AIST
Create the Future, Collaborate Together

NEDO講座

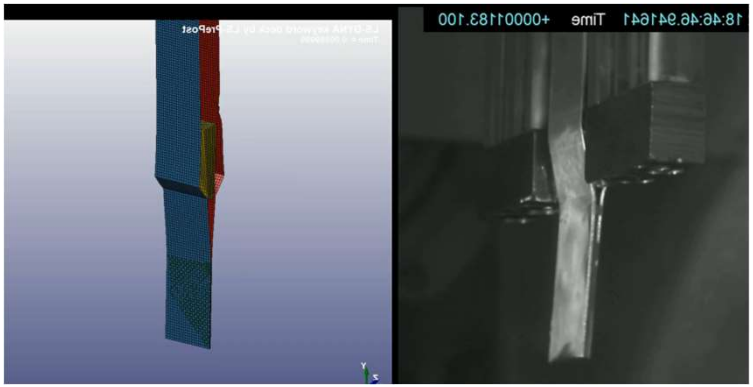
DCB試験

産総研　島本

1. 限界エネルギー解放率
2. DCB試験
    - 2-1 試験法
    - 2-2 理論
    - 2-3 試験片作製
    - 2-4 引張試験
    - 2-5 結果解析
    - 2-6 狭小ボンドラインDCB

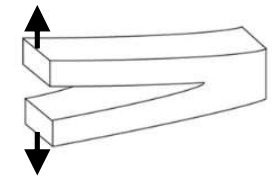
1. 限界エネルギー解放率の測定

限界エネルギー解放率：き裂進展に対する**抵抗値**
接着エネルギー
(単位：J/m^2)

