

台北盆地大地工程特性
**THE GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF
THE SOIL DEPOSITS IN TAIPEI**

李志剛，秦中天
J. G. Lee and C. T. Chin

原著載於土木技術雜誌第 6 期
1998 年 8 月，第 37~49 頁

*Reprinted from Technology of Civil Engineering
Taipei, Taiwan
August, 1998, No. 6, pp.37~49*

台北盆地大地工程特性

李志剛·秦中天

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之下，結構物大多朝向地下化與高空化發展或是建築在盆地的邊緣，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地質與工程特性作一探討。本文首先介紹台北盆地的地質與土壤特性，然後再對地下水壓與地盤下陷、礫石層分佈、盆地邊緣邊坡工程問題、地震與動力特性等問題加以討論。

前言

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、高空或山坡地發展，因此工程因難度亦隨之提高，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。過去有關台北盆地之大地工程特性已有許多相關研究例如洪如江（1966）、吳建民（1987）、亞新工程顧問公司（1987）、秦中天等人（1989、1990、1995）、楊國榮等人（1995）大多集中在新莊層、松山層與景美層的一些大地工程性質研究，本文主要係蒐集補充近年來有關工程地質、地質構造及邊坡工程之相關問題及研究結果。

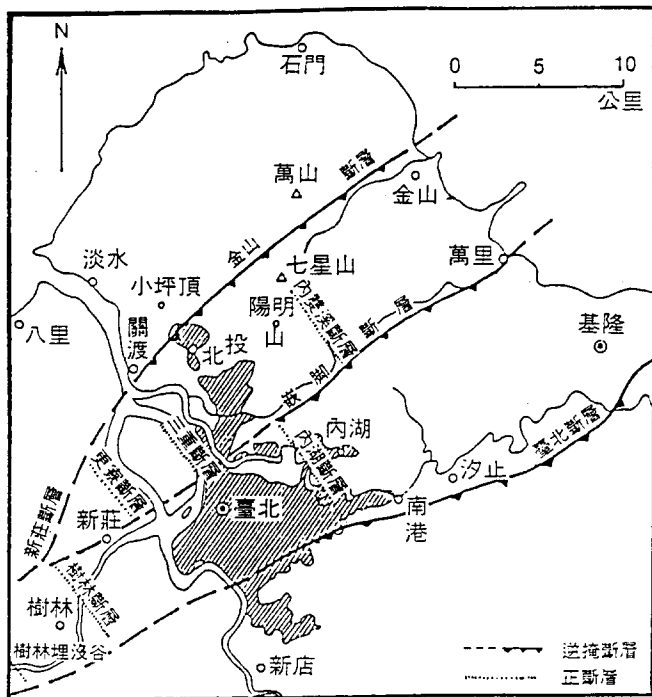


圖1 台北盆地附近斷層位置圖
(李錦發, 1994)

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，並於關渡附近流入台灣海峽。

鄧屬予(1996)指出，台北盆地屬於一斷陷盆地，位於台灣東北部正在崩毀的山脈西緣。在中新世以前，台北地區是中國大陸邊緣海的一部份，累積了厚層的淺海相第二系沈積物。中新世以後，碰撞造山運動逐漸將大陸邊緣擠成高山，並在更新世早期將山脈推進到金山—新莊斷層一線。到了更新世中期，造山運動停止，金山—新莊斷層被轉化成正斷層，斷層上盤的麓山帶丘陵逐步下滑而成一低地。大約在40萬年前，台北盆地下降至海平面附近，並開始回填沈積物。隨著盆地持續的下沉，盆地面積不斷擴大，最後發展成今日的面貌。

台北盆地附近的主要斷層除了東北—西南走向的金山—新莊斷層外，主要有二條大致呈東北—西南走向的逆斷層，即崁腳與台北斷層，斷層位置詳見圖1。根據黃鑑水等人(1991a、1991b)；葉義雄等人(1989)；葉義雄及陳光榮(1990)；楊潔豪及陳洲生(1989)等專家學者之研究結果顯示，目前金山—新莊斷層與崁腳斷層可能都屬於活動度不高的活斷層。為了監測台北盆地附近之斷層活動狀況，中央研究院地球科學研究所與經濟部中央地質調查所聯合於1991年設立「台北GPS監測網」，並自1991年起每年定期實施全球定位系統測量，觀測結果顯示(余水倍等人, 1996)，金山—新莊斷層呈顯著伸張變形，而崁腳斷層及台北斷層附近則無明顯水平變形，另根據橫跨金山—新莊斷層及台北斷層的兩條水準測線，於1993年5月至1995年11月所進行之之四次觀測結果顯示，該兩斷層均無垂直潛移現象。除了上述三條主要斷層外，台北盆地中尚有樹林、更寮、三重、內湖及內雙溪等數條呈西北—東南走向的正斷層發育；李錦發及蘇泰維(1994)更指出這些西北—東南走向的正斷層，也是造成台北盆地下陷與盆地發育的主要原因。

