

蘆洲機廠基地之沉陷控制問題與對策

邱奕遷¹ 劉安德²

摘要

捷運工程除一般的高架或地下車站及高架橋樑或平面、地下隧道外，另一項重點工作即是機廠，尤其機廠所需用地較大，故往往設於較偏遠之處如河川地附近，因此本類工程多數須進行大規模之土方挖填工程，本文章主要介紹蘆洲機廠如何利用土方挖填規劃、預壓及預鑄預力混凝土基樁工法克服土方挖填及建築物載重所衍生的大地沉陷問題。

關鍵詞：開挖、回填、沉陷、預壓、預鑄預力混凝土基樁

Geotechnical Settlement Control at Luzhou Depot

Yi-Chin Chiu¹ An-De Liou²

Abstract

In addition to underground stations and tunnels, MRT depots are a critical part of Taipei MRT construction. The construction of MRT depots involves a more extensive scope and is always located in outlying areas with a river nearby, thus, large-scale excavation, backfilling and earthwork is a must to launch construction of a depot. This article aims to introduce the construction methods of earthwork planning, preconsolidation, precast prestressed concrete piles, and describe how the methods will be used to overcome geotechnical settlement problem at Luzhou depot

Keywords: excavation, backfill, settlement, preconsolidation, precast prestress concrete pile

1 臺北市政府捷運工程局中區工程處幫工程司
2 臺北市政府捷運工程局中區工程處工務所主任

xk048457@trts.dorts.gov.tw
x1018190@trts.dorts.gov.tw

一、前言

捷運蘆洲機廠位於臺北縣蘆洲市水湳溝與環河道路間，靠近淡水河邊，佔地面積約16公頃，該用地徵收前為非法營建廢棄土丟棄場、菜園及部份工廠。因蘆洲線之設計、施工及通車時程較為緊迫以及經濟上等考量，故蘆洲機廠無法比照土城機廠之設計以全面挖除劣質土並回填良好級配料之施工方式，僅針對局部重點廠房進行開挖及回填，並在部份廠房區使用預壓工法以加速基地之壓密沉陷。此外，據分析因機廠地表下約8~20m之土層於地震來臨時有產生液化之可能，為克服此問題，故各棟建築物基礎下方打設直徑50cm，長度25m之預鑄混凝土基樁，本章除介紹上述之各種施工方法外，另配合施工前後監測結果探討相關基地沉陷問題及成效。

二、蘆洲機廠基地土層概況

根據設計階段之地質鑽探調查結果，本標工址地層在表土層下由粉土質粘土及粉土質砂以互層型式組成類似松山層排列，薄砂土層與薄粘土層互層交錯為其特色，依土壤之工程性質，將機廠基地簡化成東西兩區，東區主要是維修工廠與儲車區，西區則包括土木軌道工廠、軌道區、主變電站、電聯車清洗場等設施，土層分列如表1，土層分布如圖1及圖2所示。

表1 蘆洲機廠地質狀況一覽表

位置	設施	土層特色
蘆洲機廠東側	維修工廠與儲車區	地表下33米深範圍內為粉土質細砂與粉土質粘土互層，其中23米至33米為中等緊密度粉土質細砂，提供為基樁之承載層，33米下為巨厚的粉土質粘土，中間夾薄砂層，有利壓密沉陷加速。
蘆洲機廠西側	土木軌道工廠，軌道區、主變電站、電聯車清洗場等區	地表下20米深範圍內為粉土質細砂與粉土質粘土互層，20米以下屬中硬至極硬稠程度巨厚的粉土質粘土，中間夾薄砂層，有利壓密沉陷加速。

