

接着剤を用いた艀装技術に関する調査研究

秋山 繁*、岩田 知明*、島田 道男*、安藤 孝弘*
村上 睦尚*、穴井 陽祐*、林原 仁志*、田中 義照*

Research study of outfitting technology applied adhesive

by

Shigeru AKIYAMA, Toshiaki IWATA, Michio SHIMADA,
Takahiro ANDO, Chikahisa MURAKAMI, Yosuke ANAI,
Hitoshi HAYASHIBARA and Yoshiteru TANAKA

Abstract

Recently, adhesive application is expanding in various fields such as aircraft, automobile, building and railroad industry by the performance improvement. Additionally, the advantage of the adhesive application is the reduction of the labor costs caused by reducing the large construction man-hour. However, in shipbuilding industry, conventional welding is mainly adapted for constructing the steel or aluminum vessels.

Accordingly, in the Europe, BONDSHIP project was carried out from 2000 to 2003 to produce guidelines about the adhesion joining in the shipbuilding industry. Moreover, the rule about the adhesive application for the structures of small ships was established in both American Bureau of Shipping (ABS) and Det Norske Veritas AS (DNV). On the other hand, in Japan, The Ship's Electric Installation Contractors' Association of Japan carried out the feasibility study about the new installation method of electric equipment applied adhesive in 2006. Furthermore, some application for approval to inspect FRP ships fabricated by adhesive has started submitting to Japan Craft Inspection Organization (JCI). However, in the steel or aluminum vessels, there is no adhesive application for the ship structure except for some interior equipment.

Therefore, in this research, the hearing investigation to both the shipyards and the adhesive makers was performed to inspect the ship building progress and to examine the availability of adhesive for the structure of steel or aluminum vessels.

* 構造系
原稿受付 平成24年 4月 9日
審査日 平成24年 5月 18日

目 次

1. まえがき	18
2. 国内造船所の実態調査	18
2.1 造船所による接着剤適用候補	18
2.2 実船調査	19
2.3 接着剤の利点	19
2.4 接着剤の利用実績及び現状	19
2.5 船舶建造適用への課題	19
2.6 ヒアリング及び実船調査のまとめ	20
3. 接着剤メーカーへのヒアリング結果	29
3.1 A 社（主にアクリル系）	29
3.2 B 社（主にウレタン系）	29
3.3 C 社（主にエポキシ系及びアクリル系）	30
3.4 D 社（主にアクリル系及びエポキシ系）	31
4. 海外の状況	32
4.1 ヨーロッパ	32
4.1.1 ボンドシッププロジェクト	32
4.1.2 ボンドシッププロジェクト ガイドライン	32
4.2 米国	33
5. 強度試験	33
5.1 被着体	33
5.2 接着剤	34
5.3 他事業における強度試験結果	34
5.4 本研究における強度試験結果	34
6. 調査結果	39
7. まとめ	39
参考文献	39

1. まえがき

近年、構造用接着剤は、性能が向上するにつれて、航空機、自動車、建築、鉄道車両等の広い分野において使用されるようになってきた。その目的は、大幅な工数削減によるコストの削減である。しかしながら、造船業界においては、金属製船舶は、ほとんど従来から行われている溶接によって建造されている。その理由は、長年の使用実績、研究データの蓄積等による溶接に対する信頼性が大きいことと、更には、構造用接着剤に関するデータ不足、使用実績が無いことによる不信感である。特に、構造用接着剤の経年劣化及び低荷重による剥離に対する不安感が拭えないことが最も大きな原因であると考えられる。

ヨーロッパにおいては、2000年4月から2003年6月にかけてボンドシッププロジェクト（BONDSHIP project）が実施され、造船における

接着接合に関するガイドライン¹⁾が作成された。また、米国船級協会（American Bureau of Shipping: ABS）や、ノルウェー船級協会（Det Norske Veritas AS: DNV）には、構造用接着剤に関する規定が制定されている。しかし、実船舶に構造用接着剤が使用されたとの報告はあまり見あたらず、研究の域を脱しているとは言い難い。

日本においては、日本財団の補助事業として日本船舶電装協会が、「電装工事に接着剤の利用の可能性を検討するFS研究」（2004年度）²⁾及び「接着剤を用いた新しい電装工事方法に関する調査研究」（2005年度）³⁾を実施し、その調査研究内容を報告書にまとめて公表した。

また、構造用接着剤によるFRP船の建造については、船底外板（船側）及び甲板と隔壁などの接合に構造用接着剤を使用することの設計承認の申請が、日本小型船舶検査機構（JCI: Japan Craft Inspection Organization）に平成23年より数社から提出されている。金属製船舶については、接着剤の利用は居住区内装等の極一部に限られており、構造用接着剤として申請されたという情報は無い。

なお、構造用接着剤を利用した接合法に、スポット溶接と構造用接着剤を組み合わせたウェルドボンディング接合法^{4),5)}があるが、造船業界では適用した事例は見あたらない。

そのため、本調査研究では、構造用接着剤の金属製船舶への実用化を目的として、造船所及び接着剤メーカーへのヒアリング調査、建造船舶内部の現地調査を行い、金属製船舶への構造用接着剤の利用可能性を検討した。

これ以降、シーリング用接着剤等、特別の表記が無い限り、接着剤は構造用接着剤を示す。

2. 国内造船所の実態調査

国内の造船所3社に対して、船舶への構造用接着剤の使用状況、今後の使用計画、適用可能箇所、問題点などについてヒアリング及び実船調査を行った。その結果は、以下のようまとめられる。

2.1 造船所による接着剤適用候補

造船所へのヒアリングの結果、接着剤適用候補としては、以下のものが挙げられた。

- (1)ユニット機器台、ユニットバスの固定
- (2)塩化ビニルホースの固定
- (3)仮修理（防水処理の代用、仮止め）
- (4)交通装置（機関区などの階段）
- (5)盤の台

- (6)アンテナ、汽笛、探照灯台、レーダーマスト、レーダースキャナ台の取付
- (7)デッキ上の甲板用具箱やガソリンポンプカバーなどの箱物
- (8)居住区内枠のレール
- (9)足場ピースなども含む補強材の取付
- (10)デッキ裏などの防火用ウール剤を止めるピンの溶接の代用
- (11)居住区の内張用のアングル溶接の代用
- (12)チップ(紙の原料になる木材の小片)船の間仕切り
- (13)ブリッジの断熱材や居住区の防熱材の接着
- (14)溶接から接着接合への変更による電線管のドレッサー廃止(現行10m当り±10mmの変形をドレッサーで吸収している。)

2.2 実船調査

建造中の船舶を現地調査し、接着剤適用の想定部位として抽出したものを、表-1～表-8に示す。表中の◎印は現状有力なもの、○印は多少問題があるが可能性の高いもの、△印はハードルは高いが可能性があるものを示す。天井部分は、施工者の姿勢が上向きで作業しにくいこと、接着時の落下防止処置がしにくいことなど、施工上の制約が大きく、接着剤の選定と施工方法の工夫が求められる。

2.3 接着剤の利点

- (1)接着剤が交通装置に使用可能ならば、塗装を先に施工できるため、工程的に自由度が増す。
- (2)溶接と異なり熱歪みが発生しないため、歪み取りが不要となり、薄板の接合においても有利である。高速艇には、3mm厚程度の薄板も使用されているので、接着剤による接合の方が溶接より有利である。
- (3)コスト低減、工期短縮、高精度(熱歪みが発生しない)、工程の柔軟性等が期待できる。

2.4 接着剤の利用実績及び現状

造船所における過去の接着剤の利用実績及び現状に関するヒアリング結果は、以下の通りである。

- (1)居住区と構造面での両方の利用を考えている。
- (2)関心が高く、15年ほど前からシーリング用弾性接着剤について独自に検討している。
- (3)修繕船のタンク補修にポリウレタン系のSPS(Sandwich-plate system: サンドイッチブ

