

新莊副都心 逆打工法 深開挖工程 實務剖析

蔡琪駿／磐固工程股份有限公司經理

林婷媚／三力技術工程顧問股份有限公司土木技師

吳立華／三力技術工程顧問股份有限公司協理

謝旭昇／三力技術工程顧問股份有限公司負責人

摘要

大面積之地下開挖施工採用逆打工法，因可同時往地面層及地下層同時施工，故可縮短工期，若壁樁、地中壁與扶壁搭配得宜，更可節省成本。本文主要以一逆打案例說明在考量許多影響因素之下，設計時應針對個案配置不同的壁樁、地中壁與扶壁。同時簡單說明壁樁與地中壁共構時應注意事項、逆打鋼柱置放精度如何管控、預壓式樁底灌漿施作及連續壁外側防水新工法。

前言

新莊副都心為新北市新莊區北部之都市重劃區域，重劃區面積約 100 公頃。新莊區北部原為滯洪用途，後來解除此區之洪水管制，並重劃為新興的都市核心。本深開挖工程案例係位於新北市新莊區副都心段西側，基地略呈矩形，面積約 4,072 m² [1]。基地內興建之地上層為 22 層及 18 層兩棟大樓，地下層則採共同開挖，共 6 層地下室，基地平面配置如圖 1 所示，最大開挖深度為 23.25 m，開挖面積約 2,588 m²，屬大面積深開挖工程。結構設計採逆打工法進行地下室開挖，本案結合連續壁、壁樁、地中壁與扶壁之設計組合配合地下室樓版結構，於無內支撐條件下，順利完成地下室深開挖。冀望透過本工程設計施工與安全監測成果之說明，可對目前逆打工法實務運用上能有進一步認識。

地層與地下水位概況

台北盆地西側屬平原沖積地層，基地地層出露部分屬於第四紀全新世沖積層，為現代河流的沖積層，大部分為黏土及細砂，此外，此類最新的堆積物如砂土、礫石等亦散見於各溪流河道及低地。沖積層下方推估為更新世之林口層，由礫石及砂所構成，如圖 2 所示。根據基地地層特性，地表下 73.7 公尺範圍內之地層，由上而下約可歸納成九個主要層次，分別為：(1) 回填層、(2) 黃棕粉土質黏土層、(3) 灰色粉土質黏土層、(4) 灰色粉土質砂土層、(5) 灰色粉土質黏土夾砂質粉土層、(6) 灰色粉土質砂土與粉土質黏土互層、(7) 灰色粉土質黏土層、(8) 灰色粉土質砂土層或粉土質黏土層及 (9) 卵礫石層，土壤性質及強度參數簡化如表 1 所示 [2]。

