

地下工程實務(一)

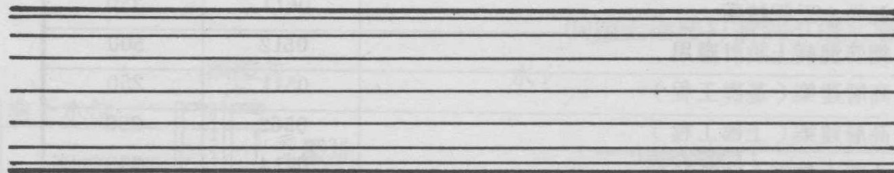
現代營建雜誌社編印

地下工程實務(一)

現代營建雜誌社編印

第一份資料目錄

第一份目錄



出版者 / 現代營建雜誌社

發行者 / 謝明娜

編輯者 / 汪瑛瑛

地 址 / 台北市和平東路2段203號12樓之2
(世賢大廈)

電 話 / (02) 7066834~5

總經銷 / 茂榮圖書公司

地 址 / 台北市長安西路 118 號

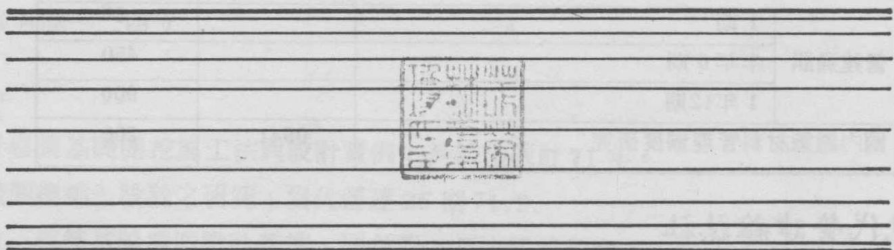
電 話 / (02) 5713568

中華民國七十二年十月出版

中華民國七十四年六月再版

每冊訂價 / 精裝 400 元

《版權所有·翻印必究》





地下工程概論

高樓建築基礎之應用及其最近發展.....	5
----------------------	---

設計與施工例

基礎開挖擋土設計研究.....	16
基礎開挖與排水計劃.....	29
深開挖特性之探討.....	41
地下工程之開挖工法.....	58
適合密集都市街區之地下施工法.....	63
一〇〇公尺地下連續壁施工法(上).....	70
一〇〇公尺地下連續壁施工法(下).....	73
新國泰信託大樓之逆打工法介紹.....	79

補強

高樓地下室開挖如何避免鄰房損害兼論支撐之預載工法(一).....	98
高樓地下室開挖如何避免鄰房損害兼論支撐之預載工法(二).....	108
樁基礎下陷因應對策——微砂空氣砂漿工法.....	124

都市更新工法——托換基礎(上).....	136
都市更新工法——托換基礎(中).....	142
都市更新工法——托換基礎(下).....	149

地盤改良

藥液灌漿施工法入門問答.....	155
藥液灌漿工法設計之探討.....	159
藥液灌漿施工方法之探討(上).....	183
藥液灌漿施工方法之探討(下).....	199
馬歇管灌漿工法在國內應用之探討.....	221
軟弱土層處理——垂直排水法(一).....	230
軟弱土層處理——垂直排水法(二).....	243
軟弱土層處理——垂直排水法(三).....	252
軟弱土層處理——大氣壓載重法.....	259
冰凍工法.....	264

規劃與管理

台電大樓地下室結構體施工安全觀測系統.....	271
BW工法與地下連續壁施工及品質之管理實務(上).....	282
BW工法與地下連續壁施工及品質之管理實務(下).....	296
BW工法與地下連續壁施工及品質之管理實務.....	305
地下工程施工規劃與管理(一).....	307
地下工程施工規劃與管理(二).....	319
地下工程施工規劃與管理(三).....	330

地下工程施工規劃與管理(四).....	339
地下工程施工規劃與管理(五).....	346
地下工程施工規劃與管理(六).....	355
地下工程施工規劃與管理(七).....	363
地下工程施工規劃與管理(八).....	368

TU9
25
VI

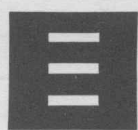
但凡穩固、安全、經濟的地下基礎，乃是一項工程成功的首要要素，這在高層建築、大型結構愈來愈多的現代營建中，尤為重要。

而穩固、安全、經濟的地下基礎，乃是各方面的配合與協調，更是衆人睿智的心血結晶；不僅事前要有充分的調查、分析，並且要有完善的規劃、設計，當然確實的施工與管理，也是不可或缺的一環。絕不是心存僥倖草率行事，或採取古老的傳統工法可以成功的。

