< 綜 説 >

(受理：平成 17 年 5 月 18 日)

構造接着の最新動向と新機能
ー接着の新規機能を探るーA Trend of Structural Adhesions and New Function of
Adhesives Search for New Functions of Adhesions

宮入 裕夫*

Hiroo MIYAIRI

1. ま え が き

近年、構造用接着剤の機能と性能の急速な進歩に伴い、構造分野での接着剤の開発は軽量化、コンパクト化といったニーズに応えるべく、飛躍的な発展を遂げてきた。特に接着接合は軽量の接合法であることに加え、簡便かつ、さまざまな接合法の組合わせ技術によって、接着接合は新規接合法の新規技術の開発といった形で、その応用範囲も広い分野に繰り広げられている。

したがって、このような状況の中にあって、接着剤の速硬化性、接着の操作性・簡便性などの技術開発は、接着剤の高機能化技術として多くのユーザーが期待している。特に接着剤の高機能化は、従来高温環境下での接着といった大きな課題を掲げ、その開発が進められてきたが、最近でもこのような接着剤の機能に加え、構造接着の高機能化はさらに広いニーズに応えるべく、さまざまな新規技術の展開が繰り広げられている。しかも、最近ではこのような接着の高機能化に加え、地球資源の有効利用が社会的ニーズとして掲げられ、接着産業においても廃棄物の有効利用といった形で、大型接着構造物の解体技術の開発をはじめさまざまな産業分野に大きな波紋を投げかけている。しかも、このような問題は材料設計の新しい考え方として、材料の寿命を考慮し、材料使用に関する LCA の思想を導入することによって、素材産業のみならず、加工産業にもこのような材料設計の新しい指針が与えられている。

一方、このような状況に加え、地球環境問題に始まるいわゆる「環境問題」が産業基盤の根底を支える素材産業を中心に大きな問題となっている。特に接着関係では、まず溶剤型接着剤に始まった環境問題が、塗料産業にも拡張され、また木材接着、室内装飾を対象とする「シックハウス問題」などは住宅産業にまでも大きな波紋を投げかけている。このようなことから最近では大型構造物の接着を対象とする産業分野にも接着の環境問題は大変重要な問題となっている。

そこで、このような対応が早急に解決しなければならない状況の中で、将来の新規接着技術の展開について「資源の活用」と「環境」なども含めた接着の高機能化を構造接着の高機能化の一環と捉え、接着の新規技術について検討したいと考えている。

2. 構造接着の高機能化

2.1 機能性接着剤

構造接着に対するニーズは、厳しい環境での使用に耐える優れた特性を有することである。しかし、そのよう

宮入 裕夫

略歴：昭和42年3月 東京工業大学
大学院 理工学研究科 博士
課程（機械工学専攻）修了
平成15年4月 東京医科歯科
大学名誉教授（生体工学研究
所）
平成15年4月 東京電機大学
工学部教授現在に至る
趣味：読書、スキー、山登り

* 東京電機大学工学部
東京都千代田区神田錦町 2-2 〒101-8457
Faculty of Engineering, Tokyo Denki University
2-2, Kandanishiki-cho, Chiyodaku, Tokyo 101-8457, Japan

なことに加え構造接着は振動、衝撃などの厳しい荷重状況に耐えるものでなくてはならない。このようなことから構造接着に期待する特性は従来にも増して、さまざまな要求が掲げられている。そこで、このような状況を調べるために、まず接着剤に期待されている機能的特性について考える。接着剤に期待される機能特性は一般の工業材料などに期待される機能特性とは異なり、接着剤には次に掲げるようなさまざまな機能がある

- 1) 接着剤として硬化する過程での接着機能の活用
- 2) 硬化した接着剤素材の機能特性の活用
- 3) 硬化過程での接着機能と接着硬化物の材料特性との活用

機能性接着剤といわれている接着剤の機能的特性はここに掲げたいずれかに属する機能を有するが、このような接着剤の機能が接着の用途拡大に関し大きな鍵を握っている。したがって、すべての接着剤はここに示される機能的特徴を活用し、さまざまな用途に使用されているといつてよい。表1は機能性接着剤の基礎となる接着の硬化機能と接着硬化物の物性との関係をまとめたもので、このような形で整理すると、接着剤は如何にニーズ指向型の製品であるかが理解できるかと思う。

そこで、このような考えの中でその具体的な例を示すと、高温用接着剤は接着剤の硬化物素材の特性を活用したもので、水中接着剤、油面接着剤などは、接着剤素材の硬化特性を活用したものである。また、紫外線などの光照射により硬化する接着剤はいわゆる、接着剤の硬化機能と硬化物としての機能、さらには接着工程での簡便な操作性などの特殊な機能を有する多機能接着剤であるといつてよい。したがって、何れの接着剤もここに掲げたような接着剤の分類を行うと、機能性接着剤の物性的な検討をする上でも、その全貌が明確になってくる。そ