台北盆地以褶曲的第三系沈積岩為基盤，上覆水平的第四系河湖相沈積層。盆地基盤由東南向西北傾斜，盆地沈積層也隨著從東南向西北變厚，岩相變細，沈積相變深(王執明等人, 1978)；盆地沈積層之最大厚度可能超過550公尺(鄧屬予等人, 1996)。在地層分層方面，台北盆地的第四系沈積層可以劃分為三層(王執明等人, 1978)，由老而幼分別為新莊層、景美層以及松山層。松山層主要由砂泥互層所組成，厚度約20至100公尺；景美層主要則由土黃色礫石層所組成，岩礫以石英砂岩為主，層厚約20至50公尺。至於新莊層，其總厚度在100公尺以上，岩性主要由青灰色礫石層、砂與泥之互層所組成。

表1 台北盆地組成物質垂直分佈概況

層次	厚度(公尺)	土壤描述	
表土沈積	1-6	黃棕色黏土	
第VI次層	2-8	40-70	灰黑色黏土質粉土
第V次層	2-20		灰色粉土質細砂土
第IV次層	6-29		灰色粉土質黏土
第III次層	0-19		灰色中等緊密粉土質細砂
第II次層	0-19		灰色粉土質黏土
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	灰色至黃棕色砂質黏土	
第三紀沈積岩			

至於台北盆地地盤土壤工程性質之研究，最早由洪如江（1966）開始將台北盆地之松山層分為六層砂土黏土互層之土壤，即由下往上數第一、三、五層為砂土層，第二、四、六層為黏土層（表1），而後來陸續有如Moh & Ou（1979）等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，經常可見巨厚之黏土層，幾乎未見砂土層。在新店溪流域一帶則看不到第二、四、六之黏土層。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（1987），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（1988），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

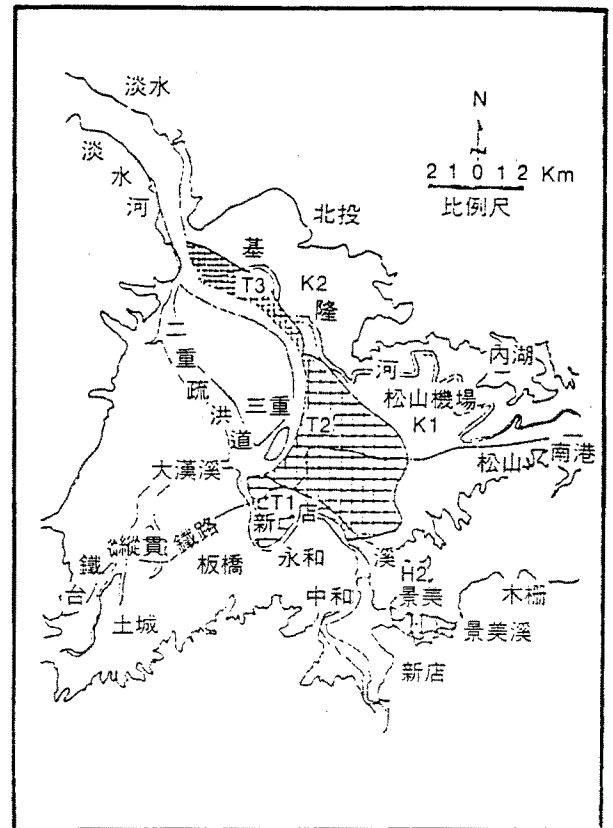


圖2 松山層土壤分區
（亞新工程顧問公司，1987）

層依流域之不同分為：

1. 基隆河流域區
2. 新店溪流域區
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2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。

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

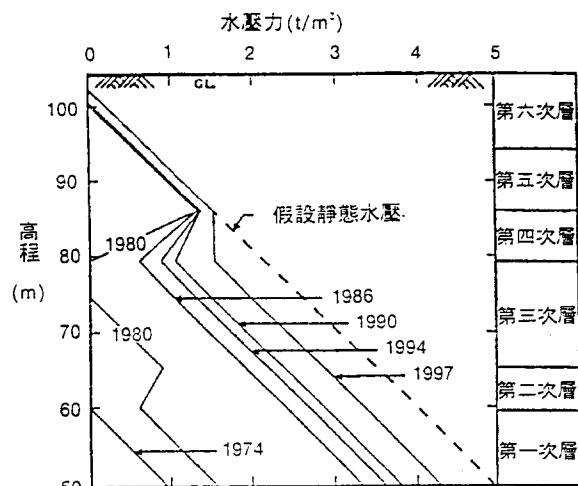


圖5 台北盆地松山層地下水壓剖面 (Chin,1997)

