

自動車の接着接合技術の現状と展望

解説

米 野

實*

Recent Adhesive Bonding Technology in Automotive Industry

Minoru YONENO

1. はじめに

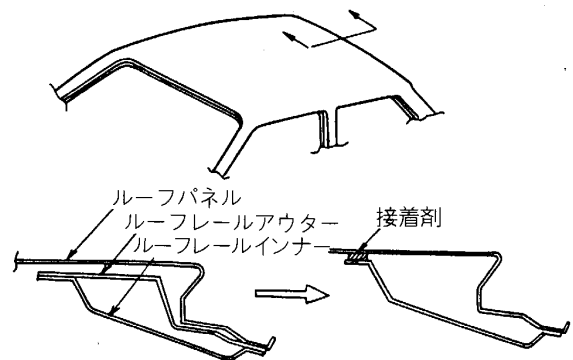
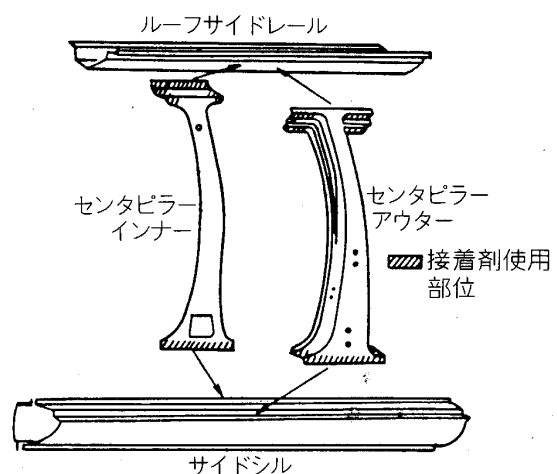
自動車工業におけるここ十数年の課題は、耐食性向上対策と軽量化対策であった。前者の課題は、自動車メーカー、鉄鋼メーカーのみならず、塗料メーカーや表面処理剤メーカーの一致協力した研究開発により、一応の目途がついた段階といえよう。後者の課題に対しては、高強度鋼板の開発、一部にプラスチック類の採用により徐々に解決してきたところであるが、昨今の環境問題への関心の高まりを背景とした米国における CAFE 規制の動向から、再び大きな課題となりつつある。

接着剤の使用は、上記二つの課題と密接なかかわりを持っている。すでに耐食性向上ニーズに対応してヘミング加工部などへのシーラーの適用が行われている¹⁾他、ガラスの直接接着、フードやトランクリッドの内外板の接合にも接着剤が使用されている²⁾。この他、プラスチック類が多数使用されている内装部品へも接着剤の実用化は進んでいる³⁾。

最近、軽量化課題の急速な高まりに対して、接着剤のより拡大した適用による対応策が関係者の間で検討されるようになった。これには二つの側面がある。一面は、より軽量な材料として、アルミやプラスチックなど異種材料を多量に使用した場合の接合技術として、従来のスポット溶接に代わる唯一の方法として期待されている点である。もう一つの面は、接着剤の適用自体が持つ強度的メリットに着目したものである。すなわち、高強度鋼板の採用により板厚減少した時に発生する構造体の剛性低下を、接着構造または溶接と接着の併用（ウェルドボンド構造）により補うというものである。すでに粘着テープの貼付により剛性向上を試みた例が知られている¹⁾。三浦ら⁴⁾はルーフレールの構造を、接着剤適用の剛性向上効果を利用し、3部品から2部品に減らして軽量化することができたと報告している（図1）。またセンターピラー上下の結合部にスポット溶接と接着剤を併用することで、結合剛性が30%向上し、その結果とし

て耐久寿命が10倍以上延びるという結果を報告している（図2）。

筆者は1988年に米国と欧州の自動車メーカーや接着剤メーカーを訪ね、技術討論を行った。その時点では接着剤採用積極派は50%弱との印象を受けた。積極派の考え方は、耐食性向上対策として厚めつき鋼板の使用が増大するとの見通しの下に、その際のスポット溶接の困難さを解消するため、というものが多かった。プラス

図1 リアルーフレールの部品減少の例（三浦ら⁴⁾）図2 構造部材結合部への接着剤適用例（三浦ら⁴⁾）

平成3年1月18日受付 (Received Jan. 18, 1991) (依頼解説)

* 新日本製鉄(株)表面処理研究センター主幹研究員 工博 (Surface Treatment Research Lab., Nippon Steel Corp., 20-1 Shintomi Futtsu 299-12)

Key words: adhesive bonding; structural adhesion; adhesives; weldbonding; automotive structure; stiffness; durability.

チックの使用も、軽量化対策としてのみでなく耐食性向上のため、という考え方を持つ者が多く耐食性向上への関心の強さを示していた。その際の接合方法として接着剤への期待を持っているようであった。一方、溶接技術者の多くは接着剤使用に慎重であったが、その根拠はコストと信頼性に対する不安であった。信頼性とは、耐久性への不安と初期の接着確認のための非破壊検査への不安であった。

接着接合は、後述の構造接着も含め航空機ではすでに多くの部品に実用化されている^{5)~8)}。軽量化の重要性が極めて高く、リベットを1本でも少なくするためと、ボルト穴への応力集中を防止するために接着剤が有効に作用するのである。1943年にビニルフェノール系接着剤を適用したのが最初といわれている⁵⁾。しかしながら生産速度が著しく大きい自動車に应用するには、まだ数多くの課題が残されている。

我が国においても1989年より自動車技術会に「自動車構造接着技術特設委員会」(ABAS=Adhesive Bonding for Automotive Structure, 委員長:大阪工業大学佐藤次彦教授)が設置され全自動車メーカー、5鉄鋼メーカーおよび多くの接着剤メーカーが参加して熱心な討論と多岐に渡る実験を実施した。本文は、その委員会の実験結果、筆者らの研究結果とこれまでの多くの文献を参考にして自動車分野での接着剤使用のメリットと課題、今後の動向について見解を述べたものである。

