最近の樹脂ライニング技術

青木 茂*

New Technology on Plastics Lining

Shigeru AOKI*

化学装置内面防食用としての樹脂ライニングに関する最近の話題を原料樹脂、下地処理、検査・診断技術、品質保証とに分けて概説した。

1. はじめに

化学装置の機器や配管に用いられる有機材料は、戦後それらが登場したときに期待されたほどには広まっていないが、それでも筆者らが実施したアンケート調査によると、FRPやライニングとしていろいろな部分に使われており、評価も決して悪くはない。²⁾

しかし装置を長寿化することが要求されている最近の状況下において、これら材料に対する品質保証や検査診断(寿命予測)技術の向上が、ユーザー側から強く望まれている。このことは、化学工学協会が科学技術庁の委託で実施した耐久性予測に関する調査の一環として、大手化学会社を訪問調査した結果でも示されている。³⁾

本稿では、有機材料のもっとも一般的な使用形態であるライニング・コーティングについて、最近の話題を原料樹脂、下地処理、検査・診断技術、品質保証の各項ごとに列記してみたい。

2. 原料樹脂

現在、樹脂ライニングとしてもっとも広く用いられているのは、排煙脱硫装置や貯油タンク底板

内面防食用のフレークライニングであろう。その種類と表示については後述するが、これはフレークというガラスの薄片をマトリックスである樹脂中に充填し平行に並べたものである。

そのマトリックスとして、ビニルエステル樹脂が多用されるようになって来ている。これは単体のFRPと同様、熱硬化性樹脂の中での選択となるが、エポキシ樹脂や耐食用の不飽和ポリエステル樹脂(イソフタル酸、ビスフェノール系)に比べて、強靱で割れにくいことや耐熱性が若干良いことなどのためである。

一時はエポキシアクリレートなどとも呼ばれたが、最近ではビニルエステル樹脂として統一されている。これにもビスフェノール型とノボラック型とがあり、後者の方が破断伸びが大きいとされている。

破断時の伸びが大きいということは、母材の変形にも追従しうることを示し、また軟質ゴムのように伸びが極めて大きければ、ある種の磨耗に対しても耐えうるため、塗料やコーティング(両者の区別について⁴⁾は今ここでは触れない)においてはウレタン樹脂が注目されており、いろいろな新製品も発表されているようである。

熱可塑性樹脂の話題としては、テフロンに代表されるフッ素樹脂の再展開があげられる。耐食性

* 千代田化工建設(株) 副技師長兼材料技術部副部長
技術士
〒210 神奈川県川崎市川崎区池上新町3-1-4
☎ 044-266-6361

*Chiyoda Chemical Engineering & Construction Co., Ltd.

1-4, Ikegamishincho 3-chome, Kawasaki-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 210

は抜群といわれながら、高価なことゝ施工しにくいことからなかなか普及しなかったが、最近、性能・加工性ともに良いという PFA（パーフルオロアルコキシ）樹脂が開発され、これが契機となつてか、配管内面のライニングや、機器のコーティングが増えている。目下、化学工業協会の非金属分科会では、日本弗素樹脂工業会などに協力してもらつて、使用実績のアンケートを取りまとめ中である。

フッ素樹脂のコーティングも粉体塗装で行われるが、その他の熱可塑性樹脂の粉体塗装は、配管のポリエチレンライニングなどを除くと、比較的環境のマイルドな大気中での防錆用が主であったようであるが、最近ポリブテンの溶射など、装置内面の防食ライニングも試みられている。

3. 下地処理

樹脂ライニング用の鋼面の下地処理としてはブラストが最適とされている。ブラスト処理の方法は、回転円板から研削材を投射する遠心式ブラストと、高圧空気流に研削材を乗せて噴射するエアブラストとがあるが、最近は粉塵防止などの目的から水を利用する方法が開発されている。

研削材に水分を供給したもの、スラリー状にしたもの、さらに高圧空気ではなく高圧のウォータージェット中に研削材を入れ噴射するものなどいろいろあるが、水を使うので、ブラスト後の再発錆防止のためにインヒビターが添加されている。したがって排水処理が必要となり、またブラスト面がアルカリ化していることがあるので注意しなければならない。

ブラスト処理に関する最大の話題は、ISO の制定準備が着々と進んでいる⁵⁾ことであろう。現在、ISO TC 35(塗料およびワニス)の下部に、SC 12 という分科会が組織され、「塗料および関連製品の施工時における鋼面の前処理」に関する国際標準を作るべく、6 年前から作業が続けられている。SC 12 の活動は、次の三つのワーキンググループに分れている。

