

# 136 接着層の引張り強さに及ぼすひずみ速度の影響

The Effect of Strain Rate on the Tensile Strength of Bonding Layer

○正 小田美紀男 (鹿児島大学)

正 有富 正男 (鹿児島大学)

正 戸谷 眞之 (鹿児島大学)

Mikio ODA, Kagoshima University, 1-21-40 Korimoto Kagoshima

Masao ARITOMI, Masayuki TOYA, Kagoshima University

Key Word: Impact Strength, Stress Wave, Material Testing, Bonding Layer, Strain Rate, Epoxy Resin Adhesive

## 1. 緒言

接着剤の動的引張り強度を調べるため、丸棒および板材を接着した試験片に静的および動的負荷を与え試験片を破壊し、その時の応力の時間変動を測定する。その結果より、応力の時間変化  $d\sigma/dt$  を求め、接着剤を完全弾性体と仮定することにより、応力の時間変化からひずみ速度を求め、エポキシ樹脂接着剤の引張り強度とひずみ速度の関係について調べている。

## 2. 実験

### 2.1 静的引張り試験

Fig.1 に静的引張り試験の概略を示す。この試験は、2本の直径10mmのアルミ合金丸棒をエポキシ樹脂接着剤で接着している。接着層の厚さは、ひずみゲージを添付するために、約5mmである。また、試験片に作用する曲げ応力を軽減するために、アルミ合金丸棒にワイヤーを付け、そのワイヤーを引張ることにより接着層を破壊している。Fig.2 に引張り試験により得られた応力-ひずみ曲線を示す。この結果より、応力-ひずみ曲線は、ほぼ直線的に増加して破断していることが分かる。これにより、本研究では、エポキシ接着剤を完全弾性体として取り扱い、縦弾性係数  $E=4.6\text{GPa}$  とする。

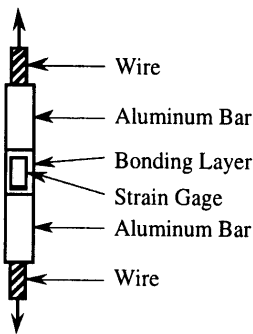


Fig.1 Experimental Setup for Static Tensile Test.

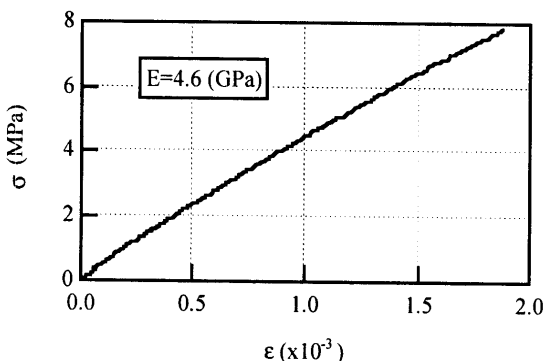


Fig.2 Stress-strain Curve.

### 2.2 動的引張り試験

Fig.3 に動的引張り試験の概略を示し、Fig.4 に試験片を示す。この試験は、入力棒に鋼球ならびに丸棒衝撃棒を衝突させることにより、ハーフサインならびに台形状の圧縮応力波を発生させ、入力棒を通して、その圧縮応力波を試験片に与える。その圧縮応力波は、試験片内を伝播し、自由端に達して引張り応力波となる。その引張り応力波が、試験片内を伝播し、接着層に到達して接着層を破壊する。また、接着層に作用する応力の時間履歴を調べるため、試験片にひずみゲージを添付している。

ひずみ速度は、接着層を完全弾性体と仮定し、接着層の厚さが薄いので、応力の時間履歴により次式で算出される。

$$\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} \quad \dots(1)$$

また、応力の時間履歴を変化させるために、直径25.4、31.75、38.1、50.8mmの4種類の鋼球を用いている。試験は、2本の直径10mmのアルミ合金丸棒をエポキシ樹脂接着剤で接着している。入力棒および衝撃棒は、直径20mmのステンレス丸棒を使用し、それぞれの長さは、100mm、1.5mである。

