

応用型接着重ね梁の開発

田畑衛・吉田孝久・今井信・山内仁人・柴田直明

同一等級の正角材を上下に貼り合わせた「基本型」を応用し、経済性や強度特性上の優位性を想定してエレメントを構成した4つのタイプの応用型接着重ね梁を作製し、曲げ強度試験等を実施し以下の結果を得た。

①上部エレメントを、2mの正角材を縦継ぎした4mのカラマツの短尺材利用型では、曲げ強度性能は基本型との違いは認められなかった。②髓を内側に寄せて製材し、上下に成熟材の占める割合が多くなるよう貼り合わせたスギの偏心エレメント利用型では、成熟材率が30%以上の接着重ね梁は、曲げ強度性能が基本型に比べ高かった。③平角材の上下に同一丸太の辺材部から製材した2枚の板材を貼り合わせたカラマツの強度補強Ⅰ型、及び心持ち正角材の上下に正角材を2つに割った平割材を貼り合わせたカラマツの強度補強Ⅱ型では、Ⅰ型については基本型に比べ曲げ強度性能が高い傾向が認められた。しかし、Ⅱ型については曲げ強度性能の優位性が認められず、強度補強材に成熟材を十分に配置できなかったためと推察された。

キーワード：接着重ね梁，短尺材，偏心，強度補強，強度試験

1 緒言

接着重ね梁は、間伐材等の中目材から断面の大きな構造材が作製可能であることから、中目材の利用拡大を目的として1997年度から製品の開発を行ってきた。始めに、同一等級の正角材を上下に複数本貼り合わせた「基本型」の開発を行い、2本貼り合わせた「ツインビーム」、3本張り合わせた「トリプルビーム」の強度特性や接着性能等のデータを集積した。この基本型は、現在信州木材認証製品として認証工場で製造され、県内の公共施設等を中心に使用されている。

今回、この基本型に比べ、経済性や強度性能上優位となるようエレメントを構成した「応用型」の開発に取り組み、基本型との比較等による性能評価を行なった。また、構成するエレメントの動的ヤング係数(Efr)から、それらを貼り合わせた接着重ね梁の曲げヤング係数推定の可否を検討した。

なお、本研究は国交研究課題「応用型接着重ね梁の開発」(2009年度～2013年度)において実施した。

2 試験の方法

2.1 カラマツ短尺材利用型

2.1.1 試験体の作製

長さ4mの長野県産カラマツ丸太(径級不明)から、140mm×140mm×4000mmの心持ち正角材30本を製材し、蒸気式高温乾燥機を使用して表-1に示すスケジュールで人工乾燥を行った後、屋根付きの天然乾燥場でおおよそ2か月間養生した。

表-1 乾燥スケジュール

| 時間 (h) | 乾球温度 (°C) | 湿球温度 (°C) | 備考 |
|--------|-----------|-----------|-------|
| 6 | 95 | 95 | 蒸煮 |
| 24 | 120 | 90 | 高温セット |
| 168 | 90 | 60 | 中温乾燥 |

養生後乾燥において大きなねじれが生じた2本を除き、モルダーにより125mm×125mm×4000mmに仕上げ、縦振動法による動的ヤング係数(以下、Efr)を測定した。

接着直前にプレーナーで120mm×120mm×4000mmに仕上げた後、同等級のエレメント同士を組み合わせ、図-1のとおり上部エレメントを2mに鋸断して二分し、接着剤で縦継ぎ及び上下に接着し、14体の接着重ね梁の試験体を作製した。

接着は、レゾルシノール・フェノール樹脂接着剤を1㎡当たり350g片面塗布し、圧縮圧力78.4N/cm²、圧縮時間を約20時間として行った。

作製後屋根付きの天然乾燥場でおおよそ1か月間養生した。

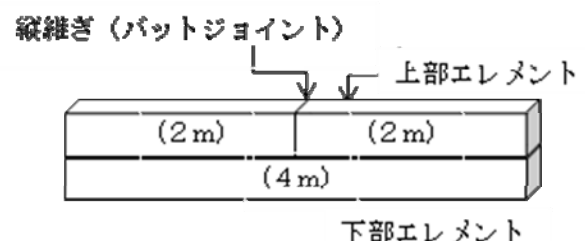


図-1 カラマツ短尺材利用型接着重ね梁

2.1.2 曲げ強度試験

Efr を測定後、当センター所有の実大材曲げ試験機「(株)島津製作所製 UH-1000kNA」を用いて、下部支点間距離 3900mm、上部荷重点間距離 1020mm の4点荷重条件、載荷速度 15mm/min で曲げ強度試験を実施した。

荷重 - 変位曲線の比例域内の荷重と変位との関係から曲げヤング係数 (以下、MOE) を、最大 (破壊) 荷重から曲げ強さ (以下、MOR) を計算した。

2.1.3 接着性能試験

曲げ試験を終了した試験体の非破壊部から、長さ方向に 75mm の試験片を接着重ね梁 1 体につき 1 個 (JAS 規定では両端から 1 個ずつ採取することとなっている) 採取し、減圧加圧はく離試験を実施した。

試験は集成材の JAS を準用し、試験片を水中浸漬し、減圧 5 分、加圧 1 時間を 2 回繰り返した後水中から取り出し、70℃の恒温乾燥機に入れ、質量が試験前の 100~110%になるよう乾燥した。

本試験では使用環境 A の条件を適用し、上記処理を 2 回繰り返した後、試験片の両木口面におけるはく離の長さを測定し、両木口面におけるはく離率及び同一接着層におけるはく離の長さの合計を算出した。

$$\text{はく離率(\%)} = \frac{\text{両木口面のはく離の長さの合計}}{\text{両木口面の接着層の長さの合計}} \times 100$$

2.2 カラマツ、スギ偏心エレメント利用型

2.2.1 試験体の作成

長さ 4 m の長野県産カラマツ丸太 (径級不明) から、145mm×145mm×4000mm の髓を片側に寄せた偏心製材の正角材 90 本を製材し、蒸気式高温乾燥機を使用して短尺材活用型と同様表-1 のスケジュールにより人工乾燥を行い、屋外で約 2 か月間養生した。

養生後モルダーにより 125mm×125mm×4000mm に仕上げ、Efr を測定した。

接着直前にプレーナーで 120mm×120mm×4000mm に仕上げた後、ヤング係数の上位から順に 2 本をペアとして同等級のエレメント同士を組み合わせ、髓を寄せて接着し (図-2)、カラマツの接着重ね梁の試験体 45 体を作製した。

接着はレゾルシノール・フェノール樹脂接着剤を 1 m² 当たり 350 g 片面塗布し、圧縮圧力 78.4N/cm²、圧縮時間を約 20 時間として行った。

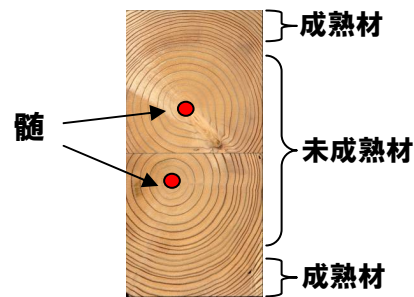


図-2 カラマツ偏心エレメント利用型接着重ね梁

更に、長さ 4 m の長野県産スギ丸太 (径級不明) から 135mm×135mm×4000mm の髓を片側に寄せた偏心製材の正角材 40 本を製材し、蒸気式高温乾燥機を使用して表-2 のスケジュールにより人工乾燥を行い、屋内でおよそ 3 ヶ月間養生した。

