

接着強度設計における設計基準強度の考え方について

((株)原賀接着技術コンサルタント) 原賀 康介

About the Concept of Specified Design Strength in the Strength of Adhesive Bonding Design.

Kosuke HARAGA

HARAGA Adhesion Technology Consulting Co.,Ltd.

haraga-kosuke@kcc.zaq.ne.jp

1. 設計基準強度の提案の背景

接着剤による接合は、その特徴・機能から各種の産業分野で高度な適用がなされている。しかし、ボルト・ナットや溶接のように「工業的に汎用的な接合方法」とはなっていない。これは、接着剤による接合は、設計基準や設計指針が不明確であるため、適用までに多大な検証試験が必要であり、十分な開発期間と開発リソースがない場合には適用が困難なためである。この状況を打破して、接着接合が汎用的な接合方法として位置付けられるためには、設計基準や設計指針を明確化していく必要がある。そこで、ここでは、接着強度設計を行う際に適用する設計基準強度の一つの考え方を提案する。

2. 設計基準強度の考え方

ここでは、破断強度や平均値、初期状態ではなく、内部破壊が発生せず、ばらつきの下限強度で、劣化、使用温度を考慮した接着強度の実力値を設計許容強度とし、それに安全率を加味して設計基準強度を求める。

3. 接着強度の実力値に影響する因子

(1) 内部破壊の発生 接着部品が破断する以前に、低荷重域で内部破壊が発生する。静的荷重負荷と繰返し荷重負荷の場合の内部破壊発生荷重を考える。

(2) 強度ばらつき 図 1 に示すように、平均値ではなく、接着部品の許容不良率 $F(x)$ をクリアできる下限強度 p を考える。劣化によるばらつきの増大も考慮する。

(3) 劣化による接着強度の低下 劣化により平均強度は低下する。

(4) 接着強度の温度依存性 温度変化で接着強度は変化する。使用温度範囲での最低強度を考える。

(5) 破壊状態 界面破壊ではばらつきの増加や劣化が促進される。ここでは、界面破壊ではなく凝集破壊の場合について考える。

4. 各因子の評価結果

4.1 内部破壊発生強度

(1) 静的荷重負荷の場合 凝集破壊と界面破壊の場合の、破断荷重に対する内部破壊の発生荷重の比(内部破壊開始係数 h_i と示す)を AE (Acoustic Emission) で評価した。その結果を表 1 に示す。この結果より次のことが分かる。①凝集破壊では、破断荷重の 50% 程度の負荷で内部破壊が生じる。②界面破壊では、破断荷重の 10% 以下の負荷で内部破壊が生じる。よって、凝集破壊の場合の内部破壊開始係数 h_i を、とりあえず $h_i=0.5$ とする。(この数字は今後のデータ蓄積により精度を上げる必要がある)

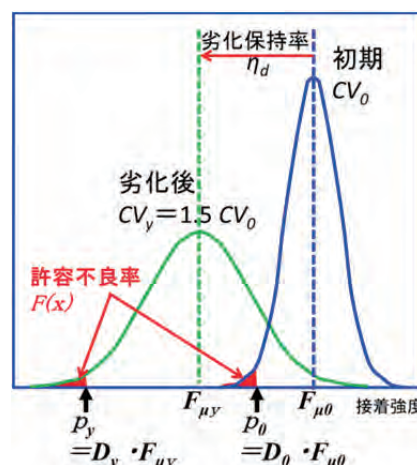


図 1. 劣化前後での平均強度 F_μ 、許容不良率 $F(x)$ 、最低強度 p 、変動係数 CV

表 1. AE による内部破壊開始荷重の測定結果

破壊状態	試料番号	AE発生開始荷重比
凝集破壊	1	51 %
	2	76 %
	3	100 %
	平均	76 %
界面破壊	1	7 %
	2	8 %
	3	31 %
	平均	15 %

AE発生開始荷重比=AE発生荷重/破断荷重
SUS/SUS せん断 二液変性アクリル系

(2) 繰返し荷重負荷の場合 繰返し疲労のような高サイクル(10^7 サイクル程度)の場合と、ヒートサイクルのような低サイクル(10^4 サイクル程度)の場合を考える。凝集破壊率を変化させて繰返し疲労試験を実施した結果を図 2 に示す。この結果より次のことが分かる。①凝集破壊率が高いほど疲労強度は高くなる。②凝集破壊の場合は、 10^7 サイクルでの疲労強度は静強度の 25%程度である。③凝集破壊の場合は、 10^4 サイクルでの疲労強度は静強度の 45%程度である。よって、高サイクル疲労の場合の劣化係数 h_2 は、とりあえず $h_2=0.25$ 、低サイクル疲労の場合の劣化係数 h_3 は、とりあえず $h_3=0.45$ とする。(この数字は今後のデータ蓄積により精度を上げる必要がある)

4.2 接着強度のばらつき(許容不良率 $F(x)$ をクリアできる下限強度 p)

凝集破壊で試験片の伸びや変形が小さい場合は、接着強度は正規分布となるので、正規分布として扱う。

下限強度 p /平均強度 F_μ をばらつき係数 D と示す。劣化により強度ばらつきは増大する。図 1 に示すように、劣化による強度ばらつきの増大を、変動係数 CV の増大と考える。発表者の多くの劣化試験結果から、劣化後の変動係数 CV_y は初期の変動係数 CV_0 の 1.5 倍と考える。劣化後においても、ばらつき係数 D_y は、0.4 程度は確保すべきと考え、 D_y が 0.4 以上となるための変動係数を表 2 に示す。変動係数が表 2 を満たすように、作り込みを行って凝集破壊率を高くすることが必要である。