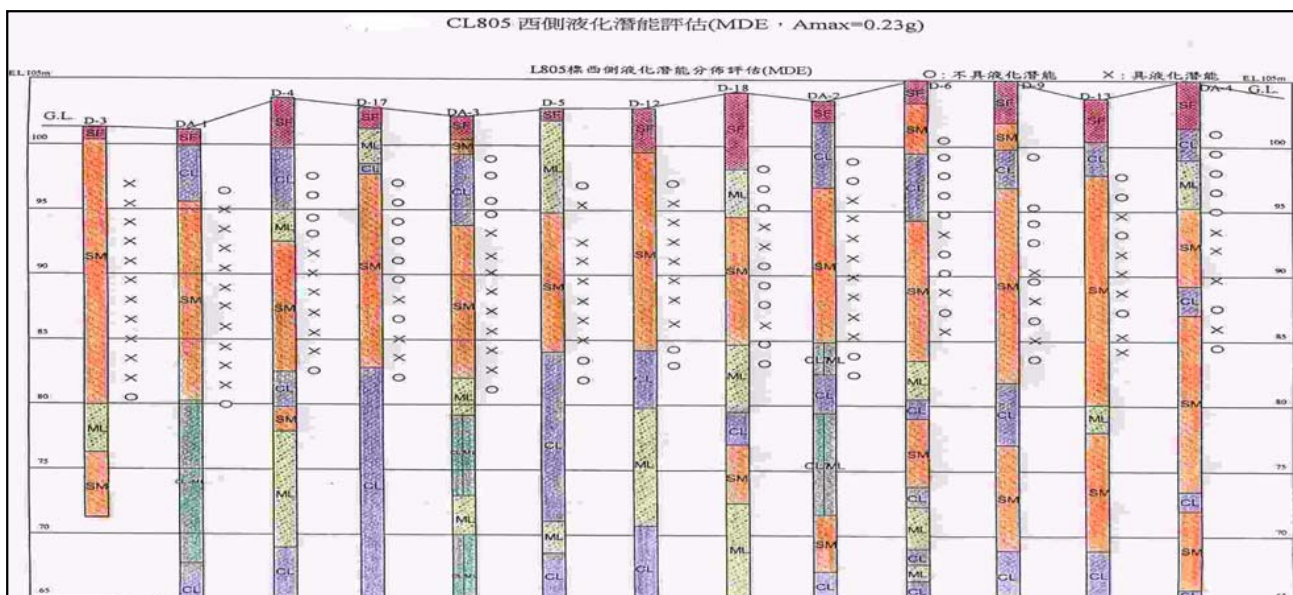


圖1 蘆洲機廠西側地質及液化潛能評估

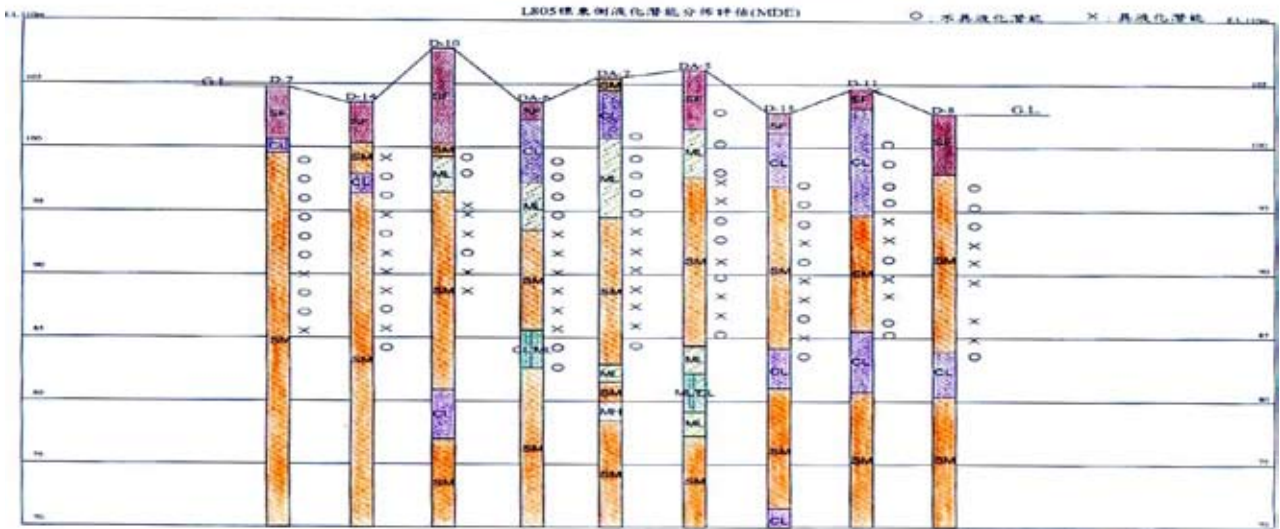
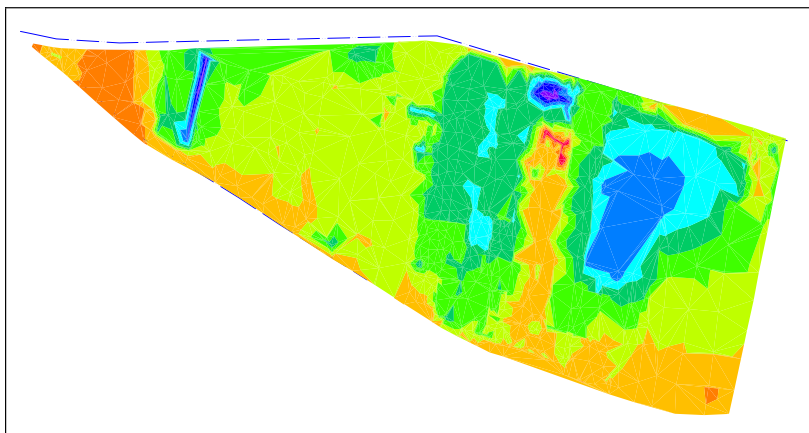


圖2 蘆洲機廠東側地質及液化潛能評估



範圍	最低高程	最高高程	面積	顏色
1	99.88	101.00	177.02	紅色
2	101.00	102.00	4167.98	橘色
3	102.00	103.00	25388.77	黃色
4	103.00	104.00	50572.48	淺綠色
5	104.00	105.00	29758.23	綠色
6	105.00	106.00	24309.58	深綠色
7	106.00	107.00	10981.16	青色
8	107.00	108.00	7647.55	藍色
9	108.00	109.00	554.71	深藍色
10	109.00	110.00	152.61	紫色

圖3 蘆洲機廠開挖前原始地面高程



圖4 蘆洲機廠全區平面圖

三、蘆洲機廠土方工程概述

捷運蘆洲機廠西側緊鄰蘆洲抽水站，佔地面積約16公頃，機廠建築物共計有維修工廠、儲車區(其上部規劃為停車場約可停放汽車740輛，供未來蘆洲運動公園使用)、土木/軌道工廠、電聯車清洗場、行政訓練中心/警衛室、主變電站/動力配電室/設備配電室、污水處理廠等(如圖4)，該用地徵收前為非法營建廢棄土丟棄場、菜園及部份工廠用地，故本標工程開工後須立即進行整地工作(含原有劣質土方與廢棄物開挖運棄後重新回填良質土方做為基礎)，機廠內各區之土方開挖及回填整地高程如表2所示，開挖前原始高程如圖3。

