

台北盆地大地工程相關特性之探討
**REVIEW OF THE GEOTECHNICAL
CHARACTERISTICS OF THE SOIL DEPOSITS
IN TAIPEI**

胡逸舟，秦中天，劉泉枝
I. C. Hu, C. T. Chin and C. J. Liu

原著載於地工技術雜誌第 54 期
1996 年 4 月，第 5~14 頁

*Reprinted from Sino-Geotechnics,
Taipei, Taiwan
April, 1996, No. 54, pp.5~14*

台北盆地大地工程相關特性之探討

胡逸舟 秦中天

亞新工程顧問股份有限公司

劉泉枝

國立台灣工業技術學院營建工程研究所

摘要

雖然已有許多有關台北盆地工程特性之研究，然而隨著工商業成長之需要，在土地資源有限之情況下，結構物大多朝向地下化與高空化發展，因此在工程上所面臨之基礎設計與施工問題亦愈來愈複雜。為此本文簡單回顧早期之研究工作，並就新近有關台北盆地工程特性如：地下水壓與地盤下陷、土壤行為模式、礫石層分佈、浮木與沼氣、地震與動力特性等問題作一探討。

關鍵字：土壤行為，地下水，薄管取樣，礫石層，地震。

REVIEW OF THE GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE SOIL DEPOSITS IN TAIPEI

HU, I-CHOU CHIN, CHUNG-TIEN

Moh and Associates, Inc.

LIU, CHUANG-JY

Department of Construction Engineering, National Taiwan Institute of Technology

ABSTRACT

There have been many efforts involved in the study of geotechnical engineering characteristics of the soil deposits in Taipei basin in the past few decades. As the rapid development of Taipei city, engineers encounter challenges due to the construction of high-rise building and underground facilities. Therefore, more in-depth studies have been carried out in the past few years. This paper briefly summarizes some of the important findings, such as groundwater and ground subsidence, soil behavior and constitutive modeling, distribution of gravel layer, methane gas and driftwood, earthquake engineering and soil dynamics characteristics.

KEY WORDS : soil behavior, groundwater, tube sampling, gravel layer, earthquake.

一、前言

隨著都市人口遽增，導致和都市發展相關之土木工程（如：高速鐵路、高架道路、隧道、高樓、衛生下水道……等）需求日增，工程問題也較往常更為艱深，需要更具系統、進步之工程技術來輔助解決。

由於工商業迅速發展，在台北都會區土地資源有限，都市大幅由市中心地區轉向市郊發展，各項大型公共建設及交通運輸網路也隨之延伸至各新興地區，如捷運系統、新行政中心等。為有效利用這些地區的土地資源，各項工程建設均朝地下化及高空化發展，因此工程困難度亦隨之提高，故現階段有必要對台北盆地地盤之工程性質再作一次系統性探討。

二、台北盆地地質特性

台北盆地位於台灣北端，形狀約略呈三角形，面積約 243 平方公里。盆地範圍東至南港；南至新店；西南至大漢溪溪谷；北至關渡。盆地內主要河流為淡水河，係由基隆河、大漢溪及新店溪匯集而成。

早期有關台北盆地地盤研究偏重於台北盆地地質構造方面，如王執明等（民國 67 年）對台北盆地之地質及沉積便有所探討。至於台北盆地地盤土壤工程性質之研究，最早由洪如江（民國 55 年）開始將台北盆地之松山層分為六層砂土粘土互層之土壤，即由下往上數第一、三、五層為砂土層，第二、四、六層為粘土層（表一），而後來陸續有如 Moh & Ou (1979) 等

表一 台北盆地組成物質垂質分佈概況

層次	厚度(公尺)	土壤描述		
表土沉積	1-6	黃棕色粘土		
松山層	第 VI 次層	2-8	40-70	灰黑色粘土質粉土
	第 V 次層	2-20		灰色粉土質細砂土
	第 IV 次層	6-29		灰色粉土質粘土
	第 III 次層	0-19		灰色中等緊密粉土質細砂
	第 II 次層	0-19		灰色粉土質粘土
	第 I 次層	0-15		中等緊密至緊密砂
景美層	0-140	黃棕色卵礫石		
新莊層	0-125	灰色至黃棕色砂質粘土		
第三紀沉積岩				

多人也依據這樣一個模式對台北盆地土層進行研究。因此，一般都可接受松山層大體上分為前述六個次層，分別由凝聚性土壤與非凝聚性土壤交互沉積而成，這樣的分佈情形以台北車站淡水河東岸一帶舊市區最具代表性。可是由於沉積過程之不同，土層隨著流域不同有很大差異，各次層並非均勻分佈於整個盆地，如台北東區及士林、天母一帶，經常可見巨厚之粘土層，幾乎未見砂土層。在新店溪流域一帶則看不到第二、四、六之粘土層。有鑑於此，1985 年榮民工程事業管理處在承辦台北市衛生下水道主要幹線中長期工程規劃工作時，亞新工程顧問公司對台北盆地地層大地工程性質進行調查分析並提出研究報告(民國 76 年)，同時亦完成「台北盆地內台北市區地層之大地工程特性」圖冊。該報告中各項試驗數據及內容亦為其他許多報告及論文直接或間接引用，如：Cheng (1987)，吳偉特(民國 77 年)，Huang 等(1987)。將來讀者若需引用台北盆地分區之相關資料，為求完整性可參考原報告內容。該報告首次將台北市區地層依流域之不同分為：

