

深開挖施工對鄰近樁基礎結構之影響

**INFLUENCE OF EXCAVATION  
ON ADJACENT PILES**

陳耀維，段紹緯，黃南輝，鄺少強

Y. W. Chen, S. W. Duann, R. N. Hwang and S. K. Kong

原著載於第八屆大地工程學術研究討論會  
1999年8月18~20日，第1425~1432頁

*Reprinted from Proceedings of 8th Conference on Current  
Researches in Geotechnical Engineering,  
Pingtung, Taiwan  
August 18~20, 1999, pp.1425~1432*

# 深開挖施工對鄰近樁基礎結構之影響

陳耀維<sup>1</sup>

段紹緯、黃南輝、鄺少強<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 台北市政府捷運工程局

<sup>2</sup> 亞新工程顧問股份有限公司

## 摘要

在深開挖附近之樁基礎沉陷問題在過去少有研究。本文介紹一個位於台北市區的案例以說明開挖期間加之於基樁荷重之變化。在本案例中，基樁並未發揮抑制沉陷之作用，其原因可能是樁身未貫入承載層以及樁底有淤泥之存在。本文同時討論開挖期間連續壁之沉陷及實際量測所得的結果。

## 一、前言

在都市地區進行深開挖，鄰房保護是一個重要的課題。無可諱言的是，在進行深開挖的過程中會導致鄰近地盤的變位，地盤的變位帶動鄰近建築物，而在結構體內產生應力變化，如果這些應力超過了結構體所能承受的容許值時，鄰近建築物就會出現龜裂，嚴重的話，甚至倒塌。

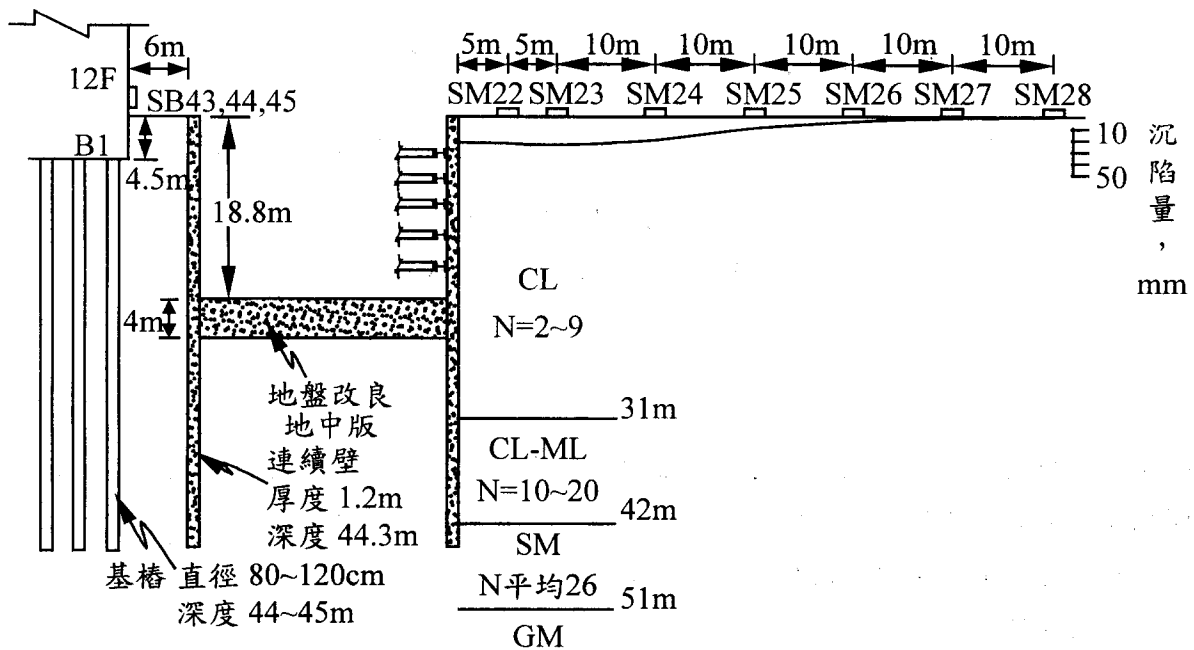
對深開挖所引起的地盤變位的研究為數甚多，但對建築物的沉陷則鮮有報導，尤其是樁基礎的沉陷研究更是付諸闕如，即使在國外，這方面的研究也是鳳毛麟爪。一則是因為基樁與土壤的互制行為相當複雜，由單一案例很難看出端倪。再則因為建物年代久遠，資料欠缺，相當不容易查出基樁尺寸、配置、深度等細節。