表2蘆洲機廠整地高程一覽表

結構物名稱	現地範圍高程(m)	現地平均高程(m)	整地高程(m)	備註
維修工廠	102.1~108.9	106	103.56	開挖至EL.100
儲車區	102.1~107.3	103.3	103.1~103.56	開挖至EL.101
土木/軌道工廠	102.6~105.2	103.5	103.56	
儲車軌	100.7~105.2	103.5	103.29~103.56	
行政訓練中心	102.5~103.3	102.6	103.56	
主變電站	102.5	102.5	97	地下室開挖
污水處理廠	102.6~103.2	102.6	104.23	
電聯車清洗場	103.6~109.6	105	103.4	局部地下室開挖
進廠轉轍軌	101.1~101.6	101.2	103.56	

四、蘆洲機廠土方工程施工規劃

由於填土及道碴回填引致之壓密沉陷量可能對機廠結構物與設備產生負面影響，因此必須就填土整地工作作最佳之安排，以降低衝擊，故填土之原則如下：

- (一) 容許沉陷量小的結構應先整地回填，俾有較長的時間進行壓密。
- (二) 工期緊迫的工作項目應先整地回填，以免影響後續工作。
- (三) 沉陷量大的區域應優先回填。

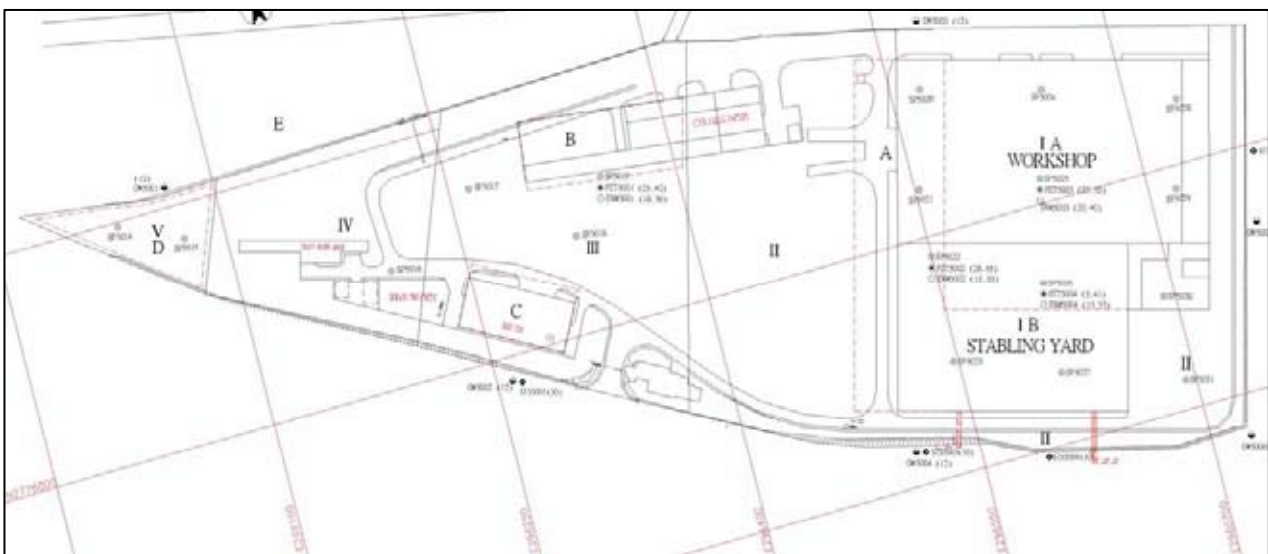


圖5 蘆洲機廠土方工程施工規劃區域

根據此原則，確定整地回填工作方向如下：

- (一) 維修工廠及儲車區容許沉陷量小，且地面結構與設施之施工期又長，整地回填工作應優先施作，一則填土後可有較長的時間進行壓密，二則不會影響結構與設備之施工。
- (二) 機廠西側之軌道區，雖然沉陷量大，但因管線埋設與鋪軌工作均在施工後期才進場，因此列為最後整地的區域，但整地前正可利用維修工廠與儲車區所挖出來之表土，堆置預壓，以減少壓密沉陷。

茲將機廠基地分成五個分區（I、II、III、IV、V如圖5）詳述施工步驟如下：

(一) I區整地

1. 挖除表土：維修工廠挖至EL.100m，儲車區挖至EL.101m，隨即進行收方測量，裝設沉陷板，而後逐層滾壓至EL.103.56m。
2. 從設計階段地質調查資料顯示，蘆洲機廠位於古河道上地質狀況不佳，故機廠各棟建築物於施作前須先施加預壓，即以大量土方堆置於特定區域地表上方，利用預壓之土方重量使得該區域之地質沉陷能提早完成，將可避免爾後機廠結構物施作後產生過大之沉陷量，故I區所開挖之土方，除含大量垃圾者應隨即運棄外，其餘土壤部份則保留作為預壓土，預壓區共計四區（A、B、C、D），（如圖10），各區預壓高程及時間詳如表3所示。
3. 於III、V區原地面裝設沉陷板，I區挖除之表土，依序運至B區、C區及D區進行預壓。

表3 蘆洲機廠各預壓區高程及時間一覽表

預壓區編號	位置	預壓高程(m)	預壓時間(月)	備註
A區	維修工廠、儲車區西側及儲車區南側	EL.106	最少需6個月以上	土方暫置於III區，俟整地完成後再運回預壓
B區	土木/軌道工廠西半部	EL.106	I、II、IV區整地完成後	原設計未訂定預壓時間，後經檢討比照A區最少預壓6個月以上
C區	BSS/TSS	EL.106	I、II、IV區整地完成後	原設計未訂定預壓時間，後經檢討比照A區最少預壓6個月以上
D區	進廠轉轍軌	EL.106	I~IV區整地完成後	原設計未訂定預壓時間，後經檢討比照A區最少預壓6個月以上

