

Q與A專欄

本問題與解答專欄將定期於本刊登出，所擬問題均選自目前大地工程界於施工中可能遭遇之一些疑難小問題，此類問題雖小，但常造成施工人員之困擾。本欄歡迎讀者提出問題，並歡迎學者專家就解答內容提供意見。有鑑於大地工程牽涉範圍及變化甚多，讀者亦請避免將本欄提供之解答視為唯一方案，以免造成施工或尋求解答方法之錯誤。

單信瑜*

Q：何謂土壤污染？

A：狹義的「土壤污染」係指土壤固有的質發生了變化。土壤污染是大地污染即土壤與地下水污染的一部份。大地環境——即地表以下的土壤與地下水污染的污染源為不當及過度使用之農藥，垃圾坑與廢棄物掩埋場之滲漏水，工業排放之污染液體，工業之地上或地下儲存槽及管路滲漏之原料或廢棄液體，意外造成之油灌車傾倒漏油，修車廠，車輛、飛機保養廠所潑灑於地面之廢機油與溶濟……等等。這些污染使得農地不適生產、造成地下水污染使人類健康受危害或生態環境遭破壞等不良後果。台灣地區發生過的大地污染案例諸如高雄荅雅寮輸油管破裂、桃園與彰化的鎘污染、新竹的正農公司農藥污染、桃竹的RCA事件等，不勝枚舉。

Q：政府針對國內大地污染的問題，是否已採行任何對策及制定相關法規？

A：我國的土壤污染防治法草案（行政院環保署，民國80年）報行政院，同年七月送立法院審議，民國八十三年初二讀，雖至今尚未通過三讀，但在下一會期可望通過。一旦此法通過立法，所有與大地污染相關的預防與整治工作即將展開。此法目的在於提供土

壤污染防治的法源依據，係補足水污染防治法未能及之處。因水污染防治法對地下水體之認定，使地下水位以上部份不飽和層中之水與土壤未受管制與保護。土壤污染防治的概要如下：第一章為總則。第二條指出其適用範圍。「土壤」：指陸上生物生長或生活之地表疏鬆天然介質。「土壤污染」：指土壤因物質、生物或能量之介入，致變更品質，影響其正常用途，或危害國民健康及生活環境。「置放」：指中央主管機關指定公告之左列行為之一：(一)直接注入或放置污染物於土壤。(二)收集污染物於容器後放置於土壤。……

第二章為防治措施。置放污染物於土壤者，應符合土壤污染物置放標準(7)（小括號內之數字為所摘自之條文號），應先檢具土壤污染防治措施計畫(8)，經審查核准，始得置放(9)。申請核發置放許可證時，其具備之必要文件，應經依法登記執業之環境工程技師或其他相關專業技師簽證(10)。第十二條：有左列各款所列情形之一者，污染行為人應立即採取緊急應變措施，……：一、因土壤污染，其土壤污染物不符中央主管機關之規定，致有危害國民健康之虞者。二、因土

* 交通大學土木工程研究所副教授

壤污染，致其生產之農產品不符衛生或農業主管機關之規定者。……主管機關認為有必要時，得命其停業或部分或全部停工或停止作為，並得自行或委託第三人代為採取全部或部分緊急應變措施。其支出之費用，得向污染行為人求償；污染行為人拒不償還者，得逕移送法院裁定後強制執行。第十三條：……劃定土壤污染管制區。管制區內之土地使用或人為活動，應予管制、限制或禁止(14)。……訂定土壤污染改善計畫，報請中央主管機關核定後自行或委託第三人實施之。……因訂定土壤污染改善計畫或實施土壤污染改善所支出之費用，得向污染行為人求償(15)。

第三章土地所有人責任。土地所有人應善盡管理人應注意之義務，防止土壤污染之發生、擴大或繼續。……主管機關所支出之費用，由污染行為人及土地所有人連帶負償付責任。土地所有人於本法施行前違反前項注意義務者亦同(22)。土地所有人依規定償付之費用得向污染行為人求償；主管機關與有關機關應協助土地所有人追查污染行為人(23)。

第四章罰則。個人因違反規定因而致人於死者，處七年以下有期徒刑，得併科三十萬元以下罰金。事業違反規定，可導致每日六萬元以上至六十萬元以下之連續罰款，至改正或改善為止，嚴重者取消其置放許可或勒令歇業。

Q：土壤污染防治法實施後對大地工程師的影響如何？

A：土壤污染防治法的頒佈實施後大地工程師的影響可歸納以下幾方面：

(一)、業務範圍：大地工程師將擴大傳統的與公共工程或營建有關的工作範圍，以其對土壤、岩石與地下水的瞭解及土工結構物的分析設計能力為基礎，配合環境工程之需求，納入對廢棄物處理、地下水污染、與土壤污染等項目之服務。

就污染防治措施方面的防止土壤與地下水被污染方面，如使用農藥、畜牧養殖業動物產生之排泄物等污染源，大地工程師無法做任何防治。但是對於廢棄物處理設施，大地工程師所能掌握的是設計適當之阻絕構造物與監測系統。而污染整治方面，大地工程師的業務主要是場址調查與污染阻絕結構和現地的土壤與地下水復育。