表-2 乾燥スケジュール

| 時間 (h) | 乾球温度 (°C) | 湿球温度 (°C) | 備考 |
|--------|-----------|-----------|-------|
| 8 | 95 | 95 | 蒸煮 |
| 24 | 120 | 90 | 高温セット |
| 168 | 90 | 60 | 中温乾燥 |

養生後製材機とモルダーにより 126mm×126mm×4000mm に仕上げ、Efr を測定した。

接着直前にプレーナーで 120mm×120mm×4000mm に仕上げ、ヤング率の上位から順に 2 本をペアにして組み合わせ、接着した (図-3)。

接着はカラマツと同様に行い、スギの接着重ね梁の試験体 20 体を作製した。

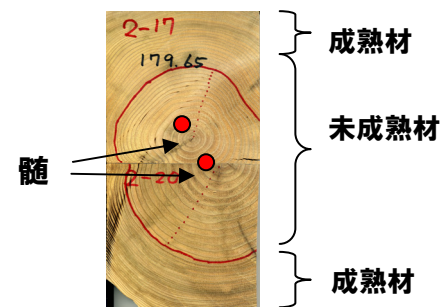


図-3 スギ偏心エレメント利用型接着重ね梁

2.2.2 曲げ強度試験

Efr を測定後、短尺材利用型と同じ方法により、曲げ強度試験を実施した。

また、スギについては、曲げ強度試験後に非破

壊部から長さ 30cm の木口試験片を切り出し、木口断面に占める 16 年生以上の面積比率を計測して成熟材比率 (%) とし、各試験体を 30%以上と 30%未満とに区分した (前出の図-3)。

2.2.3 接着性能試験

スギについて、曲げ強度試験の非破壊部から試験片を切り出し、実大いす型せん断試験及び接着性能試験 (JAS 構造用集成材の接着試験方法: 減圧加圧はく離試験 (使用環境C) 及びブロックせん断試験) を実施した。なお、実大いす型せん断試験及び減圧加圧はく離試験の試験体は、重ね梁の 1 体について両端から 1 個ずつ作製する予定であったが、20 体中 5 体は曲げ破壊により片側しか作製出来なかったため、合計 35 個について試験を行った。また、JAS 構造用集成材のブロックせん断試験体についても、試験体が作製できた 32 個について試験を行った。

2.3. カラマツ強度補強 I 型

2.3.1 試験体の作成

長さ 4 m の長野県産カラマツ丸太 (末口径 28cm ~ 42cm) 20 本から、140mm × 195mm × 4000mm の平角材 20 本と、同一丸太の辺材部から 40mm × 195mm × 4000mm の板材を 2 枚ずつ、計 40 枚製材した。続けて蒸気式高温乾燥機を使用して平角材は表-3 のスケジュール、板材は表-4 のスケジュールにより人工乾燥した後、ビニールハウス内で約 3 か月間養生した。

表-3 平角材 (中心材) の乾燥スケジュール

| 時間 (h) | 乾球温度 (°C) | 湿球温度 (°C) | 備考 |
|--------|-----------|-----------|-------|
| 10 | 95 | 95 | 蒸煮 |
| 18 | 110 | 80 | 高温セット |
| 168 | 90 | 60 | 中温乾燥 |

表-4 板材 (強度補強材) の乾燥スケジュール

| 時間 (h) | 乾球温度 (°C) | 湿球温度 (°C) | 備考 |
|--------|-----------|-----------|------|
| 6 | 95 | 95 | 蒸煮 |
| 24 | 80 | 5 | 中温乾燥 |
| 24 | 80 | 10 | 〃 |
| 12 | 80 | 15 | 〃 |
| 12 | 80 | 20 | 〃 |
| 24 | 80 | 30 | 〃 |

養生後、製材機及びモルダーにより平角材は 126mm × 186mm × 4000mm、板材は 35mm × 126mm × 4000mm に仕上げた後、Efr を測定した。

接着直前にプレーナーで平角材は 122mm × 182mm × 4000mm、板材は 32mm × 122mm × 4000mm に仕上げ、同一丸太から製材した平角材 1 本と板材 2 枚をペアとして組み合わせて接着した (図-4)。

接着はレゾルシノール・フェノール樹脂接着剤を 1 m² 当たり 350 g / m² 片面塗布し、圧縮圧力 78.4N/cm²、圧縮時間を約 20 時間として行った。

養生後、モルダーにより 120mm × 240mm × 4000mm に仕上げて接着重ね梁の試験体 20 体を作製した。

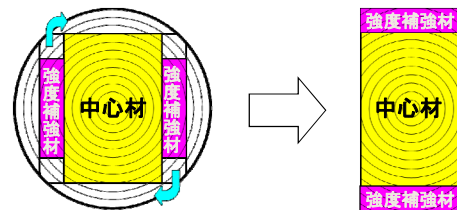


図-4 カラマツ強度補強 I 型接着重ね梁

2.3.2 曲げ強度試験

Efr を測定後、短尺材利用型と同じ方法により、曲げ強度試験を実施した。

2.3.3 接着性能試験

曲げ試験を終了した試験体の非破壊部から、いす型、連続型の試験片を 1 体につき各 1 個切り出し、接着性能試験 (JAS 構造用集成材の接着性能試験方法: 減圧加圧はく離試験 (使用環境C) 及びブロックせん断試験) を実施した。

2.4 カラマツ強度補強 II 型

2.4.1 試験体の作成

長さ 4 m の長野県産カラマツ丸太 (末口径 20 ~ 24cm) 40 本から、145mm × 145mm × 4000mm の正角材 20 本と、145mm × 67mm × 4000mm の平割材 40 本を製材した後、蒸気式高温乾燥機を用いて正角材は表-5 のスケジュール、平割材は表-6 のスケジュールにより人工乾燥した。その後、室内で 3 か月間養生し Efr を測定した。

表-5 正角材 (中心材) の乾燥スケジュール

| 時間 (h) | 乾球温度 (°C) | 湿球温度 (°C) | 備考 |
|--------|-----------|-----------|-------|
| 10 | 95 | 95 | 蒸煮 |
| 18 | 110 | 90 | 高温セット |
| 192 | 90 | 60 | 中温乾燥 |

表-6 平割材（強度補強材）の乾燥スケジュール

| 時間 (h) | 乾球温度 (°C) | 湿球温度 (°C) | 備考 |
|-----------|--------------|--------------|------|
| 6 | 95 | 95 | 蒸煮 |
| 18 | 90 | 85 | 中温乾燥 |
| 18 | 90 | 80 | 〃 |
| 18 | 90 | 75 | 〃 |
| 24 | 90 | 70 | 〃 |
| 48 | 90 | 60 | 〃 |

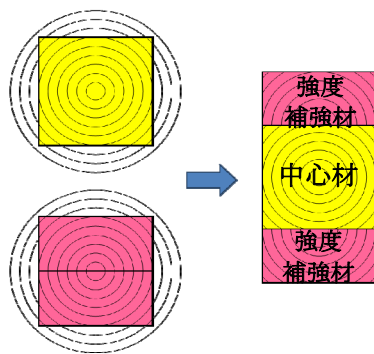


図-5 カラマツ強度補強Ⅱ型接着重ね梁

接着直前に正角材は 130mm×125mm×4000mm に、平割材は 131mm×61mm×4000mm に仕上げ、平割材の縦振動ヤング係数上位から 2 体をペアとし、これと正角材のヤング係数の上位のものから順にエレメントとして組み合わせて接着した。

接着は、水性高分子ーイソシアネート系接着剤を両面に 500g/m² 以上（通常の 2 倍）塗布し、圧縮圧力 196N/cm²、圧縮時間を約 6 及び 12 時間として行った。

