

A Eによる接着不良合板の識別

大塚 寛之・奥村 正悟・野口 昌巳

Detection of Poor Bond in Plywood Using Acoustic Emission

Hiroyuki OHTSUKA, Shogo OKUMURA
and Masami NOGUCHI

要 旨

合板に荷重を負荷したときに発生するA Eによって接着不良合板が識別できるかどうかを検討するため、接着剤塗布量および堆積時間の異なる合板の小試験片について引張りせん断試験、曲げ試験およびねじり試験を行い、そのときに発生するA Eを計測した。

引張りせん断試験では、裏割れ方向と荷重方向が逆の場合は低荷重におけるA Eの発生挙動から健全合板と接着不良合板を区別することは困難であったが、荷重方向が順の場合は両者のA E発生に明確な差が認められた。曲げおよびねじり試験では、低荷重におけるA E発生に合板による差がほとんどなく、接着不良合板をA Eによって識別することは困難であった。しかし、ねじり試験では接着剤塗布量の最も少ない合板のA E発生がやや多く、このことを利用すると接着不良合板を識別できる可能性がある。

1. 緒 言

近年、南洋材産地国からの合板の輸入量が増大している。ところが、その合板の中に接着力の著しく低下したものが含まれていることがある。接着力が低下する原因としては、高温環境のために接着剤の可使用時間が短くなることなどが考えられるが、確かな原因は不明である。現在のところ、合板の品質検査は目視または抜取り検査が主であり、上記のような合板の接着不良を非破壊で検査する方法はまだ確立されていない。

ところで、材料の非破壊試験に用いられているA E法を、合板の接着不良の検出にも応用することが既に試みられ、一定の成果が得られている^{1, 2)}。しかし、それらはかなり大きい非接着面をもつ合板を対象としたものであり、ここでいう接着不良合板とはやや異なるものである。

そこで本研究では、荷重下にある合板から発生するA Eを接着不良合板の識別に応用するための基礎実験として、種々の条件で製造した合板の引張りせん断試験および曲げ試験時のA E発生挙動について検討した。さらに、合板に切込みを入れずにせん断力を働かせる方法としてねじり試験を試み、そのときに発生するA Eについても検討を加えた。

なお、本研究の概要は第38回日本木材学会大会（昭和63年7月、旭川）において口頭発表した。

2. 実 験

2. 1 試 料

引張りせん断および曲げ試験の試料として、レッドセラヤの単板から5プライ（表層板、そえ心板、心板の厚さはそれぞれ1.1, 2.8, 1.2 mm）の試験用合板（厚さ9.3 mm, 30 cm角）4種類を作製した（Table 1）。それらは、健全合板として接着剤塗布量を減らし、推積時間を設定して製造した合板L, M, Nである。これら4種の合板（各4枚）から、それぞれ24個の引張りせん断試験片（25 × 79 mm。裏割れの方向と荷重方向が順と逆の2種類。Fig. 1）と、16個の曲げ試験片（280 × 50 mm。表層単板の繊維方向は長辺に平行）をJAS^{3), 4)}に準じて作製した。なお、2類浸せきはく離試験³⁾合格した合板はKのみであった。

ねじり試験の試料としては、ホワイトセラヤの単板から5プライ（表層板、そえ心板、心板の厚さはそれぞれ1.1, 3.0, 3.6 mm）の試験用合板（厚さ12 mm, 30 cm角）6種類を作製した（Table 2）。それらは推積なしで接着剤塗布量の異なる合板O, P, Qと、接着剤塗布量が一定で推積時間の異なる合板R, S, Tである。これらの合板から、長さ280 mm, 幅60 mmの試験片（表層単板の繊維方向は長辺に平行）を切り取り、6種の合板それぞれについて8個の試験片を用意した。これらの合板で、2種浸せきはく離試験に合格したのはOとRのみであった。

なお、いずれの合板も尿素樹脂系接着剤を用い、10 kgf/cm²（115°C）で3.5分間（K～N）または6分間（O～T）圧縮して作製した。

2. 2 試験方法

引張りせん断試験では、インストロン型試験機（島津製オートグラフDCS 500型）を用い、クロスヘッドスピード0.1 mm/minで引張力を加えた。曲げ試験では、同試験機を用い、スパンを230 mmとし、試験片中央部にクロスヘッドスピード1 mm/minで荷重を加え、3点曲げ試験を行った。

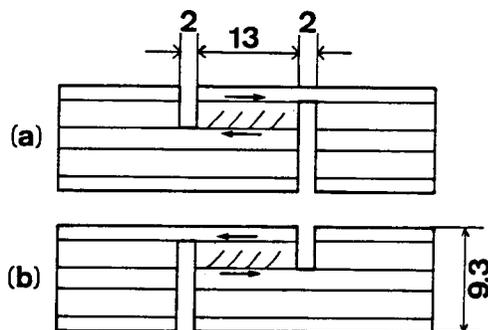


Fig. 1 Specimens for shear test by tension loading, cut for lathe checks to pull (a) closed and (b) open.

