

從台北盆地之地層特性看發展
地下捷運系統之工程難題
ENGINEERING PROBLEMS OF THE PROPOSED UNDERGROUND
RAPID TRANSIT SYSTEM IN TAIPEI CITY FROM THE
POINT OF VIEW OF SUBSOIL CHARACTERISTICS

莫若楫

ZA-CHIEH MOH

Executive Vice President, Moh and Associates
Vice President, International Society for
Soil Mechanics and Foundation Engineering

本文為中國工程師學會第四十一屆年會專題演講
原載於工程月刊，1977年2月第25-29頁

Reprinted from

*Engineering Journal, Chinese Institute of Engineers
Taipei, Feb. 1979, pp. 25 - 29*

ABSTRACT

Mass rapid transit system is a necessity for any modern developed city to alleviate the traffic problem and to provide the people in a large metropolis with a smooth and time-saving transport system. The Government in the ROC is actively planning on a Mass Rapid Transit System for Taipei City. This paper presents a preliminary discussion on the geotechnical problems for any future underground rapid transit system in Taipei. Discussions are made on: (1) effect of regional subsidence of the Taipei Basin, (2) bearing capacity and settlement of underground structures, and (3) effect of construction of underground system on neighboring existing structures.

從臺北盆地之地層特性看發展 地下捷運系統之工程難題

莫 若 楫

主持人、各位女士、各位先生：本人感到非常榮幸應邀在今天來中國工程師學會暨各專門工程學會六十五年度聯合年會作專題演講，本人受指派之講題是「從臺北盆地之地層特性看發展地下捷運系統之工程難題」。

從工程技術（包括設計與施工）觀點而言，地層之構造及性能對地下建築有極嚴重的影響。今天因為時間上的限制，同時臺北地下捷運系統尚在初步討論階段，本人只能對此問題作一簡單的介紹。從臺北地層的特性來看，建造地下捷運系統必須考慮的問題有三：即（一）臺北盆地沉降的影響，（二）地下建築物之承載力及沉降量，（三）施工時對鄰近建築物安全之影響。除外，當然地震亦為一必須加以週詳考慮的問題。

一 臺北盆地之地質及土壤特性

臺北盆地在地質史上會由陸地變為湖泊，再由湖泊變為陸地的兩次循環而形成今日之盆地，盆地中主要土層為沖積層。依據取樣後顆粒分析及塑性試驗結果，臺北盆地之地層在岩盤之上大致可分為四層，如表一所示⁽¹⁾。圖一為臺北盆地自西至東之地質構造剖面，此剖面係根據在臺北地區各地歷年來所挖之深井及深鑽探孔所獲之資料而繪就。

由於臺北盆地曾為湖泊，堆積土層之分佈極為複雜，甚至在極短距離內土質就有極大之差異，因此從土壤及基礎工程觀點而言，臺北盆地地層的工程性能亦成爲一極複雜的問題，自圖一可以看出盆地中之上層大致爲低中塑性之沉泥質粘土或低塑性沉泥與沉泥質砂或砂礫交互組織。此類土層的一般性能是強度低弱而壓縮性高，換以工程建築的術語而言，是承載力低而沉降量高。圖二所示爲貫入值（N）與深度的關係，由此圖可以看出N值隨深度而增加，在地面至30公尺深度內，N值均極低。

表一 臺北盆地地層大略劃分表

層次	地質層別	地層厚度，公尺
地表土層		1-6
沉泥層 分六次層，以 灰色低塑性沉 泥質粘土及低 塑性沉泥爲主。	松山層	40-70
卵石層 上卵石層 粘土砂礫夾層 中卵石層 粘土層 下卵石層	林口層	90-150 30-60 10-20 10-30 10-20 5-10
黑灰色粘土		0-80
岩盤		

二 臺北盆地之地下水

臺北盆地之地下水分佈大致可分為兩層，自地表至地下40~70公尺，即所謂松山層，爲自由含水層或間接含水層，其水位高程受季節、氣候、逕流、雨量、用水及排水量之影響，一般在地表下1至6公尺之間，即在一般鑽探記錄報告中之所謂24小時水位。其次爲壓力含水層，此層主要在林口層內，位於地表面下50至250公尺之間，可分成三層，第一受壓水層最厚，含水量極佳，現在臺北市大多數深井均自此層抽水。近年來由於經濟與工業發達，人口增加迅速，用水量需求劇增，地表水及淺水井不敷應用，深水井之挖掘增加極快，在民國三十五年，深井爲240口，而民國五十三年之統計顯示深井已增至2,250口，年抽水量高達327,583,000噸，高出安全出水量達三倍之多，地

下水之超抽程度已極嚴重。自民國四十六年至五十二年第一受壓含水層之壓力水面平均每年降低 2.3 至 3.4 公尺，部份深井現已呈枯竭現象。民國六十年政府開始實施地下水管制後，地下水位之下降率已漸緩和。

