



中央地質調查所報告第 97-18 號  
委辦計畫編號(97-05226902000-04-05)

# 「廢棄坑道之地盤下陷災害潛勢評估」(1/3) 成果報告



委託機關：經濟部中央地質調查所

執行單位：中國文化大學

中華民國 97 年 12 月

中央地質調查所報告第 97-18 號  
委辦計畫編號(97-05226902000-04-05)

# 「廢棄坑道之地盤下陷災害潛勢評估」(1/3) 成果報告

計畫主持人 魏稽生  
協同主持人 朱子豪



委託機關：經濟部中央地質調查所

執行單位：中國文化大學

中華民國 97 年 12 月

## 目 錄

一、計畫摘要	1
二、年度計畫執行內容與流程	4
(一) 本年度工作內容概述	4
(二) 年度工作項目	5
(三) 計畫執行流程與內容	8
三、計畫執行成果	31
(一) 文獻蒐集與地下坑口及坑道補充建置	31
(二) 地盤下陷潛勢區之多下陷槽推估與研究區篩選與研究區之現地訪談、災害調查，以及野外露頭剖面 RQD 建立	38
四、研擬地盤下陷災害安全評估模式	118
(一) 國外之安全評估模式分析	118
(二) 國內之安全評估模式	121
(三) 本計畫研擬之地盤下陷災害安全評估模式	123
(四) 第二類廢棄坑道	130
五、D-inSAR 影像分析成果	131
六、97 年度教育訓練成果	141
七、結論	143
參考文獻	147

## 圖目錄

圖 1	台灣開採含煤層類別與煤層傾度分類比較圖 (柱狀圖內數字表示地下採掘跡之數量)	4
圖 2	97 年度調查區之廢棄煤礦空間分佈圖與數量統計	5
圖 3	97 年度計畫執行流程圖, 圖中 Phase1 與 Phase2 係兩種方法論, 由於均有考量重要之關鍵性因子: 礦區幾何-煤層位態-岩石力學。因此經由此兩種方法所獲得之評估結果, 能綜整討論(Phase3)此三大因素的驗證與吻合關係, 從而建立適合台灣地區之地盤下陷潛勢評估方法	3
圖 4	補充地盤下陷區之地下地質相關資訊與圖層建立	9
圖 5	以 GIS-3D 空間分析進行地下地質特徵化(geological characterization)	9
圖 6	多下陷槽數學幾何模式與函數示意圖(修改自 Torano and Rodríguez,2000)	11
圖 7	東運瓷土礦第二下陷區之案例: 結合 3D-GIS 空間分析與多下陷槽推估之地盤下陷範圍(紅色為下陷量 0 之範圍)	12
圖 8	進行地盤下陷災害/潛勢區視野外露頭調查	13
圖 9	CMRR 之 DSR(Discontinuity Spacing Rating)不連續面等級與 RQD,FS(Fracture Spacing)相關之判別公式圖 (Molinda & Mark,2005)	14
圖 10	CMRR 之水破壞效應指數測量流程(immersion test used to creating the moisture sensitivity, Molinda & Mark,2005)	15
圖 11	CMRR 與上覆岩體厚度之判別函數(Molinda & Mark,1999)	15
圖 12	以 D-InSAR 技術進行拉斯維加斯地層下陷之監測	17
圖 13	以 D-InSAR 技術進行洛杉磯地層下陷之監測	17
圖 14	以 D-InSAR 技術發現舊金山新的斷層線	18
圖 15	以 D-InSAR 觀測中壢工業區的下陷趨勢	18
圖 16	基線各項參數的幾何關係	20
圖 17	本計畫中 D-InSAR 二軌跡法處理流程圖(影像前處理部分)	21
圖 18	本計畫中 D-InSAR 二軌跡法處理流程圖(差分干涉及變形量計算部分)	22
圖 19	雷達影像的原始資料結構	23

圖 20	影像呈現程序處理後產生之 MLC 影像	24
圖 21	移除地形效應之衛星斜距方向正射化雷達強度影像	25
圖 22	移除地形效應之衛星斜距方向正射化同調性影像	25
圖 23	移除地形效應之衛星斜距方向正射化差分干涉圖像	26
圖 24	影像加強後之干涉圖	26
圖 25	相位還原之結果	27
圖 26	中央地質調查所北臺灣 GPS 追蹤站分佈圖	28
圖 27	GPS、雷達視距方向變化量與垂直變化量幾何關係示意圖	30
圖 28	新增片道之資料建置	35
圖 29	新增坑口之資料建置	35
圖 30	臺北市煤礦廢棄坑道與採掘跡傾度分類之圖層建置	37
圖 31	基隆市煤礦廢棄坑道與採掘跡傾度分類之圖層建置	37
圖 32	臺北縣-1 煤礦廢棄坑道與採掘跡傾度分類之圖層建置	38
圖 33	結合 GIS 軟體建置所需計算之最大下陷點 D 值	33
圖 34	計算之多下陷槽函數值	40
圖 35	年度調查區之多下陷槽推估地盤下陷潛在區與重點研究區相關圖層建置	40
圖 36	年度調查區之多下陷槽推估圖層	41
圖 37	烘內坑煤礦採掘跡推估之等下陷量網格	42
圖 38	烘內坑煤礦參考剖面線之下陷槽分析	42
圖 39	煤礦上覆岩盤等級分類之各單元 unit 計算示意圖	43
圖 40	地盤下陷災害現地調查流程圖	45
圖 41	重點研究區所屬煤田分布圖	47
圖 42	本計畫岩樣之水破壞試驗(immersion test, CMRR)示意圖	55
圖 43	烘內坑煤礦試作 CMRR 岩石強度分類網格計算圖(圖中籃底白字 H 為災害點)	56
圖 44	年度縣市範圍之 CMRR 岩石強度分類網格計算圖	57
圖 45	現地調查案例之 CMRR 與多下陷槽迴歸分析圖	59
圖 46	重點研究區計算點為之 CMRR 與多下陷槽迴歸分析圖	59
圖 47	烘內坑為地盤下陷災害潛勢分級案例(粉紅色為高潛勢區;綠色為低潛勢區)	60
圖 48	重點研究區之地盤下陷災害潛勢分布圖之一	61
圖 49	重點研究區之地盤下陷災害潛勢分布圖之二	61
圖 50	重點研究區之地盤下陷災害潛勢分布圖之三	62
圖 51	97 年度調查台北市之地盤下陷災害潛勢分布圖	63
圖 52	97 年度調查台北縣(上圖,僅為汐止與萬里二區)與	64

	基隆市（下圖）之地盤下陷災害潛勢分布圖	
圖 53	地盤下陷安全評估流程	119
圖 54	基隆市各行政區之地下採掘跡面積佔行政區面積之百分比統計	121
圖 55	舊有之礦業法規之距坑道垂直高度 100m 高潛感區示意圖	122
圖 56	建築基礎（含樁基）面下之坑道頂至建築基礎面之厚度與 RQD 關係示意圖	122
圖 57	本計畫研擬之地盤下陷安全評估流程	123
圖 58	地盤下陷災害 GIS-3D 安全評估流程	124
圖 59	第二類廢棄坑道：基隆市劉銘傳隧道（獅球嶺隧道）因有良好之坑壁襯砌以及地方政府之維護，現為知名古蹟與觀光景點	130
圖 60	以 D-InSAR 監測 1999/11/13 至 1999/12/18 北臺灣雷達視距方向地表變形量之結果	132
圖 61	下陷槽理論推估之下陷量與 D-InSAR 監測 1999/11/13 至 1999/12/18 雷達視距方向地表變形量之套疊結果圖	132
圖 62	以 D-InSAR 監測 2007/07/14 至 2007/12/01 北臺灣地表變形量之結果	134
圖 63	下陷槽理論推估之下陷量與 D-InSAR 監測 2007/07/14 至 2007/12/01 垂直方向地表變形量之套疊結果圖	134
圖 64	以 D-InSAR 監測 2007/12/01 至 2008/01/05 北臺灣地表變形量之結果	135
圖 65	下陷槽理論推估之下陷量與 D-InSAR 監測 2007/12/01 至 2008/01/05 地表變形量之套疊結果圖	136
圖 66	以 D-InSAR 監測 2007/12/01 至 2008/02/09 北臺灣地表變形量之結果	137
圖 67	下陷槽理論推估之下陷量與 D-InSAR 監測 2007/12/01 至 2008/02/09 地表變形量之套疊結果圖	137
圖 68	ALOS 2007/11/30 與 2008/01/15 北臺灣之同調性影像	138
圖 69	ALOS 2007/11/30 與 2008/01/15 北臺灣之差分干涉圖	138
圖 70	無法取像的陰影區示意圖（如右圖綠色部分所示）	140

## 表目錄

表 1	97 年度初步篩選之細部現地調查礦區一覽表	6
表 2	中央地質調查所北臺灣 GPS 追蹤站資料表	29
表 3	地質與煤礦相關文獻與空間資料蒐集列表	31
表 4	年度補充建置坑口與坑道之統計數量表	33
表 5	年度調查縣市坑道與採掘跡傾度分類統計表	36
表 6	重點研究區所屬煤田範圍表	45
表 7	木山層含煤層之上覆岩體取樣分析之岩力數據	54
表 8	石底層含煤層之上覆岩體取樣分析之岩力數據	55
表 9	現地調查案例之下陷量與 CMRR 值	58
表 10	美國科羅拉多州地質調查所建議地盤下陷安全評估等級表(1975)	120
表 11	專家評估法之評估因子分組	124
表 12	專家評估法之各項評估因子尺度分級與權重賦予	129
表 13	差分干涉影像配對表	131
表 14	97 年度「廢棄坑道之地盤下陷災害潛勢之評估」教育訓練時程表	142
附錄一：期中與期末審查委員意見回覆說明表		
附錄二：97 年度廢棄坑道之地盤下陷災害潛勢評估教育訓練		

## 一、計畫摘要

**關鍵詞：**廢棄坑道、地盤下陷、多下陷槽、煤礦層上覆岩體分類、衛星雷達干涉差分

在台灣，廢棄坑道所造成的地表變形 (surface deformation) 或地盤下陷 (ground subsidence) 災害因其本體研究資料的可及性極低、地下地質資料的缺乏與專業性等條件的限制，災害潛勢的調查與評估顯得相當缺乏。尤其是早期 50~70 年代的地下採礦坑道 (煤礦) 廣布於現今的北北基大都會區，在歷經多年的廢棄與土地利用規劃下，這類隱藏於現有地上建物之下的廢棄坑道是具有潛在危險性。本計畫工作內容主要針對經濟部中央地質調查所在過去 92~95 四年度所進行之「台灣能礦資源坑道及礦渣堆調查」工作普查成果，將所建立之基本空間資料進行地下空間資料的補充建置、重要災害潛勢區之細部地質調查，以及進行地盤下陷災害之模式分析與潛勢評估。計畫執行成果包括下列六大項：

- (一) 補充建置北北基原有坑道聯絡圖面之地下坑口與片道
- (二) 研究區之現地訪談、災害調查，以及野外露頭剖面 RQD 建立
- (三) 研究區多下陷槽與等下陷量推估成果圖
- (四) D-inSAR 影像分析試作案例
- (五) 廢棄坑道 (廢棄煤礦) 地盤下陷表災害評估流程規劃初稿
- (六) 年度調查區各縣市地盤下陷災害潛勢分佈圖資。

今年工作中也首次引進多項技術之結合，提供災害潛勢之驗證。多下陷槽之數學模式結合了 GIS-3D 空間分析、CMRR 岩石力學分類的技術提供了資害潛勢高低之比較因子、D-inSAR 影像分析技術提供大範圍地盤下陷趨勢之判釋，以及建立專家安全評估模式等等。目的是希望透過多方技術的整合來逐步建立台灣地區地下坑道所引發之地盤下陷災害相關資訊，從而建立適用於台灣之災害潛勢分析模式。

本計畫之主要工作為野外現地災害調查 20 處採掘跡(25 礦區)，以及野外露頭之煤層上覆岩盤剖面 16 處進行 RQD 試作與 CMRR 分析，其結果為現地災害案例多位於距地表淺層之地下採掘跡或坑口附近。典型之建物牆壁龜裂、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驗證。而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 (主要避免居民反感)，結果顯示由上覆傾斜岩盤滑動機制所造成之下陷槽沉陷量 (20 處採掘跡樣本數之  $FX_{01}$  推估值範圍 0.03~9m) 比上覆岩盤垂直破壞者大 (20 處採掘跡樣本數之  $FX_{02}$  推估值範圍  $10^{-9}$ ~0.4m)，且沉陷槽之型態明顯受到前者之機制所控制。另外災害案例之驗證也有 14 處均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)，案例之 CMRR 計算也都落在  $CMRR < 45$  之弱岩分類。此項分析與驗證結果也證明了多下陷槽結合 GIS-3D 空間分析以及 CMRR 岩力分類可以在地盤下陷災害之潛勢範圍界定上，提供一個較快且合理之方法與分析模式，亦即位於採掘跡範圍內且推估沉陷量  $> 0.5m$ ， $CMRR < 45$  者之範圍界定為高潛勢區；其他採掘跡範圍則為低潛勢區。另外，D-inSAR 分析成果主要建立地盤下陷災害之判釋與分析流程以及案例之驗證。雖然 SAR 影像之干涉差分易受原始影像品質之影響，然以東運瓷土礦試作案例之成果，亦可判釋出地盤下陷範圍之趨勢與多下陷槽推估者範圍吻合。最後，本年度工作也針對地盤下陷災害之安全評估模式進行專家評估模式之探討。初步訂定重要評估因子項目包括地表變形-礦區開採-地質問題-排水等四大組別因子，並對各組因子之評估係項進行定義與規範之說明、分級與權重之賦予。由於此專家評估模式係未來用於土地規劃利用之調查評估方法，牽涉層面較廣，因此年度工作初步訂定專家評估流程與案例試作，尚待後續召開專家會議檢討其適用性。而本計畫的成果將可應用在地質法草案(96.5.2)第六條「中央主管機關得將有發生地質災害之虞之地區，公告為地質敏感區」，做為對於因人為開採活動之廢棄坑道所造成地盤下陷災害此一類地質敏感區劃設的重要參考。

KEYWORDS: Abandoned Tunnels/adits, Ground Subsidence, Multiple Subsidence Troughs, Coal Mine Roof Rating (CMRR), D-inSAR

#### Abstract

In Taiwan, the abandoned tunnels, particularly adits or shafts of coal mines, may cause the ground deformation or even the ground subsidence hazards around neighboring residences and their surroundings. Such objects were not well known after mining activity had finished, nor the spatial relationship in subsurface. So the main purpose of this project is to establish the model of ground subsidence hazard, as well as to evaluate and define the potential risk area. First, the work mainly integrates the GIS 3D spatial analysis and mathematic model-multiple subsidence trough. The geo-spatial data of subsurface adits, entries and stopes, even the thickness of overburden can be calculated and characterized by using the powerful GIS 3-D spatial analysis function. The result is the prediction of subsidence and grid data with subsidence values. Secondly, in situ investigation of outcrop and core

drilling could provide us advance information about CMRR and important data of hazard inventory as well as the location where the hazard occurred. Those field data coincide with the model of multiple subsidence troughs. And the calculation of CMRR in these hazardous locations also set into the weak rock grading. The conclusion is the GIS-3D model and prediction of multiple subsidence trough, integrated with CMRR give us a more useful information on defining the potential area of ground subsidence hazard (according the data collected from this work): the high potential area is the grid value of subsidence larger than 0.5 meter and of CMRR smaller than 45; the other area within the stope are low potential. In the other way of D-inSAR, the result also shows well comparison with subsidence model in the detected subsidence study area, Tonyung clay mine area in Chung-Ho City of Taipei County,

Besides, we also make a brief manual for abandoned underground mine inventory and risk assessment. The Federal Highway Administration of Dept. of Transportation, U.S. has been built up the methodology in field investigation and the risk evaluation in 1999. We select the more meaningful factors should be used in Taiwan cases study. Factors are separated into four groups: (1) surface deformation features, (2) geometric factor of mining include mine opening, overburden thickness of coal mine area, thickness of coal bed, the thickness ratio of overburden to coal bed, (3) geological effects, (4) groundwater effects. This manual should be modified during the last two year through the experts' discussion.

There is so limit report or study on the ground subsidence in Taiwan. This 3-year project is the pioneer of such work. The result can give us a better understanding in the mechanism of subsidence occurred, also an advanced interpretation of subsidence how they proceeded. And such the risk assessment of subsidence hazards in those abandoned mine areas could provide important information for the government' s policies, especially in the land-use aspect.

## 二、年度計畫執行內容與流程

### (一) 本年度工作內容概述：

本年度計畫工作重點在於累積前項四年計畫之普查與初步研究成果，進行地質敏感區-廢棄坑道之地盤下陷之GIS分析模式與災害潛勢分析。由於台灣煤礦開採之含煤層包括木山層、石底層以及南莊層等含煤層（岩層由老至年輕），因此研究區之地下開採條件、岩盤性質不盡相同，所引發之地盤下陷行為與規模亦會有所不同。圖1顯示台灣煤礦以開採石底層為主，且煤層位態多以緩傾斜角度(15~60度)之煤層為主。

為了使本計畫能發揮最高效率以達研究成果，先行篩選適當之研究區域即為首要之務。因此，依據多下陷槽模式先將含煤岩層分為0~15度（水平）、15~60度（緩傾斜）以及60~90度（急傾斜）等三類岩層，同時檢討分類中哪些地區曾經或現在已發生地盤下陷（或具有潛勢者）等地質災害之區域。然後進行研究區之地下高程空間資訊與地下地質背景之資料補充建置，以多下陷槽模式推估該等研究區之下陷槽幾何型態與推估範圍。並進行細部相關地質災害調查與研究區佈點測量岩層與地表之幾何變形相關數據收集與分析。同時也研發D-inSAR雷達影像技術來分析大範圍之地盤下陷趨勢，從以綜合研討、分析驗證下陷槽之評估模式與地盤下陷潛在災害分析模式。另一方面，本計畫工作尚須於研究區中建立其他類別之廢棄坑道，雖然這類坑道不多，但多位於風景區或已規劃為觀光用途(如后里、東勢等鐵馬隧道)。惟這類廢棄坑道是否會造成地盤下陷之虞，尚有待調查評估之。

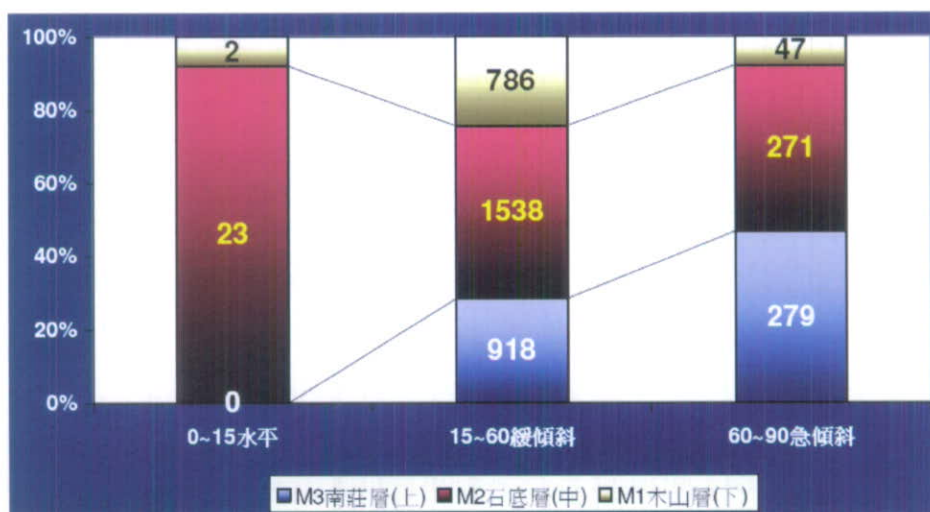


圖1 台灣開採含煤層類別與煤層傾度分類比較圖(柱狀圖內數字表示地下採掘跡之數量)

(二) 年度工作項目

本年度計畫主要工作仍以廢棄煤礦之地盤下陷災害調查與潛勢分析為主，工作內容如下：

(1) 蒐集執行年度調查區域基隆市、臺北市以及臺北縣-1 等縣市範圍之礦區地下坑口坑道高程及相關地下地質與環境資訊，並以 92-95 年前項計畫所研發之「多下陷槽模式」先行評估篩選重點研究區之分類與地盤下陷災害潛勢範圍(圖 2，表 1)。其主要內容如下：

- a. 補充建置地下坑口-坑道空間分佈圖層與屬性資料(需考量地下坑口-坑道之幾何校正)。
- b. 蒐集其他類別之廢棄坑道資訊。
- c. 建立煤層開採之岩層類別(如層別、層厚、岩性以及傾度分類)
- d. 地下地質特徵化—以 GIS- 3D 空間分析技術建置地下三維空間分佈圖層、上覆岩體等厚圖、開採等厚圖。
- e. 初步推估地盤下陷模式及等下陷範圍圖，以進行篩選具有災害歷史或代表意義之地表調查區(含重點研究區 3 處)，初步估計約 20 處。

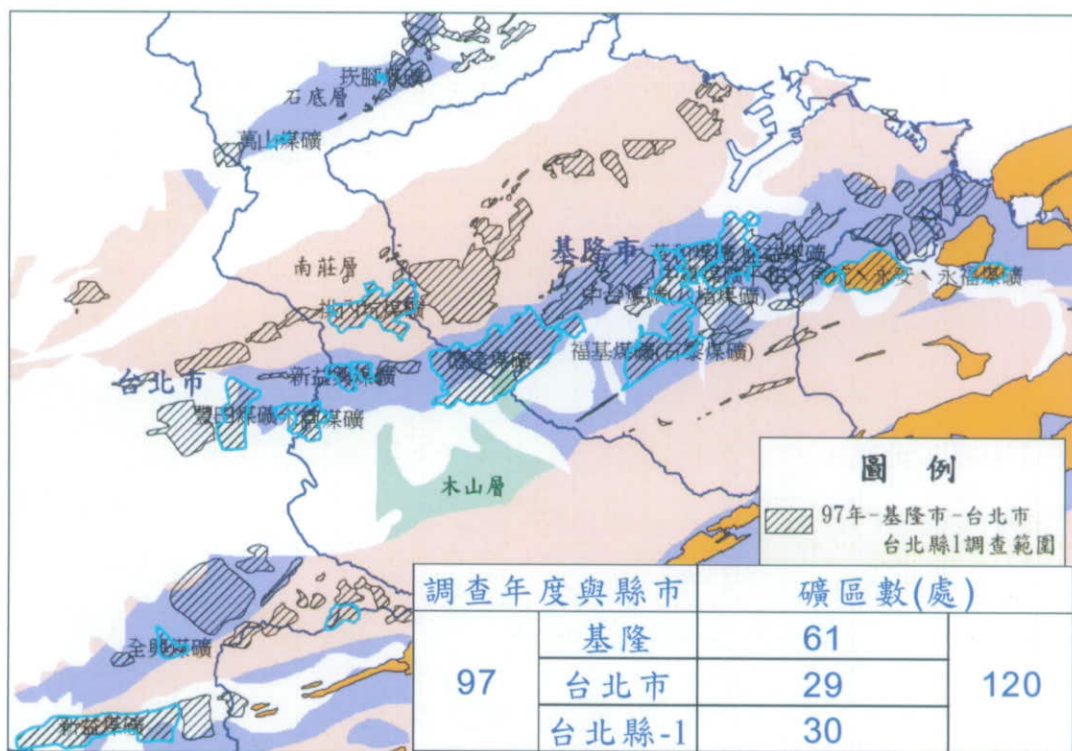


圖 2 97 年度調查區之廢棄煤礦空間分佈圖與數量統計

表 1 97 年度初步篩選之細部現地調查礦區一覽表

年度調查縣市	MINE_NAME	MINE_NO
97年調查區(黃色網底 為重點區)約20處	萬山煤礦	A00323
	新益興煤礦	A01155
	全(金)興煤礦	A00354
	新益煤礦(中山煤礦)	A00330
	豐田煤礦	A00149
	木南煤礦	A01754
	新益興煤礦	A01155
	憶達煤礦	A00117
	拱(烘)內坑煤礦	A02978
	坎腳煤礦	A01990
	木南煤礦	A01754
	中和煤礦	A01297
	福基煤礦(石黎煤礦)	A00574
	永安煤礦	A01282
	中臺煤礦	A00427
	憶達煤礦	A00117
	英和煤礦,盛益煤礦	A02152
	中台煤礦(八堵煤礦)	A00427
	建義(平和、永安、永福)煤礦	A00831
	東運資土礦	A02543

- (2) 進行篩選研究區之野外細部地盤下陷災害與地表徵兆調查。同時於研究區進行煤層上覆岩體之岩層位態 (strike-dip)、岩石力學參數如 RQD、單軸抗壓強度等測量與實驗, 以建立地盤下陷潛勢評估所需之野外地質經驗數據。
- 進行重點調查區之居民訪談紀錄、建立地盤下陷災害徵兆如張力裂隙、民宅損害或地表龜裂變形等範圍之空間分佈圖層及屬性描述清單。
  - 進行其他類別廢棄坑道之空間資訊建置。
  - 測量煤層之上覆岩體露頭位態、岩性、厚度、岩體強度、不連續面分佈等重要地質資訊。
  - 繪製地盤下陷地表調查清冊 (hazard inventory) 並驗證地盤下陷模式。

- (3) 引進 D-InSAR 影像分析技術，由地表變形量來判釋地盤下陷區之範圍與模式驗證。
  - a. 建立影像分析判釋之技術流程。
  - b. 建立地盤下陷範圍分佈圖層，以及驗證地盤下陷模式。
- (4) 綜合案例分析並考量岩石力學(CMRR, RMR, Q-system 等)建立台灣地區的地盤下陷 GIS 分析模式、地盤下陷潛勢分析圖，以及安全評估模式。
- (5) 將年度工作成果建立為 GIS 圖層（坐標系統為 TWD67 或 TWD97，精度誤差在 5 公尺以內），包含：
  - a. 上述廢棄坑道之 GIS 空間圖層與屬性資料。
  - b. 地盤下陷影響區域內地形、地質與地物之圖層。
  - c. 地盤下陷分佈範圍圖層。
  - d. 地盤下陷潛勢分析方法，以及相關圖層之產製輸出。
  - e. 編製基隆市、臺北市以及臺北縣-1 各礦區現地調查之地盤下陷災害潛勢分佈圖（比例尺 1/5,000 以上）。
  - f. 編製基隆市、臺北市以及臺北縣-1 縣市之廢棄坑道地盤下陷災害潛勢圖（比例尺 1/25,000 以上）與其他類別之廢棄坑道分佈圖。
- (6) 完成地盤下陷災害潛勢評估報告與教育訓練。

### (三) 計畫執行流程與內容

為了進一步瞭解地質敏感區之地盤下陷作用機制與提供安全評估模式，本計畫在年度之執行流程如圖 3 所示，並說明如下：

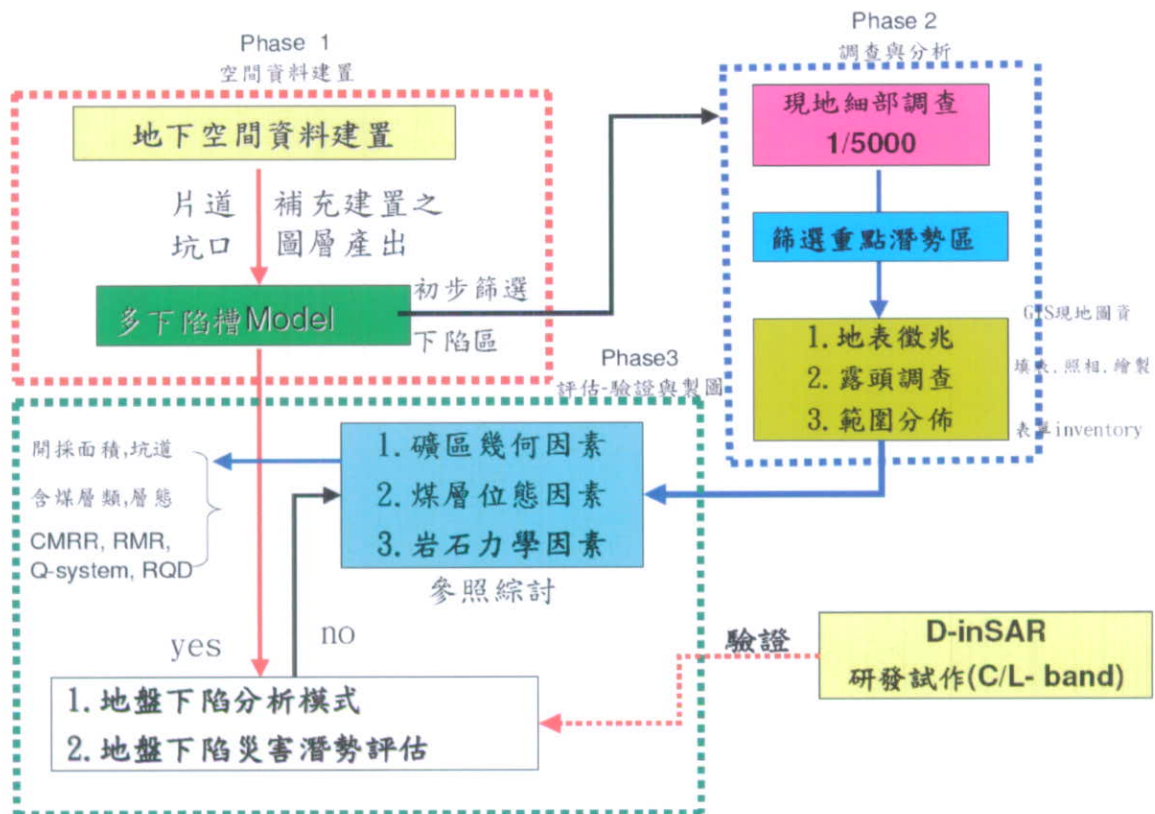


圖 3 97 年度計畫執行流程圖，圖中 Phase 1 與 Phase 2 係兩種方法論，由於均有考量重要之關鍵性因子：礦區幾何-煤層位態-岩石力學。因此經由此兩種方法所獲得之評估結果，能綜整討論(Phase 3)此三大因素的驗證與吻合關係，從而建立適合台灣地區之地盤下陷潛勢評估方法

#### 1. 建立研究區之地下地質數值資訊與地質災害背景等相關空間資訊、圖層以及清單。

本計畫所需之環境地質背景資訊與地下地質之空間資訊充分與否，決定了後續地盤下陷區之災害潛勢分析與安全評估模式建立之基礎。因此有關地下坑道、片道之高程點位與延伸位態，以及相關地質資訊例如岩層位元態、物理性質與現地測量數據等均需透過 GIS 強大的分析與管理功能來完整的建立。工作要點為建立年度研究區地下地質之相關空間資訊、圖層，

其執行項目包括：

- (1) 坑道高程與採掘跡範圍之量測資訊補充與建立。內容包括坑口與片道高程值補充、片道之延伸長度(圖4)。
- (2) 蒐集並建立煤層柱狀圖(彙整過去與近年之岩芯資料)與岩層地下地質背景資料,包括開採煤層之厚度與位態(bearing)、上覆岩盤厚度及其相關物理性質。此部份與多下陷槽理論模式之分類與經驗值修正有極大關係。
- (3) 以GIS modeling 與 3D-空間分析來進行地下地質因數之特徵化(characterization),包括坑道高程、地下採掘面、上覆岩盤等厚圖之分析圖層建立(圖5)。

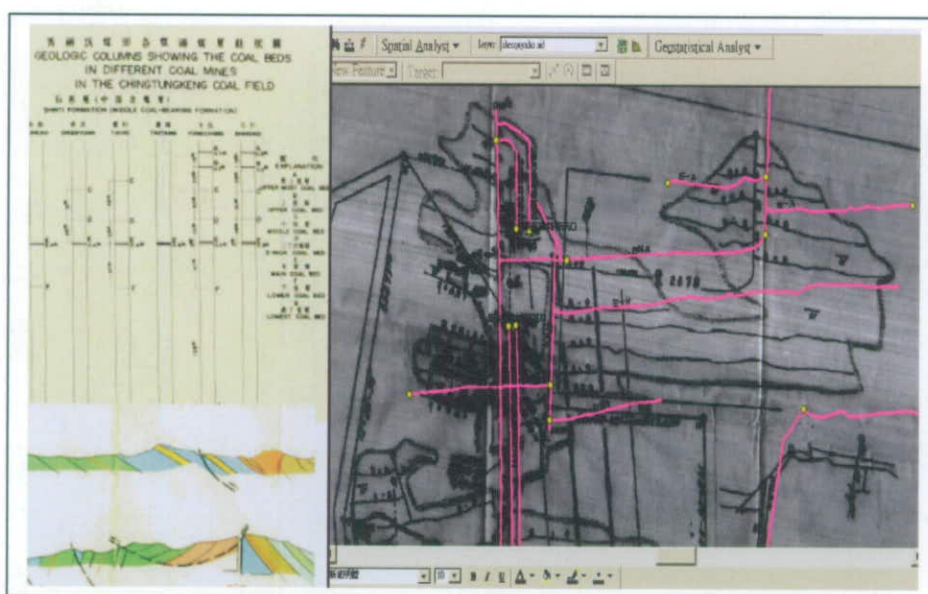


圖 4 補充地盤下陷區之地下地質相關資訊與圖層建立

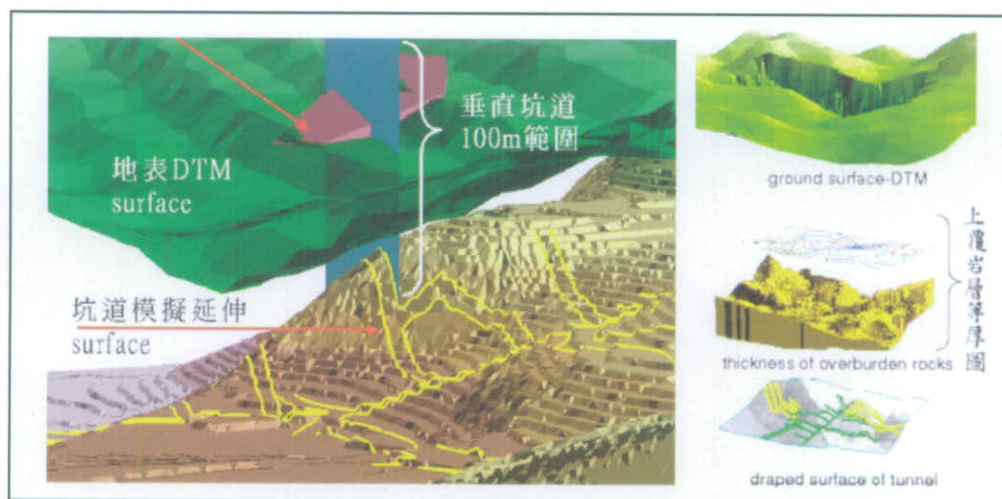
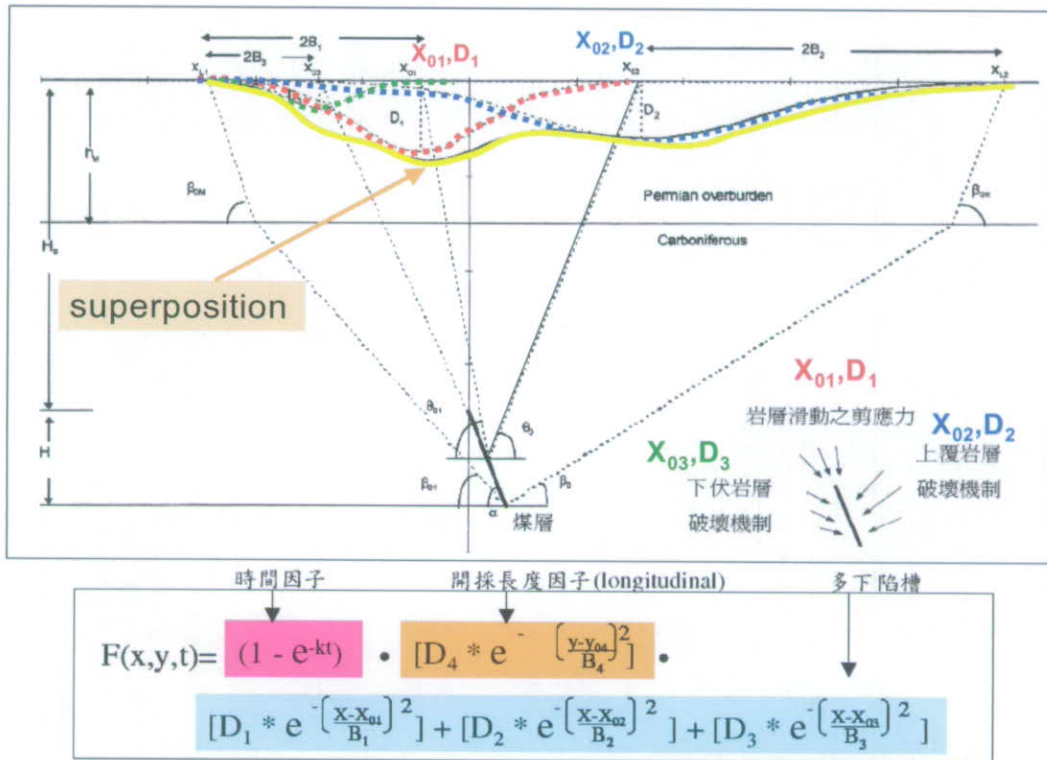


圖 5 以 GIS-3D 空間分析進行地下地質特徵化(geological characterization)



## 2. 進行年度研究區之地盤下陷槽模式推估、重點災害潛勢區之現地細部調查、測量以及研發數值影像應用於大範圍區域地盤下陷判釋之實用性。

- (1) 以多下陷槽模式推估研究區之地盤下陷潛勢範圍，同時篩選重點研究區進行現地地質災害調查。Toraño and Rodriguez (2000) 以多下陷槽理論用來分析、測量與解釋西班牙北部地區因地下煤層開採而造成的地盤下陷現象(圖6)。該理論將地盤下陷的行為視為多個下陷槽的連續疊加(superposition)作用所形成之地表變形運動，且每個下陷槽依循著一個具有指數分配(exponential distribution)意義之剖面函數(profile function)，該理論考量地下煤層的開採方式與下陷槽之幾何型態關係：例如岩層位態(煤層傾度)、開採厚度、深度與寬度、最大可能下陷量以及最大下陷角(draw angle)之延伸範圍等等影響因數。且因開採煤層之上覆與下伏岩層的不同作用機制，會形成不對稱下陷槽(asymmetrical trough)之現象，此有別於傳統的單一典型下陷槽理論。此外，該理論亦將時間因數對地下開挖行為終止後，其地下掏空所引發之應力場改變仍對地表會持續一段時間的變形影響(time delaying)，因此多下陷槽模式也將 Knothe time function 引入(knothe S., 1953)。雖然多下陷槽模式無法界定地盤下陷災害之潛勢分級，但卻可經由下陷區之推估來界定下陷範圍，其後再透過實地現場細部調查建立災害清單，以及岩石力學相關數據之綜合研討來進行安全評估與潛勢分級。



$X_{01}, D_1$  為上覆/下伏岩層之滑動機制造成最大下陷點與下陷量  
 $X_{02}, D_2$  為上覆岩層之破壞機制造成最大下陷點與下陷量  
 $X_{03}, D_3$  為下伏岩層之破壞機制造成最大下陷點與下陷量  
 $y_{04}, D_4$  為沿開採室縱向因素機制造成最大下陷點與下陷量

圖 6 多下陷槽數學幾何模式與函數示意圖(修改自 Torano and Rodriguez, 2000)

基於上述多下陷槽之數學理論模式，由於煤層傾度不同，其下陷機制亦有多種組合，因此我們可將煤層傾斜角度分為三類：

- a: 0~15 度之水平開採煤層，其開採方式以長壁法為主。地盤下陷的破壞行為可由單一下陷槽來解釋分析，且主要由上覆岩層 (roof strata) 的破裂或彎曲機制所形成者。
- b: 16~60 度陡斜之開採煤層，其開採方式除了沿煤面走向以長壁法開採之外，亦有沿著片道向下開採 (sub-level caving)。因此其破壞機制除了有上覆岩層的破

裂或彎曲所造成的下陷之外，還有上覆岩層的滑動機制(slipping)累加而形成。  
c:60~90度垂直之開採煤層，其不僅有上覆/下伏岩層之破裂或彎曲行為，更有其滑動機制而組成具有多個下陷槽的地表破壞行為。

本計畫即是希望藉由多下陷槽理論之數學推估與下陷槽之幾何型態分佈先行實施研究區之選定與地盤下陷潛勢範圍界定，再至現地進行細部地質災害勘查、紀錄。圖7為東運瓷土礦案例試作多下陷槽下陷區之初步結果。

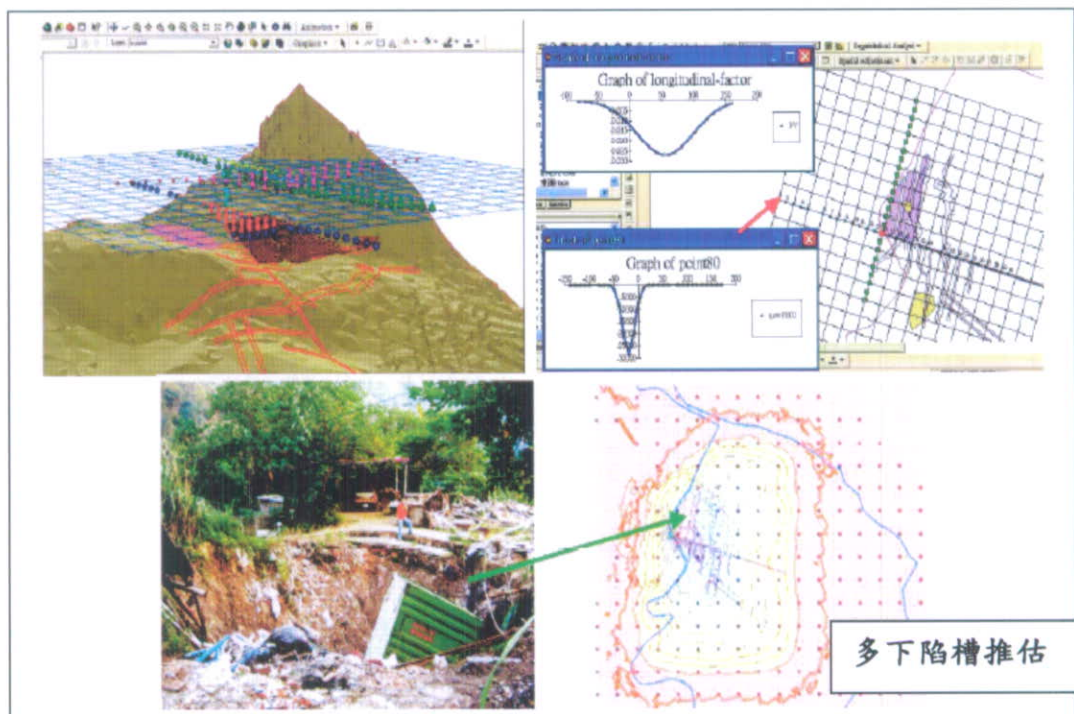


圖7 東運瓷土礦第二下陷區之案例：結合3D-GIS空間分析與多下陷槽推估之地盤下陷範圍（紅色為下陷量0之範圍）

(2) 進行重點災害潛勢區之現地細部調查、測量，其工作重點包括

- a. **廢棄坑道現地調查清單與評估。**訪談當地居民或曾參與礦業人員對該區是否有歷史災害紀錄?或已發生災害之地表變形(如張力裂隙、滑動面)區位。透過現地地表徵兆或災害之紀錄與測量、歷史災害調查與訪談，可協助本計畫建立地盤下

陷災害的歷史清單，以及相關地表徵兆之空間資訊圖層。

- b. **野外露頭調查表單。**為瞭解煤層開採之上覆岩體力學重要數據參考，這部份工作主要係由良好的野外露頭建立地盤下陷與上覆岩盤之強弱相關性(圖8)。美國礦務局(BOM)解編後，已將依些廢棄礦區場址調查相關資料與作業準則規範交與交通部聯邦公路總局(FHWA, DOT)、疾病管制局(CDC)。由於事關礦工、附近居民以及建物安全，美國職業衛生安全研究院(NIOSH)根據俄亥俄州交通局(ODOT)的廢棄礦場調查清冊目錄與風險評估表單進行調查與資料建置。並根據 Molinda G.M. and Mark C (1994, Bureau of Mine USA) 現地調查資料與經驗值發展出煤礦上覆岩盤(Coal Mine Roof Rating, CMRR, )的等級評估相關轉換公式。因此本計畫也引進CMRR來強化地盤下陷區的潛勢評估參考因數，並將其分級、數化後，進行GIS空間分析之災害潛勢分析與驗證。



圖8 進行地盤下陷災害/潛勢區視野外露頭調查

CMRR 主要引用參數為單軸抗壓強度(UCS), 不連續面等級(DSR), 以及水破壞效應 (Moisture sensitivity)等三項。由於上述參數有的再工程界一一別種參數引用例如單軸抗壓可以 Point Load 取代；不連續面參數(DSR)可以 RQD 或 FS(裂隙百分比指數)轉換為 DSR, 其相關函數如下圖 9。而水的破壞效應參數於本計畫中係採用 CMRR 的分析指數：即岩樣試體取約手掌大小，然後先以地質錘擊之並紀錄其破碎情形，其後再以燒杯乘水浸泡約 1 小時，觀察試體與水的反應，最後再對試體敲擊一次並紀錄破壞程度。最後累計此三次指數分級的總合而予以負值即為 moisture sensitivity，其表單如下圖 10 所示。最後在 CMRR 與 H(上覆岩體厚度)的經驗公式亦列於圖 11，此判別函數(Discriminant Equation)主要是從樣本中相對岩

體強度與岩盤穩定性之分級數值。

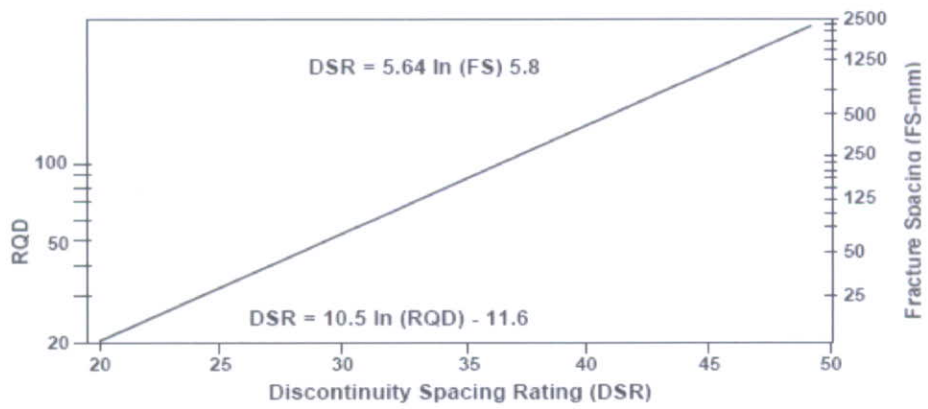


圖 9 CMRR 之 DSR(Discontinuity Spacing Rating)不連續面等級與 RQD, FS(Fracture Spacing) 相關之判別公式圖(Molinda & Mark, 2005)

C. Mark, G.M. Molinda / International Journal of Coal Geology 64 (2005) 85-103

IMMERSION TEST

Mine: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Unit No.: \_\_\_\_\_ Tester: \_\_\_\_\_

Sample Description (Lithology, bedding, etc.): \_\_\_\_\_

Immersion		Breakability	
Observation	Rating	Observation	Rating
Appearance of Water			
Clear = 0	_____	No Change 0	_____
Misty = -1		Small Change -2	
Cloudy = -3		Large Change -6	
Talus Formation		Breakability Index _____	
None = 0	_____		
Minor = -1			
Major = -3			
Cracking of Sample			
None = 0	_____		
Minor/Random = -1			
Major/Preferred Orientation = -3			
Specimen Breakdown = -9			
Total Immersion Index _____			

Procedure for Immersion Test

1. Select sample(s) - ~ hand sized.
2. Test for hand breakability.
3. Rinse specimen (to remove surface dirt, dust, etc.).
4. Immerse in water for 1 hour.
5. Observe and rate water appearance, talus formation, and cracking of sample.
6. Sum Rating for Immersion Index.
7. Retest for hand breakability.
8. Determine Breakability Index.
9. The final Immersion Test Index is the greater of the Breakability Index or the Immersion Index.

