

第5章 内面保護コーティングの耐用年数

容量1万キロリットル以上の液体の危険物を貯蔵する屋外タンク貯蔵所に対する保安検査の最長の周期は現在13年であり、保安のための措置として内面コーティングが要件の1つとなっている。この内面コーティング塗膜の耐用年数については、20年とされている（「コーティング指針」：平成6年9月1日付け消防危第74号）近年この年数を超えて使用され健全であるものの実績などデータも蓄積されてきており、安全性を低下させずに、コーティング塗膜の耐用年数を延長することが可能かの検討を行うこととなった。そのため、温度勾配浸漬試験、現地調査及びコーティング塗膜の補修履歴データの収集・分析を行い、耐用年数について見直しを行った。

検討はガラスフレックコーティング（以下、「GFコーティング」という。）について行った。これは、検討対象の新法タンクにおいて周期延長のためにはGFコーティング又はガラス繊維強化プラスチックライニングが要件となっているが（危険物の規制に関する省令第62条の2の2）、実態として新法タンクにおいて施されているコーティングとしてはGFコーティングがほとんどであるからである。なお、過去のGFコーティングの検討にあたっては、「エピビス系ビニルエステル樹脂」という用語が用いられているが、現在一般的にはこの用語の代わりに「ビスフェノール系ビニルエステル樹脂」が用いられていることから、この報告書では「ビスフェノール系ビニルエステル樹脂」を用いる。

5. 1 コーティングの耐用年数に係る過去の検討結果の整理と今年度の検討方法

タンクの内面コーティング塗膜の耐用年数に係る過去に行われた調査検討等で、今回の検討に関連する内容について概要を以下に示す。

5.1.1 平成12年度～14年度に行われた検討^{1)、2)、3)}

実タンクにおける内面コーティング塗膜の劣化状況の調査及び資料収集と実験により、コーティング塗膜の耐用年数について検討が行われた。塗膜の劣化要因としては、水分の浸透、溶剤成分による膨潤、酸成分による膨潤・分解劣化に整理され、実際に顕在化している劣化現象は膨れであり、この原因として最も多く影響を与えているのは水分要素と考えられた²⁾。内面コーティング塗膜の耐久性の評価については、6種類の試験（水蒸気透過度測定、温度勾配浸漬試験、溶剤浸漬試験、酸液浸漬試験、溶剤＋酸液浸漬試験（希薄酢酸/BTX 溶剤）、溶剤＋酸液浸漬試験（酢酸/ベンゼン））を行い、「塗料の耐久性限界を推定するには、温度勾配浸漬試験（40℃/20℃）を行い、膨れ発生までの日数を数式化した検量線に当てはめて耐久年数を算出することで対応可能であり、また今後、実タンクでのコーティングの耐久性についての実績データを蓄積することにより、より長期間の

性能を検証することも可能である。」という結論が得られた³⁾。

平成 14 年度は、20 年程度の実績を有するタンク内面コーティングの塗料及び最新の技術で作成された塗料の耐久性試験を実施し、耐久性に係る試験方法の検証並びに検量線の適用性の確認を行っている。耐久性試験のうち温度勾配浸漬試験の概要を以下に示す。

(1) 試験方法

① 試料

ア 試験用ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗料 調整品 3 種類

- ・ビスフェノール系ビニルエステル樹脂（以下、「BV樹脂」という。）を用いたもの
- ・ノボラック系ビニルエステル樹脂（以下、「NV樹脂」という。）を用いたもの
- ・BV樹脂とNV樹脂を併用したもの（以下、「BV樹脂/NV樹脂」と標記し、各樹脂の後ろに配合比率を%で標記する。）

イ 過去の実績既知ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗料 1 種類

② 試験方法

塗料 4 種類（試験用調整品 3 種類、過去の実績既知材料 1 種類）、膜厚 2 水準（400、700 μm ）、浸漬液温度条件 2 種類（40°C/20°C、70°C/30°C）で試験された。

③ 測定・記録項目

試験条件（40°C/20°C）は全ての塗膜試験片に膨れが発生するまでの期間、試験条件（70°C/30°C）は 30 日間浸漬試験を継続した。付着性、塗膜の電気抵抗値・静電容量の測定と試験終了後の塗膜表面状態を観察している。

(2) 試験結果

① 試験条件（40°C/20°C）における試験結果

ア 膜厚 400 μm 試験片

(ア) 膨れ発生までの日数

4 試験片（BV樹脂GFコーティング塗料、BV樹脂/NV樹脂GFコーティング塗料、NV樹脂GFコーティング塗料、実績既知塗料）のいずれも 97 日目から膨れが発生した。97 日目以前の観察日が 92 日目なので、膨れは 93 日目から 97 日目までの間に発生したものと類推された。

(イ) 検量線*を用いた膨れ発生年数の推定

平成 13 年度の調査検討においては、実タンクにおける塗膜の膨れの発生年数と温度勾配浸漬試験における膨れの発生時間を検量線に適用して求めた膨れの発生年数は、概ね一致していることが認められた。

(ア)で推定された膨れ発生までの日数を最も短い 93 日とし、数式化した検量線の例に適用して膨れ発生までの年数を推定すると 18~25 年となることから、20 年程度の耐久性を有していると考えられた。

* 検量線について

検量線は同一の条件で作成した試験片について温度勾配浸漬試験による膨れ発生までの時間と実環境における膨れ発生までの相関を示すものであり、本調査検討で用いた検量線は、過去に行われた試験データに基づき作成されたものである。

本調査検討で用いた検量線は、水門の塗膜を海水に暴露し、塗膜の膨れの発生した年数と温度勾配浸漬試験により得られた膨れ発生までの日数に基づき作成された。

イ 膜厚 700 μ m 試験片

(ア) 膨れ発生までの日数

NV樹脂GFコーティング塗料及び実績既知塗料については、膨れは98日目から110日目までの間に発生したものと類推された。BV樹脂GFコーティング塗料は、膨れは111日目から130日目の間に発生したものと類推された。BV樹脂/NV樹脂GFコーティング塗料については、151日を経過しても膨れは発生しなかった。

(イ) 検量線を用いた膨れ発生年数の推定

- NV樹脂GFコーティング塗料及び実績既知塗料については、前(ア)で推定された膨れ発生までの日数を最も短い98日とし、数式化した検量線の例に適用して膨れ発生までの年数を推定すると19～27年となることから、20年を超える耐久性を有していると考えられた。
- BV樹脂GFコーティング塗料については、前(ア)で推定された膨れ発生までの日数を最も短い111日とし、数式化した検量線の例に適用して膨れ発生までの年数を推定すると23～31年となることから、25年を超える耐久性を有していると考えられた。
- BV樹脂/NV樹脂GFコーティング塗料については、151日を経過しても膨れが発生していないことから、152日で膨れが発生したと仮定し、膨れ発生までの年数を推定すると33～46年となることから、30年を超える耐久性を有していると推定された。

5.1.2 平成21年度⁴⁾

樹脂組成の種類及び膜厚と耐用年数の関係を確認するために樹脂組成及び膜厚を変えた試験片による温度勾配浸漬試験を実施するとともに実タンクで25年以上使用したBV樹脂GFコーティング塗膜の劣化状態を調査し、これらの結果を用いて検量線作成のための検討をしている。

(1) 温度勾配浸漬試験

4種類の塗料及び膜厚4水準の合計16枚の試験片を作成し、温度勾配浸漬試験(40℃/20℃)を行っている。試験項目については、塗膜の外観観察(膨れ、割れ等の観察)を主

として、浸漬前後に付着力測定、硬度測定、衝撃試験、インピーダンス測定、折り曲げ試験を行っている。浸漬開始後 75 日目から 10 日ごとに観察を行い、179 日間実施している。浸漬試験の概要を以下に示す。

①試験方法

ア 試料及び試験方法

(ア)試験塗料の種類と膜厚

B V 樹脂 G F コーティング塗料及び B V 樹脂 / N V 樹脂 G F コーティング塗料を用い、樹脂組成と膜厚の異なる試験片を各 1 枚作成した。作成した試験片の種類は表 5.1.1 のとおり。

表 5.1.1 試験片の種類

膜厚(μ m)	① B V 樹脂	② B V 樹脂 70% / N V 樹脂 30%	③ B V 樹脂 30% / N V 樹脂 70%	④ B V 樹脂 20% / N V 樹脂 80%
4 0 0	A1	B1	C1	D1
7 0 0	A2	B2	C2	D2
1 0 0 0	A3	B3	C3	D3
1 5 0 0	A4	B4	C4	D4

(注 1) A 1 ~ D 4 は試験片の記号を示す。

(注 2) ガラスフレーク含有率は①~④の樹脂塗料中 20% (Wt%) とした。

(イ)試験方法

- ・浸漬液：水
- ・温度 40°C / 20°C

イ 測定・記録項目

浸漬期間は 179 日であり、浸漬試験 75 日目から 10 日ごとに塗膜外観目視検査を行い、膨れや割れ等の異常を肉眼で確認している。外観目視検査の他、浸漬試験前後に物性試験（付着力試験、硬度測定、衝撃試験、インピーダンス測定）を実施している。また、浸漬試験後には、折り曲げ試験を実施し、塗膜下の水分状況や腐食状況の確認を実施している。