大量抽取景美層之地下水，造成地表下陷。圖3 (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3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，1987年）。圖4 (Chin et al., 1991) 為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三四次層水位之回升，此外亦可自圖5地下水壓變化情形發現，景美層之地下水位變化亦影響到松山層第一至第四次層之地下水壓高低，在1980年（台北捷運施工前）松山層第一至第四次層之地下水壓明顯低於靜態水壓，而最近八年之觀測結果顯示已趨近於靜態水壓，值得注意的是在1994年地下水壓呈現略微降低之現象，主要是由於台北捷運工程大規模於景美層抽水所致，其高峰期約在1993至1995年。在1976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6，Chin et al., 1991）。

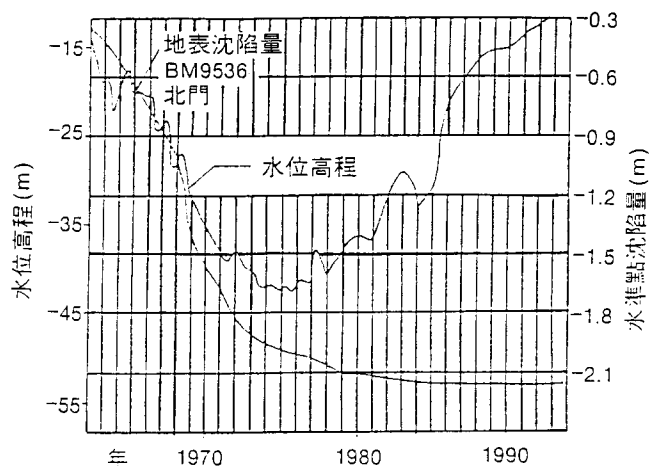


圖3 台北市區歷年水位高程與地表沉陷關係 (摘自Moh et al.,1996)

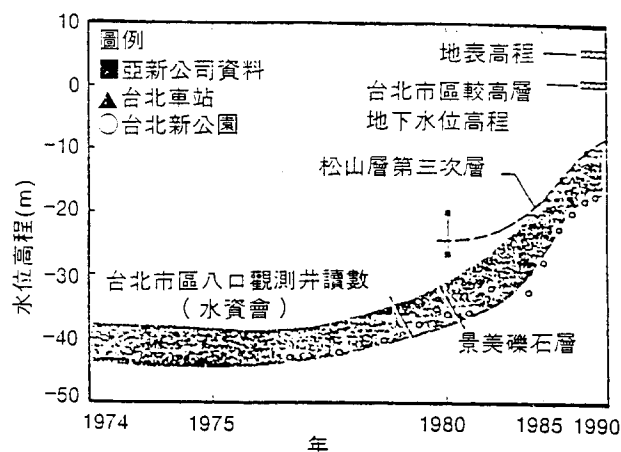


圖4 歷年台北盆地地下水位回升情形 (Chin et al.,1991)

早期台北盆地之工程均將地盤下陷考慮為

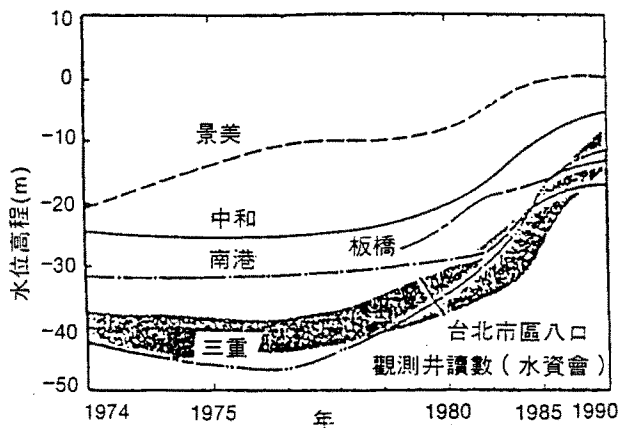


圖 6 歷年台北盆地周邊地下水位回升情形 (Chin et al., 1991)

影響工程安全之重要因素之一。近年由於地下水水位之回復，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水位改變後之地層狀況。許多案例看來，地下水的控制與掌握經常是台北深開挖成敗的關鍵。根據台北捷運工程地下開挖所累積之施工經驗我們發現，早年大量抽水所導致之地下水水位／水壓降低對當時之地下開挖工程提供了相當的便利性，建築物的基礎大多位於地下水水位以上，施工期間並不需要特別針對地下水水位控制進行特別之監測。而當地下水水位回復後，許多台北捷運地下開挖失敗案例主因於過高之地下水壓，因此如何控制施工期間之地下水壓成為穩定連續壁，降低壁體變形與地表沈陷之重要課題。雖然如此，早年之抽水效應對後來台北捷運地下開挖亦提供了另一方面之助益，由於抽水導致松山層較下層之次層於下水位回復後呈現過壓密狀態，降低黏性土層之壓縮性，因此當台北捷運地下開挖於開挖範圍外抽水以降底開挖範圍內之地下水水位時，其所產生之地表沈陷比正常壓密狀