在台北市早期的建築大都在六層以下，幾乎全是採用獨立基腳或者是地下一層筏式基礎。近年來在台北市，超高層建築物如雨後春筍般地陸續出現，這些建築物大部份是有基樁支撐。而地下部份也愈挖愈深，開挖對鄰近基樁的影響已成為一個值得重視的課題。

本文報導一個在台北的案例，拋磚引玉以就教於諸先進，希望各界共襄盛舉、貢獻寶貴經驗。

## 二、案例介紹

本基地位於台北盆地 K1 區（李咸亨，1996），如圖一所示，開挖深度 18.8 公尺，以順打工法施工，連續壁厚 1.2 公尺，長 44.3 公尺，一共有五層臨時支撐。因為地質鬆軟，而且緊貼鄰房，為減少連續壁變位及地表沉陷，所以採用地中版作為建物保護措施。地中版厚 4 公尺，是以超高壓（40MPa）噴射灌漿工法施作。改良樁樁徑 2.5 公尺，規範規定改良樁的不排水強度不得低於 0.6 MPa，電子錐之貫入阻抗不得低於 12MPa。

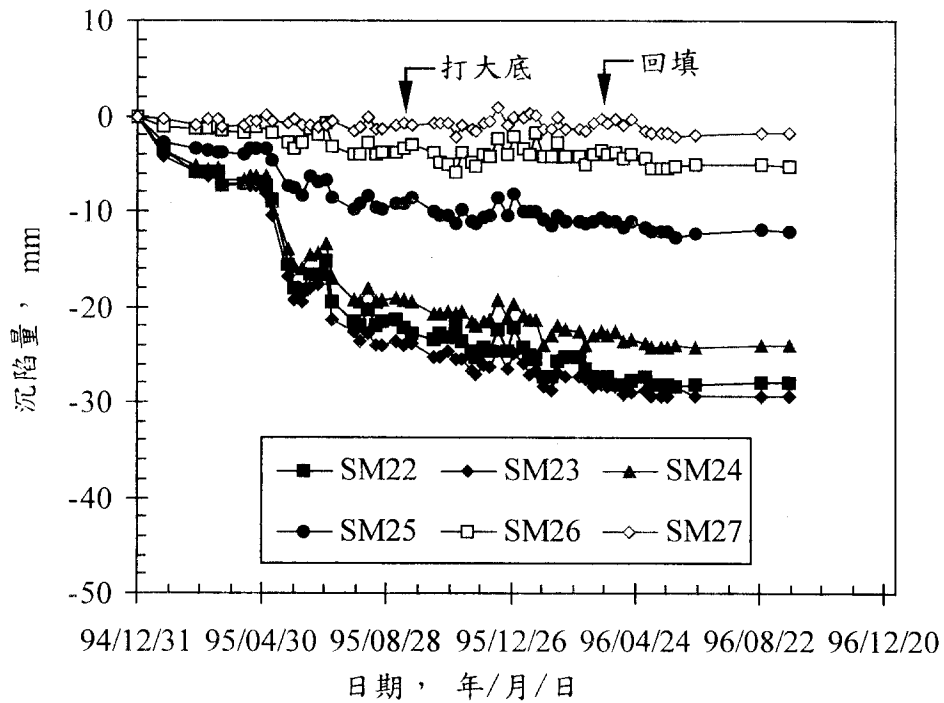


圖一 基地開挖剖面示意圖

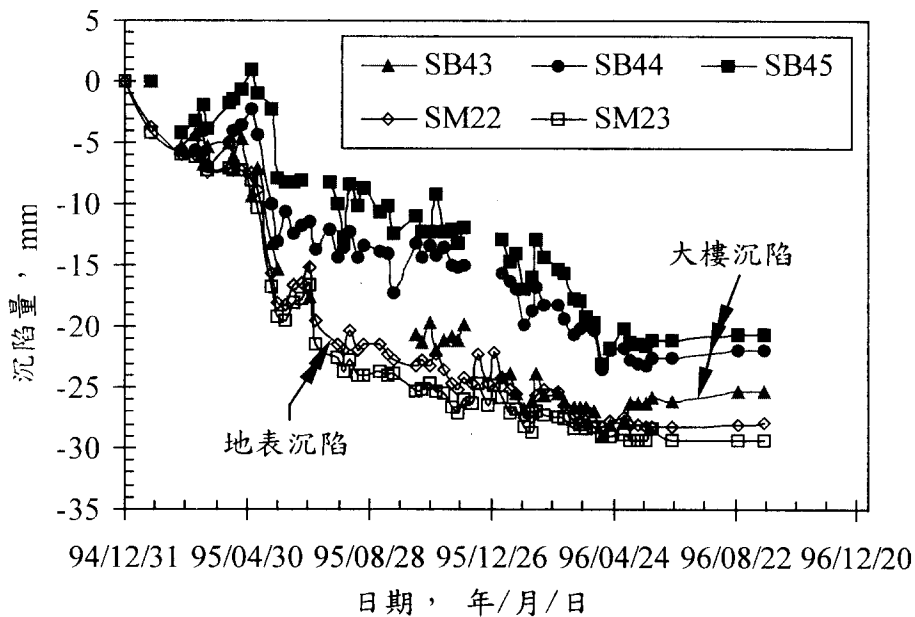
基地北側有一棟地上 12 層、地下 1 層的鋼筋混凝土大樓。底版底部距地表深度 4.5 公尺，以如此深度而言，當年開挖時應該是以主樁橫板條或鋼版樁支撐，在地下室構築完成後拔除。底版下方有直徑 80 公分至 120 公分不等的反循環基樁，樁長約 44 公尺。由圖一的土層剖面圖可以看出基樁底部止於砂層，並未貫入其下之礫石層。根據鑽探報告，該砂層的標準貫入試驗 N 值平均約為 26，所以算是中等緊密，並不能算是很好的承載層。

