



臺北都會區防減災害探討 — 以土壤液化潛勢區分析評估為例

彭振聲／臺北市政府工務局 局長

張凱堯／臺北市政府工務局 科長

張正岳／臺北市政府工務局 技士

臺北市政府於 2016 年 9 月 10 日率全國之先上網公開臺北市土壤液化潛勢中級精度圖資，公開後 3 個月內網頁瀏覽查詢已達 10 多萬人次。民眾藉由各式行動載具及電腦透過門牌及地籍定位，進行線上查詢，瞭解關切區域土壤液化潛勢評估結果，網頁並提供土壤液化機制說明、土壤液化 Q&A 與市府應對土壤液化因應對策資訊和處理窗口。另外市府也製作土壤液化知識懶人包，提供民眾下載閱讀，以瞭解正確土壤液化觀念。

行政院核定「安家固園計畫」(2016 年至 2021 年) 補助各地方政府製作中級精度土壤液化潛勢圖，加上內政部刻正修訂「風災震災火災及爆炸災害潛勢資料公開辦法」增訂土壤液化潛勢分布圖為震災災害潛勢資料公開項目。本文就臺北市政府在製作中級精度土壤液化潛勢圖的分析產製過程、遭遇的問題及解決方案提供未來各單位執行及操作之參考。

前言

臺北市政府在考量臺北市境內特殊地理環境，於強震來襲時或有土壤液化發生之疑慮，從 1998 年即連續 4 年進行「台北市地質鑽孔資訊化計畫」，除建立營建鑽探資料庫網路服務外，並持續著手辦理市轄境內土壤液化潛勢調查工作。

2016 年 0206 美濃地震造成臺南永康區維冠大樓倒塌，也震出土壤液化的危機，成為社會廣大民眾關心的重大議題。行政院遂指示經濟部地調所，公開全國初級精度土壤液化潛勢圖，並提出三級土壤液化潛勢圖資概念。要求地方政府利用經濟部中央地質調查所已建置「工程地質探勘資料庫」的鑽探資料，及「安家固園計畫」(2016 年至 2021 年) 補助各地方政府進行補充地質鑽探，進行「中級」精度之土壤液化潛勢調查。緣此，臺北市政府配合中央三級土壤液化潛勢圖資推動計畫，

更新臺北市轄區土壤液化潛勢資訊及建置臺北市區土壤液化潛勢查詢系統，率全國各縣市之先，公開地方政府產製之中級精度土壤液化潛勢圖，作為後續臺北市都市規劃與防災之應用參考。

由於土壤液化潛勢資訊之公開影響廣大民眾對於住屋安全狀況之掌握，亦會直接或間接影響區域房屋價格，長久以來，政府部門對於土壤液化潛勢資訊之公開，態度相對保守。然而，在民眾對於涉及自身權益「知」的要求日增及政府強調資訊公開透明之施政潮流下，土壤液化潛勢資訊之公開，有其不得不為之勢。

國內外土壤液化潛勢圖之公開

已知如日本、美國均有公開之土壤液化潛勢圖，圖資比例尺不一，約在兩萬五千分之一或更小，相關潛勢圖資均在網路上公開。

日本係由各地方政府製作，再經中央政府之國土交通省彙整，可於網路上查詢各式圖資，原圖比例尺不一，約為兩萬五千分之一或更小，土壤液化潛勢分析的設計地震，亦依各地可能地震強度而異。土壤液化潛勢的分級，係依據土壤液化潛勢（PL）值，區分為高、中、低等 3 級及其他尚未調查區域，全日本共 47 個都道府縣中，共有 40 個地方政府公開土壤液化潛勢資訊。

美國則由美國地質調查所與加州地質調查所合作，針對加州舊金山灣區等 3 個地區，考量該地活動斷層狀況後的設計地震強度，進行分析評估，原圖比例尺不一，約為兩萬五千分之一或更小。土壤液化潛勢的分級，則是依據可能液化的機率或面積做分級，大致區分為 5 級。土壤液化潛勢圖資均已公開在網頁上，可供下載或 GIS 查詢。

目前國內土壤液化潛勢圖建置，係參考美、日做法，建立「三種精度圖資、三種使用功能」之土壤液化潛勢圖定位，即以經濟部地調所公開第一層次「初級精度」的土壤液化潛勢圖資，並做為國土計畫、國土防災之用；再則進行第二層次較精細的「中級精度」土壤液化潛勢圖資調查建置，以做為都市計畫、都市防災之應用。至於第三個層次的「高級精度」土壤液化潛勢圖資則是由個別開發或建案的執行單位，參考第二層次中級精度圖資，為個案規劃設計的需要，依規範辦理基地地質探勘、測繪圖資。