②試験結果

ア 外観観察

75 日目の初回観察で A 1、A 2、C 1、D 1 試験片に膨れが発生していた。B 1 の試

験片は 98 日目に膨れが発生した。膨れの発生が確認された日数を表 5.1.2 に示す。

表 5.1.2 温度勾配試験による各試験片の膨れ発生日数

試験片		浸漬日数	75日	80日	90日	98日	110日	119日	130日	140日	147日	159日	168日	179日
1500 μ m	D-4													
	C-4													
	B-4													
	A-4													
1000 μ m	D-3													×
	C-3													×
	B-3											×	×	×
	A-3										×	×	×	×
700 μ m	D-2													×
	C-2									×	×	×	×	×
	B-2									×	×	×	×	×
	A-2		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
400 μ m	D-1		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	C-1		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	B-1		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	A-1		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
観察日			10/4	10/19	10/29	11/9	11/18	11/27	12/8	12/18	12/25	1/6	1/5	1/26

(注1) ×は試験片に膨れ発生が確認された日。なお、75日目より前には観察を行っていない。

(2) 実タンクの塗膜劣化調査

膜厚と塗膜の劣化との関係を知るため、26年程度使用した実タンク（3基）のBV樹脂GFコーティング塗膜の劣化状態を調査している。

①調査方法

建設時からの塗膜を中心に目視検査及び膜厚測定を実施し、さび、はがれ、われ、膨れ等の発生箇所を抽出したのち、膨れ発生状況に応じて底部板を4区分に分類した。その4区分から各区分2箇所の観察範囲（0.5m×0.5m）を選定し、選定された範囲について膜厚測定、付着力試験、インピーダンス測定、硬度測定及び塗膜下の状態観察を実施した。

膨れの発生状況は、膨れの面積割合に応じて以下の4区分としている。

A：(0%)、B：(0～0.1%)、C：(0.1～0.3%)、D：(0.3%～)

②調査結果

- ア 調査タンクでは膜厚が均一であったこともあり、膜厚と膨れの発生状況には明瞭な関係は見られなかった。（1基ではやや傾向が見られた。）
- イ 膨れ発生数の多いC、Dは塗膜下に一部黒錆が観察されたが著しい鋼材の腐食には至っていない。
- ウ 建設時の塗膜の87%以上が健全な状態を26年程度維持していること、また膨れ現象は部分的にタンク底板の、ある方向に集中して発生している傾向があり全体に散在

した状態では無いことを確認した。

以上のことから、26年程度使用された実タンク塗膜において、開放ごとに補修が適正になされており、平均膜厚 $800\mu\text{m}$ 程度であれば、塗料側に起因して発生する膨れの問題は少ないことが分かった。部分的に発生した膨れについては施工時の環境と使用時の環境上の問題点を抽出することによって一定程度の発生要因については絞り込める可能性があると考えられた。

(3) 検量線の作成に関する検討結果

GFコーティング塗料の検量線を作成するための検討結果は以下のとおりであった。

- ①温度勾配浸漬試験については、 $400\mu\text{m}$ 、 $700\mu\text{m}$ （BV樹脂GFコーティング塗膜）の試験片について、正確な膨れ発生日数を確定させる必要がある。実タンクのうち常温で使用されているものは、BV樹脂組成のものが多いため、この樹脂組成に注目して試験を実施することが提案された。
- ②実態調査では、調査したタンクは膜厚分布がおおよそ $700\mu\text{m}$ ～ $1,000\mu\text{m}$ の範囲であり、本データを使用して検量線を作成するためには、BV樹脂GFコーティング塗料で平均膜厚 $400\mu\text{m}$ で施工されているタンクの調査を行うことが提案された。

5.1.3 今年度の検討方法

今年度は、5.1.1、5.1.2の検討結果を受けて、課題とされた試験データを得るため、 40°C ／ 20°C 温度勾配浸漬試験を実施することとした。また、実タンクにおける塗膜の耐用年数を評価するため、実膜厚 $400\mu\text{m}$ 程度の底部コーティングの塗膜劣化状況を調査するとともに、実タンクのGFコーティングの補修実績データを収集分析した。

引用文献

- 1) 危険物保安技術協会：特定屋外タンク貯蔵所の開放周期の算定方法に係る性能規定化に関する調査検討報告書、平成13年3月
- 2) 総務省消防庁：特定屋外タンク貯蔵所の開放周期の算定方法に関する調査検討報告書、平成14年3月
- 3) 総務省消防庁：屋外貯蔵タンクの安全性評価に関する調査検討報告書、平成15年3月
- 4) 危険物保安技術協会：屋外貯蔵タンクのコーティングの耐用年数の評価に関する検討調査報告書、平成22年3月

5. 2 ガラスフレークコーティングを施した試験片の温度勾配浸漬試験

B V樹脂GFコーティング塗膜の耐用年数の検討に資するため、塗膜の膜厚及び樹脂組成を変えた温度勾配浸漬試験を行う。試験に当たっては、正確な膨れ発生日数を把握するため外観観察頻度を5日ごとに実施するとともに、試験片数を3とした。

5.2.1 温度勾配浸漬試験の方法

(1) 試験期間

平成22年6月2日～平成22年9月10日（100日間）

(2) 試験試料

①試験塗料の種類

A：B V樹脂GFコーティング塗料

B：B V樹脂70%/N V樹脂30%の配合によるGFコーティング塗料

②試験片の種類と記号

試験片の種類と記号を表5.2.1に示す。

表5.2.1 試験片の種類と記号

膜厚(μm)	B V樹脂100%	B V樹脂70%/N V樹脂30%
400	A1-1～3	B1-1～3
700	A2-1～3	—

(注1)表中のA1-1等の記号は試験片の名称。

(注2)ガラスフレーク含有率は「コーティングに関する指針」にあるガラスフレークの含有率（15～27%）の範囲内でメーカー各社の含有率を参考に20wt%とした。

(3) 試験片の作製

試験片の作成は平成21年度と同じ方法で行い、本年度は表面粗さを実測した。

①材 質：SS400 サンドブラスト処理（処理グレード；ISO 8501-1 Sa3、研削材；アルミナ46メッシュ、表面粗さ R_z ：20～22μm）

②サイズ：150×70×3.2 mm

③試験片の種類と枚数

ア 塗料2種類：A、B

イ 膜厚2水準：A：400μm及び700μm、B：400μm

ウ 試験片n数：3（計9枚）

④試験片の作製方法

ア 表面に試験塗料（下塗＋上塗）を乾燥塗膜が所定の膜厚となるように塗装した。そ

の裏をエポキシ樹脂塗料で 300~350 μm になるように塗装した。表裏の塗膜に約 5 m m 重なるように板の周辺を塗り包み、常温で 7 日間放置乾燥させた。

なお、下塗は 2% 希釈し刷毛塗りし、GF コーティングは 1% 希釈しエアレススプレー（チップ 163-531、1 次圧 3.5kg/cm²、ポンプ比 60:1）にて塗装した。塗装は 1 日 1 層とし、温度 23°C、湿度 60%RH 以下で行った。

イ 膜厚と塗装回数

- ・ 400 μm : 3 回塗り
- ・ 700 μm : 4 回塗り

塗装後各試験片の 100 点で膜厚を測定した。

⑤ 試験片作製記録及び膜厚測定結果

試験片作製に関する記録を表 5.2.2、5.2.3 に示す。

表 5.2.2 塗装工程記録

試験片記号	樹脂組成	膜厚 (μm)	下塗	上塗一層目	上塗二層目	上塗三層目
A1	BV樹脂	400	5/7	5/10	5/11	-
A2	100%	700	5/7	5/10	5/11	5/12
B1	BV樹脂 70% /NV樹脂 30%	400	5/7	5/10	5/11	-
温 度 (°C)			22	22	23	23
湿 度 (%)			50	50	60	55

(注)裏面:エポキシ樹脂塗料(計 350 μm)下塗 5/13、一層目 5/14、二層目 5/17、エッジ塗装 5/18

表 5.2.3 試験片膜厚測定結果 (1 枚あたりの測定点 100 カ所)

試験片記号	樹脂組成	膜厚 (μm)	平均 (μm)	最小 (μm)	最大 (μm)	標準偏差 (μm)
A1-1	BV樹脂	400	538	425	680	67.3
A1-2			535	411	687	69.0
A1-3			535	421	680	59.6
A2-1	100%	700	837	703	954	65.9
A2-2			832	711	950	58.4
A2-3			829	710	946	49.2
B1-1	BV樹脂 70%/ NV樹脂 30%	400	538	412	728	69.7
B1-2			538	422	723	68.6
B1-3			534	408	684	66.9

