

連續壁變形行為探討
DEFORMATIONS OF DIAPHRAGM WALLS

吳佩軫，王明俊，彭巖儒，段紹緯
P. J. Wu, M. J. Wang, Y. R. Peng and S. W. Duann

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601~608頁

*Reprinted from Proceedings of 7th Conference on Current
Researched in Geotechnical Engineering
Chinshan, Taiwan
August 28~30, 1997, Vol. 1, pp.601~608*

連續壁變形行為探討

吳沛軫、王明俊

彭嚴儒、段紹緯

台北市政府捷運工程局中區工程處

亞新工程顧問公司

摘要

連續壁為軟弱土層中進行深開挖工程較常採用的一種擋土支撐工，本文根據台北捷運施工經驗，整理各標之傾度管監測數據，利用數學模式建立連續壁變形曲線方程式，並針對台北捷運施工結果進行探討。結果顯示，本文所建立的方程式用以迴歸大多數的監測數據，均能獲得頗為合理的結果。此外，依本文所定義的變形曲線型式分類，台北盆地T2區之監測資料顯示，隨開挖深度增加，曲線型式將漸變成Cc類型。而且最大壁體側位移量大多低於以往施工結果。

一、前言

近年來台北都會區因捷運工程大規模施工，配合周詳的監測系統，收集了為數眾多的監測資料。有鑑於過去的分析資料過於零星，因此本文將根據捷運施工之監測結果進行整理及分析，以歸納及統計台北盆地連續壁之可能的變形曲線型式。

二、工程概況

台北捷運規劃的初期網路包括南港線、新店線、中和線、板橋線、淡水線及木柵線，其中除木柵線及部份淡水線外，均為地下工程。在站體及地下街區，大多採1.0或1.2公尺之連續壁為擋土支撐

工，深度達30至50公尺不等。開挖方式包括順打及半逆打兩種，主要結構體開挖深度介於16~28公尺之間。

三、土層及地下水狀況

本文資料多引自南港線與新店線，屬T2及K1次區，兩次區最大的差異處在於K1區的松四粘土次層較厚，平均厚達20公尺，T2區則多在10公尺以內。

因人口急驟增加，台北盆地自1960年代開始即自景美層大量抽水，以致松山層及景美層地下水位大幅下降(降幅最大達40公尺)，連帶松山層之水位亦受影響。自1970年代中期即已減少抽水量，至目前地下水位仍在緩慢回升中。根據1995年各標水壓計觀測結果，松4層以上地下水位在高程100至101公尺間，松4層以下地下水位在高程93至95公尺間，而景美層地下水位在高程89至91公尺間[1]。

四、連續壁變形曲線研究

4.1 建立變形曲線方程式

依台北捷運監測資料顯示，連續壁變形曲線形狀約可歸納成四種型式，分別定為標準型、旋轉型、多折型及懸臂型，如圖1所示，其中標準型為一般孔底固定於不動層或傾度管理設較深，開挖影響範圍未達孔底，致觀測結果底部未有明顯位移現象，且具有兩個近似反曲點者；旋轉型為傾度管理

