.849^{**}$). **: 1% 有意.

Fig. 14. Relationship between longitudinal proportional limit in static bending P_{Lb} and longitudinal Young's modulus in static bending E_{Lb} .
Notes: Regression equation is $P_{Lb} = 2.28E_{Lb} + 13.4$ ($r = 0.849^{**}$). **: 1% significant level.

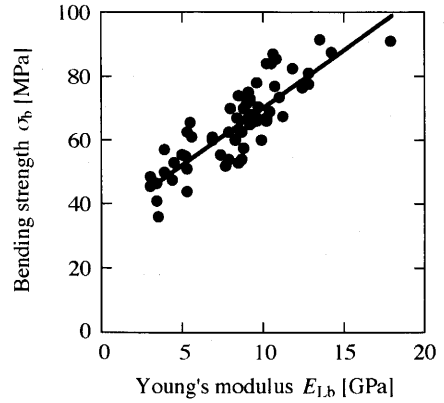


図 15 静的曲げ強度 σ_b と静的曲げヤング率 E_{Lb} の関係

注: 回帰式: $\sigma_b = 3.63E_{Lb} + 34.5$
($r = 0.860^{**}$). **: 1% 有意.

Fig. 15. Relationship between static bending strength σ_b and longitudinal Young's modulus in static bending E_{Lb} .
Notes: Regression equation is $\sigma_b = 3.63E_{Lb} + 34.5$ ($r = 0.860^{**}$). **: 1% significant level.

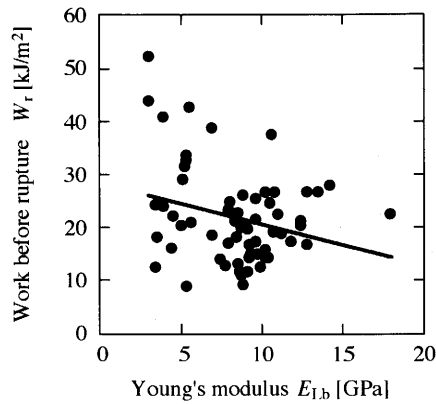


図 16 静的曲げ破壊仕事 W_r と静的曲げヤング率 E_{Lb} の関係

注: 回帰式: $W_r = -0.78E_{Lb} + 28.6$
($r = 0.272^*$). *: 5% 有意.

Fig. 16. Relationship between work before rupture W_r and longitudinal Young's modulus in static bending E_{Lb} .
Notes: Regression equation is $W_r = -0.78E_{Lb} + 28.6$ ($r = 0.272^*$). *: 5% significant level.

ヤング率が半径方向に変動することは結晶化度やフィブリル傾角などの微細構造が半径方向に関して変動していることを示唆している⁹⁾。

図7に静的曲げ比例限度の半径方向の変動を示す。静的曲げヤング率とほぼ同様の傾向であった。

図8に静的曲げ強度の半径方向の変動を示す。No. 5 であまり変化がなかった以外は、静的曲げヤング率と同様の傾向であった。

図9に静的曲げ仕事の半径方向の変動を示す。まず、静的曲げ破壊仕事に占める割合は静的曲げ弾性域仕事よりも静的曲げ塑性域仕事のほうが遥かに大きく、このため、静的曲げ破壊仕事に寄与しているのは大部分が静的曲げ塑性域仕事であると言える。このことは既往の研究¹⁰⁾と同様の傾向であった。静的曲げ破壊仕事は髄付近で大きく、樹皮に向かって減少する傾向があった。ほかに静的曲げ仕事の半径方向の変動を検討したものに劉らの研究¹¹⁾が存在する。

4.2.2 密度、ヤング率との関係

図10-13に静的曲げヤング率と密度の関係、静的曲げ比例限度と密度の関係、静的曲げ強度と密度の関係ならびに静的曲げ破壊仕事と密度の関係を示す。静的曲げ破壊仕事以外はいずれも1%あるいは5%有意水準で相関があった。

図14-16に静的曲げ比例限度と静的曲げヤング率の関係、静的曲げ強度と曲げ静的ヤング率の関係ならびに静的曲げ破壊仕事と静的曲げヤング率の関係を示す。いずれも1%あるいは5%有意水準で相関があった。また、相関係数は密度との関係に比べて高かった。

4.3 衝撃曲げ試験

4.3.1 半径方向の変動

図17に衝撃曲げ試験用試験体の密度の半径方向の変動を示す。静的曲げ試験用試験体とほぼ同様の傾向であった。

図18に衝撃曲げ吸収エネルギーの半径方向の変動を示す。樹皮に向かって増大する傾向、あるいは安定したままという傾向が認められた。時折、非常に大きい値がみられた。衝撃曲げ吸収エネルギーが非常に大きくなった理由としては、まず、密度が大きいことが考えられる。しかし、衝撃曲げ試験用試験体の密度の半径方向の変動(図17)や、衝撃曲げ吸収エネルギーと密度の関係(図20)をみると、密度が大きい場合に必ずしも衝撃曲げ吸収エネルギーが大きくなってはならない。従って、衝撃特性に寄与する因子として密度以外のものも考えられる。例えば、衝撃試験は荷重速度が非常に大きいため、作業中には気付かないくらい小さな実験条件の違いが非常にシビアに反映されてくるものであると考えられる。そのほか、衝撃曲げ吸収エネルギーに寄与する因子には多くの可能性が考えられ、このことは、今後検討すべき興味深い課題である。静的曲げ破壊仕事との関係を検討すると(図19)、5%有意水準で相関関係があった。

4.3.2 密度、ヤング率との関係

図20, 21から衝撃曲げ吸収エネルギーには密度や静的曲げヤング率と有意な相関は存在しなかった。このことから上記の衝撃曲げ吸収エネルギーには単に密度だけではなく様々な因子が影響していることと関係している可能性が考えられる。

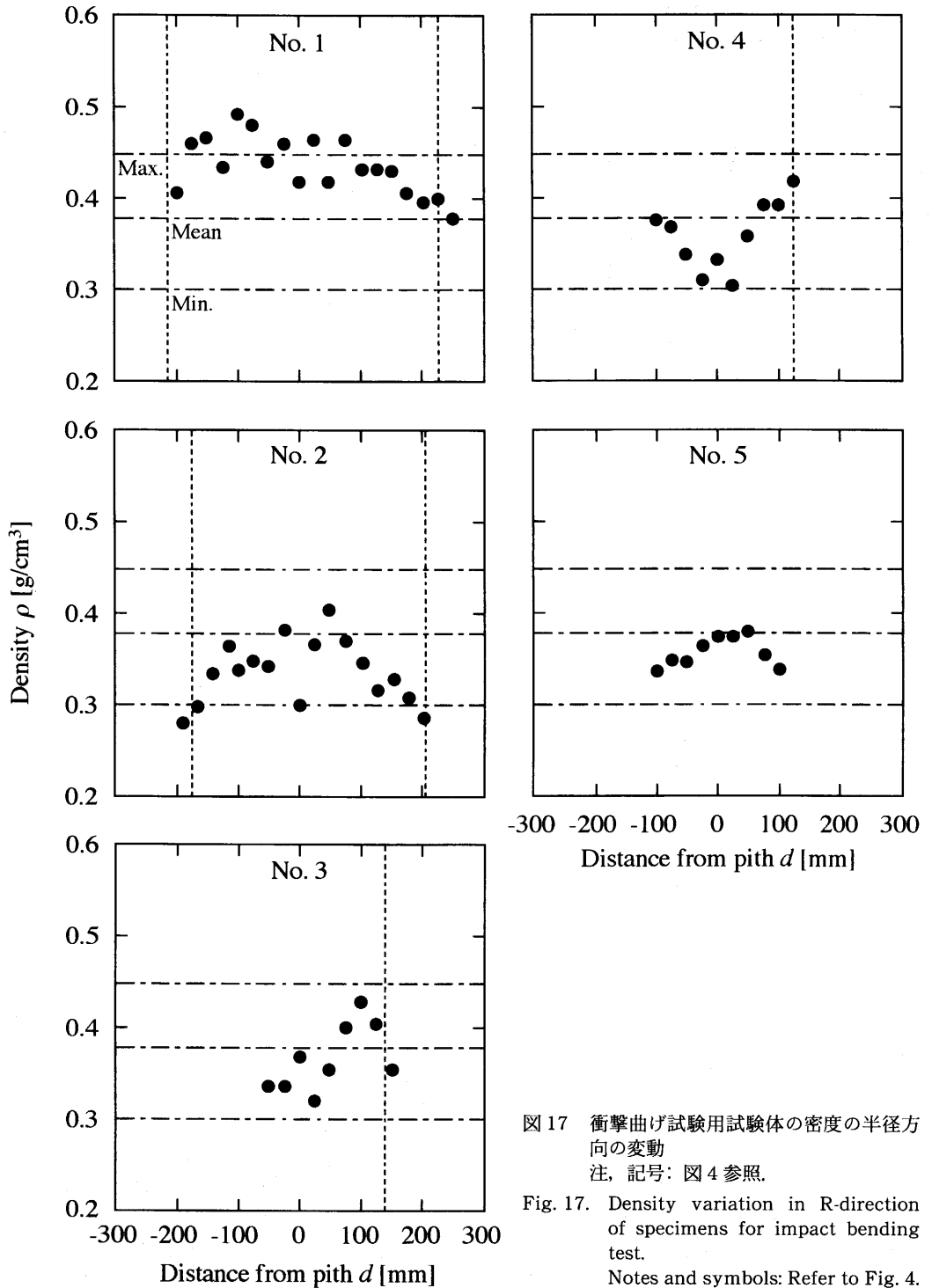


図17 衝撃曲げ試験用試験体の密度の半径方向の変動
注, 記号: 図4 参照.

Fig. 17. Density variation in R-direction of specimens for impact bending test.

Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

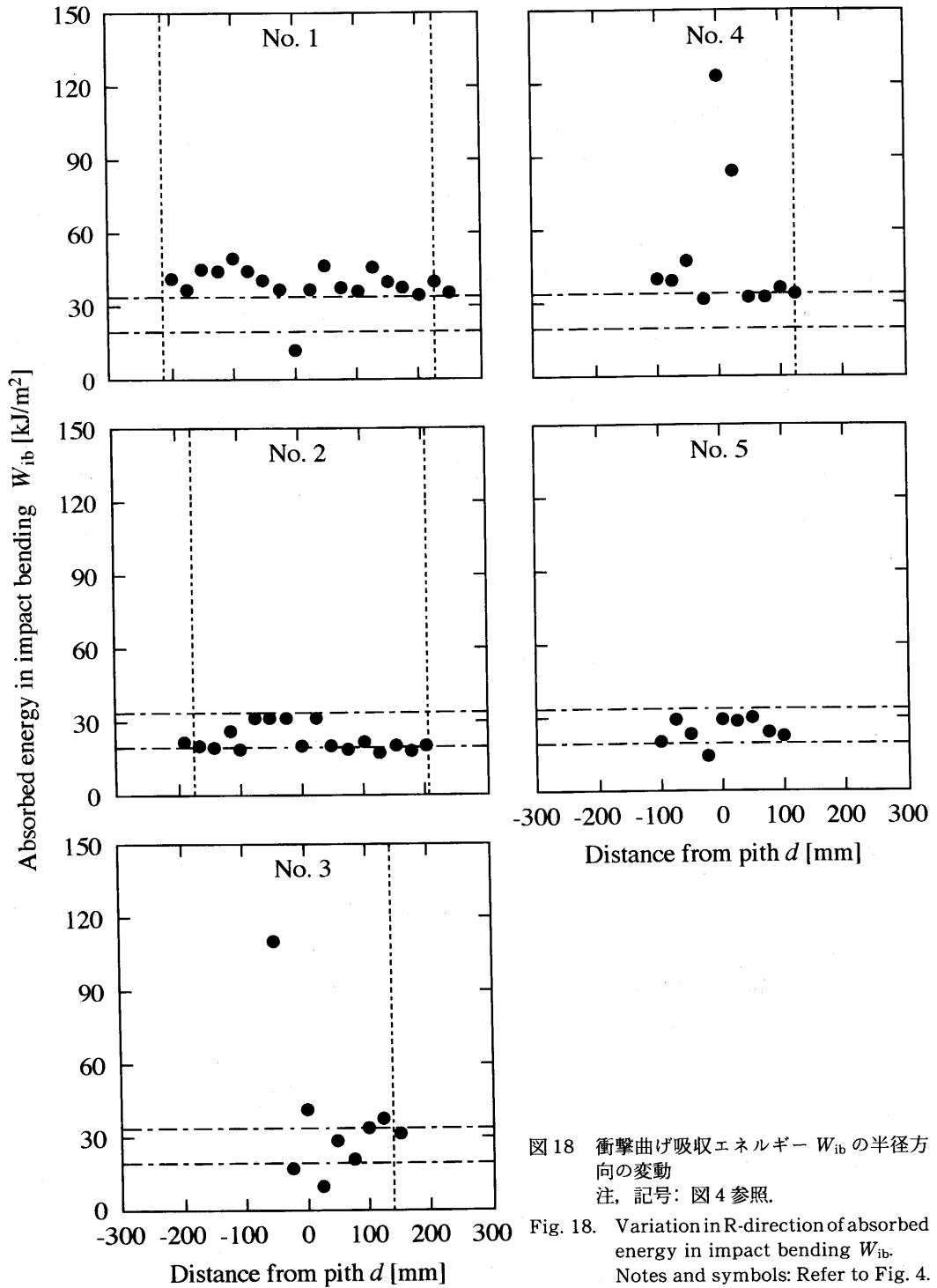


図 18 衝撃曲げ吸収エネルギー W_{ib} の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 18. Variation in R-direction of absorbed energy in impact bending W_{ib} .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

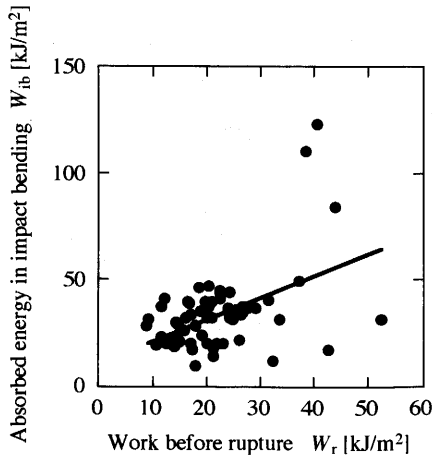


図 19 衝撃曲げ吸収エネルギー W_{ib} と静的曲げ破壊仕事 W_r の関係

注: 回帰式: $W_{ib} = 1.03W_r + 11.3$
($r = 0.478^{**}$). **: 1% 有意.

Fig. 19. Relationship between absorbed energy in impact bending W_{ib} and work before rupture W_r .

Notes: Regression equation is $W_{ib} = 1.03W_r + 11.3$ ($r = 0.478^{**}$). **: 1% significant level.

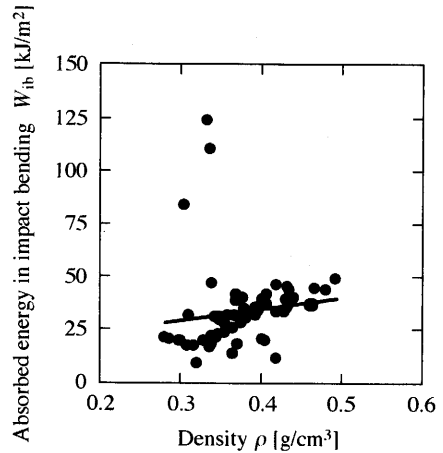


図 20 衝撃曲げ吸収エネルギー W_{ib} と密度 ρ の関係

注: 回帰式: $W_{ib} = 53.0\rho + 14.0$
($r = 0.142$ NS). NS: 相関なし.

Fig. 20. Relationship between absorbed energy in impact bending W_{ib} and density ρ .

Notes: Regression equation is $W_{ib} = 53.0\rho + 14.0$ ($r = 0.142$ NS). NS: not significant.

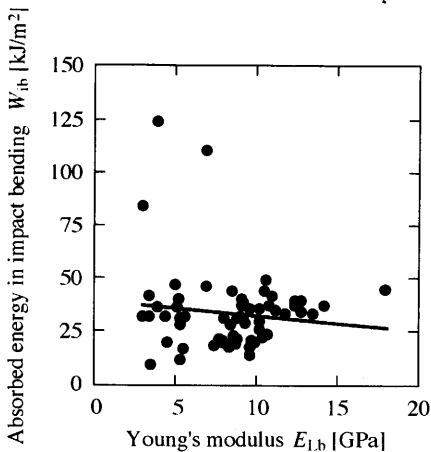


図 21 衝撃曲げ吸収エネルギー W_{ib} と静的曲げヤング率 E_{Lb} の関係

注: 回帰式: $W_{ib} = -0.730E_{Lb} + 40.1$
($r = 0.117$ NS). NS: 相関なし.

Fig. 21. Relationship between absorbed energy in impact bending W_{ib} and longitudinal Young's modulus in static bending E_{Lb} .

Notes: Regression equation is $W_{ib} = -0.730E_{Lb} + 40.1$ ($r = 0.117$ NS). NS: not significant.

