



# 接着の基礎知識6

## 接着における強度の考え方

### もくじ

- |                     |    |
|---------------------|----|
| 1. 破断強度が接着強度にならない理由 | …2 |
| 2. 接着強度と内部破壊        | …2 |
| 3. 接着強度のばらつき        | …4 |
| 4. 温度・劣化による接着強度の低下  | …5 |
| 5. 実際の接着強度とは        | …6 |

 **iPROS**

株式会社イプロス  
Tech Note 編集部

前回は、接着剤の選定方法と、選定接着剤の適否を判定する方法を説明しました。今回は、接着における強度の考え方について解説します。接着剤の強度は、一般的に試験で破断が生じた時点の強度で表されます。しかし、これを実際の強度と考えてはいけません。接着強度の考え方を見直すと同時に、実際の接着強度が破断強度よりも低下する要因を学びましょう。

## 1. 破断強度が接着強度にならない理由

カタログに接着剤の強度として示されている数値は、一般的に、試験を行って破断が生じた時点の値、つまり破断強度です。しかし実際に使用する際には、示された数値よりも低い値で接着部が破断することがあります。破断強度を接着強度と見なすことは、とても危険です。

実際の接着強度を考える際に、考慮すべき3つのポイントがあります。

- ・ 内部破壊の繰り返しによる破断
- ・ 接着強度のばらつき
- ・ 温度、劣化などによる強度低下

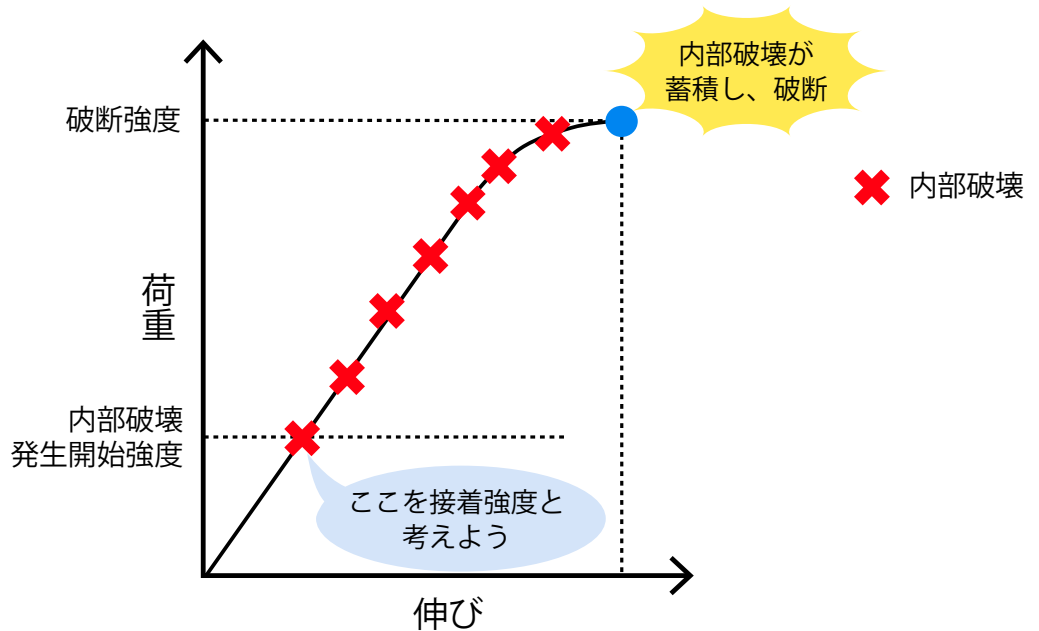
以上の3点を踏まえ、実際の接着強度の数値をどう算定すべきか、説明します。

## 2. 接着強度と内部破壊

**図 1** を見てみましょう。接着試験体に荷重を負荷していくと、接着部は徐々に変形し、最終的に破断を起こします。しかし破断するより低い荷重でも、接着内部では亀裂発生などの細かな破壊が起こっています。これを内部破壊といいます。内部破壊が蓄積すると、破断強度より低い負荷でも破断が起こります。

最初に内部破壊が生じる荷重（内部破壊発生開始強度）より高い負荷が接着部に繰り返し加わると、そのたびに内部破壊が起こり、やがて破断する可能性があります。そのため、内部破壊発生開始強度を接着強度と捉える必要があります。

図1：接着部における内部破壊と破断の概念図



内部破壊発生開始強度は、どのように算定すればよいのでしょうか。接着剤、被着材が同じでも、試験時の破壊部分の状態が凝集破壊か界面破壊かで値は大きく異なります（参照：[第1回](#)）。著者がアコースティック・エミッション法（AE法。破壊により、弾性波として放出される内部蓄積エネルギーを測定し、破壊過程を評価する手法）で測定した結果では、内部破壊発生開始強度は、凝集破壊する場合は破断強度の1/2以上、界面破壊する場合は1/10以下でした。[第1回](#)で、界面での結合を強化して凝集破壊にしなければならないと述べたのは、このためです。

