

深 開 挖 工 程 之 設 計 與 施 工
DESIGN AND CONSTRUCTION OF DEEP EXCAVATION

歐 晉 德
CHIN-DER OU

Manager, Moh and Associates, R.O.C.

本文為六十六年土壤與基礎研討會專題演講

原載於研討會論文專集第 127 - 150 頁

Reprinted from

Proceedings, Seminar on Soil and Foundation

Engineering, April 1977, Taipei

pp. 127 - 150

Chinese Institute of Engineers

Chinese Institute of Civil & Hydraulic Engineering

ABSTRACT

Discussions are presented on the procedures involved in the design and construction of deep excavation works. Commonly used methods for estimating earth pressures and design of retaining structures are presented. Comparisons are made on the advantages and disadvantages of various types of earth retaining structures with particular emphasis on the conditions in the Taiwan area. In the discussion, emphases are placed in the importance of obtaining correct and sufficient subsoil information prior to planning and design, and the necessity of strict control during construction. Use of instrumentation for construction monitoring is introduced.

深開挖工程之設計與施工

耿 晉 德

亞新工程顧問公司台灣區經理
國立台灣大學土木工程學研究所兼任副教授

一、緒言

在今日工程建設高度發展的時代，工程的施工幾乎無可避免的必需要遭遇到深開挖（Deep Excavation）的問題，所謂深開挖，根據 Terzaghi (1948) 之定義為超過20英尺，即6公尺深之開挖工程皆屬之，一般而言需要深開挖的工程包含了：

1. 高樓建築物地下室之施工
2. 公共管線如下水道系統或地下電纜等
3. 多層地下停車場之建築
4. 地下捷運系統
5. 山區公路系統

甚至如6. 山坡地開發時之邊坡垂直開挖等等工程，無一不需面對相當深度之開挖工程，自然就經濟觀點而言，在空間及土壤強度許可下，開挖工程希望能在不需要任何保護設施之情形下進行，但此種情況對深開挖之情形常不可能，因為深開挖工程通常進行時間較長，而為保持穩定，採取自然穩定坡開挖時，勢必增加大量土方，反而使得工程經費增加成為不切實際，因此在遭遇深開挖工程時，通常設計必需針對下列幾項原則進行：

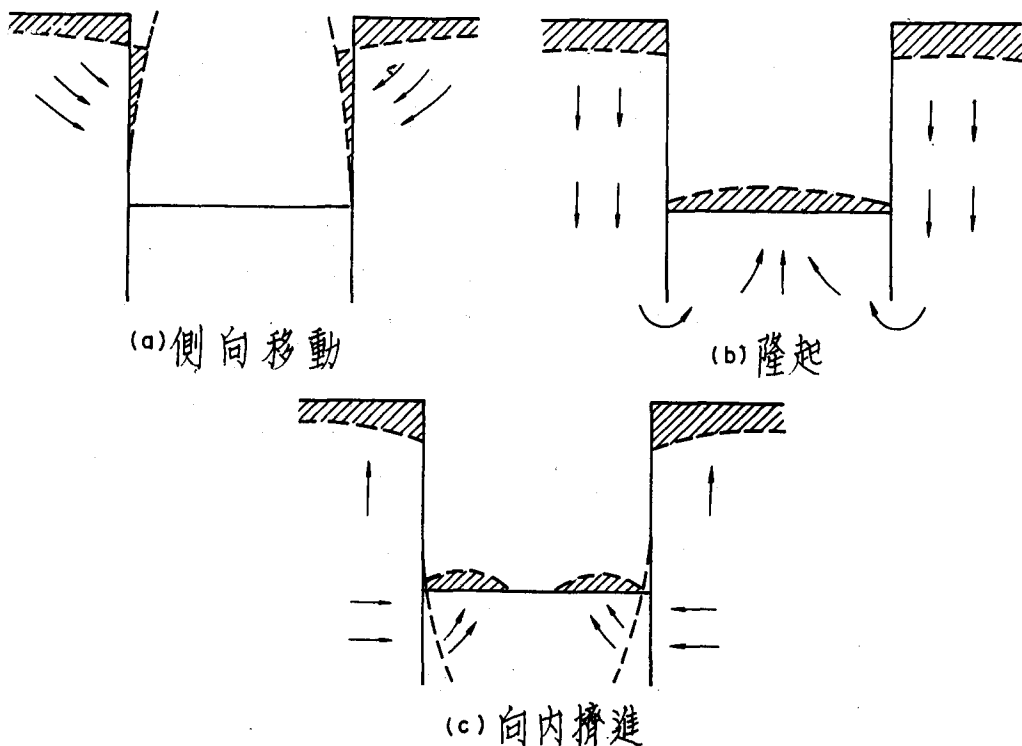
1. 必需能防止工程本身之破壞。
2. 保護設施應能兼顧及開挖工程鄰近建築物之安全。
3. 保護系統之裝設應能配合施工之進行，並且不造成對其他施工工作的過分阻礙。
4. 必需能儘可能節省經費，保持經濟性。

因此原則上深開挖的設計工作，除了應滿足安全的需求外，尚應考慮經濟要素，並將施工環境條件均考慮在內，本文即針對深開挖工程之設計及施工要點提出，以為一般設計者之參考。

二、設計步驟

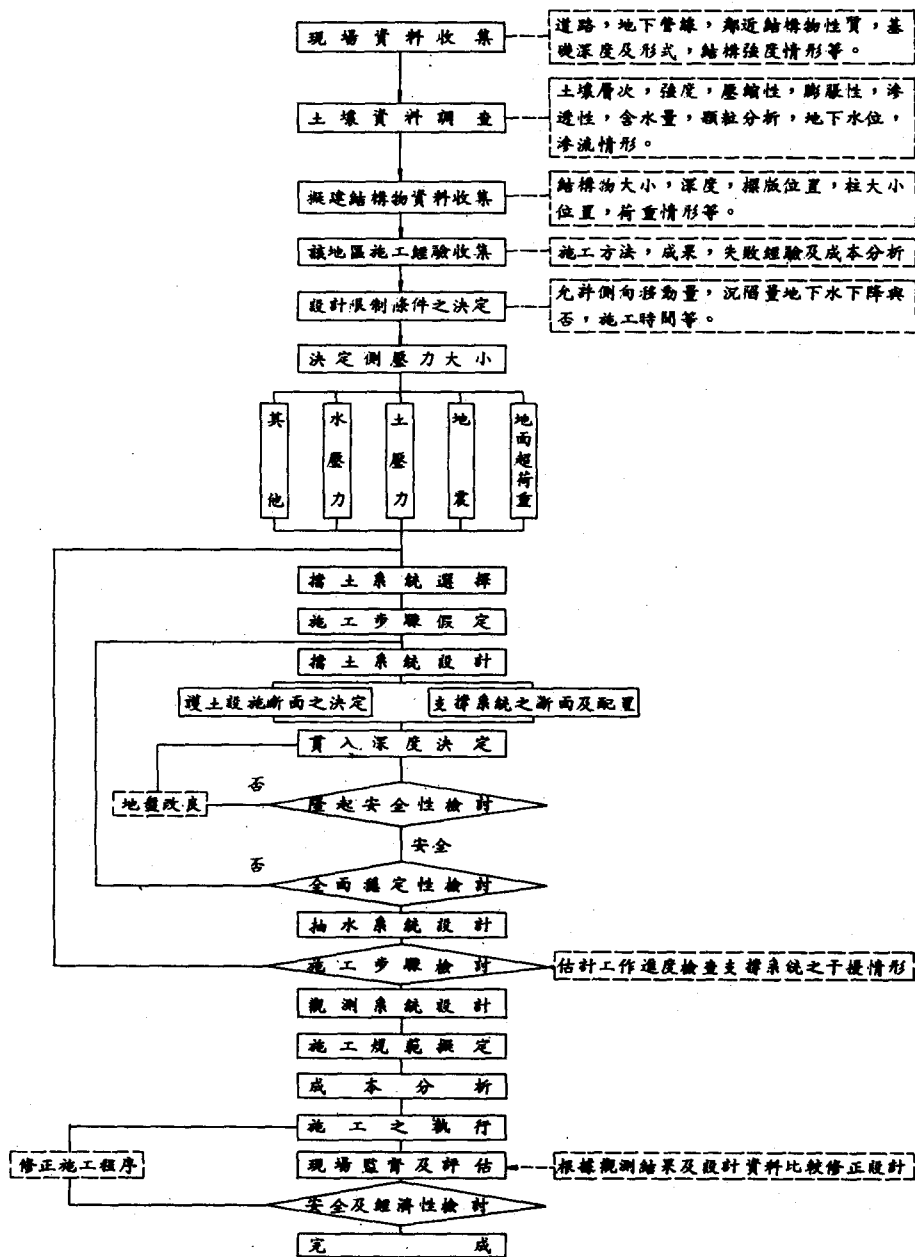
深開挖工程所有安全設施裝設之主要目的在於防止因開挖而造成之各種土壤變形（圖一），而保證工程之安全性，一般而言，影響開挖工程安全性因素極多，諸如：

