

# 軟弱地盤 32 公尺深開挖案例探討

莊孟翰，周忠仁，蘇鼎鈞，王劍虹

亞新工程顧問股份有限公司

## 摘要

近十幾年來，台北市發展迅速，人口集中，土地使用率也相對提高，因此建築物除了愈蓋愈高外，為了解決停車問題，地下室也愈挖愈深。本文主要係以目前台北市大面積開挖深度最深之建築案例進行探討，本案例以施作扶壁式連續壁進行改良，以提高擋土結構物之勁度，經比對基地連續壁側向位移之監測結果顯示，施作扶壁側之連續壁可降低約40%之無扶壁側連續壁最大側向位移量，對於鄰房保護具顯著之改良成效，謹提出本案例並期供日後類似工程之參考採擇。

## A CASE STUDY OF 32M-DEEP EXCAVATION IN SOFT GROUND

M. H. Chuang, C. R. Chou, T. C. Su and C. H. Wang

MOH AND ASSOCIATES, INC.

## ABSTRACT

As a result of rapid development in the City of Taipei in the past decade, land has become scarce and new developments tend to go higher and higher. On the other hand, basements tend to be deeper and deeper to satisfy the demand for parking spaces. Building protection has thus become an important issue for nearly all the new developments and various means have been attempted to reduce damaging potential of excavations to adjacent buildings. It has been found that in the cases studied, the use of buttresses reduced diaphragm wall deflections by 40%. The case history serves as a valuable reference for future underground constructions.

## 一、前言

台北盆地中之基隆河流域沉積平原，地層中多由深厚之軟弱粘土層所組成，此軟弱粘土一般具有以下特性：(1)自然含水量等於或高於液性限度，SPT-N值約介於1~4之間，具極軟弱至軟弱稠度；(2)靈敏性高，地層極易受擾動而致不排水剪力強度大幅降低之情形。

在上述之厚層軟弱粘土層中，為確保開挖區內之穩定性及區邊建物之安全，擋土壁往往須貫入開挖面下相當長度，且由於被動側土壓力過小，在深開挖過程中擋土壁將產生較大側向位移，同時亦將引致開挖區外側地面及建物之過量沉陷，危及建物及公共安全；為防止或緩和開挖面下方地層發生隆起現象及擋土壁大幅變位行為，通常設計時除加強擋土壁勁度及強化支撐系統或加長壁體長度外，亦可配合基地內之地質改良，提高土壤強度，以增加被動土壓抵抗；目前一般較常採地中版(樑)或T型扶壁之輔助，作為提供類似內支撐功用或提高被動土壓機制，以減低開挖施工造成之壁體側向位移，達到建物保護之目的。本文主要係介紹目前台北市建築

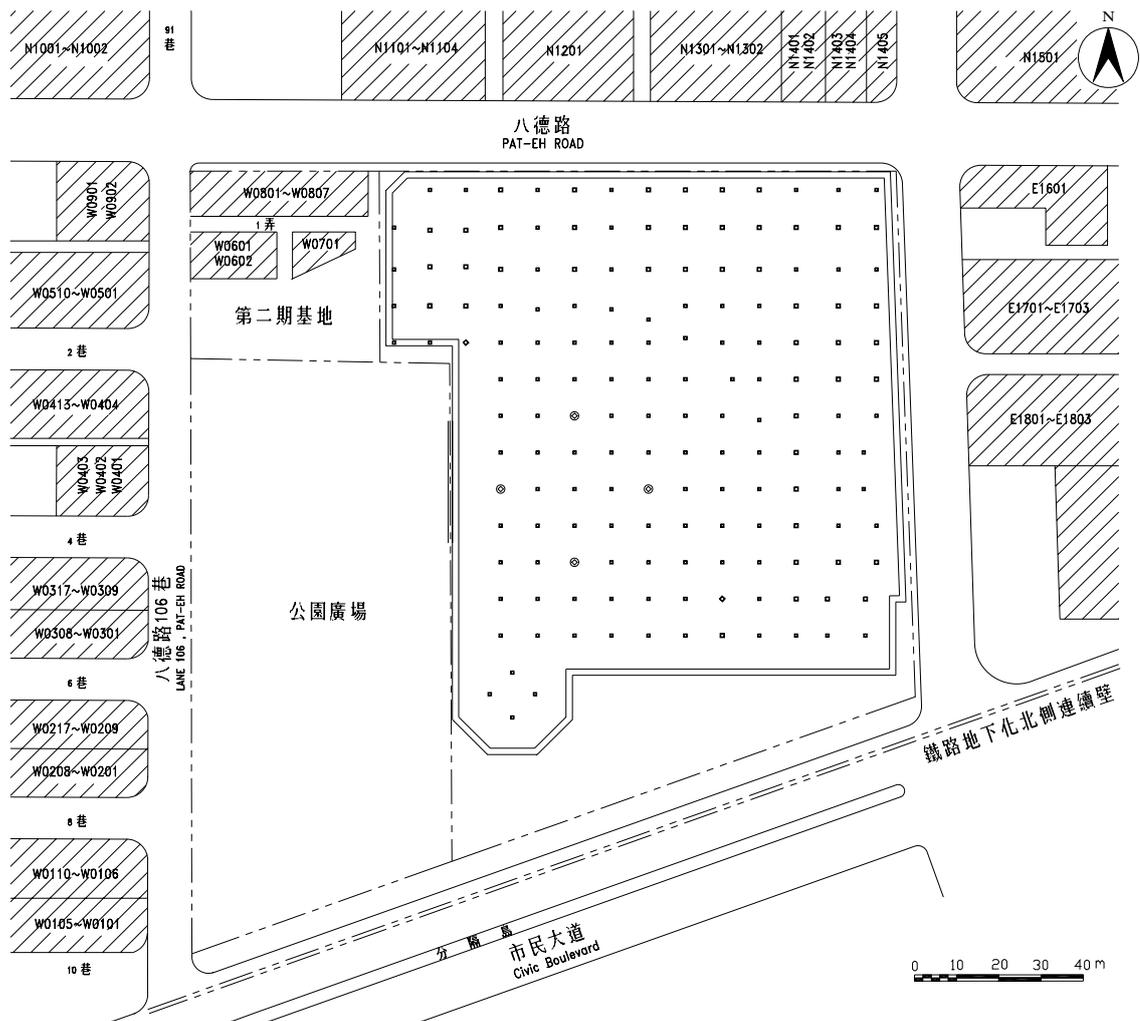
基地中大面積開挖深度最深之工程案例，並針對其利用扶壁式連續壁進行改良之成效進行探討。

