
大規模崩塌調查與監測作業指引

農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國 112 年 12 月

目錄

第一章 總則	1
1.1 適用範圍	1
1.2 名詞定義	3
1.3 規劃原則	5
1.4 調查及監測階段	10
1.5 調查及作業需求	11
第二章 調查方法與監測儀器	13
2.1 調查及監測儀器項目	13
2.2 資料蒐集	16
2.3 遙測影像及調查	20
2.4 地表調查	22
2.4.1 現場勘查	22
2.4.2 地表地質調查	25
2.4.3 地表變位	28
2.4.4 結構物變位	33
2.4.5 雨量	35
2.5 地下調查	37
2.5.1 地球物理探測	37
2.5.2 地質鑽探	41
2.5.3 地下水	44
2.5.4 地下變位	50
第三章 觀測方式及監測系統規劃	55
3.1 廣域監測階段	55
3.1.1 廣域監測目的	55
3.1.2 廣域監測方式	56
3.1.3 廣域監測成果產出	58
3.2 地表位移監測階段	59
3.2.1 地表位移監測目的	59
3.2.2 地表位移監測方式	60
3.2.3 地表位移監測成果產出	63
3.3 細部監測階段	64

3.3.1 細部監測目的	64
3.3.2 細部監測方式	66
3.3.3 細部監測成果產出	76
第四章 儀器維護管理	79
4.1 儀器維護及保養	79
4.2 滾動式檢討及監測儀器調整	80
第五章 儀器設置品管作業程序	81
5.1 監測系統擬定	81
5.2 儀器設置品管作業	83
5.2.1 降雨量監測.....	83
5.2.2 地下水位監測.....	83
5.2.3 流量計監測.....	84
5.2.4 地表變形監測.....	84
5.2.5 地中變形監測.....	86
5.2.6 應力監測.....	87
5.2.7 影像監測.....	87
5.3 資料品質規範及品質檢核機制	88
參考文獻	

圖目錄

圖 1.1 農村水保署內大規模崩塌潛勢區防減災計畫架構.....	2
圖 1.3 監測系統架構圖	9
圖 2.1 大規模崩塌潛勢區監測系統配置示意圖.....	15
圖 2.4 大規模崩塌地形變化特徵示意圖(USGS,2004)[13]	23
圖 3.3.1 調查與觀測階段流程圖.....	65
圖 3.3.2 前期調查階段平面配置示意圖.....	72
圖 3.3.3 前期調查階段邊坡儀器配置示意圖.....	72
圖 3.3.4 長期監測階段平面配置示意圖.....	73
圖 3.3.5 長期監測階段邊坡儀器配置示意圖.....	74

表目錄

表 1.2 量測方式示意表.....	4
表 1.4 大規模崩塌潛勢區調查及監測階段目的	10
表 1.5 大規模崩塌潛勢區調查階段與適用方法建議	12
表 2.1.1 大規模崩塌潛勢區調查方式或儀器適用表.....	14
表 2.1.2 不同階段之觀測與監測儀器使用建議.....	15
表 2.2 資料蒐集來源彙整表[1].....	19
表 2.3 遙測載具優劣比較	21
表 2.4.1 地表監測儀器比較表[1]	32
表 2.4.2 結構物變位監測儀器比較表.....	34
表 2.4.3 雨量計比較說明一覽表.....	36
表 2.5.1 地球物理探測適用性表格.....	39
表 2.5.2 常見地球物理井測方法[1].....	40
表 2.5.3 地下水位及水壓觀測井調查及監測方式比較表[1]	48
表 2.5.4 地下水壓觀測儀器適用性說明一覽表.....	49
表 2.5.5 地下變位調查及監測儀器比較表[1].....	54
表 3.1 廣域監測調查方式建議表	57
表 3.2 地表位移監測調查方式及頻率建議表	62
表 3.3.1 前期調查方式建議表.....	69
表 3.3.2 長期監測方式建議表.....	70
表 3.3.3 前期調查階段頻率及精度建議.....	75
表 3.3.4 長期監測頻率及精度建議.....	75

第一章 總則

1.1 適用範圍

本指引適用於調查與監測之規劃、建置、執行及管理維護等，目的為防災監測之應用。本指引僅依農業部農村發展及水土保持署(以下簡稱農村水保署)過往承辦計畫及國內外經驗加以蒐集說明，執行單位得依需求，參酌相關學理加以調整。

【說明】

本指引適用於調查與監測之規劃、建置、執行及管理維護，目的為提供農村水保署內部執行防災業務時之參考，各項業務之建議調查階段由農村水保署整體評估計畫訂定。整體大規模崩塌潛勢區防減災計畫架構流程如圖1.1說明，架構圖中包含大規模崩塌潛勢區判釋及圈繪、調查、監測、治理及後續維護等不同階段，本指引僅適用於防災監測項目下之廣域監測、地表位移監測及細部監測階段，並加以說明適用於大規模崩塌潛勢區之調查及監測作業操作。

承辦農村水保署大規模崩塌潛勢區防災業務之調查與監測的相關單位，應參考本指引之調查原則、調查方法、配置目的及儀器設備等進行辦理。

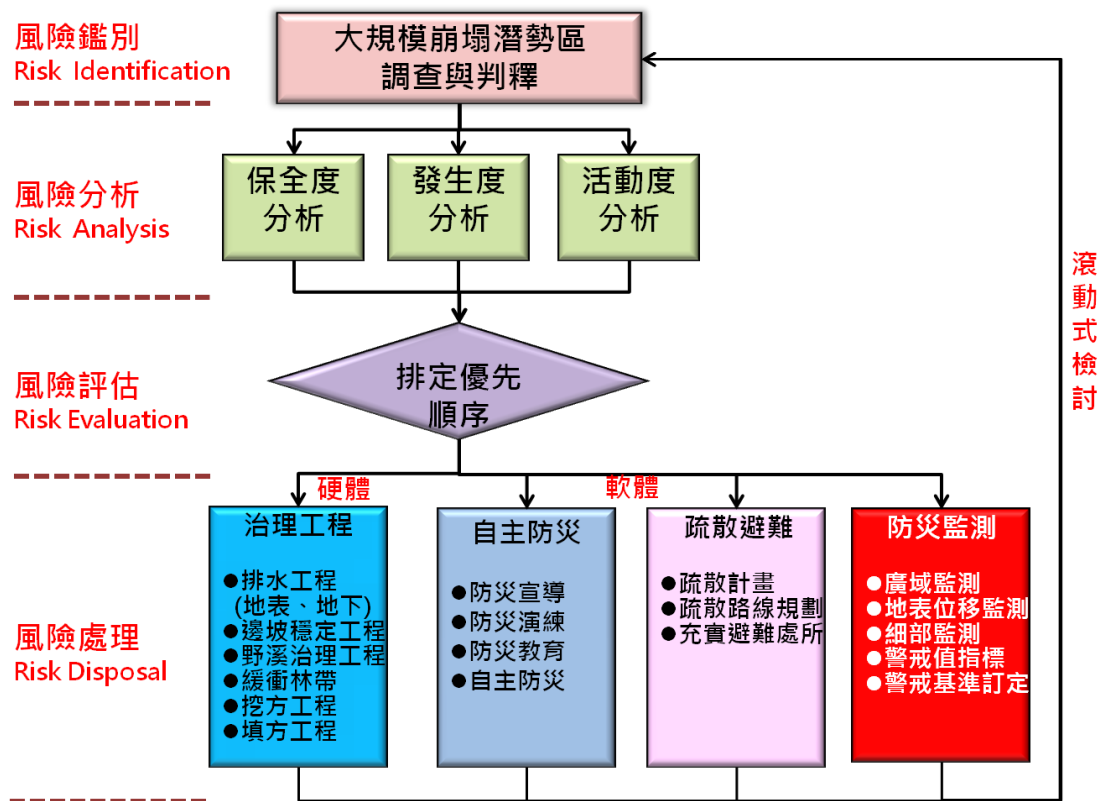


圖 1.1 農村水保署內大規模崩塌潛勢區防減災計畫架構

1.2 名詞定義

大規模崩塌潛勢區：本指引所指大規模崩塌潛勢區，係參考國家災害防救科技中心^[7]之調查成果，為崩塌面積超過10公頃、崩塌土方量達10萬平方公尺或崩塌深度在10公尺以上為原則。

調查與監測：調查與監測可依照計測目的進行區別。調查指針對未知之物理行為而設置觀測儀器，可藉由觀測了解事件發生之位置及型態，通常此階段利用頻率較低之觀測方式進行且未必能確切發生的時間。監測指為防災目的而設置儀器觀察，針對已知的特定位置(滑動面、地下水位)進行監看，此階段儀器必須符合自動連續計讀及自動回傳功能，作為防災決策之參考。

自動、半自動及手動量測：手動量測指人工帶量測儀器至現場收測資料，資料更新頻率依照收測時間而定；半自動量測係於現場安裝自動連續計讀儀器，但需人工至現場收取監測成果，資料型態為連續紀錄但無即時回傳；自動量測指現場安裝自動連續計讀儀器且建立自動回傳系統，因此資料為連續觀測且即時回傳，僅須定期派員前往維護儀器及檢測，資料更新頻率依照「大規模崩塌監測資料規範」辦理。

【說明】

1. 本指引將調查及監測名詞利用目的進行區分。調查工作一般適用於先期階段，為瞭解大規模崩塌潛勢區之狀態及問題而進行現場調查並設置相關觀測儀器，通常採相對簡易方式辦理，觀測頻率相對較低，觀測項目可依需求進行重點觀察；監測工作目的在於可取得現場較為連續資料，用以分析崩塌地之變化量並據以評估其趨勢變化，並作為後續防災管理及

緊急應變之用，通常需進行較長期之監測，且監測資料需較為連續、監測項目相對較多，以利趨勢評估及訂定管理值。

2. 現場設備之量測頻率、資料回傳頻率等方式會影響調查成果及適用階段，因此必須明確定義各階段所需求之觀測頻率，方能確實掌握長期連續性的監測作業。
3. 現場儀器計讀方式可分為自動連續計讀及無自動計讀兩種；資料回傳可依據回傳方式分為自動回傳及人員現場讀值，以此兩種條件組合下，可將資料取得頻率分為自動、半自動及手動量測三種等級，自動量測對應自動連續計讀儀器及自動回傳系統；半自動量測對應自動連續計讀儀器及人員現場讀值；手動量測則使用無自動計讀之監測儀器並由人員現場讀值之測量方式。若須達到自動監測之目標，則須使用可符合自動量測標準之儀器方能達到目標。

表 1.2 量測方式示意表

本指引定義	手動量測	半自動量測	自動量測
儀器計讀方式	無自動計讀	自動連續計讀	
資料回傳方式	人員現場讀值		自動回傳

1.3 規劃原則

調查及監測系統之規劃，除需考量現場環境、地形、地質及地下水特性等因素外，應根據初步研判之大規模崩塌潛勢區破壞類型，配合各階段所需取得之各項資料及未來防災監測需求建置對應之監測系統，以取得有效且具有代表性之監測成果。

【說明】

調查及監測系統規劃，需考量地形、地質條件、地下水位及可能大規模崩塌潛勢區破壞類型等因素，按調查、觀測及監測等不同階段之監測目的，進行妥善之儀器規劃，以下將針對儀器選用之考量事項及完整的監測系統說明。

參考王文能博士撰寫之「崩塌的地質特性與防災」^[5]參考資料，可將大規模崩塌潛勢區破壞模式分為五個類型，分別為滑移-拉裂-剪斷破壞、擋土牆潰屈破壞、平推破壞、逆向坡傾倒破壞及順向坡滑移-挫屈破壞等五種，後述之調查及監測方式為原則性建議，實際之調查配置及數量應依照個案之調查成果進行調整。未達大規模崩塌潛勢區所定義之崩塌相關調查監測工作不在本指引內容討論範圍內，建議另以土石流、淺層崩塌、中等規模崩塌或其他破壞模式之調查方式辦理。

一、儀器選用考量事項

大規模崩塌潛勢區經過影像判釋及初步野外調查後，於進一步研判其可能破壞模式或保全範圍，才進行監測儀器種類、安裝位置與深度及數量之配置，方能規劃出有效且符合經濟效益之監測系統。