圖 10 CMRR 之水破壞效應指數測量流程(immersion test used to creating the moisture sensitivity, Molinda & Mark, 2005)

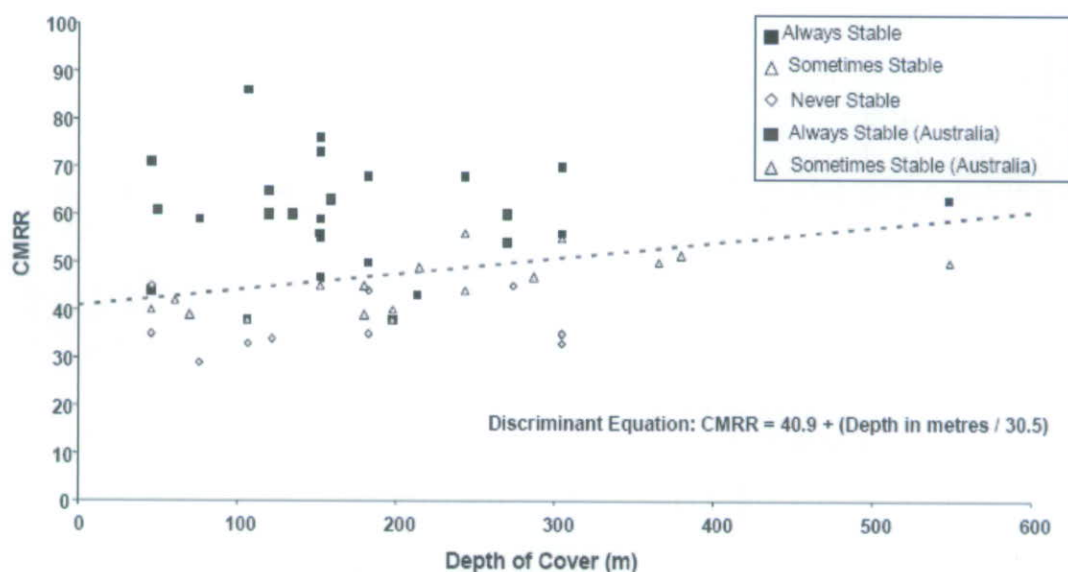
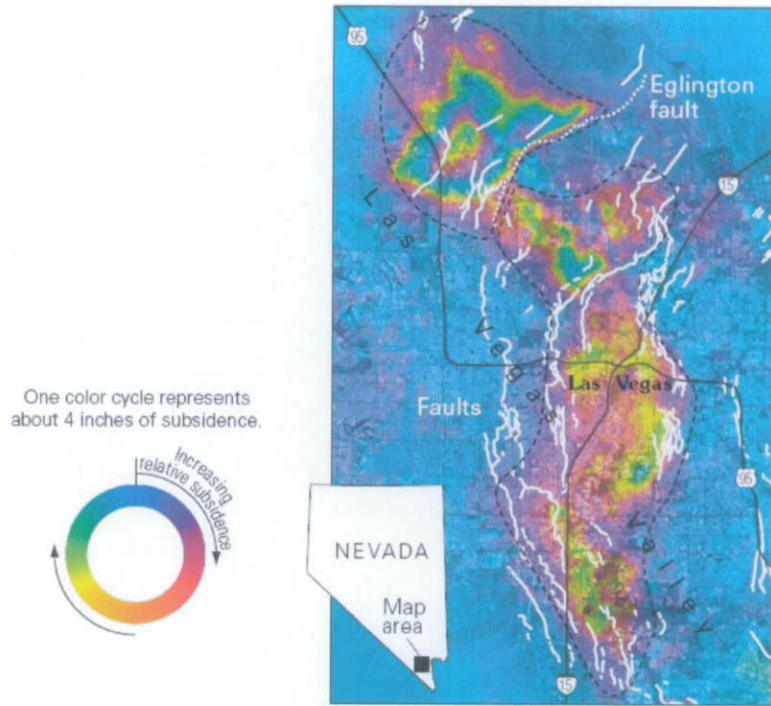


圖 11 CMRR 與上覆岩體厚度之判別函數(Molinda & Mark, 1999)

### (3) 國內外 D-InSAR 運用案例

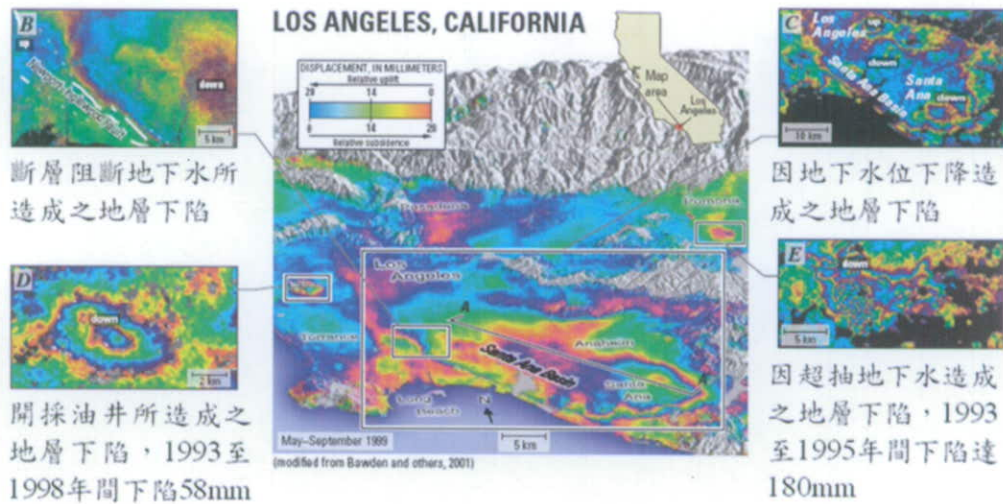
由於衛星遙測技術具有偵測大範圍面狀地表資訊之優勢，因此在國內外以合成孔徑雷達之差分干涉影像 (D-InSAR) 進行研究區之地表變形量 (下陷量及下陷範圍) 分析之案例很多。如 Amelung et al. (1999) 以 D-InSAR 技術進行拉斯維加斯 1992 年 4 月至 1997 年 12 月地層下陷的監測，此處地層下陷之主因為地表斷層變動擠壓地下含水層所造成；如圖 12 所示，每一個顏色周期(干涉環)代表 10 公分左右的相對下陷量。美國地質調查局 (USGS, 2003) 則以 D-InSAR 技術進行洛杉磯的地層下陷監測，由於洛杉磯地層下陷的原因很多，包括斷層阻斷地下水流動、開採油井、超抽地下水等等，監測結果也顯示 D-InSAR 能適用於各種不同的案例，差分干涉圖亦能呈現出不同下陷原因所造成的不同下陷特徵 (圖 13)。另外在舊金山的案例中，D-InSAR 更發現以往所不知的新斷層線，此一重大發現對於相關單位加強預防地震災害有極大的幫助 (圖 14)。而在國內案例方面，則包括了 921 地震後的地表形變監測 (黃孟涵, 2006; 謝嘉聲, 2006)、地下水超抽造成之地層下陷監測 (圖 15) (張中白等, 2004; 謝嘉聲, 2006; 童忻, 2008) 等研究，應用之案例也頗多。

不過國內外文獻中以 D-InSAR 技術針對地下採礦所造成的地層下陷研究並不多，在國內亦無此案例研究。因此本計畫特引用前人之分析方法應用於北臺灣礦區地層下陷之研究，以驗證 D-InSAR 之成效。



資料來源：Amelung et al., 1999

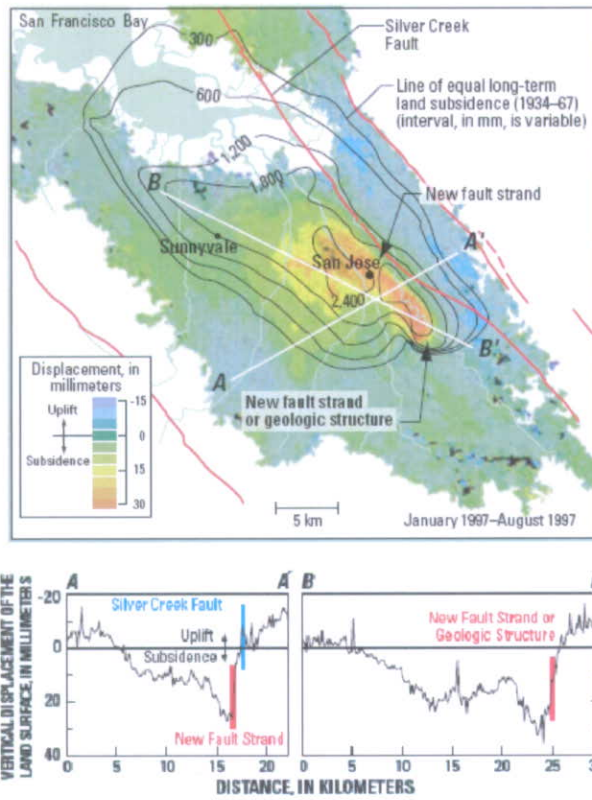
圖 12 以 D-InSAR 技術進行拉斯維加斯地層下陷之監測



資料來源：USGS, 2003

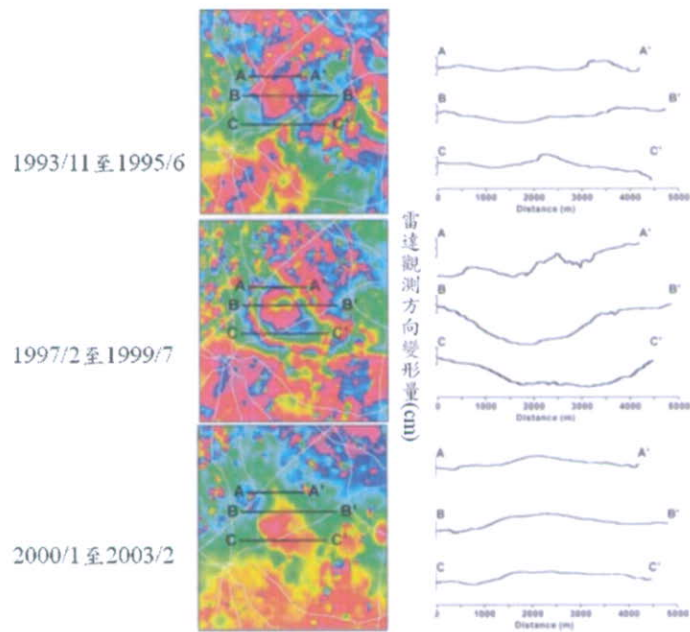
圖 13 以 D-InSAR 技術進行洛杉磯地層下陷之監測





資料來源：USGS, 2003

圖 14 以 D-InSAR 技術發現舊金山新的斷層線



資料來源：張中白等，2004

圖 15 以 D-InSAR 觀測中壢工業區的下陷趨勢

#### (4) 研發 D-InSAR 分析方法及流程

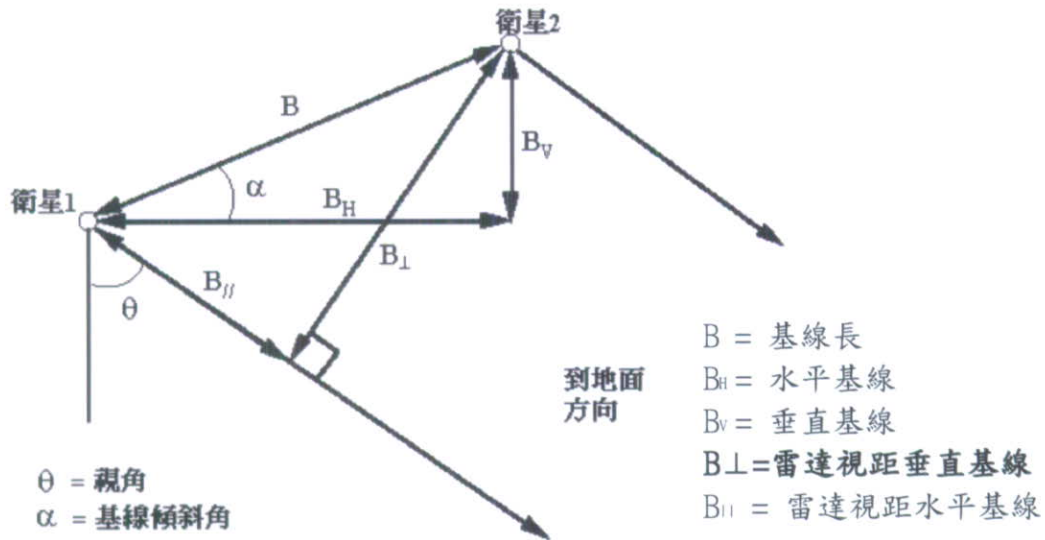
在本計畫中，差分干涉影像處理使用法國 CNES 公司開發之 DIAPASON、以及美國 MathWorks 公司研發的 MATLAB 等兩個軟體，並選擇二軌跡法 (two-pass method) 進行處理，最後將 D-InSAR 所測量之地表變形量與 GPS 資料進行誤差分析，並與下陷槽理論之成果進行趨勢比對。二軌跡法僅需要兩張 SAR 影像資料，就可進行差分干涉，為了避免因高程資料精度與套合精度的影響，可藉由配合同一區域現有之數位高程資料，以消除由地形效應產生的相位資訊，產生差分干涉圖像 (張育仁，2008)。

為了在差分干涉的過程中得到較高的同調性 (即同一地面點位在不同時間的相關性愈高)，挑選兩張 SAR 影像時需滿足下列幾項重要條件：

1. 兩張 SAR 影像的雷達視距垂直基線長 (perpendicular baseline,  $B_{\perp}$ ) 以小於 100 公尺為最佳。
2. 地面乾濕條件一致。
3. 大氣狀況一致。

其中最重要的條件即為垂直基線長 (perpendicular baseline,  $B_{\perp}$ ) 不宜過長，一般來說垂直基線長以小於 100 公尺為最佳，以減低差分干涉結果中因地表高程所造成的誤差量，使得在成果中能有效地反應真實的地表變形量，因此在挑選影像時必需進行基線計算。基線計算為計算影像對間的各種幾何參數值，地面高程值須由相關的幾何參數計算，所以各參數的計算結果將直接影響成果的精度及品質。因為重複軌道的拍攝方式，使得兩衛星軌道間的幾何位置為接近於平行的兩曲線，基線即為拍攝同一地面點時兩衛星的空間連線。依 SAR 的成像原理可知，其斜距方向與軌道方向為接近垂直之情形，其位置為兩軌道間之最短距離。如以主影像 (master image) 的軌道為例，選擇像中心所對應的地面點為共同點，則以此影像中心的獲取時間，配合精密軌道可以計算出衛星的瞬間位置。而在副影像 (slave image) 上，其共軌的衛星的空間位置為在套合影像的軌道中，求出與前衛星軌道位置距離最短的位置，即為相對應的衛星空間座標。以此兩座標就可以計算出各種基線參數，基線各項參數的幾何關係如圖 16 所示。

但由於臺灣地區雷達影像取像時間不多，因此上述條件難以全面配合，本計畫僅能在少數影像中挑選條件最佳的幾幅來進行實作。



資料來源：謝嘉聲（2006）

圖 16 基線各項參數的幾何關係

主、副影像挑選後出來後，本計畫以二軌跡法進行分析處理，其流程大致分為以下 11 個步驟，圖 17 及圖 18 分別顯示影像前處理及差分干涉測量兩大部分之流程圖：

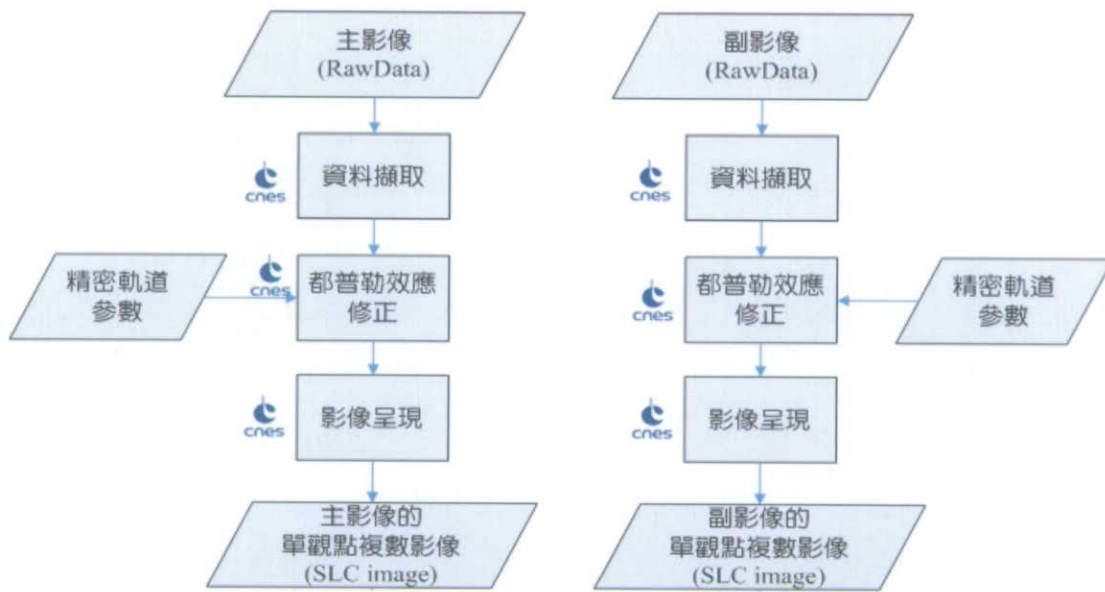


圖 17 本計畫中 D-InSAR 二軌跡法處理流程圖(影像前處理部分)。  
 (每一方框代表處理程序的名稱，方框旁的圖示代表處理所用的工具)

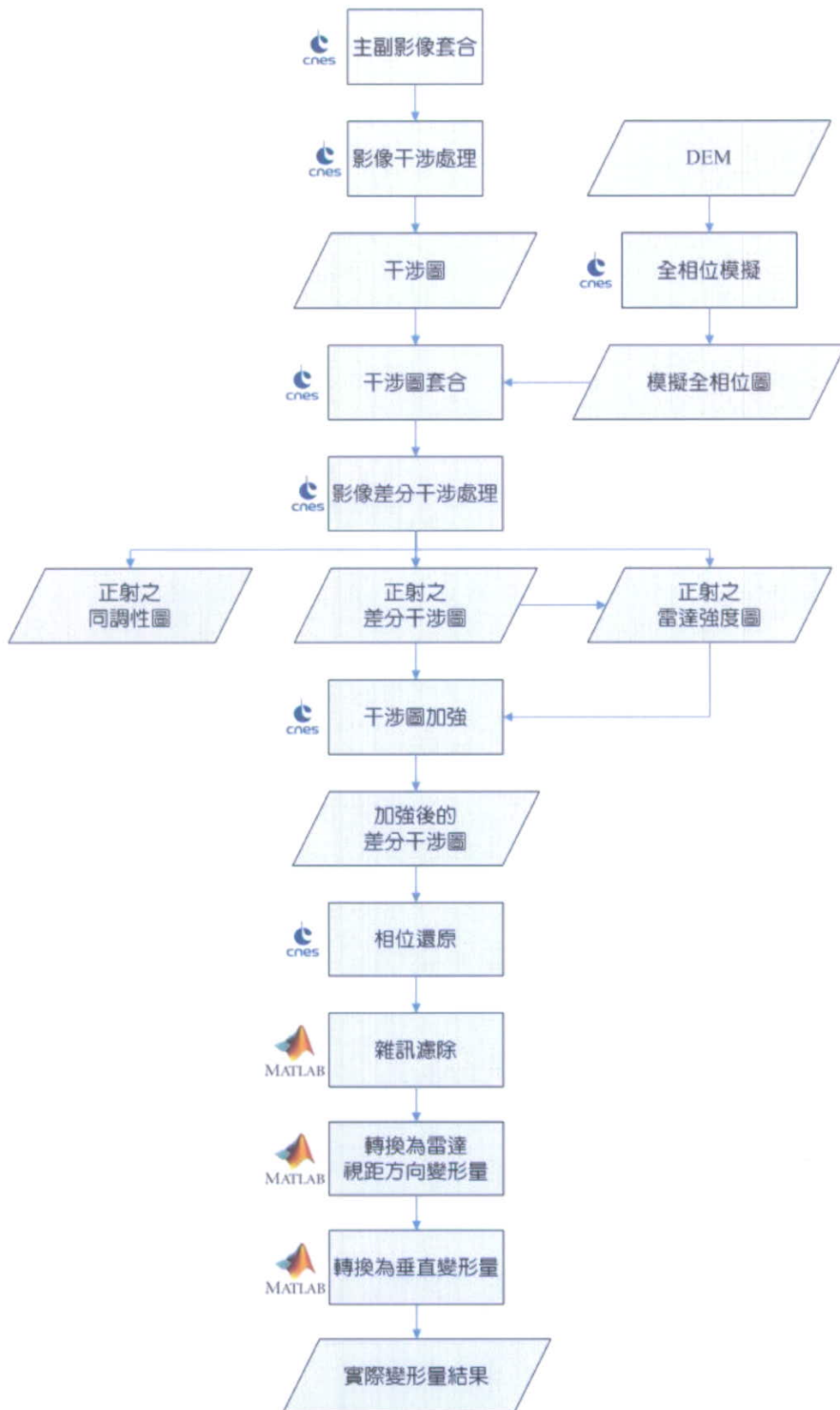


圖 18 本計畫中 D-InSAR 二軌跡法處理流程圖(差分干涉及變形量計算部分)。

(每一方框代表處理程序的名稱，方框旁的圖示代表處理所用的工具)

以下以 ERS-2 北臺灣 1999/11/13 與 1999/12/18 兩時期的影像配對為例，詳細說明處理之流程。

### 1. 資料擷取：

以時間較早的影像為主影像，較晚的為副影像，分別從原始資料 (raw data) 初步擷取出來。在資料擷取的程序中，會從影像的原始資料中讀取影像的描述資訊 (圖 19)，此描述資訊即可做為後續其它程序的參考依據。

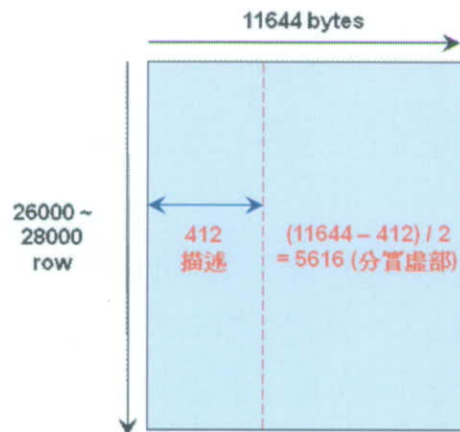


圖 19 雷達影像的原始資料結構

### 2. 都普勒效應修正：

將主、副影像擷取出來的資料進行普勒效應 (Doppler effect) 修正，並導入精密軌道 (precise orbit) 參數。

### 3. 影像呈現：

在此程序中會將原始資料轉為單觀點複數 (single-look complex, SLC) 影像以及多觀點複數 (multi-look complex, MLC) 影像。此時即可看到肉眼可分辨地物的影像。但此時的影像由於尚未經過精密軌道校正，故呈現的影像為左右顛倒 (圖 20)。

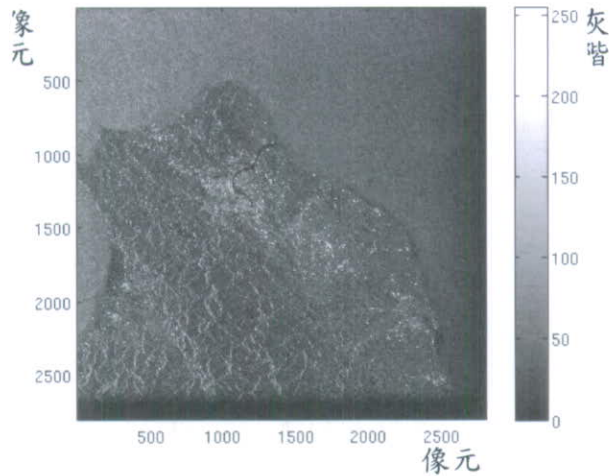


圖 20 影像呈現程序處理後產生之 MLC 影像

#### 4. 主副影像套合及干涉處理：

將主、副影像提取出之單觀點複數影像進行軌道修正以及影像套合 (co-registration), 套合處理的目的在確定兩影像對間的空間 (spatial) 及光譜 (spectral) 的重疊區域之空間關係。基本上套合處理要計算兩影像間的轉換參數及重新取樣。其主要的處理步驟：a. 計算干涉像對的主影像及副影像位移量；b. 計算預估軌道及地球的幾何關係；c. 計算轉換參數；d. 將套合影像轉換至參考影像坐標。套合後的影像再進行干涉處理而得到初步干涉圖像，如此可得到影像對時間內由地表與衛星間之距離變化引起的雷達波相位差。

#### 5. 全相位圖像模擬：

準備與影像涵蓋範圍相同之數值高程模型 (digital elevation model, DEM) 資料，並產生模擬全相位圖像。

#### 6. 影像差分干涉處理：

將步驟 4 產生的初步干涉圖像與步驟 5 的模擬全相位圖像兩者進行套合，並進行第二次干涉處理，消除由數值高程模擬之全相位圖像，而得到移除地形效應之衛星斜距方向正射化雷達強度影像 (圖 21)、同調性影像 (圖 22)、以及差分干涉圖像 (圖 23)。細部觀察圖 23 可知，處理得出的之雷達波相位變化，賦予每個相位週期彩虹的顏色 (相位值為  $-\pi$  到  $\pi$ ，對應顏色從紫色到紅色)，可方便觀察相位變化，而此由彩虹干涉條紋 (雷達波相位

變化) 組成的圖像稱為差分干涉圖。不過雷達波入射角度、地形效應與衛星軌道誤差等諸如此類的因素，都將造成雷達回波的相位差而導致干涉條紋的產生，必須設法在處理過程中移除這些雜訊，才可得到真實的地表變形量。

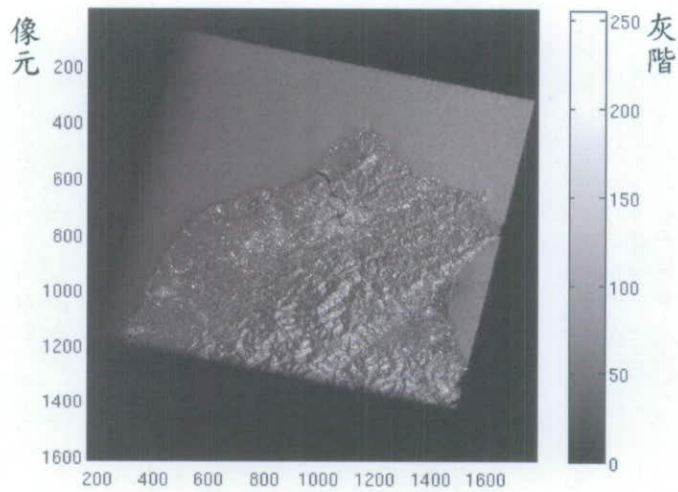


圖 21 移除地形效應之衛星斜距方向正射化雷達強度影像

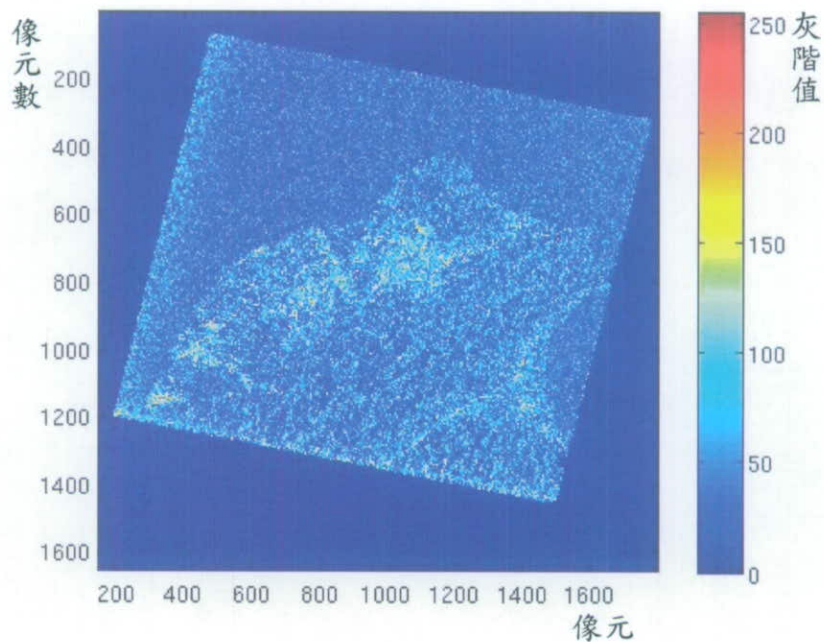


圖 22 移除地形效應之衛星斜距方向正射化同調性影像



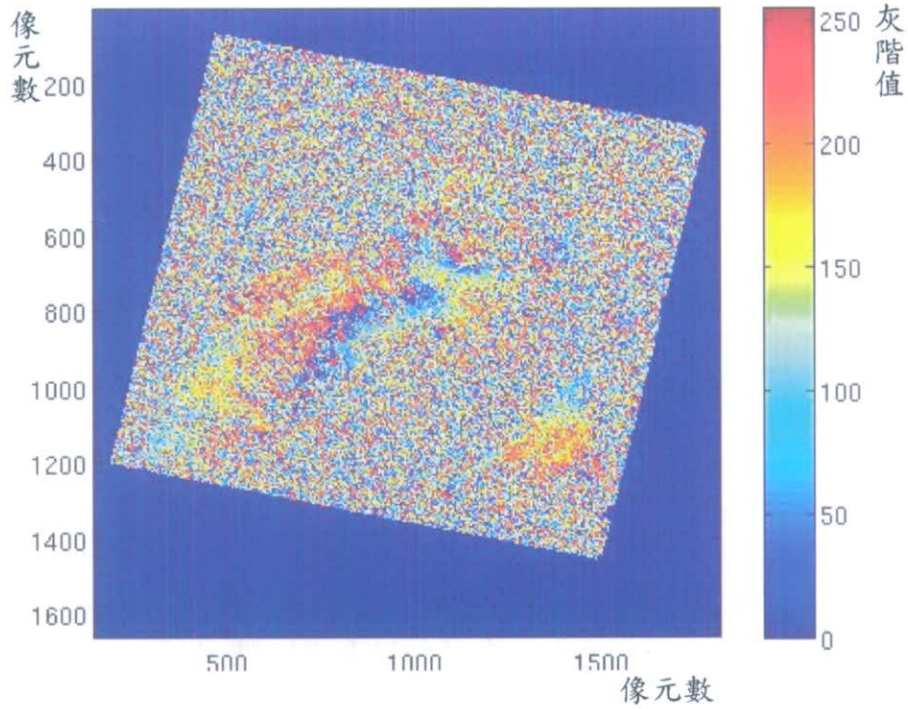


圖 23 移除地形效應之衛星斜距方向正射化差分干涉圖像

7. 干涉圖加強：

將差分干涉相位圖像進行影像加強，如圖 24 所示。

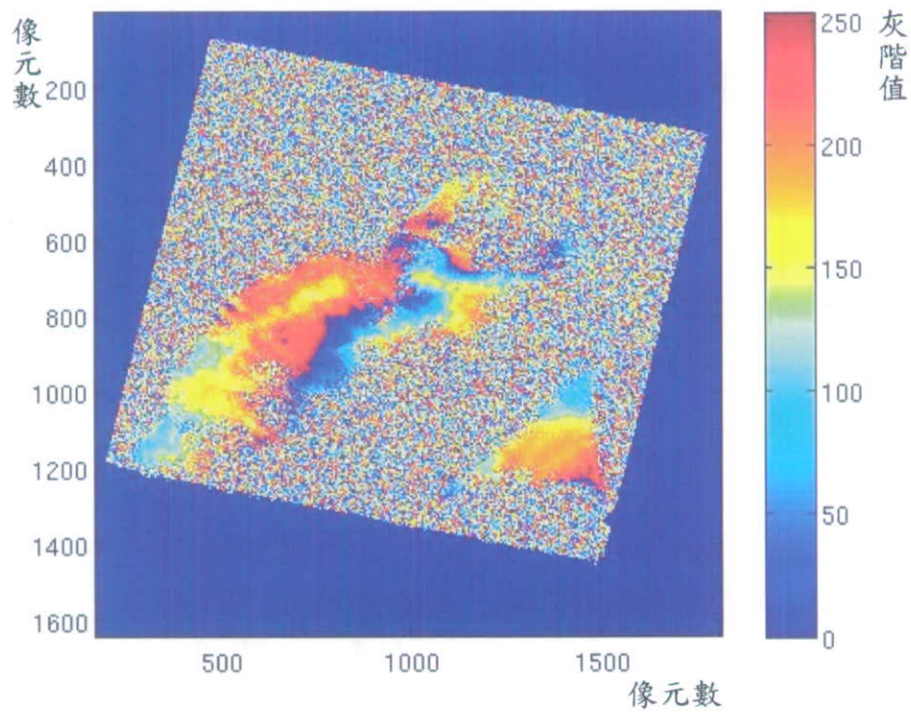


圖 24 影像加強後之干涉圖

## 8. 相位還原：

經地形效應改正後之相位圖，其所對應的高程變化仍然有超過  $2\pi$  之情況。表現在相位圖上，則形成一圈圈不規則等相位曲線條紋，計算每一點的高程時，就必須加入每一相位量測中的整數波數，這個要解決實際加回多少波長( $2\pi$ )的問題，就稱為相位還原 (phase unwrapping)。圖 24 的相位還原結果如圖 25 所示。

要在相位圖上將波數辨認出來，這與干涉條紋的品質有關，如果有雜訊、斑駁及地物變遷等破壞干涉的情形存在，則會有部份區域無法計算，此即為何在還原之前要先執行做影像加強之動作。

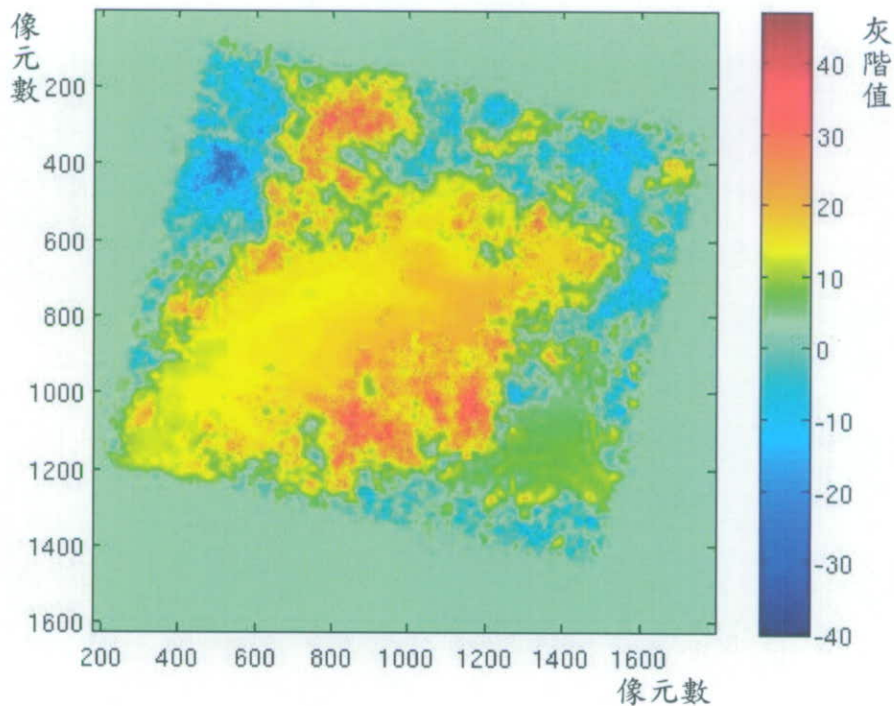


圖 25 相位還原之結果

## 9. 雜訊濾除：

依據同調性的高低，保留同調性高的區域，並濾除雜訊過高的區域。

## 10. 轉換為雷達視距方向的變形量：

在解算雷達差分干涉成果之相位差後，可進而獲得兩者間所對應的雷達視距方向變化量。以波長為 5.6 公分的 C 波段雷達影像而言，由於在計算相位變化時，賦予每個 2.8 公分 (C 波段波長的一半) 相位差為一個  $\pi \sim \pi$  的週期，因此，當變形量超過一個週期 (2.8

公分) 時, 則會移至下一個週期重新開始計算, 而解算相位的處理便是將第二個週期與第一個週期作疊加, 得到回復後的真實相位。同理, 使用的影像為不同波長, 亦為波長的一半, 如 L 波段的波長為 24 公分, 則在計算相位變化時, 賦予每個 12 公分 (L 波段波長的一半) 相位差為一個  $\square \pi \sim \pi$  的週期。其公式如下:

$$\Delta r = -\frac{\phi}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (\text{公式 1})$$

其中  $\Delta r$  代表雷達視距方向的變形量,  $\lambda$  代表雷達波長,  $\square$  代表濾除雜訊後的相位還原值。

此外, 必須於圖像中挑選一參考基準點 (reference point), 定義其變形量為 0, 相位回復後, 便得到影像區域內之相對變形量。在本計畫中是以同調性影像以及中央地質調查所北臺灣的 GPS 追蹤站資料 (如圖 26 及表 2 所示) 做為參考基準點的選取依據, 找出同時符合下列兩個條件的點位做為最佳參考基準點:

- 甲、兩時期影像同調性最高。
- 乙、兩時期影像拍攝期間 GPS 高程值變化最小。

在本計畫的案例中, 同時符合以上兩條件之測站為 GS13 站, 故以此站做為參考基準點。

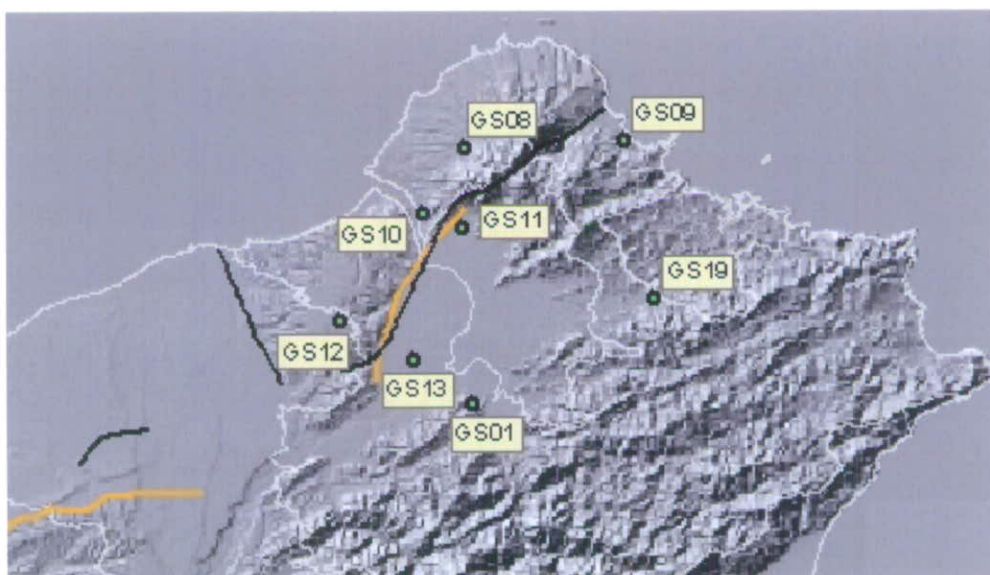


圖 26 中央地質調查所北臺灣 GPS 追蹤站分佈圖

表 2 中央地質調查所北臺灣 GPS 追蹤站資料表

站名	平均 Y 座標值 (TWD67)	平均 X 座標值 (TWD67)	Y 方向 誤差量 (mm)	X 方向 誤差量 (mm)	Z 方向 誤差量 (mm)	起算時間	結算時間
GS01	2764083.758	300470.8776	0.1	0.1	0.2	2005.1489	2008.7770
GS08	2788641.39	299706.6802	0.1	0.1	0.3	2005.6216	2008.7770
GS09	2789246.923	314864.1047	0.1	0.1	0.3	2005.6216	2008.7770
GS10	2782249.688	295702.9868	0.1	0.1	0.3	2005.6790	2008.7770
GS11	2780868.814	299460.7482	0.1	0.1	0.3	2005.6216	2008.7770
GS12	2771910.133	287788.658	0.1	0.1	0.3	2005.6790	2008.7770
GS13	2768273.865	294811.5962	0.1	0.1	0.3	2005.6216	2008.7770
GS19	2774157.675	317750.979	0.2	0.2	0.4	2006.5260	2008.7770
GS20	2748865.793	344172.6616	0.2	0.2	0.5	2006.5888	2008.7770

## 11. 由視距方向變形量轉為垂直變形量：

D-InSAR 所得到的結果為雷達視距方向而非實際高程變化值，而在監測地盤下陷時較需要垂直的變形量，因此需由視距方向變形量推算實際的垂直變形量，以利於與下陷槽理論的推估結果進行比較分析。本計畫利用 GPS 約制法，以 GPS 精確的水平方向位移資料及其彼此間的幾何關係，即可得到垂直高程變化量（謝嘉聲，2006）。GPS、雷達視距方向變化量與垂直變化量幾何關係如圖 27 所示。假設 GPS 水平位移向量為  $V = (a, b, 0)$ ，衛星軌道方向與正北  $N$  夾一角度  $\varphi$ ，我們必須將 GPS 水平位移向量先旋轉至雷達成像方向  $(a', b', c')$ ，其計算之公式如下：

$$\begin{bmatrix} a' \\ b' \\ c' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a\cos\varphi + b\sin\varphi \\ -a\sin\varphi + b\cos\varphi \\ c \end{bmatrix} \quad (\text{公式 2})$$

以 GPS 水平位移分量投影至雷達視距方向加上地面垂直變形量 (h) 投影至雷達視距方向的變形量，可得雷達干涉圖量測的變形量  $\Delta r$ ，

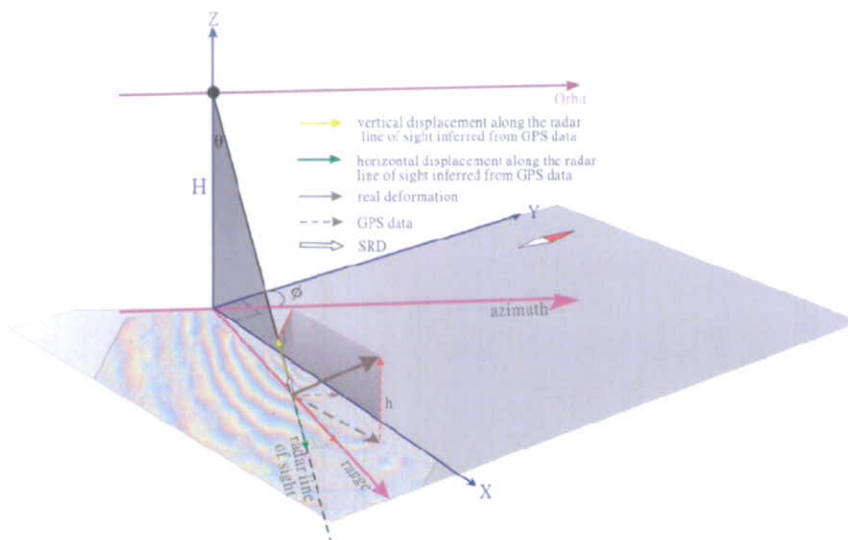
$$\Delta r = (a \cos \varphi + b \sin \varphi) \sin \theta + h \cos \theta \quad (\text{公式 3})$$

式中  $\theta$  為點位的視距角度，角度隨著斜距的不同有同的視角，每一點位都須計算單獨點位的視角。

由雷達干涉圖得到的變形量減去平面的投影量，剩下為垂直方向貢獻的變形量，因此將此變形量反算為垂直方向，可得垂直變形量為

$$h = \Delta r \sec \theta - (a \cos \varphi + b \sin \varphi) \tan \theta \quad (\text{公式 4})$$

以 ENVISAT 影像為例，其  $\theta$  值約為 23.2 度， $\varphi$  值約為 8.8 度，而 a 及 b 值則以地調所目前提供之 9 個 GPS 追蹤站資料，分別計算 9 個站兩時期影像拍攝期間的 X 方向 (a 值) 及 Y 方向 (b 值) 的變化量後，再以空間內插之方式求得其它無追蹤站地區的 a 及 b 值代入公式 4，求得全區的垂直變形量。



資料來源：謝嘉聲 (2006)

圖 27 GPS、雷達視距方向變化量與垂直變化量幾何關係示意圖

### 三、計畫執行成果

#### (一) 文獻蒐集與地下坑口及坑道補充建置

台灣地區煤礦地下地質調查與開採有關資料以經濟部中央地質調查所及礦務局為主要來源，由於這類資料有其專業性與機密性，需行文相關單位核准始可獲得。目前有關地下開採之數值資料如地下坑口、片道以及地下採掘跡等係延續過去 92~95 年台灣能礦坑道及礦渣對調查之建置資料為煤礦地下空間資料基準，新增數化之地下坑口與坑道則依礦務局提供之礦區聯絡圖紙圖版為新增來源。由於紙圖數化時需進行幾何校正後方可進行新增工作，因此期中進度以補充建置地下開採之相關資料為主要工作。雖然耗時，然對後續初步之地盤下陷區篩選具有決定影響。有關文獻蒐集與地下坑口及坑道等空間資料補充建置分述如下。

#### 1-文獻資料類別

表 3 地質與煤礦相關文獻與空間資料蒐集列表

資料名稱	資料來源/作者	出版時間	地質與煤礦開採背景資訊
書籍			
台灣地質概論-地質圖說明書(五十萬分之一)	經濟部中央地質調查所/何春蓀	1975	區域地質圖, 岩層概述
台灣之煤礦資源	台灣省地質調查所彙刊 10 號	1959	區域地質圖, 岩層概述, 分佈區位, 採煤層類別, 柱狀圖, 煤層描述, 煤層位態
台灣北部沿海地區之地質及煤礦資源	台灣省地質調查所彙刊 15 號	1964	
台灣基隆沿海區至桃園縣大溪間煤田地質及構造	經濟部中央地質調查所彙刊 2 號	1983	
臺北地質圖幅(五萬分之一, 第二版)	經濟部中央地質調查所/黃鑑水	1998	區域地質圖, 岩層概述
雙溪地質圖幅(五萬分之一)	經濟部中央地質調查所/黃鑑水, 劉桓吉	1988	

新店地質圖幅(五萬分之一)	經濟部中央地質調查所/林朝宗	2000	
台灣經濟礦物第三卷台灣能源礦產及地下水資源	經濟部中央地質調查所/魏稽生	2000	區域地質圖, 岩層概述, 分佈區位, 採煤層類別, 煤層描述, 煤田區域煤層位態
數值空間資料			
台灣舊有煤礦坑道資料庫	經濟部礦務局	2002	坑口坑道及採掘跡空間 GIS 圖層, 區位, 礦區基本資料
臺北數值地質圖(五萬分之一)	經濟部中央地質調查所		岩層分佈 GIS 圖層
雙溪數值地質圖(五萬分之一)	經濟部中央地質調查所		
新店數值地質圖(五萬分之一)	經濟部中央地質調查所		
台灣能礦坑道及礦渣堆資料庫	經濟部礦務局/魏稽生, 朱子豪等	2003-2006	坑口坑道即採掘跡空間 GIS 圖層, 區位, 礦區基本資料, 現況照片檔
紙圖類			
礦區坑道聯絡圖	經濟部礦務局	開採及施工年份	礦區分佈, 採煤層, 煤層柱狀圖, 地下開採剖面圖, 煤層位態, 坑口坑道及採掘跡, 周圍設施分佈

## 2-地下坑口及坑道空間資料補充建置(GIS 圖資)

依據礦務局礦區分佈圖幅(圖 27), 本年度主要調查礦區之採掘跡落在 B9、B10、C9 之圖幅範圍內, 茲將完成數化之新增坑口與片道數量列如表 4, 圖 28 以及圖 29 (示意圖)。由於坑道之延伸與進展與開採方式及煤層有關, 此筆資料之新增尚需逐一檢核後, 並與多下陷槽之煤層傾度類別相對照。如此推估之下陷槽模式才符合現地調查作業之驗證。

表 4 年度補充建置坑口與坑道之統計數量表

礦區圖幅編號	原坑口	新坑口	舊片道	新片道	新增坑口	新增片道
B9-15	10	12	5	30	2	25
B9-10	8	8	6	25	0	19
B9-18	25	37	37	39	12	2
B9-19	1	4	8	30	3	22
C9-16 新益興	4	4	21	53	0	32
B10-2 維德	1	1	1	5	0	4
B10-2 基元. 瑪琍	8	14	10	30	6	20
B9-16-17 金基豐	4	4	12	45	0	33
B9-17	17	29	13	38	12	25
C9-9(中山+新益)	19	19	26	152	0	126
B10-15(平和)	6	19	8	50	13	42
B9-14(萬山)	6	10	15	68	4	53
B9-20(烘內坑)	31	31	37	137	0	100
B10-10(中台)	9	38	29	186	29	157
B10-10(永安)	12	23	13	49	11	36
B10-13(北海)	5	15	6	16	10	10
B10-5(中宏)	10	30	24	95	20	71
B10-5(建隆)	10	16	10	32	6	22
B10-5(和益)	8	10	15	81	2	66
B10-5(億達)	43	66	102	190	23	88
B9-20(鹿寮)	49	61	52	142	12	90
B10-19(大福)	17	40	32	73	23	41
B10-4	35	69	45	139	34	94
B10-8	11	12	25	60	1	35
B10-20	10	38	52	126	28	74



C9-6	0	8	5	9	8	4
C9-8	4	4	6	40	0	34
C9-10	5	16	12	22	11	10
C9-13	35	32	67	116	-3	49
C9-16 友蚋 成興	25	30	77	134	5	57
合計	428	700	771	2212	272	1441

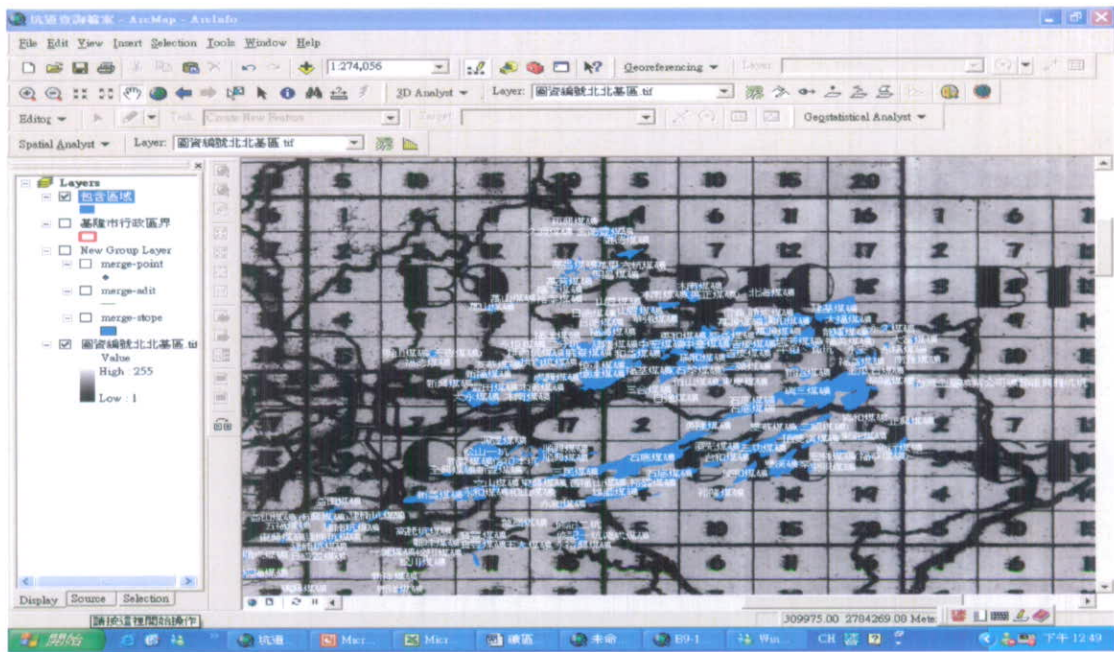


圖 27 礦務局礦區分佈圖幅與本年度調查礦區之分佈區位，主要以 B9、B10 以及 C9 圖幅範圍之礦區為主

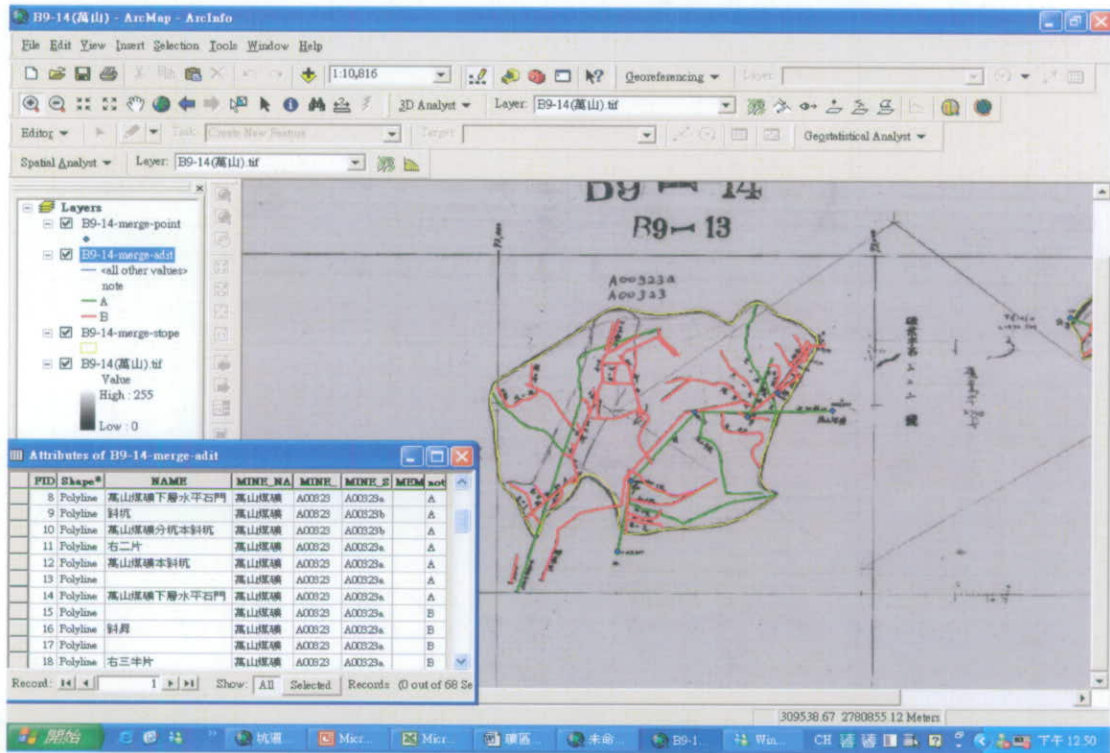
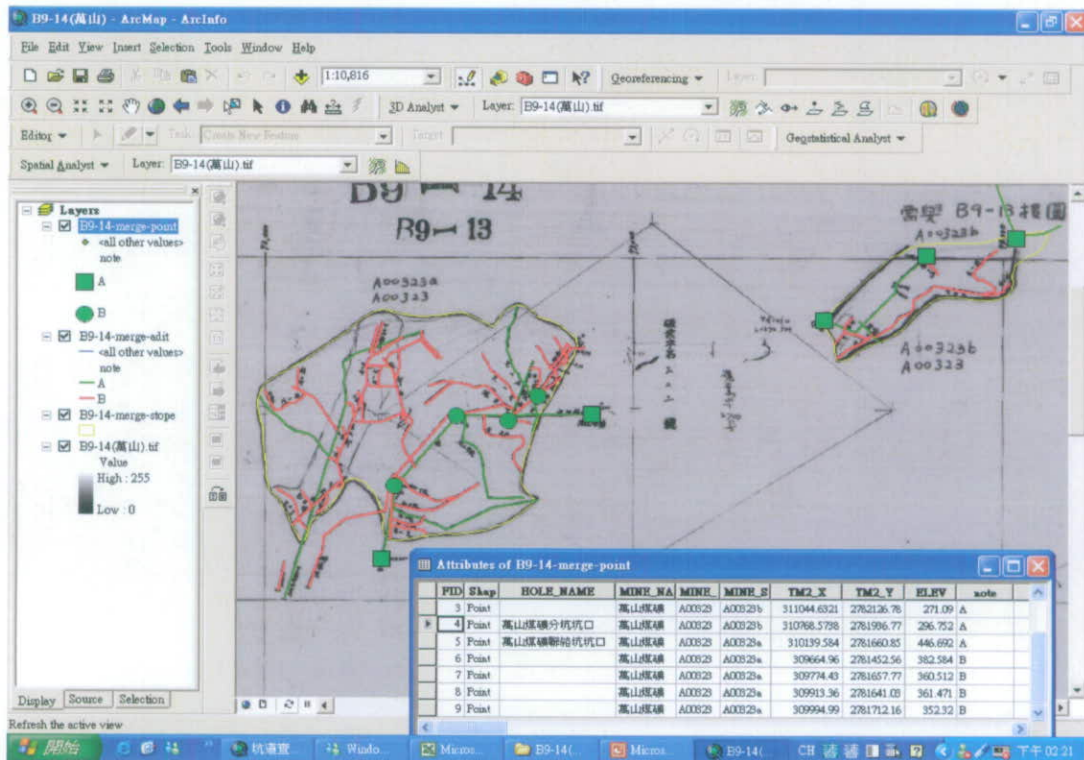


