

深開挖工程側向土壓力與壁體變形  
**LATERAL EARTH PRESSURES AS AFFECTED  
BY DIAPHRAGM WALL MOVEMENT DURING  
DEEP EXCAVATIONS**

楊國榮，王暉文，范陳柏  
G. R. Yang, H. W. Wang and C. B. Fan

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571~576頁

*Reprinted from Proceedings of 7th Conference on Current  
Researched in Geotechnical Engineering  
Chinshan, Taiwan  
August 28~30, 1997, Vol. 1, pp.571~576*

# 深開挖工程側向土壓力與壁體變形

楊國榮、王暉文

范陳柏

亞新工程顧問公司

台北市政府捷運局南區工程處

## 摘要

本文根據台北盆地T2區之深開挖施工案例的土壓計現場量測值整理分析，討論壁體變形對側向土壓力的影響，結果顯示主動側之側向土壓力將隨壁體位移增加而降低，當壁體位移達到30mm時，土壤強度才能完全發揮，土壓達到完全主動狀態，此時側向土壓係數約為0.2。

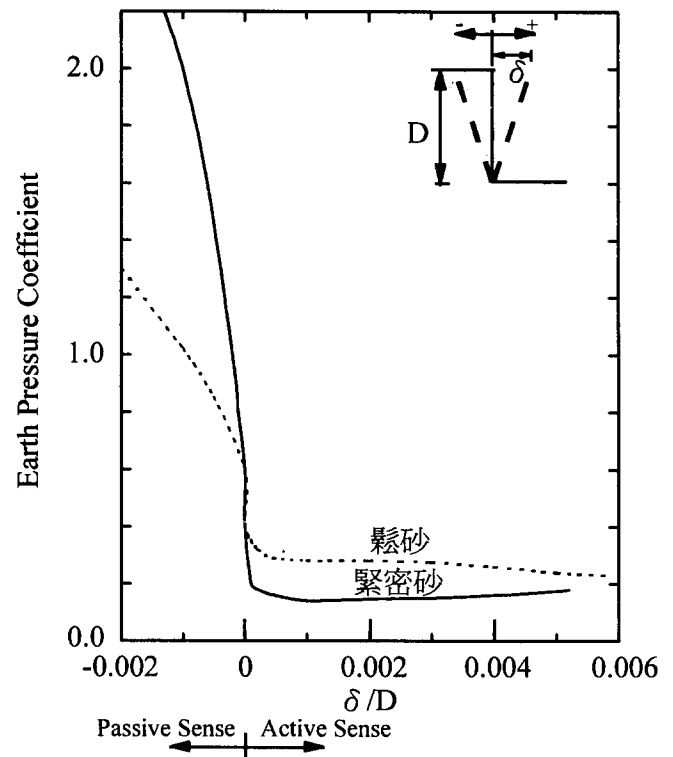
## 一、前言

擋土壁上所受側向土壓是一個古典的土壤力學問題，自 Coulomb ( 1776 ) 發表其土壓理論迄今已逾兩百年。但是這方面研究偏重理論分析，或者實驗室模型實驗，現場實測數據並不多見。這是因為土壓之量測相當困難，要想得到可靠的數據，除了要有高品質的儀器及高水準之安裝外，還要靠點運氣。除了拱效應外，由圖一中之案例(Terzaghi, 1934)可見，土壓對擋土壁之位移量十分敏感，稍為一動，土壓之變化極大。以緊密砂層而言，一座 20 公尺高之擋土壁，只要頂部移動 20mm ( $\delta/D=0.001$ )，側向土壓係數即由 0.42 陡降至 0.1。此外，土壓亦因擋土壁之運動模式而變，這方面之論文不少 ( Harr, 1966 )，足資參考，不再在此贅述。

量測地上擋土壁上的土壓已屬不易，要量測在深開挖時連續壁上所承受之土壓，更是難上加難。除了上述之困難點外，總土壓亦受地下水位及孔隙水壓變化之影響。土壓計之安裝更是充滿不確定

性，諸如碰衝、坍塌、水泥包裹等因素都會影響資料之正確性。

本文藉台北市三個深開挖案例探討土壓變化與連續壁壁體位移之關係。因為被動側之土壓變化受開挖區內抽降水之影響甚鉅，不全然與位移相關，因此本文僅限於主動土壓之探討。



圖一 土壓對擋土牆位移之反應  
(摘自 Terzaghi, 1934)