監測儀器設備的選擇，建議單純而不複雜、能在所安裝之監測環境中有最好的耐久性、對氣候溫度、溼度的變化有最小的敏感性、

材料零件不致因施工機具、水、塵土或其他化學作用之影響，依然能夠正常運作等之特性者為佳。

相同監測儀器種類，其精度、重複性、量測範圍、適用溫度等可能有所差異。監測系統設計者應先依據現場環境之特性，據以選擇最適之儀器規格。而對於採自動監測之電子式儀器，亦需考量感測器、資料擷取設備、資料傳輸設備之耗電量。

監測儀器配置數量與位置之決定，必須足以正確反應監測對象可能變化行為，惟對於大規模崩塌潛勢區而言，往往不易精確預判出滑動面或地下水位之位置，故應保留可適當調整及預留增設監測點位的彈性，以因應不可預期的變化。選擇儀器所需考慮因素可分為主要及次要因素兩部分，茲分述如下：

1. 主要因素(量測範圍、正確性、精度及耐候性)：

- (1) 量測範圍：確認大規模崩塌潛勢區可能影響之範圍及變化量，於儀器佈設時需安裝於影響範圍內，並挑選可量測其最大變化量之儀器。
- (2) 正確性：為儀器量測之首要要求，代表其計讀結果與絕對真值之一致程度，儀器之正確性建議要求在量測值之 $\pm 1\%$ 以內。
- (3) 精度(重複性)：為每次監測之讀值與平均值之差異。當測得之精度高者，代表監測結果相近(重複性高)。儀器之精度建議要求至少在量測值之 $\pm 1\%$ 以內。
- (4) 耐候性：表示監測儀器抵抗野外環境溫度及濕度等外在不利條件之能耐，由於大規模崩塌潛勢區監測儀器多數安裝於野外環境，因此耐候性特別重要，可於儀器選擇時選用耐候性較高之儀器或於現場規劃保護箱予以加強防護，以

增加其之使用年限，於氣候條件較為險峻之區域建議加強現場巡檢以及儀器檢修之頻率。

2. 次要因素(成本、施工及自動化需求)

- (1) 成本考量：各計畫皆有不同之調查及監測經費，一般而言，精度越高、正確性愈佳或耐久性越好的儀器往往較為昂貴，因此設計者需考量監測目的之實際需要，決定儀器的種類以及監測方式(自動化)。
- (2) 施工考量：儀器安裝的困難度將影響儀器量測之品質，因此建議選擇施工較為簡易，且有標準化安裝之儀器，以降低儀器安裝時對儀器監測品質之影響。但不宜因施工考量而影響實際監測的需求(如因交通無法抵達儀器安裝位置而改安裝於需求較低之位置)，應以監測之需求為第一優先考量。
- (3) 自動化之需求：依據監測階段目的性的不同，可搭配自動化或手動量測等方式進行監測，可參考本指引後續第三節之說明。一般風險越高且具保全對象之位置，則監測自動化需求就越高。另一種情況為量測位置地處偏遠，人工量測不易到達時，亦可考量採用自動化監測系統。

二、監測系統組成

完整之自動化監測系統的主體架構可分為五個部分(感應元件、儲存及擷取設備、資料傳輸設備、後端資料庫整合系統及電源供應單元，各監測等級之系統組成架構可詳以下說明及圖1.3。

1. 感應元件：泛指可量測現場氣候、水文、應力及位移等物理量之感測儀器，依量測型態可分為裝設於現場自動連續計讀之感應元件及人工攜帶感應元件至現場進行手動量測兩種。
2. 資料擷取及儲存設備：控制感應元件之擷取程序、量測頻率或儲存資料之設備。依據感應元件的不同，部分類型之感應元件並無儲存之功能，因此需搭配適合之資料擷取器，亦需考慮現場環境狀況(如：溫度、電力供給能力等)，評估適合之資料擷取器型式，資料儲存設備另一功能為避免通訊中斷時造成之資料遺失。手動量測則無搭配此元件。
3. 資料傳輸設備：指將現場資料擷取器或儲存設備之監測資料傳輸至後端伺服器之設備。常用之傳輸方式可概分為有線傳輸(市話網路、網際網路等)及無線傳輸(例如3G、4G、網路、無線電波、衛星網路)等二大類，傳輸方式之選用須依據現場既有的通訊設備進行調整，須注意傳輸設備需在災害發生時仍能進行資料傳輸，以達防災之效果。若屬手動量測則採用人工讀取資料並手動上傳量測成果至後端資料庫。
4. 後端資料庫整合系統：感應元件、資料擷取器及儲存設備、資料傳輸設備等均為系統之硬體，然完整的自動化監測系統尚需後端的整合，於後端伺服器將收集之監測資料予以彙整後展現繪製於系統中為其主要目的，提供使用者簡單易讀之使用介面，作為防災決策之參考。
5. 電源供應單元：部分監測儀器仰賴電力進行記錄及傳輸，依照儀器型式可使用電線、電池或太陽能供電系統供應電力，電力系統建議獨立運作且設立備援系統，避免颱風豪雨或邊

坡滑動時造成監測系統之中斷。除全自動監測系統對電力較高外，半自動多數利用電池即可解決，手動量測無電力需求。

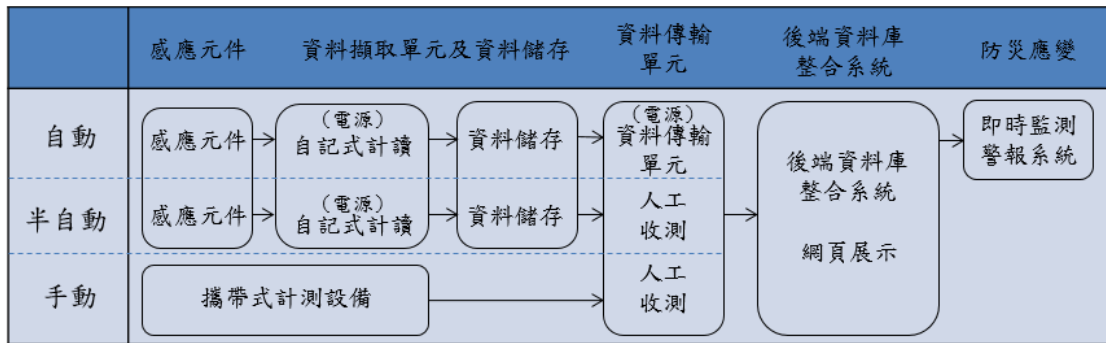


圖 1.3 監測系統架構圖

1.4 調查及監測階段

大規模崩塌潛勢區調查及監測工作依照危害度及重要性依序分為下述三階段：(1)廣域監測階段、(2)地表位移監測階段及(3)細部監測階段。

三階段工作內容可參考本指引第三章之內容說明，依據專責單位辦理之判釋成果區分調查階段，並依階段性任務加以評估調查範圍、調查方法及儀器設備。

【說明】

大規模崩塌潛勢區調查及監測階段對應之調查方式、調查精度及所需投入人力、經費等皆不相同，本指引依據大規模崩塌防減災架構中區分出三個階段，當保全度、發生度及活動度低者，適用於廣域監測階段；保全度中或高、發生度中或低者，且TCP-InSAR監測成果顯示地表變動大者適用於地表位移監測階段；細部監測階段則適用於保全度中或高、發生度高者。各階段建議考量適當之方式以符合需求及目的，相關階段之調查任務內容詳表1.4說明。

表 1.4 大規模崩塌潛勢區調查及監測階段目的

調查及監測階段	任務內容	參考章節
廣域監測階段	利用多時序之遙測技術監測地表變位現況，初判邊坡穩定性及可能滑動位置。	3.1 節
地表位移監測階段	利用相對簡易之儀器監測地表位移量，提升監測之時間解析度以確認邊坡活動性。	3.2 節
細部監測階段	利用現場調查成果安裝監測儀器於重點位置，用於後續管理值訂定及防災用途。	3.3 節

1.5 調查及作業需求

調查及作業階段需求之儀器依照目的性質稍有差異，要求之精度與計測頻率皆不相同，相關儀器設置需求建議參考表1.5說明使用。

【說明】

- 一、廣域監測階段：此階段利用遙測技術以固定周期針對廣域之地形面進行拍攝及判釋，以取得多時序之地面特徵物變化及地表變位特徵。常用之廣域監測項目包含可見光影像之地表特徵比較及雷達波地表變位之比較，必要時得以現場勘查比對判釋成果。
- 二、地表位移監測階段：此階段利用相對簡易之地表變位儀器針對邊坡進行時間解析度較高之監測，一般使用地表伸縮計、GPS系統及雨量計監測其地表變位量與雨量之相對關係，並依據地表位移現況、地表勘查及地表地質調查建立初步之大規模崩塌潛勢區之地質模型。
- 三、細部監測階段：細部監測系統目的為防災預警，於儀器安裝前必須針對邊坡進行整體性之前期調查，確認地質模型及滑動機制後再安裝即時監測系統於重點位置以了解即時邊坡現況。一般於前期調查時須進行地表地質調查、地球物理探測、地下地質鑽探、地下水位量測、地下變位量測及地表變位量測等調查項目；長期監測之監測儀器則依據上述之物理量(雨量、地下水位、地表變位及地下變位)安裝於滑動面、滑動快速位置或鄰近保全對象之區位。調查成果建議取得即時監測資料、初擬管理值、確認崩塌機制及滑動面剖面模型等資訊。各階段調查適用儀器，建議參考表1.5。

表 1.5 大規模崩塌潛勢區調查階段與適用方法建議

調查及 監測階段	遙測 影像	雨量	地表 變位	地下 變位	地下 水位
廣域監測階段	必要	參考鄰近 /自設	遙測 判釋	-	-
地表位移監測 階段	必要	必要	即時 監測	-	-
細部監測階段	必要	必要	即時 監測	即時 監測	即時 監測

第二章 調查方法與監測儀器

2.1 調查及監測儀器項目

大規模崩塌潛勢區調查及監測儀器依照量測之物理量不同，可區分為量測氣候(雨量)、水文(地下水)及地文分析(地表變位、結構物變位及地下變位)等儀器。依照量測之需求選定適當之調查儀器，於規劃監測系統時根據調查之災害類型選用適當之設備。

【說明】

大規模崩塌潛勢區監測項目及儀器種類繁多，包括量測氣候、水文及地文分析等各類儀器。調查方式及監測儀器在不同型的態邊坡災害之適用性亦不同。

常見的大規模崩塌潛勢區監測儀器如解說圖 2.1 及表 2.1.1 所示。因應不同階段適用之監測儀器建議，如表 2.1.2 內容說明。

本章節中地質調查方法及監測儀器建議參考經濟部地質調查及礦業管理中心公開之「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」(107 年)、地質敏感區基地地質調查及地質安全評估作業準則」(107 年)及農委會農村水保署「106 年大規模崩塌區調查及治理規劃方法研究」辦理，惟調查與監測階段之精度、頻率及成果資料規格，建議依照本指引之要求辦理。

表 2.1.1 大規模崩塌潛勢區調查方式或儀器適用表

類型	調查及監測方法	量測之物理量	適用性	常見監測方式	備註
遙測資料	光學影像	光學波段輻射強度	○	M	
	雷達影像	地表高程相位差	○	M	
	數值地形	地表地形高程	○	M	
雨量	雨量計	降雨量	○	A	
地下水位	水位觀測井	地下水位	○	M、H、A	
	封層水壓觀測井	地下水壓力	○	H、A	
地表變位	地表伸縮計	地表相對位移量	○	H、A	
	地表傾斜計	傾斜量	○	M、A	
	沉陷釘	垂直位移量	△	M、H、A	
	光學光波測距儀(全測站)	地表位移量	△	A	
	GPS 地表變位	地表位移量	○	M、H、A	(單頻或雙頻)
結構物變位	結構物傾斜計	傾斜量	○	M、A	
	裂縫計	裂縫寬度	△	M、A	
地下變位	傾斜儀	水平位移量	○	M	(插入型傾斜儀)
	定置型孔內傾斜儀(IPI)	水平位移量	△	A	
	孔內伸縮計	相對位移量	○	A、H	
	電磁波時域反射(TDR)	水平位移量	△	M、A	
	多點式地中變位儀(SAA)	水平位移量	△	A	

