

屋外貯蔵タンクの内面コーティングの耐用年数に関するワーキンググループ（第1回）議事概要
（案）

1. 開催日時

平成 22 年 5 月 18 日（火） 14:00～16:00

2. 開催場所

金融庁中央合同庁舎第 7 号館 9 階 第 4 共用会議室

3. 出席者

山田主査

岡崎委員、小川委員、木村委員、黒澤委員、土田委員、堀井委員、山本委員、横山委員

4. 配付資料

資料 1 - 1 委員名簿

資料 1 - 2 開催要項（案）

資料 1 - 3 過去のコーティングの耐用年数に係る取り組み経緯

資料 1 - 4 調査検討事項（案）

資料 1 - 5 温度勾配浸漬試験計画（案）

資料 1 - 6 実タンクにおけるコーティングの実態調査（案）

資料 1 - 7 検量線を用いたコーティングの耐用年数の検討（案）

資料 1 - 8 検討スケジュール（案）

参考資料 1 - 1 ASTM D714-02 標準写真

参考資料 1 - 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

参考資料 1 - 3 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

5. 議事

消防庁危険物保安室長挨拶（新井場補佐代読）の後、開催要綱が承認され、審議は公開（企業情報等が推測される場合のみ非公開）でおこなうこととされた。また、主査代理として岡崎委員

が指名された。

(1) 過去のコーティングの耐用年数に係る取り組み経緯 (資料1-3)

(委員) テストピースの除錆度の違いで浸漬試験の結果に影響がでると考えられるが、表面処理の管理はどの程度か。

(委員) 試験片を購入するときには、一般的にはSa3であろう。

(事務局) 除錆度の違いにより浸漬試験の結果に影響が出る可能性もあるので、今回のテストピースの除錆度は報告書に明記する。

(2) 調査検討事項 (案) (資料1-4)

(委員) 温度勾配試験は平成21年度報告書のものの再現性があるという前提のもとにやる試験ということか。

(事務局) 試験条件を同一にして再現性を確認したい。また、本年度は各塗装条件について複数の試験片で実験を行うことにより、結果の信頼性を確保したい。

(委員) 浸漬試験、実タンク調査の他に、過去開放時のコーティングの補修記録を収集して分析してはどうか。

(事務局) 事業所の協力を求めて、データ収集を実施するよう検討する。

(3) 温度勾配浸漬試験計画 (案) (資料1-5)

(委員) 今年度のテストピースの観察は5日ごとに実施との計画案だが、昨年度より短い日数ごとに観察するため頻度が増えるため、水をかえたりする時間、乾湿の繰り返し機会の増加等が実験結果へ影響しないか。

(委員) テストピースを観察する時間は短時間であり、また、観察が終了すると水にすぐ戻すのでテストピースが乾くことはほとんどないと考える。

(委員) テストピースの表面粗さの確認は行うのか。

(事務局) 予備のピースで表面粗さを測定することは可能であるので、測定した結果を報告書に明記する。

(委員) 浸漬試験に水道水を使用する場合の水質管理はどうするのか。

(事務局) 水質については分析を実施する。

(委員) ガラスフレークの含有率や表面粗さを変えたテストピースを作成して試験を実施しては

どうか。

(事務局) 最終的に実際のタンクで使われているものとの相関性の検討になるので、実績のない塗料あるいは実績のない処理を入れていくことは、今回の目的からは外れることから、今回は実施しないこととしたい。

(4) 実タンクにおけるコーティングの実態調査 (案) (資料1-6)

(委員) 現地調査を実施するタンクの要件はどのようなものを考えているか。

(事務局) コーティングの膜厚が400 μm のものを対象としている。国家備蓄及び共同備蓄基地には該当するタンクがなく、民間タンクでも製品タンクも対象としないと調査基数が確保できない。容量は1千 $\text{k}\ell$ 以上を考えている。

(委員) インピーダンス測定等の機器測定を実施したらどうか。

(事務局) 実施を検討したい。

(5) 検量線を用いたコーティングの耐用年数の検討 (案) (資料1-7)

(委員) 室内実験のテストピースと現場との施工では、除錆度の違いなどがあるが、塗膜の寿命にはそのような補正を考慮するのか。

(事務局) 室内実験のテストピースと現場の施工条件がまったく同じプロセスでなければ検量線が作成できないというわけではないと考えている。例えばS a 3で行った試験とS a 2 1/2で管理されている現場との相関を判断するデータの整理方法と理解している。

(委員) 検量線の縦軸の塗膜寿命年数となる代表値はどのように決めるのか。

(事務局) 例えば、昨年度のJ O G M E Cのタンクが700 μm を代表するとすれば、それについては25、26年まで使用できているという実績に対して、700 μm の浸漬試験の結果である膨れ発生日数の箇所にデータをプロットできる。今年度400 μm についても1点プロットできれば線を引くことができ、1,000 μm あるいは1,500 μm といった実タンクの実績がないものについてもある程度の予測ができるのではないかと考えている。

(委員) 700 μm のコーティングであればタンク全体として25～26年は使用できているということが言えるが、試験では1～2%膨れが発生したところで試験結果としている。コーティング指針で20%という数値が一つあるが、塗膜の寿命を考える場合その数値についても議論すべきではないか。

- (委員) タンク全体をどういうふうに見るかというところにも関係してくるところなので、何%までの膨れ面積を塗膜の寿命と考えるかここで一概に線を引くのは難しいと考える。
- (委員) どんなにいいコーティングのタンクでも施工不良も含めて数パーセントの膨れはある。その数パーセントの範囲であれば全体としては健全と見るのか、数パーセントでもあれば、仮にそこが膨れでなく破れていれば腐食してくるので危険と見るのか議論が分かれることになる、そこをどう考えるか。
- (事務局) 平成21年度報告書にもあったが、膨れの量、分布状況など膨れが全体にある状態であるのか、あるいは何らかの環境要因なり施工要因なりが疑われるような状況にあるのかによっても変わってくると考えられる。量で判断すべきなのか、そういう状況で判断すべきなのかというのも審議いただきたい。
- (委員) コーティングされていても実際に事故に至った事例もあるということだが、コーティングが破れに至った原因究明はされているのか。
- (事務局) コーティングの劣化についてはタンクユーザーが検討会を行った結果はある。しかし、どうして破れたかというところまでは書いていない。ドレインやスラッジの分析などのデータは報告書に記載があるものもある。
- (委員) コーティングの膨れが破れるというのは想定ができない。実態はどのようになっているのか。
- (委員) 事故には至っていないなくても実際のタンクの開放検査で塗膜が破れて内面腐食が発生していた事例はある。実験では膨れてもある程度力が加わらない限り破れることはない。実際のタンクだと内容液の動きや底板の動きによりコーティングの周囲が切れるのではないか。コーティングが壊れた場合、非常に激しい腐食を受けているものもある。
- (委員) 内面腐食が激しかったが事故には至らなかった事例で、コーティングの状況を書いたもののデータがある程度集まれば、膨れの面積が問題なのか、膨れの状況が問題になるのかということ考察できる。データがあれば検討することとする。

第1回WG 資料1-3の訂正

P 6 表、ビニルエステルノボラック系の略記号「NV」→「NB」

ビニルエステル樹脂ガラスフレーク塗料

(誤)

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	A 1	B 1	C 1	D 1
700	A 2	B 2	C 2	D 2
1000	A 3	B 3	C 3	D 3
1500	A 4	B 4	C 4	D 4

(正)

膜厚(μm)	①EB系 100 %	②EB系/NB系 70% / 30%	③EB系/NB系 30% / 70%	④EB系/NB系 20% / 80%
400	A 1	B 1	C 1	D 1
700	A 2	B 2	C 2	D 2
1000	A 3	B 3	C 3	D 3
1500	A 4	B 4	C 4	D 4

浸漬試験進行状況

1. 試験片の施工記録

浸漬試験に使用する試験片を添付-1の施工条件にて作成した。

2. 試験の進行状況

平成 22 年 6 月 2 日より財団法人日本塗料検査協会にて浸漬試験を開始し、下記の日に試験片の観察を実施している。

試験日数	日付	外観観察日	試験日数	日付	外観観察日	試験日数	日付	外観観察日
	6/2	開始	39	7/11		78	8/19	
1	6/3		40	7/12	40日後	79	8/20	79日後
2	6/4		41	7/13		80	8/21	
3	6/5		42	7/14		81	8/22	
4	6/6		43	7/15		82	8/23	
5	6/7	5日後	44	7/16	44日後	83	8/24	
6	6/8		45	7/17		84	8/25	
7	6/9		46	7/18		85	8/26	85日後
8	6/10		47	7/19		86	8/27	
9	6/11	9日後	48	7/20		87	8/28	
10	6/12		49	7/21		88	8/29	
11	6/13		50	7/22	50日後	89	8/30	
12	6/14		51	7/23		90	8/31	90日後
13	6/15		52	7/24		91	9/1	
14	6/16		53	7/25		92	9/2	
15	6/17	15日後	54	7/26		93	9/3	93日後
16	6/18		55	7/27	55日後	94	9/4	
17	6/19		56	7/28		95	9/5	
18	6/20		57	7/29		96	9/6	
19	6/21		58	7/30	58日後	97	9/7	
20	6/22	20日後	59	7/31		98	9/8	
21	6/23		60	8/1		99	9/9	
22	6/24		61	8/2		100	9/10	100日後
23	6/25	23日後	62	8/3				
24	6/26		63	8/4				
25	6/27		64	8/5				
26	6/28		65	8/6	65日後			
27	6/29		66	8/7				
28	6/30		67	8/8				
29	7/1		68	8/9				
30	7/2	30日後	69	8/10				
31	7/3		70	8/11	70日後			
32	7/4		71	8/12				
33	7/5		72	8/13				
34	7/6		73	8/14				
35	7/7	35日後	74	8/15				
36	7/8		75	8/16	75日後			
37	7/9		76	8/17				
38	7/10		77	8/18				

2. 装置温度管理状況

浸漬試験装置の水温を、高温側、低温側についてそれぞれ温度測定を実施している。試験開始日から 54 日目までの記録によると、高温側の設定温度 40 度、低温側の設定温度 20 度に対して、± 1 度以内に管理されており、54 日目までの温度条件としては正常な範囲で試験が行われていると考えられる。詳細な温度記録については、添付－ 2 参照。

3. 試験片の観察

試験片の観察は、浸漬試験開始後 5 日ごとに実施しており、観察時の試験片記録写真を添付－ 3 に示す。記録写真の記号と試験片の種類は表 1 による。試験片 1 種類につき 3 枚の試験片を作成しているため、各試験片に枝番をつけている。(例 A1-1～3) 50 日目まではいずれの試験片にもふくれが発生していないが、55 日目の観察では A1 及び A2 の試験片にふくれが発生した。ふくれの詳細記録については、添付－ 4 参照。

表 1 試験片塗膜の種類

膜厚 (μm)	EB100	NB30
400	A1-1～3	B1-1～3
700	A2-1～3	—

記号 EB100 エピビス系 100%ビニルエステル樹脂

NB30 ノボラック系 30%、エピビス系 70%ビニルエステル樹脂

試験片作成時の施工条件

1. 試験片

- (1) 材 質：SS400 サンドブラスト処理（処理グレード：ISO Sa3、表面粗さ 10点平均Rz 20～22 μ m）
- (2) サイズ：150×70×3.2 mm
- (3) 試験板
- ア 塗料2種類A, B
- イ 膜厚（A：400 μ m、700 μ m. B：400 μ m）
- ウ 試験板計 9枚

2. 膜厚測定結果

1枚あたりの測定点 100カ所測定し、測定結果を下表に示す。

記号	樹脂組成	膜厚 (μ m)	平均 (μ m)	最小 (μ m)	最大 (μ m)	標準偏差 (μ m)
A1-11	EB 100%	400	538	425	680	67.32
A1-12	"	"	535	411	687	68.98
A1-13	"	"	535	421	680	59.55
A2-11	"	700	837	703	954	65.88
A2-12	"	"	832	711	950	58.37
A2-13	"	"	829	710	946	49.19
B1-11	EB 70%/NV30%	400	538	412	728	69.66
B1-12	"	"	538	422	723	68.60
B1-13	"	"	534	408	684	66.88

使用機器：(株)ケット科学研究所 LE-200

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

3. 試験片作成記録

下表中に塗装施工日の環境条件を記す。

記号	樹脂組成	膜厚 (μ m)	下塗	上塗一層目	上塗二層目	上塗三層目
A1	EB 100%	400	5/7	5/10	5/11	—
A2	"	700	5/7	5/10	5/11	5/12
B1	EB 70%/NV30%	400	5/7	5/10	5/11	—
温度 (°C)			22	22	23	23
湿度 (%)			50	50	60	55

(注1) 裏面：エポキシ樹脂塗料（計350 μ m）・・・下塗：5/13、中塗：5/14、上塗：5/17

(注2) 試験板発送：5月24日（月）（財）日本塗料検査協会 東支部 宛

(1) 試験片の作製条件

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を使用して行った。塗装間隔は1日1層とした。

ガラスフレークコーティング温度勾配浸漬試験

試験温度

- 温度条件：高温側 40℃／低温側 20℃
- 試験期間：平成 22 年 6 月 2 日～平成 22 年 9 月 10 日・・・100 日間
- 試験機関：財団法人 日本塗料検査協会

