

スギ材による接着重ね梁の開発

橋爪丈夫・伊東嘉文・吉田孝久

スギ正角（エレメント）を積層接着した重ね梁（2段積層：ツインビーム，3段積層：トリプルビーム）を各14体作製し，曲げ強度試験を行った。トリプルビームの1試験体が曲げ強さにおいて $20\text{N}/\text{mm}^2$ を下回ったが，スギ無等級材の材料強度 $22.2\text{N}/\text{mm}^2$ を下回ったのはこの1例だけであった。エレメントの縦振動ヤング係数（Efr）と接着重ね梁の曲げ強さ（MOR）との間に高い相関関係が認められた。

キーワード：スギ，接着重ね梁，曲げ強さ，曲げヤング係数

1 緒言

心持ち正角をエレメントとした接着重ね梁¹⁾の研究は1980年代後半に（財）日本住宅・木材技術センターによってなされたが，住宅の床梁をその用途として想定し，大工の下小屋程度の生産環境で，高含水率材を用い，低圧縮圧力で製造することを前提としたものであった^{2, 3)}。

針葉樹心持ち構造材の人工乾燥法として開発された高温セット法は乾燥初期の高温低湿処理（ 100°C を超える乾球温度で，湿球温度との温度差を $30\sim 40^\circ\text{C}$ に設定）によって材表層に引張りセットを形成し，材面割れを抑制する方法である^{4, 5)}。この技術によって，無背割り心持ち正角の実用化が図られ，それらを複数本積層接着した重ね梁の実用化が期待できる状況になった。

当センターではカラマツを材料として接着重ね梁の研究^{6, 7)}を進め，県内では一部実用化された⁸⁾。

本稿では，我が国の代表樹種であるスギの無背割り心持ち正角をエレメントとして，2本及び3本積層した接着重ね梁（以下それぞれをツインビーム，トリプルビームと呼ぶ）の曲げ試験結果を報告する。

なお，本研究は（財）日本住宅木材技術センター事業（農林水産省補助事業 品質・性能向上技術開発事業）の中で同センターとの共同研究として実施した。

2 材料と方法

2.1 供試材

長野県下伊那郡根羽村産スギ丸太 70 本を試験材とし，根羽村森林組合において $132\times 132\times 4000\text{mm}$ の正角に製材した。

次に，上伊那森林組合の蒸気式乾燥装置を用い人工乾燥を行った。乾燥スケジュールは，蒸煮6時間の後，高温セット処理（乾球温度 120°C ，湿球温度 90°C ）を24時間行ってから，乾球温度 90°C ，湿球温度 60°C で192時間乾燥した。

乾燥終了後に幅，厚さ，長さ，重量，基本振動数を測定し，縦振動ヤング係数（Efr）を算出した（写真-1）。

次いでEfrが小さな順に番号を付し，それを新たな番号としてエレメントの組み合わせを決定した。すなわち図-1に示したようにエレメントの1番と2番でツインビーム，次の3，4，5番でトリプルビームという具合に組み合わせた。従ってツインビーム，トリプルビームともに番号が大きなものは大きなEfrのエレメントで構成されていることになる。



写真-1 縦振動ヤング係数等の測定

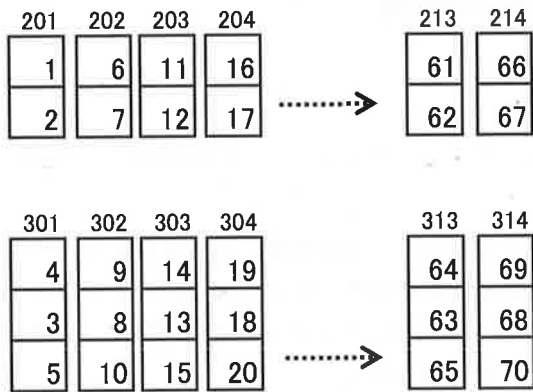


図-1 接着積層材のエレメントの組み合わせ

201～214：ツインビームの番号，
301～314：トリプルビームの番号
1～70：エレメントの番号 (Efr 順位を示す。)