- WG 1 : 表面粗さ (幹事国はイギリス)
- WG 2 : 清浄度 (幹事国はスウェーデン)

◦ WG 3 : 施工技術 (幹事国はドイツ)

この ISO に関しては米国も極めて協力的で、下地処理のグレード (SP-No) で有名な SSPC (鋼構造物塗装協会) が、NACE (腐食技術者協会) の傘下に入る形で、前記 3 WG に対応する委員会が出来ている。

日本は、実はまったく立遅れており、ISO からの度々の呼びかけにもこれまでは無反応であったが、ようやく今年の第 5 回会合に、日本塗料工業会が引受け団体となって筆者が参加した。しかしまだ国内体制は不十分で、オブザーバーでしかない。今後、同工業会を母体としてもっと強力な委員会が作られるべきであろう。

各 WG での作業の進捗程度は一樣ではないが、表 1 に第 5 回会合時点での状況を示した。表面粗

表 1 ブラストに関する ISO の審議状況一覧

担当	Part No	Title	状況
SC 12	—	Preface	DP
WG 2	AO 1	全面ブラスト時の原板さび度及び仕上げグレード	DIS
”	AO 2	既塗装鋼板の部分ブラスト後の仕上げグレード	DP
”	BXX	ブラスト後の表面の可溶性腐食生成物の現場テスト	WD
”	BZZ	結露の危険性の決定法	WD
”	—	グリース、ワックス、油付着 — Fettrot テスト	TG Report
”	—	残留塵埃の検出法	TG Report
”	—	塩化物の試験法	WG
”	—	塩化物の決定法	TG Report
”	—	塩分の決定法	TG Report
WG 1	COO	表面粗さ比較板の使用法	DP
”	COOO	表面粗さ比較板の仕様	DP
”	CXX	触針式粗さ計による表面粗さ比較板の校正	WD
”	CXXX	顕微鏡法による ”	WD
WG 3	DO 2	研削材ブラストによる表面仕上げ法	DP

(注) 審議状況のグレード

Official IS : 正式に制定された国際標準

DIS : Draft of IS
(ISO 本部で IS 化作業所管)

DP : Draft Proposal
(SC/WG 内で審議採決)

WD : Working Draft
(WG 内で審議、IS の書式で書かれる)

TG Report : 技術的内容をまとめたもの

さについては、標準比較板方式をとっており、先年本紙で紹介した定量的測定法⁶⁾に比べると遅れているが、その比較板の粗さの区分程度など日本として賛成できるのかどうか、さらによく検討されるべきであろう。

WG 2 で考えている清浄度は、除錆率だけでなく、ブラスト仕上げ面に残留する塩分や塵埃なども取り上げており、このまま決まるとすれば現場的に対応しきれぬかどうか、大きな問題である。WG 3 の方法論にしても、ドイツ国内で使用している研削材が前提となっているようなので、国内の実状とかけ離れる事態が生じる可能性がある。日本としては、これら作業の進行に充分注意しておかなくてはならない。

4. 検査・診断技術

樹脂ライニングの検査に関しては、表 2 に示すように、検脂ライニング工業会が諸基準を制定している。また下地処理としてのブラスト仕上げ面の検査については、前項でも一寸述べたように、本紙で紹介した⁶⁾ことがある。これらは、いずれもライニングの施工時点での検査であるが、機器を使用し始めてからの診断技術にはどんなものがあるだろうか。

残念ながら診断（さらに寿命予測も可能となるような）技術には、共通的な手法やまとまった基準がまだない。以下、断片的な事例を二、三紹介する。

まずライニング皮膜がはく離しているかどうか

表 2 樹脂ライニング工業会制定の検査等に関する基準書リスト

番 号	題 目
PLA-R-101-74	樹脂ライニング用機器設計基準書
PLA-R-102-76	ピンホールテスト及びピンホールテスター基準書
PLA-R-103-78	樹脂ライニング皮膜の厚さ測定に関する基準
PLA-R-104-80	樹脂ライニング皮膜の硬さ測定に関する基準
PLA-R-201-74	樹脂ライニングの現地施工における安全基準
PLA-R-202-74	樹脂ライニングの現地施工における安全対策チェックリスト