財団法人 日本塗料検査協会

温度勾配浸漬試験記録表

試験日数			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
月 日			6/2	6/3	6/4	6/5	6/6	6/7	6/8	6/9	6/10	6/11	6/12	6/13	6/14	6/15	6/16	6/17	6/18	6/19	6/20	6/21	6/22	6/23
A1 面	A1 上部	内	39.4	39.4	39.6			39.4	39.6	39.7	39.8	39.2			39.5	39.4	39.4	39.4	39.3			39.2	39.5	40.1
		外	19.7	20.4	20.4			20.3	19.4	19.4	19.5	20.0			19.9	20.6	20.1	19.7	19.8			19.0	19.5	19.5
	A1 下部	内	39.4	39.4	39.6			39.3	39.0	39.1	39.3	39.5			40.1	39.9	40.0	40.0	39.5			39.6	39.0	40.4
		外	19.8	20.3	20.4			20.5	19.7	19.7	19.8	20.0			19.9	20.8	20.1	19.8	20.0			19.1	19.0	19.5
A2 面	A2 上部	内	39.3	39.4	39.9			39.6	39.0	39.6	39.8	39.7			40.0	39.8	39.8	39.7	39.5			39.5	39.5	40.3
		外	19.5	20.2	20.1			20.2	19.4	19.4	19.5	19.9			19.6	20.4	19.8	19.5	19.7			19.0	19.5	19.2
	A2 下部	内	39.3	39.3	39.4			39.2	39.6	39.6	39.7	39.7			40.2	39.8	39.8	39.8	39.4			39.5	39.4	40.1
		外	19.5	20.4	20.3			20.4	19.4	20.0	20.1	20.0			19.7	20.6	20.0	19.6	19.8			19.1	19.5	19.5
B1 面	B1 上部	内	39.5	39.5	39.6			39.5	39.6	39.7	39.8	39.9			40.0	40.0	39.8	39.7	39.6			39.6	39.6	40.3
		外	19.5	20.2	20.2			20.4	19.6	19.6	19.8	20.0			19.6	20.5	19.8	19.6	19.7			19.0	19.5	19.4
	B1 下部	内	39.3	39.3	39.5			39.3	39.6	39.6	39.8	39.7			40.2	39.9	39.9	39.9	39.3			39.4	39.3	40.1
		外	19.4	20.3	20.1			20.3	19.5	19.5	19.6	19.9			19.7	20.6	19.9	19.6	19.8			19.0	19.5	19.4
最低値	高温側	39.3	39.3	39.4			39.2	39.0	39.1	39.3	39.2			39.5	39.4	39.4	39.4	39.3			39.2	39.0	40.1	
	低温側	19.4	20.2	20.1			20.2	19.4	19.4	19.5	19.9			19.6	20.4	19.8	19.5	19.7			19.0	19.0	19.2	
最高値	高温側	39.5	39.5	39.9			39.6	39.6	39.7	39.8	39.9			40.2	40.0	40.0	40.0	39.6			39.6	39.6	40.4	
	低温側	19.8	20.4	20.4			20.5	19.7	20.0	20.1	20.0			19.9	20.8	20.1	19.8	20.0			19.1	19.5	19.5	
平均値	高温側	39.4	39.4	39.6			39.4	39.4	39.6	39.7	39.6			40.0	39.8	39.8	39.8	39.4			39.5	39.4	40.2	
	低温側	19.6	20.3	20.3			20.4	19.5	19.6	19.7	20.0			19.7	20.6	20.0	19.6	19.8			19.0	19.4	19.4	

温度勾配浸漬試験記録表

試験日数		22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	
月 日		6/24	6/25	6/26	6/27	6/28	6/29	6/30	7/1	7/2	7/3	7/4	7/5	7/6	7/7	7/8	7/9	7/10	7/11	7/12	7/13	7/14	7/15	
A1 面	A1 上部	内	39.9	39.6			39.3	39.0	39.3	39.0	39.1			39.1	39.1	39.1	40.2	39.6			39.8	40.0		
		外	20.6	20.1			20.5	21.0	20.8	21.0	20.7			20.3	19.9	20.4	19.5	19.5			19.7	20.2		
	A1 下部	内	40.3	39.8			39.4	39.4	39.3	39.4	39.3			39.2	39.3	39.3	40.4	39.9			40.1	40.3		
		外	20.8	20.0			20.4	21.0	21.0	21.0	20.8			20.5	20.1	20.5	19.7	19.6			19.8	20.2		
A2 面	A2 上部	内	40.2	39.8			39.3	39.4	39.4	39.4	39.4			39.2	39.3	39.4	40.3	39.8			39.7	40.1		
		外	20.5	19.8			20.2	20.9	20.6	20.8	20.7			20.2	19.8	20.2	19.5	19.3			19.6	20.0		
	A2 下部	内	40.0	39.7			39.2	39.2	39.3	39.3	39.2			39.2	39.3	39.3	40.3	39.7			39.7	40.1		
		外	20.7	19.9			20.3	21.0	20.7	20.9	20.8			20.5	20.0	20.5	19.6	19.5			19.7	20.3		
B1 面	B1 上部	内	40.2	40.0			39.4	39.5	39.5	39.6	39.5			39.4	39.1	39.4	40.5	39.9			40.0	40.2		
		外	20.6	20.0			20.6	21.0	20.9	20.8	20.8			20.3	20.5	20.4	19.5	19.3			19.6	20.1		
	B1 下部	内	39.9	39.7			39.6	39.3	39.4	39.3	39.3			39.1	39.0	39.3	40.2	39.6			39.8	40.0		
		外	20.6	19.9			20.1	20.9	20.7	20.8	20.7			20.3	20.2	20.3	19.5	19.2			19.6	20.2		
最低値	高温側	39.9	39.6			39.2	39.0	39.3	39.0	39.1			39.1	39.0	39.1	40.2	39.6			39.7	40.0			
	低温側	20.5	19.8			20.1	20.9	20.6	20.8	20.7			20.2	19.8	20.2	19.5	19.2			19.6	20.0			
最高値	高温側	40.3	40.0			39.6	39.5	39.5	39.6	39.5			39.4	39.3	39.4	40.5	39.9			40.1	40.3			
	低温側	20.8	20.1			20.6	21.0	21.0	21.0	20.8			20.5	20.5	20.5	19.7	19.6			19.8	20.3			
平均值	高温側	40.1	39.8			39.4	39.3	39.4	39.3	39.3			39.2	39.2	39.3	40.3	39.8			39.9	40.1			
	低温側	20.6	20.0			20.4	21.0	20.8	20.9	20.8			20.4	20.1	20.4	19.6	19.4			19.7	20.2			

温度勾配浸漬試験記録表

試験日数		44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65		
月 日		7/16	7/17	7/18	7/19	7/20	7/21	7/22	7/23	7/24	7/25	7/26	7/27	7/28	7/29	7/30	7/31	8/1	8/2	8/3	8/4	8/5	8/6		
A1 面	A1 上部	内	40.0				39.8	39.4	39.7	39.6			39.9												
		外	20.1				19.7	20.0	19.0	20.8			20.1												
	A1 下部	内	40.4				40.3	39.9	40.0	39.9			40.2												
		外	20.3				19.7	20.1	19.0	21.0			20.2												
A2 面	A2 上部	内	40.1				39.8	39.6	39.7	39.8			40.1												
		外	20.0				19.8	19.9	19.1	20.7			19.9												
	A2 下部	内	40.1				39.7	39.4	39.7	39.6			40.0												
		外	20.1				19.8	20.0	19.2	20.7			20.1												
B1 面	B1 上部	内	40.1				40.0	39.8	39.9	39.9			40.2												
		外	20.1				19.6	19.9	19.0	20.8			20.2												
	B1 下部	内	40.0				39.9	39.6	39.7	39.7			40.1												
		外	20.0				19.6	19.9	19.0	20.8			20.1												
最低値	高温側	40.0				39.7	39.4	39.7	39.6			39.9													
	低温側	20.0				19.6	19.9	19.0	20.7			19.9													
最高値	高温側	40.4				40.3	39.9	40.0	39.9			40.2													
	低温側	20.3				19.8	20.1	19.2	21.0			20.2													
平均値	高温側	40.1				39.9	39.6	39.8	39.8			40.1													
	低温側	20.1				19.7	20.0	19.1	20.8			20.1													

温度勾配浸漬試験記録表

試験日数		66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	
月 日		8/7	8/8	8/9	8/10	8/11	8/12	8/13	8/14	8/15	8/16	8/17	8/18	8/19	8/20	8/21	8/22	8/23	8/24	8/25	8/26	8/27	8/28	
A1 面	A1 上部	内																						
		外																						
	A1 下部	内																						
		外																						
A2 面	A2 上部	内																						
		外																						
	A2 下部	内																						
		外																						
B1 面	B1 上部	内																						
		外																						
	B1 下部	内																						
		外																						
最低値	高温側																							
	低温側																							
最高値	高温側																							
	低温側																							
平均値	高温側																							
	低温側																							

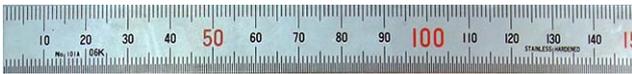
温度勾配浸漬試験記録表

試験日数		88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
月 日		8/29	8/30	8/31	9/1	9/2	9/3	9/4	9/5	9/6	9/7	9/8	9/9	9/10
A1 面	A1 上部	内												
		外												
	A1 下部	内												
		外												
A2 面	A2 上部	内												
		外												
	A2 下部	内												
		外												
B1 面	B1 上部	内												
		外												
	B1 下部	内												
		外												
最低値	高温側													
	低温側													
最高値	高温側													
	低温側													
平均值	高温側													
	低温側													

ガラスフレークコーティング温度勾配浸漬試験

試験片写真集

- 温度条件：高温側 40℃／低温側 20℃
- 試験期間：平成 22 年 6 月 2 日～平成 22 年 9 月 10 日・・・100 日間
- 試験機関：財団法人 日本塗料検査協会



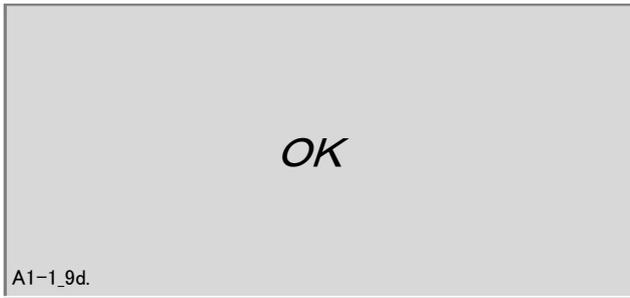
A1-1

A1-2



A1-1_5d.

A1-2_5d.



A1-1_9d.

A1-2_9d.



A1-1_15d.

A1-2_15d.



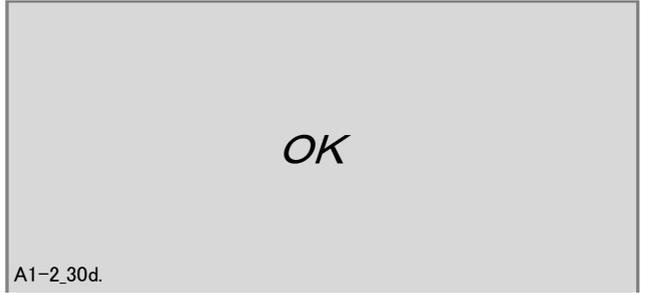
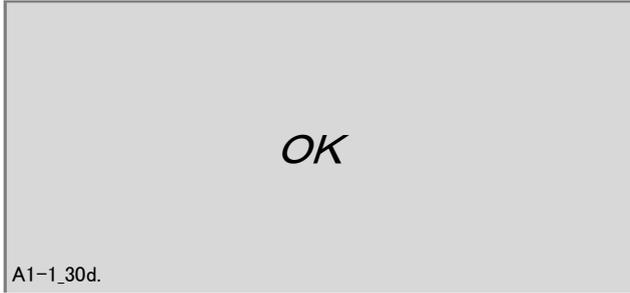
A1-1_20d.

A1-2_20d.



A1-1_23d.

A1-2_23d.



A1-1_30d.

A1-2_30d.



A1-1

A1-2



A1-1_35d.

A1-2_35d.



A1-1_40d.

A1-2_40d.



A1-1_44d.

A1-2_44d.



A1-1_50d.

A1-2_50d.

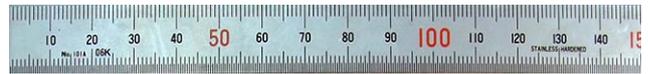
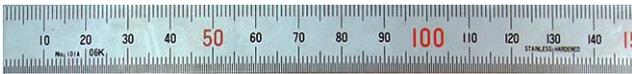


A1-1_55d.

A1-2_55d.

