

地工技術

儲油槽基礎之分析設計

陳煌銘*

一、前言

隨著經濟的高度成長，油料的需求也越來越大，儲油槽也越建越大，國內十萬公秉之儲油槽已非常普遍，而十三萬公秉直徑高達110M之巨型儲油槽也已建造完成數座（陳煌銘，1984）。由於基地的限制及儲運的方便，儲槽區大部份選定在近海邊地區，甚或海埔新生地，地層土質條件甚差。雖然大型儲油槽一般採用鋼板製造，是一種柔性很大的結構體，通常可容許較大的沉陷量。惟儲油槽係由很多鋼板焊製而成，若焊接品質不良或沉陷過大，焊縫或鋼板可能因承受過高的應力而發生撕裂破壞；在浮頂油槽情況，更可能因槽殼的沉陷致使槽頂扭曲變形而阻礙浮頂的浮動。因此，為確保儲油槽的儲油功能及其安全，油槽基礎設計及建造完成後之試水均需小心從事。

本文旨在討論地面儲油槽基礎的分析設計，有關油槽建造完成後的試水預壓及監測系統，請參考作者之另一論著（陳煌銘，1984.1985）。

由於油槽基礎的分析方法類同一般結構物基礎的分析方法，因此，本文除就整體性分析方法作扼要敘述之外，僅就其與一般結構物基礎分析方法相異處作較詳細的說明與討論。

二、儲油槽結構與載重特性

儲油槽通常為圓桶形，由底板（Bottom Plate）、槽殼（Shell）與槽頂（Roof）所組成，槽頂又可分為固定式槽頂（Fixed Roof）與浮動式槽頂（Floating Roof）

。固定式槽頂通常為錐形與槽筒焊接成一體，因此，此類型儲油槽又稱為錐頂（Cone Roof）油槽；而浮頂式槽頂之油槽通稱浮頂油槽，浮頂式油槽亦有除浮頂之外，於槽筒之上另焊接固定槽頂而為雙槽頂式浮頂油槽，參見圖一。固定式槽頂儲油槽除了錐頂之外，亦有採用圓拱頂（Dome Roof）式（Bell,1980），惟不如錐頂普遍。

錐頂油槽之槽頂係利用內柱及固接於槽殼之鋼構架來支撐。內柱由中間柱及數圈內柱組合而成，柱的間距與數量隨油槽直徑及載重情況而異。浮頂油槽之浮頂則支撐於浮在液面上的浮桶（Pontoon），浮頂與槽殼邊緣之間的浮動間隙對油槽功能影響很大，通常該間隙寬約為20公分（Rosenberg and Journeaux,1982），槽殼的少量沉陷即可能使槽殼頂部扭曲變形，浮動間隙即減少而阻礙浮頂之浮動。

儲油槽載重主要為包括槽頂與槽殼之槽體重量及內儲液體之重量，槽體設計時，則尚需考慮地震引致內儲液體幌動產生的動力載重。油槽載重與一般結構物基礎載重對基礎土壤之影響的主要差別，在於油槽載重一般均可假設為均佈且載重底面積較大（尤其大型油槽），載重影響的土層較深及影響的層次也較多，因此，基礎土層的承載力及沉陷量分析也較複雜。

儲油槽是一種柔性很高之結構，其容許的沉陷量通常很大，唯仍決定於槽體的建造品質，尤其是焊接品質。一般油槽沉陷達30公分而無損儲油功能的情況很普遍（陳煌銘，1987,Chen et al.,1987），甚有直徑為

* 萬鼎工程服務股份有限公司協理

24.4公尺的油槽沉陷達1.3公尺 (Greenwood, 1974)，及直徑為63.9公尺的油槽沉陷達1.6公尺 (Marr et al., 1982) 而仍能儲油營運的實例。通常浮頂油槽之容許沉陷量比錐頂油槽小，因少量之槽殼沉陷即可能使槽頂扭曲變形而阻礙浮頂浮動。

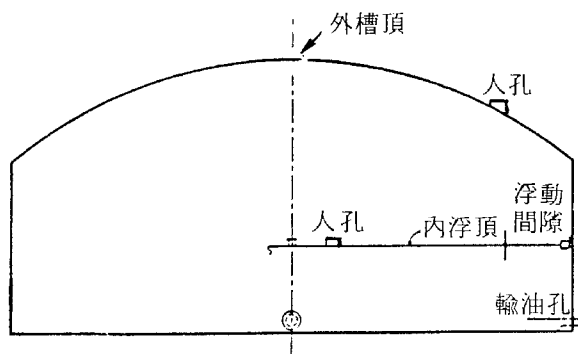
影響儲油槽儲油功能的主要原因有：

- 槽殼與底鈹之連接焊縫破壞，導致槽殼挫曲破壞。
- 支撐內柱的過度沉陷導致槽頂的扭曲破壞。
- 槽殼與底鈹焊縫之撕裂破壞。
- 槽殼過度變形，浮頂之浮動功能受阻。

