

臺北盆地都會區三維地質模型建置與都市防災之應用

盧詩丁 經濟部地質調查與礦業管理中心 / 組長
 邱禎龍 經濟部地質調查與礦業管理中心 / 簡任技正
 王聖宗 經濟部地質調查與礦業管理中心 / 技士
 楊智堯 台灣世曦工程顧問股份有限公司 / 副理、大地技師
 葉家志 台灣世曦工程顧問股份有限公司 / 應用地質技師

摘要

臺灣都會區多位於平原區沖積層，地質較為軟弱且人口密度高，常面臨諸多人為事故或天然災害的威脅，如 2016 年美濃地震重創南臺灣，導致土壤液化，又如近幾年因為地下管線或人為開挖施工影響導致地層下陷，造成多處房屋倒塌傾斜、維生管線嚴重損壞，使民眾生命、財產產生巨大損失。上述災害雖原因不同，但都與都會區地質有顯著關係。由此可見，建構一套高解析度的三維地質資料，對於都市災害潛勢分析及防災規劃具有重大意義，本文以臺北盆地為例，利用鑽孔蒐集，以三維網格式建置三維地質資料庫，不但可以取得良好的地層岩性側向延伸關係，與其他地質模型不同的是，還能同時以內插方式取得土壤參數，作為土壤液化、軟弱地層評估分析之用，提供科學且具體之災害潛勢圖資，有利於未來工程設計與都市規劃決策。

一、臺北盆地概況

臺北盆地面積約 240 km²，不僅為臺北都會區之中心，也是臺灣的首善之都。臺北盆地主體略呈一三角形，周圍由丘陵及台地所圍繞，依地形及地質特性，盆地東側及南側為由第三紀沉積岩地層所構成的褶皺衝斷丘陵；盆地北緣由大屯火山群屏障，以安山岩熔岩與火山碎屑岩不整合覆蓋於中新世地層上；盆地以西則為林口台地，地層以礫石層及砂泥互層為主，詳圖 1。本區位原本屬於呂宋島弧和中國大陸碰撞所產生的造山帶，因菲律賓海板塊的向北隱沒及沖繩海槽的向西延伸而移入琉球島弧系統，區域的壓應力轉

化為張裂性的地體構造環境，形成一半地塹型式之構造陷落盆地。

臺北盆地主要的河流為淡水河水系。淡水河為一感潮河川，感潮的範圍，大漢溪可達浮洲橋，新店溪至秀朗橋，基隆河則至汐止。淡水河主要由基隆河、新店溪、大漢溪等支流匯集而成。淡水河及其支流新店溪繞流於臺北市的西緣成為臺北市、新北市之界河，而基隆河則貫流臺北市中部，雙溪、磺溪、北投溪、關渡溪發源於大屯火山區，流經北部注入基隆河，另外塹子川發源於林口台地區，於獅子頭附近北流入淡水河。

臺北盆地地層可概略分為現代沖積層及第三紀褶皺基盤，其盆地內之沉積層演化因造山運動、盆地張裂下陷，全球海水面升降以及河川流域變遷等種種因子所控制，演化過程示意如

圖 2。沖積層主要為未固結之砂、黏土及礫石，包括全新世之松山層以及更新世之景美層、五股層及板橋層；第三紀褶皺基盤則以沉積岩為主，如表 1。

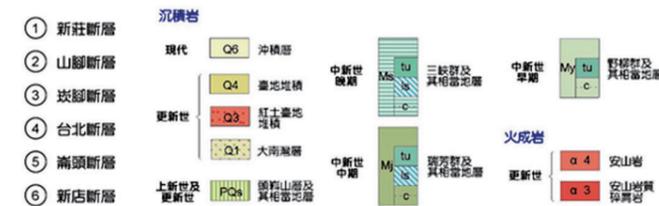
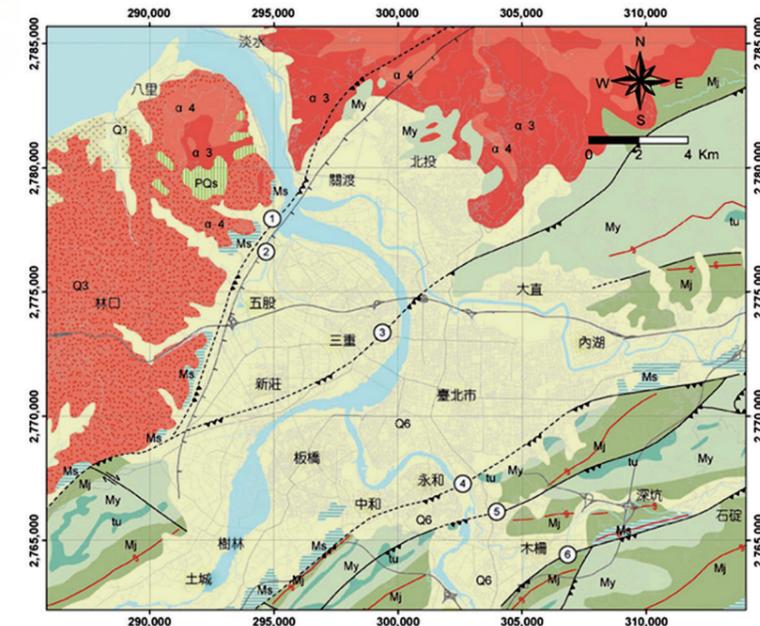


圖 1 臺北盆地區域地質圖 (台灣世曦, 2011)