2. 構 造 接 着

前述のヘミング加工部への接着剤適用は外観保持(スポット溶接の痕が見えない)と共に、内外板の接合も目的の一つであるから、当然ある程度の強度が期待されている。また内装品といえども接着強度と耐久性は必要特性の一つであることは言うまでもないが、これらはいわゆる構造接着(Structural adhesion)の定義に含めないのが普通である(準構造接着:Semi-structural adhesionと呼ぶ人もいる)。ここでいう構造接着とは、その部分の機械的強度が構造体全体の中で重要な位置を占めるものと定義するのが良いであろう。

このような意味での接着剤適用もすでに一部の車種で実施されている。最近の日経ニューマテリアル誌⁹⁾に、ピラー/サイドシル間、ピラー/フレーム間、インナー/アウター間あるいはアウター/補強材間に接着剤を実用化した例が紹介されている。

接着剤適用の実態は、接着剤の化学的劣化に基づく強度劣化への懸念から、スポット溶接あるいはリベットとの併用が多い。スポット溶接との併用(ウェルドボンド)の最大のメリットは構造体としての剛性向上にある^{10)~15)}。基礎的研究については浜野ら¹⁰⁾の報告、原賀¹¹⁾の解説があり、航空機分野へ実用化した例として山田ら¹²⁾の解説がある。リベットとの併用(リベット

ボンディング)についても応力分布に変化が起り、くり返し数領域によっては疲労強度が向上するという報告がある^{13)~15)}。

構造接着においては耐久性が重要な要素の一つである。航空機の場合、整えられた環境下で十分な表面前処理を施しているが、これは耐久性に大きな影響を与える。自動車分野ではプレス後の油面にそのまま接着剤を適用するほど生産速度が大きく、航空機と比較することはできない。

3. 接着剤適用のメリット

3.1 剛性

構造接着の第一のメリットは構造体としての剛性の向上にあることは前述した。後藤ら¹⁶⁾の報告によると、片ハット部材を接着剤で接合した場合、スポット溶接に比べて曲げ剛性が40%向上する。またウェルドボンドでは70%、実車での実験でも30%の剛性向上が確認された。吉田ら¹⁷⁾は、図3に示す断面で長さ620mmの片ハット部材を用いて剛性向上の効果をしらべた。その

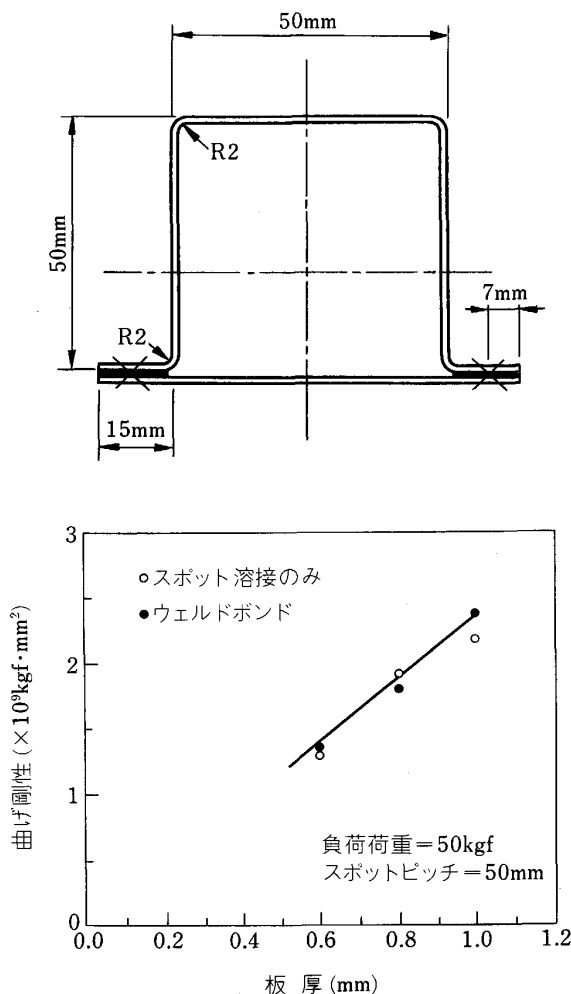


図3 片ハット部材における板厚と曲げ剛性(吉田ら¹⁷⁾)

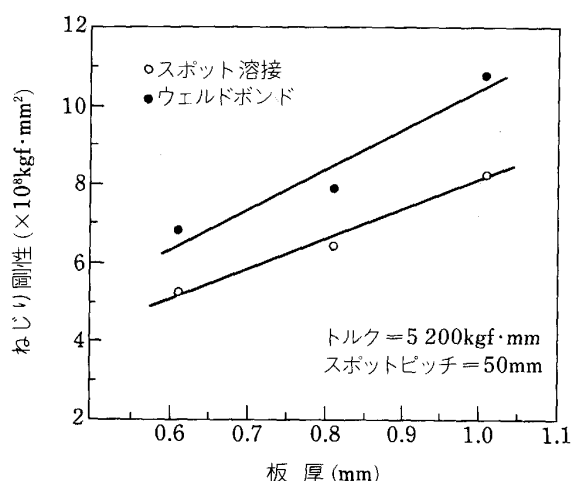


図4 片ハット部材の板厚とねじり剛性 (吉田ら¹⁷⁾)

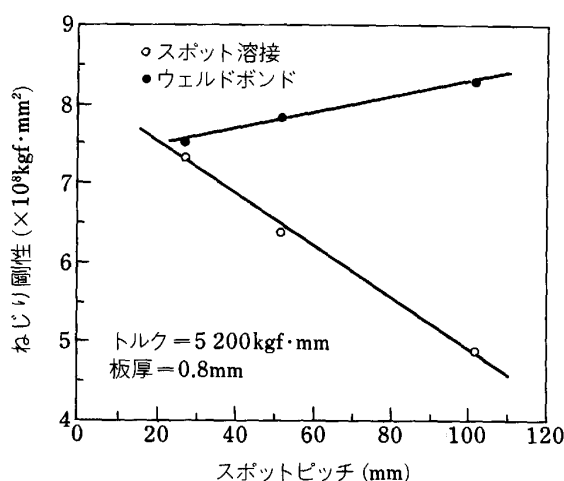


図5 片ハット部材のスポットピッチとねじり剛性 (吉田ら¹⁷⁾)

