

預壓工法在改良油槽基礎上之實例研討
PRELOADING OF FOUNDATION SOIL
FOR OIL STORAGE TANKS

游 坤 胡邵敏 王劍虹

亞新工程顧問股份有限公司

K. YU, S.M. WOO AND C.H. WANG

Moh and Associates, Inc.

Taipei

原載於中國土木水利工程學會七十三年
年會論文專集，第 231 ~ 244 頁

Reprinted from
Proceedings, Annual Meeting of the
Chinese Institute of Civil and Hydraulic
Engineering, Tamsui, 25 Nov., 1984, pp. 231-244

ABSTRACT

One 10,000 kl and seven 50,000 kl capacity oil tanks are to be constructed in south-western part of Taiwan. A detail geotechnical investigation was carried out. It was found out that the subsoils at the proposed tank site are mainly of silty sand, clayey silt and silty clay with thin layers of fine sand. In order to improve the bearing capacity and compressibility of the subsoils, a preloading scheme was used along with field instrumentation monitoring for evaluating the effectiveness of the soil improvement. Subsoil properties were greatly improved resulting significant saving in construction cost by adopting the preloading scheme.

預壓工法在改良油槽基礎上之實例研討

游 坤 * 胡邵敏 ** 王劍虹 ***

摘 要

七座直徑 61 公尺高度 18.3 公尺之五萬公秉油槽與一座直徑 36.6 公尺，高度 12.2 公尺之一萬公秉油槽，建立於臨海地區之沖積平原上，經詳盡的地基探查結果顯示，此沖積平原主要為沉泥質砂層及粘土質沉泥或泥質粘土夾細砂薄層組成。經採用預壓方式之土質改良來減少油槽使用時之沉陷量，以達到油槽基礎穩定及槽體之安全。為了解並檢核預壓期間土質之變化，於預壓前裝設沉陷板與壓氣式水壓計觀測系統儀器，並於槽體完工試水試驗之前於槽體四周設置沉陷觀測點進行觀測，按兩階段之觀測結果顯示與原有分析結果極為接近，此亦證實若有詳盡的地基調查資料，並經合理的研判當可獲得經濟之油槽基礎設計。

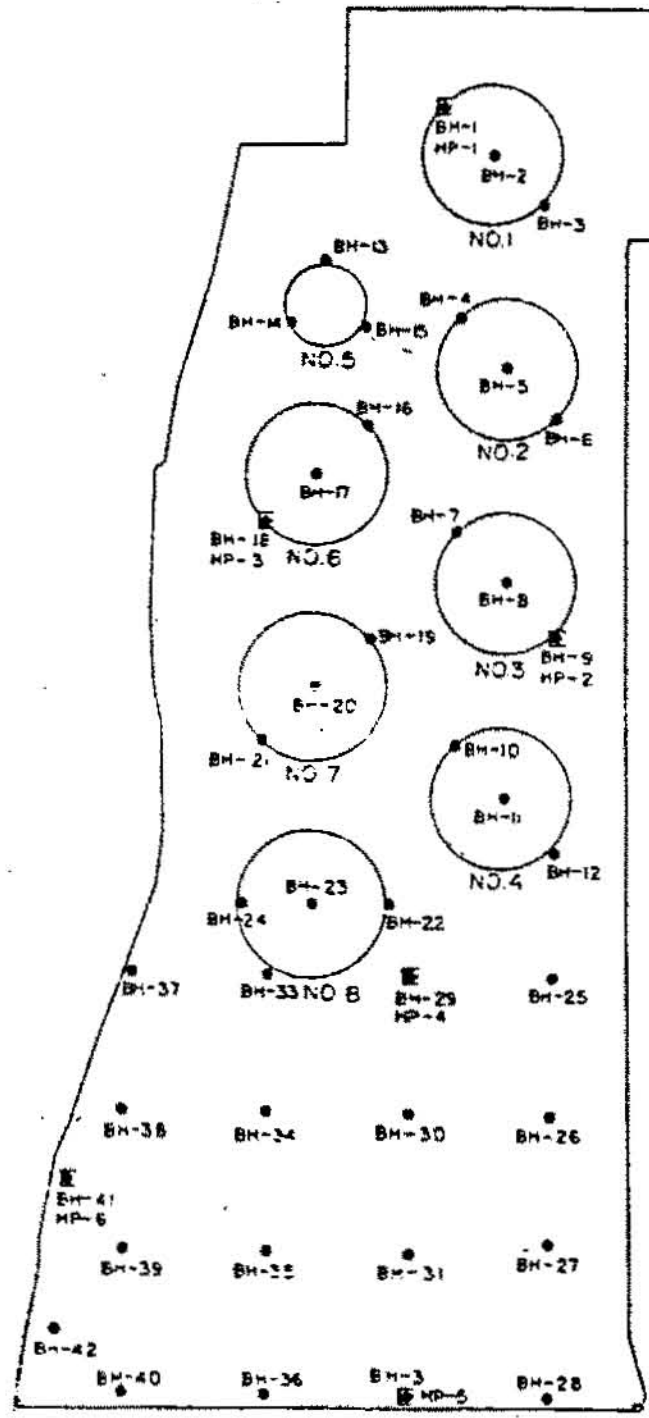
一 前 言

油槽基礎設計時一般應考慮之主要大地工程問題有基礎土壤承载力，土壤液態化潛能，與基礎沉陷量等問題。本文係說明對一承载力可能不足與沉陷量可能過大之沖積層工程地點如何利用土質改良方法來改善油槽基礎穩定之工程實例。本油槽工程基地位於台灣西南部地區之沖積平原上，共包括七座直徑 61 公尺之五萬公秉油槽與一座直徑 36.6 公尺之一萬公秉油槽，油槽基地經採用預壓方式改良基礎土壤並經試水試驗後顯示土質改良效果良好。由於部份油槽槽體尚未施工，本文將以已完成之 NO. 1、NO. 3、NO. 6 及 NO. 7 等四個油槽為例進行說明。

