

臺北市政府創意提案競賽提案表

提案類別	<input checked="" type="checkbox"/> 創新獎 <input type="checkbox"/> 精進獎 <input type="checkbox"/> 跨域合作獎
提案年度	109年度
提案單位	臺北市政府工務局大地工程處坡地整治科
提案人員	主要提案人：邱亭瑋 貢獻度：50% 參與提案人：陳建帆 貢獻度：20% 吳宗遠 貢獻度：20% 洪雨柔 貢獻度：10%
提案範圍	一、有關本府重要市政計畫、市政白皮書、市長政見及重大政策等之改進革新事項。 二、有關各機關業務推動方法、作業流程及執行技術之改進革新事項。 三、其他對促進機關行政革新有所助益之創新作為。
提案名稱	坡地潛在崩塌快篩，坡地管理新作為
成效屬性	<input type="checkbox"/> 全國首創、 <input type="checkbox"/> 導入精實管理手法、 <input type="checkbox"/> 小 e 化、 <input checked="" type="checkbox"/> 節省成本(時間、人力、經費)、 <input checked="" type="checkbox"/> 發表期刊論文或專書、 <input type="checkbox"/> 取得專利、 <input type="checkbox"/> 其他：
提案緣起	<p>臺北市山坡地占全市面積55%，面積達15,004公頃，山坡地安全不僅影響坡地居民，坡地安全更關係到全市防洪計畫與全市市民生命財產安全。另政府機關依據「災害防救法」第4條及第22條規定，本府平時應依權責實施「災害潛勢、危險度、境況模擬與風險評估之調查分析，及適時公布其結果」。大地處權管本市山坡地防災業務，首先就要知道哪邊有可能會發生災害，進行風險評估之調查後治理，以確保市民生活環境安全。</p> <p>北市府策略地圖及防災預算-工作重要性</p> <p>本府為展現團隊組織策略，積極擬定訂「策略地圖」基本框架暨「平衡計分卡」推動工作，做為府級施政願景及目標，其中A 營造永續環境 AP4 強化治山防洪 AP4.2山坡地治理改善面積，即代表山坡地防災的重要性。相關治山防災計畫亦列於本府防災預算中，可見其重要性。</p> <p>極端氣候影響坡地安全-面臨困境</p> <p>臺北市山坡地地質環境複雜，加上近年颱風所挾帶極端雨量，造成坡地發生嚴重災害，民國96年10月7日柯羅莎強颱侵臺，士林新安路21號後方坡地發生崩塌，造成2人死亡。隔(97)年9月12日辛樂克強颱直攻北部地區，造成文山區猴山岳第39號高壓電塔下邊坡崩坍，內湖碧山路也發生邊坡崩塌，下方農舍裡的居民連夜撤離。同(97)年9月28日蕃蜜颱風橫掃本市，文山地區降下約900mm 超大豪雨，萬壽路75巷政大御花園社區上邊坡(貓纜 T16塔柱下邊坡)發生崩塌，百餘社區居民連夜撤離……每一事件的發生都突顯坡地的管理與災害預防的重要性。</p>

敵人在哪裡?舊方式省思，找出盲點-潛在問題

放眼望去，山坡地上土地面積如此廣闊，先思考以下的問題：到底哪裡有危險？要從何處開始著手治理呢？現在沒危險代表以後也沒危險嗎？……這些問題，在國內尚無任何機關單位可以回答，但現在，我們臺北市政府極力朝這目標邁進。

99年地質法頒布實施，大地處成立後持續辦理臺北市山坡地高風險災害區位的調查、巡勘及監測工作，在經費有限的情況下，重點包含104年中央地質調查所公告之1,274處「山崩與地滑地質敏感區」（含396處涉及順向坡）、18處列管邊坡、50條土石流潛勢溪流、24處老舊聚落及53處礦渣地等，惟各敏感性邊坡均為點狀、零星分布，無法全面性瞭解全市邊坡是否有潛在滑移可能性。

另經統計臺北市48年至108年之歷史邊坡災害資料，累計發生崩塌共1,242處，惟位於「山崩與地滑地質敏感區」內之災害僅107處，發生於地質敏感區內的崩塌事件僅占全發生事件的8.6%(圖1)，這數據說明仍有多數災害發生在非地質敏感區位之山坡地，開始讓同仁思考大量的經費投入地質敏感區防災比較重要，還是轉換思考方式投入經費研究到底哪裡可能發生災害重要。

