

「屋外タンク貯蔵所の保安検査の周期に係る調査検討会（第2回）」議事概要（案）

1. 開催日時 平成22年6月24日（木）
2. 開催場所 三田共用会議所 第2特別会議室
3. 出席者 大塚委員、岡崎委員、亀井委員、黒瀬委員、次郎丸委員、土田委員、峯委員、宮村委員、森委員、山田委員
4. 配付資料
 - 資料 2-1 屋外タンク貯蔵所の保安検査の周期に係る調査検討会（第1回）議事録（案）
 - 資料 2-2 事故事例からの要因分析
 - 資料 2-2-1 危険物が流出した場合の影響事例（黒瀬委員提出）
 - 資料 2-3 腐食の実態について
 - 資料 2-4 開放検査周期を延長した場合の影響評価（耐震性）
 - 資料 2-4-1 局部腐食部の低サイクル疲労破壊の可能性評価（大塚委員提出）
 - 資料 2-5 開放検査周期を延長した場合の影響評価（溶接部欠陥）
 - 資料 2-6 内面腐食による貫通予測調査結果
 - 資料 2-7 裏面腐食による貫通予測に関する分析
 - 資料 2-8 保安検査周期のあり方
 - 資料 2-9 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経過報告

 - 参考資料 2-1 資料1-10開放検査周期を延長した場合の影響評価（③耐震性）
 - 参考資料 2-2 資料1-11開放検査周期を延長した場合の影響評価（④溶接部欠陥）
 - 参考資料 2-3 内面腐食履歴データ
 - 参考資料 2-4 裏面腐食による貫通予測に関する分析

5. 議事

(1) 第1回検討会議事録(案)の承認。第1回検討会資料の誤り訂正の説明。

(2) 事件事例からの要因分析(資料2-2)、腐食の実態について(資料2-3)

(委員) 屋外貯蔵タンクで流出事故が起きた場合、防油堤内にとどまるとか、海洋などへ流出しないように今はなっているのか?

(事務局) 我が国の屋外タンク貯蔵所の防油堤は、その防油堤内の最大タンク容量の110%相当分を貯留できるよう作られている。ただし、フランスの事件事例と同様に、防油堤を油が流出の勢いで超えてしまうおそれはある。また、地下水を経由して、事業所外の河川に流れ出たものもある。

(委員) 腐食の実態調査から、腐食率は個別具体的に計測して判断するしかないということが、分かったと考えて良いか? こういう条件のもとでは一般的にこの程度の腐食率であるというような判断は、現状の技術では難しいということか?

(事務局) ご指摘の通り。

(委員) 油種や環境などの条件に基づいて一般化した腐食率を設定することは難しいと思う。

(委員) 23ページの腐食率の経年変動では、前回の腐食率に対して破断に至ったときの腐食率は非常に大きかったことを示しているが、普段の腐食率と比較して最大でどれぐらい腐食率が大きくなると予想できるのか?

(事務局) 23ページの下に、グラフに示した事例では3から4倍程度腐食率が大きくなったことを示している。

(委員) 多くのタンクで、そのような数字が出てくれば、非常に有効なデータになると思われる。

(委員) この4つの事件事例中、62番の事例はコーティングが無いタンクだが、他はコーティングがあるタンクとなっている。一般的にコーティングが健全であれば、ほとんど内面は腐食しないはずである。それから見ると、事故よりも前の開放時において3ミリぐらい腐食しているということであれば、そのコーティングの施工に問題があったのではないかとということが窺える。破断したときのコーティングが実際にどうだったかというのは分かっているのか?

(事務局) 3例はコーティングが施工されていたものだが、いずれもコーティングの施工が難しい部分、あるいは管理が難しい部分で貫通している。コーティングはおそらく貫通孔ができたときには既に剥がれていたと思われる。

(委員) コーティングをしてあるのに、なぜ内面から腐食するかということは、コーティングの健全性を考える上でも、本質的な重要事項だと思う。コーティングWGで、ただいまのようなところも検討していただきたい。

(委員) 25ページの3つの棒グラフで、建設してから何年も経って、保安検査が2回目、3回目になると様々な補修を要するタンクが増えてくるということが統計的に出ている。経年劣化するという解釈で良いと思うが、その下の赤い囲みの、「保安検査周期を延長すると、不確実性

によって生じる予想外の安全性の低下の影響が大きくなる」というところは飛躍していると思う。「不確実性によって生じる予想外の安全性の低下の影響が懸念される」とすべきではないか？

(事務局) そのように修正する。

(2) 危険物が流出した場合の影響事例 (資料 2-2-1)

(委員) 例えばプラントの被害であるとか、消火活動に要した費用など直接的な被害について、算定された情報というものはあるか？

(委員) 一定の保険金支払いの中で消火活動の費用等のデータというものはある。ただ、事業所の直接損害と、流出したことによる賠償責任の問題とでは保険の種類が通常違う。賠償責任については、予測しにくい部分が非常に大きい。タンカーの場合は保険組合、国際的な基金があり、かなり厚いカバーがあるが、タンクなどからの流出になると、民間保険会社で扱うが、保険のカバー、補償額は数十億円単位がせいぜいである。通常の火災保険や自動車保険とはかなり性質が違う。

(委員) 事故が大規模になると、直接的被害額に比べて間接的被害額の方が大きくなると考えてよいか？

(委員) 数倍オーダーで間接被害の方が大きくなる場合がある。ただ、企業側の事業をする上での損害と、周辺が受ける損害とでは、少し違う目線でとらえないといけないと思う。

(委員) 金額で換算できる影響事例ということだが、金額換算できない影響として、住民の日常生活上の気持ちだとか安心感に与える影響もある。そういう意味では、こういうものは一つでも減らしたいと思う。評価しにくいであろうが、蒸気が健康に与える影響もあるだろうし、においの問題や、火災になるかもしれないという不安感もあるだろう。日本の場合だと、大きな産業道路みたいなものを隔てて、一方は工場、一方は町場というところも結構多いので、なおさらこういう影響があると思う。

(委員) 経済的に換算できるようなものは議論しやすいが、生態系に及ぼす影響などもあると思う。そのような金銭換算できないような影響について、何か調べられていることはあるのか？

(委員) エクソン・バルディーズ号の事故でアラスカ州のほうで報告書をまとめられていて、生態系への影響なども取りまとめられているようである。環境被害の影響、例えばサケが今まで何十万匹いたのに、この事故の影響で減少したという記述を見た記憶がある。

(委員) タンカー事故は日本海でも起きているが、生態系などに影響を及ぼすというようなことが何か調査されていれば、我々は大量の油という非常に特殊なものを議論しているだけに、参考になると思う。

(委員) 例えば、金額に換算できない被害という項目を設けて、定性的にでもまとめていくということを事務局で検討して欲しい。

(3) 開放検査周期を延長した場合の影響評価 (耐震性) (資料 2-4)、局部腐食部の低サイクル疲労破壊の可能性評価 (資料 2-4-1)、開放検査周期を延長した場合の影響評価 (溶接部欠陥) (資料 2-5)

(委員) 低サイクル疲労破壊に関する件だが、これを実際にタンクの腐食部に適用するためには、解決すべきところがたくさんあると思う。例えば腐食の形状を明らかにしておかないと応力集中というのは正しく評価できないが、連続板厚測定技術でもそれだけの精度があるか？また、簡便的な腐食形状を仮定して計算する方法が妥当かという問題、その他、繰り返しのひずみの回数や大きさ、履歴の評価方法などがある。特定の石油タンクを見た場合に、この評価をしていくことは、かなり難しいのではないか？

(委員) この提案方法については一つのやり方の提案であり、まだ検討しないといけない事項はたくさんあると思う。数字等については、粗々このぐらい見ておけば十分かなと思ひ、こういう数字を挙げたもの。繰り返しひずみの大きさや履歴等についても大地震のときについて評価すれば、それである程度、安全性の評価ができるのではないかと思っている。

(委員) 測定された板厚からこの方法でひずみが評価できるかどうかという問題はよく議論する必要があると思う。今回、限られた期限内に、腐食形状のモデル化や地震による変形条件の与え方を出していくのは難しいところがある。今後の課題とか、現状での技術的なレベルはこの程度であって、それを運用するにはこういうことをクリアする必要があるというようなまとめ方でいかがか？

(4) 内面腐食による貫通予測調査結果(資料2-6)、裏面腐食による貫通予測に関する分析(資料2-7)、保安検査周期のあり方(資料2-8)

(委員) 41ページで、定点測定と連続板厚測定の違いがどれぐらいかを評価されているが、この倍率について、ここまで細かい数字にする必要はないと思う。いろいろなサンプルを集めてこられていると思うが、それらが必ずしも同じメカニズムで腐食しているという確証はないだろうから、あくまで参考値ということで、丸められたほうがいいと思う。

(事務局) これからこの倍率を用いて貫通年を求めるわけだが、最終的に有効数字2けたで予測することを考えており、そのために今の段階では3けた出している。

(委員) 41ページの裏面腐食の場合の定点測定による最大腐食量と連続板厚測定の最大腐食量の関係のグラフは、今後、定点測定のデータから、もし連続測定した場合の最大腐食量はどうなるかというのを求めようという考え方を示したもののか？

(事務局) ここで求めた倍数は、過去のデータを用いて貫通予測をするために係数を求めたというものであり、今後、定点測定をしたタンクの最大腐食量は測定値の3.77倍と考えることとする、というものではない。

(委員) 定点測定のデータから求めようとする、定点測定を横軸に持ってきたほうがいいような感じがするが、横軸と縦軸は入れかえなくていいのか？

(委員) これは今後、開放周期を長くしていくと、事故件数がどういうふうに移るかということの評価するために、簡便的にこういう形で使用してみようという倍率だろう。既存のデータがないことから推計のため求めたもので、これをもってタンクを管理するときの倍率にしようというようなことは、必ずしも今は考えていないと理解している。

(事務局) そのとおりで、先の委員のご指摘は、説明変数と従属変数が逆ということを言いたいのだと思う。連続板厚測定の最大腐食量から縦軸の

値を抜き取っているのです、このように、縦軸、横軸を設定している。表示方法は少し検討させてもらいたい。

(5) 全体を通して

(委員) 腐食率が加速する場合と減速する場合があるということだが、加速するものと減速するものに特徴が見られないか？不確実性の枠の中にはめてしまうと、幅広く考えていかなければいけないが、こういう特徴を持ったものは加速する傾向が出てくるとか、そういうのが何か出てくればいいと期待している。

(事務局) 内面腐食のデータは参考資料のとおりであり、ご指摘の点を詳しく検討するほどの内容ではない。指摘の分析を行うには、油種、コーティングの厚さ、施工条件、運転条件などをすべて把握する必要があるが、データの制約上、難しい課題である。どこまで可能か検討させていただきたい。

(委員) 例えば局所的な化学反応のモデルなどを想定し、律速条件がどうなっているかと言った検討は過去に行っているか？

(事務局) 事故の報告書の中で実施されている場合はある。

(委員) 希望的観測であるが、その律速条件が変わることによって、加速や減速が説明できるといいと思う。

(事務局) 事故は加速したもので発生しているため、なぜ加速したかという説明になってしまうと思う。

(委員) そういうのもいいと思う。しかし、局所的な話が関連してくるだろう。そういうところは過去の経験からうまく体系化され、見きわめがつくといいと思う。

(委員) 今の議論は、本当に分かればタンクの安全管理上有意義だが、実態として難しい点がある。21ページの下に板厚測定点のヒストグラムがある。このヒストグラムには、11.8ミリあたりをピークにして、左右対称の部分がある。これは、先ほど事務局からあったように、おおよその初期板厚分布。11.3ミリあたりから9.7ミリあたりまで、青い線が左に行くほど小さくなる。これは、初期板厚分布の山がある法則に従って崩れて、左のほうに尾を引くような形状になった部分である。この部分は解析的なモデルで説明できる。しかし、それよりも左に赤い部分がある。この赤い部分は、その山が崩れたという形では説明ができない部分である。こういう部分はがんのようなもので、ほかのところとは違った挙動をする部分であり、尾を引くような形状のところはある程度予想できて、そこからさらに離れたがんのようなところというのは、一般論として、このタンクはどうかというような分析をすることは現状では難しいと思う。

(事務局) タンクの検査では、まず事業者が自社で検査し、肉盛りであるとか板替などの補修をした後に消防機関が検査をするが、この際には補修などが適切に行われているかどうかというチェックのみをしているのが一般的。事故が起これば原因を調査するが、ある程度顕著な腐食が発生した場合であっても、事故が起きていない場合は、どういう原因でそれが発生したかということは、消防機関では把握するすべがない。今後、事業所のご協力もいただきながら、比較的腐食の程度の大きなものについては、どういう要因があったのか分析をしていくということが、有益な資料になるのではないかと考えている。今後の安全対策のために、このような方向性というのを探っていければと

考えている。

(委員) 41ページの裏面腐食による貫通予測に関する分析について、右下の比率は、細かいピッチで測れば測るほど連続板厚に近くなって、比率は1になるはず。現在の測定法では、板厚が90%を切った測定箇所周辺は詳細なピッチで測定するようになっている。そのような場所では30ミリピッチで測定しているので、最大腐食量としてはこの詳細に測ったところのデータから得られている可能性が高いと思う。ここでは新法タンクで連続板厚測定結果が入手できたのは37基とされているが、たまたまこのタンクはそういう詳細な肉測をするような腐食がなかったタンクというような理解でよろしいか？要は、粗々のピッチの測定だけが行われていればこういう比率であろうが、現実にはもうちょっと集中的に細かいところで測っているので、そういうものは分けて考えるべきだと思う。

(事務局) 41ページの表で示されているのは、抜き取りを模擬したものであって、実際の板厚の測定結果ではない。次に、その抜き取りを模擬するにあたっては、先ほど委員がご指摘になった腐食が認められた箇所が見つかった場合、その周囲を30ミリピッチで測定していることについては模擬している。実際のタンクで行われていることをデータ処理の上で実施している。唯一、通知と少し違うのは、水抜き穴の部分で詳しく測るところを今回は模擬していない。それは裏面腐食について、その部分が最大腐食という事例は少ないのではないかとと思われるからである。

(委員) 90%を割るかどうかによって、実際には2とおりあるわけだから、2つ線を引くべきではないか。より詳細にやったところとそうではないところというのは、相関がとれないのではないか？

(事務局) 現実に行われているとおりのデータのとり方を行った上でその最大値を縦軸にとっている。

(委員) 詳細測定される部分が見つかる場合まで含めて、とにかく今タンクでされている測定方法が模擬されているということによろしいか？

(事務局) はい。

(委員) そうであれば2つに分ける必要はないと思う。

(委員) 全部測定したところからリサンプリングし、そのリサンプリングの方法が実際のタンクで行われている通達どおりということですね。

(委員) 実際にタンクで人がやってもほぼ同じような結果が出るでしょうということだと思う。

(6) 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経過報告(資料2-9)

事務局からコーティングWGの検討状況について報告があった。

※次回日程：8月23日(月曜日)午後予定

第2回調査検討会資料2-2の訂正

・10 ページ 表1へ事故番号34番追加

表1 容量千kℓ以上の屋外タンク貯蔵所の底部からの流出事故概要（通常運転時）

34	1980/02/06	99,000		原油	底板溶接部	亀裂部		1971 9.14	8.4	敷地内	0.07	
----	------------	--------	--	----	-------	-----	--	--------------	-----	-----	------	--