○：經常使用 △：偶而使用

A：自動監測 H：半手動監測 M：手動監測

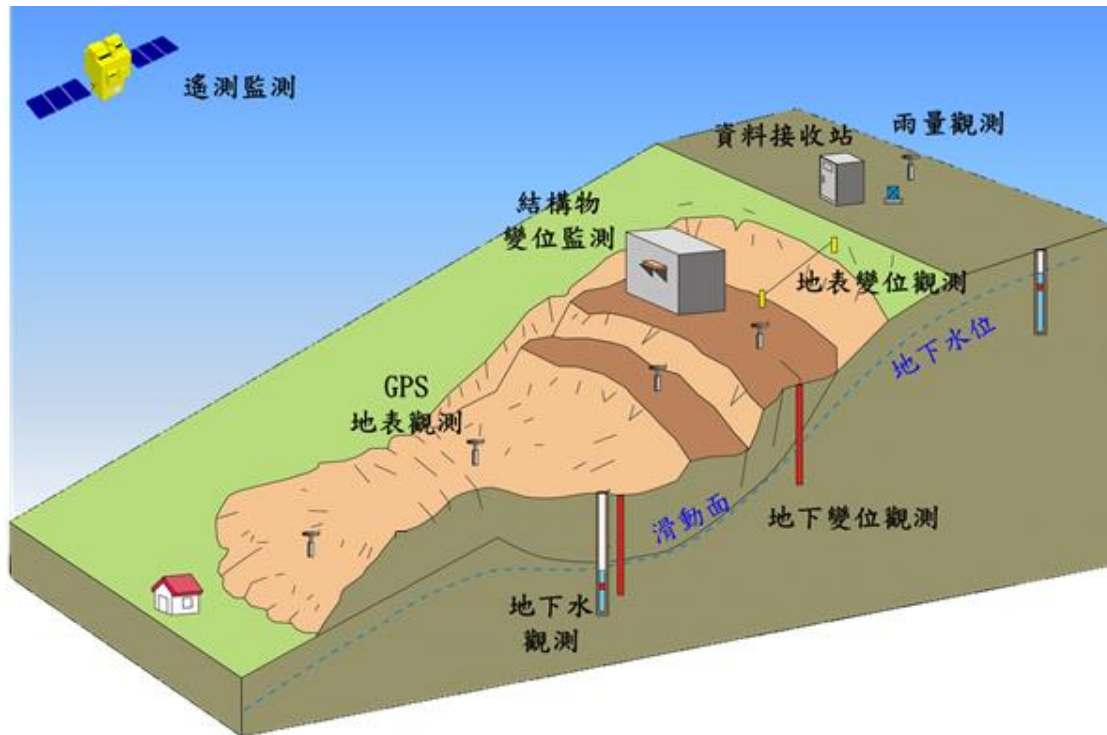


圖 2.1 大規模崩塌潛勢區監測系統配置示意圖

表 2.1.2 不同階段之觀測與監測儀器使用建議

監測與觀測階段	調查項目	建議使用之觀測與監測儀器	
		優先考慮	可考慮
廣域監測階段	1. 地表地物特徵 2. 地表地形變化	<ul style="list-style-type: none"> 光學影像 雷達衛星影像 	<ul style="list-style-type: none"> 自記式雨量計 光達影像
地表位移監測階段	1. 地表地物特徵 2. 地表變位監測 3. 地表地質調查	<ul style="list-style-type: none"> 光學影像 雷達衛星影像 雨量計(自動) 地表伸縮計(自動) 地表GPS系統(自動) 	<ul style="list-style-type: none"> 結構物變位監測儀器 光達影像
細部監測階段	1. 地下水位監測 2. 邊坡穩定性監測 3. 地表變位監測 4. 地下變位監測	<ul style="list-style-type: none"> 光學影像 雨量計(自動) 地表伸縮計(自動) 地表GPS系統(自動) 自記式傾斜儀(自動) 水位/水壓觀測井(自動) 	<ul style="list-style-type: none"> 光達影像 雷達衛星影像 結構物變位監測儀器

備註：

- 1.各階段調查內容建議包含前項階段之所有項目。
- 2.各調查或監測儀器可用功能性相同之替代方案辦理。
- 3.儀器數量及配置建議依照個案需求調整。

2.2 資料蒐集

資料蒐集旨在瞭解大規模崩塌潛勢區範圍內之地形、地質、氣象、水文等各種可能影響之地質條件與環境特性，以作為調查作業之參考。

【說明】

本工作主要係蒐集大規模崩塌潛勢區範圍內各種可能影響之地質條件、環境特性及相關研究文獻及圖資，針對潛勢區範圍進行初步研判，並彙整資料作為後續辦理調查作業之參考。茲參考經濟部地質調查及礦業管理中心「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」列舉蒐集項目並修改如下及

表 2.2：

- 一、地形圖：藉由地形資料瞭解調查區域之相關位置、交通性及作為套繪調查成果之底圖。諸如農林航空測量所繪製出版之 1/5,000 相片基本圖、1/25,000 地形圖及 DTM 數值地形圖等。
- 二、地質圖：瞭解調查區域之基本地質、環境地質及活動斷層位置圖等成果。如經濟部地質調查及礦業管理中心出版 1/50,000 台灣地質圖相關圖幅及其說明書、1/25,000 台灣活動斷層分布圖、岩性組合分布圖、岩體工程特性分布圖等。
- 三、地質災害潛勢圖：環境地質中各災害潛勢區域地圖，如經濟部地質調查及礦業管理中心之坡地環境地質基本圖、坡地環境地質災害敏感區分布圖、地質敏感區相關圖幅及計畫書，農業部農村發展及水土保持署亦有全省山崩、土石流潛勢溪流成果圖集等可供參考。
- 四、水文、氣象及颱風紀錄：提供邊坡穩定分析、水文分析及排水設計之參考。諸如調查區域內或附近之颱風紀錄、氣象(雨量)站、歷史雨量紀錄及水文水系分佈等。
- 五、歷史災害紀錄：瞭解調查區域內曾發生的歷史災害，包括人員損傷、災害時間、地點、範圍及種類等。
- 六、歷史遙測影像蒐集及判釋成果：非本案產製之遙測影像及地形資料、判釋成果、干涉合成孔徑雷達(InSAR)之地表分析成果及其他可參考之圖資、報告。

上述資料蒐集之必要性應依照不同目的調整蒐集之內容，如需判釋大規模崩塌潛勢區範圍時，必須蒐集遙測影像(衛星影像或正射影像)、地形資料(光達數值地形模型、數值高程模型或其他可套疊之地形影像)、地質災害潛勢圖、水系圖及基本道路圖層，作為基本地貌上

特徵之判釋依據。如為了瞭解大規模崩塌潛勢區之崩塌機制，則應該補充蒐集地質圖、地質災害潛勢圖、多時序歷史遙測影像(衛星影像或航空照片)、歷史災害紀錄及歷年水文及氣象資料等資訊進行綜合評估。資料蒐集之原則以精度越高越好，如無法取得高精度之地形及影像資訊，亦可先參考較低精度之圖資參考，並建議於計畫中取得範圍內較高精度之地形或影像等資訊。

資料建議皆須進行數值化且地理位置定位，便於透過 GIS 地理資訊系統平台進行套疊比對，利於後續研判作業。

表 2.2 資料蒐集來源彙整表^[1]

資料項目		精度	說明	參考來源
影像資料蒐集	正射航照	1：5,000	彩色正射影像數值資料檔（1：5000 分幅）	農業部林業及自然保育署航測及遙測分署
	衛星影像	8 公尺	以衛星酬載光學鏡頭進行高空取像之資料，主要資料包括 SPOT、福衛二號、QuickBird 與 IKONOS 等	中央大學太遙中心、福衛二號影像商業衛星民間供應單位(Google Earth)
地形資料蒐集	經建版地形圖	1：5,000	可提供經濟建設運用之地形圖	內政部國土測繪中心
	像片基本圖	1：5,000 1：10,000	航空像片製作成正射像片後，加入道路、水系及等高線等相關資料	農業部林業及自然保育署航測及遙測分署
	地形圖	-	表達地面的人文和自然特徵的詳細且準確的地圖。	Google map、Google Earth
	數值高程模型	5 公尺	數值高程模型資料，可轉換為等高線與日照陰影資料進行潛在大規模崩塌區位判釋	農業部林業及自然保育署航測及遙測分署、內政部資訊中
	光達數值地形模型 (LiDAR)	1 公尺、2 公尺	利用 LiDAR 資料產製數值地形圖	經濟部地質調查及礦業管理中心產製，內政部國土測繪中心提供
地質資料蒐集	地質圖	1：50,000	包括岩性、地層位態、構造等資料（1：5,000 分幅）	經濟部地質調查及礦業管理中心
	環境地質圖	1：25,000	包括順向坡、崩塌等環境地質資料（1：25,000 分幅）	經濟部地質調查及礦業管理中心
	地質災害潛勢圖	1：25,000	包括土壤液化、地層下陷及軟弱土層等地質災害資料潛勢評估（1：25,000 分幅）	經濟部地質調查及礦業管理中心
	地質敏感區範圍圖	1：25,000	含地質遺跡、地下水補注、活動斷層及山崩與地滑。	經濟部地質調查及礦業管理中心
其他資料	山崩目錄	1：5,000	山崩範圍與空間分布資料	經濟部地質調查及礦業管理中心、農業部農村發展及水土保持署
	山崩潛感圖	1：5,000	利用山崩的地形因子、地質因子、區位因子及水文因子等，建立潛感模型及計算潛感值，並繪製山崩潛感圖，供潛在大規模崩塌判釋參考	經濟部地質調查及礦業管理中心、經濟部水利署、農業部農村發展及水土保持署、自行產製
	土石流潛勢溪流圖	-	有可能發生土石流災害之溪流或坑溝的分布圖	農業部農村發展及水土保持署土石流防災資訊網
	水系圖	1：5,000	水系分布，河灣攻擊側位置	農業部林業及自然保育署航測及遙測分署、內政部國土測繪中心、經濟部水利署
	道路圖	1：5,000	含省道、縣道、鄉道與一般道路	農業部林業及自然保育署航測及遙測分署、內政部國土測繪中心、交通部運輸研究所
	雨量站位置圖	-	氣象署設置於全台的雨量站位置圖	交通部中央氣象署

2.3 遙測影像及調查

大區域調查且採多時序的地表地形資訊比對及判釋時，得以遙測影像進行，一般常用之遙測載具搭載如光學波段、雷達波段及光達感測設備等。

遙測影像的解析度、取得頻率及其適用性取決於遙測載具的設備，使用時需考量適用性。

【說明】

遙測一般定義為利用儀器偵測目標物反射或放出之電磁輻射來決定其物理性質，廣義指儀器不須直接接觸目標而可取得資料之調查方式，依照載具平台分類可為手持、地面、空載(飛機或無人機)及星載(衛星)，狹義上則為利用空載或星載以電磁能方式進行地表之調查。本章節說明之遙測影像係指利用星載及空載方式取得之影像。

遙測取得之影像類型取決於載具上搭載之探測儀器，一般常使用光學波段、雷達波及光達等，可應用於影像判釋及地形變化之觀測。

光學載具為接受太陽光反射之電磁波來進行觀測，主要可應用於觀察地表植被、地形變化及各類地物分類，一般光學影像可取自衛星影像、航空正射影像及無人機產製之影像，衛星影像可利用其週期性及廣域拍攝之特性，進行大規模且多時序的影像判讀；航空正射影像之解析度較高，但取得之頻率較不固定；無人機產製之遙測影像具有機動性及高解析度，可即時產製影像或地形，但拍攝範圍一般較小。

