

# 620. スカーフ接着継手の応力解析 および強度評価

Estimation of Strengths and Stress Analysis for Adhesive Scarf Joints

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 strengths of scarf joints bonded by an elasto-plastic epoxy adhesive have been measured and two-dimensional elasto-plastic finite element analysis have been performed.

Yield tensile stress were measured for bulk and film adhesives. Scarf joints with scarf angle of 30 degree showed yield points, and those values were estimated from the results of stress analysis. However, in joints of 75 degree, fracture stresses were 54% of estimated yield stress.

Key Words: Strength, Fracture condition, Adhesive joint, Scarf joint, Yield stress, Elasto-plastic, Two-dimensional, FEM

## 1. 緒 言

スカーフ接着継手は、重ね合せ接着継手とは異なり、自由端を除いてほとんどの接着層内で均一応力分布となり、しかも組み合わせ応力状態とすることができると、継手および接着剤自体の破壊条件を調べる上で有用と考えられる。スカーフ継手の破壊条件に関しては、京極ら<sup>(1)</sup>および能野ら<sup>(2)</sup>により検討が行われているが、未解明の点もみうけられる。著者らは、前報<sup>(3)</sup>において境界層理論<sup>(4)</sup>を用いて、スカーフ継手の破壊条件を検討したが、境界層厚さを実験値に合うように決定しているため、完全に合理的とはいえない面がある。

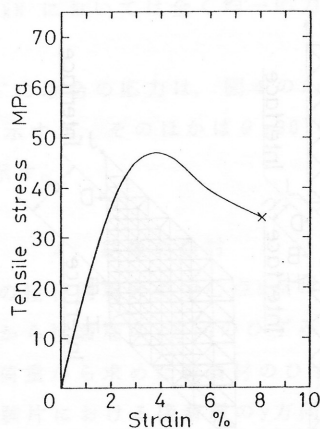


Fig. 1 Stress-strain curve for bulk adhesive

そこで本報告では、弾完全塑性接着剤によるスカーフ継手の2次元弾塑性有限要素解析を行い、その荷重-ひずみ関係の計算値を実験値と比較し、継手の破壊条件に検討を加えた。

## 2. 実 験

本報告で用いた実験値は、前報<sup>(3)</sup>における値である。接着剤の組成、被着材の材質、およびそれらの力学的性質を表1に示す。また、バルク接着剤(厚さ3mm)の応力-ひずみ線図を図1に示す。前報の結果から、バルク接着剤の降伏応力と継手内の接着層(厚さ0.1mm)の降伏応力とが異なると考えられるため、今回、同一組成の接着剤を厚さ0.1mmのフィルム状に硬化させたものの引張試験を行ったところ、表1に示すようにバルク接着剤より約20%大きな降伏応力が得られた。そこで、今回の応力解析にはこの値を用いた。

図2には、スカーフ継手試験片の形状を示す。また

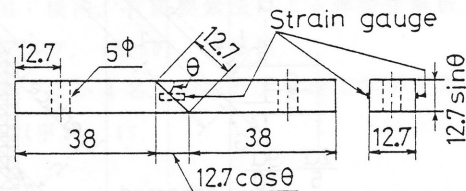


Fig. 2 Adhesive scarf joint specimen ( $\theta = 30^\circ$  &  $75^\circ$ )

Table 1 Material constants of adhesive and adherend

|                 | Composition parts |             |      | Mechanical property |                 |                             |         |
|-----------------|-------------------|-------------|------|---------------------|-----------------|-----------------------------|---------|
|                 | Epikote 828       | Epikote 871 | DETA | Young's modulus GPa | Poisson's ratio | Yield stress $\sigma_y$ MPa | c * GPa |
| Adhesive (bulk) | 75                | 25          | 9.5  | 2.16                | 0.38            | 46.8                        | 0       |
| Adhesive (film) | *                 | *           | *    |                     |                 | 56.8                        | 0       |
| Adherend        | S35C              |             |      | 205.9               | 0.30            | 304                         | 0.892   |

\*  $\sigma^p = \sigma_y + c\epsilon^p$       1 GPa=102 kgf/mm<sup>2</sup>      1 MPa=0.102 kgf/mm<sup>2</sup>