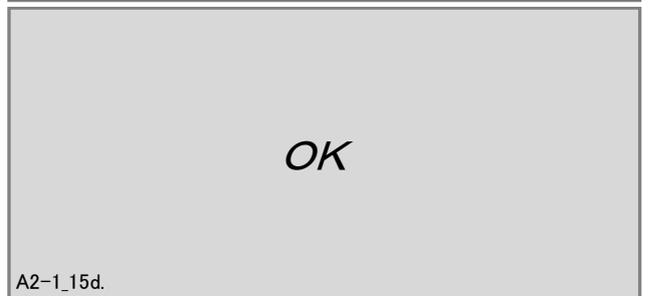
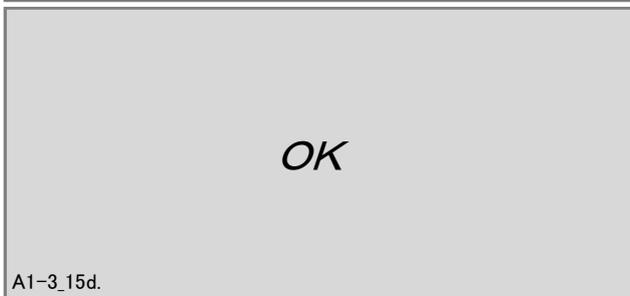
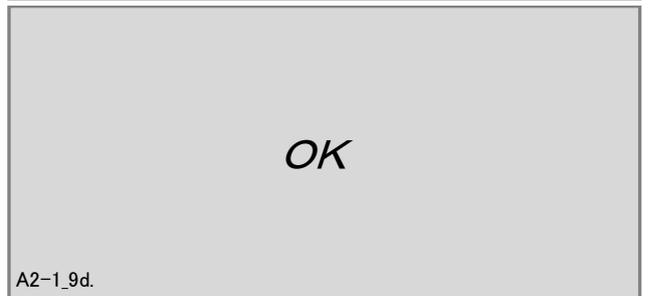
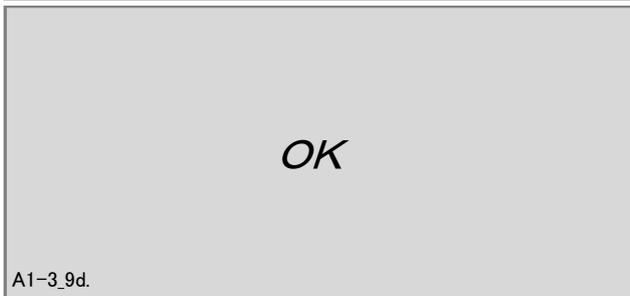
A1-1_58d.

A1-2_58d.



A1-3

A2-1





A1-3

A2-1



A1-3_35d.

A2-1_35d.



A1-3_40d.

A2-1_40d.



A1-3_44d.

A2-1_44d.



A1-3_50d.

A2-1_50d.

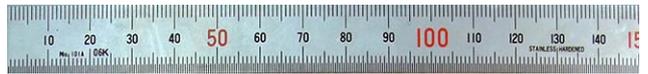
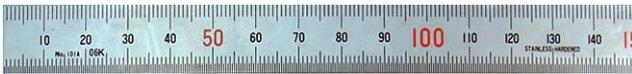


A1-3_55d.

A2-1_55d.

A1-3_58d.

A2-1_58d.



A2-2

A2-3



A2-2_5d.

A2-3_5d.



A2-2_9d.

A2-3_9d.



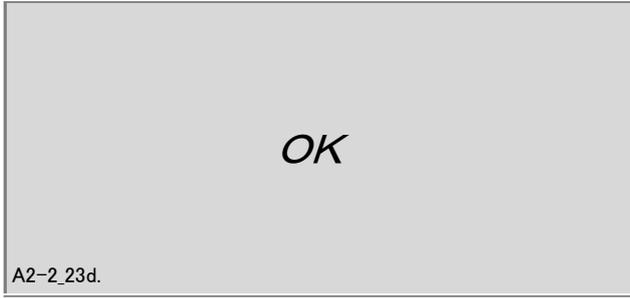
A2-2_15d.

A2-3_15d.



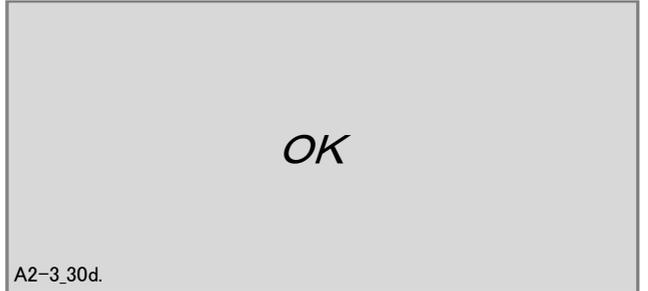
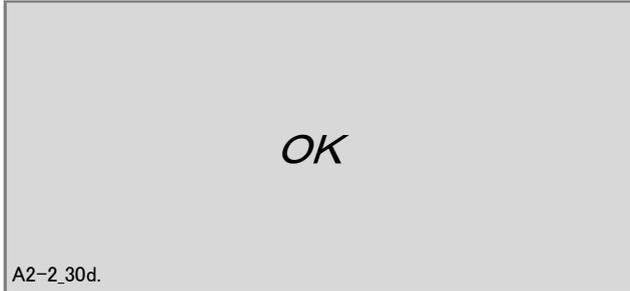
A2-2_20d.

A2-3_20d.



A2-2_23d.

A2-3_23d.



A2-2_30d.

A2-3_30d.



A2-2

A2-3



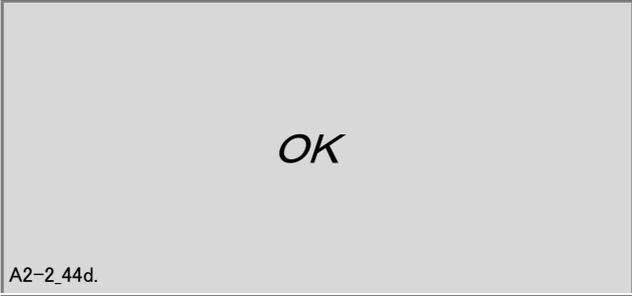
A2-2_35d.

A2-3_35d.



A2-2_40d.

A2-3_40d.



A2-2_44d.

A2-3_44d.



A2-2_50d.

A2-3_50d.



A2-2_55d.

A2-3_55d.

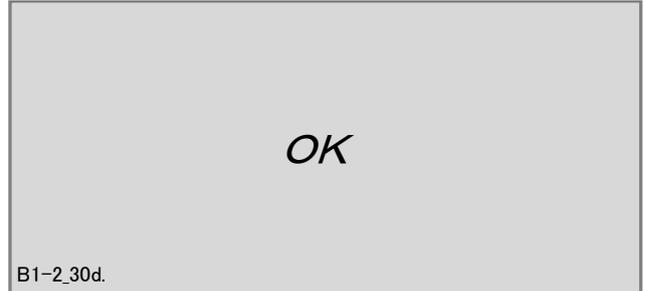
A2-2_58d.

A2-3_58d.



B1-1

B1-2





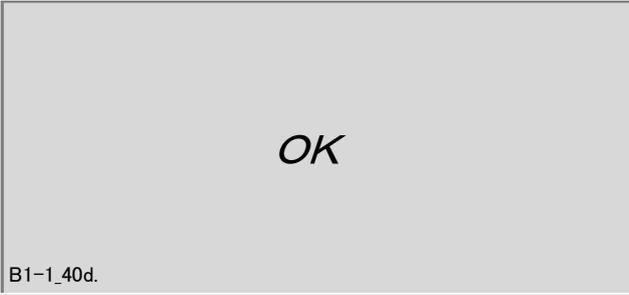
B1-1

B1-2



B1-1_35d.

B1-2_35d.



B1-1_40d.

B1-2_40d.



B1-1_44d.

B1-2_44d.



B1-1_50d.

B1-2_50d.

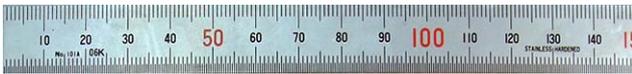


B1-1_55d.

B1-2_55d.

B1-1_58d.

B1-2_58d.



B1-3



B1-3_5d.



B1-3



B1-3_35d.



B1-3_9d.



B1-3_40d.



B1-3_15d.



B1-3_44d.



B1-3_20d.



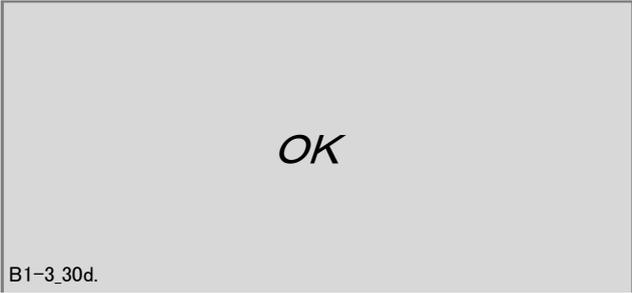
B1-3_50d.



B1-3_23d.



B1-3_55d.



B1-3_30d.

ガラスフレークコーティング温度勾配浸漬試験

膨れの個数と面積率

- 温度条件：高温側 40℃／低温側 20℃
- 試験期間：平成 22 年 6 月 2 日～平成 22 年 9 月 10 日・・・100 日間
- 試験機関：財団法人 日本塗料検査協会

財団法人 日本塗料検査協会

- ・ 膨れは、目視観察で確認出来るものを、全てカウントした。
 (経時観察により、個数を修正することがある)
 (膨れサイズは、加味していない)
- ・ 引き上げ直後観察
- ・ 下表の上段は個数、下段は評価を示す。

表 1 膨れの個数と評価 (日数)

	5	9	15	20	23	30	35	40	44	50
A1-1										
A1-2										
A1-3										
A2-1										
A2-2										
A2-3										
B1-1										
B1-2										
B1-3										
	55	58	65	70	75	79	85	90	93	100
A1-1	13 2F									
A1-2										
A1-3	4 2F									
A2-1										
A2-2										
A2-3	1									
B1-1										
B1-2										
B1-3										

表 2 膨れの評価表

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できない範囲				
×:膨れが確認できる範囲				

実タンク塗膜の劣化状況調査計画

石油連盟殿の協力を得て、今年度開放検査が実施されるコーティングの実膜厚 400 μm 程度で 20 年程度使用されている GF コーティングが施工されているタンクの現地調査を実施する。現地調査予定のタンク諸元を以下に示す。

(1) Aタンク

- ・容量：67,147 k ℓ 浮き屋根式
- ・タンク完成年：昭和 41 年
- ・内容物：原油
- ・加熱設備無し
- ・コーティング履歴：平成 8 年施工（14 年使用）
- ・コーティング膜厚：255～390 μm （推定）
- ・現地調査予定日：8 月中旬

(2) Bタンク

- ・容量：22,927 k ℓ 浮き屋根式
- ・タンク完成年：昭和 55 年
- ・内容物：原油
- ・加熱設備有り
- ・コーティング履歴：昭和 63 年施工（23 年）
- ・コーティング膜厚：270～336 μm （推定）
- ・現地調査予定日：9 月下旬

(3) Cタンク

- ・容量：13,771 k ℓ 固定屋根式
- ・タンク完成年：昭和 45 年
- ・内容物：軽油
- ・加熱設備無し
- ・コーティング履歴：昭和 61 年施工（25 年）
- ・コーティング膜厚：280～690 μm （推定）、設計膜厚 320 μm
- ・現地調査予定日：9 月中旬
- ・コーティング施工時の温度、湿度管理記録あり。
- ・施工完了後の目視、膜厚検査、ピンホール検査実施

議事4 コーティングが施工されていたタンクの内面腐食

- コーティングが施工してあるにもかかわらず、内面腐食が進行した事例があり、中には事故に至ったものもある。コーティングが施工してあるにもかかわらず内面腐食が進行する要因を分析し、それを防ぐための方法について、WGでご審議頂きたい。

内容

(1)タンクの内面腐食に関するデータ分析

危険物保安技術協会から提供されたデータを用いた統計の分析。

(2)事例分析

コーティングが施工されていたにもかかわらず腐食貫通事故が起きた事例やコーティングが施工されていたにもかかわらず激しい腐食が見つかった事例について、報告書など記録を調査し腐食要因を分析。

