



当協会が進める屋外タンク貯蔵所の安全対策について

危険物保安技術協会
土木審査部長
タンク審査部長

1 はじめに

危険物保安技術協会（以下「協会」という。）は、昭和49年（1974年）に岡山県倉敷市の製油所の屋外タンク貯蔵所から大量の重油が流出する事故が発生し、瀬戸内海及び沿岸に油汚染による被害が生じたことを契機に設立された認可法人であり、消防法第16条の10に基づき危険物等の貯蔵、取扱い又は運搬の安全に関する試験、調査及び技術援助等を行い、その保安の確保を図ることを目的としている。

本稿では、昭和49年に発生した水島事故を契機に設立された当協会が、これまで関わってきた屋外タンク貯蔵所の安全対策等について、また屋外タンク貯蔵所の安全性確保のために必要な事項等について、「基礎・地盤」、「タンク本体」別に解説することとする。

2 特定屋外タンク貯蔵所等に関する当協会の役割・業務

事業者が、屋外タンク貯蔵所等を設置しようとする場合、市町村長等へ設置許可申請を行い、設計段階において消防法令に定める技術上の基準へ適合しているかの審査を受けることが義務付けられている。また、構造・設備を変更しようとする場合も同様である。

これらの審査については、消防法第11条の3に基づき市町村長等から協会へ委託できることとされており、協会では、容量1,000kL以上の屋外タンク貯蔵所（以下「特定タンク」という。）及び容量500kL以上1,000kL未満の屋外タンク貯蔵所（以下「準特定タンク」という。）のタンク本体及び基礎・地盤に係る設計審査等を行い、その結果を市町村長等に報告している。

基礎・地盤に関しては、基礎・地盤のすべり破壊に対する安全性、地盤の支持力、地盤の不等沈下、地盤の液状化等についての審査を実施している。またタンク本体については、主荷重及び従荷重による側板の応力評価、アニュラ板の外周部の保有水平耐力評価、損傷を生じない浮き屋根及び浮き蓋の構造等についての審査を実施している。

また、特定タンクの工事着工後には、工事の所定の段階ごとに、完成検査前検査を受けることが義務付けられているが、完成検査前検査についても、消防法に基づき市町村長等から協会へ委託できることとされており、基礎・地盤に関しては、標準貫入試験、平板載荷試験、一軸圧縮試験、杭打ち試験等に立会い、地盤の堅固さ等が所定の基準へ適合しているかについての審査を実施している。タンク本体に関しては、タンク本体の溶接部について、側板の溶接部に対しては放射線透過試験を、底部の溶接部に対しては磁粉探傷試験をそれぞれ現地で実施することで、所定の基準へ適合しているかについての審査を実施している。

さらには、容量が10,000kL以上の特定タンクについては、一定の期間ごとに保安検査を受けることが義務付けられており、消防法に基づき市町村長等から協会へ委託できることとされている。保安検査の対象は底部の板の厚さ及び底部の溶接部であり、底部の板の厚さについては超音波板厚試験を、底部の溶接部に対しては磁粉探傷試験をそれぞれ現地で行うことで、所定の基準へ適合しているかについての審査を実施している。

3 当協会が関わった屋外タンク貯蔵所の安全対策（基準改正等）について

屋外タンク貯蔵所において、漏えい、火災、爆発等が発生すると、人的及び物的な面で多大な被害を及ぼすおそれがあるとともに、被害が施設内にとどまらない場合は、周辺環境・住民等、広範囲にわたって影響を及ぼすおそれがある。このため、特定タンク等に係る技術基準については、過去における事故や自然災害等の事象を教訓に、従来より充実強化が図られている。

本章では、当協会が関わってきた屋外タンク貯蔵所の技術基準改正等について、それらの背景となった事象（地震・事故）もまじえながら振り返ることとする。

① 岡山県倉敷市の製油所での重油流出事故の発生

昭和49年（1974年）12月には岡山県倉敷市の製油所で、屋外貯蔵タンクの溶接部に割れが発生し、重油が漏洩した（図1）。原因は、地盤の締固めが不十分であったことから局所的な沈下が発生し、タンク本体に過大な応力が作用したためとされている。漏出事故発生後、タンクの直立階段の転倒が原因で防油堤が破壊され、流出した重油が瀬戸内海へ拡散した。流出量は約40,000kLにも及び、瀬戸内海の1/3が汚染されるという空前の大事故となった。



図1 製油所での事故の状況

② 新法タンクの基準の制定

石油タンクの多くが臨海地区の軟弱地盤や埋立地の上に設置されており、地盤の不等沈下等の不具合が生じるリスクが比較的大きいにもかかわらず、基礎・地盤についての詳細な技術基準が定められていなかったことが、前述した①の倉敷市での重油流出事故が発生した要因の一つとされた。そのため、昭和52年（1977年）に政省令等が改正され、特定タンクの「基礎・地盤」及び「タンク本体」に関する基準が強化された。

同基準は、改正政令施行日以降に設置許可申請する特定タンク（以下「新法タンク」という。）に適用され、基礎・地盤については地盤液化判定方法や、支持地盤の区分、地盤の支持力、すべり等に対して確保すべき安全率、盛土の構造及び基礎の補強方法等が規定された。タンク本体については、主荷重及び従荷重によって生じる応力及び変形に対して安全であること、タンク本体を構成する板の最小厚さ、使用する材料の規格、タンク各部の溶接方法等が規定された。