三 臺北盆地之地層下陷

臺北盆地於民國四十四年已發現有下陷現象，其後經各有關單位，研究及學術機構歷年檢測，判定臺北盆地地層之下陷與地下水壓下降有密切之關聯。如前所述，臺北地層含有高壓縮性之土層多層，由於地下水壓降低，引起有效壓力之增加，因而造成土層之壓縮。圖三顯示臺北盆地一等水準點在過去 20 年內下陷量之變化，圖四為水準點下陷量與受壓地下水水位變化之關係，圖五則為臺北地表沉陷觀測與推算及水位下降之關聯。由前三圖可見臺北地盤下沉自民國 60 年政府實施地下水管制後漸趨緩和。歐蒂德博士等在推算臺灣鐵路臺北區地下化後，因地盤下陷可能發生之沉陷量，認為如照目前下沉率而言不至會造成嚴重之問題⁽³⁾。當然首次條件為繼續有效控制地下水之運用，並在設計地下捷運系統時加以詳細的分析與研討。

四 地下捷運系統之施工方法

地下結構之施工方法，機械之運用及選擇必須首先對下列三問題作週詳之考慮：

- (1) 對鄰近建築物之安全影響。
- (2) 對施工期間地面交通之維持與限制。
- (3) 對地下公共設施，如輸電線、電訊、給水、排水等之虞置（尤其是確實地位及深度無確實資料者）。

除地層結構及性能影響到地下結構之設計及施工外（包括永久性結構及施工用結構），其他如施工技術、經濟問題及政策方針均為重要的因素，足以影響施工方法之選擇。

(一) 沿線結構 (Line Structure)

1. 開挖法 (Cut-and-Cover)

此法最為普遍，原理上亦最為簡單，大部分地下交通系統之車站都用此法建造，世界各國如波士頓、紐約、費城、舊金山等地的地下鐵道均採用此法。其最大優點除原理上簡單外，施工時富有彈縮性 (Flexibility)，所有施工動作都自地面垂直向下，還有在對地下公共設施確實位置不清楚時以此法最為適宜。圖六簡示施工步驟。

2. 倒覆法 (Inverted Method)

此法與開挖法不同之點為開挖至地下結構頂部位置後，即建造結構頂 (Roof) 及回填，以後之開挖則均在屋頂下進行。此法之優點為阻礙地面交通時間較短，但因運土等工作不便，施工期間可能較長，同時因結構物頂部須承載回填之重量，圍堰構造需較深及較強。

3. 軟土層隧道 (Soft Ground Tunneling)

隧道襯砌 (Lining) 之設計，施工方法之選擇，機械之運用與土層之性能均有密切關係。一般而言，乾砂土層問題較簡單；飽和砂土層則必須抽水或使用壓縮空氣；沉泥土除壓縮性高外還有液態化可能，有時需用灌漿或抽水來增加其強度；在軟弱黏土層施工最為困難，土壤壓縮性極高並有可能擠入 (Squeeze) 開挖導面 (Tunnel Heading)。

(二) 施工結構 (Construction Structure)

施工結構之設計、選擇及施工對整個計劃之經費影響極大，施工結構之建造費用相等於永久結構所需之費用。在使用隧道施工法並無額結外之施工結構，但開挖法及倒覆法均須用圍堰 (Cofferdam) 來保護週圍之土層及位於其上面之建築物。圖七所示為數種常用之圍堰，其中反循環樁 (Reverse Circulation piling) 及連續壁 (Slurry Wall) 具有不透水之優點並可作為永久結構之一部分。

五 地下結構施工時可能發生之問題

無論採取何種施工方法，在地下結構建造時可能發生的問題有地表沉陷 (Surface Settlement)、側向移動 (Lateral Movement)、排水引起沉陷 (Settlement due to Dewatering)、土沸 (Boiling)、坑底隆起 (Bottom Heaving) 及土壤液化 (Liquefaction)。

(一) 沉陷及側向移動

地表沉陷及側向移動為任何開挖工程最常遭遇之問題，圖八顯示地表沉陷可能發生之原因，圖九至圖十一例示因開挖而引起之側向移動，鄰近地表及建築物之沉陷及開挖坑底之隆起現象。由於現有之計算土壤側壓力方法尚在半經驗 (Semi-empirical) 期，重要工程之開挖必須依靠確實的實地觀測 (Instrumentation and Observation) 而隨時修改設計以確保安全及經濟。

(二) 積水 (Dewatering)

臺北地區之地下水位 (間棲水) 甚高，因此在施工期間必會遭遇到水滲透 (Seepage) 的問題而須採取排水措施。排水之用途及可能產生之影響可歸列為以下數點：

1. 降低水位及截止流水可增加開挖底部之承載力。
2. 增加週圍土壤強度因而改進土壤之穩定性。
3. 減少因滲流而造成土壤流入開挖面之可能性。
4. 減低側壓力。
5. 減低所須用之壓縮空氣壓力。
6. 減少開挖底面隆起可能性。
7. 因增加有效應力 (Effective Stress) 可能引起沉陷。

