

以波士頓為例論都會區
地盤特性研究之方法
**METHOD FOR STUDYING THE GROUND
CHARACTERISTICS OF
METROPOLITAN AREAS - TAKING BOSTON
AS AN EXAMPLE**

秦中天，鄭富書
C. T. Chin and F. S. Jeng

原著載於地工技術雜誌第22期，
1988年6月，65-74頁

*Reprinted from Sino-Geotechnics No. 22,
June 1988,
pp. 65-74*

以波士頓為例論都會區地盤特性研究之方法

秦中天* 鄭富書**

一、引言

台灣地區各大都市由於經濟繁榮、人口增加，許多大規模的坡地開發、衛生下水道、快速道路及大眾捷運系統等工程都在規劃興建之中。因此，倘能對各大都會區之地盤特性分別進行綜合性的研究，不僅能幫助一般工程之進行，更將有助於大規模工程之規劃以及都市發展之工作，以避免因缺乏對地層之了解所造成在設計、施工及使用階段的困擾。

本文參考國外各大都市之經驗，並以美國波士頓地區為例，從資料收集、資料整理、地質研究、土壤與岩石工程性質探討、大規模現場試驗以及工程個案分析等方面來討論如何研究都會區地盤特性。在此特別強調本文的目的不在針對任何一個特定的都會區域提出建議，而僅就研究方向加以討論。

二、緣起

Legget 在“城市與地質”(Cities and Geology, 1973)一書中，有一章是“每個城市該做些什麼？”。在這一章中他談到了每一個城市的政府機關、工程單位、研究團體應該如何群策群力，分工合作，以收集整理並且深入了解這個城市地質的狀況、土壤與岩石的工程性質以及過去所累積的工程經驗。同時，他更以美國的波士頓、英國的倫敦以及瑞士的蘇黎士等城市為例，分別加以說明。本文則以美國波士頓為例，探討研究都會區的地盤特性時，有那些是可以做

的工作。而以波士頓為例，則有下列兩個重要的因素：

(a) Legget 認為波士頓地區可能是美國所有城市中，有最完整的鑽探及調查資料。因此，研究波士頓地區，可以從區域地質探討到土壤的工程性質，而能夠得到一個完整的概念。

(b) 追溯過去半個世紀對波士頓藍黏土(Boston Blue Clay, 以下簡稱BBC)的研究，將有助於研究一個都會區的土壤行為；一方面可以把對BBC的研究方法做為借鏡，另一方面BBC豐富的資料，更可以當做一個參考比較的“指標土壤”(Index Soil)。

三、波士頓地區早期大地工程的研究

波士頓地區對地層的研究，有著久遠的歷史，而特別值得注意的是工程師學會扮演了一個積極並且重要的角色。美國的第一個工程學會“波士頓土木工程師學會”(Boston Society of Civil Engineers, 以下簡稱BSCE)在它第一期的期刊中，就有一篇有關波士頓當地大地工程的文章(Worcester, 1914)。尤其是這篇文章中刊載了一些波士頓的鑽探資料，從此也就形成了一個在論文中直接引用並且刊載鑽探資料的傳統(Legget, 1973)。BSCE 後來在1920年成立了一個委員會(Committee on Subsoils of Boston)專門研究波士頓的地層。在1931年這個委員會出版的第一本報告中就收集了許多鑽探資料，提供給需要的人做

* 亞新工程顧問公司正工程師

** 麻省理工學院研究助理

參考。這項收集編印的工作在1931年以後仍持續進行。到了1967年的調查，由於是在美國地質調查所（U. S. Geological Survey，以下簡稱 USGS）的協助下進行，所以這些資料也就被用來編印這個地區USGS 第一套的地質圖。這套圖的比例尺是1:6000，涵蓋的範圍有3885公頃，所引用的鑽探資料超過10,000個鑽孔。換句話說，如以大台北盆地243平方公里來看，要編一套與他們精度相當，比例尺相同的地質圖，需要收集62,500個鑽孔的資料。