大開挖於 1995 年 1 月 11 日開始，底版於同年 8 月 8 日澆築完成，開始構築地下結構體，到次年 2 月結構體完成，3 月拆除所有支撐，開始地下結構體上方回填。最終地表沉陷 (SM22 至 SM27) 表示於圖一右側，最大值約為 3 公分。地表沉陷的歷時曲線如圖二所示，在完成底版時沉陷的最大值約為 24mm。其後沉陷一直持續到結構體完成開始回填時方才中止，但是增幅不大，在這 7 個月之間僅增加 3mm。雖然後期的沉陷相當合理，在 1995 五月中旬的急驟沉陷卻無從解釋，其時第 5 層支撐已經架設完成，正在進行最後一階開挖，傾度計也未顯示連續壁在這期間有特別大量的側向位移。圖一及圖二所示資料是以 SM28 為不動點計算而得相對於該點的沉陷，所以可能因水準點不穩所引起的誤差已經抵消。SM28 距離連續壁有 60 公尺之遙，除非受到擾動，應該是一個可靠的基準點。在未作如此修正前的原始資料十分怪異，不但跳動而且多點持續隆起，相信是因為水準基準點不穩定所致。該水準基準點裝設於地表下 60 公尺進入礫石層，理應可靠才是，可能是裝設不當，也可能受到擾動而致不穩。如此情形在別處也屢有所見，由此可見欲得到可靠監測資料，獨立檢測，時時校正有其必要，而在進行回饋分析時，必須對資料有存疑的心態，方才不致為其誤導。