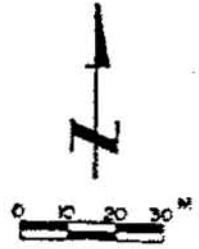
三 基地土層及地下水概況

本工程基地位於台灣西南部海岸平原，基地面積約 12 公頃，原為種植甘蔗及蕃茄等農地。北方距彌水溪約 100 公尺，原有地表高程在北側約 + 5.0 公尺，南側約 + 4.0 公尺，整地後北側高程約 + 6.2 公尺，南側高程約為 + 5.7 公尺，本工程基地之平面狀況及鑽孔位置如圖一所示。

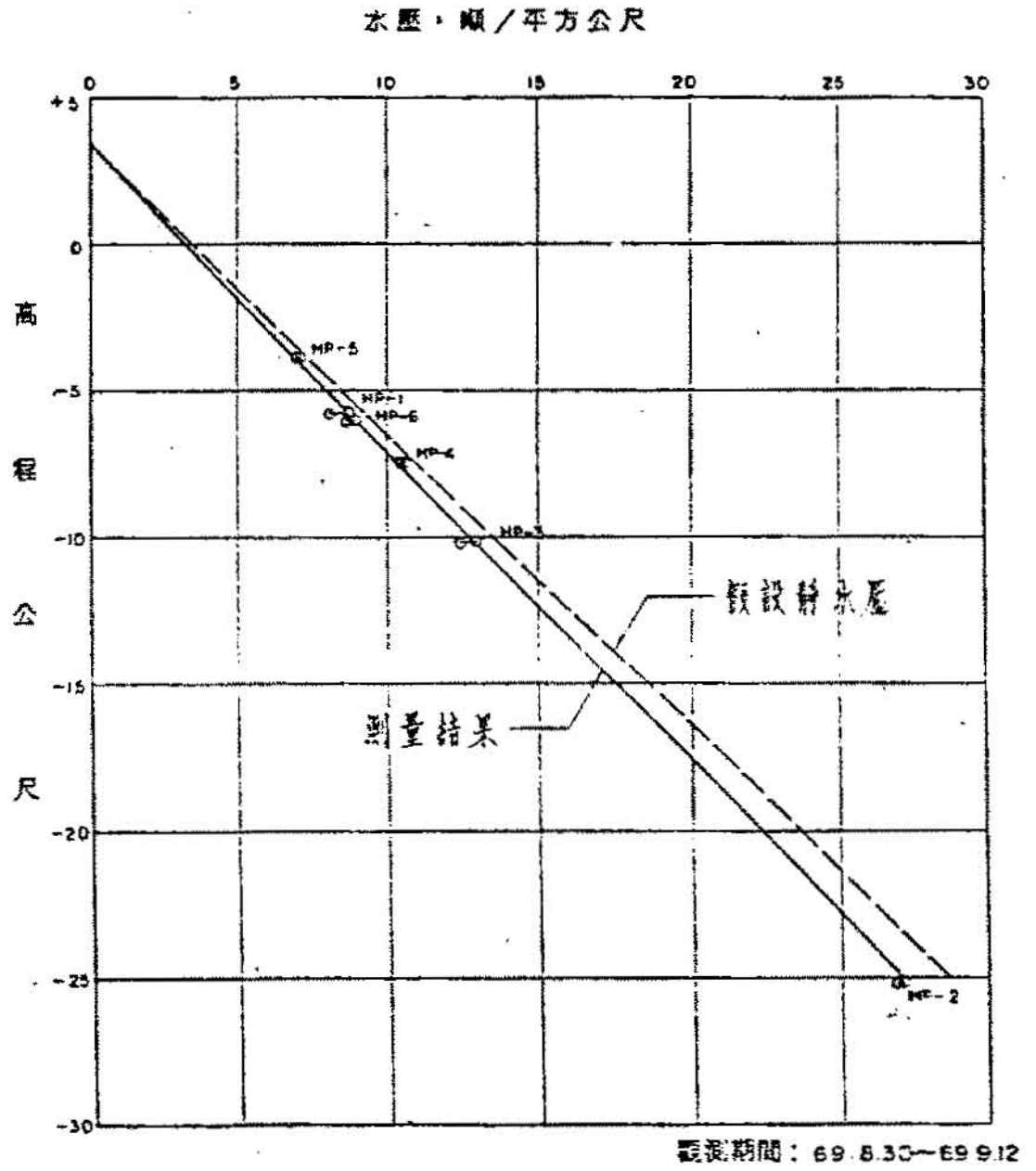
- * 亞新工程顧問公司大地工程部經理
- ** 亞新工程顧問公司新加坡分公司經理
- *** 亞新工程顧問公司大地工程師



圖一 基地平面配置及鑽孔位置圖



圖例：
 ● 鑽孔位置
 □ 水壓計裝設位置



圖二 地下水壓與高程變化關係圖

1. 基地土層概況

本工程基地在地質史上屬全新世中期之現代沖積層，係由沉泥粘土和砂組成，部份砂層中具粘土與砂之交互層。經詳細之地基調查顯示基地土層可分為八個層次，各層次土壤之厚度分佈，物理性質及工程性質說明如表一所示。

2. 基地地下水概況

由鑽探孔內量測之地下水位及埋設水壓計所測得之地下水壓顯示基地之地下水壓分佈接近靜水壓狀況，其地下水位平均約位於地面下 2 公尺左右，調查期間之地下水壓分佈如圖二所示。