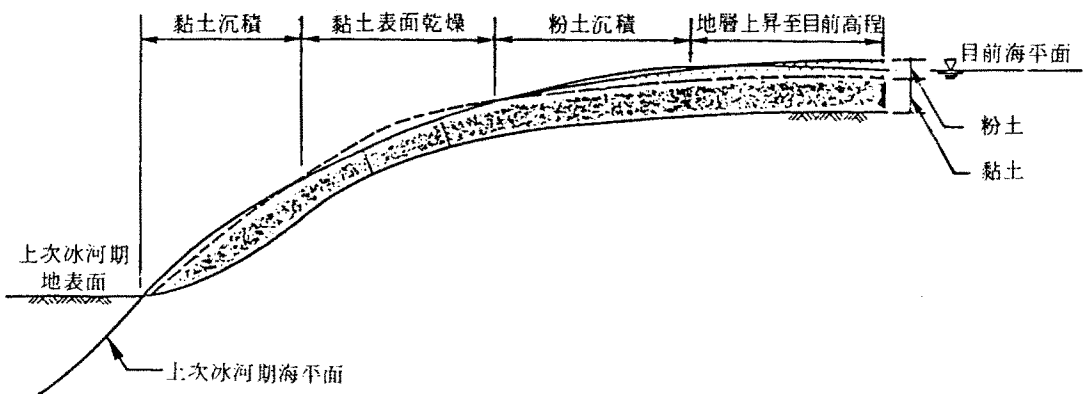
此外對波士頓地盤特性的研究，Terzaghi 有很大的貢獻。他從歐洲到美國最初即是在波士頓對岸的MIT教書（1925~1929），後來又在1939年回到附近的哈佛大學任教。由於 Terzaghi 的影響，形成了波士頓地區工程界對土壤和基礎問題非常重視的一個傳統。而許多對B B C的研究在土壤力學發展的過程中更是有著重要的貢獻。在研讀 BSCE 所出版1925到1962年間有關土壤力學的論文集（Contributions to Soil Mechanics）、回顧 Terzaghi、Taylor 以及 Casagrande 等前輩大師們的研究，更是很深切的體會到一種鍥而不捨、精益求精的研究精神。

四、波士頓區域地質

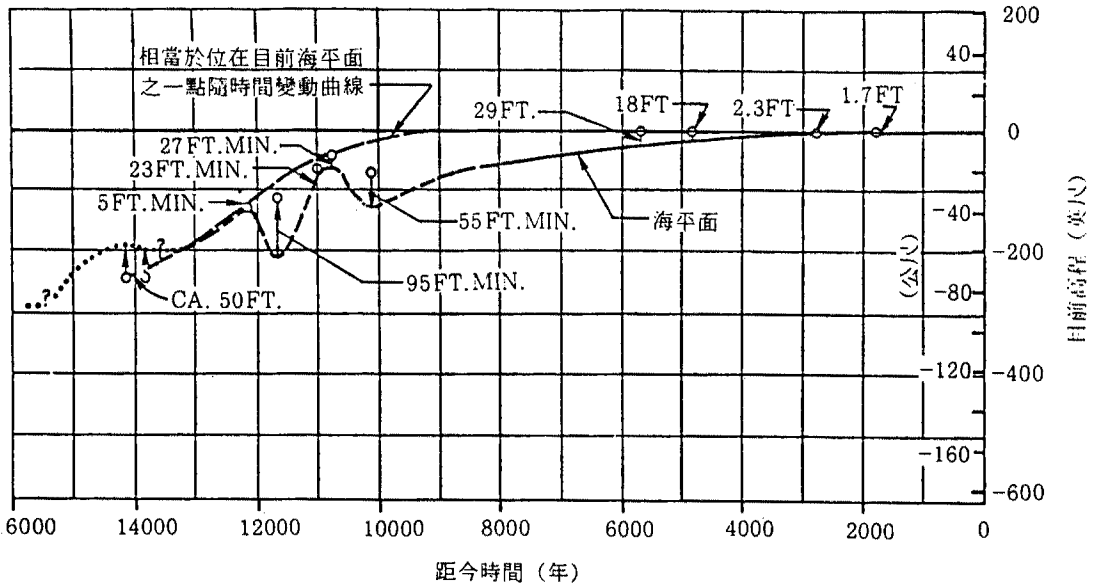
波士頓地區早年對地質的研究和興建隧道有密切的關係。從上一個世紀建造給水、

污水隧道到最近地下鐵的施工，都對地質方面的研究有很大的幫助。波士頓每一個隧道都有非常詳盡的地質資料和施工記錄。這項工作不僅由政府的工務單位和 USGS 來做，學術團體也非常熱心的參與。“Structural Geology”的作者，在哈佛任教的 Billings 就花了很大的功夫對隧道所經過地區的地質進行了非常詳細的記錄和研究。而且他不僅是自己去現場做，他並且帶領也鼓勵他的學生們這樣做，直到今天，這許多完整的記錄都以20呎對1英吋的比例繪製存放在哈佛，提供給日後的工程做參考。波士頓的地質師們不僅整理保存了這些記錄，他們更充分利用了這些工程的機會，逐漸的解開了許多有關波士頓地區地質方面的疑惑。

