

電力設施地質環境之災害潛勢評估探討

翁勳政^{1*} 郭泰融² 謝德勇² 徐玉杜²

摘 要

電力是國家經濟發展及民生的必要條件，如何提供穩定電力供輸是國家經濟發展的重要課題。臺灣位處歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交界處，山地與自然環境敏感地帶遍布，部分電力設施建造於環境地質易致災區，在外力誘發下易肇生災變，如民國88年臺南左鎮326電塔與中寮超高壓開閉所災變，造成了全國性的大停電，對國家經濟影響的層面極廣。本研究選取數個典型電力設施所在廠址，以環境地質的角度，進行電力設施之『易致災區之環境地質評估』，期建立電力設施廠址環境地質體檢之範本，供後續相關設施選址及保全施工的參考。本研究之結果歸納說明如後：(1)部分發電廠分布於濱海或河岸新生地，宜注意河岸或海岸的侵蝕。(2)山坡地之變電所常為人工整坡階地，宜注意填方抗震與邊坡災害。(3)電塔廣泛分布於平原與山地間，包括有斷層帶、舊河道液化、順向坡滑動與向源侵蝕等環境地質問題。

關鍵詞：電力設施、環境地質、環境地形

1. 前 言

完整的電力輸配系統，包括發電廠、變電所與電塔等設施，如何妥善安全地維持，為國家經濟發展的重要工作。臺灣為一自然環境敏感地帶，在環境地質資料庫尚未普及年代，部分電力設施位於環境地質易致災區，當劇烈氣候來臨或地震災害來時，除停電造成民生不便外，往往對經濟造成重大影響。民國88年7月29日臺灣全島發生50年來最嚴重的停電事件，起因於臺南左鎮326電塔順向坡災變；在同年9月21日的集集地震時，包括中寮超高壓開閉所在內之17處變電所遭受震害，亦造成了重大停電事件；這些事件除造成民生不便外，也對國家經濟造成鉅大的損傷。若能透過環境地質調查與評估作業找出潛在災害廠址，並加以適當的

補強或移置，將可以降低或避免災變的發生。本研究蒐集歷年電力設施災變實例，探討這些災變區之潛在的環境地質特性，並利用『易致災區之環境地質評估技術』進行這些案例的分析與驗證。

2. 環境地質之內容與方法

環境地質係以地質之觀點來研究人類生存環境的安全與衛生之地質學，其目的在於解決或減輕自然作用與人類活動對自然環境所造成的衝擊，這些衝擊主要指地質災害而言。電力設施之『易致災區之環境地質評估』工作內容有：(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-依據地形地貌特性劃分出各個地形單元。(3)易致災區評估-以

¹工業技術研究院綠能與環境研究所研究員

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: 2015年10月13日

修正日期: 2016年03月11日

接受日期: 2016年04月22日

電力設施範圍為保全對象，結合上述兩圖件，找出廠址接鄰地形區，未來可能肇生災害的易致災區(翁勳政等，2013)。

電力設施易致災區之環境地質評估作業流程如圖1，作業上包括以下步驟：(1)基本圖資蒐集-包括像片基本圖、航空照片、數值地形、環境地質資料與電力設施等圖件。(2)圖面判釋-透過基本圖資的圖面判釋與數化作業，以獲取環境地質及環境地形等成果圖。(3)易致災區評估-以電力設施為保全對象，並與上述兩圖件相套疊，藉由地形區彼此間之『接鄰性』，推估來自周邊地形區可能之易致災區的分布與類別。以下簡述環境地質與環境地形等兩項基本工作之內容。

2.1 環境地質

環境地質分析之目的在取得地質災害敏感區的位置及其類別；地質災害敏感區是指已發生或潛在發生地質災害的地區。在臺灣常見的地質災害敏感類別包括邊坡災害、河川災害、地盤災害與海岸災害等(如表1)；邊坡災害是

指因邊坡的破壞而損及人類生命或財產安全的現象；河川災害則來自於河川的侵蝕或堆積作用，所造成之災害現象；地盤災害係地殼為疏解應變能量所反應出的各種現象，如地震、斷層與地層下陷；海岸災害包括海水對陸地的侵蝕與飛砂造成濱海地區設施之掩埋(黃鎮臺與王文能，1989)。

2.2 環境地形

環境地形為配合『易致災區之環境地質評估技術』所建立的地形單元系統，地形的分類系統有兩階，第一階依據地勢與區位，由高處至低處分為：高地區、坡面區、階地區及低地區等4類地形分區；第二階則以地貌特性為準則，將各地形區再細分小地形單元。環境地形分區以界定各地形區間的邊界及類別，藉由各地形區間的接鄰性，可掌握與評估一個環境地質易致災區的發生區、運動區及影響區間的關係，如圈谷狀之谷坡及其下游谷口之土石流扇狀地，前者為發生區而後者為影響區，而連接兩者間之長條狀溝谷則為運動區。環境地形之

