

# 424 重ね合せ接着継手の応力解析および強

Stress Analysis and Strengths of Adhesive Lap Joints Loaded in Tension

正 鈴木靖昭 (日本車輛)

Yasuaki SUZUKI, Nippon Sharyo, Ltd., 1-1 Sanbonmatsu-cho, Atsuta-ku, Nagoya

For the investigation of fracture condition, adhesive tensile-shear strengths of lap joints bonded by a elasto-plastic epoxy adhesive have been measured and two-dimensional elasto-plastic finite element analysis has been performed.

In the tensile test, yield stresses were measured for bulk adhesive and lap joints. In the finite element analysis, plastic areas at the ends of adhesive layer increased as the load increases, and it is estimated that a wholly yield occurs subsequently in the adhesive layer.

Key Words: Strength, Fracture condition, Adhesive joint, Lap joint, Elasto-plastic, Two-dimensional, FEM

## 1. 緒 言

重ね合せ継手は最も有用な接着接合形式であり、古くから応力解析および強度に関し多くの研究がなされているが<sup>(1)(2)(3)</sup>、まだ十分に解明されているわけではない。ここでは弾塑性接着剤を用いてアルミニウム合金板の接着強度を測定するとともに、弾塑性有限要素解析を行い、破壊条件について検討を試みた。

## 2. 実 験

厚さ1.6mmのA5052Pを被着材とし、エポキシ系接着剤ナピロックE A9430(豊田合成)を用いて、図1のような接着継手試験片を製作した。被着材の表面処理としてサンドペーパー研磨(No.400)およびメチルエチルケトンによる超音波洗浄を行い、接着剤の硬化条件は室温24時間+80℃10時間とした。接着層厚さは0.1mmとした。接着層端から0.8mm( $x=0.8$ mm)の点にゲージ長さ2mm、幅1.6mmのストレインゲージ(昭和測器製Y11-FA-2-120)をはり付けて被着材の一部および接着層のy方向のひずみ $\epsilon_y$ を測定した。

図2に継手の荷重-ひずみ線図を示す。ひずみ値は、降伏点直前まで負であるが降伏後接着層の伸びとともに急激に増加して破断に至る。最大せん断応力(最大荷重/接着面積)は5本の試験片ともほぼ一致

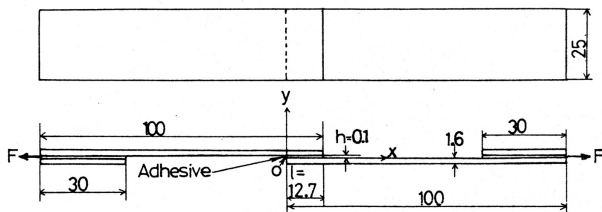


Fig.1 Adhesive lap joint specimen.

し、平均値は23.2 MPaであった。

なお、図3に被着材が塑性変形した破断直前の試験片を示す。

## 3. 有限要素解析

3.1 解析方法 図1の継手の左側半分を解析モデルとし、図4のように951節点、1728三角形要素に分割し、平面ひずみ状態として弾塑性解析<sup>(4)(5)</sup>を行った。被着材および接着剤の降伏はMisesの条件によつた。解析に用いた材料定数を表1に、接着剤自体の応力-ひずみ線図の実測値を図5に示す。

3.2 解析結果 図1の引張荷重Fが0.64(弾性限)、3.14および5.41kNの場合の、接着層境界[図4,  $y =$

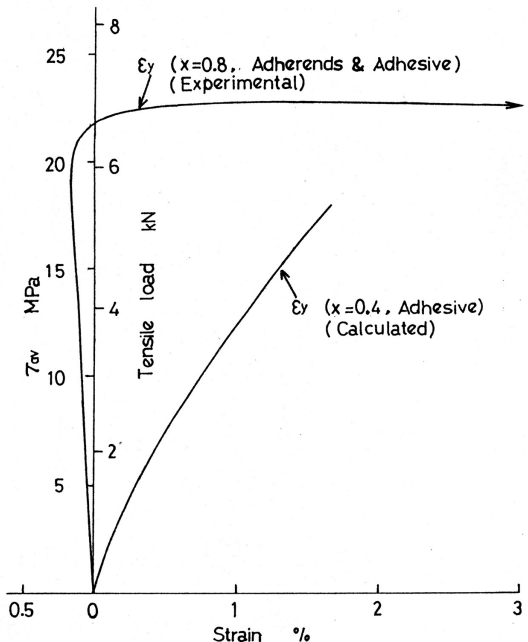


Fig.2 Load-strain curves for adhesive lap joint

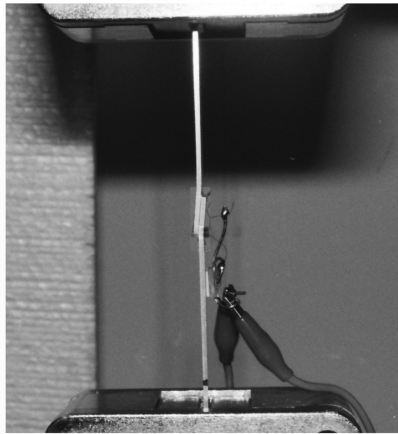


Fig.3 Deformed specimen loaded in tension.

