

深開挖地中版建物保護案例
**GROUTED RAFT FOR BUILDING PROTECTION
IN EXCAVATION IN SOFT CLAY**

陳奕耿，黃俊貴，王復國
Y. K. Chen, C. C. Huang and F. G. Wang

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，第一冊，第593~600頁

*Reprinted from Proceedings of 7th Conference on Current
Researched in Geotechnical Engineering
Chinshan, Taiwan
August 28~30, 1997, Vol. 1, pp.593~600*

深開挖地中版建物保護案例

陳奕耿

黃俊青 王復國

台北市政府捷運局東區工程處

亞新工程顧問公司

摘要

於台北市松山、大直、天母、關度平原...等區地層表面均存有頗厚之軟弱粘土層，由於此類土壤之自然含水量接近或高過液性限度且有相當高之靈敏度，其強度易受擾動而大幅降低，在深開挖過程中因被動抵抗力低，擋土壁常產生過大側向位移，同時並引致開挖區外側地面或建物之過量沉陷情形，本文即介紹在此類土層進行深開挖採用地中版作為建物保護成功案例，供工程界參考。

一、前言

台北捷運南港線沿忠孝東路自延吉街以東，砂層逐漸尖滅進而由頗厚之軟弱粘土層取代，此軟弱粘土極易受擾動而致不排水剪力強度大幅降低，以致形成深開挖工程的開挖區外側之土、水壓過大，內側之被動抵抗力卻甚低之情形，為維繫開挖區穩定性及建物安全，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或建物之過量沉陷，危及建物及公共安全；為防止或緩和開挖面下方地層發生塑性流動之隆起破壞現象及擋土壁大幅變位行為，通常設計時除強化支撐系統及擋土壁勁度或加長壁體深度外，一般可採地中版(樑)或T形扶壁之輔助，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壁體側向位移，達到建物保護之目地[1]。

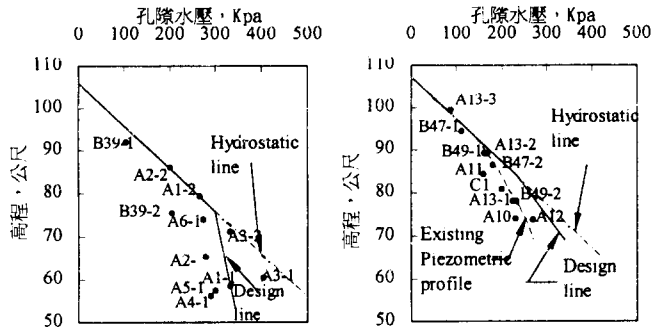
二、基地土層及地下水壓分佈

本文介紹案例之基地位置係位於台北盆地東端，基地沿忠孝東路五段西起基隆路口，東迄永吉路口附近，其中包括南港線CN257標之市政府站(BL13)與明挖覆蓋隧道、CN258標之松山站(BL14)及後山埤站(BL15)等地下車站之深開挖工程。

本工程基地地勢大致平坦，其高程在106~108公尺間(平均海平面為100公尺)，基地土層分區上屬台北盆地松山層之基一(K1)區，工程影響範圍內地層主要為深厚之軟弱粉質粘土層(松四層)，其餘各層次在本區較不明顯，松山層向下延伸約35至50公尺，其下方景美礫石層或岩盤頂部高程由CN257標西側明挖覆蓋段之57公尺，向東至CN258標BL14車站則已升至高程約72公尺；至BL15車站兩側局部高出露於開挖面，其高程最高約達92公尺，於該站中央區域景美礫石層或岩盤頂部高程則呈凹陷情形而約介於75~81公尺間[2][3]。

兩標明挖覆蓋段開挖深度範圍內(約20公尺)之土層因其SPT N值介於1~4，且自然含水量與於液性限度相近，呈近似塑性流体之極軟弱至軟弱稠度粉質粘土層。

本區之地下水壓係呈非靜態水壓分佈，下松山層及其下方景美礫石層水位均低於靜態水壓，細部設計係根據一假設之開工日期及施工時程來訂定施工期間之地下水壓其分佈如圖1所示。