接着後モルダーにより 120mm×240mm×4000mm に仕上げ、接着重ね梁の試験体 20 体を作製した（図-5）。

2.4.2 曲げ強度試験

養生後 Efr を測定し、短尺材活用型と同じ方法により曲げ強度試験を実施した。

3 結果と考察

3.1 カラマツ短尺材利用型

3.1.1 曲げ強度試験

各 Efr 値と曲げ強度試験の結果を、カラマツの同等級の正角材を 2 本張り合わせた基本型の曲げ強度データも含めて表-7 に示した。

接着重ね梁の MOE の平均値は 10.56kN/mm² であり、変動係数は 13.9%，MOR の平均値は 36.2N/mm² で、変動係数は 23.6% であった。カラマツ製材の無等級材の基準強度は 26.7N/mm²（建設省告示 H12 建国第 1452 号、H19 国交告第 1524 号）であり、これを下回った材は 14 体中 1 体であった。

接着重ね梁の MOE と MOR の相関は図-6 のとおり低く、大きくばらついた。

表-7 カラマツ短尺材活用型接着重ね梁の曲げ強度試験結果

| 区 分 | エレメント | | | カラマツ短尺材活用型接着重ね梁 | | |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | 上部 Efr (kN/mm ²) | 下部 Efr (kN/mm ²) | 平均 (kN/mm ²) | Efr (kN/mm ²) | MOE (kN/mm ²) | MOR (N/mm ²) |
| 短尺材利用型（カラマツ） | | | | | | |
| 平均値 | 11.83 | 12.07 | 11.95 | 11.95 | 10.56 | 36.2 |
| 最小値 | 8.39 | 9.02 | 8.70 | 8.84 | 7.72 | 25.4 |
| 最大値 | 15.14 | 15.73 | 15.44 | 15.22 | 13.17 | 59.2 |
| 標準偏差 | 1.70 | 1.69 | 1.69 | 1.61 | 1.47 | 8.5 |
| 変動係数(%) | 14.4 | 14.0 | 14.2 | 13.5 | 13.9 | 23.6 |
| データ数 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| 基本型（カラマツ） ^{1)ほか} | | | | | | |
| 平均値 | — | — | — | — | 9.77 | 33.2 |
| 最小値 | — | — | — | — | 6.76 | 16.9 |
| 最大値 | — | — | — | — | 13.63 | 57.2 |
| 標準偏差 | — | — | — | — | 1.11 | 7.2 |
| 変動係数(%) | — | — | — | — | 11.4 | 21.7 |
| データ数 | — | — | — | — | 284 | 284 |

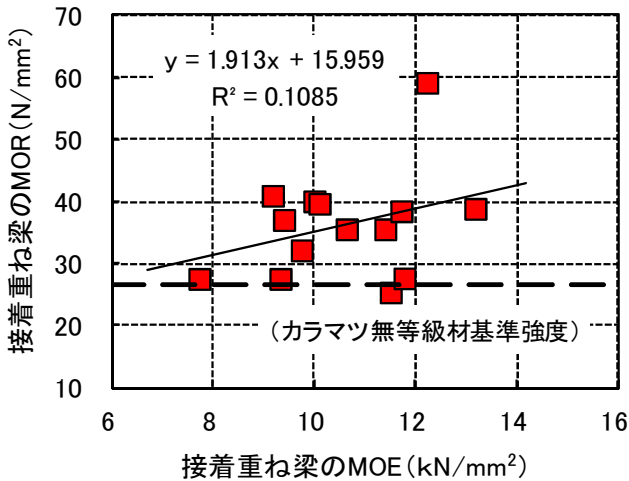


図-6 カラマツ短尺材利用型接着重ね梁の MOE と MOR との関係

また、曲げの強度性能を既往のカラマツ基本型接着重ね梁と比較すると、ほぼ既往型のデータの範囲内に位置しており、曲げ強度の低下は認められなかった (図-7)。

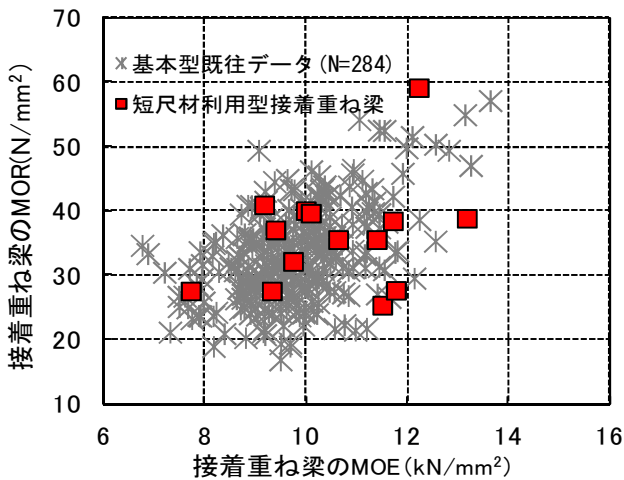


図-7 カラマツ基本型との曲げ強度データの比較

接着重ね梁の Efr は、これを構成する 2 本のエレメントの Efr の平均と高い相関にあった (図-8)。また、接着重ね梁の Efr と接着重ね梁の MOE、エレメントの Efr の平均と接着重ね梁の MOE との相関も高かった (図-9、図-10)。このため、接着重ね梁を構成するエレメントの Efr を測定し、同等級で貼り合わせた場合は、接着重ね梁の MOE をある程度推定出来ることが示唆された。

