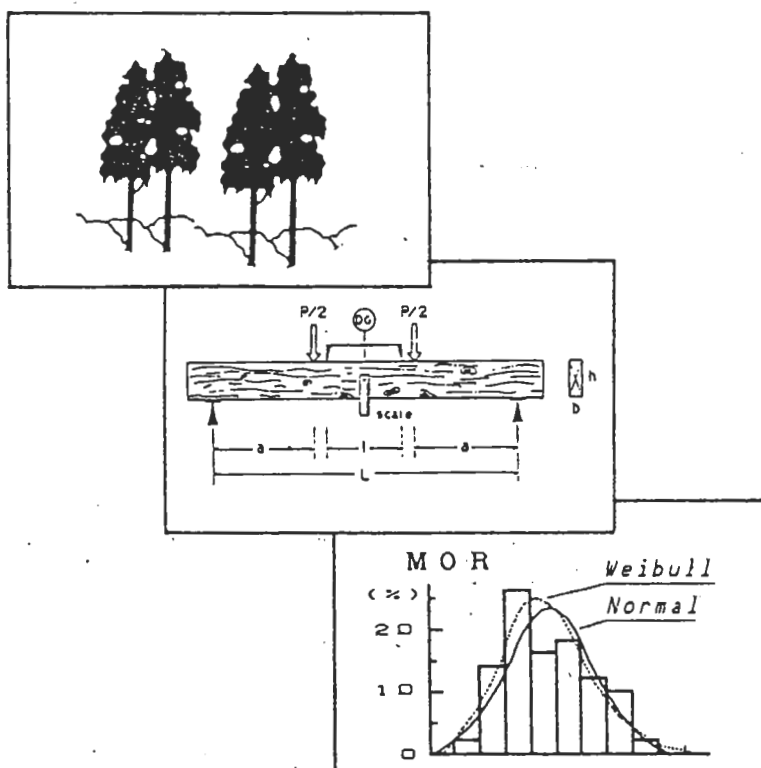


構造用木材－強度データの収集と分析



1988年3月

木材強度・木質構造研究会

日本木材学会

はじめに

日本木材学会の木材強度・木質構造研究会は、会員の中の木材の強度並びに木質構造の種々の問題に関心を寄せ、研究を進めるメンバーを中心に構成されている。従来、春の学会大会時および秋にシンポジウムを開催し、時宜に応じたテーマを掘り下げ、情報交換を行い、さらに親睦を深める場として活動が続けられてきた。

1986年10月には東京で研究会シンポジウムが開かれた。折から、木材の見直し、木造の復権が唱えられ、許容応力度の改正等がささやかれていたが、こうした情勢を反映し、そのテーマとなったのは『木質構造研究の現状と今後の課題』であった。ここでは(1)材料・接合、(2)構造体構成要素、に大別した現状分析と建築サイドを交えての討論が行われた。当日の内容は翌年2月に資料集として取りまとめられている。これは文字どおり、現在の木質構造研究の問題点を浮き彫りにしたものといえるだろう。

このシンポジウムでは材料強度に関して以下の指摘がなされた。

『材料強度や許容応力度は建築基準法施行令等に規定されているが、グレーディングとは関連付けられていない。グレーディングなしの許容応力度は一体何を意味するのか。グレーディングルールの確立と許容応力度設定のための参考資料は今までどの程度蓄積されているのか。』

こうした指摘に対して木材側に明快な対応がないとすれば、木材強度に対する不透明感・不信感、ひいては木質構造そのものに対する不安感は解消されないであろう。本研究会ではその後これを受けたかたちで、実大材強度データの蓄積状況の把握を行うべく、全国の研究機関に資料提供のお願いをした。

今回の報告書はこのようにして収集されたデータに統計処理を行うとともに、あわせて木質構造に関する最近の話題と提案などをまとめものである。データの情報量は諸外国の例からみれば、まことにささやかなものであり、いたるところに不十分な点があることは否めないであろう。しかし、この過程の中で、今後解決すべき実に様々の問題点が浮かび上がっている。

ご一読いただき、今後の活発な議論の出発点として本資料が活用されれば、作成に携わったものとして望外の喜びである。

木材・建築行政との関わりもあって、資料整理がかなり急がれたにも拘らず、本事業の重要性を認められた多くの方々のご協力くださった。この多大なご尽力がなければ、発刊には至らなかったであろうと思われる。関係各位に厚くお礼を申し上げます。

また、本資料を取りまとめるにあたり、(財)日本住宅・木材技術センターより委託研究として調査研究費の交付を受け、ご支援頂いたことをここに記して感謝申し上げます。

発刊に寄せて

日本木材学会・会長

杉山英男

木材強度・木質構造研究会の有志の方々の御努力により、報告書「構造用木材—強度データの収集と分析」が出来上がった。次に述べるような理由からこの仕事はきわめて意義深いものであり、斯界のため誠に御同慶に堪えない。

わが国における木材の研究は、一昔前の海外の木材先進国がそうであったのと同じ様に、小試片のWoodについては深く掘り下げて研究が進められてきたが、実物のLumberの強度性状に関する調査研究は殆ど行われて来なかった。この点で最近20年ぐらいの間に外国に大きく水を開けられてしまった。木材の許容応力度体系の再構築を目指す世界の流れから取り残されてしまった訳で、誠に残念なことであったが、これは主として木材を化粧材として眺め、強度を問題にする習慣をもたないというわが国独特の木材・木造界の事情に原因すると言ってよかろう。

このような環境であったにも拘らず、将来を洞察し地味にデータを積み重ねて来られた全国の研究者の御熱意があったからこそ、本報告書が上梓できた訳である。その御蔭で、この成果の一部が昨秋の建築基準法施行令の改正に際し、木材の許容応力度の改正の中で生かされたのであるが、取りまとめを急がれた御努力が実を結んだと言えよう。謹んで敬意と謝意を表する所以である。

これに関連してこの際お願いしておきたいことがある。即ち、これからもデータの収集とその纏めを定常的に進めて載くと共に、他人による利用を考え、それを世の人の目に触れる形でこまめにpublishして載きたいということである。調査研究の世の中への反映を希求するならば、そのことは極めて重要である。

終りに、この報告書の取り纏めの重要性を認め、当学会にその委託を企画された日本住宅・木材技術センターの御理解と御好意に対し敬意と謝意を表する。

(1988年3月記)

委 託 研 究 の 経 緯

(財)日本住宅・木材技術センター
理事長 下 川 英 雄

規模の大きい木造建築物についての見直しが着実に進行する中で、主要構造材の供給側に求められることは、設計・施工上から要求される品質、性能を保証し、能率よく材料供給ができるような諸条件の整備と生産体制の早期確立にあるものと思われる。

当財団では、建築用構造材、特に集成材用ラミナあるいはトラス等複合建築部材に用いる木材について、バラツキが少なく、強度の保証された材料として供給できる体制をとれるようにすること目的として、昭和59年度から「木質材料のグレーディング」をテーマに、製材の応力等級区分法、強度性能保証法について実大強度実験を含め、各種手法の実用化の検討を進めてきている。さらに、昭和60年度から進められてきている「木材流通ビジョン」、昭和61年度に発足した「建設省新木造総プロ」、昭和62年度に予測された建築基準法関係法令の一部改正等、木材及び木造建築の見直しの機運を受けて「建築用木材性能評価事業」を発足させ、建築構造用木材全般について、性能保証を伴った生産供給体制の確立を図るためのより広汎な試験研究を展開することにした。すでに本年度、全国7道県の協力を得て、実大材の強度試験を含む研究を進めている。

一方、当財団では関連する機関として日本木材学会と緊密な連絡をとりながら、試験研究を進めているところであるが、たまたま同学会木材強度・木質構造研究会がわが国に散在する既往の実大材強度試験データを収集、整理、分析し、製材の応力等級区分への当面の足がかりとしようとする計画を立案されたことから、その成果がなるべく早く公表され、当財団の研究に取り入れさせていただきたく、当計画の促進を願って、学会当局に研究を委託申し上げたところである。

このように速やかに、貴重な成果を取りまとめいただき、ありがたく感謝申し上げますとともに、この研究の中間報告の一部が、昨秋の建築基準法施行令の木材許容応力度改正に貢献したことを承わり、大変よろこばしいことと感ずるものである。

日本木材学会 木材強度・木質構造研究会

資料作成委員名簿

有馬孝禮	東京大学農学部林産学科
○安藤直人	ミサワホーム総合研究所
○飯島泰男	富山県林業技術センター
小倉高規	日本住宅・木材技術センター
神谷文夫	農林水産省林業試験場
小松幸平	農林水産省林業試験場
中井孝	農林水産省林業試験場
中村昇	東京大学農学部林産学科
畑山巖男	農林水産省林業試験場
平嶋義彦	農林水産省林業試験場
丸山則義	静岡大学農学部林産学科

(50音順、○は幹事)

試験研究機関実験およびとりまとめ担当者名簿

北海道大学農学部	宮島 寛, 平井卓郎, 小泉章夫*
静岡大学農学部	丸山則義
三重大学生物資源学部	徳田迪夫
京都大学木材研究所	瀧野真二郎
宮崎大学農学部	中村徳孫, 大塚 誠
農林水産省林業試験場	中井 孝, 海老原徹, 田中俊成
北海道林産試験場	倉田久敬, 山本 宏, 大久保勲, 米田昌世, 高橋政治, 川口信隆, 堀江秀夫
岩手県林業試験場	東野 正
山形県林業試験場	石澤 實, 高橋幹夫
富山県林業技術センター	飯島泰男, 武田和正, 中谷 浩
福井県総合グリーンセンター	石森英次, 土田博澄
長野県林業指導所	向山繁人*, 橋爪丈夫
山梨県林業技術センター	名取 潤, 藤本登留
岐阜県林業センター	野原正人*, 杉山正典
静岡県林業試験場	金澤啓悟*, 大澤孝吉, 池田潔彦
奈良県林業試験場	今村祐嗣*, 小野廣治, 海本一*, 倉谷幸作*, 江口 篤
島根県林業技術センター	中村正樹*, 錦織 勇, 中山茂生
徳島県林業総合技術センター	山本雅彦, 市原 光*, 吉村武志
熊本県林業研究指導所	小邦 徹, 池田元吉
大分県林業試験場	後藤康次*, 津島俊治
鹿児島県工業技術センター	遠矢良太郎

(* 印は現在転出)

構造用木材－強度データの収集と分析

目 次

I. データ蓄積の現状, 分析と課題

1. 曲げ強度性能	-----	(飯島泰男)	1
2. 引張り強度性能	-----	(中井 孝)	4 2
3. 圧縮強度性能	-----	(丸山則義)	5 2

II. 建築工学的見地からの最近の話題および提案

1. 材料強度と構造信頼性理論	-----	(神谷文夫)	5 3
2. 許容応力度	-----	(中井 孝)	5 8
3. 非破壊検査法	-----	(丸山則義)	5 9
4. 実大材の実験方法	-----	(中井 孝)	6 2

III. 木材の強度区分に関する今後の展開 ---- (有馬孝禮) 6 5

<付録>

1. 木材の許容応力度関連の基準	-----	(平嶋義彦)	6 9
2. 構造用木材の強度試験, 等級区分方法および 許容応力度等に関する文献リスト	-----	(丸山則義, 小松幸平, 飯島泰男)	7 2

1. データ蓄積の現状、分析と課題

1. 曲げ強度性能

はじめに

木材の変形あるいは破壊に寄与していると考えられる因子としては「樹種」「節などの諸欠点」「含水率」「断面寸法」「荷重継続時間」などがあり、これらが許容応力度誘導体系の中に盛り込まれていることは周知のことであろう。本項ではこれらの各因子が、実大材の曲げ強度性能にどの程度の影響度合を示しているのかを、集積されたデータをもとに分析し、併せてデータ蓄積の現状と課題について述べる。

1. データのサンプリングおよびその解析方法に関するASTM等の記述

わが国にはデータのサンプリングおよびその解析方法に関するマニュアルは公刊されていない。そこで、まず米国ASTMの諸規格^{1) 2)} およびニュージーランドG.B.WALFORD^{3) 4) 5)}の文献等を参照することは重要と考える。ASTMの構造用製材に関する主な規格は次のとおりである。

・D 198-84 : Standard Methods for Static Tests of Timbers in Structural Sizes (実験方法)

・D 245-81 : Standard Methods for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber (目視による等級区分方法と許容応力度)

・D 2915-84 : Standard Methods for Evaluating Allowable Properties for Grades of Structural Lumber (等級区分材の許容応力度評価方法)

ASTMにはその他に無欠点小試験体 (D 143:実験方法, D 2555:強度値計算方法), 丸太 (D 1036:実験方法, D 2899, D 3200:許容応力度) に関する規格がある。以上のうち本論で密接に関係するD 2915を中心にASTMの諸規格および G.B.WALFORD論文の概略を以下に述べる。

1.1 ASTM-D 2915-84

1.1.1 統計的手法

ASTM-D 2915 では、サンプリング等の統計的手法に関して以下のような記述をしている。

1) ASTM : D 2915-84, 1987 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, PART 4, 507-522(1987)

2) ASTM : D 198-84, 1987 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, PART 4, 108-134(1987)

3) ASTM : D 245-81, 1987 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, PART 4, 135-158(1987)

4) G.B.WALFORD : FRI BULLETIN No.15(1982)

5) G.B.WALFORD : FRI FOREST PRO. DIV. REP. No.FP/TE 37(1981) (unpublished)

1)本規格では解析の方法として、parametric および nonparametric なものの2種類を考えている。前者は、ある母集団の分布形が既知であるとして解析するものであり、もしこの仮定が誤りであれば不正確な結論が得られる。したがってこの方法を使うときは適当な統計的検定法によって、分布形を確かめなければならない。後者はより保守的な手法である。

2)母集団を決めるときは、等級・銘柄、サンプリング地域、樹種または樹種群、サンプリング期間、材寸法、含水率などを明らかにしておかなければならない。もし可能なら、原木生産地等も把握しておくことが望ましい。

3)サンプリングには次の三種の方法がある。

a)ランダム法 : ASTM-E 105 (Probability Sampling of Materials) による。例は付録に示す。

b)確率が等しくないことが既知であるときのサンプリング (sampling with unequal probabilities) : ASTM-E 105による。

c)シーケンシャル法 : 母集団の数がかなり限定されている場合には、さらにこの中から上記のa)またはb)の方法によってサンプリングを行う。

4)サンプル数

a)平均値を決定したいときのサンプル数は以下の式より求める。本式ではデータが正規分布し、平均値の信頼水準を5%以内で推定すると仮定している。

$$n = (ts/0.05\bar{x})^2 = 400t^2 CV^2$$

ここで、

n : サンプル数, s : サンプルの標準偏差

\bar{x} : サンプルの平均値, CV : 変動係数 (=s/ \bar{x}),

0.05 : 推定精度 (precision of estimate),

t : t値 (両側)

このうち、サンプルの標準偏差、平均値、または変動係数は未知のため、第一段階では他の実験データから予め推定した値を代入してサンプル数を決定する。もし、データ整理後、改めて各統計値を上式に代入して計算した結果が既実験数に比較して多ければ、追加実験を行う。

b)許容限界 (tolerance limit : TL) を考慮してサンプル数を決定するには、要求されたcontent (C - 例えば、95%content) のTLとは、TLを越えるものが全体の95%占める、という意味であり、confidenceとは異なる) と信頼水準 (confidence level) を選択しなければならない。その数値は最終的な利用形態、経済性、現行の設計法、基準によって左右されるが、製材ではcontent95%、信頼水準75% が適切と考えられる。材目や使用法が変われば信頼水準は適切な数字に変更さ

れる。

c) nonparametricな方法の場合、最低保証値 (near-minimum properties)を決定するのに必要なサンプル数は付表に示す。これは nonparametric tolerance limit (NTL) の概念を用いて決められるものである。

もし、parametricな方法を利用するときは以下の方法による。すなわち、ある性能が正規分布であると仮定した場合、parametric tolerance limit (PTL) は、

$$PTL = \bar{X} - Ks$$

で表わされ、その標準誤差 (SE) は、

$$SE = s \sqrt{(1/n) + K^2/2(n-1)}$$

となる。ここで、s, nは前述のとおり。Kは信頼水準係数である。例えば、 $\bar{X}=4600\text{psi}$, $s=1012\text{psi}$ であった場合、PTLをcontent 95%, 信頼水準 75%とすると、目標のPTLは2700psiとなるため、

$$K = (\bar{X} - PTL)/s = 1.878$$

付表から $n=30$ に対して $K=1.869$ となることから、試料数は30程度必要なことがわかる。さらに、SEは310.7psiと計算される。しかし、実際の実験結果が予測と異なる場合には追加実験が望ましい。

d) 平均値と最低保証値の両者を同時に決定したいときは、それぞれの必要試験体数を計算し、その大きい数を選択する。

e) サンプルング方法の異なる multisource data を扱うときは、適切な統計的処置をしなければならない。

<注> サンプル数の決定の方法は概ね以上のとおりである。ここで、曲げ強度、CV25%としてサンプル数の計算例を示す。

a) 平均値:

信頼水準75%として $t=1.150$ より

$$n = 400 \times 1.150^2 \times (0.25)^2 = 33$$

信頼水準95%として $t=1.960$ より

$$n = 400 \times 1.960^2 \times (0.25)^2 = 96$$

b) 最低保証性能: 付表より

信頼水準75%のとき: $n = 28$

95%のとき: $n = 59$

以上のように、CV25%のときの等級内の平均値および最低保証値を計算するためには、信頼水準75, 95%でそれぞれ33, 96のサンプル数となる。なお変動係数はあとで述べる解析結果でも分かるように樹種、等級区分法によっても異なるが、同一等級内では概ね20~30%であるため、信頼水準75%とすると少なくとも各等級50本程度の実験は必要と考えられる。

1.1.2 解析手法

D 2915では、同一等級内製材品のデータ解析を以下の手順で進めることとしている。

1) ASTM-D 198 などの規格に基づいて得られた実験結

果は解析した後、各統計値と付録として生データを提示しなければならない。もし、各因子分析をする場合、手法と結果を明記しなければならない。また、"best-fit"の判断基準も記載する必要がある(なお、"best-fit"の判断方法にはいくつかあり、適用に当たっての注意点が述べられている)。

2) 実験時の含水率を以下の式で一定の含水率時の強度値に換算する。

$$P_2 = P_1 \{(\alpha - \beta M_2) / (\alpha - \beta M_1)\}$$

ここで、

P_1 : 含水率 M_1 時の強度性能実測値

P_2 : 含水率 M_2 時の強度性能換算値

M_1, M_2 : 含水率 (%)

α, β : 表1.1.1に示す係数

ただし、本式の含水率適用範囲(最大含水率値)を22%とし、 M_1 が22%を超える場合には $M_1 = 22\%$ として計算すること、また M_2 は22%以下とする。また、 M_2 と M_1 の差が5%以上のときは適用できない。

表 1. 1. 1 α および β 値
(曲げ試験にかかわるもののみ抜粋)

強度性能	α	β
ヤング係数	1.44	0.0200
曲げ強度	1.75	0.0333

3) MOEをスパン-梁せい比2l, 等分布荷重条件における全スパンたわみからの値に換算する。このとき E/G は一律16とする。換算係数を付表に示す。

<注> 規格では換算係数が表になっているが、その計算式を以下に示す。

E, G : 純曲げヤング係数および剪断弾性係数

MOE: 曲げヤング係数(全体たわみによる)

M_a : スパン-梁せい比2l, 等分布荷重条件における全スパンたわみからの曲げヤング係数(換算値)

I : 断面2次モーメント, A : 断面積, P : 単位荷重, L, S : 実験における全スパンおよび中央モーメント一定区間長さ。

とすると、実験荷重条件での純曲げたわみ δ_b および剪断付加たわみ δ_s は、

$$\delta_b = \frac{P(L-S)}{9GEI} (2L^2 + 2SL - S^2), \quad \delta_s = \frac{3P(L-S)}{10GA}$$

であり、全たわみ $\delta = \delta_b + \delta_s$ より $\delta_s / \delta_b = \phi$ とおくと、

$$\phi = \frac{12}{5} \frac{E}{G} \frac{I^2}{2L^2 + 2SL - S^2}$$

$$\delta = \delta_b (1 + \phi)$$

したがって、

$$E = MOE(1+\phi)$$

となる。同様に換算荷重条件における剪断付加たわみと純曲げたわみの関係から、その比を ρ 、 L_0 を換算条件における全スパン長さとする、

$$\rho = \frac{24}{25} \frac{E}{G} \frac{h^2}{L_0^2}$$

であり、

$$E = E_n(1+\rho)$$

となる。ここで、 $E/G=16$ 、 $L_0/h=21$ を代入し、 E をパラメーターとして整理すると次式が得られる。

$$E_n = MOE(1+\phi) / (1+\rho) = 0.9663 MOE(1+\phi)$$

なお、MOEでモーメント一定区間たわみからの値のみが既知の場合には、 $\phi=0$ として取り扱う。

では、サンプル数を追加するかあるいは NTLを採用する。parametricな方法を用いた場合のPPEとPTLの関係についても同様である。

<注>D 2915では例題として、parametricな方法にnormal, lognormal, Weibullの各分布を適用し当てはめを行っている。これらに関しては専門書を参照して頂きたい。

この84年版と74年版を比較してみると、かなり変更がみられる。その主なものは前述したようにとくにTLの計算法に統計的手法がかなり細かく適用され、以前にあった exclusion limitは言葉としては規格中にでてきていない。また含水率による強度値の換算式の適用範囲も明記されている。なお、曲げ破壊試験方法についての「もし試験材の最弱面が明らかであれば、それを引張側に配属して実験を行う」という記述は削除されている。

4)安全率 (safety factor)と10年累積荷重継続期間効果 (10-year cumulative duration of load effect: normal loading) を考慮した低減係数を乗ずる。

5)統計的解析は以下の手順による。

a)平均値、標準偏差および平均値の信頼区間を計算する。なお、平均値の信頼区間 (CI) は次式による。

$$CI = \bar{x} \pm (s/\sqrt{n})$$

b)nonparametric percent point estimate (NPE)およびnonparametric lower tolerance limit percent (NTL)を求める。すなわち、実験値を昇べきの順に並べ、これを $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ とする。次に1番目から順番に $i/(n+1)$ と $k/100$ を比較していき、最初に $i/(n+1) \geq k/100$ となった i を j とおけば、 j 値 (j^{th} value) をサンプルの k percentile point estimateと呼ぶ。これより、

$$NPE = \{k(n+1)/100 - (j-1)\} \{x_j - x_{j-1}\} + x_{j-1}$$

としてNPEを計算する。

NTLは m 値 (m^{th} value)とも呼び、NPEの信頼区間を考慮して決定される値である。サンプル数と信頼水準から計算された m 値は付表に記載されている。

d)もしparametricな方法による場合は、parametric percent point estimate (PPE) および parametric lower tolerance limit (PTL) を計算する。

e)ヒストグラムまたは累積分布関数、あるいはその両者を描く。ヒストグラム階級幅の最大値は付表に示す。例えば、MOEは $7 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ 、MORは 35 kgf/cm^2 である。もしparametricな方法を用いた場合は、確率密度関数または累積分布関数を計算し、重ね描きする。

6) MOEの許容値には平均値を用いる。もし信頼区間の幅が予測値 $(s/(\sqrt{n})) = \lambda$ とおくと λ は0.01~0.10の範囲) よりかなり大きければサンプル数を追加し、条件が満たされるまで続ける。

7)最低保証値に関しては、NPEとNTLの差が小さいとき $((NPE - NTL)/NPE = \delta$ とおくと δ は0.01~0.10の範囲) サンプルの5%NPEをそのまま用いる。差が大きい場合

1.2 ASTM-D 198-84およびD 245-81について

前述のようにD 198, D 245は構造用製材の実験方法、等級区分法と許容応力度に関して記したものである。

D 198 では、曲げ、圧縮、引張、ねじり、剪断剛性の各試験について、試験装置、試験体、記録方法を細かく述べている。この中で、曲げ試験時の梁せいと荷重スパンの関係について触れており、剪断スパン (支点から荷重点までの距離) を梁せいの5~12倍にするよう指定している。なお、試験体セットの方法には、ここでも指示がない。

D 245 では、目視による等級区分法に関連する強度比(strength ratio)の概念、欠点 (growth characteristics)、許容応力度誘導法等について述べている。これは、強度を変動せしめる因子として、繊維走行の傾斜、節 (あなも同様に扱う)、比重、腐れの生物的特徴のほか、梁せい (size factor: 『曲げ強度は梁せいの1/9乗に比例して低減する』)、含水率、荷重継続期間 (duration of load)、温度、並列材 (multiple-member system)等をあげ、それぞれの強度に及ぼす影響と等級区分方法を記したものである。なお、ここではMOE等を指標としたMSR (機械的等級区分法)、ブルローディングなどには触れていない。

1.3 G.B.WALFORDの文献¹⁾⁵⁾より

WALFORD は上記 ASTM D 2915 (ただし74年版によっている)ので、最近新たな提案をしている可能性もある)を基礎にしながら、TLの計算法にやや異なった手法を採用している。この段階でASTMと異なるの次の2点であった。

1)ISO提案に準じ、TLの信頼水準を75%とする。

2)データ数が少ないときにワイブル分布を適用する。

1)に関しては、ASTMの74年改訂版では信頼水準95、99%のときの表が掲載されているのみであったが、84

年版では前述のように信頼水準を75%とする場合も考慮しており、現時点では相違点が解消されたとみなせる。なお ISO Timber Design Code(1978) は『木材と木質材料に特有な強度性能および剛性値は、荷重時間3~5分、温度23±3℃、関係湿度60±2%の実験条件下で行った下限5%値を基準とする。ここで、実験データ数が少ない場合は75%の信頼水準を考慮しなければならない。』と記述している。

ワイブル分布適用手順は以下のとおりである。まず実験データ数が100以上の場合はそのまま昇べきの順に並べ、

$$i = n^{1/0.66}/34.1$$

より、i 番目のデータをTLとする。

データ数が30~99ではワイブル分布をあてはめ、最もフィットする3つのパラメーターを決定した後、

$$j = n^{1/0.66}/\{0.341(n+1)\}$$

より、j percentilic値に相当した値をTLとする。

<注>このうちデータの少ない方の式を変換して $m = n^{1/0.66} \cdot n / \{34.1(n+1)\}$ とおくと、i および m 値はASTMの表にあげられた NTL値と一致する。これらの式は、M.G.NATRELLAによって誘導されたものであり、ASTM-D 2915 TABLE 2 も同一の式から

計算されているものと思われる。

2. データ収集方法

本事業におけるデータ収集は以下の方法による。

まず、研究報告、学会口頭発表、公立試験研究機関業務報告等、何等かの形で公表されたデータ（幅、厚さ公称45mm以上および枠組壁工法用製材品に限定）を予備調査し、公立試験研究機関については、さらにアンケートによって未公表のデータ等の調査を行った。調査対象から洩れた研究機関もかなりあると思われるが、本文献調査では全体で7000余のデータがストックされていることが明らかとなった⁶⁾。

これをもとに全国21機関（巻末にリストを示す）にデータ提出を依頼した。提出されたのは合計5496試験体データで、上記文献調査データには含まれていない新しい資料もかなり多い。それらを樹種・材種によって分類した結果を表1.1.2に示す。なお、樹種区分のうち、欧州トウヒ、ヒバについてはそれぞれエゾマツ、ヒノキに一括して取り扱った。

6) 飯島泰男：日本建築学会大会梗概集，構造Ⅱ，1397-1398(1987)

表1.1.2 収集データの樹種・材種別分類

含水率；D：19%以下，AD：19~25%，W：25%以上

—在来工法用製材（枠組壁工法用404を含む）—

梁せい(mm)	85未満				85以上165未満				165以上				合計
	II 1				II 2				II 3				
コード	D	AD	W	計	D	AD	W	計	D	AD	W	計	
含水率	D	AD	W	計	D	AD	W	計	D	AD	W	計	
ベイマツ	0	0	0	0	75	81	0	156	0	0	0	0	156
ソ連カマツ	0	0	0	0	173	9	67	249	21	0	0	21	270
ヒノキ	109	1	19	129	110	134	42	286	0	0	0	0	415
カラマツ	141	46	0	187	531	26	0	557	0	0	0	0	744
アカマツ	0	0	0	0	43	59	0	102	2	4	0	6	108
ベイツガ	18	0	0	18	244	15	0	259	0	0	0	0	277
エゾマツ	0	0	0	0	95	2	0	97	0	0	0	0	97
トドマツ	0	0	0	0	176	17	1	194	0	0	0	0	194
スギ	849	37	50	936	787	250	126	1163	80	17	91	188	2287
合計	1117	84	69	1270	2234	593	236	3063	103	21	91	215	4548

—枠組壁工法用製材—

材種	204				206				208				合計
	D	AD	W	計	D	AD	W	計	D	AD	W	計	
ソ連カマツ	184	0	0	184	0	0	0	0	76	0	0	76	260
カラマツ	150	0	0	150	10	0	0	10	0	0	0	0	160
エゾマツ	83	0	0	83	0	0	0	0	96	0	0	96	179
トドマツ	286	0	0	286	0	0	0	0	63	0	0	63	349
合計	703	0	0	703	10	0	0	10	235	0	0	235	948

<注> 欧州トウヒはエゾマツと同じトウヒ属に含まれるものであるが、外来樹種であり、本来はこれらは区分して扱うべきものと思われる。しかし予備的に行った強度データ解析からは、これらを同等品質とみなしても大きな支障をきたさないと判断されたため、便宜的に一括した。

3. サンプルング上の問題点と解析方法

各データのサンプルング方法、既公表文献等のリストは巻末にまとめ、一覧する。

上記ASTM規格を考慮してみると、データ集約からいくつかサンプルング上の問題点もあることが認められる。それらについて列記する。

1) 実験の大半が国公立試験機関で行われており、行政需要からその地域の主要造林樹種の実験を行うケースが殆どである。したがって、たとえば梁桁材の大部分を占めるとされるベイマツのデータが比較的少ないなど、建築構造用として実際に利用頻度の高い樹種が多く取り上げられているわけではない。

2) 収集された各データは各々の実験の目的によってサンプルング方法が異なっており、各地域、樹種の材質・強度を代表するよう試料採取されているとは限らず、また現実に流通していない木取り方法が適用されている場合もある。

3) 国産材では全国的な範囲でデータが網羅されているとは言い切れない。最も試料数の多いスギにしても、現段階で直ちに全国産地別の強度マップが作られる状況には至っていない。また、実験数も各県を一単位とみなしたときには、解析に十分ではない例も見受けられる。

4) 実験方法は一様ではない。荷重条件をみても、試験機の関係でスパンと梁せいの比がかなり小さい例もいくつか見られる。また、欠点調査の方法が異なり、欠測データの多い場合もある。

以上のように本論で解析しようとするデータは、必ずしも利用実態を反映していない場合も多く、サンプル数、実験方法についてもASTMに準拠しているとは限らない。今後のデータ蓄積する際には十分考慮すべきであろう。しかし、材種では10.5cm角を中心とした正角材が多く、極めて大略的には正角材のデータから樹種特性を比較することは可能であると言えるため、サンプルング上の問題点を承知した上で、全国のデータを一括し、これをランダムサンプルングデータとみなして解析を進めようと思う。

ここで行った解析方法は、次の2段階に分けられる。

1) 各強度性能に及ぼす各因子の効果をみるために、樹種ごとに全データをプールし、MORを目的変数(従属変数)とした線形重回帰分析を行ったうえで、各種の

強度変動に關与する因子の効果について検討する。

2) 以上の結果をもとに、いくつかの等級区分法を用い、同一等級内製材品のデータ解析を進める。

なお、枠組壁工法用材については、比較的データが少なく欠測項目が多いこと、また既に一定の研究成果が得られている⁷⁾ことから、節評価法を含めて問題点はあるが、ここでは解析を割愛した。

4. 各樹種・材種区分についての統計的解析

各樹種・材種区分について、等級区分を行わない状態で、各因子の分布を正規分布とみなして統計的解析を行った。

材種は梁せいによって3段階に区分した。理由は、梁せいの影響がASTMでは size factorとして述べられていることは前述のとおりであるが、この係数を用いると梁せいが2倍になったときの低減率は7.5%となり、もし国内で流通している樹種に対しても同様に適用されるとすれば、正割、正角、平角程度に分類して強度を考察するのが適切と考えられたからである。

以下、解析因子を次のように略記する。()内は単位である。

B : 材幅 (mm)
H : 梁せい (mm)
MC : 含水率 (%)
 r_{15} : 含水率15%時比重
ARW : 平均年輪幅 (mm)
GRN : 繊維走行の傾斜 (mm/mm)
Kmax : JASによる最大節径比 (%)
Cmax : JASによる最大集中節径比 (%)
MOE : 曲げヤング係数 ($\times 10^3$ kgf/cm²)
Sp : 曲げ比例限度応力 (kgf/cm²)
MOR : 曲げ強度 (kgf/cm²)

以上のうち MOEについては、試験機関によって実験条件およびたわみ測定方法が異なる場合があったため、ASTMの換算方法に準じ、スパン-梁せい比21、等分布荷重条件における全スパンたわみからの値に換算した。

さらにMOR、MOEはASTMに記載された含水率による強度換算式を用いて、MC15%時の値に調整した。

<注> 含水率の効果は予備的に行ったデータ解析の結果をみる限り明確ではない。これは含水率を全体の平均値として計算したためと思われ、平均ではFSPを超えていたとしても、表面は既に平衡含水率にかなり近づいているため曲げ強度性能は気乾材と近似したものとなっているのも一つの原因と考えられる。しかし、ASTMに記載された含水率による強度換算式を用いて、MORおよびMOEの

7) 農林水産技術会議：枠組壁工法のための建築用木材の強度等級区分法確立に関する研究(1978)

未乾燥時とMC15%時の比率を求めると、それぞれ1.23, 1.14であり、既公表のデータ(中井⁸⁾)はスギ材で1.30, 1.17, 同様に飯島ら⁹⁾はソ連カラマツ材1.34, 1.21, ただし、MORについては品質の影響が大きく低品質材ほど増加率が少ない、と報告している)とほぼ近似した値となるため、ここでは実用的には含水率がかなり高い場合にも適用可能と考えて、同式を適用した。

しかし、MC22%以上での変動傾向、材内の含水率分布などの乾燥理論を含めた問題、B.MADSENの報告¹⁰⁾にも示されるように、低品質材では含水率の低下による強度増加が認められないことから品質を問わず一定の係数によって強度データを調整すること自体の問題は今後検討を要する課題と考えられる。

また、 r_{15} は乾燥に伴う収縮を考慮した次式によって試験時比重 r_u から換算した。

a) $u \leq 28\%$ のとき

$$r_{15} = \frac{(1 + \alpha_T \cdot u / 100)(1 + \alpha_R \cdot u / 100) \cdot 1.15 \cdot r_u}{(1 + 0.15 \alpha_T)(1 + 0.15 \alpha_R)(1 + u / 100)}$$

b) $u > 28\%$ のとき

$$r_{15} = \frac{(1 + 0.28 \alpha_T)(1 + 0.28 \alpha_R) \cdot 1.15 \cdot r_u}{(1 + 0.15 \alpha_T)(1 + 0.15 \alpha_R)(1 + u / 100)}$$

ここで、

u : 試験時含水率 (%)

r_u, r_{15} : 含水率 u , および15%時の比重

α_T, α_R : 接線および半径方向の含水率1%あたりの収縮率(表1.1.3による)

表1.1.3 含水率1%あたりの収縮率 (%)

樹種	α_T	α_R	文献
スギ	0.25	0.10	木材工業ハンドブック ¹¹⁾
エゾマツ	0.29	0.15	同上
トドマツ	0.35	0.14	同上
カラマツ	0.28	0.18	同上
アカマツ	0.29	0.18	同上
ヒノキ	0.23	0.12	同上
ベイツガ	0.20	0.14	WOOD HANDBOOK ¹²⁾
ベイマツ	0.26	0.16	同上
ソ連カラマツ	0.42	0.17	木材と技術No.11 ¹³⁾

8)中井孝ら：木材工業，39，235-241(1984)

9)飯島泰男ら：木材と技術，63，1-11(1985)

10)B.MADSEN：In-Grade Testing—Problem Analysis, F.P.J., Vol.28-4, 42-50(1978)

11)林業試験場監修：木材工業ハンドブック，186-187, 丸善(1982)

12)USDA：WOOD HANDBOOK，3-9(1974)

13)鷲岡雅ら：木材と技術，11,13-15(1972)

4.1 各因子の統計値の計算

各因子の試験体数，平均値，標準偏差，変動係数および平均値の信頼区間を正規分布と仮定して計算し，表1.1.4に示した。ここで材種の区分は梁せいによって行った。H1, H2, H3はそれぞれ正割，正角，平角材に概ね相当する。また平均値の信頼区間は，表中では信頼水準95%の時の $t_{s/\sqrt{n}}$ をC.L.として記載した。

4.2 重回帰分析

曲げ強度に及ぼす各因子の影響を概略的にとらえるため，樹種ごとに全データをプールし，MORを目的変数として線形重回帰分析を行った。解析の手順は以下のとおりである。

1)説明変数には r_u , ARW, GRN, K_{max} , C_{max} およびMOEのG変数を用いる。

2)説明変数とした因子のうち測定データ数が著しく少ない場合，最初の段階でその因子は不採用とする。

3)各説明変数は目的変数と直線的な関係にあるものと仮定する。

4)回帰モデルは以下の3種とする。

a)すべての目的変数による重回帰分析を行い，各説明変数の偏回帰係数のt値が最も小さいものから順に削除していく，いわゆる変数減少法により，残されたすべての変数の偏回帰係数のt値が有意水準0.1%レベルで有意になったとき。

b)同様に，説明変数からMOEを除いたとき。

c)MOEのみによるとき。

5)説明変数のうち一つでも欠測値が含まれるデータは解析には使用しないものとし，説明変数の組合せが変更された状態でそれぞれデータを検索して用いる。したがって，説明変数の組合せによってはデータ数が順次変化して行くことになる。

以上の方法から得られた推定式は，サンプルの条件からも明らかなように，十分な普遍性をもつものではない。ここでは「目的変数を推定するのに有効な因子を概略的にとらえ，樹種にかかわらず有効と思われるものを抽出する」といった意味で考えて頂きたい。なお，変数の選択のためのt値の有意水準を通常統計学で用いる1あるいは5%としなかったのは，目的変数の推定精度を因子選択の指標として考えたとき，危険率0.1%水準の因子の追加あるいは削除によって標準誤差($\sqrt{V_e}$)が比較的大きな変化を示す傾向が認められたためである。

結果のうちMORおよびMOEと各因子の単相関係数を表1.1.5に，危険率0.1%水準で有意の変数による重回帰式の各偏回帰係数のt値，決定係数(R^2)，F値および標準誤差($\sqrt{V_e}$)を表1.1.6に示した。

