I 材料技術

3. 新素材（高分子）「最新の接着剤と接着技術の動向」—異種材料の接着—

若 林 一 民*

New Material (Polymer) [New Trend of Adhesives and Adhesion Technology]
—Adhesion of different materials—

by WAKABAYASHI Kazutami*

キーワード：構造接着，構造用接着剤，異種材料の接着，海島構造，SGA，くさび破壊接着強さ，化成処理

3.1 はじめに

接合の一手段として接着剤接合（接着）が注目されている。この背景には、構造材料として金属主体から、軽量化を目的にプラスチック材料の使用が増えているからに他ならない。

プラスチック材料としては、ポリプロピレン，ポリアミド（ナイロン）及び複合材料（G-FRP や C-FRP）である。

金属（鋼材）同志の接合で、最もポピュラーに使用されている接合方法は溶接であるが、金属とプラスチックのような異種材料の接着には適用できない。

接着剤接合は、金属表面やプラスチック表面の適正な表面処理さえ行えば、構造強度にも匹敵する接着強さが出せる。

そして接着強さは接着面積によって強度を保持するために、溶接などの接合部に集中する応力を接着面積に分散させることが出来る。このような視点で接着を見るならば良いことづくめに見えるが、欠点もある。

特に構造材料の接着に使用される構造用接着剤は接着剤接合部の解体が困難であるとの欠点を持つ。近年では解体技術も開発されつつあり、一部の業界では使用されている。

表1は接着剤接合の長所及び短所をまとめたものである¹⁾。接着剤接合の長所及び短所を理解してこれを接合部の設計に生かすならば、重宝な接合技術であると考ええる。

表1 接着剤接合部の長所および短所¹⁾

長所	短所
(1) 異種材料の接合が可能である	(1) 被着材の表面処理が必要な場合がある
(2) せん断方向の応力に強い	(2) 剥離方向の応力に弱い
(3) 応力を均一に分布させる	(3) 接合部の解体が困難である
(4) 表面を平滑にして、美観を与える	(4) 硬化収縮により内部ひずみが発生することがある
(5) 気密・水密が出来る	(5) 接着の耐久性が不明である
(6) 重量を軽くする	(6) 接着剤の選定が難しい
(7) 疲労強さを増大する	

3.2 構造用接着剤による接合（構造接着）

従来、構造体といえば、金属材料による構成が主体であり、接合方法は溶接，はんだ付け，ろう接，ビス止め，ボルト止めなど接着剤接合以外の方法が採られていた。

近年の材料傾向として、ポリプロピレンやポリアミド（ナイロン）のような熱可塑性のエンジニアリングプラスチックや G-FRP や C-FRP のような複合材料が金属材料にとって代わり、構造体の一部に使用される傾向にある。

これらのプラスチック材料の使われ方は、その接合において同種材料の場合はもちろんのこと、金属及び異種プラスチックとの複合化が行われ、要求される性能は構造的なものになっている。ここに接着剤接合がクローズアップされる所以がある。

接着剤接合は、その過程において被着材（接着される材料）の表面処理，接着設計，接着剤の選定などが正しく行われるならば、非常に有効に利用できるものであるが、一歩間違えば大きな事故につながるという欠点を持っている。特に構造接着のように高性能を要求される用途においては、なおさらである。

3.2.1 構造接着及び構造用接着剤とは

国際標準である ISO（International Organization for

表2 米国連邦規格 FS MMM-A-132B（抜粋）²⁾

試験項目	試験条件	タイプ I			タイプ II	タイプ III	タイプ IV
		クラス 1	クラス 2	クラス 3			
引張せん断強さ (MPa)	24±2.8℃	37.73	24.01	20.58	18.82	18.82	18.82
	82±2.8℃, 10分	18.82	13.72	13.72	—	—	—
	149±2.8℃, 10分	—	—	—	15.44	13.72	13.72
	149±2.8℃, 192時間	—	—	—	15.44	13.72	13.72
	260±2.8℃, 10分	—	—	—	—	12.69	12.69
	260±2.8℃, 192時間	—	—	—	—	—	6.86
	-55±2.8℃, 10分	37.73	24.01	20.58	18.82	18.82	18.82
	24±2.8℃ (49±2.8℃ 95% RH 30日後)	30.87	22.34	18.82	18.82	17.15	17.15
	24±2.8℃ (21±2.8~27±2.8℃ 浸せき ⁽¹⁾ 7日後)	30.87	22.34	18.82	18.82	17.15	17.15
	T はく離強さ (kN/m)	24±2.8℃	8.8	3.5	—	—	—
ブリストア試験 (MPa)	24±2.8℃	30.87	22.34	—	—	—	—
疲労強さ	24±2.8℃	5.12 MPa で 10 ⁶ サイクル					
クリープ破壊	24±2.8℃, 10.98 MPa	192 時間後のクリープ変形 0.381 mm 以下					
	82±2.8℃, 5.49 MPa	192 時間後のクリープ変形 0.381 mm					
	149±2.8℃, 5.49 MPa	—	—	—	192 時間後のクリープ変形 0.381 mm		
	260±2.8℃, 5.49 MPa	—	—	—	—	—	192 時間後のクリープ変形 0.381 mm

