

【 第 1 章 】

これだけは知っておきたい
接着の基礎知識

高品質接着とは

①品質とは

品質は、JIS Z 8101（品質管理用語）では、「品物またはサービスが、使用目的を満たしているかどうかを決定するための評価の対象となる固有の性質・性能の全体」と定義されています。図1-1-1に示すように、「高品質」とは、顧客が要求する種々の条件に対して「満足度が高い」ことと言えるでしょう。

②高品質接着とは

接着に要求される特性は多くあります。図1-1-2に示すように、接着強度などの特性や耐久性に優れていることはもちろんですが、それだけでは高品質な接着とは言えません。接着特性（強度など）のばらつきが小さい、不良率が低い（信頼性が高い）、さらに、生産性にも優れていてコスト的にも有利、ということも必要です。これらを兼ね備えた接着を「高品質接着」と呼んでいます。

③接着の世界での品質に対する状況

日本製品は、品質の高さで世界をリードしてきました。しかし、日本の接着の世界では、これまで「ばらつき」や「品質」については、あまり関心を持たれてきませんでした。欧米では、軽量化が重要な航空機産業が牽引役となり、接着にも厳しい品質要求がなされ、多くの力学系技術者による強度や破壊などに関する研究開発が、接着の品質向上に大きく寄与してきました。日本では戦後、航空機産業が途絶えたことで、接着の力学的取組みが遅れ、人材も育たず、損傷や破壊が致命傷となる部位への、接着の適用の裾野が広がらなかったことが、接着の品質に対する取組みの弱さの要因の1つではないでしょうか。

④接着の品質の重要性

製品や部品の小型化・軽量化、高機能・高性能化の要求はますます高度化し、構造物や電気・電子・光学機器などの精密機器組立に接着が必要不可欠な要素技術となり、適用が拡大するのは間違いありません。接着部の損傷や破壊が重大事故につながる可能性もあります。これからは、「接着の品質」への取組みがきわめて重要となってきます。

⑤接着は「特殊工程」の技術

「結果が後工程で実施される検査および試験によって、要求された品質基準

を満たしているかどうかを十分に検証することができない工程」のことを「特殊工程」と言います。接着は、組立後に接着部の強度を検査して低強度品を排除することができないという点から、まさに「特殊工程」の接合技術です。特殊工程の技術で高品質を確保するためには、工程ごとに作業の最適条件と許容範囲を明確にして、作業の前後に検査を行うことが重要です。

図 1-1-1 | 高品質の条件

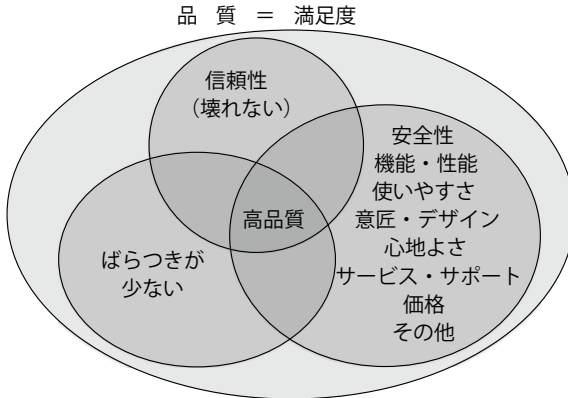
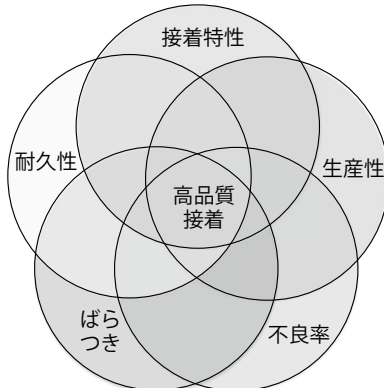


図 1-1-2 | 高品質接着の条件



要点 ノート

接着は、組立後の検査で低強度品を排除できない「特殊工程」の接合技術です。特殊工程の技術で高品質を確保するためには、工程ごとに最適条件と許容範囲を明確にし、作業の前後で検査を行うことが重要です。

高品質接着達成のための基本条件① 界面で壊れない—凝集破壊率—

①破壊の場所

良好な接着ができていのかどうかは、接着したものを破壊して判定するのが一般的です。図1-1-3は、接着接合物の断面の模式図で、外力を加えたときに接着剤の内部または接着剤と被着材料（接着される部品の材料のことを被着材料と言います）の接合界面、または被着材料自体のいずれかで破壊が生じます。図1-1-4に示すように、接着剤の内部での破壊は「凝集破壊」、接着剤と被着材料の接合界面での破壊は「界面破壊」と呼ばれています。凝集破壊した部分では、破壊後接着面の両面の相対する位置の双方に接着剤が残っています。界面破壊の場合は、接着剤はいずれか一方の被着材に付着しており、相対する相手面は被着材料の表面が露出した状態になっています。

通常の接着で最も多く見られるのは界面破壊です。被着材料の接着表面付近は、図1-1-5に示すように、接着性に影響を及ぼす非常に多くの因子が集まったところであり、常に同じ状態にコントロールすることはできないため、界面破壊の場合は接着強度のばらつきが大きくなり、適正な破壊状態とは言えません。一方、接着剤の内部で破壊する凝集破壊は接着剤の物性で決まるため、接着強度のばらつきは小さく、理想的な破壊状態と言えます。