4.3 解析結果の要約

表1.1.4から，梁せいと強度性能の関係と比較すると，MORは梁せいの増加に伴い，ヒノキ，カラマツ，

表1-4 測定結果のまとめ

—在来工法用製材(幹細壁工法用404を含む)のみ—

樹種・材種			B	II	MC	r _{is}	ARW	GRN	Kmax	Cmax	MOE	Sp	MOR	Sp/MOR
ベイマツ	H2	n	156	156	156	156	156	58	156	156	156	156	156	156
		Mean	104.6	118.2	18.4	0.557	2.76	55.0	25.6	29.1	121.5	339.7	552.7	0.679
		S.D.	0.8	21.3	2.6	0.042	1.30	37.5	16.2	17.8	28.7	122.4	184.0	0.114
		C.V.	0.7	18.0	14.4	7.5	47.1	68.2	63.7	61.1	22.3	36.0	33.3	16.8
		C.L.	—	—	—	0.007	0.21	5.9	2.6	2.8	4.5	19.4	29.0	0.018
ソ連がマツ	H2	n	249	249	249	249	48	249	249	249	249	249	249	249
		Mean	101.9	101.9	23.6	0.622	2.08	58.3	17.4	21.1	131.7	345.9	572.5	0.636
		S.D.	6.3	6.3	16.1	0.068	0.99	48.7	12.4	15.6	24.6	113.3	157.1	0.122
		C.V.	6.2	6.2	68.4	10.9	47.4	83.6	71.4	73.6	18.7	32.7	27.1	19.2
		C.L.	—	—	—	0.006	0.29	6.1	1.5	1.9	3.1	14.1	19.6	0.015
ヒノキ	H1	n	129	129	129	82	119	0	128	128	129	82	129	82
		Mean	60.4	59.0	22.9	0.507	3.38	—	23.1	38.7	110.4	347.9	681.3	0.540
		S.D.	14.8	11.5	19.5	0.062	1.03	—	6.3	12.2	18.2	76.9	154.4	0.121
		C.V.	24.5	19.5	85.3	12.2	30.6	—	27.4	31.6	17.0	22.1	18.1	22.4
		C.L.	—	—	—	0.013	0.19	—	1.1	2.1	3.2	16.8	20.5	0.026
	H2	n	286	286	286	282	220	50	258	258	286	213	286	213
		Mean	104.1	108.0	21.7	0.512	2.83	15.6	26.0	40.1	110.0	325.9	568.3	0.655
		S.D.	4.6	13.2	7.5	0.038	1.09	8.7	6.7	13.1	14.7	78.6	114.7	0.139
		C.V.	4.4	12.2	34.5	7.5	38.5	56.2	25.7	32.8	13.4	24.1	20.2	21.2
		C.L.	—	—	—	0.005	0.15	2.5	0.8	1.6	1.7	10.6	13.4	0.019
カラマツ	H1	n	187	187	187	185	187	0	181	155	187	176	187	176
		Mean	67.0	63.6	15.8	0.503	4.66	—	27.2	42.1	91.5	269.3	482.9	0.542
		S.D.	20.4	16.2	3.5	0.057	1.42	—	10.0	16.1	29.8	142.4	149.4	0.156
		C.V.	30.5	25.4	22.2	11.3	30.5	—	36.9	38.2	32.6	52.9	30.9	28.8
		C.L.	—	—	—	0.008	0.21	—	1.5	2.6	4.3	21.2	21.6	0.023
	H2	n	557	557	557	557	557	258	326	326	557	552	557	552
		Mean	103.4	103.4	16.8	0.475	5.32	40.6	24.3	35.1	83.9	236.2	417.1	0.594
		S.D.	4.9	4.9	2.1	0.055	1.54	32.1	10.8	15.6	17.7	75.6	91.0	0.128
		C.V.	4.7	4.7	12.7	11.5	29.0	79.0	44.4	44.6	21.0	32.0	21.8	21.5
		C.L.	—	—	—	0.005	0.13	3.9	1.2	1.7	1.5	6.3	7.6	0.011
アカマツ	H2	n	102	102	102	102	102	54	102	102	102	102	102	102
		Mean	104.6	125.7	19.9	0.544	4.33	32.8	25.6	44.0	106.2	252.1	447.4	0.671
		S.D.	0.8	23.0	1.7	0.045	1.32	17.2	10.0	17.0	17.9	52.7	131.4	0.127
		C.V.	0.8	18.3	8.4	8.3	30.6	52.3	38.9	38.6	16.9	20.9	29.4	18.9
		C.L.	—	—	—	0.009	0.26	3.3	2.0	3.3	3.5	10.3	25.6	0.025
ベイツガ	H2	n	259	259	259	259	50	0	259	50	259	259	259	259
		Mean	104.7	104.8	15.7	0.491	4.13	—	37.9	68.1	112.9	306.6	460.7	0.685
		S.D.	0.7	0.6	1.5	0.058	1.26	—	20.0	22.1	24.4	135.9	183.9	0.135
		C.V.	0.7	0.6	9.5	11.8	30.6	—	52.8	32.4	21.6	44.3	39.9	19.7
		C.L.	—	—	—	0.007	0.34	—	2.4	6.3	3.0	16.6	22.5	0.017
エゾマツ	H2	n	97	97	97	97	97	81	81	97	97	56	97	56
		Mean	104.8	104.5	16.1	0.412	4.72	48.9	26.4	35.6	92.0	269.1	375.3	0.706
		S.D.	1.0	1.0	1.3	0.028	1.62	19.6	10.9	19.3	17.0	64.7	101.0	0.100
		C.V.	0.9	1.0	8.0	6.7	34.2	40.1	41.2	54.3	18.4	24.1	26.9	14.1
		C.L.	—	—	—	0.006	0.33	4.4	2.4	3.9	3.4	17.4	20.4	0.027
トドマツ	H2	n	194	194	194	194	193	72	71	37	194	194	194	194
		Mean	104.9	104.9	16.4	0.387	4.86	40.4	24.6	23.7	85.5	258.5	377.7	0.717
		S.D.	1.0	0.7	1.9	0.025	1.00	23.4	8.6	15.9	11.9	54.0	80.1	0.089
		C.V.	1.0	0.7	11.7	6.3	20.5	57.8	35.1	67.1	13.9	20.9	21.2	12.4
		C.L.	—	—	—	0.003	0.14	5.5	2.0	5.3	1.7	7.7	11.4	0.013
スギ	H1	n	936	936	936	827	740	0	393	384	936	676	936	676
		Mean	68.8	66.2	18.9	0.411	5.01	—	18.2	37.0	59.2	247.5	416.1	0.601
		S.D.	11.4	10.8	19.1	0.040	1.70	—	10.1	16.0	19.2	78.8	89.5	0.139
		C.V.	16.5	16.4	101.4	9.8	34.0	—	55.7	43.2	32.4	31.8	21.5	23.1
		C.L.	—	—	—	0.003	0.12	—	1.0	1.6	1.2	5.9	5.7	0.010
	H2	n	1163	1163	1163	1163	1090	488	845	906	1163	974	1163	974
		Mean	102.7	103.7	21.3	0.406	4.96	18.8	22.2	37.0	70.3	240.6	409.6	0.630
		S.D.	8.5	10.9	16.0	0.048	1.71	14.6	5.9	11.7	22.1	64.8	87.8	0.122
		C.V.	8.3	10.5	12.2	11.8	34.6	77.9	26.6	31.7	31.4	26.9	21.4	19.4
H3	n	188	188	188	188	188	0	0	0	188	188	188	188	
	Mean	118.5	210.0	30.7	0.424	3.43	—	—	—	82.5	275.6	380.9	0.722	
	S.D.	4.6	46.2	20.2	0.035	0.96	—	—	—	18.1	65.4	72.6	0.095	
	C.V.	3.9	19.2	65.8	8.2	27.9	—	—	—	21.9	23.7	19.0	13.2	
C.L.	—	—	—	0.005	0.14	—	—	—	2.6	9.5	10.5	0.014		

n : 試験体数, Mean : 平均値, S.D. : 標準偏差, C.V. : 変動係数(%), C.L. : 平均値の95%信頼範囲 (=ts/√n)

表1. 1. 5 各因子とMORまたはMOEの単相関係数(試料数5.0以上)

樹種	r (vs MOR)						r (vs MOE)				
	r15	ARW	GRN	Kmax	Cmax	MOE	r15	ARW	GRN	Kmax	Cmax
ベイマツII2	.37	-.08	-.08	-.62	-.57	.82	.27	-.07	-.44	-.51	-.44
ソ連カマツII2	.58	—	-.44	-.55	-.54	.77	.59	—	-.37	-.46	-.43
ヒノキII1	-.48	-.28	—	-.15	-.22	.63	-.53	-.58	—	-.20	-.26
ヒノキII2	.21	-.17	.22	-.23	-.19	.57	.26	-.27	.13	-.15	-.15
カラマツII1	.50	-.54	—	-.16	.05	.63	.61	-.65	—	-.10	.24
カラマツII2	.41	-.32	-.16	-.41	-.44	.71	.52	-.36	-.06	-.23	-.22
アカマツII2	.63	-.63	.04	-.57	-.67	.71	.70	-.59	-.05	-.37	-.43
ペイツガII2	.34	-.52	—	-.27	-.21	.82	.56	-.47	—	-.22	-.26
エゾマツII2	.30	-.47	-.41	-.24	-.62	.64	.44	-.41	-.49	-.22	-.50
トドマツII2	.22	-.30	.01	-.21	—	.53	.37	-.32	-.19	-.21	—
スギII1	.36	-.38	—	.09	-.08	.62	.24	-.47	—	.07	-.04
スギII2	.41	-.38	-.19	-.03	-.06	.72	.26	-.50	-.03	.10	.00
スギII3	.27	-.34	—	—	—	.71	.42	-.51	—	—	—

スギともに減少する傾向を示しているのに対し、MOEではそれぞれ樹種によって異なっている。とくにヒノキ、カラマツでは梁せい範囲があまり広くなく、これらの結果のみからその影響を明確にすることはできないが、これら国産材の場合では低減係数の数値のみならず、未成熟材範囲等も考慮にいれた検討の必要性を示しているように思われる。なお、飯島¹⁴⁾はソ連カラマツ気乾材で、強度は梁せいの1/5乗に比例した減少傾向を示すとしている。

またMORの予測に関しては、表1.1.5, 6より、

1)すべての樹種を問わず有効な因子と考えられるのはMOEのみであり、これを除くと他の視覚的因子すべてを考慮しても、多くの場合MOE単独の方が推定誤差は小さい。

2)視覚的因子の中では節(KmaxまたはCmax)と比重が有効と考えられる。またこれらをMOEと組み合わせると推定誤差は効果的に減少する場合が多い。

3)繊維走行の傾斜、年輪幅はMOEとの相関が高いこともあって、MOEを説明変数に採用したとき測定の本質はない。年輪幅は目視のみによるときには効果的である樹種が多いが、いずれも国産の心持ち材であり、未成熟材との関連(髄からの年輪数など)も考慮してみる必要が残され、この結果のみからは断定しにくい。

4)単純に単相関係数のみから各因子の効果を判断すると、例えばスギの節のように、全く効果の認められない場合もあるので留意されるべきであろう。

5. 等級区分と各等級区分材の解析

以上の結果から、等級区分の指標としてMOE、節お

よび比重を有効と考え、これらによって等級区分した場合の強度性能について検討した。

等級区分方法として、目視およびMOEによる機械的区分法の二種を採用した(併用法は今回は割愛する)。

樹種区分は建築学会「木構造計算規準(案)」¹⁵⁾をもとに、今回収集されたデータから得られた比重の分布を考慮した。節の限界値は同案ではなく、直角に対する現行のJAS値を、比重は各樹種区分の平均とみなされる値、およびそれから0.05減じた値を用いた。MOEは区分幅を $20 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ とした。各区分の限界値を表1.1.7に示す。

等級区分された各グループの強度性能は、ASTMにほぼ準じ、以下の方法で解析した。

1)各強度性能値の平均値、標準偏差、変動係数および平均値の信頼区間を計算する。

2)MORについてはparametricおよびnonparametricの2種類の方法を適用してnear-minimum value(信頼水準75%における5%ile値)を計算する。

a)parametric法では正規およびワイブル分布の当てはめによってPPEおよびPTLを計算する(lognormal分布は適合度のみを計算)。ただし後者では得られた分布関数式から、NATRELLA式を用いてiまたはm番目のpercentile値に相当する値をPTLとする。すなわち、

$$n \geq 100 \text{ のとき, } i = n^{.999} / 34.1$$

$$99 \geq n \text{ のとき, } m = n^{.999} \cdot n / \{34.1(n+1)\}$$

である。

b)nonparametric法ではASTM法を適用し、NPEおよびNTLを計算する。ただし、NTL値はNATRELLA式により、iまたはmが整数値をとらないときは直線補間法を用いる。結果を表1.1.8, 図1.1.1~9に示す。

14)飯島泰男：日本建築学会大会梗概集、構造II, 1265~1266(1986)

15)建築学会：建築雑誌, 1266, 64-70(1987)

表1-6 重回帰分析結果
(NS: 危険率0.1%レベルで有意性認められず, -: データなし)

樹種	材種	回帰モデル	試料数	説明変数および偏回帰係数のt値						R ²	F値	√Ve
				r _{1s}	ARW	GRN	Kmax	Cmax	MOE			
ベイマツ	H2	全変数	156	3.68	NS	-	- 5.70	NS	12.99	0.745	147.72	93.9
		MOE除く	156	4.64	NS	-	- 9.59	NS	—	0.461	65.49	135.9
		MOEのみ	156	—	—	—	—	—	17.50	0.665	306.23	106.8
ソ連カラマツ	H2	全変数	249	4.07	-	- 4.24	NS	- 5.39	10.37	0.685	132.56	88.9
		MOE除く	249	9.60	-	- 5.60	- 7.24	NS	—	0.552	100.54	105.6
		MOEのみ	249	—	—	—	—	—	18.82	0.589	354.26	100.0
ヒノキ	H1	全変数	129	NS	NS	-	NS	NS	6.84	0.286	46.79	111.3
		MOE除く	119	NS	NS	-	NS	NS	—	—	—	—
		MOEのみ	129	—	—	—	—	—	6.84	0.286	46.79	111.3
	H2	全変数	286	NS	NS	-	NS	NS	11.64	0.323	135.39	94.5
		MOE除く	254	3.86	- 3.33	-	- 4.51	NS	—	0.157	12.47	98.2
		MOEのみ	286	—	—	—	—	—	11.64	0.323	135.39	94.5
カラマツ	H1	全変数	187	NS	NS	-	NS	NS	12.97	0.476	168.23	97.9
		MOE除く	185	3.86	- 4.76	-	NS	NS	—	0.338	46.39	110.9
		MOEのみ	187	—	—	—	—	—	12.97	0.476	168.23	97.9
	H2	全変数	326	NS	NS	NS	NS	- 8.22	16.60	0.567	211.59	69.2
		MOE除く	326	7.15	NS	NS	NS	- 9.71	—	0.308	71.75	87.5
		MOEのみ	557	—	—	—	—	—	23.64	0.502	558.79	64.3
アカマツ	H2	全変数	102	NS	NS	-	NS	- 6.83	8.14	0.666	98.86	76.6
		MOE除く	102	3.93	- 3.74	-	NS	- 5.90	—	0.637	57.45	80.3
		MOEのみ	102	—	—	—	—	—	10.19	0.509	103.80	92.5
ベイツガ	H2	全変数	259	- 3.90	-	-	NS	-	21.91	0.693	289.37	102.2
		MOE除く	259	6.33	-	-	- 5.08	-	—	0.199	31.84	165.2
		MOEのみ	259	—	—	—	—	—	23.11	0.675	534.07	105.0
エゾマツ	H2	全変数	97	NS	NS	NS	NS	- 4.79	5.49	0.529	52.83	70.0
		MOE除く	81	NS	- 3.33	- 4.14	NS	- 3.52	—	0.405	17.47	70.2
		MOEのみ	97	—	—	—	—	—	8.20	0.414	67.21	77.7
トドマツ	H2	全変数	194	NS	NS	NS	-	NS	8.67	0.281	75.11	68.1
		MOE除く	-	NS	NS	NS	-	NS	—	—	—	—
		MOEのみ	194	—	—	—	—	—	8.67	0.284	75.11	68.1
スギ	H1	全変数	308	6.69	NS	-	NS	- 4.00	19.52	0.639	179.09	52.5
		MOE除く	308	3.84	- 7.40	-	NS	- 3.50	—	0.310	45.47	72.8
		MOEのみ	936	—	—	—	—	—	24.23	0.386	586.91	70.2
	H2	全変数	818	11.31	NS	NS	- 7.72	NS	35.95	0.673	559.23	51.1
		MOE除く	488	9.84	- 7.23	- 4.05	NS	- 8.20	—	0.327	58.80	67.0
		MOEのみ	1163	—	—	—	—	—	35.66	0.523	1271.3	60.7
	H3	全変数	188	NS	NS	-	-	-	13.91	0.510	193.55	52.1
		MOE除く	188	3.67	- 4.69	-	-	-	—	0.173	19.32	67.8
		MOEのみ	188	—	—	—	—	—	13.91	0.510	193.55	52.1

表1-7 等級区分の限界値

樹種区分	比重			最大節径比(%)			集中節径比(%)			MOE					
	特等	1等	2等	特等	1等	2等	特等	1等	2等	E150	E130	E110	E090	E070	E050
ベイマツ, ソ連カラマツ	0.60	0.55	-	30	40	70	40	60	80	140	120	100	80	60	40
ヒノキ, カラマツ, ベイツガ, アカマツ	0.50	0.45	-												
エゾマツ, トドマツ, スギ	0.40	0.35	-												

表1-8 等級区分材の

梁せい範囲：85～165mm、各数値は含水率15%時の値に調整済み

項目：n：試験体数、Mean：平均値、S.O.：標準偏差、C.V.：変動係数(%), C.L.：平均値の95%信頼範囲(=ts/√n),

等級区分法		非等級区分			目視(節および比置)									E150		
					特等(VS)			1等(V1)			2等(V2)					
樹種	項目	ris	MOE	MOR	ris	MOE	MOR	ris	MOE	MOR	ris	MOE	MOR	ris	MOE	MOR
ベ イ マ ツ	n	156	156	156	18	18	18	57	57	57	76	76	76	61	61	61
	Mean	0.557	129.0	552.7	0.623	147.5	720.4	0.577	137.6	625.0	0.526	121.0	478.3	0.571	159.2	702.6
	S.O.	0.042	28.7	184.0	0.022	25.5	135.0	0.016	27.5	177.6	0.030	25.5	140.7	0.034	12.3	130.9
	C.V.	7.5	22.3	33.3	3.5	17.3	18.7	2.9	20.0	28.4	5.8	21.1	29.4	5.9	7.7	18.6
	C.L.	0.007	4.5	29.0	0.011	12.6	66.9	0.004	7.3	47.0	0.007	5.8	32.3	0.009	3.1	33.5
	PPE(N)	-	-	247.6	-	-	486.3	-	-	327.0	-	-	243.2	-	-	483.8
	PPE(W)	-	-	245.6	-	-	446.9	-	-	295.6	-	-	231.9	-	-	469.4
	NPE	-	-	254.9	-	-	-	-	-	339.6	-	-	254.8	-	-	476.0
	PTL(N)	-	-	219.5	-	-	457.0	-	-	303.4	-	-	223.5	-	-	465.5
	PTL(W)	-	-	230.0	-	-	413.8	-	-	271.9	-	-	215.6	-	-	452.5
NTL	-	-	239.7	-	-	-	-	-	250.6	-	-	244.9	-	-	466.0	
ソ 連 カ ラ マ ツ	n	249	249	249	128	128	128	82	82	82	39	39	39	92	92	92
	Mean	0.622	131.7	572.5	0.665	145.6	656.4	0.595	119.5	496.5	0.536	111.7	456.9	0.667	157.7	705.3
	S.O.	0.068	24.6	157.1	0.054	21.5	143.9	0.041	18.0	109.6	0.039	18.5	128.3	0.062	12.7	120.7
	C.V.	10.9	18.7	27.4	8.1	14.8	21.9	6.8	15.0	22.1	7.3	16.7	28.1	9.3	8.1	17.1
	C.L.	0.008	3.1	19.6	0.009	3.8	25.2	0.009	4.0	24.1	0.013	6.0	41.6	0.013	2.6	25.0
	PPE(N)	-	-	312.0	-	-	417.9	-	-	313.5	-	-	240.6	-	-	503.6
	PPE(W)	-	-	300.6	-	-	397.9	-	-	270.6	-	-	215.0	-	-	485.1
	NPE	-	-	332.5	-	-	382.2	-	-	332.0	-	-	193.4	-	-	482.6
	PTL(N)	-	-	288.0	-	-	395.8	-	-	298.1	-	-	221.1	-	-	486.7
	PTL(W)	-	-	287.5	-	-	381.0	-	-	253.8	-	-	195.6	-	-	464.5
NTL	-	-	317.3	-	-	370.6	-	-	315.0	-	-	184.3	-	-	446.6	
ヒ ノ キ	n	282	286	286	67	67	67	155	155	155	34	34	34	-	-	-
	Mean	0.517	110.0	568.3	0.528	117.3	628.1	0.509	110.7	563.1	0.478	106.1	566.0	-	-	-
	S.O.	0.047	14.7	114.7	0.020	14.8	89.7	0.037	12.0	104.2	0.056	14.5	129.6	-	-	-
	C.V.	9.0	13.4	20.2	3.7	12.5	14.3	7.2	10.8	18.5	11.8	13.7	22.9	-	-	-
	C.L.	0.006	1.7	13.4	0.005	3.6	21.9	0.006	1.9	16.6	0.020	5.1	45.2	-	-	-
	PPE(N)	-	-	378.2	-	-	478.2	-	-	390.3	-	-	346.8	-	-	-
	PPE(W)	-	-	368.4	-	-	485.2	-	-	384.4	-	-	295.6	-	-	-
	NPE	-	-	368.9	-	-	472.8	-	-	385.0	-	-	253.8	-	-	-
	PTL(N)	-	-	360.7	-	-	465.7	-	-	374.3	-	-	325.9	-	-	-
	PTL(W)	-	-	357.8	-	-	477.1	-	-	373.1	-	-	271.3	-	-	-
NTL	-	-	359.3	-	-	468.4	-	-	382.1	-	-	252.5	-	-	-	
カ ラ マ ツ	n	557	557	557	59	59	59	138	138	138	128	128	128	-	-	-
	Mean	0.475	83.9	417.1	0.516	96.9	509.2	0.486	85.3	436.7	0.440	74.9	372.8	-	-	-
	S.O.	0.055	17.7	91.0	0.042	18.8	98.5	0.029	14.5	94.3	0.054	15.2	88.9	-	-	-
	C.V.	11.5	21.0	21.8	7.8	19.4	19.4	6.0	17.0	21.6	12.4	20.3	23.9	-	-	-
	C.L.	0.005	1.5	7.6	0.011	4.9	25.7	0.005	2.4	15.9	0.009	2.7	15.6	-	-	-
	PPE(N)	-	-	266.9	-	-	343.9	-	-	280.3	-	-	225.3	-	-	-
	PPE(W)	-	-	278.2	-	-	342.9	-	-	294.9	-	-	240.7	-	-	-
	NPE	-	-	277.6	-	-	336.4	-	-	299.9	-	-	246.6	-	-	-
	PTL(N)	-	-	252.3	-	-	330.7	-	-	265.8	-	-	211.7	-	-	-
	PTL(W)	-	-	274.4	-	-	332.3	-	-	288.7	-	-	235.7	-	-	-
NTL	-	-	274.8	-	-	331.1	-	-	295.7	-	-	246.0	-	-	-	

比重, MOE および MOR

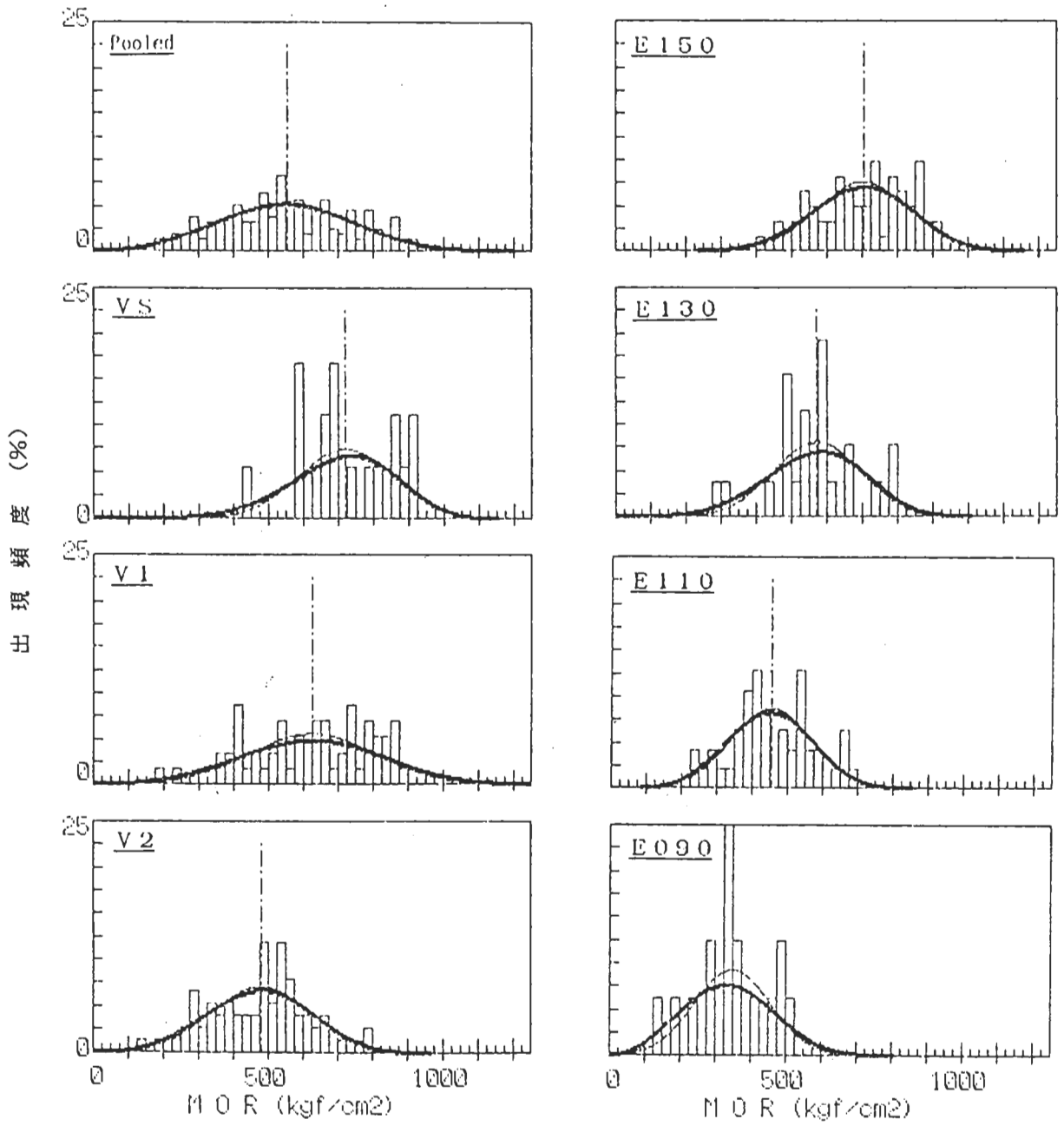
PPE(N) : 正規分布仮定時の5%point推定値, PPE(W) : ワイブル分布仮定時の5%point推定値, NPE : nonparametric 5%point推定値,
 PTL(N) : 正規分布仮定時の5%信頼下限値, PTL(W) : ワイブル分布仮定時の5%信頼下限値, NTL : nonparametric 5%信頼下限値

M O E														
E130			E110			E090			E070			E050		
γ ₁₅	MOE	MOR	γ ₁₅	MOE	MOR	γ ₁₅	MOE	MOR	γ ₁₅	MOE	MOR	γ ₁₅	MOE	MOR
26	26	26	47	47	47	16	16	16	-	-	-	-	-	-
0.546	129.0	571.9	0.547	109.8	454.9	0.558	91.1	349.1	-	-	-	-	-	-
0.038	6.9	124.0	0.051	6.0	114.4	0.033	6.3	108.0	-	-	-	-	-	-
7.0	5.3	21.7	7.0	5.4	25.2	6.9	6.9	30.9	-	-	-	-	-	-
0.015	2.8	50.0	0.015	1.8	33.6	0.017	3.3	16.4	-	-	-	-	-	-
-	-	360.2	-	-	262.8	-	-	160.5	-	-	-	-	-	-
-	-	321.9	-	-	258.8	-	-	141.9	-	-	-	-	-	-
-	-	299.9	-	-	252.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	337.4	-	-	247.0	-	-	135.5	-	-	-	-	-	-
-	-	296.9	-	-	244.4	-	-	123.1	-	-	-	-	-	-
-	-	250.6	-	-	243.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76	76	76	57	57	57	22	22	22	-	-	-	-	-	-
0.612	129.0	546.3	0.590	111.1	480.7	0.561	92.4	384.1	-	-	-	-	-	-
0.054	5.8	91.3	0.056	6.1	111.9	0.048	6.0	91.1	-	-	-	-	-	-
8.9	4.5	16.7	9.5	5.5	23.3	8.6	6.5	23.7	-	-	-	-	-	-
0.012	1.3	20.9	0.015	1.6	29.7	0.021	2.7	10.5	-	-	-	-	-	-
-	-	393.8	-	-	293.0	-	-	227.6	-	-	-	-	-	-
-	-	385.4	-	-	279.8	-	-	201.3	-	-	-	-	-	-
-	-	380.1	-	-	309.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	381.1	-	-	278.1	-	-	209.5	-	-	-	-	-	-
-	-	373.5	-	-	262.9	-	-	183.1	-	-	-	-	-	-
-	-	352.0	-	-	305.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
77	77	77	135	137	137	64	66	66	-	-	-	-	-	-
0.519	127.5	644.9	0.513	110.1	568.1	0.501	92.8	488.9	-	-	-	-	-	-
0.042	6.6	89.6	0.035	5.6	93.9	0.039	5.6	113.2	-	-	-	-	-	-
8.1	5.2	13.9	6.7	5.1	16.5	7.8	6.0	23.1	-	-	-	-	-	-
0.010	1.5	20.4	0.006	0.9	15.9	0.010	1.4	27.9	-	-	-	-	-	-
-	-	495.2	-	-	412.3	-	-	299.8	-	-	-	-	-	-
-	-	478.0	-	-	399.5	-	-	297.1	-	-	-	-	-	-
-	-	484.5	-	-	404.5	-	-	286.2	-	-	-	-	-	-
-	-	482.7	-	-	398.0	-	-	283.9	-	-	-	-	-	-
-	-	463.7	-	-	387.6	-	-	283.3	-	-	-	-	-	-
-	-	463.3	-	-	392.8	-	-	257.9	-	-	-	-	-	-
-	-	-	91	91	91	221	221	221	201	201	201	42	42	42
-	-	-	0.512	107.2	529.2	0.483	89.1	433.7	0.457	71.7	369.6	0.425	55.5	320.9
-	-	-	0.058	5.2	83.8	0.047	5.6	69.7	0.045	5.3	60.4	0.045	3.8	45.4
-	-	-	11.3	4.8	15.8	9.8	6.3	16.1	9.8	7.4	16.3	10.5	6.9	14.1
-	-	-	0.012	2.4	17.5	0.006	0.7	9.2	0.006	0.7	8.4	0.014	1.2	14.1
-	-	-	-	-	389.2	-	-	318.1	-	-	269.5	-	-	244.5
-	-	-	-	-	392.2	-	-	313.9	-	-	267.3	-	-	250.8
-	-	-	-	-	394.2	-	-	335.1	-	-	266.2	-	-	248.6
-	-	-	-	-	377.5	-	-	307.4	-	-	260.2	-	-	237.9
-	-	-	-	-	384.0	-	-	307.1	-	-	261.7	-	-	247.1
-	-	-	-	-	375.3	-	-	326.2	-	-	262.7	-	-	247.3

表1-8 等級区分材の比重、

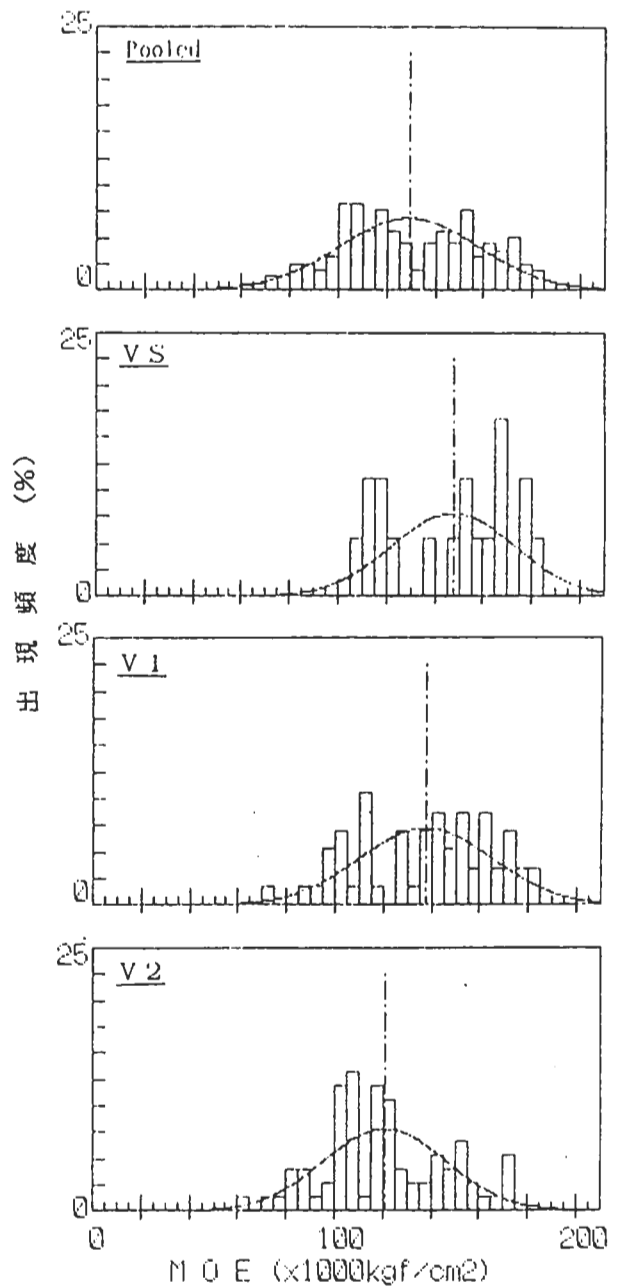
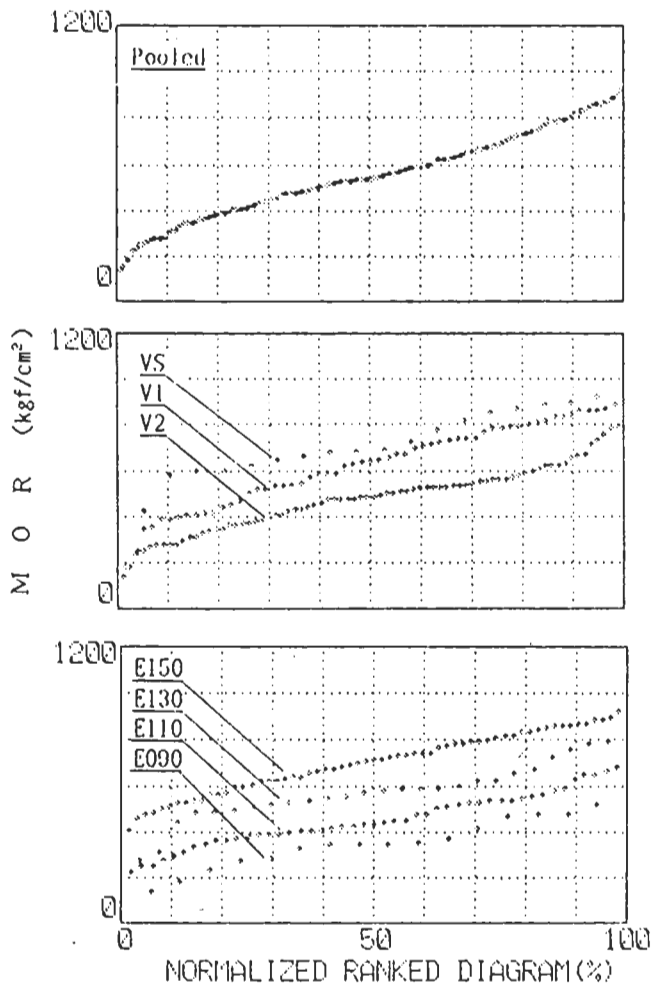
等級区分法		非等級区分			目視(節および比重)									E150		
					特等(VS)			1等(V1)			2等(V2)					
樹種	項目	r15	MOE	MOR	r15	MOE	MOR	r15	MOE	MOR	r15	MOE	MOR	r15	MOE	MOR
ア	n	102	102	102	30	30	30	53	53	53	16	16	16	-	-	-
	Mean	0.544	106.2	447.4	0.574	117.6	584.6	0.536	103.5	405.7	0.514	93.7	325.7	-	-	-
	S.D.	0.045	17.9	131.4	0.037	18.7	114.8	0.041	15.6	88.1	0.045	13.9	59.3	-	-	-
	C.V.	8.3	16.9	29.4	6.4	15.9	19.6	7.7	15.1	21.7	8.7	14.8	18.2	-	-	-
	C.L.	0.009	3.5	25.6	0.014	7.0	42.8	0.011	4.3	24.2	0.024	7.4	31.4	-	-	-
	PPE(N)	-	-	227.6	-	-	389.7	-	-	257.9	-	-	222.2	-	-	-
	PPE(W)	-	-	260.1	-	-	342.5	-	-	277.3	-	-	217.4	-	-	-
	NPE	-	-	271.5	-	-	325.5	-	-	282.3	-	-	-	-	-	-
	PTL(N)	-	-	209.4	-	-	370.0	-	-	246.1	-	-	208.5	-	-	-
PTL(W)	-	-	252.6	-	-	318.1	-	-	271.7	-	-	206.7	-	-	-	
NTL	-	-	268.6	-	-	259.3	-	-	270.9	-	-	-	-	-	-	
ベ	n	259	259	259	43	43	43	72	72	72	121	121	121	30	30	30
	Mean	0.491	112.9	460.7	0.548	137.3	625.1	0.494	116.6	497.8	0.468	101.4	369.3	0.556	153.9	718.6
	S.D.	0.058	24.4	183.9	0.030	19.4	164.9	0.033	19.8	159.8	0.065	21.9	156.3	0.043	14.1	139.2
	C.V.	11.8	21.6	39.9	5.5	14.2	26.4	6.6	17.0	32.1	13.9	21.6	42.3	7.7	9.2	19.4
	C.L.	0.007	3.0	22.5	0.009	6.0	50.8	0.008	4.7	37.6	0.012	3.9	28.1	0.016	5.3	51.9
	PPE(N)	-	-	155.8	-	-	347.8	-	-	230.8	-	-	110.2	-	-	482.4
	PPE(W)	-	-	173.4	-	-	323.4	-	-	225.0	-	-	134.2	-	-	477.9
	NPE	-	-	175.0	-	-	333.8	-	-	203.4	-	-	159.1	-	-	471.9
	PTL(N)	-	-	127.7	-	-	324.1	-	-	208.4	-	-	86.3	-	-	458.4
PTL(W)	-	-	162.8	-	-	299.0	-	-	206.9	-	-	124.2	-	-	458.5	
NTL	-	-	168.0	-	-	325.7	-	-	187.7	-	-	137.1	-	-	461.4	
エ	n	97	97	97	35	35	35	48	48	48	13	13	13	-	-	-
	Mean	0.412	92.0	375.3	0.429	103.1	393.9	0.409	87.7	352.9	0.400	80.7	307.5	-	-	-
	S.D.	0.028	17.0	101.0	0.020	17.2	116.5	0.025	14.1	89.0	0.036	5.8	56.3	-	-	-
	C.V.	6.7	18.4	26.9	4.6	16.7	29.6	6.1	16.0	25.2	9.1	7.2	18.3	-	-	-
	C.L.	0.006	3.4	20.4	0.007	5.9	34.7	0.007	3.9	25.9	0.022	3.4	34.4	-	-	-
	PPE(N)	-	-	206.6	-	-	264.3	-	-	202.3	-	-	207.8	-	-	-
	PPE(W)	-	-	217.5	-	-	240.6	-	-	208.5	-	-	186.3	-	-	-
	NPE	-	-	209.8	-	-	239.7	-	-	203.8	-	-	-	-	-	-
	PTL(N)	-	-	192.4	-	-	248.2	-	-	190.2	-	-	193.4	-	-	-
PTL(W)	-	-	210.7	-	-	222.5	-	-	199.2	-	-	170.0	-	-	-	
NTL	-	-	206.1	-	-	212.7	-	-	198.5	-	-	-	-	-	-	
ソ	n	194	194	194	11	11	11	58	58	58	17	17	17	-	-	-
	Mean	0.385	85.5	377.7	0.415	96.3	388.0	0.380	88.1	381.6	0.348	75.8	329.8	-	-	-
	S.D.	0.024	11.9	80.1	0.010	12.4	105.5	0.017	12.9	72.6	0.025	9.6	70.7	-	-	-
	C.V.	6.1	13.9	21.2	2.5	12.9	27.2	4.6	14.7	19.0	7.2	12.7	21.5	-	-	-
	C.L.	0.003	1.7	11.4	0.007	8.4	56.4	0.005	3.4	19.1	0.013	5.0	36.6	-	-	-
	PPE(N)	-	-	244.8	-	-	275.8	-	-	259.8	-	-	206.7	-	-	-
	PPE(W)	-	-	252.8	-	-	330.1	-	-	264.3	-	-	242.8	-	-	-
	NPE	-	-	251.7	-	-	-	-	-	284.4	-	-	-	-	-	-
	PTL(N)	-	-	232.5	-	-	252.9	-	-	250.1	-	-	190.8	-	-	-
PTL(W)	-	-	247.8	-	-	326.4	-	-	256.2	-	-	242.2	-	-	-	
NTL	-	-	246.7	-	-	-	-	-	268.0	-	-	-	-	-	-	
ト	n	1136	1163	1163	261	261	261	520	520	520	157	157	157	-	-	-
	Mean	0.406	70.3	409.6	0.437	73.4	444.9	0.400	71.2	400.5	0.353	68.7	388.0	-	-	-
	S.D.	0.048	22.1	87.8	0.027	26.8	97.7	0.040	21.2	79.9	0.046	19.7	86.9	-	-	-
	C.V.	11.8	31.4	21.4	6.3	36.5	22.0	9.9	29.8	19.9	12.9	28.6	22.4	-	-	-
	C.L.	0.003	1.3	5.0	0.003	3.4	12.2	0.004	1.9	7.1	0.006	2.7	12.5	-	-	-
	PPE(N)	-	-	265.0	-	-	282.9	-	-	269.7	-	-	243.9	-	-	-
	PPE(W)	-	-	269.3	-	-	293.9	-	-	273.1	-	-	241.6	-	-	-
	NPE	-	-	275.9	-	-	302.6	-	-	276.3	-	-	274.8	-	-	-
	PTI(N)	-	-	250.6	-	-	268.0	-	-	255.8	-	-	230.6	-	-	-
PTL(W)	-	-	266.8	-	-	288.3	-	-	269.4	-	-	232.8	-	-	-	
NTL	-	-	275.0	-	-	296.7	-	-	274.3	-	-	273.0	-	-	-	

