氏名	こせき まこと 小関 真琴
授与学位	博士 (生物資源科学)
学位授与年月日	平成27年3月20日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科専攻	秋田県立大学大学院生物資源科学研究科
	博士後期課程 生物機能科学専攻
学位論文題目	非線形最小二乗法を用いた単板積層材エレメントの
	強度分布推定手法の開発と有効性の検証
指導教員	教授 中村 昇
論 文 審 査 委 員	主查 教授 中村 昇
	副查 教授 林 知行 准教授 山内 秀文
	特別 准教授 板垣 直行

論 文 内 容 要 旨

<研究の背景と目的>

構造用単板積層材(以降、LVL という)は、お互いの繊維方向が平行になるよ う積層接着された木質材料で、日本で使われる LVL は建築用が最も多いが「単 板積層材の日本農林規格」(以降、単板積層材 JAS という)に規定されるものし か使用は認められていない。また、単板積層材 JAS では、単板の縦継ぎの基準 に従わない場合に曲げ性能の確認をシミュレーション計算で行うことが認めら れているが、この方法による JAS 認定を取得した工場はこれまで国内に存在し ない。一方、「集成材の日本農林規格」(以降、集成材 JAS という)では、ラミナ の構成の基準に従わない場合にシミュレーション計算を用いて強度等級の確認 を行うことが認められており、複数の国内工場がシミュレーション計算による JAS 認定を取得している。このような相違が生じた理由としては、集成材の場合 はエレメントとしてはラミナが考えられ、ラミナの強度を用いた集成材強度のシ ミュレーションが可能であるのに対し、LVL の場合はエレメントの特定が困難 であることから、シミュレーションによる強度分布推定の研究が皆無であったこ とによると考えられる。集成材では上記のシミュレーションを用いて強度基準に 対し適切な強度設計が可能であるのに対し、LVL ではこのような強度設計がで きないことから、過剰品質による生産効率性の低さといった弊害も指摘されてい る。そこで、本研究は集成材と同様に LVL の強度設計を行うことを最終的な目 的に、LVLのエレメントの強度分布の推定手法の開発と有効性の検討を行った。 <LVL の強度実験>

まず、8ply~17ply と 1 層ずつ積層数を変化させた材料構成が単一な LVL 大板 を製造し、縦使い方向(積層方向と垂直な荷重方向)の曲げ試験用、平使い方向(積 層方向と平行な荷重方向)の曲げ試験用及び引張試験用の試験体を積層数毎に 14 体~42 体、24 体~26 体及び 13 体~24 体採取し作成した。更に、圧縮試験用 の試験体は、曲げ試験及び引張試験の残体の破壊していない部分から、積層数毎 に 39 片~76 体を採取し作成した。ただし、LVL 大板は、厚さが 3.45 mm、ダフ リカカラマツ(Larix gmelinii)の単板を全層で使用し、単板はこれを用いた LVL が単板積層材 JAS に規定するヤング係数区分の 140E に該当するようグレーディ ングを施した。また、各単板の積層接着に使用した接着剤はフェノール系樹脂接 着剤で、同一の横断面における単板の長さ方向の接着部の間隔は単板積層材 JAS の特級に従った。LVL 試験体に対する縦使い方向及び平使い方向の曲げ試験は 単板積層材 JAS に従い実施し、縦使い方向の曲げヤング係数 (MOEv)と曲げ強度 (MORv)及び平使い方向の曲げヤング係数 (MOEh)と曲げ強度 (MORh)をそれぞ れ測定した。更に、LVL 試験体に対する引張試験及び圧縮試験を「構造用木材 の強度試験法((財)日本住宅・木材技術センター(2000), pp.10-13, pp.35-40.)」に従 い実施し、それぞれ引張強度 (TS)及び圧縮強度 (CS)を測定した。実験結果の例 として、MOEh の積層数別の結果を(図1)に、TS の積層数別の結果を(図2)に 示す。

<非線形最小二乗法による LVL エレメント強度分布の推定>

エレメントのヤング係数及び強度に関する記号は、E:ヤング係数、F:強度、Ev: 縦使い方向の曲げヤング係数、Eh:平使い方向の曲げヤング係数、Fv:縦使い方向 の曲げ強度、Fh:平使い方向の曲げ強度、Ft:引張強度、Fc:圧縮強度、R*.**:*と** の相関係数、*avg:*の平均値、*std:*の標準偏差、とする。更に、n:LVLの積層数、 s:積層数 n における s 番目のデータ、l.n:積層数 n における実験値のデータ数とす る。LVL のエレメントを接着層付きの単板と仮定し、LVL の強度実験値を用いて 非線形最小二乗法(以降、NLM という)により、エレメントのヤング係数及び強 度の各分布を推定した。その内、Ev の推定方法を次に示す。まず、MOEv の実 験値を MOEv.test_{n.s}、これに対応する計算値を MOEv.calc_{n.s} と表す。ただし、 MOEv.calc_{n.s}は、各エレメントの Ev の平均値から求められるものである。ここ で、Evの分布を正規分布と仮定すると、分布のパラメータは2次元ベクトル (E_{avg}, E_{std}) で表される。そこで、NLM により (E_{avg}, E_{std}) を推定するアルゴリズムは 次のとおりとなる(他の分布を仮定する場合も同様)。① (E_{ave}, E_{std})の初期値とし て、適当な値(P₁,P₂) (0<P₂<P₁)を与える。② 0以上1未満の一様乱数を発生させ、 平均 P1、標準偏差 P2の正規乱数を作る。この操作は n 回繰り返す。③ n 個の正 規乱数を推定式に代入して E.calc_{ns}を計算し、使用した一様乱数を⑥まで固定す る。④ 積層数毎に(n を 8 から 17 まで変化させて)、②~③をそれぞれ l.n 回繰 り返す。 ⑤ 次式の残差二乗和 Se が最小になるよう(P1,P2)を動かし、収束値を (E_{avg}, E_{std}) とする。 $Se = \sum_{n=8}^{17} \sum_{s=1}^{lm} (MOEv. test_{ns} - MOEv. calc_{ns})^2$ ⑥ 収束値が正 規方程式の解として収束したか確認する。⑦ ②~⑥を 2000 回繰り返し、Se が 最小となる(Eave, Estd)を推定値とする。なお、Ehを推定する場合は、以上の MOEv を MOEh と読み換え、MOEh の計算値 MOEh.calc_{ns}は、各エレメントの曲げ剛性 の総和を LVL の断面二次モーメントで除した推定式から求められる。また、Fv、 Ft 及び Fc の推定は、次のとおりとなる。MORv、TS 及び CS の実験値を ST.test_{ns}、 これに対応する計算値を ST.calc_{ns}と表す。ただし、ST.calc_{ns}は、LVL の破壊は F/Eがn層の中で最小となるエレメントの破壊時と仮定したクライテリアによる 推定式を用いる。この場合、エレメントの強度分布は 5 次元ベクトル $(E_{avg}, E_{std}, F_{avg}, F_{std}, R_{E-F})$ で表され、その内の $(F_{avg}, F_{std}, R_{E-F})$ を推定するアルゴリズム は、 (E_{avg}, E_{std}) をプールした上で次のとおりとなる。① $(F_{avg}, F_{std}, R_{E-F})$ の初期値と して、適当な値(P₃,P₄,P₅) (0<P₄<P₃,0<P₅<1)を与える。② お互いが独立な一様乱 数を2個発生させ、その内の1個を用いて平均 Eavg、標準偏差 Estd の正規乱数を 作り、これら2個の一様乱数を用いて平均 P3、標準偏差,P4、相関係数 P5の有相 関正規乱数を作る。この操作は n 回繰り返す。③ n 組の正規乱数と有相関正規 乱数を推定式に代入して ST.calc_{ns}を計算し、使用した一様乱数をまで固定する。 ④ 積層数毎に(n を 8 から 17 まで変化させて)、②~③を l.n 回繰り返す。⑤次 式の残差二乗和 Sf が最小になるよう(P3,P4,P5)を動かし、収束値を(Favg,Fstd,RE-F) とする。 $Sf = \sum_{n=1}^{17} \sum_{n=1}^{ln} (ST.test_{n,n} - ST.calc_{n,n})^2$ ⑥ 収束値が正規方程式の解と して収束したか確認する。⑦ ②~⑥を 2 万回繰り返し、Sf が最小となる (Fave, Fstd, RE-F)を推定値とする。平使い方向の曲げの場合、LVLの破壊クライテリ