表一 基地各土壤層次厚度分佈、物理及工程性質

深度 m	層次	土壤狀況說明	N 值	w_n %	γ_{tc} t/m ³	q_{uv} t/m ²	c_c t/m ²	ϕ_c deg.	\bar{c}_c t/m ²	$\bar{\phi}_c$ deg.
0-4	一	灰土層，黃棕色粘土質沉泥或細砂質沉泥夾細砂互層。	3-9	22.3	1.89	2.0	1.5	29	0	31
4-6	二	灰色粘土質沉泥或沉泥質粘土	4-8	27.0	1.96	3.2	1.7	24	0	33
6-14	三	灰色沉泥質細砂或細砂質沉泥夾粘土互層	7-30	23.1	1.96	6.2	1.1	26	0	39
14-18	四	灰色粘土質沉泥或沉泥質粘土	6-10	26.9	1.98	6.3	3.6	18	0	34
18-20	五	灰色沉泥質細砂或細砂質沉泥夾粘土互層	14-37	23.9	2.00	-	-	-	0	40
20-39	六	黃灰色沉泥質細砂	43-79	24.0	1.98	-	-	-	0	42
39-55	七	灰色沉泥質粘土或粘土質沉泥夾細砂互層	19-43	22.8	2.02	13.1	2.2	27	0	37
55-	八	灰色沉泥質細砂	62-100	21.6	2.01	-	-	-	-	-

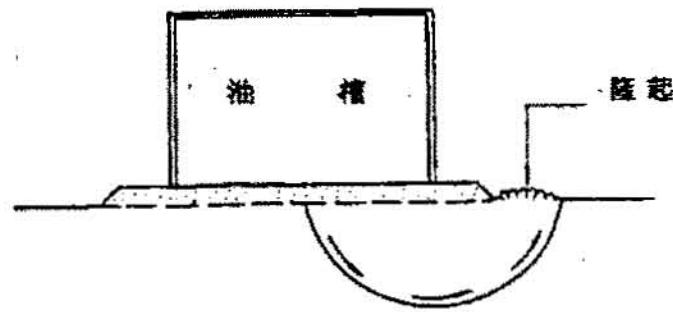
三 油槽基礎之大地工程問題

1. 基礎土壤承载力

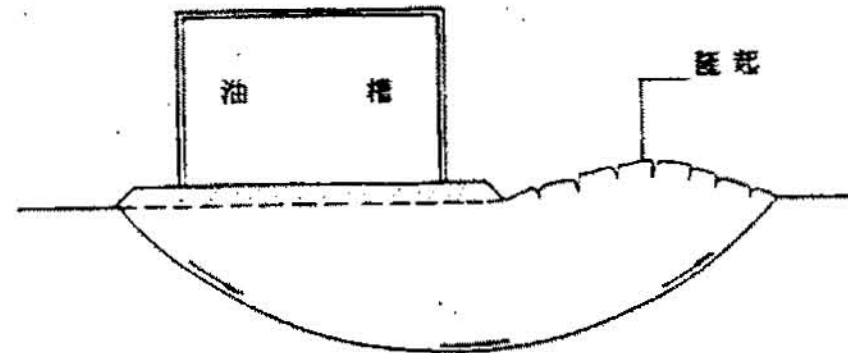
由於本基地土壤層次主要為粘土及砂土交互層次，故在油槽的壓力作用下，土層之承载力必須考慮(1)局部性剪力破壞(2)全面性剪力破壞及(3)塑性流等三種情況，如圖三所示。根據 Carlson 與 Fricano (1961) Lambe 與 Whitman (1969) 及 Meyerhof (1951) 所建議之方法對前述三種情況，經分析結果顯示部份油槽沿第二層次土壤抵抗局部破壞之安全係數接近 1，及抵抗塑性流之安全係數小於 2，此顯示油槽有發生局部破壞之可能，為消

表二 各油槽預壓之荷重及範圍

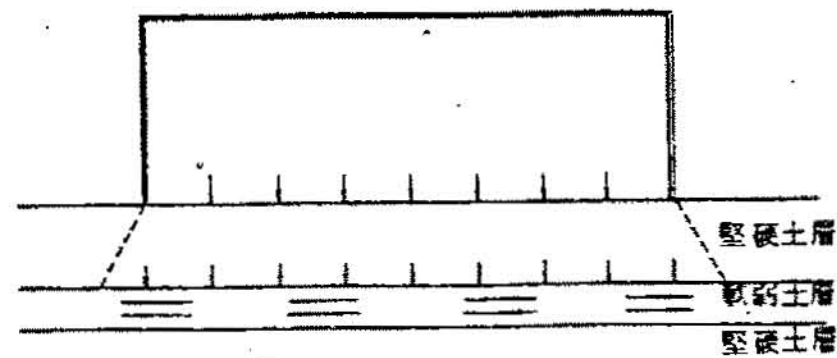
槽別	No.1	No.3	No.6	No.7
堆料高度,公尺	9.6	9.6	9.6	8.5
底面直徑,公尺	80.2	80.2	80.2	79.2
頂面直徑,公尺	61.0	61.0	61.0	62.2
預壓荷重噸/平方公尺	20.64	20.64	20.64	18.28



(a) 局部性圓弧滑動



(b) 全面性圓弧滑動



(c) 軟弱粘土層之塑性沉動

圖三 油槽基礎承載力破壞型態

表三 預壓後不同深度之土壤基礎抵抗局部性圓弧滑動安全係數

圓弧底部深度,公尺	槽別			
	No.1	No.3	No.6	No.7
2	1.95	1.95	1.95	1.95
3	1.95	1.95	1.95	1.95
4	1.95	1.95	1.95	1.95
5	1.95	1.44	1.44	1.44
6	1.95	1.30	2.34	2.34
7	1.95	2.36	2.57	2.57
8	1.56	2.60	2.77	2.77
9	1.44	2.83	2.90	2.90
10以下	>2	>2	>2	>2