第2回調査検討会資料2-3の訂正

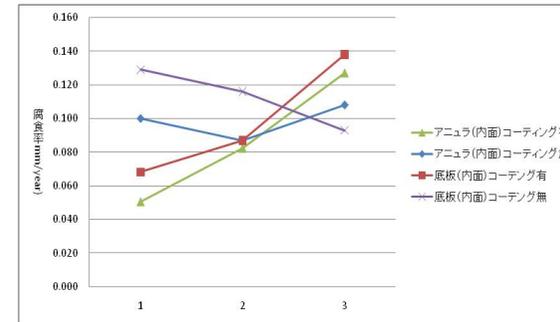
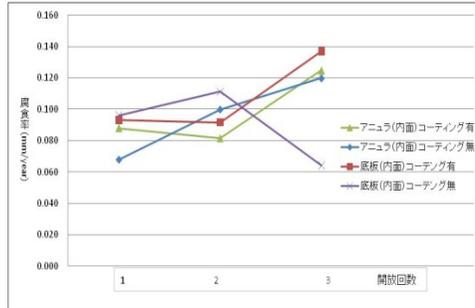
・24 ページ 表の数値の修正及び（参考グラフ）の修正

(誤)

(正)

第1回				第2回				第3回			
アニュラ板		底板		アニュラ板		底板		アニュラ板		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
135	481	135	481	330	119	339	115	285	8	281	12

第1回				第2回				第3回			
アニュラ板		底板		アニュラ板		底板		アニュラ板		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



第2回調査検討会資料2-6の訂正

・40 ページ 右下の表の数値の修正

(誤)

(正)

年	非保守的な仮定			保守的な仮定		
	アニュラ板	底板	累計	アニュラ板	底板	累計
3以下	0	1	1	0	1	1
~9	0	2	3	0	4	5
~10	0	2	5	0	0	5
~11	0	2	7	0	6	11
~12	0	5	12	1	3	15
~13	1	3	16	2	4	21
~14	1	2	19	0	4	22
~15	0	4	23	1	6	29
~16	2	2	27	1	3	33

年	非保守的な仮定			保守的な仮定		
	アニュラ板	底板	累計	アニュラ板	底板	累計
3以下	0	1	1	0	1	1
~9	0	2	3	0	4	5
~10	0	2	5	0	0	5
~11	0	2	7	0	6	11
~12	0	5	12	1	3	15
~13	1	3	16	2	4	21
~14	1	2	19	0	2	23
~15	0	4	23	1	5	29
~16	2	2	27	1	3	33

(2) 危険物が流出した場合の影響事例補足—金銭換算困難な影響事例—

①生態系への影響

●流出した危険物が生態系へ与える影響

- 潮間帯の油汚染の程度は海岸地形、堆積物の種類による。
- 軽質の芳香族成分は生物に有害であるが、比較的早く消散する。
- 燃料油などの重質油は、有害成分は少ないが長期間持続し、海洋生物に有害である。
- 流出事故が生物の繁殖時期に起きると群れの個体数の減少につながる。
- 油に汚染された環境にいる生物は、周りの水、油に汚染された食物から油を吸収し、体内に蓄積する。しかし、きれいな水に戻れば新陳代謝により油は消滅する。

(流出油が海洋及び沿岸資源に及ぼす影響((独)海上災害防止センター「流出油事故対応総合マニュアル」(平成17年9月))

→参考資料3-1参照

●事例1(1997年1月2日ナホトカ号重油流出事故(重油6240kℓ))

「事故が起こった直後の1月8日から3月31日までの間に、日本海沿岸各府県には、油汚染により被害を受けた鳥類が多数漂着した。このうち人の手により保護收容された個体数は1,315羽であった。拾得時に生きていたものはうち418羽、死体で收容されたものは897羽であった。生体のうち野外に再放鳥することができたのは約100羽であった。海鳥が漂着した地域は、東は青森県から西は山口県の12府県に及び、最も多い県が石川県の615羽、次いで福井県の170羽、新潟県の159羽であった。

種としては11科37種が記録され、最も多かったのがウトウで497羽、ついでウミスズメで455羽であった。この2種だけで全体の72%を占めた。実際に被害を受けた鳥類の総数は、上記に收容されなかったものと、海岸に達する前に海底に沈んだものを加算する必要がある。收容データにより被害鳥の規模推定を行った結果、ウミスズメで保護收容数の2~3倍、ウトウで6~7倍の個体数と推定された。この種のシミュレーションが行われたのは、我が国では初めてのことである。

回収された鳥の中には、絶滅の恐れのある種として環境庁がレッドリストに収録しているウミガラス(絶滅危惧ⅠA類)、ウミスズメ(絶滅危惧ⅠA類)、ハヤブサ(絶滅危惧Ⅱ類)、カムリウミスズメ(絶滅危惧Ⅱ類)も含まれていた。」

(古南幸弘「油汚染による海鳥被害とその後」、海と安全、No. 532, 2007春号、日本海難防止協会)

●事例2(1988年1月2日 ペンシルバニア州)

陸上タンクから灯油が急激に流出し防油堤を破壊し3785kℓが構外へ流出した。一部はMonongahela川に流入し広範囲に水環境を汚染し、ピッツバーグ周辺の約百万人の住民の飲料水の取水に支障が出た。1200世帯が避難、数十の工場、複数の学校が閉鎖された。生態系を破壊し数千に及ぶ(thousands of)野鳥や魚を殺した。死亡したカモやアビ、ウ、カナダガンなどの水鳥の数は2000~4000羽と算定されている(米国環境保護庁)。(資料1-7に掲載した事例を補足。)

(2) 危険物が流出した場合の影響事例補足－金銭換算困難な影響事例－

② 住民の受ける非金銭的影響

● 周辺住民が受ける影響

- ・火災のおそれ。
- ・ガス臭や油膜による生活環境保全上の支障(中央環境審議会土壌農薬部会土壌汚染技術基準等専門委員会「油汚染対策ガイドライン」。
- ・天然資源を使えなくなる、汚染により価値が減じる、それを使う気がなくなる、などによって天然資源によって生活が受けている恩恵が減る(米国環境保護庁による。)

● 事例1(1997年7月2日ダイヤモンドグレース号事故(東京湾中ノ瀬で座礁したタンカーから原油1550kℓ流出))

- ・消防本部へ住民から「着火のおそれ」について問い合わせがあったことなど、住民には安全性に関する懸念が生じた。
- ・「事故後約6、7時間で引火しやすい低沸点炭化水素は揮発して空気中に拡散したと推測された。夏で水温も高く、風も吹いていたので、揮発が速かったのであろう。この辺の判断を誤っていれば、エンジンの火が油膜に引火し、一面の火の海になった可能性もあったのである。」(徳田拓士:「D・グレース号事故に思う」、海と安全、No.463、1997年夏号、日本海難防止協会)
- ・悪臭による救急搬送:21名(東京都18名、千葉県3名。うち1名は経過観察のため入院。)(消防庁被害報)
- ・千葉県内の医療機関受診者:21名
- ・苦情件数:千葉県3200件以上、東京都458件、茨城県約100件(吉田直美他:「ダイヤモンド・グレース号油流出事故における大気試料の測定結果について」、千葉県環境研究所研究報告、第30号、1998、及び消防庁資料より)

(参考)この事故による損害額は約30億円(日本海難防止協会による。)

(参考)東京湾で原油2.3万kℓが流出した場合の推定損害額は約287億円と試算(日本海難防止協会による。)

● 事例2(1986年9月17日米国サウスダコタ州)

- ・米国サウスダコタ州の最大都市スーフォールズのヘイワード小学校において市消防局が可燃性ガスの測定を行い爆発下限界の40%の濃度のガスを検出したため、小学校に対し即時避難命令が出された。ヘイワード小学校の室内空気から測定されたベンゼン濃度はATSDR*の基準値の千倍であった。
- ・53基の調査井が掘られ、浅層地下水の汚染調査が行われた。ベンゼン、エチルベンゼン、トルエン、キシレン、ガソリン、燃料油、ジェット燃料、などが検出された。5基の汚染除去用の井戸が掘られた。
- ・汚染発生源として、パイプライン事業者のタンク基地の中の容量5845kℓ(直径25.9m、高さ12.2m、底板板厚6.35mm)の陸上円筒縦置きタンクの可能性が指摘されている(資料1-7に掲載した事例を補足。)

* ATSDR:アメリカ毒性物質疾病登録機関

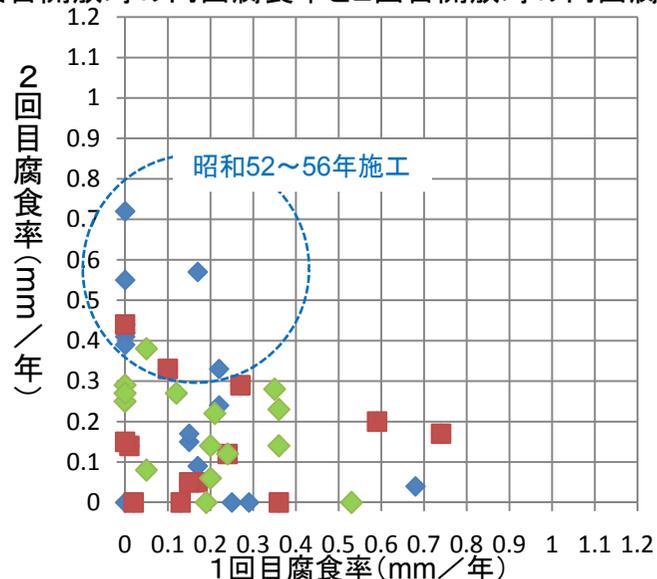
(3) タンクの内面腐食率の変動とコーティングの効果

① 内面腐食の腐食率の変動

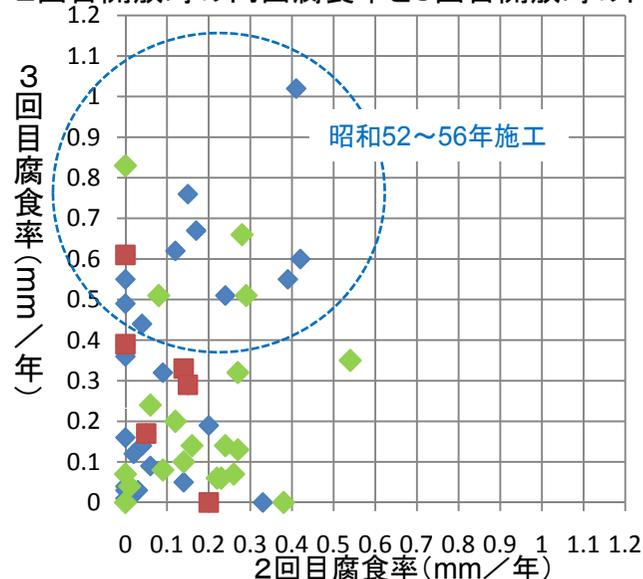
- 下の図は、昭和52年以降に設置されたタンクのうち、内面腐食量が大きかったことが報告されたもの(参考資料2-3)について、開放ごとの内面腐食率を個々のタンクについてみたもの。
 - ・腐食量が小さかったもの及び腐食量が測られずに板替えされたものは含まれておらず、全てのタンクの傾向を表すものではない。
 - ・開放検査時にコーティングが施工されたことが明らかなものについては、施工前後のデータはプロットしていない。
 - ・打ちきずなど腐食によらない内面減肉も含む。
- 内面腐食率は各回ごとの変動がきわめて大きく、前回開放時の腐食率を次回開放時までの腐食率として参照できるタンクは限定される。次回開放までの内面腐食率を精度良く予測できると考えられるのは、腐食がほとんど進行しないと考えられる次のいずれかの場合と考える。
 - 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・水分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、腐食防止性能の高いガラスフレークコーティング*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。

* 以下GFコーティングと言う。

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

(3) タンクの内面腐食率の変動とコーティングの効果

②WG審議内容－事例分析1－

事件事例90

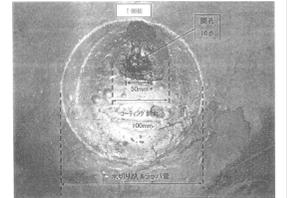
- ・内容物: 原油
- ・アニュラ板: エポキシ樹脂(事故の15年前)及びタールエポキシ樹脂(事故の9年前に重ね塗り)コーティング、底板: タールエポキシ樹脂(事故の9年前)コーティング。
- ・設計膜厚: 200 μm 、実膜厚: 120 μm ～1500 μm
- ・開口場所: 3箇所(南方向2、南西1)。側板からおおむね10mの底板(9mm)。
- ・ドーナツ状沈下が大きく、腐食部周辺は低い位置にあった。
- ・2種ケレンで素地調整された部分でコーティング剥離が見られた(事故タンク及び隣接タンク)。硫化水素がコーティングの劣化と剥離を助長したことも考えられる。
- ・硫化物の存在。
- ・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。



開口部の形状

事件事例117

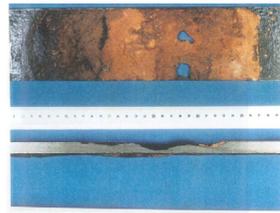
- ・内容物: 原油
- ・事故の24年前にFRPライニング施工、18年前にフレークコーティングによる補修。
- ・実膜厚: 100 μm ～1000 μm 。
- ・ピンホール多数。一部で、プライマーの欠落あり。一部で、塗膜下に塩分が存在した可能性は高い。
- ・開口場所: ドレンノズル直下のアニュラ板(12mm)
- ・ドレンノズル直下であったことから施工性やその後の検査ができなかったのではないかと考えられる。
- ・60 $^{\circ}\text{C}$ を超える油に直接さらされた可能性。
- ・受け入れ時の流速とスラッジ巻き込みによる摩耗の可能性。
- ・プライマーなしで施工されていた箇所が、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。



開口部の形状

事件事例106

- ・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かっている。
- ・開口場所: ドレンノズル直下のアニュラ板(12mm)
- ・ドレ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考えられる。
- ・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濃電池による腐食、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。



開口部の形状

事件事例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 μm
- ・開口部の他にコーティング剥離箇所1(孔食発生)。
- ・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ていた。
- ・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。