(二) II區整地

1. 整地原則：地表高程高於EL.103.84者，刮除原地表土至EL.103.34m；低於EL.103.84m者，則刮除地表50cm，再逐層滾壓至設計高程。
2. 逐層滾壓前，應先辦理收方測量，需埋設沉陷板者，亦同時裝設。
3. II區逐層滾壓至設計高程後（約EL.103.56m），於預壓A區鋪設黃色警示帶，再將原堆置於III區之地表土運回A區堆置，高程EL.106m。原堆置於B區及C區的土仍然保留。

(三) IV區整地

同(二)之1及2

(四) III區整地

1. 移除預壓B區及C區之堆置土，並依(二)之整地原則進行刮除地表土工作。
2. 進行測量收方，同時於規定位置裝設沉陷板。
3. 逐層回填滾壓至設計高程（約EL.103.56m）。

4.BSS/TSS因有地下室，不予回填。

(五) V區整地

1. 移除D區之堆置土，並依(二)之整地原則進行刮除表土工作。
2. 進行測量收方，同時於規定位置裝設沉陷板。
3. 逐層回填滾壓至設計高程（約EL.103.56m）。

五、蘆洲機廠預壓結果沉陷量分析

蘆洲機廠原設計預壓區共分4區(A、B、C、D)如圖10，另考量III、IV區為軌道區且下方埋設眾多管線，為避免爾後軌道區與建築物之間產生過大差異沉陷致管線破裂之情形，故III、IV區亦變更增加預壓。此外，IB區物料室於開挖階段發現下方隱藏大量垃圾且屬於軟弱地質，故該區域亦變更增加預壓。各預壓區於預壓前均先行裝置沉陷板(SP)共計13處如圖10，監測頻率為每週量測一次，各區最終沉陷量彙整如表4，歷



圖6 土方開挖運棄



圖7 土方開挖運棄



圖8 土方回填、PC樁打設



圖9 土方回填滾壓

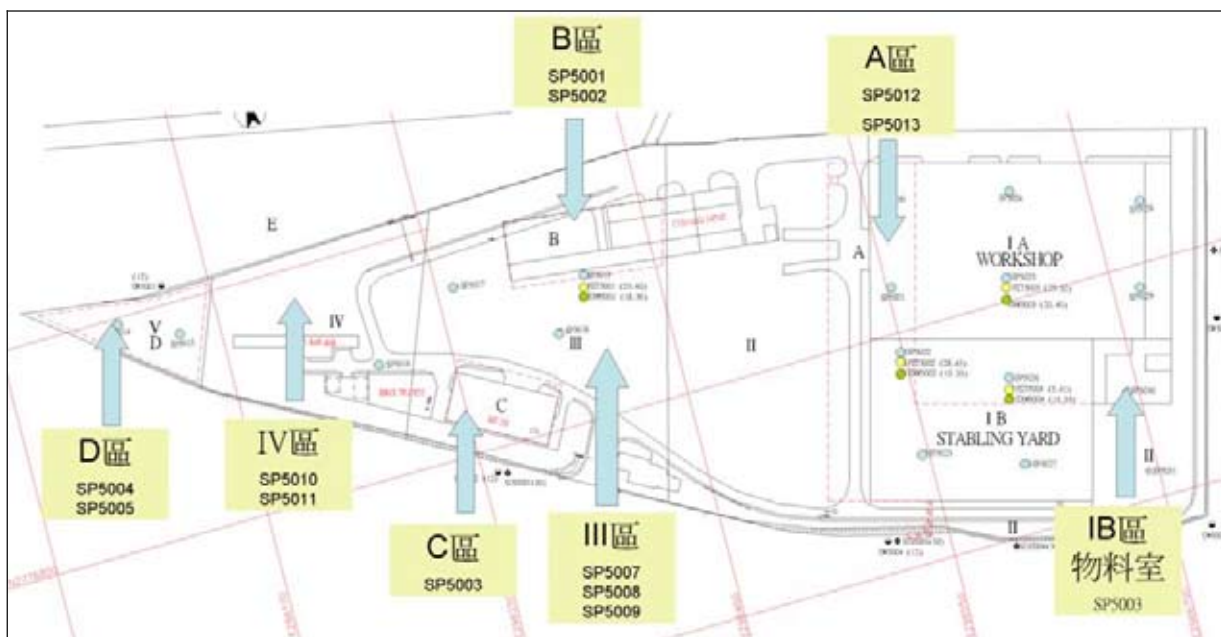


圖10 蘆洲機廠各預壓區及監測儀器配置圖

時沉陷量曲線如圖11所示。由資料顯示各預壓區預壓約4個月後其累計沉陷量即達到6個月累計沉陷量之94%~99%，且最終符合原設計理念各預壓區預壓時間至少六個月及單月累計沉陷量小於3mm規定，顯示其預壓成效相當良好，經研判應與本標地質特性大多為粉土質細砂與粉土質粘土互層有關，於預壓時可提供良好之排水路徑並達到快速壓密之效果。

