

貯槽・容器

工場操作シリーズ

NO. 9



化学工業社

化学工業臨時増刊

VOL. 18 No. 2

工場操作（貯槽・容器篇）

定 価 1,000 円

送 料 100 円

昭和42年8月30日 印刷

昭和42年9月5日 発行

編集兼発行人 原 徹

印 刷 人 大久保 泰 男

印 刷 所 三恭印刷株式会社

東京都豊島区要町2丁目11番地

——— 発行所 ———

株式会社 化学工業社

東京都千代田区神田淡路町1-11

電 話 (253) 6451~4

振 替 東 京 13060

81.1.11
287

貯槽, 容器の進歩と選定

小 谷 敏 雄

千葉大学

1. 貯槽, 容器の必要性

生産プラント (process plant) において, 処理する物質が固体・液体・気体のいずれたるとを問わずプラントの運転管理性, 経済性および製品品質の均一性などの点から連続運転を行なうのが原則である。しかしながら原材料の受け入れ, 製品の送り出しは, 特殊の場合を除き, 一般に車輛・船舶などのごとき間欠的手段 (intermittent measure) によらざるを得ない。この(間欠)―(連続)―(間欠)の不連続流れ (discontinuous flow) を大局的にみてできる限り円滑化し, 連続化せしめるための緩衝的設備 (buffer) として貯槽 (tank, holder), 容器 (vessel) が必要となってくるのである。なお第二義的には, 不慮の災害 (accident), あるいは部分的故障 (trouble) などによってプラントの全体あるいは局所的なプロセス流れの停滯を生じた場合に, 処理物質の氾濫を吸収するための応急短期的な緩衝器的役割を果す場合もある。

いずれにせよほとんどすべての生産プラントに, このような必要性から貯槽, 容器を多数設備している。しかもプラントの性質によっては, この貯槽, 容器の設備費がプラント全体の設備費の過半に近い高額を占める場合も少なくない。

とくに貯槽はその占有平面積が膨大であるから, 地価 (land cost) の高いわが国では経済的にみて問題となる。石油精製プラントにおける原油および製品貯槽設備はその代表的な例である。

元来貯槽, 容器はその構造が比較的簡単であり, また単価 (自重当り値段) も安いために, とかく軽視されがちであるが, 1つの生産プラントの全設備費に対して占めるその総額の比率は非常に大きいのみならず, その収容する処理物質の価額を考えれば, その設備計画は

経済的にも技術的にもあらゆる角度から慎重に検討しなければならない。

2. 貯槽, 容器の特長

このような役割をする設備として, 貯槽, 容器は次に述べるような条件を満足するものでなければならない。

すなわち,

- i) 所定量の物質を包蔵するに足る空間容積を占有し, 幾何学的に一定の形を保つものでなければならない
- ii) 完全に気水密性であるのが原則であって, 内部の収容物質が外部に漏出することがなく, また外気が内部に侵入しないのを原則とする
- iii) その構成材料は収容物質に侵されることなく, また反面において収容物質に変化(主として化学的)を与えるものであってはならない
- iv) その構造は収容物質の重量, 内部圧力, あるいは外力(地震力, 風圧など)に対して十分安全な機械的強度を有するものでなければならない
- i) は貯槽, 容器の本質に関する特長である。ii) はその性能に関するもので貯蔵物の量的損失を生ぜしめないために必要な条件である。とくに高圧, 真空状態あるいはまた毒性, 発火性, 爆発性物質を収容する場合は安全性の点からこの耐気水密性は重大な問題である。
- iii) は本体の耐久性および収容物質の質的劣化の防止の2つの点から必要な条件であって, 収容物質を侵すことなくまた侵されることのないしかも安価な材料を使用しなければならない。一般的には普通炭素鋼板が使用されるが処理物質のいかんによって鉛, ステンレス薄板などのごとき金属ライニングを施したり, あるいはまた合成樹脂, グラスなどのごとき非金属材料のライニングあ

るいはコーティングを施したりする場合もある。

iv) は本体の機械的強度に関する条件で、材料を選定する場合に iii) 項の条件とあわせ考慮すべきである。近年各種の応力解析法が進歩し、一面において高張力鋼などのごとき優秀な材料が開発され、だんだんと安全にしかつ耐久性があり、また経済的設計ができるようになった。

3. 貯槽、容器の種類

貯槽 (tank, holder) および容器 (vessel) の定義は明確ではないが、一般的には大気開放されているかあるいは密閉されていてもその気体圧がせいぜい 200~300mm (水柱) 以下の程度の物を貯槽といい、密閉された圧力の高い小形の物を容器 (vessel) という。とくに圧力のさらに高い物を圧力容器 (pressure vessel) と称せられている。密閉された容器でも大形の物は槽 (tank) といわれているようである。なお真空の場合も容器の範ちゅうに入れる。現在各種の生産プラントに使用されている貯槽および容器の種類を示せば大体下表のごときものである。

(1) 固体貯槽

- (a) バンカー (bunker)
- (b) サイロ (silo)
- (c) ビン (bin)

(2) 液体貯槽 (liquid tank)

- (a) 円錐屋根タンク (cone roof tank)
- (b) ドームルーフタンク (dome roof tank)
- (c) 浮屋根タンク (floating roof tank)
- (d) 伸縮屋根タンク (expansion roof tank)
- (e) 高架槽 (elevated tank)

(3) 気体貯槽 (gas holder, gas tank)

- (a) 水封式ガスタンク (water seal type gas tank)
- (b) 乾式ガスタンク (dry seal type gas tank)
 - (イ) 伸縮式 (wiggins telescoping fender tank)
 - (ロ) ピストン式
 - MAN 式 (tar seal)
 - Klönne 式 (grease seal)
 - (ハ) 膜式 (membrane type)
 - (ニ) 気球式 (balloon type)
- (c) 地下貯蔵 (under ground storage)

(4) 気体、液体容器 (vessel, pressure vessel)

- (a) 円筒形 (cylinder)
 - (イ) 立て形
 - 単殻式 (single shell)
 - 二重殻式 (double shell)
 - (ロ) 横形
 - 単肉式 (mono block)
 - 層成式 (multilayer)
- (b) 球形 (sphere)
 - 単式 (single)
 - 多重式 (multiple)
- (c) 液滴形 (spheroid)
- (d) 可搬式容器 (portable vessel)

- (イ) ボンベ (bomb)
- (ロ) タンク車 (tank car)
- (ハ) タンク自動車 (tank lorry)

以上はすべて金属製であるが、まれには非金属製のものもある。たとえばコンクリート製サイロ、木製の酒樽などであるがいずれも数少なく特殊用途であるからあまり重要ではない。

4. 貯槽、容器の進歩

貯槽、容器の進歩の過程をふりかえってみるに、その最も原始的なものは木槽あるいはコンクリート槽のごとき非金属製のものであったが、設備の大型化および要求条件の高度化に伴い、強度上および経済上から特殊の場合を除き一般に金属製に置き換えられてきた。このような金属製貯槽、容器もその開発当初においてはすべて鋸接構造 (rivetted construction) であったが、新しく溶接技術が開発されるに至り昭和の初め頃よりぼつぼつ溶接構造 (welded construction) が採用され始め、第2次世界大戦後は溶接技術の急速な進歩に伴い、すべて溶接構造に切り換わっていることは周知の通りである。溶接構造においてはその継手部が冶金的に融合し接続されるのであるから、貯槽、容器にとって最も重要な気水密性の保持という点については完璧であり、かつまた加工工数、手間が少なく、経済的であるからすぐれた構造であるといえることができる。近年における大型タンクあるいは高圧容器、耐酸容器などのごとき苛酷な条件のものが容易にかつ安価に製作できるのは、この溶接技術の進歩によるものであるといえることができる。貯槽、容器の進歩はすなわち溶接技術の進歩であるといっても差支えない。

このようなすぐれた溶接構造も現在に至るまでには種種の曲折があり必ずしも平坦な道を通ってきたのではない。たゆまざる努力の結果、(1)溶接技術の進歩、(2)材料の進歩、(3)溶接部の非破壊検査法の進歩の3者相待って今日のはなばなしい成果をもたらしたのである。

まず第1に溶接技術に関して述べるに、最近開発された炭酸ガス法、潜弧溶接法は空気を遮断して溶接部の酸化、窒化を防ぎかつ連続溶接装置を駆使することにより、良質の溶接を高速、かつ経済的に施工することができる。いわゆる自動溶接法の代表的なもので、肉厚容器の製作、あるいは現場における大型油槽の製作に盛んに利用されている。

またヘリアーク法 (Heli arc) ならびにアルゴンアーク (Argon arc) 法はヘリウムあるいはアルゴンガスのごとき不活性ガスで溶接部を被覆し、完全に空気を遮断し、母材と同一の溶接棒を用いて母材とほとんど同質の溶接を行なうことができるので従来欠陥が多く良質の溶接は