開口部の形状

下線部は、コーティング指針に則って施工されていれば防ぐことができる要因。

(3) タンクの内面腐食率の変動とコーティングの効果

②WG審議内容－事例分析2－

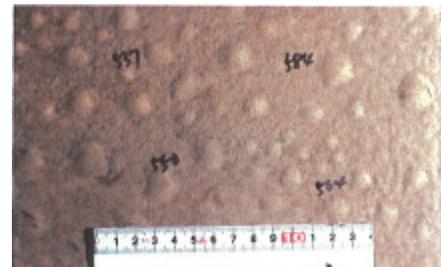
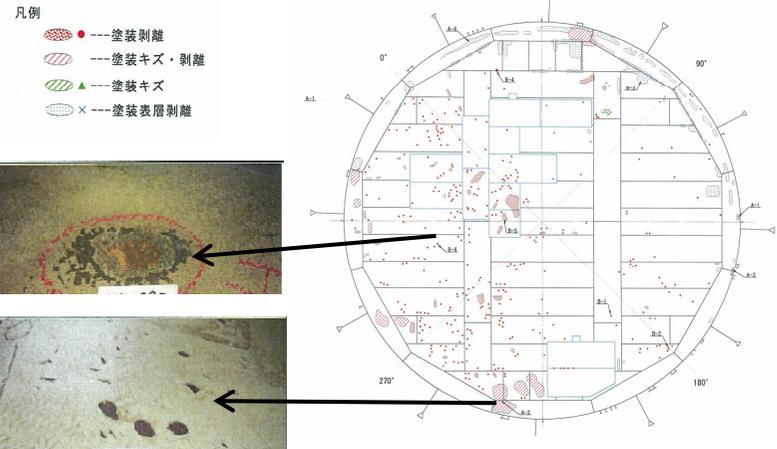
GFコーティングに不具合が生じた事例の分析

- 内容物: 原油
- 設計膜厚: 350 μ m
- 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。右図は、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。右図及び写真は剥離状況を示したものの。
- 最大で、アニュラ板に3.5mm、底板に6.9mmの内面腐食が発生。(前回開放時には、1.8mm以上の内面腐食は補修されている。)
- 高温の油を受け入れるにもかかわらず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。

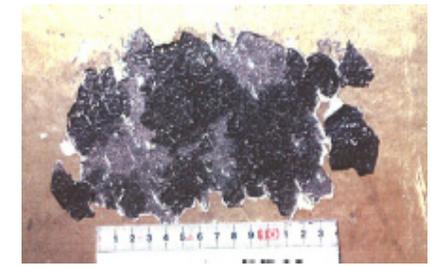
- 内容物: 原油、管理温度(70 $^{\circ}$ C)
- コーティング履歴: 平成15年(完成時)(6年使用)
- 設計膜厚: 560 μ m
- 平成21年の開放時に全面にわたって膨れが発生しており一部で剥離が見つかった。膨れのサイズは ϕ 10~100mmのもの ϕ 10mm未満のものに分けられ、前者は素地とプライマー間で、後者は中塗りの層内で発生している。
- 膨れた塗膜下から塩分が検出されており、素地/プライマー間の膨れは鋼板面に残留していた塩分の影響と見られる。電気特性も劣化しており、中塗り層内の膨れは塗膜中のポリスチレンが透過した水分に溶解して膨れに至ったものであり温度によってこれが加速された。(注: コーティング指針では70 $^{\circ}$ Cの油温に適応できる塗料は規定されていない。)
- 塗料の剥離は、開放時の塗膜の急激な冷却によって引き起こされたものと推定されている。
- 塗膜の膨れ部の下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い。

その他の事例

- 耐溶剤性の低い塗料が使用されたタンク → 5.3mmの内面腐食。
- 中塗り塗装時の換気不足があったうえに底板が局部的に高温となりやすいと見られるタンク → 広範囲に膨れ(腐食減肉には至らず)



アニュラ部のふくれ集中箇所ふくれの大きさは ϕ 5~20mm、周辺の膜厚は550 μ m程度



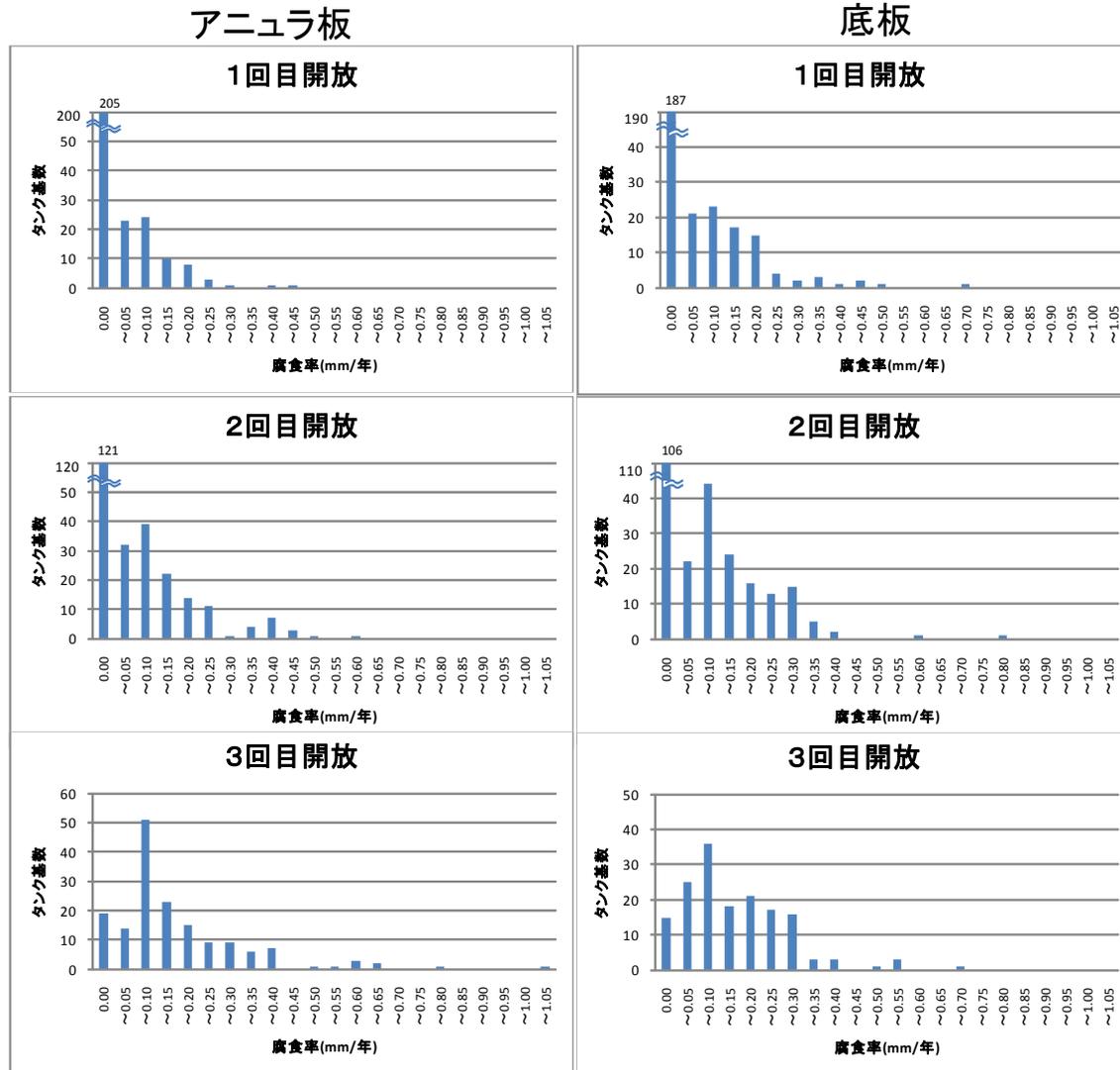
ふくれの下の鋼板には黒さびが発生しているが激しい減肉はない。

下線部は、コーティング指針に則って施工されていれば防ぐことができる要因。

(3) タンクの内面腐食率の変動とコーティングの効果

②WG審議内容－統計分析－

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。



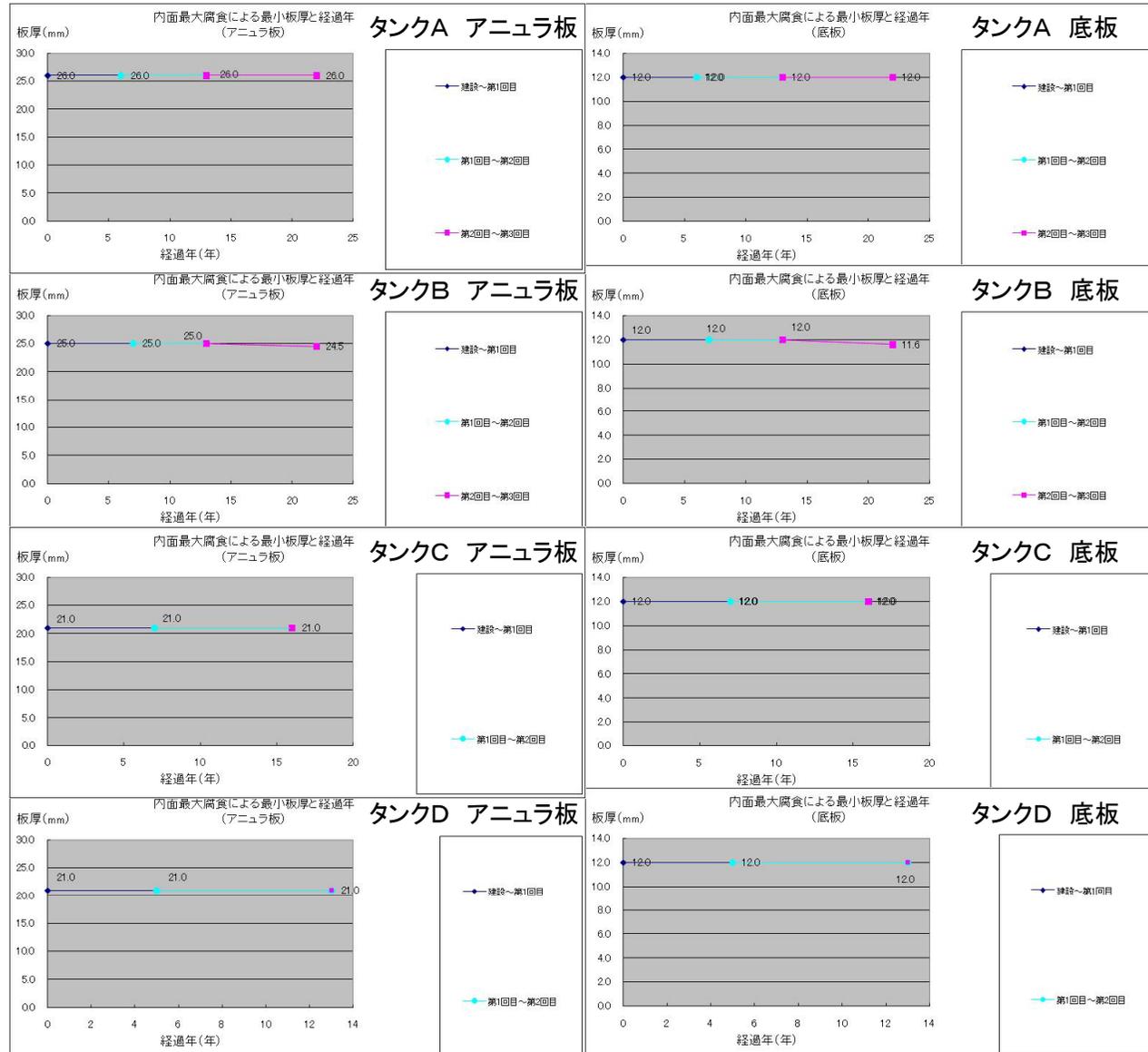
	タンク基数	腐食率の平均値 (mm/年)	腐食率の最大値 (mm/年)
第1回開放	276基	0.03	0.43
第2回開放	256基	0.07	0.6
第3回開放	162基	0.15	1.01

	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、そのようなものの中に、大きな腐食率を示すものが出ているものと考えられる。

(3) タンクの内面腐食率の変動とコーティングの効果

②WG審議内容－GFコーティングの内面腐食防止効果－



●左のグラフは、建設当初からGFコーティングが施工されたタンク4基分の開放ごとの内面腐食履歴を示したものである。

●GFコーティングが施工されてから20年以上経過したタンクであっても、内面腐食はほとんど発生していない。

●これらのタンクのコーティングはコーティング指針と同等な施工がされており、コーティング指針に則ったGFコーティングは内面腐食を防止する効果が高いことが分かる。

●容量1万kℓ以上の新法タンクについて、3回以上の開放実績があるものは314基あり、そのうちGFコーティングが建設当時から施工されており、開放ごとの内面腐食率がアニュラ板、底板とも0.1mm/年以下のものは29基であった。3回以上の開放実績があるもののうち約1割のタンクは、内面腐食が少ないタンクと言える。

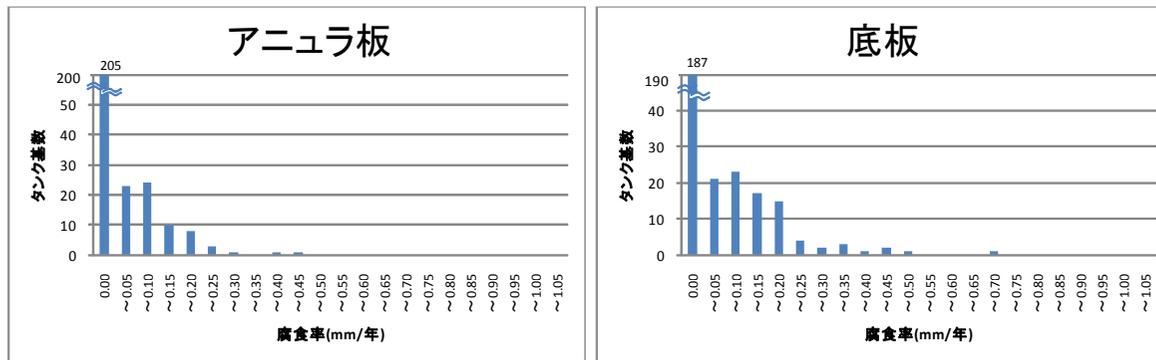
さらに、コーティングの塗料や施工技術が高まった平成以降に建設されたタンクは未だ3回目の開放時期を迎えていないため、今後、内面腐食の少ないGFコーティングが施工されたタンクの基数は増えることが予想される。

(3) タンクの内面腐食率の変動とコーティングの効果

②WG審議内容ーコーティング指針によるGFコーティングの実績ー

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。

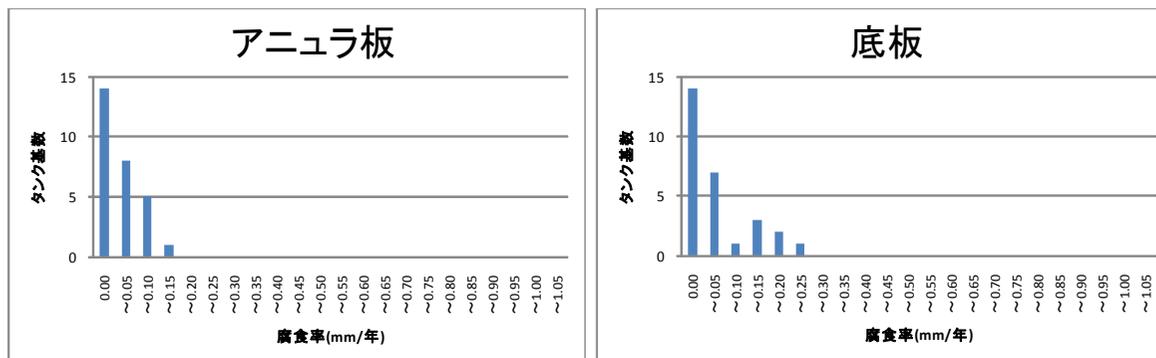
(GFコーティングが施工されているタンク)