大樓緊靠開挖區一側的沉陷歷時曲線如圖三所示。這些測點 (SB43, 44, 45) 距連續壁約 6 公尺，所以可以與位於地表的 SM22 及 SM23 所得資料相比對。由於在三、四月間的隆起以及五月間的急速下沉，並無合理的解釋，所以比較沉陷的絕對值並不恰當。由後期沉陷曲線的斜率來看，大樓的沉陷速率與地表相當，顯示基樁並無抑制沉陷的作用。



圖二 地表沉陷歷時曲線

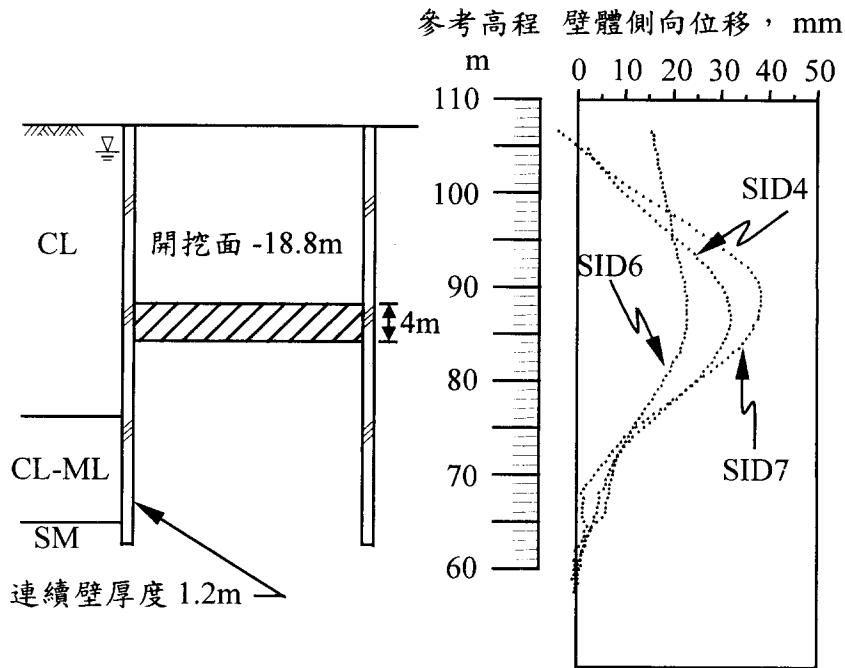


圖三 結構物與地表沉陷歷時曲線之比較

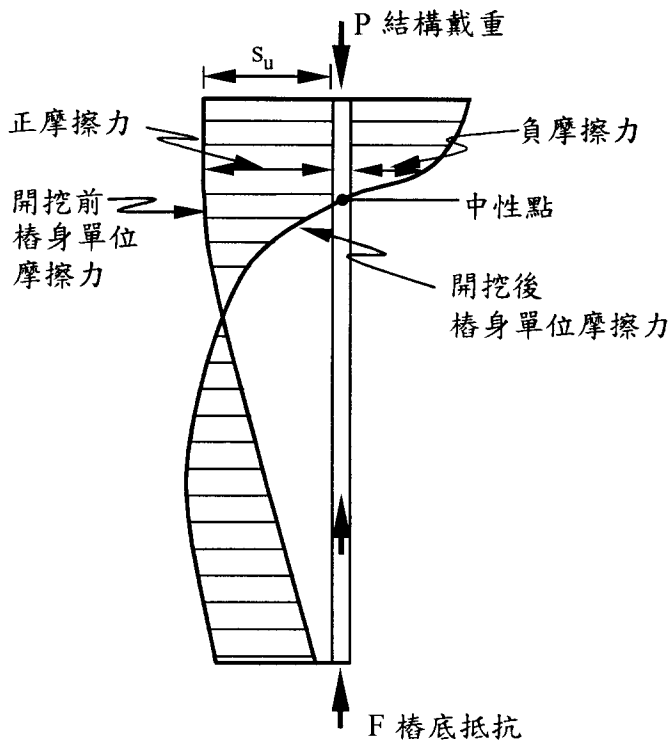
如圖四所示，在開挖到底部深度時，連續壁的最大側向位移在 20 至 40mm 之間，以如此開挖深度而言，這變位量算是相當地小，這得歸功於地中版的支撐作用。連續壁最大側向位移與地表最大沉陷值相當，而側向位移之面積與沉陷槽之面積也十分相近，顯示地表沉陷主要來自壁體之側向位移，而壓密沉陷甚小。