③ 宮城県沖地震の発生

昭和53年（1978年）6月には宮城県沖地震が発生し、宮城県内の製油所において大量の危険物が漏えいする事故が発生した。タンク本体の側板とアニュラ板との接合部が破断し、破断部からの流出油で基礎が洗掘され、更に破断部が拡大したことが大量漏えいにつながった原因とされる（図2）。これを受けて、昭和54年（1979年）12月には、屋外タンク貯蔵所の地震対策に関する保安指針が発出され、総点検や補修の方法、保安対策未実施の場合には応急措置を実施することなどが示された。また、この地震によるタンクの被害事例を踏まえ、地震動による設計水平震度の算出方法の見直しや液面揺動の影響等に関する構造基準の整備が行われ、昭和58年（1983年）に特定タンクの耐震基準が見直されることとなった（図3）。



図2 宮城県沖地震で被害を受けたタンク

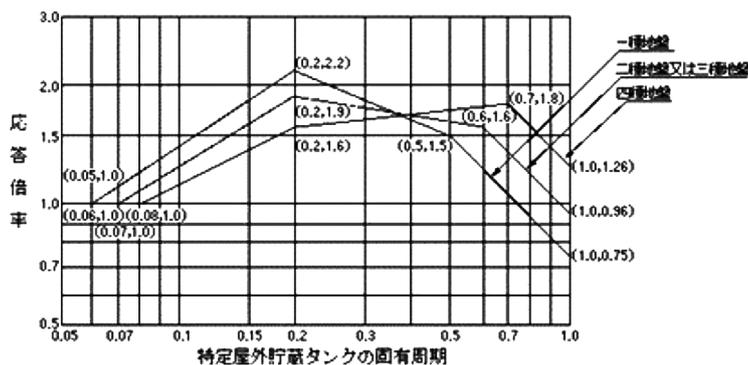


図3 特定タンクの固有周期に応じた応答倍率

④ 杭基礎及びリング基礎の運用基準の制定

昭和52年（1977年）の政省令等の改正以降、杭基礎やリング基礎を用いた屋外タンク貯蔵所が新設されることが多くなってきたため、昭和57年（1982年）2月に17号通知が発出され、杭基礎及びリング基礎の運用基準が示された。

⑤ 日本海中部地震の発生

昭和58年（1983年）には、秋田県沖を震央とする日本海中部地震が発生した。地震動の周期が数秒から十数秒とやや長周期であったことから、タンク内部において余裕空間高さを上回るスロッシングが発生した。その結果、浮き屋根がタンク上部に衝突し、浮き屋根と側板とのシール部が燃焼し、リング火災が発生するなどした。こうした被害事例を踏まえ、浮き屋根タンクの地震時における安全確保のため、昭和59年（1984年）に側板または浮き屋根に設けられる設備の設置方法について新たに技術上の基準が定められた。

⑥ 旧法タンクを対象とした耐震基準の制定

宮城県沖地震や日本海中部地震による被害の発生状況を受けて、屋外タンク貯蔵所の地震時における安全確保に対する社会的要請が強まったこと、長年にわたるデータの蓄積等により評価手法や改修方法等の研究が進んだことなどを背景に、平成6年（1994年）には政令が一部改正され、昭和52年の政省令等の改正以前に設置されていた特定タンク（以下「旧法タンク」という。）を対象に耐震基準（以下「新基準」という。）が制定された。

基礎・地盤については、地震時の液状化や局部すべりに対する基準が設けられたほか、タンク本体については、主荷重及び従荷重によって側板に生じる応力の基準や、アニュラ板の外周部に対して保有水平耐力の基準が設けられた。

容量10,000kL以上のものについては平成23年（2011年）12月31日までに、タンク容量10,000kL未満のものについては平成27年（2015年）12月31日までに新基準への適合確認を実施することが義務付けられた。なお、この期限については後に発生する十勝沖地震を機に見直されることとなる。

⑦ 兵庫県南部地震の発生等

平成7年（1995年）には兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）が発生した。大阪湾岸の、特に震源域に近い神戸市や尼崎市の比較的小規模な屋外タンク貯蔵所において、地盤の液状化や不等沈下によるタンク側板の損傷、タンクの傾斜等の被害が多数発生したが、大規模な流出事故は発生しなかった（図4）。

平成8年（1996年）9月には規則の一部が改正され、新基準タンクのみにも適用されていた保有水平耐力に関する要件が、新法タンクにも適用されることとなった。



図4 兵庫県南部地震のタンクの被害状況

⑧ 準特定タンクの基準の制定

兵庫県南部地震で被災した屋外タンク貯蔵所は、容量が1,000kL未満のものが多数であったため、平成11年（1999年）の政令改正及び27号通知では、準特定タンクに関する位置、構造等の技術基準が整備された。また、既設の準特定タンクに関する基準も同時に制定され、基準に適合しないものについては平成32年（2020年）3月31日までに耐震改修を行うことが義務付けられた。なお、この期限についても特定タンクと同様に、後に発生する十勝沖地震を機に見直されることとなる。

