

参考資料 1－1

参考資料 1－1 は、著作権に対する配慮のためホームページには掲載しません。

屋外貯蔵タンクの安全性評価に 関する調査検討報告書

(抜 粋)

平成 1 5 年 3 月

3 タンク内面腐食に関して極めて優良な条件を確保するためのコーティングの機能評価
 タンク内面コーティングの耐久性については、開放周期に関する調査検討で6種類の試験が実施され、このうち、温度勾配浸せき試験及び酸・溶剤（B T X）浸せき試験を行い、耐久性を評価することが有効であるという結論が得られた。

今年度は、コーティング耐久性限界の評価方法を補強するため、「特定屋外貯蔵タンク内部の腐食を防止するためのコーティングに関する指針について」（平成6年9月1日付け消防危第74号）中の別紙2「既存コーティングに関する指針」において、次回開放時期におけるガラスフレークコーティングの最長経過年数とされている20年と同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近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うこととした。

図3-8に検証のフローを示す。

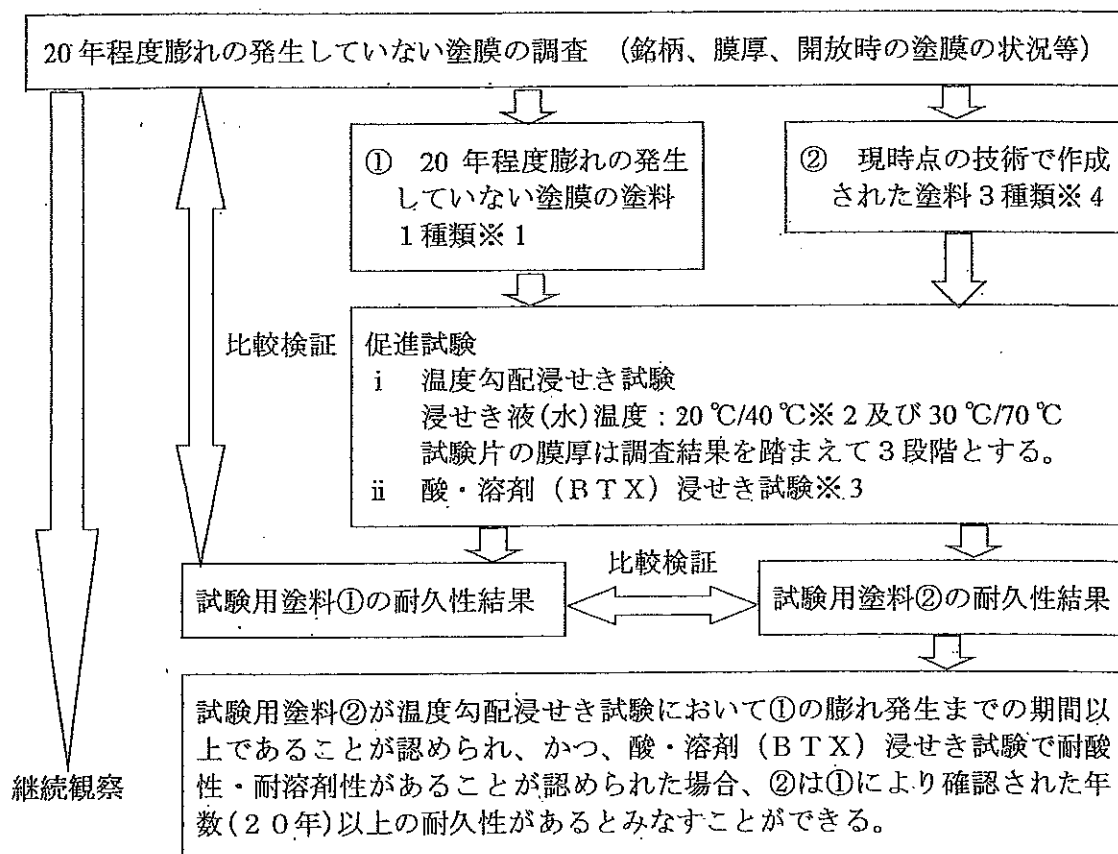


図3-8 コーティングの耐久性に関する検証フロー

※1: データの提供を受けて材料組成を再現した試験用塗料を使用する。

※2: 加温領域で促進試験を実施した場合、常温領域で優良な塗料を排除してしまう可能性がある。

※3: 塗膜を劣化させる要因は、水だけではなく酸成分、溶剤（B T X）成分があることから、酸・溶剤（B T X）浸せき試験を実施する。

※ 4： 3種類の塗料は①ノボラック系ビニルエステル樹脂、②エピビス系ビニルエステル樹脂及び③ノボラック系及びエピビス系を併用したものとする。

(1) 試験方法

ア 温度勾配浸せき試験

(イ) 試験板の材質

150mm × 70mm × 3.2mm サンドブラスト処理鋼板、試験塗料 1 種類につき
各 2 枚

(イ) 浸せき液温度

- a 表面（塗装面側）40℃、裏面（鉄板側）20℃
- b 表面（塗装面側）70℃、裏面（鉄板側）30℃

(ウ) 供試塗料

- a ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗装 試験用調整品 3 種類
- b ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗装 過去の実績既知材料 1 種類

(エ) 試験装置

内槽と外槽を有する二重の容器とし、内槽には試験板を貼り付け、所定の大きさで熱水に接する穴があり、試験片取り付け状態で水漏れがないものとする。

内槽の水温を所定の試験温度を維持できるような加温設備を有し、外槽には、水温を所定の温度に維持できる冷却設備を有するものとする。

(オ) 試験板の作成

標準塗装工程どおり片側を刷毛塗りし、試験板エッジを上塗りで塗り包んで、7 日以上（20℃）乾燥させたものを試験板とする。

合格膜厚は標準塗膜－30 μm＋80 μm以内とする。各 2 枚作成する。

(カ) 試験方法

内槽水及び外槽水を所定の試験温度に保った温度勾配浸せき試験器を用い、促進試験を行う。

(キ) 試験期間

- a 浸せき液温度 40℃／20℃ 浸せき開始からすべての試験用塗料に膨れが発生するまでの期間
- b 浸せき液温度 70℃／30℃ 30 日間

(ク) 測定・記録項目

- a 試験板の塗装膜厚（プライマー、仕上げ塗装の膜厚）
- b 温度勾配試験を行うまでの乾燥温度、乾燥日数
- c 付着性（初期付着性、試験終了後）
- d 塗膜の電気抵抗値（初期及び試験終了後）
- e 塗膜の静電容量（初期及び試験終了後）
- f 試験終了後の膜表面状態（試験前と比べて光沢変化等を記述）
- g 塗膜膨れ状態（ASTMによる膨れの評価を記録）

(ケ) 結果の判定

試験板を取り出した直後と常温室内で 2 時間乾燥させた後の 2 回観察し、塗膜

の膨れ、剥がれの有無を観察する。異常がなければ合格とする。

なお、膨れの発生が認められた場合、浸せき液温度が 40℃/20℃の浸せき試験については、発生までの日数を検量線のX軸にプロットし、プロットした点から垂直に線を立ち上げ、検量線との交点を求め、この交点から水平に線を引き、Y軸との交点から耐用年数を求める。

イ 酸・溶剤（BTX）浸せき試験

(ア) 試験板の材質

150mm × 70mm × 3.2mm サンドブラスト処理鋼板、試験塗料 1 種類につき各 2 枚

(イ) 浸せき液組成

酸成分 : 食塩 50 g
酢酸 10ml
過酸化水素 5 g
水 1,000cc

溶剤成分 : ベンゼン、トルエン、キシレン
(混合比は、ベンゼン/トルエン/キシレン = 0.7 : 2.5 : 3.3)

(ロ) 浸せき温度

20℃

(エ) 供試塗料

a ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗装 試験用調整品 3 種類

(a) エピビス系ビニルエステル樹脂

(b) ノボラック系ビニルエステル樹脂

(c) エピビス系ビニルエステル樹脂とノボラック系ビニルエステル樹脂を併用したもの

b ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗装 過去の実績既知材料 1 種類

(オ) 試験板の作成

標準塗装工程どおり片側を刷毛塗りし、試験板エッジを上塗りで塗り包んで、7 日以上 (20℃) 乾燥させたものを試験板とする。

合格膜厚は標準塗膜 - 30 μm + 80 μm 以内とする。各 2 枚作成する。

(カ) 試験方法

20℃に保った浸せき液に浸せきし、蒸発を防ぐために適当なふたをする。

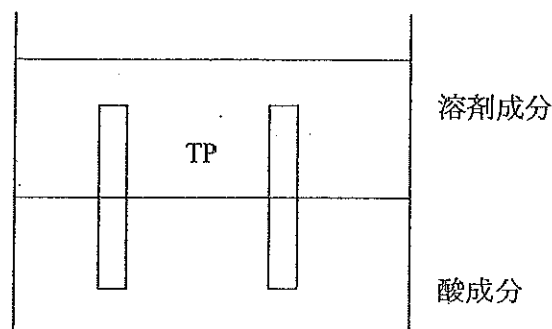


図 3-9 酸・溶剤（BTX）浸せき試験状況図

(キ) 試験期間

塗面に異常がない場合は、浸せき試験を継続する。

- a 測定・記録項目
- b 試験板の塗装膜厚（プライマー、仕上げ塗装の膜厚）
- c 温度勾配試験を行うまでの乾燥温度、乾燥日数
- d 付着性（初期付着性、試験終了後）
- e 塗膜の電気抵抗値（初期及び試験終了後）
- f 塗膜の静電容量（初期及び試験終了後）
- g 試験終了後の膜表面状態（試験前と比べて光沢変化等を記述）
- h 塗膜膨れ状態（ASTMによる膨れの評価を記録）

(ク) 結果の判定

試験板を取り出した直後と常温室内で2時間乾燥させた後の2回観察し、塗膜の膨れ、剥がれの有無を観察する。異常がなければ合格とする。

ウ 試験片数量

試験片の数量は、表3-10に示すとおり総計80枚とする。

表3-10 試験総括表

塗膜種類	膜厚 (μm)	温度勾配浸せき試験		酸・溶剤 (BTX) 浸せき試験	原板予備
		40℃/20℃	70℃/30℃		
エピビス	400	3	3	3	1
	700	3	3	3	1
エピビス・ノボラック併用	400	3	3	3	1
	700	3	3	3	1
ノボラック	400	3	3	3	1
	700	3	3	3	1
実績既知材料	400	3	3	3	1
	700	3	3	3	1
計		24	24	24	8

注： 各試験には、2枚使用することとし1枚は予備又は強度測定用などに使用することとする。

(2) 試験結果

ア 試験に使用した実績既知材料

試験に使用した実績既知材料の実タンクへの施工状況等は、表3-11に示すとおりであった。

表3-11 実績既知材料の実タンクへの施工状況等

樹脂種類	ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗装 (エピビス・ノボラック併用)
------	--------------------------------------

下 地 処 理	サンドブラスト
最 小 膜 厚	520 μ m
平 均 膜 厚	957 μ m
オイルイン期間	15 年 8 ヶ月

イ 温度勾配浸せき試験

浸せき液温度に係る条件が試験片の表面側 40℃、裏面側 20℃のもの（以下「(40 / 20℃)」という。）に関する温度勾配浸せき試験の結果を表 3 - 12 (22 ページ)、表 3 - 13 (23 ページ) 及び表 3 - 14 (24 ページ) 並びに図 3 - 10 (23 ページ) 及び図 3 - 11 (24 ページ) に示す。

また、浸せき液温度に係る条件が試験片の表面側 70℃、裏面側 30℃のもの（以下「(70 / 30℃)」という。）に関する温度勾配浸せき試験の結果を表 3 - 15 (25 ページ)、表 3 - 16 (26 ページ) 及び表 3 - 17 (27 ページ) 並びに図 3 - 12 (26 ページ) 及び図 3 - 13 (27 ページ) に示す。

本年度は、現在供給されている代表的な塗料として昨年度と同一の銘柄の 3 種類を使用して同一の試験条件で温度勾配浸せき試験を行うことにより、塗膜の膨れに関するデータを補強するために実施した。

(7) 試験条件 (40℃ / 20℃) における試験結果

a 塗膜 400 μ m の試験片

(a) 膨れ発生までの日数

昨年度及び本年度の温度勾配浸せき試験における浸せき日数と膨れ発生の有無の状況は表 3 - 18 に示すとおりであり、昨年度の試験結果と併せて考察すると膨れは 93 日目から 97 日目までの間に発生したものと類推することができる。

表 3 - 18 試験条件 40℃ / 20℃における浸せき日数と膨れ発生の有無の状況 (400 μ m)

樹脂種類	実施時期	浸せき日数													
		7	14	20	26	33	36	40	46	53	54	74	92	97	110
エピビス	昨年度	○	○	○	○	○	—	○	○	○	—	—	○	—	—
	今年度	—	○	—	—	—	○	—	—	—	○	○	—	×	×
エピビス・ノボ ラック併用	昨年度	○	○	○	○	○	—	○	○	○	—	—	○	—	—
	今年度	—	○	—	—	—	○	—	—	—	○	○	—	×	×
ノボラック	昨年度	○	○	○	○	○	—	○	○	○	—	—	○	—	—
	今年度	—	○	—	—	—	○	—	—	—	○	○	—	×	×
実績既知	昨年度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	今年度	—	○	—	—	—	○	—	—	—	○	○	—	×	×

注： 表中の「○」は 2 試験片共に異常なし、「×」は 2 試験片共に膨れ発生、「—」は試験未実施を表す。

(b) 検量線を用いた膨れ発生年数の推定

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せき試験によ

表3-12 温度勾配浸せき試験結果 (40/20°C)

試験塗料	記号	外観観察結果					初期付着性 付着力 [MPa]	インピーダンス測定													
		14日目	36日目	54日目	74日目	97日目		1.0kHz初期値		1.0kHz14日後		1.0kHz36日後		1.0kHz54日後		1.0kHz74日後		1.0kHz97日後		1.0kHz110日後	
								MΩ	tan δ	MΩ	tan δ	MΩ	tan δ	MΩ	tan δ	MΩ	tan δ	MΩ	tan δ	MΩ	tan δ
エピビス 400μm	A1-1	白色化	白色化	白色化	白色化	No.3M	6.0	4.50	0.03	2.09	0.07	0.10	0.38	1.22	0.09	0.31	0.24	0.32	0.21	0.11	0.56
	A1-2	艶有り○	艶有り○	やや艶○?	やや艶△	やや艶	FF100	4.50	0.05	1.73	0.08	0.14	0.23	1.01	0.11	0.29	0.24	0.26	0.30	0.10	0.40
エピビス 700μm	A1-4	白色化	白色化	白色化	白色化	白色化	5.0以上	4.50	0.05	3.21	0.08	0.16	0.53	2.05	0.09	0.18	0.60	0.22	0.29	0.17	0.54
	A1-5	艶有り○	艶有り○	やや艶○?	やや艶△	△	接接100	4.50	0.05	3.46	0.07	0.16	0.44	1.38	0.12	0.24	0.38	0.23	0.68	0.16	0.61
エピビス/ノボ 400μm	B1-1	白色化	白色化	白色化	白色化	No.3M	4.9	3.00	0.05	2.09	0.07	0.12	0.54	1.61	0.07	0.20	0.41	0.10	0.66	0.19	0.43
	B1-2	艶有り○	艶有り○	やや艶○	やや艶○?	やや艶	FF25/接接75	4.50	0.03	2.20	0.07	0.14	0.53	1.80	0.07	0.21	0.37	0.11	0.41	0.14	0.47
エピビス/ノボ 700μm	B1-4	白色化	白色化	白色化	白色化	白色化	6.9	4.50	0.04	3.91	0.06	0.21	0.40	1.06	0.16	0.35	0.31	0.47	0.28	0.18	0.49
	B1-5	艶有り○	艶有り○	やや艶○	やや艶○	やや艶○	FF30/接接70	4.50	0.04	3.91	0.06	0.11	0.60	1.58	0.11	0.23	0.47	0.56	0.54	0.23	0.32
ノボ 400μm	C1-1	白色化	やや褪色	やや褪色	やや褪色	No.3M	5.5	4.50	0.04	1.13	0.11	0.45	0.50	0.70	0.14	0.15	0.53	0.14	0.40	0.11	0.56
	C1-2	艶有り○	艶有り○	艶有り○?	艶有り△	No.3F	FF30/接接70	4.50	0.03	0.51	0.17	0.45	0.49	0.63	0.15	0.20	0.42	0.21	0.48	0.12	0.44
ノボ 700μm	C1-4	白色化	やや褪色	やや褪色	やや褪色	やや褪色	7.3	4.50	0.03	2.43	0.09	0.90	0.28	0.95	0.36	0.24	0.50	0.29	0.40	0.23	0.48
	C1-5	艶有り○	艶有り○	艶有り○	艶有り○?	艶有△	FF95/接接5	4.50	0.03	3.00	0.08	0.56	0.41	0.78	0.42	0.35	0.36	0.31	0.57	0.24	0.46
実績既知材料 400μm	D1-1	白色化	やや褪色	やや褪色	やや褪色	白色化	4.2	3.00	0.03	1.88	0.08	0.53	0.31	0.34	0.25	0.41	0.16	0.04	0.57	0.18	0.18
	D1-2	艶無し○	艶無し○	艶無し○	艶無し○	艶無しNo.3F	FF100	4.50	0.02	1.84	0.08	0.75	0.28	0.39	0.30	0.56	0.16	0.05	1.48	0.16	0.22
実績既知材料 700μm	D1-4	白色化	白色化	白色化	白色化	白色化	3.3	3.00	0.08	3.33	0.07	1.00	0.30	0.80	0.35	0.38	0.22	0.02	0.91	0.32	0.18
	D1-5	艶無し○	艶無し○	艶無し○	艶無し○	艶無し△	FF100	4.50	0.02	4.74	0.06	1.50	0.25	0.35	0.25	0.82	0.15	0.05	0.14	0.53	0.14