故現代營建特別將創刊以來，所有有關地下工程方面的文章，經過重新整理編輯成書，並為了方便讀者的參考與查閱，又將所有文章歸納整理為五大類，計分地下工程概論、設計與施工例、補強、地盤改良、規劃與管理等單元。

本書之出版，除了促使讀者更有系統的了解地下工程實務方面的問題，同時更希望收拋磚引玉之效，引起社會大眾對此一問題的重視，以期提昇國內工程技術水準。

在此我們也向每一位作者致最大的謝意，由於他們的協助與支持，才使本書得以出版。



地下工程概論

高樓建築基礎之應用及其最近發展·····	5
----------------------	---

設計與施工例

基礎開挖擋土設計研究·····	16
基礎開挖與排水計劃·····	29
深開挖特性之探討·····	41
地下工程之開挖工法·····	58
適合密集都市街區之地下施工法·····	63
一〇〇公尺地下連續壁施工法(上)·····	70
一〇〇公尺地下連續壁施工法(下)·····	73
新國泰信託大樓之逆打工法介紹·····	79

補強

高樓地下室開挖如何避免鄰房損害兼論支撐之預載工法(一)·····	98
高樓地下室開挖如何避免鄰房損害兼論支撐之預載工法(二)·····	108
樁基礎下陷因應對策——微砂空氣砂漿工法·····	124

都市更新工法——托換基礎（上）	136
都市更新工法——托換基礎（中）	142
都市更新工法——托換基礎（下）	149

地盤改良

藥液灌漿施工法入門問答	155
藥液灌漿工法設計之探討	159
藥液灌漿施工方法之探討（上）	183
藥液灌漿施工方法之探討（下）	199
馬歇管灌漿工法在國內應用之探討	221
軟弱土層處理——垂直排水法（一）	230
軟弱土層處理——垂直排水法（二）	243
軟弱土層處理——垂直排水法（三）	252
軟弱土層處理——大氣壓載重法	259
冰凍工法	264

規劃與管理

台電大樓地下室結構體施工安全觀測系統	271
BW工法與地下連續壁施工及品質之管理實務（上）	282
BW工法與地下連續壁施工及品質之管理實務（下）	296
BW工法與地下連續壁施工及品質之管理實務	305
地下工程施工規劃與管理（一）	307
地下工程施工規劃與管理（二）	319
地下工程施工規劃與管理（三）	330

地下工程施工規劃與管理(四).....	339
地下工程施工規劃與管理(五).....	346
地下工程施工規劃與管理(六).....	355
地下工程施工規劃與管理(七).....	363
地下工程施工規劃與管理(八).....	368

東京縣

地下工程施工規劃與管理(一).....	339
地下工程施工規劃與管理(二).....	346
地下工程施工規劃與管理(三).....	355
地下工程施工規劃與管理(四).....	363
地下工程施工規劃與管理(五).....	368
地下工程施工規劃與管理(六).....	375
地下工程施工規劃與管理(七).....	383
地下工程施工規劃與管理(八).....	391
地下工程施工規劃與管理(九).....	400
地下工程施工規劃與管理(十).....	408
地下工程施工規劃與管理(十一).....	417
地下工程施工規劃與管理(十二).....	426
地下工程施工規劃與管理(十三).....	435
地下工程施工規劃與管理(十四).....	444
地下工程施工規劃與管理(十五).....	453
地下工程施工規劃與管理(十六).....	462
地下工程施工規劃與管理(十七).....	471
地下工程施工規劃與管理(十八).....	480
地下工程施工規劃與管理(十九).....	489
地下工程施工規劃與管理(二十).....	498
地下工程施工規劃與管理(二十一).....	507
地下工程施工規劃與管理(二十二).....	516
地下工程施工規劃與管理(二十三).....	525
地下工程施工規劃與管理(二十四).....	534
地下工程施工規劃與管理(二十五).....	543
地下工程施工規劃與管理(二十六).....	552
地下工程施工規劃與管理(二十七).....	561
地下工程施工規劃與管理(二十八).....	570
地下工程施工規劃與管理(二十九).....	579
地下工程施工規劃與管理(三十).....	588
地下工程施工規劃與管理(三十一).....	597
地下工程施工規劃與管理(三十二).....	606
地下工程施工規劃與管理(三十三).....	615
地下工程施工規劃與管理(三十四).....	624
地下工程施工規劃與管理(三十五).....	633
地下工程施工規劃與管理(三十六).....	642
地下工程施工規劃與管理(三十七).....	651
地下工程施工規劃與管理(三十八).....	660
地下工程施工規劃與管理(三十九).....	669
地下工程施工規劃與管理(四十).....	678
地下工程施工規劃與管理(四十一).....	687
地下工程施工規劃與管理(四十二).....	696
地下工程施工規劃與管理(四十三).....	705
地下工程施工規劃與管理(四十四).....	714
地下工程施工規劃與管理(四十五).....	723
地下工程施工規劃與管理(四十六).....	732
地下工程施工規劃與管理(四十七).....	741
地下工程施工規劃與管理(四十八).....	750
地下工程施工規劃與管理(四十九).....	759
地下工程施工規劃與管理(五十).....	768