防災優於救災-民眾期待

山坡地災後搶災不如平時預防，防患於未然可減少災害發生及保全市民身命財產安全，鑑此，大地處為加強坡地管理，達到災害預防的目的，全面展開山坡地健檢快篩，首要工作，就是發展一套能快速有效篩選潛在高風險山坡地的方式，針對發現有缺失徵兆立即改善，可有效預防坡地災害。

激發創意思考，坡地管理再進化-新技術率先推行

大地處處處理山坡地搶災工程過程中，同仁們一直想如何能有一套快速及正確的篩選評估模式，能預估山坡崩塌位置，能在災害發生前即進行整治，可節省災害發生後，大量整治經費及人員財產損失。

隨著衛星科技的發展及精進，及現行既有搶災巡勘機制，無法全面有效預防災害發生，經請教中央政府山坡地及地質主管機關水土保持局與地質調查所，並搜尋政府電子採購網後，發現中央機關已運用衛星遙測技術於地表判釋(表1)，惟適用地點屬大規模深層崩塌，於臺北市並不適用，大地處即興起學習整合它機關研究成果，創新研發臺北市專屬獨家之山坡地崩塌潛勢分析的快篩技術，針對臺北市都會區山坡地特性及需求，除現行調查方法外，導入新科技，發展以衛星DInSAR技術分析地表變形瞭解潛在崩塌可能性，就是以遙感探測方法針對大範圍邊坡進行多時序

調查及分析，獲得全面性的地表變形趨勢，進而預警並降低損失，實為可行作法，實際整合各項既有技術，建立標準作業流程，創新坡地管理模式。

實施方法、過程及投入成本

一、實施方法及過程-計畫、流程、期程

本計畫規劃分兩階段共4年期辦理全臺北市山坡地衛星掃描快篩，第一階段(第1年)先檢視國內外歷年研究決定適用方式，再選取臺北市6處有可能變異徵兆邊坡進行調查分析，瞭解邊坡變形趨勢與後續應用方向，第二階段(後續3年)分期驗證快篩模式並全面掃描臺北市山坡地面積。

(一)第一階段(第1年)

1. 技術選擇-DInSAR

遙測是以人造衛星或飛機為載台，利用電磁波感測器，以不必接觸物體，同時透過攝影或掃描的方式，接收及計測從物體反射出來或物體本身放射出來的電磁波之能量，予以量化之後，依物體空間分佈的相對關係及訊號的時序先後一一加以記錄並儲存，經過電腦適當的處理之後轉變成影像，再透過人腦的判釋，確定目標物或物理現象的屬性以及目標物之間的關係或者物理現象的成因或演變過程之一門科技。

遙測調查方式依拍攝載具區分為衛星拍攝、飛機拍攝與無人機拍攝，各載具裝備之拍攝機具不同，其載具機動性、拍攝器具之感測類型、解析度、測量精度、施測成本及速度、與後端處理技術及速度等各有不同，本計畫考量施測範圍及週期性採用星載 SAR 方式進行量測及判釋分析。(表2)

2. 標的選擇-重要保全對象

- (1)經觀測儀器觀測結果顯示有持續變異跡象者或現場調查後具地表有徵兆者。
- (2)具重大設施、公眾場所等危及公共利益或民眾生命財產。

位置	特性
貓纜 T16塔柱周邊	市府重大建設，97年發生崩塌並進行整治，監測儀器比對
貓纜 T21塔柱周邊	市府重大建設，104年發生崩塌並進行整治，監測儀器比對
陽明大學邊坡	重要保全對象，107年土石崩落
士林萬溪列管山區道路	重要保全對象，101年道路裂縫下陷
內湖區順向坡	B 級順向坡，107年監測儀器損壞，邊坡可能發生滑動
至善路三段169巷	108年10月大規模滑動

3. 多時期衛星影像比對-成果圖像化

雷達波不受天候限制，在雲雨天雖降低精度但仍可以分析，在條件良好情況下可以偵測毫米等級變形，其餘分析方式僅能達數公尺解析度範圍，本計畫的 DInSAR 技術可提前偵測變形行為。