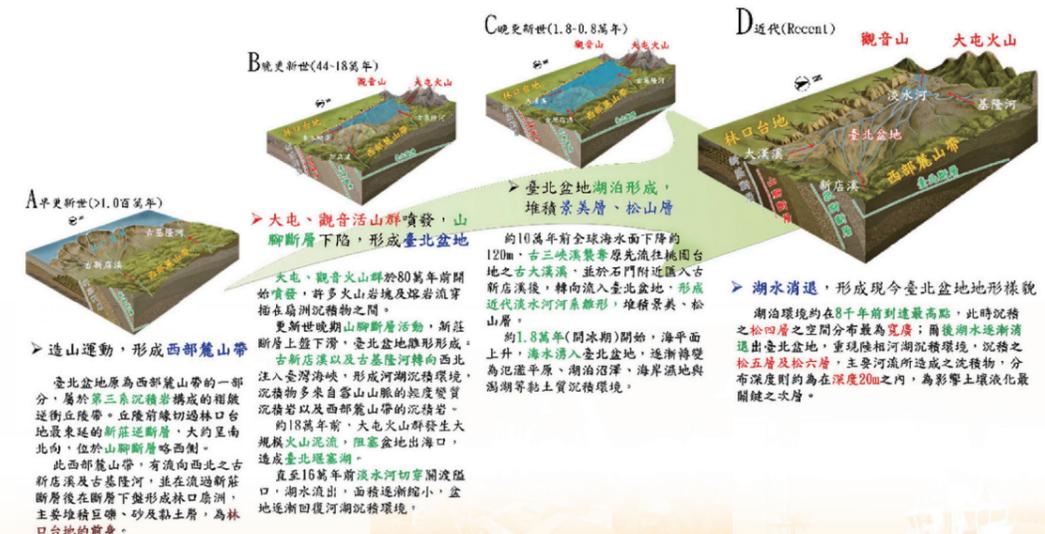


圖 2 臺北盆地演化過程示意圖 (台灣世曦, 2018)

表 1 臺北盆地地層資訊表

年代	地層單位	材料組成概述	
全新世	松山層	主要為鬆軟未固結黏土沙層組成，夾薄層小礫。	
更新世	新莊群	景美層	為沖積扇相，且厚度均一之礫石層。
		五股層	河相之砂層和礫層、河相黏土層、與沖積扇相紅土礫石。
		板橋層	河相砂黏土層、河相的小礫以及沖積扇相紅土礫石。
中新世		第三紀褶皺基盤	

板橋層及五股層，形成時間主要為大漢溪轉匯入臺北盆地前。為古新店溪以及古基隆河流經西部麓山帶，帶來大量的砂及黏土等沉積物，形成氾濫平原以及湖泊沉積相。松山層及景美層，形成時間主要為大漢溪轉匯入臺北盆地後。由於大漢溪及新店溪流經雪山山脈，帶來大量的變質砂岩與石英岩礫石，形成廣布的沖積扇相；而基隆河流域則仍以砂／黏土等沉積物為主，形成氾濫平原與湖泊沉積相。

臺北盆地中最直接影響工程安全的地層為最接近地表的全新世松山層，厚度約在 20 ~ 100 m，主要涵蓋地表至景美層的現代沉積層，主要為河口灣以及氾濫平原相，以黃棕色粗砂

層或灰色黏土層整合覆蓋於景美層之上。松山層砂層厚度及粒度由東南向西北遞減，可細分為 6 個砂、黏土交互出現之次層，由下而上分別為「松一層」~「松六層」，其中「松四層」以灰色緻密或具有紋理的泥質沉積為主，為臺北盆地中分布最廣也最連續之次層；「松五層」及「松六層」，主要為湖泊消退後，所形成的陸相河湖沉積環境，其分布的厚度約為 20 ~ 30 m 左右，如表 2。

二、三維網格地質模型

有鑑於工程地質調查多為點狀的地質鑽孔調查，雖然能清楚地透過取樣與試驗取得鑽探點位的地質資訊，但為進行都市防災評估與分析，必須以二維面狀甚至三維立體才得以完整呈現。過去針對都會平原區的地質災害，例如軟弱地層、土壤液化等，為取得其潛勢或趨勢分布圖，常常以單孔分析結果直接進行內插分析。然而，在平原區中地質材料因沉積行為與沉積環境的影響，可能具有側向延伸的物理相關性，但災害潛勢卻不見得，直接以災害潛勢分析結果進行內插

表 2 松山層各次層材料性質說明 (游能梯等, 2012)