表4 蘆洲機廠各預壓區回填及沉陷量一覽表

項次	預壓區域	預壓回填時間		預壓土解壓時間	總沉陷量(平均)(mm)	備註
		開始時間	完成時間			
1	A	91.09.25	91.10.20	92.04.20	-185	依原設計理念：預壓時間至少6個月且最終每月累計沉陷量小於3mm
2	B	91.05.31	91.06.05	92.01.28	-181	
3	C	91.05.20	91.05.30	92.01.28	-310	
4	D	91.06.06	91.06.20	92.05.02	-415	

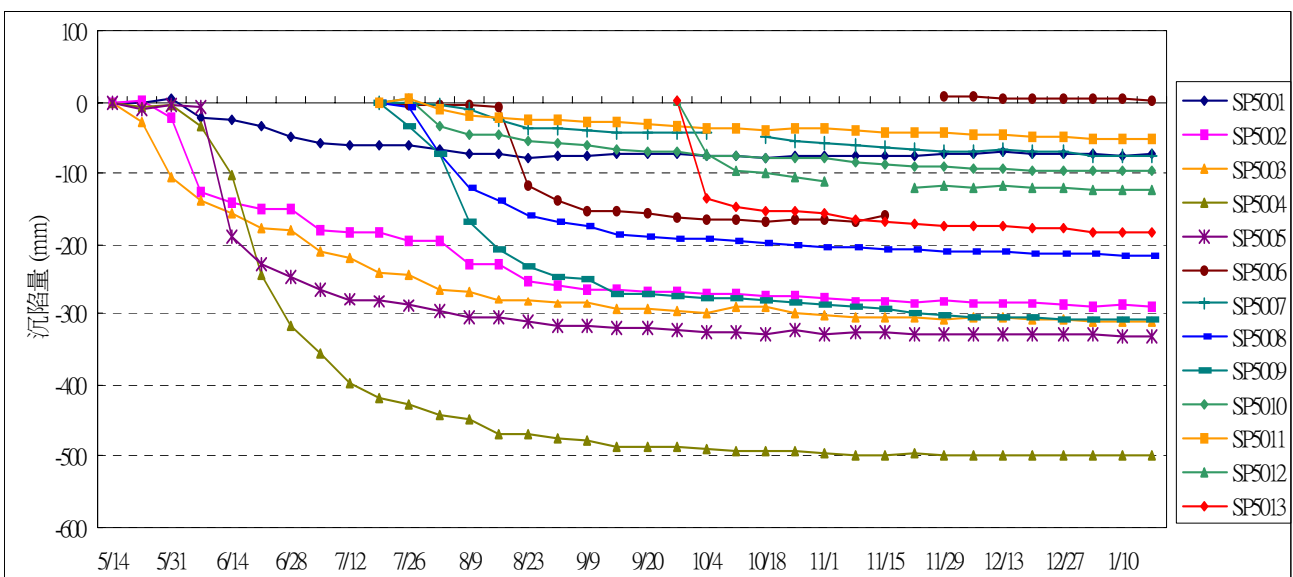


圖11 蘆洲機廠預壓沉陷板 (SP501~SP5013) 歷時曲線圖

六、蘆洲機廠填土沉陷量分析

整個基地內佈設之沉陷觀測點主要包括測沉板(計18處)及桿式伸縮儀(計8處)等兩項，詳如圖12所示。量測頻率為填土期間至填土完成三個月內每週量測一次，填土完成三個月後為每二週量測一次，各區最終沉陷量彙整如表5，相關歷時曲線如圖13~23所示；由資料顯示，整個工區回填厚度不一，除IA、IB區固定為3.56M及2.56M外，其餘區域則僅填土約0.5~1.2M。IA及IB區填土後分別產生約118.75mm及99.19mm之沉陷量，因IA、IB區(除A預壓區外)大部份區域原地形高程均高於EL.103.56m，已達到類似預壓之效果，故後續填土所造成之沉陷量經推估大多應屬立即沉陷，且經過約一年四個月之壓密，目前沉陷量均已達穩定狀況，其餘區域因大多經過預壓，且後續回填厚度僅0.5~1.2m，故所造成之填土沉陷相對亦較小，平均從11.6mm到34.06mm不等且目前大多已達沉陷穩定之狀況。