こで、このように接着剤の機能を考えるとき、接着剤の機能特性も従来のように耐熱性接着剤を高機能接着剤の唯一の機能として捉えるのではなく、接着剤の機能特性をさらに明確にさせることにより、接着剤の機能を詳細に検討することができ、接着剤の機能的特性の開発もさらに新しい展開が可能になると考えている。そこで、このようなことを構造接着について考える。

従来、構造接着用接着剤は厳しい環境に耐える接着剤の開発といった形で、その基盤技術は長年の接着剤開発の歴史の中で構築してきたかと思う。たとえば、耐熱性接着剤をはじめ高温、多湿といった厳しい環境に耐える接着剤や厳しい定温状況に耐える耐寒性接着剤などは良い例といつてよい。しかし、最近では構造接着といえどこのようなニーズに応えるだけでは、構造用接着剤の用途展開は難しい。すなわち、大型構造物への接着接合技術は軽量化、コンパクト化など構造接着のメリットを活用しない限り新規用途の開発はありえない。すなわち、このようなニーズに対する対応が構造接着の用途開発の大きな鍵を握っていると言っても過言ではない。

2.2 構造接着剤の最近の機能性接着剤

図1は機能性接着剤の機能として掲げられている接着剤の硬化機構とその具体的な接着剤を示したものである。接着の硬化機能によって化学反応型と非化学反応型接着剤とに分類すると、ここに示されるように

- 1) 化学反応型接着剤（加熱硬化、常温硬化など）
- 2) 溶剤型接着剤（ゴム系接着剤など）
- 3) 溶融型接着剤（ホットメルト型、接着剤など）
- 4) その他（湿気硬化型、嫌気型、好気型接着剤、光硬化型接着剤など）

と表される。一方では硬化物の物性による接着剤には、先に述べたように

- 1) 熱的特性（耐熱性接着剤、難燃性接着剤、極低温型接着剤など）
- 2) 電気的特性（導電性接着剤、絶縁性接着剤など）
- 3) その他

などがある。このような接着剤の他に医療用接着剤の中でも生体内で使用される接着剤などは生体の中で硬化し、かつ生体に対し親和性を有しまたは生体内に吸収されるような生体分解性など特性が要求されるため、このような分類では接着剤の硬化機能と硬化物の物性に依存する接着剤である。したがって、接着剤の機能特性はここに掲げるような接着剤の機能を整理することによって、新規機能を有する接着剤の開発は可能である。しかし、一方では最近の構造接着剤の開発状況の一例を見ると、最近の接着剤ユーザーが要求する主な接着剤の機能特性には次のようなものがある。

表1 機能性接着剤

接着の硬化機能	接着剤硬化物の物性	
化学反応型接着剤 (加熱硬化型) (常温硬化型)	熱的特性	耐熱特性接着剤 極低温用接着剤 難燃性接着剤
	電気的特性	導電性接着剤 絶縁性接着剤
溶剤型接着剤	界面特性	油面接着剤 水中接着剤(湿潤性)
溶融型接着剤 (ホットメルト型)	光学及び紫外線特性	紫外線硬化型接着剤 電子線硬化型接着剤 可視光線型接着剤
湿気硬化型接着剤 嫌気型接着剤 (好気性)	生体接着剤	歯科用接着剤 医用接着剤 バイオ接着剤

図1 接着剤の種類とその硬化機構

- 1) 接着の短時間化（たとえば、接合材の開発など）
- 2) 表面処理の簡素化（たとえば、油面接着剤の開発など）
- 3) 振動や衝撃に耐える接着（たとえば、弾性接着剤、SGA 接着剤など）
- 4) 新規硬化機構を活用した接着

このような接着剤に対するニーズは、構造用接着剤と言えど、一般の接着剤に求められているニーズと何ら変わるものではない。そのうえこのようなことに加え構造接着は被着材の面積は広く、接着工程に関わる短時間化など、一般の接着剤に比べ、接着剤の機能的特性によるメリットも大きい。したがって、最近では構造接着の分野でも接着の高機能化、高性能化は大きな開発目標になっている。特に短時間接着などは、接着面積の大きい構造接着では生産工程の短縮化のキーテクノロジーとなっている。しかし、構造接着が厳しい負荷状況、使用環境に耐えるためには、このような構造接着の優れた接着強さが大きな柱となっており、それだけに大型接着接合による被着材の有効利用を考えると接着の解体技術、接着工程で放出される廃材の処理や環境汚染なども大きな問題となっている。