●(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) タンクの内面腐食率の変動とコーティングの効果

②WG審議内容－まとめ－

事例からの分析

- コーティングが施工された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
 - ・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黒さびなど腐食が見つかることはあるが、明瞭に減肉したものは見つかっていない。



内面腐食を発生させないコーティング

- 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。
- 母数は少ないものの、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実績がある。
- 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あることから、補修することが必要。

(3) タンクの内面腐食率の変動とコーティングの効果

②WG審議内容ーコーティング指針の検討ー

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。

WGでは、現時点の知見と照らしても指針の内容は必要十分であり、変更すべき点は特にないとされた。なお、管理記録上は指針にのっとっているが換気不足によって広範囲に膨れを生じた事例があったことから、教育などを通じて施工管理の実効性を向上させることが重要であるとされた。

湿食に関する一般的な考え方と タンク内面腐食事例調査との対応

文責 岡崎慎司

【はじめに】

本委員会において、タンク内面腐食に関する過去の事例調査が詳細に行われた。その中で、希少ではあるが、内面腐食によって貫通孔が生じた事例もあり、その腐食速度は推定で 2 mm y^{-1} を越えるものも存在した。タンク内面は電解質が溶けた水またはそれらを含んだスラッジと接しているため湿食環境にあり、腐食は主に電気化学的作用によって生じている。当該資料では、これに基づいて湿食に関する一般的な考え方を述べた後、タンク内面腐食に関する事例調査結果を補足する。

【湿食に関する一般的な考え方】

腐食は、金属の溶解反応であるアノード酸化反応と酸化剤のカソード還元反応が対になって生じる。これらの反応は電子伝導体である金属と水溶液などのイオン伝導体の界面での電子授受を伴うため、反応速度は界面を流れる電流として表わされる（図1）。最も単純な反応メカニズムでは、この電流の絶対値の対数と金属の電位に線形関係が成立する（アノード反応とカソード反応の傾きは逆であること、形状は反応形態により様々であり、現実系においてはこの関係が成立する範囲は非常に限られることに留意。）。電気中性の原理からアノード反応にかかわる電流値とカソード反応にかかわる電流値の和はゼロになるという制約から、両者の電流電圧特性の交点が自然状態で腐食反応が進行する際の腐食電位となる。さて、腐食反応速度を決定する電流電圧特性は、一義的に決定できる理論的なものは存在せず、様々な物理化学的環境因子の影響を受ける。アノード反応は鋼の腐食溶解速度に対応するが、電位の他にも温度、圧力、溶液の性質や流動状態、表面皮膜状態等によって大きく変動する。カソード反応の場合は主に溶液側の性質（酸化剤の種類や濃度）に強く依存するが、上記と同様に様々な因子の影響を受ける。

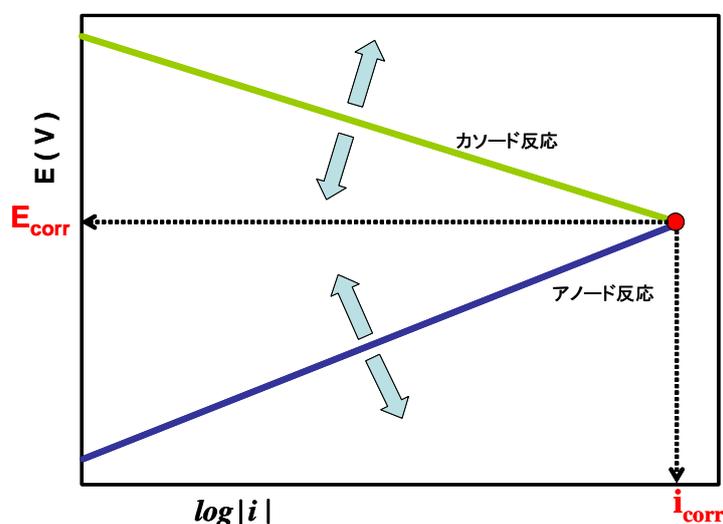


図1 均一腐食反応に対する一般的な考え方

さて、ある期間後に観察された腐食減肉量は、その期間における時々の腐食速度を積分することで得られるから、タンク供用期間中における全ての影響因子の時間的な変化を完全に把握できれば、基本的には減肉量の予測は可能である。しかし、原油タンクのような広大な鋼構造物では影響因子に空間的な分布も存在するため、これらをきめ細かく把握することは現実的にも不可能である。この空間的な不均一が長時間固定化されると、アノード部が固定化されることによって激しい腐食を引き起こす局部腐食が生じる。この場合、局部アノードと局部カソードの分極状態は異なることになり、腐食速度を厳密に記述するためには、局部アノードのアノードとカソードの電流電圧特性及び局部カソードのアノードとカソードの電流電圧特性の計4つの電流電圧特性を完全に把握しなければならない。従って、腐食速度の予測は単純な腐食系よりはるかに困難なものとなる。さらに、環境因子のみならず表面状態の時間変化等の影響でアノード反応とカソード反応が起こっている面積比や電流電圧特性の形状も時間によって変動するので長時間の腐食挙動を把握することは一層困難を極めることになる。

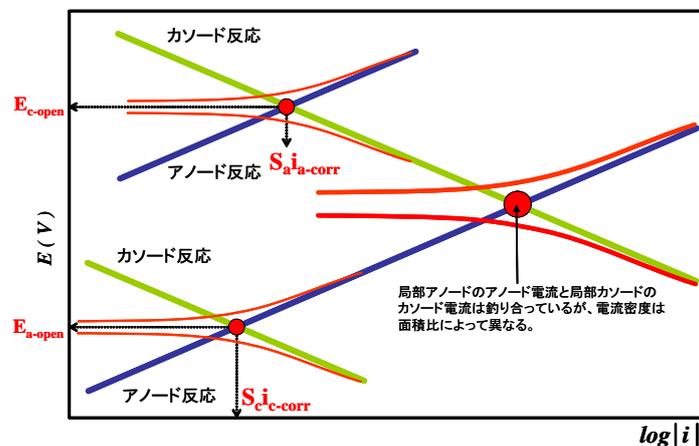


図2 局部腐食に対する一般的な考え方

【事例調査結果との対応】

前項で述べたとおり、タンク供用期間中の電流電圧特性を正確に知ることはできないが、常温（25℃）の中性水溶液中における鋼の電流電圧特性の文献値（図3）を局部アノードの電流電圧特性として仮に引用し、これがタンク供用期間中に変化しないものと仮定して、事例調査結果の評価を行う。タンク底板は海水に類似したドレン水及びスラッジに接触している。一般的に、この環境中での鋼の全面腐食速度は0.15 mm y⁻¹程度といわれている（飛沫帯や干満帯は除く）。また、油種の影響によってドレン水のpHが3程度を示すケースもあったので、大気飽和pH=3の環境における全面腐食速度も調べたが、0.33 mm y⁻¹程度であった。事例調査では、コーティングが存在しない剥離部や欠陥部が局所アノードとなって2 mm y⁻¹を越える腐食速度が生じているものと推定されたが、局部カソードによる腐食促進作用がなければ、このような腐食速度に到達しないことは電流電圧特性の図からも明らかである。促進要因としては、局所アノード上に酸素透過を抑制する錆層が堆積して酸素濃淡電池が形成されたことや剥離部あるいは欠陥部周辺のコーティング劣化部（カソード膨れ）が局部カソードとして作用したことが挙げられる。図3によると局部アノードが約0.1V程度も貴化するような局部電池作用が生じたものと推測される。

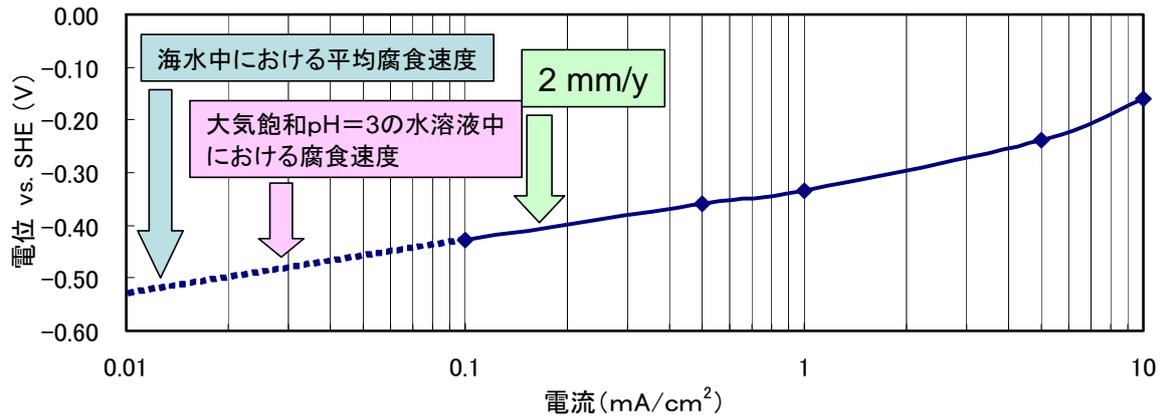


図3 常温（25℃）の中性水溶液中における鋼の電流電圧特性
 （注：ここでは、鋼の内部分極曲線と同等であるとする。）

次に、事例調査において施工不良に起因したコーティングの剥離部が局部アノード、剥離は生じていないがふくれ等の劣化が生じている周辺部分が局部カソードとなった局部腐食によって大きな腐食速度を呈している場合が多かったことを考慮し、この場合に対応した単純なモデル（図4）を仮定して評価を行う。

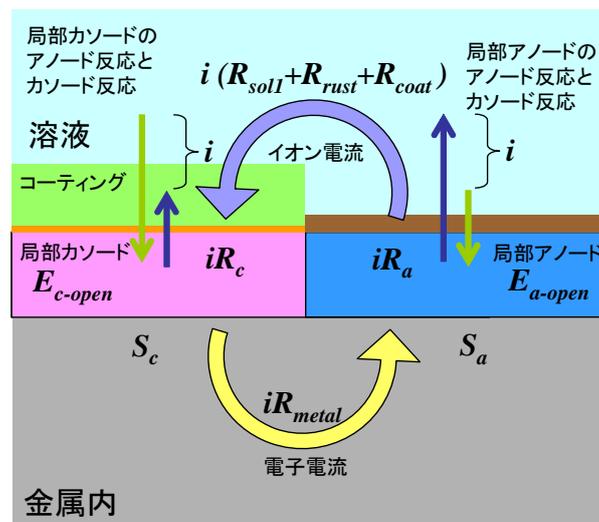


図4 内面コーティングに欠陥及び剥離部が存在する場合の
 局部腐食による侵食促進作用を単純化したモデル

まず、局部電池作用の駆動力になるのは局部アノードとカソードの開回路電位差（ $\Delta E = E_{c-open} - E_{a-open}$ ）である。ここでは、その値を酸-塩基電池としてコンクリートマクロセル腐食等で観測される0.5Vとおく。この駆動力と局部電池回路に含まれる全抵抗により局部アノードと局部カソードに流れる電流が決定され、これが局部腐食による腐食促進分とみなすことができる。なお、この回路に含まれる抵抗成分の中で、局部アノードと局部カソードの界面抵抗（ R_a, R_c ）は電位に依存する非オーミックな抵抗成分であるが、ここではその影響は考慮しないこととする。これらの抵抗成分の内、金属体の抵抗である R_{metal} は非常に小さいので通常無視できる。また、ドレン水が海水に類似していること、鍍層は

多孔質でありイオン透過性はコーティングに比べれば非常に高いこと、局部アノードは活性化しているため界面抵抗は小さいと推定されることを考慮すると、電流値は局部カソードの界面抵抗 R_c とコーティングの抵抗成分 R_{coat} にほぼ支配されるものと考えられる。従って、 $\phi 10$ mm の欠陥部の侵食が、一般的な海水中での腐食速度 0.15 mm y^{-1} から 2 mm y^{-1} に促進される場合について単純計算すると、 $R_c + R_{coat}$ の値はわずか $4 \text{ k}\Omega$ しかないことがわかる。カソード面積が不明のため、これ以上の議論はできないが、全く欠陥のない健全なコーティングの直流抵抗が数百 $\text{M}\Omega$ を優に超えることを考慮すると、この状況では局部カソードとなっている部分のコーティングはほとんど環境遮断性能を発揮していないものと推測される。

【まとめ】

原油タンクの内面腐食による底板貫通事例調査では、 2 mm y^{-1} を越える腐食速度を呈したと推定される事例が認められた。局部アノードとなった貫通孔の周辺には、錆瘤の形成による酸素濃淡電池あるいは塗膜下腐食における局部カソードの形成といった強い腐食促進作用が生じていたものと推測される。欠陥部とその周辺は事例調査によると施工不良に起因した不具合が生じている場合が多い。但し、供用期間が長いタンクに生じているので、直近の開放検査時に不具合が認められず継続して使用されていた既存コーティング部も局部カソードとして関与していた可能性のある事例もある。施工不良による欠陥が存在すれば、周辺コーティングの劣化も促進されることを考慮すると、コーティングが全体的に劣化してきているような供用期間の長いタンクにおいて、補修塗膜等に施工不良によるコーティングの剥離が発生すれば、直ちに周辺がカソードとなって貫通孔を生じるような加速性の腐食を起こす可能性があるため、特に注意を払うべきものと考えられる。

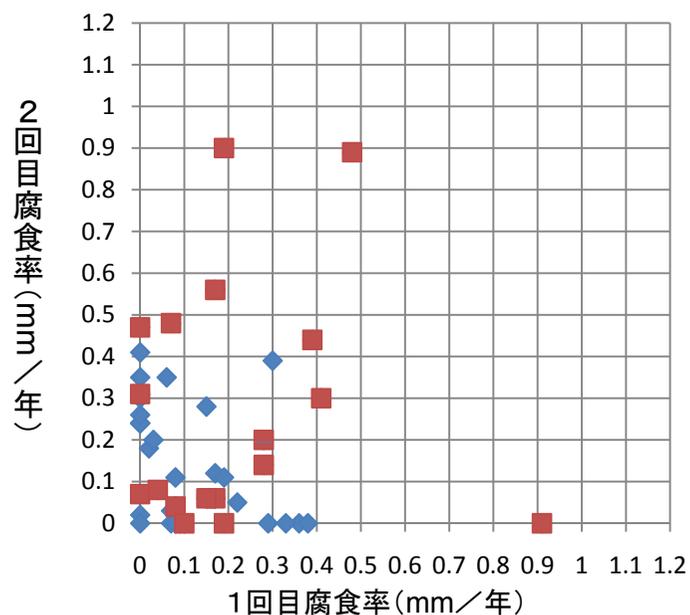
一方、一定の施工管理がなされたコーティングであれば、供用期間とともに徐々に劣化して膨れが生じ、これが更に進行して塗膜下腐食にいたり、最終的には膨れが破壊して激しい浸食に至るといった過程を経るのが一般的な劣化シナリオと考えられている。しかし、調査事例数が少ないこともあり、この劣化シナリオに沿って大きな腐食速度を呈した典型的事例は今回抽出されなかった。多くのタンクで観測されているようにコーティングの膨れがすぐさま破壊しないのは、コーティングの抵抗成分（環境遮断性）がルーブリニグとして機能し、急激な侵食をもたらす局部腐食の成長が抑制されていることを示唆しているものといえる。