レートシステム、防火等級A60級対応、インテリジェント・エンジニアリング社製)が使用された実績がある。インテリジェント・エンジニアリング社の防水補修用サンドイッチ板システム(Intelligent engineering sandwich-plate system[※], forecastle deck reinstatement)は、ABSなどの船級の承認を取得している。

- (4)現在、接着剤が船舶に使用されている状況は、塩ビ配管の接合、内装の仮止めなどである。
- (5)デッキコンポジション(Deck composition: 甲板塗料[船内の居住区や通路に厚さ50mm程度塗って木甲板の代用にする])表面などへの防熱剤スプレーは既に商品としてあるが、コストが現行の3～4倍である。

2.5 船舶建造適用への課題

現状の接着剤の使用における問題点及び利用条件をまとめると以下のようになる。

(1) 信頼性

船主の了解を得るには、実環境で20年以上運用して問題の生じないことの証明が必要である。船主の信頼性を得るには、下記のデータ収集が必要である。

①強度評価

自重、波浪荷重、サージング(前後揺れ)、ヒービング(上下揺れ)、曲げモーメント、慣性モーメント、固有振動(プロペラの固有振動とパネルの固有振動)による共振、疲労などの強度評価を行う。

②その他の評価

耐油性、耐火性、耐熱温度、耐水性、耐紫外線などの評価を行う。

(2) 接着剤のギャップ許容値

溶接の場合は、施工時のギャップ許容値は10mm以内である。それ以上は切り替えを行っている。実際のギャップはアッパーデッキ上で4・5mm、居住区で5・6mm程度である。しかし、接着剤メーカーは2mmの隙間は保証できないとしている。

(3) デッキとブリッジの接合

接着対象である船殻は、実際に凹凸がある。デッキとブリッジの溶接では、船橋の下を高さ方向30～50mm、長さ方向に約2mm伸ばして作り、施工時に足を切って調整している。0.2%程度の工作誤差(10mあたり20mm)は避けられないため、20mm程度の隙間でも接着可能でないと接着剤使用は難しい。現状では、工作精度30～50mmの部分への接着剤の適用は困難と考える。

※SPSはポリウレタンコアで、2枚の鋼板を接合したもので、造船用補修技術として1999年に開発された。

(4) 接着方法及び作業性

- ① 下地処理の方法を確立し、工数低減を図る必要がある。
- ② 垂直面に使用する場合、液垂れの問題がある。
- ③ 仕上がり状態の見栄えが良い接着方法を確立する必要がある。
- ④ 接着部の取り外し作業性が疑問視されている。
- ⑤ 金属電路を樹脂電路に変える必要がある。

(5) 経済性

船全体の建造工数の 30～40%を接着剤で置き換えないと経済的メリットが無い。

(6) その他

中立機関によるコードブックや接着作業を行う際の施行マニュアルが必要である。

2.6 ヒアリング及び実船調査のまとめ

ヒアリング全体を通して、上部構造の設備施工において接着剤を適用するために必要な準備、問題点等については、以下のようにまとめられる。

船内には、多種多様な設備があり、多くの場合、これらの設置固定に接着剤が適用できると考える。ただし、想定される荷重や機器の重量、設置環境などが異なっている。そこで、個々に適した施工形状、施工法を工夫する事は理想的であるが、施工工数が増加するため、必要とする担保荷重の大きさと荷重種類、耐候性の有無などで分類して、

それぞれについて、標準となる施工形状、施工法などを検討していく必要がある。

具体的に重要と思われる検討項目は、下記のとおりである。

- (1) 壁設置と天井設置では、引張荷重が働くため、床設置に比べ、接着剤面積を増すことが必要と考える。
- (2) 壁設置では、引張荷重の最大値を低減させる形状を採用し、最大応力点が接着面の端部にならないように設計することが重要である。
- (3) 天井と壁における接着剤施工においては、接着剤が固まるまで接着状態を保持するための治具を工夫する必要がある。
- (4) 接着剤施工面には、機器の静荷重の他、機関からの振動荷重、機器の慣性荷重などがあり、これらの荷重に対する応答、寿命を見積もっておくことが重要である。
- (5) 屋外施工においては、長期間太陽光と風雨にさらされるので、耐候性の確認が重要である。また、部材の表面同士を接着接合することから、表面直下に浸入する錆は、接着強度を急速に低下させるので、錆が発生しない場所か、または錆が発生しない工夫を施すことが重要である。
- (6) 施工不良、又は設置機器の不具合で、接着剤施工をやり直す場合の、施工法を考えておく必要がある。

表-1 接着剤利用の候補（1/8）

適用の可能性	設置場所	候補		備考
◎	壁	スイッチ	火災報知器	<小型機器の取り付け> ・自重が小さく、接着剤による取り付け施工が可能と思われる。ただし、接着面積が必要であるため、取り付け台の形状の工夫が必要である。 ・作用する荷重（自重等による静荷重、振動による荷重）を見積もり、信頼性を確認する必要がある。
				
◎	壁	スイッチ類の設置	コンセントの設置	<スイッチ・コンセントの設置> ・接着剤施工が容易と考えられる。 ・施工の形状を確定し、データで信頼性を示すと共に、施工の容易さ、違和感のない形状などへの留意も必要である。
				
◎	壁	配線サポートの設置		<配線サポートの設置> ・自重が小さいものもあり、接着剤施工が可能と考えられる。 ・作用する荷重に合わせた施工形状の工夫と強度的な信頼性評価が重要である。 ・線の束が小さい場合と大きい場合がある。
				
◎	壁	配線サポート	配線受けの設置	<配線サポートの設置> ・自重が小さいものもあり、接着剤施工が可能と考えられる。 ・作用する荷重に合わせた施工形状の工夫と強度的な信頼性評価が重要である。 ・線の束が小さい場合と大きい場合がある。
				
◎	壁	ホースのサポート		<ホースのサポート> ・接着剤施工の可能性が考えられる。 ・屋外設置の場合には、錆の進行や紫外線などによる劣化に対する考慮が必要である。 ・作用する荷重の見積もりと強度的な信頼性評価が必要である。
				

表-2 接着剤利用の候補 (2/8)

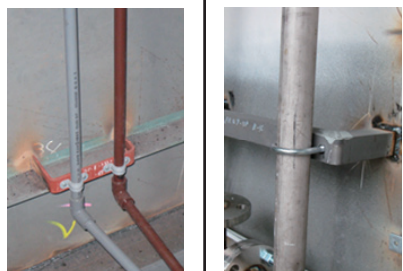
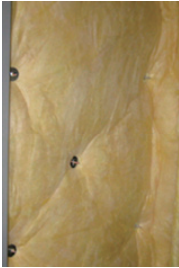
適用の可能性	設置場所	候補	備考
○	壁	手すりの設置 	<手すりの設置> ・接着剤施工の可能性が考えられる。 ・屋外の場合には、耐候性が必要である。 ・施工形状等の工夫で、十分な強度的信頼性が得られることが条件である。
△	壁	配管のサポート 	<配管のサポート> ・大口径の配管では荷重レベルが高いため、接着剤の適用は難易度が高い。 ・小口径では難易度が低くなるが、配管とサポートの重量による荷重と、振動による荷重の評価が必要である。
◎	壁	窓枠設置 	
◎	壁	窓の設置 	<窓枠> ・水密性確保のため、現状でも接着剤を使用している。 ・接着剤施工の可能性が大きい。 <開閉可能な窓の設置> ・窓の設置と同様である。ただし、開閉式の窓は重量と厚みがあるので、これらに対する工夫が必要である。
◎	壁	窓の設置 	

表-3 接着剤利用の候補（3/8）

適用の可能性	設置場所	候補		備考
◎	壁	断熱材の設置		<断熱材の設置> ・スタッドを用いず、断熱材を直接壁面に接着されることが期待され、ハードルは高くないと考えられる。
				
○	壁	扉のストッパ		<扉のストッパ> ・接着剤で対応可能と考えるが、数が少ないため接着剤のメリットを生かせるかどうか疑問である。類似のケースがたくさんあれば、接着剤のメリットが生きてくると考える。
				
