

書籍「接着工学 異種材料接着・接合、強度・信頼性・耐久性向上と寿命予測法」 鈴木靖昭著

丸善出版 2018年11月30日 刊行

定価 5,400円(税込)

## 詳細目次

はじめに

書評“接着工学”

[材料, 68-2(2019)]

[日本接着学会誌, 55-7(2019)]

### 第1章 接着力発現の原理および被着材に適した接着剤の選定法

#### 1.1 化学的接着説

- 1.1.1 原子・分子間引力発生のメカニズム
- 1.1.2 接着剤の役割
- 1.1.3 ヤモリ(Gekko)の足の接着力に見る van der Waals 力

#### 1.2 機械的接合説(アンカー効果)

#### 1.3 からみ合いおよび分子拡散説

#### 1.4 接着仕事

#### 1.5 シーリング材の接着力発現の原理と役割

#### 1.6 粘着剤の接着力発現の原理と役割

#### 1.7 Zisman の臨界面張力による接着剤選定法

#### 1.8 溶解度パラメーターによる接着剤の選定法

- 1.8.1 物質の溶解度パラメーター
- 1.8.2 2種類の液体が混合する条件(非結晶性材料に適用)
- 1.8.3 結晶性高分子が難接着性である理由とそれを解決するための表面処理法

#### 1.9 被着材と接着剤との相互の物理化学的影響を考慮した接着剤選定法

- 1.9.1 被着材に含まれる可塑剤による接着剤の可塑化
- 1.9.2 接着剤に含まれる可塑剤による被着材の可塑化
- 1.9.3 粗度大な被着材表面への粘性接着剤の選択

文献

### 第2章 接着剤の種類と特徴および最適接着剤選定法

- 2.1 耐熱航空機構造用接着剤
  - 2.2 エポキシ系接着剤(液状)
  - 2.3 ポリウレタン系接着剤(室温硬化形)
  - 2.4 SGA(第2世代アクリル系接着剤)
  - 2.5 耐熱性接着剤
  - 2.6 吸油性接着剤
  - 2.7 紫外線硬化形接着剤
  - 2.8 シリコン系接着剤
  - 2.9 変成シリコン系接着剤
  - 2.10 シリル化ウレタン系接着剤
  - 2.11 ポリオレフィン系樹脂用接着剤
  - 2.12 種々の接着剤の接着強度試験結果
    - 2.12.1 接着強度および変動係数
    - 2.12.2 凝集破壊率と接着強度との関係
  - 2.13 各種被着材に適した接着剤の選び方
- 文献

### 第3章 被着材に対する表面処理法

- 3.1 金属の表面処理法
  - 3.1.1 洗浄および脱脂法
  - 3.1.2 プラスト法
    - a. 空気式
    - b. 湿式



- 3.1.3 アルミニウムおよびその合金のエッチング法
  - a. JIS K6838-2 の方法(概要)
    - ( i ) 陽極酸化処理材料
    - ( ii ) 無陽極酸化処理材料
  - b. 各種酸化処理法
  - c. アルミニウムのエッチングにより生成した酸化皮膜
- 3.1.4 鋼(軟鋼材)の表面処理法
- 3.1.5 鋼(ステンレス鋼)の表面処理法
- 3.1.6 各種エッチング法
- 3.1.7 銅およびニッケル箔の表面処理状態とはく離エネルギーとの関係
- 3.2 プラスチックの表面処理法
  - 3.2.1 洗浄および粗面化
  - 3.2.2 コロナ放電処理法
  - 3.2.3 プラズマ処理法
  - 3.2.4 火炎処理法(フレイムプラズマ処理法)
  - 3.2.5 UV オゾン処理法
  - 3.2.6 各種表面処理方法
    - a. JISK6848-3-2003 による表面処理方法
    - b. ふっ素樹脂に対するテトラエッチ液による表面処理法
- 3.3 プライマー処理法
- 文献