例如掩埋場除必須依目前法令規範設置外，也將面臨土壤污染防治法的考驗。掩埋場因其設計未曾由適當之大地工程師設計，使掩埋場的排水系統失效或不透水布破裂，造成垃圾滲出水滲漏而污染土壤與地下水者，將遭致懲處。此外，焚化廠之廢棄物暫存設施、灰燼暫存設施，污水處理廠之污泥池，民間之廢棄物代清運與代處理業者，造紙、電鍍等高污染性工業之儲存池，都必須增設或改進既有之容納設施以阻隔污染性物質與現地土壤。

污染整治方面，大地工程師的主要工作之一是現地調查，包括污染區域範圍與污染程度之標定。除資料蒐

集外，使用之方法有地球物理探測，土壤氣探測，探測井地下水取樣，不飽和土壤孔隙水取樣分析，鑽孔土壤取樣等方法。各種方法須配合使用以達最經濟有效的目的。以其所取樣本配合環境工程師之化學計量分析，決定污染現況。以調查所得之參數，與水文地質或地下水專家合作，預估污染傳播之速度，並商討有效防止範圍擴大之對策。實際的整治工作則包括設計與設置污染土壤或／與地下水的暫時或永久性阻絕設施，並參與土壤與地下水復育的設計與現場工作。

(二)、專業職能

地工技術領域將納入所謂的大地環境工程 (Geoenvironmental Engineering) 或環境地工技術 (Environmental Geotechnics)。這是反映環境工程界對部份大地工程專門知識的特殊需要而創造出來的、由傳統大地工程演變出來與環境工程結合的產物。這個次領域較偏重與環境工程、水文地質、地球化學等方向，與傳統上以力學為主的地工技術略有不同。

(三)、與法律之關係

土壤污染防治法施行後，只要是場址被認定需要整治，必然伴隨賠償。單是整治所需之費用金額，將動輒以億計算。由於牽涉之金額龐大，當事人不可能不經法律管道抗辯申訴。整個認定污染的過程均會被嚴格檢驗。若採樣分析之缺失導致錯誤之認定，當事人可能會控訴，要求賠償

引起之損失，負擔訴訟費用。因此，大地工程師與法律之關係將較以往密切。不僅調查分析等工作成果可能成為證物，本人上法庭作證也常不可避免。

(四)、對一般傳統大地工程業務之影響

在建築物基地等傳統鑽探中遇可疑污染時，大地工程師必須呈報業主或主管機關，以便做進一步處理。若知情不報，日後將擔負重大的法律責任。因而，所有大地工程師都必須對大地污染有基本的認識。

Q：污染場址的調查和傳統的大地工程調查有何不同？

A：污染場址調查之方法雖與傳統的大地工程鑽探精神上相仿，但重點、目的有很大的不同，手段更多樣化。現在關切的重點不是取得「力學觀點」的不擾動土樣，而是土壤本身與孔隙流體保持原樣的土樣；目的是求土壤中的污染物質和土壤的水力與化學特性。土壤這個主體，因含有污染物而更形複雜，而調查結果因除供研判設計外，還可能成為法庭上的證物或爭辯的焦點或核心，其重要性較傳統上更高。取樣分析之品質保證／品質控制成為關鍵。

除更深入瞭解熟悉傳統之鑽探技術外，必須加入污染物的概念，例如必須側重人員之安全、機具之清潔，防止交錯污染，而取樣之程序、記錄都必須完整。除此之外，更要能廣泛應用地球物理探測、土壤氣調查、地下水調查、不飽和層孔隙水調查等方法。工程師必須能妥善運用這些調查

技術。

Q：大地工程師參與污染整治工作內容通常有哪些？

A：大地污染採取補救措施，主要的目的不外是解除或減輕環境受到的負面影響。表一中列出美國在這些年來常用的補救方法。其中第2、5、8、9項如設置土堤、截流牆（Cutoff Wall）、覆蓋（Cover）等，皆為將污染源與周遭環境隔絕，留滯污染以阻止污染物質繼續擴散。雖然不會除去污染源，但是常常因為必須立即控制污染，再利用較充裕的時間追究責任並做長期整治規畫，所以這些方法被使用的頻率相當高。第1、3、6、7、10項，可以清除污染源，是積極的永久性整治手段。

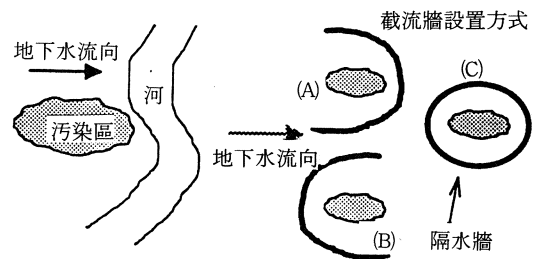
設置表面覆蓋、地表水控制、截流牆、集水溝…等，都是利用不同的大地工程技術，控制水／污染物的流動。圖一中所示為使用截流牆隔離污染的設置方式，選擇適當之方式時必須同時考量有效性與所需費用。截流牆不但可以消極地遲滯或暫時圍堵污染物，也可以成為日後長期整治系統的一部份。其設置將使地下水抽出處理（Pump and Treat），整治更有效率。因此，必須衡量未來將進一步做土壤或地下水的整治與否，由環境工程師、水文地質師、大地工程師共同評估設置之位置、範圍、深度等，然後由大地工程師執行建造。