2.2 接着重ね梁の製造

エレメントは人工乾燥後約1ヶ月の養生の後、一辺122mmにモルダ仕上げし、積層接着した。接着剤は「水性高分子ーイソシアネート系木材接着剤：鹿印ピーアイボンド6000(株オオシカ)」を用いた。これらの作業はいずれも上伊那森林組合伊南工場の集成材製造用のプレスを用いて行った。

2.3 接着重ね梁の調査

製造された接着重ね梁の形質調査は長野県林業総合センターにて行った。

測定項目は幅、高さ、節、割れである。節は材面に現れた節径をエレメント単位で針葉樹構造用製材の日本農林規格に準拠して測定した。

材面割れは各材面ごとにその長さを測定した(図-2の注参照)。

2.4 強度試験

接着重ね梁の曲げ試験はスパン3900mm、上部加力点間1020mmで行った(図-2、写真-2、写真-3)。図-2はトリプルビームの例を示したがツインビームも同一条件で行った。上下加力点間(1440mm)はツインビームの高さの6倍、トリプルビームの高さの4倍である。

試験機は実大材曲げ試験機(株島津製作所製UH-1000kNA)を用い、クロスヘッド速さ15mm/min

で行った。次式により曲げ強さ(MOR)と曲げヤング係数(MOE)を算出した。

$$MOR = a \times P_m / 2Z < N/mm^2 >$$

$$MOE = \{ a(3L^2 - 4a^2) / 48 I \} \times \{ \Delta P / \Delta Y \} < kN/mm^2 >$$

ここで、a：上部荷重点と下部支点との距離(mm)，
P_m：最大荷重(N)；Z：断面係数=bh²/6(mm³)，
L：スパン(mm)，I：断面二次モーメント=bh³/12(mm⁴)，
b：試験体の幅(mm)，h：試験体の高さ(mm)，
ΔP：比例域における上限荷重と下限荷重のとの差(N)，
ΔY：ΔPに対応するたわみ(mm)，である。

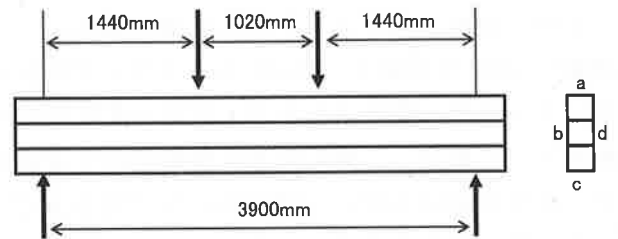


図-2 曲げ試験の条件と割れの測定法

注) 割れの測定法：a, c面の割れ長さの総計を求めてそれを2で除して狭い材面の割れ長さとした。b, d面についてはエレメントごとに測定した割れ長さの総和を求めてそれを2で除して広い材面の割れ長さとした。



写真-2 ツインビームの曲げ試験



写真-3 トリプルビームの曲げ試験

3 結果と考察

3.1 エレメントの調査結果

エレメントの人工乾燥後の測定結果を表-1 に示した。含水率は含水率計（株式会社科学研究所製 MOCO2）での測定値である。含水率、密度、Efr の平均値はそれぞれ 12.5%、410kg/m³、8.4kN/mm²であった。

図-3～図-5 に含水率、密度、Efr の分布を一覧した。

図-6 に密度と Efr との関係を示した。図に示したように相関関係は認められなかった。

表-1 エレメントの調査結果

	密度 kg/m ³	Efr kN/mm ²	含水率 %
平均値	410.1	8.4	12.5
標準偏差	44.2	1.4	4.0
変動係数	10.8	16.8	32.4