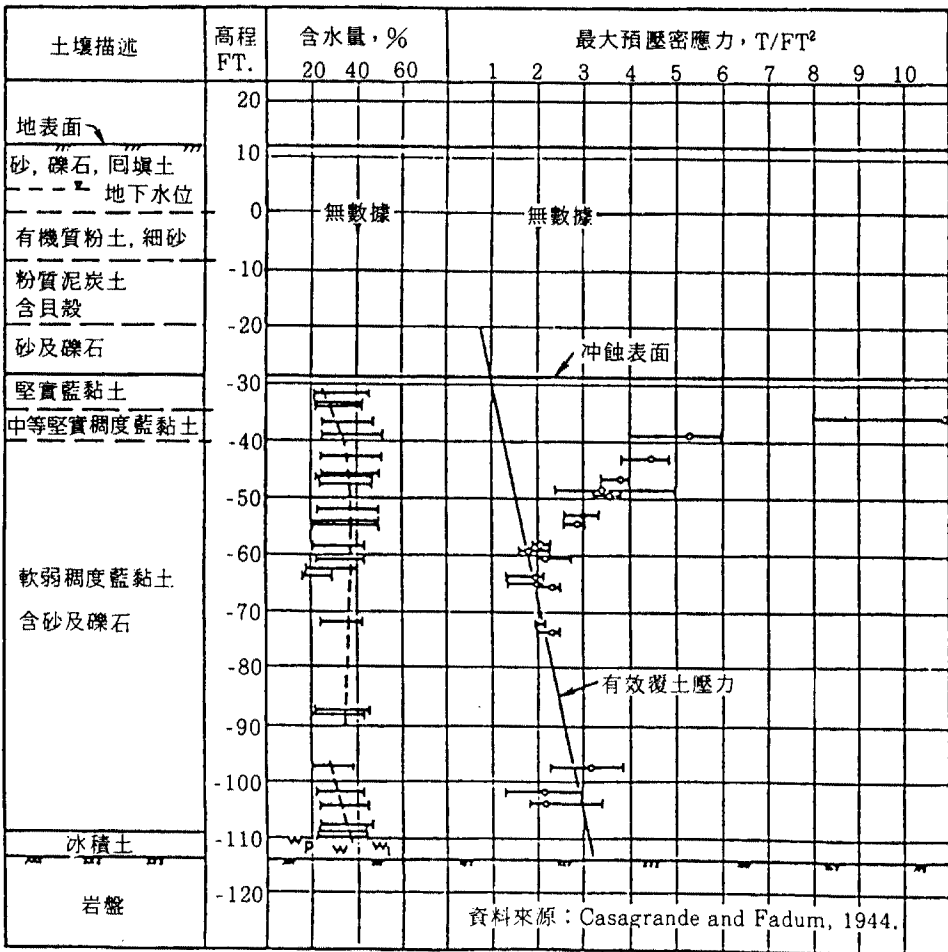
進行與岩石有關的工程需要對地質有很深入的了解，對於與土壤有關的工程，地質方面的了解也是非常重要（Terzaghi, 1955）。再來看看波士頓的例子。波士頓地區是一個盆地，這個盆地土壤沉積的歷史是受冰河消退所造成的兩個因素所影響（圖一）：一個是冰河融化後全球海平面的上漲；另一個則是冰河融化後地表解壓所造成區域性的地盤上昇（Skempton, 1948）。從1930年代起（Crosby, 1934），對波士頓鄰近地區地質的問題不僅有定性的分析，更有定量的數據（圖二）來支持這些理論（Kenney, 1964）。最重要的是，這些結果都能與鑽探取樣和土壤力學試驗的結果相吻合。圖三所示的



圖一 冰河期後陸地與海平面之相對位置與土壤沉積之關係（摘自 Skempton, 1948）



圖二 冰河期後波士頓地區陸地與海平面之相對位置 (摘自 Kenney, 1964)



圖三 波士頓 Mystic Power Station 之土層剖面圖 (摘自 Kenney, 1964)

土層剖面顯示出土壤的種類和土層最大預壓密應力的分佈，其中最大預壓密應力經常是一個黏土工程中最重要之土壤參數之一（Jamiolkowski et al., 1985），但是造成土層過壓密的因素，卻不見得都能從試驗結果反應出來，因此必須借助地質方面的了解。而 Kenney（1964）的研究，就提供了這樣一個以地質的理論（圖一）及資料（圖二）來印證及解釋土壤試驗結果的一個例子。

五、波士頓藍黏土的工程性質

波士頓地區與工程關係最密切的土層就是所謂的波士頓藍黏土。而黏性土壤的行為十分複雜，其靜態工程性質的研究課題即包括了土壤強度、應力歷史、壓縮性、壓密性、滲透性等項目。此外，尚有進一步探討時間效應（如潛變、次壓縮、強度復原（Thixotropy）等）以及異向性效應等研究。數十年來對BBC工程性質的研究已經累積了相當豐碩的成果，但是本文不再一一介紹這些試驗的項目與結果，而把重點放在介紹如何以一貫的理念與方法，進行一個大區域土壤行為的研究。

