

台北盆地礫石層深開挖地下水問題
**GROUNDWATER PROBLEMS FOR DEEP
EXCAVATIONS IN GRAVEL DEPOSITS IN TAIPEI
BASIN**

楊國榮，黃立煌，王勝男

R. Y. Yang, L. W. Wong and S. N. Wang

原著載於國際卵礫石層地下工程研討會論文集
1995年3月23~24日，第4-21~4-28頁

*Reprinted from Proceedings of International Symposium on
Underground Construction in Gravel Formations
Taipei, Taiwan*

March 23-24, 1995, pp.4-21~4-28

台北盆地礫石層深開挖地下水問題

楊國榮¹，黃立煌¹，王勝男²

1. 亞新工程顧問公司計劃經理
2. 亞新工程顧問公司工程師

摘要

深開挖工程之管湧或上舉破壞通常須於開挖區底部抽水而防止。由於礫石層之高透水性，地下水之控制方法為礫石層深開挖施工成敗之重要關鍵。本文以台北都會區捷運系統新店線CH221標及板橋線CP261標通風井之施工案例，說明礫石層地下水控制於設計與施工上之考量，以作為後續工程界設計與施工之參考。

ABSTRACT

The piping or blow-in failure mechanism during deep excavation generally shall be prevented by dewatering with the excavation. Because the gravel layer is highly permeable, it will be of vital importance for groundwater control where the base of the excavation encounters gravel layer. This paper presents the case histories of groundwater control measures for the construction of ventilation shafts at Contract CH221 and CP261, Taipei Rapid Transit Systems, to demonstrate the various considerations on aspects of design and construction.

一. 前言

深開挖工程之設計及施工考慮，主要有貫入深度、塑性隆起、管湧、上舉及上浮之破壞機制。以往台北盆地之深開挖工程因地下水所導致上舉破壞之問題較易處理，其原因在於上舉破壞可藉由松山層之抽水而解決。近年來由於台北都會區捷運系統的興建，工程開挖深度加深，則除了處理松山層之水壓外亦需對景美

層之水壓加以控制，以防止開挖期間上舉破壞發生。由於景美層具有高透水性之特性，是以地下水控制方法得當與否將對景美層深開挖工程之成敗有決定性之影響。本文首先說明上舉破壞發生之原因，再闡述因景美層水壓導致上舉破壞之一般處理方案，最後再針對台北都會區捷運系統新店線CH221標及板橋線CP261標通風井景美層實際地下水控制案例作探討，以作為工程界後續設計與施工之參考。

二. 地層與地下水狀況

深開挖施工之安全考慮，與地層狀況及地下水狀況有密切關係。台北盆地地層由松山層、景美層及新莊層所組成，與工程直接有關的則為松山層與景美層。松山層主要分為六次層，由粉土質黏土層與粉土質細砂層交互組合而成，即松六、松四、松二次層為粉土質黏土層，松五、松三、松一次層為粉土質細砂層；景美層主要成份則為礫石，並夾雜多量之卵石與砂，透水性極高。松山層及景美層之分佈可參考亞新公司(1987)[1]及傅怡仁等(1990)[2]之文獻，地層狀況綜合如表1所示。圖1則為松山層地層分區平面位置。

表1 台北盆地地層狀況綜合表

層次		厚度(m)		土壤描述
SF	表土	1-6		黃棕色黏土
松山層	第VI次層	2-8	40-70	灰色黏土質粉土
	第V次層	2-20		灰色粉土質細砂，往盆地東南方漸變為礫石
	第IV次層	6-29		灰色粉土質黏土，含低於10%之砂
	第III次層	0-19		中等緊密灰色粉土質細砂，含多量貝屑
	第II次層	0-19		灰色粉土質黏土，粉土含量介於45%至70%
	第I次層	0-15		中等緊密至緊密砂，含20%左右之細料
	景美層	0-140		黃棕色卵礫石，中部夾有黏土層
	新莊層	0-125		灰色至黃棕色砂質黏土，偶夾數公尺至十數公尺礫石