のチェックである。できれば完全にはく離してしまう前に、母材との接着力が低下している状況が非破壊的に分ればよいのだが、現状では不可能で、実際にはがしてその時の力を測定するしかない。

現場で実機を対象に測定する機器としては、従来も塗装用には 2, 3 の器具が考案されていたが、最近樹脂ライニング工業会では、はく離時の荷重速度も一定にしやすい器具を開発した。間もなく発表される予定である。

非破壊的に調べるとなると、接着力が 0 となってからでなくてはならないが、従来は皮膜面を打診棒で叩き、音色で判断するしかなかった。しかし、最近ライニング皮膜の種類によっては、超音波厚さ計を改造すれば使えることが判って来た。硬質ゴムライニングのように厚くて硬い皮膜の場合には、母材である鋼板の表面側から内面ライニング皮膜のはく離の有無が分る場合もある。

また、はく離だけでなく、ライニング皮膜面から母材の厚さをも知ることが可能であり、タンク床板の内面側をライニングした場合に、底板が下方の基礎側から腐食しているかどうかを知ることでもでき、大変有用である。⁷⁾

次にライニング皮膜が使用中にどれだけ劣化したかを判断するには、表面からの色・ツヤの変化や硬さ（これは非破壊ではなく、硬さ計の針で表面を傷つける）を調べることが多いが、もっと寿命予測に近づける方法として、皮膜を切り取ってその断面を調べると良い場合がある。

水分や他の環境剤の浸透によって皮膜の色が変わる場合には、断面を研磨する（皮膜によってはナイフで斜めに削る）だけでどれだけ深く環境剤が浸透したかが判る。さらに、浸透した元素（Cl や S など）を EPMA で追いかけられる場合もある。⁸⁾ただし、これらの断面観察では、変色や分析などで確認できる深さだけが変質・劣化層の最大深さを意味するとは限らないので、その試験で得られた結果が何を示しているのか、充分に検討しておくことが必要である。

とくに水分は、 Cl^- や SO_4^{2-} などの成分と違って早期に浸透しやすく、皮膜両面で温度勾配がある場合に水蒸気拡散として問

題となっている。⁹⁾ この水分が母材表面に達すると、途中のライニング皮膜がほとんど変質・劣化していない場合でも、同伴した微量の酸素とともに母材をさびさせたり、母材と皮膜との界面に溜まって皮膜にふくれ（ブリスト）を生じさせたりするわけである。

後者において、軟質あるいは比較的薄い皮膜では、初期の状況（小さく散発的なふくれ）に気づいて対策を取りうる場合もあるが、厚くて硬い皮膜（フレックライニング等）では、ふくれにくく、全面的なはく離となってしまう、事前に手を打っておけないことがある。

そこで、定期的に一部の皮膜をはがして母材面の変色（薄いさびが生じてても接着力は充分ある場合もある）を調べたり、まだ実験室的にしか成功していないが、予じめライニング皮膜内に電極を埋め込んでおいて、水分が到達すればその周囲の電気抵抗が変ることを利用したりする方法が試みられている¹⁰⁾。

なお塗装皮膜では $\tan \delta$ その他の電気特性変化から劣化度を知る方法が広まっているが、厚い皮膜の場合は測定時の外乱が大きく、少なくとも現場的には難しいようである。

5. 品質保証

樹脂ライニング技術において、品質保証（QA）と呼べるような体制作りはまだされていない。

そこで、原材料や施工法の上で比較的共通点の多い、単体 FRP の品質保証に関する資料を紹介し、ライニング業界においてもこれに準じた検査・記録・技能検定等の諸体制が考えられるべきであることを提案したい。

その資料とは、米国の FRP 協会ともいうべき SPI / RPC が、MTI（化学装置材料技術委員会）と合同で作成し、1950年末に発表した QA Report である。表 3 にその本文、全 8 章の要旨をまとめてみた。その他に 8 項目の付録が付いている。このようにして設計・製作・検査を行い、それらの記録を残すことによって、始めてユーザーに対して保証しうる品物を納めることが出来るし、またユーザーとしても安心して受け取ることが出来るという内容が、詳細に定められている。

QA とは、個々の工程が完全に実施されることだけでなく、首尾一貫したシステムとして運用されなければならない。ここまでしたらコストがかかって、との声も当然出て来ると思われるが、逆に各工程の見直しによる合理化の要素や、原料間違い等の誤作防止効果もありうるし、何よりも優れた製品に対する信頼感の向上は、最終的には需要の増加にも結びつくものと考えている。