注 (1) 浸せき液：JP-4（ジェットエンジン油）、不凍液、作動油、標準試験油

原稿受付 平成24年4月1日
* エービーエス リサーチ APS Research

Standardization) の用語説明によれば,「長期間破壊することなく,その最大破壊荷重に比較的近い応力を加えることのできる信頼性の保証された接着」を構造接着と呼び,「信頼性の保証された接着剤」を構造用接着剤と呼んでいる。

接着の用途を性能面で追及していくと,最終的には構造接着にいきつくものと思えるが,一体構造用として使用に耐えるにはどのような性能が必要であろうか,これには世界各国の個々の用途に応じたスペック(規格)が数多くあるが,なかでも米国連邦規格 FS-MMM-A-132B は航空機のように高性能で高耐久性を要求される部材の接合に使用される接着剤を評価するときの有名な規格である²⁾。

この表からわかることは,標準タイプであるタイプ I クラス 1 においては,せん断強さと剥離強さのバランスがとれていることである。

そして耐熱性によりタイプ II,タイプ III,タイプ IV のランクがあり,タイプ IV は瞬時の耐熱性のみならず,耐熱耐久性にも優れたクラスである。

試験のための応力のかけ方は,引張りせん断及び T 剥離の方向が基準になる。

3.2.2 構造用接着剤の種類

従来の構造用接着剤と呼ばれたものを組成的に整理してみるならば,熱硬化性樹脂とエラストマーからなる複合形の接着剤が主体である。

従来の文献を整理してみると,熱硬化性樹脂としてはエポキシ樹脂やフェノール樹脂が使用されているが,一般的にせん断応力に強く剥離応力に弱い。

逆にエラストマーは剥離応力に強く,せん断応力に弱い。

エラストマーとしては,ポリアミド(ナイロン),ポリスルファイド,シリコン,ニトリルゴムなどが使用されている。

構造用接着剤と呼ばれるものは,あらゆる環境において,せん断応力及び剥離応力の両者に優れた性能が要求される。そのためには熱硬化樹脂・エラストマーの系が必要になる。

表 3 は従来から構造用接着剤と呼ばれている接着剤系の種類と性質をまとめたものである^{3,4)}。

また表 4 は構造用接着剤のなかでも最も高性能を要求される代表的な航空機構造用接着剤の性能である⁵⁾。

構造用接着剤の組成に関する考え方であるが,熱硬化性樹脂とエラストマーを複合化した系の電子顕微鏡写真で海島構造が確認されてから,構造用接着剤の組成を設計する時に,硬化皮膜の電子顕微鏡で海島構造が確認されるような設計をして,強靱化を図る方法がとられている。

(1) エポキシ樹脂の変性

熱硬化性樹脂であるエポキシ樹脂にエラストマーとしてハイカー CTBN (C-NBR) を添加して化学反応させて強靱化するエポキシ樹脂の変成方法がある。同様の方法で,エラストマーとしてポリウレタン,ポリスルファイドおよびシリコンなども使用されている。

表 5 はエポキシ樹脂・ハイカー CTBN 系の性能を示したものである⁶⁾。

またエポキシ樹脂・コア/シェルアクリル微粒子あるいはコア/シェル NBR 微粒子のように,ブレンドにより

エポキシ樹脂・エラストマー系の海島構造(図 1)を作る方法も開発されている^{7,8)}。

(2) 第二世代のアクリル系接着剤 (SGA---Second Generation of Acrylic Adhesive)