台北盆地之地下水狀況，由於台北盆地於1950至1970年代於景美層長期抽取地下水，導致地下水位下降，而呈非靜態之分佈。自1970年代起政府禁止抽取地下水後，地下水位開始回升，其水壓分佈與回升狀況如圖2所示。

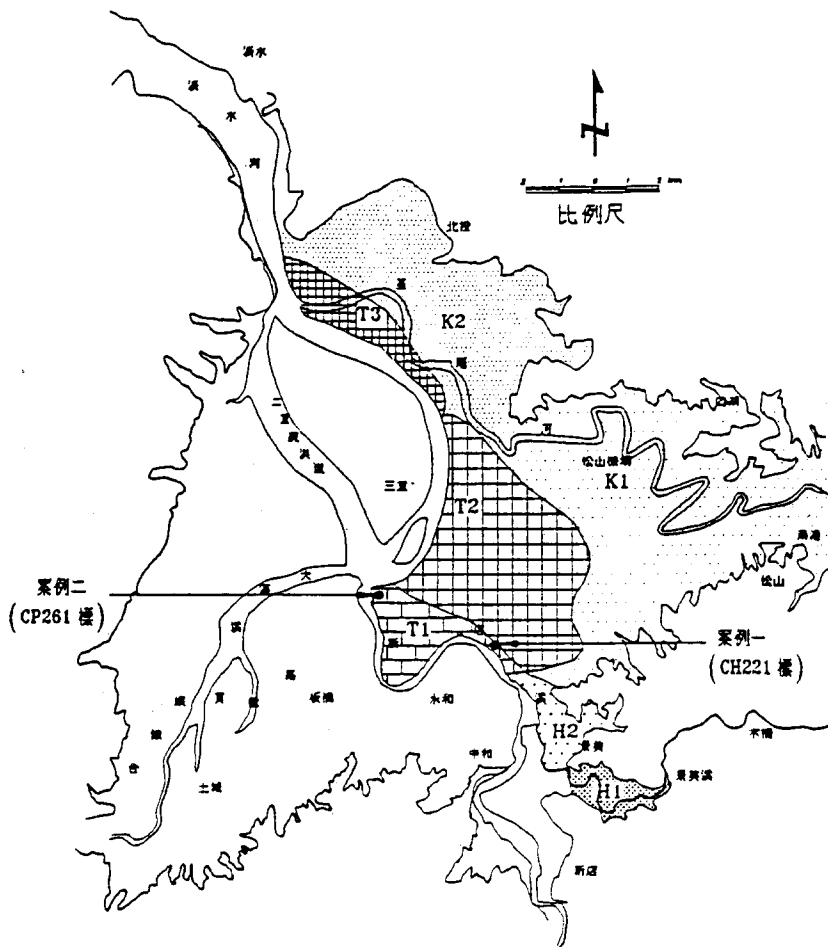


圖1 松山層地層分區平面位置圖

三. 深開挖破壞機制

進行深開挖工程時，除分階段挖除土方外，並需於開挖區內進行降水，使開挖面乾燥以便於開挖區內進行施工。深開挖施工安全所需考慮之破壞模式，建築技術規範[3]已經詳細說明。在上舉穩定方面，若開挖面下存在透水性極低之黏土層，假如抽水並未深入黏土層下方之透水層，則作用在黏土層下方之水壓力並未因上方抽水而降低，隨開挖作業之進行黏土層以上之土壤重量減少，而導致土壤因下方水壓頂起造成上舉破壞。

四. 地下水控制問題

有關因深開挖導致上舉破壞之問題，一般皆採用抽水降低水壓力加以處理。因景美層具高透水性，根據曹以松等(1985)[4]之歸納，台北盆地中央地區景美層之導水係數約 $0.05\text{m}^2/\text{sec}$ ，儲水係數約 0.002 。處理此礫石層高透水性之深開挖問題，以確保施工安全之對策主要有：(1)降低水壓力，(2)降低地層透水性，(3)

