

スギ大断面集成材の接合に関する研究

—ラグスクリュウの接合耐力—

木材工業部 遠矢良太郎, 山之内清竜, 平野芳治^{*1},
中村徳孫^{*2}, 藤田晋輔^{*2}, 服部芳明^{*3}

Studies on Fastenings of SUGI Laminated Members The Strength of Lag Screw Fastenings

Ryotaro TOYA, Kiyotatsu YAMANOUTI, Yoshiharu HIRANO^{*1}
Yasuhiko NAKAMURA^{*2}, Shinsuke FUZITA^{*2}, and Yosiaki HATTORI^{*3}

スギとベイマツの大断面集成材を用いて、ラグスクリュウの引き抜き試験と一面せん断試験を行い、以下の結果を得た。

- (1) ラグスクリュウ(呼び径: $d = 12\text{mm}$)に対する先孔の最適直径は $10.5\text{mm} \sim 11.5\text{mm}$ であった。
- (2) 引き抜き最大荷重は、スギ: 2.157kg 、ベイマツ: 2.259kg で、スギは比重に対する引き抜き荷重がやや大きかった。
- (3) ラグスクリュウの配置において、材縁距離で $4d$ 以上、材端距離で $7d$ 以上が望ましい。
- (4) せん断の降伏点荷重は、加力が繊維に直角方向の場合、スギ: $1,788\text{kg}$ 、ベイマツ: $1,838\text{kg}$ 、加力が繊維に平行方向の場合、スギ: $1,833\text{kg}$ 、ベイマツ: $1,841\text{kg}$ で、平行方向に対する直角方向の比は、スギ: 0.98 、ベイマツ: 1.00 で、直角方向と平行方向の間には差異はない。
- (5) せん断の降伏点荷重について、木構造設計規準の短期許容耐力に対する実験値の比は、スギ: 1.11 、ベイマツ 0.98 で、引き抜き荷重と同様、スギは比重に対する降伏点荷重がやや大きい値を示した。

1. はじめに

鹿児島県では、九州で初めての断面集成材の JAS 認定工場ができたこともあり、スギの断面集成材を使った、大型木構造物への取り組みがなされている。断面集成材には、ベイマツやカラマツが多く用いられるが、スギ材は材質が柔らかく、ヤング係数が小さく、断面集成材を製造しその利用を促進するためには、構造強度や価格等の面において、今後解決しなければならないいくつかの課題がある。そのひとつとして、大型木構

造物にスギ断面集成材を用いる場合、構造強度における接合部の弱さが懸念されることから、スギ断面集成材の接合に関する研究が必要である。断面集成材の接合には、一般にボルトやラグスクリュウ、ドリフトピンなどが用いられる。

ラグスクリュウは、木ネジのように木材中にねじ込むために、引き抜き耐力がボルト接合やドリフトピン接合に比べて大きく、緊結力の高い接合法であるといわれている。また、はりせいの大きな箇所やボルトが使えない箇所での接合によく用いられている(図1)。

今回はラグスクリュウについて、スギとベイマ

*1: 山佐木材株式会社, *2: 宮崎大学名誉教授
*3: 鹿児島大学農学部

ツを比較しながら接合の強度特性を検討した。

ラグスクリュウの強度特性については、徳田ら¹²⁾、宮村ら³⁾、佐野ら⁴³⁾の研究があり、スギ材についても実験がなされているが、本研究では、鹿児島産スギで製造した大断面集成材について実験を行った。

試験材は大断面集成材を厚さの半分に分割した積層厚さ11cm、幅12cm、長さ35cmの集成材を用い、試験はラグスクリュウの引き抜き試験とラグスクリュウの一面せん断試験を行った(図2)。

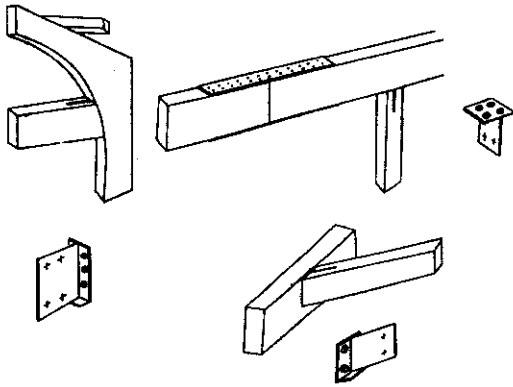


図1 ラグスクリュウの使用箇所

2. 実験方法

2.1 試験材

供試した試験材は、スギ大断面集成材とベイマツ大断面集成材から採取した、はりせい22cm、幅12cm、長さ35cmのものを用いた。

スギ材のラミナは、樹齢60~70年生の丸太から採材したものである。スギ大断面集成材は、幅22cm、厚さ2.2cmのラミナを10層積層してあり、ベイマツ大断面集成材は、幅22cm、厚さ3.7cmのラミナを6層積層してある。

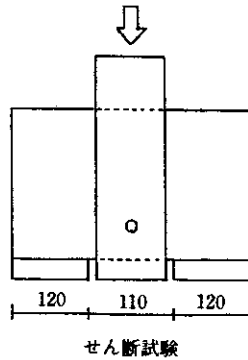
表1にラミナと集成材の気乾比重を示す。

表1 ラミナと集成材の気乾比重

項目	スギ			ベイマツ		
	個数	最小~平均~最大	標準偏差	個数	最小~平均~最大	標準偏差
ラミナ	60	0.35~0.45~0.63	0.07	30	0.40~0.52~0.65	0.05
集成材	12	0.42~0.46~0.49	0.02	12	0.47~0.52~0.55	0.02



引き抜き試験



せん断試験

図2 引き抜き試験とせん断試験

2.2 ラグスクリュウの形状寸法

ラグスクリュウは、市販のものを用いた。ラグスクリュウの呼び寸法は、長さ(L)125mm(実測125mm)、胴部直径(d)の12mm(実測11.7mm)で、スクリュウ部のねじ山の直径13mm(実測13.0mm)、ねじ底の直径10mm(実測9.8mm)、スクリュウ部の実測長さ80.7mmである。