公開特許,文献等から SGA の組成を調べると,エラストマー,アクリルモノマー,硬化触媒,硬化促進剤,安定剤等からなっている。

電気化学工業株式会社が開発した SGA は二液タイプで

表 3 従来の構造用接着剤の種類と性質^{3,4)}

接 着 剤	形 状	価 格	硬 化	せん断 (psi)	衝撃	はく離	クリープ	耐溶剤	耐 熱	低温
ポ キ シ	液 or テープ 1 or 2 液	高	R. T. 18hrs 330°F. 60分	5,000	不可	不可	良	良	180°F	不可
ポキシ- フェノリック	テープ, 液	高	330°F. 60分 加圧	3,000	不可	不可	良	良	500°F	良
ポキシ- ポリアミド	2 液	高	R. T. 3~5 日 400°F. 3~5 日分 加圧	3,000 ~4,000	中	中	中	中	180°F	良
ポキシ- リスルファイド	2 液	高	R. T. 18hrs 150°F. 20分 加圧	3,000 ~4,000	中	中	中	良	180°F	良
ポキシ- シリコン	テープ	高	600°F. 3~4hrs 加圧	1,500 ~2,000	中	中	中	良	600°F	良
エノリック- クロロレン	液, テープ 1 液	中	350°F. 50分 加圧	2,500 ~3,500	良	良	良	良	350°F	良
エノリック- ニトリル	液, テープ 1 液	中	350°F. 20分 加圧	3,200 ~4,600	良	良	良	良	400°F	良
エノリック- ビニル	液, テープ 1 液	中	300°F. 30分 加圧	2,000 ~5,000	良	良	可	可	180°F	良
リウレタン	液 2 液	高	350°F. 45分 加圧	5,000	良	良	良	良	200°F	良

表 4 代表的航空機構造用接着剤の性能⁵⁾

	クロロレン- フェノリック	ビニル- フェノリック	ニトリル- フェノリック	エポキシ- フェノリック	ナイロン エポキシ	変 性 エポキシ
名 称	Melbord ³⁰³	FM47, II	FM-238	HT-424	FM-1000	AF-126
形 態	Nylon Sup Tape	sup tape	uns film	sup tape	uns film	tape
プライマー	303 Ty II	—	BR-238	—	DR1009-8	EC2320
硬化 (hr)	3/4	2	1	2/3	1	1
硬化 (°C)	166	177	177	166	177	121
硬化条件 (kgf/cm ²)	2.8	14	2.8	2.8	1.7	0.7-3.5
引 (—55°C)	5,430	3,100	4,150	3,225	6,840	5,687
張せ (RT)	2,930	4,900	4,140	3,225	7,200	5,347
りん断 (80°C)	1,620	5,100	2,840	—	3,500	3,207
(psi) その他	—	3,000/121*	1,390/260*	2,000/260*	—	—
T (—55°C)	—	—	4	—	—	28
剥離 (RT)	—	—	45	11	67-80	37
(pli)8(82°C)	—	—	25	—	—	20

表 5 エポキシ樹脂・ハイカー CTBN 系の性能⁶⁾

	クロロレン- フェノリック	ビニル- フェノリック	ニトリル- フェノリック	エポキシ- フェノリック	ナイロン エポキシ	変 性 エポキシ
名 称	Melbord ³⁰³	FM47, II	FM-238	HT-424	FM-1000	AF-126
形 態	Nylon Sup Tape	sup tape	uns film	sup tape	uns film	tape
プライマー	303 Ty II	—	BR-238	—	DR1009-8	EC2320
硬化 (hr)	3/4	2	1	2/3	1	1
硬化 (°C)	166	177	177	166	177	121
硬化条件 (kgf/cm ²)	2.8	14	2.8	2.8	1.7	0.7-3.5
引 (—55°C)	5,430	3,100	4,150	3,225	6,840	5,687
張せ (RT)	2,930	4,900	4,140	3,225	7,200	5,347
りん断 (80°C)	1,620	5,100	2,840	—	3,500	3,207
(psi) その他	—	3,000/121*	1,390/260*	2,000/260*	—	—
T (—55°C)	—	—	4	—	—	28
剥離 (RT)	—	—	45	11	67-80	37
(pli)8(82°C)	—	—	25	—	—	20

図 1 エポキシ樹脂・コア/シェル NBR 粒子系の SEM 写真⁸⁾

ある。この接着剤はA剤とB剤の両方にエラストマー成分を含んでいる。A剤には硬化触媒、B剤には硬化促進剤が配合されている。使用時には二液を専用のスタティックミキサーで混合して、アプリケートされる。