(三) 防護措施

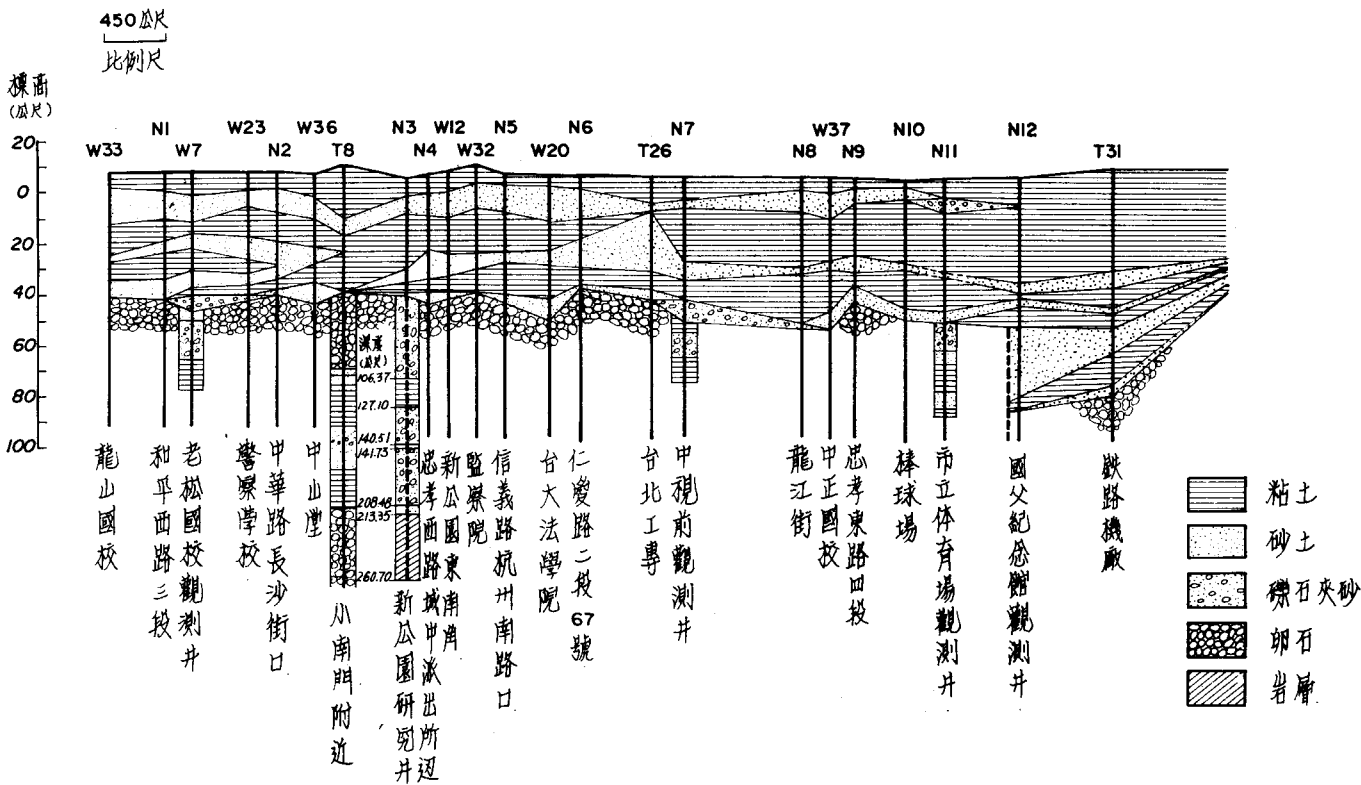
爲確保施工效率及安全並不損壞鄰近之建築物，在設計建造地下結構時必須對下列各點由專家予以週詳的考慮及研究。

1. 圍堰設計及支撐系統的設計。
2. 防水系統之設計。
3. 週圍建築物之基礎加強方式 (Underpinning)。
4. 施工步驟。
5. 施工期間之觀測與控制。