## 二、案例介紹

本文所介紹之三個案例分別為：1) CPH 大樓地下室開挖，2) 台北捷運新店線中正紀念堂站主體開挖，及3) 該站南端之轉轍段開挖。這三個案例比較如下：

案例	工法	開挖深度	連續壁	土壓計
1	逆打	17.4m	0.8m	A,B,C,D
2	半逆打	23.4m	1.2m	E,F
3	順打	24.0m	1.2m	G,H

案例一之部份結果已經發表在 Moh and Hwang (1993) 一文，案例二及三之部份資料發表在黃南輝、等 (1996) 一文。此兩文之重點在探討土壤與壁面間之摩擦角，以及壁面摩擦力對垂直向土壓之影響，所引用的資料都是在極大位移時所量測而得的，也就是在開挖接近完成的狀況。而本文進一步探討在開挖過程中每一階段之土壓變化。

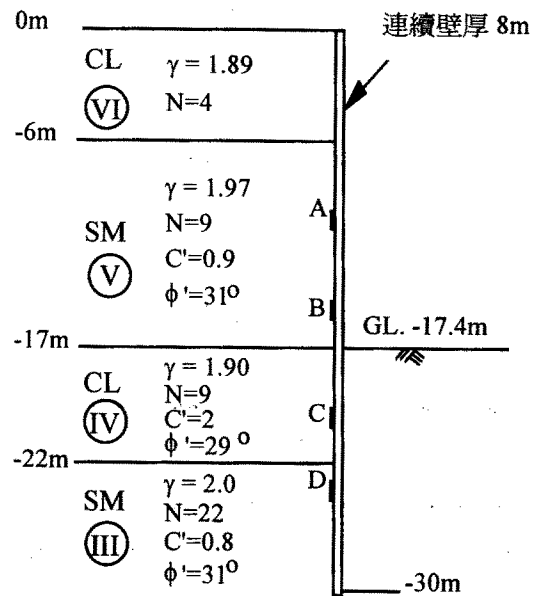
上述三個案例都是在台北盆地的 T2 區，代表性土層剖面圖表示於圖二。案例一之開挖達松山四次層之頂部，而案例二及三之開挖進入松山三次層。

案例一是以逆打工法施工，以頂版、中間版及底版作支撐。案例二是以半逆打工法施工，在頂版構築後，即開挖至底，其間有七層臨時支撐，在架設這些臨時支撐時，曾施加 50%預力。案例三是以順打工法施工，一共有七層臨時支撐，開挖到底後即打設底版、回築結構體，在架設臨時支撐時一樣施加 50%預力。

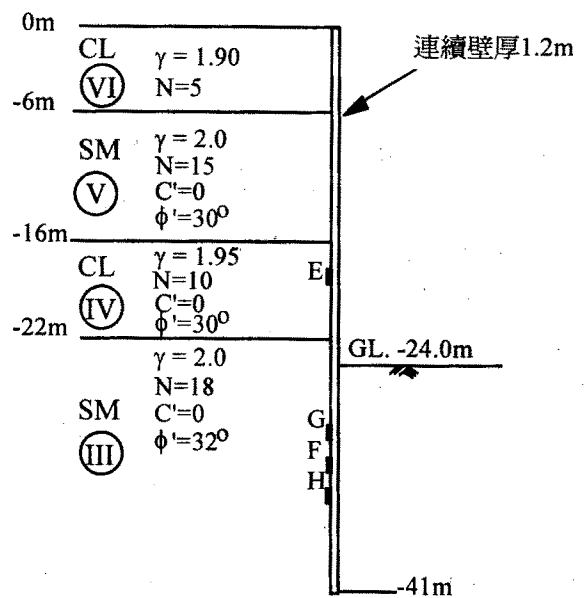
## 三、初始壓力

如圖二所示，案例一之連續壁上，在主動側一共裝有 10 組土水壓計，經評估後判定其中有四組之資料可信度相當的高，可資應用。案例二有兩組資料可用，案例三有兩組可用，一共八組土壓之初值表示於圖三。每支土壓計搭配有一支水壓計，水壓之初值也一併表示於圖三。由該圖可見，由於景美層之超降水影響，地下水位並非線性分佈，松山五次層之地下水位約在深度 5 公尺處，松山三次層