⑨ 十勝沖地震の発生

平成15年（2003年）には十勝沖地震が発生し、浮き屋根の沈没が発端の全面火災（図5）、防油堤の液状化等の被害が発生した。この地震による浮き屋根の被害事例を踏まえ、平成17年（2005年）に損傷が生じない浮き屋根とする必要がある対象が定められ、当該浮き屋根について浮き部分の構造に関する強度評価に関する基準が規定されたほか、浮き屋根損傷時に有しなければならない浮力性能、浮き部分の溶接構造、浮き屋根上の雨水を排水する設備に取り付ける遠隔操作弁等の基準が規定された。



図5 十勝沖地震における浮き屋根タンク全面火災の状況

⑩ 特定タンク及び準特定タンクの新基準への適合に関する経過措置の期限繰り上げ

十勝沖地震の被害状況を受け、平成16年（2004年）には政令の一部が改正され、新基準への適合に関する経過措置の期限について、タンク容量が10,000kL以上のものについては平成21年（2009年）に、10,000kL未満のものについては平成25年（2013年）にそれぞれ繰り上げられた。また、準特定タンクについては、新基準への適合に関する経過措置の期限が平成29年（2017年）に繰り上げられた。

⑪ 東北地方太平洋沖地震の発生

平成23年（2011年）には東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）が発生した。東北地方沿岸部を中心とした広範囲にわたり津波が到達し、この地震で被災した全危険物施設3,341施設のうち、津波による被害を受けたものは1,820施設にのぼった。

宮城県仙台市の製油所では、津波によりタンクが転倒したことが原因の火災（図6）や津波によるタンク基礎の洗掘（図7）等の被害が発生した。そのほか、震源より遠く離れた東京湾岸や日本海側等の数十基の屋外タンクにおいて、本震及び余震の発生時に浮き屋根のスロッシング被害が発生したが、ポンツーン溶接部の割れや内容物の漏洩等といった大きな被害は発生しなかった。

津波被害を教訓に、平成24年（2012年）には規則の一部が改正され、津波による浸水が想定される地域に所在する製造所等の所有者、管理者が定める予防規程の中に、津波対策を記載することが義務付けられた。



図6 タンク等の火災



図7 津波による基礎の洗掘

⑫ 浮き蓋付き特定タンクの技術基準の制定

平成15年（2003年）に発生した十勝沖地震では、タンク浮き屋根の被害のほか、浮き蓋についても損傷被害が発生した。その後、平成18年（2006年）から平成19年（2007年）にかけて、浮き蓋の損傷、浮き蓋上への危険物溢流、浮き蓋の傾斜又は沈没といった事例が相次いだことを踏まえ、平成24年（2012年）に政令が改正され、浮き蓋付の特定タンクが満たすべき技術基準として、浮き蓋の構造、可燃性の蒸気を有効に排出するための設備、点検設備、及び配管内の気体がタンク内に流入することにより浮き蓋が損傷しないための設備に関する基準が規定された。

4 水島事故を契機に強化された特定(新法)タンクの安全対策について

前述したとおり、昭和49年12月に岡山県倉敷市で発生した屋外貯蔵タンクからの重油流出事故を受け、昭和52年に政省令等が改正され、容量1,000kL以上の屋外タンク貯蔵所は「特定屋外タンク貯蔵所」と定義され、タンク本体及び基礎・地盤の技術基準が強化された。

本章では、主に、強化された新法タンクに係る技術基準の改正内容等について解説する。

4.1 新法タンクの基礎及び地盤

昭和52年の政省令等改正以前の旧法タンクの基礎形式は、「盛り土」形式の基礎が多く採用されてきたため、新法タンクにおいても「盛り土」形式の基礎を想定して基準が規定されている。

一般的な土木・建築構造物の基礎形式は「コンクリート構造」であるのに対し、屋外貯蔵タンクの基礎が、主として良質な砂や碎石等で構成された「盛り土」形式であることは、他に類をみない特殊な構造物である。これは、支持すべき上部構造体(タンク本体)が、薄肉構造で非常に可とう性に富んだ構造物であり、ある程度の沈下が許容でき、また荷重状態が一樣であることと、従来の多くの経験により小規模容量から大規模容量のタンクに至るまで、その安全性に関する知見が積み重ねられてきたこと等によるものである。

消防法令においては、「地盤」は、地表面下における屋外貯蔵タンクの支持部分を、「基礎」は、地盤上に構築される屋外貯蔵タンクの支持構造物とされている(図8)。新法タンクに求められる要件を、地盤及び基礎ごとに解説する。

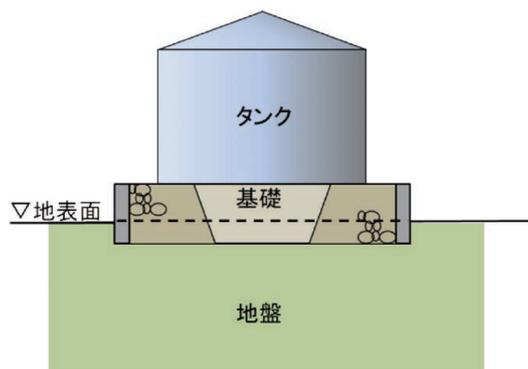


図8 屋外タンク貯蔵所の基礎と地盤の区分

(1) 新法タンクの「地盤」

新法タンクの支持地盤に対する必要な要件として、次の事項が挙げられる。

- ・十分な支持力を有するとともにすべりに対する安全性が確保されたものであること。
- ・長期にわたって沈下や変形が継続しないこと。特に、粘性土地盤においては、竣工後の圧密による沈下量が一定の限度内の値であること。
- ・地震の影響を受けた場合においても、安全性を失わないものであること。特に、砂質土地盤においては、いわゆる液状化現象を起こさないものであること。