野營與隨隊

野營與隨隊(一).....	777
野營與隨隊(二).....	786
野營與隨隊(三).....	795
野營與隨隊(四).....	804
野營與隨隊(五).....	813
野營與隨隊(六).....	822
野營與隨隊(七).....	831
野營與隨隊(八).....	840
野營與隨隊(九).....	849
野營與隨隊(十).....	858
野營與隨隊(十一).....	867
野營與隨隊(十二).....	876
野營與隨隊(十三).....	885
野營與隨隊(十四).....	894
野營與隨隊(十五).....	903
野營與隨隊(十六).....	912
野營與隨隊(十七).....	921
野營與隨隊(十八).....	930
野營與隨隊(十九).....	939
野營與隨隊(二十).....	948
野營與隨隊(二十一).....	957
野營與隨隊(二十二).....	966
野營與隨隊(二十三).....	975
野營與隨隊(二十四).....	984
野營與隨隊(二十五).....	993
野營與隨隊(二十六).....	1002
野營與隨隊(二十七).....	1011
野營與隨隊(二十八).....	1020
野營與隨隊(二十九).....	1029
野營與隨隊(三十).....	1038
野營與隨隊(三十一).....	1047
野營與隨隊(三十二).....	1056
野營與隨隊(三十三).....	1065
野營與隨隊(三十四).....	1074
野營與隨隊(三十五).....	1083
野營與隨隊(三十六).....	1092
野營與隨隊(三十七).....	1101
野營與隨隊(三十八).....	1110
野營與隨隊(三十九).....	1119
野營與隨隊(四十).....	1128
野營與隨隊(四十一).....	1137
野營與隨隊(四十二).....	1146
野營與隨隊(四十三).....	1155
野營與隨隊(四十四).....	1164
野營與隨隊(四十五).....	1173
野營與隨隊(四十六).....	1182
野營與隨隊(四十七).....	1191
野營與隨隊(四十八).....	1200
野營與隨隊(四十九).....	1209
野營與隨隊(五十).....	1218

高樓建築基礎之應用 及 其最近發展

歐晉德

亞新工程顧問公司協理

前言

高樓建築物由於其特殊高度、強度、環境等因素，在基礎工程方面需要特殊的考慮。自基礎工程設計觀點視高樓建築，有下列特點：

1. 高度集中荷重——由高樓經由樑柱累積傳達至柱腳之集中荷重相當大，於地震或風力作用情況而生之偏心荷重傾倒力矩亦高。
2. 極大不均勻載重——爲了美觀及實用，在高樓四週常環繞一些五至六層的低層建築，因此低層建築之荷重量與高樓形成強烈之對比。

因此，基礎設計時必須考慮下列因素：

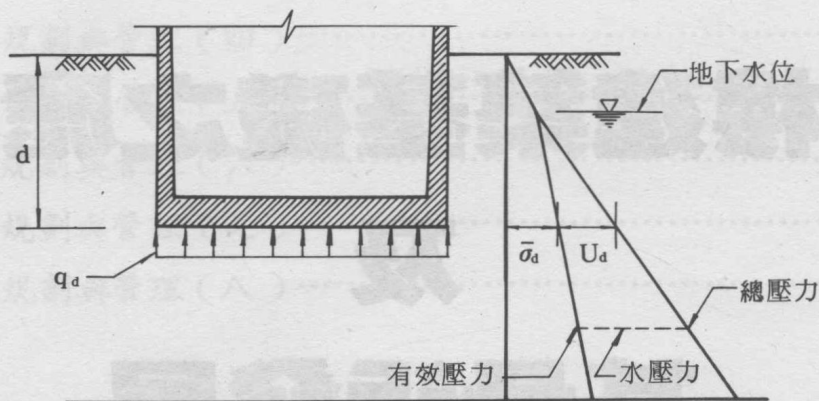
1. 基礎土層之安全支撐能力——必須能保證在高度荷重下，建築物亦不致傾覆，並且地震時也不會發生局部超壓破壞。
2. 不均勻之沉陷量——高低樓間重量差異甚大，但在功能上卻必須銜接，因此在設計時，要考慮到由於荷重差異而可能發生之不均勻沉陷量。如何消除此一不均勻沉陷

