

地工技術

深開挖

明日的深開挖工程~由台北大巨蛋談起

胡邵敏

一、導言

各位地工同行與前輩們:大家安好!筆者老兵承蒙 冀執行長、蘇主任委員與董總編輯厚愛,被叮嚀務必要在近期的「地工技術」專欄中對「深開挖工程」專題作導言。讓才疏學淺與久未執筆的老兵正感為難走投無路之際,幸而遇上台北市爆出「大巨蛋開挖可能導致捷運板南線崩塌」事件,打鐵趁熱,就選「台北大巨蛋案談起」為題討論:大巨蛋工址土質、大巨蛋地下開挖、捷運板南線地下結構、本案設計規劃與近接施工影響研判、限建區範圍規定執行。既然已藉「地工技術」這棵大樹頭下借蔭設攤,以後歡迎大家來逗陣。本攤定名為「明日的深開挖工程」,有檢討當今工程實務不足之處,明天要更好的期許。

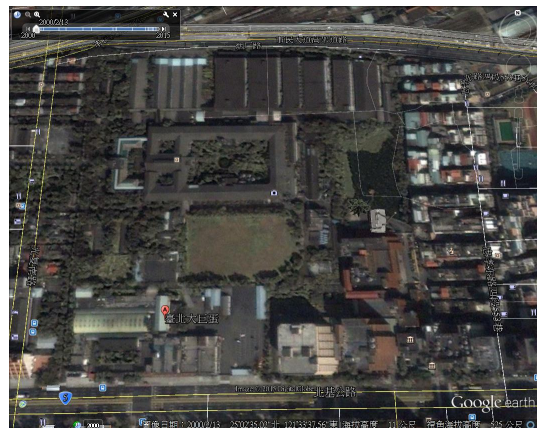
二、工址

大巨蛋工址位於台北市東區忠孝東路四段與光復南路交界處,亦即位於國父紀念館北側松山菸廠舊址。松山菸廠初設於日據時期1937年,光復後改稱台灣省菸酒公賣局松山菸廠,至1998年停止生產。2001年台北市政府指定為第99處市定古蹟。松山菸廠工址略呈正方形(390公尺×370公尺)。大巨蛋全部開發區域成“L”型,只佔菸廠之南側180m寬及西側約82m寬。

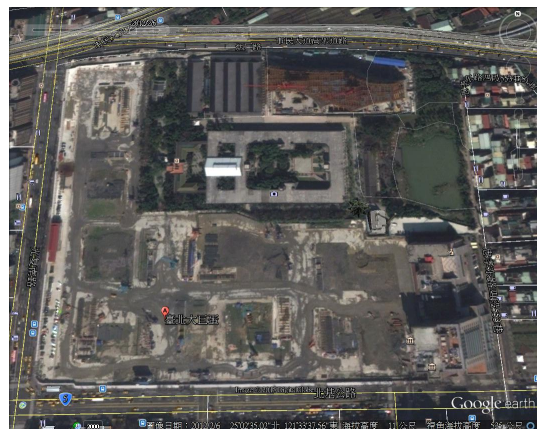
照片一為2000年菸廠全區之衛星空照。

照片二為2012年2月大巨蛋擋土牆連續壁施工中之衛星空照,地上建物已拆除。

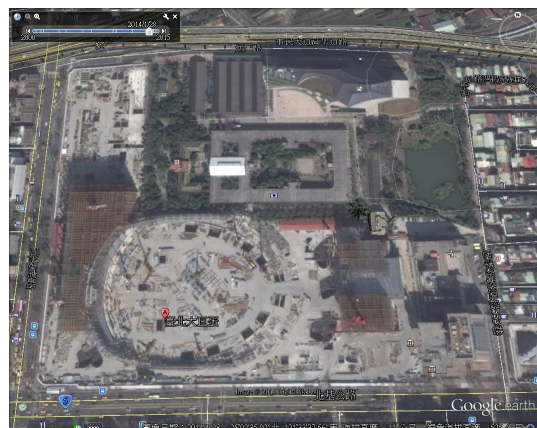
照片三為2014年1月時大巨蛋工地基礎施工衛星空照。



照片一 2000年菸廠全區之衛星空照



照片二 2012年2月大巨蛋擋土牆連續壁施工中之衛星空照



照片三 2014年1月時大巨蛋工地基礎施工衛星空照

四、大巨蛋地下開挖擋土設計與板南線地下結構

大巨蛋地下結構沿忠孝東路側分為三區開挖構築，在光復南路端擬挖深度 20.1 公尺，在逸仙路端開挖深度 21.1 公尺，中間大巨蛋館區開挖深度為 17.6 公尺。擋土措施則採用連續壁，壁厚分 1.2 公尺及 1.5 公尺兩種，深度則分為四種：36 公尺、39 公尺、40 公尺及 41 公尺。此外，亦採用內扶壁作為輔助措施以減少開挖時壁體內擠變位。據知，大巨蛋地下開挖是以逆打工法施工。

