日本接着学会誌 第 42 巻 3 号 別刷

•

.

.

· · · ·

.

<論 文>

(受理:平成17年11月15日)

接着継手の破壊靭性値に与える接着剤層厚さの影響と そのメカニズムについて

池田 徹*•李 徳甫**•宮崎 則幸*

要 旨

接着剤厚みが接着継手の破壊靭性値にあたえる影響についての研究は少なくないが、そのメカニズムはい まだ明らかとは言えない。本研究では、様々な厚みの接着継手中のき裂先端付近の損傷域を光学顕微鏡を用 いて観察した。0.7mmよりも薄い接着継手において、界面損傷域が観察された。特に最大の破壊靭性値を 示した 0.3mmの接着剤層厚みの場合は、大規模な界面損傷域が接着剤層中に観察された。このことより、 界面損傷域の応力遮蔽効果がこの接着継手の破壊靭性値を上昇させているものと推定された。接着継手中の き裂先端近傍の損傷を有限要素法に Gurson モデルを適用して解析したが、その結果は薄い接着剤層ほど応 力と損傷が大きくなるというものであった。このことは、接着剤層が薄くなると単調に破壊靭性値が減少す るということを示す。そこで、接着剤層と被着材の界面に人工的な損傷を導入して、有限要素法解析を行っ てみた。その結果、約 0.3mmの接着剤層厚さで最大の破壊靭性値を示し、界面損傷域の応力遮蔽効果を裏 付けるものとなった。

1. 緒 言

接着継手の強度は、一般に接着剤層厚さが薄い方が上昇 することが知られているが、これは、同じ負荷に対する接 着剤層内にある欠陥(き裂)のエネルギー解放率が、接着 剤層が薄い方が小さくなることで説明できる。

しかしながら、ゴム変成エポキシ樹脂などの延性接着剤 を用いた接着継手では、破壊靭性値そのものが接着剤の厚 みに依存することが知られている。一般的に、接着剤層厚 さが充分に厚いときには、接着継手の破壊靭性値は接着剤 を型に入れて作成したバルク材の破壊靭性値に等しい。し かしながら、ある厚さより接着剤層が薄くなると接着剤層 厚さの減少につれて破壊靭性値が変化する。この変化の仕 方としては、Fig.1のType A のように接着剤層厚さの減 少に伴って単調に破壊靭性値が減少するものとType B の ようにある接着剤層厚さで破壊靭性値が一旦上昇して極大 値を示し、さらに接着剤層を薄くすると急激に破壊靭性値

*京都大学工学研究科機械理工学専攻 京都市左京区吉田本町 〒 606-8501

** Korea Standards Association, Reliability Technology Management Research Center 362-1, Seongjuri, Wongok-myeon, Anseong-si, Gyeonggi -do, 456-812, Korea (原稿受付日: 平成 17 年 10 月 17 日)



Bond Thickness



が減少するものとがある。

本研究で対象としたゴム変成エポキシ樹脂は, Type B のような接着剤層厚み依存性を示すことが多くの研究者に よって確認されている^{1,2,3)}。このような延性接着剤を用い た接着継ぎ手の破壊靭性値が接着剤層の厚みに依存する原 因としては,接着剤層が薄くなると一旦き裂先端の塑性域 が増大するために破壊靭性値が上昇し,さらに薄くなると 塑性域の成長が被着材の拘束によって制限されるために急 速に破壊靭性値が減少するとする説³⁾や,非常に接着剤 層が薄くなると破壊が凝集破壊から界面に沿った破壊に移 行するために破壊靭性値が減少するとする説²⁾ などがあ るが,はっきりとしたことは判っていない。特に接着剤の 種類によって,Type A と Type B の異なる接着剤層厚さ 依存性が発現する理由については全く不明であった。

そこで, 我々の研究グループでは, アルミニウムの被着 材をゴム変成エポキシ接着剤で接着した接着継手について, 厚みの異なる接着剤層内のき裂先端近傍の損傷を観察し, き裂先端での損傷形態に対する接着剤層厚さの影響につい て調査した^{4,5)}。さらに接着剤層をGurson モデルでモデ ル化した2次元および3次元の有限要素法損傷解析を行い, そのメカニズムについての検証を行った。以下にその概要 を述べる。