実験結果では、曲げ剛性の効果は小さい(図3)とされているが、これは後藤ら¹⁶⁾の方法と試験方法が異なるためであろう。しかし、ねじり剛性においてはその効果が非常に大きく、図4に示すごとく、ウェルドボンドの採用により、0.6 mm 板厚でスポット溶接のみの場合の0.8 mm 板厚と同等の剛性が得られている。スポットピッチとの関係では図5のごとく、興味ある結果が報告されている¹⁸⁾。すなわちスポット溶接のみでは、ピッチが大きくなるに従って、当然剛性低下が起きるが、ウェルドボンドではピッチが大きい方が剛性が大きくなる。これはスポットピッチが大きいほど、有効接着面積が大きくなるから、と考えられる。従って、実用化に際しては、それぞれの部位ごとに詳細な検討が必要となる。

3.2 耐衝撃性

硬化した接着剤は有機高分子材料であり、プラスチック

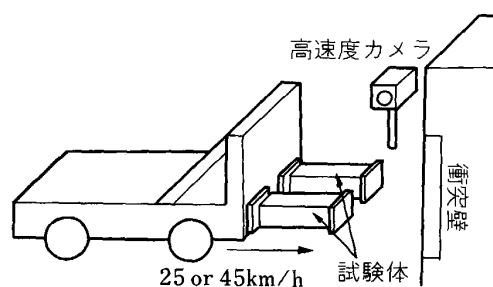


図6 岸本ら²⁰⁾が衝撃試験に用いた実験台車

表1 ハット部材の衝撃試験結果 (岸本ら²⁰⁾)

衝突速度 (km/h)	接着剤	スポット ピッチ (mm)	最高ピーク 荷重 (t)	平均荷重 (t)	総変形量 (mm)
25	無	50	23.9	8.74	82.1
	有	75	23.5	7.91	83.9
	有	無	21.6	5.95	100.0
	有	50	24.5	9.93	65.2
	有	75	26.8	9.79	67.7
	有	150	18.8	8.99	318.3
45	無	75	15.3	7.93	320.0
	有	150	11.9	5.30	354.0
	有	50	18.2	9.28	281.8
	有	50	19.0	9.54	290.7
	有	75	16.2	8.04	301.7
	有	75	16.5	8.09	280.3
	有	150	18.4	8.33	349.9

クと同様に、金属に比較すれば機械的特性ははるかに低位にあり、それ自身の耐衝撃性はほとんど期待できない。ところが、構造体としての耐衝撃性には、その破壊機構を変えることで大きな寄与が認められる。RIVETT ら¹⁹⁾は片ハット部材を用いて落重試験により耐衝撃性の評価を行ったが、ウェルドボンドの試験体はスポット溶接の試験体に比べて、10 mm 変形させるに必要なエネルギーが、10~30% 向上することを確かめた。岸本ら²⁰⁾は665 kg の試験台車の前部に片ハット部材2体を取りつけ(図6)衝撃壁に衝突させる実験を行った。その結果は表1に示すように、ウェルドボンドは総変形量の減少に有効であること、衝突瞬間の最高荷重ピークが高くなることを確認した。衝突安全性の観点からは総変形量が小で、衝突瞬間の最高荷重も小であることが望ましいわけであるが、ウェルドボンドとスポット溶接の破壊機構が明らかになれば、破壊過程での荷重の制御も可能となるであろう。西野ら²¹⁾は岸本らの実験した試験体と試験経過を撮影した高速度フィルムの詳細な解析を行い、衝突による破壊の発生→伝播の機構の相違を指摘した。すなわちスポット溶接材では接合部が2枚の板として別々に作用するのに対し、ウェルドボンド材では2倍の板厚の1枚の板として作用するものと推定した。片ハット材の変形が曲げ変形によるとすれば、板厚の効果が非常に大きくなる、というものである。

衝突安全性に対しては法的規制の強化も予想され、もしウェルドボンドの効果が明らかになれば実用化の意義

は大きい。

3.3 疲労とクリープ

すでに航空機を対象としたアルミのウェルドボンドに対し、疲労強度が向上するとの報告がある²²⁾²³⁾。図7にはステンレスの文献例を示すが、面接合である接着のみでもスポット溶接より上位にある¹²⁾。JONES ら²⁴⁾は片ハットおよび両ハット部材を用いて疲労強度を測定し、接着剤の効果、ウェルドボンドの効果によりいずれもスポット溶接より良好であるとの結果を得ている。この理由は、浜野ら¹⁰⁾が示した図8のように、スポット溶接部に加わる集中応力が50%近くも減少するため、それにより疲労寿命は10倍にも延びると推定される。糸見ら²⁵⁾²⁶⁾は亜鉛めっき鋼板の接着継手の大気中、湿潤環境中での疲労強度を測定した。亜鉛めっき鋼板は種類、条件によっては静的試験においても鋼板/めっき層間で破壊が伝播することがあるが(後に詳述する)疲労試験においても、接着剤の物性、樹脂系の差、環境条件によって破壊面が複雑に変化する。一般には静的試験に比べて、鋼板/めっき層間の破壊は減少する。図9にはクリープ特性(変形量)を、図10にはクリープ破断特

性を示す。ここでは接着剤のみの場合の問題点であるクリープに対し、スポット溶接およびリベット接合が補強として働いていることがわかる。

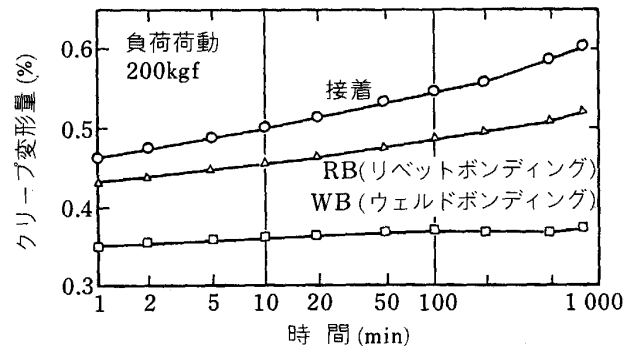


図9 接着、リベットボンディング、ウェルドボンディングのクリープ変形量(60°C)(冷延鋼板、1.6 mm 板厚)(山田ら¹²⁾)

