

木材の接着健全性評価技術の検討

藤原 拓哉

Study of adhesion soundness evaluation technology for wood.

Takuya FUJIWARA

Keywords: Glulam, delamination, nondestructive test, stress wave, repair

集成材, はく離, 非破壊試験, 応力波, 補修

積層接着材料における接着層の劣化を検出する非破壊的手法についての知見を得ること、および劣化した接着層の補修方法の効果を検証することを目的として、促進劣化処理を行った集成材、およびはく離を模擬した集成材について応力波伝播速度の測定を行うとともに、模擬はく離を補修した集成材の水平せん断試験を行った。促進劣化処理を行った単一の接着層に対する応力波伝播時間はせん断強度との間に有意な負の相関が認められた。一方、複数の模擬はく離がある場合、はく離の位置関係によっては応力波伝播時間に影響しなかった。補修を行った模擬はく離試験体の破壊荷重は補修を行っていない試験体の破壊荷重を上回っており、コントロールと比較しても同等以上となった。

1. はじめに

集成材には「十分に乾燥されていて寸法安定性が高い」、 「強度が安定している」といった特徴があり、近年では大規模木質構造物のみならず、一般の住宅でも使われている。特に、平成21年6月に施行された「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」では、建築基準法よりも高いレベルの耐震性能を、数世代に渡って維持することが求められるため、今後の木造住宅において集成材は欠かせないものとなりつつある。

しかしながら、集成材のJASが制定されたのは昭和40年代であり、建材として一般化したのは平成に入ってからのことなので、長期優良住宅において想定されているような使用期間での接着耐久性を実証する事例はない。そのため、集成材の接着健全性についての定期的な点検、および劣化状況に応じた補修が必要となるが、現状、接着健全性に関して確立した診断法はない。

長期優良住宅の認定基準では定期的な点検・補修計画の策定も要件とされており、接着健全性の診断技術や補修方法を含めた集成材の維持管理技術の確立が求められている。接着性能の劣化は接着層のはく離として発現することから、ここでは積層接着材

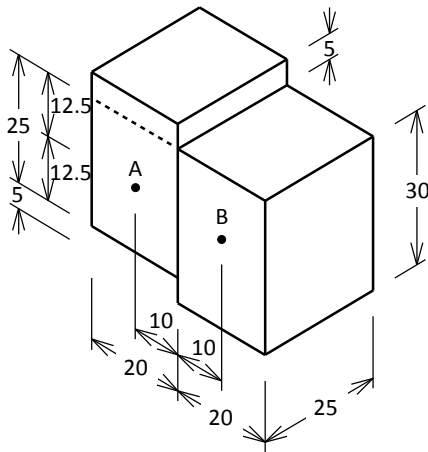
料に生じたはく離を使用中の建築物、あるいはリフォームの現場において検出する非破壊的手法について検討するとともに、補修の効果を検証することを目的とする。

2. 試験方法

2.1 促進劣化処理と非破壊試験

促進劣化処理を行った試験片の単一の接着層を対象とした測定、および模擬はく離試験体による複数の接着層を対象とした測定を行った。

市販のトドマツ構造用集成材（レゾルシノール樹脂接着剤使用、105×105×3,650mm、4プライ）から集成材の日本農林規格のブロックせん断試験に従った試験片を30個作製した（第1図）。試験片の密度を測定し、その偏りが小さくなるように5グループに分け、それぞれ煮沸処理回数5回、10回、15回、20回、およびコントロールの0回とした。煮沸処理は集成材の日本農林規格の煮沸はく離試験を準用したもので、沸騰水に4時間浸せき、室温の水中に1時間浸せき、概ね処理前の質量になるまで70℃のオーブンでの乾燥を1サイクルとし、これを所定の回数繰り返した。毎サイクル終了後に、第1図に示すAB間（距離20mm）の応力波伝播速度をFakopp社製



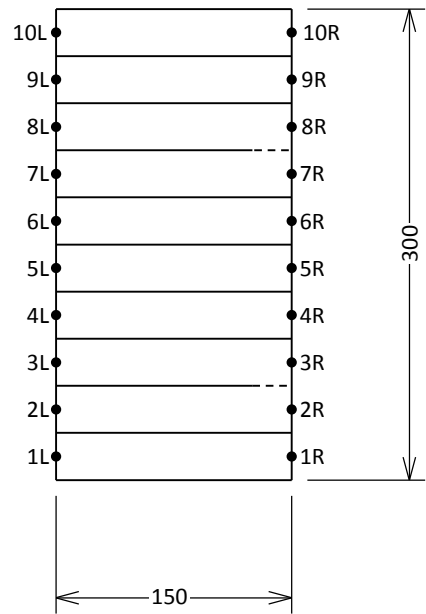
第1図 促進劣化処理試験片の形状
Fig. 1. The shape of the accelerated deterioration treatment test piece.

