

# 技術短文

## 深開挖工程窄巷效應之土壓力推導

### Derivation of the Active and Passive Pressures for Deep Excavations Subjecting to Narrow Lane Effect

簡茂洲\* 簡子歲\*\*

#### 一、前言

本篇所述「窄巷效應」對都會區深開挖工程之影響，早於地工技術第140期闡述(簡與簡，2014)，然該文章內並未將土壓力推導予以交待，因此藉由本文將窄巷效應的土壓力理論基礎加以彙整，以供讀者參考。

#### 二、窄巷效應的主動土壓力

窄巷效應的主動土壓力事實上就是「有限寬度」主動土壓力，作者以Coulomb土壓力理論所推導的有限寬度主動土壓力之土楔與平衡力如圖一所示。設「窄巷」的有限寬度為 $d$ ，計算土壓力的土楔深度為 $H$ ，將 $d$ 與 $H$ 的比值定義為 $n=d/H$ ，則有限寬度之主動土壓力

$$P_{ad} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{ad} - [c_w \tan(45^\circ - \frac{\phi}{2}) + 2cn]H \quad (1)$$

隨著深度 $h$ 而變化的主動土壓力強度

$$\sigma_{ad} = \gamma h K_{ad} - [c_w \tan(45^\circ - \frac{\phi}{2}) + 2cn] \quad (2)$$

其中 $K_{ad}$ 為有限寬度主動土壓力係數

$$K_{ad} = [2n \tan(45^\circ - \frac{\phi}{2}) - n^2] \quad (3)$$

$C$ 為土壤的凝聚力， $C_w$ 為擋土壁與土壤的附著力。對非凝聚性土壤而言，土壤之有效垂直應力

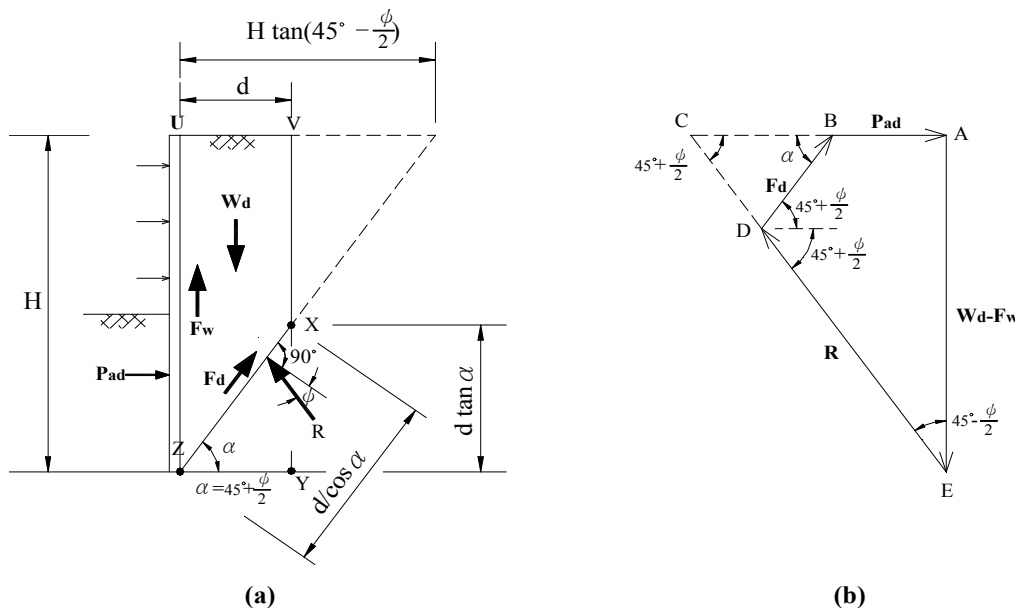
$$\sigma'_v = \gamma h - \mu h, \quad \mu h \text{ 為深度 } h \text{ 處之水壓力。}$$

任一深度的有效主動土壓力強度

$$\sigma'_{ad} = \sigma'_v K_{ad} - [c_w \tan(45^\circ - \frac{\phi'}{2}) + 2c'n] \quad (4)$$

其中有限寬度主動土壓力係數

$$K_{ad} = 2n \tan(45^\circ - \frac{\phi'}{2}) - n^2 \quad (5)$$



圖一 擋土壁外有限寬度的主動土壓力土楔與平衡力

\* 簡茂洲土木技師事務所 \*\* 新北市工務局

對凝聚性土壤而言，當凝聚性土壤為飽和狀態時， $\phi=0^\circ$ ， $c$  = 不排水剪力強度  $S_u$ 。

任一深度的有效主動土壓力強度

$$\sigma_{ad} = \sigma_v K_{ad} - (c_w + 2nS_u) \quad (6)$$

其中有限寬度主動土壓力係數

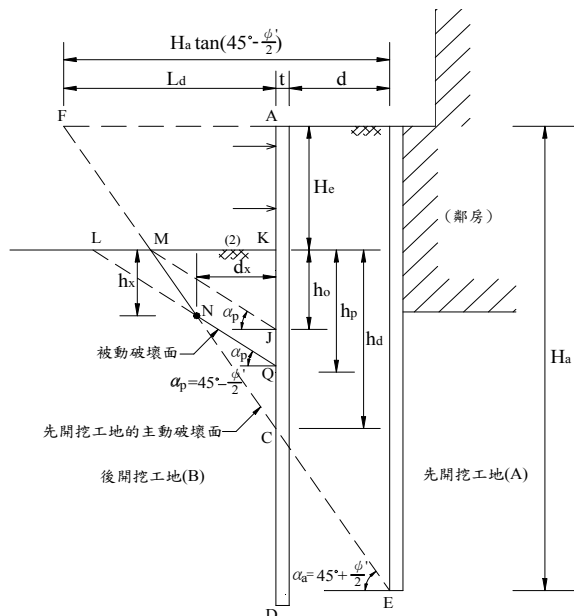
$$K_{ad} = 2n - n^2 \quad (7)$$

### 三、窄巷效應的被動土壓力

窄巷效應被動土壓力的分析要比主動土壓力複雜許多，究竟「窄巷效應」對被動土壓力會造成怎樣的影響？由於先、後不同時期開挖的兩工地擋土壁的間距過於窄小，以致於先開挖工地所產生的主動破壞面侵入後開挖工地的開挖範圍內，對後開挖工地的土壤被動抵抗力造成意想不到的折減效應；現分「非凝聚性土壤」與「凝聚性土壤」分別加以論述。