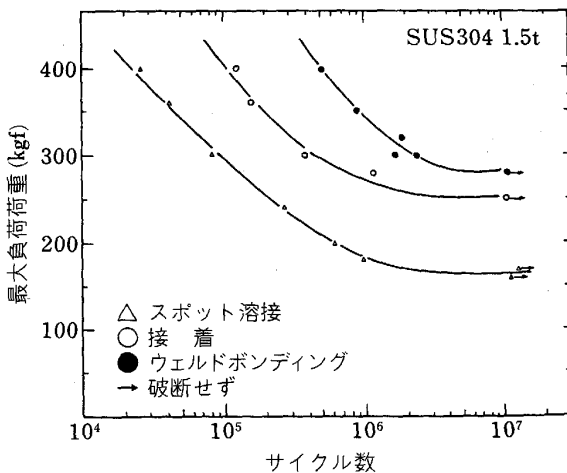


図7 ウェルドボンドの疲労特性例(山田ら¹²⁾)

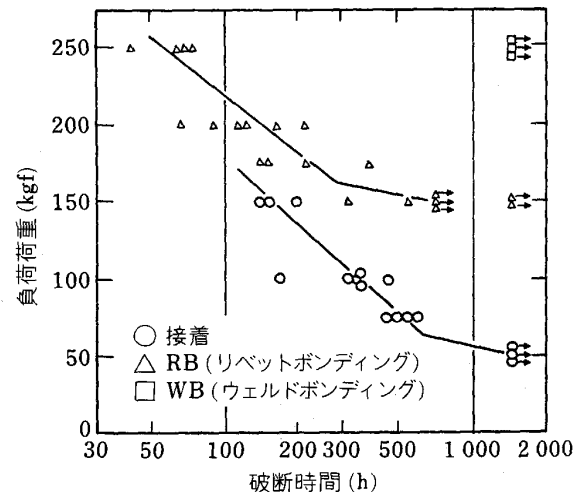


図10 接着、リベットボンディング、ウェルドボンディングのクリープ破断特性(60°C)(冷延鋼板、1.6 mm 板厚)(山田ら¹²⁾)

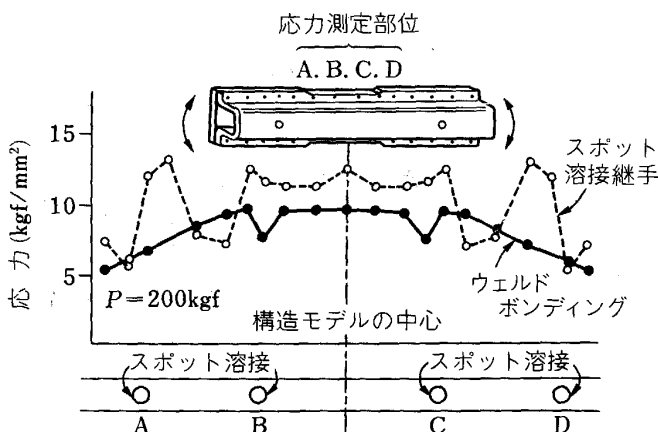


図8 片ハット部材の応力分布(浜野ら¹⁰⁾)

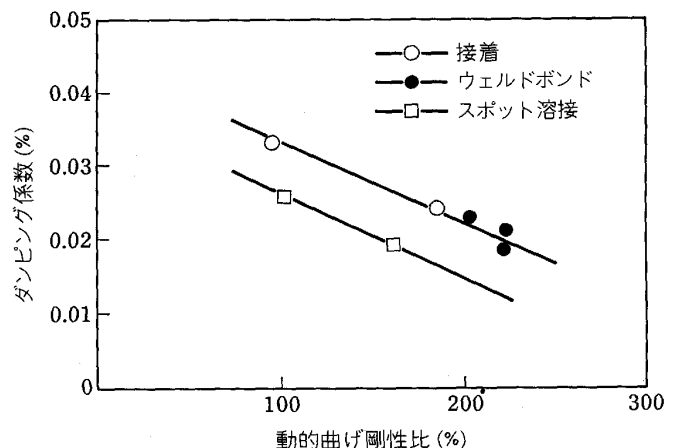
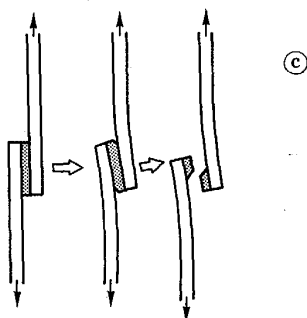
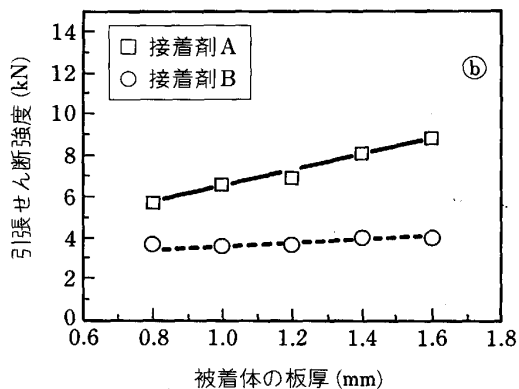
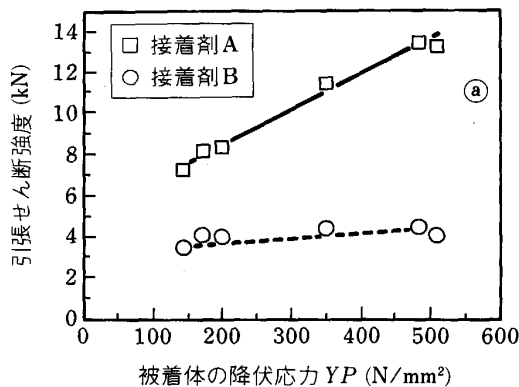