之地下水位約在深度 13 公尺處。



(a) 案例一 土層剖面



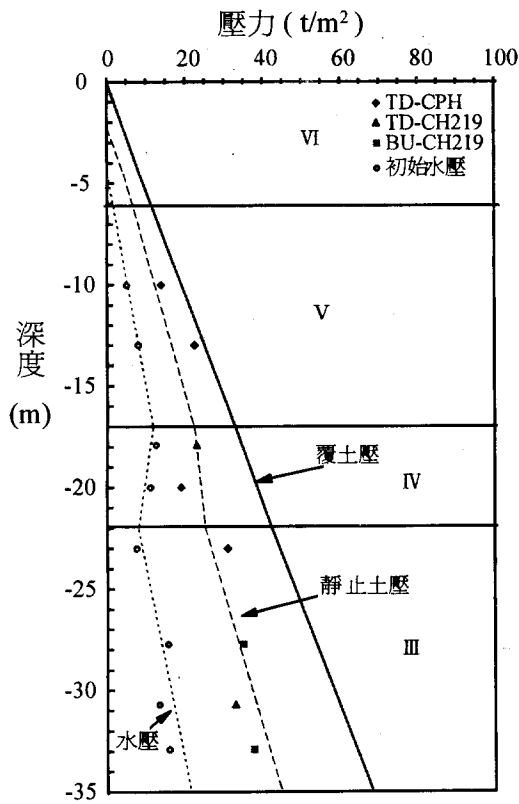
(b) 案例二、三 土層剖面

圖二 各案例土層剖面及壓力計位置

必須在此一提的是，土壓計之初值並不代表連續壁上所受之土壓。在溝槽開挖後，溝槽內之土壓即降至與自土液之液壓相當。因為自土液之單位重僅略高於水，總土壓幾乎與水壓相當，也就是說有

效土壓接近零。在混凝土澆置後，因為混凝土之單位重超過土壤之單位重，壁面所受之壓力很可能回升至接近靜止土壓之狀況，甚至超過靜止土壓。實際土壓將因土壤性質、混凝土之流度、等因素而定，這方面尚無文獻可供參考。

在土壓計裝設定位後，必須加壓以使面板與土壤密切相貼，因此土壓計所量得之數據是一個人為的結果。理論上，土壓計之初始讀值應儘可能調整至與靜止土壓相當。但是在開挖過程中，無論是主動側或被動側，土壓都有下降之傾向，因此初始壓力應略高於靜止壓力，效果較佳，但不也宜高過覆土壓。因為土壤有潛變的行為，再加上混凝土固結時所產生的應力變化，土壓計所受之壓力並不能隨心所欲的鎖定在某一預定值。圖三顯示，除了三組初值較為偏低之外，其他之土壓初值則接近靜止土壓（假設有效側向土壓係數為 0.5）及介於靜止土壓與覆土壓（即有效側向土壓係數為 1）之間，可說是相當的理想。



圖三 土、水壓初值分布

#### 四、開挖期間壓力之變化

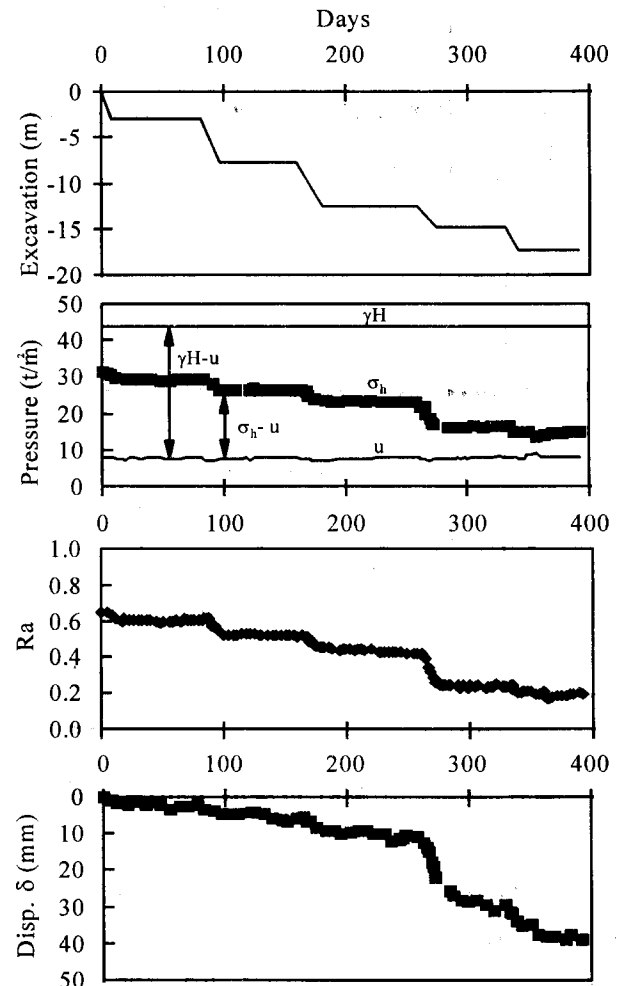
開挖歷程表示於圖四~六，案例一採逆打工法為時一年，方才到底，案例二採半逆打工法，為時九個月，案例三採順打工法，為時最短，僅四個月即開挖到底。為顯示水壓及土壓在開挖過程中之變化，在三案例中各取一組資料表示於圖四~六。很明顯地，主動側總水/土壓都隨開挖深度增加而下降，在案例一中開挖僅至松四層所以水壓在開挖過程中並無明顯變化，案例二、三中因開挖至松三層，開挖過程中的降水造成水壓明顯隨開挖深度增加而下降。如眾所皆知，土壤行為取決於有效應力之變化，因此若欲瞭解土壤行為及其機制，有效應力才是分析的對象。有效側向土壓為側向總水/土壓與水壓之差值，即