L/dは以下ようになる。

$$L/d = 10.4 > 10$$

ラグスクリュウの形状寸法を、図3に示す。

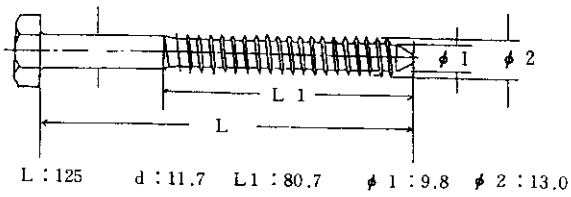


図3 ラグスクリュウの形状寸法

ラグスクリュウには、製造法によって、胴部とねじ山の直径が同じであるものと、胴部よりもねじ山の直径が大きいものの二種類があるが、今回用いたものは後者に属する。

2.3 ラミナの材質試験

集成材からラミナを接着層に沿って採取し、これについてJIS規格の曲げ試験、せん断試験および割裂試験を行った。

2.4 引き抜き試験

引き抜き試験では、ラグスクリュウに対する最適な先孔直径と引き抜き耐力及びねじ込みトルクの関係調べた。

スギとベイマツの試験材には、13mmから7mmまでの間では、0.5mmきざみの直径と6mmの直径の合計13種類の先孔をあけた。

先孔の深さは90mmとし、ドリルには鉄鋼用ドリルを用いた。

試験材に予め穿孔されてある先孔にラグスクリュウを、トルクレンチでトルクを計測しながら、8.7cm試験材にねじ込んだ。

ラグスクリュウは、はりせいの上面と下面に取り付けられることが多いこと(図4)、積層面に直角方向と平行方向とでの引き抜き耐力には差は認められなかったことから、積層面に直角にねじ込んで、引き抜き耐力を求めた。

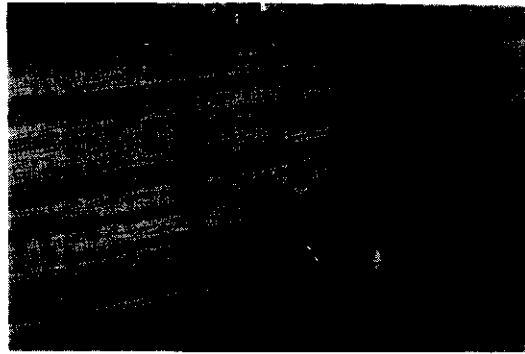


図4 はり上縁と下縁につけられたラグスクリュウ

引き抜き試験は、材料試験機(最大容量50トン、高津製作所製)に引き抜き試験用治具を取り付けて行った(図5)。

ラグスクリュウの引き抜き速度は、屋久0.4mm/minとし最大荷重と、最大荷重を引き抜き長さ(8.7cm)で除した値を引き抜き体力(kg/cm)を求めた。

各種類の先孔直径における引き抜きの繰り返し測定数は12個である。

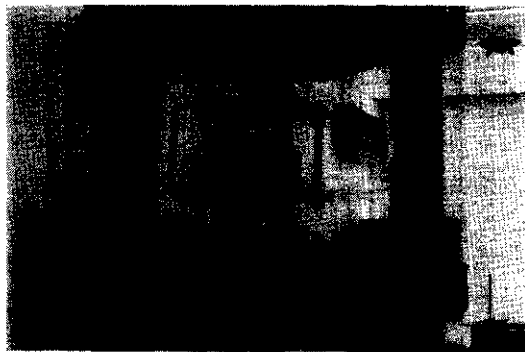


図5 引き抜き試験

2. 5 一面せん断試験

引き抜き試験結果をもとに、鉄鋼ドリル（スレートシャンクツイストドリル：神戸製鋼製）を用いて、試験材に先孔直径10.5mm、長さ約120mmの先孔を穿孔した。また、直径13.5mmの穴を有する厚さ9mm、幅100mm、長さ300mmのせん断試験用鋼板側板を用意した。

鋼板側板には直径13.5mmの穴を設けてあり、ラグスクリュウのねじ山の直径とのクリアランスは0.5mmである。

試験材に側板を重ね、試験材の先孔と側板の穴を一致させて、トリクレンチでラグスクリュウを側板の上から試験材にねじ込んだ。

ねじ込みの方法は、引き抜き試験と同じく集成材の積層面に直角方向とした。

ねじ込みはラグスクリュウの頭部が側板に接触した後、最後の締めつけトルクが800kgcmになるように設定した。

せん断試験は、ラグスクリュウ1本についての一面せん断試験である。

せん断試験において、荷重は側板の上端部にかかり、試験材にねじ込まれたラグスクリュウにせん断荷重が負荷される。側板の下端部は支持荷重を受けないように、10cm幅の側板から幅方向に5mm離れた箇所に試験材支持用のH鋼板を置いた。従って、支持したH鋼板間の距離は11cmである（図6）。



図6 せん断試験

せん断試験における加力は、繊維に平行方向と直角方向について行った。

試験材にねじ込まれたラグスクリュウの位置について、木口からの距離を端距離、試験材の緑からの距離を縁距離として、ラグスクリュウの直径（d）の倍数で表わした。ラグスクリュウのせん断加力によって、試験材に割れを生じないため端距離と縁距離を求めるため試験を行った。

平行方向加力のせん断試験におけるラグスクリュウのねじ込み位置は、試験材の幅方向（12cm）の中央の線に一致させた（縁距離5d）、端距離が1d、3d、5d、7d、9dの位置とした。なお、スギとベイマツの平行方向のせん断耐力は、9d以上で求めた。

直角方向加力のせん断試験におけるねじ込み位置は、端距離が9d以上で、縁距離が1d、2d、3d、4d、5dの位置とした。スギとベイマツの直角方向のせん断耐力は、4d以上で求めた。

3. 試験結果と考察

3. 1 大断面集成材とラミナの材質

表2にスギとベイマツの大断面集成材のヤング係数を示す。なおこの数値は過去に測定した試験結果のデータである。

表2 大断面集成材のヤング係数

樹種	ヤング係数 (ton/cm ²)
スギ	79
ベイマツ	130

ヤング係数から大断面集成材は、JAS規格ではスギが2級、ベイマツが特級に相当する。

表3～5にスギとベイマツのラミナの材質を示す。

表3 ラミナのヤング係数と曲げ強さ

項目	ヤング係数 (ton/cm ²)				曲げ強さ (kg/cm ²)					
	個数	最小	平均	最大	標準偏差	個数	最小	平均	最大	標準偏差
スギ	19	51.1	79.5	118.1	20.6	19	481	763	1131	176
ベイマツ	19	77.9	105.3	113.0	0.02	19	678	838	1005	119