図11 ハット部材の剛性とダンピング特性(後藤ら¹⁶⁾)

3.4 振動特性

接着あるいはウェルドボンドにより剛性が変化すれば振動特性が影響を受ける。後藤ら¹⁶⁾の表現によれば“操作しかり感”が向上するということになる。図11は後藤ら¹⁶⁾の研究によるハット部材の剛性とダンピング特性の関係を示す。接着およびウェルドボンドでは同じ剛性の場合、スポット溶接より高いダンピング特性を持ち得ることがわかり、制振効果が期待される。浜谷ら²⁷⁾も短冊試験片、ハット部材を用いて振動特性を評価し、ウェルドボンドにより共振周波数を大きくする効果があることを確認した。このことは一般論として制振効果が向上すると言えるであろうが、実車では数多くの内装品、備品がとりつけられるため、その影響が大きく、車体の振動特性は小さな部材での評価をそのまま当てはめることはできないであろう。



① YPとせん断強さ ② 板厚とせん断強さ ③ 試験片の変形
図12 鋼板の種類とせん断強さ (糸見ら²⁹⁾)

4. 接着の問題点

4.1 接着強度測定法

接着剤の接着強度を論議する場合、常に問題となるのが接着強度の測定法である。鋼板と塗膜の接着力測定もいくつかの方法が知られているが²⁸⁾、いずれも真の接着力を得ることは難しい。接着剤の場合はその目的が強度保持であるから、その接着力を測定することは塗膜以上に重要であるが、実際には困難である。

接着力の測定方法は、せん断試験法と剝離試験法が用いられる。いずれも被着体と接着剤の界面のみに力を与えることが不可能であるため、破壊が界面で起きるとは限らず試験機に表示される数値は必ずしも接着力を示さないことが多い。糸見ら²⁹⁾は、鋼板を被着体とした場合鋼板の強度、降伏点、板厚が接着強度に与える影響をしらべた。せん断試験では加えられる力が一直線にならないため、鋼板の変形が起り、その後接着剤の凝集破壊が始まる。鋼板の変形の程度に従って接着剤内に応力の分布が発生するため、鋼板の材質が接着強度に影響を与えてしまう。つまり、鋼板が硬く(板厚大、降伏点高)変形しにくいほど応力分布がなめらかで端部への集中応力が小さく、高い外力に耐えられ、結果的に高い接着強度を示す(図12)。冷延鋼板の場合はほとんど接着剤の凝集破壊であるからこの場合の接着強度は、接着剤の強さを示している。せん断試験では、接着剤の凝集破壊、界面破壊の他、被着体の破壊も発生し得る。ここで示される強度とは接着試験体の破壊強度であって、真の意味で接着力ではないのである。

剝離試験は通常 25 mm 幅の試験体を用い、荷重-変位曲線(図13に1例を示す)から、安定荷重を示す部分を平均荷重として示す。山崎ら³⁰⁾は剝離強度と被着体鋼板の材質との関係をしらべた。表2に示すように、剝離強度は二つの集団に分類できる。破壊挙動を詳細にしらべたところ、表2の試料 D, F は図13(a)のように破壊が進行し、荷重は徐々に低下する。これは破壊位置が、

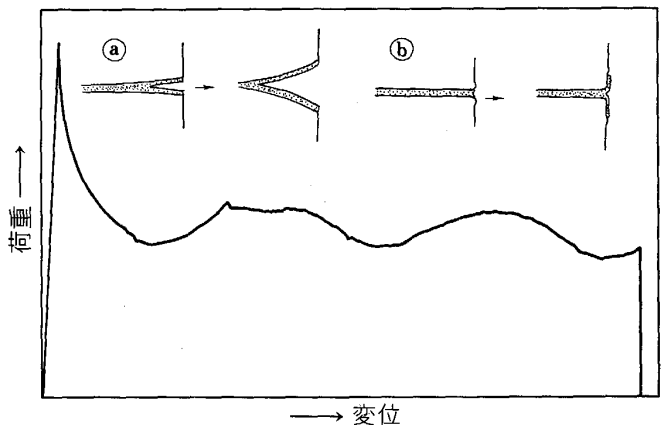


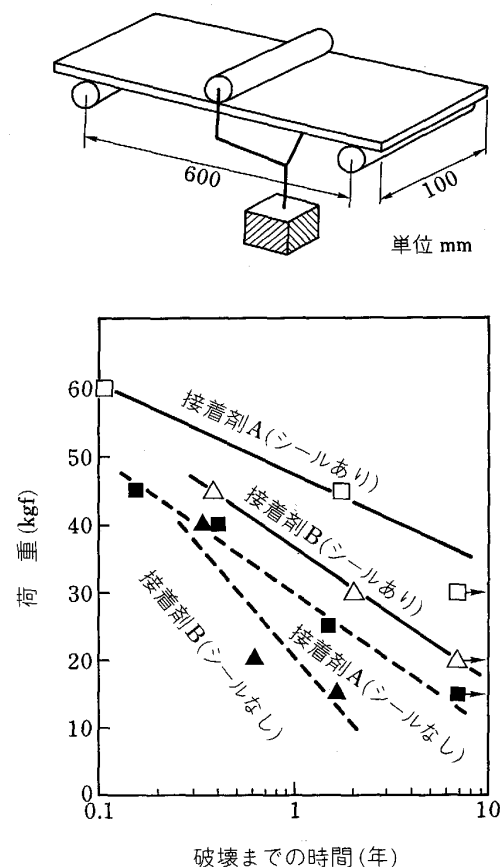
図13 剝離試験の荷重-変位曲線の例 (山崎ら³⁰⁾)

表 2 鋼板材質と剝離試験結果 (山崎ら³⁰⁾)

試料 No.	板厚 (mm)	T. S. (kgf/mm ²)	YP (kgf/mm ²)	剝離テスト平均値 (kgf/25 mm)
A	0.8	30.6	16.1	15.3
B	1.0	36.8	21.9	15.3
C	1.0	31.8	16.9	17.2
D	1.0	66.6	35.3	9.1
E	1.0	44.3	33.0	17.0
F	1.0	57.5	44.0	10.4