圖 28 新增片道之資料建置



29 新增坑口之資料建置

## 3-煤層位態類別分析圖層建置(GIS圖資與統計資料)

表 5 年度調查縣市坑道與採掘跡傾度分類統計表

縣市	含煤層	採掘跡---坑道位於含煤層傾度分類之數量					
		0-15 水平		15-60 緩傾斜		60-90 急傾斜	
		採掘跡	坑道	採掘跡	坑道	採掘跡	坑道
臺北市	M3 南莊層(上)	0	0	0	0	0	0
	M2 石底層(中)	1	3	7	66	1	5
	M1 木山層(下)	0	0	16	134	0	0
	臺北市小計	1	3	23	200	1	5
基隆市	M3 南莊層(上)	0	0	0	0	0	0
	M2 石底層(中)	1	5	22	299	1	36
	M1 木山層(下)	1	2	23	157	2	14
	基隆市小計	2	7	45	456	3	50
臺北縣-1	M3 南莊層(上)	0	0	0	0	0	0
	M2 石底層(中)	4	11	5	44	0	0
	M1 木山層(下)	0	0	4	86	0	0
	臺北縣-1 小計	4	11	9	130	0	0
合計		7	21	77	786	4	55

備註：

1-各縣市採掘跡數量如面積、或坑口坑道等空間資料不足以計算下陷槽時,則不予列入。

2-各縣市採掘跡與坑道之分類係以主要開採之含煤層為主。

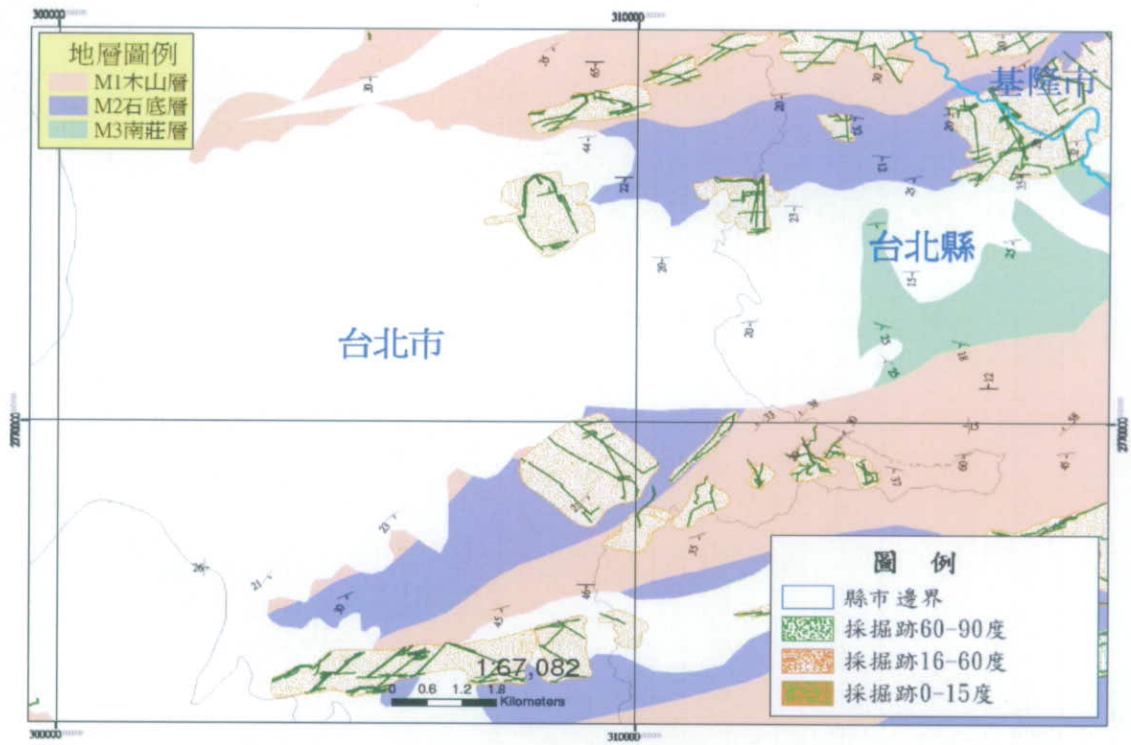


圖 30 臺北市煤礦廢棄坑道與採掘跡傾度分類之圖層建置

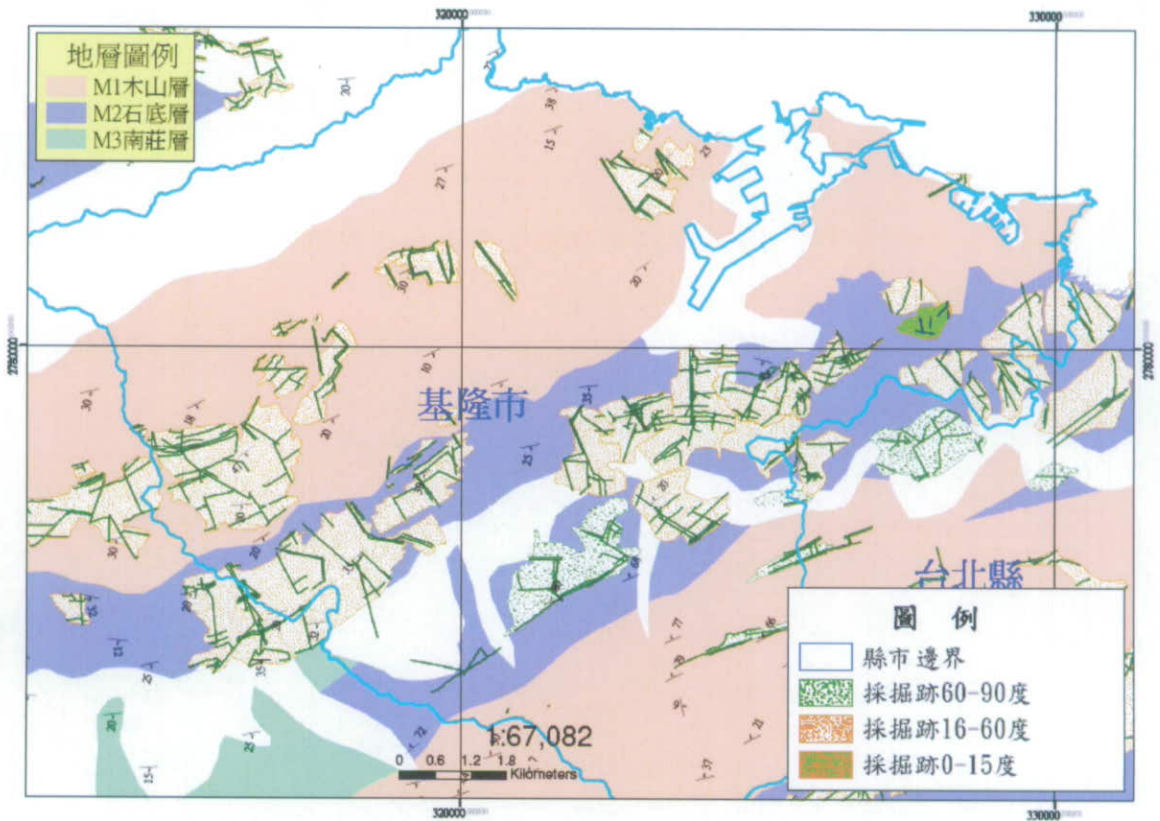


圖 31 基隆市煤礦廢棄坑道與採掘跡傾度分類之圖層建置



圖 32 臺北縣-1 煤礦廢棄坑道與採掘跡傾度分類之圖層建置

(二) 地盤下陷潛勢區之多下陷槽推估與研究區篩選與研究區之現地訪談、災害調查，以及野外露頭剖面 RQD 建立

為了使本計畫能發揮最高效率以達研究成果，先行篩選適當之研究區域即為首要之務。因此，依據多下陷槽模式先將含煤岩層分為 0~15 度（水平）、15~60 度（緩傾斜）以及 60~90 度（急傾斜）等三類傾度岩層，同時檢討分類中哪些地區曾經或現在已發生地盤下陷（或具有潛勢者）等地質災害之區域。然後進行研究區之地下高程空間資訊與地下地質背景之資料補充建置，以多下陷槽模式推估該等研究區之下陷槽幾何型態與推估範圍。並進行細部相關地質災害調查與研究區佈點測量岩層與地表之幾何變形相關數據收集與分析。

### 1-多下陷槽推估所需資料建置

由於前述剖面函數中幾項重要參數值需仰賴大量的數據資料，包括上下覆岩盤之相關地質力學數據、下陷角 (draw angle) 經驗值等均需由孔內傾度儀以及鑽井岩芯之相關力學試驗而得知。而以目前的現況較為困難，因此擬先行簡化多下陷槽剖面函數之參數：地表網格計算參考點之最大下陷量 D 值。亦即以 Betournay M. C. (2002, DOT, U. S. Report MMSL 02-021TR) 推導之最大下陷量區的簡算關係式為： $D = S_{max} = f(a \cdot m \cdot \cos \alpha / H)$ ，其中  $\alpha$  為煤層傾度、 $m$  為該煤層開採之上限 upper limit 至下限 lower limit 的高差，以及距地表垂直深度(H)等三者關係再乘以參數  $a=0.6$  即得到簡算之 D 最大下陷值。然後再引用多下陷槽之公式，計算  $f(x, y, t)$ 。有關計算參數於 ArcGIS 軟體之表單資料建置與 VB 撰寫之多下陷槽公式如圖 33、圖 34 所示。

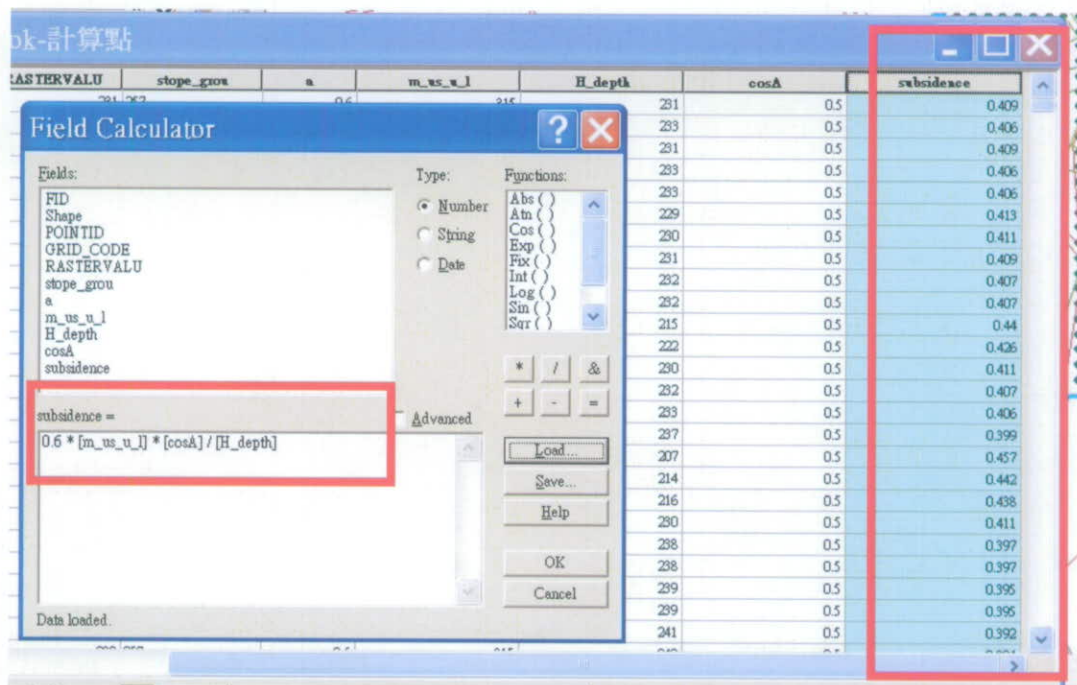


圖 33 結合 GIS 軟體建置所需計算之最大下陷點 D 值

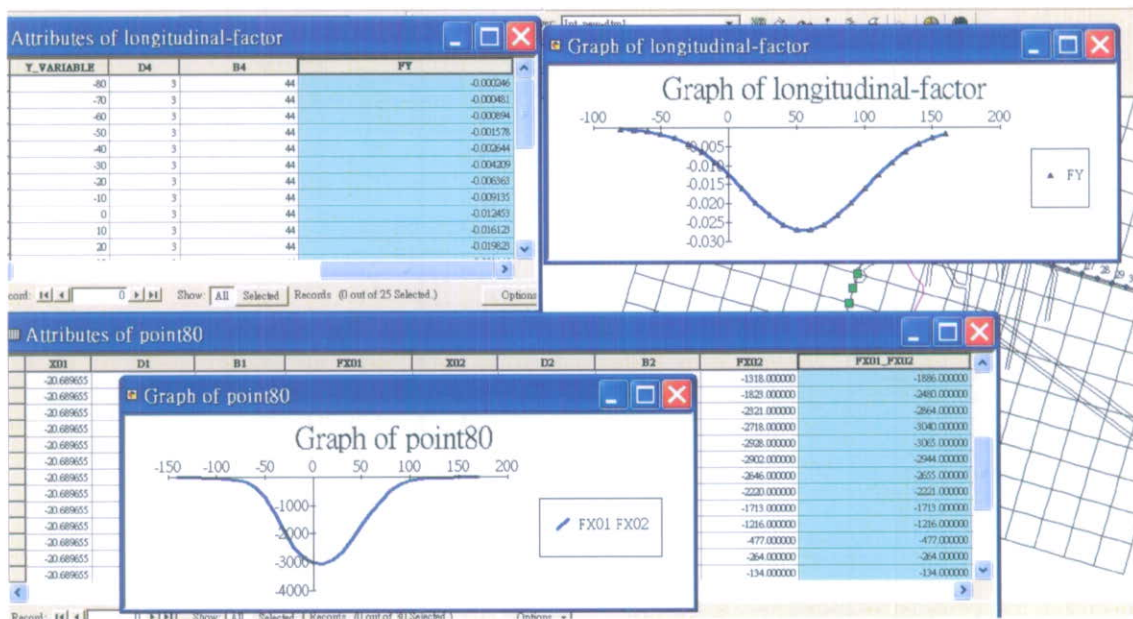


圖 34 計算之多下陷槽函數值

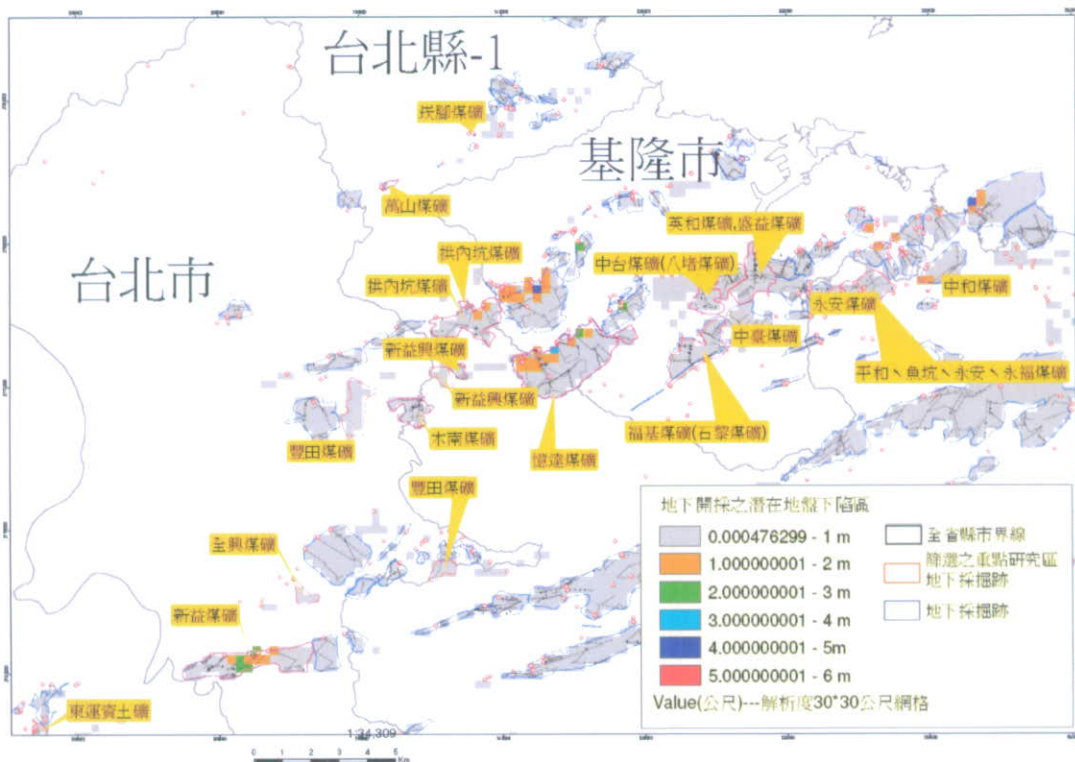


圖 35 年度調查區之多下陷槽推估地盤下陷潛在區與重點研究區相關圖層建置

### 2-年度重點礦區案例之下陷量推估成果

本年度 20 處重點礦區經由補充數化礦區資料後，所重新計算之多下陷槽推估下陷量圖層如下圖 36 所示。以烘內坑煤礦為例，多下陷槽推估結果顯示由上覆傾斜岩盤滑動機制所造成之下陷槽沉陷量 (FX<sub>01</sub>) 比上覆岩盤垂直破壞者大 (FX<sub>02</sub>)，且下陷槽之型態明顯受到前者之機制所控制，其案例推估圖如圖 37 所示，FX<sub>01</sub> 與 FX<sub>02</sub>，以及疊加之 FX 下陷槽推估值如圖 38。

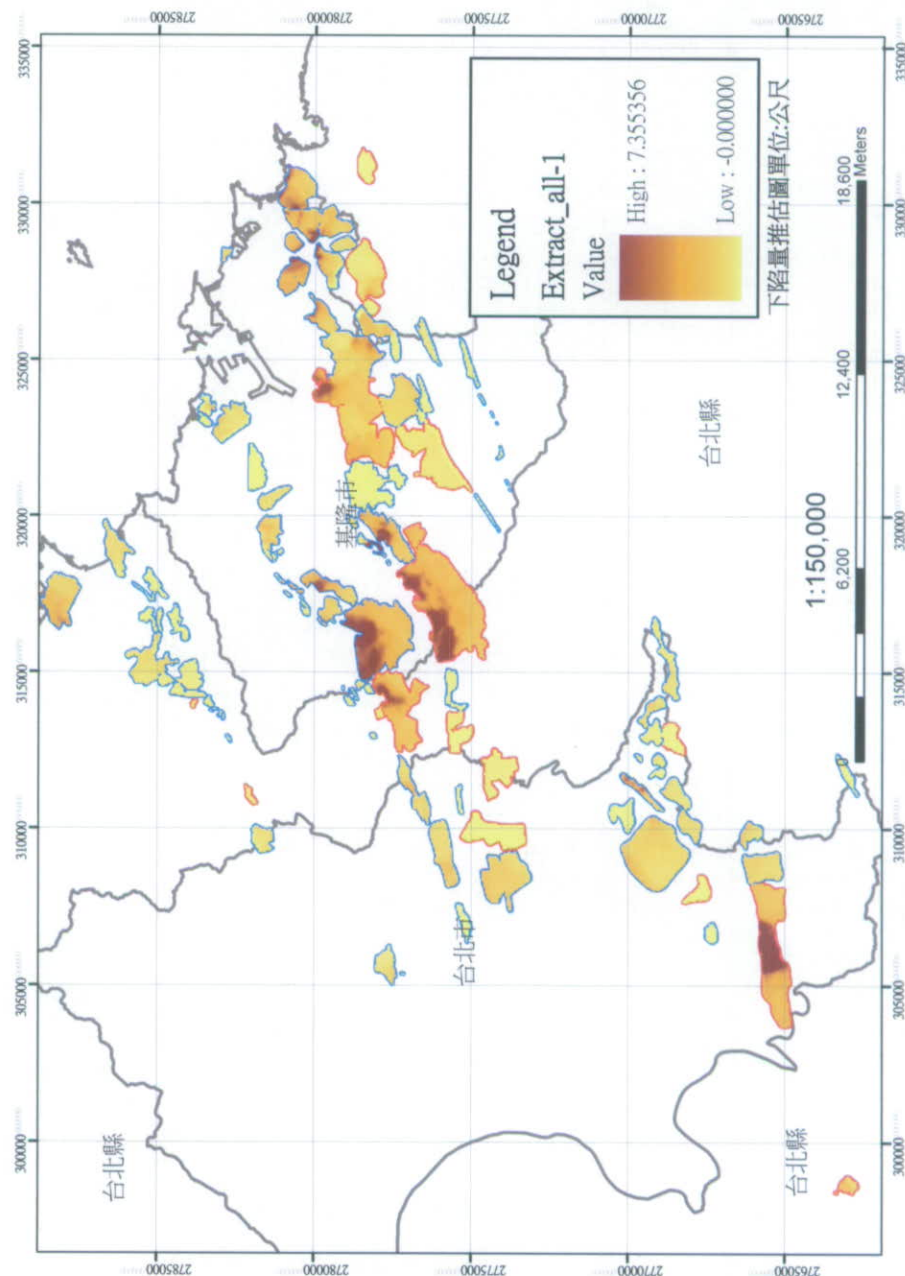


圖 36 年度調查區之多下陷槽推估圖層



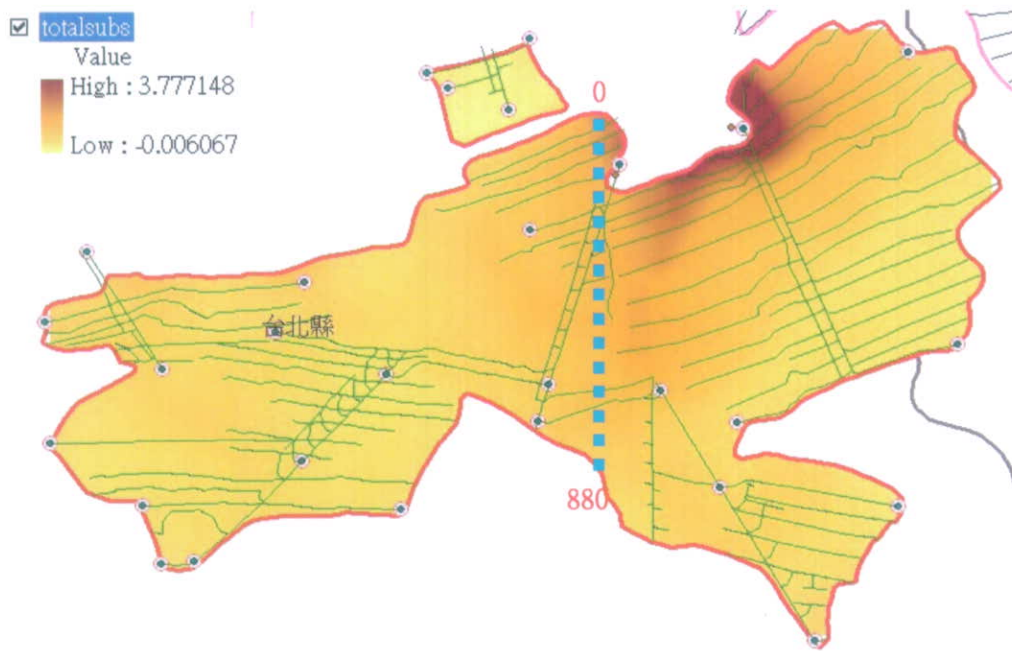


圖 37 烘內坑煤礦採掘跡推估之等下陷量網格

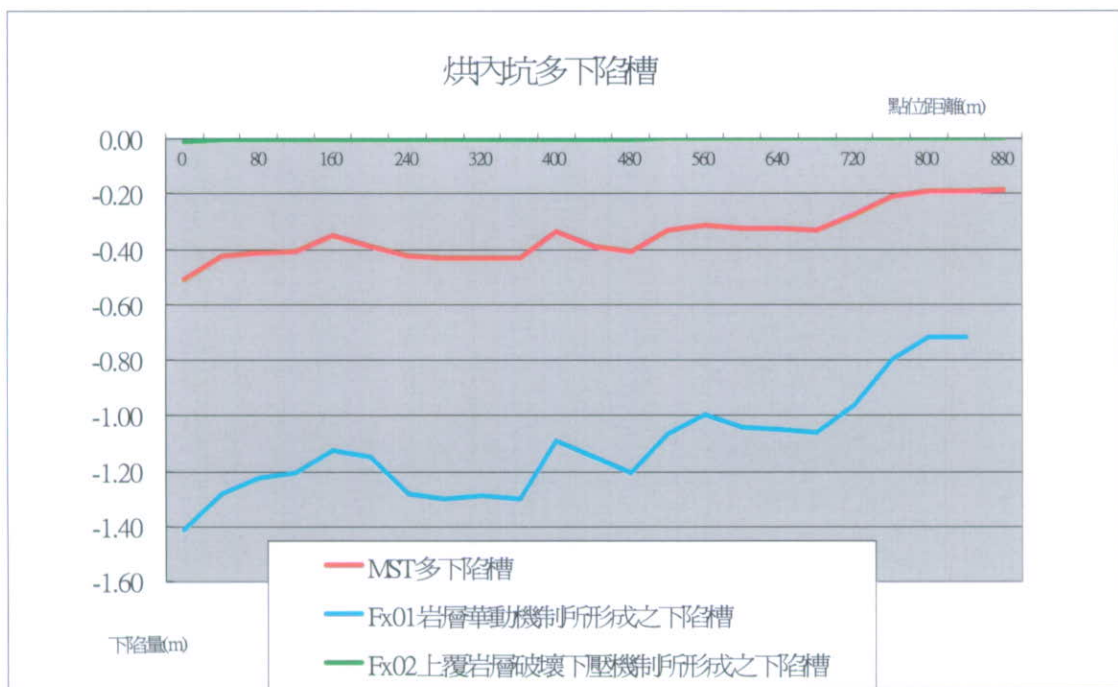


圖 38 烘內坑煤礦參考剖面線之下陷槽分析

### 3-現地地表災害調查與露頭調查 RQD 成果

本項工作重點圍透過野外災害案例調查與多下陷槽之驗證、岩石力學參數獲得，最後在進行多下陷槽與 CMRR 之綜整討論來建立台灣地區之地盤下陷災害潛勢分級經驗背景值，以作為後續年度之重要參數或模式之修正。CMRR 之岩石強度分類如圖 39 所示，其主要評估等級因數為每一上覆岩體單元 unit 之單軸抗壓 (UCS)、不連續面間距 (DSR) 或 RQD 值、單點荷重 point load，以及含水性 (moisture sensitivity) 之總和等級。惟本計畫礙於經費所限，能取得之現地岩力參數與剖面雖盡量於坑口或採掘跡上方，但各細部之上覆岩盤單元礙於露頭出露有限，且岩力參數本質就屬因地而異。因此樣品之岩力分析僅代表本年度之部份成果，無法全面代表進而套用之。是故，本計畫先行以  $CMRR=40.9+H/30.5$  (Molinda, 1999) 轉換公式，H 代表上覆岩體厚度。由於 CMRR 轉換公式係綜整案例數值後，考量上覆岩體之強岩與弱岩的厚度百分比，迴歸出該判別公式與厚度的關係。

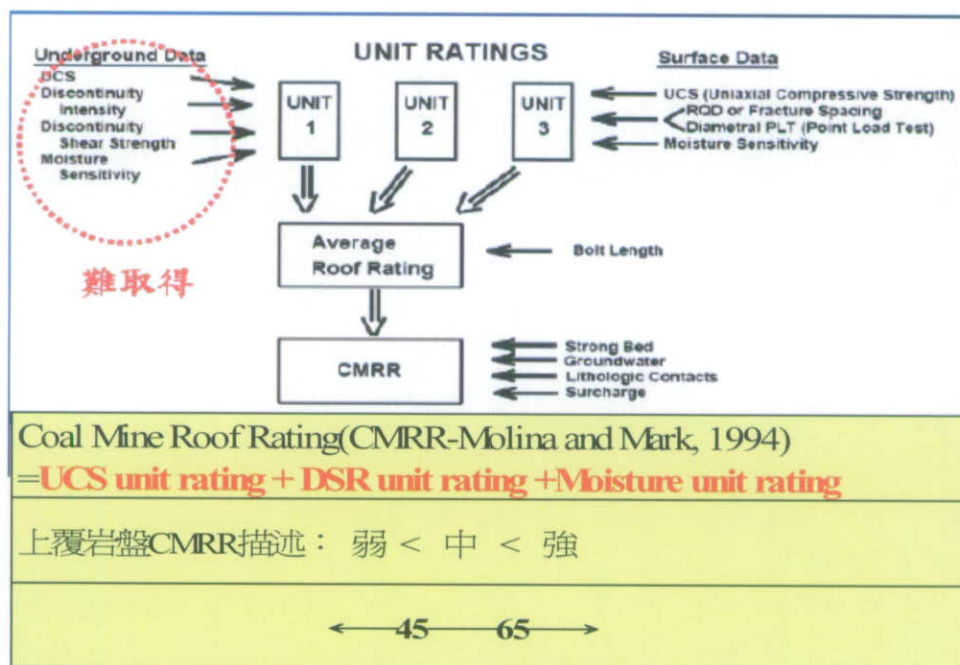


圖 39 煤礦上覆岩盤等級分類之各單元 unit 計算示意圖

本兩項工作係透過現地地表徵兆或災害之紀錄與測量、歷史災害調查與訪談，可協助本計畫建立地盤下陷災害的歷史清單，以及相關地表徵兆之空間資訊圖層。經實施數處重點區之地表調查發現，若該地下採掘跡上方有地上建物或居民住宅大都保持戒心不願多談，使得現地調查工作困難度增加。因此工作團隊先以普查現地方式先於推估之地盤下陷潛在區範圍內進行地表徵兆如是否有鏽水湧出，過去有無地表變形或塌陷之歷史紀錄等等資訊。若資訊取得相當困難時，則由專業顧問陪同訪談過去之礦長、礦工、或曾參與採礦工作之年長者，已獲得有效之參考資訊。茲將現地調查流程如圖 40 所示。各重點調查區之現地調查成果綜述如下：

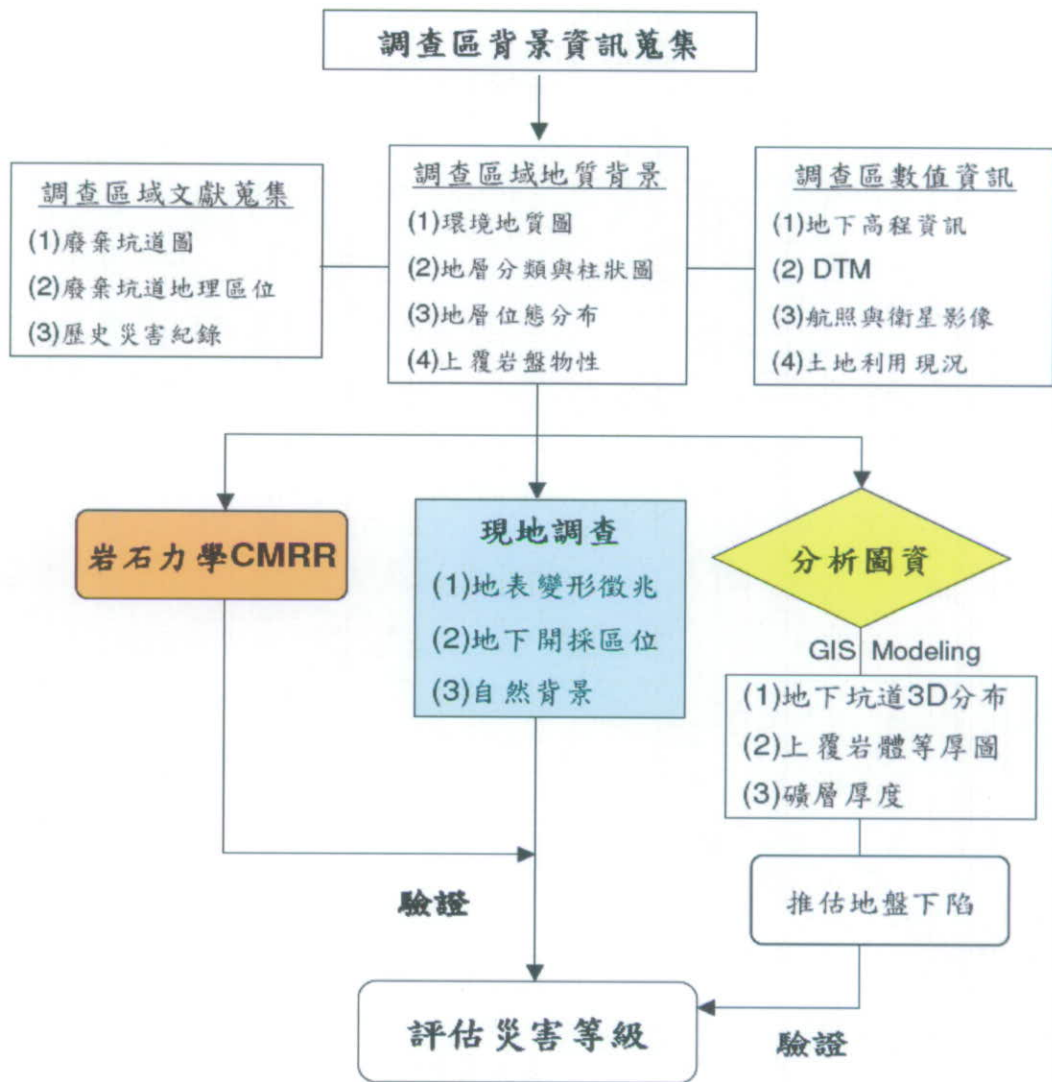


圖 40 地盤下陷災害現地調查流程圖

(1) 煤田地質概述

本年度重點研究區主要涵蓋六大煤田如表 6，分布位置圖如圖 41 所示，相關地質背景資料概述如下；

表 6 重點研究區所屬煤田範圍表

MINE_NAME	MINE_NO	煤田
全興煤礦	A00354	南港煤田
新益煤礦	A00330	景美煤田

豐田煤礦	A00149	汐止煤田
木南煤礦	A01754	汐止煤田
福基煤礦(石黎煤礦)	A00574	四腳亭煤田
中臺煤礦	A00427	汐止煤田
中台煤礦(八堵煤礦)	A00427	汐止煤田
憶達煤礦	A00117	汐止煤田
英和煤礦, 盛益煤礦	A02152	汐止煤田
新益興煤礦	A01155	汐止煤田
新益興煤礦	A01155	汐止煤田
萬山煤礦	A00323	崁腳煤田
烘內坑煤礦	A02978	汐止煤田
烘內坑煤礦分坑	A02978	汐止煤田
崁腳煤礦	A01990	崁腳煤田
平和、魚坑、永安、永福煤礦	A00831	四腳亭煤田
東運瓷土礦	A02543	清水坑煤田
永安煤礦	A01282	四腳亭煤田
中和煤礦	A01297	四腳亭煤田

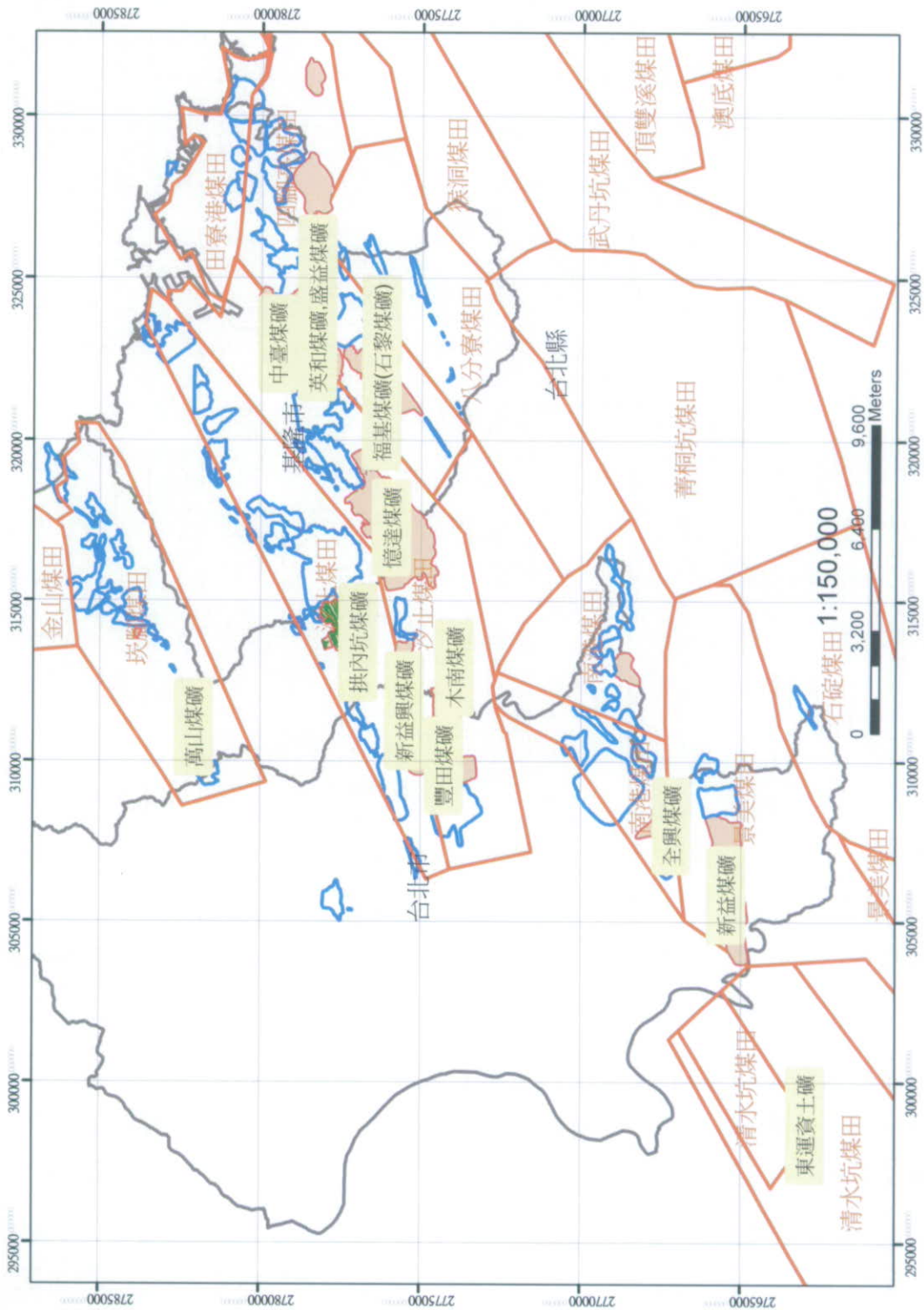


圖 41 重點研究區所屬煤田分布圖

### A 臺北炭腳煤田

炭腳煤田在臺北縣金山煤田之東南，由一約呈東北走向之狹長煤帶所構成，總長約 12 公里。本煤帶大致沿馬鍊溪延長，其南為炭腳走向斷層所限。此煤帶之西端開始於冷水崛，向東延展經烏塗炭、炭腳，直達東海岸之萬里。石底層(中部含煤層)為本煤田之主要含煤地層，其走向多為北 60 至 70 度東，由於火山作用略有局部變化。此含煤地層難以炭腳斷層為界。煤曾在若干地點為地表火山碎屑所覆蓋，全煤層僅斷續出露。

本煤田石底層中含三煤層，即中煤層、本煤層、及下煤層。中煤層厚 0.2~0.4 公尺，位居本煤層之上 10~12 公尺。本煤層平均厚 0.8~0.9 公尺，有些地點則達 1 公尺，但在煤田西部烏塗炭之西即減小至 0.6 公尺。下煤層平均厚 0.25~0.3 公尺。本煤層與下煤層之間距為 20 至 40 公尺。本煤田之煤層傾角在東部傾角為 12 至 20 度，中部為 3 至 12 度，平均約 8 度。但在丁火朽山火山頂東部，由於熔岩流噴出向上隆起傾角約 60 度，在烏塗炭附近，煤層走向轉為北 40~60 度西，向東南傾斜 8 度。此表示該附近有小型斷層發生，煤層走向及傾角均發生。在本煤帶之西端冷水崛附近，有一寬廣向斜，其兩翼地層傾斜 10 度至 12 度。

### B 臺北汐止煤田

汐止煤田為臺灣最重要一煤田，其含煤量亦為最多。本煤田自臺北向基隆延展，走向長度至少可達 22 公里。煤田之主要部分位於基隆河之北岸，臺北至基隆鐵路線之北。汐止煤田沿位於八堵向斜之西北翼，其向斜軸線沿基隆河延展，軸向為北 80 度東。中新世三含煤地層均出露於汐止煤田中，且皆向東南傾斜，形成一同斜煤區。

南莊層(上部含煤層)位於八堵向斜之軸部，分佈面積甚有限，主要出露於五堵附近。其中僅有一煤層可供開採，平均厚 0.3 公尺。石底層(中部含煤層)為汐止煤田中分佈最廣且最重要的含煤地層，可將該地層分為東西兩段。西段自臺北盆地邊緣之內湖起，向東延伸至五堵及港口等地。出露於此段中之石底層走向為北 75 至 85 度東，長達 11 公里。煤層地表露頭之傾角為 40 度至 50 度，向下轉為 20 至 25 度，至深部八堵向斜軸附近，其傾角降為 15 度至 20 度或可能更小。而石底層之東段起自五堵，向東延展經基隆至旭坑煤礦止。此煤帶為田寮港斷層所切，此斷層即成為南邊之汐止煤田與北邊之田寮港煤田間的界限。本段中地層走向主要為北 80 度東，出露總長為 11 公里。本段西部之煤層走向多為北 70 至 80 度東，至基隆附近轉為北 85 度西，本段之東端又轉為北 70 度東。在煤礦中煤層之平均傾角為 20 度，向下至八堵向斜軸附近，傾角更趨平緩。自五堵至八堵坑煤礦間，石底層含有兩可採煤層，

即中煤層及本煤層，厚度各為 0.4 公尺及 0.6-0.8 公尺，兩者間層距為 17 公尺。自八堵坑煤礦起向東，石底層中有五可採煤層。除上述兩煤層外，其他三煤層為上煤層、下煤層、及最下煤層。上煤層位於中煤層之上 29.4 公尺，平均厚 0.35 公尺。下煤層位於本煤層之下約 38 公尺，最下煤層低於下煤層 90.4 至 110.4 公尺。後兩煤層之平均厚度皆為 0.4 公尺。

木山層（下部含煤層）在汐止煤田中，西南起自臺北盆地邊緣之山腳，向東北延展直達北部海岸之外木山，總長約 16 公里。所有地層及煤層之走向皆為北 70 至 80 度東，在東北端轉為北 40 至 60 度東。本煤帶西部地層傾角為 50 度，或略小於 50 度，東部為 18 至 25 度，傾向均為東南。由鑽探結果顯示，煤層在臺北盆地邊緣傾斜向下漸增至 75 度或 70 度以上。木山層中常見不規則凸鏡狀火山岩或凝灰岩在不同層位內出現，其厚度大小及範圍隨地而異。在大武崙附近可見一厚度 200 公尺之凝灰岩體，此凝灰質岩體在煤帶東部更為普遍，煤層時為此凝灰岩所侵擾或代替。木山層中有三可採煤層，即煤層、本煤層、下煤層，上煤層平均厚度約 0.3 公尺，但在木山煤礦內厚度可達 0.4 公尺。本煤層平均厚 0.5 公尺，下煤層約 0.25~0.3 公尺厚，煤層中常有局部脹縮現象。上煤層與本煤層之地層間距 20~27 公尺，本煤層與下煤層之地層間距為 6~10 公尺。

### C 臺北四腳亭煤田

四腳亭煤田為台灣北部最重要且產煤最多煤田之一，位於基隆至臺北鐵路線之南，且為八堵至蘇澳鐵路線穿過其中。本煤田在汐止煤田及田寮港煤田之東南，與前者以八堵向斜軸為界；與後者以深澳段層相交。本煤田內之主要構造線，包括地層走向、褶皺軸、及重要斷層等皆為北 70 至 80 度東走向。煤田長約 18 公里寬達近 3 公里，自汐止東向東北延展，經暖暖、四腳亭、瑞芳、直達東北海岸。四腳亭煤田主要由石底層（中部含煤層）構成。根據地質構造，石底層在本煤田可分為三重要煤帶。第一煤帶位於煤田之西部，八堵向斜之東南翼，其所有煤層皆向西北傾斜。本煤帶煤層沿露頭部分之傾角至 60 度至 85 度。第二煤帶位於第一煤帶之東，兩煤帶間以深澳坑斷層相隔，本煤帶之主要構造為四腳亭向斜，長約 6 公里，自四腳亭向東北延展到沿海，更繼續延伸向外海。四腳亭向斜是不對稱的，其東南翼之傾角可達 70 至 80 度，且偶爾有垂直或倒轉現象，其西北翼則傾斜約 10~20 度。本向斜為數個斜斷層或走向斷層所切，其伴隨局部位移。第三煤帶位於第二煤帶之南，為瑞芳逆衝斷層與四腳亭向斜分開。此含煤層地區長 2 公里，位於猴洞背斜之西北翼，煤層傾角主要向北 40 至 60 度，當地稱為三爪子。

本煤田中石底層有六可採煤層（何春蓀，1959），茲將各煤層之名稱、厚度、及各煤層



間之距離列表如下：

煤層	煤層 (公尺)	間距 (公尺)
最上煤層	0.3	.....15~21
上煤層	0.27~0.3	.....21~29
中煤層	0.3~0.4	.....17~20
本煤層	0.55~0.9	.....38 左右
下煤層	0.3~0.4	.....120
最下煤層	0.3~0.35	

#### D 臺北南港煤田

南港煤田位於南港鎮之南，臺北市區之東。本煤田內出露兩含煤地層，即石底層（中部含煤層）及木山層（下部含煤層）。石底層出露於四分子向斜兩翼，向斜軸向主要為北 60 度東，兩翼各一縱斷層所限。向斜西北翼為臺北斷層所限，此斷層為本煤田與其北汐止煤田之分界線。向斜東南翼為四分子斷層為限，此斷層為本煤田中四分子向斜與大尖山背斜之分界線。此兩斷層在南港之東南合而為一，四分子向斜在此兩斷層間形成一楔狀地塊，自東部之楔形頂點向臺北盆地開展。本煤田石底層有兩可採煤層，兩煤層相距 16 至 23 公尺，中煤層平均厚 0.4 公尺，本煤層平均厚 0.6 至 0.8 公尺。此外石底層中上有上煤層及最下煤層出現，但此兩煤層之煤質均劣，且僅在局部地區內可以開採。

木山層在南港煤田中出露於大尖山背斜之兩翼，其背斜軸向為東北，此背斜在西北翼因受四分子斷層及臺北斷層所限，故延長僅 4.5 公里。西北翼岩層的走向為北 40 至 60 度東，向西北傾斜 60 度。但在此翼之西南端與福煤田附近，地層轉向東南傾斜約 12 度。此表示本地區內有局部斷層發生，煤層及地層均呈相反傾斜方向。大尖山背斜之東南翼長約 10 公里以上。其西南部地層走向主要為北 70 至 80 度東，向東南成平緩傾斜 15 至 18 度。其東北部因斷層及小型褶皺之增加，使構造更加複雜，煤層傾角增至 40 度或 40 度以上。

### E 臺北景美煤田

景美煤田位於臺北市之東南，臺北縣景美鎮之東。其北為南港煤田，其南為石碇煤田。本煤田中出露中新世兩含煤地層，即石底層及木山層，前者遠較後者為重要。石底層(中部含煤層)在北本煤田中構成兩煤帶，走向皆為東北或東北東。北煤帶延石碇溪延展，走向為北80度東。煤帶西端開始於新店溪之西岸，自清水坑煤田之東緣向東延展，經景美、木柵、深坑至本煤田之東端，可與菁桐坑煤田之主煤帶相接，總長約15公里。本煤帶中僅本煤層可以開採。本煤層之上約25公尺處上有另一薄煤層出露，此煤層已有局部開採，但因煤層過薄，無重要價值。此煤帶中本煤層之厚度即傾角變化俱大。在深坑附近，含煤層被火山岩及斷層所侵擾，故本煤層約有1公里長不可開採。在此受侵擾地帶之東，本煤層向東南傾斜60至70度，平均厚度0.45至0.5公尺，但較深坑以東之煤層發育良好。

### F 臺北清水坑煤田

清水坑煤田位於臺北市之南，呈東北延長約12公里。煤田西南以橫溪、東南以安坑為界。本煤田之主要構造為一寬廣而破碎之背斜，走向為北45至55度東。此褶皺已為若干縱斷層及橫斷層所截斷，在此本煤田之西南部更為顯著。木山層(下部含煤層)組成本背斜之軸部，石底層(中部含煤層)出露於背斜之兩翼。石底層含四個具有開採價值之煤層，即上煤層、中煤層、本煤層、及下煤層。此四層之性質、厚度、即可採率隨地而異。而各地煤礦內，此四煤層中常僅兩層或一層可以開採。在清水坑背斜之西北翼，石底層向東北之灰窯延展至西南之南蛇科，為南蛇科橫斷層截斷。此煤帶長達4.5公里。本煤帶之走向為北40至50度東，中煤層厚0.4至0.5公尺，本煤層厚0.4至0.6公尺，兩層相距13公尺。煤層傾向西北，傾角較陡，多為80度或80度以上，偶亦有成倒轉者。本煤帶除此兩可採煤層外，下煤層在少數地點其厚度超過0.25公尺時亦可開採。木山層(下部含煤層)組成清水坑背斜之軸部，橫路斷層沿此背斜軸發生，橫路斷層延此背斜軸發生，故此背斜構造僅在褶皺兩端可見。背斜西北翼地層之傾角多自15至40度。背斜東南翼地層均傾斜為30至35度。在此背斜褶皺中，局部小規模之橫斷層常見發生，可使煤帶分成若干斷塊。

