

地下工程施工  
對鄰近建物保護施作時機及成效檢討  
**EVALUATION OF  
BUILDING PROTECTION METHODS EMPLOYED  
IN UNDERGROUND CONSTRUCTION**

闕河淵，吳沛軫，朱世忠，蘇信淵  
H. Y. Chuay, P. J. Wu, S. T. Chu and S. Y. Su

原著載於地工技術雜誌第 54 期  
1996 年 4 月，第 77~86 頁  
*Reprinted from Sino-Geotechnics,  
Taipei, Taiwan  
April, 1996, No. 54, pp.77~86*

# 地下工程施工對鄰近建物保護施作時機及成效檢討

闕河淵\*、吳沛軫\*\*、朱世忠\*\*\*

蘇信淵

台北市政府捷運工程局 \*副局長,\*\*中工處副處長,\*\*\*助理規劃師

亞新工程顧問公司

關鍵詞：地盤改良，雙栓塞。

## 摘要

都市的現代化發展，使得工程技術面臨巨大的挑戰。如何在擁擠的都市空間進行地下工程，並避免影響或損害鄰近結構物，為當今都市施工重要課題。本文將介紹台北捷運施工所採用之建物保護方法，並評估其成效。結果顯示，建物保護措施可減少因施工所造成之影響，然而若保護工作施作不當，將適得其反。

## EVALUATION OF BUILDING PROTECTION METHODS EMPLOYED IN UNDERGROUND CONSTRUCTION

CHUAY H. Y. ,WU P. J. ,CHU S. T.

Dept. of Rapid Transit Systems, Taipei Municipal Government

SU S. Y.

Moh and Associates,Inc.

KEY WORDS: SOIL IMPROVEMENT, DOUBLE PACKER .

### ABSTRACT

The modernization and development of metropolitan areas push construction technology facing great challenge. How to construct underground facilities in a congested city without influencing or damaging adjacent structures has become an important issue. This paper introduces and evaluates several building protection methods which were employed in the Taipei MRT constructions. The result of evaluation indicates that the protection methods have reduced the construction-induced settlement greatly. However , the protection methods may cause serious side effects if they are not carefully applied.

### 一、前言

為充份利用都會區有限之土地資源，地下工程之施工常受到都會區高度發展之限制，使得空間的使用及工程技術受到相當大的挑戰。在進行地下工程施工時，常有導致鄰近地盤位移或結構物產生沉陷、傾斜之情形。在沉陷量超出結構物之容許值時，必須採取適當保護措施。常用之建物保護措施主要有地盤灌漿改良及施作阻隔樁等。保護工法之擇定常視個別建物狀況、周邊環境、土層狀況及土層擬增加之強度或勁度等因素綜合考量。至於保護成效於不同案例效果不一。本文內容以台北都會區大眾捷運系統南港線，採代表性之CN251及

CN253B標施工中採行之不同保護工法爲例，分別介紹不同工法之施作方法，並評估檢討其保護成效，以供爾後類似地下工程設計及施工參考。

## 二、工程概況

台北捷運南港線CN251至CN254標工區自愛國西路、中華路、忠孝西路、而至忠孝東路三段止，基地約位於台北盆地中央，其位置如圖一所示。包括明挖覆蓋段及車站共長約2544公尺及潛盾隧道長約2602公尺。明挖工區採用厚度1至1.2公尺連續壁爲擋土結構，主體結構開挖深度16至24公尺不等，次要結構如出入口、通風井等，開挖深度大致於12公尺以內。潛盾隧道採用土壓平衡式潛盾機施工，潛盾機外徑6.04~6.25公尺，隧道外徑5.9~6.1公尺，每環寬度1公尺，由6片厚度25公分環片組成。沿線隧道中心高程介於84公尺至96公尺間(台北捷運高程以海平面下100公尺爲0)。基本上，潛盾隧道掘進坡度於3%以內，線形轉彎時，曲率半徑不小於200公尺。

## 三、土層及地下水狀況

台北盆地之土層主要由厚度50至70公尺之松山層，覆蓋於厚約150公尺之景美礫石層上。松山層由下至上分爲6個主要次層，第1、3、5次層爲粉質砂土層，第2、4、6次層爲粉質粘土層。上述施工標所在之土層屬淡二區松山層，厚度約爲50公尺，且具有典型之6個次層。各標之地面高程介於103.5公尺至105.5公尺間。有關本工區松山層各次層土層參數及性質，如表一所示。

台北盆地自1960年代開始即自景美層抽水，以致松山層及景美層地下水位皆較原有靜水壓爲低。自1970年代中期即已減少抽水量，至目前地下水位仍在緩慢回升中。根據1995年各標水壓計觀測結果，松4層以上地下水位在高程100至101公尺間，松4層以下地下水位在高程93至95公尺間，而景美層地下水位在高程89至91公尺間。

## 四、沿線建物概況

除CN251標及CN253B標部份潛盾隧道段因線形轉彎而自建築物下方通過外，其餘區段工程皆位於道路下方，建築物則依傍於道路兩側。工區沿線建物型式自老舊的一層樓獨立基腳鋼筋混凝土構造平房至四十餘層樓樁基礎鋼骨結構高層建築皆有。設計階段，細部設計顧問對各建物概況及受工程影響程度皆予以分析評估，並於合約規範中明訂不同型式建物沉陷及傾斜監測管理值，及

規範承商應對受工程影響較大者予以保護，並負有不得損壞之責。施工前，亦須對各建物狀況再次調查並拍照記錄，並依各建物狀況及施工方法，提出詳細保護措施。

## 五、建物保護措施簡述

建物保護措施型式眾多，施作採行考量除土層之適用性外，建物構造型式及周邊環境、經濟性、及承商對不同工法熟悉程度皆有關聯。茲綜整本段工程常用之建物保護工法，簡要說明如下。