2. 応力拡大係数におよぼす接着剤層厚さの影響

接着剤層の厚みは、一般に薄い方が接着強度が強いと考 えられているが、このことを破壊力学の観点から考えてみ たい。まず、Fig. 2 に示すような剛体に挟まれた接着剤層 を考える。いま、剛体と接着剤層の間は、完全に固着して いると考えると、上下の剛体に強制変位 V₀ を与えたとき のき裂の応力拡大係数は、平面ひずみ状態の場合、次式で 与えられる⁶⁰。

$$K_{1} = \frac{E_{a}}{(1+\nu_{a})\sqrt{1-2\nu_{a}}} \frac{V_{0}}{\sqrt{H}}$$
$$= \frac{E_{a}}{(1+\nu_{a})\sqrt{1-2\nu_{a}}} \varepsilon_{y}\sqrt{H}$$
(1)

ここで、 E_a , ν_a は接着剤のヤング率とポアソン比である。 もし、突き合わせ継手ように遠方で一様応力を負荷する場 合、接着剤層中のひずみ ε_y は、明らかに応力に比例する ため、接着剤層中の微小き裂先端での応力拡大係数は同じ 荷重に対して \sqrt{H} に比例して大きくなると考えられる。 言い換えると、もし同じ破壊靭性値 $K_{\rm IC}$ において破壊が生 じるとすると、破壊荷重は、 \sqrt{H} に反比例するように減 少するはずである。すなわち、突き合わせ継ぎ手において、 接着剤層厚さよりも十分に長いき裂が欠陥として存在した 場合に、予測される公称破壊応力は、次式で表される。

$$\sigma_{C} \approx E_{a} \varepsilon_{y} = \frac{K_{\rm IC} (1 + \nu_{a}) \sqrt{1 - 2\nu_{a}}}{\sqrt{H}} \tag{2}$$

この式に、平均的なエポキシ樹脂の物性値、 $K_{\rm IC}$ =0.5MPa \approx 16N (mm)^{-3/2}, E_a =4000N/mm², ν_a =0.4 を代入し、接



Fig. 2 An adhesive layer between two rigid adherends.



Fig. 3 Expected fracture stress of a butt joint using an epoxy adhesive.

着剤層の厚さの半分 H に対して,予測される破壊応力を プロットしたのが Fig.3 である。実際に Mostovoy ら⁷⁾ は,ある種のエポキシ樹脂について,突き合わせ継手の破 壊応力が, Fig.3 のような変化をすることを計測している。 このように,もし破壊靭性値に接着剤層厚さ依存性が無 ければ,突き合わせ継手の公称破壊応力は,接着剤層が薄 ければ薄いほど高くなる。この意味では,接着剤層が薄い 方が強度が上がると考えられていることは,間違っていな い。

3. 破壊靭性値におよぼす接着剤層厚さの影響

前章において, 接着剤の破壊靭性値が接着剤層厚みに対 して不変であれば、突き合わせ継手の破壊応力は、接着剤 層が薄いほど上昇すると述べた。しかしながら、延性的な 性質をもつ接着剤では、ある程度以上に接着剤層を薄くす ると、破壊靭性値そのものが低下することが知られている。 Mostovoy と Ripling⁷⁾は、アルミニウムの被着材をある 種のエポキシ樹脂で接着した接着継手の破壊靭性値が接着 剤層厚みが薄くなるにつれて減少することを見いだしてい る。一方, Bascom ら^{1,2)}は、ゴム変成エポキシ樹脂につ いて接着剤層厚さを変えた破壊靭性値の測定を TDCB 試 験片を用いて行い、厚い接着剤層から徐々に接着剤層厚さ を減じてゆくと、き裂先端塑性域代表寸法 2r。とほぼ同じ 接着剤層厚さになるあたりで破壊靭性値が極大値をとり, その後さらに接着剤層厚さが薄くなると急激に破壊靭性値 が減少することを見いだしている。Irwin によって提案さ れた有名なき裂先端塑性域代表寸法の第一近似値は、次式 で示される。

$$\begin{cases} r_{p} = \frac{1}{2\pi} \frac{E_{a}G}{\sigma_{0}^{2}} & \text{Plane Stress} \\ \\ r_{p} = \frac{1}{6\pi} \frac{E_{a}G}{\sigma_{0}^{2}(1-\nu_{a}^{2})} & \text{Plane Strain} \end{cases}$$
(3)

