



Title	檜山産ブナ材の収縮率
Author(s)	宮島, 寛; MIYAJIMA, Hiroshi; 奥山, 寛 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 20(1), 209-238
Issue Date	1959-07
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20776
Type	departmental bulletin paper
File Information	20(1)_P209-238.pdf



檜山産ブナ材の収縮率

宮 島 寛
奥 山 寛

Shrinkage Values for Japanese Beech Wood
Grown in Hiyama District, Hokkaido

By

Hiroshi MIYAJIMA and Hiroshi OKUYAMA

目 次

	頁
緒 言	209
材料および方法	210
結果および考察	211
1. 樹齢による年輪幅の変化	211
2. 円板における年輪幅, 比重および収縮率の変化	213
3. 年輪幅, 比重および収縮率の出現状態	216
4. 年輪幅の比重および収縮率に対する関係	219
5. 比重と収縮率との関係	221
6. 総 括	222
結 言	227
文 献	228
Summary	228
付 表	230

緒 言

昭和31年に開設された北海道大学檜山演習林を対象とする種々の研究には、同林産ブナ材の材質に関する研究が含まれているが、ここに報告するのはその予備的な試験の一部である。

周知のようにブナ材には腐れやすいため乾燥による狂いが大きいという欠点があり、これらに関して種々の研究が既に発表されているが、ここでは狂いに関連するものとして

宮 島 寛 北海道大学農学部林産学科 助手
奥 山 寛 北海道立夕張南高等学校 教諭 農学修士

比重——収縮率をテーマにして試験を行った。

ブナ材には偽心材の非常に大きいものがあり、これを檜山地方では俗にアカブナと呼び、その小さいものをアオブナまたはシロブナと呼んでいるが、この試験においてもこの兩種のブナを供試木とした。この供試木の地上高より8mまでから2mごとに円板を採取し、これについて年輪幅、比重、収縮率を測定した。論議はアカブナとアオブナの材質のちがいおよび年輪構成の比重・収縮率に対する関係に重点をおいた。

この研究の対象となった材料について便宜をはかられた石田助教授、とりまとめにあたって懇切な御教示をいただいた矢沢教授に感謝の意を表す。

材料および方法

研究の対象としたブナ材 (*Fagus crenata* BL.) は前述のように偽心材の大きいアカブナとそれの小さいアオブナ各一本であるが、昭和32年2月末研究委託林となっている北海道有林上ノ国事業区からそれぞれ典型的といわれるものを選んだ。

各供試木について地上高約0.5mの位置から2mごとに5個の円板を採取した。この両供試木の最下端(表1におけるNo.1およびNo.6)から採取した円板について、射出線が比較的直線で、髓をとおり互に直交する二直径をえらび、各半径にA, B, C, Dの名称をつけ、他の円板はこの両円板と同じ方向に半径を決めた。

これら円板の年輪数および大きさは表1に示すとおりである。

表1 供試円板

Table 1. Summary of disks furnishing shrinkage test material

ブナの種類 Kind of beech	円板 Disk No.	年輪数 No. of rings	半径の長さ* Length of radius* (cm)				地上高 Height above ground (m)
			A	B	C	D	
アカブナ Red beech	1	170	36.5	23.2	16.6	29.2	0.5
	2	160	22.3	23.4	23.3	24.5	2.5
	3	140	22.0	17.8	22.8	28.5	4.5
	4	138	19.0	24.3	21.6	22.1	6.5
	5	132	20.1	21.2	20.1	20.6	8.5
アオブナ White beech	6	180	14.8	19.5	33.5	22.1	0.5
	7	170	17.3	19.6	22.4	19.3	2.5
	8	165	14.5	18.7	21.9	17.5	4.5
	9	150	17.7	14.4	16.5	19.4	6.5
	10	110	14.8	13.2	14.0	18.7	8.5

* 樹皮を含まず Without bark

これらの円板についてまず4半径における5年ごとの生長量を測定し、その後図1に示すように8半径から、日本工業規格 JIS A 1003 による3×3×0.5 cm (図2) の試験片を連続的に作成して、これについて生材状態(繊維飽和点以上の含水率時)の3方向の長さ、平均年輪幅、重量、中央年輪の矢高(h)を測定、のち気乾状態および全乾状態の板目およびまさ目両方向の長さおよび重量を測定した。なお長さの測定には1/100 mm 目盛のダイヤルゲージを使用し、重量は1/100 g まで求めた。

この試験片について求めたものは平均年輪幅、全乾重量と生材体積にもとづく比重、生材状態の寸法にもとづく気乾(15%の含水率時に換算)および全乾状態までの板目、まさ目および体積収縮率である。

15%の含水率時に換算は次の式によつた。

$$l = l_3 + \frac{15(l_2 - l_3)}{n}$$

ここで、 l 、 l_2 および l_3 はそれぞれ15%の含水率時、気乾時(含水率 $n\%$) および全乾時の長さである。

結果および考察

1. 樹齢による年輪幅の変化

髓を直線と考えた場合の幹解析図は図3に示すようである。もちろん、これは地上高2 m ごとを直線で結んだものであり、また髓も地面に垂直な直線ではないので、実際の樹幹の形とは異なり、樹幹を構成する年輪の状態はこの図が示すよりもつと複雑なはずである。

ここに試験したのは、アカブナ・アオブナ各1本であるので、これからアカブナ・アオブナを論ずることはできないが、この場合の両者について次のようなことがいわれる。

1) 樹齢はアカブナ170年、アオブナ180年と推定されるが、径級はアカブナのほうが大きい。胸高直径はアカブナ50 cm、アオブナ42 cm である。

2) 両者とも最下部の円板において、いちじるしい偏心生長がみられるが、上方に行くにしたがい、それが少なくなり、4半径の間の差はわずかとなる。

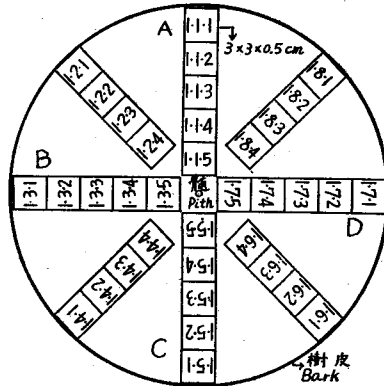


図1 円板における試験片の採取位置
Fig. 1. Diagram showing location of test samples in disk.

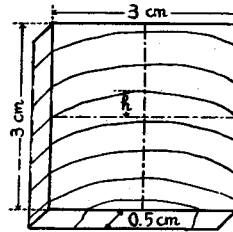


図2 試験片
Fig. 2. Test specimen.

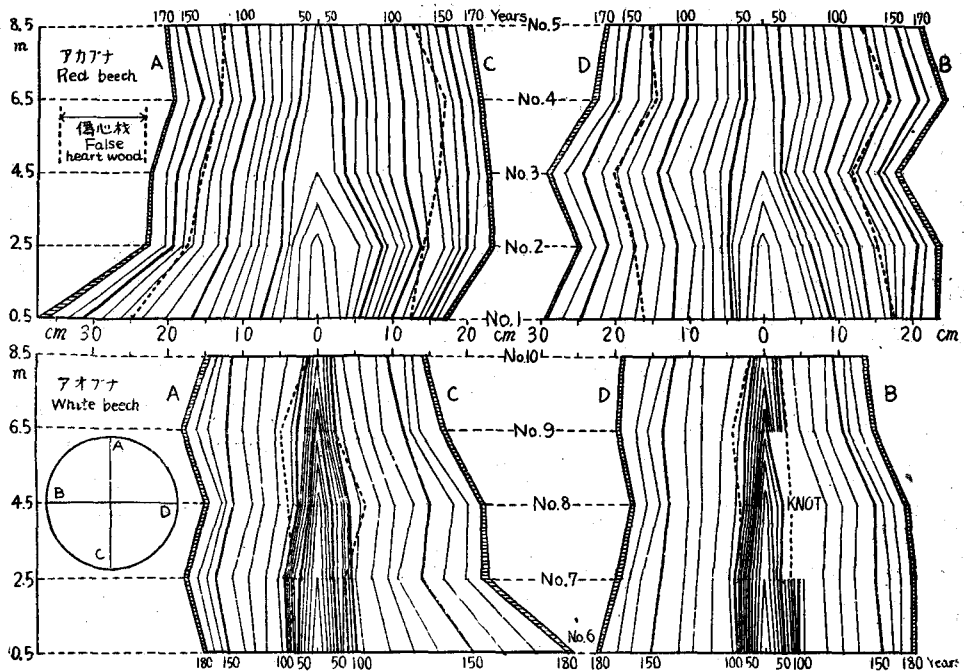


図3 幹解析図
Fig. 3. Diagram showing stem analysis.

3) 偽心材の大きさによつて、アカブナとアオブナにわけられているが、その半径はアカブナでは13~25 cm, アオブナでは3~6 cmである。しかし偽心材と辺材との境界の樹齢はアカブナ110~130年, アオブナ80~115年で特にいちじるしい差はない。

4) アカブナは初期より伐採時まで、生長の速さ、すなわち年輪幅の変化はあまりなくほぼ均一な生長をしているが、アオブナではその変化がいちじるしく、特に100年ごろまでの生長ははなはだ悪く、その100年のときの径級はアカブナの45年のときとほぼ同じである。それ以後のアオブナの生長は急激によくなり、したがつてアオブナの中心部を除く大部分の年輪幅は非常に広い。

樹齢5年ごとの平均年輪幅は図4に示すようになる。

この図において、アカブナでは初期より伐採時まで、年輪幅の変化はあまりなく、円板No.1を除けば、大部分は1~2mmの間にある。最下端の円板No.1では偏心生長しているので、各半径間の年輪幅に大きな差があり、半径BとCの年輪幅は1mm前後であるが、他の半径AとDのそれは2~3mmである。これに対し、アオブナにおいては、図3について述べたが、105年までの生長は極めて悪く年輪幅は4半径とも大部分が0.2~0.5mmで、1mmを超えるものはほとんどない。しかしそれ以後は生長よくなり年輪幅も2mm前後となり、最も広い部分では5.6mmに達する。また最下端の円板No.6におけ

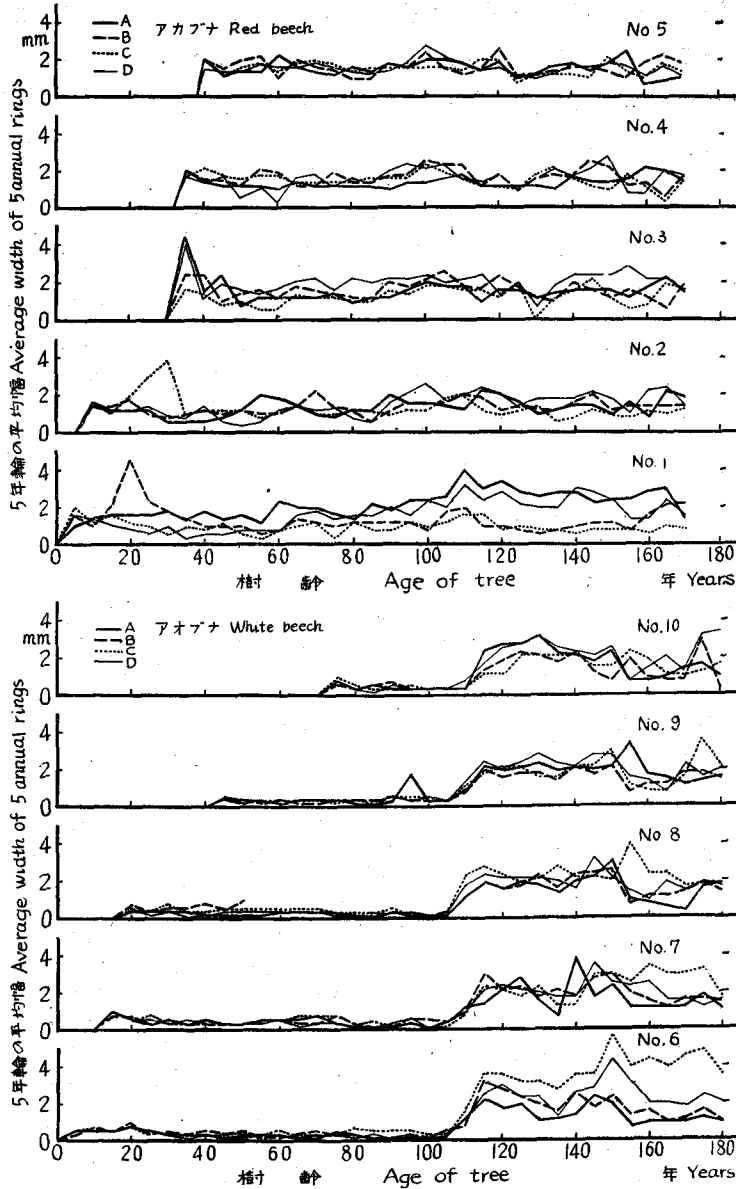


図 4 樹齢による年輪幅の変化

Fig. 4. Variation in the width of annual ring with respect to the age of the tree.