△	壁	ボンベ固定具の設置		<ボンベの固定> ・ボンベは重いため、船体運動に伴う慣性荷重が大きい。船体振動なども考慮して接着剤に掛かる荷重を推定し、適用可能性を検証する必要がある。
				
◎	壁	圧力計の設置	時計・ホーンの設置	<時計・ホーンの設置> ・接着剤施工が容易と考えられる。 ・施工の形状を確定し、データで信頼性を示すと共に、施工の容易さ、違和感のない形状などへの留意も必要である。
				
◎	壁	シャワー機器	シャワールームのカーテンレール	<シャワー機器・シャワールームのカーテンレールの設置> ・接着剤施工の可能性を有する。 ・耐水・耐湿性が必要である。 ・高温水に近接の場合には、耐熱性が必要である。
				

表－4 接着剤利用の候補（4/8）

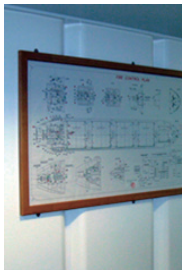
適用の可能性	設置場所	候補		備考
○	壁	ダクトの接続		<ダクトの接続> ・現状でも接着剤を使用しているが、水密、気密性確保が必要である。 ・荷重を担保させるための施工形状、施工法の確立が必要である。
				
◎	壁	船体構造図の設置	ホワイトボードの設置	<船体構造図やホワイトボードの設置> ・軽量物であり、接着剤施工に適する。 ・結果が見た目に良くなることが重要である。
				
○	壁	機器の設置	機器の設置台	<機器の設置台> ・重量がやや大きい機器を保持するため、作用する荷重について十分な検討が求められる。 ・接着剤施工の形状を工夫することにより、接着剤施工の候補になると考える。
				
○	壁	戸棚の設置	棚の設置	<戸棚の設置> ・重量がやや大きい機器を保持するため、作用する荷重について十分な検討が求められる。 ・接着剤施工の形状を工夫することにより、接着剤施工の候補になると考える。 ・載荷荷重が小さい場合には、接着剤が適用できる可能性が高い。
				
○	壁	冷蔵庫の固定		<冷蔵庫の固定> ・接着剤に不利な剥離ではなく、有利な引張に施工形状を工夫できれば、接着剤施工の適用候補になると考えられる。ただし、冷蔵庫は更新すると考えられるため、完全に固定する接着剤の施工は、不利になる可能性がある。
				

表-5 接着剤利用の候補（5/8）

適用の可能性	設置場所	候補		備考
○	壁	消火器の設置		＜消火器の設置＞ ・接着剤施工の可能性が考えられる。 ・屋外の場合には、耐候性が必要である。 ・施工形状等の工夫で、十分な強度的信頼性が得られることが条件である。
				
○	天井	単一配管サポート		＜配管サポート＞ ・配管の重量と船体振動、流体振動などから接着剤に作用する荷重を推定し、適用可否を判断する。 ・適用できる可能性が有ると考えられる。
				
△	天井	配管のサポート		＜配管のサポート＞ ・接着剤施工の可能性はあるが、荷重レベルが大きいいため、当面、従来工法（溶接）の適用が妥当である。 ・施工の精度不足などで、過大な荷重が予想される。
				
○	天井	集合配管サポート		＜集合配管のサポート＞ ・配管の大きな自重と、船体運動、流体振動などによる荷重を評価し、適用可否を判断する。 ・曲がり部では、熱変形を含め変形が集中する事があるため、別途評価が必要と考える。
				
◎	天井	配線のサポート		＜配線のサポート＞ ・自重が軽く、また柔軟性があるので、接着剤に掛かる荷重が小さく、接着剤の適用が容易と考える。 ・接着剤で施工したサポートの固有振動数をチェックし、船体振動の周波数より高くする。 ・念のため、静荷重と振動による荷重を評価しておくことが重要である。
				

表-6 接着剤利用の候補 (6/8)

適用の可能性	設置場所	候補		備考
◎	天井	集合配線サポート		<集合配線サポート> ・接着剤の適用可能性が大きいと考える。 ・接着部に掛かる応力（静荷重、振動）を評価し、接着剤への要求水準を明らかにする必要がある。
				
◎	天井	ダクトの設置		<シャワー室ダクトの設置> ・接着剤施工が可能と考える。 ・耐水性が必要である。 ・施工形状の工夫が必要である。
				
◎	天井	照明器具の設置		<照明器具の設置> ・接着剤施工が可能と考える。 ・担保すべき荷重に合わせた施工形状の工夫が必要である。
				
○	床	冷蔵庫等設置台		<冷蔵庫等設置台> ・静荷重が大きく、船体の動揺がない時には安定している。 ・船体動揺時に接着剤に作用する荷重を評価し、適用要件を解明する必要がある。
				
◎	床	水飲み設置台	洗濯機の設置台	<水飲み・洗濯機の設置台> ・接着剤施工が可能と考える。 ・水回りなので、耐水性が要求される。 ・船体からの荷重に加えて、洗濯機の振動荷重を考慮する必要がある。
				

表-7 接着剤利用の候補（7/8）

適用の可能性	設置場所	候補		備考
◎	床	調理台の設置		<調理台の設置> ・接着剤施工は、施工形状、条件を工夫することにより、可能と考える。 ・静荷重が主な荷重で、船体動揺による慣性力、機関からの振動荷重も考慮する必要がある。 ・水廻りであるため、耐水性が要求される。
				
△	床	屑籠の設置		<屑籠の設置> ・屋外設置のため、耐候性が重要である。 ・荷重としては自重が主なものだが、船体振動、船体動揺、風雨などによる荷重の評価も必要と考える。 ・強度を確保するための施工法（形状、接着剤、表面処理、環境等）の検討が必要である。
				
△	床	甲板のてすり		<甲板のてすり> ・施工法を工夫することにより、接着剤の適用が可能と考えられるが、破損した場合の安全性の問題が大きい。 ・高度の信頼性が要求されるため、接着剤施工の適用順位は低いと考える。
				
△	床	棚の設置		<棚の設置> ・屋外設置のため、耐候性が重要である。 ・荷重としては自重が主なものだが、船体振動、船体動揺、風雨などによる荷重の評価も必要と考える。 ・強度を確保するための施工法（形状、接着剤、表面処理、環境等）の検討が必要である。
				
△	床	大型機器の設置		<大型機器の設置> ・冷蔵庫設置の場合と同様であるが、機器の重量が大きいため、それに伴い増加する振動応力などの影響の解明が必要である。 ・屋外設置では、耐候性も重要である。 ・高い信頼性が要求されるため、接着剤施工の適用順位は低いと考える。
				

表－8 接着剤利用の候補（8/8）

適用の 可能性	設置 場所	候 補		備 考
◎	床	水受け		<水受け> ・接着剤施工が可能と考える。ただし、錆が出た場合、水密性が失われる事があるため、防錆処理も重要である。 ・自重は小さいが、船体振動応力、船体運動に伴う応力などは考慮する必要がある。
				
◎	床	家具の固定		<家具の固定> ・施工形状の工夫で、接着剤施工が可能と考える。但し、床に段差がある場合は、接着剤施工が困難となることも考えられる。
				
○	床	階段踏面の設置		<階段踏面の設置> ・接着剤施工の可能性はある。 ・施工形状の工夫が必要である。 ・常に人が使う部分であるため、高い信頼性が要求される。 ・担保荷重として剪断荷重は接着剤の適用に適している。
				
◎	床	壁の基礎設置		<壁の基礎> ・居室の建造に先立ち、壁を設置するための基礎である。 ・現状、溶接で施工している。 ・特別大きな荷重がかかることが無いため、接着剤工法も可能と考える。ただし、荷重の推定をどのようにするかが課題となると考える（船体からの荷重以外にどのような荷重がかかるか不明である）。
				

3. 接着剤メーカーへのヒアリング結果

接着剤メーカー4社に対してヒアリングを行い、船舶への接着剤適用の取り組み状況、造船所側から質問のあった耐火性・耐熱性や振動・変形の吸収効果について確認した。ヒアリングの結果、得られた情報は以下の通りである。