CN257標明挖覆蓋段 BL14車站
圖1 CN257標明挖覆蓋段與BL14車站地下水壓分佈

三、工程概況

沿線建物多為四層樓淺基礎公寓，部份則為7~14層樓筏基礎物，一般建物至工區連續壁最小距離約2~4公尺。

CN257標BL13站及明挖覆蓋隧道之基地平面位置如圖2所示係呈狹長型開挖基地，其長度分別約為278公尺及189公尺，開挖寬約25公尺，開挖深度於BL13站約為18.8公尺，於明挖覆蓋段則約介於16.7至17.3公尺，擋土設施均採用厚1.2公尺、深度44.5公尺之地下連續壁，開挖採順打工法；站體大致分五層支撐、六階開挖，明挖覆蓋隧道段大致採四層支撐、五階開挖方式，水平支撐預力大致採設計荷重之50%，其開挖施工程序示意如圖3所示[2][3]。

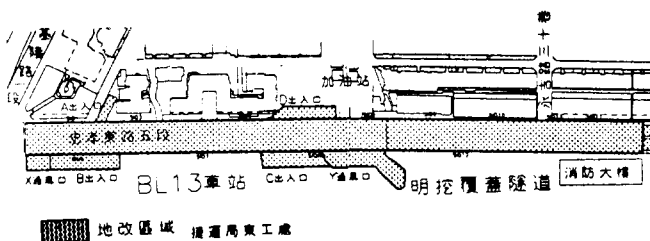


圖2 CN257標明挖覆蓋段基地平面位置圖

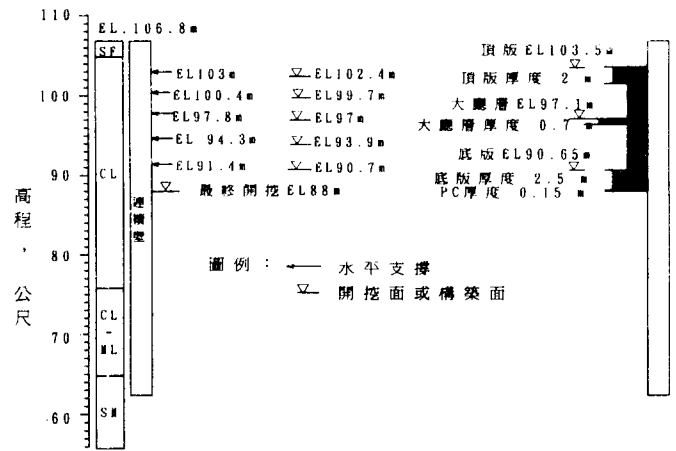


圖3 CN257標順打開挖施工程序示意圖

CN258標BL14站及BL15站之基地平面位置如圖4及圖5所示，係為狹長型開挖基地，BL14站長度約269公尺，開挖寬約19.5公尺，開挖深度約16.7公尺，BL15站長度約為293公尺，開挖寬度約20公尺，開挖深度約20.4公尺；擋土設施均採用厚1.2公尺、深度分別為BL14站38公尺、BL15站33公尺之地下連續壁，兩站開挖均採逆打工法，BL14站體大致分二至三層支撐、五階開挖，BL15站體則採三至四層支撐、六階開挖，水平支撐預力大致採設計荷重之50%，其開挖程序示意如圖6所示。