態於相同降水狀況所產生之地表沈陷為小。除了這些設計上的考慮之外，許多捷運施工的問題，都是導因於地下水的問題。Chin (1997) 及 Moh (1997) 在 1997 年 13 屆國際土壤力學與基礎工程會議中都有所討論。

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、黏滯性、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：

$$\left[\frac{s_u}{\sigma_c} \right]_{oc} = \left[\frac{s_u}{\sigma_c} \right]_{sc} OCR^m$$

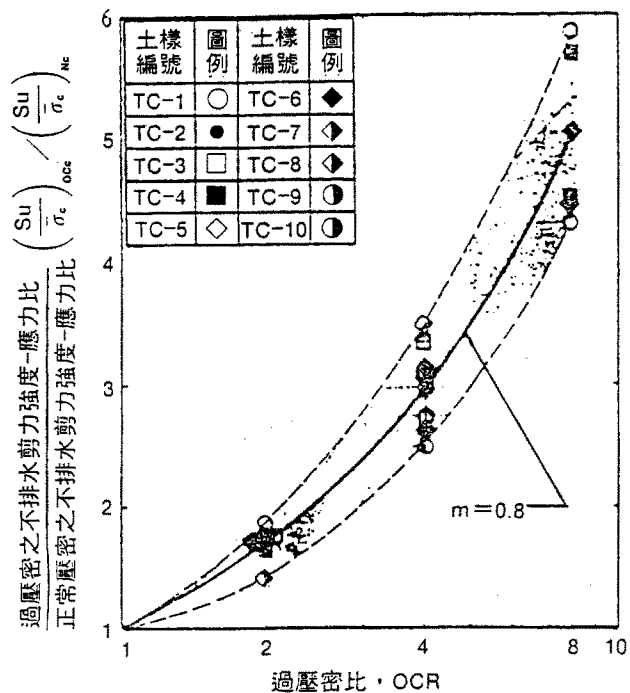


圖7 台北盆地松山層凝聚性土壤不排水剪力強度-應力比之比值與OCR之關係 (胡逸舟等, 1996)

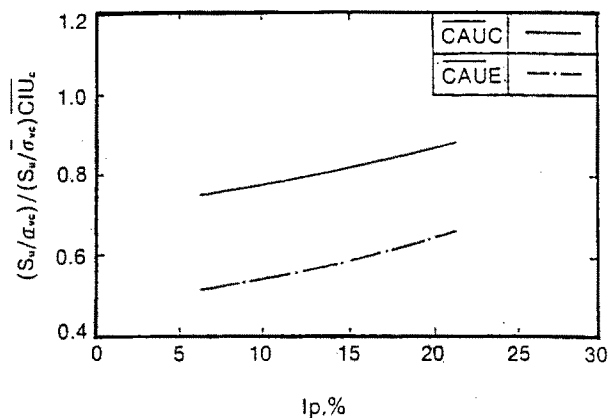


圖9 以CIUC試驗為基準之不排水剪力強度-應力比與 I_p 之關係 (劉泉枝, 1989)

式中之 m 值約 0.80 ± 0.08 (圖7)。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/σ_c) 隨塑性指數 (I_p) 值的變化情形 (圖8)。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, 1989), 如圖9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。

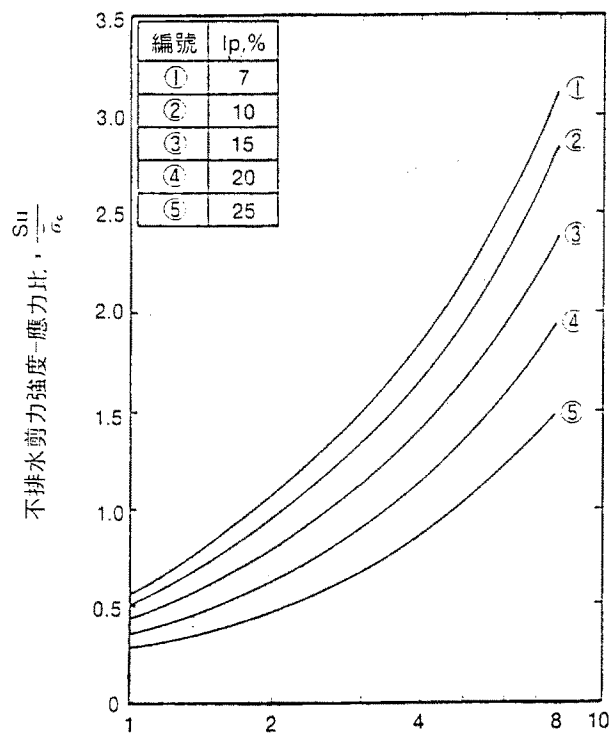


圖8 台北盆地松山層不同塑性指數之凝聚性土壤之 s_u/σ_c 與OCR之關係曲線 (胡逸舟等, 1996)

