

地熱發電廠之地表環境地質評估-以臺東縣賓茂與金崙溫泉場址為例

翁勳政^{1*} 韓吟龍¹ 劉智超¹ 郭泰融² 廖啟雯²

摘要

臺灣地熱區多位處山坡地自然環境敏感地帶，對於這些地區的開發與利用，如何防範或避開可能的地質災害，為地熱電廠開發亟需重視之問題。本研究提出『環境地質潛勢影響區評估法』之觀念，並結合『環境地質圖』與『環境地形圖』兩圖件，以提升傳統環境地質運用功能。本研究以洪氾、土石流、河岸侵蝕、山崩與地滑等5項潛勢影響評估因子，評估金崙地熱潛能區之兩處預定場址(賓茂及金崙溫泉)之潛勢影響區，以作為未來地熱電廠位置選定參考之依據。根據綜合評估結果，各預定場址之潛勢影響區說明如下：(1) 賓茂場址之低潛勢影響區呈零星分布，較不利電廠建置利用，然若能解決洪氾對其潛在的影響，則可大幅增加低潛勢影響區的分布範圍；(2) 金崙溫泉場址之南北兩側各有一處低潛勢影響區，其中以南側部分面積較大，較有利於電廠建置利用。

關鍵詞：地熱電廠、環境地質潛勢影響評估法、環境地形圖

1. 前言

臺灣地熱區主要分布於北部大屯火山區及中央山脈變質岩區，因其大部分位處山坡地，屬於自然環境敏感區。如何於自然環境敏感區中找到低災害風險區，並防範可能的地質災害，為地熱區開發與永續利用的重要關鍵。本研究建立環境地質潛勢影響區評估方法，並以金崙地熱潛能區為例，評估該地區未來地熱發電廠基地之合適位置。

2. 研究內容與方法

環境地質潛勢影響區評估法主要內容有：
(1) 環境地質分析-探討潛在地質災害發生區的位置與類別；(2) 環境地形分析-依據地形地貌

的特性劃分地形單元；(3) 潛勢影響區劃定-結合上述兩項成果，並以預定場址為保全對象，劃定出各類地質敏感區未來可能產生的影響區範圍與潛勢分級。

環境地質災害潛勢影響區評估法作業流程如圖1，包括以下五個步驟：(1) 基本圖資蒐集-包括相片基本圖、航空照片、數值地形、環境地質資料及其它相關圖件；(2) 圖面判釋-透過基本圖資的圖面判釋與數位化作業，以獲取環境地質及環境地形等成果圖；(3) 環境地形災害分析-將上述兩圖件疊合，由地形特有的『接鄰性』，初步了解各類地質災害敏感區及其周邊地形單元間的相互關係；(4) 地形單元潛勢影響區的劃定-以可適性場址地形單元(如地形條件屬於高程<1,000 m、坡度<15%、面積大於1公頃之地形區)作為研究範疇，依據現有的法規、文

¹工研院綠能所 研究員

²工研院綠能所 資深研究員

*通訊作者, 電話: 03-5914274, E-mail: wengsj@itri.org.tw

收到日期: 2013年08月14日

修改日期: 2013年09月18日

接受日期: 2013年10月03日

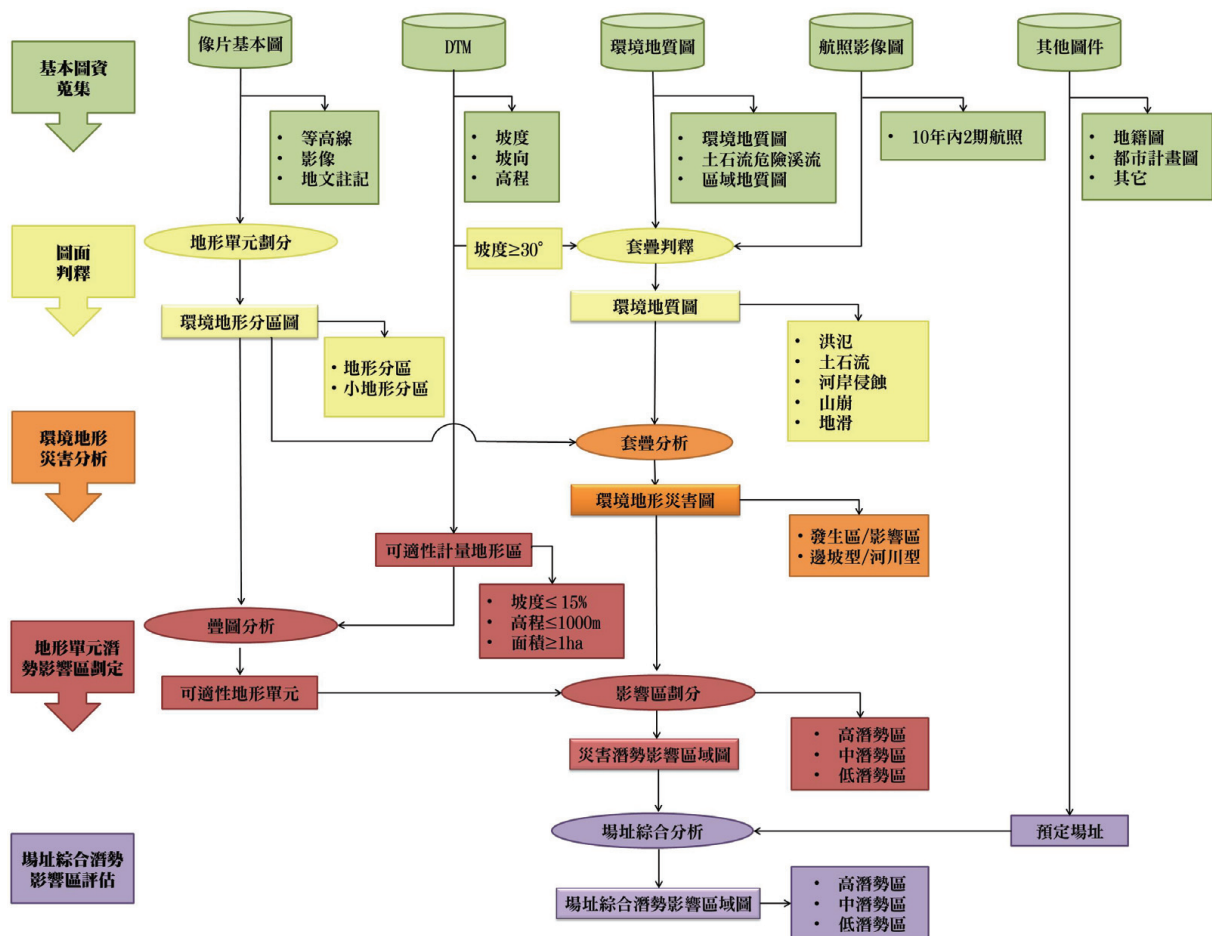


圖1 環境地質災害潛勢影響區評估流程圖

獻與歷年災害實錄等，推演周邊鄰接地質災害敏感區可能造成的影響區與潛勢分級；(5) 場址綜合潛勢影響區評估-以預定場址或基地為保全對象，綜合各類災害潛勢影響區之評估結果。以下說明環境地質、環境地形與潛勢影響區評估等三項工作內容。

2.1 環境地質

環境地質調查工作之目的為取得地質災害敏感區之位置及其類別。地質災害敏感區是指已發生或潛在發生地質災害之地區。山坡地常見的地質災害敏感區可區分為邊坡型與河川型等兩大類，前者係指因邊坡之破壞，而損及人類生命或財產安全的區域；後者則是由河川的侵蝕與堆積作用所肇生的地質敏感區域。表1為一般山坡地常見的地質災害敏感區分類表。

金崙地區之環境地質圖彙編自內政部營

建署(2002)『臺灣省重要都會區環境地質資料庫』、臺東縣政府(2008)『金崙地熱發電示範系統探勘評估』與行政院農委會(2010)『土石流潛勢溪流調查成果圖』等圖件；另針對民國98年莫拉克颱風進行航照判釋，取得風災時所造成的災害實錄。