臺北市中級精度土壤液化潛勢圖建置

鑽探資料來源

臺北市各項重大基礎工程設計施工前，均有進行鑽探以作為規劃設計之參考。1986 年內政部營建署委託李咸亨教授執行「台北都會地區大地工程地質資料蒐集及處理之可行性研究」。1988 年，內政部建築研究所籌備處再委託李咸亨教授進行系列之大地工程資料庫系統研究計畫，完成包括資料庫系統，使用手冊，台北市轄管鑽探資料實質建檔和土層剖面專家系統，首度將分散於各工程報告中的鑽探資料篩分研判後，將 1,600 孔建檔於 PC 型 GIS 軟體撰寫之營建鑽探資料庫（Geolog）。1998 年起臺北市連續 4 年持續進行「台北市地質鑽孔資訊化計畫」，鑽探資料數化檔更累積至 2,800 孔，並完成了 2002 年版臺北市土壤液化潛勢圖。

此次進行中級精度土壤液化潛勢分析之鑽孔資料來源，主要蒐集 2016 年 1 月以前臺北市營建工程鑽探資料庫及中央地質調查所工程地質探勘資料庫等兩大資料庫之鑽孔資料，共 11,917 孔，如表 1 所示。

表 1 鑽孔資料來源

執行單位	臺北市工務局	
提供單位	臺北市政府工務局	中央地質調查所
資料庫	臺北市營建工程鑽探資料庫	工程地質探勘資料庫
鑽孔資料來源	中央和地方政府之公共工程鑽孔資料為主，建管處之民間建築資料為輔，並逐孔加以篩選	中央地調所地質鑽探資料庫至 2016 年年初蒐集之公共工程鑽孔資料
鑽孔數量	4,106 孔	7,811 孔
鑽孔資料範圍	臺北市	大臺北地區
鑽孔總數量	11,917 孔	

鑽探資料篩選條件

工程地質鑽探施作項目通常包含地層分層研判、現地標準貫入試驗和取樣，以及進行室內土壤一般物理性質與力學性質試驗等，依工程屬性需求而決定項目。例如下水道工程之管線呈面狀展開分布，所需地質調查範圍與密度較均勻，埋設深度較淺，且開挖規模較小，故地質鑽探調查深度通常不深，一般約 10 ~ 15 m 左右，不符土壤液化分析需求。而捷運系統，因管線地下化較深，大多深約 20 ~ 25 m 左右，且捷運站體基礎開挖深度大，因此地質調查工作較為周詳。橋樑、高速公路與快速道路之橋墩常採用樁基礎型式，地質鑽探深度較深，以鑽掘至卵礫石層為原則，對於松山層土層部分調查較為詳細。為了地下停車空間，民間大樓建案的鑽孔深度也大約為 20 公尺以上。因此，蒐集之鑽孔資料，主要以上述之管道工程、捷運工程、道路工程及大型建築工程等鑽孔資料為主。

依據建築物耐震規範與解說（2011）定義：臺北盆地範圍訂定為淡水河水系內海拔 20 m 以下區域。因為考量海拔超過 20 m 之區域，若其覆土較厚，也不排除有液化可能，故增加海拔 20 m 以上，但覆土層厚度達 4 m 以上的鑽孔資料，亦加以分析，以利後續繪製土壤液化潛勢圖參考使用。

內政部營建署，「建築物基礎構造設計規範（2001）」中指出，Iwasaki *et al.* (1982) 提出的液化潛能指數 PL (Liquefaction Potential Index) 來評估土壤液化之嚴重程度，其深度範圍需為 0 ~ 20 m，依此需篩選出鑽孔總深度 20 m 以上的鑽孔資料進行後續的土壤液化評估工作；文中另規定三種 SPT-N 土壤液化評估方法 (Seed *et al.* (1985)、JRA (1996)、T&Y (1983))，需要土壤液化評估用之分析參數，如土壤單位重 (γ_t)、取樣深度、地下水位、粒徑分析之細粒料含量 (粉土與黏土) 與 SPT-N 值 (N) 等。因此，鑽孔資料篩選原則包含明確的取樣深度，以利液化分析評估；其二，標準貫入試驗之 SPT-N 值需要有數據外，且 N 值數值要合理；其三，粒徑分析之粒料含量總數需正確，其總合應為 100%；其四，選取介於 1.7 g/cm³ ~ 2.3 g/cm³ 較合理的土壤單位重 (γ_t) 資料，確保鑽孔資料正確性。因此如果不符合上述篩選原則的鑽孔資料將予以剔除不使用，上述篩選原則與流程詳表 2 與圖 1 所示，篩選後對應的資料數有 3,060 孔資料如表 3 所示。

表 2 鑽孔資料篩選條件

整理工作	項次	整理項目	篩選條件
一	1	分析範圍	1. 臺北市境內。 2. 不重複鑽孔。 3. 海拔 < 20 m。 4. 海拔 ≥ 20，且覆土層 4 m 以上。
	2	鑽孔總深度	1. 鑽孔總深度 ≥ 20 m。
二	1	取樣深度	1. 有取樣深度數據者。
	2	標準貫入試驗	1. 有 N 值數據者。
	3	單位重	1. 有土壤單位重數據者。 2. 選取介於 1.7 g/cm ³ ~ 2.3 g/cm ³ 土壤單位重。
	4	粒徑分析	1. 粒徑含量總數等於 100% 者。
	5	細粒土壤	1. 有自然含水量數據者
	6	人工判讀	1. N 值合理者 (例如軟弱土壤但 N 值偏高者剔除)。