對一個大範圍的土壤取樣進行試驗，所獲得的各種試驗數據往往差異很大，因此很難給人對這一區域土壤的物理性質及工程參數得到一個明晰的印象和一些代表性的數字。而這些試驗數據的差異大致可以歸納於下列三個來源：

(1)空間差異：由於地層形成的過程與土壤的來源不同，使得初生土壤的物理性質及工程性質就會因區域的不同及深度的變化而有所不同。

(2)應力歷史：土層形成之後，可能會經過自然力量（如河流冲刷、地下水位改變）、人為力量（如開挖、結構物荷重），以及土壤本身結構的改變而形成過壓密黏土，而土壤的工程性質也就會隨過壓密比的變化而改變。換句話說，同一種土壤即使是在相同的有效壓密應力狀態下，其工程參數也會隨最大預壓密應力的不同而有不同的數值。

(3)試驗誤差：試驗的設備、步驟及技巧也都會造成試驗數據的差異。

基於上述對試驗數據差異來源的探討可以知道，如果要深入研究某一個地區的土壤行為，最好是能在相同的過壓密比這個基礎上進行各項試驗；也就是說，需要大量相同、均質而且已知最大預壓密應力的土樣來支援一系列有系統的試驗。進而也可以在相同的過壓密比這個基礎上，比較土壤性質空間的差異性，或是驗證試驗本身的誤差及其可靠的程度。

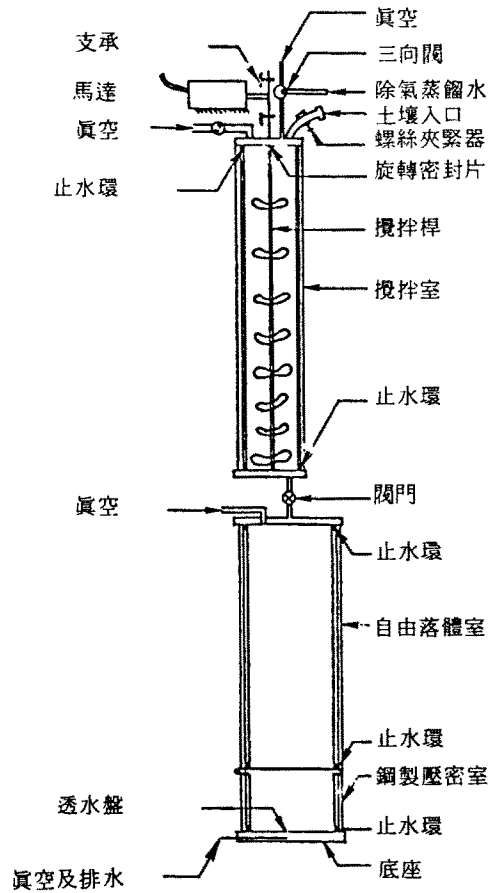
過去許多研究是利用現場薄管取樣所得到的試體進行試驗。但是，因為土壤擾動的影響，使得許多土壤除非經過特殊的試驗步驟，如“SHANSEP Technique”（Ladd and Foott, 1974）或“Recompression Technique”（Bjerrum, 1973），否則土樣的應力狀態會有很大的改變（Baligh et al., 1987），而使得試驗數據無法建立在同一個可靠的基礎上相互比較。

為了獲得均質的土壤試體，有效的減低土壤擾動的影響，以及正確地知道土壤最大預壓密應力，許多BBC的研究從1960年代起即以再沉澱法（Resedimentation Method）在試驗室中製造試驗所需要的土樣。這個方法到了1980年代初期，為了配合直接剪力盒（Direct Shear Cell）研究的需要，並針對過去的一些缺點，經過Germaine的改良而發展出一套新的方法。改良後的再沉澱法主要是將黏土及水先分別除去空氣。水中的空氣可由一般的真空抽氣機有效的抽除；至於黏土粉末中的空氣排除則較困難，首先需將黏土置於約攝氏60°的烘箱中，加熱除去黏土顆粒表面部份之水膜及內合之空氣，隨後再用真空抽氣機抽去黏土粉末中的空氣。然後再將黏土及水噴入如圖四之儀器中加以攪拌混合，同時仍以真空抽氣機抽氣以確保泥漿之飽和，而製成初生之黏土。最後施加預定之壓密應力，以製成正常壓密黏土，再視需要解壓至預定的過壓密比，以製成所需要的過壓密黏土。以這個過程所