#### 3.1 窄巷效應的非凝聚性土壤被動土壓力

圖二為非凝聚性土壤的窄巷效應被動土壓力解析圖；圖中  $\overline{EF}$  為先開挖工地所造成的主動破壞面，與後開挖工地的擋土壁相交於 C 點； $\overline{QL}$  為後開挖工地所發生的被動破壞面，與  $\overline{EF}$  相交於 N 點，真正所發生的被動破壞面變成折線  $\overline{MNQ}$ ；原應由三角形 LKQ 土楔提供的被動抵抗力已折減為四邊形 MKQN 之



圖二 非凝聚性土壤窄巷效應被動土壓力解析圖

土楔，這就是窄巷效應對非凝聚性土壤被動土壓力所發生的影響。

圖二中的  $h_p$  為被動土壓力發展的深度； $h_0$  為被動土壓力尚不致於折減的臨界深度； $h_d$  為窄巷效應所發生的最低深度，即為「C 點」的深度。當  $h_p \leq h_0$  時，被動土壓力尚不致於折減；當  $h_0 < h_p \leq h_d$  時，則發生窄巷效應的被動土壓力折減；當  $h_p > h_d$  時，被動土壓力又回復為無需折減之狀況。圖中「N 點」為被動土壓力折減的關鍵點，設其至開挖面的深度為  $h_x$ ，至擋土壁之距離為  $d_x$ 。利用三角函數可解得

$$h_0 = \frac{(H_a - H_e)}{\tan^2(45^\circ + \frac{\phi'}{2})} - \frac{(d+t)}{\tan(45^\circ + \frac{\phi'}{2})} \quad (8)$$

$$h_d = H_a - H_e - (d+t) \tan(45^\circ + \frac{\phi'}{2}) \quad (9)$$

$$h_x = \frac{h_p \tan^2(45^\circ + \frac{\phi'}{2}) - h_d}{\tan^2(45^\circ + \frac{\phi'}{2}) - 1} \quad (10)$$

$$d_x = (h_d - h_x) \tan(45^\circ - \frac{\phi'}{2}) \quad (11)$$

依 Coulomb 土楔模式，忽略土壤的有效凝聚力  $c'$  及擋土壁面附著力  $c_w$ ，所推導的窄巷效應被動土壓力為

$$P_{pd} = \frac{1}{2} \gamma' [(h_x + h_p) d_x \tan(45^\circ + \frac{\phi'}{2}) + h_x^2 / \tan^2(45^\circ + \frac{\phi'}{2})] \quad (12)$$

忽略  $c'$  及  $c_w$  狀況下之正常有效被動土壓力為

$$P_{p'} = \frac{1}{2} \gamma' h_p^2 K_p \quad (13)$$

設窄巷效應的被動土壓力係數為  $K_{pd}$ ，

$$\text{令 } P_{pd} = \frac{1}{2} \gamma' h_p^2 K_{pd} \quad (14)$$

$$\text{解(13)及(14)式，可得 } K_{pd} = (\frac{P_{pd}}{P_{p'}}) K_p \quad (15)$$

為易於以傳統之彈塑性一維分析模式進行窄巷效應的模擬分析，可將擋土壁面摩擦角  $\delta$  設為  $0^\circ$ ，土壤有限摩擦角  $\phi'$  模擬為  $\phi_{pd}$ ，如此窄巷效應的被動土壓力係數為  $K_{pd}$  可化為

$$K_{pd} = \tan^2(45^\circ + \frac{\phi_{pd}}{2}) \quad (16)$$

$$\text{而 } \phi_{pd} = 2(\tan^{-1} \sqrt{K_{pd}} - 45^\circ) \quad (17)$$

應用上可由(15)式求得  $K_{pd}$ ，再由(17)式解得  $\phi_{pd}$ ，再將  $\phi_{pd}$  值取代  $\phi'$  輸入電腦程式。

### 3.2 窄巷效應的凝聚性土壤被動土壓力

凝聚性土壤的窄巷效應被動土壓力與非凝聚性土壤大異其趣。凝聚性飽和土壤的摩擦角  $\phi = 0^\circ$ ，土壤凝聚力  $c$  等於不排水剪力強度  $S_u$ ，受窄巷效應影響的被動土壓力變化以圖三說明。圖中  $\overline{CD}$  為先開挖工地所引起之主動破壞面，它形成時， $\overline{CD}$  面上已發生剪力破壞。土壤強度之定義為土體受外力而破壞時，其強度為即將破壞前的臨界抵抗力 (critical resistance)，而破壞後的殘餘強度 (residual strength) 已不是原來的土壤強度。換言之， $\overline{BC}$  面上用來提供後開挖工地的被動土壓力的土壤強度已不是原來的不排水剪力強度，而僅是其殘餘強度而已。

究竟殘餘強度是多少？作者認為土體受剪力破壞，但其含水量及飽和度未改變，基本上可視同為擾動至重模狀況，其重模後的土壤強度可依照土壤的靈敏度 (Sensitivity) 予以估計。

$$\text{土壤的靈敏度 } S_t = \frac{q_u(\text{undisturbed})}{q_u(\text{remolded})} \quad (18)$$

$q_u(\text{undisturbed})$  為土體未擾動前的無圍壓強度。  
 $q_u(\text{remolded})$  為土體擾動重模後之無圍壓強度。

$$\text{所以殘餘強度建議為 } S_r = \frac{S_u}{S_t} \quad (19)$$

圖三(b)為被動 Coulomb 土楔的平衡力，正常情況下  $\triangle ABC$  所提供之被動土壓力  $P_p$  等於  $\overline{GE}$  之長度，當  $\overline{CD}$  面在先開挖的工地發生主動破壞面時，其強度已由  $S_u$  降低為  $S_r$ ，被動土壓力由  $\overline{GE}$  縮短為  $\overline{G'E}$ 。