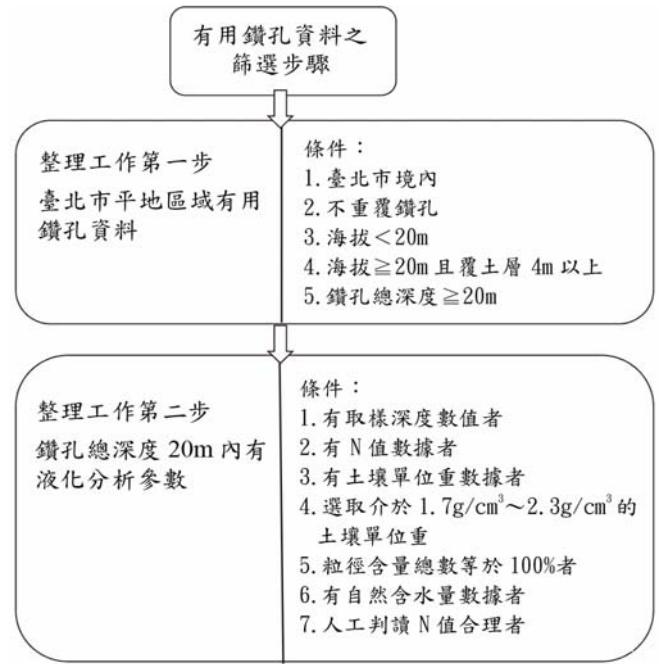


圖 1 鑽孔資料之篩除流程圖

表 3 鑽孔資料篩選工作總表

供土壤液化分析用之 臺北市內鑽孔資料篩選工作		篩選後鑽孔數量 (孔)		
		地調所	工務局	合計
A. 原始鑽孔資料	1. 計畫蒐集鑽孔	7,811	4,106	11,917
B. 臺北市平地區域有用鑽孔資料整理工作	1. 臺北市境內鑽孔資料	5,370	3,600	8,970
	2. 海拔 < 20 m 者或 海拔 ≥ 20 m 且覆土層 4 m 以上者	4,238	3,364	7,602
	3. 鑽孔總深度 ≥ 20 m	2,172	2,386	4,558
C. 20m 深度範圍內有液化分析參數鑽孔	1. 取樣深度數值者	1,976	2,386	4,558
	2. N 值數據者	1,946	2,269	4,215
	3. 粒徑分析數據正確者	1,043	2,219	3,262
	4. 土壤單位重 (1.73 ~ 2.3 g/cm ³)	970	2,096	3,066
	5. 自然含水量數據者	970	2,096	3,066
	6. 人工判讀 N 值合理者	970	2,087	3,057
D. 增建新孔	1. 建管處提供 3 孔資料	970	2,090	3,060

土壤液化情境條件設定

依照「內政部建築物耐震設計規範及解說 (2011)」臺北市設計地震全區為 0.24 g；蒐集近 15 年臺灣地區之代表性地震，監測到的地動資料大多屬板塊隱沒帶地震，並參考臺北市災害防救深耕計畫 (第三期) 中設計加速度 0.24 g 情況下之假設的地震規模，故將地震規模保守假設為 6.9；地下水假設參考經濟部水文資訊網 (<http://gweb.wra.gov.tw/hyis/>)，於臺北市 9 處

