

石油タンクの安全対策

横浜市屋外石油タンク安全性研究会報告

佐野秀哉（企画調整局プロジェクト室主査）

はじめに

昭和四十九年十二月に起った水島における石油流失事故をはじめ五十年二月の四日市の石油タンク火災など、事故が多発しているが、石油タンクについては、これまで十分な安全性の検討がなされないうまま巨大化していったことを物語るものといえる。

石油基地をかかえる横浜市としても、水島事故を契機にいち早く石油タンクの安全確保にとりくみ、基礎的研究の積みかさねを行うとともに、これをもとにタンクの保安点検などについて本市独自の運用基準の設定を行い、大型タンクの改善命令を行うなど関連企業の指導を進めてきた。

こうした過程の中で、石油タンクの構造、設計、施工に関する検査及び解析結果等多くの貴重な資料が得られた。そこで、これらの資料をもとに石油タンクの基礎、溶接、地震との関係、監視体制等、石油タンクの安全対策にかかせない

基本的事項について検討を加えるため、学識経験者による研究会を設け、「屋外石油タンク安全性研究結果報告書」をとりまとめた。この報告書の内容を中心に石油タンクの安全対策について、以下紹介することとする。

一 タンクの概要

タンク（貯槽）というと一般に、大量の気体、液体を貯蔵するタンクを考へるが、石油精製工業、石油化学工業、一般化学工業で使用されるタンク類には、多種多様なものがある。

製油所での原油の流れからみた場合、一次原油タンク、二次原油タンク、中間タンク、半製品タンク、製品タンクの名称で数多く使用され、重要な役割をはたしている。

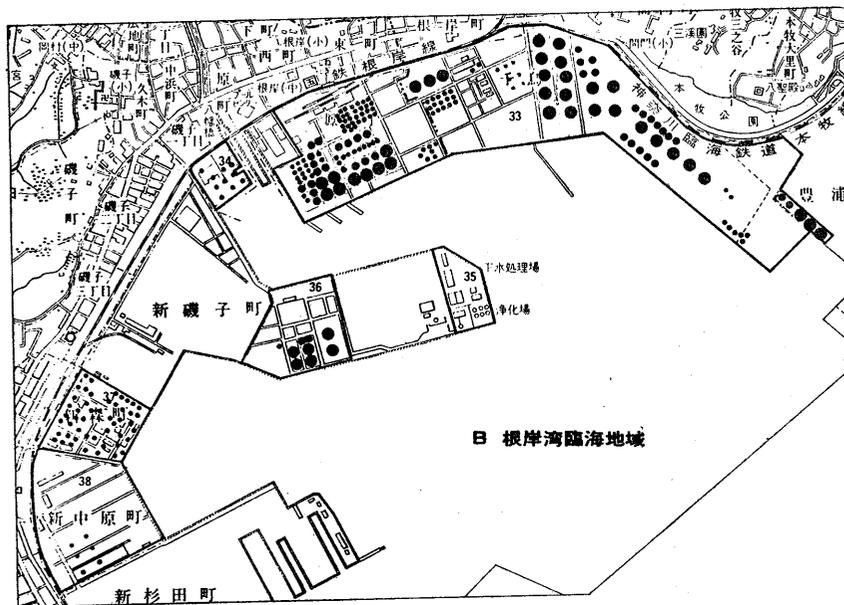
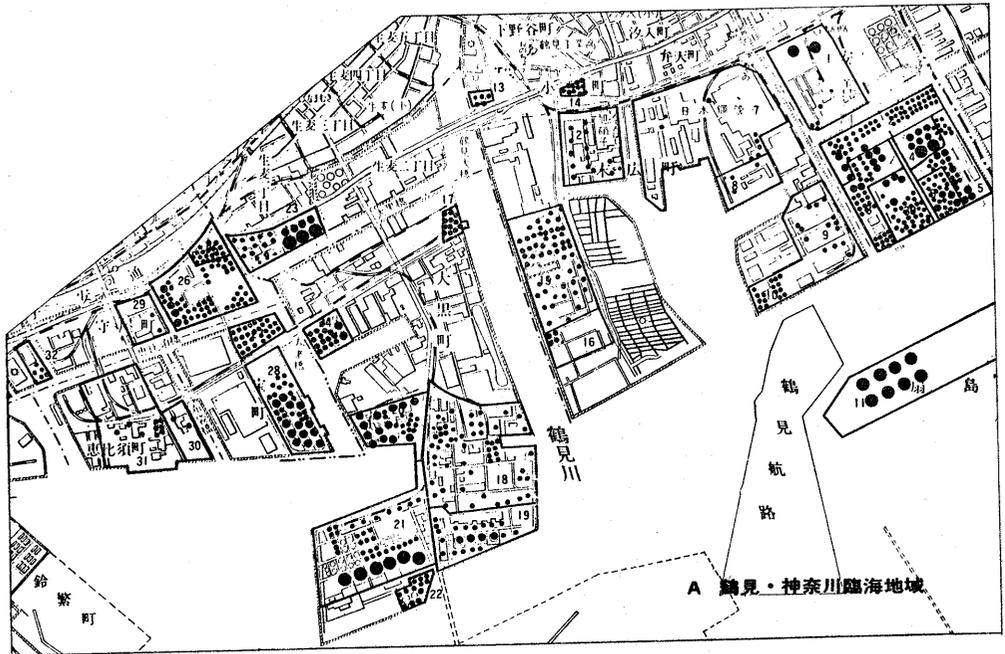
タンクヤードは原料タンク群と製品タンク群、ユートイリティ基置、プロセス基置の関係から位置、配置が決定され、防火上の考慮がなされている。