以上各種現象的發生，主要均由於地層之不穩定及壓縮而引致之槽殼或底鈹之過度沉陷 (尤其是差異沉陷)。因此，油槽基礎設計分析時，即應審慎瞭解基址之地層分佈與土壤特性，詳細分析基礎土層之承載穩定度及在荷重下可能發生的沉陷，另於油槽建造完成試水時，亦應針對地層之承載穩定度及油槽沉陷加以監測，方能確保安全。

三、 基礎型式

油槽基礎型式不外乎(1)剛性基礎及(2)柔性基礎。前者如液化石油氣、液化天然氣等低溫儲槽、球形槽、臥式儲槽等採用，一般大型地面式油槽除非使用樁基礎；否則採用後者為多。



圖一 雙槽頂油槽槽體示意圖

一般常用之典型油槽基礎 (柔性) 有：鋼筋混凝土環形基礎，碎石級配料環形基礎及夯實砂或夯實碎石級配料之基礎等，參見圖二。基礎型式之選擇視油槽大小、載重情況、基礎土壤情況、基礎材料之取得及工程費用等因素而定。若土層情況很差 (例如有軟弱黏土層) 時，則必須考慮採用土壤改良，例如排水或擠壓砂樁等，必要時亦可採用樁基礎，惟採用樁基礎設計，即未能利用儲油槽之柔性特性，且工程費用較多，因此，一般樁基礎僅用於必須與地面隔離之低溫儲槽，例如液化氧及液化氮儲槽 (如圖三) 等。

四、 儲油槽基礎分析與設計

基本上，油槽基礎之分析與設計與一般淺基礎之分析設計相似，必須考慮基礎土壤之剪力破壞、沉陷及土層液化潛能等，其程序大致如本頁下方所示之流程圖。

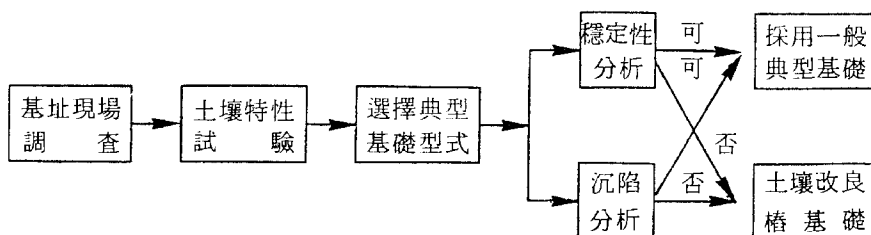
茲分別扼要說明各步驟如下：

基址現場調查

如同一般結構物之現場基址調查，儲油槽基址之現場調查係為獲得經濟的工程設計及基礎設計與施工所需的基址地質資料。

油槽基址之現場調查亦分為初步勘查及詳細鑽探調查。初步勘查主要在調查基址之地形、地質及其他有關的工程環境事項，並依據調查結果擬定詳細調查計畫。

詳細調查主要以鑽孔方式進行，必要時亦可配合地球物理探測方法進行。鑽孔調查之鑽孔間距、孔位及深度主要決定於油槽大小及地層的分佈與土層特性。一般鑽孔常設置於槽底四等分或八等分圓周及基址中心之處，在大型油槽例如十萬公秉以上之油槽且地層複雜不良者；得視地層情況於中心點與圓周間再佈設鑽孔。鑽孔深度則視土層情況，以能瞭解油槽荷重影響深度範圍內的土層



