

台北捷運系統新店線CH221標通風豎井施工
**CONSTRUCTION OF CH221 VENTILATION
SHAFT FOR THE HSINTIEN LINE OF THE TAIPEI
MRT SYSTEMS**

楊國榮，趙際禮

G. R. Yang and C. L. Chao

原著載於第七屆大地工程學術研究討論會
1997年8月28~30日，第二冊，第1017~1024頁

*Reprinted from Proceedings of 7th Conference on Current
Researched in Geotechnical Engineering
Chinshan, Taiwan
August 28~30, 1997, Vol. 2, pp.1017~1024*

台北捷運系統新店線CH221標通風豎井施工

楊國榮

趙際禮

亞新工程顧問公司

台北市政府捷運工程局南區工程處

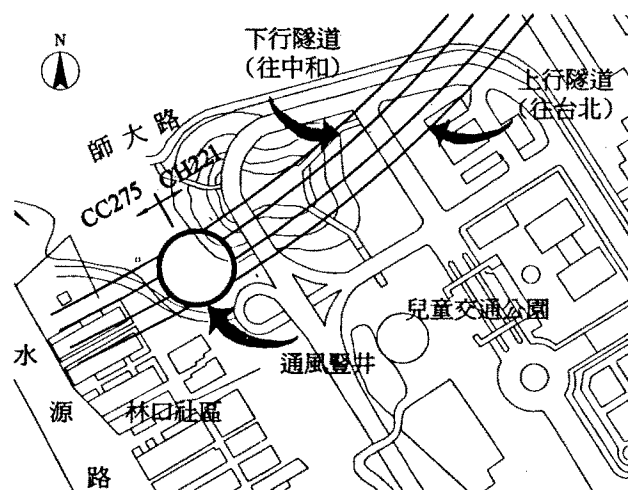
摘要

位於台北捷運系統新店線CH221標與中和線CC275標銜接處之通風豎井為一外徑26m，開挖深度為35m之圓桶形結構，此通風豎井係作為上述施工標潛盾隧道之出發井。此通風豎井所採用之擋土設施係為深入景美礫石層內約30m，厚1.2m，總深度約為65m之連續壁。於開挖區內連續壁底部深度處並全面施作5m厚之地盤改良，形成一密閉之圓桶形結構，以抵抗作用於地盤改良區下方之水壓力防止上舉破壞。本文針對此通風豎井施工期間重要施工階段之施作細節作介紹，以供工程界後續類似工程設計與施工之參考。

本文所探討之通風豎井位於台北市兒童交通公園內西北角，師大路與水源路交叉口東南側，位置如圖1所示，通風豎井所在位置之地表高程約為108m，此通風豎井於施工期間作為新店線CH221標與中和線CC275標潛盾隧道出發井之用，於營運期間則作為通風與逃生之用。此通風豎井為一外徑26m之圓桶形結構，開挖深度則約為35m。依據原設計本通風豎井係採用1.2m厚、57m深之連續壁作為擋土設施，並於開挖區內連續壁底部深度處全面施作5m厚之地盤改良，以形成一密閉結構體。為確保此通風豎井於施工期間不因地盤改良區底部景美礫石層內之水壓力，而導致其上方土體發生上舉破

一、前言

以往於台北盆地進行深開挖工程時，其所處理工程之開挖深度一般皆在10m至15m左右，所累積的工程經驗亦相當的豐富。隨著台北捷運系統之興建，其所處理工程之開挖深度愈來愈深，施工之困難度亦相對的提高，因欠缺足夠之經驗，其風險亦相對的增加。位於台北捷運系統新店線CH221標與中和線CC275標銜接處，開挖深度為35m之通風豎井，即為施工高困難度之工程之一，本文詳細介紹此通風豎井重要施工階段之施工細節。