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_0 壓密不排水壓縮及伸張 (CKoUC、CKoUE) 試驗、及 K_0 壓密不

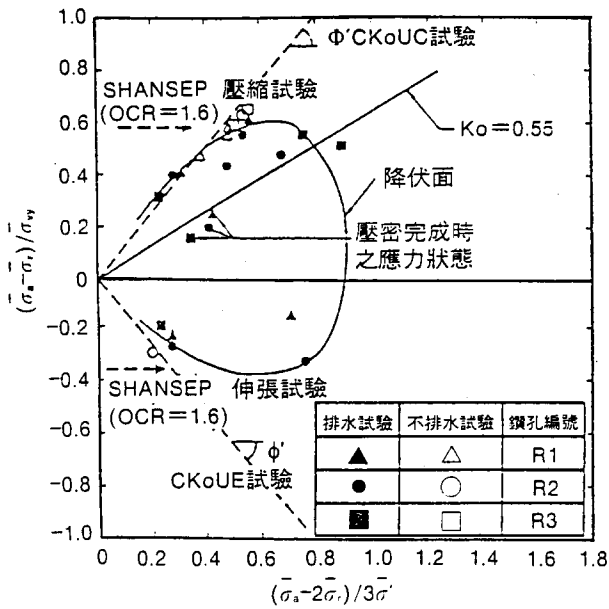


圖10 台北盆地松山層凝聚性土壤之降伏面 (胡逸舟等, 1996)

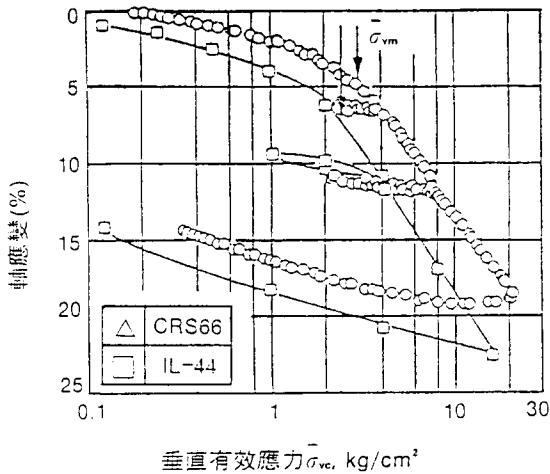
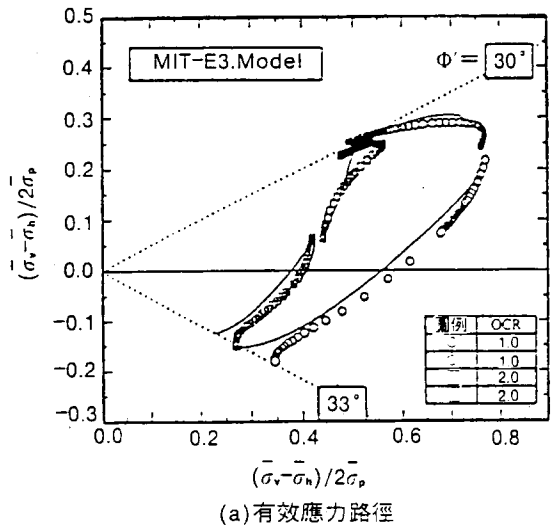
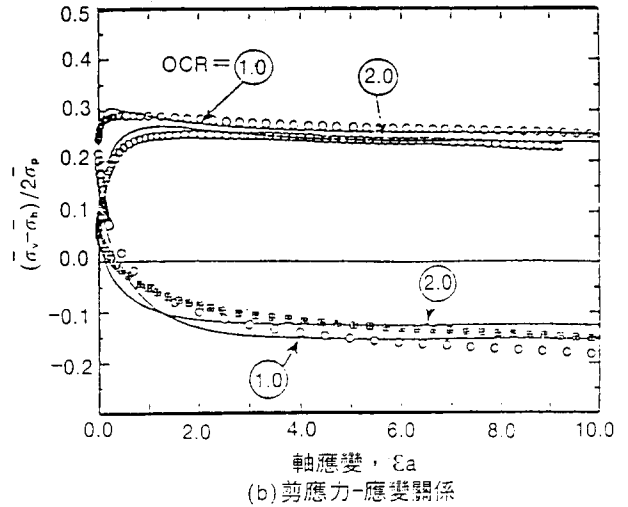


圖11 傳統比例增量荷重壓密與CRSC試驗應變關係之比較 (胡逸舟等, 1996)

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10所示。秦中天等 (1995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11), 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



(a) 有效應力路徑



(b) 剪應力-應變關係

圖12 台北盆地MIT-E3模式參數分析 (胡逸舟等, 1996)