分佈與特性為原則。

土壤特性試驗

同一般基礎分析，舉凡與土層承载力、塑性流、沉陷、及液化潛能等分析必須之土壤參數均必須試驗求得，方能進行相關之土壤力學分析。

穩定性分析

油槽基礎分析常需考慮的穩定性分析包括：基礎土壤承载力分析及塑性流分析。

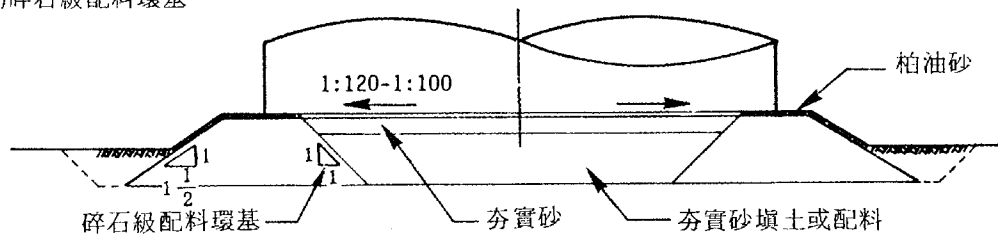
承载力分析亦即剪力破壞分析，一般土層剪力破壞分析均使用 Terzaghi 圓形基腳承载力公式分析，此公式土壤力學教科書均有列示，必要時，亦可採用 Bowles (

1977) 書中其他有關的承载力的分析方法檢核之。

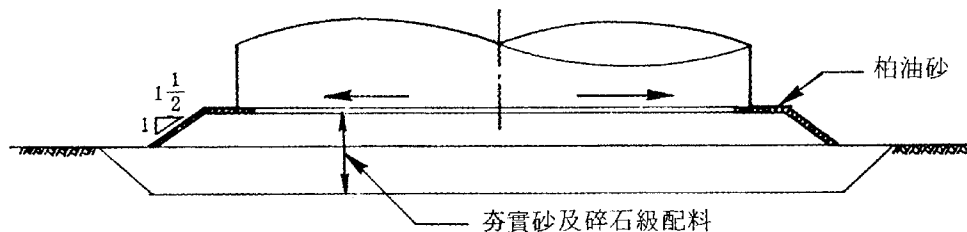
除非基礎土層異常軟弱或油槽很小，一般剪力破壞情況不易發生，反而常須執行局部剪力破壞分析。一般採用滑動圓弧分析法進行檢核，參見圖四。滑動圓弧分析法可參見一般土壤力學教科書之有關斜坡穩定分析的章節。

若上下兩層為堅實土層，中間夾有軟弱黏土層，其剪力強度不夠，當載重增加時，所形成的土壓力超過地盤的承载力，則產生水平側向流動。亦即此土壤之應力與應變不是線性變化，當應力大於某一降伏值時土壤

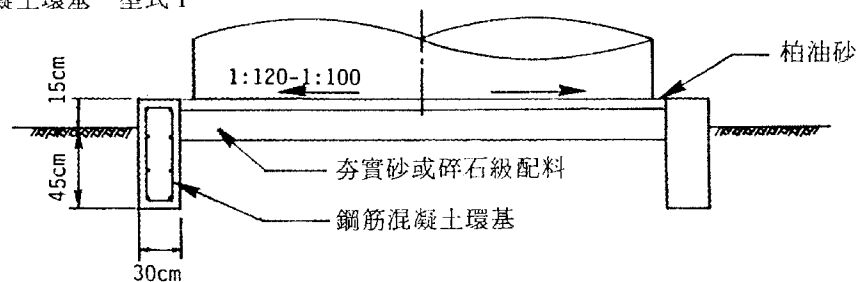
(a)碎石級配料環基



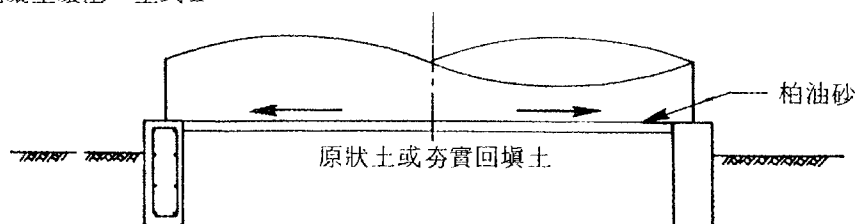
(b)夯實之碎石級配料或砂礫基座



(c)鋼筋混凝土環基一型式 I



(d)鋼筋混凝土環基一型式 II



圖二 常用之油槽基礎型式示意圖

地工技術



圖三 基礎型式之液化氮儲槽基礎

進入塑性流範圍，此時即應力不變，土壤亦會不斷下沉。

關於塑性流的分析，Darragh (1964) 曾引用三種方法於油槽基礎的分析（參考圖五）。此三方法分別為：

(1) Meyerhof (1951) 法
對圓形基脚

$$q' = \left[\frac{D'}{3H} + \pi + 1 \right] c$$

適用於 $\frac{D'}{H} \geq 6$ 之情形

$$D' = D + 2t \cot \theta$$

由上式，則油池之接觸壓力

$$q = q' \left(\frac{D'}{D} \right)^2$$

如果油池壓力 $p \geq \frac{1}{2} q$ 即發生塑性流。

(2) Jurgenson (1934) 法

$$p' = \left(\frac{\sqrt{\pi}}{4} \cdot \frac{D'}{H} \right) c \approx \frac{1}{2} \left(\frac{D'}{H} \right) c$$