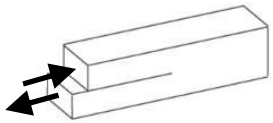


接着接合部のはく離シミュレーション

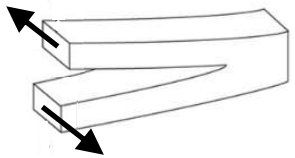
モードごとに評価することが重要
←モードごとに特性が異なる。



モードI
（開口モード）



モードII
（面内せん断モード）

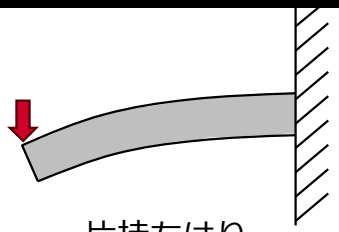


モードIII
（面外せん断モード）

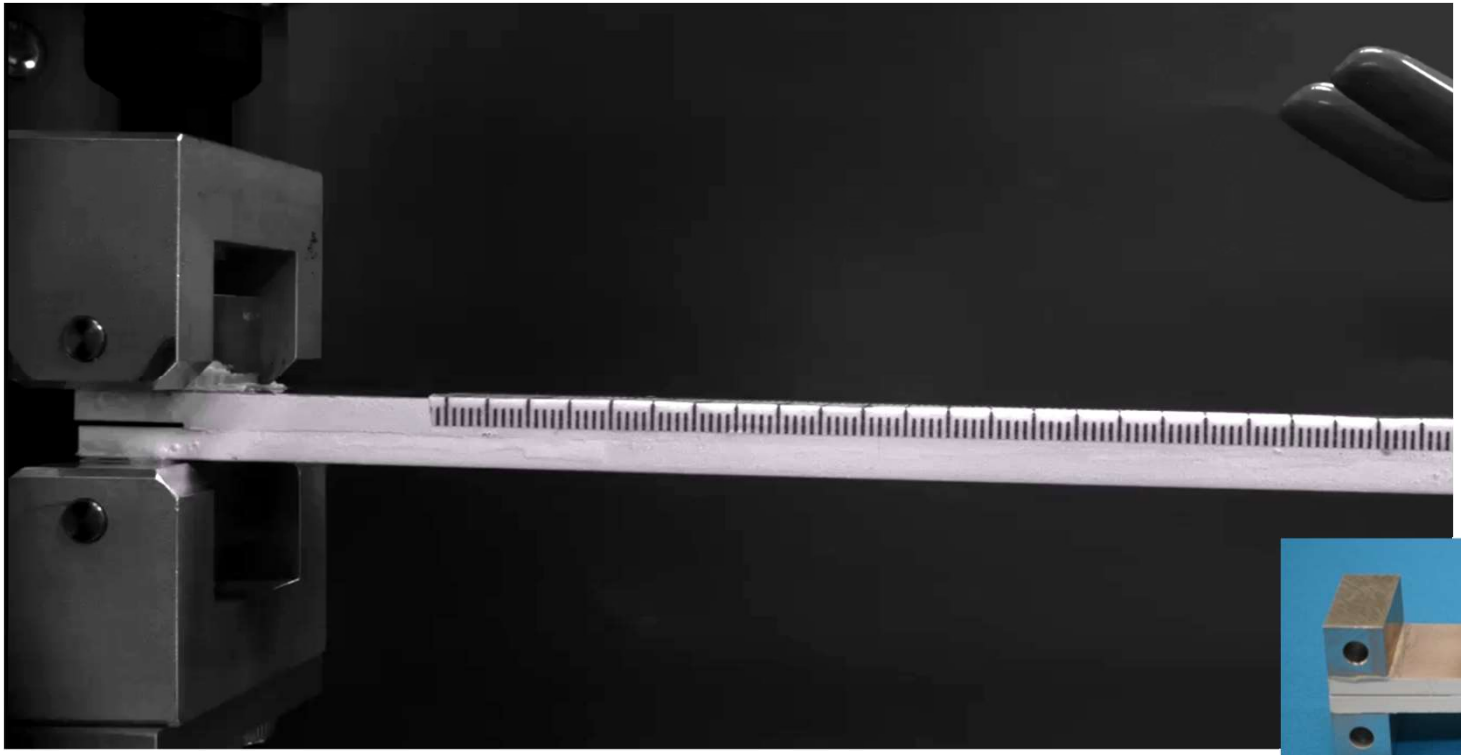
2. DCB試験

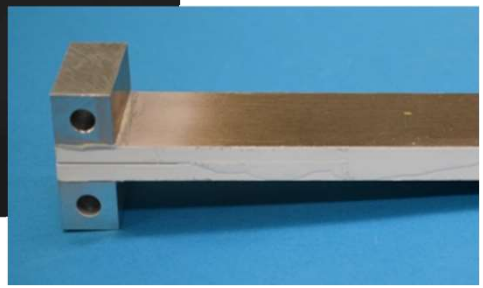
DCB: Double Cantilever Beam　(双片持ちはり)

DCB試験：**モードI限界エネルギー解放率**G_{IC}の評価法
(ISO 25217, ISO 22838, ASTM D3433)