表4 ラミナのせん断強さ

項目	まき目面 (kg/cm ²)				板目面 (kg/cm ²)					
	個数	最小	平均	最大	標準偏差	個数	最小	平均	最大	標準偏差
スギ	12	80	102	128	15	12	84	103	128	14
ベイマツ	12	92	110	136	12	12	84	108	129	13

表5 ラミナの割裂強さ

項目	まき目面 (kg/cm ²)				板目面 (kg/cm ²)					
	個数	最小	平均	最大	標準偏差	個数	最小	平均	最大	標準偏差
スギ	12	19.5	24.9	33.8	3.7	12	20.9	23.6	32.1	4.3
ベイマツ	12	22.6	29.7	38.6	4.2	12	23.6	31.9	40.0	6.5

ラグスクリューの接合耐力に関係すると思われる項目について試験を行った。

ラミナの気乾比重は試験方法のところで示したように、スギ:0.45、ベイマツ:0.52であり、スギよりベイマツの値が大きい。

同様にヤング係数と曲げ強さ及び割裂強さにおいていずれもベイマツの値が大きい。

しかし、せん断強さではスギとベイマツにほとんど差がなかった。

スギのヤング係数と曲げ強さ、平均値に対する標準偏差の値(変動係数)がベイマツよりも大きく、スギラミナの材質変動が大きいことを示している。

また供試したスギラミナは樹齢60～70年生のものを用いていることから、県内のスギ一般材(樹齢40年生担当)よりもヤング係数、曲げ強さが大きい。

ベイマツは一般の材よりややヤング係数曲げ強さが小さい傾向にある。

ラミナのヤング係数は大断面集成材のヤング係数に比べて小さかった。これはラミナを採取した大断面集成材が同一試験材でなかったため、供試材の材料の差異による。

3.2 引き抜き試験

引き抜き試験における荷重-変位線図を図7、図8に示す。

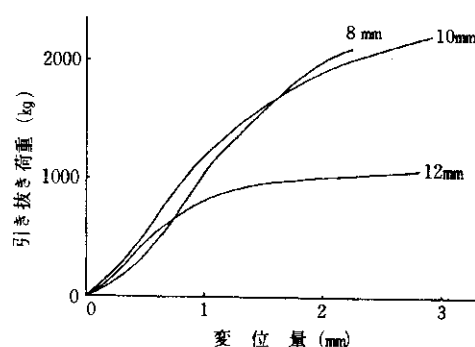


図7 スピの引き抜き荷重-変移線図

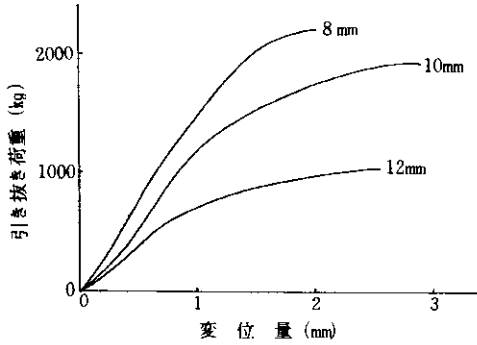


図8 ベイマツの引き抜き荷重-変位線図

ラグスクリュウ部のねじ山のピッチは約4mmであり、最大荷重に到達するまでの変移はねじのピッチ間隔と関連があるものと考えられる。

先孔直径を13.0mm~6.0mmまで変えて、ラグスの引き抜き耐力をみると、13.0mmから11.5mmの範囲先孔直径が小さくなるにつれて、引き抜き耐力は増加するが、11.5mm以下では引き抜き耐力は、ほとんど同じか、やや増加するにすぎない(図9、図10)

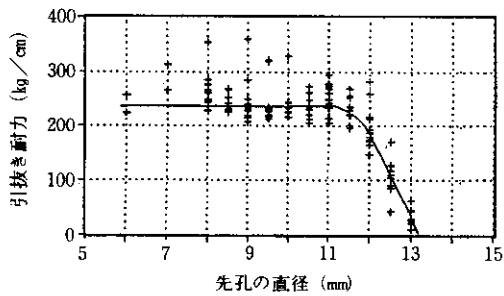


図9 スギの先孔直径と引き抜き耐力

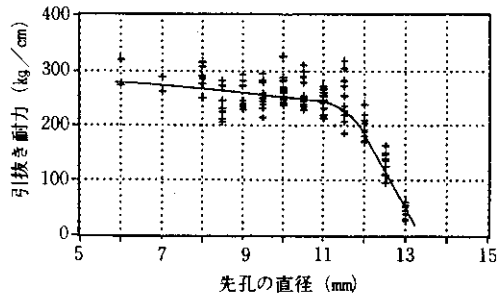


図10 ベイマツの先孔直径と引き抜き耐力

ねじ込みトルクと先孔直径の関係を図11、図12に示す。ねじ込みトルクは、先孔直径が小さくなるに比例して増加している。従って小さい直径では、ラグスクリュウのねじ込みに過大なトルクが必要になり、作業性が悪い。

つぎに、先孔直径11.5mmから6.0mmの範囲について、図13と図14をみると、トルクと引き抜き荷重の間には相関はなく、どのトルクでもほぼ一定の引き抜き荷重を示している。

これらのことから、スギとベイマツの集成材について、先孔の直径を小さくし、大きなトルクでねじ込んでも、引き抜き荷重はほとんど増加しないことがわかった。

従って、小さなトルクで作業性が良く、しかも引き抜き耐力を発揮する先孔の直径は、ラグスクリュウのねじ山の直径13.0mm、ねじ底の直径10.0mmに対しては、11.5mm~10.5mmの先孔直径が適当と考える。