2.2 環境地形

環境地形為配合『環境地質潛勢影響區評估技術』發展所建立的地形單元系統，並利用各地形區間的接鄰性，掌握與評估地質災害敏感區之發生區、運動區及影響區間的關係。其分類系統有兩階，第一階依據地勢與區位，由高至低處分為高地區、坡面區、階地區及低地區等4類地形分區；第二階以地貌特性為準則，將各地形區再細分小地形單元。表2為山坡地環境地形之類別與特性(翁勳政等，2009)。

表1 坡地地質災害敏感區之分類表

大分類	中分類	小分類
邊坡型	崩塌(LS)	山崩(LS1)、地滑(LS2)
	陡坡(SA)	坡度 $\geq 30^\circ$ 及 $<60^\circ$ (SA1)、坡度 $\geq 60^\circ$ (SA2)
	順向坡(DS)	確認(DS1, 經過現地確認者)、推估(DS2, 依據地質圖、坡向圖或航照等判釋所得者)
河川型	河流侵蝕(ER)	河岸侵蝕(ER1)、向源侵蝕(ER2)、蝕溝侵蝕(ER3)
	土石堆積(DF)	土石流危險溪流(DF1, 農委會)、土石流(DF2, 中央地調所『環境地質資料庫』)、土石流敏感溪流(DF3, 依據地形、地質特性與航照判釋所得者)
	洪水氾濫(FD)	現有河道(FD1, 包括河槽與沙地)、舊河道(FD2, 新、舊兩期航照或地形圖比較可得)

2.3 災害潛勢影響區評估

災害潛勢影響區域圖為防治工法選取與施設的重要依據(陳禮仁, 2007); 經濟部中央地質調查所依據地質法(2010)及相關作業準則(2012), 規範山崩與地滑地質敏感區的調查, 應包括其對基地或場址的影響範圍。潛勢影響區劃定的方法或原則散見於法規或文獻上, 翁勳政等人(2010、2013)參考相關法規與文獻製作出潛勢影響區劃分準則(如表3); 從先期的環境地質圖、莫拉克災害實錄以及航照判釋結果, 本區出現之環境地質災害敏感區有: 洪氾、土石流、河岸侵蝕、山崩與地滑等; 從區域地質圖來看, 場址周圍坡面多屬斜交坡或逆向坡, 區內無發生典型的順向坡災害之潛勢, 另依據中央地調所出版『活動斷層分布圖』(林啟文等, 2000), 場址及其周圍無活動斷層分布。

3. 地熱區與場址之概況

3.1 地熱區概況

金崙地熱區位於臺東縣太麻里鄉與金峰鄉交界, 行政轄區包括太麻里鄉金崙村、多良村及金峰鄉歷坵村。金崙市街為本區的交通軸心, 聯外幹道有南迴鐵路與臺9線公路, 區內交

通則依賴東66道路(金崙林道), 如圖2所示。

金崙地熱區位處於中央脊梁山脈東斜面臨海側之丘陵山麓帶, 除部分山峰脊嶺外, 多為海拔高程1,000 m以下的山坡地。金崙溪貫穿其間並注入太平洋; 於歷坵至出海口間, 溪流的兩岸多見平原與階地, 可提供作為地熱發電場址之適宜性地形單元。

地熱區出露之地層屬於中新世知本層, 岩性以厚層板岩為主, 間夾變質砂岩, 沖積層與階地堆積層以不整合方式覆蓋於其上; 瀧山斷層為區內較重要的地質構造線(如圖3所示)。地熱溫泉徵兆露頭分布在金崙溪下游, 約自溫泉橋起上溯至歷坵間, 延伸長約1.5公里, 露頭有5處, 地熱溫泉徵兆區有3區(工研院, 2002)。熱水由河床沖積層及岩層裂隙湧出, 附近可見熱水換質及河床上礫石銹染現象。現地量測到的溫度介於42.5~57°C間。

3.2 場址概況

金崙地熱潛能區分布於金崙溪下游地帶, 賓茂至歷坵間。由交通便利性與避開聚落區等兩原則, 初步選定『賓茂』與『金崙溫泉』等兩處預定場址, 作為本研究之研究範圍(如圖2所示)。賓茂場址東距金崙市街中心約1.5公里, 其範圍東起賓茂國小、西迄金崙溫泉間, 南北界分別為金崙溪左岸堤防與東66道路, 係由沖積層構成的平原區。金崙溫泉場址東距金

表2 山坡地環境地形類別及特性表

地形分區		小地形區		
		定義		環境特性
高地區 (HL)	(1) 地勢較周圍地形單元為高之地區。 (2) 環境上；因地勢孤立，為地震山崩之高潛勢區；多屬源流區，易受河流溯源侵蝕作用而誘發山崩。	高山均夷面(EH)	坡頂區之開闊緩起伏之高地。	易受河流溯源侵蝕作用之災害影響區。
		山脊(RG)	是一條狹長而兩側陡急之高地，多為集水區之分水。	
		稜線(CR)	沿主要山脊兩側由高往下延伸之地形(支稜)。	
		山頂(PK)	山之最高處；突出於山脊或山稜之小丘。	因地貌突出，易受外力作用，而肇生山崩之發生區。
		山丘(KN)	指突出周圍平坦地形面之小丘。	
坡面區 (SL)	(1) 其上銜高地地形區，而下接鄰低地或階地。 (2) 在環境上，因其高度、坡度與坡向等不均衡的物性，而為不穩定之區，故多為災害發生區。	斜坡(SL)	坡面不論緩或陡，其等高線大致間隔相等。	坡面崩塌之發生區。
		山嘴(SP)	一般以位在山脊或山稜尾端的坡面，其等高線呈向外凸出。	
		谷坡(VSL)	以發育於河流水系兩側之凹狀坡面，其等高線呈半環或圈狀。	屬於河流侵蝕作用區域，為坡面崩塌之發生區，或為運送崩塌土石之輸送區。
		複合坡(CSL)	地貌起伏變化不定之坡面，等高線呈疏緊複雜變化。	
階地區 (T)	(1) 指位在河岸或山坡之窄平長地。一般指河階，沿河岸的階狀地形。 (2) 在環境上，其上下坡面接鄰坡面，而為災害影響區。	高位階地(LT)	河階的成為地盤隆起與河流急速下切，所遺留的舊河床面。地理學家依階面高低，再區分為低位(十數公尺至數十公尺，侷限於河道兩側)、高位(數十公尺至百公尺)兩類。	災害影響區。階面前緣緊鄰河岸，河岸侵蝕可能誘發下坡面崩塌；階後緣鄰接上坡面或谷口，為崩塌或土石流堆積物之堆積區。
		低位階地(FT)		
		山肩階地(SD)	是山稜線中間，坡度較平緩的地方。	小規模的階地；以受上坡面的陡坡崩塌或下坡面之向源侵蝕作用影響。
		人工階地(AT)	由山區道路修築或基地整地所形成的階狀地形。	
低地區 (LL)	(1) 指該地比鄰近低下或平坦之地區。 (2) 在環境上，屬於災害影響區。因其為易於開發之地，故多為山區聚落之所在。	河流(R)	是地面一條狹長的低地，伸入周圍坡地。兩者皆為流水通路，前者多為長流河，後者多為間歇河。	坡地災害的運動區；其為流水或崩塌土石之通道。
		溝谷(GU)		
		氾濫平原(FP)	分布於河岸兩岸低地，其由現今河道之堆積物所造成；其高程略高出河道數公尺左右。	災害影響區；來自周圍坡面之崩塌、河流帶來土石流。
		扇狀地(F)	為河流自山區流出谷口所形成之之扇狀堆積，等高線呈現顯著扇狀展開之形貌。	屬於土石流災害之潛勢區。

