

有節ラミナの縦引張強度に関する統計論的研究

A STATISTICAL STUDY ON TENSILE STRENGTHS OF LAMINAE WITH KNOTS

井戸田 秀樹*
Hideki IDOTA

The purpose of this study is to discuss the statistical properties of the tensile strength of laminae with knots for glue laminated wood beams. In this paper, the diameter of knots, the longitudinal distance between two knots, and the tensile strength of knotted laminae are treated as random properties of knots. These properties are modeled stochastically based on the measured and experimental data. The stochastic model for knot randomness are employed to evaluate the percentile strength of knotted laminae by the Monte Carlo simulation and numerical calculations using probability distribution functions. According to the numerical results, the relationships between the basic knot diameter - lamina width ratio for the grading and the percentile value of tensile strengths are examined.

1. 序

集成材の耐力は節や目切れ等の材料的な不連続点に起因する破壊によって決定される場合が多い。欠点の中でも特に節部分の破壊は、節穴の断面欠損だけでなく、節近傍の繊維の乱れによる応力集中からも引き起こされる¹⁾。したがって、節径比と強度の関係にはかなりのばらつきが存在するため、このランダム性を統計的に扱った強度評価が不可欠である。節の強度やその存在位置、あるいは出現頻度のランダム性を考慮した木質構造材の耐力評価に関しては、その確率論的評価方法を中心にいくつかの報告がなされている^{2)~7)}。しかし、集成材の欠点自体の強度特性に関しては、実験や解析に基づく幾つかの成果が報告されているものの^{8)~11)}、集成材としての耐力のランダム性の統計的な評価に应用可能な確率モデルを構築するに十分な量のデータが整理されているとはいえない。また、集成材の耐力を統計的に評価するには、節の強度だけでなく、節サイズのランダム性、節の出現頻度のランダム性など、従来ほとんど取り扱われていないような不確定要因も総合的に評価する必要がある。

そこで本研究では、欠点のランダム性を考慮した集成材の統計論的耐力評価の基礎段階として、木質集成材の耐力評価に必要な有節ラミナの縦引張強度に関して統計論的な考察を行うことを目的とする。一般的にはラミナの引張強度は材の曲げヤング係数と相関があると言われているが、節の位置や出現頻度のランダム性を考慮した確率論的な強度のモデル化を行うには、目視などで得

られる節の大きさと強度の関係を統計的に明らかにする必要がある。そのため、本論文ではまず、節の大きさや出現頻度に関わる基本統計量として、節の大きさおよび繊維方向に対する節の出現頻度を実測調査する。また、節部分の強度に関しては有節ラミナの縦引張強度実験を行い、節径比からみた強度の統計的な整理を行う。次に、こうして得られた節のランダム性に関する統計データに基づき、節径比のランダム性を考慮した縦引張強度のモンテカルロシミュレーションを行い、節径比からみた縦引張強度に関する統計量を提示するとともに、ラミナの等級区分に用いる節径比の基準値と引張強度分布の関係についての検討も行う。

なお、節の存在を考慮した木質構造材の曲げ耐力評価にあたっては、節部分のランダム性だけでなく、部材内における節の存在位置や曲げ強度の確率論的モデルを構築する必要があるが、これらに関しては稿を改めて述べる。

2. 節のランダム性に関わる基本統計量

節のランダム性に関わる基本統計量として、本論文では節径、節間隔および節部分の引張強度の3項目を対象とする。

2.1 節径

調査対象とした樹種は北米材のベイマツであり、曲げ性能試験によるヤング率が90~150t/cm²のものから無作為に抽出した幅が90mm~236mm、板厚が35mm~38mmの構造用集成材のラミナである。

節径比算出に用いる節径は、材長と直角方向の径 d に加え、材長

本論文の一部は文献1)~3)に発表しており、新たな実験結果を加えて加筆したものである。

* 愛知産業大学造形学部建築学科 助教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Design and Architecture, Aichi Sangyo Univ., Dr. Eng.

方向の節径 d_c 、長径 d_L 、短径 d_s も合わせて測定した (Fig. 1 参照)。各節径の統計量を Table 1 に、 d のヒストグラムを Fig. 2 に示す。確率分布形状は右裾の伸びた非対称形で、対数正規分布、ガンマ分布、極値 I 型分布および指数分布の 4 分布形を対象とした K-S 検定の結果、対数正規分布およびガンマ分布が高い適合度を示した。