污染場址的補救措施中，因污染之土壤與地下水之復育屬於永久性治本的整治，所以是目前先進國家較積

表一 超級基金場址主要使用之補救方法 [2] (LAGREGA, M.D., et al., 1994)

1. 移除後以核可掩埋場、焚化爐、處理廠做最終處置
2. 以黏土、瀝青、或不透水布覆蓋污染物以減少入滲，並控制沖蝕與地表逕流
3. 回收與再利用，如油、溶劑
4. 提供新的水源，如接自來水等
5. 整地與築堤控制逕流，使乾淨水避開，使污水留住
6. 酸性污染物就地中和
7. 抽取與就地處理污染之地下水或滲出水
8. 以黏土築阻隔堤或築截流牆
9. 岩床灌漿以阻止污染水外流
10. 現場焚化

其中1.最常用，佔80%以上；7.次常用。



圖一 防止污染擴散之截流牆設置方法

極採取的對策。可分離場（Off-Site）與現場（On-Site）處理，現場處理又分離地（Ex-Situ）與就地（In-Situ）處理。對大地工程師而言，離場與離地處理主要是針對現地的土壤性質與污染土壤的量來選擇適當移除

方式，選用合宜的工法和機具。現場就地處理則必須仰賴大地工程師的調查，對場址地下狀況有更深入的瞭解。地下水之抽取——處理、土壤流洗 (Soil Flushing)、土壤氣抽取 (Soil Vapor Extraction)、生物整治 (Bioremediation)、玻璃化 (Vitrification) 等，各種方法的適用性與地下的土壤的導水度、透氣性、孔隙率、粒徑分佈、及化學特性等以及地下水狀況息息相關。被選定的整治方案的系統細部設計，在環境與大地工程師共同參與現地小規模試驗 (Pilot Test) 後定案。

Q：從事與大地污染相關工作時，大地工程師還需具備要哪些知識及技術？

A：既然大地工程師必須從事與環境工程相關之業務，就需要打破傳統之專業分界，對環境工程有適當之認識。有志從事與環境工程相關工作的大地工程組學生在受教育時就必須修習環境工程之基本課程，而執業之大地工程師應隨時吸收這方面的常識與專業知識。

有鑑於此，ASCE大地工程分支的環境地工委員會對工程師與教授們做調查，以確認必須被涵蓋的課程內容。其中被認為重要的最多人次之前五個是：(1)環境法規，(2)掩埋場設計，(3)污染物命運與傳播，(4)整治技術，與(5)鑽探、取樣與監測。對環境地工碩士學位計畫課程組成中，被認為應包括課目的前五名則為：(1)污染場址整治，(5)水文地質，(6)環境法規，(4)掩埋場設計，與(5)地下水和土壤化

表二 建議之環境地工課程內容 (FILZ, 1994)

課目名稱	課程內容
場址調查	岩石與土壤之形成與礦物學、水文地質、基礎環境化學、鑽探與取樣、地球物理探測、地下水與不飽和層監測、健康與安全要項、常用之現地與室內試驗、統計學、實際案例
污染物命運與傳播	平流、水力延散 (Hydrodynamic Dispersion)、吸附/脫附、多相流 (Multiphase Flow)、傳播模擬、生物分解 (Biodegradation)、特殊現場試驗、實際案例
污染場址整治	法律規範環境、抽水處理 (Pump and Treat)、截流/分流牆 (Cutoff/Diversion Walls) 土壤氣抽取 (Vapor Extraction)、生物整治 (Bioremediation)、固化/安定化 (Solidification/Stabilization)、熱處理 (Thermal Treatment)、土壤沖洗 (Soil Washing)、玻璃化 (Vitrification)、特殊現場與室內試驗、監測、品質保證/品質控制 (QA/QC)、實際案例
廢棄物掩埋場設計	法律規範環境、場址選擇、阻水層設計 (Liner Design)、滲出水收集 (Leachate Collection)、廢棄物特性、運轉、氣體收集 (Gas Collection)、覆蓋設計 (Cover Design)、邊坡穩定、側向與縱向擴充 (Lateral and Vertical Expansion)、監測、品質保證/品質控制 (QA/QC)、實際案例

學。表二列出依統計結果規劃之課程，這些課程也應是環境工程系所研究生的選修科目，同時也是工程師在職學習的內容。

參考文獻

行政院環境保護署（民國80年），「土壤污染防治法草案」。

LAGREGA, M. D., BUCKINGHAM, P. L., and EVANS, J. C., (1994), *Hazardous Waste Management*, McGraw-Hill, 1146 p.

FILZ, G., (1994), "Environmental Geotechniques Curricula," *Geotechnical News*, March 1994, pp. 33-36.