<記号>

○:その他、異常なし

○?:微少な凹凸(膨れ判定まで至らず。)

△:小さい凹凸(膨れ判定まで至らず。)

膨れの評価はASTMによる。

F:フレーク樹脂

接:接着剤

※100×100mmアルミ電極換算

表3-13 塗膜の電気抵抗—浸せき日数

抵抗(MΩ)		初期厚み	17°C61%	23°C45%	24°C75%	25°C61%	23°C83%	25°C84%	25°C88%
種類	記号	(μm)	初期値	14日後	35日後	54日後	74日後	97日後	110日後
エピビス 400 μm	A1-1	440	4.50	2.09	0.10	1.22	0.31	0.32	0.11
	A1-2	430	4.50	1.73	0.14	1.01	0.29	0.26	0.10
エピビス 700 μm	A1-4	727	4.50	3.21	0.16	2.05	0.18	0.22	0.17
	A1-5	720	4.50	3.46	0.16	1.38	0.24	0.23	0.16
エピビス/ノボ 400 μm	B1-1	440	3.00	2.09	0.12	1.61	0.20	0.10	0.19
	B1-2	457	4.50	2.20	0.14	1.80	0.21	0.11	0.14
エピビス/ノボ 700 μm	B1-4	770	4.50	3.91	0.21	1.06	0.35	0.47	0.18
	B1-5	797	4.50	3.91	0.11	1.58	0.23	0.56	0.23
ノボ 400 μm	C1-1	500	4.50	1.13	0.45	0.70	0.15	0.14	0.11
	C1-2	467	4.50	0.51	0.45	0.63	0.21	0.21	0.12
ノボ 700 μm	C1-4	803	4.50	2.43	0.90	0.95	0.24	0.29	0.23
	C1-5	787	4.50	3.00	0.56	0.78	0.35	0.31	0.24
実績既知材料 400 μm	D1-1	457	3.00	1.88	0.53	0.34	0.41	0.05	0.18
	D1-2	450	4.50	1.84	0.75	0.39	0.56	0.05	0.16
実績既知材料 700 μm	D1-4	777	3.00	3.33	1.00	0.80	0.38	0.02	0.32
	D1-5	887	4.50	4.74	1.50	0.36	0.82	0.05	0.53

100mm角変換済みデータ

抵抗=1/G/(10000/900) 10000/900=11.11

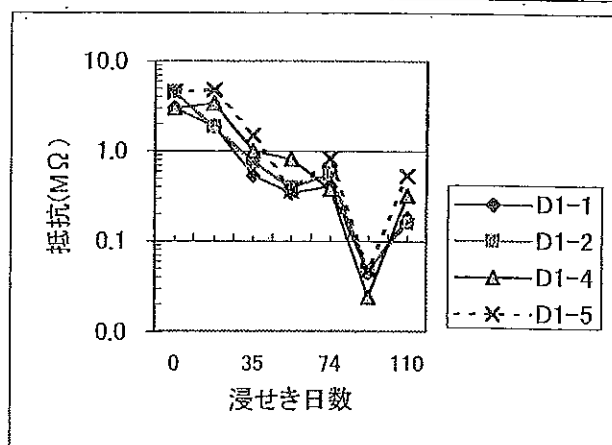
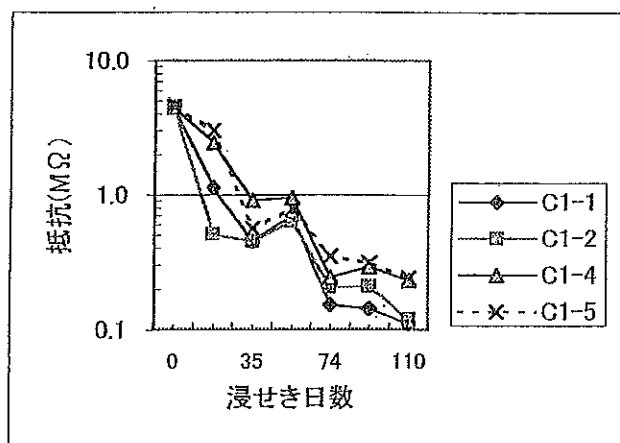
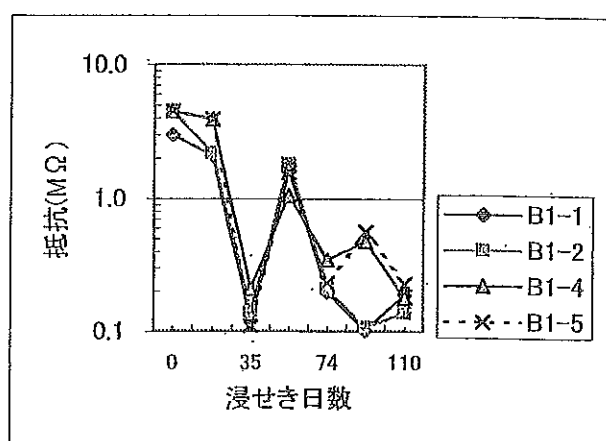
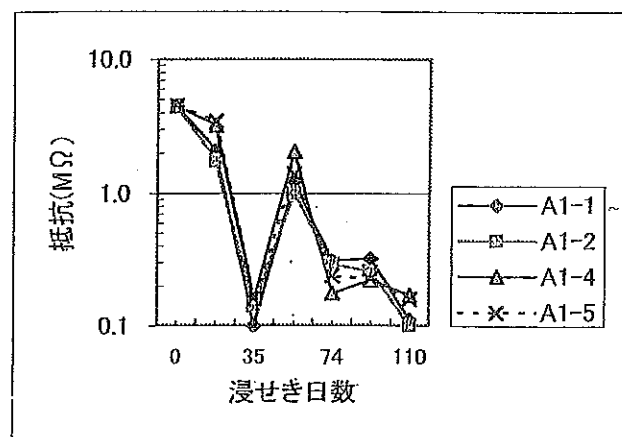


図3-10 塗膜の電気抵抗値—浸せき日数

40/20°C温度差勾配浸せき試験(100×100mm換算)

測定周波数:1kHz

表3-14 $\tan \delta$ - 浸せき日数

$\tan \delta$ 種類	記号	初期厚み (μm)	17°C61%	23°C45%	24°C75%	25°C61%	23°C83%	25°C84%	25°C88%
			初期値	1.4日後	35日後	54日後	74日後	97日後	110日後
エピビス 400 μm	A1-1	440	0.030	0.070	0.380	0.090	0.237	0.180	0.557
	A1-2	430	0.050	0.080	0.230	0.105	0.244	0.210	0.400
エピビス 700 μm	A1-4	727	0.050	0.075	0.530	0.066	0.600	0.300	0.640
	A1-5	720	0.050	0.072	0.440	0.124	0.380	0.290	0.610
エピビス/ノボ 400 μm	B1-1	440	0.050	0.066	0.540	0.068	0.405	0.655	0.430
	B1-2	457	0.030	0.066	0.530	0.066	0.370	0.650	0.470
エピビス/ノボ 700 μm	B1-4	770	0.040	0.063	0.400	0.160	0.310	0.410	0.490
	B1-5	797	0.040	0.062	0.600	0.110	0.470	0.280	0.320
ノボ 400 μm	C1-1	500	0.040	0.111	0.500	0.138	0.530	0.540	0.560
	C1-2	467	0.030	0.165	0.490	0.151	0.420	0.400	0.440
ノボ 700 μm	C1-4	803	0.030	0.094	0.280	0.361	0.500	0.480	0.480
	C1-5	787	0.030	0.081	0.410	0.420	0.360	0.400	0.460
実績既知材料 400 μm	D1-1	547	0.030	0.075	0.310	0.250	0.160	0.565	0.180
	D1-2	450	0.020	0.083	0.280	0.300	0.160	0.570	0.215
実績既知材料 700 μm	D1-4	777	0.080	0.074	0.300	0.350	0.220	1.480	0.180
	D1-5	887	0.020	0.062	0.250	0.250	0.150	0.910	0.140

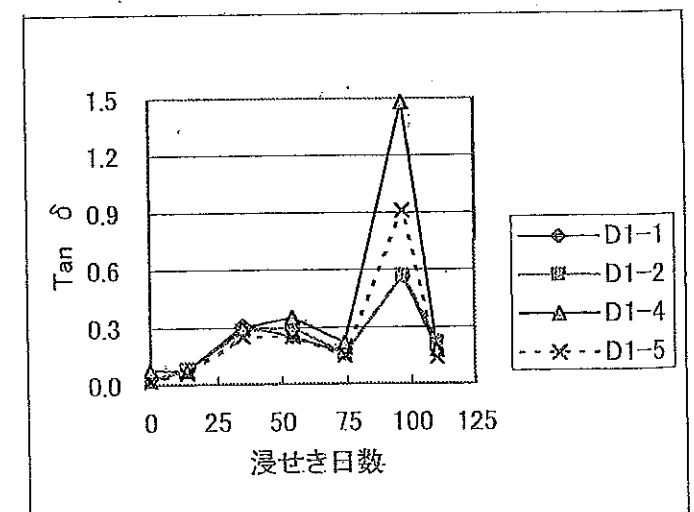
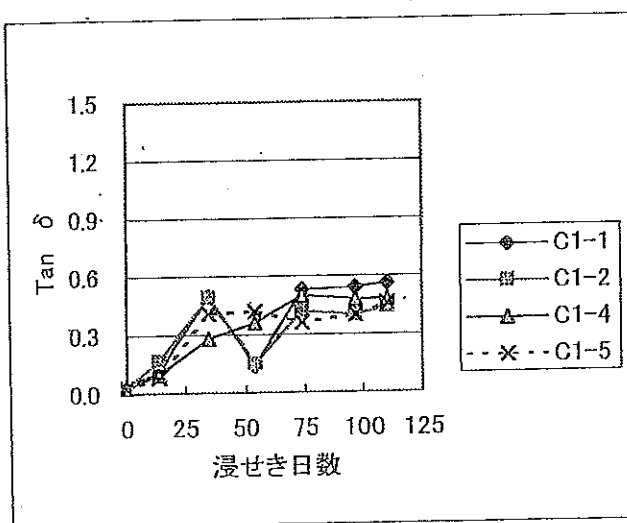
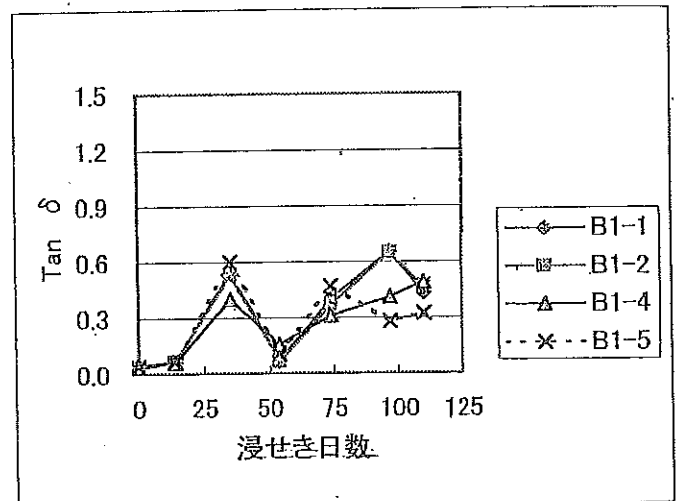
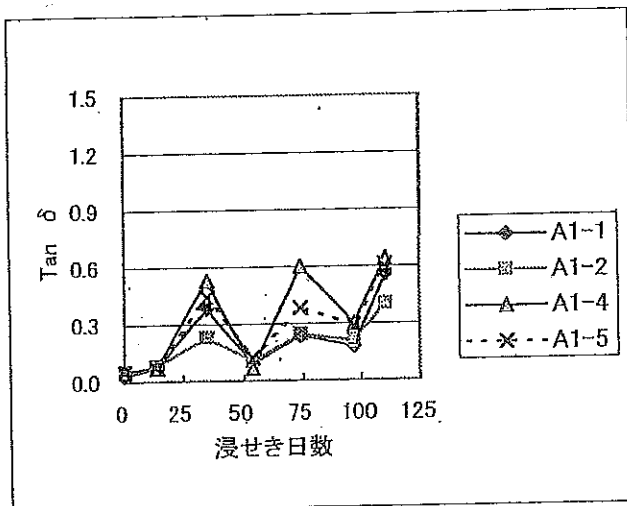


図3-11 塗膜の $\tan \delta$ - 浸せき日数
40/20°C温度差勾配浸せき試験
測定周波数: 1kHz

表3-15 温度勾配浸せき試験結果 (70/30℃)

試験塗料	記号	外観観察結果			初期付着性 付着力 [MPa]	インピーダンス測定							
		7日目	13日目	19日目		1.0kHz初期値		1.0kHz7日後		1.0kHz13日後		1.0kHz19日後	
						MΩ	tan δ	MΩ	tan δ	MΩ	tan δ	MΩ	tan δ
エピビス 400 μm	A2-1	光沢減少	No.4D	No.3D	6.0	2.81	0.030	0.35	0.27	0.90	0.12	0.60	0.15
	A2-2	褪色,○	No.4M	No.3D	FF100	3.00	0.034	0.22	0.23	0.69	0.15	0.24	0.24
エピビス 700 μm	A2-4	光沢減少	No.4M	No.3D	5.0以上	3.00	0.080	0.25	0.31	1.50	0.09	0.56	0.20
	A2-5	褪色,○	No.4M	No.3D	接接100	4.50	0.056	0.41	0.23	2.25	0.09	1.00	0.14
エピビス/ノボ 400 μm	B2-2	光沢減少	No.3D	No.2D	4.9	3.00	0.026	0.40	0.21	1.29	0.08	1.00	0.12
	B2-3	褪色,○	No.3M	No.2D	FF25/接接75	4.50	0.025	0.57	0.16	1.80	0.08	0.64	0.15
エピビス/ノボ 700 μm	B2-4	光沢減少	若干光沢	凹凸有り	6.9	2.65	0.042	0.24	0.33	1.13	0.09	0.47	0.29
	B2-5	褪色,○	○	凹凸有り	FF30/接接70	2.43	0.054	0.21	0.38	2.25	0.09	0.75	0.20
ノボ 400 μm	C2-1	光沢減少	若干光沢	No.3M	5.5	2.65	0.039	0.32	0.25	0.60	0.14	0.33	0.21
	C2-2	褪色,○	○	No.4M	FF30/接接70	2.50	0.042	0.38	0.25	0.75	0.13	0.38	0.22
ノボ 700 μm	C2-4	光沢減少	若干光沢	No.2F	7.3	2.37	0.060	0.46	0.28	1.80	0.08	0.75	0.17
	C2-5	褪色,○	○	○	FF95/接接5	2.81	0.050	0.81	0.16	1.50	0.09	0.82	0.18
実績既知材料 400 μm	D2-1	光沢減少	光沢なし	No.4M	4.2	3.10	0.040	0.36	0.15	0.60	0.13	0.32	0.16
	D2-2	褪色,○	○	No.4M	FF100	2.65	0.040	0.31	0.15	0.39	0.15	0.43	0.13
実績既知材料 700 μm	D2-4	光沢減少	光沢なし	No.2F	3.3	4.50	0.045	0.60	0.13	0.75	0.19	1.00	0.12
	D2-5	褪色,○	○	○	FF100	3.33	0.035	0.51	0.13	0.75	0.14	1.13	0.09

<記号>

○:その他、異常なし

膨れの評価はASTMによる。

※100×100mm換算

F:フレーク樹脂

接:接着剤

表3-16 塗膜の電気抵抗—浸せき日数

抵抗(MΩ)		初期厚み	10°C84%	7°C71%	10°C62%	12°C65%
種類	記号	(μm)	初期値	7日後	13日後	19日後
エピビス 400μm	A2-1	470	2.81	0.35	0.90	0.60
	A2-2	490	3.00	0.22	0.69	0.24
エピビス 700μm	A2-4	590	3.00	0.25	1.50	0.56
	A2-5	600	4.50	0.41	2.25	1.00
エピビス/ノボ 400μm	B2-2	490	3.00	0.40	1.29	1.00
	B2-3	490	4.50	0.57	1.80	0.64
エピビス/ノボ 700μm	B2-4	750	2.65	0.24	1.13	0.47
	B2-5	770	2.43	0.21	2.25	0.75
ノボ 400μm	C2-1	430	2.65	0.32	0.60	0.33
	C2-2	530	2.50	0.38	0.75	0.38
ノボ 700μm	C2-4	760	2.37	0.46	1.80	0.75
	C2-5	770	2.81	0.81	1.50	0.82
実績既知材料 400μm	D2-1	460	3.10	0.36	0.60	0.32
	D2-2	500	2.65	0.31	0.39	0.43
実績既知材料 700μm	D2-4	770	4.50	0.60	0.75	1.00
	D2-5	850	3.33	0.51	0.75	1.13