4.4 圧縮試験

4.4.1 縦圧縮試験

a) 半径方向の変動

図 22 に縦圧縮試験用試験体の密度の半径方向の変動を示す。静的曲げ試験用試験体とほぼ同様の傾向であった。

図 23 に縦圧縮ヤング率の半径方向の変動を示す。静的曲げヤング率とほぼ同様の傾向であっ

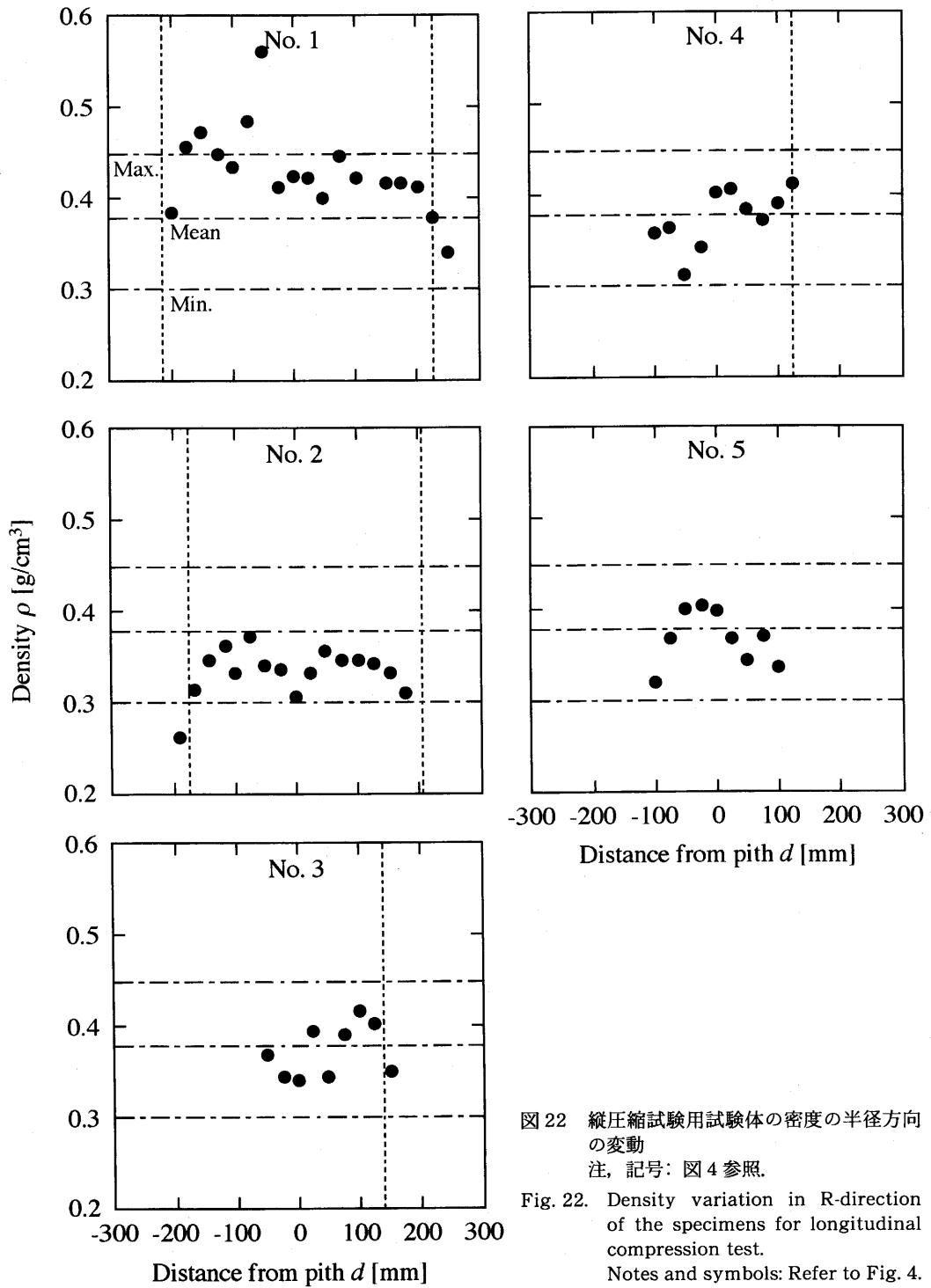


図 22 縦圧縮試験用試験体の密度の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 22. Density variation in R-direction of the specimens for longitudinal compression test.
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

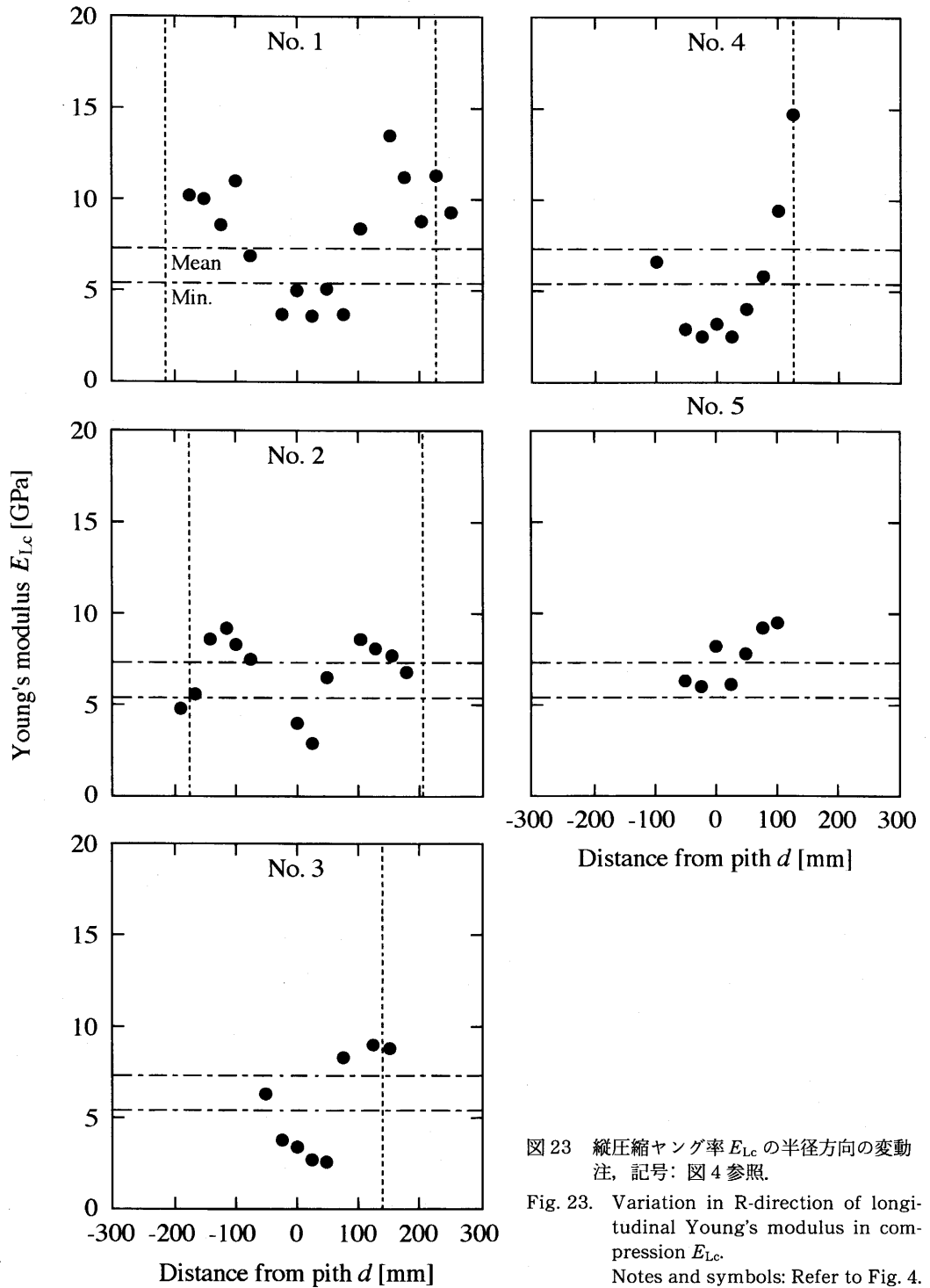


図 23 縦圧縮ヤング率 E_{Lc} の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 23. Variation in R-direction of longitudinal Young's modulus in compression E_{Lc} .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

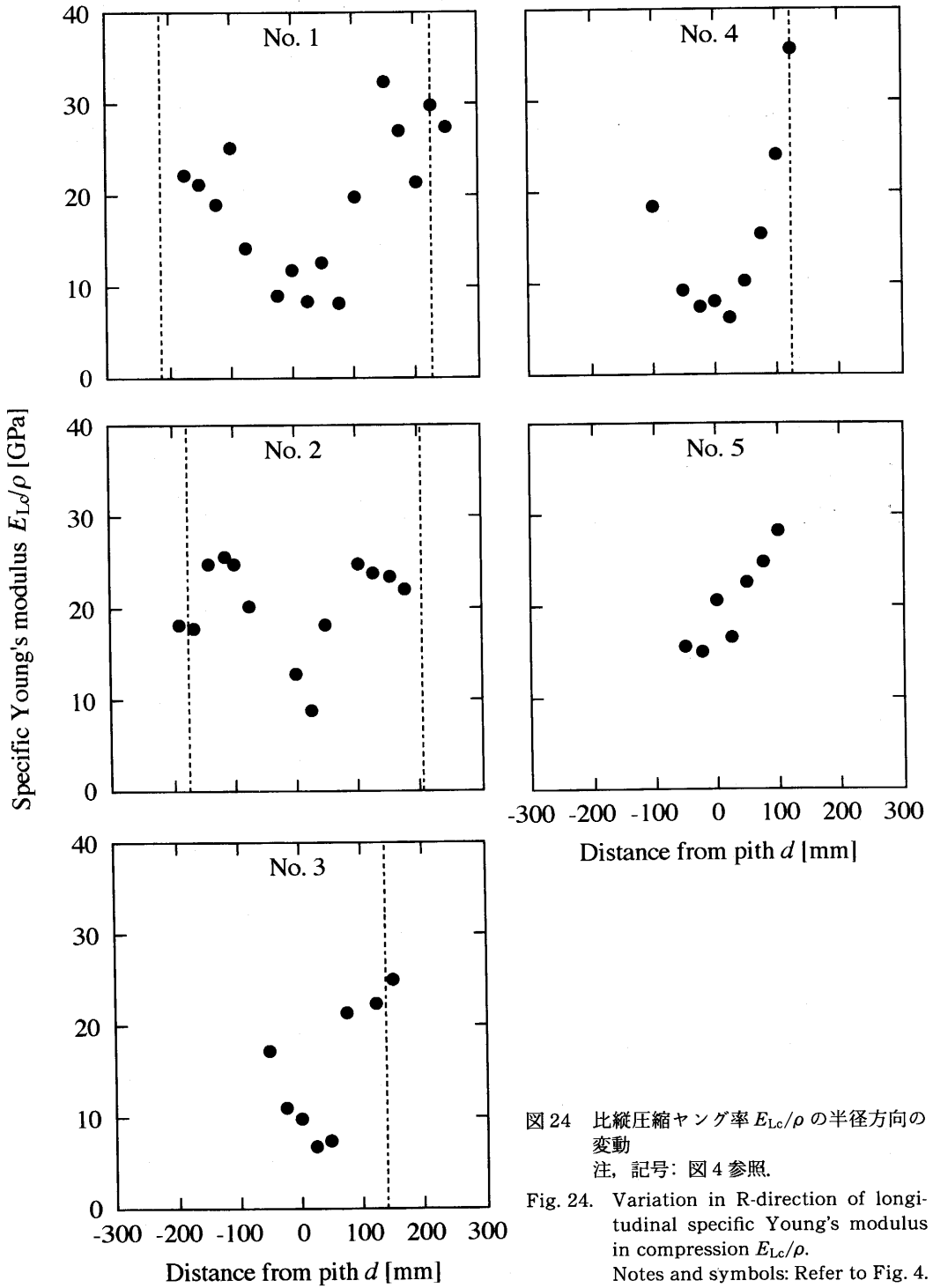


図 24 比縦圧縮ヤング率 E_{Lc}/ρ の半径方向の変動

注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 24. Variation in R-direction of longitudinal specific Young's modulus in compression E_{Lc}/ρ .

Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

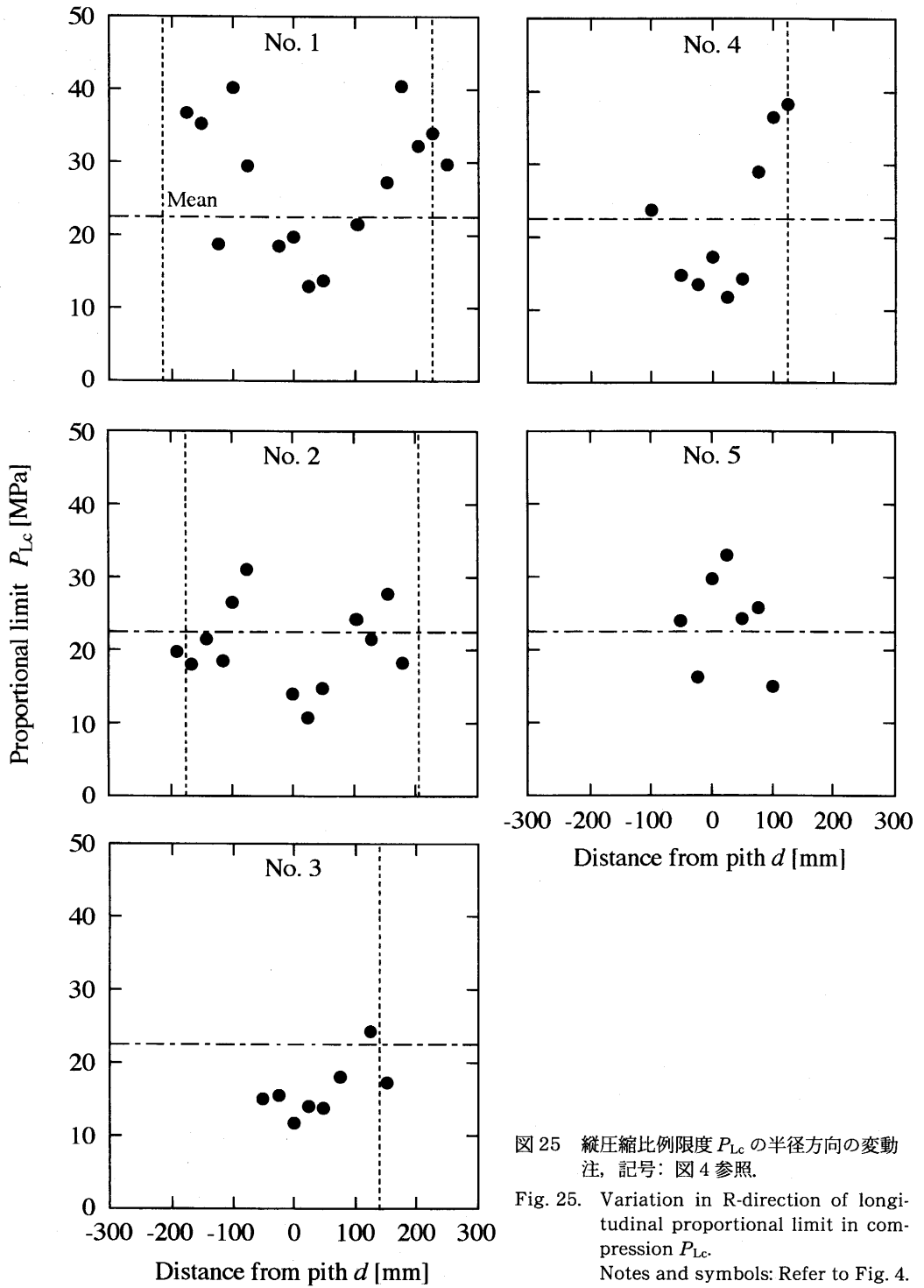


図 25 縦圧縮比例限度 P_{Lc} の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 25. Variation in R-direction of longitudinal proportional limit in compression P_{Lc} .

Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

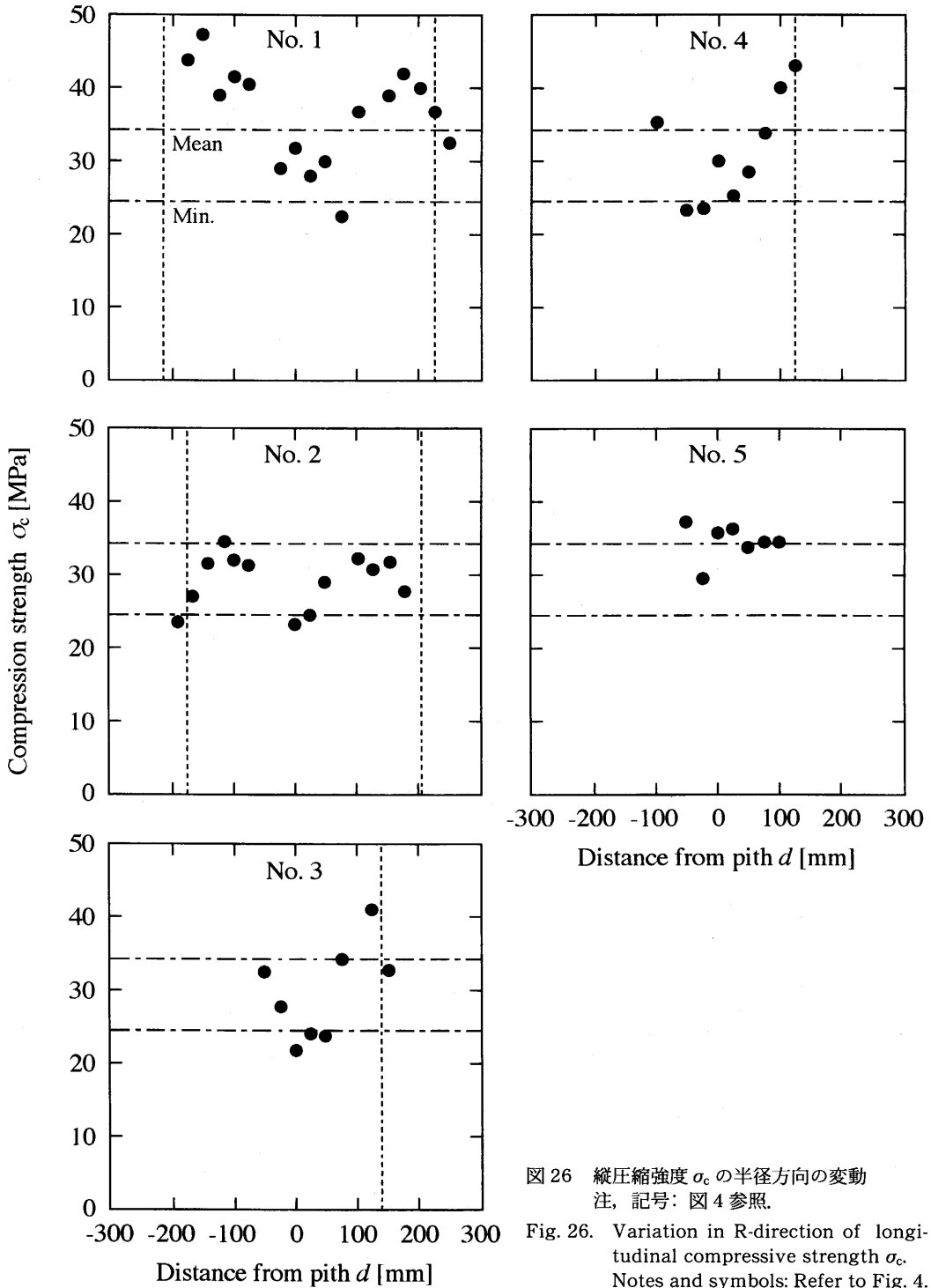


図 26 縦圧縮強度 σ_c の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 26. Variation in R-direction of longitudinal compressive strength σ_c .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

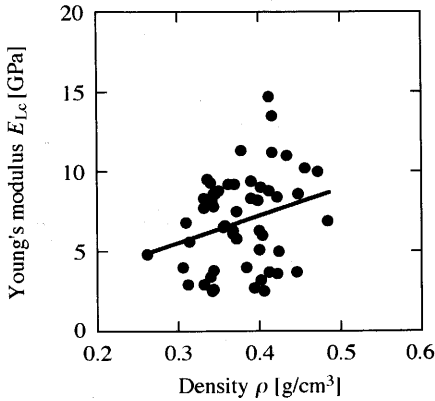


図 27 縦圧縮ヤング率 E_{Lc} と密度 ρ の関係
 注: 回帰式: $E_{Lc}=17.0\rho+0.498$
 ($r=0.266^*$). *: 5% 有意.

Fig. 27. Relationship between longitudinal Young's modulus in compression E_{Lc} and density ρ .
 Notes: Regression equation is $E_{Lc}=17.0\rho+0.498$ ($r=0.266^*$).
 *: 5% significant level.

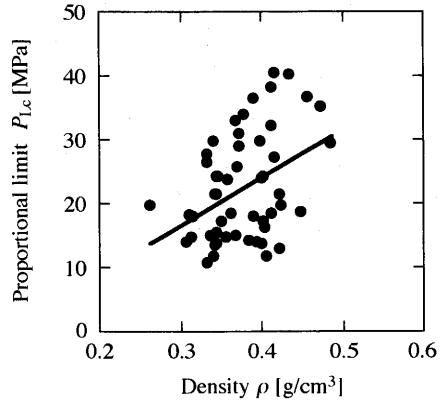


図 28 縦圧縮比例限度 P_{Lc} と密度 ρ の関係
 注: 回帰式: $P_{Lc}=74.5\rho-5.49$
 ($r=0.403^{**}$). **: 1% 有意.

Fig. 28. Relationship between longitudinal proportional limit in compression P_{Lc} and density ρ .
 Notes: Regression equation is $P_{Lc}=74.5\rho-5.49$ ($r=0.403^{**}$).
 **: 1% significant level.

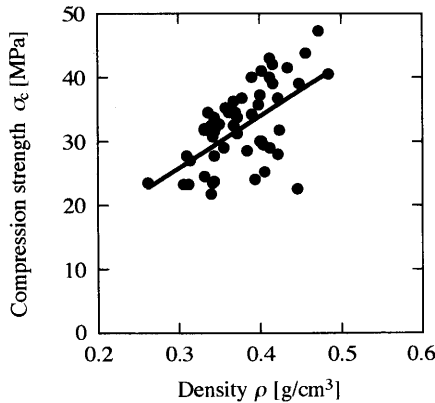


図 29 縦圧縮強度 σ_c と密度 ρ の関係
 注: 回帰式: $\sigma_c=81.5\rho+1.73$
 ($r=0.596^{**}$). **: 5% 有意.

