

# PS-10 構造用接着継手の実船環境における曝露試験

構造基盤技術系 \* 林原 仁志、岩田 知明、構造安全評価系 安藤 孝弘、村上 睦尚  
弓削商船高等専門学校 森 瑛太郎、小林 一平

## 1. はじめに

構造用接着剤を用いた接着接合は、船舶において一般的に採用されている溶接接合と比較して、入熱が無く工程の自由度が高いため適用の拡大が期待される<sup>1)</sup>。日本海事協会(NK)は、2015(平成27)年に「構造用接着剤のためのガイドライン」<sup>2)</sup>を発行し、構造用接着剤の認定及び継手の強度設計について指針を与えている。

接着継手は、実船における劣化環境に対する長期間の耐久性を求められる。このため、強度設計に際し疲労試験や促進劣化試験結果に基づいた安全係数が設定されている。一方で、構造用接着剤は船舶において適用の歴史が浅く、接着接合の信頼性を向上させるためには、実船環境における強度について更に知見を得る必要がある。当所は、2011(平成23)年度から2015(平成27)年度にかけて「内航船の競争力強化に資する運行支援・建造支技術に関する研究」を実施し、接着接合の適用に向けた研究を行ってきた。その中で、接着継手に引張剪断荷重を付与した試験片を練習船の各部に約430日間設置し、接着継手の強度を検証したので結果を報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 試験片

63mm×20mm×t=2mmのA5052アルミニウム合金製短冊2枚を、アクリル系構造用接着剤(デンカ(株)製C-355-20A/C-355SL-20B)により接着層10mm×20mm×t=3mmとなるよう接合し、図-1に示す引張剪断試験片を製作した。

未曝露の試験片3個による引張剪断試験(雰囲気温度24℃、試験機クロスヘッド引張速さ0.24mm/min)から、平均強度11.9MPa(最大12.5MPa、最小11.6MPa)を得た。また、カタログ値としては強度19.7MPa(接着厚さ規定無)である。ガイドラインにおける設計基準強度は温度影響を考慮した初期破断強度を安全係数40で除すことで求める。上記強度を初期破断強度と見做す場合、設計基準強度は24℃において0.30MPa(実験基準)及び0.49MPa(カタログ値基準)となる。

試験片は、図-2に示す治具に取り付け、荷重を付与した。ナットを回し、バネ(バネ定数4kgf/mm)を縮めることで試験体の接着層に剪断負荷を与えることが出来る。荷重はバネの長さで管理した。曝露試験においては、実曝露試験期間が想定される使用期間に比較して短いことを考慮し、設計基準強度の約6~7倍(カタログ値基準)大きな剪断応力である2.9及び3.6MPaを付与した。本荷重は、ガイドラインにおける接着剤の認定の為の高温高湿曝露試験(曝露中負荷力無)において、試験片が保持すべき強度(3.5MPa)と同程度である。

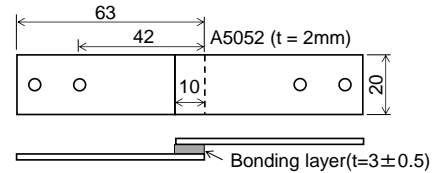


図-1 実船曝露のための引張剪断試験片

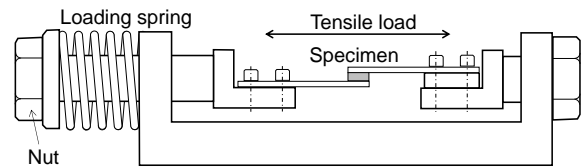


図-2 引張負荷治具

### 2.2 設置場所

弓削商船高等専門学校の保有する練習船「弓削丸」の、図-3に示す3箇所に2.9MPa及び3.6MPaの荷重を付与した試験片をそれぞれ1体ずつ設置した。場所1(羅針甲板)及び場所2(ファンネル側面)は曝露部である。

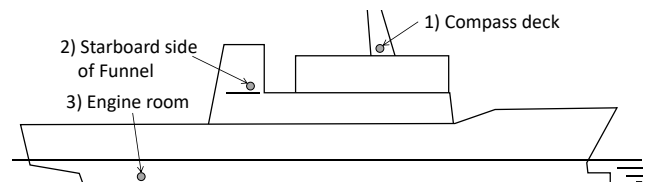


図-3 練習船弓削丸 試験片設置場所

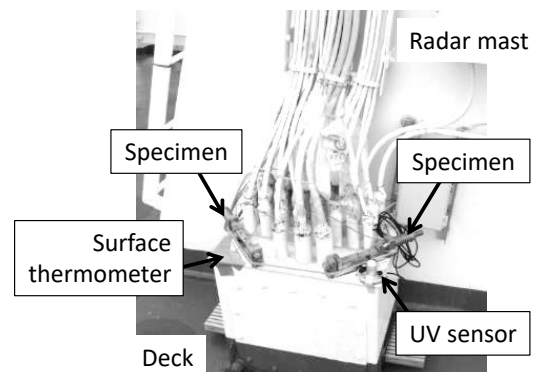


図-4 場所1(羅針甲板)試験片及び計測機器

曝露試験は2015(平成27)年10月22日から2016(平成28)年12月21日までの426日間行った。曝露開始より2016(平成28)年6月15日までは、各場所の表面温度(test製905-T2)及び紫外線強度(カスタム製UV-340C)を、およそ1回/週の頻度で手作業により計測した。計測時期は任意だが、殆どの場合、12時30分~14時の間に行っている。その

後、曝露終了までは、ロガーによる自動収録に変更し、場所1及び2では表面温度（フィールドプロ製 TCTU2F）及び紫外線強度（フィールドプロ製 PCU-01-B）、場所3では雰囲気温度（日置電機製 LR5001）を計測した。曝露中 60、96、160、238、321、371 日目に試験片を目視観察し、継手に変形して荷重が低下していた場合は再度負荷を行った。