100mm角変換済みデータ

抵抗=1/G/(100(10000/900=11.11

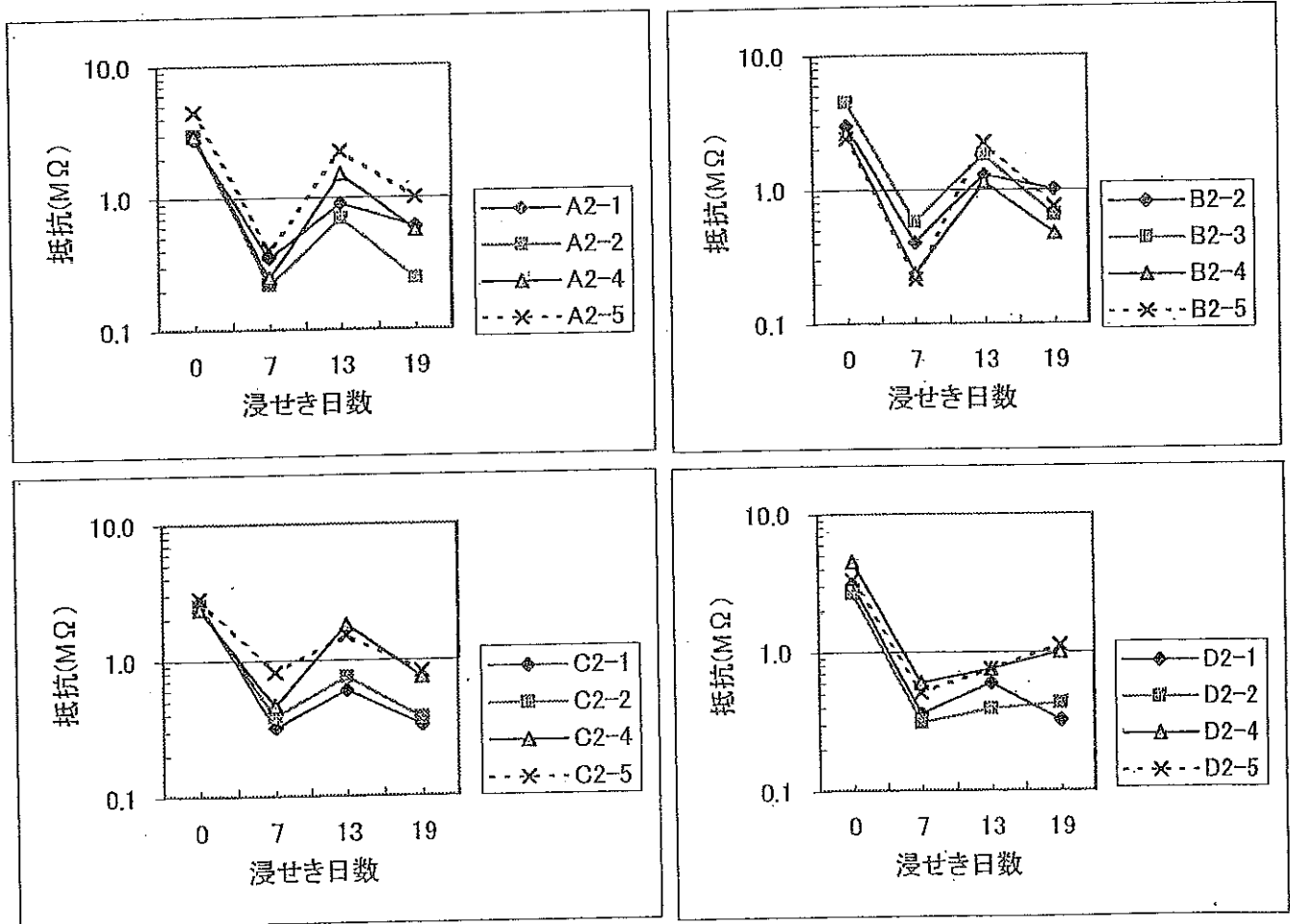


図3-12 塗膜の電気抵抗値—浸せき日数
70/30°C温度差勾配浸せき試験(100×100mm換算)
測定周波数:1kHz

表3-17 Tan δ - 浸せき日数

tan δ 種類	記号	初期厚み (μm)	10°C84% 初期値	7°C71% 7日後	10°C62% 13日後	12°C65% 19日後
エピビス 400 μm	A2-1	470	0.030	0.270	0.120	0.150
	A2-2	490	0.034	0.230	0.150	0.240
エピビス 700 μm	A2-4	590	0.080	0.310	0.090	0.200
	A2-5	600	0.056	0.230	0.090	0.140
エピビス/ノボ 400 μm	B2-2	490	0.026	0.210	0.080	0.120
	B2-3	490	0.025	0.160	0.080	0.150
エピビス/ノボ 700 μm	B2-4	750	0.042	0.330	0.090	0.290
	B2-5	770	0.054	0.380	0.090	0.200
ノボ 400 μm	C2-1	430	0.039	0.250	0.135	0.210
	C2-2	530	0.042	0.250	0.130	0.220
ノボ 700 μm	C2-4	760	0.060	0.280	0.080	0.170
	C2-5	770	0.050	0.160	0.090	0.180
実績既知材料 400 μm	D2-1	460	0.040	0.150	0.130	0.160
	D2-2	500	0.040	0.150	0.150	0.130
実績既知材料 700 μm	D2-4	770	0.045	0.130	0.190	0.120
	D2-5	850	0.035	0.130	0.140	0.090

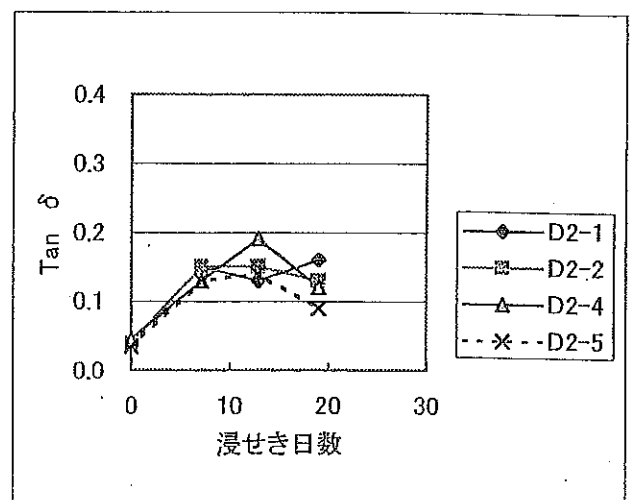
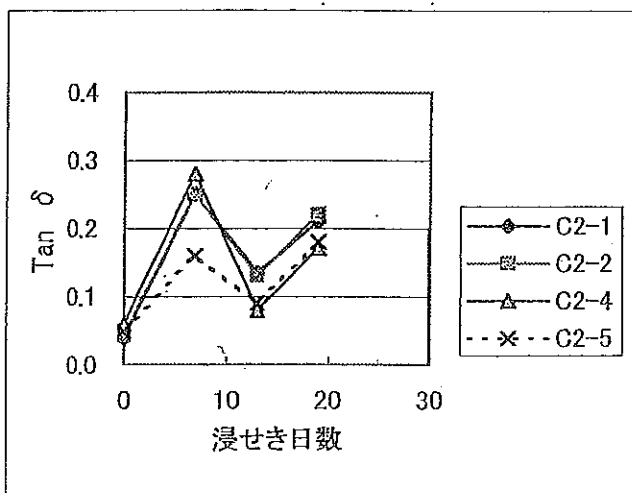
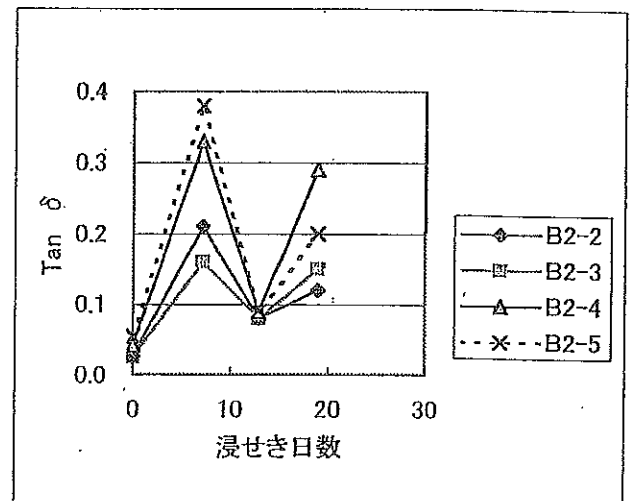
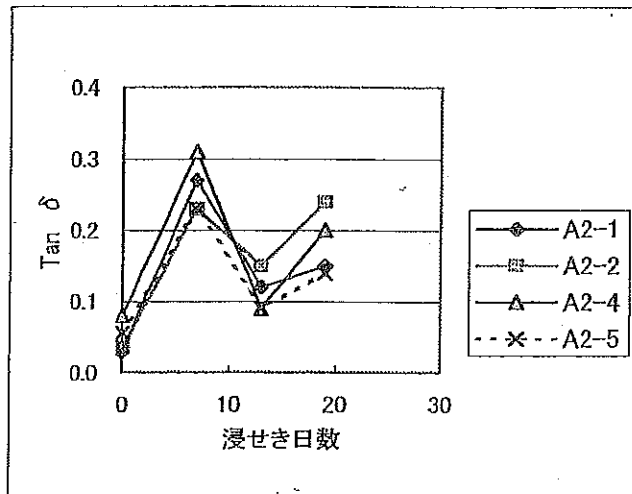


図3-13 塗膜のTan δ - 浸せき日数
70/30°C温度差勾配浸せき試験
測定周波数: 1kHz

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時間と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※₁に基づき作成されたものである。

昨年度の調査検討においては、実タンクにおける膨れの発生年数と温度勾配浸せき試験における膨れの発生時間を当該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。

そこで、前(a)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※₂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る。

※₁：防食塗装系の塗膜寿命予想について

(堀切乾治, 防錆管理 Vol.43, No. 7, 1999)

※₂：数式化した検量線の例

本調査検討で用いた検量線は、水門の塗膜(タールエポキシ樹脂)を海水に曝露し、塗膜に膨れの発生した年数と温度勾配せき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ている。

検量線作成のための基本データは表3-19に示すとおりであり、これらにより検量線の数式化を行った例を次に示す(図3-14参照)。

$$\text{検量線上限 } \log Y = 1.2 \log X - 0.96$$

$$\text{検量線下限 } \log Y = 1.2 \log X - 1.1$$

Y：実タンクにおける膨れ発生までの年数の推定値

X：温度勾配浸せき試験により得られた膨れ発生までの日数

表3-19 検量線作成のための基本データ

試験片	膨れ発生までの年数	温度勾配浸せき試験による膨れ発生までの日数
膜厚 200 μm	1年	T ₁ : 7日 T ₂ : 8日
膜厚 500 μm	5年	T ₁ : 24日 T ₂ : 26日
膜厚 1,000 μm	10年	T ₁ : 51日 T ₂ : 52日

注：T₁、T₂は温度勾配浸せき試験の試験片番号を表している。

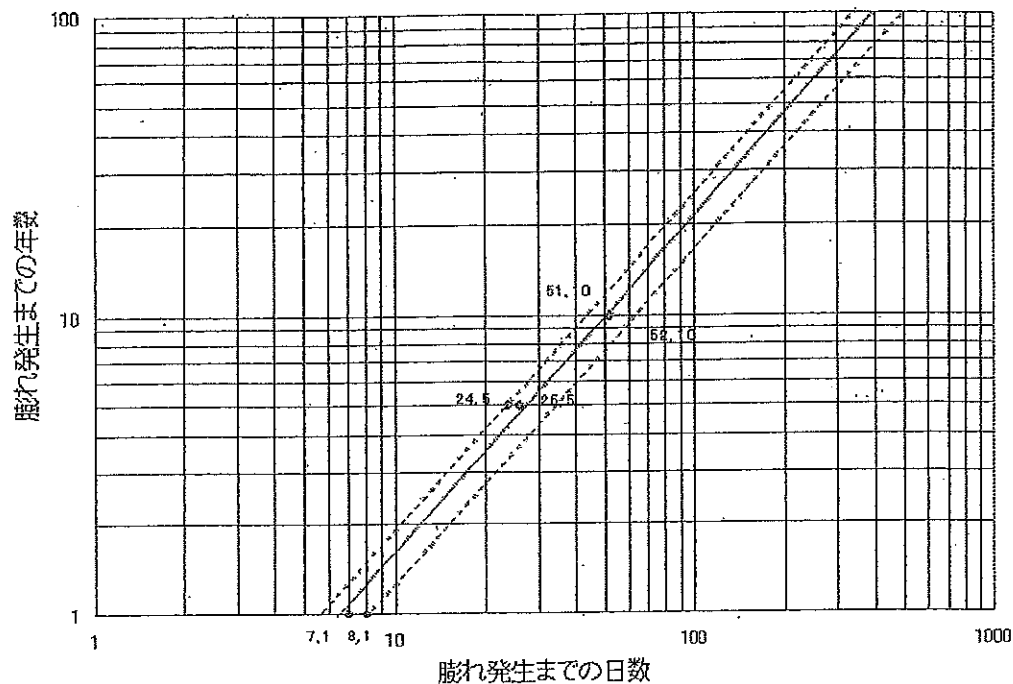


図3-14 温度勾配浸せき試験により得られた膨れ発生までの日数に対する実タンクでの膨れ発生までの年数を推定するための検量線

(c) 実タンクにおける膨れ発生までの年数の比較

長期間膨れが発生していないタンクで使用されている塗料の膨れ発生までの日数は試験に供した3種類の塗料と同様である。

膨れの発生していない実タンクでの実績については、現在15年8ヶ月までしか確認されていないが、さらに継続して塗膜の状態の確認を行っている。

b 塗膜700 μ mの試験片

(a) 膨れ発生までの日数

昨年度及び本年度の温度勾配浸せき試験における浸せき日数と膨れ発生の有無の状況は表3-20に示すとおりであり、ノボラック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することができる。

なお、エビビス及びエビビス/ノボラックについては、110日目において膨れは発生していないことから、膨れが発生するまで試験を継続している。

表 3-20 試験条件 40℃/20℃における浸せき日数と膨れ発生の有無の状況(700 μm)

樹脂種類	実施時期	浸せき日数															
		7	14	20	26	33	36	40	46	53	54	74	92	97	110	130	151
エピビス	昨年度	○	○	○	○	○	—	○	○	○	—	—	○	—	—	—	—
	今年度	—	○	—	—	—	○	—	—	—	○	○	—	○	○	×	×
エピビス・ノボ ラック併用	昨年度	○	○	○	○	○	—	○	○	○	—	—	○	—	—	—	—
	今年度	—	○	—	—	—	○	—	—	—	○	○	—	○	○	○	○
ノボラック	昨年度	○	○	○	○	○	—	○	○	○	—	—	○	—	—	—	—
	今年度	—	○	—	—	—	○	—	—	—	○	○	—	○	△	△	△
実績既知	昨年度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	今年度	—	○	—	—	—	○	—	—	—	○	○	—	○	×	×	×

注： 表中の「○」は2試験片共に異常なし、「△」は1試験片に膨れ発生、「×」は2試験片共に膨れ発生、「—」は試験未実施を表す。

(b) 検量線を用いた膨れ発生年数の推定

ア ノボラック及び実績既知塗料については、前(a)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る。

イ エピビスについては、前(a)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る。

ウ エピビス・ノボラック併用は、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考えられる。

(c) 実タンクにおける膨れ発生までの年数の比較

膨れの発生していない実タンクでの実績については、現在 15 年 8 ヶ月までしか確認されていないが、さらに継続して塗膜の状態の確認を行っている。

(i) 試験条件 (70℃/30℃) における試験結果

昨年度及び本年度の温度勾配浸せき試験 (70℃/30℃) の結果を、表 3-21 に示す。

昨年度と本年度の結果を見るとデータがばらついており、試験方法の妥当性を判断することはできなかった。

表 3 - 21 70℃/30℃における現時点の塗料についての
浸せき日数と膨れ発生の有無の状況

樹脂種類・厚さ	実施時期	浸せき日数				
		6	7	13	19	25
エピビス (400 μ m)	昨年度	○	—	○	×	×
	今年度	—	○	×	×	—
エピビス・ノボラック併用 (400 μ m)	昨年度	○	—	×	×	—
	今年度	—	○	×	×	—
ノボ (400 μ m)	昨年度	○	—	○	×	×
	今年度	—	○	○	×	—
エピビス (700 μ m)	昨年度	○	—	○	○	×
	今年度	—	○	×	×	—
エピビス・ノボラック併用 (700 μ m)	昨年度	○	—	○	○	×
	今年度	—	○	○	×	—
ノボ (700 μ m)	昨年度	○	—	○	○	×
	今年度	—	○	○	△	—

注：表中の「○」は2試験片共に異常なし、「△」は1試験片に膨れ発生、
「×」は2試験片共に膨れ発生、「—」は試験未実施を表す。

温度勾配浸せき試験としては、40℃/20℃の条件で促進を行い、その結果から検量線を用いて耐久年数を推定することが可能であると認められる。

ウ 酸・溶剤 (BTX) 浸せき試験

酸・溶剤 (BTX) 浸せき試験の結果を、表 3 - 22 (32 ページ) に示す。

温度勾配浸せき試験は、塗装面に温水を非塗装面に冷水を接して塗膜の劣化を促進し、塗膜の耐久性限界を確認する試験であるが、この試験では塗膜の耐酸性、耐溶剤性を確認することはできず、昨年度の検討においても、温度勾配浸せき試験の他に酸・溶剤浸せき試験により耐酸性、耐溶剤性を確認して塗膜の耐久性を確認することが適切であるとされている。

昨年度の試験結果において、実タンクで膨れの発生が認められたガラスフレーク樹脂塗料では 45 日で膨れを生じ、実タンクで膨れの発生の認められなかった塗料及び試験に供した 3 種類の塗料では異常が認められなかったことから、45 日間の浸せきによって耐酸性及び耐溶剤性の判定が可能であると考えられた。

本年度は、昨年度に判定が可能であると考えられた 45 日間の 2 倍の 90 日間の試験を実施しデータを補強することにより 45 日間の判定期間が適性であることを確認することとしたものである。