る偏心生長はアカブナよりいちじるしく、特に160~180年における年輪幅は半径Aでは約1.5mmであるが、Cでは4~5mmである。

2. 円板における年輪幅、比重および収縮率の変化

各円板の8半径から採取した3×3×0.5cmの試片について求めた平均年輪幅、比重、

まさ目および板目の全収縮率の変化を図示すれば、図5に示すようになる。この場合各半径にアカブナ・アオブナ両種の平均的な値として、年輪幅2mm, 比重0.50, まさ目収縮率5%, 板目収縮率11%をおいた。各値の変化を示す線が半径より上方にあるときは上述の値より大, 下方にあるときは小であることを示す。

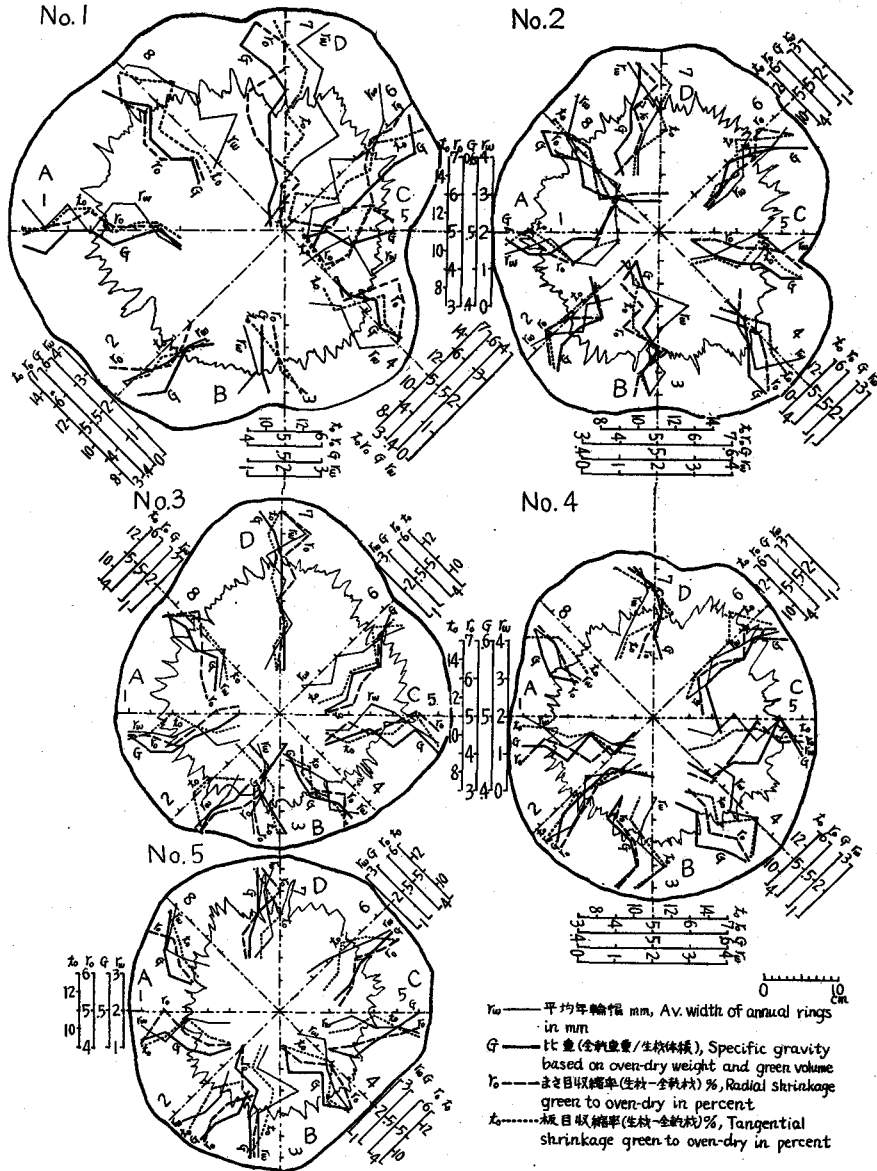


図5 円板における平均年輪幅, 比重および収縮率の変化 (1) アカブナ
 Fig. 5. Variations in average width of annual rings, specific gravity and shrinkage values in the radius of the disk. (1) Red beech.

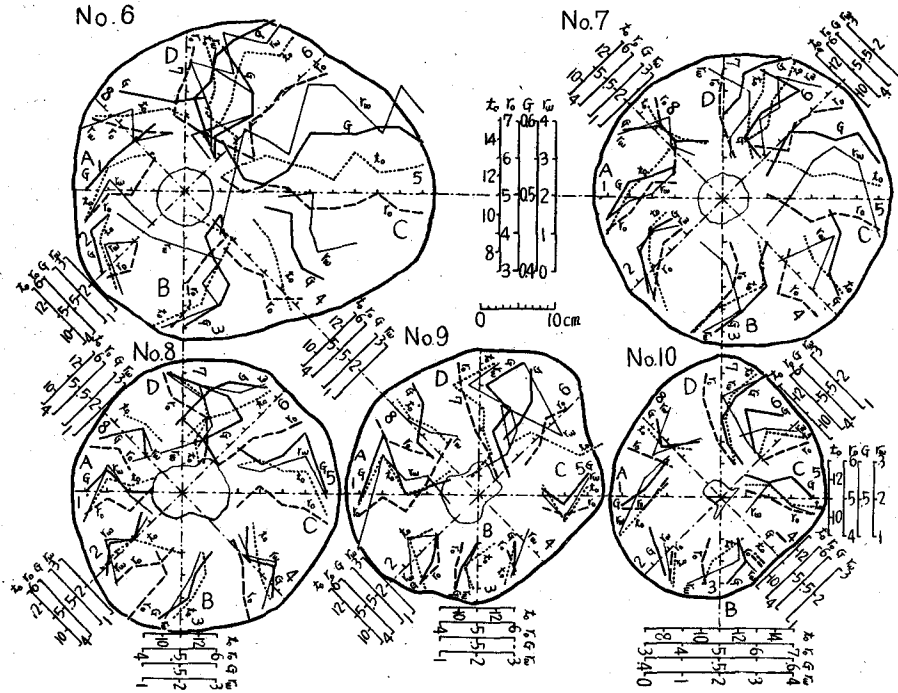


図 5 (2) アオブナ Fig. 5. (2) White beech.

アカブナ (No. 1~5) の場合、平均年輪幅は No. 1 円板の半径 7・8・1 において 2~3 mm でやや大きい、その他の半径および他の円板では大体 2 mm 以下で変化も大きくない。比重も一般に 0.50 より小で、その変化もまた少ない。収縮率とくに板目の場合はほぼ比重線に平行しているのが多く、この値も半径の位置が示す 11% を超えるものは少ない。このアカブナ全体をみると、平均年輪幅、比重、収縮率の値は最下端の円板 No. 1 においてやや大きい部分があるが、他の円板においてはあまり大きくない。このアカブナにおける偽心材部と辺材部における比重、収縮率の差は明らかでない。辺材部 (試片数 64 個) の比重の平均値は 0.47 で、全平均値と同じ値である。

アオブナ (No. 6~10) では平均年輪幅、比重、収縮率の値の変化はかなり大きい。特に最下端の円板 No. 6 の 4・5・6・7・8 という半径ではこれらの値は非常に大きく、その変化も大である。たとえばその半径 5 において、平均年輪幅は 0.9~4.9 mm、比重は 0.51~0.59、板目収縮率は 11.7~13.2% という大きく広い範囲にある。また各円板において、これらの値の変化が半径によつていちじるしく異なり、材質の偏異を示している。さらに比重、収縮率の値およびその変化が大きいのは一般に年輪幅が広く、かつそれに大きな変化がある、すなわち年輪幅の不整調な半径にみられるといえよう。

この両種のブナ材の年輪をみると、アカブナでは一般に秋材帯が狭く年輪の見えにく

い場合も多いが、アオブナではその中心部の年輪幅の非常に狭い部分を除くと一般に秋材帯が明瞭で、とくに年輪幅の広い部分のそれは広く、年輪が明らかである。このようにここに選んだアオブナは偏心生長と秋材帯の広い年輪から tension wood と判断される部分を含んでいるが、これによつて上述の比重、収縮率の変化が生じたものである。

いま肉眼的に判別される秋材率をみるとアカブナ No. 1 の円板では大部分が 10~30% の範囲にあるが、アオブナ No. 6 では 10~70% のきわめて広い範囲にわたつている。たとえばこの No. 6 円板における最小の比重 0.50 を示す部分 (半径 1・2・3 の樹皮に近い部分) の秋材率は 10~20% である。しかしこれらの半径も内側では秋材率は 30~40% で比重も 0.54~0.59 と大である。さらに比重が大きい半径 4・5・6 の秋材率は 40~60% を示し、この円板における最大比重 0.61 を有する部分 (半径 8 の内側) の秋材率は 70% におよぶ。

以上述べたアカブナとアオブナにおける比重・収縮率の大きな差は、アカブナにおいて偽心材部と辺材部におけるこれらの値の差が明瞭でないことから考えて、アカブナ・アオブナといわれる違いにあるのではなく、年輪幅と秋材率の違いによるものと思われる。

3. 年輪幅、比重および収縮率の出現状態

試験片について求めた平均年輪幅の各円板ごとおよび供試木ごとの出現状態は図 6 に示すとおりである。まず円板ごとの出現状態をみると、両樹種とも最下端の円板 (No. 1 および No. 6) における平均年輪幅の変化は大きいがその他の円板 (地上高 2.5~8.5 m) ではこの変化はやや少なくなり、分布型はほとんど一致している。またいずれの場合もアカブナ (No. 1~5) よりアオブナ (No. 6~10) の分布範囲がひろく、モードにおける出現率は低い。これは各供試木についてまとめた結果でも同様である。すなわち、アカブナでは 0.5~3.5 mm の範囲に分布するが、モードは 1.5 mm にあつてその

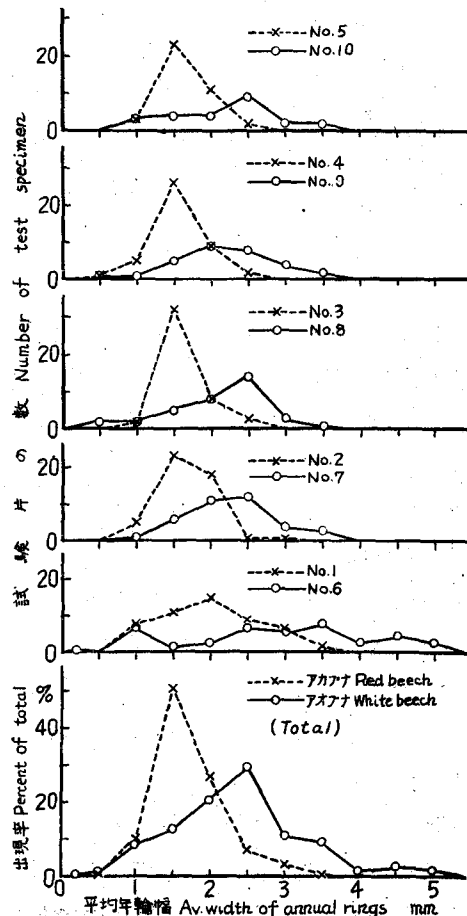


図 6 平均年輪幅の出現状態

Fig. 6. Variation in average width of annual rings.

