

工程地質鑽探資料庫應用於土壤液化潛能分析

洪世勳、王天佑（中興工程顧問社大地工程研究中心 研究員）；俞旗文（中興工程顧問社大地工程研究中心 副理）

關鍵詞：ArcGIS、地質鑽探資料庫、土壤液化潛能分析模組

近幾年來，大地工程學術界與工程界投注了大量的資源於土壤液化的研究上，液化潛能分析成為了大部份土壤基礎工程規劃設計階段必先檢討的問題之一。921地震後，台灣中部地區十三個鄉鎮均發生了嚴重的液化災害，土壤液化問題更加引起社會大眾的注意；同時，土壤液化潛能評估工作也受到政府主管單位對於地震災害防治方面的高度重視。

本文結合地理資訊系統軟體ArcGIS，並開發外掛於ArcGIS的土壤液化潛能分析模組。該模組引用三種常用之簡易土壤液化潛能評估方法包括(1)修正Seed法(2)T&Y法及(3) JRA 96法來進行運算。配合經濟部中央地質調查所所建立之工程地質鑽探資料庫(Geo2000)，使用者僅須將此資料庫之鑽探點位展示於GIS圖層中，再於此圖層點選特定之鑽孔，本模組即可快速地針對此鑽孔深度20米內之所有取樣及試驗資料，進行液化潛能評估；並依各試驗之深度，將各土層之重要試驗數據與評估結果，以表格式圖形方式呈現，提供使用者先行了解該區域土層是否有液化的可能，進而於後續的工程規劃設計中採取必要的經費估算及工程措施來因應。

一、前言

近幾年來，大地工程學術界與工程界投注了大量的資源於土壤液化的研究上，液化潛能分析成為了大部份土壤基礎工程規劃設計階段必先檢討的問題之一。921 地震後，台灣中部地區十三個鄉鎮均發生了嚴重的液化災害，土壤液化問題更加引起社會大眾的注意；同時，土壤液化潛能評估工作也受到政府主管單位對於地震災害防治方面的高度重視。

本文配合所搜集的地質鑽探資料庫，於 GIS 系統中開發區域土層液化潛能分析模組，讓設計者於工程初期先行評估該區域土層液化的可能，作為後續設計之參考。

二、土壤液化潛能分析評估

土壤液化潛能分析方法由簡而繁大致可以分成三個層次，第一層次是經由歷年累積下來的案例研究所建立的經驗公式，以安全係數是否大於 1 的方式評估土層之液化潛能；第二個層次為總應力分析法(Total Stress Analysis)，考慮土壤之勁度隨應變增加而折減之特性，以擬線性的方式計算土壤隨應變折減的勁度；第三個層次也就是有效應力分析法(Effective Stress Analysis)，由土壤的非線性行為及達西定律計算孔隙水壓的反應及傳遞，進而判定液化可能發生的深度及後續孔隙水壓消散的影響，這種方法理論架構最為嚴謹，相對的，也較為複雜。

以有效應力分析法進行地盤液化

反應之模擬時，由於數學理論複雜，動輒需同時對十餘個參數進行校調，目前尚處於研究階段，尚未於工程界廣泛應用；總應力分析法，雖可較精確地評估地盤剖面由地震引致之反覆剪應力比，但土壤之抗液化強度比仍採用與簡易經驗法類似之方式來評估。雖然土壤之抗液化強度，也可以試驗室動力試驗求得，但是限於試驗數量、經費及試驗儀器、程序，甚至取樣技術等問題，以簡易經驗法由現場試驗如 SPT、SCPT 等試驗結果來評估土壤抗液化強度比，較具有廣泛、經濟上的優點。由於本文以地質鑽探資料庫作為分析之資料，因此選擇簡易分析法開發分析模組當能達到簡易、快速及先行評估之目標。

根據建築物技術構造設計規範[1]之建議，一般鑽探資料標準貫入試驗 N 值進行評估之土壤液化簡易分析法，包括修正 SEED 法、JRA96 法以及 Tokimatsu and Yoshimi(簡稱 T&Y 法)等所建議之方法，其基本流程，均為分別估計地震引致之反覆剪應力比(Cyclic Stress Ratio, CSR)以及土壤材料本身之反覆抗剪力強度比(Cyclic Resistance Ratio, CRR)，並定義安全係數 $FS=CRR/CSR$ ，如安全係數小於 1，即代表該土層在設計地震下有液化之可能。本文所開發之液化潛能分析模組，即針對上述三種方法開發，其詳細之公式計算就不在本文描述，僅針對各方法之歷史沿革簡述如下：