### 5.1 高壓噴射灌漿工法

本文中高壓噴射灌漿主要係指廣為採用之JSG (Jumbo Special Grout) 及CCP (Chemical Churning Pile) 兩種灌漿工法。本工法係將鉗桿鑽洗至預定深度後，迴轉鉗桿，將水、水泥漿液及空氣等，以高壓經鑽頭側向噴嘴噴出，水平切削土層並將土壤與水泥漿液拌合成改良樁體，以達到設計強度及止水之要求。依使用鉗桿及機具類型，可分為單管、雙重管及三重管等三種，改良樁徑通常可達0.6至2.0公尺，其中以三重管改良效果較佳。本工法適用於砂性及粘性土層，改良後試體無圍壓縮強度於粘土層中可達  $5 \text{ kg/cm}^2$  以上，於砂土層中可達  $10 \text{ kg/cm}^2$  以上。有關本工法施工參數將於文中後續章節以案例說明。本工法常用於潛盾隧道發進段、到達段、雙隧道重疊段、連絡通道及部份建物保護區域等處，亦有應用於擋土結構接縫處或開挖區內。在做為鄰近隧道之建物保護時，係將潛盾周圍土壤改良，避免因隧道掘進造成土壤鬆弛現象擴及建物基礎。

### 5.2 SL(Soletanche) 及 LW(Labile Wasserglas)灌漿工法

此兩種灌漿工法均以  $10 \text{ kg/cm}^2$  以下壓力，將化學漿液施灌滲入土壤中，改良範圍由砂性土到粘性土等地盤均可適用。兩工法差異處在於所使用之漿材及配比，SL工法漿材主要為矽酸鈉(俗稱水玻璃)系藥液加SL反應劑(一般常用稀硫酸)，其止水性強，惟改良土體強度低。LW工法漿材主要為水玻璃加水泥漿，除用於止水外，另兼有填充及固結土層之效果，故改良土體強度高於SL工法。兩工法之配比視地質狀況及施灌目的而有不同。兩者常用於深開挖時，擋土壁發生滲漏水之緊急止水，及因施工造成建物過大沉陷及傾斜時之固結地盤。

### 5.3 雙栓塞灌漿工法

雙栓塞灌漿工法為低壓化學灌漿工法之一種，與SL及LW灌漿工法差異處在於灌漿設備的不同。本工法係於預定位置處鑽孔，埋設5公分直徑之套管，並

以水泥皂土漿液填封孔壁，而後以雙栓塞(Double Packer)灌漿管伸入預埋之套管內，依序於不同深度施灌漿材。使用雙栓塞之優點為可準確掌握施灌高程及壓力以確保改良成效。本工法於CN251標潛盾段廣為承商採用，主要係採斜灌方式，於潛盾通過前將隧道上方改良成一厚約5公尺之土層，以減低隧道通過後引致之鬆弛現象，達到保護建物之效果。

#### 5.4 隧道內二次背填灌漿

隧道內二次背填灌漿係於潛盾機盾尾後方二至五環處，自環片上之灌漿孔以氣動機向外鑽掘約3公尺，隨後施灌化學漿液以固結形成一約2公尺厚之環狀改良層。主要目的係於潛盾機通過不久即固結填充掘進施工引致鬆弛之土層，避免鬆弛效應向外延伸，減低土壤沉陷以保護隧道上方建物免於過量沉陷所造成之損壞。二次背填灌漿施灌壓力，以台北捷運一般潛盾隧道覆土深10~15公尺之間來看，通常為2至3 kg/cm<sup>2</sup>，以5 kg/cm<sup>2</sup>為上限，避免過大壓力損及環片結構。灌漿材料之使用在滲透良好之砂性土壤，以溶液型漿液較佳，於滲透性差之粘土層中則較常採用懸濁型漿材。

## 六、建物保護成效評估與檢討

地盤灌漿改良之優劣與建物構造型式、地層狀況及承商施工品質等皆有關聯。以下將針對本段工程各灌漿保護工法擇代表案例詳加介紹。

### 6.1 JSG高壓噴射灌漿施工案例

施工案例位於CN253B標潛盾隧道中華路段，其平面位置及隧道剖面如圖二所示。於本路段隧道採上下垂直配置，並以200公尺曲率半徑向東北轉彎。由於隧道線形緊鄰2至4層老舊建物，考慮後行隧道施工對已完成隧道之影響及兩隧道施工對鄰房可能造成沉陷破壞，設計時指定須於隧道掘進前完成地盤灌漿改良，改良範圍自里程0K+585公尺至0K+661公尺，採雙重管JSG高壓噴射灌漿，灌漿施工參數及土層狀況分別如表二及表一所示。灌漿作業自1994年4月底至同年7月底止，分北區(0K+619~661)及南區(0K+585~619)依序施工。監測結果顯示，灌漿施工期間，北區建物最大沉陷達39公厘，南區雖因建物離改良區較遠，亦有高達28公厘之沉陷。後續兩潛盾隧道施工期間之沉陷增量則均未超過6公厘。

另一案例為前述改良區以北之北門古蹟段，由於隧道自北門東南角下方穿越，保護措施亦採JSG高壓灌漿改良，灌漿施工參數如表二所示，總計施灌改良樁268支。監測結果顯示，後段灌漿施工期間，北門最大沉陷達13公厘，後續

兩潛盾隧道施工期間則僅產生約7公厘之沉陷增量。上述兩案例說明JSG高壓灌漿確已達減低隧道沉陷之成效，惟灌漿改良施工期間造成過量沉陷為其缺點。上述灌漿造成之過量沉陷研判與孔位施工順序、漿液密度、鉗孔時壓力及迴漿狀況、灌漿深度及傾角有關。此部分之沉陷可由良好施工品管加以改善，但無法完全避免。爾後類似施工保護案例對灌漿產生之沉陷負面效應應予審慎評估考量。

## 6.2 SL及LW灌漿施工案例

此兩種灌漿工法常作為本段工程施工之緊急應變措施，包括擋土壁緊急止水及建物基礎固結等。茲以253B標北門SL灌漿與中華路民房及重慶南路陸橋基礎LW灌漿案例加以探討。