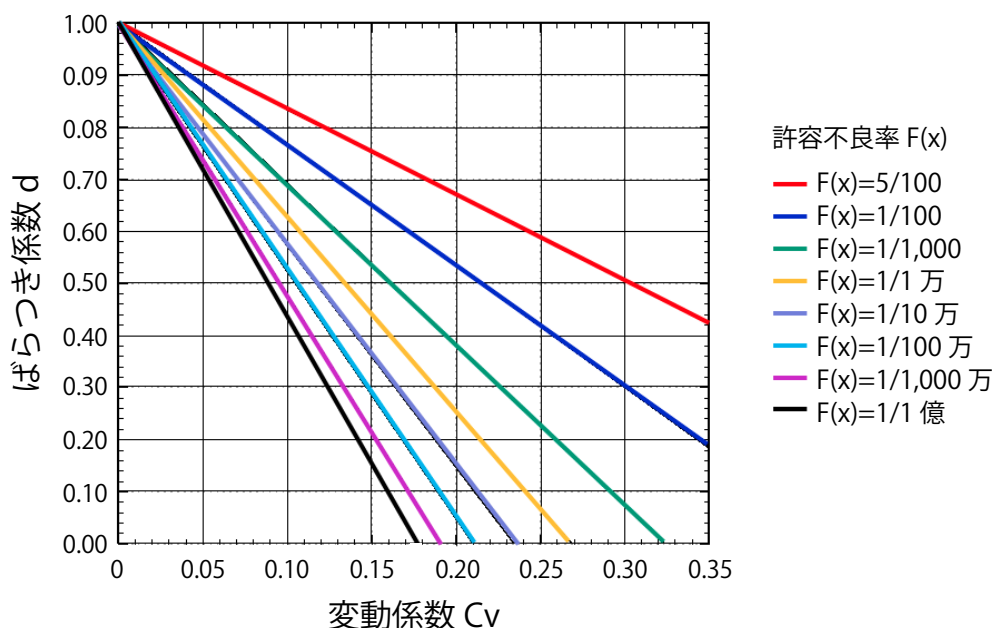
繰り返し荷重が加わる場合には、内部破壊発生開始強度はさらに低くなります。10<sup>7</sup>回程度、繰り返し荷重がかかる場合の内部破壊発生開始強度は、静的破断（引張、圧縮、延性、ぜい性による破断）強度の約1/4と考えられます。

### 3. 接着強度のばらつき

接着は、他の接合方法と比べて強度のばらつきが大きいいため、平均強度で考えることはほとんど無意味です。サンプル数が多くなるほどデータの範囲は広くなり、最大・最小値は平均値から大きく離れます。接着強度のばらつきの大きさは、変動係数  $C_v$  で表されます（参照：第1回）。 $C_v$  が 0.10 の場合、サンプル数が 1,000 万個になると、下から 3 番目に低いものの強度は平均値の 50% となってしまいます。

接着剤の強度で問題になるのは、低強度へのばらつきが大きくなる時です。そこで、最低強度と平均強度の比をばらつき係数  $d$  とします。ばらつき係数の計算式は、 $d = \text{最低強度品の強度} / \text{平均強度}$  です。 $d=1.0$  に近いほど、接着剤の品質が高いこととなります。ばらつき係数と変動係数  $C_v$  の関係を、**図 2** にまとめました。変動係数が小さいほど、ばらつき係数の値は 1.0 に近づき、品質が高くなることが分かります。

図2：変動係数  $C_v$  とばらつき係数  $d$ 、許容不良率  $F(x)$  の関係を示すグラフ



**図 2** には、許容不良率  $F(x)$  による違いも表しています。許容不良率とは、一定期間（耐用年数）内の発生を許容する不良率のことで、製品や部品の開発初期の段階で決定し、この値をクリアするように開発が行われ

ます。許容不良率  $F(x)$  が小さいほど、直線の傾きは大きくなり、変動係数  $C_v$  によってばらつき係数  $d$  も大きく変動します。つまり、許容不良率を厳しく設定した接着剤ほど、変動係数が低くなるようにしないと、すぐにばらつき係数  $d$  の値が小さくなり、高い品質が担保できません。