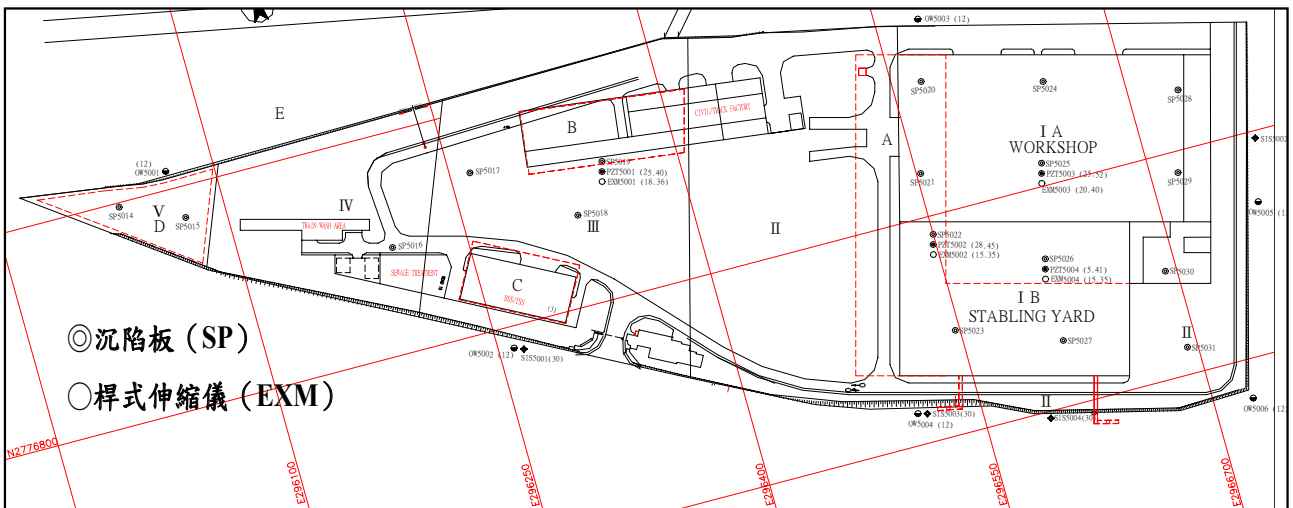


圖12 蘆洲機廠回填階段監測儀器配置平面圖

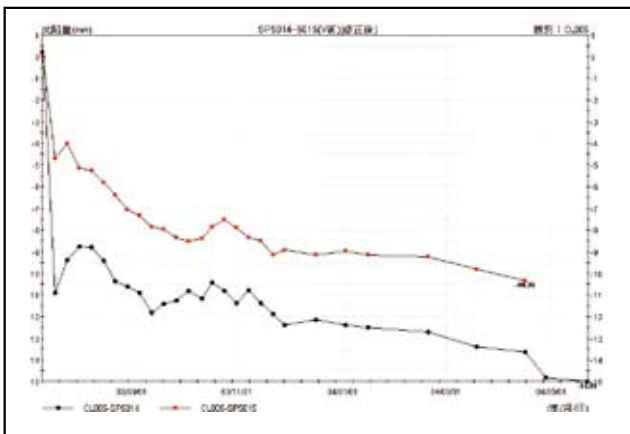


圖13 沉陷板 (SP5014~SP5015) 歷時曲線圖

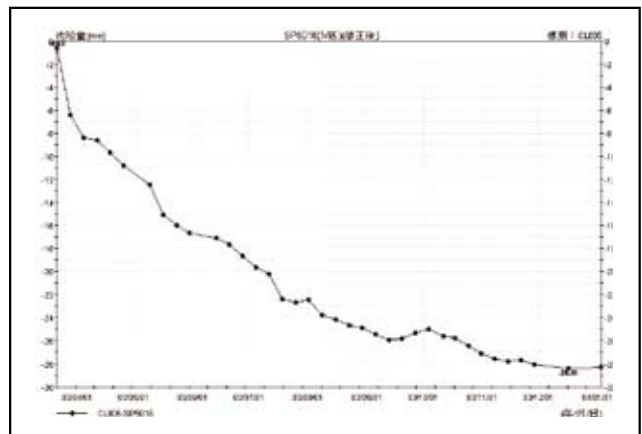


圖14 沉陷板 (SP5016) 歷時曲線圖

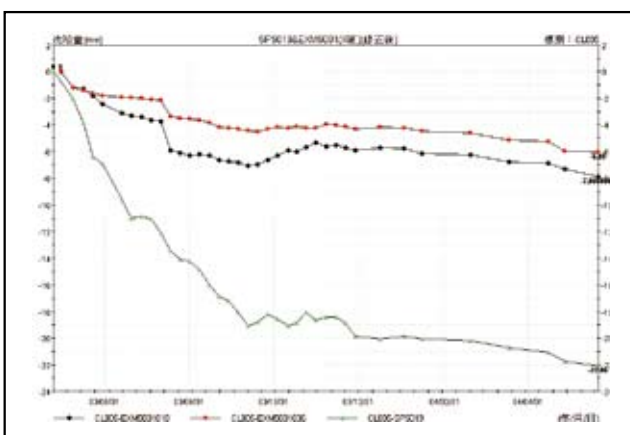


圖15 沉陷板 (SP5017~SP5018) 歷時曲線圖

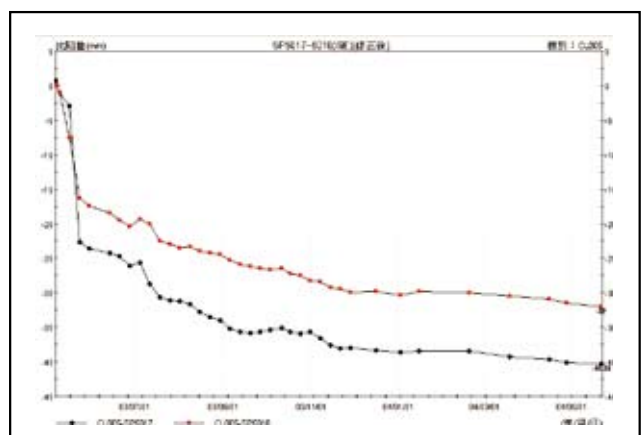


圖16 沉陷板 (SP5019) 歷時曲線圖

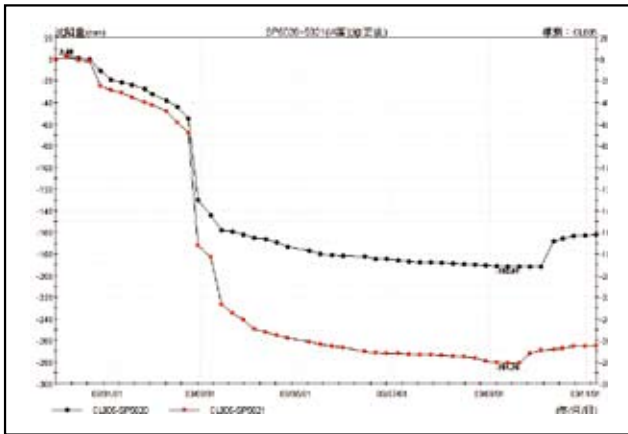


圖17沉陷板 (SP5020~SP5021) 歷時曲線圖

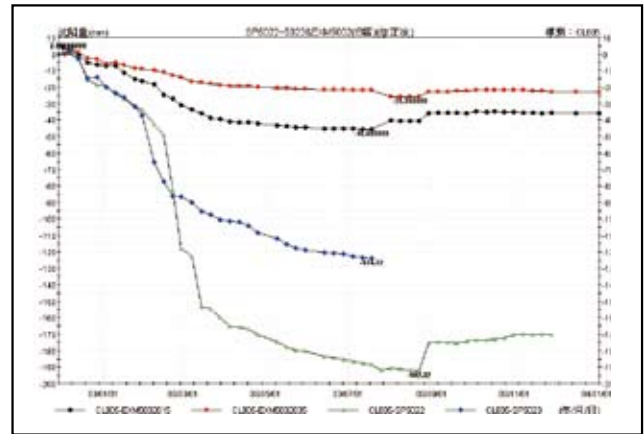


圖18沉陷板 (SP5022~SP5023) 歷時曲線圖

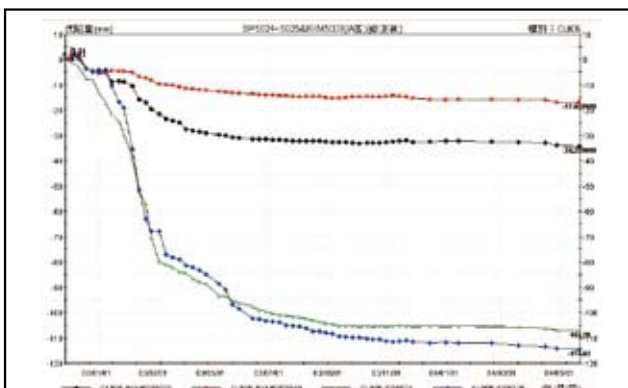


圖19沉陷板(SP5024~SP5025)歷時曲線圖

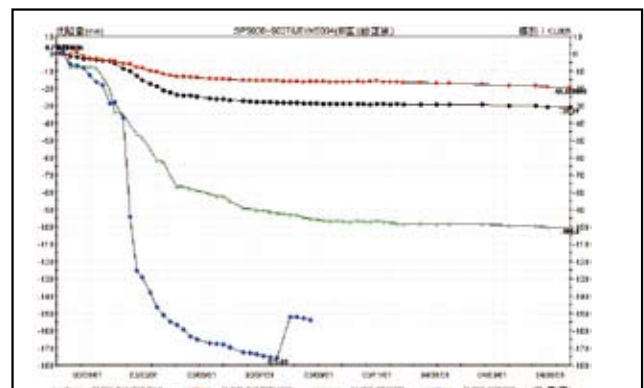


圖20沉陷板(SP5026~SP5027)歷時曲線圖

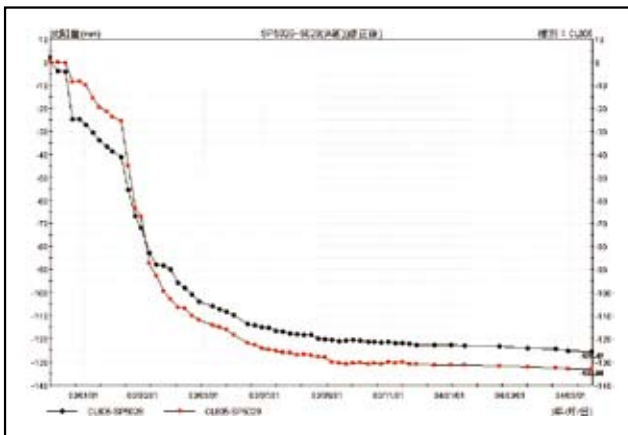


圖21沉陷板 (SP5028~SP5029) 歷時曲線圖

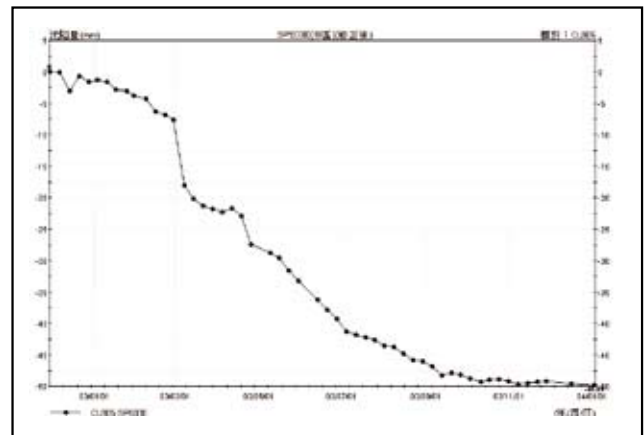


圖22沉陷板 (SP5030) 歷時曲線圖

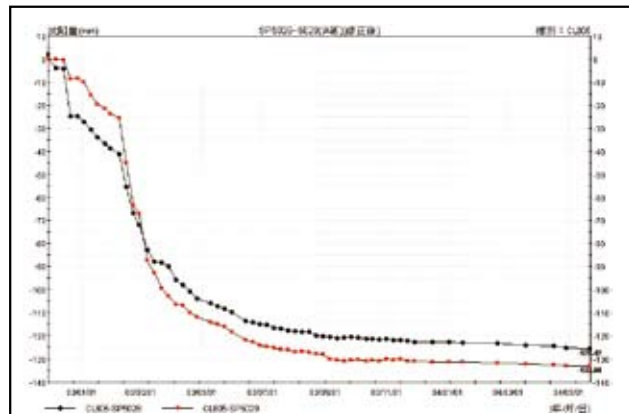


圖23沉陷板 (SP5031) 歷時曲線圖

表5 蘆洲機廠各區土方回填及沉陷量一覽表

項次	區域	回填時間		填土厚度(m)	填土總沉陷量 (平均)(mm)
		開始時間	完成時間		
1	IA	91.12.15	92.02.20	3.56	-118.75