設受影響後的殘餘強度被動土壓力為  $P_{pd}$ ，

$$P_{pd} = \frac{1}{2} \gamma h_p^2 + (c_w + 2S_r) h_p \quad (20)$$

後開挖工地的被動土壓力變化以圖四(a)及圖四(b)說明， $\overline{BC}$  為先開挖地主動破壞面侵入後開挖工地的部份，B 為此破壞面與擋土壁的交點，深度為  $H_d$ ，基本上  $\triangle ABC$  內的土壤強度已降低為  $S_r$ ，被動土壓力的分析

如下：

1. 分析時需先找出一「臨界開挖面」，在圖四(a)中的臨界開挖面為  $\overline{MN}$ ，「臨界開挖面」的定義為此開挖面依殘餘強度計算  $\triangle MBN$  的被動土壓力等於窄巷效應範圍內 ( $\overline{FEB}$ ) 的有限寬度主動土壓力，設臨界開挖面的深度為  $H_c$ ，當開挖深度  $H_e < H_c$  時，開挖區內被動破壞面尚未發生，窄巷效應亦尚未發生；當  $H_e \geq H_c$  時，則開始發生殘餘強度的被動土壓力。圖四(a)中設 B 點至開挖面的深度為  $h_d$ ，開挖面上方底層支撐與臨界開挖面中點 F 的深度為  $H_s$ ， $\overline{MN}$  至 B 點的深度為  $h_{dc}$ ，計算臨界開挖面深度  $H_c$  的方法如下：

$$P_{ad}(\overline{FEB}) = \left[ \frac{1}{2} \gamma H_d^2 K_{ad} - (c_w + 2nS_u) H_d \right] - \left[ \frac{1}{2} \gamma H_s^2 K_{ad} - (c_w + 2nS_u) H_s \right]$$

$$\text{其中 } K_{ad} = 2n - n^2, \quad n = \frac{d}{H_d}$$

$H_d$  為計算  $\overline{FEB}$  有限寬度主動土壓力的深度

$$P_{pd}(\triangle MBN) = \frac{1}{2} \gamma h_{dc}^2 + (c_w + 2S_r) h_{dc}$$

解  $P_{pd}(\triangle MBN) = P_{ad}(\overline{FEB})$ ，可求得  $h_{dc}$

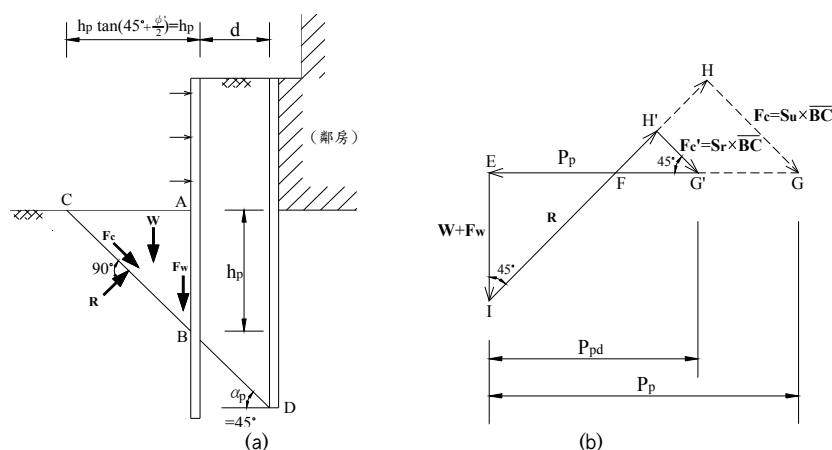
$$\text{則臨界開挖面的深度 } H_c = H_d - h_{dc} \quad (21)$$

2. 當後開挖工地的開挖深度超過  $H_c$ ，如圖四(b)，其被動土壓力會驟降為殘餘強度的被動土壓力，以公式(20)計算，此時  $\overline{BC}$  面以上的被動抵抗力只能維持為  $P_{pd}(\triangle ABC)$ ；同時  $\overline{BC}$  面以下土層的地盤反力開始變大，當地盤反力到達極限值時便產生新的被動破壞面  $\overline{DE}$ ，因  $\overline{DE}$  面的土壤強度仍為  $S_u$ ，故  $\triangle ADE$  的被動土壓力仍按正常的被動土壓力計算， $P_p(\triangle ADE)$  與  $P_{pd}(\triangle ABC)$  的差值等於四邊形 BCDE 新增的被動土壓力。

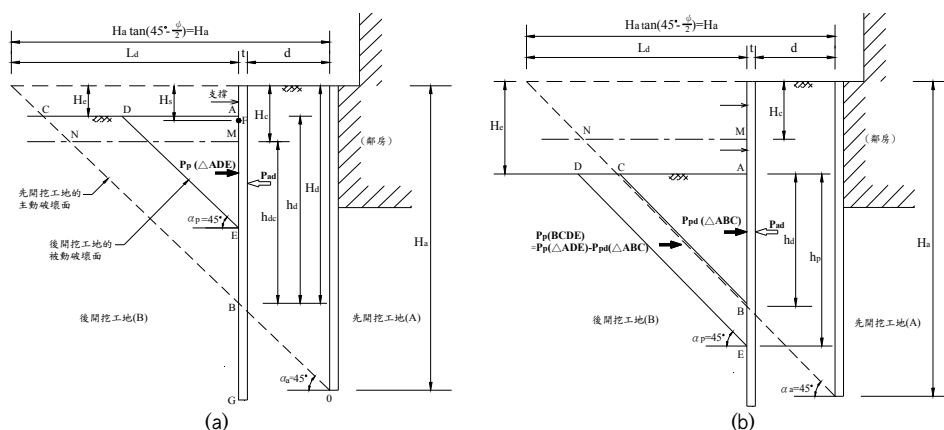
$$P_{pd}(\triangle ABC) = \frac{1}{2} \gamma h_d^2 + (c_w + 2S_r) h_d \quad (22)$$

$$P_p(\triangle ADE) = \frac{1}{2} \gamma h_p^2 + (c_w + 2S_u) h_d \quad (23)$$

$$P_p(BCDE) = P_p(\triangle ADE) - P_{pd}(\triangle ABC) = \frac{1}{2} \gamma (h_p^2 - h_d^2) + c_w (h_p - h_d) + 2(S_u h_p - S_r h_d) \quad (24)$$