## 二、工程及鄰近建物概況

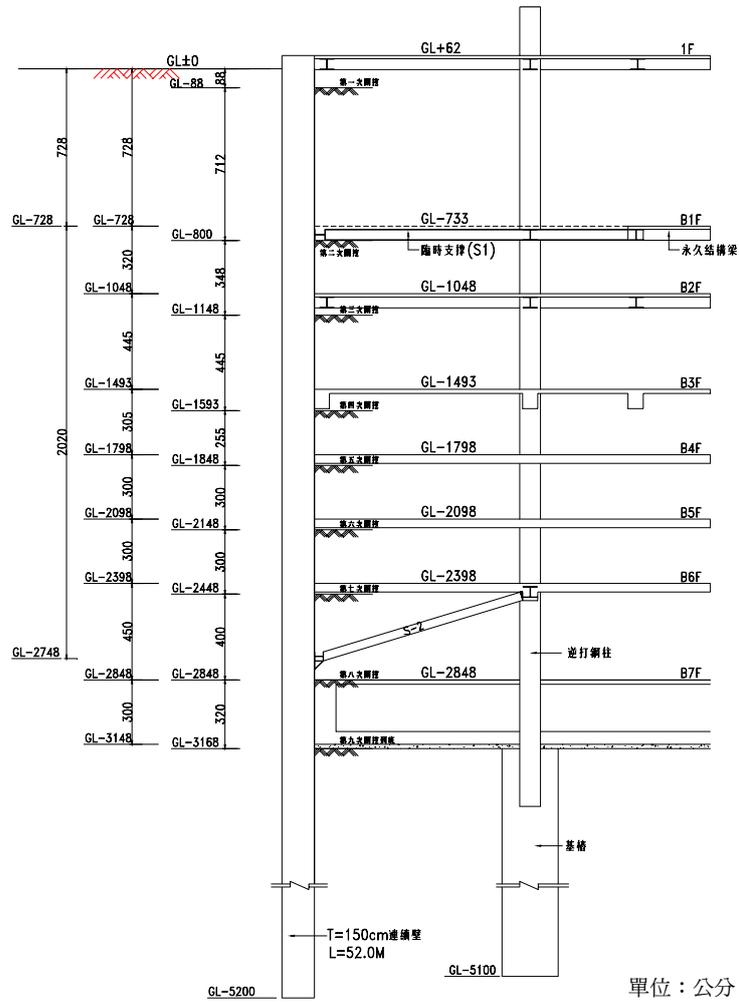
### 2.1 工程概況

本工程基地係位於台北市八德路四段、東寧路及市民大道間，基地平面配置如圖一所示，基地長約125公尺、寬約125公尺，建築面積約16,485m<sup>2</sup>，本建築物為一地上十二層、地下八層之休閒購物中心，地下三層以下為鋼筋混凝土結構；地下三層至地下一層為SRC/S結構；而地面層以上則為鋼結構。其球體區(Sphere Area)係一地面一層至地上十二層之鋼結構，利用4支SRC柱(Mega Column)作為主要支撐，其五至七層為主桁架，整區之最終開挖深度約為31.68公尺，係目前台北市建築基地中開挖深度最深者。地下室擋土結構採1.5公尺厚、52公尺深達卵礫石層之連續壁，分成九階(地下八層)進行開挖，並採用逆打方式配合臨時支撐施工構築，有關基地開挖程序示意如圖二所示。