表四 預壓前後各油槽下第二層次土壤抵抗塑性流之安全係數

槽別	No.1	No.3	No.6	No.7
安全係數				
預壓後	2.62	2.33	4.06	4.06

除此項問題必須考慮預先處理此第二層次土壤，即改善其土壤強度以確保油槽安全。

2 基礎總沉陷量與差異沉陷量

根據本基地之土層狀況及單向度壓密試驗結果所獲得之土層壓縮特性經分析結果顯示若現有油槽基礎土壤不予處理，則五萬公秉油槽基礎土壤受壓後推估基礎中央處所產生之沉陷量約在 40 至 50 公分之譜，油槽中央與邊緣的最大差異沉陷量約為 21 至 27 公分之間，此等沉陷量與 Debeer (1969) 與 Greenwood (1974) 等之油槽沉陷量建議值及日本消防局於 1977 年之規定油槽沉陷量允許值極為接近，由於本工程地區首次興建如此龐大之油槽，且土層中常有局部性差異之存在，為安全計油槽擬建位置之基礎土壤應於興建油槽之前先行處理，而減少將來油槽使用時之沉陷量以確保油槽之安全。

四 基礎土壤處理

1 土壤處理方法與施工

- (1) 土壤處理方法之決定：根據土層調查顯示本工程之粘性土層中含有大量之細砂薄層，估算其受壓時約在二個月後即可完成 90% 之壓密度，因此選擇預壓之方式進行土質改良。
- (2) 預壓材料之選擇：根據工址附近可利用之料源，材料之流失與飛散性質以及考慮移做油槽基礎之用，乃採用級配優良之碎石料。
- (3) 預壓荷重與範圍：各油槽預壓之荷重及範圍如表二所示。

2 觀測系統

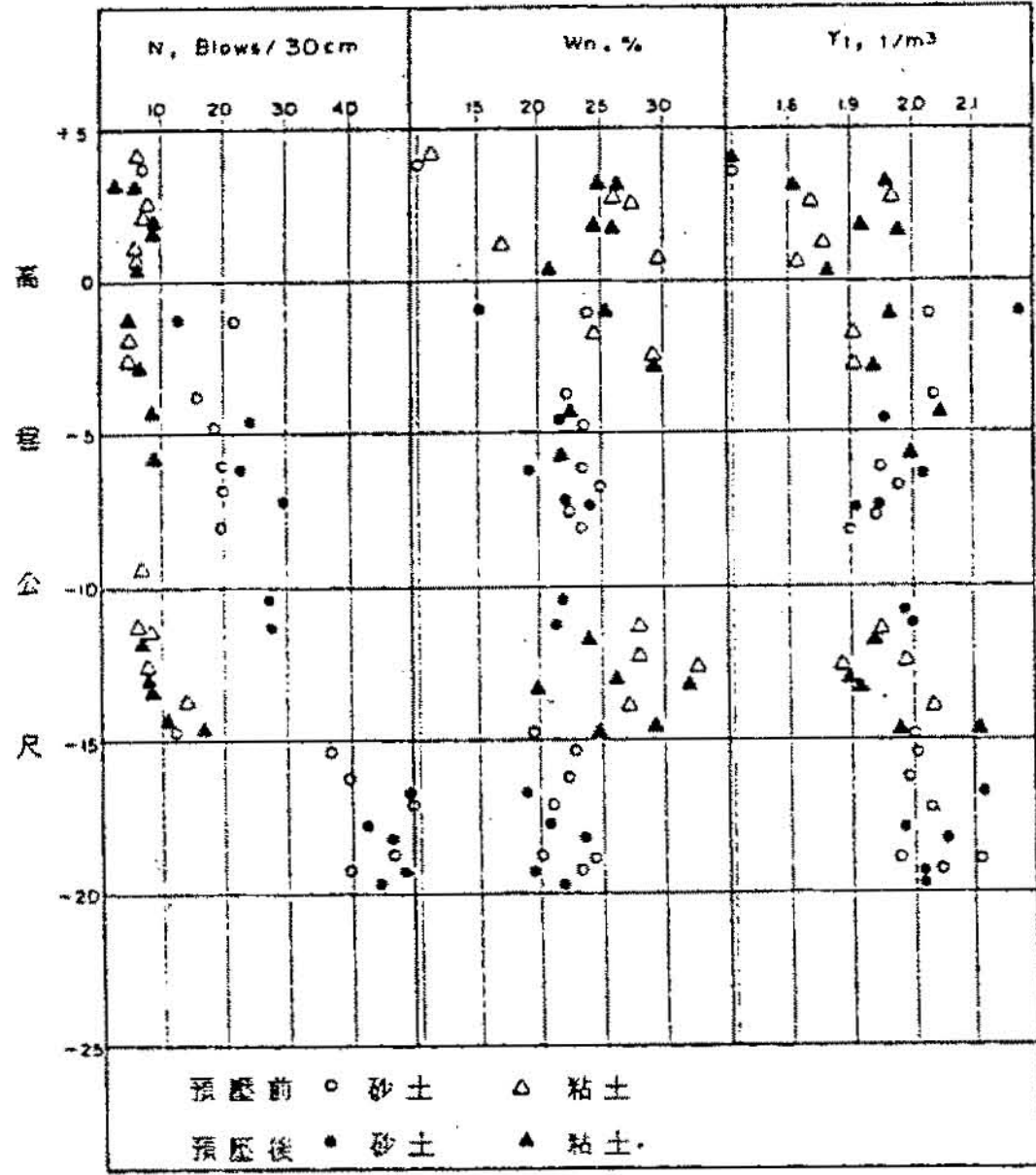
預壓工作開始之前，於各油槽基地內裝置沉陷板及壓氣式水壓計，其目的為：

- (1) 觀測土層之超孔隙水壓消散情況，並由土層之壓縮量與土層之孔隙水壓消散情況比較，以了解土層壓密作用進行之狀況。
- (2) 根據觀測結果檢核以控制預壓料堆置之速度，以避免因堆料速度太快而發生土壤承载力不足之現象發生。

