

中寮地區電塔設施之致災地形區環境地質評估探討

翁勳政^{1*} 謝德勇² 邱欣瑜³ 徐玉杜²

摘 要

臺灣輸配電網廣布，約有2萬座電塔，其中有部分座落於山坡地之山崩與地滑地質敏感區，如民國88年臺南左鎮326電塔災變，以及近期106年6月2日核一廠內電塔災害。這些災變除造成停電不便外，對國家經濟影響層面亦極為廣泛；為了能維持輸電線路穩定，電塔塔址位置之安全性，實為重要課題。本研究選擇南投中寮地區為例，以綜合環境地質與環境地形角度，進行電塔設施『致災地形區之環境地質評估』，期建立電塔環境地質體檢範本，供後續相關設施選址及保全施工參考。本研究結果歸納說明如後：(1) 現有環境地質資料在透過致災地形區環境地質評估加值後，可較精確找出較具危害性區域，並能釐清較小危害性區域，以減少一些不必要的調查。(2) 本區電塔廣泛分布於階地區，僅位在階地周緣之電塔，易受到地質災害之潛在影響。(3) 位在高地區之電塔，因受地形條件限制，而不易保有適當緩衝區。(4) 只有少數的電塔位在坡面區與低地區。前者為環境敏感地帶，後者在地形上限制較小，應盡量採用有適當緩衝距之區域。

關鍵詞：電塔，環境地質，環境地形

1. 前 言

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。若能透過先期環境地質資料調查與後期易致災區評估作業，找出具潛在災害之電塔，並加以適當的補強或移置，將可以降低或避免災變的發生。本研究選擇涵蓋南投縣境中寮開閉所之中寮圖幅(1/5000像片基本圖)共計69座電塔為例，利用『致災地形區之環境地質評估技術』，探討這些電塔相關的環境地形與

環境地質特性。

2. 環境地質之內容與方法

電塔『致災區環境地質評估』主要的工作內容有：(1) 環境地質分析-探討潛在地質災害發生區之類別與位置。(2) 環境地形分析-由地形地貌特性劃分之地形單元。(3) 致災區評估-以電塔設施範圍為保全對象，找出具潛在危害電塔安全之坡面地形單元。(4) 環境地質評估-以致災區範圍為標的，可能危及電塔安全地質災害發生區之類別與位置(翁勳政等，2016)。

電塔設施致災區環境地質評估作業流程如圖1，作業上包括以下步驟：(1) 基本資料蒐集-包括電塔設施、像片基本圖與環境地質等圖

¹財團法人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

³工研院綠能所副研究員

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

收到日期: 2017年08月28日

修正日期: 2017年10月18日

接受日期: 2017年10月25日

表 1 環境地質災害敏感區之類別與特性說明表

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。
	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。
地盤災害	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、海岸沙洲與潟湖等。
		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。

註：LS1 (debris slide)、LS2 (rock slide)、DS (dip sloop)、ER1 (stream bank erosion)、ER2 (headward erosion)、ER3 (gully erosion)、DF (debris flow)、SG1(fault zone)、SG2(colluvial deposits)、SG3(mine waste)、SG4(earth fill) and UM(underground mining)

資料來源：翁勳政等，2016。

生區、運動區及影響區等相接鄰不同地形單元間之運移關係，例如一個土石流災害，通常會在上游谷坡發生崩塌或侵蝕現象，崩落下來土石伴隨雨水而沿著河流或溝谷往下運移，最後於下游谷口之階地或平原形成土石流堆積。前者之谷坡為發生區，而後者之階地或平原為影響區，至於連接兩者間之河流或溝谷則為運動區。環境地形之類別與特性說明如表2 (翁勳政等，2013)。

3. 電塔之致災地形區評估

電塔廣泛分布於山坡地，有一部分會受到地質災害潛在影響。該等電塔為數多且座落

於人煙少及地形偏僻地區，目前在臺灣大部分地區多有環境地質圖資可供查詢，但所取得之資訊包括電塔塔基位置與這些地質災害分布狀況。如何來判斷那些地質災害會影響到電塔安全，直接套疊圖層與利用兩者距離遠近來判斷是常見的方式，但其結果往往會因地形條件限制而產生誤判的情形，例如電塔與災害區兩者雖然距離相當近，但兩者之間若有山稜阻隔，事實上這個災害區並不會影響到電塔的安全，其次要取多大的距離值，作為電塔安全評估是較合理的。致災地形區分析即以環境地形單元為基礎，再配合兩個距離指標(包括50 m地形鄰近區與10 m (或50 m)緩衝區)，可以獲取包括電塔所在地形區、鄰近地形區與致災地形區等相

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。	高山均表面(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，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。

註：HL類(highlands)、RG (ridge)、PK (peak)、KN (knoll)、SL類(slop)、SP (spur slope)、VSL (valley slope)、CSL (complex slope)、T類(terrace)、LT (lateritic terrace)、FT (fluvial terrace)、SD (shoulder terrace)、AT (artificial terrace)、R (river)、LL類(lowland)、GU (gully)、FP (fluvial plain)、F (fan)

資料來源，翁勳政等，2013。

關環境地形資訊。

電塔所在地形區就是電塔與環境地形圖疊合後，其所在位置之地形單元類別。電塔鄰近地形區，係以電塔塔基外框50 m範圍相交之所有坡面地形單元，其可能僅有一處、多處或者無交集；此一鄰近區50 m地形指標之採用標準為：臺灣電力公司供電區營運處(2014)出版之『山區輸電鐵塔基礎環境安全因素評估要點』，有關於邊坡之環境因素評分說明，對於電塔周圍所出現之地質災害現象，分別以電塔基礎外框30 m與50 m兩個距離值作為此項評分項目之基準，其中50 m範圍線為其最大距離值。

緩衝區概念是為減輕坡地開發利用區與其上下坡面之相互影響的一個防災方式(李三畏，2001)，可提供避開或妥善工程監測與處置之參考。現階段臺灣對於由崩塌所造成的影響區域尚無明確之劃設準則，大都參照日本土砂災害防止法所指定坡地災害警戒區之做法(劉哲欣等，2011；陳勉銘等，2013)。該法對於坡地警戒區劃定基準為：(1)陡坡地(指高差5 m以上、坡度 $\geq 30^\circ$)，臺灣大部分山坡地之坡面區皆具有此項特徵。(2)警戒區域：陡坡地上端水平距離10 m以內之土地區域；陡坡地下端2倍陡坡高度距離(以50 m為限)以內之土地區域。電塔致災地形區之判釋，係將緩衝區概念與環境地形