(3)コーティングによる腐食防止の要件

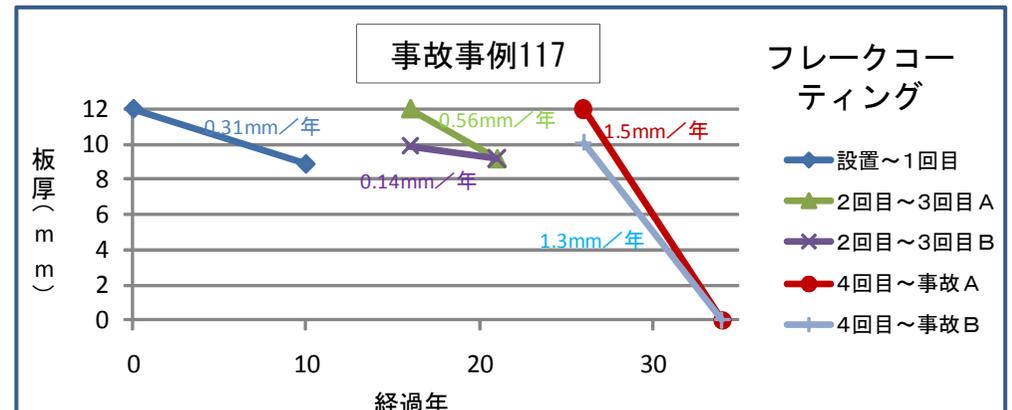
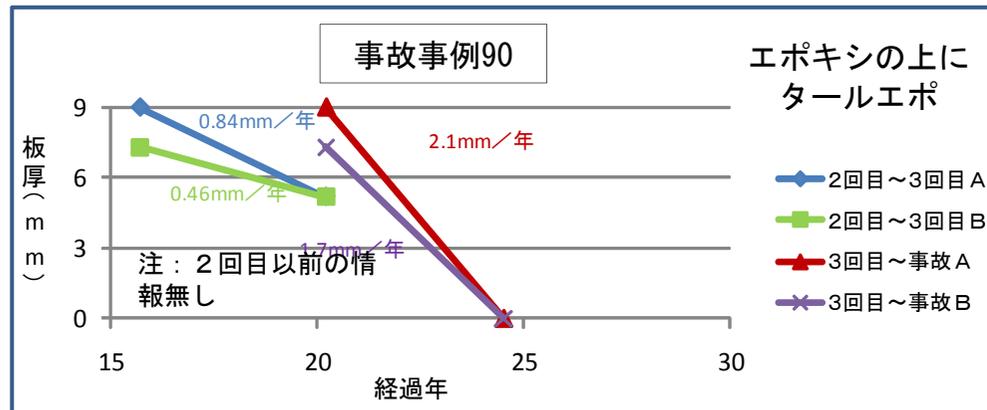
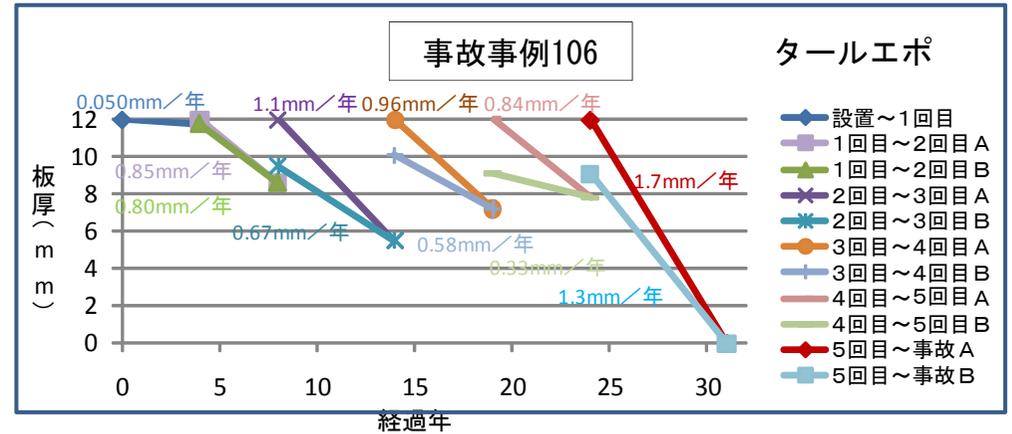
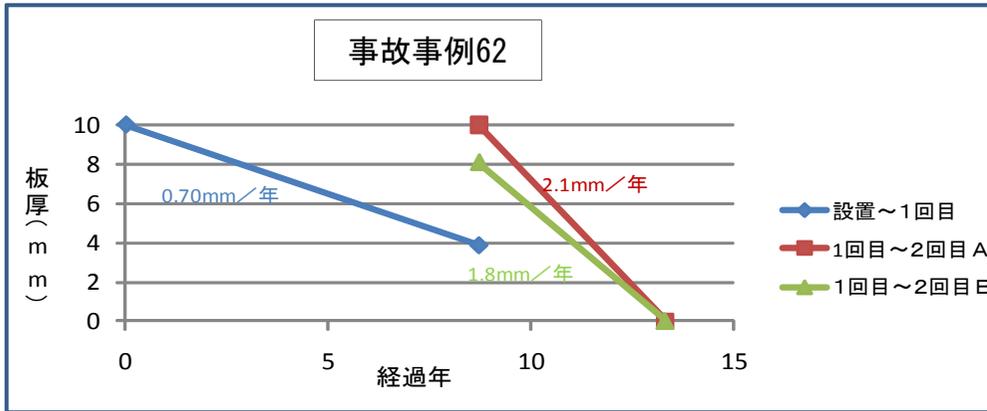
コーティングの腐食防止効果を確保し、維持するための要件。

コーティング指針の確認。

(1) タンクの内面腐食に関するデータ分析

① 検討の背景 その1

下の図は、内面腐食による貫通事故を起こしたタンクの腐食履歴を表したもの(事故の原因調査報告書より作成。)
このうち事例90、106、117のタンクではコーティングが施工されていた。



● 内面腐食事故時の腐食率

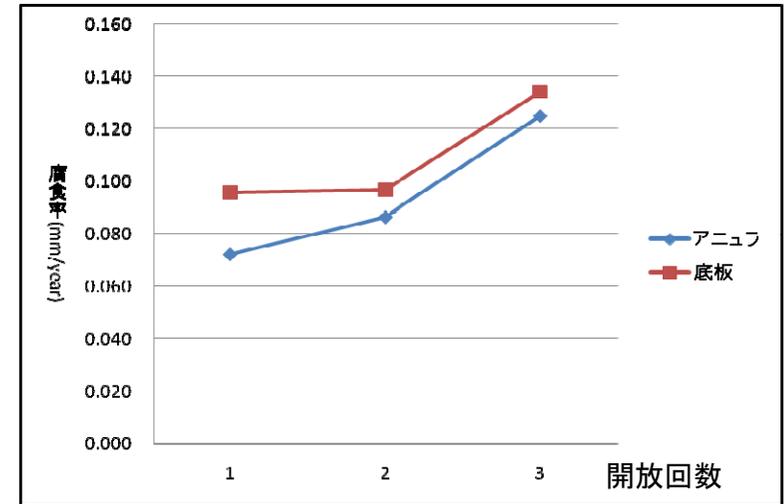
- 事例62: 1.8~2.1mm/年 (前回開放時0.70mm/年)
- 事例90: 1.7~2.1mm/年 (前回開放時0.23~0.46年)
- 事例106: 1.3~1.7mm/年 (前回開放時:0.33~0.84mm/年)
- 事例117: 1.3~1.5mm/年 (前回開放時:0.14~0.56mm/年)

- A:ある開放時に見つかった最大内面腐食箇所が、前回調査時には腐食がなかったと考えた場合
- B:ある開放時に見つかった最大内面腐食箇所が、前回開放時の補修後の最大内面腐食箇所であったと考えた場合

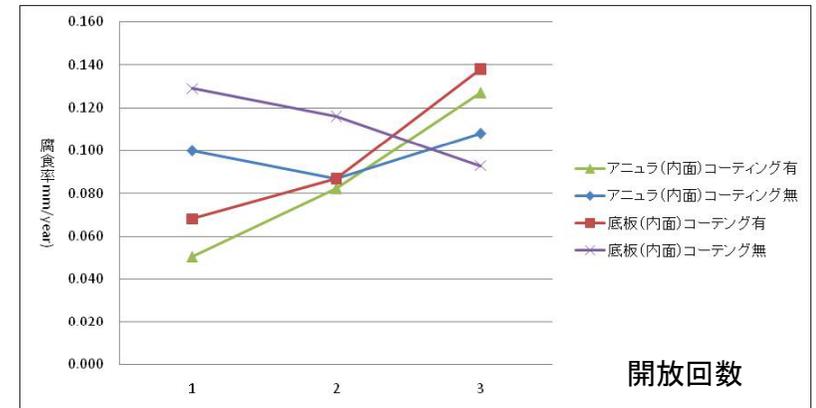
(1) タンクの内面腐食に関するデータ分析

① 検討の背景 その2

- (右上図) 過去の各開放時に求められた各タンクごとに最大内面腐食深さから求めた内面腐食率を、データの得られたタンク数について平均したもの。対象タンク数については下の表の網掛け部参照。
 - ・腐食履歴データは危険物保安技術協会が保存しているもの。各タンクの最も古いデータを1回目とした。
 - ・板替えや補修内容不明で腐食率が求められないものを除いた。
 - ・前ページのBの計算方法を用いた。減肉量に打ちきずなどを含む。
- (右下図) 上記腐食率をコーティングの有無によって分けたもの。コーティングの材質などを問わずコーティングのあるものとなないもので分類した。3回目の開放時に測定された腐食率はコーティングのあるものの方が大きく算出されている。対象タンク数については下の表の下段参照。
- コーティングがあるにもかかわらず腐食率が大きく出ていることについて、コーティングの品質や耐久性と関係すると考えられ、本WGIに分析検討が付託された。



コーティングの有無による腐食率の違い



対象タンク数

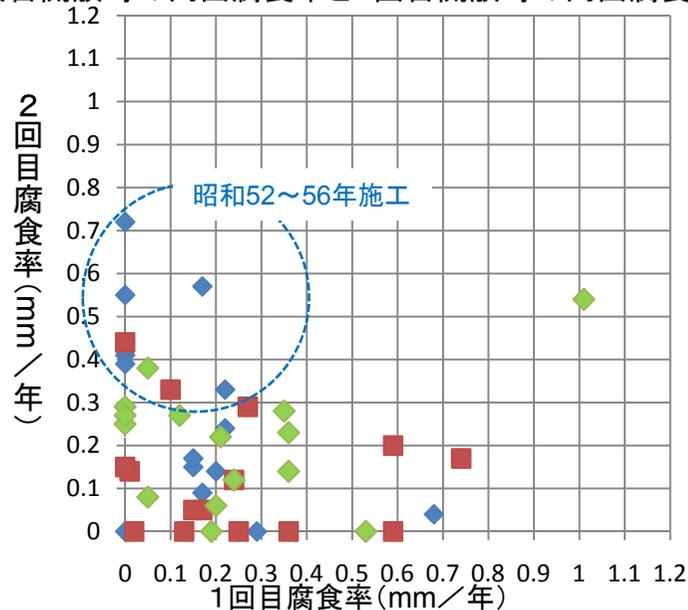
第1回				第2回				第3回			
アニユラ板		底板		アニユラ板		底板		アニユラ板		底板	
616		616		449		454		293		293	
コ有	コ無	コ有	コ無	コ有	コ無	コ有	コ無	コ有	コ無	コ有	コ無
343	273	344	272	356	93	360	94	278	15	274	19

(1) タンクの内面腐食に関するデータ分析

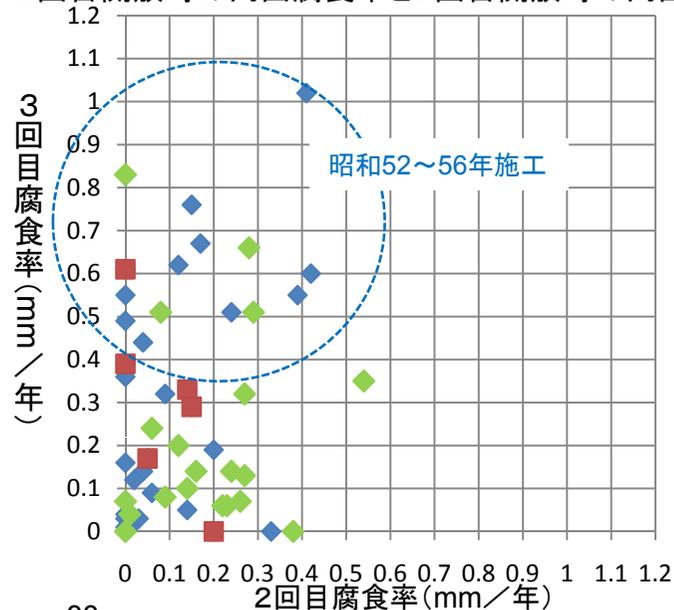
② 内面腐食の腐食率

- 下の図は、内面腐食量が大きかったタンクについて、開放ごとの内面腐食率を個々のタンクについてみたもの。
 - ・著しい腐食が見つかったもののみを取り出しており、全てのタンクの傾向を表すものではない。
 - ・開放検査時にコーティングが施工されたことが明らかなものについては、施工前後の比較は行っていない。
 - ・打ちきずなど腐食によらない内面減肉も含む。
- 内面腐食量は各回ごとの変動がきわめて大きく、前回開放時の腐食率を次回開放時までの腐食率として参照できるタンクは限定される。内面腐食率が変わらない条件として考えられるものは次のいずれかと考える。
 - ア. コーティングの内面腐食防止機能が維持されること。…次回内面腐食率は非常に低い。
 - イ. 腐食性の非常に低い内容物を貯蔵するコーティングが施工されていないタンクであって、油温・水管理など内面腐食環境に影響を与える因子に変化のないこと。…次回内面腐食率は前回から大きく加速しないと考えられる。
- コーティングタンクでは2回目開放時と3回目開放時の腐食率では3回目の方が高いものが多いことから、コーティングの腐食防止効果の劣化が関与していることが考えられ、コーティングの品質管理が重要であることが分かる。なお、ガラスフレーク(以下GFという。)コーティングが施工してあるにもかかわらず内面腐食率の高いものは、昭和56年よりも前に施工されたものが多い。