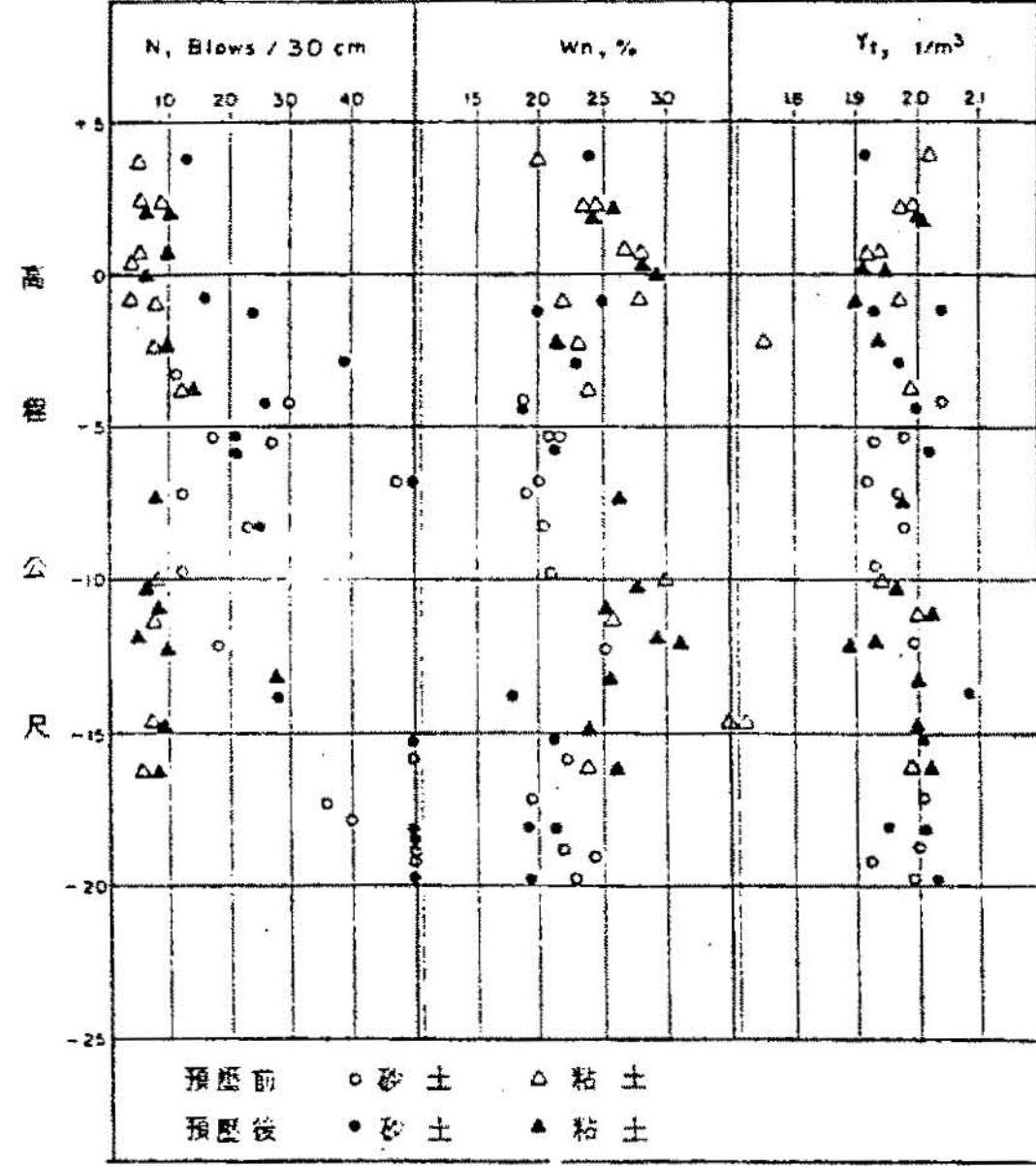
沉陷板裝設在油槽基地中央及邊緣之地表上，以量測油槽基地中央及邊緣之總沉陷量，壓氣式水壓計則分別裝設在油槽基地中央位置下第四層次灰色沉泥質粘土或粘土質沉泥層之中央處，及油槽基地邊緣位置下受荷重影響較大且透水性較低之第二層次或第五層次之中央位置。