另一點必須強調者爲地下結構之設計應儘量具有彈性，並採用施工時之觀測結果而加以修改。

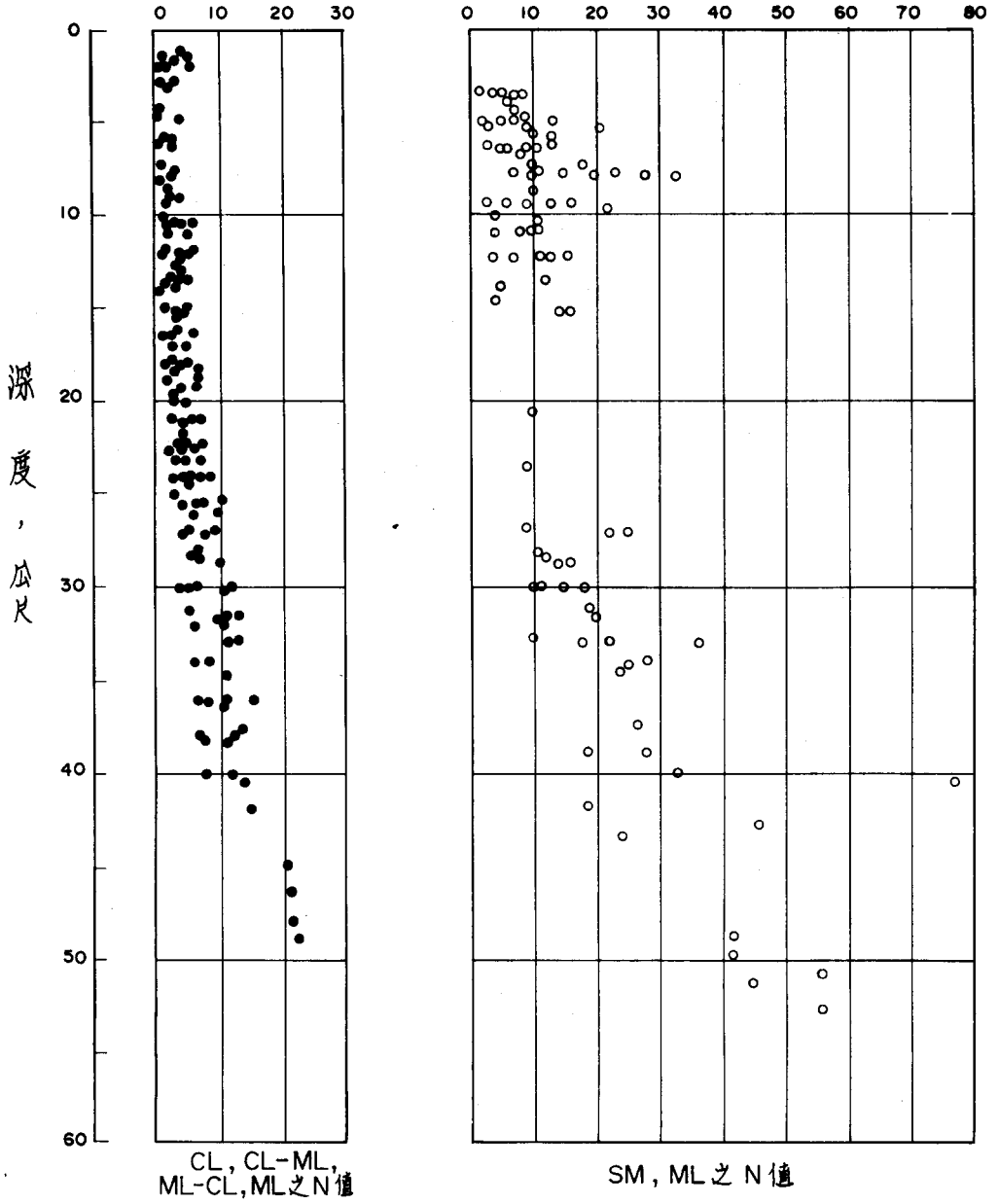
參 考 文 獻

- (1) 吳偉特、歐晉德、林永德：臺北盆地地盤沉陷土壤力學之研究，國立臺灣大學土木工程研究所報告，民國 65 年 7 月。
- (2) 經濟部水資源統一規劃委員會：臺北盆地水準網點檢測報告，民 62 年 3 月，63 年 2 月，64 年 1 月，64 年 12 月。
- (3) PARSONS, BRINCKERHOFF, QUADE DOUGLAS, INC. (1974), Railway Improvement Project in Taipei City-Preliminary Engineering and Development Plan.
- (4) PECK, R.B. (1969), Deep Excavations and Tunneling in Soft ground, State of-the-art Report, VI International Conference on Soil mechanics and Foundation Engineering, Vol. III, pp. 225-281
- (5) TERZAGHI, K. and PECK, R.B. (1968), Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Ed., John Wiley, N.Y.