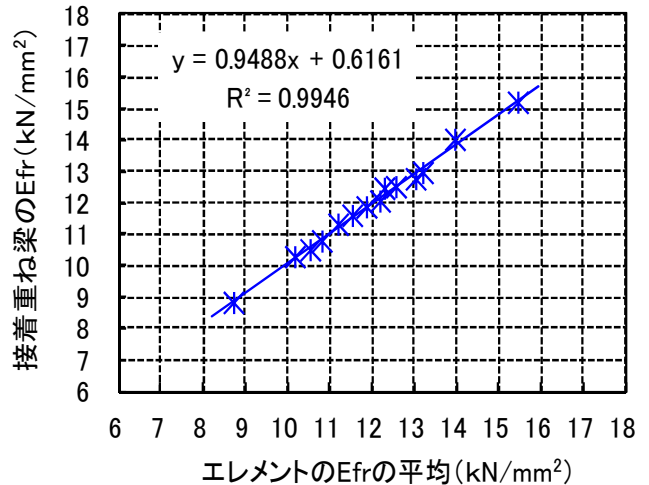


図-8 エレメントの Efr の平均と接着重ね梁の Efr との関係

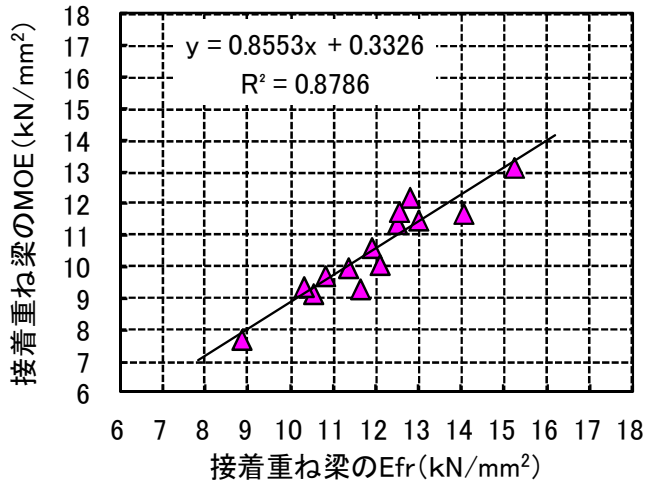


図-9 接着重ね梁の Efr と MOE との関係

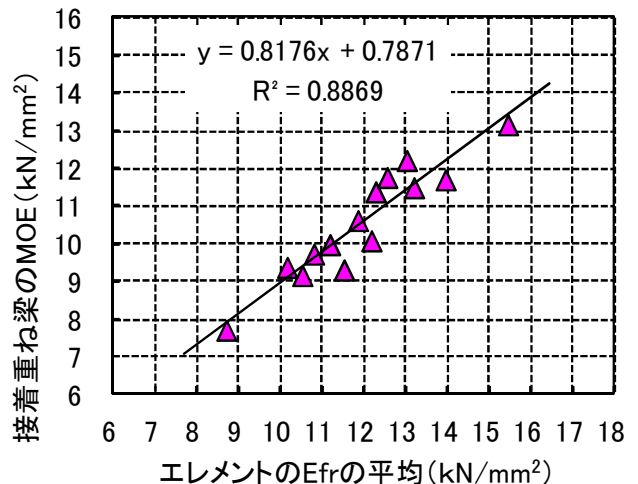


図-10 エレメントの Efr の平均と接着重ね梁の MOE との関係

3.1.2 接着性能試験

接着性能試験の結果を表-8 に示した。

剥離を生じた試験体は14体中3体あったが、いずれも小さなはく離であり、はく離率の計算でも全試験体が集成材の環境条件Aの基準に適合した。

表-8 カラマツ短尺材利用型接着重ね梁の接着性能試験結果

| | 減圧加圧はく離試験 | | | |
|------|-------------|---------------|-----------------|---------------|
| | はく離率 (%) | | はく離長さ (mm) | |
| 試験体数 | 14 | | | |
| 平均 | 0.28 | | 0.64 | |
| 最小 | 0 | | 0 | |
| 最大 | 1.30 | | 3.00 | |
| 判定 | 5%以下の試験体の割合 | 14/14 100% | はく離長さ1/4の試験体の割合 | 14/14 100% |

3.2 カラマツ、スギ偏心エレメント利用型

3.2.1 曲げ強度試験

両樹種の偏心エレメント利用型の接着重ね梁の曲げ強度試験の結果を表-9、及び表-10 に示した。

カラマツ接着重ね梁のMOEの平均値は10.23 kN/mm²で変動係数は15.0%，MORの平均値は34.3 N/mm²で変動係数は26.7%であった。カラマツ製材の無等級材の基準強度である26.7N/mm²(前出の告示)を下回った材は45体中11体あり、高温乾燥時の熱劣化による強度低下があったものと推測された。

接着重ね梁のMOEとMORはバラツキが大きいのが相関関係にあった。また、接着重ね梁のデータはカラマツ基本型のデータの範囲内に含まれており、曲げ強度の優位性は認められなかった(図-11、図-12)。

表-9 カラマツ偏心エレメント利用型接着重ね梁の曲げ強度試験結果

| 区分 | エレメント | | | カラマツ偏心エレメント利用型接着重ね梁 | | |
|---------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | 上部 Efr (kN/mm ²) | 下部 Efr (kN/mm ²) | 平均 (kN/mm ²) | Efr (kN/mm ²) | MOE (kN/mm ²) | MOR (N/mm ²) |
| 平均値 | 10.90 | 10.91 | 10.90 | 10.88 | 10.23 | 34.3 |
| 最小値 | 8.35 | 8.47 | 8.41 | 8.28 | 7.58 | 17.1 |
| 最大値 | 15.05 | 15.16 | 15.11 | 15.01 | 14.96 | 51.5 |
| 標準偏差 | 1.47 | 1.48 | 1.47 | 1.50 | 1.53 | 9.2 |
| 変動係数(%) | 13.5 | 13.6 | 13.5 | 13.8 | 15.0 | 26.7 |
| データ数 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |

表-10 スギ偏心エレメント利用型接着重ね梁の曲げ強度試験結果

| 区分 | エレメント | | | スギ偏心エレメント利用型接着重ね梁 | | |
|--------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | 上部 Efr (kN/mm ²) | 下部 Efr (kN/mm ²) | 平均 (kN/mm ²) | Efr (kN/mm ²) | MOE (kN/mm ²) | MOR (N/mm ²) |
| 短尺材活用型 (スギ) | | | | | | |
| 平均値 | 8.02 | 8.02 | 8.02 | 8.19 | 8.11 | 40.5 |
| 最小値 | 4.77 | 5.04 | 4.91 | 5.00 | 4.76 | 22.9 |
| 最大値 | 12.11 | 11.96 | 12.04 | 13.05 | 12.79 | 61.0 |
| 標準偏差 | 2.06 | 2.00 | 2.03 | 2.19 | 2.05 | 11.2 |
| 変動係数(%) | 25.7 | 25.0 | 25.3 | 26.8 | 25.2 | 27.6 |
| データ数 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 基本型 (スギ) ^{1)ほか} | | | | | | |
| 平均値 | — | — | — | — | 7.54 | 35.6 |
| 最小値 | — | — | — | — | 4.44 | 21.9 |
| 最大値 | — | — | — | — | 10.50 | 54.4 |
| 標準偏差 | — | — | — | — | 1.27 | 6.1 |
| 変動係数(%) | — | — | — | — | 16.8 | 17.1 |
| データ数 | — | — | — | — | 104 | 104 |

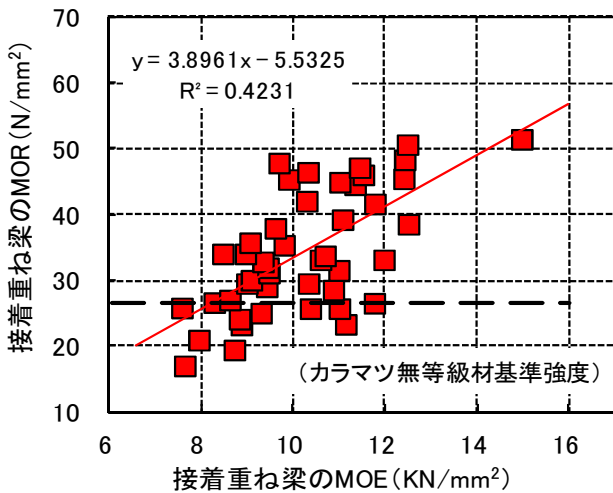


図-11 カラマツ偏心エレメント利用型接着重ね梁の MOE と MOR との関係

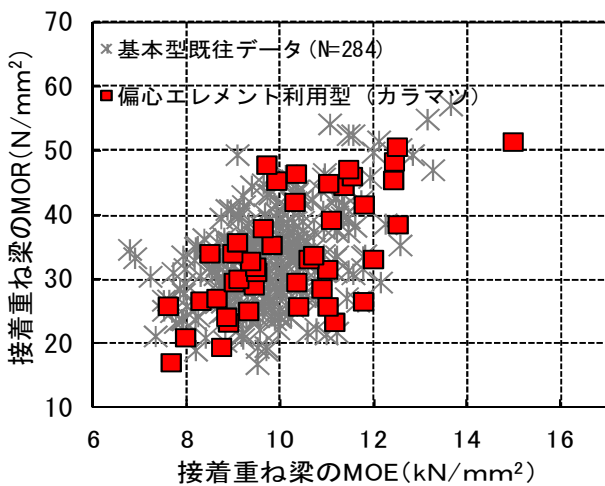
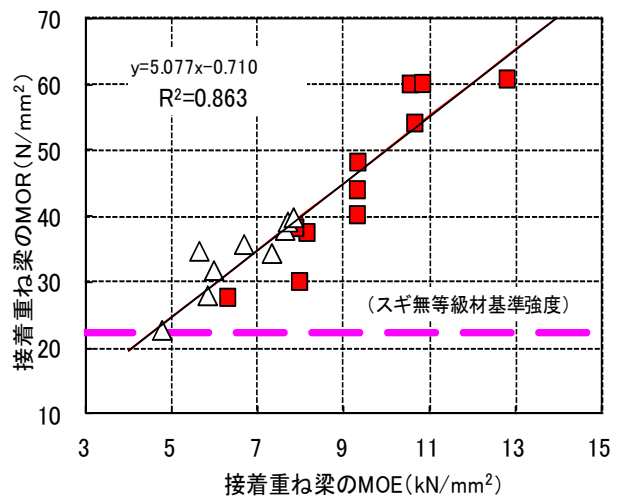


