



Title	北海道大学構内の緑化木の収縮率と強度特性
Author(s)	小泉, 章夫; 寺西, 真隆; 平井, 卓郎
Citation	北海道大学演習林研究報告, 64(2), 91-104
Issue Date	2007-09
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/30296
Type	departmental bulletin paper
File Information	64(2)_91-104.pdf



北海道大学構内の緑化木の収縮率と強度特性

小泉 章夫¹ 寺西 真隆¹ 平井 卓郎¹

Shrinkage and Mechanical Properties of Wood Sampled from the
Trees Planted in Hokkaido University

by

Akio KOIZUMI¹, Masataka TERANISHI¹, Takuro HIRAI¹

要 旨

広葉樹を中心とした緑化木樹種の材質特性を明らかにすることを目的として研究を行なった。北海道大学構内、および北海道大学植物園に生育していた台風0418によって被害を受けた緑化木28樹種の53個体について、木材の収縮率と強度特性を測定した。実験は接線方向・半径方向の収縮率の測定、軟X線デンシトメトリによる1年輪ごとの密度の測定、および無欠点小試験体のヤング率、せん断弾性係数、曲げ強さ、縦圧縮強さ、部分圧縮強さ、せん断強さ、および硬さの測定を行なった。年輪幅と密度の関係は、広葉樹環孔材で年輪幅が2～3 mmまでの範囲で正の相関、散孔材では年輪幅に関わらず、密度は一定値をとる傾向が見られた。いくつかの樹種では、形成層年齢の若い部位のせん断弾性係数に対するヤング率の比がやや小さく、未成熟材部でマイクロフィブリル傾角が大きいことの影響が考えられた。比ヤング率はハコヤナギ属などいくつかの樹種で大きかった。ニセアカシア材は測定したすべての強度特性において高い値を示し、肥大成長も旺盛であった。

キーワード：広葉樹，収縮率，強度特性，未成熟材，風害

2007年2月28日受付， Received February 28, 2007

2007年7月2日受理， Accepted July 2, 2007

1：北海道大学大学院農学研究院木材工学研究室（060-8589 札幌市北区北9条西9丁目）

Laboratory of Timber Engineering, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, 060-8589 Japan

1. はじめに

住宅や木質構造の設計において、地震や風、積雪荷重などの外力に対する構造の安全性を把握しておくことはきわめて重要である。このため、構造材に使用される針葉樹材、とくに造林木の強度性能については、そのばらつきも含めて数多くの実験データが蓄積されている。しかし、広葉樹材については、建築構造材や椅子などの人体系家具に使われる一部の樹種を除いて、データが少ないのが現状である。広葉樹の有用樹種について、無欠点小試験体の強度や収縮率が示されているものの（Forest Products Laboratory 1987；日本木材加工技術協会 1989）木材用途が想定されていない緑化木樹種については強度に関する実験例は少ない。

2004年9月に北海道に接近した台風0418は北海道の森林と緑化樹に大きな被害をもたらした。このうち緑化木の被害は公園樹と街路樹をあわせて3551本と報告されている（北海道林業試験場緑化樹センター2005）。植物園を含む北海道大学構内でも多くの緑化木が風倒害を受けたため、これらの樹種の試験材料を入手する機会を得た。

本報告の目的は通常入手困難なこれらの緑化木樹種材の収縮率、密度、強度特性について考察し、基礎的な資料を提供することである。

2. 供試木と試験方法

2. 1 供試材料

北海道大学構内および植物園における台風0418による被害木のうち、Table 1に示す28樹種（広葉樹環孔材9、広葉樹散孔材17、針葉樹2）53個体から長さ50cm程度の丸太を87本採取した。これらの丸太は腐朽や傷害のない通直なものを選んでおり、採材高さは不明である。供試木数は1樹種につき、1個体しかないものが多いが、シンジュ、ニセアカシア、ハルニレ、ネグンドカエデの4樹種については5個体以上の供試木から丸太を得た。これらの丸太から髓を含む厚さ3cm程度の柁目板を一枚ずつ製材し、気乾状態で乾燥した。

2. 2 収縮率の測定

28樹種からヒッコリー、ハンノキ、ナナカマドを除く25樹種82枚の柁目板の樹皮側と髓側から1片ずつ収縮率測定用の木口切片（30×30mm²断面、5mm厚）を採取した。収縮率試験片はJIS-Z2101に準じて飽水

状態、気乾状態（平均含水率13.8%）、および全乾状態で寸法を測定し、接線方向および半径方向の含水率1%あたりの平均収縮率（ β_T , β_R ）を算出した。

2. 3 軟X線デンシトメトリによる密度分布測定

上記の25樹種のうち67枚の柁目板から1枚ずつ厚さ3.1mmの木口面切片をツインソーで切削し、含水率12%に調湿後に年輪撮影用軟X線装置（ソフテックス EMBW 特型）を用いて軟X線写真を撮影した。照射条件は電圧：17kV、電流：6mA、照射時間は4分間とした。現像したフィルムをイメージスキャナ（キャノン製、CanoScan 9950F）で解像度600DPI（0.0423mm/ピクセル）階調8ビットのグレイスケールで読み取り、標準吸収帯と試片の画像の濃度を解析して、髓から両側の樹皮までの密度分布を算出して両者を平均した。各試片の走査直交方向の読み取り幅は10ピクセル（0.42mm）とした。

2. 4 無欠点小試験体の強度試験

28樹種87枚の柁目板の樹皮側から連続的に無欠点小試験体（20×20mm²断面、300mm長さ、総数295体）を採材した。各試験体について断面中央の髓からの年輪数を測定して形成層年齢（CA）とした。

無欠点小試験体は振り剛性試験（Koizumi et al. 2003）によってせん断弾性係数（ G ）を、縦振動試験によって動的ヤング率（ E_d ）を測定した。その後、JIS Z2101にしたがって、平均年輪幅（ ARW ）、気乾比重（ SG ）、曲げヤング率（ E_b ）、曲げ強さ（ MOR ）、縦圧縮強さ（ CS ）、せん断強さ（ SS ）、ブリネル硬さ（ H ）、部分圧縮強さ（ LBS ）を測定した。また、曲げ靱性の指標として、曲げ破壊試験時の荷重たわみ曲線を最大荷重まで積分して曲げひずみエネルギー（ U_b ）を求めたほか、最大荷重と最大荷重時のたわみの積で表される矩形面積に対する U_b の比をテトマイヤー係数（雫子谷 2005）として算出した。

試験時の含水率は平均で12.4%であった。

3. 結果と考察

3. 1 収縮率

各柁目板から採取した収縮率試験片のうち、髓側試験片の形成層年齢は10年未満のものもあり、未成熟材の影響を無視できない。そこで試験片の形成層年齢10年未満のものをコア材、10年以上のものをアウター材と定義して、樹種ごとにそれらの接線方向、半径方

Table 1. Species and number of specimens tested for shrinkage and mechanical properties.