アとして引張側最外層における(1)最外縁応力破壊、(2)最外層応力破壊、(3)複合 一次形式による破壊の3条件が考えられる。この内、(1)及び(2)を仮定する場合、 エレメントの強度分布は 5 次元ベクトル(Ehave, Ehstd, Ftave, Ftstd, REh-Ft)で表される が、(Ehavg, Ehstd)はプールできるので、3次元ベクトル(Ftavg, Ftstd, R_{Eh-Ft})の推定値を 上記と同様のアルゴリズムで求める。また、(3)を仮定した場合、エレメントの 強度分布は 9 次元ベクトル(Ehavg, Ehstd, Fhavg, Fhstd, Ftavg, Ftstd, REh-Fh, REh-Ft, RFh-Ft)で表 されるが、(Ehave, Ehstd,)は Ehの推定値で、(Ftave, Ftstd, REh-Ft)は TSの実験値による 推定値でプールすると、残りの(Fhavg,Fhstd,R_{Eh-Fh},R_{Fh-Ft})の推定値は、お互いが独立 な一様乱数を3個発生させた上で、上述と同様のアルゴリズムで求められる。以 上によるエレメントの各強度分布の推定値は、偏微分係数がそれぞれ0に極めて 近い数値となったことから、正規方程式の解として収束していると見なすことが できた。更に、エレメントのヤング係数及び強度の推定値は、それを用いて LVL 強度のシミュレーションを行い、LVL 強度の実験値による危険率 5%(両側検定) の K-S 検定により適合性を評価した。その結果、Ev、Eh、Fv、LVL の引張試験 による Ft、Fc、LVL の平使い方向の曲げ試験による Ft (MORh の破壊クライテリ アとして(1)及び(2)を仮定)及び Fh(MORh の破壊クライテリアとして(3)を仮定) の何れも分布も、正規分布、対数正規分布、2Pワイブル分布の中から適合する 単独もしくは複数の統計分布を推定することができた。エレメント強度分布の推 定例として、(表1)に LVL の引張試験による Ft の推定値とK-S 検定による適合 性の確認結果を示す。

<LVL から切り出した 1ply 及び 2ply と 3ply に対する強度実験>

前項のエレメントの強度分布の推定値は、何れも LVL の破壊クライテリアを 仮定して求められたものであり、NLM の有効性については推定した強度分布と 実際のエレメントの強度分布と比較を行うことにより検討しなければならない。 そこで、LVL の強度試験片の残部からエレメントと仮定した接着層有の 1ply を 切り出して試験体として同様の強度試験を行った。また、集成材では積層効果が 認められていることから、LVL についても同様の積層効果が存在するか確認す るために、接着層付きの 2ply と 3ply(以降、2·3ply と表す)も切り出して試験体 とし同様の強度試験を行った。

< 非線形最小二乗法の有効性の検討>

エレメントのヤング係数と強度の各分布を対象に、NLM による推定値と 1ply の 実験値を比較したところ、Eh はほぼ一致したが、何れの強度分布も推定値が実験 値を上回り積層効果の存在が示唆された(表2)。そこで、1plyの実験値の強度 分布を用いてシミュレーションした 2·3ply の強度分布(A)と、最尤法により推 定した 2·3ply の強度の母集団分布(B)とを比較したところ、何れの強度もBが Aより大きいことが分った。例として、2·3plyの引張強度における比較を(図3) に示す。このことから、8ply~17plyのLVLの強度を用いた NLM による推定値 は、Fh 以外の何れの強度も積層効果が存在することが明らかになった。そこで、 積層効果係数を乗じた 1ply の実験値の分布を求め、NLM による推定値の分布と 比較することにより、NLM の有効性を検討した。検討例として LVL の引張試験 による Ft を対象とした(図4)を示すが、NLM による推定値の分布と積層効果を 含むエレメント強度分布はよく一致している。したがって、NLM は Fc の推定に 有効であると考えられる。更に、Fv、LVL の引張試験及び平使い方向の曲げ試 験による Ftも同様に、NLM による推定値の分布と積層効果を含むエレメント強 度分布はよく一致した。以上をまとめると、NLM は LVL エレメントの強度分布 推定手法として有効であると考えられる。したがって、NLM により推定された エレメントの強度分布を用いて LVL のシミュレーションを行うことにより、LVL も集成材と同様に強度設計を行なえることが分かり、現在4つのメーカーと製造