北捷板南線之地下結構則有國父紀念館站地下站體、西潛盾隧道、中山學園地下通廊及東潛盾隧道。東西潛盾隧道除長度不同外，其直徑、環片均相同。隧道深度 11~13m 處於極軟弱(N<4)之黏土層內。國父紀念館地下站體深 16.2 公尺，以 1 公尺厚、33 公尺深連續壁作擋土措施，以半逆打工法施築。中山學園地下通廊中間區域開挖深度 17.8 公尺，南北側開挖深度 11.2 公尺。地下擋土結構東西兩端採 1 公尺厚，35 公尺深連續壁、南北兩側則各用兩道 0.8 公尺及 0.6 公尺連續壁，深度分別為 26 公尺及 27 公尺，採用明挖覆蓋順打工法施工。

大巨蛋之擋土連續壁深度與開挖深度比(L/H)，在 1.94~2.05 範圍，與板南線 BL12(國父紀念館站)之設計比較 L/H=2.04，中山學園 L/H=1.97，三者接近相同。大巨蛋設計採用之連續壁厚(1.2m 及 1.5m)均比 BL12 之 1m 連續壁厚度上增加甚多，深度上貫入 SM 層之長度亦有增加。兼且加上內扶壁，從擋土措施之設計考量而言，當今之設計實比 20 年前板南線 BL12 之設計更趨安全，理應在開挖工程所導致周邊地層變位上，要比 BL12 站為低才合理。

表二列出大巨蛋之開挖設計與板南線國父紀念館站(BL12)至市政府站(BL13)間地下結構資料。

五、監測結果

國父紀念館站(BL12)開挖完成或底板完成是三處壁中傾度管(SID)之側向位移監測值為 53.6mm，50.4mm，52.5mm。中山學園之 SID1 監測值為 37.9mm，其他七處均小於 30mm。若取側向位移監測最大值(δh_{max})與開挖深度(H)作比對，BL12 及中山學園分別為：

$$\delta h_{max} / H = 0.33\% \text{ (BL12)}$$

$$\delta h_{max} / H = 0.21\% \text{ (中山學園)}$$

表二 大巨蛋與板南線地下結構 (板南線資料摘自亞新公司，1995)

	國父紀念館站側	大巨蛋側	逸仙路側
開挖深度	20.1m	17.6m	21.1m
連續壁	Type A, t=1.2m, L=39m Type D ₁ , t=1.5m, L=36m	Type D ₁ , t=1.5m, L=36m	Type C, t=1.2m, L=41m Type A, t=1.2m, L=40m
扶壁	t=1.2m, L=36-41m, b=6m	t=1.0m, L=36m, b=6m	不詳
與板南線結構距離	距站體連續壁≈12m	距潛盾西隧道外緣≈13m 距中山學園地下通廊外牆≈4m	距潛盾東隧道外緣≈18m
板南線地下結構	國父紀念館站 連續壁 t=1.0m, L=33m 站體挖深=16.2m	西隧道 長：87m 直徑：6.05m 環片：6×25×100cm 隧道深：11.3~11.6m 中山學園地下通廊 面積：83m×38m 中部深度：17.8m 南北端深度：11.2m 東西端連續壁：t=1.0m, L=35m 南端連續壁：D=0.8m, L=26m 北端連續壁：D=0.6m, L=27m	東隧道 長：360m 直徑：6.05m 環片：6×25×100cm 隧道深：12.2~12.9m

地工技術

依聯合報(2015.4.22)及自由時報(2015.4.30)之報導,大巨蛋在4月下旬時開挖深度約20m,只剩第四層大底結構尚未完成,至4/24止之壁體內傾度管最大監測值為69.15mm,壁體外傾度管(SIS)最大為95.12mm,由是,可得大巨蛋之

$$\delta h_{\max}/H = \frac{69.15\text{mm}}{20000\text{mm}} = 0.35\% \text{ (大巨蛋)}$$

比BL12 0.33%稍大。若以壁體外傾度管(SIS)之監測值作對比,

$$\delta h_{\max}/H = \frac{95.12\text{mm}}{20000\text{mm}} = 0.48\%,$$

顯示開挖區外變形量高於壁體變形量。

六、近接施工對板南線之影響

大巨蛋施工對鄰近板南線之變位影響主要來自三方面,依發生先後:

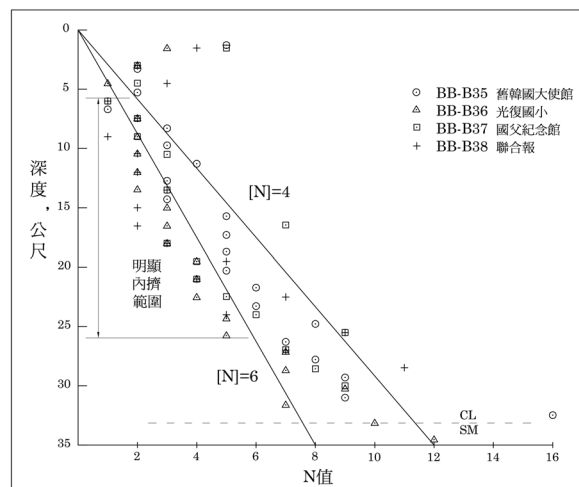
1. 大巨蛋連續壁槽溝挖掘所引致之軟土內擠,造成連續壁周圍土壤下沉與側移。
2. 大巨蛋基礎下方之砂層抽降水,抽水井周圍土層可因水壓下降而產生沉陷。
3. 大巨蛋地下開挖所造成之擋土措施內擠,擋土壁背後土壤下沉與側移。