1. 開挖面積大小
2. 土壤性質
3. 地下水流情況
4. 施工時間長短
5. 擋土設施形式
6. 開挖及支撐步驟
7. 開挖區四周情況及建築物狀況



圖一. 開挖之各種土壤變形

圖二 深開挖工程設計及施工流程圖



8. 施工機具運動情形

9. 施工技术水準及施工管制

在在都影響到工程之品質及安全性，為使工程能在最經濟而有效率的情況下完成，必需經過一完整的資料收集、分析、規劃、複核，而至嚴密的施工及監督等過程，圖二之流程圖為建議之步驟，其主要工作分成三階段，即：

1. 資料收集及分析

2. 擋土設施之選擇與設計

3. 施工之執行及監督

此三階段工作，均有相互密切之關聯。

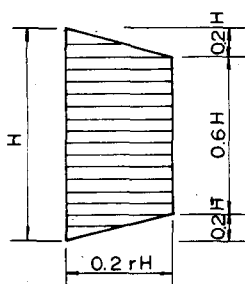
在基本資料收集上，應包含開挖區四周道路，地下管線，鄰近結構物性質，基礎深淺，形式以及強度情形等資料，而在設計上最切需者為可靠之土壤資料，一不可靠或不週詳的土壤資料幾乎就代表了工程失敗的可能性，一般而言，設計安全設施所需之土壤資料至少應包含基礎土壤層次、強度、壓縮及、膨脹性、滲透性、含水量、顆粒大小分佈、地下水位及滲流等，此等資料可經由可靠之現場鑽探、取樣、試驗等步驟獲得，為使設計能更經濟與安全，該地區之施工經驗，甚至失敗之事實均應列入參考範圍，此外對擬興建之結構物情形亦應有適度的了解，以免使安全設施對新建工程造成妨礙，根據以上種種資料，可以訂定安全設施設計之限制條件，如允許之側位移、沉陷量等等。

安全設施設計可資利用之分析法極多（表一），可靠性不一，然而不論如何，在設計過程中，首先遭遇最大問題即為作用於擋土設施之側向力大小之判定，作用於擋土設施之側向力來源甚多，除土壓外，尚有地下水壓力，由地表車輛載重而生之側向力，對於長時間保持開挖面開放之工程，在本省尚應特別考慮地震之額外荷重。側壓力之估計在各種文獻中有甚多建議，目前引起最多議論者，即為設計支撐系統之側向土壓力估計值，目前設計橫撐（Strut）時，採用之側向土壓力分佈圖，係根據實際觀測支撐應力大小再換算出來之土壓力，即所謂之表面土壓力（Apparent Earth Pressure），早年提出之土壓分佈多半根據地下鐵路工程施工之心得推估，我國建築法規亦係引用自國外文獻，近年來因施工觀測系統之進步，資料亦漸增多，因此也逐漸有所修改，圖三及圖四，分別將目前世界各國採用之土壓力分佈圖歸納，以使讀者有所明瞭，由此亦可見及我國規範應修改之處。

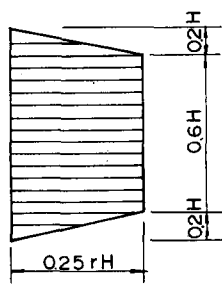
表面土壓力僅係為設計內部支撐時使用，並非真正的土壓力，理論上，若土壤未發生任何側向移動時，擋土設施所承受的土壓力，係屬所謂靜土壓力狀態（Earth Pressure at Rest），若擋土設施具相當的柔性（Flexibility），受力後產生變形，或由於支撐系統受力後縮短，而致擋土設施向離開保護邊方向移動時，只需極小的移動，即可使土壓降至主動土壓力狀態（Active Earth Pressure），至於在開挖底面以下之被動土壓力狀態（Passive Earth Pressure），則需相當之移動量方可發生，根據實際觀測，若擋土牆高度為H（圖五）

表一. 開挖工程擋土設施分析法

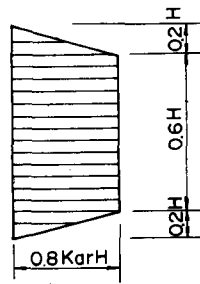
分析 方法		需要參數	決 定 項 目				
			總水平應力	有效應力	孔隙水壓	支撐荷重量	水平位移
半 經 驗 式	Terzaghi & Peck	$\gamma, Su, \bar{\sigma}$	✓			✓	
	Tschebotarioff	$\gamma, Su, \bar{\sigma}$	✓			✓	
	NAVDOKK	$\gamma, Su, \bar{\sigma}$	✓			✓	
	日本建築規範	$\gamma, Su, \bar{\sigma}$	✓			✓	
	我國建築技術規則	$\gamma, Su, \bar{\sigma}$	✓			✓	
理 論 分 析	流線網	K_h, K_v			✓		
	Rankine 土壓理論	$\gamma, \bar{\sigma}$		✓			
	應力軌線 (Stress Path)	$\gamma, \bar{\sigma}, OCR$	✓	✓			✓
	單向壓密	M_v, C_v, C_c P_o, γ			✓		✓
有限要素法		E, μ, γ K_o, K_h, K_v	✓		✓	✓	✓



(a) 緊密砂質地層



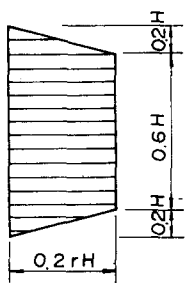
(b) 疏鬆砂質地層



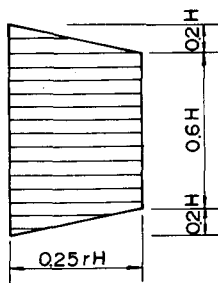
(1) Terzaghi

&

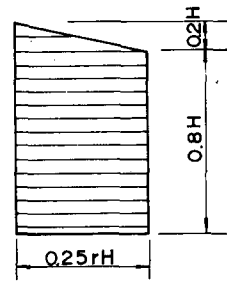
Peck (1948)