Fakopp Microsecond Timer (第2図) を用い、両側面で測定した。この装置は先端が釘状になった2つのセンサーを木材に刺し、一方のセンサーをハンマーで打撃してから、もう一方のセンサーが振動を検出するまでの時間を測定するものである。設定した処理回数に達した試験片は厚さ0.05mmのすきまゲージを差し込んで、積層面からの最大はく離深さを測定したのち、ブロックせん断試験に供した。

模擬はく離試験体は集成材に接着剤を塗布しない部分を設けることで、はく離を模擬した。集成材はレゾルシノール樹脂接着剤を使用した150×300mm、10プライのカラマツ集成材で、長さ50mmの試験片



第2図 応力波伝播速度測定装置
Fig. 2. Fakopp Microsecond Timer



第3図 模擬はく離試験体
Fig. 3. Specimen with simulated delamination.
注) 1L~10L, 1R~10R:

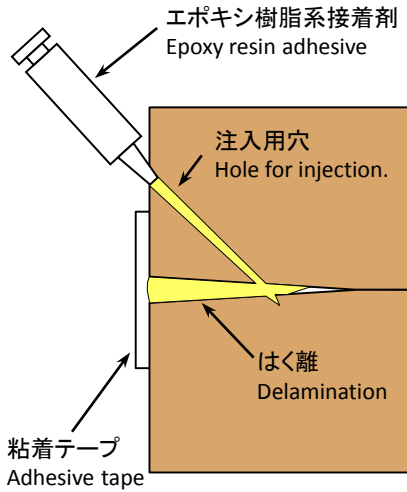
応力波伝播速度の測定点。
破線は模擬はく離を表す。
Note) 1L~10L, 1R~10R:
Measuring points of stress wave propagation time.
Dotted lines denote simulated delamination.

を切り出したものである。模擬はく離の深さは25mmで、第3図の2Rと3Rの間、7Rと8Rの間に配置した。応力波伝播速度は積層面片面につき、すべての組み合わせとなる ${}_{10}C_2=45$ 通り、合計90通りの区間でFakopp Microsecond Timerを用い、測定した。

2.2 補修集成材の水平せん断試験

補修の有効性を確認するために模擬はく離集成材、および模擬はく離の補修を行った試験体の水平せん断試験を行った。

試験体は寸法100×220×1,800mm、10プライのカラマツ集成材で、水性高分子イソシアネート系接着剤を用いて製作した。模擬はく離は2種類で、おのおの補修していないものと補修したものの2種類の計4体があり、さらにそれぞれについてラミナの段階でエンドマッチさせたコントロールを4体製作した。模擬はく離は、はく離させたい部分に粘着テープでマスクした状態でラミナをグルースプレッタに通し、テープを剥がしてから積層接着したもので、位置と大きさは中央の接着層の材端から幅50mm×

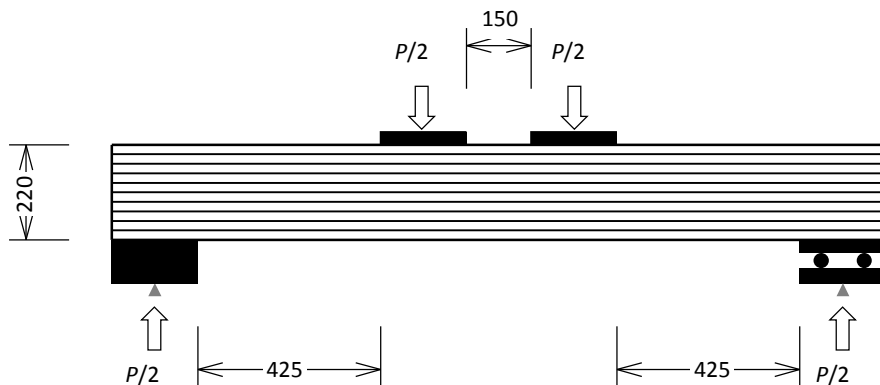


第4図 補修方法
Fig. 4. Repair method.

長さ625mm, および幅100mm (全幅) ×長さ440mmとした。

補修の方法は接着剤によるものであるが, 表面からはく離の極めて狭い隙間に接着剤を行き渡らせることは困難である。そこで接着層の深部に向けて接着層の近傍から接着剤注入用の穴を空け, ここからエポキシ樹脂系接着剤を注入するという方法を考案した(第4図)。この方法には作業の過程で強度低下が小さいことや接合部の近傍でも適用できるといった長所がある。

水平せん断試験はASTM D3737に準じて行った。試験の概略図を第5図に示す。



第5図 水平せん断試験の概略図
Fig. 5. Schematic of horizontal shear test.