(1) 基隆河流域區；

(2) 新店河流域區；

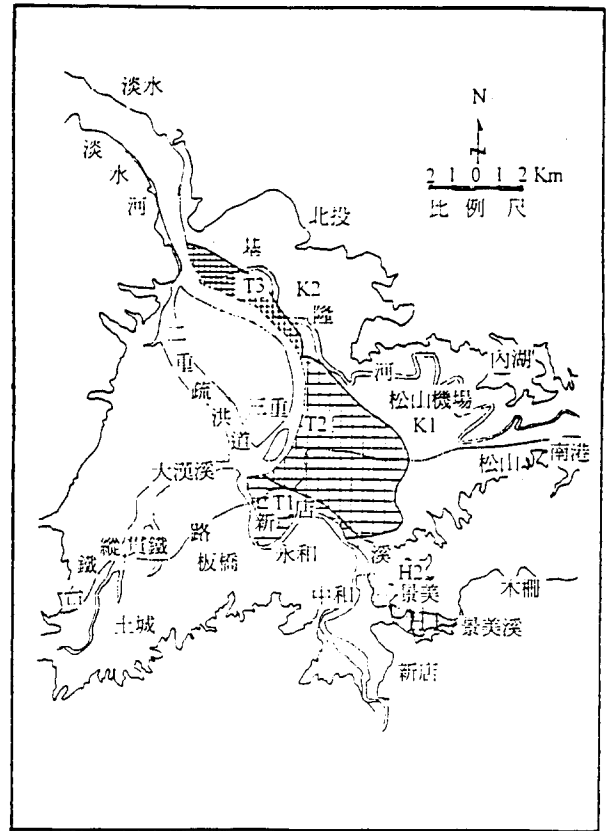
(3) 淡水河流域區。

另外再依各流域區地層性質之差異，按上游至下游之順序細分為：基一區、基二區、新一區、新二區、淡一區、淡二區、及淡三區，如圖一所示。該研究建立了許多土壤工程性質參數的相關式及圖表，至今仍廣為工程界所引用，對台北盆地工程性質之掌握提供相當之幫助，尤其在工程初步規劃階段提供一合理的評估依據。

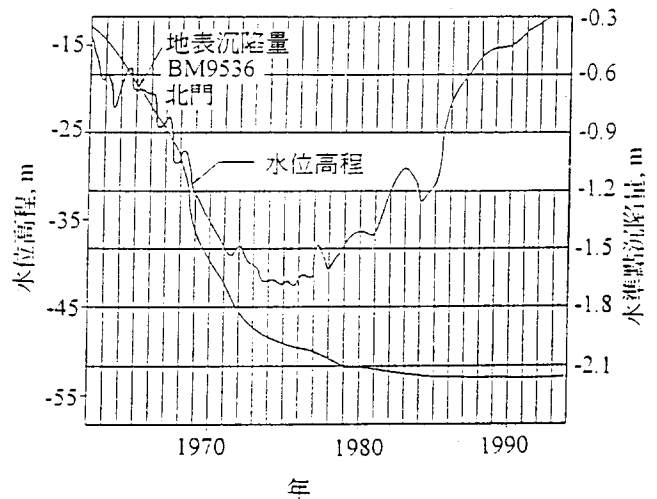
三、地下水壓與地盤下陷

1950 至 1970 年代間，台北盆地由於大量抽取地下水，曾使地下水位下降達 40 公尺，並造成地表近 2 公尺之沉陷量。對從事地下工程施工而言，了解台北盆地過去抽水及地表下陷歷程是極為重要的。遠自 1890 年代台北地區便有深井抽水，根據過去文獻，在 1897 年時台北盆地地下水之水頭高於地表 4.5 公尺，當時抽水主要提供都市用水，水井數超過 500 口。1907 年抽水井數目已超過 1000 口，其中大部份可能是抽取位於松山層第五次層之淺水井。至 1950 年代止，則無進一步有關深水井之報告(Chin et al., 1991)。

往後隨著台北市發展，民生用水量遽增而大量抽取景美層之地下水，造成地表下陷。圖二 (Moh et al., 1996) 所示即為台北市區水位高程與地表沉陷關係圖。雖然政府於 1968 年宣佈管制抽取地下水，但從圖二中可看出到 1974 年以前仍有非法抽取地下水之情形，當時最大地表沉陷量已超過 2 公尺，至 1975 年後地下水位則有明顯回升，地表下陷也漸趨緩和(吳建民，民國 76 年)。圖三 (Chin et al., 1991) 為

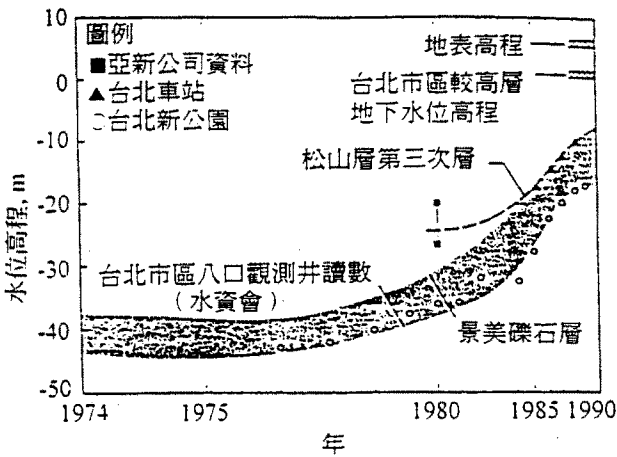


圖一 松山層土壤分區(亞新工程顧問公司, 民國 76 年)