No.	Species	Number of specimens			
		Trees	Logs	Radial strips ^{*1}	Small clear specimens
Ring-porous hardwoods					
1	<i>Ailanthus altissima</i> (シンジュ)	7	14	10	37
2	<i>Carya ovata</i> ^{*2} (ヒッコリー)	1	1	0	12
3	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> (アオトネリコ)	2	2	2	5
4	<i>Gleditsia triacanthos</i> ^{*2} (アメリカサイカチ)	1	1	1	7
5	<i>Kalopanax pictus</i> (ハリギリ)	1	1	2	3
6	<i>Phellodendron amurense</i> (キハダ)	1	1	1	2
7	<i>Quercus rubra</i> (アカナラ)	1	1	1	4
8	<i>Robinia pseudoacacia</i> (ニセアカシア)	6	9	9	27
9	<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> (ハルニレ)	6	10	4	27
Diffuse-porous hardwoods					
10	<i>Acer mono</i> (イタヤカエデ)	1	2	1	6
11	<i>Acer negundo</i> (ネグンドカエデ)	5	10	7	38
12	<i>Aesculus glabra</i> ^{*2} (ヒメトチ)	1	1	1	5
13	<i>Alnus japonica</i> (ハンノキ)	2	2	0	20
14	<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i> (シラカンバ)	1	2	1	6
15	<i>Juglans ailanthifolia</i> (オニグルミ)	1	2	2	7
16	<i>Juglans regia</i> ^{*2} (カシグルミ)	1	1	1	6
17	<i>Magnolia heptapeta</i> ^{*2} (ハクモクレン)	1	2	2	9
18	<i>Magnolia kobus</i> var. <i>borealis</i> (キタコブシ)	1	2	2	7
19	<i>Ostrya japonica</i> (アサダ)	1	2	2	5
20	<i>Populus nigra</i> var. <i>italica</i> (イタリアクロボプラ)	1	2	2	7
21	<i>Populus sieboldii</i> (ヤマナラシ)	1	2	1	4
22	<i>Prunus padus</i> ^{*2} (エゾノウワミズザクラ)	1	2	2	6
23	<i>Prunus sargentii</i> ^{*2} (エゾヤマザクラ)	2	2	4	7
24	<i>Salix hultenii</i> var. <i>angustifolia</i> (エゾノバッコヤナギ)	1	2	2	4
25	<i>Sorbus commixta</i> (ナナカマド)	1	2	0	11
26	<i>Tilia japonica</i> (シナノキ)	1	2	2	6
Softwoods					
27	<i>Ginkgo biloba</i> (イチョウ)	3	5	4	13
28	<i>Pinus bungeana</i> ^{*2} (シロマツ)	1	2	1	4
Total		53	87	67	295

^{*1}: Specimens for soft X-ray densitometry, ^{*2}: Collected from Hokkaido University Botanic Garden

向の収縮率 (β_T , β_R), および異方度 (β_T/β_R) を求めて Table 2 に掲げた。コア材の収縮率に対してアウター材のそれは、全樹種の平均で、接線方向、半径方向についてそれぞれ、1.38%, および2.83%増加した。アウター材に比べてコア材の収縮率が小さかったものは、コア材部が未成熟材を含み、ミクロフィブリル傾

角が大きかったのかもしれない。

樹種ごとのアウター材に関する比重と平均収縮率の関係ではエゾノウワミズザクラとシナノキがやや大きな収縮率を示し、全体としては弱い正の相関を示した (Fig. 1)。

収縮異方度 (β_T/β_R) は幅反りといった狂いに影

Table 2. Shrinkage of sample species for outerwood and corewood.

Species *	Sampling position	Number of specimen	Cambial age	Specific gravity	β_T (%)	β_R (%)	T/R ratio
1	Core	8	8.4	0.606	0.328	0.131	2.5
	Outer	20	19.0	0.654	0.337	0.144	2.4
3	Outer	4	14.3	0.724	0.311	0.204	1.6
4	Outer	2	54.8	0.703	0.355	0.201	1.8
5	Core	2	19.8	0.621	0.318	0.188	1.7
6	Outer	2	25.3	0.524	0.295	0.178	1.7
7	Core	1	9.0	0.740	0.391	0.167	2.3
	Outer	1	38.0	0.691	0.340	0.138	2.5
8	Core	8	7.0	0.751	0.311	0.216	1.4
	Outer	10	16.0	0.737	0.332	0.204	1.6
9	Core	4	7.3	0.634	0.374	0.110	3.7
	Outer	16	50.9	0.621	0.397	0.191	2.1
10	Outer	4	33.8	0.648	0.327	0.127	2.6
11	Core	6	6.2	0.605	0.403	0.135	3.0
	Outer	14	18.4	0.607	0.344	0.115	3.1
12	Outer	2	40.3	0.471	0.291	0.104	3.0
14	Outer	4	23.0	0.577	0.330	0.170	2.0
15	Core	2	7.5	0.526	0.248	0.159	1.6
	Outer	2	18.5	0.580	0.361	0.256	1.4
16	Outer	2	28.5	0.582	0.291	0.159	1.8
17	Outer	4	30.8	0.495	0.266	0.140	1.9
18	Outer	4	21.5	0.517	0.319	0.132	2.5
19	Outer	4	45.3	0.739	0.324	0.205	1.6
20	Core	2	6.0	0.463	0.358	0.139	2.6
	Outer	2	16.0	0.446	0.291	0.102	2.9
21	Core	2	7.0	0.495	0.290	0.154	1.9
	Outer	2	17.0	0.455	0.260	0.082	3.2
22	Outer	4	24.8	0.514	0.447	0.243	1.9
23	Core	2	8.5	0.722	0.391	0.174	2.3
	Outer	2	18.2	0.676	0.392	0.175	2.3
24	Core	2	7.5	0.501	0.232	0.056	4.2
	Outer	2	18.5	0.466	0.263	0.072	3.7
26	Outer	4	16.0	0.447	0.386	0.246	1.6
27	Core	4	7.0	0.436	0.161	0.125	1.5
	Outer	6	24.8	0.471	0.156	0.086	1.9
28	Outer	4	19.8	0.445	0.196	0.124	1.6

*. Species numbers are listed in Table 1, β_T : Tangential shrinkage per 1%-moisture-content decrease, β_R : Radial shrinkage per 1%-moisture-content decrease, T/R ratio: β_T/β_R

Note: Outerwood and corewood are defined as the wood outside of the 10th ring from the pith and inside of the 9th ring from the pith, respectively.

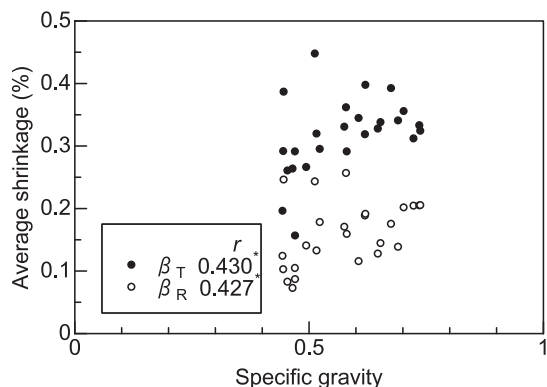


Fig. 1. Correlation between specific gravity and average shrinkage of outerwood (outside of the 10th ring from the pith). β_T , β_R : The same as in Table 2, r : Correlation coefficients, *: Significant at 5% level.

