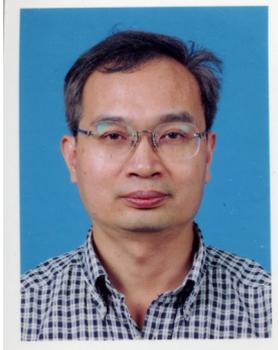


利用數值分析精緻化大地工程的分析

歐章煜



歐章煜教授畢業於國立成功大學土木系學士及碩士，美國史丹福大學博士。現職為國立台灣科技大學教授兼任工程學院院長、國科會土木學門召集人、行政院公共工程委員會委員。曾經擔任大地工程學會理事、監事，並創辦大地工程學會國際性期刊 *Journal of GeoEngineering*，並擔任總編輯至今；本期刊剛獲得 EI index。曾經擔任台科大營建系系主任兼所長、工程技術研究所所長、自動化及控制研究所所長、材料科技研究所所長、生態與防災工程研究中心主任。也曾經擔任過台北市政府採購申訴審議委員會委員、政府科技計畫審查委員及審議委員、多項國科會專案計畫之規劃委員及複審委員、多次擔任國科會諮議及評議委員、中國工程師學會傑出工程教授評選小組委員、考試院典試委員及典試委員會召集人等工作。此外，歐教授也擔任過地工技術、營建知訊、中國土木水利學刊、中華民國力學期刊等學術刊物之編輯委員。

歐教授自民國 87 年回國服務之後，即致力於大地工程的研究，研究的範圍以深開挖工程、地盤改良、軟弱土壤隧道、土壤組成律為主。歐教授的研究精緻，研究成果斐然，發表論文的篇數已經超過百篇。近年來研究迭有突破，例如已經發表多篇電滲透化學灌漿及小應變土壤勁度的論文於重要的國際期刊，其中電滲透化學灌漿已經達到實用的階段。歐教授雖然發表論文的量相當多，但論文的品質亦佳，歐教授的研究成果相當具實務性，這可從歐教授的許多研究成果被應用於台北地下捷運工程及許多的大型開挖工程中得知。此外，歐教授於民國 91 年及 95 年分別完成深開挖工程的中、英文教科書，這本書蒐集了歐教授多年來在深開挖工程的研究，已經被國內、中國大陸、美國、法國、印度等國家的大學採用當作教科書。

歐教授所獲得的學術榮譽也相當多。他曾獲得國科會傑出特約研究員、三次國科會傑出研究獎、國科會優良研究獎、中國工程師學會詹氏論文獎章、兩度獲得中國土木水利學會論文獎及地工技術論文獎。

承地工技術之邀，希望於「數值分析」之專輯中撰寫贈言，深感榮幸。

大地工程分析的類型大致可分為穩定分析與變形分析。早期最有名的大地工程分析程式應該為分析坡地穩定的 STABL。不過，因為 STABL 是利用極限平衡的理論發展而得，僅能分析穩定問題。後來雖然有新的穩定分析程式發展出來，但真正突破的不多，加上 STABLE 發展完備，實務上的應用仍然以 STABL 為主。

早期大地工程的變形分析大都用採用彈性分析或 Mohr-Coulomb 或 Drucker-Prager 彈塑性分析，這些土壤模式不見得能夠模擬土壤真正的行為。自 1968 年 Roscoe and Burland 等利用臨界土壤力學的理論發展 Cam-Clay model 之後，土壤力學的理論趨於完整。之後許多學者陸續提出以臨界土壤力學理論及塑性理論為基

礎的土壤模式，也發展許多有限元素法程式。可能由於計算機的普遍性、容量及速度的問題，以及大部分的程式是研究機構為某種特殊目的而發展而成，造成使用上的親和力不夠且程式非屬於一般化 (generalized)，使得這些模式及電腦程式的普及性不佳。

1980 年代，許多力學分析商業程式開始問普及，例如 ANSYS、NASTRAN 等。有些程式亦建構 Mohr-Coulomb 模式，因此在當時雖然沒有大地專業程式，但許多工程師及研究者也勉強用這些結構或力學分析程式湊合著使用。然而這些程式並沒有特別為大地工程的分析作考慮，使用上相當不方便。為了研究上的方便，包括筆者在內許多學者，也陸續發展有限元素法程式。之後，許多大地工程專業程式例如 FLAC、CRISP、PLAXIS 及 ABAQUS 等陸續被發展出來。

地工技術

許多常見的土壤模式，例如 Mohr-Coulomb、Cam-Clay model 及許多高階土壤模式也陸續被建置於程式中。這些商業程式寫得相當精緻，不但程式收斂性佳，程式也提供包括介面元素等各種選項及不同性質的元素。顯然的，大地工程師因而可以更方便的分析大地工程問題。