2.2 節間隔

切り出したラミナにおける節の材長方向への分布を考えると、節はどの位置でもランダムに存在可能である。また、ある任意の区間での節の存在は、それと重複しない他の任意の区間に対して独立と考えられる。このことから、ラミナの材長方向における節の存在は、ポアソン確率過程に従う事象と仮定できる。すなわち、ラミナの材長方向に沿ったある区間 a における節の存在個数を K_i とすると、 K_i が x 個である確率 $P(K_i=x)$ は

$$P(K_i=x) = \frac{(va)^x}{x!} e^{-v} \quad (1)$$

と表わされる。ここに v は単位長さあたりの節の平均発生数である。節の存在が(1)式のポアソン確率過程で表されるとき、節と節の間隔 Λ は指数分布に従う確率変数となる。 Λ はポアソン確率過程における初期生起間隔であり、 Λ の確率分布関数 $F_\Lambda(d)$ 、および確率密度関数 $f_\Lambda(d)$ は

$$F_\Lambda(l) = P(\Lambda < l) = 1 - e^{-vl} \quad (2)$$

$$f_\Lambda(l) = ve^{-vl} \quad (3)$$

となる。このとき Λ の平均値 μ_Λ は $\mu_\Lambda = 1/v$ である。

この確率モデル検証のため節径を調査したものと同ジラミナを対象に、節と節の材長方向の間隔 Λ について実測を行った。ラミナの面上において節は 2 次元的に分布しているため、材長に沿った方向の節間隔 Λ はラミナの幅 D によって整理される。Table 2 は各ラミナ幅における節間隔 Λ の統計結果を示したもので、Fig. 3 は $D=90 \sim 110\text{mm}$ 、および $D=236\text{mm}$ のラミナにおける Λ のヒストグラムを示したものである。 Λ の確率分布形は d と同様右に裾の伸びた形状であり、K-S 検定の結果、 $D=90 \sim 110\text{mm}$ では指数分布が、 D が 184mm 以上のところでは指数分布およびガンマ分布が高い適合度を示した。また、変動係数 δ_Λ はどの D でもほぼ一定値となった。これより、材長方向の節の出現はポアソン確率過程でモデル化可能である。なお、 D に影響を受ける平均値 μ_Λ に関しては μ_Λ と D が反比例すると仮定し帰帰した次式

$$\mu_\Lambda = \frac{2.98 \times 10^4}{D - 29.9} \quad (4)$$

でモデル化する。Fig. 4 は上式と実測データとの関係を示したもので、良い対応を示している。

2.3 有節ラミナの縦引張強度

大断面集成材梁の曲げ耐力は、梁のせい・スパン比があまり大きくない場合には引張側最外層のラミナの引張破壊によって決定される。したがって、最外層ラミナに存在する節等の欠点が集材材梁の耐力に大きな影響を与えるといえる。こうした点を考慮し、ここでは節を有するラミナの縦引張強度実験を行い、曲げ耐力評価のための基礎的な統計データを提供する。

木質材料の引張試験を行う場合、試験片部分の引張応力度が断面内で均一になるようにする必要がある。そこで本実験では、節

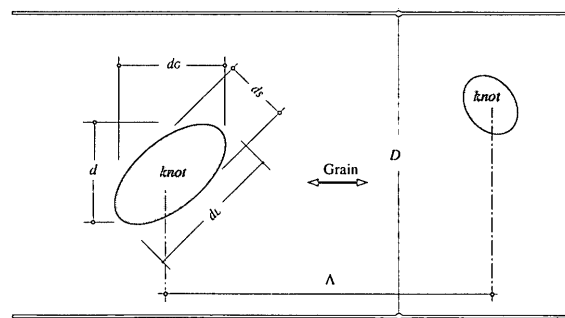


Fig. 1 Dimensions of knot

Table 1 Statistical properties of d

Range of d/D	The number of Data N	Mean μ_d (mm)	Standard deviation σ_d (mm)	Coefficient of variation δ_d	Fitted Probability Distribution
d	1304	16.81	12.73	0.757	Lognormal & Gamma
d_c		16.70	14.57	0.873	Lognormal
d_L		18.21	16.34	0.897	Lognormal
d_s		15.02	10.35	0.689	Lognormal & Gamma

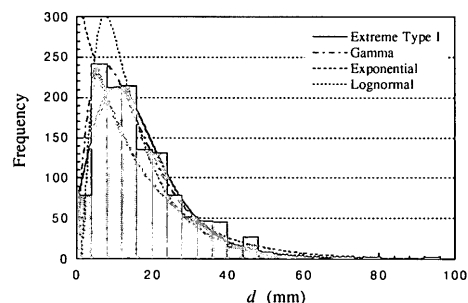
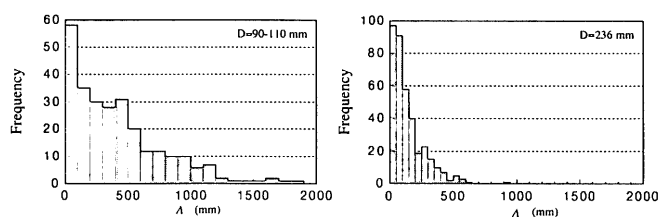