Table 1 Plywoods for shear test by tension loading and bending test.

Plywood ^{a)}	Glue spread ^{b)} (g/900cm ²)	Open assembly time (h)	Shear by tension loading ^{c)}		Bending	
			Maximum load (kgf)	Strength (kgf/cm ²)	Strength (kgf/cm ²)	Young's modulus (x10 ³ kgf/cm ²)
K	48	0	68.9 (6.1) 54.0 (4.0)	21.2 (1.9) 16.6 (1.2)	732 (110)	75.1 (3.4)
L	12	3	19.5 (5.6)	6.0 (1.7)	593 (40)	70.1 (2.4)
M		5	22.5 (7.5)	6.9 (2.3)	563 (42)	67.9 (3.1)
N		7	20.5 (4.0)	6.3 (1.2)	532 (58)	66.7 (2.4)

a) Five layers, two faces (1.1 mm in thickness), two crossbands (2.8 mm) and a core (1.2 mm), are hot-pressed for a period of 3.5 min at 10 kgf/cm² and 115 °C.

b) urea-formaldehyde resin.

c) Upper and lower numerals for plywood K are obtained for specimens cut for lathe checks to pull closed and open, respectively.

(): standard deviations of 24 specimens for shear test and of 16 specimens for bending test.

Table 2 Plywoods for torsion test.

Plywood ^{a)}	Glue spread ^{b)} (g/900 cm ²)	Open assembly time (h)	Maximum twisting moment (kgf·cm)	Bending strength (kgf/cm ²)
O	40	0	316 (33)	402 (86)
P	25		295 (17)	415 (60)
Q	10		197 (20)	355 (45)
R	40	0.5	181 (16)	404 (15)
S		1	173 (25)	407 (34)
T		3	145 (13)	374 (41)

a) Five layers, two faces (1.1 mm in thickness), two crossbands (3.0 mm) and a core (3.6 mm), are hot-pressed for a period of about 6 min at 10 kgf/cm² and 115°C.

b) urea-formaldehyde resin.

(): standard deviations of 8 specimens for torsion test and of 6 specimens for bending test.

ねじり試験では、Fig. 2に示した装置で試験片にねじり荷重を与えた。この装置は、試験片の両端をそれぞれ4本のロッドで支え、一端を2台の減速機を介した電動機でねじる構造になっている。ねじりモーメントは固定側のロッドを保持している鋼棒に生じるせん断ひずみを検出することによって測定し、回転角はねじり側の軸に巻き取られる糸の長さを変位変換器で検出して測定した。ねじり速度は毎分0.25回転とした。

なお、いずれの試験でも試験片が破壊を起こすまで荷重を与え、同時にA E計測を行った。

2. 3 A E 計測

A Eセンサ（共振周波数 150 kHz）は、引張りせん断とねじり試験では試験片の表板側ほぼ中央部に、曲げ試験ではスパン中央から 50 mm 離れたところにホットメルト接着剤で取り付けられた（Fig. 2, 3）。いずれの試験においても、センサの出力はプリアンプで 40 dB、A E計測装置（A

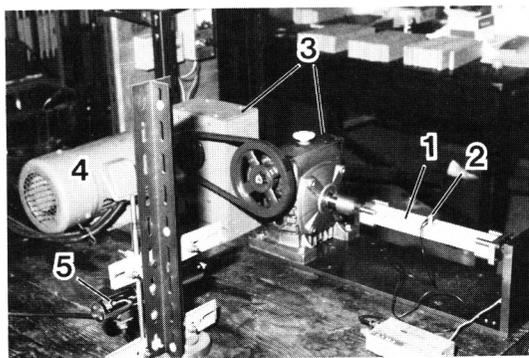


Fig. 2 Setup for torsion test.
1, specimen (280 × 60 × 12 mm); 2, AE sensor; 3, reduction gear; 4, motor; 5, displacement transducer.