由上節壁中傾度管(SID)所監測到之壁體側向位移量是第(3)點之施工結果,亦是現時業界作「捷運影響評估報告」之主要理論分析與評估依據。至於第(1)(2)點,通常在「影響評估報告」中不作評估或只交待依承商施工品質而定。

本區粘土非常軟弱,施作連續壁槽溝挖掘時無法避免槽溝外軟土內擠而被挖出。槽溝開挖時間越長,內擠土量越大,造成之失土量越大。從內擠深度以上之土層受重力下沉及側移向槽溝。最後在槽溝兩側形成沉陷槽,延伸範圍往往與槽溝挖深相近。利用筆者(2007)建議之內擠研判方法如圖三。槽溝開挖內擠估計範圍在地表下6m至26m深度內。參考同區域統一國際大樓經驗,該案連續壁深58m,槽溝開挖引致之最大沉陷量44mm,沉陷槽延伸至50m外。大巨蛋案連續壁施工所實際引致之土壤沉陷、位移,目前未有監測記錄以資佐證,但由壁外傾度管(SIS)所量測之側向位移

量超過壁中傾度管(SID)達26mm之量,推估忠孝東路四段因連續壁施工所導致之沉陷量可達30mm,該側土體之沉陷及側移,影響最大的應是板南線之潛盾隧道。潛盾隧道雖被視為柔性結構,但受潛盾兩端站體或地下結構連結端影響,短隧道較長隧道之自由度較低。板南線之東側隧道與中山學園端連結,為柔性結構變形之受力點,無論隧道受水平位移、垂直沉陷、或扭轉變位,逸仙路口附近位置應是環片受最大應力”熱點”。依自由時報(2015.4.30)之報導,捷運局提供4月24日之資料有:

1. 兩處壁中傾度管、四處壁外傾度管、五處隧道內斷面收斂點,及一處地面沉陷點,的確超出「行動值」。
2. 逸仙路與忠孝東路口之連續壁「扭曲」(側向位移)最大值已達97mm,超出行動值55mm。
3. 部分軌道面最大傾斜5mm。



圖三 忠孝東路四段黏土層槽溝開挖內擠範圍估測

七、待研討要點

1. 有關大巨蛋開挖變位方面
 - (1) 後續變位增量
 - (2) 檢討內扶壁之成效
 - (3) 為何設計開挖擋土已較保守,但側向變位反而較大。
 - (4) 連續壁施工實際所造成之影響。

地工技術

2. 有關捷運板南線結構變位方面

(1) 隧道結構之垂直變形剖面，水平變位線形，扭曲角度變形量。

(2) 監測參考點之選擇。

(3) 環片之收斂點絕對變位量(BL12 隧道施工時有數處環片收斂點變位量，已達26mm，超出當時之行動值，加上現時25mm容許值，環片實際變形量已達51mm！)

3. 有關捷運限建之執行方面

(1) 「捷運影響評估」為何可以忽略連續壁施工及抽水影響。

(2) 捷運之結構變形監測單純由承商之分包商執行，超出管理值時，捷運主管單位只是被動告知。有那位施工承商肯自動誠實自首？捷運主管單位只要在監測值尚在管理值之內，即不主動查核追蹤，易被不誠實承商在監測數據上「動手腳」。

(3) 目前所有管理值是針對單一案件而定。假如日後大巨蛋旁(例如財稅中心好了)也要開挖時，逸仙路口隧道環片也要用同樣容許值？

(4) 為何大巨蛋案監測值遠超出行動值，而未見有任何「行動措施」，與捷運局監督捷運承商之嚴謹有天壤之別。

參考文獻

亞新工程顧問公司 (1989a)，台北盆地內台北市區地層之大地工程特性。

亞新工程顧問公司 (1989b)，Report on Geotechnical Investigation for the Taipei Mass Rapid Transit Systems Sungshan- Panchiao Line Analysis and Recommendations.

亞新工程顧問股份有限公司 (1995)，台北都會區捷運系統南港線CN256標國父紀念館站及忠孝敦化站至國父紀念館站及國父紀念館站至市政府站間隧道工程觀測結果總報告，中華民國八十四年八月。

胡邵敏 (2007)，軟土開挖之擠壓現象及其影響，第十二屆大地工程學術研討會論文。

聯合報 (2015.4.22)，A3版。

自由時報 (2015.4.30)，A1版。