

## エポキシ樹脂による船用機器据付と LNG 燃料タンクの据付

原田産業株式会社 機械チーム ○松井 勇人 尾崎 彰郎

### 1. はじめに

現在世界中の船用機器で広く使われるエポキシ樹脂ライナーは 1970 年代に日本で紹介され、現在 90%を超える国内造船で採用されるようになった。主機/発電機/舵取機や甲板機をはじめ、船尾管やラダーベアリング等の軸受けの据え付けにも使用されるようになった。また昨今では、船舶汚染防止国際条約 1997 年議定書（MARPOL 条約附属書 VI）の改正に基づく船舶からの SO<sub>x</sub> 排出規制が 2020 年 1 月より施行されたことを受け、現在、新造船における硫黄排出量の削減の為に様々な対策が始まっている。

本項では、エポキシ樹脂ライナーの採用動向に加え、船舶の LNG 燃料化でキーポイントの一つとなる LNG タンクのエポキシ樹脂による据え付けに関しその動向を報告する。

#### 1.1 エポキシ樹脂ライナーの歴史と最新動向

上述のとおり 1970 年代に日本に紹介されたエポキシ樹脂ライナーは現在、国内の造船所の 90%以上で使用されている。100 トン未満の小型船から 30 万トンを超える大型船まで、その採用実績は幅広い。

1970 年代に日本で紹介された樹脂ライナーは当初、主に修繕船での機器の再据え付けに適していたことから修繕ヤードにて採用されていた。その後、主機メーカーからの承認を得たことをきっかけに新造船での主機関の据え付けに使用が始まったとされている。それまで主流となっていた鋼製チョックライナーは、長年培われた職人の技術や勘による出来不出来の要素がある点、また大型船では鋼製ライナーのすり合わせに多くの時間がかかっていた事から、作業の大幅な負荷の軽減と工期の短縮が成しえる点

で、樹脂製ライナーの採用は徐々に広まり、今日となっては近代造船において欠くことの出来ない重要な材料となった。

現在では一般的となったエポキシ樹脂ライナーは、主機関、発電機、舵取機、甲板機などの据え付けだけでなく、プロペラ軸の軸受けとなる船尾管や舵軸のベアリング据え付けにまで採用が広まりつつある。



図 1 主機関へのエポキシ樹脂流し込み

船尾管の据え付けは従来ボーリング工法により船殻側の削り作業を行った後計測を実施する。並行してブッシュ側も機械加工で適正な寸法に削られ、最終的に船体側のボスに圧入する流れである。長年採用された本作業であるが、作業を行う造船所側では上記のとおり多くの手間と時間がかかっている。樹脂ライナーによる据え付け工法は、熟練技師の技術と経験による綿密なボーリング作業を削減することができ、工数と工期の削減が期待できる。造船所によっては 1 週間程度の工期短縮が達成できているともされる。昨今ではメガコンテナや VLCC クラスでの採用も進んでおり、国内実績も 2000 隻を超えた。

樹脂の充填による据え付け工法は工期短縮など利点が多い一方、採用するにあたって懸案もある。一つの課題としては船級毎によるスタンフレームの厚み計算が違うことである。つまり船級ごとにスタンフレームの厚みを変更する必要があることから、現在、本推進装置委員会にて議題の一つとして取り上げられており、議論が進められている。



図2 船尾軸受けへのエポキシ樹脂流し込み

## 2. 船用 LNG タンクの及びその据え付けについて

2020年1月1日からのSO<sub>x</sub>排出規制により、船舶の低硫黄燃料への移行検討やスクラバーの設置、またLNG燃料といった新技術への移行が順次進んでいる。国内でも建造が始まっているLNG燃料船のタンクの据え付けに関し、代表的な工法とその特徴を紹介する。

### 2.1 船用 LNG タンクについて

LNG及びLPGタンクは主に図3に示される通り、IMO Type BとType Cに大別され、その各々の特性等により採用される形式が異なる。

現在建造が進むLNG燃料船におけるタンクは、大型船向けとしてHorizontal Cylinder型、小型船ではPrismatic型の採用が確認されている。防熱方

