

### 731 初期界面き裂を有する接合板の動的界面破壊 (ミックスモード破壊)

Dynamic Interface Fracture on Bonded Plates with an Initial Interface Crack (Mixed Mode Fracture).

○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: Fracture Toughness, Rate of Stress Intensity Factor, Interface Fracture, Bonded Plates, Dynamic Testing

**1. 結 言** 接合板の動的界面破壊を調べるため、5種類の試験片 (SENB, DCB, WIF, ENF および MMF 試験片) を用いモード I、モード II およびミックスモード破壊時の破壊靱性値  $K_C$  とひずみ速度  $dK/dt$  の関係を調べている。また、ひずみ速度を変化させるために、静的、自由落下式および空気銃式実験装置を用いて破壊実験を行っている。これより、各破壊モードの破壊靱性値に及ぼすひずみ速度の影響について検討を行う。

**2. 実 験**

**2.1 試験片** Fig.1 と Fig.2 に使用した試験片を示す。すべての試験片は、2枚の PMMA 板をエポキシ樹脂系接着剤で接着し、初期き裂またははく離を確保するために、厚さ 0.08mm のテフロンテープを接合面に挿入している。

SENB, DCB および WIF 試験はモード I 破壊、ENF 試験はモード II 破壊、MMF 試験はミックスモード破壊である。そして、DCB 試験片では静的試験のみを行い、WIF 試験片では自由落下および空気銃試験を行う。その他の試験片は、静的、自由落下および空気銃試験を行う。モード I 破壊は3種類の試験片を用いている。それは、WIF 試験片では、高いひずみ速度領域の測定が困難なため、SENB 試験片を使う必要がある。しかし、SENB 試験片は板の側面を接着しているのに対して、その他の試験片は板の表面を接着している。そのため、板の接着面の違いによる破壊靱性値の違いを調べるために3種類の試験片を用いた。

応力拡大係数を測定するために、試験片にひずみゲージを貼付している。ひずみゲージにより測定されたひずみ  $\epsilon_g$  から応力拡大係数  $K$  を算出する式を以下に示す。

