

中永和地區深開挖之視土壓力
**APPARENT EARTH PRESSURES IN
EXCAVATIONS IN CHUNGHO AREA**

郭國振，葉良榮，伍志強，陳邦寧
K. J. Kuo, L. R. Yeh, C. J. Wu and B. N. Chen

原著載於營建知訊第 179 期
1997 年 12 月，第 13~22 頁

*Reprinted from Construction News Record
Taipei, Taiwan
December, 1997, No. 179, pp. 13~22*

中永和地區深開挖之視土壓力

郭國振 葉良榮

亞新工程顧問公司

伍志強 陳邦寧

台北市政府捷運局南區工程處

摘要

本文資料主要為亞新工程顧問公司從事捷運局大地專業顧問期間所蒐集整理而得，且為台北捷運系統施工一系列有關大地工程文章之一部份。話說大台北地區深開挖深度愈來愈深，且由於區域性地層之差異、地下水的考慮、擋土結構系統及剛性的不同等因素，Peck 教授[4,5]之視土壓力圖之應用，有進一步驗證之必要。故整理區域性視土壓力模式以供支撐設計之參考，有其實用性。本文主要整理台北捷運系統中和線在中永和地區兩個車站支撐軸力的量測值，依據觀測結果反推視土壓力，並比較與 Terzaghi-Peck[6]視土壓力的差異，再進一步評估適合本工區地層之視土壓力圖，據以建議區域性土壤視土壓力評估方法，以供作將來類似地層設計支撐軸力之參考。評估結果顯示，對於砂性土層，在地下水位以上者，其視土壓力值與 Terzaghi-Peck[6]之建議值相同；而在地下水位以下，則依土壤性質不同，有效視土壓力之值約為 Terzaghi-Peck[6]建議值的 4.5 倍至 6 倍。對於粘性土層，其視土壓力略高於 Terzaghi-Peck[6]建議值。

一、前言

深開挖工程支撐系統軸力，目前常用的分析方法有兩種：（1）以 Peck (1969)[5]建議之視土壓力圖（2）經由 FREW、RIDO 或 FLAC 等數值分析程式而得。後者之分析需有較多的參數如土壤、壁體、和支撐等參數，並需配合深開挖之經驗及合理分析模式，以分析計算得一合理的結果；前者以簡易之視土壓力圖反推支撐軸力，不失為一簡便的方法，惟 Terzaghi 和 Peck[6]之視土壓力法有一些限制，如（1）該方法係反算自 H 型鋼加隔板或鋼版樁等柔性且具透水性之擋土結構，對於剛性較大且不具透水性之連續壁而言，應再考量，（2）對於牆後非均質或互層的土層，在有地下水的情形，其應用並不似單純的粘土或砂土狀況，應進一步探討其分析方法。

二、工程案例

2.1 基地概況

本案兩個捷運車站之位置如圖一所示，本文對二車站之十三個斷面進行探

討，其分析時之相關基本資料綜整如表一所示，各車站之工區平面位置與分析斷面示意圖二。基地開挖採用順打工法，支撐系統為內支撐H型鋼支撐系統，CC275標(永和頂溪站)之預壓值約為設計值之50%至70%，CC278標(中和南勢角站)之預壓值約為設計值之50%。

2.2 地層概況

中永和地層可概分為兩個區域，在中和線上約以景安橋為界，景安橋以北可稱之為永和新沖積層地質，CC275標頂溪站(O16)即屬此區；景安橋以南為中和舊沖積層地質，CC278標南勢角站(O19)與機廠即屬此區。各車站簡化地層與土壤參數如表二說明，車站之地表水位亦說明於表二，其地下水壓在深度25公尺以上約呈線性分佈。頂溪站開挖面以上之地層以砂土(平均N值為20)或砂礫層(平均N值為41)為主，故可視為砂性土的案例；南勢角站開挖面以上之土層均為粘土，平均N值為4，不排水剪力強度(s_u)為 $4.5t/m^2$ ，屬於軟弱至中等堅實稠度粘土，可視為粘性土的案例。

三、監測儀器與支撐軸力

文中分析所採用各斷面支撐軸力係依據支撐應變計(VG)或支撐荷重計(LC)之量測結果計算而得，選用支撐皆為直撐，其中支撐應變計基本上以對稱型式成組裝設於H型鋼腹版上，各斷面各層軸力係採取同組支撐應變計之平均值再乘以支撐支數；若為支撐荷重計則將測得之軸力乘以支撐支數。

為評估合理之視土壓力以供支撐設計

之參考，將綜合二車站由開挖階段至拆撐構築階段，各斷面每一層之最大軸力整理如表三及表四所示。基本上在開挖階段最大軸力約發生於下一階支撐架設且施加預壓完成前；而在拆撐階段最大軸力則發生前一階(該層支撐下方)之支撐拆除完成時。圖三為典型支撐軸力歷時曲線，一般而言軸力會受到往下開挖、下方一階支撐加壓或拆撐的影響。

