

## 國內工程鑽孔資料彙整建置及土壤液化分析精進

吳秉儒、黃明偉、柯孝勳

國家災害防救科技中心 地震與人為災害組

---

---

### 摘要

土壤液化分析需要大量且均勻分布之工程鑽孔資料，以適切呈現當地土壤液化潛勢；因此，國家災害防救科技中心(以下簡稱災防科技中心)蒐集國內相關單位建置之工程鑽孔資料，並建立自動分析模組，能在震後快速掌握現地土壤液化高風險區，提供地震應變分析研判參考。

### 一、背景及目的

2016年2月6日高雄市美濃區發生規模6.6地震，造成臺南市安南區、新市區、新化區等地區產生土壤液化現象，導致許多建物沉陷或傾斜，引起國內民眾高度關注。經濟部地質調查及礦業管理中心(以下簡稱地礦中心)於2016年3月起陸續公開臺灣各縣市土壤液化潛勢圖於網站(<https://www.liquid.net.tw/cgs/public/index.html>)。早期工程鑽

孔資料大多沿著工程沿線而呈線狀分布，未能均勻涵蓋沖積層區域；因此，地礦中心後續蒐集縣市政府執行內政部安家固園計畫所進行之地質調查成果，並持續對於工程鑽孔數量較少或孔位分布較不均勻之縣市進行地質鑽探，補充工程鑽探資料，更新全臺土壤液化潛勢圖。

為了精進土壤液化分析結果，災防科技中心近年來除了蒐集地礦中心建置之工程地質探勘資料庫之外，亦向國內相關單位取得工程鑽孔資料；並建置土壤液化自動分析模組，於地震發生後快速評估土壤液化潛勢，協助地震應變分析研判作業。

## 二、國內工程鑽孔資料彙整建置

根據國際土壤力學及大地工程學會建議(International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 1999)，大地工程地震危害潛勢圖考量圖資比例尺大小共分為三級(如表 1)，其中第一級、第二級為比例尺較小、適用於廣大範圍初步評估的土壤液化敏感圖(Liquefaction Susceptibility Map)；而第三級之土壤液化潛勢圖(Liquefaction Potential Map)，比例尺建議為 1:25,000~1:5,000，適用於較小範圍、詳細評估的；經由大地工程調查(地質鑽探、室內及室外試驗等)取得土壤一般物理性質參數及強度參數，然後進行土壤液化潛勢評估。因此，對於容易發生土壤液化的沖積層地區，若要獲得較為

細緻且精確之土壤液化潛勢圖資，取得為數眾多且均勻涵蓋沖積層的鑽孔資料，是必要的條件。

表 1、大地工程地震危害潛勢圖資分級(ISSMGE, 1999)

	第一級	第二級	第三級
圖資名稱	土壤液化敏感圖 (Liquefaction Susceptibility)	土壤液化敏感圖 (Liquefaction Susceptibility)	土壤液化潛勢圖 (Liquefaction Potential)
採用資料	1. 歷史地震及既有資訊 2. 地質及地貌圖資	1. 空拍及遙測影像 2. 現地調查 3. 現地居民訪談	1. 大地工程調查 2. 數值分析
圖資比例尺	1:1,000,000~ 1:50,000	1:100,000~ 1:10,000	1:25,000~ 1:5,000

災防科技中心自 2013 年起陸續向地礦中心介接「臺北都會區三維地質防災資料庫」及「工程地質探勘資料庫」(Geo2010 版、Geo2020 版等)取得工程鑽孔資料。在 2016 年高雄美濃地震之前，2015 年工程地質探勘資料庫之工程鑽孔分布套疊沖積層如圖 1，經過校正處理，共有 15,634 孔工程鑽孔資料。早期因為工程鑽孔資料都是經由高速公路、快速道路、捷運、下水道等公共工程取得，因此大多呈線狀分布，未能充分涵蓋沖積層，仍有許多地方需要鑽孔資料以獲得較為精確之土壤液化評估結果。



圖 1、2015 年工程地質探勘資料庫鑽孔分布(資料來源：地礦中心)

除此之外，災防科技中心亦向國內相關單位取得工程鑽孔資料，資料來源包括(如圖 2)：

1. 強震測站鑽孔：中央氣象署與國家地震工程研究中心合作，在全臺強震測站場址進行地質鑽探及地層波速構造量測，取得地下各深度地層之土壤一般物理性質參數、標準貫入試驗值(SPT-N)、P 波及 S 波之波速量測值，建置「強震測站場址工程地質資料庫」(<https://egdt.ncree.org.tw/news.htm>)，挑選位於沖積層之鑽孔共 449 孔資料。
2. 宜蘭縣政府鑽孔：內政部在 2016 年高雄美濃地震之後推動安家固園計畫，補助各縣市政府進行地質鑽探及土壤液化潛勢分析；宜蘭