響する因子である。アウター材の収縮異方差は平均で2.14であり、コア材の値に対して4.86%大きかった。

3. 2 年輪幅と密度の関係

樹木の肥大成長と木部の密度には密接な関連があり、一般に、木材の年輪幅と密度の間には広葉樹環孔材では正の相関、散孔材で無相関、針葉樹材では負の相関が認められる (Kollman and Côté 1968)。軟X線デンシトメトリ解析を行なった25樹種について、樹種ごとの年輪幅と気乾密度の関係を誤差棒グラフとして Fig. 2 に示した。環孔材では年輪幅が2～3 mm までの範囲で正の相関が認められた。3～10 mm の範囲ではシンジュを除いて密度の変化はみられなかった。シンジュでは年輪幅7 mm 以上で密度が減少する傾向が見られた。散孔材では年輪幅に関わらず、密度は一定値をとる傾向が認められた。

3. 3 強度特性

針葉樹造林木では初期肥大成長を促進させる結果、未成熟材の材積が大きくなり、その利用材質が問題となることが多い。広葉樹の未成熟材に関する研究例は少ないが、渡辺ら (1966) はポプラ、シノキ、ミズナラについて、繊維長とマイクロフィブリル傾角に関して髓から20年輪までの範囲に未成熟領域が存在すること、ただし、成熟材部との材質差は小さいことを報告している。繊維長の強度特性への影響は明らかではないが、マイクロフィブリル傾角が大きいものはヤング率が小さく、反対にせん断弾性係数は大きくなる。

そこで、試験体数を多く得た4樹種について、形成層年齢と E_d/G の関係を調べた (Fig. 3)。形成層年齢20年までの範囲でハルニレ、シンジュでは1%水準で有意な正の相関が認められ、マイクロフィブリル傾角がこの領域で減少していることの影響が推察された。しかし、ニセアカシアとネグンドカエデでは無相関であった。ネグンドカエデでは形成層年齢が8～20年の範囲で E_d/G が5以下のものも見られ、木繊維の通直性がよくないことの影響が考えられた。本研究では形成層年齢が10年以上のアウター材を成熟材部に相当する領域として、それらの強度特性について樹種ごとの平均値と標準偏差を Table 3 に示した。以後、アウター材の強度特性について考察する。

縦振動法による動的ヤング率 (E_d) は実大材において簡便に測定することができ、強度の指標として使われることが多い。無欠点小試験体についても、曲げ試験から得られた静的ヤング率 (E_b) との相関は大きく、両者の比 (E_b/E_d) は平均で0.785であった (Fig. 4)。このように E_b の方が小さかったのは、 E_b の計算に用いた曲げたわみが12%程度のせん断付加たわみを含んでいることも理由の一つである。

比ヤング率 (比重に対するヤング率の比) は音響特性や比強度などに影響し、材料の用途を考える上で重要な非破壊材質指標の一つである。今回の測定ではイタリアカロポプラ、シナノキ、オニグルミ、ヤマナラシの E_d/SG が大きく、ナナカマド、イチョウ、カシグルミ、ヒメトチのそれらは小さかった (Table 3, Fig. 5)。

曲げ強さをはじめとする強度は比重の影響が大きい。一例として気乾比重と曲げ強さの樹種ごとの関係を Fig. 6 に示す。相関は大きい、ニセアカシア、キハダ、オニグルミのように比強度の大きな樹種、ハリギリ、ヒメトチのように比強度の小さな樹種もみられた (Table 3)。

ニセアカシアは曲げ強さのみならず、縦圧縮強さ、せん断強さ、部分圧縮強さ、硬さにおいても最大値を示した。台風0418に関する北海道の被害調査では、ニセアカシア緑化木は他樹種にくらべて風倒害、とくに根返りが多く発生した (北海道林業試験場緑化樹センター 2005)。旺盛な成長を示し樹高が高くなるニセアカシアは樹冠に大きな風圧を受け、かつ、根元に作用するモーメントも大きくなるので、根返りが起きやすくなると考えられる。また、加齢や直径成長にともなって、心材腐朽が生じやすくなることの影響も考え

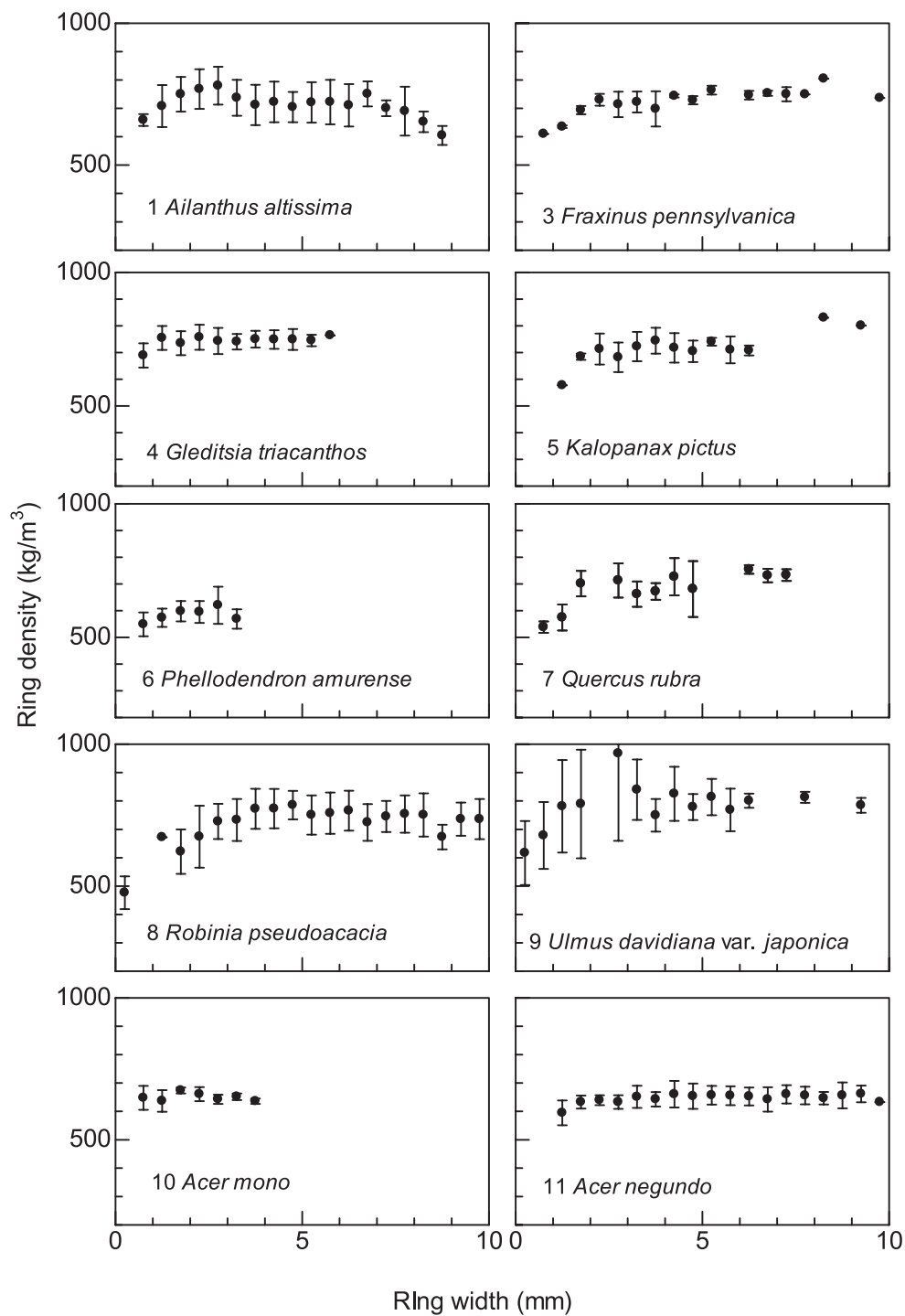


Fig. 2. Relationship between ring width and ring density (average density within a ring) obtained from soft X-ray densitometry analysis.

Black circles and error bars denote averages and standard deviations calculated at 0.5mm intervals of ring width.