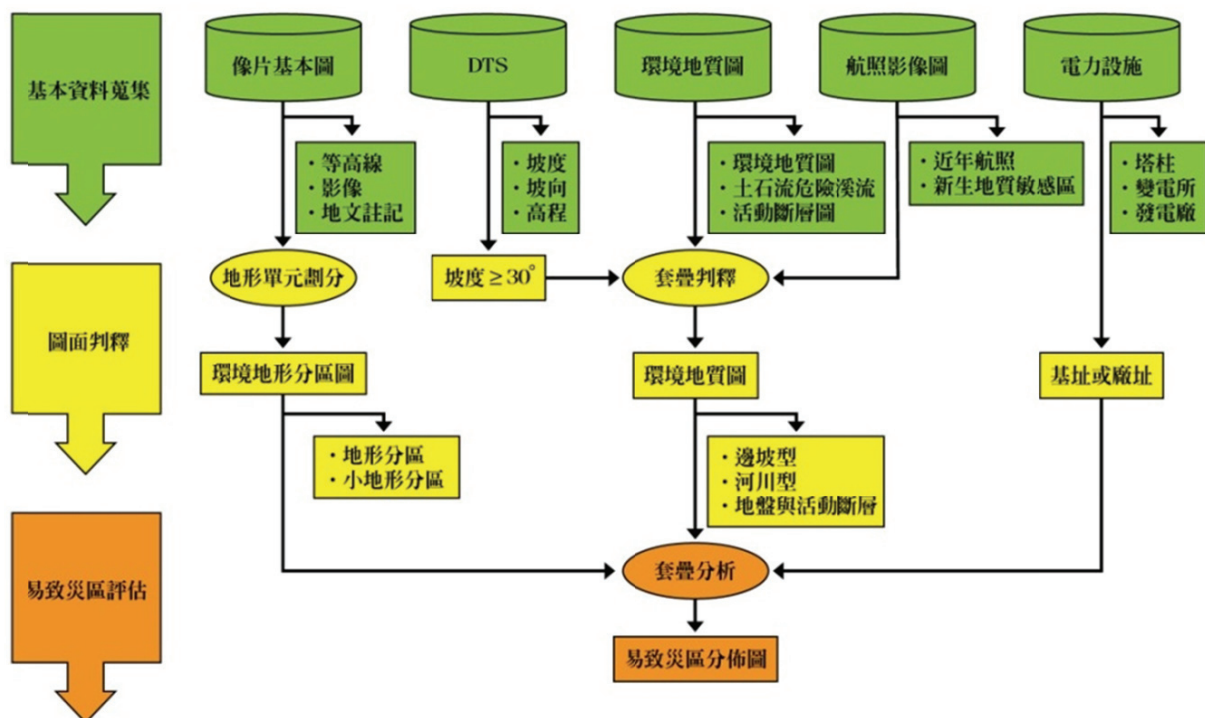


圖1 電力設施易致災區之環境地質評估流程圖(本研究繪製)

表1 環境地質災害敏感區之類別與特性說明表(本研究整理)

主要類別	次要類別		特性
邊坡災害	山崩(LS1)		崩塌體遭受嚴重破壞，呈分崩離析狀態，且破壞面於破壞後常裸露於地表或易於判斷其位置。
	地滑(LS2)		崩塌體未受太大之破壞，仍維持其內部構造；且滑動面深，滑動後，大部分破壞面仍為崩塌體所掩蓋。
	陡坡(SA)		坡度 $\geq 30^\circ$ 之區域，為易肇生山崩之地形環境。
	順向坡(DS)		順向坡係指與地層或岩性不連續面之傾斜方向一致的邊坡。
河川災害	侵蝕	河岸侵蝕(ER1)	河岸侵蝕主要發生在河道彎曲之處，河流擺動的外緣常是河水側蝕最劇烈的地方，稱為攻擊坡或切割坡。
		向源侵蝕(ER2)	在河流的源頭處，河流下切作用會使河溝向上游延伸，此種自然作用稱為向源侵蝕。
		蝕溝侵蝕(ER3)	以發生於坡面，地表逕流的下切作用，在表上所留下的指溝或蝕溝。
	土石流堆積(DF)		土石流為溪谷或斜坡上鬆散土石，與降雨形成之逕流或下滲雨水相伴，形成高濃度之土、石順溝谷流動現象。
	洪水氾濫(FD)		洪水氾濫由河流或其他水體之水所形成的溢流或洪流，常見於鄰近溪、河、湖泊、海岸帶與洪氾平原等地。
地盤災害	活動斷層(AF)		活動斷層指目前正在活動中，或曾經活動過目前呈休止狀態，但未來可能再度活動的斷層。
	軟弱地盤	斷層破碎帶(SG1)	因斷層作用時，應力將斷層兩側岩層剪裂、磨碎而形成之破碎帶。
		土石堆積(SG2)	由崩塌所形成的破碎土石堆積區域；或由河流堆積作用所形成軟弱土石堆積，常見於舊河道、自然堤與後沼、三角洲、海岸沙洲與瀉湖等。
		煤渣堆積(SG3)	由採礦活動所遺留下來之土石或選礦剩下之煤渣，任意堆積所形成之區域，一般以河岸旁或谷地堆填較為常見。
		人為棄填土(SG4)	人為棄填土是人類活動而形成的土石堆積區，可能是開挖整地之人工填土區，或廢棄之土石堆積。
	地下礦坑(UM)		曾於地下開採礦石之坑道分布範圍。
海岸災害	海岸侵蝕(BE)		由海水運動(如波浪、潮汐或海流等)持續對陸上進行衝擊與沖刷作用，而造成陸地之減少或後退現象。
	飛砂(BS)		飛砂是指濱海地區之砂土受海風之吹襲而移動的現象；會造成碼頭淤積、阻礙河川輸沙功能及改變海灘地形等不良的影響。