2.1 修正 Seed 法

Seed 於 1985 年建議之液化評估法，由於其提出之時間最早，為所有簡化分析法之主流，此法彙整了長期以來由各專家學者於各地震蒐集與累

積之資料，亦充實了基於案例經驗判斷的簡化分析法之案例庫。於 1996 年底，在鹽湖城由美國國家地震中心 (NCEER) 邀集世界對液化研究聲名卓著之學者所舉辦之研討會中，針對歷年來之液化案例、研究成果與實際分析程序，對 Seed (1985) 分析計算程序進行局部修正，修正後之計算程序捨棄了原來許多查表比圖的方法，而以建議之公式組計算，更有利於自動化大量分析之需求。

2.2 JRA96 法

日本道路協會根據大量高品質之冷凍現地取樣試體，就現地 SPT-N 值與試驗室動態試驗結果，於其出版之道路橋梁示方書第五部耐震設計規範 1990 版中，提出液化潛能簡易分析法。1995 年阪神地震後，日本道路協會將該次地震所得之經驗與之前之研究結果重新整理，於 1996 年提出新版之液化評估準則，國內簡稱為 JRA96 法，由於 JRA96 法考慮之地震及各地震度係針對日本各地之地質特性所定，國內無法直接套用，因此，內政部建築技術審議委員會於民國 91 年草擬之「建築物耐震設計規範及解說修訂草案」中，即以 JRA96 法為骨幹，修訂為適合國內應用之液化評估法，雖此法尚未正式公佈施行，但亦已在各工程設計中廣泛應用。本文即以內政部之調整，作為 JRA96 法之計算程序。

2.3 T&Y 法

T&Y 法 (1983) 為東京工業大學 Tokimatsu 與 Yoshimi 整理日本地震液化案例及綜合現場冰凍土樣之液化強度試驗結果發展而成，其特色為針對細料含量對抗液化強度之考量最為詳

盡，近年來已被日本建築協會及原子能委員會接受為設計規範，在台灣高速鐵路土壤液化評估方法研究案之總結結論中，認為此法在高鐵全段各層次之考量較合理，並建議此法為高鐵評估土壤液化之基本方法。其基本架構與 Seed 法相近。

三、土壤液化潛能分析模組開發

本文使用 Visual Basic (VB6) 語言開發土層液化潛能分析模組 [2]，並將其編譯為 DLL 檔 (Liquefaction.dll)，且以外掛方式 (Plugin) 將此模組內嵌入地理資訊系統軟體 ArcGIS [3] 中。

使用者於 ArcGIS 介面執行該模組時，模組會讀取 Geo2000 地質鑽探資料庫 [4] (NGEOEXT.mdb) 內有關土壤液化潛能分析所需參數之表格，並引用前面所介紹之三種土層液化潛能評估法針對鑽孔深度 20 米內之所有取樣及試驗資料，進行液化潛能評估，並依各試驗之深度，將各土層之重要試驗數據與評估結果，以圖形方式呈現，提供使用者參考，其架構如圖 1 所示。

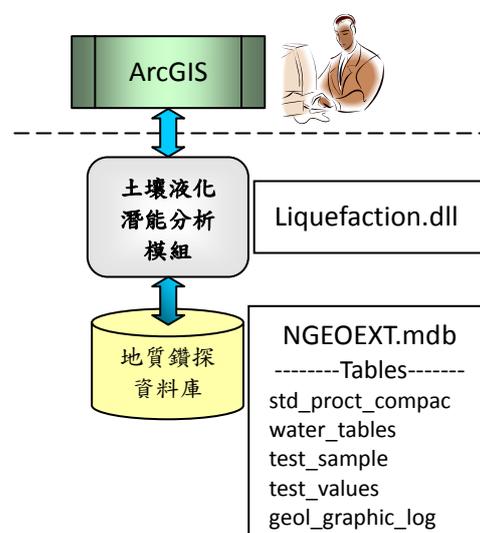


圖 1 土壤液化潛能分析模組架構圖

四、土壤液化潛能分析模組應用

本文以台北盆地某處之鑽探資料為例，進行土壤液化潛能分析模組之應用說明。將地質鑽探資料庫之鑽探孔位展示於 ArcGIS 中，其資料分佈如圖 2 所示。接著在 ArcGIS 介面下進行放大、平移至選定的台北某處分析範圍，如圖 3 所示。

使用者僅需點選任一鑽孔，即跳出如圖 4 之視窗，將該鑽孔之柱狀圖、SPT-N 值、細粒料含量以及三種液化評估法計算所得之安全係數對土層深度之關係，以圖形方式顯示；當某深度之安全係數小於 1，表此深度之土壤於設計地震規模下有液化的可能。