(5) タンクの裏面腐食率の変動

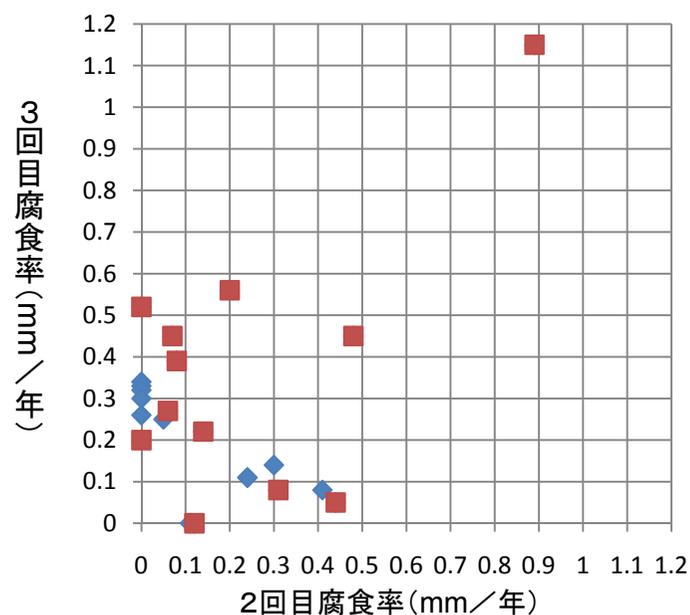
①裏面腐食の経年変化の実態

- 下の図は、保安検査周期を延長した場合の裏面腐食による事故件数を予測するのに用いた、昭和52年以降に設置されたタンクのうち、裏面腐食量が大きかったことが報告されたもの(参考資料3-2)について、開放ごとの裏面腐食率を個々のタンクについてみたもの。
 - ・定点測定による腐食量を元に、前回開放との間隔で腐食率とした。そのため不確実性が高いことに注意。
 - ・腐食量が小さかったもの及び腐食量が測られずに板替えされたものは含まれておらず、全てのタンクの傾向を表すものではない。
- 各回ごとに腐食率が変化しており、一定の変動幅にあると認定し、上限の変動率を求めることは困難である。なお、大きく変化しているものについては、定点での測定であることに起因して発生した実際の腐食率の変動を表していないものも含まれるものと考えられる。
 - ・実際に裏面腐食率が変化する要因としては、裏面防食措置の劣化、雨水進入防止措置の劣化、貯蔵温度の変化、基礎と底部板との接触状況の変化などが考えられる。
- 加温タンクでは比較的激しい腐食が生じることがある。母数は少ないが常温タンクではおおよそ0.4mm/年程度以内に収まっている。

1回目開放時の裏面腐食率と2回目開放時の裏面腐食率



2回目開放時の裏面腐食率と3回目開放時の裏面腐食率



(5) タンクの裏面腐食率の変動

② 腐食率の経年変動

- 左下の図及び表は、過去の各開放時に、各タンクごとに最大裏面腐食深さから求めた最大裏面腐食率を、データの得られたタンク数について平均したもの。右下は腐食率ごとのタンク基数の分布。定点測定に基づく値から得られた腐食率であり、不確実性が高いことに注意が必要。
- 各回ごとに、腐食率は異なる。→過去の実績腐食率から次回開放までの予測腐食率を考慮するうえで、このばらつきを考慮する必要がある。
- 腐食率が変化する要因としては、裏面防食措置の劣化、雨水進入防止措置の劣化、貯蔵温度の変化、基礎と底部板との接触状況の変化などが考えられる。

裏面腐食率の平均値(mm/年)

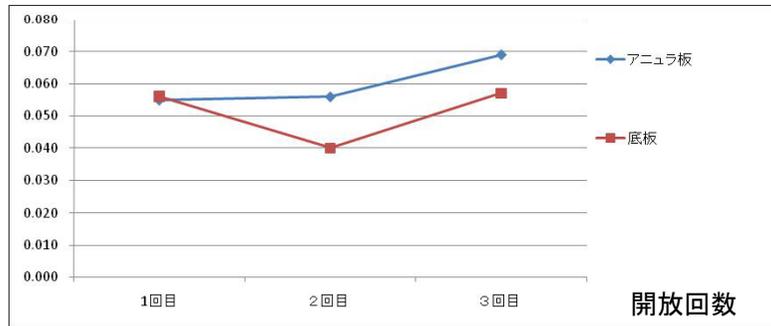
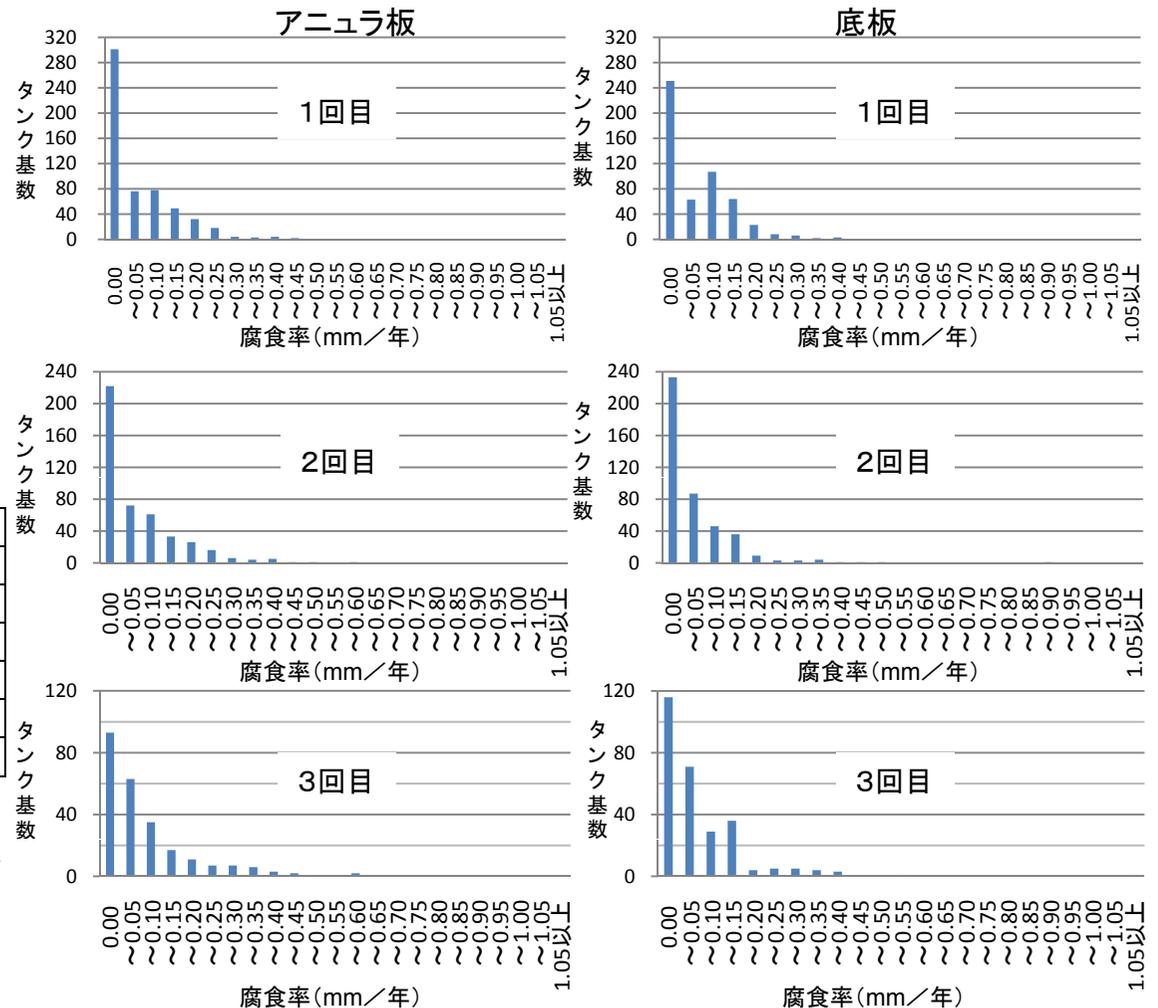


表 裏面腐食率の平均値、最大値の開放後との変化と対象タンク数

部位	開放回	1回目	2回目	3回目
アニュラ板	平均値 (mm/年)	0.055	0.056	0.069
	最大値 (mm/年)	1.3	0.56	0.56
	タンク数	571	448	246
底 板	平均値 (mm/年)	0.056	0.040	0.057
	最大値 (mm/年)	1.2	0.90	1.1
	タンク数	531	425	275

- ・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。
- ・開放時に見つかった最大裏面腐食箇所が、前回開放時の補修後の最大裏面腐食箇所であったと仮定し、開放間隔年数により腐食率を求めた。
- ・使用したデータは定点測定を実施したタンクのみを抽出した。
- ・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。



(5) タンクの裏面腐食率の変動

③ 腐食率と腐食環境

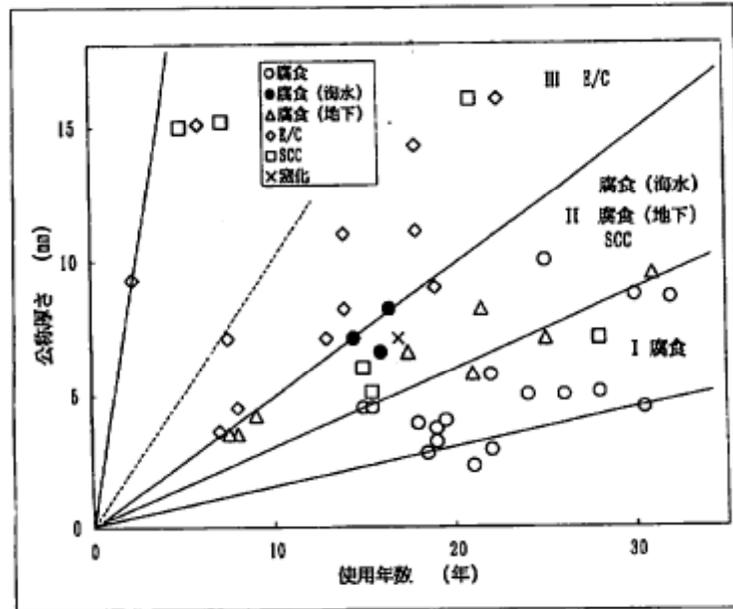


図1 腐食損傷事例の公称厚さ (mm) と
使用年数 (年) の関係 (炭素鋼/合金鋼)

- 左の図は石油精製などの圧力設備において金属材料の腐食損傷事例から求められた腐食率。

腐食メカニズムに応じて腐食率は次の通り区分されている。

I 腐食率0.15~0.3mm/年: 比較的マイルドな一般的な環境での腐食

II 腐食率0.3~0.5mm/年: 地下の腐食、塩素、塩分、 H_2S の影響がある腐食、応力腐食割れ

III 腐食率0.5~4.0mm/年: エロージョン/コロージョン

IとIIの区分は環境と材料に支配され、本来の区分があいまいなものである、とされている。

(小林英男、柳田省三:「圧力設備の腐食損傷事例と腐食速度の解析」, 高圧ガス, Vol.35, No.3, p.23-33(1998))

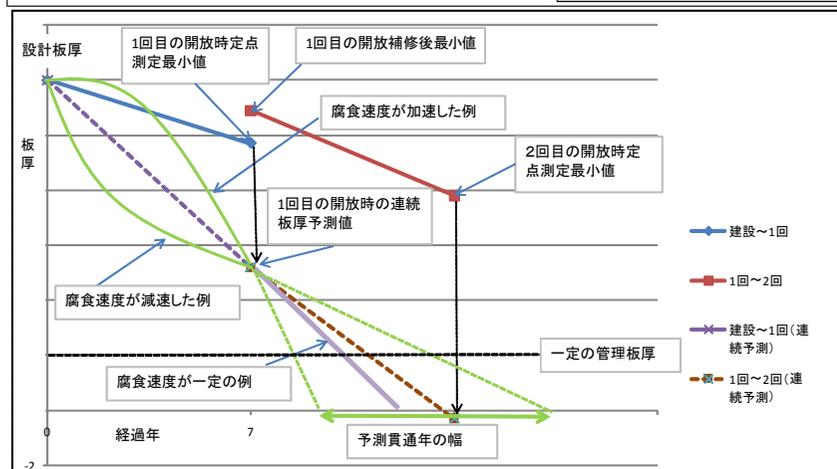
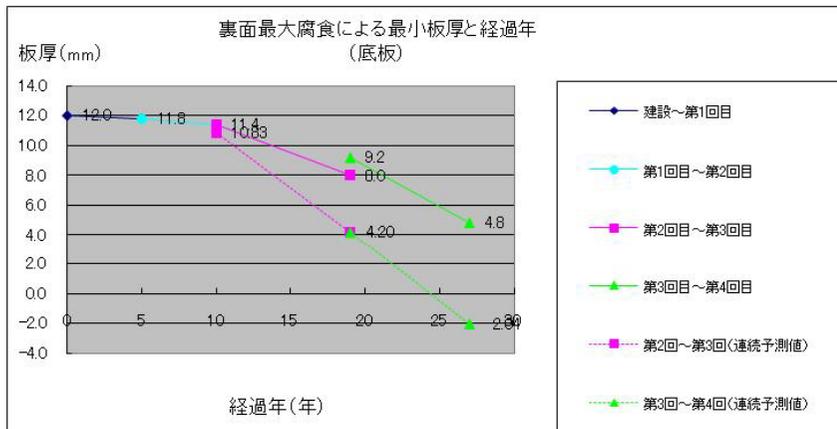
- 前ページで示したタンクの裏面腐食率の度数分布は定点測定によるものであることから不確実性は大きいですが、連続的な分布をしている部分を見るとおおむね0.45mm/年といえ、多くのタンクで裏面の腐食環境としては、区分IとIIと考えて良いと言える。しかし、一部で腐食率が高いものも見られており、異常な環境となるものもあることが推察される。

- 底部板裏面の腐食としては、考えられる腐食機構及び前ページの腐食率の分布から見て、区分IとIIにあるものが多いものと考えられ、タンク基礎としての一般的な環境での腐食率の上限は0.5mm/年程度と評価できる。ただし、定点測定でそれ以上の腐食率が見られている事例もあり、タンク底部板においてはより激しい腐食が生じる可能性にも留意が必要である。

(6)裏面腐食による貫通予測調査結果

①予測調査の方法

裏面(底板)	設計板厚	経過年	開放周期	定点測定による裏面最大腐食量			連続板厚測定による貫通予測年数	連続板厚測定による貫通予測年数	板厚測定方法	板の取替割合(%)
				最大腐食量	最小板厚	補修後最小板厚				
完成検査	S55.12.22	12.0	0	0.0	12.0		169号:1.95 56号:3.77			
開放検査	S61.6.9	5	5.5	0.2	11.8	11.8	不明	327.95	不明	0
	H3.7.31	10	5.1	0.6	11.4	11.4	1.95	10.83	169号	0
	H12.3.27	19	8.7	4.0	8.0	9.2	1.95	4.20	169号	4
	H20.10.6	27	8.5	7.2	4.8	9.9	1.95	-2.04	169号	13