#### 第 4 章 最新の異種材料接合法について

- 4.1 金属の湿式表面処理-接着法
  - 4.1.1 ケミブラスト®[日本パーカライジング(株)]
  - 4.1.2 NAT[大成プラス(株)]
- 4.2 金属の湿式表面処理-樹脂射出一体成形法
  - 4.2.1 NMT [大成プラス(株)]
  - 4.2.2 新 NMT[大成プラス(株)]
  - 4.2.3 PAL-fit® [日本軽金属(株)-ポリプラスチックス(株)]
  - 4.2.4 アマルファ® [メック(株)]
- 4.3 無処理金属の樹脂射出一体成型法 Quick-10® [ポリプラスチックス(株)]
- 4.4 被接合材表面のレーザー処理-樹脂射出一体成形法
  - 4.4.1 レザリッジ® [ヤマセ電気(株)-ポリプラスチックス(株)]
  - 4.4.2 D LAMP® [(株)ダイセル]
  - 4.4.3 AKI-Lock® [ポリプラスチックス(株)]
- 4.5 レーザー接合法
  - 4.5.1 LAMP [大阪大学]
  - 4.5.2 レーザー接合法 [名古屋工業大学]
  - 4.5.3 金属の PMS 処理-金属・樹脂の大気圧プラズマ処理-レーザー接合 [輝創(株)]
  - 4.5.4 インサート材使用のレーザー接合 [岡山県工業技術センター, 早川ゴム(株), 岡山大学]
- 4.6 摩擦接合法
  - 4.6.1 摩擦重ね接合 (FLJ) [大阪大学]
  - 4.6.2 摩擦攪拌接合 (FSJ) [日本大学]
- 4.7 溶着法
  - 4.7.1 電気抵抗溶着 [新明和工業(株)]
  - 4.7.2 高周波誘導加熱 [ポリプラスチックス(株)]
  - 4.7.3 超音波接合
  - 4.7.4 熱板融着[新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)]
- 4.8 分子接着剤利用法
  - 4.8.1 分子接着剤 [岩手大学工学部-(株)いおう化学研究所]
  - 4.8.2 CB 処理 [新技術研究所(ATI)]
  - 4.8.3 TRI [(株)東亜電化, (株)トーノ精密, 岩手県工業技術センター, 岩手大学]
  - 4.8.4 トリアジンチオール処理金属のインモールド射出一体成形法 [富士通(株)]

- 4.9 ゴムと樹脂の架橋反応による化学結合法ーラジカロック〔(株)中野製作所〕
  - 4.10 接着剤を用いない高分子材料の直接化学結合法〔大阪大学〕
  - 4.11 大気圧プラズマグラフト重合処理ー接着技術〔大阪府立大学〕
  - 4.12 ガス吸着異種材料接合技術〔中部大学〕
  - 4.13 低温大気圧有機／無機ハイブリッド接合技術〔物質・材料研究機構(NIMS)〕
  - 4.14 微細孔形成ー射出成形・融着による接着力発現と耐久性向上のメカニズム
    - 4.14.1 接着・接合力が向上するメカニズム
    - 4.14.2 耐久性が向上するメカニズム
  - 4.15 樹脂どうしの融着による接合の場合の接着強度発現のメカニズム
    - 4.15.1 一方の樹脂のみが溶融する場合
    - 4.15.2 両方の樹脂が溶融する場合
- 文献

## 第5章 各種接合形式の特徴, 応力分布および強度評価法

### 5.1 接着継手形式および負荷外力の種類

- 5.1.1 接着接合の長所と短所
- 5.1.2 各種接着継手形式
- 5.1.3 接着部に加わる外力の種類

### 5.2 重ね合せ継手の特徴, 応力分布および強度評価

- 5.2.1 応力分布(弾性解析解および弾性有限要素解析結果)
- 5.2.2 重ね合せ接着継手のせん断破壊荷重実験値例
- 5.2.3 AI 重ね合せ継手の引張せん断試験結果および FEM 解析による検討例
  - a. 著者の解析結果
  - b. 杉林ー池上の解析結果
  - c. 沢らの解析結果
  - d. 能野らの解析結果
- 5.2.4 CFRTP 重ね合せ接着継手の引張せん断試験結果に対する結合力モデル(CZM)法による解析例
  - a. 結合力モデル解析法
  - b. CZMによる解析例ー混合モード条件下のFRTPの単純重ね合せ接着継手の挙動の解析
    - (i) モード-I 界面 CZM パラメータの確定
    - (ii) モード-II 界面 CZM パラメータの決定
    - (iii) 混合モード状態の単純重ね合せ継手の荷重ー変位曲線の実験結果および CZM 解析結果の比較
    - (iv) CZM 解析法について
- 5.2.5 接着層厚さと接着強度との関係
- 5.2.6 バルク接着剤試験片厚さと引張強度との関係
- 5.2.7 バルク接着剤および接着継手接着層における強度の測定法
  - a. バルク接着剤の引張試験
  - b. 引張接着強度試験
  - c. 厚肉被着材を用いた単純重ね合せ継手の引張せん断接着強度試験
- 5.2.8 バルク接着剤の応カーひずみ曲線と引張速度との関係