兩者結合而成(如圖2)。在環境地形分類上屬於坡面區者，大都為災害發生區，如位在坡面區(SL_1)內之電塔#3。該坡面區即為電塔#3所在地形區以及致災地形區。電塔位在高地區、階地區或低地區等地形區，由於這些地形區在環境地形特性上，大都為災害的影響區，致災地形區的判釋則需視該電塔是否保持適當的緩衝距離(上端 >10 m及下端 >50 m)，例如電塔#1、#5與#7等三座電塔，屬於較不易受地質災害影響之電塔，分類上為無致災地形區之電塔；電塔#2、#4與#6等三座電塔則座落於緩衝區內(上端 <10 m及下端 <50 m)，屬於潛在受地質災害影響之電塔，其中電塔#2與#4等以編號SL-1坡面為其致災地形區，至於電塔#6致災地形區則為編號SL_2坡面。

中寮圖幅內計有69座電塔，每一座塔柱就是一個特定保全對象，每座電塔均須執行相同的工作流程。然因該等電塔為數眾多，為避免篇幅冗長，茲以中寮ZL-43電塔說明致災地形區分析之作業(如圖3)。圖3(A)為ZL-43電塔鄰近地形單元之取得方式，將該塔柱外框50 m範圍線與環境地形單元圖疊合後，塔柱所在地形單元為一山脊(RG)，其周圍鄰近坡面地形單元計有3處(皆為谷坡)；圖3(B)為ZL-43電塔之致災地形區之取得方式，將緩衝區範圍(在坡面上端故以塔基外框10 m為界)疊合於鄰近地形區

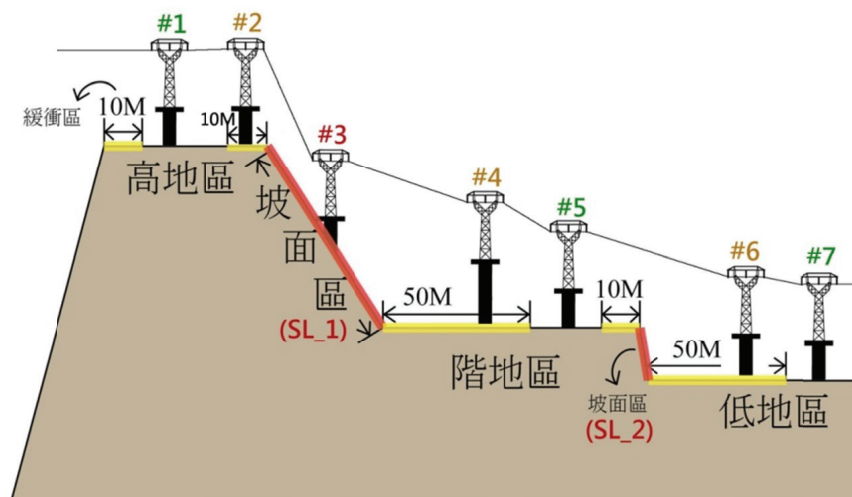
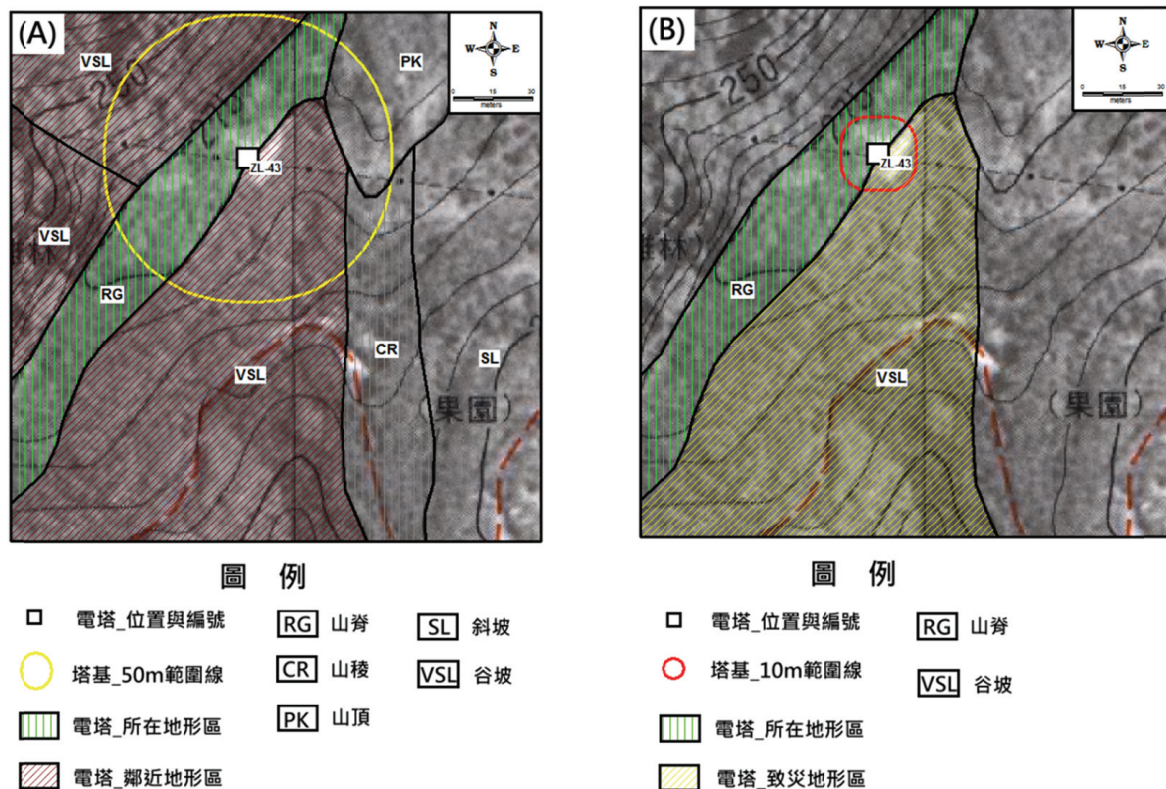