表3 地質災害潛勢影響區分類評估表

災害類型	判釋資料來源	潛勢影響區分級		
		高	中	低
洪氾	◆農林航空測量所出版之第1版「相片基本圖」。 ◆近10年內兩期的「航空照片」。 ◆示意圖如圖4所示。	◆10年內洪水河岸線之範圍。	◆基本圖之河岸線至洪水河岸線間。	◆基本圖之河岸線至山麓線間。
土石流	◆行政院農委會出版之「土石流潛勢溪流調查成果圖」。 ◆農林航空測量所出版之「相片基本圖」與「航空照片」。 ◆環境地形判釋成果圖。 ◆示意圖如圖7所示。	◆農委會之土石流影響區。 ◆航照判釋所得之土石流影響區。	◆鄰接部份之扇狀地形單元區(排除高潛勢影響區)。	◆排除高與中兩潛勢影響區之外圍區域。
河岸侵蝕	◆農林航空測量所出版之「相片基本圖」與「航空照片」。	◆近10年內最顯著的河岸侵蝕之影響區。	◆河岸頂緣擴展1倍岸高距(1H)之範圍。	◆河岸頂緣擴展>1H之外圍區域。
山崩	◆鄰接部份的坡面地形單元之陡坡區(坡度 $\geq 30^\circ$)。 ◆陡坡區可藉由等高線或DTM運算所得。 ◆示意圖如圖10所示。	◆陡坡下緣擴展 ≤ 1 倍坡高(1H)之範圍。	◆陡坡下緣擴展1H至2H之範圍。	◆陡坡下緣擴展>2H之外圍區域。
地滑	◆鄰接部份的坡面地形單元之地滑區。 ◆歷年出版之「環境地質圖」。 ◆由環境地質判釋或調查準則所得之地滑區。 ◆示意圖如圖14所示。	◆地滑區下緣擴展 $\leq 1/4$ 坡長(L/4)之範圍。	◆地滑區下緣L/4至1L之範圍。	◆地滑區下緣>1L之外圍區域。
順向坡	◆鄰接部份的坡面地形單元之順向坡區。 ◆歷年出版之「環境地質圖」。 ◆順向坡滑動為地滑之一種。	◆順向坡地滑區下緣擴展 $\leq 1/4$ 坡長(L/4)之範圍。	◆順向坡下緣L/4至1L之範圍。	◆順向坡地滑區下緣>1L之外圍區域。
綜合評估	◆上述各類潛勢分級結果。 ◆以預定場址為標的。	◆各項地質災害高潛勢影響區之聯集。	◆各項地質災害中潛勢區之聯集(已排除高潛勢影響區)。	◆排除中與高潛勢影響區之外圍區域。

崙市街中心約3公里，介於金崙溫泉與歷坵間，東西界分別為金崙溪左岸堤防與東66道路，係由階地堆積層與沖積層所構成的階地與平原。在環境地形特性上，此兩場址皆屬於地質災害之潛在影響區。

4. 金崙地熱區評估案例

金崙地區在莫拉克颱風肆虐期間所誘發之地質災害，其涵蓋河川型與邊坡型等兩類；其中河川型敏感區為直接影響，包括洪氾、土石

流堆積與河岸侵蝕等；而邊坡型敏感區為潛在影響，有山崩與地滑等；以下就可能影響區內兩場址之環境敏感區類型，進行相關的評估作業。

4.1 洪氾潛勢影響區評估

洪氾地區常見於鄰近溪、河、湖泊或暴風雨範圍內之海岸帶、洪氾平原等地，位於此範圍內之人類活動，潛在有遭受洪水侵襲之可能(行政院經建會都發處，1985)。『建築技術規則』對於洪氾影響區的劃定準則為：河床兩岸低地，過去洪水災害記錄顯示其周期小於十年之範圍，但已有妥善之防洪工程設施並經當地主管建築機關認為無礙安全者，不在此限(內政部營建署，2010)。

洪氾判釋來源包括：民國91年與98年之航空照片及民國64年之相片基本圖。其中民國91年航照之河岸線寬度最窄(低水期)，為本研究洪氾影響區比對的基準。預定場址之洪氾潛勢影響區分為三級(表3、圖4)：(1) 高潛勢影響區-民國98年航照之洪氾災害區域，為近10年內最大洪水侵襲區域；(2) 中潛勢影響區-分布於民國64年之相片基本圖(尚未施設堤岸)至民國98年兩河岸線間之範圍，為金崙溪舊行水區；(3) 低潛勢影響區-分布於基本圖河岸線至山坡地山麓線間，在地質上意義為金崙溪古行水區，為不易受近期洪水影響的區域。

各預定場址之洪氾潛勢影響區評估結果為：(1) 賓茂場址-受民國98年莫拉克颱風影響，西南側堤防損壞致洪水溢堤，於洪水淹沒區域為高潛勢影響區；中潛勢影響區廣泛分布於場址中央處；低潛勢影響區分布在北側(圖5)。(2) 金崙溫泉場址-受民國98年莫拉克颱風影響，東南側之沖積平原區，大部分受河岸侵蝕與洪水的作用，而呈明顯的高潛勢影響區分布，少部分則為中潛勢影響區；至於西北側屬低位階地區，僅在南端邊緣處因河岸侵蝕作用而為洪水所淹沒，屬於高潛勢影響區，其它部分皆屬低潛勢影響區(圖6)。

4.2 土石流潛勢影響區評估

土石流係指溪谷或斜坡上之鬆散土石，與逕流或雨水相伴，形成高濃度的土、石順著溝谷流動的現象。典型的土石流地貌包含：(1) 發源區-湯匙面狀之凹谷地形；(2) 流動區-狹長細條狀之河溝地形；(3) 堆積區(影響區)-地形上常表現扇狀地形(如圖6)。行政院農業委員會(1996)對於土石流影響區之劃定原則為：(1) 以山谷出口、扇頂或坡度 10° 做為扇狀地之頂點；(2) 自此頂點向下游劃出擴展角度 105° 之扇狀區域；(3) 以扇狀區坡度 2° 為土石流到達之邊界(圖7)。