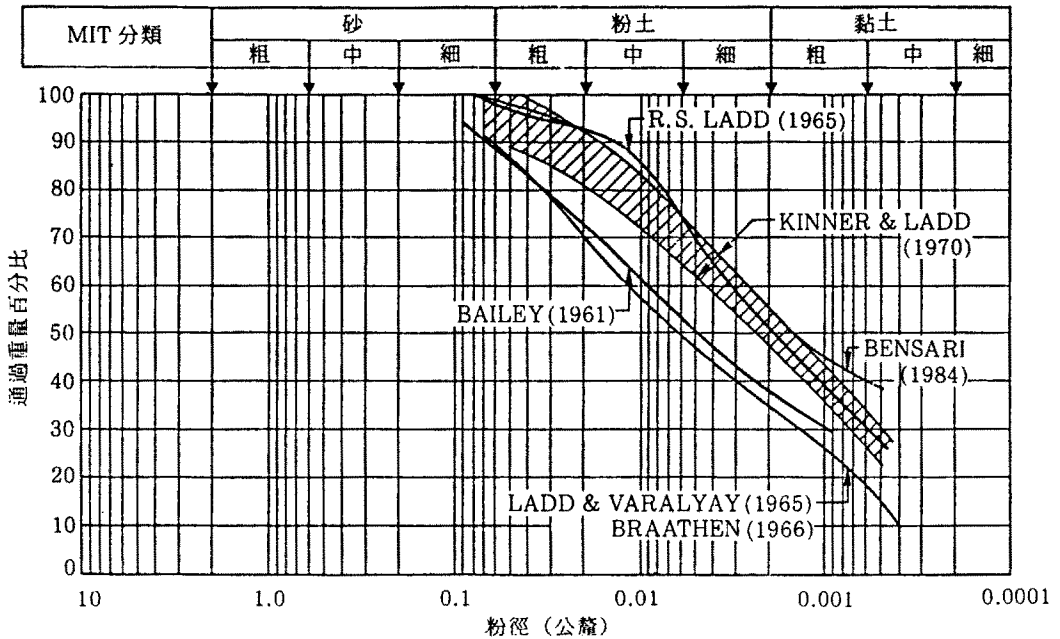
製成的土樣，經過各種嚴格的試驗及檢定測知其均勻程度及飽和度都能達到試驗之要求，同時，試體受擾動的程度也較傳統的現場薄管取樣輕微許多 (Germaine,1982)。

從1960年代起，許多對B B C的研究都是使用再沉澱法所製成的土樣，從歷年再製B B C土樣的物理性質 (表一) 和粒徑分析的結果 (圖五) 得知，這一系列的再沉澱土壤其基本性質都非常接近，也就是由於能夠有這許多性質相同而且均勻的土樣，使得數十年的研究經驗與成果可以累積起來。表二所列的就是從1961年開始對B B C各項強度性質的研究 (Fayad,1987)。有了這些成果，近年來波士頓地區的工程僅需進行少數的試驗，就能對於施工範圍內的土層狀況有相當的了解，選定適當的參數進行分析設計的工作。

近年來在波士頓又進行許多現場試驗的研究，其中包括了現場十字片剪 (Azzouz and Baligh, 1978)，側向壓力儀 (Ladd et al., 1979) 以及各項圓錐貫入試驗 (Baligh, 1975)，尤其值得注意的是兼測水壓式圓錐貫入儀 (Piezocone) 的研究 (如 Baligh



圖四 再沉澱法所需之儀器設備 (摘自 Germaine, 1982)



圖五 實驗室再製波士頓藍黏土之粒徑分佈曲線 (摘自 Fayad, 1987)

et al, 1981等) 及兼測側向壓力及水壓盒 (Piezo-Lateral Stress Cell) 的研究 (Morrison, 1984)。這些試驗的結果不僅提供了有關B B C更完備的資料, 同時被用來發展及改進現場試驗的儀器, 也被直接用來探討與基礎工程相關的問題 (Morrison, 1984)。

由於對B B C透徹深入的了解, 所以B B C的試驗結果經常被用來做為建立土壤模

式 (Constitutive Model) 的基本資料 (如 Whittle, 1987等), 而這些數學模式可靠的程度, 也就是經由與試驗結果的比較而加以評估。

六、 I-95試驗路堤 (I-95 Test Embankment)

進行地盤特性研究最重要的目的是在解

表一 實驗室再製波士頓藍黏土之物理性質 (摘自 Fayad, 1987)