3.1 A社(主にアクリル系)

(1) 特徴

錆びない、美観に優れている、異素材間接着に適している、熟練工が不要、歪みが無い、塗膜の上に接着可能、サンディング不要、溶接ビードが長い場合は接着の方が作業性が良いなどの利点があるが、割裂・剥離には弱い。

壁に接着する場合に、たれない粘度の接着剤もあるし、隙間にしっかり詰められる物もある。接着後の溶接のような焼き付け工程には弱い。

(2) 作業性

二液混合接着剤の可使時間は、主材・硬化剤の組み合わせにもよるが6分位である。高温になると短くなる。2〜3分以内に接着する必要がある。季節によって接着時間が異なる。

塗膜の剥離強度が高ければ塗膜をはがす必要はなく、塗膜の上に接着できる。

(3) 接着剤の塗布厚

接着剤の塗布厚 37mm で使用可能な接着剤もあるが、推奨塗布厚は 0.8mm である。膜厚管理のためガラスビーズを接着剤に混ぜることがある。このガラスビーズのようなフィラー(添加剤)が多いと破壊に至る可能性が高くなるので、含有率を 0.5%位にしている。初めから接着剤にガラスビーズが入っている方が、後から混入するよりも性能は良い。

(4) 表面処理

接着面の表面処理や、酸化被膜の影響を受ける。酸化被膜側が壊れるので薄い方が良い。アルミニウムの場合 6000 系は問題ないが、5000 系では接着強度にばらつきが出る。酸化被膜の一例としては、6022 が 100Å、6110 が 90Å である。被着体表面を研磨紙で軽く擦るだけで良く接着できるようになる。脱脂や汚れ落としは必要である。プライマーは選択する必要がある。

(5) 接着強さ

主剤と硬化剤が 1 対 1 の場合は、引張せん断接着強さ 20MPa、伸び 0.6〜3mm、主剤と硬化剤が 10 対 1 の場合は、引張せん断接着強さ 10MPa、伸び 10mm となる。曲げ接着強さは、引張せん断接着強さの約半分となる。接着

強さは 10MPa 以上が基準値であり、被着体の厚さの影響を受ける。

接着強度は、せん断 (Shear) や圧縮 (Compression) に対しては強いが、劈開 (Cleavage) や剥離 (Peel) に対しては弱い。割裂強度はせん断強度の約 1/10 に落ちる。ステンレス鋼 (SUS) の場合は、母材厚によっても接着強度が異なる。剛性が大きいほど強度が高くなる。平滑な面でも接着可能である。ブラストの状態によっては接着強度は弱くなることもある。

接着強さに関して考慮が必要な点は、接合面積、継手形状、低温、表面処理等がある。

エポキシ系接着剤の突合せ接着試験片の疲労試験は、10 万回以上で評価している。

(6) 耐熱性

熱硬化性樹脂なので 150℃位に加熱すれば曲げて取れるくらいになる。最適使用温度は -30〜90℃である。エンジン周りなど高温になる部分は注意が必要である。120℃、2500 時間の高温耐久試験で劣化のデータの無い接着剤がある。剥がすときはドライヤーで加熱し、タガネでたたく。

耐熱コーティングすることによって、温度 60℃、湿度 95%まで耐えられる接着剤がある。

180℃、45 分の焼き付けに耐えられる接着剤がある。

(7) 適用例

風力発電の風車ブレードに使用され、耐用年数は 18〜20 年である。

(8) その他

銅などのラジカル重合反応の材料は、ラジカルが奪われるので接着剤が使用できない。

紫外線に弱い。接着端部しか紫外線が当たらなければ、接着面積で強度は保証される。

接着剤を使用した一番古い船(使用部位不明)が 1990 年に建造され、今まで問題が発生していない。

3.2 B社(主にウレタン系)

(1) 特徴

エポキシ系と比較して、ウレタン系の利点は、応力が分散せず、軟らかく、伸びが 10〜20%で、壊れるときは割れてはねる。

ステンレス (SUS) は得意ではないが、冷延鋼板や SUS304 も被着対象としている。ステンレスはアンカー効果も併用する。接着したら取れない。原則錆びない物は接着しにくく、ステンレス、アルミニウム、ポリカーボネート、ナイロンは接着しにくい。逆に、GFRP (Glass

fiber reinforced plastics : ガラス繊維強化プラスチック)、CFRP (Carbon fiber reinforced plastics : 炭素繊維強化プラスチック)、SMC (Sheet molding compound : 薄板状成形材料) は得意である。ABS 樹脂 (ポリスチレン系樹脂 ; アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン) は、プライマーで表面が溶ける。また、ABS 樹脂はプライマーが必要である。アルミニウムも塗装していれば接着する。

(2) 作業性

一液性のものは、湿気を吸って硬化するので、硬化時間がかかる。二液性のものは、反応型で発熱硬化するので、硬化時間が短い。

加熱硬化は通常 30 分 (65℃で 15 分) であり、生産ラインの特性に合合わせることができる。

一般的なクランプオフ時間 (硬化時間) は、タックフリータイム (可使時間 ; 接着可能時間) の約 3 倍である。

二液性接着剤を手で混ぜるのは、200g が限度で、1 分位で混ぜる。

接着剤がはみ出るときの対処として、部材に合わせた色をつけることもできる。

5000 系の接着剤は、アルミには塗装して付け、ステンレスにはアンカー効果を利用し、穴をいくつか空けて接着する。塗装前提でプライマー無しで接着する場合もある。海水接水部にも使用実績がある。

(3) 接着剤の塗布厚

接着剤の塗布厚は 0.25~0.5mm が良い。接着剤がはみ出しても強度は変化しない。押しつけたとき、接着剤がなくなるように基材と被接着物が接する状態を零タッチといい、好ましくない状態である。零タッチになるときは、粘度の高い物を使用すると良い。均一でかつ零タッチにならない塗布が求められる。

(4) 表面処理

被着物の表面処理では、未硬化層をサンディングで落とす。鉄の場合、黒皮の脱脂は必須である。その後プライマー処理し、(サンドブラストではない) サンディングを行う。アンカー効果のためには、表面は、ざらざらしている方が良い。

(5) 耐熱性

110℃から劣化する。110~150℃は短時間 (60 分程度) しか耐えられない。常時高温部には使えない。

(6) 適用例

マリジェットのハルとデッキの接着に使用した。ハンドレイアップ (FRP+SMC) により全面接着で約 1m 接着した例がある。

(7) その他

鉄に有利な変性アクリル系接着剤もある。主材が同じで硬化剤だけ異なる場合は、同じ製品と考えてよい。

接着剤に塩素は入っていない。

3.3 C 社 (主にエポキシ系及びアクリル系)

(1) 特徴

外国で上部構造物に使用されている弾性接着剤は、1 液湿気硬化型の変性シリコン樹脂でできている。シール接着などに利用されている。二液弾性エポキシもある。湿気硬化型は、周囲が先に硬化し、中央部の湿気が不足するため、特に冬場に接着面中央部が硬化不良と成り易い。弾性接着剤と硬質接着剤の中間特性をもつエポキシ樹脂+シリコン樹脂の接着剤も開発されている。

(2) 作業性

反応型の二液のエポキシ系接着剤は硬化に一昼夜かかる。反応型の二液のアクリル系は 1 分位でゲル化する。硬化時間 24 時間以上の接着剤において、最大せん断強度の 50%強度であれば 1 時間で強度発現する。

(3) クリアランス

溶接欠陥に相当するものは接着剤に存在する。周囲に接着剤が付いているが、内部に接着剤の存在しない (クリアランス) 場所が現れることがあり、接着強度の低下をもたらす。注意深い施工が必要であり、表面の油分、錆びなども影響すると考えられ、表面処理が適切に行われていることが前提と考える。