四、Terzaghi 和 Peck 視土壓力

深開挖工程支撐系統水平支撐之軸力，在初步評估階段常使用之半經驗公式，一般最早為 Terzaghi-Peck(1967)[6]所提出者，而 Peck(1969)[5]再加進一步說明。

現階段一般使用之視土壓力圖，其應用如圖四之說明。惟該方法在應用上有當時研究之背景或其他評估上應考慮事項如下所示：

1. 擋土系統主要為主樁橫版條工法或鋼版樁(Sheet Piles)工法，H型鋼支撐系統則未使用預壓力。
2. 早期研究案例之開挖深度一般均小於15公尺，而牆背之土壤主要為砂土或粘土，對於互層土壤並無適當建議。
3. 對於乾砂 γ 為總單位重 γ_t ，有地下水時則以有效單位重 γ 計算再加上水壓；對於粘土則以總應力分析。
4. 壁體的變形與擋土牆的穩定性(如貫入深度之影響)等土壤與結構之互制關係仍須加以評估。
5. 折減係數 m 與擋土系統的穩定性有

五、觀測結果

關，一般介於 0.4 至 1.0 之間，於應用上須更進一步考慮其合理值。

值得一提的是，在 Peck, Hanson and Thornburn (1974)[4]一書中，"m"已不再被提及，而視土壓力圖也限制用於 $H/C_b < 4$ ， C_b =開挖面下土壤之抗剪強度，可見 "m" 值之應用有其難處。但是 "m" 仍出現在某些參考文獻中，如 NAVFAC DM 7.2 (1982)[2]，因此仍在本文中保留。

由圖四可得本文所探討二案例之視土壓力 $p_{AP}(t/m^2)$ 與單位寬度總軸力 $P(t/m)$ 與開挖深度 $H(m)$ 之關係式如下。為簡化起見，可合理假設地下水位在地表， γ_t 為總單位重。

1. 頂溪站(砂土案例)：以 $\beta=0.2$ ， $\gamma_t=1.95$ ，計算得

$$P=0.70H^2$$

$$p_{AP}=0.65K_A \gamma H(\text{有效視土壓力})$$

2. 南勢角站(粘土案例)：開挖下面土層穩定，可以假設 $m=1$ 以 $S_u=4.5t/m^2$ ， $H=22.8m$ ， $\gamma_t=1.8t/m^3$ ，計算得 $\beta=0.56$ ，

$$P=0.88H^2$$

$$p_{AP}=0.56 \gamma_t H$$

Terzaghi 和 Peck[6]之視土壓力圖係根據現場量測之各層支撐最大軸力反推，而得到一視土壓力包絡線，經由多方蒐集資料評估後提出對不同土壤性質之建議視土壓力圖。依其建議本文亦將採用 1/2 分擔法經由量測軸力反推視土壓力，其方法詳圖五之說明。

由監測資料整理而得各車站不同斷面之單位寬度總軸力 P 與開挖深度(H)之關係，亦整理於表三及表四。由前述資料可對各單獨斷面得到下列結論：

1. 對於頂溪站，開挖面以上之土層以砂性土為主，各單獨斷面之單位寬度總軸力 P_s 約為 $0.76H^2 \sim 1.02H^2$ 之間。
2. 對於南勢角站，開挖面以上之土層以粘性土為主，且屬軟弱至中等稠度之粘土，各單獨斷面之單位寬度總軸力 P_s 約為 $0.75H^2 \sim 0.92H^2$ 之間。

5.1 砂性土層視土壓力圖

圖六為頂溪站依表三整理各斷面各層支撐最大軸力反推之土壓力分佈圖，由於本基地開挖面以上之土層以砂性土為主，依 Terzaghi 和 Peck[6]之原始精神及一些規範或學者之建議，於實際分析應用時應以有效應力法評估較為合理。綜合圖六之土壓力分佈，並參考頂溪站之土層性質與地下水位狀況，經評估並建議其視土壓力如圖六之實線所示，其評估方法可參考圖七之砂性土說明，主要分為兩部份。