結果は、いずれも異常を生じなかったことから、塗膜の耐酸性及び耐溶剤性に関する優劣の判定時期は、浸せき後 45 日間が適当であることが確認された。

以上のことから、酸・溶剤浸せき試験は、判定期間を 45 日間とすることにより塗膜の耐酸性、耐溶剤性の確認を行うことができると認められる。

表3-22 溶剤酸浸せき試験結果

試験塗料	記号	14日目	30日目	90日目	インピーダンス測定									
					1.0kHz初期値			1.0kHz14日後		1.0kHz30日後		1.0kHz90日後		
					MΩ	nF		MΩ	nF	MΩ	nF	MΩ	nF	
エピビス 400μm	A3-1	○	○	○	11.40	0.752	溶剤部	2.84	1.104	1.85	1.320	1.09	0.088	
			表層加水分解	表層加水分解			酸部	3.38	1.028	2.10	1.130	0.96	0.081	
	A3-2	○	○	○			溶剤部	3.13	1.100	1.14	1.300	1.14	0.086	
			表層加水分解	表層加水分解			酸部	3.97	0.984	2.08	1.024	1.47	0.075	
エピビス 700μm	A3-5	○	○	○	20.80	0.460	溶剤部	8.30	0.512	3.13	0.620	3.13	0.042	
			表層加水分解	表層加水分解			酸部	9.26	0.528	5.43	0.520	3.13	0.039	
	A3-6	○	○	○			溶剤部	6.76	0.536	3.33	0.624	1.19	0.007	
			表層加水分解	表層加水分解			酸部	8.33	0.492	4.20	0.544	1.92	0.006	
エピビス／ノボ 400μm	B3-1	○	○	○	7.35	0.852	溶剤部	2.78	1.192	1.56	1.360	2.80	0.082	
				表層加水分解			酸部	4.90	0.800	3.60	0.830	2.27	0.061	
	B3-2	○	○	○			溶剤部	2.84	1.177	1.93	1.390	1.19	0.092	
				表層加水分解			酸部	3.52	0.996	2.48	1.010	1.32	0.074	
エピビス／ノボ 700μm	B3-5	○	○	○	20.80	0.428	溶剤部	3.29	0.720	4.30	0.690	2.78	0.049	
				表層加水分解			酸部	6.56	0.632	3.48	0.660	1.56	0.051	
	B3-6	○	○	○			溶剤部	7.14	0.664	3.18	0.750	2.50	0.052	
				表層加水分解			酸部	7.58	0.552	3.48	0.592	3.13	0.041	
ノボ 400μm	C3-1	○	○	○	10.00	0.740	溶剤部	2.81	0.844	1.78	0.984	1.25	0.078	
				表層加水分解			酸部	2.58	0.872	1.33	1.128	1.14	0.074	
	C3-2	○	○	○			溶剤部	2.05	0.928	1.43	1.108	1.32	0.068	
				表層加水分解			酸部	2.07	0.948	1.40	1.144	0.83	0.081	
ノボ 700μm	C3-5	○	○	○	17.85	0.440	溶剤部	5.10	0.592	2.95	0.620	2.50	0.043	
				表層加水分解			酸部	4.46	0.584	2.75	0.636	1.47	0.051	
	C3-6	○	○	○			溶剤部	4.55	0.608	2.48	0.664	1.92	0.047	
				表層加水分解			酸部	4.90	0.580	2.78	0.608	1.56	0.048	
実績既知材料 400μm	D3-1	○	○	○	10.00	0.732	溶剤部	1.32	0.948	0.90	1.030	0.93	0.064	
			表層加水分解	表層加水分解			酸部	2.08	0.892	1.03	0.984	1.04	0.061	
	D3-2	○	○	○			溶剤部	1.04	1.024	0.90	1.120	0.89	0.068	
			表層加水分解	表層加水分解			酸部	2.08	0.924	1.00	1.240	1.09	0.061	
実績既知材料 700μm	D3-5	○	○	○	22.70	0.388	溶剤部	3.57	0.516	3.13	0.530	1.32	0.041	
			表層加水分解	表層加水分解			酸部	6.25	0.492	1.00	0.580	1.92	0.036	
	D3-6	○	○	○			溶剤部	3.25	0.508	1.95	0.552	1.67	0.036	
			表層加水分解	表層加水分解			酸部	5.10	0.480	2.35	0.536	2.27	0.035	

<記号>

○:その他、異常なし

※100×100mm換算

(3) コーティングの耐久性

前(1)及び(2)から、塗料の耐久性限界を推定するには、温度勾配浸せき試験（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とともに、酸・溶剤浸せき試験を45日間実施して塗料の耐酸性・耐溶剤性を判定する方法が妥当であると考えられる。

また、今後、実タンクでのコーティングの耐久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考えられる。

なお、コーティングの耐久性能は、コーティングの品質だけでなく、施工が重要であることから、コーティングの施工に関しては、「特定屋外貯蔵タンク内部の腐食を防止するためのコーティングに関する指針について」（平成6年9月1日付け消防危第74号）に示されている「コーティングに関する指針」に従って施工することが必要であるとともに、施工にあたっては専門技術者により十分管理が行われたものであることが必要である。

4 附属設備等による漏えいの可能性

開放検査は、主としてタンク底部からの漏えいを防止するためにその液密性能の状況について確認するために、底部の板の厚さに関する事項及び溶接部に関する事項について行っている。

しかしながら、特定屋外貯蔵タンクからの危険物の漏えい事故は、タンク底部からだけでなく、附属設備及び側板部（以下「附属設備等」という。）からの漏えいも発生している。

したがって、次回開放時期までの間において、タンク内部を開放しないと補修等が行うことのできない附属設備等の劣化に起因して危険物の漏えいが発生しないことが必要であると考えられる。

この節では、特定屋外貯蔵タンクの附属設備等からの漏えい事故及び附属設備の補修状況について整理するとともに、次回開放時期の検討にあたって留意すべき事項をとりまとめる。

(1) 特定屋外貯蔵タンクの附属設備に起因する漏えい事故の状況

昭和57年から平成12年までの19年間に於いて特定屋外貯蔵タンクの附属設備に起因する漏えい事故は、7件発生しており、詳細は表3-23（34ページ）に示すとおりである。

これらの漏えい事故を分類・整理した結果は次に示すとおりである。

ア 浮屋根の接液面の腐食損傷に起因する事故

浮屋根を構成するボンツーンとデッキは、常時接液しているが、浮屋根が着底している場合は気相と接することから、常時接液しているタンク底板内面よりも腐食環境は厳しいと考えられる。

イ ローディングラダーの摺動不良に起因する事故

ローディングラダーは、側板頂部から浮屋根上に移動するための階段であり、液面の高さに応じて、階段の下端に設けられた車輪が回転し、下端がデッキ板上を移動することにより、階段の傾斜が可変する構造となっている。

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

(抜 粋)

平成 2 2 年 3 月

危 険 物 保 安 技 術 協 会

目 次

第1章	調査検討の概要	1
1. 1	調査検討の目的	1
1. 2	調査検討事項	1
1. 3	調査検討体制	2
1. 4	調査検討経過	4
第2章	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の検討	5
2. 1	調査検討の目的	5
2. 2	温度勾配試験の方法	5
2. 3	温度勾配浸漬試験結果	11
2. 4	まとめ	15
2. 5	今後の課題	15
第3章	実タンクにおける塗膜劣化状況のデータ分析及び実態調査	16
3. 1	調査検討の目的	16
3. 2	データ分析	17
3. 3	実態調査	26
第4章	検量線の作成に関する検討	35
4. 1	調査検討の目的	35
4. 2	調査検討の方法	35
4. 3	検討結果	35
4. 4	まとめ	36
第5章	まとめ及び今後の課題	38
5. 1	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	38
5. 2	実タンクにおける塗膜劣化状況のデータ分析及び実態調査	40
5. 3	検量線の作成に関する検討	41
参考資料1	特定屋外貯蔵タンク内部の腐食を防止するためのコーティングに関する 指針について（通知）（平成6年9月1日 消防危第74号 各都府県消防 主管部長あて 消防庁危険物規制課長）	43
参考資料2	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 総務省消防庁）抜粋	67

参考資料3	温度勾配浸漬試験結果データ等・・・・・・・・・・	89
参考資料4	実タンクにおける劣化状況データ分析・・・・・・・・	119
参考資料5	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会 現地調査報告書・・・・・・・・・・	153

第1章 調査検討の概要

1.1 調査検討の目的

特定屋外貯蔵タンク内部の腐食を防止するためのコーティングに関する指針について（平成6年9月1日付け消防第74号消防庁危険物規制課長通知）（以下「コーティングに関する指針」という。）、別紙2「既存コーティングに関する指針」、第2「既存コーティングの経過年数」では、ガラスフレークコーティングの施工経過年数は、次期開放予定時期において20年を超えることがないこととされている。このことから、「既存コーティングに関する指針」では、コーティングの「施工経過年数」が定められている。これにより、コーティング等の措置による開放周期延長の適用を継続しようとする、開放の都度、コーティングを全面張り替えなければならなくなる場合が生じる。このような背景から、ガラスフレークコーティングの耐用年数について検討を行うものである。

1.2 調査検討事項

1.2.1 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による検討

「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 総務省消防庁）」（以下、「平成14年度報告書」という。）では、「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が可能である。」という結果が得られた。

このことから、今年度は、ガラスフレークコーティングの耐用年数を推定するにあたり、実タンクに使用されている樹脂組成毎に膜厚の種類を変えた試験片を作成し、膜厚の種類による耐用年数の変化に対する効果を確認するための温度勾配浸漬試験を行うこととする。

試験片は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℃）を行い、試験片に膨れが発生するまで測定を行う。試験項目については、①塗膜の外観観察（膨れ、割れ等の観察）を主として、浸漬試験期間前後に②付着力測定③硬度測定④衝撃試験⑤インピーダンス測定⑥折り曲げ試験を行う。期間については、膨れ等の発生をより詳細にとらえるため、浸漬期間について最大200日を目途に、開始70日目から10日ごとに観察を行う。本浸漬試験の実施に当たり、「屋外貯蔵タンクのコーティングの耐用年数の評価に係る浸漬試験等ワーキンググループ」（以下「WG」という。）を「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会」内に設置する。

1.2.2 実タンクにおける塗膜劣化状況の実態調査

「平成14年度報告書」では、今後、実タンクにおけるコーティングの耐久年数に関する実績データを蓄積することによって、より長期間での性能を検証することが可能であると考えられる、との結果が得られた。

このことから、ガラスフレークコーティング施工を行ったタンクに関する基本的な諸データ及び開放時毎の補修履歴のデータの開示を受けるとともに、本年度開放予定で、20年以上経過したタンクの開放時における未補修箇所を中心とした塗膜の膨れ・錆等の劣化状況や膜

厚等の実態調査を行う。

1.2.3 検量線の作成に関する検討

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（日数）と実環境における膨れ発生までの時間（年数）との相関を示すものである。「平成14年度報告書」で使用された検量線は、水門の塗膜（タールエポキシ樹脂）の検量線であり、今回の検討対象とするガラスフレークコーティングの塗膜と異なることから、新たなガラスフレークコーティングの検量線を作成する必要がある。

このため、今年度は、検量線を作成するにあたって、温度勾配浸漬試験データ及び実タンクのガラスフレークコーティングデータから必要な項目に関する検討を行う。

1.3 調査検討体制

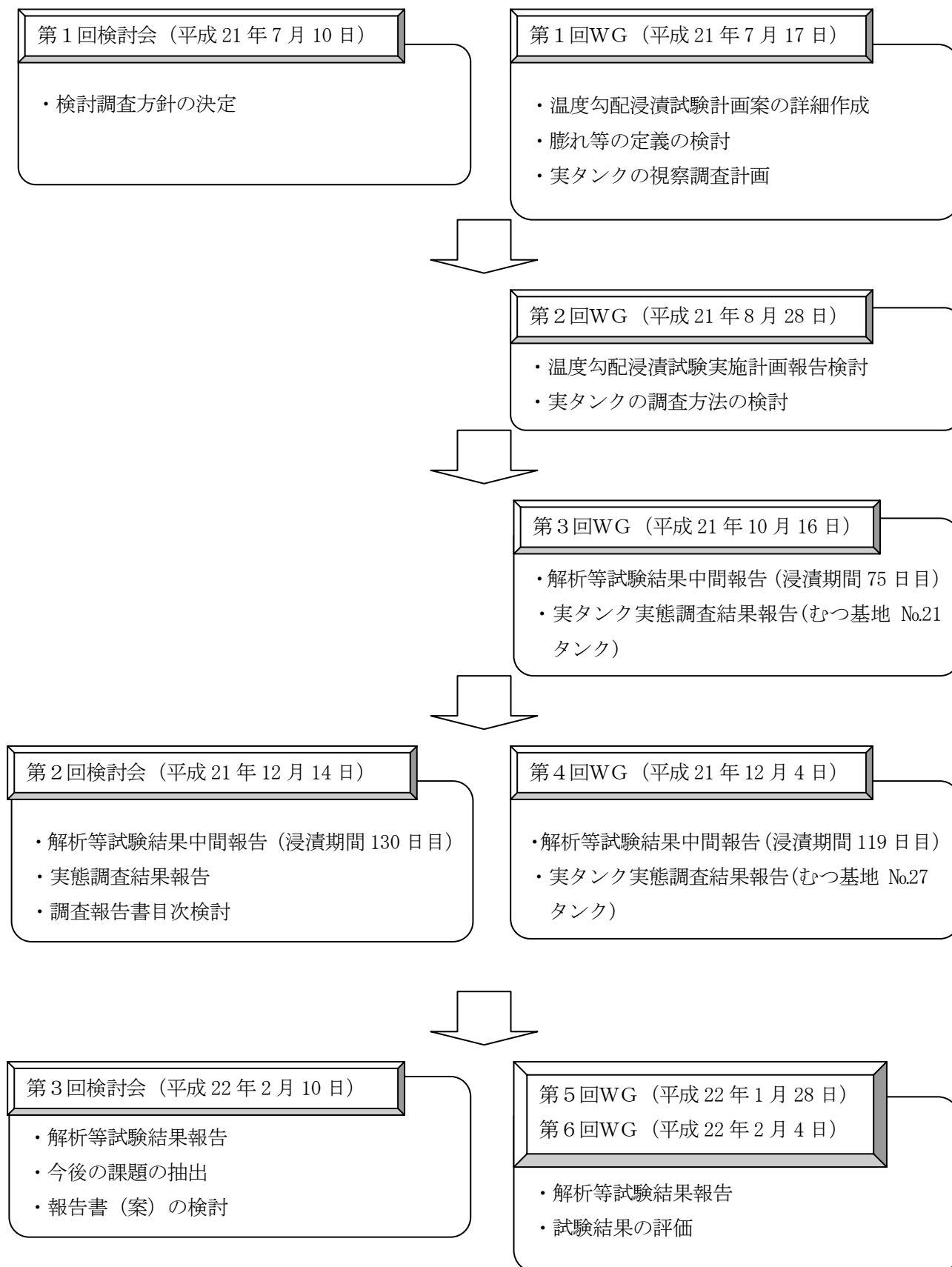
1.3.1 屋外貯蔵タンクのコーティングの耐用年数の評価に関する検討調査会名簿

委員長	亀井 浅道	横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター 客員教授
委員	阪上 隆英	神戸大学大学院工学研究科機械工学専攻 教授
委員	斉藤 清	苫小牧市消防本部 保安課長
委員	森 新一	川崎市消防局 予防部危険物課長
委員	土田 智彦	独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構石油備蓄部 企画課 調査役
委員	山本 洋	石油連盟
委員	山本 敏裕	石油化学工業協会
委員	黒澤 賢二	(社)日本塗料工業会
委員	横山 明往	樹脂ライニング工業会 理事 常任顧問
委員	木村 保久	株式会社カシワバラ・コーポレーション 専務執行役員関東支社長
委員	関 守秀	危険物保安技術協会研修センター センター長
委員	柳澤 大樹	危険物保安技術協会タンク審査部 次長
委員	和田 正彦	危険物保安技術協会業務企画部 業務課長
委員	新井場 公德	総務省消防庁危険物保安室 課長補佐
委員	山田 實	総務省消防庁消防大学校消防研究センター 技術研究部長
協力員	大原 茂	(社)日本塗料工業会
協力員	西崎 宣夫	樹脂ライニング工業会
事務局	松浦 晃弘	危険物保安技術協会業務企画部 企画課長
事務局	三國 智司	危険物保安技術協会業務企画部
事務局	高尾 鎮雄	危険物保安技術協会業務企画部
事務局	鈴田 光俊	危険物保安技術協会タンク審査部 タンク審査課長
事務局	赤塚 淳一郎	危険物保安技術協会タンク審査部

1.3.2 屋外貯蔵タンクのコーティングの耐用年数の評価に係る浸漬試験等WG名簿

主 査	黒澤 賢二	(社) 日本塗料工業会	
委 員	大 原 茂	(社) 日本塗料工業会	
委 員	野崎 雅明	(社) 日本塗料工業会	
委 員	中 野 正	(社) 日本塗料工業会	
委 員	大澤 隆英	(社) 日本塗料工業会	
委 員	吉田 陽一	(社) 日本塗料工業会	
委 員	内藤 博幸	(社) 日本塗料工業会	
委 員	堀部 恭一	(社) 日本塗料工業会	
委 員	横山 明往	樹脂ライニング工業会	理事 常任顧問
委 員	西崎 宣夫	樹脂ライニング工業会	
委 員	和田 正彦	危険物保安技術協会業務企画部	業務課長
委 員	太 田 淳	総務省消防庁危険物保安室	パイプライン係長
事務局	松浦 晃弘	危険物保安技術協会業務企画部	企画課長
事務局	三國 智司	危険物保安技術協会業務企画部	
事務局	高尾 鎮雄	危険物保安技術協会業務企画部	