得られないとされていた、アルミニウム、銅、ステンレス鋼、チタニウムなどの溶接が容易にできるようになった。したがってこれらの材料でできた貯槽、容器も今日では珍しいものではない。

またスラッグ溶接法が数年前より実用されているが、この溶接法によれば板厚が数 10 mm から数 100 mm の溶接も立て形において短時間に容易に施工できる。これによれば超肉厚の超高压反応器の溶接が安価に施工できる。また大型油槽の立て継手の溶接にも応用されている。

次に第 2 に材料について述べればいわゆるキルド鋼 (killed steel) の製造により普通炭素鋼の溶接性が著しく改善されたことは近年において材料進歩の 1 つの特記事項であろう。さらに 50~100 kg/mm² 級の高張力鋼 (high tension steel) の開発は大型油槽、あるいは高压容器を容易にかつ経済的に製作することを可能ならしめた。大型球型タンク、大型浮屋根タンクなどにこの種の高張力鋼が使用され出したのもここ数年来のことである。

また高張力鋼は炭素鋼でありながら低温靱性がすぐれていて低温用容器 (-30℃ 程度) 用材料として適当しておるが、とくに YND 鋼 (Yahata Notch Ductile Steel) などは -100℃ 位においてもよくその靱性を保持し、すぐれた低温用鋼材であって、L.P.G. の低温貯槽用として近年使用され始めている。将来における溶接の進歩の方向は簡単な溶接法によって、単純な溶接棒を用いても良質かつ経済的な溶接継手が得られるような安価な溶接性材料の実現に向けるべきであるという論者もあるが材料メーカーのさらに一層の努力を期待する次第である。

次に第 3 の溶接部の非破壊検査法の進歩であるが、近年検査法とくに検査器械の改良進歩が著しく、材料の事前検査、溶接前の中間検査、溶接完了後の完成検査などいずれも迅速かつ正確に行なうことができるようになり、溶接構造物の品質の保証が確実になってきた。すなわち超音波探傷法 (Super sonic test) による板材の検査、浸透試験法 (レッドチェック、蛍光探傷法)、および磁粉探傷法 (magna flux test) による加工表面きづの検査、放射線検査 (radiation test) (X 線, γ 線, β 線) による溶接部内部の欠陥検査などである。

なお全般的な問題として、各種材料に対する溶接棒 (welding rod) すなわちその心線および被覆剤 (flux) の改良進歩も基本的に大きく寄与している点は見のがしてはならない事実である。

次に最近において目新しい貯槽、容器について略述する。

大型貯槽

近年各種の生産プラントが大規模になってゆくに伴

て運転管理、経済性の点から設備の大型化が行なわれているが貯槽についても例外ではなく、単一容量がだんだんと大きくなってきた。

従来円錐屋根タンク (cone roof tank) は地盤の不等沈下などのために屋根骨 (girder, rafter) および支柱 (column) に強度上の問題があり 10,000 kI 程度が実用されている容量の最大であったが近年は 30,000 kI 程度のものが建設されている。

また原油用の浮屋根タンク (Floating roof tank) も製油所の容量の増大、オイルタンカー (現在 200,000 kI 級が航行している) の大型化に伴い、従来 50,000 kI が最大容量であったが近年は 70,000 kI, 100,000 kI のものも珍しくない。この級の大型になると槽の直径も 70~100 m 位にもなり側板の最下段の板厚は 50 mm 以上になる。したがって 60~100 k 級の高張力鋼の使用が必要となってくる。そうすれば板厚が 60~70% 位薄くなり経済的である。わが国のような原油輸入国では原油の貯油は重要な国策的な大問題で、数日間の中東諸国の紛争で国全体があわてるようではいけないので、大規模な貯油施設を整備することは急務である。この場合油槽 1 基の容量を大きくする限度は新潟地震などの例を顧みて慎重に考えてみる必要がある。技術的には 100,000 kI, 200,000 kI の油槽もさして困難ではないが災害時の安全対策上、別の角度から単基容量を定めるべきである。防油堤その他安全、防火設備をあわせ考えなければならない。

製鉄所、都市ガス施設として大型ガスタンクが多く使用されるが、水封式ガスタンクは経済的にも 200,000 kI 位が限度と考えられ、東京都滝野川にある 175,000 kI がわが国では最大である。経済的には不利であってほかの形式の方が有利である。すなわち大容量低压ガス貯槽としては乾式、ピストン式、MAN 型タンクが最適とされ、30,000~30,000 kI 級は川鉄、八幡製鉄などに多く設置され、300,000 kI ($D=68$ m, $H=100$ m) 級がわが国でも (大阪ガス) 設備されている。これはすぐれた乾式大型ガスタンクであるが、ドイツ国 MAN 社の特許であるからかなり高価なものとなる。

なお都市ガスを 9 気圧程度に加圧し球型タンクに貯蔵することは以前から行なわれている。東京ガスが世田谷、豊州などに大型加圧球形タンクに都市ガスを貯蔵していることはすでに知られている。これらは高压、大型であるために必然的に球殻の板厚が厚くなり、現場溶接に不都合であるため、極力板厚を薄くする目的で 100 k 級の高張力鋼が使用されている (U.S. Steel Co. (USA) の T-1 鋼のごときもの)。

冷凍二重殻貯槽

近年 L.P.G. (ブタン、プロパン) あるいは L.M.G.

(メタン)などのごとき液化ガスを大気圧下において冷却し液化させ大量に貯蔵する冷凍二重殻貯槽の大型のものが建設されるようになった。大気圧下におけるこれらの液化ガスの液化温度はそれぞれブタン (C_4H_{10}) $-4^{\circ}C$ 、プロパン (C_3H_8) $-45^{\circ}C$ 、メタン (CH_4) $-160^{\circ}C$ 、酸素 (O_2) $-183^{\circ}C$ などであるから、当然外熱の侵入があるのでこれを防ぐために断熱材で熱遮断をする必要上から、低温液を収容する内殻と断熱材をその外面に充填保持するための外殻とから成り立っている。内殻は低温において十分な低温靱性を有する金属たとえば 3.5Ni 鋼、18-8 ステンレス鋼などで作り、外殻は外気温にさらされるので特別の材料を使用する必要はなく普通炭素鋼板あるいは亜鉛引鋼板で作られる。断熱材としてはホームグラス、パーライト、サントセル、ウレタンフォームなどが使用される。

元来液体空気、液体酸素、液体窒素などを超低温下で小量を貯蔵することは、すでに昭和の初期においてアンモニア合成工業、石炭液化工業の勃興に伴って開発され、別に目新しいことではないが、ただ近年において注目すべきことはその容量の大きい点である。各種の化学工業用原料として多量に輸入される L.P.G. あるいは L.M.G. をなるべく狭い地域内に多量かつ安全に貯槽する目的で需要が増加してきたのである。

貯槽の容量を大きくするためには、設計、製作、建設上種々の考慮を必要とするので、これをなし得たのは 1 つの技術的進歩であるとみてよからう。この種の貯槽は支持方法、支持構造上に問題があるから球型タンクとしては最大数 100 トン程度の大きさが限度であろう。これ以上の大容量となると当然地面上に直接安置したドームルーフ型タンクにせざるを得ない。現在ドームルーフ型円筒二重殻貯槽で最大のものは 20,000 kI 程度 (直径 30~40 mφ, 高さ 20 m ぐらい) のものができている。

このような貯槽で問題の点は、

- (1) 内殻材料 (安価で低温靱性のよいもの)
- (2) 保冷断熱材の選定およびその充填方法
- (3) 地盤への冷熱損失
- (4) 冷熱損失による気化ガスの回収法 (冷凍装置の方式)
- (5) 基礎ボルトの強度 (内圧上昇による底板の膨れの抑制)

などで、それぞれ十分の配慮をしなければならない事項である。

層成容器の開発 (multilayer vessel), 近年生産プロセスとくに化学プロセスにおいては超高压が適用される場合がかなり多く、その高压化はさらに進展増大していく傾向にある。たとえばアンモニア合成における 300~

1,000 気圧、ポリエチレン重合における 2,000~3,000 気圧などはその代表的な例である。このような高压化はその装置容量の増大化と相まってその装置、機器の設計、製作に問題を生じてきた。すなわち従来の単肉鍛造材でこれを製作することは技術的、設備的また経済的にも行きづまりを生じてきたのであった。しかるに近年 6~12 mm 程度の厚さの薄鋼板を多層に重ね、所定の厚さに層成した層成容器の製作技術が開発され、いかなる大容量、いかなる高压の容器でも簡単に安価にかつ十分の信頼性をもって製作されるようになった。この層成容器 (円筒形、球形) で最も問題になるのは層間の隙間の存在であるが、工作技術上種々の工夫改良が行なわれ、現在においては慎重に工作されればなんら心配する必要のないことが幾多の実験によって明かにされている。またその強度計算に関しても最近はかなり信頼性および普遍性のある計算式が発表されている。