ところで、現実の樹脂ライニングでは QA への

表 3 SPI QA Report 本文各章の要旨

章	標 題	主 な 内 容
1	結 論	適用範囲：圧力 1.05 kgf/cm ² 以下で使用する耐食 FRP 製機器。危険度の事前評価による三段階分類。
2	必要な基本データ	材料選定・設計・製作上必要な、ユーザーから提供されるべき項目を詳細に列記（フォームシート例付き）。
3	標準積層板	標準的積層構成板の物性と許容欠陥リスト。
4	設 計	ASME Section VIII, Div. 1 の計算式による方法と、各部の応力解析による方法とを規定。地震荷重の評価法も示す。
5	製作時の品質管理	仕様書、図面、強化材、樹脂、硬化剤、積層構成、部材組立てについて、管理の手順や検査法を詳細に規定。
6	受入れ検査	原材料の品質レベル、製作基準、完成検査項目を説明。すべての仕様書・図面・検査補修記録等を整備し、製作機器を調べやすくしておくのはメーカーの責務としている。
7	QA の進め方と記録法	QA の計画書・組織の作り方を解説。記録用紙のモデルも紹介。
8	製作工場の資格	設備・人員・QA プログラムの要件を解説。とくに工場の製作モデルや、二次接合部の技能検定法を規定。

道は、まだまだ遠いところにある。よく引合いに出されることであるが、金属材料は JIS などの材料規格が整っているの、それをベースとして選定や設計および見積りが行われ、関係者が共通の土台で検討することが可能なのに対し、有機材料はその点未整備なものが多い。一部の熱可塑性樹脂や原料樹脂では、不十分ながら規定されているものもあるが、熱硬化性樹脂のライニング材料のように、充填材などと複合化されたものについてはまったく規定がない。このことが、第2項で述べたように、現在もっとも広く用いられているフレックライニングにおいて、とくに問題となって来たのである。

フレックライニングは、希硫酸環境という極めて厳しい排煙脱硫装置で用いられ成功を収めて以来、石油タンクの底板内面のコーティングや海洋構造物の重防食塗装など、各方面で注目され、その利用範囲が拡大しつつある。

ところが、それらの用途に応じて施工性・経済性を追求する過程で、同じフレックライニングという名称であっても、皮膜の組成・構造ひいてはその性能がかなり異なるものが出廻るようになって来たのである。

そこで、化学工学協会の化学装置材料委員会に設けられた非金属分科会（主査・筆者）では、まずその材料のグレードが判断しうるような表示法を定めることとした。本来、材料規格とはその表示に対する性能も示されるべきであるが、それはこの品質表示が定着し、それにもとづくデータや実績が蓄積されてからでないと、現状では無理であろう。むしろ蓄積を早めるためにも表示だけを先行させようと考えたわけである。この表示は、QAへの第一歩ともなりうるものであろう。

非金属分科会では、シンポジウムやメーカーからの勉強会、さらにメーカー二十数社等へのアンケートなどによって品質表示の原案をまとめ、上部の化学装置材料委員会名で、それを指針として制定した。われわれは、この指針が材料メーカーや施工業者が自社の製品に対してこの表示を使うとともに、ユーザーもその仕様書や図面にこの表示を書き入れることを望んでいる。

この品質表示指針の本文および趣旨や制定の経

緯は、化学工学協会の会誌「化学工学」本年9月号に発表したので参照されたい。骨子は、性能に影響する因子として、次のものをあげ、それぞれにローマ字または数値による略号を定め、それを(1)、(2)グループごとにまとめて記すようにしたものである。なお(1)グループの表示は主として材料メーカーによって、(2)グループの表示は主として施工業者によって定められればよい。

- (1) 基本材料表示：樹脂の系統、フレックの材質、粒度、表面処理、配合重量化
- (2) 施工に関する表示：施工法、乾燥膜厚、下地処理のグレード

たとえば、“V-G-105-T-30”とは、ビニルエステル樹脂(V)をマトリックスとし、ピーク粒度が105ミクロンの、表面処理をした(T)ガラスフレック(G)を30%充填したものである。また、施工に関して“T-1500-10”とは、こて塗り(T)で、フレックを含んでいる層だけの全体の乾燥膜厚が1500ミクロンであり、下地処理としてはSSPC-SP 10(ニアホワイト仕上げ)を要求しているという意味である。

