地工技術, 第75期（民國88年10月）第97-101頁
SINO-GEOTECHNICS , NO.75（OCT.., 1999）PP.97-101

地工人物

土壤力學緣起及相關人物

李明杰、陳書宏　譯

兒童們常玩的一種遊戲--剪刀，石頭，布，是經由簡單的規則來決定勝負的。同樣的，工程師也可以依據這遊戲的規則稍作修正來應用到建築結構物承載在岩盤上的分析，結構物嵌入土壤，土壤覆蓋岩盤諸如此類建築結構物和基礎間的關係。

譬如大型橋樑，摩天大樓，或混凝土壩等結構物的理想基礎是完整的岩盤，然而並非所有工址都具備如此良好的條件。同時岩盤深度亦非輕易到達，甚至有時因為岩盤本身自然造成的缺陷而不適宜作為結構物的基礎。工程師因此學習去配合自然狀況。羅馬人就發展出將樁沉入軟弱的河床中，因此樁墩可以穩固地座落在深而堅固的基礎上而不會沉陷或被河水沖刷掏空而破壞。近代工程師將高樓座落在適當深度之筏式基礎上，而能使建築物樓地板之高度與街道配合，同時也不會隨時間而發生沉陷。諸如此類並未到達岩盤深度的建築物基礎之現象已經成為土木工程科學與藝術的基本部份。

但是過去八世紀以來，比薩斜塔的警惕，說明了工程師並非將建築物都放置在堅實的基礎上，而其他的高塔或建築物也曾發生明顯的傾斜或沉陷。譬如美國華盛頓紀念碑從1848年興建而於1884年間歇地完成，期間發生了六英吋的沉陷，而墨西哥市的傳統藝術廣場的沉陷使得地面一樓變成了地下一樓。有時開挖工作亦會影響鄰近結構物，譬如美國波士頓市的教堂受對街約翰-漢寇克高塔構築時開挖的影響。

有些結構物實際上是由土壤構築而成的。落於愛德華州東南部的堤頓河峽谷的堤頓壩，為一座巨大的土石壩。這座壩完成後六個月，也就是1976年潰壩。潰壩的原因是因為其座落在具有不尋常裂縫的火山岩上。混凝土壩也和土石壩一樣具有類似的難題，加州聖佛倫斯壩於1928年潰壩，其原因是斷層和山崩所造成的。120億加崙的水奪走了近450個人的生命。對於此類失敗原因的解釋同時避免未來的工程發生類似的失敗，則需要對土壤行為與特性有所了解，尤其是土壤在其含水量，壓密時和承受荷重情況下的改變。

土壤力學的發展來自於工程上實際遇到的困難以及挑戰。一般都認同土壤力學的發展是源自於18世紀法國的工程師Charles Augustin Coulomb摩擦力的觀念，帶給後人一個初步的方法來判斷一堆砂的傾度或路堤是否不穩定而導致崩塌。然而在整個19世紀當中，非常少的土壤性質從土壤中被量測得到，除了所謂靜摩擦角和承載力之外。同時在19世紀末，Charles Augustin Coulomb的觀念開始被一些工程師所質疑。在一個叫做Terzaghi(圖一)的奧地利工程師前往土耳其講授關於施工與基

礎的課程之後，一些重要的土壤參數例如密度，含水量和可壓縮性才開始被用理性的方式來考慮工程問題。很幸運的，當時的任務與實驗中得到的結果，與這位工程師在現場所得到寶貴的經驗相符。這位工程師的事蹟常常經由他的學生或同事們神奇的傳頌著。

圖一　Karl Terzaghi，土壤力學之父

Karl Terzaghi，1883年12月2日出生於布拉格(Prague，捷克首都)的軍人世家，青少年時的Terzaghi自然的便被送往軍事學校就讀，可是軍事學校的教育對他來說絲毫沒有吸引力，進而又發現自己有視力上的小缺陷，Karl Terzaghi因此決定放棄從軍的念頭。而後Karl Terzaghi改讀位於Graz的技術大學，主修機械工程，不過在學期間Karl Terzaghi反而對地質學和寫作更有濃厚的興趣。

1904年，Terzaghi大學畢業之後，繼續深入研修自己特別喜好的地質學，不久即開始任職於維也納的土木工程公司，由於公司專門設計建造鋼筋混凝土建築物和水力發電廠，Terzaghi因而有機會參與了數個在阿爾卑斯山脈興建大壩的工作。經過了幾年的全心投入，Terzaghi開始獨自負責電廠有關地質和水文之調查工作。隨後Terzaghi又參與了俄羅斯西北部的一些工程，然而就是這些現場得到的實務經驗，讓Terzaghi漸漸領悟到基礎工程設計和鋼筋混凝土設計是有很大的區別。於是他開始思索那些由土壤與結構物互制所產生的問題，這些問題在當時是無法理解的。他認為這其中的隔閡乃是導致於我們對土壤力學知識的不足。