石油タンク事故・点検・運用基準等の経過

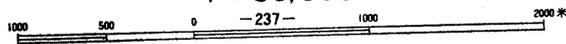
四十九年十二月	水島、三菱石油重油流出事故 横浜、アジア石油重油漏れ
五十年 一月	消防庁通達、一万KL以上タンクの不等沈下測定 一万KL以上タンク（二二六基）の不等沈下測定 堺、ゼネラル石油原油流出事故
二月	四日市、大協石油タンク火災
三月	内部開放点検の指示（二万KL以上不等沈下〇・五%以上一八基） タンクの現場検査（七月）
五月	水島事故原因調査中間報告（事故原因調査委員会、木原委員長）
五月	消防庁、屋外タンク貯蔵所の保安点検等に関する基準
六月	内部開放点検完了
七月	不等沈下タンクに改善命令
八月	屋外タンクの保安点検に関する運用基準
十月	横浜市屋外タンクの安全性研究会発足
十二月	水島事故原因調査報告（事故原因調査委員会、木原委員長） 石油コンビナート等災害防止法成立
五十一年 一月	横浜市屋外タンク安全性研究会報告
三月	消防庁、屋外タンクの貯蔵所の規制に関する運用基準 中小型タンク点検結果報告、六基に改善命令
七月	石油コンビナート特別防災区域指定（鶴見・神奈川・磯子・中）

〔参考一〕 屋外タンク分布図

タンク規模区分 3万kl以上 ● 1万~3万kl ● 1万kl未満 ●



1 : 30,000



タンクヤードの周囲には防油堤の設置が義務づけられており、その詳細は省令（危険物の規制に関する規則等二二条）等に示されている。

石油タンクのような常圧タンクに関する法律としては、消防法、危険物の規制に関する政令、危険物の規制に関する規則があり、また高圧タンクについては高圧ガス取締法、液化石油ガス保安規則がある。

(一) タンクの種類とその特徴

ア 開放型タンク

通常各操作間のサージタンクやバッチ操作のセトリングタンク等に用いられ屋根つきタンクに比べ安い費用で建設できる。しかし、この種のタンクでは、爆発や火災を引き起こす可能性のある液体、危険性のある化学薬品、有害なおいの発生する液体等の貯蔵はできない。