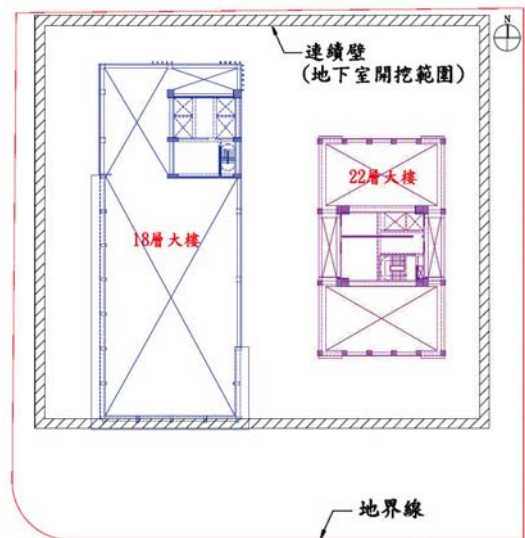


圖 1 18 層及 22 層大樓平面配置示意圖

表 1 土壤簡化參數表

層別	地層描述	層底分佈深 平均深度 (m)	N 值	γ_t (t/m^3)	s_u^* (t/m^2)	c'^* (t/m^2)	ϕ'^* (deg.)	E^* (t/m^2)
1	回填層	1.0 ~ 2.8 (2.3)	3~30 (14)	-	-	-	28	-
2	粉土質黏土	4.1 ~ 6.9 (5.1)	2~13 (6)	2.12	3.0	-	-	1500
3	粉土質黏土	9.1 ~ 11.1 (10.0)	3~10 (5)	1.84	2.0	-	-	1000
4	粉土質砂土	12.6 ~ 22.5 (16.1)	3~20 (10)	1.94	-	0	30	2500
5	粉土質黏土夾砂質粉土	29.0 ~ 42.8 (34.4)	4~26 (10)	1.89	4.5~9	0	30	2250~4500
6	粉土質砂土與粉土質黏土互層	46.0 ~ 59.4 (51.8)	10~36 (23)	1.92	10~14	0	32	5000~7000
7	粉土質黏土	(65.6)	15~33 (22)	1.90	15~17	-	-	7500~8500
8	粉土質砂土/粉土質黏土層	69.8 ~ 71.0 (70.3)	33~43 (39)	1.85	18	0	35	9000
9	卵礫石層	>70.3 (孔底深度)	>50	-	-	-	-	>10000



圖 2 區域地質圖 (摘自經濟部中央地質調查所)

基地內於鑽探期間之平均地下水位約位於地表下 5.0 m，研判有受附近施工抽水之影響，鑽探報告建議常態實際地下水位應約於地表下 2.0 m。

逆打工法深開挖設計考量

逆打工法之擋土型式與基礎型式會因建築規劃、工期、開挖深度、開挖面積、地層條件、周邊鄰房與容許變位量等因素而有不同。本案例依工程所需，於設計階段之考量包含：

- 採用地中壁與扶壁抑制開挖產生過大之壁體變位與地表沉陷。
- 逆打鋼柱承載樁與拉拔樁採壁樁，地中壁位置上壁樁採共構型式。
- 以樓版配合地中壁與扶壁作為開挖擋土支承，以完全無型鋼內支撐設計。

- 開挖過程中上舉安全性不足，需於 GL-34.4 m 黏土層下方進行解壓。
- 逆打鋼柱之壁樁須貫入卵礫石層 2 m，以預鑽孔配合挖掘抓掘樣本 (圖 3) 確認卵礫石層深度。

根據前述之考量所規劃之連續壁、壁樁、地中壁與扶壁平面配置，如圖 4 所示。基地內共配置 22 道扶壁及 2 道地中壁，其中地中壁於南北向及東西向各設置一道，呈十字型。中間十字地中壁將基地分割成邊長小於 30 m 之 4 塊小基地，依歐章焯等人^[3]研究可知開挖邊長小於 40 m

之開挖會有三向度效應，可抑制開挖產生之壁體變位。另外，地中壁與連續壁間以等值間距約 10 m 配置一道無筋扶壁，扶壁壁厚為 60 cm、長度 6 m，施作深度為 GL-9 m ~ -30 m。



圖 3 卵礫石層樣本

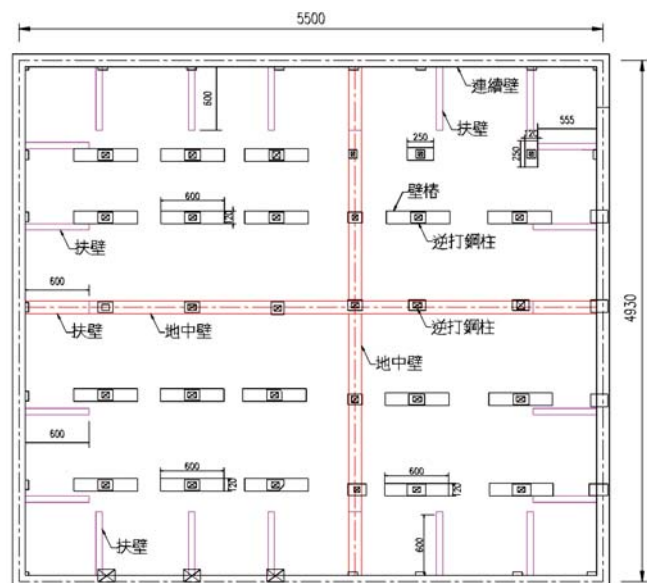


圖 4 連續壁、壁樁、地中壁與扶壁平面配置圖

此設計將原為大基地之深開挖，利用壁樁與地中壁結合，輔以無筋扶壁轉化成多個中小型深開挖，應可作為將價值工程充分運用於設計之代表。

上舉問題處理方式

地下室開挖至 GL-13.8 m 時，檢核 GL-34.4 m 黏土層下方上舉安全係數將低於規範安全係數 1.2，應於黏土層下方設置解壓機制，當開挖至最終開挖深度 GL-23.25 m 時黏土層下方水頭應解壓至 GL-16.84 m，方能符合規範要求。