1.4 調査検討経過



第2章 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の検討

2.1 調査検討の目的

屋外貯蔵タンク底板防食コーティングの耐用年数の延長目的で、コーティング材（ビニルエステル樹脂）の膜厚増加、樹脂組成の検討を進めるために、耐膨れ性の効果に関して水分の透過・拡散を促進する温度勾配浸漬試験にて実験を行う。

2.2 温度勾配試験の方法

ガラスフレーク塗料標準品（常温用）についての温度勾配浸漬試験を（財）日本塗料検査協会で行う。

2.2.1 試験期間

平成 21 年 7 月 31 日～平成 22 年 1 月 26 日

2.2.2 試験塗料

塗料 4 種類①～④ エピビス系／ノボラック系混合比率の比較

(1) 試験塗料の種類

試験片の種類を表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 試験片の種類

膜厚 (μm)	①EB 系 100 %	②EB 系／NV 系 70% / 30%	③EB 系／NV 系 30% / 70%	④EB 系／NV 系 20% / 80%
400	A1	B1	C1	D1
700	A2	B2	C2	D2
1,000	A3	B3	C3	D3
1,500	A4	B4	C4	D4

記号 : EB エピビス系ビニルエステル樹脂

: NV ノボラック系ビニルエステル樹脂

(注 1) ノボラック系 100%の試験塗料は塗膜硬度が非常に硬くなる傾向にあること及びコストが高いこと。さらに、「平成 14 年度報告書」の試験結果でエピビス系併用型と差が無いことから、今回の試験塗料から除外した。

(注 2) 試験塗料の種類については事前に下記アンケートを実施し、その結果に基づいて選定した。

(注 3) ガラスフレーク含有率は①～④の樹脂塗料中 20 % (wt%) とした。

「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 20%と決定。（表 2.2-2 参照）

表 2.2-2 ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗料の樹脂比率アンケート結果

樹脂比率別		A	B	C	D	E	F
社 別	温度別	エビビス100%	エビビス90～70% ノボラック10～30%	エビビス70～50% ノボラック30～50%	エビビス50～30% ノボラック50～70%	エビビス30～10% ノボラック70～90%	ノボラック100%
a社	常温型	○					
	加温型					○	
b社	常温型	○					
	加温型						
c社	常温型	○					
	加温型						
D社	常温型	○					
	加温型						○
e社	常温型			○			
	加温型					○	

2.2.3 試験片の作成

(1) 材 質：SS400 サンドブラスト処理 R_z 30～70 μm

(2) サイズ：150×70×3.2 mm

(3) 試験板

ア 塗料4種類①～④

イ 膜厚（4水準）

ウ 浸漬期間（1水準）

エ 試験板計16枚

(4) 試験片の作製（温度勾配浸漬試験用）

ア 片面に試料（下塗＋中塗＋上塗）を乾燥塗膜が下記膜厚になるように塗装する。その裏をエポキシ樹脂塗料で300～350 μm になるように塗装する。共に塗膜に約5mm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ものを試験片とする。

なお、プライマーは2%希釈し刷毛塗りで塗布、ガラスフレークコーティングは1%希釈しエアレスプレー（チップ 163-531）で1次圧3.5Kg/cm²、ポンプ比60:1を使用して行う。塗装間隔は1日1層とする。塗装環境としては温度23℃、湿度60%RHで行う。

イ 膜厚は以下の4種類及び塗装回数

- ・ 400 μm （3回塗り）
- ・ 700 μm （4回塗り）
- ・ 1,000 μm （5回塗り）
- ・ 1,500 μm （6回塗り）

(5) 試験板作成記録及び膜厚測定結果

試験板作成に関する記録等を表 2.2-3～5 に示す。

ア 塗装工程記録(ガラスフレーク塗料A、B、C、D共通)

表 2.2-3 塗装工程記録

膜厚 (μm)	下塗	上塗 一層目	上塗 二層目	上塗 三層目	上塗 四層目	上塗 五層目	裏面 中塗	裏面 上塗1	裏面 上塗2
400	7月1日	7月6日	7月7日				7月13日	7月14日	7月15日
700	7月1日	7月6日	7月7日	7月8日			7月13日	7月14日	7月15日
1,000	7月1日	7月6日	7月7日	7月8日	7月9日		7月13日	7月14日	7月15日
1,500	7月1日	7月6日	7月7日	7月8日	7月9日	7月10日	7月13日	7月14日	7月15日
温度($^{\circ}\text{C}$)	24	26	25	25	25	26	25	25	26
湿度(%)	50	50	55	50	50	53	50	50	52

(注1)裏面:エポキシ塗料

(注2)試験片発送:7月24日(金) (財)日本塗料検査協会 東支部(藤沢)へ発送

(注3)塗装法:プライマー・刷毛塗り、

ガラスフレークコーティング・エアレススプレー(チップ163-531)一次圧 3.5kg/cm² ポンプ 60:1

希釈率:プライマー・2%、ガラスフレークコーティング・1%(希釈剤:スチレンモノマー)

(注4)乾燥条件:温度23 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度60%

イ 膜厚測定結果 1枚あたりの測定点 100か所

表 2.2-4 膜厚測定結果

試験板記号	平均膜厚	最低膜厚	最大膜厚
A1	547	475	586
A2	790	729	826
A3	1,120	1,010	1,170
A4	1,610	1,540	1,740
B1	552	527	598
B2	806	736	852
B3	1,130	1,040	1,210
B4	1,610	1,450	1,750
C1	569	489	637
C2	820	740	886
C3	1,130	1,020	1,250
C4	1,680	1,590	1,770
D1	558	492	644
D2	836	808	945
D3	1,160	1,020	1,260
D4	1,680	1,530	1,790

使用機器:(株)ケット科学研究所 デュアルタイプ膜厚計 エルニクス1500

ウ 記号内容

表 2.2-5 記号内容

膜厚 (μm)	EB系 100%	EB系/ NV系 70% / 30%	EB系/ NV系 30% / 70%	EB系/ NV系 20% / 80%
400	A1	B1	C1	D1
700	A2	B2	C2	D2
1000	A3	B3	C3	D3
1500	A4	B4	C4	D4

記号: EB エピビス系ビニルエステル樹脂

NV ノボラック系ビニルエステル樹脂

(注1)ガラスフレーク含有率 20%(wt%)

(注2)試験板の材質、サイズ

・材質:SS400 サンドブラスト処理 R_z 30~70 μm

・サイズ 150×70×3.2 mm

(注3)試験板

・膜厚(4水準)、浸漬期間(1水準) 試験板 計16枚

2.2.4 温度勾配浸漬試験装置の概要

温度勾配浸漬試験の装置及び試験板取り付け位置を図 2.2-1 に示す。

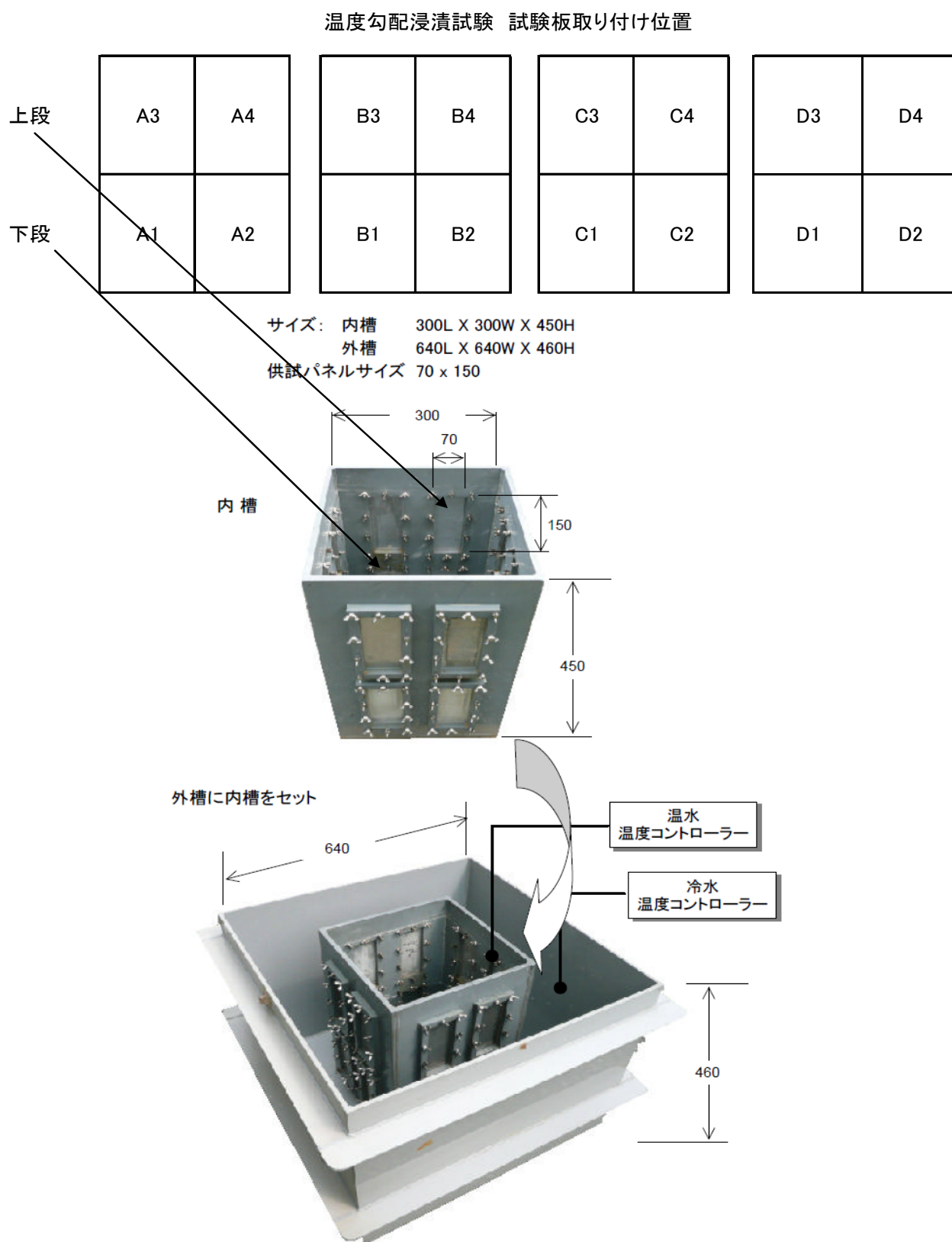


図 2.2-1 温度勾配浸漬試験装置及び試験板取り付け位置

(1) 試験装置及び観察の精度

温度勾配浸漬試験装置の温度記録から判断して、温度のバラツキ、取り付け位置の差はなく問題のない精度で行われている状況である。

ア 温度の維持管理

今回の試験は（財）日本塗料検査協会にて行い、事前に試験装置の温度安定性は $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の温度幅であることを確認するとともに試験期間中の温度管理についても留意し、179 日間の記録では $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ にとどまったことから、温度変化については低い水準を維持することができたものとする。従って今回の温度勾配試験における温度条件としては正常な範囲内で行われたと判断される。

イ 観察

試験の観察については 10 日毎にWGにて観察を行い、（社）日本塗料工業会、樹脂ライニング工業会による評価の他、消防庁、危険物保安技術協会による観察も適時実施することとした。

ウ 塗料と塗装

本試験では塗料に含まれるガラスフレーク量を 20%と限定し、各樹脂組成についての基準を明確にして作成。塗装についてはエアレス塗装機、チップ、1 次圧、また希釈率、塗装回数、乾燥温度、湿度、乾燥日数等を記録して行った。

エ 膜厚

1 枚の試験板について膜厚の測定点を 100 点とし、最大膜厚、最小膜厚及び平均膜厚を記録した。

2.2.5 温度勾配浸漬試験の条件

(1) 温度勾配の条件 $40^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}$ (水道水)

(2) 浸漬期間

試験計画段階では浸漬期間が 200 日を目途としていたが、試験片の浸漬経過の状況に鑑み 179 日で終了とした。

ア 75 日（第 1 回目・外観）以降 10 日毎に塗膜外観目視観察

温度勾配浸漬試験装置から水を抜いて直後に塗膜の膨れ（有無、膨れの大きさ）、割れ等の異常を肉眼で観察する。

(ア) 膨れ定義

膨れとは鋼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「ペンキ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 2.2-6 のとおり評価を行う。

表 2.2-6 膨れエンドポイント

膨れの大きさ	膨れの密度			
	F	M	MD	D
8	○	○	×	×
6	○	×	×	×
4	×	×	×	×
2	×	×	×	×
○	小さい膨れのため確認出来ない範囲			
×	エンドポイント範囲			

- ・ 膨れ発生が確認された後も進行状況を記録する。
- ・ 膨れ発生が確認された試験板を写真撮影する。

(ウ) 試験終了 179 日

(注) 浸漬期間 147 日経過時に WG メンバー立会いの下で試験板を観察した。

2.2.6 試験項目と試験方法

上記の温度勾配浸漬試験で、最終試験片取り出し後、次の手順で試験を行う。

(1) 塗膜の外観観察

塗膜の膨れ（有無、膨れの大きさ、密度）、割れ等の異常を肉眼で観察する。

(注) 塗膜外観目視観察手順

- ア 温度勾配浸漬試験装置から水を抜き、取り付け枠を取り出す。
- イ 直ちに試験片を取り出し、乾かないうちに 40℃ 温水の容器に浸す。
- 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 乾燥中に膨れが凹み、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、密度を ASTM D714-02 標準写真から膨れの評価を記録する。

(2) 付着力測定（プルオフ法）

目的：塗膜の付着力を測定するために垂直引張力のみによる付着性を評価する。塗膜の付着性を具体的な数値（MPa）で示すことができる。また破断した箇所から各層の付着力や凝集力を求める。

浸漬期間 179 日終了後、試験板を取り外し、外観検査したのち、引張試験器（アドヒージョンテスター）モデル 106-2 使用し、基材との付着力を測定する。

(3) 硬度測定（バーコル硬度計）

目的：塗膜の硬度を測定するためにバーコル硬度計（934-1 型）により塗膜へ針を圧着し塗膜の硬さを評価する。塗膜の硬度を具体的な数値で示すことができる。

浸漬試験前及び浸漬期間 179 日終了後、試験板を取り外し、外観観察したのち硬度測定を行う。

(4) 衝撃試験（デュボン式衝撃試験：半径 6.35mm×高さ 300mm×質量 500g）

目的：塗膜に一定の撃芯、加重、高さから衝撃を与え、塗膜に与える衝撃により生じた変形による剥がれ、割れを確認する。

浸漬試験前及び浸漬期間 179 日終了後、試験板を取り外し、外観観察したのち衝撃試験を行う。

(5) インピーダンス測定

目的：塗膜の劣化度を定量的に評価する一項目として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）から塗膜劣化度を評価する。

浸漬試験前及び浸漬期間 179 日終了後、試験板を取り外し、外観観察したのち、インピーダンス測定器（三田無線研究所製）にて測定する。

(6) 折り曲げ試験

目的：試験終了後、塗膜外観だけでは塗膜の中へ浸透した水分や鋼材に達した水分影響による状況が確認できないため、塗膜を破断して塗膜下の水分状況や鋼材の腐食状況を確認する。

浸漬期間 179 日終了後、付着力測定した試験板を強制的に折り曲げ、塗膜下の状態、錆の有無、膨れの有無を肉眼で観察する。

2.3 温度勾配浸漬試験結果

2.3.1 塗膜の膨れに関する外観観察結果

(1) 外観観察

ア 初回観察を 75 日目に行い A：エピビス 100%、C：エピビス 30%/ノボラック 70%、D：エピビス 20%/ノボラック 80%の 400 μm に膨れが発生、A の樹脂系は 700 μm についても膨れが発生した。B：エピビス 70%/ノボラック 30%の 400 μm は 101 日目に膨れが発生した。