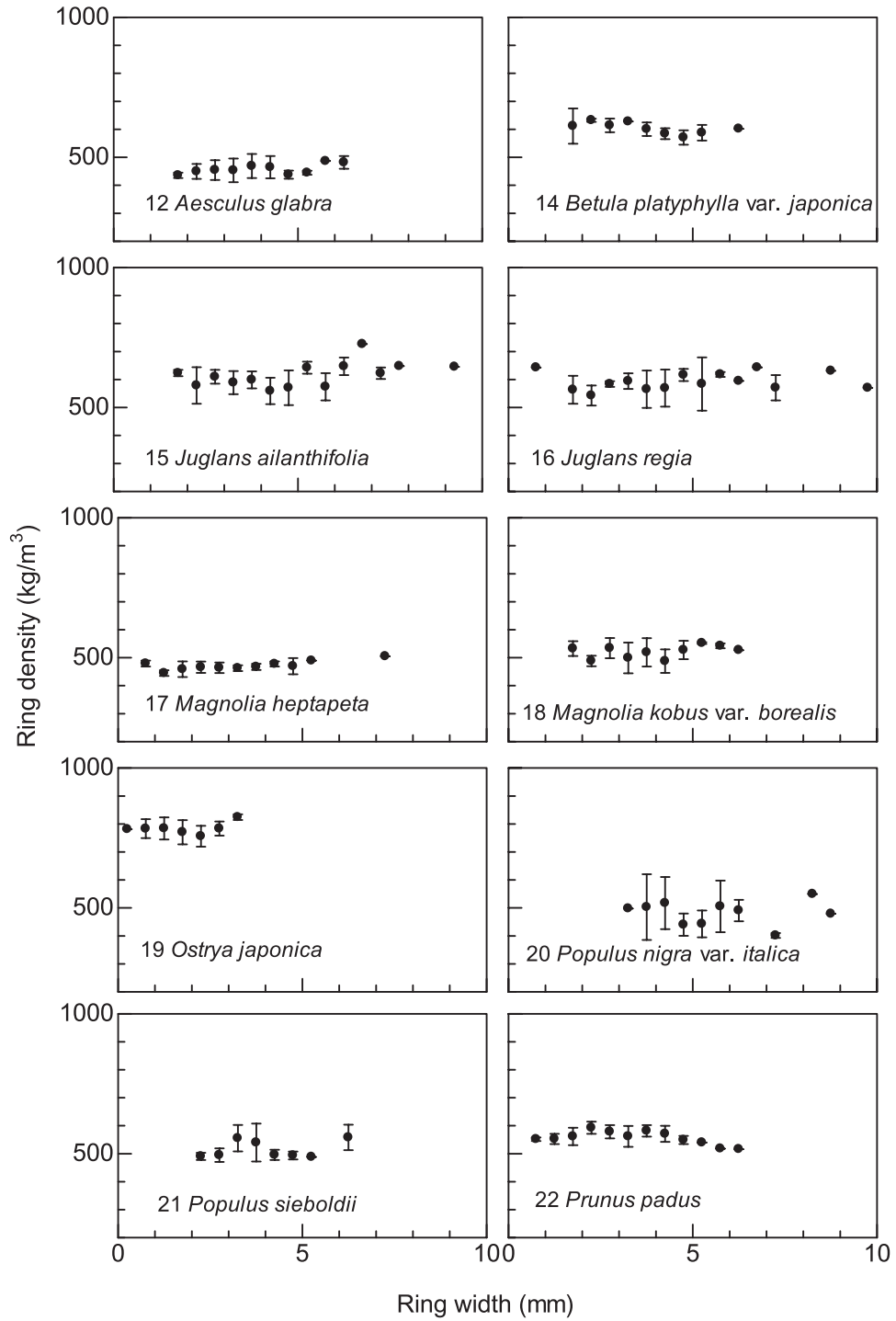


Fig. 2. (Continued)

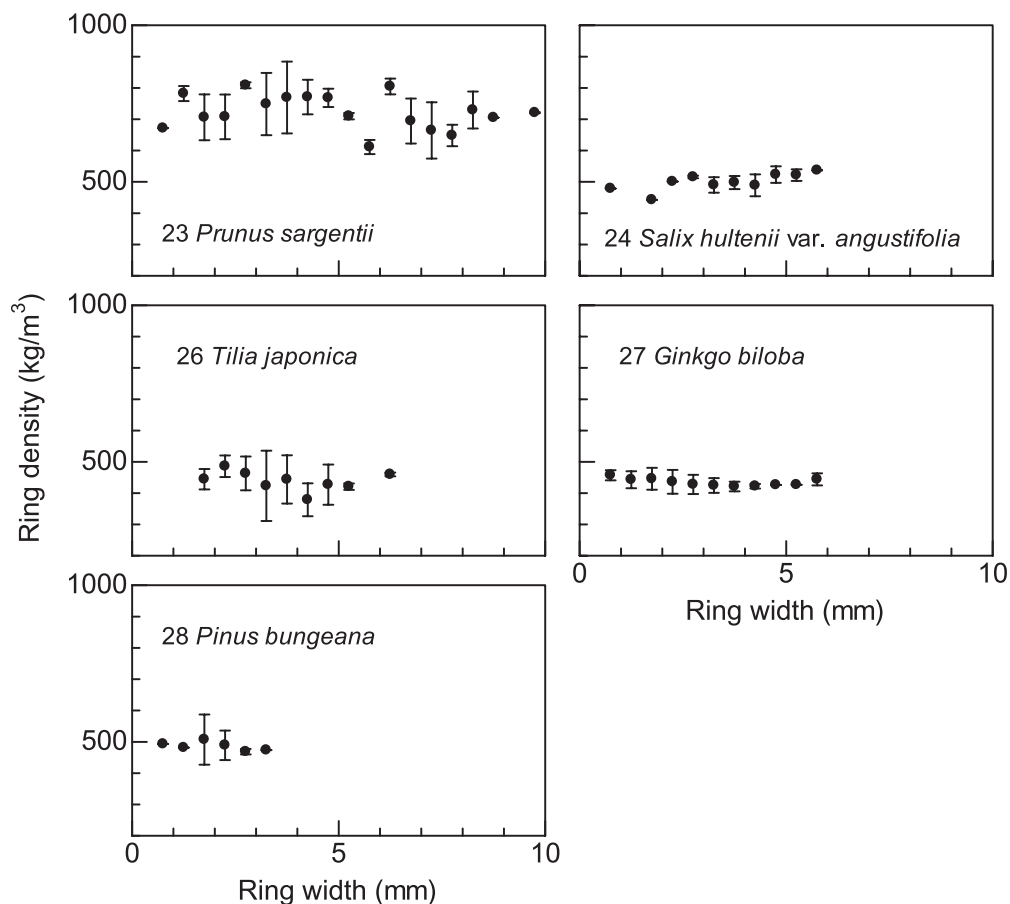


Fig. 2. (Continued)

られる。北大植物園における台風0418の被害調査では、ニセアカシアについて樹高が16mを超えると根返りの発生が急増することが報告されている（大野2007）。ニセアカシア緑化木は剪定によって樹高を管理し、比較的短い伐期で更新して、伐採木はその高強度を活かして利用するのがよいかもしれない。

各樹種の曲げ破壊試験の荷重たわみ曲線（Fig.