(1) 北門SL灌漿案例：CN253B標上行線潛盾隧道掘進至北門JSG灌漿改良區時，發生超挖刀無法伸出而停機，補救措施採降低土倉內泥土高程後以人員進入土倉修復。由於停機位置係於JSG灌漿改良區，研判於排除土倉內部份泥土後，開挖面土層自立性將屬良好，惟水密性恐將不足。為加強土層水密性，於盾首外側施灌98孔SL灌漿，改良深度自地表下2.8公尺至14.8公尺不等，其中60孔採斜灌施作，如圖三所示。施灌期間造成北門城牆-0.2至+1.4公厘（正號表隆起）變化，鄰近土層淺式沉陷計最大隆起達52公厘。土倉於排降泥土開倉修護時，開挖面皆保持良好自立性且無顯著滲水，灌漿結果令人滿意。值得注意的是，於進行淺層低壓灌漿時，灌漿壓力、配比及吃漿狀況等需審慎管控，避免不當灌漿危及建築物結構安全。

(2) 中華路民房基礎LW灌漿案例：CN253B標中華路潛盾隧道段因於施作JSG高壓灌漿改良時，造成鄰房騎樓柱位傾斜儀（TI）傾斜量超出行動值（6分）。為改善傾斜擴大現象，於傾斜量較大之三支柱位基腳下方進行LW灌漿，各柱位上分別裝有傾斜儀（TI22、TI24、TI26）以嚴密監測。其中TI26所在柱位傾斜量因灌漿而大幅增加，如圖四所示，顯示灌漿改良未達預期目標，反而造成負面效果，此後該基腳未做其他處理，傾斜情形則趨於穩定；其餘兩柱位則無顯著變化。研判其原因可能為（一）地層狀況因JSG灌漿而改變，造成土層不易吃漿而隆起或吃漿區域不易控制等現象。（二）施灌時不當管控，未及時注意監測讀值變化。

(3) 重慶南路陸橋基腳LW灌漿案例：重慶南路、忠孝西路口鄰近捷運出入口，施工時因擋土壁漏水導致路面下陷，路陷區經緊急回填及止水灌漿處理後，恢復通車。但鄰近人行陸橋橋墩上之傾斜儀（TI31）讀值於後續開挖施工中持續增加。研判該橋墩基礎下方土層因先前路陷影響而有鬆弛，後續開挖加速其傾斜狀況惡化。經採於橋墩基礎下方施行LW灌漿以固結填充鬆弛土層後，傾斜惡化狀況始獲控制。本灌漿作業計施作8孔，灌漿深度自地表下1.5公尺至16.2公尺。施灌期間橋墩有約12公厘之隆起，傾斜測值由負6分扶正回復至正6分，此後讀值雖再回復至負4分，但未有持續惡化之現象。

## 6.3 雙栓塞灌漿施工案例

根據Peck(1969)之經驗方法，分析數個監測斷面，如圖八所示，結果示於表六，其中土壤漏失量( $\delta_{10}$ )於灌漿區約7~19mm，非灌漿區約5~21mm；土壤總漏失率( $V_l$ )於灌漿區約0.92~1.95%，非灌漿區約0.71~2.03%；壓密沉陷量( $\alpha$ )於灌漿區約4~8mm，非灌漿區約3~8mm，顯見本區域所施作之二次背填灌漿並未發揮預期減低沉陷量之功效。

## 七、結論與建議

根據上述資料，可規納以下幾點結論：

- 1.以JSG高壓灌漿作為建物保護措施時，須考量灌漿作業所產生之沉陷問題，其值之大小須配合嚴謹之灌漿計劃與施工管控，來減低負面效應。
- 2.以SL、LW低壓灌漿，做為緊急應變措施時，須隨時密切注意對建物之影響，稍有不慎，將適得其反加速建物之變化。
- 3.雙栓塞灌漿工法雖可準確掌握灌漿範圍，但由於以下幾項因素，將使得整體效果並未達預期之成效。
  - (1)鑽孔階段引致土壤鬆弛。
  - (2)套管裝設引致土壤鬆弛。
  - (3)鑽孔之振動引致土壤壓實。
  - (4)灌漿區上方之空洞回填不良。
  - (5)套管拔除擾動土壤。
- 4.就現有兩標施工數據研判，隧道內二次背填灌漿對改善因隧道施工引致之壓密沉陷並無太大幫助。

由於灌漿作業不可避免地將產生或多或少之沉陷，就整體效果來看，若施灌階段不謹慎管控，將使沉陷量大幅增加，甚至有加速建物惡化之可能。因此，同一工法有成功之案例，亦有未達預期效果之情形。如何避免因人為疏失而導致失敗，以下提供幾項建議，作為爾後施工之參考：

- 1.JSG灌漿時，迴漿系統須做周詳之計劃，避免超挖情形，此外迴漿池之位置應儘量遠離建物。
- 2.施工作業參數，包括施工順序、空氣壓力之大小、漿液配比、迴漿狀況等等，應視現地狀況隨時檢討，以便適度調整。
- 3.灌漿設備平時應定期維修，施灌數據錶如流量計、各項壓力錶及轉速器等設備應做定期之校驗。避免因陋就簡以不適切之設備施作，例如以高壓設備施作低壓灌漿等。
- 4.灌漿階段應加密監測頻率，並將結果立即反應給現場工程師，以隨時檢討影響程度，必要時可視實際情形增設監測儀器，或暫停灌漿。

## 誌謝

本文承蒙亞新工程顧問公司整理相關灌漿資料，並承榮工處及清水/太平洋聯合承攬提供詳盡資料，使本文得以順利完成，在此謹誌謝忱。

## 參考文獻

PECK,R.B.(1969),"Deep Excavations and Tunnelling in Soft Ground",*Proc.,ICSMFE, State-of-the-Art Volume*, Mexico City.