來源 (再製黏土編號)	最大預壓密應力 (ksc)	比重	自然含水量 %	液限 %	塑限 %	塑性指數	小於 2 μ 黏土顆粒百分比 %	孔隙水含鹽比 g/l	參考文獻	
MIT 1139	1.5	2.77		30.0	17.5	12.5	40	2-3	Bailey (1961)	
MIT 1139	1.5	2.77		34.7	17.7	17.0	40	35		
				36.2		19.5			Jackson (1963)	
S4	1.5	2.78	30.0	32.6	19.5	13.1	25	16	Ladd and Varallyay (1965)	
S5	1.5		31.2	33.3	20.4	12.9				
S6	1.5		30.3	32.8	20.3	12.5				
	1.5	2.77	32.0	45.0	22.0	23.0		16	Ladd, R. S. (1965)	
S1	1.5	2.77	42.0	45.6	23.4	22.2		24	Baatnan (1966) and Preston (1965)	
S2	1.5	2.77	41.5	45.4	23.1	22.3		22		
			38.5	42.7	23.9	18.8		16		
	1.5		34.4	43.5		19.6			Dickey et al. (1968)	
100	1.5	平均 2.788		43.5	19.6	23.9	47	8	Kinner and Ladd (1970)	
150			34.1	43.5	19.6	23.9	39			
200				38.1	17.8	20.3				
300			35.9	39.7	21.6	18.1				
400			36.7	39.4	21.3	18.1				
800				41.5	19.5	22.0				
900				41.2	18.7	22.5				
1000				41.1	19.5	22.6				
1100				43.4	20.6	21.4				
1200				38.1	40.2	18.6				21.6
101					40.7	19.6				21.1
104					40.3	19.6				20.7
107					41.3	19.6				21.7
200					42.3	18.5				23.8
400			39.8	18.9	20.9					
160	-	2.788	34.4	38.1	17.8	20.3		8	Ladd et al. (1971)	
1300	1.5		35.6	42.1	22.1	20.0		16		
1500	1.5		37.0	43.8	20.6	23.2		16		
105	1.0	2.750	40.5	47.6	23.3	24.3		16	Bensari (1984)	
109	1.0		42.2							
110	1.0		41.0							
111	1.0	2.750	40.3	47.1	24.9	22.2		16		
粉末		2.779		41.8	21.6	20.2		9	O'Neil (1985)	
103	1.0	2.782						16		
105	1.0	2.766		40.2	22.0	18.2		16		
	1.0			41.6	21.0	20.6				
111	1.0			41.5	25.3	16.2		16		
	1.0			42.4	21.6	20.8				
112	1.0			40.8	20.6	20.2		16		

決工程中可能發生有關大地工程的問題。因此，除了需對區域地質，土壤與岩石的工程性質加以探討外，應更進一步就分析方法及實際工程行為進行研究，而最有效的辦法就是對這個區域工程案例加以研究，並盡可能進行足尺模擬試驗，裝設監測系統予以監測，然後進行反推分析等研究。

波士頓地區在這一方面的一項重要研究，就是對 I -95 公路路堤的試驗 (MIT, 1975)。1974 年美國的工程機構與 MIT 合作，計劃對正在進行中的 I -95 公路路堤基

礎做一現場試驗，荷載至基礎破壞為止。同時也邀集世界各地知名的學者及工程師，根據提供的資料及土壤參數事先進行分析，預測土壤承载力及變形行為，希望能對各種分析方法做一個評估與研究。

在收到各組的預測 (包括最高填土高度，破壞時的孔隙水壓，土壤的變形等項目) 之後，一段試驗路堤即進行荷載直到路堤基礎破壞。隨後則進行預測與實際行為之比對。從比對的結果顯示，各種預測值都有或多或少的誤差，但是這些預測的準確與否倒並

表二 歷年來對波士頓藍黏土強度性質之研究 (摘自 Fayad, 1987)

年	來源	三軸試驗							平面應變試驗				SS	MIS	參考文獻	
		UU		CI		CK		CA		Cyc		CI		CA		
		U	D	U	D	U	D	UD	U	D	U	D	UD			
	CE	CE	CE	CE	CE	CE	CE		CE	CE	CE	CE				
61	R		■												Bailey	
63	R		■	■	■									▲	Jackson	
65	I	■	■	■	■	■	■								Ladd & Lusher	
65	R		■	■	■	■	■								Ladd & Varallyay	
65	R	■	■		■			■							Preston	
66	R	■	■		■			■							Braathen	
68	R				■						■	■			Dickey et al.	
70	R				■						■	■	■	■	Kinner & Ladd	
71	R										■	■			Ladd et al.	
72	R												■		Ladd & Edgers	
82	R	■	■	■	■	■	■						■	■	Germaine	
84	R		■	■	■	■	■	■							Bensari	
85	R		■	■	■	■	■						■	■	O'Neil	
85	R				■									■	Lutz	
86	R		■	■	■	■	■	■							Fayad	