Fig. 29. Relationship between longitudinal compressive strength σ_c and density ρ .
 Notes: Regression equation is $\sigma_c=81.5\rho+1.73$ ($r=0.596^{**}$).
 **: 5% significant level.

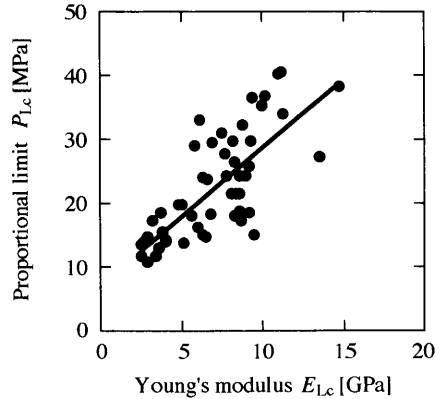


図 30 縦圧縮比例限度 P_{Lc} と縦圧縮ヤング率 E_{Lc} の関係
 注: 回帰式: $P_{Lc}=2.15E_{Lc}+7.55$
 ($r=0.751^{**}$). **: 1% 有意.

Fig. 30. Relationship between longitudinal proportional limit in compression P_{Lc} and longitudinal Young's modulus in compression E_{Lc} .
 Notes: Regression equation is $P_{Lc}=2.15E_{Lc}+7.55$ ($r=0.751^{**}$).
 **: 1% significant level.

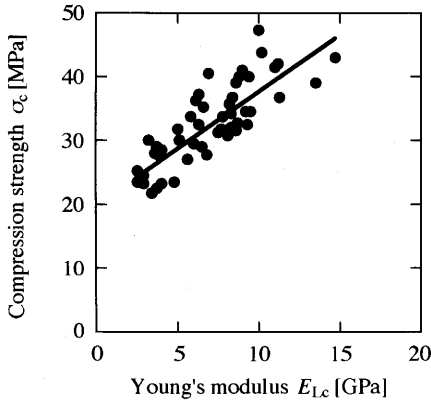


図 31 縦圧縮強度 σ_c と縦圧縮ヤング率 E_{Lc} の関係

注: 回帰式: $\sigma_c = 1.76E_{Lc} + 20.3$
($r = 0.824^{**}$). ** : 1% 有意.

Fig. 31. Relationship between longitudinal compressive strength σ_c and longitudinal Young's modulus in compression E_{Lc} .

Notes: Regression equation is $\sigma_c = 1.76E_{Lc} + 20.3$ ($r = 0.824^{**}$).
 ** : 1% significant level.

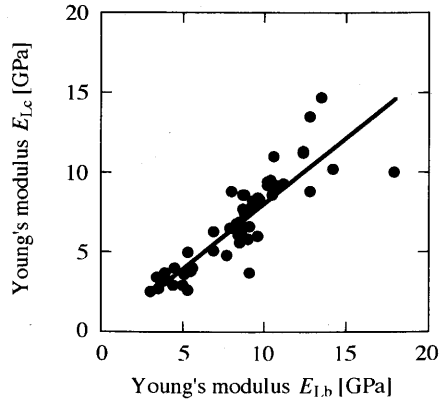


図 32 縦圧縮ヤング率 E_{Lc} と静的曲げヤング率 E_{Lb} の関係

注: 回帰式: $E_{Lc} = 0.817E_{Lb} - 0.0230$
($r = 0.875^{**}$). ** : 1% 有意.

Fig. 32. Relationship between longitudinal Young's modulus in compression E_{Lc} and that in static bending E_{Lb} .

Notes: Regression equation is $E_{Lc} = 0.817E_{Lb} - 0.0230$ ($r = 0.875^{**}$).
 ** : 1% significant level.

た。

図 24 に縦圧縮ヤング率の半径方向の変動を示す。これも静的曲げヤング率とほぼ同様の傾向であった。

図 25 に縦圧縮比例限度の半径方向の変動を示す。No. 5 で明確な傾向がみられなかったこ以外は静的曲げ比例限度と同様の傾向であった。

図 26 に縦圧縮強度の半径方向の変動を示す。No. 5 で変化が少なかった以外は静的曲げ強度と同様の傾向であった。

b) 密度, ヤング率との関係

図 27-29 に縦圧縮ヤング率と密度との関係, 縦圧縮比例限度と密度との関係, ならびに縦圧縮強度と密度との関係を示す。いずれも 1% 有意水準, あるいは 5% 有意水準で相関関係が存在した。

図 30, 31 に縦圧縮比例限度と縦圧縮ヤング率との関係, 縦圧縮強度と縦圧縮ヤング率との関係を示す。いずれも 1% 有意水準で相関関係が認められた。対密度よりも対ヤング率のほうが相関係数が高い点が静的曲げ試験と同様であった。

ここで, 縦圧縮試験の結果は静的曲げ試験の結果と同様の傾向を示すことが多かったので, 静的曲げヤング率と縦圧縮ヤング率を比較すると (図 32), 高い相関関係が認められた。

4.4.2 横圧縮試験 (R 方向)

a) 半径方向の変動

図 33 に R 方向圧縮試験用試験体の密度の半径方向の変動を示す。静的曲げ試験用試験体とは

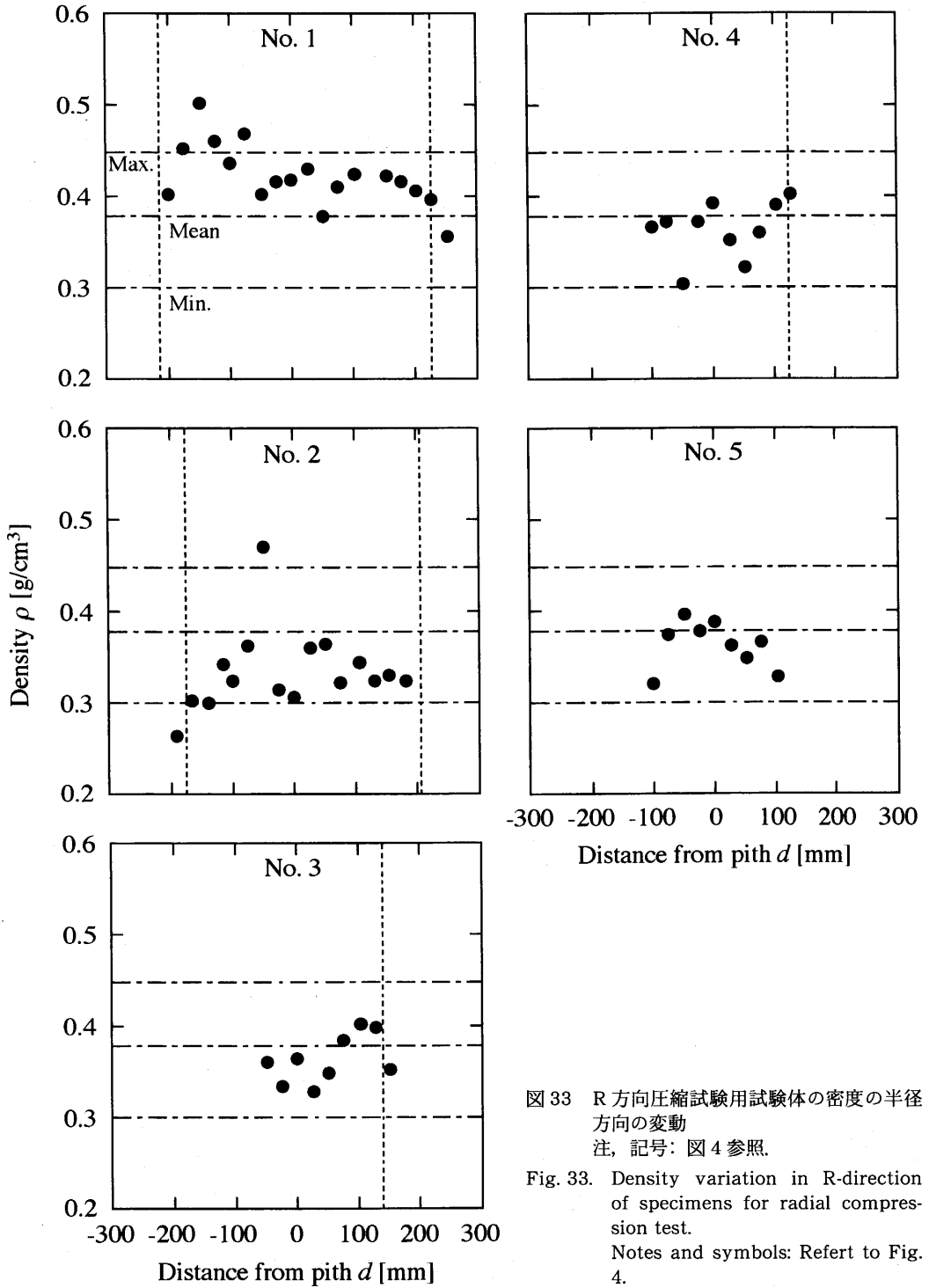


図 33 R 方向圧縮試験用試験体の密度の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 33. Density variation in R-direction of specimens for radial compression test.
Notes and symbols: Refert to Fig. 4.

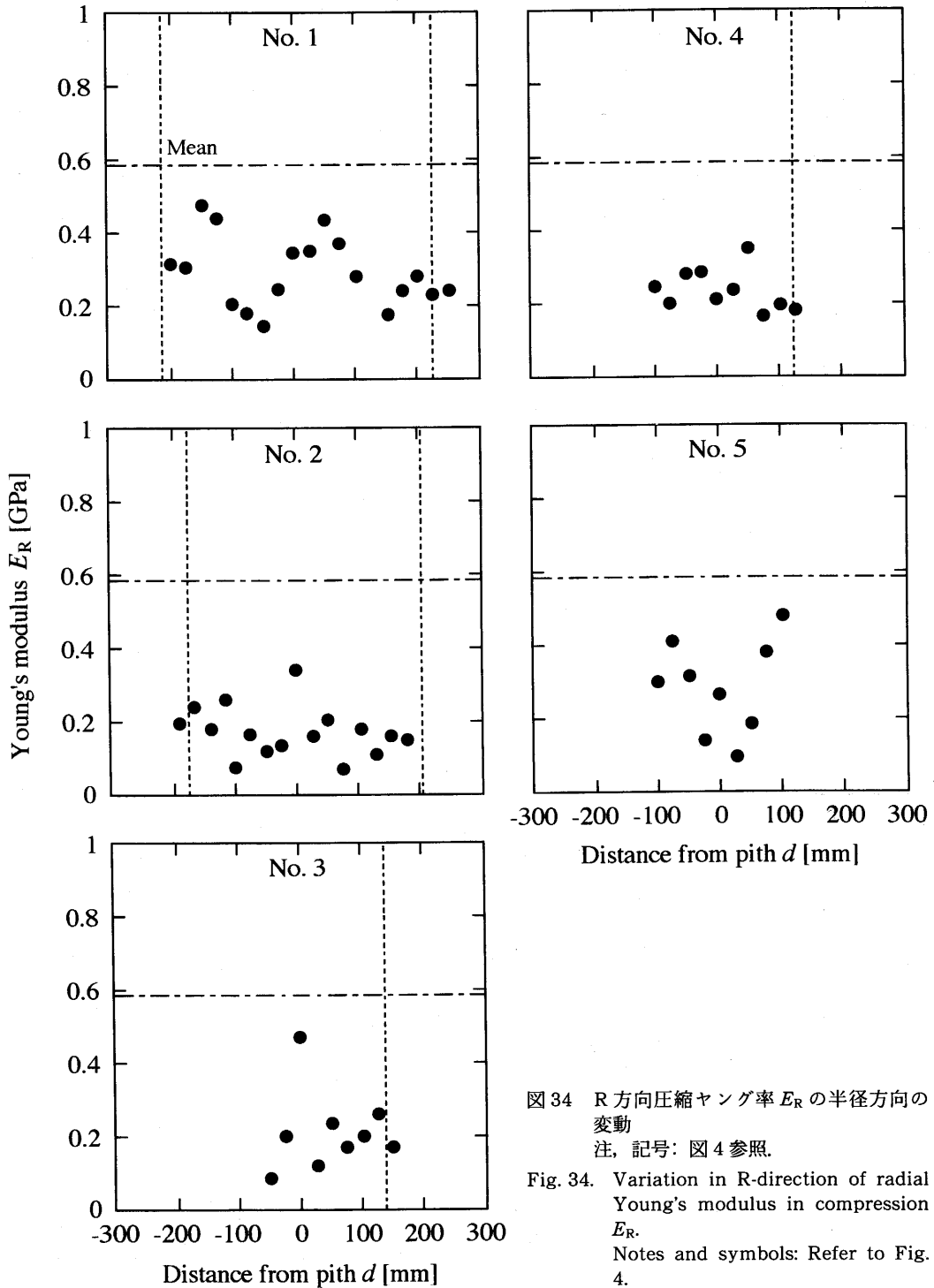


図 34 R 方向圧縮ヤング率 E_R の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 34. Variation in R-direction of radial Young's modulus in compression E_R .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

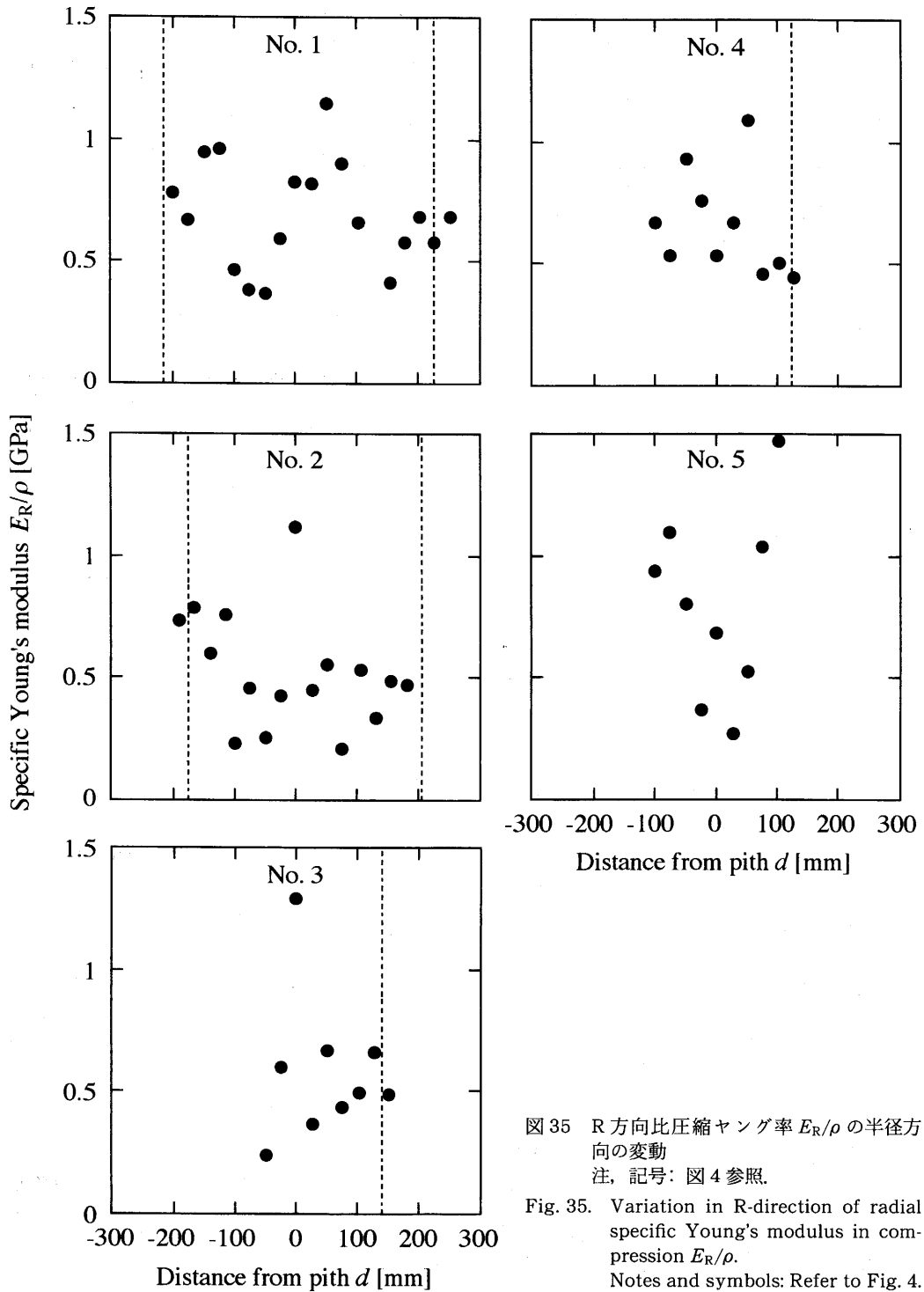


図 35 R 方向比圧縮ヤング率 E_R/ρ の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 35. Variation in R-direction of radial specific Young's modulus in compression E_R/ρ .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

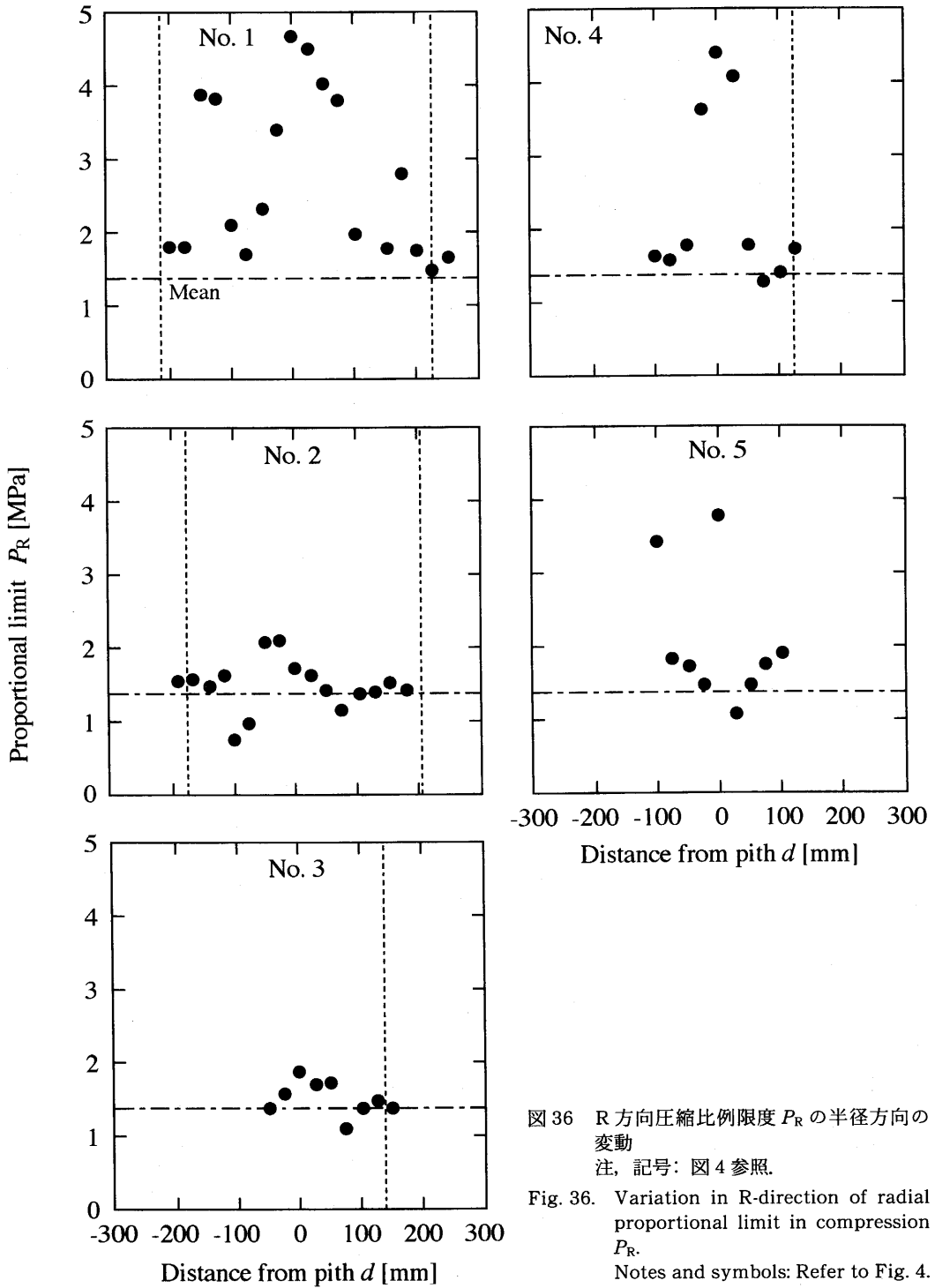


図 36 R 方向圧縮比例限度 P_R の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 36. Variation in R-direction of radial proportional limit in compression P_R .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

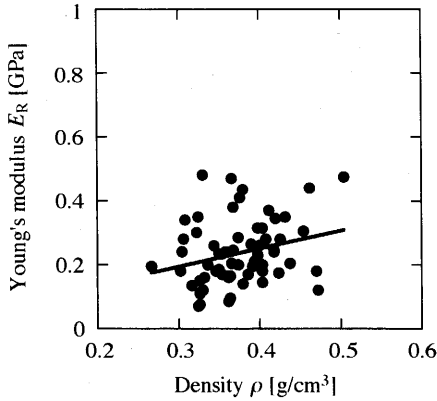


図 37 R 方向圧縮ヤング率 E_R と密度 ρ の関係
注: 回帰式: $E_R = 0.567\rho + 0.0292$
($r = 0.264$ NS). NS: 相関なし.