●容量1万kℓ以上の新法タンクについて、裏面腐食の履歴データから、板厚が0mmになるまでの年を推定した(履歴データは危険物保安技術協会が保存している617基の新法タンクのもの。)

●実際のタンクでは液圧、残留応力、基礎からの底板の浮き上がりなどがあり、底部板厚が0mmよりも厚い条件で流出が発生すると考えられるが、何mmで貫通するかについては、基礎の支持状況などの影響を受けるため画一的な値を決めることは困難であった。ここではあくまで仮想的な検討のため、楽観的ではあるが単純な仮定をとり事故の発生条件を板厚0mmとした。

●裏面腐食による貫通年予測のためには、タンクの各開放時の最大裏面腐食量を知る必要がある。しかし裏面腐食は局部的に発生することが多く、定点測定法によっては、実際の裏面最大腐食量が測定できるとは限らない(資料2-7参照)。ここでは、つぎの二つの方法で貫通年を予測した。

- ・定点測定により最大腐食量が計測されていたと想定した場合(左上図実線):“定点測定による貫通予測”
- ・資料2-7で求めた実最大腐食量に対する定点測定結果の最大値の比の平均的な値を定点測定結果の最大腐食量に乗じた値(定点測定値から統計的に期待される実最大腐食量)により予測した場合(左上図点線):“連続板厚測定による貫通予測”

●腐食率は経年的に一定ではなく(資料3-5参照)、底部板の腐食速度は変化することが考えられ、設計(公称)板厚と開放時の連続板厚予測値を直線で結んだ場合より大きくなるおそれがある(左図)。そのため、貫通予測に際しては、腐食率の変動を考慮する必要があるが、定点測定による腐食量は上述のとおり実際の腐食量とは異なることから、実際の腐食率の経年変動の程度を定点測定に基づく腐食率から見積もることは精度の面から困難であるため、この予測では裏面腐食については腐食率の経年変動は考慮せず、腐食率を一定とした。

(6)裏面腐食による貫通予測調査結果

②裏面腐食による貫通予測調査結果

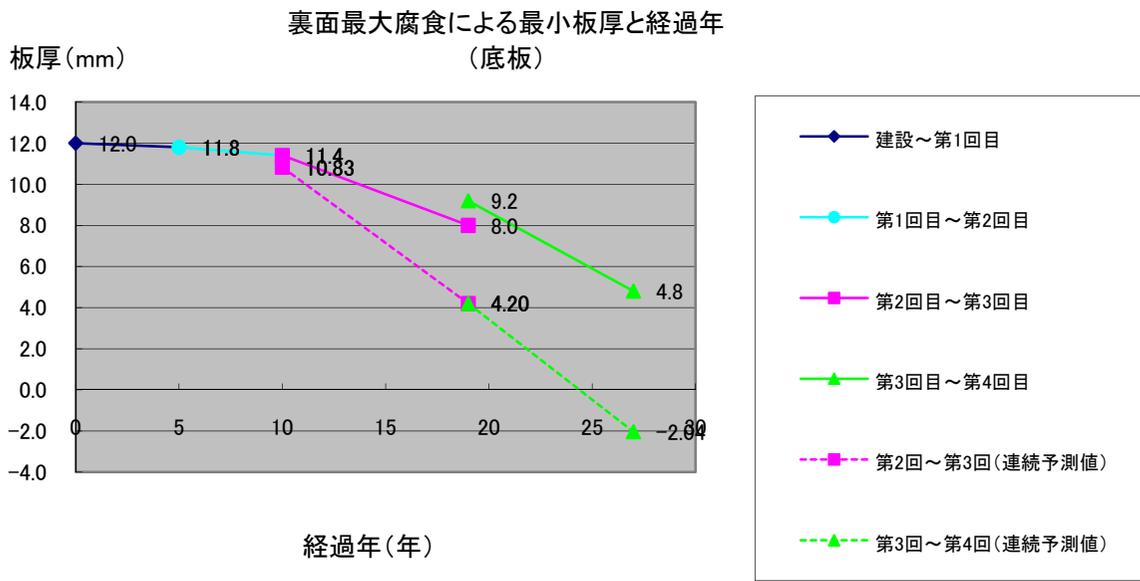
裏面腐食による貫通予測調査の1例

裏面(底板)	設計板厚	経過年	開放周期	定点測定による裏面最大腐食量	定点測定最小板厚	補修後最小板厚	連続板厚測定を想定した補正係数	連続板厚測定による予測値	定点測定による貫通推定年数	連続板厚測定による貫通推定年数	板厚測定方法	板の取替割合(%)
完成検査	S55.12.22	12.0	0	0.0	12.0		169号:1.95 56号:3.77					
開放検査	S61.6.9	5	5.5	0.2	11.8	11.8	不明		327.95		不明	0
	H3.7.31	10	5.1	0.6	11.4	11.4	1.95	10.83	151.8		169号	0
	H12.3.27	19	8.7	4.0	8.0	9.2	1.95	4.20	29.0	14.2	169号	4
	H20.10.6	27	8.5	7.2	4.8	9.9	1.95	-2.04	17.8	5.7	169号	13

- 容量1万kℓ以上の新法タンクについて、裏面腐食の履歴データから、板厚が0mmになるまでの年を推定した。用いたデータは、大きな裏面腐食量が報告されたタンク(アニュラ板20基、底板30基分)のもの。

腐食速度が一定と仮定した場合の裏面腐食による貫通の予測年 (基)

年	定点測定			連続板厚測定想定		
	アニュラ板	底板	累計	アニュラ板	底板	累計
8以下	0	0	0	0	3	3
～9	0	0	0	1	2	6
～10	0	2	2	0	1	7
～11	0	0	2	1	1	9
～12	1	0	3	0	1	10
～13	0	0	3	2	0	12
～14	0	0	3	0	2	14
～15	0	0	3	0	1	15
～16	0	0	3	1	1	17



これらについて定量的に評価する技術、データが無いいため、単純な仮定を用いた。

裏面腐食量は定点測定で管理されてきたため、信頼性の高い腐食率が求められないため。

試算結果の留意点

- 次の点については**危険側の予測**であることに留意する必要がある。
 - ・板厚が0mmとなった年数を算定したこと。
 - ・内面腐食はないものと仮定して算定したこと。
 - ・裏面腐食率が変化することは考慮していないこと。

裏面腐食の履歴データについては参考資料3-2参照

(7)内面及び裏面腐食による貫通予測調査のまとめ

①周期延長した場合の腐食による流出事故発生件数予測

- 下の表は、内面腐食による貫通予測件数(保守的な仮定に基づくもの)と裏面腐食(連続板厚測定想定)による貫通予測件数をまとめたもの。合計基数は、内面腐食による貫通基数と裏面腐食による貫通基数の双方に重複しているタンクについて、貫通予測年が長い方を除外して求めた。

年	内面腐食による貫通基数(累計)	裏面腐食による貫通基数(累計)	重複しているもの(累計)	合計基数
8以下	1	3	1	3
~9	5	6	1	10
~10	5	7	1	11
~11	11	9	2	18
~12	15	10	2	23
~13	21	12	3	30
~14	23	14	3	34
~15	29	15	3	41
~16	33	17	4	46

●試算結果の留意点

次の点については**危険側の予測**であることに留意する必要がある。

- ・板厚が0mmとなった年数を算定したもの。
- ・内面腐食又は裏面腐食のいずれかのみで算定したものであること(最大内面腐食箇所の裏に裏面腐食があることや最大裏面腐食箇所の内面に内面腐食があることは想定していない。*)。
- ・内面腐食率の変化割合は平均値の変化割合を用いていること。
- ・裏面腐食率が経年変化することは考慮していないこと。
- ・裏面最大腐食量は定点測定値に対して平均的な係数を乗じた深さとしたこと(実際には、より深いものも考えられる)。
- ・この結果は、腐食による貫通孔発生予測であり、溶接部割れや耐震性については考慮していないこと。

これらについて定量的に評価する技術、データが無いため、単純な仮定を用いた。

*平成17~21年度に保安検査を受けた354基のタンク中、保安検査時に板厚が最小であった箇所のうち、内面及び裏面の両方に腐食があったものは、アニュラ板26基(7.5%)、底板95基(27.5%)であり、内面と裏面に同時に腐食が発生することは十分に考えられる。

(7)内面及び裏面腐食による貫通予測調査のまとめ

②流出事故発生件数予測値の評価

- 一定の仮定条件をおいた上での試算ではあるが、現行の基本検査周期8年でも内面腐食又は裏面腐食により板厚が0mmとなる可能性があったタンクは、617基中3基あった計算になる。次のことを踏まえれば、現行の基本検査周期8年は過剰に安全率を見込んだものとは言えないことが分かる。
 - ・タンク底部の腐食率は一定でなく大きく変動する可能性があること。
 - ・タンク底部で腐食率が大きくなる部位の予測は困難であり、局所的に大きく腐食が進行することが多いこと。
 - ・タンクの腐食に係る知見は必ずしも十分に蓄積されているとは言えず、引き続きタンク開放時に底部の腐食状況に関するデータを蓄積していく必要があること。
- 仮に現在の検査方法を維持したまま基本周期を10年にすると、内面腐食又は裏面腐食により板厚が0mmとなる可能性があったタンクは11基となり、約4倍まで流出危険性が高まる試算結果が得られた。
- これらの試算は評価が可能な「腐食による貫通孔形成」のみを想定したものであるが、一定の仮定に基づいたものであり、その中には危険側の仮定も含まれていることから、実際にはこれより大きいことが考えられる。さらに、評価が困難な「溶接部破断による事故の発生」や「耐震性が確認できないタンクの発生」を考慮すると、試算値よりも事故の発生件数が大きくなると予想される。
- 万が一、容量1万kℓ以上の特定屋外タンクの底部から危険物流出事故が起これば、極めて大きな災害になることに鑑みれば、流出危険性が大幅に増大するような規制緩和は容認されるべきではないはずである。
- (参考)上記予測結果は前ページ留意点に示された仮定等に基づいた予測結果であり、現実のタンク事故と正確な比較は困難であるが、あえて行くと、基本周期を10年にした場合の事故の頻度として、0.39件／年(10年に4件)分増加する。近年(2000～2010年)の容量1万kℓ以上のタンク底部からの流出事故頻度は0.30件／年(10年に3件)であり、上記予測頻度の増加によって、事故頻度は約2.3倍になる。

(8) 局部腐食部の低サイクル疲労破壊の可能性評価(試算例)

- 資料2-4-1の方法によって、同資料に掲載した裏面腐食に対して低サイクル疲労破壊の可能性について試算を行った。結果は表の通り。
- 過去見つかった裏面腐食の形状の一部に対しては、二次元評価を行った場合に破壊の可能性が示された(表中では×で示されている)。このような腐食は、深さが初期板厚の半分程度まで腐食したものである(b/ρ の行で1に近い値)。すなわち、元板厚の半分程度まで腐食が進行し、それが線状に拡がっていた場合には、低サイクル疲労破壊の可能性が考えられる。
- もっとも、これらの場合でも3次元評価では破壊しないとされた。腐食が点状であれば耐震性を毀損するほどではないと言える。以上のことから、初期板厚の半分程度まで腐食が進行した場合、腐食の平面形状に対する注意が必要となることから、耐震性に注意が必要となると言える。
- 統計的に見て、不等沈下の大きなタンクは底部腐食が比較的激しい(特定屋外タンク貯蔵所の開放周期の算定方法に関する調査検討報告書(平成14年3月)、屋外タンク貯蔵所の余寿命予測に関する調査検討報告書(平成20年3月))。その要因としては、不等沈下の大きな基礎は局部的な凹凸があることが想定され、凹凸の周囲では、底部板裏面が湿潤と乾燥を繰り返したり、電氣的に不均質な条件となることから、腐食が進行しやすいことが想定される。この場合、基礎が沈下している上に腐食を受けた薄い板厚の部位が存在することとなる。このとき薄くなったアニュラ板又は底板には、液の受け払いや地震時に大きな応力が発生する。このことから、試算結果は、アニュラ部以外に対しても一定の参考となる。
- なお、この方法は確立されたものではなく仮定の妥当性や疲労の累積性の評価など不確実な部分があることに留意が必要である。また、腐食形状の測定結果の精度はこの分析に用いるために十分とは言えない面もあり、評価方法及び結果については参考として扱うことが適当であろう。

ビットNo	※										SM400C						SPV490					
	残り板厚		初期板厚		腐食腐食		2次元弾性		3次元弾性		2次元評価			3次元評価			2次元評価			3次元評価		
	b(mm)	t(mm)	深さ	$\rho \sim$	b/ρ	α (図	応力集中	応力集中	応力集中	最大塑性ひずみ	判定	判定	最大塑性ひずみ	判定	判定	最大塑性ひずみ	判定	判定	最大塑性ひずみ	判定	判定	
タンク1	P1	6.8	12.0	5.2	1.31	1.33	4.13	2.69	2.01	0.01287	○	○	0.00722	○	○	0.02574	○	×	0.01444	○	○	
	P2	10.1	22.0	11.9	0.85	1.21	5.75	2.84	2.11	0.01443	○	○	0.00791	○	○	0.02885	○	×	0.01583	○	○	
タンク2	P3	11.1	22.0	10.9	1.02	1.25	4.93	2.78	2.07	0.01381	○	○	0.00764	○	○	0.02763	○	×	0.01528	○	○	
タンク3	P4	13.2	21.5	8.3	1.59	1.40	3.71	2.61	1.97	0.01214	○	○	0.00689	○	○	0.02429	○	○	0.01378	○	○	
タンク4	P5	13.1	21.7	8.6	1.52	1.38	3.79	2.63	1.98	0.01230	○	○	0.00696	○	○	0.02460	○	○	0.01392	○	○	
タンク5	P6	11.8	21.3	9.5	1.24	1.31	4.27	2.71	2.02	0.01307	○	○	0.00731	○	○	0.02614	○	×	0.01462	○	○	
	P7	7.3	11.8	4.5	1.62	1.41	3.67	2.60	1.96	0.01207	○	○	0.00686	○	○	0.02415	○	○	0.01372	○	○	
タンク6	P8	7.3	11.9	4.6	1.59	1.40	3.71	2.61	1.97	0.01215	○	○	0.00690	○	○	0.02430	○	○	0.01379	○	○	

※図より、(0,1)、(2,1.5)を通る1次直線から算出

○: 疲労破壊しない
×: 疲労破壊する

○: 疲労破壊しない
×: 疲労破壊する

(9) 連続板厚測定法を活用した場合の保安検査時期の決定方法(案)

① 基本的な考え方

- 石油類など大量の危険物を貯蔵する容量1万kℓ以上の屋外貯蔵タンクの保安検査周期の検討にあたり、タンク底部からの流出危険性を増大させることがあってはならない。
- 開放検査時に連続板厚測定法によりタンク底部の腐食状況を測定した際の裏面腐食率が一定以下であること、一定の条件を満たすコーティングが施工されていること又は腐食性のない内容物で内面腐食率が非常に小さいこと等の要件を満たすタンクにあっては、保安検査周期を一定年数まで延長することも可能とすることができると考える。