ここで、Gはエネルギー解放率、 E_a 、 ν_a は接着剤のヤング率とポアソン比、 σ_0 は接着剤の降伏応力である。また、

同様の実験は, Kinloch と Shaw³⁾ によっても確かめられ ている。

しかし,われわれの以前の研究⁸⁾では,接着継手の有 限要素法解析により,接着剤層が薄くなるにつれて同じ*J* 積分値に対して,き裂先端近傍の応力場が上昇するとする 結果を得ている。このことは,被着材の拘束により,き裂 先端近傍のプロセスゾーン付近の応力が上昇することを示 しているので,結果的に接着層の厚みがある程度よりも薄 くなると破壊靭性値が低下してゆくことを示している。ま た,Varias ら⁹⁾,Hsia ら¹⁰⁾,Tvergaard と Hutchinson¹¹⁾ によって,セラミックスを金属でロウ付けした場合の,金 属の厚さとき裂先端近傍の応力場の関係が解析されている。 彼らによるといずれも金属層の厚さがある厚さよりも薄く なると、同じ*J*積分値に対して,き裂先端近傍の応力場が 上昇するとする結果を得ている。このことは,接着継手に ついての我々の解析結果と本質的に同じである。

しかしながら、以上の結果からはゴム変成エポキシ樹脂 について実験を行った、Bascomら^{1,2)}やKinlochとShaw³⁾ の実験結果のように、ある接着剤層厚さで破壊靭性値が極 大値をとる理由は説明できない。

4. 接着剤層中のき裂先端近傍のダメージゾーンの 観察

そこで,実際に厚みの異なる接着剤層内のき裂先端損傷 域を観察した4.5)。ここで用いたゴム変成エポキシ樹脂は, マトリックス材に液体エポキシ樹脂(AER250,長瀬チバ), 液状ブタジェンゴムに CTBN (CTBN1300×8, 宇部興産), 硬化剤に芳香族アミン(HY956,長瀬チバ)を用い、そ れぞれ, 83.3wt%, 12.5wt%, 4.2wt%の割合で混合した ものである。これを120℃で16時間加熱して硬化させた。 接着継手は、接着面をシアンカップリング剤(C₉H₂₀O₅Si) で処理したアルミニウム(A6061)をこのゴム変成接着剤 で接着させることにより、接着剤層厚みが 0.1mm、0.3mm、 0.7mm, 1.5mm, 2.1mmの Fig.4 に示すような CT 型接 着継ぎ手破壊試験片を作成した。接着剤層中のき裂先端に は、接着剤の硬化前にあらかじめ厚さ 0.1mm のカミソリ 刃を挿入しておき,硬化後に抜き取った。この様にして得 られた試験片の破壊靭性値を Fig. 5 に示す。これより、 Bascom ら^{1,2)} や Kinloch と Shaw³⁾の実験結果と同様に, 0.3mm 程度の接着剤層厚さで、破壊靭性値が極大となっ ていることがわかる。また、それぞれの接着剤層厚さの 試験片について、平均破壊荷重の 95%の荷重を負荷し た後に除荷した。これらの試験片のき裂先端部付近を低 速切断機で切り出し, プレパラート上に貼り付けて厚さ 100 μmに薄片化し、き裂先端付近のゴム変成エポキシ樹 脂の損傷状態を光学顕微鏡により観察した結果を Fig.6 に示す。



Fig. 4 Compact tension (CT) adhesive specimen.



Fig. 5 Fractre toughness of adhesive joints using rubber modified epoxy resin with bond thickness.

これより,接着剤層厚さが0.7mm以上の時は,ほぼ同 じき裂先端損傷を呈したのに対して,破壊靭性値が極大値 を示した厚さ0.3mmのものでは,接着剤層と被着材の界 面に沿って大規模な損傷領域が観察された。また,厚さ 0.1mmのものでは,き裂が界面に向かって屈曲し,この 界面損傷域の内部を界面に沿うように進展した。これらの 結果より,接着剤層厚さが0.3mmの場合には,界面損傷 がき裂先端の応力を低減する,いわゆる応力遮蔽効果のた めに破壊靭性値が上昇し,さらに薄い接着剤層厚さ0.1mm の場合には,上下の界面損傷域同士が接近しすぎ,き裂は いずれかの界面損傷域の中を進むために破壊靭性値は急激 に低下したものと推測される。

5. 有限要素法による損傷解析

5.1 損傷解析モデル

本研究で使用したゴム変成エポキシ樹脂では,直径5µm から10µm のゴム粒子がエポキシ樹脂の中に分散してい る。これらのゴム粒子は,ダメージを受けることによって, Fig.7のように内部にキャビテーションを発生する。この 【100】(12)





(e) An adhesive layer 0.1 mm thick.