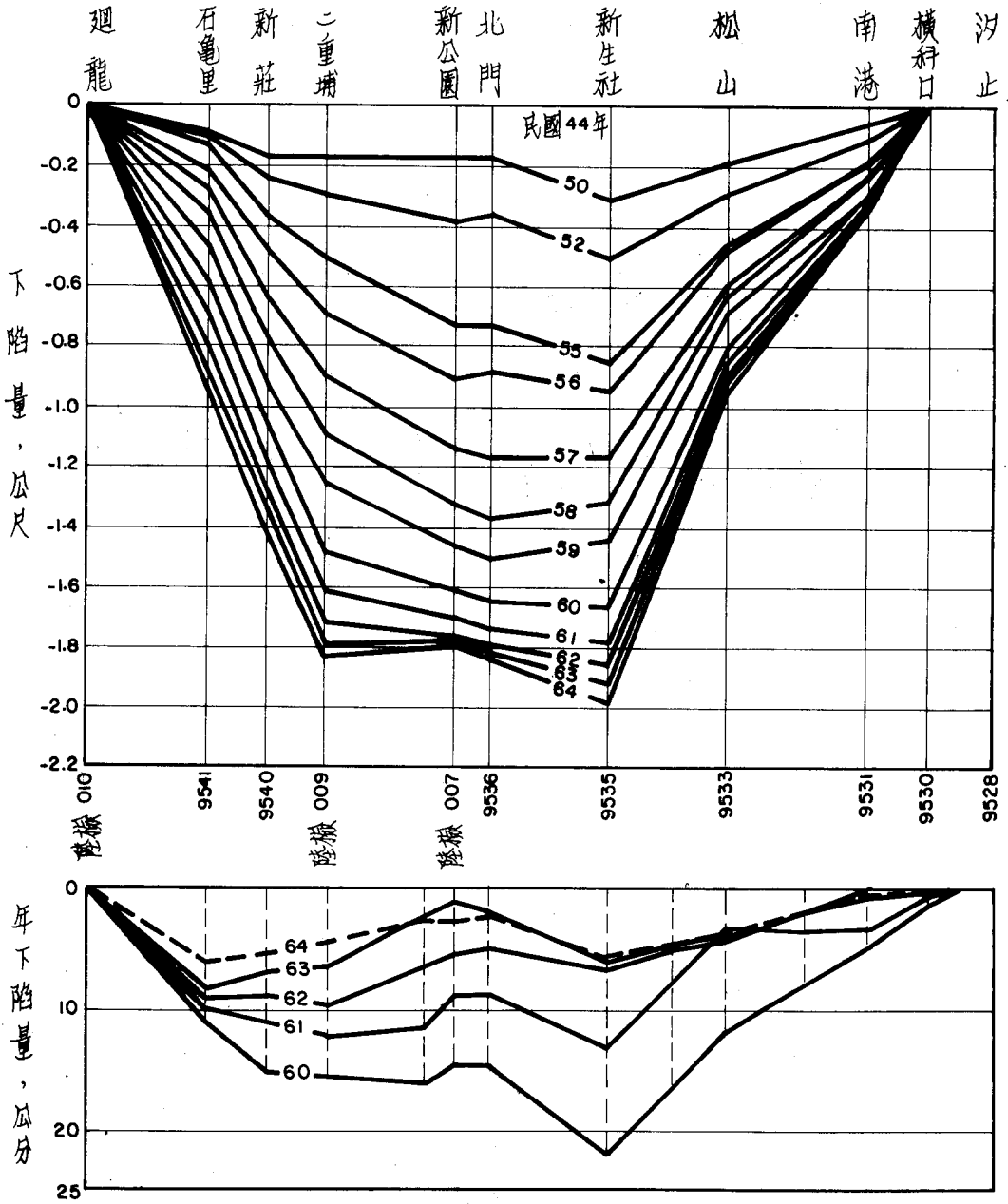


圖一 臺北盆地自西至東地層構造剖面圖

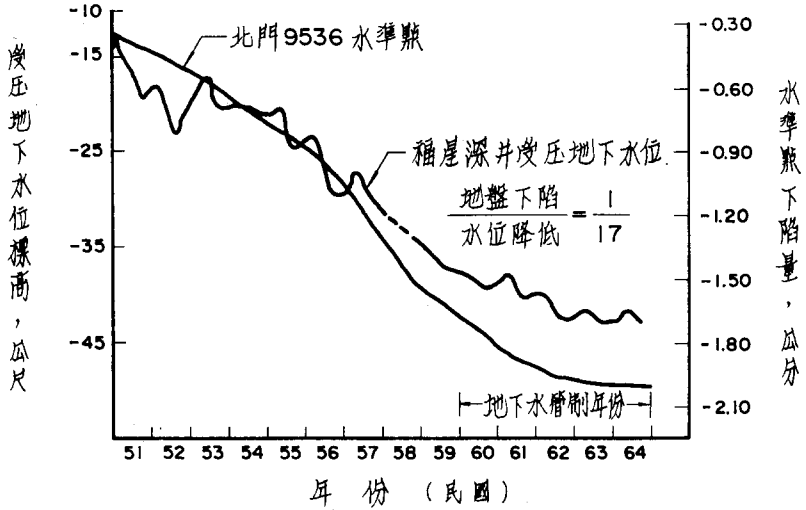
N 值



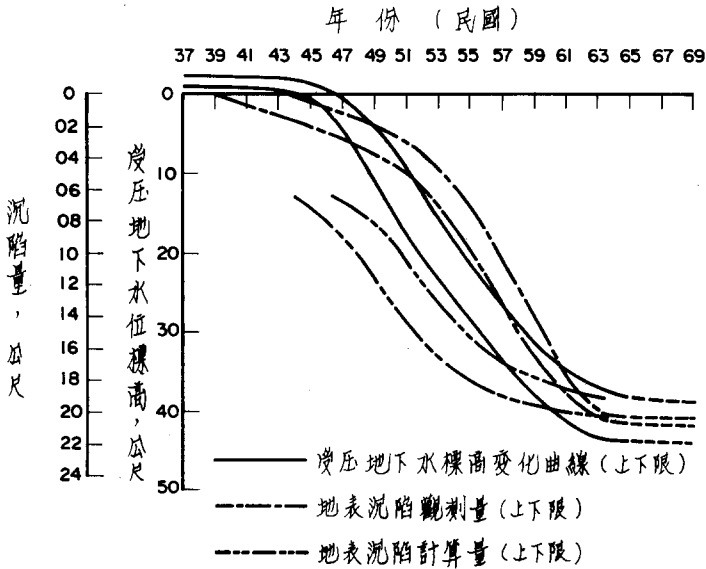
圖二 臺北盆地基隆河區域N值與深度之關係⁽¹⁾