$$\text{即 } p = \frac{1}{2} \left[\frac{(D')^3}{D^2 H} \right] c$$

(3) Kalinovsky (1958) 法

Kalinovsky (1958) 認為當軟弱土層之主動壓力相當於被動土壓力時會發生塑性流。作用於軟弱土層直徑 D' 垂直面之主動與被動土壓力分別為

$$\text{主動土壓力 } P_a = p' + \gamma t - 2c$$

$$\text{被動土壓力 } P_p = \gamma t + 2c$$

$$P_a = P_p \text{ 時，即 } P' = 4c$$

$$\therefore \text{塑流時 } p = 4c \left(\frac{D'}{D} \right)^2$$

上三式中：

D = 油槽直徑

t = 上層硬土層厚度

H = 軟弱土層厚度

θ = 土壓力傳播角度，一般採用 60°

p = 油槽底面接觸壓力

p' = 軟弱土層上方土壓力

q' = 軟弱土層表面之極限承载力

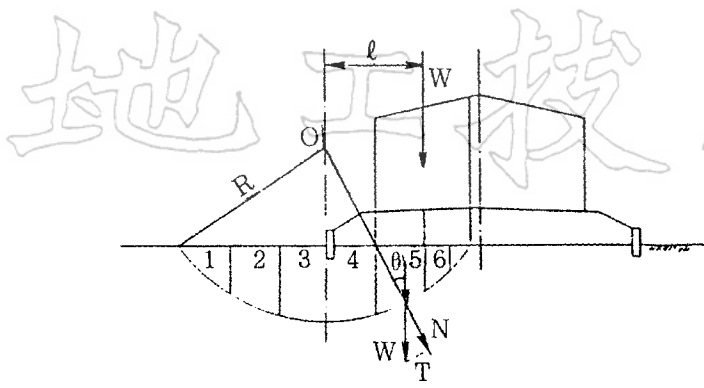
q = 油槽底面之極限承载力

D' = 軟弱土層上受壓力範圍（直徑）—

傳播至軟弱土層之受力直徑

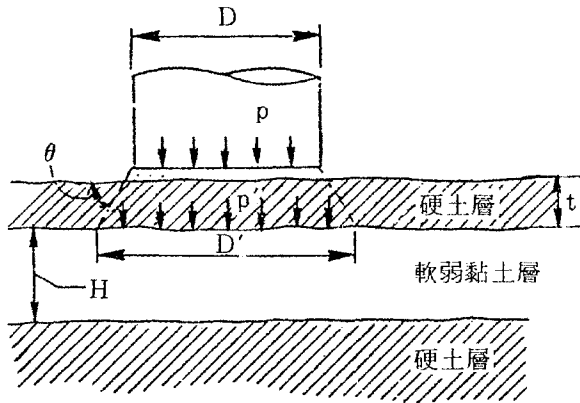
γ = 土壤單位重

c = 軟弱土層之不排水剪力強度



$W = \ell < R f (\sigma \tan \phi + c) d_s$ $d_s =$ 滑動圓弧上之微面積
 $W =$ 滑動荷重 $\sigma =$ 在 d_s 面上之垂直應力
 $\ell =$ 滑動荷重之重心與滑動圓中心之水平距離 $\phi =$ 土壤內摩擦角
 $R =$ 滑動圓半徑 $c =$ 滑動弧上之凝聚力

圖四 圓弧滑動分析示意圖



圖五 可能發生塑性流之土層狀況示意圖

依據 Darragh (1964) 採用相同的油槽及土層情況分析結果，三法之中以 Meyerhof 法較保守。

若油槽基址土層含有疏鬆的非黏性土層，且地下水位甚高的情況，則基礎土層的穩定分析尚應考慮地震時，非黏性土層的液化潛能分析。土壤液化分析常用的分析方法有 Seed and Idriss (1971) 與 Seed et al. (1983) 建議的方法，吳偉特 (1979) 及鄭文隆與吳偉康 (1985) 的論著中均曾引用，且有詳細說明，讀者可逕行參考。