① 地盤のすべり

新法タンクの支持地盤は、本質的に弱層部を内在しないことが必要であるため、設置してはいけない地盤条件として、「岩盤の断層」や「切土及び盛土にまたがる」等、地盤のすべりを生じるおそれのある箇所には設置してはならないとされた（規則第20条の2第2項第1号）。

また、海、河川、湖沼等に面している場合、すなわち、地表面に段差等があって、地盤の安定が確保されていなければならないときには、地盤のすべりについて検討し、安全率1.2以上を確保することとされた（規則第20条の2第2項第3号関係）。

② 地盤の支持力

特定タンク等の荷重を支える地盤の支持力が不足すると、地盤のせん断破壊が生じ、タンクが傾斜する等の危険性がある。

支持力は、ある荷重を受けた地盤について、その中で仮想の土のくさびの平衡状態を考え、その極限状態としてのすべりの安定に着目して極限支持力を導く考え方にに基づき算定されている。この算定式においては、基礎形状、根入れ深さ、土の内部摩擦角、粘着力等の基礎構造及び土の強度特性の要素が考慮されている。こうして得られた極限支持力は、地盤に作用する荷重に対して、所定の安全率が確保されていなければならない（規則第20条の2第2項第2号口(1)関係）。

一般的な土木構造物では、安全率3が採用されることが多いが、特定タンクの場合、平面的な大きさがあり、荷重の分散が図られ、かつ、水張試験において一般的な危険物より比重の大きい水を使用して、タンク本体及び基礎・地盤の安全性を総合的に確認することから、地盤の支持力の安全率は「1.5」と規定された（告示第4条の5）。

③ 地盤の沈下

粘性土地盤の沈下は、経時的に発生する現象であり、タンク建設後には特に問題無くても、数年後に地盤の沈下が大きくなる場合がある。地盤の沈下により基礎に不陸等が生じると、タンク本体の破損による危険物の漏えいの原因とも成り得るため、タンク設置予定箇所で起こり得る沈下の特性や沈下量について適切に予測することが重要である。

地盤はさまざまな性質の土が堆積して形成されているため、まずは地盤を粘性土層と砂質土層に大別し、それぞれの土質に規定されている沈下量の計算方法に従って算出することとなる。

タンク本体に及ぼす変形や応力の影響は、タンク直径に対し1/100程度以内の不等沈下であれば著しい悪影響が生じないことが経験的に知られている。そこで、新法タンクではこれに安全率3を見込み、不等沈下量はタンク直径の1/300以内であることと規定された（規則第20条の2第2項第2号口(1)関係）。

④ 地盤の液状化

ある程度大きな地震動を受けた砂質土地盤は、液状化現象を起こす可能性があり、液状化した地盤は、安定性を失い、タンク本体等の荷重を支持することができなくなる。支持機能を失うと、タンク本体の異常変形、破壊等を引き起こす可能性があるため、屋外貯蔵タンクが設置される地盤は、液状化を起こすおそれがないことが必要となる。

地盤の液状化現象については、水島事故の10年前の昭和39年（1964年）6月に発生した新潟地震により、広く一般的に知られるようになり、国内で本格的に地盤の液状化に関する研究が始まるきっかけとなった。

新潟地震では、新潟市のコンビナート地区において、液状化によるタンクの沈下が主原因となり、タンク本体と配管との接合部付近の損傷による危険物の大量漏えいやタンク火災が発生した。

液状化とは、地下水で満たされ（飽和し）、かつ、密度の緩い砂質土地盤において、地震時に地盤が液体のような振る舞いを起こす現象である。液状化判定方法の一つには、液状化に関係する因子であるところの「地下水による飽和」、「土の粒度分布」、「土の締め具合」の条件を少なくとも一つ取り除くことにより、液状化の可能性を無くすとした「限界N値法」というものがあり、新法タンクでは、この限界N値法で液状化判定を行うことと規定された（規則第20条の2第2項第2号口(2)関係）。

特定タンクの地盤においては、側板直下の周辺地盤が液状化しなければ、その中心部（図9のAの範囲）ではタンク荷重の作用により液状化しにくくなることから、周辺地盤（図9のBの範囲）についてはより厳しい条件が規定されている（表1）。

表1 限界N値法による液状化判定表

細粒分含有率 (Fc)	標準貫入試験値	
	A	B
5%未満	12	15
5%以上10%以下	8	12
10%を超え35%未満	6	7

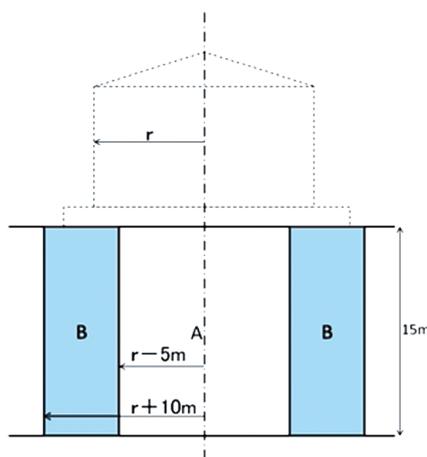


図9 限界N値法による液状化判定の範囲

⑤ 地盤上部の堅固さ

盛り土形式の基礎では、地盤の上部ほど大きな支持能力を要するため、基礎上面から3m以内の基礎直下の地盤部分が基礎と同等以上の堅固さを有するものでなければならないとされた。このため、この部分については、平板載荷試験値 (K_{30} 値) が $100\text{MN}/\text{m}^3$ 以上であることと規定された(規則第20条の2第2項第2号口(2)関係)。