正規分布 正規分布 正規分布 可規分布 正規分布 2Pワイブル分布 対数正規分布 アワイブル分布 対数正規分布 2Pワイブル分布 対数正規分布 2Pワイブル分布 対数正規分布 2Pワイブル分布 対数正規分布 2Pワイブル分布 マクブル分布 対数正規分布 Pワイブル分布 対数正規分布 Pワイブル分布 2Pワイブル分布 アワイブル分布 アサントの平使 パラメータを表すが、パ (Eh分布が正規分布) は尺度パラメータ、Pe 表すが、Ft分布が正 現分布の場合のみ、 タ、Pf2は形状パラメー 照。d(0.05, 177): 両側 夏人 夏く非線形量小二乗 エレメ 平使い方向の曲げ試験 エレメ 習儀試験 マ使い方向の曲げ試験 可儀試験 平使い方向の曲げ試験 平使い方向の曲げ試験 三人 平使い方向の曲げ試験 三人 平使い方向の曲げ試験 三人 王縮試験 注: NLM:	Pe1 Pe1 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 15.2	Pe2 Pe2 1.9 6 1.9 6 0.1 6 0.1 6 0.1 6 10.0 6 11.0 7 11.0 10.0 11.0 10.0 12.0 10.0 13.0 10.0 14.0 10.0 15.0 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0	Pf1 14.0 4.2 16.9 14.6 14.6 16.9 14.6 16.9 14.6 16.9 14.6 16.9 14.6 16.9 14.6 16.9 14.6 16.9 14.6 16.2 17.1 17.1 17.1 17.1 17.1 17.1 17.1 17.1 17.1 <th>Pf2 11.0 0.2 7.8 10.9 0.2 8.2 10.7 0.2 8.2 10.7 0.2 8.1 Ft: 工L 規分布 A N/mm²と 単位はは、 A アけっ、 A ア・ A ア・ A ア・ A N T T A N T</th> <th>R Eh- 0.57 0.47 0.59 0.51 0.44 0.53 0.55 0.44 0.60 ンメントロ クロシントロ クロシントロ シントロ ケー ケー ケー ケー ア ケー ケー</th> <th>二乗和 379.7 384.1 431.8 397.3 372.3 456.2 377.5 385.2 393.5 051張強さな 10.71,1 11,1 12.9 30.0 18.0</th> <th>dn 0.055 0.059 0.059 0.059 0.058 0.047 0.068 0.053 0.059 0.065 表す。Pe1, F 1値、Pe2は標 Pf2: Ft分布C 準備差を表し 0場合、Pf1は 係数を表す。 値を表す。 進度実験(1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm</th> <th>d(0.05, 177) 0.102 0.103 0.104 0.105 0.105 0.105 0.105 <</th>	Pf2 11.0 0.2 7.8 10.9 0.2 8.2 10.7 0.2 8.2 10.7 0.2 8.1 Ft: 工L 規分布 A N/mm²と 単位はは、 A アけっ、 A ア・ A ア・ A ア・ A N T T A N T	R Eh- 0.57 0.47 0.59 0.51 0.44 0.53 0.55 0.44 0.60 ンメントロ クロシントロ クロシントロ シントロ ケー ケー ケー ケー ア ケー ケー	二乗和 379.7 384.1 431.8 397.3 372.3 456.2 377.5 385.2 393.5 051張強さな 10.71,1 11,1 12.9 30.0 18.0	dn 0.055 0.059 0.059 0.059 0.058 0.047 0.068 0.053 0.059 0.065 表す。Pe1, F 1値、Pe2は標 Pf2: Ft分布C 準備差を表し 0場合、Pf1は 係数を表す。 値を表す。 進度実験(1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	d(0.05, 177) 0.102 0.103 0.104 0.105 0.105 0.105 0.105 <
正規分布 正規分布 正規分布 正規分布 2Pワイブル分 対数正規分布 対数正規分布 対数正規分布 対数正規分布 対数正規分布 2Pワイブル分 対数正規分布 2Pワイブル分 2Pワイブル分 アイブル分布 2Pワイブル分 2Pワイブル 2Pマイブル 2Pワイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイ 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイブル 2Pマイ 2Pマイ 2Pマイブル 2Pマイ 2Pマイ 2Pマイ 2Pマイ 2Pマイ 2Pマイ 2Pマイ 2Pマク 2Pマイ 2Pマク 2Pマイ 2Pマク 2Pマク 2Pマク 2Pマク 2Pマク 2Pマク 2Pマク 2Pマク	14.5 六布 2.7 六 15.2 支い方布 50.0 シロクを表ます(P) 動 たよる メントの強度 Eh Fh Ft Ft	1.9 6 1.9 6 0.1 6 0.1 6 0.1 6 10.0 <t< th=""><th>4.0 4.2 6.6.9 4.6 4.2 6.6.9 4.6 4.2 6.6.9 4.6 4.2 6.6.9 4.6 4.2 6.6.9 4.6 4.2 6.6.9 4.6 4.2 6.6.9 4.2 6.6.9 6.6.2 5.6 2 5.7.5 6.7.7 2 5.7.5 7 10 4.2 10 4.2 1.0.4 10 4.5 5.7.5 10 4.5 5.7.5 10 4.5 5.7.5 10 5.7.5 5.7.5 11 7.7.5 5.7.5 12 7.7.5 5.7.5 13 7.7.5 5.7.5 14 7.7.5 5.7.5 15 7.7.5 5.7.5 16 7.7.5 7.7.5 17 7.7.5 5.7.5 17 7.7.5 7.7.5 17 7.7.5 7.7.5 17 7.7.5 7.7.5 17 7.7.5 7.7.5</th><th>11.0 0.2 7.8 10.9 0.2 8.2 10.7 0.2 8.1 Ft: IL 月分布 る)。R. 本方方方 K-S検気 不力 N/mm²と 10.7 0.2 8.1 Ft: IL 大方布 ろ)。R. K-S検気 不力 NI 平生 14.5 105.4 96.3 64.0</th><th>0.57 0.47 0.59 0.51 0.48 0.53 0.55 0.44 0.60 ンシン局 のないた合 N/mm² N/mm²</th><th>379.7 384.1 384.1 397.3 372.3 456.2 377.5 385.2 393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0513.4 470.0 10.0 12.9 30.0 18.0</th><th>0.055 0.059 0.071 0.058 0.047 0.068 0.059 0.059 0.053 0.059 0.059 0.059 0.059 0.065 表す。Pe1, P 1位、Pe2は標 ワイブル分石 Pf2: Ft分布C 準備差を表し 0場合、Pf1は 係数を表す。 値を表す。 1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm</th><th>0.102 0.102</th></t<>	4.0 4.2 6.6.9 4.6 4.2 6.6.9 4.6 4.2 6.6.9 4.6 4.2 6.6.9 4.6 4.2 6.6.9 4.6 4.2 6.6.9 4.6 4.2 6.6.9 4.2 6.6.9 6.6.2 5.6 2 5.7.5 6.7.7 2 5.7.5 7 10 4.2 10 4.2 1.0.4 10 4.5 5.7.5 10 4.5 5.7.5 10 4.5 5.7.5 10 5.7.5 5.7.5 11 7.7.5 5.7.5 12 7.7.5 5.7.5 13 7.7.5 5.7.5 14 7.7.5 5.7.5 15 7.7.5 5.7.5 16 7.7.5 7.7.5 17 7.7.5 5.7.5 17 7.7.5 7.7.5 17 7.7.5 7.7.5 17 7.7.5 7.7.5 17 7.7.5 7.7.5	11.0 0.2 7.8 10.9 0.2 8.2 10.7 0.2 8.1 Ft: IL 月分布 る)。R. 本方方方 K-S検気 不力 N/mm ² と 10.7 0.2 8.1 Ft: IL 大方布 ろ)。R. K-S検気 不力 NI 平生 14.5 105.4 96.3 64.0	0.57 0.47 0.59 0.51 0.48 0.53 0.55 0.44 0.60 ンシン局 のないた合 N/mm ² N/mm ²	379.7 384.1 384.1 397.3 372.3 456.2 377.5 385.2 393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0513.4 470.0 10.0 12.9 30.0 18.0	0.055 0.059 0.071 0.058 0.047 0.068 0.059 0.059 0.053 0.059 0.059 0.059 0.059 0.065 表す。Pe1, P 1位、Pe2は標 ワイブル分石 Pf2: Ft分布C 準備差を表し 0場合、Pf1は 係数を表す。 値を表す。 1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	0.102 0.102