大地工程專業程式與一般結構或力學程式最大不同點在於大地工程專業程式必須區分分析方法為總應力分析及有效應力分析。前者將土壤與水考慮成一種土、水混合物的單一材料，後者將土壤與水考慮成兩種材料，分別承受有效應力及水壓力，但兩者性質又互相影響。有效應力分析必須採用有效應力土壤模式，同樣的，總應力分析必須採用總應力模式。一般而言，砂質土壤必須採用有效應力分析，使用建置於商業程式內之有效應力模式分析結果尚佳。粘性土壤的不排水分析可以採用總應力分析及有效應力分析；採用不排水分析時，必須考慮到孔隙水壓力的發展。以分析合理而言，應該採用有效應力分析或有效應力土壤模式（基於有效應力的原理）。然而現有建置於程式的有效應力模式過於簡化，無法模擬真正土壤的行為。例如 Cam-Clay 模式，雖然已經有堅實的理論基礎，但有些假設過於簡化（例如：降伏面對稱於平均主應力軸），分析結果不是很好。高階模式又顯得過於複雜，所需要的參數過多，這些參數又不是能夠從傳統土壤試驗中獲得，有名的 MIT E3 或 MIT S1 模式就是典型的例子。因此 MIT E3 及 MIT S1 雖然已經發展分別超過 10 年以上，但尚未普遍的建置於程式中或應用於實際的分析中。雖另一方面，這兩種模式的理論精緻，也有實驗的驗證，但至目前為止，尚未看到令人滿意的實際案例的驗證。有效應力粘土的分析的研究仍然必須繼續進行。

總應力不排水分析在大地工程實務分析，甚至於研究上的使用，甚為常見。然而總應力分析不是奠基於有效應力原理，因此進行不排水分析時，總應力模式無法考慮到主應力旋轉所造成的孔隙水壓力發展。因此之故，總應力分析的結果有時不為有些研究者所接受。然而由於其使用上的方便，及有效應力不排水分析的不方便性，總應力的分析仍然為許多研究者及工程師所採用；主要的原因為強度參數取得方便，但勁度參數就必須靠經驗公式取得。

雖然目前商業套裝程式已經撰寫得不錯，但由於使用時，選項相當多，使用者常常甚感迷惑。在進行粘土不排水分析時，有效應力及

總應力分析原理不為大家普遍瞭解，因而又影響到參數的選取，造成分析方式及結果相當混亂。筆者看過不少碩博士論文及審查案件，發現分析方式正確而得到正確分析結果的分析相當少見，很多的分析方法大有問題。好在，當分析者因為使用不正確分析方法造成結果不佳時，就調整參數使得分析結果合乎經驗值（反正許多參數的不確定性很高）。這麼一來，就有一個問題產生：既然要依靠經驗調整參數，那為何要採用這麼複雜及昂貴的分析方法？

再者，欲使大地工程的分析結果合理，參數的選取當然很重要。土壤模式的理論愈完整，輸入參數愈有機會直接從室內試驗或現地試驗取得；因為有效應力模式是基於有效應力原理發展而成，未來應該有機會令其參數直接從傳統試驗中得來，這就有靠大家的努力了。總應力分析或模式的強度參數可以直接從試驗得來，但其勁度參數就必須靠經驗公式取得，除非這個總應力模式為 stress path dependent 的模式。筆者近來與華夏技術學院的謝百鈞教授發展的 USC model (undrained soft clay model) 為 stress path dependent 的模式，且考慮到土壤在小應變下的行為，因此分析結果相當合理，且輸入參數可以直接從傳統室內試驗中得來。

根據筆者的最近研究成果發現，若擬進行有效應力排水分析，使用 Mohr-Coulomb 模式或 HS (hardening soil) 模式可以得到不錯的結果，強度參數可以直接從試驗中得來，勁度參數必須用經驗公式推估。若擬進行有效應力不排水分析，採用 Cam-Clay 模式，參數必須進行調整。當土壤行為接近於極限狀態時，採用 HS 模式且其參數直接從試驗中得來，可以得到不錯的分析結果；換句話說，若土壤行為距離極限狀態甚遠，則 HS 模式分析結果也不甚理想。若要分析開挖引致之地盤沈陷，Cam-Clay 模式、HS 模式、HS small 模式（考慮小應變行為）的分析結果均不理想。

筆者也建議實務工程師們，使用商用程式進行不排水分析時必須弄清楚您使用的是有效應力分析還是總應力分析。無論哪一種分析，必須參考手冊，以便正確的設定地下水位及孔隙水壓，因為每一種程式對於水位或水壓的設定方式不同。再者，必須找個具有完整監測及土壤試驗的案例當作 bench mark，以進行分析，以便從分析結果與監測值比較過程中，輔以手冊的說明，建立參數決定方式，然後才正式進行分析，這樣子分析的結果才會比較合理。