3. 資源の有効利用（資源の活用）

機械や構造物の組み立てには、接着接合技術は必須の技術と言っても過言ではない。機械の小型化、コンパクト化、軽量化、構造物の高層化、高機能化はすべて接着接合技術に依存するものである。そのため接着接合技術は

先端的な機械や構造物の開発を支える基盤技術と言って良い。しかし、ボルトやリベットを用いる機械的接合に比べ、接着接合は非可逆的接合のために、機械や構造物を解体する際には、接着接合は大変不利であるばかりでなく、被着材の再利用、再資源化に際しては大変問題のある接合法であると指摘されている。したがって、このような問題を解決するために、まず接着接合の可逆化に関する最近の現状を踏まえ、構造接着の立場から検討を加える。

そこで、接着接合の可逆化に対し、現在どのような手法が考えられているかを次に列挙すると

- 1) 加熱溶融によるはく離技術の開発
(電磁誘導加熱による接着解体技術の開発)
- 2) 吸水能を付与したはく離技術の開発
- 3) 発泡剤の添加によるはく離技術の開発

などが考えられている。しかし、加熱溶融にしても、従来のホットメルト接着剤の熱溶融を活用する方法から接着部を溶融過熱するための、加熱専用の機器を用いた電磁誘導加熱装置も検討されている。しかし、その他には従来のホットメルト接着剤をより高温に耐えるような改良をはじめ、厳しい高温化でも使用できるさまざまな対応が要求されている。また、一方では電磁誘導加熱による接着解体技術をはじめ、接着の解体技術として新しい解体方法、解体手段の技術的な開発など、さまざまな新規技術の開発が繰り返されている。したがって、このような問題を根本的に解決するには、接着界面のはく離現象を観察し、解析することによって接着の基礎に関す

る従来にはなかった新規技術の開発が必要である。そこで、このような接着のはく離に関する最近の情報を踏まえた接着接合に関する被着材の有効利用について、将来を見つめた議論が必要であると考えている。しかし、いずれの技術についても、接着部の剥離、解体は接着接合とはあい矛盾する接着技術であるから、このような研究に対しては従来とはまた異なった視点から研究が要求されている。そこで、このような問題の解決には、具体的には次に示すような基礎的な研究が必要である。すなわち、

- 1) 接着現象の詳細な検討（接着の仕組みの解明も含め）
- 2) 接着の硬化機構と剥離との対応についての検討
- 3) 具体的な剥離現象に対する剥離因子の解明

等が考えられるが、重要なことは接着の機構の解明に接着部剥離の要因を解明するための鍵があるのではないかと考えている。

4. 環境問題（シックハウスなど）

接着接合は天然系の接着剤もあるが、最近では高分子系材料を基礎とする化学反応型接着剤が主流である。特に、ガラス繊維やカーボン繊維などの優れた機械的特性を有する繊維で強化したいわゆるプラスチック系複合材料が構造用材料として広く使用されるようになって、高分子材料の硬化機能を活用した化学反応を基礎とした接着剤が広く用いられるようになってきている。しかし、このような化学反応型接着剤を基礎とする接着には、一液性で汎用性に優れた溶剤型接着剤が広く使用されていることもあって、このような溶剤型接着剤は接着作業場の環境を汚染することが指摘されており、このようなことが接着剤の環境を取り巻く大きな社会問題となっている。そして、このような対応がいわゆる脱溶剤型接着剤への大きな動きであり、溶剤型接着剤に代わる新規接着剤の開発が強く要求されている。しかし、このような環境問題にもさまざまな議論が行われている。すなわち、化学反応型接着剤であれば、モノマーの状態からポリマーの状態に硬化する過程で、何らかの化学物質を大気中に放出するのではないかとということである。このことについては目下わが国でも大気中への化学物質の放出に関しては法的規制が敷かれるようであるが（表2参照）、このようなこともただ国内のことばかりでなく、地球規模での検討が迫られているのである。したがって、このようなことを踏まえて、さまざまな検討が行われており、環境の問題については基本的には溶剤型接着剤からの脱却であろうかと思う。また、この問題は「シックハウス」の問題とも密接な関係があることから、接着に関する産業には大きな問題を提起している。特に構造接着は広い

表2 日本接着剤工業会でノンホルムアルデヒド登録可能な接着剤の種類

酢酸ビニル樹脂系エマルジョン形
ビニル共重合樹脂系エマルジョン形
アクリル樹脂系エマルジョン形
合成ゴム系ラテックス形
エポキシ変性合成ゴム系ラテックス
水性高分子－イソシアネート系
α -オレフィン樹脂系
エポキシ樹脂系
ウレタン樹脂系
変成シリコーン樹脂系
シリル化ウレタン樹脂系
ホットメルト形