(4) 温度勾配浸漬試験器

①温度勾配浸漬試験器の概要

温度勾配浸漬試験器及び試験片の取付け位置を図 5.2.1 に示す。浸漬水は水道水を用いた。

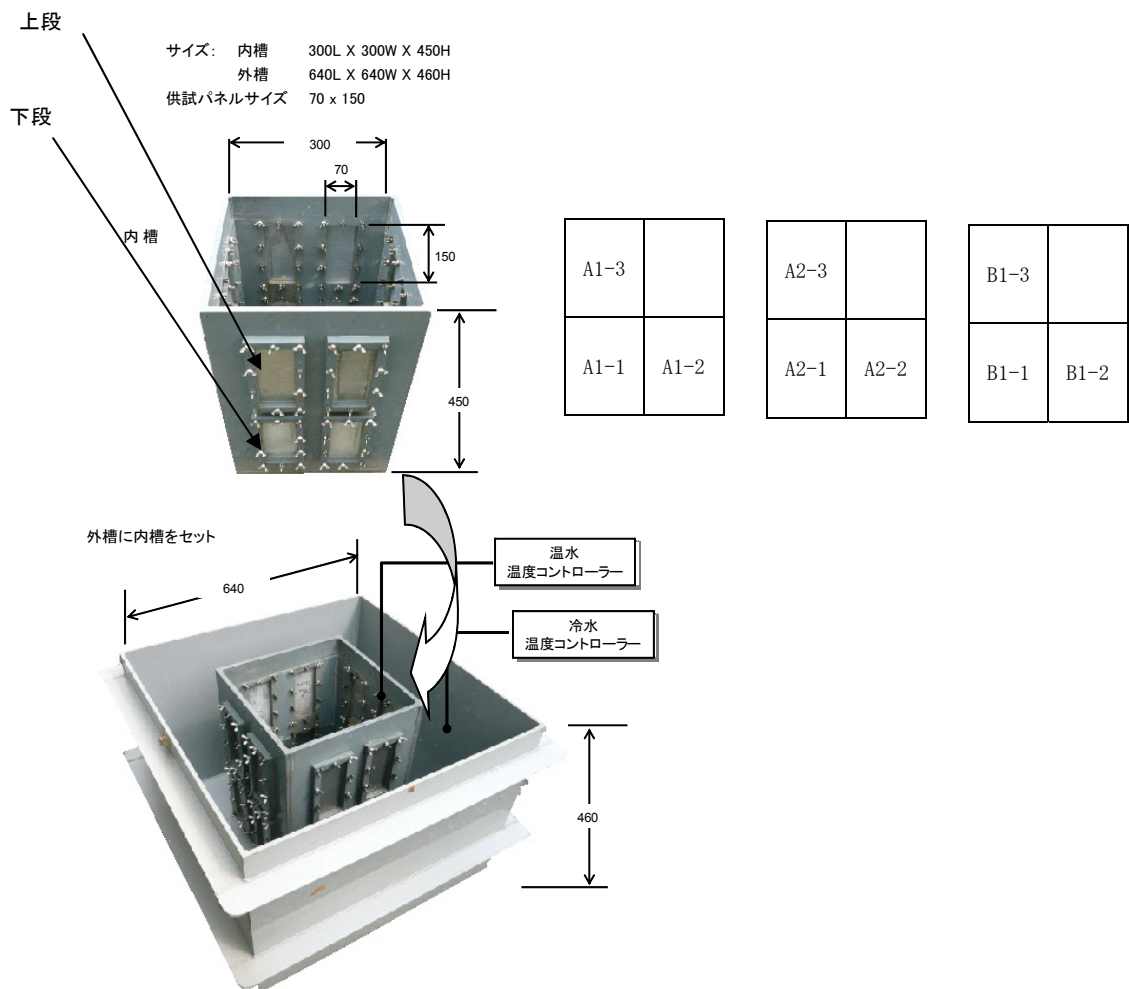


図 5.2.1 温度勾配浸漬試験器及び試験片取付け位置

②試験中の温度管理

温度条件は表面側 40°C、裏面側 20°Cとした。100 日間の温度測定記録は±1.0°Cであり、温度の変動は目標範囲内であった。また、取り付け位置による温度のばらつきや偏りも殆ど見られず、今回の試験は良好な管理状況下で行われたと判断される。

(5) 観察と評価

①観察頻度

5 日ごとに観察・評価を行い、WG 委員による観察も適宜実施した。

②膨れの評価と写真撮影

温度勾配試験器から水を抜いた直後に塗膜の膨れ(有無、膨れの大きさ)、割れ等を肉眼で観察・評価し、写真撮影を行った。

ア 膨れの定義

膨れとは母材面又は塗膜層間から塗膜の一部が浮きあがった現象をいう。

イ 評価基準

ASTM D714-02「塗料の水膨れができる程度を評価するための標準試験方法」に基づき、表 5.2.4 のとおり評価を行う。

表 5.2.4 膨れの評価

密度 大きさ	F	M	MD	D
8	○	○	×	×
6	○	×	×	×
4	×	×	×	×
2	×	×	×	×

○：小さい膨れのため確認できない範囲

×：膨れの確認ができる範囲

(6) 物性試験

温度勾配浸漬試験の外観観察及び温度勾配浸漬試験終了後の物性試験は、次の手順で行った。

①塗膜の外観観察

塗膜の膨れ(有無、膨れの大きさ、密度)、割れ等の異常を次の手順で肉眼観察した。

ア 温度勾配試験器内槽から水を抜き、取り付け枠を取り出す。

イ 直ちに試験片を取り外し、乾かないうちに 40℃温水に浸す。

ウ 試験片を 1 枚ずつ取り出し、先ず濡れている状態で観察し、次に紙ウエスで水分を拭き取り、ライトを横から当てて膨れ等を観察する。

エ 観察中、膨れを確認したら、鉛筆で膨れの外周をマークする。

オ 観察中に膨れがへこみ、確認出来なくなることがあるので、ウとエの作業は連続して行う。

カ マークした膨れの大きさ、密度は、ASTM D714-02 標準写真を用いて評価し記録する。

②付着力測定(プルオフ法)

塗膜の付着力を測定するために、浸漬試験終了後に外観観察したのち、引張試験器(モデル 106-2)を使用し、垂直引張力のみによる付着性を評価した。

③硬度測定(バーコル硬度計)

塗膜の硬度を測定するために、浸漬試験終了後に外観観察したのち、バーコル硬度計(934-1型)により塗膜の硬さを評価した。

④衝撃試験(デュボン式衝撃試験)

塗膜の耐衝撃強度を評価するため浸漬試験終了後に一定の条件下で塗膜におもり(半径6.35mm×高さ300mm×質量500g)を落下させ変形させた後の剥がれ、割れを確認した。

⑤インピーダンス測定

塗膜の劣化度を定量的に評価するため、浸漬試験終了後にインピーダンス測定(交流抵抗値、電気容量値を測定し周波数に対する変化もしくは抵抗値の経時変化)を行った。

⑥折り曲げ試験

塗膜中へ浸透した水分や素地面に達した水分の影響を確認するため、浸漬試験終了後に試験片を折り曲げ、強制的に塗膜を剥がし、塗膜下の状態を肉眼で観察した。

なお、試験片は4個作成し、うち3個を浸漬試験に用い、残り1個を初期の塗膜物性値測定用として、浸漬試験を行わずに②～⑥の試験を行った。以下、この試験片の試験結果を各物性値の初期値と表現する。

5.2.2 温度勾配浸漬試験結果

温度勾配浸漬試験データは参考資料—8参照

(1) 外観観察結果の概要

外観観察結果一覧を表5.2.5に示す

- ①試験開始後55日目の観察で、A1-1、A1-3(BV樹脂、膜厚400 μ m)と、A2-3(BV樹脂、膜厚700 μ m)に膨れがそれぞれ1個確認された。58日目にはA1-2、A2-2に膨れが確認され、65日目にはB1-3(BV樹脂70%/NV樹脂30%、膜厚400 μ m)に1個膨れが確認された。その後70日目にA2-1、B1-2に膨れが確認され、B1-1は85日目に膨れが確認され全試験片に膨れが認められた(試験片観察状況写真を参考資料に掲載)。
- ②100日目の膨れ発生数はA1:9~17(平均12)個、A2:8(平均8)個、B1:5~7(平均6)個であり、A1が多く、A2及びB1は少ない傾向を示した。各試験片の膨れ発生個数と浸漬日数との関係は図5.2.2参照。
- ③100日目の膨れ面積は、A1:3.9~6.5(平均4.8)%、A2:3.6~4.6(平均4.2)%、B1:2.0~3.3(平均2.8)%の順に少ない傾向を示した。
- ④各試験片の膨れ面積と浸漬日数との関係を図5.2.3にまとめた。A1(400 μ m)の3枚の試験片の中でA1-1が最も膨れ発生個数及び面積が多く、同じ塗料・膜厚でも膨れ発生状況に明瞭な差が生じている。B1(400 μ m)は3枚の試験片の中でB1-1が最も膨れ発生が遅く、同じ塗料・膜厚で膨れ発生状況に差が生じている。A2(700 μ m)では3枚に殆ど差が認められない。