縣政府配合該計畫推動，分成兩期共完成 517 孔之地質鑽探。

3. 工程顧問公司鑽孔：富國技術工程公司提供 2003 年至 2013 年執行國內相關單位計畫完成之鑽孔資料，經過校正檢核，挑選 408 孔鑽探資料納入土壤液化分析所用之鑽孔資料庫。
4. 921 地震液化場址鑽孔：1999 年 9 月 21 日集集地震之後，國科會補助多所大學院校對於臺中市、彰化縣、南投縣發生土壤液化之場址進行地質鑽探，並用國際常用之土壤液化評估法進行比較分析，共取得 73 孔鑽探資料。



圖 2、相關單位工程鑽孔分布

災防科技中心於 2022 年再次向地礦中心介接工程地質探勘資料庫，彙整上述國內各單位建置之工程鑽孔資料，共取得 40,312 孔工程鑽孔資料(如圖 3)，可看出鑽孔資料密度大幅提升，且均勻涵蓋沖積層，為土壤液化分析提供堅實的基礎。

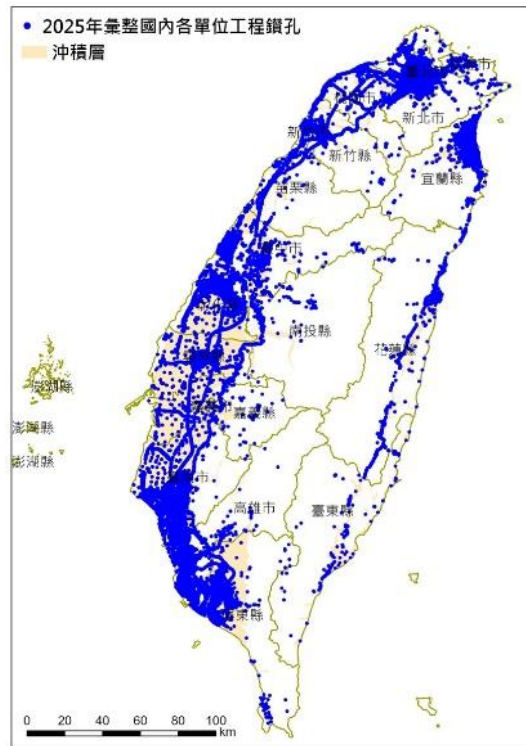


圖 3、2025 年彙整國內各單位工程鑽孔

### 三、土壤液化自動分析模組

因應地震應變作業需求，災防科技中心建置土壤液化自動分析模組，分析流程如圖 4，說明如下：

1. 自動啟動運算，產製震度分布圖：收到中央氣象署發布之地震報告之後，系統自動啟動運算，根據各強震測站量測之最大地表加速度、最大地表速度值，產製震度分布圖。

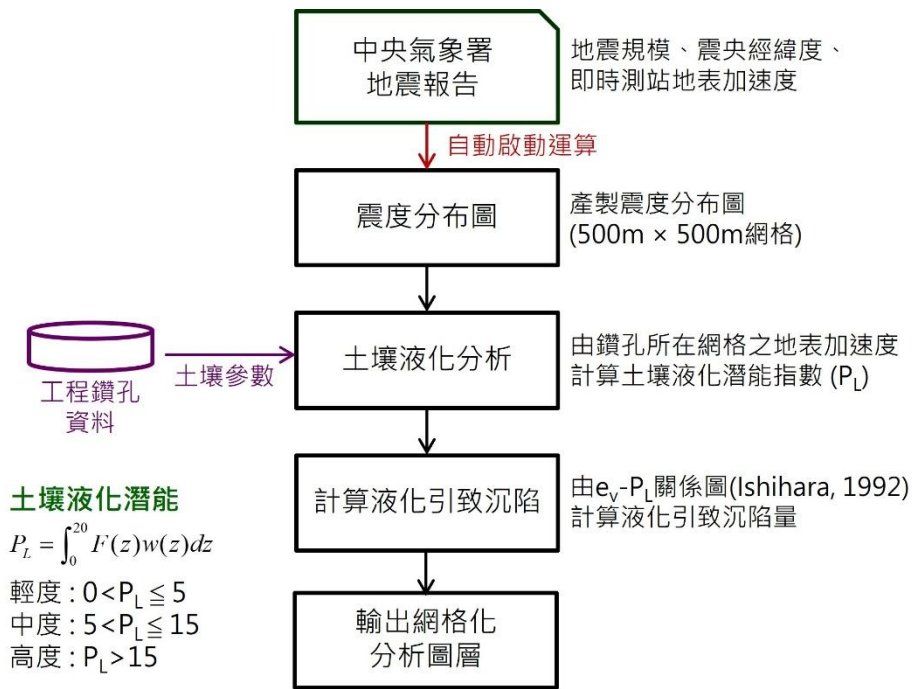


圖 4、土壤液化自動分析模組