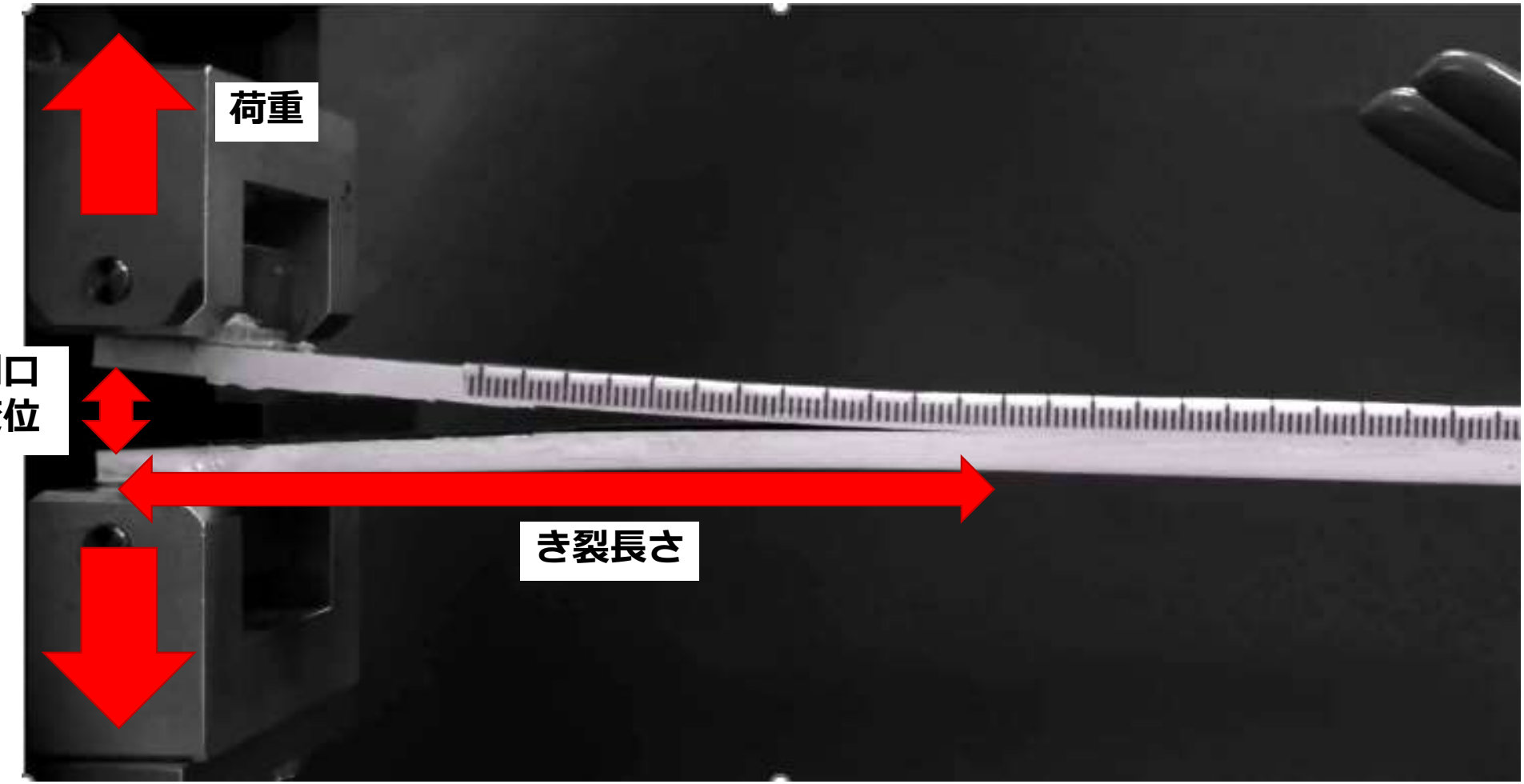
片持ちはり





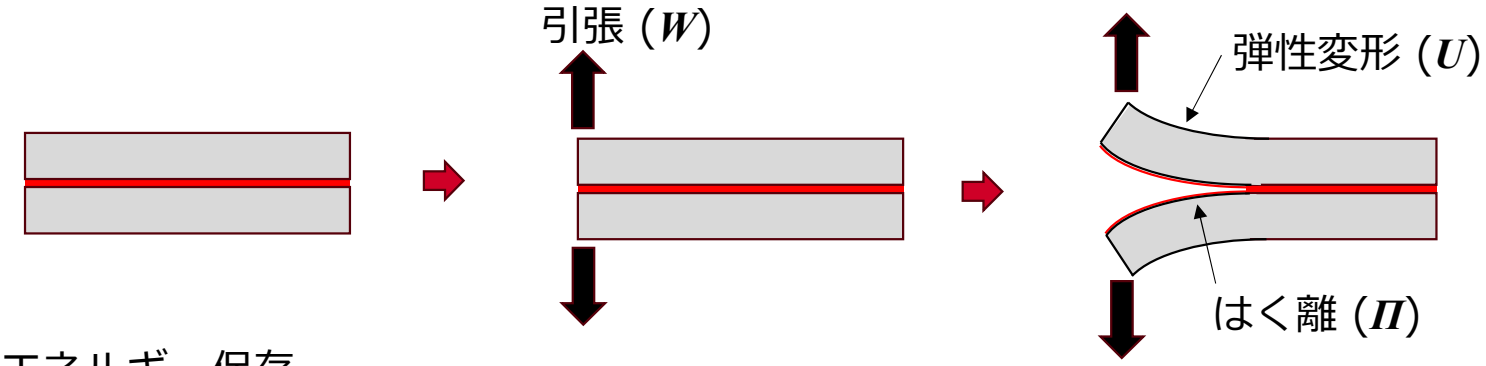
DCB試験

2. DCB試験　理論



2. DCB試験　理論

理論



エネルギー保存
外部からの入力(エネルギーW)が、
被着体の弾性変形(エネルギーU)と接合部のはく離(エネルギーΠ)を引き起こした。

$$W = U + \Pi$$

エネルギー解放率 $G = \frac{d\Pi}{dA}$　　単位はく離面(面積A)を作るのに必要なエネルギー

$$= \frac{d}{dA}(W - U)$$

2. DCB試験　理論

理論

$$G = \frac{d\Pi}{dA} = \frac{d}{dA}(W - U)$$

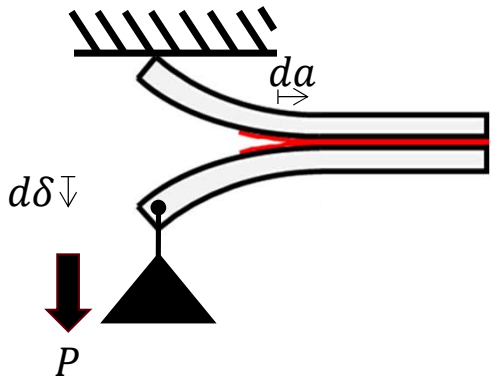
$$= \frac{P}{2}\frac{d\delta}{dA} \qquad = -\frac{\delta}{2}\frac{dP}{dA}$$

コンプライアンス

$$C = \frac{\delta}{P}$$

$$\boxed{G = \frac{P^2}{2}\frac{dC}{dA}}$$

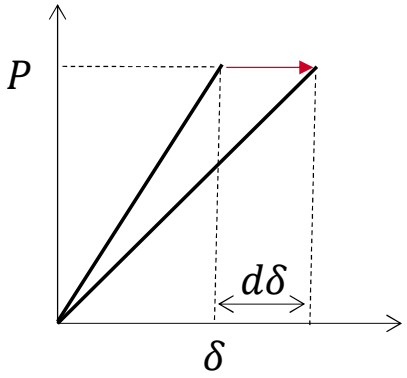
一定荷重



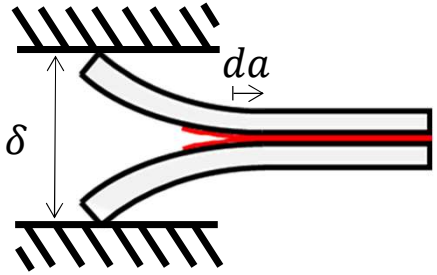
荷重Pを負荷していたら、
き裂がda進展した。

$$dW = P * d\delta$$

$$dU = \frac{1}{2}(P * d\delta)$$



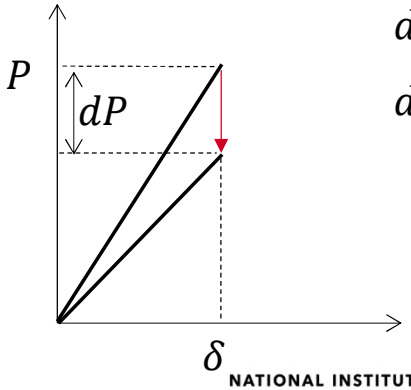
一定変位



変位$P\delta$を負荷していたら、
き裂がda進展した。

$$dW = P * d\delta = 0$$

$$dU = \frac{1}{2}(dP * \delta)$$

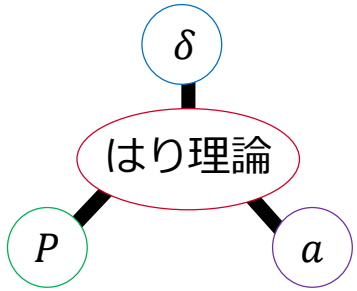


2. DCB試験　理論

理論

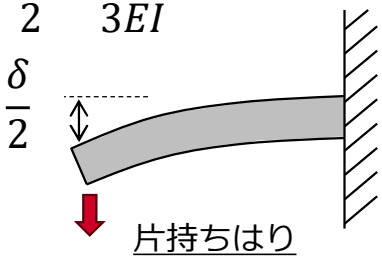
$$G = \frac{P^2}{2}\frac{dC}{dA}$$

$dA = wda$
w:被着体幅



⇦ 片持ちはりのたわみ (はり理論)