雷達載具為接收載具主動發射的雷達波資料來進行觀測，其中合成孔徑雷達（Synthetic Aperture Radar, SAR），屬於一種微波成像雷達，是一種可以產生高解析度影像的機載雷達或星載雷達，需以複雜的雷達數據合成後處理過程以獲得極高的空間解析度雷達影像。由於

其特性為不受日夜天候影響，已被廣泛應用於環境與災害觀測上。雷達衛星可利用兩期不同時間、相同地點之影像，以雷達回波同調特性發展出之量測技術，透過雷達差分干涉量測推估地表位移，用以監測下陷或地表位移量，可應用於地表面多時序變形之監測。

光達影像(LiDAR)為利用接收載具打出的雷射反射後取得的點雲資訊來繪製地形面之 DTM(含 DEM 及 DSM)，一般用於空載(飛機、UAV 及地面載具。光達影像產製之高精度的地形資料，可進行微地形的觀察及判釋，並用於繪製崩塌發育之特徵。

選用遙測影像時，得視使用目的、調查範圍及拍攝時間挑選合適的影像類型及拍攝載具，並須注意影像之拍攝角度、拍攝時間、日照陰影、雲覆比例等可能影響品質之因素。

表 2.3 遙測載具優劣比較表，由於衛星種類甚多因此僅彙整常用衛星之資料供參考；航空載具(飛機)以農林航空測量所之航空拍攝為例；無人機之解析度則會因航行高度及搭載之設備不同而有影響，因此僅提供參考範圍區間。

表 2.3 遙測載具優劣比較

	空間 解析度	時間 解析度	拍攝範圍	適用時機	缺點
衛星 載具	0.5~8 公尺	1~30 天	12~60 公里 (像幅寬度)	大區域多時 序影像比較	空間解析度 較低
航空載 具(飛 機)	0.25~0.50 公 尺	平地 0.5 年；山區 2 年以上	3*3.75 公里 (單幅正射影 像)	大區域高解 析度影像判 釋	時間解析度 較低
航空載 具(無人 機)	0.1~0.5 公尺 (依高度及設 備而不同)	自訂	可自訂航 程，一般約 數公里範圍	小區域即時 高解析度影 像，具機動 性	調查範圍較 小

2.4 地表調查

2.4.1 現場勘查

現場勘查之目的為查核前期資料及遙測判釋成果，並依據現場的地表徵兆現象，瞭解變動範圍及可能影響範圍，調查作業比例尺建議不小於1/1200，其調查面積逾50公頃者，比例尺得縮小但不建議小於1/2400。

現場勘查項目至少須包含：

1. 地表變形：地表裂縫、落差、下陷及隆起等變形。
2. 地表水及地下水：河流、溪溝、水塘及泉水等位置。
3. 結構物(保全對象)：房舍、道路、擋土牆及水溝等變形。
4. 植被：植生現況、枯樹及樹幹彎曲等現象。

【說明】

一、目的

現場勘查目的為查核既有資料正確性及影像判釋成果，係利用現場可直接目視之調查方式進行確認，確認對象包含地表變形現況、地表水及地下水現況、結構物(保全對象)破壞情況及植被現況，利用已產生之地表面特徵瞭解崩塌地影響範圍並推估滑動型態。

二、調查方式

1. 地表變形

- (1) 大規模崩塌潛勢區地之地表特徵，包含崩塌範圍內頂部之崩崖(滑落崖、張力裂縫、下陷、傾斜)、崩塌範圍側翼變形(側方崖、張力裂縫、剪力裂縫)及崩塌範圍趾部變形(覆瓦構造、隆起、擠壓、橫向脊及放射狀裂縫)。
- (2) 調查時建議於工作底圖中標註調查位置、裂縫型態、裂縫

方向、下陷\隆起方向等資訊，作為判讀崩塌影響範圍之參考。

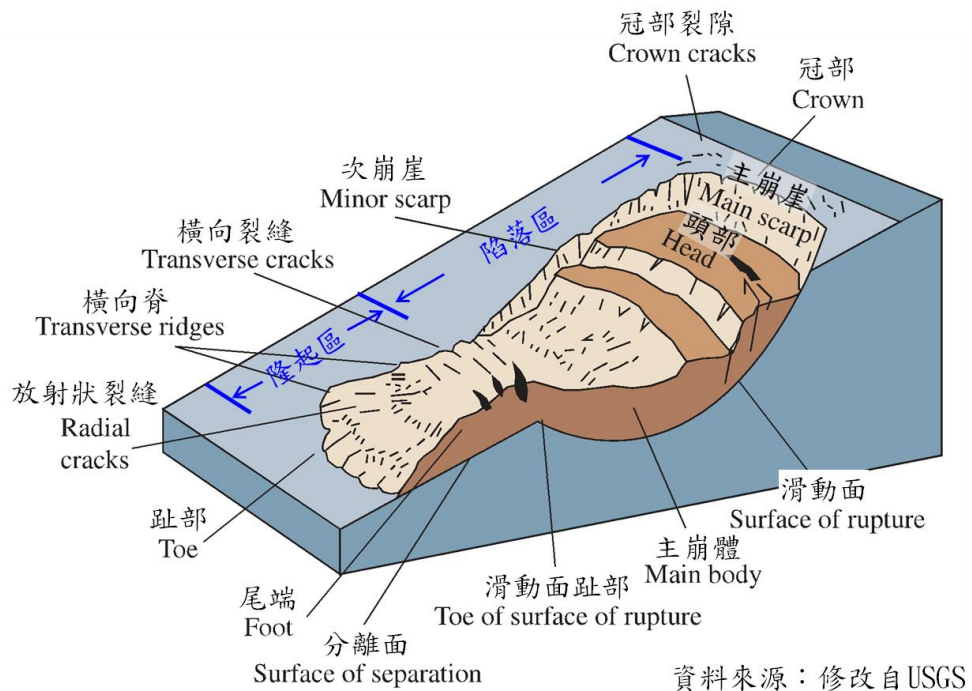


圖 2.4 大規模崩塌地形變化特徵示意圖(USGS,2004)^[13]

2. 地表水及地下水

- (1) 地表水調查包含河流、侵蝕溝、土石流及水塘分布，須注意溪流是否淘刷崩塌地坡腳、水系之沖淤現況、水系蜿蜒程度、水系坡度、水系密度、雙溝同源、侵蝕溝下切深度、向源侵蝕、水塘形狀及分布位置等資訊。
- (2) 地下水調查包含坡面滲水(濕潤度)、井水(泉水)位置等。
- (3) 上述調查成果建議依照現場調查地點位置，描繪於工作底圖中，並描述現況資訊，作為判讀崩塌影響範圍之參考。

3. 結構物(保全對象)

- (1) 結構物包含一般房舍、道路、擋土牆、水溝、橋梁、隧道、水庫及護坡設施等人造結構物。
- (2) 此調查係針對上述人工結構物，紀錄結構物之裂縫、變位

量等具系統性之破壞現象。需紀錄裂縫或破壞地點之位置、裂縫方向、破壞型態、結構物傾斜等資訊於調查底圖，以作為後續崩塌地研判之參考。

4. 植被

- (1) 植被係指披覆於地表上之植物生長現況，植生易因表土流失、崩塌位移等造成林相種類不同、地表裸露、樹幹彎曲或枯竭，因此可利用現場植物生長現況推測邊坡之穩定度及歷史災害範圍等現象。
- (2) 上述調查成果建議依實際調查地理位置描繪於工作底圖，並註明植物生長現況，作為後續崩塌地範圍判釋之參考。

三、調查範圍及注意事項

1. 調查範圍建議包含大規模崩塌潛勢區範圍內及周遭具有與大規模崩塌潛勢區活動相關之地形特徵區域。
2. 工作底圖建議依調查範圍、調查階段所需之不同精度調整，區域調查底圖比例尺建議不小於 1/1200，其調查面積逾 50 公頃者，比例尺得縮小但不建議小於 1/2400。
3. 調查頻率以次為單位，建議依照計畫性質需求調整，並考量豪大雨、颱風事件或地震後，得利用遙測影像判釋後，依照判釋結果及現場受損情況增加調查次數。

2.4.2 地表地質調查

地表地質調查為針對大規模崩塌潛勢區及鄰近可能影響範圍內，利用觀察及量測地形、地貌、河流、侵蝕溝、露頭等可直接或間接推測地下地質之方法，推估崩塌地之地質特性及分布範圍，並搭配現場勘查成果進行綜合研判，作為大規模崩塌潛勢區破壞模式及影響範圍之參考。

地表地質調查工作項目建議包含：

1. 地形變化：地形起伏特徵判釋，包含陡崖、緩坡、反凸坡等現象。
2. 地層特性：地層分布、地層名稱、地層年代、地層厚度及上下地層接觸關係等基本資訊。
3. 岩性特性：岩性分布、岩性種類、岩石成分、岩石組織。
4. 地質構造：斷層、褶皺、剪裂帶、節理及劈理等。
5. 順向坡：不連續面位態、地表坡度、範圍、坡腳現況、層間弱面等。
6. 岩屑層：地表未固結破碎材料分布範圍，包含崩積層、土壤、煤渣、棄填土、岩屑、土石流及階地等。

【說明】

一、目的

地表地質調查為針對崩塌潛勢區及鄰近可能影響範圍內，利用觀察及量測地形、地貌、河流、侵蝕溝、露頭等可直接或間接推測地下地質之方法，推估崩塌地之地質特性及分布範圍，並搭配現場勘查成果進行綜合研判，作為大規模崩塌潛勢區破壞模式及影響範圍之參考。相關調查項目說明如下：

1. 地形變化：利用影像判釋成果，於現場檢核大規模崩塌潛勢區中的地形特徵，包含崩崖、緩坡、反凸坡等具有地形特徵位置進行驗證，並明確標註於工作底圖中。通常於地形變化位置通常為露頭，因此於紀錄地形時需同時記錄地層、構造及岩屑層等相關資訊。
2. 地層特性：藉由調查地層分布位置可以了解邊坡之岩盤之岩體特性，調查時得參考蒐集之地質圖資料進行驗證，並核對現場岩性是否符合地質圖說內容，並針對岩性界線進行修正，調查同時須注意所觀測之地層構造是否為原生或經過搬運，避免於繪製地質圖時造成誤判。
3. 岩性特性：調查現場出露之岩性組成，了解岩石的成分、分布位置、種類及組織等，透過不同岩石的特性了解現場岩石邊坡之強度及可能產生之問題。
4. 地質構造：透過現場取得地層位態、斷層位態、節理面位態、劈理面位態，除標註測得之位態於工作底圖外，亦須針對測得之位態繪製立體投影圖進行分析，確認區域尺度中的地質弱面分布情況、構造型態及岩體破壞分析等。於測量記錄地層位態時，亦須針對露頭進行描繪(拍照)後進行初步檢視，並於現場確認岩體是否有崩塌挫曲之特徵。
5. 順向坡：順向坡為造成邊坡滑動的原因之一，於地質構造量測時，建議針對邊坡之弱面及坡面量測其位態，了解邊坡弱面與坡面之關係是否有具有順向坡之潛勢。若具有順向坡潛勢則需確認坡腳位置之現況，是為坡腳穩定、坡腳出露或坡腳具出露潛勢等情況，並圈繪可能造成順向坡滑動之位置及範圍。

6. 岩屑層：岩屑層之組成主要為表層落石、崩積層、風化層及表土層之分布狀況，一般可於現場調查時裸露之剖面觀察之，或利用地形觀察是否為崖錐堆積、沖積扇、河階或舊崩塌地等，於後續鑽探時亦可利用鑽探之岩芯判釋成果了解地下岩屑層之厚度。岩屑層為崩塌材料的主要來源，透過了解岩屑層土體之面積及深度可以推估其崩塌量體，作為後續整治或防災避難工作時之參考。調查成果需繪置於工作底圖上，底圖除了需要標註地下地質之岩性條件，亦須於圖說中標註各種岩屑層之位置及面積。