この接着剤の特徴は室温で硬化が可能であることで、熱に弱い被着材料にもアプリケートできる。

表6はSGAと他の反応形接着剤の性能比較である⁹⁾。

(3) ウレタン系構造用接着剤

ウレタン系構造用接着剤には一液タイプのものと二液タイプのものがある。一液タイプのものは、ポリエーテルやポリエステルを骨格として、末端或いは側鎖にイソシアナート基を導入した構造を持つウレタンオリゴマーをベースとして、これに接着性付与のための少量の樹脂と無機充填剤により変性したものである。

このタイプの接着剤は通常カートリッジあるいはチューブで供給され、アプリケートされることにより空気中の水分あるいは被着材表面の水分で硬化する。

二液タイプのものは主剤と硬化剤に分かれるが、主剤成分はポリエステルあるいはポリエーテルのイソシアナート変性オリゴマーをベースとし、硬化剤成分であるポリオールで硬化される。

表6 SGAと他の反応形接着剤の性能比較⁹⁾

性能項目	接着剤	FGA	SGA	嫌気性接着剤	シアノ系接着剤	エポキシ系接着剤	ウレタン系接着剤
せん断強さ (kgf/cm ²)		160~197	170~183	42~56	不可	53~70	0
油面軟鋼板相互							
油面軟鋼板		46~63	197~211	不可	不可	70~85	50~70
177℃、30分ヒートサイクル		123~155	169~211	不可	14	127~148	39~46
軟鋼板 (溶剤脱脂)		211~260	232~247	151~181	282	127~148	46~74
軟鋼板 (サンド処理)		261~282	240~254	不可	211	141~170	123~144
アルミ板 (サンド処理)		63~127	141~155	67~109	70	113~127	26~28
アルミ板 (溶剤処理)							
衝撃強さ (ft-lb/in ²)							
室温 (20℃)		10~20	14~16	3~5	3~5	10~12	5~11
-29℃下で		3.5~4.5	10~14	不可	不可	3~5	2.5~3
-18℃下で		5~8	11~14	不可	不可	5~6	2.5~3.5
82℃下で		10~20	11~13	不可	不可	5~6	4~5.5
T型はく離強さ (kgf/25mm)							
軟鋼板 (溶剤処理)		11~12	11~14	0.7	不可	2.3~4.5	13~14
アルミ板 (サンド処理)		3.6~7.3	11~14	0.5	不可	6.8~9	16~17
固着時間(セットタイム)(分)		120	2~4	1	0.5	120~180	15

表7 接着強さ試験項目及び被着材の試験方法¹⁰⁾

試験項目	試験方法	被着材の種類							
		金属	金属-金属	プラスチック	セラミックス	FRPなど	ゴム	木材	繊維
引張接着強さ	JIS K 6849(接着剤の引張接着強さ試験方法)	○	○	○	○	○	○	○	○
引張せん断接着強さ	JIS K 6850(接着剤の引張せん断接着強さ試験方法)	○	○	○	○	○	○	○	○
	JIS K 6851(接着剤の木材引張せん断接着強さ試験方法)							○	
	JIS K 6868-2(接着剤一構造接着のせん断挙動の測定—第2部: 厚肉被着材を用いた引張試験方法)	○	○	○	○	○	○	○	○
圧縮せん断接着強さ	JIS K 6852(接着剤の圧縮せん断接着強さ試験方法)	○	○	○	○	○	○	○	○
前設接着強さ	JIS K 6853(接着剤の前設接着強さ試験方法)	○	○	○	○	○	○	○	○
はく離接着強さ	JIS K 6854-1(接着剤—はく離接着強さ試験方法—第1部: 90度はく離)	○	○	○	○	○	○	○	○
	JIS K 6854-2(接着剤—はく離接着強さ試験方法—第2部: 180度はく離)	○	○	○	○	○	○	○	○
	JIS K 6854-3(接着剤—はく離接着強さ試験方法—第3部: T形はく離)	○	○	○	○	○	○	○	○
	JIS K 6854-4(接着剤—はく離接着強さ試験方法—第4部: 浮動ローラー法)	○	○	○	○	○	○	○	○
衝撃接着強さ	JIS K 6855(接着剤の衝撃接着強さ試験方法)	○	○	○	○	○	○	○	○
	JIS K 6865(接着剤—高強度接着接合の衝撃条件下における動的割裂抵抗性試験方法—くさび衝撃法)	○	○	○	○	○	○	○	○
曲げ接着強さ	JIS K 6856(接着剤の曲げ接着強さ試験方法)	○	○	○	○	○	○	○	○
クリープ破壊接着強さ	JIS K 6859(接着剤のクリープ破壊試験方法)	○	○	○	○	○	○	○	○
くさび破壊接着強さ	JIS K 6867(接着剤—構造接着接合品の耐久性試験方法—くさび破壊法)	○	○	○	○	○	○	○	○
ねじり接着強さ	JIS K 6868-1(接着剤—構造接着のせん断挙動の測定—第1部: 突合せ接合中空円筒ねじり試験方法)	○	○	○	○	○	○	○	○
疲れ接着強さ	JIS K 6864(接着剤—構造用接着剤の引張せん断疲れ特性試験方法)	○	○	○	○	○	○	○	○