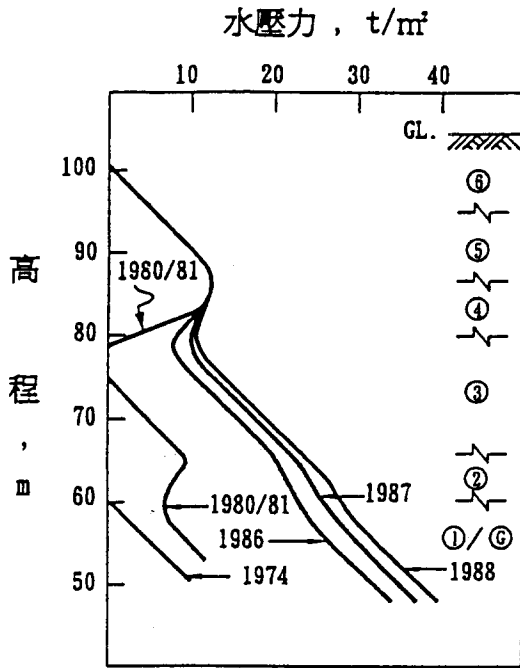


圖2 台北盆地水壓分佈示意圖

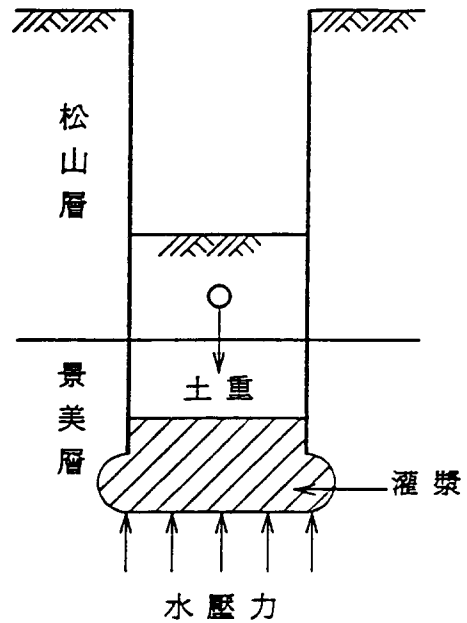


圖3 上舉破壞處理方案示意圖

降低水壓力與地層透水性併用，與(4)水中開挖等方法，各方法之困難性及優缺點分述如下：

(1)降低水壓力

進行深開挖工程時，一般皆藉由抽水降低水壓力以防止上舉破壞之發生。於施工階段採用此方法可藉由監測水壓之大小，確實掌控施工之安全，但由於景美層之高透水性，故於進行抽水時必需考慮大量抽水與排水問題。再者採用此工法時，由於抽水將導致地下水位下降，進而導致地表沉陷，此負面之影響需於設計與施工時特別加以考量。

(2)降低地層透水性

於開挖區底部施作止水幕及止水筏，在不抽水之情況下，以止水幕及止水筏以上土栓之重量抵抗其下方之水壓力為本施工法之基本構想，如圖3所示。採用此方案時擋土結構必需貫入至足夠深度，以便開挖面至止水筏間之土栓重量能與下方水壓力平衡。採用此工法時將因地盤改良之作用而具有增加被動區地盤之強度，減少擋土設施之側向位移，達到減少鄰近地表沉陷之優點，而沉陷量減少之程度則端視地盤改良之強度與位置而定。由於此工法之目的在減少地層之透水性，故改良區之完整性變得相當重要。地盤改良之局部空隙即可導致止水之目的失效。此外，礫石層中施作擋土結構將較松山層中施作困難。