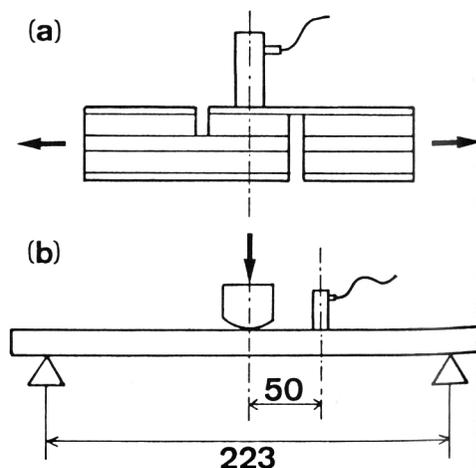


Fig. 3 AE sensors mounted on specimens for (a) shear and (b) bending tests.

EFTアナライザ。NF製AE 932)のメインアンプで30 dB増幅してから包絡線除波し、しきい値100 mVを越えたものをAE事象としてカウンタで計数した。同時に、それぞれのAE事象の発生時刻、最大振幅(AE振幅)、荷重をAEFTアナライザからGP-IBを介してコンピュータ(ソード電算機システム製M68)に取り込み、実験終了後、AE事象総数と荷重の関係を求めた。

3. 結果と考察

3.1 引張りせん断試験

引張りせん断試験における各合板の最大荷重とせん断強さの平均値を、曲げ試験における曲げ強さと曲げヤング係数の平均値とともにTable 1に示す。なお、合板L, M, Nについては、裏割れ方向と荷重方向が順と逆の試験片でせん断強さおよび破壊形態に差が認められなかったため両者を区別していない。表から分かるように、健全合板であるKについては、荷重方向が逆の場合のせん断強さは順の場合の8割程度であり、接着不良合板であるL, M, Nのせん断強さはKの3分の1程度で、それら3種の合板の間ではあまり差がない。

試験後の破断面を観察した結果、合板Kでは、荷重方向が順の場合は心板の表面および内部で繊維方向のせん断破壊が生じ、逆の場合はそえ心板内でローリングシアが生じていた。一方、合板L, M, Nでは、心板とそえ心板の接着面で破壊が生じ、そえ心板の表面に心板表層部の繊維が付着しているのが認められた。

合板Kの引張りせん断試験における荷重とAE事象総数の関係を、荷重方向が順と逆の場合についてFig. 4に示す。ここで、各場合の4本の曲線は、試験中のAE発生が最も多かった試験片と最も少なかった試験片および平均的なAE発生を示した2個の試験片についてのものである。荷重方向が逆の場合は、順の場合より低い荷重でAEが発生し始め、AE事象総数は常に順の場合よりも多い。これは、荷重方向が逆の場合に生じるそえ心板のローリングシアが、順の場合に生じる表板の繊維方向のせん断破壊よりも低荷重で発生したためと考えられる。

次に、合板L, M, Nの荷重とAE事象総数の関係を、Fig. 4と同様に選んだそれぞれ4個の試験片についてFig. 5に示す。これら3種の合板のせん断強さにはあまり差がなかったが(Table 1)、AE発生挙動でも顕著な差は認められない。

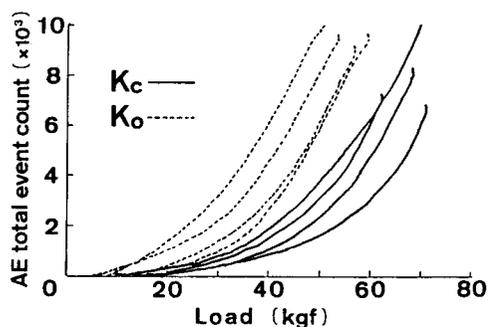


Fig. 4 Relation between AE total event count and load during shear test for plywood K. Kc and Ko refer to the specimens cut for lathe checks to pull closed and open, respectively.

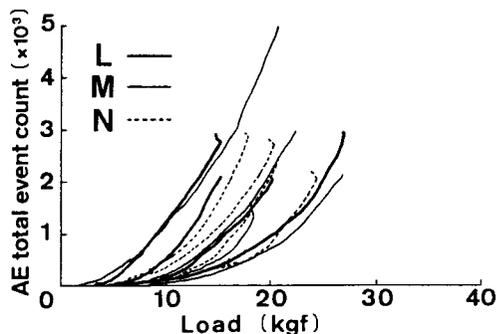


Fig. 5 Relation between AE total event count and load during shear test for plywoods L, M and N.