表一 台北捷運南港線CN251、CN253B標土層參數一覽表

層次	CN 251				CN 253B			
	土壤分類	厚度 (m)	平均 N值	$r_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	土壤分類	厚度 (m)	平均 N值	$r_t$ (kN/m <sup>3</sup> )
6	CL	5.4~6.5	4	18.9	CL	2.6~6.8	4	18.8
5	SM	7.6~12.2	8	18.5	SM	8.8~12.5	10	19
4	CL	4.8~7.6	7	18.4	CL	6.0~10.8	6.5	18.8
3	SM	2.0~17.0	20	18.7	SM-ML	2.7~7.4	18.5	19.7
2	CL	2.0~8.0	18	19.4	CL-ML	17.0~19.0	23	20
1	SM	1.0~1.6	30	21.6	SM	2	28	21.6
礫石層	—	—	> 50	22	—	—	> 50	22

註：本表係摘自台北都會區捷運系統大地工程設計審查報告

表二 JSG高壓灌漿施工參數一覽表

項目	位置 配比	中華路段	北門古蹟段	
		350	450	760
數量 (支)		658	221	47
樁徑 (m)		1.2	1.2	1.2
施灌深度 (m)		3.5~21.0	4.2~21.8	4.2~21.8
施灌壓力 (kg/cm <sup>2</sup> )		200~225	200~220	200~220
漿材 配比	水泥 (kg)	350	450	760
	水 (l)	889	857	759
流量 (l/min)		60~65	60~65	60~65
灌漿管提升速率 (分/m)		21	21	21
鑽機迴轉速率 (rpm)		5~10	5~10	5~10

表三 南港線CN251標雙栓塞灌漿施工及沉陷情形

建物	地盤改良範圍			灌漿孔與建物 距離 D(m)	灌漿孔			沉陷量 $\delta$ (mm)
	深度 H(m)	厚度 H1(m)	寬度 B(m)		縱向間距 S	孔數 n	傾角 $\alpha$ (deg.)	
A	14.6	5.5	14 13	南 2 北 5	1.5	10 9	17-59 37-74	8
B	14	3.5	12.3	3.5	1.5	13	0-46	50
C	13.8	3.5	23.3	7.3	1.5	17	3-55	48
D	16.3	7	11	2.3	1.5	11	0-42	7
E	11.9	3.5	12.3	11.7	1.5	17	0-62	30

表四 南港線CN251標建物保護效果評估

建 物	基礎型式	樓 層	基礎深度 (m)	最大沉陷量 (mm)			
				地面灌漿	下行隧道掘進	上行隧道掘進	合計
A	筏式	7	6.1	8	11	5	24
B	基腳	2	0.5	50	25	15	90
C	基腳	4	2.6	48	32	7	87
D	筏式	5.5	1.5	7	12	14	33
E	基腳	1	0.5	30	8	9	47

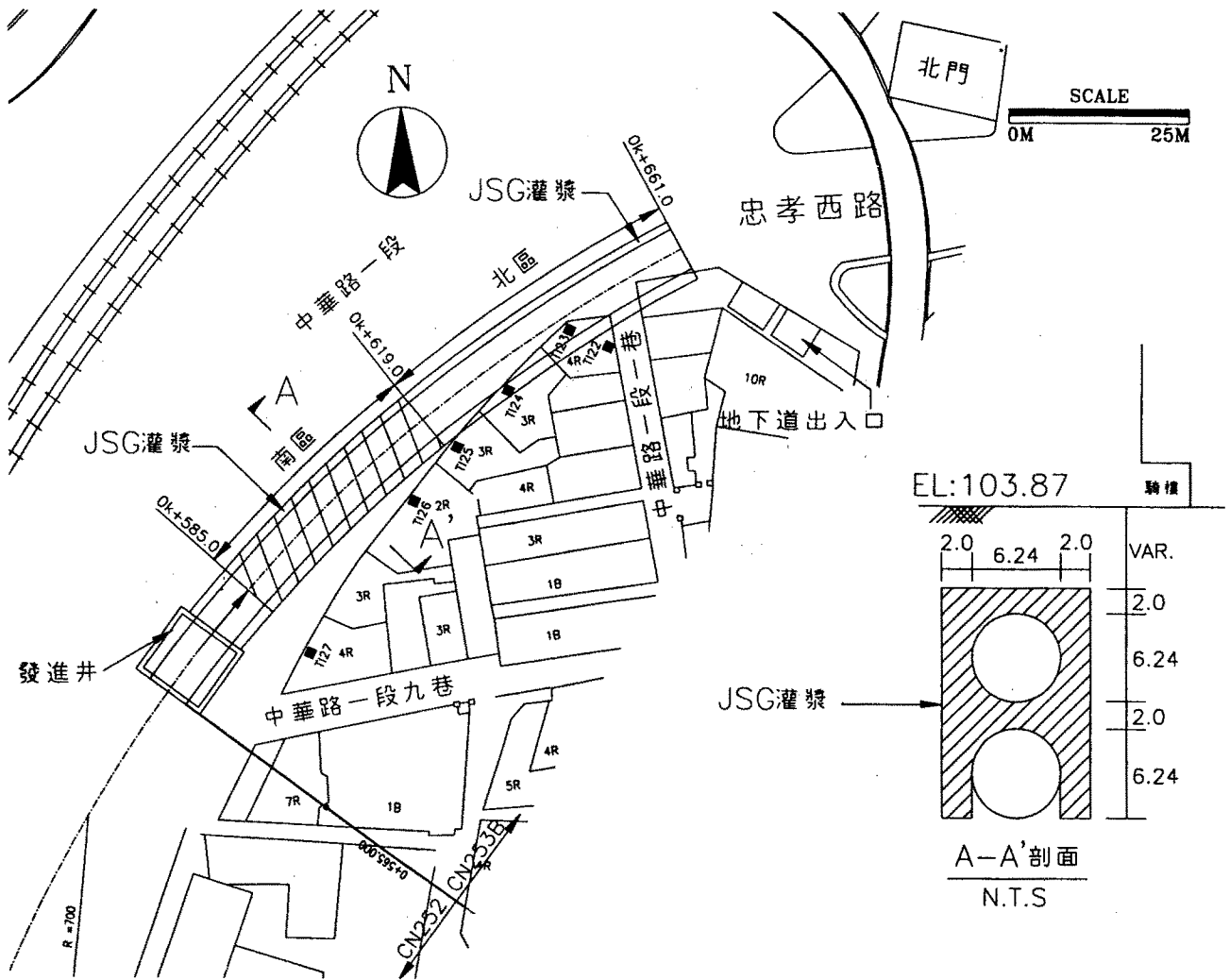
表五 南港線CN251標潛盾隧道施工導致沉陷分析

觀測 剖面	隧道中心深度 (m)		沉陷點		沉陷點至隧道中 心距離 Z(mm)	最大沉陷量 $\delta$ (mm)	土壤總漏失率 V(%)	地盤改良	
	下行	上行	型式	深度(m)				地面	隧道內
1	下行	12.0	地面	0	12	42	1.8	N	N
	上行	12.0		0	12	18	0.8		
2	下行	14.3	建物 (筏基)	6.1	8.3	11	0.57	Y	Y
	上行	13.8		6.1	7.8	5	0.25		
3	下行	16.5	地面	0	16.5	18	1.05	N	N
	上行	15.5		0	15.5	6	0.3		