綜合政府公告資訊、災害實錄與地貌特徵，預定場址之土石流潛勢影響區分為三級

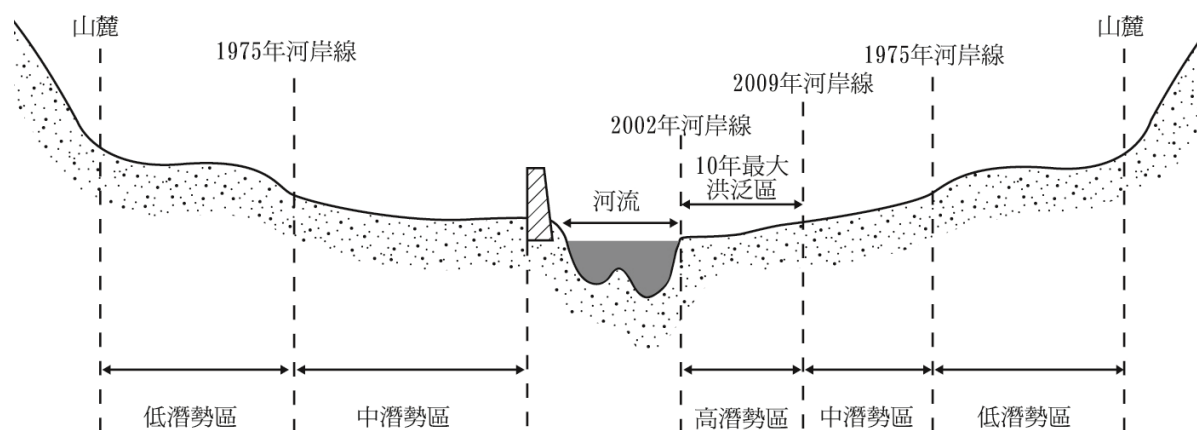


圖4 洪氾潛勢影響區劃定示意圖

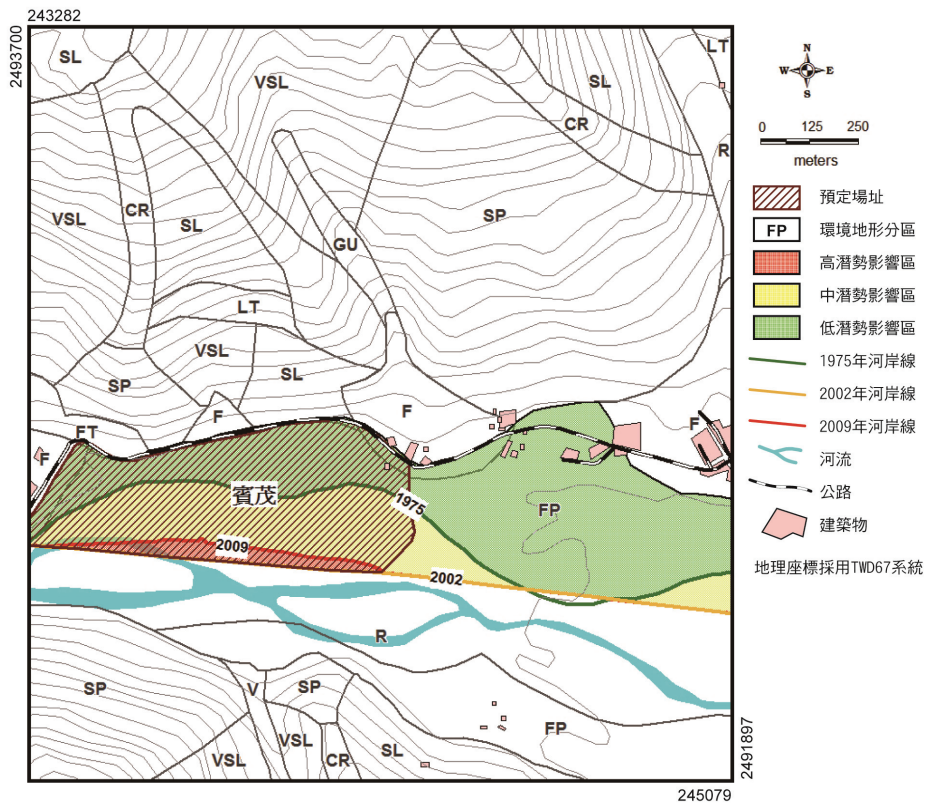


圖5 賓茂預定場址之洪氾潛勢影響區域圖

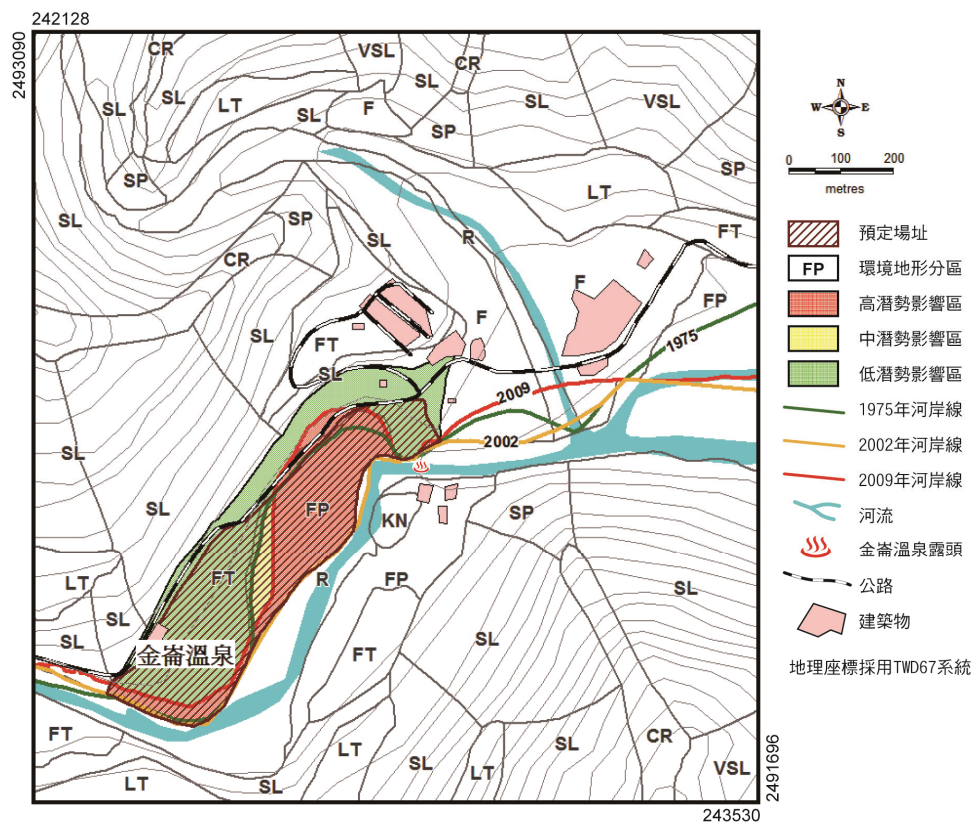


圖6 金崙溫泉預定場址之洪氾潛勢影響區域圖

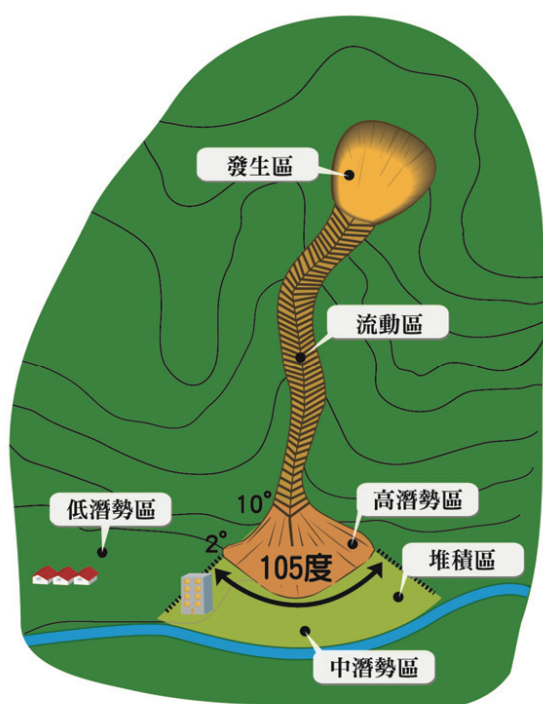


圖7 典型土石流地形及其潛勢影響區示意圖

(表3)：(1) 高潛勢影響區-包括農委會土石流危險溪流影響區，以及民國98年航照土石流歷史

災害區；(2) 中潛勢影響區-在環境地形圖上屬扇狀地形單元區，為舊期土石流所造就之堆積區；(3) 低潛勢影響區-不屬上述二類，在地形圖上多呈平坦的地形面。

預定場址之土石流潛勢影響區僅見於賓茂地區。賓茂場址內高潛勢影響區，僅見於東縣DF114危險溪流影響區，場址外之賓茂聚落南端“a”處為民國98年航照之土石流跡地；中潛勢影響區分布於場址周邊之扇狀地形單元區；而低潛勢影響區分布於區內大部分地區(圖8)。

4.3 河岸侵蝕潛勢影響區評估

河岸侵蝕是河流側向侵蝕所造成之結果，可使河岸後退及河道變寬，其主要發生在河道轉彎處之凹岸，這種侵蝕作用不但會把趾部逐漸淘空，使河岸變陡，並造成河岸發生崩塌現象。『建築技術規則』對於自然河岸高度超過五公尺之河岸，其不得開發建築之管制範圍見表4 (內政部營建署，2010)。金崙地熱區的河