## (2) 現地訪談紀錄表單(現地調查紀錄表列如第(5)小節)

編號	調查縣市	現地調查礦名	受訪姓名	年齡	住址	描述	備註
1	基隆七堵	八堵煤礦	羅萬	78	麥金路11巷22-1號	屋內地表龜裂,門柱裂縫歪斜,屋後地基墊高約1公尺	舊礦長
		八堵煤礦	高銀城	82	麥金路11巷46-1號	屋內門柱裂縫多處,另一處更慘,有地表龜裂及屋後崩陷	舊礦工
		八堵煤礦	蔡甲乙	80	麥金路11巷69號	屋後擋土牆施工造成淺層地表龜裂湧出銹水	老鄰長
		八堵煤礦	曹玉霞	36			鄰長
2	基隆七堵	中台石叡煤礦	賴春華		八德路80巷10-1號	無下陷情形(但坑口附近有一日據時期坑口湧出之銹水)	不願多談
3	基隆七堵	(中台)福基煤礦	葉福田	78	東新街148號	僅新坑崩陷,因開採之岩層較陡,故影響範圍不大	坑內測繪製圖員
4	台北市	金興煤礦	不具名	65	信義路5段150巷477號	坑口上盤民宅完好,為塊狀砂岩,但數十年前曾發生山崩	上盤良好
5	台北市	豐田煤礦			金湖路(舊台北市汽車訓練場,現為美國在台協會AIT預定地)	坑口上方舊訓練場有大型裂縫呈環狀排列,坑口附近有順向坡崩場與滑動之露頭,另於下方路旁擋土牆部份內凹且有銹水流出	坑道上方,且對面有新建住宅
6	台北縣汐止	新益興煤礦	黃明冬	80	汐止市八連路1段309巷1號	方營列口曾坍塌,附近七環丁燕人居住,坑口附近雜草叢生且地表無上之跡	北極殿,坑口附近表層
7	台北縣汐止	木南煤礦南湖坑	王永祥	88	汐止市三民街10巷3號	附近停車場有回填過,菜園位於邊坡旁有地表龜裂現象	坑口附近
8	台北市木柵	芳川煤礦	許金富	83	萬芳路46號	對面木柵高工操場及公園在過去10年前有大範圍地陷情形	坑道上方,本區有地陷問題
		芳川煤礦	江育明	65	萬芳路7號	本區地表均有沉陷現象(洗車坊屋內及水泥地面亦有地表龜裂)	坑道上方,本區有地陷問題
9	台北市木柵	新益煤礦	陳賜福	80	興隆路3段304巷173號27鄰長	舊坑口已塌陷,現已新蓋大樓	坑道上方
		新益煤礦	不具名	86	興隆路3段91號	無塌陷問題(但附近舊軍舍圍牆不規則彎曲,鄰家圍牆亦裂開)	
10	台北縣汐止	拱內坑煤礦(舊本坑-火鼎坑)	黃義盛	68	瑞松街40號及36號	附近持續下陷情形,房舍牆壁龜裂,且結構不良,地基已有部份下陷,而附近校舍牆壁及部份廢棄屋舍亦已損壞	火鼎坑坑道上方

11	台北縣汐止	拱內坑煤礦(分坑)							新的落盤現象,以及地表下陷與電線桿傾斜	拱內坑分坑坑道上方
12	台北縣汐止	億達煤礦(三和煤礦一坑)	沈正庚	60	鄉長路二段26巷12號				附近新增一風坑口,已卷盤且積水嚴重,上盤周圍廢棄舊房舍位處陡坡側,且結構不良	坑口旁
13	台北縣汐止	億達煤礦(合興-北港三坑)	陳麗琴	40	鄉長路二段180號-1鄰鄰長				住宅後方舊日據時期坑口附近發生崩塌,坑口附近河道旁之山坡曾發生崩塌及滑動現象	
14	基隆七堵	億達煤礦(三合煤礦本坑)	余新過	73	溪頂街5號				住宅結構及牆壁,水泥路面均有龜裂	坑道上方
15	基隆七堵	億達煤礦(友軒分坑)	翠綠山莊						無法進入	地貌改變無法尋得
16	基隆七堵	億達煤礦(修記本坑)	無法尋得							
17,18	基隆七堵	盛益-英和煤礦	邱雪枝鄰長及德厚里	50,60	南榮路				地貌改變甚大已興建大型社區,聲稱無下陷影響	坑道上方
19	台北縣中和	東運瓷土礦	陳廖惠慈	45	興南路3段99-5號				無持續崩塌現象	舊崩塌區,現已作排水處理
	台北縣中和	東運瓷土礦	侯溪泉	50	興南路3段105號				工廠對面護坡工程有跡水及龜裂現象	
	台北縣中和	東運瓷土礦	劉照義	70	興南路3段94號				水泥倉庫樑柱龜裂毀壞,且上方邊坡小徑均有滑動造成高低10公分之落差以及地表龜裂,另對面工廠在過去亦有持續之下陷龜裂情形	舊礦區之礦車司機
20	台北縣萬里	萬山煤礦	張林碧蓮	62	瑞泉路2-15號溪底村7鄰鄰長				屋前地表數處凹陷已回填,且地表裂縫甚長,電線桿傾斜,且持續發生	水平岩層坑口上方
21	台北縣萬里	拔腳煤礦	郭林秀	74	內坎路10號				屋前地表數處裂縫甚長,牆壁與舊屋舍亦有多處裂縫,另下方路旁電線桿傾斜,持續發生	水平岩層坑道上方
22,23,24	台北縣瑞芳	建義-平和-永福煤礦	簡文章	73	四腳亭坑路9號				屋舍及路面有下陷,牆壁龜裂	礦工
25	台北縣瑞芳	永安煤礦(上層坑)	不具名	70	四腳亭坑路12號				屋舍及坑口後方廢棄屋舍牆壁龜裂(萬瑞快速道路下方亦曾發生下陷)	礦工
26	台北縣瑞芳	中和煤礦	陳清香	77	明竹路150號				施工 本礦有兩坑相鄰,其正後方已塌陷	地貌改變無法尋得

新增訪談資料

27	台北縣瑞芳	三榮煤礦	陳信雄	80	住附近				過去數十年前在本坑口附近礦工宿舍發生地陷	木山層煤層上盤剖面出露佳,礦權仍在
28	台北縣瑞芳	瑞大煤礦								木山層煤層下盤剖面出露佳

(3) 野外露頭剖面 RQD 測量及岩心單軸抗壓 UCS、水破壞試驗 (moisture sensitivity)  
等 CMRR 岩石力學綜討

根據野外資料建立 RQD 之剖面圖，本計畫將上述之 RQD, UCS 以及水試驗等數據整理如下表 7 與表 8、圖 42：


表 7 木山層含煤層之上覆岩體取樣分析之岩力數據

煤層別	木山層				礦區-岩性
	RQD(%)	礦區	UCS(kgf/cm <sup>2</sup> )	浸水試驗(%)	
1	76	三榮煤礦	205.99		瑞大煤礦-砂岩
2	66	三榮煤礦	218.28	-2	瑞大煤礦-砂岩
3	50	東運瓷土礦	213.38	-1	瑞大煤礦-砂岩
4	56	東運瓷土礦	212.82	-1	瑞大煤礦-砂岩
5	65	東運瓷土礦	212.44	-2	瑞大煤礦-砂岩
6	28	瑞大煤礦	212.17	-5	山豐煤礦-砂岩
7	74	萬山煤礦	92.54		三榮煤礦-砂岩
	木山層平均岩力數據				
	RQD(%)	UCS(kgf/cm <sup>2</sup> )	浸水試驗(%)		
	59.286	132.6666667	-2.2		

表 8 石底層含煤層之上覆岩體取樣分析之岩力數據

煤層別	石底層				礦區-岩性
	岩力性質	RQD(%)	礦區	UCS(kgf/cm <sup>2</sup> )	
1	67	八堵煤礦	40	-7	金興煤礦-砂頁岩互層
2	41	八堵煤礦	89.23	-4	金興煤礦-砂頁岩互層
3	60	石黎煤礦	78.61	-1	金興煤礦-砂頁岩互層
4	80	中和煤礦	210.11	-1	金興煤礦-砂頁岩互層
5	100	建義煤礦	211.4	-1	金興煤礦-砂岩
6	100	友蚋煤礦	44.56		金興煤礦-砂頁岩互層
7	42	新益興煤礦	9.31		建義煤礦-砂頁岩互層
8		建義煤礦	25.74		建義煤礦-頁岩
9		八堵煤礦	222.23		八堵煤礦-砂岩
10		八堵煤礦	220.29		八堵煤礦-砂岩
11		八堵煤礦	220.77		八堵煤礦-砂岩
石底層平均岩力數據					
	RQD(%)	UCS(kgf/cm <sup>2</sup> )	浸水試驗(%)		
	70	83.8272727	-2.8		


Sample Name : 2V



評分表

Immersion	Rating	Breakability	Rating
Appearance of water	-3	Breakability	-2
Talus Formation	0		
Creaking of Sample	-1		
Total immersion index	-4	Breakability index	-6

Sample Name : 3V



評分表

Immersion	Rating	Breakability	Rating
Appearance of water	0	Breakability	-6
Talus Formation	0		
Creaking of Sample	-1		
Total immersion index	-1	Breakability index	-7

圖 42 本計畫岩樣之水破壞試驗(immersion test, CMRR)示意圖

然若以此有限之樣本分析岩力數據進行 CMRR 計算，則無法代表整體礦區之個別岩石力學性質。且 RQD 分析結果在經 CMRR 之不連續指數分級公式（參月前述之方法論中之 CMRR 內文描述），普遍偏高。因此本年度仍以 Molinda(1999)之判別函數  $CMRR = 40.9 + H/30.5$  進行計算，圖 43 為烘內坑煤礦案例計算 CMRR，並經地表調查之塌陷區與建物損害對照結果與分析相吻合，圖 44 則為年度調查區之 CMRR 值分類結果。

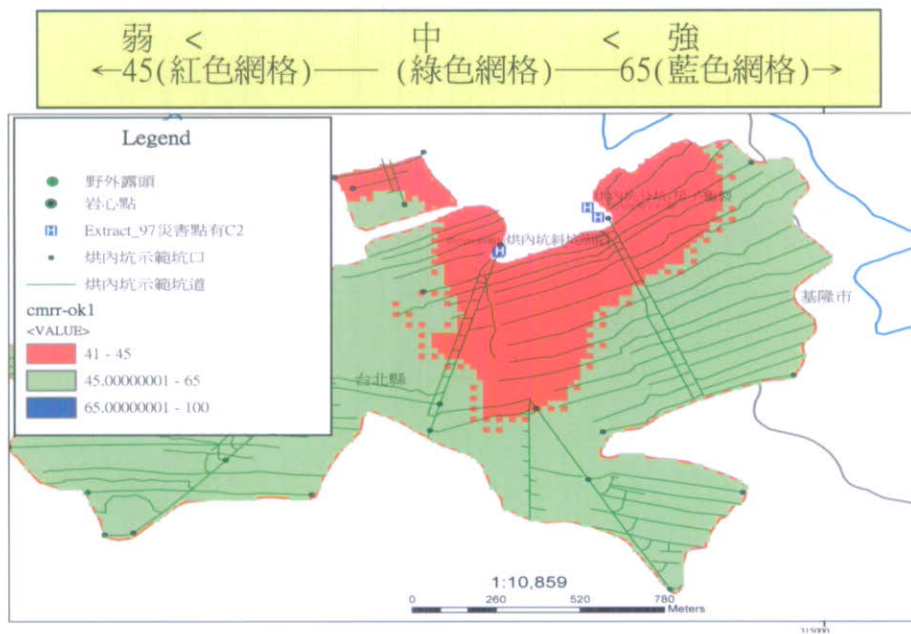


圖 43 烘內坑煤礦試作 CMRR 岩石強度分類網格計算圖(圖中藍底白字 H 為災害點)

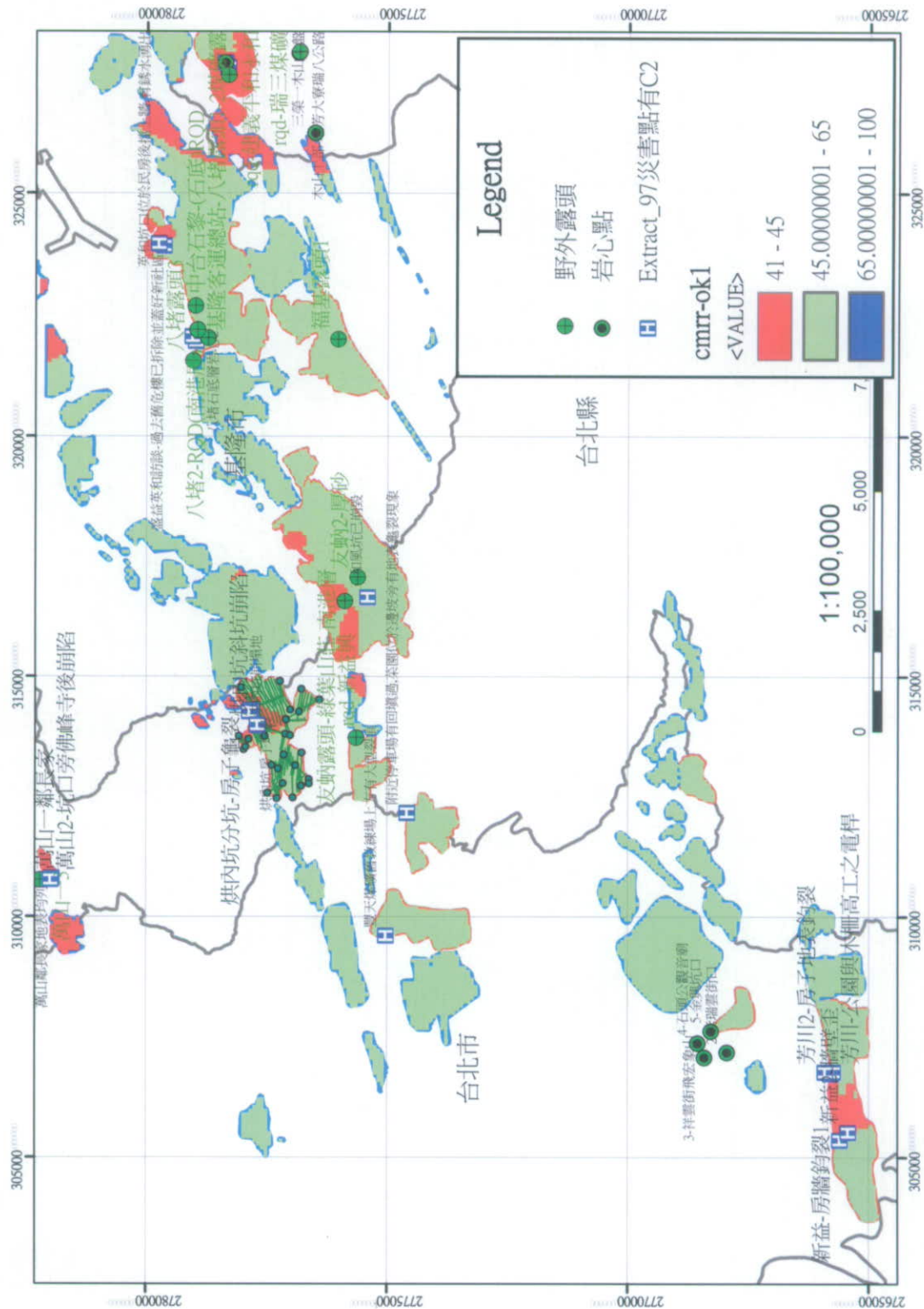


圖 44 年度縣市範圍之 CMRR 岩石強度分類網格計算圖



#### (4) 綜整多下陷槽與 CMRR 分析成果與地盤下陷災害潛勢分級

經由上述之現地災害調查、多下陷槽推估、野外露頭之 CMRR 計算之結果，主要目的是希望能藉由案例之資料建置提供地盤下陷模式之驗證。年度調查建置之災害案例多位於距地表淺層之地下採掘跡或坑口附近，典型之建物牆壁龜裂、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驗證。茲將調查案例之 CMRR、多下陷槽推估值整理列如表 9：

表 9 現地調查案例之下陷量與 CMRR 值

no	HOLE_NAME	推估之下陷量	CMRR
1	盛益英和訪談-過去舊危樓已拆除並蓋好 新社區	0.309342999999999900	41.850820
2	英和坑口位於民房後擋土牆,有銹水湧出	0.349582999999999900	41.096721
3	附近停車場有回填過,菜園位於邊坡旁有 地表龜裂現象	0.021000000000000000	44.408197
4	三和風坑已崩毀	0.294300000000000000	42.572131
5	蔡甲乙鄰長家	0.231161000000000000	42.047541
6	96 年底舊塌陷地現已灌漿處理,仍有裂縫	0.198800000000000000	43.424590
7	興南路 3 段 99-5 號 92 年無持續崩塌現象	0.219180000000000000	43.063934
8	興南路 3 段 105 號工廠對面護坡擋土牆有 銹水及龜裂現象	0.220679999999999900	43.621311
9	興南路 3 段 94 號水泥倉庫樑柱龜裂,毀 壞,且上方邊坡小徑有邊坡滑動	0.253249999999999900	42.965574
10	烘內坑崩塌地	0.451519999999999900	41.326230
11	烘內坑房子均裂	2.978299999999999000	41.719672
12	平和建益房子均列	0.311599999999999900	42.277049
13	平和建益地表變形	0.364999999999999900	41.818033
14	萬山鄰長家地表均列	0.015500000000000000	44.637705
15	芳川煤礦對面學校及民宅地表變形	1.543500000000000000	43.981967
16	豐天煤礦舊教練場上方有大型裂痕	0.122000000000000000	41.293443
17	八堵煤礦羅萬礦長家地表龜裂	0.0000 (未在採掘跡內)	40.900000

我們再將上述彙整資料以迴歸統計分析圖表顯示結果如圖 45，發現現地案例大多集中於 CMRR<45 之弱岩分類，且推估之下陷量值多集中於 0.5m 內。如果再將重點研究區所有計算下陷量與 CMRR 值之點位(約一萬四千個計算點位)再次進行迴歸分析，亦得到相同之結果如圖 46。雖然仍有推估之下陷量點位落於 CMRR 之中度岩體分類，且下陷量有的已將近 4 m，但在下陷量 0.5m 值是一明顯之區別指標。

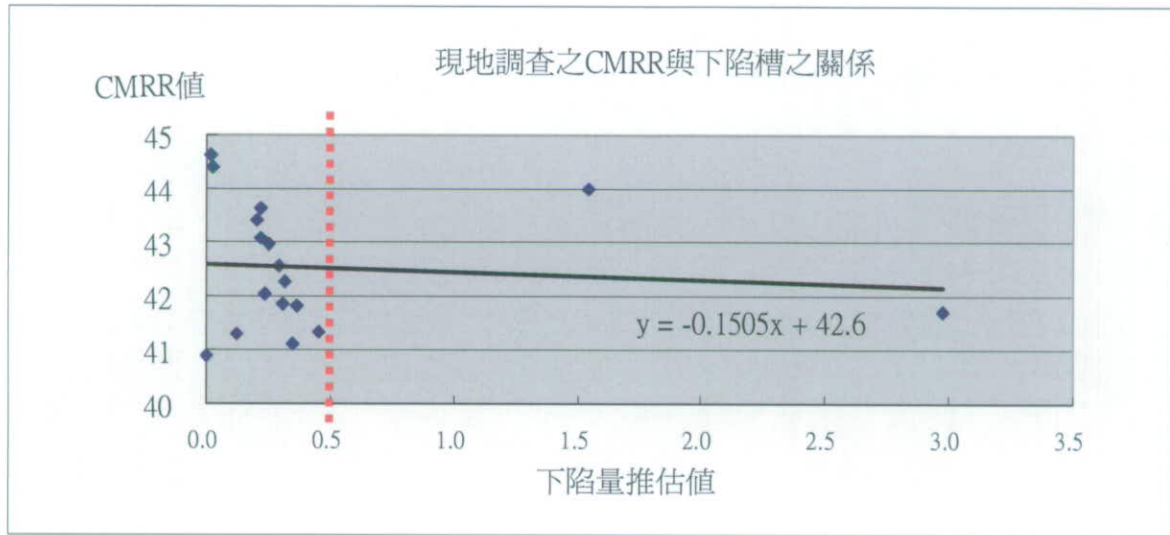


圖 45 現地調查案例之 CMRR 與多下陷槽迴歸分析圖

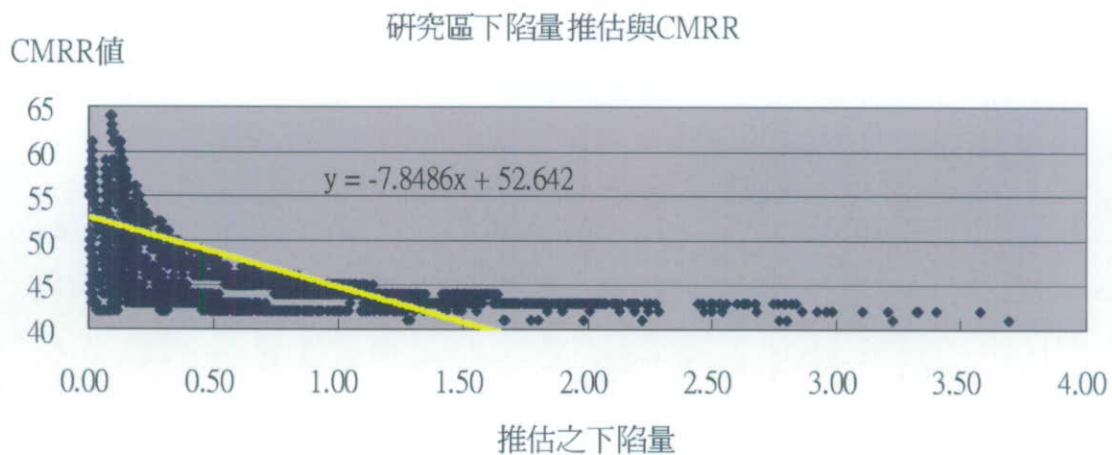


圖 46 重點研究區計算點為之 CMRR 與多下陷槽迴歸分析圖

因此，本研究綜整上述之成果，考量本次調查與建立之相關經驗參數值，我們認為在多下陷槽之沉陷量推估方面結果顯示由上覆傾斜岩盤滑動機制所造成之下陷槽沉陷量（20處採掘跡樣本數之 $FX_{01}$ 推估值範圍0.03~7m）比上覆岩盤垂直破壞者大（20處採掘跡樣本數之 $FX_{02}$ 推估值範圍 $10^{-9}$ ~0.4m），且沉陷槽之型態明顯受到前者之機制所控制。另外災害案例之驗證也有14處均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），而0.5m之下陷值為一案例之明顯區別數值，且CMRR之計算也都落在 $CMRR < 45$ 之弱岩分類。因此，我們初步將地盤下陷潛勢分級及範圍定義為：位於地下採掘跡範圍內且推估沉陷量 $> 0.5m$ ， $CMRR < 45$ 者之範圍界定為高潛勢區；其他採掘跡範圍則為低潛勢區。以烘內坑為地盤下陷災害潛勢分級案例結果如圖47所示，各重點研究區與縣市之地盤下陷災害潛勢分布圖如圖48~50，以及圖51~52。

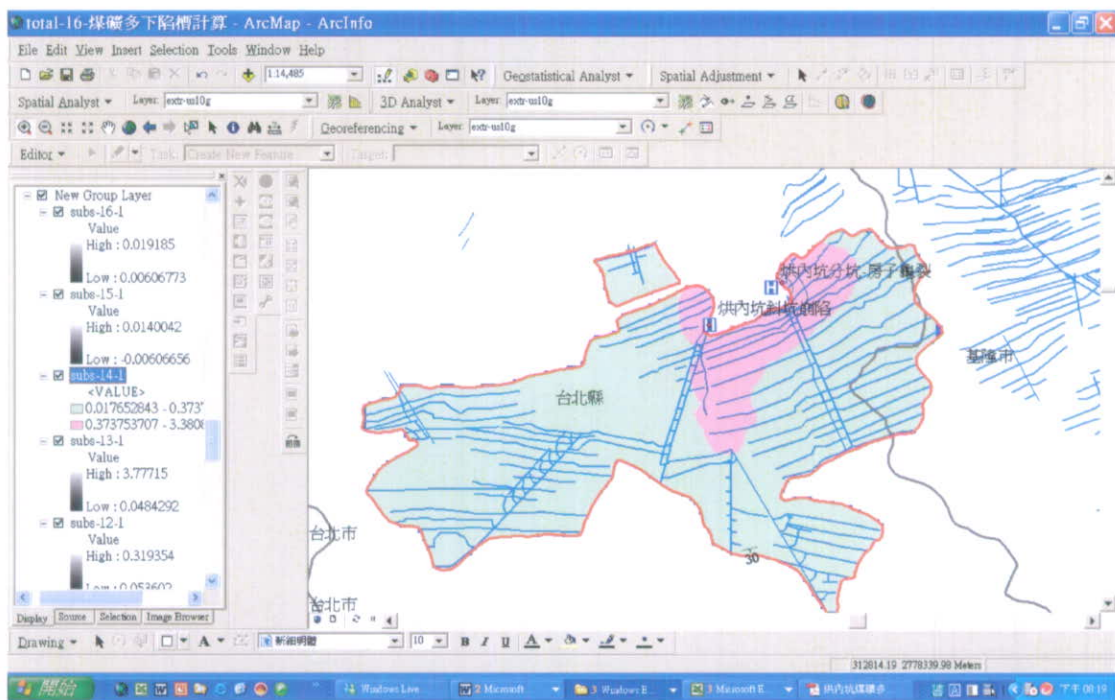


圖 47 烘內坑為地盤下陷災害潛勢分級案例（粉紅色為高潛勢區；綠色為低潛勢區）

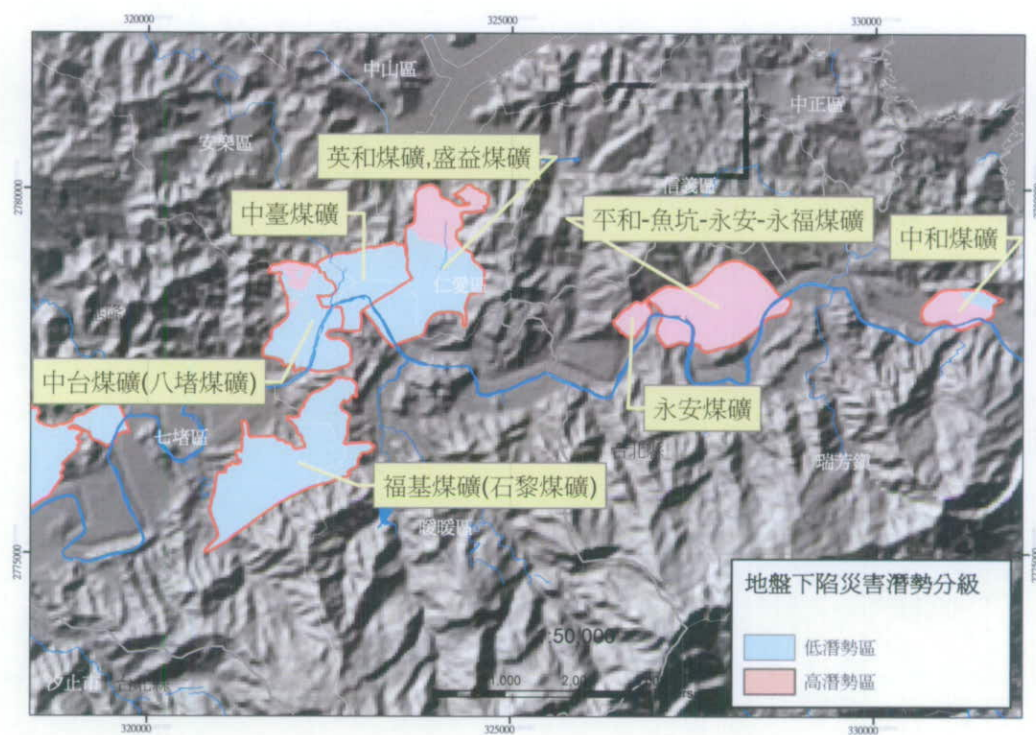


圖 48 重點研究區之地盤下陷災害潛勢分布圖之一

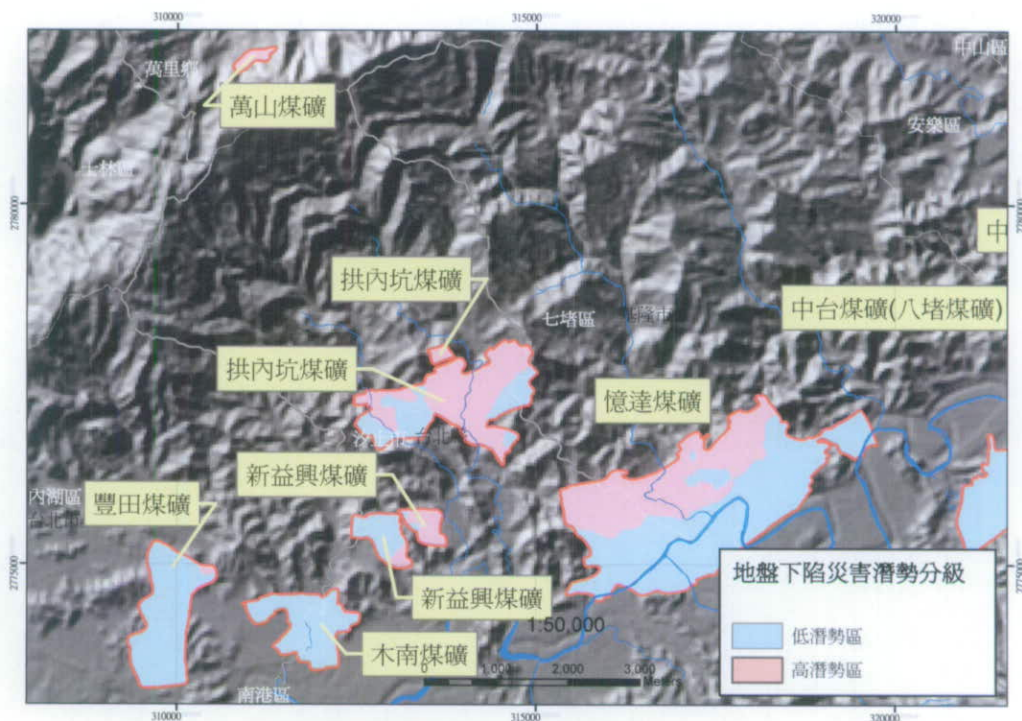


圖 49 重點研究區之地盤下陷災害潛勢分布圖之二

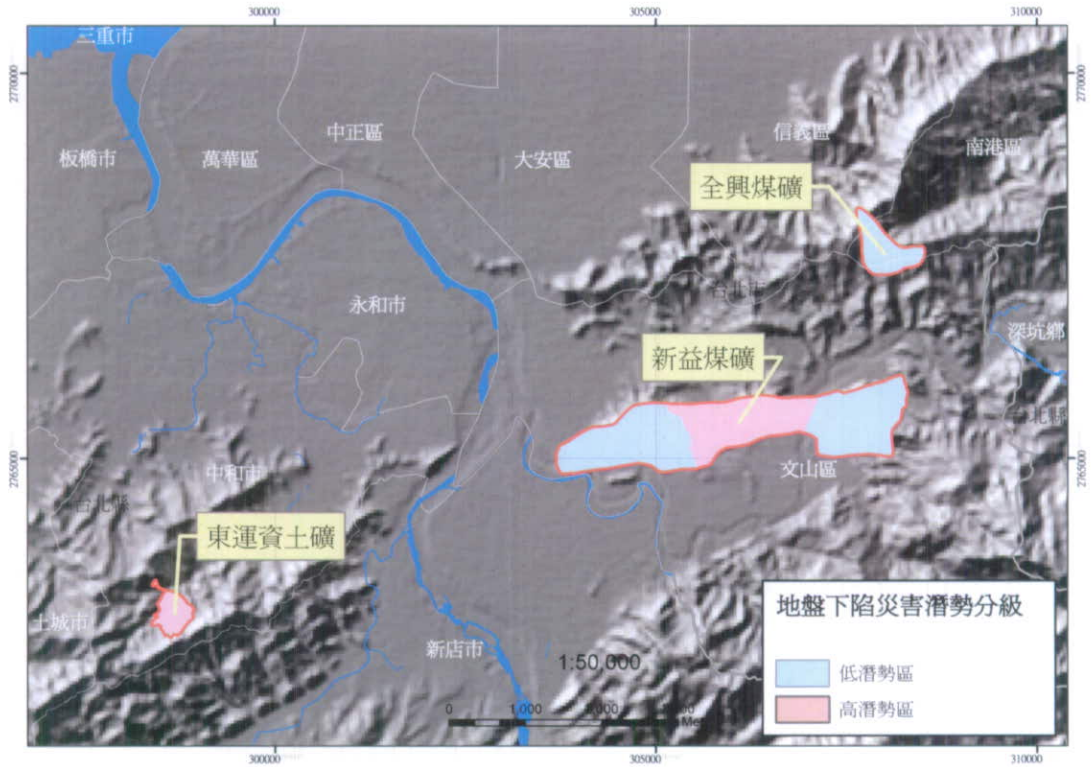


圖 50 重點研究區之地盤下陷災害潛勢分布圖之三

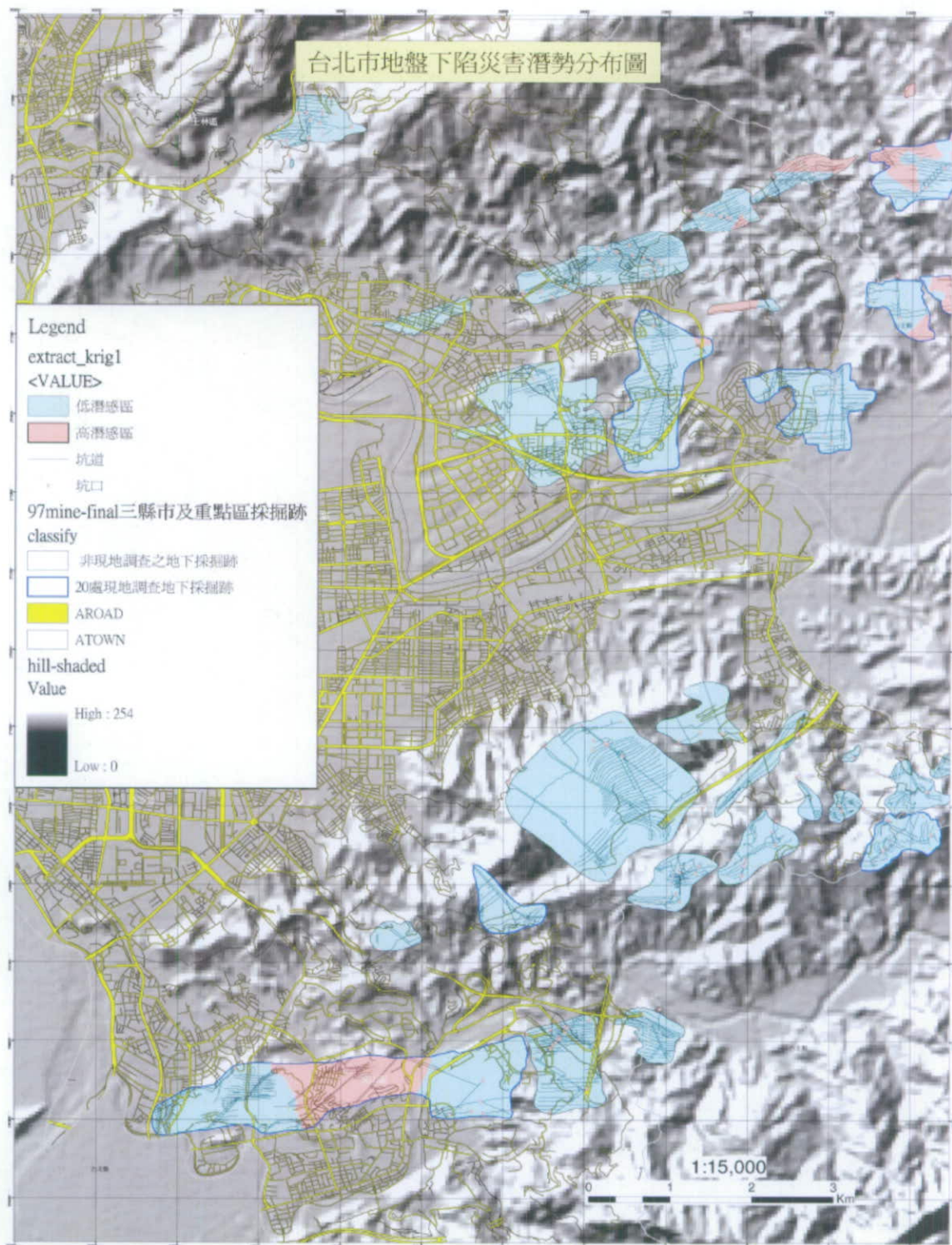


圖 51 97 年度調查台北市之地盤下陷災害潛勢分布圖

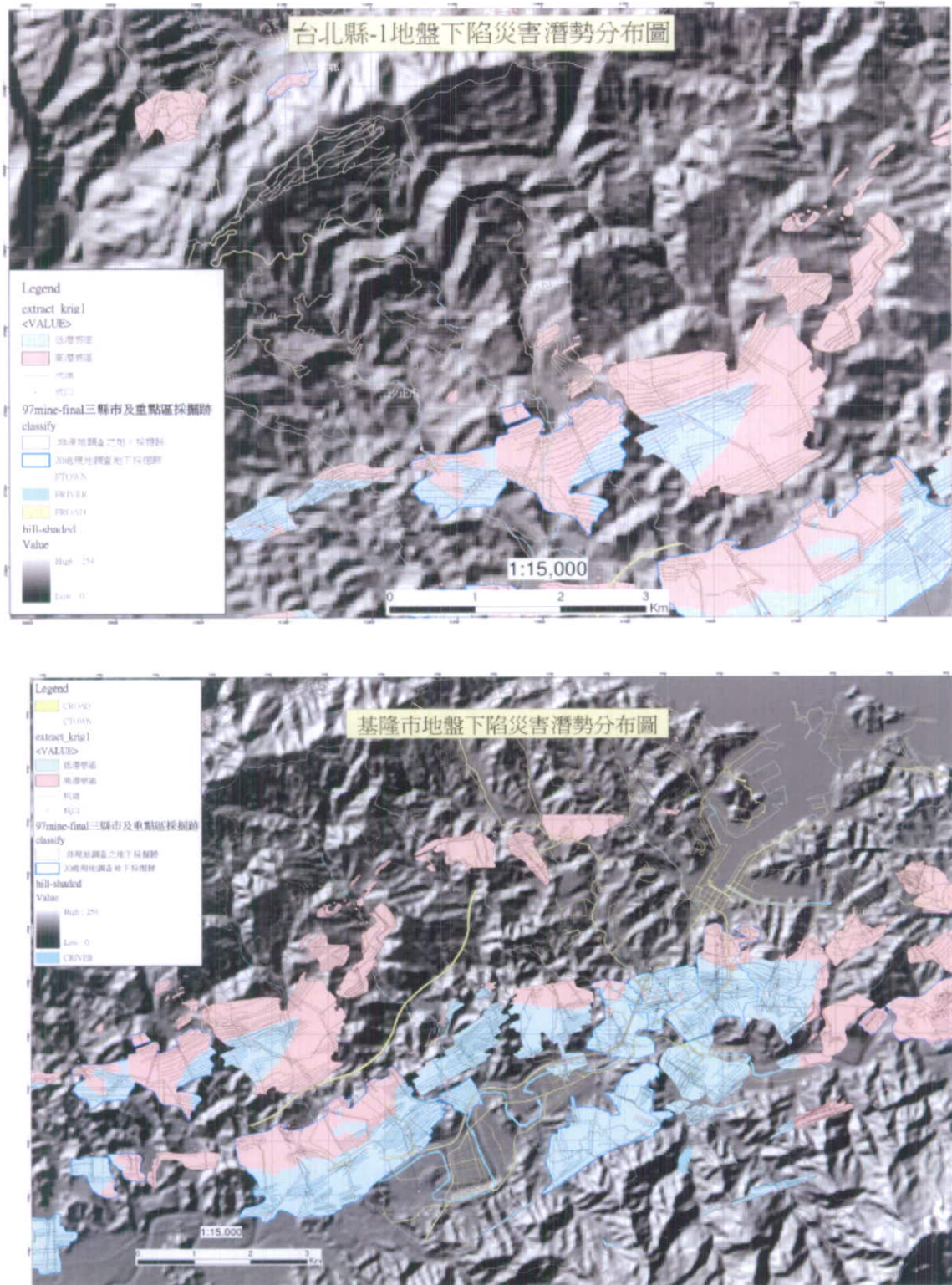
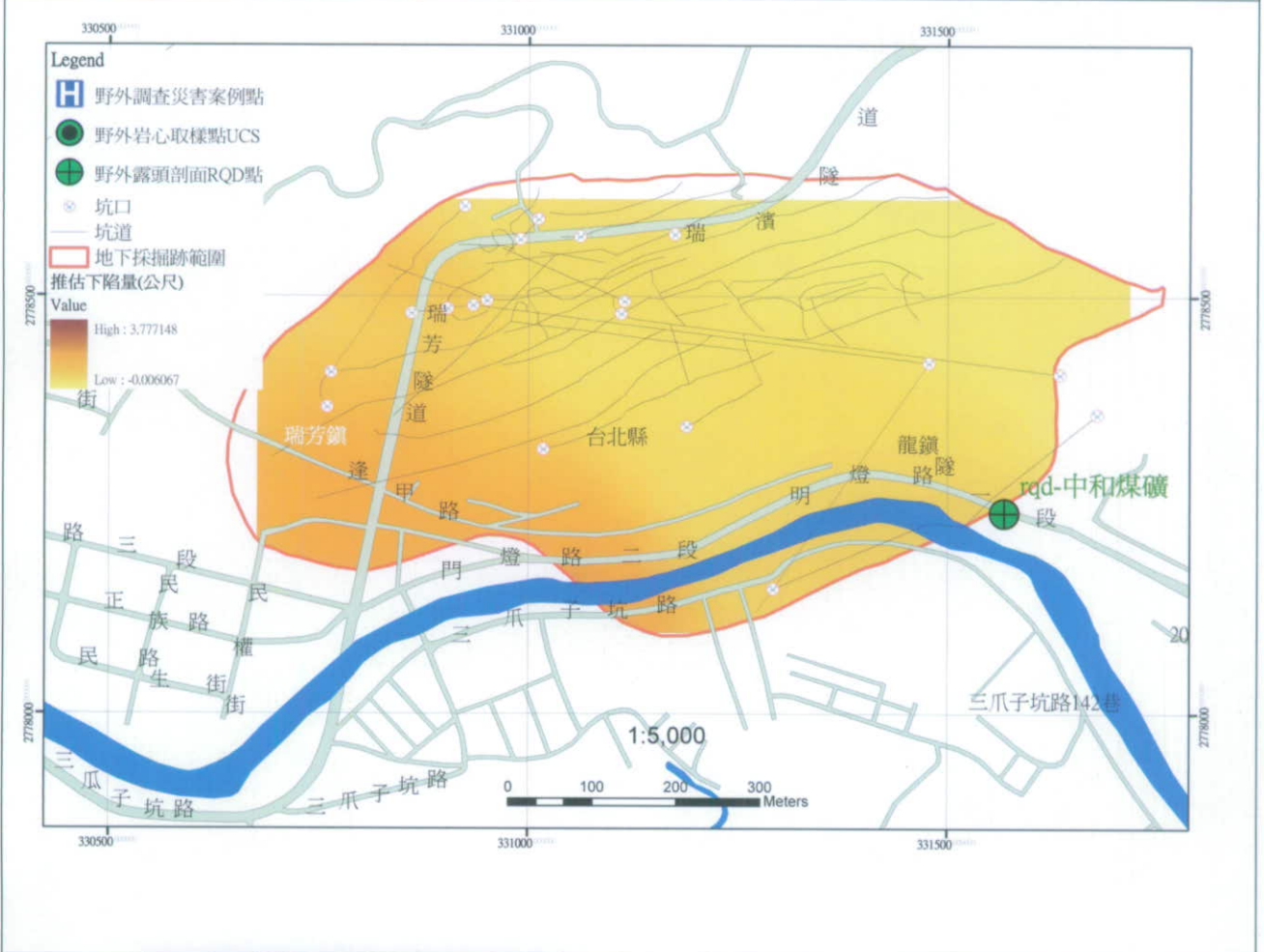


圖 52 97 年度調查台北縣（上圖，僅為汐止與萬里二區）與基隆市（下圖）之地盤下陷災害潛勢分布圖

(5) 現地調查之紀錄表單與剖面圖


1-中和煤礦及RQD剖面

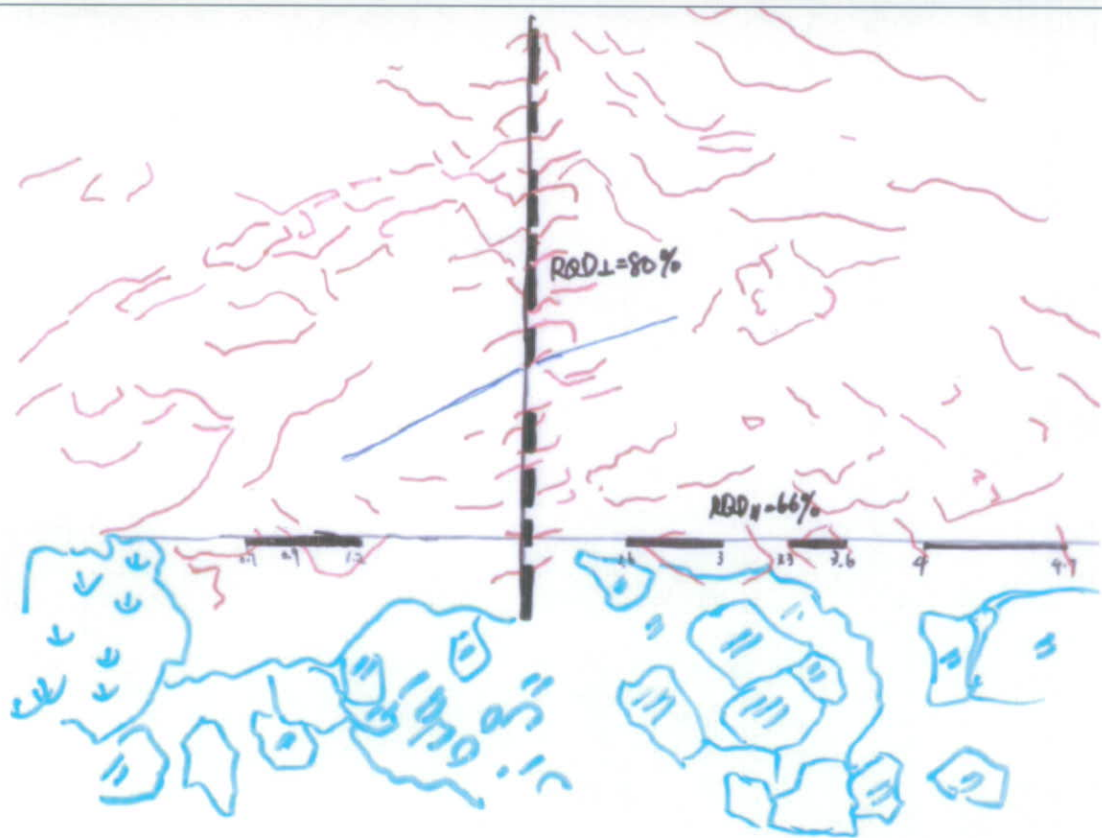
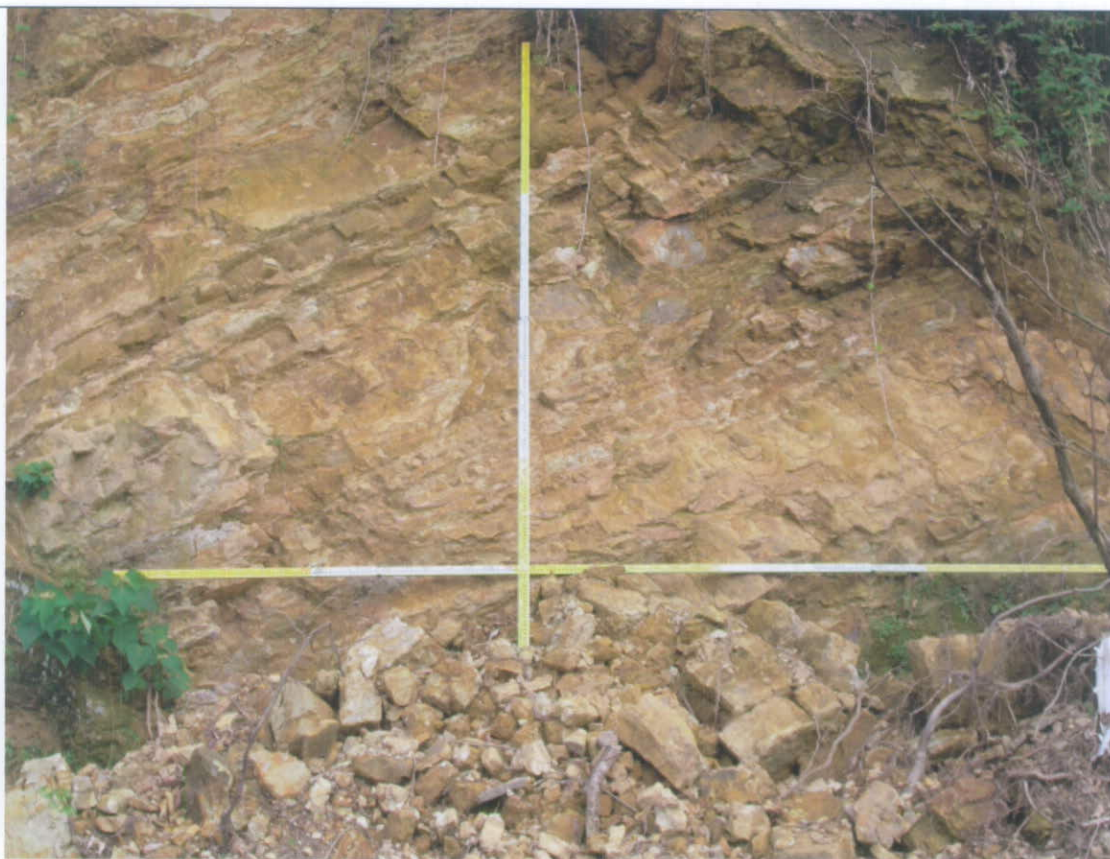
廢棄坑道現地調查	
位置:台北縣瑞芳鎮明竹路150號	調查人:嚴治民、徐永忠 97/6/2, 7/17, 10/22
礦區名稱/字號 mine name/number	中和煤礦
重要描述:本礦有兩坑相鄰,其正後方已塌陷	