出現率は50%という大きい値であるが、アオブナでは0.2~5.0mmの広い範囲となりモードは2.5mmでその出現率は約30%である。このようにモードがアカブナ1.5mmに対しアオブナ2.5mmで、アオブナの方が生長がよいように思われるが、実際はさきに述べたように、アオブナの方が樹齢10年多く、しかも径級が小であるので、全平均年輪幅は逆にアオブナの方が小である。

比重の出現状態は図7に示すとおりで各円板ごとの分布型には両樹種ともやや変化がみられるが、アカブナは0.42~0.53の範囲に0.44~0.48をモードにややまとまった分布をしているが、アオブナではこれより値の大きく広い0.46~0.61の範囲にまもらずに分布する。またモードの値はいずれも最下端 (No. 1 および No. 6) において最も大きく、上方の円板にいくにしたがつてその値は減ずる傾向がみられる。供試木ごとにまとめた分布型をみると、アカブナはモード0.47、その出現率17%で、正規分布型に近い。これに対しアオブナのモードは0.55であるが、その出現率は10%とかなり低く、0.50~0.59の範囲の出現率はこれに近い値である。このように比重はアオブナの方が大きく、その分布範囲も広く、ばらつきが大きい。

生材状態より15%の含水率時および全乾状態にいたる板目方向の収縮率は図8に示すとおりで、いずれもモードの値はアオブナの方が大きく、分布範囲も広い。すなわち、15%の含水率時にいたる板目収縮率のモードはアカブナでは5.5~6.5%にあるが、アオブナでは6.5~7.5%にあり、またその全収縮率のモードはアカブナでは10.0~11.0%に、アオブナでは10.5~13.0%にある。15%の含水率時にいたる板目収縮率の分布範囲はアカブナでは3.5~8.5%、アオブナでは2.5~9.0%、全収縮率の範囲はアカブナでは8.5~12.5%、アオブナでは8.5~14.0%といずれもアオブナの方が広い。このようにアオブナの方が、板目収縮率の値が大きく、そのばらつきも大きい。

まさ目収縮率においては、図9に示すように、アカブナとアオブナの間に板目収縮率

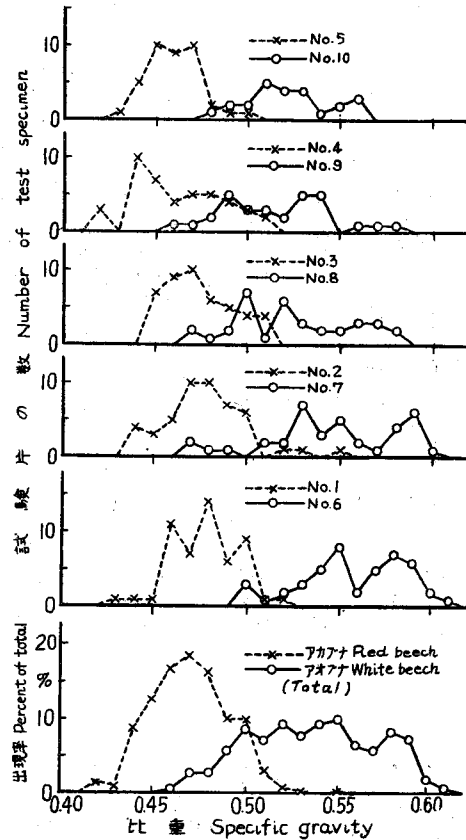


図7 比重の出現状態

Fig. 7. Variation in specific gravity.

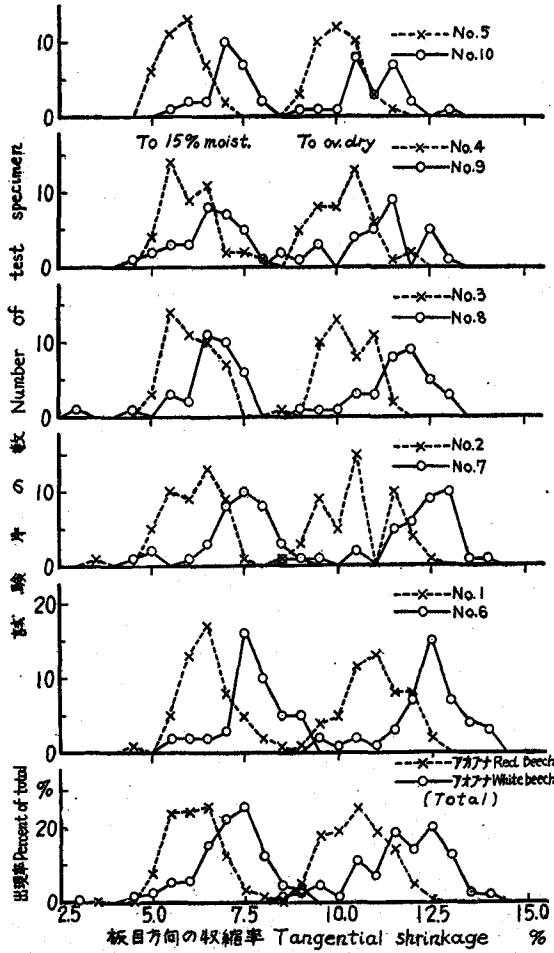


図8 板目方向の収縮率の出現状態
Fig. 8. Variation in tangential shrinkage value.

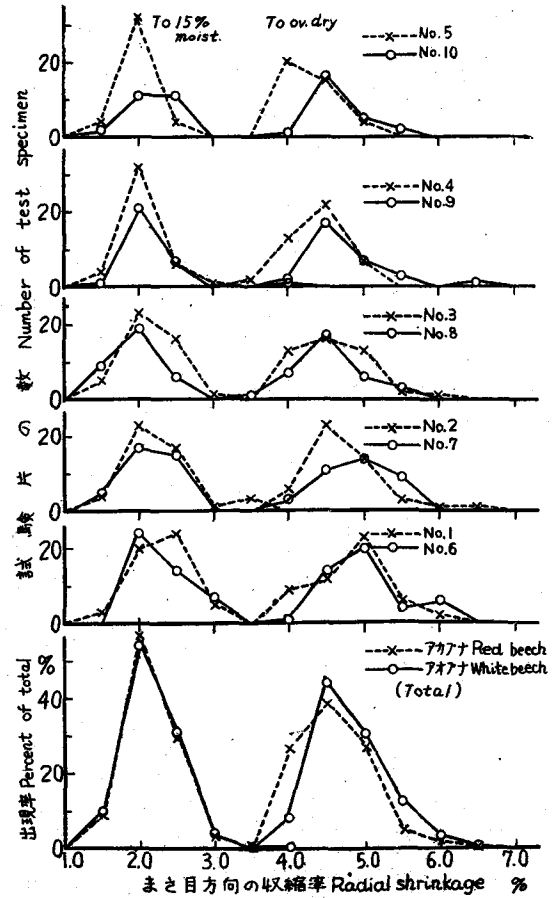


図9 まき目方向の収縮率の出現状態
Fig. 9. Variation in radial shrinkage value.

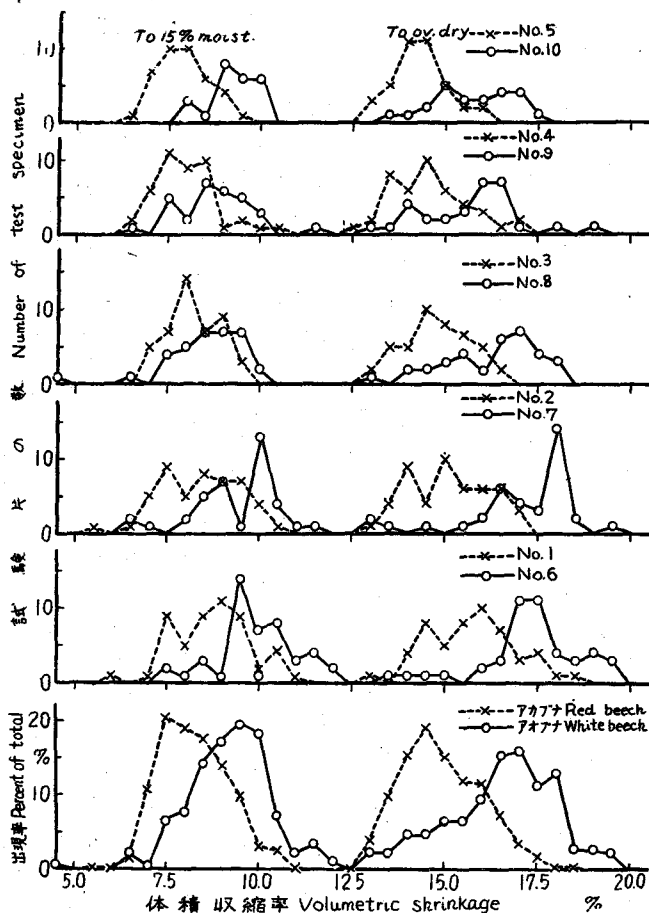


図10 体積収縮率の出現状態

Fig. 10. Variation in volumetric shrinkage value.

におけるような差異がほとんど認められず、とくに各供試木ごとにまとめた分布型は含水率15%時および全乾時にいたるものともに両種ともほとんど一致した型である。

体積収縮率の出現状態は図10に示すとおりであるが、これは板目収縮率の分布型とほとんど同じ型である。すなわち、モードはいずれもアオブナが大で、分布範囲も広い。

以上述べた年輪幅、比重および3種の収縮率はまさ目収縮率を除いて、いずれもアカブナよりアオブナが値の大きく広い範囲に分布し、モードも大きい値にある。まさ目収縮率には両種の間には差異が認められない。

4. 年輪幅の比重および収縮率に対する関係

平均年輪幅とその0.5mmごとに分類したものの比重・収縮率の平均値との関係は図11に示すとおりである。

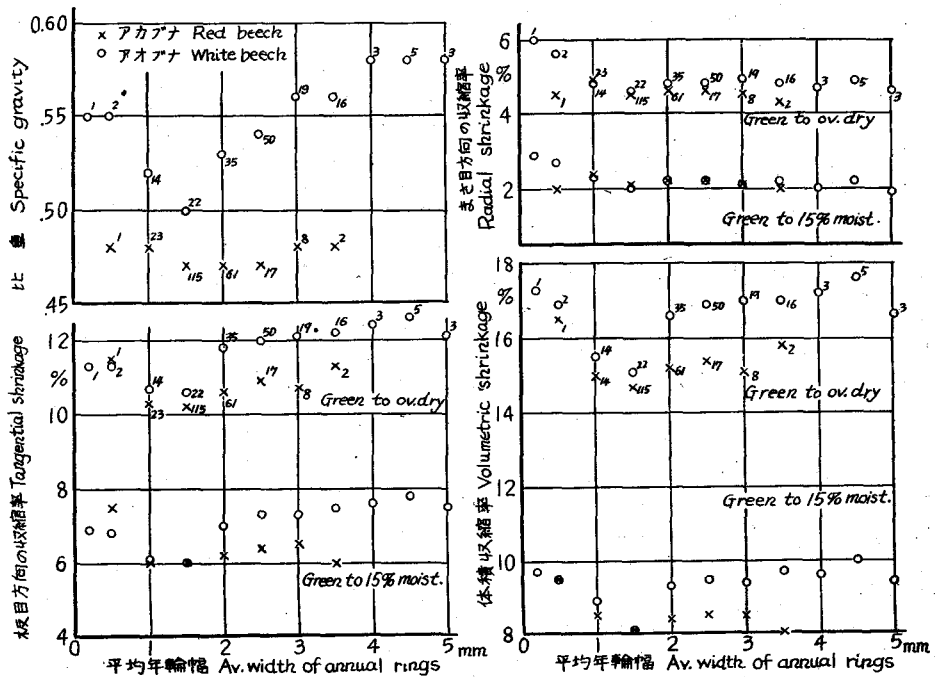


図 11 年輪幅の比重および収縮率に対する関係

Fig. 11. Relationships of specific gravity and shrinkage values to the rate of tree growth.

まず、年輪幅と比重との関係についてみると、同じ年輪幅の場合アカブナよりアオブナの比重が大である。アカブナにおいて年輪幅 1.5~2.5 mm の間で比重は 0.47、この区間の前後では 0.48 を示すが、年輪幅と比重の間に明らかな関係は認められず、年輪幅の広狭による比重の変化はほとんどないといつてよい。これに対しアオブナでは年輪幅 1.5~5 mm において比重は 0.50~0.53 と増加する傾向がみられる。これは最初の項において述べたように、アオブナにおける年輪幅の広い部分は偏心生長によつてできたものが多く、その秋材帯が広いので、比重がこのように大である。

一方、久遠太橋産のブナ材(北村⁴⁾)における年輪幅 (J_b cm) と全乾比重 (S_0 , 100 倍した値で全乾重量と全乾体積にもとづく) の間には次のような実験式が求められている。

$$\text{アカブナ} \quad S_0 = 53.4 + 42.5 J_b - 38.4 J_b^2$$

$$\text{アオブナ} \quad S_0 = 50.8 + 80.8 J_b - 107.9 J_b^2$$

この式によつてもわかるように、この両ブナとも年輪幅が広くなれば比重が増加する傾向があつて、この報告におけるアオブナの場合に似ているが、アカブナについての関係はこの報告の場合と異なる。またこの関係曲線はアオブナがつねにアカブナの上位にあつて、同一年輪幅の場合、アオブナの比重がアカブナのそれより大なることを示している。

また一方、古川産ブナ材(矢沢・樋口⁶⁾)については、辺材・偽心材にかかわらず年輪幅が広くなれば比重がますます報告されているが、他の条件がほぼ同一の場合は偽心材の比重が辺材に比べて若干大きいと述べている。

年輪幅と板目方向の収縮率との関係は、アオブナにおいては、年輪幅——比重の関係の傾斜をゆるくしたような傾向がみられる。すなわち、全収縮率の場合について述べれば、年輪幅 1~1.5 mm では収縮率は 10.6~10.7% で最も小であるが、2 mm では 11.8% となり以後年輪幅が広くなれば、収縮率は 11.8~12.6% とわずかながら増加する。アカブナでもこの全収縮率は年輪幅 1~1.5 mm のときが最小で 10.2~10.3%、以後 3.5 mm まで、10.2~11.3% とやや増加する傾向がみられる。一方、15% の含水率時にいたる収縮率の年輪幅に対する関係は上述の全収縮率の場合とほぼ同様の傾向であつて、その収縮率の値は兩種とも全収縮率の約 60% である。