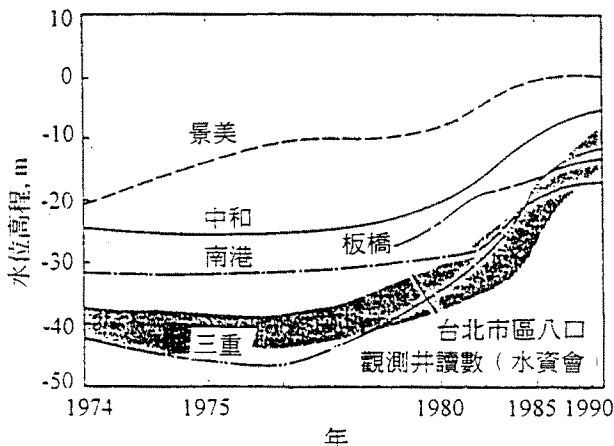


圖二 台北市區歷年水位高程與地表沉陷關係 (摘自 Moh et al., 1996)

台北市區景美層地下水位回復之情形，可以發現景美層地下水位回復間接地影響到松山層第三次層水位之回升，在 1976



圖三 歷年台北盆地地下水位回升情形
(Chin et al., 1991)



圖四 歷年台北盆地周邊地下水位回升情形
(Chin et al., 1991)

至 1981 年間水位回復速率並不是很大，倒是在 1981 至 1988 年間地下水回復每年高達 2 至 3 公尺；盆地周圍之地下水位亦有回復之現象(圖四,Chin et al., 1991)。

早期台北盆地之工程均將地盤下陷考慮為影響工程安全之重要因素之一。近年由於地下水位之回復，卻又產生其他工程問題。對深開挖工程而言，地下水位的回復造成土壤孔隙壓力上升，使得土壤強度降低，以致擋土結構主動側壓力提高，被動側壓力降低，擋土結構的側向位移增加，造成鄰近結構物沉陷增加。因此原先因應地下水位較低狀況之設計經驗需加

以修正，始能符合現在地下水位改變後之地層狀況。

四、土壤行為模式

土壤係一種行為極複雜的材料，具有非線性、非均向性、粘滯性、並且受時間效應及孔隙水之影響，若單純以傳統所謂"經驗公式"來分析設計，實不足以反應土壤行為的複雜性。

過去由於基礎型式較為簡單，或許採用"經驗公式"便足以應付。然而"經驗公式"經常是要配合當地地質狀況、試驗方法及施工方式而加以修正後，方能合理應用；況且"經驗公式"因對土壤行為之掌握不明，通常都會配予較高的安全係數以確保設計之安全性，造成工程費用之增加。

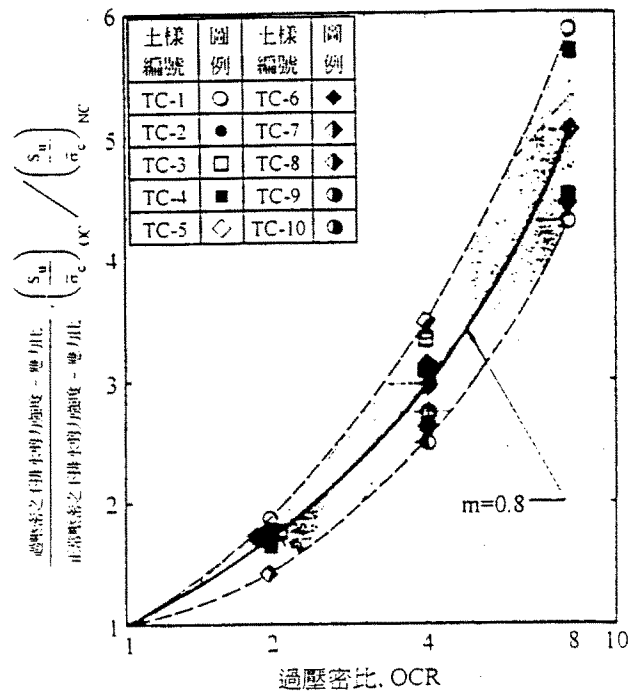
隨著工程規模日趨龐大複雜化，除借重過去對土壤行為之經驗，應當輔以數值分析之方法以期更有效的掌握工程期間土壤行為之變化情形。畢竟準確的分析結果與應用之土壤行為模式息息相關，故對土壤之力學構架要有充分瞭解和確實的掌握。

對凝聚性土壤而言，不排水剪力強度 (s_u) 乃基礎設計時之重要參數，例如樁基礎，深開挖，潛盾施工等。秦中天等 (1989) 根據 SHANSEP (Stress History and Normalized Soil Engineering Properties; Ladd et al., 1974) 觀念針對松山層凝聚性土壤的不排水剪力強度進行初步的探討，研究台北盆地凝聚性土壤的正規化行為 (normalized behavior)，以及不排水剪力強度與應力歷史之關係，並且估算 SHANSEP 關係式：

