

薪傳 臺灣卵礫石地層研究的先驅～褚炳麟教授

希望藉薪傳專訪對臺灣地工界長期貢獻前輩表達敬意，更可將有價值的工程技術和閱歷供後輩學習

周允文* 孫漢豪** 整理

臺灣學術界、工程界談起卵礫石地層，第一個想到的一定是褚炳麟教授。褚老師超過30年持續專注於卵礫石地層的現地與室內大型試驗研究，退休後多次應邀講授卵礫石層相關研究成果，如2014/10/23岩盤工程學術研討會「台灣卵礫石層大地工程性質研究之回顧與展望」特邀演講、2015/12/7逢甲大學土木系「卵礫石層之研究」專題演講及2016/04/22大地工程技師公會--薪傳講座「台灣西部卵礫石堆積層之大地工程性質」等，可見褚老師在卵礫石層研究的成果與貢獻深受肯定。



圖一 褚老師與大三軸試體合影(101/6)

一、小傳

褚老師於民國38年11月出生於新竹市，畢業於臺灣大學土木系、研究所後，因自小患有氣喘的症狀，而未能至國外深造，故選擇繼續攻讀臺大博士班，惟因指導教授出國而中斷博士班學業。民國64-65年先在私立中原大學土木系擔任講師、後在臺灣土地開發公司擔任工程師，於民國68年至國立中興大學土木系任教，由講師、副教授並升等教授，至民國101年8月退休。研究領域，從卵礫石層的現地試驗至實驗室的大型縮尺試驗、從飽和試體至未飽和試體、從三軸壓縮試驗至三軸應力路徑試驗、從試驗研究跨入數值分析領域、從卵礫石土至紅土，每個主題之間又有密不可分的關聯性，自民國65年起至退休期間總共發表論文約120篇。

二、認真教學與嚴以律己

褚老師教學態度嚴謹，但對學生的照顧卻是無微不至，每次辦理卵礫石層的現地調查與試驗工作時，褚老師一定會親赴現場督導以維

學生及工地安全，褚老師名言：「收學生是要教育學生，而非利用學生」，所以很少同時指導太多研究生。褚老師對學生的教導為每個階段都掌握，出發點是為了能使學生經過紮實養成之後較易與社會接軌，在學校關起門來先嚴謹的調教，以免進入社會後被人嫌棄。許多同學在踏入社會後，都非常感謝褚老師在學校期間的嚴厲教導。

褚老師深知大地工程需要理論與實務相互結合方可驗證，因此常與業界互動與結合，使學生易於由工程實務中獲得知識。以台中卵礫石層深開挖工程為例，因卵礫石層强度高，過去並沒有人測得真實的抗剪強度，故往往是先進行開挖而後再支撐，此舉是否過度冒險或保守，實難以論斷；曾有一家營造廠提供開挖深度約20M的工地予褚老師進行研究，褚老師為了驗證卵礫石地層可垂直穩定站立，又可使營造廠放心，於是除搭配安裝傾斜管監測外，仍舊同意架設支撐系統，但水平支撐與橫擋間保留2CM間距不接觸，以防萬一卵礫石地層側向變位過大時，仍可頂住支撐系統而不致發生問題。監測結果發現開挖面壁體變位僅5~12MM，代表褚老師推測結果正確。褚老師亦指出卵礫石層的抗剪強度雖高，但卻具有最怕雨水或地下水侵蝕與沖刷的特性。

* 台灣世曦工程顧問股份有限公司 ** 萬鼎工程服務股份有限公司

褚老師教學研究期間的名言，常自以廚師比喻，他只會做牛肉麵，不會煮什錦麵，這也說明了他對卵礫石地層研究之專一性與無可取代的地位。

三、卵礫石地層研究

褚老師就讀臺大土木系期間，經常搭乘公路局車輛往返於臺北市與新竹市，途中會經過林口、桃園、中壢、湖口等紅土礫石層地區，因本身的研究是大地工程領域，故對那既非土壤也非岩石的紅土礫石層產生了濃厚的興趣。