上舉安全性檢核黏土層下方之土層主要以灰色粉土質砂土與粉土質黏土互層所組成，標準貫入試驗 N 值介於 10 至 36 之間，平均為 23，屬中等緊密至緊密程度或堅實至極堅實稠度，由鑽探成果可推估該層次雖屬透水地層但其整體透水係數應小於 10^{-3} m/sec。考量解壓井設於開挖區內易遭破壞，係於開挖區外設置 4 口深度 55 m 之解壓井，解壓井完成後試抽水成果約為 100 L/min，屬透水性不佳之地層，且抽水期間對開挖區內 GL-34.4 m 黏土層下方之水頭無什影響，研判粉土質砂土與粉土質黏土互層應被連續壁包裹成一複合阻水地層，上舉安全性檢核應可考慮此複合阻水地層，將不透水層往下延伸，提高上舉安全性。於開挖區外設置 4 口解壓井配合解壓抽水成果研判，應可先進行開挖，如開挖過程有湧水情事發生，再於開挖區外增設解壓井即可，實際整個地下室開挖過程中並無任何上舉安全性不足產生湧水跡象。

上舉安全性處理應可透過地層調查、抽水試驗、安全監控和專業分析判斷，作安全適當之處理，但於透水性佳之地層時其處理方式可能需採大規模抽水或封底灌漿等積極作為，應審慎規劃。

壁樁與地中壁共構

逆打鋼柱壁樁與地中壁共構設計，考慮地中壁效應，壁樁深度（45 m）較獨立壁樁深度（約 72 m，入承載卵礫石層 2 m）減少約 27 m，共構設計可縮短壁樁深度與地中壁數量，但施工實務上需詳加考量其產生安全性、穩定性與施工品質等下列問題：

- 地中壁與壁樁介面需能連結。
- 地中壁需配合樁位調整成折線。
- 十字交界處有逆打鋼柱壁樁需一體成型（圖 5）。
- 逆打鋼柱壁樁槽溝挖掘、鋼筋籠施作與置放和混凝土澆灌等作業需嚴格管控。

逆打鋼柱置放精度管控

逆打鋼柱置放一般可分為先插法與後插法兩種方式，目前以先插法為主流，各廠商所採取之置放精度管控方法各有不同。本案逆打鋼柱長度約 25 m，重量約 25t，採用先插法置放，精度管控方法主要係以全自動計讀系統（圖 6）於混凝土澆置過程中全程監控，共 27 支逆打鋼柱精度均達設計需求 1/500，地下六樓逆打鋼柱置放案例，無須於開挖後進行柱位調整（圖 7），此施作方法應可供參考。



圖 5 十字型鋼筋籠



圖 6 逆打鋼柱偏移量採自動計讀



圖 7 逆打鋼柱置於柱中無偏心情況

預壓式樁底灌漿

預壓式樁底灌漿工法^[4]，係於鋼筋籠製作時利用壁體完整性檢測預留之 PVC（管徑 2"）作為灌漿管，管底裝設單向逆止閥與高壓管，於鋼筋籠置放時一起裝設（圖 8）。俟樁體混凝土強度達 140 kg/cm² 後，以單環塞（圖 9）進行硬化劑注入樁底下 100 cm 之地層，利用大於 20 kg/cm² 之灌漿壓力，對壁樁底部施予預壓力，利用硬化劑擠壓滲透方式固結樁底可能存在之淤泥，使改良範圍強度達設計要求，確保基樁承载力。灌漿泵浦設備須加裝流量計與壓力錶，加壓注入硬化劑時，須隨時查驗其注入壓力之變化，若遇故障時須儘速換裝，以確保有效壓力之注入。