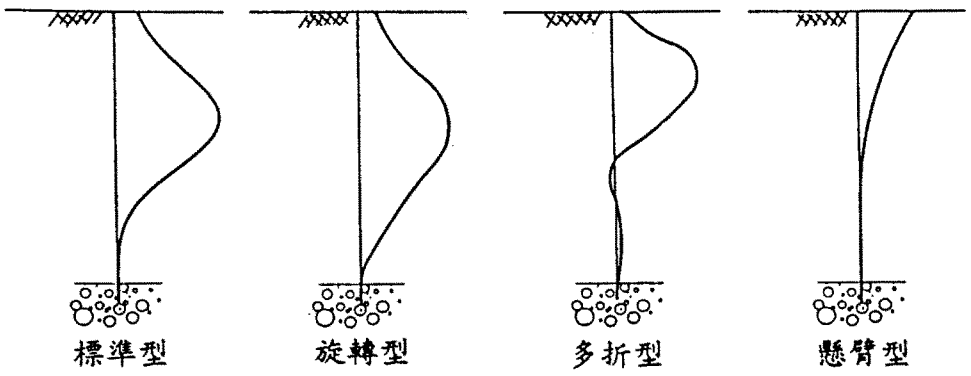


圖1 壁體變形曲線類型

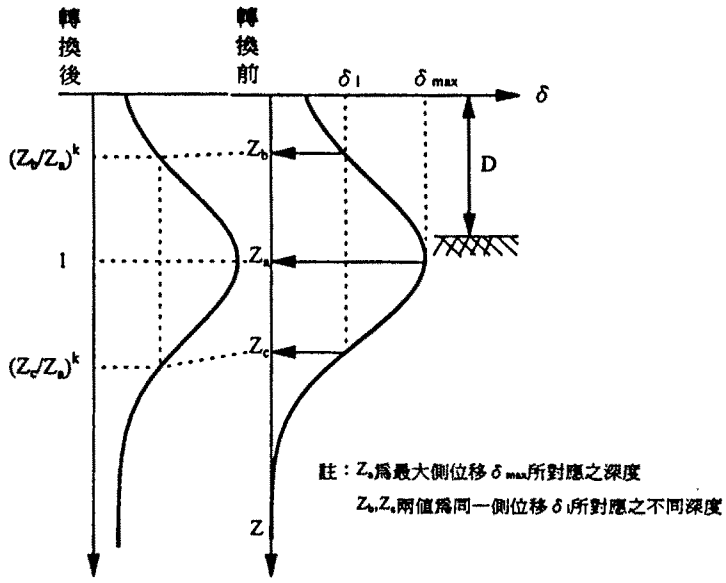


圖2 壁體變形曲線 Z_a 、 Z_b 、 Z_c 三係數

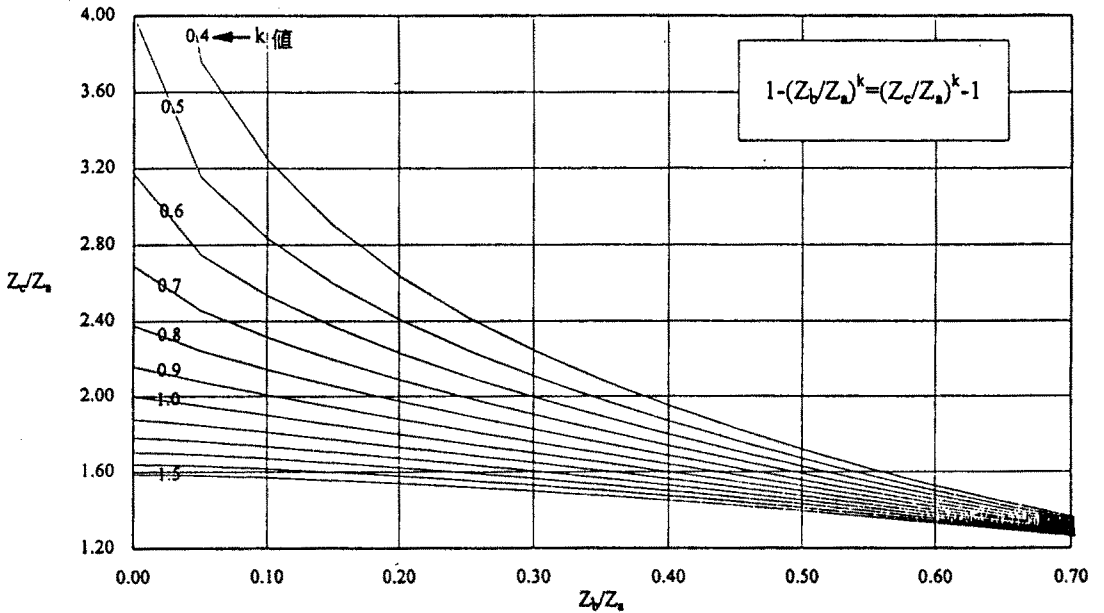


圖3 深度參數 Z_a 、 Z_b 、 Z_c 與偏態修正係數 k

設較淺，受開挖影響自孔底即有位移現象，或孔底雖達不動層，但觀測結果顯示，自底部開始即有明顯旋轉位移情形，下方之反曲現象不一定明顯；多折型則受地層變化影響(如土層分區界面處或地盤改良區域)，產生異於常態之形狀者；而懸臂型則常見於淺層開挖階段，其壁體變形形狀類似懸臂樑受力後之變形曲線，故以此定名，一般在一、二階開挖時多屬此型，此後隨開挖深度增加，逐漸轉為其餘三型，本文僅討論標準型變形曲線。