本基地現場地下結構體施工自1998/3/6連續壁構築工程起，次第於1999/3/15完成第一階開挖；1999/6/24完成第二階開挖；1999/8/21完成第三階開挖；1999/10/26完成第四階開挖；1999/12/19完成第五階開挖；2000/1/21完成第六階開挖；2000/3/10完成第七階開挖；2000/5/18完成第八階開挖；2000/7/25完成第九階開挖；而於2000/10/25完成筏基及B8F樓版構築工作，有關本工程施工過程及竣工狀況詳相片一及相片二所示。



圖一 基地與鄰近建物相關位置圖



圖二 開挖施工程序示意圖



相片一 2000年11月工程施工過程相片



相片二 2001年07月工程竣工相片

## 2.2 鄰近建物概況

有關本基地周圍建物概況簡述如下：(1)基地西北側—該側地界線長約60公尺，有十棟三至四層樓之樓房，其基礎型式均為部分地下室；(2)基地西側—該側緊鄰公園廣場，地界線長約110公尺，公園廣場西側隔11公尺寬之巷道(八德路106巷)為四至五層之民房，基礎多屬獨立基腳，僅少數樓房有部分地下室，而靠近北側巷口之七層樓房，則採地下一層之筏式基礎；(3)基地北側—該側地界線長約125公尺，隔22公尺寬之八德路為二至九層之樓房，除七至九層之樓房採地下二層之筏式基礎外，餘二層樓之民房均無地下室；(4)基地東側—該側地界線長約125公尺，隔22公尺寬之東寧路為四層之樓房，其基礎型式多為部份地下室；(5)基地南側—該側界線長約120公尺，隔8至9公尺之市民大道與台北市鐵路地下化明挖覆蓋隧道之臨時擋土結構相鄰，該隧道之擋土措施係採厚度1公尺，深度24公尺之連續壁構築，開挖深度約11~13公尺，已構築鋼筋混凝土隧道箱涵供雙線鐵路通行。有關鄰近建物與基地之相關位置如圖一所示。

## 三、土層及地下水概況

### 3.1 土層分佈概況

本基地位處台北市松山區，近基隆河流域沖積平原，屬於台北盆地東端，深開挖工程影響範圍內之地層主要為深厚之軟弱粉質粘土層，根據本基地地質調查及試驗室試驗結果，另參酌台北市鐵路地下化之地質調查報告綜整研判，本基地範圍內地層於地表下82公尺深度內可概分為10個層次，由上而下分別為：(1)回填層-分佈於地表至地表下3.1公尺之間；(2)粉質粘土層-分佈於地表下0.3公尺至地表下5.0公尺之間；(3)粉質細砂層及砂質粉土層-分佈於地表下3.4公尺至地表下9.2公尺之間；(4)粉質粘土層-分佈於地表下5.0公尺至地表下33.9公尺之間；(5)粉質細砂層及砂質粉土層-分佈於地表下31.4公尺至地表下34.8公尺之間；(6)粉質粘土層-分佈於地表下33.2公尺至地表下49.7公尺之間；(7)粉質細砂層-分佈於地表下45.3公尺至地表下52.1公尺之間；(8)卵礫石及砂層-分佈於地表下47.3公尺至地表下56.9公尺之間；(9)粉質粘土層-分佈於地表下54.8公尺至地表下77.5公尺之間；(10)卵礫石層-分佈於地表下77.5公尺至地表下82.1公尺之間。其中於地表下2~4公尺及地表下7~22公尺範圍內之土層，其SPT-N值約介於1~4之間，且

自然含水量與液性限度相近，為具極軟弱至軟弱稠度粉質粘土層。本基地之簡化土層參數詳表一所示。

### 3.2 地下水位及水壓分佈

根據本基地地質調查期間埋設之水壓計及觀測井觀測結果(1989/3/19~1989/5/18)，並蒐集鄰近地下水位及水壓之觀測資料顯示，本基地淺層之地下水位約於地表下0.5公尺至1.5公尺之間，且於地表下10公尺以內大致呈靜態水壓分佈，而其下方土層之地下水壓則略低於靜態水壓，甚者在地表下32公尺以下，地下水壓平均較靜態水壓低約 $14t/m^2$ 。研判係受過去台北盆地景美礫石層抽水之影響，惟自地下水抽水管制後，景美層地下水壓自1984年起普遍已有逐年回升之趨勢。

## 四、建物保護工法

一般開挖引致鄰近地表沉陷之原因，主要有擋土壁構築、基地內開挖和抽降基地內地下水等三部份，而於軟弱土層中又以開挖所引致之沉陷屬最主要部分。本基地開挖面以上之土層，大部分為軟弱粘土層，因粘土層具潛變之特性，且基地四週除建物外，又有台北市地鐵從旁經過，考量本深開挖工程可能對鄰近建物及鐵路隧道造成不良之影響，因此如何有效降低開挖引致壁體之過量變形，便為建物保護之首要課題。有關軟弱土層之建物保護工法，一般可分為下列幾項；(1)加大壁體勁度—如加大壁厚或採T型壁；(2)加大支撐勁度與預力—如增加支撐斷面、層數及預壓力；(3)地中扶壁或地中壁(Buttress or Cross Panels)；(4)地中樑(Transverse Beams)；(5)地中版(Grouting Raft)及深層混合地質改良(SMW)。無論上述何種措施，其功能大致為：(1)增加被動抵抗土壓力，減少貫入深度及側向位移；(2)減少擋土設施之應力及應變；(3)增加土壤之抗剪力、地盤反力及承载力。