備考 表1中の○印は、適用試験項目を示す。

なお、被着材の異種の組合せ及び表1以外の被着材との組合せの接着強さ試験は、表1に準じて行うものとす。

ウレタン系構造用接着剤は、特にプラスチックの接着に有用で、エンジニアリングプラスチックやFRP(複合材料)の接着、或いは木材の接着に有用である。

市販品には一液形と二液形があるが主体は二液形で、専用のアプリケータと組み合わせて使用されることが多い。

3.2.3 構造接着及び構造用接着剤の評価

構造用接着剤の接着強さの測定には日本工業規格であるJIS K 6848(接着剤—接着強さ試験方法)が適用される。

表7は接着強さ試験項目及び被着材の試験方法をまとめたものである¹⁰⁾。

特に構造用接合部に重要な試験方法として、以下のものがある。

- ・衝撃接着強さ JIS K 6855(接着剤の衝撃接着強さ試験方法)
- ・衝撃接着強さ JIS K 6865(接着剤—高強度接着接合の衝撃条件下における動的割裂抵抗性試験方法—くさび衝撃法—)
- ・くさび破壊接着強さ JIS K 6867(接着剤—構造接着接合品の耐久性試験方法—くさび破壊法—)
- ・ねじり接着強さ JIS K 6868-1(接着剤—構造接着のせん断挙動の測定—第1部: 突合せ接合中空円筒ねじり試験方法)
- ・疲れ接着強さ JIS K 6864(接着剤—構造用接着剤の引張りせん断疲れ特性試験方法)

3.3 異種材料の構造接着

金属とプラスチック材料のような異種材料の接合に接着剤接合(接着)は重宝な接合方法である。しかし重要なことは被着材の表面処理である。

表面処理の目的は二つある。

- (1) 被着材表面の汚染物を取り除き、清浄にする。
- (2) 被着材表面を物理的、化学的方法により改質する。

金属表面やプラスチック表面は表8に示すような汚染物で汚染されている。この汚染物を取り除いて接着に供することが重要である¹¹⁾。そして表9は表面処理の手法につ

表8 金属、プラスチック表面の汚染物¹¹⁾

金 属	プラスチック
汚染物	汚染物
吸着ガス	吸着ガス
機械加工油	離型剤
炭化物	低分子量のポリマー
水酸化物	低分子量の添加剤
酸化物	(酸化防止剤)
加工変質層	(可 塑 剤)

表9 表面処理の手法¹²⁾

手 法	操 作
1. 洗 浄	水や有機溶剤に浸漬、スプレーなどで付着している異物を除く。
2. 研 磨	研磨紙などにより機械的に付着している異物を除く。
3. 薬品処理	酸、アルカリ、酸化剤などを用いて表面の異物を除くのと同時に、親和性のある表面とする。
4. 活性ガス処理	活性のガスを用いて表面の異物を除くのと同時に、親和性のある表面とする。
5. プライマー処理	接着剤との仲立ちをするプライマーを塗布して親和性のある表面とする。