Table 1 Material constants of adherend and adhesive.

	Young's modulus GPa	Poisson's Ratio	Yield stress $\sigma_y$ MPa	c *
Adherend	68.9	0.34	202.9	2.71
Adhesive	1.77	0.37	30.4	0

\*  $\sigma^p = \sigma_y + c \epsilon^p$

0.1mm (=接着層厚さ),  $x=0 \sim 1$ における最大主応力  $\sigma_1$ , 最大せん断応力  $\tau_{max}$ , およびMisesの相当応力  $\sigma_{eq}$ の計算結果を図6~図8に示した. 図6の  $\sigma_1$ についてはいずれの荷重の場合も接着層が塑性変形した後も図4のA点およびO点付近において大きな応力集中がみられ, それらははく離応力  $\sigma_y$ の値が主体であるが,  $\sigma_x$ および  $\sigma_z$ もかなり大きな値を示し, 3軸応力状態となつて降伏域をなす.

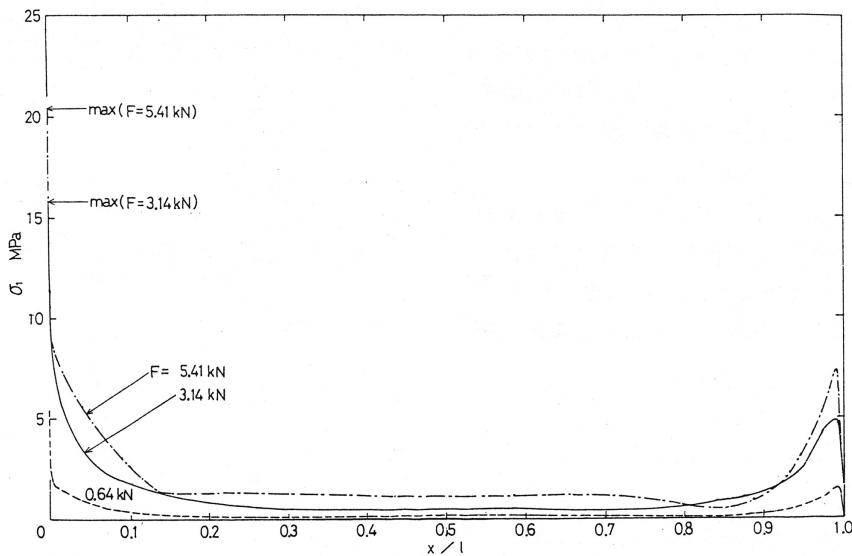


Fig.6 Maximum principal stress distributions at the interface of adhesive layer.

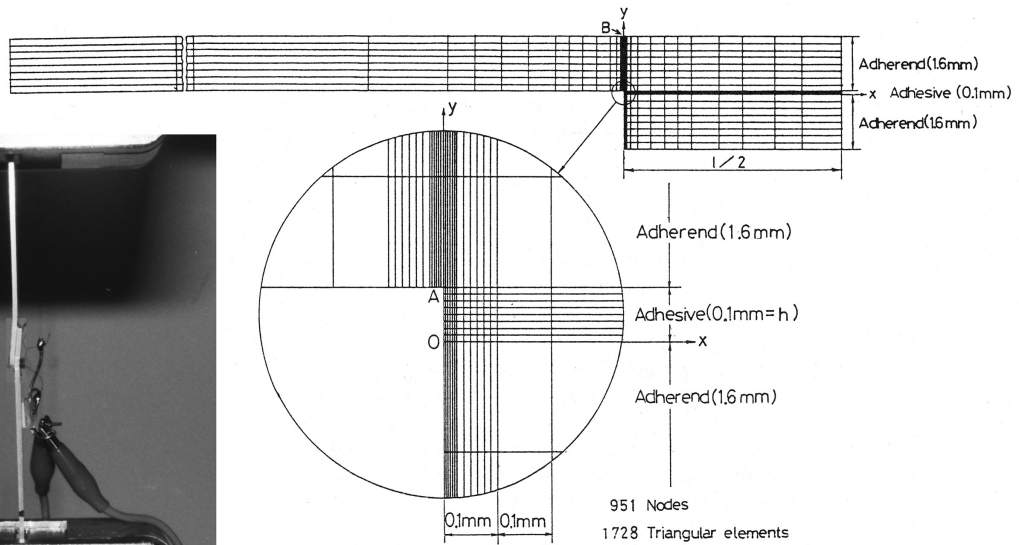


Fig.4 Finite element mesh for lap joint.

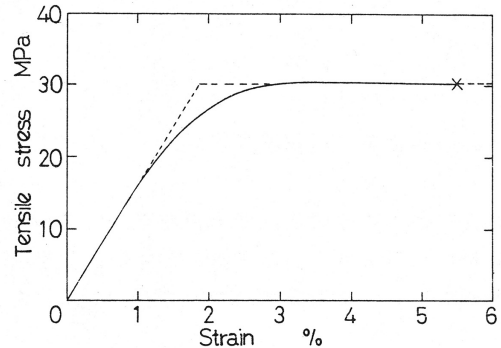


Fig.5 Stress-strain curve for bulk adhesive.