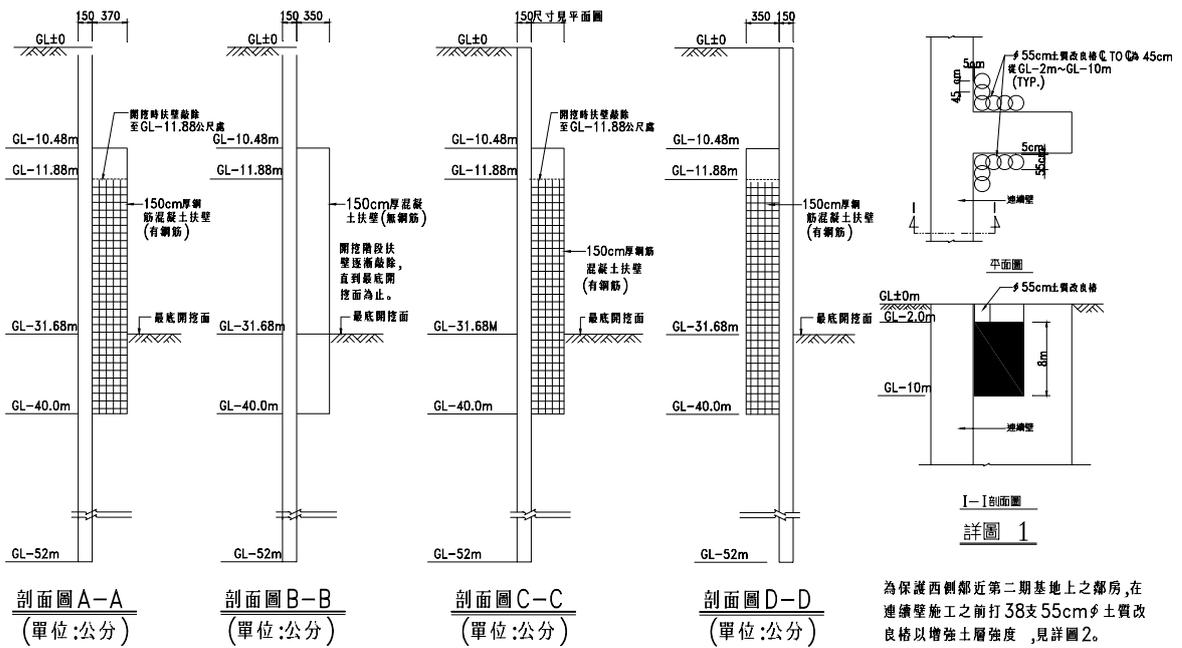
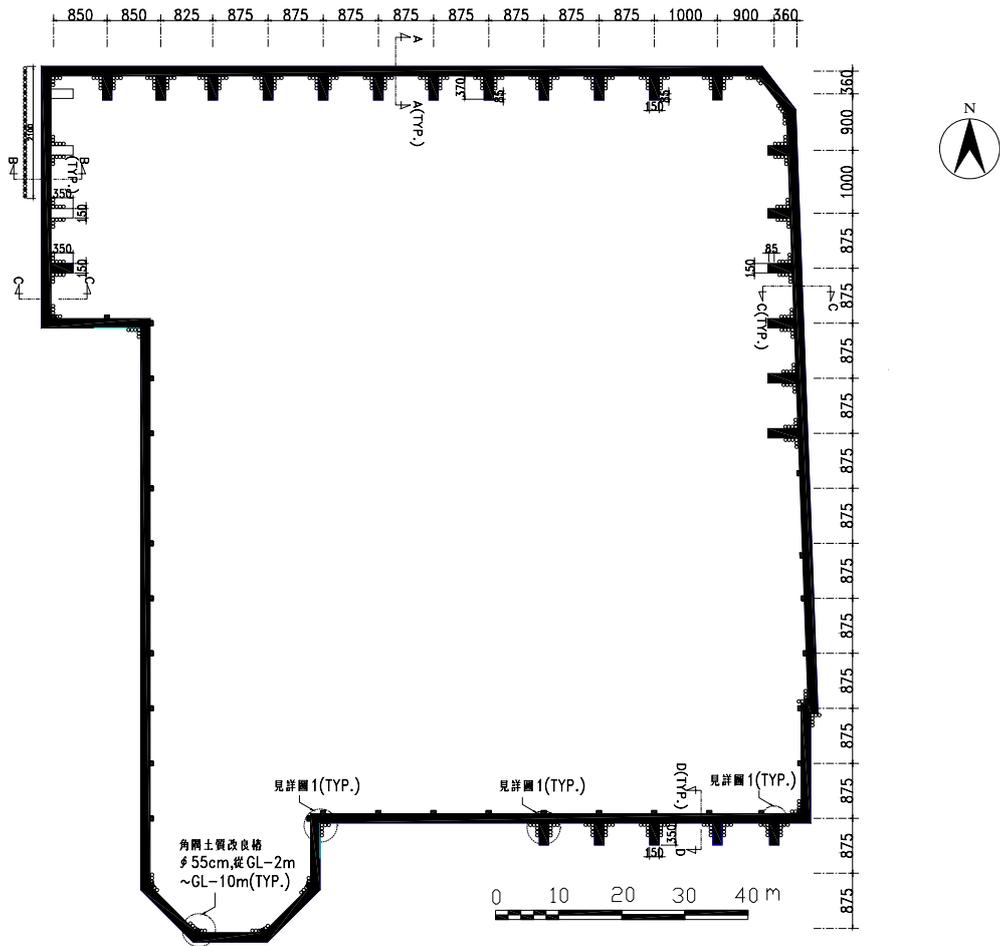
本案例設計階段即就工程經費、鄰近建物及鐵路隧道側結構物之保護及公共安全等因素綜合評估，最後決定採施作扶壁式連續壁進行改良，以提高擋土結構物之勁度。其中扶壁採與連續壁相同之工法施作，並分成有筋與無筋混凝土扶壁兩種，其厚度均為1.5公尺，寬度則以3.5公尺與3.7公尺為主，而深度則自B2F樓版(地表下10.48公尺)至地表下40公尺，圖三即為本基地連續壁與扶壁配置平面圖及剖面圖。另為避免連續壁挖掘時，T型槽溝之穩定性較差，產生直角部分崩坍，乃於T型扶壁接頭兩側，各施作樁徑55公分、樁心間距45公分之地質改良樁灌漿固結，深度則自地表下2公尺至地表下10公尺止。