- (1)以雷達針對上述6處標的，有災害事件者進行影像判釋及分析。
- (2)使用歐洲 Sentinel-1 A/B 衛星影像分析，衛星再訪週期為12天，兩者搭配，只需6天影像即可比對。
- (3)消弭誤差來源，包含：地形效應、大氣效應、衛星軌道變化、大氣折射相位變化、地形相位變化、雜訊相位等。
- (4)影像處理，比對不同時期影像，得知地表高層變化。

4. 對照現勘及觀測數據-覆核

運用 DInSAR 分析成果圖，比對現有傾斜觀測管位置及觀測成果，經由傾斜觀測管估算各區域的變形量，進行初步比對分析顯著變異位置後，現勘確認分析的變形範圍，並取得良好的分析成果，後續可加以改進及運用於其他滑坡區域。

- (1)既有觀測成果比對驗證：既有觀測傾斜管監測之水平資料經由幾何運算後推估之垂直分量進行比較。
- (2)現場實地勘查工作：比對遙測分析成果圖變異區位進行現場實地勘查，確認現場變異情形及災害徵兆調查。
- (3)其他相關資料：利用具有數位空間測量資料如空載光達等驗證地表變形情形。

(二)第二階段(後續3年)

針對全臺北市山坡地範圍，辦理分期分區掃描，並預計3年內完成坡地快篩健檢工作，產出成果作為後續應用於邊坡防災及預警策略之依據。

二、投入成本：

(一)時間及經費

前述條件擇定調查標的並收集或購置衛星影像，經誤差消弭、影像判釋得出垂直變化成果圖，進行既有觀測成果比對及現勘覆核，確認變異區位以利後續應用，規劃4年預估投入新臺幣約1,200萬元，且每年可視成果滾動修正。

年度	108	109	110	111
目標區域	6處變異點測試	內湖區(順向坡最多)	北投及文山區(歷史災害最多)	其餘區域
投入經費	300萬	300萬	300萬	300萬

對比自99年大地處成立以來，每年皆編列順向坡、列管邊坡、貓纜、人工邊坡等山坡地巡勘監測費用，總計每年約花費

	<p>3,200餘萬的預算，執行10年來已累計高達3億餘元，本技術的發展可與既有現地巡勘觀測結合，提供臺北市民更安全的居住環境，前述既有巡勘經費可從目前每月巡查1次的頻率，先降低到每2個月1次，即估計可節省約3分之1的經費，每年可省下約1,000餘萬元。</p> <p>(二)人力</p> <p>遙測衛星影像分析技術，並無新增人力成本，反而因新快篩機制的建立，節省現場巡查人力，促進坡地管理朝高科技智慧監控邁進。</p>
<p>實際執行 (未來預期)成效</p>	<p>一、實際執行成效-至善路三段整治工程案例分析</p> <p>108年10月1日米塔颱風期間，大量雨水造成至善路三段169巷下邊坡產生寬約85公尺高60公尺淺層崩塌，面積約5,100平方公尺，最高陷落處達10公尺，是臺北市罕見的大規模滑動，大地處緊急申請災害準備金，整治經費高達3,500餘萬。</p> <p>為測試本計畫是否能由此一遙測快篩機制早期預警，針對前述區域進行分析，分析時間為崩塌發生前的106年3月~108年8月，經繪製雷達分析成果，顯示整體垂直變形圖及等高線，藉由此兩種圖資可以快速找到崩塌頭部或崩塌界線，且分析所得位置與現地調查結果一致，即事件發生前由雷達已偵測出位移。另為尋找可能促發時間，可提前至106年9月及108年7月，衛星分析結果即有明顯滑動，如能早期發現及現勘確認，即可早提出改善方案，防患於未然。</p> <p>二、未來預期成效</p> <p>(一)雷達優勢-天候無限制、速度快</p> <p>雷達判釋速度依照面積大小及分析影像數目決定，以至善路三段分析為例，分析40張影像約需1-3小時以內，一般影像間隔時間為12天，如特殊情況可以6天分析1次，臺北市全山區一次性分析可以以12天為間隔進行分析，其準確度於平地有構造物地區精確度可以達毫米等級，惟山區準確度會依照植生條件及潑向遞減。</p> <p>(二)未來應用-早期預警資訊</p> <p>透過差分干涉合成孔徑雷達分析成果圖及連續式變形資料圖可以確認崩塌頭部或崩塌界線及可能促發時間，若未來運用得宜可進行早期預警作業，並提早提出因應作為。</p> <p>遙測技術配合既有觀測儀器與現勘調查可獲得良好分析成果，DInSAR 遙測技術日趨純熟且具有探測範圍廣、資料取得成本低等優點，本計畫初探將DInSAR技術運用於邊坡監測的可行性，調查6處邊坡，在得到監測儀器比對分</p>