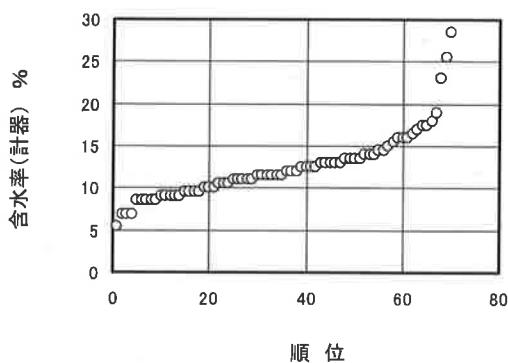


図-3 エレメントの含水率の分布

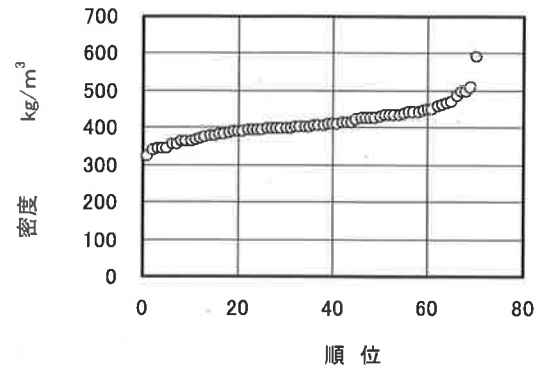


図-4 エレメントの密度の分布

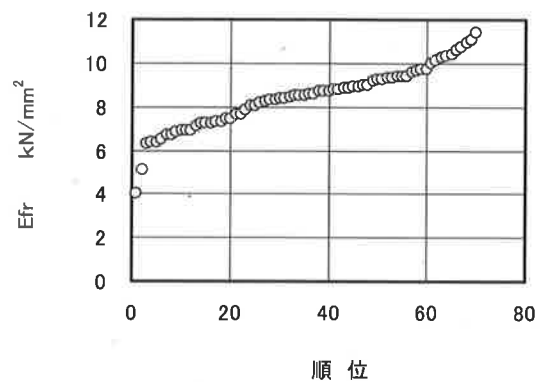


図-5 エレメントのEfrの分布

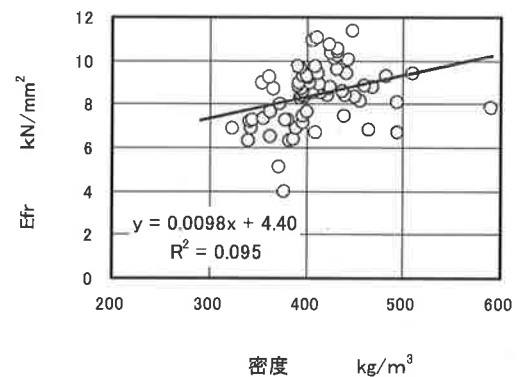


図-6 エレメントにおける密度とEfrとの関係

3.2 接着重ね梁の曲げ破壊試験の結果

3.2.1 試験時の含水率（全乾法）、平均年輪幅、最大節、集中節、割れ長さ

接着重ね梁ごとに試験時の含水率（全乾法）、平均年輪幅、最大節、集中節、割れ長さの平均値を算出し、その集計を表-2～7に示した。

含水率の平均値はツインビーム、トリプルビームそれぞれで 15.4%、11.1%であった。両者の差

異の原因は不明であるが分布範囲はほぼ等しかった(図-7)。

平均年輪幅は重ね梁を構成するエレメントの年輪幅の平均値である。それらの平均値は5mmを超えていた(表-3)。

針葉樹構造用製材の日本農林規格の乙種構造材(柱, 束等縦使いを想定)の1級, 2級, 3級の最大節径比はそれぞれ, 20%以下, 40%以下, 60%以下であり, 集中節径比は最大節径比のそれぞれ1.5倍以下である。図-8, 図-9の結果より本試験に用いたエレメントは1級及び2級の範囲にあるものと判断できた。

割れの測定において狭い材面とは120mm幅の上下面, 広い材面とはツインビームでは240mm幅, トリプルビームでは360mm幅の面を指す。狭い材面での割れ長さ平均値は約55cmで両者の差異はない。広い材面の割れはユニットごとに長さを測定し, その和で表示したため, ツインビームは2ユニット, トリプルビームは3ユニットの和である。狭い材面, ツインビーム広い材面, トリプルビーム広い材面の割れ長さの比は概略1:2:3であり, このことからエレメント1材面の割れの長さは概略50cm程度であることが推定できた(表-6, 7)。