二、基地位置與工程概述

圖 1 CH221標通風豎井位置圖

壞，其下方之地下水位於施工期間將控制在高程85m以下。因本通風豎井為一圓桶形結構具有環效應，故於設計時僅於連續壁頂部設置一環樑，而未採用任何額外之支撐系統。

承包此工程之承商青木/新亞共同承攬於施工前依合約之規定進行工址調查與現場抽水試驗，由此獲得地層資料與景美礫石層之水理特性，並用此資料評估採用降水工法所存在之風險。依據工址調查與抽水試驗結果評估，若欲將地盤改良區底部景美礫石層內之水位降低至高程85m，則需採用32部抽水量為150cmh之抽水機。承商經考慮施工風險後，決定不採用降水方式進行通風豎井之施工，而擬以加深連續壁深度之方案替代之，即將連續壁深度由原設計之57m加深至65m，以此所增加土體之重量抵抗地盤改良區底部之水壓力。但為防止施工期間地盤改良區底部水位回升危及通風豎井之安全，承商於連續壁公單元內共裝設8支直徑0.5m、深度65m之鋼套管。此鋼套管一方面用於監測地盤改良區底部水壓之用，一方面則作為緊急抽水時放置抽水機之抽水井之用。為確保通風豎井於潛盾隧道進行鏡面破除與施工期間之安全，承商於隧道開口處上方增設臨時環樑。因本通風豎井於設計上被視為一密閉結構，故除底部地盤改良區之透水性需符合設計之要求外，連續壁單元間接縫之水密性亦相當重要。承商另於頂部環樑連續壁單元接縫處開挖區外側預留灌漿孔，以於施工期間一旦連續壁單元間接縫發生漏水事故時，能減少施作止水灌漿所需之時間。圖2為通風豎井之平面與剖面詳圖。

三、基地地層與地下水狀況

台北盆地之地層由上而下由松山層、景美層與新莊層所組成，其地層與通風豎井直接有關的則為松山層與景美層。本通風豎井處之松山層屬T2區，為典型之松山六次層，即由粉土質黏土層與粉土質細砂層交互組合而成，由通風豎井處之工址調查結果得知，松山層厚約35m，於松六與松五次層間存在一厚約8m之礫石層。松山層下方則為景美層，主要成份為礫石，並夾雜多量之卵石與砂，地層分佈狀況如圖2(b)所示。另由通風豎井連續壁單元5與13

槽溝挖掘紀錄所得之景美礫石層粒徑分佈狀況如圖3所示。

台北盆地於1950至1970年代因於景美礫石層內長期抽取地下水，導致盆地內地下水水位下降，而使其呈非靜態分佈。自1970年代起政府禁止抽取地下水後，地下水水位開始回升，其水壓分佈與回升狀況如圖4所示。本通風豎井處之地下水壓分佈狀況亦如圖4所示，由水位觀測結果得知，其水位於松五次層內約介於高程101m至102m左右，於松三次層內約介於高程94m至98m左右，於景美層內則約位於高程92m左右。

