851 静的曲げモーメントを受ける被着体が竹板である二重重ね合わせ接着継手の応力

Stress analysis of double-lap adhesive joints of bamboo plate adherends under static bending moments.

○正 樋口 泉 (山梨県立甲府城西高等学校)

Izumi Higuchi, Kofu Jyosai High School, Shimoiida 1-9-1, Kofu, Yamanashi

Key Words : Bamboo plate, FEM, Stress Analysis, double-lap adhesive joints

1. 緒言

竹は古来より日本人が様々な道具に利用してきた植物であり、構造物への利用としては丸竹をコンクリートの中に入れ竹筋コンクリートとして使われたこともあった。最近では比強度が大きく加工の容易さや高弾力性及び耐久性などに注目し集成材として床材などに利用されてきている。しかしながらその利用量はわずかであり放置された竹林が目立っている。また、機械的性質についても発表されているものは少ない^(1,2)。そのため合理的な設計指針が明らかにされていない。そこで、本研究は、十分に乾燥させた丸竹から板材を作り、その機械的性質を明らかにする。同時に板材を被着体とした二重重ね合わせ接着継手に静的曲げモーメントを作用させ継手に発生する応力を計算及び実験の両面から調べ竹材有効活用の確立を目的とする。

2. 実験方法

被着体には山梨県南部町産3年物のモウソウチクを使用した。伐採後すぐに電気炉で乾燥させた。炉内温度を90℃に保持し質量の変化がなくなるまで乾燥した後に炉内で室温まで徐冷した。室内に2ヶ月以上置いた後に機械を用いて板材に加工した。繊維方向の機械的性質は板状のダンベル型試験片を作り両端部に薄鋼板を接着し鋼板中央部に貫通穴を開けピンを差込み試験機で引張荷重を作用させ繊維方向及び繊維に

Fig.1 A stress strain diagram for the bamboo plate.

Fig.2 Schematic of the experimental setup.

対して直角方向のひずみをひずみゲージ（共和電業製 FKG-2-120-C1-5）と測定器（共和電業製 PCD300A）を用いて測定した。Fig.1 は実験に使用した竹板の応力ひずみ線図を示す。繊維に対して直角方向の長さ 50mm、繊維方向長さ 25mm、厚さ 4mm の板材両端部を半ダンベル型に加工した薄鋼板 2 枚の端部で挟み込むように接着し鋼板に荷重を作用させ発生したひずみをひずみゲージで測定した。Fig.2 は実験に使用した二重重ね合わせ接着継手と実験装置の概要を示す。継手に関する実験は、中央に繊維方向長さ 200mm 繊維直角方向長さ 25mm 厚さ 4mm の板材を突き合せ、2 枚の外側被着体で挟み接着した。外側被着体の長さ l_2 を 100, 125mm と変化させ寸法の異なる 2 種類の継手について実験した。いずれの場合も接着剤層の厚さ t_3 は 0.1mm とした。外側被着体の外面にひずみゲージを貼り 7 点のひずみを測定した。接着部は研磨脱脂後、構造用エポキシ接着剤 SW1838（住友 3M 製）で接着した。接着後 48 時間以上室温に放置した後に実験に使用した。継手中央部被着体の 2 点を支持し、コの字型ジグの中央に荷重を作用させ 4 点曲げモーメントを作用させた。継手を反転させて実験することで曲げによって発生する圧縮ひずみおよび引張ひずみを測定した。

3. 解析方法

Fig.3 は、有限要素解析に用いたモデルを示す。継手中心を原点 o とする xy 直角座標系を用いた。有限要素コード LUSAS を用いて平面応力状態を想定して二次元弾性有限要素解析を行った。被着体の繊維方向を x 軸とした。中央部被着体 (Adherend I) の両面に外側被着体 (Adherend II) を接着剤層 (Adhesive) を挟み配置した。継手の対称性を考慮して 1/2 部分を解析対象とした。中央部被着体の $x=l_1$ の位置を y 方向に、 x 方向の対称線 ($y=0$) を x 方向に拘束した。中央部被着体の $x=l_3$ の位置の位置に y 方向の静的荷重を作用させ継手に 4 点曲げモーメントを作用させた。被着体である竹板は直交異方性材料として扱った。実験結果と比較するために、実験より得られた被着体の繊維方向の縦弾性係数 $E_x=15.5\text{GPa}$ 、繊維方向に直角な方向の縦弾性係数 $E_y=2.03\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu_1=0.38$ および横弾性係数 $G=4.40\text{GPa}$ とした。接着剤

Fig.3 A model for FEM calculations.