表 5.2.5 温度勾配浸漬試験結果一覧

上段は膨れ発生個数

試験塗料	膜厚(μm)	記号	外観観察結果									
			5	9	15	20	23	30	35	40	44	50
			6/7(月)	6/11(金)	6/17(木)	6/22(火)	6/25(金)	7/2(金)	7/7(水)	7/12(月)	7/16(金)	7/22(木)
BV系 100%	400	A1-1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		A1-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		A1-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	700	A2-1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		A2-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		A2-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
BV系/NV系 70%/30%	400	B1-1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		B1-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		B1-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
試験塗料	膜厚(μm)	記号	外観観察結果									
			55	58	65	70	75	79	85	90	93	100
			7/27(火)	7/30(金)	8/6(金)	8/11(水)	8/16(月)	8/20(金)	8/26(木)	8/31(火)	9/3(金)	9/10(金)
BV系 100%	400	A1-1	13	15	16	16	16	16	16	16	17	17
			2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M
		A1-2	○	2	2	2	7	9	10	10	10	10
				2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F
	A1-3	4	5	7	7	7	8	8	9	9	9	
			2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	
	700	A2-1	○	○	○	3	4	6	6	8	8	8
						2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F
A2-2		○	5	5	6	6	6	7	8	8	8	
			2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	
A2-3	1	3	3	6	7	7	8	8	8	8		
		2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F		
BV系/NV系 70%/30%	400	B1-1	○	○	○	○	○	○	3	4	4	5
									2F	2F	2F	2F
		B1-2	○	○	○	2	3	4	5	6	6	6
					2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	
	B1-3	○	○	1	3	3	4	4	7	7	7	
				2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	

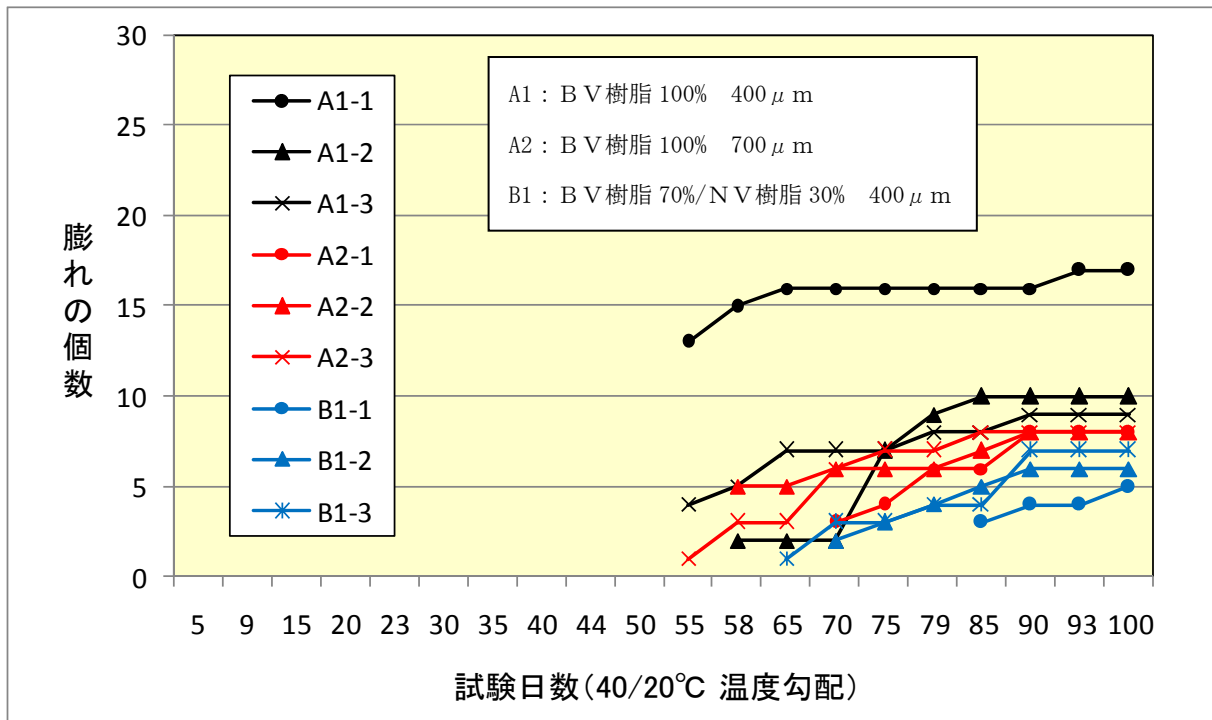


図 5.2.2 各試験片の膨れ発生個数と浸漬日数

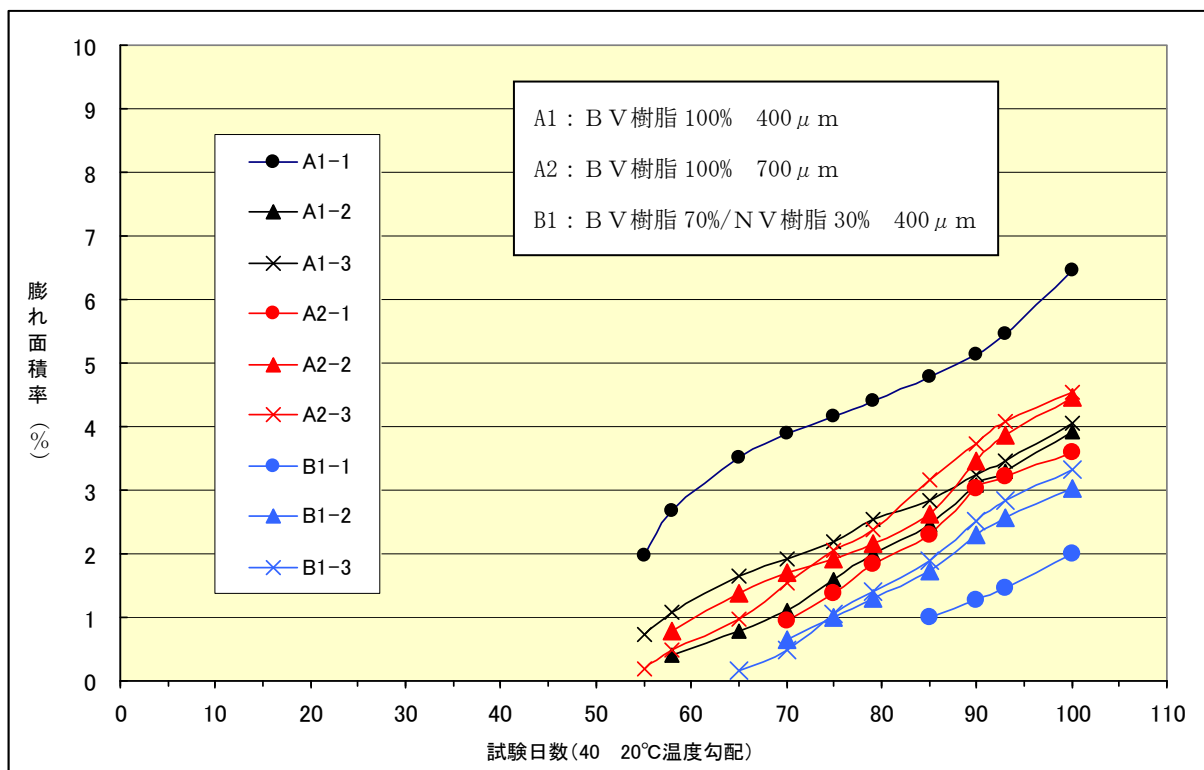


図 5.2.3 各試験片の膨れ面積率と浸漬日数

(2) 外観観察結果の考察

①膜厚の影響

平成 21 年度の実験では、初回観察日の 75 日目に B V 樹脂 G F コーティング塗料の膜厚 400 μ m と 700 μ m の塗膜に膨れが既に発生していた。今回、5 日ごとの観察を行った結果、B V 樹脂 G F コーティング塗料の膜厚 400 μ m と 700 μ m の塗膜の膨れ発生までの日数はそれぞれ 55~58 日目 (平均 56 日)、55~70 日目 (平均 61 日) であることを確認した。また、膜厚 400 μ m の塗膜では、同じ塗料・膜厚で膨れ発生状況に大きな差が生じているが、同じ塗料の膜厚 700 μ m の塗膜では膨れ発生状況に殆ど差がなく、膜厚 400 μ m の塗膜に比べ膜厚 700 μ m の塗膜の方が水分透過の抑制効果が高かつ安定している。

②樹脂による影響

B V 樹脂 70%/N V 樹脂 30%の G F コーティング塗料の膜厚 400 μ m の塗膜の膨れ発生までの日数は 65~85 (平均 73 日) であり、B V 樹脂 G F コーティング塗料の膜厚 400 μ m の塗膜と比較すると、B V 樹脂/N V 樹脂の方が、膨れ発生までの日数が長く、膨れ発生個数も少ない。さらに、B V 樹脂 70%/N V 樹脂 30%塗料の膜厚 400 μ m の塗膜と B V 樹脂 G F コーティング塗料の膜厚 700 μ m の塗膜を比較すると、膜厚の差にもかかわらず、B V 樹脂/N V 樹脂の方が、膨れ発生までの日数が長い。以上のことから、樹脂組成により耐久性に有意な差があることが確認された。