### 三、樁身受力之變化

圖五表示在開挖前及開挖後樁身受力情形，為免無謂的困擾，在此假設土壤是均質而且抗剪強度一致、不隨深度而變。一般而言，由載重試驗可以得知在基樁的容許荷重範圍內，



圖四 連續壁位移曲線



圖五 開挖前後樁身受力分布示意圖

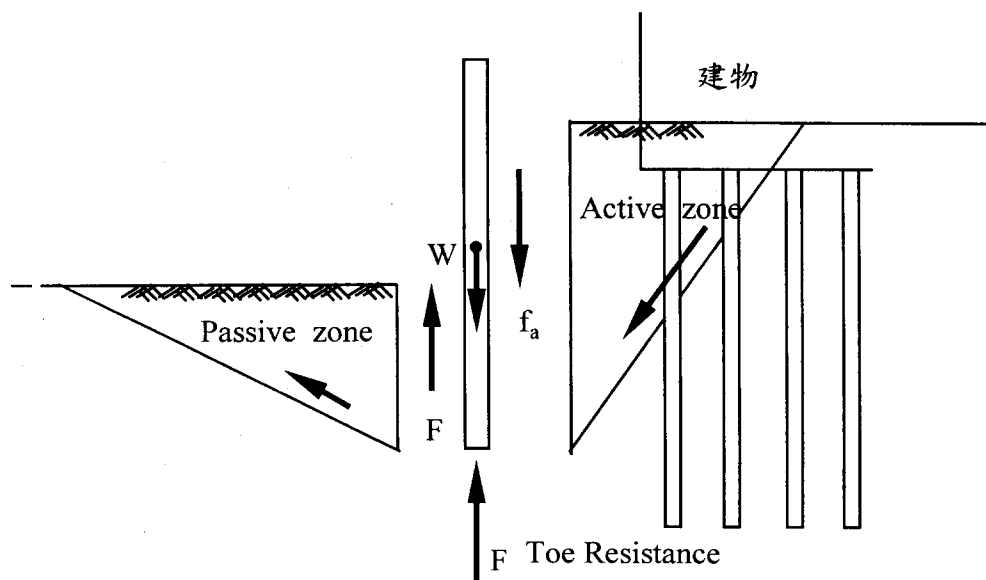
樁頂的沉陷最多不過一、兩公分，再多的沉陷也不為規範所容許，而樁底的沉陷當然更小，長樁的樁底幾乎沒有沉陷。由於反循環樁樁底沉泥難於清除，在樁底沉陷有限的情況下，樁底幾乎完全沒有點承力，所有加之於基樁的載重全由樁身摩擦力支撐。在樁頂附近，由於樁身與土壤的相對位移較大，該處土壤強度可能已經完全發揮，由於樁身與土壤的相對位移隨深度增加而減少，樁身摩擦力也隨之減少，摩擦力的實際分布視樁長而定，圖五所示示意而已。