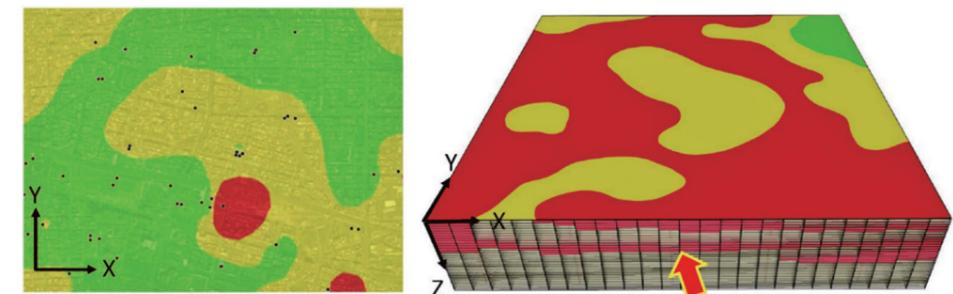
次層	土壤分類	特徵概述	沉積環境／地質解釋
六	CL	為松山層最上段，厚度約為 3 ~ 8 公尺，主要成份為地表黃棕土層與灰黑色泥層。淡水河岸附近較薄，且有尖滅現象，關渡平原社子島一帶則未有此段之發現。	第五及第六段主要為海水退出臺北盆地後，河流所造成之沉積物，為同時異相之沉積情況，包括水道附近水流作用強的砂質沉積（第五段），以及水流較弱或靜水狀態下的泥質沉積（第六段），呈現出曲流河及氾濫平原的沉積特徵。
五	SM	厚度約 2 ~ 20 公尺，主要成份為灰色泥質細砂，顆粒均勻且泥層含量約佔 30% ~ 40%。本段在盆地內幾乎皆出現，靠近新店、景美一帶，本段含有粗砂與小粒石。	為海水入侵臺北盆地最盛時期所造成之江灣沉積物，以灰色緻密或具有紋理的泥質沉積為主，泥質的沉積物當中含有大量貝屑及零星的碳質物，顯示水流能量較低的沉積狀況。其中局部有砂泥韻律互層，可能是潮道中受潮汐作用之沉積。
四	CL	厚度約為 6 ~ 29 公尺，主要成份為灰色泥質黏土，砂含量小於 10%，且含有貝殼及腐木片。本段幾乎存在於整個臺北盆地之中，為松山層分布最廣、厚度最厚的段。自然含水量約為 30%，且接近液性限度。	海水入侵臺北盆地初期的江灣沉積環境，而江灣內部局部鄰近河川及河川出口能量較強處，河川與潮汐堆積影響較大，因而局部有細砂之沉積。
三	SM	厚度約為 0 ~ 19 公尺，主要為中等堅實且含多量貝殼的黃灰色非塑性泥質砂，泥的含量約為 25%。鄰近淡水河地區本層較厚，向東漸次遞減，在部份地區有尖滅的現象，致使第二及第四段相連接，成為深厚的泥層。	海水入侵臺北盆地影響範圍愈來愈大，原本河川下游之泥質氾濫沉積物亦逐漸向上游退卻，堆積屬於中扇的砂質河相沉積層之上。
二	CL	厚度約 0 ~ 19 公尺，主要為低至中等塑性的灰色泥層，泥質含量約 45% ~ 70%，自然含水量約在 23% ~ 25%。	海水開始入侵臺北盆地時，河川堆積影響範圍逐漸向上游退後，亦使原堆積於中扇之砂質沉積物逐漸向上游堆積，覆蓋屬於上扇的景美層礫石。
一	SM	位於景美礫石層上方，厚度約 0 ~ 15 公尺，主要為中等緊密至緊密泥質砂或礫石質砂，細料含量約 20% 或稍多。部份地區第一段與景美礫石層間含有紅棕色土層薄層。	

分析可能並不合理。真實的地質情況是複雜且呈現三維空間分布，工程規劃設計時，除了必須瞭解平面分布外，更需瞭解各層次之深度分布。以土壤液化為例，過往土壤液化潛勢圖僅能以二維方式產製，雖然原理簡易產製快速，但卻無法得知液化發生的確切深度、液化層厚度，若能以三維空間呈現，始利於真實狀態掌握，如圖 3。

為得到具體地下三維地質之分布資訊，利用三維立體網格資料庫之建立以達到需求。首先視模型需求，建立合適尺度之空白網格模型，以廣域區域性地質資料為例，取平面 100 m × 100 m 精度劃設平面網格，再以深度 1 m 之精度，建立 30 m 範圍之三維網格 (紀宗吉等, 2014)。

完成空白網格建立後，收集範圍內之地質鑽孔，經篩選後將各孔之原始資料以加權平均法將資料進行標準化，例如深度 2 m 之 SPT-N 值由 1.5 m 及 3 m 處之 SPT-N 進行加權平均，重新產生以 1 m 為間距之地質資料，再以平面統計內插土壤基本資料，建立地下三維立體地質網格資料庫。

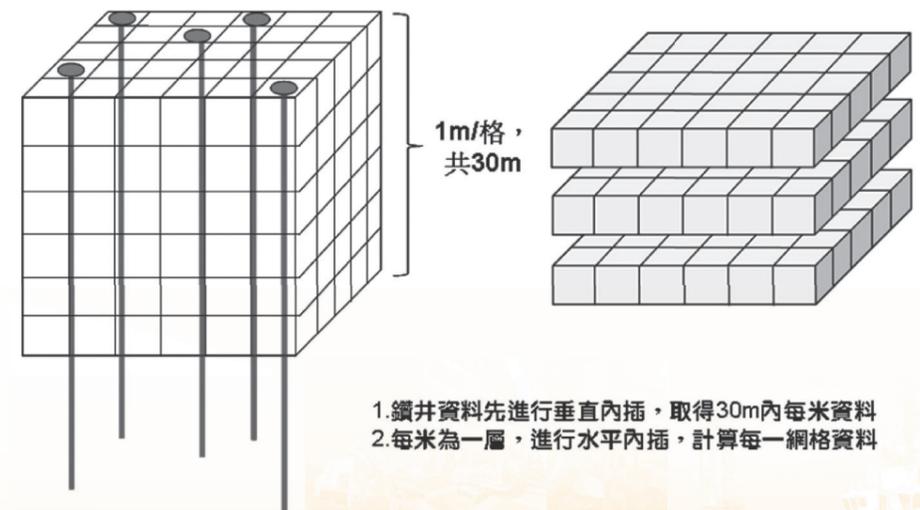
最後再將各網格分別計算土壤液化分析模式 (P_L 值)，以產出土壤液化潛勢分析圖。本模式之優點，可將建置完成之三維網格資料庫，進行廣泛查詢與應用分析主題圖，如製作地下 30 公尺各深度之 PI (塑性指數)、 γ_t (單位重)、N (SPT-N 值)、USCS (土壤分類)、 V_s (剪力波速)、 F_L (土壤液化安全係數) 等不同資料模式如圖 4 和圖 5。



使用鑽孔 P_L 值內插之液化潛勢圖
只能得知平面上的潛勢資訊
(平面二維)