年輪幅とまさ目方向の収縮率の関係は図 11 においてみられるように、年輪幅の変化に対し収縮率にほとんど変化なく、またアオブナとアカブナの差も極めて少ない。15% の含水率時にいたる収縮率は全収縮率の 45~48% である。

年輪幅と体積収縮率との関係は年輪幅と板目方向の収縮率との関係と大体同じ傾向にある。この場合の 15% の含水率時にいたる収縮率は兩種のブナとも全収縮率の約 55% である。

年輪幅の比重および収縮率に対する関係を全体的にみると、アオブナではまさ目収縮率を除いて、比重・収縮率は年輪幅が広くなれば増す傾向がみられる。これに対しアカブナでは年輪幅の増加によるこれらの値の変化はほとんどないか、あるいは極くわずか増す程度である。また兩種とも年輪幅 1.5 mm 前後のもの比重・収縮率が最小値を示す。まさ目方向の収縮率は兩種ともその値に大差がなく、また年輪幅の変化にも関係しない。

5. 比重と収縮率との関係

比重と収縮率との関係は図 12 に示すとおりであるが、ここで各収縮率に共通に、アカブナでは比重 0.44~0.50、アオブナでは 0.50~0.55 の範囲についてみると、ブナの種類に関係なく、比重と収縮率との間に直線関係がみられ、比重が増せば収縮率も増すのが認められる。上述の比重の範囲外のものはこの関係直線よりはずれる。アオブナの場合、比重 0.50 以下のものおよび 0.55 以上のものの収縮率はこの関係直線より低い。一方、古川産ブナ材(矢沢・樋口⁶⁾)についても、比重が増すに伴つて、各種の収縮率が増加する傾向があるが、比重がある程度以上に大きくなる(この場合、偽心材)と、収縮率がむしろ低下すると報告されている。比重と収縮率との関係においても、比重の増減に対するまさ目収縮率の変化は極めて少ない。

上述の比重の範囲における比重と収縮率との間の直線関係は次式で表わされる。

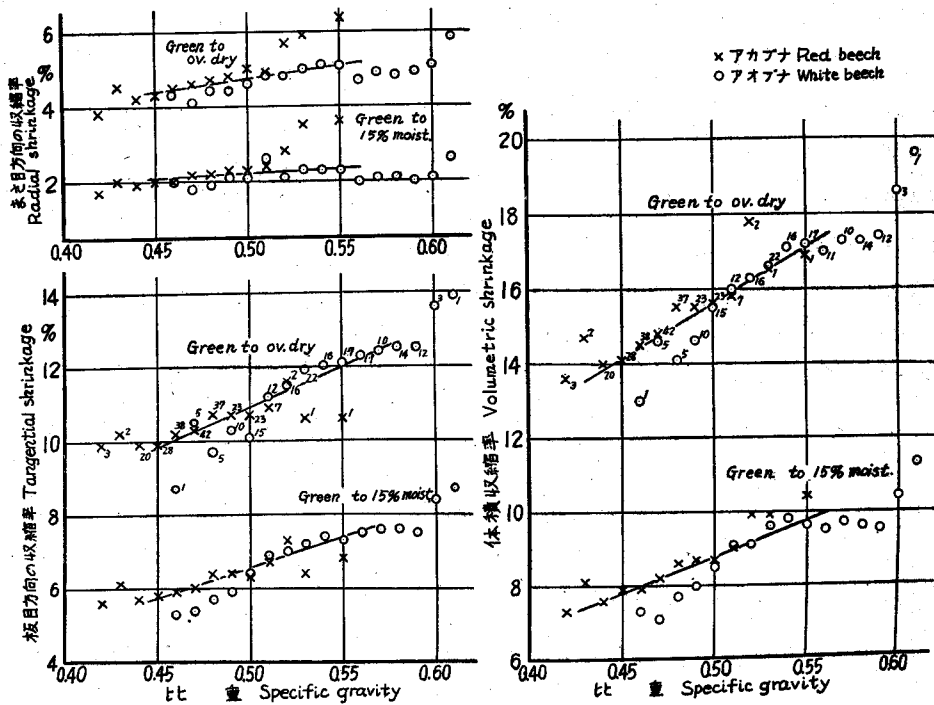


図12 比重と収縮率との関係

Fig. 12. Relationship between specific gravity and shrinkage values.

$$\begin{aligned}
 r_{15} &= 2.5 G + 0.975 \\
 r_0 &= 7.0 G + 1.25 \\
 t_{15} &= 16.0 G - 1.45 \\
 t_0 &= 22.0 G - 0.10 \\
 v_{15} &= 19.5 G - 0.975 \\
 v_0 &= 30.0 G + 0.60
 \end{aligned}$$

ここで、 r_{15} 、 t_{15} 、 v_{15} は生材より15%の含水率時にいたるまき目、板目および体積収縮率(%), r_0 、 t_0 、 v_0 はそれぞれの全収縮率、 G は比重である。

全体積収縮率(v_0)を比重(G)で除した値は31~32であるが、これが繊維飽和点と合致するかどうかという検討は行わなかつた。

6. 総括

各円板から採取した試験片について行つた試験の結果を円板ごとにまとめると表2に示すようになる。

この表においては、兩種とも各平均値は最下端の円板において最も大で、上方に行くにしたがつて、わずかずつ減少する傾向がみられる。

次に各供試木ごとにまとめると表3に示すようになる。

表 2 試験の総括
Table 2. Summary of test, by each disk

円板 Disk No.	アカブナ Red beech						アオブナ White beech						
	1	2	3	4	5	All	6	7	8	9	10	All	
試片数 No. of specimen	52	48	45	43	39	227	45	37	34	30	24	170	
r_w	Avg.	2.0	1.7	1.6	1.6	1.7	1.7	2.9	2.3	2.2	2.2	2.2	2.4
	Max.	3.4	3.0	2.7	2.4	2.5	3.4	4.9	3.4	3.7	3.7	3.3	4.9
	Min.	0.8	1.0	1.2	1.0	1.1	0.8	0.2	1.2	0.7	0.7	1.0	0.2
G	Avg.	0.47	0.48	0.47	0.46	0.46	0.47	0.56	0.55	0.53	0.52	0.52	0.54
	Max.	0.52	0.55	0.51	0.50	0.51	0.55	0.61	0.60	0.58	0.58	0.56	0.61
	Min.	0.43	0.44	0.45	0.42	0.43	0.42	0.50	0.47	0.47	0.46	0.48	0.46
t_{15}	Avg.	6.5	6.1	6.0	6.0	5.9	6.1	7.6	7.3	6.6	6.5	7.1	7.1
	Max.	8.4	7.8	7.1	7.9	7.1	8.4	9.0	8.8	7.7	8.0	8.1	9.0
	Min.	4.5	3.5	5.1	5.0	4.8	3.5	5.5	4.7	2.9	4.4	5.7	2.9
t_0	Avg.	10.9	10.4	10.2	10.2	10.0	10.4	12.3	12.2	11.6	11.0	11.0	11.7
	Max.	12.5	11.8	11.4	12.2	11.3	12.5	14.1	14.0	13.0	13.1	12.9	14.1
	Min.	8.9	8.7	8.6	9.0	8.9	8.6	9.4	8.7	8.8	8.1	8.9	8.1
r_{15}	Avg.	2.3	2.2	2.2	2.0	2.0	2.2	2.3	2.1	2.0	2.2	2.2	2.1
	Max.	3.2	3.6	3.1	2.8	2.6	3.6	3.2	2.6	2.6	3.9	2.7	3.9
	Min.	1.4	1.4	1.4	1.5	1.6	1.4	1.8	1.5	1.4	1.7	1.6	1.4
r_0	Avg.	4.9	4.7	4.6	4.4	4.5	4.6	5.0	4.9	4.6	4.7	4.7	4.8
	Max.	6.2	6.3	5.8	5.2	5.0	6.3	6.2	5.6	5.7	6.5	5.5	6.5
	Min.	3.8	3.8	3.8	3.3	3.8	3.3	4.1	4.1	3.6	4.2	4.1	3.6
v_{15}	Avg.	8.7	8.3	8.2	8.0	7.9	8.3	9.9	9.3	8.5	8.7	9.2	9.2
	Max.	10.9	10.4	9.5	10.5	9.3	10.9	12.1	11.4	11.1	11.3	10.2	12.1
	Min.	6.0	5.5	6.8	6.6	6.6	5.5	7.4	6.6	4.3	6.6	7.9	4.3
v_0	Avg.	15.7	15.1	14.8	14.6	14.3	14.9	17.3	17.0	16.2	15.7	15.7	16.5
	Max.	18.3	17.2	16.5	17.2	15.9	18.3	19.7	19.4	18.0	18.8	17.5	19.7
	Min.	13.1	12.8	12.9	12.7	12.8	12.7	13.6	13.1	12.8	13.0	13.6	12.8

(註) r_w : 平均年輪幅 mm, G : 比重=全乾重量/生材体積, t_{15} , r_{15} , v_{15} : 生材より15%の含水率時にいたる生材寸法にもとづく板目, まさ目および体積収縮率, t_0 , r_0 , v_0 : 同上の全乾状態にいたる収縮率

(Remarks) r_w : Average width of annual rings in mm, G : Specific gravity based on oven-dry weight and green volume, t_{15} & t_0 : Tangential shrinkage values of wood, from green to 15-percent moisture content and to oven-dry condition, based on its dimensions when green, r_{15} & r_0 : Radial shrinkage values to 15-percent moisture content and to oven-dry, v_{15} & v_0 : Volumetric shrinkage values to 15-percent moisture content and to oven-dry.

表3 平均年輪幅, 比重および収縮率の総括

Table 3. Summary of average width of annual rings, specific gravity and shrinkage values, by each tree

ブナの種類 Kind of beech	測定 事項 Item	算術 平均値 Arith- metical mean	モード Mode	中央 値 Median	標準偏差 Stand- ard devia- tion	変化係数 Coeffi- cient of vari- ation %	歪度 Skew- ness	最大値 Max. value	最小値 Min. value
	r_{20}	1.7	1.5	1.6	0.59	35	+0.3	3.4	0.8
	G	0.47	0.47	0.47	0.021	4	0	0.55	0.42
アカブナ	t_{15}	6.1	6.5	6.1	0.71	12	-0.6	8.4	3.5
Red beech	r_{15}	2.2	2.0	2.1	0.46	21	+0.4	3.6	1.4
(227 specimens)	v_{15}	8.3	7.5	8.3	0.95	11	+0.3	10.9	5.5
	t_0	10.4	10.5	10.4	0.80	8	-0.1	12.5	8.6
	r_0	4.6	4.5	4.6	0.49	11	+0.2	6.3	3.3
	v_0	14.9	14.5	14.8	1.12	8	+0.4	18.3	12.7
	r_{20}	2.4	2.5	2.4	0.91	38	-0.1	4.9	0.2
	G	0.54	0.53	0.53	0.034	6	+0.3	0.61	0.46
アオブナ	t_{15}	7.1	7.5	7.2	0.97	14	-0.4	9.0	2.9
White beech	r_{15}	2.1	2.0	2.1	0.38	18	+0.3	3.9	1.4
(170 specimens)	v_{15}	9.2	9.5	9.2	1.17	13	-0.3	12.1	4.3
	t_0	11.7	12.5	11.8	1.21	10	-0.7	14.1	8.1
	r_0	4.8	4.5	4.7	0.49	10	+0.6	6.5	3.6
	v_0	16.5	17.0	16.7	1.47	9	-0.3	19.7	12.8

表2の註を参照。See remarks of table 2.