標準型壁體變形曲線並非呈常態分佈，而是偏態分佈，但可將常態分佈曲線，即式(1)，經座標轉換以模擬如下(即式(2)、(3))：

$$\delta = \delta_{\max} \cdot \exp\left(-\frac{z^2}{2i^2}\right) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\delta = \delta_{\max} \cdot \exp\left\{-m \cdot \frac{\left[\left(\frac{Z}{Z_a}\right)^k - 1\right]^2}{\left(\frac{Z_c}{Z_a}\right)^k - 1}\right\} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$1 - \left(\frac{Z_b}{Z_a}\right)^k = \left(\frac{Z_c}{Z_a}\right)^k - 1 \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中 k 為偏態修正係數。

m 為形狀修正係數。

z 為深度。

上述 Z_a 、 Z_b 、 Z_c 三係數之關係如圖2所示，其中 Z_a 為最大側位移所在深度，而 Z_b 、 Z_c 為變形曲線某一特定側位移量 δ_i 所對應的兩處深度($Z_c > Z_b$)。由於每一支傾度管的變形曲線形狀不儘相同，因此可根據線型選定側位移量 δ_i ，如此可迴歸出頗為接近量測值之變形曲線方程式。

4.2 迴歸分析步驟

連續壁變形曲線除懸臂型、多折型及部份孔口讀值為負值者外，原則上均可利用上節所推導的方程式加以迴歸。迴歸步驟如下：

步驟1：整理監測數據成側位移 δ 與深度 z 之關係圖。

步驟2：根據監測數據決定 Z_a 。

步驟3：根據線型選定側位移量 δ_i ，如此可得

$$Z_b、Z_c，並計算 \frac{Z_b}{Z_a} 及 \frac{Z_c}{Z_a} 比值。$$

步驟4：由步驟3求得 $\frac{Z_b}{Z_a}$ 及 $\frac{Z_c}{Z_a}$ 比值，並由圖3

可對應偏態修正係數 k 。

步驟5：根據選定的 δ_i / δ_{\max} 值，由(2)式計算形狀修正係數 m 如下：

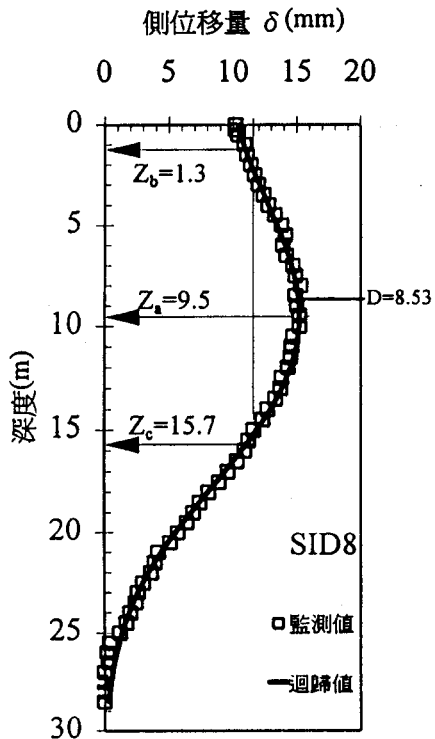
$$m = -\ln\left(\frac{\delta_i}{\delta_{\max}}\right)$$