### 5.3 スカーフ継手および突合せ(バット)継手の特徴, 応力分布および強度評価

- 5.3.1 2次元弾性 FEM 解析
  - 5.3.2 3次元弾性 FEM 解析
  - 5.3.3 2次元弾塑性 FEM 解析
  - 5.3.4 接着強度および破壊条件
    - a. スカーフおよびバット継手の接着強度実験結果
    - b. スカーフおよびバット継手の接着層の破壊条件
    - c. スカーフおよびバット継手の接着層破壊条件の破面観察による検証
    - d. バット継手の引張接着強度とバルク接着剤の引張強度との関係
    - e. 今中らによるゴム変性エポキシ系接着剤の3軸応力下の降伏および破壊挙動
    - f. 能野らによるスカーフ継手の破壊強度則
    - g. スカーフおよびバット継手の接着層厚さと接着強度との関係
- ### 5.4 接着接合部における特異応力場の強さおよび応力拡大係数を用いた接着強度の評価

- 5.4.1 特異応力場の強さおよび応力拡大係数を用いたバット継手の強度評価
- 5.4.2 特異応力場の強さHによるスカーフおよびバット継手の強度評価
- 5.4.3 特異応力場の強さによる単純重ね合せ継手の強度評価
- 5.4.4 はく離特異応力場の強さの限界値一定による接着継手の強度評価法についてのまとめ
- 5.5 接着層が収縮した場合のスカーフおよびバット継手の応力解析
- 5.6 はく離応力の解析
  - 5.6.1 可撓性被着材のはく離による応力分布
  - 5.6.2 はく離角度による応力分布の変化に関する解析
- 5.7 スポット溶接—接着併用継手の応力解析
- 5.8 最適接合部の設計
  - 5.8.1 強い接着接合部を設計するための一般的留意事項
  - 5.8.2 接着接合部の設計
    - a. T 継手の接合構造
    - b. ハット形補強材の接合構造
    - c. はく離力への対応策

文献

## 第6章 接着接合部の故障確率と安全率との関係

- 6.1 経年劣化による故障発生メカニズム(ストレス—強度のモデル)
- 6.2 所定年数経過後の接着接合部に要求される故障確率確保に必要な安全率の計算法
  - 6.2.1 正規分布について
  - 6.2.2 ストレス(負荷応力)が一定の場合の希望故障確率確保のための安全率の決定法
  - 6.2.3 ストレス(負荷応力)が変動する場合の接着継手の故障確率の確保のために必要な安全率の決定法
  - 6.2.4 接着強度の変動係数実測値
  - 6.2.5 繰返し応力負荷(疲労)による劣化後の継手の強度分布および変動係数の測定法および故障確率の計算法
  - 6.2.6 航空機において安全率が小さく取られる理由
  - 6.2.7 ストレス(負荷荷重)の変動係数について