的自由含水層地下水監測資料，將監測資料近五年年平均地下水位，並保守增加百分之二十，繪製成地下水等值圖（圖 2），再將 3,060 孔各別輸入該區的地下水位。

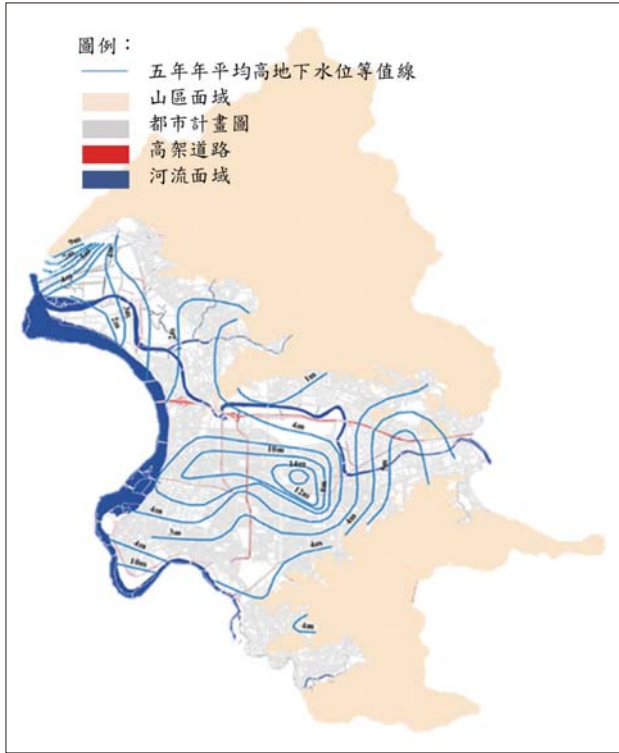


圖 2 五年年平均高地下水位等值圖

土壤液化分析方法與評估流程

分析方法依內政部「建築物基礎構造設計規範」（2001）規定，分別為 Seed *et al.* 簡易經驗法（1985）、日本道路協會簡易經驗法 JRA（1996）與 Tokimatsu & Yoshimi 簡易經驗法（1983），等三種方法，進行臺北市土壤液化潛勢分析工作。分析流程如圖 3 所示。

以各孔位土壤液化潛勢等級，依照李咸亨（1996）提出的臺北市工程地質分區（共 13 區）進行土壤液化潛勢圖內插基準，例如 2 個高度液化的鑽孔，中間相距 670 公尺（3 個網格），中間網格雖然沒有鑽孔資料，但在同一個工程地質分區內，故將中間網格內插為高度液化區。

分析結果比較

將 3,060 孔鑽孔資料，經圖 3 之土壤液化評估流程。將三種分析方法結果個別統計評估後，分類成四種不同級距（高度液化、中度液化、低度液化與無液化），後續交叉比對分別簡稱為 Seed *et al.*（1985）、JRA（1996）與 T&Y（1983）說明比對結果。

比對三種分析方法四種潛勢級距之鑽孔分布結果，Seed *et al.*（1985）高度液化之鑽孔有 2,017 孔，而 JRA（1996）與 T&Y（1983）分別為 1,893 孔與 1,765 孔，

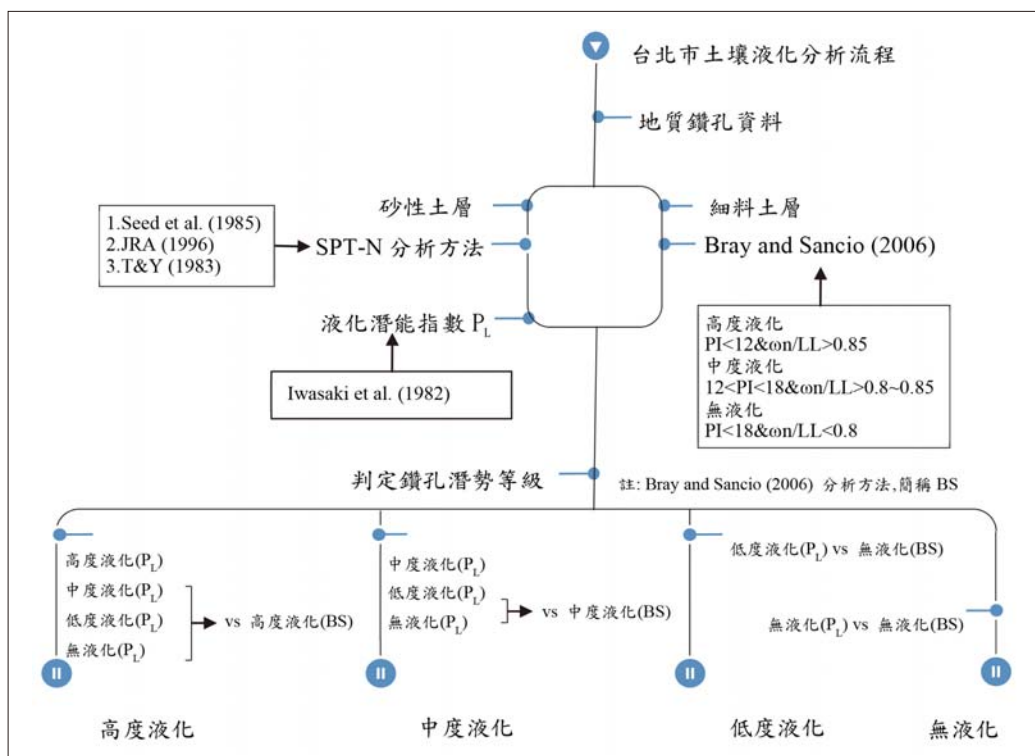


圖 3 土壤液化潛勢評估流程（2016）

有此可見 Seed *et al.* (1985) 結果較保守；T&Y (1983) 低度液化加上無液化共有 532 孔，而 Seed *et al.* (1985) 與 JRA (1996) 分別為 315 孔與 352 孔，T&Y (1983) 明顯較不保守，詳圖 4 所示。經統計四種不同評估方法之四種潛勢級距鑽孔百分比，如表 4 所示。