イ 固定屋根式（地上）タンク

平らな底板、たて型円筒形の側板および固定した屋根からなるタンクで通常大気圧に近い微圧を保持することができ、適用範囲が広く維持管理がやさしく比較的経済的な建設ができるもので最も一般的に使われている。

ウ 浮屋根式（地上）タンク

貯蔵する液体に揮発性の成分を大量に含んでいる時その蒸発損失を最少限にす

るために考案されたもので、固定屋根式タンクで固定屋根をつけるかわりに貯蔵液体の増減にしたがって上下する液面に浮かぶ屋根をそなえたものである。石油類の貯蔵に広く利用されている。また大型の原油タンクはこの形式のタンクを採用することによって経済的な建設ができるようになった。

エ 固定屋根つき浮屋根式タンク

浮屋根式タンクの上にドームルーフ等の固定屋根を取り付けたものであり、たとえばペーパーの発散を防ぐと同時に貯蔵物への雨水の混入を防ぐ必要があるような場合に適する。

オ カバートフロートタンク

大気圧貯槽の中で、固定屋根式にも浮屋根式にもそれぞれ長所と短所がある。両者の長所を兼ね備えるように開発されたのが、カバートフロートタンクである。固定屋根式タンクの中に浮屋根を加えたものであり、浮屋根によって内容物の蒸発損失を防止し、固定屋根によって風雨による影響や汚染から守ろうという考え方である。

なお、浮屋根外周部と側板内面との密封装置をミール機構と呼び、合成ゴム膜によるミール機構が開発されており、現在わが国では地震時の安全性から主にこの形式が採用されている。

(二) タンクの規格と設計

タンクを設計するにあたっては現在適用されている各種の規格や法規があるが、わが国では①「JIS」②石油学会規格（JPI）③API（American Petroleum Institute）が適用されて建設されているタンクが多い。

次にタンク容量の表わし方については、通常「KL」が用いられている。アメリカではバレルが用いられていることが多い。

タンクごとの固有名詞の一部として使用される容量として呼称容量がある。通常ラウンドナンバーで表わされ、たとえば500KL重油タンク等と呼ばれている。

二 一般事項

本研究は、屋外石油タンク（特に一万キロリットル以上）の構造安全性に関する諸問題について検討する目的で行ったものであり、主として油の流出の問題に重点をおき、タンク自体の油漏れに対する構造上の問題に重点をおいている。

したがって、その安全性検討の対象は、①タンク自体の油漏れに対する構造安全性、②損傷を受けた場合の被害を減少させるための補助施設に関するものである。

タンクの総合的安全の追求に関して、災害の種類を混同しない注意が必要である。すなわち、①常時の状態での災害、②非常時の災害があり、それらの各々について、損傷を少なくし、破損を受けた場合でもできるかぎり被害を少なくするように配慮されなければならない。

問題が工業的、技術的な範疇に属するものである以上、基本的な設計条件、施工体制、具体的な施工技術の実態の検討と併せて、タンク事故の実例を数多く調査することによる原因追求が必要である。このためには事故例の正確な追求が技術の改善と進歩に資するものであることを認識し、広く実例の収集調査とその分析、整理、研究を行い、よりよい設計改善に役立てなければならない。

したがって、この報告の内容は、現時点における構造的立場からみた石油タンク構造物についての検討結果であり、今後、各方面で研究が積重ねられる中で、さらに新たな成果がつけ加えられるべきものである。

(一) 油漏れに関する問題

現在の状況では側板破壊よりも底板を通しての油漏れが大量流出につながる重大な要因をなしているものと考えられる。過去における多くの側板破壊事故以降今日では、その国際的な改善対策によ