表-2 含水率の集計

	ツインビーム	トリプルビーム
平均値 %	15.4	11.1
標準偏差 %	5.3	4.0
変動係数 %	34.3	36.2

表-3 平均年輪幅の集計

	ツインビーム	トリプルビーム
平均値 %	5.7	5.2
標準偏差 %	0.7	0.7
変動係数 %	12.2	14.2

表-4 最大節径比の集計

	ツインビーム	トリプルビーム
平均値 %	25.8	24.7
標準偏差 %	3.6	3.8
変動係数 %	13.9	15.6

表-5 集中節径比の集計

	ツインビーム	トリプルビーム
平均値 %	43.9	46.7
標準偏差 %	10.9	11.2
変動係数 %	24.8	23.9

表-6 狭い材面割れ長さの平均値の集計

	ツインビーム	トリプルビーム
平均値 cm	56.3	55.8
標準偏差 cm	49.9	74.2
変動係数 %	88.6	133.0

表-7 広い材面割れ長さの平均値の集計

	ツインビーム	トリプルビーム
平均値 cm	103.6	160.0
標準偏差 cm	80.8	171.1
変動係数 %	78.0	107.0

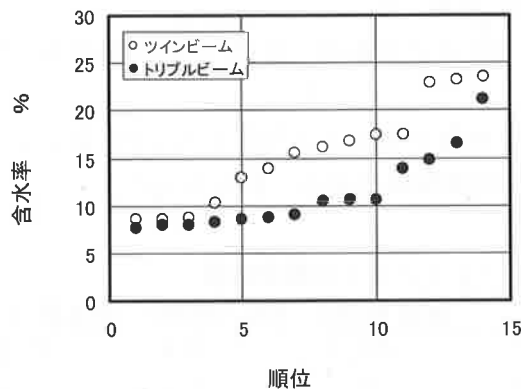


図-7 含水率の分布

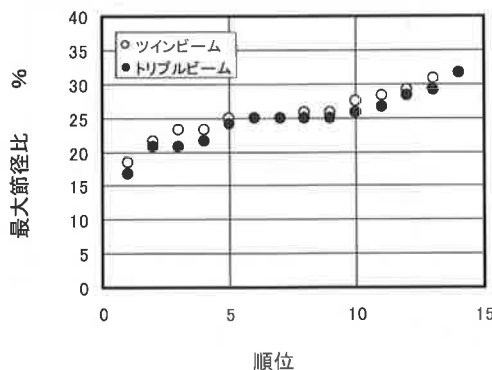


図-8 最大節径比の分布

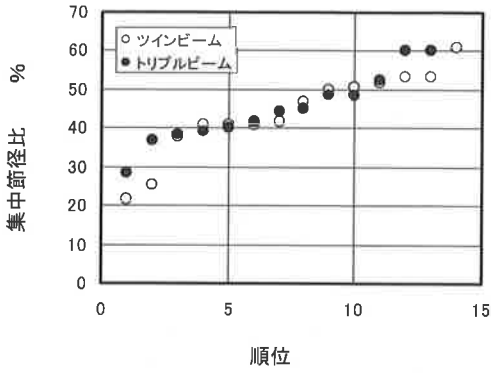


図-9 集中節径比の分布

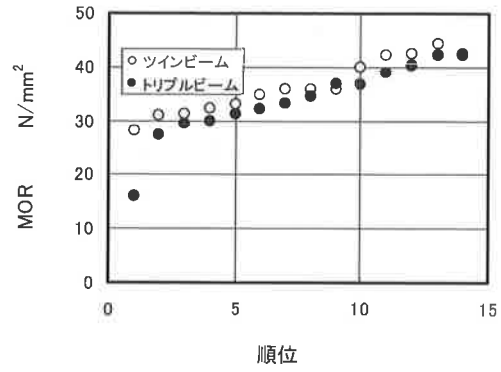


図-11 MORの分布

3.2.2 曲げヤング係数 (MOE), 曲げ強さ (MOR)