Fig. 6 Microphotographs of damage zones ahead of crack tips with several bond thicknesses.





ゴム変成エポキシ樹脂の損傷解析を行うために多孔質材料 の降伏モデルである, Gurson モデルを用いた。Gurson モデルの降伏関数は次式で示される。

$$F = \left(\frac{\bar{\sigma}}{\sigma_0}\right)^2 + 2f \cosh\left(\frac{\sigma_{kk}}{2\sigma_0}\right) - 1 - f^2 = 0 \qquad (4)$$

ここで、 σ は Mises 応力、fは粒子の体積含有率(ボイド

率)、 $\sigma_{kk}/3$ は膨張応力、 σ_0 は定数である。また、体積含 有率は、次式の様に変化する。

$$\dot{f} = \dot{f}_{\text{growth}} + \dot{f}_{\text{nucleation}}$$
(5)
$$\dot{f}_{\text{growth}} = (1-f) \dot{\varepsilon}_{kk}^{p}$$
(6)

本解析では、 σ_0 に樹脂の圧縮試験から得られる降伏応力 を用い、初期ボイド率 f_0 は樹脂の引張り試験時の応力ひ ずみ線図に解析がフィットするように決定し、初期ボイド 率 $f_0=0.37$ とした。また、通常のGurson モデルでは、fの増加にはボイドの体積膨張とボイドの生成を考えるが、 本解析ではゴム変成エポキシ樹脂のゴム粒子数が増加する

 Table 1
 Material properties of rubber modified

 epoxy resin.
 Particular



Fig. 8 CT specimen of homogeneous rubber modified epoxy resin.



Fig. 9 Expected damage zone ahead of a crack tip in homogeneous adhesive resin obtained by Gurson's model in conjunction with the finite element method (FEM).

わけでは無いのでボイドの生成は無いものとした。 f_0 =0.37 という値は、明らかにゴム粒子の体積含有率よりも大きい。 ここでは、 f_0 の値は現実のボイド率というよりも、降伏関 数のフィッティングパラメータとして取り扱った。最終的 に求めた物性値を Table 1 に示す。ここで、E はヤング率、 ν はポアソン比、 σ_Y は引張降伏応力、 σ_0 は圧縮降伏応力、 H' はひずみ硬化率である。ひずみ硬化率は、圧縮試験の 結果を元に決定した。また、このモデルを使用して解析し た接着剤バルク材の Fig. 8 に示すような CT 試験片の解 析結果について、き裂先端近傍の損傷域分布を Fig. 9 に 示した。ここで、損傷域はボイド率が初期ボイド率から増 加した領域とした。また、Fig. 10 にき裂前方の周方向応 力とボイド率の分布を示した。解析によって求められたき





裂先端の損傷域の形状は、実際の試験片中のき裂先端に形成される損傷域と定性的に一致している。なお、このゴム変成エポキシ樹脂の破壊靭性値 $G_c = 440 J/m^2$ よりやや小さい $G = 400 J/m^2$ までの解析を行ったのは、これ以上に荷重を上げると計算を収束させることが難しくなるためである。

5.2 接着層の簡易解析モデル

有限要素法解析にあたっては、計算時間を節約し、き裂 先端付近の応力分布と損傷分布をより細かな要素分割で解 析するために、Fig.2で示したような、被着材を剛体とし 上下の剛体被着体に強制変位を与える簡易モデルを用いた。 あらかじめ、被着材をアルミニウムとした CT 接着継ぎ手 のき裂先端損傷域の解析を行い、剛体被着体モデルと比較 したが、接着剤層厚さとエネルギー解放率が同じ場合のき 裂先端の応力ひずみ分布は両者でほぼ等しかったため、こ のような簡易モデルでの解析で問題ないと考えた。この簡 易モデルのエネルギー解放率は、次式より簡単に求められ る。

$$G = \frac{E_a(1+\nu_a)}{(1+\nu_a)(1-2\nu_a)} \frac{V_0^2}{H}$$
(7)

ここで, $E_a \ge \nu_a$ は, 接着剤のヤング率とポアソン比である。解析例として, 接着剤層厚さ 1.5mm, 0.7mm, 0.3mmの場合のき裂前方のボイド率の分布を Fig. 11 に示した。

5.3 接着剤層中のき裂の破壊靭性値の推定

接着継手の破壊靭性値を推定するために,次式で示され るき裂先端の特性寸法で平均化された損傷率が一定値に達 したときに,き裂が進展すると仮定した。

$$S = \int_{0}^{t_{c}} (f - f_{0}) dx$$
 (8)

ここで、S は特性寸法で平均化された損傷率、*l*_e はバルク 接着剤におけるき裂先端前方の損傷域の長さである。バル



Fig. 12 Expected fracture toughness by Gurson's model and experimental results.