交叉比對 Seed *et al.* (1985) JRA (1996) 與 T&Y (1983) 三種液化評估方法，其結果分述如下：

1. 比對三種分析方法之四種液化潛勢級距之鑽孔分布結果，整體而言 Seed *et al.* (1985) 結果較保守；而在低度液化與無液化部分，T&Y (1983) 明顯較不保守。
2. 高度液化加上中度液化之鑽孔潛勢百分比，Seed *et al.* (1985)、JRA (1996) 與 T&Y (1983)，分別為 89.7%、88.5% 與 82.5%，有八成鑽孔分析結果屬高至中度液化。

因此臺北市土壤液化潛勢圖之製作即選用 JRA (1996) 之分析結果。

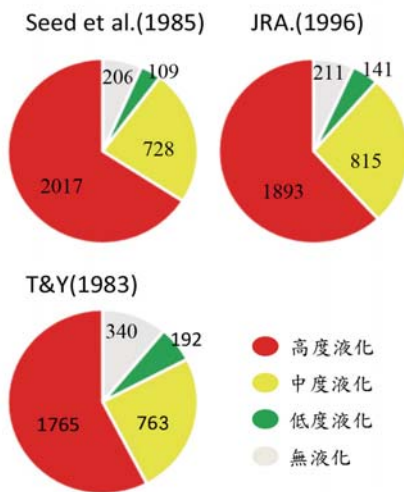


圖 4 三種評估方法之潛勢統計圖

表 4 三種評估方法鑽孔分布百分比表

項次	分析結果	Seed (1985)		JRA (1996)		T&Y (1983)	
		鑽孔數	百分比	鑽孔數	百分比	鑽孔數	百分比
1	高度液化	2017	65.9%	1893	61.9%	1765	57.7%
2	中度液化	728	23.8%	815	26.6%	763	24.9%
3	低度液化	109	3.6%	141	4.6%	192	6.3%
4	無液化	206	6.7%	211	6.9%	340	11.1%
5	合計	3060	100%	3060	100%	3060	100%