荷重軸からずれるに従って破壊部分に加わるモーメントが大きくなるため、小さな荷重で破壊するものと考えられる。一方、降伏点が低い A, B, C, E の試料は、図 13⑥のように破壊し、破壊が終了するまではほぼ同じ荷重を示す。荷重軸から破壊位置までの距離が小さく、一定であるためであろう。図 13 の荷重-変位曲線は、試料 A の例であるが平均荷重が下がる部分は、接着剤の厚さ調整用のワイヤーが存在する部分であることも確認された。また、ワイヤーなしの試験片では平均荷重が破壊進行中一定に保たれることも確認されている。

以上のように、せん断試験、剝離試験とも厳密な意味で接着力を測定するものではなく、接着試験片 (試験体) の破壊強度を示すと考えるべきである。従って実際の構造体への接着効果を考察するには、その構造体の力の加わり方と試験片での力の配分との関連に十分注意する必要がある。

図 14 ハニカムの屋外ばくろ試験 (米野ら³²⁾)

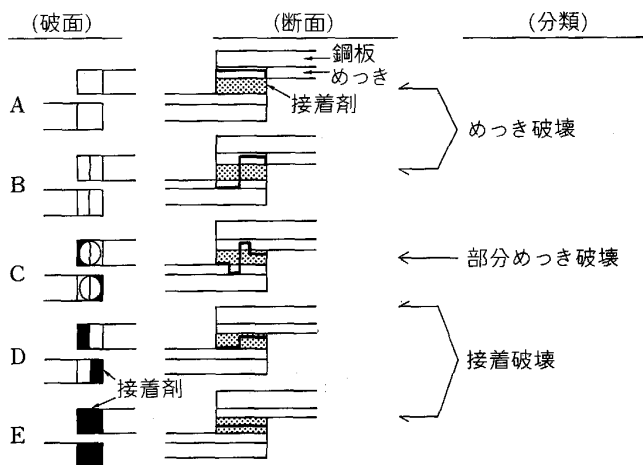
4.2 耐久性

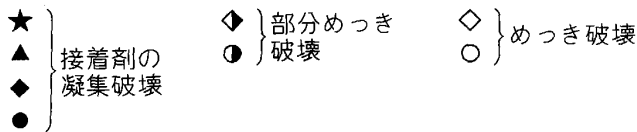
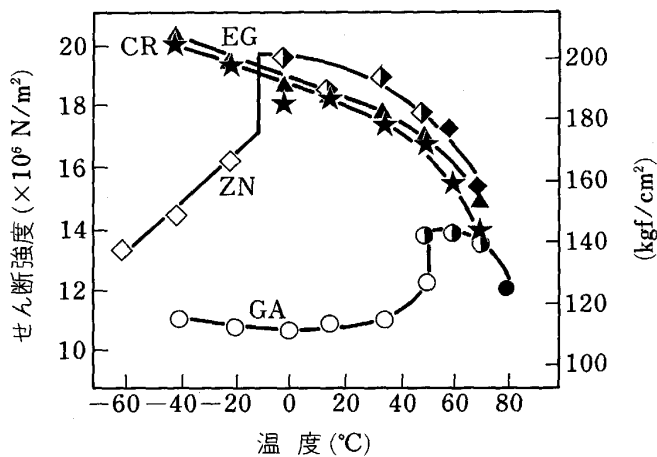
金属と有機材料との接着は、水分子を介しての水素結合と考えられている。そのため界面の極性が接着力に有効に働くことはよく知られている³¹⁾。金属表面は酸化物で覆われているが、極性を有しており極性溶媒である水分子が界面に浸入しやすく、その水分子が接着力を低下させる²⁸⁾。従って、水中あるいは湿潤環境中での接着劣化は不可避と言える。筆者³²⁾がハニカム構造の3点曲げ負荷状態での屋外ばくろ耐久性試験を行った結果では、ハニカム端面をビニルテープでシールすると大幅に耐久性が向上することが明らかになった (図 14)。ハニカムの強度は接着強度に依存するものであるから、ハニカムの強度劣化は屋外ばくろ中の水分による接着劣化と考えて良いであろう。耐久性に関しては VENABLES³³⁾、SCHONHORN ら³⁴⁾、糸見ら³⁵⁾、仲沢ら³⁶⁾の報告がある。

水分子による接着劣化の対策としては、接着端面のシールの他表面前処理も有効な手段である。クロメート処理やりん酸塩処理³⁷⁾の他電解エッチングによる表面モルフォロジーの改良も有効であるが³⁸⁾³⁹⁾、自動車工業では適用が困難である。塩川ら⁴⁰⁾の実用的研究の結果、油面接着は耐久性がむしろ良好ということがわかった。接着耐久性が水分の浸入で起こることから、油がそれを防止しているためと考えてよいであろう。

4.3 めっき鋼板への適用

めっき鋼板に接着接合を適用すると、多数の界面が存在するため、その破壊機構は非常に複雑になる。図 15 は仲沢ら⁴¹⁾の分類による、めっき破壊、部分めっき破壊、接着破壊を示す。接着破壊は接着剤の凝集破壊と接着剤/被着体界面破壊の双方を含むものである。めっきの種類特に合金めっきの場合には鋼板/めっき層の界面で破壊することがあるが、図 16 は合金めっきの場合、低温時にめっき破壊が発生しやすいことを示している。このうち電気めっきに対しては、すでに対策が考えられ

図 15 めっき鋼板のせん断試験における破壊形式の分類 (仲沢ら⁴¹⁾)



CR: 冷延鋼板 ZN: Zn-Ni めっき鋼板
EG: 電気亜鉛めっき鋼板 GA: 合金化溶融亜鉛めっき鋼板
図 16 各種めっき鋼板のせん断強度 (仲沢ら⁴¹⁾)