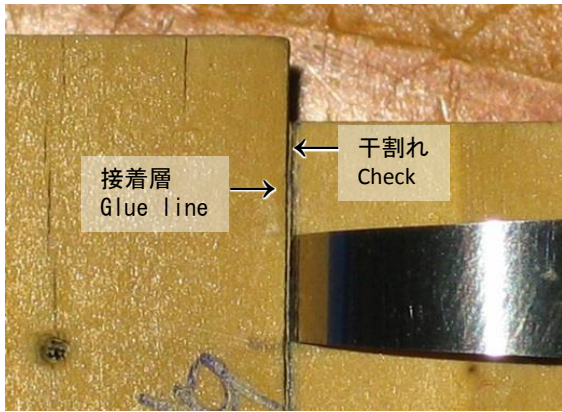
第6図 促進劣化処理後の試験片
Fig. 6. Test pieces after the accelerated deterioration treatment.

3. 試験結果

3.1 促進劣化処理の影響

煮沸処理を20回適用した後の試験片を第6図に示す。早い段階から材面に干割れが発生したが, 処理回数が増えても著しい増加は認められなかった。また, 接着層のごく近傍で干割れが発生する場合も見られた(第7図)。処理回数5回, および10回では測定可能なはく離は認められず, 20回処理した後の最大はく離深さの平均値は1.3mmであった。

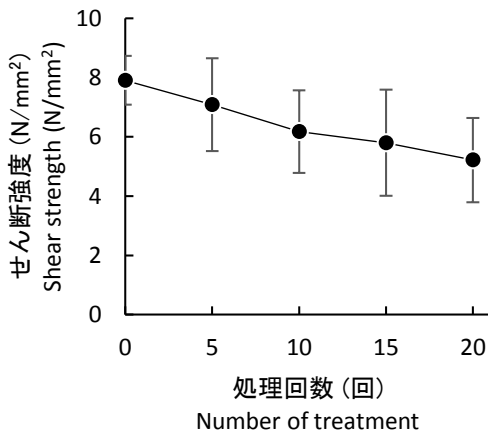
せん断強度は処理回数の増加に伴って低下し, 20回繰り返した時点でコントロールの2/3となった(第8図)。集成材のJASにおけるブロックせん断試験では煮沸等の促進劣化処理がなく, せん断強さ



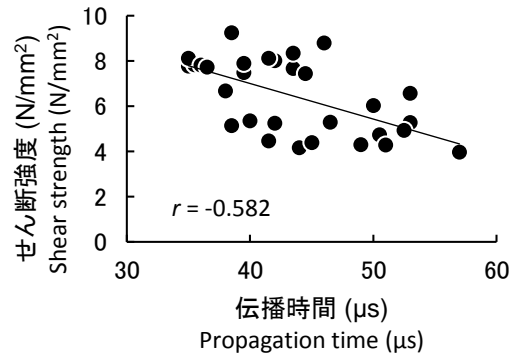
第7図 接着層近傍の干割れ
Fig. 7. A check that occurred very close to the glue line.

の適合基準はトドマツで6.0N/mm²となっているが、20回繰り返した時点でも6体中2体が基準値を満足していた。煮沸処理回数の増加に伴い、接着層を挟んだ応力波伝播時間は増大した。ブロックせん断強度試験は接着層で破壊するように規定されており、せん断強度は接着層以外に生じた割れの影響を受けにくい。応力波伝播時間はせん断強度と異なり、せん断面以外に生じた割れの影響も受けることになる。しかしながら応力波伝播時間とせん断強度の関係をみると、その間には負の相関が有意水準1%で認められ(第9図)、接着層に生じた異常の検出や接着性能の評価に、応力波伝播時間を用いることが可能であると考えられる。

非破壊測定には接着層の局所的な状態の評価だけ



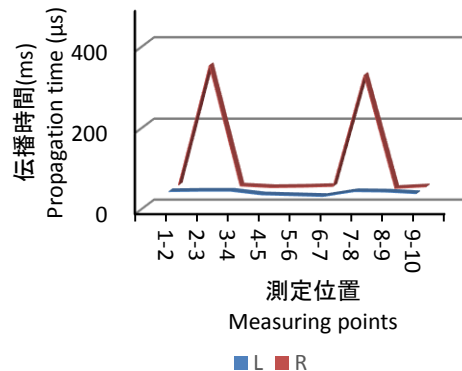
第8図 煮沸処理回数とせん断強度の関係
Fig. 8. Relationship between the number of boiling treatment and shear strength.