四、施工狀況

本通風豎井之施工主要依下述順序進行：

(1) 連續壁施工。

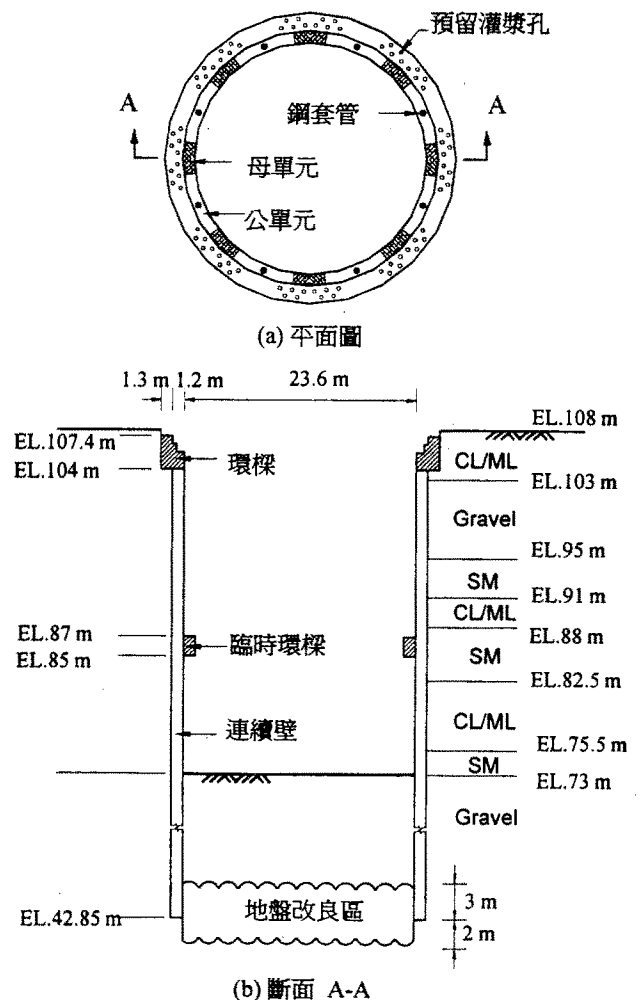


圖 2 通風豎井配置詳圖

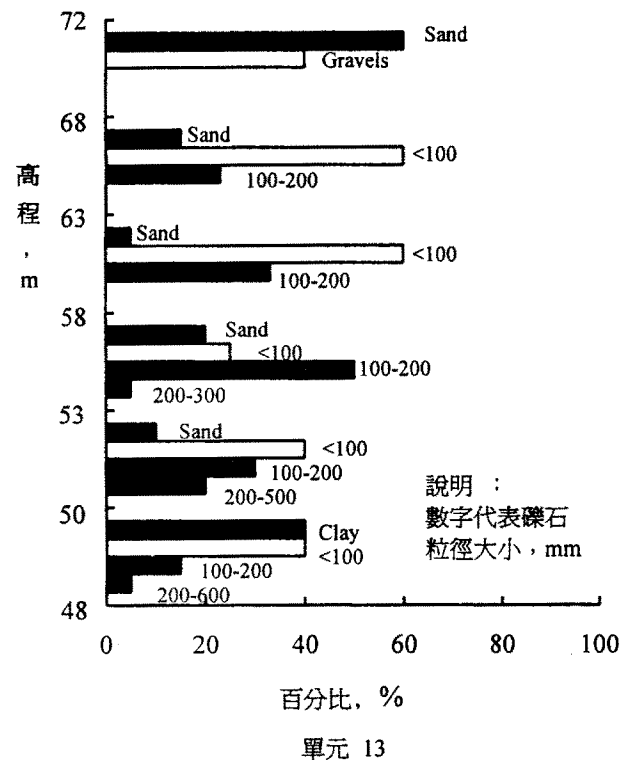
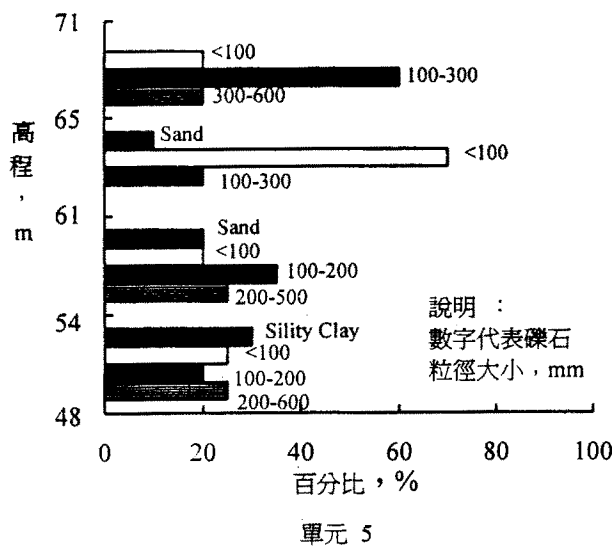