類別與特性說明如表2(翁勳政等，2009)。

3. 發電廠易致災區之環境地質評估

臺灣發電廠普遍設立於鄰近海岸或河岸區域，在土地取得部分來自河川或海埔新生地，故環境上多屬陸海交界或舊河道區，這些區域主要地質災害為河川與海岸等兩類災害敏

感區。本研究選擇花蓮縣和平溪口之和平發電廠，作為發電廠設施易致災區之環境地質評估案例。

和平發電廠位於和平溪右岸出海口，行政轄區屬於花蓮縣秀林鄉和平村。在地質地形環境上，其為現代堆積之三角洲平原，由鬆散未固結土、砂與礫石所組成，抗侵蝕能力極弱。本案例以採用多期航遙測圖資進行圖面判釋，和平電廠易致災區之環境地質判釋成果如圖2所

表2 環境地形之類別與特性說明表

地形分區		小地形區		
		定義		環境地質特性
高地區 (HL)	(1) 是指這個地方比周圍高之地區。 (2) 地勢高聳而多呈孤立地景，並為河流之源流區。	高山均夷面(EH)	坡頂區之開闊緩起伏之高地。	災害影響區；易受河流溯源侵蝕的作用。
		山脊(RG)	是一條狹長而兩側陡急之高地，多為集水區之分水。	
		山稜(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。	災害發生區，因地貌突出，易受地震外力作用，而肇生山崩。
		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) 山坡地最常見之地形，區內之高度、坡度與坡向變化頻繁之區，常見崩塌與河流侵蝕作用。	斜坡(SL)	坡面不論緩或陡，其等高線大致間隔相等。	災害發生區；陡坡山崩、坡面地滑及順向坡滑動之發生區。
		山嘴坡(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。	發生區或輸送區；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) 階地的上下坡面接鄰坡面；因地形平坦，為山地之農業與小型聚落發展之所在。	高位階地(LT)	河階的成因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)、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，河岸侵蝕以誘發下坡面崩塌；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。	災害影響區；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) 地形低平，是最容易開發之地區，通常為主要山地聚落之所在。	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。	災害的運動區；其為流水或崩塌土石之通道。
		溝谷(GU)		
		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；受來自周圍坡面崩塌、土石流堆積、河岸侵蝕與洪泛等影響。
		扇狀地(F)	為河流自山區流出谷口所形成之扇狀堆積，等高線呈現顯著扇狀展開之形貌。	災害影響區；係由歷史土石流災害所造就之地形面。