表8, 10にMOEとMORの集計を示し, 図-8, 図-9にそれらの分布を示した。

MORの分布を見るとトリプルビームの1試験体が20N/mm²を下回ったが, 国土交通省告示に示されているスギ無等級材の材料強度22.2N/mm²を下回ったのはこの一例だけであった。

表-8 曲げヤング係数 (MOE) の集計

	ツインビーム	トリプルビーム
平均値 kN/mm ²	7.60	6.89
標準偏差 %	1.30	0.97
変動係数 %	17.1	14.1

表-9 曲げ強さ (MOR) の集計

	ツインビーム	トリプルビーム
平均値 N/mm ²	36.3	33.6
標準偏差 %	5.0	7.0
変動係数 %	13.9	20.7

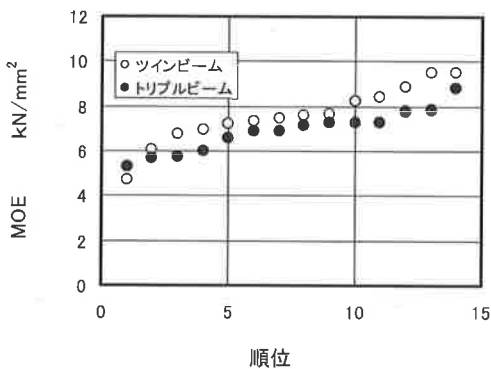


図-10 MOEの分布

3.2.3 縦振動ヤング係数の平均 (EfrAV) と強度性能 (MOE, MOR) との関係

接着重ね梁ごとのエレメントの Efr の平均値 (EfrAV) と MOE との間には当然ながら高い相関関係が認められた (図-12)。回帰式の傾きがトリプルビームの方が小さいのは曲げ試験のスパンに対する高さの比の違いによるものと考えられる。

EfrAV と MOR との間にも高い相関関係が認められ, 縦振動ヤング係数 (Efr) によるエレメント区分の意義が認められた (図-13)。このことは縦振動ヤング係数が高いエレメントから MOR が高い接着重ね梁が製造できることを示している。