SHANSEP方式所得之不排水強度及降伏面之結果。

此外, 該項試驗結果被應用於推導MIT-E3模式 (Whittle, 1987) 的參數 (圖12), 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)。目前國內學術界台灣科技大學也利用重模土 (remolded clay) 以真三軸等儀器進行。

而對台北盆地非凝聚性土壤行為模式則甚少研究報告, 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

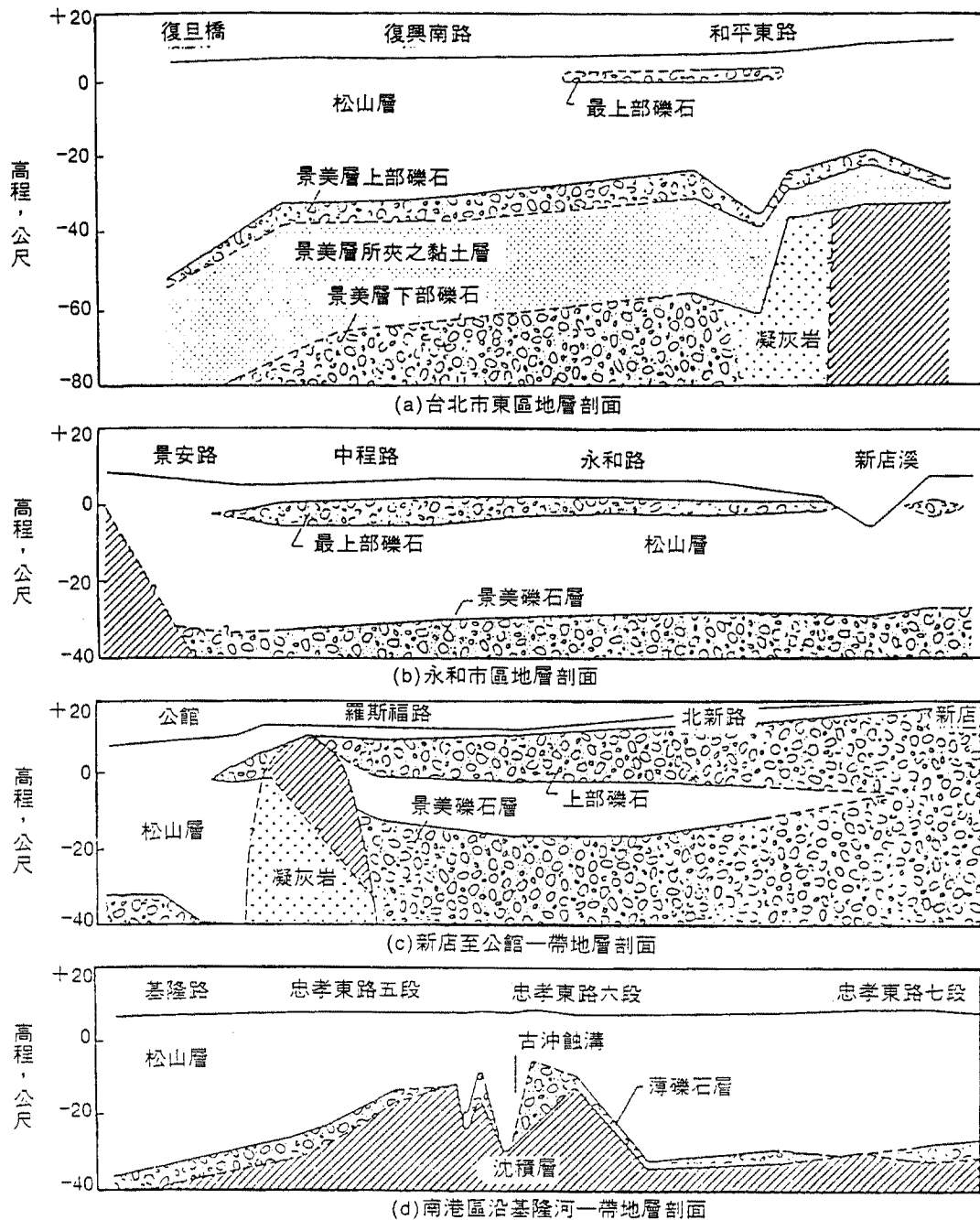


圖13 台北盆地礫石分佈示意圖(胡逸舟等, 1996)

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。

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（1990）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，且其主要由黏土所組成，部份黏土層甚至厚達33公尺以上。台北盆地中比較特殊的礫石層分佈概況如圖13所示。

在捷運系統配合隧道工程施築的通風井工程中，連續壁貫入深度須深達景美礫石層以符合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，1995）。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。此外由於台北許多超高層的樁基礎，必須深入礫石層，因此礫石層的特性以及相關施工的問題得做更進一步的探討。

