

I-12 軸方向荷重を受けるラップ接着された円筒体の応力特性

北海道大学大学院 学生員 李 海濱
 北海道大学工学部 正 員 三上 隆
 北海道大学工学部 正 員 佐々木康彦
 釧路工業高等学校 正 員 芳村 仁

1. はじめに

近年接着継手は、高分子工業の発展によるめざましい接着剤の進歩によって、多くの工学分野、特に構造軽量化・高機能化が要求される分野でその利用が拡大してきた。接着継手はボルト継手やリベット継手などより優れたいくつかの長所を持っている。しかし、接着結合法に対する信頼性の高い定量的評価法に明確な基準がないため、二次的な構造要素または構造の二次的な箇所に採用される場合が多い。そのため接着継手内の応力分布に関する研究および強度推定法の確立が望まれている。一般に接着継手の設計¹⁾は、まず与えられた外力条件に対して継手の応力解析を行い、被着体、接着剤層および接着界面での応力分布を求め、次にこれらの応力値を、それぞれに対応する部分の強度則に代入し継手強度の予測を行う二つのステップからなる。

第一ステップの応力解析に関しては、理論的・実験的にかんがりの研究がなされ、応力状態が明らかにされつつあるが、そのほとんどはフラットな梁・板に対する場合である。本研究で取り上げたラップ（重ね合わせ）継手の円筒構造要素（図-1）については非常に少ない現状である。例えば LubkinとReissner²⁾は、薄い円筒殻理論を用いて接着層内の応力分布を明らかにした先駆的な研究を行っているが、解析領域は被着体と接着層が重なっている継手領域である等の厳密さに欠ける面もある。Shiら⁴⁾は三次元弾性理論から出発し、補足エネルギー最小の原理を用いて近似解を求めているが、Reissnerらと同様の欠点を有している。

AdamsとPeppiat³⁾は有限要素法を用いて解析を行っているが、接着層両端の応力特性は要素分割に依存し精度の良い解を得るには多くの要素分割をしなければならない。力学モデルとしての接着継手は同種または異種の材料から構成される被着体が薄い接着剤によって結合されたものであり、被着体と接着層の厚さに大きな差があったり、被着体と接着層の間の力学的性質に大きな差異があるのが普通である。このため、本論文は接着層内の応力分布に着目し、被着体と接着剤層の寸法の大きな差異に考慮を払った軸対称体の接着要素⁶⁾を用いて、有限要素法による弾性解析を行い、接着層内の応力分布特性に与える種々のパラメータの影響を解明することを目的としている。

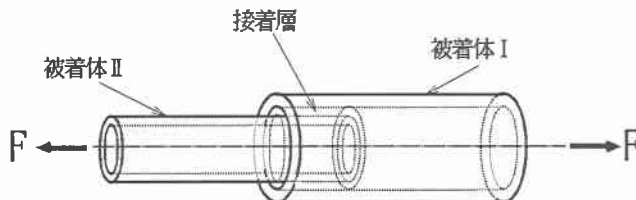


図-1 ラップ接着された円筒体

2. 解析モデルと要素分割

図-1に示すラップ接着された円筒体の継手内の応力分布を解析するために、図-2に示すように被着体

I の右側を完全に固定し、被着体 II の左側の半径方向を固定し、軸方向引張力 F が内側の被着体 II に作用する場合にモデル化する。図で、 x は接着層部分の座標系、 η は接着層の厚さ、 l は接着層の長さ、 r_0 は接着層の中心半径、 t_1 、 t_2 は被着体 I と被着体 II の厚さ、 L は解析対象領域を表す。また外側の被着体 I の弾性係数、ポアソン比をそれぞれ E_1 、 ν_1 とする。被着体 II のそれらを E_2 、 ν_2 とし、接着層のそれらを E_a 、 ν_a とする。解析領域は $L/l=5$ を、