ク接着剤における特性寸法で平均化された損傷率を元に、 き裂が進展する限界値のSを0.0198 (mm)と決定した。 このようにして、推定した接着継ぎ手の破壊靭性値をFig. 12 に○で示した。この結果は、接着剤層厚さの減少に伴っ て破壊靭性値が徐々に減少する傾向を示しており、今回の ゴム変成エポキシ樹脂の傾向を表すものでは無い。すなわ ち、被着材の二次元的な拘束効果だけでは、接着剤層が薄 くなった際の破壊靭性値の減少しか説明できない。

5.4 界面損傷域の考慮

前節に示したとおり,実験による観察では,破壊靭性値 が極大値をとる接着剤層厚さ 0.3mm の場合には,接着剤 層と被着材の界面に沿って大規模な損傷域が発達している ことが観察された。この界面損傷域は,おおむね接着剤層 厚さが 0.7mm 以下の場合に観察されている。そこで,上 述の損傷解析においても,界面損傷域を模擬するために界 面に沿った 0.01mm の薄い領域の初期ボイド率を僅かに





他の領域よりも大きくして解析を行った。Fig. 13 に界面 領域の初期ボイド率 f_{0l} を 0.3701, 0.371, 0.38 としたとき に,式(8)を用いて推定した破壊靭性値を,Fig. 14 にき 裂先端の損傷域の発達の様子を示した。これより,界面に 沿った薄い領域の初期ボイド率を僅かに上昇させて解析さ せただけでも実験結果に近い接着剤層厚み依存性が再現さ れることがわかった。このことは,界面損傷域の応力遮蔽



Fig. 13 Expected fracture toughness by Gurson's model with assuming interfacial damage zones and experimental results.

効果が,ある接着剤層厚みで極大値をとる接着剤層厚み依存性を発現させているとする実験観察からの推定を補強す るものと考えられる。また,極大値をとらずに接着剤層厚 さの減少に伴って破壊靭性値が減少する接着剤では,この 界面損傷があまり発達していないものと予測される。

5.5 界面損傷を発生させるメカニズム

界面損傷域の応力遮蔽効果が特定の接着剤層厚さでの破 壊靭性値の極大値を与えているとしても、なぜ界面損傷域 が発生するのであろうか。我々は、界面付近での三次元拘 束が他の領域より大きいことに着目し、同じGursonモデ ルを用いた3次元解析を行った。その結果について、板の 表面付近と中心付近の損傷域分布をFig.15にしめす。こ の結果、接着剤層厚さが0.3mmの場合に板の表面に近い 部分では、被着材との界面においてより損傷が発達しやす いことが確かめられた。しかしながら、板の内部ではき裂 先端付近の3次元拘束の方が界面付近より大きいために観 察結果のような大きな界面損傷域は発達しなかった。この ため、よほど板厚が薄い場合を除き、被着材との界面のよ り大きな三次元拘束だけでは、界面損傷域の発生メカニズ ムとしては不十分と考えられる。

別の理由として, Fig. 16 に示すように界面付近のゴム 粒子の直径が他の部分よりも数倍から十倍程度大きいこと が挙げられる。本研究で用いたゴム変成エポキシ樹脂は, 液状ゴム(CTBN)を用い, エポキシ硬化時のゴムの析出



Fig. 14 Damage zones obtained by the analyses with several initial void volume fractions along interfaces between adhesive zones and adherends.

【104】(16) 接着継手の破壊靭性値に与える接着剤層厚さの影響とそのメカニズムについて(Original)



Fig. 15 Damage zones at the surface and the center of plates obtained by Gurson's model with the 3D FEM.