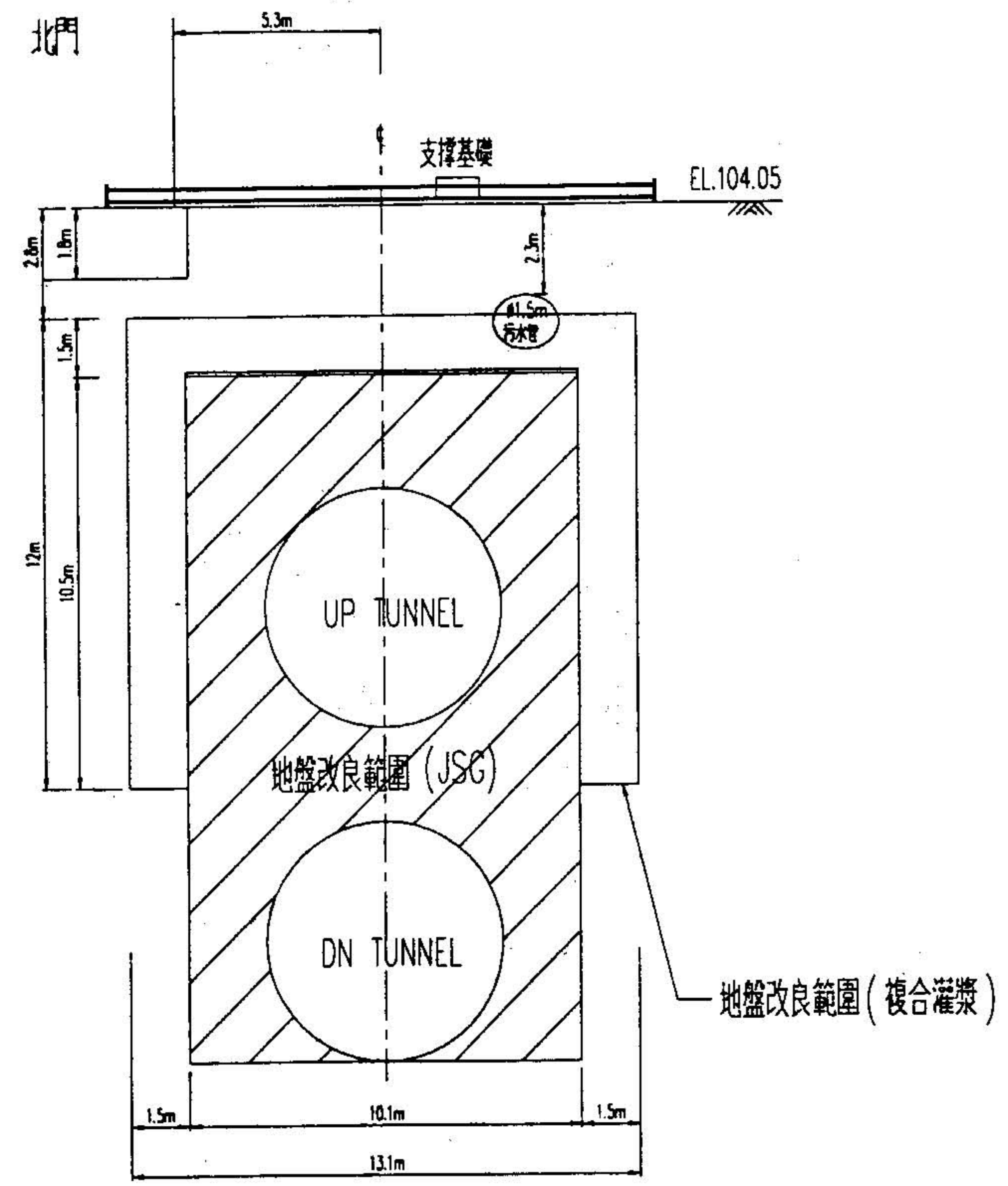
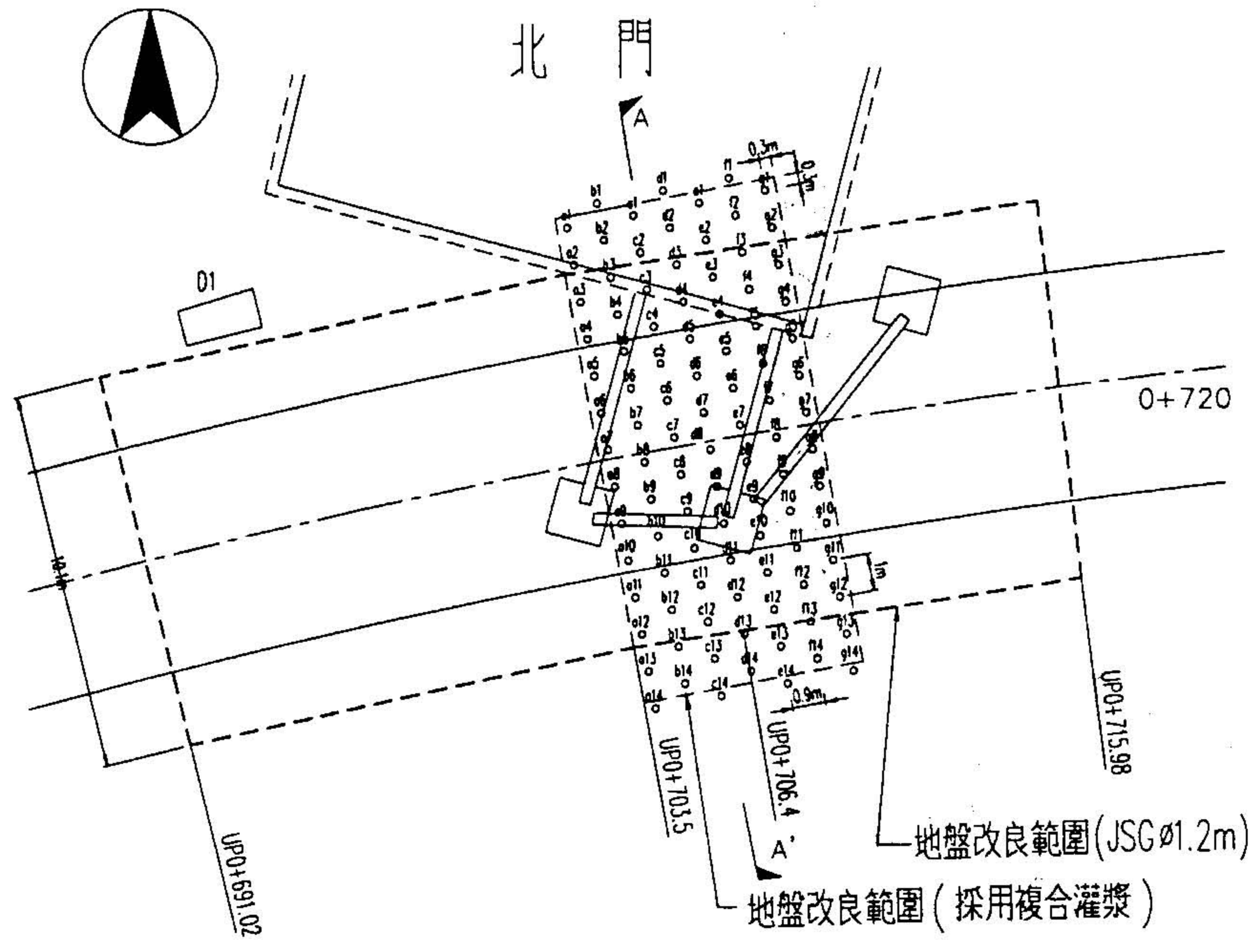
表六 南港線CN251及CN253B標二次背填灌漿效果評估