Fig. 2 Histogram of d

Table 2 Statistical properties of Λ

Width of Laminæ D (mm)	Mean of D μ_D (mm)	Number of Data N	Mean μ_Λ (mm)	Standard Deviation σ_Λ (mm)	Coefficient of Variation δ_Λ	Fitted Probability Distribution
90-110	101	269	425.2	383.2	0.901	Exp.
184	184	335	197.5	183.5	0.929	Exp. & Gamma
236	236	372	140.3	129.2	0.921	Exp. & Gamma



(a) $D=90-110\text{mm}$

(b) $D=236\text{ mm}$

Fig. 3 Histograms of Λ

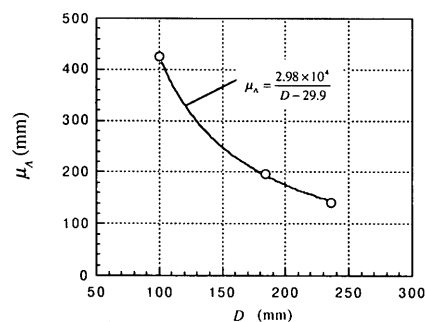


Fig. 4 D vs. μ_Λ relations

径および節間隔の調査を行ったラミナから、試験片部分の板厚が掴み部分よりも薄くなるように製材した引張試験体98体を用意した。試験体には極端な目切れが無いものを選定している。試験体形状および寸法を Fig. 5 に、試験体の節径比の範囲と試験体数を Table 3 に示す。

試験体の比重および含水率は、引張試験終了直後に各試験体から直方体の試験片を節や割れを含まないように切り出して測定した。含水率については、試験片を 100～105℃に調節した電気乾燥機によって恒量に達するまで乾燥させ、乾燥前後の重量から算出した。全引張試験体を対象にした測定では、含水率が平均 11.3%、変動係数 12.0%、比重については平均 0.53、変動係数 12% である。また、平均年輪幅は 3.3mm、変動係数は 35% であった。節は試験体並行部分のほぼ中央に存在するように製材し、試験体の節に関しては、節材の繊維と周辺材の繊維との連絡がない死節と、節材の繊維と周辺材の繊維が力学的に連続している生節の両方が含まれるように試験体を選択した。死節と生節の試験体数はそれぞれ 38 体と 45 体である。また、同一のラミナから節のない試験体も 15 体用意した。節径比算出に用いる節径は、材長と直角方向の径 d に加え、材長方向の節径 d_G 、長径 d_L 、短径 d_s も合わせて測定した (Fig. 2 参照)。載荷は、万能試験機で試験体を直接掴んで引張ることにより行った。

実験で得られたラミナの最大引張応力度 σ_T と 4 種類の節径の関係について最小自乗法によって回帰を行った結果を Table 4 に示す。回帰は線形関数と指数関数について行った。表中 r は回帰式に各節の d/D を代入して求められる引張強度 $\sigma_{T,reg}$ と実験による σ_T との相関係数を表す。また、ラミナ幅方向の節径から算出した節径比 d/D と引張強度 σ_T の相関図を Fig. 6 に示す。図中○は生節、●は死節を表し、死節のみを対象とした回帰曲線も併せて図中に示した。 σ_T にはかなりのばらつきがみられるが、 d/D が大きくなるほど σ_T は急激に低下する傾向が見られた。節径の測定方法の違いと回帰式の精度を表す r との関係においては、特に節径測定方法ごとの有為な差は認められなかった。また、回帰式に見る生節と死節の有意な差も認められず、引張強度においては節部分の破壊は節内部への応力伝達状態よりも節周辺の繊維の乱れの影響が大きいと考えられる。回帰式の関数型に関しては、相関係数 r が全体的に線形関数よりも指数関数の方で高いこと、 $d/D=0$ における無欠点ラミナのデータとの整合性等を考慮すると、指数関数でモデル化の方が妥当と言える。

Table 5 は、節径比 d/D を各データ数がほぼ等しくなるように 5 つの区間に分け、それぞれの区間内で引張強度 σ_T の統計値を示したものである。また、Fig. 7 はそれらの統計値を実験値と併せてプロットしたものである。平均値は指数関数による回帰式と非常に良い対応を示した。また、ばらつきに関しては、 d/D が 0～0.210 の範囲で最も標準偏差が大きくなったが、変動係数に換算すると d/D の増加に伴ってほぼ単調に増加する傾向がみられた。試験体数の関係から、各区間内での分布形状を考察するほど十分なデータは得られていないが、今後さらに実験データが充実されれば、 d/D の変化に伴う σ_T のばらつきや分布形状の変化について定量化を行っていく必要がある。