圖2 由環境地形分區與緩衝區概念判讀電塔之致災地形區示意圖(本研究繪製)



(底圖來源：農林航空測量所，1975~1982年)

圖3 塔柱之鄰近地形單元與致災地形取得案例(A: ZL-43塔柱之鄰近地形單元圖；B: ZL-43塔柱之易致災地形單元)(本研究繪製)

後，其中僅東南側之編號SL-1之谷坡(VSL)會與之交截，顯示此一谷坡未保持適當的緩衝距離，而為ZL-43電塔之致災地形區。中寮地區69座電塔環境地形與致災地形區之分析成果，彙整如表3。

中寮地區69座電塔依環境地形分析成果顯示(如表3)，分別位於4種大尺度地形分區內：高地區計有17處電塔(包括8處山稜、6處山脊與3處山頂)，其中山稜為連接主要山脊至階地區或低地區間之高地區，不論從分布個數或區位而言，皆有利輸電線路架設；坡面區計有4處電塔(包括2處斜坡與2處山嘴坡)，僅極少數位在環境較敏感的坡面區；階地區計有42處(包括21處人工階地、7處低位階地與14處高位階地)，其中以分布於中寮開閉所內人工階地居多，其次為高位階地，部分則為低位階地；低地區計有6處(包括5處平原與1處扇狀地)。在69座電塔中有17處沒有鄰接地形區(塔柱周邊>50 m無坡

面區)，主要以分布於地形較寬平之低地區計4處(皆為平原)以及階地區計13處(包括10處人工階地與2處低位階地)。其餘52座電塔周邊總計有95個接鄰地形區(<50 m無坡面區)，而其中有30座電塔具有致災地形區。這些具致災地形區30座電塔環境地形特性分為4區：在高度區計12處(包括包括8處山稜、3處山脊與1處山頂；佔高度區之71%)，坡面區計4處(包括2處斜坡與2處山嘴坡)，階地區計有12處(包括6處人工階地、1處低位階地與5處高位階地；佔階地區之29%)，以及低地區計2處(包括1處平原與1處扇狀地；佔低地區之33%)。經由本致災地形區分析評估後，該等30座電塔(佔總數之32%)需進行下一步驟環境地質評估。

4. 電塔之環境地質評估

傳統環境地質分析法與本研究環境地質分

表3 中寮地區電塔之環境地形分析與致災地形區判釋成果表(本研究整理)

塔柱 編號	電塔所在地形區		是否具致 災地形區	致災地形 區類別	塔柱 編號	電塔所在地形區		是否具致 災地形區	致災地形 區類別
	大尺度	小尺度				大尺度	小尺度		
ZL-1	坡面區	斜坡	Y	斜坡	ZL-36	階地區	人工階地	Y	斜坡/谷坡
ZL-2	高地區	山稜	Y	斜坡	ZL-37	高地區	山稜	Y	斜坡
ZL-3	高地區	山稜	Y	斜坡	ZL-38	高地區	山稜	Y	斜坡
ZL-4	高地區	山稜	Y	斜坡/谷坡	ZL-39	階地區	低位階地	Y	山嘴坡
ZL-5	高地區	山脊	Y	谷坡	ZL-40	高地區	山稜	Y	複合坡
ZL-6	高地區	山頂	Y	斜坡/谷坡	ZL-41	高地區	山脊	N	-
ZL-7	高地區	山脊	N	-	ZL-42	高地區	山稜	Y	谷坡
ZL-8	高地區	山脊	N	-	ZL-43	高地區	山脊	Y	谷坡
ZL-9	坡面區	山嘴坡	Y	山嘴坡	ZL-44	高地區	山稜	Y	谷坡
ZL-10	階地區	人工階地	Y	斜坡	ZL-45	高地區	山脊	Y	谷坡
ZL-11	階地區	人工階地	N	-	ZL-46	階地區	高位階地	N	-
ZL-12	階地區	人工階地	N	-	ZL-47	階地區	低位階地	N	-
ZL-13	階地區	人工階地	N	-	ZL-48	高地區	山頂	N	-
ZL-14	階地區	人工階地	Y	斜坡	ZL-49	階地區	高位階地	Y	斜坡
ZL-15	階地區	人工階地	Y	斜坡	ZL-50	階地區	高位階地	Y	斜坡
ZL-16	階地區	人工階地	Y	斜坡	ZL-51	階地區	高位階地	N	-
ZL-17	階地區	人工階地	Y	斜坡	ZL-52	坡面區	斜坡	Y	斜坡
ZL-18	階地區	人工階地	N	-	ZL-53	坡面區	山嘴坡	Y	山嘴坡
ZL-19	階地區	人工階地	N	-	ZL-54	階地區	低位階地	N	-
ZL-20	階地區	人工階地	N	-	ZL-55	階地區	低位階地	N	-
ZL-21	階地區	人工階地	N	-	ZL-56	低地區	平原	N	-
ZL-22	階地區	人工階地	N	-	ZL-57	低地區	平原	N	-
ZL-23	階地區	人工階地	N	-	ZL-58	階地區	低位階地	N	-
ZL-24	階地區	人工階地	N	-	ZL-59	階地區	低位階地	N	-
ZL-25	階地區	人工階地	N	-	ZL-60	低地區	平原	N	-
ZL-26	階地區	人工階地	N	-	ZL-61	低地區	扇狀地	Y	斜坡
ZL-27	階地區	人工階地	N	-	ZL-62	階地區	高位階地	N	-
ZL-28	階地區	人工階地	N	-	ZL-63	階地區	高位階地	N	-
ZL-29	階地區	人工階地	N	-	ZL-64	階地區	高位階地	Y	谷坡
ZL-30	高地區	山頂	N	-	ZL-65	階地區	高位階地	Y	斜坡
ZL-31	階地區	低位階地	N	-	ZL-66	階地區	高位階地	N	-
ZL-32	階地區	高位階地	N	-	ZL-67	低地區	平原	N	-
ZL-33	階地區	高位階地	N	-	ZL-68	低地區	平原	Y	斜坡
ZL-34	階地區	高位階地	N	-	ZL-69	階地區	高位階地	N	-
ZL-35	階地區	高位階地	N	斜坡					