量，常決定了基礎形態。

3. 施工之限制——由於高樓建築工程泰半在都市中進行，因此施工時有許多限制，例如噪音、交通、污水等。高樓建築的基礎設計就必須配合這些施工因素，以求在這些限制下順利完成基礎工程。
4. 工期及管理——爲了爭取時間，在施工時常希望高樓的主體部分能迅速完成，而環樓之低層構造可稍後開工以配合全部工期。因此基礎工程的設計，也要考慮各時期的施工安全，以最理想之基礎設計來爭取施工時效。

同時也需特別注意高樓建築基礎受力情況之特殊性質，在施工過程中，初期與末期間作用於地層上壓力差距極大，應力在地層中如何重新分配，即所謂結構物與土壤之互制作用（Soil-Structure Interaction），亦爲高樓結構基礎設計的主要研究項目之一。

因此在高樓基礎設計之前，需有充分的地質分析資料，諸如土壤支承特性、沉陷量、可能之差異沉陷，對地震、風力所生之側壓影響



圖一 抵消式基礎底面平衡壓力

，施工期間基礎面之應力變化，基礎形式對施工之影響等，均應有完善的分析，以達理想設計。近年來世界各地的高樓建築如雨後春筍般不斷興起，遭遇之地層狀況亦日益複雜，由於工程投資額愈來愈龐大，直接促成基礎工程的進步，本文僅就近年來高樓建築所廣為採用之基礎形式，作一簡介以供國內工程界作為參考。

抵消式基礎

抵消式基礎 (Compensated foundation) 又稱浮式基礎 (Floating foundation)。今日中華民國及世界各地，已有許多高樓建築物之基礎，是根據此觀念設計，在傳統觀念中，設計抵消式基礎時，可以想像成放在水中的一艘船，但這與實際情形並不十分符合，因為土壤本身具有相當的黏滯性，船在水中可根據阿基米德原理得到平衡，但結構物是置於土體中，體積的變形需相當時間，而平衡力量的過程也非一朝一夕之事，其間涉及許多力學上的問題。

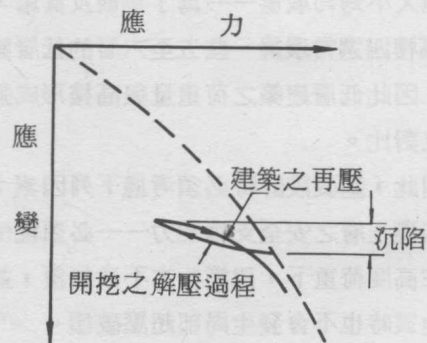
在實際的土層中，建造一抵消式基礎時，無論其抗剪強度多少，均需考慮壓縮性質，因此應將土壤考慮為一兩相性材料，即土壤結構體視為固態，應具有彈塑性至黏滯性之應力應變性質，以及抗剪強度；而地下水則視為液態之流體。因此設計者不能僅將土體假設為一流體，只以滿足阿基米德原理為限。抵消式基礎

的設計要考慮在開挖階段土壤重量減少，再換以結構體荷重階段的土壤變形性質，因此土壤在基礎開挖荷重解除的解壓狀態至再加壓狀態的性質，控制了整個基礎設計。

如圖一所示，在抵消式基礎中做入軟弱土層中 d 深度在此深度之土壤有效壓力為 $\bar{\sigma}_d$ ，孔隙水壓為 U_d ，因此若與結構物的壓力完全平衡時，則總平衡壓力 q_d 為

$$q_d = \bar{\sigma}_d + U_d \dots\dots\dots(1)$$

上式中， U_d 亦代表作用於底版面之向上舉力，此式之前項表現土壤固體的性質，後項表現液體的性質，由此式亦可確知：第一項土壤有效應力的變化，對基礎設計有重大影響，關係到土壤存在的狀態強度、壓縮性等。圖二顯示有效應力的變化愈小，基礎可能的影響亦小。