$$\frac{\delta}{2} = \frac{Pa^3}{3EI}$$



片持ちはりのたわみ (はり理論)

$$a = \left(\frac{3EI\delta}{2P}\right)^{\frac{1}{3}}$$

① SBT (Simple Beam Theory)

$$G = \frac{P^2a^2}{wEI}$$

○ シンプルな計算式
× はり理論の誤差

② CBBM (Compliance Based Beam Method)

$$G = \frac{P^2}{wEI}\left(\frac{3EI\delta}{2P}\right)^{\frac{2}{3}}$$

○ き裂長さが不要
× はり理論の誤差

2. DCB試験　理論

理論

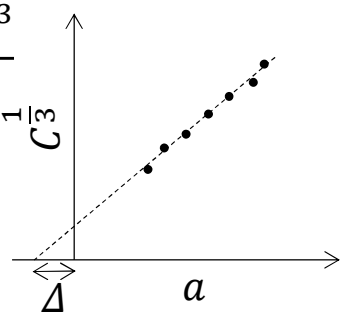
$$G = \frac{P^2}{2}\frac{dC}{dA}$$

$dA = wda$
w:被着体幅

⇦ 片持ちはりのたわみ (はり理論)

き裂長さを補正

$$\frac{\delta}{2} = \frac{P\,(a+\Delta)^3}{3EI}$$



③ CBT (Corrected Beam Theory)

$$G = \frac{3P\delta}{2w(a+\Delta)}$$

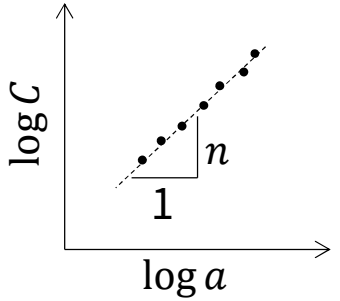
○誤差の大きい**き裂長さ**の**補正が可能**
　被着体の**ヤング率**が**不要**
× **3つのパラメータ**を測定する必要

⇦ 実験からコンプライアンスを直接計算

$C = ka^n$　　Cとa^nが比例
nが誤差を補正

$$\log C = n\log a + \log k$$

$$\frac{dC}{da} = \frac{n}{a}C$$



④ ECM (Experimental Compliance Method)

$$G = \frac{nP\delta}{2wa}$$

○**はり理論**を**不使用**
　被着体の**ヤング率**が**不要**
× **3つのパラメータ**を測定する必要

2. DCB試験　理論

理論

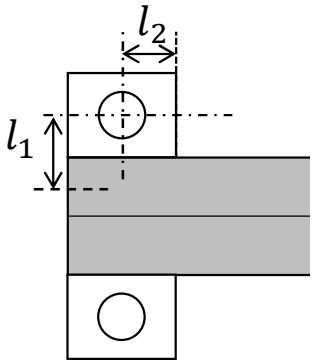
はりの大変形・ピンブロックの変位補正

$$G = \frac{3P\delta}{2w(a+\Delta)}\frac{F}{N}$$

F：大変形の補正係数
N：ピンブロックの変位補正係数

$$F = 1 - \frac{3}{10}\left(\frac{\delta}{a}\right)^2 - \frac{3}{2}\left(\frac{l_1\delta}{a^2}\right)$$

$$N = 1 - \left(\frac{l_2}{a}\right)^3 - \frac{9}{8}\left[1 - \left(\frac{l_2}{a}\right)^2\right]\frac{l_1\delta}{a^2} - \frac{3}{2}\left(\frac{\delta}{a}\right)^2$$