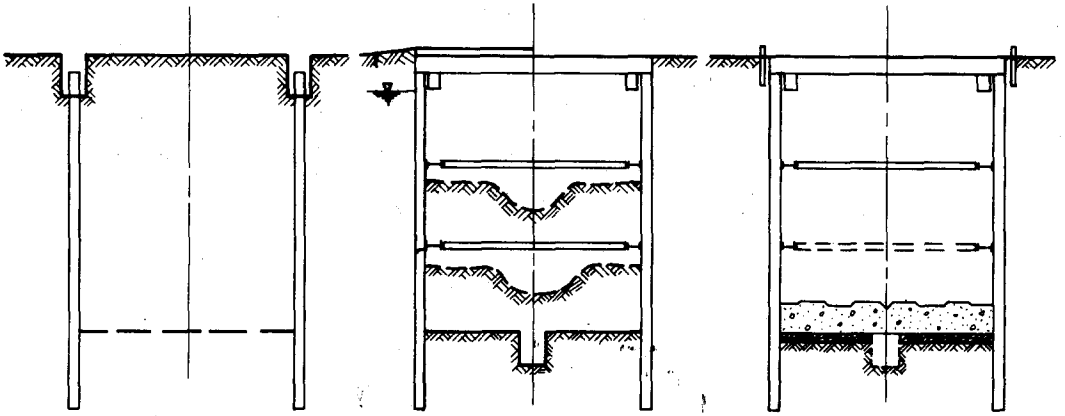
圖三 臺北盆地一等水準點歷年下陷量之變化 (2)



圖四 臺北盆地北門地區水準點下陷量與受壓地下水位變化之關係⁽²⁾



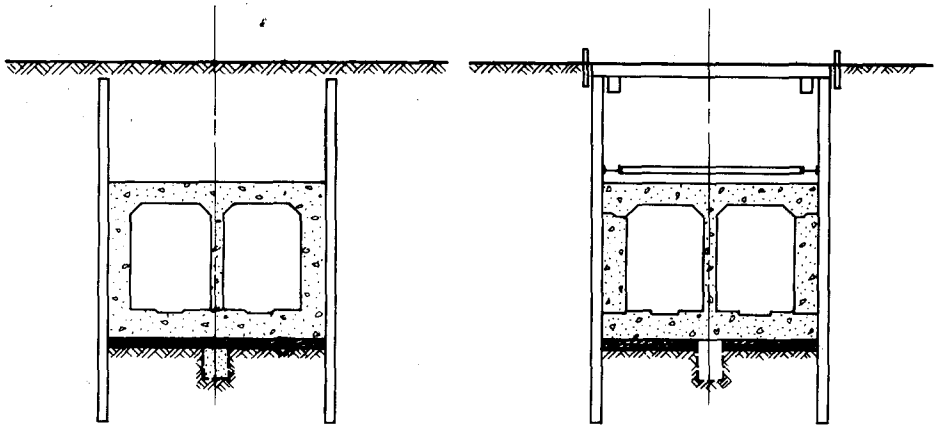
圖五 臺北盆地新公園區歷年地表沉陷觀測值地表沉陷計算值與受壓地下水位之上下限⁽¹⁾