中和煤礦坑口正後方已塌陷

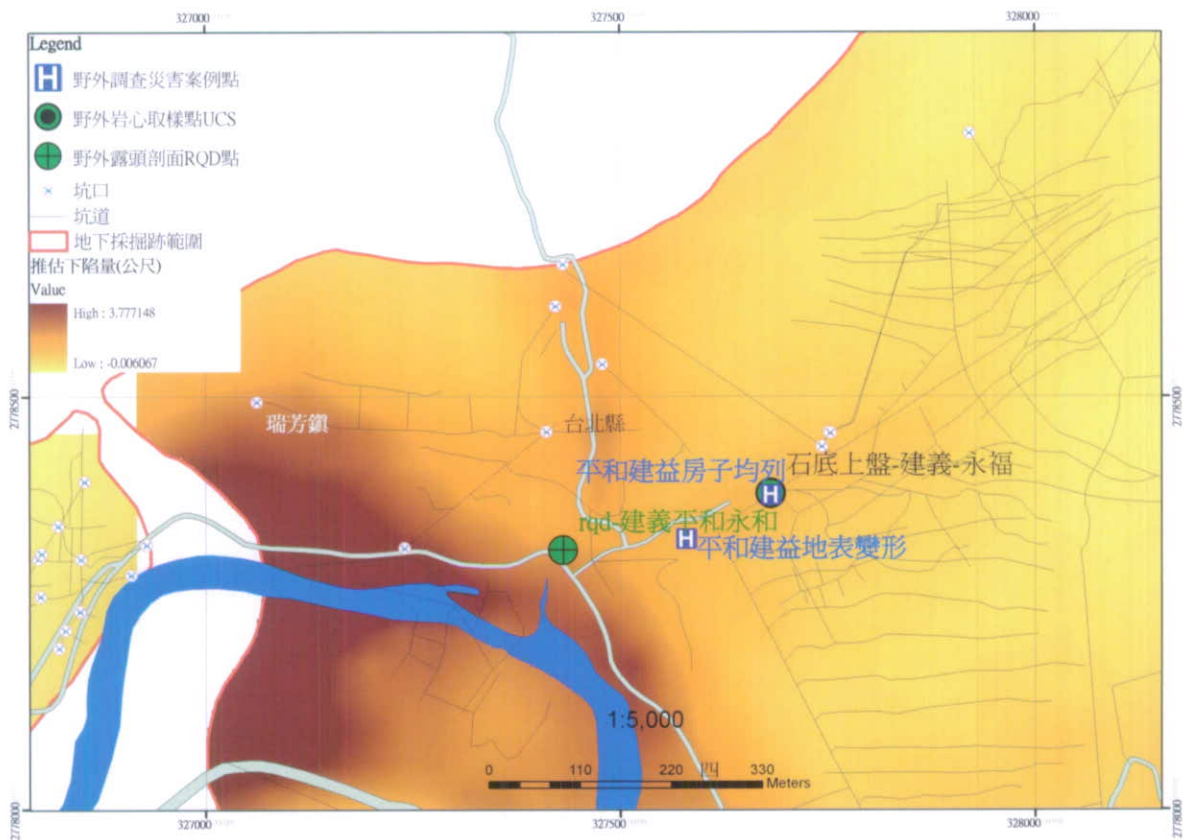


	<p>中和煤礦坑口為相鄰兩斜坑(本斜坑及風坑)</p>
	<p>中和煤礦坑道上方之路面邊坡崩塌口正後方已塌陷</p>



2-建義-平和-永福煤礦煤礦及 RQD 剖面

廢棄坑道現地調查	
位置: 四腳亭坑路 9 號, 四腳亭坑路 12 號	調查人: 嚴治民、徐永忠 97/6/2, 7/10, 10/16
礦區名稱/字號 mine name/number	建義-平和-永福煤礦
重要描述: 屋舍及路面有下陷, 牆壁龜裂 屋舍及坑口後方廢棄屋舍牆壁龜裂(萬瑞快速道路下方亦曾發生下陷),	



建義-平和-永福煤礦坑口後方廢棄屋舍  
牆壁龜裂



建義-平和-永福煤礦附近住宅牆壁龜裂



建義-平和-永福煤礦簡文章老先生家屋舍及路面有下陷, 牆壁龜裂



建義-平和-永福煤礦簡文章老先生家屋舍及路面有持續下陷情形



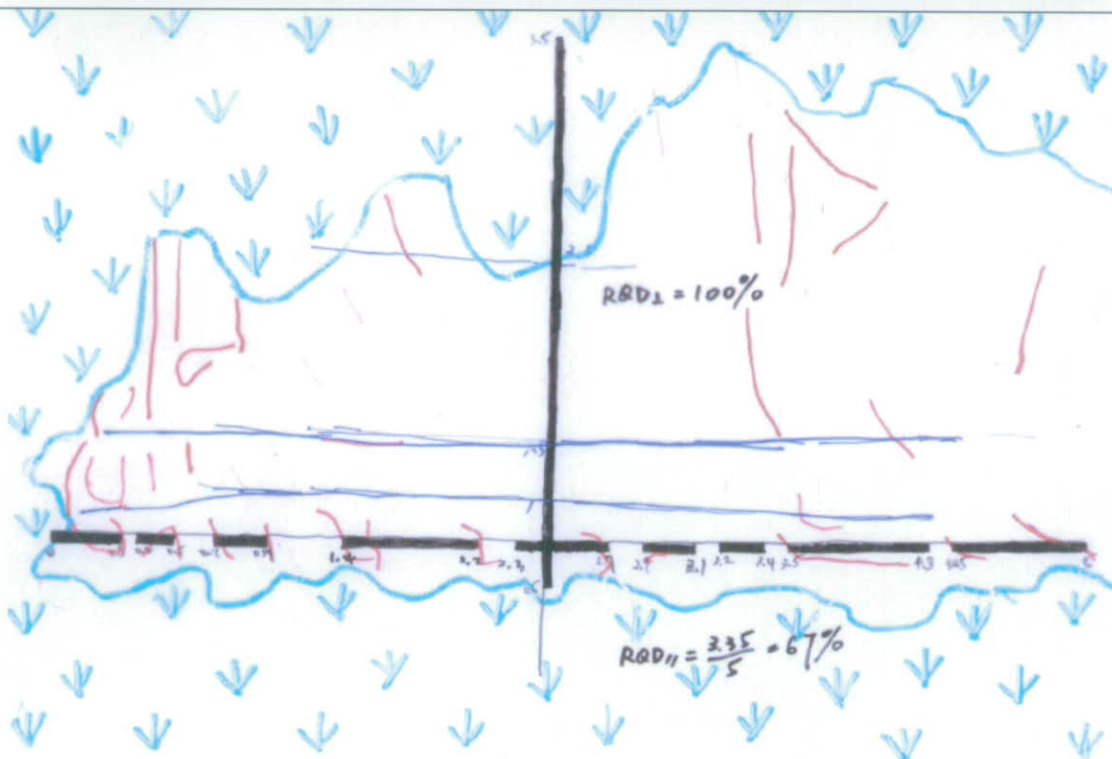
建義-平和-永福煤礦簡文章老先生家屋舍及路面有持續下陷情形



建義煤礦坑口後方萬瑞快速道路下方曾發生下陷

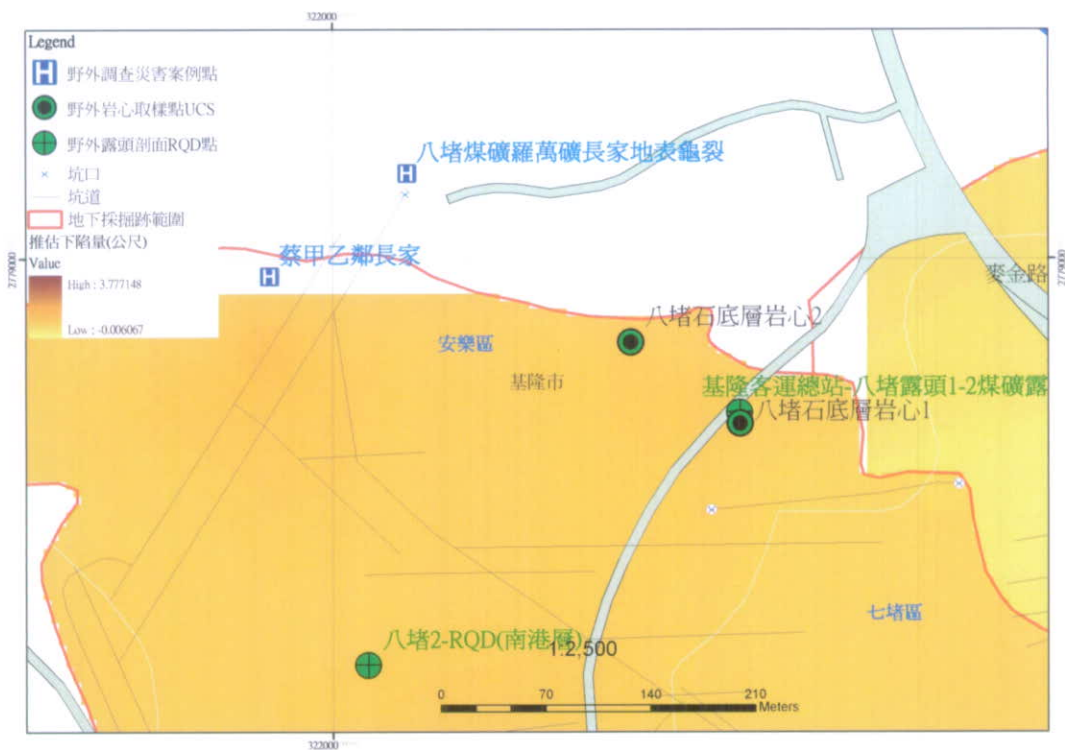


建義-平和-永福煤礦附近住宅牆壁龜裂近照



3-八堵煤礦及 RQD 剖面

廢棄坑道現地調查	
位置：麥金路 11 巷 22-1 號，麥金路 11 巷 46-1 號，麥金路 11 巷 69 號	調查人：嚴治民、徐永忠 97/7/9, 8/15, 10/6
礦區名稱/字號 mine name/number	八堵煤礦
重要描述：屋內地表龜裂，門柱裂縫歪斜，屋後地基墊高約 1 公尺，屋內門柱裂縫多處，另一處更慘，有地表龜裂及屋後崩陷，屋後擋土牆施工造成淺層地表龜裂湧出銹水	



八堵煤礦坑口前方邊坡礦渣堆有異常塌陷情形



八堵煤礦羅萬礦長家外側屋樑已傾斜  
-7



八堵煤礦羅萬礦長家內-3



八堵煤礦羅萬礦長家內地板龜裂-2





八堵煤礦-高銀城老先生家地板隆起與龜裂



八堵煤礦蔡甲乙老鄰長家屋後擋土牆施工蝕造成淺層地表龜裂湧出銹水-1



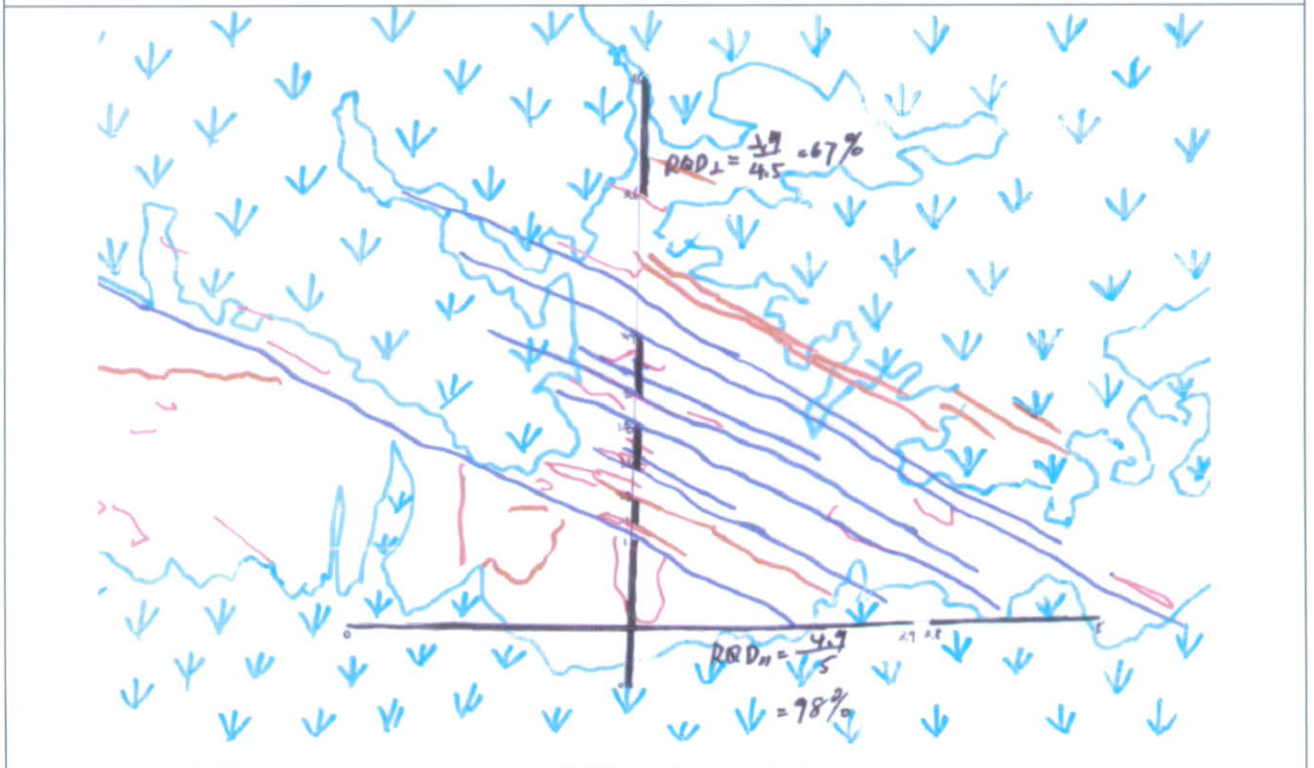
八堵煤礦羅萬礦長家屋後地基已墊高約1公尺

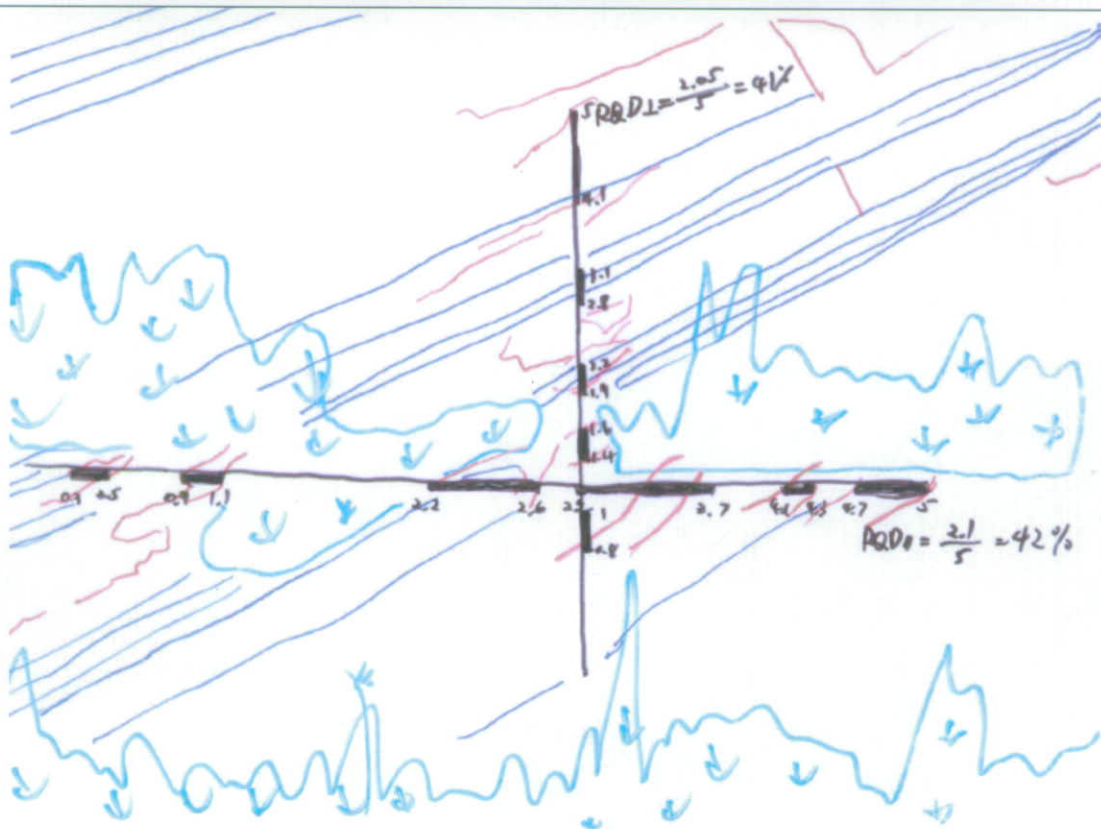
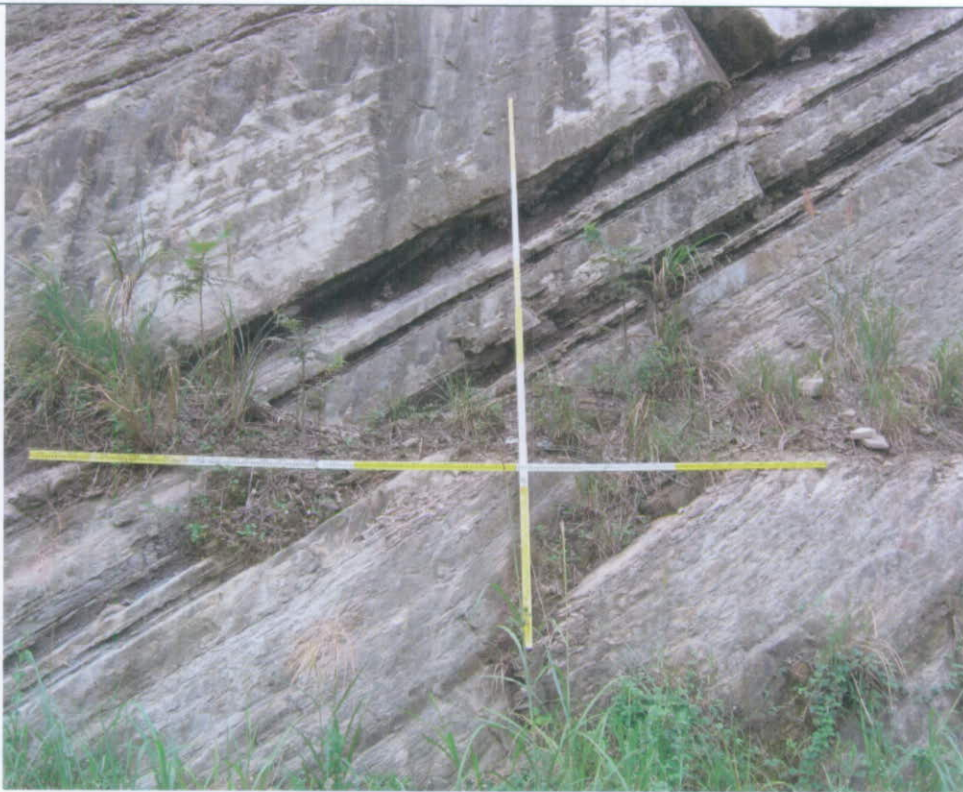


八堵煤礦附近擋土牆部份向內側裂凹  
近照



八堵煤礦附近住家樑柱裂縫-2





4-中台石黎煤礦及 RQD 剖面

廢棄坑道現地調查	
位置：八德路 80 巷 10-1 號	調查人：嚴治民、徐永忠 97/7/17, 9/5, 10/2
礦區名稱/字號 mine name/number	中台石黎煤礦
重要描述：無下陷情形(但坑口附近有一日據時期坑口湧出之銹水)	

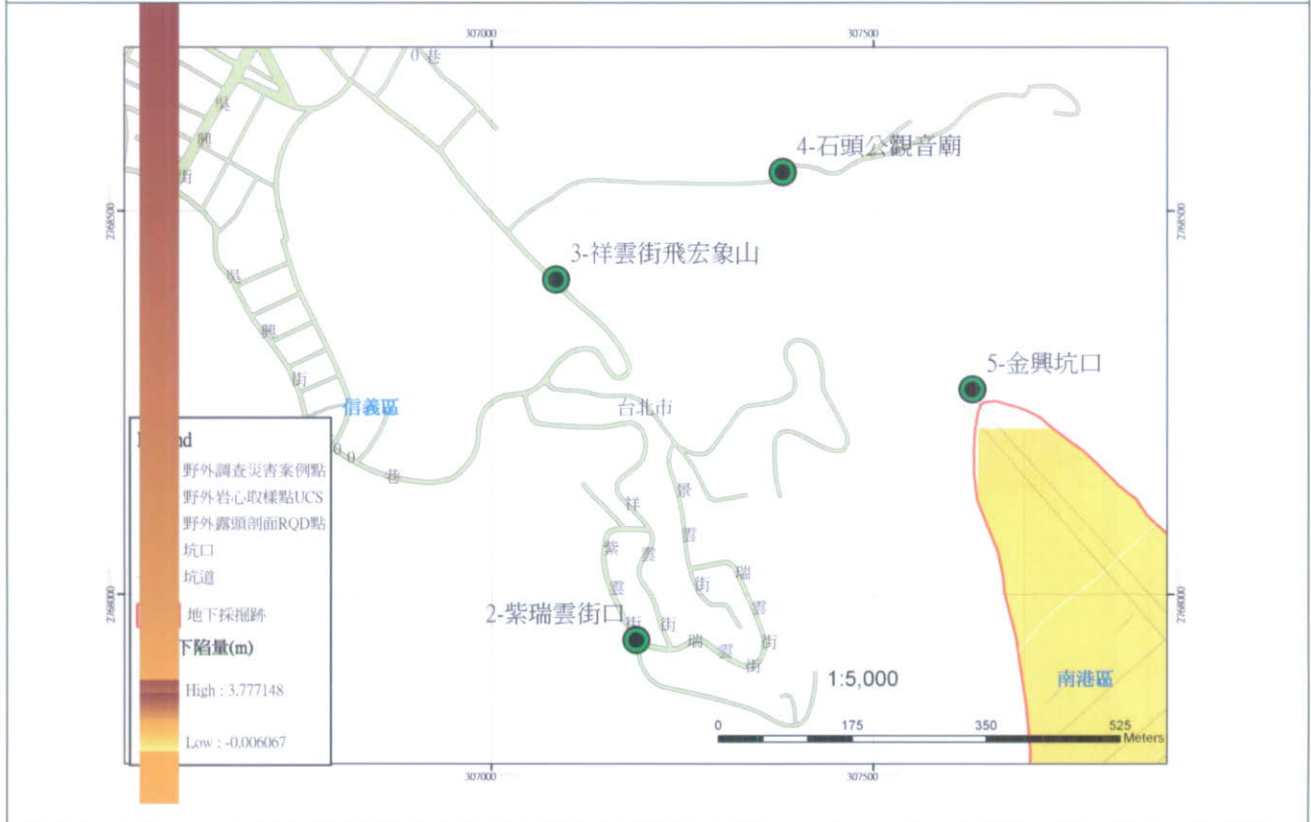


中台石黎煤礦-坑口附近有一日據時期坑口湧出之銹水



### 5-金興煤礦

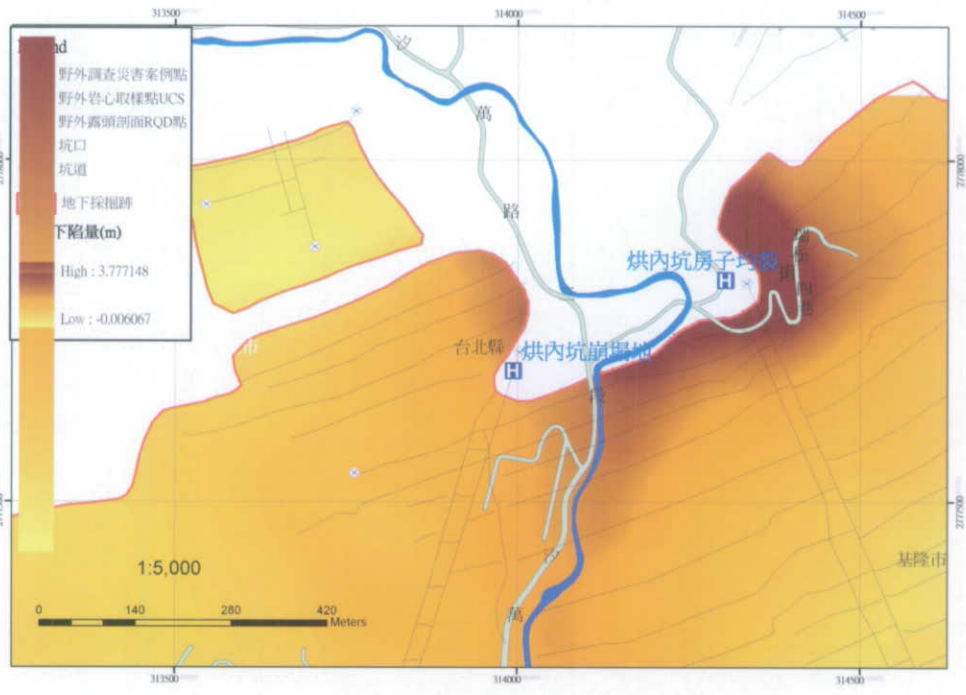
廢棄坑道現地調查	
位置：信義路5段150巷477號	調查人：嚴治民、徐永忠 97/6/26,7/8
礦區名稱/字號 mine name/number	金興煤礦
重要描述：坑口上盤民宅完好，為塊狀砂岩，但數十年前曾發生山崩	



金興坑口上方民宅完好-1

6-烘內坑煤礦(分坑)

廢棄坑道現地調查	
位置：汐止市瑞松街 40 號及 36 號	調查人：嚴治民、徐永忠 97/8/21, 10/29-30
礦區名稱/字號 mine name/number	烘內坑煤礦(分坑)
重要描述：新的落盤現象，以及地表下陷與電線桿傾斜，附近持續下陷情形，房舍牆壁龜裂，且結構不良，地基已有部份下陷，而附近校舍牆壁及部份廢棄屋舍亦已損壞	



烘內坑煤礦本斜坑塌陷區，其位於坑口前方，屬地表淺層岩盤脆弱之處，一但遇到大雨或颱風極易發生地盤下陷之災害





烘內坑煤礦本斜坑塌陷之地表裂縫-1



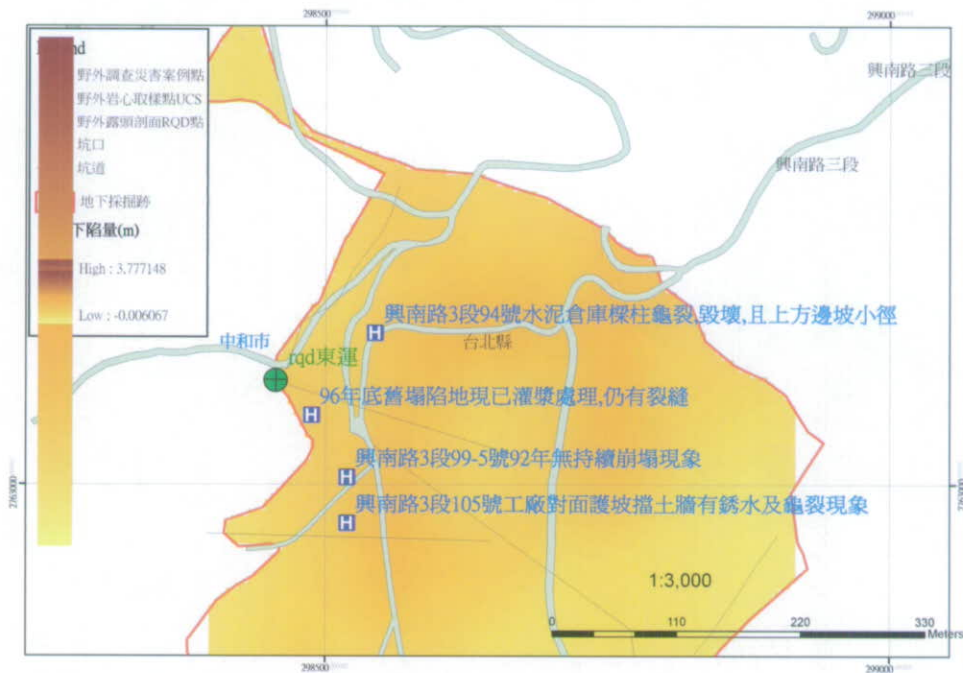
位於烘內坑煤礦(舊本坑-火鼎坑)採掘跡附近舊房舍牆壁及樑柱龜裂



瑞松街 40 號位於烘內坑煤礦(舊本坑-火鼎坑)前方, 房舍牆壁及樑柱龜裂且地基有下沉現象-3

7-東運瓷土礦及RQD剖面圖

廢棄坑道現地調查	
位置： 中市興南路3段94號	調查人： 嚴治民、徐永忠 97/6/9, 7/1, 11/10
礦區名稱/字號 mine name/number	東運瓷土礦
重要描述：水泥倉庫樑柱龜裂，毀壞，且上方邊坡小徑均有滑動造成高低10公分之落差以及地表龜裂，另對面工廠在過去亦有持續之下陷龜裂情形	



東運瓷土礦採掘基附近侯溪泉住家上坡路面下岩體滑動造成路面落差傾塌  
-13



東運瓷土礦92年舊崩塌陷區現已為廠房(聲稱已無持續之塌陷)



東運瓷土礦於97年1月之地表塌陷區



東運瓷土礦於97年1月之地表塌陷區  
因淺層岩盤破裂露出地下坑道部份



東運瓷土礦於 97 年回填後之現況



東運瓷土礦旁工廠對面護坡擋土牆有  
銹水及龜裂現象



東運瓷土礦旁之擋土牆已發生龜裂且  
向內凹陷(遠照)



東運瓷土礦採掘跡附近住家圍牆已龜裂-1



東運瓷土礦採掘跡附近侯溪泉住家上坡小路之舊塌陷地(以鐵板支撐)圍牆已龜裂-8



東運瓷土礦採掘跡附近侯溪泉住家上坡路面之圍牆傾塌-11



東運瓷土礦採掘跡附近侯溪泉住家圍牆已龜裂-3



東運瓷土礦採掘跡附近侯溪泉住家對面橋樑龜裂塌-14



東運瓷土礦採掘跡上方路面邊坡仍有滑動現象造成水泥牆龜裂



東運瓷土礦採掘跡上方路面邊坡仍有滑動現象造成路面大範圍龜裂

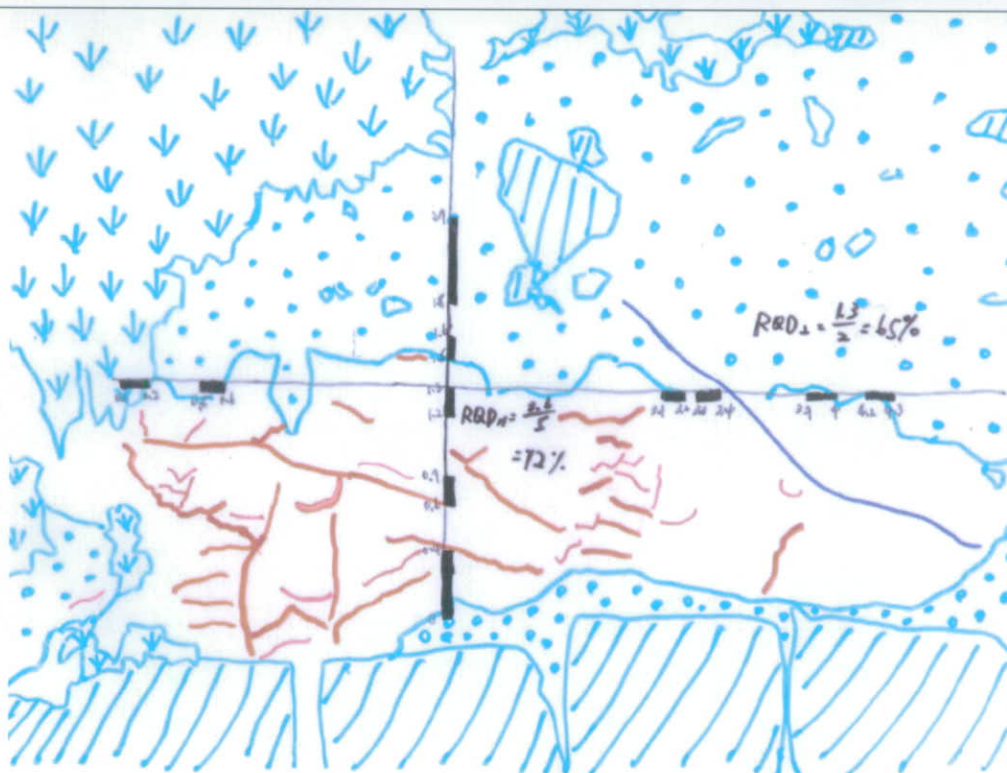


東運瓷土礦採掘跡上方路旁排水溝亦出現零星之邊坡塌陷



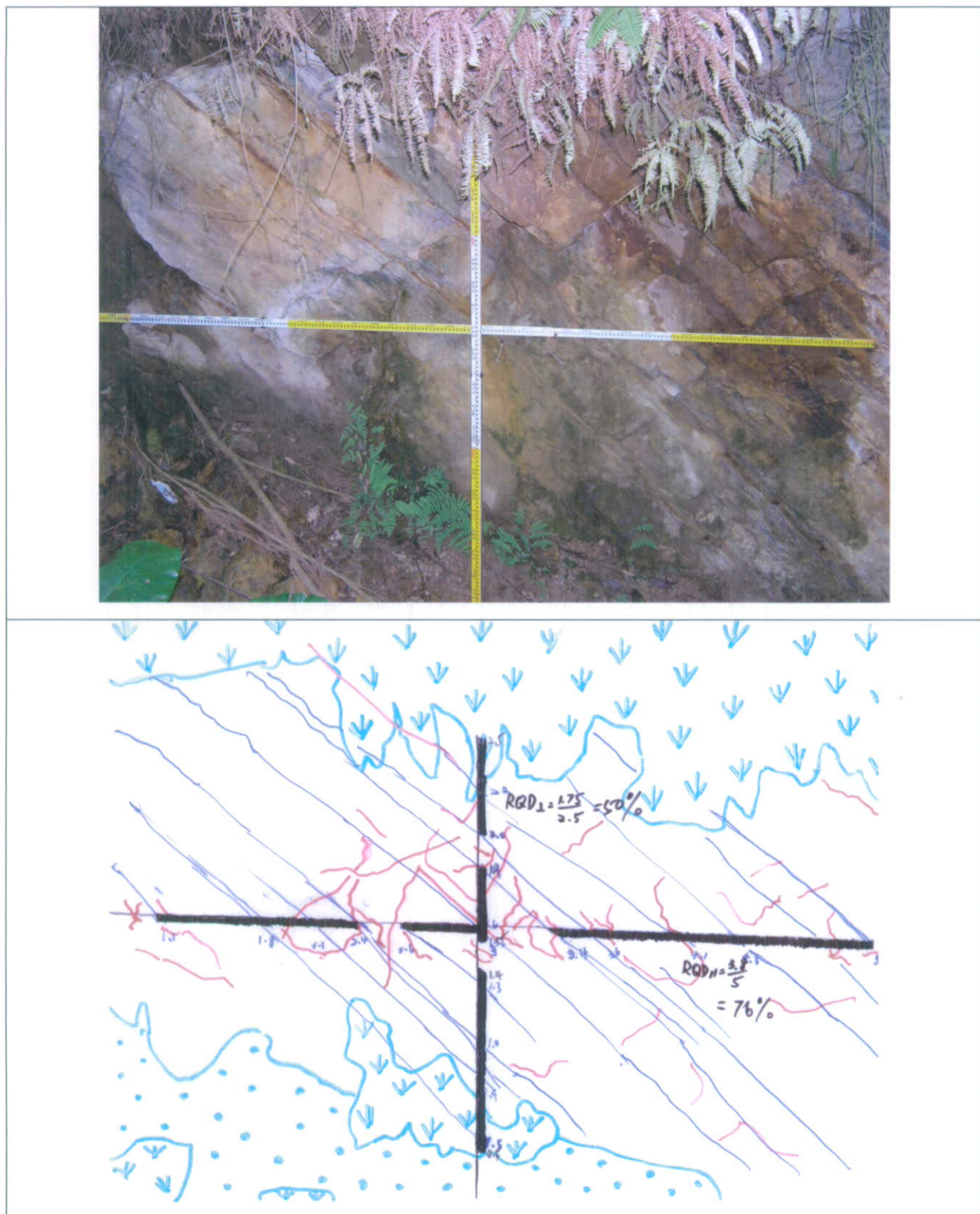
東運瓷土礦採掘跡上方路編舊駁坎已出現裂痕

東運瓷土礦-3 舊下陷區(下)-profile

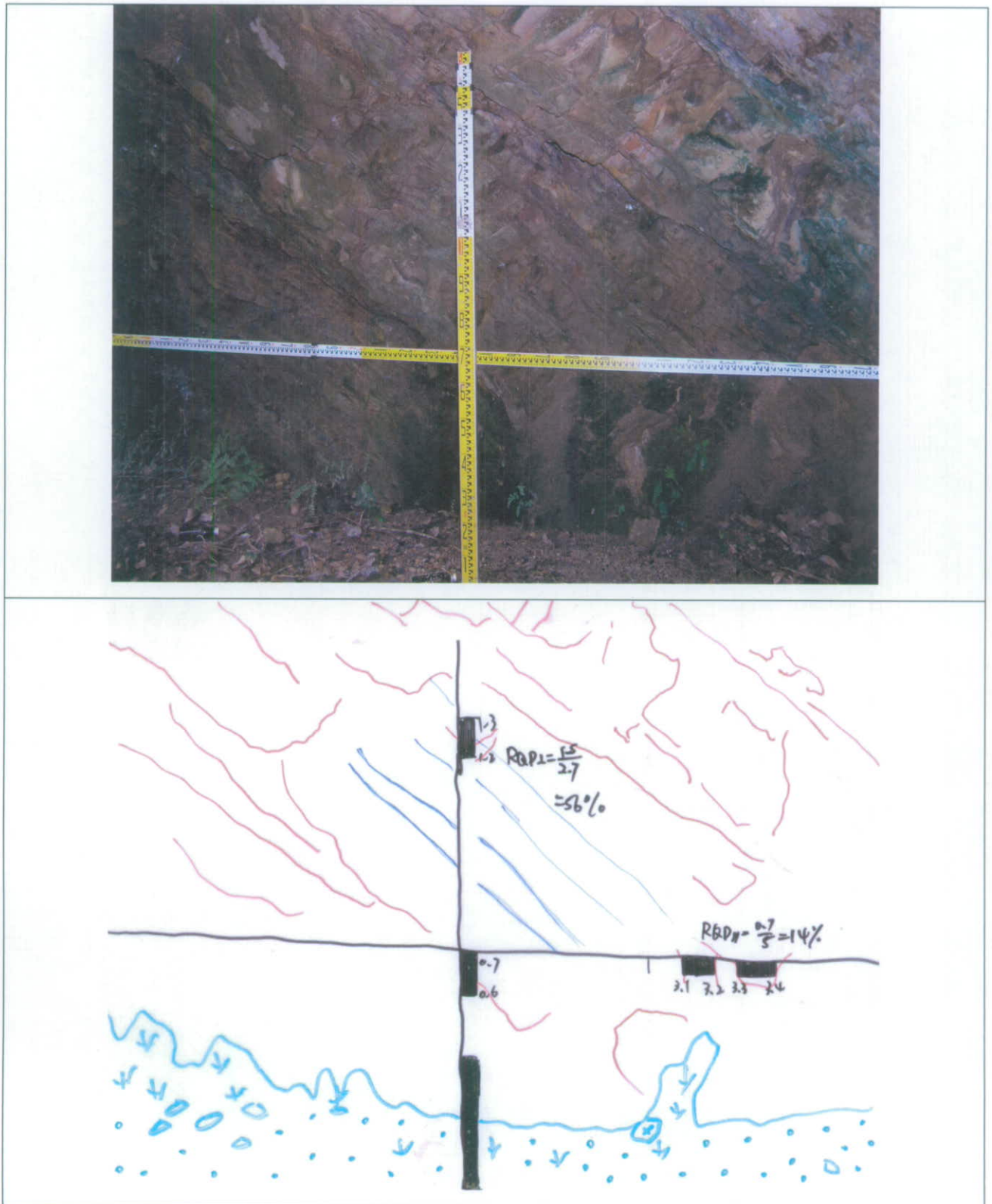


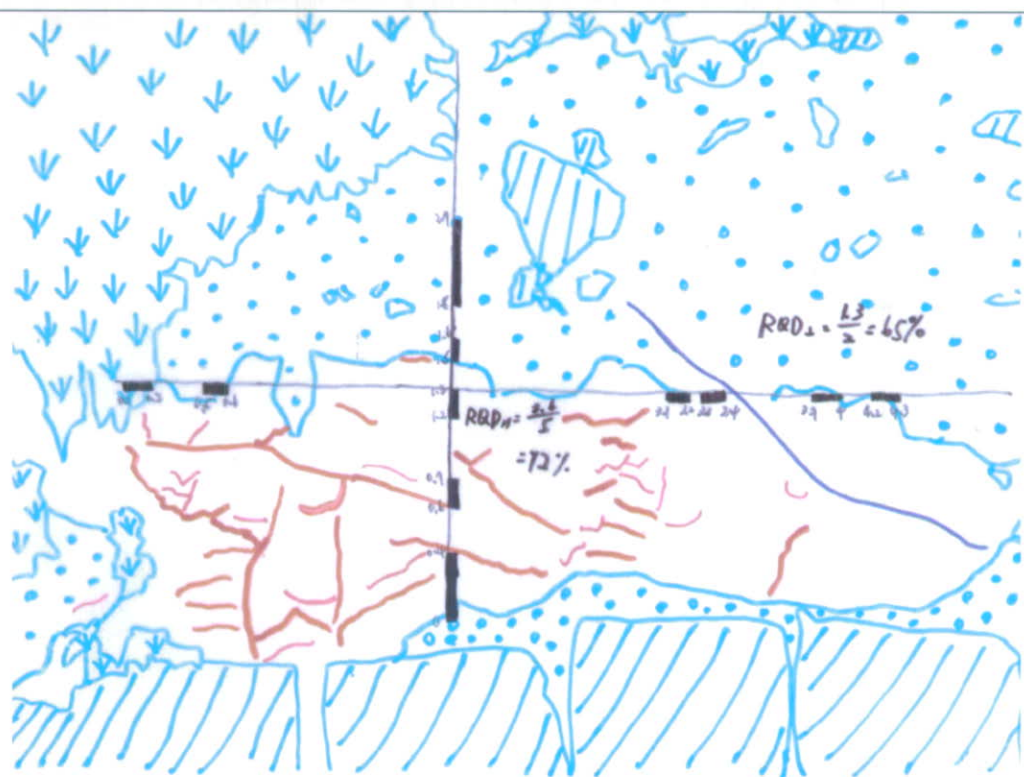


東運瓷土礦-1 坑口前(中)-profile



東運瓷土礦-2坑口(上)-profile





### 8-福基煤礦

#### 廢棄坑道現地調查

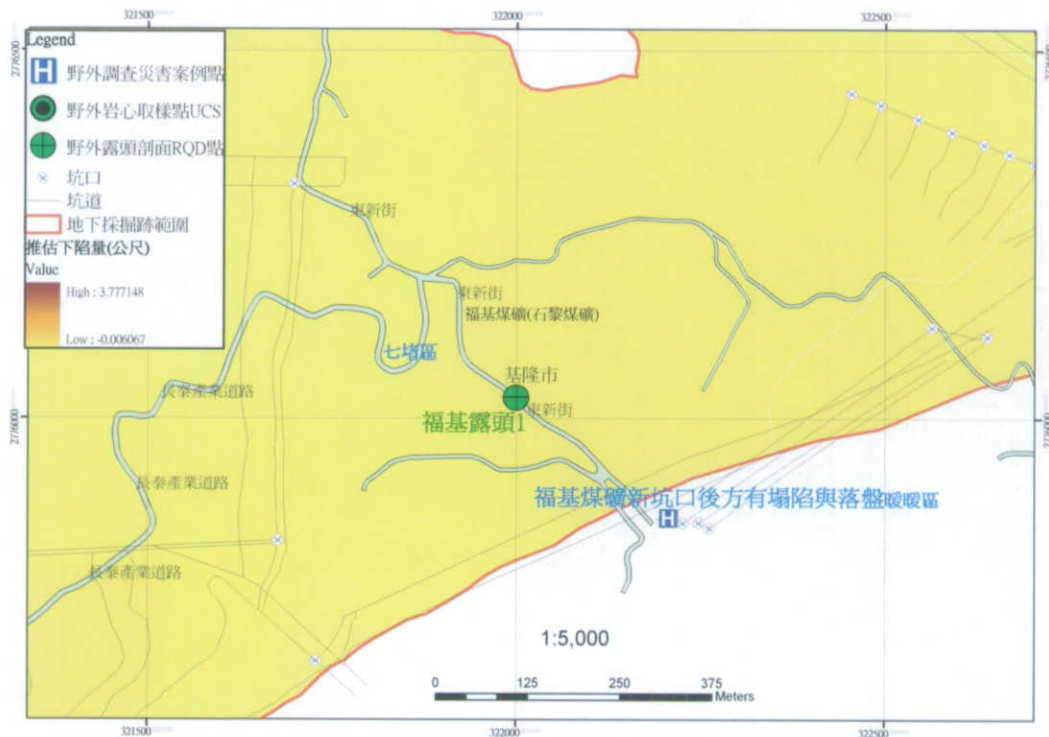
位置：基隆市七堵區東新街 184 號

調查人：嚴治民、徐永忠 97/8/5, 10/22

礦區名稱/字號 mine name/number

福基煤礦

重要描述：僅新坑崩陷，因開採之岩層較陡，故兩側影響範圍不大



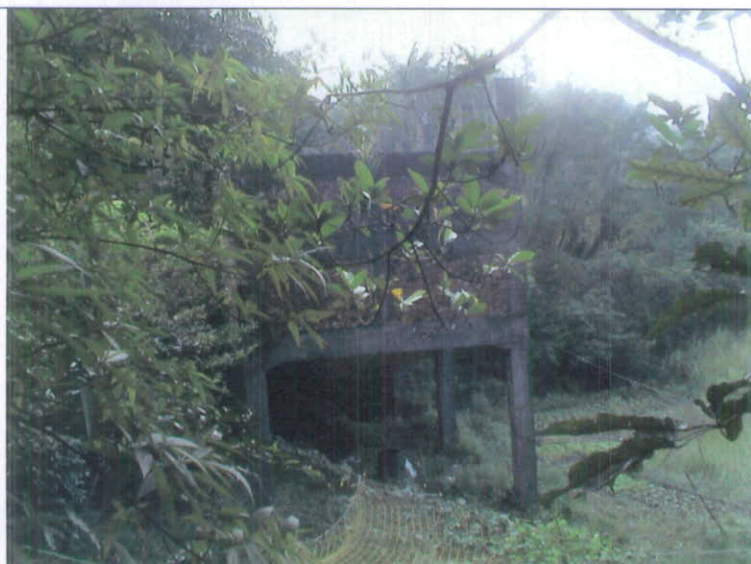
中台福基煤礦-新坑口之坑道上盤已崩陷近照



中台福基煤礦-新坑口之坑道上盤已崩陷



中台福基煤礦-新坑口之坑道上盤已崩陷側照

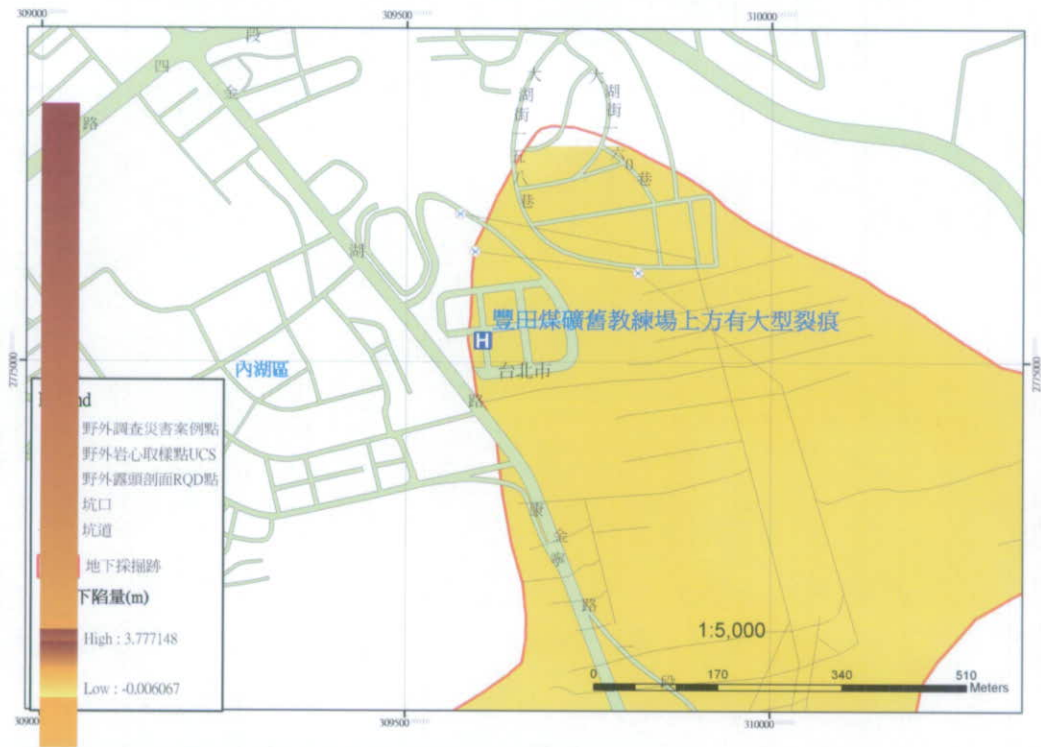


中台福基煤礦-新坑口之坑道崩陷處旁之煤倉已傾斜

9-豐田煤礦

廢棄坑道現地調查

位置：台北市內湖區金湖路台北駕訓中心舊址， 現為美國在台協會 AIT 預定地	調查人：嚴治民、徐永忠 97/7/8,10/17
礦區名稱/字號 mine name/number	豐田煤礦
重要描述：僅新坑崩陷，因開採之岩層較陡，故兩側影響範圍不大	



豐田煤礦坑口上方舊訓練場有大型裂縫及地表沉陷現象(遠處下方即為坑口)



豐田煤礦上方舊訓練場下方之坑口



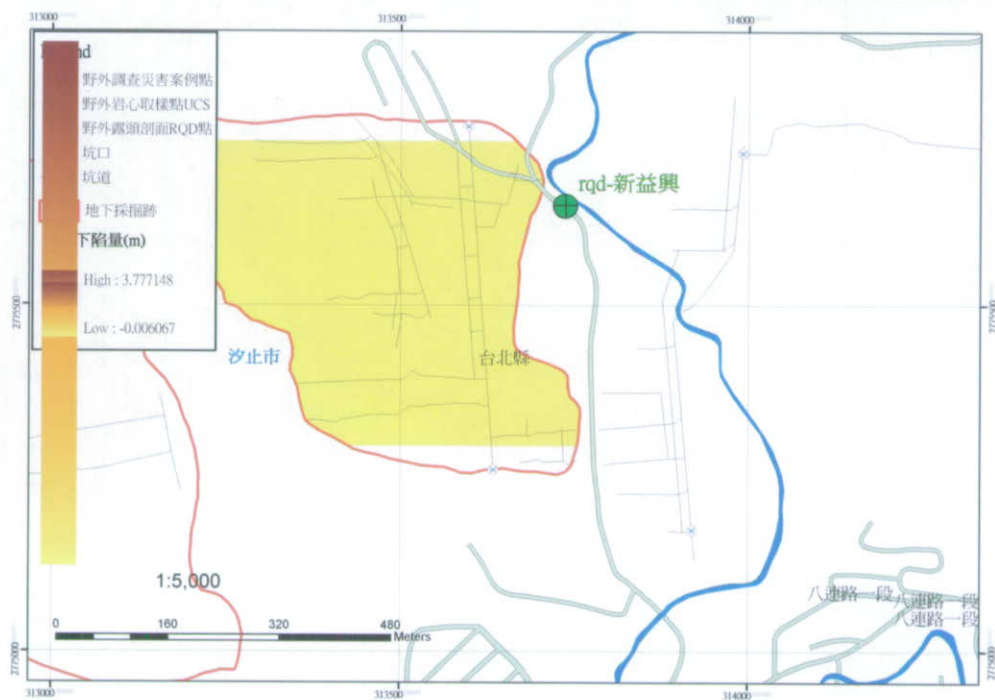
豐田煤礦坑口上方舊訓練場有大型裂縫近照



豐田煤礦旁擋土牆有部份湧出銹水遠照(近處之擋土牆排水孔無排水情形)