預壓式樁底灌漿工法因利用壁體完整性檢測預留之 PVC 作為灌漿管，可省去預留鋼管之工料，並可縮短樁底灌漿之作業工期。此工法已經樁載重試驗^[5] 進行驗證，由驗證結果（圖 10）可知經預壓式樁底灌漿後，基樁之承载力有明顯之提升，並可達設計需求。



圖 8 連接 PVC 管之單向逆止閥與高壓管



圖 9 單環塞封隔器（膨脹後）

連續壁外側防水新工法

連續壁由臨時擋土結構視為永久結構牆已為現階段主流規劃，在連續壁內可設置複壁或導水板與截水溝等引水系統，處理連續壁滲漏水問題，由於水中混凝土本身水密性均無法充分阻水，無論施工品質優劣，連續壁開挖後均會有滲漏水問題存在。傳統連續壁內處理滲漏水方法，完工後仍經常須長期進行維修。

本案採用連續壁外側防水新工法^[6]，於連續壁母單元端板外側預埋導軌（圖 11），再於公單元鋼筋籠開挖面上方設置防水帆布與導桿（圖 12），置入母單元端板外側預埋導軌內。此新工法特色是克服傳統工法於公母單元接頭處無法設置防水帆布或無法清洗外側接頭之問題，構成整體外側防水機制。

逆打深開挖紀實

基地內先行施作壁樁、地中壁與扶壁，連續壁後施作。由於基地內配置許多壁樁、地中壁與扶壁，為了

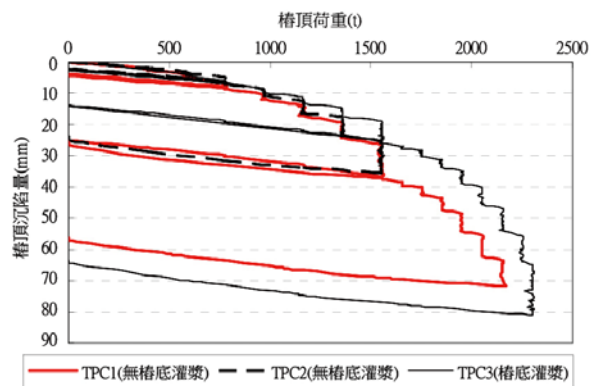


圖 10 樁頂荷重與樁頂沉陷量關係



圖 11 母單元外側預埋導軌



圖 12 公單元開挖面上設置帆布與導桿

連續壁施作期間重機具行走之安全，開挖面以上採劣質混凝土填充，開挖期間卻造成開挖動線之阻礙，全程需配合劣質混凝土敲除，才能順利進行土方運棄作業。然也因基地內配置多道扶壁與地中壁形成足夠之三向度效應，使得最終開挖面距地下五層樓樓版之 7.8 m 間距在無配置支撐情況下得以順利完成（圖 13）。

另開挖過程中發現部分入卵礫石層之壁樁與土壤間有泌水情況產生，水量隨開挖深度增加逐漸變多，現場處理方式是以集水溝將水集中後抽離，以不影響開挖作業及後續 P.C. 面澆置為原則。