式は大型のタンクほどウレタンでの防熱方式を採用し、小規模に収まるタンクでは2重壁による防熱方式を採用されることが多い。

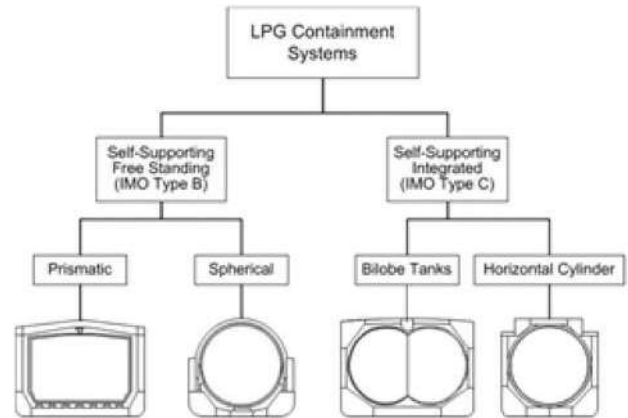


図3 主なLPG/LNGタンクの形状

### 2.2 LNGタンク据え付け用樹脂材料について

現在世界で広く使用されているLNGタンク用の据え付け用樹脂（以下LNGタンクマスティック）は、傾斜壁面に対して塗布が可能なペースト型と、ポンプ等により注入が可能なリキッド型の2種類がある。

従来のエポキシ樹脂ライナーはLNGタンクで想定される超低温環境下（-160℃以下）では特性を発揮することが難しく、この温度帯でも安定した圧縮強度や柔軟性を有するLNGタンクマスティックが、LNG燃料タンクの安定的且つ恒久的な保持に重要となる。



図4 リキッド型のイメージ



図5 ペースト型のイメージ

LNG タンクマスティックは、一般的に 2 液混合型であり、低速回転型のドリルモーターで約 3 分間の攪拌を行われる。粘度の低いリキッド型（図 4）は樹脂ライナーの攪拌として一般的なドリルモーターで使用可能だが、ペースト型（図 5）は粘度が高く、専用の 2 軸式ミキサーで攪拌する必要がある。

### 2.3 ペースト型 LNG タンクマスティックについて

ペースト型タンクマスティックは、前述のとおりせり上がった傾斜壁面や垂直壁面でも一定の厚みを保持できる特性を持つ。これは Horizontal Cylinder 型のタンクの荷重を受ける曲面サドルに対し塗布が



図6 ペースト型のサドルへの塗布

可能な材料であり、コテやヘラ等によりサドル表面に塗布される（図 6）。また本材料は、タンク側に事前に固定されるプレスウッドの接着材料としても使用される（図 7）。

ペースト型マスティックの施工手順は単純であり、攪拌した樹脂をサドル表面に塗布したのち速やかにタンクを下してコーミングからマスティックをあふれさせ硬化を待つというものである。欧州をはじめ多く使用実績を持つペースト型マスティックは、材料の攪拌から塗布、タンクの下架に至るまでに非常に短い時間で作業が終えられるという利点を持つ。一方で注意が必要なのは、攪拌からおおむね 1.5 時間程度で初期硬化が始まるという点である。つまり材料のミキシング/塗布/タンクをサドルに下ろすまでのすべての作業をこの時間内に完遂させる必要があるということで、各作業にどれだけの人員と道具が必要かなどを、事前に注意深くシミュレーションしておく必要がある。



図7 ペースト型によるプレスウッドの固定

またタンクの大きさや外気温の状況によっては、硬化速度が速まる可能性があり、余裕を持った用意をすることが必要である。加えて短時間での作業完遂の為、タンクをクレーンで吊った状態で塗布作業を行うこととなる。作業員に対する安全対策も十二