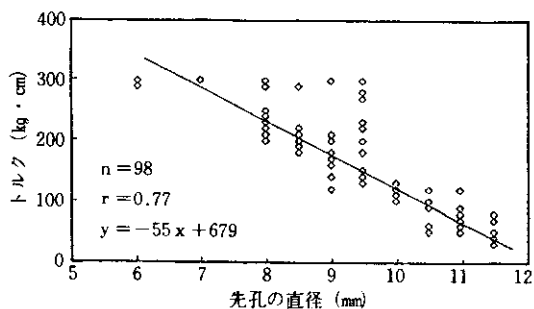


図11 スギにおける先孔直径とトルクの関係

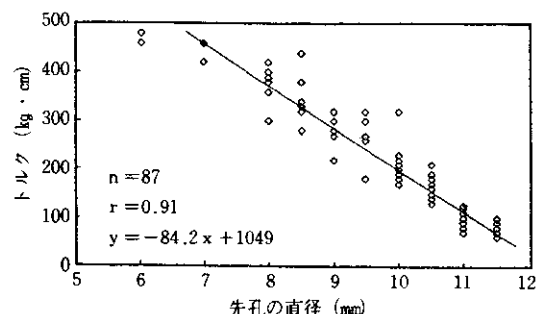


図12 ベイマツにおける先孔直径とトルクの関係

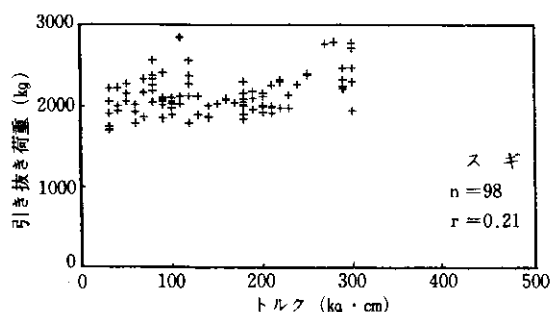


図13 トルクと引き抜き荷重(先孔直径6~11.5mm)

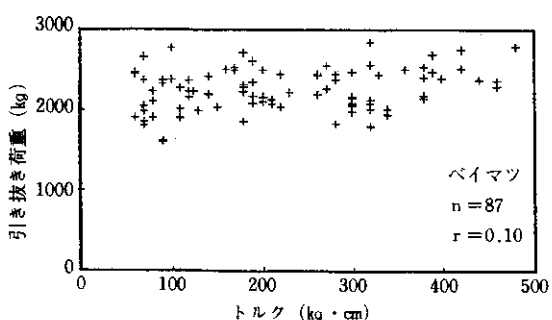


図14 トルクと引き抜き荷重(先孔直径6~11.5mm)

ラグスクリューの先孔の直径を求める目安として、次式を提案するが、これについては、今後検討したい。

$$\text{最適な先孔直径} = (\text{ねじ山の直径} + \text{ねじ底の直径}) / 2$$

スギとベイマツの引き抜き荷重の結果を表6に示す。

表6 スギとベイマツの引き抜き荷重 (kg)
(先孔直径: 11.5mm~6.0mm)

項目	測定個数	最小~平均~最大	標準偏差
スギ	98	1700~2157~3135	272
ベイマツ	98	1600~2259~2840	257

木構造計算規準⁵⁾によるラグスクリューの $1/d > 10$ における引き抜きの短期許容耐力は、次式で示される。

$$P_w = 120 \rho^{0.5} d$$

供試したラミナの比重 (ρ) は、スギ:0.46, ベイマツ:0.52, ラグスクリューの胴部の直径 (d):1.2cmであり、これら値を上記式に代入すると、 P_w が計算される。

この P_w に、安全率:2, ばらつきに対する係数 $3/4$ の逆数, ラグスクリューのねじ込み深さ8.7cmをかけて、引き抜き荷重の推定値を求めるとスギ:1.794kg, ベイマツ:1.981kgとなる。

胴部の代わりにねじ山の直径:1.3cmを用いると推定値は、スギ:1.945kg, ベイマツ:2.145kgとなる。

実験値は、スギ:2,157kg, ベイマツ:2,259kgでいずれの推定値より大きな値を示した。一般に、木構造計算規準⁵⁾ではラグスクリューの呼び径であ

る胴径を用いて引き抜き耐力を計算するが、ねじ山の直径の方が実測値により近くなっている。

3.3 一面せん断試験

せん断試験の荷重-スリップ線図から、降伏点荷重を求めこれをせん断力とした(図15)。

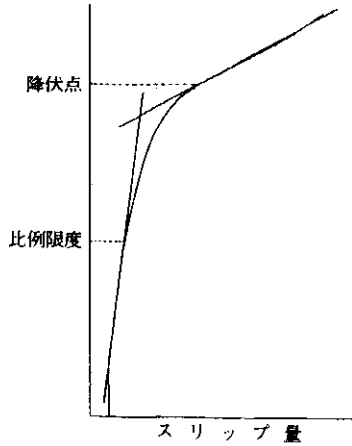


図15 せん断試験の荷重-スリップ線図

降伏点荷重と割れ長さを計測し、ラグスクリューのねじ込み位置について、縁距離と端距離を調べた。

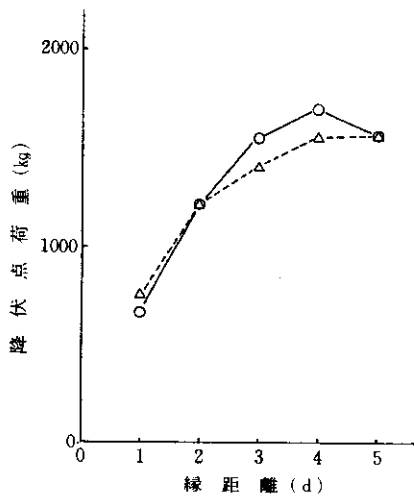


図16 縁距離と降伏点荷重
実線：スギ
破線：ベイマツ

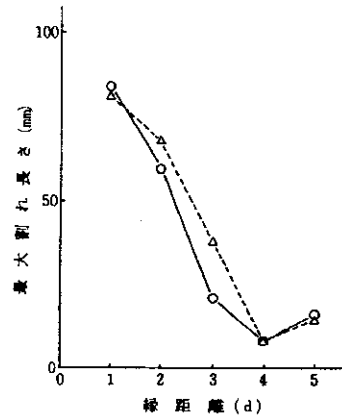


図17 縁距離と割れ長さ
実線：スギ
破線：ベイマツ

縁距離については、図16に縁距離と降伏点荷重を、図17ではせん断試験で生じた割れの中で最大のものについて長さを測定し、これと縁距離の関係を示した。

その結果、大きな降伏点荷重が得られ、しかも割れの発生が小さい縁距離は、スギとベイマツは同じく4 dであり、木構造設計規準で示されているのと同じ結果を得た。

ラグスクリューのせん断試験において、端距離や縁距離の短い場合には試験材に割れを生じるが、これは試験材を構成するラミナのせん断強さや割れ強さに関係があると思われる。スギとベイマツのラミナ割れ強さはベイマツが大きい、せん断強さにおいてはほとんど同じ値であった。