三維網格分析架構可得到
土壤液化發生區之深度及厚度 ($F_L < 1$)
(空間三維)

圖 3 傳統之液化潛勢圖與使用三維分析架構之液化潛勢圖差異



1. 鑽井資料先進行垂直內插，取得 30m 內每米資料
2. 每米為一層，進行水平內插，計算每一網格資料

圖 4 三維網格地質資料模式示意圖

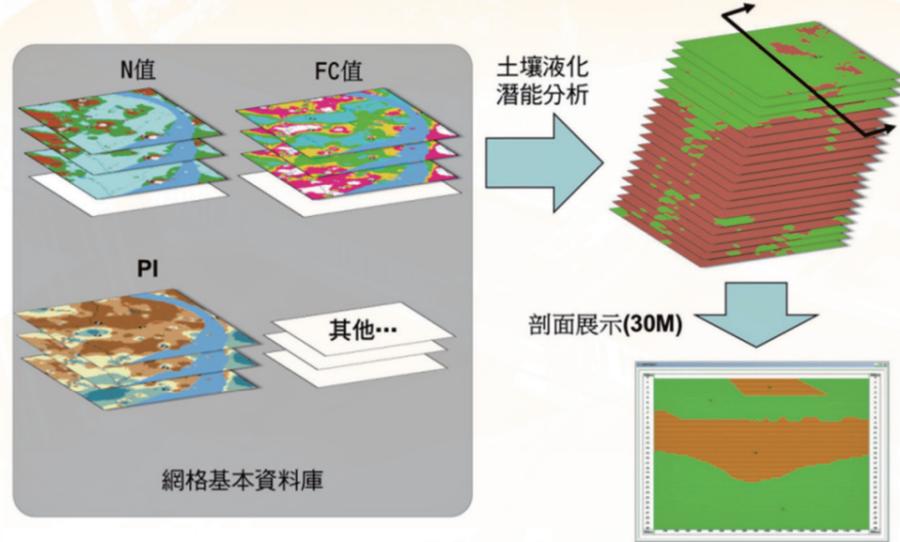


圖 5 三維網格土壤液化分析模式資料模式示意圖

以土壤液化潛勢分析為例，三維網格地質模型之特色為先以所有分析鑽孔之各深度各項物理數據，分層內插建構出研究區地下 30 m 之立體地質網格，並給定全區地下水位深度，各網格獨立分析土壤液化潛勢，再依規範計算 F_L 與土壤液化潛能指數 (P_L)，並依規範建議之土壤液化深度加權評估法，由其下方之 20 格地質網格

的 F_L 加權加總求得。此分析法使任意內插位置皆可視為獨立虛擬鑽孔，不僅可淡化單一鑽孔資料錯誤影響整體分析，更讓使用者得以任意剖面方式展示土壤液化分層 (F_L)、統一土壤分類 (USCS) 以及軟弱土層 ($V_s < 180$) 等各類剖面三維地質網格，提升分析效益及附加價值，如圖 6 (楊智堯，2024)。

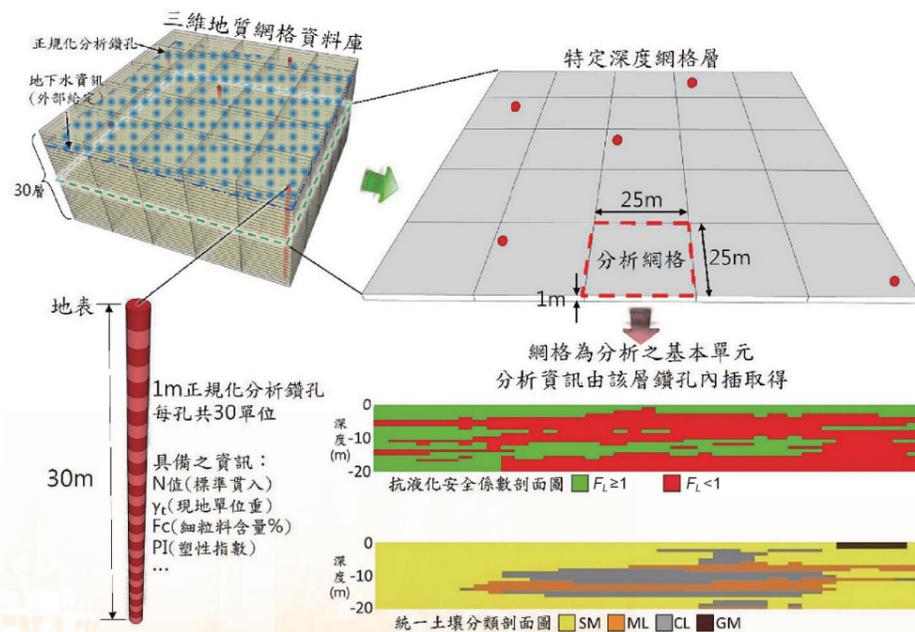


圖 6 三維地質網格液化分析架構圖

三、臺北盆地都市地質防災評估

地礦中心彙整 1992 年起針對全臺灣都會區之地質鑽探資料，進行地層比對、分析、評估，並已建立三維地質網格模型方式，歸納各都會區之地質特性與地層分布情況，於 2020 ~ 2021 年分別以北部地區 (臺北、宜蘭)、中部地區 (臺中、彰化、雲林)、及南部地區 (嘉義、台南、高雄、屏東) 工程環境地質圖集。主要目的是忠實呈現地下土層的地質組成與工程性質，作為都市建設與工程規劃設計之重要依據。

工程環境地質圖集依使用需求，圖說分為「工程地質分區圖」與「土工災害潛勢圖」二類，以分別提供各都會區工程地質特性 (如岩性分布、分層厚度、土層 N 值等) 及地質災害潛勢 (如軟弱地層、土壤液化等)，分別說明如下 (楊智堯等，2025)。