正規分布 対数正規分布 正規分布 正規分布 対数正規分布 対数正規分布 対数正規分布 シアワイブル分布 アワイブル分布 ブ数正規分布 アワイブル分布 アカカカ市 アワイブル分布 シアリイブル分布 アワイブル分布 シアリイブル分布 アワイブル分布 シアリアレックク アロイブル分布 シアリアレック アロージントの平使 パラメータ、アキ 表すが、Ft分布が正規分布 レータ、アキ 現分布の場合のみ、 タ、アf2(は形状パラメー 照。d(0.05, 177): 両側 モレック モレン エレック 平使い方向の曲げ試験 エレック 平使い方向の曲げ試験 日本 ア使い方向の曲げ試験 日本 ア使い方向の曲げ試験 日本 ア使い方向の曲げ試験 注 ア使い方向の曲げ試験 注 ア使い方向の曲げ試験 注 ア使い方向の曲げ試験 注 <	 六布 14.5 六布 14.5 六布 2.7 六布 2.7 六布 15.2 六布 15.2 六布 15.2 六布 15.2 六布 15.2 六布 15.2 六市 15.2	1.9 2 1.9 6 0.1 6 0.1 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 げやング係数 規分布または、 シメータを表表す() 4 支メータを表表す() 4 10.0 4 10.0 6 ブメータを表ます() 4 10.0 10 10.0 10 10.0 10 10.0 10 10.0 10 10.0 10 10.0 10 10.0 10 10.0 10 10.0 10 10.0 10 10.0 10 10.0 10 10.0 </td <td>4.2 4.2 4.6.9 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 5.3 4.2 5.3 4.2 5.3 4.2 5.3 4.2 5.3 4.2 5.3 5.5 5.5 5.5 5.5 5.5 5.5 5.5</td> <td>0.2 7.8 10.9 0.2 8.2 10.7 0.2 8.1 Ft:エL 規分布 公子 なう。R. K-S検究 布の打 NI 平士 14.5 105.4 96.3 64.0</td> <td>0.47 0.59 0.51 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.55</td> <td>384.1 431.8 397.3 372.3 456.2 377.5 385.2 393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 030.0 18.0</td> <td>0.059 0.071 0.058 0.047 0.068 0.053 0.059 0.065 表す。Pe1, F 値、Pe2は標 Pワイブル分者 Pf2:Ft分布G 準備を表す。 値を表す。 値を表す。 値を表す。 1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm</td> <td>0.102 0.102</td>	4.2 4.2 4.6.9 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 5.3 4.2 5.3 4.2 5.3 4.2 5.3 4.2 5.3 4.2 5.3 5.5 5.5 5.5 5.5 5.5 5.5 5.5	0.2 7.8 10.9 0.2 8.2 10.7 0.2 8.1 Ft:エL 規分布 公子 なう。R. K-S検究 布の打 NI 平士 14.5 105.4 96.3 64.0	0.47 0.59 0.51 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.44 0.55 0.55	384.1 431.8 397.3 372.3 456.2 377.5 385.2 393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0385.2 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 0393.5 030.0 18.0	0.059 0.071 0.058 0.047 0.068 0.053 0.059 0.065 表す。Pe1, F 値、Pe2は標 Pワイブル分者 Pf2:Ft分布G 準備を表す。 値を表す。 値を表す。 値を表す。 1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	0.102 0.102
正規分布 対数正規分布 対数正規分布 対数正規分布 対数正規分布 対数正規分 アイブル分布 アイブル分布 アイブル分布 アイブル分布 アイブル分布 アイブル分布 アイブル分布 アイブル分布 アイブル分布 アイブル分布 アイブル分布 アイブル分布 アイブル分布 アイブル分布 アクイブル アクト アクレアクを表すが、 アクト アクト アクト アクト アクト アクト アクト アクト		1.9 6 0.1 6 0.1 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 7 5 7 4 7 0 単位はN/mm²と 10 単位はN/m²と 10 単位はN/m² 11 単位はN/m² 12 単位はN/m² 13 </td <td>i6.9 i4.6 i4.2 i6.9 i4.0 i6.2 i5.2 i5.2<td>7.8 10.9 0.2 8.2 10.7 0.2 8.1 Ft:エL 規分布 公本 公本 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の有 (大)の (大)の (大)の (大)の (大)の (大)の (大)の (大)の</td><td>0.59 0.51 0.44 0.53 0.55 0.44 0.60 0.55 0.44 0.55 0.55</td><td>431.8 397.3 372.3 377.5 385.2 393.5 の引張強さを 、Pe1は平均 Eh分布が2F こなる)。Pf1,1 値、Pf2は標 イブル分布の hとFtの相関 さと1plyの目 う難定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0</td><td>0.071 0.058 0.047 0.053 0.059 0.065 表す。Pe1, F 個、Pe2は標 ワイブル分布 Pf2:Ft分布の 準備を表す。 適を表す。 値を表す。 値を表す。 1plyの 平均値 14.4 N/mm 78.8</td><td>0.102 0.103 0.102 0.103 0.102 0.103 0.102 0.103 0.10</td></td>	i6.9 i4.6 i4.2 i6.9 i4.0 i6.2 i5.2 i5.2 <td>7.8 10.9 0.2 8.2 10.7 0.2 8.1 Ft:エL 規分布 公本 公本 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の有 (大)の (大)の (大)の (大)の (大)の (大)の (大)の (大)の</td> <td>0.59 0.51 0.44 0.53 0.55 0.44 0.60 0.55 0.44 0.55 0.55</td> <td>431.8 397.3 372.3 377.5 385.2 393.5 の引張強さを 、Pe1は平均 Eh分布が2F こなる)。Pf1,1 値、Pf2は標 イブル分布の hとFtの相関 さと1plyの目 う難定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0</td> <td>0.071 0.058 0.047 0.053 0.059 0.065 表す。Pe1, F 個、Pe2は標 ワイブル分布 Pf2:Ft分布の 準備を表す。 適を表す。 値を表す。 値を表す。 1plyの 平均値 14.4 N/mm 78.8</td> <td>0.102 0.103 0.102 0.103 0.102 0.103 0.102 0.103 0.10</td>	7.8 10.9 0.2 8.2 10.7 0.2 8.1 Ft:エL 規分布 公本 公本 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の布 (大)の有 (大)の (大)の (大)の (大)の (大)の (大)の (大)の (大)の	0.59 0.51 0.44 0.53 0.55 0.44 0.60 0.55 0.44 0.55 0.55	431.8 397.3 372.3 377.5 385.2 393.5 の引張強さを 、Pe1は平均 Eh分布が2F こなる)。Pf1,1 値、Pf2は標 イブル分布の hとFtの相関 さと1plyの目 う難定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0	0.071 0.058 0.047 0.053 0.059 0.065 表す。Pe1, F 個、Pe2は標 ワイブル分布 Pf2:Ft分布の 準備を表す。 適を表す。 値を表す。 値を表す。 1plyの 平均値 14.4 N/mm 78.8	0.102 0.103 0.102 0.103 0.102 0.103 0.102 0.103 0.10
対数正規分布 対数正規分布 対数正規分 対数正規分 2Pワイブル分布 2Pワイブル分布 2Pワイブル分布 2Pワイブル分布 2Pワイブル分布 2ワイブル分布 2ワイブル分布 2ワイブル分布 2ワイブル分布 2ワイブル分布 2ワイブル分布 2ワイブル分布 2ワイブル分布 2ワイブル分布 2ワイブル分布 2ワイブル分布 2ワイブル分布 2ワイブル分布 2ワイブル分布 2ワイブル分布 2ワイブル分布 2アイブル 2アイブル 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2.7 六布 2.7 六布 2.7 六布 15.2 六布 15.2 六布 15.2 六布 15.2 六布 15.2 支布 15.2 支布 15.2 支布 15.2 支市 フラの シータを表すす(P) 10 動 たよこよる 2 メントの強度 E h Fh Ft Ft Ft	0.1 6 0.1 6 0.1 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 げヤング係数 規分布または シータを表す(5メータを表す(支対対正規分 単位はN/mm ² と 行の単位はN/ 試料数177の エレメント硝 破壊クライテ 複合応カー次 最小値破 最小値破 日本	4.6 4.2 6.9 4.2 6.2 な表す。 5 4.2 6.2 たる表す。 5 4 6 2 なる。 5 4 6 2 なる。 5 4 1 6 2 なる。 5 4 1 6 2 5 4 2 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	10.9 0.2 8.2 10.7 0.2 8.1 Ft:エL 規分布 N/mm ² と 位はk 合、 <i>Pf</i> 1 7t分布 る)。 <i>R</i> . K-S検気 不の打 14.5 105.4 96.3 64.0	0.51 0.48 0.53 0.55 0.44 0.55 0.44 0.60 ンメン 合合 0.80 ハ/ma² ウ(による N/ma² N/ma² N/ma²	397.3 372.3 456.2 377.5 385.2 0 393.5 の引張強さを 、Pe1は平均 Eh分布が2F cなる)。Pf1,1 値、Pf2は標 イブル分布の hとFtの相関 たしりりの 空動係数(%) 12.9 30.0 18.0	0.058 0.047 0.068 0.053 0.059 0.065 表す。Pe1,F 値、Pe2は標 Pf2:Ft分布C 準備差を表し の場を表す。 値を表す。 値を表す。 1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm	0.102 0.102 0.102 0.102 0.102 0.102 0.102 0.102 2e2:Eh分布の 準偏差を表し 布の場合、Pe1 Dパラメータを (Ft分布が正 大度パラメー ウ、由:表3.1を参 (b) (b) (c)