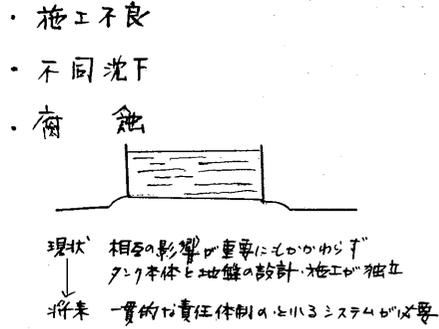
って側板については、設計、施工上の信頼性は向上している。これにくらべ底板については、これまで施工の容易さと経済性に重点がおかれてきたため、我が国特有の軟弱地盤とタンク構造との相関、とくに側板、底板接合部と支持地盤との相関力学という重要面が看過されていたとともに、タンク構造の主要部を形成する溶接部の実用的・効果的検査法が確立されないまま、容量規模の拡大が急速に進行してきたのが実情と考えられる。

その結果、底板部に内蔵されていた弱点、事故につながったものと考えられるが、油漏れの原因として次の五項目があげられる。

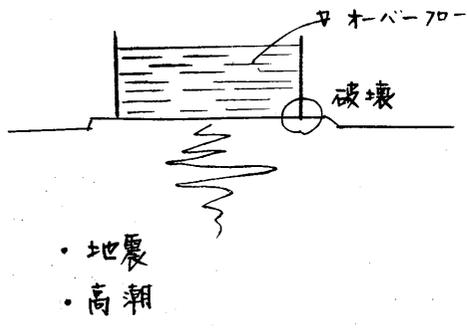
- ① タンク底部の施工不良
 - ② マウンド及び基礎地盤の沈下及び不同沈下による欠陥の発生及び欠陥部の拡大
 - ③ 腐蝕による油漏れ
 - ④ 地震時、振動による隅角底板部分の局部破壊の可能性
 - ⑤ 地震時その他における液面大動揺による内容液の筒壁を越えるあふれ出しの可能性
- ①と②及び③は、それぞれ相互に原因となりうるし、それらは④の地震時の傷口を大きくする原因ともなる。また⑤については、液体のあふれだしによる火災発生の危険率が大きい。したがって、現在の

の状況でみると、タンクの安全性には、タンク底板と基礎地盤及びマウンドの設計が相互にバランスを保っていること、

図一 油漏れに関する問題（常時）



図二 油漏れに関する問題（非常時）



施工の信頼性が高いこと、液体のオーバー

フローに対する配慮がなされていることが必要である。

(二) タンクの設計、施工に関する問題

タンクの設計は、わが国では主としてJIS、JPIなどによっているが、これらには底板周辺部の構造解析に基いて定められた規定は見当らない。また耐震その他の災害に関する規定も十分とはいえない。そのため、これまでの規格のつとより経験技術をよりどころにして漸時規模を拡大して建設がなされたといえる。したがって、基礎地盤と底板との相互関連性についての構造解析に基く定量的規定が早急に追加されなければならない。一般に構造物の安全性と信頼性は、その施工における品質管理の体制によるところが極めて大きい。

しかしこれまでは、一般に工事の効率化に追われてきた結果、それぞれの取扱い業者の、技術精度や責任体制についての相互の意思疎通が極めて不十分な状況にある場合が多く、これが重大な欠陥を生む可能性を内蔵してきたといえる。

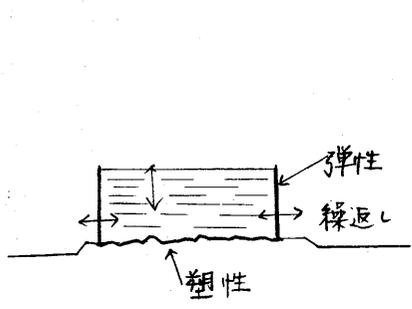
したがってその設計と監理には、上部構造と基礎工ともに高度広範な技術レベルを有する技術機関により、一貫的な責任体制のシステムとして遂行されなければならない。

次に、マウンド修正におけるジャッキ

アップ修正は、軽卒な工法を採用し実施した場合、底板の局部変形を増大させる要因となることが極めて多いという現実がある。したがって、タンク・マウンド修正については、沈下が全体として剛体的な傾斜沈下の形で起っている場合、タンクの油操作上支障がないかぎりにおいて避けた方がよいと思われる。乱雑なマウンド修正によって、マウンド自体の安定化しつつある地盤性状が大きく乱されることは、タンクの底板の安全性についてかえって有害となる。