⑥ 地盤の堅固さの評価

新法タンクの設置地盤としての十分な堅固さを有することの評価を次のように行い、これに適合するものでなければならないと規定された。これらの評価は、完成検査前検査で行うこととされた。

まず、粘性土地盤にあつては、圧密荷重に対して圧密度が90%以上確保されている必要がある。この意味するところは、タンク荷重を受けた地盤は、長期にわたって圧密が継続することになるが、90%圧密度を確保すれば、沈下がほぼ安定することになり、また、地盤強度についても、90%程度以上の圧密度の確保により計算値との差異が少なくなることが知られていることによるものである。

また砂質土地盤にあつては、N値が平均的に15以上の値が確保されている必要がある。タンク荷重により砂質土地盤に応力増加が生じて、N値が15以上であれば、沈下に対する影響も無視し得ることが経験的に明らかになっていることによるものである(規則第20条の2第2項第2号口(3)関係)。

(2) 新法タンクの「基礎」

特定タンク等は、その構造が薄肉で、非常に可とう性に富んだ構造物であるため、地震時には、側板近傍の底板のみが側板に追従し上下動を繰り返す、いわゆるロッキング現象と呼ばれる挙動を示す。このような屋外貯蔵タンクの構造的な特性から、底板及び基礎に作用する荷重は側板近傍に集中するため、側板直下付近の基礎は、堅固なものとすることが重要である。以上のようなことを考えると、基礎設計はタンク本体の特性を十分考慮したもので、基礎とタンク本体は、一体として設計されなければならない。屋外貯蔵タンクの基礎においては、次の要件を備えることが必要である。

- ・基礎は、タンク荷重及び地震力に対して、十分かつ均一な支持力を有すること。
- ・タンクの底板に接する部分の基礎は、タンク底板のある程度の変形に追従できる構造であること。
- ・基礎は、不等沈下等による有害な影響をタンク本体に与えない構造であること。
- ・タンク底板の外側(裏面)は、基礎に直接接触し、腐食の影響を受けやすい。腐食対策は保安上最も重要であり、基礎はできるだけ腐食環境を形成しない構造であること。

① 平板載荷試験値 (K_{30} 値)

基礎は、その上部のタンク荷重を支持し、荷重を下部の地盤に伝達する機能を有するものでなければならない。このため、基礎は砂質土又はこれと同等以上の締固め性を有するものを用いて造り、その表面の K_{30} 値が $100\text{MN}/\text{m}^3$ 以上であることと規定された(規則第20条の2第2項第4号関係)。

② 基礎の形状及び構造

基礎の形状及び構造は、基礎の安定性、雨水浸透による腐食の防止、点検等の維持管理の容易さといった観点から安全性の確保が図られた(規則第20条の2第2項第4号関係)。

③ 地下水位との隔離

地下水は、タンク底板の裏面腐食の一要因と成り得るため、腐食対策として本規定が設けられたものである。

埋立て地等地下水位が高い場所に屋外貯蔵タンクが設置されると、毛細管現象による地下水の上昇によってタンク底板の裏面腐食が発生するおそれが大きくなる。そのための予防措置として、一般的な砂質土における地下水の最大上昇高さに余裕を見込んで、基礎上面と地下水位との間に2m以上の間隔を確保することと規定された（規則第20条の2第2項第5号関係）。

④ 側板直下又は外傍の基礎の補強

盛り土法面の形状確保及び地震時等の集中荷重に対する対策として、側板直下又は側板外傍について、鉄筋コンクリートリング又は碎石リングにより基礎の補強を行うことが規定された（規則第20条の2第2項第6号関係）。

4.2 新法タンクのタンク本体

水島事故におけるタンク破損の直接的な原因は、不完全な基礎工事等に起因するものであったが、大量の重油が瀬戸内海を汚染する等社会へのインパクトが極めて大きい事故であったことから、このような事故を防止するための様々な基準を包括的に定める必要性が生じた。その結果として、大量の石油類を貯蔵する特定タンクのタンク本体については、その多くが採用している円筒縦置型の構造を念頭に置いた具体的な技術基準が定められることとなった。以下、その内容について解説する。

(1) タンク本体に作用する荷重

タンク本体に作用する荷重について、常時作用する荷重（主荷重、長期荷重ともいう。）として、タンク本体の自重、貯蔵危険物の重量、タンク内圧、温度変化の影響を定義し、稀にしか作用しない荷重（従荷重、短期荷重ともいう）として、積雪荷重、風荷重、地震の影響を定義し、これら主荷重及び従荷重によってタンク本体に生ずる応力及び変形に対して安全なものでなければならぬと規定された（規則第20条の4第1項）。