進入中興大學之後，中央地質調查所前身-臺灣省地質調查所，位於臺中市干城，於 67-68 年間委託中興大學辦理陸上砂石骨材調查工作(後來公共工程建設砂石骨材需求量龐大，部份料源即轉由陸上砂石骨材開採供應)。當時地質調查所係以結構骨材角度，針對大於#4 篩以上的材料辦理比重/吸水率、洛杉磯磨損及抗壓強度等試驗為主，以大甲溪為南北的分界，輔以深孔鑽探結果，推估砂石骨材蘊藏量。惟原計畫並未要求辦理詳細的現地密度、篩分析、含水量與液塑限度等土壤分類與大地工程方面的調查，褚老師結合大地及結構材料調查結果撰寫麓山帶台地礫石材料性質研究的論文，開啟了卵礫石層現地調查與研究的先端。

因參與砂石骨材調查，瞭解無塑性土壤亦可作為路基/路面的級配料，故研究領域亦跨足瀝青混凝土鋪面，也因與中央地質調查所的張徽正、賴典章、劉憲德等人合作密切，瞭解許多工程地質方面的知識，進而在中興大學開設工程地質學課程。

褚老師發現臺中地區很多開挖工地係採擋土柱工法施工，但地表 2M 深的土層需以帽梁支撐(相當於隧道開挖支撐的混凝土襯砌)，臺中亦曾有擋土柱工法因帽梁施作未完全封閉而發生失敗的案例。依這數十年來建築物基礎開挖研究的經驗，褚老師提出舊臺中市區卵礫石地層摩擦角 ϕ 約大於 60 度，凝聚力對邊坡穩定性具有很大貢獻的論述。

對於卵礫石隧道輪進開挖，褚老師曾採縮

尺模型進行模擬試驗，試體約 3.0~4.0 噸，尺寸約 163*163*60 CM，採用重達 100KG 的夯錘夯實，分別採用有岩栓支撐與無岩栓配置兩種情況來進行試驗研究，研究成果亦發表於中國土木水利工程期刊。此外，因水是往下流動，故台地卵礫石層大多是屬於未飽和的狀態，如以未飽和試體的力學參數進行分析設計，會較接近實況而不會過度保守。因對卵礫石隧道的研究而衍生出對未飽和卵礫石層的研究興趣，褚老師曾經看過大肚台地有內徑 3.0M 的未飽和卵礫石隧道開挖，在無任何支撐狀況下，開挖面仍可於相當長的時間內維持穩定。

八卦山卵礫石層隧道夾雜很多砂粒的凸鏡體，而細顆粒砂又將影響整體地層的強度與穩定性。因卵礫石層對水的抵抗力很弱，細顆粒砂如被水沖走後穩定性會迅即下降。但地層中若僅有水流出，砂粒仍被保留於原處，則土壤將因處於未飽和狀態，強度反而較高，此因未飽和土壤顆粒之間會有吸力(suction)互鎖的效應。



圖二 卵礫石隧道模擬試體(88/6)

四、現地大型試驗儀器之發展與執行

民國 75-77 年中央地調所委託褚老師辦理三義與林口卵礫石層現場直接剪力試驗，一組經費僅 40 萬元，試驗地點偏僻，臺灣沒有人辦理過。褚老師沒有成本概念，一心只為求取大型原狀試體的試驗數據，三義現地直剪試驗前後耗時約 3 個月，褚老師及學生們幾乎準備待在工地過年了，慶幸於除夕當天早上完成

所有的試驗工作。林口的試驗則是為修正呆重難以有效提升的問題，改採地錨作為反力。研究成果於民國 77 年發表於新加坡國際熱帶土壤大地力學研討會 (Proc. of the Second International Conference on Geo-mechanics in Tropical Soils, Singapore, 1988)。