二、調查原則

地質調查以崩塌地範圍內及周緣可能影響位置為調查範圍，須將上述調查成果描繪於工作底圖中，並比對現場勘查成果研判崩塌地質地質條件及崩塌特徵，作為崩塌模型之參考。

工作底圖比例尺建議依照調查精度調整。

三、調查頻率

地質調查一般為首次調查乙次後，根據現場之地形變化或遭遇颱風豪雨地震事件時，針對地質條件變異位置進行查核驗證，可搭配前項現場勘查同時記錄。

2.4.3 地表變位

地表變位主要利用地表變位觀測儀器計測發生在地表面之位移量及位移方向，可用以掌握邊坡位移方向及位移速率，研判邊坡之可能災害類型、穩定情形及滑動規模等，提供防災時之參考。

地表變位監測儀器位置、深度及數量建議依據各階段需求配置，並涵蓋崩塌範圍內外之區域。

【說明】

一、目的

當邊坡發生不穩定之滑動現象時，將產生水平及垂直位移。其中水平位移量通常較為顯著，故為邊坡位移監測之重要項目。利用水平位移之監測成果，可掌握邊坡位移方向、位移量及滑動面位置，以瞭解邊坡穩定情形及確認滑動規模。

二、儀器選用

邊坡位移監測儀器，依照量測之對象不同，各儀器相關特性整理於表2.4.1說明中，各儀器之說明如下述說明：

1. 地表伸縮計

地表伸縮計又稱為地滑計，目的為量測地表二點間之相對位移，兩側固定端分別以鋼索固定於不動之地表及滑動塊體內，當兩端產生相對位移時，將拉動鋼索造成長度差異，量測其伸張量可求得兩端之相對變位量。地表伸縮計並無法觀測到實際變形之正確位置(裂縫位置)，需搭配現場調查來確認。地表伸縮計經常因鋼索二端點均固定於滑動塊體內，因此無法監測其水平位移量，於安裝前必須先進行準確之調查。一般地表伸縮計建議安裝於研判邊坡可能滑動塊體之上邊坡

鄰近崩崖位置，以得到最具代表性之滑動塊體位移量。

地表伸縮計可裝設為手動量測及自動量測，一般手動計讀需以人工定期至現場量測鋼索之伸張量來觀察邊坡變位情況。部分地表伸縮計可規劃為半自動式及自動量測，搭配即時回傳系統可即時取得現場變位資訊。

2. 地表沉陷釘

地表沉陷釘(沉陷觀測點)為固定於地表面上之基準點，並以水準測量方式量測沉陷釘之垂直位移變化。當邊坡發生不穩定之滑動時，除了滑動塊體之水平位移外，於崩塌頂部區域亦伴隨出現陷落情形，而產生垂直方向之位移變化。而在填方邊坡發生之垂直位移，常導因於高填方之沉陷現象，而非邊坡不穩定所造成。

地表沉陷釘一般以手動量測為主，須定期派員前往現場進行水準測量來計讀沉陷量。

3. 三維變位監測(GPS)

三維變位監測是利用非接觸式型式之方式於崩塌地範圍內外利用儀器量測各觀測點之三維位移變化。常用之監測方法可分為於現場利用光波測距儀量測各點位之距離或利用GPS系統進行觀測站之變位量監測兩種方式，如以下說明。

- (1) 光波測距儀：為利用一般地形測量儀器(如光波測距儀、全測站經緯儀或水準儀等)，量測觀測點之地表位置，經計算後可監測觀測點之三維位移變化。此量測方式可為手動量測及自動量測，手動量測即為一般人工收測方式，自動量測可考慮使用全測站經緯儀系統進行崩塌地之即時變位

監測，但須注意各測點之間是否有障礙物，且須注意量測距離之上限。

- (2) 全球定位系統(Global Positioning System)：利用全球定位系統之人造衛星量測地表面觀測點之絕對座標，進而比對不同時間之位置差異推估變位量。觀測結果以坐標方式表示，量測精度受衛星接收天線規格及資料解算方式影響，因此建議GPS資料即時回傳後須進行解算方能使用。

依照地表觀測站可接收之頻段可分為單頻及雙頻接收站，雙頻接收站可利用接收兩個不同頻段來消除電離層延遲誤差而因此精度較高且解算速度較快但設置費用較高。單頻GPS精度及解算時間雖不比雙頻GPS佳，但隨著科技進步及解算方式的進步，單頻GPS之量測精度已足夠用於邊坡滑動之監測功能。使用GPS量測方式依據量測方式可分為手動量測及自動量測，手動量測為利用現場標記之基準點，定期攜帶GPS儀器至現場進行座標之測量；自動量測則設置GPS觀測站於現場並利用無線傳輸即時回傳。

三、配置及安裝

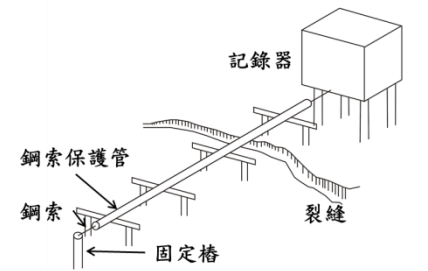
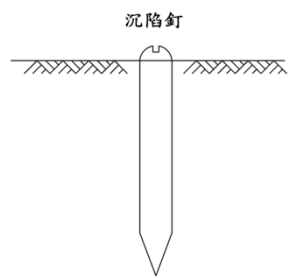
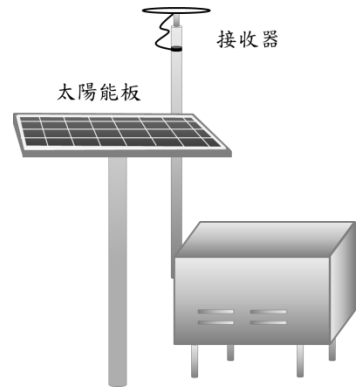
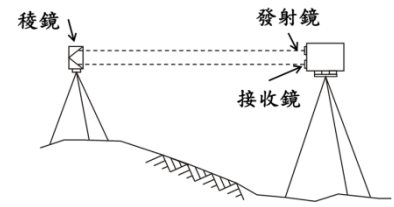
邊坡之變位測量為調查邊坡可能滑動型態或掌握邊坡穩定性之基本監測項目，每一處地質條件不佳或可能有破壞疑慮之邊坡，宜加以配置監測系統，其中邊坡滑動之監測儀器以地表GPS變位量測及地表伸縮計最為常用。

一般地表伸縮計安裝於滑動體坡頂位置的崩崖(安裝端分別為滑動塊體及坡頂穩定端)，用於監測崩塌塊體的滑動量及速率。GPS測站及全測站、沉陷釘等監測坡面變位之儀器布設原則相同，建議佈設於崩塌範圍內且依照地表活動性較高及保全對象位置放置觀測點，於崩塌範圍外的穩定點亦須配置一處觀測點作為校正之用。

四、量測頻率

邊坡位移之監測方式，可採手動量測及自動量測。於調查階段建議以手動量測為主，惟預期豪大雨事件發生前後，均建議進行補充量測，以掌握在豪大雨發生期間之邊坡狀況；於監測階段建議採用自動化量測。其現場變位紀錄頻率至少10分鐘記錄1次，資料回傳頻率至少10分鐘1次；自動量測時則現場變位紀錄頻率至少10分鐘記錄1次，各階段建議使用之儀器及頻率可參考第三章中說明。

表 2.4.1 地表監測儀器比較表^[1]

觀測方法	地表伸縮計	地表沉陷釘	GPS 測站	光波測距儀(全測站)
示意圖				
觀測對象	位移量	地表變位量	位移方向、位移量	位移方向、位移量
觀測方式	半自動、全自動	半自動、全自動	全自動	全自動
特點	<ul style="list-style-type: none"> ● 可連續移動 10 公尺 ● 微小位移量不易觀測 ● 保孔管的間隙大小最初為不敏感帶 ● 無法掌握滑動面深度 ● 地盤下陷、導線上升等現象無法觀測 	<ul style="list-style-type: none"> ● 易安裝 ● 需人工利用經緯儀收測 	<ul style="list-style-type: none"> ● 受環境因素干擾 ● 無量測距離限制 ● 雙頻 GPS 安裝成本較高 ● 資料須檢算降低誤差 ● 垂直方向精度較低 	<ul style="list-style-type: none"> ● 測站之間不得有障礙物 ● 整套觀測設備安裝規格較高 ● 須注意最大量測距離限制
精度	$\pm 0.2\text{mm}$	$\pm 2\sim 5\text{mm}$	$\pm 5\sim 20\text{mm} + 1\sim 2\text{ppm}$	$\pm (1.5\sim 3\text{mm} + 2\text{ppm})$
靈敏度	◎	◎	○	◎
耐久性	○	○	○	○
位移容許量	○	○	◎	◎

2.4.4 結構物變位

大規模崩塌潛勢區區域範圍內之邊坡若出現不穩定時，構築於邊坡上之結構物將發生應力狀況改變、變位、龜裂或傾斜，若其為重要保全對象，得設置相關監測儀器，以研判邊坡穩定性。

【說明】

一、目的

結構物常受不穩定邊坡影響而產生應力變化、變位、龜裂或傾斜等行為，為保護結構物及重要保全對象，須於結構物上設置監測儀器，主要有傾斜計及裂縫計等如表2.4.2，作為防災預警參考之使用。

二、儀器選用

1. 傾斜計：目的為監測結構物因邊坡變位而引致之傾斜變化情形，一般安裝於擋土結構物或建物表面，依據儀器量測之方式可分為盤式及電子式兩種。

- (1) 盤式傾斜計：將傾斜觀測盤固定安裝於結構物之表面後，利用量測傾斜觀測盤上之四個外凸銅柱，測得四個方向之傾斜量讀值，再將量測成果與初始值相比，即得結構物之傾斜量。

- (2) 電子式傾斜計：將傾斜計固定安裝於結構物表面後，電子感測元件製作之測傾儀器(電漿式、振弦式、MWMS 等)可自動連續計讀，並可藉由數據集錄器採擷量測資料而達到自動化監測之功能。

2. 裂縫計：用於量測結構物中較小規模裂縫之儀器，安裝時需跨越裂縫兩端，並利用裂縫計上之刻度計算裂縫之伸張或收縮等變化。依據監測方式可規劃為人工測讀裂縫尺及自動測讀

振弦式裂縫計。

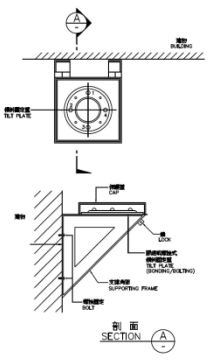
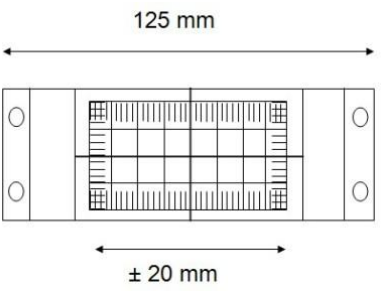
三、配置及安裝

結構物變位量測儀器通常使用於細部監測階段，安裝時須明確標定監測之對象並穩固的安裝於不易擾動之位置，降低監測成果之誤差。

四、量測頻率

監測階段之需求為自動化量測，每10分鐘紀錄乙筆，並保留於緊急應變時可提升監測次數之彈性。

表 2.4.2 結構物變位監測儀器比較表

儀器名稱	傾斜計(Tiltmeter)	裂縫計(Crackmeter)
示意圖		
對象	結構傾斜量	結構裂縫寬度
觀測方式	手動、自動	手動
特點	<ul style="list-style-type: none"> ● 儀器構造簡單易維護 ● 靈敏度高測定容易 	<ul style="list-style-type: none"> ● 操作簡單，適合長期觀測 ● 肉眼判釋易有誤差 ● 裂縫計久用黏著性不佳
耐久性	◎	○

2.4.5 雨量

雨量為觸發大規模崩塌潛勢區之因素之一，對於大規模崩塌潛勢區穩定之影響及管理需求，降雨量可與調查、監測成果建立回歸關係，並做為防災預警使用。

【說明】

一、目的

降雨為地表逕流水及山區地下水之來源之一，且地表逕流之地表沖刷作用及地下水水位(水壓)變化皆為造成表層崩塌或深層滑動等類型之災害原因。因此觀測降雨量資料可間接取得地表逕流水量及地下水位深度之資料，可作為防災預警之依據之一。