○SENB (Single Edge Notched Bending) 試験<sup>1)</sup>

$$K = K_I = E \sqrt{\frac{8}{3} \pi r} \cdot \epsilon_g \quad (1)$$

ここで、 $E$  は縦弾性係数、 $r$  はき裂先端からひずみゲージ中心までの距離である。

○DCB (Double Cantilever Beam) 試験 および WIF (Wedge Insert Fracture) 試験

$$K = K_I = \frac{2E}{h} \sqrt{\frac{I}{b}} \cdot \epsilon_g \quad (2)$$

ここで、 $I = bh^3/12$  である。

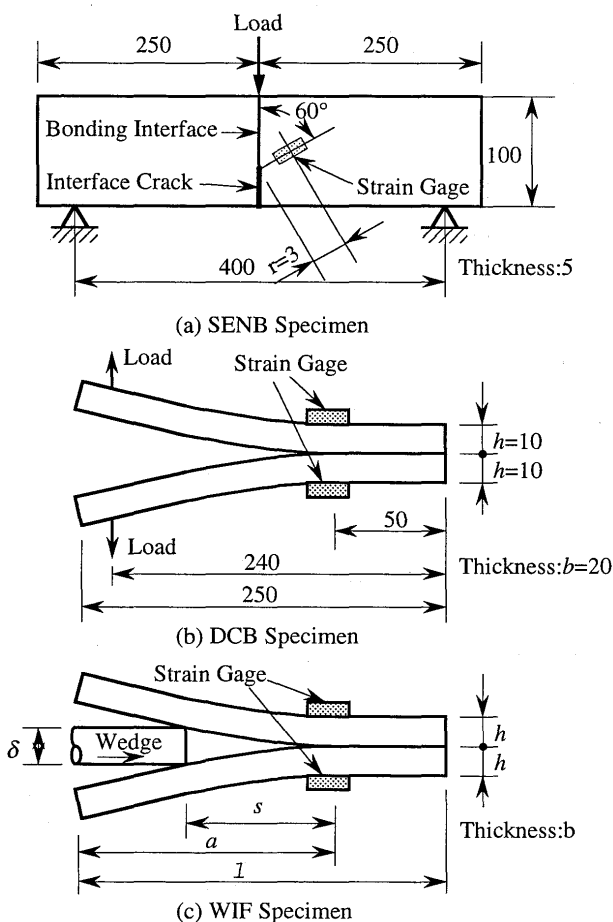


Fig.1 Specimens for Mode I Fracture

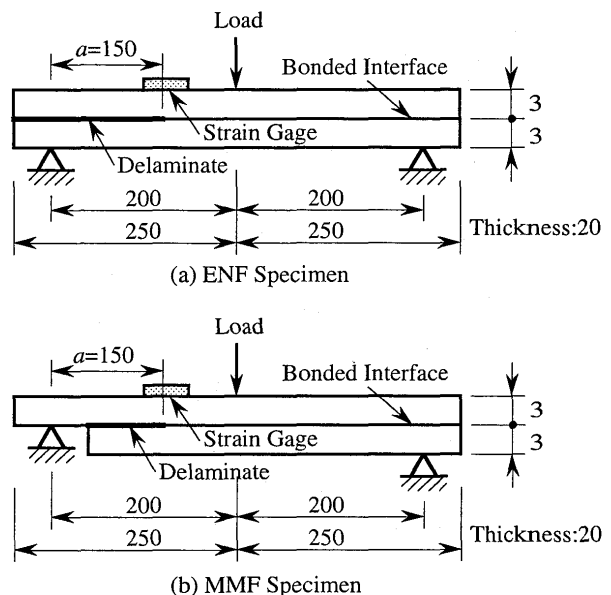


Fig.2 Specimens for Mode II and Mixed Mode Fracture

○ENF(End Notched Flexure) 試験<sup>3)</sup>

$$K = K_{II} = \frac{a}{8D} \sqrt{\frac{3}{bl}} \cdot \epsilon_s \quad (3)$$

ここで、 $D$ は静的試験により得られる荷重とひずみ関係 ( $D=\epsilon/P$ )、 $a$ は支点とはく離先端までの距離である。

○MMF(Mixed Mode Flexure) 試験<sup>2,3)</sup>

$$K = \frac{a}{8D} \sqrt{\frac{7}{bl}} \cdot \epsilon_s \quad (4)$$

本研究で使用したモデルのモード比  $K_{II}/K_I=0.86$  である。

2. 2 実験装置

Fig.3 および Fig.4 に自由落下式および空気銃式試験機を用いた場合の WIF および ENF 試験の概略を示す。自由落下式試験機を用いた WIF 試験では、衝撃棒を自由落下により加速し、衝撃棒をクサビに衝突させ、クサビを動かし、はく離を進展させる。クサビは厚さ  $\delta=3\text{mm}$  の PMMA 棒を用い、衝撃棒は長さ 1.5m、直径 20mm のステンレス丸棒を用いた。自由落下式試験機を用いた ENF、MMF および SENB 試験では、衝撃棒を試験片に直接衝突させ、はく離を進展させる。衝撃棒は、自由落下による WIF 試験と同じ物を用いた。空気銃式試験機を用いた WIF 試験では、衝撃棒を高圧空気により加速し、衝撃棒をクサビに衝突させ、クサビを動かし、はく離を進展させる。クサビは厚さ  $\delta=10\text{mm}$ 、幅 30mm、長さ 50cm の PMMA 角棒を用い、衝撃棒は長さ 30cm、直径 20mm のステンレス丸棒を用いた。空気銃式試験機を用いた ENF、MMF および SENB 試験では、衝撃棒を入力棒に衝突させ、その衝突で発生した応力波を入力棒を通して試験片に伝え、試験片を破壊する。また、SENB 試験では、自由落下式では 3 曲げ、空気銃式では 1 点曲げ試験を行い、ENF および MMF 試験では、自由落下および空気銃式試験の両方とも 3 点曲げ試験を行った。