圖 3 景美礫石層粒徑分佈狀況

- (2) 頂部環樑施作。
- (3) 開挖至高程95m，於開挖區內連續壁底部深度處全面進行厚度5m之地盤改良。
- (4) 完成地盤改良後，於開挖區內進行現場抽水試驗，以檢核地盤改良效果與連續壁接縫之水密性。
- (5) 開挖至高程85m，施作隧道開口上方臨時環樑。
- (6) 開挖至高程73.1m，施作集水井與底版。

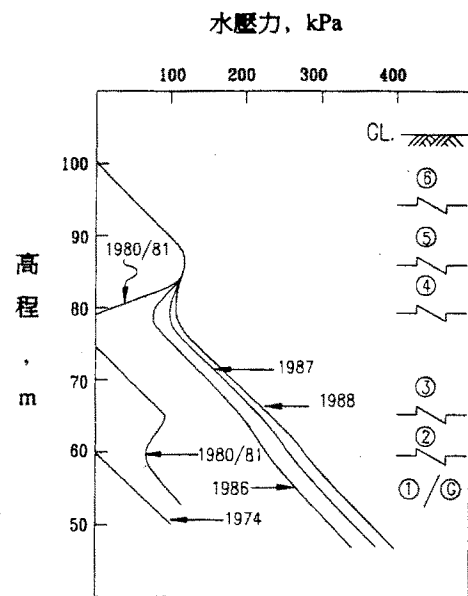


表 1 通風豎井施作時程一覽表

項次	項目	時間 (月/日/年)
1	連續壁施作	12/07/91-5/28/92
2	頂部環樑施作	5/29/92-7/26/92
3	通風豎井開挖	5/29/92-12/22/92
4	開挖區內連續壁底部全面灌漿	9/12/92-11/4/92
5	隧道開口上方臨時環樑施作	11/27/92-12/8/92
6	集水井與底版施作	12/23/92-1/31/93

上述各施工階段施作時程詳表1，其重要階段之施作細節則詳述如下。

連續壁施工

承商依據豎井之大小將連續壁分為16個單元，公母單元各8個，公單元長約6.5m，母單元則長約3.2m，其平面配置如圖2(a)所示，為達到環效應連續壁單元間鋼筋採連續性方式搭接，其單元間接縫與鋼筋搭接型式如圖5所示。本通風豎井進行連續壁施工時係先行施作母單元，再行施作已完工母單元間之公單元。各連續壁單元之施工則依槽溝挖掘、鋼筋籠吊放與混凝土澆置等順序進行，各連續壁單元施工所使用之時間示於表2。

連續壁單元之挖掘係採用一部MEH1015機具進行，其中母單元之挖掘主要分三刀進行，再加上一刀進行修補，公單元則僅挖掘一刀，公母單元挖掘示意圖如圖6所示。孔壁之垂直精度則於挖掘中利用挖掘機具本身計測裝置來控制，待槽溝挖掘完成後再以DM-683型超音波溝壁測定器進行垂直度之確認。每個單元之鋼筋籠分四節使用80噸之吊車進行吊放，混凝土之澆置則採用二組特密管進行。

因本通風豎井之連續壁深達65m，且需貫穿松山層內8m厚之礫石層並深入景美礫石層內約30m，故進行槽溝挖掘時，於礫石層中易發生皂土液流失與坍塌並形成不規則之壁面。於進行槽溝挖掘時發生皂土液嚴重流失時，承商係以MEH1015之挖斗填裝木屑直接放入滲漏位置填充孔隙。因槽溝孔壁易形成不規則之壁面，故於母單元進行混凝土澆置時易發生漏漿，並增加鄰近公單元爾後施作之困難度，為防止此漏漿事件發生，母單元之鋼筋籠係採用帆布予以全面包覆。

進行公單元挖掘時，於母單元之兩側放置如圖7所示之支撐反力材，以防止挖掘期間施工機具損及母單元之端點鋼筋，待挖掘完畢後將支撐反力材抽出，再以鋼刷清洗母單元之端版，以確保公母單元接縫之水密性。