Fig. 37. Relationship between radial Young's modulus in compression E_R and density ρ .
Notes: Regression equation is $E_R = 0.567\rho + 0.0292$ ($r = 0.264$ NS).
NS: not significant.

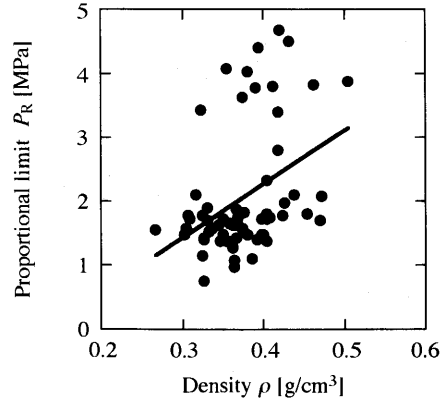


図 38 R 方向圧縮比例限度 P_R と密度 ρ の関係
注: 回帰式: $P_R = 8.39\rho - 1.05$
($r = 0.402^{**}$). **: 1% 有意.

Fig. 38. Relationship between radial proportional limit in compression P_R and density ρ .
Notes: Regression equation is $P_R = 8.39\rho - 1.05$ ($r = 0.402^{**}$).
**: 1% significant level.

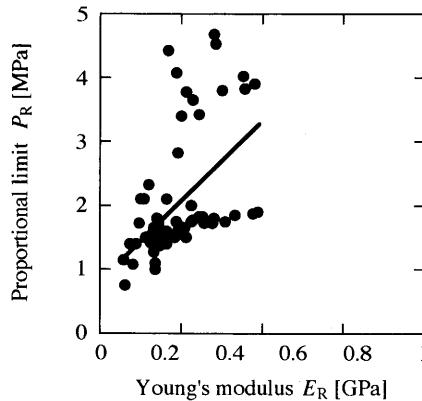


図 39 R 方向圧縮比例限度 P_R と R 方向圧縮ヤング率 E_R の関係
注: 回帰式: $P_R = 5.02E_R + 0.871$
($r = 0.517^{**}$). **: 1% 有意.

Fig. 39. Relationship between radial proportional limit in compression P_R and radial Young's modulus in compression E_R .
Notes: Regression equation is $P_R = 5.02E_R + 0.871$ ($r = 0.517^{**}$).
**: 1% significant level.

ば同様の傾向であった。

図 34 に R 方向圧縮ヤング率の半径方向の変動を示す。No. 1-3, 5 では、髄付近にピークがあり、樹皮に向かって増大した。No. 4 では明確な傾向が認められなかった。

図 35 に R 方向比圧縮ヤング率の半径方向の変動を示す。R 方向圧縮ヤング率とほぼ同様の傾向であった。

図 36 に R 方向圧縮比例限度の半径方向の変動を示す。全ての個体で髄付近でピークを持った。その後樹皮に向かって増大するもの、安定するもの、減少するものが存在した。

b) 密度、ヤング率との関係

図 37, 38 に R 方向圧縮ヤング率と密度との関係、R 方向圧縮比例限度と密度との関係を示す。R 方向圧縮ヤング率は密度と有意な相関がなかったが、R 方向圧縮比例限度は密度と 1% 有意水準で相関関係があった。

図 39 に R 方向圧縮比例限度と R 方向圧縮ヤング率の関係を示す。1% 有意水準で相関があり、相関係数は対密度よりも大きかった。

4.4.3 横圧縮試験 (T 方向)

a) 半径方向の変動

図 40 に T 方向圧縮試験用試験体の密度の半径方向の変動を示す。静的曲げ試験用試験体とはほぼ同様の傾向であった。

図 41 に T 方向圧縮ヤング率の半径方向の変動を示す。No. 1 では樹皮に行くに従って増大した。No. 2 ではヤング率の変化は小さかった。No. 3-5 では、髄付近にピークがあり、樹皮に向かって増大した。

図 42 に T 方向比圧縮ヤング率の半径方向の変動を示す。T 方向圧縮ヤング率とほぼ同様の傾向であった。

図 43 に T 方向圧縮比例限度の半径方向の変動を示す。平均値^{7), 8)}と比較して 10 倍近くの値をとることがしばしばあった。No. 1, 2 では傾向が明確ではなかった。No. 3 では樹皮に向かうに従って増大した。No. 4 では変化が小さかった。No. 5 では髄付近でピークを持ち、その後樹皮に向かって増大した。

b) 密度、ヤング率との関係

図 44, 45 に T 方向圧縮ヤング率と密度との関係、T 方向圧縮比例限度と密度との関係を示す。いずれも密度と 1% 有意水準で相関関係があった。

図 46 に T 方向圧縮比例限度と T 方向圧縮ヤング率の関係を示す。1% 有意水準で相関があり、相関係数は対密度よりも大きかった。

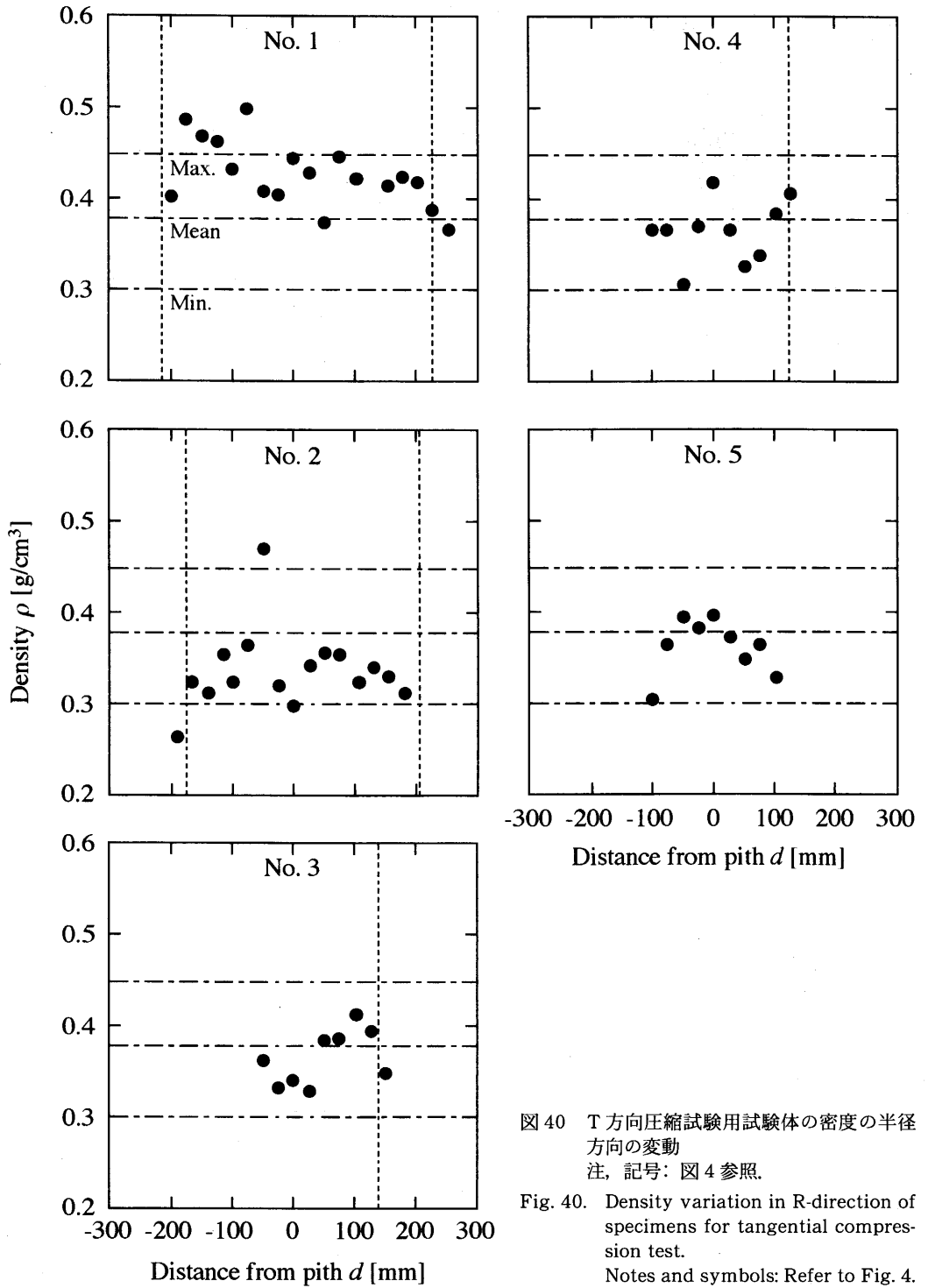


図 40 T 方向圧縮試験用試験体の密度の半径方向の変動
 注, 記号: 図 4 参照.
 Fig. 40. Density variation in R-direction of specimens for tangential compression test.
 Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

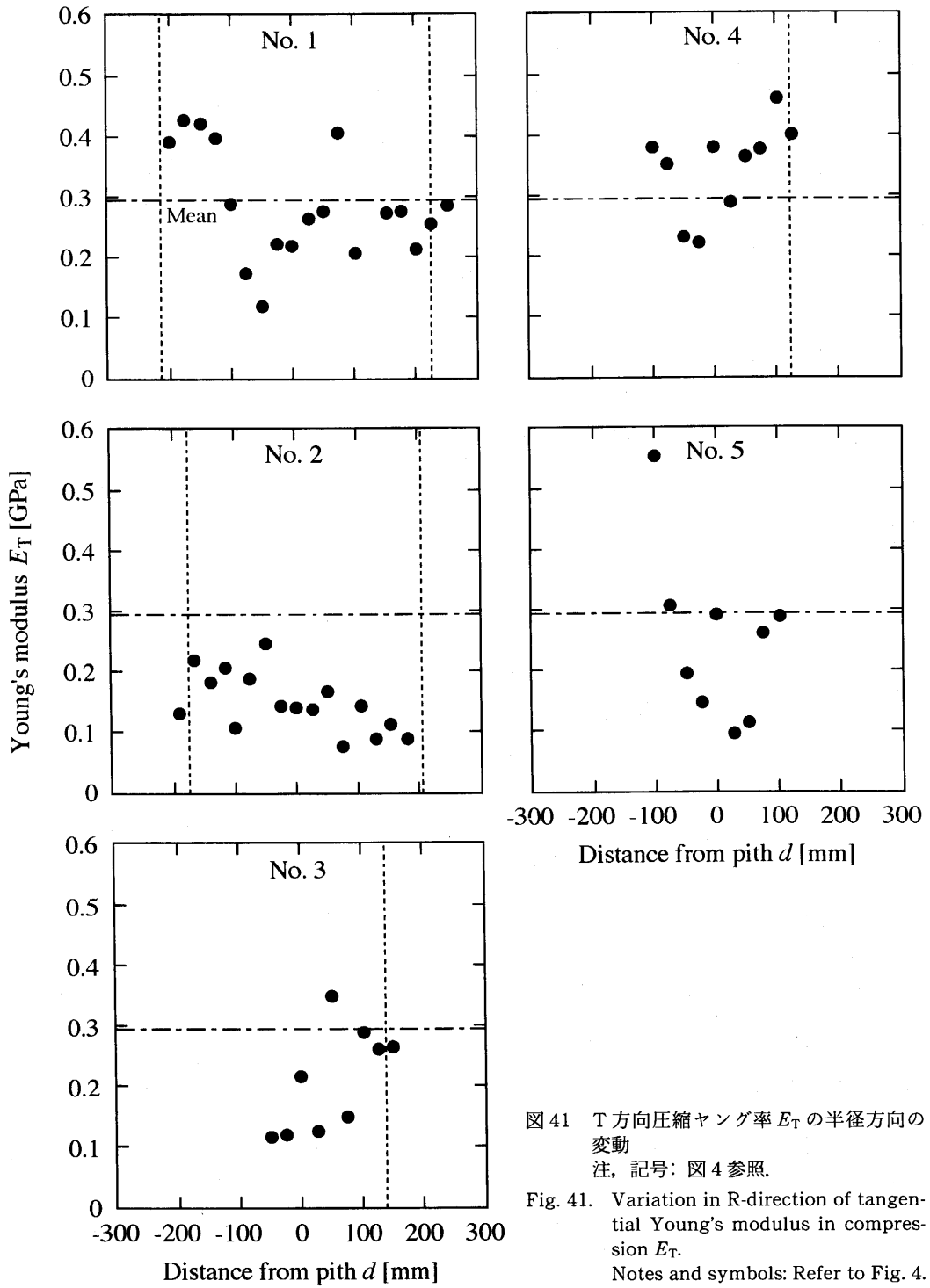


図 41 T 方向圧縮ヤング率 E_T の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 41. Variation in R-direction of tangential Young's modulus in compression E_T .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

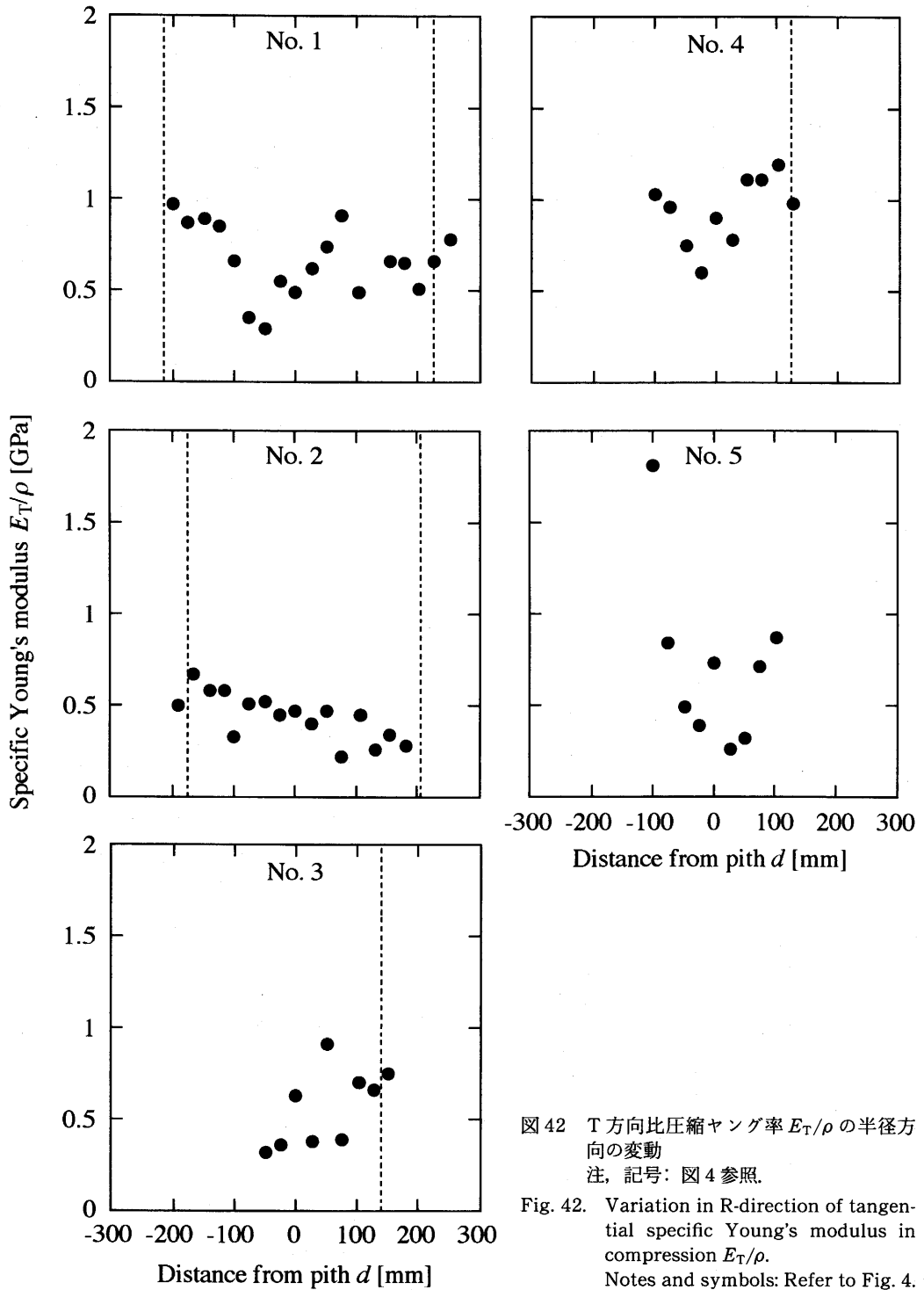


図42 T方向比圧縮ヤング率 E_T/ρ の半径方向の変動
注, 記号: 図4参照.