圖三 窄巷效應之凝聚性土壤開挖之土楔及平衡力



圖四 凝聚性土壤窄巷效應被動土壓力解析圖

## 四、窄巷效應對水平地盤反力係數的影響

使用彈塑性一維分析模式進行的擋土壁分析時，其被動抵抗力除了被動土壓力外尚有「水平地盤反力係數」，其基本之觀念為視「水平地盤反力係數」為發生被動破壞(或稱發生塑性行為)之前的彈性抵抗力；分析時將地盤反力係數乘以其所涵蓋面積可模擬為「水平地盤彈簧」，水平地盤彈簧的反力極限值即為被動土壓力。因非凝聚性土壤與凝聚性土壤之被動土壓力對窄巷效應的反應截然不同，故分別予以論之。

### 4.1 非凝聚性土壤水平地盤反力係數之折減

就非凝聚性土壤而言，正常狀況下被動土壓力發展深度  $ha$  內的彈性抵抗力係發生在正常被動破壞面的範圍以內，如圖五之  $\triangle ABC$ ，如果被動破壞面一但發生，則彈性抵抗力立即消

失，改由被動土壓力取代之，彈性抵抗轉變為塑性抵抗；但如果受先開挖工地主動破壞面  $BD$  的影響，提供彈性抵抗力的範圍縮小為  $\triangle ABD$ ，水平地盤反力係數受先開挖工地主動破壞面的影響也發生變化，建議水平地盤反力係數  $K_h$  以公式(25)調降為  $K_{hd}$ 。

$$K_{hd} = \frac{Area(\triangle ABD)}{Area(\triangle ABC)} K_h = \frac{hd \tan(45^\circ - \frac{\phi'}{2})}{hd \tan(45^\circ + \frac{\phi'}{2})} K_h$$

$$= \frac{K_h}{\tan^2(45^\circ + \frac{\phi'}{2})} \quad (25)$$

其中  $K_h$  為一般正常狀況之水平地盤反力係數。

### 4.2 凝聚性土壤水平地盤反力係數之折減

發生窄巷效應之凝聚性土壤開挖的彈塑性分析模式如圖六，當開挖深度  $He <$  臨界深度  $Hc$  時，以圖六(a)之模式進行分析， $ha$  範圍內的水平地盤反力係數應由殘留強度  $S_r$  計算；當  $He \geq Hc$  時，則需以圖六(b)之模式進行分

## 五、案例驗證

### 5.1 案例一：台南市中西區案

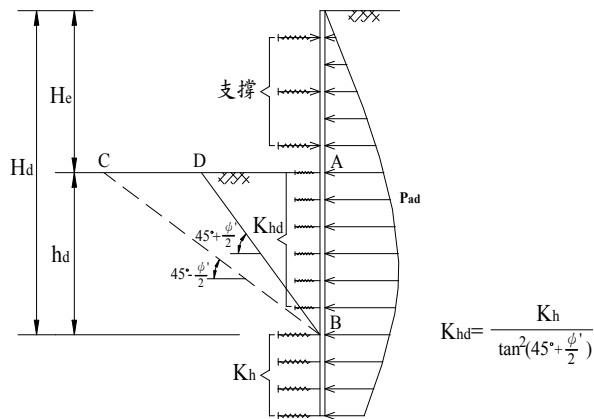
案例一為位於台南市永福路的商業大樓新建工程，基地位置圖如圖七所示，地質特性為非凝聚性土層；地下室開挖深度32.25m，連續壁深55.0m，厚150cm，地下室開挖在連續壁及基樁施工完成後及變更設計完成後自2010.06.07開始至2012.03.31結束；南側連續壁與隔壁新光三越購物中心的地下連續壁僅相隔6.0m，該大樓地下室開挖深度約30.0m，其連續壁厚150cm，深52.0m，地下室開挖及構築於2000.01.13開始，至2001.10.31構築完成。由南側連續壁位移的監測結果(三井工程股份有限公司，2012)顯示連續壁位移量達11.0cm至13.5cm，而其他各側的位移卻僅5.4cm至8.7cm。

本案例之分析用地質參數表如表一，開挖剖面及鄰房相關位置圖如圖八；依本文所述窄巷效應土壓力計算理論及水平地盤反力

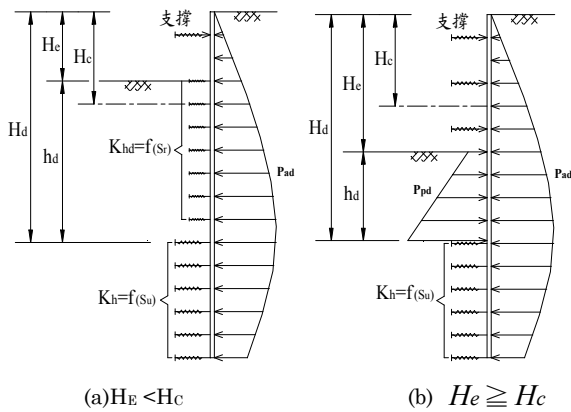
析， $hd$  範圍內並無水平地盤彈簧，而以殘留強度被動土壓力  $P_{pd}$  取代之；窄巷效應對於水平地盤反力係數  $K_h$  的影響，在臨界開挖面以下的被動抵抗能力由正常的  $P_p = \frac{1}{2} \gamma h_{dc}^2 + (c_w + 2S_u)h_{dc}$  降低為受窄巷效應影響的  $P_{pd} = \frac{1}{2} \gamma h_{dc}^2 + (c_w + 2S_r)h_{dc}$ ；故  $hd$  範圍內的水平地盤反力係數需以公式(26)調降之。

$$K_{hd} = \frac{P_{pd}}{P_p} K_h = \frac{\gamma h_{dc} + 2(c_w + 2S_r)}{\gamma h_{dc} + 2(c_w + 2S_u)} K_h \quad (26)$$