7）をみると、樹種内のばらつきがあるものの、比例限度を超えてからの挙動に樹種間差が認められる。ヒッコリー、ネグンドカエデ、カシグルミなどの樹種は最大荷重までの塑性変形能が大きかった。この結果を反映して、曲げ強さの大きかったヒッコリーは曲げひずみエネルギーおよびテトマイヤー係数においても最大値を示した。

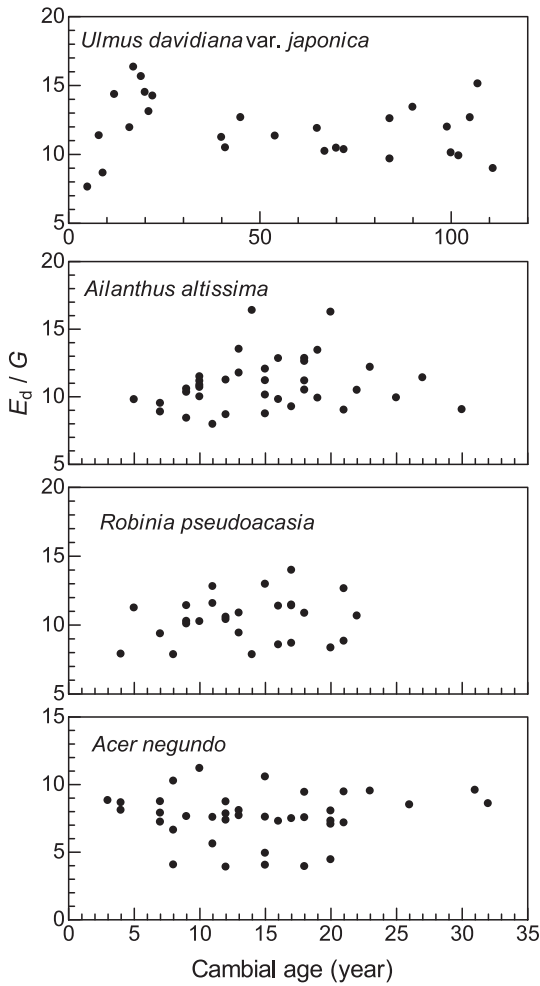


Fig. 3. Relationship between cambial age and E_d/G .
 E_d : Dynamic modulus of elasticity, G : Modulus of rigidity

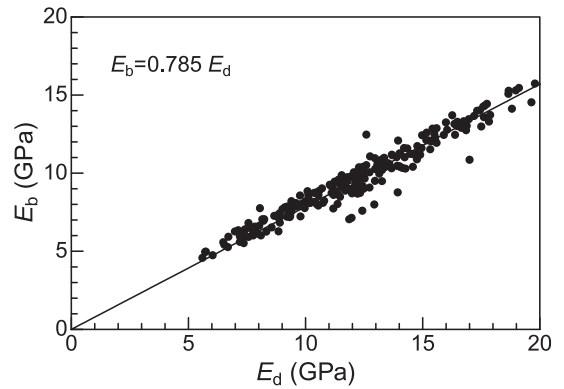


Fig. 4. Correlation between E_d and E_b .
 E_d : Dynamic modulus of elasticity, E_b : Static modulus of elasticity

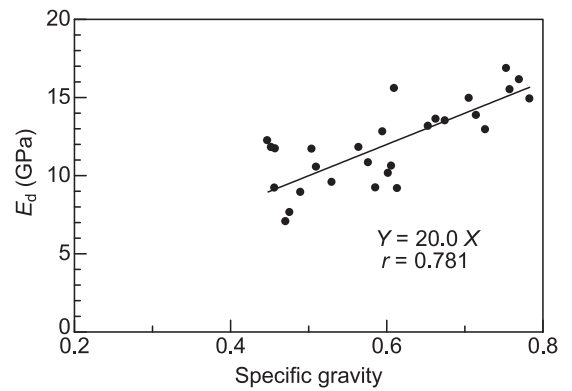


Fig. 5. Relationship between specific gravity and E_d averaged of each species.

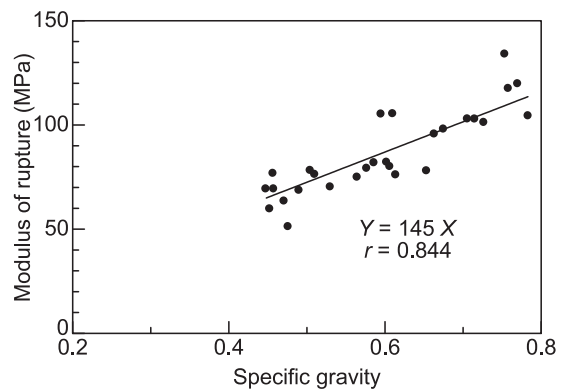


Fig. 6. Relationship between specific gravity and modulus of rupture averaged of each species.

Table 3. Mechanical properties of the outerwood for the sample species.