資料來源：翁勳政等，2009

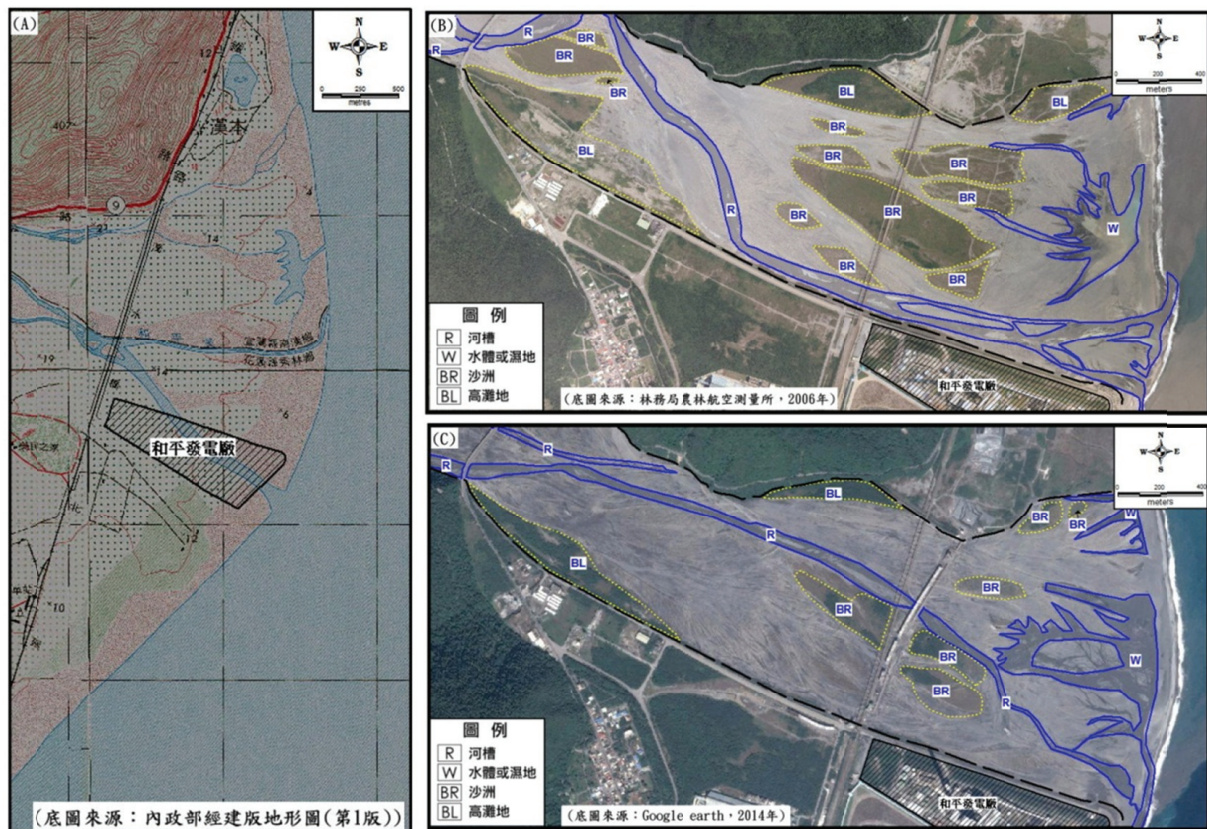


圖2 和平發電廠易致災區之環境地質判釋成果圖

示。圖2(A)顯示為約在1975年時發電廠與堤防未興建前之自然環境，發電廠位處和平溪下游出海口幅射狀水系之南側分支流，而在堤防興建後其變為舊河道區之新生平原面；這些區域因地勢低窪與河流常態性的自然遷移，當堤防保護不足或失衡時，屬於易受河流侵蝕與洪水溢淹之易致災區。圖2(B)與圖2(C)分為2006年與2014年之河流狀態判釋圖，在2006年顯現和平溪之河槽自大濁水溪橋下游往東北流，於北岸撞擊山麓後轉向東南流，於發電廠西側800 m，即沿南岸河堤與沙洲間呈束縮河道往東流入海，因河道逼近河堤而有河岸侵蝕與溢淹之虞；在2014年時可能由人為河道整理或自然河道遷移，河槽於大濁水溪橋下游即偏向北岸略呈弧狀往東流入海，此時河槽與河堤間隔著北迴鐵路橋下之沙洲，對於廠區影響的程度因而降低。發電廠東側由海堤保護，然其原為海灘之一部分，一般在上游帶來輸砂量不足與氣候變遷造成的海水面上升，皆可能加劇海岸的侵

蝕與溢淹之潛能。

4. 變電所易致災區之環境地質評估

變電所係將來自發電廠之高壓電轉化為用戶可用低壓電，其呈點狀散布於臺灣之平原與山地間，一般變電所廠址範圍約由1公頃至數10公頃，活斷層是平原地區較重要的地質災害，目前中央地質調查所已公布活動斷層相關資訊，透過網站搜尋即能找出這些設施是否在斷層帶上；在山地區其大部分位在階地上，屬於災害影響區，其受周邊各環境地形區的影響，因此每一個廠址皆具有不同特性。本研究選擇南投縣中寮超高壓開閉所與臺北市北投陽明變電所等兩處，做為變電所設施易致災區之環境地質評估案例，前者係曾發生災變之地區，而後者則在過去未曾發生災變之區域。