層の縦弾性係数 $E_2 = 3.63 \text{ GPa}$ およびポアソン比 $\nu_2 = 0.314$ とした。また、継手の各部分の寸法は実験に用いたそれらと同じとした。

4. 実験結果及び計算結果

Fig. 4 および Fig. 5 は $l_2 = 100, 125 \text{ mm}$ の実験結果と計算結果の比較を示す。縦軸は外側被着体表面 ($y = +6.1 \text{ mm} (= t_1/2 + t_3 + t_2)$) および $y = -6.1 \text{ mm} (= -t_1/2 - t_3 - t_2)$) の x 方向のひずみ ε_x を横軸は原点 o からの距離 x を示す。いずれも実験結果と計算結果はかなりよく一致している。有限要素法による計算の結果から継手内部の応力の大きさを調べた。中央部被着体の引張りを受ける面と接着剤層との界面端部 ($x = l_2/2, y = -t_1/2$) の応力値が最も大きくなることが分かった。Fig. 6 は接着剤層界面 ($0 < x < l_2/2, y = -t_1/2, t_1/2, -t_1/2 - t_3, t_1/2 + t_3$) の最大主応力 σ_1 の分布を示す。縦軸は最大主応力 σ_1 を接着剤層界面 ($y = -t_1/2$) における最大主応力 σ_1 の平均値で、横軸は接着長さ l_2 で無次元化した。接着剤層界面端部 ($x = l_2/2, y = -t_1/2, t_1/2, -t_1/2 - t_3, t_1/2 + t_3$) で応力の特異性が見られる。Fig. 7 は接着剤層界面 ($0 < x < l_2, y = -t_1/2$) における応力成分の分布を示す。繊維方向の引張応力 σ_x が最も大きくなることが分かった。繊維直角方向の引張応力 σ_y およびせん断応力 τ_{xy} の大きさもかなり大きくなることが分かった。Fig. 8 は外側被着体長さ l_2 を $l_2 = 5 t_1, 12.5 t_1, 25 t_1$ および $49 t_1$ と変化させたときの応力分布を示す。縦軸は応力を $l_2 = 25 t_1$ のときの最大主応力 σ_1 の平均値、横軸は $l_2 = 25 t_1$ で無次元化した。 l_2 が変化しても接着剤層界面端部の最大主応力 σ_1 の最大値の変化は小さくなることが分かった。Fig. 9 は外側被着体

厚さ t_2 を $t_2 = t_1, 0.5 t_1, 0.25 t_1$ および $0.125 t_1$ と変化させたときの応力分布を示す。 t_2 が小さくなると最大主応力 σ_1 の最大値は小さくなることが分かった。

5. 結言

静的曲げモーメントを受ける被着体が竹板である二重重ね合わせ接着継手の応力に関して実験および有限要素法（有限要素コード LUSAS）による計算で調べたところ以下の結果が得られた。

- (1) ひずみに関する実験結果と有限要素法による計算結果はかなりよく一致した。
- (2) 継手に発生する応力を調べたところ接着剤層界面端部 ($x = l_2/2, y = -t_1/2$) に応力の特異性が見られ応力値が大きくなることが分かった。この位置での応力成分は繊維方向の引張応力 σ_x が最も大きくなることが分かった。同時に繊維方向に対して直角方向の引張応力 σ_y もかなり大きくなることが観察された。被着体の材料特性を考慮すると、この位置からの破壊も予測される。
- (3) 接着長さ l_2 の変化が接着剤層界面端部の最大主応力 σ_1 の変化に与える影響はかなり小さくなることが分かった。
- (4) 外側被着体厚さ t_2 が小さくなると最大主応力 σ_1 の最大値は小さくなることが分かった。

6. 参考文献

- (1) 天田, Bamboo Journal, 15(1998), 23.
- (2) 天田, Bamboo Journal, 15(1998), 31.

Fig.4 Comparisons of the strains between the calculated and experimental results. ($l_2 = 100 \text{ mm}$)

Fig.5 Comparisons of the strains between the calculated and experimental results. ($l_2 = 125 \text{ mm}$)

Fig.6 Stress distributions at the interfaces.

Fig.7 Distributions of the stress components at the interface.

Fig.8 Effect of the lapped length l_2 .

Fig.9 Effect of the outside adherends thickness t_2 .