治具及び計測機の設置状態について図-4に例示する。この他、図-1とは形状の異なる試験片を同じ場所にそれぞれ設置したが、本稿ではその結果は省略する。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 環境計測

図-5に、場所1（羅針甲板）及び場所3（機関室）の表面温度、雰囲気温度の計測結果を示す。羅針甲板とファンネルの表面温度及び紫外線強度に大きな差は無かった。手作業による計測では、船体と治具双方の表面温度を計測したが、両者に差は無かった。場所1では、夏季において最大表面温度が50℃近く上昇する日が多数ある。平均温度は夏季においても30℃程度であり、最大温度よりは最小温度と近い値である。夏季の50℃付近への温度上昇は、日照によるものであり、経時や天候によって日光が当たらない時刻では、表面温度はより低い値になっていると考えられる。場所3の夏季の温度は、場所1、2より低い。

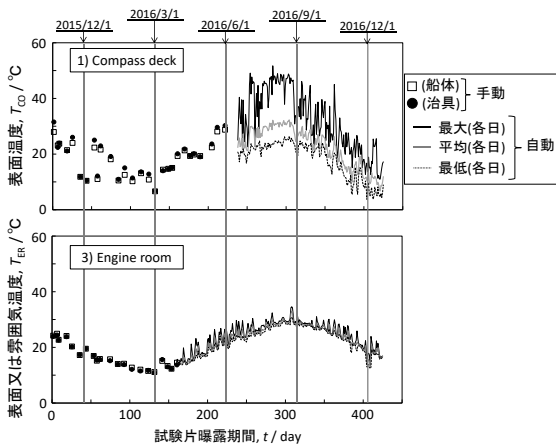


図-5 試験期間における羅針甲板及び機関室の温度

#### 3.2 接着継手の劣化過程

目視観察時に治具のバネ長を計測し、負荷応力に換算した結果を図-6に示す。場所1、2に設置した初期3.6MPaの試験片は、2016（平成28）年6月から9月の間に大きな荷重の低下が見られた。本時点で試験片の伸びにより治具ナットの締込み可能な範囲を逸脱し、荷重を初期値まで再負荷することは出来なかった。初期2.9MPaの条件においても夏季に荷重低下が生じた。場所3は、場所1、2と比較して荷重の低下（試験片の伸び）が小さい。

試験321日目（2016年9月7日）の段階で接着部のエッジからの剥離及び変形が認められた。変形と剥離は場所1、2で

場所3よりも大きく、同じ場所では高荷重条件の方が大きかった。図-7に試験終了後の継手接着部の外観写真を示す。

接着継手の強度は高温では低下する。本接着剤のカタログ値<sup>3)</sup>によると、50℃における引張剪断強度は、鉄基材上で24℃の約33%である。特に場所1、2では、夏季に高温に晒されることで接着層の強度が低下し、雨、紫外線、海水飛沫の影響で機関室内よりも大きく剥離が進行した結果、接着部の変形に至ったと考えられる。実船試験が終了した試験片を室温で乾燥後、未曝露の試験片と同様に引張試験を行ったところ、強度の低下は見られたが、全ての試験片で7MPa以上（未曝露強度の60%以上）の引張剪断強度を保持していた。

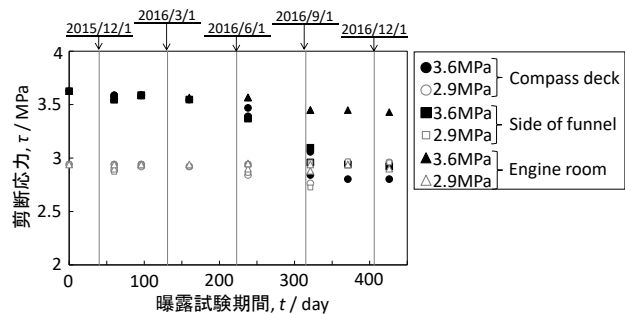


図-6 試験期間における試験片に負荷された荷重の変化

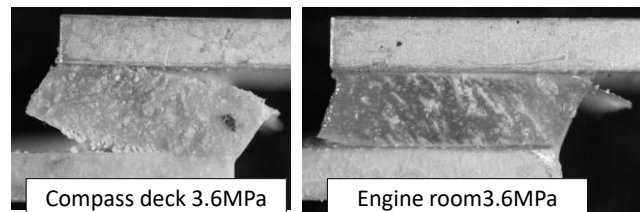


図-7 試験終了後の接着層の状態写真

### 4. まとめ

設計基準強度の5倍以上の初期荷重を負荷した継手であっても、実船の1年を通じた環境変化に耐久することを確認した。環境劣化を抑制するためには、ガイドライン通りに温度影響を考慮する事に加え、継手部への劣化要因（紫外線、海水、雨水）の侵入を防止する継手設計が有効と考えられる。

#### 謝辞

本研究は、弓削商船高等専門学校との共同研究により実施しました。また、実験にあたり、弓削丸船長（当時）の永本和寿氏、当所職員の山根健次氏、秋山繁氏に協力をいただきました。関係各位に深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 秋山繁 他:海上技術安全研究所報告 第12巻1号(2012), pp.17-39.
- 2) 日本海事協会:構造用接着剤使用のためのガイドライン(2015).
- 3) ハードロック製品カタログ(板金用), URL [http://www.denka.co.jp/denzai/product/tape/detail\\_001576.htm](http://www.denka.co.jp/denzai/product/tape/detail_001576.htm) 1, 2017.6.22 閲覧