1. 視土壓(p_{AP}):採用有效應力法，其土壓分佈為矩形。

(i) 地下水位以上：

$$p_{AP}=0.65K_A \gamma H$$

(ii) 地下水位以下：

粉質砂土(SM)：

$$p_{AP}=4.2K_A \gamma H$$

$$=4.2K_A(\gamma_t h_w + \gamma' h)$$

砂礫石土(GM)：

$$p_{AP}=3.2K_A \gamma H \\ =3.2K_A(\gamma h_w + \gamma' h)$$

2. 水壓:可考慮實際壓力水位分佈，保守時可假設為靜態水壓分佈，即

$$p_w = \gamma_w h$$

另超載重側壓之影響不大，一般施工超載已內含在上式中，若有特殊狀況需要考慮時，可合理假設如下，本文兩案例工區四周建物一般為三至五層樓公寓，基礎型式為獨立基腳：

$p_q=0.5(K_A+K_0)q$ ，式中 q 為地表超載重， $K_0=1-\sin\phi$ 。

依圖六之建議視土壓力可得砂性土層之單位寬度總軸力 P 約為 $1.50H^2(t/m)$ ，約為 Terzaghi 和 Peck[6]建議值之 2 倍。

5.2 粘性土層視土壓力圖

依表四整理得南勢角站之不同斷面各支撐最大軸力反推土壓力分佈圖，如圖八所示。此粘性土層，依 Terzaghi 和 Peck[6]之原意及一些規範之建議，於實際分析應用時以總應力法評估較合理，由土壓力分佈狀況，及南勢角站粘性土層特性，評估並建議其視土壓力如圖八之實線所示。

土壓:採用總應力法，土壓力分佈為梯形，其分析方法參考圖七之粘性土說明。

$$p_{AP}=0.85 \gamma H$$

在對特殊狀況考慮超載重側壓時，可採用總應力法時，對於一般正常壓密粘土，取 $K_A=K_0=1$

$$p_q=0.5(K_A+K_0)q=q$$

依圖八建議之視土壓力可得單位寬度總軸力 P 約為 $1.15H^2(t/m)$ ，略高於 Terzaghi-Peck[6]之建議值。

六、結論

綜觀前述各節之評估結果與相關資料，可獲得以下之結論或建議。

1. 對於地下水位以上之砂性土層，其視土壓力與 Terzaghi-Peck[6]之建議值相同。
2. 對於地下水位以下之砂性土層，Terzaghi-Peck[6]之建議視土壓力值明顯偏小。若為粉質砂土層，本文建議之有效視土壓力 $p_{AP}=4.2K_A \gamma H$ ；砂礫石層則為 $p_{AP}=3.2K_A \gamma H$ ，而 Terzaghi-Peck[6]之建議值為 $0.65K_A \gamma H$ 。
3. 粘性土層之視土壓力 $p_{AP}=0.85 \gamma H$ ，略高於 Peck[5]公式所計算得之 $p_{AP}=0.56 \gamma H$ 。
4. 南勢角站開挖面上之土壤雖屬軟弱至中等堅實稠度粘土($N_s>5$)，但開挖面下土壤堅實並在深度 35m 至 40m 之間有一礫石層，因此十分穩定，由圖八可以假設視土壓力分佈為圖四中(c)之狀況。

本文對中永和區域性視土壓力評估之取捨較接近包絡線，故當其應用於支撐軸力設計時是稍偏保守的，由文中兩個案例評估結果，整體而言，視土壓力均較 Terzaghi 和 Peck[6]之建議值為高。比較其研究背景如預壓力的使用與否、擋土牆系統的不同、與開挖深度等均與目前國內之深開挖現場狀況有所差異。一般認為施

加預力將使支撐軸力增加，本文案例之預壓力約為設計值之 50% 至 70%，而 Terzaghi 和 Peck[6]之視土壓力圖則無預壓力效應。另本文僅引用 Terzaghi 和 Peck[6]之結果作為比較基礎，但其研究背景與現時狀況仍有差異。故本文評估結果之運用仍應以中永和地區單純砂性土壤或粘性土壤為主，並應考慮前述背景資料的差異性，期以適確的應用之。

參考文獻

1. 臺灣省土木技師公會(1991)，深開挖設計理論與施工實務研討會論文集。
2. Chang, J. D. and Wang, K. S. (1996), "Apparent Pressure Diagram for Braced Excavations in Soft Clay with Diaphragm Wall", Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, London, pp.37~42.
3. NAVFAC (1982), Design Manual 7.2, Foundations and Earth Structures, Department of the Navy Facilities Engineering Command.Alexandria, Virginia.
4. Peck, R. B., Hanson, W.E., and Thornburn, T. H. (1974), Foundation Engineering, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York
5. Peck, R. B. (1969), "Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground", Proceedings, 7th ICSMFE, State-of-the-Art Report, Mexico City, pp.225~281.
6. Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1967), Soil Mechanics in Engineering Practices, John Wiley & Sons, Inc., 2nd Edition, New York.