沉陷分析

如同一般結構物基礎，油槽基礎的沉陷分析亦應考慮瞬時沉陷與壓密沉陷，可分別採用彈性理論及 Terzaghi 單向度壓密理論推演出來之公式分析之，分析方法與公式可見諸一般土壤力學教科書，於此不再贅述。

儲油槽一般採用鋼板製造，是一種柔性很大的結構體，通常容許很大的沉陷量。惟若焊接品質不良或沉陷過大，焊縫或鋼板可能因承受過高的應力而發生撕裂破壞；在浮頂油槽情況，更可能因槽殼的沉陷致使槽頂扭曲變形而阻礙浮頂的浮動。因此，為確保儲油槽的儲油功能，油槽基礎設計及建造完成後之試水與儲油營運期間，均應考慮各種型態之沉陷對油槽功能的影響，即限制可能發生的沉陷量在容許範圍之內。油槽沉陷分析常考慮的沉陷型態有：

(1) 均勻沉陷

儲油槽的柔性很大，一般均勻沉陷對油槽不會有很大的影響。依據 Lambe & Whitman (1969) 的建議，油槽之容許均勻沉陷量約為25公分至45公分。但過大之均勻沉陷，亦會使與油槽相接之管線發生斷裂破壞，惟此影響一般均能以柔性接頭來克服。

(2) 平面傾斜 (Planar Tilt)

槽殼的平面傾斜會減小油槽的空油距 (Freeboard) 及變更液面的型態而對槽殼產生額外的應力，其發生的原因為儲槽底下基礎土層厚度及壓縮特性呈橫向之線性變化。平面傾斜的主要影響為槽殼與連接管線之支撐基腳發生差異沉陷，導致管線斷裂，並且過度的傾斜，空油距減少，可能發生溢油現象。

(3) 非平面沉陷 (Non-Planar Settlement)

若基礎土層厚度及壓縮特性不均勻，即可能引起槽殼周圍各點發生不同之沉陷量，即所謂之非平面沉陷，槽殼底即呈非平面之扭曲 (Out-of-Plane Distortion) 形狀。非平面沉陷為一般油槽最常見的沉陷型態。槽殼之非平面沉陷會使槽頂或槽殼發生輻向變形或使槽殼發生超應力現象。槽殼之過量輻向變形會導致浮頂油槽之浮頂喪失浮動功能，而超應力則會使油槽破裂或溢油。

(4) 底板之碟形沉陷

在土層厚度與壓縮特性均勻之基礎土壤的油槽底板，即可能發生碟形沉陷。過量之

碟形沉陷會導致底鈹焊縫撕裂破壞或妨礙積油的清除；錐頂油槽之槽頂支撐內柱亦可能隨之下陷，導致槽頂的扭曲變形。

(5)底鈹局部性凹陷

此種型態之沉陷發生在局部袋狀高壓縮性土壤的情況，其影響與底鈹的碟形沉陷相同。

為避免影響油槽之儲油功能，即必須限制上述各種型態之沉陷量在容許範圍。由於非平面沉陷型態的評估參數較多也較複雜，乃特別說明並討論如下：

一般非平面沉陷對儲油槽的影響，常採用下列各式求得之參數來評估（參見圖六）

- 局部傾斜率(Local Slope), δ_i

$$\delta_i = (\rho_i - \rho_{i-1}) / L \times 100\% \quad (1)$$

式中

ρ_i, ρ_{i-1} : 分別為槽殼圓周第 i 點與 $i-1$ 點的沉陷量

L : 槽殼連續兩點之距離

- 非平面沉陷量(Non-Planar Settlement), S_i

$$S_i = \rho_i - Z_i \quad (2)$$

式中

S_i : 槽殼圓周第 i 點與對應之傾斜平面之間的沉陷差距，稱為非平面沉陷量。

Z_i : 傾斜平面 i 點的沉陷量

- 非平面扭曲率(Out-of-Plane Distortion), δ_i'