其中  $h_{dc}$  可由公式(21)之方式求出； $K_h$  為正常情況下之水平地盤反力係數。



圖五 非凝聚性土壤之彈塑性分析模式



圖六 凝聚性土壤之彈塑性分析模式



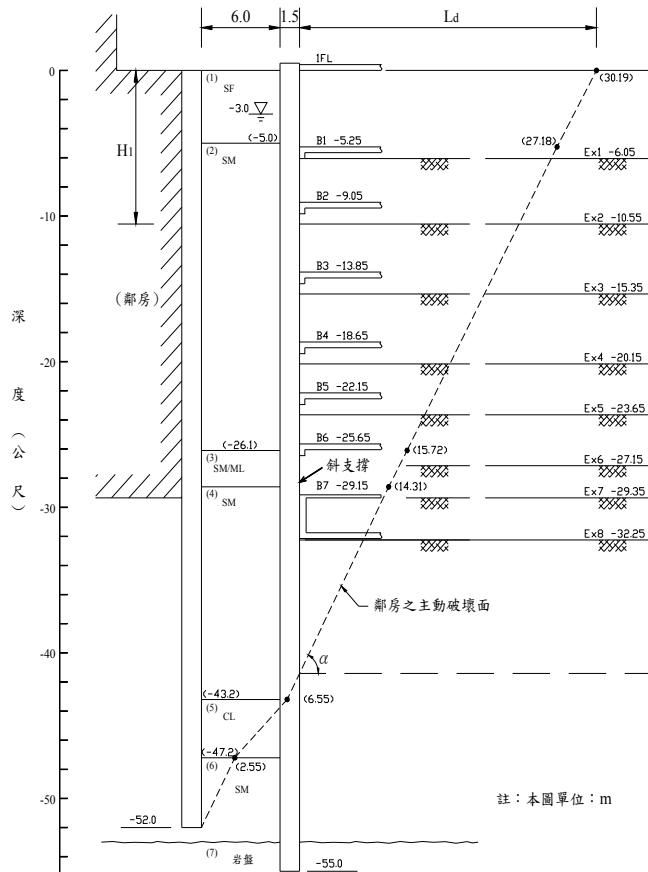
圖七 案例一之基地位置平面圖

表一 案例一分析用地質參數表 (萬鼎工程服務股份有限公司，2005)

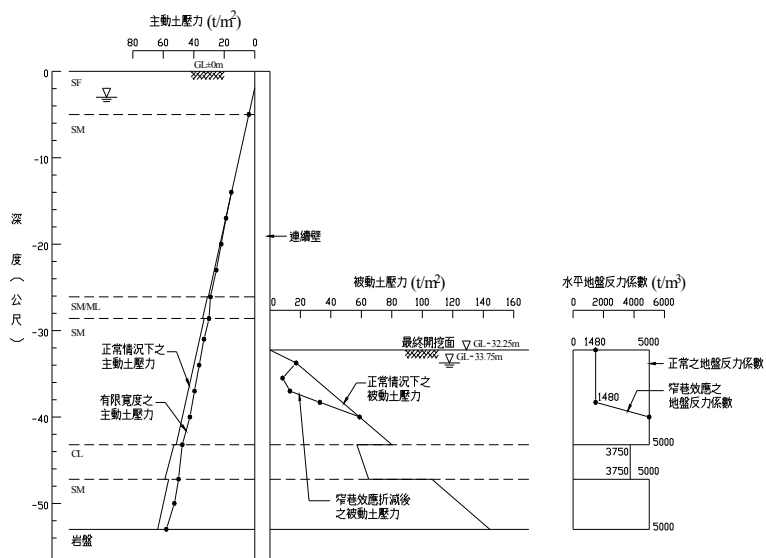
層次	土層類別	層底深度(m)	SPT-N	$\gamma_s(t/m^3)$	$c'(t/m^2)$	$S_u(t/m^2)$	$\phi(^{\circ})$	$\phi'(^{\circ})$
一	地表回填層	5.0	6	1.80	0.0			28.0
二	粉土質細砂 (SM)	26.1	26	1.95	0.0			33.0
三	粉土質細砂夾粉土 (SM/ML)	28.6	22	1.95	0.0			31.0
四	粉土質細砂 (SM)	43.2	40	1.97	0.0			34.0
五	粉土質黏土 (CL)	47.2	28	1.95	0.0	15.0	0.0	31.0
六	粉土質細砂 (SM)	53.0	40	1.95	0.0			34.0
七	粉砂岩夾泥岩		>100	2.20		75.0*		

係數折減方式進行分析計算，輸入深開挖擋土結構分析電腦程式，計算所得之「有限寬度主動土壓力」、「窄巷效應被動土壓力」、「窄巷效應水平地盤反力係數」與正常一般狀況之比較圖如圖九；窄巷效應之連續壁位移動預估分析值與實測值之比較圖如圖十，很顯然必須加計窄巷效應對被動土壓力之折減才能推

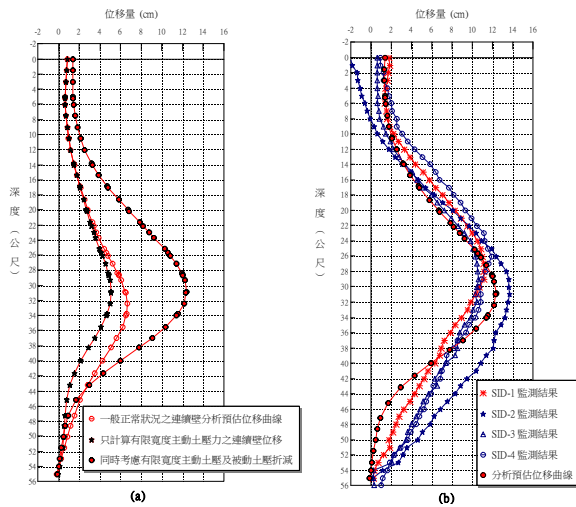
估得合理之變位量，僅考慮有限寬度土體所導致之主動土壓力降低尚不足以涵蓋窄巷效應。對於一般狀況、只考慮有限寬度主動土壓力、同時一併考慮窄巷效應被動土壓力折減等不同狀況之連續壁應力分析結果比較如圖十一，顯然僅考慮有限寬度主動土壓力可能會低估擋土壁體的變形及應力。