$$\sigma'_h = \sigma_h - u \quad (1)$$

其中

$\sigma_h$  = 側向總水/土壓，即土壓計之量測值

$u$  = 孔隙水壓，即水壓計之量測值



圖四 案例一土壓計 D(深度 23m)量測結果

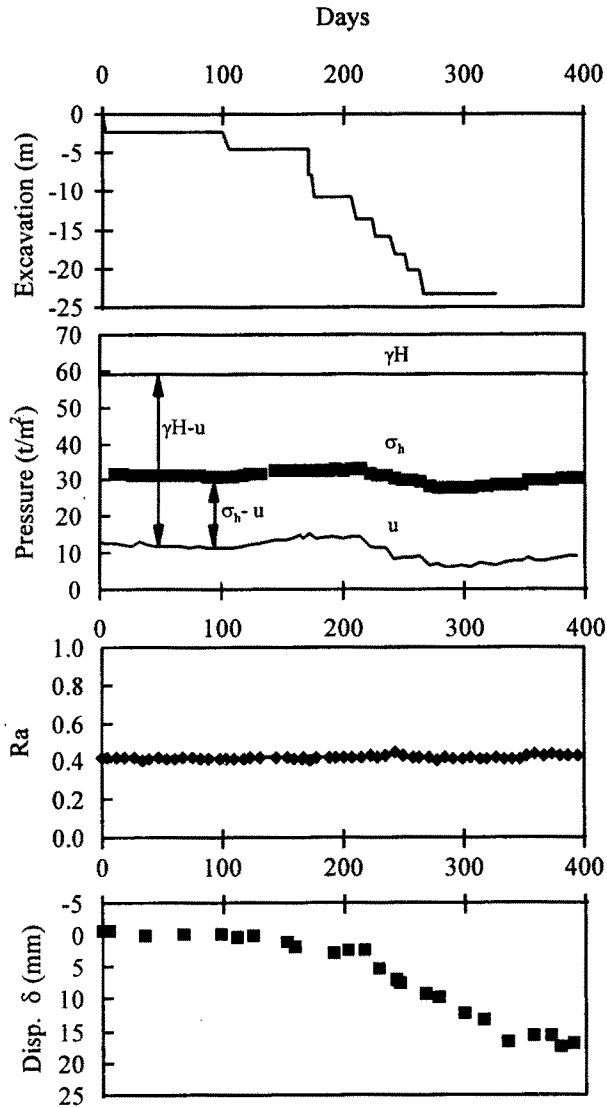
由圖四~六可以看出，有效側向土壓係數亦隨開挖深度增加而下降。今定義「有效側向土壓係數」為