なお、本実験では試験片部分のラミナ幅が比較的薄く、節がラ

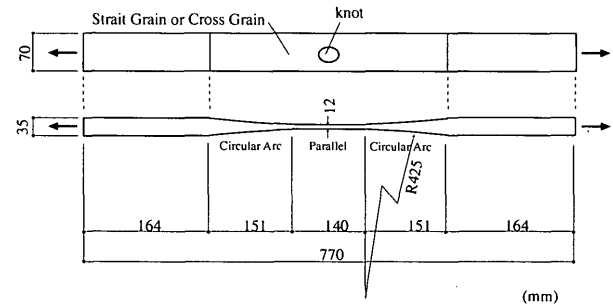


Fig. 5 Dimensions of test specimens

Table 3 Test specimens

Range of d/D	Mean of d/D	The Number of Data	Frequency (%)
0.0	0.0	15	15.31
0.0-0.2	0.174	11	11.22
0.2-0.4	0.290	44	44.90
0.4-0.6	0.510	19	19.39
0.6-0.8	0.628	6	6.12
0.8-1.0	0.883	3	3.06

Table 4 Regression formulae and correlation coefficients

Parameter of Knot	$\sigma_{T,reg} = \alpha \cdot e^{-\beta(d/D)} \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			$\sigma_{T,reg} = -\alpha \cdot (d/D) + \beta \text{ (kN/cm}^2\text{)}$		
	α	β	r	α	β	r
d	9.86	3.31	0.896	12.28	8.41	0.835
d_G	9.16	2.83	0.902	9.93	7.94	0.810
d_L	9.43	2.74	0.909	2.74	8.10	0.821
d_s	9.14	3.29	0.878	11.96	8.05	0.807

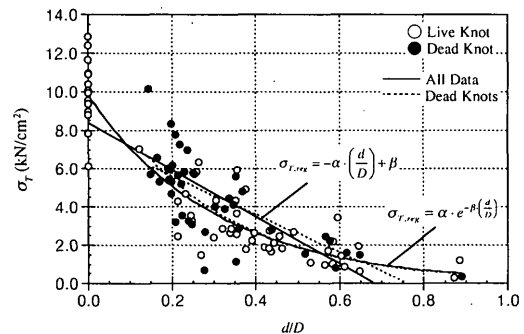


Fig. 6 d/D vs. σ_T relations

Table 5 Statistical properties of σ_T

Range of d/D	The number of Specimens	Mean of d/D	Mean of σ_T (kN/cm ²)	Mean of $\sigma_{T,reg}$ (kN/cm ²)	Standard deviation of σ_T (kN/cm ²)	Coefficient of variation of σ_T
0.000	15	0.000	9.80	9.86	1.66	0.169
0.000-0.210	23	0.174	6.01	5.54	2.14	0.357
0.210-0.326	23	0.267	4.13	4.08	1.73	0.418
0.326-0.521	23	0.393	3.00	2.68	1.19	0.398
0.521-0.881	20	0.629	1.50	1.23	0.81	0.540

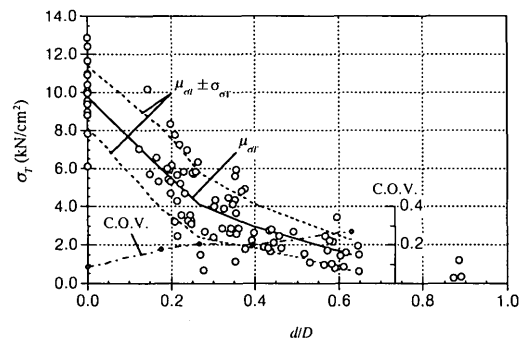


Fig. 7 Histograms of σ_T

ミナの幅方向に対してはほぼ中央に存在する場合を対象に試験体を作成したが、有節材の引張強度については板厚や節の材縁からの距離との関係についても報告がなされており⁹⁾¹¹⁾、これらの関係が統計的に明らかにされればその影響も含めた確率論的な強度評価が必要である。

3. 節径比と節強度のランダム性を考慮した有節ラミナの引張強度

前章では節径比と縦引張強度の関係についてその統計的な諸量を明らかにしたが、節は当然その節径の出現頻度についてもランダム性を有する。そこで、本章では、前章までで得られた節強度の統計量と、節径比の出現頻度のランダム性の両方を考慮した節部分の耐力を解析的に求め、その統計的な性質について考察を行う。