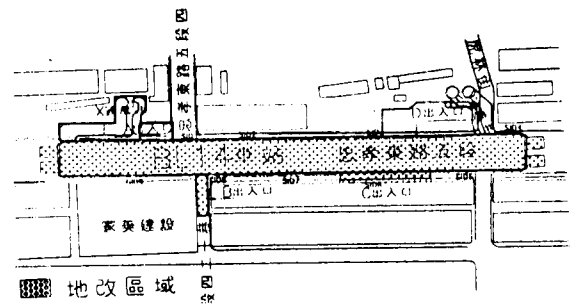


圖4 CN258標BL14站基地平面位置圖

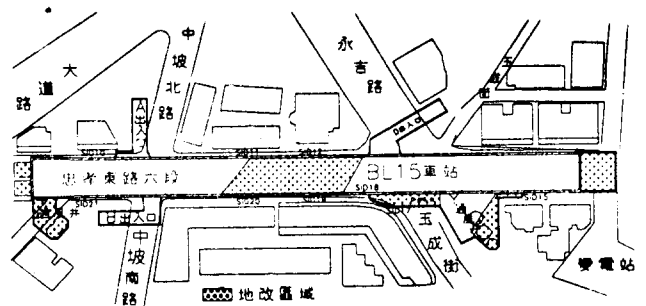


圖5 CN258標BL15站基地平面位置圖

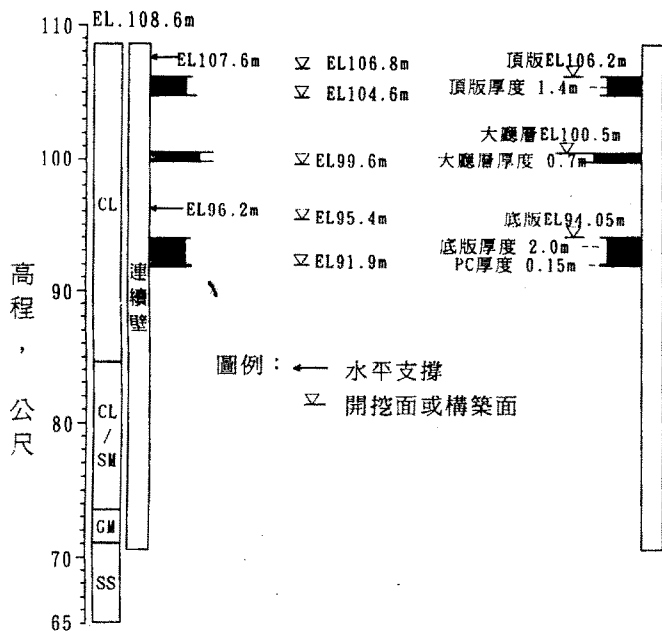


圖6 CN258標逆打開挖施工程序示意圖

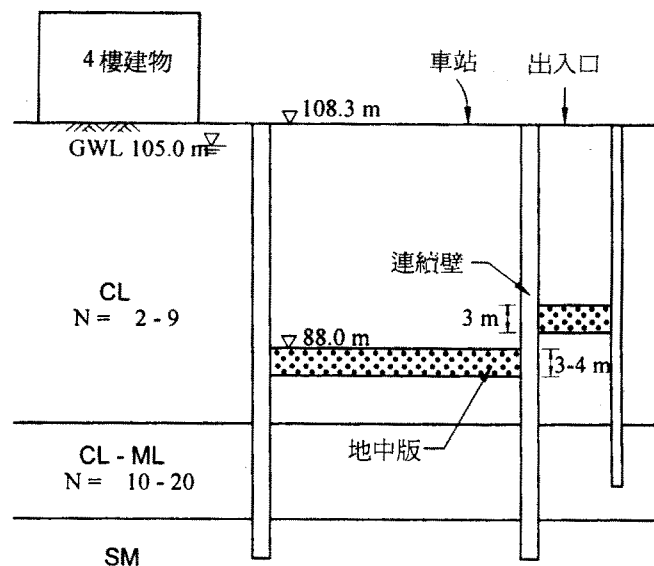


圖7 地中版施作剖面示意圖

四、地中版建物保護設計與施工

由於本工區存有頗厚之軟弱粘土層，其被動抵抗甚低，既使採用較長之連續壁及較大勁度之支撐系統，開挖施工壁體仍可能有10餘公分之過量側向位移，以BL14站為例分析使用不同壁體厚度及有無設置地中版對開挖施工引致壁體側向位移之比較如圖8所示，圖中採1.2m厚連續壁及有四公尺厚地中版，其開挖所引致之壁體側向位移量僅約為4公分，而採1.0m厚連續壁及無設置地中版者其開挖引致之壁體側向位移量則將高達約12公分，此將對鄰近建物造成過大之沉陷量及角變量。

經審慎之考量，認為本工區建物保護措施較可行之方式為於最終開挖面下採用一有如預先埋設支撐之地中版(Grouting Raft)，以減少壁體側向變形及開挖區外側之建物沉陷[4]。

本工區於CN257標BL13站及明挖覆蓋隧道、CN258標BL14站等開挖面下設計分別採用四公尺及三公尺厚之全面性地中版，至於BL15站因站內東西兩側礫石層及岩層較淺且局部出露至開挖面附近，故本站僅於車站中央岩層凹陷處局部設計施作三公尺厚之地中版[2][3]，有關施作地中版打設平面配置如圖2、4及5所示，其剖面示意如圖7所示。