対数正規分布:対数正規分 対数正規分布:2Pワイブル分布 アイブル分布 アイブル分布 マイブル分布 マイブル分布 マイブル分布 2Pワイブル分 2Pワイブルク 2Pワイブル分 2Pワイブル分 2Pワイブル分 2Pワイク 2P 2Pワイク 2Pワイク 2P 2Pワイク 2Pワイク 2P 2Pワイク 2Pワイク 2P 2Pワイク 2Pワイク 2P 2Pワイク 2Pワイク 2P 2Pワイク	 	0.1 2 0.1 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 11.0 6 11.0 6 11.0 6 11.0 6 11.0 6 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57 57	4.2 6.9 4.0 4.2 たます。 たすが 4.2 たます。 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	0.2 8.2 10.7 0.2 8.1 Ft:エL 規分布 N/mm ² と 位はk 合、Pf1 て分布; る)。R. K-S検気 不の 14.5 105.4 96.3 64.0	<u>0.48</u> 0.53 0.55 0.44 0.60 マント(クント(クント(のよい) のののののの のののの マント(のののののののののの ののののののののの ののののののののののののののの	372.3 456.2 377.5 385.2 393.5 の引張強さを 、Pe1は平均 Eh分布が2F こなる)。Pf1,1 値、Pf2は標 イブル分布の hとFtの相関 たる基準限界 と1plyの り推定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0	<u>0.047</u> 0.068 0.053 0.059 0.065 表す。Pe1, F 値、Pe2は標 Pワイブル分和 Pf2: Ft分布の 準備差を表し り場合、Pf1は 係数を表す。 値を表す。 進度実験(1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm	0.102 0.103 0.104 0.105 0.105 0.105 0.105 0.105 0.105 0.105 0.105 0.105 0.105 0.105 0.105 0.105 0.105 0.105 0.105 0.105
	→ 布: 2.7 15.2 → 布: 15.2 → 布: 15.2 → 布: 15.2 → 市: 15.2	0.1 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 げヤング係数 月 規分布または、 Pe1とPe2の単 ラメータを表す(5 オ対数正規分 単位はN/mm²と 「1の単位はN/mm²と 6 「1の単数177の エレメント硝 破壊クライテ 6 複合応カーガ 最小値破	16.9 14.0 4.2 16.2 17.2 <td>8.2 10.7 0.2 8.1 Ft:エL 規分布 N/mm²と 単位はk 合、Pf1 でt分布; る)。R K-S検気 不の 14.5 14.5 105.4 96.3 64.0</td> <td>0.53 0.55 0.44 0.60 マメント(のるの)、 マメント(N/mm² N/mm² N/mm²</td> <td>456.2 377.5 385.2 393.5 の引張強さを、Pe1は平均 Eh分布が2F たなる)。Pf1, J 値、Pf2は標 イブル分布の hとFtの相関 たもりの相関 たもりのの を 12.9 30.0 18.0</td> <td>0.068 0.053 0.059 0.059 0.065 表す。Pe1, F 位、Pe2は標 ワイブル分す Pf2:Ft分布(0) 場合、Pf1は (係数を表す。) 値を表す。 位を表す。 強度実験(1plyの 平均値 14.4 N/mm 78.8</td> <td>0.102 0.103 0.104 0.105</td>	8.2 10.7 0.2 8.1 Ft:エL 規分布 N/mm ² と 単位はk 合、Pf1 でt分布; る)。R K-S検気 不の 14.5 14.5 105.4 96.3 64.0	0.53 0.55 0.44 0.60 マメント(のるの)、 マメント(N/mm ² N/mm ² N/mm ²	456.2 377.5 385.2 393.5 の引張強さを、Pe1は平均 Eh分布が2F たなる)。Pf1, J 値、Pf2は標 イブル分布の hとFtの相関 たもりの相関 たもりのの を 12.9 30.0 18.0	0.068 0.053 0.059 0.059 0.065 表す。Pe1, F 位、Pe2は標 ワイブル分す Pf2:Ft分布(0) 場合、Pf1は (係数を表す。) 値を表す。 位を表す。 強度実験(1plyの 平均値 14.4 N/mm 78.8	0.102 0.103 0.104 0.105
ウイブル分布 山銀分布 ウイブル分布 対数正規分 ウイブル分布 対数正規分 ウイブル分布 2Pワイブル分 注: Eh: エレメントの平使 パラメータを表すが、, (Eh分布が正規分布) は尺度パラメータ、Pe 表すが、Ft分布が正 規分布の場合のみ、 タ、Pf2は形状パラメー照。d(0.05, 177): 両側 2 非線形最小二乗 LVLの強度試験 エレメ 平使い方向の曲げ試験 環境販売 中使い方向の曲げ試験 平使い方向の曲げ試験 正縮試験 注: NLM:	15.2 六布 15.2 六布 15.2 支い方向の曲 Eh分布が正 5の場合のみ、 202は形状パラ 三規分布またに 、Pf1とPf2の単 一夕を表す(Pf 則危険率5%で 法による メントの強度 Eh Fh Fh Ft Ft Ft	10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 10.0 6 11.0 6 11.0 6 11.0 6 11.0 6 11.0 6 11.0 6 5.7 7 11.0 10 11.0 10 12.0 10	4.0 4.2 4.2 6.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 16.2 17 17.2 17 17.2 17 17.2 17 17.2 17 17.2 17 17.2 17 17.2 17 17.2 17 17.2 17 17.2 17 17.2 17 17.2 17 17.2	10.7 0.2 8.1 Ft:エL 規分布 N/mm ² と 全位はk 合、Pf1 でけ分布; る)。R. K-S検究 不のす 14.5 105.4 96.3 64.0	0.55 0.44 0.60 マシント(のない/mのでない/ のない/mのでのない/ のない/mのでのない/ のない/ のたい/ のたい/ のたい/ のたい/ のたい/ のたい/ のたい/ のた	 377.5 385.2 393.5 の引張強さを、 アe1は平均 Eh分布が2F たる。アf1, 1 値、Pf2は標 イブル分布の hとFtの相関 た1plyの 近北定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0 	0.053 0.059 0.065 えす。Pe1,F 値、Pe2は標 Pワイブル分和 Pf2:Ft分布の 準備差を表し の場合、Pf1は 係数を表す。 値を表す。 後度実験(10100 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	 0.102 0.102 0.102 0.102 0.102 Pe2:Eh分布の 準偏差を表し 布の場合、Pe1 のパラメータを (Ft分布が正 大尺度パラメー 本の:表3.1を参 (D) (E)
フイブル分布:2Pワイブル分 アワイブル分布:2Pワイブル分 注:Eh:エレメントの平使 パラメータを表すが、 (Eh分布が正規分布) は尺度パラメータ、Pe 表すが、Ft分布が正 規分布の場合のみ、 タ、Pf2は形状パラメー照。d(0.05,177):両側 2<非線形最小二乗	rm: 15.2 rm: 15.2 ph:	10.0 2 10.0 6 げヤング係数 規分布または カイラクを表す(ラメータを表す(オ対数正規分 単位はN/mm²と 介小の単数177の エレメント硝 破壊クライテ 複合応カーカ 最小値破	4.2 16.2 16.2 た対単(Pe1の気)、 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	0.2 8.1 Ft:エL 規分布 N/mm ² と 値はは 合、Pf1 Ft分布 る)。R K-S検究 不の 14.5 105.4 96.3 64.0		385.2 393.5 の引張強さを、 アe ₁ は平均 Eh分布が2F たなる)。Pf ₁ , 値、Pf ₂ は標 イブル分布の hとFtの相関 たる基準限界 と1plyの 5 推定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0	0.059 0.065 表す。Pe1,F 0.065 法す。Pe1,F 0.05 Pf2:Ft分布の 準備差を表し 0.3 のよう のよう のよう のよう のよう のよう のたう のたう のたう のたう のたう のたう のたう のたう のたう のた	0.102 0.10
注:Eh:エレメントの平使 パラメータを表すが、」 (Eh分布が正規分布) は尺度パラメータ、Pe 表すが、Ft分布が正 規分布の場合のみ、 タ、Pf2は形状パラメー照。d(0.05, 177):両側 2<非線形最小二乗	1111 132 しい方向の曲 Eh分布が正 50場合のみ、 50場合のみ、 50 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21	 100 での 100 での 17ヤング係数 規分布または、 アe1とPe2の単 ラメータを表す() は対数正規分単位はN/mm²と f1の単位はN/mm²と f1の単位はN/ 試料数177の エレメント弱 破壊クライテ 複合応カーカ 最小値破 最小値破 	102 「を表す。」 「 す の 場 に や 市 の る) 、 F の し 、 た 、 か で 、 か の し 、 た 、 か 、 た 、 か 、 の の の 、 の の 、 の の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の の の 、 の の 、 の の の 、 の の の 、 の の の の の の の の の の の の の	0.1 Ft:エL 規分布 N/mm ² と 値はは 合、Pf1 Ft分布 る)。R. K-S検究 布の打 NL 平生 14.5 105.4 96.3 64.0	1000 マメント(の場る)、 レ/mm ² と か/mm ² と N/mm ² N/mm ²	1393.5 の引張強さを 、Pe1は平均 Eh分布が2F たなる)。Pf1,1 値、Pf2は標 イブル分布の hとFtの相関 たる基準限界 をと1plyの う推定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0	100005 表す。Pe1, F 値、Pe2は標 Pf2:Ft分布の 準備を表す。 値を表す。 値を表す。 1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	10.102 Pe2:Eh分布の 準偏差を表し 布の場合、Pe1 のパラメータを CFt分布が正 大尺度パラメー 。dn:表3.1を参 値との比較 シ実験値 変動係数(%) m ² 13.3 ² 34.2 ² 21.3