3.1 工程地質分區圖

工程地質分區圖的製作

主要依據岩芯資料、地層沉積環境、工程性質等資訊，繪製都市區內的主要分區與次分區圖。作業方式主要以觀察及記錄岩芯，繪製各鑽井之地層柱狀圖，以分析土層垂直變化與水平方向延展情形。再依據地形、水文、沉積來源、沉積環境與工程特性等，劃分工程地質分區。

工程地質分區命名原則

首先採用地形單元包括水系、平原等名稱作為分區名稱，如淡水河分區、關渡平原分區、蘭陽溪分區等，或行政區地名如礁溪分區、蘇澳分區等。各分區內再依據地層的分布特性進行次分區劃設，次分區代號則以各地質分區之英文名稱縮寫，再加上阿拉伯數字以茲區別。例如以臺北都會區為例，工程地質分區「Ts」代表「淡水河分區」，「Ts1 ~ Ts5」代表淡水河分區中可細分為五種不同工程特性之次分區，如圖 7。

工程地質分區圖呈現內容

本圖資主要呈現內容以地下 30 m 內土層岩性種類之垂直分布情況，包括土層種類、厚度與參考 N 值，並標示各次分區地表層之土層種類。土層種類概分為礫石層 (G)、砂層 (S)、泥層 (M) 等三種，土層總厚度為 30 m，各分層厚度分別以 a 代表 5 ~ 10 m，b 代表 10 ~ 20 m，c 代表 20 ~ 30 m。除岩性資訊後並標註該分層之平均 SPT-N 值。例如 Mb/6 代表土層種類為泥層，厚度 10 ~ 20 m，平均 N 值約 6 下。

3.2 土工災害潛勢圖

主要針對都市平原常見的工程災害 (如基礎開挖滑動、地震液化)，呈現三類風險指標，包括軟弱地盤與土壤液化潛能指數 P_L 值的空間分布，以及深度 30 公尺內各分區土層之平均 N 值，如圖 8。

軟弱地盤

以地表下 20 m 內土層的 SPT-N 值進行統計與分析，若 $N < 4$ 的軟弱黏土與 $N < 10$ 的疏鬆砂土合計比例超過 65%，即上述軟弱黏土與疏鬆砂土厚度之和 > 13 m (20 m \times 65%) 之區域則視為軟弱地盤。

土壤液化潛能指數

參考內政部營建署「建築技術規則建築構造篇—建築物基礎構造設計規範」、「建築物耐震設計規範及解說」之 JRA (1996) 法，利用 Iwasaki *et al.* (1982) 之深度加權計算方式，計算土壤液化潛能指數 P_L 。其中 $P_L > 15$ 為高潛勢、 $15 \geq P_L \geq 5$ 為中潛勢， $P_L < 5$ 為低潛勢。