イ 700 μm の試験片は 130 日目に膨れが B、C の樹脂組成に発生し、140 日目には全樹脂組成に膨れが発生した。

ウ 1,000 μm は 147 日目から 168 日目にかけて A→B→C=D の順で膨れが発生した。

エ 最終観察である 179 日の結果では膜厚 1,500 μm は各樹脂とも膨れが発生していない状況にあった。

(2) 外観結果一覧

温度勾配浸漬試験外観結果一覧を表 2.3-1 に示す。

表 2.3-1 温度勾配試験浸漬外観一覧

試験 塗料	膜厚 (μm)	記号	外 観										
			75日	90日	98日	110日	119日	130日	140日	147日	159日	168日	179日
			10/14(火)	10/29(木)	11/6(金)	11/18(水)	11/27(金)	12/8(火)	12/18(金)	12/25(金)	1/6(水)	1/15(金)	1/26(火)
エピビス 100%	400	A1	2F (12ヶ)	2F (14ヶ)	2F (17ヶ)	2F (17ヶ)	2F (17ヶ)	2M (18ヶ)	2M (18ヶ)	2M (18ヶ)	2M (19ヶ)	2M (19ヶ)	2M (19ヶ)
	700	A2	2F (2ヶ)	2F (8ヶ)	2F (13ヶ)	2F (17ヶ)	2F (17ヶ)	2M (17ヶ)	2M (17ヶ)	2M (17ヶ)	2M (19ヶ)	2M (19ヶ)	2M (19ヶ)
	1000	A3	○	○	○	○	○	○	○	2F (6ヶ)	2F (6ヶ)	2F (6ヶ)	2F (10ヶ)
	1500	A4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
エピビス/ ノボラック 70%/30%	400	B1	○	○	2F (2ヶ)	2F (4ヶ)	2F (4ヶ)	2F (7ヶ)	2F (10ヶ)	2F (10ヶ)	2F (10ヶ)	2F (12ヶ)	2F (14ヶ)
	700	B2	○	○	○	○	○	2F (2ヶ)	2F (4ヶ)	2F (5ヶ)	2F (5ヶ)	2F (6ヶ)	2F (11ヶ)
	1000	B3	○	○	○	○	○	○	○	○	2F (3ヶ)	2F (5ヶ)	2F (7ヶ)
	1500	B4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
エピビス/ ノボラック 30%/70%	400	C1	2F (5ヶ)	2F (7ヶ)	2F (9ヶ)	2F (12ヶ)	2F (13ヶ)	2F (13ヶ)	2F (15ヶ)	2F (15ヶ)	2F (15ヶ)	2F (15ヶ)	2F (16ヶ)
	700	C2	○	○	○	○	○	2F (5ヶ)	2F (6ヶ)	2F (8ヶ)	2F (8ヶ)	2F (10ヶ)	2F (10ヶ)
	1000	C3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	2F (6ヶ)	2F (9ヶ)
	1500	C4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
エピビス/ ノボラック 20%/80%	400	D1	2F (2ヶ)	2F (9ヶ)	2F (16ヶ)	2F (16ヶ)	2F (18ヶ)	2M (21ヶ)	2M (21ヶ)	2M (23ヶ)	2M (23ヶ)	2M (27ヶ)	2M (27ヶ)
	700	D2	○	○	○	○	○	○	2F (10ヶ)	2F (10ヶ)	2F (12ヶ)	2F (12ヶ)	2F (12ヶ)
	1000	D3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	2F (6ヶ)	2F (6ヶ)
	1500	D4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
備 考			※40日目 の水取り 替えは 全TP異 常なし。 ※水の取 り替えは 今後50 日毎に 実施。										

注1. 温度勾配試験装置から水を抜いて直ちに観察する。

注2. 観察日が土、日、休日に当たる場合は金曜日または月曜日に観察を行う。

注3. 147日目に浸漬試験WGIにて観察を行う。

○内は膨れ発生個数

(3) 考察

ア 膜厚の影響

400 μm では各樹脂組成に顕著な差は無く膨れの発生に至っているが、膜厚が700 μm になると膨れ発生までの日数は長くなり、1,000 μm 以上では更に膨れ発生日数は長くなる傾向にある。塗膜膨れに対する膜厚の影響が明確に現れている。

イ 樹脂による影響

エピビス100%は700 μm であっても75日目に膨れが生じており、他の混合した樹脂より水分の透過が速い傾向にある。しかし400 μm の結果では、C、D樹脂も膨れが発生していることから、400 μm 程度の膜厚では樹脂の組成による影響は顕著には見られない。700 μm で比較するとエピビス／ノボラックの混合した樹脂組成の方がエピビス100%より膨れ発生までの期間は長くなり、耐久性が認められる。浸漬試験期間が長くなるとエピビス／ノボラックの混合比はノボラック樹脂を多く配合したC、D樹脂組成の方が耐膨れ性に効果が認められる。

ウ その他

今回の試験においては、75日目を初回観察としたことにより、エピビス100%の400 μm と700 μm いずれも膨れが確認され、膜厚による差は認められない結果であるが、初回観察以後においてはエピビス100%の膜厚1,000 μm は他の樹脂組成とそれほど変わらない結果でありエピビス

100%についても膜厚による性能傾向が確認された。

2.3.2 その他物性試験結果

(1) 付着性試験、硬度試験、衝撃試験、インピーダンス測定の初期値と試験終了後の値を表 2.3-2 に示す。

ア 付着力測定結果、試験後の付着力は 4.0MPa 以上であり破断箇所は下塗の凝集破壊(100%)であった。浸漬前の初期値と比較して強度保持率は 70%以上であり異常のない状態である。

イ 硬度(バーコール)は、全ての試験板が 40 以上であり浸漬前の初期値とほとんど変わらない値であり塗膜の軟化傾向は見られない。

ウ 衝撃試験は全ての試験板において衝撃部に凹みが出来るが、そこからの剥離や割れは無い状態であり異常のない状態であった。

エ 折り曲げ試験では試験片を強制的に折り曲げ、塗膜を剥がし水分透過による膨れ部の状態と素地面の状態を確認した。膨れ部には水分が認められ円形の水分痕が見られる。また膨れの発生が無い箇所にも膨れ部同様な円形の水分痕が確認された。

膨れの発生が認めらなかった 1,500 μ m についても水分の透過が認められ、膨れ部と同様に円形の水分痕が確認された。

オ 電気特性は薄膜の方が劣化の兆候が見られるが、厚膜の方は劣化傾向が殆ど見られない結果であった。

表 2.3-2 物性試験結果記録(初期値&試験 179 日後)

物性試験結果記録(初期値)

試験板 記号	膜厚(μm)			付着性		硬度	衝撃試験	インピーダンス測定								
	平均	最大	最小	(MPa)	破断箇所	(H-コル)	(デュボン式)	抵抗値(×10 ⁶ Ω)			容量(×10 ⁻³ μF)			tan δ		
								200Hz	500Hz	1000Hz	200Hz	500Hz	1000Hz	200Hz	500Hz	1000Hz
A1	547	586	475	5.0	接着剤破壊100%	45	異常なし	500	200	129	0.056	0.052	0.050	0.047	0.022	0.019
B1	552	598	527	5.5	接着剤破壊100%	47	異常なし	800	400	200	0.054	0.050	0.048	0.054	0.019	0.018
C1	569	637	489	6.0	接着剤破壊50%	48	異常なし	500	222	148	0.060	0.058	0.055	0.041	0.028	0.020
					下塗50%凝集破壊											
D1	558	644	492	6.0	接着剤破壊30%	48	異常なし	668	286	200	0.056	0.052	0.049	0.046	0.039	0.020
					下塗70%凝集破壊											
A2	790	826	729	5.5	接着剤破壊100%	44	異常なし	668	308	222	0.046	0.043	0.040	0.069	0.033	0.031
B2	806	852	736	6.0	下塗100%凝集破壊	47	異常なし	800	333	222	0.045	0.041	0.039	0.069	0.020	0.016
C2	820	886	740	6.0	下塗100%凝集破壊	47	異常なし	500	364	267	0.050	0.044	0.040	0.067	0.025	0.020
D2	836	945	808	6.5	下塗100%凝集破壊	48	異常なし	800	364	250	0.046	0.043	0.042	0.068	0.023	0.018
A3	1120	1170	1010	6.0	下塗100%凝集破壊	44	異常なし	800	250	200	0.034	0.030	0.026	0.092	0.022	0.017
B3	1130	1210	1040	6.0	下塗100%凝集破壊	46	異常なし	668	364	235	0.032	0.029	0.025	0.094	0.023	0.017
C3	1130	1250	1020	6.5	下塗100%凝集破壊	46	異常なし	668	364	267	0.030	0.025	0.022	0.110	0.023	0.017
D3	1160	1260	1020	6.5	下塗100%凝集破壊	48	異常なし	800	286	200	0.028	0.023	0.021	0.093	0.022	0.016
A4	1610	1740	1540	6.0	下塗100%凝集破壊	45	異常なし	1000	500	364	0.023	0.021	0.020	0.096	0.020	0.015
B4	1610	1750	1450	6.5	下塗100%凝集破壊	47	異常なし	668	444	333	0.022	0.018	0.017	0.124	0.028	0.023
C4	1680	1770	1590	6.5	下塗100%凝集破壊	47	異常なし	800	500	400	0.022	0.018	0.016	0.117	0.020	0.016
D4	1680	1790	1530	6.5	下塗100%凝集破壊	49	異常なし	1000	668	444	0.020	0.017	0.016	0.088	0.019	0.018

物性試験結果記録(温度勾配試験179日後)

				物性試験			折り曲げ試験	インピーダンス測定									
試験板	膜厚 (μm)			付着性		硬度	衝撃試験	塗膜下の状態	抵抗値 (×10 ⁶ Ω)			容量 (×10 ⁻³ μF)			tan δ		
記号	平均	最大	最小	(MPa)	破断箇所	(H-コル)	(デュボン式)	(錆、水分痕)	200Hz	500Hz	1000Hz	200Hz	500Hz	1000Hz	200Hz	500Hz	1000Hz
A1	547	586	475	4.5	下塗100%凝集破壊	44	異常なし	錆なし 水分痕あり	4.48	4.36	4.04	0.086	0.084	0.082	0.196	0.175	0.144
B1	552	598	527	5.0	下塗100%凝集破壊	46	異常なし	錆なし 水分痕あり	200	66.8	33.6	0.080	0.078	0.076	0.116	0.099	0.088
C1	569	637	489	5.0	下塗100%凝集破壊	47	異常なし	錆なし 水分痕あり	260	80.8	37.8	0.076	0.075	0.073	0.105	0.090	0.080
D1	558	644	492	5.0	下塗100%凝集破壊	48	異常なし	錆なし 水分痕あり	500	174	95.2	0.075	0.072	0.071	0.096	0.082	0.065
A2	790	826	729	4.0	下塗100%凝集破壊	41	異常なし	錆なし 水分痕あり	200	100	50.0	0.065	0.049	0.047	0.103	0.086	0.073
B2	806	852	736	5.0	下塗100%凝集破壊	46	異常なし	錆なし 水分痕あり	308	108	58.0	0.050	0.048	0.046	0.099	0.074	0.061
C2	820	886	740	5.0	下塗100%凝集破壊	47	異常なし	錆なし 水分痕あり	444	154	81.6	0.045	0.044	0.043	0.087	0.061	0.052
D2	836	945	808	5.0	下塗100%凝集破壊	47	異常なし	錆なし 水分痕あり	752	250	138	0.042	0.040	0.039	0.076	0.059	0.050
A3	1120	1170	1010	5.0	下塗100%凝集破壊	44	異常なし	錆なし 水分痕あり	500	200	108	0.033	0.030	0.029	0.090	0.071	0.060
B3	1130	1210	1040	5.0	下塗100%凝集破壊	44	異常なし	錆なし 水分痕あり	668	222	118	0.035	0.033	0.032	0.078	0.047	0.039
C3	1130	1250	1020	5.0	下塗100%凝集破壊	45	異常なし	錆なし 水分痕あり	800	235	125	0.034	0.034	0.033	0.072	0.039	0.034
D3	1160	1260	1020	5.0	下塗100%凝集破壊	46	異常なし	錆なし 水分痕あり	846	268	141	0.033	0.031	0.030	0.071	0.036	0.032
A4	1610	1740	1540	5.0	下塗100%凝集破壊	44	異常なし	錆なし 水分痕あり	668	235	129	0.027	0.024	0.023	0.073	0.060	0.054
B4	1610	1750	1450	5.5	下塗100%凝集破壊	45	異常なし	錆なし 水分痕あり	1000	286	200	0.023	0.022	0.021	0.070	0.044	0.036
C4	1680	1770	1590	5.5	下塗100%凝集破壊	46	異常なし	錆なし 水分痕あり	1330	400	235	0.022	0.022	0.021	0.065	0.036	0.028
D4	1680	1790	1530	5.0	下塗100%凝集破壊	47	異常なし	一部錆初期 水分痕あり	844	286	143	0.022	0.022	0.021	0.060	0.035	0.031

2.4 まとめ

ガラスフレーク塗膜の温度勾配浸漬試験による評価では、膜厚を厚くすることやビニルエステル樹脂組成の組み合わせることにより、塗膜の耐久性は向上することが可能であることが確認された。

膜厚については 700 μm 以上にすることにより膨れに対する耐久性が向上する結果が得られた。このことは、膜厚が厚いほど水分の浸透を抑制できることを示すものである。また、ビニルエステル樹脂組成についても、ノボラック樹脂を混合することで、膨れに対する耐久性が向上する結果が得られた。

2.5 今後の課題

(1) 観察日程の検討

今回の試験では初回観察 75 日目に膨れが発生しており、正確な膨れ発生日数がつかめていない結果であった。試験開始から初回観察日を 30 日目程度に設定して追跡調査を 10 日毎に行うことにより正確な膜厚と樹脂組成による膨れ発生日数が得られると考える。

(2) 試験塗料の検討

今回はガラスフレーク含有率を 20% (wt%) として設定したが、含有量を増加させることによって塗膜の性能向上に効果が得られるかどうかについて検討することも必要である。

3.3 実態調査

3.3.1 補修履歴の整理

調査を実施するにあたり現場及び調査対象の諸条件を把握するために必要な資料を事前に整理しておく。

- ・制作会社
- ・制作年月日
- ・形状・寸法
- ・塗装履歴（建設時、第1回目開放、第2回目開放、第3回目開放）
- ・塗料・施工（材料メーカー、施工業者、塗装方法、その他）
- ・塗装仕様（素地調整、塗料、膜厚、塗り回数、その他）
- ・点検結果（外観調査、機器調査、その他）
- ・塗装範囲（一般部、溶接線、塗装面積）
- ・その他（過去タンク開放時の調査記録と補修記録）

3.3.2 調査計画

事前調査の整理に基づいて調査項目、調査内容、調査手順などを決定しておく。

検量線作成に必要な項目の検討を行うため、別途実施している温度勾配浸漬試験結果（膜厚及び樹脂比率と膨れ発生期間との関係）と、実タンクにおける塗膜外観観察の中で膜厚と膨れ発生年数との調査結果との相関関係を求めるため、主として塗膜の膨れの発生を基本とする調査を実施するものである。

調査内容は以下の通りとする。建設時塗膜を対象とする。

(1) 目視調査

膨れ、錆、剥離、割れ、その他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する。

※特に膨れの発生部位については詳細に観察し記録する。

(2) 機器調査

機器調査は塗膜の外観状態に対して膜厚測定を詳細に行い、塗膜の劣化状態と膜厚の関係を確認する。

(3) 塗膜調査方法

第1回、第2回、第3回の開放点検結果及び補修塗装記録などより得られた情報を基に現地において建設時塗膜の範囲を詳細にチェックした後、板割図に測定箇所を記録する。

(4) 現地調査

調査計画（タンク内面調査作業内容）に基づき必要なデータを収集する。

ア 目視観察

(ア) 膨れ、錆、剥離、割れ、その他の確認

確認出来る膨れは大きさにかかわらず詳細に観察を行い記録する。

(イ) 塗膜調査箇所の抽出

外観観察にて正常部を含む膨れ発生箇所について膨れの発生面積を4段階に分けて、それぞれ電磁式膜厚計を用いて100点測定する。また、健全な塗膜と塗膜膨れが集中して認められた部位とする。

膨れの発生区分 4 段階、対象面積は 0.25m²

- ・ 0 (0%)
- ・ 1 (～0.1%)
- ・ 2 (～0.3%)
- ・ 3 (～1.0%)

※溶接線付近中間開放時の補修塗装での既存塗膜とのラップ箇所も追加測定する。

イ 機器測定

(ア) 膜厚測定

未補修部の健全塗膜を電磁式膜厚計で板 1 枚につき 10 点測定し、平均値、最大値、最小値を記録する。

(イ) 塗膜下の状況

建設時塗膜のうち、健全部と膨れ発生部の周辺塗膜を 10cm×10cm 剥ぎ取り塗膜下の状態（黒錆痕）を確認する。

(ウ) 塗膜断面・裏面状況

建設時塗膜のうち健全部と膨れ発生部の塗膜を剥ぎ取り、塗膜断面から各層の膜厚を測定する。（塗膜片断面の顕微鏡写真撮影を行う。）

※ア、イの対象部位については現地にて調査関係者協議の上決定するものとする。

ウ その他（参考値）

対象部位 4 箇所について、参考までに付着力試験・インピーダンス測定・硬度試験を行う。

3.3.3 調査結果

平成 21 年 9 月～11 月の期間、むつ小川原国家石油備蓄基地のタンク 3 基（No. 2 1 タンク、No. 2 7 タンク、No. 3 9 タンク）について調査を実施した。

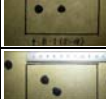
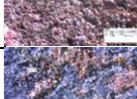
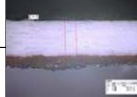
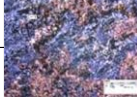
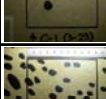
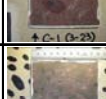
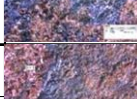
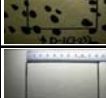
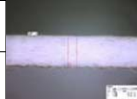
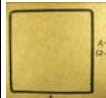
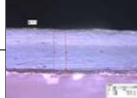
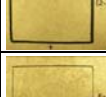
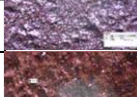
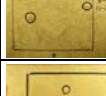
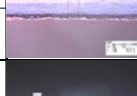
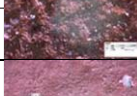
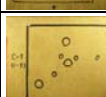
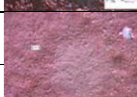
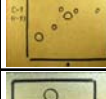
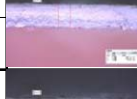
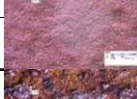
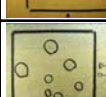
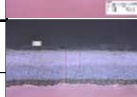
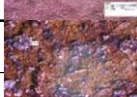
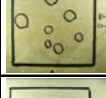
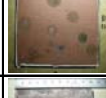
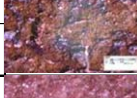
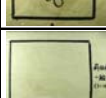
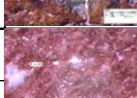
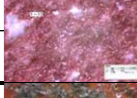
- (1) 調査対象となったタンク 3 基の塗装履歴を表 3.3-1 に示す。