圖二 土壤之膨脹與再壓性質

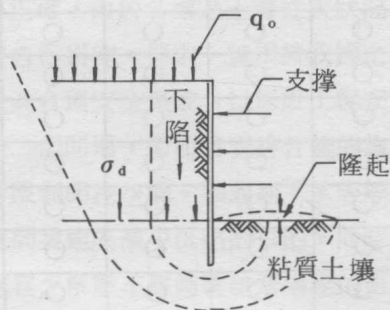
總而言之，抵消式基礎的設計觀念在於：

1. 利用土壤之有效應力及地下水舉力平衡

建築物重量，建築物置入土中愈深，則獲得的穩定性及承载力愈高。

2. 此類基礎設計，除避免土層之剪力破壞外，主要在於滿足結構將來允許沉陷量及不均等沉陷的要求。

理論上，當基礎置於某深度下，而不致於增加有效覆蓋土壓力，且不改變現有水壓時，則完全沒有沉陷發生。但實際上，在基礎開挖過程，造成土壤有效應力大幅度的變更，若如圖三所示產生隆起(Heave) 則將來的沉陷超過預期數量，此種問題在設計中，常易被忽略，在設計抵消式基礎時，如何模擬基礎土層因開挖之解壓過程，以推求將來之沉陷，是不可忽略的一環。



圖三 開挖底面之隆起

此外，在地盤發生下陷地區，如台北市基礎設計工程師，不可忽視此種因水壓狀態變化而發生的土壤壓密現象。地盤沉陷的原因，如觀測所知，是由於地下水位下降而增加了下層土壤體中有效應力，因而使得土壤產生壓密效果，地盤即生下陷現象，對於具高度壓縮性之正常壓密粘土層，有效應力增加即可使土壤產生大量壓縮效果，因此在地盤沉陷區，設計抵消式基礎應以不超過目前之有效覆土壓為界限，以使將來水位降低情況，仍在有效應力增加壓縮反應上有折衷之餘地。

要了解地盤沉陷區，地層有效應力的變化情形應仔細調查土層變化與構造，同時應在不同深度之土層中裝設水壓計(Piezometer)，此外還應有極深的永久準點，作為所有沉陷量調查的依據。台北盆地地盤沉陷的調查工作已進行多年，雖有少數沉陷點的設置，但不論永久水準點或水位觀測井以及水壓計之裝置，都極端缺乏，這是調查及設計工作之一大遺憾。

在地震區設計抵消式基礎，必須特別考慮由地震所造成基礎面上的額外應力，對於完全抵消式基礎而言，在靜力荷重下，不致有任何問題發生，因為其所有荷重已和基礎面上土壤

表一 開挖穩定性公式一覽表

提 案	公 式	安 全 係 數 F
Terzaghi & Peck	$\frac{r_t H}{S_u} = \frac{5.7}{F} + \frac{\sqrt{2} H}{B}$	1.5
Tschebotarioff	$\frac{r_t H}{S_u} = \frac{5.14}{F} + \frac{H}{B} (L/B > 2)$	2.0
Bjerrum & Eide	$\frac{r_t H}{S_u} = \frac{N_c}{F}$	1.2
日本建築法規修正式	$\frac{r_t H}{S_u} = \frac{1}{F} (\pi + 2\alpha)$	1.2
Finn	$\frac{r_t H}{S_u} = 10$	1.0
Peck	$\frac{r_t H}{S_u} = N_b$	1.2
我國建築技術規則	$\frac{r_t H + q}{S_u} = \frac{2\pi}{F}$	1.2

表二 地下連續壁挖掘工具之運用範圍

機 具 型 態		抓 斗		打 擊 式	挖 斗 式	水 平 旋 轉 式	多 重 鑽 頭 式	
		吊 纜 式	導 桿					
深 度 (公 尺)	< 20	○	○	○	○	○	○	
	30 — 40	△	○	○	△	○	○	
	40 — 50	△	○	○	×	×	○	
	> 50	×	△	○	×	×	△	
壁 厚 (公 分)	< 80	○	○	○	○	○	○	
	80 — 100	○	○	○	△	○	○	
	100 — 120	△	○	△	×	○	○	
	> 120	×	△	×	×	×	×	
土 層 狀 況	粘 質 土 (N 值)	< 4	○	○	△	○	○	○
		4 — 10	○	○	○	○	○	○
		10 — 20	○	○	○	○	○	○
		20 — 30	○	○	○	○	○	○
		> 30	△	○	○	○	○	○
	砂 質 土 (N 值)	< 10	○	○	○	○	○	○
		10 — 30	○	○	○	○	○	○
		30 — 50	○	○	○	○	○	○
		> 50	△	○	○	○	○	○
	礫 石 (尺 寸 , 公 分)	< 10	○	○	○	○	○	○
		10 — 15	○	○	○	○	○	○
		15 — 20	○	○	○	○	○	○
		20 — 30	△	○	○	△	△	△
		> 30	×	△	△	×	×	×
	岩 層	軟 岩	×	×	○	△	×	△
		硬 岩	×	×	○	×	×	×
震 動 及 噪 音		△	△	△	○	○	○	
棄 土		○	○	○	△	△	△	