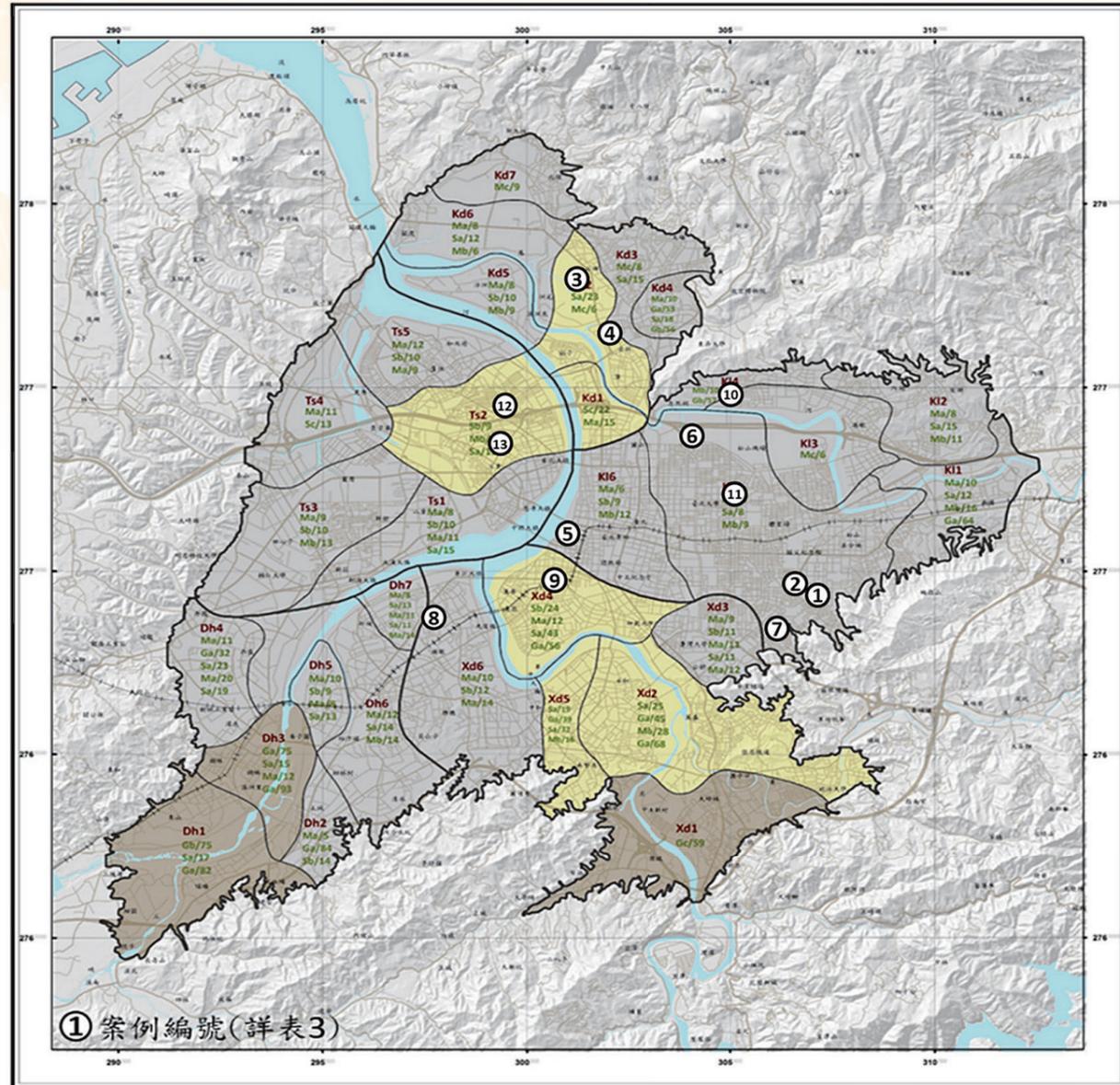
深度 30 公尺內平均 N 值

以每一網格 (100 m \times 100 m) 為單位，進行 SPT-N 值平均計算，提供使用者快速了解各分區內深度 30 公尺之 SPT-N 值分布概況。

初步整理臺北盆地歷年相關深開挖災害案例如表 3，並套繪其平面位置如圖 7 和圖 8。由

工程地質分區圖
Engineering Geological Zonation Map

臺北都會區 Taipei Metropolitan Area

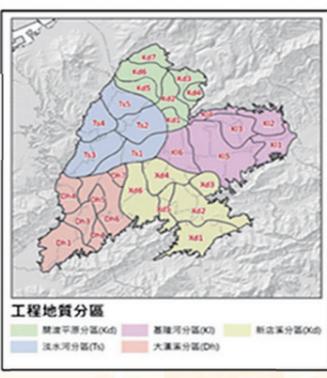


圖例 Legend

地表土層
 泥層 (Mud)
 砂層 (Sand)
 礫石層 (Gravel)
 工程地質分區界限
 工程地質次分區界限

土層種類	土層厚度
M:泥層	a: 5 - 10m
S:砂層	b: 10 - 20m
G:礫石層	c: 20 - 30m

範例
 Ts2 淡水河2區
 30m內土層厚度及參考N值分布
 Sb/9 (砂層10-20m, 參考N值=9)
 Mb/6 (泥層10-20m, 參考N值=6)
 Sa/19 (砂層 5-10m, 參考N值=19)



圖幅使用說明：
 1. 本圖為區域性、大範圍的環境地質成果彙整，原圖比例尺為二萬五千分之一，提供國土區域計畫、土地利用及防災規劃之參考，以瞭解區域自然環境之工程地質特性分布。
 2. 限於調查及使用上精度之限制，本圖不適用於大比例尺的放大套疊使用，對於特定目的之開發審議或工程規劃設計上的應用，應依相關法規選擇適當之比例尺及精度，從事進一步工程環境地質調查工作。

資料來源說明：
 1. 本圖所參考之地質鑽探資料來源，包含中央地質調查所工程地質探勘資料庫以及內政部「安家固園」計畫地質探勘成果。
 2. 分析圖資來源，包含中央地質調查所歷年執行「都會區地下地質與工程環境調查研究」、「都市防災地質調查與發展計畫」及「土壤液化潛勢調查與公開」之地質調查及分析成果。

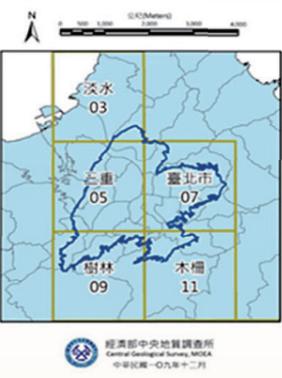
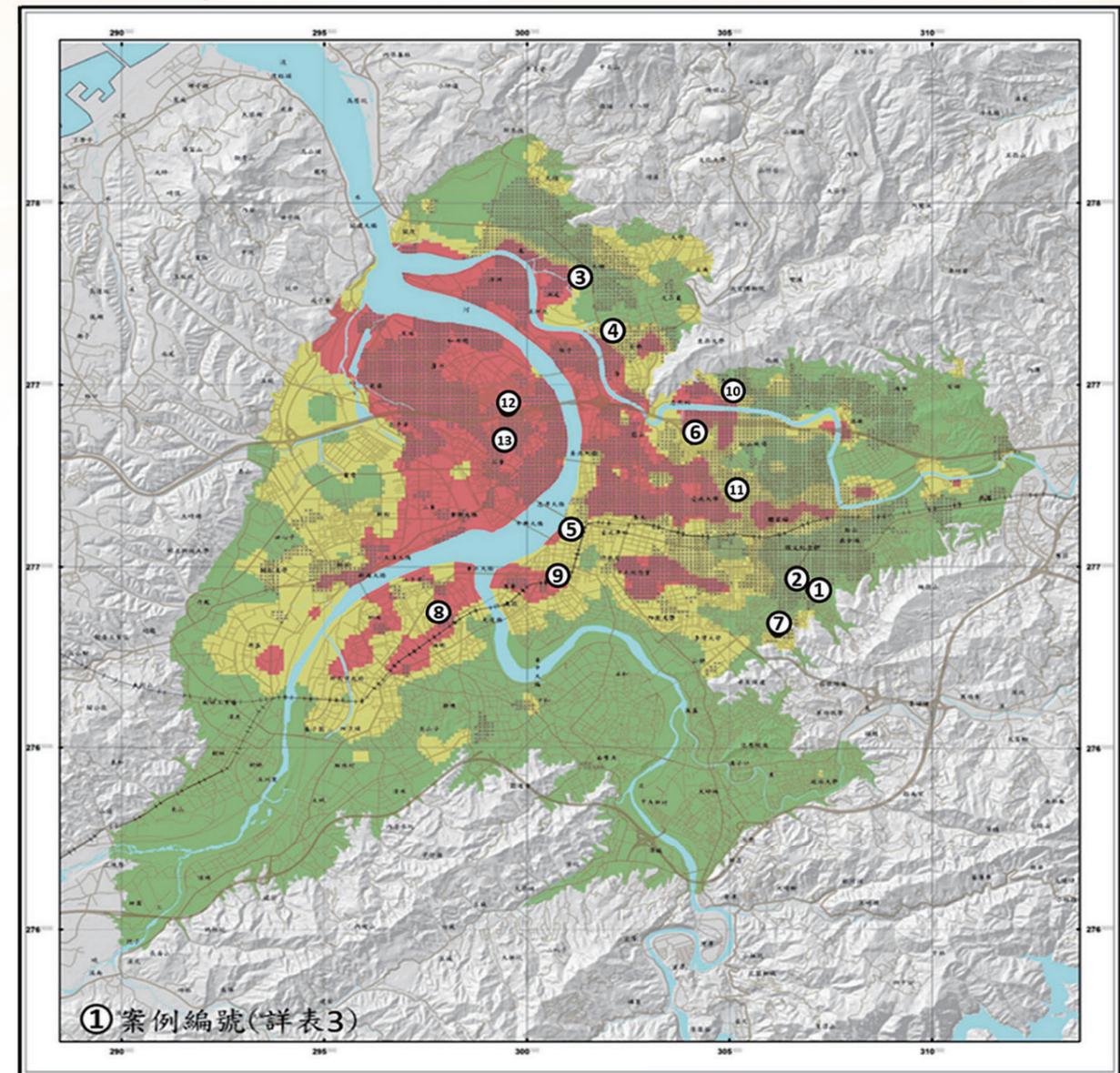