②凝集破壊率

実際の接着部では、凝集破壊と界面破壊が混在して現れるのが一般的です。接着面積全体に占める凝集破壊部分の面積の比率を凝集破壊率と言います。筆者が測定した多数のデータと長年の経験から、凝集破壊率が40%以上確保されていれば、強度ばらつきが少ない高品質の接着ができていと判断できます。凝集破壊率が40%以下（界面破壊が60%以上）になると、低強度品が頻出するようになり、強度のばらつきが大きくなってきます。

③内部破壊発生開始強度

図1-1-6に示すように、接着部が破断に至る前から、接着部の内部では細かい破壊が繰返し起こっています。これを「内部破壊」と言います。内部破壊がある程度蓄積したところで破断に至ります。筆者の測定例¹⁾では、界面破壊の場合は、破断強度の10%以下の負荷で内部破壊が発生しますが、凝集破壊の

場合は、破断強度の50%以上の負荷で内部破壊が発生しています。内部破壊の点からも、凝集破壊は界面破壊より信頼性が圧倒的に高いことがわかります。

図 1-1-3 接着部における破壊の個所

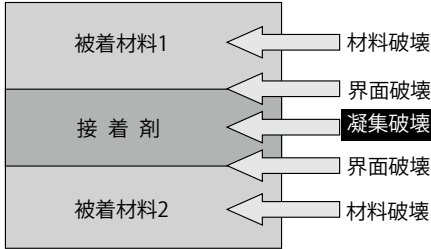
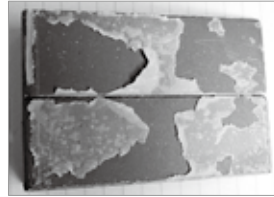


図 1-1-4 凝集破壊と界面破壊の例
(軟鋼同士、接着剤：SGA)



(A) 凝集破壊



(B) 界面破壊

図 1-1-5 金属の表面付近の模式図

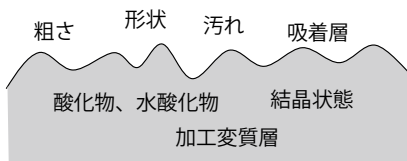
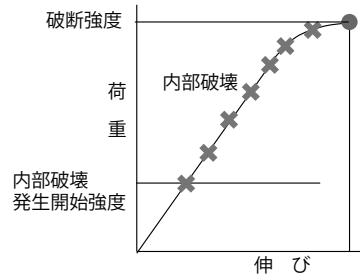


図 1-1-6 破断以前に生じる内部破壊



要点 ノート

接着部の破壊には凝集破壊と界面破壊があり、界面破壊は強度のばらつきが大きく、凝集破壊では強度のばらつきが小さくなります。高品質接着を達成するためには、凝集破壊率を40%以上確保することが必須の条件です。

高品質接着達成のための基本条件② ばらつきが小さいー変動係数 C_v ー

①接着強度のばらつきの指標ー変動係数 C_v ー

接着強度のばらつきを表す指標としては、一般に標準偏差 σ が用いられますが、平均値 μ が異なる複数の系のばらつきを比較するには不便です。そこで、平均値 μ に対する標準偏差 σ の割合を示す変動係数 C_v ($=\sigma/\mu$) を用います。

図1-1-7(左)は、2種類の接着剤のせん断接着強度の度数分布と変動係数 C_v の比較の一例です。測定はせん断試験です。いずれの接着剤も平均強度は非常に高いですが、ばらつきの程度は大きく異なっています。2液アクリルは強度のばらつきが少なく、変動係数 C_v は0.03 (3.05%) と非常に小さいですが、1液エポキシでは、強度のばらつきが大きく、変動係数 C_v は0.19 (19.36%) と大きくなっています。

図1-1-7(右)は、図1-1-7(左)の横軸を凝集破壊率に変えた場合の度数分布の比較です。変動係数 C_v が小さい2液アクリルではほぼ完全な凝集破壊を示していますが、変動係数 C_v が大きい1液エポキシではほぼ完全な界面破壊となっています。このように、凝集破壊率と接着強度の変動係数 C_v には相関関係があります。

②変動係数 C_v はどのくらいに抑える必要があるか

図1-1-8は、変動係数 C_v と強度ばらつきの大きさの関係を示したものです。試料数が多くなるほど、ばらつきの範囲は大きくなります。破線の曲線は、試料数が1,000万個の場合に、下から3番目に低強度のもの（要求される工程能力指数が1.67の場合の合格品の最低強度）の値を示しています。変動係数 C_v が0.10の場合は、平均値の50%の強度となります。この点から、ばらつきが小さく品質に優れた状態を確保するには、変動係数 C_v は最低限0.10以下であることが必要と言えます。

最近では、合格品の最低強度が平均値の70%以上であることが要求される場合も多く、この場合は、変動係数 C_v を0.06以下に抑える必要があります。なお、界面破壊では、変動係数 C_v が0.2を超える場合も頻出しますが、これほどばらつきが大きくなると、統計的に扱うことが困難な状態となり、品質を論じることでもできなくなってしまう。