壁體水平側向位移量，mm

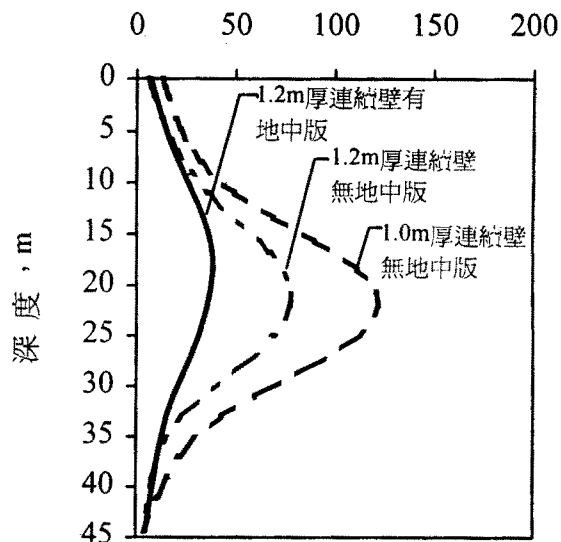


圖8 分析有無設置地中版之連續壁變位示意圖

本案例中地中版之施工方式因承商採用之地盤改良工法不同而有所差別，有關各區地中版施工相關資料彙整如表1所示，地中版施工期間，由於工區位處重要交通幹道，為配合交通維持(改道)計畫，同時為避免灌漿液任意漫流於工區之外，而於同一開挖寬度內分北、中、南三個階段依序進行開挖區內之淺層(2~2.5公尺)開挖、鋪設覆工版樑系統與地中版地盤改良等工作。

表1 CN257標及CN258標地盤改良相關資料一覽表

標別	位置	施工方式	改良樁徑	改良樁中心間距
			(m)	(m)
CN257	BL13	JSG	1.20	1.04
	明挖覆蓋 蓋隧道		2.55	2.20
CN258	BL14	SWING	2.50	2.15
		UHPG	1.60	1.20
CN258	BL15	UHPG	1.60	1.20

註：兩標樁孔均採等邊三角形平面配置。

CN257標之地盤改良係採用超高壓噴射灌漿工法(Jumbo Special Grout, 簡稱JSG), 以水泥漿為硬化劑, 利用裝置於鑽孔機雙重管鑽桿前端之特殊噴嘴, 以壓縮空氣及超高壓(40MPa)進行迴轉噴射灌漿, 將土壤與硬化劑強制混合攪拌, 使其凝結成堅實柱體, 因採雙重管施作, 高壓噴流漿液中併有壓縮空氣, 可增強漿液與土壤之切割混合能力, 同時將殘餘泥漿混合物排出孔外, 使其達到半置換之功能; 施工過程中如遇有地下管線通過則採斜孔方式灌漿, 為使改良體與擋土壁有良好接觸, 承商採先行於開挖區中央施灌, 最後再於連續壁側施灌地中版方式施工。

CN258 標之地中版則主要是採 SWING 機械攪拌工法, 遇有地下管線通過則採斜孔方式以超高壓噴射灌漿工法(Ultra High Pressure Grout, 簡稱UHPG)施灌; SWING 工法係採用具有收放於導桿本體內部的攪拌翼, 可於任意位置張開攪拌翼進行擴幅鑽孔, 並灌入固化材加以攪拌形成改良樁體。其施作方式係利用前置攪拌翼片之鑽桿, 鑽孔至設計深度後, 以油壓擴幅方式張開翼片, 由水平方向旋轉並向上提升切削, 翼片下端一面以 20MPa 之高壓噴射水流切削攪拌土壤至開挖高程, 再將攪拌翼片引下至設計深度, 開始利用翼片前端灌漿口灌注水泥漿, 並使鑽桿保持一定之旋轉上升速度, 再次利用翼片之旋轉, 使土壤與漿液充分均勻混合而行

成固結樁體; 至於 UHPG 工法則係採用類似 JSG 工法之雙重管, 利用裝置於鑽孔機鑽桿前端特殊噴嘴以 20~40MPa 之超高壓噴射硬化劑, 使改良區域形成固結體; 地中版施灌過程中為兼顧改良體與擋土壁能有良好接觸以及避免對擋土壁造成過大壓力, 而先於連續壁側施作壓力灌漿, 再於其他區域施作攪拌灌漿。