パラメータを表すが、, パラメータを表すが、, (Eh分布が正規分布) は尺度パラメータ、Pe 表すが、Ft分布が正 規分布の場合のみ、 タ、Pf2は形状パラメ- 照。d(0.05, 177): 両側 そ2 非線形最小二乗 LVLの強度試験 エレッ 平使い方向の曲げ試験 引張試験 平使い方向の曲げ試験 正確試験 正確試験 注: NLM:	Eh分布が正 の場合のみ、 Pe2は形状パラ 三規分布またに、 Pf1とPf2の単 一タを表す(Pf 創危険率5%で 法による メントの強度 Eh Fh Fh Ft Ft Ft	 オンシトは数 規分布または スティータを表す(オ対数正規分 レタを表す(オ対数正規分 単位はN/mm²と f1の単位はN/ 試料数177の エレメント強 破壊クライテ 複合応カーガ 最小値破 最小値破 	は 対数は k が 市 の 場 た な の 場 た た な の 場 た た な の 場 ま た か 市 の 場 ま た か 市 の 場 ま た か 市 の 場 ま た か 市 の 場 っ た か に り 単 合 の 場 き た か に り 単 合 の 場 き た か に か い 単 音 た な の い ま き か の 場 る の い 下 う 場 合 の い 手 た か に か に か い 単 合 た な の い 子 た か に か い の 場 た か い の 場 た か い の し 、 形 で 、 か で い の い た な の い の 下 う 、 た な の い の 下 う 、 た な の い 下 の い た な の い 下 、 た な の い 下 た な の い 下 で い た な の い 下 、 た な の い 下 、 た な の い 下 、 た な の い 下 、 た な の い 下 、 た な の い た な の い た か た 、 た か い た で か た の い た で 、 た の い た で 、 た の い た で 、 た た の い た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た の た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た で 、 た た で 、 た で 、 た で 、 た た た た た た た た た た た た た	アビュー 規分布 N/mm ² と 位はk 合、 <i>Pf</i> 1 でけ分布 る)。 <i>R</i> . K-S検気 の 14.5 14.5 105.4 96.3 64.0	の場の。 の場の。 N/mm ² と が2Pワ・ Eh-Ft: E 生 い/mm ² N/mm ²	、Pe ₁ は平均 Eh分布が2F たなる)。Pf ₁ ,」 値、Pf ₂ は標 イブル分布の hとFtの相関 たる基準限界 をと1plyの う推定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0	植、Pe2は標 Pワイブル分 Pf2:Ft分布の 準偏差を表し り場合、Pf1は 係数を表す。 値を表す。 強度実験(1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	2:上前方前の 2:上前方前の 2:上前方前の 2:上前方前の 2:二前方前の 3:二を参表し たでの場合、Pe1 かで正 た尺度パラメータを 2:に行ったす 2:二方前の 2:二方前の 2:二方前の 2:二方前の 2:二方前の 2:二方前の 2:二方前の 2:二方前の 2:二方前の 2:二方 2:二方前の 2:二方前の 2:二方前の 2:二方前の 2:二方前の 2:二方 2:二方 2:二方前の 2:二方前の 2:二方前の 2:二方前の 2:二方 2:二方前の 2:二方 2:二方前の 2:二方前 2:二方前 2:二方前の 2:二方前 2:二方 2:二方前 2:二方前 2:二方
バノン シを祝すが、 (Eh分布が正規分布) は尺度パラメータ、Pe 表すが、Ft分布が正 規分布の場合のみ、 タ、Pf2は形状パラメ- 照。d(0.05, 177): 両側 2 非線形最小二乗 LVLの強度試験 平使い方向の曲げ試験 可張試験 P使い方向の曲げ試験 正レン 正確試験 正に方向の曲げ試験 正確試験 上地方向の曲げ試験 正確試験 上 NLM:	EID (1) (1) (1) (1) 5 の場合のみ、 5 の場合のみ、 5 (2) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1	、Pe ₁ とPe ₂ の ラメータを表す(よ対数正規分 単位はN/mm ² と f ₁ の単位はN/ 試料数177の エレメント強 破壊クライテ 複合応カーク 最小値破 最小値破	単位はkN (Pe1の場合 なる)、F /m ² とない の場合のF ク場合のF ア 次形式 壊 壊	N/mm ² と 単位はk 合、Pf1 イン分布; る)。R. K-S検気 不 の 4 14.5 105.4 96.3 64.0	なる)、 N/mm ² と は平均 が2Pワ・ Eh-Ft: E をにおけ をLL をにおけ Mによる り値 N/mm ²	Eh分布が2F Eh分布が2F たなる)。Pf1,1 値、Pf2は標 イブル分布の hとFtの相関 たる基準限界 と1plyの 2 b推定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0	10、Fe 2164 Pワイブル分 Pf 2: F t分布(準偏差を表し り場合、Pf 1 は 低数を表す。 値を表す。 金度実験 1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	キー M 左 2 & C C 市の場合、Pe1 D パラメータを (Ft分布が正 大尺度パラメー , dn:表3.1を参 値との比較 文動係数(%) m ² 13.3 ² 34.2 ² 21.3
 (Eh分布が止現分布) は尺度パラメータ、Pe 表すが、Ft分布が正 現分布の場合のみ、 タ、Pf2は形状パラメ- 照。d(0.05, 177):両側 2 非線形最小二乗 LVLの強度試験 エレッ P使い方向の曲げ試験 引張試験 P使い方向の曲げ試験 子使い方向の曲げ試験 正結試験 正縮試験 注: NLM: 	5 の場合のみ、 pe2は形状パラ 三規分布またに 、Pf1とPf2の単 一夕を表す(Pf 則危険率5%で 法による= メントの強度 Eh Fh Ft Ft	、Pe ₁ とPe ₂ の ラメータを表す(よ対数正規分 単位はN/mm ² と f ₁ の単位はN/ 試料数177の エレメント 破壊クライテ 複合応カーダ 最小値破 最小値破	単位はkN単 (Pe1の場合 なる)、F /mm ² とない)場合のF でして、 次形式 壊壊	N/mm ² と 単位はk 合、Pf1 子は分布; る)。R. K-S検算 NI 平型 14.5 105.4 96.3 64.0	になる)、 N/mm ² と は平均 が2Pワ・ Eh-Ft:E 定におけ Mによる り値 N/mm ² N/mm ²	Eh分布か2F こなる)。Pf1, J 値、Pf2は標 イブル分布の hとFtの相関 たる基準限界 を1plyの ら推定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0	Pワイフル分4 Pf ₂ :Ft分布(準偏差を表し)場合、Pf ₁ は 係数を表す。 値を表す。 進度実験 (1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	市の場合、Pe1 のパラメータを (Ft分布が正 大尺度パラメー 。dn:表3.1を参 値との比較 の実験値 変動係数(%) m ^e 13.3 ² 34.2 2 21.3
は尺度パラメータ、Pe 表すが、Ft分布が正 規分布の場合のみ、 タ、Pf2は形状パラメ- 照。d(0.05, 177): 両側 2 非線形最小二乗 LVLの強度試験 エレッ P使い方向の曲げ試験 確使い方向の曲げ試験 可張試験 P使い方向の曲げ試験 Ft使い方向の曲げ試験 EF確試験 正縮試験 注: NLM:	Pe2は形状パラ E規分布またに 、Pf1とPf2の単 一夕を表す(Pf 則危険率5%で 法による Sントの強度 Eh Fh Fh Ft Ft	ラメータを表す(よ対数正規分 単位はN/mm ² と f ₁ の単位はN/ 試料数177の エレメント強 破壊クライテ 複合応カーの 最小値破 最小値破	(Pe1の単合 中の場合 たなる)、F /mm ² とない)場合のH まして 欠形式 壊 壊	単位はk 合、Pf1 マけ分布; る)。R. K-S検知 たのす 14.5 105.4 96.3 64.0	N/mm ² と は平均 が2Pワ・ Eh-Ft:E 定におけ Mによる り値 N/mm ² N/mm ²	cなる)。Pf1, J 値、Pf2は標 イブル分布の hとFtの相関 たる基準限界 をと1plyの の推定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0	Pf2:Ft分布(準偏差を表し)場合、Pf1は (係数を表す。 値を表す。 値を表す。 (値を表す。 (値を表す。 (値を表す。) (10,000 (平均値) 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	Dパラメータを (Ft分布が正 大度パラメー odn:表3.1を参 値との比較 (変動係数 ^(%) m ² 13.3 ² 34.2 ² 21.3
表すが、Ft分布が正 規分布の場合のみ、 タ、Pf2は形状パラメ- 照。d(0.05, 177): 両側 2 非線形最小二乗 LVLの強度試験 エレッ 平使い方向の曲げ試験 確使い方向の曲げ試験 可張試験 P使い方向の曲げ試験 Ft使い方向の曲げ試験 ET縮試験 正縮試験	E規分布またに 、 <i>Pf</i> 1と <i>Pf</i> 2の単 ータを表す(<i>Pf</i> 則危険率5%で 法による メントの強度 Eh Fh Fh Ft Ft	は対数正規分 単位はN/mm ² と f ₁ の単位はN/ 試料数177の エレメント強 破壊クライテ 複合応カーの 最小値破 最小値破	、市の場合 、なる)、F /m ² とない り場合のH ま度分子 、FUア 、たま、 、F 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、	合、 <i>Ff</i> 1 テt分布; る)。 <i>R</i> . K-S検算 布の 14.5 105.4 96.3 64.0	は平均 が2Pワ・ Eh-Ft:E 定におけ Mによる り値 N/mm ²	値、Pf2は標 イブル分布の hとFtの相関 たる基準限界 を1plyの を 動推定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0	準偏差を表し り場合、 <i>Pf</i> 1は 係数を表す。 値を表す。 強度実験 1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	∠(Ft分布が正 下度パラメー 5 dn:表3.1を参 値との比較 変動係数 ^(%) m ² 13.3 ² 34.2 ² 21.3