(3) 物性試験結果

付着力測定、硬度測定、衝撃試験、インピーダンス測定及び折り曲げ試験の結果を表 5.2.6 にまとめた。

①物性試験結果の概要

- ア 浸漬試験後の付着力は 4 M a 以上であり破断箇所は下塗の 集破 (100%)であった。初期値と比較して強度保持率は 65%以上であり異常ない状態である。
 - イ バーコル硬度は、全ての試験片が 40 以上であり初期値と殆ど変わらない値であり、塗膜の 化傾向は見られない。
 - ウ 衝撃試験は全ての試験片において、衝撃部に みは出来るがそこからの剥離や割れは無く異常ない状態であった。
 - エ 塗膜を強制的に剥がし、水分透過による膨れ部の素地面の状態を確認したところ、膨れ部には水分及び水分 が認められた。 は認められなかった。
 - オ インピーダンス測定による電気 性は薄膜の方が初期値に比べ 低い抵抗値を示しているが、全て 10^7 以上であり劣化傾向は殆ど見られなかった。
- 以上のことから、膨潤や分解という塗膜の化 的劣化は殆ど進行していないと言える。

表 5.2.6 物性試験結果一覧

物性試験結果（膜厚、付着性、硬度、衝撃）

試験板 記号	膜厚 (μm)				付着性				硬度		衝撃試験		
	平均	最小	最大	標準偏差 (μm)	初期値	破断箇所	試験後	破断箇所	初期値	試験後	初期値	試験後	
					(M a)		(M a)		(-)	(-)	(° 式)	(° 式)	
A 1-1	538	425	680	67.32	5.0	下塗100% 集破	4.3	下塗100% 集破	42	40	異常なし	異常なし	
A 1-2	535	411	687	68.98			4.7			40			異常なし
A 1-3	535	421	680	59.55			4.5			40			異常なし
A 2-1	837	703	954	65.88	7.0	下塗100% 集破	4.5	下塗100% 集破	42	40	異常なし	異常なし	
A 2-2	832	711	950	58.37			4.5			41			異常なし
A 2-3	829	710	946	49.19			4.7			40			異常なし
B 1-1	538	412	728	69.66	5.0	下塗100% 集破	5.2	下塗100% 集破	48	44	異常なし	異常なし	
B 1-2	538	422	723	68.60			5.0			45			異常なし
B 1-3	534	408	684	66.88			5.0			44			異常なし

物性試験結果（インピーダンス測定）

試験板	インピーダンス測定																	
	抵抗値 (×10 ⁶ Ω)						容量 (×10 ⁻³ μF)						tan					
	200H		500H		1000H		200H		500H		1000H		200H		500H		1000H	
	初期値	試験後	初期値	試験後	初期値	試験後	初期値	試験後	初期値	試験後	初期値	試験後	初期値	試験後	初期値	試験後	初期値	試験後
A 1-1		133		44		27		0.073		0.071		0.068		0.096		0.095		0.094
A 1-2	667	200	250	77	133	42	0.045	0.068	0.044	0.068	0.043	0.068	0.014	0.062	0.012	0.060	0.031	0.062
A 1-3		200		75		40		0.065		0.065		0.063		0.064		0.066		0.069
A 2-1		267		153		80		0.040		0.042		0.041		0.051		0.048		0.050
A 2-2	667	400	267	200	143	86	0.039	0.040	0.039	0.041	0.038	0.040	0.012	0.050	0.010	0.047	0.006	0.050
A 2-3		400		133		67		0.050		0.050		0.048		0.052		0.051		0.050
B 1-1		400		100		57		0.070		0.070		0.068		0.052		0.049		0.050
B 1-2	667	400	250	133	133	57	0.049	0.065	0.049	0.064	0.048	0.062	0.013	0.052	0.012	0.049	0.007	0.050
B 1-3		400		100		50		0.068		0.067		0.065		0.052		0.050		0.051

5.2.3 まとめ

- (1) 温度勾配浸漬試験による塗膜の膨れ発生日数はB V樹脂GFコーティングの膜厚 400 μ mの塗膜で 55~58(平均 56)日、700 μ mで 55~70(平均 61)日であり、膜厚により耐久性に差があることが認められた。
- (2) 膜厚 400 μ mの塗膜では同じ塗料・膜厚で膨れ発生状況に大きな差が生じた。一方、膜厚 700 μ mの塗膜では膨れ発生状況に殆ど差がなく、膜厚 400 μ mの塗膜に比べ水分の透過を抑制する効果が高くかつ安定した耐久性を有している。
- (3) B V樹脂 70%/N V樹脂 30%のGFコーティングの膜厚 400 μ mの塗膜はB V樹脂 GFコーティングの膜厚 400 μ mの塗膜より 優れた耐久性を示した。

5. 3 実タンクにおける塗膜劣化状況の調査

実タンクにおける塗膜の耐用年数について検討するためのデータを得ることを目的として、実タンクにおける平均膜厚 400 μ m 程度のコーティング塗膜の劣化状況を現地調査した。

平成 14 年度に行われた検討では、実タンクでのコーティングの耐用年数についての実績データを蓄積することにより、より長期間の性能を検証することも可能であるとされている。また、検量線作成のためには実タンクにおける実際の膨れ発生年数のデータ収集が必要であり、平成 21 年度の検討では平均膜厚 700 μ m のもの以外の膜厚の膨れ発生年数のデータが必要であるとされた。現在国内で使用されている塗膜の厚さの実態に鑑み、今年開放予定のタンクで 20 年程度使用した平均膜厚約 400 μ m の B V 樹脂 G F コーティングの塗膜劣化状況の調査を行った。

5.3.1 現地調査を実施するタンクの選定

今年開放予定のタンクで 20 年程度使用した平均膜厚約 400 μ m の B V 樹脂 G F コーティング塗膜について、現地調査可能なタンクがどの程度あるか調査を実施した。対象タンクの条件は以下のとおりとした。

- ・特定屋外タンク貯蔵所
- ・タンク底部に G F コーティングを施工して 20 年以上経過するもの
- ・コーティングの材質に N V 樹脂による塗料が混合されていないもの
- ・コーティングの実膜厚が 400 μ m 前後のもの
- ・コーティングの補修のデータを保存しているもの（開放時にコーティングを補修（溶接部を除く）した割合（全体の面積に対する割合）が分かること。）
- ・加温タンクでないもの

以上の条件から、20 基の候補タンクがあがったが、タンク容量、内容物、調査スケジュールを勘案し、次の 3 基を対象タンクとして選定した。

表 5.3.1 調査対象タンクの概要（膜厚及びコーティング経過年数は選定時の聞き取り値）

タンク名	油種	概略容量 (k ℓ)	コーティング経過年数	推定膜厚 (μ m)
Aタンク	原油	67,000	30	255~390
Bタンク	原油	23,000	30	270~336
Cタンク	軽油	13,800	24	280~690

5.3.2 現地調査項目

実タンクにおける塗膜劣化状況の実態調査を行うにあたり、調査項目は平成 21 年度の調査方法を踏襲し、次のとおりとした。

(1) 目視調査

さび、はがれ、われ、ふくれ、その他塗膜の劣化について外観観察を行い、発生場所をタンク板割図に記録した。ふくれの発生部位については詳細に観察・記録し、ふくれの発生面積を4区分に分類した。分類に当たっては、0.5m四方を抽出し、その範囲内の膨れ発生状況をASTM-D6102/SSPC Vis2 錆判定標準図を参照して下記A～Dの4区分に分類した。抽出する箇所は現地にて目視調査の上協議して選定した。

() 内の数値は評価対象面積に対するふくれ発生面積の割合

A (0%)、B (0～0.1%)、C (0.1～0.3%)、D (0.3%以上)

(2) 膜厚測定

塗膜の劣化状態と膜厚の関係を検討するため、電磁式膜厚計を用いて底部板1枚につき10点膜厚を測定した。また、(1)で4区分ごとに抽出された0.5m四方の部位(各区分2箇所を抽出)で100点で膜厚を測定した。

(3) 塗膜下の状態観察

(2)で抽出された評価対象部位の周辺塗膜を10cm×10cmの範囲ではぎ取り、塗膜下の状態(黒錆痕等)を確認した。

(4) 塗膜断面の膜厚測定

(3)ではぎ取った塗膜の断面から各層の膜厚を測定し、塗膜片断面の顕微鏡写真撮影を行った。

(5) 物性試験

評価対象部位と抽出された箇所について、付着力測定、インピーダンス測定、硬度試験を行った。

①付着力測定

塗膜の付着性を確認するためにアドヒージョン試験にて付着力、破断箇所を測定した。接着剤を用いて塗膜にアルミ製の治具を取り付け、周囲の塗膜をカットした後、引張試験器を用いて引っ張り、破壊時の強度を測定した。

②インピーダンス測定

塗膜劣化傾向を確認するために抵抗値、容量値を測定した。測定箇所の膜厚を電磁式膜厚計にて1箇所につき10点測定し、平均膜厚、最大膜厚、最小膜厚を求めた。塗膜の表面に10cm×10cmのアルミ箔の電極板を導電性の接着剤によって貼り付け、1時間後に塗膜の交流インピーダンス(抵抗値、容量値)を測定した。