4.1 中寮開閉所案例

中寮超高壓開閉所位在中寮市街中心東北側1.4公里，於1984年興建而成，行政轄區屬於南投縣中寮鄉中寮村。本區出露之地層包括：更新世頭嵙山層香山段、階地與沖積層等，頭嵙山層主要分由砂岩、頁岩組成之傾斜沉積岩層，分布於山坡地；階地與沖積層由土、砂、礫石組成，主要分布於河道與河岸旁(如圖3)。圖3(A)為中寮開閉所易致災區之環境地質判釋成果圖，從圖面上開閉所構築於開闊之河階台地上，然由其周圍地貌及南側之小溪流來看，不似原來地貌；圖3(B)為舊有之環境地質圖，圖面上之等高線為第一版之像片基本圖(1975年左右)，顯示廠址原始地形為兩條溪谷(圖上標註“V”及藍色斷線)切割坡面所成之脊谷相間地形，因此目前廠址地形面係為整填坡面所造就的人工階地。此一人工階地接鄰地形區為小山丘與向源侵蝕谷地，在集集地震(震央在廠址東南方7公里處之集集)時所能造成的坡面破壞，對廠址的影響應不會太大，而主要造成廠址設施的破壞，為起因於填方區的地振動；在臺灣過去相類似的坡地填土區之地振動破壞，曾發生於1995年6月25日之地震，其造成新北

市三峽鎮白雞路之社區地滑災變。從判釋圖來看(圖3(B))，分布於西側谷地填方之變電所構造物，如果當初是建造於兩溪間由岩盤組成之山脊區，其地振動危害程度會降低很多。

4.2 北投陽明變電所案例

北投陽明山變電所位在行義路天母溫泉一帶，行政轄區屬於臺北市北投區。本區主要地層為中新世木山層、火山凝灰角礫岩。木山層由砂岩、頁岩組成之傾斜沉積岩層，主要分布在山坡地；凝灰角礫岩分布於磺溪兩岸之河階地形。圖4為陽明變電所易致災區之環境地質判釋成果圖，除環境地形分區外，並彙編相關環境地質調查成果(臺北市府建設局，2008；經濟部中央地質調查所，2008)；從圖面上來看陽明山變電所為山坡地與階地接鄰的小型人工階地，其周圍接鄰地形單元計有6處(A~F)，各地形區潛在對廠址造成之易致災特性為：(1)地形區A；係由火山堆積與河流侵蝕而成之階地，其與廠址呈緊鄰關係，因地勢平坦應不致肇生災害。(2)地形區B；木山層構成的山嘴坡，其為一向東南傾之順向坡潛能區；廠址位在此順向坡面之東南方之階地上，故屬於潛在順向坡滑動影響區，其影響狀況需視順向坡滑動之