① タンク本体の自重

タンク本体を構成する側板、底板、屋根の重量の他、タンク本体に取り付けられている附属設備すべての重量を勘案する必要がある。なお、鋼材の比重については7.85とすることとされたが、これはいわゆる炭素鋼の比重であり、ステンレス鋼等の炭素鋼以外の鋼材をタンク本体に使用する場合は、当該鋼材の比重とする必要がある（告示第4条の18第1号）。

② 貯蔵危険物の重量

貯蔵する危険物の比重を勘案して重量を算出する必要がある。ただし、貯蔵する危険物の比重が1.0未満の場合は、当該比重を1.0以上で評価する必要があることに留意しなければならない（告示第4条の18第2号）。

③ タンク内圧

タンクで危険物を貯蔵する際、窒素を充てんする等でタンク内の圧力を保持する設備（PVバルブ等）を設けている場合には、タンク本体に作用する荷重として貯蔵危険物の液圧に加え当該圧力（内圧）を考慮した設計とすることが必要である。一般的には、設置するPVバルブの吐出作動開始圧力を以てタンク内圧とするケースが多いが、当該PVバルブの径や想定される通気流量によってタンク内はこれより高い圧力となるため、設置するPVバルブの流量曲線に応じたタンク内圧を考慮することが望ましい。

④ 温度変化の影響

鋼材の線膨張係数を 12×10^{-6} とした熱応力の影響を検討することとされた（告示第4条の18第3号）。一般的に第4類の危険物を貯蔵するタンクにおける温度変化の条件において、熱応力の影響は極めて軽微であるが、タンク本体を構成する鋼板の機械的性質（規格最小降伏点、縦弾性係数）について、温度変化の影響を考慮した応力評価を行っている。

⑤ 積雪荷重

単位面積あたり1cmにつき19.6N以上の荷重を作用させることとされた（告示第4条の18第4号）。なお、積雪高さについては、所轄の消防本部と協議した上で、タンクを設置する地域（各消防本部の管内等）でこれまで記録された最大積雪高さ（理科年表等による）を採用することが一般的である。

⑥ 風荷重

当時の建築基準法に準じて、昭和9年（1934年）に発生した室戸台風の際に地上15mの高さで観測された最大瞬間風速63m/sに基づいた速度圧（ $0.588k\sqrt{h}$ ）を作用させることとなった。ただし、海岸、河岸、山上等強風を受けるおそれのある場所に設置するタンク等はタンクの投影面積 $1m^2$ につき2.05kNの荷重を作用させることとなった（告示第4条の19第1項）。

⑦ 地震の影響

タンク本体に作用する地震の影響の評価方法については、当時の建築基準法に準じていわゆる修正震度法による許容応力度評価の手法が導入された。

基準となる設計水平震度は、大正12年（1923年）に発生した関東大震災の記録から推定された東京における地表面加速度約300ガルに基づくとともに、地域の影響、地盤の影響及びタンク本体の固有周期に応じた応答倍率を考慮するものとなっており、現行基準のベースがここで形作られた。ただし、タンク本体の固有周期の具体的な算出方法は示さず、ほぼ全てのケースで応答倍率を1.0で評価することとなったため、結果として修正震度法による構造評価とはなっていなかったほか、タンクのスロッシング（液面揺動）の影響についても考慮されてはいなかった。

その後昭和53年（1978年）に発生した宮城県沖地震の被害事例を踏まえ、昭和58年（1983年）の法令改正で地域の影響、地盤の影響及びタンク本体の固有周期に応じた応答倍率について見直しを行ったほか、液面揺動の影響を取り入れることで、修正震度法による許容応力度評価としての現行基準がここに取りまとめられた（告示第4条の20）。

(2) タンク本体に生じる応力

主荷重によって生じる応力は材料の規格最小降伏点（又は0.2%耐力）の60%以下、主荷重及び風荷重又は地震の影響の組み合わせによって生じる応力は材料の規格最小降伏点の90%以下とすることが規定された（改正当時の規則第20条の4第2項、現行法令では告示第4条の16の2）。この許容応力の設定もまた、当時の建築基準法の考え方（短期荷重に対する許容応力は長期荷重に対する許容応力の1.5倍とする）に準じたものといえる。

具体的にタンクに生じる応力の算出方法として、地震による座屈の計算方法が示されたほか（改正当時の告示第4条の20第2項第3号、現行法令では告示第4条の16の2）、通常時の貯蔵危険物による液圧がタンクに作用することで生じる側板の引張応力から必要となる板厚が示された（告示第4条の21）。その後、昭和58年（1983年）の法令改正で修正震度法による許容応力度評価の方法が示されたことに併せて、具体的な発生応力の計算方法が通知で示された（昭和58年消防危第44号通知）。

(3) 側板、底板、屋根及びアニュラ板の最小厚さ等

タンク本体を構成する部位ごとに最小厚さ等が定められた（告示第4条の17）。この最小厚さ等は、タンクの設置時のみならず、タンクを維持管理していく上でも満足する必要があるため、設置当初から余裕のある厚さで設計しておくことが重要であるものの、経済合理性等の観点から最小厚さで製作されているケースも多い。底板やアニュラ板の厚さについては、腐食等で板厚が減少した場合の補修基準について通知等で示されており、タンクを維持管理していく上で注意が必要なポイントとなっている。