このような表示は、多勢の方が使いつつ不備な点を修正して行くべきものと考えているので、本誌上をお借りして、関係各位が本指針を利用されるようお願いしたい。

引用文献

- 1) 青木茂：FRP製耐食機器使用状況に関するアンケート結果報告，日本材料学会腐食防食部門委員会第12回研究集会資料，p1～37(1978)。
- 2) 化学工学協会：化学装置用耐食非金属材料と使用実績データ集，p3～48(1982)。
- 3) 化学プラントにおける損傷等調査委員会：化学プラントにおける材料の損傷と寿命予測，化学工学，**48**，〔3〕p158～172(1984)。
- 4) 青木茂：最近の樹脂ライニング技術，防錆管理，**26**，〔1〕，p21～28(1982)。
- 5) 青木茂：プラスト処理に関する国際標準(ISO)の制定，防錆管理，**27**，〔9〕，p24～26(1983)。
- 6) 青木茂：プラスト仕上面の定量的評価，実務表面技術，**28**，〔9〕，p412～418(1981)。
- 7) 三原巖：石油タンクの腐食対策と防食設計・施工技術の検討講座，施策研究センター(1981)。
- 8) 青木茂：高分子材料の接着および界面特性—接着・

界面の実際：ライニングにおける実績例，日本材料学会腐食防食部門委員会資料，**17**，〔85〕，Part 2，p 46～56 (1978)

9) 井口高行，奥田聡：樹脂ライニングの水蒸気拡散現

象，金属表面技術，**24**，〔9〕，p 522～525 (1973)
10) 工藤喜代孝，富川水門：有機ライニングの性能試験法，化学工学協会第15回秋季大会予稿集，SI 312，p 511～512 (1981)

休憩室

金属感覚の新プラスチック素材

服飾付属品の大手メーカー，アイリス（東京）は，ハンマーでたたいても割れず，へこまず，高低温にも耐え，見た目には金属のようで金属より軽くて安いプラスチック素材を開発した。

「ネオブラ」がそれで，ナイロン系樹脂に特殊な混合物を加え，鈍いアンティックな金属感を出すようにしたもの。ABS 樹脂より耐衝撃性があり，耐寒耐熱性も－40～140℃に耐える。

ボタンなど衣料に使用するとき，アイロンが自由にかけられる，縫製後の検針機にも反応しない，価格は金属製やめっき製に比べ20～30%安

い。ボタン，バックル，ホック，めがねのツルなどへの応用が期待されている。

(59. 5. 4 日経産業)

新素材アルミ・リチウム合金

フランスのペシネー社は，新素材アルミニウム・リチウム合金の開発に成功した。

リチウムは，比重が0.53と金属の中で最も軽く，アルミに1%混入するだけで3%の軽量化が図れ，剛性は6%も上昇するという。とくに航空機においては，従来の合金をアルミ・リチウム合金に代替すると，1機当たり10～15%の軽量化が可能であり，燃費節減に大きく寄与する。

同社では，今後幅広い用途が開けるとみて本格的な生産体制に入る。

(59. 10. 1 軽金属ダイジェスト)

金めっきバイクと金めっきカメラ

本田技研工業は，50ccのレジャーバイク「ホンダモンキー」に「ゴールドめっき仕様」を設定，10月1日から限定販売する。従来車に比べ3万円高の13万9,000円。

(59. 9. 18 朝日)

日本工学工業は，金属部分に純金めっきをほどこした「ニコンFAゴールド」を11月上旬から2,000台に限って発売する。「カメラグランプリ」（年間最優秀新型カメラ）の第1号にニコンFAが選ばれた記念でカバーもトカゲ革張り，普通機に比べ3倍強の50万円。

(59. 10. 3 朝日)

統計処理プリンター機能付 電解式メッキ膜厚計 モデルGP-08、G-07

新型GP-08は、従来の器械に全自動統計処理プリンターを内蔵し、増々、便利になりました。G-07は計算器が付いており、校正計算、統計処理等の計算(プリント)が簡単に出来ます。

モデル GP-08

モデル G-07

膜厚計の総合メーカー販売輸出／英国エルコメーター社総輸入元
電測工業株式会社
ELEC FINE INSTRUMENTS CO., LTD.
東京都中野区中央2-47-1 電話(03) 365-0861(代表)
テレックス 232-3131