第一步 初步開挖遷移地下公共設施及建造圍堰

第二步 開挖及支撐設施

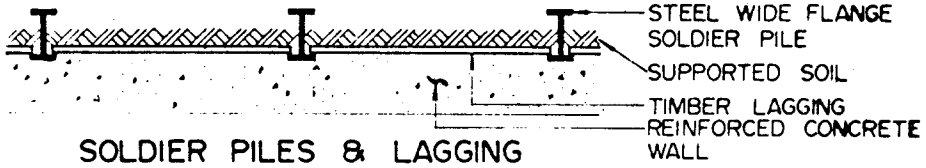
第三步 裝設排水層及基層撤除支撐



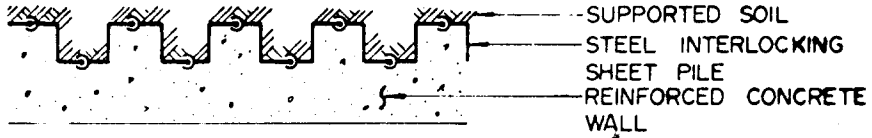
第五步 回填及裝修路面

第四步 完成地下結構物

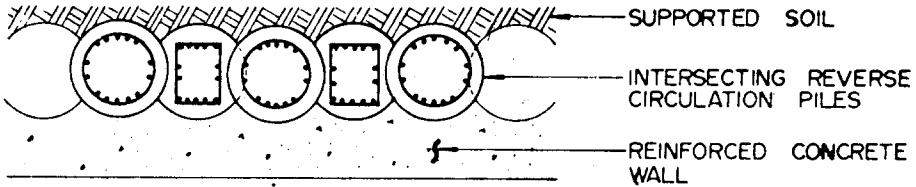
圖六 開挖施工法步驟簡示



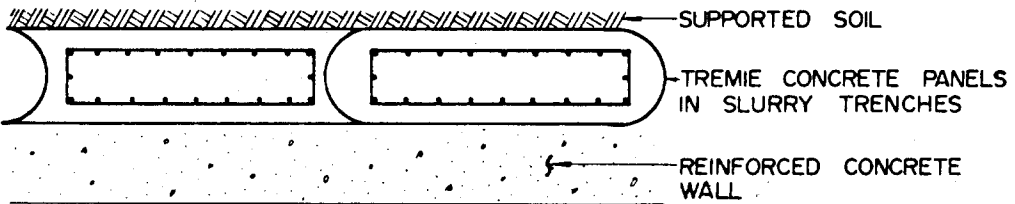
SOLDIER PILES & LAGGING



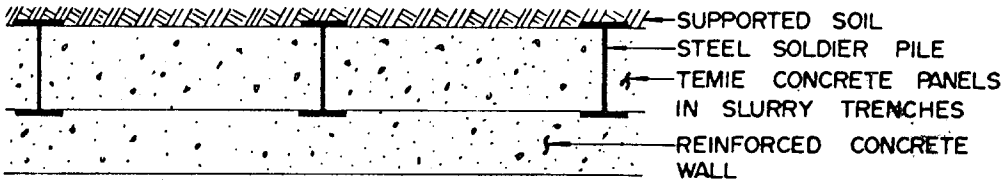
STEEL SHEET PILINGS



REINFORCED CONCRETE REVERSE CIRCULATION PILINGS