規分布の場合のみ、 タ、Pf2は形状パラメ- 照。d(0.05, 177):両側 2 非線形最小二乗 LVLの強度試験 エレッ 平使い方向の曲げ試験 健使い方向の曲げ試験 引張試験 P使い方向の曲げ試験 F使い方向の曲げ試験 EF縮試験 EF縮試験	. Pf1とPf2の単 ータを表す(P) 則危険率5%で 法によるこ メントの強度 Eh Fh Fv Ft Ft Ft	単位はN/mm ² と f ₁ の単位はN/ 試料数177の エレメント弱 破壊クライテ 複合応カーの 最小値破 最小値破	たなる)、F /mm ² となん)場合のF 食度分イ Fリア 欠形式 壊 壊	マ て て て で か で た -S検 た -S検 た -S検 た -S検 た -S検 た -S検 た -S検 た -S検 た -S検 た -S検 た -S検 た -S検 -S検 -S検 -S検 -S検 -S検 -S検 -S検	が2Pワ・ _{Eh-Ft} : E 定におけ 推定値 <u>MIこよる</u> 9値 N/mm ² N/mm ²	イブル分布の hとFtの相関 tる基準限界 を1plyの 5 推定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0	0場合、Pf1は 係数を表す。 値を表す。 強度実験(1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	、 dn:表3.1を参 値との比較 変動係数(%) m ² 13.3 ² 34.2 ² 21.3
タ、Pf2は形状パラメ- 照。d(0.05, 177):両側 2 非線形最小二乗 LVLの強度試験 工レン 平使い方向の曲げ試験 型し、方向の曲げ試験 型し、方向の曲げ試験 単使い方向の曲げ試験 単使い方向の曲げ試験 正し、 正し、 正し、 正し、 工具、 平使い方向の曲げ試験 正確試験 正確試験 注: NLM:	- タを表す(Py 則危険率5%で 法による メントの強度 <u>Eh</u> <u>Fh</u> <u>Ft</u> <u>Ft</u>	f1の単位はN/ 試料数177の エレメント強 破壊クライテ 複合応カーク 最小値破:	/mm ² とない)場合のF 食 度分 Fリア 欠形式 壊 壊	る)。R. K-S検 布の打 14.5 105.4 96.3 64.0	Eh-Ft:E 定におけ 血による いの kN/mm ² N/mm ²	hとFtの相関 する基準限界 を1plyの 5推定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0	係数を表す。 値を表す。 強度実験(1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	odn:表3.1を参 値との比較 文動係数 ^(%) m ² 13.3 ² 34.2 ² 21.3
Right of the second state Right of the second state Right of the second state Right of the second state LVLの強度試験 エレン P使い方向の曲げ試験 Right of the second state Weth of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the second state Pite of the second state Right of the se	りを取ります。 創危険率5%で E法による メントの強度 Eh Fh Fv Ft Ft Ft	試料数177の エレメント強 破壊クライテ 複合応カーク 最小値破:	大田 大田 大田 東合のF F リア 大田 東 東 東 大田 東 東 大田 東 大田 東 大田 東 大田 大田 大田 大田 大田 大田 大田 大田 大田 大田	K-S検 布の打 NI 平 14.5 105.4 96.3 64.0	たいたいとう 定におけ 住定値 -Mによる <u>kN/mm² N/mm²</u>	た に で は な し れ に で い に の の に の に の の に の の の の の の の に の の の の の の の の の の の の の	値を表す。 強度実験(1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	値との比較 シ実験値 変動係数(%) m ² 13.3 ² 34.2 ² 21.3
All Andrews All Andrews LVLの強度試験 エレン P使い方向の曲げ試験 エレン Weter All Andrews All Andrews All Andrews Peter All Andrews All Andrews All Andrews Peter All Andrews All Andrews All Andrews Peter All Andrews <t< td=""><td>法による メントの強度 Eh Fh Fv Ft Ft</td><td>エレメント 破壊クライテ 複合応カーク 最小値破 最小値破</td><td></td><td>ホース 布の打 NI 平生 14.5 105.4 96.3 64.0</td><td>住定値 _Mによる b値 _N/mm² _N/mm²</td><td>びる 型と1plyの 動推定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0</td><td>進まれす。 強度実験(1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm</td><td>値との比較 2 変動係数(%) m² 13.3 2 34.2 2 21.3</td></t<>	法による メントの強度 Eh Fh Fv Ft Ft	エレメント 破壊クライテ 複合応カーク 最小値破 最小値破		ホース 布の打 NI 平生 14.5 105.4 96.3 64.0	住定値 _Mによる b値 _N/mm ² _N/mm ²	びる 型と1plyの 動推定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0	進まれす。 強度実験(1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	値との比較 2 変動係数(%) m ² 13.3 2 34.2 2 21.3
2 非線形最小二乗 LVLの強度試験 エレク 平使い方向の曲げ試験 磁使い方向の曲げ試験 引張試験 平使い方向の曲げ試験 正確試験 正縮試験 注: NLM:	法による メントの強度 Eh Fh Fv Ft Ft	エレメント 破壊クライテ 複合応カーク 最小値破 最小値破	生度分 テリア 欠形式 壊 壊	布の NI 平 [±] 14.5 105.4 96.3 64.0	住定値 _Mによる り値 N/nm ² N/nm ²	を1plyの ⁹ 推定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0	<u>後</u> 度実験 1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	値との比較 2 変動係数(%) m ² 13.3 2 34.2 2 21.3
2 非線形最小二乗 LVLの強度試験 エレッ 平使い方向の曲げ試験 平使い方向の曲げ試験 引張試験 平使い方向の曲げ試験 可張試験 平使い方向の曲げ試験 正確試験 正 正縮試験 注: NLM:	法による メントの強度 Eh Fh Fv Ft Ft Ft	エレメント 破壊クライテ 複合応カータ 最小値破 最小値破	住度分れていた。	布の打 NI 平生 14.5 105.4 96.3 64.0	住定値 _Mによる り値 _N/nm ² N/nm ²	 注1plyの 推定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0 	<u>油度実験</u> 1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	値との比較 変動係数(%) m ² 13.3 ² 34.2 ² 21.3
LVLの強度試験 エレッ 平使い方向の曲げ試験 単使い方向の曲げ試験 遺張試験 早使い方向の曲げ試験 日張試験 単使い方向の曲げ試験 正縮試験 上<	メントの強度 <u>Eh</u> Fh Fv Ft Ft	破壊クライテ 複合応カーク 最小値破: 最小値破:	- リア 欠形式 壊 壊	NI 平生 14.5 105.4 96.3 64.0	_Mによる 匀値 kN/nm ² N/nm ²	o推定値 変動係数(%) 12.9 30.0 18.0	1plyの 平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	2 3 4 2 2 2 1 3 3 4 3 4 3 4 3 4 3 4 3 4 3 4 3 4 3 4 3 4 3 4 3 4 3 4 3 4 3
LVLの強度試験 平使い方向の曲げ試験 P使い方向の曲げ試験 催使い方向の曲げ試験 引張試験 P使い方向の曲げ試験 F使い方向の曲げ試験 EE縮試験 注: NLM: 第	メントの強度 <u>Eh</u> Fh Fv Ft Ft	破壊クライテ 複合応カーク 最小値破: 最小値破:	Fリア 欠形式 壊 壊	平生 14.5 105.4 96.3 64.0	匀值 <u>kN/mm²</u> N/mm ² N/mm ²	変動係数(%) 12.9 30.0 18.0	平均値 14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	変動係数(%) m ² 13.3 ² 34.2 ² 21.3
平使い方向の曲げ試験 平使い方向の曲げ試験 磁使い方向の曲げ試験 引張試験 平使い方向の曲げ試験 中使い方向の曲げ試験 正縮試験 注: NLM: 第	E h $ F h $ $ F v $ $ F t $ $ F t $ $ F t$	複合応カーク 最小値破 最小値破	次形式 /壊 /壊	14.5 105.4 96.3 64.0	kN/mm ² N/mm ² N/mm ²	12.9 30.0 18.0	14.4 kN/m 96.8 N/mm 78.8 N/mm	m ² 13.3 ² 34.2 ² 21.3
平使い方向の曲げ試験 縦使い方向の曲げ試験 引張試験 P使い方向の曲げ試験 正縮試験 注: NLM: 3	F hF vF tF t	複合応カーク 最小値破: 最小値破:	欠形式 '壊 '壊	105.4 96.3 64.0	N/mm² N/mm²	30.0 18.0	96.8 N/mm 78.8 N/mm	² 34.2 ² 21.3
 催使い方向の曲げ試験 引張試験 平使い方向の曲げ試験 肝使い方向の曲げ試験 圧縮試験 比M: 	Fv Ft Ft Ft	最小値破: 最小値破:	'壊 '壊	96.3 64.0	N/mm²	18.0	78.8 N/mm	² 21.3
引張試験 平使い方向の曲げ試験 平使い方向の曲げ試験 圧縮試験 注: NLM: 詞	Ft Ft	最小值破	壊	64.0				
平使い方向の曲げ試験 平使い方向の曲げ試験 圧縮試験 注: NLM: ラ	Ft Ft		·~~	UT.U	N / mm ²	172	538 N/mm	² 34 3
平使い方向の曲げ試験 圧縮試験 注: NLM: 3	Γt	それ続いも	あす	65.7	N/ mm ²	17.2	17.2 NJ/mm	2 24.5
<u>ド使い方向の曲行試験</u> 圧縮試験 注: NLM: 詞	E4		収える	00.1	N/ 1111	17.0	47.3 N/	24.5
<u>上縮試</u> 験 注:NLM:j	F t	取外間心力		60.1	N/mm ⁻	10.8	47.3 N/mm	24.5
注:NLM:詞	Fc	最小 值破3	氓	/3.9	N/mm²	11.5	60.2 N/mm	13.0