Species *		CA (year)	ARW (mm)	SG	G (MPa)	E_d (GPa)	E_d/SG (GPa)	E_b (GPa)	MOR (MPa)	CS (MPa)	SS (MPa)	LBS (MPa)	H (MPa)	U_b (kJNm)	TM
1	Mean	16.5	3.7	0.663	1230.3	13.6	20.6	10.5	95.6	49.1	14.4	19.0	22.6	15.3	0.687
	S.D.	5.2	1.8	0.061	128.3	2.0	2.7	1.5	10.6	5.1	2.4	4.2	5.5	3.7	0.040
2	Mean	50.4	3.1	0.783	1277.2	14.9	19.0	11.4	104.4	49.6	14.1	19.7	23.5	30.9	0.773
	S.D.	28.0	0.7	0.044	62.4	1.4	1.7	1.2	8.4	2.5	0.9	2.3	2.7	5.4	0.017
3	Mean	18.8	4.0	0.758	1301.9	15.5	20.4	12.4	117.5	57.1	15.8	24.7	26.1	19.8	0.678
	S.D.	4.1	1.6	0.025	33.4	2.5	2.7	1.6	5.8	4.1	1.1	3.7	5.7	3.3	0.056
4	Mean	71.3	2.7	0.706	1345.3	14.9	21.1	11.9	102.9	58.2	14.7	20.7	24.4	17.3	0.715
	S.D.	16.9	0.4	0.033	74.1	1.5	1.3	1.1	9.2	5.6	1.1	1.5	3.4	3.8	0.038
5	Mean	20.3	4.4	0.653	1181.4	13.2	20.1	9.7	78.0	41.5	14.1	14.9	15.8	12.8	0.718
	S.D.	4.5	0.1	0.040	124.7	1.0	0.9	0.6	9.3	3.6	1.7	2.6	4.5	3.0	0.017
6	Mean	21.5	1.6	0.595	1220.1	12.8	21.5	10.7	105.3	53.5	11.7	18.6	21.0	22.1	0.731
	S.D.	10.6	0.4	0.021	37.2	0.3	0.3	0.3	0.2	4.9	0.6	0.8	2.4	3.3	0.028
7	Mean	31.5	2.9	0.715	1154.7	13.9	19.4	10.6	102.8	56.6	13.7	20.3	23.3	13.7	0.642
	S.D.	9.3	0.9	0.021	36.9	1.2	1.8	0.5	3.2	4.5	1.0	2.3	3.9	0.2	0.016
8	Mean	15.7	4.7	0.754	1600.3	16.9	22.4	13.6	134.0	70.3	15.8	27.4	31.7	26.4	0.710
	S.D.	3.6	1.4	0.042	220.0	2.1	2.7	1.6	18.2	5.9	1.8	4.8	5.2	9.0	0.061
9	Mean	61.0	1.5	0.606	855.6	10.6	17.3	8.3	80.0	41.2	11.8	14.9	17.9	15.5	0.700
	S.D.	34.5	1.1	0.070	129.0	3.1	3.5	2.2	16.4	7.2	1.9	2.8	6.0	5.9	0.047
10	Mean	33.7	1.6	0.675	1452.6	13.5	20.0	10.7	98.0	51.0	14.4	20.8	23.4	20.3	0.726
	S.D.	13.5	0.1	0.008	26.5	1.4	2.1	1.3	10.7	2.1	1.0	3.4	1.7	6.7	0.051
11	Mean	17.4	4.1	0.602	1403.6	10.1	17.1	8.2	82.1	45.4	12.0	14.2	16.7	20.8	0.736
	S.D.	5.7	1.2	0.062	248.0	1.7	3.5	1.5	10.6	3.9	1.8	3.0	3.8	9.6	0.053
12	Mean	42.0	2.8	0.476	835.8	7.6	16.1	5.8	51.2	32.1	8.5	8.1	9.2	9.9	0.730
	S.D.	12.8	0.6	0.011	87.6	0.3	0.9	0.2	1.5	0.5	0.8	2.3	2.4	0.6	0.009
13	Mean	44.6	2.6	0.564	1012.3	11.8	20.9	9.0	74.9	40.4	8.9	11.4	13.6	9.8	0.667
	S.D.	27.5	1.2	0.027	52.7	0.8	1.4	1.1	10.7	4.0	1.0	1.6	2.4	3.8	0.051
14	Mean	25.8	3.1	0.577	1207.1	10.8	18.8	7.9	79.2	42.0	11.4	10.9	12.0	15.8	0.709
	S.D.	5.9	0.4	0.024	61.2	1.5	2.8	0.8	6.6	2.3	0.9	1.3	1.2	4.0	0.050
15	Mean	16.2	4.7	0.610	1083.0	15.6	25.5	12.3	105.4	57.5	12.5	14.5	16.9	18.1	0.721
	S.D.	4.1	1.5	0.047	102.1	1.8	1.5	1.2	9.3	6.3	0.9	1.8	2.3	5.0	0.057
16	Mean	26.0	3.9	0.586	1367.1	9.2	15.7	7.6	81.9	45.5	12.4	16.1	19.4	21.6	0.752
	S.D.	10.1	1.3	0.038	122.1	0.8	1.3	0.8	11.5	6.3	0.8	1.8	2.8	3.5	0.020
17	Mean	35.0	2.5	0.510	936.0	10.5	20.7	8.4	76.3	42.9	10.4	11.3	13.6	10.3	0.663
	S.D.	22.3	0.7	0.005	58.2	1.1	2.1	1.0	7.9	3.2	0.6	0.8	0.9	3.3	0.048
18	Mean	19.3	3.4	0.504	962.5	11.7	23.1	9.1	78.2	43.0	9.2	9.8	12.1	13.6	0.723
	S.D.	6.4	0.7	0.031	64.8	1.9	2.9	1.4	6.2	3.6	1.7	1.1	1.7	1.7	0.016
19	Mean	51.6	1.3	0.770	1327.9	16.1	21.0	12.9	119.8	61.7	15.5	22.0	25.7	17.6	0.676
	S.D.	12.7	0.1	0.012	21.2	0.6	1.0	0.1	3.3	3.1	0.9	1.2	3.3	1.3	0.011
20	Mean	14.3	4.5	0.448	675.2	12.2	27.4	9.1	69.3	44.1	7.2	7.1	9.1	9.0	0.702
	S.D.	2.8	0.6	0.017	24.1	0.2	0.9	0.3	1.5	2.1	0.7	0.5	0.5	1.3	0.029
21	Mean	26.8	3.8	0.458	763.1	11.7	25.5	9.0	69.3	39.0	8.3	7.5	9.2	8.7	0.685
	S.D.	11.9	0.8	0.025	65.6	1.4	1.9	1.1	7.5	1.7	0.7	0.7	1.3	1.5	0.025
22	Mean	24.5	2.4	0.530	1131.9	9.6	18.0	7.7	70.3	38.1	10.2	11.1	13.6	11.7	0.699
	S.D.	8.4	0.5	0.022	199.3	1.0	1.4	1.0	11.9	5.8	1.0	1.7	2.3	4.6	0.041
23	Mean	16.3	5.0	0.727	1424.3	12.9	17.9	9.9	101.2	52.4	15.0	22.1	23.0	20.3	0.709
	S.D.	5.3	1.4	0.073	129.7	1.1	1.8	0.9	13.4	6.9	2.1	6.2	5.7	2.6	0.032
24	Mean	18.0	3.5	0.490	1040.0	8.9	18.2	6.8	68.6	40.1	9.2	9.9	10.8	11.3	0.689
	S.D.	3.7	0.8	0.022	59.3	1.3	1.9	0.9	11.5	6.0	1.4	1.4	0.5	3.0	0.030
25	Mean	19.2	4.9	0.614	1047.7	9.2	14.9	7.6	76.0	38.1	9.1	12.6	14.6	21.6	0.754
	S.D.	6.6	1.5	0.020	80.1	0.5	0.4	0.5	6.4	1.8	1.7	0.6	1.6	6.6	0.035
26	Mean	19.0	2.8	0.453	652.4	11.8	26.1	8.5	59.7	35.5	7.8	6.3	7.1	8.6	0.732
	S.D.	4.1	0.3	0.017	27.0	0.8	1.2	0.4	3.8	2.2	0.2	0.3	1.8	0.6	0.009
27	Mean	23.3	2.7	0.471	1052.2	7.1	15.2	6.0	63.5	35.3	8.7	11.9	14.4	9.0	0.644
	S.D.	9.7	0.5	0.049	151.9	0.8	2.7	0.7	6.8	3.8	1.3	2.3	4.3	3.0	0.030
28	Mean	24.0	2.7	0.457	1015.1	9.2	20.2	8.2	76.8	41.8	7.9	10.8	12.3	11.4	0.684
	S.D.	6.2	0.8	0.006	4.7	1.0	2.3	0.5	2.5	1.4	0.8	1.0	0.7	0.2	0.004

*: Species numbers are the same as in Table 1.

CA: Cambial age, ARW: Average ring width, SG: Specific gravity, G: Modulus of rigidity, E_d : Dynamic modulus of elasticity, E_b : Static modulus of elasticity, MOR: Modulus of rupture, CS: Compressive strength parallel to grain, SS: Shear strength, H: Hardness, LBS: Local bearing strength (stress when compressed to 95% of the heights of specimens), U_b : Integration value of load deflection curve in bending test up to the maximum load, TM: Tetmajer's modulus