この表について、アカブナとアオブナを比較すれば次のようなことがいわれる。

平均年輪幅の平均値はアカブナ1.7 mm, アオブナ2.4 mmで、アオブナの方が広い年輪幅の占める面積が大きい。そのモードもアオブナが大きく、さらに標準偏差はアカブナ0.59 mmに対しアオブナ0.91 mmで、アオブナには年輪幅のばらつき——偏心生長と樹齢による年輪幅の変化が大きいことがわかる。その分布範囲もアカブナ0.8~3.4 mmに対しアオブナでは0.2~4.9 mmとはるかに広い。分布型はアカブナでわずかに左偏するが、アオブナは正規型に近い。

比重の平均値はアカブナ0.47, アオブナ0.54で、アオブナが大である。これは久遠太櫓産のブナ材(北村⁹⁾)についての試験結果と同じ傾向である。標準偏差はアカブナ0.021, アオブナ0.034で、年輪幅同様アオブナの方のばらつきが大である。分布範囲はアカブナ0.42~0.55, アオブナ0.46~0.61とかなり異つた位置にある。分布型はアカブナでは正規型に近いが、アオブナでは台型に似ている。

収縮率はまさ目方向については両種に差がほとんどないが、板目収縮率はアカブナの平均値 6.1% (15%の含水率時まで)、10.4% (全) に対しアオブナはそれぞれ 7.1%、11.7% で、明らかにアオブナの方が大である。標準偏差もアオブナの方が大きく、分布範囲もはるかに広い。体積収縮率についても同様である。分布型はアカブナでは板目収縮率が右偏し、他は左偏する。アオブナのそれはまさ目収縮率が左偏するが、板目および体積収縮率は右偏する。

この表の平均値において、全収縮率に対する 15% の含水率時にいたる収縮率の割合は、アカブナではまさ目 59%、板目 48%、体積 56% で、アオブナではそれぞれ 61%、44%、56% であつて、ブナの種類による差はほとんどない。

まさ目収縮率に対する板目収縮率の比は、アカブナでは 15% の含水率時にいたるまでで 1:2.8、全乾状態までで 1:2.3 である。アオブナではそれぞれ 1:3.4、1:2.4 である。これは散孔材についての標準的な値 1:1.80¹⁾ より相当大きく、また比重 0.50 またはそれ以上の木材に対する標準的な値 1:1.76¹⁾ よりもかなり大である。このようにブナ材では板目収縮率が大いといえる。

平均値における体積収縮率を比重で割つた値はアカブナ 32、アオブナ 31 でほぼ似た値である。

以上述べたようにアカブナとアオブナの間にはかなり大きな生長経路と材質の差異がみられる。このアカブナとアオブナは偽心材の大・小によつて俗にいわれている名称で、植物分類学上では区別されていない。両種より 1 本ずつの供試木について、アカブナとアオブナについて論ずることはできないが、この報告に述べたアオブナがアカブナより試験片についての平均年輪幅、比重および収縮率において大であるということは、一般にアオブナは生長よく(この報告のアオブナでは中心部を除くと生長が非常によいように見える)、材は硬いが、アカブナは樹齢の高い生長の衰えたものが多く、年輪幅が狭く材は軟い(たとえば平井²⁾)といわれることと一致する。

ここでアカブナとアオブナの材質の相違として次の二つのことが考えられる。すなわち、最初からこの両種は材質的に異なるものか、またはアカブナは偽心材となつたために比重が減少したものかということである。いま後者についてみると、アカブナ内において偽心材部と辺材部に比重・収縮率の差異が認められなければならないはずであるが、さきに述べたようにこの両部分における材質のちがいは明瞭でない。ゆえに前者についてみると、供試木として選んだアカブナとアオブナの間には次のような非常に大きな差異が認められる。すなわち、樹齢はアカブナ 170 年、アオブナ 180 年であまり差がないが、それらの生長経路が全く異つている。アカブナでは初期より伐採時までほとんど均一な生長をしているのに対し、アオブナでは約 105 年の長期間にわたる被圧された時代があつて、その

後急激に生長がよくなり、樹幹の中心部を除く大部分は年輪幅の広い部分によつて占められている。既往の研究において、ブナにおける被圧年数には、(1) ないもの、(2) 20~30年間、(3) 50~100年間の3つのタイプがある(渡辺⁹⁾)といわれることから、この供試木として選んだアオブナのような生長経路を有するものが、かなり存在することは明らかである。またこの両供試木とも偏心生長しているが、その程度はアオブナの方がやや大である。

次にこの両種の同じ年輪幅のものを比較すれば、アオブナの方が比重・収縮率が大きい。これは明らかに1年輪内にある秋材帯の幅のちがいによるもので、秋材率はアオブナの方がはるかに大である。

このようにアカブナとアオブナにおける材質のちがいは偽心材になつたために生じたものではなく、生長条件のちがいによつて材質的に異つたものになつたためと考えられる。

さらに、このアオブナのように秋材率が大きく比重が大きい材質のものには偽心材ができにくく、それができても大きくなりにくいのではないかと推察もされるが、これには資料が少な過ぎて言及できない。しかしこのアオブナにおける105年にもわたる長期の被圧時代、その後の偏心生長を伴う急速な生長、さらに広い秋材帯は生育した立地における環境因子に支配されるものが非常に多いと考えられる。立地条件と偽心材の形成、アカブナとアオブナの出現状態についての報告に次のようなものがある。

風衝地帯のブナ材について偽心材の形成を調査した報告(川床⁹⁾)では次のように述べている。すなわち、この地帯におけるブナの偽心材の形にはいわゆる普通のものが少なく年齢よりみた場合、当然偽心材の出現し得べき年齢(90~190年)に達せるにもかかわらずその正常な発達が認められたものは全調査本数の約40%に過ぎない。また横断面が不齊なものが多い(注 偏心生長および年輪の不整調と考えられる)。一方道南地方における生立木状態についての調査(平井⁹⁾)では次のように述べている。(a) 急峻な地形、すなわち谷筋に基岩が露出し、尾根筋よりもかえつて土壌が浅いようなところでは、シロブナ(注 本文のアオブナと同意)は尾根筋に多く、アカブナは中腹以下に多い傾向がある。(b) 緩徐な地形のところではほとんどシロブナのみからなる。(c) シロブナ、アカブナは各々群をなして生立する傾向がある。ただし各々混在する場合もある。(d) 平坦地に人工植栽した比較的生長のよいものはシロブナである。(e) アカブナは大径木に多く見られ、小径木はシロブナと認められるものが多い。

このように偽心材の形成には立地条件の影響による生長経路、すなわち、年輪構成(年輪幅・秋材率)によつて生ずる材質的なものが少なくとも間接的な関係をもつのではないかと思われる。

結 言

檜山産ブナ材について、偽心材の大きい典型的といわれるアカブナと、その小さいアオブナ各1本を供試木として、それぞれの地上高0.5 mより2 mおきに5個の円板を採取しそれらの4半径について生長経過を測定後、8半径より $3 \times 3 \times 0.5$ cmの試験片を連続的に作成し、それについて平均年輪幅、比重およびまさ目・板目・体積収縮率を求めた。これらの試験結果の概略は次のとおりである。

1) 樹齢はアカブナ170年、アオブナ180年であるが、胸高直径はアカブナ50 cm、アオブナ42 cmでアカブナが大である。

2) アカブナでは初期より伐採時まで、大部分の年輪幅は1~2 mmの範囲にあつて、ほぼ均一な生長をしているが、アオブナには約105年にわたる被圧された時代があつて、この間の年輪幅は大部分0.2~0.5 mmである。これ以後アオブナの生長は非常によくなり大部分の年輪幅が2 mm前後となり、ときには4~5 mmに達する。このためアオブナではその中心部を除くと生長のよい若い木のようにみえる。

3) 偽心材の半径はアカブナでは13~25 cm、アオブナでは3~6 cmであるが、偽心材と辺材との境界の樹齢はアカブナ110~130年、アオブナ80~115年で特にいちじるしい差はない。

4) 各供試木より作成した試験片についての測定結果では、平均年輪幅、比重および板目・体積収縮率ともアオブナの方が大である。またそれらの値のばらつきもアオブナの方が大きい。まさ目収縮率には両種の間には差がない。

5) アカブナにおける偽心材部と辺材部との間の比重・収縮率の差は明らかでない。

6) 両種とも平均年輪幅1.5 mmに比重・収縮率の最小値があり、これより年輪幅が減っても増しても、それらの値は増加する傾向がみられるが、アオブナにおけるこの傾向は顕著である。しかしアカブナではそれらの増加はごくわずかである。4)に述べたと同様まさ目収縮率の変化はこの場合も極めて少なく、ほとんどないといつてよい。

7) 同一年輪幅の場合、比重および収縮率の値はアオブナの方が明らかに大である。これはアオブナの秋材率が大なるためである。

8) アカブナにおける比重0.44~0.50、アオブナにおける0.50~0.55の範囲では、ブナの種類に関係なく、比重の増加により収縮率は直線的に増す。この場合もまさ目収縮率の変化は極めて少ない。

9) 全収縮率に対する生材から15%の含水率時にいたる収縮率の割合はアカブナではまさ目59%、板目48%、体積56%で、アオブナではそれぞれ61%、44%、56%であつて、その種類による差はほとんどない。

10) まさ目収縮率に対する板目収縮率の比は、アカブナでは15%の含水率時にいたるまでで2.8, 全乾状態までで2.3である。アオブナではそれぞれ3.4, 2.4である。

文 献

- 1) BROWN, H. P., PANSHIN, A. J. & FORSAITH, C. C.: Textbook of wood technology. II. New York, 1952. (p. 41)
- 2) 平井信二: 白ブナと赤ブナ. 木材工業, 5, 17-19, 1950.
- 3) 川床典輝: 津軽大倉岳付近に於ける風衝ブナ林の偽心材出現状況に就て. 青森林友, 339, 11-14, 1943.
- 4) 北村義重: 北海道産主要樹種の全乾材に於ける年輪幅と比重並に圧縮強との関係に就いて. 北林試報, 14, 1943.
- 5) 渡辺福寿: ブナ林の研究. 興林会, 1938.
- 6) 矢次亀吉・樋口隆昌: 名古屋営林局管内のブナ材に関する研究. 名古屋ブナ材協会, 1953.

Summary

Experiments were made on Japanese beech wood (*Fagus crenata* Bl.) grown in Hiyama district, Hokkaido. In that region, the beech wood with large false heart wood is called "red beech", and that with small one or without it is called "white beech". One each typical red and white beeches were selected as material for a study of the physical properties of the wood.

Five disks were taken from each tree at intervals of 2 m upward from 0.5 m high above ground. On the disk, the mean annual increment of growth ring was measured along the four radial directions, and also the average width of annual rings, specific gravity, and radial, tangential and volumetric shrinkages were investigated using 3×3×0.5 cm test blocks, in accordance with JIS A 1003, taken from each disk in the eight radial directions.

The following list indicates the physical property determinations made for each test.

1. Total and mean annual increments for every five years of tree growth
2. Average width of annual rings
3. Specific gravity based on oven-dry weight and green volume
4. Radial, tangential and volumetric shrinkage values from green to 15-percent moisture content and to oven-dry condition based on dimensions of sample when green

The results obtained are illustrated in tables 1 to 3 and figures 3 to 12 in this paper; also the findings are briefly stated as follows:

- 1) The age of the red beech was 170 years and that of the white beech was 180 years. But in diameter breast high over bark the former was 50 cm and the latter was 42 cm.
- 2) The annual increments in size of the red beech were approximately uniform in ring width of 1-2 mm range from the early years to the time of cutting. In

contrast, the white beech wood formed during the period early years to about 105 years had very narrow rings, which ranged in width from 0.2 to 0.5 mm, but after that the annual increments changed suddenly into fast growth and the width attained about 2 mm and sometimes to or over 5 mm. Then, the white beech wood excepting the part near the pith was occupied by the wide ringed wood.

3) The false heartwood varied in radius from 13 to 25 cm in the red beech and 3 to 6 cm in the white beech, but the ages at the boundary between false heartwood and sapwood ranged from 110 to 130 years in the former, and 80 to 115 years in the latter.

4) The average width of annual rings, the specific gravity and the shrinkage of test blocks taken from the white beech were clearly larger than those of the red beech; and those values of the white beech were distributed in a wider range. But there was no distinct difference in the radial shrinkage value between the two beech woods.

5) In the red beech, there was no marked difference in the properties of the false heartwood and the sapwood.

6) In the white beech, there was a steady increases in both density and shrinkage values with increasing width of annual rings, but in the red beech the relationships of the specific gravity and the shrinkage values to the rate of growth were not distinct. In both, the radial shrinkage varied not very clearly.

7) The white beech wood was very much denser and larger shrinkage than the red beech wood with the same width rings, because the summerwood percentage of the former was very much larger than that of the latter.

8) In the range of the specific gravity 0.44-0.50 of the red beech and 0.50-0.55 of the white beech, the wood showed a direct linear increase in shrinkage values with increasing specific gravity regardless of the kind. In this case, there was little change in radial shrinkage.

9) The percentage of the shrinkage of wood dried to 15-percent moisture content in relation to the total shrinkage appeared to be approximately the same for the kind of beech; it was 59% for radial shrinkage, 48% for tangential shrinkage and 56% for volumetric shrinkage in the red beech, and it was 61%, 44% and 56% respectively in the white beech.

10) The ratio of tangential shrinkage to radial shrinkage was 2.8 in wood dried to 15-percent moisture content and 2.3 in oven-dry for the red beech, and 3.4 and 2.4 for the white beech, respectively.

付 表

板目・まさ目および体積収縮率 (%)

APPENDIX

Tangential, radial and volumetric shrinkage values of Japanese
beech wood based on its dimensions when green in percent

(註 Remarks)

No.: 円板, 半径および試験片番号 Disk, radius and piece Nos.