析及現地勘查的驗證之後，證實了遙測技術觀測邊坡的可行性，此外以DInSAR分析的成果能更確立變動範圍及變形速率，對於地形變化的探測可達到mm等級，可在多數邊坡活動初期就發現其變異，對於發現潛在的滑動邊坡頗有助益，後續可加以改進及運用於其他滑坡區域。於日後須進行工程或防災監測的應用時，能提供更精準且全面的資訊參考，節省資源運用。

(三)臺北市創新專屬快篩-期刊投稿

總結6處試辦區域，DInSAR 分析結果與傾斜測量管、現地調查結果皆一致，後續可確立明確的變動範圍以供預警使用，惟有以下限制：

1. 受植生反射訊號控制，當植生茂密時反射訊號不佳可能降低精度或無法解得變形。
2. 受坡向控制，由於雷達衛星一般為南北向運行之側視訊號，亦即對於東向或西向邊坡有較佳的成果，而南向或北向則精度較差無法獲得準確成果。
3. 衛星波長：為可解的單次變形量與衛星波長有關，波長越長可解得的單次變形越大也越準確
4. 衛載影像解析度有限，對於過小面積（長寬小於20公尺）之邊坡或擋土牆無法偵測。

本計畫第一年的研究成果，已以「百公里外制敵機先的毫米變形偵測-差分干涉和成孔徑雷達分析」於109年2月投稿「土木水利：中國土木工程學會會刊」。

(四)未來展望

經大地處1年來的努力，對於邊坡健檢快篩分析的災害預防已有初步程度的了解。有鑑於「防災」重於救災，大地處已成功踏出山坡地快篩健檢的第一步，未來，為防止不可預測的邊坡破壞，除努力完成臺北市專屬的衛星崩塌判釋模式外，大地處可研擬「臺北市山坡地水土保持設施管理維護自治條例」，將強制要求維護義務人及訂定獎勵辦法及安檢要點，並積極參考國外成功管理山坡地經驗與方法，更精進運用本市的山坡地管理，並適時將成果分享給各縣市政府參考。

相關附件

附件：圖1-圖8、表1-表4

聯絡窗口

姓名：邱亭瑋

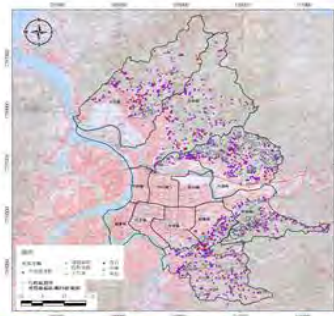
電話：2759-3001#3520

Email：ge-10618@mail.taipei.gov.tw

歷史邊坡災害資料

行政區災害統計

推定災害類型	北投區	士林區	中山區	南港區	內湖區	大安區	信義區	文山區	總計
淺層崩塌	188	167	42	122	198	15	88	193	1013
落石	25	13	1	6	4	15	3	21	73
弧形滑動	7	6	1	4	13	0	1	4	36
平面型滑動	5	6	1	5	3	0	3	2	25
土石流	12	6	1	3	10	0	3	5	40
沖蝕	5	6	0	0	1	0	4	1	17
其他	10	5	1	2	10	0	5	5	3
總計	252	209	47	142	239	15	107	231	1242



行政區歷史災害統計圖

行政區(敏感)災害統計

推定災害類型	北投區	士林區	中山區	南港區	內湖區	大安區	信義區	文山區	總計
淺層崩塌	8	0	17	5	35	0	3	20	88
落石	0	0	0	0	1	0	0	2	4
弧形滑動	0	0	0	0	3	0	0	0	3
平面型滑動	0	0	1	0	0	0	0	0	1
土石流	0	0	0	1	2	0	0	0	3
沖蝕	1	0	0	0	0	0	0	0	1
其他	1	0	0	0	7	0	0	0	7
總計	10	0	18	6	48	0	3	22	107