五 地質改良之影響與效果

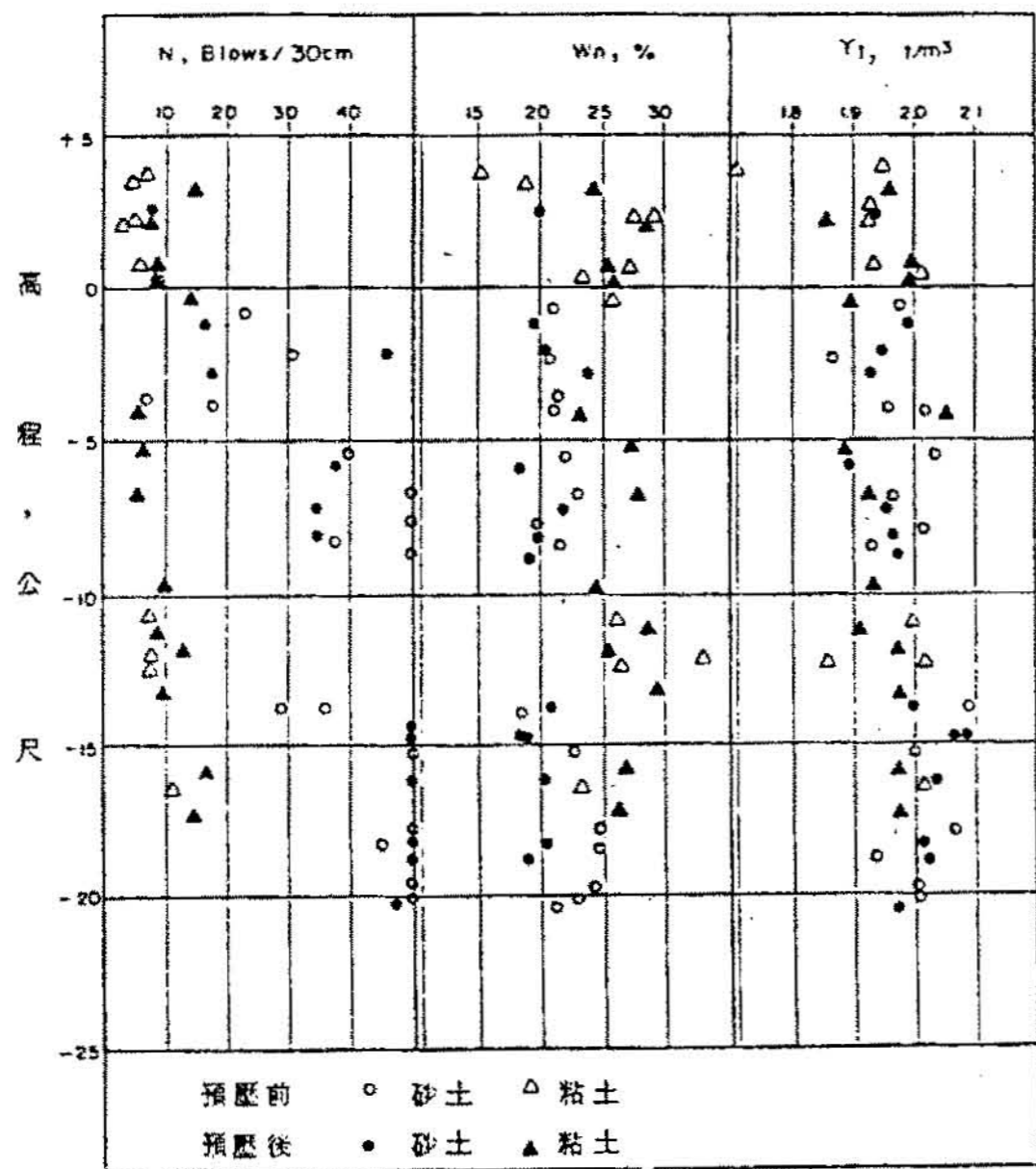
1 土壤物理性質與工程性質



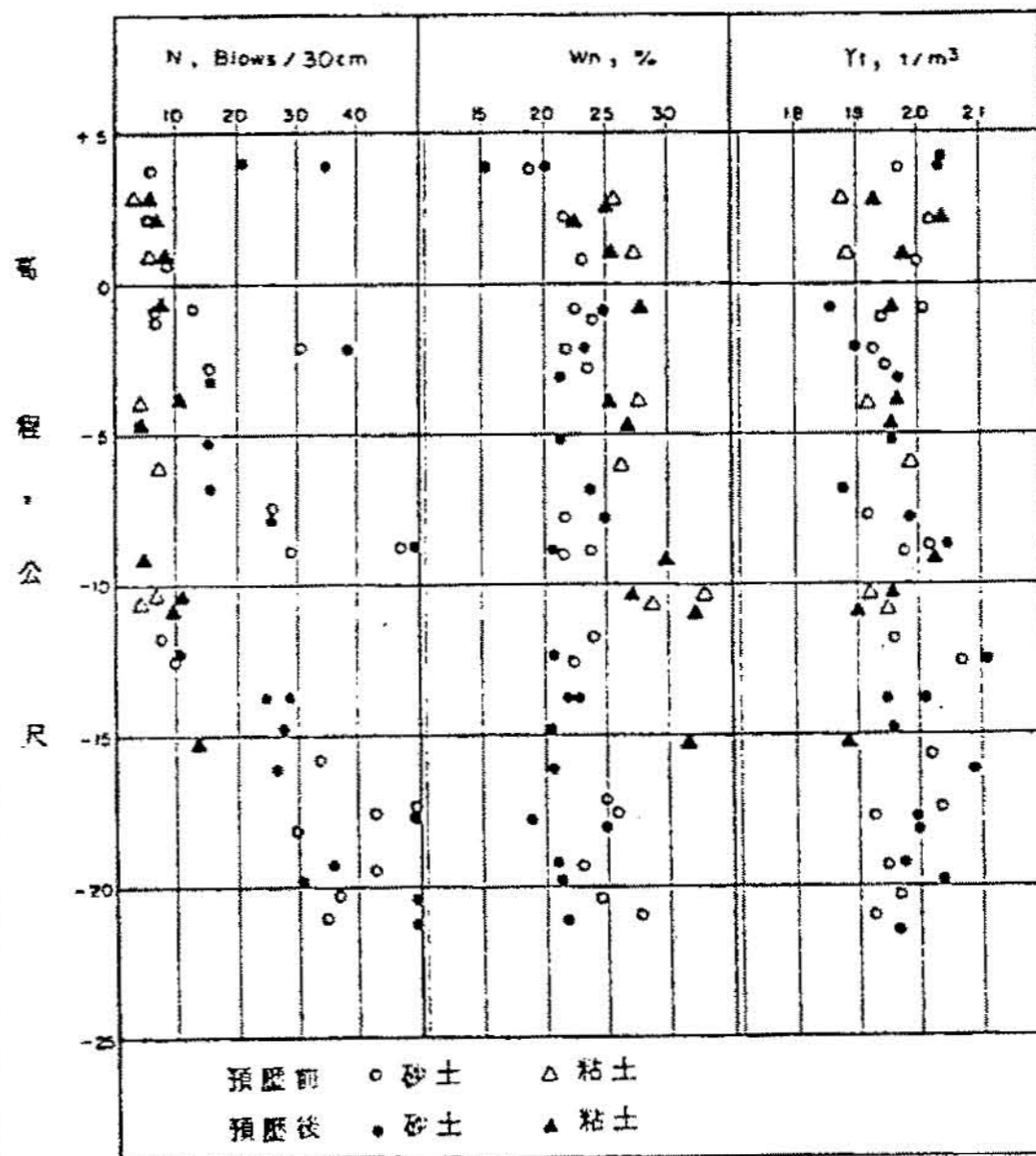
圖四 No 1 油槽預壓前後土層性質比較



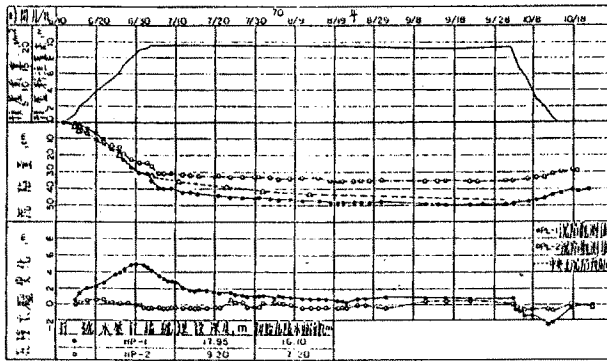
圖五 No 3 油槽預壓前後土層性質比較



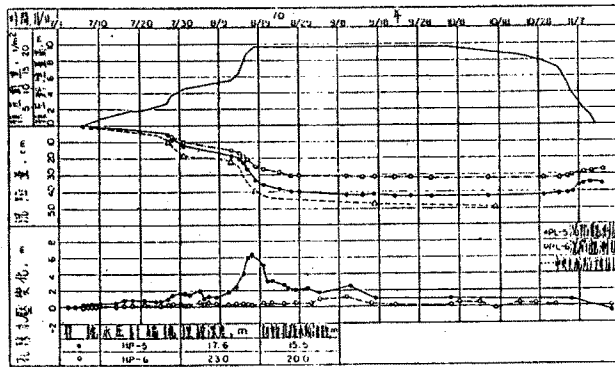
圖六 No 6 油槽預壓前後土層性質比較



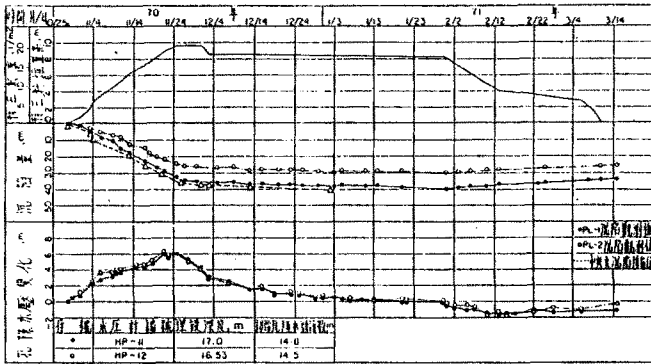
圖七 No 7 油槽預壓前後土層性質比較



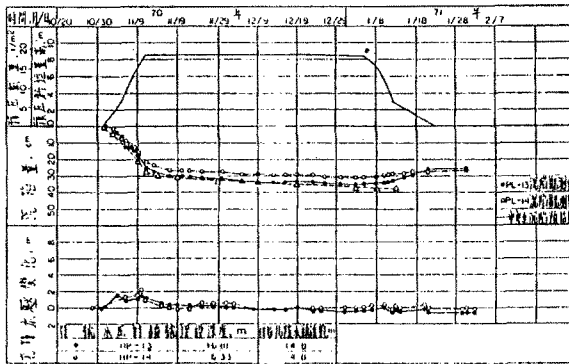
圖八 No 1 油槽預壓土壤孔隙水壓變化及沉陷板沉陷記錄



圖九 No 3 油槽預壓土壤孔隙水壓變化及沉陷記錄



圖十 No 6 油槽預壓土壤孔隙水壓變化及沉陷板沉陷記錄



圖十一 No 7 油槽預壓土壤孔隙水壓變化及沉陷板沉陷記錄