## 五、監測結果分析

基於施工安全考量，本基地於連續壁施工前即完成沉陷觀測點及建物傾斜計之裝設工作並定期進行量測，另配合連續壁之構築，同時進行壁體內傾度管及鋼筋計之裝設作業，其餘監測儀器則於開挖施工前裝設完成，有關本基地之監測儀器配置如圖四所示。開挖過程中，依規定之量測頻率進行監測工作，另視現場狀況進行額外之量測作業，本文僅就至筏基開挖完成後壁體內傾度管及沉陷觀測點監測結果分析說明如下：

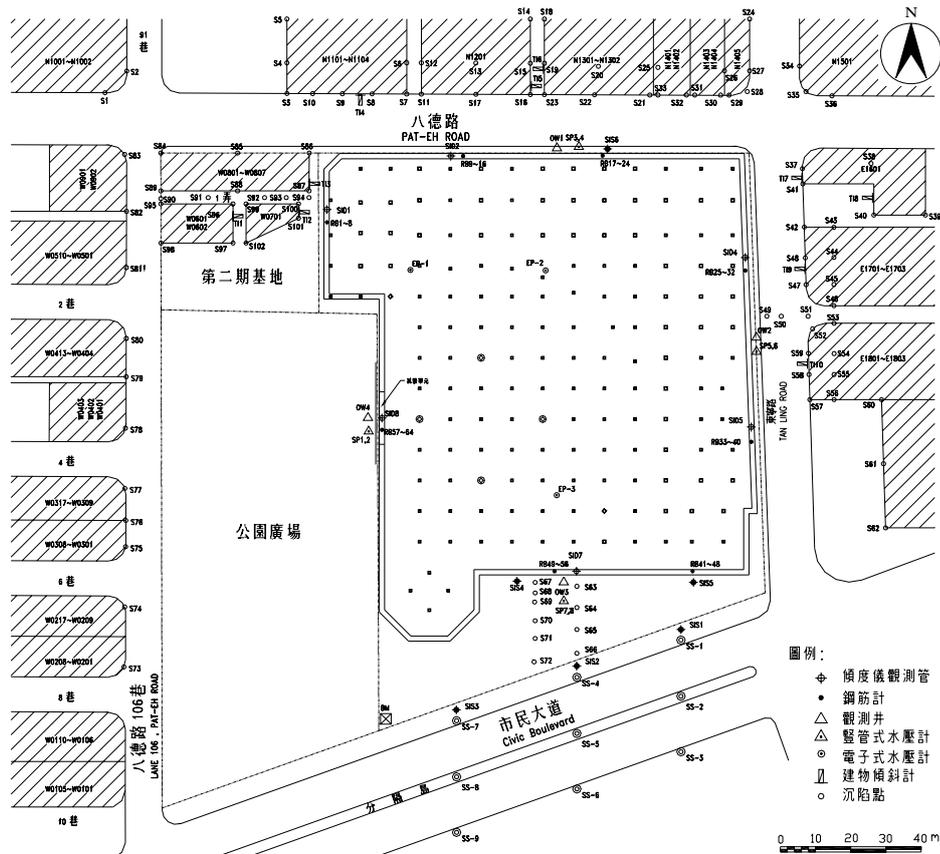
表一 基地簡化土層參數表

層次	地層底部深度	土層分類	SPT-N	$t$ t/m <sup>3</sup>	$c$ kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ deg.	$S_u$ t/m <sup>2</sup>
1	2.0	SF	4	1.87	0	32	3.0
2	4.0	CL	2	1.90	0	31	2.0~4.0
3	7.0	SM	8	1.90	0	32	--
4	22.0	CL	3	1.84	0	31	4.0~6.0
	32.0	CL	7	1.90	0	32	6.0~12.0
5	34.0	SM	14	1.93	0	33	--
6	47.0	CL	14	1.95	0	33	13.0~21.0
7	49.0	SM	35	2.03	0	35	--
8	55.0	GM	>100	2.19	0	>38	--
9	67.0	CL	25	1.95	0	36	--
	69.0	SM	60	2.16	--	--	--