③硬度測定

塗膜の硬度を確認するためにバーコル硬度計にて3点で測定した。

5.3.3 実タンクにおける塗膜劣化状況の調査結果

実タンクにおける塗膜劣化状況の調査結果の詳細は、参考資料-9-1～3参照

(1) Aタンク

①調査日：平成22年8月11, 12日

- ②タンク諸元
- ・屋根型式：浮き屋根式
 - ・容量：67,147 キロリットル、内径：67m
 - ・油種：原油
 - ・タンク完成年：昭和41年
 - ・加熱コイル無し

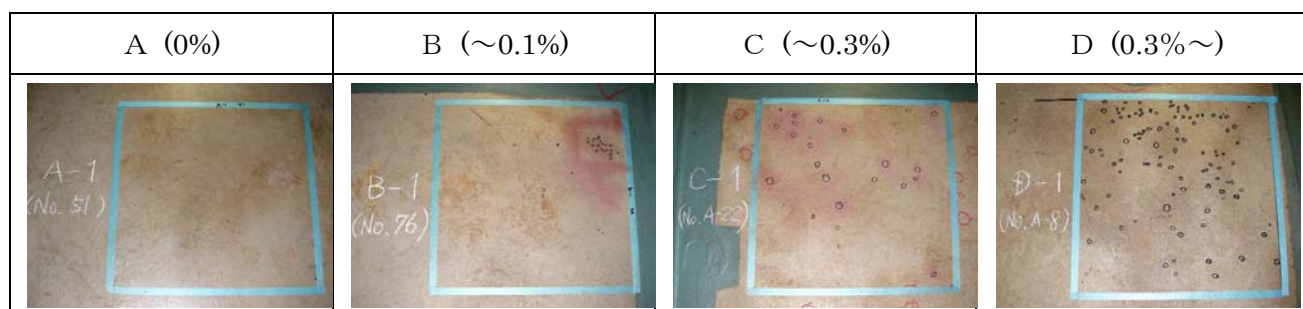
③塗装履歴、仕様を以下に示す。

経歴	工程	塗料名	標準膜厚(μm)	特記事項
第1回開放 1971年10月	素地調整	不明	不明	なし
	第1層	不明	不明	
	第2層	不明	不明	
	第3層	不明	不明	
	樹脂：不明		不明	
経歴	工程	塗料名	標準膜厚(μm)	特記事項
第2回開放 1980年6月	素地調整	ブラスト(ISO Sa2.5)	不明	底板 全体の1/5取替 アニュウ板 全面取替
	第1層	(不飽和ポリエステル樹脂下塗塗料)	不明	
	第2層	(不飽和ポリエステル樹脂 ガラスフレーク塗料マカ含有)	不明	
	第3層	(不飽和ポリエステル樹脂 ガラスフレーク塗料マカ含有)	不明	
	樹脂：不飽和ポリエステル系		不明	
経歴	工程	塗料名	標準膜厚(μm)	特記事項
第3回開放 1988年6月	素地調整	ブラスト(ISO Sa2.5)	不明	底板 肉盛、当板補修 アニュウ板 肉盛補修
	第1層	(不飽和ポリエステル樹脂下塗塗料)	不明	
	第2層	(不飽和ポリエステル樹脂 ガラスフレーク塗料マカ含有)	不明	
	第3層	(不飽和ポリエステル樹脂 ガラスフレーク塗料マカ含有)	不明	
	樹脂：不飽和ポリエステル系		不明	

	経 歴	工 程	塗 料 名	標準膜厚(μm)	特記事項
第4回開放	1996年 2月	素地調整	ブラスト(ISO Sa2.5)	不明	底板 全面取替 アニュラ板 肉盛補修 (補強塗装)
		第 1 層	(B V樹脂下塗塗料)	不明	
		第 2 層	(B V樹脂GF塗料)	不明	
		第 3 層	(B V樹脂GF塗料)	不明	
		樹脂 : B V樹脂		平均:466 最小:370 最大:680	
	経 歴	工 程	塗 料 名	標準膜厚(μm)	特記事項
第5回開放	2003年 6月	素地調整	ブラスト(ISO Sa2.5)	不明	底板・アニュラ板 膨れ(5~25mm ϕ)が点在 局部的に剥離
		第 1 層	(B V樹脂下塗塗料)	不明	
		第 2 層	(B V樹脂GF塗料)	不明	
		第 3 層	(B V樹脂GF塗料)	不明	
		樹脂 : B V樹脂		250以上	

④調査位置

評価に抽出された箇所の写真を以下に示す。



⑤調査結果

ア 外観目視

底板は、第4回開放時に全面取り替えられ、B V樹脂GFコーティングが施されている。アニュラ板は、第2回開放時に全面取り替えが行われた際に施工された塗膜の上から第4回開放時に底板と同じ塗料で補強塗装が施されている。今回の調査では、底板部は施工から14年が経過しているが、膨れはほとんど無く良好な塗膜状態を維持していた。しかし、アニュラ板部は、膨れが全体に発生しており、膨れの形態は素地からの膨れであった。なお、抽出箇所のうちA-1及びB-1は底板部、それ以外はアニュラ板部である。

イ 膜厚測定

底板 183 枚、アニュラ板 36 枚の合計 219 枚で第 4 回開放時に施工された塗膜のうち未補修部分の膜厚は、タンク全面についてみると平均値 $574\mu\text{m}$ 、最大値 $1162\mu\text{m}$ 、最小値 $393\mu\text{m}$ であった。底板とアニュラ板を分けると、底板部は平均値 $517\mu\text{m}$ 、最大値 $661\mu\text{m}$ 、最小値 $393\mu\text{m}$ 、アニュラ板部は平均値 $866\mu\text{m}$ 、最大値 $1162\mu\text{m}$ 、最小値 $626\mu\text{m}$ であった。膨れ発生 4 区分 (A~D) の膜厚について、各 0.25m^2 について 100 点測定した結果、平均値は、底板部で $390\mu\text{m}$ 、アニュラ板部で $828\mu\text{m}$ であった。

ウ 付着力測定

膨れ発生程度の異なる区分 A~D についての付着力を測定した結果、底板の健全部 A-1 は 4.0MPa で、破断面の状況は接着剤からの破壊であり高い付着性が確認された。また、B-1 の底板部も 5.2MPa で、破断面の状況は上塗の凝集破壊であり、第 4 回開放時に施工された底板部塗膜では高い付着性が認められた。一方、補強塗膜下に第 2 回開放時に施工された塗膜が残っているアニュラ板部では、第 2 回開放時施工塗膜の凝集破壊や鉄素地に近い箇所からの破壊であり、付着力も $1.0\sim 4.2\text{MPa}$ と低い箇所が認められた。

エ インピーダンス測定

区分 A は抵抗値、容量値共に健全な値であった。区分 B、C については健全な値を示す箇所と劣化傾向を示す箇所が見られた。区分 D は抵抗値、容量値ともに劣化傾向を示していた。

オ 硬度試験

バーコル硬度の 3 点平均値は、底板部の A-1 及び B-1 は 58、57 と高い値を示していたが、アニュラ板部では 30~40 であり、低い傾向にあった。

カ 塗膜下観察

A-1 及び A-2 の健全部塗膜下については、水分透過等がほとんど無く異常のない状況であった。また、B-2 の膨れ部については、塗膜下に水分の浸透が無い状態であり、素地に達しない層間膨れであった。C、D についても塗膜下に水分の浸透がほとんど無い状態であり、素地に達しない膨れであった。

キ 塗膜断面測定

区分 A の健全部は、膜厚 $442\mu\text{m}$ であり、A-1 は鋼板側にわずかに黒錆が確認された。区分 B は膜厚 $415\mu\text{m}$ であり、B-1 の鋼板側には黒錆が確認された。区分 C は補強塗装されており、膜厚は $788\mu\text{m}$ 、 $819\mu\text{m}$ であり、鋼板側は黒錆が確認された。区分 D も補強塗装されており、膜厚は $748\mu\text{m}$ 、 $623\mu\text{m}$ であり、鋼板側は黒錆が確認された。

⑥まとめ

Aタンクは、建設から約44年経過しているが、底板については1996年（第4回開放）に全面取り替えられ、BV樹脂GFコーティングが行われたため、今回調査時点では塗膜は約14年経過している。アニュラ板については、1980年（第2回開放）に全面取り替えられGFコーティングが施工されているが、使用している塗料はその塗料名からマイフレークを含有した塗料が使用されているようであり、塗膜断面測定の結果、その塗膜の上に新しい塗膜が形成されており、かつ底板と同じ塗料が使用されているため、1996年（第4回開放）において補強塗装がなされたものと推測される。

今回の調査では、BV樹脂GFコーティングが施工され、膜厚が約400 μ mのものについて塗膜調査を行い、その耐久性を評価することを目的としているため、結果として底板部の塗膜についてのみ評価を行った。その結果は次のとおり。