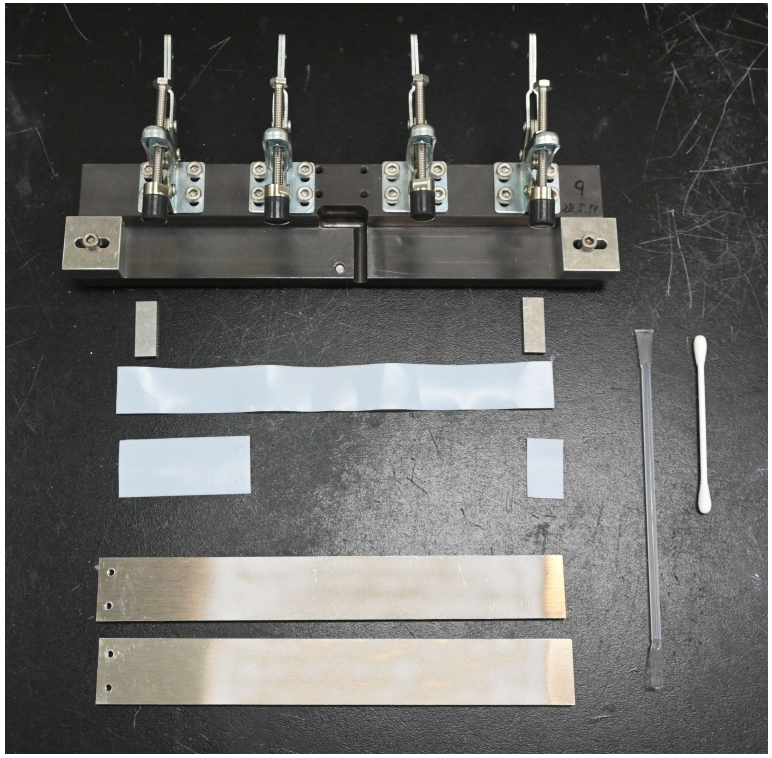


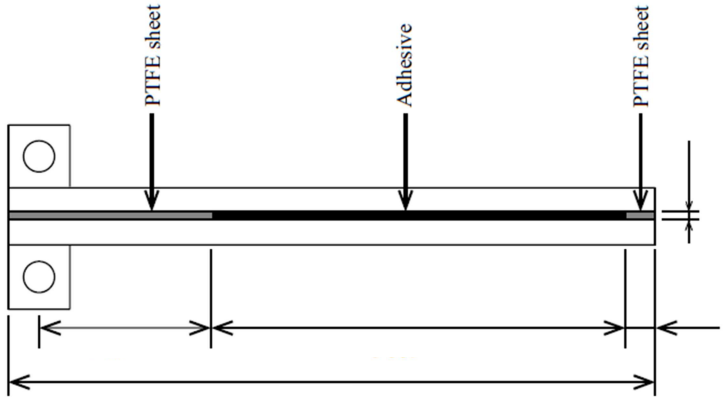
S. Hashemi, A. J. Kinloch, J. G. Williams, The analysis of interlaminar fracture in uniaxial fibre-polymer composites, *Proc. R. Soc. Lond.*, **A427** (1990), pp. 173-199