M O E														
E130			E110			E090			E070			E050		
r15	MOE	MOR	r15	MOE	MOR	r15	MOE	MOR	r15	MOE	MOR	r15	MOE	MOR
20	20	20	43	43	43	30	30	30	-	-	-	-	-	-
0.597	133.2	603.5	0.545	109.0	464.1	0.519	93.3	353.6	-	-	-	-	-	-
0.032	11.0	105.8	0.031	5.4	104.8	0.036	5.4	68.8	-	-	-	-	-	-
5.4	8.2	17.5	5.8	5.0	22.6	6.9	5.8	19.5	-	-	-	-	-	-
0.015	5.1	49.3	0.010	1.7	32.2	0.013	2.0	25.6	-	-	-	-	-	-
-	-	421.0	-	-	287.9	-	-	236.8	-	-	-	-	-	-
-	-	400.0	-	-	294.7	-	-	256.5	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	323.4	-	-	255.0	-	-	-	-	-	-
-	-	399.0	-	-	272.8	-	-	225.0	-	-	-	-	-	-
-	-	378.8	-	-	284.7	-	-	251.5	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	300.2	-	-	250.9	-	-	-	-	-	-
76	76	76	73	73	73	53	53	53	25	25	25	-	-	-
0.509	128.3	556.0	0.486	110.7	439.6	0.458	91.9	319.1	0.447	72.7	241.0	-	-	-
0.035	6.1	117.3	0.054	5.3	118.8	0.054	5.6	108.7	0.065	5.1	81.5	-	-	-
7.0	4.7	21.0	11.0	4.8	27.0	11.8	6.1	34.1	14.6	7.0	33.8	-	-	-
0.008	1.4	26.8	0.013	1.2	27.7	0.015	1.5	30.0	0.027	2.1	33.6	-	-	-
-	-	363.9	-	-	241.1	-	-	136.8	-	-	101.8	-	-	-
-	-	343.1	-	-	242.7	-	-	158.3	-	-	130.0	-	-	-
-	-	349.0	-	-	248.9	-	-	165.6	-	-	-	-	-	-
-	-	347.5	-	-	224.5	-	-	122.3	-	-	86.6	-	-	-
-	-	325.6	-	-	230.8	-	-	152.1	-	-	125.6	-	-	-
-	-	330.9	-	-	241.4	-	-	159.6	-	-	-	-	-	-
-	-	-	27	27	27	49	49	49	21	21	21	-	-	-
-	-	-	0.426	114.4	461.0	0.412	88.4	362.5	0.395	71.9	294.7	-	-	-
-	-	-	0.022	10.2	94.3	0.026	5.5	81.7	0.029	6.0	64.8	-	-	-
-	-	-	5.3	8.9	20.5	6.4	6.3	22.5	7.2	8.2	22.0	-	-	-
-	-	-	0.009	4.1	37.4	0.008	1.6	23.5	0.013	2.7	29.6	-	-	-
-	-	-	-	-	300.3	-	-	225.4	-	-	183.2	-	-	-
-	-	-	-	-	251.4	-	-	227.8	-	-	190.1	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	228.1	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	283.2	-	-	214.4	-	-	170.2	-	-	-
-	-	-	-	-	233.8	-	-	218.5	-	-	183.2	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	208.4	-	-	-	-	-	-
-	-	-	18	18	18	110	110	110	64	64	64	-	-	-
-	-	-	0.392	108.5	447.0	0.390	88.8	390.3	0.377	74.3	340.4	-	-	-
-	-	-	0.018	8.5	90.0	0.022	6.0	73.9	0.024	4.1	66.7	-	-	-
-	-	-	4.5	7.9	20.1	5.6	6.7	18.9	6.4	5.5	19.6	-	-	-
-	-	-	0.009	4.3	45.0	0.004	1.1	14.0	0.006	1.0	16.7	-	-	-
-	-	-	-	-	290.9	-	-	266.8	-	-	228.9	-	-	-
-	-	-	-	-	316.6	-	-	262.3	-	-	244.2	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	260.3	-	-	246.7	-	-	-
-	-	-	-	-	271.4	-	-	256.5	-	-	219.6	-	-	-
-	-	-	-	-	309.1	-	-	254.1	-	-	239.8	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	249.6	-	-	238.8	-	-	-
-	-	-	106	108	108	254	256	256	405	416	416	257	268	268
-	-	-	0.431	111.7	542.7	0.415	89.2	464.4	0.399	70.3	402.8	0.398	51.5	351.5
-	-	-	0.053	9.4	78.5	0.043	5.3	63.7	0.048	5.9	63.0	0.051	5.6	55.3
-	-	-	12.3	8.4	14.5	10.4	5.9	13.7	11.9	8.4	15.7	12.9	10.8	15.7
-	-	-	0.010	1.8	15.0	0.006	0.7	7.8	0.004	0.6	6.1	0.006	0.7	6.7
-	-	-	-	-	411.5	-	-	358.7	-	-	298.2	-	-	259.8
-	-	-	-	-	407.5	-	-	348.3	-	-	278.7	-	-	252.7
-	-	-	-	-	425.4	-	-	356.7	-	-	301.6	-	-	261.4
-	-	-	-	-	400.5	-	-	348.9	-	-	288.6	-	-	251.3
-	-	-	-	-	398.1	-	-	341.4	-	-	292.0	-	-	247.1
-	-	-	-	-	422.6	-	-	345.4	-	-	296.0	-	-	255.8



MORヒストグラム
 — 正規分布
 — ワイブル分布

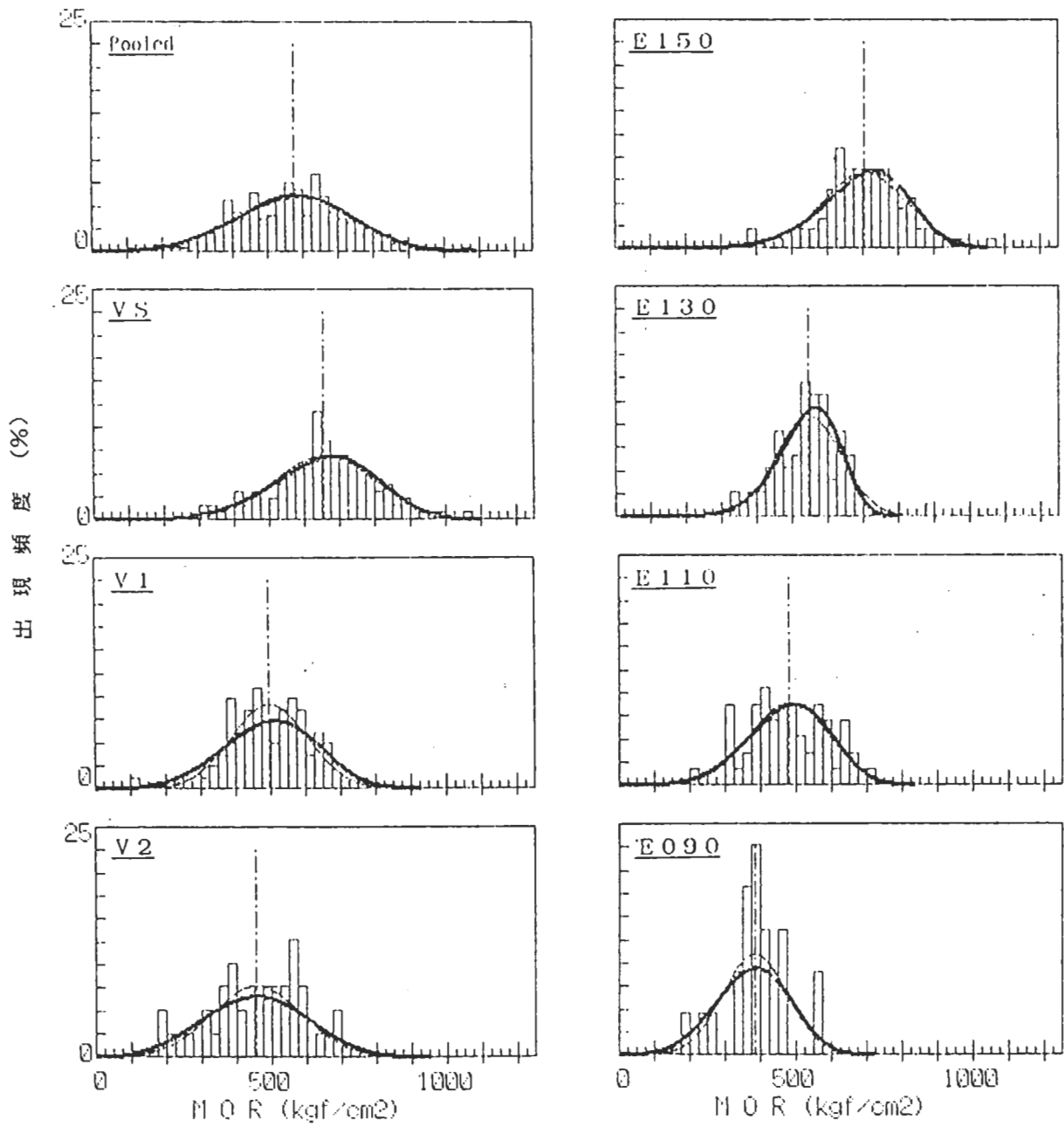
図 1. 1. 1 ベイマツ



N	Normal			Weibull				
	Mean	SD	r	θ	m	γ	r	
Pooled	156	552.7	184.0	0.9919	603	3.11	14	0.9082
VS	18	720.4	135.0	0.9744	780	5.32	0	0.9755
V1	57	625.0	177.6	0.9854	608	3.45	0	0.9818
V2	76	478.3	140.7	0.9775	527	3.62	0	0.9935
E150	61	702.6	130.9	0.9938	517	3.73	236	0.9950
E130	26	571.9	124.0	0.9440	628	4.44	0	0.9641
E110	47	454.9	114.4	0.9827	397	3.24	100	0.9938
E090	16	349.1	108.0	0.9741	395	2.91	0	0.9820

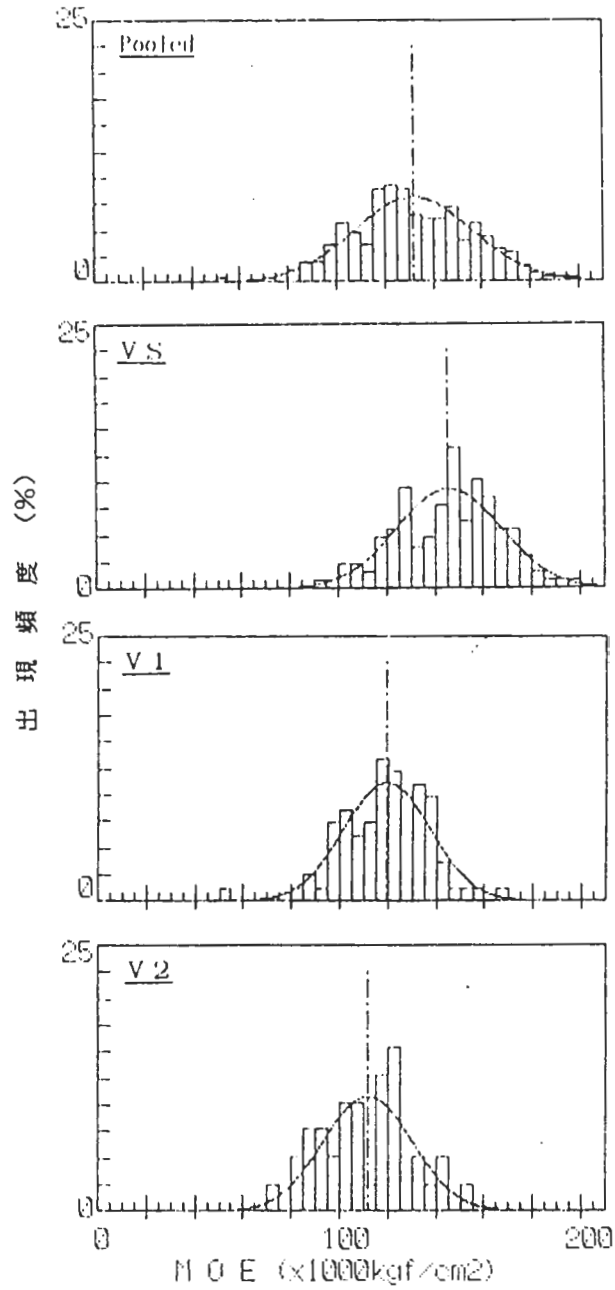
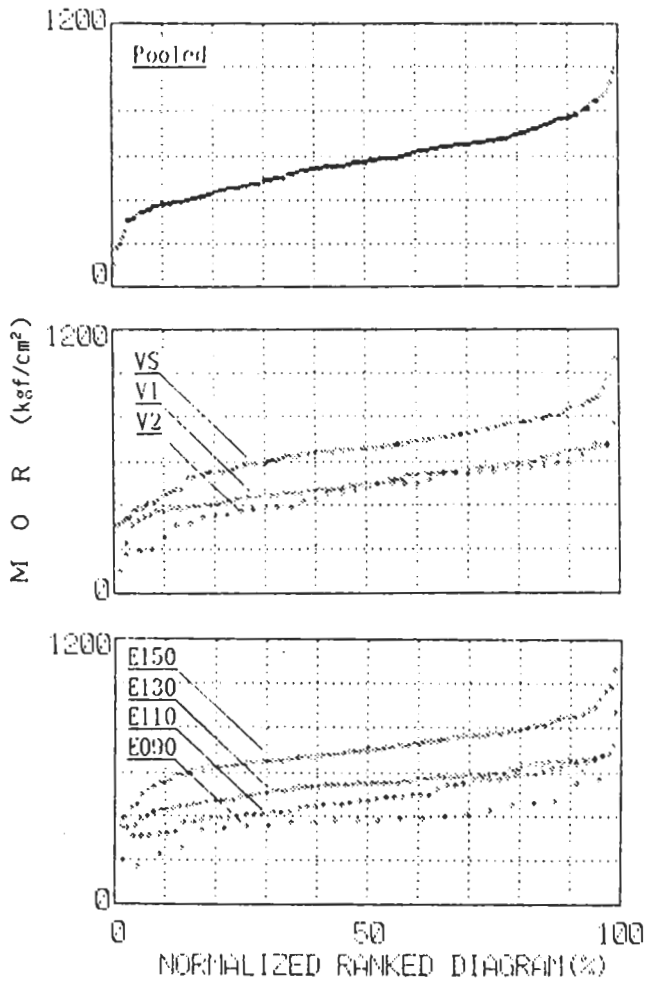
MOEヒストグラム
 ——— 正規分布

材の曲げ強度性能



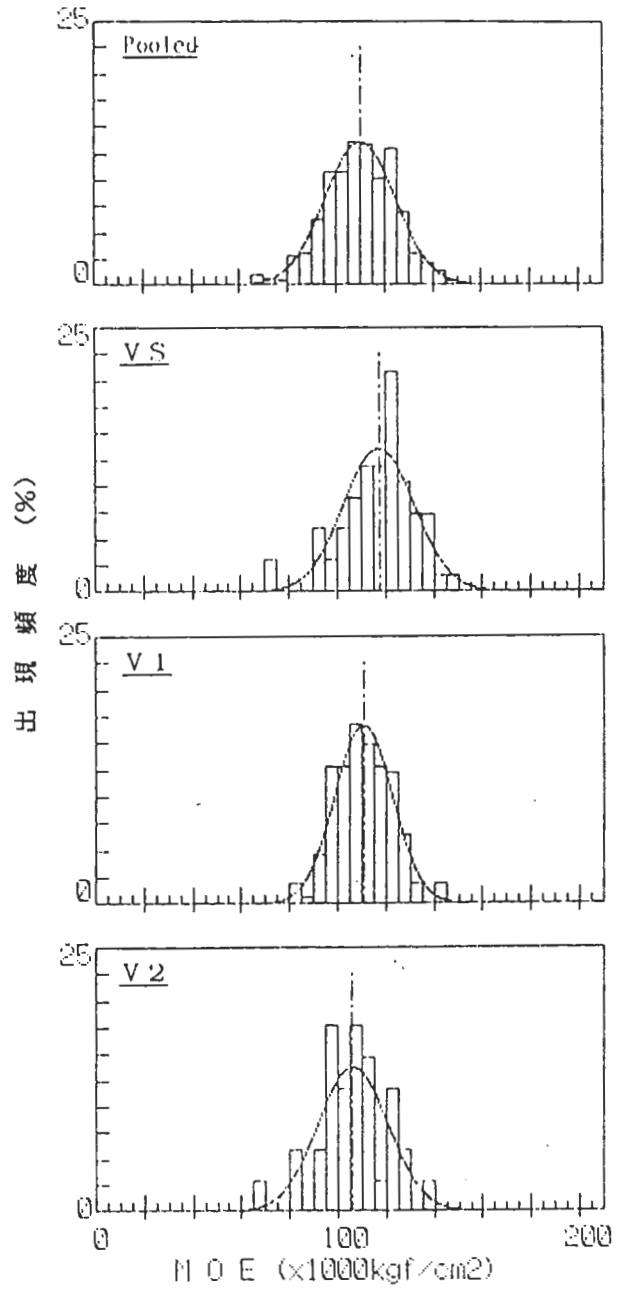
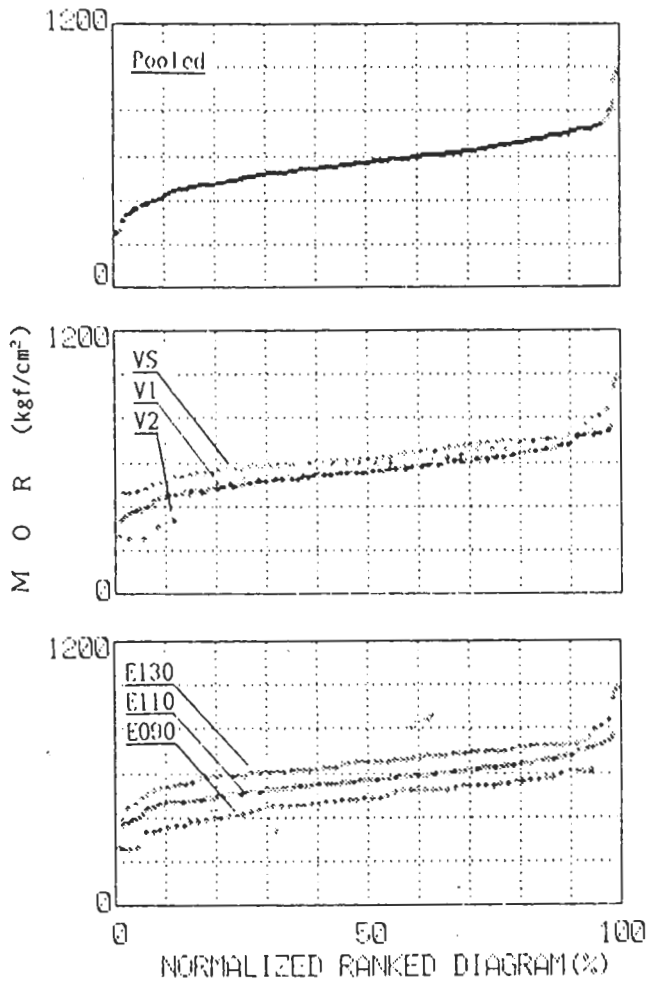
MORヒストグラム
 ——— 正規分布
 ——— ワイブル分布

図1. 1. 2 ソ速カラマ



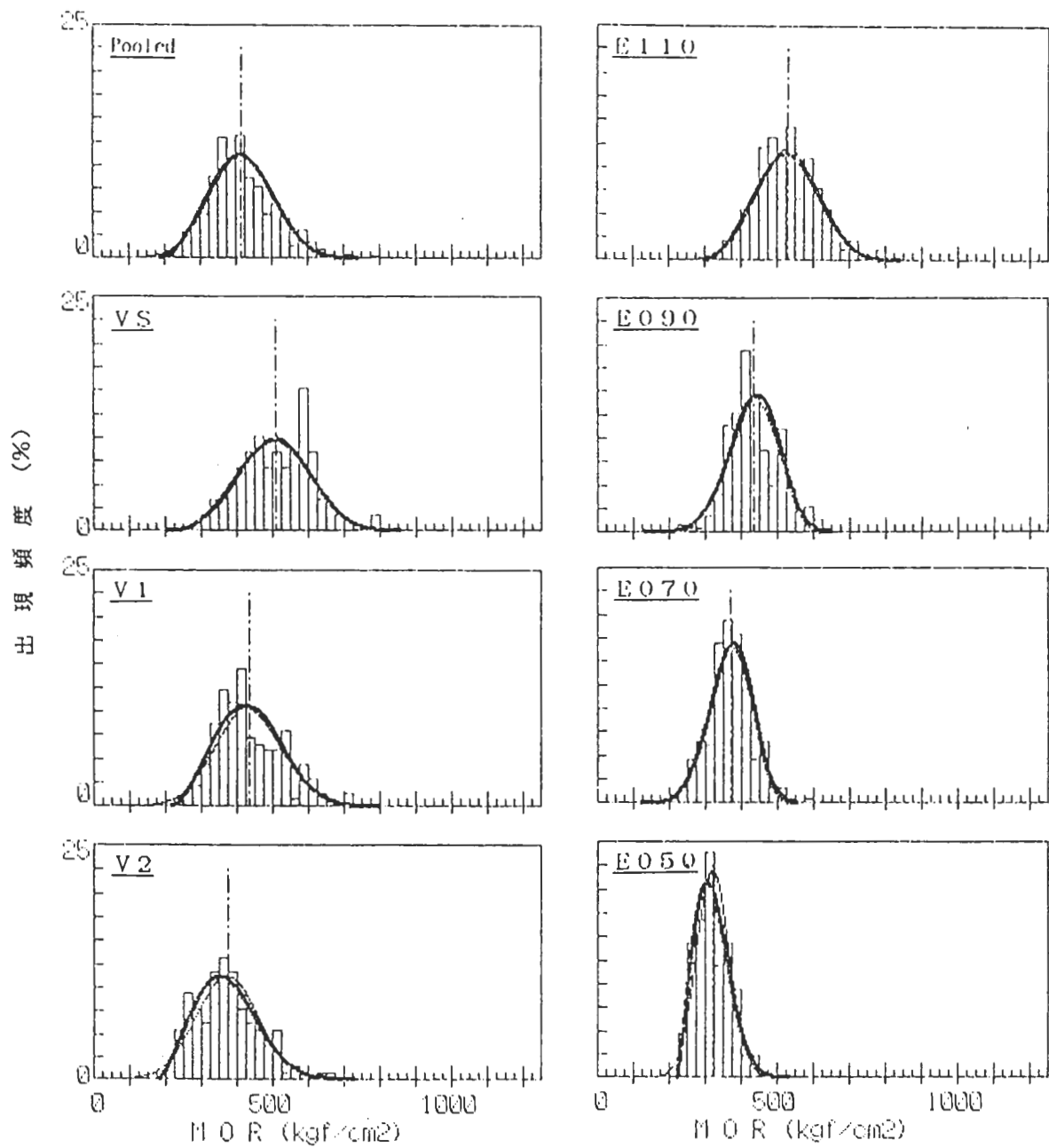
N	Normal			Weibull				
	Mean	SD	r	θ	m	r	r	
Pooled	219	572.5	157.1	0.9749	631	3.96	0	0.9911
VS	128	656.4	143.9	0.9645	689	4.85	25	0.9931
V1	82	496.5	109.6	0.9601	550	4.18	0	0.9421
V2	39	456.9	128.3	0.9769	510	3.43	0	0.9853
E150	92	705.3	120.7	0.9516	748	6.53	8	0.9878
E130	76	546.3	91.3	0.9520	394	4.32	187	0.9803
E110	57	470.4	111.9	0.9862	513	4.56	12	0.9889
E090	22	384.1	91.1	0.9251	425	3.97	0	0.9586

MOEヒストグラム
—— 正規分布



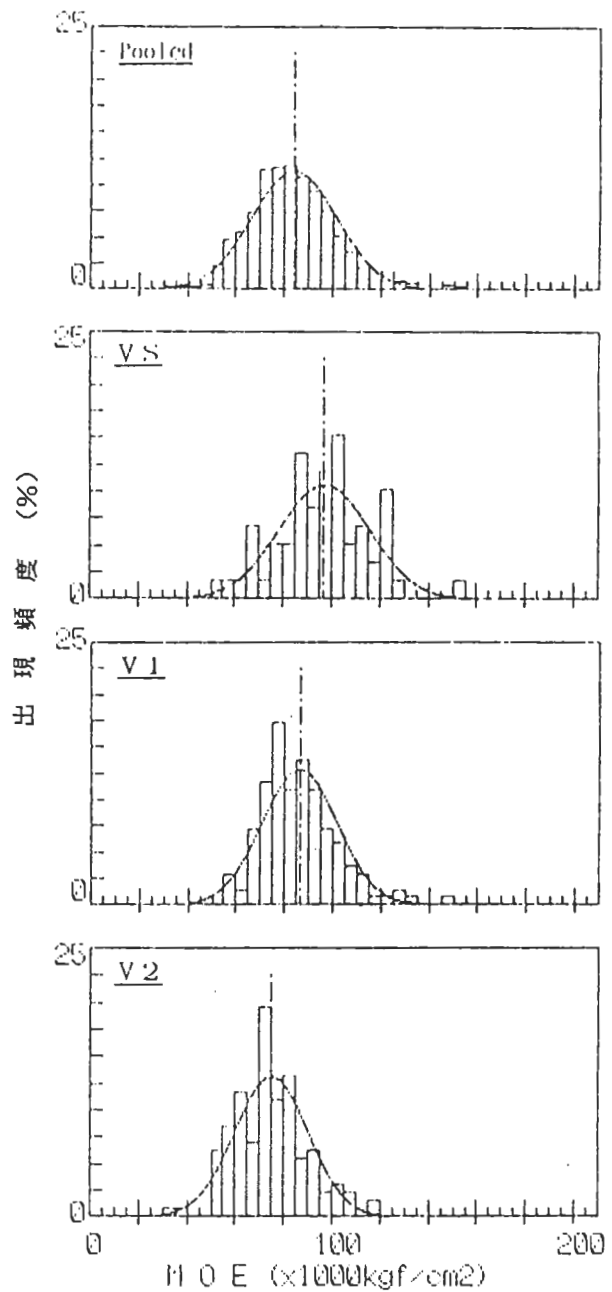
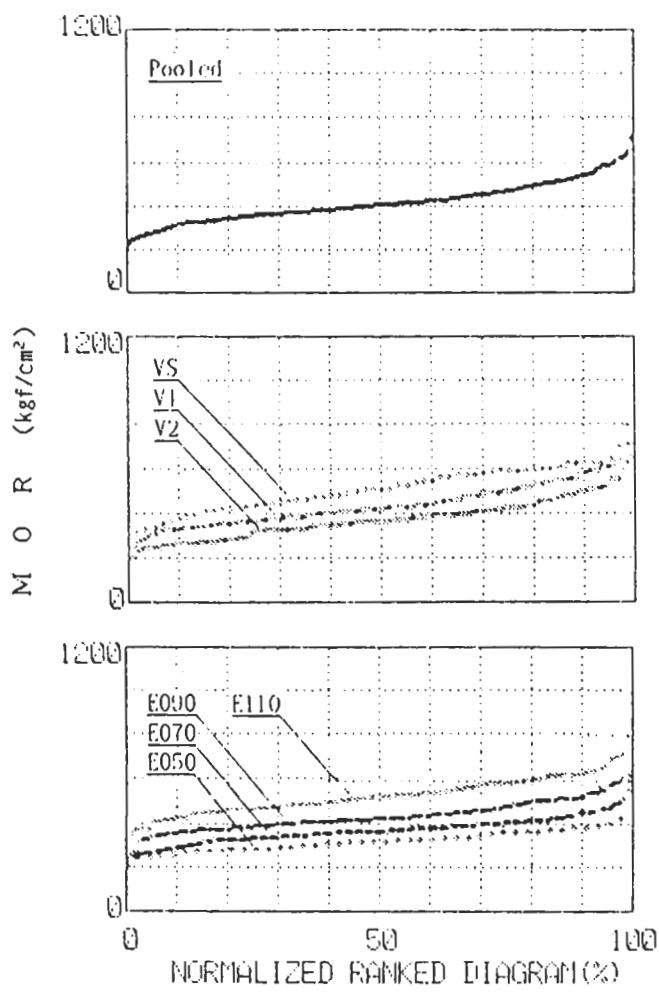
N	Normal			Weibull				
	Mean	SD	r	θ	m	γ	r	
Pooled	288	568.3	114.7	0.9575	573	5.29	40	0.9950
VS	67	628.1	89.7	0.9181	261	2.76	396	0.9889
V1	155	563.1	104.2	0.9381	470	4.75	133	0.9855
V2	34	566.0	129.6	0.9393	628	3.94	0	0.9588
E130	77	614.9	89.6	0.9330	568	6.65	114	0.9817
E110	137	568.1	93.9	0.9106	553	6.34	53	0.9820
E090	66	488.9	113.2	0.9224	420	3.66	111	0.9807

MOEヒストグラム
— 正規分布



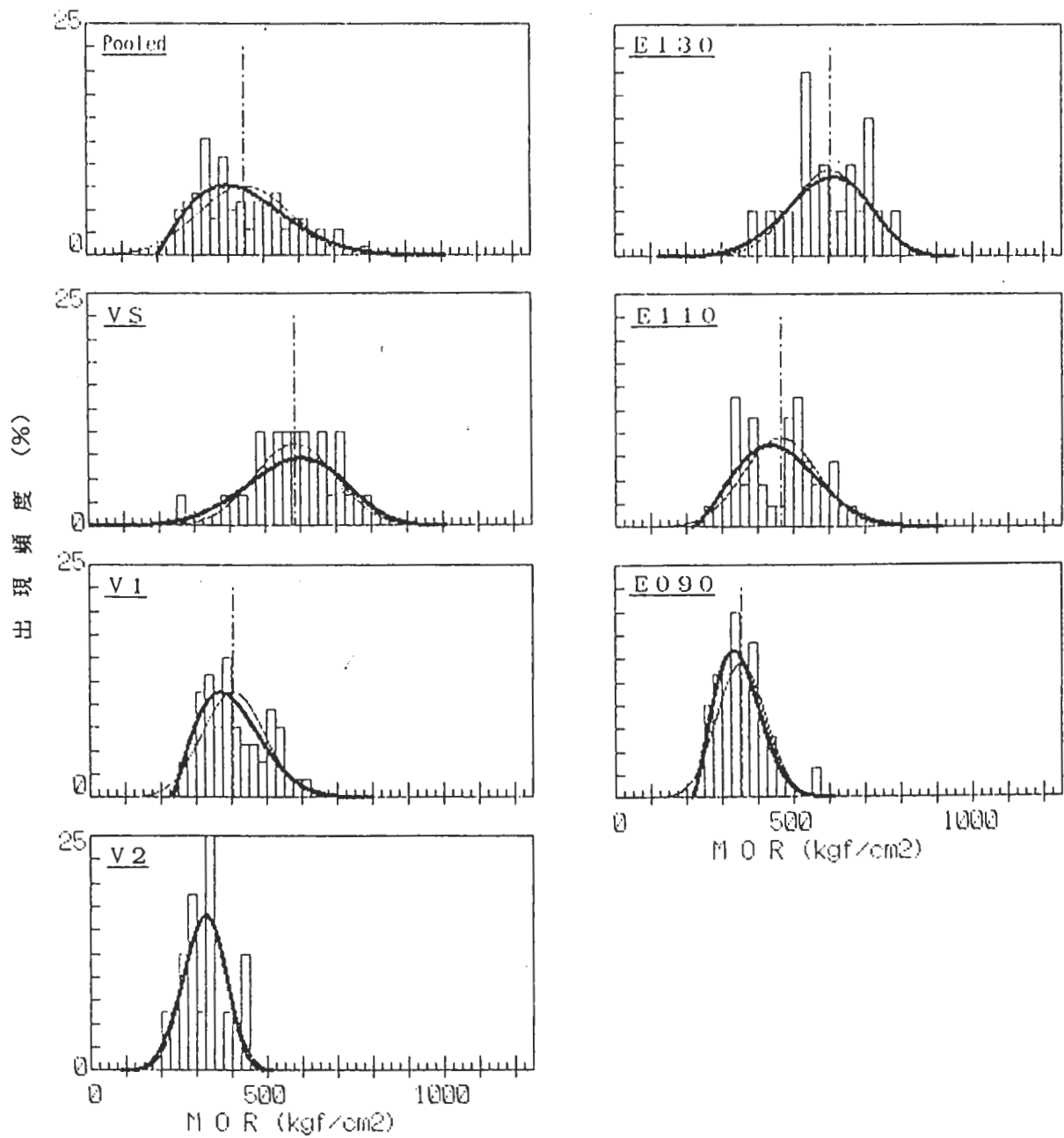
MORヒストグラム
 ——— 正規分布
 - - - - - ワイブル分布

図1.1.4 カラマツ



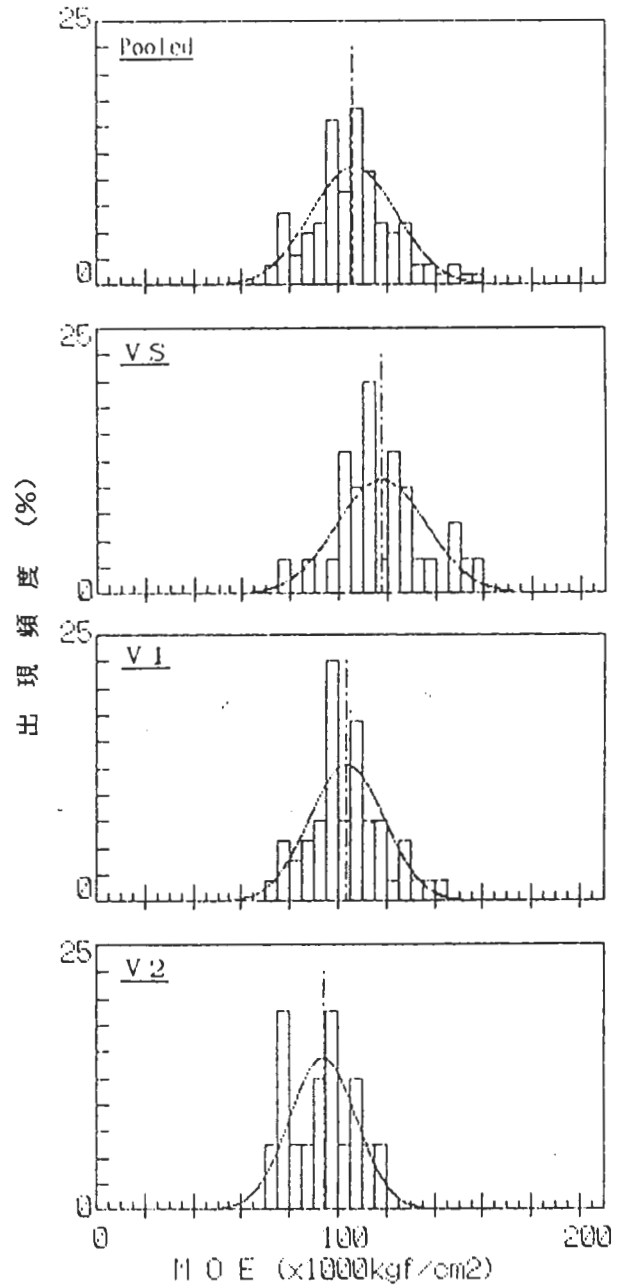
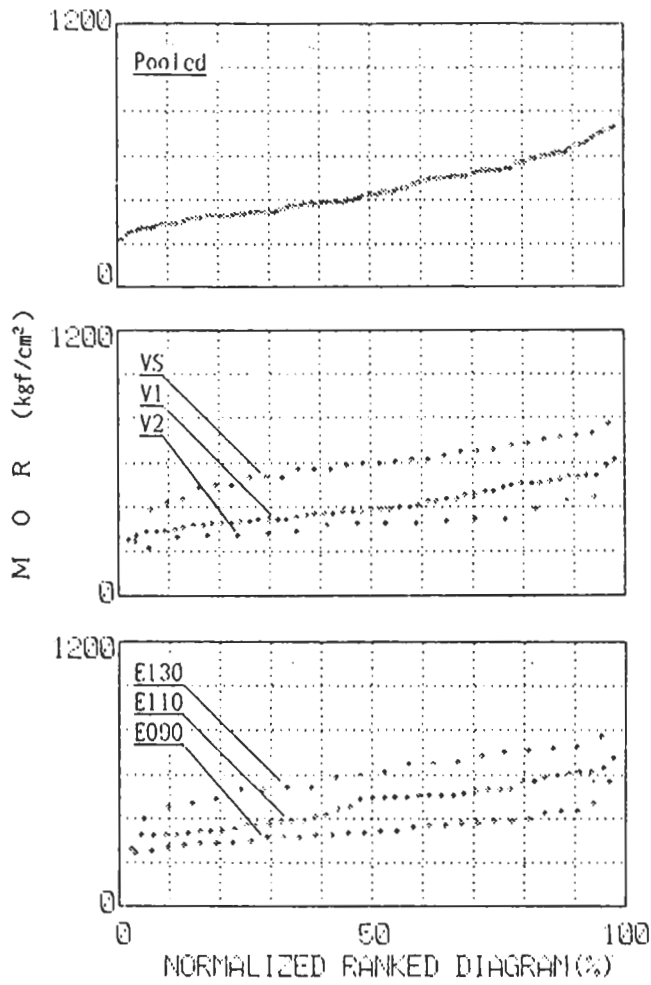
N	Normal			Weibull				
	Mean	SD	r	θ	m	γ	r	
Pooled	557	417.1	91.0	0.9615	263	2.94	183	0.9938
VS	59	509.2	98.5	0.9776	315	2.92	229	0.9950
V1	138	436.7	94.3	0.9707	248	2.57	217	0.9928
V2	128	372.8	88.9	0.9686	215	2.28	183	0.9927
E110	91	529.2	83.8	0.9743	269	3.12	288	0.9958
E090	221	433.7	88.7	0.9607	330	5.05	131	0.9908
E070	201	369.6	60.4	0.9594	254	4.39	138	0.9919
E050	42	320.9	45.4	0.9896	107	1.97	227	0.9916