析法兩者比較：前者為一般性普查；後者係以特定保全對象進行之環境地質調查，因有特定保全對象，可以較精確找出電塔面臨的環境地

質問題或予與分級。環境地質圖主要係由航/遙測資料判釋與現地調查獲得之地質災害資訊，通常以1/5000像片基本圖或1/25000經建版地形

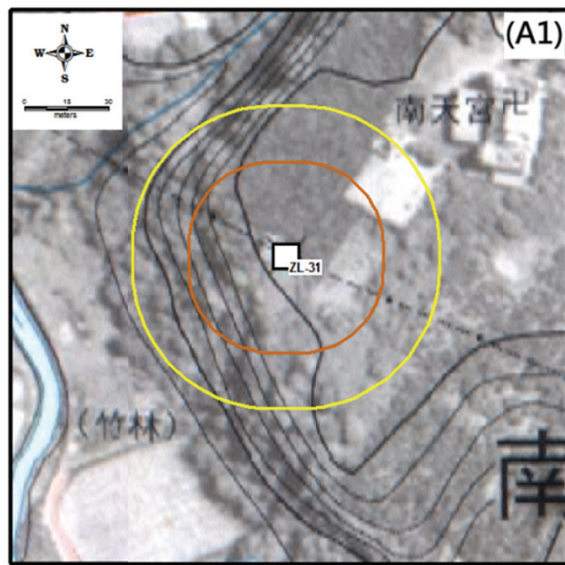
圖為調查底圖。其出版方式大多依據圖幅之圖框為界，至於圖面底圖則採用等高線或區域地質圖，並無針對特定保全對象進行調查。本研究係以塔柱為保全對象，大致以 $200\text{ m} \times 200\text{ m}$ 範圍為框界(視情況可擴大至 500 m 正方框)，判釋或分析之底圖皆採用 $1/5000$ 像片基本圖。環境地質評估成果圖除包括彙編之環境地質圖外，還包括電塔所在地形區、電塔致災地形區與塔基外圍 10 m 、 30 m 、 50 m 範圍線等資料。本研究之環境地質資料來源包括：經濟部中央地質調查所(2008)出版之『都會區及周緣坡地環境地質資料庫圖集』與臺灣省政府建設廳和工業技術研究院(1997)出版之『臺灣省重要都會區環境地質資料庫』，以及本研究依據像片基本圖之地貌特徵判釋以獲得。以下利用幾個案例說明；同時參照台灣電力公司供電區營運處(2013)之規範，利用疊圖傳統方式與本研究透過致災地形區分析兩者間會有不同結果。

圖4說明既有環境地質資料無地質災害分布區域與致災地形區之案例比較。圖4(A)為編號ZL-31電塔案例，在圖4(A1)電塔塔基外圍 30 m 或 50 m 內無地質災害分布，顯示電塔不會受到地質災害之影響；在圖4(A2)電塔位於低位階地上，與階地外圍階崖保持適當的緩衝區，屬於較安全之地形環境。兩者具有相似的結果。圖4(B)為編號ZL-3電塔案例，在圖4(B1)電塔塔基外圍 30 m 或 50 m 內無地質災害分布，顯示電塔應不會受到地質災害影響；在圖4(B2)電塔以位於山稜上，電塔與南側斜坡未能保持適當的緩衝區，而有編號SL-3致災地形區，此邊坡呈現陡坡，於調查期間雖無地質災害現象，但仍屬於潛在山崩環境。由後者結果可以補正既有環境地質資料顯示安全，但是在環境上為潛在不穩定區域，仍需加以注意。

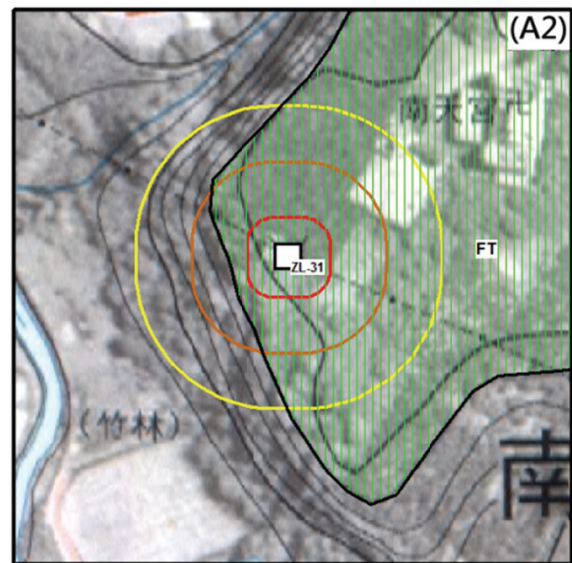
圖5說明既有環境地質資料中有地質災害分布區域與致災地形區之案例比較。圖5(A)為編號ZL-4電塔之案例，在圖5(A1)電塔塔基外圍 30 m 或 50 m 內，包含1處順向坡與1處向源侵蝕之地質災害，顯示電塔會受到地質災害潛在

影響；在圖5(A2)電塔位於山稜上，與山稜東、西兩側坡面未能保持適當的緩衝區，而有編號SL-4與SL-5之致災地形區，坡面上有2處地質災害分布。上述兩者具有相似的結果。圖5(B)為編號ZL-40電塔案例，在圖5(B1)電塔塔基外圍 30 m 或 50 m 內，包含1處山崩與1處向源侵蝕之地質災害，顯示電塔會受到2處的地質災害潛在影響；在圖5(B2)電塔位於山稜上，電塔與西側斜坡未能保持適當的緩衝區，而有編號SL-18致災地形區與1處山崩分布。後者說明山崩對電塔有較顯著的影響，對於向源侵蝕可以暫緩處理。圖5(C)為編號ZL-13電塔案例，在圖5(C1)電塔塔基外圍 30 m 或 50 m 內，包含2處向源侵蝕地質災害，顯示電塔會受到地質災害潛在影響；在圖5(C2)電塔位於人工階地上，電塔與階地周圍斜坡約有 35 m 距離，有足夠的緩衝區而無致災地形區，對於向源侵蝕可以暫緩處理或不用處理。