表10 金属の化成処理方法¹³⁾

金 属	処 理 方 法
鉄	a) 濃硫酸／水を 1/1 (重量比) に希釈した液に室温で5～10分間浸漬、水洗、乾燥。 b) 濃塩酸／水を 1/1 (重量比) に希釈した液に室温で5～10分間浸漬、水洗、乾燥。 c) 正リン酸 (88%)／メタノールを 5/9 (容量比) に混合した液に 60℃/10分間浸漬、冷水水下で表面付着した黒化膜をブラシで取り、乾燥する。
ステンレス	a) しゅう酸／濃硫酸／水を 10/10/80 (重量比) で混合した液に 60℃/30分間浸漬、冷水水下で表面に付着した黒化膜をブラシで取り、乾燥する。 b) 濃塩酸／水を 30/70 (重量比) に希釈した液に室温で15分間浸漬、水洗、乾燥する。
銅・銅合金	a) 塩化第二鉄液 (42%)／濃硝酸／水を 15/30/200 (重量比) で混合した液に室温で1～3分間浸漬、水洗、乾燥する。 b) 過硫酸アンモニウム／水を 25/27 (重量比) で溶解した液に室温で1～3分間浸漬、水洗、乾燥する。
チタン	a) 硝酸／フッ酸／水を 3/25/972 (重量比) で混合した液に室温で15分間浸漬、冷水で洗浄、ついで、無水クロム酸／水を 5/95 (重量比) で溶解した液に 60～70℃/5分間浸漬、水洗、乾燥する。
アルミニウム	a) 重クロム酸ソーダ／濃硫酸／水を 10/100/300 (重量比) で混合した液に 60℃/10分間浸漬、水洗、乾燥する。

表11 プラスチックの SP 値¹⁴⁾

種 類	SP 値
ポリアミド (6/6)	13.6
フェノール樹脂	11.5
ポリカーボネート	9.8
エポキシ樹脂	9.7
ポリ塩化ビニル	9.5
ポリ酢酸ビニル	9.4
ポリメチル メタアクリレート	9.0
ポリスチレン	8.6
ポリプロピレン	8.1
ポリエチレン	7.9
テフロン	6.2

いてまとめたものである¹²⁾。

3.3.1 金属の表面処理

金属の表面は表8に示すような汚染物で汚染されている。これらの汚染物は洗浄や研磨などの方法で除去することが出来るが、構造接着においてはこれだけでは不十分で、化成処理が必要である。

金属の表面特性はその酸化被膜によって大きく支配される。接着に好ましい酸化膜は、鉄鋼では FeO, アルミニウムでは $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 銅では Cu_2O , チタンではアナターゼ形と言われている。

油脂類などの有機汚染物は接着阻害物として接着剤による金属表面のぬれに影響し、単分子層以上の厚さで存在すると、それが弱い境界層となる。いずれの吸着汚染物も接着直前に除去する必要がある。

機械加工された金属表面はかなりの表面ひずみを生じている。ひずみ領域は凝集力が弱く、弱い接着力の原因になる。

実際に行われる表面処理の方法は、面あらし、錆とり、脱脂、化成処理である。

非構造用途の場合は、脱脂及び錆とりのためのサンディング程度であるが、構造用途においては化成処理が必須である。

表10は主なる金属の化成処理の方法をまとめたものである¹³⁾。

表12 表面処理法¹⁵⁾

1. 放電処理コロナ	1～30kVの電圧を印加して放電し、表面を活性化、分子切断。	極性基(-CO, -COOH, -OH)、二重結合	濡れ強力アップ、接着性、印刷性	PE, PP, PET
2. 放電処理プラズマ	10 ⁻⁴ ～10mmHgのグロー放電、コロナよりも強処理、分子切断。	架橋、ラジカル、エッチング	接着性、グラフト化、表面架橋	PET, PE, PVC
3. 火炎処理	火炎の酸化炭素の部分をあてて、表面を酸化する。	極性基(-CO, -COOH)	接着性、印刷性	PP, PE (あまり使わない)
4. 紫外線処理	真空中で紫外線を照射する。分子切断。	極性基(-CO, -COOH)、ラジカル	接着性、グラフト化	あまり使わない (照射時間長い)
5. 電子線、放射線処理	50～500keVの電子線を0.1～5 Mrad照射。分子切断、ラジカル生成。	ラジカル、架橋	グラフト化、架橋	あまり使わない (価貴大、コスト高)
6. 化学薬品処理	表面と薬品との化学反応を利用。反応時間が必要。	極性基、ラジカル	接着性、塗装性、印刷性	PP, PE (最近使わない)
7. 物理的粗面化処理	表面に物理的に凹凸をつける。サンドブラスト、エンボス処理。	物理的凹凸	アンカー効果	マット化フィルム、ンボスフィルム
8. 表面塗布法 (コーティング)	プライマー、ポリマー溶液を塗布、乾燥する。	コーティング物質	接着性、特殊な効果	ポリ塩化ビニリデン、PP, PET など