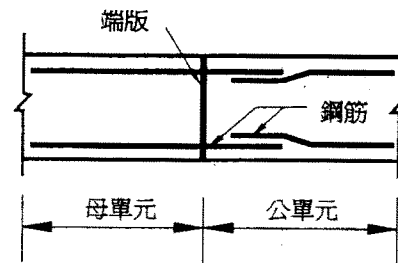


圖5 連續壁單元間接縫與鋼筋搭接型式詳圖

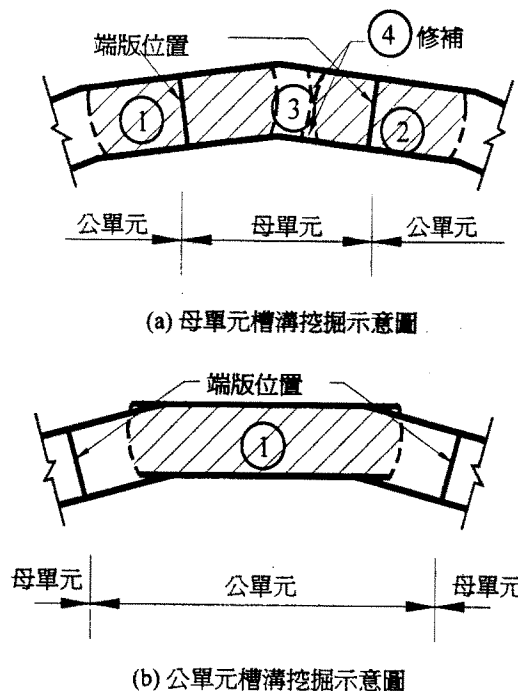


圖6 連續壁公母單元槽溝挖掘示意圖

表2 通風豎井各連續壁單元施工所使用時間一覽表

施工 順序	單元 編號	單元型式		挖掘時間 (日)	鋼筋籠吊放時間 (小時)	混凝土澆置時間 (小時)
		公	母			
1	1		×	26	19	11
2	3		×	13	15	8
3	2	×		3	11	7
4	15		×	5	17	9
5	16	×		2	8	21
6	13		×	7	18	11
7	5		×	6	13	10
8	11		×	33	15	9
9	14	×		12	8	12
10	9		×	25	16	33
11	4	×		5	7	9
12	7		×	10	13	11
13	12	×		5	7	10
14	10	×		8	6	14
15	6	×		9	8	18
16	8	×		6	10	14

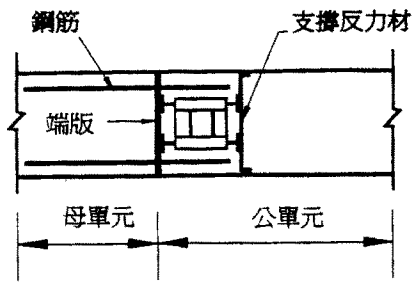


圖 7 支撐反力材平面配置圖

因本通風豎井連續壁施工之高困難度，所有連續壁施作費時約半年才得以完成。

通風豎井內地盤改良施作

此5m厚之地盤改良體計劃於開挖區內連續壁底部深度處施作，其目的在使通風豎井形成一密閉之圓桶形結構，以最終開挖面至連續壁底地盤改良體間之土體與地盤改良體重量共同抵抗作用於地盤改良體下方之水壓力。為達到上述目的此地盤改良體之透水係數依設計則必需小於 $10^{-7}m/sec$ 。

由上述資料得知，此地盤改良工作之特殊點為
 (1) 施工深度相當深，(2) 施工期間所進行之鑽孔作業相當困難，(3) 地盤改良後之止水效果要求高。為降低施工之困難度並使施灌結果符合設計之要求，此通風豎井於開挖至高程95m，即深度為