② 保安検査の現状

- 容量1万kℓ以上の屋外貯蔵タンクは、定期的に行われる開放検査時にタンクの安全性(板厚や溶接部のきずなど)の現状を把握するとともに、必要な補修を行うことにより、次のタンク開放時まで危険物流出事故を起こさないようにしている。
- 現状では、タンクの状況によって定まる8年、10年又は13年ごとにタンクを開放し、タンク底部の内面腐食量、裏面腐食量(定点で測定されることが一般的)及び溶接部の健全性(定点で内面表面側のみ検査されることが一般的)を確認しているが、拭き取りで検査せざるを得ない検査項目があることも事実である。
- 一方、非検査部位の状況や腐食率変動等の安全尤度を見込み、タンク底部板厚については最小厚さから腐食しろ3mmを減じた値以上であるように管理されてきた(3mmを超えて腐食した部位は補修が必要)。

(9) 連続板厚測定法を活用した場合の保安検査時期の決定方法(案)

③連続板厚測定法を活用した場合の保安検査周期の考え方

- 連続板厚測定法によりタンクの裏面腐食量を詳細に測定すれば、裏面腐食に係る非検査部位がなくなる分、検査精度は高まることになる。その一方で、溶接部の健全性の検査精度が変わらないこと、腐食率が経年的に変動する幅やその要因に関する知見が十分に蓄積されていない中で安全性を確保しながら保安検査周期の延長を考えた場合、ある程度の安全尤度を見込む必要があると考える。
- 安全尤度の見込み方には、管理板厚(＝設計板厚－腐食しろ)の変更や腐食率に対する安全率の設定が考えられる。すなわち、管理板厚と安全率の組み合わせを適切に設定できれば、開放年を次の式で計算できるはずである；

$$\text{次回開放年} = (\text{現時点板厚} - \text{管理板厚}) \div (\text{安全率} \times \text{腐食率})$$

- 過去の腐食率がどの程度変動しているか検討したところ(資料3-3、資料3-5)、裏面及び内面とも腐食率は開放検査ごとに大きく異なることが明らかに成り、客観的かつ定量的に安全率を設定するために十分な知見が蓄積されているとは言い難い現状である。また、管理板厚については、その基準策定時の考え方(「震度6程度の地震に対して弾性変形にとどめる」)を現時点で変更する合理的理由を見いだすことは困難であるうえに、タンクは膜構造を基本としており強度に余裕がない一方、底部板と基礎の支持状況や繰り返し荷重による疲労の蓄積度合など考慮すべき外力条件に対する不確実性が大きい。これらのことを踏まえると、安全率及び管理板厚の両方を変更することは安全性を毀損するおそれがあるため、管理板厚は現在の考え方を踏襲することとすることが妥当と考える。
- 次に、溶接部の健全性については検査間隔が延びることによる劣化が考えられるが、資料2-5で述べたとおり、現在の技術では溶接部の健全性の劣化度合の評価は困難であり、実績を参照することが合理的である。資料2-5では、容量1万kℓ以上の新法タンク102基中9件の割れが見つかり、一定期間ごとに溶接部検査が必要であることがわかる。また、容量1千kℓ以上1万kℓ未満のタンクでは、母数は少ないものの14基中2基で割れが見つかり、新法タンクにおいて割れに起因する流出事故は起きていない。旧法タンクではこの2年間で165件の割れが見つかったのに対して過去に13件の溶接部破断による事故が発生しているが、新法タンクで用いられている突き合わせ溶接は旧法タンクで用いられている隅肉溶接より溶接部の信頼性が高いと一般的に言われていること、旧法タンクより板厚の厚い新法タンクでは溶接部厚さも旧法タンクのそれよりも厚くなること、容量1千kℓ以上1万kℓ未満のタンクの約2割はタンク高さが20m程度であり、容量1万kℓ以上のタンクの高さとほとんど変わらないことから、液圧による応力変動に大きな違いはなく、容量の小さなタンクの方が変動頻度が高いと想定されることを踏まえると、1万kℓ以上の新法タンクのうち腐食の進行が遅いものについての溶接部検査の間隔を、容量1千kℓ以上1万kℓ未満の新法タンクと同様に上限15年としても安全性が大きく損なわれるとは考えにくい。

(9) 連続板厚測定法を活用した場合の保安検査時期の決定方法(案)

④ 連続板厚測定法を活用した場合の保安検査周期算定方法

- 危険物流出防止の観点から、次回のタンク開放時までタンクが健全な状態を維持するために必要な次のア. からカ. に掲げる要件を満たす場合にあつては、次回の開放時期をキ. に掲げる期間とすることができることとしてはどうか。
 - ア. 開放検査時のタンク底部の腐食率が小さいこと。(対象タンクの底板及びアニュラ板について、連続板厚測定法によるデータに基づく前回開放から今回開放までの間の腐食率の最大値がいずれも0.2mm/年以下であること。)
 - イ. 適切な管理下でコーティングが施工されていること。ただしコーティングが施工されていないタンクであつて、内容物の腐食性が著しく低いことが実績によって明らかであり、内容物や水分管理(固定屋根形式のものに限る。)など腐食環境に変化がないものはこの限りではない。
 - ウ. 今回開放時に基礎の変更工事がないこと。
 - エ. 加温タンクでないこと。
 - オ. タンクに構造上の影響を与えるおそれのある補修又は変形がないこと。(参考資料3-3)
 - カ. 底部板全面に対して連続板厚測定が実施されていること(機械測定によることが難しい部位については、人的に詳細測定を実施。)
 - キ. 底板及びアニュラ板について、ア. で求めた内面腐食箇所の腐食率の最大値と裏面腐食率の最大値のうちいずれか大なるものをそれぞれ用いて将来腐食量を予測し、それぞれの最小板厚箇所が、告示第4条の17に掲げる最小厚さよりも3mmを超えて腐食減肉しない年を次回開放までの期間とする。但し、当該期間が15年を超える場合には、15年を次回開放までの期間とする。
-
- 腐食率は、前回開放時と今回開放時の間の腐食量の差を開放検査の間隔で除して求める。具体の算出方法については、参考資料3-4参照。
-
- ア. において上限値を設けた理由: 初期板厚が最小厚さより厚いタンクにおいて、最小厚さから腐食しろ3mmを減じた管理板厚を考慮した場合、著しい腐食を受けているにもかかわらず周期を8年から延長できることとなる。このようなタンクについて周期を延長すると、腐食率がわずかの割合分変動しても次回開放時の板厚が大きく変わってしまうことから、安全性を担保できない。腐食が通常考えられる条件で進行していることを確認するため、上限値を設定する必要がある。
-
- 上限値0.2mm/年の根拠: 定点測定に基づく裏面腐食率の平均値のアニュラ板0.058mm/年、底板0.051mm/年(資料3-5)。これらに対し、定点測定による腐食量と連続板厚測定による腐食量の分析から得られた実腐食量に対する定点測定値の回帰係数(アニュラ板2.9、底板3.8)をかけると、それぞれ0.17mm/年、0.19mm/年となり、平均として屋外貯蔵タンクの実際の裏面腐食率はこの程度が平均と考えられる。分析の精度も考慮して腐食率の上限を0.2mm/年とした。

(9) 連続板厚測定法を活用した場合の保安検査時期の決定方法(案)

⑤ 周期算定方法を議論する上で留意すべきこと その1 管理板厚値

- 新法タンクは、底板及びアニュラ板に対する必要最小厚さは告示第4条の17に規定。
 - ・底板：容量1万kℓ以上のものにあつては12mm
 - ・アニュラ板：表の通り。
 - ・(参考)この他、アニュラ部については保有水平耐力を満たす板厚であることが必要。

表 アニュラ板の必要最小厚さ

側板の最下段の厚さ (単位 mm)	アニュラ板の各寸法等 (単位 mm)		
	側板外面からの張出し寸法	側板内面からタンク中心部に向かつての張出しの長さ	最小厚さ
15を超え20以下のもの	75	1,000	12
20を超え25以下のもの	100	1,500	15
25を超え30以下のもの	100	1,500	18
30を超えるもの	100	1,500	21

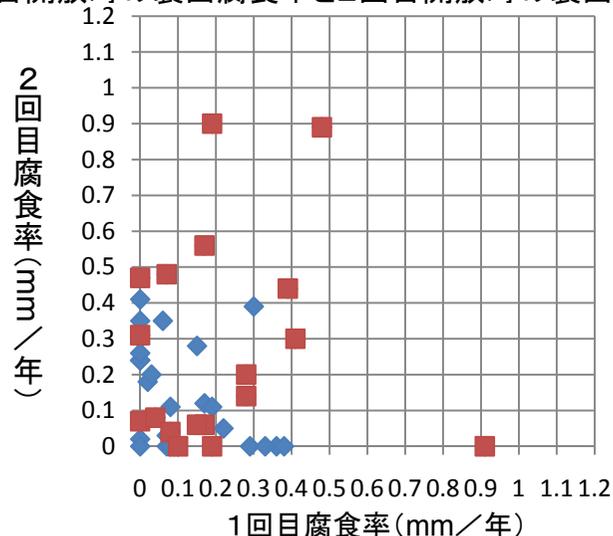
- この基準は震度6程度の地震動に対して弾性変形に収まることを目標に定められたもので、腐食しろとして3mmが含まれている(石油コンビナート地帯防災対策技術援助委員会:「タンク及び基礎に関する技術基準(案)報告書」、昭和51年12月)。平成8年には、より強い地震動に対してアニュラ部に塑性変形は許すものの破断しないことという二次設計の考え方が導入され、アニュラ部は保有水平耐力を満たす板厚であることが必要。
- 底部板には液圧、溶接による残留応力、基礎の局部沈下や不等沈下、地震による浮き上がり力などが作用するため、腐食しろ以上の腐食に対しては安全性の検証が必要。腐食率に安全率を考慮せずに周期を延長することは腐食量に対する不確実性を増大させるため、腐食しろを同時に変更することは安全尤度を大幅に低下させるおそれがあり、管理板厚(最小厚さー腐食しろ)を変更することは妥当ではない。

(9) 連続板厚測定法を活用した場合の保安検査周期の決定方法(案)

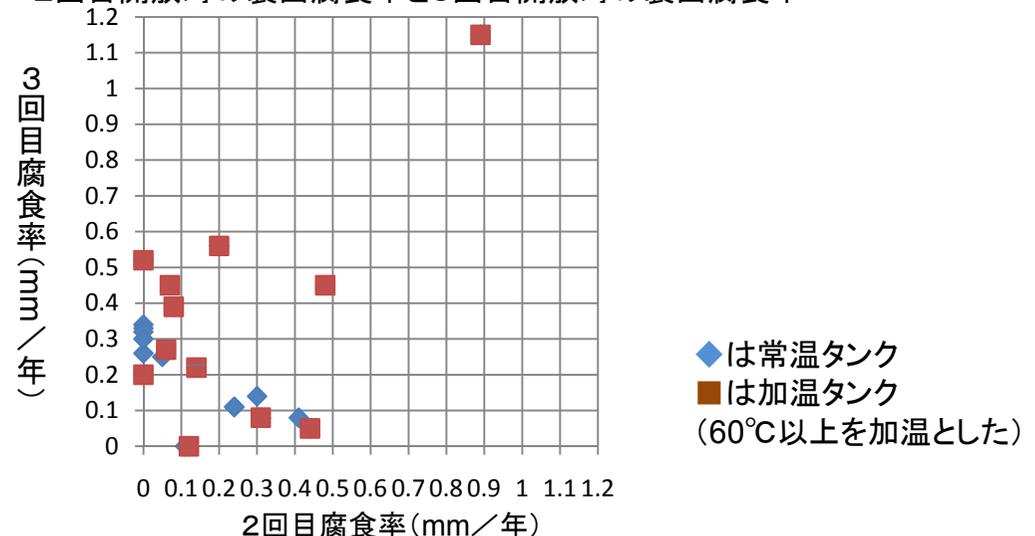
⑤ 周期決定法を議論する上で留意すべきこと その2 裏面腐食量

- 下の図は、昭和52年以降に設置されたタンクのうち、裏面腐食量が大きかったことが報告されたものについて、開放ごとの裏面腐食率を個々のタンクについてみたもの(資料3-5のもの)の再掲。
 - ・ 定点測定による腐食量を元に、前回開放との間隔で腐食率とした。そのため不確実性が高いことに注意。
 - ・ 腐食量が小さかったもの及び腐食量が測られずに板替えされたものは含まれておらず、全てのタンクの傾向を表すものではない。
- 各回ごとに腐食率が変化しており、変化割合から安全率を客観的に求めることは困難である(無理に求めると過大な値となるおそれ)。実際に裏面腐食率が変化する要因としては、裏面防食措置の劣化、雨水進入防止措置の劣化、貯蔵温度の変化、基礎と底部板との接触状況の変化などが考えられる。
- 常温タンクにおける定点測定で求めた裏面腐食率は0.4mm/年以下の範囲に収まっている。連続板厚測定で測定した腐食率が変化し、この腐食率が15年間一定で作用したと仮定すると腐食量は6mmとなり、底板の目標管理値の最小値9mmから考えても3mm以上の残存板厚を確保でき、安全性を確保できる。(参考)局部腐食部の低サイクル疲労破壊の可能性評価の試算結果(資料3-8)では、初期板厚の半分程度までの点状の局部腐食に対しては、この試算方法の仮定の範囲では危険ではないが、それ以上の腐食に対しては線的な広がり状況によっては危険と判定された。すなわち、これ以上腐食が進行することは耐震性に影響を与えることが考えられる。但し先に述べたとおりこの方法は一定の仮定に基づいており、その仮定から外れた場合も考えられることから、ここでは参考として記載した。

1回目開放時の裏面腐食率と2回目開放時の裏面腐食率



2回目開放時の裏面腐食率と3回目開放時の裏面腐食率

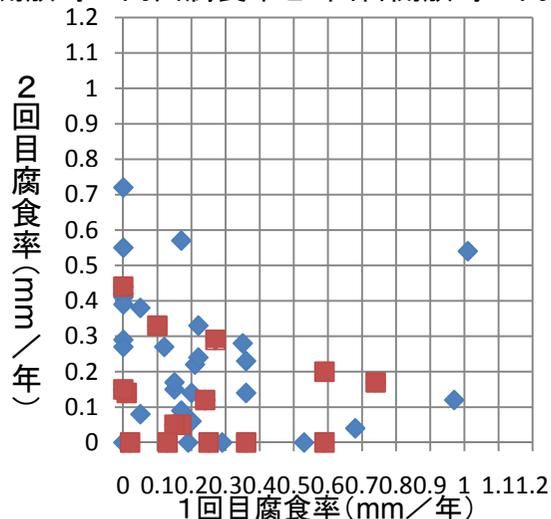


(9) 連続板厚測定法を活用した場合の保安検査周期の決定方法(案)