1回目開放時の内面腐食率と2回目開放時の内面腐食率



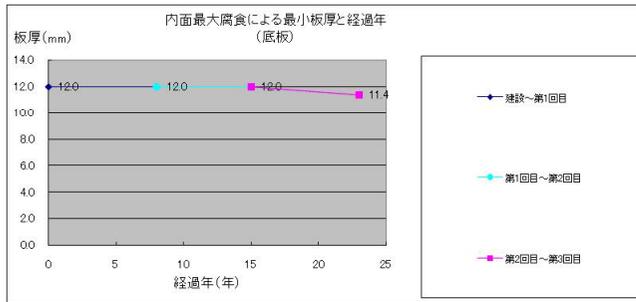
2回目開放時の内面腐食率と3回目開放時の内面腐食率



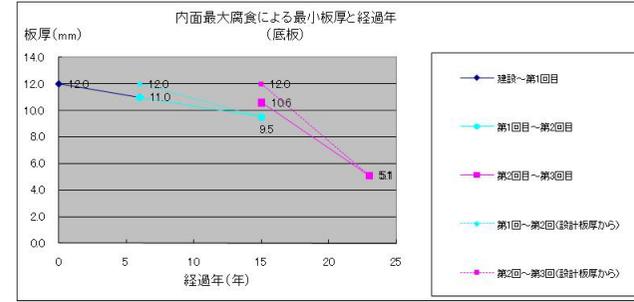
- ◆はGFコーティング(指針への適合は不明)
- ◇はGF以外のコーティング
- はコーティングのないもの

(1) タンクの内面腐食に関するデータ分析

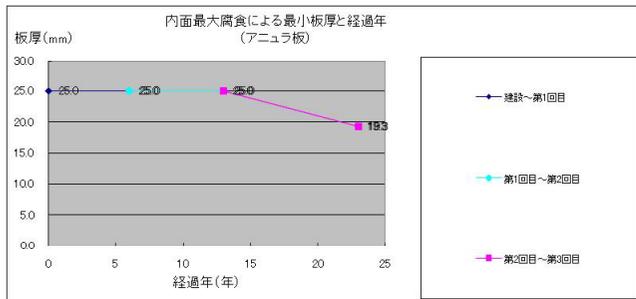
③ GFコーティングの内面腐食防止効果



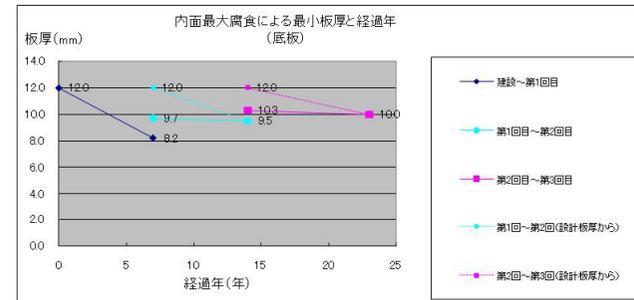
内面腐食がほとんど進行していない例



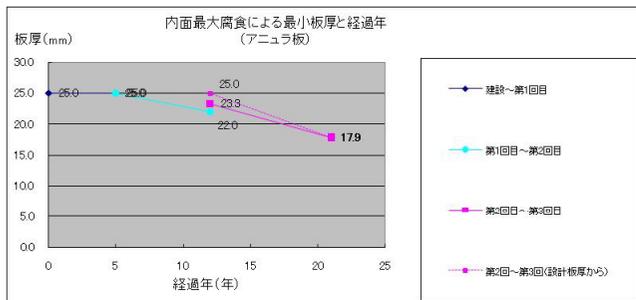
GFコーティングが施工されているにもかかわらず内面腐食が進行している事例



2回目開放以降内面腐食が進行した例



1回目の開放時にコーティングを施工し、それ以降内面腐食が進行していない事例



1回目の開放以降内面腐食が進行した例

- GFコーティングは内面腐食防止効果があるが、中には、その効果が1回目開放まで持たないものもある。
- 品質管理が重要。…品質管理の着目点は？
- コーティングの経年劣化により、内面腐食が発生するタンクが出てくる。
- 耐久性に対する留意が必要。…耐久性は？

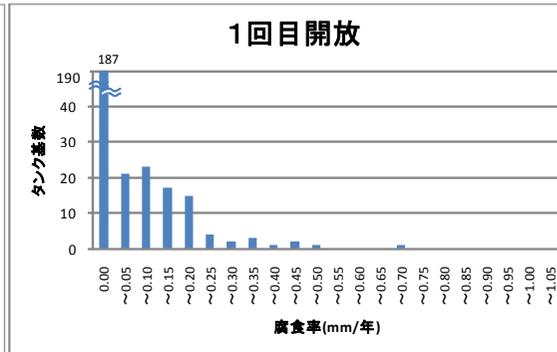
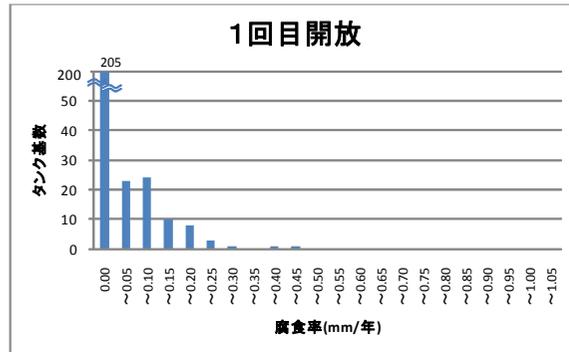
(1) タンクの内面腐食に関するデータ分析

④ GFコーティングの経年劣化

下のグラフは、GFコーティングが施工されているタンクの各開放時に求められたタンクごとの最大内面腐食深さから求めた内面腐食率と基数の関係を示したものである。

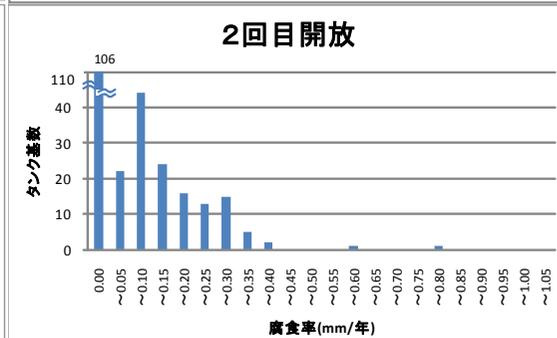
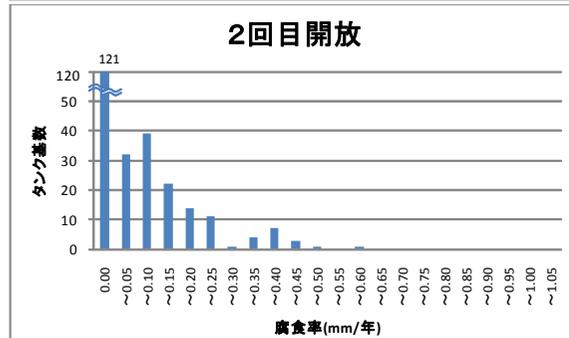
アニュラ板

底板



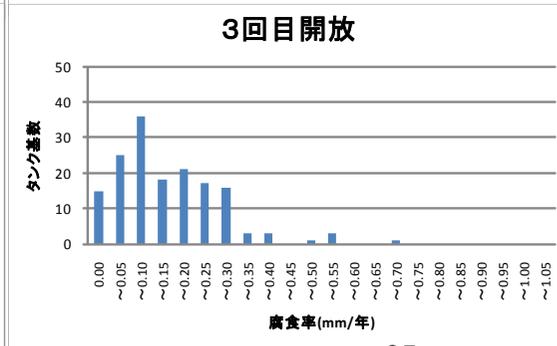
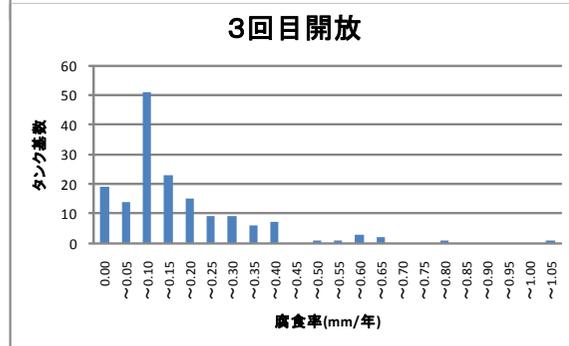
アニュラ板

	タンク基数	腐食率の平均値 (mm/年)	腐食率の最大値 (mm/年)
第1回開放	276基	0.03	0.43
第2回開放	256基	0.07	0.6
第3回開放	162基	0.15	1.01



底板

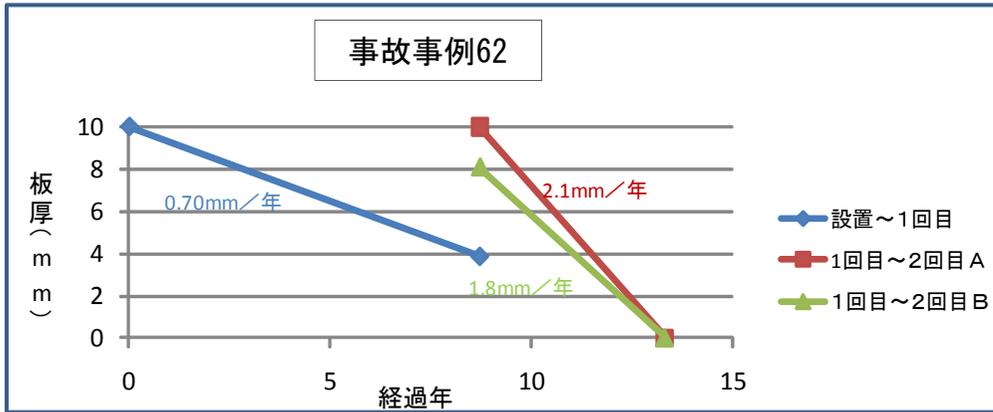
	タンク基数	腐食率の平均値 (mm/年)	腐食率の最大値 (mm/年)
第1回開放	277基	0.04	0.66
第2回開放	249基	0.08	0.79
第3回開放	159基	0.15	0.69



開放回数が増えるごとにコーティングの経年劣化により腐食防止効果が低下したタンクが増えており、そのようなものの中には、大きな腐食率を示すものが出てくる。

(2) 事例分析

① 事故事例の分析(その1)



- ・内容物: 原油
- ・コーティングなし
- ・開口部の形状(下図)
- ・開口場所: 3つあるミキサーの内1つ(東北東)の近傍側板から145mmのアンジュラ板(12mm)
- ・このタンクは不等沈下が大きく、腐食部周辺は最も低い位置にあった。→水がたまりやすかった。
- ・スラッジの存在もあり、鋼板面に酸素濃淡電池が形成された。
- ・ミキサーの間欠運転による酸素供給と油の流れによる流体力。
- ・腐食性イオンの存在。

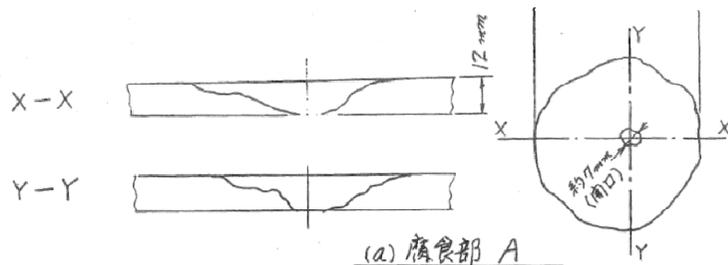


表4.8 NO.30タンクのスラッジ分析結果

成分	サンプル	A	B	C	D	E	F
油分		77.38	77.71	76.34	69.59	73.14	57.82
水分		21.52	20.84	22.52	28.38	25.50	39.56
残渣分		1.10	1.45	1.14	2.03	1.36	2.62
残渣分	灰分	0.69	1.31	0.90	1.69	1.25	1.74
	硫黄分	0.14	0.19	0.15	0.26	0.17	0.27
	鉄分	0.32	0.22	0.29	0.64	0.22	0.31

サンプル位置A~Hは図4.6中に示す

単位: 対スラッジ 百分%

PH 6.5
塩化物イオン 13,000 ppm
硫酸イオン 検出されず

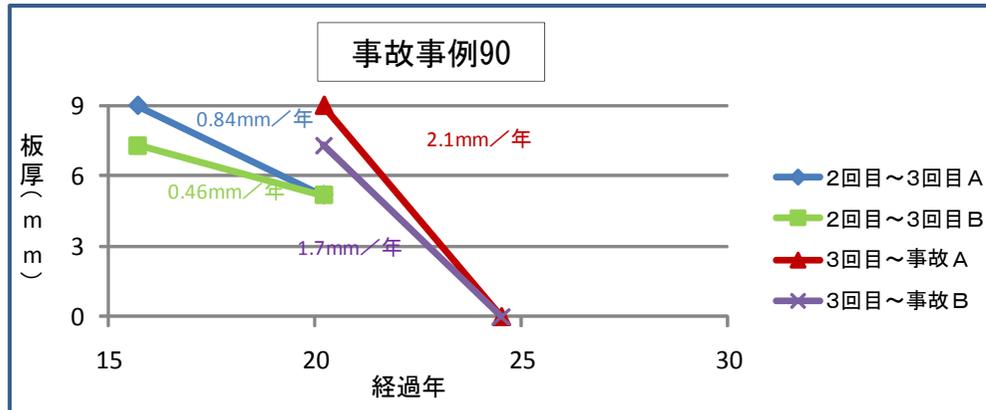
なお、NO.30タンクの貯蔵油と同類の油種別スラッジ及び底部水の分析をした結果を表4.10に示す。