行政區敏感區歷史災害統計圖

資料來源：臺北市政府工務局大地工程處

圖1 臺北市歷史邊坡災統計資料

表1 政府採購網雷達研究案統計資料

年度	標案名稱	招標單位	經費
103	運用雷達影像進行莫拉克颱風災區大規模崩塌潛勢區位之可行性評估	行政院農業委員會水土保持局	304萬5
104	運用遙測技術協助判釋大規模崩塌潛勢區域微地形特徵之研究	行政院農業委員會水土保持局	225萬
105	大規模崩塌多元多尺度綜合監測、資料綜整分析與滑動機制研究：以太平山蘭台地區為例(II)	科技部補助專題研究計畫成果報告	393萬
105	運用 ALOS-PALSAR 雷達影像進行北臺灣大規模崩塌潛勢區位之活動性評估	行政院農業委員會水土保持局	250萬
106	潛在大規模崩塌地表變形與數值地形計量分析採購案	經濟部中央地質調查所	730萬
107	潛在大規模崩塌地表變形與數值地形計量分析採購案	經濟部中央地質調查所	730萬
108	潛在大規模崩塌地表變形與數值地形計量分析採購案	經濟部中央地質調查所	695萬

表2 遙測類型比較表

項目	星載 SAR	多光譜衛星	航空影像	機載光達	UAV
感測器類型	主動式	被動式	被動式	主動式	被動式
資料類型	雷達影像	多光譜影像	光學影像	點雲	光學影像
施測天候影響	可量測, 受大氣效應影響	雲霧遮蔽	無法量測	無法量測	無法量測
測量帶寬 (Km)	4~490km	12~60km	2km	1km	0.1~0.4km
解析度 (m)	2.5~100m	0.3~20m	0.25~0.5m	0.5~2m	0.15~5m
測量精度	0.1m	m	0.5m	0.1m	0.3m
施測成本	中	中	高	最高	低
施測速度	快	快	中	慢	中
資料獲取	固定周期	固定周期	機動	機動	機動
處理技術	高	中	中	高	中
處理速度	快	快	慢	慢	慢

表3 SAR 分析方法於地表變形監測比較表

	分析方法	影像建議	優點	缺點
單次事件型 (DInSAR)	無參考地形	三幅影像, 兩兩參考	解算速度快	較不精準, 可能解算失敗
	有參考地形	兩幅影像, 數值地形參考	解算速度快	較不精準且受數值地形品質控制, 可能解算失敗
連續分析型 (含事件)	永久散射法, PS-InSAR	至少20幅影像, 單一主像	較精準, 都會區或具人工構造物高反射區適用	需要較多影像, 各像對單一主像, 如解算失敗則無解
	短基線法, SBAS-InSAR	建議15幅影像, 多主像	較精準, 非都會區或郊區適用, 非單一主像, 如該像對解算失敗可由其他路徑替代	精確度於都會區稍低於PSInSAR
	時域相關點雷達干涉技術, TCP-InSAR	無建議 (至少20幅)	解算速度快	程式非公開, 僅對衛星距離變化量, 無垂直變化量分析
	SqueeSAR™	無建議 (至少20幅)	解算速度快	已商業化, 網路分析效率較差

表4 DinSAR 技術優劣比較

項目	DInSAR 技術
優勢	1. 涵蓋面積廣 2. 使用成本低 3. 固定周期連續量測 4. 監測地表變型 5. 不受天候及日夜影響 6. 可穿透植生
劣勢	1. 地形效應影響 2. 大氣效應影響 3. 地上物須具備散射條件 4. 相位變化量不能超過臨界值 5. 兩時序 SAR 影像需具有相關性 6. 介電值影響

合成孔徑雷達原理說明(1/2)

• 合成孔徑雷達 (Synthetic Aperture Radar, SAR)