○適用

△有困難

×不適用

原有之有效覆土壓及水壓所抵消。

當地震力作用時，將造成基礎土壤之額外負荷，地震在基礎面形成一傾倒力矩及基面剪應力，使基礎向一邊移動，造成地盤反力重新分佈。

在設計考慮上，必須慎重分析此額外增加應力的作用程度，並要求：

1. 此應力增加以後，不得使基礎土壤發生局部剪力破壞現象，否則結構物將造成永久傾斜。

2. 檢驗土壤在此應力作用下之彈性反應，以確保當地震作用以後，建築物可恢復至原來之直立狀態。

世界上其他各城市曾發生多次地震後建築

物傾斜現象，我國位於地震帶，對此問題不可不慎重考慮。

深開挖工程

由於抵消式基礎逐步推廣，基礎深度亦大幅度加深，基礎施工遂遭到一些特殊問題：

1. 如何安全抵達設計深度
2. 如何控制土壤的隆起，以減少將來之沉陷
3. 採用何種保護系統以保證開挖區的安全

第一個問題，即所謂開挖之穩定性，目前之分析多採極限設計，一般對開挖面之穩定破壞的採用方法，大致如表一所示。

其建議之安全係數差異甚大，工程師在應用上常有困難，而現行之建築法規對此點之規定亦不正確，由於各國之土層性質狀況不一，我國宜自行研究，尋求一適用於我國之理論經驗公式及合理安全係數，以保證工程安全。

第二個問題，即如何安排合適的施工步驟，包含限制開挖空間、抽取地下水等等，以減少隆起間接達成減少沉陷的目的。同時土壤因開挖過程之解壓至建築物建造過程的再壓，對其壓縮性強度均有所影響，因此基礎設計者需了解：

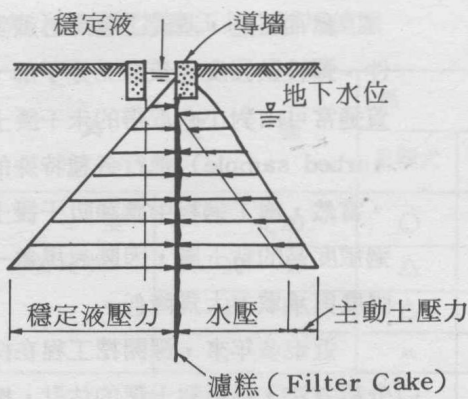
1. 基面土壤在解壓及再壓狀態的性質。
2. 地層中之各土壤層次及性質。
3. 在靜止及動力狀態下地下水之水力性質。
4. 如有需要，尚應考慮地盤整體下陷問題。

總而言之，基礎工程師必須對土壤之壓縮性、彈性及強度性質有充分了解，這些力學性質通常可由對小心取得的未干擾土壤（Undisturbed sample）進行各種特殊的試驗而獲得。當然，施工過程中應謹防干擾土壤，特別是過敏度高的粘土層，因隆起現象一向使土壤的強度與承載力大為降低。

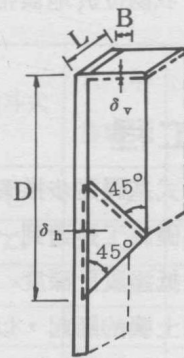
近十多年來，深開挖工程在採用的系統、分析方法，包括對土壓的估計，擋土設施之變形對壓力分佈的影響，均因經驗的累積而逐漸進步。簡單的有鋼軌排樁、鋼版樁，複雜的例如地下連續壁等，國內工程界都廣泛的採用。值得一提的是，自一九七二年國內首次採用地下連續壁後，其生產量在最近三年來更有顯著的增加，此情形在國際上亦然。但是對連續壁的設計理論仍莫衷一是，如 James & Jack（1974）曾建議彈性理論法，日本也各自發展其分析理論，但都未能一致，主要原因在於設計分析未能完全涵蓋工地之變化情況，即對土壤——擋土結構之互制未能充分掌握其變化，目前仍需大量之研究及現場觀測，以求設計之突破。地下連續壁有多種施工法，所適用的土壤情況亦各不相同，表二列舉目前常用施工法之適用性，在國內若要求較高品質之施工情況時，多半採用BW工法，此工法係採施轉鑽頭鑽掘，並利用反循環水流方式，排除挖掘物。使用地下連續壁，目前這方面的研究大致在於如

