

第七章 結論與後續研究

台灣廢棄煤礦迄今 10 年以上者約佔了 90% 以上，且大都緊鄰北北基都會區。而過去幾項重大公共建設如中山高汐止~八堵路段、北二高、萬瑞東西向快速道路等在開發當時，也或多或少從礦業人員口中了解，這些工程在興建當時也曾經遇過挖了又塌的問題。現在，北北基這個高密度人口活動以及土地更新計畫頻繁的空間區位底下，到底還有多少涉及土地利益的敏感問題與潛在災害問題？在研究期間，除了以六年時間長期踏勘找尋這些被時光遺忘的煤礦足跡，也幸運的參與了數次工地規劃案的地下坑道調查分析經驗。每當這些暗藏地下的廢棄空間為鑽井所挖掘出後，心頭實在是一則以喜、一則以憂。喜的是，透過現今技術的整合，可勾勒出地下未知的空間幾何；憂的是，業者會渾沌帶過，抑或斥資整治？美國雖已無礦務局業管單位，但其過去累積之成果與權責除了轉移至中央級的衛生安全單位、公路交通、自然資源部以及土地管理等公部門持續進行運作外，其他如州政府的所屬單位亦有進行廢棄礦區土地復元等相關計畫 (Abandoned Mine Land AML-Reclamation Program)。其目的除了保護礦業人員及開採礦區的安全外，更對那些雜草叢生、可能隱藏危機的廢棄礦區進行管理、整治復元計畫，甚至劃設災害潛勢及影響範圍。

從研究題材而言，室內資料的收集與野外判釋的訓練著實需要時間去學習。而這特殊的研究材料是由過去的人為設計開挖，進行對自然資源的擷取。煤礦賦存於沉積岩層中，台灣地質的複雜性，使得這些礦體並非均質性的延伸。含煤層不厚，時而連續、時而尖滅於其它岩層中，抑或受到褶皺、斷層構造影響、火成岩體的焦烤變質等等因素，使得開採難度增加。因此，在坑口及坑道資料收集過程中，即是透露出這地下礦床本體的屬性。例如原本橫向直線的片道為何突然折彎轉向？該礦為何採煤層坑道前進開挖方式？這些都透露出岩體異質性的分布位態，以及岩盤的強弱屬性特徵。所以本研究透過 GIS 的強大空間分析能力，即是希望將這些地下空間實體進行特徵化。而在實務操作上的同時，也會遇到資料密度不足而無法獲得較佳之呈現。然應用於工址調查時，的確可以獲得對地下未知空間的詮釋。

從地盤下陷分析而言，下陷槽理論是以數學幾何型態來描述自然的地表變形行為模式。英國的 NCB 經驗模式則以沉陷率 (S/M%) 和開採寬度與厚度比值 (W/h) 關係提供了水平煤層的最大下陷量概念模式。基於此經驗值，各國也發展其適用之下陷槽模式。台灣地區煤層以傾斜者為主，故在模式引用上會較複雜。多下陷槽的目的即是希望藉由數個下陷槽的疊加作用，逐步調適為最佳的推估成果。本研究受限於廢礦已久、無初始高程資料或地下監測數據，因此引用此模式來進行推估最大下陷量，進而作為礦區下陷範圍的界定。有了範圍界定後，再依現地災害案例與可獲得之岩石力學資料 (如 CMRR、岩體強度分類等) 輔佐界定潛勢高低。一般而言，在推估下陷量的同時已考量了上覆岩體厚度的問題。厚度愈大，岩盤的橋撐效應 (roof bridging) 愈強。但採礦是人為的，避險因素如尋找較強的岩體作為上盤、坑木支撐與礦柱的設立，以及開採效益考量等等，似乎在「下陷量—厚度」的相對關係建立時，已有人為考量因素介入了。特別是就東運礦區案例而言，幾乎大範圍的地表變形，甚或落盤都與地下水有關。台灣礦區的坑口亦多數有地下水湧出，儼然一條地下河流般的流動。因此，水的影響因素是未

來的研究重點。

而在現地調查經驗中，礦業者老與居民的訪談是重要資訊來源。然而訪談對象多為年事已高，歷史災害時間上會有模糊的困擾。加上土地利益之防備心，能獲得者甚有限。上覆岩體剖面量測與相關岩石力學試驗資料僅能代表該地區之岩體屬性，如以均質看待時容易落於盲點，但這些資料可作為比對現地災害現象之重要參考資訊。因此，在災害潛勢分級上引用經濟部中央地質調查所的坡地岩體工程特性資料，作為初步分級的評估因子之一。

回顧國內外地盤下陷災害潛勢的研究中，多以下陷量或上覆岩體厚度作為劃分潛勢區的基礎。其主要原因就是考量上述之岩體異質性，以及水的問題。本研究以 GIS 評估方式為主，其評估因子為推估下陷量、等厚度，以及岩體強度分類三種。就推估下陷量與等厚度兩評估因子而言，理論上是相關性極高的。係因在進行下陷量推估時已考量厚度參數，在邏輯上是可分開獨立的。惟此下陷量是推估者，無法定量確認，僅能半定量描述其可能性。因此本研究仍將潛勢分級以兩種呈現，一類為「推估下陷量—等厚度」，另一類分級圖為「推估下陷量—岩體強度」。