文献

## 第7章 接着接合部の温度と各種ストレスに対する耐久性評価および寿命推定法

- 7.1 接着接合部の劣化の要因ならびに加速試験と加速係数
  - 7.1.1 接着接合部劣化の要因
  - 7.1.2 加速試験と加速係数
  - 7.1.3 加速試験条件の決定方法
- 7.2 アレニウス式(温度条件)による劣化, 耐久性加速試験および寿命推定法
  - 7.2.1 化学反応速度式と反応次数
  - 7.2.2 濃度と反応速度および残存率との関係
  - 7.2.3 材料の寿命の決定法
    - a. 寿命到達時が明確な場合
    - b. 材料の物性が低下して実用に供さなくなる場合
  - 7.2.4 反応速度定数と温度との関係
  - 7.2.5 アレニウス式を用いた寿命推定法
  - 7.2.6 倉庫保管中に劣化した粘着テープの納入時の接着強度の推定例
- 7.3 アイリングの式によるストレス負荷条件下の耐久性加速試験および寿命推定法
  - 7.3.1 アイリングの式を用いた寿命推定法
  - 7.3.2 アイリング式を用いた湿度に対する耐久性評価法
    - a. 絶対水蒸気圧
    - b. 相対湿度モデル 1
    - c. 相対湿度モデル 2(Lycoudes モデル)
      - (i) Lycoudes モデルによる寿命予測方法例
      - (ii) Lycoudes モデルによる寿命予測の具体例
  - 7.3.3 Sustained Load Test による接着継手の温度, 湿度, および応力負荷条件下の耐久性評価結果
    - a. 接着剤 A(一液性 120°C/1h 硬化エポキシ系)の場合

- (i) 継手の活性化エネルギー $E_a$ の算出
- (ii) アレニウス式による応力負荷条件下の接着継手の室温における寿命の推定
  - ① 室温, 湿度 98%RH の条件下の寿命予測結果
  - ② 室温, 湿度 60%RH の条件下の寿命予測結果
- (iii) アイリング式の次数 $n$ の算出

- b. 接着剤 F(二液性 60°C/3h 硬化エポキシ系)の場合
- c. フィルム型接着剤(177°C 加熱硬化 ノボラック・エポキシ系)の場合

7.3.4 加速劣化法により耐用年数相当劣化後の接着強度分布を求めて故障確率を推定する方法

7.3.5 水蒸気存在下の材料の酸化反応促進メカニズムの第一原理分子動力学法解析結果

## 7.4 ジューコフ(Zhurkov)の式を用いた応力下の継手の寿命推定法

7.4.1 ジューコフの式

7.4.2 ジューコフの式による接着継手の Sustained Load Test 結果の解析

## 7.5 ウェッジテスト法による試験結果と実機航空機(Boeing 社)における耐久性結果との比較文献

## 第 8 章 接着継手の耐水性および耐油性に関する熱力学的検討および耐水性向上法

### 8.1 液体中における接着接合部の安定性の熱力学的検討

8.1.1 液体中における接着仕事  $W_{AL}$  の計算式

8.1.2 接着仕事  $W_A$  および  $W_{AL}$  の具体的計算例

- a. 接着継手の耐水性の検討
- b. 接着継手の耐油性の検討

### 8.2 接着接着部の耐久性に水が及ぼす影響の実例

- (1) 物理的影響
- (2) 化学的影響

8.2.1 鋼のエポキシ系接着剤による突合せ継手の耐水性試験結果

8.2.2 アルミニウム合金のエッチングと耐久性との関係

8.2.3 実走行自動車の残存接着強度

### 8.3 接着接合部の耐水性向上法

8.3.1 エッチング, レーザー照射などにより被着材の実質表面積を増加させる方法

8.3.2 接着剤と反応性を持つ官能基系のシランカップリング剤を金属表面に化学結合させる方法

8.3.3 化学結合により接着する方法

文献

## 第 9 章 繰返し応力(疲労)およびクリープによる加速耐久性評価法

### 9.1 接着継手の引張せん断疲労特性試験方法

### 9.2 アイリングの理論から誘導される S-N 曲線

### 9.3 マイナー則(線形損傷則)

### 9.4 スポット溶接-接着併用継手の応力解析および疲労試験結果

9.4.1 スポット溶接-接着併用継手の応力解析

9.4.2 接着継手およびスポット溶接-接着併用継手(ウェルドボンディング)の疲労試験結果

### 9.5 リベット-接着併用継手(リベットボンディング)の疲労試験結果

### 9.6 接着接合部のクリープ破壊強度評価方法

9.6.1 大変形クリープの一般的特性

9.6.2 クリープ破壊強度, 破壊時間, 温度間関係式(Larson-Miller の式)