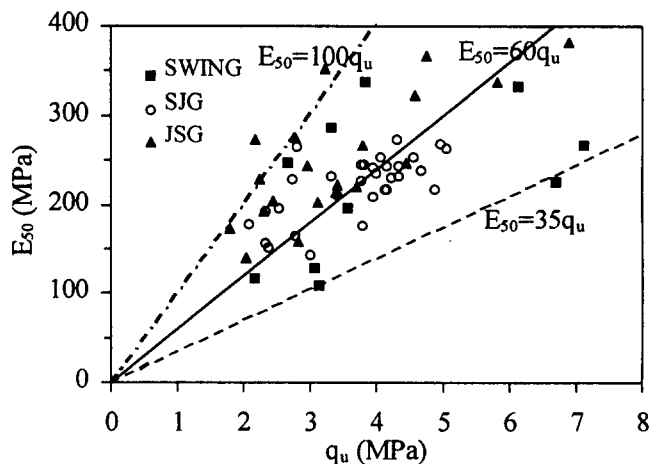


圖 9 地中版單壓強度試驗結果

地中版完成後之設計鑽孔取樣率應大於90%, 不排水剪力強度須達0.6MPa, 楊氏係數須達 3×10^5 kPa以上, 電子式錐頭貫入試驗(CPT)之錐頭阻抗 q_{Ct} 須大於1.2MPa, 另鑽心取樣之單軸抗壓強度須大於1.2MPa, 有關歸納本工區實作改良體取樣試驗彈性模數 E_{50} 與單壓強度 q_u 之關係如圖9所示, 圖中顯示改良體單壓強度大多大於2MPa, 其 E_{50} 約介於35~100 q_u , 平均值約為60 q_u 。

五、連續壁側向位移觀測結果

本案例中CN257標明挖覆蓋車站及隧道共裝設12支傾度管, 其中7支配置於BL13站, 5支配置於明挖覆蓋隧道段, CN258標BL14站共裝設9支, BL15站位於地盤改良段之傾度管有2支; 連續壁內傾度管之裝設均採貫穿式, 即於連續壁中預埋一支15公分直徑之鋼套管, 俟連續壁澆注完成後再以鑽桿穿過預埋套管底部至進入連續壁底部砂、礫石或岩層, 因傾度管底部均裝設於較堅硬之地層中, 故量測所得之側向位移量應為實際之水平變位。

本工區各開挖階段較具代表性之壁內傾度管側向位移曲線如圖10至圖14所示，其中圖11、13及14為歸零前後側向位移曲線比較，其餘則為歸零後側向位移曲線。

由觀測結果顯示兩標於地中版灌漿施工期間連續壁因曾受到超高灌漿壓力(約達20~40MPa)之推擠，造成1.2m厚壁體有往開挖區外位移現象，於CN257標約有50~60mm之側向位移量，CN258標則約有20~40mm之側向位移量，大致而言地盤改良期間引致之側向位移量CN257標較CN258標為大，前述兩者差異研判可能與兩標之施工方法與施工控制及地盤改良厚度不同有關，CN258標係採攪拌灌漿為主，高壓灌漿為輔，其改良厚度為三公呎；而CN257標則均採高壓噴射灌漿，其改良厚度較厚為四公尺。

為探討深開挖施工引致壁體變位及地中版對建物保護成效，茲將地盤改良後主體開挖前(當時已約有2~2.5公尺淺層開挖)之壁體側向位移曲線測值歸零，其後所得位移曲線即為淺層開挖階段至各該開挖階段壁體之側向變位，有關歸零後各傾度管測得開挖造成之最大側向位移量經彙整如表2所示，表內所列最大側向位移量與開挖深度間關係經與台北盆地以往開挖案例比較[5]~[8]如圖15及表3所示，顯示較諸屬同一土層分區之鄰近開挖施工案例，本案例之壁體最大側向變位與開挖深度比最大為0.3%，一般比值則多小於0.2%，此較諸鄰近開挖案例之0.3%~0.9%有明顯偏低情形，此外開挖期間測得沿線建物沉陷量大多小於3公分，其原因除了可能係因本工區屬狹長型基地，開挖寬度較窄且採用較厚連續壁之貢獻，以及開挖施工之良好控制有助於減少壁體側向位移外，採用地中版對抑制壁體側向變形與建物沉陷已發揮其積極之建保功效。

由歸零後各開挖階段之側向位移曲線變化得知，最後開挖階段之曲線變化較前幾階開挖施工有突然增加現象，研判主要係因地中版相較於其上下方土層具有甚高之強度與脆性，隨著開挖進行地中版受力逐漸增加及對地中版有束制作用之上方土層逐漸移除，當進行至最終開挖階段地中版受力達最

高同時亦發生局部脆化及地中版應力釋放現象所致，部份原因亦可能是因最終開挖階段底板構築前開挖面開放時間較長所致。

CN257 標明挖覆蓋隧道北側額外建物保護由於採門型鋼構架支承建物部份荷重並將該荷重傳遞至連續壁，以減少建物沉陷，致位於該區之壁內傾度管如SID13(圖12所示)之側向位移曲線異於一般變形曲線，其位移曲線於最終開挖面附近呈現較尖削曲線情形，此現象可能與連續壁承受額外垂直荷重產生類似樑柱行為之影響所致。