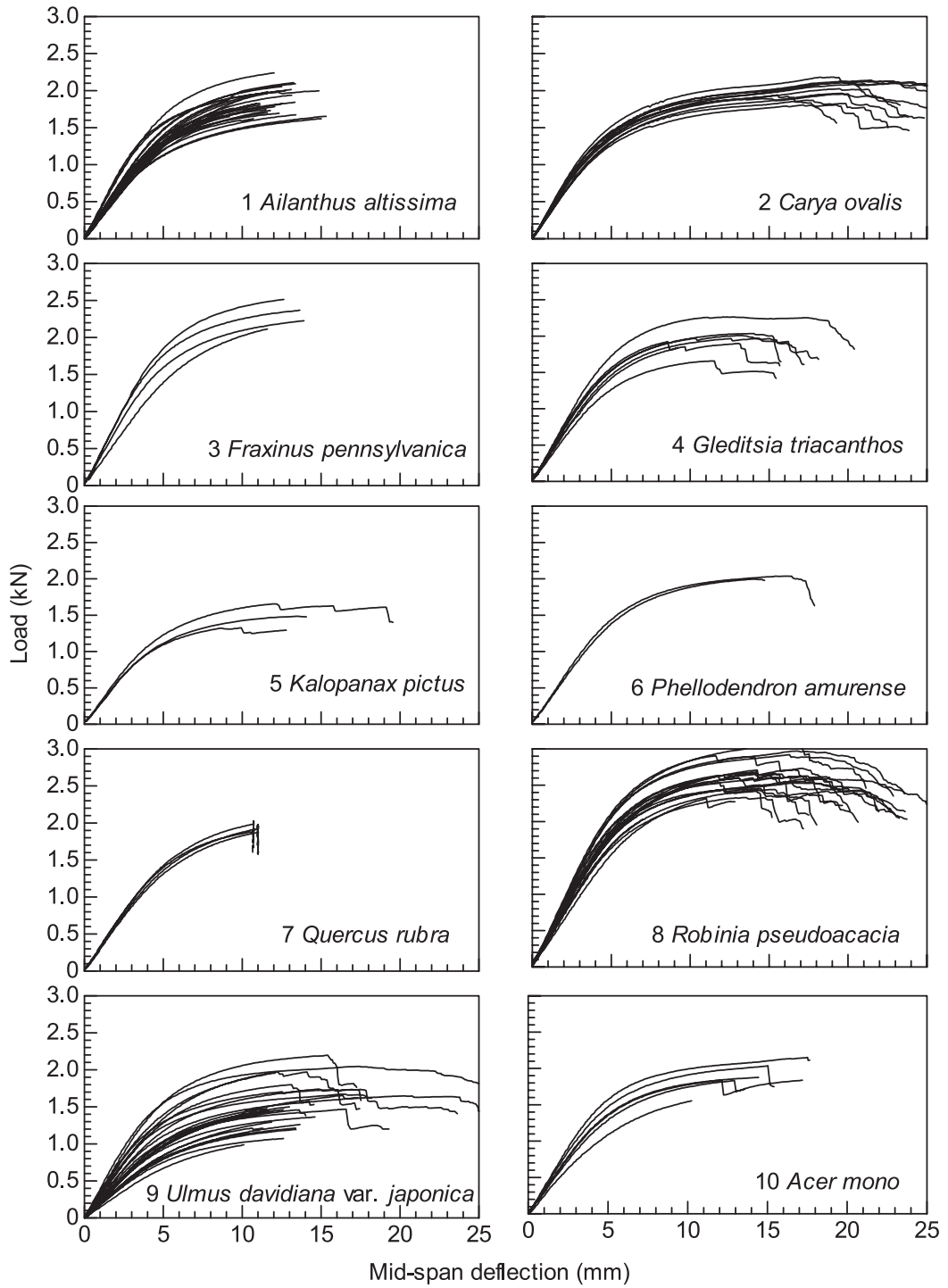


Fig. 7. Load-deflection curves obtained from bending tests.

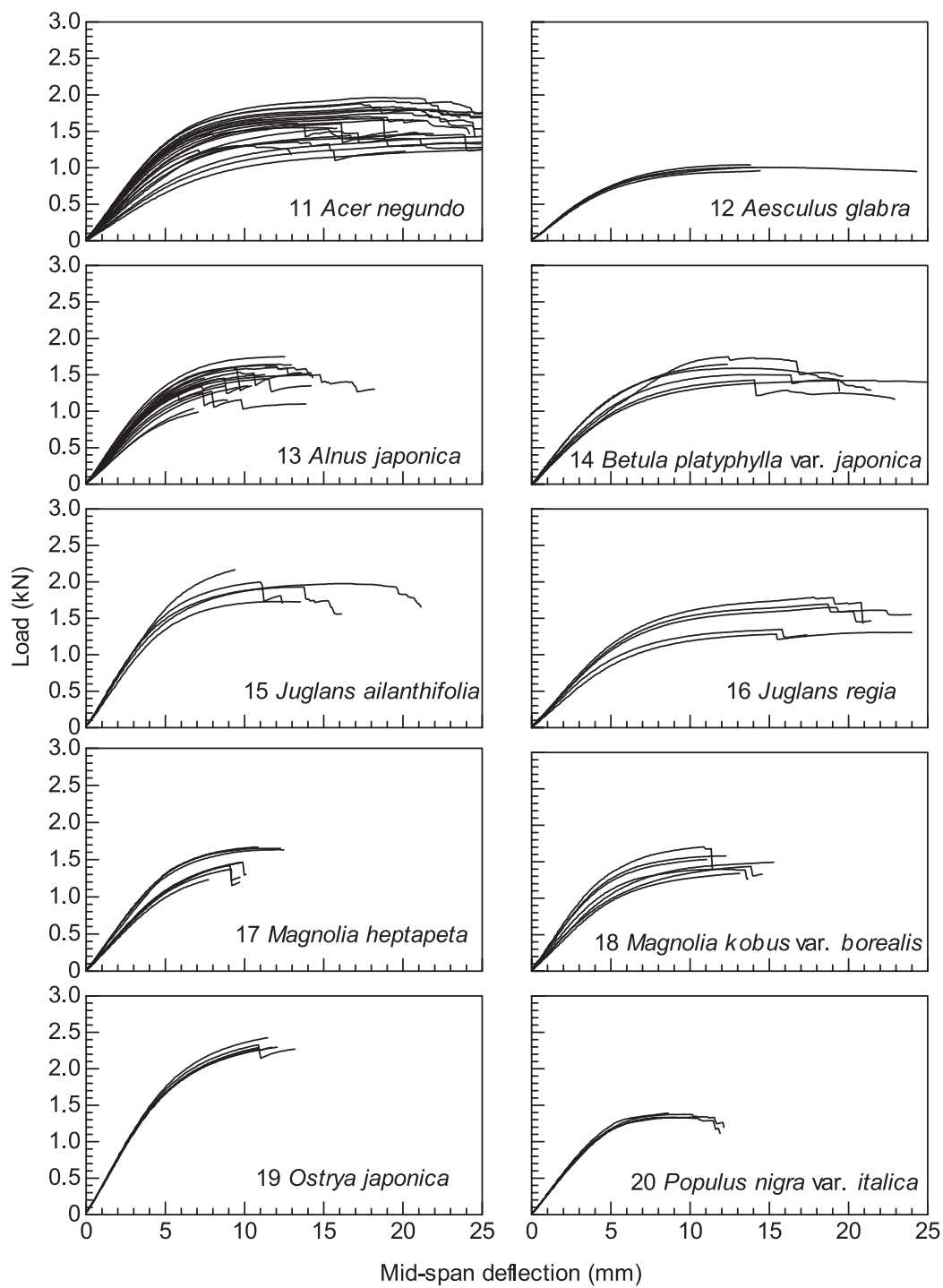


Fig. 7. (Continued)