端距離については、図18に端距離と降伏点荷重及び端距離ごとに測定した個数に対する割れを生じた個数の割合を示した。割れの発生割合で表したのは、縁距離に比較して、割れの長さが測定困難であったことによる。

その結果、大きな降伏点荷重が得られ、しかも割れの発生割合が小さい端距離はスギで7 d、ベイマツで5 dが必要と推察される。

同一端距離については、スギよりもベイマツが割れの発生が少ない傾向を示した。木構造計算規

準⁶では7 dとなっていることから、ほぼ同じ結果と考える。

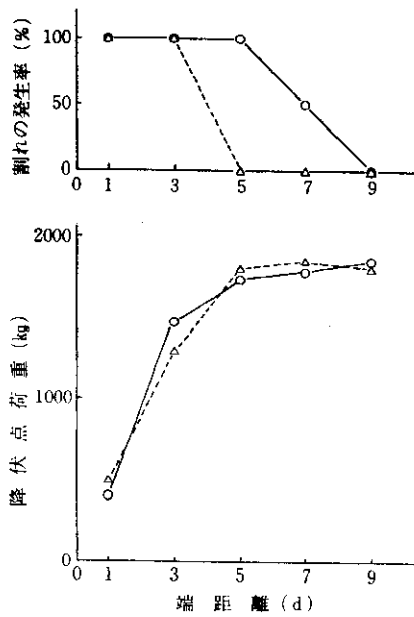


図18 端距離と降伏点荷重及び割れの発生率
実線：スギ
破線：ベイマツ

繊維に直角方向の加圧で、縁距離4 d以上における比例限度荷重と降伏点荷重と降伏荷重の結果を表7に、繊維に平行方向の加圧で、端距離9 dにおける比例限度荷重と降伏点荷重の結果を表8に示す。

表7 縁距離4 d以上における比例限度荷重と降伏点荷重

項目	比例限度荷重 (kg)			降伏点荷重 (kg)		
	測定 個数	最小・平均・最大	標準 偏差	最小・平均・最大	標準 偏差	
スギ	10	1125・1371・1630	181	1125・1788・2220	301	
ベイマツ	9	1280・1432・1540	75	1550・1838・2050	149	

表8 縁距離9 d以上における比例限度荷重と降伏点荷重

項目	比例限度荷重 (kg)		降伏点荷重 (kg)	
	測定 個数	最小・平均・最大 標準 偏差	最小・平均・最大 標準 偏差	
スギ	12	900・1100・1500 149	1650・1833・2100 136	
ベイマツ	11	900・1082・1300 157	1650・1841・2050 112	

降伏点荷重に対する比例限度荷重の割合は、加圧方向が繊維に直角方向でスギ：0.77、ベイマツ：0.78、平行方向でスギ：0.60、ベイマツ：0.59と、スギとベイマツの比例限度の割合はほとんど同じ値である。

加圧方向の平行方向に対する直角方向の降伏点荷重の割合は、スギ：0.98、ベイマツ：1.0で、加圧方向が繊維に対して平行方向と直角方向における降伏点荷重の差異はほとんどなかった。

ラグスクリューが $1/d > 10$ で、側板に鋼板を用いた場合の木構造計算規準⁶によるラグスクリューの短期許容耐力は、次式で示される。

$$P_{0.95} = 2500 d^2 \rho$$

供試したラミナの比重 (ρ) は、スギ：0.46、ベイマツ：0.52、ラグスクリューの胴部直径 (d) は1.2cmであり、これら値を上記式に代入すると、 $P_{0.95}$ が推定でき、スギ：1656kg、ベイマツ：1872kgとなる。

推定値に対する実験値の割合は、スギ：1.11、ベイマツ：0.98で、ベイマツは推定値と実験値がほとんど一致していたが、スギは推定値より実験値がやや大きな値を示し、スギは比重が小さい割には、せん断耐力が大きい結果を得た。

また、スギとベイマツのせん断耐力は、表8に示すように、ほとんど差がないことが本実験から明らかになった。

せん断試験によって胴部の曲がったラグスクリューを図19に示す。

スギとベイマツの一面せん断試験における、荷重-スリップ線図を図20~23に、ラグスクリューのねじ部を鋼板で固定し、胴部を片持ち梁で曲げたときの荷重-たわみ線図を図24に示す。

4. 結 論

スギとベイマツの大断面集成材を用いて、ラグスクリュー（長さ12.5cm、胴径12mm、ねじ山径13mm、ねじ底径10mm）接合の、引き抜き試験と側板に鋼板を用いた一面せん断試験を行い、以上の結果を得た。

(1) 引き抜き最大荷重とねじ込みトルクから、供試したラグスクリューに対する先孔の最適な直径は10.5mm~11.5mmであった。

(2) 引き抜き最大荷重は、スギ：2157kg、ベイマツ：2259kgで、スギの引き抜き荷重はベイマツに近い値であった。ねじ山の直径を用いて木構造計算規準の短期許容耐力の式から求めた、計算値に対する実験値の比は、スギ：1.11、ベイマツ：1.05で、スギはベイマツに比べ比重が低いにも関わらずベイマツに近い引き抜き耐力を示した。

(3) 一面せん断試験において、ラグスクリューの配置位置が耐力の低下や材に割れを引き起こさない材縁距離は、ラグスクリューの直径（ d ）の4 d であり、材端からの距離は7 d であった。

これは木構造計算規準のなかでドリフトピンについて述べられているのと同じであった。

(4) せん断試験における降伏点荷重の平均値は、加力が繊維に直角方向の場合、スギ：1788kg、ベイマツ：1838kg、加力が繊維に平行方向の場合、スギ：1833kg、ベイマツ：1841kgで、平行方向に対する直角方向の比は、スギ：0.98、ベイマツ：1.00で、直角方向と平行方向の間には大きな差異はなかった。