	77.5	CL	29	1.99	--	--	--
10	82.1	SM	23~>100	1.97	--	--	--
		GM	>100	--	--	--	--



為保護西側鄰近第二期基地上之鄰房,在連續壁施工之前打38支55cm $\phi$ 土質改良格以增強土層強度,見詳圖2。

圖三 連續壁及扶壁式連續壁配置平面圖及剖面圖



圖四 監測系統配置圖

## 5.1 連續壁側向位移

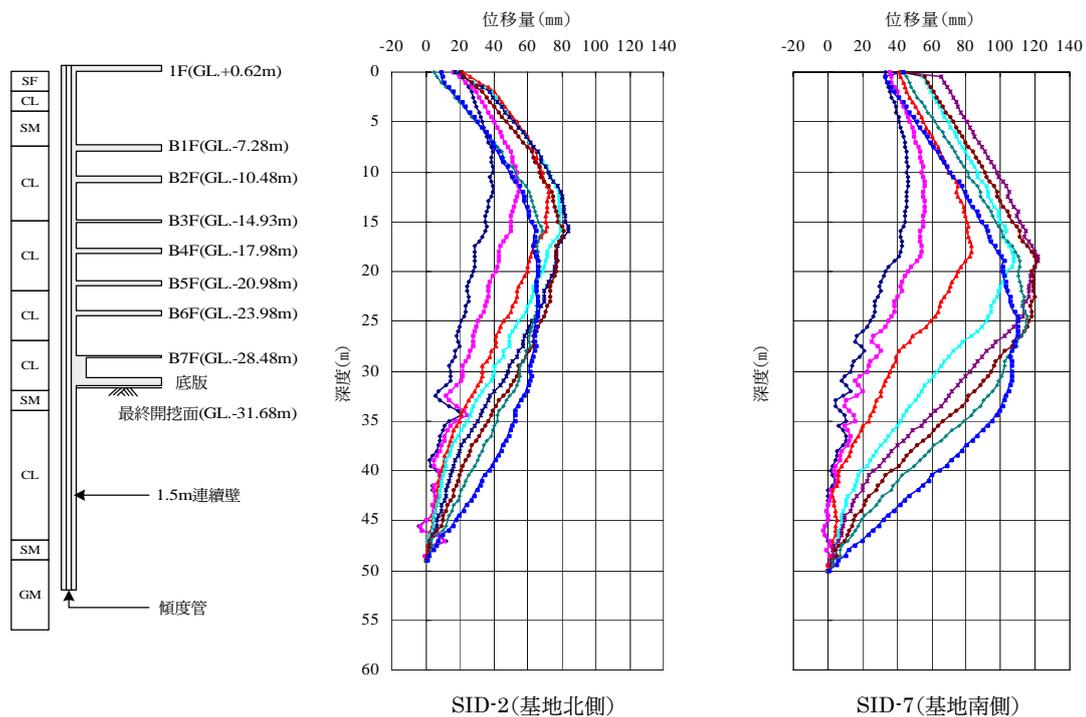
有關連續壁壁體內傾度管於各階段開挖完成後之最大側向位移量詳表二所示，其中編號 SID-1、SID-2及SID-4之傾度管分別按裝於西北側、北側及東側有扶壁式連續壁之壁體中，於筏基開挖完成時，連續壁之最大側向位移介於65.9公厘至90.3公厘之間，而編號SID-5、SID-7及SID-8之傾度管則分別按裝於東側、南側及西側無扶壁式連續壁之壁體中，筏基開挖完成時，壁體之最大側向位移則介於114.0公厘至151.8公厘之間，顯示扶壁式連續壁確對壁體側向位移有明顯之改良成效。

為探討深開挖施工引致壁體變位及扶壁式連續壁對建物保護成效，茲將本工程實際監測結果，選擇較具代表性之北側扶壁式連續壁(SID-2)及南側無扶壁式連續壁(SID-7) 進行比較，如圖五所示，改良成效則詳表三所列，其中有關扶壁式連續壁之改良成效以扶壁式連續壁改良成效值(Buttress Diaphragm Wall Improvement Value, BIV)表示，即為無扶壁式連續壁各階開挖最大側向位移與扶壁式連續壁相對各階開挖最大側向位移之比值。