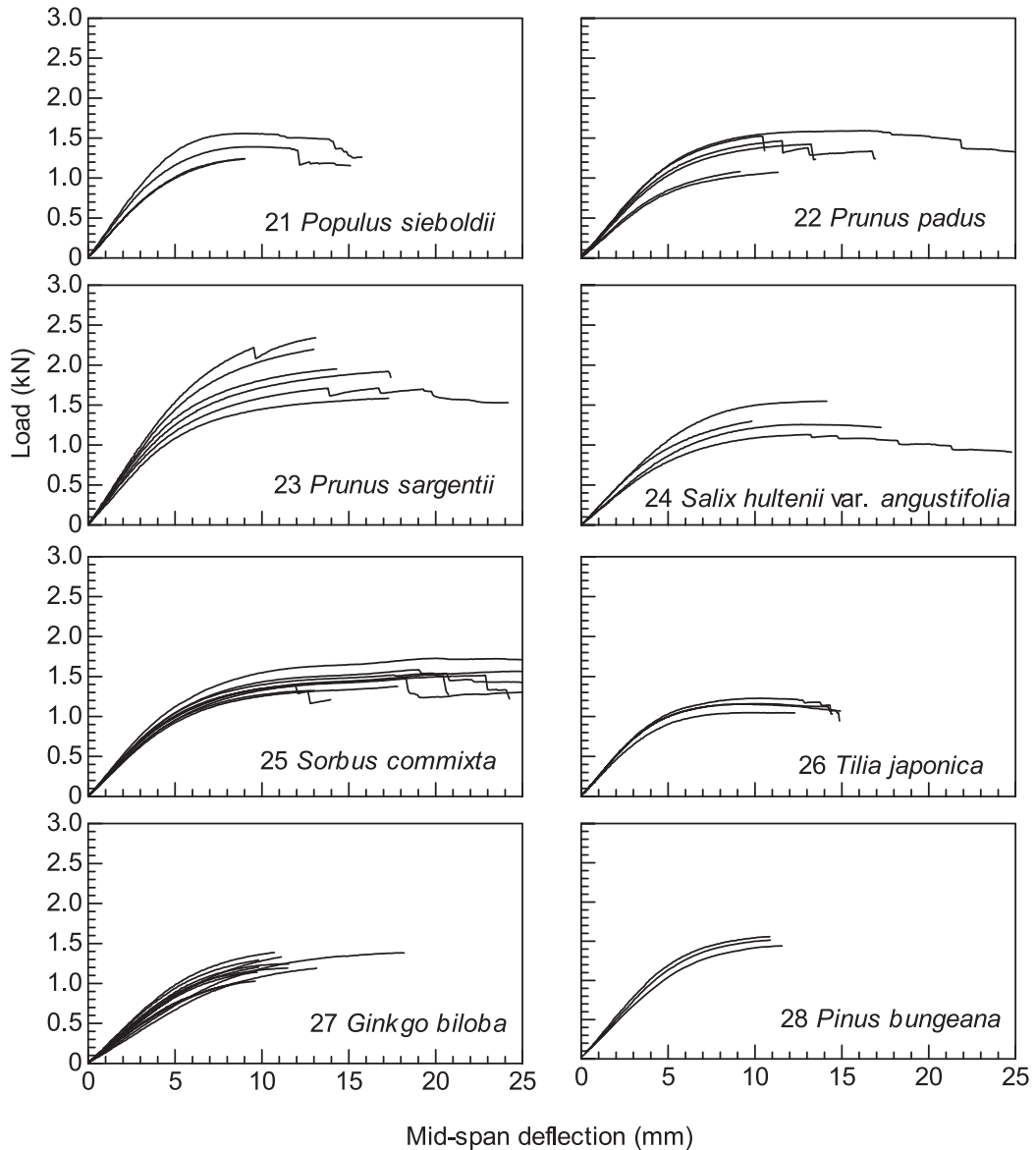


Fig. 7. (Continued)

4. 結 論

台風0418による北海道大学構内の風害木の非破壊部から無欠点小試験体を得て、28樹種の緑化木の収縮率と強度特性を測定した。材質に関して得られた知見は以下のようである。

- (1) 樹種ごとの平均収縮率は接線方向、半径方向ともに比重と弱い正の相関を示した。これらのうち、エゾノウミズザクラとシナノキは比重に比べてやや大きな収縮率を示した。
- (2) 年輪幅と密度の関係は、広葉樹環孔材で年輪幅が2～3 mmまでの範囲で正の相関、散孔材では年輪幅に関わらず、密度は一定値をとる傾向が見られた。
- (3) 無欠点小試験体の E_d/G を指標としてハルニレ、シンジュ、ニセアカシア、ネグンドカエデの未成熟材範囲をみた結果、ハルニレとシンジュでは形成層年齢20年までの範囲で E_d/G の増加傾向が認められた。
- (4) 比ヤング率 (E_d/SG) はハコヤナギ属、オニグ

ルミ、シナノキで大きな傾向が見られた。

- (5) ニセアカシア材は測定したすべての強度特性がもっとも大きく、年輪幅も平均で4.7mmと広がった。緑化木としてのニセアカシアの更新伐期を比較的短くして、伐採した木材はその高強度を活かして利用するのがよいと思われる。

謝 辞

軟X線写真の撮影・現像に際して、北海道大学大学院農学研究院樹木生物学研究室の佐野雄三氏にご教示いただいた。厚く、お礼を申し上げます。

引用文献

- Forest Products Laboratory (1987) Wood Handbook. USDA Forest Service, Madison, pp. 4-44
北海道立林業試験場緑化樹センター (2005) 台風18号による緑化樹の被害調査報告書, 北海道立林業試験

場緑化樹センター, 美唄, CD-ROM.

- 雄子谷佳男, 北原龍士 (2005) スギ実大材曲げ性能への木材材質指標の影響, 材料 54: 377-380.
Koizumi, A., Takata, K., Yamashita, K., Nakada, R. (2003) Anatomical characteristics and mechanical properties of *Larix sibirica* grown in south-central Siberia, IAWA J. 24: 355-370.
Kollmann, F.F.P., Côté, W.A. (1968) Principles of Solid Wood Science and Technology 1. Springer, New York, pp. 592.
日本木材加工技術協会編 (1989) 日本の木材, 日本木材加工技術協会, 東京, 101pp.
大野祥子 (2006) 平成16年台風18号被害調査報告, 北大植物園技術報告 No.4, 2-17.
渡辺治人, 松本昂, 林弘也 (1966) 未成熟材に関する研究(3)広葉樹材についての実験, 木材学会誌 12: 259-265.

Summary

We evaluated the shrinkage and mechanical properties of 53 trees of 28 species (26 broad-leaved and 2 coniferous) planted in Hokkaido University Campus and Hokkaido University Botanic Garden. The specimens were collected from the undamaged logs of windfallen trees; these trees had fallen due to Typhoon 0418. Tangential and radial shrinkages, wood density analyzed from soft X-ray densitometry, dynamic and static Young's modulus, modulus of rigidity, modulus of rupture, strain energy up to maximum load in the bending test, compressive strength parallel to the grain, local bearing strength, shear strength, and hardness were evaluated. The strength properties were tested with reference to JIS-Z2101 (Japanese Industrial Standards concerning test methods for small clear wood specimens).

The average density within a ring correlated positively with a ring width of 1-3mm for ring-porous hardwood and maintained constant values for diffuse-porous hardwood. The ratio of Young's modulus to modulus of rigidity was small for specimens of juvenile cambial ages, for example, in the case of some tested species such as *Ulmus davidiana* var. *japonica* and *Ailanthus altissima*. The result may be attributed to large microfibril angles of the juvenile wood. Specific Young's moduli were higher than average for *Populus* spp. and other species. The wood of *Robinia pseudoacacia* showed the highest values for all strength properties measured, and it had broad annual rings.

Keywords: broad-leaved tree, shrinkage, mechanical properties, juvenile wood, windfall