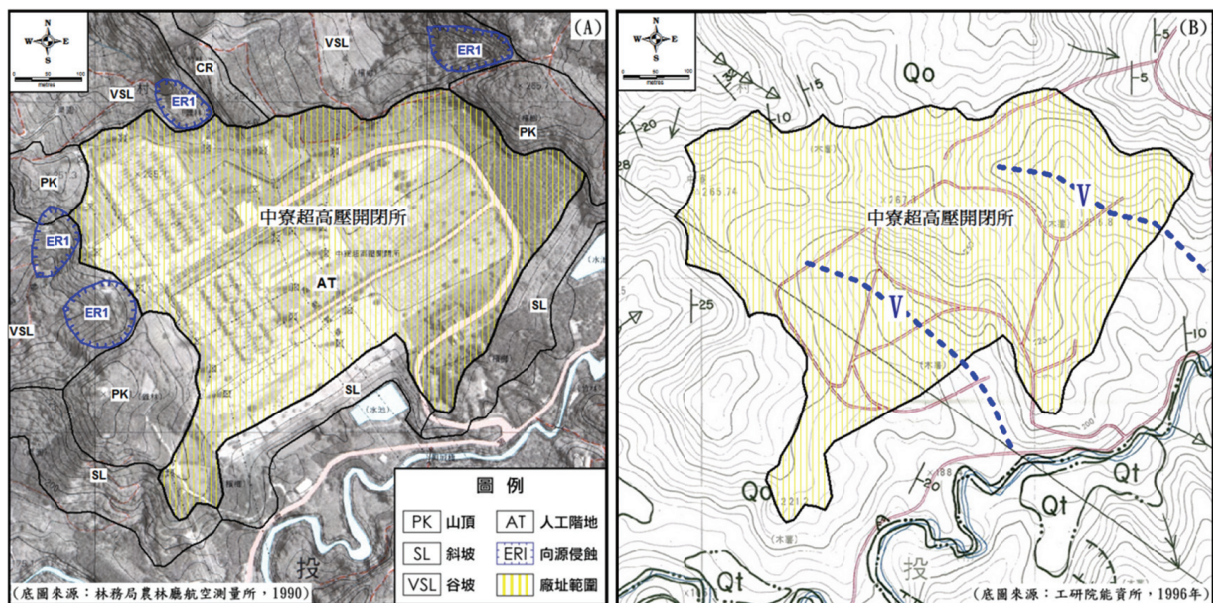


圖3 中寮超高壓開閉所易致災區之環境地質判釋成果圖

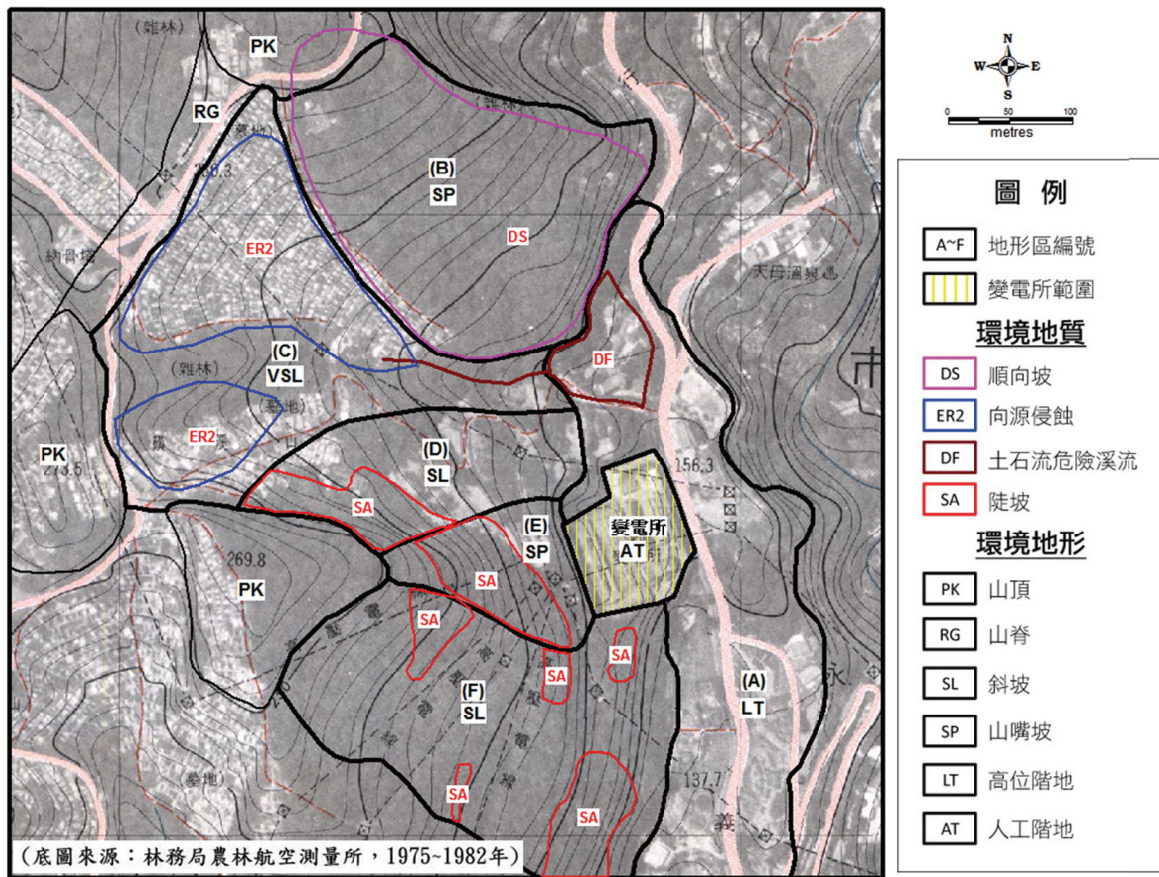


圖4 北投陽明變電所易致災區之環境地質判釋成果圖

滑動距離而定。(3)地形區C；木山層構成之谷坡，具典型土石流之地貌特徵；其與廠址亦呈間接接鄰，以目前圖面上顯現之歷史谷口堆積範圍(公路順應扇狀地面趾部而成彎曲狀)，應不致影響廠址之安全。(4)地形區D；木山層構成之斜坡，無新山崩分布而屬於陡坡型敏感區；其與廠址呈間接接鄰，其坡面傾向之延伸方向平行於廠址之北外側，一般規模的山崩應不會危及廠址。(5)地形區E；木山層構成之山嘴狀斜交坡，無新山崩分布而屬於陡坡型敏感區；其與廠址呈直接接鄰，發生於陡坡面上的山崩則可能危及下方廠址之安全。(6)地形區F；木山層構成之斜坡，無新山崩分布而屬於陡坡型敏感區；其與廠址呈間接接鄰，其坡面傾向延伸方向平行於廠址之南外側，一般規模的山崩應不會危及廠址。整體來看，本廠址宜注意的環境地質要點為：直接影響區為地形區E，間接可能影響區為地形區B，其餘地形區則