13m時，方於豎井內採用二重雙栓塞灌漿(SLEEVE GROUT)工法進行地盤改良工作。

二重雙栓塞灌漿工法之施作程序如圖8所示，主要分為鑽孔、灌注外管埋設與灌漿三大部份，分述如下：

(1) 鑽孔

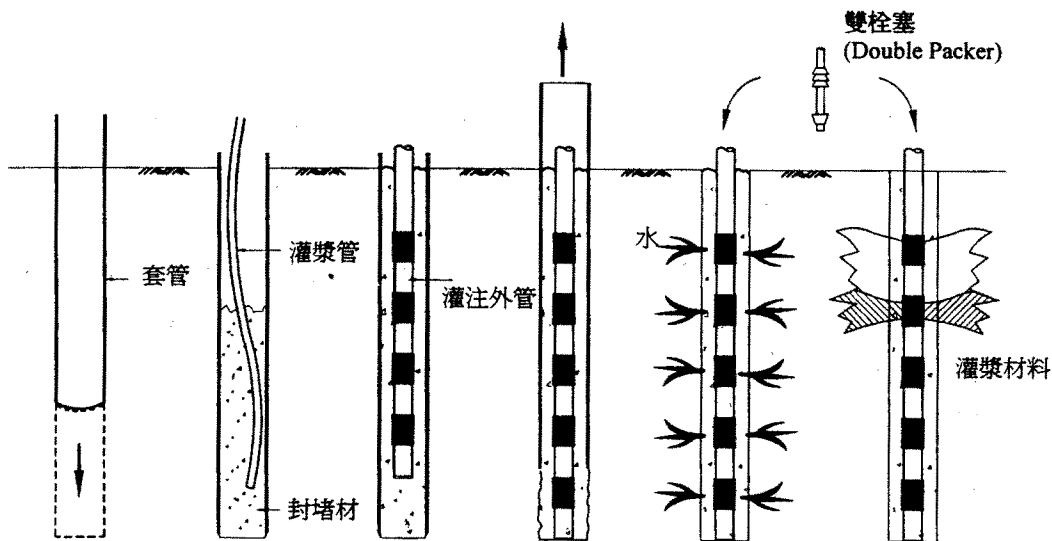
因通風豎井處之地層存在卵礫石層故於鑽孔時採用衝擊式(Percussion)方法進行施鑽，並採用保護套管防止孔壁崩坍，當施作至預定深度後從套管內丈量其深度。

(2) 灌注外管埋設

待鑽孔完成後方進行灌注外管之埋設，並採用封堵材固定灌注外管，此灌注外管之直徑為4cm，灌注孔上下之間距則為50cm。由於通風豎井實施灌漿之地層為堅硬之卵礫石層，其所形成之封堵直徑較一般地層為大，恐會產生不易劈裂之情形，故封堵材所採用之材料與配比如表3。

(3) 灌漿

承商依據地層狀況於通風豎井開挖區內共裝設135支灌注外管，其間距約為2m，平面配置如圖9。於灌注外管內進行灌漿前先使用高壓水將灌注孔處之封堵材劈裂。灌漿作業則分二次進行，第一次灌



(1)鑽孔 (2)封堵材灌注 (3)灌注外管埋設 (4)套管拔除 (5)封堵材劈裂 (6)施作灌漿

圖 8 二重雙栓塞灌漿工法施作程序

表3 通風豎井地盤改良施工相關資料一覽表

項目	材料與配比	注入率	灌注速度	膠凝時間
封堵材	懸濁型水泥皂土液，於1000 ℓ之灌漿液中，使用1.77kN水泥，0.625kN皂土，其餘則為水。	-	-	-
一次灌漿	所採用之材料與配比與封堵材相同。	10%	15 ℓ/min	-
二次灌漿	溶液型無機系之矽膠溶液(Silicalizer)，於1000 ℓ之灌漿液中，使用250 ℓ水玻璃，50至55 ℓSL反應劑，與695至700 ℓ之水。	30%	10 ℓ/min	60min