在那個年代，Terzaghi並不是唯一被這些問題所困擾的學者。在美國，特別像是墾務局，負責在不同的地質狀況下興建許多大壩和灌溉系統，而當時的局長F.H. Newell就同意Terzaghi的建議，認為這將是非常難得的合作機會，共同參與大規模的實驗,其結果將可提供工程界非常寶貴的經驗。因而Terzaghi使用了兩年的時間在美國西北部各州，觀測和蒐集資料，但是當時1913年底，他回到歐洲試著理解其中的意義時,卻讓他落了空。

由於第一次世界大戰的緣故，Terzaghi加入奧國的軍隊，並且短暫地參與了Serbia前線的戰爭，接著他要求轉調在Aspern的航空試驗站。然而也在同時，一位先前任教於Graz Technical University，教過Terzaghi的教授，因其受土耳其政府委託，將負責改革土耳其的工程教育，此時他正需要一位有能力而且精力充沛的人協助。於是在1916年，他安排Terzaghi前往Constantinople(現在的伊斯坦

堡)的Imperial School of Engineering擔任教授，專門講授有關基礎和道路工程。Terzaghi曾經很坦白的承認，教書這份工作，當時並沒有特別激勵他，真正激勵他的因素乃緣由於他的內心總是深覺自己無知。因為這份工作，也讓他有機會再次重新思考他先前於美國收集的那些資料；就在他的努力下，他獲得了更深層的領悟：粗砂、細砂、軟弱黏土與堅實黏土。而就這樣的區別卻包括了廣泛而不同的各種工程特性。如此的分類Terzaghi認為並非合理，他推斷必須利用一種可以量測到的值來區分，而且是在單一方法下求得。如此因意外的錯誤分類便不會發生，而又可以讓工程師作為依據的標準，推測土壤的沉陷速率、承載力等工程特性。

當時這些知識也不是只有Terzaghi才有。當巴拿馬運河正在開挖時，在大陸內著名的Culebra Cut發生的崩塌，無疑的是在提醒工程師們已經超出他們能力所能預測的結果。除了巴拿馬運河的崩塌之外，接連不斷發生的潰堤等失敗的工程案例，也促使American Socity of Civil Engineers 於1913年組成一個委員會來深入探討相關問題.這個委員會把重點放在如何以數值來描述土壤的各種性質.當瑞典的鐵路工程發生災害性的崩塌以及德國巨大的擋土牆發生嚴重的位移，類似的認知也在瑞典開始發展。然而Terzaghi卻早有重要的理論依據。

戰爭結束後，所有戰敗國的教授遭到解聘，Terzaghi便繼續留在Constantinople的美國Robert College(現為Bogazici University)教書，專門講授有關熱力學及機械工程，並且從事土壤方面的研究。雖然戰後物資缺乏，Terzaghi仍然克服一切困難，設立了簡陋的土壤試驗室，就在他日以繼夜的努力下，他發現了黏土的壓密結構和其它形成現在土壤力學重要的基本原理。1923年，Terzaghi第一次發表了類似熱傳導數理化的基本壓密方程式，可是在當時卻未受到重視。儘管如此，當他在1924年在荷蘭Delft舉行的第一屆應用力學國際會議上發表了類似文章時，卻即刻受到熱烈的回應。1925年，Terzaghi出版了代表著土壤力學誕生的德文著作“Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage”，也因此麻省理工學院(Massachusetts Institute of Technology)更聘請他為該校客座教授。當Terzaghi回憶起他那些有發展性的貢獻時謙虛的說，他只是舖設了大樓的基礎，其他大部分的建築物仍等待完成。

有著麻省理工學院的研究基礎，Terzaghi開始廣泛參與基礎工程的顧問工作外，也將他工程上的實務經驗融入教學中，首創土壤力學教學計劃，奠定了土木工程中重要訓練項目。在這同時，Terzaghi與當時擔任助教的A. Casagrande彼此間產生了濃厚的師生之誼。

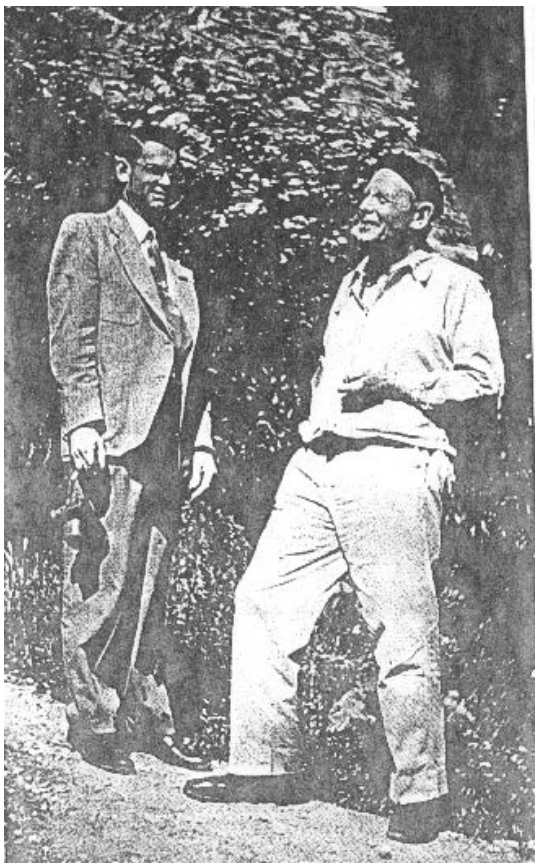
1929年，Terzaghi被維也納技術大學聘為專任教授，而重新回到歐洲大陸，除了教書，超群的Terzaghi又開始他那不斷擴張的顧問工作，足跡遍佈歐洲、北非和蘇聯。直到1936年，當時在哈佛大學的Casagrande和家人為了方便於他的顧問工作，而暫時移居法國。同年秋天。經由Casagrande的推薦，哈佛大學聘請Terzaghi擔任客座教授，Terzaghi因而決定移居美國。在美國期間。Terzaghi除了教書，不斷的出版論文，更經常到世界各地演講，此時Terzaghi的聲譽已經受到國際上的肯定。