表 3.3-1 調査結果一覧表

タンクNo.			21	27	39
内容物			原油	原油	原油
ヒーティング有無			無	無	無
樹脂比率			エピビス系100%	エピビス系100%	エピビス系100%
新規塗装			1983/10/17	1983/10/19	1984/08/11
第1回開放	年月日		1987/08/01	1988/09/01	1988/09/19
	補修面積(m ²)		0	15.0	0
第2回開放	年月日		1992/08/07	1993/09/30	1993/09/09
	補修面積(m ²)		2.5	235.0	2.0
第3回開放	年月日		2000/11/22	2001/06/20	2001/05/23
	補修面積(m ²)		295.0	5.3	15.7
第4回開放	年月日		2009/09/01	2009/10/01	2009/11/01
	補修面積(m ²)		280.0	24.0	1.1
経過年数(年)			26年	26年	25年
健全率(%)			87.7	94.1	99.6
第4回開放 未補修部の膜厚 (μm) 10点/板	底板	平均	846	910	802
		最大	1,854	1,922	1,792
		最小	494	408	510
	アニュラ板	平均	865	959	912
		最大	1,751	1,827	1,707
		最小	501	460	536
溶接部重なり部の状態	溶接部膜厚(μm) ※平均値集計		595～738	652～883	662～796
	重なり部最大膜厚(μm)		2,000以上	1,816	2,510
	状態		割れ、剥がれ無く異常なし	割れ、剥がれ無く異常なし	割れ、剥がれ無く異常なし
	状態				

(2) 第4回目開放での調査結果の概要を表3.3-2に示す。

表 3.3-2 3基タンク調査結果概要

タンクNo.	膨れ発生状態区分			100点膜厚測定			膜厚差の影響	塗膜下の状態			塗膜断面		塗膜裏面		付着性		インピーダンス測定 (100 cm ² 、1000Hz)						硬度 3点平均	
				断面状態	顕微鏡測定 (μm)	裏面状態					(MPa)	破断箇所	膜厚(10cm×10cm、10点)				抵抗値 (×10 ⁶ Ω)	容量値 (×10 ⁻³ μF)	tanδ	評価				
	平均(μm)	最大(μm)	最小(μm)																					
21	A 膨れ 0%		A-1 板No.2-20	1033	1469	800	—			異常なし		1042		異常なし	3.5	上塗90%、下塗10% 凝集破壊	1026	1172	858	0.88	0.80	0.22	3	38
			A-2 板No.3-7	718	866	602	—			異常なし		680		異常なし	3.0	接着剤破壊15% 上塗75%、下塗10% 凝集破壊	730	767	655	1.25	0.91	0.14	3	42
	B 膨れ ～0.1%		B-1 板No.5-18	974	1158	806	無			シミ 錆無し		945		薄い黒錆	2.5	接着剤破壊100%	898	963	815	0.75	1.10	0.19	3	40
			B-2 板No.3-23	1143	1525	932	無			シミ 1点黒錆		985		部分黒錆	2.0	接着剤破壊25% 上塗50%、下塗25% 凝集破壊	1116	1211	1037	1.01	0.70	0.22	3	41
	C 膨れ ～0.3%		C-1 板No.3-23	915	1091	769	無			シミ 黒錆		1040		黒錆	2.0	上塗5%、下塗95% 凝集破壊	928	970	883	0.44	1.10	0.33	3	37
			C-2 板No.1-16	1036	1403	780	無			シミ 黒錆		1012		黒錆	2.0	上塗50%、下塗50% 凝集破壊	1082	1122	1033	0.64	0.97	0.25	3	38
	D 膨れ ～33%		D-1 板No.3-23	1087	1241	906	無			黒錆		1040		黒錆	3.5	上塗30%、下塗70% 凝集破壊	1095	1151	1039	0.65	0.90	0.26	3	32
			D-2 板No.1-13	992	1284	811	無			黒錆		909		黒錆	3.0	上塗100%凝集破壊	914	970	815	0.82	0.94	0.21	3	33
	前回補修 膨れ 0%		板No.4-4 (一般部)	733	879	576	—			異常なし		724		異常なし	4.5	接着剤破壊100%	762	798	663	1.92	0.59	0.14	3	48
			板No.2-25 (溶接部)	749	944	610	—			異常なし		886		異常なし	3.0	接着剤破壊100%	891	943	839	1.80	0.64	0.14	3	49
27	A 膨れ 0%		A-1 板No.2-20	1015	1327	804	—			異常なし		945		異常なし	6.0	接着剤破壊100%	983	1087	917	0.71	0.81	0.27	3	44
			A-2 板No.3-6	1018	1469	706	—			異常なし		784		異常なし	7.0	接着剤破壊100%	1239	1341	1125	0.77	0.80	0.26	3	49
	B 膨れ ～0.1%		B-1 板No.1-10	748	1172	561	有			シミ 錆無し		649		薄い黒錆	4.0	接着剤破壊20% 上塗80%凝集破壊	786	837	743	0.64	1.11	0.22	3	45
			B-2 板No.5-1	732	1012	546	有			シミ 僅かに黒錆		600		異常なし	4.0	接着剤破壊40% 上塗60%凝集破壊	637	760	541	0.54	1.37	0.22	3	45
	C 膨れ ～0.3%		C-1 板No.1-9	767	1091	593	有			シミ 僅かに黒錆		542		異常なし	3.5	上塗60%、下塗40% 凝集破壊	770	903	683	0.54	1.33	0.22	3	43
			C-2 板No.5-1	742	1336	620	有			シミ 錆無し		747		薄い黒錆	5.0	接着剤破壊40% 上塗60%凝集破壊	769	852	717	0.58	1.14	0.24	3	44
	D 膨れ ～33%		D-1 板No.1-10	810	1624	625	有			シミ 黒錆		714		黒錆	4.0	接着剤破壊30% 上塗15%、下塗55% 凝集破壊	724	763	679	0.57	1.14	0.25	3	40
			D-2 板No.A-9	732	927	518	有			シミ 僅かに赤錆		769		薄い黒錆	4.0	下塗100%凝集破壊	784	879	734	0.76	1.06	0.20	3	46
	前回補修 膨れ 0%		板No.1-10 (一般部)	669	1095	463	—			異常なし		611		異常なし	5.0	接着剤破壊100%	629	708	579	6.67	0.38	0.06	3	45
			板No.2-23 (溶接部)	1352	1722	766	—			異常なし		1516		異常なし	6.0	接着剤破壊100%	1022	1308	828	2.78	0.70	0.08	3	41
39	A 膨れ 0%		A-1 板No.2-18	855	1055	705	—			異常なし		994		黒錆	4.0	下-中塗層間40% 素地-下塗間60%	789	840	746	1.16	0.77	0.18	3	47
			A-2 板No.4-6	910	1102	747	—			異常なし		1125		異常なし	4.5	接着剤破壊35% 上塗65%凝集破壊	938	993	845	2.08	0.62	0.12	3	46
	B 膨れ ～0.1%		B-1 板No.4-8	807	1137	660	無			異常なし		948		異常なし	4.0	接着剤破壊5% 上塗95%凝集破壊	795	839	751	1.70	0.72	0.13	3	45
			B-2 板No.4-8	696	999	581	無			異常なし		860		異常なし	5.5	接着剤破壊5% 上塗95%凝集破壊	712	879	624	1.35	0.88	0.13	3	49
	C 膨れ ～0.3%		C-1 板No.																					
			C-2 板No.																					
	D 膨れ ～33%		D-1 板No.																					
			D-2 板No.																					
	前回補修 膨れ 0%		板No.4-10 (一般部)	1090	1359	897	—			異常なし		1142		異常なし	9.0	接着剤破壊100%	1069	1143	1011	4.00	0.53	0.08	3	54
			板No.4-8 (溶接部)	865	1412	661	—			異常なし		996		異常なし	9.0	接着剤破壊100%	956	1062	844	3.57	0.60	0.07	3	52

(3) 3基のタンクとも4回目開放25年以上経過した塗膜であるが、建設時塗膜の87.7%以上が健全塗膜面積であり、タンク底板の大部分の面積が現在でも健全な塗膜状態を維持していると見られる。しかしながら各タンクとも過去の開放点検記録から塗膜状態にそれぞれ若干の差異が認められた。

(4) タンク毎の調査結果

・No. 21 タンク

第2回開放までは全体に健全な状態を示していたが、第3回目開放から塗膜膨れの発生が部分的に認められた。膨れの発生はタンク底板全体に散在しているのではなく、ある方向に集中して発生している傾向にある。

この傾向は今回の第4回目の開放においても前回開放時の膨れ補修箇所の周辺に再度膨れが集中して発生しており、膨れの発生は同じ板割の中で生じていることが確認された。

・No. 27 タンク

第2回開放のタンク点検記録から溶接線全線にわたって膨れの発生が認められたが、以後の第3回、第4回の開放では膨れの発生が大きくは認められなかった。

・No. 39 タンク

建設から4回のタンク開放においてほぼ膨れ現象は認められなかった。

今回の調査では外観上異常の認められない2箇所の塗膜を剥離したところ、1箇所はプライマー裏面に微小の黒点（黒錆）が確認され、他の1箇所については健全な状態であることを確認した。

経過年数に対する塗膜状態としては健全な状態を現時点でも維持しているものと見られる。

※No. 21 タンク、No. 27 タンク、No. 39 タンクの各開放時の点検記録展開図を図3.3-1に示すこととする。

タンクNo. 第1～4回開放集計図

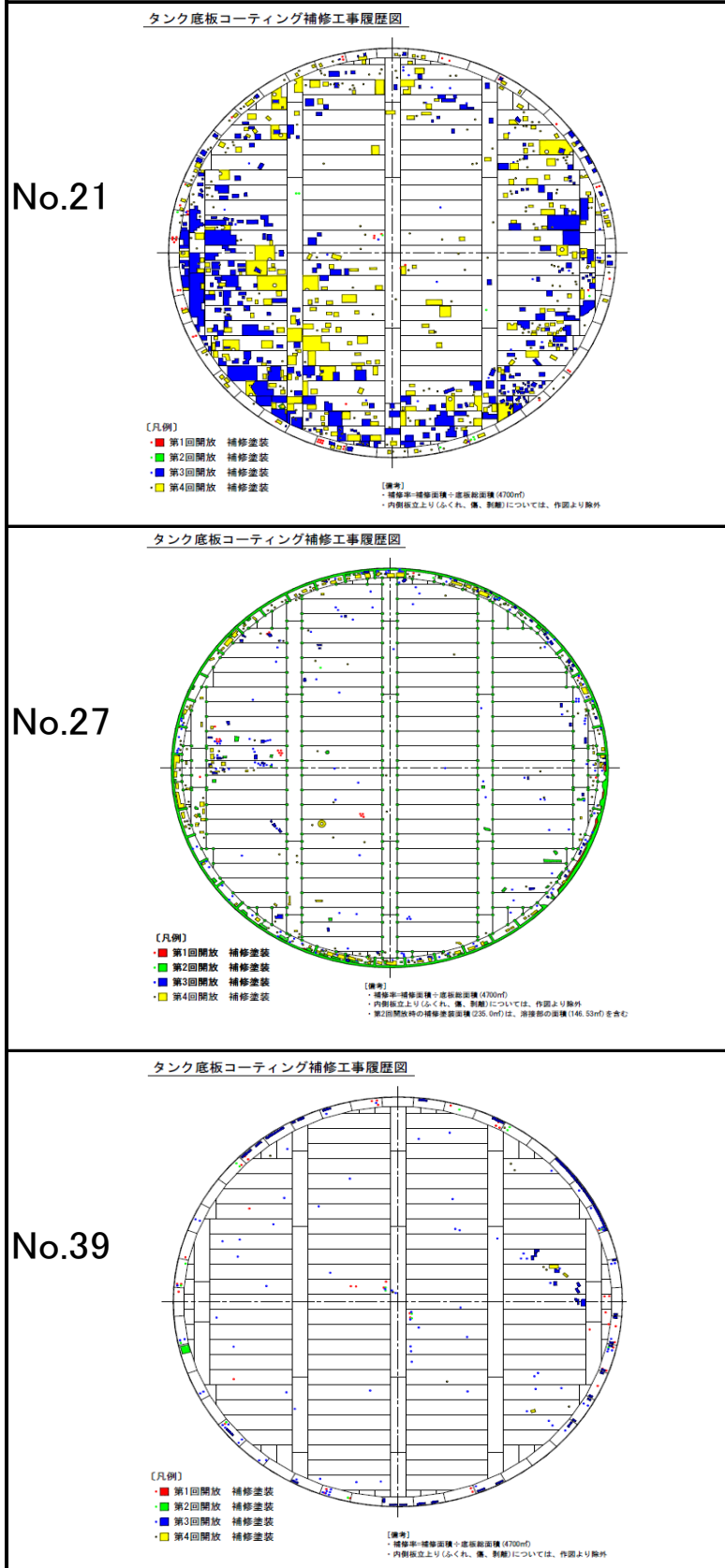


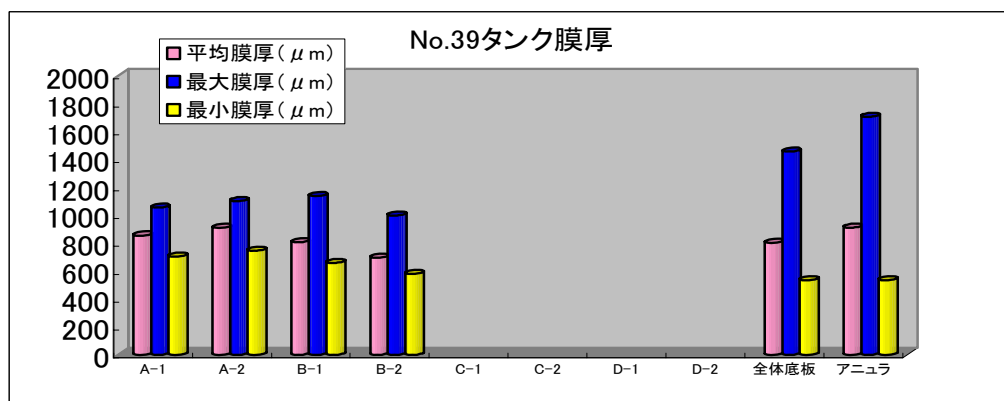
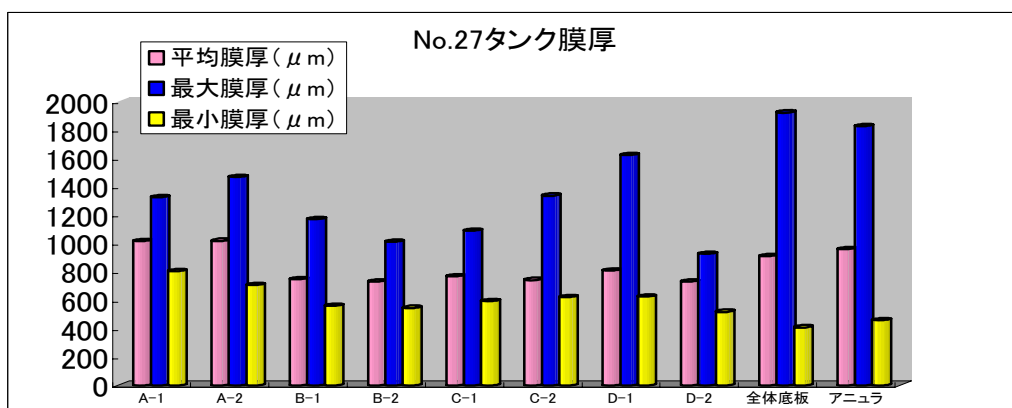
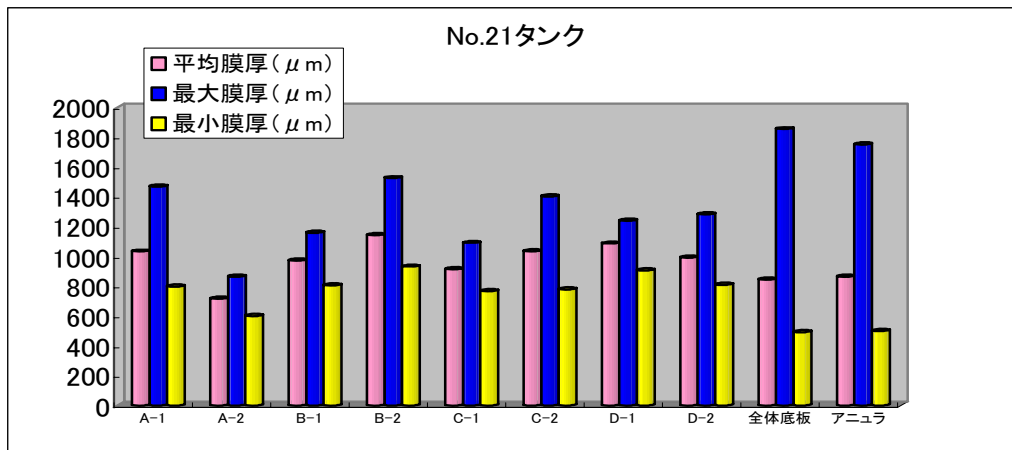
図3. 3-1 第1回～第4回開放集計図

3.3.4 調査結果の検討

調査結果から下記の事を確認した。

- (1) 建設時の塗膜健全部と膨れ発生部では、膜厚の差は、No. 27タンクでややその傾向が見られるものの、その他のタンクではほとんど無く、膜厚から塗膜の劣化度との関係は見いだせなかった。

タンク 3 基 (No. 21 タンク、No. 27 タンク、No. 39 タンク) の膨れ発生部の劣化区分 (A、B、C、D) 及び健全部全体の膜厚測定記録を図 3.3-2 に示す。