依據上述步驟可迴歸各傾度管之變形曲線方程式。

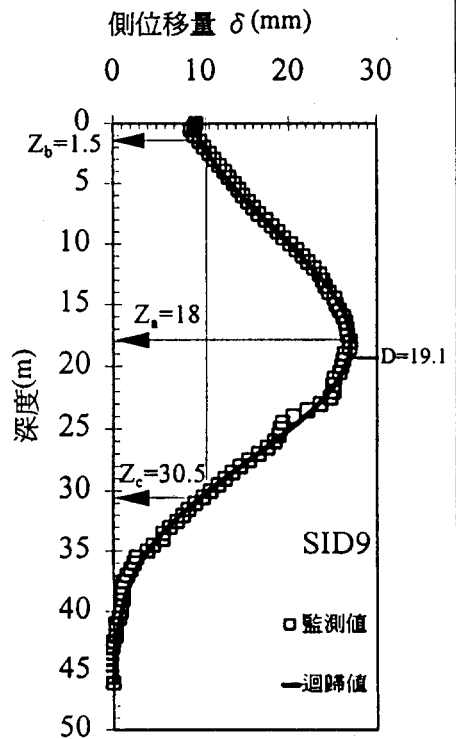
4.3 實例說明

由於捷運站體開挖深度大多介於15公尺至20公尺之間，因此埋設傾度管的深度多未達礫石層。據觀測資料，可能多數傾度管孔底均有位移現象，本節所採用之傾度管以深達礫石層或孔底未有明顯變位者為限。

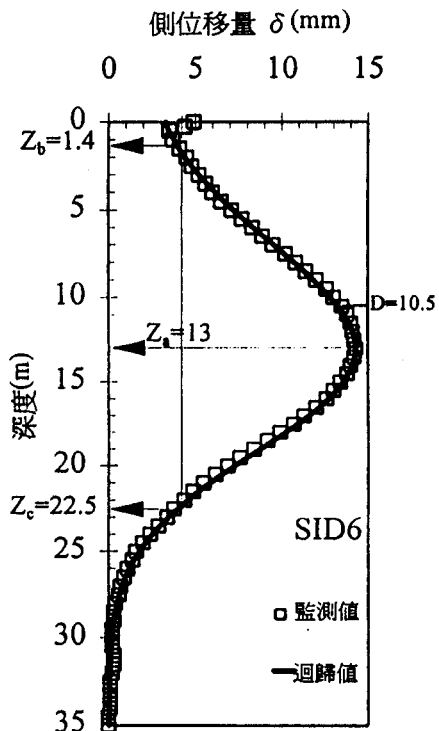
案例一：位於南港線CN253A標BL8站體(善導寺站)的壁中傾度管SID8之監測值與迴歸值比較如圖4(a)所示，該工區開挖採順打方式，連續壁厚1公尺，深度為30.5公尺，深達松二粘土次層，土層分區屬T2區。以第三階開挖完成時的變形曲線進行分析，經選擇 δ_i / δ_{\max} 為 0.724 ($\delta_i = 11\text{mm}$ ， $\delta_{\max} = 15.2\text{mm}$)，如此可得參數 Z_a 、 Z_b 、 Z_c 、 m 分