盆地邊緣邊坡工程問題

隨著國內人口迅速膨脹及經濟快速成長，山坡地開發與建築近年來如雨後春筍般出現，對人口高度集中之大台北地區而言，邊坡工程問題更顯得特別重要，尤其歷年來幾次引人注目的邊坡塌滑案例，如1989及1995年米蘭山莊、1997年林肯大郡與德行東路災變），造成人民生命財產之嚴重損失，也使得政府機關、學術界與工程界開始重視山坡地開發與邊坡穩定及水土保持之相關問題，本文茲整理上述三個發生於台北盆地邊緣之邊坡塌滑案例所歸納之邊坡工程問題以供商後相關工程參考。

1. 山坡地開發前須進行完整之地質調查，正確詳細地記錄地層、地質構造、潛在地質災害

- 、地下水位／水壓等影響向邊坡穩定之地質與水文因素，提供開發工程設計之參考。
2. 於砂頁岩互層之順向坡地形進行山坡地開發應避免坡腳開挖造成可能滑動面（砂岩與頁岩層界面）出露使岩層失去支撐而滑動。
3. 邊坡穩定分析與設計須考慮地下水之影響，並規劃適當之地表／地下排水設施，以攔截誘導地表逕流與降低地下水位。
4. 經常用於穩定邊坡之預力地錨，其材料與施工品質須予以詳細檢驗，而其耐久性與防蝕效果由於在國內使用僅約二十年，仍須進一步確認方可保證發揮預期功效。
5. 山坡地開發時對於排水設施之設計須對同一集水區範圍進行檢討並考慮因上游地界外之可能開發利用所造成之影響。
6. 為維持邊坡之整體與長期穩定安全，應對排水與擋土設施進行經常性之檢查與維護，針對具有潛在危險之邊坡並應裝設監測系統持續觀測以及時發出警訊。

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（1992、1995）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。1996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。

此外為了解台北盆地對地震波效應之影響，中央研究院地球科學研究所自1992年起分5年逐年分區在台北盆地鑽探深井，並於地表至基盤不同深度安裝強震儀，觀測震波傳至地表之變化，並根據其測結果分析盆地效應對震波之影響，根據溫國樑等人（1996年）發表之研究結果顯示，在五股、板橋一帶震波傳遞時主要之放大作用均在松山層，且其根據台北盆構造進行三維地動之模擬結果與1994年6月5日南澳地震之實際觀測記錄比對，獲得相當一致之結果，惟所有測區均位於台北盆地之西半部，對整體之盆地效應較無法全盤了解，所幸後續之五年計畫已獲行政院核准，相信不久將來應有相當值得期待的結果發表。

近年來也有許多有關台北盆地粉土質砂之液化行為之研究。以台灣科技大學歷年來一系列研究而言，從剪力模數與阻尼比等基本動態性質之建立（游步上，1989），接著以剪力模數評估砂土液化潛能（陳名利，1990），並探討可能影響液化阻抗之因素，如細粒料含量、相對密度、平均有效圍壓、過壓密度，非均向壓密等，近年來（陳堯中等人，1993）並針對粉土質砂之薄管及重模試體進行三軸壓縮試驗，以重模試體之試驗資料建立不同細粒料含量之穩定狀態線，再以薄管試體之試驗結果加以驗證，並於試體壓密完成後以共振柱試驗儀求得試體之最大剪力模數。根據研究結果顯示，狀態參數確實能反應台北盆地粉土質砂土排水或不排水條件時之各項工程性質，如正規化不

排水最大剪力阻抗、破壞時之孔隙水壓參數、排水摩擦角及膨脹率等，並且剪力波速對平均有效應力的0.33次方正規化後與狀態參數間存在良好的線性關係，亦即正規化剪力波速可反應土壤所屬之狀態（收縮或膨脹側），換句話說如果可利用震測式電子錐求得現地土壤之剪力波速即可評估其液化行為。

此外，吳偉特與夏啟明（1993）亦針對台北盆地松山層第五次層之粉土質砂，探討不同塑性程度之細粒料含量對砂土液化強度之影響與前期微震及過壓密效應對液化潛能之影響，研究結果顯示不論在前期微震或過壓密效應作用下，重模試體之液化強度隨細粒料塑性指數愈高而有愈高之趨勢。

結語與建議

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. 地質調查結果之正確性、地下水位之高低、地錨材料與施工品質及其耐久性、地表排水流路之改變、排水與擋土措施之檢查與維護等因素均與邊坡穩定性息息相關，進行山坡地開發時不能不特別注意。
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，撰文期間蒙陳堯中博士、顏東利先生、胡逸舟先生及柯炯德先生提供寶貴意見方得順利完稿，特此一併誌謝。