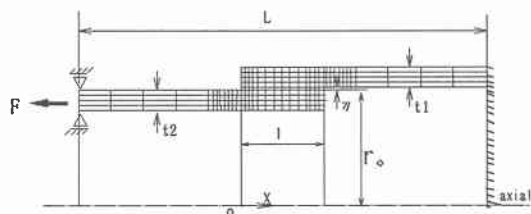


図-2 解析モデルと要素分割

要素分割数には接着層に対しては14要素、被着体に対しては192要素の合計206要素を用いることにする。図-2の分割様子がこの分割数に対応する。なお、以下に示す結果のすべては、接着層内の応力の内、垂直応力 σ_r およびせん断応力 τ_{rz} を平均せん断応力 $\tau_m = F / (2\pi r_0 l)$ で無次元化して、それぞれ $N (= \sigma_r / \tau_m)$ 及び $T (= \tau_{rz} / \tau_m)$ で表示する。また採用した解析諸元は、 $l/t_1=10$ 、 $\eta/t_1=0.2$ 、 $L/l=5$ 、 $\nu_a=0.3333$ および $\nu_1=\nu_2=0.3$ とした。

3. 接着層内の応力分布特性

ここでは、被着体に鋼 (St) またはアルミニウム (Al) を使い、接着剤層にエポキシ系を用いた場合の接着層内の応力分布について解析を行った。弾性係数は St : 206000 MNm^{-2} ; Al : 70600 MNm^{-2} ; エポキシ系 : 200 と 3500 MNm^{-2} を採用された。

3. 1 同種材料 (St-St) 接着継手の接着層内の応力分布特性

図-3には、被着体 I と II には鋼 (St) を用いたときの接着剤層の弾性係数 (E_a)、円筒体の相対厚さ ($R = t/2r_0$) および被着体 I と II の厚さの比 (t_2/t_1) が接着層内の応力分布に及ぼす影響を示す。計算は $R=0.01$ 、 0.1 および種々の $t_2/t_1=0.4$ 、 0.6 、 1.0 を変化させて行った。図から、応力分布 (T 、 N) について以下のことがわかる。

①せん断応力 T については、 E_a が小さければ R の値と t_2/t_1 の値によらずほぼ一定値をとる。 E_a が大きければ二次関数的な分布形状を示し、 R の影響を受け、 R が小さいときは t_2/t_1 の影響をあまり受けない。いずれのパラメータ (R 、 E_a 、 t_2/t_1) に対しても接着層両端で大きな応力値をとり、 $x=0.0$ (荷重作用側) で最大値となる。その値は、接着剤のヤング率 E_a に大きな影響を受け、 E_a が大きい程度、値が大きくなる。

②垂直応力 N の分布形状は、パラメータ (R 、 E_a) の値に大きな影響を受ける。 R が小さい場合は接着層中央付近は零または圧縮である。 R および E_a が大きい場合は接着層中央に関して逆対称の分布形状となる。 R が小さくて E_a が大きい場合は t_2/t_1 の値に影響を受ける傾向にあり、逆に R が大きくて E_a が小さい場合は t_2/t_1 の値に影響をあまり受けない傾向にある。全体を見ると、接着層両端は引張となり、その値は、せん断応力の場合と同様に $x=0.0$ で最大値となり、 E_a が大きいほど大きい。

