

圓錐貫入試驗於大台北盆地
土層分類之應用
SOIL CLASSIFICATION USING PIEZOCONE IN
THE TAIPEI BASIN

黃立煌，朱專誌，楊建西
L.W. Wong, C.C. Chu and J.S. Yang

原著載於第五屆大地工程學術研討會,1993年, 311~318頁

*Reprinted from Proceedings of
5th Conference on Current Researches in Geotechnical Engineering,
Taiwan, 1993, pp.311~318*

Soil Classification Using Piezocone in The Taipei Basin

Wong , L. W.*

Chu , C. C.*

Yang , J. S.**

* Moh and Associates, Inc.

** Department of Rapid Transit Systems, Taipei Municipal Government

Abstract

In electric cone penetration tests (CPT) the cone resistance, sleeve friction and the induced pore pressure can be measured at the same time as the piezocone is being penetrated. During the site investigation of two construction contracts along the Nankang Line, Taipei MRT Systems, 178 holes of CPT were conducted to identify the variation and depths of the subsoil layers of the Sungshan Formation. This paper attempts to correlate the soil type and the cone parameters by using the established classification charts, based on the Nankang Line CPT data. Preliminary experience in classification of the sublayers of the Sungshan Formation in the Taipei Basin using the CPT results is obtained. Relationship between the cone resistance and the blow counts obtained in the standard penetration tests (SPT) is also studied.

圓錐貫入試驗於大台北盆地 土層分類之應用

黃立煌 朱專誌

楊建西

亞新工程顧問公司

台北市捷運局

摘要

電子式圓錐貫入試驗(Cone Penetration Test)之錐頭，不僅能測量貫入時之錐頭阻抗、袖管摩擦力，更可同時量測貫入時所激發之超額孔隙水壓力。台北市捷運系統南港線兩處施工標進行工址調查時，曾於現場進行 178 組圓錐貫入試驗，以求取現場土層之變化及確認工區沿線松山層各次層深度。在許多文獻中均曾以錐頭阻抗、袖管摩擦力、摩擦比等參數對土壤進行分類；本文即利用圓錐貫入試驗之結果與相關文獻已建立之土壤分類圖表，分析各次層之土壤種類與錐頭阻抗、摩擦比之相關性。台北盆地松山層各次層利用圓錐貫入試驗值對土壤分類已有初步經驗；此外，錐頭阻抗與標準貫入試驗值之關係，亦已作一探討。

一、前言

圓錐貫入試驗(Cone Penetration Test，以下簡稱 CPT) 由於具有操作容易、且可迅速取得連續、正確之訊號等因素，故近年

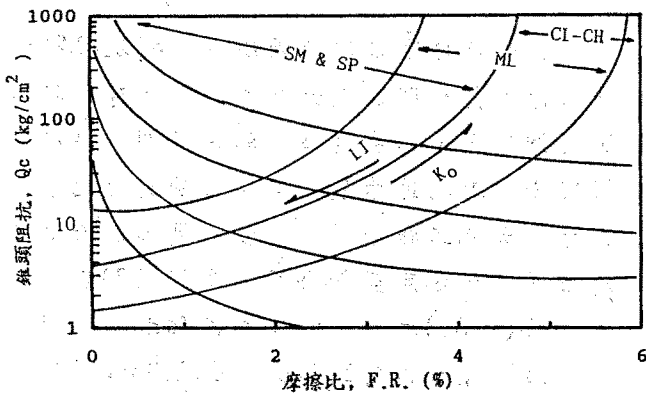
來逐漸廣泛地應用於現場試驗。而其錐頭在發展出可抽換不同之感應器後，更使得 CPT 之應用更為廣泛，過去數年來，電子式圓錐貫入儀除了能求得錐頭貫入阻抗(Tip Resistance, Q_c) 與袖管摩擦力(Sleeve Friction, f_s) 及換算得到之摩擦比(Friction Ratio, $F.R. = f_s/Q_c$)，以推定土層連續變化外(Douglas, Olsen, 1981)，若能利用另外裝設之感應器或取樣器，更可取得小型水、土樣、氣體樣品，甚或求得孔隙水壓力、溫度、傾斜度、電導度等資料。