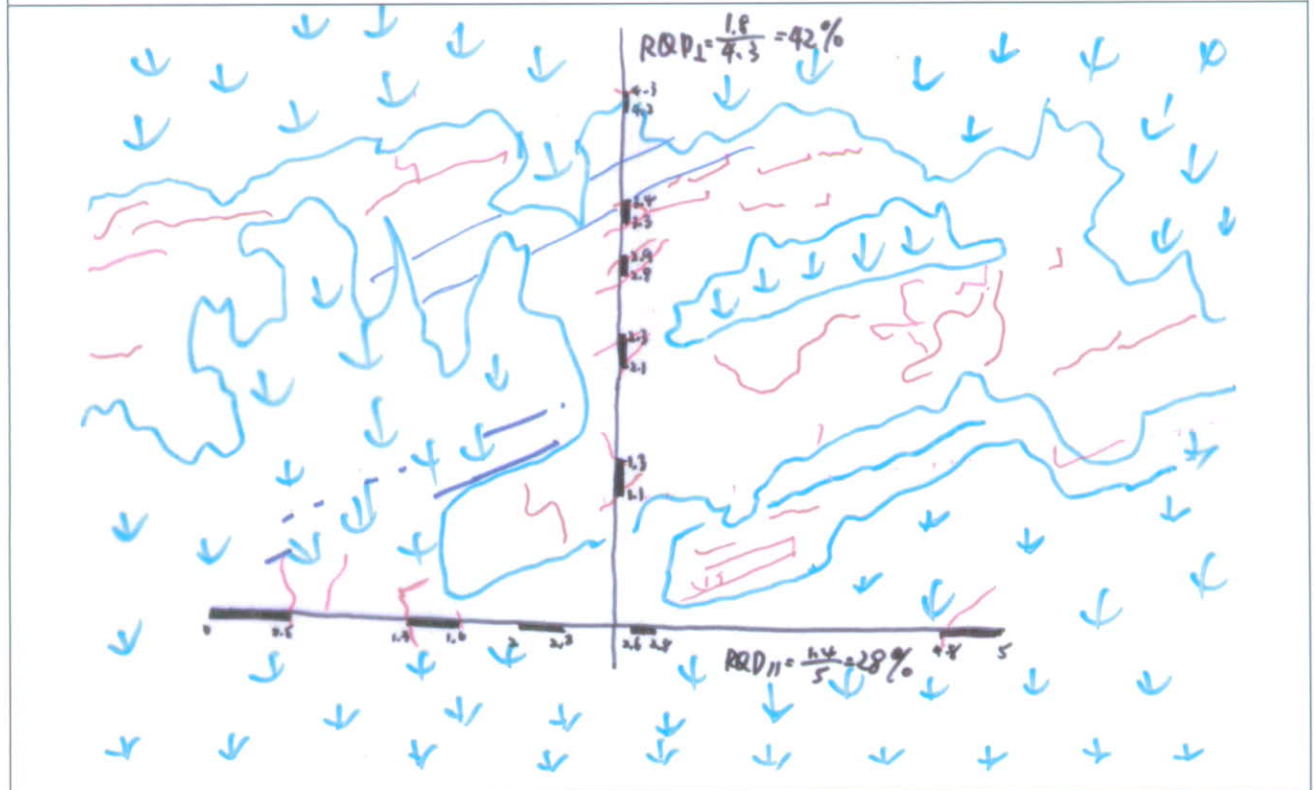
10-新益興煤礦及 RQD 剖面

廢棄坑道現地調查	
位置：台北縣汐止市八連路 1 段 309 巷 1 號	調查人：嚴治民、徐永忠 97/9/25,10/30
礦區名稱/字號 mine name/number	<b>新益興煤礦</b>
重要描述：另一舊坑口曾崩塌，附近住宅幾乎無人居住，坑口附近雜草叢生且地表無法辨識	



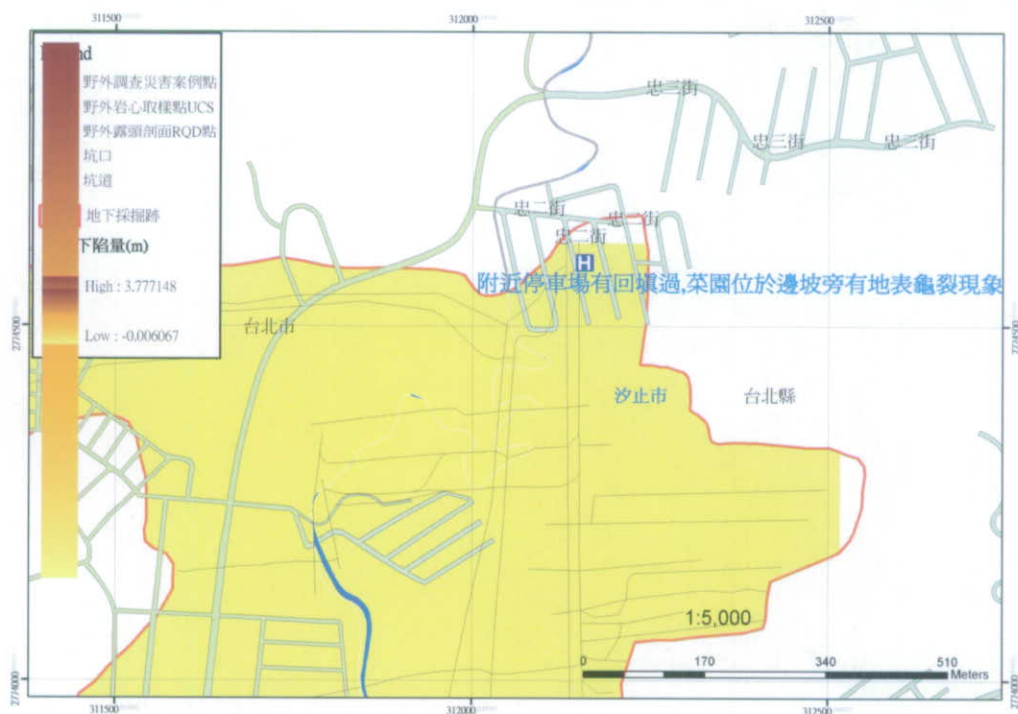
坑口雜草叢生且地表無法辨識





### 11-木南煤礦南湖坑

廢棄坑道現地調查	
位置：台北縣汐止市三民街10巷3號	調查人：嚴治民、徐永忠 97/7/28, 11/3
礦區名稱/字號 mine name/number	木南煤礦南湖坑
重要描述：附近停車場有回填過，菜園位於邊坡旁有地表龜裂現象，且附近科學園區大樓所在之路面亦有凹陷情形	



木南煤礦南湖坑口旁菜園坡地已傾塌變形行之近照



木南煤礦南湖坑口旁舊礦工地表龜裂現象



木南煤礦南湖坑口仍有滲出銹水現象

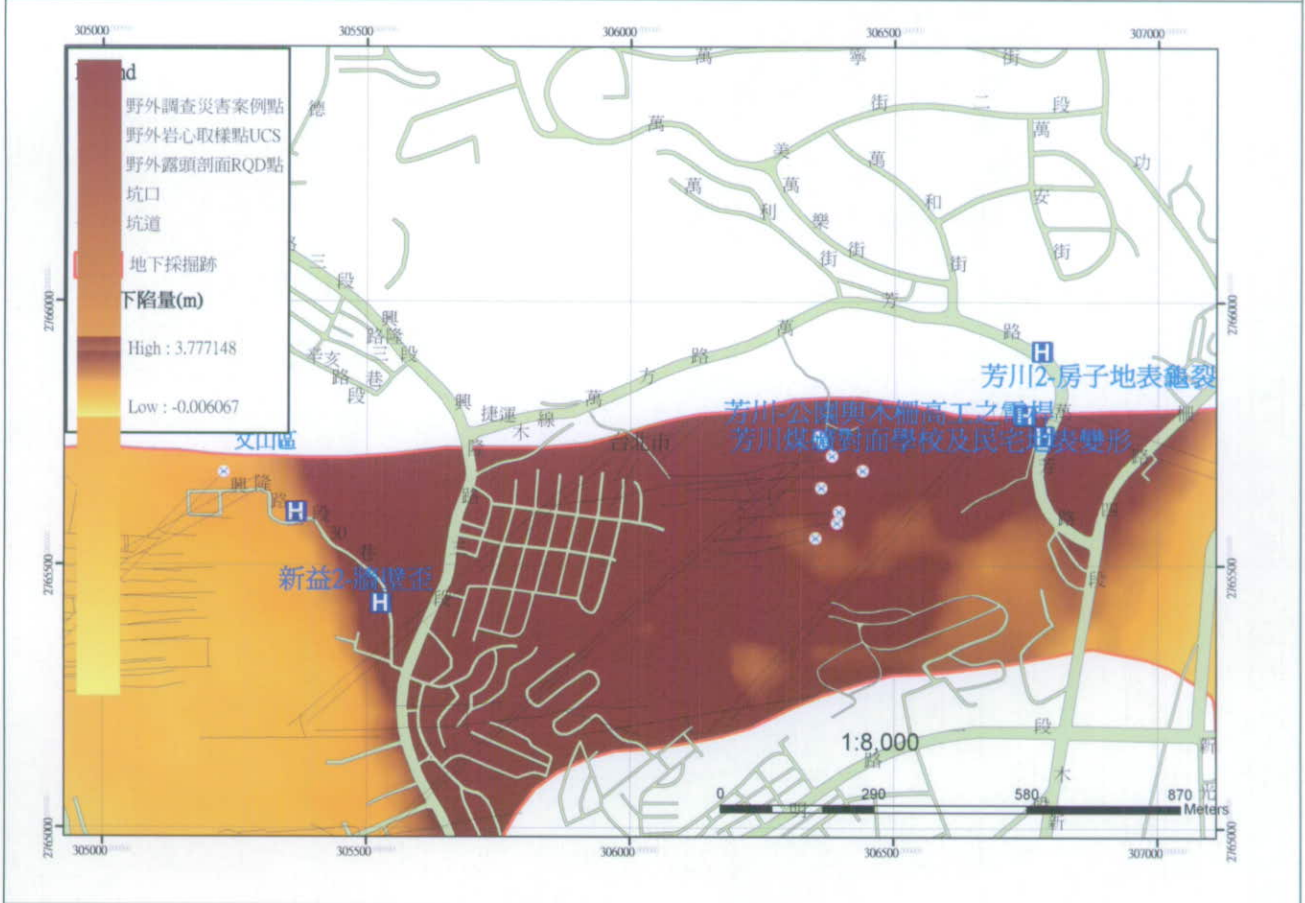


木南煤礦南湖坑採掘跡附近道路之小範圍之塌陷-1

### 12-新益煤礦與芳川煤礦

#### 廢棄坑道現地調查

位置： 新益煤礦-興隆路3段304巷173號27鄰長 芳川煤礦--萬芳路46號	調查人：嚴治民、徐永忠 97/6/26, 7/31, 10/8
礦區名稱/字號 mine name/number	新益煤礦與芳川煤礦
重要描述： 新益煤礦-舊坑口已塌陷，現已新蓋大樓 芳川煤礦-對面木柵高工操場及公園在過去10年前有大範圍地陷情形	





新益煤礦採掘跡無塌陷問題(但附近舊軍舍圍牆不規則彎曲, 鄰家圍牆亦裂開)-1



新益煤礦採掘基附近舊房舍無塌陷問題(但附近舊軍舍圍牆不規則彎曲, 鄰家圍牆亦裂開)-2



新益煤礦無塌陷問題(但附近舊軍舍圍牆不規則彎曲, 鄰家圍牆亦裂開)近照



芳川煤礦坑口現礦



芳川煤礦對面木柵高工操場及公園在過去10年前有大範圍地陷情形且電線桿已傾斜



芳川煤礦萬芳路7號本區持續有地表沉陷現象(洗車坊屋內及水泥地面亦有地表龜裂)-1

13-億達煤礦（三和-三合-北港三坑-友蚋分坑-修記本坑）及 RQ 剖面

廢棄坑道現地調查	
<p>位置：</p> <p>三和煤礦一坑-鄉長路二段 26 巷 12 號</p> <p>合興-北港三坑煤礦-鄉長路二段 180 號-1 鄰鄰長</p> <p>三合煤礦本坑-溪頂街 5 號</p>	<p>調查人：嚴治民、徐永忠</p> <p>97/7/29-30, 10/14, 11/18</p>
<p>礦區名稱/字號 mine name/number</p>	<p><b>億達煤礦</b></p>
<p>重要描述：</p> <p>三和煤礦一坑-附近新增一風坑口，已落盤且積水嚴重，上盤周圍廢棄舊房舍位處陡坡側，且結構不良</p> <p>合興-北港三坑煤礦-住宅後方舊日據時期坑口附近發生崩塌，坑口附近河道旁之山坡曾發生崩塌及滑動現象</p> <p>三合煤礦本坑-住宅結構及牆壁，水泥路面均有龜裂</p>	



億達煤礦(三合煤礦一坑)-風坑口之上盤岩體及土體已落盤且積水



億達煤礦(三和煤礦一坑)-附近新增一風坑口,周圍廢棄舊房舍位處陡坡側,且結構不良



億達煤礦(三和煤礦一坑)-附近新增一風坑口,周圍廢棄舊房舍下方受湧出銹水排入其屋後





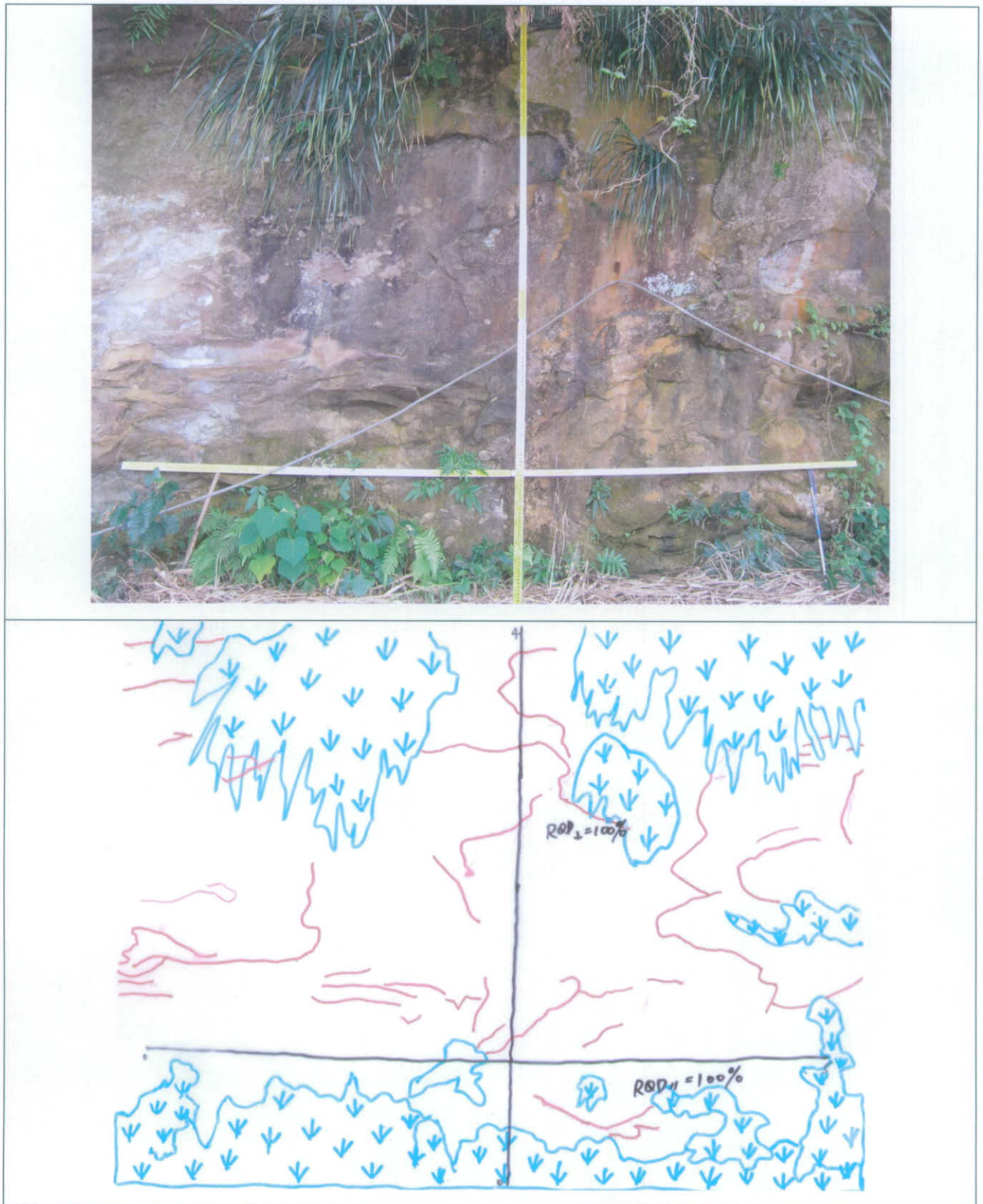
億達煤礦(合興-北港三坑)-坑口附近河道旁之山坡曾發生崩塌及滑動現象



億達煤礦(三合煤礦本坑)塌陷處住家之門柱龜裂

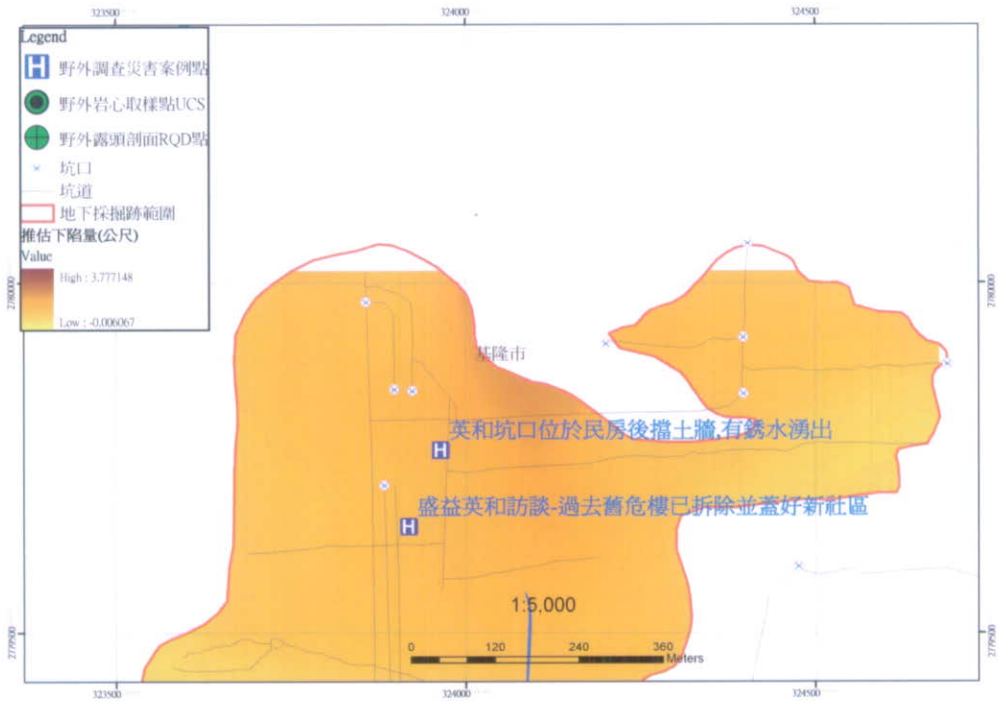


億達煤礦(三合煤礦本坑)塌陷處住家之牆壁龜裂已自行修補



14-盛益-英和煤礦

廢棄坑道現地調查	
位置：基隆市七堵區三坑車站對面南榮路	調查人：嚴治民、徐永忠 97/6/10, 7/22
礦區名稱/字號 mine name/number	盛益-英和煤礦
重要描述：地貌改變甚大已興建大型社區，聲稱無下陷影響	



盛益坑口前已興建完成之住宅位於坑道正上方(92年時尚未興建)。

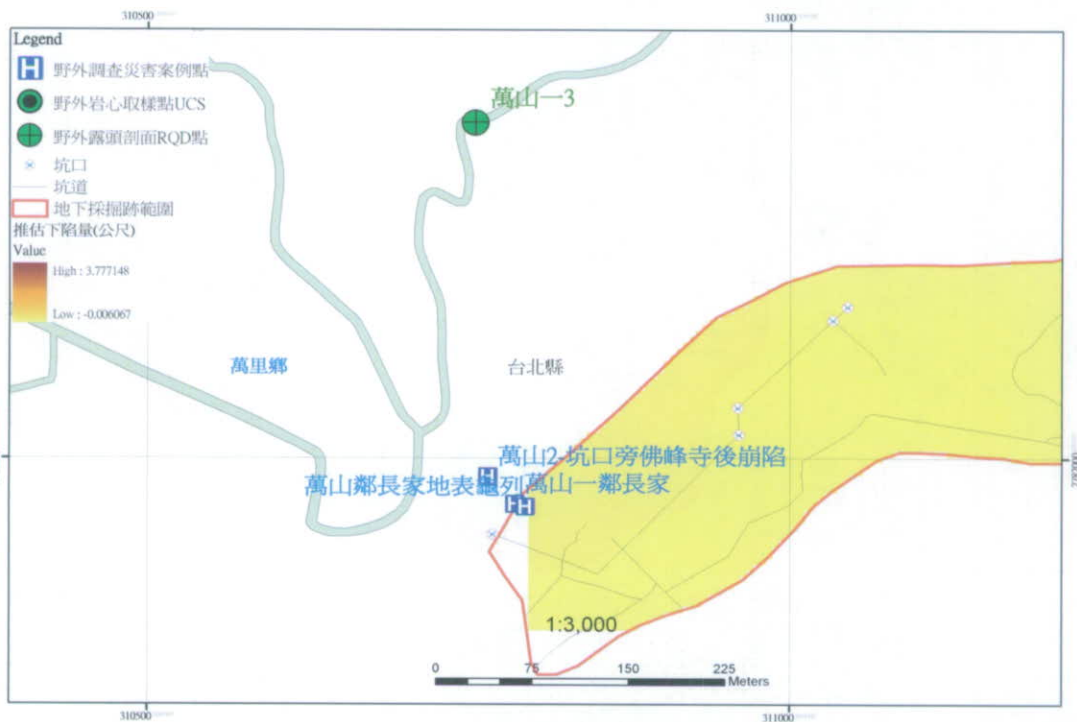


英和坑口位於住宅後方，雖已封閉，但仍有銹水湧出。

15-萬山煤礦

廢棄坑道現地調查

位置：台北縣萬里鄉瑞泉路 2-15 號溪底村 7 鄰	調查人：嚴治民、徐永忠 97/10/21, 10/22, 11/6
礦區名稱/字號 mine name/number	萬山煤礦
重要描述：屋前地表數處凹陷已回填，且地表裂縫甚長，電線桿傾斜，且持續發生；住戶坐落於水平岩層坑口上方	



萬山煤礦張林碧蓮屋前地表數處凹陷已回填，且地表裂縫甚長，電線桿傾斜



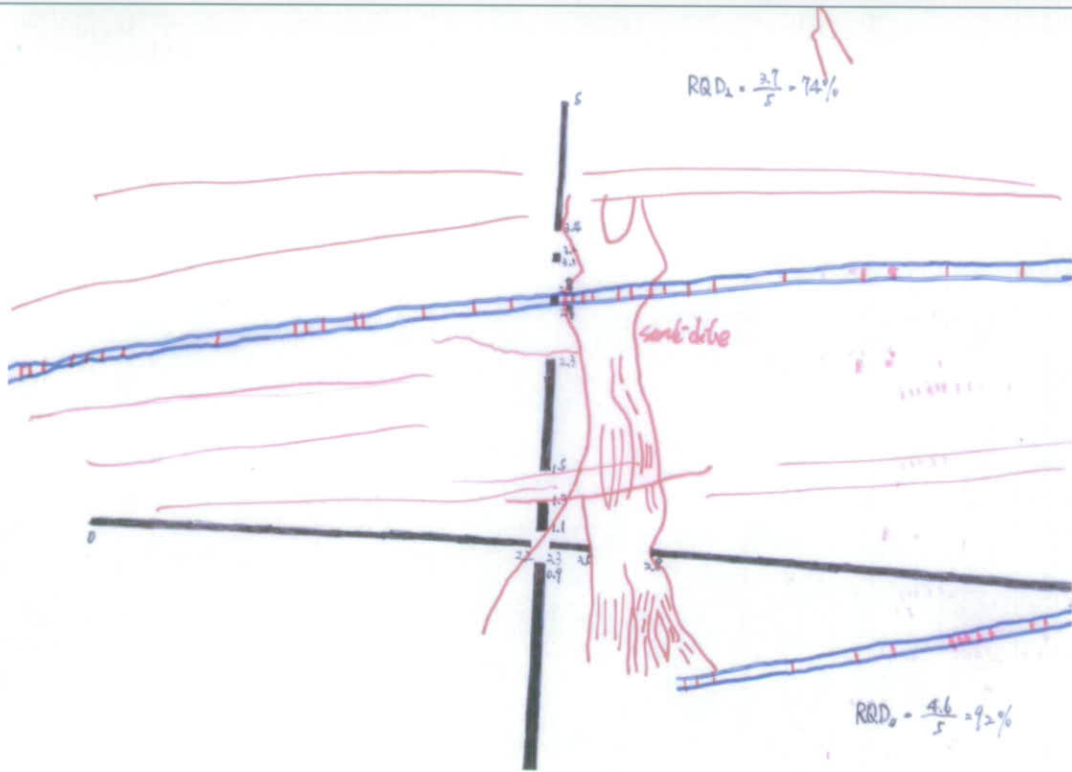
萬山煤礦張林碧蓮屋前地表數處凹陷已回填，且地表裂縫甚長，電線桿傾斜，且持續發生



萬山煤礦張林碧蓮屋前因位處坑道上方，其地表數處凹陷且龜裂持續發生

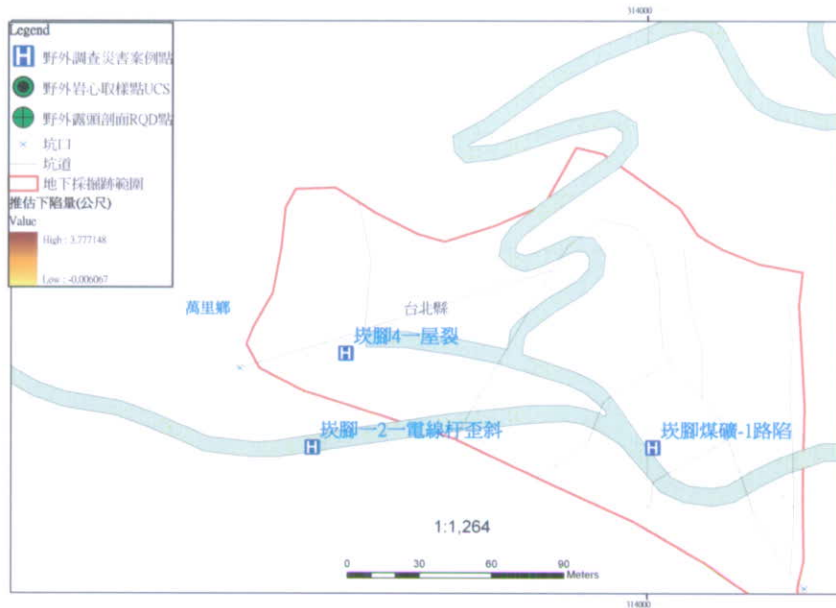


萬山煤礦坑口旁之佛峰寺後方邊坡有落石崩塌現象



16-炭腳煤礦

廢棄坑道現地調查	
位置：台北縣萬里鄉內炭路10號	調查人：嚴治民、徐永忠 97/11/3,11/6
礦區名稱/字號 mine name/number	炭腳煤礦
重要描述：屋前地表數處裂縫甚長，牆壁與舊屋舍亦有多處裂縫，另下方路旁電線桿傾斜，持續發生	



本礦採掘跡面積過小且DTM資料分析結果與現地地貌有出入，無法進行多下陷槽之網格推估



炭腳煤礦郭林秀屋前地表數處裂縫甚長，牆壁與舊屋舍亦有多處裂縫



炭腳煤礦郭林秀屋前舊屋舍亦有多處  
裂縫-4



炭腳煤礦郭林秀屋前舊屋舍亦有多處  
裂縫-1



炭腳煤礦旁電線桿傾斜, 持續發生



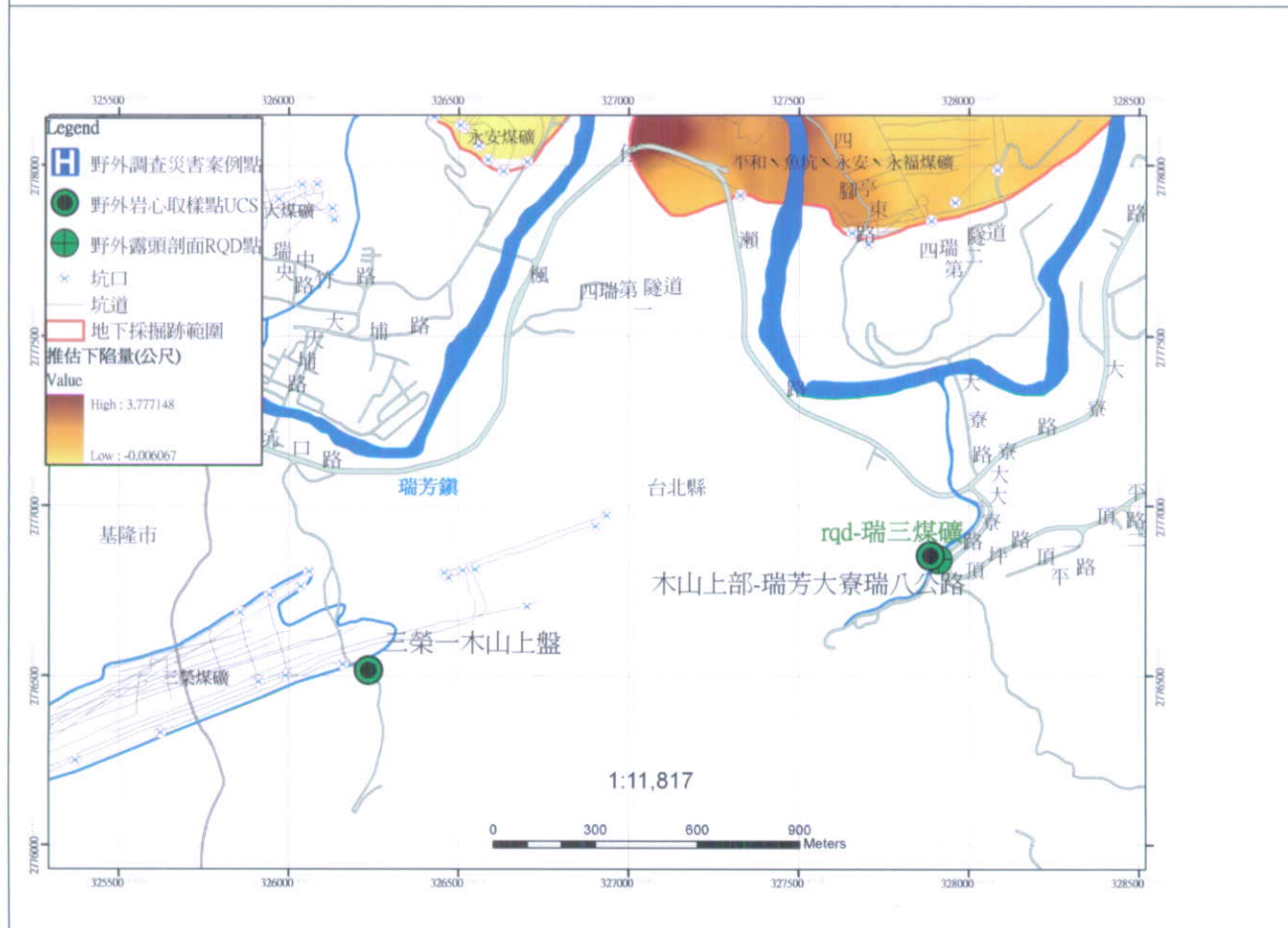
17-木山層岩盤露頭剖面與 RQD-三榮煤礦以及瑞大煤礦

廢棄坑道現地調查	
位置：台北縣瑞芳鎮粗坑路（三榮）以及石底（瑞大，位於瑞芳工業區入口旁小路前進約 100m）	調查人：嚴治民、徐永忠 97/6/30, 7/9-12, 10/16-18, 11/4
礦區名稱/字號 mine name/number	三榮煤礦以及瑞大煤礦

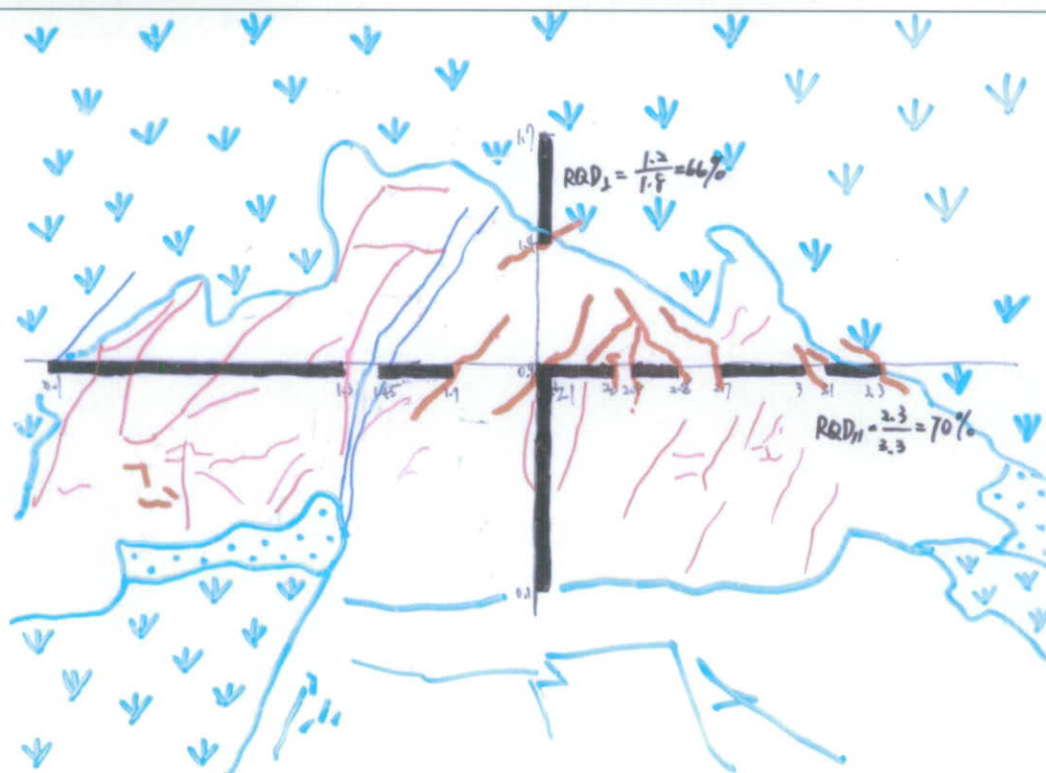
重要描述：

三榮煤礦-木山層煤層上盤剖面出露佳，礦權仍在，過去數十年前在本坑口附近礦工宿舍發生地陷

瑞大煤礦-木山層煤層下盤剖面出露佳



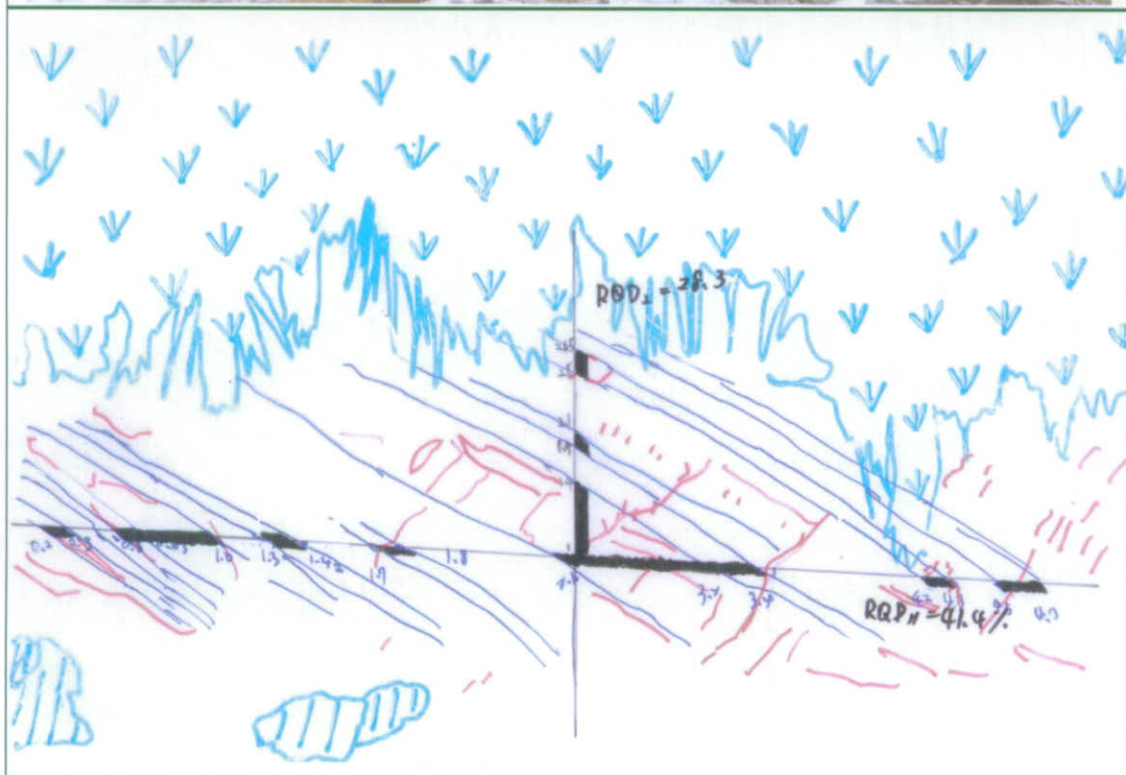
三榮煤礦剖面-1



三榮煤礦剖面-2



瑞大煤礦剖面



#### 四、研擬地盤下陷災害安全評估模式

本計畫主要研究對象為因廢棄坑道（廢棄煤礦坑道）所引發地盤下陷災害潛勢之評估，然廢棄多年的資料不僅因年代久遠而獲得性很低。加上多數廢棄坑道或坑口均已崩毀，甚至無法尋得，顯得可及性更低。所幸國內目前已由經濟部礦務局建置了礦區地下空間資訊的數值資料，其包括坑道聯絡圖（image file）、坑口（point）、地下開採坑道（polyline），以及地下採掘跡（polygon）等空間資訊。因此如何善用這些資料、快速分析模式，進而提供一套適用於台灣地區之地盤下陷災害潛勢評估可說是當務之急。因此這項安全評估之應用層面不僅在工程實務領域，更對國土未來規劃，以及都市再更新之土地利用評估方面，扮演了相當重要的參考依據。

在地質法草案（96.5.2）第六條明訂「中央主管機關得將有發生地質災害之虞之地區，公告為地質敏感區」，而本計畫主要工作即是針對這類存在於地下空間之地質資訊、採礦資訊等進行其空間分析，了解地下幾何分布位態，進而將相關因子組成輔以GIS圖層運算後，提供災害潛勢分布圖層。然而目前在地質敏感區中極度缺乏地下地質這一環資訊與知識、技術的引入，且地下未知的空間探尋，常需耗費龐大資源與經費，例如圖資來源、地表勘查、監測技術，乃至於工址開發前之地質鑽探等，。然其結果往往事倍功半，對於地下自然實體的詮釋很容易流於主觀判斷與喋喋不休的爭論中。因此，考量上述幾個重要層面的影響，本計畫另一重要工作即為研擬地盤下陷災害之安全評估模式。

##### （一）國外之安全評估模式分析

歐美國家長年來針對煤礦的地下開採所造成的地盤下陷災害一直有長期的監測與投入研究，特別是對民眾居家與周圍環境有安全疑慮之處，可說是不遺餘力。例如美國內政部地質調查所（USGS, D.O.I., U.S.）、交通部聯邦高速公路管理局（FHWA, D.O.T.）以及英國的National Coal Board（簡稱N.C.B.）等有關機構相當重視此類礦區地表的地盤下陷潛在災害研究，特別是對都市開發、土地利

用、道路工程建設以及環境變遷與整治之影響層面。美國科羅拉多州地質調查所 (Colorado Geologic Survey) 早在 1975 年就已針對煤礦地下開採所導致之地盤下陷災害列出地盤下陷災害的評估要素與等級分類表 (圖 53 與表 10)。其在地盤下陷災害對地表所產生之影響觀念恰好與一般人的觀念相反，主要原因是地盤下陷災害常以潛在性的累積而被忽略，一旦發生，往往迅雷不及掩耳。A. R. Myers 等 (1975) 建議在評估地盤下陷災害時需蒐集一些必備資訊。例如煤柱分布圖、開採深度圖、岩層等厚度圖、煤層柱狀圖、岩石物理性質，以及相關地下岩芯資料與歷史災害的普查紀錄等等。根據這些資本資訊才能判斷地盤下陷災害的潛勢與等級大小，主要流程如圖例如在地盤下陷災害等級分類上主要依據下列因素來判定：(1) 地下煤柱存在與否？(2) 上覆岩層的厚度 (3) 開採煤層的厚度 (4) 開礦的作業時程，以及 (5) 相關地質構造的影響 (如斷層或褶皺等不連續面的破裂帶)。然而在一些資訊無法或極不容易取得時 (例如 (2), (3) 項因素) 可由下表區分潛在災害等級，並根據需求請專業機構來進行探查。表中「嚴重」等級者即意味著：尚未發生地盤下陷的災害情事反而是最需要監測與關注的對象；而等級「低度」者 (即已發生地盤下陷者) 代表著可透過一些適當的工程方法來治理或解決對地上結構物的傷害。

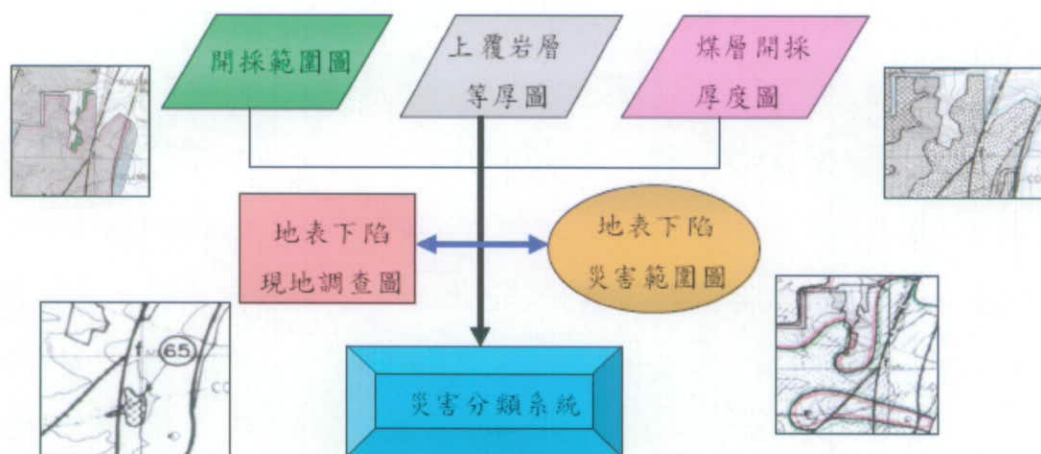


圖 53 地盤下陷安全評估流程

表 10 美國科羅拉多州地質調查所建議地盤下陷安全評估等級表(1975)

災害等級	主要特徵	影響描述	土地利用類別建議
高度	1. 礦柱的存在 2. 地下空洞的證據 3. 缺乏地盤下陷的跡象	對居民生命與地上建築物有立即的影響與危害	1. 農業用地 2. 開放空間(公園、公共建物等)
中度	在地下開採區範圍已有地盤下陷災害的相關紀錄與文獻	地盤下陷可能或足以造成地上建物的結構安全影響以及不穩定(屬於有災害潛力)	1. 農業用地 2. 開放空間(公園、公共建物等) 3. 低密度人口或住宅區
低度	1. 礦柱已經移除 2. 地盤下陷活動已經完全停止	可經由適當的工程技術來解決或降低災害發生的規模與影響範圍	

近年來，美國俄亥俄州交通局於 1998 年出版之“Manual for Abandoned Underground Mine Inventory and Risk Assessment”即是有鑒於此類廢棄坑道對地上建物、交通要道的影響，乃至於威脅到民眾生命安全與財產損失等等問題，才研擬出此安全評估模式。該方法主要分為初步評估、細部評估、優先評估等三個漸進步驟劃分哪些區域屬例常性監測者，哪些區域屬有立即性之安全虞慮而需進一步處理或採復原修繕者。而評估群組分為五大群組：地表變形特徵、礦區開採坑口及方式、高級分(較危險者，指初步評估前十位高積分所在區位者)、低級分(需持續觀察者)，以及無須評估者等五組。而前兩者決定了哪些區位的評估優先順序，並依重要性進入優先評估之調查流程。此作業手冊的主要評估因子係依其對地上建物或道路設施的危害程度分別賦予權重與等級，包括礦區幾何因子((開採區位-開採方式-開採礦層厚度-上覆岩體厚度…等)、地質問題以及地下水情形等。由此可見，國外在此地下開採空間對地盤下陷災害的嚴重性問題，相當重視且不遺餘力。

## (二) 國內之安全評估模式

台灣地區的發展近數十年來已達高密度的土地利用，從空間尺度來看，這些區域可能與舊有地下開採的礦區重疊或位於鄰近。從時間尺度來看，土地開發隨著時間的演變，使的現在這些人口集中的現代都會區，不知不覺的隱藏了潛在地下的危機。以基隆市的煤礦為例，這些鮮為人知的地下開採面積卻有部份集中於都市土地利用範圍（圖 54）。而在國土地理資訊系統中（NGIS）也對這類資料較少開放，主要原因還是土地用敏感問題。

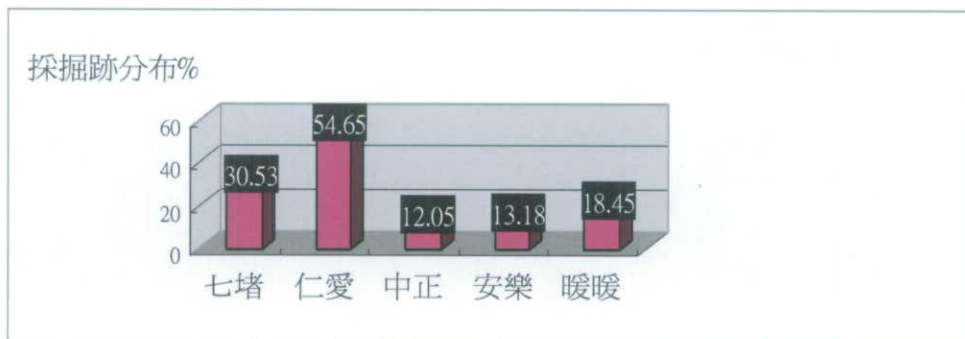


圖 54 基隆市各行政區之地下採掘跡面積佔行政區面積之百分比統計

國內目前在土地開發與礦區地盤下陷有關之環境安全範圍規範可見於礦業法規（已廢除）與建築技術規則的條文中，雖然法規引用之數據上基於國外案例經驗，但仍足見其在公共工程與民生安全議題上的重要性。然而假如依據相關法規的限制範圍，那麼現有的土地利用分區將有大部分落在限制範圍，因此如何界定潛在災害範圍與限制開發種類是需要重新檢討的。現將既有國內引用規定說明如下：

### (1) 舊有之礦業法規「台灣地區礦害預防及處理辦法」：

坑道部份以礦區採掘跡範圍及其周圍 60 公尺，並以採礦層距離地表垂直深度 100 公尺內範圍為高潛在災害區（圖 55）；再由高潛在災害區外圍水平距離 15 公尺寬度之緩衝帶為低潛在災害區。



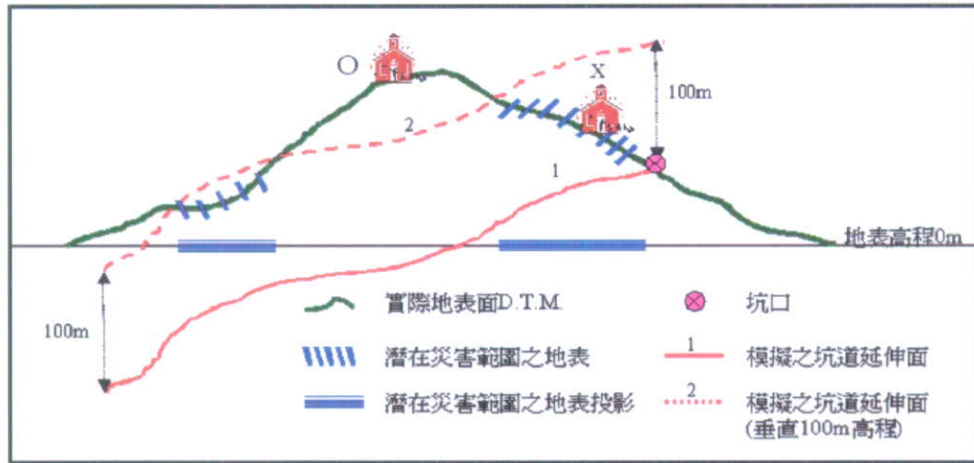


圖 55 舊有之礦業法規之距坑道垂直高度 100m 高潛感區示意圖

(2) 建築技術法規「建築技術規則建築設計施工篇」--第 262 條第四項—有危

害安全之礦場或坑道：

- a. 在地下坑道頂部之地面，有與坑道關聯之裂隙或沉陷現象者，其分布寬度兩側各一倍之範圍。
- b. 建築基礎（含樁基）面下之坑道頂覆蓋層在下表範圍者（圖 56）：

岩 磐 健 全 度	坑道頂至建築基礎面之厚度
$RQD > 75\%$	$< 10 \times \text{坑道最大內徑}(m)$
$50\% \leq RQD < 75\%$	$< 20 \times \text{坑道最大內徑}(m)$
$RQD < 0\%$	$< 30 \times \text{坑道最大內徑}(m)$

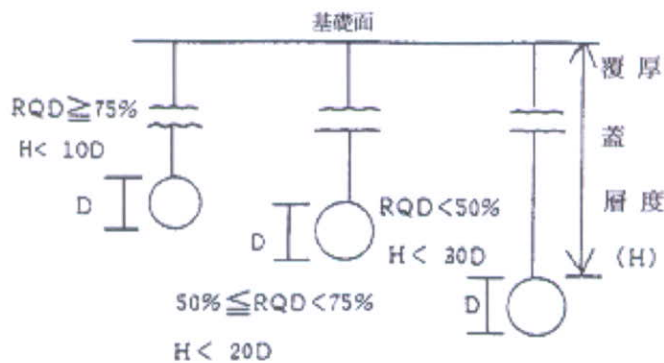


圖 56 建築基礎（含樁基）面下之坑道頂至建築基礎面之厚度與 RQD 關係示意圖

### (三) 本計畫研擬之地盤下陷災害安全評估模式

本計畫考量前述”Manual for Abandoned Underground Mine Inventory and Risk Assessment” (ODOT, USA, 1998) 之適用性與實用性，引用並修改其評估流程如圖 57 所示：