考量對邊坡穩定之影響程度與管理需求，建議於重要的大規模崩塌潛勢區設置有自記式雨量站，用以比對雨量、地下水及邊坡變位量之相對關係。於大規模崩塌潛勢區監測系統規劃時，需利用雨量計評估現地之日雨量、時雨量及降雨強度等參數，因此若調查區域鄰近無可參考之雨量資料，則建議考慮設置於調查區域內，以作為防災預警參考之使用。

二、儀器選用

降雨量是以雨量計進行量測，早期的雨量計為人工量測之雨量筒，隨著科技的演進而研發出秤重式、虹吸式及傾斗式等半自動或自動量測等調查方式。其中目前常用的自記式雨量筒為傾斗式雨量計，其原理為降水經承雨口流入傾斗中(依傾斗大小可承接0.1~1.0公厘之水重)，當三角形傾斗承接固定量之雨水後會自動翻轉傾斗並同時感應磁簧開關，進而變為電氣信號(脈波)進行紀錄，後續雨量計算需記錄脈波推動雨量計數器等資料進行推估。於雨量計選用时須考慮其使用限制及可測得之頻率，當降雨強度過高、風速過大

及溫度過低等環境變數產生時，可能造成量筒中雨水結冰或超過儀器上的量測限制等情況，容易造成誤差，設置時建議加以考量環境現況及計畫需求進行調整。各型式之雨量計比較詳表2.4.3說明。

三、配置及安裝

雨量計建議安裝在崩塌地附近，一般可考慮安裝於調查集水區內脊線鄰近位置(崩塌影響範圍外)，以確實取得足以反映現場雨量之資訊。安裝位置周圍應選擇盛雨口以上45度角範圍內，無遮蔽物阻礙之空曠地，以提高量測成果代表性。每處大規模崩塌潛勢區以一座雨量計為原則，若有足以參考之雨量站則不在此限。

四、量測頻率

於自動化監測系統中，雨量計之觀測頻率以能達到大規模崩塌潛勢區防災使用為目的，一般建議現場量測頻率至少需可達10分鐘1筆資料，回傳頻率為10分鐘1筆資料，回傳頻率建議可依照應變開設期間增加。

表 2.4.3 雨量計比較說明一覽表

類型	儀器名稱	優點	缺點	觀測方式	經濟性	適用性
雨量計	傾斗式	<ul style="list-style-type: none"> 量測成果為電子數位資料，自動化程度高 機械構件簡單，便於訊號輸出、耗電量少 	<ul style="list-style-type: none"> 解析度受限於傾斗大小 強降雨時易低估雨量 	自動、半自動	◎	◎
	虹吸式	<ul style="list-style-type: none"> 無須供電 性能穩定 能連續記錄降水量及降水時數 	<ul style="list-style-type: none"> 需定期更換紀錄紙 冬季易結冰 	半自動	◎	△
	秤重式	<ul style="list-style-type: none"> 連續降雨曲線可記冰雹及雪 	<ul style="list-style-type: none"> 無自動排水，需人工更換 	半自動	◎	△

◎：優 ○：佳 △：尚可

2.5 地下調查

2.5.1 地球物理探測

地球物理探測可獲得地表下地質條件之二維或三維的大範圍資訊，在空間解析度與量測範圍與地質鑽探具有互補性。地球物理探測方法眾多，不同探測方法各有其適用性與限制，調查規劃時需依調查目的與現地條件妥善加以選擇。

【說明】

一、目的

地球物理探測可獲得地表下地質條件之二維甚或三維的大範圍資訊，在空間解析度與量測範圍與地質鑽探具有互補性，可有效輔助鑽探之地表下調查工作，助於判斷潛在崩塌區的滑動深度及滑動機制。須注意地球物理探測方式為利用量測地下之物理性質間接回推地質構造、岩性及含水層，因此需利用鑽探或其他試驗方式進行驗證以增加其可靠性。

二、儀器選用

地球物理探測方法種類眾多，如震波探測、地電阻影像探測、及井測法等。但因地球物理探測成果為利用不同物理方法所獲得之間接物理性質，與工程性質之相關性常存在許多影響因子，建議與其他調查資料綜合解釋，以增加地表下地質條件判釋之合理性。一般常用之地球物理探測方法如下：

1. 震波探測：震波探測為利用人工產生的震波，作為探測地層結構的方法。震波產生之方法包含以重物撞擊敲擊地表或引爆炸藥等方式，震波自地表產生後便向平面及地下傳播出去，當碰到地層變化時會因介面上下地層的傳播速度與密度等差異特性，故會產生反射、折射或繞射等現象，並透過預先放置在

地表特定位置的震波接收器所接收，再根據其時間與距離的關係，求出地層之速度構造與地層特性。

2. 地電阻探測：此方式為利用地表下材料組成及含水狀況等不同而造成電阻率進行量測。透過探測地層電阻率在垂直方向及水平方向之情形進行解析，有助於瞭解地層剖面特性。其探測原理為量測電流極與電位極之間之電位差，再經電腦處理即可以影像剖面的形式展示。依據電阻影像剖面所製作成的電阻率分布圖，配合地表地質調查資料、鑽探資料、水文資料或其他探測試驗成果，可綜合解釋地電阻影像剖面成果。
3. 井測法：藉由電纜線將一系列不同功能的探測器(電阻、電位等)深入鑽井內，在接近地層的自然環境下，測定地層的各項物理性質，諸如孔內攝影、電阻率、粒徑、放射性含量等，可藉以更精確分析該地層介面深度、破碎帶位置、地層孔隙率、飽和含水率、透水系數等地層資料，各井測資料及調查方式參考經濟部地質調查及礦業管理中心之「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」成果並修正如表 2.5.2 說明。一般常見的調查(調查目的)包含超音波孔內攝影(不連續面位態)、自然電位差井測(岩性及含水量)、電阻率井測(岩性及含水量)、自然伽瑪射線井測(泥質材料或剪裂帶)及懸盪式井測(力學參數)等數種，得依照調查目的需求使用之。

三、配置及安裝

地球物理探測通常使用於細部監測之前期調查階段，須配合地質鑽探規劃中的主要測線及鑽孔位置進行佈設，需考慮欲調查深度所需之測線長度、坡面修正問題、鄰近結構物誤差因素等環境因素，並選用適當之地物探測方式調查。

四、量測頻率

地球物理探測用於調查階段，建議依照規劃之測線布設調查乙次，若邊坡有明顯滑動或發現其他滑動面則可視情況補充調查。井測法則可搭配鑽探作業適時選用。

表 2.5.1 地球物理探測適用性表格

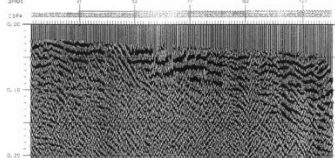
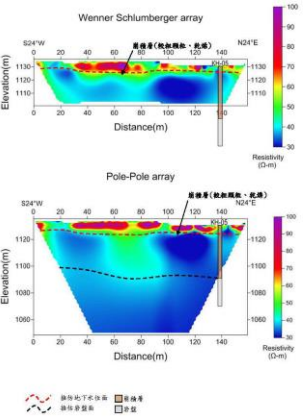
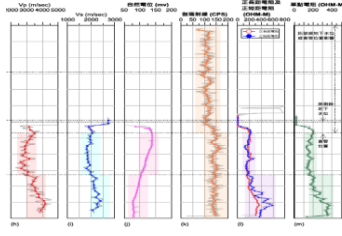
儀器名稱	震波探測 (反射/折射)	地電阻探測	井測法
示意圖			
適用對象	地下地層分布及構造分布	地層分布、含水層、斷層位置	地層弱面、岩性、含水量、泥質材料、力學性質等
觀測方式	震波	電阻率	超音波、電流(電位差、電阻率)、自然伽瑪射線、震波
特點	● 反射震測易受地形影響。	● 較不易受地形影響	● 可直接調查地層之物理量特性
適用範圍	● 折射震測探測深度約 30 公尺 ● 反射震測約 3000 公尺	● 探測深度約 500 公尺	● 配合鑽孔深度
經濟性	高	中	高

表 2.55.2 常見地球物理井測方法^[1]

井測	量測原理	量測值說明		代表含意		適用性
超音波孔內攝影	利用固定式音射發射源及旋轉反射鏡系統，擷取音射訊號撞擊鑽孔孔壁之走時及反射訊號振幅	振幅(Amplitude)：返回訊號的振幅可以視為鑽孔孔壁音射性質之函數。根據走時可以瞭解孔壁材料之變化。		大振幅：訊號撞擊上堅硬的鑽孔孔壁(如，砂岩)，大量能量將反射回探測儀。		掌握鑽孔孔壁不連續面空間幾何資料，包括走向及傾角。
				小振幅：訊號遇上鬆軟的鑽孔孔壁(如，泥岩)時，少量能量反射回到探測儀。當孔壁表面粗糙或存在裂縫、空穴時，能量被大量散射。		
		走時(Travel Time)：訊號走時與鑽孔直徑(行走距離)及孔內液體傳遞波速有關。根據走時可以瞭解井徑之變化。		孔壁完整：走時相同		
				孔壁破碎(如，裂縫等)：走時增加。		
自然電位差井測	記錄地層電極與固定在地表電極間之電位差(岩層間流體離子交換時，產生之電位差)	常見：地層水鹽分(鈉離子)濃度高於鑽孔水(泥漿)時	負值(左偏折、移)	透水層，砂岩	自然電位差隨深度變化的曲線稱為SP曲線，可藉以判斷地層分布及滲透性。由於滲透率低地層受泥漿滲透(浸污)所造成的離子變化作用較低，因此電位差的變化不大，SP曲線在測錄圖上多為直線反應。反之，具滲透性地層受泥漿浸污所造成的離子變化相對明顯，因此將產生較為顯著之電位差，使SP曲線產生向左(即負電位方向)偏移的反應。	顆粒大小，概分岩性(砂質地層或泥質地層)；概分地層透水性(砂岩較透水；泥岩較不透水)。
			正值(右偏折、移)	不透水層，頁岩		
		特殊：地層水鹽分(鈉離子)濃度低於鑽孔水(泥漿)時	負值(左偏折、移)	不透水層，頁岩		
			正值(右偏折、移)	透水層，砂岩		
電阻率井測	利用電極使用電流流經地層，測出電位差，再利用歐姆定律計算而得電阻。	高電阻率(低黏土含量，低鹽含量)		1. 顆粒粗，礫岩、砂岩 2. 乾燥岩石 3. 地層中無蓄水能力：裂縫少 4. 低孔隙、少裂層、不透水層 5. 天然氣層、油氣		1. 岩體含流體及鹽分越高，電阻越小。 2. 可藉此試驗結果，概分岩性(高電阻：砂岩；低電阻：泥岩)或含水地層(含水層：低電阻；未含水層：高電阻)。
		低電阻率(高黏土含量，高鹽含量)		1. 顆粒細，頁岩、泥岩 2. 含地層水(鹽水)地層 3. 地層中具有蓄水能力：裂縫多 4. 高孔隙、含水層、透水層		
自然伽瑪射線井測	探測定地層釋放自然伽瑪射線強度的吸附量。	高(地層吸附放射性元素多)		1. 低透水性地層：頁岩、泥岩、黏土層 2. 低風化，灰色新鮮泥		可藉此試驗結果，概分鑽孔泥質材料分布情形(泥質高：伽瑪射線高；泥質低：伽瑪射線低)，推判可能剪裂帶位置。
		低(地層吸附放射性元素少)		1. 透水性較佳地層：砂岩、礫岩 2. 高風化，黃棕色風化泥		
懸盪式井測	由波速的訊號剖面，可用以界定地層分布、判斷破碎岩層、弱帶或透水層位置、判斷地層強度及膠結情形等			1. 波速較低(地層材料越軟弱、孔隙越大) 2. 波速較高(質地堅硬完整的地層)		現地尺度的力學參數包括孔隙率、波松比、楊式係數、剪力模數、統體模數等。