### 2.3 曲げ試験

Fig.5 に使用した試験片を示す。この試験片は、2枚のアルミ合金板をエポキシ樹脂接着剤で接着している。試験片に静的および動的負荷を与えることにより、接着層を破壊する。接着層の下部に作用する応力の時間履歴を測定するために、接着層の近傍にひずみゲージを添付している。そして、静的、自由落下式および空気銃式曲げ試験を行い、広範囲のひずみ速度領域での引張り

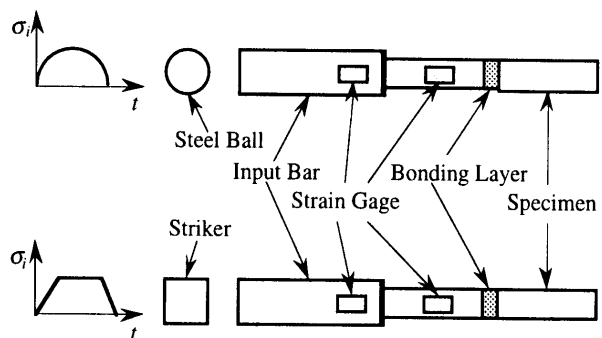


Fig.3 Experimental Setup for Dynamic Tensile Test.

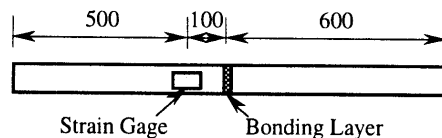


Fig.4 Specimen for Dynamic Tensile Test.

強度を測定している。ひずみ速度は、式(1)により求めている。静的および自由落下式試験では3点曲げ、空気銃式試験では1点曲げにより実験を行っている。

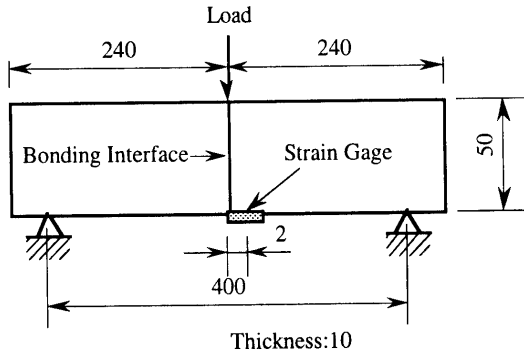


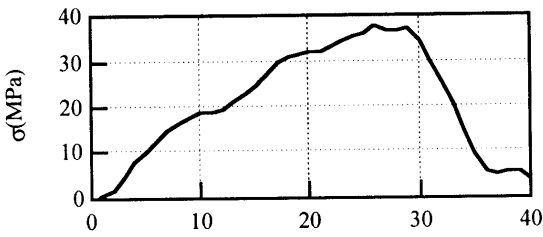
Fig.5 Specimen for Bending Test.

3. 実験結果

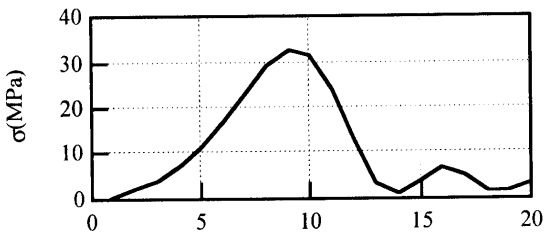
Fig.6、Fig.7に実験によって得られた応力の時間履歴を示す。引張り強さは、応力の最大値であり、ひずみ速度は、応力の時間履歴から最大値付近の  $d\sigma/dt$  を求め、式(1)を使用して求めている。

Fig.6は、動的引張り試験によって得られた応力の時間履歴を示す。Fig.6(a)は鋼球を用いた場合であり、Fig.6(b)は衝撃棒を用いた場合である。これらの図を比較すると、鋼球では、ハーフサインの応力波を与えているため、接着層での応力の時間履歴がハーフサイン状に増加し、接着層が破壊して、除荷していることがわかる。衝撃棒を用いた場合は、台形状の応力波を与えられているため、接着層での応力の時間履歴が急激に増加し、接着層が破壊して、除荷していることがわかる。

Fig.7は、曲げ試験によって得られた応力の時間履歴を示す。Fig.7(a)は静的試験、Fig.7(b)は動的1点曲げの試験結果です。これらの図から、曲げ試験では、破壊に至るまで直線的に応力が増加する傾向にあることがわかる。