參 考 文 獻

1. 王執明、鄭穎敏、王源（1978），「台北盆地之地質及沉積物研究」，台灣礦業，第三十卷，第四期。
2. 余水倍、陳宏宇、郭隆晨、侯進越、李錦發（1996年）「台北盆地活動斷層與地盤下陷之研究」，「台灣之第四紀」第六次研討檢暨「台北盆地地下地質與工程環境綜合調查研究」成果發表會論文集，第69~73頁。
3. 吳建民（1917），「台北盆地地盤下陷之回顧」，地工技術雜誌，第20期，第34~49頁。
4. 吳偉特（1988），「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。
5. 吳偉特、夏啟明（1993），「細料塑性程度對台北盆地粉泥質砂土液化特性之研究」，第五屆大地工程學術研究討論會論文集，第1~10頁。
6. 李咸亨（1996），「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。
7. 李錫發、蘇泰維（1994）「台北盆地構造成因之初步研究」，「台灣之第四紀」第五次研討會暨「台北盆地地下地質與工程環境綜合調查研究」成果發表會論文集，第136頁~142頁。
8. 洪如江（1966），「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。
9. 亞新工程顧問公司（1987年），「台北市地層大地工程性質分析報告」。
10. 秦中天、鄭在仁、劉泉枝（1989），「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。
11. 秦中天、劉泉枝、胡逸舟（1995），「台北黏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。
12. 陳名利（1990），「以剪力模數評估砂土液化之研究」碩士論文，國立臺灣工業技術學院工程技術研究所營建工程組。
13. 游步上（1989），「台北盆地松山層粉土質砂之剪力模數與阻尼比」，碩士論文，國立臺灣工業技術學院工程技術研究所營建工程組。
14. 陳肇夏、吳永助（1971）「台灣北部大屯地熱區之火山地質」，中國地質學會會刊，第十四號，第5~20頁。
15. 陳堯中、蔡弘源、秦中天（1993）「台北粉土質砂之狀態參數與工程性質」，第五屆大地工程學術研究討論會論文集，第45~52頁。
16. 黃鑑水、李錦發、劉桓吉（1991a）「台灣北部金山斷層之地質調查與探勘研究」，國科會防災科技研究報告79~44號，共18頁。
17. 黃鑑水、李錦發、劉桓吉（1991b）「台灣北部崁腳斷層之地質調查與探勘研究」，國科會防災科技研究報告80~17號，共28頁。
18. 溫國樑、彭瀚毅、劉良方、葉永田、劉忠智、溫錦富（1996）「盆地對地震波效應之研究(I)」，「台灣第四紀第六次研討會」暨「台北盆地地下地質與工程環境綜合調查研究」成果發表會論文集，第106~1098頁。

19. 傅怡仁、秦中天、王如龍、陳明山 (1990) , 「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。
20. 楊國榮、黃立煌、王勝男 (1995) , 「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。
21. 楊潔豪、陳洲生 (1989) 「應用暫態電磁法於金山斷層之探查」, 中國地質學會刊, 第三十二卷, 第四期, 第355頁~第368頁。
22. 鄧屬予 (1996) 「台北盆地的成因與構造演化」, 「台灣之第四紀」第六次研討會暨「台北盆地地下地質與工程環境綜合調查研究」成果發表會論文集, 第86頁~第89頁。
23. 葉義雄、陳光榮、顏宏元 (1989) 「金山斷層之調查—重力與微震觀測」, 國科會防災科技研究報告77~57號, 共46頁。
24. 葉義雄、陳光榮 (1990) 「崁腳斷層之調查研究—微震觀測」, 國科會防災科技研究報告78~56號, 共41頁。
25. 劉泉枝、秦中天、謝旭昇 (1989) , 「非均向壓密及主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。
26. 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.
27. CHENG, T.Y. (1987), "Geotechnical Characteristics of Sungshan Formation within Taipei City," M.E. Thesis of Asian Institute of Technology, Thailand, April.
28. CHIN, C.T., CHIEH, T.T. and DUAN, S. W. (1991), "Groundwater Effect on MRT Construction," Proceedings of First Young Asian Geo-technical Engineers Conference, AIT, Bangkok.
29. CHIN, C.T., CROOKS, J.H.A, and Moh, Z.C. (1994) , "Geotechnical Properties of the Cohesive Sungshan Deposits, Taipei," Geo-technical Engineers Conference, Journal of Southeast Asian Geotechnical Society, AIT, Bangkok, pp .77~102.
30. 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.
31. CHIN, C.T (1997)., "Groundwater Control during the Construction of Taipei MRT," 14th Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering , Hamburg, Germany.
32. 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.
33. 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.
34. 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.
35. 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.

36. 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.
37. MOH, Z.C., "A Small Hole could Become Really Big," Moment Lecture-14th Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Hamburg, Germany.
38. SEED, H.B. and IDRIS, I.M.(1970), "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses," EERC 70-10, University of California, Berkeley.
39. 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.
40. 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.