2. 土壤液化分析：採用我國建築耐震設計規範(內政部，2024)建議之日本道路橋耐震設計規範(日本道路協會，1996)土壤液化評估方法，讀入所有工程鑽孔資料之土壤參數，及各鑽孔所在網格之加速度值，考量地下 20 m 以內之土層，加權計算土壤液化潛能指數(Liquefaction Potential Index,  $P_L$ )。
3. 計算土壤液化引致沉陷量：參考 Ishihara 等人(1992)提出之方法，計算各工程鑽孔深度 20 m 以內土層因土壤液化產生之垂直變形量，將各深度垂直變形量加總，得到各孔位土壤液化引致沉陷量。
4. 輸出網格化分析圖層：產製以 500 m 網格呈現之土壤液化分析圖層，將土壤液化高風險區套疊可能受影響之重要設施，包括河堤、輸配水幹管(管徑 500 mm 以上)、港口、機場等。分析結果已納入

中央災害應變中心地震應變簡報中，提供情資研判及設施主管機關災情查報參考。

#### 四、地震案例校驗分析

以 2016 年 2 月 6 日高雄美濃地震(規模 6.6)進行校驗分析，2015 年工程地質探勘資料庫之鑽孔分布如圖 5(a)，以此工程鑽孔資料結合高雄美濃地震實測地表加速度進行土壤液化分析如圖 5(b)，臺南市安南區出現廣大土壤液化高潛勢及中潛勢區域；所在位置之工程鑽孔資料因為來自國道 8 號、台 17 甲、及台 17 乙等道路興建工程而呈現線狀分布。然而，安南區僅於土壤液化分析所得中潛勢區出現液化表徵，高潛勢區並沒有發生土壤液化；且許多行政區因為缺乏工程鑽孔資料，土壤液化潛勢未能適切呈現。