有關圓錐貫入試驗所得之資料一般為錐頭阻抗、袖管摩擦力，而所謂 CPTU 為錐頭貫入時加測其所激發之超額孔隙水壓力。依據上述所得資料，曾有許多學者提出應用之公式或圖表，除了可直接對土壤分類及土層變化加以研判外，對非凝聚性土壤而言，更可求得其相對密度、剪力強度、剪力模數與楊氏模數；而對凝聚性土壤而言，則可求得其不排水剪力強度、靈敏度、過壓密比、壓密係數與透水係數；此外亦有文獻對於 SPT-CPT 之關連性提出說明(Schmertmann, 1976)。而其它在工程實務方面之應用，則尚可利用 CPT 錐頭阻抗，以估算建於砂質土壤淺基礎之沈陷量、基樁承载力之估算、土層液化

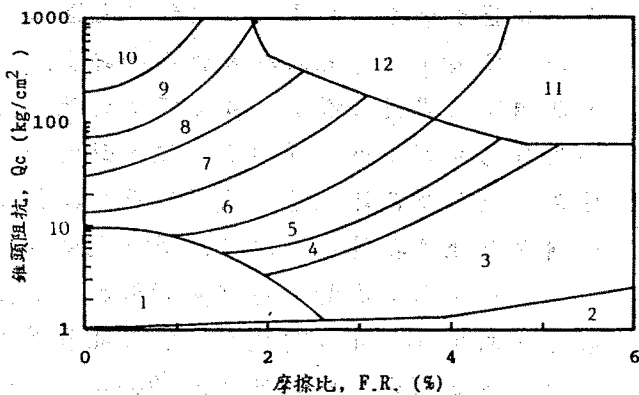
潛能等。

有關 CPT 對於現場工址調查工作之應用，一般係於現場進行 CPT 試驗，由 CPT 所求得之 Q_c 、 f_s 、 $F.R.$ 值的連續變化，即可推估現場土層之連續變化。而對於研判結果存疑者，可視其所需，對特定深度進行取樣及試驗加以確認。

CPT 試驗結果對土壤分類之應用最為廣泛者，當為 Douglas & Olsen (1981) 所提出之分類圖表，如圖一所示。圖中並加入土壤



圖一、CPT 試驗結果土壤分類圖 (Douglas, 1981)



分區	Q_c/N	土壤分類
1	2	重較細粒料土壤
2	1	有機質土
3	1	黏土
4	1.5	粉質黏土或黏土
5	2	黏質粉土或粉質黏土
6	2.5	砂質粉土或粉質砂土
7	3	粉質砂土或砂質粉土
8	4	砂土或粉質砂土
9	5	砂土
10	6	硬質砂土或砂土
11	1	堅硬細粒料土壤
12	2	砂土或黏質砂土

圖二、CPT 試驗結果土壤分類圖 (Robertson, 1985)

統一分類系統之土壤種類標記，作為更細部之劃分。Robertson (1985) 根據其 UBC 之資料及使用經驗，提出一較為簡便之分類方式，如圖二所示。

如圖一所示，當土壤 k_0 值增加時，其 Q_c 值與摩擦比亦將同時增加，而對含細顆粒較多之土壤而言，當其液性指數增大時， Q_c 與摩擦比反而減少，但可壓縮性增加時， Q_c 雖然減少而摩擦比則增大。