クリアランスの存在を確認する非破壊検査については、聞いたことがない。そこまでコストをかける分野ではないようである。

クリアランスの許容範囲は 0.5mm 以下位である。エポキシ樹脂の方がクリアランスには強い。

二液混合時のクリアランスは数百ミクロンである。500 ミクロン以下ならクリアランスは圧着時につぶれる。

アクリル性接着剤は、クリアランスがあると流れてしまう。

(4) 強度評価

20 年ほど前に日本造船工業会と日本接着工業会による「溶接に代わる接着工法の開発」において、船舶に使用できる接着剤の開発が行われたことがあったが、造船所側の要求が溶接と同程度の強度要求で高すぎ、途中で挫折した。溶接では点接合で、98N/mm² (1tonf/cm²) の強度があるが、現在の構造物接着剤ではばらつき

も考慮すると $37 \pm 3.7 \text{ N/mm}^2$ 程度である。

同時に同じ手法で製作した複数の接着試験片を試験すると、強度は相当ばらつく ($300 \pm 30 \text{ kg/cm}^2$ 程度だが、中には一点だけ大きくばらつき、低い強度を示す場合もあった)。このばらつきを踏まえた上で、通常の管理下で接着した継手強度の評価が必要である。特殊な条件で高く、再現性の良い強度データを出しても、工業的には意味がない。また、同じ試験片で生じる強度のバラツキの原因は、不明である。

接着の対象物によって強度が異なる。接着接合は、面で外力を受け持ち、応力集中が無く、力が分散される。但し、接着面積が広い場合、中央部分は接着不良になる場合があるので注意を要する。二液のアクリル系では水分が硬化に必要なので、中央部に薄く霧を吹いて接着することがある。また、溶剤タイプでは、中央の溶剤が蒸散できる工夫が必要である。耐熱、冷間サイクルの強度に対する影響は、被着剤によって異なる。

黒皮付で接着接合した場合、母材と黒皮の界面剥離により、黒皮ごと剥離する。一般的には作業性・耐久性にも優れたアクリル系の方が強度は高いが、黒皮が剥離するような場合は、コーミングを除いてエポキシ系の方がよい。

接着剤で接合された場合の疲労データは、ほとんどない。

(5) 信頼性

塩分、衝撃、紫外線、振動などに対する信頼性評価法が無い。試験結果と実運航の相関をどうするか。実運航では複合荷重がかかる。促進試験結果と10年、20年後の関係を明確に打ち出す必要がある。経年劣化及び耐久性のデータが不足している。

(6) 適用例

鉄道車両では、新幹線の窓枠のシーリングに接着剤を使用している他、車両の床張りやビニール系の接着に使用している。部位毎に異なる接着剤が使用されている。

オーストラリアのプレジャーボートに二液のアクリル系接着剤を使用した例がある。舶用艀装品への適用研究では、船種を決め、艀装品の部位を絞り、調査方向を明確にする必要があると考える。

(7) 資格

接着剤の施工には溶接のような資格はいらない。溶接ほどの技量は不要であるが、接着剤の塗り方、面の貼り合わせ、効率など、慣れ(経験)によって容易に技量が向上する。

(8) その他

材料・人件費・施工費を考慮したコスト比較が必要である。

新造船よりも、修繕船や設備の増設、運航中の補修などに使用できるのではないかと考える。新造船では至る所で溶接を行っており、メリットがあまり感じられない。

航空機の直接的な主要構造には接着剤を用いていない。

3.4 D社(主にアクリル系及びエポキシ系)

(1) 特徴

①アクリル系

瞬間接着剤は一液性シアノアクリレート系で耐久性が良くなく、長期使用に向かないが、強度が大きく、被着体を選ばず、硬化時間が短いので、内装の固定や仮止めに有効と考える。

第二世代アクリル系 SGA(硬化接着過程で重合反応を行うもの)は瞬間接着剤と同等の接着力を持ち、二液性で準構造用である。硬化時間は数分から数十分である。シアノアクリレート系とエポキシ樹脂系の中間の機能を持つ。使用可能温度は約 200°C 以下である。

②エポキシ系

エポキシ系は接着強度が大きく ($20 \sim 30 \text{ N/mm}^2$ 程度)、耐久性は良い。被着体を選ばない。二液性は一般的に作業性が悪く、ばらつき、汚れる。硬化時間は数分〜一日である。1液性は熱を使用しての作業になるが、耐久性、強度に優れている。硬化時間は 70°C 加熱で約30分である。二液性と比較して作業性がよく、ばらつかないので、自動車のライン製造で好まれ使用されている。 300°C を超えると炭化する。接着強度、粘度、硬化時間、硬化温度などがカスタマイズできる。

(2) 表面処理

塗装の上から接着剤を使用する場合、フッ素コートやシリコンコートの上からは無理である。基本的には塗膜をはがし、メタルタッチで使用する。エポキシ系であれば 20 N/mm^2 程度である。脱脂は必要である。ホコリは多少のついても問題無い。

(3) 耐熱性

使用環境は、エポキシ系は $120 \sim 150^\circ\text{C}$ 程度まで、シリコン系は 200°C 程度までである。500時間程度の環境試験を実施する。剥がすには焼き切るしかない。 300°C 超で炭化する。

(4) 適用例

船舶への適用例としては、ガラスコーティング剤を防汚塗料として、船殻へ塗布した事例がある。(南米で建造された船舶)

自動車分野では従来ネジ・ボルト接合の部分
が接着接合に置き換わっている。コストダウン
と軽量化を目的としている。耐久性の目安は、
10 万 km、500～1000 時間程度である。使用
可能温度は 120～150℃位までである。

(5) その他

簡単な疲労試験であれば可能であるが、一般
的にはユーザー側で試験が実施されている。

4. 海外の状況

4.1 ヨーロッパ

4.1.1 ボンドシッププロジェクト

ヨーロッパにおいて、軽量で異なった材料と構
造の接合のための工業プロセスとして、造船に接
着剤接合を取り入れることを目的にボンドシップ
プロジェクト (BONDSHIP project: Bonding of
lightweight materials for cost effective
production of high speed craft and passenger
ships) が設立された。ボンドシッププロジェクト
は、2000 年 4 月から 2003 年 6 月まで行われ、7
ヶ国から 13 人のパートナー (ノルウェー 2 名、イ
タリア 2 名、イギリス 3 名、ドイツ 2 名、スイス
2 名、フランス 1 名、スウェーデン 1 名) が参加
し、ボンドシッププロジェクトガイドライン
(BONDSHIP project guidelines) がまとめられ
た。

ボンドシッププロジェクトに掲載されている写
真以外に接着剤が適用された情報は、得られてい
ない。現時点では、ヨーロッパにおいても、未だ
研究開発段階であると考えられる。

4.1.2 ボンドシッププロジェクトガイドライン

(1) ガイドライン作製の目的

ボンドシッププロジェクトガイドライン作成
の目的は、以下の 2 件である。

- ① 接合継手の信頼性と安全性を保証する一
般的な要件を提供する。
- ② 接着接合継手の設計、製造、検査の方法
に関する指針と例を提供する。

(2) ガイドラインの内容

本ガイドラインの内容は、以下の 5 項目にま
とめられる。

- ① 接着接合継手の設計
- ② 接着継手の耐火性
- ③ 品質保証と品質管理
- ④ 接着作業員の資格
- ⑤ 稼働中の検査

特に、注意事項は、以下の 3 点である。

- ① 数値解析のみでは、大型試験を実施せず

に継手の破壊を確実に予測できない。

- ② 加速時効試験の結果のみでは接着継手の
長期性能を確実に予測できないと考えら
れる。

- ③ 完成継手の密着強度を確実に測定できる
NDT(Nondestructive testing: 非破壊試
験)方法が全く無い。

(3) 材料選定の要件

材料選定において考慮されなければならな
い要件として、以下の項目が検討された。

- ① 継手の材料/表面
- ② 継手の形状と荷重(例えば、最小のボン
ドラインの厚さと変化)
- ③ 稼働中の温度及び火災の安全必要条件
- ④ 製造と使用における環境
- ⑤ 接着剤の塗布(例えば、速さ、最小のオー
ープンタイム [open time])
- ⑥ 硬化条件
- ⑦ 継手に要求される寿命
- ⑧ 修理可能性への特別な要件