表二 各層開挖完成連續壁最大側向位移表

施工階段	SID-1	SID-2	SID-4	SID-5	SID-7	SID-8
B1F開挖完成	30.6	39.3	29.3	58.9	46.7	70.7
B2F開挖完成	49.2	54.5	38.4	81.4	56.4	92.4
B3F開挖完成	67.0	72.6	61.7	107.4	83.0	135.5
B4F開挖完成	86.5	80.0	68.0	122.8	108.1	157.7
B5F開挖完成	90.1	84.3	74.9	125.7	121.9	166.6
B6F開挖完成	89.8	81.6	68.3	127.7	120.5	165.4
B7F開挖完成	88.6	68.6	75.7	128.5	115.1	154.3
筏基開挖完成	90.3	65.9	70.1	127.0	114.0	151.8

註：連續壁最大側向位移量之單位為公厘(mm)



圖五 連續壁體側向位移觀測結果

依據表三分析結果，本基地扶壁式連續壁改良成效值(BIV)於B1F及B2F開挖完成後分別為1.2及1.0，由於此兩階段之開挖深度範圍內並無施作扶壁，因此無扶壁改良之效果，惟基地南側B1F可能因分區開挖構築順序之故，使1F開挖完成至B1F樓版構築完成，施工期長達3個月，致連續壁側向位移因潛變而持續增加，而北側B1F樓版由於先行構築，潛變因素較不明顯，故B1F開挖完成時扶壁式連續壁改良成效值(BIV)大於1.0。而由B3F開挖至筏基開挖完成之監測結果顯示，扶壁式連續壁改良成效值(BIV)介於1.1~1.7之間，且隨開挖深度及扶壁出土長度增加而呈現增加之趨勢。本基地扶壁式連續壁改良成效值(BIV)最大值為1.7，顯示施作扶壁式連續壁可降低約40%之無扶壁式連續壁之最大側向位移量，對於鄰房保護具顯著之改良成效。

## 5.2 基地周圍沉陷量

另本基地周圍共計裝設114個沉陷觀測點，以量測基地四周道路及建築物之沉陷量及其變化，有關沉陷點之裝設平面位置詳圖四所示。依據監測結果顯示，基地東側建物最大沉陷量為152公厘；西側建物最大沉陷量為16公厘；西北側鄰房最大沉陷量為106公厘；北側建物最大沉陷量為63公厘；基地南側最大地表沉陷量為281公

表三 扶壁式連續壁改良成效表

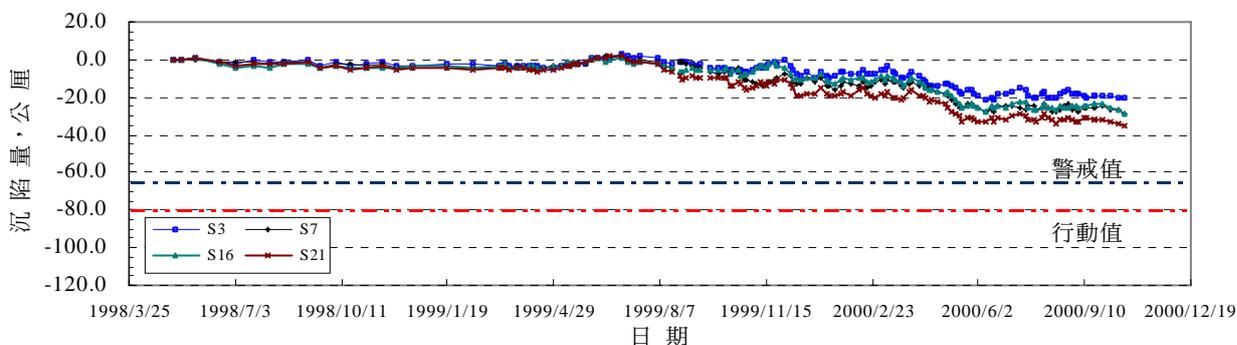
施工階段	基地北側	基地南側	扶壁式連續壁改良成效值(BIV)
	扶壁式連續壁最大側向位移	無扶壁式連續壁最大側向位移	
B1F開挖完成	39.3	46.7	1.2
B2F開挖完成	54.5	56.4	1.0
B3F開挖完成	72.6	83.0	1.1
B4F開挖完成	80.0	108.1	1.4
B5F開挖完成	84.3	121.9	1.4
B6F開挖完成	81.6	120.5	1.5
B7F開挖完成	68.6	115.1	1.7
筏基開挖完成	65.9	114.0	1.7