表一 各斷面開挖基本資料

基地位置	斷面編號	開挖深度 (m)	開挖寬度 (m)	連續壁深度 (m)	連續壁厚度 (m)
頂溪站	A1,B1,E1, F1,G1	19.0	19.5	35.0	1.0
	C1,D1		37.3		
南勢角站 與機廠	A2,B2,C2, D2,E2,F2	22.83	58.0	30~47(入岩或礫石 層至少2.5m以上)	1.2

表二 各基地簡化地層與土壤參數一覽表

位置	層次	土壤分類	深度(m)	平均N值	$\gamma_t(t/m^3)$	$\phi(deg.)$	$s_u(t/m^2)$	備註
頂溪站	I	SM	0~5.0	20	1.95	31	-	地表水位 深度:5m
	II	GM	5.0~10.6	41	2.15	34	-	
	III	SM	10.6~16.3	15	1.95	32	-	
	IV	CL	16.3~23.8	13	1.93	30	5	
	V	SM	23.8~34.6	25	2.10	34	-	
	VI	GP-GM	below34.6	>49	2.20	37	-	
南勢角站 與機廠	I	CL	0~25	4	1.80	31	4.5	地表水位 深度:1m
	II	SM/SC	25~29	16	2.00	31	-	
	III	CL	29~35	14	1.95	31	9.6	
	IV	GM	35~40	70	2.14	38	-	
	V	CL	40~44	12	1.95	31	11.7	
	VI	GM/SM	44~50	68	2.26	38	-	
	VII	CL	50~54	16	1.92	31	14.5	
	VIII	SM	54~59	37	2.06	33	-	
	IX	CL	59~74	23	1.92	31	17.8	
	X	岩層	below74	>50	2.20	38~40	-	

註：CC278標之岩層深度在基地四周因位置不同而有所差異。

表三 頂溪站支撐最大軸力一覽表

斷面 編號	監測儀器 編號	支撐深度 (m)	最大軸力 (t)/層	支撐水平間距 (m)	Ps (t/m)	Ps/H ² (t/m ³)	斷面 編號	監測儀器 編號	支撐深度 (m)	最大軸力 (t)/層	支撐水平間距 (m)	Ps (t/m)	Ps/H ² (t/m ³)
A1	VG103~104	2.45	71.4	2.70	342.4	0.95	B1	VG205~206	3.40	132.7	2.00	279.0	0.77
	VG203~204	5.40	160.0					VG305~306	8.05	116.0			
	VG303~304	8.90	219.8					VG405~406	12.00	149.3			
	VG403~404	10.85	253.4					LC3	15.10	160.0			
	LC2	15.10	220.0										
C1	VG207~208	3.00	160.4	2.40	369.9	1.02	D1	VG209~210	3.40	48.2	2.00	316.2	0.88
	VG307~308	8.05	211.6					VG309~310	8.05	173.2			
	VG407~408	11.75	289.8					VG409~410	11.75	243.0			
	LC4	15.10	226.0					LC5	15.10	168.0			
E1	VG111~112	2.45	28.6	2.70	343.4	0.95	F1	VG113~114	2.45	46.4	2.70	274.8	0.76
	VG211~212	3.40	134.5					VG313~314	8.05	195.8			
	VG311~312	8.05	212.2					VG413~414	12.00	277.8			
	VG411~412	12.00	359.6					LC7	15.10	222.0			
	LC6	15.10	192.0										
G1	VG115~116	2.45	18.3	2.50	349.9	0.97	註：1. H：開挖深度=19m 2. Ps：單獨斷面之單位寬度總軸力 (t/m) = 最大軸力和/間距						
	VG215~216	3.40	132.0										
	VG315~316	8.05	260.4										
	VG415~416	12.00	232.0										
	LC8	15.10	232.0										