近年來，亦有頗多文獻針對電子錐頭設計之差異及貫入時激發之超額孔隙水壓，對於量測之錐頭阻抗與摩擦力的影響程度進行探討。前者因錐頭之設計方式不同，而使得量測之錐頭阻抗值須對錐頭不同承載面積 (Unequal End Area) 進行不同程度之修正；後者則因錐頭所裝設水壓計位置之不同，對於量測之超額孔隙水壓亦有所影響。有關錐頭之設計方式及貫入時所量測之超額孔隙水壓，對所量測到之錐頭阻抗及摩擦力的影響，可參考 Schaap & Zuiberg (1982) 之相關文獻，經過適當之校正步驟，即可將不同錐頭尖端承載面積之效應加以修正。一般而言，用以建立圖一之資料並未加入超額孔隙水壓效應之修正，很顯然地，除了歸類於圖一下方之土壤種類外，對大部份之土壤種類而言，其修正前後之摩擦比差異較小。而歸類於圖一下方之土壤，通常在圓錐貫入時，會激發大量之超額孔隙水壓，並得到較小之錐頭阻抗及摩擦力，因而導致修正之效應將較為顯著 (Douglas & Olsen, 1981)，上述土壤一般亦偏向具有較大之液性指數。早期標準之電子錐頭並未包含超額孔隙水壓之量測，因此所得到之錐頭阻抗等資料，並未對激發之超額孔隙水壓加以修正。對於此類資料，經由圖一之使用，即可對現場土壤分類進行一合理之推估。但若貫入試驗包含超額孔隙水壓之量測，則圖一之使用即應加以適當的修正，尤其對軟弱飽合土壤，更應利用該

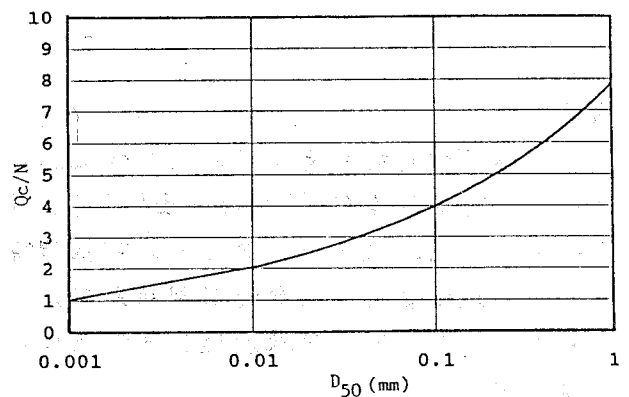
地區現有之資料及經驗加以比對。

此外，袖管摩擦力之量測，亦將因電子錐頭內部荷重感應器不同設計方式而有差異。對於上述所遭遇之問題，曾有多位學者(Jones & Rust, 1982; Baligh et al, 1980)等利用所量測之錐頭阻抗及超額孔隙水壓，提出類似之土壤分類圖表。Senneset & Janbu(1984)最早所提出之分類圖，係使用 Q_c 值，但一般係使用 Q_t 值，此項修正結果對具有 Q_c 較低、 u 值較大之軟弱黏土影響較為顯著。

CPT試驗資料在土壤分類方面之應用，可能面臨之另一個問題，即貫入試驗之 Q_t 、 u 、 f_s 可能隨著覆土壓力之增大而有增加之趨勢，故一般而言，目前所發展之分類圖表，對同一土層而言，其厚度不宜超過30m。有關現場有效覆土壓力對量測值之修正，請參照Robertson & Campanella(1986)之相關文獻。

由於在許多現場試驗資料中，SPT之 N 值應用最為廣泛，且許多設計方法上亦常加以使用，故在CPT試驗逐漸推廣的過程中，有許多學者亦相繼對CPT結果與SPT N 值之相關性，提出建議之關係式及應用圖表，其中最典型者為Robertson(1982)所提出有關 Q_c/N 與 D_{50} 之關係式如圖三所示。由圖三可發現，隨著顆粒粒徑之增加， Q_c/N 值亦有增大之趨勢。但上述關係式及圖表之應用，則尚必須注意，SPT試驗中貫入能量之修正，一般標準貫入試驗的貫入能量效率比為55%(Schmertmann, 1976)。