表4.10 油種別スラッジ及び底部水の分析結果

油種	BERI	ALCO	AMCO	AHCO	備考	
タンク NO	45	28	37	49		
スラッジ	油分	88.0	72.6	90.6	53.6	スラッジ分析の単位は対スラッジ Wt % 硫黄分は残渣に含まれる硫黄分を対スラッジ比で表したものである
	水分	10.8	23.0	8.8	43.5	
	灰分	0.61	2.51	0.47	1.89	
	硫黄分	0.07	0.26	0.05	0.26	
	鉄分	0.02	0.51	0.08	0.32	
底部水	PH	7.8	6.3	4.9	9.5	単位: PPM
	SO ₄ ²⁻	101	434	101	95	
	DO	2.5	4.5	9.6	9.5	
	Cl ⁻	12,900	10,500	14,500	13,900	
	SO ₂ ²⁻	22.7	不検出	5.8	4.0	

(2) 事例分析

① 事故事例の分析(その2)



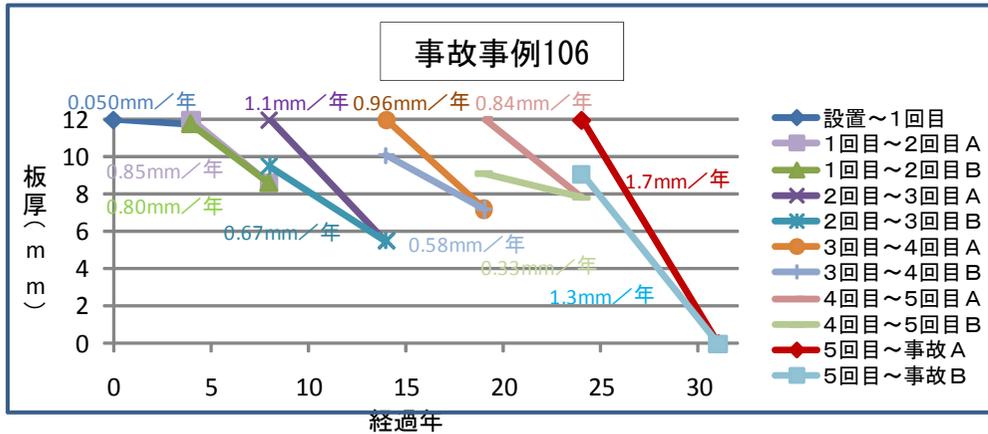
- ・内容物: 原油
- ・アニュラ板: エポキシ樹脂(事故の15年前)及びタールエポキシ樹脂(事故の9年前に重ね塗り)コーティング、底板: タールエポキシ樹脂(事故の9年前)コーティング。
- ・設計膜厚: 200 μ m、実膜厚: 120 μ m~1500 μ m
- ・開口部の形状(右下図)
- ・開口場所: 3箇所(南方向2、南西1)。側板からおおむね10mの底板(9mm)。
- ・ドーナツ状沈下が大きく、腐食部周辺は低い位置にあった。
- ・2種ケレンで素地調整された部分でコーティング剥離が見られた(事故タンク及び隣接タンク)。硫化水素がコーティングの劣化と剥離を助長したことも考えられる。
- ・硫化物の存在。
- ・高い腐食率となった要因は、嫌気性の硫酸塩還元バクテリアの存在があったものと考えられる。
- ・コーティングの一部剥離が生じたことによる腐食速度を増加させたことのみが孔食を助長した要因とは考えにくい。

	No. 47TANK	No. 43TANK
ボトムドレン	(I. L系)	(M. SULFUR系)
PH	3.2	6.9
NACL	4476 PPM	31942 PPM
CL	2716 PPM	19381 PPM
SO4	413 PPM	10 PPM
CO3	同定困難	同定困難
H2S	Nil	Nil
RSH	3 PPM以下	3 PPM以下
ボトムスラッジ		
R, PH	4.2	7.9
NACL	70 PPM	3086 PPM
CL	43 PPM	1872 PPM



(2) 事例分析

① 事事故事例の分析(その3)



- ・内容物: 原油
- ・タールエポキシ樹脂コーティング(事故の12年前に施工)。
- ・設計膜厚200 μm 、実膜厚120 μm ~1500 μm 。
- ・ピンホール及び夾雑物が多数見ついている。
- ・開口部の形状(右下図)
- ・開口場所: ドレインノズル直下のアニュラ板(12mm)
- ・ドレインノズル直下であったことから施工性やその後の検査ができなかったのではないかと推定される。
- ・60 $^{\circ}\text{C}$ を超える油に直接さらされた可能性。
- ・受け入れ時の流速とスラッジ巻き込みによる摩耗の可能性。
- ・高い腐食率の発生要因としては、スラッジ堆積状況による酸素濃淡電池による腐食、コーティング剥離部のマクロセルによる腐食、酸による腐食の複合作用と推定される。

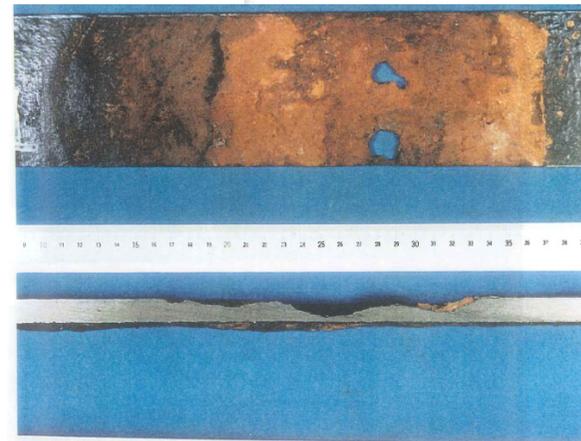
試料		F	Cl	NO ₂	NO _x	NH ₄	SO ₄	PO ₄	Na	Ca	*SiO ₂	**CO ₂	**HCO ₃	***pH
腐食面	① 水切り部 1 (北 穴明き)	3	37	<1	<1	4	1,700	<1	99	890	190	—(注)	—(注)	7.4
	② 水切り部 2 (南東)	<1	5,500	<1	<1	41	2,900	<1	27	2,700	240	—(注)	—(注)	6.9
	③ 水切り部 3 (南西)	13	6,600	<1	<1	42	2,400	<1	470	2,400	230	—(注)	—(注)	6.9
	④ ルーフサニート ベースプレート	4	1,600	<1	15	4	720	<1	44	1,300	100	—(注)	—(注)	6.9
	⑤ 腐板 腐食部	<1	3,800	<1	<1	41	630	<1	540	1,200	31	—(注)	—(注)	6.9
スラッジ	2-2 洗油ヘッド口状	1	830	7	51	11	430	<1	480	300	43	<10	140	6.6
	1A 水切り1の廻り	2	220	11	54	7	430	<1	260	200	36	<10	160	6.9
	1B 水切り1の内部	3	150	14	60	15	740	<1	310	270	46	<10	140	6.9
	2A 水切り2の洗廻り	4	280	7	55	13	1,400	<1	310	660	63	<10	330	7.1
	3A 水切り3の洗廻り	2	250	9	49	8	430	<1	290	230	44	<10	200	6.9
	7 ルーフサニート下	<1	8,600	8	47	110	440	<1	580	1,300	27	<10	<10	6.4
	ドレン	<1	4,500	<1	<1	20	26	<1	2,200	460	12	40	99	7.9

*: ICP発光分光分析法

** : 滴定法

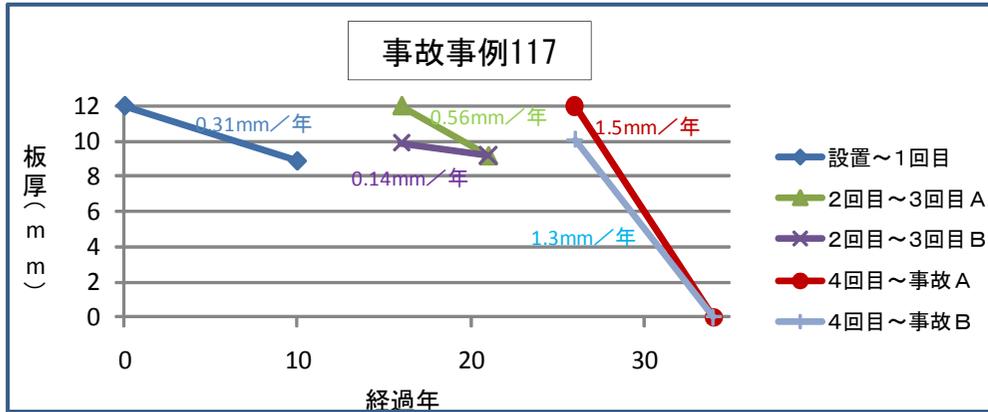
***: ガラス電極法にて1%溶液を測定

(注): 前処理による加温で大きく変動(減少)するため実施せず。



(2) 事例分析

① 事故事例の分析(その4)



- ・内容物: 原油
- ・事故の24年前にFRPライニング施工、18年前にフレークコーティングによる補修。
- ・実膜厚: 100 μ m~1000 μ m。
- ・ピンホール多数。一部で、プライマーの欠落あり。一部で、塗膜下に塩分が存在した可能性は高い。
- ・開口部の形状(右下写真)
- ・開口場所: ドレインノズル直下のアニュラ板(12mm)
- ・ドレインノズル直下であったことから施工性やその後の検査ができなかったのではないか。
- ・60 $^{\circ}$ Cを超える油に直接さらされた可能性。
- ・受け入れ時の流速とスラッジ巻き込みによる摩耗の可能性。
- ・プライマーなしで施工されていた箇所が、その後の使用により塗膜下で腐食が発生し、スロップ油受入など塗膜の劣化剥離を助長させる因子が重なり、部分的に塗膜が剥離。
- ・高い腐食率の発生要因としては塩素イオンや硫酸イオンの存在。

【試料調整方法】

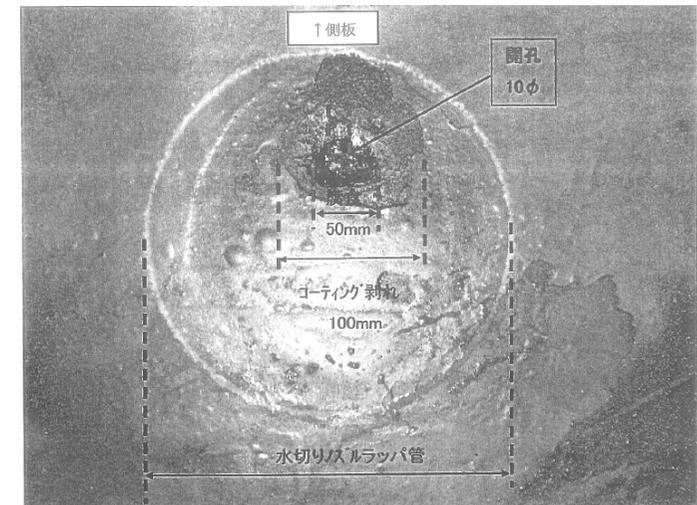
スケール: 試料に純水を加え1w/oとし熱板上で約80 $^{\circ}$ Cにて沸騰しないように加温、液量が約1/2になるまで濃縮する。
 →放冷後、ろ過し、純水を用いて残滓のスケールとろ紙を十分洗浄する。
 →純水で希釈し1w/o溶液とする。この溶液を用いて分析する。
 下記結果は元試料濃度に換算。

スラッジ: 試料に純水を加え1w/oとし、常温にて6Hr振とう溶出。この溶液を用いて分析する。
 下記結果は元試料濃度に換算。

ドレン: 混入している油を除去後、直接分析する。

試料		F	Cl	NO ₂	NO ₃	NH ₄	SO ₄	PO ₄	Na	Ca	*SiO ₂	**CO ₂	**HCO ₃	***pH
スケール	SA1 水切り部 1 (筒 穴明き)	7.4	2,900	<	14.7	10.8	1,150	<	61.4	1,990	394	—(注)	—(注)	4.5
	SA2 水切り部 2 (筒東)	2.2	5,600	<	<	34.9	419	<	396	2,620	88.3	—(注)	—(注)	4.7
スラッジ 1A	原油ヘッド口状	<	1,400	<	<	0.66	2	<	7.01	1.50	0.17	<0.001	6.45	6.4
ドレン	ドレン	0.74	22,600	<	0.01	0.25	48	<	9.85	2.38	21.0	0.31	210	7.5

*: ICP発光分光分析法
 **: 滴定法
 ***: ガラス電極法にて1%溶液を測定
 (注): 前処理による加温で大きく変動(減少)するため実施せず。



(2) 事例分析

① 事故事例の分析(その5)

