

# 地工人物

## 土壤力學在實際工程上之應用案例

\*楊騰芳

### 一、緣起

內政部建築研究所、大地工程學會及台灣營建研究院等單位於11月7、8日舉辦「山坡地建築開發工程研討會」。會上洪如江教授講了一個故事，引起筆者腦海裡許多片斷往事重新浮現，因此提筆寫了這篇短文。

### 二、數則學者專家的故事

#### 1.Dr.Hoek

洪教授在會上說的故事是這樣的：幾年前Dr.Hoek來台灣訪問，洪教授就帶他去中山高汐止段去看穩定邊坡的岩錨、格樑。走過中山高的人都知道該處一大片的坡地均以岩錨、格樑穩定，光是格樑樑深都近1米，工程浩大。Hoek看了看，就對洪教授說：「...這樣的護坡工程做一、二個試驗看看是可以啦，.....」，言下之意對這樣設計並不太表贊同。洪教授回以「這些設計都是依照您書上的方法設計的耶！」

#### 2.Prof. Housner

無獨有偶，1992年筆者負笈美國科羅拉多州，室外大雪紛飛，室內開著暖氣，和煦如春。土壤動力學課堂上加州理工學院畢業的教授正進入回憶中，敘述他聽來的一段故事：一家顧問公司承包設計加州理工學院院內的一棟建築，拿了耐震設計

的資料前去請教該校的地震學權威Housner教授。Housner看了看設計資料就問道：「你的Design Spectrum是怎麼來的？」

「那是根據您發展出來的圖表啊！」

「...嘍！我看你最好再提高個10%好了！」

「？？？」聞者一臉茫然。

#### 3.Dr. Terzaghi

土壤力學的開山祖師 Dr. Karl Terzaghi的學識、經驗眾所推崇，他的至友 Dr. Arthur Casagrande 在 “Karl Terzaghi-His Life and Achievements” (1)所記述的一段故事：

Terzaghi生於1883年，在55歲前他大致上在法國與法屬北非地區工作。1938年春某一天，他收到一封英國來的電報，詢問他是否願意擔任一座建造中土壩顧問，該壩目前遇到一些施工上的困難。Terzaghi回電倫敦並提議先在巴黎進行第一次面談洽商工作方式。幾個小時後從英國來的訪客推門進入Terzaghi的辦公室，放下帽子，面色嚴肅，安靜的在桌面上攤開土壩的平面、剖面圖及鑽孔資料。Terzaghi看完這些資料，開始了下述精采對答：

Terzaghi：這壩是座落在何處？

訪客：倫敦北邊。

Terzaghi：這個土壩一定是英國的敵人設計的；因為它一定會沖垮掉。一旦垮

掉，你們國會殿堂及西敏寺都會被沖到泰晤士河裡。

訪客：(此時臉上展露出笑容)這壩已經被沖毀了。

Terzaghi：沖毀了？那你還來此作甚麼！你上司給你甚麼指示？

訪客：上司說先給你看圖面及鑽探資料，仔細觀察你的反應；如果你無動於衷，那我就拿起帽子轉身就走；如果你反應激動，那就帶你搭下一班飛機到英國。

太陽下山前Terzaghi與訪客已抵達英國倫敦了。Terzaghi自此展開了他在英國的工作。1939年他在倫敦獲得James Forrest講座，他是該獎自1890年設立後第二位非英籍工程師獲頒該獎。

另一個有關Terzaghi的故事也很有意思。墨西哥市的黏土層在地工界頗富盛名，黏土層厚達200英呎，含水量可高達300%，黏土受壓導致的沉陷相當驚人。50年代中墨西哥市要蓋一摩天大樓，地基開挖13m深，引起一些爭議。一天，設計者L. Zeevaert邀請Dr. Terzaghi前往工地，Terzaghi下到開挖底面後，蹲下來伸出大姆指往地上一壓，然後轉頭對Zeevaert說：「你有成功的機會！」功力之高實在令人嘆為觀止！

#### 4. Prof. J. Penzien

筆者1988年夏奉派至U.C. Berkeley半年，因業務上的關係有幸獲得結構動力學權威Prof. Penzien指導地震工程學數次，Penzien就以他上課的手稿授課。當時他剛剛退休，大約不方便使用學校的設備，因此就開著車子載筆者到Shattuck大道上的咖啡店裡談，七月非假日的早上並沒有什麼客人。一次，聊著聊著，他忽然轉頭問一女侍：