また図7の  $\tau_{max}$ の値は,  $F=0.64\text{kN}$ の弾性限においては  $x/l=0.5$ 付近の応力はほとんど0で, A点およびO点における応力集中が大きい,  $F$ が増加して塑性域が内部にも及ぶとともに,  $x/l=0.5$ 近傍の応力も増大している.

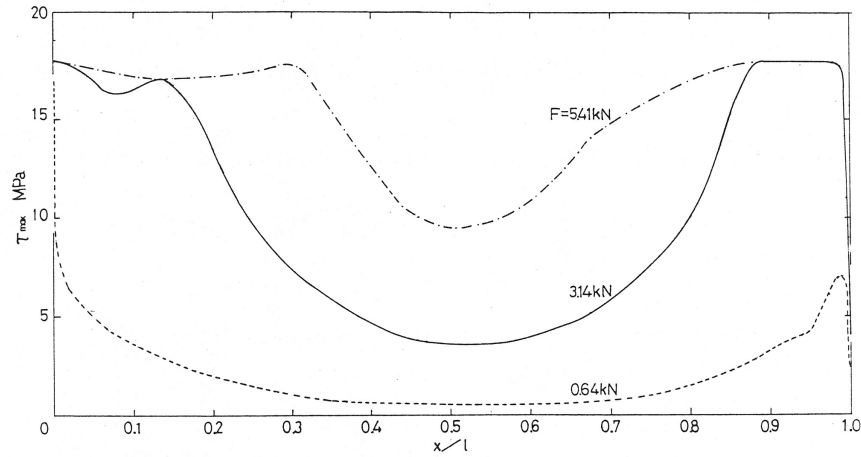


Fig.7 Maximum shear stress distributions at the interface of adhesive layer.

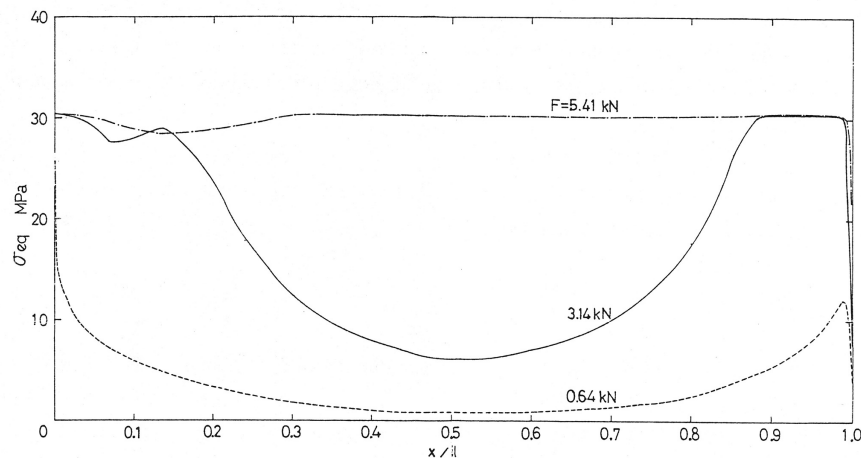


Fig.8 Von mises equivalent stress distributions at the interface of adhesive layer.

図8の $\sigma_{eq}$ の値は $\tau_{max}$ の場合とほぼ同様であるが、 $F=5.41\text{kN}$ においてはほとんど一定値を示している。

なお解析の結果、 $F=3.14\text{kN}$ および $5.41\text{kN}$ の場合、図4のA点およびB点付近においては被着材もかなり塑性変形することがわかり、図3の実験結果ともほぼ一致した。

#### 4. 結果の検討

応力解析結果から求めた $x=0.4$ における接着層の $y$ 方向のひずみと荷重との関係を、図2に併記した。今回の解析は接着層の完全降伏まで行えなかったが、図2の実測値においては完全降伏状態がみられるため、その状態に至るまでさらに解析を行う必要がある。高分子材料の降伏条件はMisesの条件とは少し異なるとの報告もあり<sup>(6)</sup>、今回用いた接着剤以外の接着剤および

降伏点の異なる被着材についても実験と解析を行って破壊条件を検討したいと考えている。

#### 文 献

- (1) Cooper, P.A. and Sawyer, J.W., NASA Technical Paper 1507, September (1979)
- (2) Harris, J.A. and Adams, R.D., Int. J. Adhesion and Adhesives, April(1984), 65.
- (3) 能野・永弘, 機論, 52-479, A(1986), 1698.
- (4) 山田, 塑性・粘弾性, (1984), 培風館.
- (5) 山田・横内, 有限要素法による弾塑性解析プログラミング, (1981), 培風館.
- (6) Wronski, A.S and Pick, M.J., J. Mater. Sci., 12 (1977), 28.