MOEヒストグラム
 ——— 正規分布



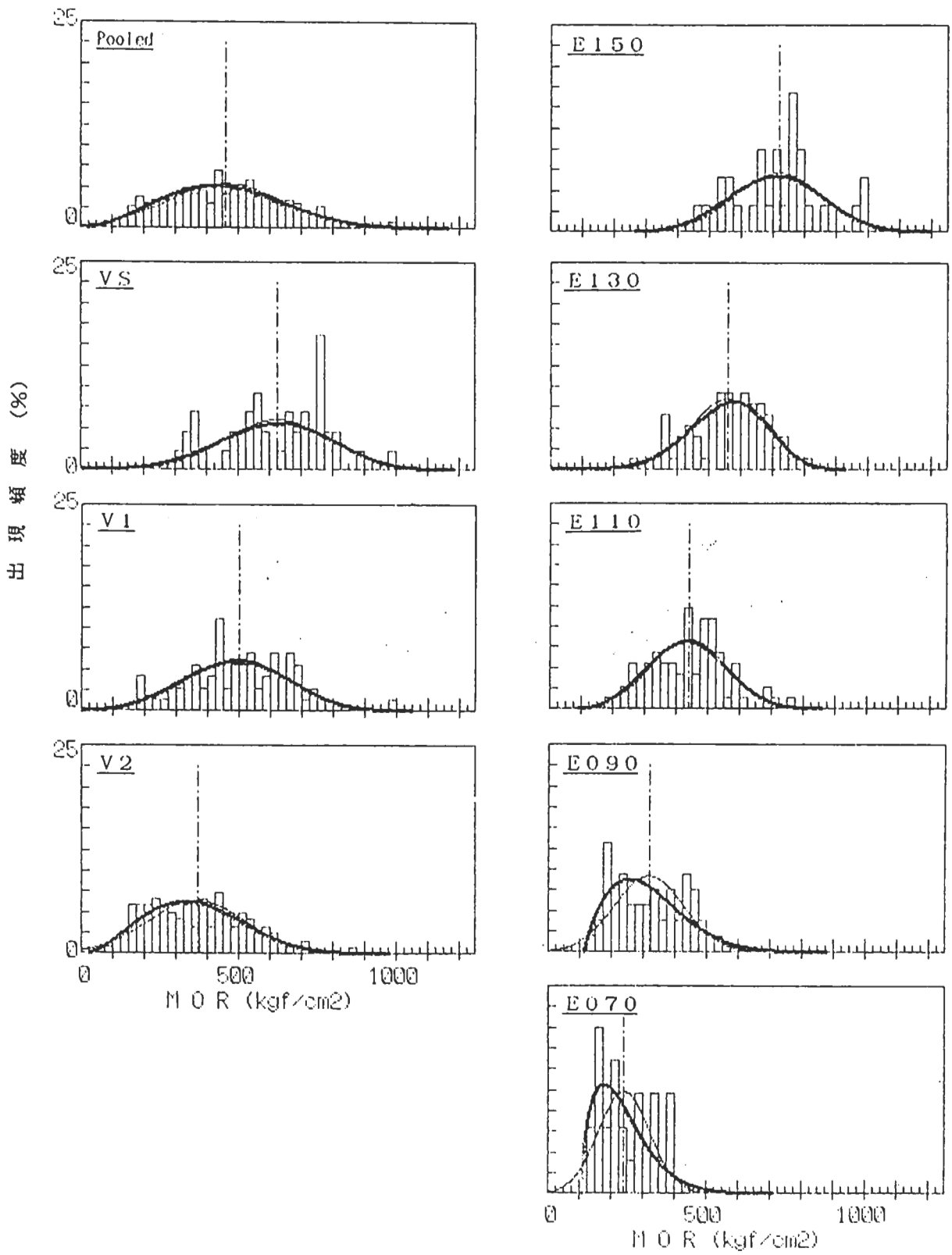
MORヒストグラム
 ——— 正規分布
 - - - - - ワイブル分布

図1.1.5 アカマツ



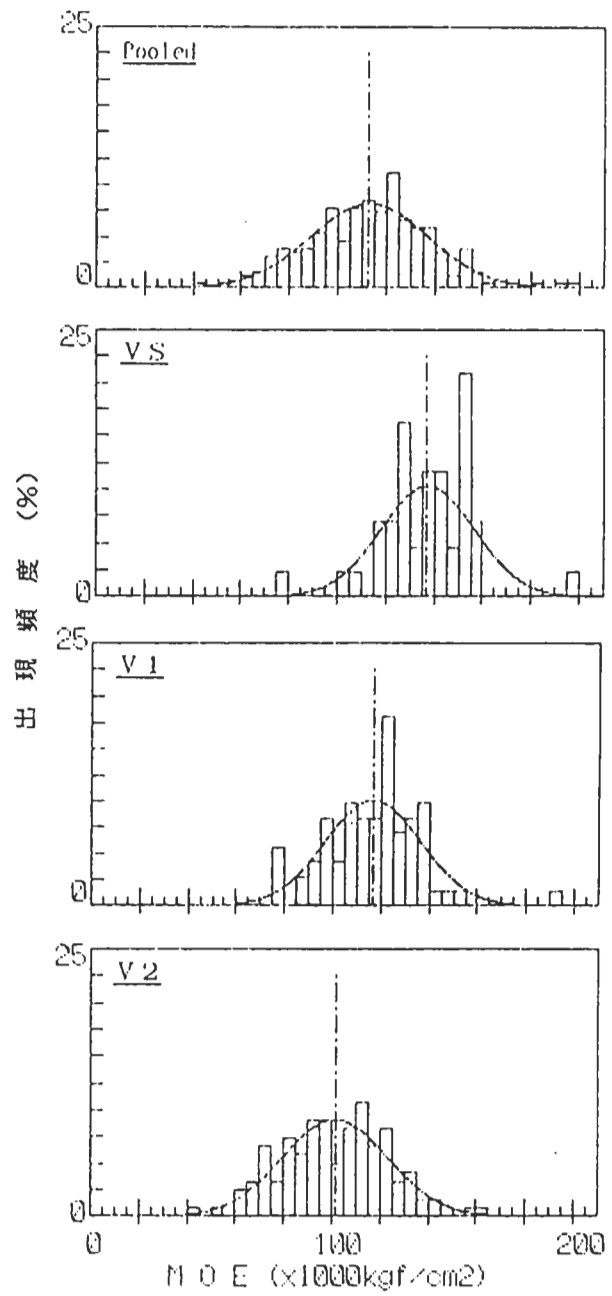
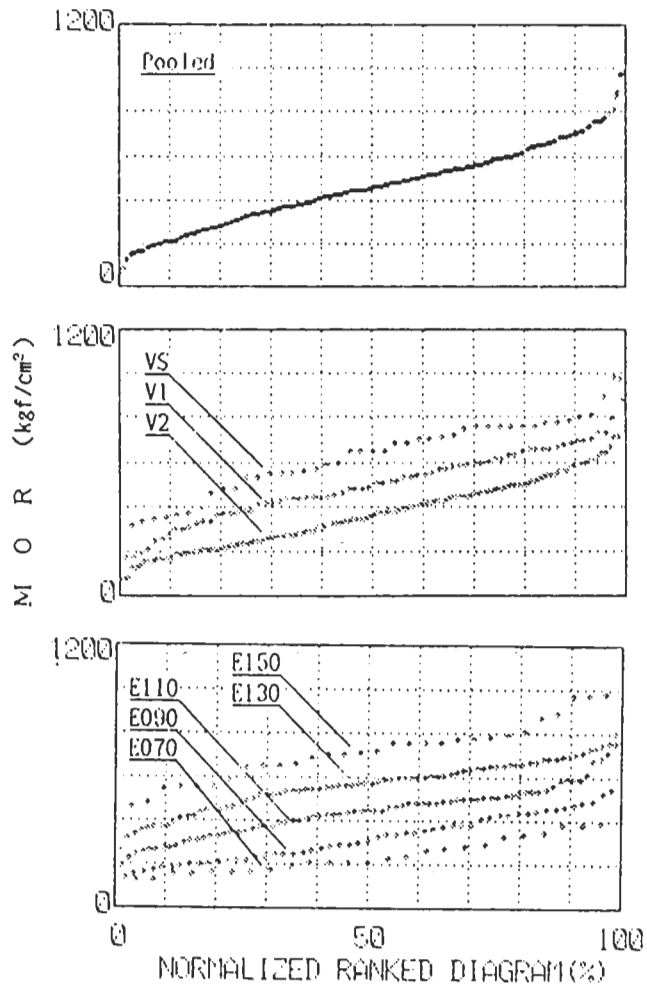
N	Normal			Weibull				
	Mean	SD	r	θ	m	γ	r	
Pooled	102	447.4	131.4	0.9813	285	2.00	196	0.9916
VS	30	584.6	114.8	0.9504	840	4.75	0	0.9871
V1	53	405.7	88.1	0.9825	191	1.89	238	0.9961
V2	16	325.7	50.3	0.9539	223	3.33	120	0.9728
E130	20	603.5	105.8	0.9903	496	4.31	151	0.9938
E110	43	464.1	1104.8	0.9897	284	2.34	215	0.9820
E090	30	353.6	68.8	0.9413	146	1.92	225	0.9945

MOEヒストグラム
 ——— 正規分布



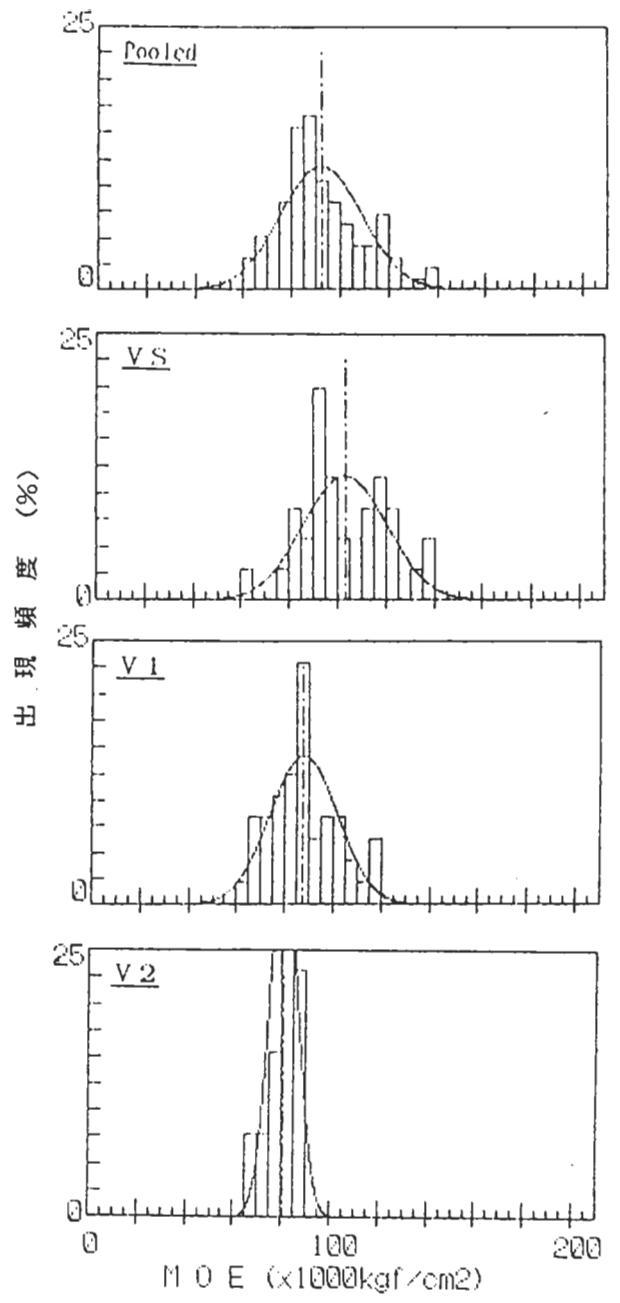
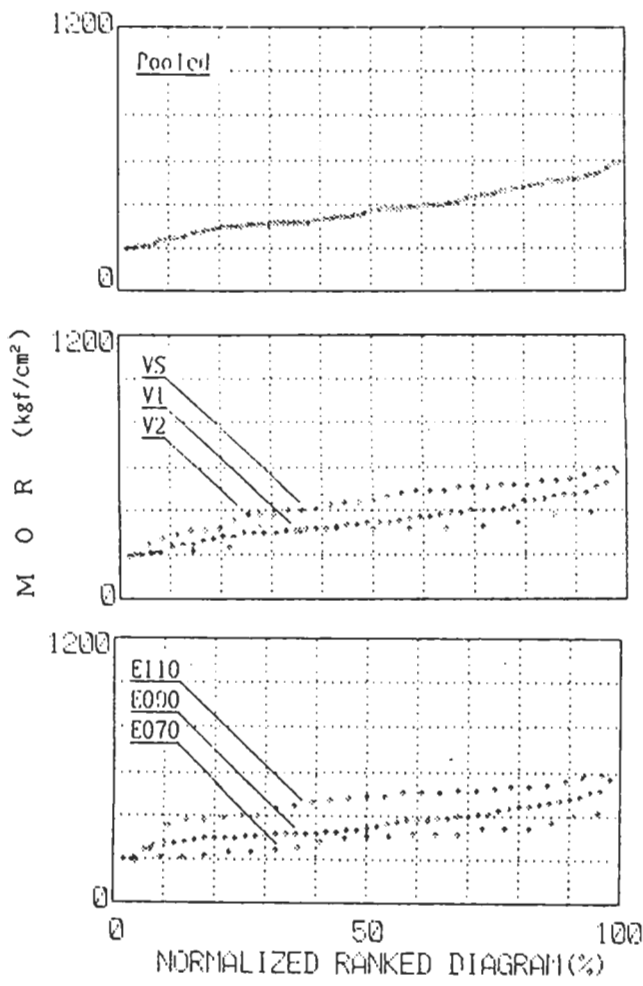
MORヒストグラム
 ——— 正規分布
 ——— ワイブル分布

図1.1.6 ベイツガ



N	Normal			Weibull				
	Mean	SD	r	θ	m	γ	r	
Pooled	259	460.7	183.9	0.9858	408	2.54	18	0.9971
VS	43	625.1	164.9	0.9762	672	3.75	19	0.9811
V1	72	497.8	159.8	0.9780	556	3.28	0	0.9947
V2	121	369.3	156.3	0.9822	381	2.27	30	0.9944
E150	30	718.6	139.2	0.9760	468	3.02	304	0.9912
E130	78	556.0	117.3	0.9791	608	5.18	0	0.9961
E110	73	439.6	118.8	0.9737	379	3.01	101	0.9957
E090	53	319.1	108.7	0.9950	232	1.75	116	0.9927
E070	25	241.0	81.5	0.9789	150	1.48	110	0.9863

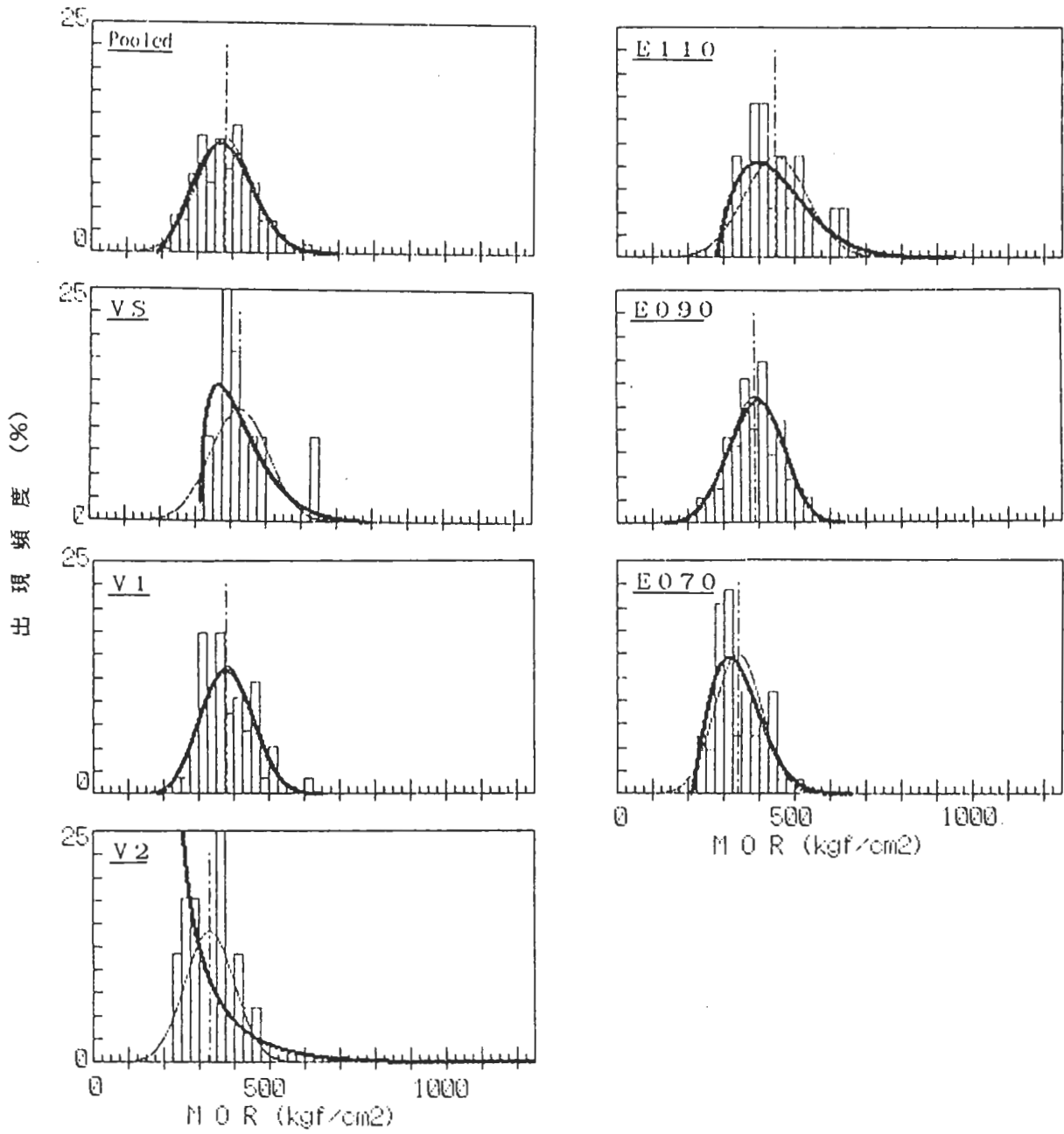
M O E ヒストグラム
 ——— 正規分布



N	Normal			Weibull				
	Mean	SD	r	θ	m	γ	r	
Pooled	97	375.3	101.0	0.9909	258	2.27	148	0.8919
VS	35	434.6	100.8	0.9902	478	4.33	0	0.9902
V1	48	351.9	89.1	0.9828	252	2.56	129	0.9952
V2	13	307.5	56.3	0.9582	334	5.07	0	0.9582
E110	27	461.0	84.3	0.9281	509	4.29	0	0.9505
E090	49	362.5	81.7	0.9752	262	3.06	128	0.9876
E070	21	204.7	64.8	0.9880	164	2.03	152	0.9905

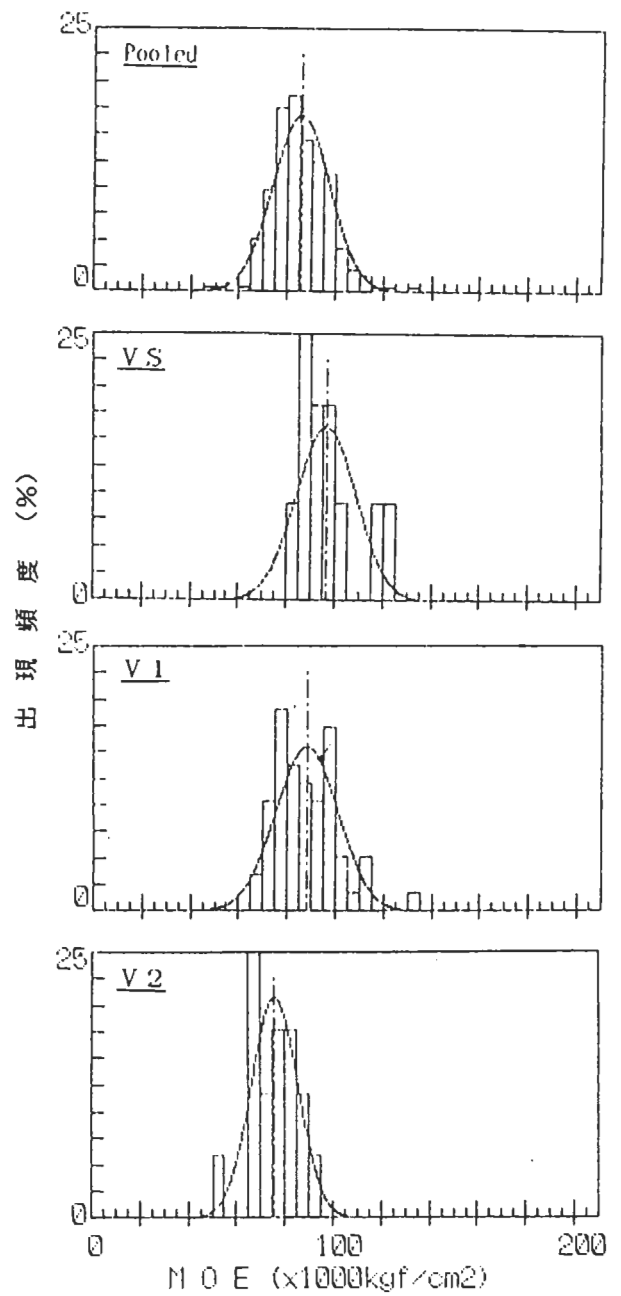
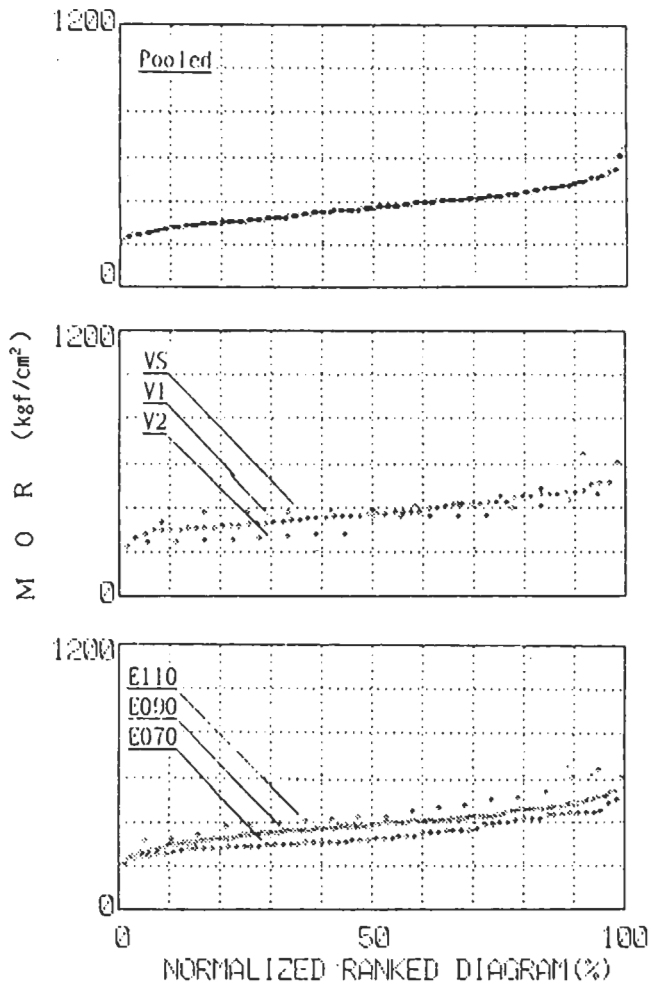
MOEヒストグラム
—— 正規分布

材の曲げ強度性能



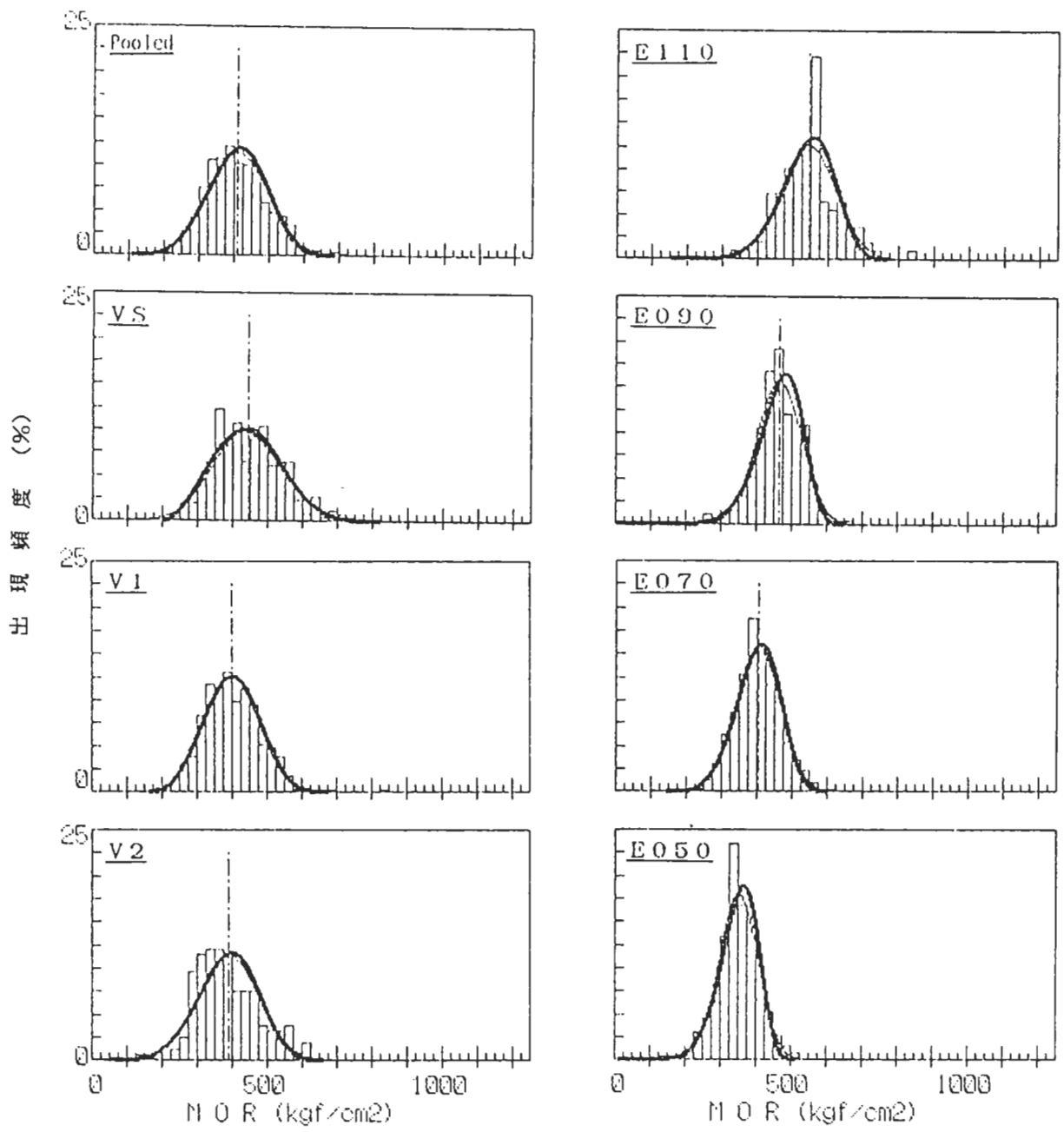
MORヒストグラム
 ——— 正規分布
 - - - - - ワイブル分布

図1.1.8 トドマツ



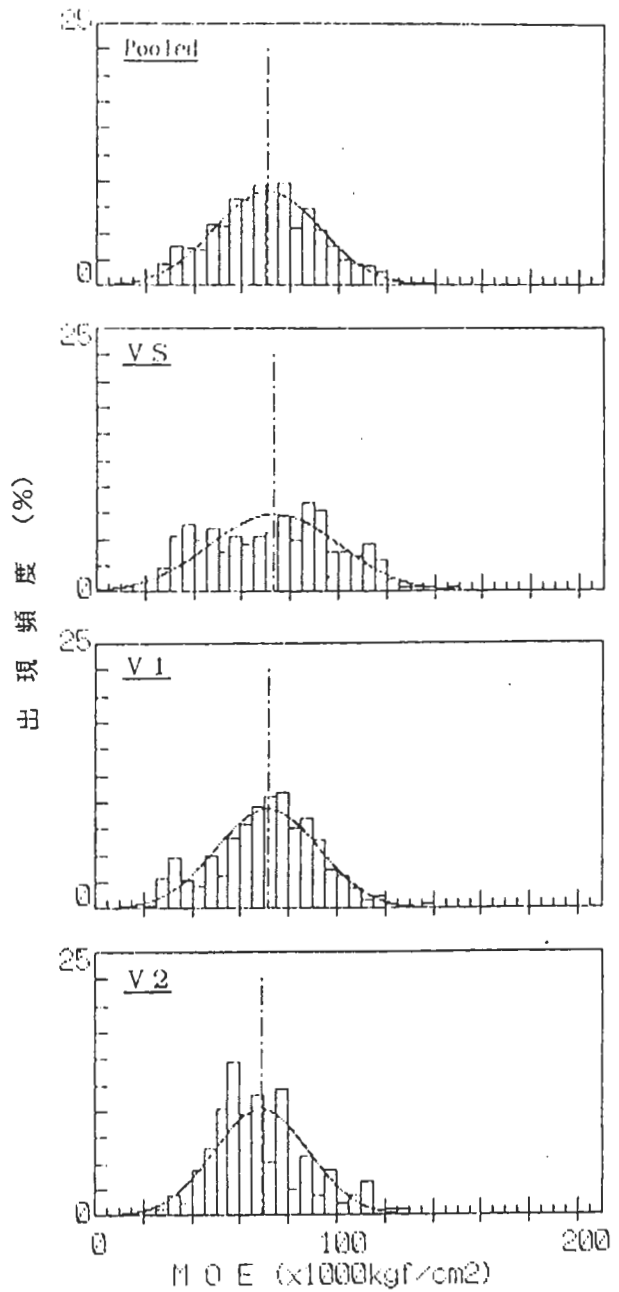
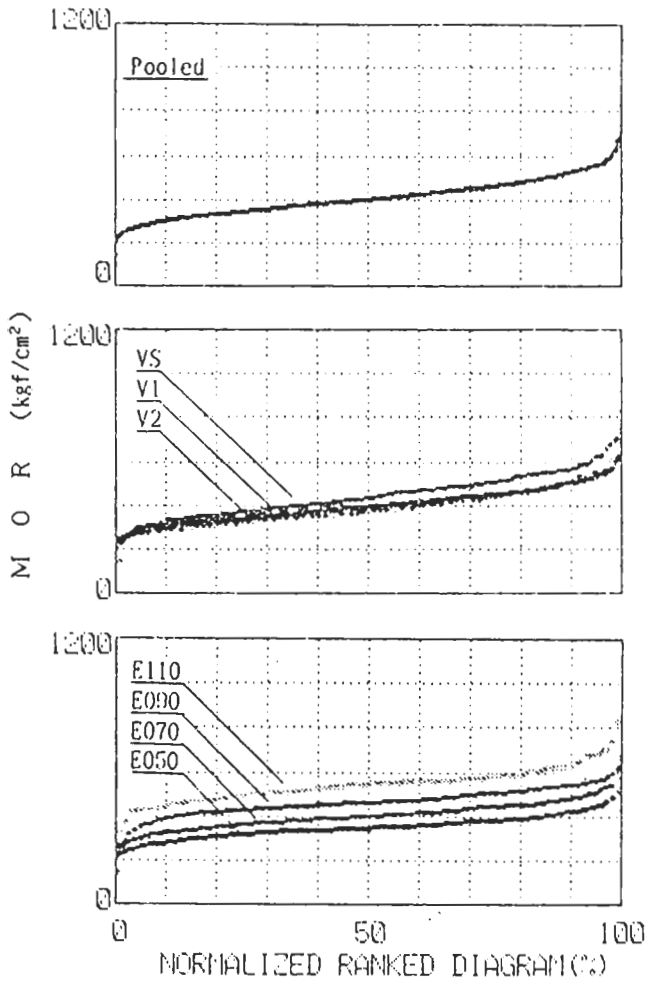
N	Normal			Weibull				
	Mean	SD	r	θ	m	γ	r	
Pooled	194	377.7	80.1	0.9766	222	2.65	181	0.9973
VS	11	424.4	82.7	0.8291	125	1.35	316	0.9313
V1	58	381.6	72.6	0.9666	232	3.14	174	0.9810
V2	17	329.8	70.7	0.9716	106	0.85	242	0.9742
E110	18	447.0	90.0	0.9700	189	1.72	283	0.9922
E090	110	390.3	73.9	0.9742	307	4.20	111	0.9967
E070	64	310.4	68.7	0.9741	147	1.99	211	0.9920

MOEヒストグラム
 ——— 正規分布



MORヒストグラム
 ——— 正規分布
 ——— ワイブル分布

図1.1.9 スギ材



	N	Normal			Weibull			
		Mean	SD	r	θ	m	r	
Pooled	1163	409.6	87.8	0.9704	328	4.07	112	0.9082
VS	261	444.9	97.7	0.9789	265	2.58	210	0.9972
V1	520	400.5	79.9	0.9674	258	3.27	160	0.9969
V2	157	388.0	88.9	0.9694	369	4.48	52	0.9699
E110	108	542.7	78.5	0.9195	363	4.81	210	0.9835
E090	256	461.4	63.8	0.9574	488	8.46	5	0.9934
E070	416	402.8	63.1	0.9720	279	4.72	147	0.9954
E050	268	351.5	55.3	0.9596	363	7.21	11	0.9823

MOEヒストグラム
 ——— 正規分布

の曲げ強度性能

5.3 等級区分結果に関する検討

5.3.1 現行の許容応力度誘導体系との関連

本論でASTMに準じて各等級区分材の強度性能について解析を行い、TL値を算定したのは、いうまでもなく構造設計に必要な許容応力度を誘導するためである。

わが国の許容応力度誘導体系の概要は「木構造設計規準」¹⁶⁾に記載されており、圧縮、曲げ、引張、剪断の各荷重に対する材料強度は、無欠点木材の強度値に欠点係数を乗じて算定されている。

例えば、曲げでは次のようである。すなわち、材料強度を f 、無欠点材の強度を F 、欠点係数を α とすれば、

$$f = F \cdot \alpha$$

であり、上級構造材、普通構造材に対し、それぞれの F と α が与えられている。上級構造材、普通構造材に対する f 、 F 、 α を1、2の添え字をつけて表わすものとすれば、 F_1 、 F_2 は各樹種の無欠点強度値の平均値、最小値、 α_1 、 α_2 は節、繊維傾斜、丸身の低減係数の積、0.56、0.43であり、

$$f_1 = 0.56 F_1, \quad f_2 = 0.43 F_2$$

となる。さらに、 $F_2/F_1 = 3/4$ （無欠点材のばらつきを考慮した経験的な値、これを正規分布とみなすと変動係数は15.2%となる）を代入すると、

$$f_2/f_1 = 0.57$$

が得られる。ここで、実大材強度も正規分布し、 f_1 、 f_2 をそれぞれ平均値、下限5%値に相当すると考えると、実大材強度の変動係数は26%と計算され、実験データとかなり一致した値になる。したがって、「規準」式は、とくに統計的処理については述べていないが、今回のデータなどを含めた実態からみると、少なくとも普通構造材の計算方法に関しては、必ずしも不合理な結果を与えるものばかりではないように思われる。

しかし、実大材強度の変動係数が樹種、等級区分方法によってもかなり異なり、こうした一律の係数を採用することの矛盾は以上の分析結果でも明らかである。また、DROSZ¹⁷⁾は「実大材の曲げ強度を推定する場合には、その材から採取した無欠点試料の強度値はパラメータとしては不必要である」と述べており、材の無欠点強度は実大材品質と有意な相関をもっているとはみなしにくい。こうした点から考えると、材料強度を無欠点木材の強度値に一律の係数を乗じて算定する方式自体、問題があるといえるわけであり、実大材の強度を統計的処理によって、とくにその5%下限値に注目して算定するのが世界的趨勢となっているのは、当

然といえる。

各種の許容応力度はこの材料強度に安全係数を考慮して決定される。わが国では材料強度 $\times 2/3$ が短期、そのさらに $1/2$ を長期としている。曲げでの $2/3$ という係数は比例限曲げ応力度と曲げ強度の比率を想定しており、これは今回のデータ分析結果をみる限り妥当な数値といえる。長期換算係数 $1/2$ はクリープ限度を考慮したものであるが、諸外国では荷重継続時間によって細かく係数が決められており、今後検討が望まれるところである。

5.3.2 解析方法に関する検討

今回の解析では、parametric法と nonparametric法の2つの方法によってTL値を計算した。仮に現行の許容応力度体系を準用すれば、TLを3で除した値が長期曲げ許容応力度に相当するとみて良いであろう。

まず前者の方法では正規およびワイブル分布関数の当てはめを行い、各パラメータと適合度（ここでは r —正規またはワイブル確率紙上の相関係数—として表現した）は図1.1.1~9中に表として示した。これらと lognormal を含めた3種の当てはめの適合度を計算した結果（試料数30以上、56例）では平均値で正規：0.9692、ワイブル：0.9891、lognormal：0.9558 を示している。したがって、parametric法では計算は多少煩雑になるが、3つの係数を適切に選ぶことによって最も近似した分布形を選択できるワイブル分布の適合性が高く、その採用がより妥当と思われる。なお、R. J. HOYLE Jr.¹⁸⁾は「MORの分布形には正規およびワイブル分布がよくフィットする。lognormal は適合性があまりよくない。」と述べている。

<注>ワイブル分布関数の確率密度関数式は、以下の2種類の表記方法が用いられている。
 $F(x) = (m/\alpha)(x-\gamma)^{m-1} \exp\{-(x-\gamma)^m/\alpha\}$
 $F(x) = (m/\theta)\{(x-\gamma)/\theta\}^{m-1} \exp[-\{(x-\gamma)/\theta\}^m]$
ここで、 $\alpha = \theta^m$ とおくと両式は一致するが、まぎらわしいため、本論では下式を用いた。なお θ または α はscale、 m はshape、 γ はlocationの係数と呼ばれる。

MOEに関しては多少問題があるにせよ、ほぼ正規分布とみなして平均値を求めても大過ないと考えられる。

また、ASTMによれば nonparametric法を含め、TL算出のための試料数は最低30程度でよいことになるが、これはサンプリングと実験方法が妥当であることを前提にしているわけであり、今回のような試料集団を扱う際には、試料数がかなり大きくないと判断を誤る危

16)日本建築学会：木構造設計規準・同解説、119-121 (1973)

17)L. DROSZ: Some Nondestructive Parameters for Prediction of Structural Lumber, U.S.F.P.L. Rept. FPL 100(1968)

18)R. J. HOYLE Jr. et al.: CHARACTERIZING LUMBER PROPERTIES FOR TRUSS RESEARCH, METAL PLATE WOOD TRUSS CONFERENCE(1979)

表1. 1. 9 各等級区分材の T L 値¹⁾ (kgf/cm²)

樹種	非区分	目視			MOE					
		VS	V1	V2	E150	E130	E110	E090	E070	E050
ペイマツ	240	(414)	303	216	452	(297)	(244)	(123)	—	—
ソ速カラマツ	317	371	298	(196)	464	374	263	(183)	—	—
ヒノキ	359	477	382	(271)	—	464	393	283	—	—
カラマツ	275	332	296	246	—	—	384	326	263	(247)
アカマツ	269	(318)	272	(207)	—	(379)	(273)	(252)	—	—
ペイツガ ²⁾	168	(299)	207	137	(458)	326	231	122	(126)	—
エゾマツ	211	(222)	(199)	(170)	—	—	(234)	(218)	(183)	—
トドマツ	247	(326)	256	(242)	—	—	(309)	254	240	—
スギ	275	297	274	273	—	—	423	345	296	256

注；1)n≥100：NTL，99≥n：PTL，2)最弱部分を引張側に配置して行った実験を多く含むデータからの計算値，()内はn≤50，これらは追加実験が必要である。

険性が高いといえる。そこで MORのTL値を、これらの3種の計算法による結果から、n≥100で NTL，99≥nでPTL(正規またはワイブル分布あてはめ適合度のよい方)を採用すると表1.1.9が得られる。表中()で示したのはデータ数50未満以下の区分で、追加実験が必要と考えられるものであり、参考として記載した。また、ペイツガでは最弱面を引張側に配置して実験を行ったデータがかなり多く含まれており、実態よりかなり低めの数値が与えられている可能性が強い。これらも追加確認実験が必要であろう。

なお、曲げ試験時において、材料のセッティングによる強度分布の差はBIER¹⁹⁾によって報告されている。これによれば梁せい100mm、材幅50mmのラジアータパインで、ランダム配置したときのTL値は意図的に最弱部を引張側に配置した場合の1.06～1.40倍となっており、等級が下がるにしたがって差が大きくなっている。

5.3.3 目視による強度等級区分

目視による等級区分では、JASによる区分因子のうち、繊維走行の傾斜、丸身、腐れなどについては無視している。結果からみると、各等級ごとの試料数が少ない場合もあるが、比率の上では3つの等級に概ねバランスよく区分可能と思われる(なお等級区分材の合計と全試験体数が合致しないのは、節または比重が欠測、および2等に不合格の材を除いたためである)。データ数がほぼ充足されたと考えられる区分については、1等相当材では現行の普通構造材に与えられている許容応力度以上(巻末資料を参照)の数値が期待できることは明らかであろう。

しかし、各等級のTLの比率は樹種によってかなり異

なるようであり、例えばスギではV1を基準にとればVS:V1:V2=1.07:1:1.00であり、節と比重によって等級区分したとしても、効果的な仕分けは難しいようである。逆に等級間の差が明らかな樹種にはペイツガ、ペイマツ、ソ速カラマツがあり、VS:V1は概ね1.3:1となり、節、比重のみによる区分でも効果的な等級区分が行える可能性があることが伺える。

この場合、規格では節位置、節の有無については考慮されておらず、実験データでは国産材では心持ち材が大部分、外材では心去り材が高い比率を占めていると考えられるため、この結果から短絡的に節の効果と樹種特性を論じることには問題があり、節の位置を考慮に入れた検討を行う必要がある。それにしても、樹種を問わず各等級に対し単純に一定の許容応力度比率を採用することには疑問が残るところである。

5.3.4 MOEによる強度等級区分

この場合は各等級間の差が、目視に比較してかなり明瞭になっており、1ランク上がるごとに20%程度ずつTL値が上昇していることがわかる。また、同一等級内のMOE、MORのばらつきも目視区分に比較して、かなり減少することからしても、その有意性が伺える。

しかし、同一のMOEレベルでも樹種ごとにTL値は異なるようであり、各樹種一律の水準によって等級区分を行うことにはやや無理が感じられる。MORとMOEの回帰直線を図示すると図1.1.10のようになるが、これからも数グループの分類が可能と思われる。表1.1.9からもその可能性が看取されよう。

6. 国産材の地域特性

国内で木材を実際に購入する場合には、産地などが予め判断できる場合が多い。また、建築側からも「産地別指標」に対する期待をよく耳にする。そこで国産材のうち、産地が広範囲にわたっているスギ(旧およ

19)H.BIER: The Effect of Defect Position on the Strength of Beams, NZ Journal of Timber Construction, 2-4(1986)

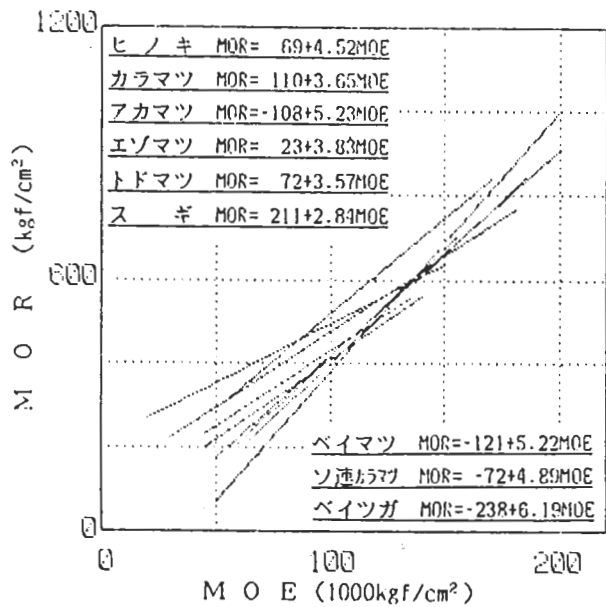


図1. 1. 10 MOEとMORの関係

びH2の2区分), ヒノキ(H2のみ)についてそのMORおよびMOEを, 前者をワイブル分布, 後者を正規分布であると仮定し, 各産地ごとの相対的な確率密度関数を計算した結果(試料数25以下は割愛)を図1.1.11に示す。

これは提出されたデータから単純に計算された数値であり, サンプルングにも影響されている(詳しくは付表のデータ内容を参照)とも考えられるので, 短絡的に各地域ごとの平均的な強度性能を示すものと考えてはならない。しかし, この結果に関する限りヒノキは産地差がないといえるのに対し, スギでは産地間で強度性能にかなりの差が見受けられることは否めないであろう。ただ, H1材ではH2材ほど明瞭なグループ区分ができないことも事実であり, 産地のみならず品種・採材部位を含めた考察が必要である。