事故事例133

- ・内容物:ヘビーナフサ
- ・ビニルエステル樹脂コーティング(事故の9年前施工)。
- ・設計膜厚:500 μ m
- ・開口部の他にコーティング剥離箇所1(孔食発生)。
- ・開口部の形状(右下写真)
- ・開口場所:電気防食用陽極下の底板(6mm)。
- ・陽極の下部と底板の隙間は30mmしかなく、下地処理が十分にできなかった。施工不良があったことは明らかである。
- ・ドレン水には塩化物イオン、硫化物イオン及び有機酸が高濃度で検出された。
- ・コーティングの施工不良箇所においてコーティングが剥離した。
- ・コーティング剥離箇所の鋼板表面のドレン水において、溶存酸素、有機酸等による局部電池が形成され、電気化学的な腐食が引き起こされた。
- ・ドレン水中の塩化物、硫化物等により腐食の進行が促進。

	10/10 15:00	10/16 9:15	10/21 9:15
pH	6.81	6.66	6.53
電気伝導率	22.5	22.5	23.6
鉄	0.6	0.6	0.8
溶解性鉄	1	2.8	1
塩化物イオン	11	14	9
硫酸イオン	8	2	1
硫化物	29	23	18
炭酸	16未満	16未満	16未満
亜硝酸イオン	1未満	2	1未満
全酸	166	176	229
ギ酸	1未満	10未満	10未満
プロピオン酸	1未満	10未満	10未満
酢酸	17	14	19
MEA	5未満	5未満	5未満
MIPA	140	140	160
DMEA	10未満	10未満	10未満
アミン7	0.8	1.4	0.8



(2) 事例分析

②GFコーティングを施工していたタンクの内面腐食が激しかった事例(その1)

●タンク諸元

- ・容量: 14,505 kℓ 浮き屋根式
- ・タンク完成年: 昭和54年
- ・内容物: 原油
- ・加熱設備無し(平成13年に撤去)
- ・開放履歴: 昭和61年、平成5年、平成13年、平成22年
- ・コーティング履歴: 昭和61年施工、平成5年全面塗り直し
- ・設計膜厚: 350μm

●平成22年開放時に、コーティングの剥離と内面腐食が発見された。左下図は、タンク開放時のコーティング目視検査記録であるが、コーティングの剥離箇所が多数存在している。写真は剥離状況を示したもの。

●下図は、底部板の内面腐食点検記録である。アニュラ板に3.5mm、底板に最大6.9mmの内面腐食が発生している。平成13年開放時には、1.8mm以上の内面腐食は補修されている。

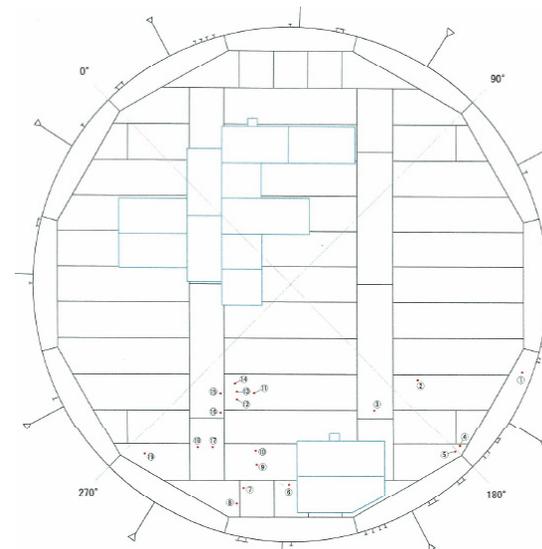
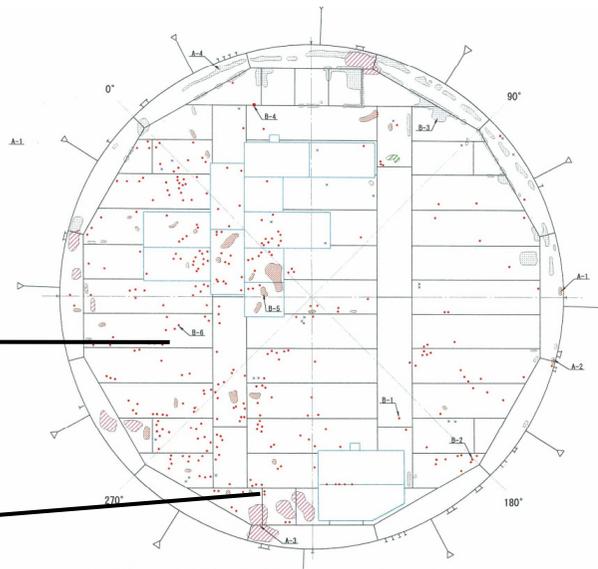
●本タンクは、開放ごとに肉盛り補修が実施されており、コーティングの腐食防止効果が低かったと考えられる。

●耐熱性能が低い塗料が使われた。

●内容物の影響(高いアロマ、温度)により腐食環境が厳しい。

凡例

- --- 塗装剥離
- --- 塗装キズ・剥離
- ▲ --- 塗装キズ
- × --- 塗装表層剥離



No	欠陥種別	発生部位	Depth (mm)
1	ピッチング	アニュラプレート	3.5
2	ピッチング	底板	3.0
3	ピッチング	底板	3.1
4	ピッチング	底板	5.7
5	ピッチング	底板	3.9
6	ピッチング	底板	6.9
7	ピッチング	底板	3.5
8	ピッチング	底板	4.8
9	ピッチング	底板	3.7
10	ピッチング	底板	3.2
11	ピッチング	底板	2.6
12	ピッチング	底板	2.4
13	ピッチング	底板	2.8
14	ピッチング	底板	2.5
15	ピッチング	底板	3.9
16	ピッチング	底板	2.8
17	ピッチング	底板	6.0
18	ピッチング	底板	3.0
19	ピッチング	底板	2.6

(2) 事例分析

②GFコーティングを施工していたタンクの内面腐食が激しかった事例(その2)

●タンク諸元

- ・容量: 38,858 kℓ 浮き屋根式
- ・タンク完成年: 平成3年
- ・内容物: ナフサ
- ・加熱設備無し
- ・開放履歴: (平成10年、平成19年)
- ・コーティング履歴: 平成3年(設置時)(16年使用)
- ・設計膜厚: 350 μm

- 平成10年の開放時(コーティングは7年使用)にアニュラ板の一部に膨れ、剥離が見られたが、内面腐食は発生していなかった。

- 平成19年の開放時には、アニュラ板、底板に部分的な膨れ、剥離、キズが確認され、アニュラ板に4.8mm、底板に6.3mmの内面腐食が見つかった。
 - ・設計膜厚350μmに対して、実測値で190μmの箇所が確認された。
 - ・オイルイン前のコーティングの品質確認において、ピンホールテストが実施されていない。(コーティングにキズがないことが確認されていなかった。)

(2) 事例分析

②GFコーティングを施工していたタンクの内面腐食が激しかった事例(その3)

●タンク諸元

- ・容量: 65,700 kℓ 浮き屋根式
- ・タンク完成年: 昭和54年
- ・内容物: 原油
- ・加熱設備有り
- ・開放履歴(昭和60年、平成3年、平成11年、平成20年)
- ・コーティング履歴: 昭和60年施工(23年使用)
- ・設計膜厚: 350 μm

●平成20年の開放時に底板に5.3mmの内面腐食が発生していた。

●建設時にはコーティングを施工していなかったため、第1回目の開放時には内面腐食が発生しており、その際に3.5mm未満のものは肉盛り補修を実施せずにコーティングが施工された。肉盛り補修が実施されなかった箇所の下地処理不足やコーティング施工後も凹みが存在することから水分が集積しやすい状態となり膨れが発生したと考えられる。

●耐溶剤性の低い塗料が使用されている。

(2) 事例分析

③GFコーティングの膨れの下での鋼板腐食状況調査例(その1)

●タンク諸元

- ・容量: 59,600 kℓ 浮き屋根式
- ・タンク完成年: 平成15年
- ・内容物: 原油
- ・管理温度(70℃)
- ・開放履歴(平成21年)
- ・コーティング履歴: 平成15年(完成時)(6年使用)
- ・設計膜厚: 560 μm

- 平成21年の開放時にアニュラ板・底板ともに全面にわたって膨れが発生しており一部で剥離が見つかった。膨れのサイズはΦ10～100mmのものとφ10mm未満のものに分けられ、前者は素地とプライマー間で、後者は中塗りの層内で発生している。
- 膜厚は規定値以上であった。膨れた塗膜下から塩分が検出されており、素地／プライマー間の膨れは鋼板面に残留していた塩分の影響と見られる。電気特性も劣化しており、中塗り層内の膨れは塗膜中のポリスチレンが膨潤・透過した溶剤分(アロマ)により溶解して膨れに至ったものであり温度によってこれが加速された。
- 剥離は、開放時の塗膜の急激な冷却によるものと推定されている。
- 塗膜の膨れ部の下での鋼板には黒さびが見られたものの、明瞭な減肉までは至っていなかった。

(2) 事例分析

③GFコーティングの膨れの下の鋼板腐食状況調査例(その2)

●タンク諸元

- ・容量: 35,000kℓ 浮き屋根式
- ・タンク完成年: 昭和54年
- ・内容物: 重油及び原油
- ・管理温度(55℃)
- ・開放履歴(平成21年)
- ・コーティング履歴: 平成元年(10年使用)
- ・設計膜厚: 700 μ m

●平成20年の開放時に底板の約3分の2に膨れが発生していた。膨れのサイズはΦ10～25mmで中塗層内で発生。

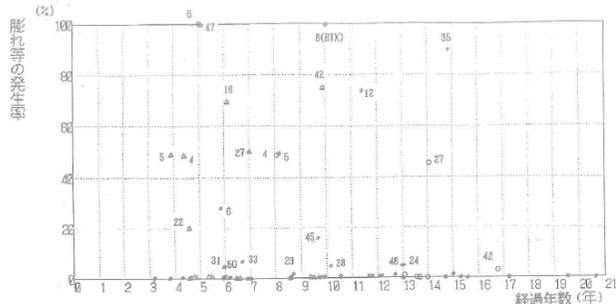
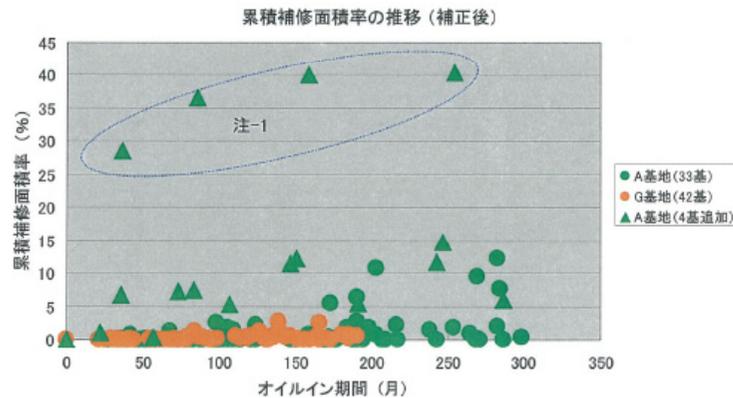
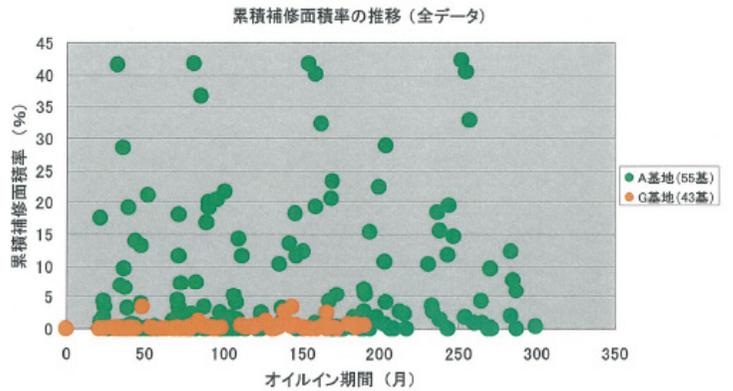
●鋼板に腐食は生じていなかった。