■ 在不同 OCR 進行之試驗

◻ OCR 未知

◼ 在 OCR=1 進行之試驗

◼ 僅在一個 OCR (≠1) 進行之試驗

CI 均向壓密試體

U 不排水試驗

SS 簡單剪力試驗

CA 非均向壓密試體

D 排水試驗

R 試驗室中再製試體

CK K_0 壓密試體

C 壓縮試驗

I 薄管取回“不擾動”試體

Cyc 反覆載重

E 伸張試驗

MIS 其他試驗

不是這個試驗最關切的問題，重要是經由這個試驗，可以對下列問題有更進一步的認識。

(1)整體分析結果與實際行為的差異；

(2)試驗數據的可靠程度；

(3)在分析過程中，是否有額外的因素需加以考慮，同時，分析方法中的假設是否合理；以及

(4)不同分析方法所預測結果的差異。

七、結 論

各個地區都有特殊的地質狀況，因此進行區域性的地盤研究時，關切的重點和進行的方向都會有所不同。即以波士頓和台灣各大都會區來比較，波士頓地震的問題不嚴重，因此動力方面的研究就比較少，而這個問題在台灣卻是非常的重要。所以要對台灣地區都會區的地盤特性進行研究，首先就是要找出這個地區地層的特性和工程上特殊的問題，然後再來進行有系統的研究，國外的例子僅能做為參考之用。

今天對波士頓地盤特性的了解是累積了半個世紀以上研究的成果。即使如此，也還有許多有待補充加强的地方。因此，倘若要對某一個地區著手進行地盤特性的研究，自然也很難期望在很短的時間內就得到非常完整而豐富的資料。所以，在此特別要強調的是地盤特性的研究不是一蹴可及的，重要的是要循序漸進，按部就班，持續的收集資料並且在不同的階段進行不同程度的整理工作。

參考波士頓以及其他各都會區的經驗，建議在進行地盤特性研究時，應該注意下列幾個方向：

(1)資料的收集：完整的收集資料是進行區域性地盤特性研究最基本的工作。本文中曾提到波士頓地區鑽探資料和進行隧道工程所得到的地質資料，都被很完整的彙集收藏起來。此外如紐約市，今天在曼哈頓 (Manhattan) 沿河地區進行工程時，第一件工作就是查閱以前的地圖，這些地圖有的可以上溯至17世紀，從這些地圖中立刻就可以發現工址是否座落在回填上，因而決定調查的範

圍和分析的項目。

(2)資料的整理：有了完整的資料，還要經過有系統的整理，才能使資料被充分的運用。在電腦被普遍使用的今天，更可以利用資料庫 (Data Base) 的觀念和做法，使這些收集來的資料不只是一堆文字或圖表，也不只是一堆貯存在微電腦裏的檔案，而是能夠很經濟、很方便的查閱整理、進行分析的資料。以應用於英國南威爾斯地區的 "Geoshare System" 為例 (Raper and Wainwright, 1987)，當地工程師就可以利用這個資料庫很容易的輸入、修正及取出所需要的資料，應用於自己的工作。

(3)地質的了解：鑽探和試驗可以幫助工程師得到一些局部性的資料，但是要對大範圍的區域得到一個全面性的了解就必須借助地質方面的研究。同時，對地質狀況的了解更是有助於鑽探和試驗結果的檢核。特別重要的是許多都會區地質狀況十分複雜，例如某些都會區域有多條河川經過，而每一條河流所造成的沉積環境有所不同，因此就必須從地質的觀點來進行分區的工作，才能掌握地盤的特性。

(4)土壤及岩石工程性質的研究——這可以分為兩個層次來討論：當對某一地區地質狀況已很清楚，資料累積亦很豐富時，應該進行這個區域工程性質與物理性質的相關性分析，使工程師能用很簡單的試驗就可以得到一些工程性質來進行規劃及初步設計的工作。對於有重要及複雜的工程進行的都會區，則需要對土壤的行為有比較深入的研究。對土壤行為的研究，往往最大的困難在於土樣的問題，而本文建議考慮以再沉澱法來製造進行研究所需要的土樣。使用再沉澱法，一方面可以減少土壤擾動的影響，另一方面研究的成果可以有效的累積起來，進而更可以探討因空間差異土壤組成不同所造成對工程性質的影響。從另一個角度來看，進行學術研究時缺乏試體的問題也得以解決。但是在以再沉澱法製造土樣時有兩件值得注意的事：

(a)粒徑的大小：大粒徑的土壤顆粒越多，越難製造均勻的土樣。雖然目前對再沉澱法適用的範圍沒有定論，但參考圖五 B B C 粒徑分佈區線可以看出即使有大約 8% 的顆粒大於 0.075mm (200 號篩)，53% 的顆粒大於 0.005mm 仍可使用再沉澱法。

(b)土壤及孔隙水的化學成分：使用再沉澱法時土壤顆粒及孔隙水的物理組成和化學成分都應該維持得和現場一樣。例如對於含蒙脫土的黏性土壤，就不能如 B B C 一樣先加熱至攝氏 60° (Moh, 1988)。

(5)大規模的現場試驗及工程案例的探討：地盤特性研究的終極目的是在了解並且能預測實際工程的行為，而最直接最完整的辦法就是在有充分的資料及監測系統下進行大規模模擬實際工程的足尺試驗，如試驗路堤、橋樑重試驗等。此外，對於實際工程案例的認真探討，也是增進一個地區對同一類工程問題了解的重要方法。