PE: ポリエチレン, PP: ポリプロピレン, PET: ポリエステル

表13 プラスチックへの化成処理の方法¹⁶⁾

プラスチック	処 理 方 法
PE, PP	a) 重クロム酸カリ／濃硫酸／水を 75/1,500/120 (重量比) で混合した液に 70℃/1～10分間浸漬、水洗、中和、水洗、乾燥する。
POM	a) ポリオレフィンと同じ液に室温/5～30秒間浸漬、水洗、中和、水洗、乾燥する。 b) ケイ酸土／バトリルエンスルホン酸／ジオキサン／パークロルエチレンを 0.5/0.3/3/96 (重量比) で混合した液に 80℃/10～30秒間浸漬、100℃/1分間加熱、水洗、乾燥する。
PTFE	a) 金属ナトリウム／ナフタリン／THF 系の処理液に室温で5～10分間浸漬、アセトン、水で水洗乾燥する。 b) テトラエッチ液 (濃工社) で処理する。
PET	a) 20% カセイソーダ液に 80℃/5分間浸漬、水洗した後、塩化第1銀液 (10 g/l) に室温/5～10秒間浸漬、水洗、乾燥する。
PA	a) レゾルシノール樹脂接着剤 (木工用) をプライマーとして塗布、焼き付ける。

3.3.2 プラスチックの表面処理

(1) プラスチック表面の洗浄

プラスチックの表面は金属の表面と同じく、ゴミ、ホコリ、油脂類、吸着ガスなどで汚染されている。中でもプラスチック成型時に塗布する離型剤や、プラスチック配合剤のブリードによる汚染は接着強さを支配する重要なファクターである。

これらの汚染物を取り除くには、水や有機溶剤により洗浄やこれらをしみ込ませた布で拭き取るが、重要なことはこれらの溶剤により、プラスチックの表面が溶解しないものを選ぶことである。

(2) プラスチック表面の研磨 (サンディング)

金属の場合と同じく、サンドブラストやグリッドブラストで表面をあらし、表面積の拡大及び活性点の露出をはかることを目的とする。

サンドペーパーの粒度については、一般には100～400番位のもが使用されているが、適用される接着剤にも影響されるために、実験値をとるのが最良である。

作業場で最も重要なことは、サンディング後の粉状物の処理で、高圧エアーで飛ばした後、溶剤洗浄するとよい。

(3) プラスチック表面の極性を変える。

プラスチック表面の極性は接着の良否を決定づける重要なファクターである。一般に極性の小さいプラスチックは接着しづらく、表面改質のための表面処理が必要である。

表11は主なプラスチックの SP 値をまとめたものである¹⁴⁾。極性の他に接着の良否を決定づけるファクターとしては結晶性があり、ナイロンのように極性が高くても接着しづらいプラスチックもある。

プラスチックの極性を変える方法としては物理的、化学

表14 プライマーの種類と用途¹⁷⁾

プライマー	被着材	接着剤
シラン化合物 シラン化合物 チタネート	ガラス繊維 シリカ粉末 無機粉末	エポキシ、ほか エポキシ、ほか エポキシ、ほか
エポキシ樹脂 アミノシラン エポキシベースレジン メルカプトシラン 電解重合膜 含水有機リン酸化合物	TFS 銅板、SUS 銀メッキリードフレーム SUS SUS	PA系HMA エポキシ、ほか エポキシ樹脂 エポキシ成形材料 エポキシ アクリル (SGA)
RFラテックス RFレジン フェノール類 ポリウレタン 金属キレート アクリルグラフト CR ポリウレタン シラン化合物	ナイロン繊維 ポリアミド ポリアミド 軟質 PVC PP など 軟質 PVC FRP プラスチック	ゴム エポキシ エポキシ、ほか エポキシ シアノアクリレート CR ポリウレタン シリコン

的方法が多くあり、まとめれば表12¹⁵⁾のようになる。そして
化成処理の手法をまとめたものが表13である¹⁶⁾。

(4) プライマー塗布による表面処理

被着材の表面にプライマーを塗布するだけで表面改質
する方法である。表14にプライマーの種類と用途について
まとめた¹⁷⁾。

3.4 あとがき

「最新の接着剤と接着技術の動向」、特に「異種材料の接
着」と題して小文をまとめた。

近年特に構造接着（構造用接着剤による接合）に対する
ニーズが高まっている。この背景であるが、あらゆる製品
において構造強度を落とすことなく軽量化が要望されて
おり、プラスチック材料、特に複合材料（C-FRP、G-FRP）
の使用が増える傾向にある。