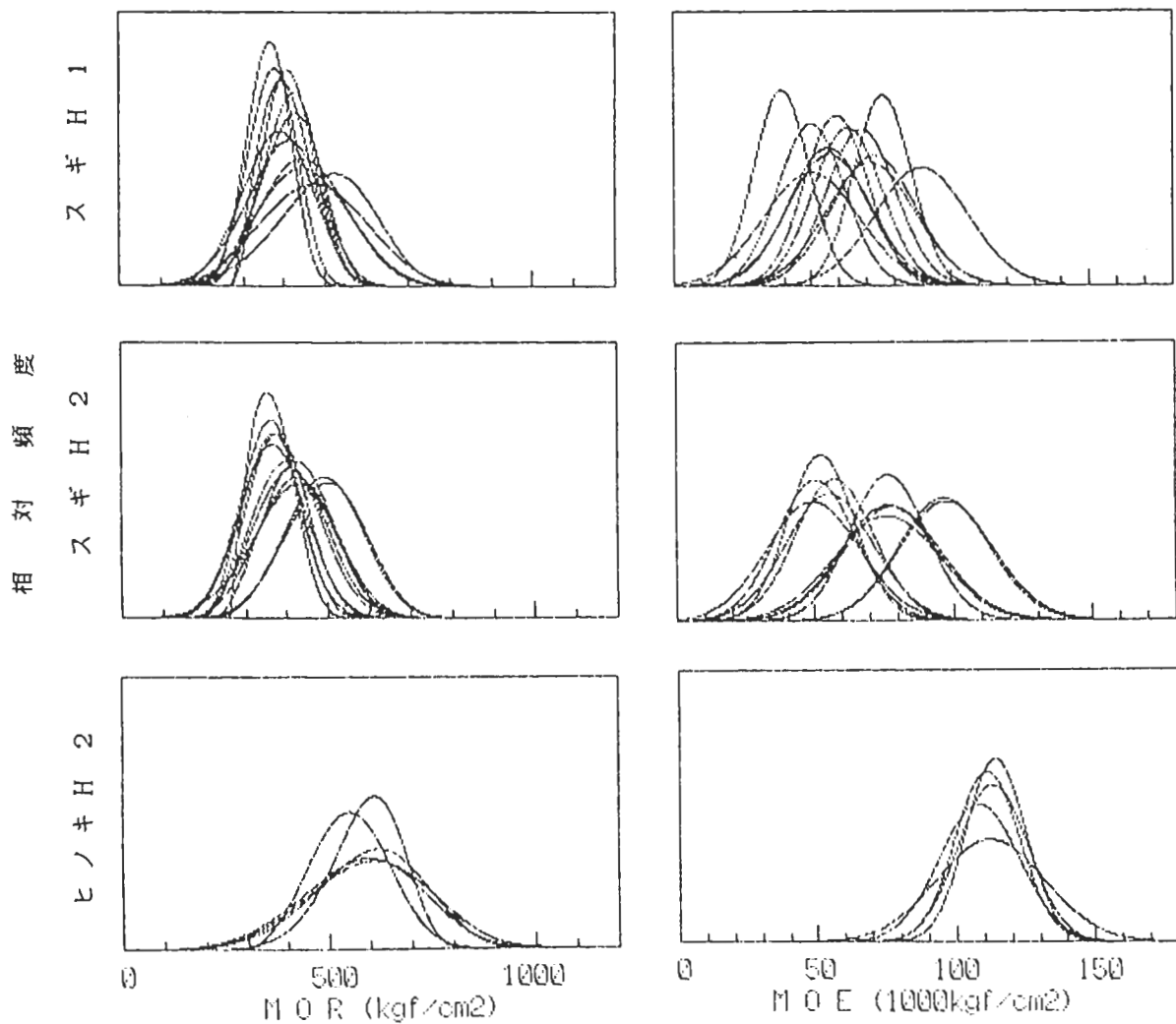


図1. 1. 11 産地別材料特性

スギ品種間の強度性能の差に関しては、佐々木²⁰⁾、林²¹⁾の報告が示唆的である。これらの結果は木材強度と木材組織の特徴と密接な関連を示している。

さらに、同一の品種であっても採材部位によって強度性能がかなり異なることも予想される。例えば中谷ら²²⁾の測定データ(富山県産ボカスギ)では、MOEは樹高の上昇に伴って増加する傾向を明瞭に示しており、一例として髄から10年輪目(ほぼ未成熟材の外縁部に相当)と比較すると、地上高1.3, 7.3, 13.3mでそれぞれ25, 50, 65x10³kgf/cm²程度の数値を示している。したがって、この場合では同一品種・径級からの採材であっても、1番玉と末木からの心持製材品では強度性能が大幅に異なることになる。

以上のような結果が得られたことは、今後のスギ材の利用を考える上で興味深い。産地別指標には、品種・採材位置、さらには施業方法(植採密度、間伐、枝打ち等)なども考慮することが必要であり、今後、林業も含めた広範囲な研究成果を持ち寄ったうえで再度討論を深めてみるのが望ましいといえる。他の国産材についても同様であろう。

7. まとめと今後の課題

提出されたデータから得られた解析結果と考察は以上のとおりである。データが完備された状態にはなっていないため、現状では断定的にいけない部分も多い。本稿でのまとめと残された非常に多くの課題を以下に述べ、今後の研究の展開への参考としたい。

7.1 等級区分法

等級区分法については、試料数の多い正角材を中心とした材にしぼり、節と比重による目視法とMOEを基準とした機械的区分法の2種を採用して区分を試み、各区分材の強度性能分布をASTMの手法にしたがって解析した。正割、平角および枠組壁工法用材については、今後のデータの蓄積を待って再度検討する必要がある。しかし、在来工法用製材の強度特性の概略は、かなり明らかとなったと考えられる。その結果は以下のように要約できる。

1)ここで試みた区分法では、MOEを基準とした機械的区分方法が樹種を問わず目視法より効果的であり、等級間の有意差が認められた。いくつかの樹種グループ区分の必要性なども感じられるが、いずれにしても本方法は、簡易なMOEの測定法を検討し、「廉価で、軽便で、わが国の実状にあったストレスグレーディングマシンの開発」によって実用段階に入るべきであろう。

2)材の視覚的因子による区分では欠測データが多く、

結論的なことを述べるまでには至っていないが、目視による区分の場合、樹種を問わず有効な指標と考えられるのは、比重と節と考えられた。

しかし、節については育林体系、製材方法との関係から、同じ正角であっても国産材はほとんどすべてが心持ち材であるのに対し、外材(特に北米材)では心持ち材が中心であり、この場合在来工法用IASによる同等の節径比であったとしても、節の効果はかなり変わることが予想される。したがって、節については材面のスケッチ等から材断面における位置の復元と計算が望ましく、IAS以外の外国規格(北米、欧州、ニュージーランド等)を適用した場合についても考慮しておく必要があると思われる。さらに、在来工法用材と枠組壁工法用材の評価方法の統一(後者の節の測定方法は、かなり問題が散見されるにせよ、前者と異なり、位置のフックターが盛り込まれている)をも展望しておくべきである。

なお、比重は木材の接合特性を論ずる重要な因子と考えられているが、節を含む実大材では無欠点小試験体より大きい傾向(岩手県産50本結果では無欠点小試験片の比重と実大材のそれとの比の平均値は0.92であった)が認められるようである。その他、含水率、材幅、材せい等の効果の検討も今後の課題である。

7.2 樹種・品種特性

上記の2)にも関連することではあるが、樹種・品種によって強度特性(たとえば、MOR/MOE、節の効果など)がかなり異なることが明らかになっているように思われる。

ここでは欠点を有する木材の強度を推定する一つの方法として重回帰分析を試みた。この方法では材料の特性を数値的に捉え、結果から適当な樹種・等級区分と強度値を与えることはできたとしても、樹種特性に対する明快な回答はでてこない。小松²³⁾は、材料科学的に木材の強度性能を説明するため、

1)欠点(節、繊維傾斜、割れ)を有する木材の強度性状を表現しうる数学モデルの設定

2)材料定数等のパラメータの分布を考慮にいれた数学モデルによるコンピュータ・シミュレーションと実験的検証

3)線形弾性破壊力学の実際の応用

などによる解析方向を提案している。木材が不均質な生物材料である限り、こうした観点からのアプローチも不可欠である。今後の実験結果を含めて可能な限りデータを揃えたうえでVISUAL GRADING因子を再度検討することは、大きな課題であろう。

7.3 全国的な強度試験の実施とデータの取りまとめ

許容応力度誘導方法については、別項に述べられて

20)佐々木光ら：木材研究資料，17，192-205(1983)

21)林昭三ら：木材研究資料，18，81-92(1983)

22)中谷浩ら：日本木材学会大会要旨，79(1987)

23)日本木材学会木材強度・木質構造研究会：1986年度研究会資料(1987)

いるのでここでは取り上げない。しかし、等級区分は許容応力度と一体のものであり、規格の早急な制定と並行してとくに低品質側に着目した全国規模的な強度試験の実施が望まれる。また、そのためにはサンプリング方法を含め、実大材試験方法に何等かの公的規準を設ける必要がある。

中井氏(林試)のアンケート調査(未公表資料)によれば、現在4m以上のスパンが可能な試験機が設置されている県は8ヶ所あり、今後さらに数県で新たに大型試験機が導入される計画があるといわれている。また、87年度以降3年間、いくつかの県で平角材等の実験が行われる。今回の調査によって明らかにされた問題をも考慮にいれた実験計画で全国的に行うことができれば、比較的近い将来には木材に対する強度的信頼性が得られる可能性が大きいものと思われる。

8. おわりに

86年度の木材学会研究会²³⁾で鈴木(遠山建築事務所)は「グレーディングで重要なことはその信頼度であると思う。また樹種区分だけではなく、産地別の指標なども整理されると設計側からは好都合である。」と指摘している。こうした設計側の要求に応え、建築材料として設計にたえられる状況にすることは急務といえる。そのためにはやはり、今後も全国的レベルで

各地の機関での実験データを順次取りまとめ、解析していくことが重要である。

しかし、とくに国産材については、品種・産地を重要視するあまり、各林分ごとにサンプリングし、実大実験を行わなければならないとすれば、半永久的にこの仕事が続くことになるであろう。したがって、品種・産地のみにとらわれず、材強度を必要な精度で評価するための因子を選択することが先決であり、国産材の強度マップはそうした因子の組合せにより、林内または土場で非破壊的に行った結果を集約することによって可能となるように考える。

なお、本稿中では特に引用しなかったが、内容に関連が深いと思われる文献としては、杉山英男著「木構造」彰国社(1971)がある。ぜひ、再読願いたい。また、スギ、ヒノキについては、中井氏がすでにとりまとめられた結果を公表している(木材工業, 39, 235-241 および552-556(1984))。あわせてお読み頂きたい。

最後に、今回データ提出をして頂いた試験機関と実験およびとりまとめ担当者の方々に深甚なる謝意を表し、その機関リストを以下に示す。オリジナルデータの内容等に関しては、直接担当者にご連絡頂ければ幸いである。また、解析に当たっては筆者作成のものとともに東京大学中村氏作成のパソコン用プログラムを使用した。提供された氏に謝意を表す。

試 験 機 関 リ ス ト

機 関 名	〒	所 在 地	T E L
北海道大学農学部林産学科	060	札幌市北区北9西9	011-716-2111(3636)
静岡大学農学部林産学科	422	静岡市大谷836	0542-37-1111(7714)
三重大学生物資源学科林学科	514	津市上浜町1515	0592-32-1211(3624)
京都大学木材研究所	611	宇治市五ヶ庄	0774-32-3111(2584)
宮崎大学農学部林学科	889-21	宮崎市大字熊野7710	0985-58-2811(3205)
農林水産省林業試験場	305	茨城県稲敷郡茨崎町松の里1	0298-73-3211(544)
北海道立林産試験場	071-01	旭川市西神楽1線10号	0166-75-4233
岩手県林業試験場	020-01	岩手県岩手郡滝沢村20地割字砂込	0196-88-4552
山形県林業試験場	991	寒河江市寒河江字丙2707	0237-84-4301
富山県林業技術センター	939-03	富山県射水郡小杉町黒河新4940	0766-56-2815
福井県総合グリーンセンター	910-02	福井県坂井郡丸岡町楽間15	0776-67-0002
長野県林業指導所*	399-64	塩尻市大字宗賀桔梗が原73	0263-52-0600
山梨県林業技術センター	400	甲府市岩窪町688	0552-53-5811
岐阜県林業センター	501-37	美濃市曾代1128-1	0575-33-2585
静岡県林業試験場	434	浜北市根堅2542-8	0539-25-3121
奈良県林業試験場	635-01	奈良県高市郡高取町吉備	0744-52-2380
鳥根県林業技術センター	699-04	鳥根県八東郡穴道町穴道1586	0852-66-0301
徳島県林業総合技術センター	770	徳島市南庄町5-69	0886-32-4237
熊本県林業研究指導所	860	熊本市黒髪8-222-2	096-339-2121
大分県林業試験場	877-13	日田市有田字佐寺原	0973-23-2146
鹿児島県工業技術センター	899-51	鹿児島県始良郡隼人町小田字高田町1445-1	0995-43-5111

*88.4.1より<長野県林業総合センター(〒399-07塩尻市大字片丘字狐久保5739)>に名称変更

表 I-1-A 収集データの樹種・産地別分類
 -在来工法用(枠組壁工法用404材を含む)-

<ハイマツ>

区分	梁せい区分試験体数			産地	品種・材質・採材部位等	その他	試験機関	公表文献
	-85	85-165	165-計					
北米材	0	156	0	北米	φ=25~50cm	正角心持9,心去49	富山県試	飯島ら:県試験場季報,63(1985) 飯島ら:木材学会大会要旨(1985)
				北米	不明	正角心持	静岡県試	金澤ら:59年度県試験場報告,63(1984)
				北米	不明	平角	奈良県試	県試験場報告,14(1984)

<ソ連カラマツ>

区分	梁せい区分試験体数			産地	品種・材質・採材部位等	その他	試験機関	公表文献
	-85	85-165	165-計					
ソ連材	0	249	21	ソ連極東 ソ連極東 ソ連極東	φ=15~40cm φ=15~30cm φ=28~30cm	404 正角心持/4つ割 平角	富山県試	飯島:県試験場研報,1(1983) 飯島ら:県試験場季報,63(1985) 飯島:建築学会概観集(1986)

<ヒノキ/ヒバ>

区分	梁せい区分試験体数			産地	品種・材質・採材部位等	その他	試験機関	公表文献
	-85	85-165	165-計					
岩手	0	5	0	5 県北部	ヒバ	心持正角	岩手県試	県林試:未発表資料
山梨	13	0	0	13 富沢/都留	主伐木	心持正割	山梨県試	名取ら:日林関東支研論集,35(1983)
岐阜	75	21	0	96 恵那市	23年生間伐木,φ=14cm	正角/正割	岐阜県試	野原ら:県センター報告,7(1976)
静岡	0	52	0	52 天竜地方	不明	心持正角	静岡県試	大澤ら:57年度県試験場報告(1982)
三重	0	49	0	49 県内産	不明	心持正角	三重大	徳田ら:木材学会大会要旨(1987)
奈良	40	84	0	124 県内産	不明	心持正角/平角	奈良県試	江口ら:県試験場報告,14(1984)
島根	0	50	0	50 県東部	φ=14~18cm	心持正角	島根県試	錦織ら:県センター報告,37(1986)
鹿児島	1	25	0	26 県内産	主伐材	正角,平角	鹿児島県	遠矢:59年度県試験場報告(1984)

表 1-1-A (続き)

<カラマツ>

区分	梁せい区分試験体数			産地	品種・材質・採材部位等	その他	試験機関	公表文献
	-85	85-165	165-計					
北海道	6	421	0 427	栗川町 北見市 士別市 木古内町 浦河町 静内町	間伐木2~4番玉, φ=12~24cm 間伐木20~21年生, φ=13.8cm 間伐木37~42年生, φ=22.2cm 間伐木24年生, φ=18.7cm 間伐木24年生, φ=16.5cm 間伐木26~30年生, φ=17.5cm	さまざま 心持正角 心持正角 心持正角 心持正角 心持正角	北海道大	山田：北大卒論(1973) 小泉ら：北大演研報, 44-1(1987) 同 同 同 同
岩手	52	26	0 78	江刺市	人工林材65年生, DBH=42~66cm 間伐木31年生 間伐木22,31年生, φ=18~25cm	正角(心持/心去) 正角 正角/正割	岩手県試	川口ら：試験場場報, 1-7(1987) 高橋ら：試験場月報, 402(1985) 同, 411(1986) 東野ら：県試験場報告, 11(1978) 同：日林東北支研論集, 30(1979)
山梨	118	15	0 133	須玉町 富士山/増富	φ=7~12cm, 小径材/末木 主伐材	正割心持 正割/正角	山梨県試	名取ら：53年度県試験場報告(1979) 同：日林関東支研論集, 35(1983)
長野	0	95	0 95	長谷村 安曇村	54年生, φ=11~32cm 48年生, φ=16~38cm	正角心持 正角心持	長野県試	橋爪ら：57年度県試験場報告(1983) 同：58年度県試験場報告(1984)
奈良	11	0	0 11	吉野地方	1~2番玉, φ=13~20cm	心持/正角正割	奈良県試	小野ら：県試験場報告, 8(1979)

<アカマツ>

区分	梁せい区分試験体数			産地	品種・材質・採材部位等	その他	試験機関	公表文献
	-85	85-165	165-計					
岩手	0	0	6 6	金ヶ崎町	不明	平角心持5, 心去1	岩手県試	県林試：未発表資料
奈良	0	48	0 48	県内産	不明	平角	奈良県試	江口ら：県試験場報告, 14(1984)
島根	0	54	0 54	県東部	φ=13~22cm	心持正角	島根県試	錦織ら：県センター報告, 38(1987)

<バイツガ>

区分	梁せい区分試験体数			産地	品種・材質・採材部位等	その他	試験機関	公表文献
	-85	85-165	165-計					
北米材	18	259	0 277	北米 北米 北米	不明 不明 不明	正角 正角心去 正角	国林試 静岡県試 奈良県試	中井ら：木材学会大会要旨(1984) 大澤ら：58年度県試験場報告(1983) 県林試：未発表資料

表 I - 1 - A (続き)

<エゾマツ/欧州トウヒ>

区分	梁せい区分試験体数			産地	品種・材質・採材部位等	その他	試験機関	公表文献
	-85	85-165	165-計					
北海道	0	97	0	不明 北見市	欧州トウヒ造林木 アカエゾマツ造林木、51年生	正角 正角	北海道試	林産試：57年度試験結果報告書 川口ら：試験場月報、419(1986)

<トドマツ>

区分	梁せい区分試験体数			産地	品種・材質・採材部位等	その他	試験機関	公表文献
	-85	85-165	165-計					
北海道	0	194	0	東川町 美深町 厚岸町	造林木33年生 不明 不明	正角 正角 正角	北海道試	高橋ら：試験場月報、408(1986) 林産試：未発表資料 同

<スギ>

区分	梁せい区分試験体数			産地	品種・材質・採材部位等	その他	試験機関	公表文献
	-85	85-165	165-計					
岩手	30	155	0	湯田町 県北部 県北部	不明 不明 不明(市販製材品)	心持正角 心持正角 心持正角	岩手県試	県林試：未発表資料 同 東野ら：日林東北支研論集、34(1982) 同
山形	0	130	0	県内6地区	20~60年生	正角	山形県試	石垣ら：県試験場報告、14(1985)
福島	44	0	0	いわき市	間伐木	心持正角	国林試	中井ら：木材工業、39-5(1984)
栃木	45	0	0	今市市	間伐木	心持正角	国林試	中井ら：木材工業、39-5(1984)
千葉	28	0	0	東大湊習林	41年生間伐木、φ=10.5~25cm	心持正角12ほか	京大木研	龍野ら：京大木材研究資料、14(1979)
富山	92	40	0	小矢部市 黒部市	ホカスギ間伐木1番玉、φ=9~14cm タテヤマスギ20~38年生末木、φ=6~13cm	心持正角 心持正角	富山県試	武田ら：県試験場季報、46(1981) 飯島ら：同、35(1978)
福井	109	60	0	金津町 美山町 福井市 福井市	間伐木1~3番玉、φ=9~13.5cm 地スギ7品種間伐木1番玉、φ=10.7~24.0cm 立石スギ間伐木1番玉、φ=10.7~24.0cm 平泉寺スギ	心持正角 心持正角 心持正角 心持正角 正割	福井県試	石森ら：県試験場報告、51(1976) 土田ら：56年度被雪調査報告書(1982) 同 同
山梨	14	0	0	富士/都留	中径材	心持正割	山梨県試	名取ら：日林関東支研論集、35(1982)
岐阜	106	0	0	洞戸村 明方村 根尾村	22年生間伐木、φ=14cm 20年生間伐木、φ=13cm 19年生間伐木、φ=14cm	正角/正割 正角/正割 心持正角/正割	岐阜県試	野原ら：県センター報告、7(1976) 同 同

表1-1-A (続き)

<スギ> (続き)

区分	梁せいで分試験体数			産地	品種・材質・採材部位等	その他	試験機関	公表文献
	-85	85-165	165-計					
静岡	56	50	80	天竜地方	不明, 市販製材品	心持正角	静岡県試	大澤ら: 56年度県試験場報告(1981)
				天竜地方	不明	心持正角	静岡大学	丸山ら: 住木センター報告書(1983)
				不明	不明	心持平角	国林試	中井ら: 未発表資料
三重	0	50	0	県内産	市販製材品	心持正角	三重大	徳田ら: 木材学会大会要旨(1987)
奈良	110	163	0	吉野地方 県内産	間伐木1~3番玉 市販製材品, 2等材のみ25年生間伐材	心持正割 心持正角/平角	奈良県試	小野/今村ら: 県試験場報告, 5(1974) 江口ら: 同, 14(1984)
島根	0	54	0	県西部	製材所購入	心持正角	島根県試	錦織ら: 県センター報告, 36(1985)
徳島	89	179	90	鷲敷町 東祖谷山村 上那賀町	間伐木1~2番玉 間伐木22年生1~3番玉 市販製材品	心持正角 心持正角 心持正角	徳島県試	市原ら: 県センター報告, 18(1980) 市原ら: 同, 19(1981) 山本ら: 同, 20(1982), 21(1983)
				木沢村	60~70年生	心持正角, 平角	国林試	中井ら: 木材学会大会要旨, 88(1985)
熊本	0	50	0	小国町	ヤブクグリ中小径材20~40年生, 1番玉	心持正角	熊本県試	池田ら: 61年度県試験場報告(1987) 小邦ら: 日林九支研論集, 40(1987)
大分	137	198	17	日田市 九重/中津江	ヤブクグリ間伐木20~25年生1~2番玉 ヤブクグリ主伐木50年生1~5番玉	心持正角 心持正角/平角	大分県試	後藤ら: 県試験場報告, 27(1985) 津島ら: 同, 29(1987)
宮崎	74	27	0	県中部	オビスギ間伐材, φ=6cmまで採材	正角, 平割	宮崎大	中村ら: 日林九支研論集, 28(1975) 大塚ら: 同, 32(1979) 大塚ら: 木材学会強度研究会(1981) 中村ら: 同 中村ら: 日林九支研論集, 35(1982) 大塚ら: 木材学会大会要旨, 36(1986)
鹿児島	2	7	1	川薩地方	間伐材, 主伐材	正角, 平角	鹿児島県	遠矢: 59年度県試験場報告(1984)

表1-1-A (続き)
-枠組壁工法用製材(404を除く) -

区分	材種区分試験体数				産地	品種・材質・採材部位等	その他	試験機関	公表文献
	204	206	208	計					
ソ連カマツ	184	0	76	260	ソ連極東	φ=15~40cm	204/208	富山県試	飯島：県試験場研報, 1(1983)
カラマツ	150	10	0	160	札幌市 苫小牧市	24年生1~3番玉, φ=24~28cm 造林木53年生, φ=27~32cm	206 204	北海道大	大塚：北大卒論(1973) 宮島ら：北大演研報, 42-4(1985)
エゾマツ	83	0	96	179	北見/京極 雨龍地方	φ=14~30cm以上 アカエゾマツ天然木	204 208	北海道試 北海道大	林産試 ⁰ 0ジ ⁰ イ ⁰ ホ ⁰ チ ⁰ ム ⁰ ：試験場研報, 67(1978) 荒井ら：北大卒論(1974)
トドマツ	286	0	63	349	雨龍地方 恵庭市 厚別町 戸別町 稜野町 苫小牧市	天然木 造林木15年生, φ=14~26cm 造林木30年生, φ=12~22cm 造林木15年生, φ=16~32cm 造林木20年生, φ=10~20cm 造林木55年生, φ=22~30cm	208 204 204 204 204 204	北海道大	荒井ら：北大卒論(1974) 宮島：北大演研報, 37-3(1980) 同：同, 38-2(1981) 同：同, 39-2(1982) 同：同, 42-4(1985)
					不明 美深町 厚岸町	不明, 低質材 不明 不明	208/204 204(平割) 204(平割)	北海道試	林産試 ⁰ 0ジ ⁰ イ ⁰ ホ ⁰ チ ⁰ ム ⁰ ：試験場研報, 67(1978) 林産試：未発表資料 同： 同：

注：カラマツ, エゾマツ, トドマツの産地はいずれも北海道

2. 引 張 り 強 度 性 能

はじめに

木材の無欠点小試験体による強度試験結果では、縦引張り>曲げ>縦圧縮>せん断 となることは、よく知られている。この結果から、引張り許容応力度を、曲げ許容応力度と等しく考えていたことは、安全側であると理解されていた。(以後、縦引張りを、単に引張りという。)

ところが、近年になって、実大材の引張りが、引張りチャックの工夫等で実験的に可能になったために、各国で実大材の引張り試験が実施されるようになってきた。

その結果、引張りの許容応力度誘導に際しASTMでは、曲げの強度比に、0.55の係数を乗じる改訂が行われ、その他の国々でも、引張りの許容応力度改訂がなされている。

実大引張り強度試験データは、現在国立林業試験場および一、二の公立林産・林業試験場で収集されている。ここでは、国立林業試験場で行われた一連の試験結果について述べる。

1. 製材品の引張り試験データ数

表2.1に入手されたデータ数、樹種、公称断面寸法を示した。基本的には、平割の断面で実大引張り試験が行われているが、正角、板も一部含んでいる。

表2.1 実大引張り試験データ数

樹 種	試験体数	断面寸法(公称)
1) 欧州アカマツ	100	50×100×4,000mm
2) ベイマツ	105	同上
3) ベイツガ (曲げ試験)	105 210	同上 105×105×4,000mm
4) スギ (曲げ試験) (短柱縦圧縮試験)	200 50 195	100×100×4,000mm 105×105×3,000mm 100×100×290mm
5) エゾマツ	100	20×140×3,000mm

() 内は、関連して行った実験

2. 引張試験体のサンプリング方法

この一連の試験の目的は、「製材の日本農林規格」の特等、1等、2等に格付けされる製材品の実大引張り強度の分布を知り、統計的下限値(平均値-1.645×標準偏差)および5th%ile値を求めることにあった。また、統計的下限値、5th%ile値を3で割った値を、長期の引張り許容応力度に相当する値とみなし、施行令89

条に与えられている長期の曲げ許容応力度に対する割合を知ること、大きな目的であった。

したがって、サンプリングの方法としては、市販材より、日本農林規格の特等、1等、2等に格付けされた製材品を購入することを第一義としている。このため、必ずしも市場で販売されている製材品の実態に比例したサンプリングとはなっていないことに注意をしなければならない。事実、日本農林規格の2等材を、特等や1等と同じ数だけ入手することは、極めて困難であった。各樹種の試験体中にしめる2等材の数が、後に示す表の中で、このことを物語っている。さらに、関連して示しているベイツが正角210体の実大曲げ試験体では、各等級とも70体を目標として約1,000体の製材品のなかから選材したのであるが、節径比が30%を越え、40%以下の1等材は、70体を集めることができず、65体にとどまった。また、スギ正角の実大引張り試験体のサンプリングは、その目的がやや異っており、具体的内容は、別項(4.5)でふれているので参照されたい。

3. 実大引張り試験方法

国立林業試験場に設置された能力100tonfの横型材料試験機を用いて、実大引張り試験を行った。実験方法の詳細は、既報^{1)~5)}を参照されたい。

4. 実大引張り試験結果と考察

本項で使用する記号とその意味を以下に示し、実大引張り試験の結果を表2.2~2.17、図2.1~2.6に示した。

J A S	製材の日本農林規格
Ungraded	J A Sによる等級区分を行わない場合
n	供試体数
M C	含水率(%) : 全乾法による
S G	気乾比重
A R W	平均年輪幅(mm)
E b	曲げヤング係数(10 ³ kg f/cm ²)
E t	引張ヤング係数(10 ³ kg f/cm ²)
σ t	縦引張強度(kg f/cm ²)
σ b	曲げ破壊係数(kg f/cm ²)
σ c	短柱縦圧縮強度(kg f/cm ²)
K D	単独の最大節径比(%)
Σ K D	集中節径比(%)
K A R	節面積比 : 製材の木口面に節を投影したとき、節の面積が、木口 全断面積に占める率
L . L .	統計的下限値 : 平均値-1.645×標準偏差
L . L . / 3	L . L . の値を3で除した値

表 2. 2 欧州アカマツ平割の縦引張試験結果³⁾

日本製材 規格による 等級	試験 体数 n	含水率		SG	平均 年輪幅 ARW	曲 ヤング 係数 Eb	引 張 係 数 Et	引 張 強 度 σt	伸 長 率 KD	面 積 比 KAR
		MC (%)	SG (%)							
特等	36	13.9	0.45	1.1	103.6	—	312	10.4	0.12	—
		標準偏差	0.5	0.03	0.5	16.1	—	110	11.9	0.08
		変動係数	3.6	7.6	45.7	15.5	—	35.1	114.8	66.5
1等	38	13.8	0.45	1.5	97.7	—	238	34.2	0.21	—
		標準偏差	0.5	0.04	0.7	12.4	—	56.4	11.8	0.09
		変動係数	3.3	8.0	45.3	12.7	—	23.7	34.5	42.0
2等	21	14.2	0.45	1.6	91.6	—	168	60.7	0.31	—
		標準偏差	1.0	0.04	0.8	16.7	—	53.8	13.0	0.14
		変動係数	7.1	9.6	47.5	18.2	—	32.1	21.4	45.2
格 外	3	14.1	0.45	2.5	75.8	—	80	84.5	0.49	—
		標準偏差	—	—	—	—	—	—	—	—
		変動係数	—	—	—	—	—	—	—	—
等級区分 しない場 合	190	13.9	0.45	1.4	98.0	—	247	33.2	0.21	—
		標準偏差	0.6	0.04	0.7	15.9	—	101	24.1	0.13
		変動係数	4.6	8.2	49.1	16.2	—	40.8	74.7	63.3

表 2. 4 ベイマツ平割の縦引張試験結果

日本製材 規格による 等級	試験 体数 n	含水率		SG	平均 年輪幅 ARW	曲 ヤング 係数 Eb	引 張 係 数 Et	引 張 強 度 σt	伸 長 率 KD	面 積 比 KAR
		MC (%)	SG (%)							
特等	79	12.6	0.55	0.06	3.9	144	142	426	12.4	0.12
		標準偏差	0.5	0.06	1.9	25.1	26.6	169	11.1	0.11
		変動係数	3.7	10.2	49.4	17.4	18.7	39.8	90.0	97.4
1等	14	12.7	0.51	0.03	4.7	130	122	281	37.0	0.29
		標準偏差	0.3	0.03	2.0	19.9	23.6	96.4	4.7	0.11
		変動係数	2.3	6.0	43.2	15.3	17.9	34.3	12.6	37.8
2等	11	12.8	0.53	0.05	4.7	119	113	198	58.6	0.38
		標準偏差	0.5	0.05	2.4	18.9	26.5	99.1	7.9	0.23
		変動係数	3.8	8.7	49.7	15.8	23.5	50.1	13.5	61.1
格 外	1	12.6	0.55	0.03	4.5	158	161	313	89.2	0.22
		標準偏差	—	—	—	—	—	—	—	—
		変動係数	—	—	—	—	—	—	—	—
等級区分 しない場 合	105	12.6	0.54	0.05	4.1	140	138	382	21.3	0.17
		標準偏差	0.5	0.05	2.0	25.1	27.6	174	19.3	0.16
		変動係数	3.6	9.9	48.7	18.0	20.0	45.5	92.5	93.5

表 2. 5 ベイマツ平割の縦引張強度の統計的下限値および各種パーセンタイル値の比較

JAS	L.L.	L.L./3	5%ile	5%ile/3	10%ile	10%ile/3	12.5%ile	12.5%ile/3
特等	148	49	154	51	191	64	206	69
		(0.52)	(0.54)	(0.67)	(0.73)			
1等	122	41	167	56	178	59	182	61
		(0.43)	(0.59)	(0.62)	(0.64)			
2等	35	12	100	33	110	37	115	38
		(0.13)	(0.35)	(0.39)	(0.40)			
Ungraded	96	32	134	45	164	55	176	59
		(0.34)	(0.47)	(0.58)	(0.62)			

note: () 内の値は95kg/cm²(L/b) に対する比

表 2. 3 欧州アカマツ平割の縦引張強度の統計的下限値および各種パーセンタイル値の比較

JAS	L.L.	L.L./3	5%ile	5%ile/3	10%ile	10%ile/3	12.5%ile	12.5%ile/3
特等	131	44	162	54	180	60	195	65
		(0.46)	(0.57)	(0.63)	(0.68)			
1等	145	48	147	49	168	56	173	58
		(0.50)	(0.52)	(0.59)	(0.61)			
2等	79	26	106	35	111	37	115	38
		(0.27)	(0.37)	(0.39)	(0.40)			
Ungraded	81	27	116	39	133	44	136	45
		(0.28)	(0.41)	(0.46)	(0.47)			

note: () 内の値は95kg/cm²(L/b) に対する比

表 2. 6 ベイツが平割の引張試験結果

日本標準規格による等級	試験体数	含水率	気乾比重	SG	ARW	平均年輪幅	曲げヤング係数	引張強度	σt	KD	最大径比	断面積比
J.A.S	n	MC (%)	SG	SG	ARW (mm)	(mm)	Eb (10 ³ kg/cm ²)	Et (10 ³ kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)	KD	K.A.R
		平均値	13.5	0.48	2.1	—	136	393	18.9	11.9	—	—
特等	43	標準偏差	0.3	0.07	1.4	—	20.7	149	8.2	10.5	—	—
		変動係数	2.2	13.9	67.7	—	15.2	37.9	43.5	88.6	—	—
1等	45	平均値	13.4	0.47	2.4	—	122	270	40.8	28.4	—	—
		標準偏差	0.3	0.06	1.3	—	21.0	104	5.7	14.3	—	—
		変動係数	2.0	13.2	55.6	—	17.2	38.4	14.0	50.4	—	—
2等	17	平均値	13.4	0.45	2.4	—	113	186	63.0	36.7	—	—
		標準偏差	0.2	0.04	1.3	—	18.5	80.3	8.4	17.9	—	—
		変動係数	1.6	9.4	55.8	—	16.4	43.1	13.3	48.8	—	—
等級区分しない場合	105	平均値	13.5	0.47	2.3	—	126	307	35.5	23.0	—	—
		標準偏差	0.3	0.06	1.4	—	22.0	143	17.4	16.6	—	—
		変動係数	2.0	13.1	60.0	—	17.4	46.7	48.9	72.2	—	—

表 2. 8 ベイツが正角の曲げ試験結果³⁾

日本標準規格による等級	試験体数	含水率	気乾比重	SG	ARW	平均年輪幅	曲げヤング係数	引張強度	Et (10 ³ kg/cm ²)	曲げヤング係数	Eb (10 ³ kg/cm ²)	曲げ係数	ob (kg/cm ²)	KD (%)	最大径比	断面積比
J.A.S	n	MC (%)	SG	SG	ARW (mm)	(mm)	(10 ³ kg/cm ²)	(10 ³ kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)	KD	K.A.R	
		平均値	—	—	—	—	127	—	586	—	586	—	19.5	0.07	—	—
特等	75	標準偏差	—	—	—	—	21.5	—	155	—	155	—	7.0	0.06	—	—
		変動係数	—	—	—	—	16.9	—	26.5	—	26.5	—	40.2	81.1	—	—
1等	65	平均値	—	—	—	—	110	—	409	—	409	—	35.1	0.19	—	—
		標準偏差	—	—	—	—	19.1	—	133	—	133	—	9.1	0.12	—	—
		変動係数	—	—	—	—	17.4	—	32.5	—	32.5	—	25.9	60.0	—	—
2等	70	平均値	—	—	—	—	95.8	—	295	—	295	—	43.3	0.27	—	—
		標準偏差	—	—	—	—	23.6	—	132	—	132	—	13.9	0.15	—	—
		変動係数	—	—	—	—	24.6	—	44.7	—	44.7	—	32.2	55.2	—	—
等級区分しない場合	210	平均値	—	—	—	—	111	—	434	—	434	—	32.3	—	—	—
		標準偏差	—	—	—	—	25.1	—	186	—	186	—	14.6	—	—	—
		変動係数	—	—	—	—	22.6	—	42.9	—	42.9	—	45.2	—	—	—

表 2. 7 ベイツが平割の引張強度の統計的下限値および各種パーセンタイル値の比較

J.A.S	L.L.	L.L./3	5%ile	5%ile/3	10%ile	10%ile/3	12.5%ile	12.5%ile/3
特等	148	49	177	59	194	65	203	68
		(0.58)	(0.69)	(0.76)	(0.80)			
1等	99	33	130	43	145	48	167	56
		(0.39)	(0.50)	(0.56)	(0.66)			
2等	54	18	83	28	105	35	111	37
		(0.21)	(0.33)	(0.41)	(0.44)			
Ungraded	72	24	124	41	144	48	156	52
		(0.28)	(0.48)	(0.56)	(0.61)			

note: () 内の値は85kg/cm²(σ_b)に対する比

表 2. 9 ベイツが正角の「曲げ強度」の統計的下限値および各種パーセンタイル値の比較

J.A.S	L.L.	L.L./3	5%ile	5%ile/3	10%ile	10%ile/3	12.5%ile	12.5%ile/3
特等	331	110	321	107	364	121	370	123
		(1.29)	(1.26)	(1.42)	(1.45)			
1等	190	63	185	62	220	73	252	84
		(0.74)	(0.73)	(0.86)	(0.99)			
2等	78	26	131	44	160	53	163	54
		(0.31)	(0.52)	(0.62)	(0.64)			
Ungraded	128	43	167	56	198	66	210	70
		(0.51)	(0.66)	(0.78)	(0.82)			

note: () 内の値は85kg/cm²(σ_b)に対する比

表 2. 1 0 スギ正角の縦引張試験結果り

日本製林規格による等級	試験体数	含水率	気乾比重	平均年輪幅	曲げヤング係数	引張ヤング係数	σ_t	KD	単独大径比	果中径比
JAS	n	MIC (%)	SG	ARW (mm)	Eb ($10^3 \text{kg}/\text{cm}^2$)	Et ($10^3 \text{kg}/\text{cm}^2$)	(kg/cm ²)	(%)	(%)	JKD (%)
		平均値	0.44	5.5	—	50.9	307	18.8	34.3	
特等	81	標準偏差	0.03	1.0	—	11.0	46.4	2.8	3.7	
		変動係数	3.8	17.9	—	21.7	15.1	15.1	10.9	
1等	115	平均値	0.46	5.8	—	55.9	307	22.1	45.6	
		標準偏差	0.03	0.9	—	15.4	47.5	3.2	4.6	
		変動係数	4.1	16.1	—	27.6	15.5	14.5	10.1	
2等	4	平均値	0.47	6.3	—	52.3	287	27.5	65.8	
		標準偏差	—	—	—	—	—	—	—	
		変動係数	—	—	—	—	—	—	—	
等級区分しない場台	200	平均値	0.45	5.7	—	53.8	307	21.0	—	
		標準偏差	0.03	1.0	—	13.9	46.9	3.7	—	
		変動係数	4.2	16.9	—	25.8	15.3	17.6	—	

1
4
5
1

表 2. 1 2 スギ正角の短柱縦引張試験結果

日本製林規格による等級	試験体数	含水率	気乾比重	平均年輪幅	曲げヤング係数	引張ヤング係数	短柱縦引張強度	KD	単独大径比	果中径比
JAS	n	MIC (%)	SG	ARW (mm)	Eb ($10^3 \text{kg}/\text{cm}^2$)	Et ($10^3 \text{kg}/\text{cm}^2$)	(kg/cm ²)	(%)	(%)	JKD (%)
		平均値	0.45	5.7	—	—	331	16.2	24.4	
特等	179	標準偏差	0.03	1.0	—	—	31.1	3.4	8.1	
		変動係数	6.5	17.5	—	—	8.9	20.8	33.1	
1等	16	平均値	0.47	5.7	—	—	365	21.4	46.0	
		標準偏差	0.03	0.6	—	—	35.4	2.7	4.9	
		変動係数	6.9	11.0	—	—	9.7	12.5	10.7	
2等	0	平均値	—	—	—	—	—	—	—	
		標準偏差	—	—	—	—	—	—	—	
		変動係数	—	—	—	—	—	—	—	
等級区分しない場台	195	平均値	0.45	5.7	—	—	352	16.6	26.2	
		標準偏差	0.03	1.0	—	—	31.6	3.6	9.9	
		変動係数	6.7	17.0	—	—	9.0	21.7	37.7	