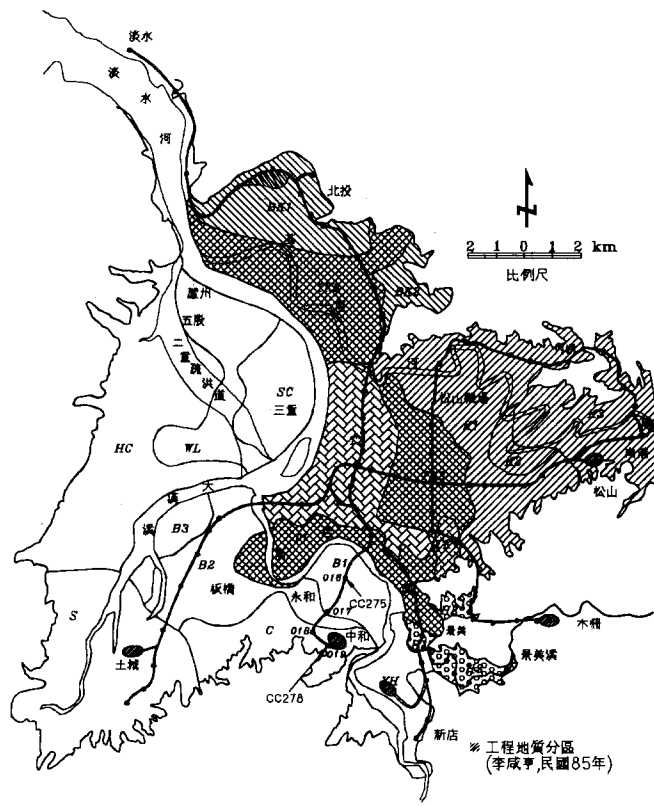
表 四 南勢角站支撐最大軸力一覽表

斷面 編號	監測儀器 編號	支撐深度 (m)	最大軸力 (t)/層	Ps (t/m)	Ps/H ² (t/m ³)	斷面 編號	監測儀器 編號	支撐深度 (m)	最大軸力 (t)/層	Ps (t/m)	Ps/H ² (t/m ³)
A2	VG63~64	2.50	161.2	460.0	0.88	B2	VG65~66	2.50	182.7	454.4	0.87
	VG73~74	6.00	297.8				VG75~76	6.00	310.8		
	VG83~84	10.00	726.0				VG85~86	10.00	530.4		
	VG93~94	13.50	256.8				VG95~96	13.50	417.6		
	VG103~104	16.50	429.6				VG105~106	16.50	387.6		
	VG113~114	19.49	198.6				VG115~116	19.49	215.8		
C2	LC1	2.50	159.6	460.8	0.88	D2	VG67~68	2.50	102.0	407.2	0.78
	LC2	6.00	349.8				VG77~78	6.00	411.4		
	LC3	10.00	502.8				VG87~88	10.00	396.0		
	LC4	13.50	381.2				VG97~98	13.50	351.6		
	LC5	16.50	440.4				VG107~108	16.50	366.8		
	LC6	19.49	239.6				VG117~118	19.49	204.8		
E2	LC7	2.50	91.2	391.2	0.75	F2	VG201-202	2.50	228.5	481.7	0.92
	LC8	6.00	313.0				VG203-204	6.00	283.2		
	LC9	10.00	393.2				VG205-206	10.00	505.2		
	LC10	13.50	370.4				VG207-208	13.50	497.6		
	LC11	16.50	346.4				VG209-210	16.50	434.8		
	LC12	19.49	246.0				VG211-212	19.49	218.2		