備註：電阻率井測，探測項目包括：正常態電阻率-16吋的正短距；正常態電阻率-64吋的正長距；單點式電阻率

1. 正常態電阻率(16吋-正短距)(16" normal resistivity)：正短距是測定鑽孔橫向淺層的地層電阻率，對地層界面或薄岩層有較佳解析力，但探測之電阻率往往是泥漿浸污區(invaded zone)或部分浸污區的地層電阻，較無法直接求得地層之真電阻，但可藉由地層浸污的程度來評估岩性或透水性。

2. 正常態電阻率(64吋-正長距)(64" normal resistivity)：正長距的橫向測定深度較大，所測得的範圍通常可以涵蓋到泥漿未浸污區的區域，其電阻率經校正後較可代表地層之真正電阻率，但對地層界面或薄岩層之解析度較差。

3. 單點式電阻(single-point resistance)：記錄地層單點與地表接地間之電阻，其對薄層之電阻變化敏感度較高，可提供薄層或特殊構造定位之參考。

2.5.2 地質鑽探

地質鑽探主要應用在崩塌地調查，利用全程取樣之岩芯獲得地下地質資料，並可利用鑽孔量測地下水位及其他現場試驗或佈設相關監測儀器等。地質鑽探結果亦可供輔助地球物理探測資料判釋之依據。

【說明】

一、目的

地質鑽探之目的在於鑽取崩塌區之岩芯，瞭解地層垂直剖面，研判地質構造，並可利用鑽孔安裝相關地層監測儀器，掌握區域邊坡活動性。

岩芯之全程取樣在於建立連續可觀察的地下地質資訊，其地質資訊包含岩芯地質材料組成及地質構造特徵。為保障岩芯品質及提高岩芯取樣率，建議採用較大口徑之鑽探取樣方式。地質鑽探取樣之岩芯建議按照深度依序存放於岩芯箱內。

鑽孔數量建議依據不同調查階段之不同精度加以決定。針對潛在崩塌區之滑動面建議至少佈設4個調查鑽孔，深度以穿過潛在滑動面為原則。此外對於地質條件變異性大或弱帶出現處，建議局部增加調查密度。

二、執行方式

1. 根據現場地質調查結果，在滑動體的代表位置上設定主測線(縱貫滑動體且通過滑動面最深之位置)。主測線是調查與穩定分析的基準線，若僅依主測線的調查仍無法取得充分的資料時，可再增設副測線於主測線兩側及橫貫滑動體位置。

2. 鑽探位置，通常沿測線，每隔30～50公尺或地層與構造變動劇烈處鑽探一孔；建議於調查之主測線中，至少於滑動體頭部、中央、趾部、及冠部附近的穩定區各鑽一孔。
3. 地質鑽探調查之前，必須進行區域地質文獻分析與地表地質調查，並建議按潛勢區地質狀況與現場初勘結果，設計足以獲得研判潛勢區地質狀況之鑽孔數量、配置與深度，而鑽孔深度盡量穿過破壞面或可能滑動面，並超過滑動面3～5公尺以上。滑動面深度之判定建議由具地質專業背景之專業人員判釋，搭配地表地質及邊坡變位監測成果綜合評估，需注意同坡面中如有複合式崩塌則具有多層滑動面。
4. 鑽探時宜建議先進行一孔深井之鑽探，再依其結果決定後續的井位與鑽井深度。

三、配置及安裝(鑽探注意事項)

鑽探之配置依照現場規劃之測線需求進行調查，原則上以坡面中段可能滑動面最深之鑽孔優先鑽探，先了解滑動面深度後，後續鑽孔依照調查成果進行深度及位置上之調整。

大規模崩塌潛勢區之鑽探位置通常位於交通難以到達之位置，鑽孔放樣時可參考道路交通位置調整適當位置施作，但不宜因交通因素而調整鑽孔於非必要之鑽探位置，應以取得正確鑽探資料之需求為優先考量。

崩塌地之地質鑽探需全程取樣，每日鑽探前後皆須量測水位，並且於工作日報表中確實記錄水位(每日施工前後水位)、迴水情況(是否有水位洩降)及鑽探過程。

取得之岩芯樣體需安置於岩芯箱中，須確實記錄計畫名稱、取樣深度、箱數/箱號，並放置色卡以固定距離拍攝岩芯照片，紀錄於鑽探報告中。

岩芯判釋建議由合格之技師判釋，並記錄岩芯地層變化、風化程度、破碎帶等資訊，製作鑽孔柱狀圖及試驗一覽表於鑽探報告。

岩芯對於滑動面之判釋較為重要，且照片難以展現整體岩芯之細節，因此建議將岩芯箱保存至確認邊坡破壞模式後或設置監測系統完成後兩年以上，以作為後續岩芯判釋之依據。

地質鑽探及室內試驗成果需依照經濟部地質調查及礦業管理中心規定之地質資料庫檔案格式建檔(GEO2020格式)，除將檔案提供給農村水保署留存參考外，應依照「地質資料蒐集管理辦法」將鑽探報告及地質資料庫檔案繳交經濟部地質調查及礦業管理中心。

四、量測頻率

地質鑽探一般使用於細部調查中的前期調查階段及長期監測階段之儀器埋設前，依照規劃之測線進行地質鑽探乙次，若邊坡有明顯滑動或發現其他滑動面則可視情況補充調查。

2.5.3 地下水

邊坡之地下水分布複雜，且地下水位(水壓)之分布及變化，對於邊坡之穩定性影響甚大，調查期間須建議加以詳加調查。

地下水監測儀器之安裝位置，建議視鑽探調查所取得之地質分布情形、鑽探過程之地下水位變化記錄，加以綜合研判。以配置於地下水位可能變動較大區域，或受壓水層深度範圍為原則。

【說明】

一、目的

大規模崩塌潛勢區之地下水分布甚為複雜，且地下水位(水壓)之分布及變化，對於邊坡之穩定性影響甚大，故對邊坡穩定評估及防災管理而言，地下水的監測為不可忽略的項目之一。因此建議於大規模崩塌潛勢區前期調查階段時，於大規模崩塌潛勢範圍內裝設數支水位觀測井，確實量測不同崩塌區位之水位變化，藉以推估地下水位、地下水變化程度及邊坡破壞模式等；於長期監測階段則建議安裝封層水壓觀測井量測滑動面深度位置之孔隙水壓，藉此監測地下水壓對於滑動體之影響。

二、儀器選用

地下水的調查及監測方式，依水文條件可採用水位觀測井、特定層次之封層水壓觀測井或調查地下水流動性的地下水檢層試驗。當調查過程中發現有多層含水層或受壓水層之現象時，建議依需求裝設特定層次之封層水壓觀測井，以掌握地表面下特定深度之地下水壓。

1. 水位觀測井(Water-level Observation Well)：

水位觀測井安裝之目的，為量測邊坡之地下水位變化。量測安裝於鑽孔內之開孔PVC管材中的水位深度視為地下水位面，其PVC管開孔位置一般於孔底1.5公尺區間並於管材外包覆不織布防止地層中材料進入管中造成堵塞，管材與孔壁之間需填補透水性良好之回填材料以確保管材的穩定性及滲透性。

水位觀測井中可依據量測方式分為兩種，其一可不埋設水位感測器，其二為安裝水壓計於管材中，在無埋設感測器之觀測井中，需使用人工攜帶水位指示計定期至現場量測鑽孔水位，若安裝水壓計於管材中則可利用水壓計量測之水壓變化換算為地下水位資料，但須注意初始水位值及埋設深度等參數校正(如為水壓式水壓計則可直接量測水位深度)。

無埋設水位感測器之水位觀測井需使用手動量測來取得資料；埋設水壓計之水位觀測井則可選用手動、半自動或自動量測方式進行調查或監測。

2. 封層水壓觀測井 (Piezometer)：

封層水壓計之安裝目的，為監測邊坡特定深度範圍內之孔隙水壓力。安裝方式與一般水位觀測井類似，但須在觀測深度(PVC管開孔位置或透水材料埋設位置)前後皆用不透水材料(封層)進行阻隔，以取得特定層次之地下水壓力資料，並可換算為地下水位資料。

依照封層水壓計安裝之方式，可以分為開放型及封閉型，開放型為管材外側以透水材料、封層及開孔位置來限制量測之地下水層深度之水壓，管材內則保持中空並放置水壓計進行量測；封閉型則利用透水材料及封層來限制量測之地下水

層深度，水壓計則埋設於欲量測之透水材料層中，並透過傳輸訊號線將量測成果回傳至地表，近期則另有無線傳輸設備可選用，相關封層水壓計安裝方式示意圖詳表2.5.3。

水壓計之計測方式屬於半自動或自動量測，量測之資料可儲存在水壓計中，利用人員定期至現場擷取資料或透過即時傳輸系統自動回傳。

水壓計之儀器種類依照量測原理可分為豎管式、水壓式、氣壓式及電子式(含振弦式、電壓式、電流式及電阻式)，使用上需確認其功能性符合需求方能選用，表2.5.4為各水壓計之適用性及比較表供參考。

3. 地下水檢層

為將電解質(一般採用食鹽)加入鑽孔內之地下水中，利用檢測纜線來設定孔內地下水電解質濃度變化之情況(深度及比電阻值關係圖)，間接換算地下水流動狀況之方法。當地下水流動相當快速，其比電阻則會有很明顯的變化，顯示該層地下水有很明確的流動現象，當比電阻變化不大時，則表示該層並未有快速流動之地下水或水脈。此方法僅適用於調查地下水之流動性，並無法做為長期監測地下水位或地下水壓之使用。

三、配置及安裝

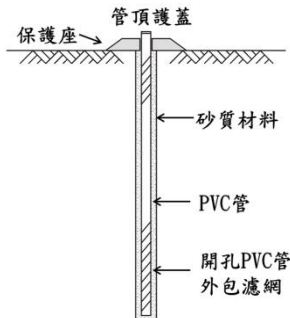
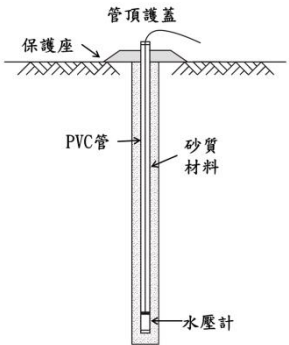
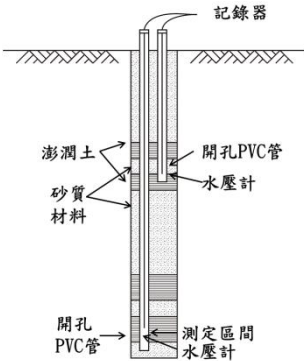
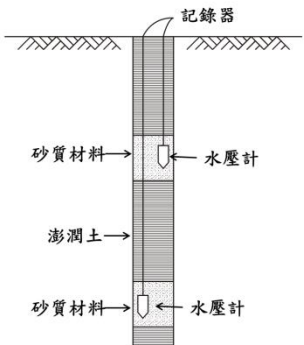
大規模崩塌潛勢區邊坡上之水位觀測井，以配置於主測線上的崩塌地範圍內為原則。如果多個測線則建議每個測線至少配置1孔地下水位觀測井或封層水壓觀測井，配置位置建議視鑽探調查所取得之地質分布情形、鑽探過程之地下水位變化記錄加以綜合研判，量測深度建議需低於鑽探期間水位10公尺以下，並同時考量配置於

地下水位變動較大區域，而於含水層、受壓水層之配置以水壓計為原則。原則上水位觀測井與傾斜儀係安裝於不同鑽孔內，惟在經費受限等情況下，可於傾斜管側壁開孔，得兼作水位觀測井使用。

四、量測頻率

大規模崩塌潛勢區邊坡之地下水位監測，建議採半自動或全自動量測方式者為佳，以取得邊坡在豪大雨期間，地下水位變化之連續性資料，利於掌握邊坡之最高地下水位，配合雨量計之監測結果，分析降雨與地下水位昇降之關係，若為防災功能則需使用自動量測系統方能達到效果。自動量測時，其現場水壓計紀錄頻率至少10分鐘記錄1次，資料回傳頻率至少10分鐘1次；半自動量測時則現場水壓計紀錄頻率至少10分鐘記錄1次，各階段建議使用監測及頻率可詳後續細部章節調查中說明。若非自動水位監測井，則地下水位量測週期至少需經歷一次雨季及一次旱季，以了解水位變化之趨勢。