根據預壓前及預壓後之現場標準貫入試驗 N 值及土壤一般物理性質試驗結果整理如圖四至圖七所示，以便於比較，此結果顯示土質經改良後標準貫入試驗之 N 值及土壤單位重有普遍提高之現象，土壤自然含水量則有明顯下降之趨勢，又根據單向度壓密試驗結果顯示在同樣荷重（再壓荷重）狀況下，第二層粘土改良後之體積變化係數約為改良前土壤體積變化係數之 $1/3$ 至 $1/4$ 之間。

2. 土壤孔隙水壓

根據現場裝設之壓氣式水壓計觀測記錄，顯示油槽預壓時土層較厚之第四層沉泥質粘土層之超孔隙水壓曾達約 6 噸/平方公尺左右，惟大部份均在預壓滿載後 40 天至 50 天間完全消散。

前述四個油槽於預壓期間土壤之孔隙水壓變化如圖八至圖十一所示。

3. 土壤壓密程度

根據現場裝設之沉陷板觀測記錄，顯示前述四個油槽基地預壓時地表以下各土層之總壓縮量，於油槽中心約為 40 至 50 公分，而油槽邊緣約為 30 至 35 公分之譜，即差與沉陷量約為 $1/200$ 至 $1/300$ 之間。沉陷觀測記錄亦顯示在預壓荷重滿載後 40 至 50 天間幾乎各土層之大部份之壓密作用均已完成，又各油槽之預壓沉陷量與預測值之差異約在 10% 左右。