図-12 カラマツ基本型との曲げ強度データの比較

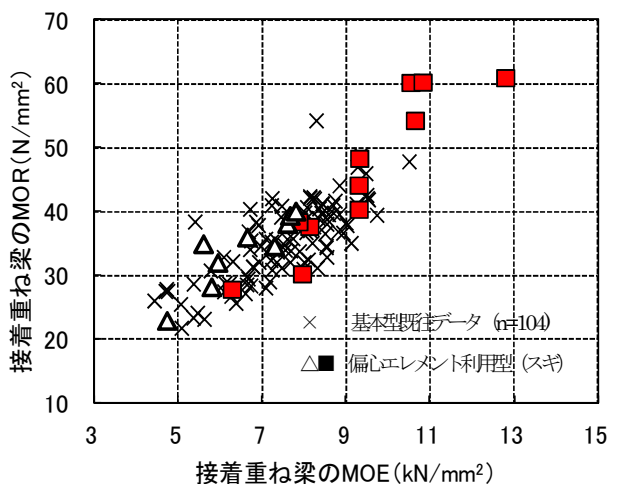
また、スギ接着重ね梁の MOE の平均値は 8.11 kN/mm² で変動係数は 25.2%，MOR の平均値は 40.5 N/mm² で変動係数は 27.6% であった。スギ無等級製材の基準強度である 22.2 N/mm² (前出の告示) をすべての試験体が上回った。

接着重ね梁の MOE と MOR は相関関係にあり、成熟材率が 30% 以上の接着重ね梁は、MOE と MOR とともに概ね高位に位置していた。また、基本型のデータとの比較でも、成熟材率が 30% 以上のものは基本型に比べ曲げ強度性能に優れているものが多く、偏心エレメント利用型接着重ね梁で、乾燥による熱劣化等がなく、外層部に強度性能に優れた成熟材部を十分

に配置すれば、曲げ強度性能を向上させることが示唆された (図-13, 図-14)。



△ : 成熟材率 30%未満 ■ : 成熟材率 30%以上
図-13 スギ偏心エレメント利用型接着重ね梁の MOE と MOR との関係



△ : 成熟材率 30%未満 ■ : 成熟材率 30%以上
図-14 スギ基本型との曲げ強度データの比較

カラマツ及びスギの偏心エレメント利用型接着重ね梁の Efr は、これを構成する 2 本のエレメントの Efr の平均と高い相関関係にあった。また、接着重ね梁の Efr と MOE、接着重ね梁の MOE とエレメントの Efr の平均とも相関関係が高かった。このため、エレメントの Efr を測定し同等級で貼り合わせた場合は、接着重ね梁の MOE をある程度推定出来ることが示唆された (図-15～図-20)。

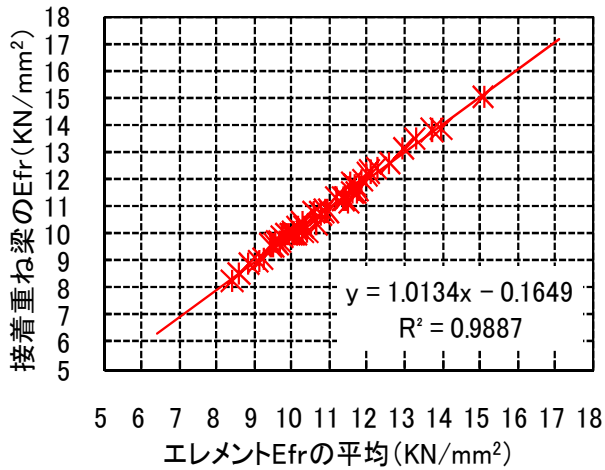


図-15 エLEMENTの Efr の平均と接着重ね梁の Efr との関係 (カラマツ)

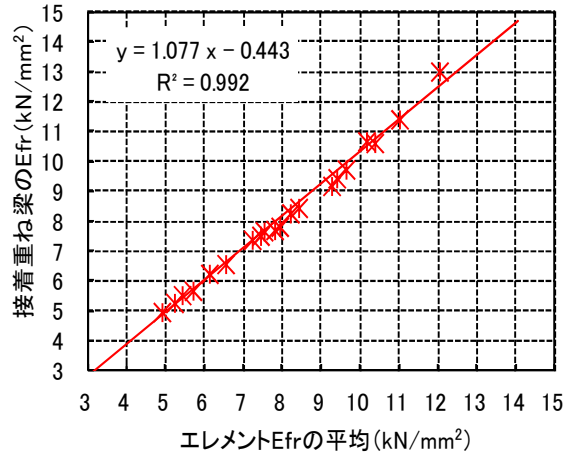


図-18 エLEMENTの Efr の平均と接着重ね梁の Efr との関係 (スギ)

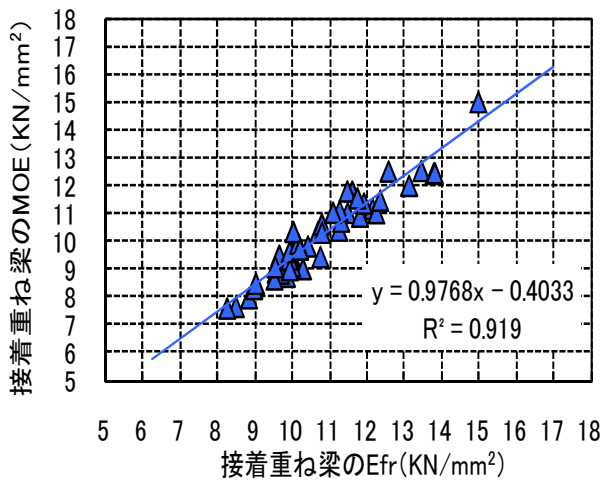


図-16 接着重ね梁の Efr と MOE との関係 (カラマツ)

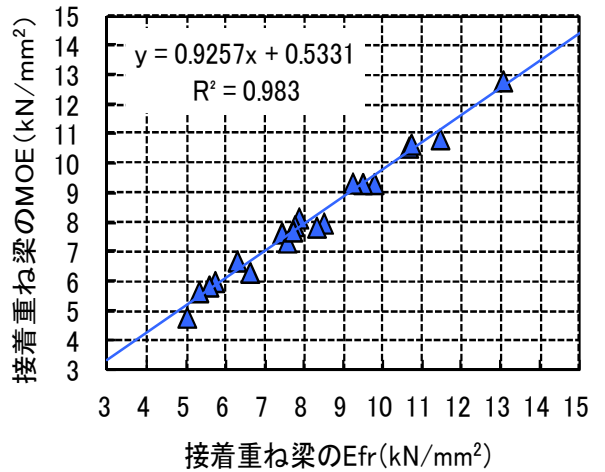


図-19 接着重ね梁の Efr と MOE との関係 (スギ)