したがって、何等かの理由でマウンドの修正を行う場合には、修正後のマウンド

図三 タンクの設計・施工に関する問題



ド、とくに側板直下およびアニユラップメント部分における地盤について均一な性状係数を確保できるように施工上、十分な注意が払われなければならない。

(三) 立地に関する問題

現在、わが国において、屋外タンク建設に主として利用されている臨海埋立地帯は、軟弱地盤であり、立地上適当とはいえない。しかし、わが国の現状からみると、産業立地としての可能性、ならびに住居地域からの隔離の容易性等から埋立軟弱地盤を避けることは、現実的には困難と考えられる。本市の臨海タンク地域の地盤状況についても地表からゆるい砂質上層と軟かい粘性土層が互層となつた埋立層と沖積層からなっている。粘性土がはるかに優越する所が多く、支持層の現われるのは地表から二〇〜五〇メートルで起伏傾斜が極端になつている。したがって、今後の研究課題としてタンク自体の安全確保をめざして、臨海埋立軟弱地盤のタンクの立地としての有効利用に対する工学的技術的ベースでの基本的解明が早急に実行に移される必要がある。

次に都市及び広域防災の観点から考察すると、現状では過密に建設されたタンク群を持つ臨海石油コンビナート敷地へ向つて、住居地域が拡大延長し、ますます接近の度を深めてきている状態が多い。このような状況において、とくに大量流出と火災が重つた場合、累加的被害の増大が懸念される。したがって、大量流出にともなう二次災害を防止するた

めの防油堤、防災堤等を至急増強し、併せてタンク相互間の安全距離の確保、一次防油堤の補強改修を行うことが必要である。なお、緊急時の油疎開のための油溜や予備タンクの設置も検討すべきである。

(四) 現在とるべき対策

タンクの安全性確保には、工学及び技術の多くの問題点を内包しており、今後の防災対策のためには、実データの集積、分析整理及び設計への反映、ならびに保守管理体制の整備、公的研究体制の樹立などが必要とされる。

また、タンクの建設費についても経済社会においてこれまで打立てられて来た慣行的制約を受けており、今後の解決には、多大の時間と努力を要するものと考えられる。したがって、将来現実的效果的な方法が確立されるまでは、現在タンクについて底板側板部の補強及びマウンドの修正等の改善対策、油漏れ監視体制の確立、沈下監視体制の確立、腐蝕に対する点検、補修等の施策をとることが必要である。

(五) 今後の防災対策のために

タンクの安全性確保の研究にあたっては、関連する多くの部面より取組む必要にせまられているが、その部面としては

次の五種のものがあげられる。

- ア 基礎工のデータ
- イ 基礎工のデータ
- ロ タンクの水張り試験前後の詳細な沈下記録及び沈下の経年変化の記録
- ハ 軟弱地盤における地震時の振動性状を把握するための振動記録の収集
- ニ 採取データの組織的分析整理と設計への反映
- ヒ 破壊事故データについて原因経路の明確把握
- ヘ 採取経年変化データ、事故データの項目別の傾向整理と統計処理
- ヘ 実用的設計理論と実現象との対比評価
- コ 諸種の力学的挙動値より設計上への採用値の集約環元
- ク 集約データ値等を参考とする設計の改善
- ケ 設計のあり方の再検討
- コ 旧来の設計上の技術基準の歴史的変遷の整理
- ク 立地特性条件に対する規模の再検討
- ク 地盤、タンク構造の現時的ディテールの再検討
- ク 地盤、タンクの施工法の諸検討
- ク マウンドの防油法に関する研究
- ク 危険コンビナートの防災上の総合検討