(2) NAVDOCK
DM 7 (1971)

(a) 緊密砂質地層

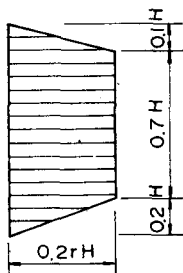


(b) 中度砂質地層

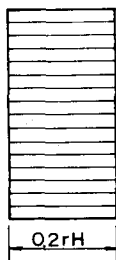


(c) 疏鬆砂質地層

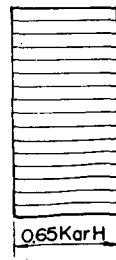
(3) 我國建築技術規則 (1974)



(4) Tschebotaroff (1951)

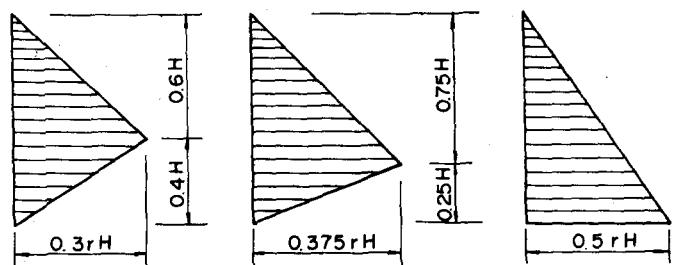


(5) 日本建築法規 (1974)



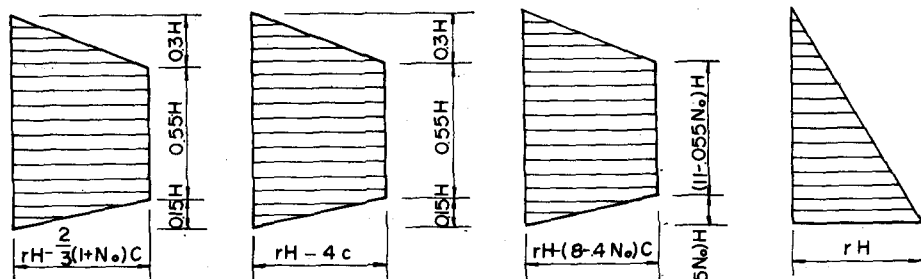
(6) Peck (1969)

圖三. 砂質土層土壓力



(a) 堅硬粘土層 (b) 中度粘土層 (c) 軟弱粘土層

(1) Tschebotaroff (1951) 反我國建築技術規則 (1974)



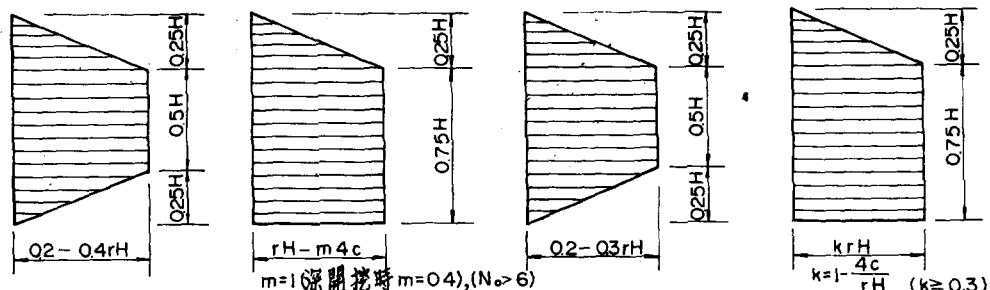
(a) $2 < N_o < 5$

(b) $5 < N_o < 10$

(c) $10 < N_o < 20$

(d) $20 < N_o$

(2) DM-7 (1971)



(a) 堅硬粘土層

(b) 軟弱至中等粘質土層

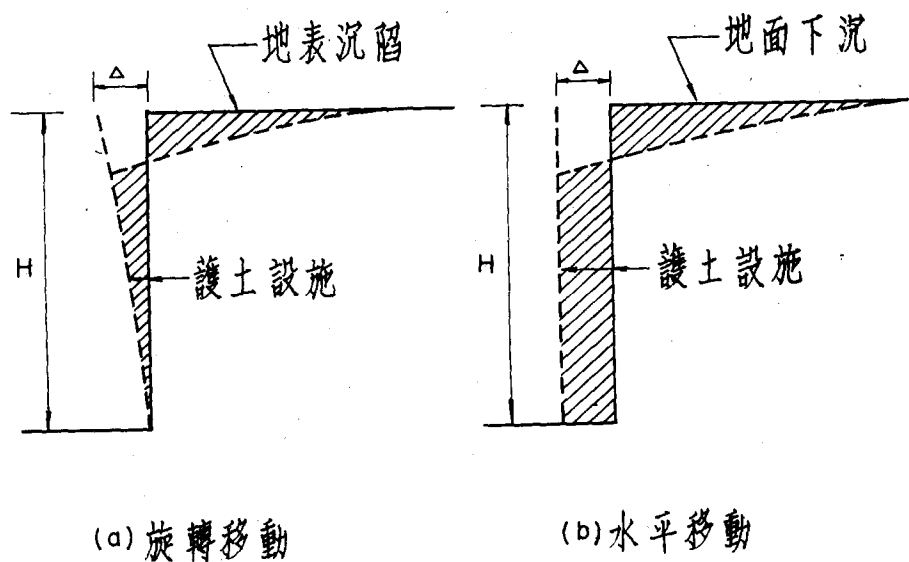
(c) 堅硬粘質土層

(d) 軟弱粘質土層

(3) Terzaghi & Peck (1967)

(4) 日本建築法規 (1974)

圖四. 粘質土層土壓力



圖五. 護土設施之移動

，各種土壤發生主動及被動土壓狀態所需之移動值詳列如表二，目前設計擋土結構物時，常考慮主動與被動同時發生之極限狀態，則勢必產生相當移動，以致開挖面外緣產生可觀之地表下陷，此現象在實際工程施工中已可明顯證明，Peck (1969) 曾根據許多工程之觀測記錄，統計出地表沉陷與開挖深度的關係，顯示如圖六，由此可知設計時如考慮限制開挖面外緣之沉陷時，則側向土壓力之數亦應酌量予以提高，甚至考慮採用靜土壓力。

三、擋土設施之選擇

為確保深開挖工程的安全，除對工程地點之土壤性質有明確的了解外，尚應對做為施工中安全措施之擋土系統有深入的知識，深開挖工程之擋土設施主要分成兩部份，一部份為開挖面四週之護土設施 (Shoring System)，與一部份為開挖面內部之支撐設施 (Bracing System)。