茲將本研究重要結論分述如下說明：

一、廢棄礦區土地利用及資料精度部份：

台灣地區煤礦係以地下開採為主，廢礦後常因礦權糾紛、礦渣及採礦設施棄置乏人問津。甚者，在土地變更利用後許多人不願告知地方政府或土地所有權人過去該址是否曾有地下開挖行為(擔心土地價值貶低)，因此常成為土地管理利用的死角及安全隱憂。本研究在進行現地訪談居民與曾從事礦業相關人員時可能不願多談、或記憶模糊。因此補充這些區域的歷史資料，顯得較為困難相當重要。另一方面，在礦區數值資料來源部分，有紙圖、數值檔以及表格資料等等。其中圖資的比例尺度與座標系統部份，因技術演進關係，在本研究以經濟部礦務局在民國 92~95 年所建制之資料庫為數值資料來源(比例尺為五千分之一)。然並非所有礦區聯絡圖都有記載地下高程資料，甚至部份礦區之坑口與片道於進行空間圖資分析時因原圖已無登載而造成補充數量有限，這些都是在進行原始資料收集建置時的困擾。並且有少數礦區之開採範圍太小，無法進行地盤下陷災害之潛勢評估。因此，本研究的精度在於進行區域性大範圍之初步潛勢分析時可茲引用(40m*40m 網格精度)。如需進行細部工址開發時，仍須以鑽井及地電阻、透地雷達等其他地球物理探勘技術，來輔助判勢地下地質的詳細情形。

二、研究工作的現地調查限制部分：

現地災害案例調查雖多位於距地表淺層之地下採掘跡或坑口附近，建物受損如牆壁龜裂、路面沉陷、電線桿及樑柱受損，乃至於地表發生落盤等災害現象亦於本次調查中多所尋得。但是否為地盤下陷長年累積之現象？或鄰近山坡之塊體滑動？等機制為主，仍需再深入以監測儀方式進行研究。特別是台灣地區的煤層多為傾斜岩層且分布於坡地，災害現象常是在豪大雨、地震等事件後才顯現出來。至於期間的小型災害現象，只要一被居民發現，多以自行處理解決。此點是造成災害主因判釋的最大困擾。另外在煤層上覆岩盤 RQD 試作與 CMRR 分析結果，因 CMRR 需大

量岩心樣本資料，在本研究中僅以數處進行現地評估，較不具代表性。因此在上覆岩盤之強度分級上，為能達到區域性評估，引用了經濟部中央地質調查所「坡地岩體工程調查」中的岩體強度分級資料。

三、地盤下陷分析部分：

多下陷槽之沉陷量推估主要根據所蒐集礦區之地下採掘跡範圍內進行推估計算，結果顯示由上覆傾斜岩盤滑動機制 (FX₀₁) 所造成之下陷槽沉陷量 (採掘跡樣本數之 FX₀₁ 推估值範圍 0.03~3m) 比上覆岩盤垂直破壞 (FX₀₂) 者大 (採掘跡樣本數之 FX₀₂ 推估值範圍 0~0.04m)，且沉陷槽之型態明顯受到前者之機制所控制。災害案例之驗證也有 14 處落於推估之較大沉陷量範圍 0.19m (中和案例)~2.97m (烘內坑案例)，因此多下陷槽結合 GIS-3D 空間分析可提供地盤下陷量之大範圍界定。而在水準測量結果方面，本研究實施了五次東運礦區之水準測量 (98/5~99/6)，經由空間分析其地盤下陷量之初步結果，所形成之較大下陷量之趨勢多集中於 93~96 年具有較多的災害案例區位。雖無法近一步進行地下監測量之工作，然經由 C、D 兩測線之沉陷槽型態與多下陷槽推估者大致吻合，值得後續監測其高程之水準變化量。

四、災害潛勢分析部分：

本研究分別由 (一) 下陷量推估 (二) 岩體強度 (三) 上覆岩盤距離地表的等厚度等三項分別交叉評估，並進行矩陣分級。其結果顯示下陷量推估與上覆岩體等厚度部分與現地案力較符合者。因此本研究實地調查案例經驗值，初步界定地盤下陷災害潛勢分級可先以推估下陷量來界定範圍，其後在依上覆岩體厚度來進行高一中一低潛勢分級。

而在未來後續研究方面，本研究建議應先從現有土地利用方面著手，尤其是現有台北市都市更新區位者。雖然本研究已從數個工址案例經驗中獲得地下坑道尋得之實證，但對採掘跡之情形仍未甚了解。因此在未來方向可分三方面建議進行之：

- 一、北北基都會區土地更新區域之舊有礦區檢討與下陷機制研究的監測規劃。
- 二、礦區圖資的地下資料與高程資料的完整化與精確性。
- 三、假如舊有採掘跡在岩體中已壓實，對於支撐性較佳的主斜坑等地下搬運坑道應為未來地盤下陷災害主要關心的對象。
- 四、在地盤下陷分析模是修正部分可進行傾度儀監測數據之建立，其目的在於修正下陷角之經驗值。由於 angle of draw 在不同下陷機制之影響因地而異，因此未來相當需要這類監測資料進行調適下陷量推估模式。

此外，在後續有關地盤下陷範圍以及相關岩石力學參數之建立，尚需龐大之研究經費如上數之鑽井岩心取樣分析，以及更精準之地表水準測量等，方能提供更細緻之資料進行理論模式修正與數據之對比、分析。雖然本研究僅能進行大範圍區域之下陷量推估與地盤下陷災害潛勢分析，惟吾人仍嘗試建立一套快速且較符合台灣地下煤層開採之地質與地理背景之資料整合，以及初步建立評估災害潛勢分析流程與方法，供後續在土地利用開發以及需要進一步調查之研究人員參考資訊。