$$R_a = \frac{\sigma_h - u}{\gamma H - u} \quad (2)$$

其中

$\gamma$  = 土單位重

$H$  = 覆土厚度

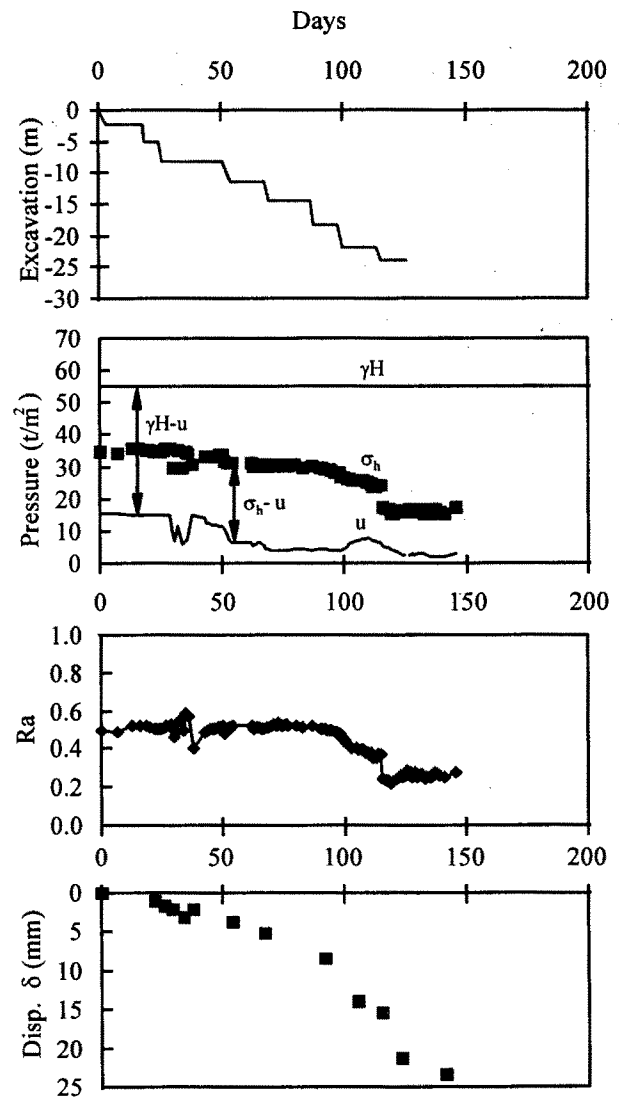


圖五 案例二土壓計 F(深度 30m)量測結果

由圖四~六可見，上述三組土水壓計之「有效側向土壓係數」在案例一、三皆顯示出隨開挖深度增加而下降，其下限在 0.19 至 0.2 之間，而案例二的變化則較不明顯，兩種情況的差異主要受到壁體位移量的影響。