3.1 節のランダム性を考慮したモンテカルロシミュレーション

Table 4で示した指数関数による回帰式 $\sigma_{T,reg}$ 回りの実験結果 σ_T のばらつきを考察するため、 σ_T を $\sigma_{T,reg}$ で無次元化した値 $\sigma_0 (= \sigma_T / \sigma_{T,reg})$ のヒストグラムをFig. 8に示す。ここではラミナの幅方向の節径 d を用いた節径比に対する回帰式を用いて統計処理を行っている。 σ_0 の平均値は0.927、標準偏差は0.328であり、K-S検定の結果ガンマ分布が高い適合度を有した。

有節ラミナの引張強度は、節径比のランダム性と、節径比と強度の関係のランダム性の両方を考慮して評価される必要がある。いま、1つの節を有するラミナの引張強度を σ_{T1} とすると、 σ_{T1} は節径を表す確率変数 d 、回帰式からのばらつきを表す確率変数 σ_0 、そしてTable 4に示した指数関数による回帰結果を用いて次式のように表すことができる。

$$\sigma_{T1} = 9.86 \cdot e^{-3.31 \cdot d/D} \cdot \sigma_0 \quad (5)$$

そこで、この d と σ_0 の2つのランダム性を考慮した引張強度の統計的性質を、モンテカルロシミュレーションを用いて検討する。シミュレーションでは、Fig. 2で示した統計量を有する対数正規分布に従う節径の乱数データ d (d_1, d_2, \dots, d_n) ($n=10,000$)、およびFig. 8で示した統計量を有するガンマ分布に従う引張強度の乱数データ σ_0 ($\sigma_{01}, \sigma_{02}, \dots, \sigma_{0n}$) ($n=10,000$)を生成し、各データを(6)式に代入することで引張強度のランダムデータ σ_{T1} を生成した。こうして得られた σ_{T1} について $D=90\text{mm}$ と $D=150\text{mm}$ の場合のヒストグラムを示したのがFig. 9である。 D が大きくなると相対的に節径比が小さくなるため、 σ_{T1} の分布形状は $D=150\text{mm}$ の方が右にシフトした形となる。Fig. 10は σ_{T1} の平均値 μ_{T1} と変動係数 δ_{T1} を D で整理して示したものである。確率分布形からも考察できたように平均値 μ_{T1} は D が増加するに従って大きくなるが、変動係数 δ_{T1} は

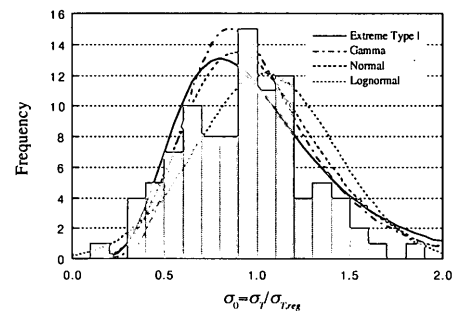


Fig. 8 Histogram of σ_0

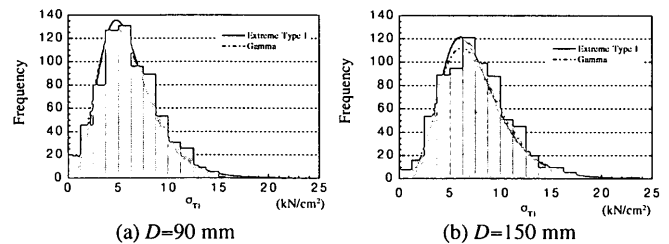


Fig. 9 Histograms of σ_{T1}

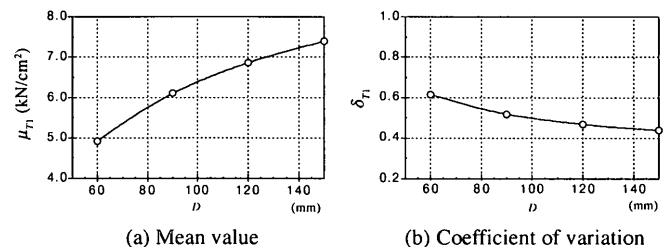


Fig. 10 Mean value and coefficient of variation of σ_{T1}

やや減少する傾向が見られた。なお、 σ_{T1} についてはK-S検定の結果、 D に関わらずガンマ分布および極値I型分布との適合が確認できた。

3.2 節の出現頻度を考慮した引張強度

前節では1ヶ所の節を対象とした引張強度について検討を行ったが、ある長さを持ったラミナ上には当然複数の節が存在する可能性がある。いま、材長方向に引張を受けるラミナの長さを L とすると、長さ L の間に i 個の節が存在する確率 $P(L, i)$ は、