標別	觀測 斷面	隧道中心 深度 (m)	沉陷點		土壤漏失量 $\delta$ (mm)	壓密沉陷量 $\alpha$ (mm)	土壤總漏失率 $V_L$ (%)	地盤 改良
			型式	深度(m)				
CN251	A	下行 14.08	地面型	0	13	7	1.22	N
	B	下行 17.10	地面型	0	9	5	1	N
	C	下行 19.22	地面型	0	19	6	1.85	Y
	D	下行 20.33	地面型	0	17	5	1.7	Y
		上行 15.34	地面型	0	19	6	1.55	Y
	E	下行 22.12	地面型	0	5	3	0.71	N
		上行 14.97	地面型	0	15	6	1.3	Y
F	下行 20.85	地面型	0	7	4	0.92	Y	
CN253B	G	下行 19.26	地面型	0	15	6	1.6	Y
	H	下行 19.40	地面型	0	14	4	1.33	Y
	I	下行 19.50	地面型	0	17	8	1.95	Y
	J	下行 19.73	地面型	0	21	6	2.03	N

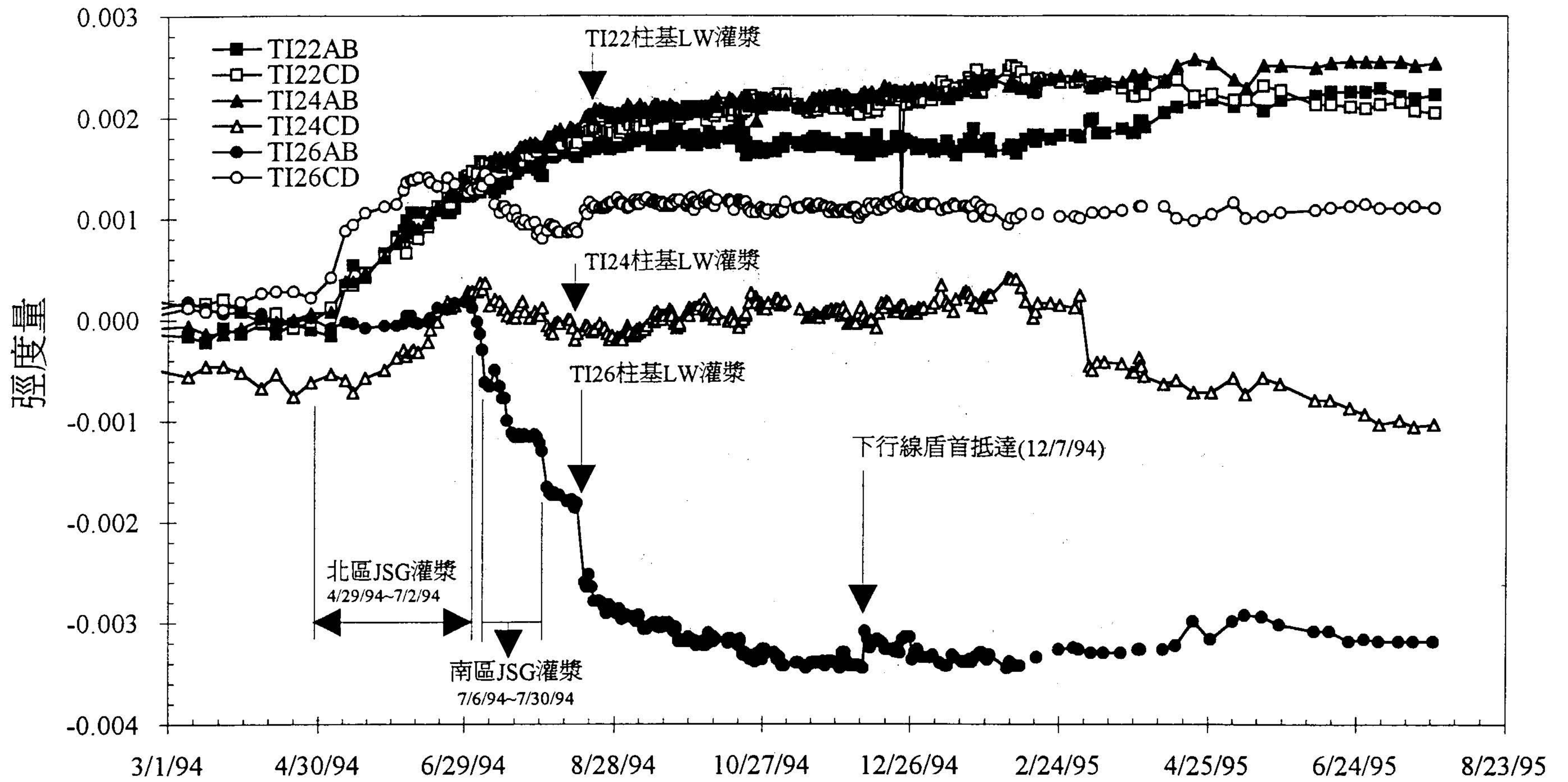




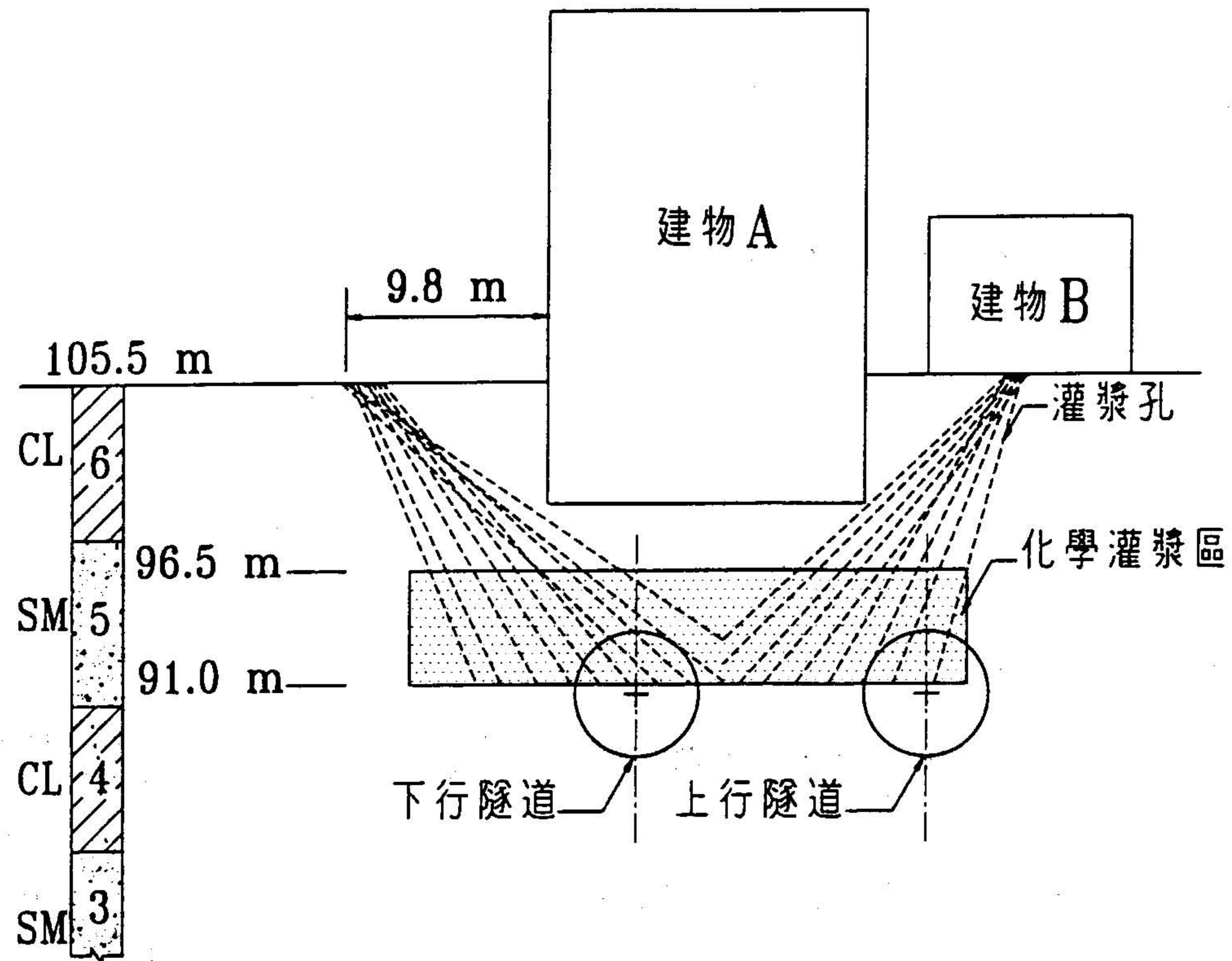
圖二 CN253B標中華路地盤改良範圍平面及剖面圖