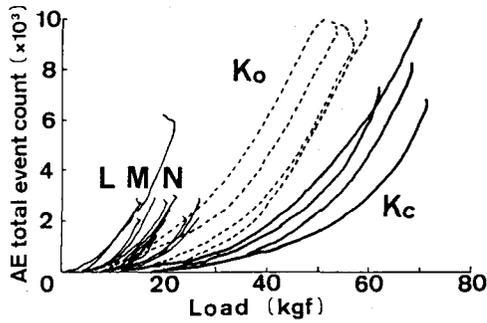


Fig. 6 Relation between AE total event count and load during shear test for plywoods K, L, M and N. All curves are redrawn from Figs. 4 and 5.

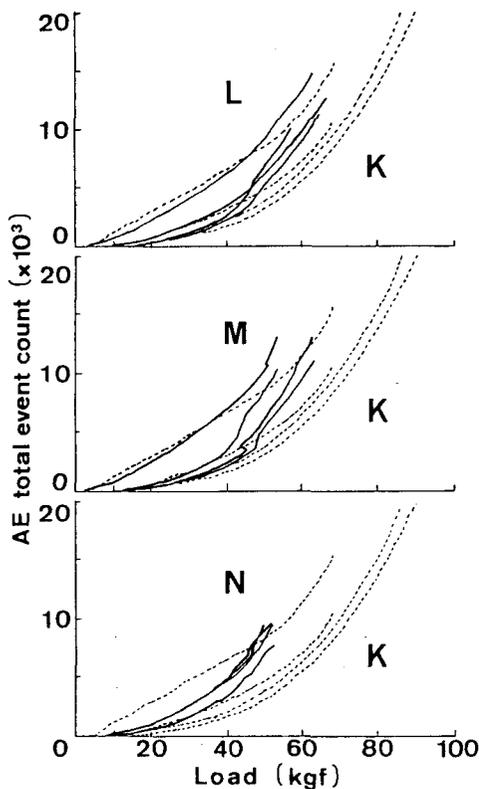


Fig. 7 Relation between AE total event count and mid-span load during bending test for plywoods K, L, M and N.

ここで、合板Kと合板L, M, Nの結果を比較するため、Fig. 4とFig. 5をまとめてFig. 6に示す。ただし、合板L, M, Nは互いに区別せず、すべて細い実線で表わした。合板Kで荷重方向が逆の場合の曲線は、30 kgf以下の荷重で合板L, M, Nの曲線と重なる部分が多い。一方、合板Kの順の場合は、どの荷重でも合板L, M, NよりもAE事象総数が少なく、これらの合板と明確に区別することができる。このことから、本実験に用いた試料では、裏割れの方がわかればそれと荷重方向を順にすることによって、AEを用いて接着不良合板を識別できることがわかる。

3. 2 曲げ試験

曲げ強さを健全合板Kと接着不良合板L, M, Nで比較すると、せん断強さでみられたほどの差はなく、曲げヤング係数では両者の差はさらに小さくなった (Table 1)。しかし、健全合板と接着不良合板では全く異なった破壊形態が観察され、合板Kでは試験片が中央部で折れるように破壊したが、合板L, M, Nでは単板間のせん断破壊が顕著であった。

合板L, M, Nの曲げ試験における荷重とAE事象総数の関係をFig. 7に示す。なお、健全合板との比較のため、それぞれの図に合板Kの結果を示した。また、図示した曲線の意味はせん断試験の場合と同様である。合板L, M, Nの試験片で、40~50 kgfの荷重でAE発生が急増する場合があるが、これは単板間のせん断破壊の発生に伴うものと考えられる。このAEの発生し始める荷重やAEの発生経過に、健全合板と接着不良合板の明確な差を認めることはできなかった。したがって、今回の実験では、曲げ試験で発生するAEによって接着不良合板を識別することは困難であった。

3. 3 ねじり試験

ねじり試験における各合板の最大ねじりモー

メントの平均値を Table 2 に示す。参考までに、それぞれの合板の曲げ強さも付記した。これらの合板のねじりモーメントと AE 事象総数の関係は Fig. 8 に示す。推積時間を一定にして接着剤塗布量を変えた合板 O, Q, P の場合、O と P は曲線が重なり、両者を区別することは困難であった。一方、O と Q では、Q の方がやや AE 発生が多く、約 100 kgf・cm 以上のモーメントであれば両者を区別することが可能であった。

接着剤塗布量を一定にして推積時間を変えた合板 R, S, T では、最大ねじりモーメントに違いがあるにもかかわらず、AE 発生には明確な差は認められなかった。さらに、推積していない合板 O と推積した合板 R, S, T を比較しても、両者の AE 発生に差を見いだすことはできなかった。