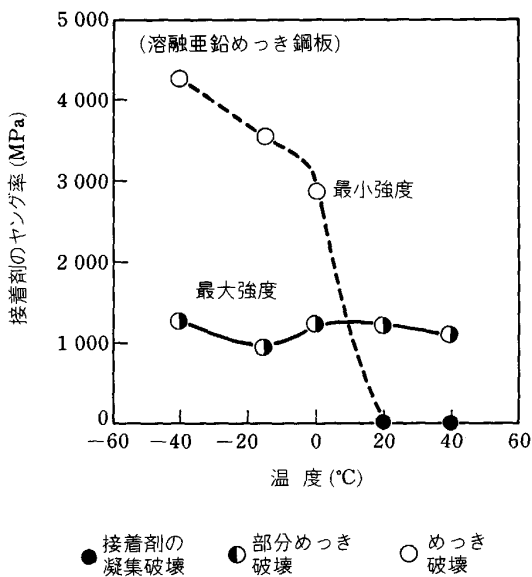


図 17 種々の接着剤を用いたせん断試験で最大(最小)強度を示す接着剤のヤング率 (仲沢ら⁴²⁾)

ているが、溶融めっきについてはめっき技術のみで完全な解決を求めることは難しい。これは、鋼板とめっき層界面の合金層生成を皆無にすることが困難なため、と推定される。

仲沢ら⁴²⁾は接着剤のヤング率を変えて、めっき破壊現象との関係をしらべ、ヤング率が 900~1200 MPa の範囲にあれば、めっき破壊が起こらず、接着試験片が最大の破壊強度を示すことを明らかにした。図 17 は種々の接着剤を用いて温度を変えてせん断試験を行い、最大および最小破壊強度を示した時の、その接着剤のヤング

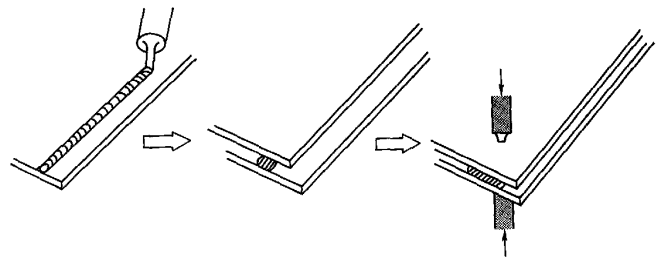


図 18 接着剤塗布～溶接工程

率を示すものである。高温ではヤング率大の方が、またある温度以下ではヤング率が低い方が最大強度を示し、その場合の破壊形式はすべて部分めっき破壊となることがわかった。自動車の実用温度範囲を $-30^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 程度と考えれば、この広い範囲で上記のヤング率を保持する接着剤が今後の開発目標となるであろう。

4.4 生産工程への適用

自動車工業への接着接合の適用は、油面接着剤の開発によって実現可能となった。これにより、プレス加工後の鋼板面より脱脂などの前処理を施すことなく接着剤塗布が可能となった。しかし高度に高速化された現在の生産工程で多量の接着剤を使用するには、まだ多くの課題が残っている。

4.4.1 接着剤塗布工程での問題

接着剤塗布からスポット溶接までの手順は、ほぼ図 18 のように想定される。塗布作業はすでにロボット化が可能である。接着剤を一定ビード幅で塗布した後、鋼板を合わせて加圧し、接着剤中央部にスポット溶接を行うものであるが、加圧したときの接着剤の幅方向への広がりには必ずしも一定にならず波状になることが中野ら⁴³⁾の実験で判明した。これを接着剤のぬれ幅とすれば、最小のぬれ幅は加圧の位置や雰囲気温度によって変動する。また田神ら⁴⁴⁾は 2 枚の鋼板のすき間を一定にすることの難しさを報告しているが、接着剤厚さ(鋼板のすき間)が 0.5 mm 以上になると、せん断強度が低下すると共に破壊形式も変化することを示している。スポット打点位置を接着剤幅の中央に制御する技術と共に、部材の形状、雰囲気温度に応じた最小ぬれ幅を確保できる加圧のための制御技術が必要となるであろう。

4.4.2 スポット溶接における問題

接着剤塗布部分にスポット溶接を行う場合、ナゲット径 $4\sqrt{t}$ または $5\sqrt{t}$ (t : 板厚) を確保するための最適電流範囲は狭くなる。ナゲット径確保のためにはドーム型電極が好ましいとも言われるが、接着剤物性値に合わせた電極形状の検討も必要となろう。ウェルドボンドにおいては応力が均一に分布し、スポット溶接部に集中しないことは、すでに述べたとおりである。従って、従来の考え方に基づくナゲット径である $4\sqrt{t} \sim 5\sqrt{t}$ が必ずしも必要でないかもしれない。このことが実証され

ればウェルドボンドにおけるスポット溶接範囲も広がり、より現実的となると思われる。

この他、ウェルドボンドでの2枚の鋼板間の歪み(口開き)、鋼板間すき間と溶接性、雰囲気温度と溶接性等について ABAS 委員会の実験報告がある。

4.4.3 環境の問題

接着剤を使用することによる環境問題として、臭い、溶剤蒸気、スポット熱による分解ガス等の問題と作業現場の汚染の問題がある。これらは接着剤の改良、開発が進んだとしても完全解決されることは期待できず、生産工程の変更を伴わざるを得ない。いっそうの無人化が望まれるところである。

5. 今後の展望

以上述べたように、接着接合、特にウェルドボンドにおける強度的メリットに関し、しだいに定量的データが集積されつつある。しかしこれらはまだ部材段階のものが多く、実車との関係においては必ずしも明確とは言えない。例えば剛性向上の効果も、力の方向によって大きく異なっているが、実車ではどの方向の力が重要なのか、乗り心地と関係が深いのか、あまり公表されてはいない。衝撃においても、正面に対して効果があることは判明したが、角度を持った衝撃への効果はどうか。もし板厚を減らし軽量化した場合、他の方向からの衝撃に対する補強は必要ないのか、また可能なのか。座席シートや各種内装部品をとりつけた段階での、各部材の剛性、振動特性は、どの程度の影響力を有するのか、といった実用上の課題は残されたままである。しかし、軽量化への取り組みが、限界に近づきつつある今日、新たな技術開発のシーズを提供するものであることはまちがいない事実である。それは、単に板厚の減少の可能性を示すだけでなく、接合のための部位(例えばハット部材の接合部分)の幅を狭くする、等各部材の形状や設計にも変更の可能性を与えるものだからである。一方、スポット溶接のピッチを大きくできるということは、スポット溶接が困難な材料、例えば高炭素量の高張力鋼板、亜鉛付着量の多いめっき鋼板、有機系の表面処理鋼板などの適切部位への適用可能性を広げるものである。