如圖六所示，在開挖過程中，由於連續壁受到推擠而外移，主動側土體有下沉的傾向，而這下沉之勢受到基樁及連續壁的抑制。也就是說基樁除了承受結構體的重量之外，還要承受滑動區內部分土體的重量，而基樁上部的摩擦力也因此由正轉負，這由正轉負的變化就成為基樁新的載重，帶動樁身下沉。由於沉陷增量，樁身下部的正摩擦力增加，樁底受力也會增加，直至重新取得平衡為止。在某一深度以上的摩擦力由正轉負，在其下摩擦力仍為正值，這一深度稱為基樁中性點〔neutral point〕。如果不考慮樁底抵抗的變化時，圖五上下兩塊有斜線標示部份的面積應該相同。上面一塊表示加之於基樁的載重增量，下面一塊表示樁身摩擦力的增量。在這兩者的分界點之上，土體的沉陷量大於樁身的沉陷增量，在其下，土體的沉陷增量小於樁身的沉陷增量。如果樁底抵抗能發揮時，樁身的沉陷會減少，中性點會往下移，樁身上部所承受的負摩擦力會增加。若要樁底抵抗能充分發揮，有必要將基樁貫入不動層並進行樁底灌漿。

在本案例中，在開挖後期以及結構體構築期間，樁頂的沉陷量與地表沉陷量相同，表示基樁隨土體之下沉而下沉，毫無抵抗。這除了顯示樁底確有淤泥存在外，也顯示樁身下部的摩擦力並未因樁身的下沉而增加。下沉的土體相當地深是原因之一，這可以由圖四中連續壁的側向位移可以看出，即使在連續壁底部都有半公分的側向位移，可以想見在這深度土體都還有下沉的傾向。基樁的深度與連續壁相同，也就是說整支基樁都在滑動區內。另外一個可能原因是因為開挖的解壓行為減少了土體對樁身的束縛力（confining pressure），也降低了樁身所能發揮的摩擦力。對粘土而言，這影響也許不顯著，但在本案例，下部樁身貫入砂土層，解壓的效應不容忽視。

#### 四、連續壁沉陷

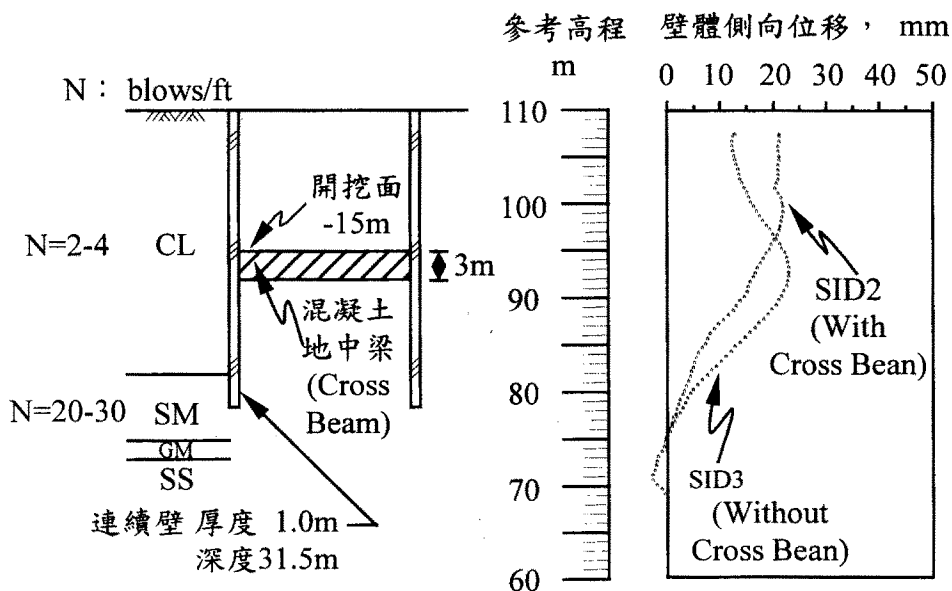
說起來也許難以令人相信，但事實上連續壁一樣會下沉。如上所述，滑動區土體的下沉之勢由連續壁及基樁所抑制。連續壁的行為與基樁的行為極為類似，下沉的土體會產生負摩