由於進行液化潛能分析時，鑽探之地下水位並不能作為分析之依據，

故本模組設計讓使用者輸入設計地下水位、設計地表最大加速度以及設計地震規模等分析參數，供設計者進行不同狀況下之土壤液化潛能分析。此外，由於 JRA96 法可由使用者決定分析地震之種類；T&Y 法可讓使用者定義 C_s 等係數，本模組為盡量提供分析之彈性，亦提供讓使用者修改這些分析參數之功能，如圖 4 右上角中所示。

當資料庫只有 SPT-N 值而無細料含量 (Fine Content) 時，則無法進行液化潛能評估的工作，右方的評估圖會顯示出「無法評估」，如圖 5 所示。

當細料含量 $FC \leq 35\%$ 或 $FC > 35\%$ 且塑性指數 $PI < 15\%$ 的情況不會發生液化，因此無需評估液化潛能，右方的評估圖會顯示出「不必評估」，如圖 6 所示。

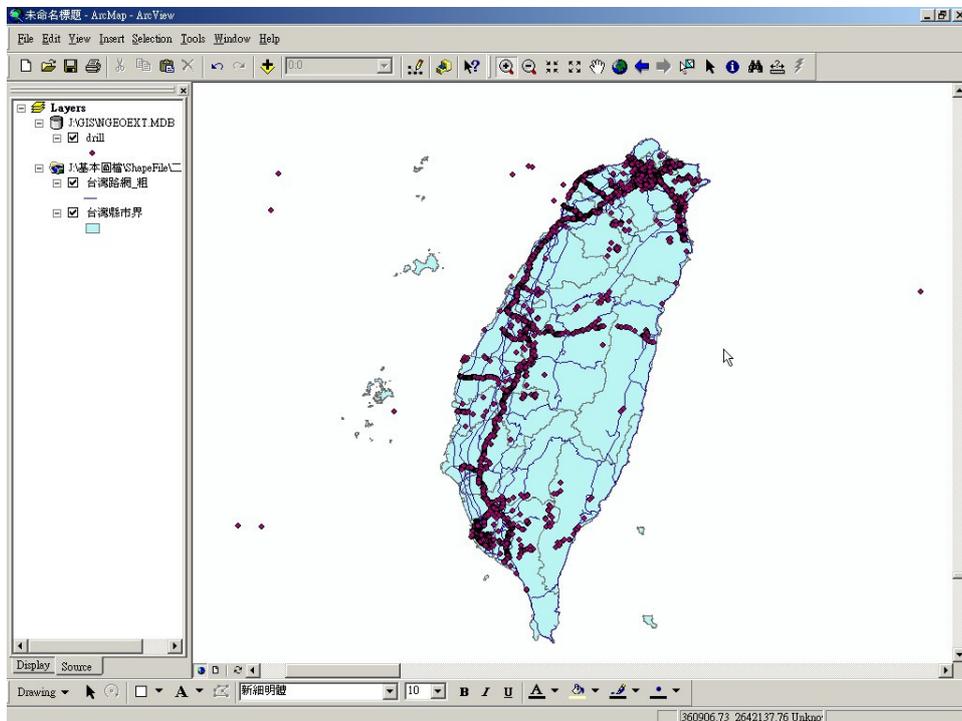


圖 2 鑽探資料分佈圖

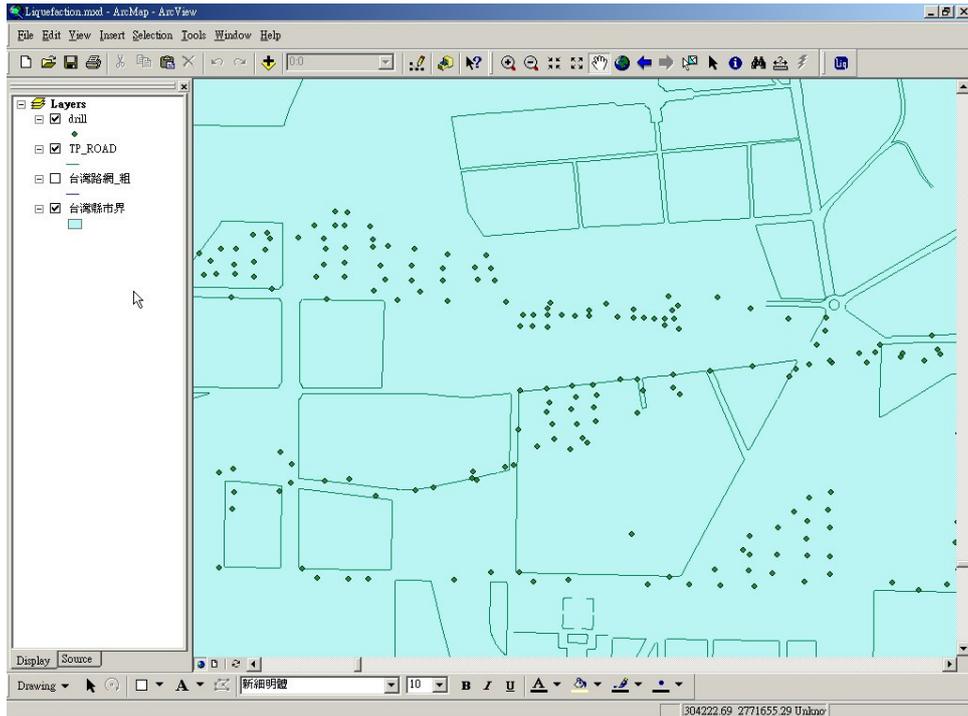


圖 3 台北某處之鑽探孔位分佈

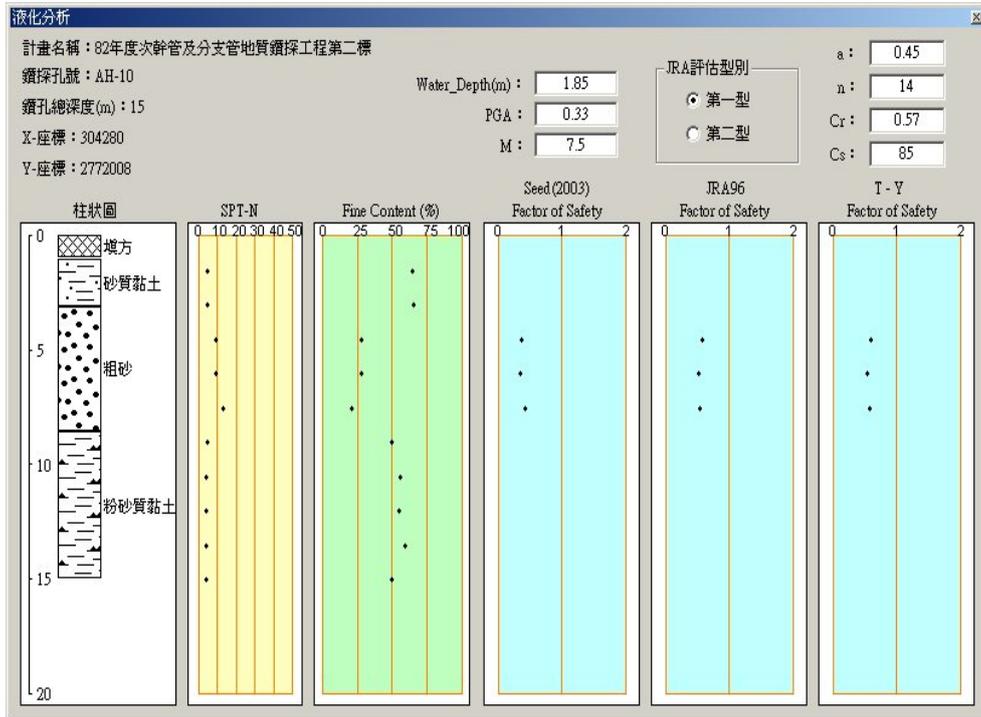


圖 4 液化潛能分析成果

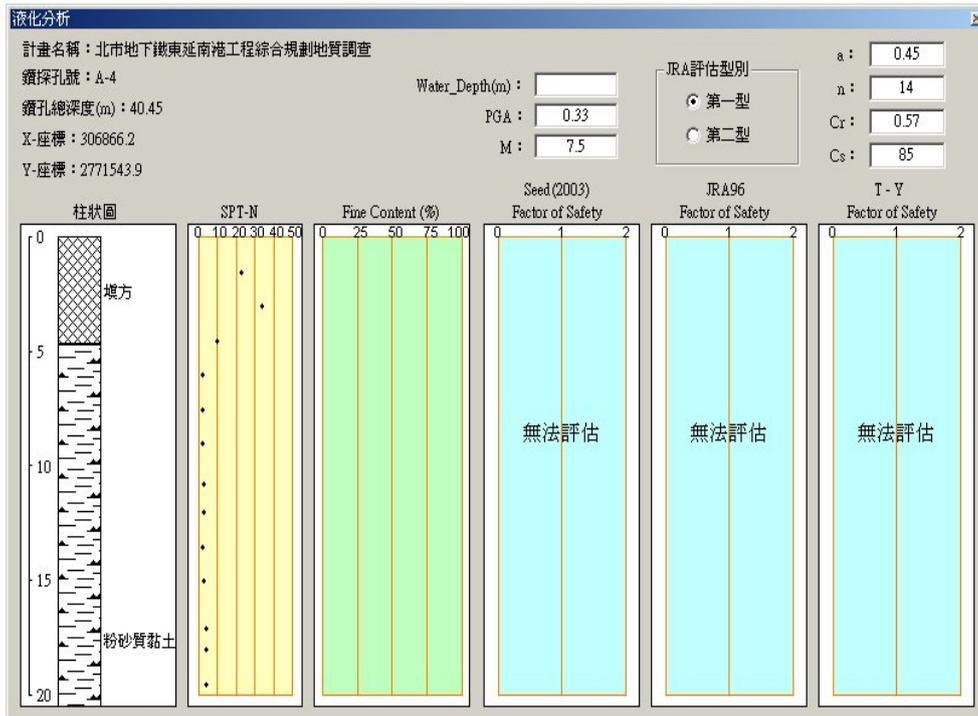


圖 5 無法評估液化潛能之鑽孔

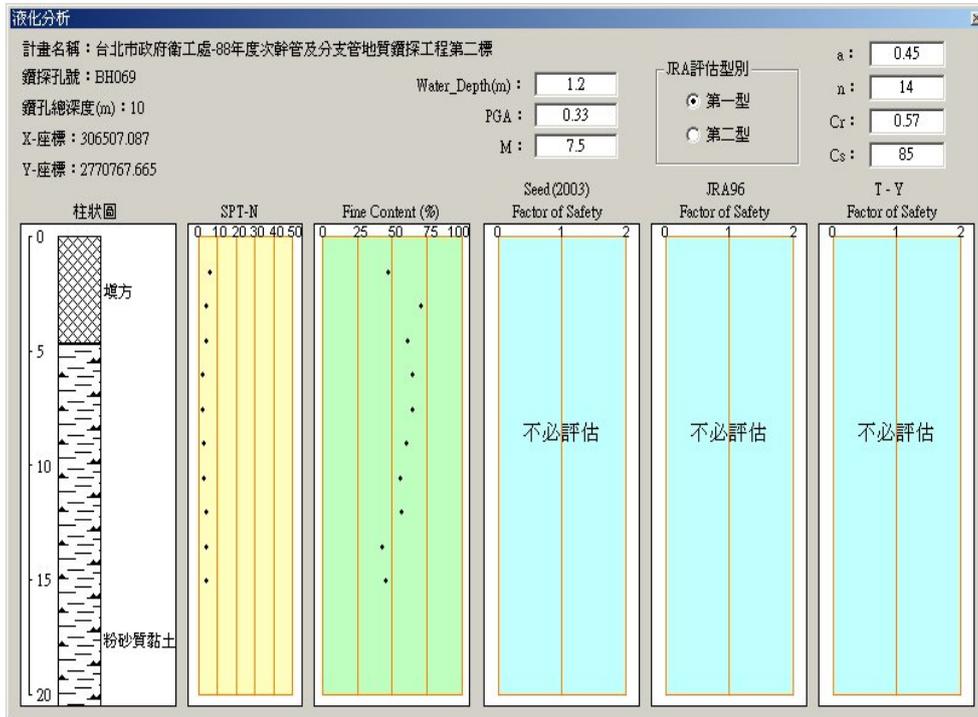


圖 6 不必評估液化潛能之鑽孔

五、結論

本文所發展之液化潛能分析模組，目前已可對特定鑽孔，快速地進行液化分析，提供使用者先行了解該區域土層是否有液化的可能，進而於後續的工程規劃設計中採取必要的經費估算及工程措施來因應。使用者並可藉 ArcGIS 地理資訊系統，透過本模組對工程所在位置附近之鑽探資料，進行查詢與分析，建立對區域土層狀況的進一步瞭解。

參考文獻

1. 建築物基礎構造設計規範，內政部營建署，2001。
2. 俞旗文、王天佑、葛文忠、洪世勳（2005），「地理資訊系統於大地工程之應用(一)」，中興工程顧問社。
3. 蔡博文、許巖璨（2001），『新一代地理資訊系統 ArcView 8.X 剖析』，GIS 教育訓練暨諮詢中心系列叢書，崧旭資訊股份有限公司發行。
4. 「國土資訊系統自然環境基本資料庫分組」—「工程地質探勘資料庫」資料作業參考規範，中央地質調查所，1998。