說明：

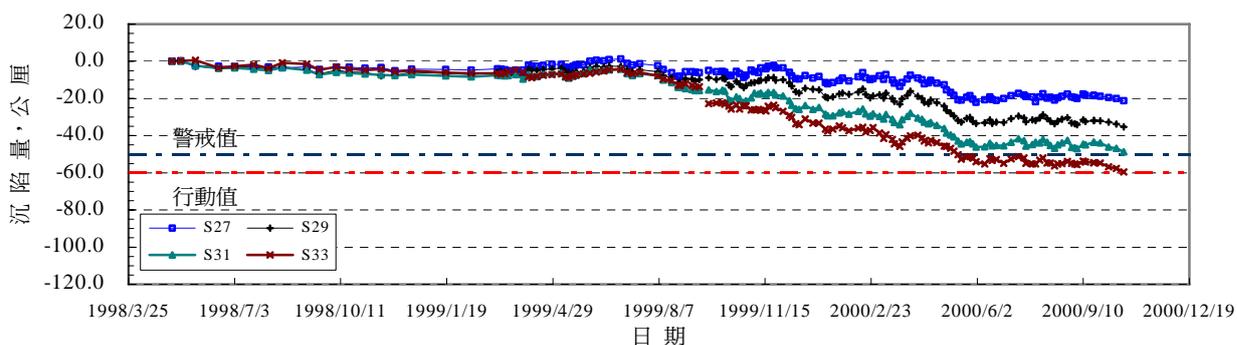
1. 扶壁埋設深度為GL.-10.48m~GL.-40.0m，並配合開挖作業敲除至GL.-11.88m。
2. 扶壁式連續壁改良成效值  

$$BIV = \frac{\text{無扶壁式連續壁最大側向位移}}{\text{扶壁式連續壁最大側向位移}}$$
3. 連續壁最大側向位移量之單位為公厘(mm)

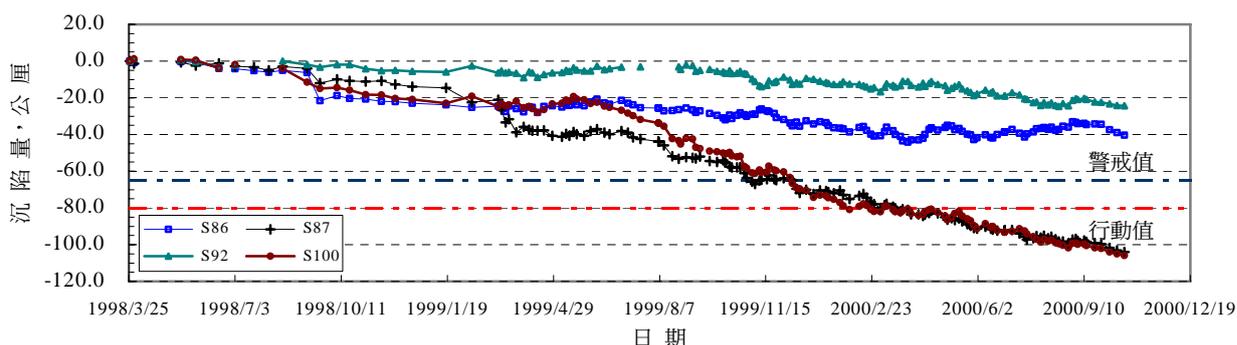
厘，為基地中最大者。有關本基地北側及西北側沉陷量監測值之歷時曲線如圖六至圖八，結果顯示，基地北側之建物因採扶壁式連續壁方式進行保護，故其建物沉陷量多小於警戒值；而西北側建物之S87及S100，因距連續壁較近，致其沉陷量超出行動值，惟其建物傾斜量均在建物容許範圍內。整體而言，四週道路及建物之沉陷量雖有部分超過警戒值與行動值，惟由現場建物之實際狀況評估結果，非主結構體之鄰損確有發生，惟並不影響其房屋結構之整體安全。



圖六 北側筏基建物沉陷量監測結果



圖七 北側獨立基腳建物沉陷量監測結果



圖八 西北側建物沉陷量監測結果

## 六、結論與建議

(1) 在軟弱土層中進行深開挖工作，需要考量適當之建物保護工法，以達建物保護及施工安全之目的。經由本案例顯示，扶壁式連續壁約可降低40%之無扶壁連續壁最大側向位移量。

(2) 由基地四周之沉陷觀測點監測結果顯示，基地北側之建物因採扶壁式連續壁進行保護，建物沉陷量多小於警戒值；西北側建物因距連續壁最近，建物沉陷量雖有部分超過行動值，惟

其傾斜量均在建物容許範圍內，研判扶壁式連續壁亦發揮保護功效。而由現場建物之實際狀況顯示，因開挖引致非主結構體之鄰損確有發生，惟並不影響其房屋結構之整體安全，而施作扶壁式連續壁確實可降低因開挖引致之建物沉陷量，對於鄰房保護具顯著之改良成效。

## 誌謝

本文承蒙京華城股份有限公司同意著文發表，撰文期間京華城股份有限公司高一鳴先生及藍英昭先生提供之寶貴意見，亞新工程顧問公司莫若楫博士、宋副總經理騰烽、黃副總經理南輝之鼓勵與指正，及陳書宏先生與南華工程公司張桂才協理於本公司祝融災後慨允提供之重建資料，特此併誌謝忱。

## 參考文獻

亞新工程顧問股份有限公司(2000)，京華城休閒購物中心基礎施工安全監測與大地工程諮詢顧問服務工作總結報告。

張志榮，王復國，黃俊青(1998)，「軟弱土層深開挖輔助支撐穩定系統」，營建知訊，第189期，第34-49頁。

Moh, Z. C. and R. N. Hwang (1999), "Geotechnical Issues in Underground Constructions", Proc., International Conference on Rail Transit for The Next Millennium, Singapore.