2	IB	91.12.07	92.01.22	2.56	-99.19
3	IV	92.03.18	92.04.28	0.5~1	-28.41
4	III	92.04.24	92.05.07	0.5~1	-20.71
5	II	92.05.07	92.06.24	0.5~1.2	-34.06
6	V	92.07.08	92.07.17	1.2	-11.60



圖24 PC樁吊起定位



圖25 PC樁打設



圖26 PC樁上下樁焊接



圖27 PC樁PDA(完整性)檢驗



圖28 PC樁焊接檢驗



圖29 PC樁打設完成

七、蘆洲機廠PC樁打設對基地沉陷之影響分析

經本標設計顧問分析蘆洲機廠地表下約8~20m之土層於地震來臨時將有產生液化之可能，為克服此問題，故各棟建築物基礎下方均設有直徑50cm，長度25m之預鑄混凝土基樁，施工採油壓式打擊方式，於填土完成後開始打設，因打設時其震動影響範圍半徑約可達60m，其是否對填土區域產生額外之沉陷值得注意，各區PC樁打設時間彙整如表6，另將各區打設期間標註於沉陷歷時曲線圖中（如圖19、20）。從資料顯示，PC樁於填土完成後即進行打設，打設時間視各結構區域大小約從半個月至三個月不等，由本標填土沉陷歷時曲線圖研判，填土後前三個月之沉陷量約佔總沉陷量之70%~90%，故PC樁於此期間內打設所可能產生之土壤沉陷將伴隨著填土沉陷一起發生，故難以從沉陷歷時曲線圖中明顯看出其影響，經推測PC樁打設時其震動雖可能造成土壤之額外沉陷，惟PC樁打設後之擠壓效應又使得地表下土壤更趨於緊密，似有助於壓密沉陷之提前完成。

表6 蘆洲機廠各結構物PC樁打設時程一覽表

項次	區域	打樁時間	
		開始時間	完成時間
1	維修工廠 (A預壓區外)	92.02.20	92.04.13
2	儲車區 (A預壓區外)	92.01.29	92.04.16
3	土木/軌道工廠	92.07.07	92.07.25
4	主變電站/動力變電站	92.04.17	92.07.01
5	電聯車清洗場	92.07.01	92.07.07
6	行政訓練中心	92.07.07	92.07.22

八、蘆洲機廠填土作業對鄰近結構物之影響