(4) タンク本体の溶接

石油タンクだけでなく、船舶や橋梁といった溶接構造物が壊れる場合、破壊の起点が溶接部であることがほとんどであるため、溶接部の健全性をどのように担保するかは極めて重要な課題である。このような観点から、溶接に関する設計と施工との両面から基準が設けられた（規則第20条の4第3項）。以下、その内容について解説する。

① 側板の溶接

縦継手及び水平継手共に完全溶込み溶接とすることが求められた（規則第20条の4第3項第1号）。施工に際しては、片面から溶接の積層を重ねた後、反対面から初層部を削り取る「裏はつり」と呼ばれる工程を経て残りの部分に溶接の積層を重ねる方法が一般的に採られる。

なお、当該改正以前は、鋼製石油貯槽の構造に関するJIS規格（JIS B8501）が縦継手のみに完全溶込み溶接を求めていたため、旧法タンクの側板水平継手は現在でも完全溶込み溶接となっていないものが見受けられるが、こうしたタンクについては機会を捉えて補修工事が進められているところである。

② 側板と底部板との溶接

側板内面側の下端に開先を設けることで部分溶込みグループ溶接とすることが求められた（規則第20条の4第3項第2号）。また、この部位はタンクの構造上応力が集中する部位となるため、溶接ビードの余盛形状の影響で更なる応力集中を防ぐ観点から「滑らかに仕上げること」が求められることとなった。具体的には、T継手のアニュラ板側止端部の形状ができるだけ連続となるよう、溶接施工後にグラインダーによる研削を行う必要がある。

③ 底部板の溶接

裏当金を用いた突合せ溶接を基本とするが、厚さが9mm以下の底部板についてはすみ肉溶接とすることも可能とされた（規則第20条の4第3項第3号）。また、すみ肉溶接を実施する場合のサイズについても詳細が規定された（規則第20条の4第3項第4号）。

すみ肉溶接は、突合せ溶接と比べ引張強度、曲げ強度の双方で劣るものの、施工が比較的容易といった利点があるため、特にタンク底板で多用されている。ただし、施工の際に2枚の板の肌あわせが悪くすみ肉溶接部に空隙が存在する様な場合、すみ肉溶接部の初層から亀裂が進展し、最終的に溶接部が破断に至るリスクがあるため、十分に注意して施工する必要がある（規則第20条の4第3項第3号）。

④ 溶接施工方法確認試験

溶接施工方法確認試験（Welding Procedure Qualification Test, WPQT）は、溶接の品質や強度、信頼性を確保し、実際の溶接作業において適切な施工方法が使用されていることを証明することを目的として行われる試験であり、他の溶接構造物（船舶、高圧ガスタンク等）の製造にあたって導入されている。

昭和52年の政省令等改正当時は、溶接施工方法確認試験の基準等は通知（昭和52年消防危第56号）で示されていただけであったが、その後平成9年に規則及び告示でその基準が規定されることとなった（規則第20条の4第3項、告示第4条の21の2）

(5) タンク材料の規格

タンク本体に使用する鋼板について、日本工業規格（現日本産業規格）で規定されているSS材（一般構造用圧延鋼材）、SM材（溶接構造用圧延鋼材）、SPV材（圧力容器用鋼板）またはSMA材（溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材）が定められた（規則第20条の5第1号）。しかしながら、タンク本体に使用する鋼板はこれらの材料に限定されるわけではなく、これらと同等以上の機械的性質及び溶接性を有する鋼板であれば使用して差し支えないこととなっている（政令第11条第1項第4号）。

なお規則では、アニュラ板に使用する鋼板として、SM41C（現SM400C）とSM50C（現SM490C）に限ると規定された（規則第20条の5）。SM材はそれまで主に船舶の構造材として使用されてきた鋼板であり、その製造過程において脱酸処理を行うことで低温での高い靱性値が得られるため、タンク本体の構造上最も重要な部位であるアニュラ板にその適用が求められたところであるが、SM材以外の材料についても、タンク隅角部に発生する応力解析等の必要な検討を行った上でその使用が認められてきたところである。

(6) 溶接部の試験

水島事故を契機として新たに規定された制度として、市町村長等が実施する「完成検査前検査」がある。タンク本体の溶接部については完成検査での確認が困難なため、完成検査の前に行う完成検査前検査として非破壊検査の実施が必要となった（規則第20条の6）。

ただし、非破壊検査を実施するだけで溶接部の健全性が担保されるわけではない。溶接部の品質を担保するためには、適切な溶接施工の条件を設定し、適切な管理の元に資格を有する溶接作業者が施工した上で、適切な非破壊検査を実施するといった溶接工事に関する品質管理のサイクルを徹底することが極めて重要となる。また、非破壊検査は万能ではなく、方法に応じてそれぞれメリットとデメリットがあることを理解しておく必要がある。

① 側板に係る溶接継手

側板の縦継手及び水平継手に対して放射線透過試験を行うこととされ、試験結果の評価方法が示された（規則第20条の7）。また、昭和52年消防危第56号において、抜き取りによる放射線透過試験の実施要領が示されており、タンクの設置時や、側板の取替工事の際にはこの実施要領に従って抜き取りによる放射線透過試験が実施されているところである。