漿主要以填充地層較大之孔隙為主，待完成所有灌注外管之第一次灌漿後再進行第二次灌漿。為達到各次灌漿之成效，承商將通風豎井分為如圖9所示之ABC三區，每次灌漿皆依ACB順序依次施灌，即先行施作中央部份，再施作外圍部份，最後再施作剩餘部份。因各灌注外管之灌注孔上下間隔為0.5m，故每個灌注外管共施作10階灌注以形成5m厚之地盤改良體。第一次與第二次灌漿時所採用之材料與配比、注入率、灌注速度與膠凝時間則如表3所示。此地盤改良各分區之灌注外管數、平均注入壓力與注入量示於表4，第一次灌漿所採用之水泥皂土總量約為219m³，第二次灌漿所採用之無機矽膠溶液總量則約為656m³。

於通風豎井開挖區內進行地盤改良時所採用之施工機械設備如表5，施工期間鑽孔與灌注外管安裝工作費時約40日，第一次灌漿費時約6日，第二次灌漿則費時約12日完成。

現場抽水試驗

承商於進行通風豎井開挖區內連續壁底部深度處之地盤改良前，係先依據以往之經驗選擇適合之工法，與此工法所需之灌注材料及灌注量。為確認此工法之可行性，承商於地盤改良施工初期即針對試灌區施作1組透水試驗，待確認其效果後，方進行其餘之地盤改良，並待所有地盤改良工作完成後再針對灌漿區施作8組透水試驗，以檢核地盤改良之成效。承商並於地盤改良施作完成後於通風豎井開挖區內進行1組現場抽水試驗，以確認通風豎井之水密性。現場抽水試驗係藉由裝設於開挖區內高程60m處之1支抽水井與2支水壓計完成。其中抽水井裝設於距通風豎井中心8.1m處，水壓計則分別裝設距抽水井5m與10m處，平面位置如圖9所示。抽水井井管之直徑為30cm，井管下方12m長度為開孔率為7.6%之濾水管。施作抽水試驗時係採用30HP之沉水馬達進行，現場工作係先進行抽水至固定深度後停止抽水，記錄水位回升狀況以此求得地盤改良體之透水係數。抽水工作費時約18時40分左右完成，總抽水量約205m³，距抽水井5m與10m處水位則由高程92m分別下降至高程67m與68m。回水工作則費時約40時40分左右完成，距抽水井5m與10m處之水位回升量則分別約為7m與6m，據此所推估之

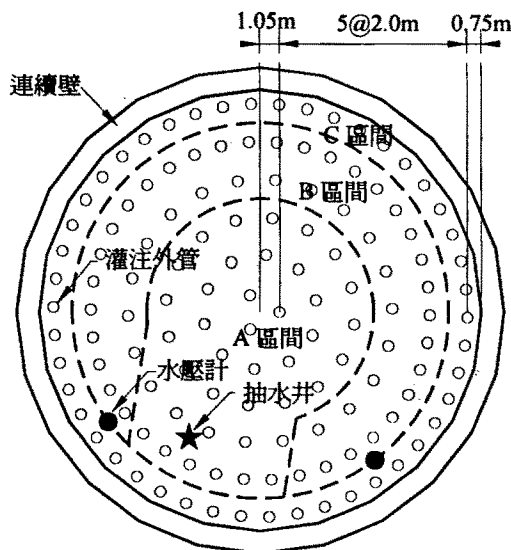


圖9 灌注外管、抽水井與水壓計平面配置圖

地盤改良體之透水係數約為 $4 \times 10^{-7} \text{m/sec}$ ，符合設計之要求。

五、監測儀器觀測結果

承商於通風豎井連續壁內裝設傾度管與土水壓計，開挖區內裝設水壓計，開挖區外則裝設水壓計與結構物沉陷點等監測儀器，以掌控施工期間通風豎井本身之安全與施工對周遭環境之影響。

由裝設於開挖區外景美礫石層內之水壓計與埋設於連續壁內之鋼套管內之水位觀測結果得知，地盤改良體底部地下水位於施工期間皆較設計所採用之高程92m為低，故於施工期間並無發生上舉破壞之慮。