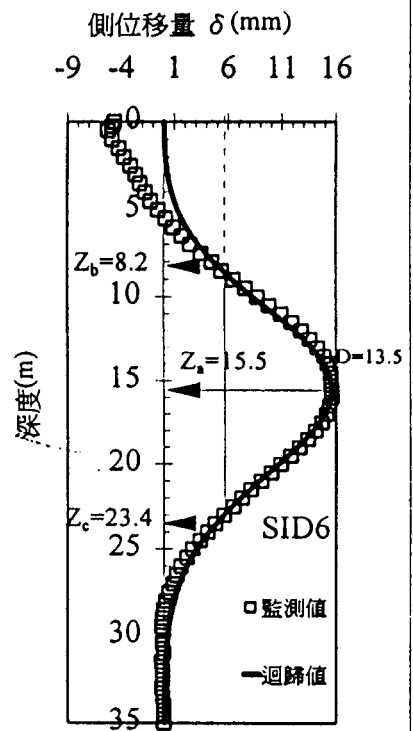
(a)南港線CN253A標第三階開挖變形曲線



(b)新店線CH221標第五階開挖變形曲線



(c)南港線CN253B標第四階開挖變形曲線



(d)南港線CN253B標第五階開挖變形曲線

D表該階開挖深度，單位公尺

圖4 迴歸方程式與監測值比較

別為9.5m、1.3m、15.7m及0.323，在滿足條件方程式(3)之前提下，可得偏態修正係數 $k=1.30$ 。

案例二：位於新店線CH221標G09站體的壁中傾度管SID9之監測值與迴歸值比較如圖4(b)所示，該工區開挖採順打方式，連續壁厚1公尺，深度為34公尺，深達松二粘土次層，土層分區屬T2區。以第五階開挖完成時之變形曲線進行分析，經選擇 δ_i/δ_{\max} 為0.370($\delta_i=10\text{mm}$ ， $\delta_{\max}=27\text{mm}$)，如此可得參數 Z_a 、 Z_b 、 Z_c 、 m 分別為18m、1.5m、30.5m及0.994，在滿足條件方程式(3)之前提下，可得偏態修正係數 $k=1.274$ 。

案例三：位於南港線CN253B標MALL區的壁中傾度管SID6之監測值與迴歸值比較如圖4(c)所示，該工區開挖採順打方式，連續壁厚1公尺，深度為35.5公尺，深達松二粘土次層，土層分區屬T2區。以第四階開挖完成時之變形曲線進行分析，經選擇 δ_i/δ_{\max} 為0.280($\delta_i=4\text{mm}$ ， $\delta_{\max}=14.3\text{mm}$)，如此可得參數 Z_a 、 Z_b 、 Z_c 、 m 分別為13m、1.4m、22.5m及1.273，在滿足條件方程式(3)之前提下，可得偏態修正係數 $k=1.20$ 。

上面三案例之壁體變形曲線均屬標準型，大致都可得頗為接近的迴歸線，至於孔口讀值為負值者，該部份則無法吻合，如圖4(d)所示。

五、連續壁變形行爲

影響壁體變形行爲的因素眾多，包括土層狀況、壁體勁度、支撐時機與施工品質等，加上壁體變形觀測常視傾度管底為零點，因而觀測之讀值並非絕對變位，使得分別探討形成變位之原因有執行上的困難。目前多以最大側位移量、開挖深度及最大側位移發生深度等觀測結果進行統計，以下將根據台北捷運施工觀測資料進行分析。

5.1 連續壁變形型式分類

根據觀測資料統計，可將壁體變形曲線定義九組不同的型式(如圖5所示)：以最大壁體側位移所在深度為基準，以上部份分三區域，取孔口處之 δ_i/δ_{\max} 比值大於0.5者為A區，而在 $\delta_i=0.5\delta_{\max}$ 時，對應之深度比值介於0至 $0.5Z_a$ 者為B區， $0.5Z_a$ 至 Z_a 為C區；基準以下亦分為三區，在 $\delta_i=0.5\delta_{\max}$ 時，對應之深度比值大於 $1.8Z_a$ 者為a區， $1.5Z_a$ 至 $1.8Z_a$ 為b區， Z_a 至 $1.5Z_a$ 為c區。

依上述分類原則，台北盆地T2區之分類結果顯示，隨深度增加變形曲線將由Aa類型逐漸轉變成Cc類型，K1區亦有此種趨勢。顯示變形曲線型式主要取決於開挖深度，受土層分佈之影響較不明顯。

5.2 最大側位移及其所在深度

台北捷運施工與以往之觀測結果如圖6及圖7所示，其中圖6為最大側位移量與開挖深度百分比之關係，圖中顯示捷運施工所造成的最大側位移量明顯低於台北市以往施工結果[2]。圖7係將圖6之資料以另一種方式表達，由此圖中可以看出，捷運施工造成的壁體最大側位移量約為開挖深度之0.2%至0.07%。但台北市以往施工造成的壁體最大側位移量則多半分佈在 $0.00025D^2$ 與 $0.0005D^2$ 之間(如圖6)，顯示隨開挖深度的增加，壁體最大變形量呈平方倍數急驟增加。捷運工程之連續壁與過去案例之差別在，1).支撐一律施加預力(本文僅討論順打案例)，2).壁體厚度增加，3).施工品質提高等。此外亦發現，台北捷運在小於4公尺之淺開挖階段，側位移量有偏大情形，究其原因為受地下管線遷移而延誤支撐架設時機所致。圖8為開挖深度與最大側位移所在深度之關係，資料顯示，最大側位移所在深度隨開挖深度之增加而增大，且大多分佈在 $0.8D$ 至 $1.2D$ 之間。