品質管理の体制の整備

- ク 基礎・タンク建設にあたって、設計・監理を一貫したシステムとして実施する中立的職域体制の樹立
 - ク 基礎・タンクそれぞれの施工分域における管理責任体制及び連絡体制の明確化
 - ク 早期の油漏れ探知システムの樹立とその管理体制の確立
 - ク 全般にわたる防災機構作働点検管理体制の樹立
 - ク タンク保有者の保守管理上の所定事項定期報告
 - ク 常時の公的研究体制の樹立
 - ク 軟弱地盤の各種地盤改良法についての諸種の基礎的研究
 - ク 溶接部に対する現場の効果的検査法
 - ク 溶接継目の塑性変形能力および疲労の効果問題の基礎的研究
 - ク 耐震関係諸事項の基礎的研究
 - ク 軟弱地盤に対するタンクの適正規模限界に対する研究
 - ク 高度諸研究より設計指針の明示と実用基準の作成
- なお、これらのほか、津浪、暴風雨、大雨、洪水その他に見られる自然条件に対しても、また、構造本体と細部機構に対しても十分な検討を必要とすることは明かである。これらは、研究者だけではなくタンクの保有者、設計者、建設業者、その安全管理に指導性を有する官庁

の積極的な意志と協力によって有効な実
を結ぶことが出来るものである。

三 個別事項

以下に述べる個別事項は、現時点まで
におけるかざられた研究結果からの集約
判断に基づくものである。

(一) 基礎地盤

地盤については、タンク建設に先立ち
十分な初期圧密沈下を完了させておく
とともに、とくに側板下周辺を中心とした
支持力の検討を必要とする。
さらに地盤の性状とその後の状況につ

図-4 基礎・地盤

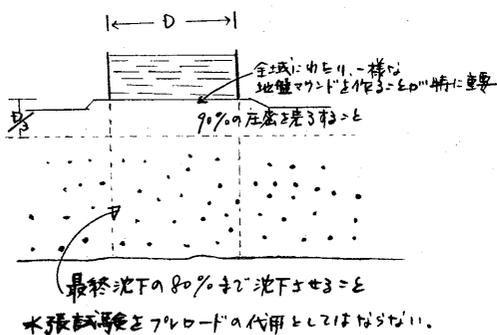


図-6 タンク本体

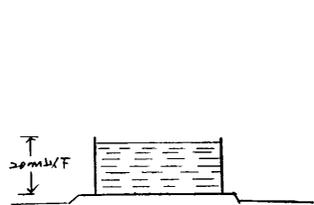
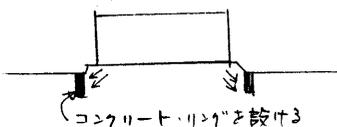


図-5 マウンドの安定対策



いては、正確に把握するよう体制を整備
しなければならない。
次に、マウンドの安定対策としては、
側板直下部分のマウンドは、礫、碎石等
の材料によりよく締固めること、地震時
に液状流動化を起しやうい地盤の場合に
は、マウンド外周の側方流動への安定対
策上、マウンド周辺部を鉄筋コンクリー
トリング壁を設け、拘束することなどが

あげられる。

なお、不等残留沈下の予想されるタン
クについては、少なくとも三年に一度の
定期的な内部開放点検を行い、沈下の監
視対策を立てておく必要がある。

(二) タンク本体

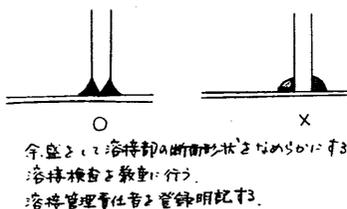
タンク本体の設計にあたっては、隅角
部分にとくに留意するとともにタンク側
板下端部が地震時に座屈しないように設
計する必要がある。

(三) 溶接

ア タンクの側板と底板及び底板と底板
の接合部分は、全面的に完全溶込みで応
力集中が少くかつ探傷しやすい溶接とす
る。

イ 溶接工事にあたっては、各タンクご
とに溶接管理責任者を登録明記し、その
指導、検査、補修、記録等の責にあたら

図-7 溶接



四 耐震

ウ タンク工作、工事に従事する溶接工
に対して、現場における溶接工作技術を
テストするための適切な附加試験を行い
品質管理上の信頼性の確保を行う。

図-9 耐震②

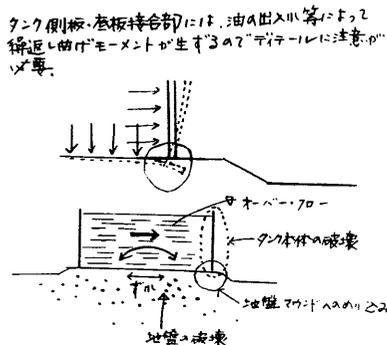
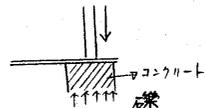