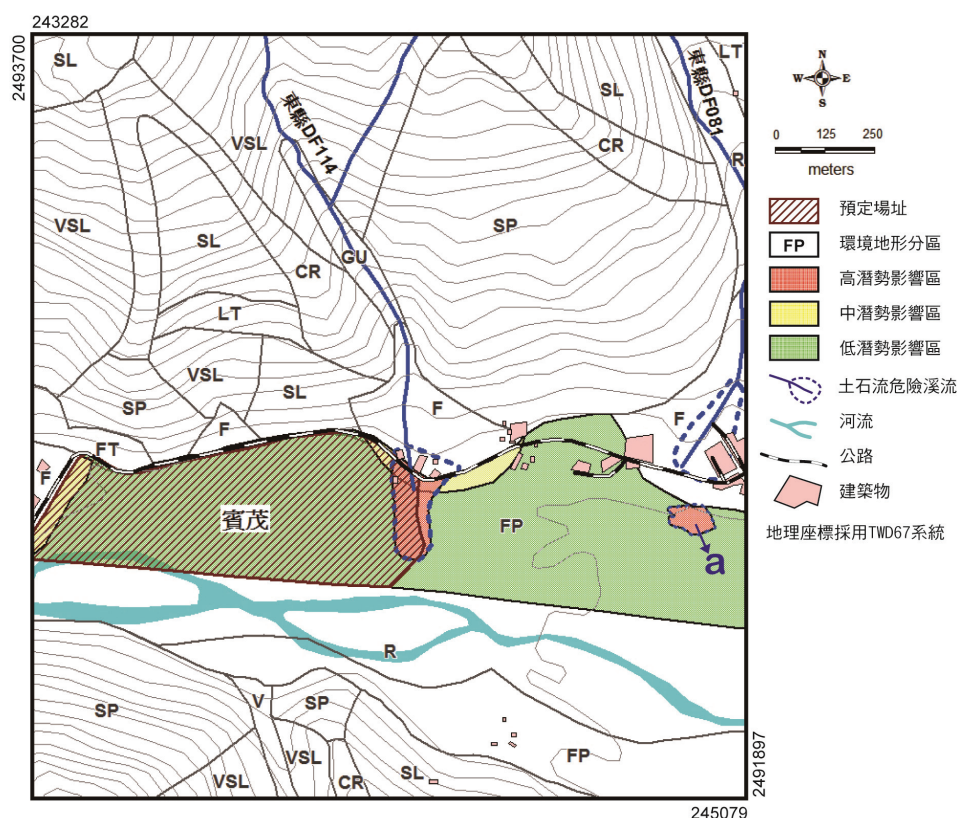


圖8 賓茂預定場址之土石流潛勢影響區域圖

表4 河岸侵蝕之不得開發建築範圍表

河岸邊岸之角度(θ)	地質	不得開發建築範圍 (自河岸頂緣內計之範圍)
$\theta \geq 60^\circ$	砂礫層	岸高(H) \times 1
	岩盤	岸高(H) \times 2/3
$40^\circ \leq \theta < 60^\circ$	砂礫層	岸高(H) \times 2/3
	岩盤	岸高(H) \times 1/2
$\theta < 45^\circ$	砂礫層	岸高(H) \times 1/3
	岩盤	岸高(H) \times 1/3

階大部分由砂礫層所組成，民國98年莫拉克颱風造成金崙溫泉場址附近有明顯的河岸侵蝕現象。

預定場址之河岸侵蝕潛勢影響區分為三級(表3)：(1) 高潛勢影響區-民國98年航照為河岸侵蝕區所造成之災害區域；(2) 中潛勢影響區-民國98年新河岸線1倍的岸高距範圍；(3) 低潛勢影響區-民國98年新河岸線1倍的岸高距以外區域。

預定場址之河岸侵蝕潛勢影響區僅見於金崙溫泉地區，且在平原區與階地區有顯著的地形因素造成差異影響。金崙溫泉預定場址之河岸侵蝕潛勢影響區評估結果顯示(圖9)：(1) 平原地形單元(FP)主要分布於場址之東北側，由民國98年航照可見河岸線明顯往西偏移，其多屬高河岸侵蝕潛勢影響區；(2) 低位河階地形單元區(FT)分布於場址之大部分地區，僅在其南端部分受到河岸侵蝕影響，呈中至高潛勢影響區，其餘部分則屬低潛勢影響區。

4.4 山崩潛勢影響區評估

山崩係指岩體或土體以崩落或崩滑運動方式的崩塌，因崩塌體遭受嚴重破壞，故破壞面常裸露於地表。山崩主要受地形因素的影響，發生於陡峭坡面，因此陡坡區(坡度 $>30^\circ$)為其潛因區。陡坡區係依據民國64年等高線經數化與坡度運算之結果。

日本對於山崩所設定之警戒區域，以坡度

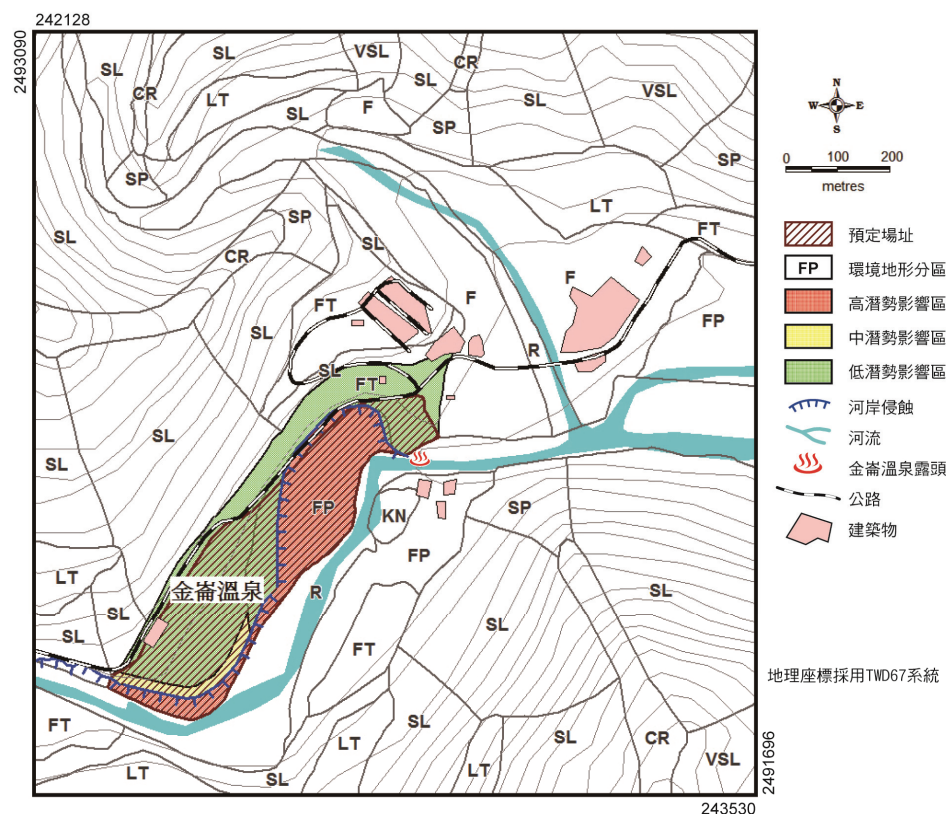


圖9 金崙溫泉預定場址之河岸侵蝕影響區域圖

>30°及坡高5公尺以上之坡面，視為潛在崩塌區(或稱陡坡地)，並劃分該陡坡地高度之1倍之水平距離範圍為危險區，2至3倍陡坡地高度範圍為誘發助長區(李三畏，1989)。預定場址之山崩潛勢影響區分為三級(表3及圖10)：(1) 高潛勢影響區-為自坡趾處往外擴展1倍陡坡區坡高之範圍；(2) 中潛勢影響區-1至2倍間之陡坡區

坡高之範圍；(3) 低潛勢影響區-大於2倍陡坡區坡高之區域。

預定場址之山崩潛勢影響區域評估結果顯示：(1) 賓茂場址之北端接鄰坡地地形區計有3處陡坡區，高山崩潛勢影響區大致分布於東66公路兩側，偏南則為中潛勢影響區，而場址南側大部份屬於低山崩潛勢影響區(圖11)；(2) 金

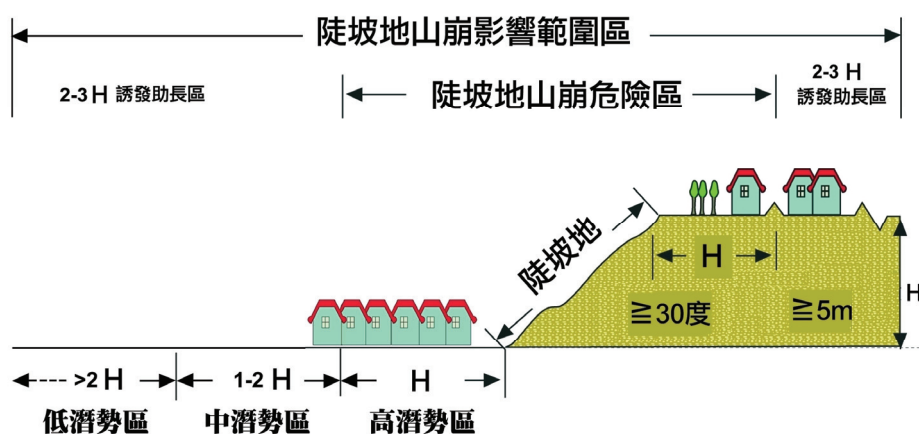


圖10 陡坡地山崩潛勢影響區劃定示意圖(修改自李三畏，1989)