$$\delta_i' = (\Delta S / L) \times 100\% \quad (3)$$

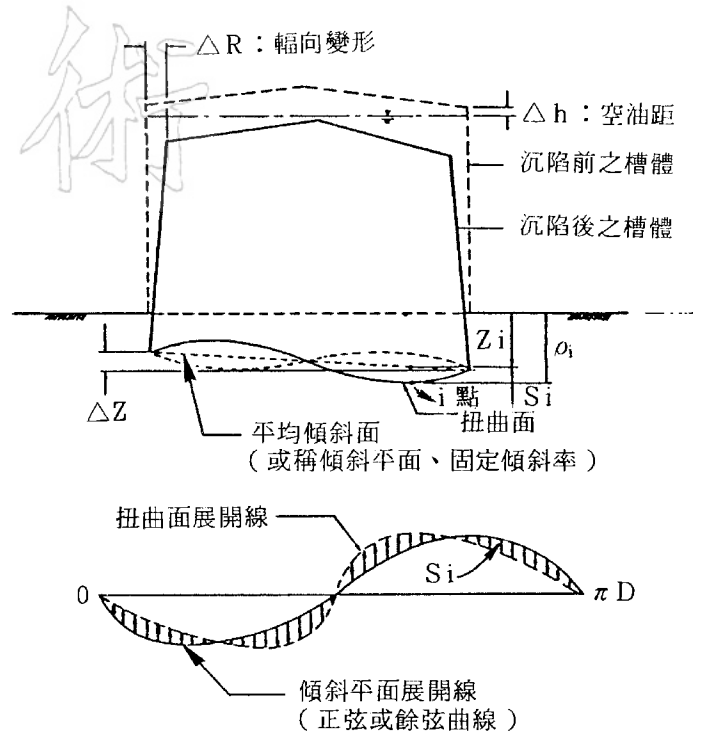
$$\Delta S = S_i - 0.5(S_{i+1} + S_{i-1})$$

式中

S_{i-1}, S_i, S_{i+1} : 分別為槽殼圓周連續三點的非平面沉陷。

L : 連續兩點間的距離

上述計算非平面沉陷或平面扭曲率時，必須先依據實際量測之槽殼沉陷量推求對應之傾斜平面，又有稱為固定傾斜面 (Rigid Tilt Plane) 或平均傾斜面沉陷量 Z_i 。目前，傾斜平面沉陷量之推求方法有三種：



圖六 非平面沉陷及相關符號示意

- Sullivan & Nowicki (1974) 法
- Malik Norton & Ruiz (1977) 法
- DeBeer (1969) 法

茲分別說明如下：

(1) Sullivan & Nowicki (1974) 法

本法假設傾斜平面之一直徑與實際扭曲面之兩端有最大差異沉陷之直徑相疊合，其傾斜平面沉陷通常依下式計算：

$$Z_i = \rho_{\max} + \frac{\rho_{\min} - \rho_{\max}}{2} (1 - \cos \phi_i) \quad (4)$$

式中，

ρ_{\min}, ρ_{\max} : 分別為槽殼沉陷觀測點中，量測得之最小及最大沉陷量。

ϕ_i : 參考半徑 (或方向線) 與通過 i 點之半徑的夾角。

(2) Malik, Morton & Ruiz (1977) 法

本法利用統計學的線性迴歸法 (Linear Regression Technique)，由量測點之沉陷量來決定最佳稱合傾斜平面 (Best-Fit Tilt Plane)。

本法採用之傾斜平面沉陷量 (Z_i) 的計算公式如下：

地工技術

$$Z_i = a[1 - b \sin(\theta - \alpha_i)]$$

$$a = \frac{\sum \rho_i}{n}$$

$$b = \frac{\sqrt{(\sum \rho_i \sin \alpha_i)^2 + (\sum \rho_i \cos \alpha_i)^2}}{\frac{n}{2} \left(\frac{\sum \rho_i}{n} \right)}$$

$$\theta = \arctan \left(\frac{\sum \rho_i \cos \alpha_i}{\sum \rho_i \sin \alpha_i} \right) \quad (5)$$

式中

- a : 各觀測點之平均沉陷量
- b : 最佳稱合傾斜平面對應水平面的斜率
- θ : 最佳稱合平面對應參考方向的轉角
- n : 槽殼沉陷觀測點數
- α_i : 槽殼第 i 點與參考方向之間的轉角
- ρ_i : 槽殼第 i 點的觀測沉陷量

本法之計算範例參見 Bell and Iwakiri (1980)。

(3) DeBeer (1969) 法

本法假設傾斜平面之一直徑與實際扭曲面之一直徑相疊合，但並非絕對為量測點相連之直徑。DeBeer 建議的方法係依據量測點之沉陷量以圖解法來決定傾斜平面。本法求得之結果與(2)法求得之結果相近，本文不擬贅述。

上述三法中，DeBeer 與 Malik et al. 建議之方法求得之結果較接近，而 Sullivan & Nowicki 建議之方法求得之結果，將超估非平面沉陷量。因此，Marr et al. (1982) 建議採用 Malik et al. 建議的方法來推求傾斜平面之沉陷量。