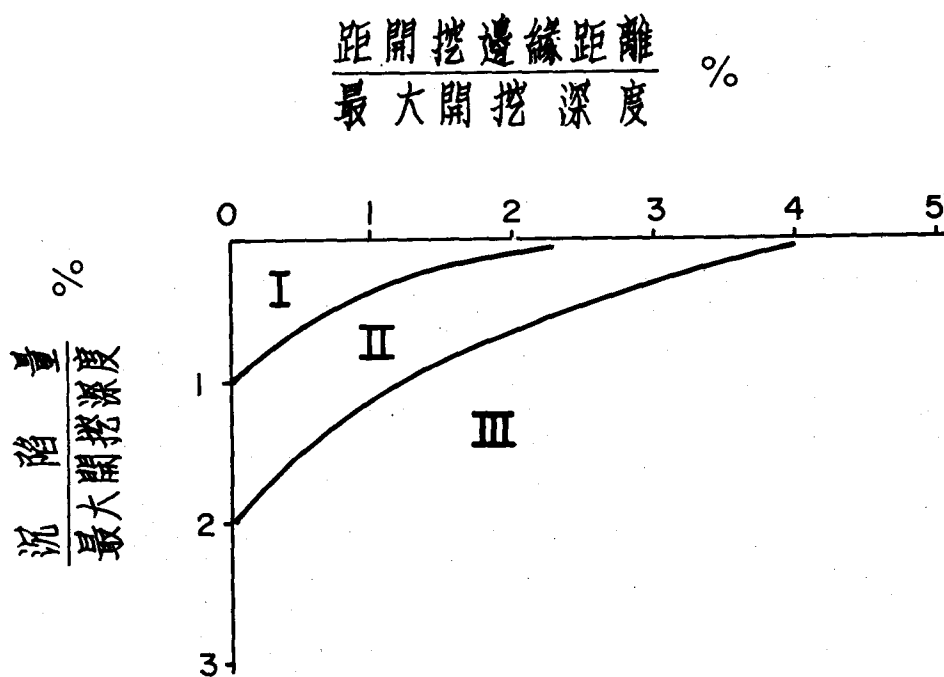
外緣護土設施，目前為世界各國採用者，種數繁多，一般可歸納成圖七所示之幾種即 (a) H型鋼樁與木料隔板，(b) 鋼版樁，(c) 水泥版樁，(d) 混凝土排樁及 (e) 混凝土地下連續壁。此中 (a) 及 (b) 屬柔性擋土牆，造成之變形量較後三者為大，以上各種護土設施之優劣點，詳列如表三，目前在本省工程中除 (c) 外，皆廣泛採用，深開挖工程之護土設施，近年來逐漸傾向於採用混凝土地下連續壁，地下連續壁因施工設備的差異，而有各種不同的施工法，如 BW 工法，ICOS 工法，ELSE 工法或 Soletanche 工法等等，皆需精密技術，各種工法適合之土壤情況，施工速度，成本以及完工後地下連續壁之品質亦各不相同，設計時，最好能就土質情況及結構物需求規定採用之施工法，同時對施工之管制，更應有嚴格要求，地下連續壁固然因種種先天因素以致成本較其他類型之護土設施為高，但對深開挖工程，當深度達到相當程度以上時，若能考慮其為永久結構物之一部份，則就其總工程造價而言，仍屬較經濟者，且可提高工程之安全性。

開挖工程深度不大時，僅利用護土設施即可達到擋土的目的，但在深度逐漸變深時，則必需在護土設施上增加若干支點，一方面可以減少護土設施的厚度，同時可以減少護土設施的水平移動量，以減少沉陷，此即利用支撐設施，支撐系統根據其基本裝置的不同，可分成兩大類，一為內部支撐系統 (Internal Bracing)，如圖八，一為背拉系統 (Tie Back)，如圖九。

前者係於開挖面內部利用木樑，或鋼樑甚至鋼管支撐，以抵擋護土設施傳來之側向壓力，早年本省施工，為節省經費，多採用木樑，但木樑伸縮性大，強度低，已逐漸淘汰，目前多半採用鋼樑橫撐，斜撐法在較大面積工程，採分區開挖施工時亦多採用以減少橫撐長度，內部支撐之優點在於開挖面積不大，深度較淺時，裝設迅速，成本較低，其缺點為當開挖面積甚大時，橫樑長度增加至相當程度，易生挫曲 (Buckling) 及變形 (Deflection)，而致危險，而開挖深度太深時，需多層支撐，則不但裝設費時，同時影響開挖之挖土出土等程序。

表二、發生主動及被動土壓狀態需要之移動量

土壤類別	壓力	移動形式	需要移動量
砂土	主動	平行移動	$0.001 H$
	主動	旋轉	$0.001 H$
	被動	平行移動	$0.05 H$
	被動	旋轉	$0.1 H$
黏土	主動	平行移動	$0.004 H$
	主動	旋轉	$0.004 H$
	被動		—



I. — 砂質土層及軟弱至堅實粘土—施工情況良好

II. — 極軟弱粘土—粘土層在開挖面下有限深度時
或 $N_0 < 6$

III. — 極軟弱粘土層延伸至開挖面下方相當深度

圖六. 支撐背面之沉陷量—Peck (1969)



(a) H型鋼樁木料隔板



(b) 鋼版樁



(c) 水泥版樁



(d) 混凝土排樁

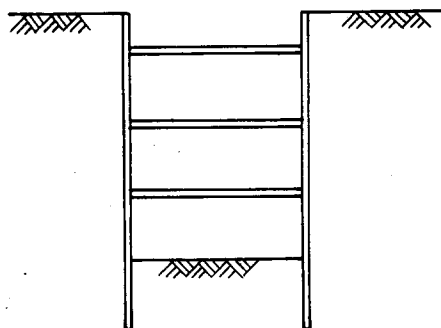


(e) 混凝土地下連續壁

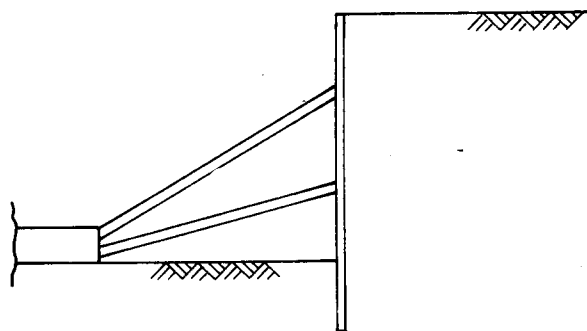
圖七. 護土設施種類

表三 護土設施優劣點比較

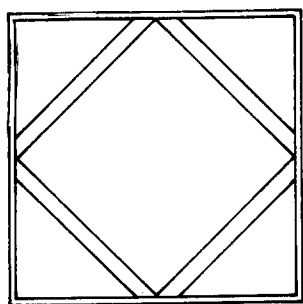
形 式	優 點	缺 點
H 型鋼樁 木料隔板	1. 安裝準確迅速。 2. 隔板配合開挖逐步安裝。 3. 鋼樁可拔起重覆使用。 4. 允許排水，減少側壓力。 5. 成本低。	1. 開挖面下方被動土壓小。 2. 隔板不能完全防止細粒土壤漏失。 3. 排水後，地下水位降低造成鄰近地表沉陷。 4. 隔板必須迅速安裝，若工程進度不能配合，易使大量土方漏失。 5. 鋼樁拔除後，遺留空隙易造成鄰近地基沉陷。
鋼 版 樁	1. 適用多種土壤情況，施工容易。 2. 如施工良好，可達止水效果。 3. 強度高，可具相當擋土能力。 4. 具柔性，可減低側向土壓力。	1. 施工中造成噪音。 2. 深度變大時，防水效果常無法達成。 3. 礫質土層中無法應用。 4. 拔除時，遺留空隙大，必須迅速回填。
水泥版樁	1. 混凝土牆品質可以把握。 2. 接縫可以達到防水要求。 3. 被動土壓力大。 4. 勁度高可抵擋相當之側壓力。	1. 裝設困難，噪音亦高。 2. 必須配合特殊技術。 3. 開挖深度增加時，預鑄版之運送困難。 4. 成本高。
混 凝 土 排 樁	1. 成本低。 2. 施工技術性要求不高。 3. 具相當之被動土壓力。 4. 堅硬之地層亦可裝設。	1. 通常無法完全止水。 2. 樁間之孔隙常導致土壤漏失。 3. 深度增加時，排樁容易參差不齊，偏差變大。
混 凝 土 地下連續壁	1. 可利用為永久結構牆。 2. 施工良好時，防水及擋土效果極佳。 3. 勁度高，變形小，可減少外側土壤移動性。 4. 利用不同施工法，可適用於多種地層情況。	1. 成本高。 2. 需高度精密施工技術及管理。