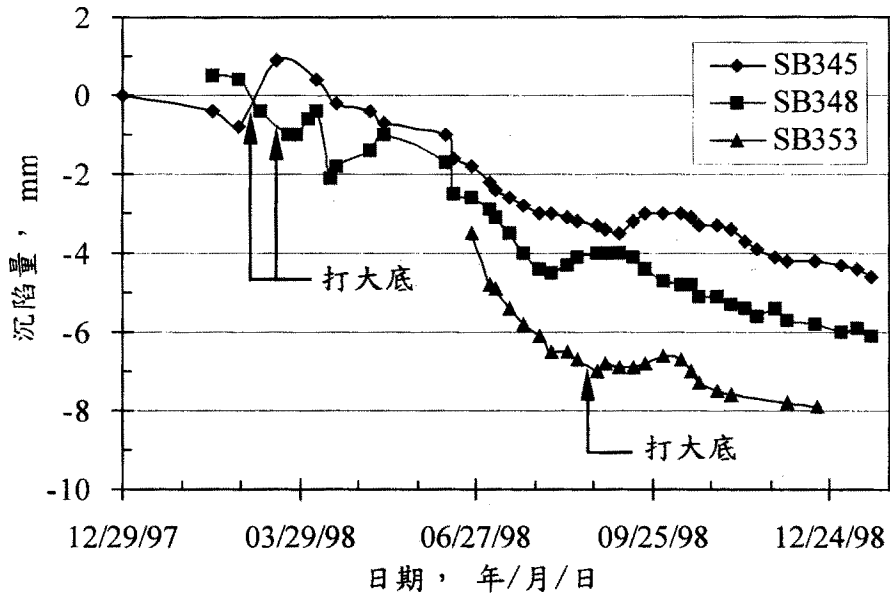
圖六 開挖過程樁基受力示意圖

擦力作用在連續壁後方，這負摩擦力以及連續壁的自重是靠被動側土體的正摩擦力以及底部抵抗來支撐。連續壁底部一樣有沉泥，所以底部所能發揮的抵抗也是有限。隨開挖的深度增加，被動側的土體越挖越少，連續壁自然也就因而下沉，可惜連續壁的沉陷一向受到忽視，少有案例報導，在本案例也並未量測。在南港線的昆陽站（BL16）施工時曾經對連續壁的沉陷作持續的觀測，這在台灣可能是首創之舉。圖七表示該站的地質狀況與開挖情形，該站開挖深度 15 公尺，連續壁厚 1 公尺、長 31.5 公尺。由於地質軟弱，在附近有鄰近建築物地區，開挖面下方有厚 3 公尺、寬 1 公尺、間距 5 公尺的混凝土中梁以減少連續壁的側向位移，開挖到底時連續壁的最大側向位移約 25mm 與本案例所得的側向位移相當〔Moh and Hwang, 1999〕。圖八表示量測所得連續壁的沉陷量，最終沉陷量在 5mm 至 8mm 之間，相信地中梁發揮了抑制連續壁沉陷的作用，否則連續壁的沉陷當不止此值。雖然案例一的開挖較深，但是連續壁較厚、較長，地中版也較厚且連續成片，所以相信其連續壁的沉陷也應該在 8mm 上下。