$$P(L, i) = \frac{(\nu L)^i}{i!} e^{-\nu L} \quad (6)$$

となる。ここに ν は単位長さ当たりの節の平均存在数であり、ベイマツの場合2章の結果より、

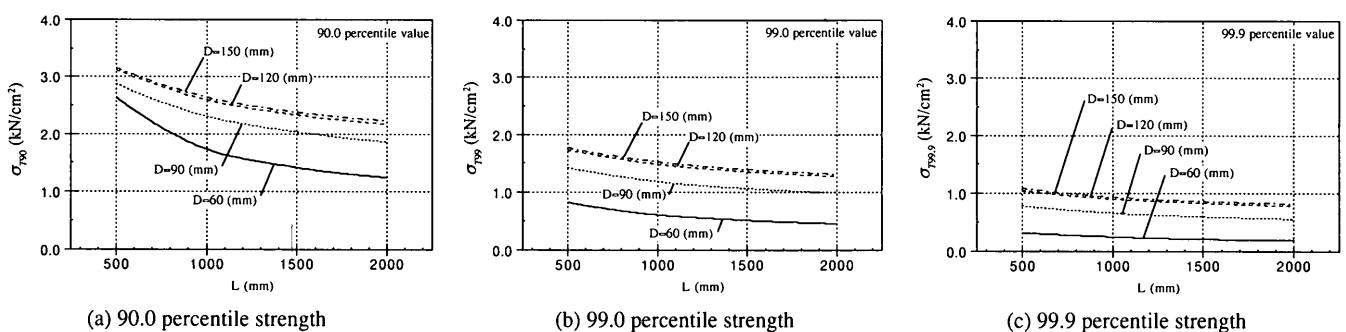


Fig. 11 Percentile value of σ_{Tn}

$$\nu = \frac{1}{\mu_A} = \frac{D - 29.9}{2.98 \times 10^4} \quad (7)$$

となる。ラミナの引張強度は複数の節のうち耐力が最小のもので決定されると仮定すると、 i 個の節の存在を考慮した引張耐力の確率分布関数 F_{Ti} は次式となる。

$$F_{Ti}(x) = 1 - \{1 - F_{T1}(x)\}^i \quad (8)$$

ここに、 F_{T1} は1つの節の存在を仮定した場合の引張強度 σ_{T1} の確率分布関数であり、前節の結果に基づけば F_{T1} はラミナ幅 D に対応して Fig. 10 に示す平均値と標準偏差を持つガンマ分布でモデル化できる。(6)~(8)式を用い、節が存在しない場合や複数の節が存在する場合も考慮した引張強度の確率分布関数 F_{Tn} は次式のように求められる。

$$F_{Tn}(x) = F_{T0}(x) \cdot P(L, 0) + \sum_{i=1}^{\infty} F_{Ti}(x) \cdot P(L, i) \quad (9)$$

ここに F_{T0} は無節ラミナの引張強度の確率分布関数であり、ここでは Table 5 で示した実験結果に基づき、平均値 9.80、変動係数 0.169 のガンマ分布でモデル化する。

Fig. 11 は(9)式から得られる確率分布関数を用い、非超過確率が 90%、99% および 99.9% となるような引張強度の下限値 σ_{T90} 、 σ_{T99} および $\sigma_{T99.9}$ を引張材の材長 L で整理して示したものである。まず材長 L の変化に対する影響を見ると、いずれの非超過確率に対しても L が大きくなるほど下限値が小さくなっている。これは長い材ほど引張応力を受ける区間内に存在する節の数が増加するためである。この影響は非超過確率の小さいときほど、また、ラミナ幅が小さいものほど顕著になっている。次にラミナ幅の影響を考察すると、幅の小さいラミナほど引張強度の下限値は小さくなっているが、 D が 120mm 以上では下限値の差はほとんどなくなっている。これは、同一径の節が存在した場合には幅の小さいラミナほど相対的に節径比が大きくなることから節部分の強度も大きく低下し、かつこの低下の影響はラミナ幅が大きくなることによる存在節数の増加の影響よりも敏感であるためと考えられる。

4. 節径比によるラミナのグレーディングと引張強度評価

集成材の強度低下に大きく影響をおよぼすような節は、ラミナを製材する段階でグレーディングし取り除くことが可能である。本章では、前章の結果に基づき節径比によってグレーディングを行った場合のラミナの引張強度のシミュレーションを行い、グレーディングに用いる基準節径比と引張強度の下限値の関係について考察を行う。