図19 せん断試験後のラグスクリュー

(5) せん断耐力について、木構造計算規準の短期許容耐力からの計算値に対する実験値の比をみると、スギ：1.11、ベイマツ：0.98で、引き抜き荷重と同様、スギは比重が低いにも関わらず、やや大きなせん断耐力を示した。

従来、スギの接合については接合耐力の弱さが指摘されていたが、樹齢60年生以上の材を用いれば、ベイマツとほぼ同等の接合性能が得られることが明らかになった。

参 考 文 献

- 1) 徳田迪夫ら：木材学会誌，35，6，473～481（1989）
- 2) 徳田迪夫ら：木材学会誌，35，6，482～488（1989）
- 3) 宮村雅史，佐藤雅俊：建築学会大会講演梗概集（関東），105～106，（1987）
- 4) 佐野 弘ら：建築学会大会講演梗概集（関東），107～108，（1988）
- 5) 佐野 弘ら：建築学会大会講演梗概集（関東），109～110，（1988）
- 6) 建築学会：木構造計算規準・同解説，丸善，（1988）

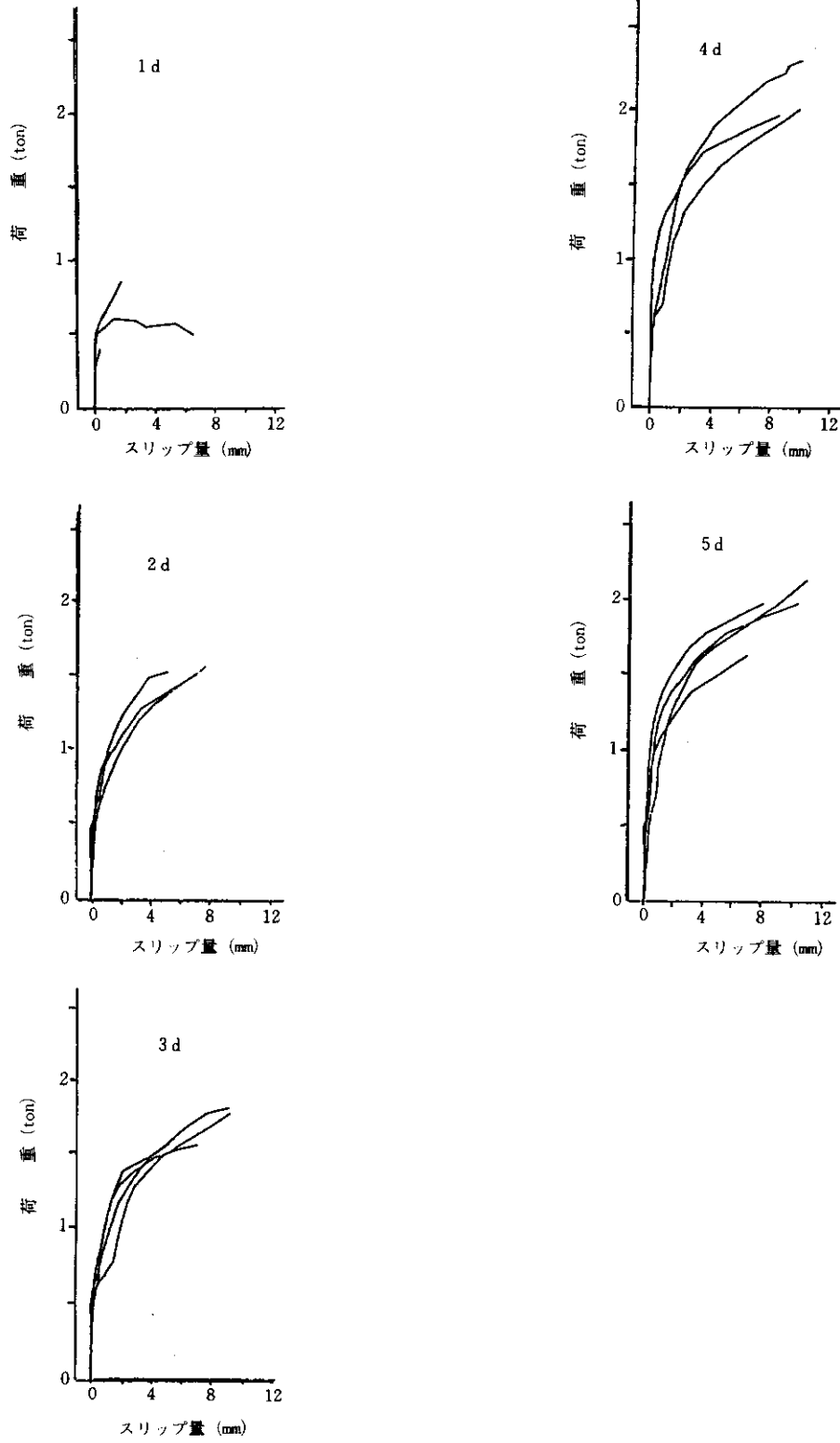


図20 スギの縁距離別荷重-スリップ線図