を利用してゴム粒子を分散させている。アルミニウムとエ ポキシ樹脂および液状ゴムとの親和性の違いは,アルミニ ウムが界面にエポキシ樹脂を引き寄せ,わずかに界面から 離れた領域にゴム粒子が移動する際にゴム粒子の合体が生 じ,この付近のゴム粒子を肥大化させていると考えられる が詳しいことは不明である。また,Bucknall¹²⁾らは,ゴ ム変成エポキシ樹脂のキャビテーション発生モデルにおい て,より大きなゴム粒子の方がキャビテーションが発生し やすいことを示している。

6. 結 言

接着剤の破壊靭性値が接着剤層厚みの影響を受けるメカ ニズムについて実験・解析の両面からのアプローチによっ て考察した。以下に結論を述べる。 (1) 被着材の二次元的な拘束効果は,延性接着剤を用いた 接着継ぎ手において接着剤層が薄くなった場合に破壊靭性 値を減少させる効果がある。

(2)ゴム変成エポキシ樹脂を用いた接着継ぎ手において、 接着剤層が薄くなった際に破壊靭性値が極大値をとる理由 は、界面損傷域の発達による応力遮蔽効果によるものと考 えられる。

(3) ゴム変成エポキシ樹脂を用いた接着継ぎ手において、 界面損傷域が発達する最も大きな理由は、界面付近の析出 ゴム粒子が他の部分に較べて肥大化していることにあると 考えられる。

なお,本研究の一部は日本接着学会第43回年次大会 (2005年6月23日,関西大学)にて発表した。

引用文献

- W. D. Bascom, R. L. Cottington, R. L. Jones and P. Pey ser, J. Appl. Poly. Sci., Vol. 19, pp. 2545-2562, 1975.
- W. D. Bascom and R. L. Cottington, J. Adhesion, Vol. 7, pp. 333-346, 1976.
- A. J. Kinloch and S. J. Shaw, J. Adhesion, Vol. 12, pp. 59-77, 1981.
- D. Lee, T. Ikeda, N. Miyazaki and N. S. Choi, J. Mate. Sci. Letters, Vol. 22, pp. 229-233, 2003.
- D. Lee, T. Ikeda, N. Miyazaki and N. S. Choi, Trans. ASME, J. Eng. Mate. and Tech., Vol. 126, 2004, pp. 14-18.
- 6) 岡村弘之, 線形破壞力学入門, 培風館, 1976.
- S. Mostovoy and E. J. Ripling, J. Appl. Poly. Sci., Vol. 15, pp. 661–673, 1971.
- T. Ikeda, A. Yamashita, D. Lee and N. Miyazaki, Trans. ASME, J. Eng. Mater. and Tech., Vol. 122, pp. 80-85, 2000.

- A. G. Varias, Z. Suo and C. F. Shih, J. Mech. and Phys. of Solids, Vol. 39, No. 7, pp. 963-986, 1991.
- K. J. Hsia, Z. Suo and W. Yang, J. Mech. and Phys. of Solids, Vol. 42, No. 6, pp. 877-896, 1994.
- V. Tvergaard and J. Hutchinson, J. Mech. and Phys. of Solids, Vol. 44, No. 5, pp. 789-800, 1996.
- 12) C. B. Bucknall, A. Karpodinis and X. C. Zhang, J. Mate. Sci., Vol. 29, pp. 3377-3383, 1994.

<Original>

Effect of Bond Thickness on the Fracture Toughness of Adhesive Joints and Its Mechanism

Toru IKEDA*, Deok-bo LEE** and Noriyuki MIYAZAKI*

*Department of Mechanical Engineering and Science, Kyoto University Yoshida Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501 JAPAN

** Korea Standards Association, Reliability Technology Management Research Center

362-1, Seongjuri, Wongok-myeon, Anseong-si, Gyeonggi-do, 456-812, Korea

(Accepted for publication : November 15, 2005)

Abstract

Examining the effect of bond thickness on the fracture toughness of adhesive joints is a common issue; however, the mechanism of this effect has not been elucidated. Damage zones around crack tips in adhesive joints with several bond thicknesses were observed using an optical microscope. Interfacial damage zones were observed in cases of bond thickness of less than 0.7 mm. Specially, large interfacial damage zones grew in an adhesive layer of 0.3 mm bond thickness, which showed maximum fracture toughness. The stress shielding effect of the interfacial damage around crack tips in adhesive joint. Analyses of damage around crack tips in adhesive joints were performed using the finite element method (FEM) in conjunction with Gurson's model. The result of the FEM analyses showed the increase of stress and damage in cases of thinner adhesive layers, which means a monotonic decrease of fracture toughness accompanied decreased bond thickness. Then, artificial damage along the interface between an adhesive layer and adherends was introduced in the FEM analyses. These analyses showed the maximum fracture toughness of an adhesive joint with a bond layer of about 0.3 mm, and the results confirmed the stress shielding effect of the interfacial damage zone.

(Received : October 17, 2005)