2. DCB試験　試験片作製

試験片作製

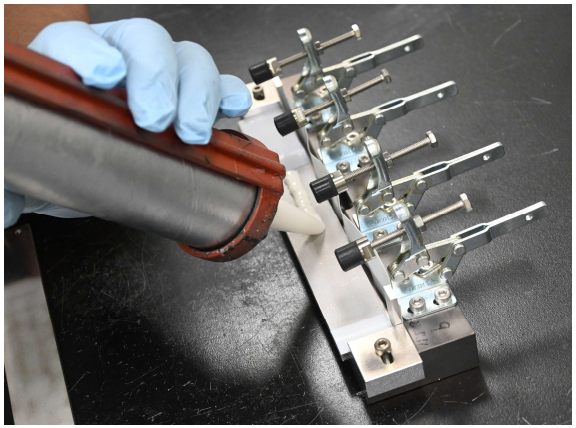
接着厚さ依存性がある。→厚さ管理
き裂長さを測定する必要　→幅方向にズレなし

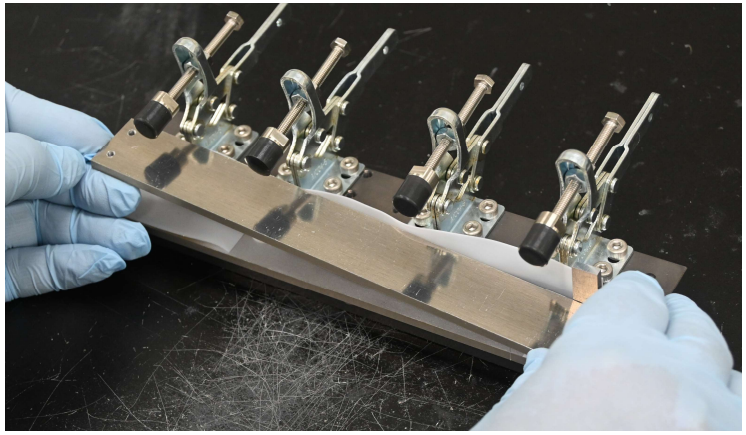


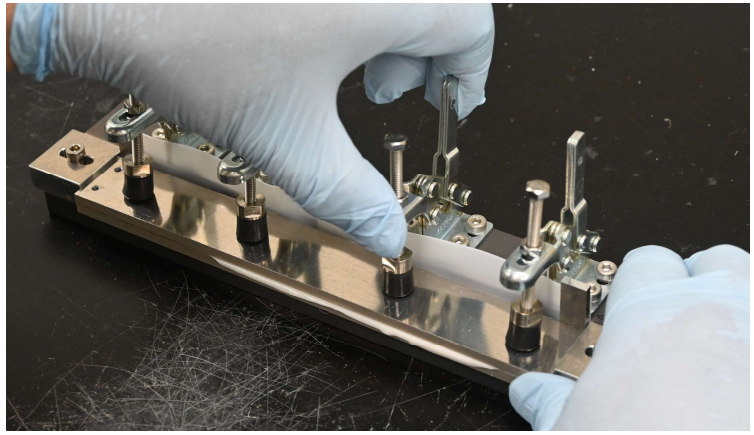


2. DCB試験　試験片作製

試験片作製

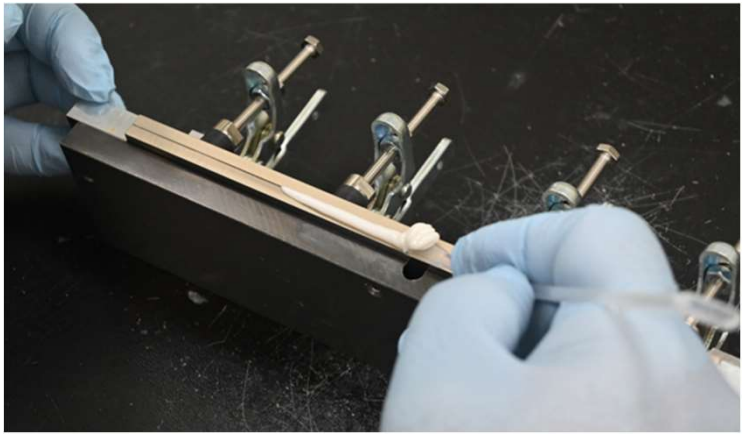


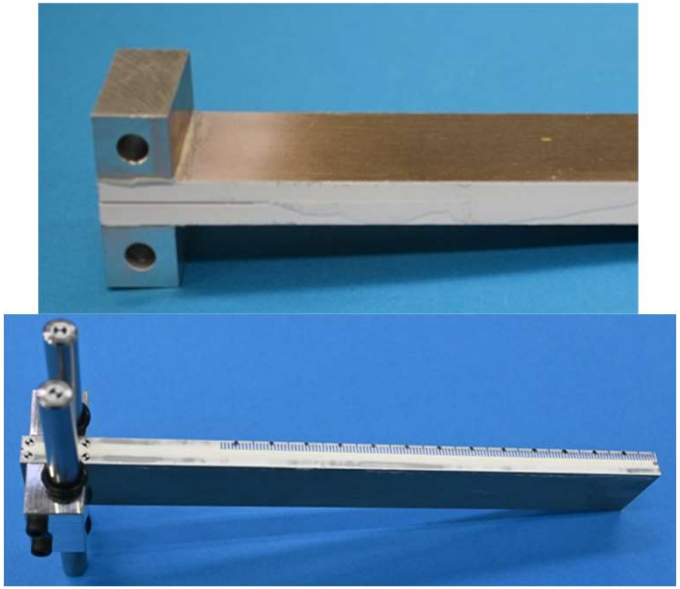


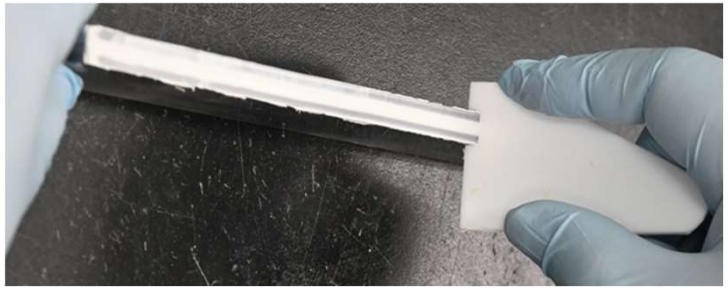


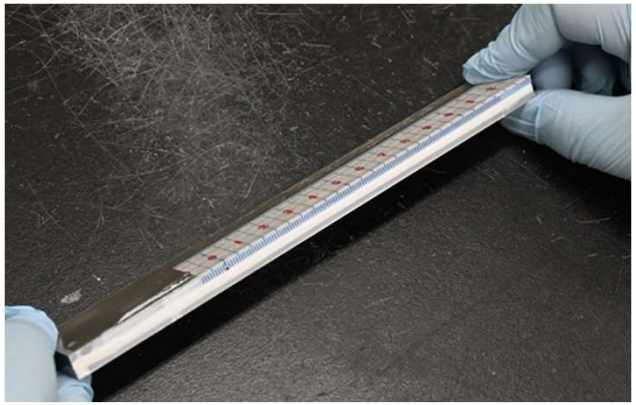