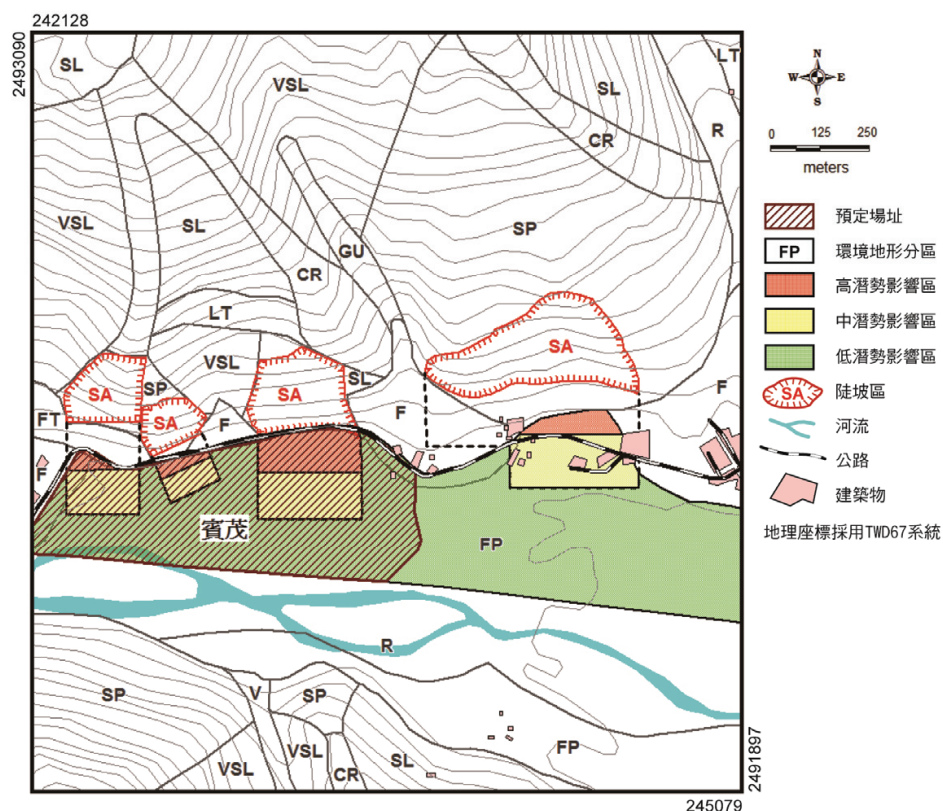


圖11 賓茂預定場址山崩潛勢影響區域圖

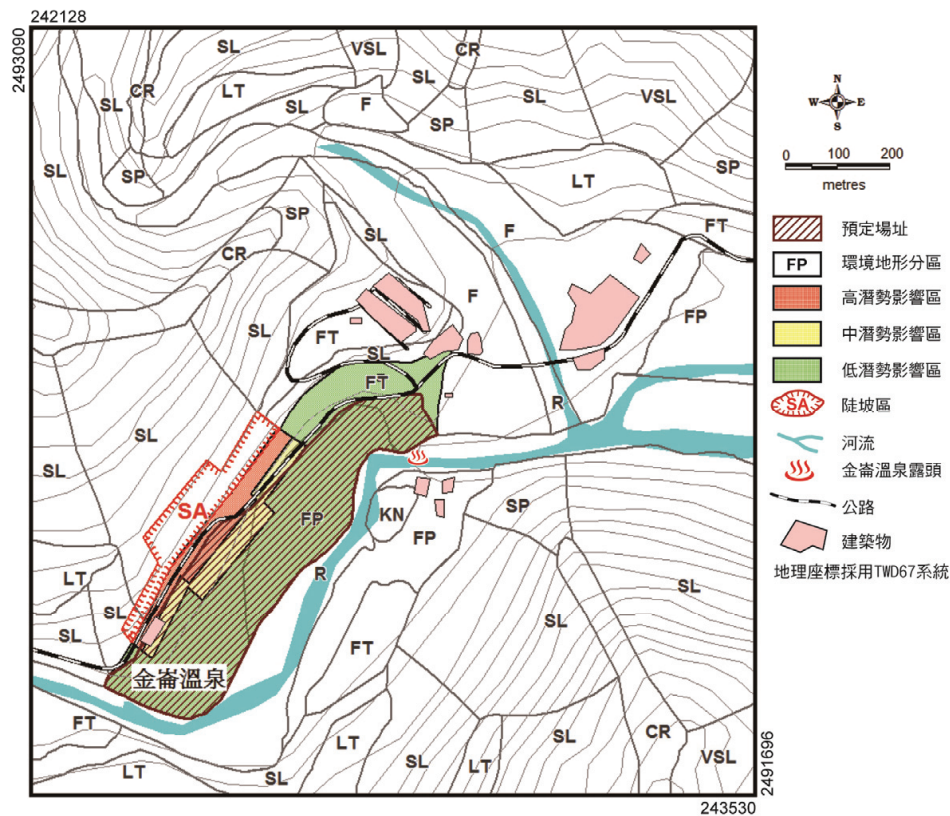


圖12 金崙溫泉預定場址山崩潛勢影響區域圖

崙溫泉場址之西南端接鄰坡地地形區有1處陡坡區，中高潛勢影響區大致分布於場址西側之東66公路兩側，而在場址東側大部分地區屬於低潛勢影響區(圖12)。

4.5 地滑潛勢影響區評估

地滑係指發生於岩體或土體深部的崩塌，沿圓弧狀或平面之破壞面往下滑移。在地形上特徵包括(圖13)：(1) 殘留陡崖狀滑落崖；(2) 沉陷的滑動體；(3) 向外凸出的趾部；(4) 周圍側翼的雙溝同源等(藤田明敏，1970)。

日本對於地滑所設定之警戒區域，以一個長約250公尺之滑動體為例，其下方側自趾部往外60公尺以內，屬於特別警戒區域(約1/4滑動體長度)，而1倍滑動體長度(250公尺)則為警戒區域(吳建宏和陳禮仁，2006)。預定場址之地滑潛勢影響區分為三級(表3及圖14)：(1) 高潛勢影響區-自坡趾處往外擴展1/4之滑動體長度範圍；(2) 中潛勢影響區-1/4至1倍之滑動體長

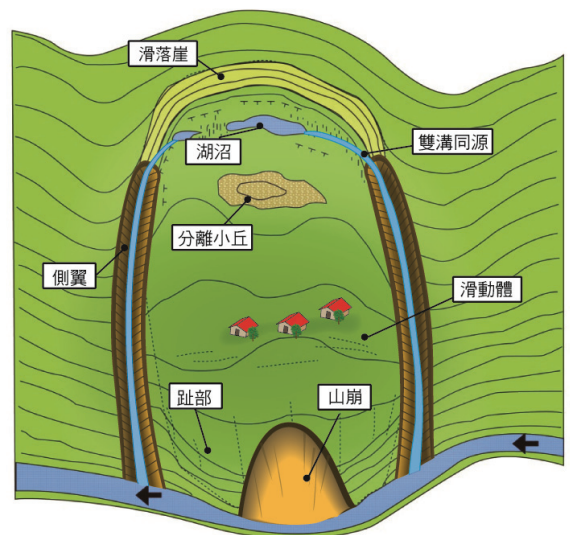


圖13 地滑地形示意圖(藤原明敏，1970)