(a) 傳統式內撐

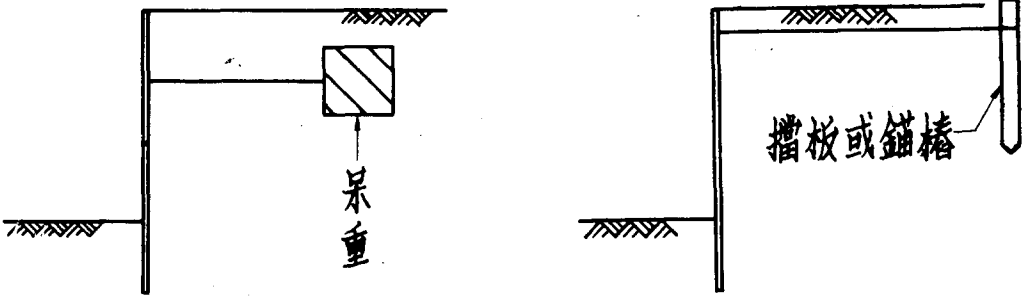


(b) 斜撐式

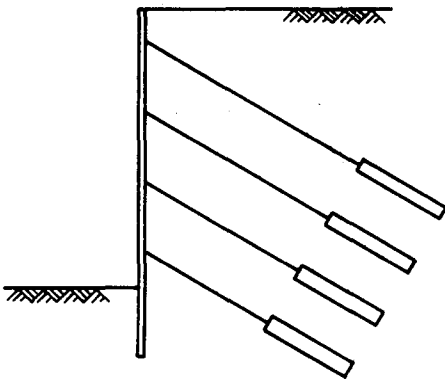


(c) 平面斜向橫撐式

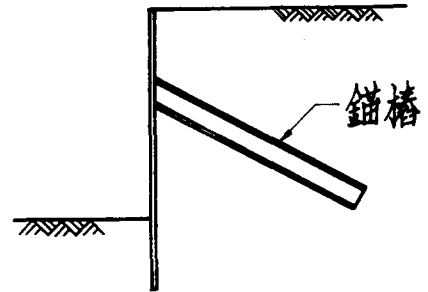
圖八. 支撐設施之內撐系統



(a) 呆重錨座式



(b) 地中錨定式



(c) 斜樁錨定式

圖九. 支撐設施之背拉系統

，延長工期，相對地增加施工成本，也降低安全性。

背拉法之支撐設法，如圖九之（a）及（c），可用於淺層開挖，至於大規模之深開挖工程，則以圖九（b）地中錨定形式為宜，此法亦為目前世界各國所廣泛採用，地中錨定（Earth Anchor）乃利用鑽機鑽孔，穿過護土設施，而於護土設施後側土壤中安置鋼線，並利用灌漿，使生錨定作用，利用此錨定力拉住護土設施，產生支撐效果，此法可使開挖面完全開放，對施工之挖土、出土極為便利，其缺點在裝設錨定需精密技術管制，以確定錨定效果，同時施工材料等不似內部支撐之鋼樑可重複使用，因而初期成本較內部支撐者為高，但若就總工程費而言，在開挖面積及深度超過某一限度時，反而較內撐者為低，工程界應多予利用。

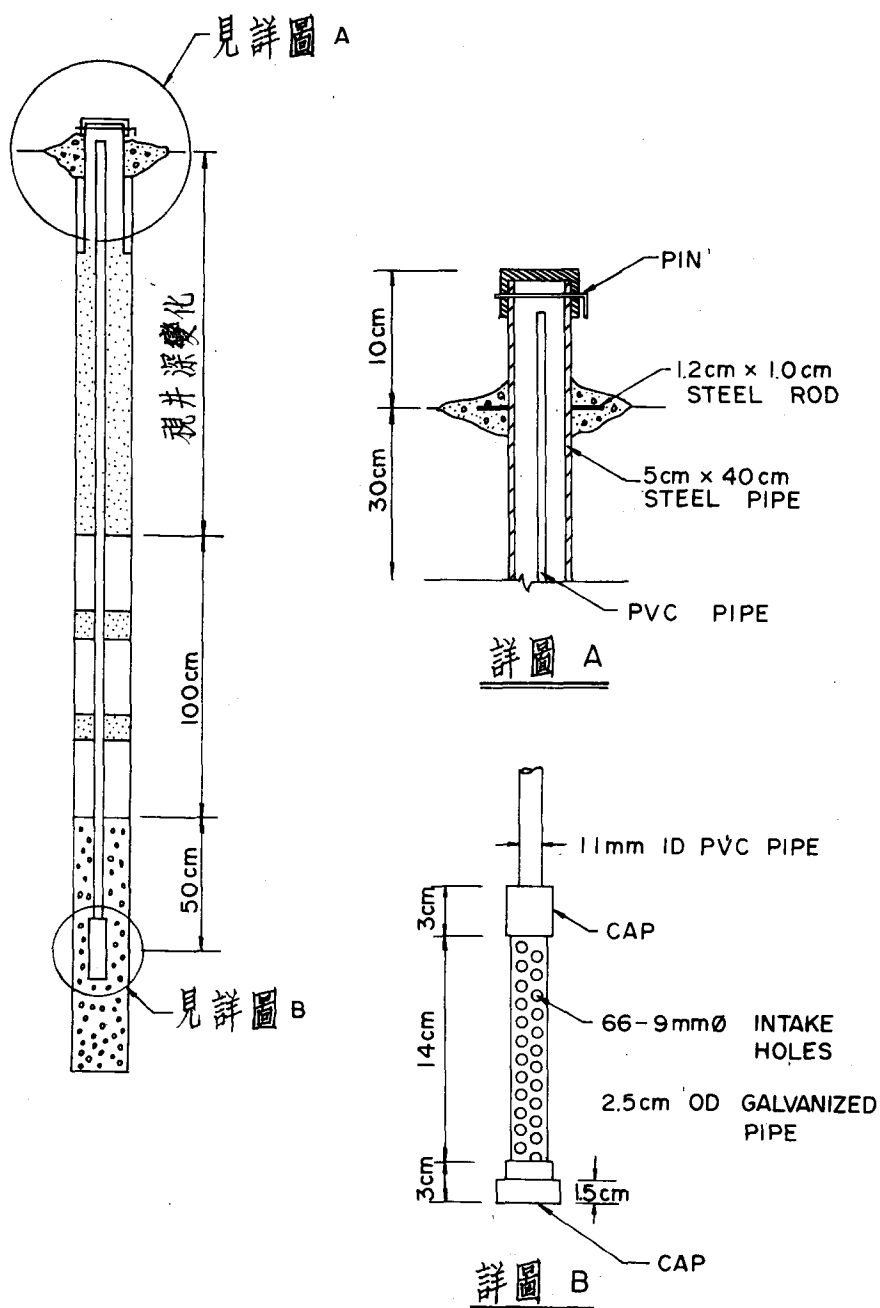
四、施工觀測

任何完美周詳的設計，若沒有完善的施工配合，絕無法保證工程之安全，何況深開挖工程之設計及施工，不論國內外皆未臻成熟，如前所述，許多理論皆在半經驗（Semi-empirical）階段，因此對深開挖工程而言，一套完整妥善的施工觀測系統，是保證工程安全的必需條件之一，一般而言，完美的施工觀測應包含以下各項目：