1.1.1.-5.8.4: アカブナ Red beech

6.1.1.-10.8.3: アオブナ White beech

* 偽心材部 False heartwood

 r_w : 平均年輪幅 Average width of annual rings in mm h : 中央年輪の矢高 Deflection of annual ring at the center of the specimen
in mm G : 比重 (全乾重量/生材体積) Specific gravity based on oven-dry weight and
green volume

Appendix

No.	r_w	h	G	Tangential, to		Radial, to		Volumetric, to	
				15%	ov. dry	15%	ov. dry	15%	ov. dry
1.1.1	2.8	2.0	0.48	6.9	11.2	2.4	4.9	9.3	16.0
2	2.1	1.5	0.47	6.9	11.1	2.5	5.1	9.4	16.1
3	2.7	1.5	0.50	6.6	12.1	2.4	5.2	9.0	17.3
4*	1.9	1.5	0.50	7.6	12.2	2.6	5.5	10.2	17.7
5*	2.7	2.0	0.48	6.3	10.9	2.3	5.1	8.6	16.0
6*	2.7	1.0	0.49	6.6	11.4	2.4	5.1	9.0	16.5
7*	1.9	1.5	0.50	6.8	11.4	2.5	5.1	9.3	16.5
8*	1.5	0.5	0.48	6.0	10.6	2.0	4.5	8.0	15.1
1.2.1	2.1	0	0.48	6.3	11.4	3.1	5.7	9.4	17.0
2	1.9	-1.0	0.46	6.6	10.7	2.4	5.0	9.0	15.6
3*	1.7	-0.5	0.47	6.6	10.8	2.2	4.6	8.8	15.4
4*	1.6	1.0	0.48	5.5	10.0	2.0	4.7	7.5	14.6
5*	1.4	2.5	0.46	5.3	9.7	2.1	5.0	7.3	14.6
1.3.1	0.8	0	0.48	7.5	11.9	3.1	5.6	10.6	17.5
2*	1.3	0	0.47	6.8	11.1	2.4	4.9	9.1	16.0
3*	1.1	0	0.47	6.0	10.3	2.4	4.8	8.4	15.1
4*	0.9	1.0	0.47	5.4	9.3	2.2	4.7	7.5	14.0
1.4.1	1.9	-2.1	0.51	7.0	11.3	2.4	5.1	9.4	16.4
2	1.2	1.0	0.50	7.3	11.4	3.2	5.9	10.6	17.3
3*	1.4	2.0	0.52	7.9	12.1	3.1	6.2	10.9	18.3
4*	1.6	1.0	0.50	5.8	9.9	2.3	4.8	8.1	14.6
5*	1.1	0	0.50	5.8	10.3	1.9	5.1	7.7	15.3
1.5.1	1.2	-0.5	0.50	6.7	11.5	2.7	5.3	9.3	16.7
2*	0.8	0	0.49	7.1	12.4	2.8	5.6	10.0	17.9
3*	1.8	0	0.48	5.4	9.7	1.9	4.3	7.2	14.0
4*	1.5	0.5	0.50	4.5	8.9	1.5	4.1	6.0	13.1
5*	1.1	1.5	0.49	6.7	10.8	2.3	4.9	8.9	15.7
1.6.1	3.0	0.5	0.49	5.9	9.5	2.6	5.0	8.4	14.5
2	2.2	0	0.45	6.4	10.0	2.5	4.9	8.9	14.9
3*	1.9	0.5	0.46	6.8	10.9	2.4	5.1	9.2	15.9
4*	2.0	0.5	0.46	5.8	10.0	2.2	4.7	8.0	14.7
5*	2.5	-2.0	0.46	5.9	10.5	1.4	3.8	7.3	14.2
6*	1.5	1.0	0.46	5.9	10.4	1.8	4.3	7.7	14.6
7*	1.9	0.5	0.47	6.4	12.1	1.9	4.2	8.3	16.3
8*	1.4	—	0.46	6.3	11.3	2.5	5.1	8.8	16.3
1.7.1	3.2	1.0	0.44	6.6	10.5	2.0	4.2	8.5	14.7
2	2.3	1.0	0.43	7.0	11.0	2.3	5.0	9.3	15.9
3	3.0	2.0	0.48	8.0	12.2	2.4	5.0	10.4	17.1
4*	2.8	1.5	0.50	7.7	11.9	1.9	4.0	9.6	15.9
5*	3.0	0	0.48	6.1	11.0	1.5	4.0	7.6	15.0
6*	3.4	0.5	0.48	6.2	12.0	1.9	4.2	8.1	16.2
7*	2.5	1.0	0.48	6.3	11.1	2.2	4.7	8.4	15.8
8*	2.0	2.5	0.49	6.4	11.1	2.5	5.4	8.9	16.4
9*	1.9	1.0	0.48	6.5	11.0	2.2	4.9	8.7	15.9
10*	1.5	2.0	0.48	6.2	10.6	2.4	4.9	8.6	15.5
1.8.1	2.2	0	0.46	6.7	10.8	2.4	4.8	9.1	15.6
2	2.5	-2.0	0.47	7.3	11.3	2.2	4.3	9.6	15.6
3*	2.6	-1.0	0.49	8.4	12.5	2.3	4.6	10.7	17.0
4*	2.9	1.5	0.46	5.7	10.1	1.8	4.0	7.4	14.1
5*	2.5	-2.0	0.46	5.9	10.3	1.8	4.0	7.6	14.3
6*	3.3	2.0	0.48	6.1	10.7	2.0	4.7	8.1	15.4
7*	1.8	1.0	0.46	6.4	10.5	1.9	4.4	8.3	14.9

Appendix—Continued

No.	r_w	h	G	Tangential, to		Radial, to		Volumetric, to	
				15%	ov. dry	15%	ov. dry	15%	ov. dry
2.1.1	1.4	0.5	0.49	6.5	10.3	2.6	5.1	9.1	15.4
2*	1.6	1.5	0.47	7.2	11.2	2.5	4.9	9.8	15.1
3*	1.8	0.5	0.47	5.7	10.4	1.8	4.4	7.5	14.8
4*	1.2	1.5	0.49	5.2	9.3	1.6	4.1	6.8	13.4
5*	1.1	2.5	0.49	6.1	10.3	3.4	4.6	9.5	14.9
6*	1.8	0	0.55	6.8	10.6	3.6	6.3	10.4	16.9
2.2.1	2.2	1.5	0.46	5.7	9.6	2.2	4.4	7.9	14.1
2	2.0	0	0.48	7.2	11.3	2.7	5.2	9.9	16.5
3*	1.5	0	0.48	7.0	11.2	2.4	5.0	9.5	16.2
4*	1.9	0	0.47	3.5	11.1	2.0	4.4	5.5	15.2
5*	1.6	0.5	0.52	6.6	11.1	2.4	5.2	8.9	17.2
2.3.1	1.8	1.0	0.49	6.3	10.6	2.2	4.4	8.4	15.0
2	2.2	0	0.48	6.7	10.1	2.1	4.5	8.9	14.6
3*	1.7	1.0	0.50	6.4	11.1	2.4	5.3	8.8	16.3
4*	2.1	2.0	0.48	5.6	9.7	1.9	4.1	7.5	13.8
5*	2.8	2.0	0.50	5.3	9.7	1.4	4.6	6.7	14.2
6*	1.3	—	0.48	5.6	10.0	1.7	4.0	7.3	13.9
7*	1.2	0	0.47	5.0	9.0	1.8	4.4	6.9	13.4
2.4.1	2.3	0.5	0.45	6.6	10.6	1.8	4.1	8.4	14.6
2	1.3	0.5	0.45	6.7	10.8	2.4	4.7	9.0	15.5
3*	1.6	0	0.48	7.2	11.8	2.3	5.0	9.5	16.8
4*	1.8	1.5	0.50	6.4	11.0	2.1	4.8	8.5	15.7
5*	1.4	2.0	0.50	6.2	10.5	2.5	5.5	8.7	16.0
2.5.1	1.9	2.0	0.44	5.0	8.7	1.9	4.1	6.8	12.8
2	1.5	2.0	0.44	5.2	9.2	2.1	4.5	7.2	13.8
3*	2.0	1.5	0.46	6.2	10.6	2.0	4.6	8.2	15.2
4*	1.7	2.0	0.46	4.8	9.1	2.0	4.6	6.8	13.7
5*	1.4	0.5	0.47	5.3	9.6	2.3	4.8	7.6	14.3
6*	1.3	2.0	0.49	5.3	9.3	2.4	4.8	7.7	14.1
2.6.1	1.6	0	0.44	6.3	9.7	2.1	4.3	8.3	14.0
2	1.5	0.5	0.47	6.5	10.6	2.7	5.1	9.1	15.8
3*	2.0	0	0.49	7.2	11.7	2.2	4.6	9.4	16.3
4*	1.5	0.5	0.50	5.7	10.2	2.1	4.7	7.8	14.9
5*	1.4	1.5	0.48	5.9	10.6	2.0	4.6	7.8	15.3
6*	1.5	1.5	0.48	5.6	10.2	1.8	4.5	7.4	14.6
2.7.1	1.1	0.5	0.47	6.7	10.5	2.3	4.3	9.1	14.8
2*	1.5	0.5	0.47	7.4	11.5	2.6	4.9	10.0	16.4
3*	1.9	2.0	0.46	5.7	9.9	2.0	4.3	7.7	14.2
4*	1.6	2.5	0.46	5.8	10.3	2.0	4.5	7.8	14.8
5*	1.4	1.5	0.44	5.8	9.7	2.0	4.3	7.7	14.0
6*	1.4	1.5	0.45	5.8	9.6	1.6	3.8	7.4	13.3
2.8.1	3.0	2.0	0.48	7.0	11.2	2.3	4.6	9.3	15.8
2	2.0	2.0	0.47	6.9	11.1	2.6	5.1	9.5	16.2
3*	1.8	2.0	0.49	7.1	11.6	2.5	5.2	9.6	16.7
4*	2.0	1.5	0.47	6.3	10.9	2.1	4.8	8.4	15.7
5*	2.1	2.0	0.48	6.2	10.6	2.1	4.5	8.4	15.1
6*	1.5	2.0	0.50	5.9	10.4	2.8	5.3	8.6	15.6
7*	1.0	2.0	0.53	6.4	10.6	3.5	5.9	9.9	16.5
3.1.1	1.5	1.5	0.47	5.5	9.6	2.2	4.4	7.7	14.0
2	1.5	0.5	0.45	5.9	9.9	2.1	4.4	8.0	14.3
3*	1.4	0.5	0.45	6.9	11.0	2.0	4.2	8.8	15.2
4*	1.7	2.0	0.47	6.1	10.4	2.1	4.6	8.2	15.0
5*	1.2	3.0	0.48	5.9	10.0	2.5	5.1	8.4	15.1
6*	1.3	3.5	0.50	6.4	10.4	2.6	5.2	9.0	15.6

Appendix—Continued

No.	r_w	h	G	Tangential, to		Radial, to		Volumetric, to	
				15%	ov. dry	15%	ov. dry	15%	ov. dry
3.2.1	1.4	0	0.46	5.7	9.4	2.1	4.2	7.8	13.6
2	1.4	-1.0	0.47	7.0	11.2	2.2	4.3	9.2	15.5
3*	1.4	0.5	0.46	6.8	11.1	1.9	3.9	8.7	15.0
4*	1.6	2.5	0.46	5.4	9.8	1.4	3.8	6.8	13.5
3.3.1	1.3	0.5	0.45	5.1	8.6	2.1	4.2	7.1	12.9
2*	1.3	1.0	0.46	5.7	9.7	2.2	4.7	7.9	14.3
3*	1.6	0.5	0.47	6.2	10.7	2.0	4.3	8.2	15.0
4*	1.6	1.0	0.49	6.3	10.6	1.9	4.3	8.2	14.8
5*	1.4	3.0	0.51	6.7	10.9	2.1	4.4	8.8	15.4
3.4.1	1.6	-1.5	0.47	5.5	9.4	2.0	4.1	7.4	13.4
2*	1.3	0	0.47	5.9	9.8	2.3	4.7	8.2	14.5
3*	1.6	0	0.45	5.1	9.3	1.8	4.2	6.9	13.4
4*	1.5	2.0	0.46	5.8	10.2	1.9	4.3	7.7	14.5
5*	1.2	2.5	0.47	5.6	9.7	2.3	4.9	8.0	14.6
3.5.1	1.3	1.0	0.45	5.7	9.4	2.3	4.6	8.0	14.0
2*	1.6	1.5	0.48	6.7	11.0	2.6	5.1	9.4	16.2
3*	2.1	2.0	0.46	5.7	10.0	2.2	4.8	7.9	14.8
4*	2.3	2.5	0.48	5.7	10.0	2.1	4.5	7.7	14.5
5*	1.6	2.5	0.47	5.3	9.5	2.3	4.8	7.6	14.3
6*	1.6	2.0	0.46	5.9	10.0	1.9	4.3	7.8	14.3
3.6.1	1.3	-2.5	0.49	6.1	9.8	2.3	4.6	8.4	14.4
2*	1.5	-0.5	0.48	6.8	10.8	2.3	4.6	9.1	15.3
3*	1.6	0	0.45	5.2	9.3	1.7	4.0	6.9	13.3
4*	2.0	-1.0	0.47	5.6	9.9	1.7	4.0	7.3	13.8
5*	1.6	-0.5	0.45	5.3	9.4	1.7	3.8	7.0	13.1
6*	2.1	1.0	0.46	5.7	9.9	1.7	4.1	7.5	14.0
3.7.1	2.0	2.5	0.47	5.4	9.9	2.5	5.0	7.8	14.9
2	2.7	2.0	0.49	6.2	10.3	3.1	5.8	9.3	16.1
3*	1.6	0	0.50	6.6	10.8	2.5	5.1	9.0	15.9
4*	2.1	2.0	0.50	6.3	10.5	2.7	5.4	9.0	15.9
5*	1.9	0.5	0.50	6.4	10.8	2.2	4.9	8.6	15.7
6*	2.3	2.0	0.51	6.8	11.4	2.4	5.1	9.2	16.5
7*	1.9	1.5	0.51	6.3	10.7	2.4	5.0	8.7	15.8
8*	1.6	2.5	0.51	6.4	10.8	2.2	4.9	8.6	15.6
3.8.1	1.7	-1.5	0.48	6.0	10.2	2.1	4.5	8.0	14.7
2*	1.4	-1.5	0.49	6.9	11.3	2.6	5.3	9.5	16.5
3*	1.5	-1.5	0.48	6.9	11.2	2.4	4.8	9.2	16.0
4*	2.1	-1.0	0.49	6.6	11.1	1.9	4.2	8.6	15.3
5*	1.3	-1.5	0.46	6.0	10.3	1.8	3.9	7.8	14.2
4.1.1	2.0	0	0.46	6.3	10.5	1.9	3.8	8.2	14.2
2*	1.7	1.5	0.46	6.4	10.4	2.3	4.4	8.7	14.8
3*	1.2	1.5	0.44	5.8	9.9	2.0	4.2	7.8	14.1
4*	1.6	0	0.44	5.8	10.1	1.8	3.8	7.5	13.8
5*	1.3	1.0	0.45	5.3	9.3	2.1	4.3	7.3	13.6
6*	1.4	3.0	0.48	5.1	9.0	2.0	4.2	7.1	13.3
4.2.1	1.6	0	0.47	5.6	9.4	2.1	4.2	7.7	13.6
2*	1.4	0	0.49	6.4	10.6	2.2	4.4	8.5	15.0
3*	1.6	0.5	0.49	6.8	10.9	2.0	4.5	8.7	15.3
4*	2.1	1.5	0.49	5.8	10.5	2.1	4.7	7.9	15.2
5*	1.6	2.0	0.49	5.6	10.4	1.9	4.5	7.5	14.9
6*	1.5	2.0	0.44	5.0	9.1	1.6	4.3	6.6	13.4