1,000 気圧以上の内圧容器は、この層成構造のものでなければ製作できないといってもよからう。

ただ層成容器で技術的にもまた経験的にも十分その信頼性が確かめられていない場合は、

- (1) 外圧のかかる場合
- (2) 外熱のかかる場合
- (3) 伸び率の少ない材料で製作した場合

であって、現在のところこれらの場合には層成容器の使用は差し控えた方が無難である。

なお層成容器の層成法には種々の方法があるがその実用されている代表的なものを示せば次のとおりでいずれも実用実績がある。() 内はわが国のみの製作会社名である。

- (1) 溶接円筒式

6~12 mm の薄板を円筒の曲率に合せて短冊形とし重ねて行き溶接によって円筒を構成し次々に重ねてゆく方式。溶接収縮によって層間隙間をなくする。(神戸製鋼所, A.O. Smith 社, 千代田化工, 日本製鋼)

- (2) 渦巻式

3.2 mm の極薄板を内円筒に張力をかけながら渦巻状に連続的に巻き付け最終縁を従溶接して止め、その外側に外筒をはめる方式。(三菱重工・広島造船所)

- (3) 帯鋼巻付式 (Winkel ofen 式, B.A.S.F. 式)

幅 50~70 mm, 厚み 4 mm 程度のはまり込みのある溝付帯鋼を赤熱して順次内円筒に相互に溝にはめ込みながらねじ形にまき付けてゆく方式で冷却収縮によって層間隙間をなくする方式。(三菱重工・神戸造船所)

- (4) 精密嵌合式

円筒数本の内外面を精密に機械加工し、しまりばめ仕上げとし焼嵌めあるいは力ばめで圧入し複合円筒を作る

方式。(日立製作所)

5. 貯槽、容器の選定

貯槽、容器は本質的に 2. 項で示したような特長を持ち、現在一般に使用されている種類は大体において 3. 項に挙げたとおりである。

ある特定の使用目的に対し 2. 項の特長を満足する貯槽、容器でいかように、またいかなる種類のものを選定すれば合理的であるかについて、以下基本的な考え方を述べる。もちろんその選定判断の微妙なものおよび場合があるが、それについては、考慮すべき諸条件の比重(weight)を適当に取捨選択することによりケースバイケースで定めるべきである。

さて貯槽、容器を選定するに当たっては、大体次に示すような条件を考慮すべきであろう。すなわち、

(I) 収容物質そのものの特性条件

(II) 客観的条件

以下この条件について説明する。

(I) 収容物質の特性条件

これはまず第一に収容物質の本質を考慮すべきであるということであって、この内容としては、

(1) 相

- 気 相
- 気液平衡相
- 液 相
- 固 相

(2) 圧力 (主として気体および気液平衡相の場合問題になる)

- 超高压—1,000 気圧以上
- 高 圧—10 気圧以上
- 中 圧—10 気圧まで
- 常 圧—大気圧付近
- 真 空

(3) 化学性

- 酸 性
- アルカリ性
- 毒 性
- 発火、爆発性

(4) 温 度

- 高 温
- 常 温
- 低 温
- 超 低 温

以上の各項目について説明する。

(I) — (1) 相

収容物質が気体のみの場合および液化ガスのごとく、気・液が平衡共存する場合には気水密性が重要な問題で

あるから密閉タンク、密閉容器を使用しなければならない。ガス圧の低い場合は前者に対しては水封式ガスタンク、MAN 式あるいは Wiggins 式などの乾式ガスタンクが使用され、後者すなわち平衡ガス圧の低い液体の場合にはドームルーフタンクが使用される。ガス圧の高い場合には殻の強度の上から自ら円筒形さらには球形の容器を使用すべきである。

次に液体のみの場合は円筒開放形のタンクでよく、円錐屋根タンクは最も一般的である。屋内に設置されるものは当然屋根あるいは蓋は不用である。なお揮発性の液体を収容する場合は浮屋根タンク、伸縮屋根タンク、スヘロイドタンクが使用される。収容物質が固体の場合は特別に形状は問題でなく、設置場所の関係を考慮し円筒形、角形、矩形など種々の形が採用される。この場合は気水密性は問題ではなく、固体の側圧にたえる強度をもつことが重要な点である。なお下底より物質を排出する場合に橋渡し (bridge) 現象により排出できないことがよく起こるから、スクレーパー、振動器あるいは空気の吹き込み設備などを設けて固体物質の排出刺激を与えることを考えておかねばならない。

(I) — (2) 圧 力

収容物体が気体、液体のごとき流体 (fluid) の場合はプロセスの要求上加圧されたり、あるいは真空にされたりする場合がある。圧力の限界については判然とした定め方はないようであるが、筆者は便宜上既述のとおり超高压 (1,000 気圧以上)、高压 (10 気圧以上 1,000 気圧)、中圧 (10 気圧まで)、常圧および真空の 5 段階に別けてみた。

加圧、真空、いずれも完全密閉の円筒あるいは球形容器でなければならない。真空の場合は外圧挫屈が重要な問題であるから外周に頑丈な補強帯を設ける必要がある。

高压容器でとくに大容量のものおよび超高压容器はいずれも最近においては層成容器 (multilayer vessel) が使用されている。これは経済的にも技術的にも必然であるといえよう。

なお常圧に近い平衡圧を有する液体の貯蔵にはスヘロイドタンクが経済的であることが (とくに材料が少なくすむ) 理論的に証明される。アメリカではかなり多く使用されているようである。ただこれには現場建設用の組立治具がかなり高額であると思われる。

(I) — (3) 化学性

収容物質の化学性がまた重要な条件である。これは第 1 に気・液・固体各相共通に問題となるのは腐食である。これは結局貯槽、容器の材質選定の問題である。多くの場合は普通炭素鋼板を用い、それに耐用年数に応じた腐

食代 (corrosion allowance) を付加した板厚の材料を使用するが、それでも腐食あるいは物質の汚染が防がれない場合は、適当な材料のライニングあるいはコーティングを施す。ステンレス、モネルメタル、チタニウムなどのごとき金属材、ガラス、合成樹脂、ポーセレン、ゴムなどのごとき非金属材が被覆材として使用される。

第2に物質の化学性として考えなければならないのは衛生、安全性の問題であって、人畜に対する毒性、ならびに発火、爆発性である。毒性物質たとえばホスゲン、あるいは放射性物質を含んだ流体などを収容する容器は気水密性の完全な真空容器である必要がある (外部に絶対漏出しないために)。

また発火、爆発性の物質は同じく、完全気密 (空気を完全に遮断する) でしかも冷却式 (ジャケット式あるいは散水式) の円筒あるいは球形容器であることが基本である。

(I) — (4) 温 度

収容する物質の温度が異常温すなわち高温、または低温の場合は熱 (heat) あるいは冷熱 (cold) 損失を防ぐために保温材または保冷材によって被覆し熱遮断を行なった密閉容器であるのが基本である。かつ内圧あるいは真空 (外圧) が高い場合は当然強度上から円筒形あるいは球形容器でなければならない。

高温の場合は外気と保温被覆表面との温度の差は50℃位もとってよいから保温材被覆層の厚さはそお大きくなく50~100mm程度で大体まかなえるから、とくに二重殻構造にする必要はないが、低温の場合は保冷材被覆表面温度は少なくとも5~10℃の程度にし外気との温度差も10~20℃程度に小さくする必要がある。したがって保冷材層の厚みも大きくする必要がある。収容物質の温度が-30℃程度であると層厚み300mmぐらい、-180℃程度になると1,000mm程度の厚さを必要とする。したがってこの厚い保冷材を保持するために、かなり丈夫な外殻を必要とし、物質を収容する内殻と組み合わせた2重殻 (double shell) 容器が使用される。

なお高温の場合は高温強度の高い、Cr-Mo鋼、18-8ステンレス鋼で容器を作る必要があり、低温の場合には内殻材としてはその物質の温度に応じて、安価な低温靱性材を使用しなければならない。-30℃程度 (液化プロパン、アンモニアなど) ではアルミキルド鋼または3.5Ni鋼が用いられ-160~-190℃ (液化メタン、液体酸素など) では18-8ステンレス鋼、銅、アルミニウムなどが使用される。

(II) 客観的条件

前述 (I) 項の条件はまず第1に考えなければならない必要条件であるが、これのみでは十分でない。このほ

かに以下述べるような客観的条件も同時にあわせ考へてはじめて合理的な選定ができるのである。すなわち、

- (1) 合目的性
- (2) 経済性 (主として製作費)
- (3) 安全性
- (4) 運転保守性

以下これらの各項について説明する。

(II) — (1) 合目的性

この条件は (I) 項の収容物質条件に直接関連のある条件であって、次に示すような内容である。

すなわち、

(1) 収容容積：当然のことではあるが与えられた量の物質を収容するに十分な幾何容積を有するものでなければならない。容器容積は正味容積の10~15%増しにするのが慣例である