參 考 文 獻

- AZZOUZ, A. S. and BALIGH M. M. (1978) "Three-Dimensional Stability of Slopes," *Research Report R78-8*, No. 595, Dept. of Civil Engineering, M.I.T., Mass., U.S.A.
- BALIGH, M. M. (1975) "Theory of Deep Site Static Cone Penetration Resistance," *Research Report R75-56*, No. 517, Dept. of Civil Engng., M.I.T., Mass, U.S.A.
- BALIGH, M.M., AZZOUZ, A. S. and CHIN, C.T. (1987), "Disturbance Due to 'Ideal' Tube Sampling," *Journal of Geotechnical Engng. Division, ASCE*, Vol. 113, No. GT7, pp. 739-757.
- BALIGH, M.M., et al. (1981) "The Piezocone Penetrometer," *Proceedings of the ASCE Convention on Cone Penetration Testing and Experience*, St. Louis, MO., pp. 247-263.
- BJERRUM, L. (1973) "Problems of Soil Mechanics and Construction on Soft Clays," State-of-the-Art Report, Session IV, *Proc. VIII International Conference on Soil Mech. and Foundation Engng.*, Moscow, U.S.S.R., Vol. 3.
- Boston Society of Civil Engineers (1940) *Contributions to Soil Mechanics, Vol. 1: 1925-1940*, Boston, U.S.A.
- Boston Society of Civil Engineers (1953) *Contributions to Soil Mechanics, Vol. 2: 1941-1953*, Boston, U.S.A.
- Boston Society of Civil Engineers (1965) *Contributions to Soil Mechanics, Vol. 3: 1954-1962*, Boston, U.S.A.
- CROSBY, I.B. (1934) "Evidence from Drumlins Concerning the Glacial History of the Boston Basin," *Bulletin of Geol. Soc. Amer.*, Vol. 45, pp. 135-158.
- FAYAD, P.H. (1987) *Aspects of Volumetric and Undrained Behavior of Boston Blue Clay*, M.S. Thesis, Dept. of Civil Engng., M.I.T., Mass., U.S.A.
- GERMAINE, J.J. (1982) *Development of the Directional Shear Cell for Measuring Cross Anisotropic Clay Properties*, Ph.D. Thesis, Dept. of Civil Engng., M.I.T., Mass., U.S.A.
- JAMIOLKOWSKI, M., et al. (1985) "New Developments in Field and Laboratory Testing of Soils," *Proc. XI International Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engng.*, Calif., U.S.A., pp. 57-154.
- KENNEY, T.C. (1964) "Sea-Level Movements and the Geological Histories of Post-Glacial Marine Soils at Boston, Nicolet, Ottawa, and Oslo," *Geotechnique*, Vol. 14, pp. 203-230.
- LADD, C.C. and FOOTT, R. (1974) "New Design Procedures for Stability of Soft Clays," *Journal of Geotechnical Engng. Division, ASCE*, Vol. 100, No. GT7, pp. 763-786.
- LADD, C.C., et al. (1979) "Evaluation of Self-Boring Pressuremeter Tests in Boston Blue Clay," *Research Report R-79-4*, Dept. of Civil Engng., M.I.T., Mass., U.S.A.
- LEGGET, R.F. (1973) *Cities and Geology*, McGraw-Hill, Inc., New York, U.S.A.
- M.I.T. (1975) *Proceedings of the Foundation Deformation Prediction Symposium*, Federal Highway Admin., Wash., D.C., U.S.A.
- MOH, Z.C. (1988) Personal Communication.

- MORRISON, J.J. (1984) *In-Situ Measurement on a Model Pile in Clay*, Ph.D. Thesis, Dept. of Civil Engrg., M.I.T., Mass., U.S.A.
- RAPER, J.F. and WAINWRIGHT, D.E. (1987) "The Use of the Geotechnical Database 'Geoshare' for Site Investigation Data Management," *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. 20, No. 3, pp. 221-230.
- SKEMPTON, A.W. (1948) "A Study of the Geotechnical Properties of Some Post-Glacial Clays," *Geotechnique*, Vol. 1, p. 7.
- TERZAGHI, K. (1955) "Influence of Geological Factors on the Engrg. Properties of Sediments," *Economic Geology*, 50th Anniversary Vol., Part 2, p. 557.
- WHITTLE, A.J. (1987) *A Constitutive Model for Overconsolidated Clays with Application to the Cyclic Loading of Friction Piles*, Sc.D. Thesis, Dept. of Civil Engrg., M.I.T., Mass., U.S.A.
- WORCESTER, J.R. (1914) "Boston Foundations," *Journal of Boston Society of Civil Engineers*, Vol. 1, No. 1.