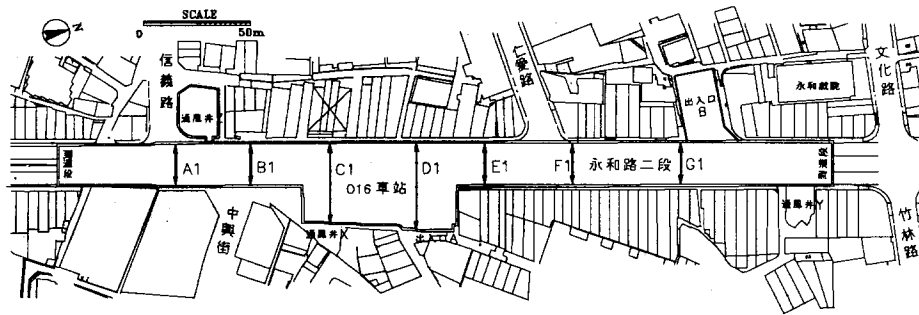
註：1.H：開挖深度=22.83m

2.Ps：單獨斷面之單位寬度總軸力(t/m) = 最大軸力和/間距

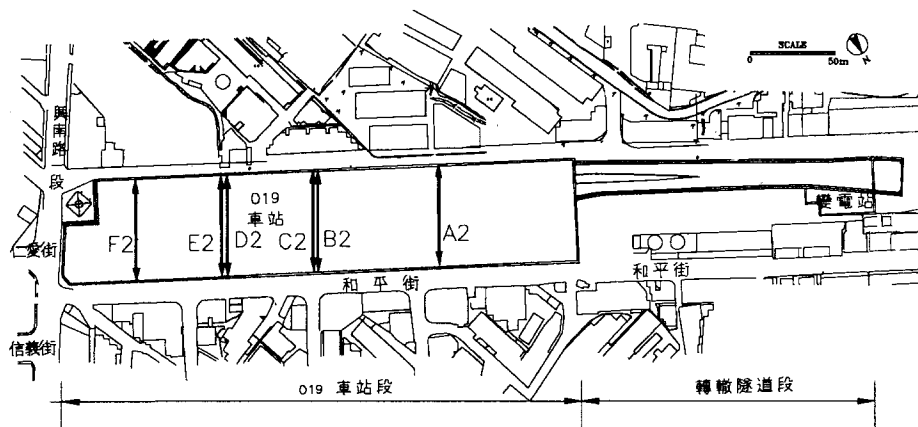
3.支撐水平間距皆為 4.5m



圖一 中和線CC275標、CC278標基地位置圖



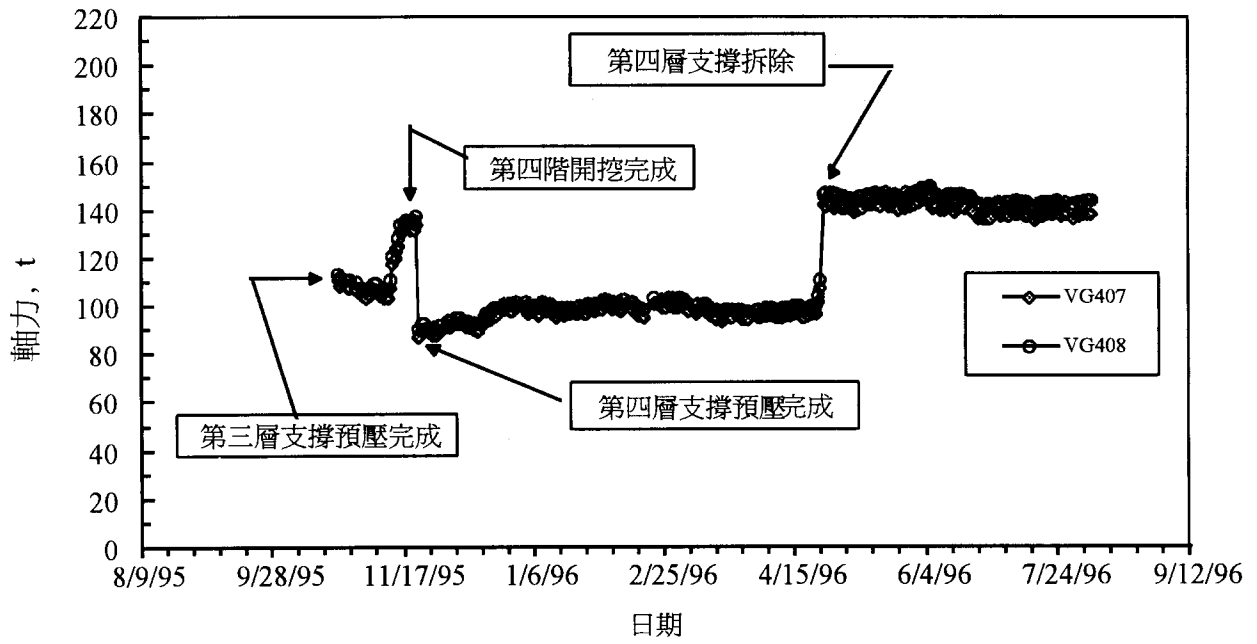
(a) CC275 標 (O16 永和頂溪站)



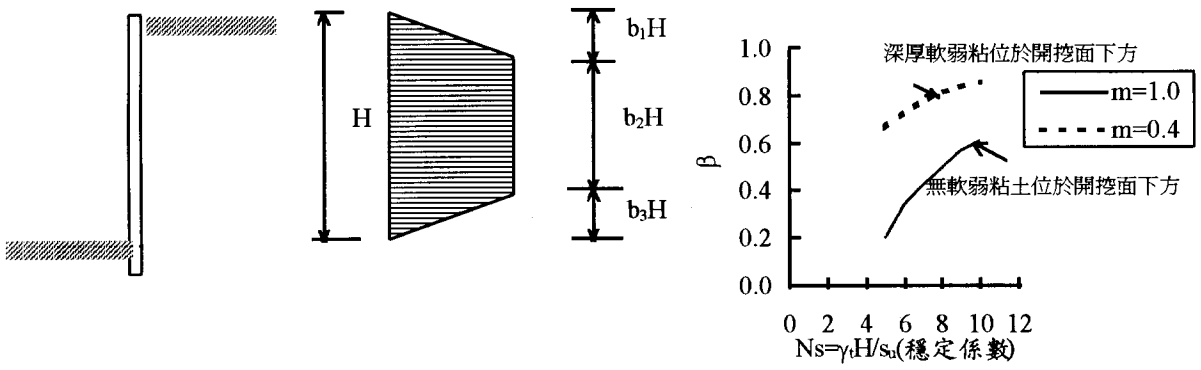
(b) CC278 標 (O19 中和南勢角站)