- (1)開挖區四周之地表沉陷
- (2)鄰近結構物之移動及沉陷
- (3)地下水位及水壓
- (4)護土設施之受力、移動及變形
- (5)支撐系統之受力與變形
- (6)隆起觀測。

(1)及(2)可利用水準測量，觀測預先裝設之各控制站，以達到目的，所需費用不高，而可隨時獲得預先之警告信號，對工程之安全保證有極大效用。而就施工抽水而言，易引起地下水位下降，直接造成鄰近結構物之沉陷，而若水壓過大時，又易引起擋土設施之過份變形，此均為深開挖工程所不願遭遇之問題，因此施工中，地下水位及水壓之變化，亦為設計及施工者所願確實掌握項目之一，此可以裝設水壓計（圖十）定時觀測以獲知。

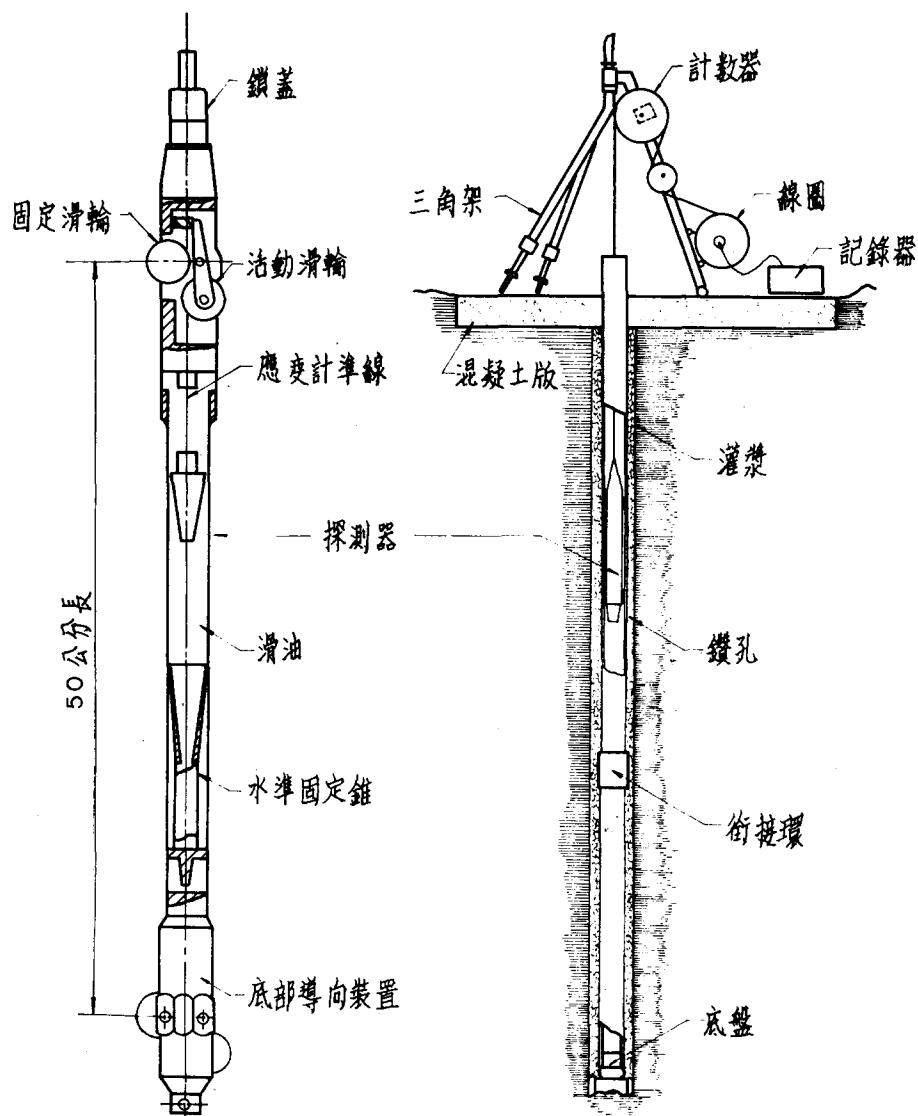
深開挖工程施工中，最重要的觀測即擋土設施之受力與變形量，如前所述，設計所採用之側壓力幾乎係經驗值，而因每工程之土質情況各不相同，壓力大小也自然有所變化，絕難斷言實際發生的數值與設計時之估計值相符。而開挖工程若有任何一處發生超壓現象，以致破壞時，則牽一髮動全身，迅即發生全面破壞，因此對擋土設施之受力及變形觀測，更是施工中不容忽視的重要項目，在國外各重要工程，對此項目幾乎無有不進行者（表四），護土設施之受力可利用牆內外裝設之土壓計（Earth Pressure Cell）獲知，其變形則可利用如圖十一所示之傾度儀（Slope Indicator）觀測，傾度儀必需於護土設施裝設同時安裝。圖十二