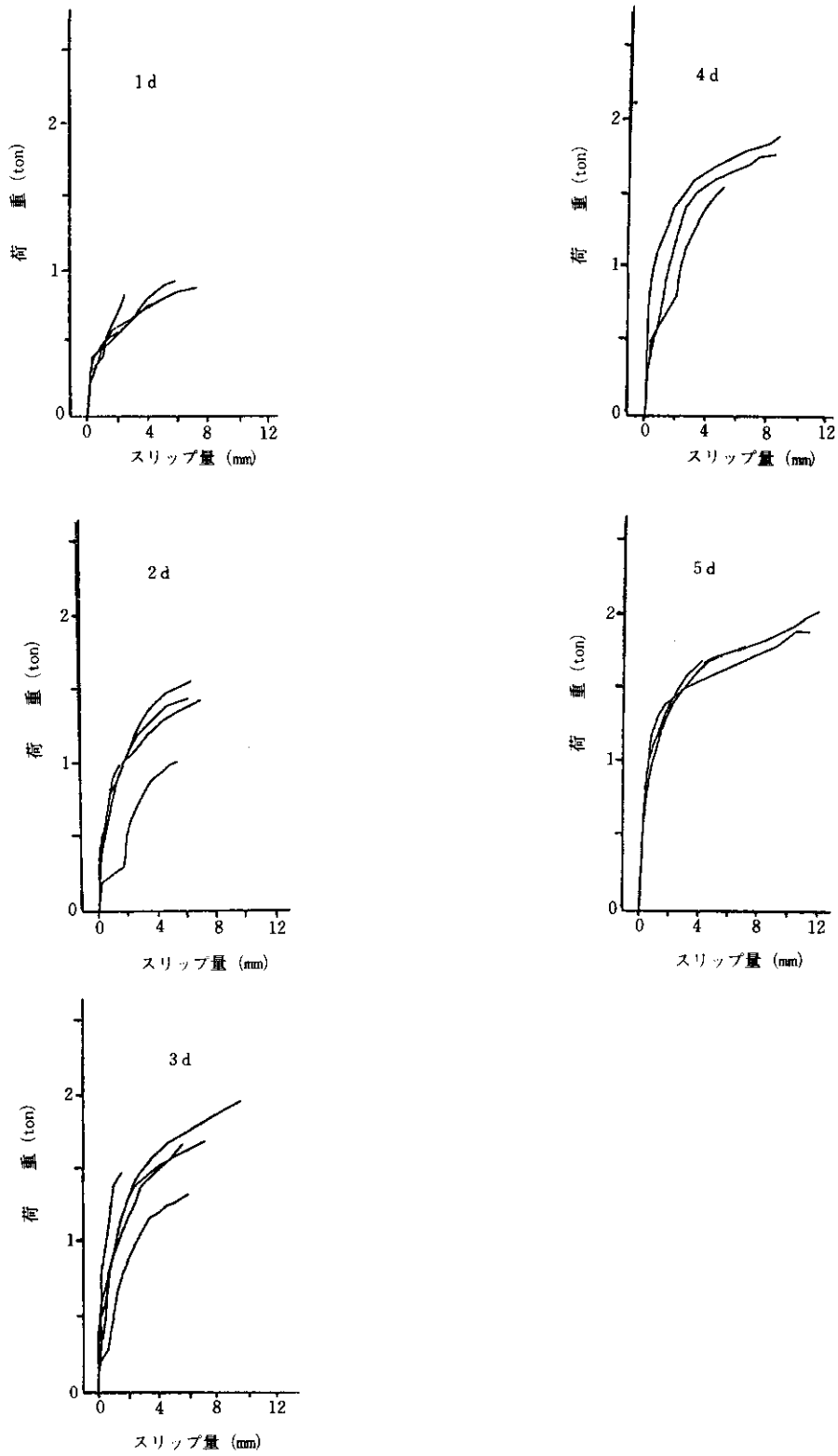


図21 ベイマツの縁距離別荷重-スリップ線図

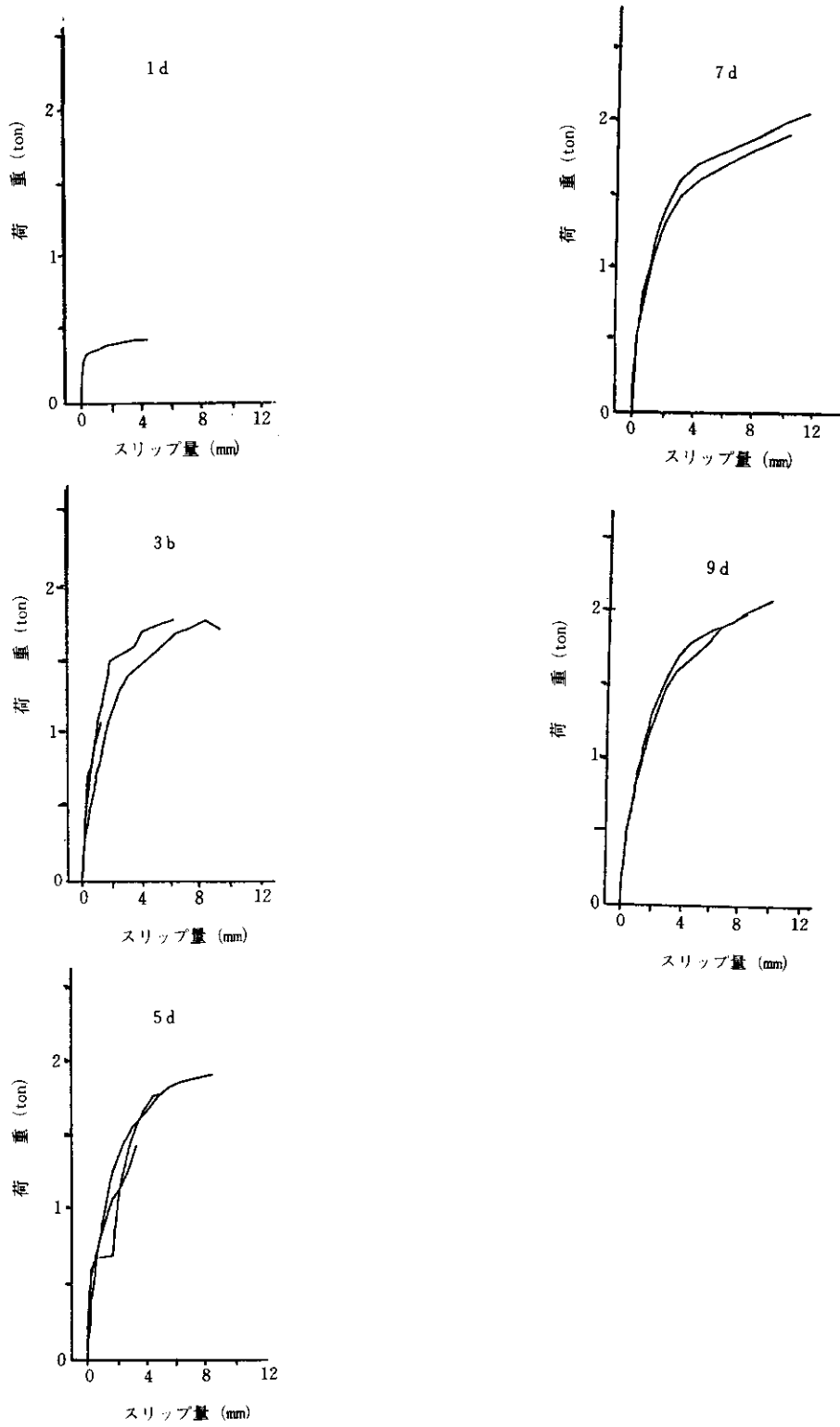


図22 スギの端距離別荷重-スリップ線図

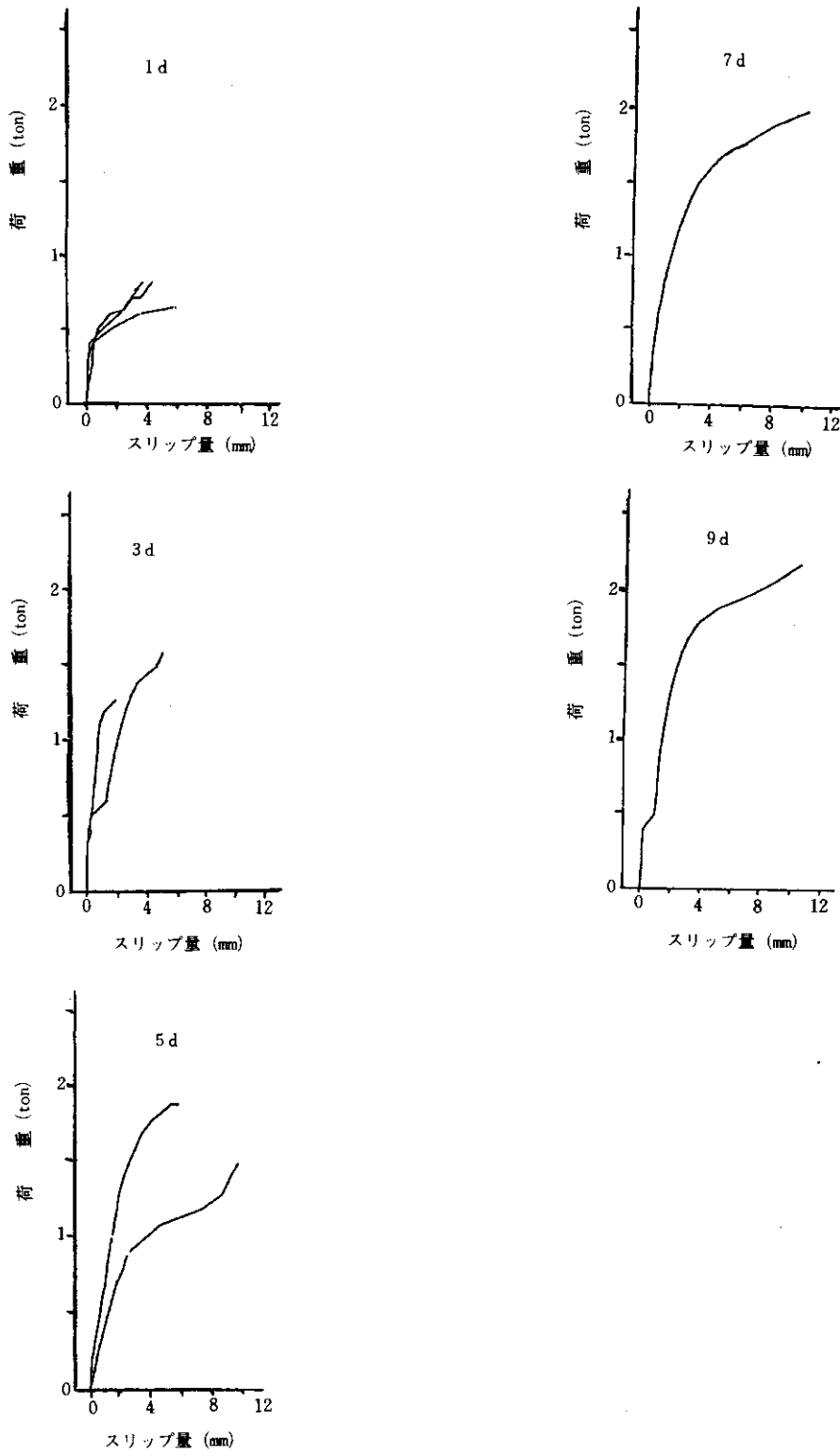


図23 ベイマツの端距離別荷重-スリップ線図

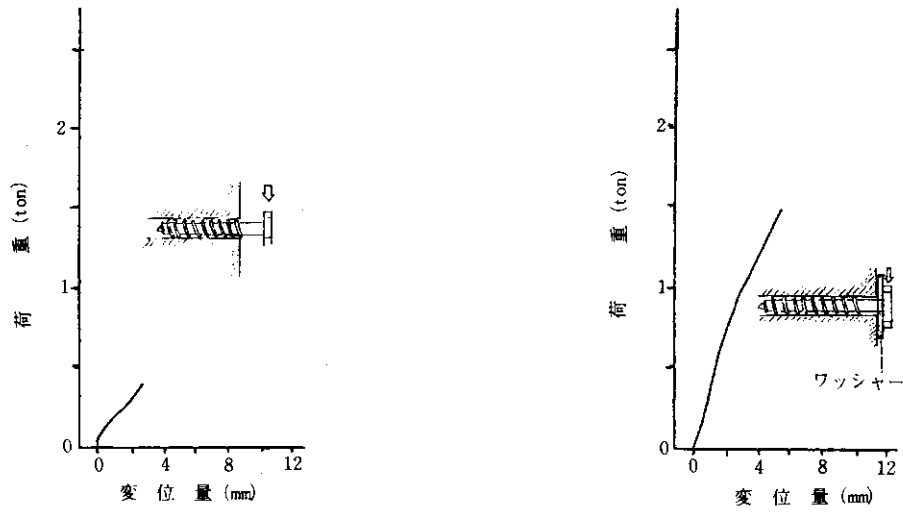


図24 ラグスクリエウの片持ちばりにおける曲げ荷重とたわみ量