開挖期間安全監測成果摘要

為了解開挖期間對基地及周圍環境造成之影響，於是在基地內外配置監測儀器，其項目包含土中傾度管、壁內傾度管、連續壁鋼筋計、地面沉陷點、建物

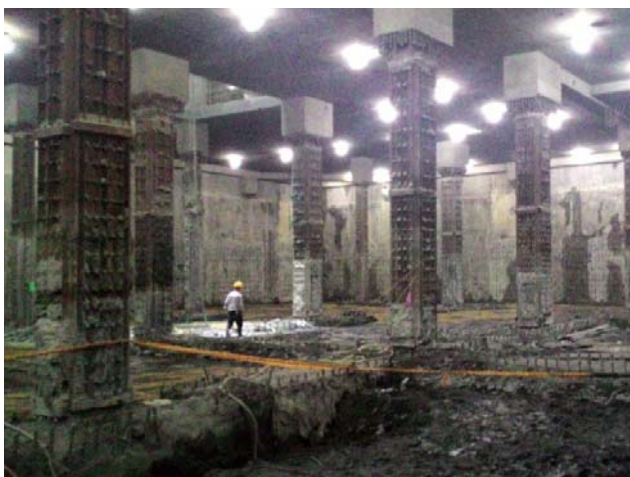


圖 13 最後一階無支撐開挖

傾斜計、電子式水位計及電子式水壓計等，佈設位置如圖 14 所示。

最終開挖階段壁中傾度管所測得之最大變位值為 -6.96 mm (SID1)、14.02 mm (SID2)、9.27 mm (SID3) 及 31.35 mm (SID4)，量得之變位量皆在安全管控範圍內，且值偏小，推測可能與傾度管埋設於鄰近地中壁有關，若傾度管能埋設於地中壁與連續壁間，依謝百鈞等人^[7]之研究（圖 15）或許可測得較大之變位量。

彙整壁中傾度管 SID4 及土中傾度管 SIS4 之觀測資料並繪製如圖 16 及圖 17，發現各階開挖變形曲線呈不一致之變化，推測可能為儀器量測誤差所造成。

結語

逆打工法已廣泛應用於都會區內大面積之深開挖，甚至於都更案也已有採用逆打之案件。逆打工法最常遇及之問題點在於最後一階開挖是否要架設支撐，此與扶壁、地中壁配置有關，工程若能於設計階