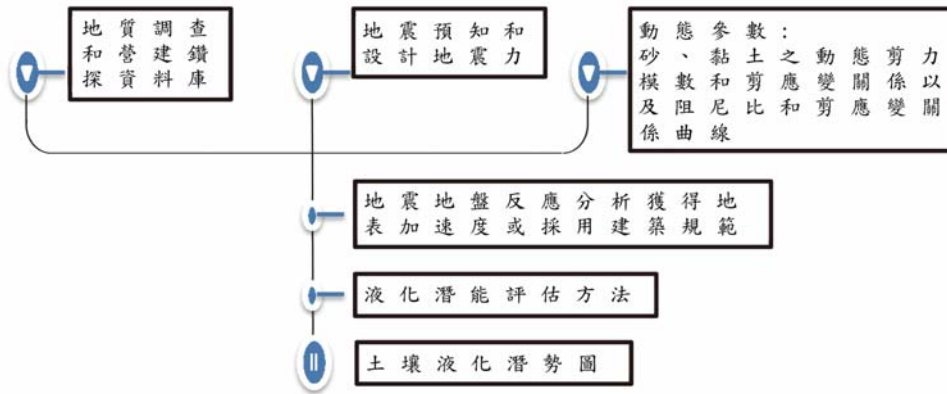
土壤液化潛勢圖繪製

將鑽孔資料對應之不同液化潛勢，使用工程地質三維空間內插法繪出等值圖，並於 GIS 圖中呈現，製作出的「臺北市政府土壤液化潛勢圖」，茲以圖 5 說明流程如下：

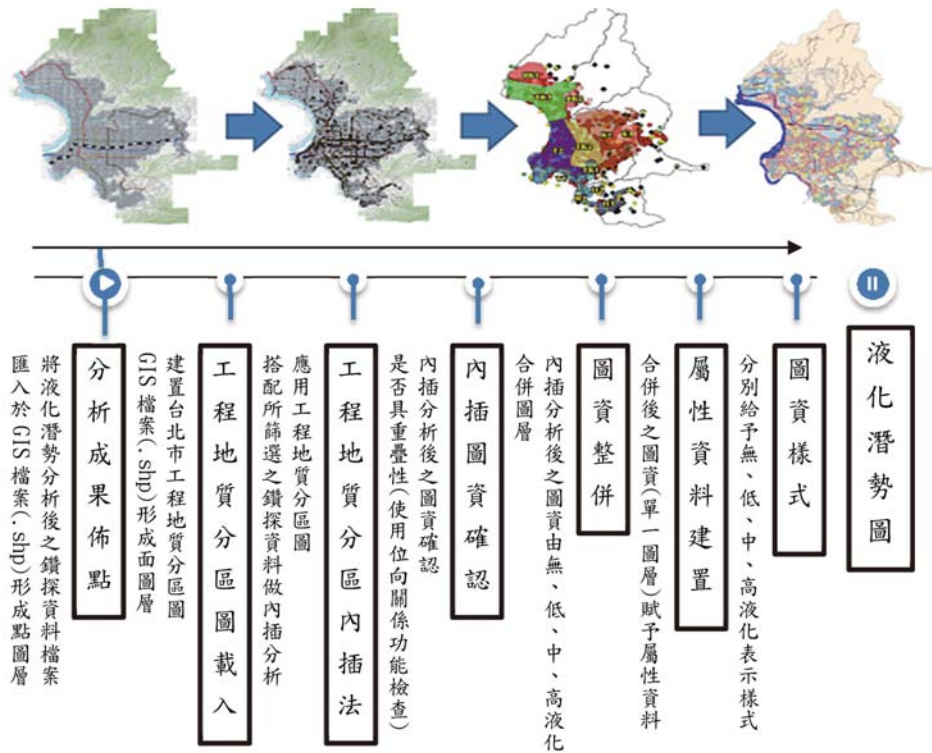
1. 蒐集與篩選可進行土壤液化分析的有用鑽孔資料，共 3,060 孔。
2. 以現行規範設定臺北市境內設計地震為 0.24 g，地震斷層類型假設為第 I 型，作為外力（地震力）之大小；另外地震規模 (M_L) 保守假設為 6.9。
3. 針對選擇的 SPT-N 值深度，計算地震加速度在該處所產生之反覆剪應力比 (CSR, Cyclic Stress Ratio)。
4. 輸入每孔假設的地下水位（本計畫採用近五年平均值再增加 20%）；配合已輸入土壤液化分析用參數，計算該 SPT-N 值深度之土壤反覆抗剪力比。
5. 計算每一深度之安全係數 FS， $FS = CRR/CSR$ 。
6. 將步驟 5 採用 Iwasaki *et al.* (1982) 評估砂質土層液化潛能指數 PL 來進行損害程度分級，分為高度液化、中度液化、低度液化與無液化，共四級。
7. 採用 Bray and Sancio (2006) 評估細粒土壤（粉土與黏土）液化潛勢，進行細粒土壤液化損害程度分級，分為高度液化、中度液化與無液化，共三級。
8. 將步驟 6 與步驟 7 合併研判，取較保守的液化潛勢級別。

根據台北市區大地工程資料庫圖集之三維空間地質柵欄圖，與臺北市工程地質分區圖，作為內插準則，進行三維空間的地質資料判斷，繪出臺北市政府土壤液化潛勢圖，詳圖 6 所示。

本次土壤液化潛勢圖比例尺為五千分之一，分析用方形網格尺寸為 225 公尺 × 225 公尺。圖資提供素地條件下臺北市平地區域土壤液化潛勢分布情形，適用於臺北市都市計畫和都市防災規劃參考。臺北市轄區經評估分析約 26.1% 屬於中、高度液化潛勢區域，另圖資中「非本圖所示資料精度區」占全臺北市全市面積的 14.5%（約 39.44 km²），此區因為鑽孔資料不足，故暫時無法符合中央建議的中級精度（第二級精度）要求，後續將分區分期補充鑽孔資料。



(A) 建置土壤液化潛勢圖原則流程



(B) GIS 建置土壤液化潛勢圖流程

圖 5 建置土壤液化潛勢圖流程

土壤液化潛勢查詢系統開發

查詢系統網頁設計以響應式網頁設計 Responsive Web Design (RWD) 進行，讓所開發的網路系統能在一個網頁下，無論是在傳統的桌上型電腦主機螢幕或是各類行動裝置（平板或手機），都可以適當呈現網頁內容（如圖 7 所示）。

土壤液化潛勢圖層套疊查詢的地理資訊系統 (GIS) 功能採 ESRI ArcGIS 圖資平台架構 (ArcGIS Framework) 進行設計開發，網站程式則盡量都採雲端分流方式設計，各類 Javascript 函式庫（如 ArcGIS Framework 或 jQuery、Bootstrap 等函式庫）或層疊樣式

表 CSS (Cascading Style Sheets) 盡量都引用壓縮檔格式 (.min) 並由各官方網站分流發佈。各式美工圖檔、下載文件檔案 (.pdf 檔或 .odt 檔) 及各類地理圖資交換檔 (.geojson 檔或 .json 檔) 則轉由微軟 Azure 公用雲端服務 (Public Cloud Service) 平台進行雲端分流存取。

民眾藉由各式行動載具及電腦透過門牌及地籍定位，進行線上查詢，瞭解關切區域土壤液化潛勢評估結果，網頁並提供土壤液化機制說明、土壤液化 Q&A 與市府應對土壤液化因應對策資訊和處理窗口，配合圖像化設計說明與網頁美編之教育宣導等功能，網站主要功能架構圖則如圖 8 所示。