接着面積を対象とする接合技術であるだけに、構造接着の用途展開にも重要な鍵を握っている問題である。したがって、このような周辺の状況を考慮する中で、このような「構造接着と環境」との問題については、将来の研究課題として新しい展開が進めて行かねばならないと考えている。

5. 接着剤の新機能の探索

接着剤は一般に機能特性を前面に出して商品開発を行っているニーズ指向型の商品である。たとえば、短時間接着、耐熱性接着剤などはまさに接着の機能を求め開発を行ってきた商品である。また、最近では新素材と呼ぶ多くの素材が、このような機能の開発を目指し、さまざまな材料開発が進められている。そこで、将来の接着剤の開発を目指す接着剤の接着機能の開発について考えると、接着剤に期待される主な機能は下記のとおりである。

- 1) 接着剤の高強度化と優れた接着耐久性の向上
- 2) 接着剤の速硬化性（接着の短時間化）
- 3) 接着操作性の簡素化（硬化速度の制御）
- 4) 接着の環境対応（シックハウスの問題など）
- 5) 被着材の再利用（資源に有効利用、接着の解体性）
- 6) 接着の知能化（知能材料の開発）

このように接着剤の高機能化、多機能化はここに示すようなさまざまな接着産業分野のニーズに応えるべく、それぞれのニーズに応じた接着の機能化が要求されている。従来、接着剤は優れた接着強さと優れた耐久性を有するものであれば、広く実用に供し得たが、このような特性はあくまでも接着剤の基本的な要求特性であって、このような特性に加え最近ではさまざまな機能的特性が接着の多機能化と言った形で強く要求されている。したがっ

て、接着剤の開発に当たってはこのような接着剤の物性や硬化特性などに加え、これからは、「環境」、「省資源、資源の有効利用」といった社会的ニーズへの対応が将来の接着剤の開発には重要な課題となっているだけに、このような接着剤の機能特性は接着剤開発の鍵を握っていると言ってよい。また、接着剤の開発はこのようなニーズを模索することにより用途拡大に必要な製品の軽量化、小型化、コンパクト化など、現在の成形加工産業に強く求められている社会的ニーズに応える手段であると確信している。

6. あとがき

接着剤が製品の組立てや構造物の接合手段として広くその用途を開発している中で、将来の接着技術、接着剤産業の発展を考えたとき、接着接合技術に関する最近の構造接着に対する課題は製品の「軽量化」、「コンパクト化」、「小型化」と言った社会のニーズであると言ってよい。したがって、このようなニーズに応えるためにも接着剤の特性を活用し、構造接着の用途展開を進めていかねばならない。したがって、そのためには、構造接着を対象とする接着特性を向上させることは当然のこと、接着剤を広い接着面積に均等に分散させ、かつ合理的な接着工程の確立など周辺技術との対応も重要である。すなわち、このようなニーズに応えてきたのが接着剤の高機能化、高性能化であり、接着技術の開発であった。しかし、最近では、構造接着に対するニーズもさまざまな社会的ニーズにも応えねばならない状況に直面している。このような社会的ニーズがここに掲げた「資源の有効利

用」、「環境問題」といった大きな課題であり、このような問題に真剣に取り組んでいかない限り、構造接着の新規用途展開は難しいと考えている。特にこのことは構造接着に関する接着剤の用途拡大ばかりでなく、接着剤産業界の将来を考えたときこのような問題は避けて通れない課題である。そのような意味でこのたびの「接着接合の高機能化技術」の確立はまさに時期を得た、社会のニーズに応えるシンポジウムであると自負している。したがって、構造接着もこのような接着の高機能化といったシンポジウムを介して接着の将来に向けた新しい展開ができればと思っている。そして、このようなシンポジウムを足がかりに、将来の新しい接着産業界の発展が模索できればと大いに期待するものである。

なお、本原稿は第13回接着シンポジウム（平成17年2月24日開催）で講演した「構造接着の最近の動向と新規機能」の講演内容を基に書き改めたものであり、また、原稿作成に当たって参考にした文献は下記のとおりである。

参 考 文 献

- 1) 宮入裕夫, 構造接着の最新動向と新規機能, 第13回構造接着シンポジウム, 接着の最先端技術, 一接着の新規昨日を遡る一, (2005年2月24日)講演要旨集1-5ページ
- 2) 宮入裕夫, 金属材料の接着, 接着, 48巻10号(2004年10月)443-450ページ
- 3) 柳原榮一, こまできた接着技術, (株)工業調査会, 2003年9月発行
- 4) 竹本喜一, 三刀基郷, 接着の科学, (株)講談社, 1997年10月発行