図8 耐震①

地盤への埋込みに対しては、次の考え方があり、
耐力設計



変形設計

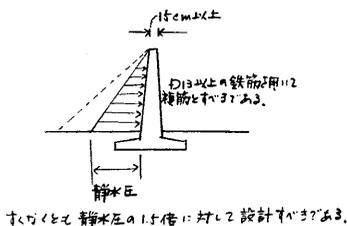


ア タンク内の液体動揺に対しては、条件にあった地震応答解析を行って設計することが望ましい。

イ 側板上縁からオーバードローのおそれのあるものについては、屋根等に設計上の配慮を行う。

ウ タンク側板下の支持地盤、基礎及び側板周辺底板の設計にあたっては、側板から底板外周部に加わる力及び地盤変形に対してマウンドの剪断滑り破壊及び底

図-10 防油堤



板の大変形破壊が生じないように設計する。

ロ 防油堤

ア 一次、二次防油堤について地震時耐力にも十分配慮する。

イ 防油堤（一次内）の容量は、少くとも当該防油堤内の最大タンク容量の百パーセント以上が必要である。

おわりに

この報告の内容は、構造的立場からみた検討結果であり、今後各方面で研究が積みかさねられる中で、さらに新たな成果がつけ加えられるべきものである。

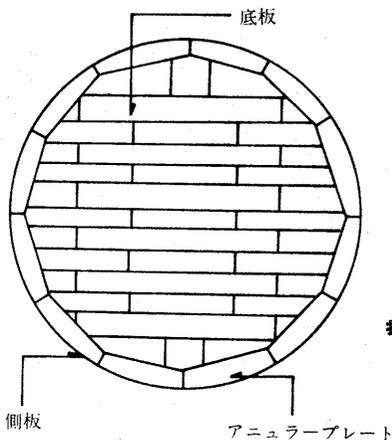
こうした意味から、この報告書は、今後の石油タンク安全対策の確立の契機となり、わが国の都市及び市民の安全対策の前進に寄与しうるものと考ええる。

横浜市屋外タンク安全性研究会委員

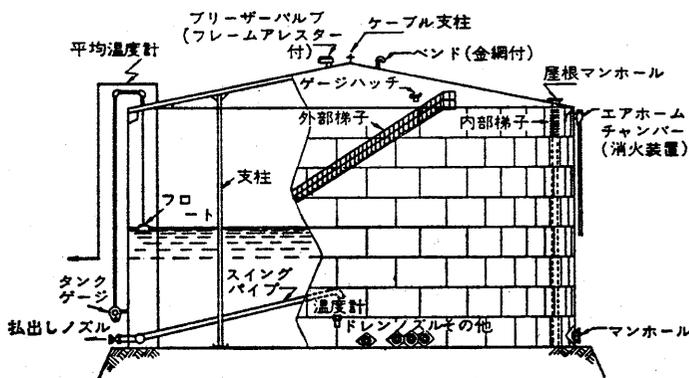
- 東京大学名誉教授 仲 威雄(溶接工学)
- 東京大学教授 大崎順彦(基礎構造)
- 東京大学教授 大澤 胖(耐震工学)
- 東大地震研究所長
- 東京大学教授 加藤 勉(鉄骨構造)
- 東京電機大学助教授森田耕次(溶接検査)
- 日建設計理事 多田英之
- 横浜市技監 田村 明
- 企画調整局長
- 横浜市消防局長 松本 功

[参考-2]

(底面図)



錐屋根タンク (側面図)



[資料] 石油便覧(日本石油)編