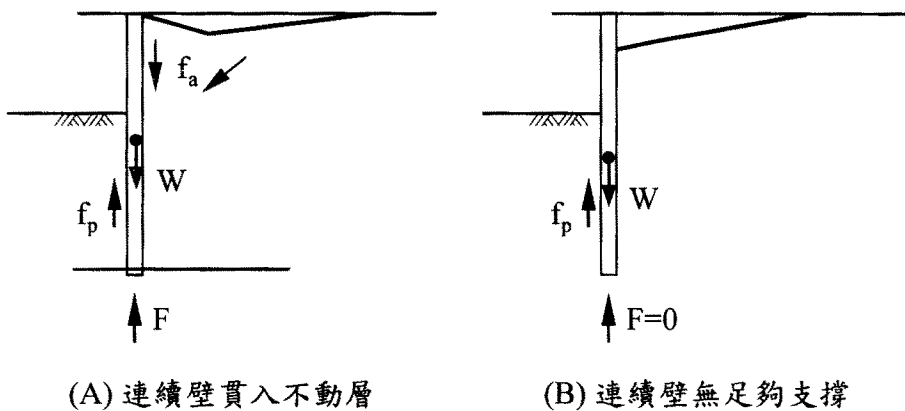
連續壁的沉陷會影響壁面與土體的摩擦角（Moh and Hwang, 1993），所以也會影響連續壁兩側的土壓。因為連續壁與土體密切相貼，連續壁的沉陷當然也會影響主動側土體的沉陷，這也是出現各式各樣沉陷槽的原因之一。圖九表示兩個極端情況，圖九(A)是當連續壁貫入不動層的部分有足夠的長度或者底部淤泥清除乾淨，在開挖過程中連續壁全然不動的情形。在這情況下，緊貼壁後的土體因受壁體上摩擦力支撐，沉陷應該相當的小。圖九(B)是連續壁止於軟弱土層，或者貫入不動層的深度不足而且底部有淤泥的情形。在這情況下，連續壁的沉陷與土體的沉陷相同。實際情形應介於這兩者之間，因為靠近連續壁的測點經常會受到機具及施工車輛之擾動，量測所得數據並不可靠，反不如直接量測連續壁的沉陷來得好。只是連續壁常受覆蓋版之遮蓋，量測時比較麻煩。



圖七 BL16 站開挖示意圖



圖八 連續壁上沉陷點量測結果歷時曲線



圖九 連續壁貫入地層對沉陷槽之影響

## 六、結語

上述案例顯示如果基樁沒有貫入堅硬不動層的話，在深開挖時並不能發揮抑制沉陷的作用。而連續壁的行為與基樁甚為類似，連續壁底部因有淤泥，在開挖時一樣會有沉陷，而此沉陷會影響地表沉陷槽的型態。由於沉陷槽攸關鄰近建築物的安全評估，這方面的研究有待加強，建議以後對連續壁的沉陷多加量測並與地表沉陷比對。

## 參考文獻

1. 李咸亨 (1996), 「台北市區工程地質分區」, 土工技術, 第 54 期, 第 25~34 頁。
2. Moh, Z. C. and Hwang, R. N. (1993), "Earth pressures on walls of a deep excavation", Proc., 3<sup>rd</sup> Int. Conf. on Case Histories in Geotechnical Engineering, St. Louis, Missouri, June 1-6.
3. Moh, Z. C. and Hwang, R. N. (1999), "Geotechnical issues in underground constructions", Proc., International Conference for Rail and Transportation, Rail Transit for the Next Millennium, March 11~13, Singapore.

## **Influence of Excavation on Adjacent Piles**

Y. W. Chen<sup>1</sup>    S. W. Duann,   R. N. Hwang<sup>2</sup>    S. K. Kong<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Rapid Transit Systems, Taipei Municipal Government

<sup>2</sup>Moh and Associates, Inc., Taipei

<sup>3</sup>Moh and Associates(S) Pte. Ltd., Singapore

This paper presents a case history in which deep excavation was carried out in the vicinity of a piled foundation. It was found that, in this particular case, the piled foundation settled as much as the green-field indicating negligible resistance of piles to ground settlements. The reason for this to be the case is that the soil stratum at the pile tips is not sufficiently competent and furthermore, it is hypothesized that the sludge at the bottom of these bored piles necessitated much settlement before significant tip resistance could develop. Also presented in the paper are settlements of diaphragm walls obtained during deep excavation at another site. It is reasoned that diaphragm walls essentially behave in a similar way as nearby piles during excavations.