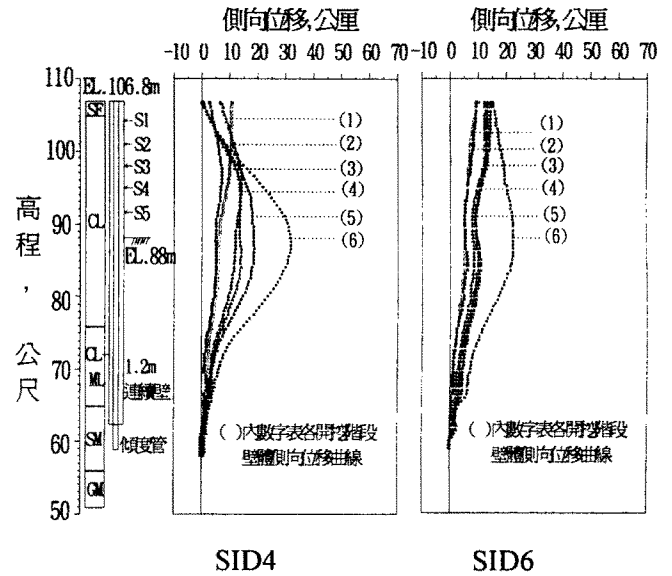


圖10 CN257標傾度管SID4側向位移曲線量測結果

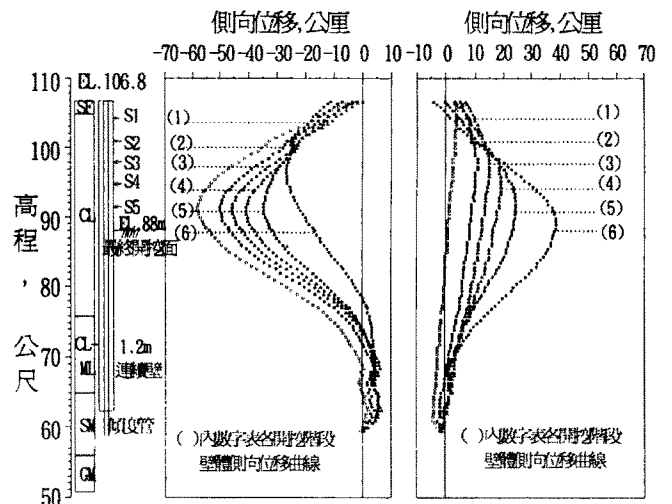


圖11 CN257標傾度管SID7側向位移曲線量測結果

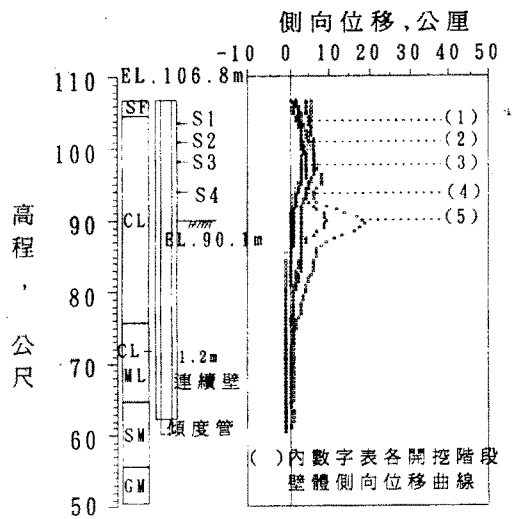


圖12 CN257標傾度管SID13側向位移曲線量測結果

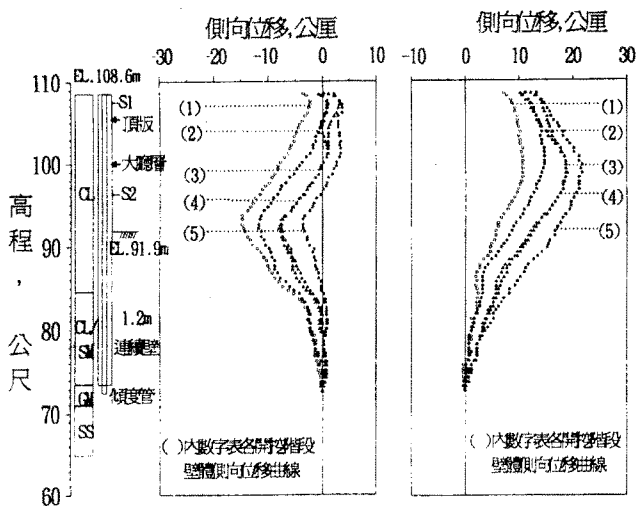


圖13 CN258標傾度管SID5側向位移曲線量測結果

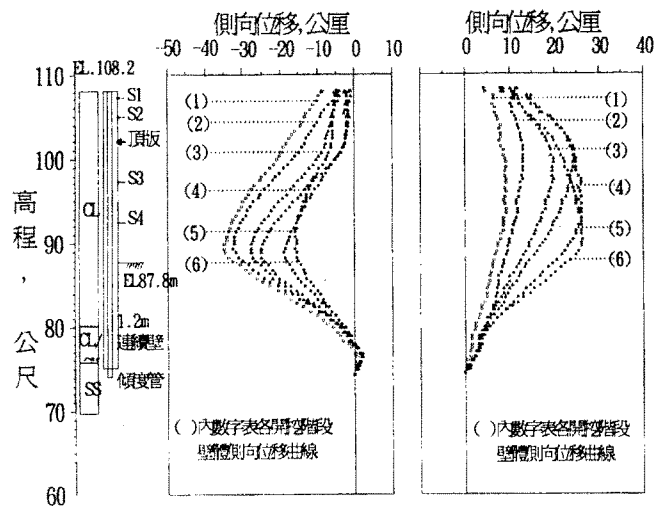


圖14 CN258標傾度管SID19側向位移曲線量測結果

表2 連續壁最大位移量與開挖深度之關係

標別	傾度管 編號	最大側 向位移 深度 (m)	最大側向 位移量 $D_{HMAX,mm}$	開挖深度 H (m)	D_{HMAX}/H %	傾度管安 裝深度 (m)	
CN257	SID3	22.0	17	18.8	0.09	51.0	
	SID4	20.0	32	18.8	0.17	52.0	
	SID5	20.0	57	18.8	0.30	44.0	
	SID6	15.5	23	18.8	0.12	47.0	
	SID7	10.0	39	18.8	0.21	48.0	
	BL13	SID8	18.0	11	18.8	0.06	40.5
		SID9	21.0	26	17.1	0.15	50.0
	C&C Tunnel 順打	SID10	19.0	46	16.7	0.27	49.0
		SID11	15.0	21	16.7	0.12	46.0
		SID12	18.5	13	17.1	0.08	46.5
CN258	SID1	15.5	21	16.7	0.13	39.0	
	SID2	19.0	20	16.7	0.12	38.0	
	SID3	19.5	11	16.7	0.07	37.0	
	SID4	16.0	11	16.7	0.07	37.0	
	SID5	15.0	18	16.7	0.11	38.0	