論文審查結果要旨

本研究の最終的な目的は、構造用集成材(以後、集成材という)と同様にエレメントの強度分布を用いて構造用単板積層材(以後、LVL という)の強度を設計することであるが、LVLでは、集成材で用いられているような手法を用いた強度分布推定の研究は皆無である。

そこで、LVLのエレメントを接着層付きの単板と考え、各層の材質及び強度特性 が単一と考えられる 8ply~17plyの LVLの強度実験を行ない、その強度データより、 非線形最小二乗法(以後、NLM という)による LVL エレメント強度分布の推定を行 なった。その結果、適合する複数の統計分布を推定することができた。

しかし、推定値はあくまでも推定値であり、NLMの有効性については、推定した 強度分布と実際のエレメントの強度分布を比較する必要がある。そこで、強度試験 に用いた LVL から切り出した 1ply 及び 2ply と 3ply に対する強度実験を LVL の強 度実験と同様に行った。その結果、NLM による推定値が 1plyの実験値を上回った ことから、積層の影響が存在することが分かった。

これより、lplyの実験値に積層効果係数を乗じた強度値を求め、NLM による推定 値と比較することにより、非線形最小二乗法の有効性の検討を行なった。その結果、 引張強度、圧縮強度分布及び縦使い方向の曲げ強度について、NLM による推定手法 は有効と考えられることが明らかとなった。

博士学位論文公開審査会は、2015年2月18日に行なわれ、その後、審査員4名によ る判定を行なった。その結果、論文の内容は博士学位論文として十分であり、公開 審査会における発表、その後の質疑応答についても十分に満足ゆく内容であるもの と判断した。

以上により、審査員は申請者が博士の学位を授与される資格があるものと判断し た。