●膜厚は規定値以上であった。付着力に異常はなかった。

●温度が高かったこと、中塗り塗装時の換気不足が膨れの発生原因として推定された。

(2) 事例分析

④ GFコーティングを施工していたタンクの補修履歴



(注1)・：初期塗膜、○：補強塗膜、△：溶接線の補修塗膜
(注2)補強塗膜の年数は、塗り重ね塗膜下の旧塗膜の経過年数

図4-1 膨れ等の発生率と塗膜の経過年数との関係

- 左上及び中の2つの図は、国備基地の備蓄タンクにおけるコーティングの累積補修率(日本高圧力技術協会「平成21年度陸上タンクのタンク底部コーティングの耐久性調査(コーティングの実績調査)報告書」、平成22年1月)。補修は膨れを生じた部分を対象としているので、膨れが発生した面積の底部面積に対する割合と見ることができる。緑はコーティング指針が示される約10年前に建設された基地のタンクで、オレンジ色はコーティング指針が示される約2年前に建設された基地のタンクである。いずれの基地のタンクもコーティング指針に規定されたGF塗料と膜厚で施工されている。
- 左の上の図は全てのタンクについてみたもの。かなり早い時期から大きな面積割合で膨れが発生しているものがある(18基)。これらについて原因を調べたところ、無機ジंकショッププライマーの除去不足と施工不良(結露)によるとされている。前者については14基で確認されているが、これらのコーティング施工時には無機ジंकショッププライマーがコーティング品質に与える影響が明確ではなかったため除去不足が生じたものと考えられ、その後影響があることが明らかになったため、コーティング指針では除せいでや素地調整確認でこのような不良が生じないようにしている。4基で施工不良(結露)が疑われているが、施工当日の天候等から類推されたもので、施工記録(温湿度記録)上は確認がされていない。
- 左の中の図は無機ジंकショッププライマー除去不足による施工不良のタンク以外の補修率である。△は確認はされていないが施工不良(結露)が疑われるタンクである。施工不良を除けば、多くのタンクで膨れがほとんど発生していないことが分かる。特にコーティング指針と同等の施工内容であった基地のデータ(オレンジ)は補修履歴が小さい。
- ほとんど膨れが発生していないコーティングでは塗膜下の母材にはほとんど腐食は生じない。以上のことから、コーティング指針に則ったGFコーティングは内面防食効果が高いことが分かる。
- (参考)左下は平成8年に同様の調査が行われた結果(危険物保安技術協会「屋外貯蔵タンク内面のコーティングに関する調査検討報告書」、平成9年3月)。膨れが発生したものが多いが、ほとんど膨れが発生していないものもあり、施工年代の古いコーティングには塗膜の防食効果にばらつきが大きいことが分かる。対象タンクは民間のものが主で、塗料はGFコーティング以外も含む。

(2) 事例分析

⑤ まとめ

- コーティングを有するタンクでコーティングが剥離すると激しい腐食が生じることがある。
- コーティングが剥離する要因(右表参照)
 - ・耐溶剤性の低い塗料の使用
 - ・塗装表面の結露や戻りさびによる付着力不足
 - ・高温による塗膜劣化
 - ・下地処理不良(塩分やゴミの残留、表面粗さ不足)による付着力不足
 - ・施工不良による膜厚不足、硬化不足
 - ・以上の要因を元に膨れが発生し剥離に至る
- 剥離後に鋼板が激しい腐食を受ける要因は次の通り。
 - ・マクロセルの形成
 - ・酸素濃淡電池の形成
 - ・硫酸塩還元バクテリアの作用や酸などによる腐食
- コーティングの防食効果が維持されていれば激しい内面腐食は発生しない。(膨れの下にわずかに腐食が見つかることはあるが、激しくはない。)
- 昭和50年代に施工されたコーティングを中心にコーティングの劣化など問題が生じたため、以上のような分析が行われ、コーティング指針(平成6年消防危74号)が作成された。

表 6 膨れ・発錆発生推定原因の根拠一覧表とモデル図(案)

1 塗料の耐溶剤性不良	膨れ(錆)の分布と割合		全体的に膨れ(錆)が不規則にある			
	外観	良好	膨れ-1		膨れ-2	
塗膜下状況	良好	良好	黒さび(赤さび)		プライマーが見える	
ピンホール	なし	なし	なし(有り)		なし	
pH	-	-	pH6~7 (pH3~4)		pH7	
膜厚	標準	標準	標準		標準	
インピーダンス	悪い	悪い	悪い		悪い	
付着力	悪い	悪い	悪い(素地より剥離)		悪い(界面剥離)	
ハンマリングテスト	プライマーが付着している	アライナーが付着している(剥離)	アライナーが付着している(剥離)		プライマーが付着している	
モデル図						
2 素地前処理不良(高塩分)	膨れ(錆)の分布と割合		部分的に膨れ(錆)が集中する場合が多い(但し、全体的に素地調整不良の場合は全体的に膨れ)			
	外観	良好	良好	ふくれ小(少)	ふくれ大(多い)	錆
塗膜下状況	良好	良好	- (黒さび)	黒さび(赤さび)	黒さび(赤さび)	赤さび
ピンホール	なし	なし	なし(有り)	なし(有り)	なし(有り)	有り
pH	-	-	pH6~7 (pH3~4)	pH6~7 (pH3~4)	pH2~4	
膜厚	標準	標準	標準	標準	標準	標準
インピーダンス	標準	標準	標準	標準	標準	標準
付着力	標準	低い(素地より)	低い(素地より)	低い(素地より)	低い(素地より)	低い(素地より)
ハンマリングテスト	アライナーが付着している	アライナー付着と素地より剥離の存在	素地より剥離	素地より剥離	素地より剥離	素地より剥離
モデル図						
3 塗装後の使用上のトラブル	膨れ(錆)の分布と割合		全体的に膨れ(錆)が不規則にある			
	外観	良好	膨れ-1		膨れ-2	
塗膜下状況	良好	良好	黒さび(赤さび)		プライマーが見える	
ピンホール	なし	なし	なし(有り)		なし	
pH	-	-	pH6~7 (pH3~4)		pH7	
膜厚	標準	標準	標準		標準	
インピーダンス	標準	標準	悪い		悪い	
付着力	標準	標準	悪い(素地より剥離)		悪い(界面剥離)	
ハンマリングテスト	プライマーが付着している	アライナーが付着している(剥離)	アライナーが付着している(剥離)		プライマーが付着している	
モデル図						
4 膜厚が薄い場合	膨れ(錆)の分布と割合		部分的に膨れ(錆)が集中する場合が多い(但し、全体的に膜厚が薄い場合は全体的に錆び)			
	外観	良好	良好	小さな膨れ	発錆	
塗膜下状況	-	-	-	黒さび	赤さび	
ピンホール	なし	なし(有り)	-	有り	有り	
pH	-	-	-	pH6~7 (pH3~4)	pH3~4	
膜厚	300μm<	250~300μm	-	200~250μm	200μm>	
インピーダンス	標準	標準	-	標準	標準(?)	
付着力	標準	標準	-	標準	標準(?)	
ハンマリングテスト	アライナー付着する	アライナー付着する	-	アライナー付着する	一部素地より剥離?(素地より剥離?)	
モデル図						

*水分管理が不十分な場合

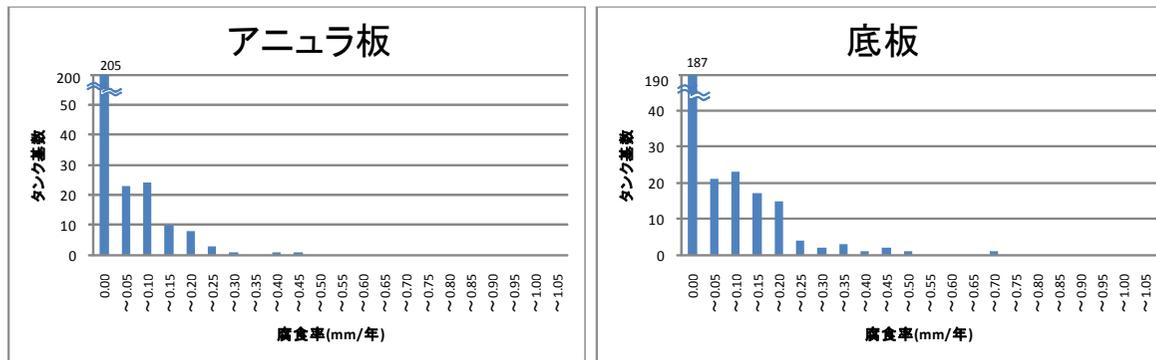
高圧力技術協会:「タンク内面コーティングに関する技術資料」、平成8年3月

(3) コーティングによる腐食防止の要件

① コーティング指針によって施工されたコーティングの実績

下のグラフは、GFコーティングが施工されているタンクの1回目開放時と、コーティング指針によってGFコーティングが施工されたタンクの開放時に求められたタンクごとの最大内面腐食深さから求めた内面腐食率と基数の関係を示したものである。なお、内面腐食率の算出に用いる内面腐食量には打ちきずによる内面減肉も含まれている。

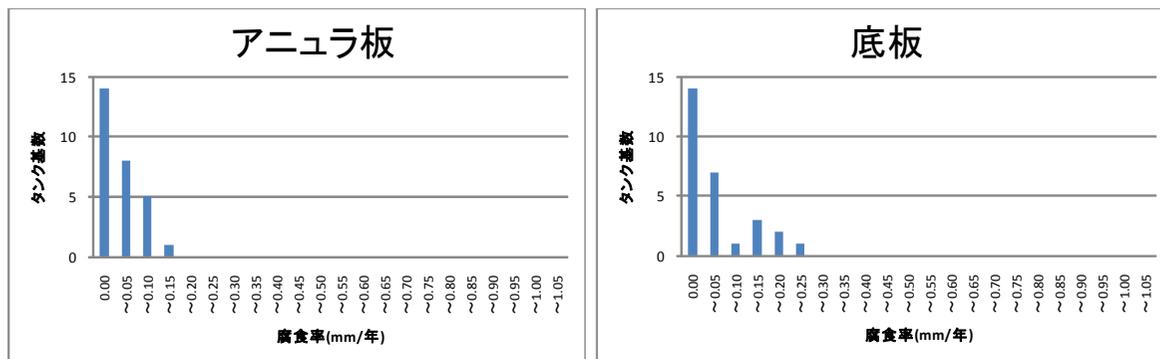
(GFコーティングが施工されているタンク)



● (上段) 1回目の開放時のデータ数は276基。この中には、コーティング指針と同等以上の仕様で施工されたもの、指針に満たない仕様で施工されたもののいずれもが含まれる。1回目開放時のコーティングは施工後5~13年(平均8.4年)使用されている。

● (下段) コーティング指針によって施工されたデータ数は、28基。約10年使用されたもの。

(コーティング指針によりGFコーティングが施工されているタンク)



● 1回目開放時のデータに見られている高い腐食率を示すタンク(例えば0.3mm/年を超えるもの)は、コーティング指針により施工されたタンクには見られないため、コーティング指針により施工されたコーティングは内面腐食に対する防止効果が高いと言える。

(3)コーティングによる腐食防止の要件

②内面腐食率が急に加速することを防ぐために必要な条件

- (2)で明らかになったとおり、コーティングが剥離すると内面腐食が激しく進行することがあるから、コーティングが剥離しないようにすることが必要。
 - 剥離しにくいコーティングのために必要な要件
 - ・貯蔵物、貯蔵温度に適したコーティングの選定・・・溶剤に対する耐性
 - ・コーティング施工時の温度、湿度等の管理・・・鋼板と塗膜との付着力の確保
 - ・適正な塗布間隔・・・鋼板と塗膜及び塗膜相互間の付着力の確保
 - ・鋼板の下地処理時は、十分なさび、塩分、油分の除去・・・塗膜下腐食の防止、鋼板と塗膜の付着力の確保
 - ・コーティング施工完了後の適切な検査・・・施工上のミスの排除
- 昭和50年代に施工されたコーティングにおいて塗膜の剥離などの問題が生じたことをうけ、上記要件がまとめられ、「コーティング指針(平成6年消防危第74号)」が作成された。
- コーティング指針により施工されたGFコーティングは内面腐食に対する防止効果が高いと言える。
 - コーティングは経年劣化するため、防食効果を維持するには点検管理が必要。開放時にコーティングに膨れが見つかった場合、次の供用期間中にその部位が破れたり剥離するおそれが否定できないことから、補修することが必要。

(3)コーティングによる腐食防止の要件

③コーティング指針で規定されている項目

規定されている項目

規定されている理由

- (1)内容物・貯蔵温度による使用材料
- (2)コーティングの施工範囲*
- (3)材料の品質(材料試験)
- (4)コーティングの厚さ**、***
- (5)施工環境(温度、湿度等)
- (6)下地処理方法(除せい度)
- (7)下地処理方法(表面粗さ)
- (8)下地処理後の清掃程度*、***
- (9)材料の調合及び管理
- (10)プライマーの塗布時期
- (11)溶接部の処理方法
- (12)塗装中の換気
- (13)塗料の乾燥時間***

* : 外観試験で確認

** : 膜厚試験で確認

*** : ピンホール試験で確認

- (1)内容物や貯蔵温度に適応した塗装材料を使用しないと塗膜が劣化しやすい。
- (2)水分等がたまる部分(底部と側板下部)は全て塗装しないと非塗装部が腐食されやすい。
- (3)塗装材料には耐衝撃性、耐溶剤性、耐水性等が必要。
- (4)薄い塗膜は劣化しやすい(水分の浸透が速い、強度が低い)。
- (5)塗装面に水分があると付着力が低くなったり、硬化不良を起こす。
- (6) } 塗装面に錆がなく適度な粗さがないと付着力が低くなるほか、
- (7) } 残っている塩素により塗膜下で腐食が進むおそれがある。
- (8)塗装面に異物があると塗膜の空洞化、薄膜化、ピンホール発生要因となる。
- (9)塗装材料の調合が不良だと塗膜の強度や耐油性が著しく低くなる。
- (10)塗装面を整えた後時間が経過すると表面に錆が生じるおそれがある。
- (11)溶接部の形状によっては塗膜が薄くなることもある。
- (12)塗膜から溶剤の蒸発不足があると塗膜の劣化要因となる。
- (13)塗料を十分に乾燥させないと塗膜の強度、付着性が低くなる。

他に必要な項目はないか？