(2) 耐用年数：10年なり20年なりの要求された耐用年数の間機能的にもまた安全性の上からもななら異常なく運転可能であることが保証されるものでなければならない。

これは構成材料の腐食 (内面)、風化 (外面) が問題となる

(3) 気水密性：収容物質が絶対に外部に漏れ出ない構造であることが必要であり、またほとんどの場合外気 (空気、雨水) の侵入があってはならない。そのために完全な気水密性を保持できる構造のものでなければならない。

とくに気体あるいは気液平衡物質を収容し、しかも高圧または真空の場合には、気水密性は最も重要な条件であって必然的に強度の点もあわせて円筒形、球形の密閉容器でなければならない

(4) 収容物質の状態：これは (I) 項ですでに述べたが収容物質の相、温度、圧力、化学性に対応して最適の構造、および材料を選ばなければならない

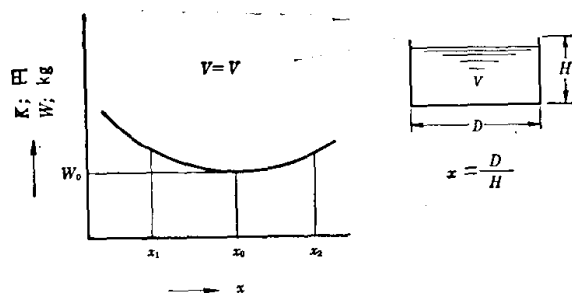
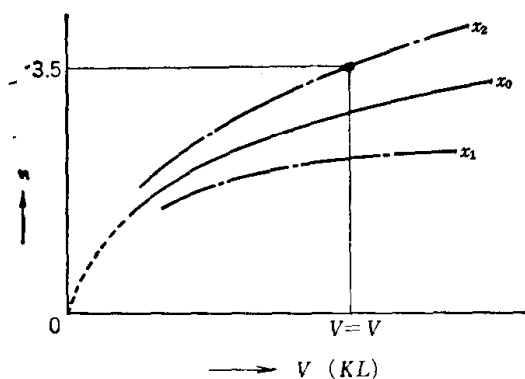
(5) 設置場所条件：槽、容器が屋外か屋内かいずれに設置されるか、設置許容面積、高さの限界いかなどによって形状、寸法、種類の最適なものを選定すべきである。

たとえば、低圧の貯槽を設置するにしても角形か、矩形か円形か、またその幅あるいは直径と高さとの割合をどうするかなど種々の選定条件が生ずるがごときである

(6) 設置地域条件：槽、容器がどのような地域に設置されるかということも1つの選定条件である。

地震、台風、降雨量、降雪量、最高気温、最低気温、山地、海浜、地耐力などの諸条件を考えに入れて形式、寸法、仕上法を選定しなければならない。

(7) 法的条件：貯槽、容器の構造、寸法、設置に関しては収容する物質によって法的規制を受ける場合が多

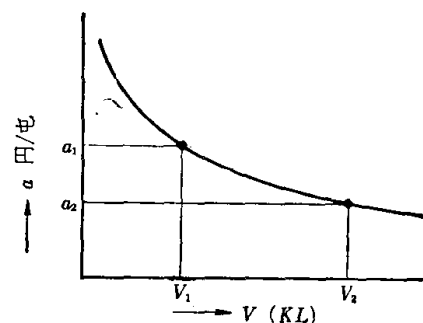
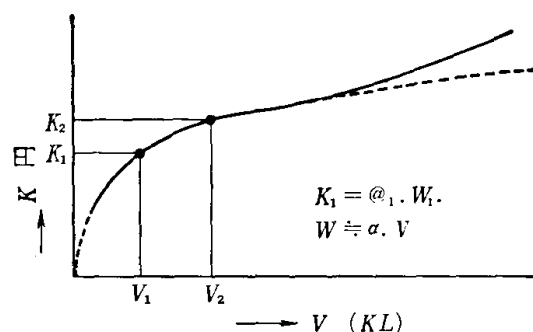
図1 $W-x$ 曲線図2 $x-V$ 曲線

い。すなわち高圧ガス取締法(通産省), ボイラおよび圧力容器安全規則(労働省), 消防法(自治省), 建築基準法(建設省)はかに危険物取締法, 都道府県条例などの諸法規にもとらなないようにしなければならない。

(II) (2) 経済性

次に問題となる重要な条件は経済性である。これは主として構造物本体の工作費, 組立費と据付け基礎との合計金額が最小であることが望ましい。そのためには第1に材料費が少なく, すなわち材料の所要量が少なく, かつ単価(重量当たりの値段)が安いものでなければならない。次には工作および組立の工数が少なくてすむこと, 第3には地盤の強弱, 土地の価格, 土地の状態などを考えに入れ最小の基礎費であることが必要である。そしてあくまでもこれらの合計額が結果的に安くなるように槽, 容器の形式, 寸法, 方式をあわせて考慮しなければならない。たとえば土地の価格が高く, しかも地盤が悪くて基礎費がかさむような場合は槽, 容器, 本体の値段が多少高くなっても, 適正に底面積を縮小して基礎費を軽減する(型式の選定, 寸法の決定)考慮が必要である。

概括的にいって, 経済的の観点から考えられる具体的事項としては, 単基容量の大型化, 合理的な径高(長)比の選定(これについては後に詳述する), 炭素鋼を母体とした被覆処理(ライニング, クラッド鋼, コーティング, ホモゲンなど), 高張力鋼の使用, L.P.G., L.M.G. の冷凍貯蔵法, 超高圧用層成容器などが挙げられるが,

図3 $a-V$ 曲線図4 $K-V$ 曲線

いずれも最近盛んにとり上げられている最新の技術である。

なお参考のために上述の貯槽, 容器の寸法効果と経済性との関係について原理的な説明を線図によって行なってみる。

図1は容量(V)の一定な開放形円形貯槽の本体所要鋼材量(W)と径高比 $x=D/H$ (D は直径, H は高さ)との関係を示したもので容量の大きさによって異なるが最も所要鋼材量の少ない径高比 x_0 の存在することを示す。

図2は前述の最小鋼材量を与える径高比 x_0 が容量 V とある関係があり, ほぼ放物線形をなしている。 x_0 はほぼ3.5~4ぐらいの値に収れん(converge)するようである(筆者の計算によれば)。

図3は円錐屋根貯槽(cone roof tank)の所要鋼材量当り成品単価(a)と貯槽の容量(kl) V との関係を示す曲線で容量の小さい貯槽ほど不経済であることを示す。 a の価の急増する点は $V_1=1,000 \sim 2,000$ kl ぐらいにある。

図4は図3に示した関係を参照して貯槽容量 V とその価格 K との関係を示す曲線である。

ただし, これは容量 V と所要鋼材量 W とが比例関係にあると仮定した場合である。実際には容量 V が大となれば所要鋼材量は比例直線値より下まわるから, 点線で示すようにさらに経済的となる。

図5は一定容量 V の円錐屋根貯槽の本体費(K_1) 基礎費(K_2) およびその合計額(K) と貯槽直径 D との関係を示したものである。

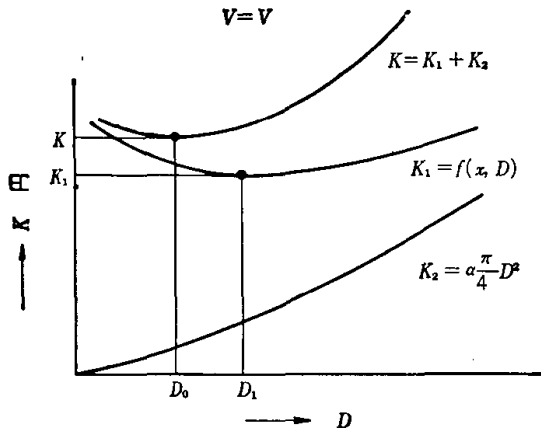


図5 K-D 曲線

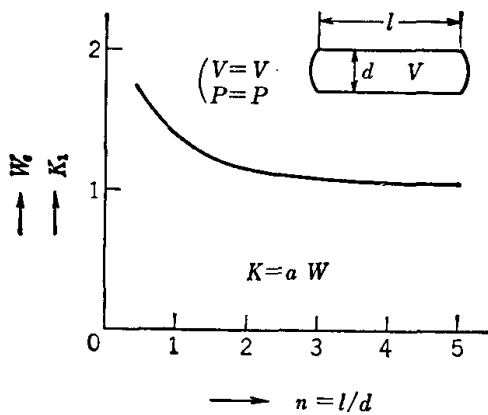


図6 x-n 曲線

図1で示したごとく貯槽本体の費用 K_1 は V が一定ならば最少費を与える径高比 x_0 に相当する直径 D_1 が存在するはずである。しかし一方貯槽の基礎費は基礎面積すなわち、直径 D の自乗に比例するはずであって K_2 の曲線で示される。したがってこの貯槽の合計額は $K_1+K_2=K$ であって、その最も経済的な直径は K の値の最小値を与える D_0 であることを示す。