$\sigma_f=37.7 \text{ MPa}, d\epsilon/dt=240 \text{ (1/s)}$   
(a) Steel Ball.(Ball Speed:4.5m/s)



$\sigma_f=32.6 \text{ MPa}, d\epsilon/dt=920 \text{ (1/s)}$   
(b) Striker.(Ball Speed:8.3m/s)

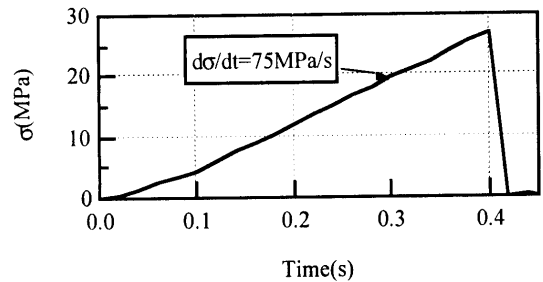
Fig.6 Results of Dynamic Tensile Test.

Fig.8に実験によって得られた引張り強さ  $\sigma_t$  とひずみ速度の関係を示す。この図より、ひずみ速度が遅い領域では、引張り強さは、約28MPaで一定値を保ち、ひずみ速度が  $10^{-2} \sim 10^2 \text{ (1/s)}$  の範囲では減少し、ひずみ速度が  $10^2 \text{ (1/s)}$  を越えると急激に増加することがわかる。

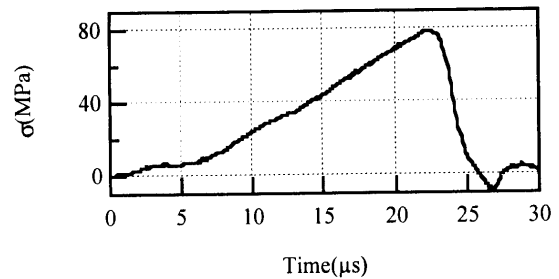
動的引張り試験と動的1点曲げ試験の結果を比較すると、同じひずみ速度の範囲でも、動的1点曲げの方が大きな引張り強さを示していることが観察できる。これは、動的引張り試験において、試験片に曲げが作用して強度が低下した可能性がある。

4. 結言

- (1) 接着剤を完全弾性体と仮定することにより、接着剤のひずみ速度を測定できる。
- (2) 接着剤のひずみ速度は、ひずみ速度が約  $100 \text{ (1/s)}$  から急激に大きくなる傾向にある。



$\sigma_f=27.0 \text{ MPa}, d\epsilon/dt=0.016 \text{ (1/s)}$   
(a) Static Test.(Cross Head Speed:0.1m/min)



$\sigma_f=78.5 \text{ MPa}, d\epsilon/dt=970 \text{ (1/s)}$   
(b) Dynamic 1 Point Bending(Striker Speed:17.6m/s)  
Fig.7 Results of Bending Test.

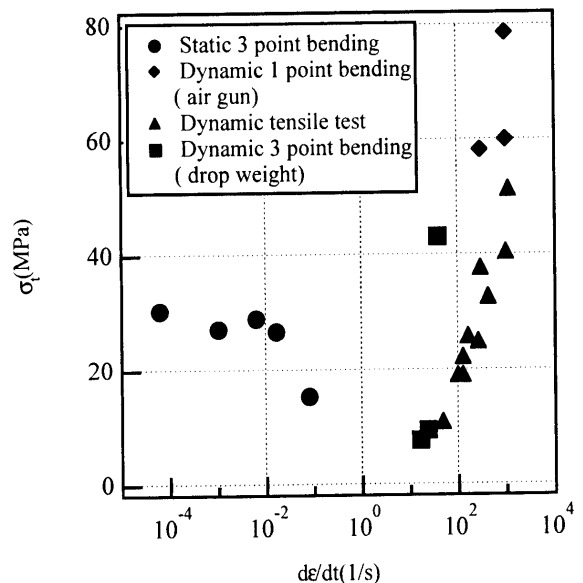


Fig.8 Plot of Tensile Strength.