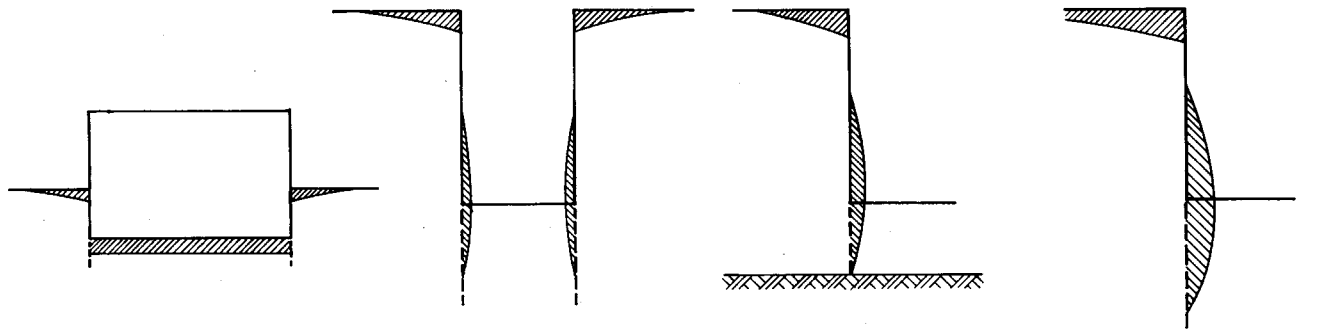


REINFORCED CONCRETE PANELS



SOLDIER PILES & TREMIE CONCRETE PANELS

圖 七 圍 堰 種 類



結構重量引起沉陷

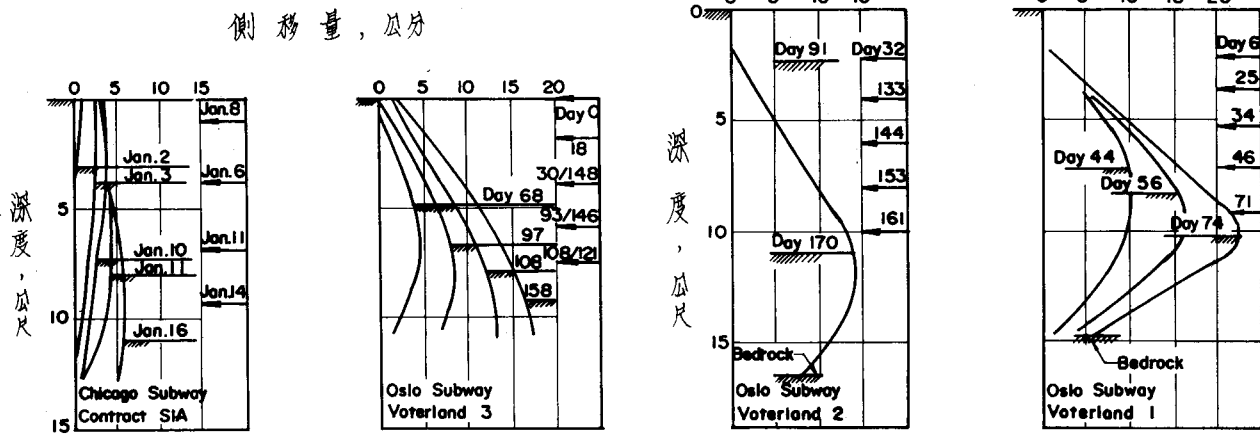
黏土層中狹而深之開挖

黏土層下有岩石層之開挖

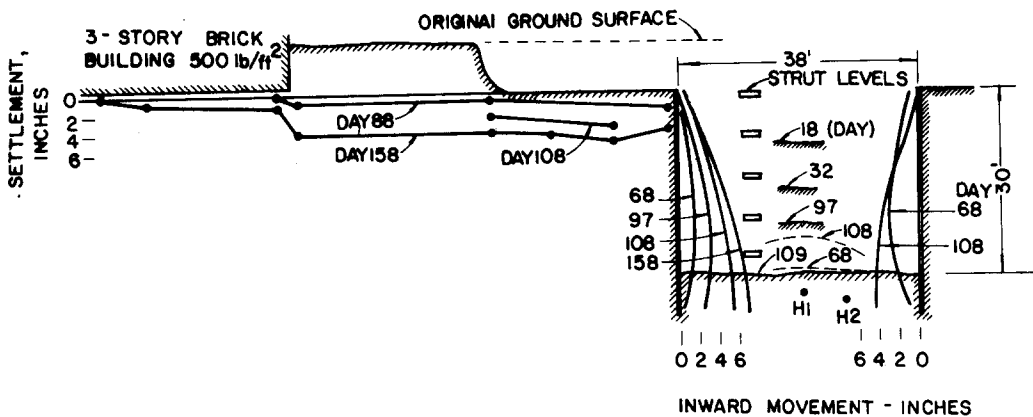
黏土層寬及深之開挖

圖八 地面沉陷之可能原因

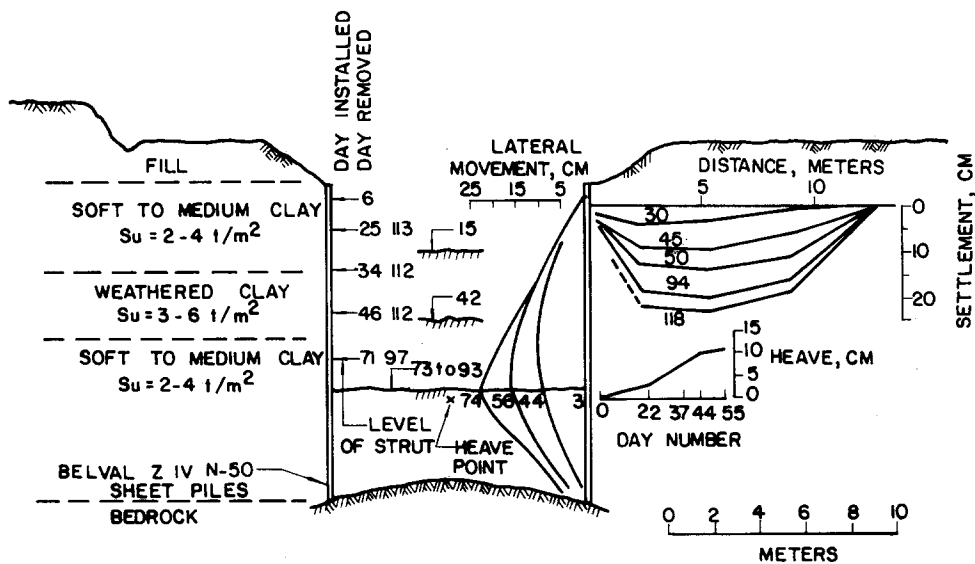
側移量，公分



圖九 版樁圍堰在施工時之側向移動⁽⁴⁾



圖十 開挖引起之側向移動、坑底隆起及鄰近建築物之沉陷—挪威奧斯陸 (5)



挪 威 奧 斯 洛

圖十一 版樁之側向移動及鄰近沉陷與開挖施工進度之關係 (4)