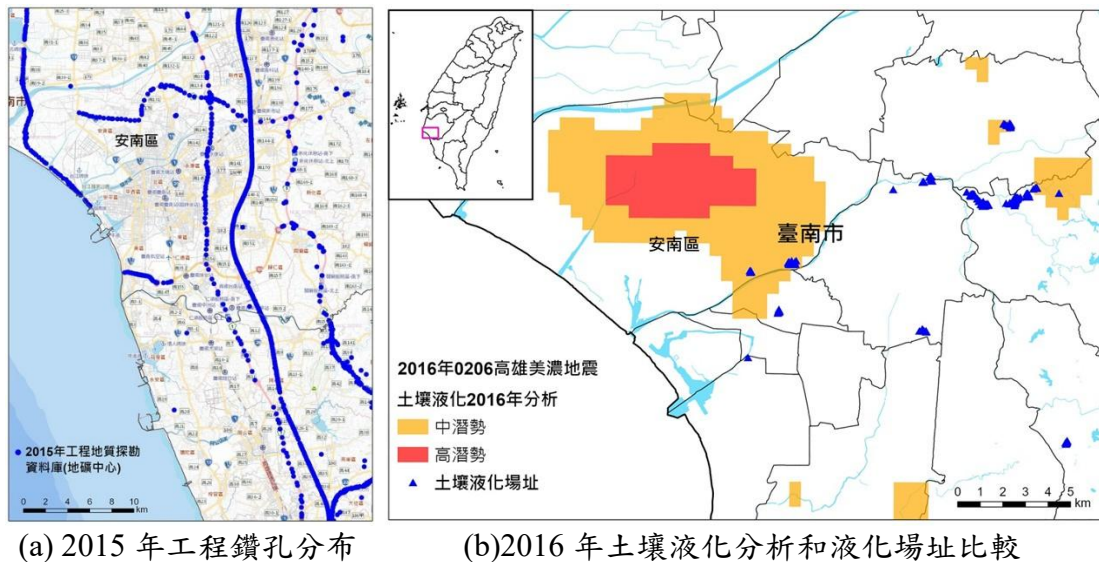


圖 5、2016 年高雄美濃地震土壤液化分析與液化場址比較

採用 2025 年彙整國內各單位工程鑽孔資料，如圖 6(a)，重新進行高雄美濃地震土壤液化分析如圖 6(b)，分析所得安南區土壤液化高潛勢及中潛勢區範圍明顯減小，而安平區、中西區、北區、南區等地區則出現液化高潛勢及中潛勢區。對照安南區土壤液化引致房屋沉陷地點，皆位於分析所得液化中潛勢區；新市區土壤液化引致房屋沉陷、新化區出現液化噴砂孔之地點，皆位於分析所得液化中潛勢區。綜合上述，安南區工程鑽孔資料由 2015 年之線狀分布，到 2025 年擴增數量且均勻涵蓋沖積層，使分析結果優化而與現地液化表徵更為接近；對於安平區、中西區、北區、南區、新市區、新化區等，因為工程鑽孔大幅增加且廣布於沖積層，使這些行政區之土壤液化潛勢得以適切呈現。

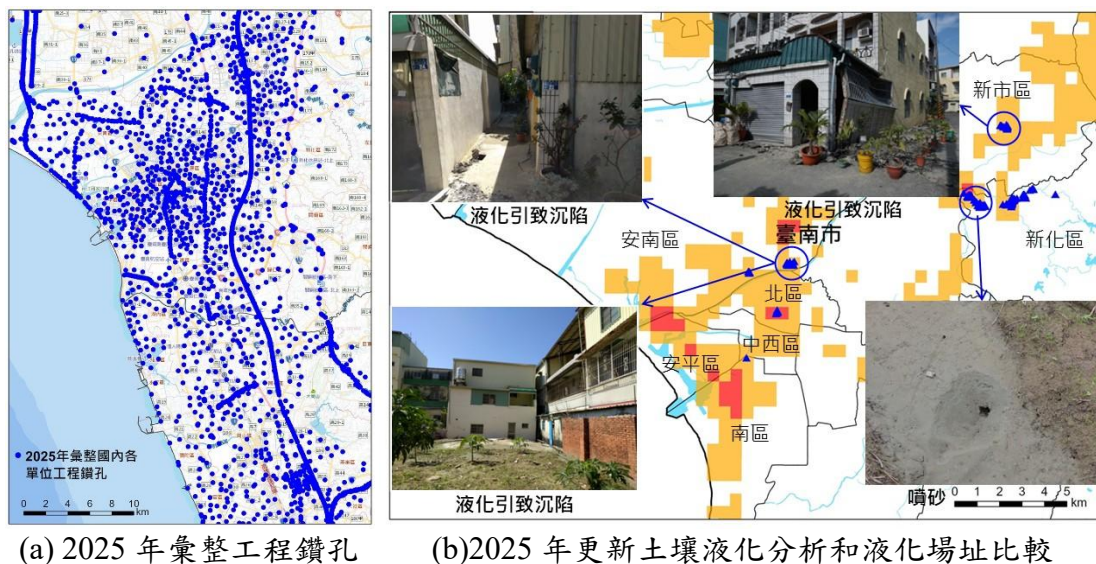


圖 6、2025 年更新高雄美濃地震土壤液化分析與液化場址比較

## 五、結論

1. 災防科技中心彙整國內各單位建置之工程鑽孔資料，鑽孔數量大幅增加且均勻涵蓋沖積層，經過實際地震案例校驗，土壤液化分析可以適切反映現地液化潛勢。
2. 土壤液化自動化評估模組已納入地震應變分析作業程序，提供土壤液化致災高風險區及可能受影響設施等資訊，協助情資研判及相關設施主管機關災情查報作業。

## 致謝

感謝經濟部地質調查及礦業管理中心、交通部中央氣象署、宜蘭縣政府、國家地震工程研究中心、富國技術工程公司提供工程鑽孔資料。

## 參考文獻

- International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (1999), Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version), The Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4.
- Ishihara K., and Yoshimine, M. (1992), Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquake, Soils and Foundations, 32(1), 173-188.
- Tokimatsu, K., and Yoshimi, Y. (1983), Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content, Soils and Foundations, 23(4), 56-74.
- 內政部(2024)，建築物耐震設計規範及解說。
- 日本道路協會(1996)，道路橋示方書・V 耐震設計編(日文)。