較不影響或不致影響。

5. 電塔塔柱易致災區之環境地質評估

輸配線為電力系統之動脈，電塔設施是串連輸配線的基柱，其散布於平原與山地間。在921地震時，部分電塔位在斷層帶上，因地盤的隆起或錯移，而致電塔傾斜甚至造成輸配電線脫落或斷電現象；另在民間鄉緊鄰集集火車道路與河岸旁之塔柱，因基礎為軟弱之舊河道抗震能力弱而致傾斜破壞(如圖5(A))。山坡地塔柱常見坐落於高地地形區，如山脊、鞍部或山稜上的山肩階地等，因地質環境特性的不同，會呈現不同穩定性，圖5(B)位在鞍部土坡上之塔柱，由於向源侵蝕作用而致塔柱基礎淘空而裸露於地表；圖5(C)位在山稜線山肩階地之塔柱，其基礎為新鮮岩盤且呈逆向坡，屬於較穩



圖5 塔柱易致災區之環境地質現況(A：沿活動斷層之地表破裂造成塔柱傾斜、B：向源侵蝕造成塔基崩失、C：基盤逆向坡之塔柱)

資料來源：本研究拍攝

定的地質組成與區位。在過去山坡地坡面上塔柱曾發生數次災變現象，如1972年汐止八連里與1999年左鎮326電塔，造成電塔災變的原因皆為順向坡滑動。本研究選擇臺南市左鎮區326電塔，做為塔柱設施易致災區之環境地質評估案例。

台電326電塔位在臺南市左鎮區澄山里，左鎮市街區南方約5公里處。在山坡地部分地

層為更新世崎頂層過嶺段，其為砂岩及頁岩互層組成之傾斜沉積岩層；平地部分為現代沖積層。圖6為左鎮台電326電塔易致災區之環境地質判釋成果圖；為套疊經濟部中央地質調查所(2008)出版環境地質圖與環境地形單元，台電329塔柱為一潛在順向坡易致災區；一般順向坡滑動災變常起因於河岸侵蝕或人為坡趾開挖。本地形區位處山稜線尾端之山嘴面，坡趾部鄰