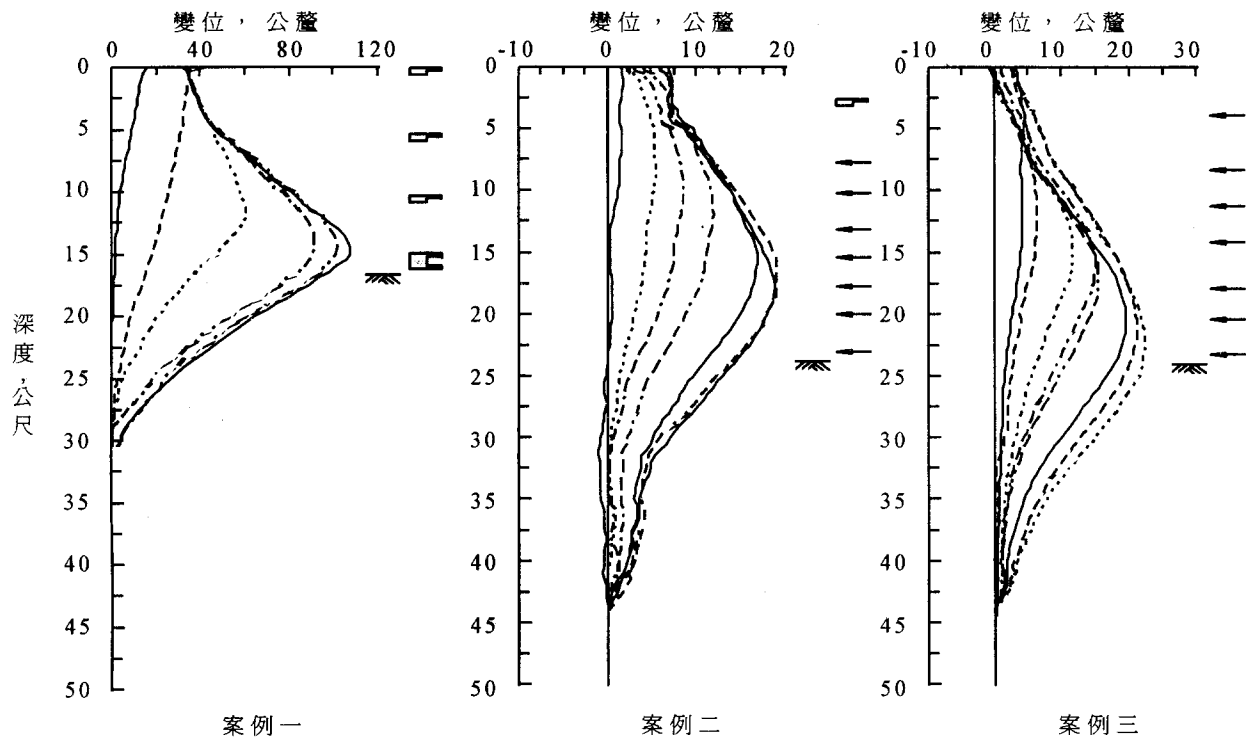
## 五、土壓與位移之關係

由圖一可以看出，土壓與擋土壁之位移密切相關，這也是本文探討之主題。在此，擋土壁即連續壁，其位移係以傾斜計量測，圖七表示量測結果。案例一之開挖深度僅 17.4 公尺，而連續壁之側向位移達 100mm，案例二及三之開挖深度達 24 公尺，而連續壁之位移最大值僅 25mm。這是因為案例二及三之連續壁較厚，支撐較密之故。

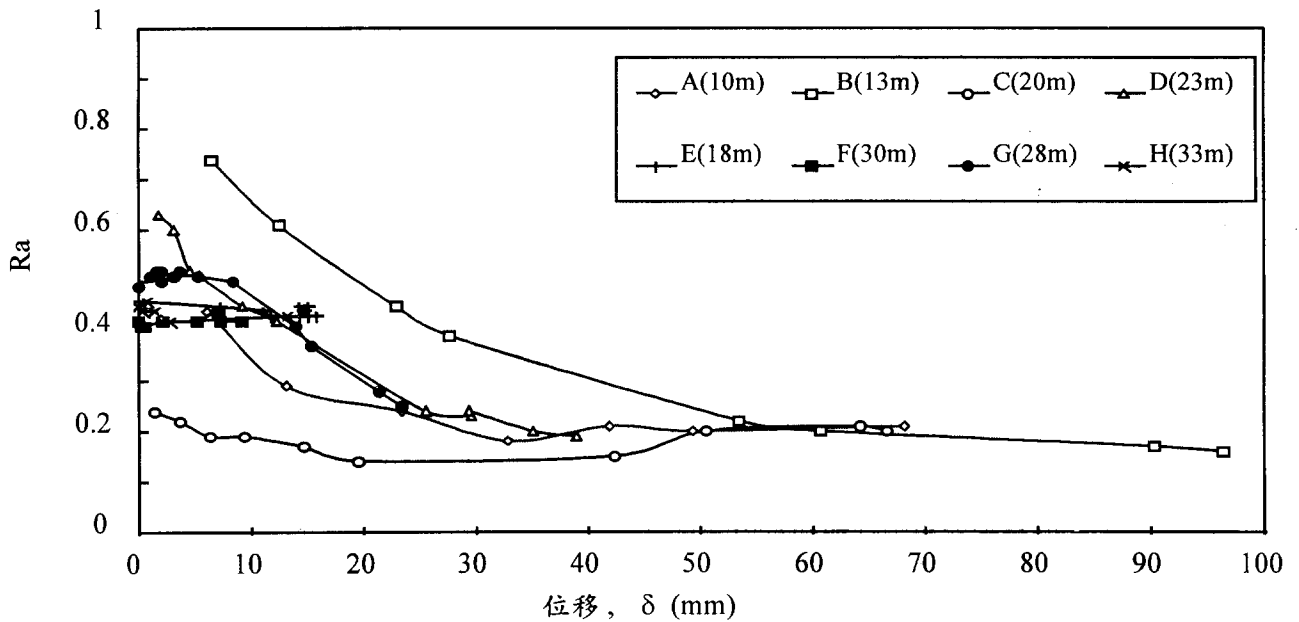


圖六 案例三土壓計 G(深度 28m)量測結果

連續壁的側向位移因深度而異，不同深度的位移也可以歷時曲線表示。在圖四~六之下方，就有這三個不同位置側向位移的歷時曲線。今將「有效側向土壓係數」與側向位移之關係繪製於圖八，就可以很明顯的看出當位移達 30mm 至 40mm 時，有