1946年，哈佛大學進而聘封他為Practice of Civil Engineering教授，直到1956年Terzaghi退休後仍繼續保留他的名譽頭銜。

1963年10月25日，Terzaghi逝世於美國麻州的Winchester。其一生獲得殊榮無數，分別在1930、1943、1946和1955年共獲得四次ASCE美國土木工程師學會最高榮譽獎牌Norman Medal，並接受過八個國家頒贈名譽博士學位共九座。1965年於Montreal舉行的的第六屆國際土壤力學與基礎工程會議中，為了紀念Dr. Karl Terzaghi對工程界卓越的貢獻，會議中決定將Misson Dam更名為Terzaghi Dam，而ASCE更創立了Terzaghi講座和Terzaghi獎。

比Terzaghi小三十歲的Ralph Peck(圖二)擁有Resselaer Polytechnic Institute的土木工程博士學位，並且著重在結構與數學方面。他在吊橋的勁度方面的相關理論的靈感是從卓越的橋樑工程師David Steinman得來的。David Steinman 的理論同時也有力的支持著Peck的成就。在1937年拿到學位之後Peck加入了美國橋樑公司的設計學校工作。當橋樑設計的計畫量愈來愈衰退，而Peck被解僱之後他到處在可能有工作的地方找尋工作。芝加哥Armous Institute of Technology的教務長告訴Peck結構方面已經沒有工作了，但如果他願意選擇到Iowa讀水利或到哈佛讀土壤力學，則Armous願意提供他。不久後一間叫做Waddell & Hardesty 的橋樑公司願意給他一份工作，但Peck早已決定要去哈佛大學研讀土壤力學了。

由於是個沒有學位的學生，因此Peck得以從學期中加入課程和不須要依循一般的途徑去學習理論土壤力學。他從土壤壓密試驗中得到的經驗同時也修習統計課時正好幫助Terzaghi 寫理論土壤力學英文的著作。不久之後，當Terzaghi被問到他希望派誰去監督芝加哥地鐵的的土壤力學試驗室計畫時，Casagrande 推薦的Peck馬上獲得同意。這個長達三年的計畫是土壤力學應用的里程碑，但卻被珍珠港的事件所中斷。後來芝加哥地鐵的計畫轉至與伊利諾大學而並沒有繼續在Armous進行。



圖二 Karl Terzaghi 和 Ralph Peck 於 1953 年第三屆國際土壤力學會議合影

同時Terzaghi也一直進行著他的著作，然而Peck也開始負責檢閱的工作。他的幫忙後來在土壤力學理論這本書的序言被提出來。即使在書出版之前，Peck已經開始建議Terzaghi他應該繼續出版第二

冊，用來當作大學生的教材以及內容應該包含土壤力學的應用方面。Terzaghi要求Peck一起共同出版這一本書，也就是日後在1948年出版的“土壤力學在工程上的應用”這本書，同時也是極具影響的書。

隨著他持續的教學、出版書籍以及全世界顧問工作，Terzaghi的名譽是很穩固的。1946年他成為哈佛大學專為他建立的實務土木工程的教授。他開始拒絕一些不能帶給他新經驗的顧問方面的工作，因此他在加拿大British Columbia的工作慢慢增加因為當地的地質與基礎工程狀況是非常的複雜。在海岸山脈的記憶也可能會喚起他早年在歐洲的工作。

圖三　Karl Terzaghi 和 Ralph Peck1956 年於 Maracaibo 湖旁合影

Terzaghi 晚年都是從事一些在British Columbia壩方面的計畫。根據Peck所描述，在這些水壩工程的計畫當中，Mission壩是一個非常特別以及困難度相當高的工程，從大地工程的角度來看，許多工程師都認為這是一個不可能的計畫。Terzaghi於1963年過世，兩年之後在第六屆國際土壤力學暨基礎工程的會議上，Mission壩被更名為Terzaghi壩。這樣殊榮對工程師來說是相當少有的。的確，這個領域代表了對Terzaghi對土壤力學一個先鋒的工作的紀念，也做了完整的詮釋。

後記：原文刊登於 American Scientist 1984年版，承蒙亞新工程顧問公司前副總經理潘國樑博士大力推薦，並獲得原作者Mr. Henry Petrosk之同意以中文譯出以饗地工同好特此致謝。