圖 7 臺北盆地工程地質分區圖

地工災害潛勢圖
Geotechnical Hazard Map

臺北都會區 Taipei Metropolitan Area



圖例 Legend

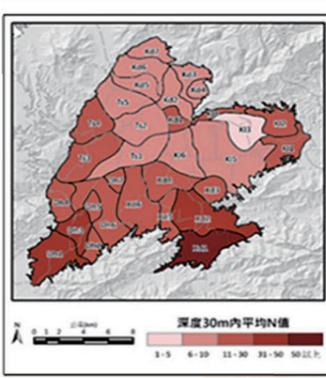
● 軟弱地盤 (Soft Ground)

註：以公尺為單位，塑性土層N值小於4為軟弱地盤，砂性土層N值小於10為軟弱地盤，軟弱地盤為地下20m內之土層，軟弱地盤土層與砂土層對比例超過65%之區域。

土壤液化潛能指數 (Pl)
 Soil Liquefaction Susceptibility

Pl < 5	低潛能
5 ≤ Pl ≤ 15	中潛能
Pl > 15	高潛能

註：分析網格大小為100m*100m



圖幅使用說明：
 1. 本圖為區域性、大範圍的地工災害潛勢分析成果彙整，原圖比例尺為二萬五千分之一，提供國土區域計畫、土地利用及防災規劃等之參考，以瞭解區域地工災害潛勢區的分布特性。
 2. 限於調查及使用上精度之限制，本圖不適用於大比例尺的放大套疊使用，對於特定目的之開發審議或工程規劃設計上的應用，應依相關法規選擇適當之比例尺及精度，從事進一步的地工災害潛勢調查工作。

資料來源及分析依據：
 1. 本圖所參考之地質鑽探資料來源，包含中央地質調查所工程地質探勘資料庫以及內政部安家固園計畫地質探勘成果。
 2. 土壤液化潛勢分析係依據內政部建築技術發展設計規範(2011)以及建築物基礎構造設計規範(2001)規定，以各地區設計地震水平地表加速度係數進行分析。

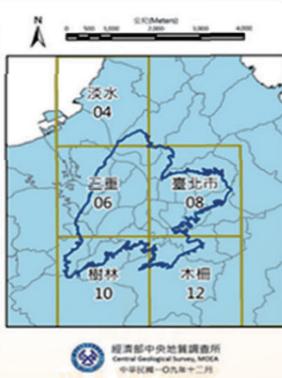


圖 8 臺北盆地地工災害潛勢圖

表 3 臺北盆地深開挖災害案例一覽表

編號	日期	位置	擋土型式	災害	軟弱地層	土壤液化潛勢	工程地質分區
1	1986/10	信義區信義路	連續壁	底部隆起	V	低	K15
2	1989/4	信義區基隆路	斜坡明挖	邊坡滑動	V	低	K15
3	1993/2	北投區自強街	連續壁	底部隆起	V	中	Kd2
4	1993/9	士林區基河路	連續壁	底部隆起	V	中	Kd2
5	1995/10	大同區鄭州路	連續壁	支撐破壞	V	中	K16
6	2000/5	中山區民族東路	斜坡明挖	邊坡滑動	V	中	K15
7	2023/5	信義區崇德街	連續壁	壁體砂湧	V	中	K15
8	2023/5	板橋區文化路	預疊樁	壁體砂湧	V	中	Xd6
9	2023/8	萬華區昆明街	連續壁	壁體砂湧	V	高	Xd4
10	2023/9	中山區大直街	連續壁	底部隆起	V	低	K14
11	2024/2	松山區慶城街	連續壁	導溝坍塌	V	中	K15
12	2024/2	三重區福隆路	連續壁	壁體砂湧	V	高	Ts2
13	2025/1	三重區六張街	預疊樁	壁體砂湧	V	高	Ts2