本文將就CPT試驗結果對土壤分類之應用及CPT試驗與SPT試驗結果之相關性加以探討，並參考現有文獻之結果加以修正，為CPT試驗應用於大台北盆地之適用性提出一基本之分析結果。



圖三、CPT試驗 Q_c 值與 SPT N 值關係圖 (Robertson, 1982)

二、調查結果

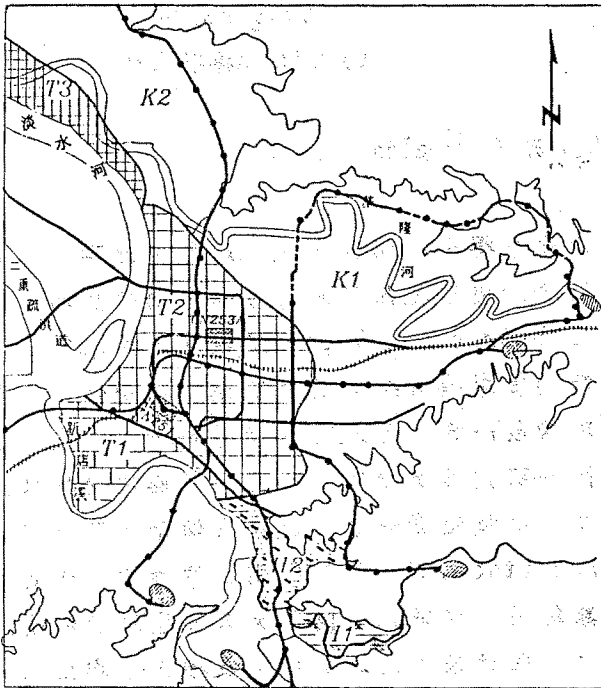
台北市捷運系統南港線 CN251及CN253A 施工標，其相關位置如圖四所示，曾於現場工址調查之工作展開時，利用CPT試驗以了解現場土層之連續變化，而有關大台北盆地土層之大地工程分區，及松山層各次層之分層位置，請參照亞新公司報告(1988)及Woo & Moh(1990)之詳細說明。而關於CPT試驗，CN251標計進行144孔，CN253A標則進行34孔，總計達178孔。本文利用上述試驗所得資料，分層求得大台北盆地松山層各次層在分類圖表中圖一、圖二所相對應之區域，而由於松山各次層之土層資料已有許多文獻對其相關性質提出說明，故可經由圖表分類結果與已知之土層性質相互比較，針對分類圖表在大台北盆地地層之適用性及分類圖表如何參考地域之特性加以修正提出說明。

此外，本文亦對現場試驗資料加以過濾整理，求出CPT孔位與現場已有鑽孔資料之孔位相近者(最遠距離不超過10公尺)。分別整理出各次層相對應之 Q_c 、 N 值、土層平均顆粒粒徑 D_{50} ，並將整理結果繪於圖三中，藉以建立大台北盆地松山層各次層之CPT結果與SPT- N 值之基本關係。

完成178孔CPT試驗之機具，相繼有四

個單位之圓錐貫入儀，惟均為 HOGENTOGLER 廠之機具。所使用之電子錐，其錐頭水壓計之裝設位置係位於錐頭圓錐面後方。本文分析結果，係使用 Q_c 值而非使用修正之 Q_t 值。

有關上述二施工標之土層位置依大地工程之分區方式係屬於 T2 區，各松山層的土層資料如表一所示，而 CPT 試驗結果與現有鑽孔資料相互比較之典型結果如圖五所示。表一及圖五顯示松山層第 I、III、V 次層之分類為粉質砂土，而第 II、IV、VI 次層之分類為粉質或砂質黏土。圖五之孔隙水壓圖可見於黏土層能激發超額孔隙水壓最高約 10kg/cm^2 ，而砂土層則可激發負的孔隙水壓，證實 CPT 於研判各次層中夾雜之薄層砂土或黏土尤為顯著。