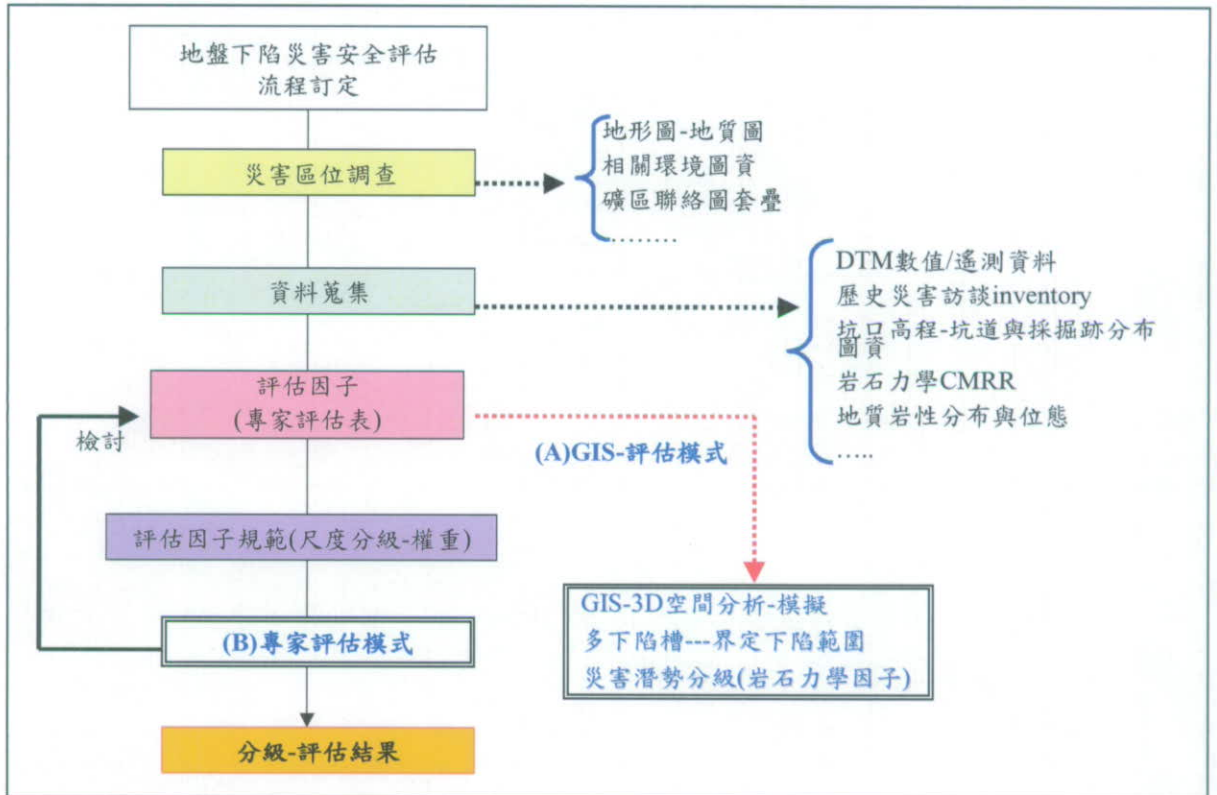


圖 57 本計畫研擬之地盤下陷安全評估流程

圖中顯示兩種評估模式，一為專家評估模式，另一為 GIS-3D 分析模式。之所以考量次二類模式共存，主要係基於礦區地下空間資訊雖以數值化，然有些評估資訊必須藉由電腦分析模組如 GIS 相關軟體進行輸入與分析，方能獲得並進一步予以圖層計算。例如評估區位所須之上覆岩體等厚圖、地表高程，以及地下採掘跡或地下坑道之分布位態等等資料，均需仰賴此類電腦模組之強大空間分析功能。因此兩者模式所分析評估之結果可進行比較驗證，再予以適當修正。GIS-3D 空間分析模式（如圖 58 所示）已於本年度工作研發完成，並試作地盤下陷災害潛勢分析成果圖。而專家評估方式係以實際於現地勘查操作之初步成果，可快速在局部區域性場址調查時進行評估，特別是對每位評估者並非全然熟捻 GIS 軟體之操作情形下，更顯得需要這類評估模式。

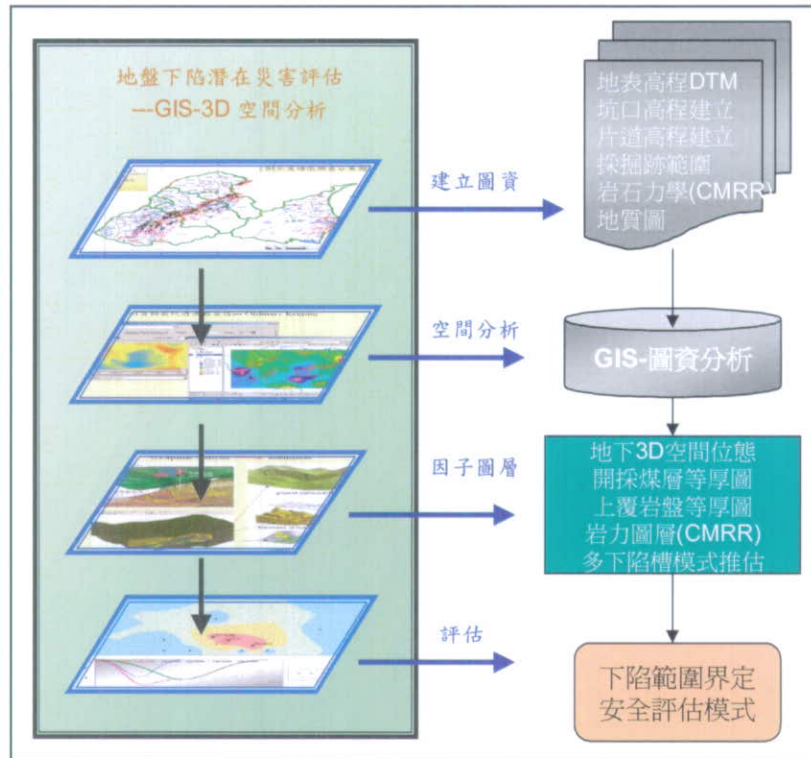


圖 58 地盤下陷災害 GIS-3D 安全評估流程

現將本計畫研擬之專家評估模式說明如圖 59 所示，專家評估法之評估因子分為四大組列於表 11，包括地盤下陷徵兆、礦區（幾何）因子、地質因子，以及地下水因子等組別。各組別之細部因子與權重之賦予主要是考量台灣目前現有資料是否充足，以及其具有關鍵決定之重要性而列於表 12。

表 11 專家評估法之評估因子分組

評估因子組別	評估項目
地表變形	張力裂隙、拖曳/變形、落盤或地表塌陷、不尋常之植被、建物崩害、人為開發或建物荷重
礦區開採	礦坑的型態
	上覆岩體厚度 $H$
	礦層厚度 $M$
	上覆岩體厚度 $H$ ：礦層厚度 $M$ (比值)
	礦上關閉封礦的時間
	礦上關閉封礦之方法
地質問題	當初開礦時期的地質問題
地下坑道排水	抽水或湧泉

有關各係項評估因子定義與尺度分級規範說明如下：

### 1-地表變形徵兆評估組別因子

定義：係指過去及現有下列活動之點或區域，其包括地表之張力裂隙、拖曳/變形、落盤，或不尋常之植被、建物損害、人為開發之建物荷重下陷、不規則的排水（包括銹水湧出）等徵兆均與礦山開挖相關。

規範：如於場址勘查或訪談時有此現象者則予以 10 分，代表不利條件；如無者則予以 1 分，表示有利條件；權重予以 0.5。

### 2-礦區開採（幾何）評估組別因子

定義：本評估組別之係項評估因子包括：礦坑的型態、上覆岩體厚度  $H_r$ 、礦層厚度  $M$ 、上覆岩體厚度  $H_r$  與礦層厚度  $M$  (比值)、礦山關閉(封礦)的時間(年)，以及礦山關閉(封礦)之方法等六項評估因子，組別權重賦予 0.3。其細項說明如下：

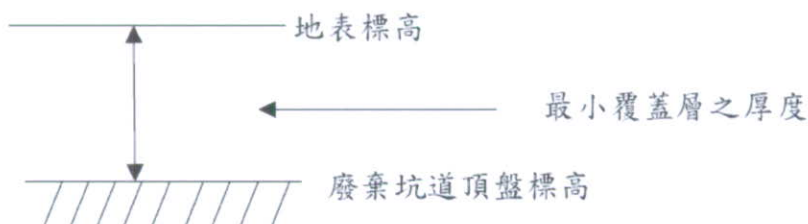
(1) 礦坑的型態：係指場址周圍或下方之原先礦坑的型態對安全的影響。

規範：礦坑型態與開採方式有關，且台灣地區多為斜坑開採以及平水坑開採，僅清朝時期有直井開採。直井開採對地表有直接災害之影響，而斜坑開採通常造成地下採掘範圍廣泛，因此此二者對安全影響也較大。其尺度分級如下：

尺度分級	直井（垂直）坑道 —— 10分(不利條件)
	斜井坑道 —— 8分
	平巷（水平）坑道 —— 6分(有利條件)

(2) 上覆岩體 (最小覆蓋層) 厚度  $H_r$  : 係指地表至廢棄礦坑洞穴上盤之間的最小垂直間距。

規範：本規範係影響下陷的潛勢，在各類型之評估方法中均視為相當重要考量之幾何因子。其尺度分級如下：



$H_r < 7.5\text{m}$	10(不利)
$7.5\text{m} < H_r < 15\text{m}$	8
$15\text{m} < H_r < 30\text{m}$	5
$H_r > 30\text{m}$	1(有利)

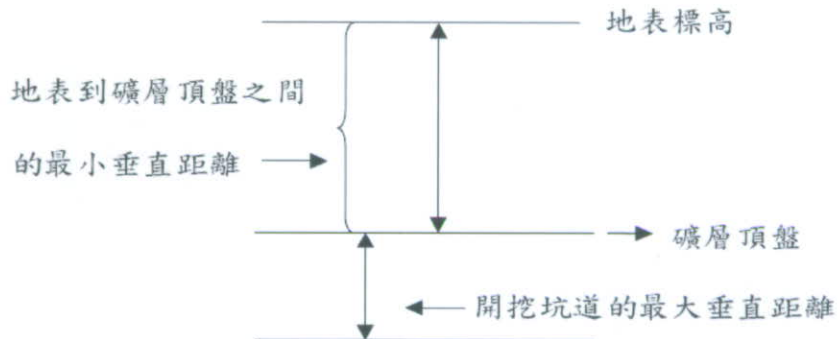
(3) 礦層厚度  $M$  : 係指礦山的開採厚層，可指示地表變形的可能性，概估廢棄礦坑之最大開採層厚 (空洞高度) 的資訊來自各礦山圖、相關單位 (地調所、礦務局) 及過去礦山之工作人員。

規範：本規範係影響下陷的潛勢，在各類型之評估方法中均視為相當重要考量之幾何因子。其尺度分級如下：

$M > 2\text{m}$	10(不利)
$1\text{m} < M < 2\text{m}$	5
$M < 1\text{m}$	1(有利)

(4) 上覆岩體厚度  $H_r$  與礦層厚度  $M$ (比值)：係指地表至廢棄坑道頂盤之間的垂直距離和坑道開挖之最大厚度或垂直距離之比值 (ratio)。

規範：本規範可用以指示地表下陷的差異程度 (性)，亦為相當重要考量之礦區幾何因子。其尺度分級如下：



ratio < 5	10(不利)
5 < ratio < 11	5
ratio > 11	1(有利)

(5) 礦山關閉(封礦)的時間(年)：係指礦坑廢棄後的歷經時間。

規範：，其反應開採方式，廢棄後的崩落破壞，及未有記錄而有相當的差異影响。其尺度分級如下：

>20 年	10(不利)
10~20 年	5
<10 年	1(有利)

(6) 礦山關閉(封礦)之方法：係指礦山封礦時之穩定物料種類。

規範：本規範可用以指示地下空洞之支撐有無，以及對地盤下陷的影響程度(性)。其尺度分級如下：

未知(未有資料)	10(不利)
木材物料或支撐	8
未控制的任意充填	6
混凝土橫樑	4
控制的回填	2(有利)

### 3-地質組別因子

定義：係指廢棄礦山有關地質的不穩定狀況，其包括來自上覆岩層的地下水垂直移動；沿煤層水平地下水的移動；開採地層的不穩定性；及開採空間上覆的地層狀況。

規範：

是	10(不利)
不是或不知道	0(有利)

### 4-地下水組別因子

定義：在廢棄坑道處的最近和過去具有地下水位之變化。廢棄空洞之排水以及其後的地下水移動和再注入，不論天然或人為活動造成，以致危害廢棄坑道的支撐構造，和土壤岩石的穩定性或完整性

規範：水位之變化分為：抽水或湧泉-積水-少量或乾。

抽水或湧泉	10(不利)
積水	8
少量或乾	1(有利)

專家評估法經由上述因子訂定(可經多次專家會議討論)後,可製成如下

表 12 進行對某一場址之地盤下陷安全評估。

表 12 專家評估法之各項評估因子尺度分級與權重賦予

地盤下陷災害安全評估表		座標 X:	Y:	評分(25)
礦區名稱/字號:烘內坑煤礦	評估組別	評估項目與分級尺度	得分	
地表變形 (權重0.5)		不利(有) 10 ← 礦坑的型態 → 1(無)利		10
		張力裂隙、拖曳/變形、落盤或地表塌陷、不尋常之植被、建物損害、人為開發或建物荷重		
		不利 10 ← 8 → 有利		8
		坑口上方或附近 ← 主斜坡 → 水平坑/平巷		
		不利 10 ← 8 → 有利		8
		← 7.5m → 15m → 30m →		
		不利 10 ← 5 → 有利		1
		← 2m → 1m →		
		不利 10 ← 5 → 有利		5
		← 5 → 11 →		
礦區開採 (權重0.3)		不利 10 ← 5 → 有利		5
		← 5 → 10年 →		
		不利 10 ← 5 → 有利		5
		← 20年 → 10年 →		
		不利 10 ← 8 → 有利		6
		← 6 → 4 → 2 → 有利		
		未知(未有資料) ← 未控制或支撐 → 未控制的任意充填 → 混凝土橫樑 → 控制的回填		
		不利(是) 10 ← 0(不是或不知道)有利		0
		不利 10 ← 8 → 有利		8
		← 抽水或湧泉 → 積水 → 少量或乾 →		
地質問題 (權重0.1)		當初期礦時期的地質問題	0	
地下坑道排水 (權重0.1)		← 抽水或湧泉 → 積水 → 少量或乾 →	8	
合計		90	51	15.7



#### (四) 第二類廢棄坑道

有關本計畫第二類坑道係屬廢棄之鐵、公路隧道為主之廢棄坑道，此等類別坑道與前述之煤礦地下開採坑道在結構上是不相同的。就土地利用而言，第二類隧道多位於山區，且在廢棄後已被地方政府收回或租用（如鐵路局之后豐隧道），並朝觀光與休閒方面發展，因此仍有進行某種程度之安全維護與坑內清潔保養。就坑道結構而言，第二類者其坑道內壁均有良好之襯砌防護，因此在廢棄後即使無人維護，仍與煤礦之坑道僅以相思樹之坑木支撐而有所不同。煤礦坑內之支撐坑木容易因地下水滲漏而急速發生腐蝕、毀壞，因而引發上覆岩體的下陷與崩落。而以在北台灣相當著名之觀光景點—劉銘傳隧道(圖 59)，在基隆市政府努力維護與包裝之下，兼具有維護古蹟和觀光休閒之多元功能。因此本年度經與鐵路局、公路局行文洽詢結果，僅於苗栗新竹一帶有廢棄之鐵路隧道，且有的已經變更為觀光休閒之鐵馬隧道（上述之后豐隧道）。如以煤礦地下開採造成地表之地盤下陷災害相較之下，第二類廢棄坑道反而是以山崩或落石等潛在之地表災害類別為主。



圖 59 第二類廢棄坑道：基隆市劉銘傳隧道（獅球嶺隧道）因有良好之坑壁襯砌以及地方政府之維護，現為知名古蹟與觀光景點

## 五、D-inSAR 影像分析成果

本計畫分別以已購得的 ERS-2、ENVISAT 及 ALOS 影像共 5 對進行北臺灣 D-InSAR 的實作，使用的三種影像圖幅範圍皆為降模式 (descending mode) 拍攝之影像。主、副影像對的影像種類、垂直基線長的絕對值和取像間隔時間如表 13 所示，以下分別呈現各個影像對的實作成果。

表 13 差分干涉影像配對表

配對編號	影像種類	主影像日期	副影像日期	B <sub>⊥</sub>   (公尺)	日期差距 (天)
1	ERS-2	1999/11/13	1999/12/18	170	35
2	ENVISAT	2007/07/14	2007/12/01	318	140
3	ENVISAT	2007/12/01	2008/01/05	703	35
4	ENVISAT	2007/12/01	2008/02/09	5	70
5	ALOS	2007/11/30	2008/01/15	594	46

### 1. 配對 1：ERS-2 影像 1999/11/13 與 1999/12/18 之實作成果

以 D-InSAR 分析北臺灣 1999/11/13 與 1999/12/18 之間雷達視距方向地表變形量的結果如圖 60 所示，圖中非白色的區域為經過雜訊濾除後所保留之同調性較高的地區。由於此時期地調所 GPS 追蹤站尚未開始記錄資料，因此僅能以視距方向變形量來進行分析及探討。

本計畫亦將下陷槽理論推估的下陷等值線圖與 D-InSAR 的分析結果進行套疊，細部來看中和東運資土礦的高程變化狀況。但由於 D-InSAR 計算的下陷量與下陷槽理論推估的下陷量，兩者時間尺度不同，因此僅能觀察兩者下陷的位置和趨勢是否一致，來互相驗證兩者的關聯性。由圖 61 可知下陷槽理論推估的下陷

區內 D-InSAR 確實有監測到下陷的狀況，不過下陷槽理論推估的下陷中心與 D-InSAR 監測的下陷中心位置有差異。

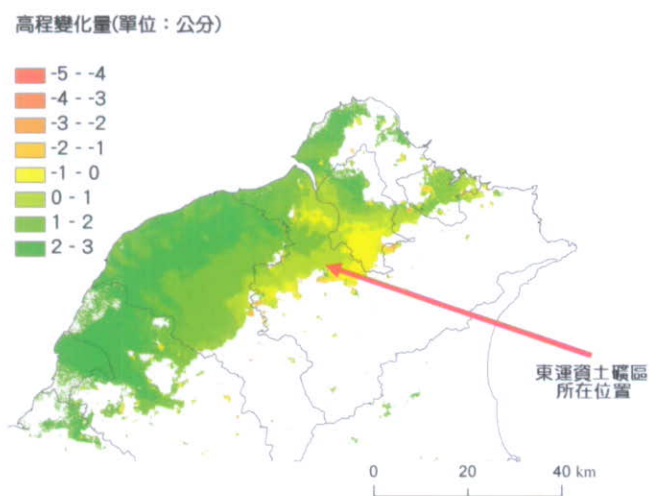


圖 60 以 D-InSAR 監測 1999/11/13 至 1999/12/18 北臺灣雷達視距方向地表變形量之結果

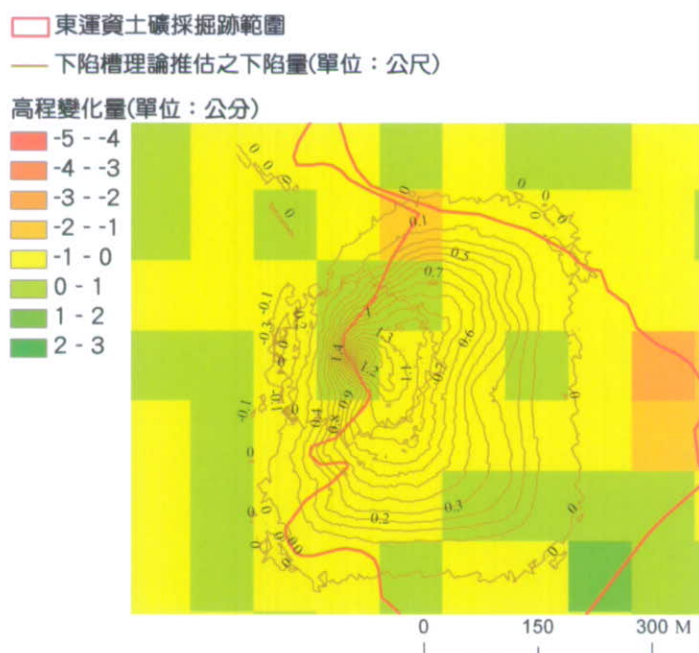


圖 61 下陷槽理論推估之下陷量與 D-InSAR 監測 1999/11/13 至 1999/12/18 雷達視距方向地表變形量之套疊結果圖

## 2. 配對 2：ENVISAT 影像 2007/07/14 與 2007/12/01 之實作成果

以 D-InSAR 分析北臺灣 2007/07/14 與 2007/12/01 之間垂直方向地表變形量的結果如 62 圖所示，圖中同時顯示 D-InSAR 結果與 GPS 結果的誤差量，箭頭往上代表 D-InSAR 變形量較 GPS 變形量大，往下代表 D-InSAR 較小，而箭頭長度愈長代表誤差量愈大，由圖 62 亦可知離目標區東運資土礦最近的 GS01 點位附近，其與 GPS 誤差量約為 1.2 公分。而以圖 62 中所有 GPS 站測量的變形量相比，D-InSAR 結果的 RMS 值約為 2.43 公分。

雖然配對 2 的時間相隔為 140 天，但推測由於垂直基線長與理想的 100 公尺並非相距甚遠且大氣條件及地表乾濕條件接近，因此得到理想的干涉條紋，全幅影像的同調性高。

本計畫在此亦將下陷槽理論推估的下陷等值線圖與 D-InSAR 的分析結果進行套疊，細部來看中和東運資土礦的高程變化狀況。同樣由於 D-InSAR 計算的下陷量與下陷槽理論推估的下陷量，兩者時間尺度不同，因此僅能觀察兩者下陷的位置和趨勢是否一致，來互相驗證兩者的關聯性。由圖 63 可知下陷槽理論推估的下陷區內 D-InSAR 確實有監測到下陷的狀況，不過下陷槽理論推估的下陷中心與 D-InSAR 監測的下陷中心位置有差異。

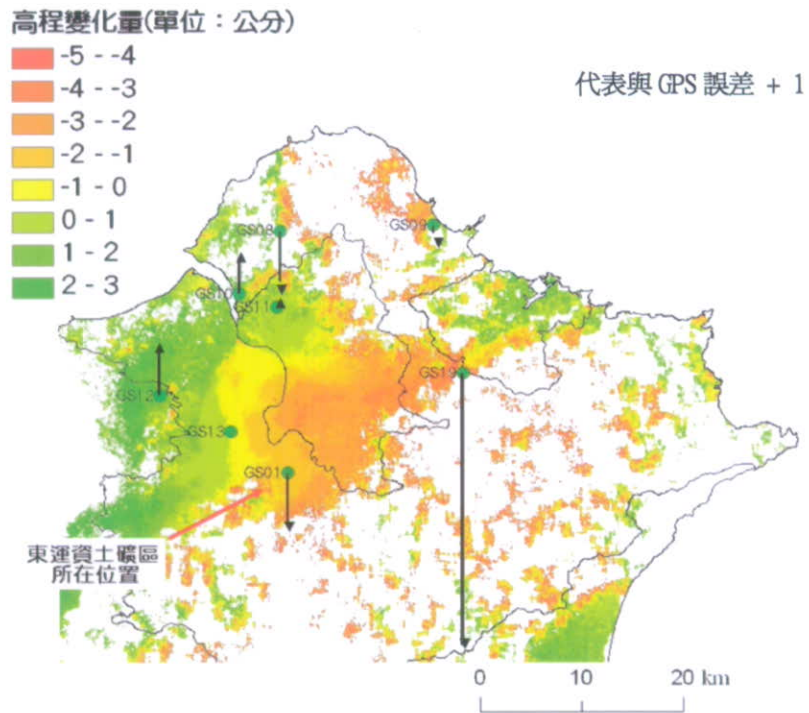


圖 62 以 D-InSAR 監測 2007/07/14 至 2007/12/01 北臺灣地表變形量之結果

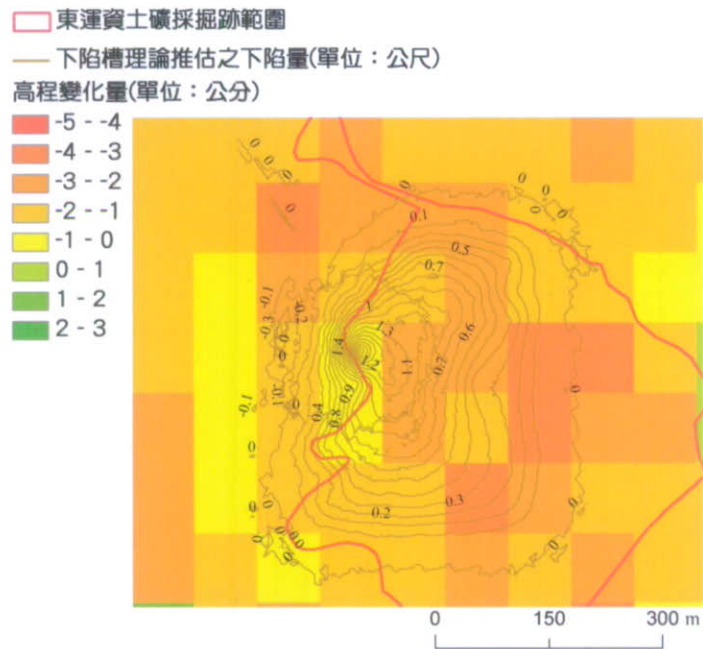


圖 63 下陷槽理論推估之下陷量與 D-InSAR 監測 2007/07/14 至 2007/12/01 垂直方向地表變形量之套疊結果圖

### 3. 配對 3：ENVISAT 影像 2007/12/01 與 2008/01/05 之實作成果

以 D-InSAR 分析北臺灣 2007/12/01 與 2008/01/05 之間地表變形量的結果如圖 64 所示，雖然配對 2 的時間相隔僅有最小的 35 天，但由於垂直基線長超過 700 公尺，與理想的 100 公尺相距甚遠，因此全幅影像的同調性皆不高，可能造成配對 2 的 D-InSAR 結果不理想。而以圖 64 中所有 GPS 站測量的變形量相比，D-InSAR 結果的 RMS 值約為 3.95 公分。

本計畫在此亦將下陷槽理論推估的下陷等值線圖與 D-InSAR 的分析結果進行套疊，細部來看中和東運資土礦的高程變化狀況。同樣由於 D-InSAR 計算的下陷量與下陷槽理論推估的下陷量，兩者時間尺度不同，因此僅能觀察兩者下陷的位置和趨勢是否一致，來互相驗證兩者的關聯性。由圖 65 可知下陷槽理論推估的下陷區內 D-InSAR 確實有監測到下陷的狀況，不過下陷槽理論推估的下陷中心與 D-InSAR 監測的下陷中心位置有差異。

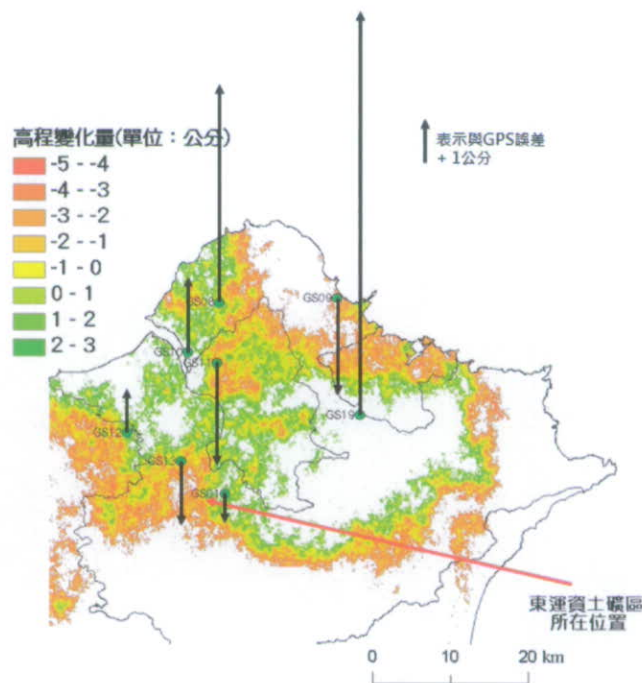


圖 64 以 D-InSAR 監測 2007/12/01 至 2008/01/05 北臺灣地表變形量之結果

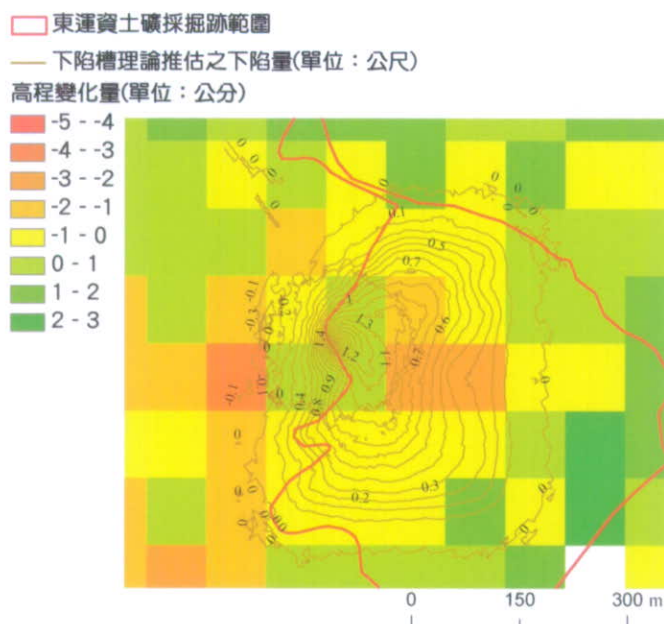


圖 65 下陷槽理論推估之下陷量與 D-InSAR 監測 2007/12/01 至 2008/01/05 地表變形量之套疊結果圖

#### 4. 配對 4：ENVISAT 影像 2007/12/01 與 2008/02/09 之實作成果

以 D-InSAR 分析北臺灣 2007/12/01 與 2008/02/09 之間地表變形量的結果如圖 66 所示，雖然配對 3 的垂直基線長小於 100 公尺，但時間相距 70 天，也因此全幅影像的同調性亦不高，使配對 3 的 D-InSAR 結果亦不盡理想。而以圖 66 中所有 GPS 站測量的變形量相比，D-InSAR 結果的 RMS 值約為 4.24 公分。

本計畫在此亦將下陷槽理論推估的下陷等值線圖與 D-InSAR 的分析結果進行套疊，細部來看中和東運資土礦的高程變化狀況。同樣由於 D-InSAR 計算的下陷量與下陷槽理論推估的下陷量，兩者時間尺度不同，因此僅能觀察兩者下陷的位置和趨勢是否一致，來互相驗證兩者的關聯性。由圖 67 可知下陷槽理論推估的下陷區內 D-InSAR 確實有監測到下陷的狀況，不過下陷槽理論推估的下陷中心與 D-InSAR 監測的下陷中心位置仍有差異。

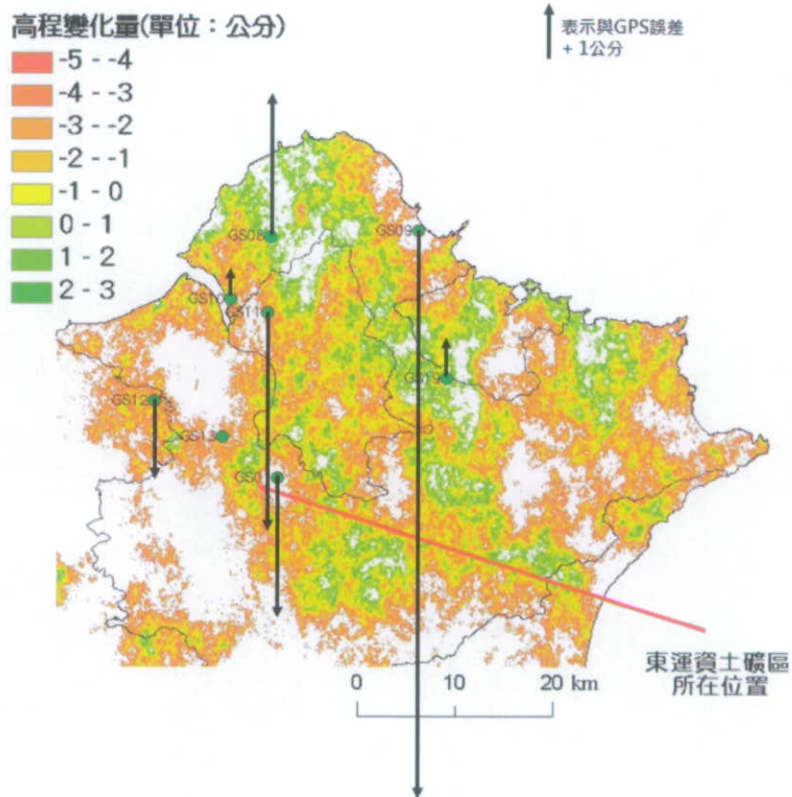


圖 66 以 D-InSAR 監測 2007/12/01 至 2008/02/09 北臺灣地表變形量之結果

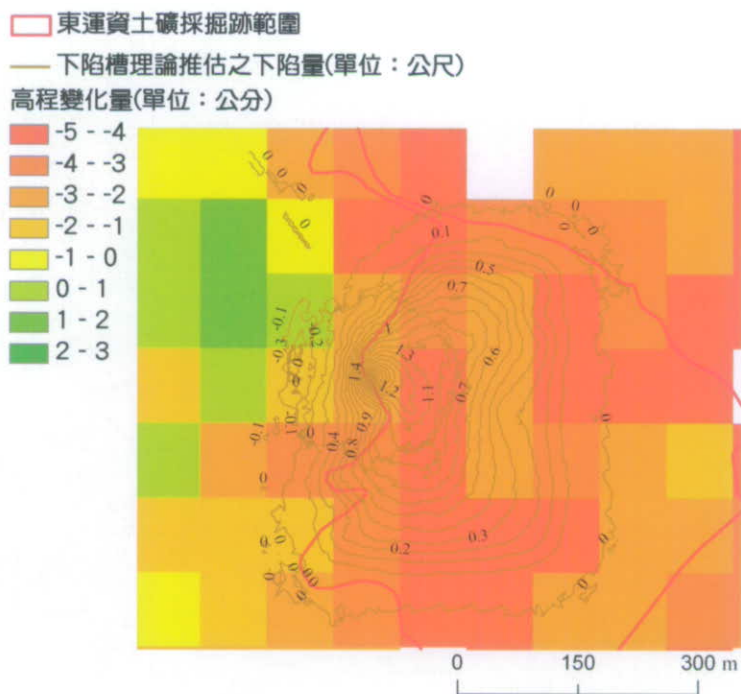


圖 67 下陷槽理論推估之下陷量與 D-InSAR 監測 2007/12/01 至 2008/02/09 地表變形量之套疊結果圖



## 5. 配對 5：ALOS 影像 2007/11/30 與 2008/01/15 之實作成果

以 D-InSAR 分析北臺灣 2007/11/30 與 2008/01/15 之間的同調性圖與差分干涉圖分別如圖 68 及圖 69 所示。目前臺灣各相關單位對 ALOS 影像的處理技術多在研發階段，因此較難得到穩定且準確的垂直變形量結果，而本計畫正與中央大學太空與遙測研究中心相關人員進行討論與研究，並評估其可行性。

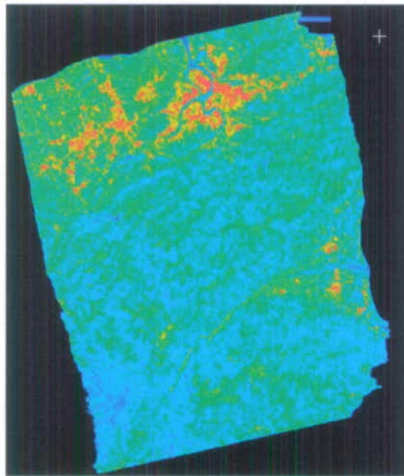


圖 68 ALOS 2007/11/30 與 2008/01/15 北臺灣之同調性影像

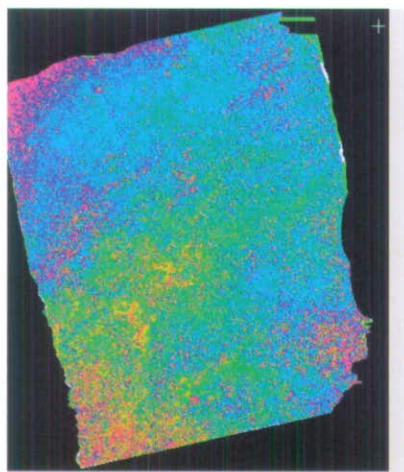


圖 69 ALOS 2007/11/30 與 2008/01/15 北臺灣之差分干涉圖

依目前實作的成果，本計畫提出以下初步結論：

1. 理論上本研究中 D-InSAR 的誤差應以現地水準測量之數據做為真值，以進行檢核。但目前僅能以地調所 GPS 追蹤站資料做為真值進行 D-InSAR 的誤差檢核，而地調所的 GPS 站為長期的靜態 GPS 站（自 2005 年以來），據所方長期解算的結果，所達精度可在公厘級(mm)，故理應可作為參考比對的資料。依據目前已取得的地調所 GPS 追蹤站資料，並利用此資料對「配對 2」、「配對 3」、「配對 4」的資料進行 D-InSAR 變形量值的修正以及成果精度驗證，其驗證結果 D-InSAR 垂直變形量值之 RMS 約在 2 到 5 公分之間。由此可知在以 GPS 為真值的前提下，如配對 2 較佳的 D-InSAR 干涉成果，測量的變形量誤差確實可低達 1~2 公分之精度，但在同調性差的情形下，誤差量即會偏高。
2. D-InSAR 雖可進行大範圍的面監測，但仍有先天上適用的礦區條件限制：

(1)地表變化的限制

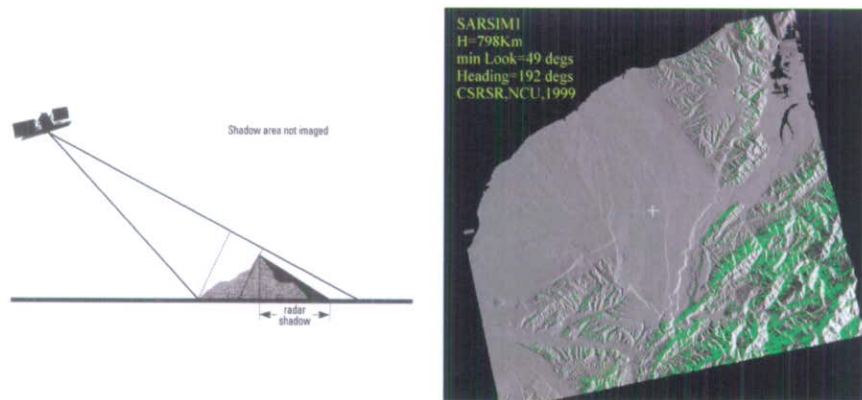
以 ERS-2 和 ENVISAT 影像而言，鄰近像元間兩時期的高程變化不能超過 2.8cm；以 ALOS 影像而言，鄰近像元間兩時期的高程變化不能超過 12cm。

(2)植被覆蓋的限制

以 ERS-2 和 ENVISAT 影像而言，因為雷達的波譜特性，當下陷區有植被覆蓋會嚴重影響分析；以 ALOS 影像而言，下陷區有植被覆蓋影響較不會影響分析結果。

(3)所處坡面的限制

下陷區位於雷達取像的陰影區坡面則無法監測(圖 70)。



資料來源：王志添（2005）

圖 70 無法取像的陰影區示意圖（如右圖綠色部分所示）

3. 理論上，各幅影像對若能符合基線長的限制以及時間間隔較短，可得到較佳的差分干涉結果（年佩芬等，2004）。但由表 2 可知，實際上要取得如此理想的影像對是有困難的，也因此難以得到同調性高的差分干涉結果，故影響 D-InSAR 的分析。
4. 不同衛星資料，處理的流程有所差異，在後續研究中將依各種衛星的特性建立個別的標準作業流程（SOP），以利教育訓練。
5. D-InSAR 除可以協助驗證下陷槽模式，亦可找出其它會造成人為災害的潛在下陷區，以提供模式研究更多的參考資訊。
6. 每對 D-InSAR 影像成果分析，多有一致性的成果：「下陷槽理論推估的下陷區內 D-InSAR 確實有監測到下陷的狀況，不過下陷槽理論推估的下陷中心與 D-InSAR 監測的下陷中心位置仍有差異」，主要原因是資料解析力的不同之故，在無須到地面調查以及長期觀測地表形變，需要提出預警陷落的可能性時，D-InSAR 是相當好的管理性工具。
7. 針對全區（礦區影響範圍）而言，D-InSAR 可以提供計量方式的下陷土方的估計量，可用於提供政府管理以及救災的參考。

## 六、97 年度教育訓練成果

本年度於現地調查重點處 20 處礦區期間，亦諸多發現地表建物或道路設施因位於地下坑道或地下採掘跡之上方，而受到地盤下陷之影響。整體而言，典型之房屋地表龜裂、牆壁毀壞、樑柱受損、淺層地表湧出坑內銹水、電線桿傾斜，乃至於地表大型裂縫等等，其現象均與國外記載述及之徵兆雷同之至。足見地盤下陷災害在國內外均有發生，或許規模與時間延遲不同，但仍值得後續注意與觀測。

為使國內政府部門相關業管單位人員了解地盤下陷災害之現象與災害程度，以及在未來土地利用規劃，乃至於都市再更新等層面能有所認知，進而提前警覺此等地質敏感區對居民命財產安全的威脅，特別在期末舉辦結合室內講習與室外勘查之教育訓練。其主題分為計畫介紹及成果分享、闡述廢棄坑道引發地盤下陷災害之機制與現象、介紹台灣煤礦開採方式、D-inSAR 新技術之引進應用，以及 GIS-3D 之地下坑道模擬與工程實務應用成果。並於室內講習結束前，特別邀請前台電高級工程地質師謝敬義教授親臨講評隧道工程與本計畫廢棄坑道之差異性質。使的本次教育訓練在內容與討論上更添互動性，與會人員無不受益良多。本活動業已於 97 年 12 月 19 日辦理完成，會中參與人員對於台灣之地盤下陷災害現象多所迴應與討論，足見本計畫之重要性與持續進行之必要。未來仍對年度調查之縣市區域進行成果分享與討論，期能藉大眾之參與，使本計畫更臻完善。本年度教育訓練時程與勘查地點如表 14，於相關資料請參見附錄 2。

表 14 97 年度「廢棄坑道之地盤下陷災害潛勢之評估」教育訓練時程表

經濟部中央地質調查所環境與工程地質組97年度廢棄坑道之地盤下陷災害潛勢分析計畫 教育訓練時程表			
時間：97年12月19日			
地點：本所201會議室			
時間	課程項目	研習內容	備註
08:30-09:00	報到		
09:00-09:10	主持人致詞 (經濟部中央地質調查所環境與工程地質組組長費立沅)		
09:10-09:40	計畫介紹及成果分享	(一)闡述廢棄坑道引發地盤下陷災害	主講人：中國文化大學地質學系主任 魏稽生教授
09:40-10:10	廢棄煤礦坑道	(二)煤礦地下開採及相關規定說明	主講人：前經濟部礦務局簡任技正 方錫鏞
10:10-10:30	休息		
10:30-11:00	調查分析技術之應用	(三)D-inSAR影像分析技術於地盤下陷災害分析之應用	主講人：台灣大學地理環境資源學系朱子豪教授
11:00-11:30		(四)3S技術於廢棄(煤礦)坑道之工程實務應	主講人：中國文化大學地學研究所 嚴治民
11:30-12:00	專題講評	隧道工程與廢棄礦坑的關係	講評人： 前台灣電力公司高級工程地質師 謝敬義 教授
12:00-13:00	用餐及休息		
13:10-16:00	現地勘查：廢棄坑道地盤下陷災害之現象解說	13:40-14:30汐止烘內坑煤礦地盤下陷災害	中國文化大學計畫執行團隊
		15:00-15:30八堵煤礦地盤下陷災害解說	
16:00-16:30	討論與結論分享		

## 七、結論

1. 本計畫因受限於大部份煤礦已停採十餘年以上，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之蒐集與建立顯得相當重要。本年度除了建立調查區120處礦區之坑口與坑道空間資訊，另經由20處重點礦區之實地訪談調查，獲得重要災害資訊之清單建立。而其他類別之廢棄坑道經行文洽詢鐵、公路局後，於本年度並無需調查者。惟於第三年度苗栗新竹地區方有廢棄隧道之存在，且此類坑道性質與煤礦地下開採坑道不同於其有坑壁之襯砌防護。因此屬結構問題，且災害類型應為邊坡滑動或落石類別之災害。
2. 部份礦區之坑口與片道於進行空間圖資補充數化時亦因原圖已無登載而造成補充數量有限，且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。
3. 野外露頭之煤層上覆岩盤RQD試作與CMRR分析結果雖有部份採掘跡未出現CMRR之弱岩分類，然經推估結果仍有下陷量。除了因計算需求之相關圖資解析度不夠細緻而導致岩體上覆岩盤之等厚圖有所誤差外，亦有可能需要對CMRR的強度分類在台灣煤礦上覆岩體的適用度進行調整。並作為未來研究調查時之潛勢評估岩力因子修正參考。
4. 現地災害案例多位於距地表淺層之地下採掘跡或坑口附近。典型之建物牆壁龜裂、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驗證。
5. 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（主要避免居民反感），結果顯示由上覆傾斜岩盤滑動機制（ $FX_{01}$ ）所造成之下陷槽沉陷量（20處採掘跡樣本數之 $FX_{01}$ 推估值

範圍 0.03~9m) 比上覆岩盤垂直破壞 (FX<sub>02</sub>) 者大 (20 處採掘跡樣本數之 FX<sub>02</sub> 推估值範圍 10<sup>-9</sup>~0.4m), 且沉陷槽之型態明顯受到前者之機制所控制。

6. 災害案例之驗證也有 14 處均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), 案例之 CMRR 計算也都落在 CMRR<45 之弱岩分類。
7. 多下陷槽分析經與現地調查之災害地點相驗證結果, 發現這些災害處多坐落於下陷槽推估有較大下陷量之處。而新調查之烘內坑煤礦塌陷區所量得之下陷量約 3 公尺餘, 此與推估之下陷槽亦相符合, 因此多下陷槽結合 GIS-3D 空間分析可提供較快之方法先行推估等下陷量之範圍界定。
8. 經由本年度實地調查案例經驗值, 初步界定地盤下陷災害潛分級為: 位於採掘跡範圍內且推估沉陷量>0.5m, CMRR<45 者之範圍界定為高潛勢區; 其他採掘跡範圍則為低潛勢區。
9. 本計畫將多下陷槽與初步之 CMRR 上覆岩體等級分類兩圖層相套疊與採掘跡之圖層可初步作為地盤下陷災害潛勢之分級方法。惟在 RQD 岩力參數經案例分析普遍偏高, 因此需於明年進行修正方法。例如改採以  $RQD=115-3.3J_v$  中可依  $J_v=N_1/L_1+N_2/L_2+N_3/L_3+\dots+N_n/L_n$  之經驗公式對較具代表性之岩體節理密度進行 RQD 值換算。
10. 理論上本研究中 D-InSAR 的誤差應以現地水準測量之數據做為真值, 以進行檢核。但目前僅能以地調所 GPS 追蹤站資料做為真值進行 D-InSAR 的誤差檢核, 而地調所的 GPS 站為長期的靜態 GPS 站 (自 2005 年以來), 據所方長期解算的結果, 所達精度可在公厘級(mm), 故理應可作為參考比對的資料。依據目前已取得的地調所 GPS 追蹤站資料, 並利用此資料對「配對 2」、「配對 3」、「配對 4」的資料進行 D-InSAR 變形量值的修正以及成果精度驗證, 其驗證結果 D-InSAR 垂

直變形量值之 RMS 約在 2 到 5 公分之間。由此可知在以 GPS 為真值的前提下，如配對 2 較佳的 D-InSAR 干涉成果，測量的變形量誤差確實可低達 1~2 公分之精度，但在同調性差的情形下，誤差量即會偏高。

11. 下陷槽理論推估的下陷中心與 D-InSAR 監測的下陷中心位置仍有差異，主要原因是資料解析力的不同之故。在無須到地面調查以及長期觀測地表形變，需要提出預警陷落的可能性時，D-InSAR 是相當好的管理性工具。
12. D-InSAR 除可以協助驗證下陷槽模式，亦可找出其它會造成人為災害的潛在下陷區，劃定下陷範圍，以提供模式研究更多的參考資訊。
13. 本年度工作針對地盤下陷災害之安全評估模式進行專家評估模式之探討。初步訂定重要評估因子項目包括地表變形-礦區開採-地質問題-排水等四大組別因子，並對各組因子之評估係項進行定義與規範之說明、分級與權重之賦予。
14. 完成年度調查區各縣市地盤下陷災害潛勢分佈圖資，惟部份重點區如中和市東運瓷土礦、汐止市之烘內坑煤礦等，以及煤礦上覆岩體之力學性質試樣仍需持續觀察與補充建立。
15. 地盤下陷災害案例之驗證將於明年度檢討，並考量在經費允許範圍內改採地面光達 (ground LiDAR) 測量或水準測量方式進行沉陷範圍之監測數據，以進一步提供評估模式之佐證。



## 參考文獻

1. 工研院能資所，1993，臺灣潛在地質災害實例選輯；工研院，108 頁。
2. 何春蓀，1975，臺灣地質概論－臺灣地質圖說明書，經濟部中央地質調查所。
3. 何春蓀，1959，台灣之煤礦資源，台灣省地質調查所彙刊 10 號，164 頁。
4. 年佩芬、謝嘉聲、胡植慶、黃孟涵（2004）利用合成孔徑雷達差分干涉技術在屏東地區地殼變形觀測之研究，93 年中國地質學會年會暨學術研討會。
5. 張育仁（2008）桃園南部臺地群地表變形與地下構造之研究，中央大學地球物理研究所碩士論文。
6. 陳怡安，張中白、顏君毅、林明聖，2007，應用雷達差分干涉技術探討臺北盆地地區之地表變形，臺灣地球科學聯合學術研討會，桃園，90 頁。
7. 童忻（2008）利用永久散射體雷達干涉技術分析地表變形：以臺灣西南部平原為例，臺灣大學地質學研究所碩士論文。
8. 黃孟涵（2006）以合成孔徑雷達干涉法研究台灣之地殼變形，臺灣大學地質學研究所碩士論文。
9. 張中白、王志添、王皓正、陳錕山（2004）應用雷達差分干涉法監測都會型地表變形：以中壢工業區為例，航測及遙測學刊，3：9-14。
10. 張育仁（2008），桃園南部臺地群地表變形與地下構造之研究，中央大學地球物理研究所碩士論文。
11. 潘國樑，區域國土開發保育防災基本資料（山坡地之地質環境），1999，內政部營建署，臺北。
12. 魏稽生，2000，台灣經濟礦物第三卷台灣能源礦產及地下水資源，經濟部中央地質調查所，217 頁。

13. 魏稽生、朱子豪、嚴治民，2007，一個潛在未知的地下問題：臺灣煤礦地下開採之地盤下陷研究，工程環境會刊第 19 期，中華民國工程環境學會，65-80 頁。
14. 魏稽生、嚴治民、朱子豪、陳門生、紀宗吉，2007，台灣廢棄煤礦之調查與地盤下陷災害之初步評估，都會區及周緣坡地環境地質資料庫產製及防災研討會，臺北。
15. 嚴治民，魏稽生，朱子豪，張智傑，2005，地理資訊系統應用於台灣煤礦礦區之空間資訊調查，第 3 屆數位地球國際研討會，臺北。
16. 嚴治民，魏稽生，2005，以多下陷槽理論推估地盤下陷—以中和市東運礦區為例，中國地質學會 94 年年會暨學術研討會，桃園。
17. 嚴治民，2006，煤礦地下開採之地盤下陷推估，中國地理學會 95 年年會暨第一屆地理學研究所研究生聯合論文發表會，臺北。
18. Ameudo and Ivey, 1975: Coal Mine Subsidence and Land Use in the Boulder-Weld Coalfield, Boulder and Weld Counties, Colorado, Colorado Geological Survey, Department of Natural Resources, Denver, Colorado, 88p.
19. Brady, B. H. G. and Brown, Edwin T., 2004: Rock Mechanics for Underground Mining, Kluwer Academic Pub, 628p.
20. C. Mark T, G. M. Molinda, 2005: The Coal Mine Roof Rating (CMRR)—a decade of experience, International Journal of Coal Geology 64 , p 85 - 103
21. C. Mark, G. M. Molinda, 2007: Development and application of the coal mine roof rating (CMRR), Proceedings of the International Workshop on Rock Mass Classification in Underground Mining, Information Circular 9498, NIOSH, U. S.