変動係数  $C_v$  は、0.10 以下にすることが品質確保に最低限必要です。さらに諸条件の最適化によって、0.02 ~ 0.04 程度まで小さくすることが可能です。しかし、筆者の経験では、接着強度の変動係数  $C_v$  を 0.02 以下にすることは非常に困難で、接着接合の品質の一つの限界と考えています。よって、**図 2** より、ばらつき係数  $d$  を 0.90 以上にすることは困難です。

## 4. 温度・劣化による接着強度の低下

接着部の強度は、使用環境や劣化など、さまざまな要因によって低下します。接着強度を考える際に考慮すべき 2 つの要因を見ていきましょう。

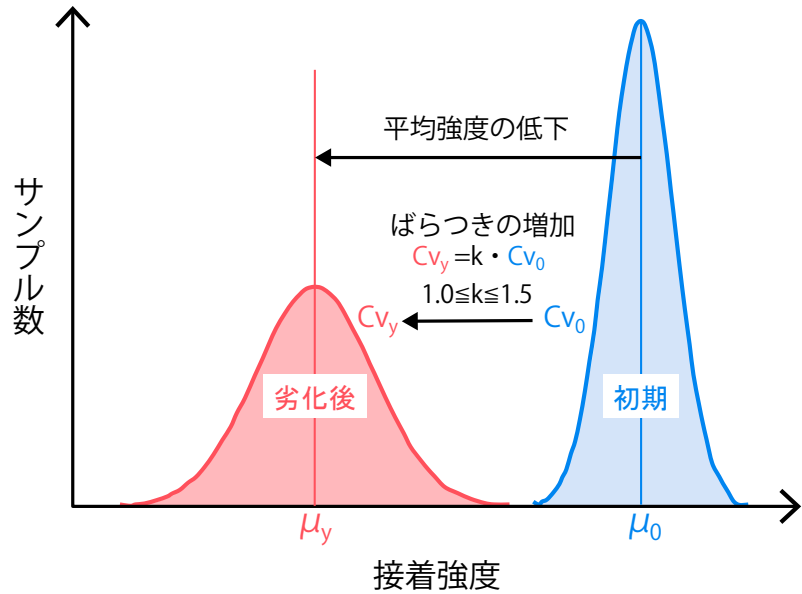
### 1：温度

接着強度は温度によって変化します。一般に、高温になると接着剤が軟らかくなり強度が低下し、低温では硬くなるので強度が高くなります。しかし、 $-40^{\circ}\text{C}$  以下のような極度の低温では、接着剤がもろくなることと、内部応力（熱応力）が大きくなるため接着強度は低下します（参照：第 2 回）。接着強度は、製品が使用される温度範囲での最低強度で考えなければなりません。

### 2：劣化

劣化とは、接着部が種々の環境や応力状態にさらされて、接着強度が徐々に低下していく現象です。**図 3** に、劣化による平均強度の低下とばらつき増大のイメージを示します。

図3：接着初期と劣化後の平均値の低下とばらつき増大の概念図



劣化の程度は、一般的に平均強度の変化率で表されます。しかし、劣化すると接着強度のばらつきが大きくなることはあまり知られていません。劣化によるばらつきの増大は、初期の変動係数  $Cv$  が  $k$  倍に増加するとします。筆者の長年蓄積した耐久性試験結果から、接着初期の凝集破壊率が 40% 以上の接着剤ならば、劣化しても  $k$  は 1.5 倍以下に収まると考えられます。

## 5. 実際の接着強度とは

これまでに解説した要素（内部破壊発生開始強度、ばらつきの最低値、劣化による接着強度の低下とばらつきの増大など）を考慮すると、実際の接着強度（設計基準強度）は、カタログに示されている平均破断強度の 1/10 から 1/20 程度です。ただし初期の平均破断強度も、接着強度が最低となる温度での測定値で考える必要があります。

強度設計に用いる設計許容強度は、一般的に設計基準強度を安全率（1.5～2.0倍程度で可）で割った値です。従って、前述の設計基準強度（平均破断強度の 1/10 から 1/20 程度）を 1.5～2.0 で割った値、平均破断強度の 1/15 から 1/40 程度が設計許容強度となります。ゴム系接着

剤や変成シリコン系接着剤などの軟らかい接着剤や粘着材の場合は、クリープが最大の劣化要因となるので、実力強度はさらに低く見積もる必要があります。

いかがでしたか？ 今回は接着強度の実力値の見積もり方について説明しました。次回は、実際に強度設計を行う際のポイントを解説します。お楽しみに！

接着の基礎知識 6：  
接着における強度の考え方  
初版 2018 年 1 月 10 日

著者： 株式会社原賀接着技術コンサルタント 原賀 康介

発行元： 株式会社イプロス Tech Note編集部  
E-mail:media@ipros.jp  
URL:<https://www.ipros.jp/technote/>