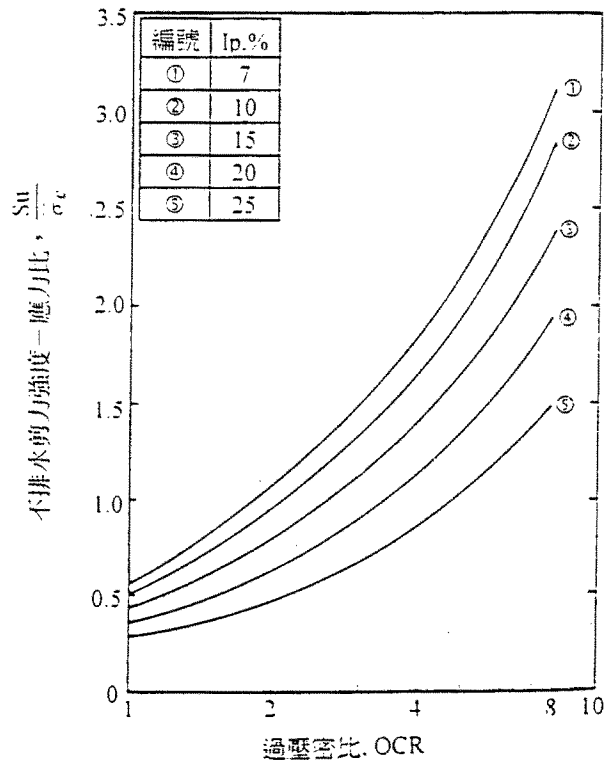
$$\left(\frac{s_u}{\sigma_c}\right)_{oc} = \left(\frac{s_u}{\sigma_c}\right)_{NC} \cdot OCR^m$$

式中之 m 值約 0.80 ± 0.08 (圖五)。同時發現台北盆地凝聚性土壤過壓密比 (OCR) 與不排水剪力強度應力比 ($s_u/\bar{\sigma}_c$) 隨塑性指數 (I_p) 值的變化情形 (圖六)。後續的研究又導出不同 I_p 值時正常壓密凝聚性土壤在均向及非均向壓密壓縮及伸張試驗的不排水力剪力強度應力比 (劉泉枝等, 民國 78 年), 如圖七所示。有了上述的研究成果, 則能夠在即使不進行精密複雜的強度試驗下, 仍能比較合理而有系統的推估台北盆地凝聚性土層之不排水剪力強度。

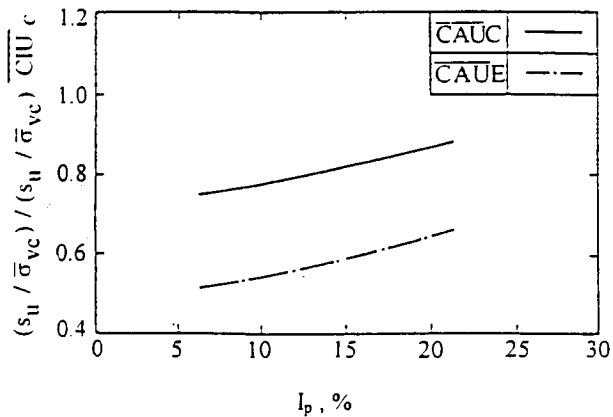
在捷運工程進行期間, 捷運工程大地專業顧問為深入了解台北盆地凝聚性土層中深開挖的行為, 同時建立台北盆地凝聚性土壤之行為模式, 由台北市東區沿著忠孝東路至台北火車站附近, 實施三孔連續薄管取樣, 並從事一系列特殊之土壤試驗。為降低取樣時對土壤之擾動, 採用靜定式活塞取樣, 使用皂土液迴水以減少孔底土樣回脹, 並控制迴水液之單位重不少於 $1.05t/m^3$ 。特別是在試體製作前, 對裝有土樣的薄管先施以 X 光照射觀察土樣均質性與受擾動之情形, 作為選取試樣位置之依據。相關的試驗項目包括: 固定速率壓密 (CRSC) 試驗、不同 OCR 下之三軸 K_o 壓密不排水壓縮及伸張 (CKoUC、CKoUE) 試驗、及 K_o 壓密不排水單剪 (CKoUDSS) 試驗。Chin 等 (1994) 分析上述試驗結果, 定出台北盆地凝聚性土壤之降伏面 (yield envelope), 如圖八所示。秦中天等 (民國 84 年) 亦由該項試驗計劃中 CRSC 試驗結果與傳統單向度壓密試驗結果比較 (圖九), 由於次壓縮 (secondary compression) 之影響, 傳統試驗結果顯然低估土壤前期預壓密應力, 這影響到前述以 SHANSEP 方式所得之不排水強度及降伏面之結果。