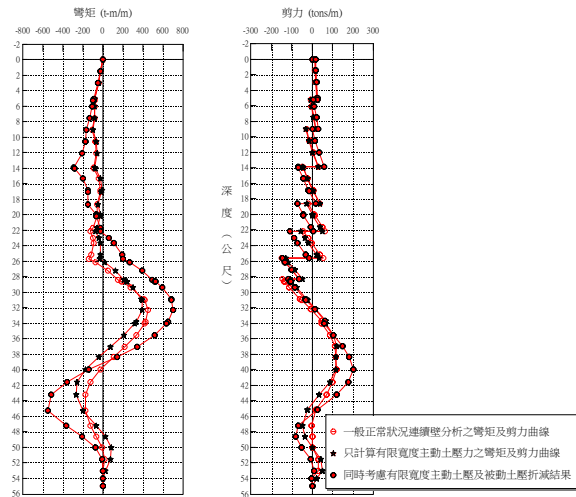
圖八 案例一之開挖剖面及鄰房相關位置圖



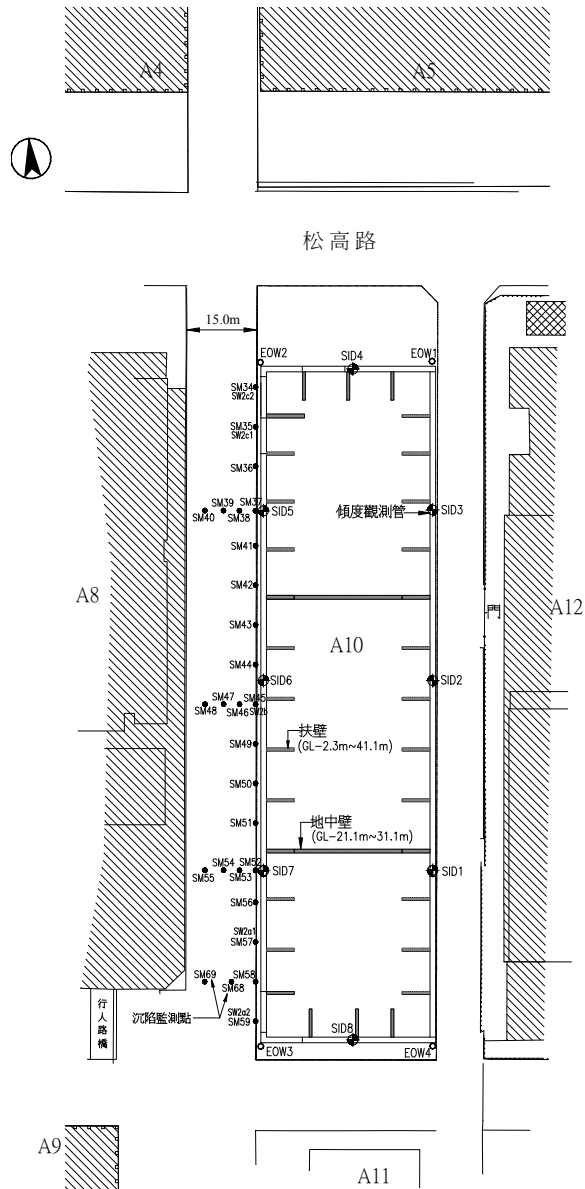
圖九 案例一之窄巷效應之主、被動土壓力及與水平地盤反力係數比較圖



圖十 案例一之不同分析狀況之連續壁位移量及與監測結果之比較圖



圖十一 案例一之不同分析狀況之連續壁彎矩及剪力分析結果之比較圖



圖十二 案例二之基地位置平面圖

### 5.2 案例二：台北市信義區案

案例二為台北市信義區松高路之A10基地，基地位置圖如圖十二所示，地下室開挖深度21.1m，連續壁深43.0m，厚120cm，地質特性為凝聚性土層；基地北側為20m寬之松高路，東側為A12大樓，西側為A8大樓，南側為A11大樓，皆與本案例基地相隔15m寬之巷道；本案例之安全監測管理值之警戒值定為5.5cm，行動值定為6.5cm；在2012年1月中，工程進行至第四層開挖，開挖深度至13.5m，監測結果(富國技術工程股份有限公司，2012)東側及西側之連續壁位移量皆已超過警戒值或行動值，其中西側SID-6的位移量最大達7.8cm，至2012年8月中地下室全面

開挖完成後，持續增大至10.7cm。以西側A8側為例，A8於1999年開始施工，至2001.11.30建造完成，地下室開挖深度約20m，連續壁厚度120cm，深度42.0m。

本案例之分析用地質參數表如表二，黏土層靈敏度試驗結果如表三，開挖剖面及鄰房相關位置圖如圖十三；依窄巷效應土壓力計算理論及水平地盤反力係數折減方式進行分析計算，計算所得之「有限寬度主動土壓力」、「窄巷效應被動土壓力」、「窄巷效應水平地地盤反力係數」與正常一般狀況之比較圖如圖十四；窄巷效應之連續壁位移預估分析值與實測值(以SID-6為例)之比較圖如圖十