表 2. 1 1 スギ正角の縦引張強度の統計的下限値および各種パーセンタイル値の比較

JAS	L.L.	L.L./3	5%ile	5%ile/3	10%ile	10%ile/3	12.5%ile	12.5%ile/3
特等	231	77	234	78	242	81	253	84
		(1.03)	(1.04)	(1.08)	(1.12)			
1等	229	76	230	77	245	82	250	83
		(1.01)	(1.03)	(1.09)	(1.11)			
2等	—	—	—	—	—	—	—	—
Ungraded	230	77	237	79	242	81	250	83
		(0.91)	(0.93)	(0.95)	(0.98)			

note : () 内の値は75kg/cm²(σ_b) に対する比

表 2. 1 3 スギ正角の「縦引張強度」の統計的下限値および各種パーセンタイル値の比較

JAS	L.L.	L.L./3	5%ile	5%ile/3	10%ile	10%ile/3	12.5%ile	12.5%ile/3
特等	299	99	306	102	318	106	320	107
		(1.65)	(1.70)	(1.77)	(1.78)			
1等	307	102	326	109	328	109	331	110
		(1.70)	(1.82)	(1.82)	(1.83)			
Ungraded	300	100	308	103	318	106	322	107
		(1.67)	(1.72)	(1.77)	(1.78)			

note : () 内の値は60kg/cm²(σ_c) に対する比

表 2. 1 4 スギ正角の曲げ試験結果

日本製材規格による等級	試験体数	含水率	気乾比	平均年輪幅	曲げヤング係数	曲げ比強度	曲げ破壊係数	曲げヤング係数	平均年輪幅	SG	ARW	Eb	σp	σb	KD	σKD
JAS	n	MC (%)	SG	(mm)	(10 ³ kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(mm)	(%)	(mm)	(10 ³ kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)	(%)
		平均値	18.2	0.48	5.1	80.7	295	489	20.0	36.2						
特等	21	標準偏差	0.7	0.03	1.0	18.5	59.6	75.7	2.5	3.6						
		変動係数	3.8	6.1	19.2	22.9	20.2	15.5	12.3	10.1						
1等	26	平均値	18.5	0.50	4.8	85.7	305	468	22.8	49.2						
		標準偏差	1.3	0.04	1.1	14.1	49.0	52.7	3.8	5.2						
		変動係数	6.9	7.7	22.5	16.5	16.1	11.3	16.8	10.6						
2等	3	平均値	18.8	0.51	5.0	75.8	269	407	25.3	67.0						
		標準偏差	—	—	—	—	—	—	—	—						
		変動係数	—	—	—	—	—	—	—	—						
等級区分しない場台	50	平均値	18.4	0.49	5.0	83.0	298	473	21.8	44.8						
		標準偏差	1.0	0.04	1.0	16.1	53.6	67.7	3.8	9.6						
		変動係数	5.6	7.3	21.1	19.4	18.0	14.3	17.5	21.5						

表 2. 1 5 スギ正角の「曲げ強度」の統計的下限値および各種パーセンタイル値の比較

JAS	L.L.	L.L./3	5%tile	5%tile/3	10%tile	10%tile/3	12.5%tile	12.5%tile/3
特等	364	121	347	116	388	129	399	133
		(1.61)	(1.55)	(1.72)	(1.77)			
1等	381	127	378	126	391	130	400	133
		(1.69)	(1.68)	(1.73)	(1.77)			
Ungraded	362	121	368	123	386	129	395	132
		(1.61)	(1.64)	(1.72)	(1.76)			

note : () 内の値は 75kg/cm² (L_f/b) に対する比

表 2. 1 6 エゾマツ1by 6 の破引張試験結果

日本製材規格による等級	試験体数	含水率	気乾比	平均年輪幅	曲げヤング係数	引張強度	引張ヤング係数	σt	KD	σKD
JAS	n	MC (%)	SG	(mm)	(10 ³ kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)	(%)	(%)
		平均値	15	0.44	—	—	91.5	320	11.6	0.11
特等	28	標準偏差	—	0.03	—	—	15.8	114	6.3	0.08
		変動係数	—	7.3	—	—	17.3	35.5	54.3	77.3
1等	60	平均値	15	0.44	—	—	77.0	205	27.7	0.27
		標準偏差	—	0.04	—	—	13.9	56.5	4.8	0.08
		変動係数	—	9.6	—	—	18.1	27.5	17.4	30.0
2等	12	平均値	15	0.45	—	—	65.8	114	55.2	0.33
		標準偏差	—	0.06	—	—	19.9	34.1	10.4	0.15
		変動係数	—	14.1	—	—	30.2	30.0	18.9	29.0
等級区分しない場台	100	平均値	15	0.44	—	—	79.7	226	26.5	0.26
		標準偏差	—	0.04	—	—	17.2	99.0	14.2	0.16
		変動係数	—	9.6	—	—	21.5	43.7	53.4	60.4

表 2. 1 7 エゾマツ1by 6 の破引張強度の統計的下限値および各種パーセンタイル値の比較

JAS	L.L.	L.L./3	5%tile	5%tile/3	10%tile	10%tile/3	12.5%tile	12.5%tile/3
特等	132	44	164	55	180	60	190	63
		(0.59)	(0.73)	(0.80)	(0.84)			
1等	112	37	124	40	139	46	141	47
		(0.49)	(0.53)	(0.60)	(0.63)			
2等	58	19	42	14	79	26	98	33
		(0.25)	(0.19)	(0.35)	(0.44)			
Ungraded	63	21	108	36	122	41	128	43
		(0.28)	(0.48)	(0.55)	(0.57)			

note : () 内の値は 75kg/cm² (L_f/b) に対する比

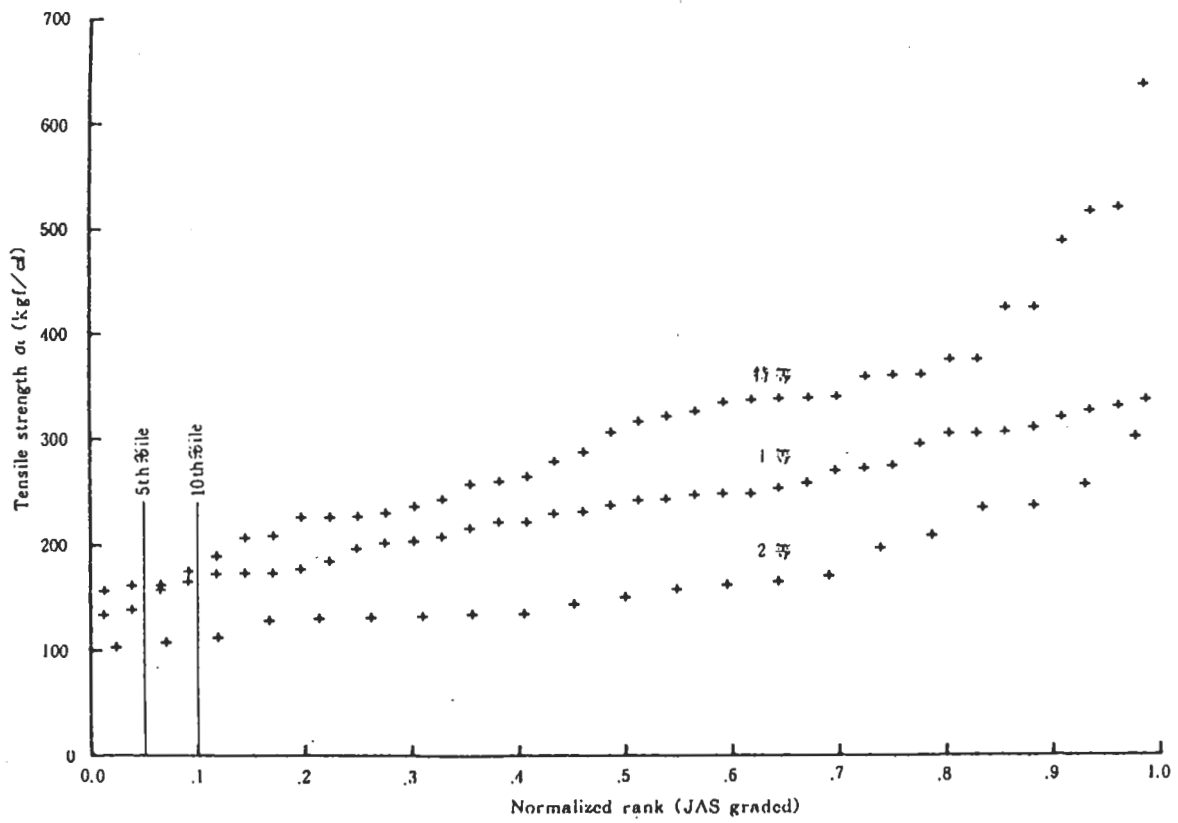


図 2. 1 欧州アカマツ平割の正規化した縦引張強度の分布 (JAS等級別)

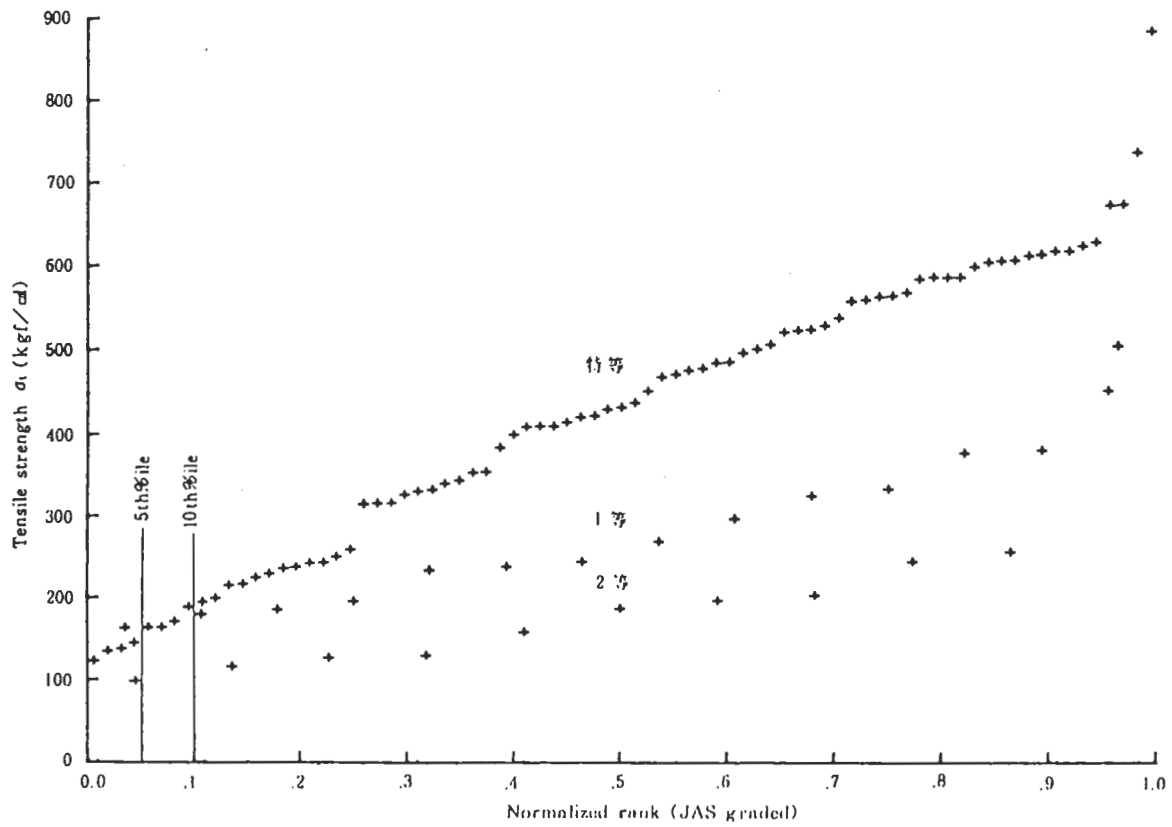


図 2. 2 ベイマツ平割の正規化した縦引張強度の分布 (JAS等級別)

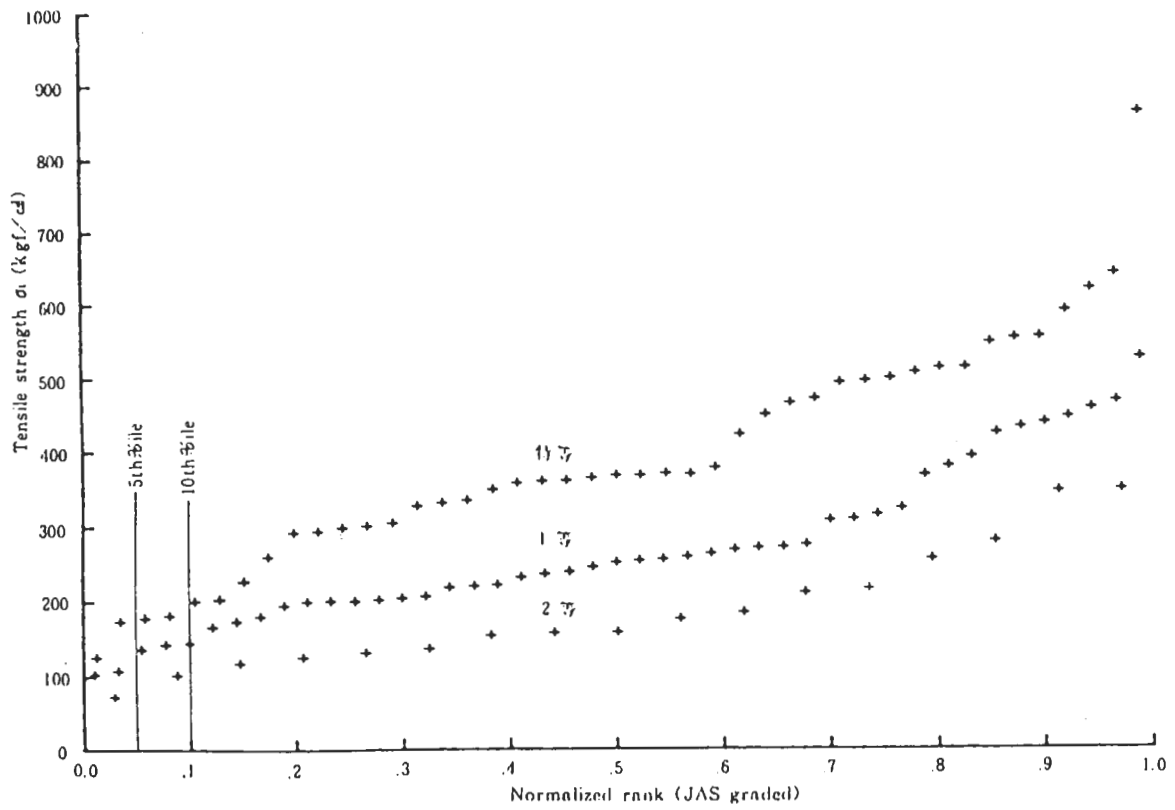


図 2. 3 ベイツガ平割の正規化した縦引張強度の分布 (JAS等級別)

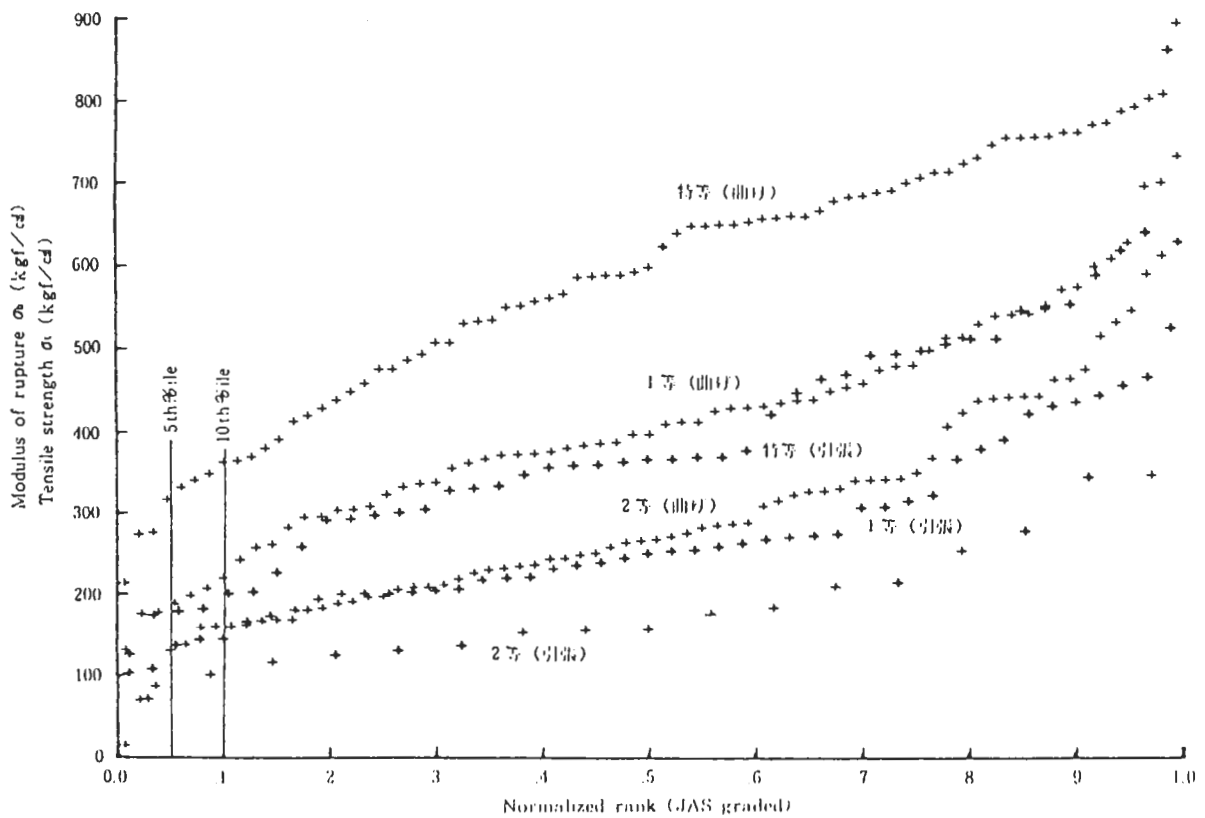


図 2. 4 ベイツガ正角の正規化した曲げ破壊係数と、ベイツガ平割の正規化した引張強度の分布 (JAS等級別)

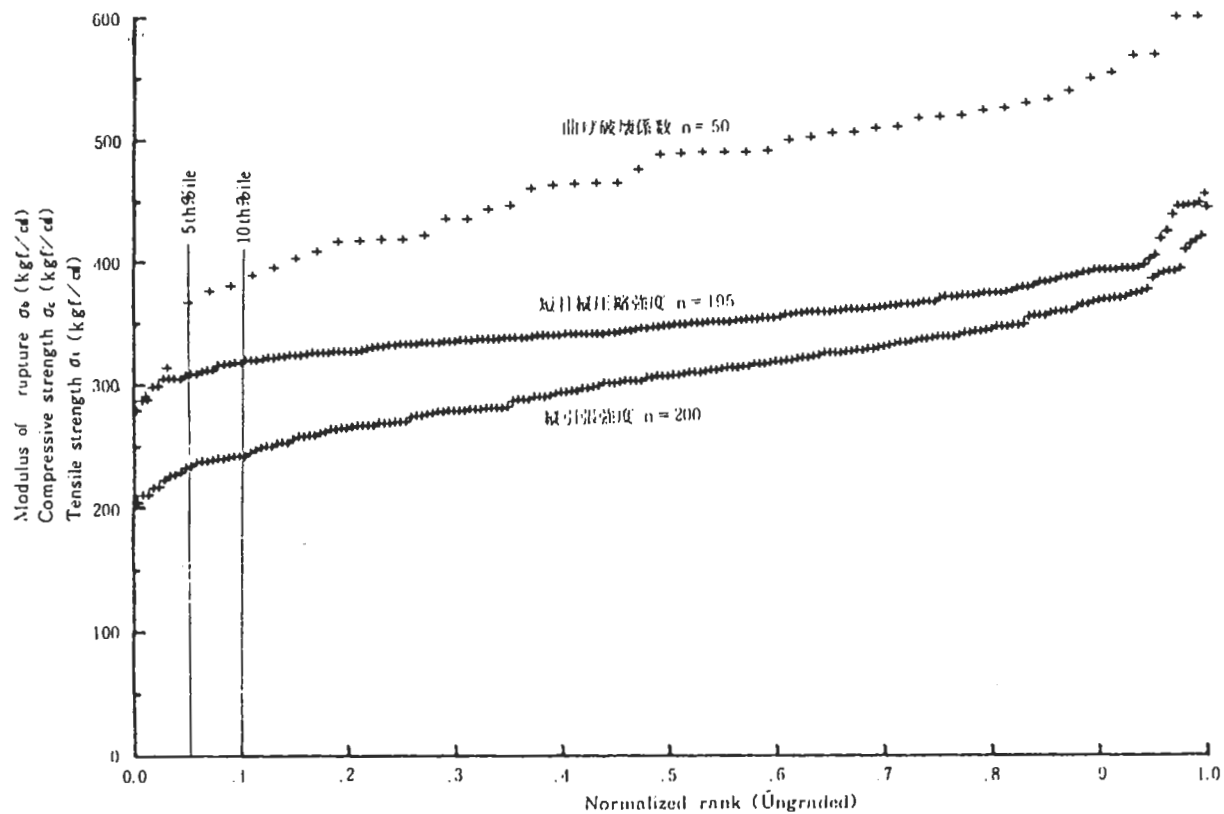


図 2. 5 スギ正角の正規化した曲げ破壊係数，短柱縦圧縮強度，縦引張強度の分布（等級区分しない場合）

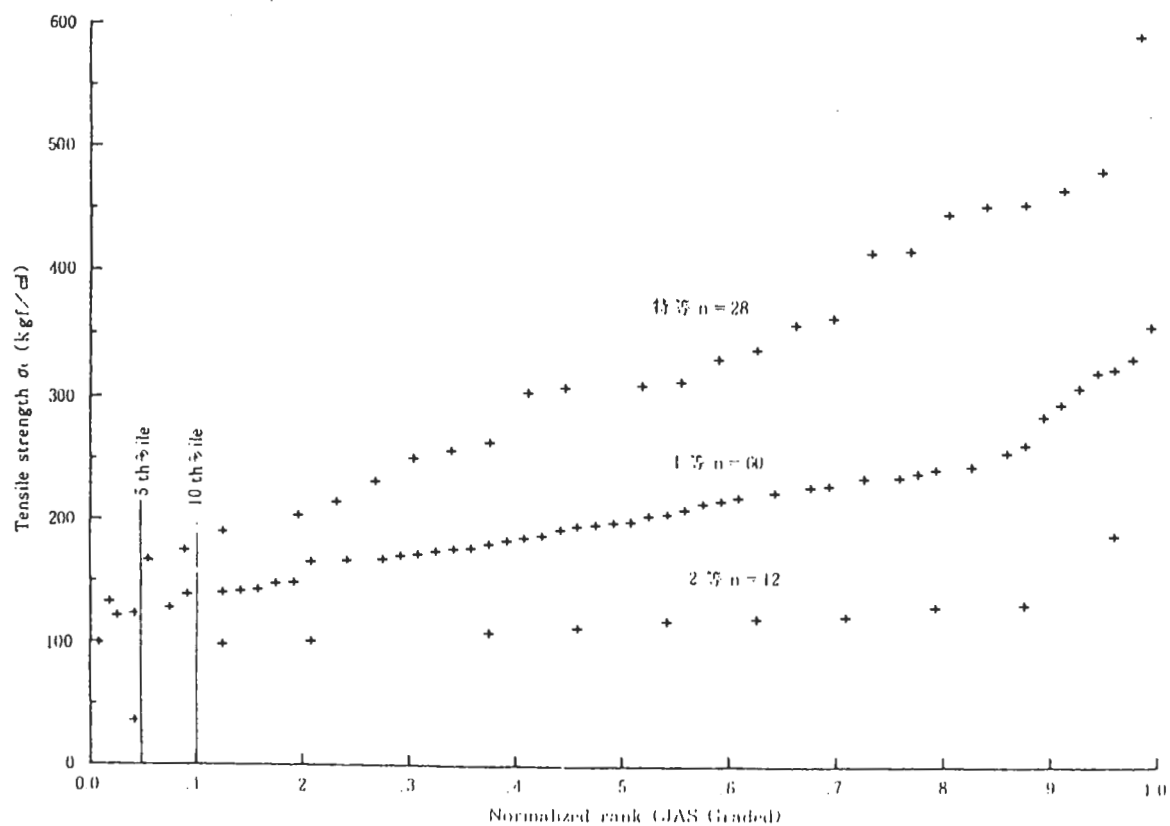


図 2. 6 エゾマツ 4 by 6 の正規化した縦引張強度の分布（JAS 等級別）

5%ile 得られた強度値 ($\sigma_t, \sigma_c, \sigma_b$) を小さいものから大きい順に並べた時小さい方から5%目の値
 $(2i-1)/2n$: 但し, i : i 番目
 n : 試験体数
 で整理し、直線補完法によって求めた。
 10%ile 上と同じ方法による 10%目の値
 12.5%ile 同上 12.5%目の値

表2.2, 2.4, 2.6, 2.8, 2.10, 2.12, 2.14には供試体の試験時比重、平均年輪幅、節径、節面積比とともに、試験結果を示した。表2.3, 2.7, 2.9, 2.11, 2.13, 2.15, 2.17, には、表2.2~2.14に示された結果を整理し、該当する樹種の長期許容応力度に対する、実験値から得られた計算値の比を示した。

図2.1, 2.2, 2.3, 2.6, は、それぞれ欧州アカマツ、ベイマツ、ベイツガ、エゾマツの引張り強度の分布を正規化して示した。図2.4には、ベイツガ正角の曲げ破壊係数と、ベイツガ平割の引張り強度の分布を正規化して表示した。図2.5には、スギ正角の曲げ破壊係数と、正角の引張り強度、さらに正角の短柱圧縮強度を同様に正規化して示した。ここで供試したスギ正角は、単独の最大節径比では、ほとんど特等に格付けされ、集中節径比の大小で、特等と1等に区分された。特等と1等に区分された結果を正規化して比較すると、ほとんど差が認められなかったため、ここでは、等級区分を行わないままの試験結果で、曲げ、圧縮、引張りの長期許容応力度相当値の値を比較して不都合はないとした。5th%ile値で比較すると、次のようになった。

	曲げ	圧縮	引張り
5th%ile実測値/3	123	103	79
曲げを1とした時の比	(1.00)	(0.84)	(0.64)
現行の長期許容応力度	75	60	45
曲げを1とした時の比	(1.00)	(0.80)	(0.60)

同様のことを、ベイツガについて、表2.7と表2.9よりみてみると、下記のようになった。

	曲げ	引張り	引張り/曲げ
特等	107	59	0.55
1等	62	43	0.69
2等	44	28	0.64
Ungraded	56	41	0.73

以上の結果と、流通の実態等を勘案して、構造用製

材として、製材の日本農林規格の1等以上を想定すると、引張りの許容応力度は曲げのその0.60倍程度が妥当ではないかと考えられる。しかし、樹種によっては、節の廻りの破断の様子が他の樹種と異なり、現行の日本農林規格による節の規定では、いわゆる材料強度(長期許容応力度×3)の値を満足しない場合もあったので、今後一層のデータを蓄積のうえ、検討を加える必要がある。

さらに、試験体断面のほとんどが平割であることにも留意する必要がある。海外の規準では、引張りの許容応力度相当の値に、製材の幅による調整を施しているものがある。表2.18にその概要を示した。この点に関するわが国のデータは、まだ未整備である。

表2.18 海外の規格にみる引張り部材の幅の大小による調整係数のとり方

イギリス	BS 5268: Part2 (1984)			
	$h \leq 72\text{mm}$	$K_{1.4} = 1.17$		
	$h > 72\text{mm}$	$K_{1.4} = \left(\frac{300}{h}\right)^{0.11}$		
Euro Code5	(1985)			
		$K_h = \left(\frac{200}{h}\right)^{0.2}$		
アメリカ	N D S (1986)		幅	
等級		5" & 6"	8"	10" 以上
Select.St		1.00	0.90	0.80
No1, No2, No3		1.00	0.80	0.60
Appearance				
Stud		1.00	-	-
カナダ	C A N 3 - O 86 - M 84			
		4", 5"	6"	8" 10"
		1.2	1.1	1.1 1.0

最後に、以上述べたのは、目視による等級区分についてであって、設計の考え方が、より信頼度の高い等級区分を要請してくるようになると、非破壊試験や、保証荷重試験等が重要になってくる。この面での研究は、着手されただけであるが、実用化の可能性は高いと思われる。各方面での研究推進が望まれる。

参考文献

- 1) 中井 孝：構造用製材の実大縦引張強度（1）市販エゾマツ板材（1by6）の実大引張試験，日建学大会梗概集，2675～2677，（1984）
- 2) 中井 孝：同（2）スギ小径材より製材した“たいこ材”の実大引張試験，同，1257～1258，（1985）
- 3) 中井 孝：同（3）欧州アカマツ平割材の縦引張試験，同，1261～1262，（1986）
- 4) 中井孝ら：同（4）ベイマツ平割材の縦引張試験，同，1399～1400，（1987）
- 5) 中井孝ら：スギ正角の実大引張試験，第37回木材学会大会要旨，110，（1987）
- 6) 中井孝ら：在来工法構造用製材の応力等級区分（1）ベイツガ正角の等級と曲げ強度，第34回木材学会大会要旨，285，（1984）
- 7) 中井孝ら：実大材の縦引張強度試験結果（指定研究中間報告），木材利用部資料62-1，（1987）

3. 圧縮強度性能

実大短柱圧縮試験は比較的小規模に各地で分散して行われている。今回の取りまとめにあたってデータ收拾が十分でなかったことから1研究機関の資料のみが得られる結果となった。今後さらに広範に圧縮試験のデータの蓄積を行って行かなければならないと感じている。

実大短柱圧縮試験を今後実施して行くに当たり、以下の測定項目を調査して資料の共通性を持たせたいと思うので検討をお願い致したい。

【実大短柱圧縮試験調査項目】

1. 細長比 λ は $10 \leq \lambda \leq 20$ とする。
2. 樹種名、産地、心持ち心去りの明記。
3. 寸法、丸身、含水率、容積重、平均年輪幅

4. 曲げヤング係数、圧縮強さおよび比例限強さ
5. 節径比、集中節径比
6. 縦圧縮ヤング係数に付いては測定法の明記

短柱圧縮試験結果

1. 供試材 奈良県産10.5cm心持ちスギ、ヒノキ正角材
JAS特等及び1等、材長50cm ($\lambda = 16.5$)
2. 試験機関 奈良県林業試験場
3. 参考文献 江口 篤：奈良県林業試験場木材加工資料, No.14 (1985)

表1.3.1 短柱圧縮試験結果

樹種	本数	平均	分散	5%下限値	材料強度
スギ	24	300.0	35.1	242.0	180
ヒノキ	24	356.8	28.5	309.8	210

(kgf/cm²)

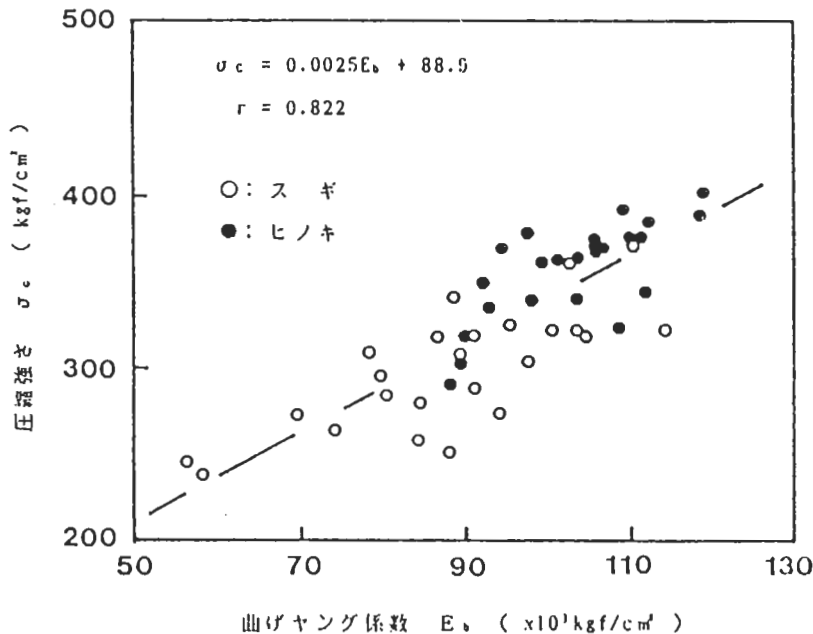


図1.3.1 曲げヤング係数と短柱圧縮強度の関係

II. 建築工学的見地からの最近の話題および提案

1. 材料強度と構造信頼性理論

荷重や強度を不確定性のものとして捉え、構造安全性を統計と確率の知識を用いて客観的に評価する構造信頼性理論 (Theory of Structural Reliability) は、建築の分野でも、既に一部の国々で設計基準に取り入れられており、また、その採用に向けて準備を行っている国も多い。信頼性理論の概念に基づく設計法はRBD (Reliability Based Design) と称せられる。

日本でRBDが導入されるのはまだ先のことと思われるが、土木学会、建築学会などで研究会が設けられ、1985年には第5回国際学会 (ICOSSAR '85) が、1987年には国内シンポジウム (JCOSSAR '87) が開催されるなど、研究活動が盛んに行われている。

RBDでは、従来のあいまいな安全率が科学的根拠にもとづいて設定でき、また、材料特性に見合う構造システムを採用することにより、材料の合理的、経済的利用が可能になるなどのメリットがあるので、これからの材料強度の研究と切り離して考えられない状況にある。

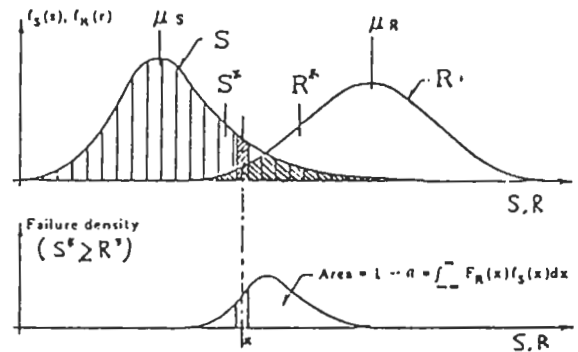
そこでまず、構造信頼性理論と、そのRBDへの適用方法の概略を紹介し、ついで、世界に先がけて木構造にRBDを適用しているカナダで、木材の強度がどのように扱われているかを概略的に説明する。

1. 構造安全性と信頼性理論

構造安全性または部材の安全性は、荷重を S 、強度を R として、 $S < R$ のとき充足される。 S と R は、図1に示すような、不確定性の分布をもっている。

不確定性の要因として、荷重 S については、①荷重のバラツキ、②荷重の組み合わせり方のバラツキが、強度 R については、③材料強度のバラツキ、④構造解析の精度、⑤材料特性や構造システムによる荷重→応力の変換作業の精度 (広い意味では前述の③と④に含まれる)、⑥製造、加工、施工の精度があり、また、これらの他に⑦予測不可能な因子がある。

従来の設計法では、こうした不確定性を、統計、経験、工学的判断などを交えて考慮した上で荷重と強度の公称値 S , R を定め、 S , R との間に安全率を設けて、設計を行う方式をとっている。



μ : 平均値 S^*, R^* : 公称値 (従来法の設定値)

図2.1.1 構造安全性の概念

これに対して、構造信頼性理論の思想は、このような不確定性をもつ S と R の分布を科学的根拠に基づいて求め、 $S \geq R$ となる領域 (ハッチの部分) が占める割合から破壊確率を計算し、これをベースに構造安全性を評価しようとするものである。

しかしながら現実問題として、我々が入手できる情報には限りがあり、 S と R の分布を求める事は非常に困難である。したがって、いま述べた構造信頼性理論は一種の理想論と云える。

構造信頼性理論の考えに則して、なんとか実用設計に使用しうる形の設計法を作ろうとする努力が長年にわたって続けられてきた。次に述べるのは、実際に用いられているRBDで、信頼性理論の概念をベースとするが、信頼性解析を実行可能なレベルに変換する操作がおこなわれている。

2. RBD

RBDのレベルはI~IIIに分けられ、I→IIIの順で高くなる。

i. レベルIII

構造信頼性理論にできるだけ忠実に、破壊確率を求める方法である。例えば、

$$Z = R - S \quad \dots\dots(1)$$

の函数を考えると Z も図2に示すような分布函数となり、破壊確率 $P_f (Z \leq 0)$ は、ハッチした部分の面積が分布全体の面積に占める割合になる。このレ

ベルの設計には、多大の情報、知識、費用が必要で、その適用は海洋構造物や原子力施設などの特殊な建築物に限られている。

表2. 1. 1 β と P_f のおよその対応

β の値	破壊確率 P_f
2 ~ 3	$10^{-2} \sim 10^{-3}$
3 ~ 3.5	$10^{-3} \sim 10^{-5}$
3.5 ~ 4	$10^{-5} \sim 10^{-6}$

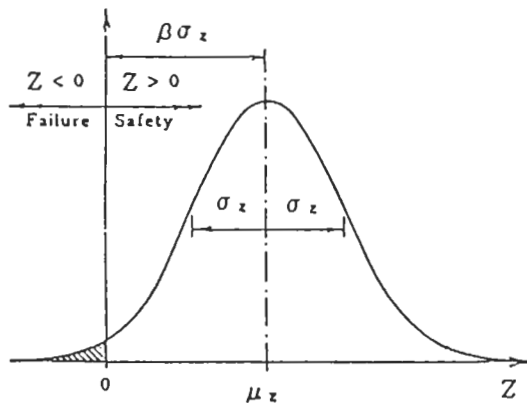


図2. 1. 2 Z (強度の余裕)の分布

レベルIIの方法は、 P_f の代わりに β を使って安全性を評価する方法で、2次モーメント法と称せられる。また β は信頼性指標(Reliability Index)、安全性指標(Safety Index)と称せられる。

iii. レベルI

β を求める事は、 P_f を求めるより容易であるが、 σ_R 、 σ_S などの統計量を含んでおり、統計学に馴染みのない一般の実務者にとってはなお複雑である。

一方、現行の設計法は、荷重と強度の各項に係数(あるものは統計的な、あるものは工学的な判断による)を掛けて、バランスを図る方式であるが、同様な設計式を用い、各係数を構造信頼性の概念に基づいて設定できれば、非常に便利である。この方法は実務的な便利さの他に、次のようなメリットを持っている。すなわち、構造信頼性理論の適用に関する最大の問題は、必要とする情報が現実的に入手困難なことにあるが、設計式が同型であることにより、過去の歴史的なデータ(係数がこれこれのとき、被害率がいくらであった等)を用いて、新しい設計式のキャリブレーションが可能である。

レベルIの方法は、このように従来と同型の設計式を用いる方法で、LSD (Limit States Design) やLRFD (Load and Resistance Factor Design) と称せられるものがある。

レベルIの設計法における係数の設定方法を以下の如く、式(3)より、

$$\mu_R = \mu_S + \beta \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad \dots(6)$$

ここで、右辺のルートの項を次の式で近似する。

$$\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} = \alpha_R \sigma_S + \alpha_S \sigma_S \quad \dots(7)$$

もし $1/3 < \sigma_R/\sigma_S < 3$ ならば、数パーセントの誤差で $\alpha_R = \alpha_S = 0.75$ である。一般的には、荷重Sは一種類ではなく幾つかの荷重の組み合わせであるから、次のようになる。

$$\begin{aligned} \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} &= \alpha_{R1} \sigma_{S1} + \alpha_{S1} \sigma_{S1} + \alpha_{S2} \sigma_{S2} \\ &\quad + \alpha_{S3} \sigma_{S3} + \alpha_{S4} \sigma_{S4} + \dots \end{aligned} \quad \dots(8)$$

ii. レベルII

P_f は、図1でわかるように、SとRの分布のテールに支配される。しかしながら、実際問題として、SとRについての大量の情報があっても、テールの分布を正確に求めることは非常に困難である。実際例では、あてはめる分布函数によって、 P_f は10の3乗オーダで変わるほど鋭敏である。

ところでいま、Zの平均値 μ_z 、その標準偏差を σ_z として、

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} \quad \dots\dots(2)$$

なる値を考えれば、 β は図2に示すように、破壊を生ずる限界点($Z=0$)に対して強度のマージンがどの程度あるかを示す指標になる。 β は

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad \dots\dots(3)$$

であるから、SとRの平均値と分散だけから求められ、不安定なテールの分布から解放される。なお、 β と P_f との間に普遍的な対応関係はないが、もしSとRが正規分布に従うなら、

$$\mu_R = \mu_S + \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \Phi(1 - P_f) \quad \dots\dots(4)$$

$$\therefore \beta = \Phi^{-1}(1 - P_f) \quad \dots\dots(5)$$

となり、一応の対応が成立する。 β と P_f のおよその関係は次のようになる。

ここでの α はテイラー展開によってもとめられ、通常は、第1次の近似が用いられる。

一方、従来の設計式は、例えば死荷重 D と活荷重 L が作用するとき、 ϕ 、 r_D 、 r_L を係数として、次式で表される。

$$\phi R^* \geq r_D D^* + r_L L^* \quad \dots (9)$$

ここで、 R^* 、 D^* 、 L^* は公称値で、平均値 μ と変動係数 $\delta (= \sigma / \mu)$ 、パーセント点を表す値 k (例えば、正規分布の5パーセント点に対しては1.645)を用いて次のように表される。

$$\begin{aligned} R^* &= \mu_R (1 - k_R \delta_R) \\ D^* &= \mu_D (1 + k_D \delta_D) \\ L^* &= \mu_L (1 + k_L \delta_L) \end{aligned} \quad \dots (10)$$

式(6),(8)-(10)から、次の関係が得られる。

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{1 - \alpha_R \beta \delta_R}{1 - k_R \delta_R} & r_D &= \frac{1 + \alpha_D \beta \delta_D}{1 + k_D \delta_D} \\ r_L &= \frac{1 + \alpha_L \beta \delta_L}{1 + k_L \delta_L} \end{aligned} \quad \dots (11)$$

レベルIの設計式の係数は上式で設定されるが、従来の設計式の場合と異なるのは、強度、荷重の係数がそれぞれ独立に設定されるのではなく、 β によって関係付けられている点にある。