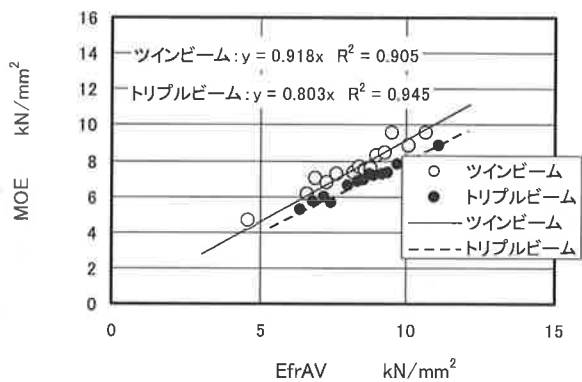


図-12 EfrAV と MOE との関係

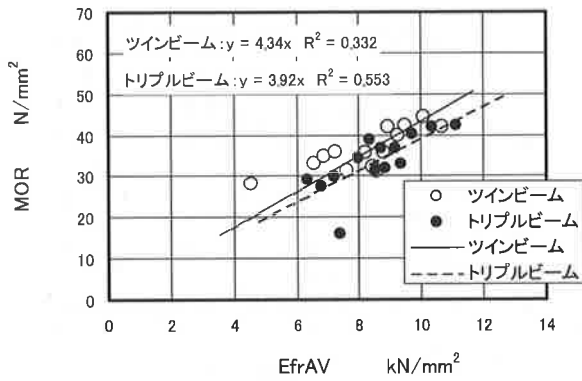


図-13 EfrAVとMORとの関係

3.2.4 曲げヤング係数と曲げ強さとの関係

曲げヤング係数と曲げ強さとの関係を図-12に示した。ツインビーム，トリプルビーム共に高い相関関係にあり，回帰式の傾きも両者の差異は少なかった。

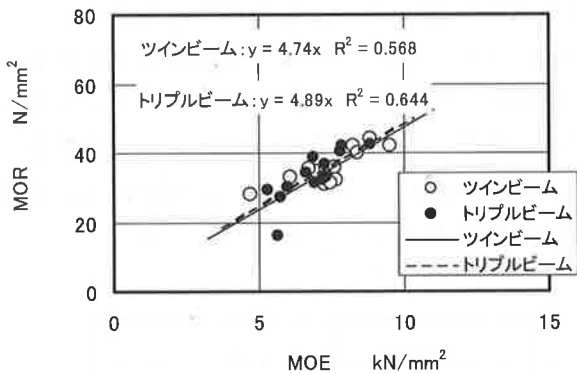


図-14 MOEとMORとの関係

3.2.5 平均年輪幅及び節と強度性能との関係

平均年輪幅，最大節径比，及び集中節径比とMOE，MORとの関係を図-15から図-20にそれぞれ示した。

年輪幅とMOE，MORとの間の相関関係は低かった(図-15，図-16)。

節径の測定はツインビームはエレメントごと，トリプルビームは上中下のエレメントのうち上下のみを測定対象とし，エレメント単位で接着面を除く3材面に存する最大節，集中節を測定した。

最大節径比とMOEとの関係は節径比が大きいほど曲げヤング係数が低下する傾向が認められたが相関関係は低かった(図-17)。集中節径比とMOEとの関係では傾向すら認められなかった(図-18)。