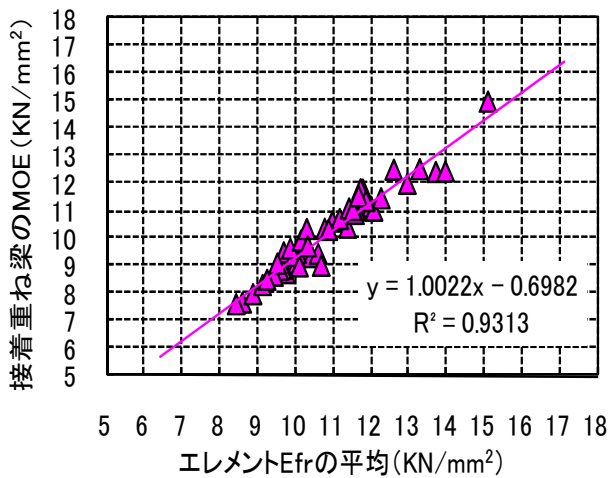


図-17 エLEMENTの Efr の平均と接着重ね梁の MOE との関係 (カラマツ)

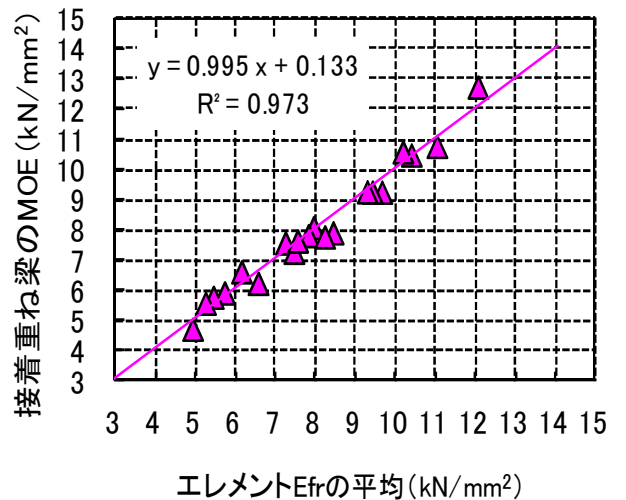


図-20 エLEMENTの Efr の平均と接着重ね梁の MOE との関係 (スギ)

3.2.2 接着性能試験（スギ）

接着性能試験の結果を表-11に示した。

接着面をせん断面とした実大いす型せん断試験では、スギ無等級材の基準強度 1.8N/mm^2 は全て上回った。また、JAS 構造用集成材のブロックせん断試験では、せん断強さ 5.4N/mm^2 を 32 体全てで

満たした。

一方、減圧加圧はく離試験では、JAS に規定する「同一接着層のはく離率 1/4 以下」の基準は 35 体中 32 体（合格率 91.4%）で上回ったが、「はく離率 5% 以下」の基準を上回ったのは 35 体中 22 体となり（合格率 62.9%）JAS の基準を下回った。

表-11 スギ偏心エレメント利用型接着重ね梁の接着性能試験結果

| | 減圧加圧はく離試験 | | ブロックせん断試験 | | | | 実大いす型せん断試験 | | | | | |
|------|-------------|----------------|---------------------------|----------------|-------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|--------------|---------------|
| | はく離率 (%) | はく離長さ (mm) | せん断強さ (N/mm^2) | | 木部破断率 (%) | | せん断強さ (N/mm^2) | | 木部破断率 (%) | | | |
| 試験体数 | 35 | | 32 | | | | 35 | | | | | |
| 平均 | 4.76 | 5.71 | 7.84 | | 96.9 | | 4.27 | | 96.6 | | | |
| 最小 | 0 | 0 | 10.21 | | 80.0 | | 2.41 | | 80.0 | | | |
| 最大 | 23.10 | 50.5 | 5.68 | | 100 | | 6.99 | | 100 | | | |
| 判定 | 5%以下の試験体の割合 | 22/35 62.9% | はく離長さ 1/4の試験体の割合 | 32/35 91.4% | 5.4 N/mm^2 以上の試験体の割合 | 32/32 100% | 70%以上の試験体の割合 | 32/32 100% | 1.8 N/mm^2 以上の試験体の割合 | 35/35 100% | 70%以上の試験体の割合 | 35/35 100% |

3.3 カラマツ強度補強 I 型

3.3.1 曲げ強度試験

カラマツ強度補強 I 型接着重ね梁の曲げ強度試験結果を表-12に示した。

表-12 カラマツ強度補強 I 型の曲げ強度試験結果

| 区分 | エレメント 強度補強 I 型接着重ね梁 | | | |
|---------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | 推定MOE (kN/mm^2) | Efr (kN/mm^2) | MOE (kN/mm^2) | MOR (N/mm^2) |
| 平均値 | 11.77 | 11.67 | 11.66 | 47.7 |
| 最小値 | 7.98 | 8.37 | 7.57 | 25.4 |
| 最大値 | 16.61 | 16.45 | 16.74 | 76.8 |
| 標準偏差 | 1.78 | 1.61 | 1.81 | 13.5 |
| 変動係数(%) | 15.4 | 13.8 | 15.5 | 28.3 |
| データ数 | 20 | 20 | 20 | 20 |

接着重ね梁の MOE の平均値は 11.66 kN/mm^2 で変動係数は 15.5%，MOR の平均値は 47.7 N/mm^2 で変動係数は 28.3%であった。

カラマツ製材の無等級材の基準強度である 26.7N/mm^2 (前出の告示) を下回った材は、20 体中 1 体であった。また、接着重ね梁の MOE と MOR は相関関係にあり、既往の基本型接着重ね梁のデータに重ね合わせると、MOE と MOR 共に強度補強型接着重ね梁の方が基本型に比べ概ね高位に分布し、曲げ強度性能は高いことが示唆された (図-21、図-22)。

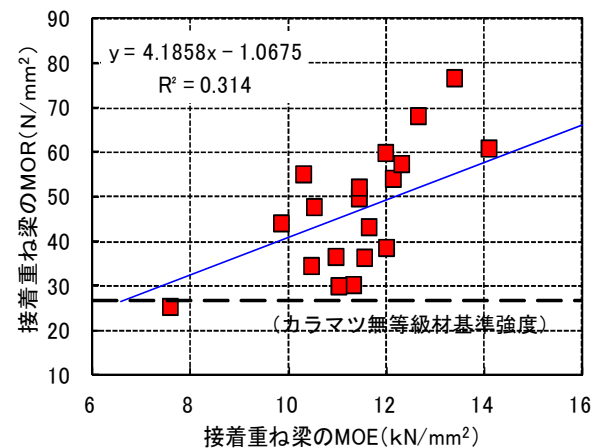


図-21 カラマツ強度補強 I 型接着重ね梁の MOE と MOR との関係

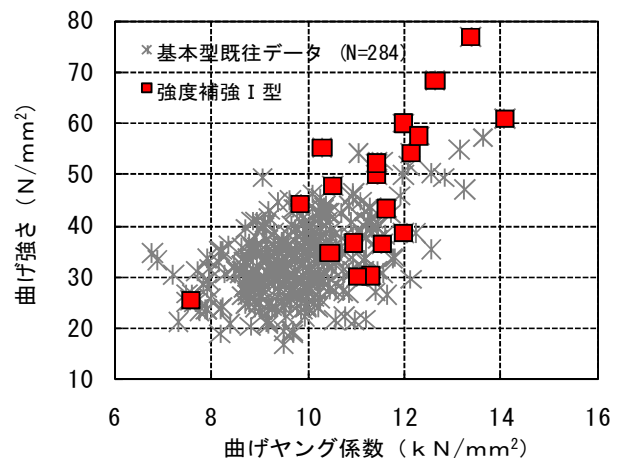


図-22 カラマツ基本型との曲げ強度データの比較

強度補強 I 型接着重ね梁の Efr は、これを構成する 3 本のエレメントの Efr から等価断面法により求めた推定 MOE (図・表中, 推定 MOE) と高い相関関係にあった。また、接着重ね梁の Efr と MOE, 接着重ね梁の MOE と推定 MOE とも相関関係が高く, エレメントの Efr から接着重ね梁の MOE をある程度推定出来ることが示唆された (図-23, 図-24, 図-25)。