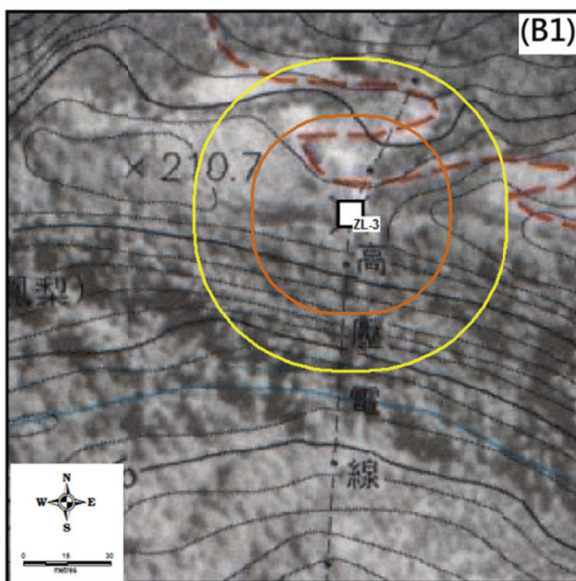
中寮地區30座電塔具有致災地形區，需進行環境地質評估。其相關環境地形與環境地質之分析成果，彙整如表4。依據電塔所在地形區之大尺度類別而言，各區環境地質評估結果為：(1) 高地區計12處(包括8處山稜、3處山脊與1處山頂)，常呈長條形或條形，寬度大多十數公尺至 30 m 左右，少部分可達 $50\text{ m} \sim 60\text{ m}$ ；在寬處比較容易保持緩衝區，狹窄處則不易保持緩衝區。環境地質特性主要受河流侵蝕影響，包括2處向源侵蝕與5處蝕溝侵蝕；其次為邊坡型，包括2處山崩與1處順向坡。(2) 坡面區計4處(包括2處斜坡與2處山嘴坡)，常呈矩形與三角形(或扇形)，長度、寬度在數十至數百公尺間。通常坡面區具有潛在山崩因子，其中1處坡面區有順向坡分布，其餘3處坡面有蝕溝侵蝕分布。(3) 階地區計有12處(6處人工階地、1處低位階地與5處高位階地)，常呈矩形或多邊形，長度、寬度在數十至數百公尺間。電塔位在階地內易保持適當緩衝距，在階地前緣或後緣接鄰坡面處則較為不易；電塔位在坡面下端計有6處，其中有3處電塔潛在受同一順向坡影響；電



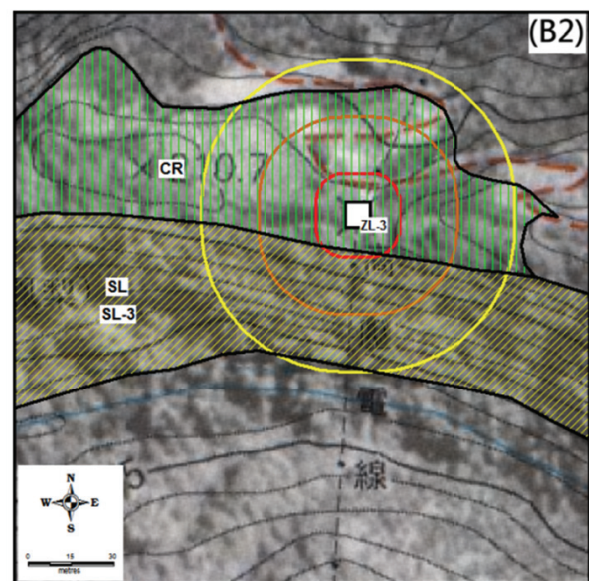
- 圖例
- 電塔_位置與編號
 - 塔基_35m範圍線
 - 塔基_50m範圍線



- 圖例
- 電塔_位置與編號
 - 塔基_10m範圍線
 - 塔基_30m範圍線
 - 塔基_50m範圍線
 - ▨ 電塔_所在地形區 (FT:低位階地)