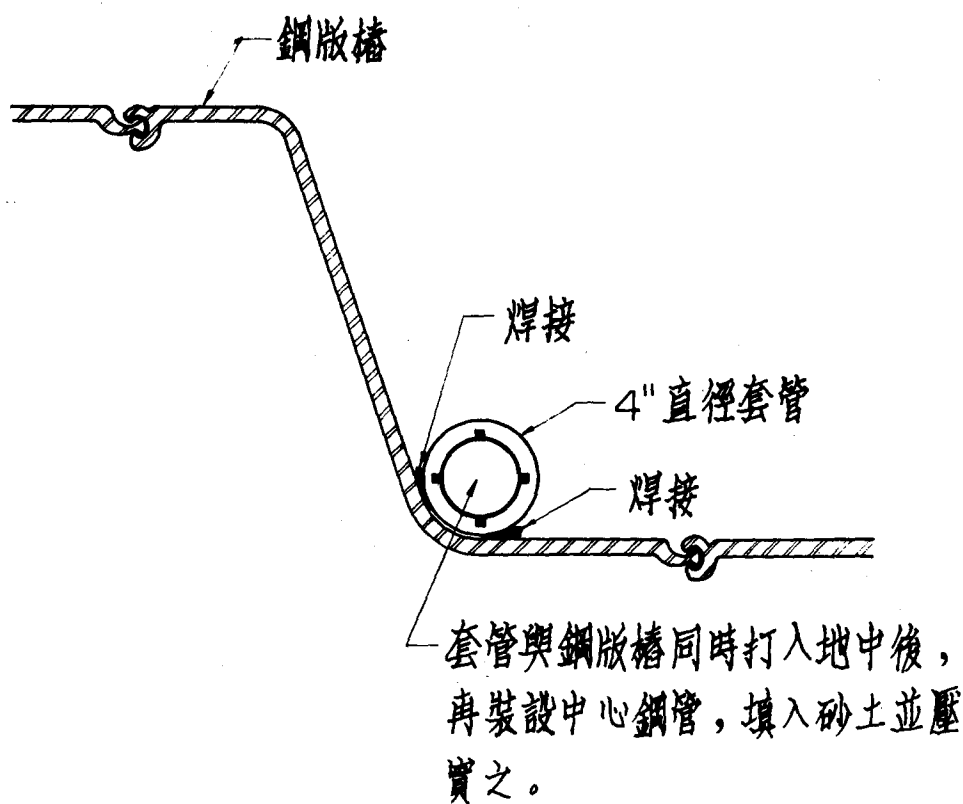
圖十 水壓計裝置示意圖

表四 觀測系統使用經驗

工 程 名 稱	報 告 者	開挖深度 (公尺)	觀測項目及方法				
			沉 陷 量	地 下 水	護土設施變形 及應力	支撐應力	隆 起
Berlin Subway, Germany	Spilker, 1937	11.5				觀測變形計算	
Chicago Subway, U. S. A.	Terzaghi & Perk 1948	11.3				油壓計	
Latino Americana Tower, Mexico	Zeevaert, 1957	13.0	水準測量	觀測井及水壓計			測 量
Mexico City Subway, Mexico	Rodriguez & Flamand 1969	11.3	水準測量	水壓計	傾度儀	軸力計	隆起桿測量
Greenway Pollution Control Center, Canada	Scott et al, 1972	15.2		觀測井及水壓計	測量及土壓計	應變計	
Manufactures Life Centre, Canada	Prasad et al, 1972	13.7	水準測量	水壓計	測 量	油壓計	
Chicago Subway, U. S. A.	Swatek et al, 1972	21.2	水準測量	水壓計		應變計	
San Francisco BART, U. S. A.	Armento, 1972	20.9				應變計	
National Westminster Bank Tower, London, U. K.	Haws et al, 1973	12.0	沉陷計		延長儀及壓力槽	壓力槽	
日本地下鐵路, Japan	橫山浩雄, 1973	10.4	沉陷板	水壓計	水壓計及傾度儀	軸力計	
讀賣新聞大阪新館, Japan	遠藤等, 1973	28.2	水準測量			土壓計	
Laclede Gas Building, Boston, U. S. A.	Jackson et al, 1974	9.7	水準測量		傾度儀	應變計	隆起桿測量
Entertainment Center and Theme Towers, Los Angeles	Maijian et al, 1974	21.0-34.0	水準測量		測量及延長儀	應變計及壓力槽	
World Trade Center, N.Y., U. S. A.	Saxena, 1975	17.6			傾度儀	壓力槽	



圖十一 傾度儀裝置示意圖



圖十二. 傾度儀裝置位置詳圖

EFFECTS OF SOIL STRUCTURE ON COMPRESSIBILITY OF AN ARTIFICIALLY SEDIMENTED CLAY

S. M. WOO,
*National Cheng Kung University,
Tainan, Republic of China*

Z.C. MOH,
*Moh and Associates,
Taipei, Republic of China*

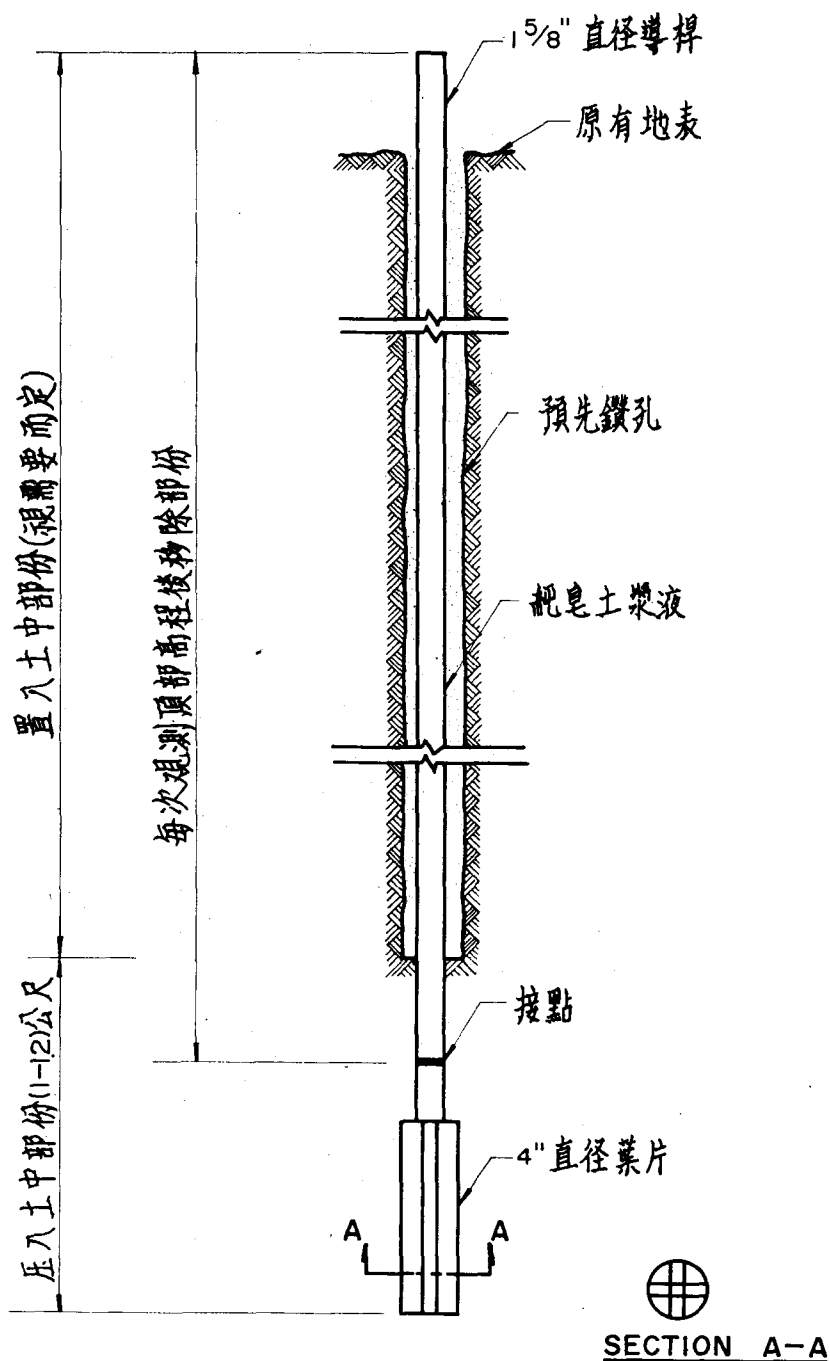
T. BUMRUNGSUP
*Italian-Thai Development Corp.,
Bangkok, Thailand*

SUMMARY A laboratory experimental investigation was carried out to study the effects of soil structure on the consolidation behavior of an artificially sedimented Rangsit clay. Samples of different soil structures were produced in two series. In the first series, clay samples were sedimented in fresh water and in solutions of calcium chloride and sodium metaphosphate to obtain a fresh water clay, a Ca-flocculated clay and a dispersed clay. In the second series, samples were first sedimented in sodium chloride solutions and then leached by fresh water to final salt concentrations of 35 gm/l, 25 gm/l, 10 gm/l and 7 gm/l. One-dimensional consolidation tests with back pressure application and pore pressure measurement were performed on the sedimented soils. Conventional lever-arm consolidation tests were also performed on the leached soils.