図3には図2の試験片の中央にはりつけた大ひずみ用ストレインゲージ(昭和測器製 Y11-FA-5, ゲージ長さ5mm)により測定した荷重-ひずみ線図を実線で示す。

### 3. 有限要素解析

#### 3.1 解析方法

図4のモデルのスカーフ角 $\theta = 30^\circ$ および $75^\circ$ の場合に

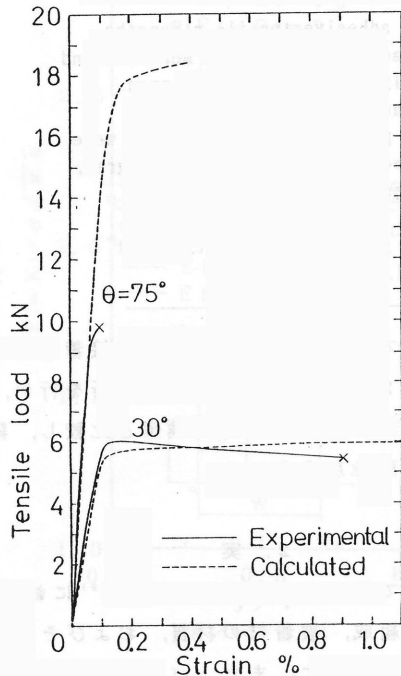


Fig. 3 Load-strain curves for adhesive joints

ついて, 535節点, 990要素に分割し, 平面ひずみ状態として弾塑性解析<sup>(5)(6)</sup>を行った。接着剤および被着材の降伏はvon Misesの条件によるものとした。材料定数は表1の値を用いた。図1の応力-ひずみ線図から, 接着剤は弾完全塑性を有するとみなした。この場合, 接着層自由端近傍において応力の特異性は生じない<sup>(7)</sup>。

#### 3.2 応力解析結果

図5には, 接着層内のs-n座標系を示す。

$\theta = 30^\circ$ の場合について, 図4の引張り荷重Fが3.40 kN(弾性限), 4.90 kN(中間荷重), および6.11 kN(完全降伏状態)における下側接着層境界(図4のAB)にそった最大主応力 $\sigma_1$ , 最大せん断応力 $\tau_{max}$ , およびvon Misesの相当応力 $\sigma_{eq}$ の計算結果を図6~図8に示した。各応力は, 図4の自由端のA点で最小値, B点で最大値を示すが, 自由端近傍を除けばほぼ均一である。 $\tau_{max}$