Fig. 42. Variation in R-direction of tangential specific Young's modulus in compression E_T/ρ .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

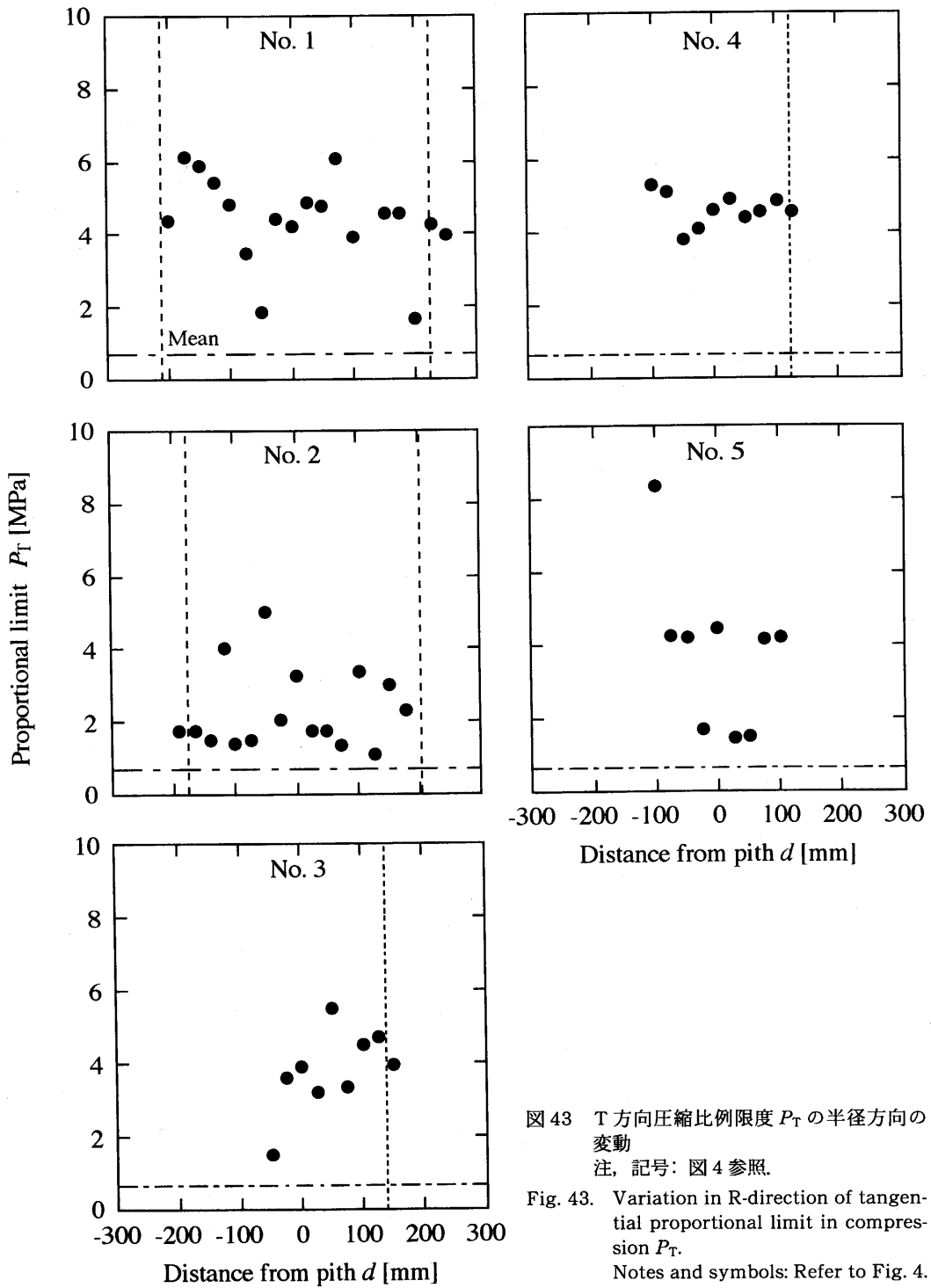


図43 T方向圧縮比例限度 P_T の半径方向の変動
注, 記号: 図4参照.

Fig. 43. Variation in R-direction of tangential proportional limit in compression P_T .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

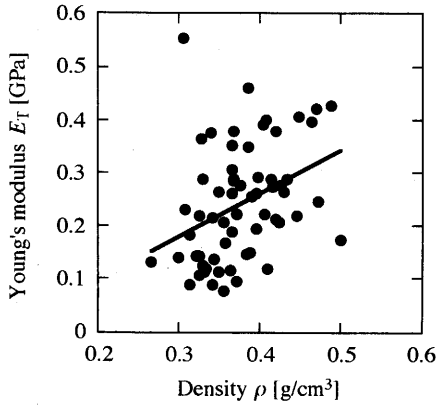


図44 T方向圧縮ヤング率 E_T と密度 ρ の関係
注: 回帰式: $E_T = 0.804\rho - 0.0578$
($r = 0.368^{**}$). **: 1% 有意.

Fig. 44. Relationship between tangential Young's modulus in compression E_T and density ρ .
Note: Regression equation is $E_T = 0.804\rho - 0.0578$ ($r = 0.368^{**}$). **: 1% significant level.

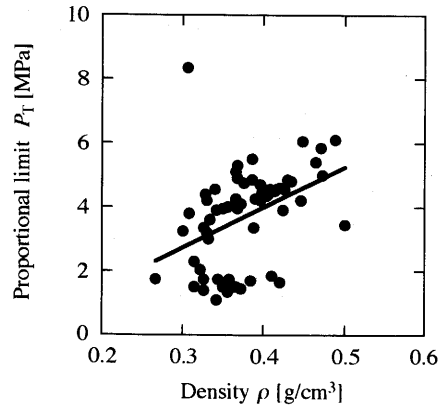


図45 T方向圧縮比例限度 P_T と密度 ρ の関係
注: 回帰式: $P_T = 12.5\rho - 0.962$
($r = 0.410^{**}$). **: 1% 有意.

Fig. 45. Relationship between tangential proportional limit in compression P_T and density ρ .
Notes: Regression equation is $P_T = 12.5\rho - 0.962$ ($r = 0.410^{**}$). **: 1% significant level.

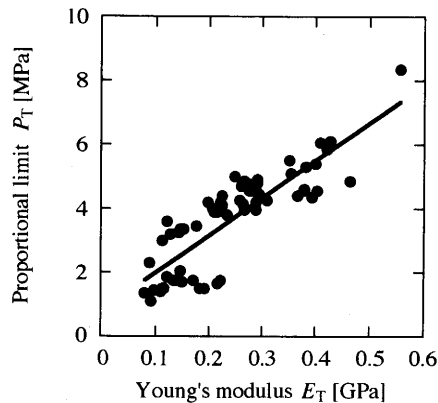


図46 T方向圧縮比例限度 P_T とT方向圧縮ヤング率 E_T の関係
注: 回帰式: $P_T = 11.9E_T + 0.829$ ($r = 0.853^{**}$). **: 1% 有意.

Fig. 46. Relationship between tangential proportional limit in compression P_T and tangential Young's modulus in compression E_T .
Notes: Regression equation is $P_T = 11.9E_T + 0.829$ ($r = 0.853^{**}$). **: 1% significant level.

4.5 ねじり試験

4.5.1 半径方向の変動

図 47 にねじり試験用試験体の密度の半径方向の変動を示す。静的曲げ試験用試験体とほぼ同様の傾向であった。

図 48 に板目面のせん断弾性係数の半径方向の変動を示す。No. 3, 4 で樹皮に向かうに従って増大傾向があったほかは明確な傾向はみられなかった。

図 49 に柾目面のせん断弾性係数の半径方向の変動を示す。No. 1 では心辺材の境界部分から減少が始まると考えられた。No. 5 では変化が小さかった。そのほかでは明確な傾向はなかった。

4.5.2 密度、せん断弾性係数との関係

図 50 にせん断弾性係数と密度の関係を示す。板目面のせん断弾性係数と密度には有意な相関関係が存在しなかったが、柾目面のせん断弾性係数と密度には 1% で有意な相関関係があった。

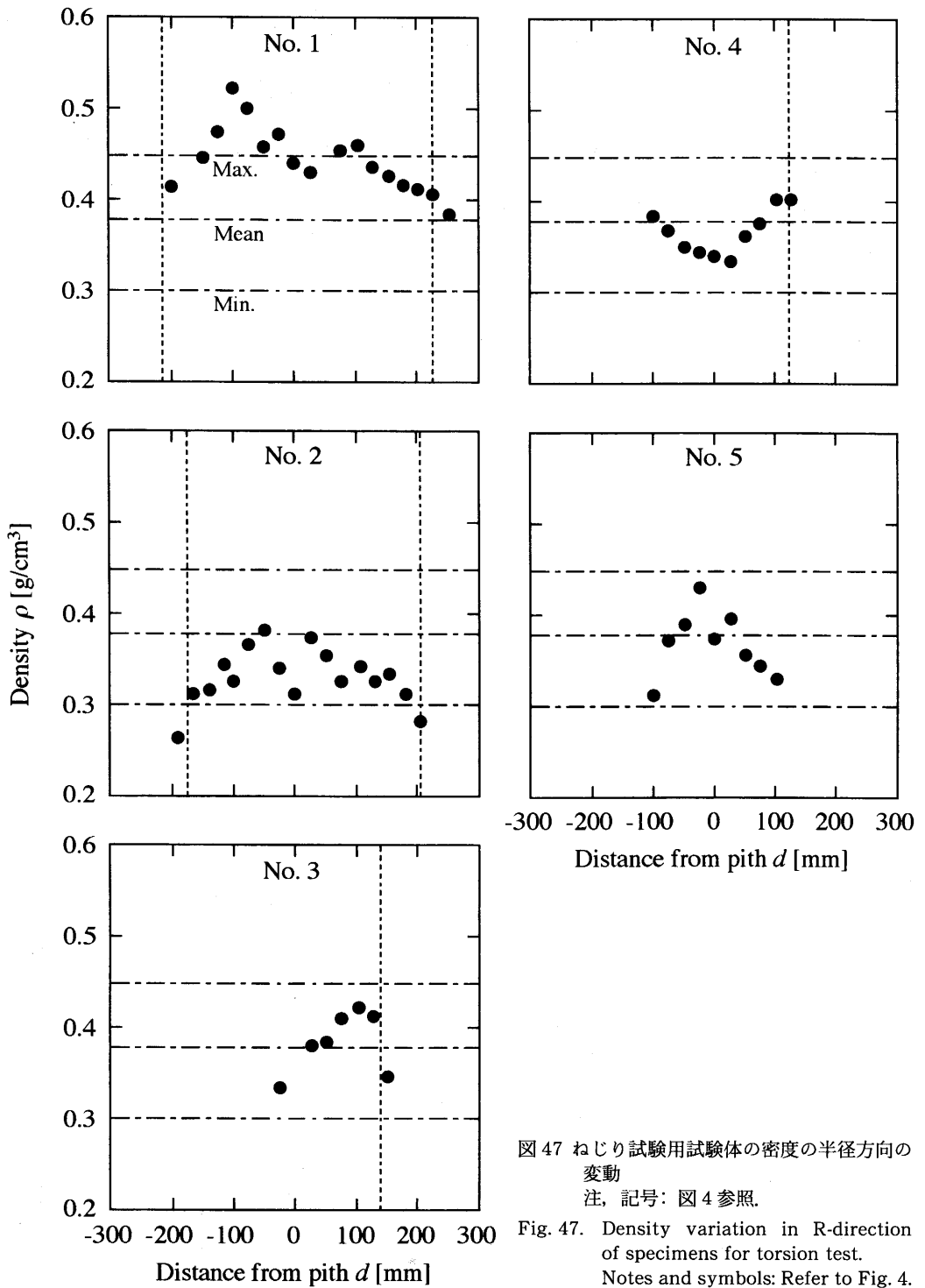


図 47 ねじり試験用試験体の密度の半径方向の変動
注、記号：図 4 参照。

Fig. 47. Density variation in R-direction of specimens for torsion test.
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

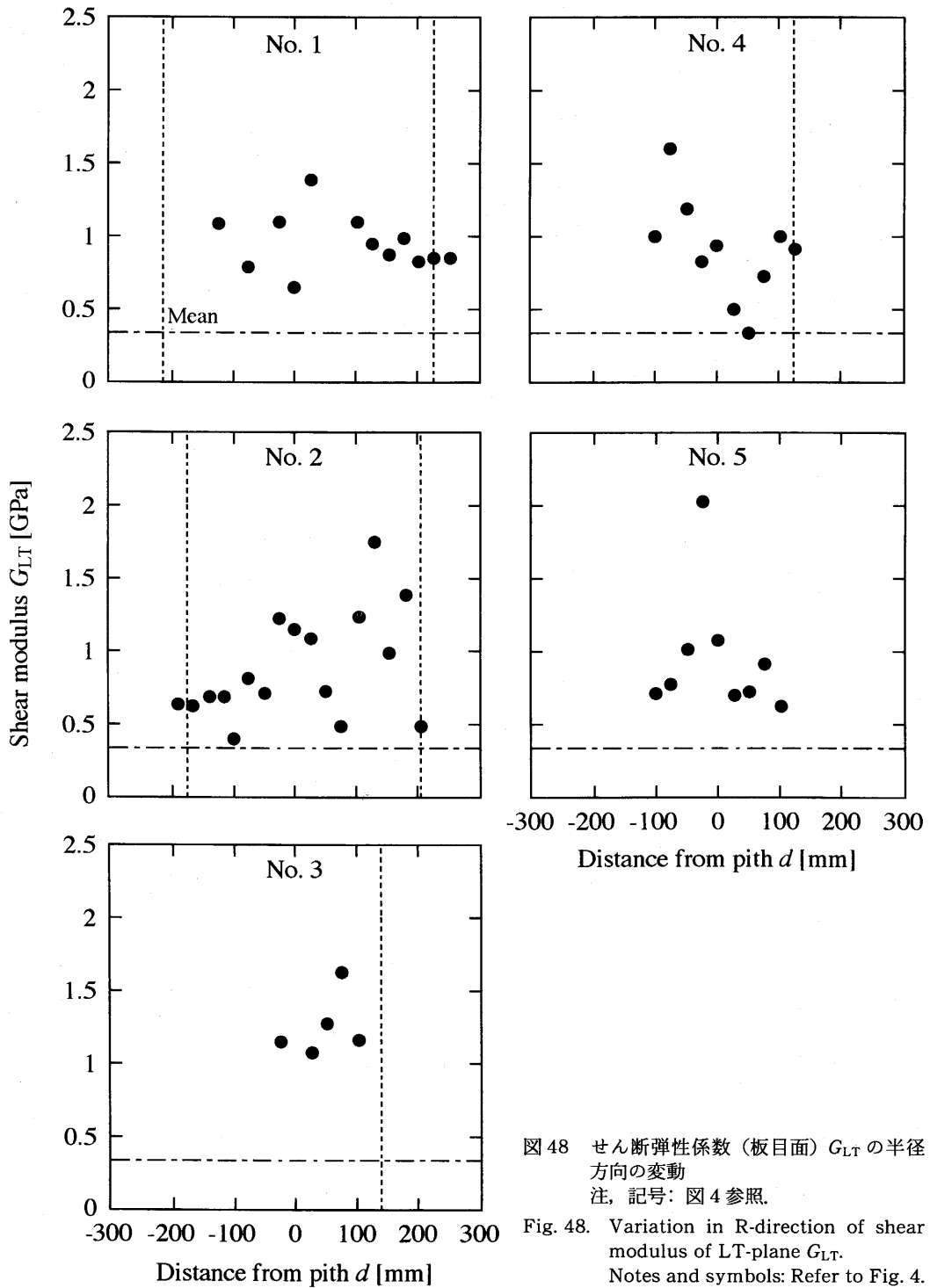


図 48 せん断弾性係数 (板目面) G_{LT} の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 48. Variation in R-direction of shear modulus of LT-plane G_{LT} .

Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

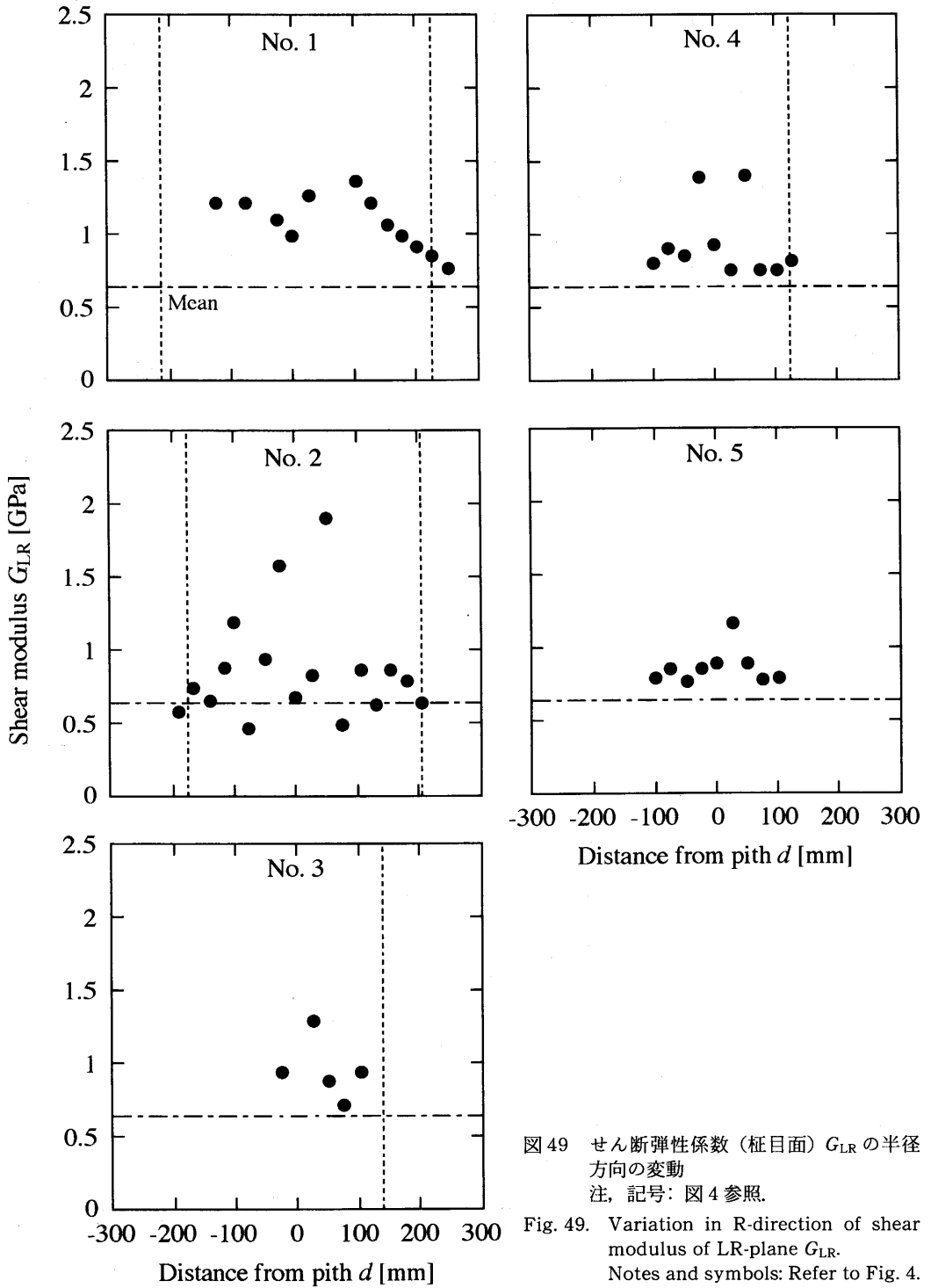


図49 せん断弾性係数（柁目面） G_{LR} の半径方向の変動
 注，記号：図4参照。
 Fig. 49. Variation in R-direction of shear modulus of LR-plane G_{LR} .
 Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

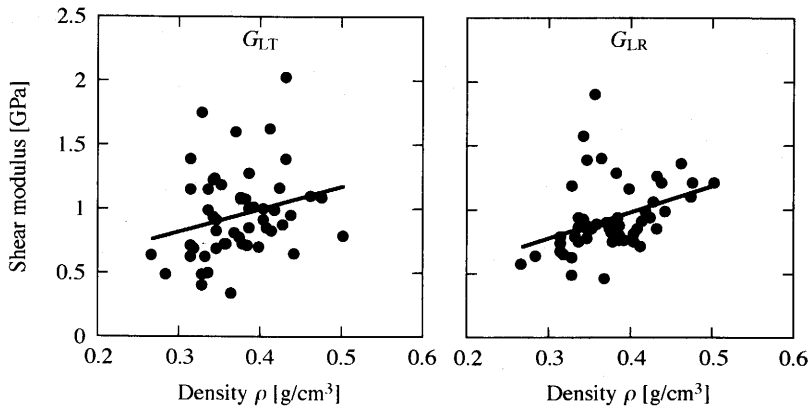


図 50 せん断弾性係数（板目面，柁目面） G_{LT} , G_{LR} と密度 ρ の関係

注： 回帰式： $G_{LT}=1.76\rho+0.299$ ($r=0.261$ NS), $G_{LR}=2.04\rho+0.175$ ($r=0.373^{**}$).
NS: 相関なし, **: 1% 有意.