Test results showed that the characteristics of the compression-pressure relationship for samples from all series are quite similar. The results further showed that soil structure did not have significant effect on compressibility of the clays. However, values of the coefficient of consolidation c_v , and the rate of excess pore pressure dissipation were found to be affected by the soil structure. The values varied in the order of Fresh Water Clay > Ca-clay > Dispersed Clay. Leaching caused the maximum pre-consolidation pressure $\bar{\sigma}_{vm}$, c_v , k and rate of excess pore pressure dissipation of the soils to decrease. Interpretation and explanation of the test results were offered in terms of interparticle repulsion.

INTRODUCTION

The theory of one-dimensional consolidation has been used as the most important tool in settlement analysis of cohesive soils. Clays with different soil structures may exhibit different consolidation behaviors. The term 'soil structure' as defined by LAMBE (1958) is the arrangement of soil particles and the electrical forces acting between the particles. For clays with the same mineralogical composition, different soil structure may occur as the results of different environmental conditions during deposition and changes that occur after the deposition.



圖十三. 隆起量觀測桿裝置示意圖

為裝設於鋼板樁表面之傾度儀示意圖。至於支撐系統之受力及變形，則多半利用裝設於支撐上之應變計 (Strain Gauge) 為之，應變計之種類頗多，精度變化亦大，較佳者係利用振動式應變計 (Vibrating Wire Strain Gauge) 對溫度變化較不敏感，而可得精確之壓力值，應變計、傾度儀、土壓計之裝設均需精密技術，固然因而增加部份工程成本，但對重要工程而言，其所佔工程費之比例極其有限，而可提供安全性之保證却不可計量，值得採用。

對於粘質土層中之深開挖工程，另一極需顧慮的問題即底部的隆起 (Heaving)，隆起的分析法極多，設計中雖採用了安全係數，但却因種種因素亦難以保證安全，因此對隆起的觀測，亦常被列為重要項目之一，隆起觀測最簡便的方法即裝設隆起桿 (圖十三)，於開挖面內，配合開挖之進行逐日觀測，以預知隆起數值，而得以及時防患大量隆起之發生。

五、結論

如前所述深開挖工程之設計與施工，在目前無論國內外均未能達到完美階段，而為確保安全，無論業主、建築師、工程設計者，甚至建築管理當局，均應體認到幾項必需的工作，即

(一)完善而可靠的土壤調查工作

所有設計均應根據正確而詳盡之基地地質資料進行，目前許多工程之調查工作，常為節省經費而虛應故事，草率為之，因而造成工程無謂的損失。不確實的土壤調查資料，可能造成工程的失敗，也可能造成基礎設計的不經濟，浪費國家資源。在世界各先進國家，一般工程花費在初步的土壤及地質調查經費，通常至少佔總工程費的千分之五，重要工程則高至百分之一或二，甚至百分之五者。國內許多工程已遭遇到許多因土壤資料不正確，為節省初步調查之小費用，而事後花去大費用之實例與教訓，希望能及早確實明瞭土壤調查的重要性，每項工程應由有經驗、學識的土壤基礎工程師，策劃督導調查工作，安排土壤勘查，進行各項強度試驗，並根據新建建築物之要求及鄰近結構物資料，來選擇最可靠，最經濟之基礎及安全措施。

(二)嚴格的施工管制工作：

任何完美的設計如無完善的施工以配合，則亦無法得到圓滿的成果，特別是深開挖工程更是如此，必需有完整周密的施工管理與觀測以保障工程的安全。

目前國內各項工程建設正蓬勃的進展，固然深開挖工程的失敗仍時有所聞，但我個人深信，如果我們能以審慎嚴謹的態度，經由完善的調查分析，求取完美的設計，並配合以嚴格周詳的施工管制工作，絕對可以達成最安全而又最經濟的深開挖工程。

REFERENCES

- ANON (1972), Design Manual DM-7, U.S. Navy Bureau of Yards and Docks, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- ARMENTO, W.J. (1972), Criteria for Lateral Pressure for Braced Cuts, Earth and Earth Supported Structures, Vol. 1:2.
- CHAPMAN, K.R., CORDING, E.J. and SCHNABEL Jr., H. (1972), Performance of a Braced Excavation in Granular and Cohesive Soils, Earth and Earth Supported Structures, Vol. III.
- CLOUGH, G.W. (1976), Deep Excavations and Retaining Structures, Analysis and Design of Building Foundations, Ed. by H. Y. Fang, Envo. Publ. Co., Pa.
- GERWICK Jr., B.C. (1970), Sheet Piling Systems - Construction Methods, Design and Construction of Deep Retained Excavation, ASCE/SEAONC Continuing Education Seminars, ASCE, N.Y.
- HAWS, E.T., LIPPARD, D.C., TABB, R., and BURLAND, J.B. (1972), Foundation Instrumentation for the National Westminster Bank Tower, Proc. Sym. in Field Instrumentation in Geotechnical Engineering, John Wiley & Sons, N.Y.
- JACKSON, W.T., PEREZ, J.Y. and LACROIX, Y. (1974), Foundation Construction and Performance for a 34-storey Building in St. Louis, Geotechnique, Vol. 24, No. 1.
- MALJIAN, P.A. and VAN BEVEREN, L. (1974), Tie-Back Deep Excavations in Los Angeles Area, Journal of Construction Division, ASCE, Vol. 100, No. C03.
- PECK, R.B. (1969), Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground, Proc., 7th Intern'l Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, State of the Art Volume, Mexico City.
- RODRIGUEZ, J.M. and FLAMAND, C.L. (1969), Strut Loads Recorded in a Deep Excavation in Clay, Proc., 7th Intern'l Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2, Mexico City.

- SAXENA, S.K. (1975), Measured Performance of a Rigid Concrete Wall at World Trade Center, Proc. Conf. on Diaphragm Walls and Anchorages, ICE.
- SCOTT, J.D., WILSON, N.E. and BAVER, G.E. (1972), Analysis and Performance of a Braced Cut in Sand with Large Deformations, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 9, No. 4.
- SWATEK Jr., E.P., ASROW, S.P. and SEITY, A.M. (1972), Performance of Bracing for Deep Chicago Excavation, Earth and Earth Supported Structures, Vol. 1:2.
- TERZAGHI & PECK (1967), Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Ed., John Wiley & Sons, N.Y.
- TSCHEBOTARIOFF, G.P. (1973), Foundations, Retaining and Earth Structures, McGraw-Hill, Inc., N.Y.
- ZEEVAERT, L. (1957), Foundation Design and Behavior of Tower Latino Americana in Mexico City, Geotechnique, Vol. VII, No. 3.
- 遠藤満, 長谷川年弘, 栗総, 間瀬惇平(1973), 讀売新聞大阪本社新館新築工事における山留め設計と施工, 土と基礎, Vol. 21, No. 5
- 横山浩雄(1973), 軟弱地盤中における仮土留め工の諸測定について, 土と基礎, Vol. 21, No. 5
- 日本建築学会(1974), 建築基礎構造設計規準同解説