(3)降低水壓力與地層透水性併用

此方法乃採用降低水壓力與降低地層透水性兩方案之組合，例如輔以抽水作業，則土柱重量可較少，擋土結構所需貫入礫石層深度亦可較少。其考量與優缺點如前述。

(4)水中開挖

本方法無需於開挖期間進行抽水，或降低地層透水性。開挖完全於水中進行，至預定深度後以特密管澆置底版混凝土。採用此方法時，原導致不穩定之開挖區底部水壓，將與開挖面上方之水壓互相平衡，而完全消除上舉或管湧破壞之模式。水中開挖完全不同於上述之降低水壓力或降低地層透水性之施工法。此法於施工時必需處理大量之濕廢土，且必需於水中進行開挖與澆置底版。由於在水中進行開挖故施工速度慢，並造成工作檢視困難與提高澆置底版之費用。但採用此工法所面臨之問題將隨開挖區面積之減小而降低。

五. 案例探討

本節針對台北都會區捷運系統新店線CH221標與板橋線CP261標通風井實際處理景美層水壓之施工案例做探討。其中CH221標採用降低地層透水性之方法施作，而CP261標則採用降低水壓力之方法加以處理，分述如下：

案例一

台北捷運新店線CH221標通風井位於台北市師大路與水源路交口東南側，新店溪東側，位置詳圖1。此通風井於施工階段作為潛盾出發井之用。通風井為一外徑26m之圓形結構，開挖深度約35m。通風井處松山層之厚度約36m，所組成之松山六次層層次相當明顯，於第五次層中存在厚約8m之上部礫石層。松山層下方則為景美礫石層，厚度大於35m。地下水分佈狀況，景美層之地下水位位於高程92m左右，松山層則位於高程97m至101m左右。

通風井之設計係採用降低水壓力與降低地層透水性併用之方法來克服景美層水壓力之問題。詳細之設計採用1.2m厚、57m深之連續壁，並於開挖區內連續壁底部全面施作5m厚之地盤改良，地層經改良後之透水係數需低於 10^{-5} cm/sec，形成一密閉之圓形結構，以其重量抵抗下方景美層之水壓力。但同時為達到抗上舉破壞安全係數1.25之要求，必需於施工期間底版構築完成前將連續壁底部之水位控制在高程85m以下。

為估計抽水量與探討抽水之可行性及風險，承商於施工前會執行現場抽水試驗。依據抽水試驗結果，估計為使景美層水位降至高程85m，所需之抽水量約為

4700CMH。承商衡量抽水量甚大，抽水期並長達1年，乃決定以增加開挖區內土柱重量之方案；承商所採用之方案為將連續壁加深至65m，並於開挖區內連續壁底部全面施作5m厚之地盤改良，形成一密閉之圓形結構，以其土柱重量平衡其下方之水壓力。實際施工所採用之通風井剖面如圖4所示。地盤改良分兩次注射，