図6は円筒形圧力容器において圧力 (P)、容積 (V) が与えられた場合に所要鋼材量 (W) あるいは価格 (W) と長径比 n (l =長さ, d =直径) との関係を示すもので n が小さい (短い円筒) ほど不経済であることを示している。しかし $n=4\sim 5$ 以上にしてもその割には重量すなわち価格が下らないことを意味している。

図7は同一容積 (V)、同一圧力 (P) の球形容量の重量

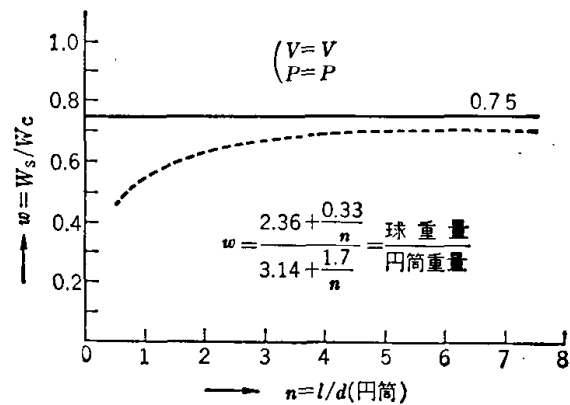


図7 w-n 曲線

表 1

形 式			二重殻球形容器 (液 化)	球形容器 (液 化)	球形容器 (ガ ス)	円筒容器 (ガ ス)	水封式単層 ガスタンク
温 度; ℃			−30℃	+20℃ (常温)	+20℃	+20℃	+20℃
平衡ガス圧; ata			1	9.3 (高め)	9.3	9.3	1
本 体 寸 法; m			1.8 ϕ	1.8 ϕ	6.1 ϕ	$n \times l \times d =$ 5×15.5×3.1	$H \times D =$ 6.9×13.7
平 面 積; m ²			2.5	2.5	29	48	147
鋼 材 量; t			≒0.6	1	13	18.5	50
備 考			保冷材若干必要				水封水 1,000 t 必要
判 定	経済性 (価格)	本 体	B	A	C	D	E
		基 礎	B	A	C	D	E
		付帯設備	C	B	B	B	A
定	安 全 性		B	D	C	C	A
	運 転 保 守 性		D	C	B	B	A

- 註 (1) 判定はすぐれたものをAとし、以下B, C, D, Eと順を追って低下する。
 (2) 付帯設備において、二重球形においては蒸発蒸気回収用の冷凍機設備を必要とする。
 また9.3気圧の高圧容器はいずれもガス圧縮機設備を必要とする。
 (3) 水封式単層ガスタンクには1,000 tの水を貯える水槽を必要とし、また基礎の水平度も厳重であるから基礎費は膨大となる。

表 2 貯槽、容器の特長比較表

項目	用途類別	機名	最大圧力	温 度	最大容量	合 目 的 性	経済性	安全性	運 轉 保 守 性	用 途
貯 槽 (低 圧)	液 体	円錐屋根タンク	22 mm 水柱		30,000kl	最も一般的	A	C	A	軽油, 重油, 灯油, ガソリン, 糖密, 硫酸, その他
		ドームルーフタンク	350 mm 水柱		(?) 20,000kl	液体をイナートガスシールできる	B	A	A	低揮発性液体
		耐候性浮屋根タンク	50 mm 水柱		(?) 2,000kl	雨水の混入なし	C	A	A	JP-4, 無水アルコール等
		浮屋根タンク	50 mm 水柱		100,000kl	蒸気損失少ない	B	A	A	ガソリン, 原油, フルコール等
		伸縮屋根タンク	170 mm 水柱		22,000kl	蒸気損失なし	B	A	B	円錐屋根タンクと同様
	気 体	水封式ガススタンク	スバイラル式 基 柱 式	250 mm 水柱 250 mm 水柱	(?) 50,000kl 175,000kl	一般的なガススタンク 一般的なガススタンク	A B	B A	B A	一般ガス (水溶性でないもの) 一般ガス (水溶性でないもの)
		Wiggins 式	250 mm 水柱		(?) 10,000kl		C	B	B	一般ガス
		MAN 式	250 mm 水柱		500,000kl	大型が有利	A	A	B	"
		Klönne 式	250 mm 水柱		500,000kl	大型が有利	A	A	B	"
		膜 式	22 mm 水柱		10,000kl		B	A	B	"
容 器 (高 圧)	液 体, 気 体, 平衡体	気 球 式			(小 型)	可搬性あり	B	B	B	"
		単 殻 式	2,000 kg/cm ²			一般高圧用	A	B	A	
		多 層 式	3,000 kg/cm ²			超高圧用	A	A	A	ポリエチレン重合体
		二 重 殻 式	1.5 kg/cm ²	-40℃	20,000kl	液化ガスの冷凍貯蔵 (大型用)	A	A	B	L.P.G.
		単 殻 式	25 kg/cm ²		6,000kl (ガス)	一般高圧用	A	B	A	
	球 形 容 器	二 重 殻 式		-250℃ (液体水素)	6,000kl (液)	液化ガスの冷凍貯蔵 (中, 小型用)	A	A	A	L.P.G., L.M.G., O ₂ , N ₂ , H ₂
		小 型	3.5 kg/cm ²		7,000kl	製作費安価	A	A	A	液化性天然ガス等
		大型 (有節式)	1.4 kg/cm ²		20,000kl	製作費安価	A	A	A	液化性天然ガス等
	スヘロイド									

注) (1) 最大容量欄の (?) 印は筆者の想像 (技術的に可能な) であり, 正確実価値ではない。

(2) 優劣判定欄記号 A, B, C は同一使用目的の群における順位で A を最優秀とし以下 B, C と順位が下る。なおこれは筆者の主観で定めたもので定量的に優劣の絶対値を定めることはでき難い性質のものである。

(W_s) と円筒形容器の重量 (W_c) との比 w と、円筒容器の長径比 n との関係を示したもので球形容器の有利であることを示す。ただし、この曲線は球形容器においては支柱および基礎費を含まないから実際にはこの値よりもいくぶん有利性が減殺される。

以上経済性からみた諸条件を述べたが、この条件はかなり正確に数値的に実状を把握できるからその比較検討は容易である。

II) —(3) 安全性

貯槽、容器の形式、寸法を決定する場合に安全性の角度から検討することも必要である。安全性とは裏を返せば危険性の問題であるが、考えられる事項は、

(1) 発火、爆発性：収容する物質が発火、爆発性であれば、空気の遮断、点火源 (Ignition source) の排除、消火、防火、防爆設備の設置などが考慮されなければならない。それらを取り入れた構造、型式のものを選ばねばならない。

たとえば発火性の平衡蒸気を生ずる液体を貯蔵するために浮屋根油槽を選ぶ場合に同じ浮屋根油槽でも、なるべく発火、爆発性の稀薄平衡蒸気が存在する空間の少ないものを選ぶとか、さらには他にアルゴンあるいは窒素ガスのごとき不活性ガスでシールしたドームルーフタンク (dome roof tank) を選ぶとかは1つの考え方である

(2) 中毒性：人畜が吸引するかあるいは接触すると中毒、窒息するような物質を収容する容器はできる限り真空にし、外部に漏れ出さないようにしなければならない

(3) 破裂性：これは急激な圧力上昇 (温度上昇による場合が多い) により容器が破壊し内容物を噴出することにより周囲に災害をおよぼす場合で、主として強度不足によって起こる。圧力の程度、真空の程度に応じた構

造、形式、寸法としなければならない。L.P.G. の低温貯蔵はガス圧を大気圧近くに下げるので安全性の上からもすぐれた方式であるといえることができる

(4) 公害：収容物質の漏れ出しによる空気汚染、排水汚染などが問題になる

(II) —(4) 運転保守性、貯槽、容器の運転管理の面からも考慮する必要がある。すなわち、

- (1) 構造が簡単であること
- (2) 付属設備が少ないこと
- (3) 消耗品が少ないこと
- (4) 自動操作が望ましいこと
- (5) 運転員が運転に熟練していること (要員が少なくすむこと)

などが検討の対象となる。

以上貯槽、容器の選定に当り考慮すべき問題を概説したが、これらのうちすでに述べたごとく経済性の問題のみがかなり正確に数値的に検討できるのであるが、他の諸条件はいわば漠然たる観念的抽象的条件であるから、その軽重の判断はその企業の (メーカー、ユーザーともに) 経験、規模、当事者の個性などにまかされるべきであって明確かつ普遍性のある基準は定め難い性格のものであると考えられる。