「好久沒見到妳了！」

「噢！我回台灣探親去了，前天剛回來。」

「記得你好像是高雄人？」

「是啊！您記性真好。」

「你有沒有去高雄港的過港隧道看看？」

「幹什麼？」

「過港隧道接縫處是否漏水？」

「？？？」女侍一頭霧水。

事後Penzien對筆者說，他也參與該工程的設計工作，隧道接縫處的處理是否成功會令他十分擔心。

#### 5. Prof. H. B. Seed

1985年前後美國電力研究院(Electric Power Research Institute, EPRI)與台電合作在宜蘭羅東台電的變電所內建造了核能電廠反應器廠房1/4及1/12尺寸的實體模型各一座，其目的是要利用台灣東北部頻繁的地震量測結構物在地震時的反應，以供作土壤—結構互制分析之用。

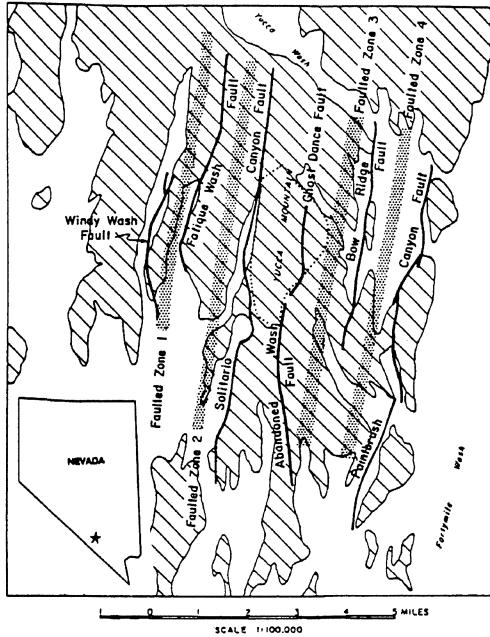
台電對該場址曾委託外界兩家鑽探公司進行了兩次土壤鑽探調查，一是初期規劃調查時，另一次是細部設計時。很不幸的，兩次的土層剖面差異甚大，看起來就像是兩個不同的場址，使得在進行土壤—結構互制分析時如何區分土層、訂定土壤強度參數、變形模數等引起很大爭議。土層剖面的繪製大致上是依據SPT N值或部份鑽探採樣。74年4月出刊的「地工技術」第10期有周逢霖先生等「標準貫入試驗之標準化及其能量之量測」大作，文中敘述「一些學者如Schmertmann(1978)認為以目前方法所得之N值(由於許多不確定因素)是不可以做為動力或靜力分析

設計之用的。」筆者當時趁著在 UC Berkeley 之便，就以得自「地工技術」的瞭解，壯著膽子，去見也參與此一計劃的 Prof. H. B. Seed，想想反正又不是 Berkeley 的學生，就算是去碰釘子也不會影響日後的成績或學位，有甚麼關係！見了 Seed 後先說明我來自台灣，也參與羅東計畫，關於兩次不同的土層剖面，我們認為以 SPT N 值來判定土壤層次本來就會因機具、人員操作方式而有能量上的變化，導致土層判定不準……，末了，筆者再補上一句，對於這類計畫，土壤參數是相當關鍵的數據，是不是在做 SPT 時要用 VCR 錄影下來記錄其操作方式，以便評估其實入能量？Prof. Seed 態度相當和藹，面帶微笑，聽完筆者半生不熟的英文後，他說不必用 VCR，依他的經驗，SPT N 值仍足夠做為土層判斷的依據，他起身去拿了兩本 EERC 出版的報告；編號 84/15 「SPT 作業方式對評估土壤液化抵抗力的影響」及 88/04 「重新評估 Lower San Fernando Dam 因地震而坍滑」，翻著報告內 SPT N 值的資料證明他的觀點。這件事給筆者的影響倒不是 SPT N 值的可靠與否，而是我們大地工程界的一個典範；親切的待人態度，工作的認真執著、熱心的指引後學，在走回住處的路上甚至到今天都一直在我腦海中浮現。他前後獲頒 Terzaghi 及 Rankine Lecture 誠非偶然，不幸隔年他就因癌症去世。