五；對於一般狀況、只考慮有限寬度主動土壓力、同時一併考慮窄巷效應被動土壓力等不同狀況之連續壁應力分析結果比較如圖十

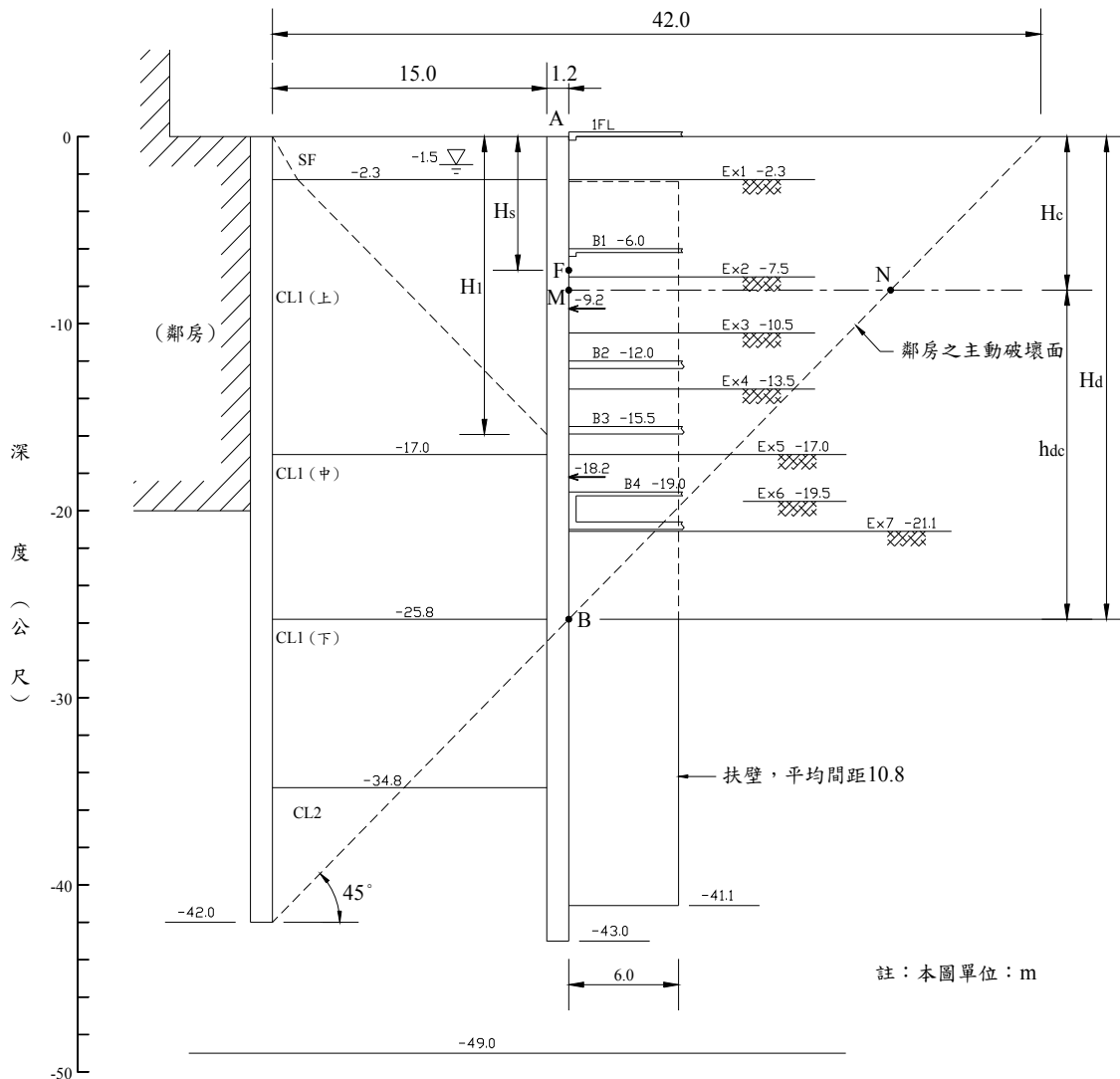
六。分析結果顯示需考慮窄巷效應對主、被動土壓力之影響始能適切模擬擋土壁體之變位及應力行為。

表二 案例二分析用地質參數表 (富國技術工程股份有限公司, 2009)

層次	土層類別	層底深度(m)	SPT-N	$\gamma_t(t/m^3)$	$c'(t/m^2)$	$S_u(t/m^2)$	$S_{u(av)}(t/m^2)$	$\phi(^{\circ})$	$\phi'(^{\circ})$	
一	地表回填層	2.3	3~50	1.85	0.0				28.0	
二	粉土質黏土 (CL1)	上層	17.0	2	1.85	0.0	2~3	2.5	0.0	26.0
		中層	25.8	4	1.81	0.0	3~7	5.0	0.0	27.0
		下層	34.8	7	1.84	0.0	7~11	9.0	0.0	28.0
三	粉土質黏土 (CL2)	49.0	16	2.00	0.0	11~17	14.0	0.0	31.0	
四	粉土質細砂 (SM)	53.2	20~50		0.0				34.0	

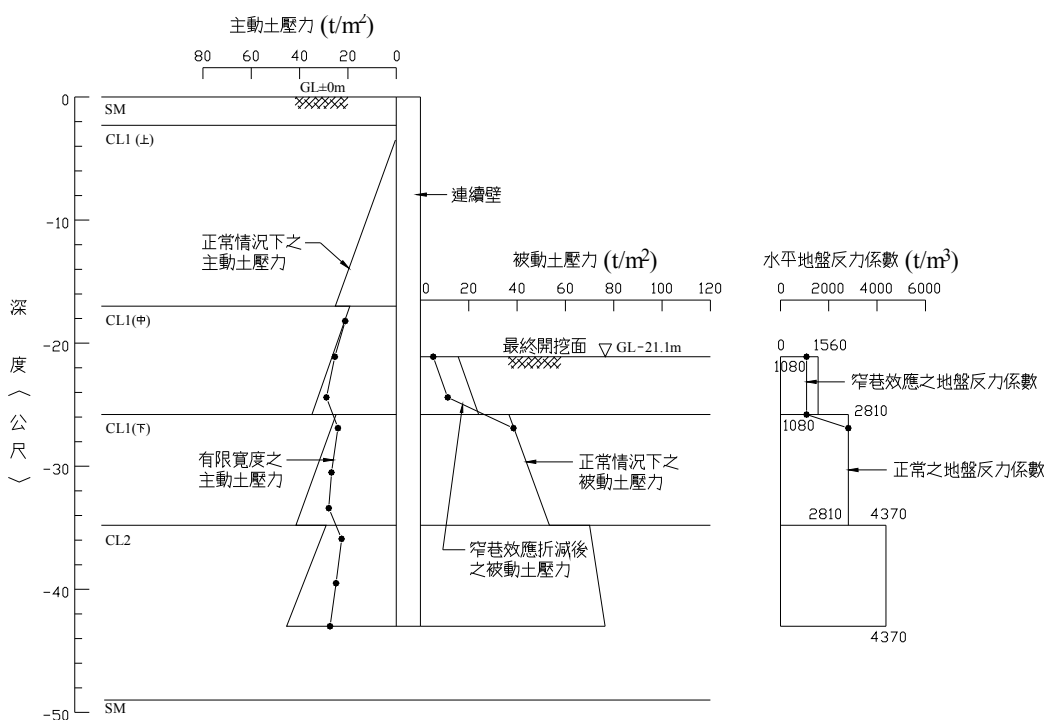
表三 案例二黏土層靈敏度現場十字片剪試驗結果 (富國技術工程股份有限公司, 2009)