(4) 試験の種類

各種試験が行われ、それぞれ材料選定の重
要なデータとして用いられた。強度試験とし
ては、以下の試験方法が検討された。

- ① せん断試験
- ② 引張試験 (-30℃、RT、+70℃)
- ③ 圧縮試験 (-30℃、RT、+70℃)
- ④ クリープ試験
- ⑤ 疲労試験
- ⑥ Boeing wedge test
- ⑦ Bead peel test

その他に、以下の測定試験も実施された。

- ① Tg (glass transition temperature: ガラ
ス転移温度) の測定
- ② pH 値の測定
- ③ 電気抵抗の測定

(5) 選定された接着剤

市販されている接着剤の中から、本プロジ
ェクトで選定された接着剤は以下の 6 種類で
あった。なお、選定された接着剤及び所見に
記載している接着剤の種類及びメーカー名は、
まとめて表-9 に示す。

① 弾性接着剤 (Flexible adhesives)

- ・ Sikaflex 292
- ・ Sikaflex 552 VP
- ・ Terostat 8590 UHV/M
- ・ Plexus MA 550

② 硬質接着剤 (Rigid adhesives)

- ・ Araldite 420
- ・ Lord 410

表-9 接着剤の種類及びメーカー名

種 類	接着剤	メーカー名
弾性接着剤	Sikaflex-265	Sika Corporation
	Sikaflex-292	
	Sikaflex-552 VP	
	Plexus MA 420	ITW Performance Polymers & Fluids
	Plexus MA 550	
	Terostat-8590 UHV/M	Henkel Corporation
	Terostat-MS 9380	
	EXP Betamate VP71570	Dow Chemical Company
	P-Bond	Premapro LLC
硬質接着剤	Araldite 420	Huntsman Corporation
	Lord 410	Lord Corporation

(6) 主な所見

以下に、本プロジェクトの主な所見を示す。

① pH 値に関する所見

接着剤の pH 値は、被着体の腐食を避けるために、ある一定範囲内にあるべきである。

- ・鉄鋼：常に水分の影響に対して保護されること。
- ・アルミニウム：pH 6～pH 8
- ・ポリカーボネート：pH 4～pH 10

② 電気抵抗に関する所見

接着剤は、電気化学腐食を避けるために、少なくとも $10M\Omega\text{cm}$ の体積抵抗率を持つべきである。この値は、ほぼ絶縁体と導電性材料の抵抗の平均値です。弾性接着剤 Sikaflex 265 だけがこの値に達しなかった。Terostat-8590 は一貫性のない結果となった。

③ 硬質接着剤

ウェッジテストの結果、プライマー処理及び塗装したものは、プライマー層及び塗装で破壊した。また、脱脂処理及びグリットブラスト処理をしたものは、全て接着剤破壊した。従って、強くて耐久性のある継手とするには、金属被着体の接着面からプライマーや塗装を除去しなければならない。

④ 弾性接着剤

2 種類の Plexus 接着剤(MA550 と MA420)の挙動は、硬質接着剤にかなり良く似ていた。例えば、それらの重ねせん断力は、ここで調査された他の接着剤よりかなり大きかった。その上、これらの 2 種類の接着剤では、基材表面から塗料が剥がれているのが観測された。よって、これら 2 種類の接着剤は、ビードは

く離試験及びせん断破壊試験に適当でなかった。

また、別の 4 種類の接着剤(Betamate VP71570、P-Bond、Sikaflex-265、及び Terostat-MS9380)は、BONDSHIP ACs (application cases) として適当でないことがわかった。

4.2 米国

米国船級協会 ABS において舟艇構造用接着剤として、以下のようなスペックが定められている。

- (1) 常温～49℃の雰囲気下で引張せん断接着強さが、6.9MPa 以上あること
- (2) 全ての試験片の破壊状態が凝集破壊もしくは基材破壊であること
- (3) 引張せん断強度の 50% 負荷で、100 万回以上の耐疲労特性を有すること
- (4) 検査のため接着剤の使用工程をまとめ、その中に最大接着厚み、非破壊試験方法、最大クリープについて記載すること
- (5) 接着剤の引張弾性率が FRP の接着面の引張弾性率に比べてかなり小さいこと
- (6) ひずみによる破壊の割合が周りの構造に比べて極めて大きいこと
- (7) 接着剤の物理的特性が、硬化するまでネジやボルトで固定する必要がないくらい速やかに発現すること

5. 強度試験

5.1 被着体

構造用接着剤の舶用への適用事例は限られており、他文献との接着剤の違いの比較を行えるようにするため、社団法人日本船舶電装協会平成 17 年度に実施された「接着剤を用いた新しい電装工事

方法に関する調査研究」において検討されたものの中から、フラットバー（図－1）、L型フラットバー（図－2）、三角台（図－3）の三種類を選定した。これらは実際に使用されている艀装品支持金物であるが、壁面への取り付け部の形状は、溶接のように線接触ではなく、接着接合用に面接触となるように変更されている。材質は A5052 系アルミニウム合金である。

5.2 接着剤

造船会社 3 社に対して構造用接着剤の船舶への適用に関してヒアリング調査を実施したところ、工作精度管理面から艀装品支持金物類等に関しては現行の溶接施工と同程度の 2mm 程度、構造部材に関しては部材長さ 10m あたり 0.2% 程度の工作誤差となる 20mm 程度の隙間へ充填可能であることが求められていることが判明した。

しかし、ほとんどの接着剤メーカーは、接着層厚を一般的に推奨 0.25～0.5mm、最大 1mm 程度としている。その中でも旧 ITW インダストリー社（現 ITW パフォーマンス&フルイズジャパン）のアクリル系接着剤 PLEXUS MA560-1 では 25mm 程度まで充填可能としているが、この厚さは硬化反応時の発熱量が許容可能な最大厚さであり、強度的な観点から設けられているものではなく、この接着剤においても推奨接着層厚は 0.8mm とされている。しかしながら PLEXUS 以外には極厚に充填可能としている市販品がないため、引張強さが比較的大きく、プライマーが不要な点（作業性）を考慮して、接着剤には PLEXUS MA830GB を選定した。なお、PLEXUS MA560-1 は、財団法人舟艇協会で平成 18 年度に実施された「構造用接着剤を用いた舟艇建造技術の開発」において選定されている。

PLEXUS は、SGA(Second Generation Acrylic; 第二世代（重合反応を伴う）アクリル系接着剤)の一種である。SGA は多数市販されており、「接着剤を用いた新しい電装工事方法に関する調査研究」で選定されたものは、ノガワケミカル製のダイアボンド SG380 である。候補対象の接着剤の一覧を表－10 に示す。接着剤の種類別の特徴は以下の通りである。

(1) アクリル系

反応系接着剤で耐薬品性や物理性質に優れ、常温下で接着し、被着材の表面に多少の油膜が付いていても接着が可能である。電気電子機器・車両・建築・金属など多くの分野で使われている。また、耐久性に優れているため構造用接着剤の一つにも挙げられる。なお、メタクリル酸エステル重合体は、アクリル酸エステル重

合体と共にアクリル樹脂に含まれる。

(2) エポキシ系

反応系接着剤で初期接着性が高く、三次元的に重合した高分子の特性として耐水性・耐湿性・耐薬品性・電気絶縁性などに優れ、被着材の種類を選ばず強度や耐熱性にも優れた性質を持つ。さらに、エポキシ樹脂のタイプや硬化剤の種類を選ぶことにより接着性能を多様に設計できる。宇宙・航空機を始めとし、土木建築・電気電子部品・半導体・自動車など高い信頼性が求められる分野で用いられている。耐剥離性や耐衝撃性を向上させるために、ナイロンやイソシアネートなどのポリマーとブレンドさせたものは構造用接着剤として広く使用されている。