従来構造材料として金属材料が圧倒的優位性を持って
使用されてきたが、プラスチック材料の構造強度が上が
り、金属材料の一部がプラスチック材料（複合材料）にお
きかえられつつある。当然のことながら金属材料とプラス
チック材料（複合材料）の接合が増える。

従来の金属材料の接合に最も優位性を持って使用され
た溶接が異種材料の接着に使用できず、接着剤による接合
（接着）に頼らざるを得ない状況が生まれている。

今後この傾向には益々拍車がかかるものと予測される。

異種材料の構造接着を考えたときに、最も重要なことは

表15 現在実用化されている解体性接着技術¹⁸⁾

名 称	タイプ	・ 解体因子	解体操作	用 途	開発・製造元
熱硬化・熱可塑性接着 剤	熱可塑性	硬化・溶融	加熱	リワーク性 LSI アンダーフィル	ナガセ・ケムテック ス、ロックタイト
膨張性マイクロバール ン混入接着剤	水性エマ ルシオン	マイクロバール ンの膨張	加熱	建材	松下電工・コニシ
吸湿剥離接着剤	熱可塑性	接着剤の吸湿 および軟化・溶融	温水浸漬	金属モール	化研テック
電磁誘導・熱可塑性接 着剤テープ	熱可塑性	軟化・溶融	電磁誘導加熱	建材接合	東京電機大学・アキ レス・コニシ
吸水性樹脂混入接着剤	熱硬化性	吸水性樹脂の膨張	水浸漬	金属モール	東京工業大学
沸騰水剥離接着剤	熱可塑性 (反応形)	接着剤の吸湿およ び軟化・溶融	沸騰水浸漬	シリコンウエハ 仮固定	ロックタイト・日化 精工
奥行き強度接着剤	溶剤型	力学的剥離 (ピール)	負荷	ダンボール箱仮 固定	富士ゼロックスオ フィスサプライ
通電剥離接着剤	熱硬化性	界面における化学 変化	通電	航空宇宙	EIC
膨張性マイクロバール ン混入粘着テープ	粘着剤	マイクロバール ンの膨張	加熱	シリコンウエハ 仮固定	日東電工
紫外線発泡粘着テープ	粘着剤	ガス生成・界面へ の蓄積	紫外線照射	シリコンウエハ 仮固定	積水化学
脆性化粘着テープ	粘着剤	接着剤の脆性化	加熱、エー ジング	シリコンウエハ 仮固定	S&N
力学的剥離粘着テープ	粘着剤	力学的剥離 (せん断)	負荷	日用品接合	3M, TESA

被着材の表面処理で、如何に接着に適した表面を提供でき
るかが、構造接着の重要な要素になる。

今後、簡便で信頼性の高い被着材の表面処理方法が確立
されることを願いたい。

接着の欠点の一つに解体が困難なことがあげられる。こ
こでは解体性について詳細に触れることが出来なかった
が、現在実用になっている解体性接着技術を表15にまとめ
た¹⁸⁾。

文 献

- 1) 若林一民；接着管理（上），高分子刊行会，2（1990）
- 2) 柳沢誠一；接着と接着剤選択のポイント，日本規格協会，63（2008）
- 3) 中尾一宗；接着情報，7，(2)，[6]
- 4) 永田宏二；工業材料，30，(2)，[6]
- 5) 若林一民；接着管理（上），高分子刊行会，120（1990）
- 6) Structural Adhesive Selector Guide, 1991, FM-73, American Cyanamid Company
- 7) 特許第 4416046 号：横浜ゴム株式会社
- 8) 日本接着学会編；接着の技術，29，2，17（2009）
- 9) 若林一民；接着管理（上），高分子刊行会，120（1990）
- 10) JIS ハンドブック29接着，日本規格協会，128（2009）
- 11) 柳原栄一；ここまできた接着技術，工業調査会，60（2003）
- 12) 柳原栄一；接着のトラブル対策，日刊工業新聞社，49（2006）
- 13) 柳原栄一；接着の技術，23（1），7（2003）
- 14) 若林一民；接着管理（下），高分子刊行会，238（1992）
- 15) 若林一民；接着管理（下），高分子刊行会，237（1992）
- 16) 柳原栄一；接着の技術，22（3），6（2002）
- 17) 柳原栄一；接着のトラブル対策，日刊工業新聞社，50（2006）
- 18) 日本接着学会編；接着の技術，Vol.27，1，6（2007）