### 9.7 クリープ破断データから Larson-Miller の式を求める方法

9.7.1 visual-fit 法

9.7.2 統計的解析法1

9.7.3 統計的解析法2

### 9.8 プラスチックのクリープ試験における Larson-Miller 線図

### 9.9 JIS K6859 接着剤のクリープ破壊試験方法

文献

## 第 10 章 接着トラブルの原因と対策

### 10.1 接着剤の選定に起因するトラブル事例およびその対策

- 10.1.1 被着材と接着剤の SP 値の不適合
- 10.1.2 被着材に含まれる可塑剤による接着剤の可塑化によるトラブル事例ー床用軟質塩化ビニルシートの接着(その1) (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
- 10.1.3 接着剤に含まれる可塑剤による被着剤表面の可塑化によるトラブル事例ー変成シリコン系接着剤によりアルミ製窓枠へ接着した PMMA 板のはく離 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
- 10.1.4 吸湿性接着剤の使用によるトラブル事例ー吸湿性の大きい接着剤による試験片の接着 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
- 10.1.5 保存中の変質によるトラブル事例ー接着剤の酸化劣化 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
- 10.1.6 保存中の成分分離によるトラブル事例ー分離で生じた偏った成分を使用することによる接着力不足
- 10.1.7 添加充填剤の吸湿によるトラブル事例:エポキシ樹脂系接着剤に不適切保存で吸湿した充てん剤を混合使用 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
- 10.1.8 接着剤の硬化収縮または接着後の温度変化により接着強度を超える熱応力が発生
  - a. 室内外温度差に起因する熱応力による被着材ガラスの破壊のトラブル事例ーガラスとびらと取手の接着 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
  - b. 両被着材間の線膨張係数の差に起因する熱応力による接着はく離のトラブル事例ーアルミ化粧パネルとスチレン樹脂モールド品の接着 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
  - c. 両被着材間の線膨張係数の差に起因する熱応力による接着はく離のトラブル事例ー天井ダクト用サンドイッチパネルの接着 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
  - d. 気温の上昇に起因する熱応力および接着力不足によるはく離のトラブル事例ー室内内装化粧板のつなぎ板の接着 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
  - e. 両被着材間の線膨張係数の差に起因する熱応力による接着はく離のトラブル事例ースイッチボックスのふたの接着 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
- 10.1.9 接着剤の耐衝撃性不足によるはく離のトラブル事例ー窓ガラスの取手の接着 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
- 10.1.10 接着剤中の溶剤により被着材にソルベントクラックが発生のトラブル事例:アルミ銘板とメタクリル樹脂モールド品の接着 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
- 10.1.11 嫌気性封着剤モノマーにより被着材にソルベントクラックが発生のトラブル事例ーポリカーボネート製標識差しのサラねじ止め部 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
- 10.1.12 塩素を含む接着剤の熱分解により発生する HCl と被着材との化学反応によるトラブル事例
  - a. 装置の Al 製外壁面に CR 系接着剤により接着された鏡のメッキの腐食 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
  - b. 塩化ゴム系接着剤の熱分解により発生した HCl が被着材金属と反応し塩化物を生成して、被着材表面にてはく離 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
- 10.1.13 悪臭の残留する溶剤を含む接着剤の使用のトラブル事例:冷房ダクト内断熱材の接着 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
- 10.2 表面処理法
  - 10.2.1 表面処理後の被着剤表面へ大気中水分吸収による接着力の低下
  - 10.2.2 被着材の吸収水分による接着不良の発生
- 10.3 施工方法に起因するトラブル事例およびその対策
  - 10.3.1 接着剤の混合比誤りおよび混練不足による接着強度の低下
  - 10.3.2 接着剤の発泡 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
  - 10.3.3 溶剤型接着剤におけるオープンタイム不足のトラブル事例ー床用軟質塩化ビニルシートの接着(その2) (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
  - 10.3.4 加熱温度および加熱時間の不足のトラブル事例ー自動車ドラムブレーキライニングの接着 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
  - 10.3.5 圧縮力不足によるトラブル事例ーアルミ合板積層パネルのふくれ (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
  - 10.3.6 接着面への空気の巻き込みによるトラブル事例ー天井ダクト用サンドイッチパネルの接着 (i)現象 (ii)原因 (iii)対策
  - 10.3.7 作業者の熟練度不足
- 10.4 接着部の構造
- 10.5 接着部の耐久性

文献

索引