	BL14 逆打	SID6	16.5	25	16.7	0.15	40.0
		SID7	20.0	22	16.7	0.13	39.0
		SID8	15.0	20	16.7	0.12	38.5
	SID9	7.5	17	16.7	0.10	39.5	
CN258	SID12	17.0	12	20.4	0.06	32.0	
BL15	SID19	19.0	18	20.4	0.09	34.0	

註：1.各標連續壁深度CN257(BL13)44.5m，
CN258(BL14)38m，CN258(BL15)33m。

六、結論與建議

1. 本案例之壁體側向位移量較諸屬同一土層分區之鄰近開挖施工案例有偏低情形，其值多介於20-40mm，最大位移與開挖深度比值大多小於0.2%，開挖期間測得建物沉陷量大多小於3公分，顯示採用較厚連續壁及地中版對抑制壁體側向變形與建物沉陷已發揮其積極之建保功效。

2. 地中版灌漿期間連續壁因受到超高灌漿壓力(約達20~40MPa)之推擠，曾造成1.2m厚連續壁往開挖區外位移，CN257標約有50~60mm之側向位移量，CN258標則約有20~40mm之側向位移量，前述灌漿工法應用於存有勁度低之地下結構物及管線之地層時尤需特別謹慎施作，必要時須設置如蜂槽管解壓井類之措施，以減低灌漿造成之破壞。

3. 地中版相較於其上下土層具有甚高之強度與勁度，隨著開挖進行地中版受力逐漸增加及對地中版有束制作用之上方土層逐漸移除，至最終開挖階段地中版受力將達最高，同時亦發生局部破壞(Yield)及地中版應力釋放現象，致最後開挖階段之曲線變化較前幾階開挖施工有突然增加現象。

4. CN257 標額外建物保護採門型鋼構架支承建物部份荷重並將該荷重傳遞至連續壁，以減少建物沉陷，此額外荷重將引致位於該區壁體之側向位移曲線異於一般變形曲線，其位移曲線於最終開挖面附近呈現較尖削情形，此現象研判與連續壁承受垂直荷重產生類似樑柱行為之影響所致。

誌謝

本文於撰寫期間承蒙亞新工程顧問有限公司莫若楫博士與黃南輝博士等人提供寶貴意見謹誌謝忱。

參考文獻

[1]周功台(1996),特殊地層之深開挖設計, 深開挖與地下施工研討會, pp.38-52.