シミュレーションの手法は基本的に 3 章 3.1 節で述べた方法に従う。節径比によるグレーディングは、発生させた節径の乱数データから基準となる節径比以上の大きさの節のデータを取り除くことで考慮する。具体的には、Fig. 2 で示した統計量を有する対数正規分布に従う節径の乱数データ配列 $d(d_1, d_2, \dots, d_n)$ ($n > 10,000$) から節径比 d/D が基準節径比 $(d/D)_{\text{grd}}$ 以上のものを取り除いたデータ配列 $d_g(d_{g1}, d_{g2}, \dots, d_{gn})$ ($n = 10,000$) を生成し、これを(5)式に代入することで節部分の引張強度 σ_{Ti} に関する統計データを得る。Fig. 12 はこうして得られた σ_{Ti} の平均値 μ_{Ti} と変動係数 δ_{Ti} をグレーディングに用いた基準節径比 $(d/D)_{\text{grd}}$ との関係で示したものである。いずれのラミナ幅においても $(d/D)_{\text{grd}}$ を厳しくするほど、すなわち

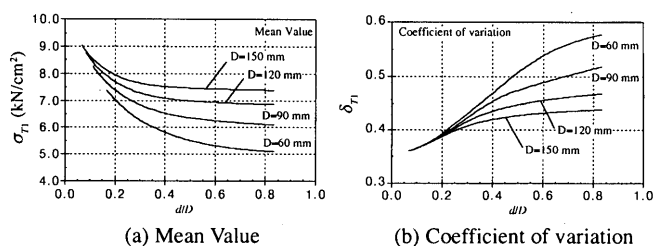
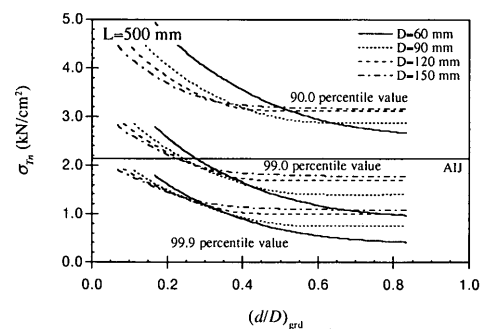
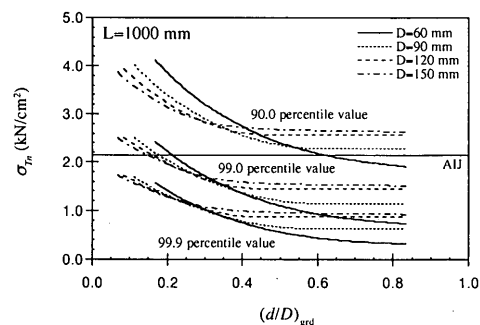


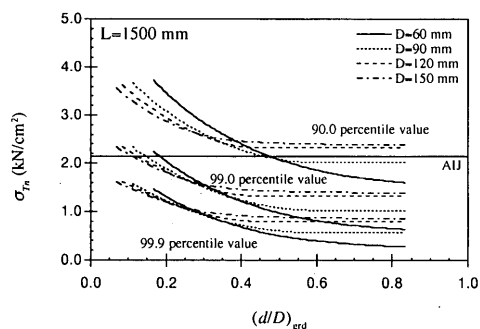
Fig. 12 Mean and coefficient of variation in changing of d_{grd}



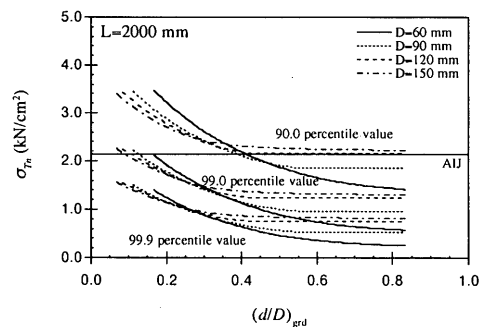
(a) $L=500$ (mm)



(b) $L=1000$ (mm)



(c) $L=1500$ (mm)



(d) $L=2000$ (mm)

Fig. 13 Percentile value of σ_{Tn} vs. $(d/D)_{\text{grd}}$

$(d/D)_{\text{grd}}$ を小さく設定するほど平均値は上昇し、変動係数は小さくなっている。また、ラミナ幅ごとの差も $(d/D)_{\text{grd}}$ が小さくなるほど減少し、 $(d/D)_{\text{grd}}$ が 2.0 以下では変動係数の差はほとんどなくなっている。