Fig. 50. Relationships between shear modulus of LT-plane G_{LT} or that of LR-plane G_{LR} and density ρ .

Notes: Regression equations are $G_{LT}=1.76\rho+0.299$ ($r=0.261$ NS) and $G_{LR}=2.04\rho+0.175$ ($r=0.373^{**}$). NS: not significant, **: 1% significant level.

4.6 せん断試験

4.6.1 半径方向の変動

図 51 にせん断試験用試験体の密度の半径方向の変動を示す。静的曲げ試験用試験体とほぼ同様の傾向であった。

図 52 に柁目面のせん断強度の変動を示す。No. 1, 2 では心辺材の境界部分から減少すると考えられた。No. 3 では明確な傾向がなく，No. 4, 5 では変化が小さかった。

4.6.2 密度との関係

図 53 にせん断強度と密度の関係を示す。1% 有意水準で相関関係が存在した。

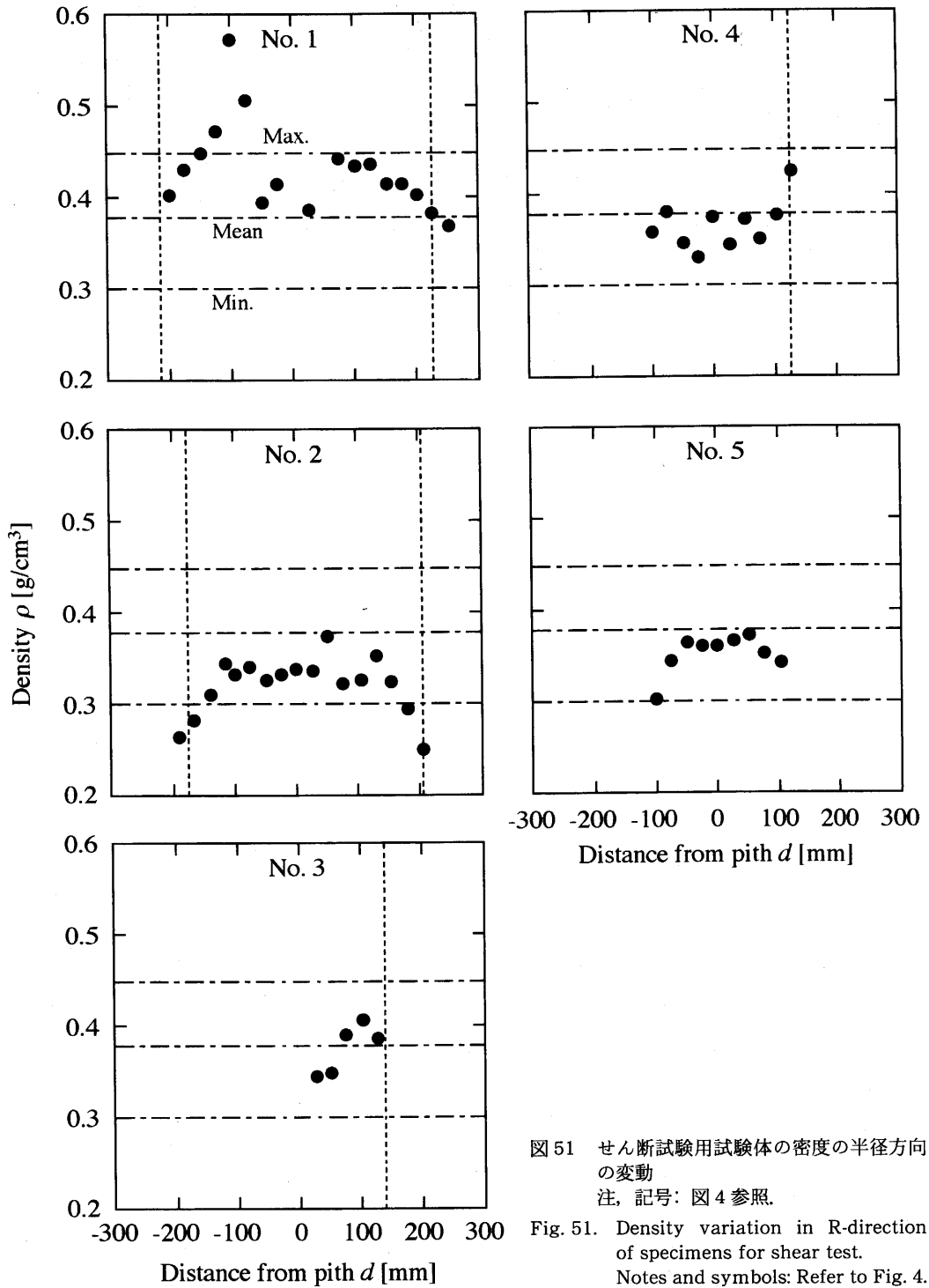


図 51 せん断試験用試験体の密度の半径方向の変動

注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 51. Density variation in R-direction of specimens for shear test.

Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

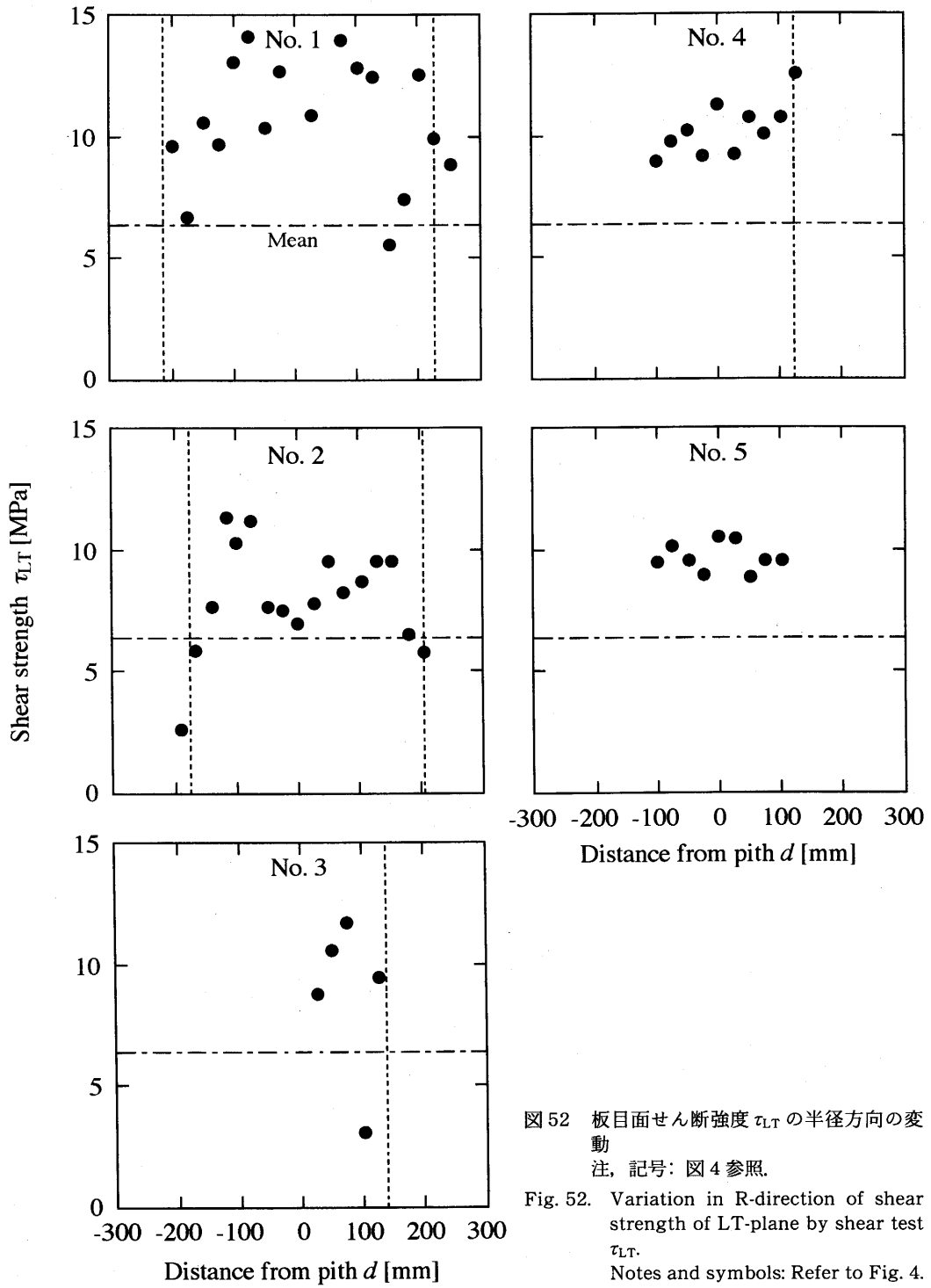


図52 板目面せん断強度 τ_{LT} の半径方向の変動
注, 記号: 図4参照.

Fig. 52. Variation in R-direction of shear strength of LT-plane by shear test τ_{LT} .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

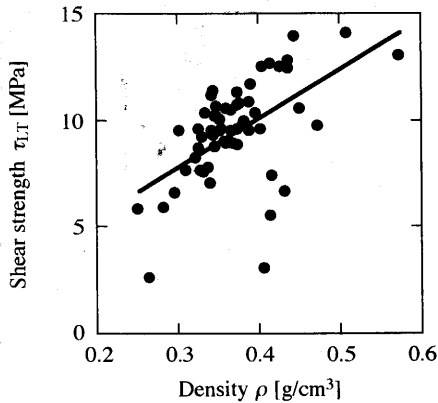


図 53 板目面せん断強度 τ_{LT} と密度 ρ の関係

注: 回帰式: $\tau_{LT} = 23.1\rho + 0.977$
($r = 0.556^{**}$). **: 1% 有意.

Fig. 53. Relationship between shear strength of LT-plane by shear test τ_{LT} and density ρ .

Notes: Regression equation is $\tau_{LT} = 23.1\rho + 0.977$ ($r = 0.556^{**}$). **: 1% significant level.

4.7 硬さ試験

4.7.1 半径方向の変動

図 54 に硬さ試験用試験体の密度の半径方向の変動を示す。静的曲げ試験用試験体とはほぼ同様の傾向を示した。

図 55 に木口面硬さの半径方向の変動を示す。No. 5 を除いて髓から樹に向かうに従って増大した。No. 5 では中心部のほうが周辺部よりも大きかった。

図 56 に板目面硬さの半径方向の変動を示す。No. 1 では周辺部に向かうに従って増大し、心辺材の境界部から減少すると考えられたが、そのほかでは明確な傾向がみられなかった。

図 57 に柾目面硬さの半径方向の変動を示す。No. 1-3 では樹皮に向かうに従って増大する傾向があり、No. 4, 5 では明確な傾向がみられなかった。

このように、明確な傾向がみられなかった理由の 1 つとして、球を圧入する点が 1 点であったことが考えられる。

4.7.2 密度、ヤング率との関係

図 58 に各面の硬さと密度との関係を示す。いずれの面でも 1% 有意水準で相関関係があった。

図 59 に各面の硬さと圧縮ヤング率の関係を示す。板目面で有意な相関関係がなかった以外は 1% または 5% 有意水準で相関関係があった。

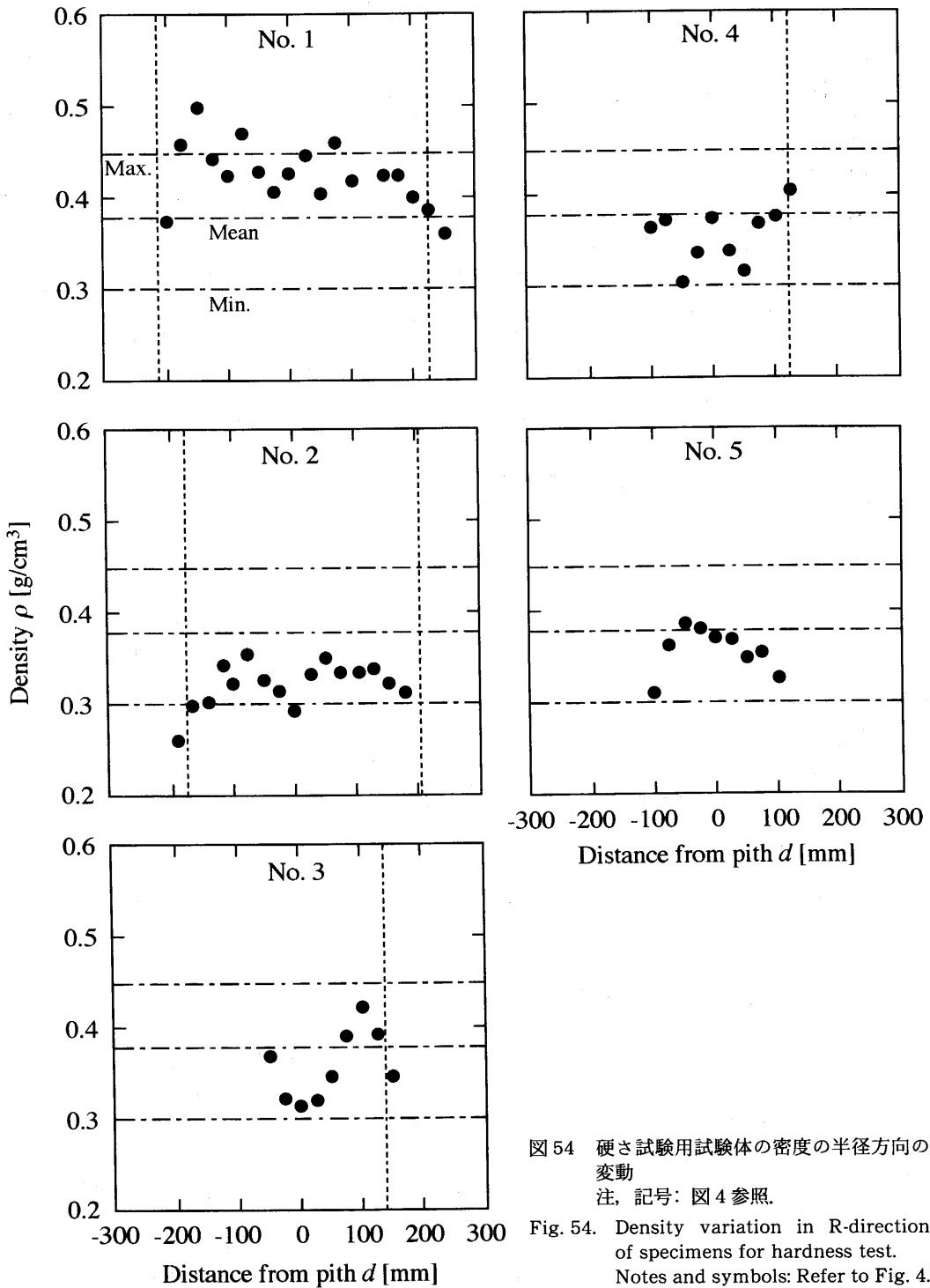


図 54 硬さ試験用試験体の密度の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 54. Density variation in R-direction of specimens for hardness test.
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

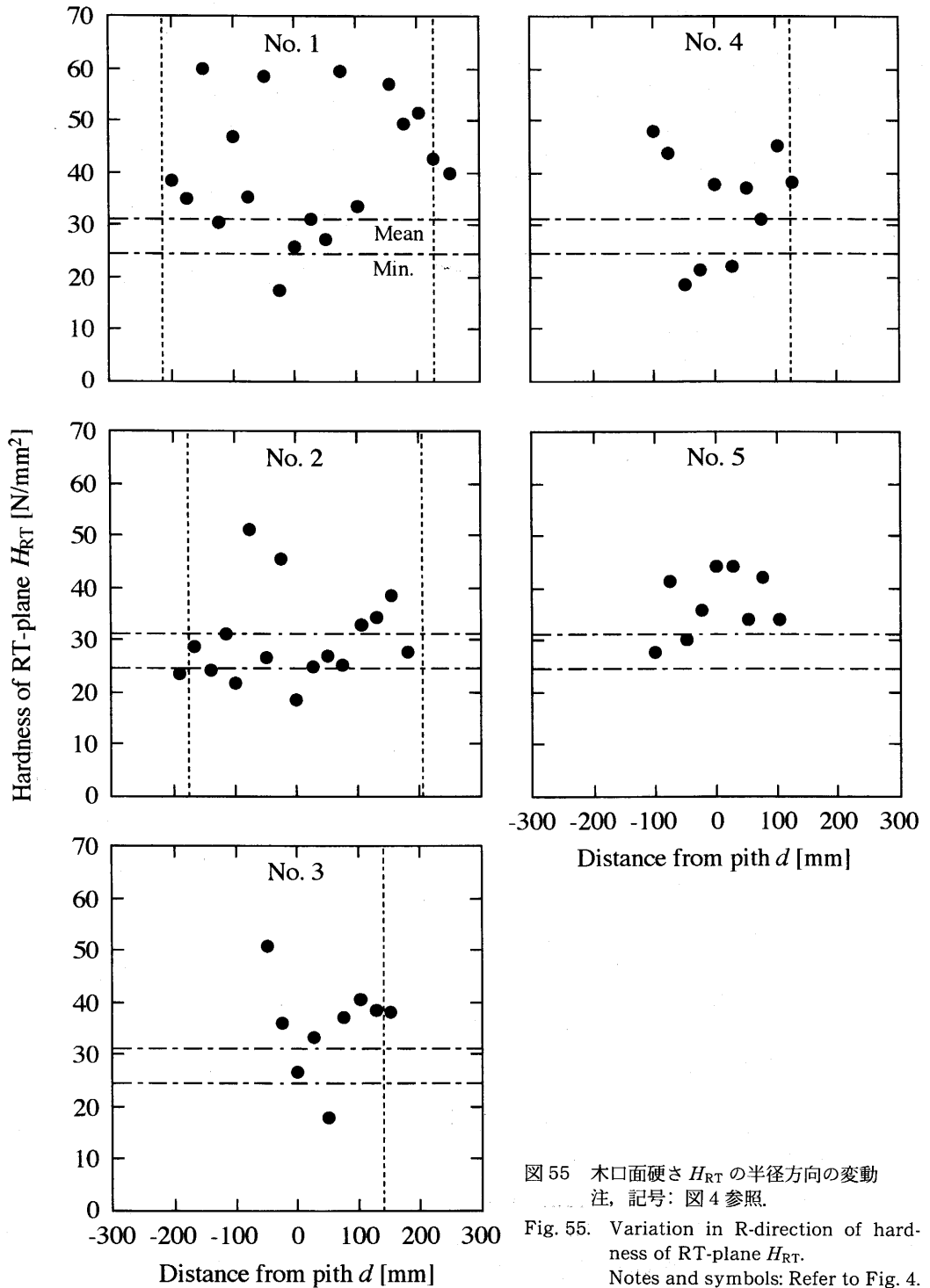


図 55 木口面硬さ H_{RT} の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 55. Variation in R-direction of hardness of RT-plane H_{RT} .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