褚老師常說結構材料是人造的，大地材料則是天生的不易控制。進行卵礫石層的現地密度與篩分析試驗時，必需考慮尺寸效應。一般而言，試體尺寸需大於最大粒徑的 10 倍以上，試驗結果較接近實際。基於工程實務考量，實際試驗時，試坑尺寸通常僅採用 1.5M*1.5M*1.5M (約為最大粒徑的 5-6 倍)。卵礫石層中粒徑小於 3in 者可用長方型篩及標準篩予於篩分，大於 3in 者則只能變通採用 # 2 鋼筋將其焊接起來，變成 6in、9in、12in、18in 的方框，於現地直接將大卵石進行過篩；小於 #4 號篩者，另需帶約 50 公斤土樣回試驗室求其含水量、液塑限度及顆粒分析等物理性質。

褚老師受訪時亦表示，所有現場試驗進行時一定會親到現場，而不會放任學生自己辦理。卵礫石層之平鈹載重試驗，平鈹尺寸採用到 30 英吋仍無法做到破壞階段，因為卵礫石層的承載力實在太高了，但若要採取更大尺寸的試體來進行平鈹載重試驗，則相關儀器尺寸、千斤頂能量及反力設施等均需倍數增加，經費與困難度亦大大升高而不容易辦理。

民國 77 年，因鯉魚潭水庫由混凝土壩變更為土石壩，壩殼採卵礫石土回填滾壓，增加了許多過去未曾辦理過的試驗。褚老師接受臺灣省水利局委託辦理鯉魚潭滾壓試驗區(砂頁岩互層)之現地原狀取樣(9in 大三軸試體)，及卵礫石土現地大型直接剪力試驗。其中 9in 大三軸試體共採取 13 顆，三軸試驗結果發現其破壞面與教科書上的理論頗為吻合。

五、公共工程之查核

褚老師自民國 84 年開始受邀參與協助政府辦理工程評鑑工作(現稱工程施工查核)。退休後擔任查核委員，多次參與工程會、教育



圖三 鯉魚潭水庫現地直剪試驗(78/2)



圖四 臺中盆地現場篩分析(84/3)



圖五 鯉魚潭現地取樣與三軸試驗結果(78/2)

部、內政部、交通部、環保署、體育署、臺中市、彰化縣與雲林縣等諸多政府機關的工程查核工作。褚老師為人率直敢言，工程查核時只要是不合理的，常常是包括廠商、顧問公司、主辦機關一起批評。訪談時亦談到，目前公共工程品質不佳，其中有一個主因即是工程底價偏低。

工程界碰到卵礫石層時，設計參數應如何求得？如何應用？由於臺中卵礫石層的卵石許多是石英砂岩，其莫式硬度約 7，而鑽探錐鋼鑽頭硬度僅 5.5，故使用傳統鑽探法調查，

對卵礫石層是無意義的，應採明坑取樣配合現地試驗方式以求取卵礫石層的相關材料參數。褚老師曾接受某地方法院委託，進行某鑑定案，該案係某推管廠商在當地進行卵礫石地層推進施工，惟原始契約提供之卵石最大粒徑為 30CM，工地現場挖掘出來的卻高達 90CM，導致廠商逾期完工而發生訴訟。地方法院委託褚老師之鑑定項目為：若因卵石粒徑增加，工期與費用應該增加多少？這又是一件機關不負責任的標案，前置調查作業沒做好，把全部責任都推給營造廠。

一般而言，卵礫石層中顆粒之粒徑增大時，在定性上都知道推進施工時會增加工期，但定量值則需藉由試驗推求。本案接受委託鑑定費用並不高，但為求得公平與合理的依據，褚老師一樣不惜成本，同時採用卵礫石顆粒破碎試驗、CBR 貫入試驗及室內推進縮尺模擬試驗三種方法鑑定。在提出鑑定報告前，褚老師為使法官能看得懂，先找外行人看三遍以上，這亦顯示褚老師做事之嚴謹態度。