表三 台北市現行採用之穩定液控制標準

性 質 範	圍	測 定 法
比 重	1.02 — 1.10	Mud Density Balance
粘 滯 性	21 — 25 秒	Marsh Funnel Viscosimeter
滲 透 性	Fluid loss < 15 ml in 30 seconds Cake < 2.0 mm	Filter Press Test
PH	8 — 10	PH Meter
含 砂 量	< 5 %	Sand Screening Test

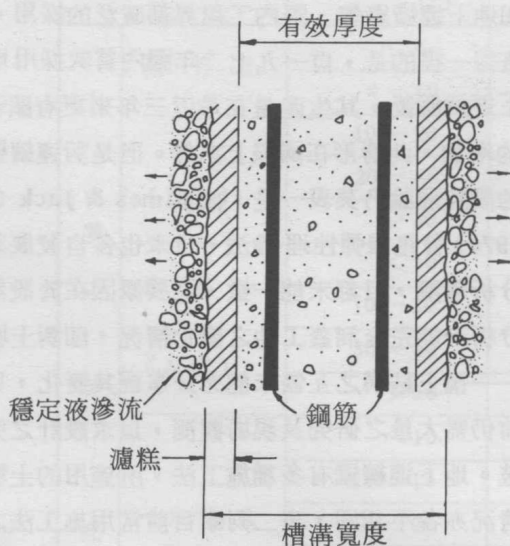


(a)槽溝之主動土壓力



(b)楔形破壞方式

圖四 槽溝穩定性分析

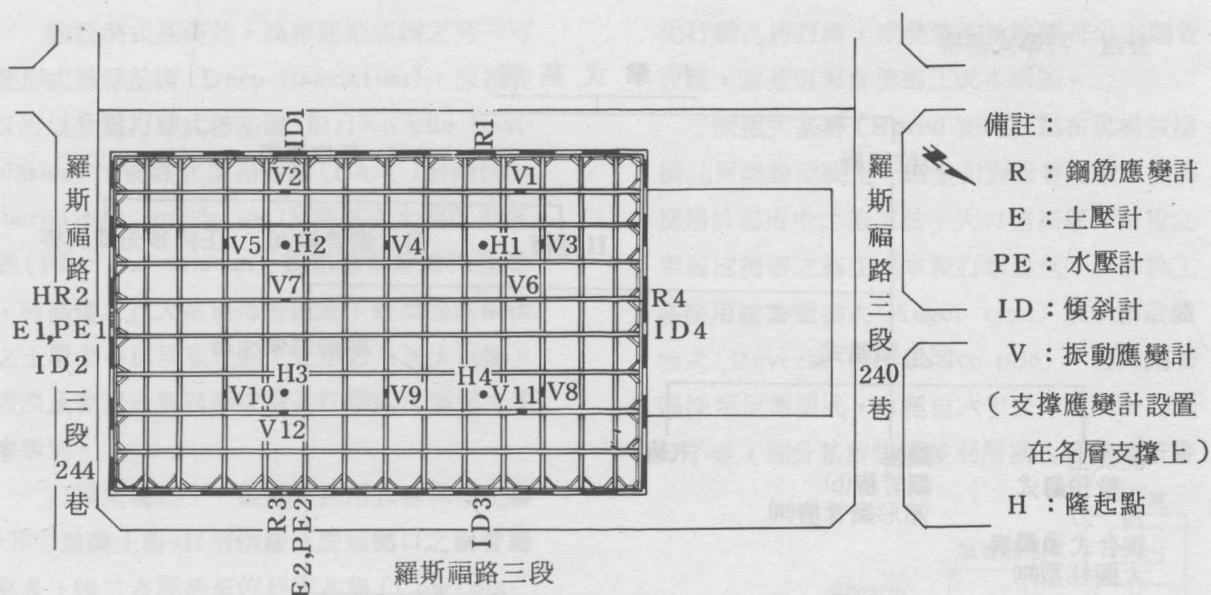


圖五 設計之有效厚度

何擬定合適之施工規範。英國 ICE 於一九七三年曾建議一範本，美國也於一九八一年八月提出另一草案，但對地下連續壁品質影響極大之穩定液控制，仍未有完整且深入之研究。目前採用者大致均沿習 API 規範鑽孔穩定液規格，表三列舉目前國內採用穩定控制之一般標準。至於如何配合各工程地點工質狀況之穩定液標準，應就槽溝理論觀點作進一步分析，目前所謂槽溝之穩定性分析，大致上可利用之理論為 Aas 的楔形破壞及主動土壓理論，圖四表示此二理論之依據情況。實際上此二理論均未提及槽溝中，土壤挖除後外側土體之變形，而對深槽溝或需較大比重穩定液水保持壁面穩定

時，利用特密管 (Tremie pipe) 澆灌混凝土所可能發生之混凝土污染問題，學者專家們均未有一致之結論。近年來對挖掘槽溝時外側土壤之移動變形，將有進一步研究，而研究方向可能趨向於決定設計之安全係數，如何保持混凝土品質，接縫 (Joint) 的類別，穩定液在壁面產生濾糕 (Filter cake) 之影響，及將地下連續壁用作永久性結構時，其設計強度、品質管制等均有待進一步之實際調查。筆者曾根據現場觀測結果，建議對採用地下連續壁為永久性結構時，對混凝土採取 0.8 之降低強度因素，有效厚度也應折減五公分，以涵蓋濾糕之影響 (圖五)。至於將連續壁作的結構體之承重版或基礎連續樁時，其支承力之分析，目前尚未有完整之方法，通常將連續壁分成單元而利用現有樁基公式來分析，因實際載重試驗結果極為有限，目前尚難評估此法之可靠性，國內可就此點作實際載重試驗而加以研究。