3. 部材強度、構造強度のモデル

部材強度、あるいは構造強度とそれを構成する材料の強度との関係は、両者の間に介在する構造システムによって影響を受ける。構造システムはモデル的に、次のシリーズシステムとパラレルシステムに分けられる。

i. シリーズシステム

シリーズシステムは、図3のように幾つかの材料が直列的に結ばれたシステムで、一部材の破壊が全体の破壊につながる性質をもっている。

この構造は多数の要素からなる部材と考えることもでき、この場合、部材の強度は Weakest Linkage Theory で説明することができる。

シリーズシステムの具体例としては、平面トラスなどがあり、一般的に、その強度は材料の靱性(ブリITTLEかダクタイルか)に影響されない。シス

テムの強度は、部材数が多くなるにつれて低下し、その分布は低強度側に偏った極値分布となる。

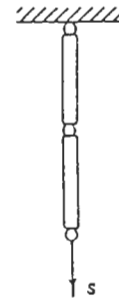


図2. 1. 3 シリーズシステム

ii. パラレルシステム

パラレルシステムは、図4のように幾つかの部材が並列的に抵抗するシステムである。

パラレルシステムでは、システムの強度が部材数の増加につれて、部材強度の平均値から計算される値に近づき、その分布は部材強度の分布よりシャープになる。また、その傾向は、部材がダクタイルであるほど強く現れる。

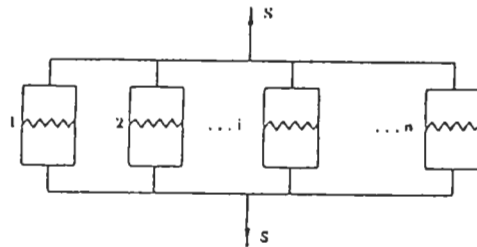


図2. 1. 4 パラレルシステム

パラレルシステムの具体例としては、不静定次数の高いラーメン構造、多くの横架材や柱を用いた床や壁などがある。

以上の構造システムの性質をもとに、強度の高い木構造あるいは構造部材を設計する方策を考えると、グレーディングにより使用部材の変動係数を下げるとともに、構造形式をパラレルシステムとするか、シリーズシステムをとる場合は保証荷重試験によって低強度側の分布を切るなどの方法が有効であると云える。

4. カナダの Limit States Design

カナダのLSD (Limit States Design) と称せられる設計法は、先に述べたレベルIのRBDである。

木構造では、従来の許容応力度法の設計基準も有効で、どちらの設計法を使っても良いことになっている。

ここでは、カナダのLSDで、木材がどのように扱われているかその概略を示す。

先ず、設計式と荷重の扱いであるが、次のようになっている。

$$\phi R \geq \alpha_0 D + \gamma \phi (\alpha_L L + \alpha_Q Q + \alpha_T T) \dots (12)$$

ここで、 ϕ = 材料強度のバラツキ、試験条件と実際の使用条件との違い、実使用条件における材料の性状、破壊性状、施工、寸法誤差などに係わる係数

γ = 構造物の重要度係数 (通常 = 1)

ϕ = 荷重の組み合わせに係わる係数

= 0.75 (荷重が一種類の場合)

= 0.7 (荷重が二種類の場合)

= 0.6 (荷重が三種類の場合)

α = 荷重のバラツキに係わる係数

R = 材料や構造物の強度の特性値

D = 死荷重

L = 活荷重

Q = 地震荷重、風荷重

T = 熱による荷重、収縮膨潤による荷重

左辺の強度は、次の形で計算する。

$$\phi R = \phi F S (k_1 k_2 k_3 \dots) \dots (13)$$

ここで、F = 材料強度の特性値 (Specified Resistance)

S = 断面積、断面係数など

k = 次の事柄に関する係数； 荷重継続時間、サービス条件、処理条件、寸法、等級、荷重分配効果、横方向安定性、切り欠き、剪断の場合はその分布など

カナダでは、木構造にRBDを適用するにあたって、主として製材強度に関する広範囲の実験や、これまでの実験データの洗い直しなどが行われた。製材強度の実験の大部分は、Madsenによるもので、その実験概要と、結果がどのように反映されたかを以下に述べる。

(1) 製材強度の予備的試験

試験体 ダグラスファージョイスト 240本

結果

① 従来、強度の分布は正規又はガウス分布と考え

られていたが、ワイブル分布がよくあてはまる。

② 従来の荷重継続時間についての調整係数 (マジンソンカーブ) は、低い等級の製材には適合しない。

③ 従来の寸法調整係数には、適合しない面がある。

④ 無欠点小試験体の強度を基準に欠点係数などを掛けて強度を評価するASTM法は、実際の強度を、過小評価する傾向にある。

(2) In-Grade Testing (本試験)

予備試験の結果を踏まえて、委員会は有名な In-Grade Testing (格付けされた製材の強度を調べる試験) を計画した。試験はポータブルの試験機を製材工場に持ち込み、あらかじめ推定した強度分布からサンプルの約 15% が破壊するような荷重レベルを定め、そのレベルで加力を止める方式である。

なお、本試験に先立って、断面寸法の強度に及ぼす影響 (本試験は主として一種類の断面について行うため)、含水率の強度に及ぼす影響 (実験データの基準化のため) を調べ、また試験のスパンが実際の使用条件を代表するものであることを確認した。

曲げ試験体 樹種は、D-Fir-L、Hem-Fir、S-P-F、(一部に Western Red Cedarも)； 寸法は主として長さ6mの208材 (一部に204、210、202、203、308材も)； 等級は特級～3級； 試験体数は68,000本 (破壊させなかった製材を含む。以下同様。)

引張り試験体 樹種グループは曲げの場合と同じ； 寸法は204、206、208、210材 (一部に202、203材も)； 等級は特級～2級； 試験体数は25,000本。

サンプリング方法 曲げ試験体については、46工場 (D-Fir-L、Hem-Fir はBC州の各10工場、S-P-F は全カナダの26工場)。同一地域内の工場格差が調べられるように工場を選定する。また、工場内の変動が分かるように同一工場にて、2カ月間隔で計5回試験を行う。試験体数は、1工場約200本。引張り試験についてもほぼ同様。

結果 (以下で強度と言う場合、工場や地域毎ではなく、母集団に対してコンフィデンスリミット75%で求めた5%下限強度を指す)

① Hem-Fir、S-P-Fの曲げ強度は、ASTM法で評価した値より高いが、D-Fir-Lの強度は、少し低い。

② 等級間の曲げ強度比較では、特級が最も高く3級が最も低い。1級と2級では差がない。

③ 引張り強度についても、1級と2級の差は僅かであった。

④ D-Fir-L、Hem-Firの引張り強度は、現行基準の値とほぼ等しい。

⑤ 顕著な寸法効果が認められた。

(3) 長期載荷試験

LSDの採用方針が決定される以前に、Madsenは、実大材の step-wise ramp loading 試験（一定期間毎に荷重を増加させていく長期載荷試験）を行い、現行の荷重継続時間による強度の調整係数の適合性を調べた。その結果、欠点が少ない高い等級の製材については、現行の調整方法があてはまるが、欠点の多い低強度の製材であるほど、荷重継続時間が強度に及ぼす影響は少なく、3級の製材では全く存在しなかった。

レベルIのRBDにおける係数の設定は、すでに述べたように、安全性指標 β をベースとする信頼性解析の方法の他に、過去の歴史的経験をベースとする方法がある。委員会は、以上の試験やその他の試験のデータを検討した結果、木材強度の変動係数が大きすぎて信頼性解析における近似式が適用できない、荷重継続時間が強度に及ぼす影響が十分に捉えられていない（この影響については、荷重履歴と絡めて捉える必要があると指摘されている）などの理由で、とりあえず、主として後者の方法を用いることとした。すなわち、内容的には、従来の許容応力度をベースとする設計法のLSDフォーマットへの変換である。しかしながら、許容応力度の代わりに正規分布あるいはワイブル分布の仮定を基に求めた5%下限強度（接合部なども同様）をベースとしていることや、あらたに行った実験結果を取り入れていることなどから、従来の設計基準と異なっている部分が少なくない。主として製材を中心にその具体的な内容を整理すると次のようになる。

① 強度値Fは5%下限値とする。但し、サービスマテリアリティ（例えばたわみ）の計算では平均値とする。長柱の設計に用いるMOEは、5%下限値とする。

② ϕ の値は以下の通り

- 0.55: 長柱
- 0.6: 製材の剪断、湾曲集成材の半径方向引張り強度
- 0.7-0.75: 大部分
- 0.8: トラスプレート

③ 荷重継続時間による調整係数は、衝撃を除いて従来のままとする。

④ 体積または設計荷重の大きい集成材の剪断では、剪断力の分布と寸法（体積を含む）効果による調整係数を適用する。

⑤ 製材の曲げ、縦方向引張り、MOEのF値は、In-Grade Testingの結果から求めた5%下限値（コンフィデンス75%）とする（そのために、樹種グループ間の曲げ強度のF値は、特級ではD-Fir

-L > Hem-Firであるが、1級-3級ではD-Fir-L < Hem-Firと従来とは異なる大小関係になっている）

1級と2級の曲げ強度は同じとする。In-Grade Testingを行わなかったコーストスペースの曲げ強度、縦方向引張り強度、MOEのF値は、実験を行った3つの樹種グループの同じ等級に対する値の最低値とする。実験を行わなかった他の樹種グループの曲げ強度、縦方向引張り強度、MOEのF値は、S-P-Fと同じ値とする。

⑥ 実験を行わなかった剪断、縦方向圧縮、縦方向に直角方向の圧縮強度のF値は、従来の許容応力度をやきなおした値とする。

⑦ 製材の曲げ強度、縦方向引張り強度に対して、In-Grade Testingから得られた寸法調整係数を適用する。（寸法調整係数は、せいだけでなく幅をも考慮している。但し、大きな幅に対しては強度は上昇する。これは節の出方によるもので、WeekesとLinkの考え方とは無関係である。）

⑧ 202-204材の許容節径比はそれより大きい製材の節径比より大きいので、曲げと縦方向引張り強度については、別に低減係数を適用する。

⑨ 上の⑤-⑧は、目視によって等級区分された製材についてであるが、MSRランバーの曲げ強度のF値は表示強度の2.1倍、MORのF値は表示値とする。MSRランバーの引張り強度のF値は、表示強度によって曲げのF値の0.5-0.8倍とする。なお⑦、⑧はMSRランバーには適用しない。

⑩ 間隔610mm以内で3以上の部材を並列に並べるパラレルシステムの場合、1-1.15の荷重分配係数（Load-Sharing Factor）を適用する。これは曲げだけでなく、剪断、圧縮（縦方向、縦方向に直角方向）、引張り（集成材の縦方向に直角方向）に対しても適用される。

備考 以上は主として次の資料を参考とした。

Canadian Standards Association ; Engineering Design in Wood (Limit States Design), CAN3-08 6.1-M84 および, Commentary on CSA Standard CAN 3-086.1-M84 Engineering Design in Wood (Limit States Design), 086.1.1-M1986

2. 許 容 応 力 度

ここでは、許容応力度をめぐる二、三のトピックスについて簡単に述べる。

1. 許容応力度の誘導方法

現行の日本の許容応力度誘導に対する基本的な考え方は、無欠点小試験体の標準強度試験結果に基づくものと理解されている。樹種群の分け方が、このことを明らかにしていよう。しかし、本報告書に収集されたような実大材の強度データが蓄積され、整備されれば樹種群、樹種群内の樹種の組み合わせ等は、考え直す必要もでてくるであろう。もち論その際、現在のような一樹種一許容応力度ではなく、強度等級区分の実施が反映・考慮されなければならないであろう。

現行の施行令の許容応力度は、過去の歴史的経緯もあって、短期と長期とに分けられており、その比は、2:1と固定されている。関連して、いわゆる材料強度は、長期の3倍とされている。この3が持つ意味は、学問的に、明らかではなく、コンクリートの場合と同じ値がとられたのではないかと推定されているのみである。

したがって、実大材の強度試験結果より、ある樹種のある強度等級の統計的下限値が算出されたとき、現行の規定によれば、その値を3で割ったものが、長期許容応力度相当の値になると考えねばならないであろう。

北米をはじめ、ヨーロッパでは、曲げの場合、よく知られている最終用途に対する調整係数2.1が使われているのと大きな差異が生じている。なお、この2.1は、標準試験時の強度から、永久時の強度へのクリープによる低減を示す係数9/16と、さらに永久時から標準荷重時への修正係数11/10、最後に安全係数10/13を乗じて得られた99/208の逆数である。

2. 荷重存続期間が強度におよぼす影響

図4.1に、日本の許容応力度と、海外の許容応力度の荷重存続期間のとり扱い方を示した。設計時の荷重のとり方とも密接に関連するので、単純に比較することは困難な面もある。しかし、木材の強度が、荷重存続期間によって連続的に変わっていくことは、Woodや杉山によって、無欠点小試験体のクリープ試験で明らかにされている。1971年にMadsenによって行われた実大材の曲げクリープ試験結果は、製材の等級によって異なった結果が得られており、以後、カナダ・アメリカ両国、ヨーロッパでの共同研究が現在も継続されている。これらの結果が十分に解析された時、等級別にクリープの影響を扱うことになるかどうかは、

現在のところ不明である。ただ、Woodのクリープ曲線は、実大材のクリープ試験結果より安全側であるとの理解から、当面は、従来と同様の取り扱いが続けられよう。ここで、実大材の曲げクリープ試験中、材縁に存在する節の廻りの目切れによって、引張破損が生じた後も一定荷重を保持している試験体があり、この場合の「破壊」の学問的内容が問われていることをつけ加えておきたい。

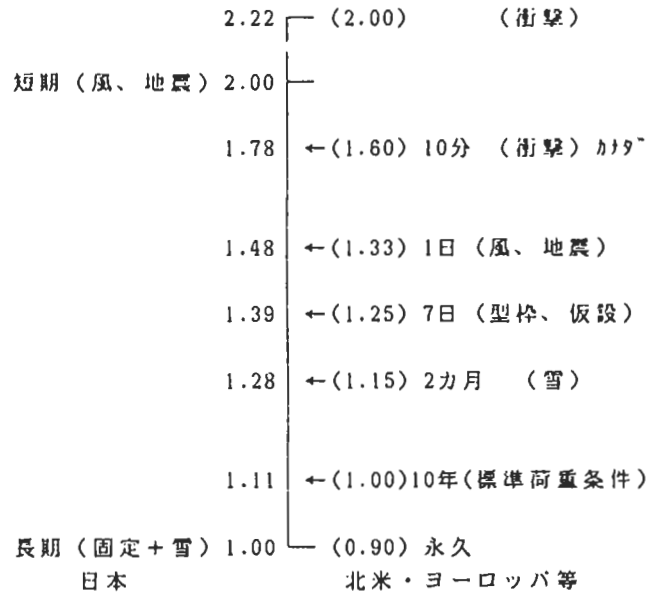


図4.1 荷重存続期間の影響

3. 使用条件における各種調整係数について

(1) 引張り許容応力度

3.2項で述べられているように、製材の幅に対する調整係数に対するわが国でのデータが必要であろう。また、最近では、アメリカでトラス関係の設計に際し、材幅のみならず、引張り部材の長さの影響をも考慮するための実験が行われている。

(2) 含水率

実大材の強度試験、あるいは、剛性試験の結果から、含水率1%に対する各種強度値やヤング係数の変化する割合を求めることが重要である。

3. 非破壊検査法

1. 非破壊検査法の分類

木材の等級区分は、その強度的性能に応じて木材を仕分けし、天然材料であるが故のバラツキの大きい材料を少しでも合理的に使用することを目的としている。

製材品のほとんどは建築用材として使用されており、これら構造用製材の等級区分としては日本農林規格がある。この規格は極めて汎用的性格が強いといえる。完成された在来軸組工法の中では製材の等級や寸法が使用部位と経験的に対応しているために、細かな仕分けをしなくとも済んでいたためである。しかしながら、近年大規模木構造や立体トラスなどこれまで経験しなかった建物が建設されるようになったこと、および、住宅の性能向上、品質保証、さらに経済的合理性が強く求められるようになったことから木材の強度的性能の信頼性をこれまで以上に上げる必要が生じてきた。これら使用者側の要求に早急に答えることが構造物としての木材の位置を確保する上で不可欠となってきた。

木材を使用部位により区分して使おうという考え方は極めて古くからあり、多少なりとも科学的根拠に立った区分も古くから行われてきた。これらは主に節や繊維傾斜など木材の組織上の欠点を強度に対応させようとするもので、現行の製材の日本農林規格にもこの考え方は継承されている。この様に組織の欠点に着目した等級区分は、視覚的等級区分と呼ばれ、基本的な

等級区分法として世界各国で採用されているものである。この強度等級区分は、最終製品の強度はその樹種の無欠点材の強度に比例し、節や繊維傾斜などの欠点に起因した強度低下の大きさは樹種によらず等級内で同じ割合であるという考え方に基づいている。製材の日本農林規格による等級区分を基礎とした許容応力度の誘導体系は、引張、圧縮あるいは曲げなどの応力の種類については低減係数で調整を行い、応力の種類による欠点評価の区別は一部を除いて行われていないため、安全側の評価となり易く、キメ細かい区分となっていない憾みがある。

これに代わるあるいは補間するものとしてヤング係数を区分因子とする機械的等級区分が注目され、海外ではすでにいくつかのものが実用化されている。

機械的等級区分をはじめとする等級区分の研究は、強度の推定、それを基にした規格や基準についての検討が成されてきているが、これらはいずれも非破壊検査を基本におくものであった。これに対し、要求される性能を個々の材料について保証しようとする保証荷重検査の検討も行われるようになり、強度等級区分の内容も幅広いものとなってきている。

現在研究ないしは実用化されている強度等級区分は、その区分因子により図 3.3.1 に示す分類が出来る。

木材の等級区分（非破壊検査）法

（代表的機械）

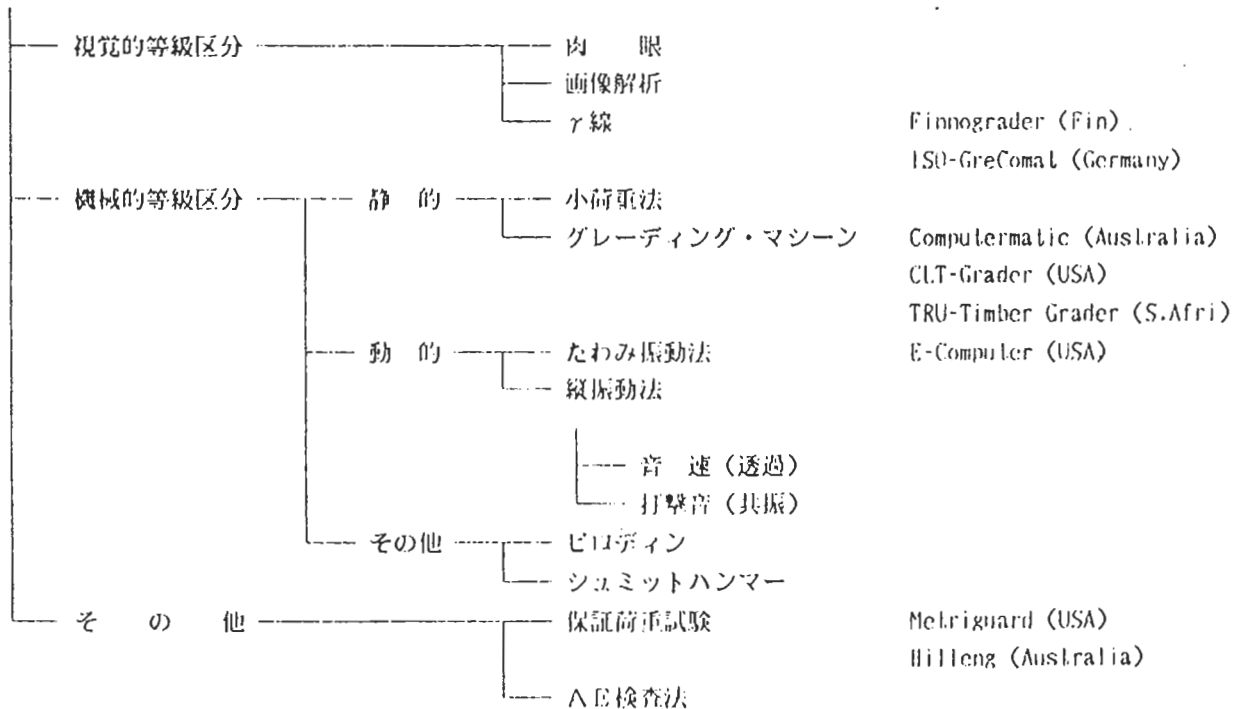


図3.3.1 木材の強度等級区分法の分類

2. 視覚的等級区分(Visual Grading)

ここで述べる視覚的等級区分とは、節や繊維走行など木材の組織形態を区分因子とするもので、したがって、これら因子を等級区分に用いる場合は、機械的計測でもこの範疇に含めるものとする。

製材の日本農林規格は、木材の欠点である節、丸身、曲がり、繊維走行の傾斜、平均年輪幅等の大きさを等級分けを行っている。等級はこれらの内の最も低い等級で決められるが、わが国では特に断面寸法の種類が多く、さらに心持ち材である場合が多いため、等級は丸身や端落ちで等級が決まるケースが多い。したがって、等級間で強度に明確な区分が出来ないことが多い。

木構造設計基準では、強度比に対するものとして欠点係数を用い、節、丸身、繊維傾斜の3因子で決まるとしている。この内、節の影響が最も大きく、節と強度の関係を検討した研究が多い。節の評価法としては、節径と材幅の比から得られる節径比、節の材断面積に占める割合を用いる節面積比や曲げに及ぼす影響を考慮した有効断面係数などがある。これらは応力の種類で使い分けられることが多いが、強度との相関は 0.5 ~ 0.6 程度といわれている。

これに対し、枠組壁工法構造用製材の日本農林規格は、強度部材として目的にあった合理的な使用が出来るよう圧縮材と曲げ材で欠点の評価法を異にして、等級と許容応力度が対応している(住宅金融公庫仕様)点の特徴である。これは北米におけるものをほぼ読み変えたものとなっている。

視覚的等級区分では、さらに、材表面の節をビデオカメラを用いて画像解析する試みもおこなわれるようになり、 γ 線やX線CTスキャナー等を用いて材内部の節を計測する研究も行われている。 γ 線を用いた節面積測定は実用化されているものがある。

3. 機械的等級区分(Mechanical Grading)

ここで述べる機械的等級区分とは節等の組織形態を区分因子とするものに対し、ヤング係数や密度などの材料常数を区分因子とするものを指す。

3.1 ヤング係数をパラメータとした方法

機械的等級区分は主にヤング係数と強度の統計的関係を用いるもので、視覚的等級区分と比較して強度との相関は高い。機械的等級区分はその手法により静的なものとの動的なものに区分できる。

3.1.1 静的区分法

静的なものとしては、小荷重を付加して曲げヤング係数を求める方法とグレーディング・マシーン(ここでは曲げヤング係数を自動的に測定する装置をいう)を用いる方法がある。

わが国の集成材製造で用いているヤング係数測定は小荷重法が一般的である。この方法は極めて簡易である反面手間を要するため、量的に少ない場合や測定精

度を上げたい場合に適する。曲げヤング係数と強度の相関は0.6~0.8程度で、単一の説明変数としては最も高いものである。

グレーディング・マシンの製材の等級区分に利用しようという動きは1960年代から米国、オーストラリアで行われはじめ、現在ではその利用は増加しているが、わが国では開発から実用化に入った段階である。北米においては、マシーンで等級区分された材(MSR)の用途はトラスや集成材ラミナが大半であるが、木材使用量からするとその比率はまだ低い。

装置には、荷重一定型と変位一定型のものがある。実用に耐えうるためには、プレーナー等の製造ラインの速度と同程度の判別速度が要求され、しかも正確にたわみもしくは荷重検出が出来なければならない。更に、元たわみをキャンセルして正確なヤング係数を測定する機構が必要である。これには荷重ないしはたわみを与える前に元たわみを自動計測するものや表裏連続計測するものがある。

グレーディング・マシーンを用いてのヤング係数測定には、トラス材やラミナのように比較的薄い材で、同一寸法のもので連続する場合が適している。小荷重法によるヤング係数との相関は極めて高いが、計測したヤング係数は1割程度高めに検出されることもあるので機械による特性を予め検討しておく必要がある。しかし、その測定精度、速度の向上に付いては、今日のマイクロプロセッサの進歩により、ハード面の問題は少なくなってきた。今後、いかにその信頼性を確保していくかのソフト面での対応が急がれている。さらに、この導入に当たっての問題は価格であり、使用者側の要求にあったマシンの開発が必要である。

3.1.2 動的区分法

ヤング係数を動的に計測する方法には、たわみ振動(横振動)法と縦振動法がある。これら動的測定法の特徴は、ヤング係数を求める上で寸法の他に重量(容積重)測定が必要な点で、実用化にあたってはこれを連続した測定の中でいかに取り入れるかを検討しておくなければならない。

a) たわみ振動法

たわみ振動法は、両端支持で自由振動をさせたときの周波数からヤング係数を求めるもので、周波数測定にはスパン中央の変位を非接触変位計で求めるものと支点に取り付けた荷重変換器の出力から求める方法が考えられている。後者の方法は、重量測定を同時に行うことが出来るため実用的なものへ発展する可能性が高い。たわみ振動からヤング係数を求めるこの方法は、動的な曲げヤング係数と静的曲げヤング係数の相関は極めて高い。しかし、材長に近いスパンで行う必要があるため、スパン・梁背比が大きなものでは周波数の測定に時間を要し、逆に、小さい場合(断面寸法の大きい)は測定が困難となる。米国ではビー・コンピュー

夕の名で商品化されている。

h) 縦振動法

縦振動を用いる方法は、材料中に縦波（応力波）を発生させ材料中を伝播する時間（速度）を求める透過法と共振周波数を求める共振法がある。

透過法は一定距離隔てた受振子間の応力波の伝わる時間を測ることからヤング係数を求めるものである。これを用いる場合、木材はその組織構造から種々の大きさの欠点を持っているため、あまり高い周波数では減衰が大きく、周波数の選択には注意を要する。一般的には、20～50 kHz程度の超音波パルスを用いるのが多いが、端部を打撃して発生する応力波を用いる場合もある。透過法は発信子と受振子間に存在する欠点の検出を行うことも可能である。しかしセンサーを音響的に材料と一体化する必要があり、このための受振子と材の機械的結合には工夫を要する。

共振法は材端部を打撃して得られる応力波の共振周波数からヤング係数を求める方法で、周波数の測定には打撃により発生する音をマイクロフォンで捕らえ、FFTアナライザで解析するのが簡便である。透過法はセンサー間の長さ方向の平均的ヤング係数が得られるのに対し、共振法は材断面及び長さ方向の平均的ヤング係数が得られる特徴がある。ラミナのように比較的薄いものでは何れを用いても同一の結果が得られるが、断面の大きな集成材等では測定部位により透過法とでは異なる結果となることが考えられる。従って、目的に応じた使い分けが必要である。応力波を用いるヤング係数測定は断面の大きな材や断面形状が一定しない材でも測定が可能な利点がある。

3.2 硬さまたは密度をパラメータとした方法

強度推定のパラメータとしてヤング係数を用いる他に、硬さないしは密度を用いる方法がある。

ピロディンはピンを材中に打ち込みその深さから強度を予測するものであり、シュミットハンマーは打撃したハンマーの反発の程度から硬さ、ひいては強度を推定するものである。これらは何れも低質材の強度推定に有効だが、さらに、硬さと密接な関係がある金物の接合強度の推定に適していると思われるので、今後の研究が期待されることである。

4. その他の方法

4.1 保証荷重試験 (Proof Loading)

保証荷重試験は所定の設定荷重に対し個々の材料が安全であるかどうかを確認する方法である。したがって、パラメータを用いて等級区分するという考え方と大きく異にしている。保証荷重試験は現在ヤング係数と強度の相関の低い縦継ぎ材等で検討されているが、製材でも低い等級の材を構造材として使用する場合に性能を保証する方法としての利用もあるであろう。保証荷重試験としては曲げ及び引張が可能である。曲げ

強度の保証荷重試験は荷重一定型のグレーディング・マシーンを用いることが可能である。保証荷重試験では一部の製品を破壊することもあるので、グレーディング・マシーン等によりなんらかの区分を施した材を用いるのが安全でかつ合理的な方法といえる。

4.2 アコースティック・エミッション (AE)

AEとは文字通り音の放出であって個体に変形もしくは破壊する際にそれまで蓄えられていた歪エネルギーが解放されて弾性波（音）となって伝搬していく現象を指している。木材の破壊機構説明に最近AEを用いた研究が成されるようになってきた。AE計測の特徴は、高感度で微視的破壊をとらえることが出来ることと破壊の位置を正確に求められることである。計測における問題点としては超音波パルスによる透過法と同様にセンサーを音響的に結合する必要があることと試験体に応力をかけなければならない、しかもカイザー効果という履歴現象があることを考慮しなければならない点である。無欠点の木材では比例限度までAE信号は発生せず、塑性域に入ると信号の数は急激に増加する。しかしながら、節等の欠点を含むものでは比例限度域内でも信号の発生はみられる等の報告がされており、性能保証の手法として実用化するためにはさらに今後の研究の発展が望まれる。

5. 今後の問題

強度等級区分のより有効なパラメータの検討は今後も研究を進めて行かなければならないが、強度（破壊）は確率的現象の結果として得られるため、単一のパラメータで信頼性を向上させることには限界があるものと考えられる。今後、機械的区分と視覚的区分等複数のパラメータの併用が必要で、確率論的評価の検討も急がれる問題と成ろう。

強度等級区分が社会的に信頼をうるものとなるためには、研究者のデータ蓄積と整備、機械メーカーの価格低減努力、および、材料メーカーの品質管理システムの確立等、木材に携わる側の連携的努力が必要である。

4. 実大材の実験方法

1. 試験体のサンプリング

他の多くの試験でも同様であろうが、実大材の試験結果は、サンプリングによって支配されるといっても過言ではない。3.1曲げ強度性能の項で、ASTMに記載されているサンプリングの方法、サンプリング数等に関する統計学上の考え方が引用されている。

ところで、我々が、実大材の試験のためにサンプリングするには、その試験の目的を達成するために、多くの知見を得ることが必要である。とくに、工場生産品のなかからサンプリングするのは異なり、森林に生育している樹木から製材した実大材の強度に注目するときは、必要な知見のなかにまだよくわかっていないものもある。

ここでは、具体的な例として、熊本県小国町産スギ正角の実大縦引張試験に供した試験体のサンプリング方法について述べる。この試験の目的は、特定の地域の森林で生育するスギ造林木から製材される一辺が10.5cmの正角材の、縦引張強度の統計的下限値を求めることにある。

以下の4ステップにわたって、サンプリングのための事前調査、資料の入手・検討、試験体数の決定、サンプリング数の地区別決定、試験体の採取を行った。

- ステップ1 小国町森林の状況把握
- ステップ2 試験体数の決定方法
- ステップ3 試験体採取数の割りあて方法
- ステップ4 試験体採取の実施

ステップ1 小国町森林の現状把握

- 1) 品種：小国町全体でヤブクグリとアヤスギの2種が比率7：3で植栽されている。
- 2) 施業：小国町内はほぼ同一の施業内容である。伐採（生産）は、現在のスギの生立本数に比例して行われるものと推定される。
- 3) 地形：大地形的には、ほぼ同じであるが、大字（旧村）ごとに6地域に分割しうる。
- 4) 採材の部位：105X105X4,000mmの正角材が製材可能な立木を対象とするが、このとき立木1本につき、当該正角材を1本しか採取しない。（図1参照）
- 5) 素材（丸太）径：105X105X4,000mmの心持正角材が取れる素材（丸太）末口径は14～16cm以上必要である。

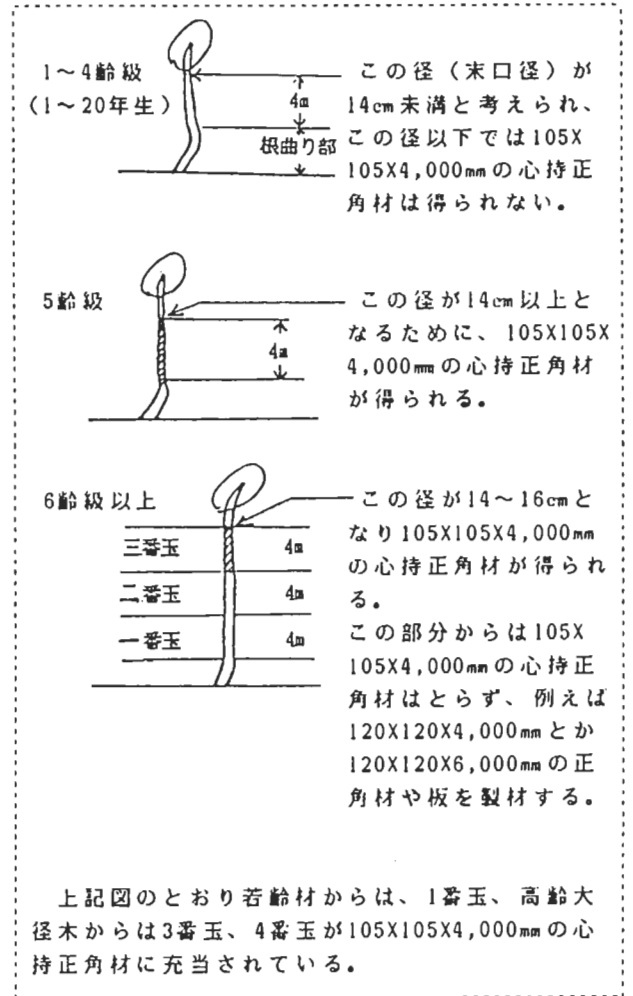


図1 試験体採材対象丸太の位置と齢級との関係
注) 齢級：林齢1～5年を1階級にとり、1齢級と称し、林齢を5年で括約した呼称。

ステップ2 試験体数の決定方法

小国産スギと同じ品種を生産している日田地域のスギ小径材より製材した“たいこ材”の実大引張り試験の結果によると引張強度の変動係数(CV)は35%であった。この値を用いてASTM D-2915に記載されている式によって、試験体数を算出すると、196体となったが、まるめて200体とした。

$$n = 400 t^2 c v^2$$

但し、 n ：試験体本数、 $c v$ ：変動係数

$$t^2 = 4 \text{ for } 95\% \text{ confidence}$$

$$n = 196 \rightarrow 200 \text{ (体)}$$

ステップ3 試験体採取数の割りあて方法

供試材の割りあては伐採対象立木本数に比例して行うことにした。

- 1) 品種をヤブクグリとアヤスギに分け、7:3に分配した。
- 2) 齢級は105X105X4,000mmの正角の心持材が採材可能な5齢級以上を対象とし、5, 6, 7, 8齢級以上の4区分とした。
- 3) 地域を6地域に分け、地域森林計画の「森林資源構成表」により、齢級ごとに面積を算出した。
- 4) 各齢級の単位面積当りの対象立木本数(105X105X4,000mmの試験体の採材可能な立木の本数)は、小国町森林組合で保存している昭和40年以降分の「毎木調査のデータ」並びに熊本県林業研究指導所が作成した「小国地方スギ林(ヤブクグリスギ)の林分収獲表」から算出した。
- 5) 各全体本数は、前記対象立木本数に各齢級並びに地域(ブロック)ごとの面積を乗じて算出した。
- 6) 各試験体本数を、品種、齢級、地域ごとの伐採対象立木本数の全体本数に比例して算出し、この結果を標本選出根拠表としてまとめた。

ステップ4 試験体採取の実施

すべての採材の実施は、小国町森林組合で行った。この時、所定の記号を各材の木口面にペンキで記入した。

この他、流通の実態に比例して、ランダムにサンプリングする場合や、節などの強度を支配する因子等に注目してサンプリングする場合もあろう。いずれの場合でも、当該試験の目的達成のために最良の方法がとられることが理想的であるが、経費、労力の面で制限されることも多い。ASTM E105-58でも、サンプリングのステップとして

- (1) 推定が必要とされる目的の明確化
- (2) 供試されるべき材料の関連情報の収集
- (3) いくつかのサンプリング案に対して、総費用、精度、実行の困難性に比較検討を加える。
- (4) サンプリング、試験のための費用、所要時間、実行の難易等の評価を、最も可能な案について行う。
- (5) 考えられたサンプリング案の中から選択し、全体の流れを再考慮する。

としている。

2. 実大材の強度試験方法

a) 曲げ試験

ASTM D-198は、1927年に主として橋梁用桁等の実大曲げ試験方法について定められた。その後の要請に基づき、製材品だけでなく、集成材、ボックスビーム等ありとあらゆる形状の構造材料・部材に対して

適応できるように改訂され、さらに、圧縮、引張り、ねじり等の実大材試験方法が追加されている。

日本では、まだ標準と考えられる実大材の試験方法は公けにされていない。最も試験することの多い、曲げについては、林野庁指導部研究普及課で昭和56年度～58年度に行ったメニュー課題「構造用製材の強度等級区分に関する研究」で採用された方法が、広く用いられている。これは正角を対象としていたが三等分点二点荷重方式で、モーメント一定区間に存在する複数の欠点強度におよぼす影響をみるのに都合がよい。具体的には、全支点間距離を270cmとし、支点から荷重点までは90cmにとって、全支点間中央の中立軸のたわみ、および、モーメント一定区間内の区間50cmに対するたわみを読んでいる。

試験体のはりせいが高くなると、いわゆるせん断スパン(支点から荷重点までの距離)とはりせいの比が問題となる。この比は、通常5以上とされるが、試験体が乾燥したため木口に深い割れ等が認められる場合は、できるだけ大きくとる方が、水平せん断による破損が生じる確率は低下する。逆にせん断性能を知る目的の場合、せん断スパン/はりせいの比は、5以下とする。

曲げのたわみだけを求める場合、せん断スパン/はりせいの比は、12以上とされている。

試験体の幅に対するはりせいの比が3を超えるような場合に、狭い材面から荷重をかける時、横座屈が生じる恐れがある。このときは、最低一對の横座屈防止装置を支点と荷重点の間にとりつける必要がある。

荷重点および支点の一方には、ローラを介して、曲げたわみが拘束されないようにする。

たわみの測定は、はりの中立軸のたわみが読めるようにヨークを用いるのがよい。

結果の報告内容として、以下のものを含むことが肝要である。

- (1) 供試体に関する詳細な記述、樹種、産地、形状、欠点の大きさや位置
- (2) 含水率に関する情報、人乾か天乾かも含め、破断箇所近辺での含水率の分布等
- (3) 試験荷重条件、全スパン、せん断スパン、荷重速度(又は破壊までに要した時間)
- (4) 破壊の形態

b) 圧縮試験

短柱圧縮試験は、ASTMでは、細長比17以下としている。日本では、最大圧縮強さだけ求める場合は、細長比10程度の試験体がよく使われる。圧縮ヤング係数を計測する場合試験体の断面を構成する辺の長さの大きい方の3倍をとり、試験体の中央1/3区間で縮みを計測することが望ましい。全長に対して測定した縮みから、圧縮ヤング係数を算出することはさけない。

短柱圧縮試験は、両木口の平行と面の平滑を十分に

精度よく得ておかないと、実験上かなり難しい試験となる。

また、横座屈を防止した試験方法も使われる。簡単に記述すれば、試験体の4側面を囲み、木口間で圧縮する方式である。破損が材の全長に散在する欠点のうち、どこから生じるかを観察し、圧縮部材の等級区分に役立てるのに適している。これは、細長比17以下の短柱を、多数並べて同時に試験を行っているのと同じことになる。実験的には、圧縮荷重が最大となり下ったところで加力を中止しないと、圧縮破損線が複数入って、強度の支配的因子を特定することが困難になる。

c.) 引張り試験

ひとえに、引張りチャックがうまく機能するか否かによって試験の成否が定まる。くさびの先端が、試験体表面より約10mm離れるようにしたASTMの引張りチャックは、具合がよい。受圧面積をふやすために、試験体と同じ樹種で、試験体の厚さよりやや薄い材を試験体の上下にはさみ、引張りチャック内にそう入すると試験体のチャック部におけるつぶれが防止できる。引張りの軸と、試験体の中心軸とを一致させるように留意が必要である。

最近では、特殊なプラスチックで試験体をつかんで引張り力を負荷することも可能になってきた。ただし、この場合プラスチックには寿命があり、取り替えねばならない。

参考文献

- 1) ASTM D-198-84
- 2) 畑山道男 材料試験法、ティンバーエンジニアリング読本、P112~115、オーム社(1985)

III. 木材の強度等級区分に関する今後の展開

木材の等級区分の歴史はきわめて古いが、またきわめて新しい問題でもある。木材は天然物であるがゆえに他の工業材料に比較されたときバラツキのある材料と言われることが少なくなかった。そのために規格があり、等級区分があるが、その運用と効果については必ずしも十分とはいえず、木材に対する一般的な評価は上記の域をでない部分があるように思われる。とくに、建築物における木造の対象が在来構法住宅を中心としたものであったために、構法上の特性とそれを支えた経験をもとに、材料や部材の選択がなされ、必ずしも強度等級区分的な選択が中心になっていたわけではなかった。しかもそれでとくに問題が生じた訳でもなかったし、あるいは問題があったとしてもそれなりの解決や了解があったといえるであろう。

一方、枠組壁工法や工業化住宅などの木質住宅では木質部材の性能の向上、品質の保証、さらにそれらを満たすなかでの経済的な合理性の追求が一段と厳しさを持ってきている。さらに、最近では住宅以外の大規模の木造建築物の試みが盛んになってきたが、その中でエンジニアリングとしての木材の等級区分は色々な意味で重要になってきた。

いずれにしても構造材料として木材をみると、日本各地の山からどんな素性の木材が出てくるのか、海外からどんな素性の木材がくるのか、これがもっとも基本となる情報であるという認識が広がってきた。