※No.39タンクの劣化区分C,Dは認められない。

図 3.3-2 3 基タンク膜厚測定グラフ

- (2) 膨れ発生部の劣化区分（A、B、C、D）については膨れ発生数の多いC、Dは塗膜下に一部黒錆が見られるが著しい鋼材の腐食には至っていないことが確認された。
- (3) 建設時の塗膜の 87.7%以上が健全な塗膜状態を 25 年間維持している。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が確認された。
- (4) 保安検査後実施する溶接部の復旧塗装によって既存塗膜との塗り重ね部は 2,000 μm 以上になっているが、調査の結果、塗膜割れや剥離は認められず異常がない状態であることが確認された。

3.3.5 まとめ

3基のタンクとも小規模な膨れの発生部分を除けば、全体に健全な塗膜状態を維持しているものと判断される。

調査対象のタンクはそれぞれ塗膜劣化状態に若干の差異は認められるが、これらの異なる現象の発生要因については、各タンクの建設時の塗装履歴を含めて調査し結論を出す必要がある。今後は小規模な膨れ発生部分の原因を解明することが重要な課題の1つと考えられる。

また調査対象タンクの膜厚は、最小膜厚 430 μm に対して実際には平均 800 μm 程度の膜厚が確保されているが、塗膜の健全部と膨れ発生部における膜厚差はNo.2 7タンクで見られるものの他のタンクでは膜厚による差はほとんど無く、膜厚と塗膜膨れの明確な関係は見いだせなかった。

以上のことから、26 年程度使用されたタンクにおいて、各開放毎に補修が適正になされており、膜厚 800 μm 程度確保されていれば、塗料側に起因して発生する膨れの問題は少ないと考えられる。したがって、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膨れ発生要因については絞り込める可能性はあるものと考えられる。

今後、更にタンクの調査基数を増やし膨れ発生の傾向を把握しながら膨れ発生の要因について調査を行いデータの蓄積をはかることが必要である。

第4章 検量線の作成に関する検討

4.1 調査検討の目的

ガラスフレークコーティングの検量線作成のために必要な事項等の検討を行う。

4.2 調査検討の方法

温度勾配浸漬試験結果と実タンクにおける実態調査結果から、検量線作成のために必要な項目等の抽出を行い、今後の必要事項の検討を図る。

4.3 検討結果

4.3.1 温度勾配浸漬試験

- (1) 400 μm 試験片の膨れは、B 1（エピビス 70%/ノボラック 30%）以外の3試験片で初回観察日（75日目）以前に発生しており、正確な発生日が得られなかった。今後検量線作成のためには、正確な各データが必要である。
- (2) 700 μm 試験片 A 2（エピビス 100%）についても初回観察以前に膨れが発生しており正確な発生日が得られなかった。今後検量線作成のためにはデータが必要である。A 2以外の3試験片については、検量線データとして活用できる。
- (3) 1,000 μm 試験片の膨れは、4試験片とも発生日が把握できており、検量線作成のためのデータとして活用できる。

4.3.2 実態調査

- (1) No. 2 1 タンクでは26年経過した塗膜の87.7%が健全な状態であり、底板の平均膜厚 846 μm 塗着している。膨れ発生状態の異なる箇所について詳細(100点測定/0.25m²)膜厚調査した結果、健全塗膜で約 1,000 μm があり、膨れ発生部も約 1,000 μm 程度であり膨れ発生部との膜厚差は確認出来なかった。
- (2) No. 2 7 タンクでは26年経過した塗膜の94.1%が健全な状態を維持しており、平均膜厚 910 μm であった。詳細膜厚では健全部約 1,000 μm と膨れ発生部は 700~800 μm の範囲で膜厚差は 200 μm 程度あった。
- (3) No. 3 9 タンクは25年が経過しており、全体の99.6%が健全な状態であった。膨れがほとんど無い状態であり、健全な塗膜と劣化した塗膜との膜厚差は確認出来なかった。
- (4) 3基のタンク調査結果では、建設時の塗膜健全部と膨れ発生部は膜厚の差が No. 2 7 タンクでやや見られたが、全体としては塗膜の劣化状況と膜厚の関係については明確な結果を見いだせなかった。
- (5) 今回調査したタンクは、膜厚分布がおおよそ 700 μm ~1,000 μm の範囲であり、検量線作成のためには、膜厚 400 μm 程度の塗膜を持つタンクについても調査を広げる必要がある。

4.4 まとめ

今後、検量線作成のためには以下の内容を検討していく必要がある。

(1) 温度勾配浸漬試験

温度勾配浸漬試験については、400 μm 、700 μm （エピビス 100%）の試験片について、正確な膨れ発生日を確定させるため、膨れの発生が起こらない状態からの観察が必要であり初回観察日程を 30 日程度から行う。また試験片の n 数を多くし試験精度を上げる。特に、実タンクのうち常温で使用されているものは、樹脂組成のエピビス 100%が多いため、エピビス 100%に注目して試験を行う。また、再現性を図ること及び今回調査した実タンクの膜厚がおおよそ 700 μm ～1,000 μm の範囲であることから、膜厚 700 μm 、1,000 μm の試験を再度行うことは重要である。

(2) 実態調査

実態調査については、エピビス 100%のビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗料で平均膜厚 400 μm 、700 μm 、1,000 μm のコーティングが行われている実タンク調査を行う。

最小膜厚設定 240 μm で施工されているタンクは実態膜厚 350～400 μm 程度、最小膜厚設定 430 μm では実態膜厚 600～700 μm 程度に施工されていることが推定される。また平均 1,000 μm については最小膜厚設定が 400～500 μm 以上で施工されているタンクより厚膜部位を調査する。特に最小膜厚設定 240 μm は民間会社で行われている可能性があり、実タンクの探索が重要となる。

調査には実タンクの n 数を増やし 400 μm 、700 μm 、1,000 μm それぞれの施工タンクについて塗膜状態と耐用年数を確認する必要があるが、その際には施工管理、施工環境等、また使用期間、油種等にも注意が必要となる。

(3) 検量線

ア 検量線の作成には上記(1)の促進試験で得られた各膜厚による膨れ発生日数と(2)の実タンクの実態調査で得られた膜厚毎の塗膜の膨れ状態を経過年数毎に確認して作成するものである。

イ 現状での与えられた条件では、検量線を作成することはできない。このため、以下の条件を仮置きし、検量線のイメージを作成することとした。（図 4.4-1 参照）

条件 1 膜厚 700 μm のポイントは今回調査した No. 27 にて 18 年経過時の前回開放点検では膨れの発生が認められなかった箇所であり、今回調査で確認された膨れは 18 年から 26 年の間で発生したと考えられる。ポイントを最小の 18 年と推定した。
温度勾配浸漬試験では初回観察 75 日目でエピビス 100%は膨れていたが、軽度であったため 70 日目で膨れたと推定した。

条件 2 1,000 μm はタンク調査にて 25 年以上、異常ない箇所が多く存在しておりポイントを 25 年とした。温度勾配浸漬試験では 147 日目に膨れが発生した日数をポイントとした。点線部は誤差 3%とした。

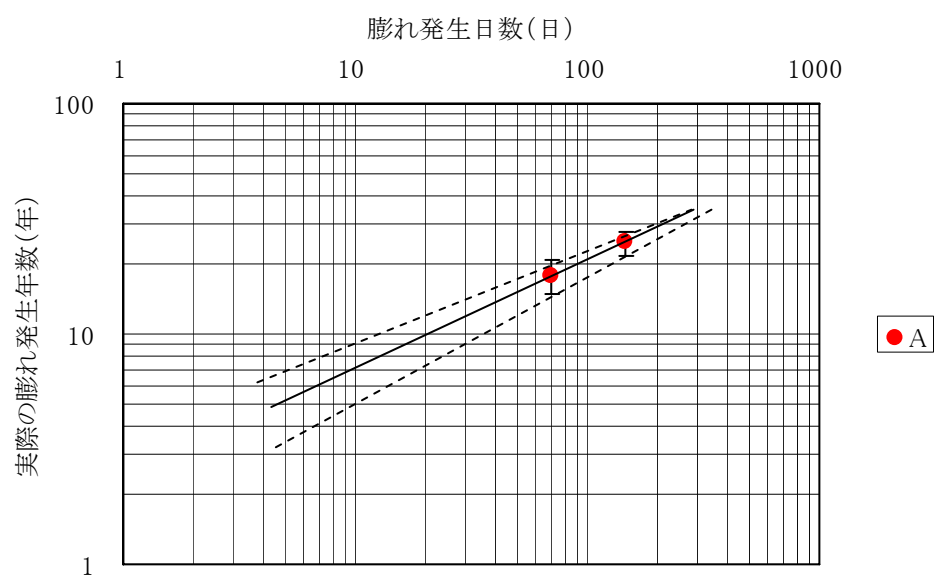


図 4.4-1 検量線イメージ

第5章 まとめ及び今後の課題

本検討会では「既存コーティングに関する指針」で示されている既存コーティングの施工経過年数の見直しが可能かについて、「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」及び「実タンクにおける塗膜劣化状況のデータ分析及び実態調査」並びに「検量線の作成に関する検討」に対する検討調査を進めてきたものである。

各項目の詳細については各章のまとめに譲ることとし、ここでは調査結果から、本年度の到達点と今後の取り組み課題等について、表記することとした。

5.1 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

(1) 試験結果からは、塗膜の膜厚と樹脂の混合比率によって、膨れの発生日数に変化が見られる。(表 5.1-1、2 参照)

膜厚面では、樹脂比率との関係もあるが、膜厚の薄い方から膨れが発生してくる結果が得られた。ノボラックが含有した試験片では、膜厚 700 μm と 400 μm を比較すると発生まで少なくとも 29 日の差 (B 1 試験片) があり、膜厚の影響が顕著に見られる。また、過去に行われた平成 14 年度の温度勾配浸漬試験結果と照合しても、塗膜の膜厚が 700 μm 以上の方が 400 μm より、膨れの発生日数は少なくとも 13 日 (ノボラック試験片) 遅く、耐久性が高いと見込まれる。また、膜厚が 700 μm では膨れ発生のバラツキが見られることから、膜厚面では 1,000 μm 以上の膜厚が確保されていれば、その耐久性については膜厚に関係なく同じ水準であると見込まれる。

一方、樹脂比率面では、ノボラックの含有量によって、膨れ発生までの日数が異なる結果が得られた。まず、エピビス 100% が最も早く膨れを発生させ、エピビス 70%、エピビス 30% 及びエピビス 20% とノボラックの含有量が多くなるほど膨れの発生が遅くなっている。したがって、本試験結果から、耐久性については加温型タンクで推奨されているノボラック系塗料が多く含まれている塗膜の方が高いと見込まれる。

総じて、700 μm 以上の膜厚で、かつノボラック系の樹脂を多く含んでいる塗膜の方が耐久性に関する能力が高いと言える。

しかし、今回の試験結果だけからそのような評価することは十分では無いと考える。さらに精緻な結果を求めるために、今回の試験経験を生かして、試験片を複数にする、ガラスフレークの含有率、水以外の液状の検討、温度差の検討、試験片作成において実タンクでの施工の反映等についての試験等も実施し、今年度の試験結果に対する信頼性をさらに高める取り組みが求められているものとする。

表 5.1-1 温度勾配浸漬試験結果膨れ発生表(平成 21 年度)

日 数 試験片			75日	80日	90日	101日	110日	119日	130日	140日	147日	159日	168日	179日
1 5 0 0 μm	D 4													
	C 4													
	B 4													
	A 4													
1 0 0 0 μm	D 3												×	×
	C 3												×	×
	B 3											×	×	×
	A 3										×	×	×	×
7 0 0 0 μm	D 2									×	×	×	×	×
	C 2									×	×	×	×	×
	B 2									×	×	×	×	×
	A 2		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
4 0 0 0 μm	D 1		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	C 1		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	B 1						×	×	×	×	×	×	×	×
	A 1		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
月 日			10/14	10/19	10/29	11/9	11/18	11/27	12/8	12/18	12/25	1/6	1/15	1/26

(注) ×は試験片に膨れ発生を表示。

表 5.1-2 温度勾配浸漬試験結果膨れ発生表(平成 14 年度)

日 数 試験片		54日	74日			97日	110日		130日		151日			
7 0 0 μm	ノボラック						△		△		△			
	併用						○		○		○			
	エビ°ヒ°ス						○		×		×			
4 0 0 μm	ノボラック	○	○			×	×							
	併用	○	○			×	×							
	エビ°ヒ°ス	○	○			×	×							

(注 1) ○は2試験片とも異常なし、△は1 試験片に膨れ発生、×は2 試験片に膨れ発生。

(注 2) 観察日は今回の日数とは異なるので、近似日数に合わせて表示した。

5.2 実タンクにおける塗膜劣化状況のデータ分析及び実態調査

5.2.1 データ分析

データ分析は、塗膜の耐久性の評価対象として、国家石油備蓄基地屋外貯蔵タンクの全タンクを対象としている。調査対象は全面未補強のタンクを対象とすることから、全タンクの塗膜調査報告書から、1回目開放以降で全面補強コーティングを実施したタンク 85 基がまず除外されている。さらに、コーティング指針で示されている、施工時における施工管理と使用塗料物性等の不具合が顕著なタンク、無機ジンクショッププライマーの残存により不具合が発生したタンク 19 基や施工管理不十分等による結露（推測）によって不具合が発生したタンク 1 基も対象タンクから除外し、調査対象を鮮明にしている。

以上のことから、本調査での対象屋外貯蔵タンクは 78 基としている。また、建設時期及び気候環境等を勘案し、比較的早い段階で建設された「A基地 36 基」とその後建設された「G基地 42 基」とに分類され、調査・整理を進めている。

塗膜調査報告書からタンク毎の平均膜厚及び開放毎の補修面積を累積し、タンク面積を分母に、累積補修面積を分子として、補修面積率を算出している。この結果、対象タンクの経過年数は「A基地」では 299 カ月にわたっているが、累積補修面積率の最大は経過年数 247 か月（20 年 7 カ月）で 14.7%となっている。また、「G基地」では経過年数が 190 カ月と比較的短い経過年数であるが、その最大累積補修面積率は 139 カ月（11 年 7 カ月）で 2.6%となっている。塗膜における劣化である膨れについて、底板の全体に対する累積の補修面積は「コーティングに関する指針」別紙 2「既存コーティングに関する指針」別添 2. 2「ガラスフレークコーティング」の補修方法にある面積に照応しても大きくないと言える。また、累積補修面積率速度に対する平均膜厚及び樹脂比率との結果から相関は認められないという結論であった。

今回、国家石油備蓄基地の屋外貯蔵タンクに限定していることもあり、石油備蓄基地以外のタンク等を幅広く調査し、調査データの収集に努めるとともに、調査項目の拡充をはかる必要がある。（膜厚、施工管理、施工環境等）

5.2.2 実態調査

実タンクの底部内面塗膜の実態について調査を行い、経年変化における膨れ発生状態と膜厚の関係を明確にする観点から、本年度開放時期が到来した 3 基の屋外貯蔵タンクの実態調査を行った。

3 基のタンクとも 4 回目の開放であり 25 年以上経過した塗膜であったが、膨れ発生結果から見れば、全体的には健全な塗膜状態であったと言える。

しかし、塗膜の膜厚と膨れとの関係は温度勾配浸漬試験ほどに膜厚差と塗膜劣化の关系到明確な点が見出せなかった。今後の実態調査のあり方についてさらに検討が必要であると思われる。

また、膨れ発生部分の塗膜下の腐食については黒錆の発生が見受けられるも、鋼材の腐食

減肉までは至っていないことも確認された。全底板面積における膨れ発生面積は実態調査したタンクのうち最大で 12.3% (No.2 1 タンク) であることから、膨れの要因は施工時の管理や環境によって左右されるものと推測されるが、その解明には、材料、膜厚、塗装時期、素地調整、塗装等多面的な観点から原因の究明を行うとともに、今後さらなるタンクの実態調査による各種データ数を増やし蓄積されることが求められる。

5.3 検量線の作成に関する検討

検量線を作成するにあたり、浸漬試験及び実タンク調査の結果から、次の項目が必要であると考ええる。

浸漬試験のデータについては、初期の膨れ発生時不十分な点があったが、膨れ発生日数の結果は確保できた。さらに試験を行い、データの信頼度をより高めることが必要である。

実タンクにおける実態調査については、実際の膨れ発生年数のデータ収集がさらに必要である。今回調査した 3 基のタンクのうち、No.2 7 タンクはおおよそ健全部と膨れ発生部で膜厚差がある結果が得られた。もし、このデータをもとに検量線を作成しても、膜厚 700 μm についての 1 点しかなく、直線の作成に至らないためさらにもう 1 点のデータが最低でも必要とされる。そのためには、実態調査データを蓄積していくことももちろんであるが、膜厚 700 μm 以外で具体的には 400 μm 、1,000 μm をターゲットとしたデータを取る必要がある。それらのデータを探すためには、国家石油備蓄基地の屋外貯蔵タンク以外にも幅広く調査を行う必要があるものと考ええる。

また、今後コーティングの耐用年数の評価を行うためには、検量線作成について検討を図りながら、第 3 章の「データ分析」にあるデータ収集を行うことも必要であると考ええる。今回提供された JOGMEC からのデータ分析（オイルイン期間と累積補修面積との関係等）を他のタンクでも実施し、このことによって検量線作成とは別の塗膜劣化状況のデータからコーティングの耐用年数の検討が可能となる場合も考えられる。

今後検量線作成には、最低でも 2 点のデータを収集することが必要であるが、3 点以上についてのデータを得ることができれば、検量線についての信頼性はさらに増すこととなる。