六、後續卵礫石研究建議

卵礫石層試驗之試體若採較小尺寸，會高估其強度，隨著試體尺寸的增加，強度會趨近於一個定值。褚老師認為目前所做的直剪、平鈹或大三軸試驗試體之尺度還不夠大，但需要有經費、有人、有工地可配合才可持續研究下去。針對卵礫石或堆石材料，國外已有學者進行 $\phi=120\text{CM}$, $H=240\text{CM}$ 的大型三軸試驗了。

卵礫石地層具有幾何異向性特質，卵礫石顆粒長軸與短軸不同，強度亦有所差異；軸向壓縮、側向壓縮、側向伸張等行為，其應力路徑均不同，也會有力學異向性的問題。大部分卵礫石地層的區域地下水位較深，故未飽和狀況應深入研究。常有人問，卵礫石地層為何可垂直站立？褚老師與博士班學生張義隆曾以顆粒力學數值分析，探討其其顆粒間之接觸、互鎖、懸伸等行為，研究成果可進一步運用於料倉或防波堤等之堆積行為，研究結果亦發現顆粒以圓盤或圓球堆積時最為不穩定，因其接觸點較少且欠缺互鎖效應，而不規則形狀的顆粒則較為穩定。



圖六 田中聯外道路新闢工程查核(100/3/10)



圖七 卵礫石地層推進縮尺模擬試驗(100/5)



圖八 12 英吋大三軸試體(94/6/9)



圖九 卵礫石地層垂直站立(82/12)

臺中有許多構造物建造於卵礫石地層中，但地質調查、鑽探及試驗工作大都未落實執行，沒有針對卵礫石地層真正的特性進行研究。一般工程顧問公司，於卵礫石層中辦理基礎設計時，因未進行力學/工程性質相關試驗，亦未考量使用現地真實卵礫石層的材料參數，且所引用的支承力公式係由土壤而來，故應用於卵礫石地層時會變得過於保守。

訪談中俞董事長與冀博士問及這些大型現地或實驗室研究工作後續由誰接任？褚老師告知退休後尚無人接手，且臺灣有關卵礫石層的研究數量仍嫌不足，可供參考的試驗參數仍不夠多，因此卵礫石層的調查規範目前尚未訂定。有人以傳統衝擊式鑽探、鑿井工法或以全套管方式採取較深層的卵礫石層樣品，但地下水位以下的細粒料極易流失，可能對地層造成誤判，因此最好還是進行試坑挖掘或豎坑取樣搭配相關現場試驗，惟此舉勢將墊高調查成本，為獲取充分的大地工程資料，調查經費應合理提高，相關卵礫石層的調查方法亦應明訂出來。

七、對年輕學子的建議

褚老師曾說：

「年輕學者應避免盲目為計畫而計畫，應該要做出使後人覺得有價值、正確且可供參考引用的研究。」

「大地工程的戰場是在野外，而不是僅止於做數值分析而已。」。

「一個人終其一生的價值，應當是要看他到底為社會貢獻了什麼，而不是看他在人群中得到什麼做人的名位。因此，選定目標，努力堅持，默默耕耘的人，在社會上終究會成為一個受肯定與受尊敬的人。希望年輕朋友們能秉持學無止境，精益求精的態度，為自己和國家社會創造更美好的未來。」

褚炳麟

褚老師對後輩學者建議，因為有可能被延攬擔任裁判，因此除學理之外，針對工程實務應有所參與和涉獵，理論與實務應兼備。

訪談中可以體會到褚老師歷年來在研究工作上的堅持與專注，對每一個題目，是以不惜代價的精神每年不斷的投入研究心力，並親自示範，一步一腳印踏實的逐步提昇研究成果，也終能體會到中興大學土木工程岩石力學實驗室的“大無畏”精神。



俞清瀚、冀樹勇、魏佳韻、周允文、孫漢豪(後排左至右)

圖十 訪談後合照(106.5.11)



圖十一 退休研討會與歷屆學生合照(101/6)



圖十二 退休紀念品(101/6)