- ア 施工後約14年経過している底板部の塗膜には膨れがほとんど見受けられず、膨れが存在しても劣化区分Bレベル（～0.1%）までの状態であり、それより劣化した部分は認められなかった。
- イ 底板部の膜厚は平均で517 μ mであり、14年間異常のない状態を維持していることが確認された。塗膜下の状態は ϕ 0.5mm以下の僅かな水分浸透跡が見られたものの、一般に塗膜の膨れの下に見られるような、明瞭な水分浸透跡ではなかった。
- ウ 底板健全部については、付着力測定、インピーダンス測定、硬度試験の各項目において、劣化傾向が見られない状態であった。
- エ 以上の結果より、本調査タンク底板部のBV樹脂GFコーティング塗膜は、平均膜厚500 μ m程度で約14年以上の耐久性を有していると判断できる。

（2）Bタンク

①調査日：平成22年9月27, 28日

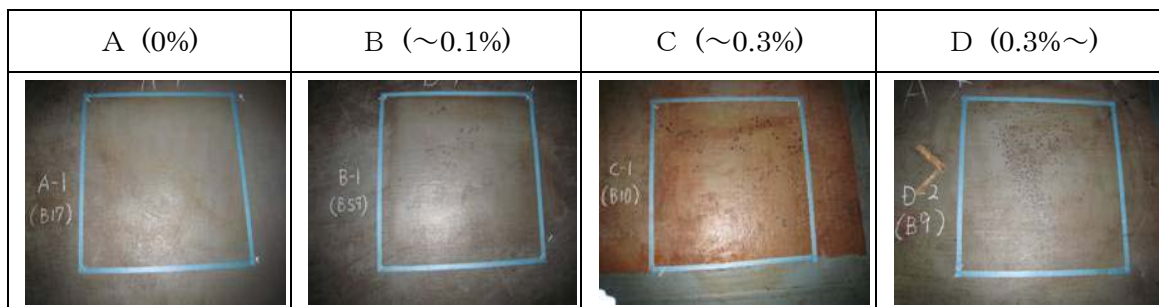
- ②タンク諸元
- ・屋根型式：浮き屋根式
 - ・容量：22,927キロリットル、内径：38.74m
 - ・油種：原油
 - ・タンク完成年：昭和55年
 - ・加熱コイル有り（使用期間は不明だが現在は使用されていない）

③ 塗装履歴、仕様を以下に示す。

経 歴	工 程	塗 料 名	標準膜厚(μ m)	特記事項
建設時 1980年11月	素地調整	ブラスト(ISO Sa2.5)	—	なし
	第 1 層	(不飽和ポリエステル樹脂下塗)	50	
	第 2 層	(不飽和ポリエステル樹脂ガラスフレーク)	150	
	第 3 層	(不飽和ポリエステル樹脂ガラスフレーク)	100	
	樹脂：不飽和ポリエステル系		Min300	
経 歴	工 程	塗 料 名	標準膜厚(μ m)	特記事項
第 1 回開放 1988年 5月	素地調整	ブラスト(ISO Sa2.5)	不明	なし
	第 1 層	(ビニルエステル樹脂下塗塗料)	不明	
	第 2 層	(ビニルエステル樹脂ガラスフレーク)	不明	
	第 3 層	(ビニルエステル樹脂ガラスフレーク)	不明	
	樹脂：BV樹脂		不明	
経 歴	工 程	塗 料 名	標準膜厚(μ m)	特記事項
第 2 回開放 1995年 8月	素地調整	ブラスト(ISO Sa2.5)	不明	
	第 1 層	(ビニルエステル樹脂下塗塗料)	不明	
	第 2 層	(ノック型 ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗料)	不明	
	第 3 層	(ノック型 ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗料)	不明	
	樹脂：NV樹脂		不明	
経 歴	工 程	塗 料 名	標準膜厚(μ m)	特記事項
第 3 回開放 2003年 3月	素地調整	ブラスト(ISO Sa2.5)	不明	底板：当板 補修
	第 1 層	(ビニルエステル樹脂下塗塗料)	不明	
	第 2 層	(ノック型 ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗料)	不明	
	第 3 層	(ノック型 ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗料)	不明	
	樹脂：NV樹脂		Min250	

④調査位置

評価に抽出された箇所の写真を以下に示す。



⑤調査結果

ア 外観目視

目視検査では、底板部の広範囲に膨れが発生している。膨れの発生は補強塗装と思われる上塗の薄い塗膜（ $100\mu\text{m}$ 程度）である。殆どの膨れ発生部は旧塗膜と上塗（グリーン色）間で発生している。補強塗膜を除去すると、健全な旧塗膜が現われ、膨れは下地まで達していないことを確認した。

既存塗膜は建設時の塗膜で、第1回、第2回開放時は溶接部の補修塗装が行われ、第3回開放時に補強塗装が行われている。建設時に施工したGFコーティング塗膜は、約23年は補強塗装のない状態で経過したことになる。しかし、使用された塗料は不飽和ポリエステル系樹脂を用いたものであった。

イ 膜厚測定

底板65枚、アニュラ板33枚の合計98枚で、建設時に施工され第3回開放時に補強された未補修部分の膜厚は、タンク全面の平均値 $909\mu\text{m}$ 、最大値 $1111\mu\text{m}$ 、最小値 $656\mu\text{m}$ であった。また、底板部の平均値 $890\mu\text{m}$ 、最大値 $1073\mu\text{m}$ 、最小値 $681\mu\text{m}$ であり、アニュラ板部の平均値 $946\mu\text{m}$ 、最大値 $1111\mu\text{m}$ 、最小値 $656\mu\text{m}$ であった。

膨れ発生4区分（A～D）の膜厚を各 0.25m^2 につき100点測定した結果、Aの平均値 $766\mu\text{m}$ 、 $871\mu\text{m}$ 、Bの平均値 $986\mu\text{m}$ 、 $705\mu\text{m}$ 、Cの平均値 $930\mu\text{m}$ 、 $700\mu\text{m}$ 、Dの平均値 $834\mu\text{m}$ 、 $996\mu\text{m}$ であった。

ウ 付着力測定

膨れ発生程度の異なる区分A～Dについての付着力を測定した結果、底板の健全部Aは 2.5MPa 、 4.0MPa で旧塗膜と補強塗膜からの破壊であった。また、B-1の底板部は 6.2MPa で、40%が旧塗膜の凝集破壊であり、旧塗膜の付着性は高い値を示している。区分C、Dについても補強塗膜と旧塗膜間の破断であった。

エ インピーダンス測定

区分A～Dのすべてで抵抗値、容量値は健全な値であった。

オ 硬度試験

区分A～Dの全てでバーコル硬度は、30～38と若干低い値であるが、健全部と膨れ

部の差は殆どない。

カ 塗膜下観察

B-2を除き、塗膜下に水分透過等は殆どなく異常ない状況である。膨れは補強塗膜で発生し、素地までの水分の透過は見られない状態であった。B-2の膨れ部は塗膜下に水分の浸透が認められ、φ20mm程度の黒錆が認められた。

キ 塗膜断面測定

いずれの区分にも補強塗膜があり、補強塗膜厚は67~173μmで旧塗膜は504~1152μmであった。また、区分Aの鋼板側には微細な黒さびが見られ、区分B~Dでは黒さびが見られた。

⑥まとめ

ア 本タンクの塗膜は、建設時に施工されたもので約30年が経過している。塗膜断面から判断すると、第1回、第2回開放時は溶接部の剥離・復旧のみが行われ、第3回開放（2003年）時に補強塗装が行われたと思われる。底板の塗膜は補強塗装前に約23年間使用されたことになる。使用塗料は不飽和ポリエステル樹脂の塗料であることが判明した。

イ 底板の膜厚は平均で約900μmであるが、補強塗膜厚が約100~200μm程度あり、旧塗膜の膜厚は700~800μmである。

ウ 底板健全部については、インピーダンス測定、付着性、硬度測定においても劣化傾向は見られない状態である。

(3) Cタンク

①調査日：平成22年9月14, 15日

②タンク諸元

- ・屋根型式：固定屋根式
- ・容量：13,771キロリットル、内径：34.85m
- ・油種：軽油
- ・タンク完成年：昭和45年
- ・加熱コイル無し（コーティング施工後8年間は加温タンクとして使用）