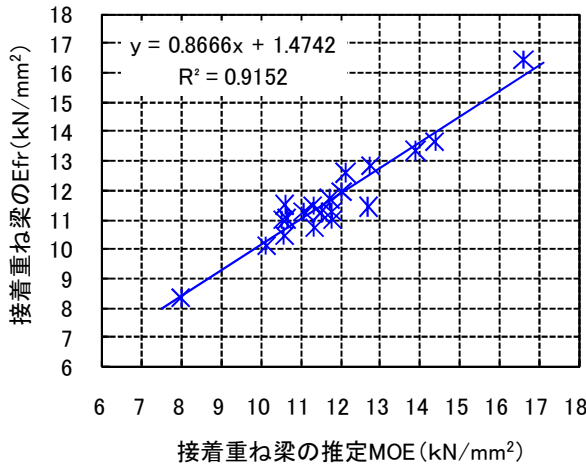


図-23 接着重ね梁の推定 MOE と Efr との関係

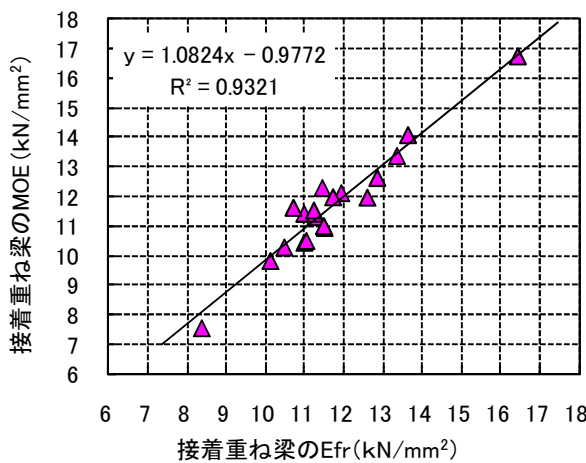


図-24 接着重ね梁の Efr と MOE との関係

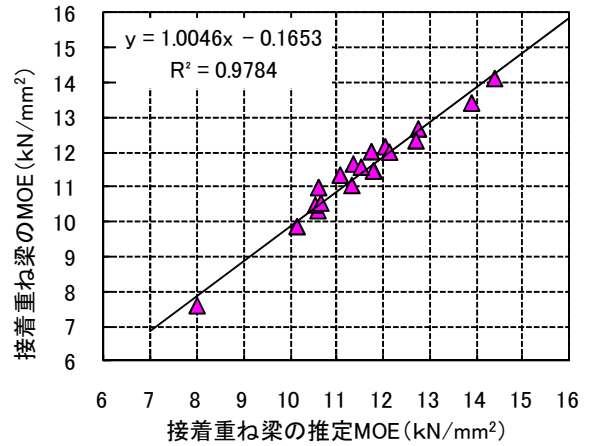


図-25 接着重ね梁の推定 MOE と曲げ強度試験による MOE との関係

3.3.2 接着性能試験

接着性能試験の結果を表-13 に示した。

JAS 構造用集成材の基準を準用した場合, 減圧加圧はく離試験では, はく離長さが 1/4 以下の基準では合格, はく離率が 5%以下の基準で不合格であった。

ブロックせん断試験のせん断強さは, いす型試験体は合格, 連続型試験体では不合格であり, 木部破断率はどれも合格した。これらの結果から, 接着層が 1 層または 2 層の場合のはく離試験の評価方法, 及びブロックせん断における試験片の形状とせん断強さの関係等について検討する必要があると思われた。

表-13 カラマツ強度補強 I 型接着重ね梁の接着性能試験の結果

| 試験体数 | 減圧加圧はく離試験 | | ブロックせん断試験 | | | | | | | | | |
|------|-------------|----------------|-------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------|----------------|--------------|----------------|
| | | | いす型せん断試験 | | 連続型せん断試験 | | | | | | | |
| | はく離率 (%) | はく離長さ (mm) | せん断強さ (N/mm²) | 木部破断率 (%) | せん断強さ (N/mm²) | 木部破断率 (%) | | | | | | |
| 試験体数 | 40 | | 80 | | 80 | | | | | | | |
| 平均 | 2.00 | 2.50 | 8.94 | 90.7 | 6.42 | 93.9 | | | | | | |
| 最小 | 0 | 0 | 3.56 | 60.0 | 4.43 | 60.0 | | | | | | |
| 最大 | 10.91 | 44.38 | 11.64 | 100 | 9.27 | 100 | | | | | | |
| 判定 | 5%以下の試験体の割合 | 35/40 87.5% | はく離長さ 1/4 の試験体の割合 | 38/40 95% | 7.2N/mm² 以上の試験体の割合 | 72/80 90% | 65%以上の試験体の割合 | 79/80 98.8% | 7.2N/mm² 以上の試験体の割合 | 18/80 22.5% | 65%以上の試験体の割合 | 77/80 96.3% |

3.4 カラマツ強度補強Ⅱ型

カラマツ強度補強Ⅱ型接着重ね梁の曲げ強度試験の結果を表-14 に示した。

表-14 カラマツ強度補強Ⅱ型接着重ね梁の曲げ強度試験結果

| 区分 | 強度補強Ⅱ型接着重ね梁 | | | |
|---------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | 推定MOE (kN/mm ²) | Efr (kN/mm ²) | MOE (kN/mm ²) | MOR (N/mm ²) |
| 平均値 | 10.39 | 10.62 | 10.20 | 36.2 |
| 最小値 | 8.65 | 8.84 | 8.54 | 26.8 |
| 最大値 | 13.10 | 13.27 | 12.99 | 58.2 |
| 標準偏差 | 1.21 | 1.11 | 1.23 | 6.8 |
| 変動係数(%) | 11.6 | 10.5 | 12.0 | 18.8 |
| データ数 | 20 | 20 | 20 | 20 |

接着重ね梁のMOEの平均値は10.20 kN/mm²で変動係数は12.0%、MORの平均値は36.2 N/mm²で変動係数は18.8%であった。接着重ね梁のMORは、カラマツ製材の無等級材の基準強度である26.7N/mm²(前出の告示)をすべて上回った。

また、強度補強型接着重ね梁のMOEとMORは相関関係にあり、既往の基本型接着重ね梁のデータに重ね合わせると、基本型のデータの範囲内に収まっており、基本型に対する曲げ強度の優位性は認められなかった。(図-26、図-27)。