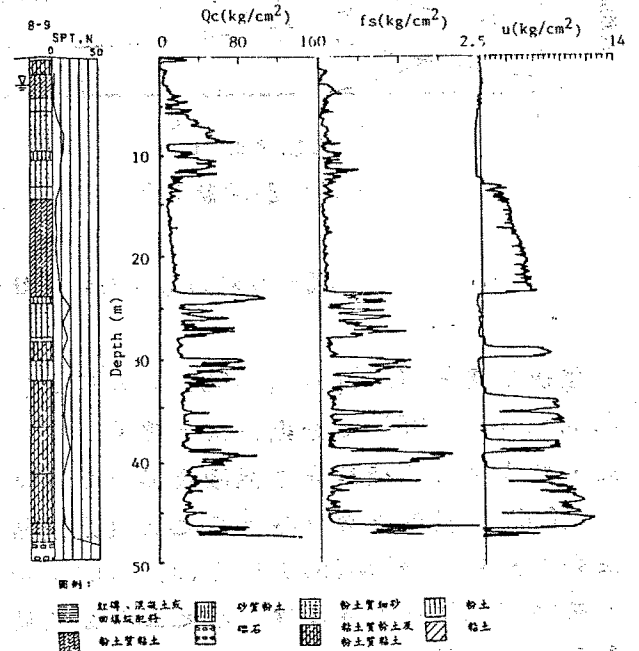


圖四、台北市捷運系統南港線 CN251 標、CN253A 標位置示意圖

表一 南港線 CN251 標土層資料表

層次	厚度 (m)	土壤描述	N 值	顆粒分佈 (%)		
				砂土	粉土	黏土
VI	5.4-6.5	粉質黏土或砂質黏土	1-9	0-25	33-94	5-66
V	7.6-12.2	粉質砂土	2-20	38-93	5-56	2-13
IV	4.8-7.6	粉質黏土或砂質黏土	2-13	0-39	44-80	11-55
III	2.0-17.0	粉質砂土	9-31	30-93	6-64	1-15
II	2.0-8.0	粉質黏土或砂質黏土	12-30	1-71	22-32	7-51
I	1.0-1.6	粉質砂土	20-50	68-75	20-24	5-8
G	--	粉質礫石或礫石層	>50	--	--	--