そして、実大材による強度試験が重要視され、各地で本格的に実施されるようになったが、それはここ10数年余りである。その中から木材をもっと適切に、しかも広い分野で活用するための多くの貴重なデータの蓄積が得られ、新しい技術への展開の手掛りがみられるようになってきた。しかしながら、それらデータが個々に散在しては全体の評価として意味が薄れ、そのデータの全体の位置からみた新しい展開も見だしにくいことも指摘されていた。

このような背景から日本木材学会の強度研究会のメンバー、とくに実大の木材の強度試験を手掛けている研究者が、国や地方の研究機関と協力して既存の木材の強度実験データを整理し、今後の木材の強度等級区分について技術面から検討した結果が本報告である。それらの詳細はすでに前段でまとめられているので、十分な検討、論議をお願いしたい。

ここでは討議の中で話題となった主要な点と今後の展開について以下に示し、各方面、分野での今後の取組についての参考に資したい。

1. 各種強度等級区分法による強度推定（保証）、信頼性評価とデータ整備

強度等級区分にはすでに述べたように、目視による区分、機械的区分、保証荷重試験あるいは、その他開発中を含め多くのものがある。どの方法による強度等級区分にせよ第1の目的は強度の推定であり、それから得られた推定値の信頼性をどのように評価するかである。本報告でこれらに関する現況が紹介されており、限られた形状寸法ではあるが、日本の市場における主要な樹種の広範なデータが整理されており、今後の技術的評価での一つの指針となりうるであろう。さらに、使用条件や生産供給の条件に応じた各種、広範な試験が実施され、データバンクとして集積されることが望まれる。

2. 強度等級区分の用途区分、製材技術との対応

強度等級区分は構造的な用途を対象にした製材、ラミナなどに徐々に適用されるであろう。そのような構造的な用途に対応するための規格は強度特性を担保とするともに、オープン材料として供給を安定させる役割をもっている。したがって、用途に関連する木取り、あるいは寸法形状の違いに適用できる計測方法やそれによるデータの整備が重要である。たとえば、大きな寸法になると、従来の小断面のディメンションランバーや集成材ラミナ程度を考慮した曲げヤング係数を測定するグレーディングマシンでは対処できない。また、製材段階で用途をきめるには丸太の段階での区分が有効なことも考えられる。

目視、ヤング係数などによる区分の有用性は樹種、あるいは木取りなど技術的な条件はもとより使用、生産現場の経営的な条件でもかなり異なる。したがって、実際の場における計測法と強度に関連する日常的な技術データの整備がなされる体制の検討も必要と思われる。とくに計測技術は経費などとも絡むので、計測機械のメニュー整備とデータを集積し、レベルに応じた選択がなされるようにしておく必要があるだろう。

3. 強度等級区分と許容応力度

強度等級区分はその方法ごとに強度の区分と信頼性の科学、技術的分析よっているが、構造材料としての許容応力度には使用される条件での時間効果などの評価のほかに、社会状況に応じた広い意味での安全率のコンセンサスを必要とする。時間効果に関する実験、理論面での研究を進めるとともに、構造躯体としての安全性の評価の検討も課題となるであろう。

4. 林木育種と等級区分

同じ樹種であっても強度の分布が異なることが本調査からも明らかになったが、それが生育した環境、すなわち地域特性であるのか、遺伝あるいは育種上の特性なのか、節などの組織的特性なのか、またそれらの寄与の割合はきわめて重要である。それはその材の適性にもとずいた用途を見極めることと、それに適合する仕立て、間伐、除伐あるいは伐採計画に関連する展開が考えられるからである。さらに一步進めれば、立木段階あるいは苗木の段階での判定なども考えられる。

5. 実大材強度と材料物性の関係

実大材の強度試験はその実用面、工学的な面から主として進められてきている。しかしながら、ただ単に試験の実施が実用、あるいは統計的な処理面にのみ対処しているとエンドレスで、しかも常に後追いのものになってしまう恐れがあるであろう。とくに木材が他の材料との比較にさらされたとき、破壊機構、強度の発現機構など木材としての材料科学的論理性をもっていることが重要であり、しかも実大試験における材料と試験に要する物的、人的負担がきわめて大きいことも無視できないからである。

6. 強度等級区分の実施主体と検査

強度等級区分は基本的には強度特性を明確にすることであるが、実際の現場では立場によって意味に差異がある。設計、施工など使う側では強度特性を保証、担保してほしいという意味であり、生産する側では強度特性の保証、担保をもとに材料としての付加価値と

いう意味である。前者では第三者による検査に重点があり、後者はむしろ差別化や自己規制のための試験および検査に重点がある。現在は前者に主体があり、材料供給側への要求として出されているといえるであろうが、今後の方向として製材、林業側の対応としてどのようにあるべきか、あるいは政策としてどうするべきか重要な課題となるであろう。とくに、技術的な論議と並んで強度等級区分による社会的、経済的な評価の検討と長期的な展望の論議がなされる必要がある。

7. 強度等級区分の意義と情報の展開

強度試験などが実施されると、材料供給側は6.で述べた使用者側の要求に対応したという一般認識がむしろ現在では支配的であろう。したがって、データの強度が比較的大きければ満足がいくが、劣ると、とくに他地域、他樹種に比して劣るとデータを明らかにしたくないということがしばしば生じる。単純に強度を比較され、商売上不利になるという危惧が働くからであり、別の言葉でいえば強度値のみが独り歩きするという危惧からでもある。それは木材利用、流通の現状からみれば、それなりに必然性がある。

しかしながら、ティンバーエンジニアリングの今後の展開にとって、これこそ越えねばならない点である。ティンバーエンジニアリングは科学的、技術的な裏付けにもとずいて経済的な合理性を追求するものであり、使われる場所の条件を満足する強度と信頼性があれば良いということである。すなわち、強度等級区分の意義は強度特性の大小にあるのではなく、強度特性が明確になっていることである。俗な例を上げれば想定した強度特性より大きければ不都合があることもあるということである。

いずれにしても木材利用の新たな展開の可能性をもつティンバーエンジニアリングにおける、構造材料として木材の強度等級区分のもつ意義と木材供給における等級の新たな展開に関する情報の流布をはかることが望まれる。とくに具体的に計測技術をみてもらうようなキャラバン方式などを推進し、木材供給、利用に係る分野の広範で、かつ地道な論議がなされる素地をつくる必要があると思われる。

付 録

1. 木材の許容応力度関連の基準

現在、木材の許容応力度に関連する規定として、わが国では、製材に関しては「建築基準法施行令」および「木構造計算規準（案）」が、枠組壁工法構造用製材に関しては通達（建設省）がある。

施行令は昨年（1987年）改正されたが、木構造計算規準（案）は現在建築学会で検討中で、本年中に上梓される予定である。

施行令の木材の許容応力度や材料強度を定めるところでは、木材の品質については格段なにも触れていない。しかし、一般的には構造材はJASで定める一等以上の品質を有するものとの考え方がされており、これは例えば住宅金融公庫の木造住宅工事共通仕様書中の規定にも反映されている。

建築基準法施行令に規定される木材の許容応力度（令第89条）

1. 木材の繊維方向の許容応力度は、強度試験の結果に基づき定める場合のほか、次の表の数値によらなければならない。

種 類		長期応力に対する許容応力度 (単位 1平方センチメートルにつきキログラム)				短期応力に対する許容応力度 (単位 1平方センチメートルにつきキログラム)			
		圧縮	引張り	曲げ	せん断	圧縮	引張り	曲げ	せん断
針葉樹	あかまつ、くろまつ及びべいまつ	75	60	95	8	長期応力に対する圧縮、引張り、曲げ又はせん断の許容応力度のそれぞれの数値の2倍とする。			
	からまつ、ひば、ひのき及びべいひ	70	55	90	7				
	つが及びべいつが	65	50	85	7				
	しみ、えぞまつ、とどまつ、べにまつ、すぎ、べいすぎ及びスプルース	60	45	75	6				
広葉樹	かし	90	80	130	14				
	くり、なら、ぶな及びけやき	70	60	100	10				

- かた木で特に品質優良なものをしやち、込み控の類に使用する場合においては、その許容応力度は、それぞれ前項の表の数値の二倍まで増大することができる。
- 基礎ぐい、水構、浴室その他これらに類する常時湿潤状態にある部分に使用する場合においては、その許容応力度は、それぞれ前二項の規定による数値の七十パーセントに相当する数値としなければならない。

建築基準法施行令に規定される木材の材料強度（令第95条）

1. 木材の繊維方向の材料強度は、強度試験の結果に基づき定める場合のほか、次の表の数値によらなければならない。

種 類		材 料 強 度 (単位 1平方センチメートルにつきキログラム)			
		圧 縮	引 張 り	曲 げ	せん 断
針葉樹	あかまつ、くろまつ及びべいまつ	225	180	285	24
	からまつ、ひば、ひのき及びべいひ	210	165	270	21
	つが及びべいつが	195	150	255	21
	しみ、えぞまつ、とどまつ、べにまつ、すぎ、べいすぎ及びスプルース	180	135	225	18
広葉樹	かし	270	240	390	42
	くり、なら、ぶな及びけやき	210	180	300	30

- 令第89条第2項及び第3項の規定は、木材の材料強度について準用する。

建設省告示に規定される木材のめりこみ及び圧縮材の座屈の許容応力度（告示第1799号）

イ めりこみの許容応力度は、めりこみ試験の結果に基づき定める場合のほか、その繊維方向と加力方向とのなす角度に応じて次に掲げる数値（基礎ぐい、水櫃、浴室その他これらに類する常時湿潤状態にある部分に使用する場合においては、当該数値の七十パーセントに相当する数値）とする。

- (1) 十度以下の場合 令第八十九条第一項の表に掲げる圧縮の許容応力度の数値
- (2) 十度を越え、七十度未満の場合 (1)と(3)とに掲げる数値を直線的に補間した数値
- (3) 七十度以上九十度以下の場合 次の表に掲げる数値

木材の種類		長期応力に対するめりこみの許容応力度（単位 1平方メートルにつき10 ³ kgf/cm ² ）	短期応力に対するめりこみの許容応力度（単位 1平方メートルにつき10 ³ kgf/cm ² ）
針葉樹	あかまつ、くろまつ及びべいまつ	30	長期応力に対するめりこみの許容応力度の数値の二倍とする。
	からまつ、ひば、ひのき及びべいひ	25	
広葉樹	つが、べいつが、もみ、えぞまつ、とどまつ、べにまつ、すぎ、べいすぎ及びスプルース	20	
	かし	40	
	くり、なら、ぶな及びけやき	35	

ロ 圧縮材の座屈の許容応力度は、その有効細長比に応じて、次の表の式によって計算した数値とする。

$\lambda \leq 30$ の場合	$f_k = f_c$
$30 < \lambda \leq 100$ の場合	$f_k = f_c \cdot (1.3 - 0.01\lambda)$
$\lambda > 100$ の場合	$f_k = \frac{0.3 f_c}{\left(\frac{\lambda}{100}\right)^2}$

この表において、 λ 、 f_k 及び f_c は、それぞれ次の数値を表すものとする。

λ 有効細長比
 f_k 圧縮材の座屈の許容応力度（単位 一平方センチメートルにつきキログラム）
 f_c 令第八十九条第一項の表に掲げる圧縮の許容応力度（単位 一平方センチメートルにつきキログラム）

木構造計算規準（案）（日本建築学会）に規定される木材の許容応力度等

表 木材の繊維方向のヤング係数
（単位：10³ kgf/cm²）

出 種		E ₁		
		普通構造材	上級構造材	
針葉樹	I 類	べいまつ、ソ連からまつ	100	110
	II 類	ひば、ひのき、べいひ	90	100
	III 類	あかまつ、くろまつ、からまつ、つが、べいつが	80	90
	IV 類	もみ、えぞまつ、とどまつ、べにまつ、すぎ*、べいすぎ、スプルース	70	80
広葉樹	I 類	かし	100	110
	II 類	くり、なら**、ぶな、けやき**、アビトン	80	90
	III 類	ラワン	70	80

- (注) • 気乾比重 0.3以下のすぎに対しては、表記の値70%をとる。
 • なら、けやきについては、平均年輪幅1mm以上のものとする。

表 普通構造材の繊維方向の許容応力度 (単位: kgf/cm²)

出 種		長期応力に対する値				短期応力に対する値	
		σ _{fc}	σ _{fc}	σ _{fb}	σ _{fb}		
針 葉 出	I 類	べいまつ ソ速からまつ	75	55	95	8	長期応力に対する 値の2倍
	II 類	ひば ひのき べいひ	70	55	90	7	
	III 類	あかまつ くろまつ からまつ つが べいつが	65	50	85	7	
	IV 類	もみ えぞまつ とどまつ べにまつ すべいすぎ スプルス	60	45	75	6	
広 葉 出	I 類	かし	90	80	130	14	
	II 類	くり, なら** ぶな, けやき** アビトン	70	60	100	10	
	III 類	ラワン	70	50	90	6	

(注) * 気乾比重 0.3以下のすぎに対しては、表記の値の70%をとる。
 ** なら、けやきについては、平均年輪幅1mm以上のものとする。

表 上級構造材(針葉出)の繊維方向の許容応力度 (単位: kgf/cm²)

出 種		長期応力に対する値				短期応力に対する値	
		σ _{fc}	σ _{fc}	σ _{fb}	σ _{fb}		
針 葉 出	I 類	べいまつ ソ速からまつ	90	65	120	10	長期応力に対する 値の2倍
	II 類	ひば ひのき べいひ	85	65	110	9	
	III 類	あかまつ くろまつ からまつ つが べいつが	80	60	105	9	
	IV 類	もみ えぞまつ とどまつ べにまつ すべいすぎ スプルス	75	55	95	7	

< 外国文献 >

- 規格・基準・総論 -

< American Society for Testing and Materials >

- 1987 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, PART 4 -

1. D 2915-84, Standard Methods for Evaluating Allowable Properties for Grades of Structural Lumber
2. D 198-84, Standard Methods for Static Tests of Timbers in Structural Sizes
3. D 245-81, Standard Methods for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber
4. D 3737-78, Standard Methods for Establishing Stresses for Structural Glued Laminated Timber Manufactured from Visually Graded Lumber
5. D 143-52, Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber
6. D 2555-81, Standard Methods for Establishing Clear Wood Strength Value

<ASTM以外>

1. Western Wood Products Association : "Western Lumber Grading Rules 81"(1981)
2. Western Wood Products Association : "Western Wood Species Book", Dimension Lumber (日本語版)
3. Standard Association of Australia : "Draft Australian Standard for Rules for use of Timber in Structures", known as the SAA Timber Structural Code, Part 1 - Design Methods(1986)
4. ISO International Organization for Standardization Technical Committee - 165 Timber Structures : "Timber Structures - Solid Timber in Structural Sizes - Determination of Some Physical and Mechanical Properties"(1982)
5. British Standard Code of Practice BS5268 - Part 2 : "The Structural Use of Timber - Permissible Stress, Materials and Workmanship", BSI (1983)
6. National Forest Products Association : "National Design Specification for Wood Construction", Washington D.C.(1982)
7. U.S.F.P.L. : "WOOD HANDBOOK"(NEW VERSION)

- 実大材強度その他 -

1. ANON : "Solid Timber in Structural Sizes, Visual Strength Grading of Coniferous Timber", ISO/Technical Committee 165, Timber Structure, 1st Draft Proposal(1987)
2. ANON : "Hudson's Install Australia's First Commercial Stress Grader", The Australian Timber Journal and Building Products Merchandiser, 30(2), 78-84(1964)
3. ANTON, A.: "Mechanical Stress Grading of Ladder Stiles", Tech. Paper No.27, Forestry Commission of N.S.W., Wood Tech. and Forest Res. Div.(1978)
4. BENDTSEN, A., et al.: "Deriving Allowable Properties of Lumber", General Technical Rept. FPL 20
5. BIER, H.: "The Effect of Defect Position on the Strength of Beams", NZ Journal of Timber Construction, 2-4(1986)
6. BIER, H. et al.: "Bending Properties of 100 x50mm Structural Timber from a 28-Year-Old Stand of New Zealand Radiata Pine", IUFRO,MEXICO(1984)
7. BELL,E.R. et al.: "Modulus of elasticity of wood determined by dynamic methods", USFPL Rept. 1977(1954)
8. BOATRIGIT, S.W. et al.: The Effect of Knots on the Fracture Strength of Wood, Holzforschung 33(1979)
9. BOHANNAN, B.: "Effect of Size on Bending Strength of Wood Members", USFPL Rept.56 XAFLA (1966)
10. BOOTH, H.E.: "Machine Stress Grading Assures Timber's Future as a Structural Materials", The Australian Timber Journal and Building Products Merchandiser, 30(2), 73-77(1964)
11. BOOTH, H.E.: "The Machine Grading of Timber", The Australian Timber Journal and Building Products Merchandiser, 30(8), 81-89(1964)
12. BURMESTER, A.: "Relationship between sound velocity and the morphological, physical, and mechanical properties of wood", Holz als Roh- und Werk. 23(6), 227-236(1965)
13. BURMESTER, A.: "On the correlation between sound velocity and density, tensile strength

perpendicular to the surface and bending strength of particleboard", Holz als Roh- und Werk. 26(4),113-117(1968)

14. CRAMER, S.M. et al.: "Failure Modeling : A Basis for Strength Prediction of Lumber", Wood and Fiber Science, 18(3)(1986)

15. CURRY, W.T. et al.: "The Relation between the Modulus of Rupture (Ultimate Bending Stress) and Modulus of Elasticity of Timber", CP30/76, Build. Research Establishment, Prince Risborough Lab.

16. EBY, R.E.: "Proofloading of finger-joints for glulam timber", FPJ, 31(1),37-41(1981)

17. FEWELL, A.R. : "The Determination of Softwood Strength Properties for Grades, Strength Classes and Laminated Timber for BS 5268: Part 2", Build. Research Establishment PRL(1983)

18. FEWELL, A.R. : "Timber Stress Grading Machines", Build. Research Establishment Inform. Paper, IP-17/84(1984)

19. FOX, S.P.: "Bending strength of a proposed Douglas-fir 20f stress grade", Can. Dep. Envir. Forestry Serv., West. Forest Prod. Lab., Inform. Rept. VP-X-175(1987)

20. GABER, E.: Bautechnik, 5(1936), 35(1937)

21. GALLIGAN, W.L. et al.: "Machine Stress Rated Lumber - Challenge to Design", FPJ, 20(9)(1970)

22. GALLIGAN, W.L. et al.: "Evaluation of Lumber Properties in the United States and Their Application to Structural Research", FPJ,30(10)(1980)

23. GERHARDS, C.C.: "Stress wave speed and MOE of sweetgum ranging from 150 to 15 percent MC", FPJ, 25(4), 51-57(1975)

24. GERHARDS, C.C.: "Comparison of two nondestructive instruments for measuring pulse transit time in wood", Wood Sci. 11(1),13-16(1978)

25. GERHARDS, C.C.: "Effect of earlywood and latewood on stress-wave measurements parallel to the grain", Wood Sci., 11(2),69-72(1978)

26. GERHARDS, C.C.: "Effect of cross grain on stress waves in lumber", USFPL Rept.368(1981)

27. GERHARDS, C.C.: "Longitudinal stress waves for lumber stress grading: factors affecting applications: State of the art", FPJ, 32(2), 20-25(1982)

28. GERHARDS, C.C.: "Effect of knots on stress waves in lumber", USFPL Rept.384(1982)

29. GERHARDS, C.C. et al.: "Nondestructive evaluation of mechanical properties of a structural flakeboard made from forest residues", USFPL

Rept.414(1982)

30. GRAF, O.: "Über die Einfluß der Baukante auf die Tragfähigkeit der Bauhölzer", Bautechnik (1938)

31. HEIKKILA, S. et al.: "Microwave Methods for Strength Grading of Timber and for Automatic Edging of Boards", (no reference name)

32. HILBRAND, H.C. et al.: "Machine grading - theory and practice", FPJ, 16(11/12)(1966)

33. HOFFMEYER, P.: "Improving the efficiency of visual stress grading by means of the Pilodyn wood tester", XVII IUFRO World Congress, Kyoto (1981)

34. HOFFMEYER, P.: "An evaluation of the ECE and Nordic stress grading rules", XVII IUFRO World Congress, Kyoto(1981)

23. HOYLE Jr., R.J.: "A Nondestructive Test for Stiffness of Structural Lumber", FPJ,11(6)(1961)

24. HOYLE Jr., R.J.: "Background to machine stress grading", FPJ, 18(4),87-97(1968)

25. HOYLE Jr., R.J., et al.: "Characterizing Lumber Properties for Truss Research", Metal Plate Wood Truss Conference(1979)

26. INNOTECH OY : "Stress Grading through Direct, Non-Contacting Strength Measurement with the Finnograder"(1980)

27. JAMES, W.L.: "Effect of temperature and moisture content on: Internal friction and speed of sound in Douglas-fir", FPJ, 11(9), 383-390 (1961)

28. JAMES, W.L.: "Vibration, static strength and elastic properties of clear Douglas-fir at various levels of moisture content", FPJ, 14(9), 409-413(1964)

29. JAMES, W.L., et al.: "Using speed of sound in wood to monitor drying in a kiln", FPJ,32(9), 27-34(1982)

30. JUNG, J.: "Stress-wave grading techniques on veneer sheets", USFPL Rept.27(1979)

31. JUNG, J.: "Properties of parallel-laminated veneers", FPJ, 32(7), 30-35(1982)

32. KAISERLIK, J.: "Nondestructive testing methods to predict effect of degradation on wood - A critical assessment", USFPL Rept.19(1978)

33. KAISERLIK, J.H. et al.: "Stress wave attenuation as an indicator of lumber strength", FPJ, 27(6),39-43(1977)

34. KEATING, W.G. et al.: "Structural Grading of Timber", Australia-UNIDO Workshop on Timber Engineering, Part 5(1983)

35. KONARSKI, B. et al.: "Relationship between ultrasonic velocity and mechanical properties of wood attacked by fungi", Holz als Roh- und Werk. 35(9), 341-345(1977)
36. KUNESH, R.H. et al.: "Effect of single knots on tensile strength of 2- by 8-inch Douglas-fir dimension lumber", FPJ, 22(1), 32-36(1972)
37. LEE, I.D.G.: "A nondestructive method for measuring the elastic anisotropy of wood using ultrasonic pulse technique", J.Inst.Wood Sci. 1, 43-57(1958)
38. LEICESTER, R.H. : "Materials and Fracture", Rept. to Australian Fracture Group Melbourne Research Lab., B.H.P., Feb.(1971)
39. LEICESTER, R.H. et al.: "Modeles for evaluating stress grading", XVII IUFRO World Congress, Kyoto(1981)
40. LEICESTER, R.H. et al.: "Damage due to proof loading", XVII IUFRO World Congress, Kyoto(1981)
41. LITTLEFORD, T.W.: "Visual restriction on size of edge-knot as an aid to machine stress-rating of western canadian species", Can. Dep. Forest. Rural Develop., FPL Inform. Rept. VP-X-5(1966)
42. LITTLEFORD, T.W. : "A comparison of flexural strength-stiffness relationships for clear wood and structural grades of lumber", Can. Dep. Forest and Rural Develop., FPL Inform. Rept.VP-X-30(1967)
43. LITTLEFORD, T.W. : "Tensile strength and modulus of elasticity of machine graded 2x6 Douglas-fir", Can. Dep. Forest. Rural Develop., FPL Inform. Rept. VP-X-12(1976)
44. LOGAN, J.D.: "Machine Stress Rated Lumber Production 1984 Update", Metriguard Inc.(1984)
45. MADSEN, B.: "In-Grade Testing Degree of Damage Due to Proof Loading of Lumber in Bending", Structural Research Series, Rept.17, U.B.C (1976)
46. MADSEN, B. et al.: "In-Grade Testing Accuracy and Confidence Computer Simulation, Structural Research Series, Rept.21, U.B.C.(1978)
47. MADSEN, B.: "In-Grade Testing - Problem Analysis", FPJ, 28(4), 42-50(1978)
48. MARKWARDT, L.J. et al. : "Simplified Principles for Structural Grading of Timber", USFPL Rept. 2112(1958)
49. MARRA, G.G. et al.: "Nondestructive determination of wood strength and elasticity by vibration", Holz als Roh- und Werk., 24(10),460-466 (1966)
50. McALISTER, R.H.: "Modulus of elasticity distribution of loblolly pine veneer as related to location within the stem and specific gravity", FPJ, 26(10), 37-40(1976)
51. MCGOWAN, W.M. : "Parallel-to-grain tensile properties of visually graded 2x6-inch Douglas-fir", Can. Dep. Fish. Forest., FPL Inform. Rept. VP-X-46(1968)
52. MCGOWAN, W.M.: "Parallel-to-grain tensile properties of coast- and interior-grown 2x6-inch Douglas-fir", Can. Dep. Envir. Forestry Serv., West. FPL Inform. Rept. VP-X-87(1971)
53. McLAUCHLAN T.A. et al.: "Slope-of-Grain Indicator", FPJ, 23(5)(1973)
54. OROSZ, I. : "Some Nondestructive Parameters for Prediction of Structural Lumber", USFPL Rept.100(1968)
55. PEARSON, R.G. : "Application of Fracture Mechanics to the Study of the Tensile Strength of Dimension Lumber", Holzforschung, 28(1974)
56. PELLERIN, R.F. : "A Vibrational approach to nondestructive testing fo structural lumber", FPJ, 15(3), 93-101(1965)
57. SANSON, M.: "Measuring general Slope of Grain with the slope-of-grain indicator", FPJ, 34(7/8)(1984)
58. SEXSMITH, R.G. et al.: "Limit states design concepts for timber engineering", FPJ, 28(5), 49-54(1987)
59. SCHEINWIND, A.P.: "Fracture Toughness and Duration of Load Factor 1", Wood and Fiber, 5(2) (1973)
60. STRICKLER, M.D. et al.: "Tension proof loading of finger joints for laminated beams", FPJ, 21(6), 19-24(1971)
61. STRICKLER, M.D. et al.: "Experiments in proof loading structural end-jointed lumber", FPJ, 20(2),29-35(1970)
62. SUNLEY, J.G. et al.: "Machine-Grading of Lumber in Britain", FPJ, 14(4)(1964)
63. SZMANY, R. et al.: "Defect Detection in Lumber : state-of-the-art", FPJ, 31(11)(1981)
64. VINUPAL, G.W.: "Determination of the Combined Influence of Density and Knots on the Mechanical Properties of Full-Size Structural Timber", IUFRO, England(1980)
65. WALFORD, G.B.: "In-Grade Assesment of 4x2 and 8x2 Radiata Pine for the Japanese Market", FRI FOREST PRO. DIV. REPT. No.FP/TE 25(1978)

(unpublished)

66. WALFORD, G.B.: "The Bending strength of dry visually graded No.1 framing radiata pine", FRI FOREST PRO. DIV. REPT. No.FP/TE37(1981) (unpublished)

67. WALFORD, G.B.: "Current knowledge of the in-grade bending strength of New Zealand radiata pine", FRI BULLETIN No.15(1982)

68. WALFORD, G.B.: "Comparison of the Tensile Strength and Bending Strength of 100 x 50 mm

Radiata Pine, FRI BULLETIN No.21(1982)

69. WILSON, T.R.C.: "Effect of Spiral Grain on the Strength of Wood", Journal of Forestry, JFUSA, 19(1921)

70. WILSON, T.R.C.: "Guide to the Grading of Structural Timber", Miscellaneous Pub.185,XAMPA, Department of Agriculture(1934)

71. WOOD, L.W.: "Machine-Graded Lumber ... out of laboratory into commercial trials", FPJ, 14 (1964)

< 国内文献 >

— 規格・規準 —

1. 全国木材組合連合会編: "製材等の日本農林規格並びに解説"(1981)
2. 全国木材組合連合会編: "枠組壁工法用製材の日本農林規格並びに解説"(1982)
3. 日本建築学会: "木構造設計規準・同解説"(1973)
4. 日本建築学会: "木構造計算基準(案)", 建築雑誌, 1266, 64-70(1987)

— 総論 —

1. 沢田 稔: "針葉樹構造材の材質評価について", 木材工業, 40(2), 10-14(1985)
2. 佐々木 光: "構造用木材のメカニカルグレーディング", 木材工業, 28(1), 2-5, (1973)
3. 杉山 英男: "建築構造学体系2 2 木構造", 彰国社(1971)
4. 中井 孝ら: "間伐材等小径木の強度性能", 木材工業, 39(5), 29-35(1984)
5. 中井 孝ら: "国産造林木の材質—スギ正角材の実大曲げ強度—", 木材工業, 39(11), 42-46(1984)
6. 日本住宅・木材技術センター: "低コスト肉用牛畜舎設計基準策定事業応用力学データ収集各部試験, I—材料試験報告書"(1984)
6. 日本木材学会木材強度・木質構造研究会: "1986年度研究会資料"(1987)
7. 藤井 毅: "集成材のストレスグレーディングシステム(1/2)", 木材工業, 35(1/2)(1980)
8. 宮島 寛: "構造用材の強度性能評価法", 木材誌, 31(6), 429-434(1985)
9. 林業試験場監修: "木材工業ハンドブック", 丸善(1982)

— 実大製材強度 —

(p.37~41に記載した文献のうち口頭発表および試験場業務報告に類するものは割愛)

1. 飯島 泰男: "シベリア産カラマツ材の強度性能に関する研究", 富山木試研報, 1(1983)
2. 飯島 泰男ら: "実大構造用材の曲げ強度性能(1)", 木材と技術, G3(1985)
3. 飯島 泰男: "構造用製材の曲げ強さ予測法について", 建築学会大会梗概集, 構造II, 1265-1266(1986)
4. 飯島 泰男: "国内における曲げ強度試験データの蓄積状況について", 建築学会大会梗概集, 構造II, 1397-1398(1987)
5. 飯田 信男ら: "昭和56年台風15号によるカラマツ風害木の材質調査", 木材学会道支講, 13(1981)
6. 海老原 徹ら: "在来工法構造用製材の応力等級区分(2)", 木材学会大会要旨(1984)
7. 倉田 久敬ら: "エゾマツ2080材の強度性能(2)", 木材学会大会要旨(1976)
8. 倉田 久敬ら: "道産針葉樹による枠組壁工法構造用製材の強度性能", 林産試研報, 67, 4-33(1978)
9. 佐々木 光ら: "スギ36品種の力学的性質", 木材研究・資料, 17, 192-205(1983)
10. 佐々木 光ら: "ヒノキ間伐材の材質", 木材研究・資料, 13(1979)
11. 杉山 英男ら: "2x6 Hem-Fir材の曲げ強度性状と荷重速度・節の位置との関係", 木材学会大会要旨(1981)
12. 杉山 英男ら: "ヘムファー2x6材の曲げ強度と剛性に及ぼす繰返し荷重と荷重速度の影響", 木材誌, 30(11), 894-906(1984)
13. 高橋 政治ら: "浦幌産カラマツ人工林材の材質", 木材学会道支講, 16(1984)
14. 瀧野 真二郎ら: "スギ間伐材の性質", 木材研究・資料, 14(1979)
15. 徳田 通夫ら: "三重県産スギ, ヒノキの強度性能", 木材学会大会要旨(1987)

16. 中井孝ら：“枠組壁工法構造用製材の実大縦引張試験”，木材学会大会要旨(1980)

17. 中井孝ら：“曲げ座屈を防止した2by4材の実大圧縮試験”，木材誌，27(10)，723-730(1981)

18. 中井孝ら：“国産樹種2by4材の機械による応力等級区分法”，木材学会大会要旨(1983)

19. 中井孝ら：“在来工法構造用製材の応力等級区分(1)”，木材学会大会要旨(1984)

20. 中井孝ら：“構造用製材の実大引張強度(1)”，建築学会大会梗概集，構造，2675-2676(1984)

21. 中井孝ら：“在来工法構造用製材の応力等級区分(3)”，木材学会大会要旨(1985)

22. 中井孝ら：“構造用製材の実大引張強度(3)”，建築学会大会梗概集，構造II，1261-1262(1986)

23. 中井孝ら：“スギ正角の実大引張試験”，木材学会大会要旨(1987)

24. 中井孝ら：“実大材の強度試験と等級区分”，加工技術大会要旨(1987)

25. 農林水産技術会議事務局：“枠組壁工法のための建築用木材の強度等級区分法確立に関する研究”(1978)

26. 農林水産技術会議事務局：“間伐材利用技術の確立に関する研究”(1984)

27. 畑山謙男：“有節材の強度推定に関する研究”，林試研報，326(1984)

28. 早村俊二ら：“ティンバーエンジニアリング用材としての強度等級区分(2)”，木材学会大会要旨(1987)

29. 久田俊彦ら：“木材の欠点とその強度に及ぼす影響”，建築学会研報，18(1952)

30. 平井卓郎ら：“切り欠きを持つ木材梁の曲げ剛性と耐力(1)”，北大演研報，36-2(1979)

31. 平井卓郎ら：“切り欠きを持つ木材梁の曲げ剛性と耐力(2)”，北大演研報，36-3(1979)

32. 平井卓郎ら：“切り欠きを持つ木材梁の曲げ剛性と耐力(3)”，北大演研報，37-3(1980)

33. 丸山則義ら：“国産造林木の応力等級に関する研究”，建築学会大会梗概集，構造，2047-2048(1982)

34. 丸山則義ら：“国産造林木の応力等級に関する研究(II)”，建築学会大会梗概集，構造，2223-2224(1983)

35. 丸山則義ら：“ティンバーエンジニアリング用材としての強度等級区分(1)”，木材学会大会要旨(1987)

36. 丸山則義ら：“ティンバーエンジニアリング用材としての丸太材の強度等級区分と製品への利用”，加工技術大会要旨(1987)

37. 宮島寛：“カラマツ枠組壁工法用材の乾燥による狂いと曲げ性能”，木材学会道支講，9(1977)

38. 宮島寛：“有珠山噴火による降灰被害カラマツ造林木の材質試験”，木材学会道支講，11(1976)

39. 宮島寛：“トドマツ造林木の材質と利用(1)”，北大演研報，37-3(1980)

40. 宮島寛：“トドマツ造林木の材質と利用(2)”，北

大演研報，38-2(1981)

41. 宮島寛：“トドマツ造林木の材質と利用(3)”，北大演研報，39-2(1982)

42. 宮島寛：“苫小牧地方演習林産造林木3樹種の基礎材質”，北大演研報，42-4(1985)

43. 山本宏ら：“カラマツ間伐木の強度性能”，木材学会道支講，6(1974)

44. 山本宏ら：“トドマツ造林木の材質について”，木材学会道支講，7(1975)

45. 山本宏ら：“エゾマツ2080材の強度性能(1)”，木材学会大会要旨(1976)

— 小試験体による強度実験 —

1. 木方洋二：“構造用材の強さ低減に関する研究(I)”，木材誌，15(3)，109-113(1969)

2. 木方洋二：“構造用材の強さ低減に関する研究(II)”，木材誌，15(5)，191-196(1969)

3. 木方洋二：“構造用材の強さ低減に関する研究(III)”，木材誌，15(7)，285-290(1969)

4. 佐道健ら：“節に関する諸量およびヤング係数を用いた有節板材の強度予測”，木材学会大会要旨(1979)

5. 友松昭雄ら：“木材の曲げ強さに及ぼす変形速度の影響(I)”，木材誌，30(9)，713-719(1984)

6. 友松昭雄ら：“木材の曲げ強さに及ぼす変形速度の影響(II)”，木材誌，31(2)，75-81(1985)

7. 友松昭雄ら：“木材の曲げ強さに及ぼす変形速度の影響(III)”，木材誌，31(2)，82-88(1985)

8. 中村徳彦：“ひき板の Stress Grading Machine の実験”，木材学会大会要旨(1970)

9. 中村徳彦：“南九州産材からのひき板の強度等級に関する研究”，宮崎大演研報，6(1972)

10. 森徹：“木材の曲げ破壊係数に及ぼす節の影響に関する研究”，建築学会論文集，13(1939)

11. 森光正ら：“ヒノキ材における破壊たわみびらつきに関する因子”，木材誌，29(5)，361-367(1983)

— 組織・材質関連 —

1. 太田貞明ら：“未成熟材の力学的特性に関する研究(II)”，木材誌，14(5)，261-268(1968)

2. 鈴木正治：“スギのヤング率と細胞膜構造の関係”，木材誌，15(7)，278-284(1969)

3. 塩倉高義：“針葉樹幹材における未成熟材の区分とその範囲”，木材誌，28(2)，85-90(1982)

4. 祖父江信夫ら：“木材の微細構造と力学的性質に関する研究”，木材誌，22(4)，211-216(1976)

5. 中谷浩ら：“林木の冠害に関する樹木力学的研究”，木材学会大会要旨(1987)

6. 林昭三ら：“スギ36品種の組織構造的性質”，木材

研究・資料, 18, 81-92(1983)

7. 深沢和三 : "スギ樹幹内の材質変動に関する研究", 岐阜大農研報, 25, 47-128(1967)
8. 深沢和三ら : "北海道産スギ造林木の材質", 木材学会大会要旨, 76(1986)
9. 三輪雄四郎 : "スギの品種別材質試験(II)", 木材学会大会要旨, 72(1986)
10. 渡辺治人ら : "未成熟材に関する研究(1)", 木材誌, 9(6), 225-230(1963)
11. 渡辺治人ら : "未成熟材に関する研究(2)", 木材誌, 14(5), 125-130(1964)

— 物理・非破壊試験法関連 —

1. ONO, T. et al.: Anisotropy of dynamic Young's modulus and internal friction in wood, Japanese J. Applied Physics, 24(8), 960-964(1985)
2. 上岡宏彰ら : "縦振動共振法による木材の弾性率と内部摩擦結果に及ぼす測定条件の影響", 木材誌, 28(6), 336-345(1982)
3. 角谷和男 : "木材の内部欠陥と超音波速度との関係", 木材研究, 34, 22-36(1965)
4. 祖父江信夫 : "パソコンによる実大木材のヤング率の自動計測", 加工技術大会要旨(1986)
5. 祖父江信夫 : "曲げねじり複合振動による実大木材の曲げヤング率とせん断弾性係数の同時測定", 木材学会大会要旨(1987)
6. 祖父江信夫 : "FFTスペクトルアナライザを用いた木材の過渡的縦振動によるヤング率測定", 木材誌, 32(9), 744-747(1986)
7. 田中俊成 : "各種非破壊検査による強度性能の推定", 木材工業, 43(2), 20-25(1988)
8. 堤寿一ら : "超音波パルス透過法による動的弾性率の測定について", 木材学会大会要旨(1969)
9. 外崎真理雄ら : "縦振動およびたわみ振動によるシトカスプルースの振動特性", 木材誌, 29(9), 547-552(1983)
10. 中村昇 : "応力波によるヤング率測定の可能性", 木材学会大会要旨(1987)
11. 中山義雄 : "断面欠損をもつ木材ビームの振動特性", 木材誌, 20(1), 1-8(1974)
12. 野口昌巳 : 製材とスキヤニング, 木工機械, 131
13. NORIMOTO, M. et al.: "Anisotropy of Dielectric Constant in Coniferous Wood", Holzforschung, 32(1978)
14. 則元京ら : "木材の繊維方向における比動的ヤング率と内部摩擦", 木材研究・資料, 22, 53-65(1986)
15. 松本島ら : "木材の非破壊検査法への超音波パル

ス法の有用性について", 木材学会大会要旨(1969)

16. 松本島ら : "木材中の超音波パルス音速とヤング率について", 木材学会大会要旨(1974)
17. 松本島 : "木材の動的弾性率特にたわみ振動によるヤング率と対数減衰率とに関する研究", 九大農演報, 36(1983)

— 立木・丸太等の強度性能評価 —

1. 小泉章夫ら : "立木の曲げ試験による材質評価(I)", 木材誌, 32(9), 669-676(1986)
2. 小泉章夫ら : "立木の曲げ試験による材質評価(II)", 木材誌, 32(11), 860-867(1986)
3. 小泉章夫ら : "丸太材の曲げおよび振り性能, 北大演研報", 44-1(1987)
4. 小泉章夫ら : "立木の曲げ試験による材質評価(III)", 木材誌, 33(6), 450-456(1986)
5. 小泉章夫 : "生立木の非破壊試験による材質評価に関する研究", 北大演研報, 44-4(1987)
6. 中谷浩ら : "スギ造林木の冠雪荷重による樹幹の変形と耐力", 木材誌, 30(11), 886-893(1984)
7. 継田視明ら : "スギ造林木の強度", 木材誌, 30(7), 530-537(1984)

— 集成材・加工材等 —

1. 海老原徹 : "工場生産されたフィンガー・ジョイントラミナの性能試験", 木材学会大会要旨(1984)
2. 倉田久敬ら : "ストレス・グレーディング・マシーン及び重錘法による製材の等級区分とJAS製材規格の関係について", 木材学会大会要旨(1973)
3. 倉田久敬ら : "マシニングレードットラミナを用いた集成梁の曲げ強さの推定", 木材学会大会要旨(1973)
4. 倉田久敬 : "構造用集成梁の断面設計法に関する研究", 林産試研報, 70(1981)
5. 小松幸平ら : "紙産工場におけるフィンガー・ジョイントラミナの保証荷重試験", 木材工業, 34(11), 25-28(1979)
6. 辻野哲司 : "集成材の曲げ剛性", 木材誌, 26(3), 171-177(1980)
7. 中村昇ら : "確率論に基づいた集成材の信頼性", 木材学会大会要旨(1986)
8. 日本住宅・木材技術センター : "技術開発推進事業報告書性能標準・縦接合", (1985)
9. 藤井毅ら : "集成材の強度等級区分(II)", 木材学会大会要旨(1977)
10. 藤井毅ら : "集成材の強度等級区分(III)", 木材学会大会要旨(1977)