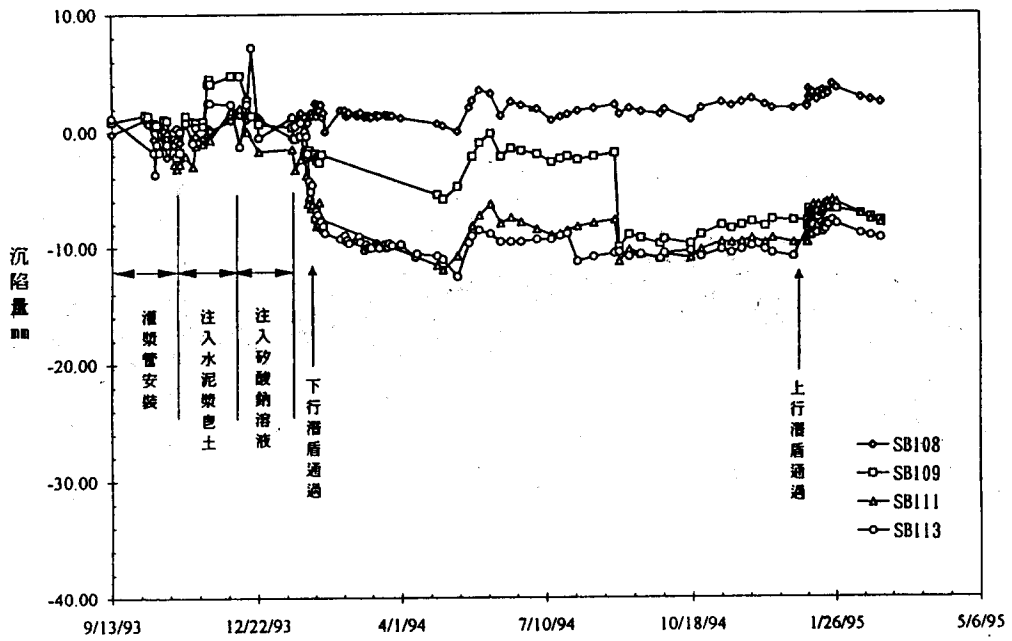
圖三 CN253B標北門古蹟SL 灌漿平面及剖面圖



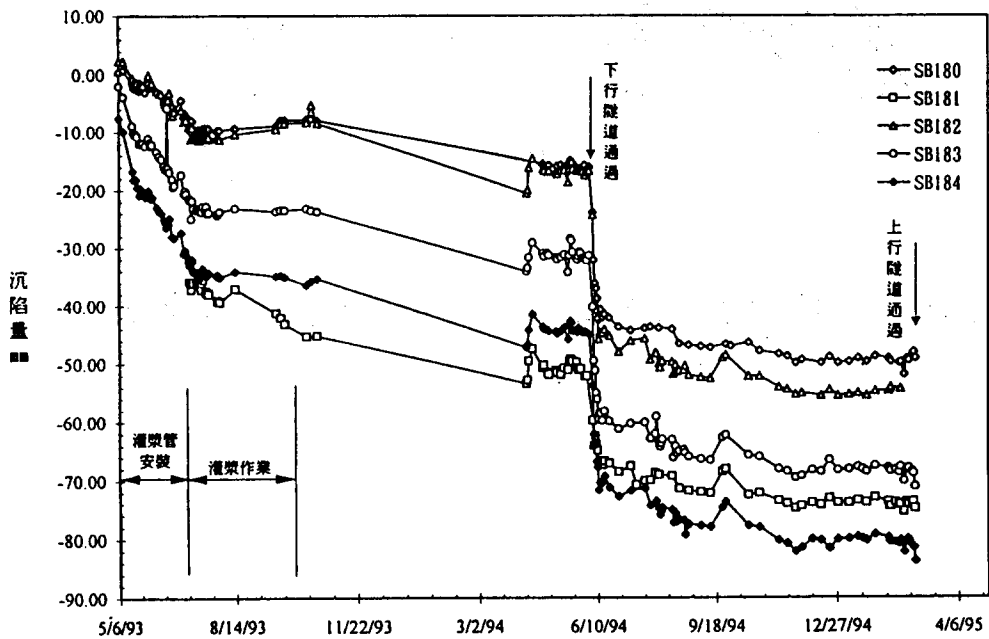
圖四 CN253B標中華路房屋傾斜觀測歷時曲線



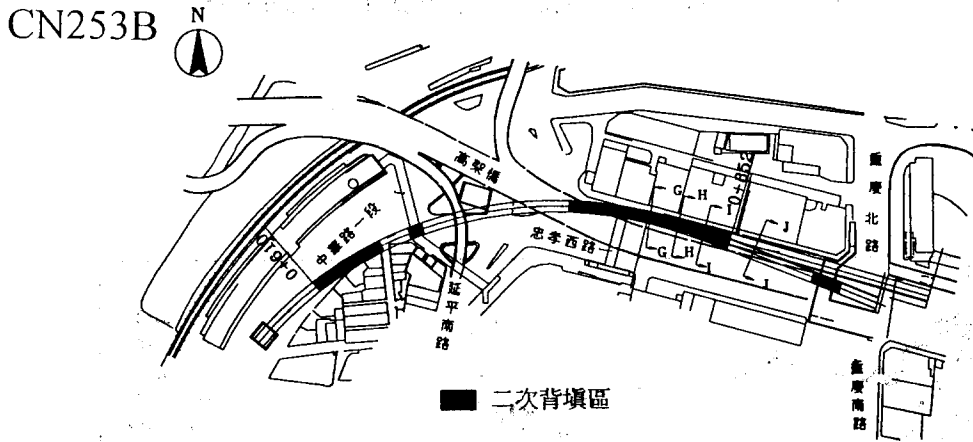
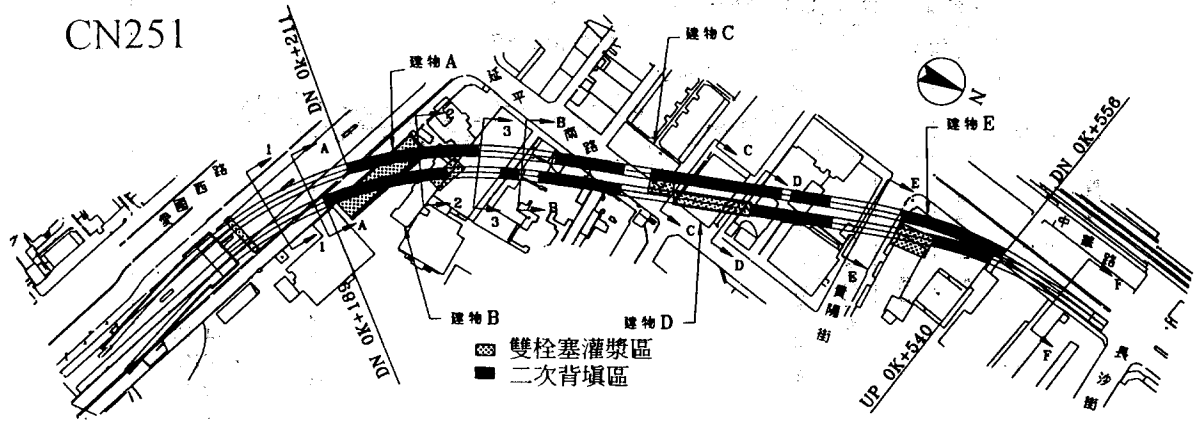
圖五 CN251標雙栓塞灌漿剖面圖



圖六 CN251標建物A沉陷觀測歷時曲線



圖七 CN251標建物C沉陷觀測歷時曲線



圖八 雙栓塞與二次背填灌漿平面位置及監測斷面