此外，根據監測數據顯示，部份壁體變形曲線於地表附近常呈負值現象，表示相對於孔底有向開挖區外側移動情形，但對應的支撐應變計讀值為

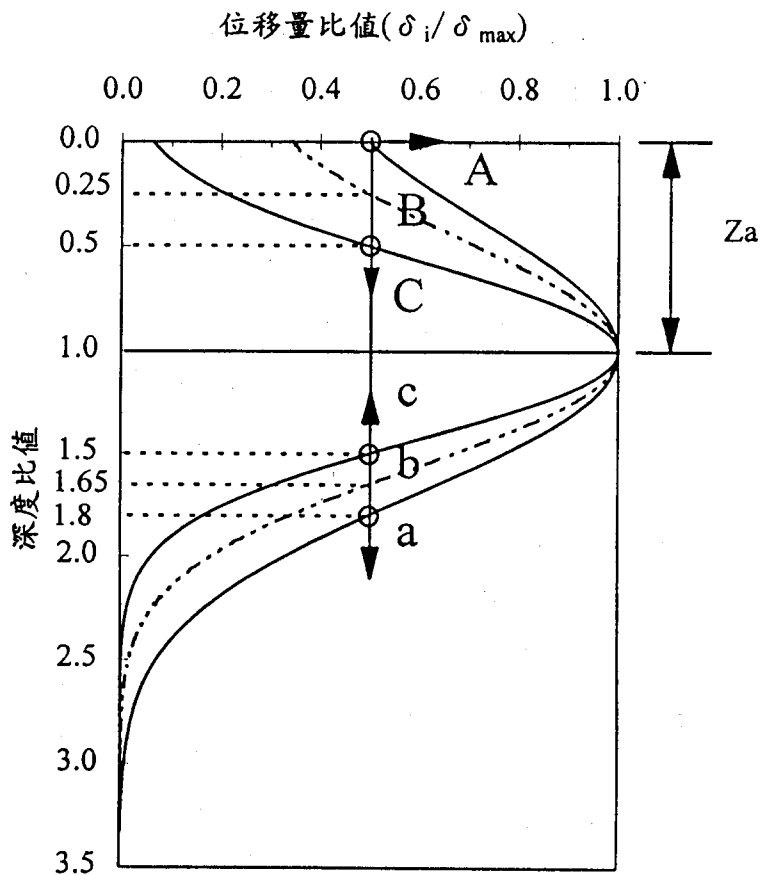


圖5 定義壁體變形曲線型式示意圖

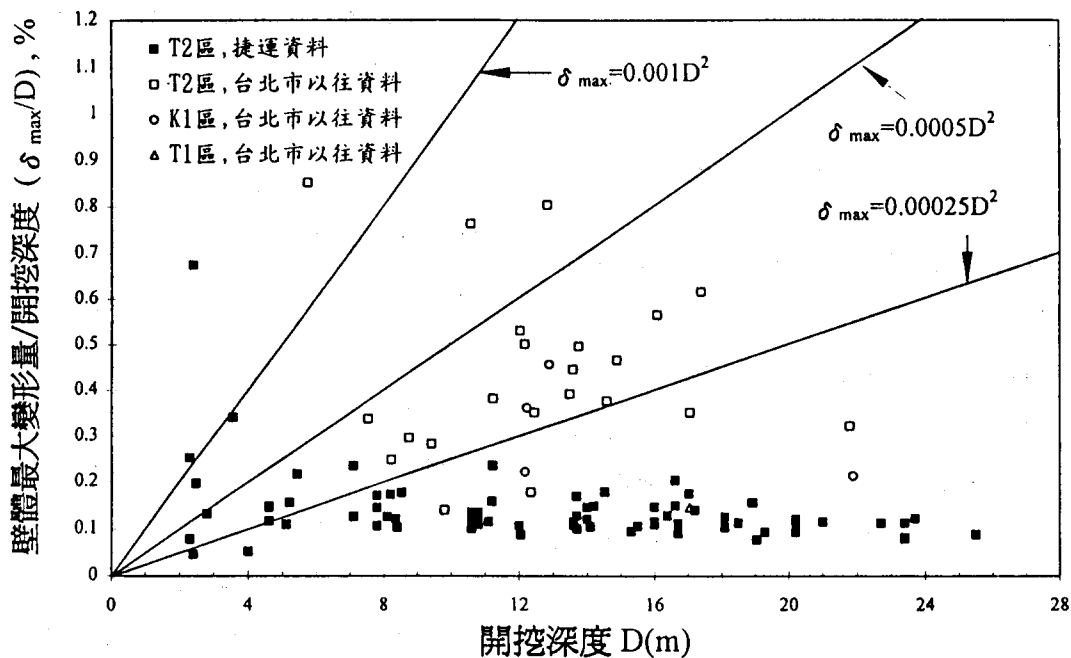


圖6 開挖深度與壁體最大側位移量之關係

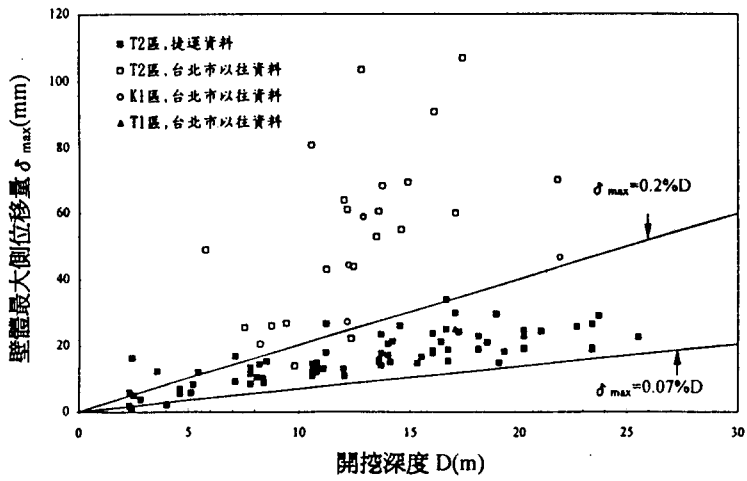


圖7 開挖深度與壁體最大側位移量之關係

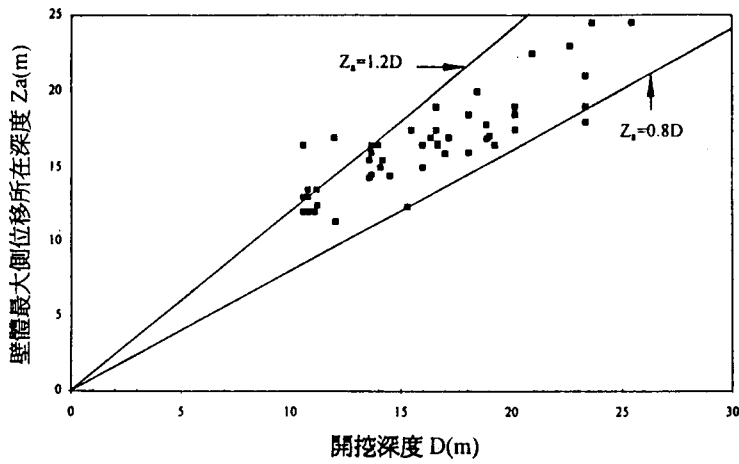


圖8 台北捷運壁中傾度管最大側位移所在深度與開挖深度之關係

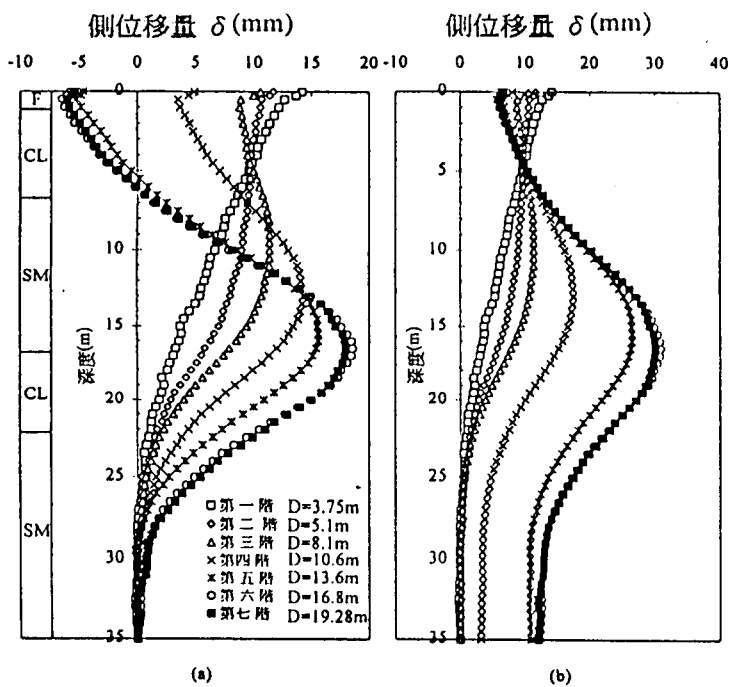


圖9 南港線CN253B標壁中傾度管SID6歷時曲線

正，顯示該層支撐為受壓狀態，研判上述情形應為孔底向內變形所致。圖9(a)所示之歷時曲線為南港線CN253B標SID6各階觀測結果，很明顯可看出第四階至第五階施工期間壁體變形曲線，於地表附近由正值漸變為負值，造成此現象的原因，主要為第四層支撐架設完成後，延遲五個多月未進行後續施工，使開挖面因長期解壓而致連續壁外土壤向內擠壓變位所致。