必須特別注意的是：常見試水報告之油槽功能評估，計算非平面扭曲率 (δ_i) 時，常將槽殼之量測沉陷量 (ρ_i) 誤為非平面沉陷量 (S_i)，而直接以前者代入非平面扭曲率計算公式來推求，導致錯誤的評估結果。有關儲油槽之各種型態之沉陷定義及容許沉陷的詳細討論，請參見作者之其他論著 (陳煌銘，1987；Chen et al., 1987)。

目前各種規範 (如美國石油協會 A P I 規範) 對於各種型態之沉陷容許值的規定並

未完整。因此，儲槽基礎的設計或儲油功能之評估，常需參考已發表之文獻建議之經驗標準及個別地區之設計與製造經驗、施工技術及地質情況來判斷決定。表一為常引用之各種沉陷型態之容許值。作者亦綜合目前國內外之儲油槽沉陷有關的文獻歸納一套油槽各沉陷型態的容許標準，並印證國內外120座大型儲油槽的沉陷觀測資料，確可供實際應用，該標準亦列示於表一中。

由於影響儲油槽容許沉陷的因素很多，除了槽體本身的因素之外，其他如基礎型式、施工品質、土層分佈等因素的影響亦很大。因此，本文建議的標準係提供儲油槽安全評估的基本參考指標，即實際油槽可能容許比表一建議標準更大的沉陷量。因此，儲油槽試水或儲油營運時，觀測之沉陷量若超過表列之建議值，並非表示儲油槽即會喪失其儲油功能或將破壞；在此種情況，建議再按實際槽體的施工品質、基礎型式、土層特性及其他有關槽體的特性條件作進一步的評估，並應用其他材料檢驗方法檢核確定其安全性。

油槽基礎於上述各步驟的分析結果，若能符安全要求，則可採用一般典型的柔性油槽基礎 (如圖二所示)，否則即應考慮施行土壤改良如排水或擠壓砂樁等，必要時，亦可考慮採用樁基礎。惟採用樁基礎設計，即未能利用儲油槽之柔性特性，且工程費用較巨。

五、 試水與監測

儲油槽建造完成後，在正式儲油營運前，均必須經過試水 (Water Testing) 程序，以檢驗槽體的滲漏及測試儲槽功能；另者，由於儲槽試水之便捷與經濟特性，試水又常被用來預壓不良之基礎土壤，改良土壤強度及壓縮特性，惟二者均需配合規劃良好的安全監測系統，方能確保儲油槽的安全。

有關油槽之試水與監測的詳細討論，請參見作者之另一論著 (陳煌銘，1985)。

表一 儲油槽之經驗容許沉陷標準 (摘自陳煌銘, 1987)

最大沉陷 (mm)	槽 設 沉 陷				底 鈹 沉 陷		參 考 文 獻
	傾斜平面 傾斜率	局部傾斜率	非平面 沉陷 (mm)	非平面扭曲率	中央與邊緣 之傾斜率	局部傾斜率	
	1:200		40*— 60**				Greenwood (1974)
			30— 45 ⁺		1:55		Sullivan & Nowicki (1974)
300	1:200				1:180		Clarke (1971)
						1:30	Lambd & Assoc. (1961)
	$\Delta Z \leq 50\text{cm}$ $\Delta X \leq 30\text{cm}$				1:50		Langeveld (1974)
					1:45	1:45	Rinnie (1963)
					1:50		Green & Hight (1974)
				1: 1:450			DeBeer (1969)
		1:180			1:45—1:25	1:90—1:50	Hayashi (1973) Guber (1974)
		1:330—1:285		1:450			Belloni et al. (1974)
				1:450	1:50—1:40	1:20	Rosenberg & Journeaux (1982)
		1:770—1:285					Morton & Ruiz (1974)
		1:300		1:500—1:300	1:125		DM-7 (1982)
	1:100	$\Delta\rho \leq D/100$			1:50	1:100	日本消防局
350	1:200	$\frac{1:300}{1:250}$ (浮頂) (錐頂)	60	$\frac{1:450}{1:300}$ (浮頂) (錐頂)	1:50	1:50	陳煌銘(1987) Chen et al. (1987)

* 直徑小於 50m 之儲油槽 ** 直徑大於 50m 之儲油槽 + 浮頂油槽

六、 結 論

儲油槽基礎的分析與設計方法與一般結構物基礎的分析設計方法類同，惟油槽具有很大柔性的特點，通常容許很大的沉陷量，因此，其基礎的設計即應考慮此特性，方能有安全且經濟的基礎設計。