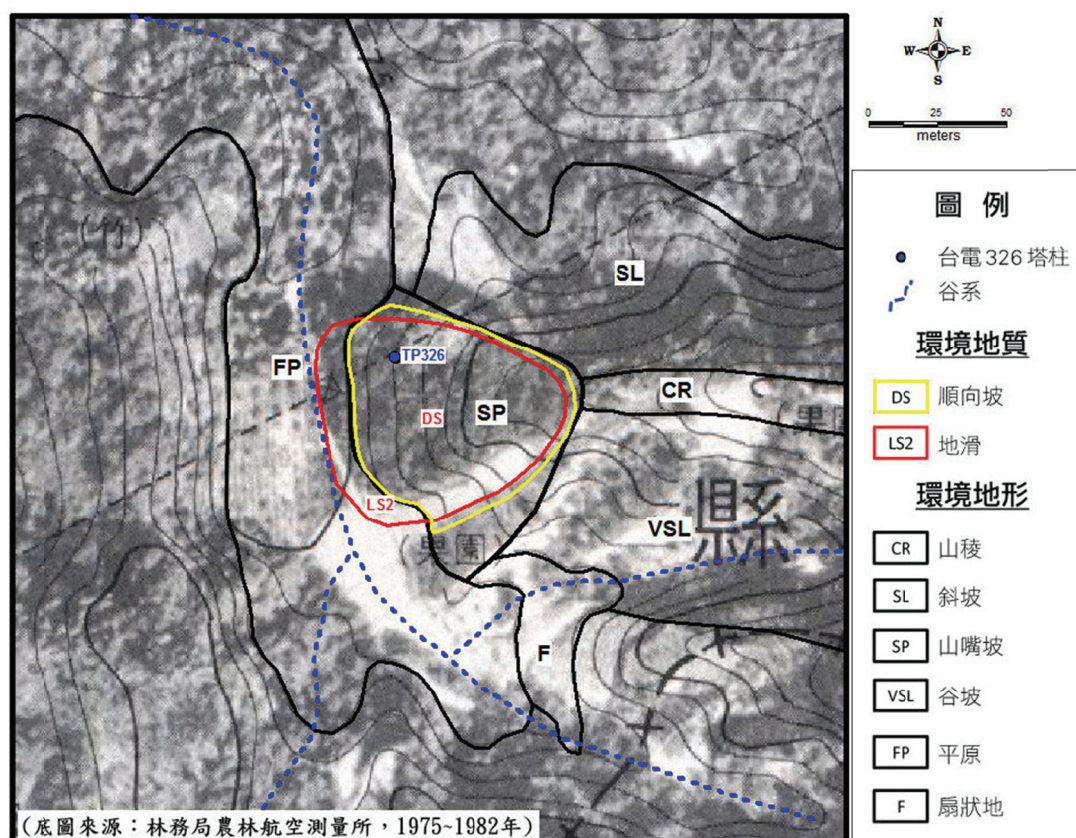


圖6 左鎮台電326電塔易致災區之環境地質判釋成果圖

接河谷平原，河谷內雖無常流河存在，但仍可見谷系流經坡面趾部，長期的河岸侵蝕將使其岩層界面露出因而致災。根據災後調查報告(紀宗吉等，1999)，導致電塔地層滑動的因素為：(1)本電塔建築在潛在順向坡滑動區，地層傾角在 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，易於發生地層滑動；(2)塔基地質材料為疏鬆砂岩，下方為頁岩，砂岩容易透水，雨水滲入遇頁岩層，即不易下滲而留滯在頁岩表面，長期造成頁岩軟化，利於滑動；(3)連日豪雨致使地層中飽和含水量增加，造成坡面荷重增加、孔隙水壓上升與滑動面的抗剪強度降低，而引發地層下滑；(4)原本暫時安定的順向坡，其坡腳可能因長期沖刷或開墾，砂岩層在坡腳處漸失去支撐而下滑。

6. 結果與討論

(1) 電力為國家經濟發展與人民生活基本需求，為確保電力設施之安全與永續經營，詳細且客觀的環境地質評估是一項重要工作。這些設施場址部分處於環境地質不良之場域，了解其可能致災區，可提供做為未來避開或補強工程施工之參考。

(2) 目前國內已有眾多之環境地質調查資料，然對於這些資料之衍生應用部分之研究較為缺乏，本研究結合環境地質、環境地形及易致災區分析技術，針對電力設施之特性進行實例運用。

(3) 臺灣有許多發電廠施設於海岸地帶，在氣候變遷海面上升，海岸侵蝕與溢淹情形可能加劇；另部分可能位處河口段之舊河道新生地，宜注意河流變遷所帶來之侵蝕與溢淹，同

時這些區域可能為軟弱地盤，對於地震所帶來之振動或液化之影響也是研究重點。

(4) 在山坡地之變電所設施通常位在階/台地，其周圍坡面潛藏山崩、地滑、順向坡與土石流堆積之潛能，環境地質易致災區的分析可有效的分辨出來，提供未來選址與施工參考。

(5) 電塔設施之基址規模雖不大，但其分布數目最多。在平原地帶，宜避開斷層帶或舊河道區。在山坡地方面，較具遭受地質災害危害區域有：向源侵蝕作用之谷坡或鞍部，以及由順向坡構成之坡面；其次為易受山崩或土石流危害之區域。

參考文獻

- 紀宗吉、劉桓吉、李錦發、林朝宗、曾紀傑、蘇泰維，1999。地質，第19卷，第2期。
- 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。經濟部中央地質調查所。
- 翁勳政、韓吟龍、劉志超、郭泰融、廖啟雯，2013；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。臺灣能源期刊，第1卷，第2期。
- 黃鎮臺、王文能，1989；臺灣地質災害與對策。工程地質技術應用研討會。
- 經濟部中央地質調查所，2008，都會區及周緣坡地環境地質資料庫圖集說明書。
- 臺北市政府建設局，2008；臺北市環境地質資料庫。執行單位：工研院能環所。

Case Studies of Geological Hazard Assessments for Electric Power Facilities Located in Hazard-prone Areas

Tsun-Cheng Weng^{1*} Tai-Rong Guo² Te-Yung Hsieh² Yu-Du Hsu²

ABSTRACT

Electric power is one of the key elements in human life and economic development for a country. A stable power supply is an important issue in modern life. As Taiwan is located at the collision zone of the Eurasian Plate and the Philippine Sea Plate, the complex tectonic structures make Taiwan prone for geological hazards. It is therefore important to keep the power facilities away from geo-hazards. In 1999, two ultra-high voltage towers, which are located in Tainan and Nantou areas, respectively, were collapsed due to geological hazards. This study examines the environmental geological conditions at high voltage tower sites as examples. Several conclusions can be drawn from our study: 1) coastal erosion is the most probable hazards for power facilities located at the coasts; 2) cautions should be exercised for power facilities located in areas of manmade landfills along slopes, which are susceptible for earthquake shaking and slope instability; 3) many power towers are located at geo-hazard-prone areas, such as fault zones, paleo-channel infills susceptible for liquefaction, slides along dip slopes and headwater erosion. Geological hazard assessments should be carried out at hazard-prone areas to prevent important power facilities from damaging.

Keywords: Power facility, Environmental geology, Terrain feature risk analysis

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: October 13, 2015

Revised Date: March 11, 2016

Accepted Date: April 22, 2016