深度 (m)	孔號	試驗編號	不擾動 $S_u(t/m^2)$	重模 $S_r(t/m^2)$	靈敏度 $St (Su/Sr)$
17.5	BH-1	VST-1	3.4	0.5	6.8
22.0	BH-2	VST-3	4.8	2.7	1.8
25.0	BH-4	VST-4	6.2	2.2	2.8
28.0	BH-1	VST-2	8.0	2.5	3.2
31.0	BH-4	VST-5	8.9	2.8	3.2

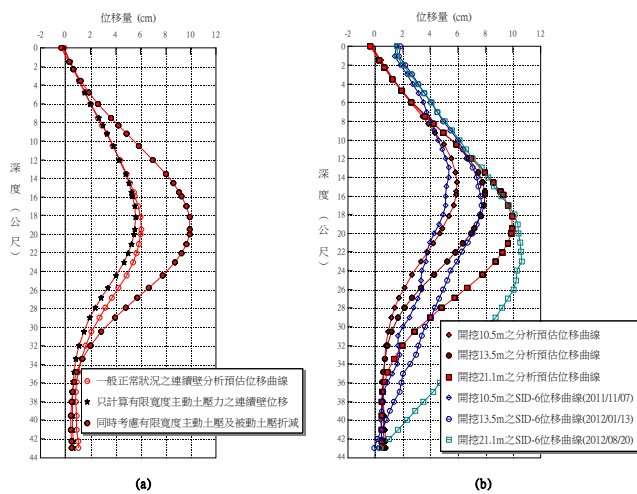


圖十三 案例二之開挖剖面及鄰房相關位置圖

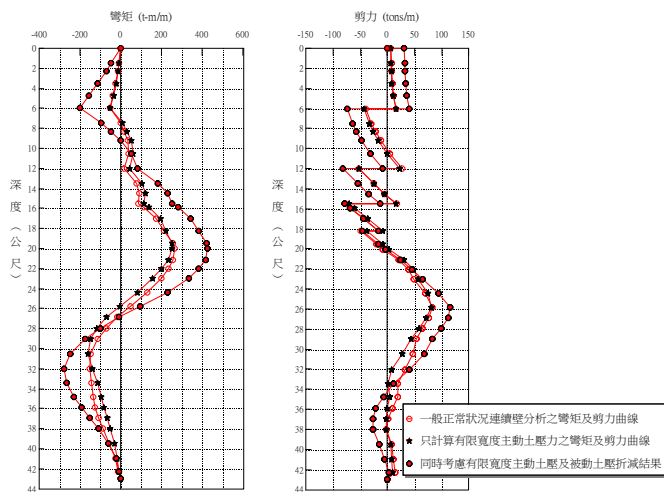




圖十四 案例二之窄巷效應之主、被動土壓力及與水平地盤反力係數比較圖



圖十五 案例二之不同分析狀況之連續壁位移量及與監測結果之比較圖



圖十六 案例二之不同分析狀況之連續壁彎矩及剪力分析結果之比較圖

## 六、結論

都會區窄巷旁邊新建工地的「有限寬度主動土壓力」的效應已有許多人研究探討，但是作者認為「窄巷效應」的「負」效應或許更是值得重視及探討的問題，本文之結論如下：

1. 兩個工地擋土壁間所夾的窄巷會造成所謂之「有限寬度主動土壓力」，主動土壓力受二擋土壁間有限寬度的影響確實會有減少的效應，然而效益並不彰顯。「有限寬度主動土壓力」絕不是深開挖工程的「利多」，案例一及案例二的分析比較顯示，即使單獨考慮有限寬度主動土壓力對工程的效益也極為有限，反而因「窄巷效應」使工程產生更多的問題。

2. 「窄巷效應」(Narrow lane effect)實是作者自創的名詞，用以闡釋窄巷兩邊先、後施工的兩深開挖工程間所可能產生之工程問題，此問題是從未被提起或研究過之「主動破壞面」與「被動破壞面」交互干擾所引起之問題，這種效應完全抵銷了有限寬度主動土壓力較低的好處。簡言之，先建工地所造成的「主動破壞面」因窄巷很「窄」而侵入了後建工地內，它阻斷了後建工地被動土壓力的發展，使其被動抵抗力大為降低，因而產生意想不到的後果，窄巷越窄，「窄巷效應」越形彰顯。

3. 如果新建工程有「窄巷現象」要進行深開挖設計時，倘若設計者只考慮到有限寬度主動土壓力的減少，而未一併考慮「窄巷效應」的影響，則將使設計過於樂觀而錯估情勢，會使設計結果偏於不安全，由案例一及案例二顯示，「窄巷效應」足以影響設計的結果。

4. 本文乃作者根據現場實際觀測到的現象，嘗試以傳統之土壓力理論建構窄巷效應的分析模型，並以此分析模型反推現場之觀測結果。就嚴謹之學術角度而言，文中所述之分析模型或許未臻完善，其假設條件及推論過程或有值得商榷或需進一步驗證之處，但筆者以為此分析模型尚可勉強解釋窄巷效應之成因，且計算結果與觀測結果亦相去不

遠。窄巷效應之分析模型謬誤之處希諸地工先進不吝指正，但實際現場之觀測結果殆無疑義，謹提供與諸地工先進參考。

## 參考文獻

- 三井工程股份有限公司 (2012)，「國泰人壽台南市建興段台南置地廣場大大樓安全監測報告」。
- 富國技術工程股份有限公司 (2009)，「台北市信義區信義段四小段11地號(A10基地)土壤地質調查及大地工程分析報告書」。
- 富國技術工程股份有限公司 (2012)，「富邦人壽台北市信義區A10商旅新建大樓安全監測量測報告」。
- 萬鼎工程服務股份有限公司 (2005)，「國泰人壽保險股份有限公司台南市建興段新建工程基址地質調查工作報告」。
- 簡茂洲、簡子歲 (2014)，「都會區深開挖工程窄巷效應之案例」，*地工技術*，第140期，第 27~36頁。