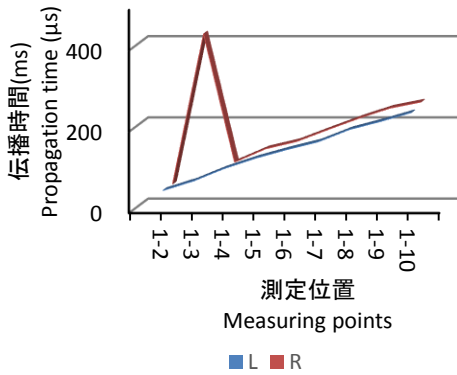
第9図 応力波伝播時間とせん断強度の関係
Fig. 9. Relationship between stress wave propagation time and shear strength.

ではなく、広域の測定において測定区間に異常が含まれているかどうかといったレベルでの判断も望まれる。第10図は単一の接着層での測定結果であるが、はく離を模擬した2R-3R、7R-8R間で伝播時間が増大しており、模擬はく離の有無を反映した結果となった。

一方、複数の接着層での測定(第11図)では模擬はく離接着層と正常な接着層を2つ含んだ1R-4Rの段階で1L-4Lと大差なく、1L-8R~10Rの測定では7R-8R間の模擬はく離の影響は見られなかった。応力波の伝播経路が2点間を結ぶ直線とは著しく異なっていることが想定されるため、広域的な測定による接着層の生じた異常の検出は困難であると思われる。



第10図 単一の接着層で測定した応力波伝播時間
Fig. 10. Stress wave propagation time from a single adhesive layer.



第11図 複数の接着層で測定した応力波伝播時間
Fig. 11. Stress wave propagation time from multiple adhesive layers.



第12図 模擬はく離のせん断破壊
Fig. 12. Shear failure at simulated delamination.

3.2 補修集成材の強度

水平せん断試験の結果を第1表に示す。試験はせん断破壊の発生を期待したものであるが、コントロールでは4体すべてが曲げ破壊した。なお、コントロールのうち、A0の値のみが他の3体よりも低かった。この原因は特定できなかったが、A0を除外した3体の平均値をとって、これをコントロールの値とした。これによりコントロールの平均値は高くなり、補修の効果については安全側で評価するこ

とになる。模擬はく離試験体のA-dは曲げで破壊し、破壊性状からは模擬はく離の影響は認められなかったが、破壊荷重はコントロールの94%であった。D-dはせん断で破壊し（第12図）、破壊荷重はコントロールの97%であった。補修を行った試験体ではB-d-r、C-d-rともに、せん断で破壊することはなく、模擬はく離の存在は解消されたとみなすことができる（第13図）。補修を行った試験体の破壊荷重は模擬はく離試験体の破壊荷重を上回っており、コント

第1表 水平せん断試験の結果

Table 1. Results of horizontal shear tests.

No.	模擬はく離(mm)と補修 Simulated delamination (mm) and repair	破壊荷重 (kN) Ultimate load (kN)	コントロール平均との比 Ratio of the average of controls	補修なしとの比 Ratio of no repair
A-d	模擬はく離50×625, 補修なし 50×625, no repair	72.3	0.94	
A0	上記コントロール Control of above	64.2		
B-d-r	模擬はく離50×625, 補修あり 50×625, repaired	97.6	1.27	1.35
B0	上記コントロール Control of above	77.6		
C-d-r	模擬はく離100×440, 補修あり 100×440, repaired	78.2	1.02	1.06
C0	上記コントロール Control of above	76.3		
D-d	模擬はく離100×440, 補修なし 100×440, no repair	74.0	0.97	
D0	上記コントロール Control of above	75.7		

ロールと比較しても同等以上となった。従って今回試みた補修方法は有効であると考えられる。

4. おわりに

応力波伝播時間に基づくはく離の検出は単一の接着層を対象に測定する場合は有効であったが、複数の接着層を対象にして一度に測定する場合には、はく離を検出できないこともあった。つまり、部材の広い範囲のどこかに、はく離があるかどうかといった1次的な診断には適さないが、はく離の位置を特定するような2次診断に適していることになる。

今回試みた補修方法には部材表面に接着剤の注入孔が残るため、美観が重視される現しで用いる部材であれば注入孔をダボで埋める等の措置が必要という問題点がある。しかも、はく離の長さによっては多数の注入孔が残り、一層手間がかかることになる。しかし、強度試験では模擬はく離を持たないものと同等以上の強度が得られ、構造安全性の観点からは有効な補修方法であることが確認できた。

一性能部 構造・環境グループ
(原稿受理：15.11.17)



第13図 補修試験体の破壊状況

Fig. 13. Failure mode of repaired specimens.

注) B-d-r, C-d-r : 第1表参照。

Note) B-d-r, C-d-r: See Table 1.