いずれにせよ、これまで得られた試験片レベル、部材レベルのデータから実車レベルのメリットを確認する実験あるいは研究手法が必要であり、そのメリットと問題点解消への投資との比較の中から、実用化される部位が決定されていくことになる。

文 献

- 1) 梅谷正和: 日本接着協会誌, **20** (1984), p. 309
- 2) 野口 満: 自動車技術, **34** (1980), p. 826
- 3) 中俣秀夫: 溶接学会誌, **56** (1987), p. 223
- 4) 三浦純一, 小野裕行, 城井幸保, 畑 英幸: 自動車技術, **38** (1984), p. 446
- 5) 熊倉郁夫: 日本機械学会誌, **87** (1984), p. 266
- 6) 熊倉郁夫: 自動車技術, **39** (1985), p. 800
- 7) 伊藤好二: 日本接着協会誌, **21** (1985), p. 447
- 8) 中尾一宗: 溶接学会誌, **56** (1987), p. 83
- 9) 日経ニューマテリアル 10 月 22 日号 (1990), p. 10
- 10) 浜野信之, 木内 保: 日野技報, **36** (1987), p. 28
- 11) 原賀康介: 溶接技術 (1990) 3, p. 64
- 12) 山田 祥, 原賀康介: 溶接技術 (1983) 8, p. 40
- 13) 今中 誠, 岸本和一郎, 沖田耕三, 原賀康介, 西川哲也: 材料, **38** (1989), p. 1373
- 14) 原賀康介, 山田 祥, 児玉峯一: 日本接着協会誌, **19** (1983), p. 334
- 15) 原賀康介, 児玉峯一: 溶接学会誌, **56** (1987), p. 148
- 16) 後藤典雅, 末松孝規: 溶接学会接着シンポジウム資料 (1989 年 10 月)
- 17) 吉田夕貴夫, 金川浩之, 藤本正治, 志村邦久, 浜野信之: 自動車技術会シンポジウム「新時代を担う構造接着技術」要旨集 (1991), p. 151
- 18) 吉田夕貴夫, 金川浩之, 藤本正治, 志村邦久, 浜野信之: 自動車技術会シンポジウム「新時代を担う構造接着技術」要旨集 (1991), p. 153
- 19) R. M. RIVETT and S. T. RICHES: The Welding Institute (1986) 304, p. 1
- 20) 岸本泰秀, 村田 淳, 西野 誠, 米野 實: 自動車技術会シンポジウム「新時代を担う構造接着技術」要旨集 (1991), p. 165
- 21) 西野 誠, 米野 實, 岸本泰秀, 村田 淳: 自動車技術会シンポジウム「新時代を担う構造接着技術」要旨集 (1991), p. 167
- 22) 浜崎正信: 溶接技術, **25** (1977), p. 19
- 23) D. FIELDS: Adhesive Age, **16** (1973), p. 41
- 24) T. B. JONES and N. T. WILLIAMS: SAE Technical Paper, No. 860583 (1986)
- 25) 糸見 誠, 田中洋一, 征矢勇夫, 米野 實: 材料とプロセス, **2** (1989), p. 630
- 26) 糸見 誠, 仲沢真人, 田中洋一, 征矢勇夫: 材料とプロセス, **3** (1990), p. 669
- 27) 浜谷浩臣, 高 隆夫, 大栗靖弘, 入谷啓文, 鈴木茂樹: 自動車技術会シンポジウム「新時代を担う構造接着技術」要旨集 (1991), p. 158
- 28) 米野 實: 金属表面技術, **37** (1986), p. 497
- 29) 糸見 誠, 仲沢真人, 水井正也, 征矢勇夫: 日本接着協会 26 回研究発表会要旨集 (1988), p. 71
- 30) 山崎 攻, 近藤正紀, 土橋智章, 米野 實: 自動車技術会シンポジウム「新時代を担う構造接着技術」要旨集 (1991), p. 89
- 31) 北山 実, 米野 實: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 436
- 32) 米野 實, 未発表データ (1986)
- 33) J. D. VENABLES: J. Mat. Sci., **19** (1984), p. 2431
- 34) H. SCHONHORN and H. L. FRISCH: J. Polymer Sci., **11** (1973), p. 1005
- 35) 糸見 誠, 仲沢真人, 米野 實: 材料とプロセス, **1** (1988), p. 683
- 36) 仲沢真人, 糸見 誠, 松崎洋市, 加藤忠一, 米野 實: 日本接着協会誌, **26** (1990), p. 403
- 37) 仲沢真人, 松崎洋市, 米野 實: 材料とプロセス, **2** (1989), p. 629
- 38) A. MAHOON: Durability of Structural Adhesives (1983), p. 255 [Appl. Sci. Pub. Ltd.]
- 39) 仲沢真人, 米野 實: 日本接着協会誌, **25** (1989), p. 422
- 40) 塩川 誠, 松田 広: 自動車技術会シンポジウム「新時代を担う構造接着技術」要旨集 (1991), p. 92
- 41) 仲沢真人, 三吉康彦: 日本接着協会誌, **25** (1989), p. 306
- 42) 仲沢真人, 糸見 誠, 米野 實: 日本接着協会誌, **25** (1989), p. 351
- 43) 中野明雄, 吉村直樹: 自動車技術会シンポジウム「新時代を担う構造接着技術」要旨集 (1991), p. 109
- 44) 田神 亨, 大坪 悟: 自動車技術会シンポジウム「新時代を担う構造接着技術」要旨集 (1991), p. 94