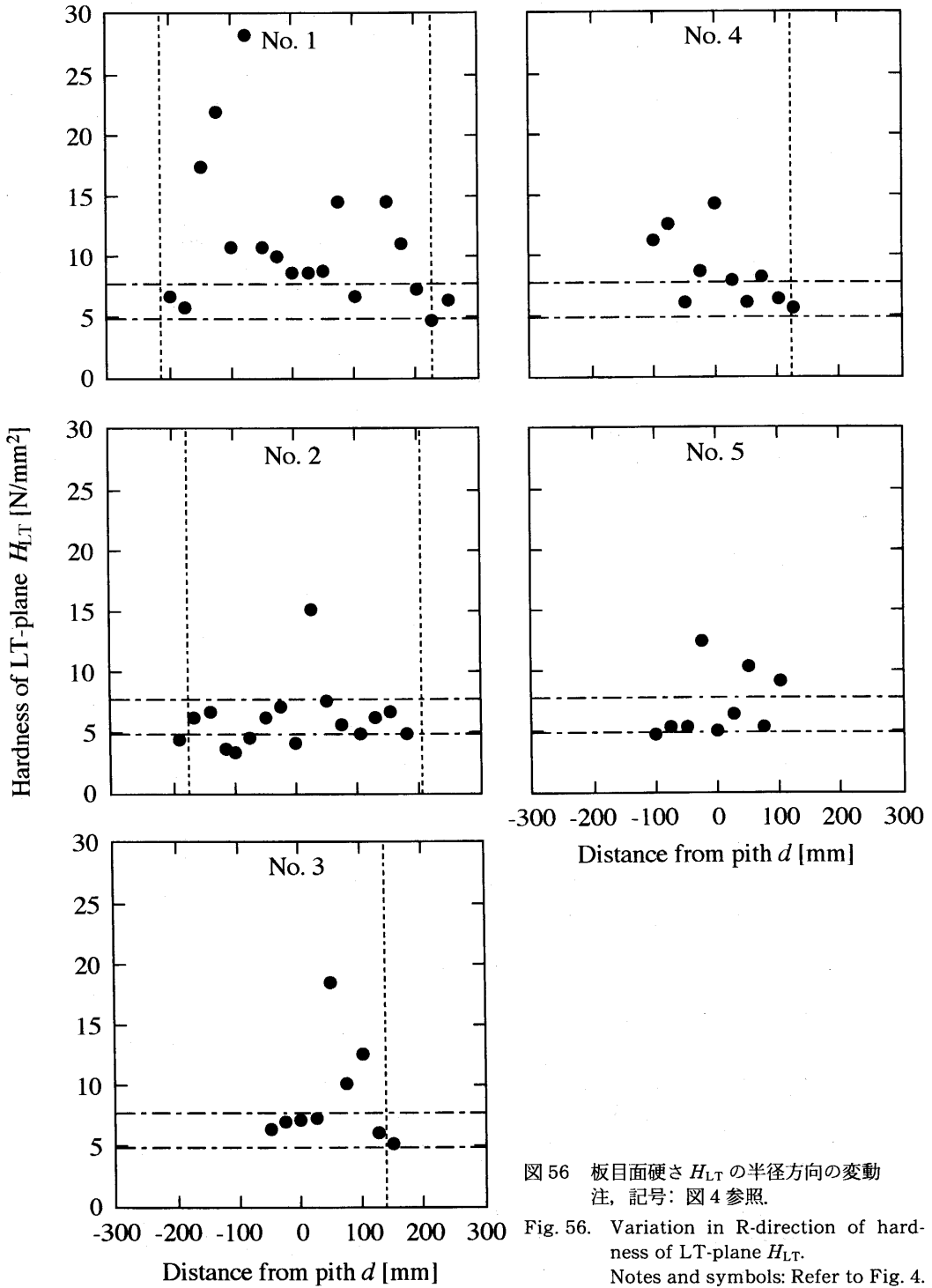


図 56 板目面硬さ H_{LT} の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 56. Variation in R-direction of hardness of LT-plane H_{LT} .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

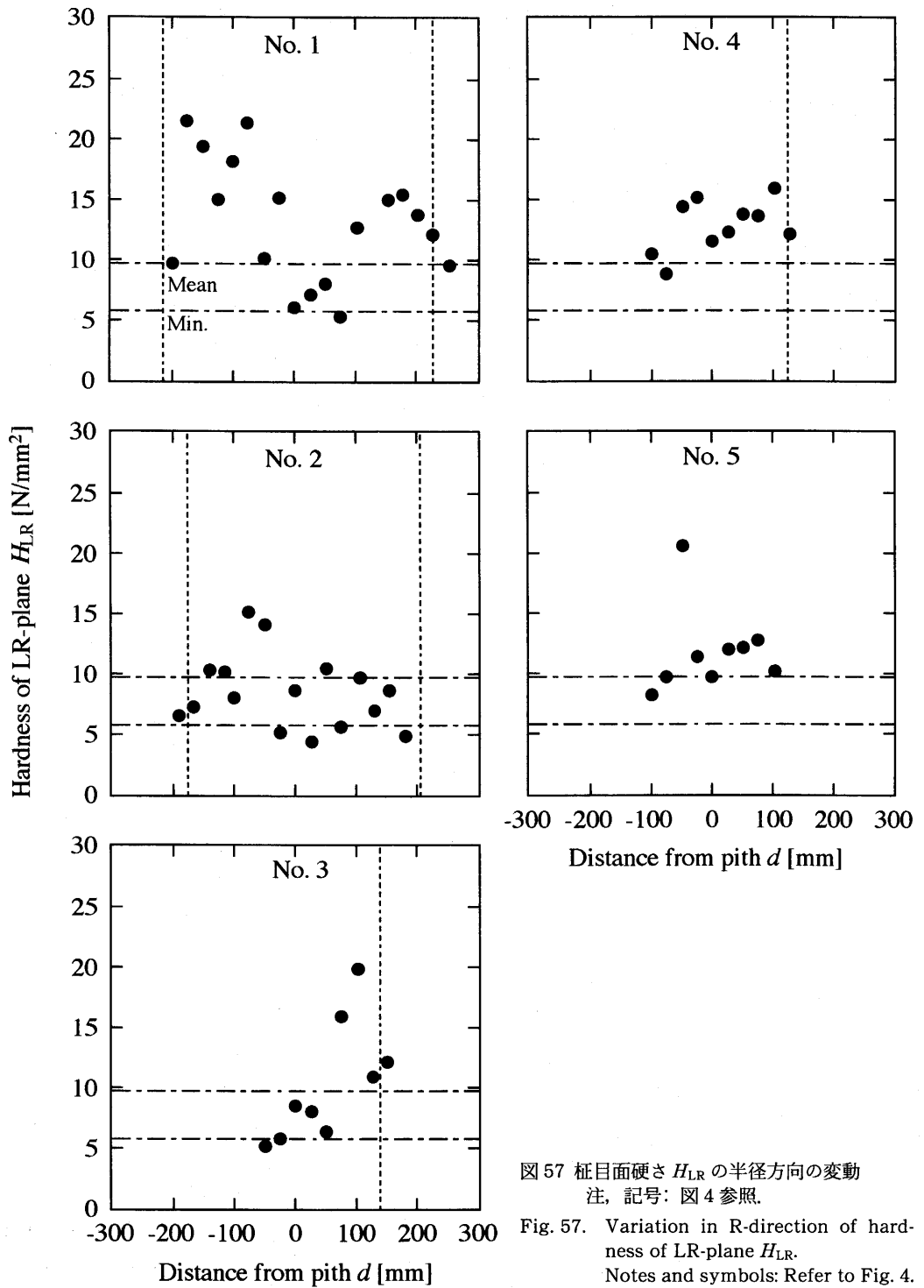


図 57 柁目面硬さ H_{LR} の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 57. Variation in R-direction of hardness of LR-plane H_{LR} .
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

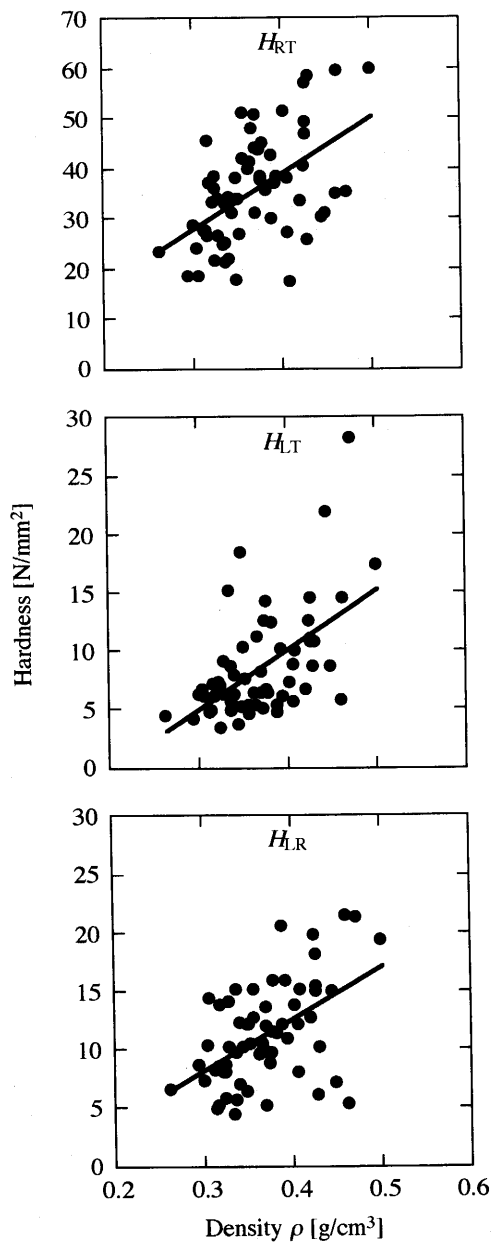


図 58 木口面硬さ, 板目面硬さ, 柁目面硬さ H_{RT} , H_{LT} , H_{LR} と密度 ρ の関係

注: 回帰式: $H_{RT}=111\rho-4.72$ ($r=0.514^{**}$), $H_{LT}=51.1\rho-10.1$ ($r=0.557^{**}$), $H_{LR}=43.9\rho-4.81$ ($r=0.513^{**}$). ** : 1% 有意.

Fig. 58. Relationship between hardness of RT-plane H_{RT} , that of LT-plane H_{LT} , or that of LR-plane H_{LR} and density ρ .

Notes: Regression equations are $H_{RT}=111\rho-4.72$ ($r=0.514^{**}$), $H_{LT}=51.1\rho-10.1$ ($r=0.557^{**}$), and $H_{LR}=43.9\rho-4.81$ ($r=0.513^{**}$). ** : 1% significant level.

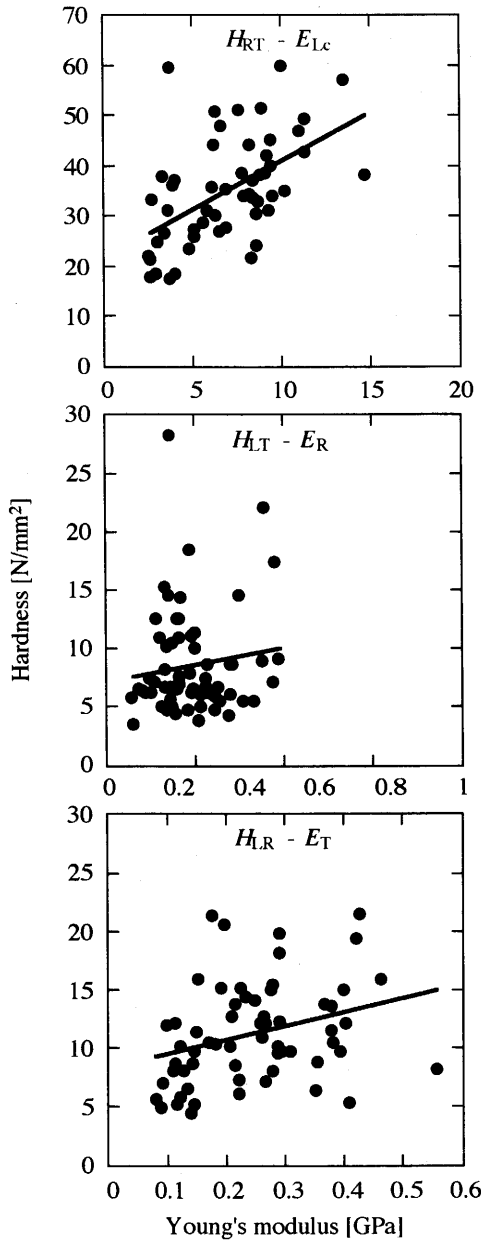


図 59 木口面硬さ、板目面硬さ、柁目面硬さ H_{RT} , H_{LT} , H_{LR} と圧縮ヤング率 E_{Lc} , E_R , E_T の関係
 注: 回帰式: $H_{RT}=1.93E_{Lc}+22.1$ ($r=0.527^{**}$), $H_{LT}=5.76E_R+7.27$ ($r=0.129$ NS), $H_{LR}=12.3E_T+8.36$ ($r=0.312^*$). ** : 1% 有意, * : 5% 有意, NS: 相関なし.

Fig. 59. Relationship between hardness of RT-plane H_{RT} , that of LT-plane H_{LT} , or that of LR-plane H_{LR} and longitudinal Young's modulus in compression E_{Lc} , radial Young's modulus E_R , or tangential Young's modulus E_T .
 Notes: Regression equations are $H_{RT}=1.93E_{Lc}+22.1$ ($r=0.527^{**}$), $H_{LT}=5.76E_R+7.27$ ($r=0.129$ NS) and $H_{LR}=12.3E_T+8.36$ ($r=0.312^*$). ** : 1% significant level, * : 5% significant level, NS: not significant.

4.8 収縮試験

4.8.1 半径方向の変動

図 60, 61 に収縮試験用試験体の密度の半径方向の変動を示す。静的曲げ試験用の試験体とはほぼ同様の傾向であった。

図 62, 63 に気乾状態の平衡含水率の半径方向の変動を示す。柁目試験片でも木口試験片でも

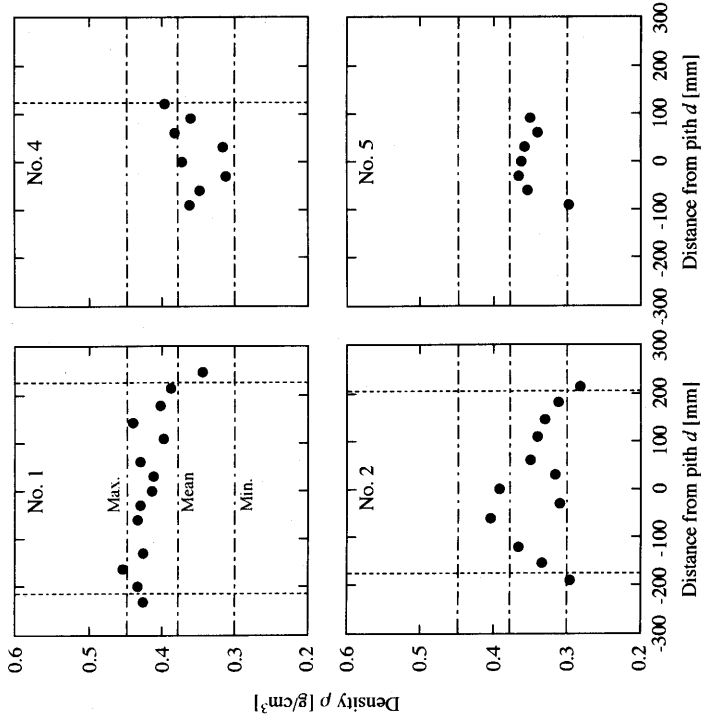


図 61 半径方向, 接線方向収縮試験用試験体の密度の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 61. Density variation in R-direction of specimens for radial and tangential shrinkage tests.
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

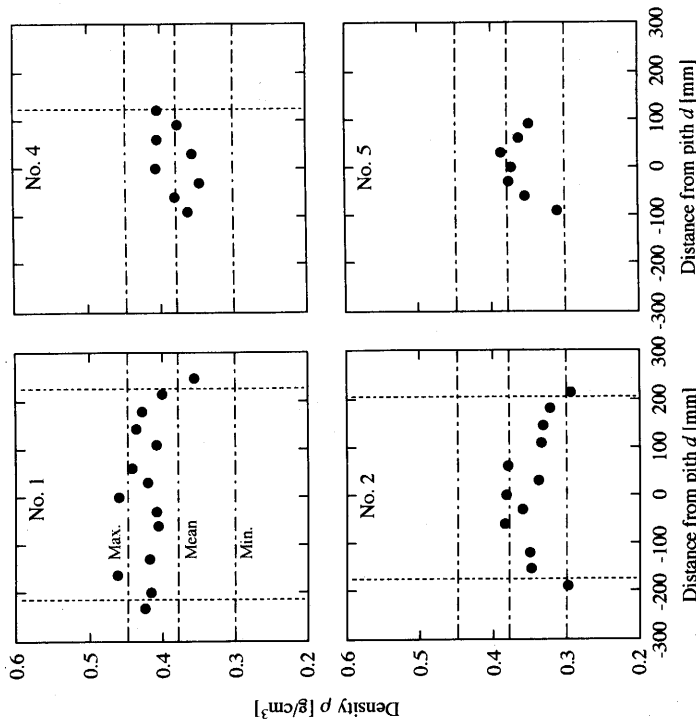


図 60 縦線方向収縮試験用試験体の密度の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 60. Density variation in R-direction of specimens for longitudinal shrinkage test.
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

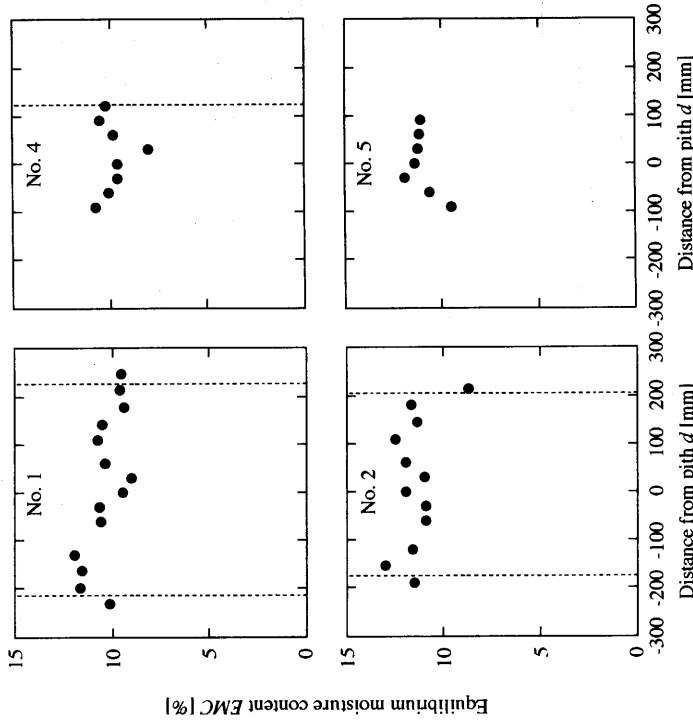


図 62 繊維方向収縮試験用試験体の平衡含水率 EMC の半径方向の変動
注、記号：図 4 参照。

Fig. 62. Variation in R-direction of equilibrium moisture content of specimens for longitudinal shrinkage test EMC.
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

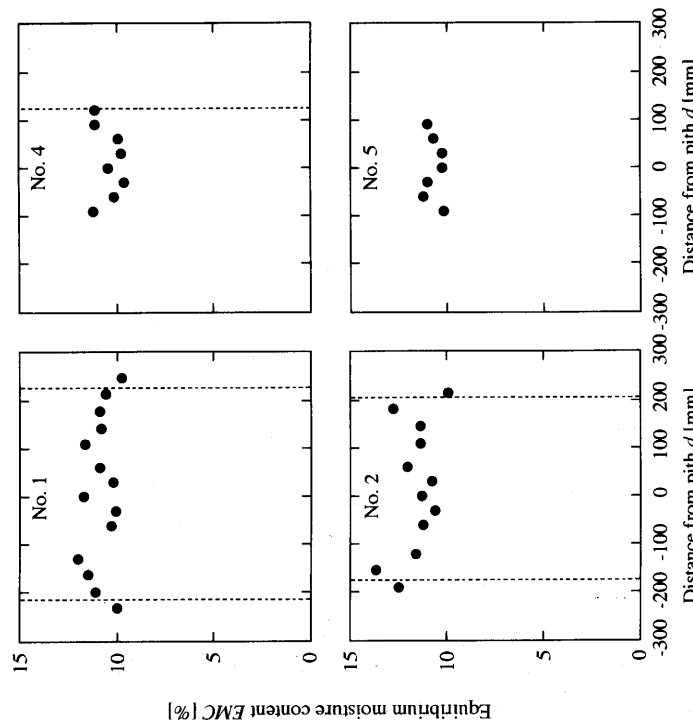


図 63 半径方向、接線方向収縮試験用試験体の平衡含水率 EMC の半径方向の変動
注、記号：図 4 参照。

Fig. 63. Variation in R-direction of equilibrium moisture content of specimens for radial and tangential shrinkage tests EMC.
Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

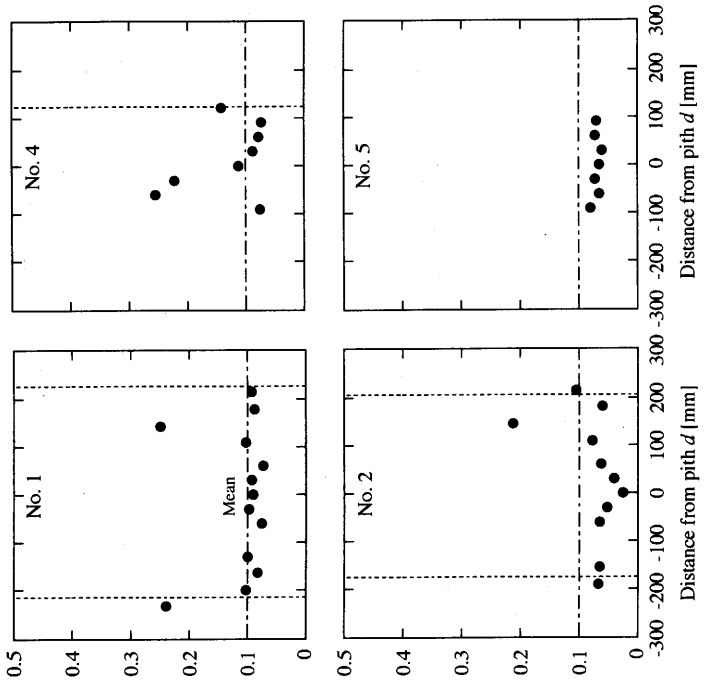


図 65 含水率 1% の変化に対する平均収縮率 (半径方向) δ_R の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 65. Variation in R-direction of unit radial shrinkage δ_R .

Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

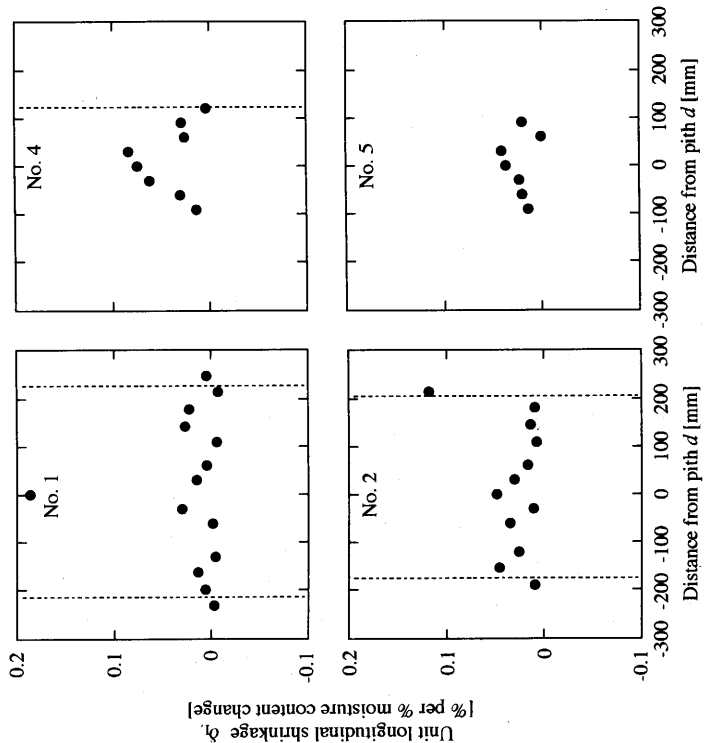


図 64 含水率 1% の変化に対する平均収縮率 (繊維方向) δ_L の半径方向の変動
注, 記号: 図 4 参照.

Fig. 64. Variation in R-direction of unit longitudinal shrinkage δ_L .

Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

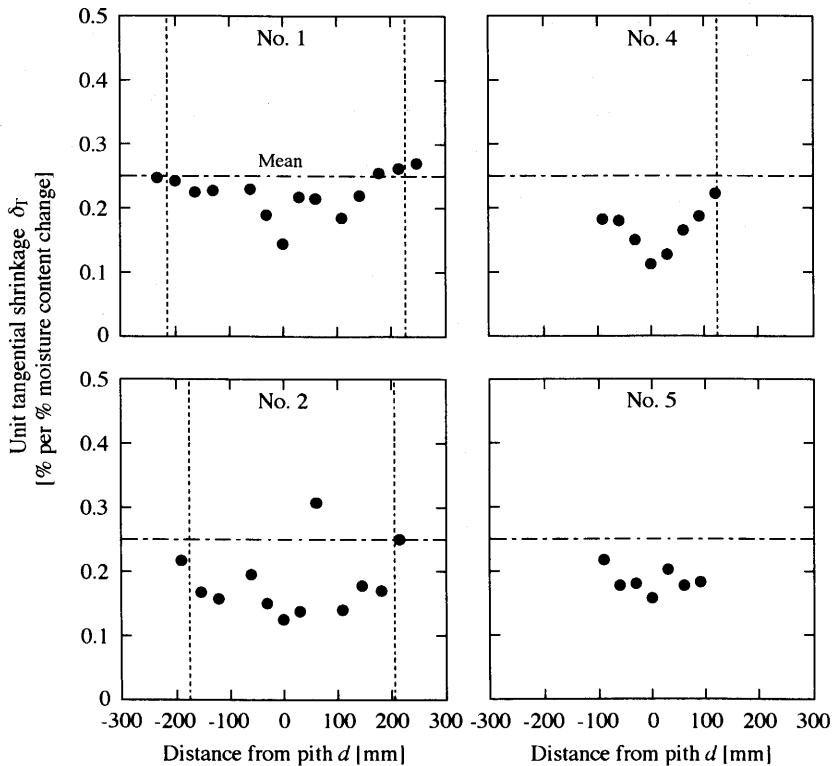


図 66 含水率 1% の変化に対する平均収縮率（接線方向） δ_T の半径方向の変動
注，記号：図 4 参照。

Fig. 66. Variation in R-direction of unit tangential shrinkage δ_T . Notes and symbols: Refer to Fig. 4.

いずれも 11% 付近で一定であると言えた。

図 64 に L 方向の単位含水率変化に対する平均収縮率を示す。No. 1, 2 のように時折大きな値となるほかは比較的安定していた。No. 4 では髓付近でピークを持つ形となったが，これには髓付近でフィブリル傾角が大きいことが関係しているかもしれない¹²⁾。

図 65 に R 方向の単位含水率変化に対する平均収縮率を示す。L 方向と同様に時折大きな値を取るほかは比較的安定していた。

図 66 に T 方向の単位含水率変化に対する平均収縮率を示す。これも基本的には安定していたが No. 4 では髓付近で小さく，樹皮に向かうに従って増大していた。これは L 方向の結果と対応している。

4.8.2 密度との関係

図 67 に単位含水率変化に対する平均収縮率と全乾密度との関係を示す。L, R 方向では有意な相関は認められなかったが，T 方向では 5% の水準で有意な相関関係が存在した。

ここで，単位含水率変化に対する平均収縮率を R 方向と T 方向で比較すると，有意な相関関係は認められなかった（図 68）。

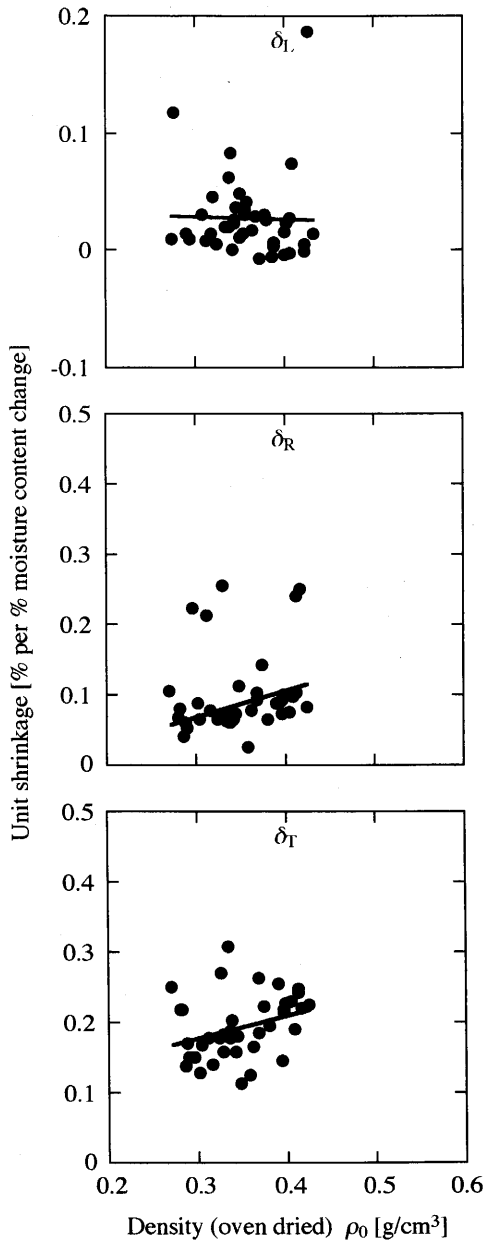


図 67 含水率 1% の変化に対する平均収縮率 (繊維方向, 半径方向, 接線方向) δ_L , δ_R , δ_T と全乾密度との ρ_0 との関係

注: 回帰式: $\delta_L = -0.133\rho_0 + 0.0333$ ($r = 0.0154$ NS), $\delta_R = 0.360\rho_0 - 0.0373$ ($r = 0.199$ NS), $\delta_T = 0.324\rho_0 + 0.0828$ ($r = 0.323^*$).

*: 5% 有意, NS: 相関なし.

Fig. 67. Relationship between unit longitudinal, radial, or tangential shrinkage δ_L , δ_R , δ_T and density at oven dried state ρ_0 .

Notes: Regression equation is $\delta_L = -0.133\rho_0 + 0.0333$ ($r = 0.0154$ NS), $\delta_R = 0.360\rho_0 - 0.0373$ ($r = 0.199$ NS), $\delta_T = 0.324\rho_0 + 0.0828$ ($r = 0.323^*$). *: 5% significant level, NS: not significant.

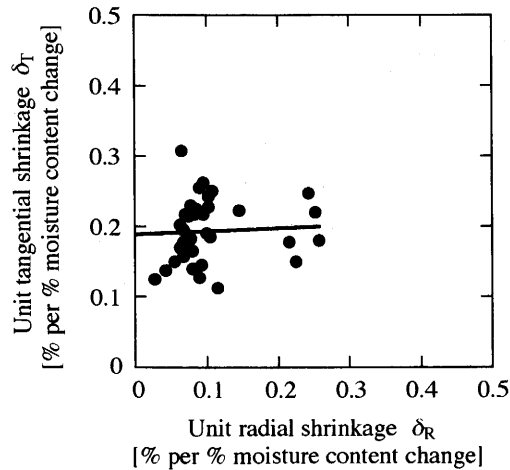


図 68 含水率 1% の変化に対する平均収縮率 (接線方向, 半径方向) δ_T , δ_R の関係
注: 回帰式: $\delta_T = 0.0453\delta_R + 0.191$ ($r = 0.0819$ NS). NS: 相関なし.

Fig. 68. Relationship between unit tangential shrinkage δ_T and unit radial shrinkage δ_R .

Notes: Regression equation is $\delta_T = 0.0453\delta_R + 0.191$ ($r = 0.0819$ NS). NS: not significant.

謝 辞

本実験を遂行するに当たり, 試験体を提供して下さった東京大学附属千葉演習林の鈴木 誠助手, 試験体作製に協力して下さった農林水産省森林総合研究所木材利用部製材研究室の藤原勝敏室長, 村田光司主任研究官ならびに鈴木茂年氏, 機械加工研究室の小松正行室長, 東京大学大学院生の相馬智明氏, 軟 X 線測定に御協力下さいました農林水産省森林総合研究所木材利用部材質研究室の平川泰彦室長ならびに藤原 健氏に感謝致します。

要 旨

東京大学農学部附属千葉演習林牛蒡沢産の 86 年生のスギの材質試験を行った。

結果の概要を以下に示す。

- 1) 各物性値の半径方向の変動(髄→樹皮方向)は, 多くの場合, 以下の a) のような傾向を示した。一部は b) のような傾向であった。
 - a) ・髄付近では大体的場合, 安定あるいは増大, 一部極大値があった。
 - ・心材部あるいは心辺材境界部分で極大値が存在した。
 - ・辺材部では減少した。
 - b) 髄付近から心材部にかけて安定していた。
- 2) 本実験に用いられた丸太には直径が約 30 cm または 50 cm の 2 種類存在したが, 太さに

表2 牛蒨沢スギの材質と密度ならびに弾性率との相関関係
 Table 2. Relationship between wood properties of cedar of Gobo-zawa and density, elasticity.

		ρ	E or G
Bending test	E_{Lb}	**	—
	Y_{Lb}	*	**
	σ_b	**	**
	W_r	NS	*
	W_{ib}	NS	NS
Compression test	E_{Lc}	*	—
	E_R	NS	—
	E_T	**	—
	Y_{Lc}	**	**
	Y_R	**	**
	Y_T	**	**
	σ_c	**	**
Torsion test	G_{LT}	NS	—
	G_{LR}	**	—
Shear test	τ_{LT}	**	—
Hardness test	H_{RT}	**	**
	H_{LT}	**	NS
	H_{LR}	**	*
Shrinkage test	δ_L	NS	—
	δ_R	NS	—
	δ_T	*	—

注: ρ : 密度, E : ヤング率, G : せん断弾性係数, P : 比例限度, σ : 曲げ強度または圧縮強度, W_r : 静的曲げ破壊仕事, W_{ib} : 衝撃曲げ吸収エネルギー, τ : せん断強度, H : 硬さ, δ : 含水率1%の変化に対する平均収縮率, 添え字 L, R, T: 繊維方向, 半径方向, 接線方向, 添え字 b, c: 曲げ試験, 圧縮試験, **: 1% 有意水準, *: 5% 有意水準, NS: 相関なし

Notes: ρ : density, E : Young's modulus, G : shear modulus, P : proportional limit, σ : strength in bending or compression, W_r : work before rupture, W_{ib} : absorbed energy in impact bending, τ : shear strength, H : hardness, δ : unit shrinkage, suffix L, R, T: longitudinal, radial, tangential direction, respectively, suffix b and c: bending test, compression test, respectively, **: 1% significant level, *: 5% significant level, NS: not significant.

よって物性値の半径方向の変動のパターンが変わっているとは言えなかった。

- 3) 各物性値と密度ならびに弾性率との相関関係を表2に示す。多くの場合密度や弾性率と相関関係が認められた。

キーワード: 牛蒨沢スギ, 材質試験, 半径方向の変動

文 献

- 1) 大塚明宏, 唐鎌 勇, 塚越剛史: 平成5年度技術官等試験研究・研修会議報告, 63-74, 1994.

- 2) 岡野 健, 三城昭義, 三輪雄四郎, 平井信二: 東大農演報, **67**, 20-50, 1975.
- 3) 東京大学農学部附属千葉演習林視察案内, 1981.
- 4) Yoshihara, H., Ohta, M.: Mokuzai Gakkaishi, **37**, 511-516, 1991.
- 5) 折口和宏, 吉原 浩, 太田正光: 材料, **46**, 385-389, 1997.
- 6) 日本木材学会編: 「木材科学実験書 I. 物理・工学編」, 中外産業調査会, pp. 214-217, 1988.
- 7) 林業試験場監修: 「木材工業ハンドブック」改訂3版, 丸善, 1982, pp. 186-189.
- 8) 同上, pp. 131-132.
- 9) 平川泰彦, 山下香菜, 中川了五, 藤沢義武: 木材学会誌, **43**, 717-724, 1997.
- 10) Kubojima, Y., Okano, T., Ohta, M.: J. Wood Sci., **47**, 8-15, 2000.
- 11) 劉 元, 中山義雄, 金川 靖, 藤原新二: 木材学会誌, **45**, 359-366, 1999.
- 12) Meylan, B. A.: Forest Prod. J., **18**(4), 75-78, 1968.

(1999年10月29日受付)

(2000年1月17日受理)

Summary

Properties of 86-year-old sugi wood (*Cryptomeria japonica* D. Don) planted at Gobo-zawa in Tokyo University Forest in Chiba were tested. Five logs were used. The tests and the measured properties were as follows:

- 1) Soft X-ray measurement: density variation in the radial direction
- 2) Static bending test: Young's modulus, proportional limit, bending strength, and bending work
- 3) Impact bending test: absorbed energy in impact bending
- 4) Compression test: Young's moduli in longitudinal (L), radial (R), and tangential (T) directions, proportional limits in L, R, and T-directions, and longitudinal compression strength
- 5) Torsion test: shear moduli of the LT and LR-planes
- 6) Shear test: shear strength of the LT-plane
- 7) Hardness test: hardness of the RT, LT, and LR-planes
- 8) Shrinking test: percent shrinkage in the L, R, and T-directions

The results were as follows:

- 1) The patterns of variation of the measured wood properties in the R-direction (from pith to bark) mainly followed pattern (a) but some cases followed pattern (b).

a) Around the pith: the values of the properties increased or did not change in most cases, and sometimes had peaks.

Heartwood region, and boundary between heartwood and sapwood: the properties exhibited peaks.

Sapwood region: the properties decreased.

- b) They were stable at the pith and heartwood regions.

- 2) The pattern of variation did not change with the diameter of the logs.

- 3) The wood properties were related to density and moduli of elasticity at the 1% or 5% significant level in almost all of the cases.

Key words: Sugi planted at Gobo-zawa, Wood properties, Variation in R-direction

Wood Properties of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) Planted at Gobo-zawa in the University Forest in Chiba

Yoshitaka KUBOJIMA, Hisashi OHSAKI, TOMOYO SAWADA, Kazuhiro ORIGUCHI,
Hiroshi YOSHIHARA and Takeshi OKANO

Properties of 86-year-old sugi wood (*Cryptomeria japonica* D. Don) planted at Gobo-zawa in Tokyo University Forests in Chiba were measured. The tests conducted were soft X-ray measurements, static bending and impact bending tests, compression, torsion, shear and hardness tests, and shrinking tests. The results were as follows:

1) The pattern of variation of the measured wood properties in the radial direction (from pith to bark) mainly followed pattern (a) but some cases followed pattern (b).

a) Around the pith: the values of the properties increased or did not change in most cases, and sometimes had peaks.

Heartwood region, and boundary between heartwood and sapwood: the properties exhibited peaks.

Sapwood region: the properties decreased.

b) They were stable at the pith and heartwood regions.

2) The pattern of variation did not change with the diameter of the logs.

3) The wood properties were related to density and moduli of elasticity at the 1% or 5% significant level in almost all of the cases.

An Analysis of Stand Structure of Understory Trees of a Double-Storied Plantation and Development a Distance-Dependent Growth Model for a Double-Storied Plantation

Hiroshi SASAKAWA, Mitsuhiro MINOWA, Norihiko SHIRAISHI,
MAKOTO SUZUKI, ISAO MURAKAWA and Shigenari SATOMI

In this study, aiming at developing a distance-dependent growth model for a double-storied plantation, the stand structure of understory trees of a double-storied plantation was analyzed. The experimental plot, a Sugi-Sugi stand at the Chiba University Forest, was divided into four parts based on the density of the overstory trees. Though the understory trees were found to be influenced by the overstory trees in terms of dbh growth, there were no significant differences in the four stands to be in terms of tree height growth. This model enables temporal growth prediction for understory trees in terms of changing competition conditions.