- 運作時會從衛星上向地表發射一系列的電磁波
- 當電磁波遇到物體產生反射時
- 衛星接收這些回波訊號
- 經計算量測反射波強度與時間差，以達到量測目的

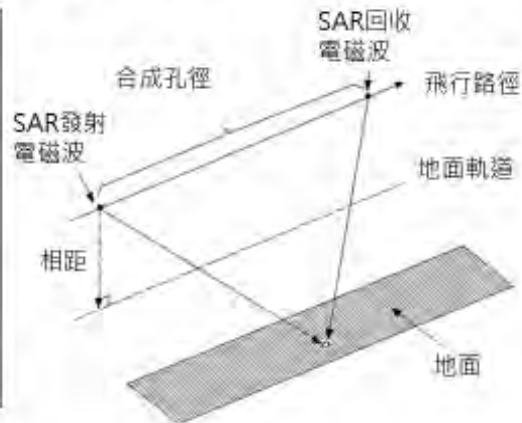


圖2 合成孔徑雷達原理說明

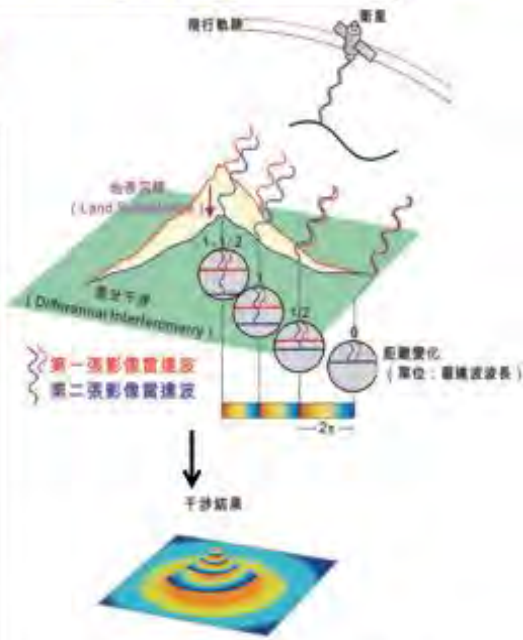
1

合成孔徑雷達原理說明(2/2)



► 時序性合成孔徑雷達(SAR) 影像進行干涉分析

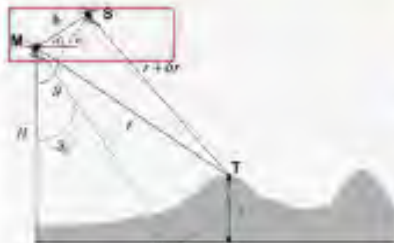
1. 微波觀測技術，利用衛星運行時連續發射與接收雷達波得到成像結果
2. 雷達波不受氣候，夜間及光線影響，可大面積、週期性施測，得到多種地表訊息
3. 相位訊號，經差分技術產生干涉條紋，並設定控制點(GCP) 進行相位解算檢核後得到地表變形量



圖片來源：張中白(2004) 2

圖3 合成孔徑雷達原理說明(續)

DInSAR 基本原理



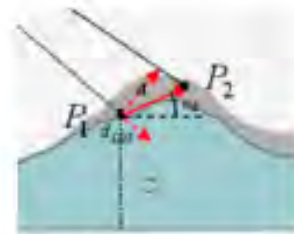
Pepe&Carli(2017)

干涉相位

$$\phi = \frac{4\pi}{\lambda} B_p$$

干涉相位差

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= \Delta\phi_{disp} + \Delta\phi_{topo} + \Delta\phi_{orb} + \Delta\phi_{atmo} + \Delta\phi_{scatt} + \Delta\phi_{noise} \\ &= \frac{4\pi}{\lambda} d_{los} - \frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_n}{r \sin\theta} z + \dots \\ &= \frac{4\pi}{\lambda} d_{los} + \Delta\phi_{artifacts} \end{aligned}$$