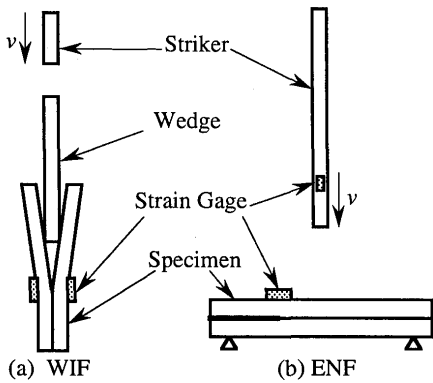


Fig.3 Experimental Setup for Drop Weight

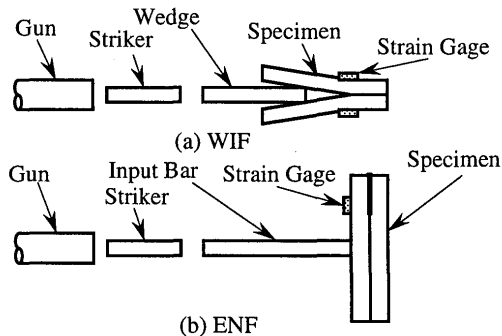


Fig.4 Experimental Setup for Air Gun

3. 実験結果

Fig.5 に自由落下による SENB 試験によって得られた応力拡大係数  $K$  の時間変動の一例を示す。破壊靱性値  $K_c$  は、応力拡大係数の最大値であり、ひずみ速度 (応力拡大係数の時間変化率)  $dK/dt$  は、図中に示すように、破壊靱性値付近の応力拡大係数と時間軸との傾きである。すべての種類の試験片で静的ならびに動的試験において、同様に破壊靱性値  $K_c$  ならびにひずみ速度  $dK/dt$  を求めた。

Fig.6 に実験によって得られた破壊靱性値  $K_c$  とひずみ速度  $dK/dt$  の関係を示す。モード I 破壊の静的実験 ( $dK/dt < 10^0$ ) において、SENB 試験片と DCB 試験片の値を比べると、両者とも破壊靱性値が  $0.4\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  付近にあることがわかる。これにより、板の接合面の違いによる破壊靱性値の大きさの違いは少ないと考えられる。モード I 破壊の傾向は、ひずみ速度が小さいとき ( $dK/dt < 10^2$ ) は、 $K_c$  が  $0.4\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  付近にあるが、ひずみ速度が大きくなると少し増加する傾向がみられる。モード II 破壊の傾向は、ひずみ速度が小さいとき ( $dK/dt < 10^0$ ) は、 $K_c$  が  $1.0\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  付近にあるが、ひずみ速度が大きくなると少し減少する傾向がみられる。また、モード II 破壊が最も大きな破壊靱性値であった。ミックスモード破壊 (モード比  $K_{II}/K_I=0.86$ ) の傾向は、ひずみ速度が小さいとき ( $dK/dt < 10^0$ ) は、 $K_c$  が  $0.4\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  付近にあるが、ひずみ速度が大きくなると少し増加する傾向がみられ、モード I 破壊と同様な傾向がみられる。

参考文献

- Jonathan S Epstein, Experimental Techniques in Fracture, John Wiley & Sons, 1993
- Zhigang Suo and John Hutchinson, Interface crack between two elastic layer, Int. J. Fracture, 43, pp.1-18, 1990
- 日下、堀川、榊田、足立、材料、50-3(2001)、pp.235-241

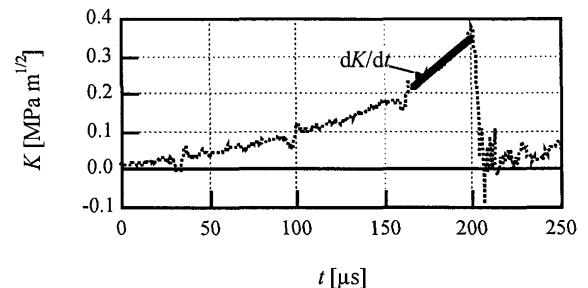


Fig.5 Stress Intensity Factor - Time Curve

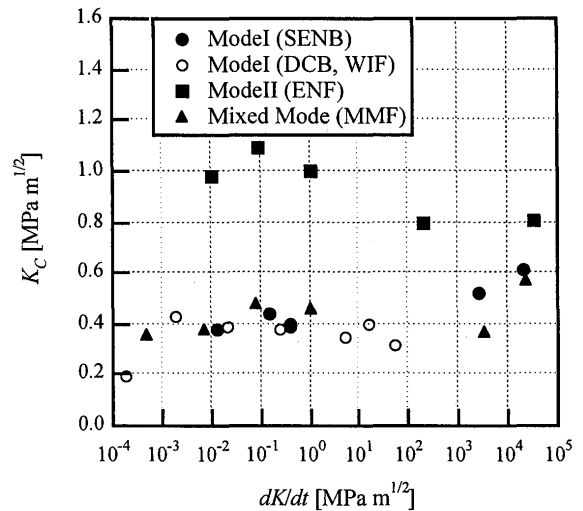


Fig.6 Plot of Fracture Toughness