最大節径比とMORとの関係は節径比が大きいほど曲げ強さが低下する傾向が認められた(図-19)。

集中節径比とMORとの関係では傾向的なものは認められなかった(図-20)。

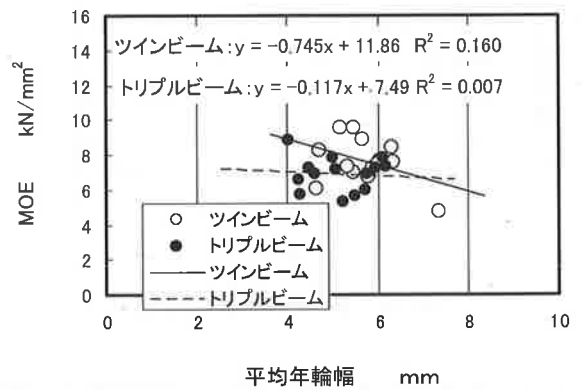


図-15 平均年輪幅とMOEとの関係

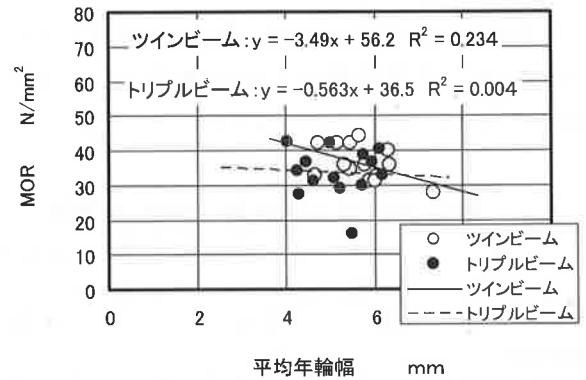


図-16 平均年輪幅とMORとの関係

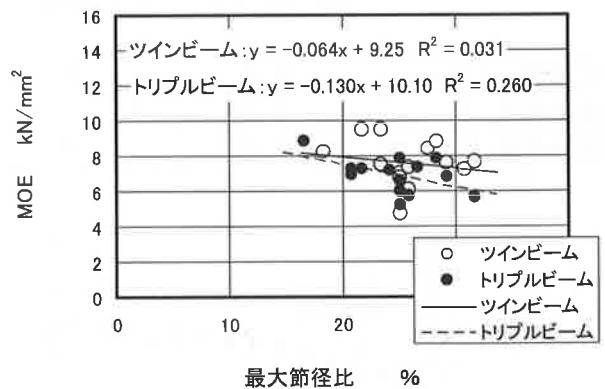


図-17 最大節径比とMOEとの関係

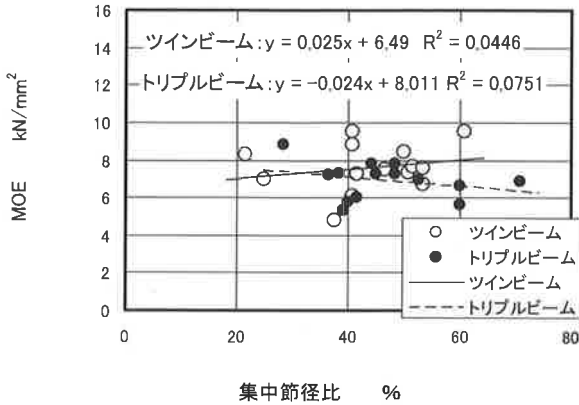


図-18 集中節径比と MOE との関係

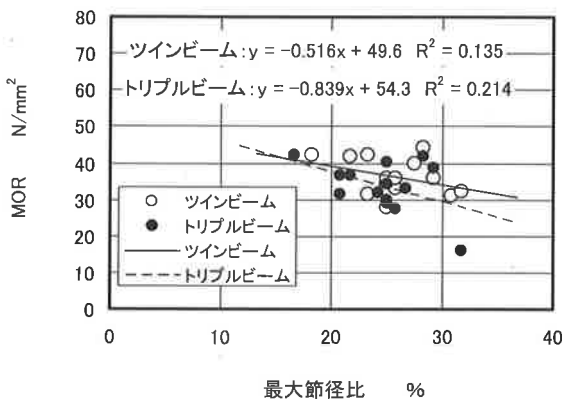


図-19 最大節径比と MOR との関係

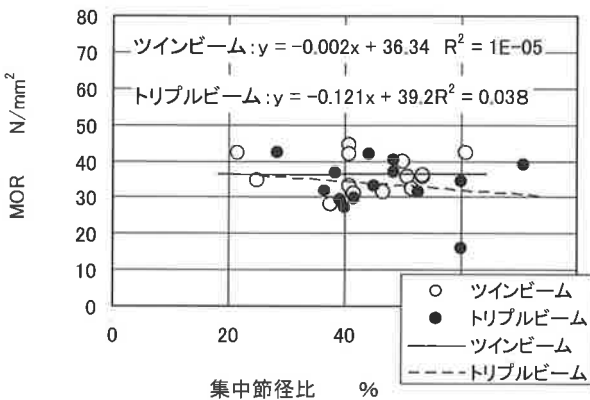


図-20 集中節径比と MOR との関係

4 まとめ

スギ正角（エレメント）を接着した接着重ね梁（2段積層：ツインビーム，3段積層：トリプルビーム）を各 14 体作製し，その強度性能を評価した。スギ正角の乾燥スケジュールは蒸煮 6 時間の後，高温セット処理（乾球温度 120℃，湿球温度 90℃）24 時間，続いて 90℃中温乾燥 192 時間とした。

エレメントの縦振動ヤング係数(Efr)の平均値，変動係数は，それぞれ 8.4 kN/mm²，16.8%であった。

接着重ね梁の曲げ試験の結果，トリプルビームの 1 試験体が曲げ強さにおいて 20N/mm²を下回ったが，国土交通省告示に示されているスギ無等級材の材料強度 22.2N/mm²を下回ったのはこの 1 例だけであった。