就深開挖工程之支撐系統而言，不外乎內撐 (Internal bracing) 及外拉之預力地錨 (Prestressed earth anchor)，前者之設計對側壓力大致採用 Peck (1967) 之表土壓力法，對土壤結構之互制問題未能綜合涵蓋，施工破壞事件仍時有所聞，防止之法在下節施工監測系統中再加細述。使用內撐時，為減少擋土設施之移動與變形，對支撐採取預壓，近年來國內深開挖工程已逐漸普及，預壓力一般均



圖六 台電大樓監測系統配置圖

採用 10 ~ 25 % 之設計應力，已可顯見其效果。

至於地錨之應用，國內工程界也已採用，但也許由於經費的緣故，對深開挖工程的應用，始終未能有較科學化之管理方式，特別是在台北市之粘土地層中，地錨之設計及施工，仍有待進一步研究。

監測系統

在深開挖工程中，由於許多理論都用半經驗法，加上土壤情況不一致，分析設計過程必須加以簡化，且工程在進行中會有許多變化因素，利用監測系統可隨時監督深開挖工程之進行，隨時取得資料，以保證工程安全，因此這已成為不可或缺的一環。國內工程營建單位如榮民事業工程處及中華工程公司在高樓建築之基礎工事上，已有許多採用監測系統之實例，如目前最高建築台電大樓採用深筏基，施工時即有完整之監測。圖六即例舉其監測系統之配置狀況。又如樹德工程公司、海陸工程公司等民營之營造工程公司，也有類似之經驗。將來若大規模進行地下鐵路工程時，這些經驗將有莫大助益。現階段深開挖監測系統，觀測之項目大致為：

1. 開挖區四週之地表沉降
2. 鄰近結構物之位移及沉降
3. 地下水位及水壓變化
4. 護土設施之變形
5. 支撐系統之受力狀況
6. 護土設施內之受力狀況
7. 土壓力之變化
8. 開挖區內地層之隆起變化

地表沉陷及結構物位移，可利用水準測量，水位及水壓變化則可利用水壓式或氣壓式水壓計測量，而以氣壓式水壓計較好，開挖底面隆起則可利用隆起桿測量，護土設施變形多半用傾度計測得，至於支撐系統之受力，若護土設施是採用連續壁時，其鋼筋之受力及牆內外側之土壤變化所採用之壓力計、軸力計或應變計等，目前種類較多，基本上可分成油壓式壓力計、光彈性壓力計、振動弦式應變計 (Vibrating wire strain gauge)、電阻式應變計 (Resistance strain gauge)、或線性差動轉換器 (Linear variable differential transformer)。這些國內均曾採用，對目前深開挖工程的安全性提供了相當的保證。

深基礎