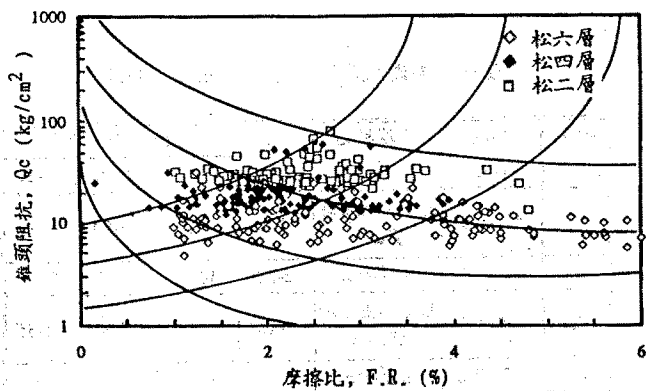
註：CN253A 標之土層分佈及性質與 CN251 標相近，故不再加以重複



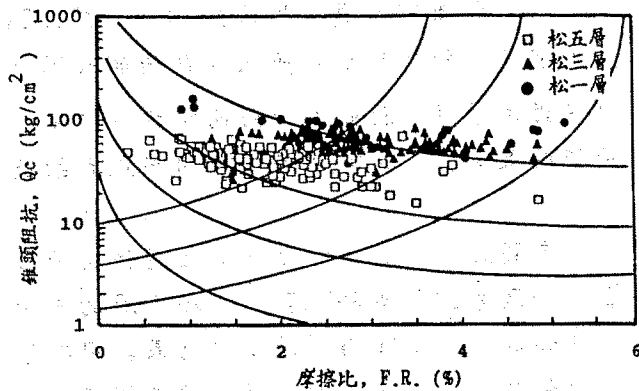
圖五、土層柱狀剖面與 CPT 試驗結果對照圖

三、分析結果

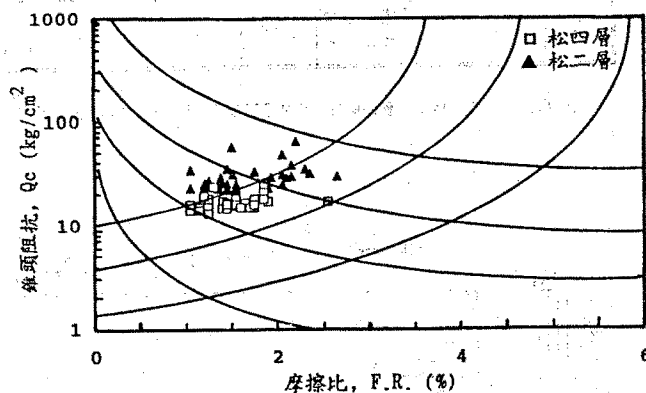
由於部份 CPT 試驗進行前錐頭透水石飽和度不足，導致部份量測結果之超額孔隙水壓值並不理想。故本文所採用之分類圖表



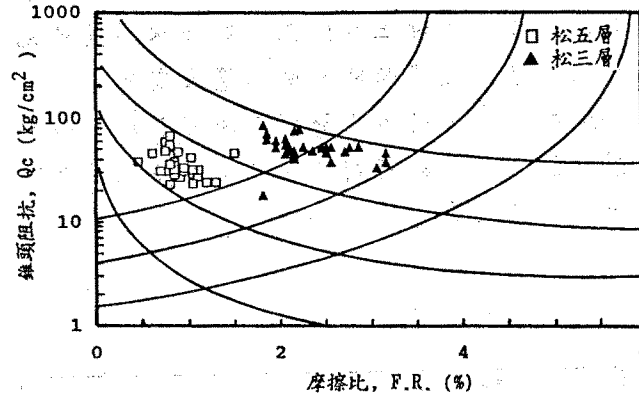
(a) CN251標黏土層



(b) CN251標砂土層



(c) CN253A標黏土層

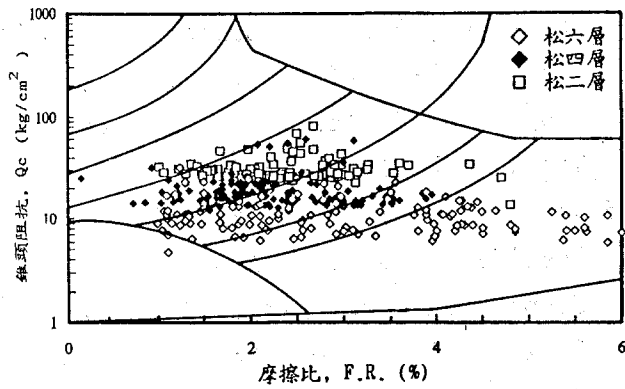


(d) CN253A標砂土層

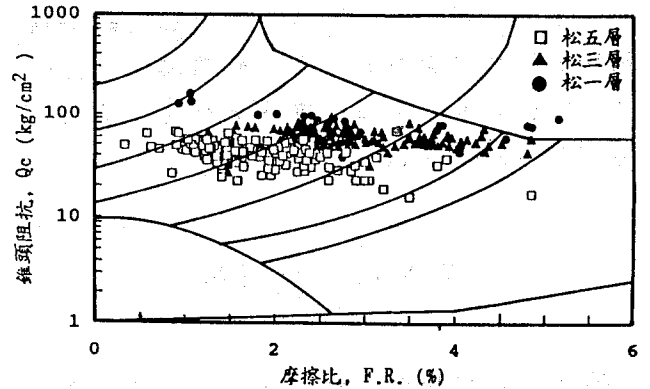
圖六、松山層 CPT試驗結果土壤分類圖(Douglas, 1981)