根據圖9(a)第一至第三階之壁體變形曲線發現，此三階變形曲線均於第二層支撐所在處發生交會，故假設該處為各階壁體變形曲線之交會點，而將第四至第六階壁體變形曲線加以修正如圖9(b)所示，修正後的歷時曲線顯示，土壤長期解壓使連續壁孔底產生約15mm之內移量，間接地驗證上述推測的結果。

六、結論與建議

本文主要根據台北捷運施工結果進行分析探討，所得結論與建議如下所示：

1. 根據本文推導之數學式來迴歸壁體變形曲線，除懸臂型、多折型及部份孔口讀值為負值者外，大致上均可獲致相當良好結果。
2. 台北捷運施工結果顯示，壁體最大側位移量介於0.07%D至0.2%D之間，顯著低於台北市以往施工結果，研判與支撐預載、壁體厚度增加及施工品質提高有關。
3. 淺層開挖時側位移量有偏大情形，此現象應與管線眾多，遷移時程過久有關。
4. 根據台北捷運施工統計，壁體最大側位移所在深度隨開挖深度之增加而增大，大多分佈在0.8至1.2倍的開挖深度之間。

誌謝

本文於撰寫期間承蒙亞新工程顧問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

- 闕河淵、吳沛軫、朱世忠、蘇信淵(民國85年)，"地下工程施工對鄰近建物保護施作時機及成效檢討"，地工技術，第54期，第77~86頁。
- 胡邵敏(民國81年)，"深開挖工程鄰產保護設計與施工(一)—開挖工程對鄰產之影響及其安全評估"，地工技術雜誌，第40期，第35~50頁。

Deformations of Diaphragm Walls

P.J. Wu, M.J. Wang Y.R. Peng, S.W. Duann
CDPO, DORTS, Moh & Associates, Inc.
Taipei Taipei

ABSTRACT

Based on the observations made during the construction of the Taipei Rapid Transit Systems, deflections of diaphragm walls can be categorized into 4 types. Attempts have been made to establish the characteristic function of the most common one of these four and the parameters defining this function by curve fitting. It has been found that the wall deflections varied from 0.07% to 0.2% of the depth of excavation, which are considerably less than what was previously obtained.