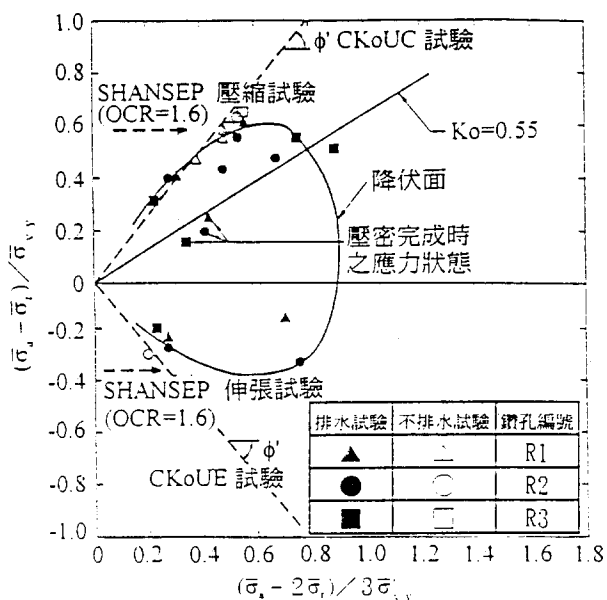
圖五 台北盆地松山層凝聚性土壤不排水剪力強度-應力比之比值與 OCR 之關係



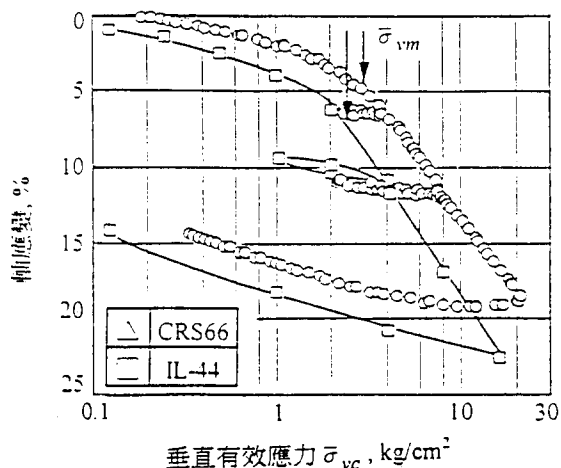
圖六 台北盆地松山層不同塑性指數之凝聚性土壤之 $s_u/\bar{\sigma}_c$ 與 OCR 之關係曲線



圖七 以 CIUC 試驗為基準之不排水剪力強度-應力比與 I_p 之關係
(劉泉枝, 民國 78 年)



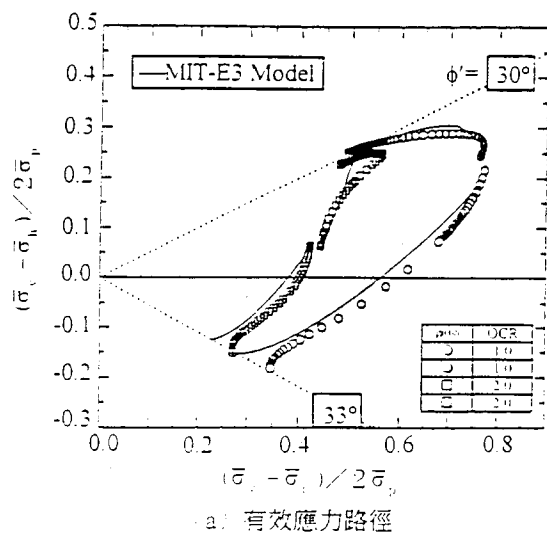
圖八 台北盆地松山層凝聚性土壤之降伏面



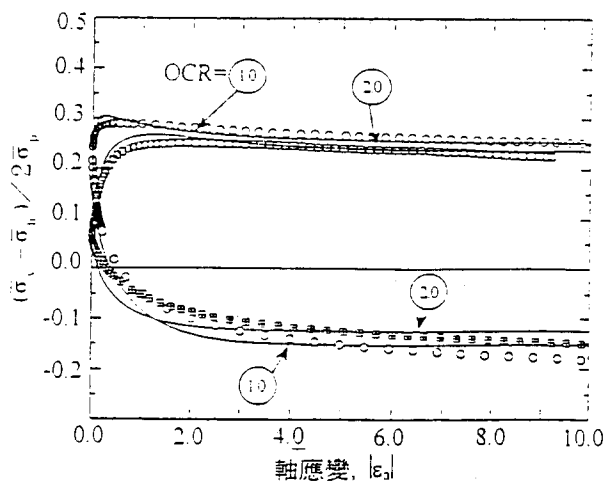
圖九 傳統比例增量荷重壓密與 CRSC 試驗應力應變關係之比較

此外，該項試驗結果被應用於推導 MIT-E3 模式 (Whittle, 1987) 的參數 (圖十)，進而利用建構於有限元素程式 ABAQUS 上的 MIT-E3 模式，對台北世界貿易中心國際會議廳開挖進行回饋分析，獲致令人相當滿意的成果 (Chin et al. 1995)。

而對台北盆地非凝聚性土壤行為模式則甚少有研究報告，惟台北盆地土層中地下水位均甚高，非凝聚性土壤之工程行為往往由地下水壓所控制，因此於數值分析之中，一般即以較簡單的數學模式加以模擬，如完全塑性模式 (perfectly plastic model) 及雙曲線模式 (hypobolic model 等。