，僅使用圖一 (Douglas, 1981) 及圖二 (Robertson, 1985) 之分類方式，儘管如此，所求得之分類結果亦能顯現其一致性。CN251 標黏土層及砂土層之土壤分類結果分別如圖六(a)、(b)及圖七(a)、(b)所示，而CN253A標黏土層及砂土層之土壤分類結果則分別如圖六(c)、(d)及圖七(c)、(d)所示。由圖中結果可看出，砂土層均比黏土層具有較大之錐頭阻抗值，且由圖中之分佈情形可發現，各次層之 Q_c 值具有一較明顯之差異，此點在兩個施工標均得到類似之分佈範圍，茲將各次層相對應之 Q_c 值範圍整理如表二所示。但另一方面，各層之FR值則無法

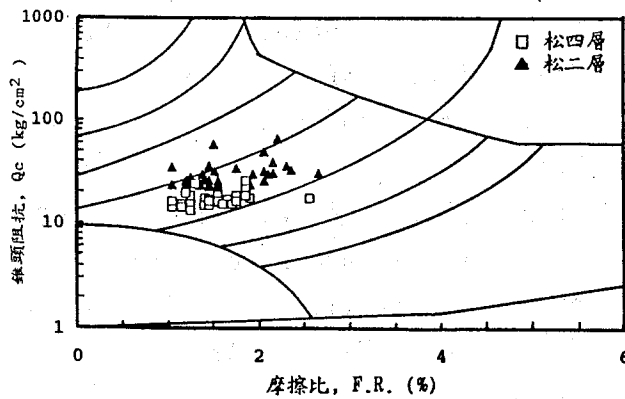
從圖中得出一個較一致之趨勢，此點可能為試驗所使用之錐頭的荷重感應器係為相減型 (Subtractive Type) 所致，故所求得之各點袖管摩擦力將呈現較不穩定之變化，故就現階段而言，吾人可初步得到一 Q_c 值分佈範圍以研判其所相對之土層，而無法使用FR值。而由試驗資料之統計結果顯示，圖七 (Robertson, 1985) 雖得到土壤性質相近之分類結果，但若依現階段大台北盆地資料使用之經驗結果，則粉質砂土及砂土區與黏土、黏質粉土等區，應呈水平方向之帶狀區域，此為與現有外國文獻所得結果較大之不同。此外 Q_c/N 值與 D_{50} 之相關性如圖八所



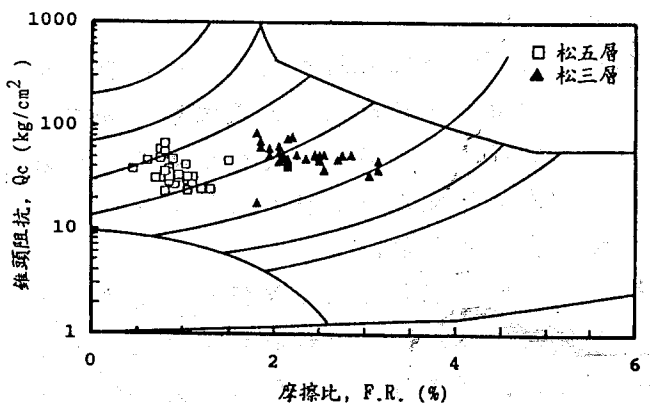
(a) CN251標黏土層



(b) CN251標砂土層



(c) CN253A標黏土層

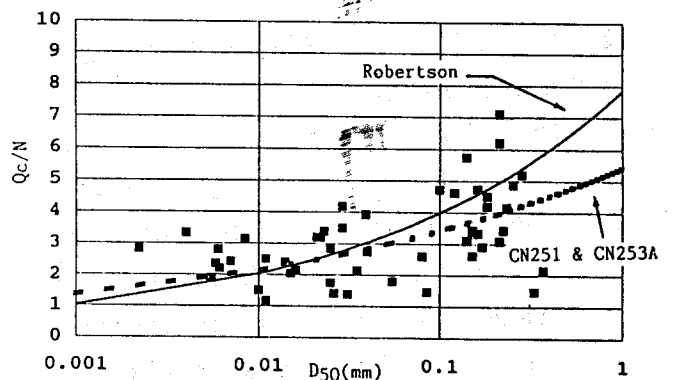


(d) CN253A標砂土層

圖七、松山層 CPT試驗結果土壤分類圖(Robertson, 1985)