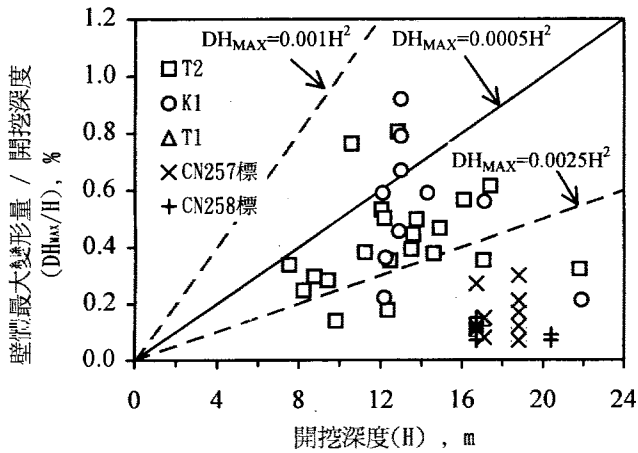


圖15 台北盆地與本工程開挖施工案例壁體最大側向位移量~開挖深度關係比較圖

表3 鄰近深開挖工程開挖期間壁體最大側向位移監測結果一覽表

案例 基地 位置	支撐 層數	連續壁		最大側向 位移深度 (m)	最大側向 位移量 $D_{HMAX,mm}$	開挖深度 H (m)	D_{HMAX}/H %
		厚度 (m)	深度 (m)				
信義路 五段	四層 順打	0.6	26.0	13.8	120	13.0	0.92
信義路 五段	三層 順打	0.9	28.0	14.0	84	14.3	0.59
忠孝東 路五段	六層 順打	0.9	36.0	14.0	128	17.1	0.75
忠孝東 路四段	五層 半逆打	1.0	33.0	17.5	53	16.2	0.31
忠孝東 四段	五層 (註1)	0.8	26.0	18.0	63	17.8	0.35

註：1. 本案例基地係呈凹槽狀狹長形(雙道連續壁)順打開挖，兩側開挖深度為11.1m，中央區則開挖至17.8m，因僅有壁內傾度管監測資料且顯示壁底有位移情形，故表內所列位移量係為推估值。

ABSTRACT

There is a considerable depth of soft clayey deposit below the ground surface in the area of Sung-Shang, Da-Chie, Tien-Mu and Kuang-Do etc. This type of soil is characterized by low SPT N values, high natural water contents, low shear strength, low passive resistance and poses obvious difficulties for deep excavations. Despite the use of thick retaining walls and stiff support systems, there still could be significant deflections of the walls. This would cause unacceptable settlements and distortions to the adjacent properties. This paper discusses the successful use of jet grouted raft in this type of soft clay for building protection purpose.

- [2]亞新工程顧問股份有限公司(1997), 台北都會區捷運系統南港線CN257標市政府站及至市政府站至松山站間隧道工程觀測結果最終報告.
- [3]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CN258標松山站、後山埤站及松山站至後山埤站間隧道工程觀測結果總報告.
- [4]亞新工程顧問股份有限公司(1992), 台北都會區大眾捷運系統南港線CN257標及CN258標大地工程設計審查報告.
- [5]亞新工程顧問股份有限公司(1988), 鴻禧花園廣場新建大樓工程基礎施工安全觀測系統工作報告書.
- [6]亞新工程顧問股份有限公司(1989), 台北世界貿易中心國際會議中心第二標工程基礎施工安全觀測系統工作報告書.
- [7]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標國父紀念館站及敦化站至市政府站間隧道工程觀測結果總報告.
- [8]Woo, S.M., and Moh, Z.C. (1990), "Geotechnical Characteristics of Soils in the Taipei Basin," Tenth Southeast Asian Geotechnical Conference, Special Session, Vol.2, pp.51-65.

Use Grouted Raft for Building Protection in Excavation in Soft Clay

Y.K. Chen

C.C. Huang and F.G. Wang

EDPO, DORTS,
Taipei Municipal
Government.

Moh & Associates.
Taipei