放射線透過試験のメリットは、溶接内部の欠陥の把握が可能であることが挙げられる。一方、デメリットは、作業環境の確保、微細な傷の探傷能力に劣ること等が挙げられる。

② 底部板に係る溶接継手

底部板の溶接継手に対して磁粉探傷試験を行うこととされ、試験結果の評価方法が示された（規則第20条の8）。なお、磁粉探傷試験の実施が困難な場合は浸透探傷試験を実施することとされている。ここで磁粉探傷試験の実施が困難な場合の例としては、底部板の材質がオーステナイト系ステンレス鋼に代表される非強磁性体である場合や、タンク附属物の影響により磁粉探傷試験を実施する機器が使用できない場合が挙げられる。

磁粉探傷試験のメリットは、感度が高く割れ等の微細な溶接欠陥を確認しやすいことが挙げられる。一方、デメリットは、溶接内部の欠陥が探傷出来ないこと、感度が高いことで溶接欠陥ではない表面の凹凸形状に対して磁粉模様を形成してしまうこと（疑似模様）、デジタル化が不向きで記録を保存しにくいこと等が挙げられる。

浸透探傷試験のメリットは、試験対象の材質を選ばないことや試験方法が容易であることが挙げられる。一方、デメリットは、表面に開口していない傷の探傷が出来ないこと等が挙げられる。

③ 屋根板に係る溶接継手

屋根板の溶接継手に対して漏れ試験を行うこととされた（規則第20条の9）。漏れ試験の種類については具体的な規定がないが、加圧漏れ試験や真空漏れ試験等が活用されている。

なお、浮き屋根や浮き蓋についても同様に漏れ試験を行う必要がある。近年は、浮き屋根上への危険物漏えい事故が多発しており、その原因は経年劣化による腐食開口や溶接線の破損によるものである。浮き屋根の沈下はタンク全面火災のリスクが高まることから絶対に避けなければならず、タンクの所有者はタンクの開放時に浮き屋根の浮力を担保しているポンツーン部分に対して漏れ試験を実施し、その健全性を確認する事が重要である。

(7) 点検制度

タンク本体の安全を担保するためには、適切な設計、施工が行われることはもちろんのこと、適切な維持管理が行われることも同様に重要であることから、水島事故を契機として適切な維持管理を促すための点検制度が設けられた。以下、これらの内容について解説する。

① 定期点検

特定タンクは、原則として1年に1回以上、対象となる危険物施設の位置、構造及び設備が技術上の基準を満足しているかどうかについて、当該施設の所有者等が実施する点検として「定期点検」が制度化された（法第14条の3の2、規則第62条の4）。定期点検を実施する所有者等は、点検記録を作成し、これを保存しなければならない。

② 内部点検

特定タンクは、一定期間（新法タンクの場合13～15年）ごとに、底部の溶接部及び底部の板の厚さが技術上の基準に適合しているかどうかについて当該タンクの所有者等が実施する「内部点検」が制度化された（規則第62条の5）。内部点検を実施する所有者等は、定期点検と同様に点検記録を作成し、これを保存しなければならない。

③ 保安検査

特定タンクのうち、容量が10,000kL以上のものは、一定期間（新法タンクの場合8～15年）ごとに、底部の溶接部及び底部の板の厚さが技術上の基準に適合しているかどうかについて市町村長等が実施する「保安検査」が制度化された（法第14条の3、政令第8条の4）。

また、全ての特定タンクを対象として、タンクの不等沈下率（定期点検において確認すべき指標で、タンク底部の最大高低差とタンク内径の比率をいう）が1/100を超えた場合にも保安検査を実施する必要がある（法第14条の3第2項、政令第8条の4第5項）。この場合、不等沈下率を解消するためには必然的にタンク本体の支持構造物である基礎等の改修が必要となる。

5 おわりに

現在、人口減少、省エネルギー技術の進展等により、石油製品の国内需要は減少しており、石油業界の大型再編の動きが進行している状況にある。今後も製油所等の石油関連施設・設備の統廃合が進展する場合には、協会の基幹業務である特定タンク等に係る審査業務等がさらに縮小していくことは不可避であると考ええる。

しかしながら、協会の最も根幹となる特定タンク等に係る審査業務については、法令に定められている技術基準に従い、高い技術力を持った専門家集団として、引き続き、迅速かつ的確なサービスに努め、消防機関の信頼に応え、一層の安全・安心の確立に努める必要がある。また、技術力の向上に努め、技術援助等により屋外タンク貯蔵所の安全性の評価、新技術の導入等に積極的に対応したいと考える。

基礎・地盤の審査に当たっては、これからも時代のニーズに即した新たな基礎の支持方法や地盤改良工法の進展が予想されることから、その評価方法等について検討を行う場合は、調査検討の段階から積極的に参画していきたいと考える。

また、タンク本体については、設計審査や保安検査等を通じて得られた特定タンク等の設計、施工管理等の技術情報については、個別のタンクごとの履歴をデータベースとして蓄積しており、日本国内のほぼ全ての特定タンク等の管理履歴等の重要情報が網羅されている。これらの膨大なデータベースについては、引き続き精度の高い協会独自の審査に活用するとともに、事故の原因分析、安全対策の立案、技術基準の策定などの観点から、屋外タンク貯蔵所の保安レベルの向上と保安技術情報の提供に寄与できるよう、関係機関と連携しながら一層の有効活用に努めたいと考える。