由於油槽的安全，除了基礎之外，槽體與基礎的施工品質與實際土層的分佈之影響亦很大。因此，除了審慎的基礎設計之外，於油槽建造完成後，亦應有審慎的試水與監測計畫，方能確保油槽的安全。

參 考 文 獻

- 吳偉特，(1979)，「台灣地區砂性土壤液化潛能之初步分析」，土木水利，第六卷，第二期。
- 陳煌銘，(1984)，「大型儲油槽之試水預壓及觀測系統」，中國工程師學會近代工程技術討論會，大地工程與地下結構組論文。
- 陳煌銘，(1985)，「大型儲油槽之試水預壓及功能評估」，地工技術雜誌，第十期。
- 陳煌銘，(1987)，「大型儲油槽容許沉陷標準之研究」，土木水利，第十四卷，第一期。
- 鄭文隆，吳偉康，(1985)，「土壤液化之災害型態與現地研判」，地工技術雜誌，第九期。
- BELL, R. A. and IWAKIRI, J. (1980) "Settlement Comparison Used in Tank-Failure Study,"

- J. of Geo. Engg Div., ASCE*, Vol. 106, No. GT2.
- BELLONI, L., GARASSINO, A., and JAMIOKOWSKI, M. (1974) "Differential Settlements of Petroleum Steel Tanks," *Proc. Conf. on Settlement of Structures, British Geot. Soc.*, Cambridge.
- BOWLES, J.E. (1977) *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill, Inc., New York.
- CHEN, H.M., PAN, C.C., and CHUNG, S.T. (1987) "Settlement Criteria for Large Oil Storage Tanks," *9th Southeast Asian Geot. Conf.*, Bangkok, Thailand, Dec.
- CLARKE, J.S. (1971) "How to Handle Tank Bottom and Foundation Problems," *Oil and Gas J.*, 5.
- DEBEER, E. (1969) "Foundation Problems of Petroleum Tanks," *Annales de L'Institut Belge de P'etrole*, No. 6.
- Department of the Navy (1982) *Design Manual 7.1-Soil Mechanics*.
- GREENWOOD, D.A. (1974) "The Failure of Two Oil Storage Tanks Caused by Differential Settlement," *Proc., Conf. on Settlement of Structures, British Geot. Soc.*, Cambridge.
- HAYASHI, K. (1973) "Evaluation of Localized Differential Tank Bottom Settlement," *Internal Report*, Exxon Research and Engineering Co., Report No. EE, 12TTR, 73.
- JURGENSON, and LEO, (1934) "The Shearing Resistance of Soils," *J. Boston Soc. of Civ. Engrs.*, Boston, Mass., July.
- KALINOVSKY and BORIS, (1958) "Settlement of Tanks on Reclaimed Tidelands," *Engineering Bulletin No. 4, Dames & Moore*, San Francisco, Calif., December.
- LAMBE, T.W. (1969) "Reclaimed Land in Kawasaki City," *Proc. of Soil Mech. and Found. Div., ASCE*, Vol. 95, No. SM5.
- LANGEVELD, L.M. (1974) "The Design of Large Steel Storage Tanks for Crude Oil and Natural Gas," *Proc. of the Annual Meeting of the Int. Inst. of Welding*, PP. 35-95.
- MEYERHOF, G.G. (1951) "The Ultimate Bearing Capacity of Foundations", *Geotechnique*, Vol. 2, No. 4, PP. 301-331.
- MORTON, J., and RUIZ, C. (1976) "Floating Roof Tank Design is Eased," *Oil and Gas J.*, April.
- RINNIE, J.E. (1963) "Tanks on Soft Soils are an Economic Challenge," *Petroleum Management*, 85.
- ROSENBERG, P. and JOURNEAUX, N.L. (1982) "Settlement Limitations for Cylindrical Steel Storage Tanks," *Can. Geotech. J.* 19, PP. 232-238.
- SEED, H. B., and IDRIS, I.M. (1971) "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", *J. Soil Mech. and Found. Div. ASCE*, Vol. 97, No. SM9.
- SEED, H. BOLTON, IDRIS, I.M. and ARANGO, I. (1983) "Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data", *J. Geot. Eng. Div., ASCE*, Vol. 109, No. 3.
- SULLIVAN, R.A. and NOWICKI, J.F. (1974) "Differential Settlements of Cylindrical Oil Tanks," *Proc., Conf. on Settlement of Structures, British Geotech. Society*, Cambridge.