說明： ← A1 → 表示軸力分析斷面 A1

圖二 中和CC275標頂溪站、CC278標南勢角站平面位置與分析斷面



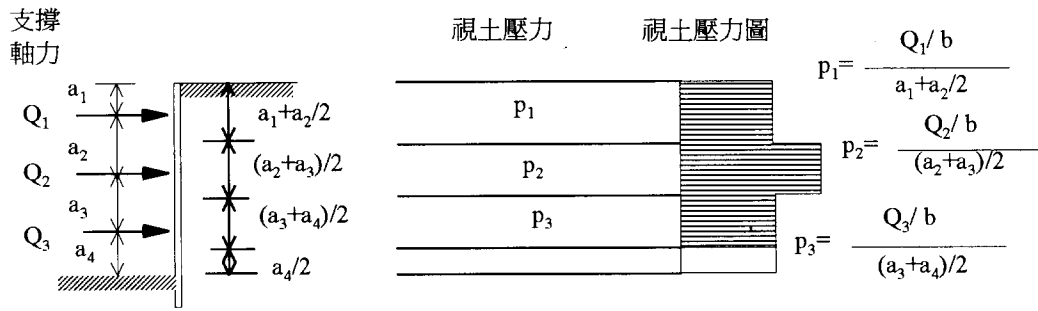
圖三 頂溪站軸力分析斷面C1第三層支撐軸力歷時曲線



	土層種類	b1	b2	b3	β 公式	一般b範圍
(a)	砂	0	1	0	$\beta=0.65K_A$	0.2
(b)	軟弱至中等稠度粘土	0.25	0.75	0	$\beta=1-m(4s_u/\gamma\tau H)$	0.2 to 0.4
(c)	堅硬粘土 ($N_s < 4$)	0.25	0.50	0.25	$\beta=0.2$ to 0.4	0.3

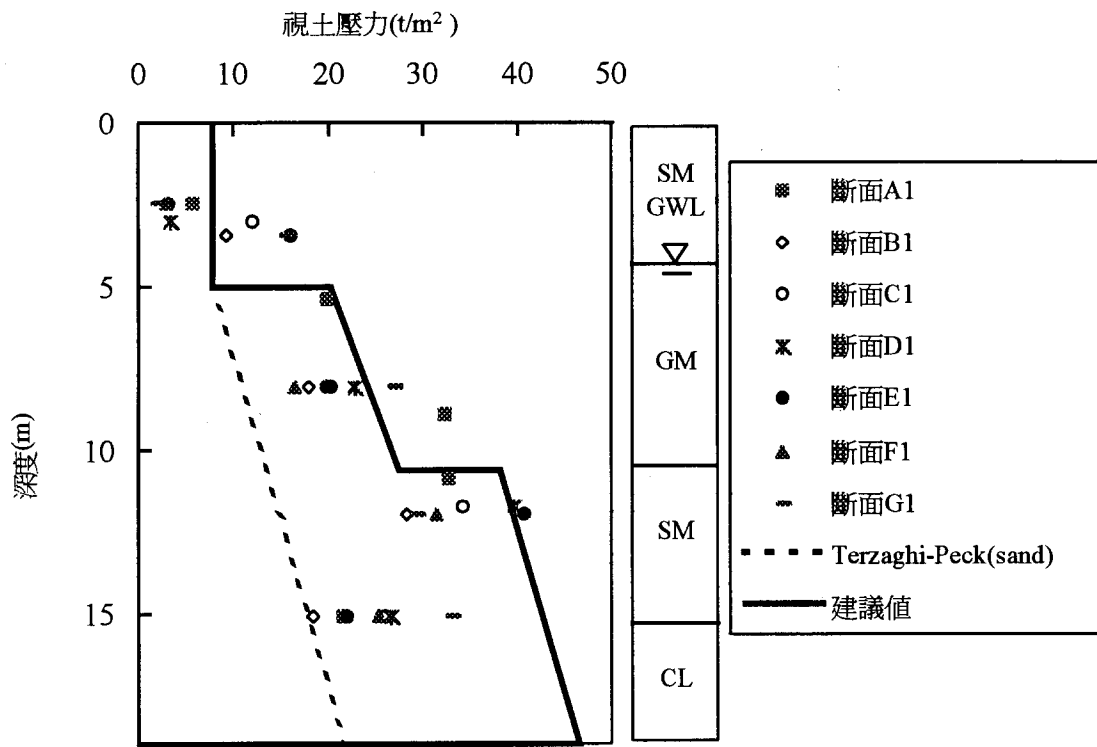
註: (1)主動土壓力係數 $K_A = \tan^2(45-\phi/2)$
 (2)土層種類為砂性土時須另外加上水壓力之影響