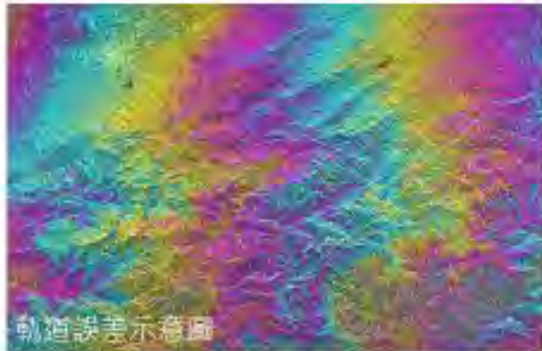


3

圖4 DinSAR 基本原理

➤ SAR干涉影像主要誤差來源

1. 衛星軌道誤差
2. 大氣效應
3. 地形誤差
4. 雜訊



DInSAR技術優劣勢

優勢

1. 涵蓋面積廣
2. 使用成本低
3. 固定周期連續量測
4. 監測地表變型
5. 不受天候及日夜影響
6. 可穿透植生

劣勢

1. 地形效應影響
2. 大氣效應影響
3. 地上物須具備散射條件
4. 相位變化量不能超過臨界值
5. 兩時序SAR影像需具有相關性
6. 介電值影響

4

圖5 DinSAR 基本原理(續)

陷落區

隆起區

致災原因:
 由鑽探資料發現其邊坡表層為厚層風化材料，加上本次米塔颱風侵台期間(9/29~10/1) 大量雨水入滲，土顆粒間凝聚力降低與剪力強度不足。10/1清晨發生山壁崩塌，因其滑動面之深度較深，滑動體仍保持整體性。

圖6 案例分享

分析結果-文山區/貓纜T16塔柱周邊邊坡



災害成因
 97.9.27. 薔蜜颱風，貓纜T16塔柱下方邊坡因含水量持續增高、土層強度軟化，導致邊坡崩塌影響鄰近社區、塔柱基座表土坍塌、基樁裸露數公尺

歷年巡勘觀測成果
 107年列管邊坡巡勘觀測報告坡面上段自動化傾斜觀測(TS-5 TS-8)有異狀，經了解推測溫度變化所致，坡面中段水位觀測井(W-99GSB09-3)107.7有水位異常情形，經巡視現況無異常年度定期巡勘無異狀，建議持續進行巡勘。



1

圖7 案例分享

分析結果-文山區/貓纜T16塔柱周邊邊坡



調查標的說明：1. 文山區/貓纜T16塔柱周邊邊坡

2016/8-2019/05 3年垂直變化速率

整體邊坡約累積變化40mm左右，變化速率目前並無急遽變化的情形

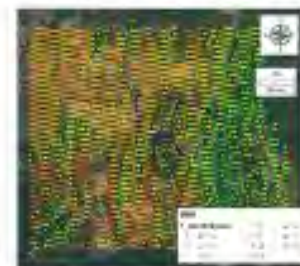
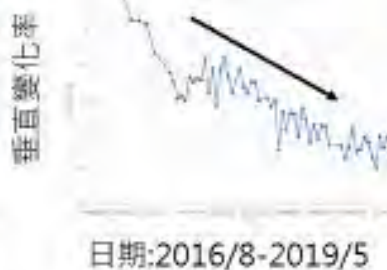
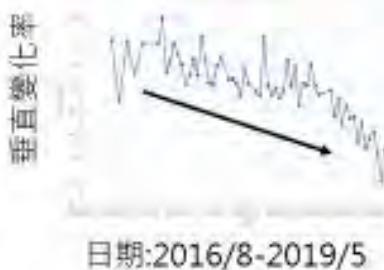
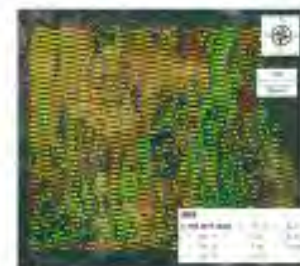
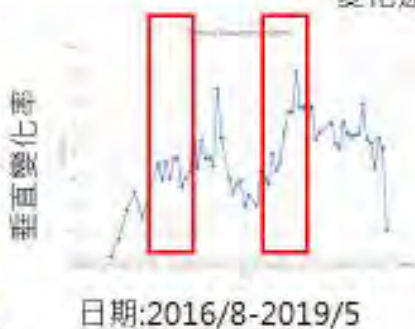
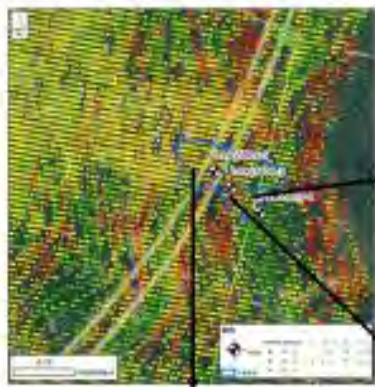


圖8 案例分享