其平面分布可以發現，幾乎所有深開挖災害案例都位處於軟弱地層範圍。經深入探討其深開挖災害之原因，包括底部隆起（4 例）、邊坡滑動（2 例）、壁體砂湧（5 例）、支撐破壞（1 例）及導溝坍塌（1 例），其中以底部隆起及壁體砂湧發生比例較高。

經比對圖 7 中之底部隆起 4 起案例，主要位於基隆河第 4、5 分區（K14、K15）及關渡平原第 2 分區（Kd2），觀察其分區之土層分布特性主要都以厚層黏土及厚層黏土夾砂層為主，由於黏土層工程性質較為軟弱，若擋土壁體貫入深度不足，又或者設計者高估地質材料強度或地盤改良成效時，就可能造成底部隆起的災害發生，如圖 9。由於災害土層主要為黏土，其變位發生為漸進式發展，非瞬間發生破壞，如配合適當之監測系統，可提早發現異狀予以適當處理，控制災害之規模。



圖 9 北投區自強街基地開挖隆起災害案例

深開挖邊坡滑動災害主要發生在以斜坡明挖方式進行基地開挖之工程，一般發生在大型基地採用島式開挖或早期用地較為寬裕可採斜坡明挖之條件時。本文所蒐集之 2 例邊坡滑動開挖災害案例，主要分布在基隆河第 5 分區（K15），其土層分布特性為厚層黏土夾砂層，由於黏土層較為軟弱，常因降雨或地下水位變化導致軟弱黏土層剪力強度不足，而造成邊坡滑動情形，如圖 10。與隆起案例類似，屬於軟弱黏土層所造成之災害常常都是漸進式發展且有跡可循，若能配合適當的監測系統及時應變處理，往往能有效控制災害之發生與損失規模。

壁體砂湧主要發生原因是連續壁施作過程中，因受地下水與疏鬆砂層之影響，導致坍塌而使壁體包泥夾砂；或以排樁擋土，但因排樁未密接而使擋土壁產生縫隙，使得開挖過程中地下水滲流路徑縮短，而導致砂湧災害發生。本文所蒐



圖 10 信義區基隆路基地開挖邊坡滑動災害案例

集案例中，砂湧破壞案例分布於基隆河第 5 分區（K15）、新店溪第 4、6 分區（Xd4、Xd6）及淡水河第 2 分區（Ts2），觀察其分區之土層分布特性大多主要以砂／黏土互層為主，當上述因施工瑕疵使壁體產生縫隙或破洞，又恰好位於砂土層時，由於開挖作業使開挖面與水位面產生水頭差，一但壁體產生水路，地下水將夾帶泥砂急速湧入且一發不可收拾，造成鄰近地盤下陷之災害，如圖 11。通常此類型災害發生相當迅速，往往造成相當可觀之損失。



圖 11 信義區崇德街基地開挖連續壁砂湧災害案例

四、結語

三維網格地質模型可利用點狀的鑽探資料，藉由地質分區與統計內插等技術，將鑽探所得各深度的土壤資訊合理推估其他範圍的地層分布與土壤參數，可作為初步工程評估與都市防災規劃之參考。

由於三維網格地質模型基於假設地層為水平沉積並有良好的側向延展性，因此僅能適用於平原區的地形條件，對於地形起伏之山區或沉積環境較為複雜之區域則可能具有其限制性。

臺北都會區是臺灣首善之區，但因盆地地形，多以疏鬆軟弱的砂土與黏土為主要的沉積物，加上地下水位高且容易因氣候與潮汐影響而有升降變化，所以在基地深開挖設計與施工時都必須更加謹慎與小心。

雖然過去曾經做過許多調查，並藉由工程累積相當豐富的實務經驗，但卻未妥善予以整合，使得深開挖工程仍持續不斷有災害發生。這些災害實則與複雜的地質環境，和國人對於鬆軟地層的工程特性不了解，有極大關係。為避免因地下地質與工程環境地質資料缺乏，造成許多重大工程或民間建築地下開挖工程發生地工災害、損及鄰房等事件層出不窮，都會工程環境地質圖集可以提供工程人員於規劃設計之前取得初步的參考資訊，針對高風險的地層或工項預先研擬預防對策，並於施工階段謹慎施工，避免釀災。

惟最後仍須特別提醒，都會工程環境地質圖主要是蒐集既有地質調查資料，以彙整歸納廣域地層分布之特性，僅只供初步規劃之參考，臺灣地質條件複雜，地下地質變化大，故各開發工程仍應依工程特性與法規需求自行辦理補充調查，並依調查成果妥善辦理後續設計與施工作業，打造零工安、零事故的工程環境。

參考文獻

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司（2011）：三維都市防災地質資訊整合分析與建置（2/4）成果報告，經濟部中央地質調查所。
2. 游能悌、吳文隆、費立沅、紀宗吉、蘇品如、楊智堯、謝文誠（2012），「臺北盆地松山層的地層劃分與分區」，中華民國地球物理學會與中華民國地質學會 101 年年會暨學術研討會。
3. 紀宗吉、蘇品如、費立沅、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系統建置」，中華技術 101 期。
4. 台灣世曦工程顧問股份有限公司（2018）：106 年臺北市土壤液化潛勢圖製作暨地質鑽探補充調查專業服務工作期末報告，臺北市政府工務局。
5. 楊智堯（2024），「三維地質模型於都市災之應用」，經濟部地質調查及礦業管理中心土壤液化圖資製作及防治技術精進研討會。
6. 楊智堯、陳勉銘、盧詩丁、邱禎龍、王聖宗（2025），軟弱地層深開挖—《都會區工程環境地質圖集》之應用，地質期刊第 44 卷。