Appendix—Continued

No.	r_w	h	G	Tangential, to		Radial, to		Volumetric, to	
				15%	ov. dry	15%	ov. dry	15%	ov. dry
4.3.1	1.6	1.0	0.45	6.4	10.1	2.0	4.1	8.3	14.2
2	2.3	0.5	0.48	7.3	11.7	2.2	4.6	9.5	16.3
3*	1.6	0	0.47	6.4	10.7	2.1	4.5	8.5	15.1
4*	1.8	1.0	0.44	5.5	9.8	1.7	4.0	7.2	13.8
5*	2.1	1.0	0.46	5.8	10.3	1.9	4.2	7.7	14.5
4.4.1	1.3	0	0.45	5.6	9.5	1.9	4.1	7.4	13.6
2*	1.3	0	0.44	6.9	11.1	2.2	4.3	9.0	15.4
3*	1.7	1.5	0.42	5.4	9.5	1.8	3.9	7.2	13.4
4*	2.4	2.0	0.45	5.7	10.3	1.9	4.3	7.6	14.5
5*	2.3	2.5	0.44	5.3	9.5	1.9	4.3	7.2	13.7
4.5.1	1.2	0	0.45	5.7	10.1	2.3	4.4	8.0	14.5
2*	2.0	0.5	0.50	5.3	10.0	2.1	4.4	7.4	14.4
3*	1.4	-0.5	0.44	6.2	10.5	1.9	4.9	8.1	15.3
4*	2.1	-0.5	0.44	5.8	10.3	2.0	4.0	7.7	14.3
5*	1.5	-1.0	0.42	5.4	9.6	1.5	3.3	6.8	12.9
6*	1.7	0.5	0.44	5.0	9.3	1.6	3.5	6.6	12.7
4.6.1	1.3	1.5	0.45	6.1	10.2	2.1	4.4	8.2	14.6
2*	1.6	1.5	0.48	7.9	12.2	2.4	5.0	10.2	17.2
3*	1.8	1.0	0.47	6.4	11.0	2.0	4.4	8.5	15.4
4*	2.0	2.0	0.48	6.3	11.0	2.2	4.8	8.4	15.8
5*	1.6	1.0	0.48	6.4	11.0	2.2	4.9	8.7	15.9
6*	1.7	1.0	0.42	6.0	10.5	1.8	4.1	7.9	14.6
4.7.1	1.6	2.0	0.47	5.0	8.9	1.9	4.3	7.0	13.1
2	1.8	2.0	0.50	6.7	10.9	2.7	5.2	9.4	16.1
3*	1.5	2.0	0.51	7.7	12.0	2.8	5.2	10.5	17.1
4*	1.2	3.5	0.50	5.5	9.6	2.2	4.8	7.7	14.4
5*	1.0	5.0	0.51	5.7	9.2	2.4	4.6	8.0	13.8
4.8.1	1.4	1.0	0.47	5.3	9.1	2.1	4.5	7.5	13.6
2	1.5	1.5	0.45	6.3	10.4	2.3	4.5	8.6	14.9
3*	1.2	0	0.44	6.4	10.4	2.0	4.3	8.4	14.7
4*	1.3	0.5	0.46	5.9	10.2	1.9	4.1	7.8	14.3
5.1.1	1.6	1.0	0.46	5.1	9.1	1.9	4.1	6.9	13.1
2	1.2	2.0	0.47	5.6	9.5	2.4	5.0	8.0	14.5
3*	1.8	2.0	0.45	6.3	10.6	2.1	4.4	8.4	15.0
4*	1.7	2.0	0.44	5.4	9.7	1.9	4.1	7.2	13.8
5*	1.7	2.5	0.45	4.8	9.3	1.8	4.1	6.6	13.4
5.2.1	1.7	0	0.45	5.2	8.9	1.8	3.9	7.0	12.8
2	1.5	1.5	0.45	6.2	10.3	2.0	4.2	8.2	14.5
3*	1.5	1.0	0.44	6.4	10.6	2.0	4.2	8.4	14.8
4*	1.8	1.5	0.45	5.4	9.8	1.8	4.1	8.3	13.9
5.3.1	1.4	0	0.46	5.0	9.3	2.2	4.3	7.2	13.6
2	1.4	0	0.46	5.7	10.0	2.0	4.3	7.7	14.3
3*	1.4	1.0	0.46	6.2	10.4	2.1	4.4	8.3	14.7
4*	2.5	-1.0	0.47	6.0	10.7	1.7	4.0	7.7	14.7
5*	1.4	0.5	0.44	5.5	9.6	1.9	4.0	7.3	13.6
6*	1.7	1.5	0.45	5.7	10.0	1.8	4.0	7.5	14.1
5.4.1	1.4	2.0	0.47	6.0	9.8	2.2	4.5	8.2	14.3
2	1.5	1.0	0.45	5.8	9.6	2.4	4.8	8.2	14.4
3*	1.8	1.5	0.48	6.7	11.0	2.4	4.9	9.1	15.9
4*	2.3	2.0	0.45	6.2	10.5	2.1	4.4	8.2	14.8
5*	1.9	2.0	0.47	5.5	9.9	2.9	4.3	7.4	14.2

Appendix—Continued

No.	r_{20}	h	G	Tangential, to		Radial, to		Volumetric, to	
				15%	ov. dry	15%	ov. dry	15%	ov. dry
5.5.1	1.4	1.0	0.50	5.9	9.7	2.2	4.6	8.0	14.3
2	1.6	2.0	0.48	6.0	10.2	2.1	4.4	8.1	14.6
3*	1.6	0.5	0.46	6.6	10.8	2.0	4.3	8.6	15.0
4*	1.9	1.0	0.44	5.7	10.1	1.6	4.1	7.2	14.2
5*	1.7	1.5	0.45	5.6	9.9	1.9	4.0	7.4	13.9
5.6.1	1.5	1.0	0.47	5.4	9.4	1.9	4.1	7.3	13.5
2	1.7	1.0	0.47	6.6	10.7	2.2	4.3	8.8	15.1
3*	1.9	1.5	0.47	7.1	11.3	2.2	4.6	9.3	15.9
4*	2.1	0.5	0.46	5.9	10.4	2.0	4.1	7.9	14.5
5*	2.2	2.0	0.46	5.8	10.2	1.8	4.0	7.6	14.2
5.7.1	1.8	0	0.47	5.5	9.6	2.2	4.5	7.7	14.1
2	1.6	1.0	0.47	6.4	10.3	2.6	5.0	9.0	15.3
3*	1.7	0.5	0.47	6.8	11.1	2.1	4.4	8.8	15.5
4*	1.8	1.0	0.46	6.1	10.0	2.0	4.0	8.0	14.0
5*	1.4	2.5	0.46	5.8	10.0	1.9	4.1	7.6	14.1
5.8.1	2.1	0.5	0.49	6.3	10.6	1.9	4.0	8.1	14.6
2*	1.1	3.0	0.45	6.1	10.0	2.2	4.3	8.4	14.2
3*	1.2	0.5	0.43	5.2	9.4	1.7	4.0	6.9	13.4
4*	1.5	1.0	0.44	5.1	9.2	1.7	3.9	6.8	13.1
6.1.1	1.1	0	0.50	5.5	9.4	2.0	4.2	7.4	13.6
2	2.3	0.5	0.54	7.5	12.2	2.3	4.9	9.8	17.1
3	1.6	1.5	0.57	7.9	12.8	2.1	4.9	10.0	17.7
4*	1.1	2.0	0.59	8.2	13.0	3.1	5.9	11.3	18.9
6.2.1	1.2	0	0.50	6.0	9.9	2.3	4.8	8.2	14.6
2	2.5	1.0	0.55	7.6	12.4	2.1	4.5	9.7	16.9
3	1.9	1.0	0.55	8.2	12.9	2.1	4.9	10.3	17.8
6.3.1	1.4	0.5	0.50	5.5	9.4	2.2	4.7	7.7	14.1
2	3.0	1.0	0.55	7.3	12.0	2.4	5.2	9.7	17.2
3	2.5	1.0	0.56	7.8	12.4	2.3	5.1	10.1	17.5
4	3.0	1.0	0.54	8.6	13.0	2.9	5.6	11.5	18.6
5	1.1	2.0	0.53	8.9	13.6	3.2	6.1	12.1	19.7
6*	0.2	3.0	0.55	6.9	11.3	2.9	6.0	9.7	17.3
6.4.1	4.3	2.0	0.55	6.1	10.7	2.3	5.2	8.4	15.9
2	3.4	1.5	0.54	6.6	11.2	2.1	4.6	8.7	15.9
3	3.7	0.5	0.55	7.3	12.0	2.2	4.9	9.4	16.9
4	4.4	1.0	0.58	7.2	12.5	2.0	4.7	9.2	17.2
5	3.7	0	0.56	7.5	12.6	2.1	4.7	9.6	17.3
6.5.1	4.2	1.0	0.57	7.9	12.6	1.9	4.5	9.8	17.1
2	4.9	2.0	0.59	7.5	12.3	1.8	4.6	9.3	16.8
3	3.7	1.0	0.59	7.5	12.2	2.2	5.0	9.6	17.2
4	4.3	0.5	0.58	8.8	13.2	2.2	4.7	11.0	17.9
5	4.9	0.5	0.58	7.6	11.7	2.0	4.6	9.6	16.3
6	4.9	0.5	0.58	7.4	12.3	2.0	4.6	9.4	16.8
7	3.0	1.0	0.53	8.0	12.6	2.5	5.1	10.5	17.7
8	3.4	2.0	0.51	8.3	13.0	2.6	5.2	10.9	18.2
9	3.7	1.5	0.52	8.0	12.5	2.5	5.0	10.4	17.6
10	0.9	3.0	0.57	7.7	11.8	2.9	5.4	10.6	17.1
6.6.1	3.4	0.5	0.58	8.4	13.0	1.9	4.6	10.3	17.5
2	3.3	1.0	0.59	7.5	12.7	1.8	4.8	9.3	17.5
3	4.3	0	0.60	9.0	14.1	2.2	5.1	11.1	19.2
4	3.3	0	0.60	8.3	13.6	2.1	5.0	10.4	18.5
5	4.3	0	0.58	7.9	12.7	2.3	5.1	10.2	17.8
6	3.0	0.5	0.58	7.5	12.3	2.1	4.3	9.6	16.6
7	2.3	0.5	0.52	7.6	12.4	2.6	6.0	10.3	18.4