エレメントの縦振動ヤング係数と接着重ね梁の曲げ強さ (MOR) との間に高い相関関係が認められた。

現在我が国には接着重ね梁についての規格に類するものがない。今後 (財) 日本住宅・木材技術センターの AQ 認証等の規格化が望まれる。

引用文献

- 1) 日本建築学会：「木質構造設計ノート」，47-53 (1995)，丸善
- 2) 日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法等の開発業務報告書－合成梁等の利用開発－，28-56(1985)
- 3) 平嶋義彦，鴛海四郎，井上明生，小野泰，小松幸平：正角材を用いた接着重ね梁の曲げ性能，木材工業 43(2)，14-19 (1988)
- 4) 吉田孝久，橋爪丈夫，武田孝志，印出晃：スギ心持ち無背割り柱材の高温乾燥における高温セット法の割れ防止効果について，材料 53(4)，364-369(2004)
- 5) 徳本守彦，帆刈謙一，武田孝志，安江恒，吉田孝久：高温セット法で乾燥したスギおよびヒノキ心持ち柱材内のドライグセットの分布，材料 53(4) 370-375(2004)
- 6) 吉田孝久，伊東嘉文，橋爪丈夫：接着重ね梁（ツインビーム）の開発，長野県林総セ研報 18，111-123(2004)
- 7) 吉田孝久，伊東嘉文，橋爪丈夫：カラマツ接着重ね梁の製造と曲げ強度性能，木材工業 60(2)，65-69(2005)
- 8) 伊東嘉文：長野県で広がる接着重ね梁の利用，Journal of Timber Engineering, Vol. 18, NO. 4 118-126(2005)

付表 接着重ね梁の曲げ試験結果

種類	重ね梁 No.	構成エレ メント番号	Efr平均値 kN/mm ²	MOE kN/mm ²	MOR kN/mm ²	含水率 %	平均年輪 幅%
ツインビーム	201	1-2	4.56	4.73	28.0	23.1	7.3
ツインビーム	202	6-7	6.59	6.09	33.0	23.5	4.6
ツインビーム	203	11-12	6.88	6.97	34.7	17.4	5.4
ツインビーム	204	16-17	7.27	6.74	35.6	13.9	5.8
ツインビーム	205	21-22	7.62	7.24	31.0	15.6	5.9
ツインビーム	206	26-27	8.21	7.33	35.7	10.3	5.3
ツインビーム	207	31-32	8.42	7.67	32.2	8.5	6.1
ツインビーム	208	36-37	8.58	7.47	31.3	17.4	6.0
ツインビーム	209	41-42	8.79	7.60	35.8	12.9	6.3
ツインビーム	210	46-47	8.95	8.25	42.1	16.1	4.7
ツインビーム	211	51-52	9.28	8.41	39.9	16.8	6.3
ツインビーム	212	56-57	9.50	9.51	42.2	8.7	5.5
ツインビーム	213	61-62	10.06	8.84	44.2	8.6	5.7
ツインビーム	214	66-67	10.65	9.53	42.0	22.8	5.2
トリプルビーム	301	4-3-5	6.34	5.28	29.2	10.4	5.2
トリプルビーム	302	9-8-10	6.80	5.75	27.4	14.8	4.3
トリプルビーム	303	14-13-15	7.20	5.98	29.9	8.5	5.7
トリプルビーム	304	19-18-20	7.41	5.65	15.9	10.5	5.5
トリプルビーム	305	24-23-25	7.99	6.60	34.3	13.8	4.3
トリプルビーム	306	28-29-30	8.35	6.87	38.8	9	5.7
トリプルビーム	307	34-35-33	8.52	6.92	31.3	10.5	4.6
トリプルビーム	308	39-38-40	8.71	7.27	36.8	21.2	6.0
トリプルビーム	309	44-43-45	8.87	7.17	32.0	8.7	5.1
トリプルビーム	310	49-48-50	9.15	7.26	36.8	8	4.5
トリプルビーム	311	54-53-55	9.37	7.29	33.0	16.4	6.2
トリプルビーム	312	59-58-60	9.71	7.80	40.2	7.9	6.1
トリプルビーム	313	64-63-65	10.34	7.84	41.9	7.6	5.0
トリプルビーム	314	69-68-70	11.12	8.83	42.4	8.2	4.0