基地周邊針對鄰近結構物所佈設之監測儀器包括建物沉陷點 (165處)，地面沉陷點 (31處)，資料顯示鄰近建物最大沉陷量約28.25mm (僅有2點超過20mm)，其餘沉陷量大多低於10mm，遠低於警戒值30mm，另地面沉陷點最大沉陷量約16.21mm，亦遠低於警戒值45mm，上述結果顯示基地周邊結構物並未因機廠之填土而造成明顯之沉陷。

九、蘆洲機廠結構物完成後之長期沉陷觀測

為避免發生類似北投機廠建築物完成後持續產生過大差異沉陷之情形，蘆洲機廠於所有結構物完成後即請廠商額外於各結構物上裝設監測點以觀測其長期沉陷情形，經過95.12.11至96.09.12以來9個月之觀測結果綜整如表7，由監測結果資料顯示，各結構物完成長期以來僅產生微小之沉陷量，最大者維修工廠亦僅有2.1mm之沉陷量，顯示當初以預壓及PC樁克服土壤沉陷之成效良好。

表7 蘆洲機廠結構物完成後之長期監測結果一覽表

項次	結構物位置	總沉陷量(mm)
1	扇形軌道區	-1.22
2	維修工廠	-2.10
3	儲車區	-0.75
4	主變電站	-1.95
5	土木軌道工廠	-1.15
6.	行政訓練中心	-0.60
7	電聯車清洗廠	-1.55

十、結論

- 一、蘆洲機廠於整地開挖後發現地表下隱藏眾多營建廢棄物，經判斷大多應屬不肖業者非法濫倒所致，造成本工程後續處理上之困難，故於規劃階段之用地選擇及地質調查上應作通盤之考量。
- 二、為縮短土方工程施工期限及降低填土所造成之沉陷問題，預壓似乎是一不錯之選擇，惟前提需對地質狀況有充分之瞭解，以本標為例，地質特性大多為粉土質細砂與粉土質粘土互層有關，於預壓時可提供良好之排水路徑並達到快速壓密之效果。
- 三、蘆洲機廠後續仍有軌道標之道碴之回填工作，故回填過程中仍需嚴密監測其沉陷狀況以免造成過多之沉陷影響爾後電聯車行車安全。

參考文獻

1. 臺北市政府捷運工程局，臺北都會區捷運系統蘆洲線132/133標期終設計綜合報告書，2000年10月。
2. 臺北市政府捷運工程局，臺北都會區捷運系統蘆洲線132/133標地質調查報告書，2000年10月。
3. 臺北市政府捷運工程局，捷運系統蘆洲線CL805標監測月報告書，2003年1月~2004年5月。