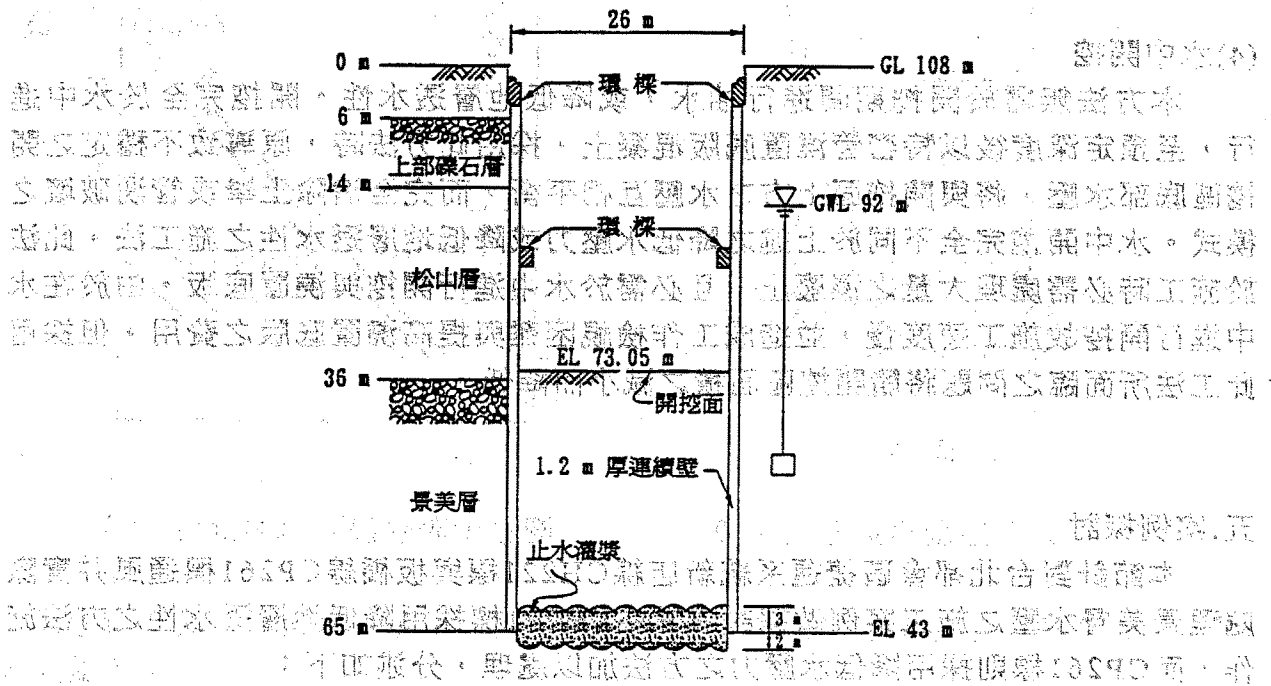


圖4 CH221標通風井剖面圖

分別採用水泥皂土(CB)及矽酸鈉溶液(SL)材料，以雙栓塞(Double Packer)工法施工，灌漿孔間距約2m，總灌漿量CB為219m³，SL為656m³。圖報指出，開挖區內礫石層對通風井之施作及地下水控制措施造成若干困難，例如施作深入景美層29m，總深度為65m之連續壁；於深度65m處之礫石層內施作5m之止水灌漿；及景美層地下水位可能回升至高於預期之高程等。對地下水位可能回升之對策，承商於連續壁每個公單元內裝設1支直徑0.5m，深度65m之鋼套管，共8支，一方面用於監測連續壁底部水壓之用，一方面作為緊急裝設抽水機作為抽水井之用。惟此緊急措施於施工期間皆毋須動員，而順利完成開挖作業。

台北捷運板橋線CP261標通風井B位於新店溪東岸，位置如圖1所示，圖5則為通風井B之剖面圖。此通風井於施工階段作為潛盾隧道之工作井。通風井B平面範圍長32m，寬22m，開挖深度約34m，通風井B基地之地層狀況，景美層位於深