以上のように、接着剤塗布量のみが異なるときは、ねじり試験でも AE によって接着不良合板を識別できる可能性のある場合もあったが、推積時間のみの異なるときには AE の発生挙動に明確な差を認めることはできなかった。これは荷重下にある合板で検出される AE の多くが、接着層の破壊よりも単板内での破壊から発生し、さらに単板内の破壊は推積時間よりも接着剤塗布量に強く影響されるためと考えられる。

4. 結 言

荷重下にある合板の AE 発生挙動から接着不良合板を識別できるかどうかについて検討した結果、1) 引張りせん断試験では裏割れの方角と荷重方向を順にすれば接着不良合板を識別できること、2) 曲げ試験では接着不良合板を識別するのは困難であること、3) 接着剤塗布量の少ない接着不良合板はねじり試験で識別できる可能性があることなどが明らかになった。このうち、2) の結果は既往の研究結果²⁾と相反するものであるが、試料の接着不良の状態がまったく異なるため、単純な比較はできない。また、1) と 3) の結果は AE による接着不良合板の識別の可能性を与えるものであるが、実用化のためにはまだ検討すべき点が多い。

いずれにしても、接着不良合板を AE によって識別できるかどうかは、接着層内あるいは単板表面近傍の破壊から生じる AE を、単板内部の破壊によって生じる AE と区別して計測できるかどうかにかかっていると考えられる。これに対する一般的なアプローチとしては、それぞれの AE の特性（振幅分布、周波数成分など）を把握し、その特性によって二つの AE を弁別して計測する方法を検討することである⁵⁾。さらに、そのような AE 特性の差が最もよく現れる荷重様式を、実用化も考慮した上で検討する必要がある。

本研究に際し、試料を提供して頂いた住友林業株式会社の須田久美氏に感謝の意を表します。

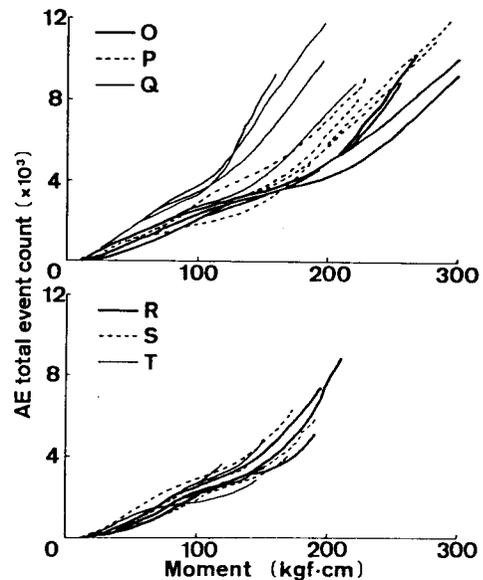


Fig. 8 Relation between AE total event count and twisting moment during torsion test for plywoods O, P, Q (upper) and R, S, T (lower).

引用文献

- 1) 吉村 昇・下津昌紀・本状和久・小滝光和・小笠原雄二・奥山大太郎・能登文敏：アコースティック・エミッション計測による合板の接着不良検査。木材学会誌 33 (8) . 650-653, 1987
- 2) 佐藤敬一・山口勝也・安藤直人・伏谷賢美：合板のA E非破壊試験機の開発-A Eによる接着不良合板の接着不良の検出-。木材工業, 44 (5). 214-218, 1989
- 3) 普通合板の日本農林規格 (昭和61年9月20日農林水産省告示1639号)
- 4) 構造用合板の日本農林規格 (昭和61年9月20日農林水産省告示1639号)
- 5) 大塚寛之・奥村正悟・野口昌己：合板の接着試験時に発生するA E. 第40回日本木材学会大会研究発表要旨集. p. 342, 1990

Résumé

The purpose of this study is to examine the feasibility of detecting poor bond in plywood through measuring acoustic emission (AE) during a test. Small plywood specimens, made under several conditions of spread of urea-formaldehyde resin and open assembly time (Tables 1 and 2), were tested for bond strength in shear by tension loading (Fig. 1), static bending (Fig. 3) and torsion (Fig. 2), while AE was measured using a 150 kHz sensor at 70 dB gain and 100 mV threshold. In shear test, there was a definite difference in AE generation between the defect-free and the poor bond specimens when the load was applied for lathe checks to pull closed, although there was little difference in AE generation at lower loads when the load was applied for lathe checks to pull open (Fig. 4, 5 and 6). It was difficult to discriminate poor bond specimens from defect-free ones by AE generated during bending and torsion tests (Figs. 7 and 8). A torsion test, however, showed a little usefulness to detect poor bond, particularly for specimens of thin spread.