圖七 三案例開挖期間壁體位移關係



圖八 側向土壓係數與壁體位移關係

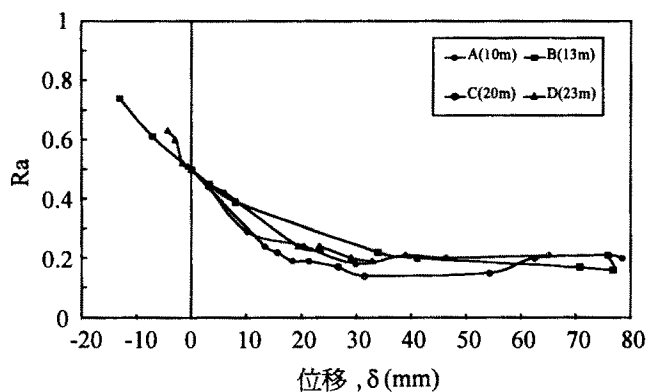
效土壓係數趨近其下限。換句話說，只有位移達到 30mm 以上時，土壤強度才能完全發揮，而側向土壓才是在完全主動狀態。

如前所述，土壓計之初始值是加壓的結果，並不代表連續壁上所受的土壓，所以圖八只是表示土壓計讀值之變化，並不真正代表連續壁上側向土壓的變化。假如開挖之前連續壁上之土壓是靜止土壓而其有效側壓係數為 0.5，真正的土壓變化可以將

圖八之橫座標原點平移至相對於  $Ra=0.5$  的位置。以土壓計 D 而言，修正值為 6.09mm。不同的土壓計有不同的修正值。修正後之結果（見圖九），出乎意料的理想，案例一的四組資料其資料點落在一狹窄的幅度內，這除了要有高超的量測品質外，也要靠「土壤的密切配合」，案例二、三的资料不是很理想，可能是因為預壓的影響。

圖九更明確的顯示，當連續壁之側向位移達到

30mm 時，土壓可以達到完全主動狀態，側向土壓係數約為 0.2。當然此值因土壤性質而異，也因連續壁之變形模式而所不同，但與工法或支撐無關。預壓可能會有某種程度之影響，但因時間有限，預壓的效應有待日後研究。



圖九 側向土壓係數與修正後壁體位移關係

## 六、結論

本文根據 CPH 大樓地下室開挖、台北捷運新店線 CH219 標主體開挖及轉轍段開挖實測之土、水壓記錄，在無預壓影響的情況下，當壁體位移達到 30mm 時，土壤強度才能完全發揮，土壓達到完全主動狀態，此時側向土壓係數約為 0.2。

## 七、誌謝

本文於撰文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

- TERZAGHI, K. (1934), "Large Retaining Wall Tests. I. Pressure of Dry Sand", Engineering News Record, 112, pp.136-140.
- HARR, M. E. (1966), "Foundations of Theoretical Soil Mechanics", McGRAW-HILL, New York.
- MOH, Z. C. AND HWANG, R. N. (1993), "Earth Pressures on Walls of a Deep Excavation",

Proc, 3rd Int. Conf. on Case Histories in Geot. Engrg, St. Louis, Missouri, USA.

黃南輝、廖健智、范陳柏(1996), "深開挖工程中側向土壓力變化", 地工技術雜誌, 第 53 期, 第 25 - 34 頁。

## LATERAL EARTH PRESSURES AS AFFECTED BY DIAPHRAGM WALL MOVEMENT DURING DEEP EXCAVATIONS

G.R. YANG, H.W. WANG

Moh & Associates, Inc.

Taipei

C.B. FAN

EDPO, DORTS

Taipei

### ABSTRACT

This paper reports recorded earth pressures acting on diaphragm walls during deep excavations carried out in a soft ground in the T2 zone of the Taipei Basin. The main theme of the paper is on wall movement and its influence on lateral earth pressures. The results indicated that lateral earth pressures decreased as the wall movement increased and the earth pressures arrived at their limiting values when the wall movement reached 30mm. The coefficient of effective lateral active earth pressures was about 0.2 in the case without preloading of struts. This study will, hopefully, provide useful information for the future design and construction.