



地工技術

地工可靠度暨性能設計之省思

莊長賢



莊長賢先生現任中央大學土木工程系講座教授暨玉山學者、美國克萊姆森大學土木工程系榮譽教授以及國際著名期刊《Engineering Geology》主編，曾任美國土木工程師學會風險評估與管理委員會主席。

莊教授致力於大地工程研究，在美國克萊姆森大學任教期間(1982-2018)主持了多項美國國家自然科學基金(NSF)研究計劃。研究內容包括深開挖工程、土壤液化、地質災害評價與防治、大地工程可靠度及穩健設計方法等，取得創新性研究成果。莊教授研究精緻，成果斐然，目前已發表論文三百余篇。谷歌總引用次數超過 7400 次，H 指數達到 45。莊教授也獲得眾多學術榮譽，包括國際大地工程可靠度頂尖獎項 Wilson Tang Lecture 與 GEOSNet Award、英國土木工程師學會 TK Hsieh Award (最佳論文獎)、國際期刊《Georisk》最佳論文獎、美國克萊姆森大學全校最佳研究獎 (Alumni Award for Outstanding Achievement in Research) 以及我國大地工程學會頒發的最佳論文獎暨大地工程講座等。

承地工技術之邀，希望於「性能設計、不確定性、以及各國規範」之專輯中撰寫贈言，深感榮幸。特致贈詞，共襄盛舉。

大地工程結構多建造於岩土體內部或其上，然而岩土體材料為天然材料，而非人工材料，其工程性質難以確定。大地工程不同於上部結構工程，其工程性能受場地地層模型與岩土參數等因素影響。工程場地之地層模型與岩土參數主要受地質體沉積歷史、前期構造活動以及人工活動等諸多因素影響，存在相當的空間變異性。在大地工程實務中，這些空間變異性不易為工程師認知與掌握。同時受到工程成本及工期等因素之影響，現場地質勘查往往只施做少量的鑽孔，取得少量的岩土體樣本並進行物理及力學試

驗。上述諸因素導致了工程場地地層模型與岩土參數的空間建模不確定性。地層模型與岩土參數不確定性及其空間變異性是大地工程可靠度暨性能分析與設計的基本參數，其不確定性常引起大地工程性能分析的不確定性，進而導致設計結果偏於保守(不具經濟性)或有安全疑慮。

為了保障設計的安全性，傳統大地工程設計多採用確定性的容許應力法(亦即安全係數法)。在設計中工程師常選擇保守的地層類型組合與岩土參數等進行大地工程性能分析，同時在設計過程中選擇保守的安全係數進一步確保工程的安全性。這些保守的選擇在絕大多數情況下能夠保障工程設計的安全性，然而容易造成工程浪費。由於容許應力

地工技術

法在大地工程設計中存在的不足，基於不確定性分析的可靠度設計方法逐漸為大地工程師所採用。可靠度設計主要將不確定參數(如岩土參數等)模擬為隨機變量或空間隨機場，運用不確定性分析方法計算工程性能之失效概率或可靠度，並基於目標失效概率(或目標可靠度指標)對工程設計的安全性進行判識。相對於容許應力法，可靠度設計可將地層模型與岩土參數不確定性直接納入大地工程性能設計中。然而基於不確定性分析的可靠度設計方法相對複雜，仍不為大多數大地工程師所採用。

近年來，大地工程界開始融合容許應力法與可靠度設計法，並逐漸提出了分項係數設計方法。相對於可靠度設計方法，分項係數設計方法可以避免複雜的不確定性分析計算。由於分項係數的標定過程可與各不確定性參數的變異範圍及目標可靠度等進行有效結合，分項係數設計方法也具有可靠度設計方法的優點。然而目前的分項係數設計方法也有尚待改進之處，例如部分國家大地設計規範中分項係數的標定並沒有與目標可靠度進行耦合，各規範對於分項係數的選擇及各不確定性參數特徵值的選擇也並未進行明確的規定或解釋。由此可見，當前的大地工程設計方法仍有改善空間。希望未來有更多的工程師與學者能夠投入大地工程設計方法的研究，逐漸完善這些設計方法。