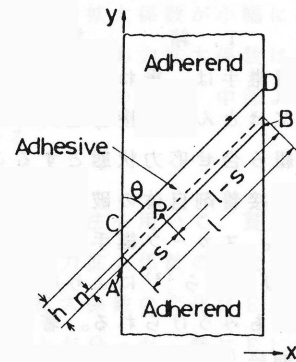


Fig. 5 Co-ordinate system in adhesive layer

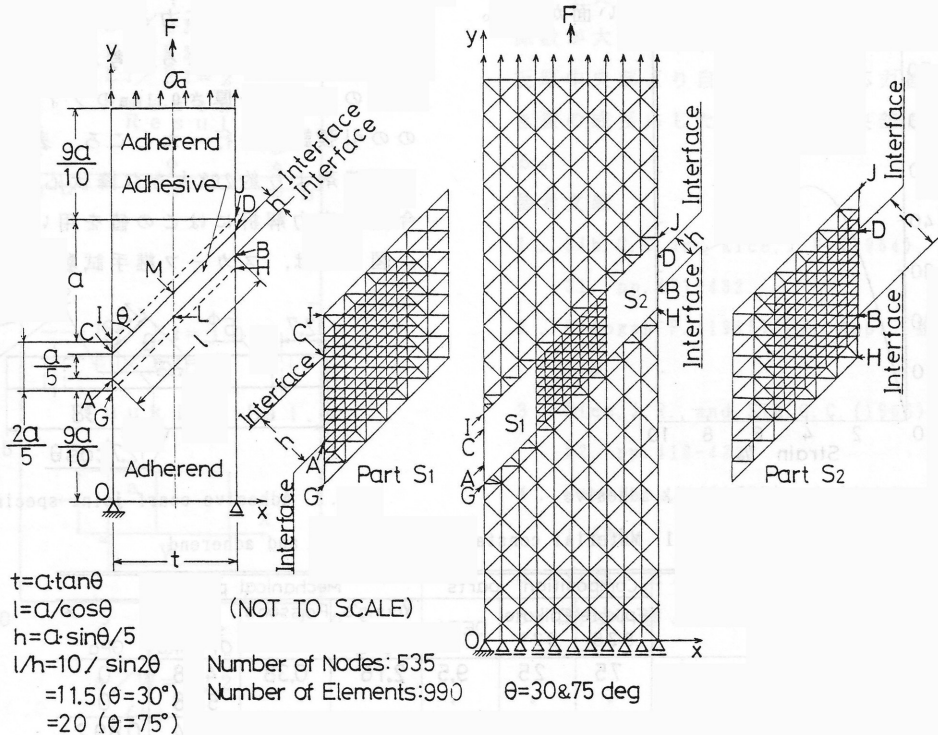


Fig. 4 Finite-element models and meshes for scarf joints

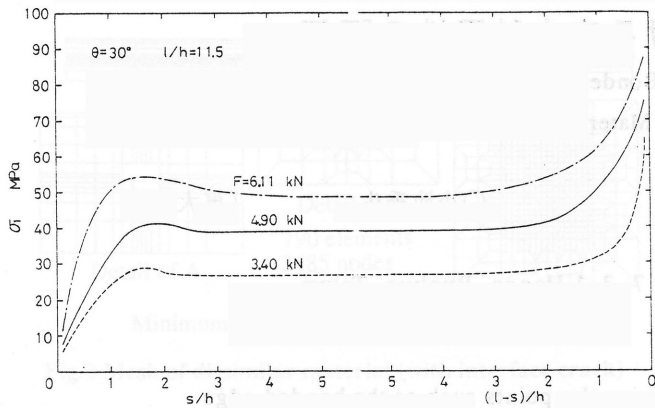


Fig. 6 Maximum principal stress distributions at the interface of adhesive layer

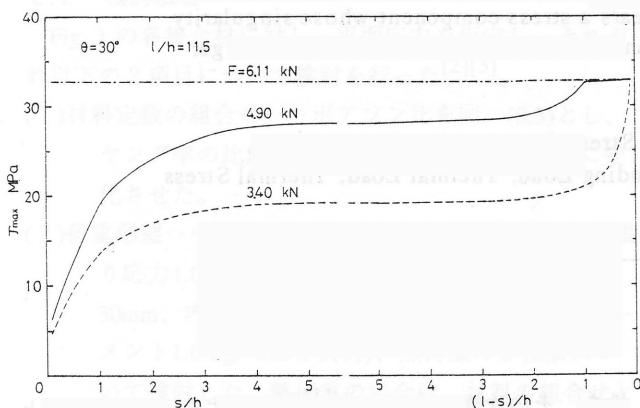


Fig. 7 Maximum shear stress distributions at the interface of adhesive layer

および $\sigma_{eq}$ については、弾性限を越えると接着層自由端近傍から塑性域が次第に接着層中央部まで拡大していき、 $F=6.11$  kNにおいては全く均一応力の完全降伏状態となる。

なお、 $\theta=75^\circ$ の場合の応力は、図4のA点で最小値、B点で最大値を示すが、そのほかは $\theta=30^\circ$ の場合とほぼ同様の傾向を示す。

#### 4. 結果の検討

図4の上下の接着層境界の中心点M点およびN点の変位の解析結果から接着層のy方向のひずみ計算値を求めた。その値と荷重から求めた被着材のひずみ計算値とを用いて、試験片における接着層のy方向厚さ(0.1/

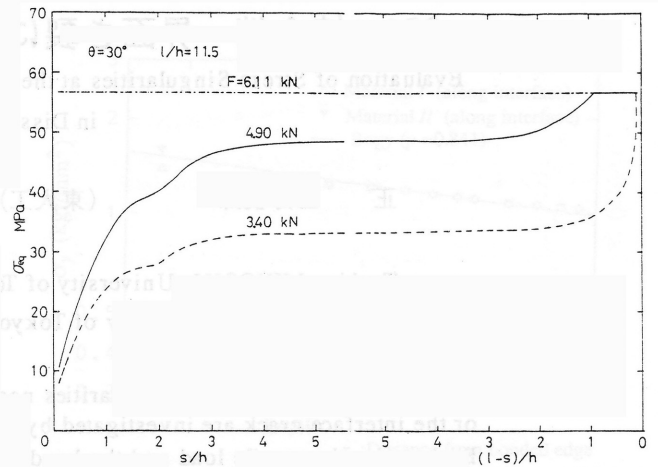


Fig. 8 Von Mises equivalent stress distributions at the interface of adhesive layer

$\sin \theta$  mm)とゲージ長さ5 mmとを考慮し、荷重-ひずみ関係の計算値を求め、図3に破線で併記した。

$\theta=30^\circ$ の継手の変形はモードIが主体であり、降伏荷重を含めて計算結果は実験結果にほぼ一致している。モードIIの変形が主体の $\theta=75^\circ$ の場合は、降伏点の荷重計算値の約54%の荷重で、ぜい性的破壊が生じた。これは、前報でも述べたように、切り欠きぜい性破壊と同一の現象と考えられる。したがって、 $\theta=75^\circ$ 近傍のスクーフ継手およびパット継手の破壊については、接着剤自体も含めて破壊力学的な検討が必要と考えられる。

#### 文 献

- (1) 京極・ほか2名, 機論, 53-487, A(昭62), 499.
- (2) 能野・永弘, 機論, 52-479, A(昭61), 1698.
- (3) 鈴木, 機論, 51-463, A(昭60), 926.
- (4) 中西・ほか4名, 機論, 19-87(昭28), 14.
- (5) 山田, 塑性・粘弾性, (昭59), 培風館.
- (6) 山田・横内, 有限要素法による弾塑性解析プログラミング, (昭56), 培風館.
- (7) 網島・ほか4名, 同志社大学理工学研究報告, 32-1(平3), 47.