a) 有效應力路徑



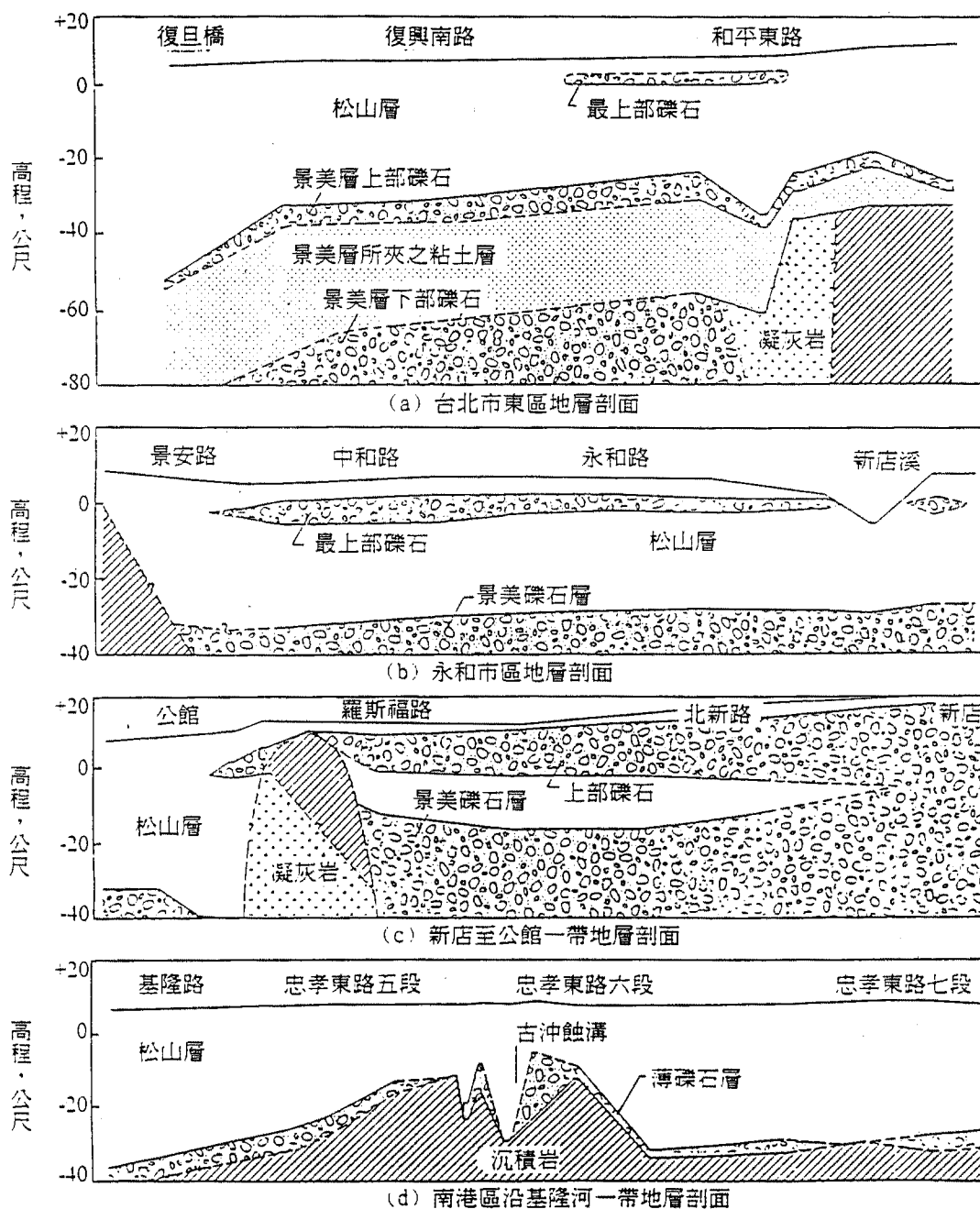
(b) 剪應力-應變關係

圖十 台北盆地 MIT-E3 模式參數分析

五、礫石層分佈

一般而言位於松山層底下的景美礫石層被視為一良好之深基礎承載層，因此礫石層的分佈情形對工程之安全性及經濟性皆有相當程度影響。基於這個理由，早期有關台北礫石層之工程研究便偏向

於探討其分佈情形。例如傅怡仁等（民國89年）根據當時最新鑽孔資料針對新店至公館一帶、臺北市東區、永和市區及南港區沿基隆河一帶地區研判礫石層的分佈情形。該研究亦指出景美層並非全部由卵礫石所組成，該層中仍有土層存在，且其主要由粘土所組成，部份粘土層甚至厚達33公尺以上。台北盆地中比較特殊的礫石層分佈概況如圖十一所示。