度範圍；(3) 低潛勢影響區-大於1倍滑動體長度之區域。

預定場址地滑影響區僅見於賓茂。賓茂場址及其周邊有二處地貌判釋而得的地滑區；(1) 賓茂聚落北側地滑-高潛勢影響區可能影響東66

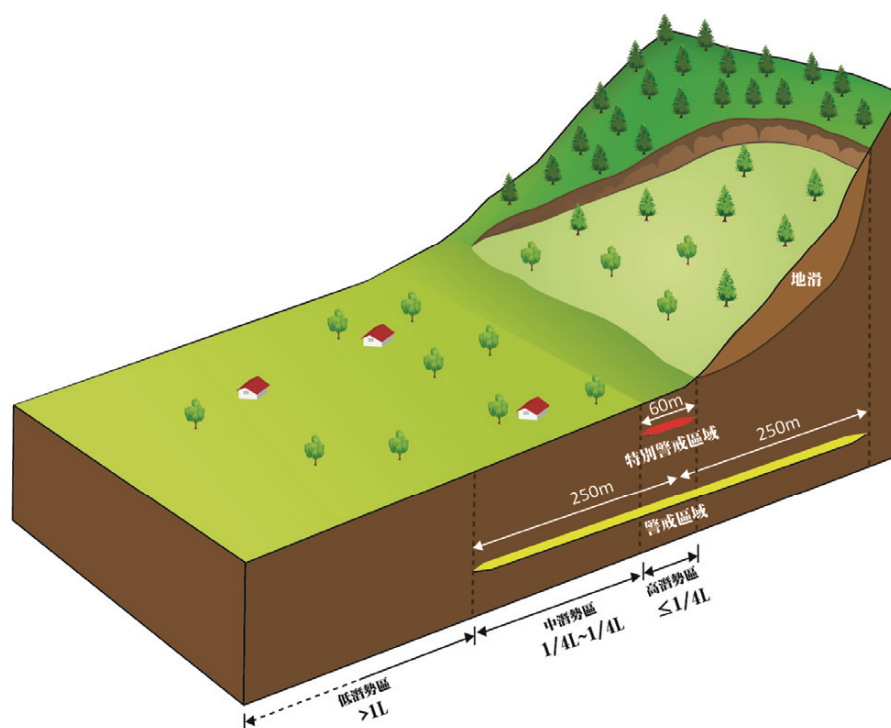


圖14 地滑潛勢影響區劃定示意圖(修改自吳建宏和陳禮仁，2006)

旁之聚落，中影響區在其下緣鄰接平原之大部分地區；(2) 場址北側地滑-僅小部分的中潛勢影響區延伸至場址內，場址大部分地區則為低潛勢區(圖15)。

4.6 綜合評估

綜合潛勢影響區作業，採用GIS疊圖功能及由高而低的排除法則。賓茂預定場址之地形環境單元皆為沖積平原，評估結果(如圖16)顯示：(1) 高潛勢影響區分布於場址之北側與南側，北側部分受土石流、山崩等影響，南側部分受洪氾影響；(2) 中潛勢影響區廣泛分布於場址中央部分，包括山崩、地滑、土石流與舊河道行水區；(3) 低潛勢影響區零星分布於場址內，其中位在東北端之低潛勢影響區的面積約0.7公頃，略大於清水地熱區舊電廠(面積約0.4公頃)，另3處的面積介於0.18-0.3公頃間，相對較小。若賓茂預定場址能解決洪氾的影響，由土石流、山崩與地滑等因子之綜合潛勢影響區評估結果(如圖17)顯示，其低潛感面積大幅增加為15.7公頃，足以提供未來地熱電廠開發之

利用。

金崙溫泉預定場址之地形環境單元包括東側沖積平原與西側的低位階地，評估結果(如圖15)顯示：(1) 高潛勢影響區主要分布於平原區與少部份的階地區，洪氾與河岸侵蝕為主要影響，部分受山崩影響；(2) 中潛勢影響區分布於場址中央之階地與平原區，係受洪氾、河岸侵蝕與山崩等影響；(3) 低潛勢影響區共有2處，其分布於場址南北兩側，北側面積約0.87公頃，南側面積約2.77公頃，兩者的面積明顯大於清水地熱電廠(約0.4公頃)。

5. 結果與討論

地熱電廠開發為重大投資，為確保電廠開發利用之安全與永續經營，詳細且客觀的環境地質評估是一項重要工作。預定場址地形環境常為接鄰山坡地之低地區，雖然屬地形平坦、開發容易之區域，不過在環境地形特性上屬於地質災害影響區，來自周緣坡面與上游河川可能帶來的影響，宜加以考量並進行環境地質潛