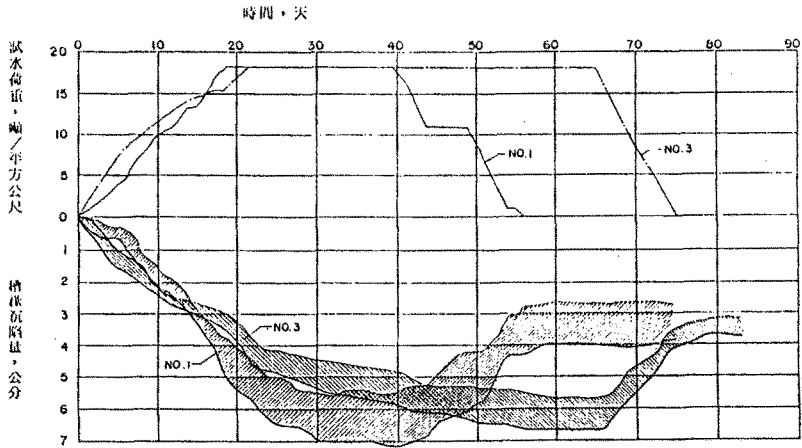
4. 土壤穩定性與承载力

前述本基地於土質改良前因第二層粘質土壤較為軟弱，若受較大應力，可能發生局部圓弧滑動及塑性流，經過預壓改良後第二層粘質土層之不排水剪力強度增加，表三示各油槽基礎抵抗局部性圓弧滑動及塑性流之分析結果，顯示經預壓後本基地之基礎土壤抵抗局部性剪力破壞之安全係數均大於 1.3，抵抗塑性流之安全係數均大於 2.3，故預壓後油槽基礎承载力之安全應無顧慮。

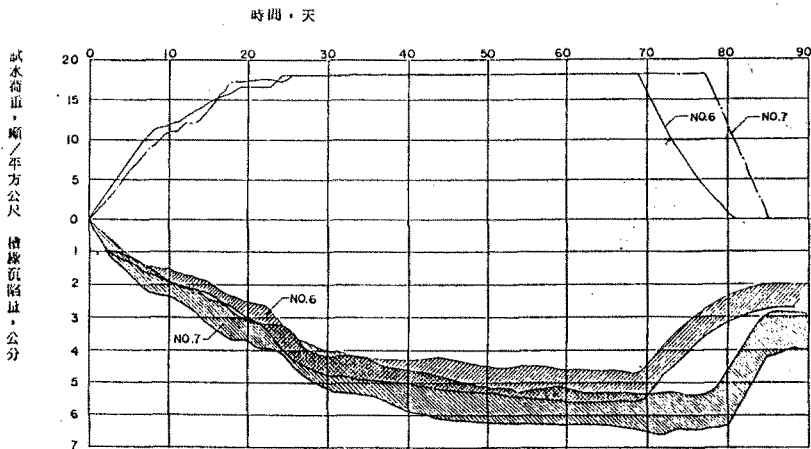
5. 油槽試水試驗結果

油槽試水是油槽在正式儲存液體之前應行之一般手續，其目的除檢查油槽本體是否有裂隙或滲漏之外，亦可加速油槽基礎可能發生之壓密沉陷以減少油槽使用時基礎之沉陷並提高油槽基礎土壤之承载力。

- (1) 試水進行率：為達成壓密效果及縮短工期，原計劃之試水最大荷重為 18 噸/平方公尺，試水之進水率為平均每天約為 1.2 噸/平方公尺，滿水後放置 30 天，如此在試水全部延時，足夠讓粘土層產生 85 ~ 95% 以上之總壓密壓縮量，而試水完成後，儲油期間之載重將主要造成油槽基礎土層之彈性變形，而此變形量將不致影響油槽之安全。惟本工程於試水階段由於數個油槽同時試水致抽水設備不足，因此試水之進水率為平均每天為 0.7 噸/平方公尺，試水最大荷重仍為 18 噸/平方公尺，滿水後放置 30 天。
- (2) 沉陷觀測：為了解油槽之性能狀況，一般油槽試水時之觀測系統包括有基礎沉陷觀測，基



圖十二 No 1 及 No 3 油槽試水時槽緣沉陷量觀測結果



圖十三 No 6 及 No 7 油槽試水時槽緣沉陷量觀測結果

礎土壤孔隙水壓觀測，油槽基礎周圍土壤側位移觀測，槽體及其他設施之滲漏觀測等。本工程依原試水計劃除在試水階段於槽殼周圍均佈 12 個沉陷觀測點以觀測沉陷外，另對每個油槽之中央邊緣已裝設之水壓計亦計劃觀測土壤孔隙水壓之變化，惟水壓計於油槽基礎施工中已遭破壞，因此試水計劃中僅有槽殼之沉陷觀測記錄，根據 NO.1、NO.3、NO.6 及 NO.7 各油槽殼於試水期間之沉陷約在 5 至 7 公分之間，試水解壓後之回脹約為 2 至 3 公分此顯示預壓地質改良已獲得實質之效果，又根據各油槽之實際地質狀況與單向度壓密理論及 Debeer 氏（1965）所建議之方法推估試水期間，上述油槽基礎之中央沉陷量約在 11 至 14 公分之間，邊緣之沉陷量約 6 至 8 公分之間，如圖十二及圖十三所示，此顯示預測值與實際觀測值極為接近。

六 結 論

- (1) 對本工程基地而言顯示採用預壓方法是一有效且經濟之土質改良方法，不論土質之承載力或壓縮性均獲得實質的改善。
- (2) 如何選擇適當而可靠之土質改良方法實有賴詳盡且確實之土層調查，此點在本工程亦獲得肯定。
- (3) 觀測系統除在評估土質改良之效果極具價值外，對工程之預壓工作與試水之工作之能順利完成亦有密切之關聯，這些觀測結果與現有觀測系統之後續觀測結果將為以後油槽設計極寶貴之參考資料。

七 誌 謝

本文作者除感謝中國石油公司給予設計並督導施工本油槽基礎工程之機會外，尤其對中油公司總工程司、副總工程司，主辦工程師以及中華工程公司工程師們之支持與協助，特此申謝。對亞新工程顧問公司莫若礪博士與莫若楫博士提供許多寶貴意見，以及周筑崑先生與同仁盡力幫忙，本文方能順利完成，謹此誌謝。