4.3 劣化による強度低下

劣化後の強度保持率 η_d は 0.5 程度は確保すべきと考え、 $\eta_d=0.5$ とする。

4.4 接着強度の温度依存性

接着強度の温度依存性は主として接着剤に依存するので、使用温度範囲における最低の平均破断強度を $F_{\mu T}$ (=室温平均強度 $F_{\mu 0} \times$ 温度依存係数 η_T) とする。

5. 設計基準強度の算出

接着強度の実力値 = 初期平均破断強度 $F_{\mu 0} \times$ 内部破壊開始係数 $h \times$ 劣化後のばらつき係数 $D_y \times$ 劣化後保持率 $\eta_d \times$ 温度依存係数 η_T と表される。温度依存性を考慮した初期平均破断強度 $F_{\mu 0} \cdot \eta_T$ に対する接着強度の実力係数を P とすると、 $P=h \times D_y \times \eta_d$ となり、結果を表 3 に示す。これに安全率 S を考慮して設計基準強度比を算出した。その結果、初期の高温平均破断強度に対して、安全率を 1.5 倍とした場合は $1/15 \sim 1/30$ の強度、安全率を 2.0 倍とした場合は $1/20 \sim 1/40$ となった。この強度は多くの設計事例から妥当な数字である。

6. まとめ

上記の設計基準強度で設計すれば、多大な技術開発や検証試験なしで接着を適用できる事となる。ただし、本設計基準は凝集破壊が前提であり、凝集破壊になるまでの接着条件の作り込みは必要である。各係数の高精度化のためには今後のデータ蓄積が必要であるが、接着が汎用的接合方法と認知されるためには、このような設計基準強度と設計指針の早期の設定が必要と考える。

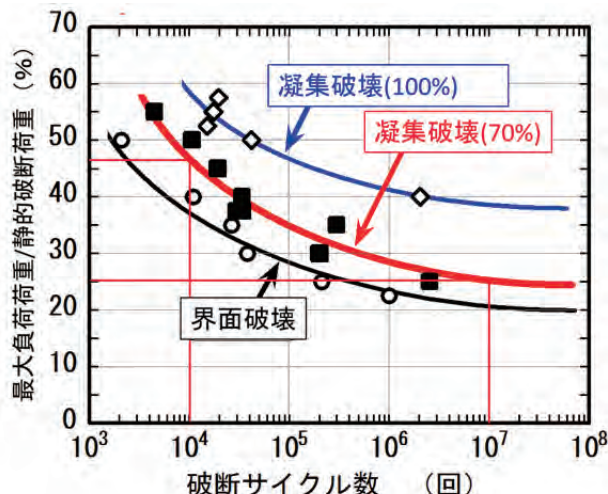


図 2.繰返し疲労試験結果(SUS/SUS せん断)

表 2. 劣化後のばらつき係数 $D_y \geq 0.40$ となる条件

要求信頼度 $F(x)$	劣化後の変動係数 CV_y	初期の変動係数 CV_0
1/1万	<0.16	<0.11
1/10万	<0.14	<0.09
1/100万	<0.12~0.13	<0.08~0.09
1/1000万	<0.11~0.12	<0.07~0.08

表 3. 設計基準強度の算出結果

接着強度の実力係数 (初期高温平均破断強度比) $D_y=0.4, \eta_d=0.5$	設計基準強度比 (P/S)	
	安全率 S 1.5倍	安全率 S 2.0倍
疲労が加わらない場合 $P_1=h_1 \cdot D_y \cdot \eta_d=0.10$	0.067 (1/15)	0.050 (1/20)
低サイクル疲労(H/Cなど) $P_3=h_3 \cdot D_y \cdot \eta_d=0.09$	0.060 (1/17)	0.045 (1/22)
高サイクル疲労 $P_2=h_2 \cdot D_y \cdot \eta_d=0.05$	0.033 (1/30)	0.025 (1/40)

第51回年次大会

講演要旨集

会 期：2013年6月20日(木)・6月21日(金)

会 場：明治大学駿河台キャンパス アカデミーコモン
(東京都千代田区神田駿河台1-1)

協 賛

応 用 物 理 学 会
強 化 プ ラ ス チ ッ ク 協 会
近 畿 化 学 協 会
高 分 子 学 会
色 材 協 会
自 動 車 技 術 会
繊 維 学 会
精 密 工 学 会
電 気 学 会
土 木 学 会
日 本 化 学 会
日 本 機 械 学 会
日 本 包 装 技 術 協 会
日 本 建 築 学 会

日 本 航 空 宇 宙 学 会
日 本 ゴ ム 協 会
日 本 材 料 学 会
日 本 電 子 材 料 技 術 協 会
日 本 複 合 材 料 学 会
日 本 木 材 学 会
日 本 木 材 加 工 技 術 協 会
日 本 レ オ ロ ジ ー 学 会
日 本 バ イ オ マ テ リ ア ル 学 会
日 本 セ ラ ミ ッ ク ス 協 会
溶 接 学 会
プ ラ ス チ ッ ク 成 形 加 工 学 会
日 本 信 頼 性 学 会
エ レ ク ト ロ ニ ク ス 実 装 学 会
合 成 樹 脂 工 業 協 会



一般社団法人 日本接着学会