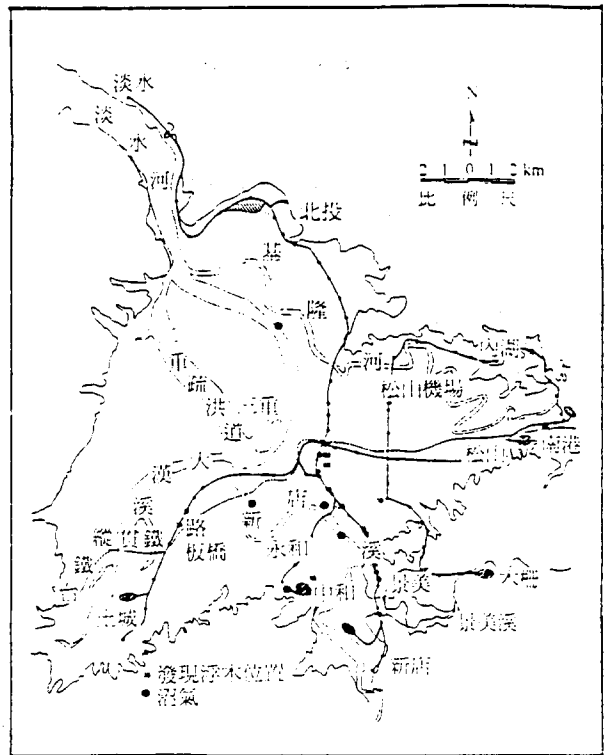


圖十一 台北盆地礫石分佈示意圖

在捷運系統配合隧道工程施築的通風井工程中，連續壁貫入深度需深達景美礫石層以符壓力平衡與控制連續壁變形之需要。然而部份開挖深度較深，例如捷運新店線便有開挖深度深達 35 公尺，因此上舉破壞便成為另一重要課題。在一般深開挖施工時，大多採用抽水方式降低水壓力來克服上舉破壞的問題，當地層透水性極高，所需抽水量甚大，假使再加上抽水期較長的因素，非但抽水費用高，相對的工程所承擔之風險亦較大，所以利用止水方式降低地層透水性便是一可行的配合方案。例如捷運系統新店線 CH221 標通風井工程便同時採用降低水壓力與降低礫石層透水性的方式來解決上舉問題（楊國榮等，民國 84 年）。將來深基礎之施工，尤其是深開挖工程，除確認礫石層之深度外，更應注意地下水壓對工程安全性的影響。

六、浮木與沼氣

在台北捷運系統工程期間陸續有浮木與沼氣之出現。由於浮木與沼氣之分佈情形不容易掌控，經常引起不可預測之工程問題。由圖十二台北捷運工程沿線浮木與沼氣之分佈情形來看，沼氣在盆地內分佈範圍頗廣，而浮木則大多出現在市區及盆地南邊之捷運路網沿線上。尤其是由台北市區至新店的新店線上（Woo and Moh, 1990; 黃南輝, 民國 85 年）。由於進行捷運工程時對此問題特別重視，因此加以有系統的整理發現沼氣與浮木的狀況。這不表示其他地方未發現或不存在，極有可能是並未登錄。因此了解沼氣與浮木的分佈，除了從地層分佈的研究著手外，更需要建立完整的資料庫，收集所有相關的資料。



圖十二 台北捷運工程沿線發現浮木與沼氣之分佈情形
(黃南輝, 民國 85 年)

因為浮木分佈不容易在鑽探中被發現，因此經常為地下工程之施工所忽略，特別是在潛盾及推管施工中，經常造成推進器“卡鑽”，而不得不先行停工，於取出浮木後再行復工，延誤工期造成損失。此外退鑽前若地盤改良不確實，恐會造成工程傷害甚至傷及人命。

由台北盆地形成過程來看，在沉積岩層夾有煤炭薄層，可以推測大部份於鑽探或施工中所發現之氣體應為沼氣（Moh & Chin, 1991）。通常空氣中含有百分之五至百分之十五之沼氣，便有發生爆炸之可能，國外便有多起於施工中，甚至營運期間發生沼氣爆炸之事故。對於施工中出现沼氣的處理，一般採用與空氣混合來減低沼氣濃度來避免爆炸發生。

七、地震與動力特性

台灣位於環太平洋地震帶上，隨時要有面臨地震災害的準備。如 1986 年 10 月 15 日於花蓮外海所發生之規模 6.8 級之地震，當時位於台北市復興南路之裕台大樓發生剪力牆斷裂，中和市華陽商場則發生倒塌。可見除從結構方面增強抵抗地震之能力外，亦應對台北盆地地質於地震發生時之變化有所掌握，才能整體有效的減低地震所帶來之災害。

發生剪力牆斷裂，中和市華陽商場則發生倒塌。可見除從結構方面增強抵抗地震之能力外，亦應對台北盆地地質於地震發生時之變化有所掌握，才能整體有效的減低地震所帶來之災害。

近來李咸亨（民國 81 年、84 年），以最佳化分析方法建立剪力模數與剪應變關係曲線（ $G-\gamma$ ）以及阻尼比和剪應變關係曲線（ $D-\gamma$ ），並以試驗驗證 Seed and Idriss（1970）百分比增加法之適用性，再以其發展之 SHAKE III L 程式（修改自 SHAKE II 程式）分析得地表振動反應及液化微區圖。民國 85 年李咸亨採上述方式利用大地資料庫之地質資料，分析得 475 年地震迴歸期條件下之台北市卓越週期等值圖、地表最大水平加速度等值圖、及液化潛能評估圖。此外陳正興（Chen et al., 1995）在第一屆國際地震大地工程會議中，有利用雙層模式（two-layer model）求得台北盆地地盤週期（ground period）的成果發表。

由於地震的問題日益受到重視，地震危害度與液化分區更具有高度實用價

值，而分析工具的精進，使得這方面的發展格外值得重視。

八、結論與建議

綜合以上討論對於未來台北盆地之施工有以下之建議：

（1）由於台北盆地地下水位有逐年回升之趨勢，往後工程當特別注意由於地下水位回升所衍生之工程問題。

（2）應著重鑽探、取樣、試驗方法之改進，以確實掌握土壤行為，方能有合理經濟的設計與有效安全的施工。

（3）景美礫石層一直被視為良好的承載層，但隨著工程基礎深度加深，以及地下水位回升，在實務上不僅要確定礫石層的深度及分佈情形，尤其對貫入礫石層的擋土設施，更要考慮地下水對基地開挖安全性之影響，採取適當措施降低地下水所帶來的工程問題。