由裝設於連續壁內之傾度觀測管與通風豎井鄰近結構物之沉陷點觀測結果得知，因通風豎井開挖

而導致連續壁所發生之最大水平位移量僅約10mm，至於鄰近結構物則並未發生沉陷。由上述監測儀器觀測結果可知通風豎井之實際施工狀況符合設計理念，即於通風豎井施工期間此豎井已發揮環效應。

六、結論

由本文所介紹通風豎井之施工經驗可知，縱使再困難之工程皆可藉由有經驗之承包商與良好之施工管理而順利完成工作。

誌謝

本文於撰文期間獲得三信建設工業株式會社王錦伍先生、亞新工程顧問公司莫若楫博士與黃南輝博士提供寶貴意見，以及亞新工程顧問公司陳楷仁

表4 通風豎井地盤改良各分區施工資料一覽表

施工區	孔數	平均注入壓力, kPa		注入量, l	
		第一次灌漿	第二次灌漿	第一次灌漿	第二次灌漿
A區	40	2700	1600	64800	194400
B區	49	2500	1700	79380	238140
C區	46	2100	1500	74520	223560
總計	135	-	-	218700	656100

表5 通風豎井地盤改良施工機械設備一覽表

	名稱	型式	規格	馬力	台數
鑽孔	鑽孔機	HD90, KR-804	衝擊旋轉兩用	88HP, 105HP	4台
	抽水機	-	12~15 l/min	11.0KW	4台
裝管用	泥漿拌合機	KHM-200A	2×200A	3.7KW	1組
	泥漿泵浦	K6-6	25~65 l/min	3.7KW	1台
	洗網機	-	ϕ 5cm	3.7KW	1台
	水槽	-	6~10 m^3	-	1台
灌漿用	灌注泵浦	HFV-4H5	0~20 l/min	18.5KW	3台
	洗網機	-	ϕ 5cm	3.7KW	2台
	高壓空壓機	-	5MPa	3.7KW	1台
	流量計	PERFECT-H	-	0.4KW	6台
	矽膠製造機	SLMP 3500A	35 m^3/hr	11.0KW	1台
	水玻璃槽	-	8~12 m^3	-	1台
	反應劑槽	-	2~4 m^3	-	2台
排水用	水槽	-	2~6 m^3	-	1台
	排水槽	-	16 m^3	-	1台
	沉水泵浦	-	ϕ 5cm	0.4KW	2台
	-	-	-	-	-

工程師之協助方得以完成，謹誌謝忱。

參考文獻

- 〔1〕 青木建設/新亞建設(1991)，"CH221 標通風豎井補充地質調查報告書"。
- 〔2〕 青木建設/新亞建設(1991)，"*Basic & Schematic Design Examination for Vent Shaft Slurry Wall*"。
- 〔3〕 三信建設工業株式會社(1992)，"台北捷運系統CH221 標通風豎井底盤藥液灌漿工程施工報告書"。
- 〔4〕 青木建設/新亞建設(1992)，"*中和線V/E SHAFT PLUG GROUT 抽水試驗及透水試驗結果報告書*"。

Construction of CH221 Ventilation Shaft for the Hsintien Line of the Taipei MRT Systems

G.R. Yang

Moh & Associates

Taipei

C.L. Chao

SDPO, DORTS

Taipei

Abstract

A circular ventilation shaft which has a depth of 35m and an outer diameter of 26m was constructed and was utilized as a launching shaft for shield tunneling. The shaft was supported by diaphragm walls extending to the depth of 65m. Due to the requirements of stability against blow-in, the 1.2m thick diaphragm wall penetrated 30m into a gravel layer which is located at the depth of 36m. A grouted mat of 5m in thickness was provided inside the shaft at the level of the toe of the diaphragm wall. This paper presents the construction details of the ventilation shaft and provides valuable information for the design and the construction of similar work.