いま、参考のために例として $1,000 \text{ Nm}^3$ のガスを貯蔵する設備について筆者の選定判断を示してみる。収容物質は温度 -40°C ぐらいで大気圧の下で液化するものたとえばプロパンのごとき物質とする。

表1の検討比較表を見ても決定的な優劣を断定することはできない、それぞれ自己の判断によりどの項目を重視するかによって定まるのである。

次に現在使用されている貯槽、容器の代表的なものについてその用途利害得失の概要を表2に示す。

2. ガスホルダー

石 渡 正 輝
(株)石井鉄工所

はじめに

気体もしくはガス体を貯蔵する大型容器は一般にガスホルダーと呼ばれている。最近では技術の進歩と経済性の点から、従来ガス状で貯蔵されてきたものも高圧または低温にして液化貯蔵するケースが多くなってきた。液体アンモニア、LPG、液化メタン、液化エチレン、液体酸素、液体水素などがそれである。しかし一方都市ガス、天然ガス、高炉ガスなどのように混合ガスの場合は液化するわけに行かないのでガス状で貯蔵する。また前記の水素、酸素なども小容量の場合あるいは使用目的によりガス体で貯蔵することが多い。本文では、これらのガス体を貯蔵するガスホルダーについて、その概要を述べることにする。

ガスホルダーは貯蔵圧力により低圧ホルダーと高圧ホルダーに区別される。低圧ホルダーの貯蔵圧は50～700mm水柱位で、水槽を有する有水式と、水槽がなくピストンが上下する無水式とがある。高圧ホルダーは通常球形で都市ガス、天然ガスなどを貯蔵するものと、酸素、水素などの永久ガスを貯蔵するものがあり、前者は3～10kg/cm²で設計され、後者は20～50kg/cm²で設計される場合が多い。

表1 各種ガスホルダーの重量比較

容 量	有 水 式	無 水 式	球 形
10,000Nm ³	280ton	—ton	90ton
30,000	680	510	263
50,000	940	760	430
100,000	1800	1200	820
150,000	2500	1600	1210

注 1. 有水式の1～5万は3層、10万は4層、15万は5層とした。

2. 無水式はMANの場合。

3. 球形はHT60 (HW45) を使用し、内圧5kg/cm²とした。

有水式ガスホルダーは大型になると水槽の重量が膨大となり基礎費がかさむので、最近ではあまり大きいもの

は製作されない。しかし建設が容易なこと、爆発性混合物がホルダー内に形成されることがないので絶対に安全であることなどの魅力があるので、5m³以下の中型、小型用としては今後も広く使用されるものと思われる。これに反して無水式ガスホルダーは水槽がないため、重量が軽く基礎費が節減され、また有水式より直径に比して高さが大きくできるため敷地面積が少なくすみ、ガス圧が一定であることなどの利点があるが、他方シーリング部の構造が複雑で、総体的に建設がむずかしく、建設費が高くなり、また常にピストンの状態を監視する必要があり、保守管理に手がかかるなどの欠点もあるので、小容量のものでは余りメリットがなく、10万m³以上の大型用として真価を発揮する。

大型の球状ガスホルダーは、高張力鋼の進歩、溶接技術の向上と相まって、最近急速に増加してきたもので、従来の有水式あるいは無水式ホルダーにとって変りつつある。高圧球形ホルダーは高圧で貯蔵できるので容積が小さくすみ、かつ高張力鋼の使用により鋼材重量が少ない利点があり、その他完全乾燥状態で貯蔵でき、敷地面積が少なく基礎工事費が軽減される。有水式あるいは無水式にくらべ動く部分が全くないので、漏洩がなく保守管理を必要としないなどの特長がある。表1は有水式、無水式および球形ホルダーの鋼材重量を比較したもので、球形ホルダーが圧倒的に軽いことがわかる。ただし、これは鋼材重量のみの比較で、鋼材価格、付属品なども十分考慮して総合的に経済性を判断しなければならない。

以下、有水式ホルダー、無水式ホルダーおよび高圧ホルダーのつ3に大別して、それぞれ構造、設計、組立、検査などについて述べてみたいと思う。

1. 有水式ガスホルダーの構造

1.1 一般

有水式ガスホルダーは水槽にガス槽がテレスコープ式に組立てられたもので、ガス量に応じて容積が変化しガ

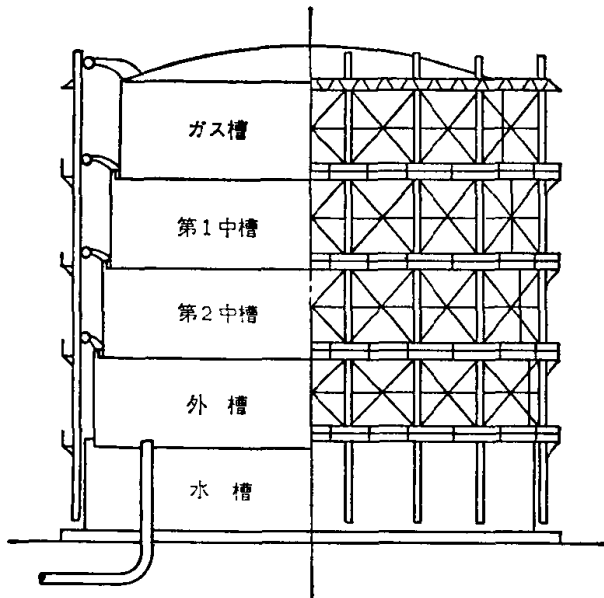


図1 有式4層ガスホルダー

ス槽が昇降する。ガス槽の数は容量によって1個から5個まであり、一般に3,000m³以下では単層3,000~10,000m³では複層、10,000~30,000m³では3層、30,000~100,000m³では4層、100,000m³以上では5層になる。図1は4層のガス槽を有するガスホルダーの外形図である。図で見るごとくガス槽は上部から内槽、第1中槽、第2中槽および外槽と呼ばれている。ガス槽とガス槽の連結部はディップおよびカップ構造により連結され、この部分は水でシールされ外気と遮断されている。ホルダー内圧はガス槽全重量に見合った圧力となり、通常水柱100mmから300mmぐらいである。一般にガス槽の全高は直径の60~100%にとるが、直径に比して高さが大きくなるほどホルダー圧力は高くなる。またホルダーのガス圧はガス槽全高時の圧力で呼ばれている。ガス槽が最高位置より下がるにつれて圧力も減少してくる。これは外槽が水中に没して行くために外槽の重量が鉄板と水の比重の差だけ軽くなるからである。さらに下がると外槽は水槽下部レストブロック上に静止した状態となり、その重量は圧力と全く無関係となり、圧力が急激に減少する。さらにガス槽が下がると第2中槽が水没し圧力が漸減する。この状態を図示したのが図2で、図中の Δp は一般に水柱50mm前後に達するので、4層のガスホルダーではガス槽が最低位置と最高位置とでは200mmも内圧に差が生じることになる。このようにガス槽の位置によってあるいは屋根上の積雪荷重によってガス圧が相当異なることは有式ホルダーの欠点の一つになっている。ガスホルダーは使用目的により、ガス圧を高くあるいは低くしたい場合がある。このようなときは増圧装置または減圧装置を設けて圧力を調整することができる。

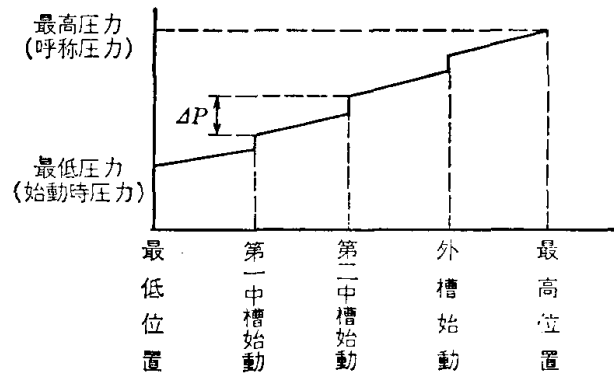


図2 ガス圧の変化

その詳細については後述するが、これによりガス圧は最低水柱50mmから最高水柱700mm程度まで可能となる。

1.2 水 槽

水槽は一種のオーブントップタンクで、石油貯槽と同様に設計すればよいと思われるが、従来は次式によって側板を計算している。

$$t = \frac{PD}{2f\eta} + c \quad \cdots (1)$$

P 水圧 kg/mm²

D 水槽内径 mm

f 鋼板の許容応力 kg/mm²

η 溶接効率=0.85

c 腐れしろ=1mm

鋼板の許容応力は一般に規格に定められた引張強さの $1/3$ をとる。したがってSS41使用の場合は $41 \times 1/3 = 13.67$ kg/mm²となる。