#### 6. 用過核燃料(Spent Fuel)最終處置(Final Disposal)

核能電廠使用鈾做燃料，未經核反應的天然鈾放射性很低，但反應過的鈾燃料除了有高放射性外也會產生大量衰變熱，目前用過核燃料均貯存在核能電廠的

冷卻水池中。1957 年美國 National Academy of Science(NAS)建議這些用過核燃料可存放在地層深處，進行所謂地質處置(geologic disposal)，美國國會於 1982 年底通過「核子廢料政策法」(Nuclear Waste Policy Act)，規定了美國能源部(Department of Energy, DOE)應採取的一系列步驟；從場址篩選準則、從多個可能場址到最後選定一個場址的法律作業程序，對環境保護、印地安部落權益維護等爭議的處理等。1987 年決定了內華達州的 Yucca Mountain 地區為唯一進行試驗的場址。由於用過核燃料中部份放射性核種半衰期長達數千年，為了維護人類的安全，美國核能管制會規定如要進行地質處置，要保證在一萬年內這些放射性核種不會隨地下水或空氣氣泡(衰變熱會使周圍岩體溫度達 120°C 以上)進入人類生活圈，這是目前一個很棘手的問題，我國也有同樣的困擾。1991 年我國原子能委員會邀請兩位任職美國 DOE 的官員來台訪問演講，演講中投影片出現在 Yucca Mt. 的預定場址，場址像是一頭倒過來的企鵝，南北向有數條斷層，其中一條鬼舞斷層(Ghost Dance Fault)正好切過場址中央(圖一)，而斷層通常就是放射性核種隨著地下水到達人類生活圈的捷徑，筆者很納悶，舉手就問「為何要選這樣的場址？為何不稍微挪一下，不去碰到那斷層？」演講者瞪了我一眼，回答得很乾脆說：「地質學家說沒問題！」筆者不是學地質的，就問不下去了。當筆者在科羅拉多州時，大三的工程地質課，老師邀了一個參與 Yucca Mt. 計畫的 Sandia National Lab. 的地質學家演講這個計畫，又是同樣一頭顛倒的企鵝被 Ghost Dance Fault 劃上一



圖一 Yucca Mountain附近活斷層及  
斷層帶(處置場位置如點線所示)

刀。筆者一見，機不可失，舉手又問同樣的問題，又同樣被瞪了一眼，這次的回答是「做工程的人說沒問題！」老天！有沒有人去問做工程的人有沒有問題，如何去計算一萬年的地下水傳輸問題？筆者心裡頭開始在算：瀋陽故宮迄今370年，蘆溝橋800年，比薩斜塔也約800年，河北趙州橋1300年，敦煌石窟約1600年，算到第一座埃及金字塔迄今也不過4700年，而且這些都還是地上結構物；地震、斷層對地下結構物的影響，地下水在一萬年內如何傳輸流動？這些問題如何評估、計算，實在是在考驗人類的智慧。由於這是非常複雜的計畫，影響也相當深遠，美國法規甚至規定由國家科學院(National Academy of Science)向總統提出22個在不同領域，如材料、核工、微生物、地質、地下水、土木……等等的學

者專家人選，由總統勾選其中11人做為本計畫的評審委員。這些人當然在其領域中學驗俱佳，例如一位在佛羅里達大學任教者就是因其在材料方面有長達50年的經驗而獲指派；在各種領域中，眾所公認的，最受爭議的就是地下水傳輸問題，而是誰被指派為此領域的評審委員？美國雷根總統手腕確實高明，他勾選了一位內華達州 Reno Univ. 畢業的一位博士出任，令人不覺會心一笑。筆者無意評論該校的學術水準，但從內華達州的學校取得學位的人出任此最受爭議領域的評審委員，不容否認的，這多少都有“地緣”上的因素吧！

### 三、結語

本文列舉了幾則學術界前輩的故事並沒有任何輕視的意思，眾人皆知那些人都在學術的大道上豎立了一個個里程碑；那些故事除提供做茶餘飯後助談的材料外，事實上，我們也可從故事的背後體會出土壤力學及基礎工程學仍是一相當 State-of-the-art 的學門，仍值得我們再投入更多的心力去咀嚼品嚐！

### 參考文獻

- Karl Terzaghi(1960), “From theory to Practice in Soil Mechanics,” John Wiley and Sons.
- National Research Council(1992), “Ground Water at Yucca Mountain,” National Academy press.
- Leonard Zeevaert (1991), “Seismosoil Dynamics of Foundations in Mexico City Earthquake, September 19, 1985”, J. of Geotechnical Engineering.