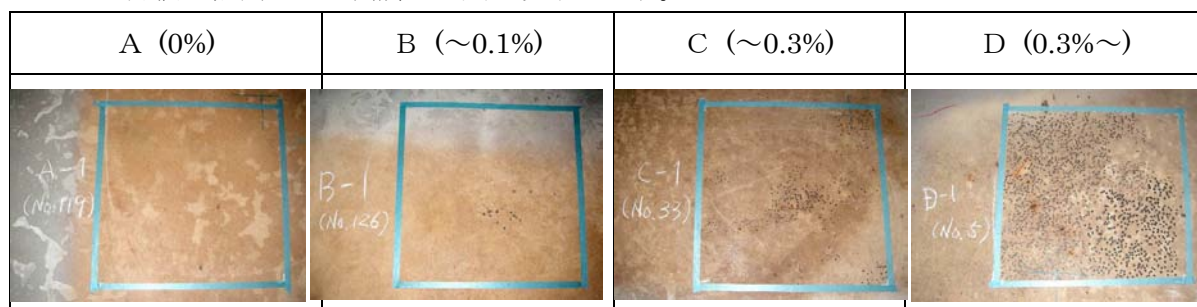
③塗装履歴、仕様を以下に示す。

建設当時はコーティング無し。第1回開放（1979年）時にコーティングは施工していない。

経 歴		工 程	塗 料 名	標準膜厚(μ m)	特記事項
第2回開放	1986年10月	素地調整	ブラスト(ISO Sa2.5)	—	内面腐食が多く発生していたのでコーティング施工 底板:当板、肉盛り補修(2,105個) 補修面積:1009㎡
		第1層	(ビニルエステル樹脂下塗塗料)	20	
		第2層	(ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗料)	300	
		第3層	(ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗料)		
		樹脂:BV樹脂		Min320	
経 歴		工 程	塗 料 名	標準膜厚(μ m)	特記事項
第3回開放	1994年 1月	素地調整	不明	—	加熱コイル撤去
		第1層	不明	不明	
		第2層	不明	不明	
		第3層	不明	不明	
		樹脂:不明		不明	
経 歴		工 程	塗 料 名	標準膜厚(μ m)	特記事項
第4回開放	2001年 5月	素地調整	不明	—	底板肉盛り補修(6個)
		第1層	不明	不明	
		第2層	不明	不明	
		第3層	不明	不明	
		樹脂:不明		不明	
経 歴		工 程	塗 料 名	標準膜厚(μ m)	特記事項
第5回開放	2008年 7月	素地調整	ブラスト(ISO Sa2.5)	—	底板:肉盛り補修(55個)
		第1層	(ビニルエステル樹脂下塗塗料)	50	
		第2層	(ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗料)	175	
		第3層	(ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗料)	175	
		樹脂:BV樹脂		Min400	

④調査位置

評価に抽出された箇所の写真を以下に示す。



⑤調査結果

ア 外観目視

本タンクの履歴から判断して既存塗膜は 1986 年に施工された塗膜であり、24 年が経過している。塗膜状態は底板、アニュラ板に 5 mm 程度の膨れが多数発生している。既に膨れが破壊して赤錆が発生している箇所もあり、そのような箇所には塗膜下の鋼板に孔食があり孔食部から錆が発生していた。

イ 膜厚測定

底板 127 枚、アニュラ板 12 枚の合計 139 枚で 1986 年に施工され、その後補修されていない部分の膜厚は、タンク全面の平均値 $531 \mu\text{m}$ 、最大値 $1312 \mu\text{m}$ 、最小値 $336 \mu\text{m}$ であった。

ウ 付着力測定

膨れ発生程度の区分 A~D についての付着力を測定した結果、底板の健全部 A-1 は 7.0MPa で鋼素地からの破壊であり高い付着性が確認された。その他の部位は 2.5MPa 以下で、膨れの発生が多い区分 C、D は 2MPa 以下であった。また破断箇所は区分 B、C、D は素地に近い箇所から破断し、区分 D には膨れ状の黒錆が確認された。

エ インピーダンス測定

区分 A は抵抗値、容量値共に健全な値である。区分 B、C、D は抵抗値、容量値共に劣化傾向を示した。特に区分 D は測定値が異常であった。

オ 硬度試験

全ての測定位置でバーコル硬度の 3 点平均値は、硬度 40 以上を示し、硬度について殆ど低下傾向は見られない。

カ 塗膜下観察

区分 A は異常ないが、区分 B は膨れと同程度の黒錆が点在している。区分 C、D の膨れ部は水分の透過が顕著に見られ、多数の黒錆が確認された。

キ 塗膜断面測定

区分 A の健全部は膜厚 $500 \mu\text{m}$ 程度であり、鋼板側に僅かに黒錆が確認された。区分

Bは膜厚 400 μ mであり、鋼板側には黒錆が確認された。区分C及びDは膜厚 300 μ mであり、鋼板側には黒錆が確認された。

⑥まとめ

ア 本タンクは建設からの 17 年間はコーティングが無く、17 年目にB V樹脂GFコーティングが施された。その後、溶接線以外は塗膜の補修は無かったと見られる。最近では 2008 年に開放されて溶接部について剥離・復旧を行っている。この開放時の塗膜の点検結果は無く塗膜劣化状況は不明であるが、今回の調査で見られる膨れや錆の程度から推測すると、それ以前に塗膜膨れが発生していたものと考えられる。

イ 膜厚を比較すると、区分A (500 μ m)、B (400 μ m) に比べ区分C、D (300 μ m) は膜厚が小さく、薄い部分ほど膨れが著しい。

ウ 本タンクのコーティングの施工条件などが不明であるが、30 年以上の長期耐久性を期待するには、膜厚は 500 μ m以上が必要であることが本タンクの塗膜状態から推測される。

エ B、C、Dではインピーダンス及び付着性のいずれもが低く、破断した素地面に黒錆が認められ、塗膜の腐食防止機能は殆ど機能していない状態である。

謝辞

本調査に当たっては、石油連盟と石油連盟加盟企業に格別のご協力を頂いた。記して感謝します。

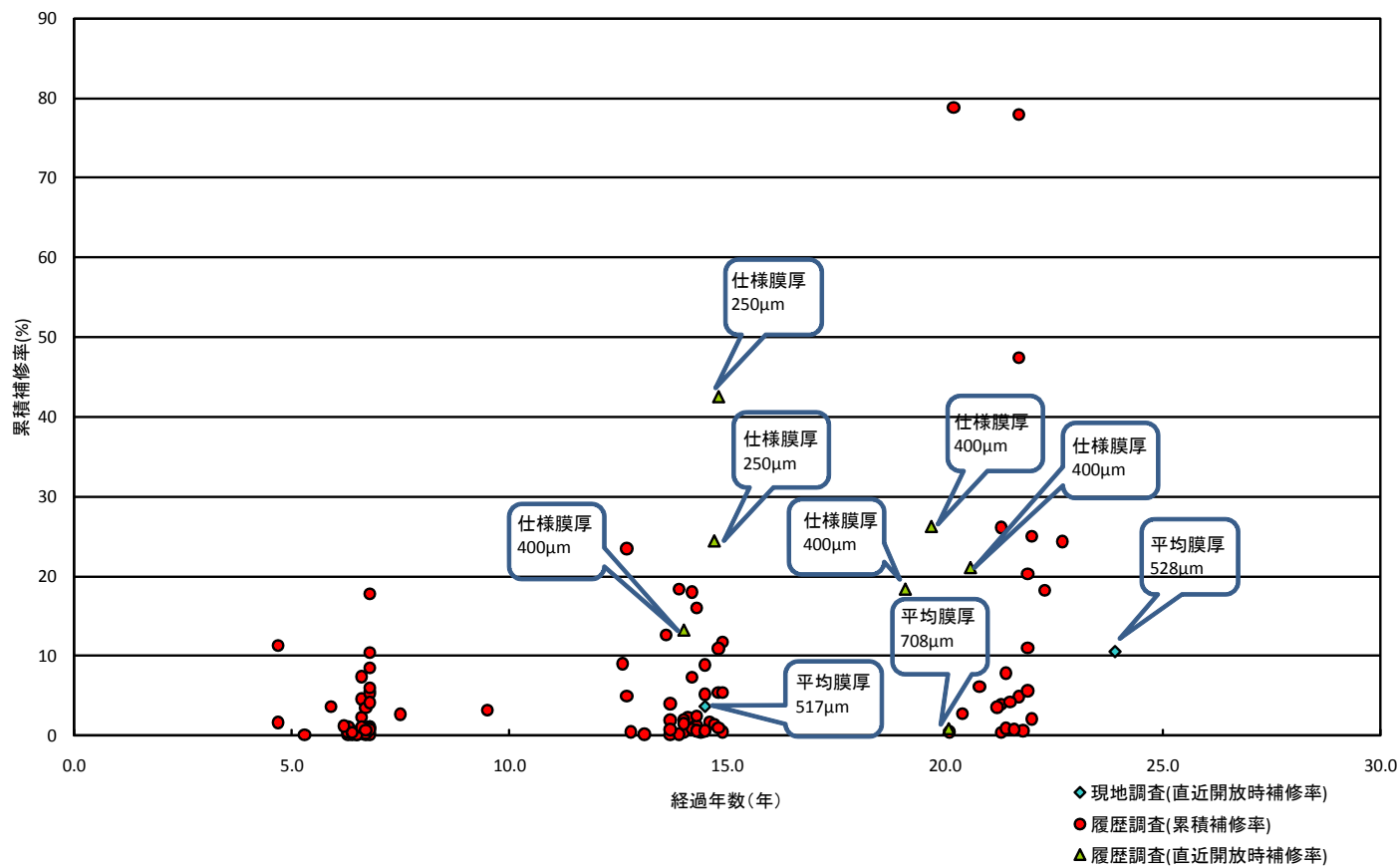


図 5.3.3 タンクの経過年数と開放時のB V樹脂GFコーティングの累積補修割合

図 5.3.2 及び図 5.3.3 の赤のプロットは最小膜厚 250 μ m という仕様で施工されたB V樹脂GFコーティングであり (実際の膜厚データは不明)、施工条件も不明であるが、図 5.3.2 では、20 年を越えると補修率が高いものが見られるようになる。

謝辞

本調査に当たっては、石油連盟と石油連盟加盟企業に格別のご協力を頂いた。記して感謝します。