一方 JIS B 8501 石油貯槽の構造(案)によれば

$$t = \frac{D(H-0.3)\rho}{2f\eta} + c \quad \cdots (2)$$

H その段の側板の下端からトップアングルまでの高さ m

ρ 貯蔵液体の比重、ただし1より小さいときには1にとる

f 鋼板の許容応力

η 溶接効率=0.85

c 腐れしろ

この場合鋼板の許容応力は14.8kg/mm²にとっている。したがって(2)式で計算する方が側板の厚さは約8%薄くなる。ガスホルダーの場合は(2)式によらず(1)式によって計算されていることは前述の通りであるが、その理由は、ホルダーの水槽は石油貯槽と違って、常に水が満杯であり、また外面には基柱が、内面にはガイドチャンネルが取付き、これらは多少補強の役目もするが同時に外力も加わるので、それらを考慮して石油貯槽の場合よ

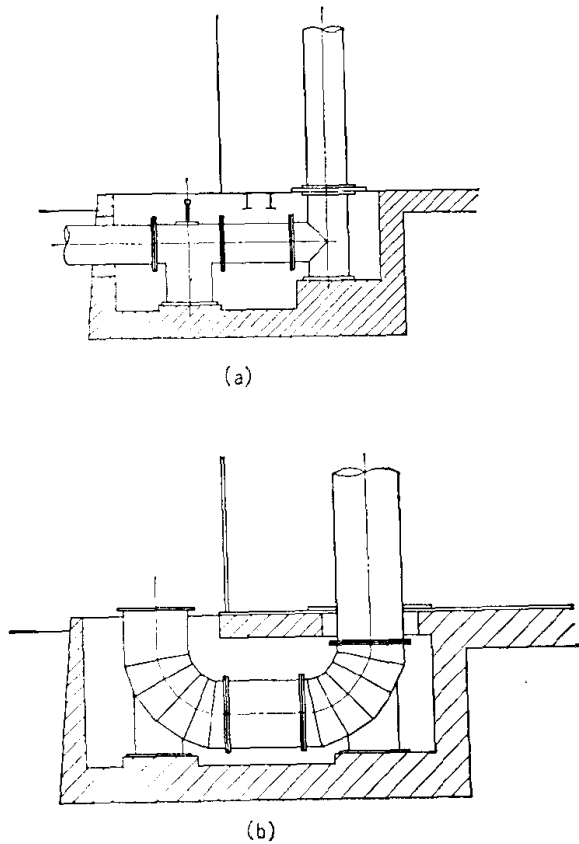


図3 出入管

り多少側板の厚さを厚くしているものと思われる。

水槽はオープントップであるから補強リングが必要であるが、上記のごとく水槽は常に水で満たされているので、石油貯槽のようなウインドガーダーは必要としない。また水槽頂部にめぐらした歩廊と水槽内外面に取付けられた基柱およびガイドチャンネルが十分補強の役目を果している。

ガス出入管は底板に直立して取付けられるが、小容量のホルダーの場合あるいはレリーフ用として使用する場合に出入管を共通にして1本で済ませるが、一般にはまたは特にガスの混合を目的とする場合には出入管を別々に設ける。図3は出入管の取付け状況を示す。小型または中型のものでは(a)に示すごとく水取器を設けて、ガス中に含まれる水分、タールなどを除去するが、大容量になると出入管口径が大きくなり、またコンクリートピットも大きくなるので、水取器は特に設けず最低部にドレン抜をつけておくだけとする。また(b)に見るごとく全体をU型にし、ここに水を張ってガスを遮断できる構造にする。小容量の場合はゲート弁または別個の水封弁を設けるのが普通である。出入管と底板とのとり付けは(a)のごとく出入管フランジを底板補強板にボルト締めする場合と(b)のごとく補強板に全溶接する場合とがある。大容量の場合は一般に後者の形式をとるも出入管の頂部は水面より100mmぐらい高くして水槽の水が入ら

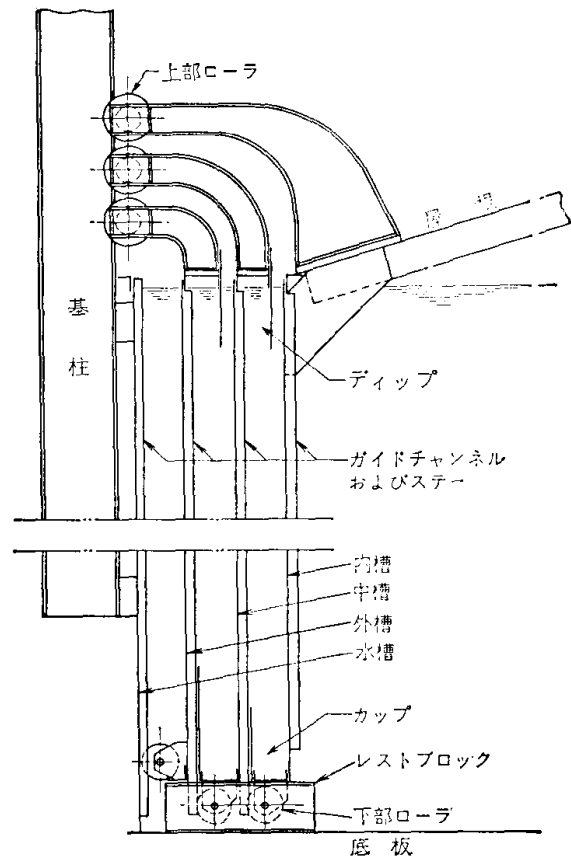


図4 ガス槽がレストした状態

ないようにする。

水槽外面には基柱が取付座を介して溶接され、内側には基柱と同位置に同数のガイドチャンネルが取付き、外槽下部ローラーのガイドレールの役をする。底板内周部には基柱と同数ないし倍数の型钢または鋼板製のレストブロックが置かれ、ガス槽の下降したときガス槽を水平に均一に受けるようにする。(図4参照)

水素、イナートガス等特殊のガスで水分を嫌う場合には水槽上面に油を入れるか、あるいは全部油にすることがある。また水槽およびカップの水が氷結する怖れのある場合は、蒸気その他の凍結防止装置を設けなければならない。

ガスホルダーの場合は地盤沈下により機能上重大支障をきたすので、基礎施工に当っては十分注意しなければならない。小型または中型容量の場合は平打コンクリート基礎とし、大容量の場合はコンクリートリング基礎とする。いずれの場合も出入管ピット部は十分な補強を必要とする。

1.3 ガス槽

前述の通り、小容量のものではガス槽は1個であるが容量が増すにしたがって槽数が増加し最大5層まで建設されている。ガス槽は強度的には水柱100~500mmの内

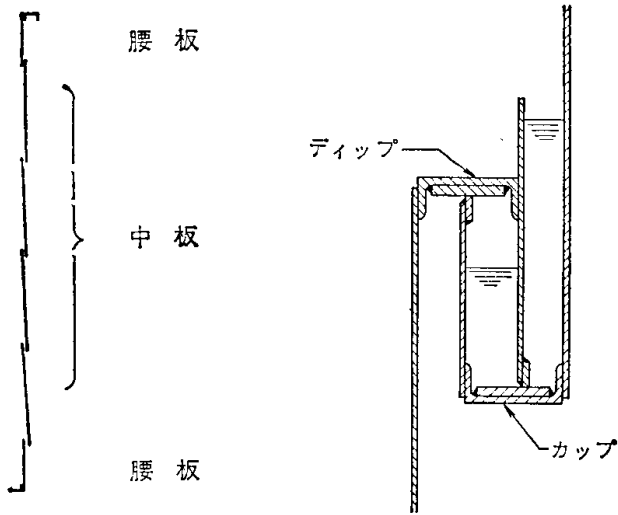


図5 ガス槽側板

図6 ディップカップ

圧に耐えればよいので板厚は薄くてよいが、腐食、座屈などを考慮して一般に3.2mmまたは4.5mm板を使用する。またガス槽の上下板は腰板と称し厚板を使用し、ガス槽を真円に保つ補強の役目をする。さらにガス槽の変形を防ぐため内面に縦ステーを設ける。縦ステーは通常基柱の倍数とし、ガス槽の補強と同時に下部ローラーのガイドレールとして役立っている。ガス槽の上下腰板は突合せ溶接されるが、中板は縦、円周継手共に両面重ね溶接される。その重ね方は図5に示すごとく竹の子型とする。

複層以上のガス槽では各槽間の連結部がディップおよびカップで構成され、これが噛み合って下の槽を吊上げる(図6参照)。カップの中には水槽から引上げられるときに水が入っており、これがガスシールの役目をする。カップの深さは最高ガス圧の1.5倍位にとるのが普通である。ディップの上面には上部ローラー、カップの下面には下部ローラーがとりつけられる。ディップおよびカップ部はガス槽の真円を維持するため、また下部層の重量を受け、ローラーの荷重を受けるため強固に作られている。