(3) ウレタン系

反応系接着剤で常温接着するが、加熱により接着強度を高めることもできる。耐候性・耐油性・耐寒性に優れ、金属・セラミック・プラスチックなどの構造材料用として、また、食品包装用のラミネートフィルムの接着に用いられる。

5.3 他事業における強度試験結果

「構造用接着剤を用いた舟艇建造技術の開発」^{6)～9)}において PLEXUS MA560-1 の S-N 線図が取得された。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」は、接着層厚が厚い場合を考慮していないため、試験片形状は JIS-K-6851「接着剤の木材引張りせん断接着強さ試験方法」に準拠して製作されたものが使用された。この結果から、接着層厚 1mm 以下の試験片では、10MPa 程度の負荷で破断に 1000 万回を要することが分かった。なお、PLEXUS MA830GB の引張強さと引張せん断強さは、PLEXUS MA560-1 より 25～30%高い。

一方、「接着剤を用いた新しい電装工事方法に関する調査研究」³⁾において引張試験が行われた。この調査研究では、接着剤使用適否判断基準として、作業員が作業中に誤ってバランスを崩し、フラットバー（電路金物）につかまっても安全であると考えられる強度として、981N(100kgf)程度の引張強度を確保するとされた。

5.4 本研究における強度試験結果

PLEXUS MA830GB を用いて、現在までに行われた 3 件の引張強度試験結果を表－11 に示す。

(1) フラットバー（写真－1）

過去の電装協会事業の試験結果と同様に、支持金物が変形し、鋼製治具が約 6,000N で変形

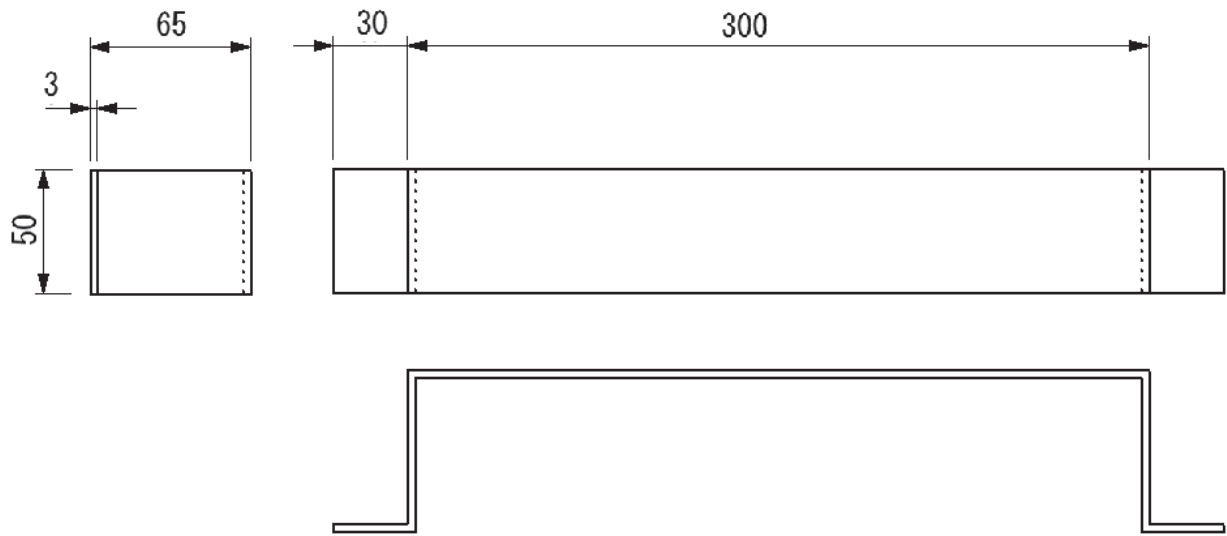


図-1 フラットバー

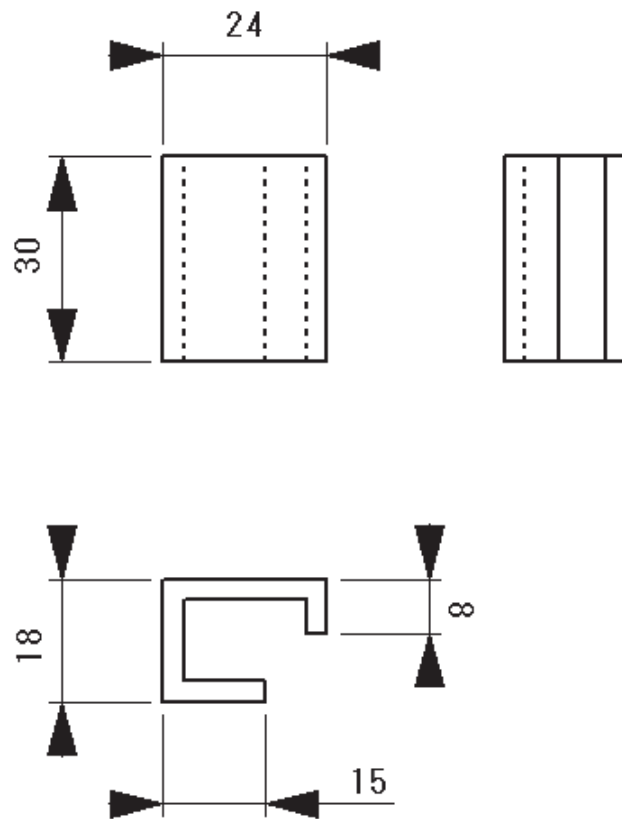


図-2 L型フラットバー

し始めるので、負荷 6,000N 程度で試験を中止した。

(2) L 型フラットバー (写真-2)

ダイアボンド SG380 が 120～920N で破断している³⁾のに対して、PLEXUS MA830GB は 4,000N まで剥離しないものもあり、特に表面をサンディングした試験片では接着面が剥離するより先に支持金物の方が破壊した。

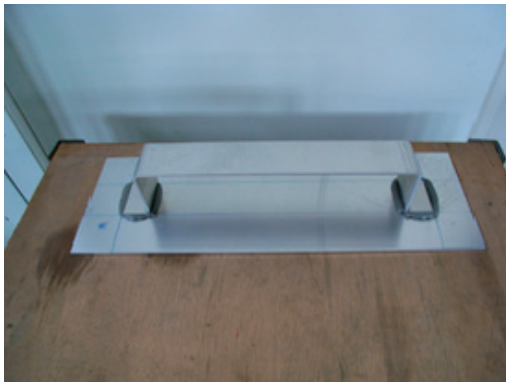
(3) 三角台 (写真-3)

ダイアボンド SG380 がアルミ壁に対して二倍程度の強度となる FRP 壁の場合、1,800～3,700N で破断している³⁾のに対して、PLEXUS MA830GB では、2,000～4,700N で、同程度の値となった。劈開や剥離力が加わっている状態のためと考えられる。

表-11 PLEXUS830GBによる船用艀装品接着強度試験結果

部材形状	サンディング	試験片番号	接着面積	破断(停止最大)荷重		破断応力	破壊モード(%)				備考
			mm ²	kN	kgf		部材界面	壁側界面	凝集(内部)	欠陥	
フラットバー	有	S1	3,000	7.30	744	2.43	-	-	-	-	部材変形手動停止
	有	S2	3,000	5.98	610	1.99	-	-	-	-	部材変形自動停止(6kN)
(H17電装協会)	有	S3	3,000								
エポキシ/2700H	有	S4	3,000								
1.43～7.4kN	無	1	3,000	6.08	620	2.03	-	-	-	-	部材変形手動停止
SGA/SG380	無	2	3,000	5.94	606	1.98	-	-	-	-	部材変形自動停止(6kN)
1.00～1.28kN	無	3	3,000								
	無	4	3,000								
L型フラットバー	有	S1	450	3.84	392	8.54	1	1	98		
	有	S2	450	2.88	294	6.41	-	-	-	-	部材破断
(H17電装協会)	有	S3	450	3.12	318	6.94	3	2	95		部材破断
エポキシ/2700H	有	S4	450	3.58	365	7.96	4	1	95		部材破断
0.37～2.5kN	無	1	450	2.00	204	4.45	8	90	2		
SGA/SG380	無	2	450	2.55	260	5.66	55	40	5		
0.12～0.92kN	無	3	450	4.00	407	8.88	25	20	55		
	無	4	450	2.76	282	6.14	20	65	15		部材破断
三角台(FRP壁)	有	S1	1,200	3.02	308	2.52	10	5	85		
	有	S2	1,200	4.02	410	3.35	2	4	94		
(H17電装協会)	有	S3	1,200	4.68	477	3.90	20	2	78		
エポキシ/2700H	有	S4	1,200	4.28	436	3.57	20	2	78		
1.4～3.28kN	無	1	1,200	2.06	210	1.71	96	2	2		
SGA/SG380	無	2	1,200	2.91	297	2.43	80	4	16		
1.75～3.69kN	無	3	1,200	3.31	338	2.76	65	2	33		
	無	4	1,200	3.65	372	3.04	40	5	55		