以上のようにして得られた節部分の引張強度の統計値を用い、ここでは引張材の耐力に関して考察を行う。節の引張強度の確率分布関数 F_{Tn} に関しては前章同様(8)(9)式に基づいて算定するが、(8)式の F_{Tn} は Fig. 12 で示した平均値と変動係数を有するガンマ分布でモデル化する。Fig. 13 はこうして得られた F_{Tn} に基づき、90%、99%、99.9% の各非超過確率に対応する引張強度の下限値 σ_{T90} 、 σ_{T99} 、 $\sigma_{T99.9}$ と $(d/D)_{\text{grd}}$ との関係を材長ごとに示したものである。 $(d/D)_{\text{grd}}$ が比較的大きいときは、等しい非超過確率に対する下限値はラミナ幅 D が広いほど大きくなっているが、 $(d/D)_{\text{grd}}$ を小さくするに従ってその差は小さくなり、 $(d/D)_{\text{grd}}=0.3 \sim 0.6$ の範囲で大小関係が逆になっている。すなわち、 D の小さい引張材では節径比によるグレーディングを行うことによって引張強度の下限値を大きく増加させることができるのに対し、 D が大きくなるほどグレーディングによる下限値の上昇割合が小さくなる傾向がある。また、 D が大きくなると d/D が 0.5 を越えるような大きさの節の出現頻度は非常に小さくなるため、 $(d/D)_{\text{grd}}$ が大きな領域ではグレーディングの効果がほとんどなくなっている。なお、図中には、木質構造設計規準¹²⁾で与えられているべいまつ（特級）の構造用集成材の繊維方向の短期引張許容応力度レベルも併記している。設計耐力に関しては設計法全体の中で議論していく必要があるが、99.0% の非超過確率を期待する下限値を現行の許容応力度レベルに対応させるためには、 $L=1000\text{mm}$ のとき $(d/D)_{\text{grd}}=0.15 \sim 0.2$ 程度、 $L=2000\text{mm}$ のときには $(d/D)_{\text{grd}}=0.1 \sim 0.15$ 程度とかなり厳しい基準節径比の設定が必要である。

なお、ここでの考察は、前述した通り節がラミナの表面かつ中央に存在するよう製材し、板厚を実大材より比較的薄くした試験体を対象とした実験データに基づいている。したがって、今後これらの要因と引張強度との統計的な関係を含めて評価を展開していくとともに、樹種ごとのデータの蓄積を行い、本論文で述べたような有節ラミナの引張強度の系統的な整理を進めていく必要がある。

5. 結

節径、材長方向の節間隔、および節強度の統計的な性質を調査

および実験によって定量化し、その確率論的なモデルを提示した。また、それらのデータに基づいて統計的な有節ラミナの引張強度を示すとともに、ラミナ幅、引張長さが引張強度の下限値に与える影響、および節径比によるグレーディングが引張強度の下限値に与える影響を定量的に考察した。これらの結果から、ラミナの引張強度は節の持つランダム性が与える統計的な影響とグレーディングによる品質管理と併せて考慮することによって、より合理的に評価することが可能である。

謝 辞

本研究の一部は平成 8 年度文部省科学研究費補助金奨励研究（A）によった。また、引張強度実験に関しては愛知産業大学卒論生山本理恵子氏に御協力いただいた。付して感謝いたします。

<参考文献>

- 1) 井戸田秀樹、塩沢和訓：有節ラミナの縦引張強度に関する統計論的評価、日本建築学会東海支部研究報告集、第34号、pp.301-304、1996年2月
- 2) 塩沢和訓、井戸田秀樹：有節ラミナの縦引張強度に関する統計論的考察その1 縦引張強度実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造III、pp.9-10、1996年9月
- 3) 田中 学、井戸田秀樹、塩沢和訓：有節ラミナの縦引張強度に関する統計論的考察 その2 節のランダム性を考慮した引張強度評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造III、pp.11-12、1996年9月
- 4) 角谷 和男：木材強度のばらつき、材料、第12巻121号、pp.42-45、1963年10月
- 5) 小野徹郎、井戸田秀樹、陳 建宏：集成材の曲げ耐力に関する確率論的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造II、pp.7-8、1991年9月
- 6) 井戸田秀樹、小野徹郎：欠点の位置・強度のランダム性を考慮した木質集成材の曲げ耐力、日本建築学会東海支部研究報告集、pp.229-232、1992年2月
- 7) Czmoch, I., "Lengthwise Variability of Bending Strength of Timber Beams", *Structural Safety and Reliability*, Proc. of ICOSAR, 93, Vol. 1, pp.569-576, 1993
- 8) 中井 孝：構造用製材の実大縦引張強度、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和59年10月
- 9) 畑山謙男：有節材の強度推定に関する研究、林業試験場研究報告第326号、1984年
- 10) 二宮佐知子、板垣直行、三橋博三、野村希晶：集成材ラミナの引張破壊に及ぼす節の影響評価のための実験的研究(II) 引張破壊に及ぼす節の影響に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造III、pp.7-8、1996年9月
- 11) 二宮佐知子、板垣直行、三橋博三：集成材ラミナの引張破壊における欠点の影響に関する研究(2) 節における破壊のモデルと強度の評価式、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造III、pp.9-10、1997年9月
- 12) 日本建築学会：「木質構造設計規準・同解説」、1995年1月

(1997年10月8日原稿受理、1998年2月12日採用決定)