分に配慮すべきである。タンクのアライメント調整を綿密に行うための時間を確保することも難しいことから、ほとんどの場合でペースト型マスティックを使用の際はタンクをサドル最下部まで完全に下ろすようにしており、樹脂の厚みを均一に確保したい場合には、タンクを所定の位置で固定しアライメント調整を行うが、何らかの方法でタンクの荷重を船体側で仮受けする必要がある。

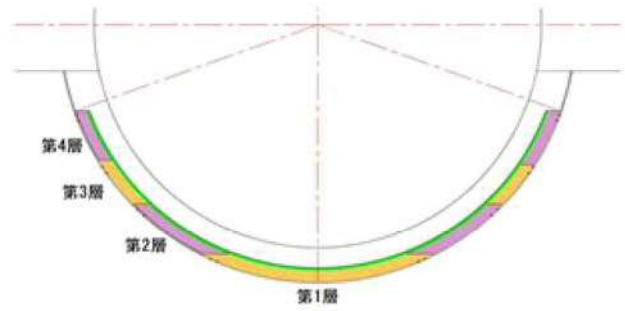


図8 段階的な液状樹脂の注入イメージ

## 2.4 リキッド型 LNG タンクマスティックについて

リキッド型 LNG タンクマスティックは図4で示すように、樹脂ライナーと同様に粘度が低く、流し込みに適した液状の材料である。従って Prismatic 型タンクなどの平面据え付けを要する場合に有効であるが、Horizontal Cylinder 型や Bilobe 型タンクでも、事前にプレスウッドと曲面サドルの隙間をスポンジやシリコン等でシールすることで充填は可能である。ただしサドル最下部周辺では、樹脂の重さによるヘッド圧(注入高さ分の重量)がかかるため、樹脂の漏洩に対する対策が要求される。図8で示すように充填作業を数回に分け、段階的な注入を行うことでヘッド圧を抑えることが望ましい。

リキッド型マスティックはペースト型と違い粘度が低いことから、万一内部に空気が混入しても抜けやすいという利点を持つ。サドル内部の荷重有効面積内にエア残留が少ないという点は、船主にとっても大きな安心材料となる。

事前のシーリングや充填用ポンプの手配、段階的な充填、リキッドマスティックの硬化後にシール材を除去し、隙間をペースト材で補充する必要があるなど、現段階では前述のペースト型よりも手数が多くかかることで作業完遂までに時間を要するが、内部残留エアが極めて微小に抑えられる点、時間に追われることなく各作業が行え、またタンクのアライメントも時間をかけて行える利点もある為、安全に施工が行える工法ともいえる。

## 3. まとめ

LNG 燃料タンク据え付けに関して代表的な実績工法を紹介したが、各々の工法でそのメリットとデメリットが異なる。また国内では数隻程度の実績であるため、工法自体の改善点は多い。今後、ペースト型/リキッド型各工法のブラッシュアップが工期及び工数、またコストの改善に結びつくと考える。

今回紹介した2種類の材料とその施工における比較を表1に示す。

表1 各材料における比較

	ペースト型	リキッド型
施工日数	約1~2日※	約3~4日※
硬化時間	初期硬化 1.5~3時間 荷重可能 約3日 最終硬化 約7日	初期硬化 1.5~3時間 荷重可能 約3日 最終硬化 約7日
作業人員	20人以上 ※	約10人以下 ※
主要材料	ペーストマスティック ウッドスティック パテ及びビニールシート コテ/ヘラ ミキサー1種 硬度計1種 サンプルケース 投光器(冬季) 等	リキッドマスティック ペーストマスティック スポンジゴム シリコン/接着剤 グリース コテ/ヘラ ミキサー2種 硬度計2種 注入用ポンプ サンプルケース 投光器(冬季) 等
メリット	シンプルな作業工程 短い作業日数	完全に確実な充填が可能 安全な作業
デメリット	十分な作業者の確保 十分な攪拌機材の購入 クレーン吊り下の作業 傾斜壁での材料の垂れ下がりと、後追いで追加充填作業	複数の作業工程 段階的な樹脂充填作業 ポンプの購入

※タンクのサイズや施工環境により異なる。