- 圖例
- 電塔_位置與編號
 - 塔基_35m範圍線
 - 塔基_50m範圍線

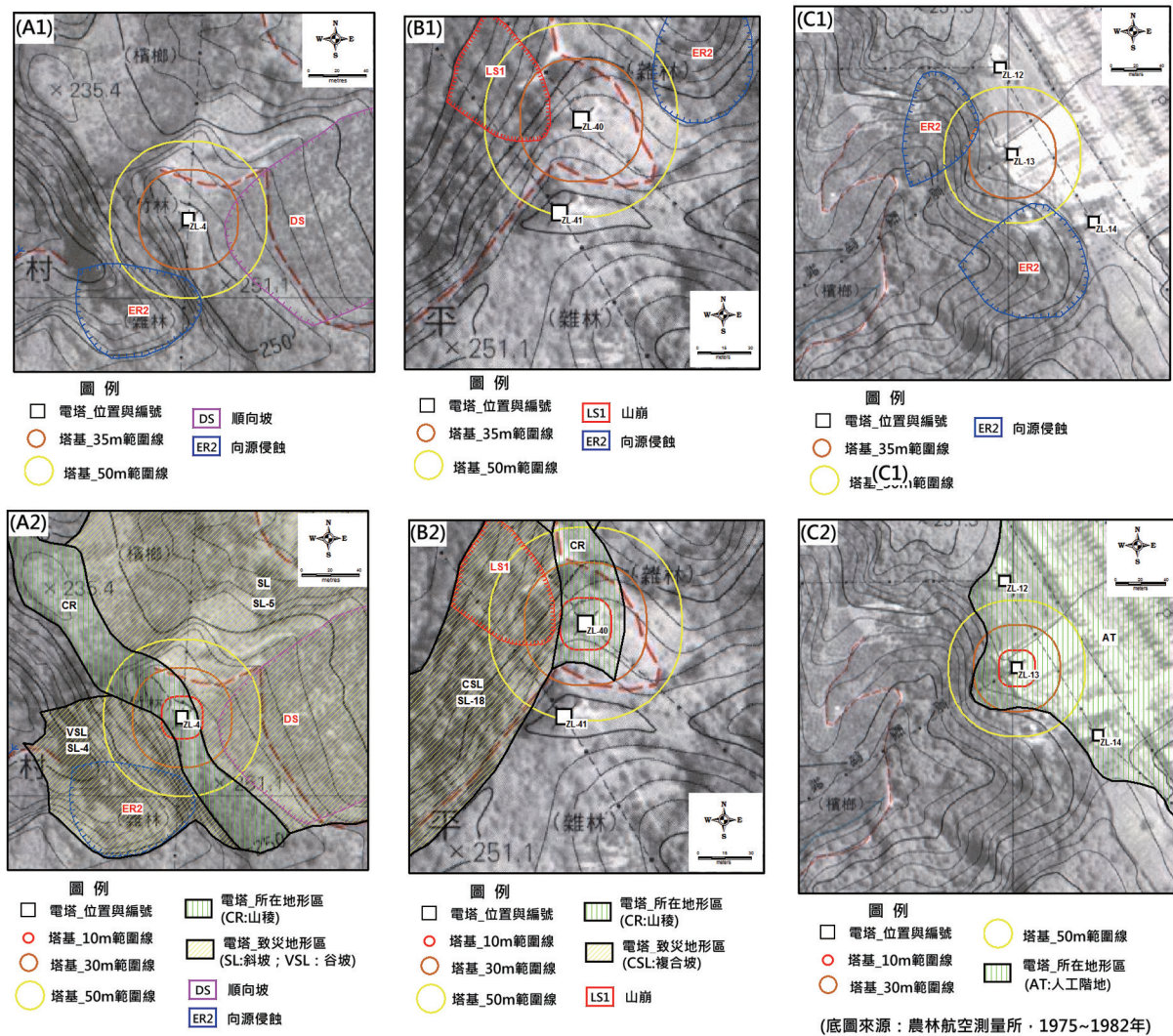


- 圖例
- 電塔_位置與編號
 - 塔基_10m範圍線
 - 塔基_30m範圍線
 - 塔基_50m範圍線
 - ▨ 電塔_所在地形區 (FT:低位階地)
 - ▨ 電塔_致災地形區 (SL:斜坡)

(底圖來源：農林航空測量所，1975~1982年)

備註：A：ZL-31電塔；B：ZL-3電塔

圖4 既有資料疊圖分析之無地質災害分布區與致災地形區之案例比較(本研究繪製)



備註：A：ZL-4電塔；B：ZL-40電塔；C：ZL-13電塔

圖5 既有資料疊圖分析之有地質災害分布區域之疊圖分析與致災地形區案例比較(本研究繪製)

塔位在坡面上緣主要受到河流侵蝕影響，包括4處向源侵蝕與2處蝕溝侵蝕。(4)低地區計2處(包括1處平原與1處扇狀地)。一般低地區僅在與山坡地接鄰之山麓帶，才會受到坡地地質災害影響。環境上其皆位於坡面下端，其中1處接鄰河岸侵蝕及土石堆積區。

5. 結論與建議

(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，詳細而客觀的環境地質評估是一項重要工作。這些設施部分位於環境地質不良之區域，了解其

可能致災地形區後，可提供作為未來避開或補強工程之參考。

(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、環境地形及致災區分析技術，針對電力設施之特性進行實例運用。

(3) 中寮地區電塔廣泛分布於階地區。其中僅位在階地周緣之電塔，易受到地質災害潛在影響，主要係階地前緣之下邊坡以向源侵蝕與蝕溝侵蝕為主；階地後緣上邊坡應注意陡坡岩屑崩滑或順向坡坡趾截斷之影響。

(4) 本區電塔位在高地區，受地形條件限制，不

表4 中寮地區電塔環境地質評估成果摘要表(本研究整理)

電塔編號	環境地形分析		環境地質評估	
	塔柱所在位置	致災地形單元	編號	地質災害敏感區
#ZL-1	塔柱位於西高東低之斜坡，呈多邊形(長約272 m、寬超過271 m)。	編號SL-1：塔柱所在斜坡，電塔在下方坡。	SL-1	1. 順向坡分布於塔柱0~50 m範圍內，並延伸至50 m範圍外；外在誘因包括坡面蝕溝侵蝕與坡趾道路興築。 2. 坡面呈上陡下緩，具潛在山崩。
#ZL-2	塔柱位於東-西延伸之山稜，呈長條形(長約210 m、寬約14~29 m)。	編號SL-2：山稜之北面、斜坡，在坡頂端接鄰電塔。 編號SL-3：山稜之南面、斜坡，在坡頂端接鄰電塔。	SL-2	1. 既有資料無地質災害敏感區。 2. 坡面呈上陡下緩，具潛在山崩，外在誘因包括坡趾處之河岸侵蝕。
			SL-3	1. 既有資料無地質災害敏感區。 2. 坡面呈中至陡坡，具潛在山崩，外在誘因包括坡面上之道路興築。
#ZL-3	塔柱位於東-西延伸之山稜，呈寬條形(長約181 m、寬約32~56 m)。	編號SL-3：山稜之南面、斜坡，在坡頂端接鄰電塔。	SL-3	1. 既有資料無地質災害敏感區。 2. 坡面呈陡坡，具潛在山崩。
#ZL-4	塔柱位於東南-西北延伸之山稜，呈細長條形(長約298 m、寬約22~55 m)。	編號SL-4：山稜之西南面、谷坡，在側邊頂端接鄰電塔。 編號SL-5：山稜之東北面、斜坡，在坡頂端接鄰電塔。	SL-4	1. 坡面呈中至陡坡，具潛在山崩；外在誘因包括向源侵蝕頂部伸入塔柱30 m範圍線附近。
			SL-5	1. 順向坡分布於塔柱10~30 m範圍內，並延伸至50 m範圍外，外在誘因包括坡面上之道路興築。 2. 坡面呈中坡，稍具潛在山崩。
#ZL-5	塔柱位於東西延伸之山脊，呈長條形(長約120 m、寬約22~57 m)。	編號SL-6：山脊之東南面、谷坡，在坡頂端接鄰電塔。	SL-6	1. 坡面呈上陡下緩，具潛在山崩；外在誘因有蝕溝侵蝕經過塔柱50 m範圍線附近。
#ZL-6	塔柱位於山頂，呈多邊形(長約132 m、寬處約61 m)。	編號SL-7：山頂之東北面、谷坡，在坡頂端接鄰電塔。 編號SL-8：山頂之東南面、斜坡，在坡頂端接鄰電塔。	SL-7	1. 坡面呈中至陡坡，具潛在山崩；外在誘因包括2處蝕溝侵蝕分布於塔柱50 m範圍線外。
			SL-8	1. 既有資料無地質災害敏感區。 2. 坡面呈中至緩坡，稍具潛在山崩。
#ZL-9	塔柱位於北高南低之山嘴坡，呈扇形(底邊長約289 m、側邊約120 m、高程差35 m)。	編號SL-9：塔柱所在山嘴坡，電塔在坡腹處。	SL-9	1. 坡面呈中至緩坡，略具潛在山崩；外在誘因包括2處蝕溝侵蝕伸入距塔柱10~30 m範圍內。
#ZL-10	塔柱位於北往南略傾之人工階地，呈矩形(長超過136 m、寬超過122 m)。	編號SL-1：人工階地之北面、斜坡，在側邊頂端接鄰點塔。	SL-1	1. 坡面呈中至陡坡，具潛在山崩；外在誘因包括1處蝕溝侵蝕伸入距塔柱50 m範圍線附近。
#ZL-14	塔柱位於北往南略傾之人工階地，呈矩形(長超過168 m、寬超過163 m)。	編號SL-10：人工階地之西面、谷坡，在坡頂端接鄰電塔。	SL-10	1. 坡面呈中至陡坡，具潛在山崩；外在誘因包括1處向源侵蝕頭部接鄰距塔柱10 m範圍線附近。