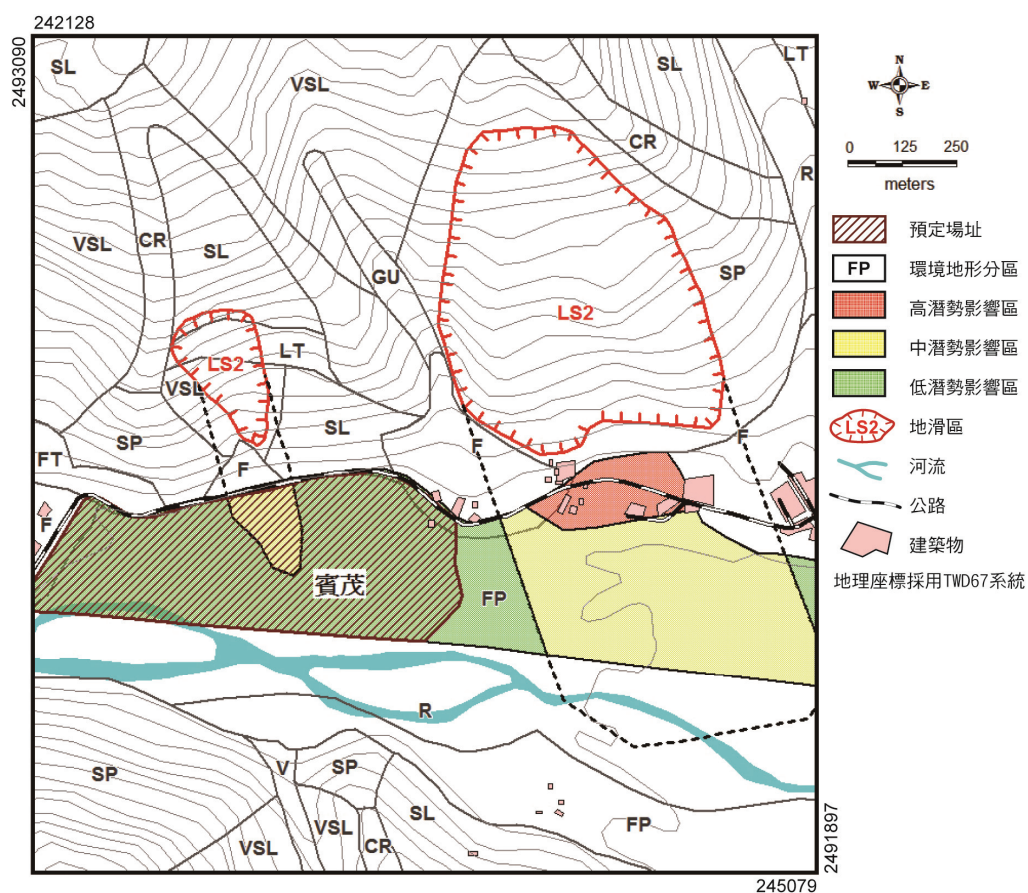


圖15 賓茂預定場址地滑潛勢影響區域圖

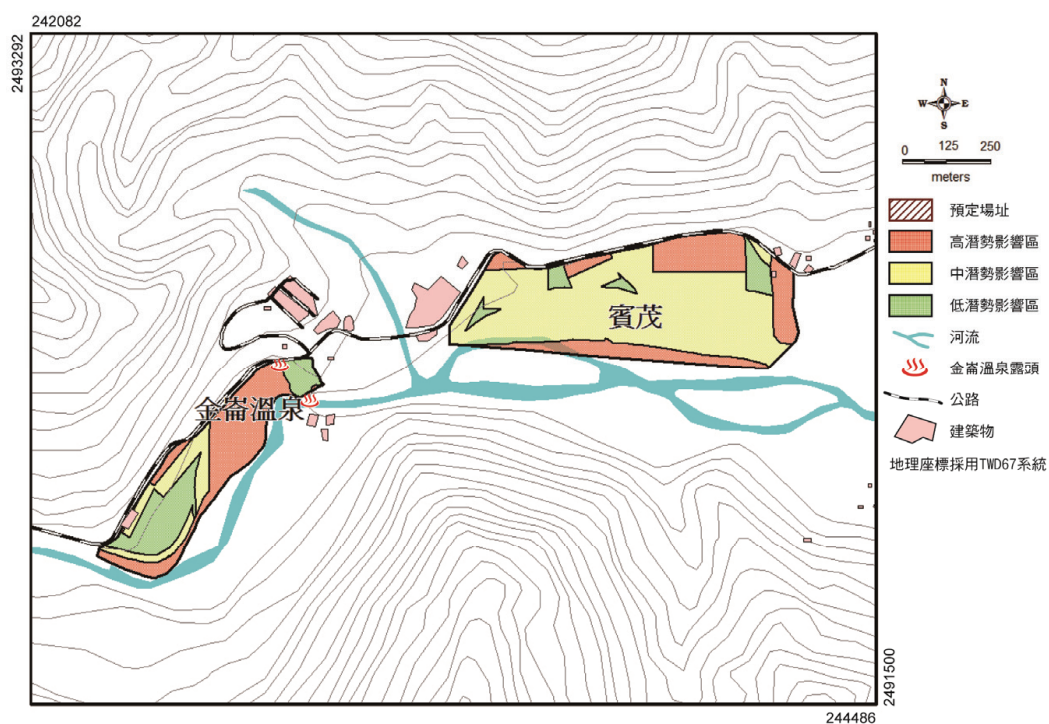


圖16 金崙地區預定場址綜合影響區圖

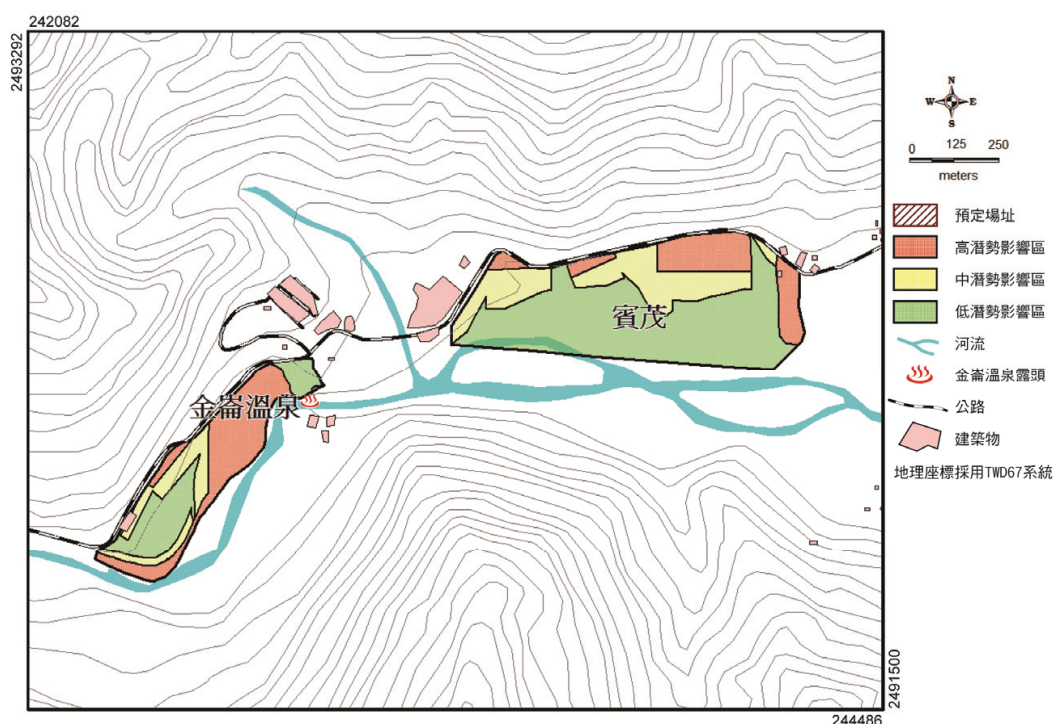


圖17 金崙地區預定場址綜合影響區圖(排除賓茂場址之洪氾影響)

勢影響區評估。未來實際設廠時，除儘量避開環境地質災害敏感區外，亦可同時考慮以土木、地工技術與水土保持等工程手段，加強確保場址安全、降低災害損失。

本研究結合環境地質、環境地形及潛勢影響區等分析技術，提出『環境地質潛勢影響區評估法』之觀念，並以金崙地熱電廠預定場址為案例，提供客觀、快速與簡便的基地選址參考。評估分析內容包括洪氾、土石流、河岸侵蝕、山崩與地滑等項目；整體來看，區內以河川型態的洪氾與河岸侵蝕之影響較為顯著，邊坡型態的山崩與地滑之影響則較小。各場址的評估結果顯示：(1) 賓茂場址之低潛勢影響區呈零星分布，若能藉由改善堤岸效能，以消除洪氾之影響，則將大幅增加低潛勢影響區的分布範圍；(2) 金崙溫泉場址南北兩側各有一處低潛勢影響區，其中以南側部分面積較大(約2.77公頃)，相對比北側部分(約0.87公頃)為佳。

誌 謝

本研究承蒙經濟部能源局經費補助(計畫編號：102-D0102)，及甘湘羚小姐協助編繪圖件，特此致謝。

參考文獻

- 工研院能源與資源研究所，2002，臺灣省重要都會區環境地質資料庫，內政部營建署，第2-8-1~2-8-20頁。
- 臺東縣政府，2008，金崙地熱發電示範系統探勘評估，第4-1~4-9頁。
- 行政院農委會，2010，土石流潛勢溪流調查成果圖，第849-850頁。
- 陳禮仁，2007，臺灣、奧地利防災技術之交流誌(1985~2005)，中華防災學會，第32-37頁。
- 經濟部中央地質調查所，2010，地質法。

- 經濟部中央地質調查所，2012，地質敏感區基地地質調查及地質安全評估作業準則。
- 翁勳政、陳敏祥、謝德勇，2009，「以森林遊樂區的環境安全評估為例-說明環境地形分類技術之運用」，地質，第28卷第1期，第61-67頁。
- 翁勳政、柳志錫、吳哲榮，2010，「山地部落選址之方法初探」，地質，第29卷第4期，第72-76頁。
- 翁勳政、郭泰融、韓吟龍、柳志錫，2013，「環境地質災害分類評估法應用於地熱發電廠評估-以清水地熱為例」，臺灣鑛業，第65卷，第4期，第13-23頁。
- 林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正，2000，『臺灣活動斷層概論』，經濟部中央地質調查所特刊，第13號。
- 工研院，2002，臺灣溫泉水資源調查及開發利用(3/4)，經濟部水利署，第93-94頁。
- 行政院經建會都發處，1985，環境敏感地區土地規劃與管理之研究，第18-20頁。
- 內政部營建署，2010，建築技術規則，臺北市，詹氏書局，第131-139頁。
- 行政院農業委員會，1996，水土保持技術規範，第236頁。
- 李三畏，1989，「日本山坡地防災措失之體制報告」，中華水土保持學報，第20卷第2期，第125-146頁。
- 藤原明敏，1970，地滑之調查與解析，理工圖書。
- 吳建宏和陳禮仁，2006，綜合防災對策~給市町村長的軟體對策，臺南市：中華防災協會出版委員會，第56-59頁。

Environmental Geological Assessment of Geothermal Power Plant - A Case of Chinlun, Taitung, Taiwan

Tsun-Cheng Weng^{1*} Yin-Lung Han¹ Jyh-Chau Liou¹
Tai-Rong Guo² Chi-Wen Liao²

ABSTRACT

Most geothermal fields in Taiwan are located at mountainous areas. It is very important to avoid possible environmental disasters during the geothermal exploitation and operation stages. In this paper, we proposed an “environmental geological assessment” method which combines the use of both environmental geology map and environmental geomorphology map. Five factors are considered in the evaluation process, including flooding, debris flow, bank erosion, debris slide, and landslide. By using proposed method, two significant findings at Chinlun geothermal area are described as follows: (1) Low-hazard zones at Bingmao site are relatively sparse and smaller, and thus are unfavorable for land utilization. Low-hazard zones can be enlarged by implementing counter measures to flooding hazard. (2) Two low-hazard zones are identified near Chinlun hot spring site. The south zone is larger when compared with the northern one, and is deemed more suitable for power plant development.

Keywords: geothermal power plant, environmental geological assessment method, environmental geomorphology map

¹ Researcher, Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute

² Senior Researcher, GEL, ITRI

* Corresponding Author, Phone: 886-3-5914274, E-mail: wengsj@itri.org.tw

Received Date: Aug. 14, 2013

Revised Date: Sep. 18, 2013

Accepted Date: Oct. 03, 2013