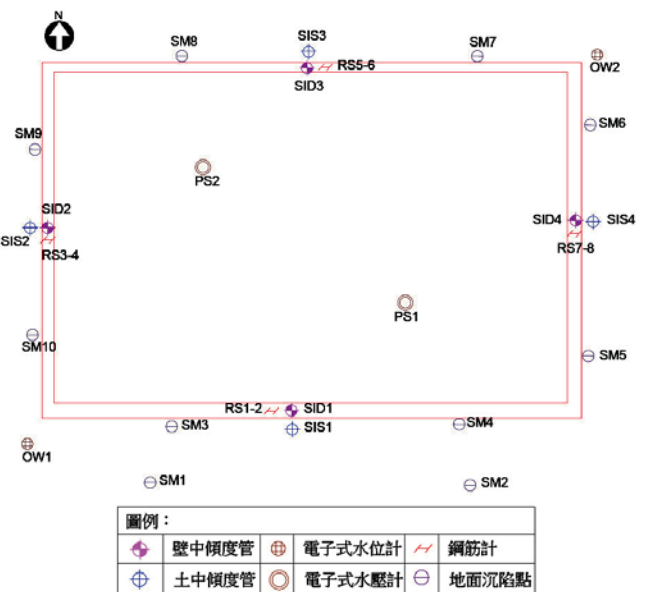


圖 14 監測儀器平面配置圖

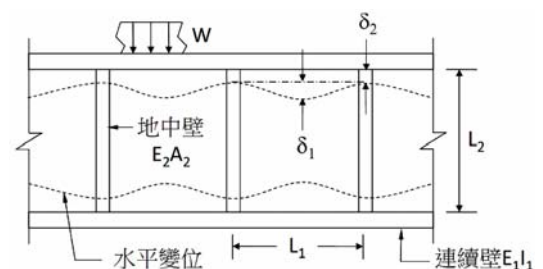


圖 15 連續壁與地中壁支承示意

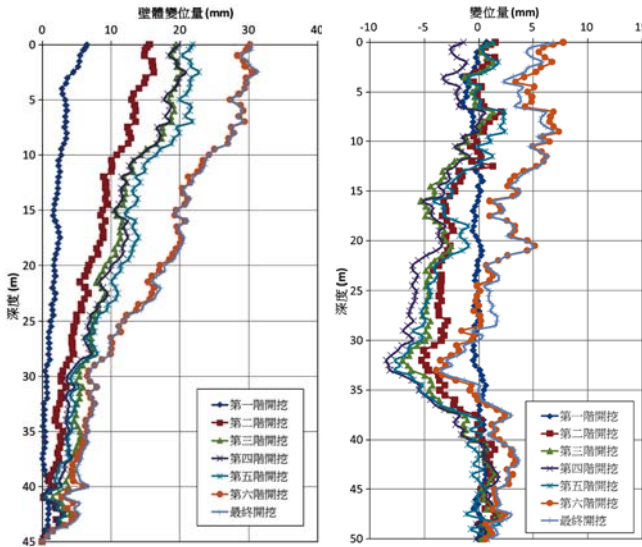


圖 16 SID4 各階開挖變位量隨深度變化圖


圖 17 SIS4 各階開挖變位量隨深度變化圖

段就將擋土措施結合結構需求作整體規劃，則能更有效節省時間及成本。除此之外在台北盆地進行深開挖可能會遇上舉問題，解壓措施在逆打功法如何設置及保護皆需於設計階段納入考量。

誌謝

感謝太子建設陳博仁先生提供相關資訊，使得本篇文章得以完成。

參考文獻

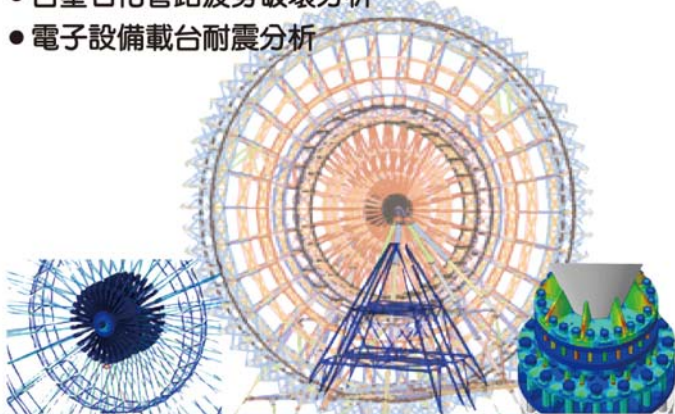
1. 太子建設，新莊副都心段商辦集合住宅新建工程建築結構圖說。
2. 三力技術工程顧問股份有限公司，太子建設新北市新莊區副都心段一小段 431、431-1 地號地基調查及基礎分析報告，民國 101 年 8 月。
3. C. Y. Ou, D. C. Chiou and T. S. Wu (1996) "Three-Dimensional Finite Element Analysis of Deep Excavations," *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 122, No. 5, pp. 337-345.
4. 謝旭昇、王崑瑞、張龍騰、蘇晴茂，基樁樁底灌漿預壓裝置專利，證書號數：M322953。
5. 謝旭昇、林婷媚、王崑瑞、盧怡志（2011），「簡易型樁底灌漿之理論背景及施工案例」，海峽兩岸地工技術 / 岩土工程交流研討會，廣州。
6. 劉泉枝，地下連續壁之外側防水結構裝置及其公單元壁外不透水材安裝結構裝置專利，證書號數：M462761。
7. Pio-Go Hsieh, Chang-Yu Ou and Chiang Shih (2012). "A Simplified Plane Strain Analysis of Lateral Wall Deflection for Excavations with Cross Walls," *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 49, pp. 1134-1146. 

瑞其科技
最專業 CAE 技術團隊 國家級 CAE 認證實驗室



成功案例 (土木工程相關)

- 麗寶樂園 Sky Dream 摩天輪 (全球第4大) 結構分析
- 公共藝術-生命之花結構分析與補強
- 裝置藝術-金屬花之流場與結構分析 (流固耦合)
- 台塑石化管路疲勞破壞分析
- 電子設備載台耐震分析



連絡電話: 04-3609-1001 傳真: 04-2452-3129
地址: 台中市西屯區西屯路二段256巷6號10樓之6

YB 創新、永續、國際化



菲律賓電廠HDPE進水管工程

水刀施工法

油壓式擴座工法



逆打鋼柱及基樁工法

海上鋼管樁打設工法

祐彬企業集團

網站: www.yuo-bin.com.tw

北區營運中心:
電話: (03)390-7858
傳真: (03)389-4352
E-mail: yb.n5930@msa.hinet.net

中區營運中心:
電話: (04)2693-3881
傳真: (04)2693-3874
E-mail: ybweb@ms63.hinet.net