2. DCB試験　試験片作製

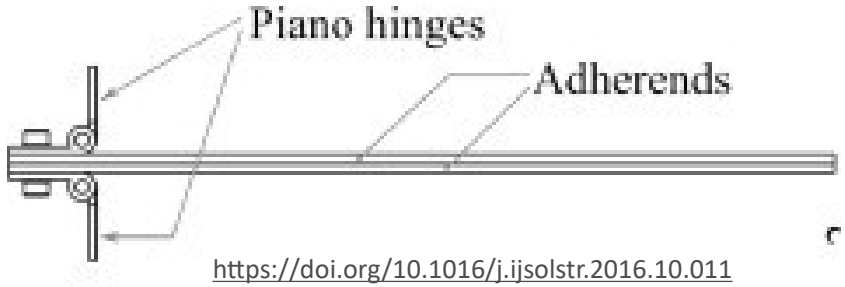
試験片作製







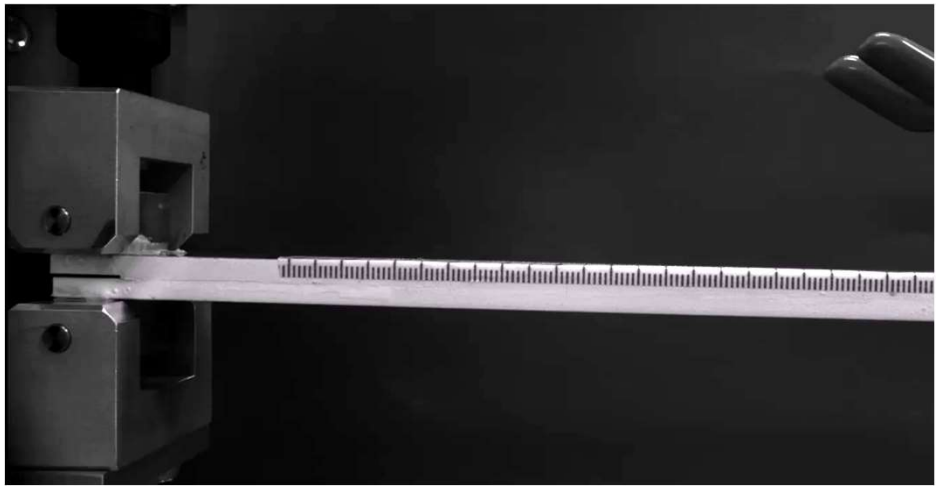




https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2016.10.011

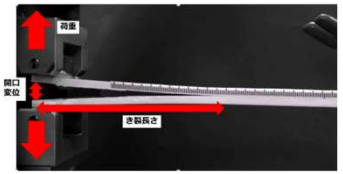
2. DCB試験　引張試験

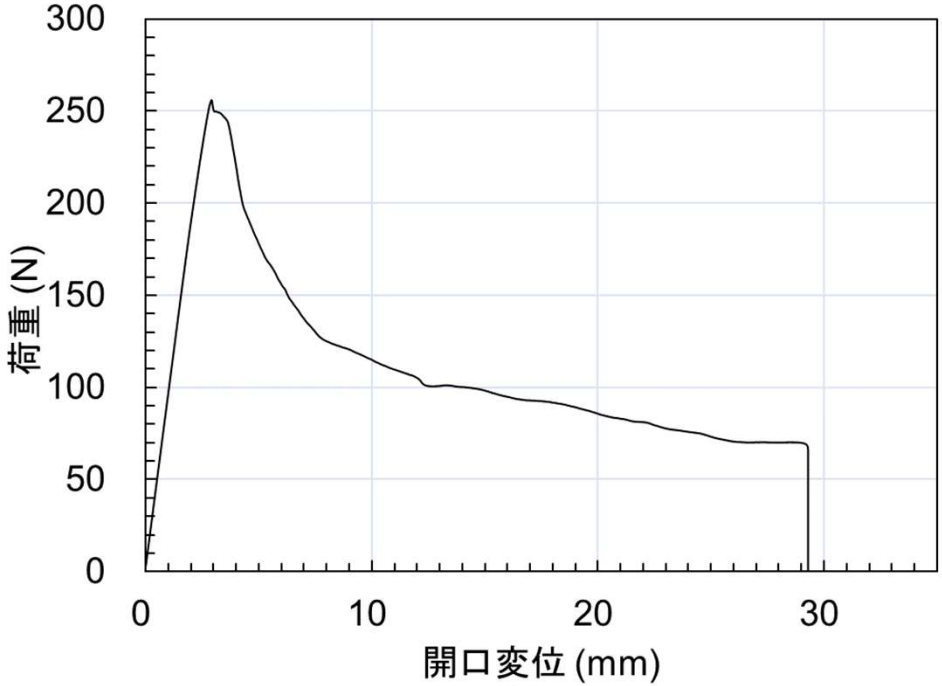
引張試験

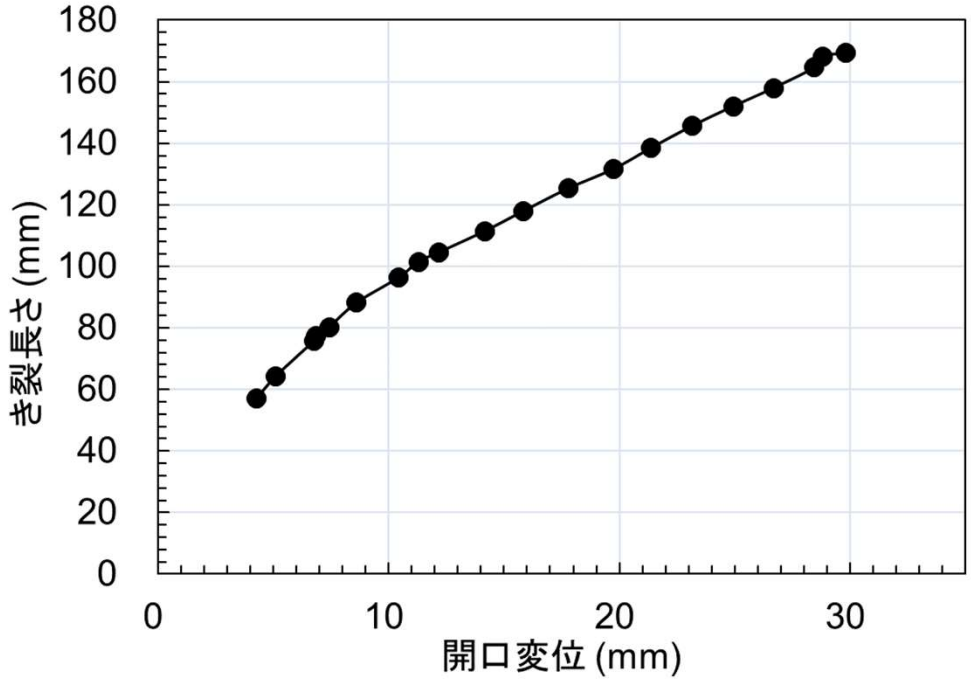


2. DCB試験　結果解析