Appendix—Continued

No.	r_w	h	G	Tangential, to		Radial, to		Volumetric, to	
				15%	ov. dry	15%	ov. dry	15%	ov. dry
6.7.1	2.8	0	0.55	7.3	12.1	2.4	5.2	9.7	17.3
2	2.7	1.0	0.57	7.8	12.5	2.3	5.1	10.1	17.7
3	3.8	0.5	0.59	7.7	12.5	2.1	4.8	9.8	17.3
4	3.8	1.0	0.59	7.3	12.1	2.0	4.7	9.3	16.8
5	2.2	1.5	0.54	8.9	13.8	2.8	5.5	11.6	19.2
6	2.7	2.0	0.54	8.9	13.7	2.9	5.9	11.8	19.6
6.8.1	1.1	0	0.53	6.4	10.4	2.2	4.6	8.6	15.0
2	2.5	1.0	0.55	7.2	11.6	2.2	4.9	9.3	16.6
3	1.9	2.0	0.57	8.2	13.5	2.3	5.3	10.5	18.8
4	2.8	2.0	0.61	8.7	13.9	2.6	5.8	11.3	19.6
7.1.1	1.4	0.5	0.47	4.9	9.0	1.8	4.1	6.7	13.1
2	1.9	0	0.52	6.6	11.4	1.9	4.6	8.5	16.0
3	2.1	2.0	0.53	7.5	12.6	2.4	5.4	9.9	18.0
4	2.7	0.5	0.54	8.8	14.0	2.6	5.4	11.4	19.4
7.2.1	1.3	0.5	0.48	4.7	8.7	1.8	4.4	6.6	13.1
2	2.7	2.0	0.53	6.8	11.6	2.2	4.9	9.0	16.5
3	2.7	2.0	0.54	7.9	12.7	2.4	5.3	10.3	18.0
4	2.3	1.5	0.53	7.9	12.7	2.4	5.2	10.3	17.9
7.3.1	1.5	0.5	0.49	5.1	9.5	1.7	4.2	6.8	13.7
2	2.5	1.0	0.53	6.3	10.7	2.0	4.8	8.3	15.5
3	2.3	0.5	0.56	8.3	13.2	2.5	5.3	10.8	18.6
4	2.1	1.5	0.55	8.0	13.2	2.5	5.4	10.5	18.6
5	1.4	3.0	0.56	7.8	12.9	2.3	5.2	10.1	18.0
7.4.1	1.9	0	0.52	7.2	12.1	2.0	4.6	9.2	16.7
2	2.0	0.5	0.53	7.3	12.2	1.8	4.6	9.1	16.8
3	3.4	2.0	0.58	7.0	12.2	1.9	4.3	8.9	16.5
4	1.9	1.0	0.59	7.7	12.8	2.3	5.3	10.0	18.1
7.5.1	3.0	0	0.55	6.8	11.7	1.5	4.2	8.3	15.8
2	3.0	0	0.59	6.9	12.0	1.8	4.5	8.7	16.5
3	3.4	1.5	0.58	7.3	12.4	1.8	4.6	9.0	17.0
4	3.0	1.0	0.59	6.7	12.2	1.5	4.4	8.2	16.5
5	2.0	2.0	0.59	7.4	12.9	1.8	4.8	9.2	17.7
6	1.3	2.0	0.53	7.8	13.1	2.3	5.1	10.1	18.2
7.6.1	2.3	1.0	0.57	8.7	13.6	1.5	4.5	10.2	18.1
2	3.3	0	0.59	8.1	13.1	2.0	4.9	10.2	18.0
3	2.7	0	0.60	7.8	13.0	2.0	5.1	9.8	18.0
4	2.8	1.0	0.58	7.0	12.1	1.8	4.7	8.7	16.8
5	2.0	2.0	0.58	7.5	12.4	2.4	5.4	9.8	17.8
7.7.1	1.6	0.5	0.55	8.4	13.2	2.3	5.0	10.7	18.2
2	2.7	1.5	0.58	8.0	13.1	2.2	4.9	10.1	18.0
3	2.7	0	0.55	7.5	12.4	2.2	4.9	9.8	17.3
4	2.2	1.5	0.53	7.6	12.3	2.3	5.1	9.9	17.4
5	2.2	1.5	0.55	7.6	12.6	2.6	5.3	10.1	17.9
7.8.1	1.2	0	0.47	6.1	10.3	1.8	4.5	7.9	14.7
2	2.5	0.5	0.51	6.9	11.6	2.2	4.9	9.0	16.5
3	2.0	0.5	0.51	7.0	11.7	2.5	5.2	9.4	16.9
4	2.3	1.5	0.54	7.5	12.5	2.4	5.6	9.9	18.1
8.1.1	1.2	0	0.50	5.4	9.4	1.9	4.4	7.3	13.8
2	2.7	1.0	0.53	6.7	11.7	1.9	4.8	8.6	16.5
3	1.9	1.5	0.50	6.3	11.3	2.0	4.5	8.3	15.7
4*	1.5	3.0	0.50	6.7	11.7	2.3	5.1	9.0	16.8

Appendix—Continued

No.	r_w	h	G	Tangential, to		Radial, to		Volumetric, to	
				15%	ov. dry	15%	ov. dry	15%	ov. dry
8.2.1	1.4	0.5	0.49	4.7	8.8	1.8	4.1	6.5	12.8
2	2.5	1.0	0.52	6.1	11.0	1.7	4.1	7.7	15.2
3	2.0	1.5	0.50	6.4	11.3	2.0	4.5	8.3	15.8
4	2.2	2.0	0.52	6.5	11.1	2.0	4.5	8.5	15.6
8.3.1	1.6	1.0	0.47	2.9	10.7	1.4	3.6	4.3	14.3
2	1.9	2.0	0.51	6.5	11.6	1.6	4.1	8.1	15.7
3	2.3	2.5	0.52	7.2	12.3	2.0	4.6	9.2	16.9
4	2.5	2.0	0.54	7.4	12.2	2.0	4.3	9.4	16.4
8.4.1	1.4	-0.5	0.49	5.6	10.5	1.7	3.9	7.3	14.4
2	2.5	0	0.52	6.3	10.9	1.8	4.3	8.1	15.2
3	2.1	0	0.50	7.0	11.8	2.2	4.8	9.2	16.6
4	2.3	1.0	0.53	7.7	12.7	2.4	5.1	10.1	17.7
8.5.1	1.9	1.0	0.50	5.6	9.9	1.7	4.2	7.3	14.2
2	3.0	1.0	0.58	7.1	12.2	1.7	4.6	8.7	16.8
3	2.8	1.5	0.55	6.4	12.2	1.7	4.7	8.1	16.9
4	2.6	1.5	0.54	7.5	12.8	2.3	5.2	9.8	18.0
5	2.7	1.5	0.56	7.1	12.5	1.9	4.6	9.0	17.2
8.6.1	2.5	0	0.52	6.6	11.6	1.7	4.1	8.3	15.7
2	2.8	0.5	0.56	7.1	12.0	1.7	4.3	8.8	16.3
3	3.7	0.5	0.57	7.1	12.4	1.9	4.7	9.0	17.1
4	2.7	0	0.57	7.7	13.0	2.1	4.7	9.7	17.7
5*	2.6	1.5	0.57	7.7	13.0	1.2	4.8	9.6	17.8
8.7.1	1.6	1.0	0.48	6.2	10.4	2.0	4.5	8.2	14.9
2	2.5	2.0	0.56	6.8	12.1	1.9	4.7	8.7	16.7
3	2.0	3.0	0.58	7.2	12.4	2.5	5.6	9.7	17.9
4	2.5	3.5	0.53	6.7	11.7	2.6	5.7	9.3	17.4
5*	0.7	3.5	0.55	7.1	11.9	2.6	5.6	9.7	17.6
8.8.1	1.1	0	0.47	6.3	11.7	1.9	4.1	8.2	15.8
2	2.4	2.0	0.52	7.1	12.2	2.0	4.6	9.1	16.8
3	2.2	2.0	0.50	7.3	12.2	2.0	4.4	9.3	16.6
9.1.1	1.5	1.0	0.49	4.4	10.4	2.1	4.4	6.6	14.7
2	3.0	1.0	0.58	8.0	13.1	2.0	4.9	10.0	18.0
3	2.4	0	0.50	6.2	11.1	2.3	4.6	8.5	15.6
4	2.5	2.0	0.51	6.8	11.4	2.4	5.3	9.2	16.7
5*	1.8	2.0	0.52	7.4	12.3	3.9	6.5	11.3	18.8
9.2.1	1.8	1.5	0.48	5.7	9.5	1.9	4.4	7.6	13.9
2	2.5	1.0	0.54	6.9	11.9	1.7	4.2	8.5	16.1
3	2.2	1.5	0.50	7.0	11.5	2.2	5.0	9.2	16.5
9.3.1	1.8	0	0.47	6.6	10.8	2.0	4.4	8.5	15.2
2	1.7	1.5	0.48	6.1	10.3	2.0	4.4	8.1	14.7
3	2.0	2.0	0.50	7.3	11.9	2.1	4.6	9.4	16.5
9.4.1	1.1	0	0.46	5.3	8.7	2.0	4.3	7.3	13.0
2	2.3	2.0	0.49	6.5	10.7	2.1	4.5	8.5	15.2
9.5.1	2.5	0	0.53	6.6	11.5	2.2	4.7	8.8	16.2
2	1.4	1.5	0.49	5.8	9.7	2.1	4.5	7.9	14.2
3	2.0	0	0.51	7.1	11.6	2.2	4.7	9.3	16.3
9.6.1	3.7	0	0.57	5.2	8.4	2.2	5.0	7.3	13.4
2	1.6	1.0	0.54	5.2	8.8	2.4	5.2	7.6	13.9
3	3.3	0.5	0.53	7.2	11.5	2.1	4.8	9.3	16.3
4	2.3	2.0	0.53	7.4	11.9	2.6	4.7	10.0	16.5

Appendix—Continued

No.	r_w	h	G	Tangential, to		Radial, to		Volumetric, to	
				15%	ov. dry	15%	ov. dry	15%	ov. dry
9.7.1	2.5	0.5	0.56	7.1	11.8	2.0	4.4	9.1	16.2
2	1.7	1.5	0.51	5.7	9.6	2.0	4.5	7.6	14.1
3	2.8	2.0	0.54	6.6	11.2	2.1	4.7	8.7	15.9
4	3.0	2.0	0.52	6.7	11.2	2.2	4.9	8.9	16.1
5	2.8	2.5	0.53	6.9	11.7	2.5	5.3	9.4	17.0
6*	0.7	4.0	0.54	6.5	10.7	2.6	5.5	9.2	16.2
9.8.1	2.0	0	0.54	6.7	11.4	1.8	4.4	8.5	15.7
2	2.0	0	0.53	6.7	11.2	1.8	4.2	8.5	15.5
3	2.2	0.5	0.49	7.4	11.7	2.2	4.5	9.6	16.2
4	2.7	1.5	0.49	7.3	11.7	2.7	4.8	10.0	16.5
10.1.1	1.0	2.0	0.49	5.7	8.9	2.3	4.7	8.0	13.6
2	2.5	1.0	0.51	6.8	10.5	2.2	4.7	8.9	15.3
3	3.1	5.5	0.55	7.2	11.7	2.7	5.5	9.9	17.2
10.2.1	1.3	0.5	0.48	6.0	9.5	2.0	4.4	8.0	13.9
2	2.2	2.0	0.54	6.8	10.7	2.3	4.9	9.1	15.6
10.3.1	1.2	0.5	0.51	6.7	10.1	2.4	4.6	9.0	14.7
2	2.5	1.0	0.56	7.1	10.6	2.0	4.5	9.0	15.1
3	2.5	2.0	0.55	8.0	12.2	2.3	4.7	10.2	16.9
10.4.1	1.1	-0.5	0.52	6.9	10.3	2.1	4.5	9.0	14.8
10.5.1	1.6	1.0	0.50	6.9	10.6	2.0	4.6	8.9	15.2
2	1.8	1.5	0.53	6.9	10.7	2.2	4.7	9.1	15.4
3	2.3	1.0	0.52	7.6	11.7	2.3	5.0	9.9	16.7
4	1.6	3.5	0.53	7.5	11.7	2.6	5.2	10.1	16.8
10.6.1	1.9	1.5	0.52	6.2	10.3	1.7	4.4	7.9	14.7
2	2.5	1.5	0.56	7.6	12.0	2.0	4.7	9.5	16.7
3	2.8	2.0	0.51	7.1	11.1	2.4	4.9	9.4	16.0
10.7.1	3.3	0.5	0.56	8.1	12.9	1.6	4.6	9.6	17.5
2	2.0	1.0	0.52	7.4	11.5	2.2	4.5	9.5	15.9
3	2.4	2.0	0.50	7.3	11.2	2.4	4.7	9.6	15.9
4	2.7	3.0	0.51	7.4	11.5	2.5	4.9	9.9	16.4
5	3.3	3.0	0.53	7.3	11.7	2.6	5.4	9.9	17.0
10.8.1	2.7	0	0.51	6.7	10.8	1.9	4.1	8.5	14.9
2	1.5	1.5	0.49	6.9	10.7	2.1	4.4	9.0	15.1
3	2.7	0	0.53	7.1	10.7	2.2	4.6	9.3	16.3