圖四 Terzaghi 和 Peck建議之視土壓力圖



b = 支撐水平間距

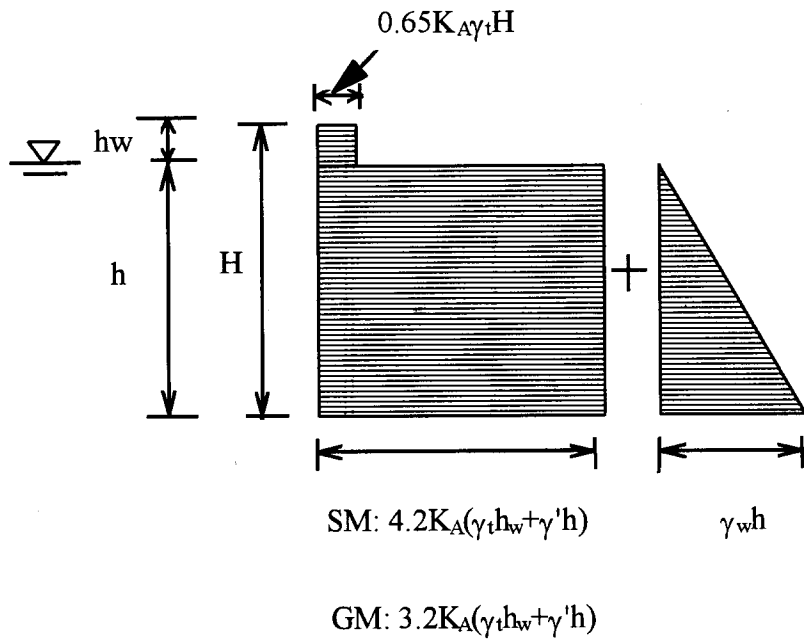
圖五 由支撐軸力反推視土壓力之1/2 分擔法



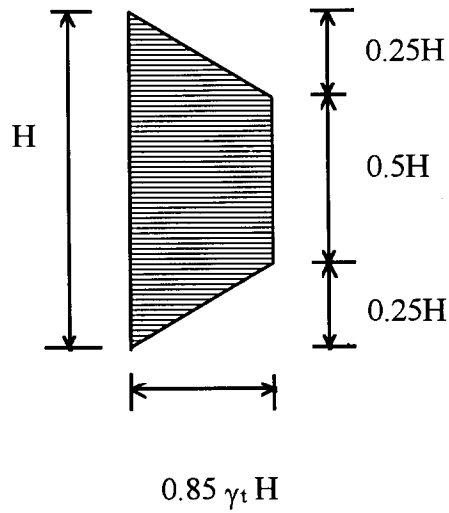
註：開挖深度=19m

圖六 頂溪站Terzaghi-Peck與建議視土壓力示意圖(砂性土)

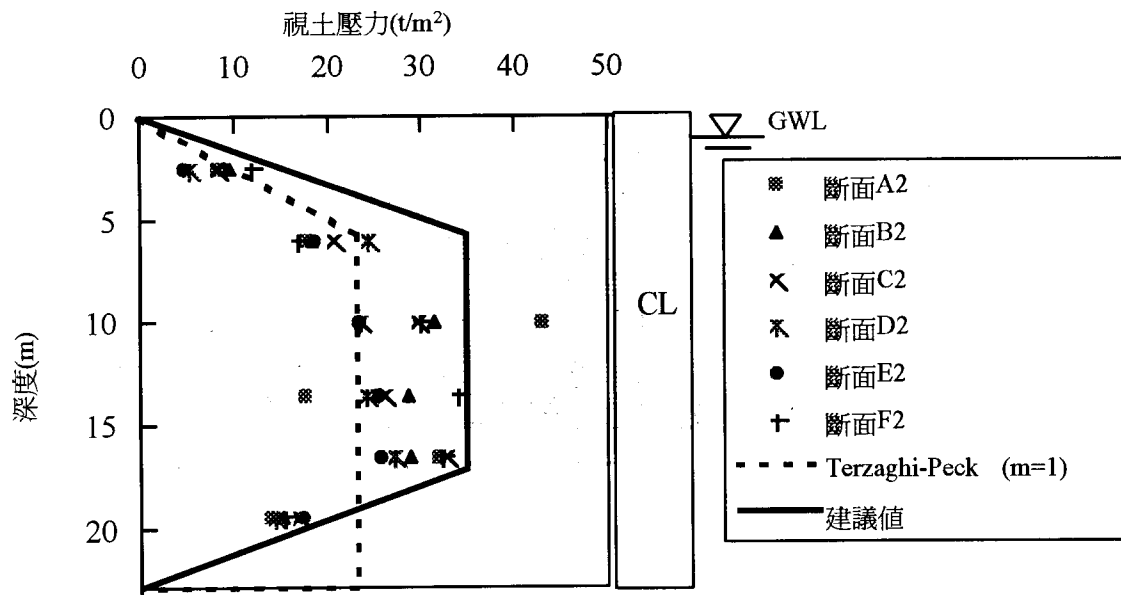
(1)砂性土



(2)粘性土



圖七 中永和地區砂性土與粘性土之建議視土壓力



註:開挖深度=22.83m

圖八 南勢角站Terzaghi-Peck與建議視土壓力示意圖(粘性土)