※破壊モードは凝集破壊かどうか(80%以上)を判定するあくまで目安であり、厳密に計測したものではない。



(a) 試験前

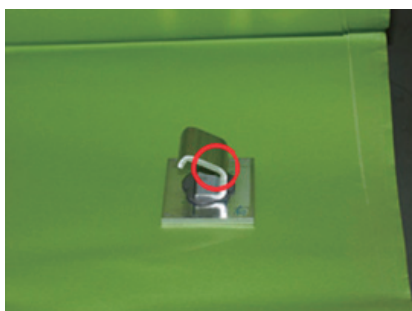


(b) 試験後

写真-1 フラットバー



(a) 試験前（板に接着した状況）

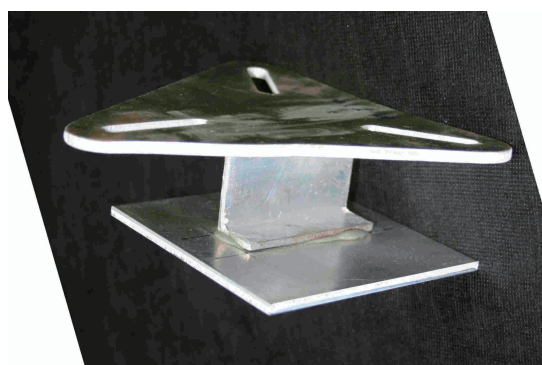


(b) 試験後（斜めから撮影）

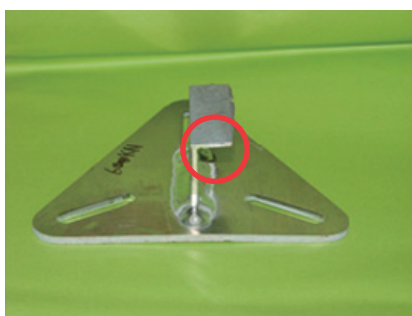


(c) 試験後（水平撮影）

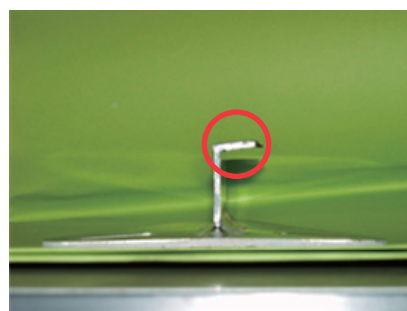
写真-2 L型フラットバー（赤丸部分が直角から変形）



(a) 試験前（板に接着した状況）



(b) 試験後（斜めから撮影）



(c) 試験後（水平撮影）

写真-3 三角台（赤丸部分が直角から変形）

PLEXUS MA830GBは、極厚接着に最も適していると考えられるが、数mm厚接着層で塗布した場合の引張試験データ及びS-N線図が存在しない。PLEXUS MA830GBに関しては、引張試験及び艀装品ではなく疲労試験規格に基づいた形状の試験片によるS-N線図を取得した後、実物を用いた疲労試験をする必要がある。

6. 調査結果

造船所及び接着剤メーカーのヒアリングによって判明した接着剤工法に対する現状、問題点及び要望を整理し、現状の市販されている接着剤の特性を踏まえて、有望な接着剤を選定した。本調査研究により、以下の点が明らかになった。

- (1) 艀装品支持金物類等に関しては現行の溶接施工と同程度の2mm程度、構造部材に関しては部材長さ10mあたり0.2%程度の工作誤差となる20mm程度の隙間へ充填可能であることが造船会社から求められている。しかし、このような極厚塗布を保証している市販品が無いので、今後、極厚塗布用接着剤の開発が必要である。
- (2) 引張試験の結果、接着剤から破損(剥離)せず、支持金物(被着材)の方が先に破損した結果が得られたものがあり、強度上、有力な接着剤が存在することが分かった。
- (3) 造船における接着剤の利用は、現状では、居住区内装等のごく一部に限られていることが判明した。小さな電装関係の艀装品は、実用化の可能性が高いが、実際の船ではほとんど実用化されていない。
- (4) 将来的には、居住区の接着による搭載方法は、造船所との提携による実船での施工実験を行う必要がある。現状では、実証実験を提案できる研究室レベルのデータや実績が全く不足している。
- (5) 溶接で施工されている上部構造物、配管・電気艀装等分野まで大幅に利用範囲を拡大し、生産工数の大幅な低減を目指す必要がある。
- (6) 建造工程中や就航中の環境下で構造用接着剤の使用を可能とするために、造船用接着剤の開発や接着強度、環境劣化等の接着剤の評価方法を確立する必要がある。
- (7) 防火区画での使用は、現状では難しいと考える。規則による制約の調査が必要である。
- (8) 興味を示す造船所及び接着剤メーカーが数社あり、研究のニーズは高いと考える。

7. まとめ

船舶への構造用接着剤利用の可能性を検討するため、造船所及び接着剤メーカーのヒアリング調査と意見交換、文献調査、及び強度試験等を行った。接着剤の利用可能性の高いものは、甲板への上部構造物の接着接合、電装部品の壁面、床面への接着接合等が考えられる。今後検討しなければならない課題として、経年劣化評価、各種強度評価、環境性能評価等が上げられる。また、造船所の強い要望である厚膜塗布に十分適応する接着剤は、現存接着剤の中に存在しないため、船舶建造に適した接着剤の開発が必要であると考えられる。

本調査研究の結果、構造用接着剤の船舶への利用は、様々な課題はあるものの実現可能性はあり得ることが判明した。工数削減、コスト低減等による造船業界の国際競争力強化の意味でも重要であり、平成23年度から当所の重点研究として実用化を目標に研究を開始することとし、現在実施中である。

参考文献

- 1) Jan R. Weitzenböck, Dag McGeorge, BONDSHIP project guidelines, Det Norske Veritas, (2005)
- 2) 日本船舶電装協会, 電装工事に接着剤の利用の可能性を検討するFS研究報告書, (2005)
- 3) 日本船舶電装協会, 接着剤を用いた新しい電装工事方法に関する調査研究報告書, (2006)
- 4) 松野進、他4名: アルミ合金船舶へのウェルドボンド接合技術の適用に関する研究、日本造船学会論文集、第184号(1998)、pp.473-481
- 5) 朝比奈敏勝、加藤数良、時末光: AZ31 マグネシウム合金/1050 アルミニウム合金ウェルドボンド継手の諸性質、溶接学会全国大会講演概要、第65集(1999)、pp.600-601
- 6) 宮入裕夫: 構造用接着剤を用いた舟艇建造技術の開発、舟艇技報、No.92、pp.2-8
- 7) 宮入裕夫: 構造用接着剤を用いた舟艇建造技術の開発(平成19年度)、舟艇技報、No.95、pp.2-16
- 8) 宮入裕夫: 構造用接着剤を用いた舟艇建造技術の開発 平成21年度(その1)、舟艇技報、No.103、pp.2-6
- 9) 宮入裕夫: 構造用接着剤を用いた舟艇建造技術の開発 平成21年度(その2)、舟艇技報、No.104、pp.8-11