表4 中寮地區電塔環境地質評估成果摘要表(本研究整理)(續)

電塔編號	環境地形分析		環境地質評估	
	塔柱所在位置	致災地形單元	編號	地質災害敏感區
#ZL-16	塔柱位於北往南略傾之人工階地，呈矩形(長超過310 m、寬超過60 m)。	編號SL-11：人工階地之西面、斜坡，在坡趾端接鄰電塔(50 m緩衝區)。	SL-11	1. 順向坡分布於塔柱10~50 m範圍內，並延伸至50 m範圍外；外在誘因包括坡趾端之整坡。 2. 坡面呈中至緩坡，稍具潛在山崩。
#ZL-17	塔柱位於北往南略傾之人工階地，呈矩形(長超過310 m、寬超過60 m)。	編號SL-11：人工階地之西面、斜坡，在坡趾端接鄰電塔(50 m緩衝區)。	SL-11	1. 順向坡分布於塔柱10~50 m範圍內，並延伸至50 m範圍外；外在誘因包括坡趾端之整坡。 2. 坡面呈中至緩坡，稍具潛在山崩。
#ZL-35	塔柱位於東南往西北略傾之高位階地，呈多邊形(長超過200 m、寬超過90 m)。	編號SL-12：高位階地之西面、斜坡，在坡頂端接鄰電塔。	SL-12	1. 既有資料無地質災害敏感區。 2. 坡面呈中至陡坡，具潛在山崩。
#ZL-36	塔柱位於北往南略傾之人工階地，呈多邊形(長超過168 m、寬超過75 m)。	編號SL-11：人工階地之西北面、斜坡，在坡趾端接鄰電塔(50m緩衝區)。	SL-11	1. 既有資料無地質災害敏感區。 2. 坡面呈中至緩坡，稍具潛在山崩。
		編號SL-13：人工階地之西南面、谷坡，坡頂端接鄰電塔。	SL-13	1. 坡面呈中至陡坡，具潛在山崩；外在誘因包括1處向源侵蝕頭部接鄰距塔柱10 m範圍線附近。
#ZL-37	塔柱位於東南-西北向之山稜，呈細長條狀(長約118 m、寬約14~43 m)。	編號SL-14：山稜之西面、斜坡，在坡頂端接鄰電塔。	SL-14	1. 既有資料無地質災害敏感區。 2. 坡面呈中至陡坡，具潛在山崩。
		編號SL-15：山稜之南面、斜坡，在坡頂端接鄰電塔。	SL-15	1. 既有資料無地質災害敏感區。 2. 坡面呈中至緩坡，稍具潛在山崩。
#ZL-38	塔柱位於山頂，呈多邊形(長超過90、寬約5~70 m)。	編號SL-16：山頂之西北面、斜坡，在坡頂端接鄰電塔。	SL-16	1. 坡面呈中至陡坡，具潛在山崩；坡面範圍內有2處山崩，其中1處頭部伸入距塔柱10~30 m範圍內；另坡趾處1處河岸侵蝕為坡面山崩之外在誘因。
#ZL-39	塔柱位於南往北略傾之低位階地，呈矩形(長約45 m、寬約30~70 m)。	編號SL-17：低位接鄰地之南面、山嘴坡，在坡趾端接鄰電塔(50 m緩衝區)。	SL-17	1. 既有資料無地質災害敏感區。 2. 坡面呈中至緩坡，稍具潛在山崩。
#ZL-40	塔柱位於南-北向之山稜，呈長條狀(長約81 m、寬約18~36 m)。	編號SL-27：山稜之西面、斜坡，在坡頂端接鄰電塔。	SL-18	1. 坡面呈陡坡，具潛在山崩；1處山崩頭部伸入距塔柱10 m範圍線附近。
#ZL-42	塔柱位於南-北向之山稜，呈細長條狀(長約151 m、寬約15~29 m)。	編號SL-19：山稜之西面、谷坡，在側邊頂端接鄰電塔。	SL-19	1. 既有資料無地質災害敏感區。 2. 坡面呈中至陡坡，具潛在山崩。
#ZL-43	塔柱位於東北-西南向之山脊，呈細長條狀(長約202 m、寬約19~31 m)。	編號SL-20：山脊之東南面、谷坡，在坡頂端接鄰電塔。	SL-20	1. 坡面呈中至陡坡，具潛在山崩；外在誘因包括1處蝕溝侵蝕頭部伸入距塔柱30~50 m範圍內。

表4 中寮地區電塔環境地質評估成果摘要表(本研究整理)(續)