③接着層両端の応力値は、接着層のヤング率が小さくなれば小さくなる。

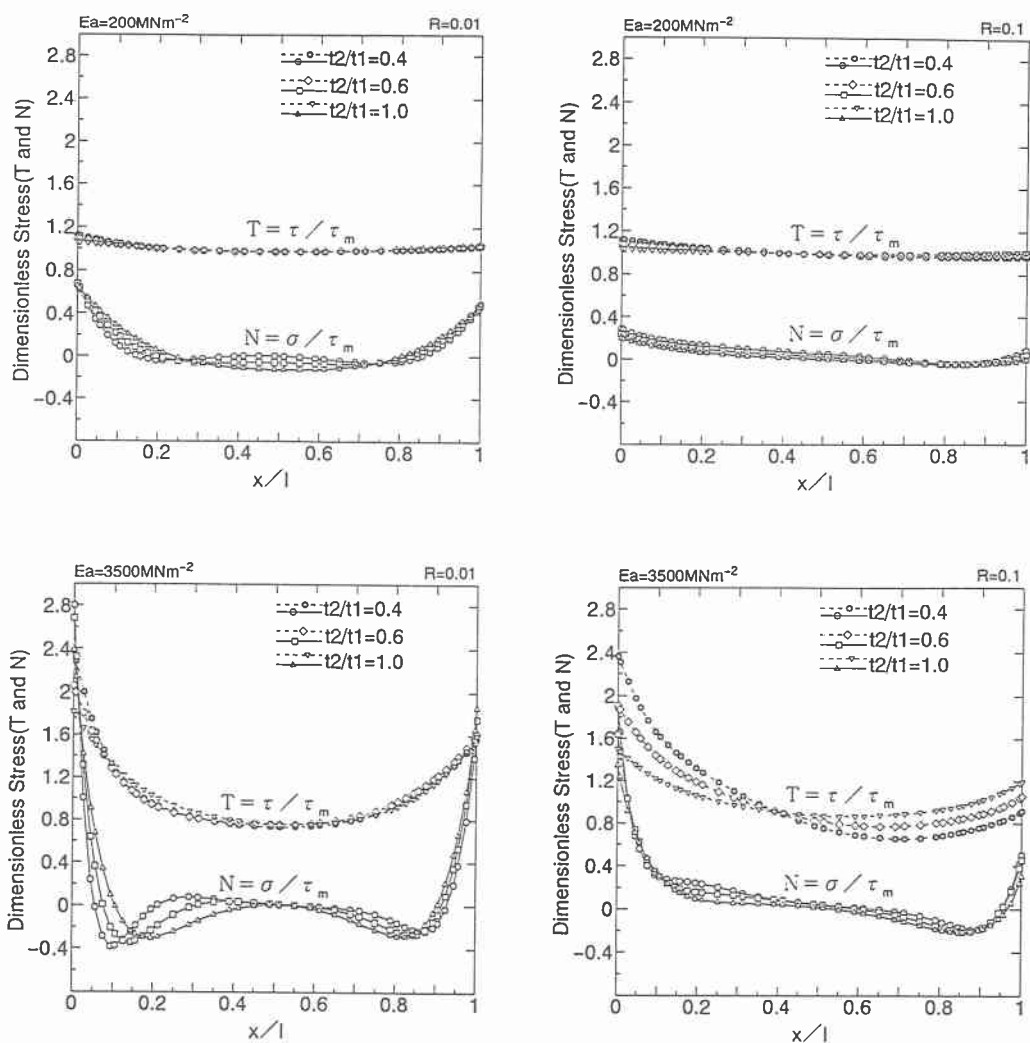
④厚い円筒体程 (R が大きい)、接着層両端の応力値は小さくなる。

3. 2 異種材料 (St-Al) 接着継手の接着層内の応力分布特性

図-4には、被着体には異種材料を用いたときの種々パラメータの影響を示す。被着体 I は鋼 (St) とし、被着体 II はアルミニウム (Al) とする。パラメータ (R 、 E_a 、 t_2/t_1) には同種材料の場合と同様に变化させて接着層内の応力を解析する。図-3 および図-4 より、以下のことが理解できる。

①パラメータ (R 、 E_a 、 t_2/t_1) の応力分布に与えた影響は St-St と St-Al の場合も大体同じである。

②接着層両端の応力に着目すれば、被着体のヤング率が小さい場合に大きくなる。これは、被着体の剛性が小さいため、被着体の相対的な変形が大きくなるからである。



図－３ 同種材料接着継手の接着層内の応力分布

③接着層境界の応力は、接着剤のヤング率が大きい場合に、同種材料より異種材料のときに大きくなる。

４．まとめ

本論文では、同種また異種材料からなるラップ接着された円筒体に引張荷重が作用した場合の応力解析を行い、以下の結果が得られた。

接着層境界の応力の最大値は、荷重載荷側の接着層の端で現れ、被着体の弾性係数が小さい場合、接着剤の弾性係数が大きい場合、薄い円筒体の場合、および被着体の厚さが異なる場合に大きくなる。