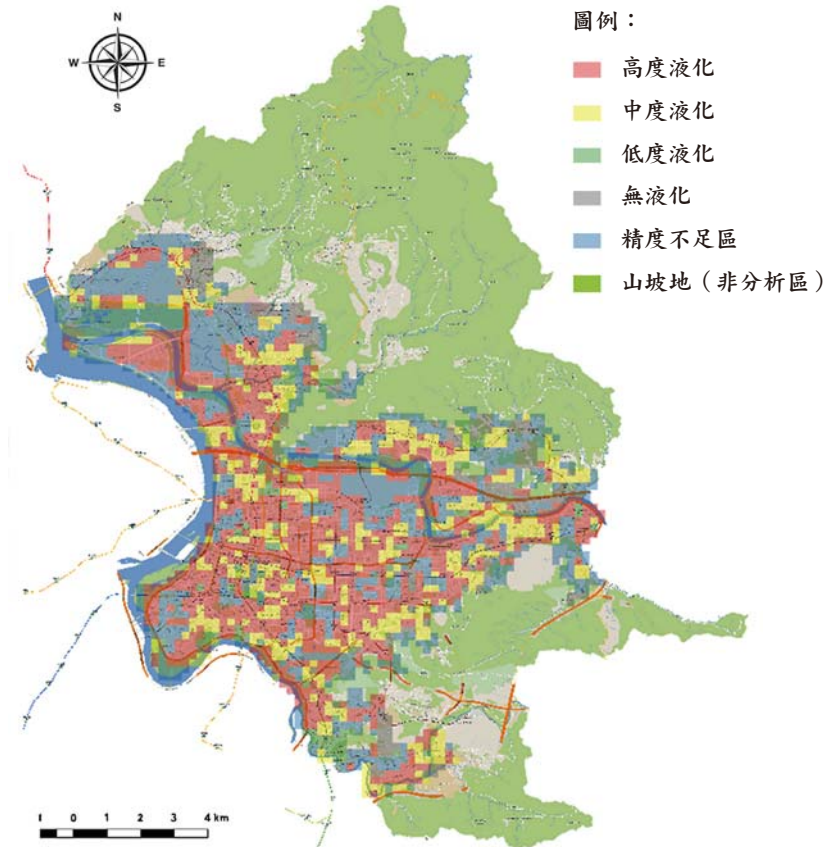


圖 6 臺北市政府土壤液化潛勢圖（2016）



圖 7 網站響應式網頁（RWD）設計

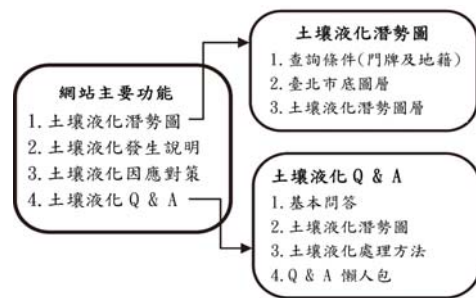


圖 8 網站主要功能架構圖

實務經驗分享

民氣可用，政策支持，資訊公開更順利

歷經 0206 美濃大地震所造成之災害，加上經濟部中央地質調查所於 2106 年 3 月 14 日公開臺北市、新北市等 7 縣市初級精度土壤液化潛勢圖及臺北市政府於同年 9 月 10 日公開臺北市土壤液化潛勢圖，透過媒體大量土壤液化相關報導，民眾得到更多正確土壤液化問題處理資訊後，已漸漸接受資訊之公開，在臺北市亦無潛勢圖公開後影響不動產價格問題，因為民眾已瞭解重點不在是不是位於潛勢區，而在於建物之基礎設計及結構安全問題。目前內政部刻正修訂「風災震災火災及爆炸災害潛勢資料公開辦法」增訂土壤液化潛勢分布圖為震災災害潛勢資料公開項目圖資，加上行政院核定「安家

固園計畫」（2016 年至 2021 年）補助各地方政府製作中級精度土壤液化潛勢圖，基於資訊公開透明，民眾有知的權利，其它地區可配合接受公開之民氣及中央政策之支持，積極完成土壤液化潛勢圖之製作與公開。

土壤液化潛勢分析應有一致性規範

臺北市率全國之先由地方政府製作中級精度土壤液化潛勢圖，惟因目前缺乏全國一致性之分析流程、參數設定、分析方法及產製標準；臺北市政府在此狀況下透過專家學者多次座談及討論會議訂定客觀嚴謹的資料篩選、參數選定及土壤液化分析方法。然而圖資係由政府公開，需具有一定公信力，在法規及政策要求各地區須公開土壤液化資訊，不同單位處理土壤液化分潛勢分