結果解析





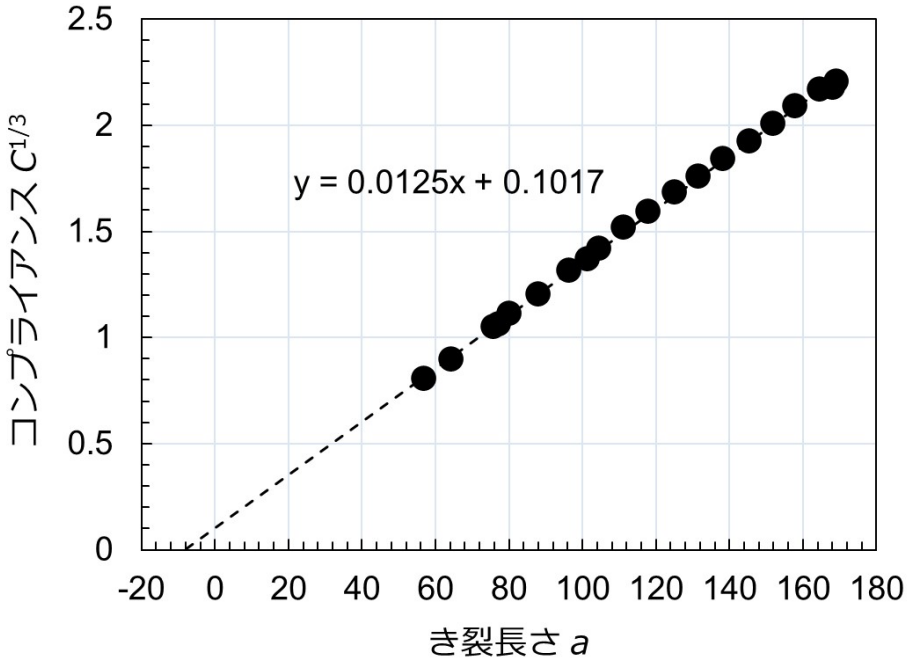


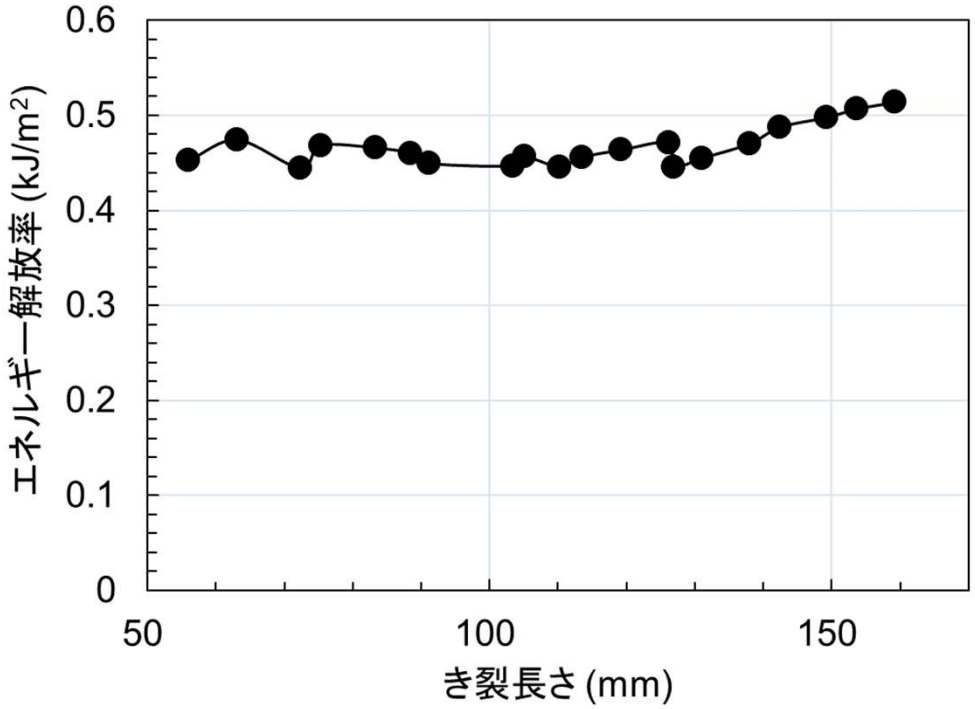
実験結果例

2. DCB試験　結果解析

結果解析

$$G = \frac{3P\delta}{2w(a + \Delta a)}$$





実験結果例

3. DCB試験

・限界エネルギー解放率は、き裂進展に対する**抵抗値**(**接着エネルギー**)である。
・DCB試験は、**モードI限界エネルギー解放率G_{IC}**の評価法である。
・**解析理論**を理解することが適切な評価・応用につながる。
・試験片を精度良く作製することが精度の高いG_{IC}評価につながる。
・実際に試験を行い**経験**を積むことが重要である。