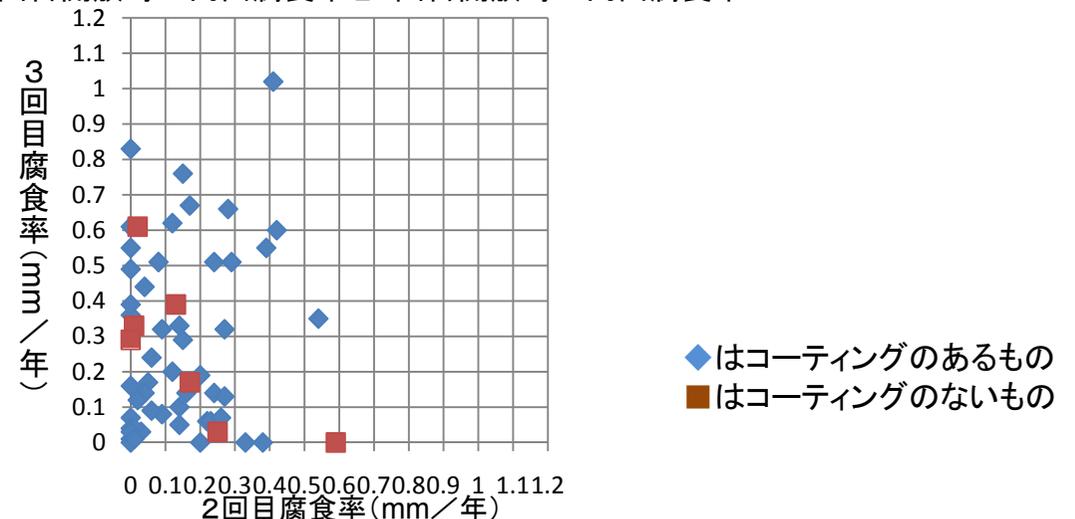
⑤ 周期決定法を議論する上で留意すべきこと その3 内面腐食率

- 下の図は、昭和52年以降に設置されたタンクのうち、内面腐食量が大きかったことが報告されたものについて、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(資料3-3のもの再掲)。
 - ・腐食量が小さかったもの及び腐食量が測られずに板替えされたものは含まれておらず、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、施工前後のデータはプロットしていない。
 - ・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激しく、前回開放時の腐食率が次回開放時に適用できるタンクは限定される。次回開放までの内面腐食率を精度良く予測できると考えられるのは、腐食がほとんど進行しないと考えられる次のいずれかの場合と考える。
 - 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・水分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。
- コーティングを施工したタンクでは、コーティングが剥離すると激しい内面腐食を生じることがあるが、コーティング指針によって施工されたコーティングは剥離しにくいことが明らかになっている。ア. の要件としてはコーティング指針によって施行されたこと、もしくはそれと同等以上の性能を有することとすることが適当と考える。イ. の要件としては、コーティングのないタンクであって、過去の2回以上の開放において内面腐食率が0.1mm/年以下であることとするのが適当と考える(次ページ)。

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



(9) 連続板厚測定法を活用した場合の保安検査時期の決定方法(案)

⑤ 周期決定法を議論する上で留意すべきこと その3 内面腐食率

コーティングがないタンクで腐食性の低い内容物のタンク

内容物	加温	容量	1回目腐食率	2回目腐食率	3回目腐食率	部位
原油	加温	31,197	0.01	0.14	0.33	a
ナフサ	常温	40,000	0.13	0	0.39	b
原油	常温	98,290	0.15	0.05	0.29	b
灯油	常温	24,920	0.27	0.29		b
ナフサ	不明	101,706	0.74	0.17		b
ナフサ	常温	38,955	0.02	0	0.61	b
ナフサ	常温	101,760	0.59	0.2	0	b
重油	加温	29,750	0.1	0.33		b
重油	加温	20,435	0.36	0		b
ナフサ	常温	40,000	0.13	0	0.39	b
原油	常温	102,700	0.24	0.12		b
原油	常温	103,000	0	0.44		b
A重油	常温	19,848	0.43	0	0.09	b
A重油	常温	29,750	0.19	0.05	0.17	a
重油	加温	20,000	0	0.14	0.02	b
重油	常温	11,106	0.14	0.04		b
重油	加温	30,000	0.02	0	0.22	b
重油	加温	30,000	0	0.11	0.06	b
灯油	常温	26,995	0.19	0.13		b
ベンゼン	常温	25,514	0.12	0.11		b
重油	加温	12,360	0.18	0.11	0.02	b
重油	加温	43,000	0.3	0	0	b
メチルアルコール	常温	23,508	0	0	0.08	a
メチルアルコール	常温	23,508	0.03	0	0.15	a
メチルアルコール	常温	23,508	0	0	0	a
メチルアルコール	常温	23,508	0.03	0		a
二塩化エタン	常温	17,100	0	0.17		a
メタノール	常温	17,100	0	0.17		a
キンレン	常温	14,047	0.11	0.02		a
C重油	加温	14,942	0	0.18	0.03	b

- 石油化学製品などのタンクの中には、内容物の腐食性が低く、腐食成分が混入しないように管理され、コーティングがなくとも腐食率が実績としてもきわめて低いものがある。左の表は、過去コーティングが一度もされていないタンクの内容物、容量、過去の開放時の内面腐食率をまとめたものである。内面腐食率は前回開放時の肉盛り基準未満の内面腐食量と今回開放時の最大内面腐食量から求めたもので、内面腐食量には打ちきずによる減肉も含む。アニュラ板又は底板のうち腐食率の大きな方を記載した。
- 表には原油など腐食が激しいものがある一方、石油化学製品などで内面腐食率が継続的にきわめて低いものが見られる。例えば0.1mm/年以下の腐食率が2回つづいたものを黄色の網がけで示した。このようなタンクについては、内容物の変更、貯蔵温度の変更、水分管理条件の変更などがない場合には、次回開放までの腐食率が継続してきわめて低いことが期待できる。
- オレンジ色で示したのは、前2回の腐食率が0.1mm/年以下の腐食率であって、3回目に腐食率が0.1mm/年よりも増加したものである。3つの事例のうち一番上は浮き屋根型のタンクであり、水分管理条件が悪い。2番目は加温タンクであり、腐食環境が厳しい。これら二つについては、浮き屋根式タンク及び加温タンクは周期延長の対象外とすることで排除できる。
- 3つめの事例は腐食率は悪化したものの、0.2mm/年以下であり、この周期決定法を適用可能とするタンクの実績腐食率の上限値よりも低いことから、安全性を確保できると考える。

(9)連続板厚測定法を活用した場合の保安検査周期の決定方法(案)

⑤周期決定法を議論する上で留意すべきこと その4 上限年

- 保安検査周期を延長する場合に、一定期間ごとには溶接部の健全性を検査し必要な補修を行うこと、蓋然性は比較的低いものの腐食率が大きく変化した場合にも大規模事故に至らないようにすること、という二つの目的のため、延長できる周期の上限を規定する必要があると考える。
- 資料2-5では、容量1万kℓ以上の新法タンク102基中9件の割れが見つかっており、一定期間ごとに溶接部検査が必要であることがわかる。また、容量1千kℓ以上1万kℓ未満のタンクでは、母数は少ないものの14基中2基で割れが見つかるが、新法タンクにおいて割れに起因する流出事故は起きていない。旧法タンクではこの2年間で165件の割れが見つかったのに対して過去に13件の溶接部破断による事故が発生しているが、新法タンクで用いられている突き合わせ溶接は旧法タンクで用いられている隅肉溶接より溶接部の信頼性が高いと一般的に言われていること、旧法タンクより板厚の厚い新法タンクでは溶接部厚さも旧法タンクのそれよりも厚くなること、容量1千kℓ以上1万kℓ未満のタンクの約2割はタンク高さが20m程度であり、容量1万kℓ以上のタンクの高さとほとんど変わらないことから、液圧による応力変動に大きな違いはなく、容量の小さなタンクの方が変動頻度が高いと想定されることを踏まえると、1万kℓ以上の新法タンクのうち腐食の進行が遅いものについての溶接部検査の間隔を、容量1千kℓ以上1万kℓ未満の新法タンクと同様に上限15年としても安全性が大きく損なわれるとは考えにくい(本項目は再掲)。
- 裏面防食措置の劣化、雨水進入防止措置の劣化などにより、周期算出に用いた過去の裏面腐食率よりも実際の腐食率が大きくなることと考えられる。過去の腐食率から離れ激しい裏面腐食が生じる場合として、底板裏面の腐食環境とメカニズムから推定される腐食率の上限である0.5mm/年の腐食(資料3-5)を考えた場合、15年で7.5mmの減肉量となる。管理板厚値の最小値9mmを考えても上限値を15年としておけば1.5mm以上の残肉が計算できることから、事故のおそれが低く抑えられると考える。
- 以上のことから、15年という上限年を設定することが適当であると考えられる。

(9)連続板厚測定法を活用した場合の保安検査周期の決定方法(案)

⑥事務局案の全体像

以上の事務局案をまとめると次のようになる。

項目		保安検査周期延長の要件	
実施する検査		連続板厚測定法を実施(機械測定が難しい部位については、人的に詳細測定を実施)。	
次回開放年の求め方		$\text{次回開放年} = (\text{現時点板厚} - \text{管理板厚}) \div (\text{安全率} \times \text{腐食率})$ 管理板厚: 告示第4条の17の最小板厚より腐食しろ3mmを減じた値 安全率: 1	
延長期間の上限		15年	
内面腐食に関する事項	底板	○コーティング指針に基づいたコーティングが施工されているタンク、若しくはそれと同等以上の性能を有するコーティングが施工されているタンク。	○コーティングを施工していないタンクの場合 ・腐食性の非常に低い内容物を貯蔵している(過去2回以上の開放において内面腐食率が0.1mm/年以下であること)。 ・水分管理(固定屋根形式に限る。)が適切になされ、腐食環境に変化がないこと。
	アニュラ板		
裏面腐食に関する事項	底板	連続板厚測定法による測定データに基づく、前回開放から今回開放までの間の腐食率の最大値が0.2mm/年以下であること。	
	アニュラ板		
その他		今回開放時の基礎に変更工事がないこと。	
		加温タンクでないこと。	
		タンクに構造上の影響を与えるおそれのある補修又は変形がないこと。	

項目	資料番号	記載概要
はじめに	1-1、2、13 WG1-1、2	目的、構成、日程
1. 背景		
1.1検討の背景	1-3	検討の背景
1.2保安検査及び対象タンクの現状、劣化の実態	1-4 2-3 3-3 3-4 3-5 参考資料3-5	保安検査の概要、周期の変遷、屋外タンクの補修状況 腐食の実態(裏面腐食の分布、内面腐食事故の腐食率履歴、内面腐食率統計) コーティングの効果 湿食に関する一般的な考え方とタンク内面腐食事例調査との対応(岡崎委員) 裏面腐食率の統計 裏面腐食の形状
1.3事故の発生状況	1-5 2-2-1 3-2	事故の発生状況の統計 危険物が流出した場合の影響事例(黒瀬委員) 影響事例の補足
1.4事故要因分析	1-6 参考資料1-4 2-2	事故要因分析と規制の現状 最近の事故の調査結果 事故事例からの要因分析
1.5海外の状況	1-7	海外との比較
2. 過去のデータを用いた検査周期を延ばした場合の影響の評価		
2.1目的		
2.2内面腐食による貫通事故は何件増えるか	1-8 2-6	予測方法の説明 予測結果
2.3裏面腐食による貫通事故は何件増えるか	1-9 2-7 参考資料2-4 3-6	予測方法の説明 定点測定と連続板厚測定結果の比較に関する分析結果 上記分析方法の説明 予測結果
2.4耐震性が確保されないタンク数は何件増えるか	2-4 2-4-1 3-8	タンクの耐震性の考え方 局部腐食部の低サイクル疲労破壊の可能性評価(大塚委員) 評価結果
2.5溶接部欠陥による事故は何件増えるか	2-5	開放時に発見される溶接部割れの実態、溶接部の余寿命評価
2.6周期延長した場合の事故発生予測のまとめ	3-7	流出事故発生件数予測結果の評価
3. 連続板厚測定法を活用した保安検査のあり方		
3.1連続板厚測定技術の評価	2-7 2-8	定点測定と連続板厚測定結果の比較に関する分析結果(再掲) 連続板厚測定法を活用した保安検査時期決定において留意すべきことなど
3.4連続板厚測定法を活用した保安検査のあり方	3-9 参考資料3-3 参考資料3-4	連続板厚測定法を活用した場合の保安検査時期の決定方法 開放周期を延長できるタンクの補修・変形要件 裏面腐食率の算定方法
4. コーティングの耐用年数に関する検討		
4.1コーティングの耐用年数に関する検討の経緯と今年度検討概要	1-12 WG1-3 WG1-4	内面コーティングの防食機構と耐用年数に関する検討方法 過去のコーティングの耐用年数に係る取り組み経緯 本年度の調査検討事項
4.2コーティングの内面腐食防止機能	WG2-4	コーティングが施工されていたにもかかわらず内面腐食が発生した事例の調査 コーティングによる腐食防止の要件
4.2浸漬試験によるコーティング劣化性能評価	WG1-5 WG2-2 WG3-●	温度勾配浸漬試験の方法 温度勾配浸漬試験中間報告(試験条件、試験片条件など) 試験最終結果
4.3実タンクにおける劣化状況調査	WG1-6 WG2-3 WG3-●	状況調査の方法 調査タンクの概要 現地調査結果
4.3実タンクにおける補修状況調査	WG3-●	補修状況調査の方法と結果
4.4コーティングの耐用年数の評価	WG3-●	
5. まとめ		
まとめ		
参考資料: 参考資料1-1 参考資料1-2 参考資料2-3 参考資料WG1-2 参考資料WG1-3 参考資料3-2		

今後の予定(案)

●内面腐食及び裏面腐食の実態に基づく基本周期のあり方の検討

事故や腐食の実態について調査。

第2回調査検討会において内面腐食に基づく貫通予測結果を報告。

第3回調査検討会において裏面腐食に基づく貫通予測結果を報告。基本周期のあり方について審議。

●連続板厚測定法を活用した保安検査周期のあり方の検討

第2回調査検討会において定点測定法と連続板厚測定法の相関について報告。

第3回調査検討会において連続板厚測定法を活用した保安検査周期のあり方について審議。次回開放時期の決定方法について審議。

●コーティングの耐用年数

第1回WG: 検討項目、方法について審議。

第2回WG: 室内における促進劣化試験の状況立ち会い、コーティングが施工されていたにもかかわらず内面腐食が発生した事例の調査、コーティングの内面腐食防止効果

現状

・室内における促進劣化試験の実施中。

→第3回WGにて分析評価予定。

・実タンクにおけるコーティングの補修状況について資料収集。

→第3回WGにて分析評価予定。

・実タンクにおけるコーティングの劣化調査について、対象タンクからの危険物除去作業の遅れ

→第4回WGにて分析評価予定。

→ WGの最終報告は第5回調査検討会へ。

●第3回調査検討会(8月23日)

●第3回WG(9月予定)

コーティングの劣化状況調査結果の中間報告

●第4回調査検討会(10月予定)

中間報告

●第4回WG(10月予定)

コーティングの耐用年数に関する実験及び劣化状況調査結果の報告と分析

●第5回調査検討会

コーティングの耐用年数についてWGより報告
最終報告