電塔編號	環境地形分析		環境地質評估	
	塔柱所在位置	致災地形單元	編號	地質災害敏感區
#ZL-45	塔柱位於南-北向之山脊，呈寬至細條狀(長約131 m、寬約21~59 m)。	編號SL-21：山脊之西面、谷坡，在側邊頂端接鄰電塔。	SL-21	1. 坡面呈中至陡坡，具潛在山崩；外在誘因包括1處向源侵蝕頭部伸入距塔柱10 m範圍內，以及道路穿過距塔柱30 m範圍線附近。
#ZL-49	塔柱位於北往南略傾之高位階地，呈矩形(長約122 m、寬約129 m)。	編號SL-22：高位階地之南面、斜坡，在坡頂端接鄰電塔。	SL-22	1. 坡面呈上陡下緩，具潛在山崩；外在誘因包括1處蝕溝侵蝕穿過距塔柱10 m範圍內。
#ZL-50	塔柱位於北往南略傾之高位階地，呈多邊形(長約114 m、寬約46~158 m)。	編號SL-22：高位階地之東北面、斜坡，在坡趾端接鄰電塔(50m緩衝區)。	SL-22	1. 坡面呈上陡下緩，具潛在山崩；外在誘因包括1處蝕溝侵蝕穿過距塔柱30~50 m範圍內。
#ZL-52	塔柱位於北高南低之斜坡，呈多邊形(長超過142 m、寬約164 m、高程差超過35 m)。	編號SL-23：塔柱所在斜坡，電塔位在下方坡。	SL-23	1. 坡面呈中至緩坡，稍具潛在山崩；外在誘因包括1處蝕溝侵蝕穿過距塔柱50 m範圍線附近。
#ZL-53	塔柱位於北高南低之山嘴坡，呈三角形(底邊長約71 m、高約120 m、高程差約50 m)。	編號SL-24：塔柱所在山嘴坡，電塔位在下方坡。	SL-24	1. 既有資料無地質災害敏感區。 2. 坡面呈中至陡坡，具潛在山崩。
#ZL-61	塔柱位於南-北向之扇狀地，呈長條形(長超過162 m、寬小於39 m)。	編號SL-25：扇狀地之西面、斜坡，在坡趾端接鄰電塔(50 m緩衝區)。	SL-25	1. 坡面呈中至緩坡，稍具潛在山崩；外在誘因有1處河岸侵蝕分布於距塔柱30~50 m範圍；另由山崩或土石流造成之土石堆積於距塔柱30 m範圍內。
#ZL-64	塔柱位於東往西略傾之高位階地，呈多邊形(長超過198 m、寬約64~207 m)。	編號SL-26：階地之西北面、谷坡，在側邊頂端接鄰電塔。	SL-26	1. 坡面呈陡坡，具潛在山崩；外在誘因有1處向源侵蝕分布於距塔柱10~30 m範圍；1處蝕溝侵蝕分布於距塔柱30~50 m範圍。
#NP-65	塔柱位於東往西略傾之高位階地，呈多邊形(長超過115 m、寬約76~120 m)。	編號SL-27：階地之南面、斜坡，在坡頂端接鄰電塔。	SL-27	1. 既有資料無地質災害敏感區。 2. 坡面呈陡坡，具潛在山崩。
#NP-68	塔柱位於南往北略傾之平原，呈多邊形(長超過226 m、寬超過103 m)。	編號SL-28：平原之南面、斜坡，在坡趾端接鄰電塔(50 m緩衝區)。	SL-28	1. 既有資料無地質災害敏感區。 2. 坡面呈中至緩坡，稍具潛在山崩。

易保有適當緩衝區；有些受潛在河流侵蝕或坡面崩塌之影響。

- (5) 本區有少數的電塔，位在坡面區與低地區。前者為環境敏感地帶；後者在地形上限制較小，宜盡量採用有適當緩衝距之區域。

- (6) 本研究分析之結論與建議，可提供台電公司參考。目前台電公司亦自行研究各處電塔之潛在風險，並以燈號(紅、橙、黃、綠)管理方式持續改善與監控。此二者可以互相參考，俾促進工作成效。

參考文獻

- 台灣電力公司供電區營運處，2014。山區輸電鐵塔基礎環境因素安全評估要點。台電電力公司。
- 李三畏，2001。崩坍地與土石流災害防治技術對策。臺北都會區地質災害研討會論文集。
- 翁勳政、韓吟龍、劉志超、郭泰融與廖啟雯，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。
- 翁勳政、郭泰融、謝德勇與徐玉杜，2016。電力設施地質環境之災害潛勢評估探討。臺灣能源期刊，第3卷，第2期。
- 陳勉銘、陳棋炫與費立沅，2013。現階段山崩與地滑地質敏感區劃定方法之探討。工程環境會刊，第31期。
- 黃鎮臺與王文能，1989。臺灣地質災害與對策。工程地質技術應用研討會。
- 臺灣省政府建設廳與工業技術研究院，1997。臺灣省重要都會區環境地質資料庫：南投縣中寮調查區。
- 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：中寮圖幅。
- 劉欣哲、林聖琪、吳亭燁與陳聯光，2011。大規模崩塌災害調查方法探討。地工技術，第129期。

Electrical Tower Site Safety Assessment by Using Environmental Geology Study - A Case in Zhongliao Area

Tsun-Cheng Weng^{1*} Te-Yung Hsieh² Hsin-Yu Chiu³ Yu-Du Hsu²

ABSTRACT

There are more than 20,000 electric transmission towers distributed all around the Taiwan, while quite a large number of the towers located at geology hazard sensitive areas. Tower number 326 and the tower located at nuclear power plant were collapse in 1999 and 2017, respectively, both of them caused shortage of power supply and increased social cost. Geology hazard assessment is one of the most important issues for power supply stability. To keep away geology hazard and power supply stability, a rule to inspect the safety of electrical tower is important. In addition to the existing environmental geology, terrain elevation data were also take into consider as an important criteria. An electrical tower located Zhongliao, Nantou area was conducted to demo the applicability of this method. Some conclusion described as follows. (1) Integrated environmental geology and topography method is proposed in this study can locate geology hazard area more precise and reduce field work effectively. (2) Tower sites located near terrace boundary are the geology hazard potential area need to reconsider its safety. (3) It is not easy to keep suitable buffer distance for the towers located at higher terrace. (4) Fewer sites located at slope and lower terrace area are environmental sensitivity area need suitable buffer distance to keep site safety.

Keywords: Electrical tower, Environmental geology, Geology hazard

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

² Senior Researcher, GEL, ITRI.

³ Associate Researcher, GEL, ITRI.

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

Received Date: August 28, 2017

Revised Date: October 18, 2017

Accepted Date: October 25, 2017