析應有一致的分析作業原則，例如，地下水位、地震情境、鑽探孔位分佈數量、深度、各類需求參數，和分析方法。此部分中央地質調查所應有統籌規範之必要。

不同精度圖資之適用性不同，不宜相互比較

目前國內以「三種精度圖資、三種使用功能」之土壤液化潛勢圖定位，即初級精度的土壤液化潛勢圖資，做為國土計畫、國土防災之用；中級精度的土壤液化潛勢圖資做為都市計畫、都市防災之應用；至於高級精度的土壤液化潛勢圖資則是由個別開發或建案為個案規劃設計的需要，辦理基地地質探勘，測繪圖資。依臺北市公開潛勢圖之經驗，民眾和媒體針對不同精度圖資之差異提出質疑，或針對各別基地或建物是否有土壤液化問題，要求政府單位認定。此部分應向民眾教育，不同精度圖資使用不同鑽探孔位數量及密度進行分析，結果本會有所差異，且本各有不同適用範圍，不宜互相比較；另個別建物土壤液化問題尚涉及建物本身基礎型式，因此不宜以初、中級圖資就個別基地進行可能土壤液化潛勢做判斷，而應回歸高級精度的土壤液化潛勢圖資搭配專業技師對於建物狀態進行整體性評估。

配合圖資公開，整合因應對策

政府公開土壤液化潛勢資訊，雖然滿足民眾知的權利，但因有其專業性，一般民眾不易了解而造成誤解，形成不必要恐慌；另民眾在得知資訊後應如何處理，及政府從施政上應如何協助民眾，都是需整體配合措施加以因應。

臺北市此次公開中級精度圖資，除在專業上力求嚴謹，有多少證據說多少話，開發簡易查詢系統，同時提出九項因應配套措施包括：液化知識懶人包及 Q&A 透過民政系統發送、成立土壤液化工作站提供諮詢、老屋健檢申請與補助、都市更新整維經費補助、公有建築地質改良示範計畫、新建建築物抗土壤液化規定及建管審查流程強化、強化震災（土壤液化）應變作為、多元重建方案與圖資精度再提昇等措施，提供民眾有關土壤液化問題簡易及多元諮詢服務管道，並提供民眾相關建物健檢與建物補強經費資訊與實質補助。

結論

「臺北市政府土壤液化潛勢圖」透過市府工務局營

建鑽探資料庫及中央地質調查所工程地質探勘資料庫，蒐集各公共工程及可信賴私有鑽探資料，經篩選分析後共計獲得 3,060 孔進行液化潛勢評估，並透過與專家學者的研討，以嚴謹的態度、資料說話的原則，製作出比例尺五千分之一中級精度土壤液化潛勢圖，這是全國第一個由縣市政府提出符合中央建議三級圖資中的第二級圖資，主要目的是使用在都市計畫、都市防災上規劃。

臺北市轄區經評估分析約 26.1% 屬於中、高度液化潛勢區域，另有 14.5% 屬於精度不足區，市府後續亦將配合行政院「安家固園計畫」持續辦理土壤液化潛勢圖資精度再提昇。

土壤液化並非絕症，由臺北市土壤液化潛勢圖公開之經驗可知：透過土壤液化潛勢資訊的公開透明，建立民眾正確觀念，可避免不必要恐慌。政府施政上提出整體配套措施，協助既有建物進行必要的檢查和補強；新建築案件依據建管規定，在開發階段即做好地質調查，針對可能產生的各項災損，設計適合的基礎型式與地盤改良，即可有效避免強震發生時土壤液化發生之可能性。

參考文獻

1. 李咸亨、彭振聲、黃金華、張凱堯 (2016),「細粒土壤液化分析對於土壤液化潛勢圖之影響」, 中華民國力學學會第四十屆全國力學會議。
2. 李崇正 (1999),「台北盆地土壤液化潛能圖之製作研究」, 國家地震工程研究中心。
3. 李崇正、熊大綱 (2001),「台北盆地土壤液化潛能圖之製作研究 (II)」, 國家地震工程研究中心報告, NCREE-01-007。
4. 汪信君 (2016),「巨災風險與社會風險管理—以地震災害與保險機制為例」, 月旦法學雜誌 (No. 258)。
5. 社論,「土壤液化不用過度擔心、建物耐震不才是嚴重隱憂」, 台灣省土木技師公會技師報 (No. 1036), 民國 105 年 10 月。
6. 林美聆、戴志君 (2003),「台北盆地土壤液化區劃研究」, 國立台灣大學土木工程學研究所。
7. 周佳宥 (2016),「臺灣災害防救法之過去、現在與未來—以 2016 年修法後之防災業務類型與災防組織為討論中心」, 月旦法學雜誌 (No.258)。
8. 紀宗吉 (2016),「液化潛能圖製作要點」, 2016 土壤液化評估方法研討會, 國家地震工程研究中心, 民國 105 年 8 月 30 日。
9. 費立沅、紀宗吉、蘇品如、吳文隆、謝文誠、許智翔、楊智堯 (2014),「臺北盆地三維防災地質資料庫建置」, 中華技術 (148)。
10. 經濟部中央地質調查所 (2016),「土壤液化問與答」。
11. 臺北市政府工務局 (2016),「臺北市土壤液化潛勢區分析評估工作報告書」。
12. 龍岡文夫、谷關潤一 (2017),「土壤液化之預測與對策」, 2017 土壤液化潛勢評析國際研討會, 民國 106 年 2 月 13 日。