内槽の屋根は内圧に耐えるため球面とし、一般に球面半径を直径の1.6倍位にとっている。これは1.6倍以上にすると屋根骨を大きくしなければならず、また1.6倍以下にすると屋根勾配が急になり、歩行やローラー取付けに不都合になるからであるが、いずれにしても絶対的のものではなく、これにこだわる必要はない。上部ローラーの取付く外縁部と中央クラウン部の屋根板は厚板を使用するが、中間板は3.2~4.5mm板を用いる。屋根板はすべて重ね継手とし上面のみ隅肉溶接される。屋根骨は一般にシュベードラ構造とし、屋根板自重、風圧荷重、積雪荷重などに耐える強固なものとする。屋根と側板の

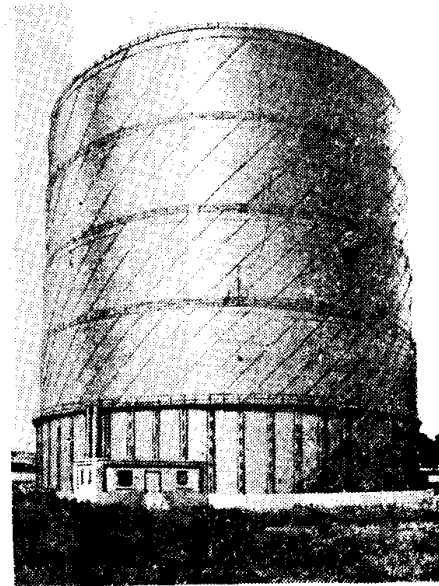


写真1 スパイラル式ガスホルダー

接合する周縁部は十分補強しなければならない。なお屋根外周には手摺を設ける。

ガス槽の人孔は各槽とも同一位置に設け、かつ水槽入孔と連絡できるようにする。これは量検修理に便ならしめるためである。

1.4 基柱およびグレーシング

英国あたりでは基柱のない Spiral guided Holder が多く採用されているが(写真1参照)、わが国のように風の強いところでは有柱式の方が多少材料費は増えても安全であり無難である。

基柱は水槽側板に直接取付けられ、ガス槽の受ける風圧を支えると同時に、ガス槽を垂直に昇降させるためのガイドレールの役目もする。基柱はローラーにより大きな曲げモーメントを受けるので、曲げ応力に強い断面を使用する。すなわち、小容量のものではI型鋼を、大容量のものではトラス柱あるいはプレート柱を採用する。図7にその一例を示す。ローラーに加わる荷重は風圧も

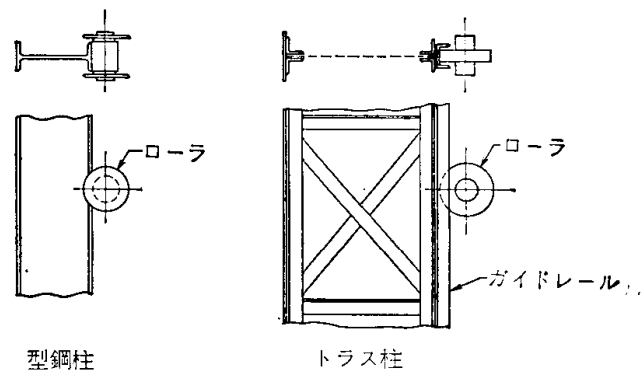


図7 ガスホルダーの支柱

しくは地震力による水平荷重のうちいずれか大きい方（通常風圧による荷重の方が大きい）と屋根半分に積った積雪による偏心荷重との和で、ローラーの位置が基柱に最大曲げモーメントを与える点で基柱断面が計算される。最大応力は水槽上部の点に起り、上へ行くほど小さくなる。したがって基柱の断面は下部は大きく上部へ行くにしたがって小さくなる。ただし小容量のホルダーではI型钢を使用するため上から下まで同一断面となる。水平梁は各槽毎に設ける廻り歩廊をもって代用し、これに強度を受け持たせている。基柱、ブレースなどの鉄構物は工場鋸または工場溶接で製作し、現場でボルト締めして組立てられる。

1.5 加圧装置その他

ガスホルダーの圧力はガス槽の自重によって決まることは前に述べた通りで、これを出来成り圧力と言っている。すなわち

$$\text{ガス槽の重量} \left(\frac{\pi D^2 w_1}{4} \right) + (\pi D H \cdot w_2) \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{ガス全圧} \quad \frac{\pi C^2 \cdot p}{4} \dots\dots\dots (4)$$

w_1 屋根の単位面積当り重量 kg/m^2

w_2 側の単位面積当り重量 kg/m^2

p ガス圧力 kg/m^2

式(3)と(4)は等しいから

$$p = w_1 + \frac{4H}{D} w_2 \dots\dots\dots (5)$$

となる。したがってガス圧 p を高くしたい場合は w_1 および w_2 を増し H/D を大きくすればよいことがわかる。しかし w_1 および w_2 を増すことは鋼材重量の増加となり不経済であり、また H/D にも限度があるので通常は屋根板上にコンクリートブロックを敷き並べるか、あるいは内槽下部内側にリング状ボックスを作り、そこにコンクリートまたは鉄スクラップを収容して重錘とする。図8にその一例を示す。屋根板上にコンクリートブロックを並べるときは、板上に直かに置かずサポートの上に

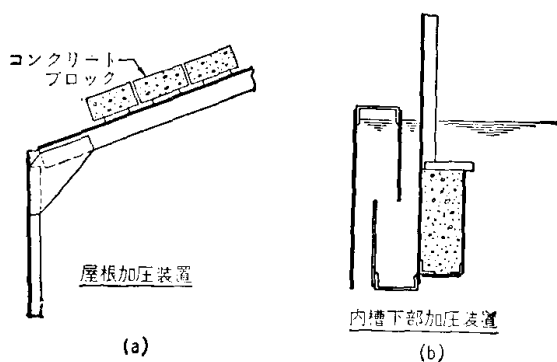


図8

置き、サポートの水切りを良くして雨水や塵埃が溜らないようにしなければならない。また内槽下部に設けると、あとから調整することが困難であり、その上加圧装置が水中にあると上に出たときで圧力が変化する欠点もある。しかし一般には体裁の面から加重装置は内槽下部に取付ける場合が多いようである。

逆に出来成り圧力より内圧を低くしたい場合は屋根板および側板の厚さをできるだけ薄くし、高さを低くすればよい。さらに内圧を低くしたい場合はカウンターウェイトを取付けることになる。

ガス槽が最高位置まで上昇してさらに過圧されると、水封部からシールを切ってガスが吹出すことがある。このような過

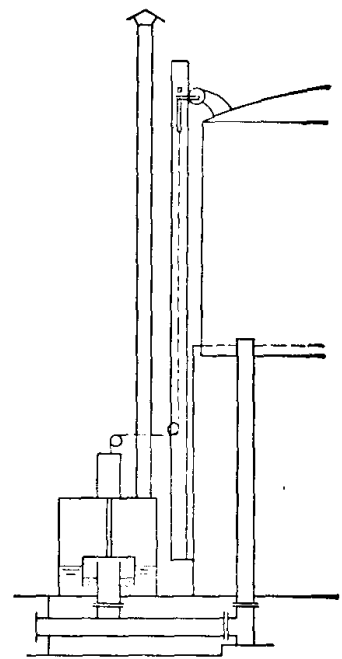


図9 自動放出装置

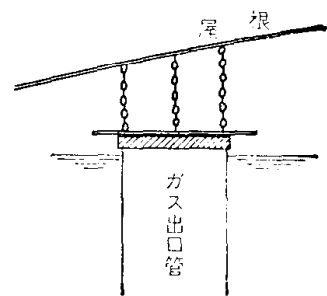


図10 真空防止装置

にはガス槽が規定位置以上に上った場合、警報を発するようにしている。場合によっては図9に示すとき自動放出装置を設け、大気に放出してしまう方法もある。また逆に出口管からガスを引き過ぎて、ガス槽内を真空にし屋根や側板をへこますことがよくある。これを防止するため、ガス槽が規定位置に下ったとき出口管の頂部に蓋がのるようにするか（図10参照）、あるいは頂部を浅くシールする方法が行なわれている。しかし、このような真空防止装置はガス出入りの激しいレリーフホルダーなどに時々試みられる程度で一般には採用されない。

2. 有水式ガスホルダーの現場組立および検査

2.1 水槽

ガスホルダー水槽の現場組立方法は石油貯槽の場合と同様なので、ここでは要点のみを記すことにする。

ガスホルダーの場合は特に基礎の強度ならびに仕切りが重要であることは前述の通りである。基礎の水平度は