本研究では接着層内部の基本的な応力分布を明らかにしたが、今後は、接着層材料の温度依存性、粘弾性的性質を考慮した応力解析を実施したい。

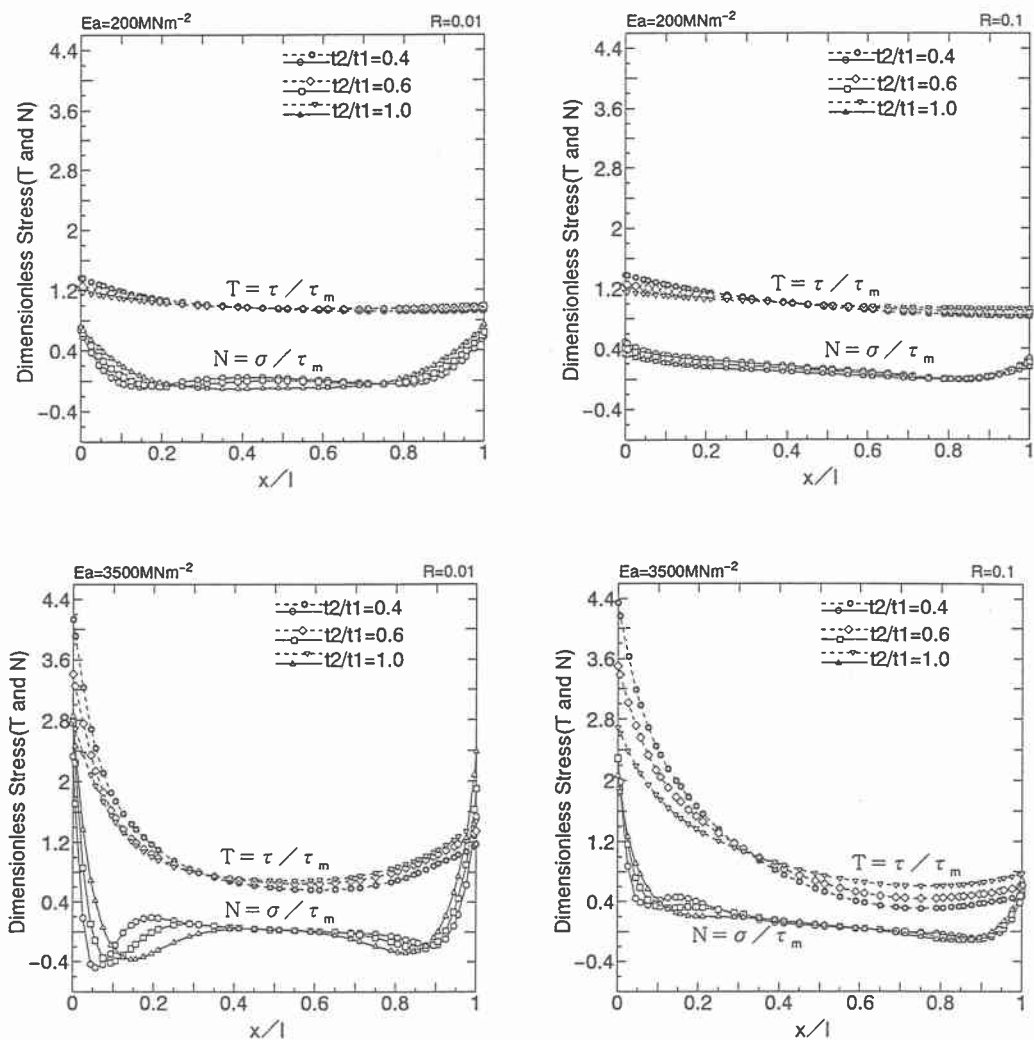


図-4 異種材料接着継手の接着層内の応力分布

【参考文献】

- 1) 林 毅編, 複合材料工学, 日科技連出版社, 1988.
- 2) LubKin, J.L. and Reissner, E. :Stress distribution and design data for adhesive lap joints between circular tubes, J. Appl. Mech., Trans. ASME. 78, PP.1213-1221, 1956.
- 3) Adams, R.D. and Peppiatt, N.A. :Stress analysis of adhesive bonded tubular lap joints, J. Adhes., Vol. 9, pp. 1-18, 1977.
- 4) Shi, Y.P. and Cheng, S. :Analysis of adhesive-bonded cylindrical lap joints subjected to axial load, Vol. 119, No. EM3, pp. 584-602, 1993.
- 5) 鷲津久一郎他共編, 有限要素法ハンドブック, 基礎編, 培風館, 1981.
- 6) 三上隆他: ラップ接着された円筒殻のFEM解析, 土木学会北海道支部論文報告集 (第50号)