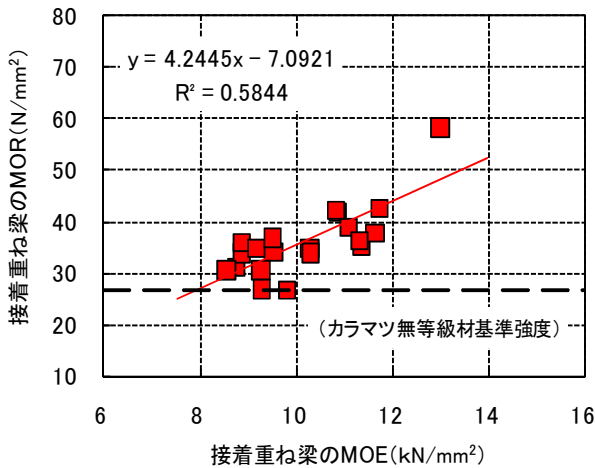


図-26 カラマツ強度補強Ⅱ型接着重ね梁のMOEとMORとの関係

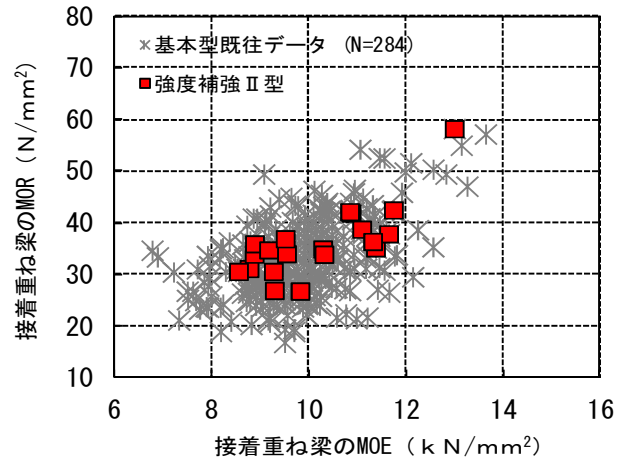


図-27 カラマツ基本型との曲げ強度データの比較

強度補強Ⅱ型接着重ね梁のEfrは、これを構成する3本のエレメントのEfrから等価断面法により求めた推定MOE(図・表中、推定MOE)と高い相関関係にあった。

また、接着重ね梁のEfrとMOE、接着重ね梁の推定MOEと推定MOEも相関関係が高く、エレメントのEfrから接着重ね梁のMOEをある程度推定出来ることが示唆された(図-28、図-29、図-30)。

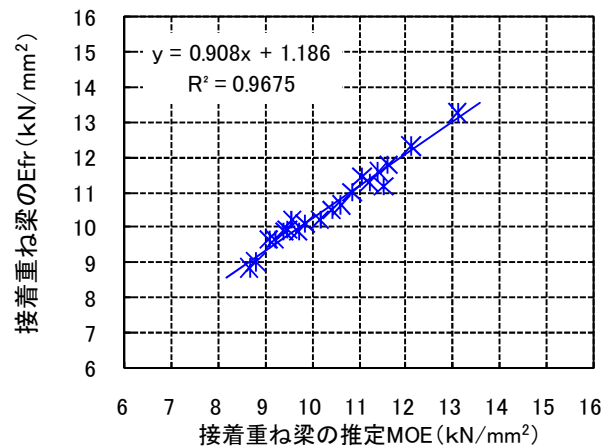


図-28 接着重ね梁の推定MOEとEfrとの関係

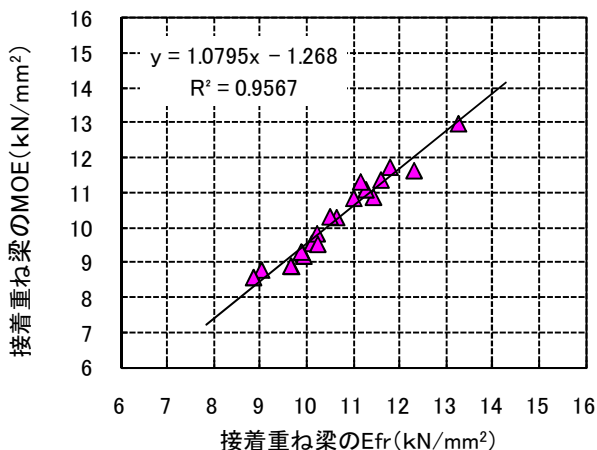


図-29 接着重ね梁の Efr と MOE との関係

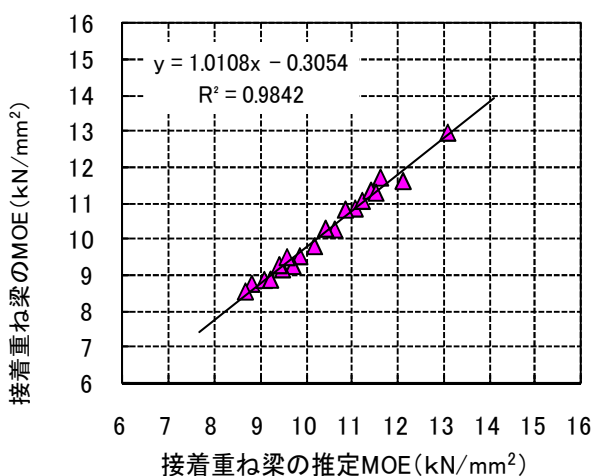


図-30 接着重ね梁の推定 MOE と曲げ強度試験による MOE との関係

4 まとめ

基本型接着重ね梁を応用し、経済性や曲げ強度特性の優位性を想定してエレメントを構成した4つのタイプの応用型接着重ね梁を作製し、曲げ強度試験等を行い、基本型との比較等を行った。

上部エレメントに2mの正角材を2本縦継ぎした4mのカラマツ短尺材活用型接着重ね梁では、4m材を2本接着した基本型と比較し、曲げ強度特性の低下は認められなかった。

このことから、4mの接着重ね梁においては今回の方法で接着すれば、曲げ強度試験のように上部から荷重がかかる条件下においては、2mの短尺材でも上部エレメントとして活用出来ることが示唆された。

外側に強いラミナを配置することで強い集成材が出来るという原理を準用したカラマツ及びスギの偏心エレメント利用型とカラマツ強度補強Ⅰ型及びⅡ型においては、スギの偏心エレメント利用型において、成熟材率が30%以上の接着重ね梁で、

基本型に比べ曲げ強度性能の優位性が認められた。

また、中心材として心持ち平角を、強度補強材として同じ丸太の辺材部から板材を採材して貼り合わせたカラマツ強度補強Ⅰ型でも、曲げ強度性能の優位性が認められた。

一方、カラマツの偏心エレメント利用型と、心持ち正角に、正角を2分割した平割材を強度補強材として上下に貼り付けたカラマツ強度補強Ⅱ型では、基本型に比べ曲げ強度性能の優位性は認められなかった。

カラマツの偏心エレメント利用型で曲げ強度特性の優位性が認められなかったのは、乾燥過程で過度な加熱による曲げ強度の低下をもたらしたものと推測された。

また、カラマツ強度補強Ⅱ型では、強度補強材として用いた平割材は心持ち正角を髓を中心に2分割し、製材や仕上げの過程で強度特性に優れた辺材部の一部を切削した。

このため、強度特性の高い部材を接着重ね梁の上下に十分配置出来なかったことが、優位性が認められなかった原因であると推測した。

強度補強材の強度特性と、接着後の重ね梁の強度特性との関係は、今後の課題としてさらにデータの収集が必要である。

また、今回試験を行った4タイプの応用型接着重ね梁において、構成するエレメントのEfrから算出した指標（平均又は等価断面法により求めた値）とそれらを接着した重ね梁のMOEとに高い相関が認められた。

このことから、構成するエレメントのEfrから、接着重ね梁のMOE推定は可能であることが示唆された。

5 謝辞

本試験の実施に当たり、材料の手配から試験体の作製にご協力いただいた、斎藤木材工業（株）と小林木材（株）に深く感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 吉田孝久ほか(2009)：接着重ね梁の製造マニュアルー間伐材を救え！接着重ね梁ー
- 2) 伊東嘉文, 吉田孝久(2010)：公的認証取得を可能とする高信頼性接着重ね梁の開発, 長野県林総セ研究報告, 第24号, 229-236 pp
- 3) (財)日本住宅・木材技術センター(2010)：長期優良住宅等に対応した新たな地域材製品の開発及び普及促進事業報告書, 15-32pp

- 4) 木構造振興(株) (2011): 長期優良住宅等に対応した地域材製品の開発等事業報告書, 20-31pp