表二 大台北盆地T2區松山層各次層之Qc值

層次	Qc值(kg/cm ²)	
	CN251標	CN253A標
VI	9-15	--
V	30-60	25-70
IV	15-30	15-25
III	40-80	50-90
II	25-60	22-60
I	80-150	80-150



圖八、CN251、CN253A標 CPT試驗Qc值與 SPT N值關係圖(Robertson, 1982)

示，本次貫入試驗資料所得之 Q_c/N 值雖呈上下跳動，但其隨著 D_{50} 變化之趨勢，則與Robertson(1982)所提者相似，但值得注意者，當 D_{50} 增大時， Q_c/N 比值增加之趨勢則較為平緩。本次所整理之資料雖與現有文獻結果有些許差異，但仍可為大台北盆地CPT與SPT相關性提出一初步之說明。

四、結論與建議

1. 圓錐貫入試驗之錐頭，其透水元件應求改進其勁度及飽合度，以期取得正確之超額孔隙水壓資料，增加土壤分類所需之參數。
2. 在使用Robertson所建議之分類圖表於大台北盆地時，可能須對土壤種類之分佈形狀加以修正，方能得到更合適之分類結果，本文雖已提出一初步之結果，但仍有待進一步資料之佐證。
3. 對於 Q_c 與 N 值利用顆粒粒徑 D_{50} 所建立之關係圖，雖然圖中資料點之跳動大，但已可看出區域性對求取錐頭阻抗與 N 值相關性之影響，所以使用圖八之結果時應特別加以注意。

五、參考文獻

1. 亞新工程顧問公司，1988，"台北市地層大地工程性質分析報告"。
2. Douglas, B.J. & Olsen, R.S., 1981, "Soil Classification Using Electric Cone Penetrometer", Symposium on Cone Penetration Testing and Experience, Geotechnical Engineering Division, ASCE, St. Louis, pp.209-227.
3. Jones, G.A. and Rust, E.A., 1982,

- "Piezometer Penetration Testing. CUPT", Proceedings of the ESOPT II, Amsterdam, Vol.2, pp.607-613.
4. Robertson, P.K. & Campanella, M., 1982, "SPT-CPT Correlation", Journal of Geotechnical Engineering, Vol.109, No.11, pp.1449-1459.
5. Robertson, P.K., 1985, "In-Situ Testing and Its Application to Foundation Engineering", Canadian Geot. Colloquium, Canadian Geot. Journal, Vol.23, No.23, 1986.
6. Robertson, P.K. & Campanella, R.G. Gillespie, D. and Grieg, J., 1986, "Use of Piezometer Cone Data", Proceedings of InSitu 86, ASCE Specialty Conference, Blacksburg, Virginia.
7. Schaap, L.H.J. & Zuidberg, H.M. 1982, "Mechanical and Electrical Aspects of the Electric Cone Penetration Testing, ESOPT II, Amsterdam, Vol.2, pp.841-851.
8. Schmertmann, J.H., 1976, "Prediction of the Q_c/N Ratio", Engineering and Industrial Experiment Station, Department of Civil Engineering, Univ. of Florida, Gainesville; Final Report D-636.
9. Senneset, K. and Janbu, N., 1984, "Shear Strength Parameters Obtained from Static Cone Penetration Tests", ASTM STP 883, Symposium, San Diego.
10. Woo, S.M. and Moh, Z.C., 1990, "Geot. Characteristics of Soils in the Taipei Basin", Proceedings of 10th Southeast Asian Geotech. Conf., Taipei, Vol.2.