（4）雖然浮木與沼氣的分佈十分零散且不易發現，但施工時仍要注意可能的潛在危險。

（5）為減少地震所帶來的災害，除改良結構物耐震的設計外，更應對盆地內土壤之動力特性有所掌握，如地震危害度及液化分區的研究，以期在地震災害之防治上達事半功倍之效。

誌謝

感謝亞新工程顧問公司提供充足完整之資料，撰文期間蒙黃南輝博士、楊國榮先生、趙國祥先生及黃姿連小姐提供寶貴意見方得順利完稿，特此一併誌謝。

參考文獻

- 王執明、鄭穎敏、王源(民國67年),“台北盆地之地質及沉積物研究”,*台灣礦業*,第三十卷,第四期。
- 吳建民(民國76年),“台北盆地地盤下陷之回顧”,*地工技術雜誌*,第20期,第34-49頁。
- 吳偉特(民國77年),“台北盆地地盤分區土壤之工程特性”,*地工技術雜誌*,第22期,第5-27頁。
- 李威亨(民國85年),“從日本阪神地震看台灣”,八十五年度港灣大地工程研討會,第2-1-2-9頁。
- 亞新工程顧問公司(民國76年),“台北市地層大地工程性質分析報告”。
- 洪如江(民國55年),“台北盆地各土壤之物理特性”,*國立台灣大學工程學刊*,第十期,5月。
- 秦中天、鄭在仁、劉泉枝(民國78年),“台北沉泥之不排水剪力強度與過壓密比之關係”,*中國土木水利工程學刊*,第一卷,第三期。
- 秦中天、劉泉枝、胡逸舟(民國84年),“台北粘土壓密與不排水應力應變行為”,亞新工程顧問公司研究報告。
- 黃南輝(民國85年),個人通信。
- 傅怡仁、秦中天、三如龍、陳明山(民國79年),“台北盆地內礫石層分佈之研究”,*土木水利季刊*,第十六卷,第四期,第59-69頁。
- 楊國榮、黃立煌、王勝男(民國84年),“台北盆地礫石層深開挖地下水問題”,*國際卵礫石層地下工程研討會*,台北,第4-21-4-28頁。
- 劉泉枝、秦中天、謝旭昇(民國78年),“非均向壓密及三應力軸轉變對台北盆地凝聚性土層強度性質之影響”,亞新工程顧問公司研究報告,第1-41頁。
- CHEN, C.H. and CHEN, L.Y.(1995), “Ground Periods of Taipei Basin,” *Proc. of the First International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (IS-TOKYO '95), Tokyo, Vol. 1, pp. 543- 548.*
- CHENG, T.Y.(1987), “Geotechnical Characteristics of Sungshan Formation within Taipei City,” *M.E. Thesis of Asian Institute of Technology, Thailand, April.*
- CHIN, C.T., CHIEH, T.T. and DUAN, S.W. (1991), “Groundwater Effect on MRT Construction,” *Proceedings of First Young Asian Geotechnical Engineers Conference, AIT, Bangkok.*
- CHIN, C.T., CROOKS, J.H.A, and Moh, Z.C. (1994), “Geotechnical Properties of the Cohesive Sungshan Deposits, Taipei,” *Geotechnical Engineers Conference, Journal of Southeast Asian Geotechnical Society, AIT, Bangkok, pp.77 ~ 102.*
- CHIN, C.T., WHITTLE, A.J., MOH Z.C. and Wong, L.W. (1995), “Pore Pressure and Stress Changes During Excavation,” *Proc. of the Tenth Asian Regional Conference, Beijing, pp.275 ~ 278.*
- HUANG, C.T., LIN, Y.K., KAO, T.C. and MOH, Z.C. (1987), “Geotechnical Engineering Mapping of the Taipei City,” *Proceedings of Ninth Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Bangkok.*
- LADD, C.C. and FOOTT, R. (1974), “New Design Procedure for Stability of Soft Clays,” *ASCE, J. Geotechnical Eng., Vol. 100, No. GT7, pp. 763-786.*
- MOH, Z.C. and CHIN, C.T. (1991), “Geotechnical Considerations for Under-ground Mass Rapid Transit Systems,” *Proceedings of Ninth Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Bangkok.*
- MOH, Z.C. and OU, C.D. (1979), “Engineering Characteristic of Taipei Silt,” *Proceeding of Sixth Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Singapore.*
- MOH, Z.C., PAN, K.L., and YANG, H.W.(1996), “Ground Subsidence Problem due to Ground-water Withdrawal in Taiwan.” *Proc. of Third International Symposium on Environmental Geotechnology.*
- SEED, H.B. and IDRIS, I.M. (1970), “Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses,” *EERC 70-10, University of California, Berkeley.*
- WHITTLE, A.J.(1987), “A Constitutive Model for Overconsolidated Clays with Application to the Cyclic Loading of Friction Piles,” *ScD Thesis, MIT, Cambridge, MA. 641p.*
- WOO, S.M. and MOH, Z.C. (1990), “A General Report on Geotechnical Characteristics of Soils in the Taipei Basin,” *Proceedings of Tenth Southeast Asian Geotechnical Conference, Taipei, pp.51-65.*

本文之討論意見將在後期雜誌中刊出，請您將意見於三個月內寄交本刊雜誌編輯委員會。

85年2月26日 收稿
85年3月19日 修改
85年3月20日 接受