22. Colorado Geologic Survey ,2002, Best Practices in Abandoned Mines Land Reclamation, Department of Natural Resources, Denver, Colorado 57p.
23. D. Hill ,2007:Practical experiences with application of the coal mine roof rating (CMRR) in Australian coal mines, Proceedings of the International Workshop on Rock Mass Classification in Underground Mining, Information Circular 9498, NIOSH, U. S.
24. F. G. Bell, T. R. Stacey, D. D. Genske, 2000: Mining Subsidence and Its Effect on the Environment: some differing examples, Environmental Geology No. 40(1-2)
25. J. T. Álvarez , R. Rodriguez, P. Ramirez-Oyanguren 2000: Probabilistic analysis of subsidence-induced strains at the surface above steep seam mining, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 37 (2000) , Pergamon, p.1161~1167
26. K. E. Sizer, M. Gill, 2000: Pillar failure in Shallow Coal Mines - a recent case history, Trans. Instn Min. Metall (Sect. A: Min. technology) , 109p.
27. Michael S. R. , A. Keith Turner, 2003: New Paradigms in Sub surface Prediction, Springer-Verlag, Germany, 397p.
28. Ruegsegger, L. R. , 1998: Manual for Abandoned Underground Mine Inventory and Risk Assessment, ODOT, USA
29. Torano, J. A., Rodrigetz R. D., 2000: Hypothesis of the multiple subsidence trough related to very steep and vertical coal seams and its prediction through profile functions. Geotechnical and Geological Engineering 18: p289~311

附錄 1：期中與期末審查委員意見回覆說明表

期中審查意見回覆說明表

謝委員敬義		
項次	討論意見	修正情形
1	P. 2：請將圖 1 內之數字具體表示其意義。	圖 1 為台灣煤礦於含煤層類別以及傾度分類中的採掘跡數量
2	本計畫選擇了重要的三個研究區，請說明篩選的考量因素。	此三區係先行以多下陷槽推估其下陷量以及過去調查之現場初步判釋與災害歷史而篩選之
3	P. 4：D-InSAR 與地表資料配合，所得之精度可達數公分，此結果是否要配合現場的埋設儀器？或是用地表的測量判識？請在補充說明。	D-InSAR 量測是以高程不變的固定點為基準，比對其它地區的高程變化。本研究已取得地調所的 GPS 資料，未來將測試以長時間觀察下高程變化最小的點位做為高程不變的基準點。
4	利用 SAR 影像對之技術，量測地表變形之方法為何？是否需要再研究區埋設基準點？	雷達干涉技術 (InSAR) 係利用不同時間或不同位置的雷達天線所獲得的兩幅或多幅複數影像，藉由相位值的差異量來獲取地表的三維資訊。在雷達干涉的處理技術中，只要確定軌道之參數值：航高、視角、基線及基線與水平線的夾角等資料，配合雷達波長就可以計算點位的高程值。雷達差分干涉技術 (D-InSAR) 是用來量測地表微小移動的技術，方法為利用不同時期影像及 InSAR 產生的干涉圖中移除地形效應後，得到純粹因變形所產生的相位干涉圖，這個技術可提供至公分級或更少的相對精度。 D-InSAR 量測地表移動量 (displacement) 的方向並非垂直的方向，而是沿著雷達視距 (line of sight) 方向的變動量；且是以高程不變的固定點為基準，比對其它地區的高程變化。現本研究已取得地調所的 GPS 資料，未來可取長時間觀察下高程變化最小的點位做為高程不變的基準點，比對其它地區的高程變化。

5	p. 7: 請具體說明多下陷槽數學模式之意義、參數與變數之含義。	該理論將地盤下陷的行為視為多個下陷槽的連續疊加 (superposition) 作用所形成之地表變形運動，且每個下陷槽依循著一個具有指數分配 (exponential distribution) 意義之剖面函數 (profile function)。該理論之重要參數為煤層傾角、煤層厚度、煤層開採高度、煤層之上覆岩體厚度以及三類傾度之下陷延伸角。其特徵略述於下：考量地下煤層的開採方式與下陷槽之幾何型態關係：例如岩層位態 (煤層傾度)、開採厚度、深度與寬度、最大可能下陷量以及最大下陷角 (draw angle) 之延伸範圍等等影響因子。考慮上覆與下伏岩層的不同作用機制所形成的不對稱下陷槽 (asymmetrical trough) 之現象，此有別於傳統的單一典型下陷槽理論。具有時間因子以及開採進度 (亦即橫寬方向 transverse direction) 與延伸長度 (亦即開採室之縱向 longitudinal direction) 之下陷因素的多面向考量，所計算推估之下陷量與範圍較符合實際現象。其引用參數係由經驗數據所得，可依各地不同地質背景修訂。
6	p. 20: 新增的片道資料之取得方式，視現場檢驗的結果，抑或是以其他方式得到的資料？請補充說明。	新增片道與地下坑口資料係由坑道聯絡圖進行補充數化
7	p. 33: 岩石單壓試驗結果表中，請說明 $U_c$ 的單位 kpa 與 $kgf/cm^2$ 之互換關係。	$1\text{ kgf/cm}^2 = 98.07\text{ kpa}$
8	p. 39: 後續檢討部分，內容之用詞宜加以修改。	遵照辦理
張委員徽正		
項次	討論意見	修正情形
1	報告中為提及建置 GIS 資料所使用的座標系統，將來若轉換不同的系統，其誤差是否會影響成果之結論？	本計畫工作使用與建置之 GIS 空間圖資均為 TWD67 台灣二度分帶座標系統，雖然該領域已有數種座標轉換系統 (TWD67 轉 TWD97) 程式，為本計畫係區域性評估，且容易受人為之後續影響如建地開發，因此其評估精度不置於受座標系統之轉換參數差異而產生極大之誤差

2	下陷推估時，以煤層之 dip angle 分為三大類，其中將 15~60 度分為同一類，是否有理論依據？	煤層傾度分三大類主要係依據煤礦開採作業之習慣分類與應變行為之經驗值，特別是在開採方式分類的平巷-斜坑-豎井三種開採方式一般，其地表變形(或地盤下陷)機制亦受上述之開採方式所控制
3	地表附近若有厚層之強岩體，具有很大的支撐作用 (beam effect)，亦會影響到變形的型態，須加以考慮此類岩體的影響。	本計畫考量上覆岩體的橋撐作用因此引進 CMRR 進行岩體力學強度及安全評估的參考數據
4	D-InSAR 之影像對，時間差分別為 2 組 35 天及 1 組 70 天，此時間差異是否足夠有效顯示真實之應變？或為其他系統性誤差所致？	本研究選擇的影像對涵蓋的時段，都盡量配合實地觀察到下陷量最大的時間段，理論上公分級的變化皆可被偵測。若時間差再長，可能會因地表或大氣環境變化太大而使得兩時期影像的相關性較低，干涉條紋就無法清楚顯現，也難以進行地表變化偵測。
5	考量”應變 VS 時間”之關係，下陷推估之時間效應為何？	時間效應主要是考量應變行為與下陷量之時間衰退機制(time decay)，亦即隨時間拉長，其應變行為與下陷量會達到一平衡點
6	報告書應在起始頁加列計畫主持人及協同主持人；格式宜依本所格式撰寫。	遵照辦理
7	如何區別在野外調查時所發現的地表破壞，全部是因下陷造成，而非肇因於其他的地質因素？	1-本計畫的野外地表下陷之調查的確甚難進行，特別是民眾怕傷及土地利益，以及亦有災害情勢時隨即施工以保障其住家安全，因此再執行調查時，如位在地下採掘跡淺層之地表龜裂，或屋舍傾塌時，即應列入紀錄，並提供日後細部鑽探或監測之參考 2-以八堵煤礦羅礦長家中之裂痕為例，該處即位於坑口左前方約 60m，該處煤層經探訪，於收坑前即會採掘淺部煤層，且坑道傾度與岩層傾度約 30 度，且逐漸變緩，因此初判應為地下採煤所造成
8	應把歷次審查意見及回覆列為附錄。	遵照辦理

黃委員崇仁		
項次	討論意見	修正情形
1	p. 25：目前係先行簡化多下陷槽剖面函數之參數，來計算參考點之最大下陷量D值。請補充說明此可能產生之誤差量，及是否有考量時間因數。	1-簡化之D值僅考量煤層傾角 $\alpha$ 、煤層開採高度M以及下陷經驗參數 $a(=0.6)$ ，但多下陷槽之D值還考量了煤層厚度、煤層之上覆岩體厚度以及經驗公式2-先行簡化之下陷槽依然將時間函數加入計算，以推算結果簡化之D值較多陷槽之D值大些，但誤差量均為mm級，對區域之安全評估並無太大影響，且可作為本計畫之另一參考
2	p. 31：本計畫無法進行CMRR所需之含水性試驗，建議是否可以資料蒐集方式建立所需數據。	本計畫考量引用已有之岩體含水率數值參考，為含水分級與CMRR者不同，目前本工作團隊亦考量由取樣之岩體進行試驗之可行性
3	p. 34：為使D-InSAR分析有較佳結果，於植被密集區須申購穿透力較強之L波段影像。另請說明D-InSAR於坡度較陡區域之分析結果，是否亦可達預期目的。	ALOS雷達影像為L波段，波長較長，因此較不易受植被覆蓋影響。但由於真實的地表並非平坦之地形，地形坡度的差異將會使得雷達訊號的相對入射角度亦不同，造成面對感測器的坡度面雷達回波訊號較強，而對於背向坡面之回波則較弱。側視雷達在坡面亦常發生以下三種幾何變形：前坡縮短(foreshortening)、疊置(layover)、及陰影(Shadow)，其中後兩項是陡坡最易發生的變形。疊置是當面向坡的坡度大於雷達波束和地面的夾角時，所產生的現象。原因為經由山頂的雷達回波訊號距離最接近感測器，以致於背向坡(backslope)與面向坡的回波訊號同時在影像上重疊，而造成疊置的現象。在陡峭的山脊與稜線的影像上，常產生特別亮的弧線，此即由山區所造成的疊置現象，於影像上極易辨識出來。陰影是當背向坡因為太過於陡峭，而使得SAR感測器的主動式照明無法順利到達時，該區的資料則會無回波訊號，此區域的影像上僅存在些許雜訊。

4	p. 36：多下陷槽理論推估的下陷量，與 D-InSAR 計算的下陷量，因兩者時間尺度不同，所產生之差異，是否有更佳解決方式。	本計畫擬考量數處進行基準點控制測量與 GPS 監測，其能與多下陷槽推論之之下陷剖面能一致
劉委員桓吉		
項次	討論意見	修正情形
1	其中報告工作內容豐富，值得肯定	遵照辦理
2	內文的用語，有些過於創新，建議盡量使用慣用語	遵照辦理
3	參考文獻：第 3 項，除何春蓀 1959 所發表之資料外，另可參考何先生在中央地質調查所彙刊發表台灣北部煤田地質。	遵照辦理
費委員立沅		
項次	討論意見	修正情形
1	報告之內容，在方法論上，宜再補充描述。尤其對於較為關鍵的理論，建議摘取所蒐集的國外文獻精義，補充於報告中，以強化本計畫的理論基礎。	遵照辦理



2	<p>D-InSAR 用在本計畫，雖經評估認為可行，後續將選用新的波段進行分析，期待能有良好結果，但也要考慮一般人的疑慮，願建議將不同波段影像之應用，加以綜整說明與比較。</p>	<p>在 D-InSAR 的干涉圖中，每一條紋數代表變動量為波長值的一半，因 ERS 衛星為 C 波段雷達系統，波長為 5.6 cm，所以影像每一條紋代表地表變動量為 2.8 cm。由此可知，D-InSAR 獲得相位資訊的解析力與感測器的波長有關，Werner 等 (1992) 指出 C 波段就較 L 波段具有優勢，對位移量的偵測將可偵測到 4.2 倍甚至更好的精度，顯示對地表變形的敏感度有顯著的改進。但就植物的穿透性而言，C 波段的穿透性就較 L 波段差，因此在植被茂密的地區以 L 波段進行地表變形的監測較佳。</p> <p>不過無論是何種波段的雷達影像，在干涉的設定條件中，鄰近像元間的相位變化值皆不能超過 1 條干涉條紋 (<math>2\pi</math>)，當變化值超過這個臨界點，像元間就會產生不相關現象，例如地震所產生的變形量太大，超過這個臨界點，就無法在干涉圖上顯示出來。以 ERS 衛星為例，進行偵測變形時，一個條紋代表變形 2.8cm，所以在干涉圖中，如果該地區的變動情形在一像元解析度的範圍內，其雷達視距方向變化超過 2.8cm，該像元就會有不相關的現象 (謝嘉聲，2006)。由此也可知，平坦且地物變化較小的地區 (如都市區)，其干涉條紋較佳，變化最大的地區 (如水面) 則無法有干涉條紋。</p>
主辦單位		
項次	討論意見	修正情形
1	<p>期初評選及工作討論的會議記錄，請提出意見回覆，並附於報告之附錄。</p>	<p>遵照辦理</p>
2	<p>本年度計畫篩選 20 處礦區作為調查研究對象，請補充說明篩選之方式，並說明研究區中未選取的其他礦區將作如何處理。</p>	<p>遵照辦理，其他未列入調查礦區在時間及其他資訊來源 (如於訪談中提及有災害情事者) 亦將列入調查成果</p>
3	<p>非屬煤礦坑道類之其他坑道／隧道，是否已蒐集到相關資料及是否已建立可行的評估方法</p>	<p>經鐵路局及公路局相關業務人員說明及回函於年度調查區內並無廢棄坑道，因此評估方式仍以煤礦廢棄坑道為主</p>

4	<p>地質與煤礦相關文獻目前並未蒐集礦務局正式紀錄之相關文獻也未見到民國50年代由國際經濟發展委員會資助計畫，而由經濟部礦業研究服務組編印之相關調查區域的煤田開發計畫，請補充說明</p>	<p>過去之調查資料與報告在本計畫主要參考文獻之何春蓀，1959，台灣之煤礦資源，台灣省地質調查所彙刊 10 號，以及 何春蓀，1964，台灣北部沿海區之地質及煤礦資源，台灣省地質調查所彙刊 15 號。而礦務局之保安資料係以坑內災變為主，地表紀錄缺乏，幸有保存了利用性極高之礦區聯絡圖數值檔，因此在現況分析作業上仍以最後礦務局建置之數值檔為依據，其他書面資料或各礦之特殊各案記載已將於期末報告中列入</p>
5	<p>報告中描述相當多的理論，但缺乏分析結果的呈現，請補充現階段各圖層之 shp 檔案及調查成果等圖面資料</p>	<p>遵照辦理，並於期末報告中列於附錄中分項呈現</p>

期末審查委員意見回覆說明表

謝委員敬義		
項次	討論意見	修正情形
1	建議將地盤下陷災害潛勢圖加入地形和地物。地形等高線、地物之重要建物或市鎮等，並可將主要呈現資料和次要資料加以區別，使主要資料更為明顯，以備使用者放樣對比之用。	依建議加入之地形起伏relief，行政區，重要道路以及地名等圖層資訊加入，以利使用者判讀潛勢圖內容與方位等資訊
2	隧道工程上，對於現地如何評估RQD之方法已經建立很完整的作業方式。請檢討RQD之估算方法，重新計算CMRR的值，可能對CMRR的分類有所幫助。	本計畫實施之RQD值確實偏高，其誤差可能來自於人為以及樣本數所致，將依委員建議之方法修正 $RQD=115-3.3J_v$ 中可依 $J_v=N_1/L_1+N_2/L_2+N_3/L_3+\dots+N_n/L_n$ ，以節理數之計算較能符合岩力之不連續面性質，並檢討今年之直得持續監測之礦區列入明年重新補充建置之調查重點礦區，以提供引用之CMRR參數較佳之岩體分類
3	p. 71 五、檢討與結論中，「因此補充.....歷史資料之蒐集.....可詳洽經濟部.....管理單位」之詞態不妥，因為此工作乃是受委託研究機構之工作範圍，故請將語氣加以調整。	本計畫之建置成果均交付所內，因此本段語氣及用詞依委員意見予以修正釐清

張委員徽正

項次	討論意見	修正情形
1	<p>報告中缺少 RQD 及單軸抗壓之說明、測量值之統計等資料；又其測量方法之差異，對於評估結果的影響亦無討論。地表附近的岩層風化作用較嚴重，甚至可能發生 creeping，則此 RQD 是否可用仍須再詳加評估。</p>	<p>本項工作依委員建議增述於內文中，並說明 RQD 值偏高之因。而 RQD 於本項岩力參數係轉化為 DSR 不連續面參數，以作用 CMRR 分類使用之參數(詳見附表 CMRR 說明)，因此將依委員建議予以說明於內文中。</p>
2	<p>請說明多下陷槽模式推估所得之下陷量是總量抑或會隨時間變化？其值與坑道的分布似乎無關，而與坑口關係較大，似為邊坡的破壞，非以坑道的下陷為主。</p>	<p>多下陷槽所推估之下陷量係指該採掘跡某一時段內之推估最終下陷量，其時間參數為提供地盤下陷之貢獻因素之一，隨著時間增加而減少其貢獻下陷之因素權重，然也有能會因外來因素如水量增加或地震等因素而再次引發其整體之下陷量，例如地表之落盤現象即會改變整個原本推估下陷量。另外由於坑道之採掘跡於採掘後，其上覆岩體因無橋撐作用而產生其滑動機制，這部份往往也會產生地表變形甚或地表落盤之現象，因此顯現於外之災害亦屬地下採掘跡之下陷行為(不僅坑道本身)。</p>
3	<p>請說明多下陷槽模式推估與坑道直徑的關係為何？</p>	<p>多下陷槽考量礦區幾何因素係以煤層開採之後度(H)與煤層厚度(m)，此二項因子主導了主坑的幾何大小與片道所需延煤層走向縱向開採範圍(直徑-面積)，因此在多下陷槽模式中亦會影響下陷量之推估。</p>
4	<p>有關時間對多下陷槽模式推估的影響為何？在報告書中對期中簡報的答復未切題，請再說明。</p>	<p>參見第 2 項回覆與內文</p>
5	<p>D-InSAR 的 error bar 為何？影像 scale 的精度是否足以達到報告中所言之 1~2 公分的精度？</p>	<p>理論上本研究中 D-InSAR 的誤差應以現地水準測量之數據做為真值，以進行檢核。但限於本年度無編列此預算，因此僅能以地調所之 GPS 追蹤站資料做為真值，進行 D-InSAR 的誤差檢核，而地調所的 GPS 站為長期的靜態 GPS 站(自 2005 年以來)，據所方長期解算的結果，所達精度可在公厘級(mm)，故理</p>

		<p>應可作為參考比對的資料。配對 2、3、4 變形量監測成果圖中的 Error bar，即是指 D-InSAR 所測得之變形量與同時期內 GPS 所測得之變形量的差值，圖中是以箭頭長短呈現每個 GPS 測站所在位置的 D-InSAR 誤差量。在以上三組配對中，配對 2 的誤差值普遍較低，誤差值多可低於 2 公分；但兩時期影像同調性不佳的區域（如 GS09、GS19 等 GPS 站所在的位置），則會高達 10 公分。以 7 個 GPS 站檢核 D-InSAR 變形量的 RMS 值，配對 2 為 2.43 公分，配對 3 為 3.95 公分，配對 4 為 4.24 公分，此在期末審查簡報中已有呈現。分析配對 3 及配對 4 誤差值大的原因，即是因兩時期影像的同調性差，無法呈現明顯的干涉環。</p> <p>總結以上說明，在以 GPS 為真值的前提下，如配對 2 較佳的 D-InSAR 干涉成果，測量的變形量誤差確實可低達 1-2 公分之精度，但在同調性差的情形下，誤差量即會偏高。以上說明會在修正後報告書中的 D-InSAR 結論部分加強補足。</p>
6	<p>本研究所使用的影像對的時間差距很短，如何可得到很好的值，並可配合多下陷槽的推估?之前在期中簡報所提的問題，回復時未切題回答。建議將本報告送請 D-InSAR 專家審查。</p>	<p>本研究選擇的影像對涵蓋的時段，都盡量配合實地觀察到下陷量最大的時間段。期末審查中所呈現的配對 2 (2007/07/14 與 2007/12/01)，即是以現地調查確定東運瓷土礦附近在 2007 年 7 月至 12 月間有較大的下陷量後，才選擇此兩時期影像進行配對，故正好可驗證此時間內 D-InSAR 是否能監測到較大的下陷量。然而運用 D-InSAR 可對大面積的地面形變有監測的功能，對於小區域的變化較無法著力，建議運用水準測量針對校區域的下陷狀態作實證。</p>
7	<p>本計畫有關 D-InSAR 之討論，並未參考地調所過去所做許多 D-InSAR 的相關研究，請彙整檢討。</p>	<p>本計畫目前之研究流程皆已參考 USGS 所發表之刊物，以及國內 D-InSAR 專家如張中白、王志添、胡植慶、謝嘉聲等人之研究，日後在取得地調所過去研究報告後定將更精進研究流程，並向各專家老師就教相關作法以改進流程。</p>

8	GPS 在垂直精度方面都有數公分的誤差範圍，但以期末報告看來，D-InSAR 之精度遠比實測的 GPS 為高，此結果可疑。	GPS 精度係參考張中白教授的研究報告所用技術。而地調所的 GPS 架設係長期的靜態 GPS 站(自 2005 年以來)所達精度可在公厘級(mm)自可作為參考比對的資料，而非實際的絕對高度值。因為沒有地面測量，D-InSAR 僅可與部分 GPS 站做高程的比對，故以 GPS 測站間的相對變化做為比對基準，即 GS13 站為零，其餘各站扣除與 GS13 的變化差值，得到類似 DGPS 的控制網；D-InSAR 與新的 GPS 高程值比對，得到全區的每一 PIXEL 區塊高程差值。
9	上覆岩層之影響範圍與坑道分布及直徑之關係，未見討論，請補充。	上覆岩層岩層主要考量係其厚度與岩體強度，在地盤下陷影響上屬岩力因素。而目前國內引用之建築技術規則雖提及上述之關係，惟未有實務驗證，因此本計畫擬於明年將所建立之本國岩力參數，上覆岩體厚度，以及坑道幾何因子進行比較分析，希望能提供上覆岩體厚度與地下坑道直徑的相關性，進而討論建築技術規則的適用性。

黃委員崇仁

項次	討論意見	修正情形
1	第 70 頁須修改重疊的部分。	遵照辦理
2	請增加圖表目錄。	遵照辦理, 於報告書中詳列
3	請補充說明多下陷槽模式推估成果之誤差	<p>多下陷槽推估係以國外之傾斜煤層位態, 煤層與上覆岩體力學參數, 煤層厚度以及煤層開採高度之礦區幾何因素綜合考量之經驗模式, 因此在與台灣地區之煤層開採所造成之地盤下陷推估時難免有參數引用之誤差。例如某點之最大下陷量 D 值所引用之參數即可能因台灣煤層普遍甚薄, 岩層年紀較輕以及岩體強度較弱等因素而造成推估之誤差。至於誤差量多少? 因本年度經費及時程考量無法實施水準測量且民國 40-50 年度並無高解析度之 DTM 數值作為對比, 因此這部份執行擬於明年挑選幾處代表礦區位置, 進行 56 年之航照相片基本圖之高程數化, 以作為“開礦時-距今”之高程變化參考計算其誤差量。</p>
4	請說明安全評估準則在國內外適用性之差異。	<p>國外考量之因子在於其具有完整且長時間之礦區開採紀錄, 而本國之地下煤礦多已封礦三, 四十年, 許多評估依據之資料早已不可考, 例如煤柱存在與否, 採掘跡之厚度分不, 以及詳細之開採煤田之煤層柱狀圖, 上述於本國資料中均缺乏。此外, 國外也考量了這些位於地下採掘跡之上方地表如為車輛行經之處, 還會加入每天車流量, 車種等不同而列入其因子之一。因此, 本計畫針對本國之地盤下陷評估部份係採與國外評估項目中一樣具有重要關鍵性之因子如: 岩體厚度, 開採方式以及所在區位等考量其權重賦予, 並於日後進行專家學者會議共同商討研訂之。</p>
5	請加強災害潛勢分布圖之辨識度及清晰度, 並統一使用中文說明。	依委員意見加強圖資展示之清晰度及內文說明
6	建築技術規則第 262 條中有相關礦坑安全危害之說明, 與本計畫成果之應用息息相關, 建議未來可加以連結。	本項建議相當具有前瞻性, 工作執行團隊亦將其列入明年之工作規劃中, 並詳加檢討其現有建築技術規則之適用性。

費委員立沅		
項次	討論意見	修正情形
1	報告中有相當多的工作項目(例如 D-InSAR 分析、多下陷槽理論)內容，並未將其文獻蒐集分析、理論基礎、臺灣適用性檢討等，做較為清楚的說明。建議依據各階段委員提出之意見，做適切之檢討與修正。	本計畫主要引用理論與相關技術之學理基礎說明部分依委員建議事項詳細補充於期末報告書中，並說明其於台灣案例的適用性，另外相關技術研究流程亦作適切之檢討，於報告書中說明後續精進措施，以利工作進行。
2	本計畫部分工作方法(例如野外估算 RQD 值)，並未使用較為合理之方法。建議選擇少數具有指標意義的地點，重新嘗試估算；但是，針對本年度工作內容，無法及時完成修改者，必須於明年度計畫執行中，加以回溯修改。	執行團隊基於 RQD 之試作普遍偏高，將依謝委員建議之方式予以修正，且將今年度之重點區檢討，並列入明年之持續建置岩力資料的研究礦區，以完善該項參數資料之合理性



主辦單位		
項次	討論意見	修正情形
1	期末報告摘要之內容較似前言，除研究項目及方法外，應包含本計畫之研究成果及結論，請加以補充。	遵照辦理修正
2	煤礦坑道以外之廢棄坑道，已洽詢相關單位提供資料，請於報告中加以說明結果。	遵照辦理修正
3	期末報告定稿後請繳交報告全文 WORD 檔、附圖彩色原始檔及本計畫所完成之各項具體成果之完整檔案。包括居民訪談紀錄、地表調查清冊、坑道空間資訊、空間災害分布圖層(含屬性)、煤層上覆岩體地質資訊、地盤下陷範圍分布圖層、煤層柱狀圖、地盤下陷潛勢分布圖等，其中 GIS 圖層應繳交電子檔。	遵照辦理
4	本計畫的重點在於評估廢棄坑道之地盤下陷潛勢。以目前已出現較大下陷量的地區而言，尤其是其發生之下陷量接近多下陷槽模式推算之下陷量者，未來是否仍具有發生下陷災害之可能性？將其劃入高潛勢區是否合宜？請檢討。	已發生下陷區之研究區域在未來的確可能因外來因子之加入而造成另一次災害紀錄，例如東運瓷土礦即為顯著案例。因此，為使地盤下陷災害潛勢區合理性，將針對上述下陷量較大之幾個重點區域持續進行監測，以了解其再現機率與相關影響因子之關係，從而檢討其潛勢之高或低之合理性。
5	由 p. 6 圖 3，無法看出 D-InSAR 之研究成果與本年度地盤下陷災害分析評估結果之關聯性。	圖 3 為筆誤，修正如附表之圖 4
6	繼 Torano & Rodriguez(2000)發表的多下陷槽理論之後，在此 8 年間國內外是否有引用此理論進行之相關研究？請說明此理論之基礎假設、適用條件、在臺灣是否需要做某些修正等。	國外引用地盤下陷推估之理論相當多，而選擇多下陷槽之因係其考量本國之煤層位態多變化，實難以一典型之下陷槽作為通則推論之。另將對說明細節詳述於內文中。
7	附錄缺 p. 32 所述之地盤下陷災害歷史清單，請補充。	遵照辦理補充列於附錄

8	<p>p. 33 圖 32，現地調查項目中，地下開採區位及自然背景之資料是否係於現地調查所得亦或為資料蒐集？現地調查中未列居民訪談部分，請再修改補充。於推估地盤下陷後與災害等級如何驗證？請補充說明。</p>	<p>現地調查項目之地下開採區位以及自然背景之資料於本國礦區紀錄中仍主要仰賴係圖資數化後與應用 GIS 網格運算而獲得之外，亦可於現地訪談礦工而得知。因此，該兩項資料可經由前述圖資的數化完整性與細緻性，然後輸入於野外工作之 PDA 儀器中作為預先判勢所在之調查區位與相關煤層厚度等資訊。而至於現地災害之調查案例雖有些位於採掘跡之附近，且屬較大下陷量之淺層地表區域，然其災害現象亦與國外者相同，因此不能排除其非地盤下陷造成者。</p>
9	<p>p. 34~ 調查表應包含調查日期，且應於圖上標示照片拍攝位置、草圖繪製位置、塌陷或建物破壞位置及道路、主要地標之相關位置等，請補正。</p>	<p>依修正意見辦理，並補充建置資料如塌陷點位，重要地標以及地形等圖資，以利判釋。</p>
10	<p>報告中僅列 7 處現地調查之調查表，依契約規定本年度應有 20 處重點調查區域，則另 13 處是否完成？圖 36 僅標示 13 個調查點，則於 20 處重點研究區如何分布？請說明。</p>	<p>本項成果確有 20 處，惟於初稿中漏列，將於修正後完整列入報告內文中</p>
11	<p>請以八堵煤礦為例，詳細說明：為何預期八堵煤礦會出現弱岩？八堵煤礦究竟包含哪些 CMRR 的分類？分布情形及所佔比例為何？另外，也請說明其他礦區的岩體分類結果如何？</p>	<p>八堵煤礦為開採石底層之含煤層，而其近採掘跡之淺層上盤岩體經採樣分析後多屬 CMRR55 之中強度岩體分類，然仍發生如羅礦長住家之地表龜裂等災害現象，經了解係因台灣地區許多煤礦於即將撤收前，會將先前因安全考量礦柱予以回收開採，因而導致採掘跡淺層附近也會發生地盤下陷，惟此類範圍屬非法定開採範圍，因此未列於採掘跡圖層中，僅能現地訪談得之。而其他礦區岩體分類之結果(CMRR 分析圖層)詳見於修正後之報告書內文中。</p>

12	<p>1. 關於 CMRR：</p> <p>(1) 請補充敘述 Bureau of Mine, USA(1994)之上覆岩盤等級評估轉換公式，及本計畫的應用方式。</p> <p>(2) p. 32 提到 CMRR 為岩體之單軸抗壓、不連續面間距、RQD、單點荷重、含水性等之總和等級。由回復黃委員意見之說明，執行單位"考量"引用已有之含水性資料及取樣試驗之可能性，請說明所引用之數據或實驗數據為何？</p> <p>(3) p. 53 公式 <math>CMRR=40.9+H/30.5</math>，則 CMRR 僅受一個參數影響，與上述說明不符。又此處 H 為何？是否為岩盤厚度？若是，則強中弱之分級是否僅以厚度做區分？</p> <p>(4) p. 32 圖 31 CMRR 的強弱描述與 p. 53 圖 34 不符。其中 CMRR 值可小於 40.9，則依上式之 H 為負值，其代表意義為何？</p> <p>(5) 野外調查資料有 RQD 值，但公式中似無 RQD 之參數，請說明如何將 RQD 應用於 CMRR 的評估中。</p>	<p>該公式係 Molinda(1999)分析美國各州已開採煤礦區之上覆岩體參數綜納所得，並以回歸係數表之。而本計畫引用之主要目的係建立本國已發生災害地區之 CMRR 值，並依各案例所提供之回歸模式來提供多下陷槽所推估範圍之潛勢參考依據。</p> <p>"水"影響因子在 CMRR 中係考量水分對岩體的破壞程度，其數值以負值代表為整個上覆岩體之破壞效應稱為 moisture sensitivity, 據此作為 CMRR 的重要影響參數之一。</p> <p>如(1)所述, H 代表上覆岩體厚度, 由於 CMRR 係考量上覆岩體之強岩與弱岩的厚度百分比, 因此在綜整案例數值後才回歸出該判別公式與厚度的關係</p> <p>圖 32 數字係為澳洲引用 CMRR 之案例分析, 應更正為原 Molinda 之分類即 p53 所述。而該判別式主要係提供作為岩體分類之計算判別公式(岩體相對強度之判別公式), 本身 H 值之引入就不會<math>&lt;0</math>, 而澳洲案例之 <math>CMRR=35</math> 此係實際計算 CMRR 之值, 本來就會與判別式之相對強度定義有所不同, 如將澳洲案例之 H 值套入公式, 就不會是該國之 <math>CMRR=35</math> 之岩體分類, 而是介於原 Molinda 之 CMRR 分類之數值範圍</p> <p>RQD 需轉換為 DSR, 其公式為 <math>DSR=10.5*\ln(RQD)-11.6</math></p>
----	--	---

	<p>(6) 報告中界定以 CMRR 值 45 以下及下陷值 0.5 公尺以內為高潛感區，但以圖 36 分布而言，多數調查點之 CMRR 值小於 45，則此值是否具鑑別度？下陷槽推估以 0.5m 以內做為高潛勢區，但大於 0.5m 者是否應該更具危險性？應用於烘內坑煤礦以外其他重點研究礦區之結果如何？</p>	<p>內文筆誤 0.5 公尺"以內"更正為 0.5 公尺"以上"，本研究之所以界定此值係依據今年之調查案例所建立之多下陷槽與 CMRR 相關數字發現屬 CMRR&lt;45 之弱岩於本年度之案例中本就有下陷量，惟其值雖甚小，但仍有較大下陷量者(&gt;0.5m 之案例)，因此才將多下陷槽推估量 0.5 公尺"以上"且屬 CMRR&lt;45 之範圍界定為高潛勢區，而 0~0.5m 與 &gt;CMRR45 為低潛勢區(經網格計算亦即高潛勢區外之採掘跡範圍)。因此本年度的潛勢界定仍以多下陷槽為主，CMRR 為輔(因為經驗案例值還不充分，如 RQD)</p>
13	<p>以多下陷槽模式推估之較大或較小下陷量，請說明評量之標準。下陷量大是否可確實代表具有高下陷潛勢？</p>	<p>一般地盤下陷災害在可目視測量之範圍多為 10 公分以上或公尺級，所以較大或較小之下線量屬人為主關判釋之描述用語。而下陷槽推估之下陷量需輔以 CMRR 值之岩力參數來協助判別與界定災害之高-低潛勢</p>
14	<p>D-InSAR 之對比結果僅顯示東運瓷土礦之結果、則應用於其他重點研究之礦區情形如何？</p>	<p>目前東運瓷土礦多下陷槽模式推估結果及相關資料皆較完備，因此先呈現東運瓷土礦區的 D-InSAR 對比結果。理論上只要避免地表變化、植被覆蓋、所處坡面等限制，則均可運用在區域中的各個地方進行比對。</p>
15	<p>地盤下陷災害區地表調查評估初稿之內容係為翻譯俄亥俄州交通局，1998 之"Manual for abandoned underground mine Inventory and risk assessment"，評分項目及給分，報告中是否宜依據臺灣現況加以修正？評分結果應如何界定其災害潛勢(幾分算是高潛勢)？本評分方法是否已用於今年度之現地調查？評分結果如何？</p>	<p>已修改為本國之適用因子為考量評分依據，惟權重與潛勢分級需於明年度召開專家學者會議與累積本國案例經驗值來界定之</p>

16	<p>結論五，地盤下陷災害潛勢分級，以多下陷槽及 CMRR 岩體分級結果相套疊，評估坑道地盤下陷的潛勢，與圖 3 之流程不符。其未討論到岩層位態、礦區幾何因素，亦未納入地表調查及 D-InSAR 分析結果。</p>	<p>岩層位態、礦區幾何因素均已於多下陷槽考量計算中，而於地表調查中 CMRR 係考量最大覆蓋層厚度以及礦層厚度之關係與比值，以及單軸抗壓與水破壞效應等參數，詳見附表之圖 1~3 以及圖 4 修正之流程圖與說明</p>
17	<p>地盤下陷災害潛勢成果圖，請再補正。增加底圖、圖例調整、比例尺調整，加入製圖應有元素，以成完整圖件</p>	<p>依修改意見進行圖資修正與加強判讀性，已達圖資展示之完整性</p>
18	<p>報告中缺少首頁、英文摘要、成果查核表等，請補充；封面經濟部 logo 應貼齊左上角，且大小有誤。報告完稿之經濟部及本所 logo 部分，請以正確顏色印製。</p>	<p>依規定辦理修正</p>
19	<p>報告中錯別字、文字多處不通順及邏輯不清楚處，請再加以修改。報告內字體、用詞及單位請加以統一。公尺請用 m，勿用大寫 M。附錄中期初及期末委員審查意見處理情形表，請將兩表格格式統一。參考文獻嚴重缺漏，請詳細核對補齊。引用格式請加以統一。</p>	<p>依規定辦理修正及語句和用詞</p>
20	<p>p. 31 下部~p. 32 上部文字，與 p. 11 完全相同，是否有需要重複敘述，請再評估。</p>	<p>依建議修正和說明於內文中</p>

附表:CMRR 煤礦上覆岩體分級說明

CMRR 係美國礦務局(現已解編)Molinda 與 Mark(1994)針對煤礦地下開採時,煤層之上覆岩盤強度分級方法。其主要引用參數為單軸抗壓強度(UCS),不連續面等級(DSR),以及水破壞效應(Moisture sensitivity)等三項。由於上述參數有的再工程界一一別種參數引用例如單軸抗壓可以 Point Load 取代;不連續面參數(DSR)可以 RQD 或 FS(裂隙百分比指數)轉換為 DSR,其相關函數如下圖 1。而水的破壞效應參數於本計畫中係採用 CMRR 的分析指數:即岩樣試體取約手掌大小,然後先以地質錘擊之並紀錄其破碎情形,其後再以燒杯乘水浸泡約 1 小時,觀察試體與水的反應,最後再對試體敲擊一次並紀錄破壞程度。最後累計此三次指數分級的總合而予以負值即為 moisture sensitivity,其表單如下圖 2 所示。最後在 CMRR 與 H(上覆岩體厚度)的經驗公式亦列於圖 3,此判別函數(Discriminant Equation)主要是從樣本中相對岩體強度與岩盤穩定性之分級數值。

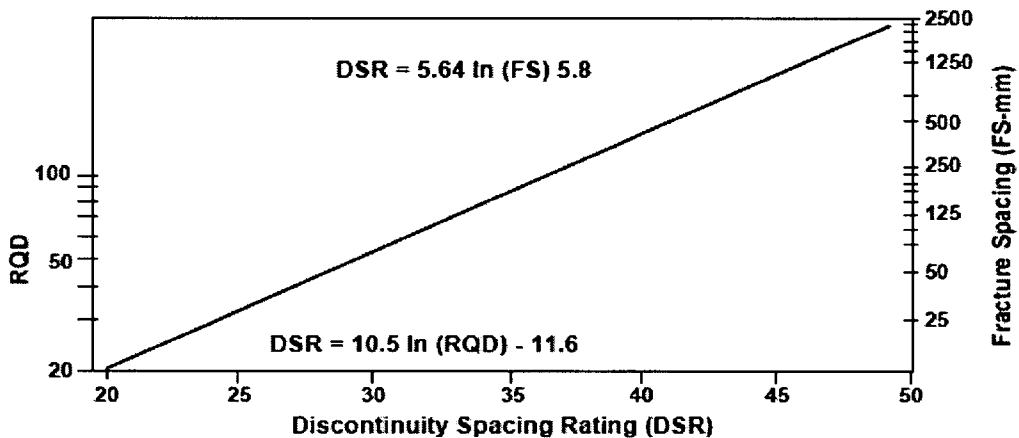


圖 1 CMRR 之 DSR(Discontinuity Spacing Rating)不連續面等級與 RQD, FS(Fracture Spacing)相關之判別公式圖(digest from Molinda&Mark, 2005)

**IMMERSION TEST**

Mine: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Unit No.: \_\_\_\_\_ Tester: \_\_\_\_\_

Sample Description (Lithology, bedding, etc.):

Immersion		Breakability	
Observation	Rating	Observation	Rating
Appearance of Water			
Clear = 0	_____	No Change 0	_____
Misty = -1		Small Change -2	
Cloudy = -3		Large Change -6	
Talus Formation			
None = 0	_____	Breakability Index _____	
Minor = -1			
Major = -3			
Cracking of Sample			
None = 0	_____		
Minor/Random = -1			
Major/Preferred Orientation = -3			
Specimen Breakdown = -9			
Total Immersion Index _____			

**Procedure for Immersion Test**

1. Select sample(s) - ~ hand sized.
2. Test for hand breakability.
3. Rinse specimen (to remove surface dirt, dust, etc.).
4. Immerse in water for 1 hour.
5. Observe and rate water appearance, talus formation, and cracking of sample.
6. Sum Rating for Immersion Index.
7. Retest for hand breakability.
8. Determine Breakability Index.
9. The final Immersion Test Index is the greater of the Breakability Index or the Immersion Index.

圖 2 CMRR 之水破壞效應指數測量流程 (immersion test used to creating the moisture sensitivity, digest from Molinda&Mark, 2005)

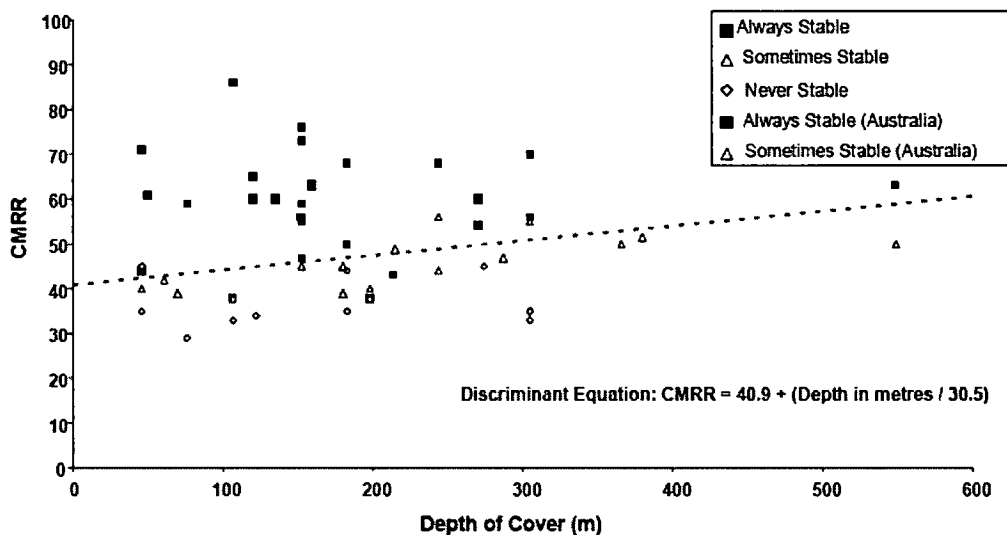


圖 3 CMRR 與上覆岩體厚度之判別函數 (digested from Molinda&Mark, 1999)

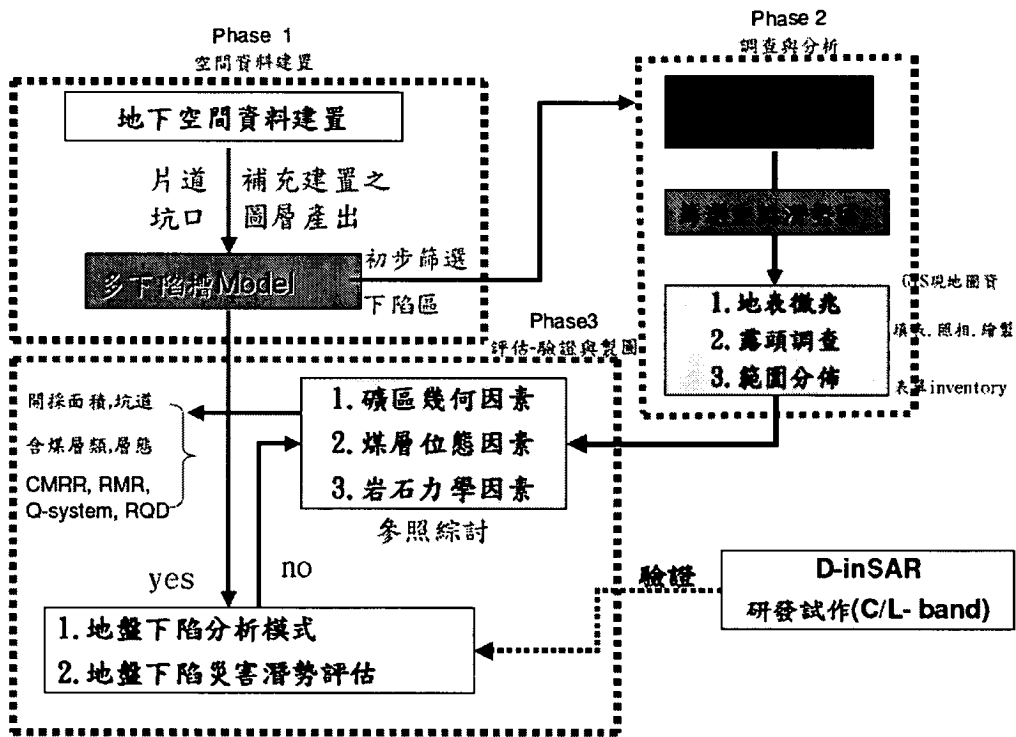


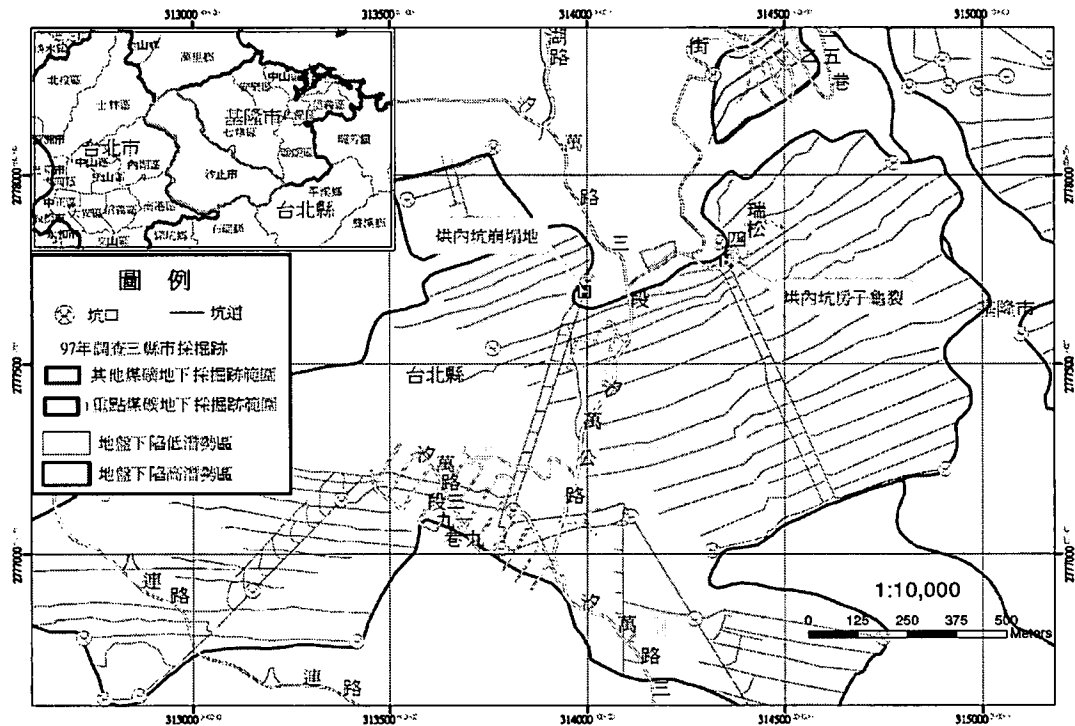
圖 4 工作流程圖中 Phase1 與 Phase2 係兩種方法論，由於均有考量重要之關鍵性因子：礦區幾何-煤層位態-岩石力學。因此經由此兩種方法所獲得之評估結果，能綜整討論(Phase3)此三大因素的驗證與吻合關係，從而建立適合台灣地區之地盤下陷潛勢評估方法


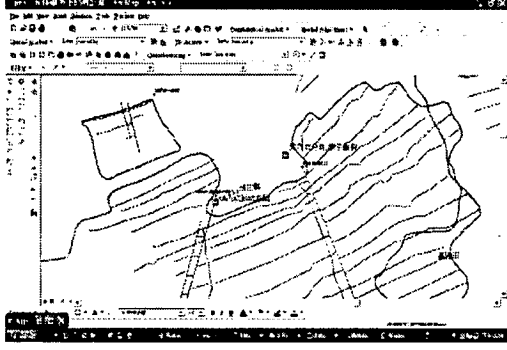



## 附錄 2：97 年度廢棄坑道之地盤下陷災害潛勢評估教育訓練

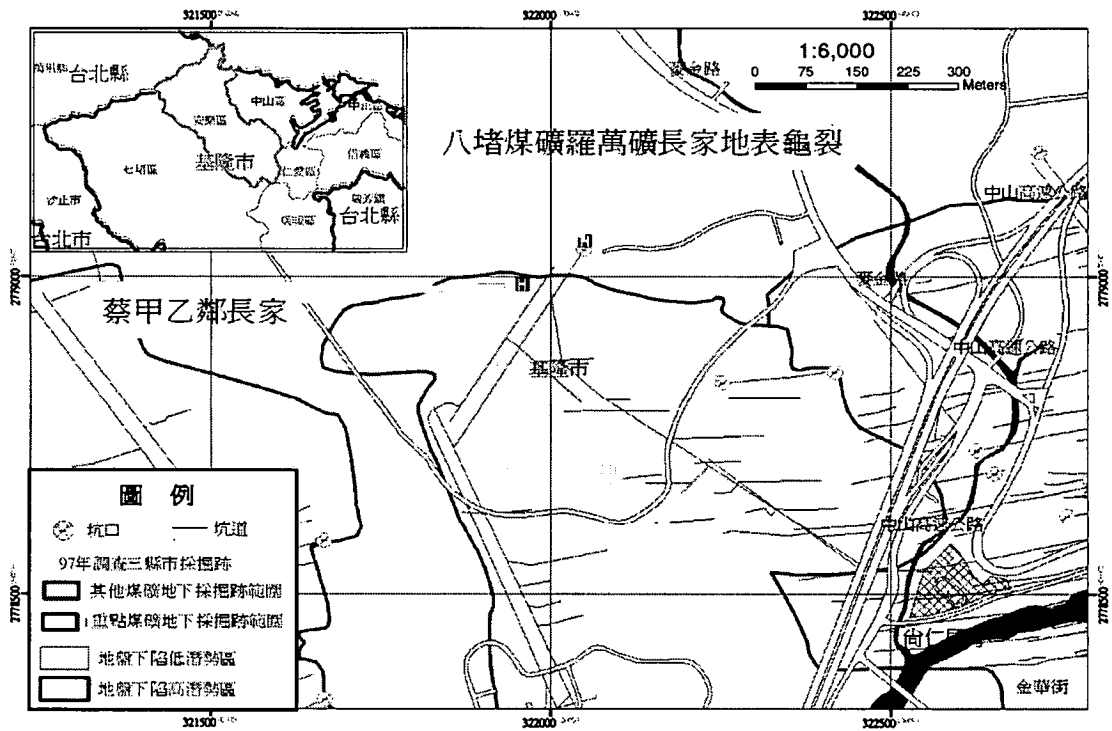
### 現地勘查導覽圖

#### 地點 1-台北縣汐止市汐萬路--烘內坑煤礦



廢棄坑道現況調查			
位置：汐止市瑞南街40號及36號	調查人：蘇治民、徐永志		供內坑煤礦本斜坑塌陷之地表裂縫-1
礦區名稱/字號:mine name/number	供內坑煤礦(分坑)		
重要描述：新的高盤現象，以及地表下陷與電線桿傾斜，附近得續下陷情形，房舍牆壁龜裂，且結構不良，地基已有部份下陷，而附近校舍牆壁及部份房屋屋舍亦已損壞			位於供內坑煤礦(舊本坑-大巷坑)採掘時附近舊房舍牆壁及標柱龜裂
	供內坑煤礦本斜坑塌陷區，其位於坑口前方，屬地表淺層岩性脆弱之處，一旦遇到大雨或颱風極易發生地層下陷之災害		

地點 2-基隆市安樂區鶯歌里八堵煤礦

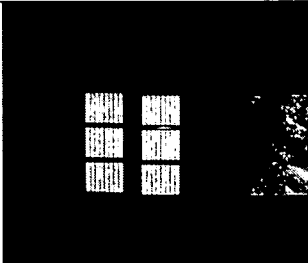




八堵煤礦區萬礦長家丁外側屋樑已傾斜-7



八堵煤礦-高銀城老先生家地板隆起與龜裂



八堵煤礦區萬礦長家內-3



八堵煤礦區甲乙老鄰長家後擋土牆施工造成淺層地表龜裂湧出湧水-1



八堵煤礦區萬礦長家內地板龜裂-2



八堵煤礦區萬礦長家屋後地基已墊高約1公尺