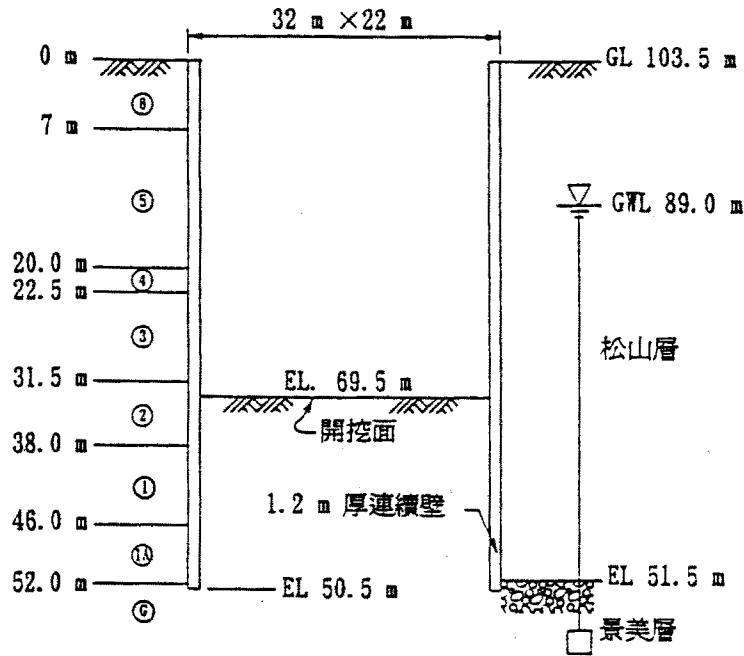


圖5 CP261標通風井B剖面圖

度約52m處。松山層為標準之六個次層，但於第一次層底部有一厚約6m之黏土層。地下水分佈狀況，景美層地下水位位於高程89m至90m，松山層則位於高程93m至100m之間。

通風井B連續壁之設計深度為53m，貫入景美層內約1m。如缺乏地下水控制措施，開挖階段將遭遇上舉破壞問題。通風井B承商特別採用地下水控制方式。施工開挖階段景美層之地下水位，自高程89m抽降至高程79.5m，以便將施工期間抗上舉安全係數提升至1.25以上。

為估計抽水量或抽水井數目，承商先進行現場抽水試驗。試驗井直徑560mm，深73m。試驗抽水量100CMH。經72小時抽水後距離5m之水壓計最大洩降量為0.4m。水壓計觀測結果並顯示地下水位具有潮汐漲落之變化。景美層地下水位之潮差約0.4m。由於地下水位受潮汐影響，加上抽水洩降量甚少，導致難以確實估計礫石層之水理參數。惟承商初步根據此抽水試驗結果，規劃12口直徑560mm抽水井，每個水井之抽水量為280至380CMH，並隨施工進度，分階段裝設抽水井。承商於第一階段裝設10口抽水井後，即進行多井抽水試驗，其總抽水量最大達3600CMH，抽水8天後通風井內礫石層水壓計地下水位由高程89m洩降至80.5m左右，距原預定洩降之目標高程79.5m已十分接近。因此由承商之多井抽水試驗顯示礫石層抽水之可行性。上述單井及多井抽水試驗，邵明忱等

(1995)[5]有詳細之報導。全面施工時承商實際採用10口抽水井，即可使水位洩降至高程79.5m。

六. 結論

隨深開挖工程開挖深度日益增加，台北盆地景美層之水壓狀況對工程之穩定有關鍵性之影響，礫石層之地下水控制措施因而十分重要。台北捷運工程之施工經驗，提供對礫石層地下水問題之多方面成功解決之方案，可供後續深開挖工程之參考。本文之二個案例顯示，抽水試驗為地下水控制方案採擇之重要依據。妥善規劃之抽水試驗計劃，例如多井抽水計劃可提供完善工程規劃之參考。

七. 誌謝

作者感謝於亞新工程顧問公司執行台北捷運系統大地工程專業顧問服務工作計劃期間，承獲承商青木/新亞共同承攬及大陸/鐵建共同承攬提供施工資料，及業方台北市捷運局同意本文之發表，深感誌謝。

八. 參考文獻

1. 亞新工程顧問公司(1987)，臺北市地層大地工程性質分析報告，臺北市政府工務局衛工處/榮民工程事業管理處委託辦理，計劃編號85043，臺北。
2. 傅怡仁、秦中天、王如龍、陳明山(1990)，台北盆地內礫石層分佈之研究，土木水利，臺北，第十六卷，第四期，第59-69頁。
3. 中華民國建築學會(1988)，建築技術規則建築構造編基礎構造設計規範，內政部營建署委託辦理，臺北，第50-54頁。
4. 曹以松、林俊男、譚義績、毛愛生(1985)，台北盆地地下水數學模式之模擬與應用，國立臺灣大學農業工程研究所/經濟部水資源統一規劃委員會，計劃編號72水科技八(二)3.(5)102第004號，臺北。
5. 邵明忱、黃立煌、馮堯松、劉格非(1995)，礫石層水理參數探討，卵礫石層地下工程研討會，臺北，臺灣。