表 2.5.3 地下水位及水壓觀測井調查及監測方式比較表^[1]

觀測方法	水位觀測井		封層水壓觀測井	
	水位指示計	水壓計	開放型(水壓計)	封閉型(水壓計)
示意圖				
對象	地下水位	地下水位(孔隙水壓)	特定位置孔隙水壓	特定位置孔隙水壓
觀測方式	手動	半自動、全自動	手動、半自動、全自動	半自動、全自動
特點	<ul style="list-style-type: none"> ● 儀器構造簡單易維護 ● 儀器測定容易 ● 若回填不確實、有複數的地下水帶，無法正確取得水位資訊 ● 無法取得連續資料 	<ul style="list-style-type: none"> ● 連續水位資料 ● 安裝容易 ● 若回填不確實、有複數的地下水帶，無法正確取得水位資訊 ● 須先了解安裝前水位及埋設深度 ● 須考慮水位變化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 可取得滑動面孔隙水壓 ● 精度良好，但若以人工判斷則數據會降低精度。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 可取得滑動面孔隙水壓 ● 可取得連續水位資料 ● 設備無法檢測維修 ● 使用年限較短
耐久性	◎	○	◎	△
經濟性	◎	○	○	△

◎：優 ○：佳 △：尚可

表 2.5.4 地下水壓觀測儀器適用性說明一覽表

類型	型式	優點	缺點	觀測方式	耐久性	經濟性
豎管式水壓計 (直管式)	水位深度	具經濟性、簡易性	無連續計讀	手動	◎	◎
水壓式水壓計	水壓式	具經濟性、簡易性	於黏土層中較不適用	自動、半自動	◎	◎
氣壓式水壓計	氣壓式	靈敏性高	使用年限較短、目前市面較少使用	手動	◎	◎
電子式水壓計	振弦式	靈敏性高、可自動化量測	使用年限較短	自動、半自動	○	○
	電壓式	靈敏性高、可自動化量測	使用年限較短	自動、半自動	○	○
	電流式	靈敏性高、可自動化量測	使用年限較短	自動、半自動	○	○
	電阻式	靈敏性高、可自動化量測	使用年限較短	自動、半自動	○	○

◎：優 ○：佳 △：尚可

2.5.4 地下變位

大規模崩塌潛勢區位移之監測成果，可用以掌握邊坡位移方向、位移速率及滑動面深度等，研判邊坡之可能災害類型、穩定情形及滑動規模等，提供防災時之參考。地下變位為利用地下鑽孔埋設儀器來計測滑動之深度、方向及變位量。建議配置於滑動塊體中較為活躍之位置且深度需大於滑動面深度，以確實取得利於邊坡穩定分析之材料資訊。

【說明】

一、目的

地下變位為利用地下鑽孔埋設儀器來計測滑動之深度、方向及變位量。建議配置於滑動塊體中較為活躍之位置且深度需大於滑動面深度，以確實取得利於邊坡穩定分析之材料資訊。

二、儀器選用

地下變位儀器主要可分為傾斜儀及孔內伸縮計兩類，各儀器相關特性整理於表2.5.5說明中，各儀器之說明如下述說明：

1. 傾斜儀(Inclinometer)：

傾斜儀依照其量測方式又稱為插入型傾斜儀，為利用鑽探完成之鑽孔，埋設具十字溝槽之傾斜觀測管，十字溝槽之軸應依照坡面方向放置，平行坡向軸向為A方向(預設滑動方向)，垂直坡向則為B方向，安裝完成後利用傾斜儀進行量測初始值，於後續量測時則利用每一固定深度之傾斜角度，換算相對於孔底假設不動點之各深度水平位移量。

於傾斜觀測管裝設過程中，須注意管材扭轉現象，可於利用陀螺儀放入安裝完成之傾斜觀測管內，量測管內各個深度之凹槽方向來確定之。

此量測方式只能採人工手動方式進行計讀，故缺點為無法取得即時監測資料。當邊坡滑動位移距離過大時，傾斜觀測管會因變形而使傾斜儀無法深入計讀，進而無法取得滑動量，因此傾斜管較適合使用於找尋滑動面之深度，於滑動速率較快之邊坡較不適用。

2. 定置型傾斜儀(In-Place Inclinator)：

定置型傾斜儀原理與前項傾斜儀(插入型傾斜儀)相同，差異在於安裝一系列之多支固定式傾斜儀於傾斜管內進行連續性的紀錄，以達到自動監測目的，但因安裝間距及總數量有所限制，整體量測精度仍較手動量測結果差。

定置型傾斜儀安裝深度之規劃，應先考量可能滑動面深度及滑動面型態，因此需先利用傾斜儀進行一段時間之監測後，於初步掌握滑動面後再根據其監測成果規劃定置型傾斜儀安裝深度及間距。安裝間距之原則為不超過1公尺，而在滑動面深度範圍附近應縮小安裝間距，以提高整體監測精度並取得較正確之成果。此計測方式可規劃為半自動或自動量測。

3. 孔內伸縮計(Borehole Extensometer)：

孔內伸縮計係將一端向下錨錠在滑動層下方之穩定區域內，另一端則固定於地表面，並利用與地表伸縮計原理相同之方式進行量測。由於連接於錨錠端之鋼索會因邊坡滑動，而在孔口端產生相對變位，利用量測此變位量可反映邊坡之變位情形。

量測時須注意鋼索之變位量通常不直接等於邊坡位移量(方向角度不同)，須透過合理之換算回推邊坡位移量。此外，須注意孔內伸縮計之錨錠位置應確實超過滑動面才具代表性，

建議於安裝孔內伸縮計時先進行滑動面之調查確認，如安裝於具有多個不同滑動面之邊坡，亦可設置多個錨碇段之多段式孔內伸縮計，以監測不同滑動面間之相對位移狀況。此計測方式可規劃為半自動或自動式量測。

孔內伸縮計可以持續量測孔內變位量，較適合應用於滑動速率較快之邊坡，但伸縮計僅能量測變位量，其滑動方向及滑動位置須由地表地質調查、錨碇端相對位置或搭配其他調查方式進行推估。

4. 多點式地中變位儀(Shape-Acceleration Array,SAA)

多點式地中變位儀為利用MEMS式傾斜感測元件技術，將感測儀器依照間距0.5公尺距離串聯多點感測器於電纜中，再將電纜埋設於鑽孔中並確實回填，因此可利用加速度計量測之傾角轉換成位移量，取得地下變位之資料。此技術取得之變位量精度高且穩定性高，容許變位量可達2公尺且不易剪斷，惟本技術安裝成本較高，且感測器間距達0.5公尺因此較難量測薄層的滑動面。此方式可規劃為自動量測。

5. 電磁波時域反射(Time Domain Reflectometry,TDR)

應用電磁波於同軸電纜傳導之時域反射技術，將電纜線埋設於孔內並回填，利用纜線因地層錯動造成阻抗變形，使其產生之反射率變化，可轉換成連續位移量來進行地下變形觀測，此方法可容許電纜的變形量較大且不易損壞，惟取得之反射係數必須經過轉換才能反映變位量而較不直觀，且量測成果無方向性之缺點。此技術可規劃為手動量測或自動量測，手動量測需定期派員至現場收測資料，自動量測則必須設置讀取設備於現場，相對成本較高。

三、配置及安裝

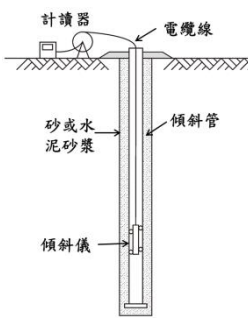
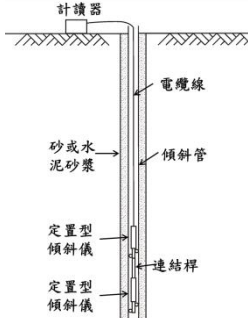
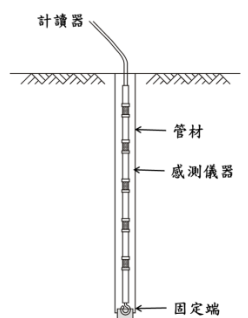
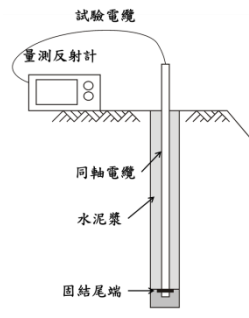
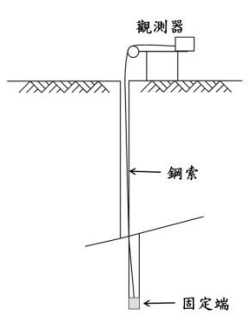
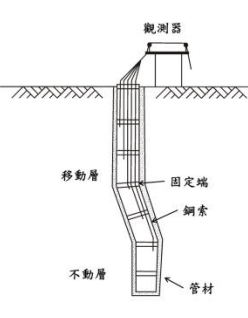
邊坡之變位測量為調查邊坡可能滑動型態或掌握邊坡穩定性之基本監測項目，每一處地質條件不佳或可能有破壞疑慮之邊坡，宜加以配置監測系統，其中以調查階段使用之傾斜儀及監測階段使用之孔內伸縮計較為常用。

有滑動疑慮或重要邊坡建議至少配置一條水平位移監測斷面，監測斷面之數量應考量研判滑動範圍、滑動深度及滑動塊體分布評估之。每一斷面建議至少配置2孔孔內型監測儀器(孔內型監測儀器建議為傾斜儀)。考量邊坡可能滑動深度，監測管之深度應至少大於可能滑動深度3~5公尺，以確保監測儀器之有效性。

四、量測頻率

地下變位之量測方式，可規劃為手動及自動量測。於調查階段建議以手動量測為主，惟預期豪大雨事件發生前後，均建議進行補充量測，以掌握在豪大雨發生期間之邊坡狀況；於監測階段建議採用自動或半自動量測。自動量測之現場變位紀錄頻率至少10分鐘記錄1次，資料回傳頻率至少10分鐘1次；半自動量測時則現場變位紀錄頻率至少10分鐘記錄1次，各階段建議使用監測及頻率可詳第三章各階段調查中說明。

表 2.5.5 地下變位調查及監測儀器比較表^[1]

觀測方法	傾斜儀				孔內伸縮計	
	傾斜儀	定置型傾斜儀	多點式地中變位儀	電磁波時域反射	垂直式伸縮計	多段式伸縮計
示意圖						
觀測對象	滑動面深度 位移方向	滑動面深度、位 移方向、位移量	滑動面深度、位 移方向、位移量	滑動面深度、位 移量	位移量	滑動面深度、位 移量
觀測方式	手動	半自動、全自動	半自動、全自動	手動、全自動	手動、半自動	半自動、全自動
特點	<ul style="list-style-type: none"> • 成本低 • 探測器長度約 50cm，管壁彎曲將無法投放 • 手動量測 	<ul style="list-style-type: none"> • 可定量掌握變化量 • 孔內側斜計數量有限制 	<ul style="list-style-type: none"> • 穩定性高，容許變形量達 2mm • 容許安裝成本較高 • 無法測量薄層滑動 	<ul style="list-style-type: none"> • 纜線成本、高 • 自動化程度低 • 連續變位量須轉換 • 容許變位量須轉換 • 讀值須轉換 • 無方向性 • 於軟弱土層中靈敏度低 	<ul style="list-style-type: none"> • 微小位移量不易觀測 • 無法掌握滑動面深度 • 地盤下陷、導線上升等現象無法觀測 	<ul style="list-style-type: none"> • 可掌握滑動面深度 • 設置間隔 0.5~2 公尺 • 地盤下陷、導線上升等現象無法觀測
精度	±5mm/25m	±0.0065°	±1.5mm/32m	±0.2mm	±1mm	±0.3mm
靈敏度	◎	◎	○	○	△	○
耐久性	◎	○	◎	○	○	◎
位移容許	△	△	◎	◎	○	◎
經濟性	○	△	△	◎(手動) △(自動、半自動)	○	○

◎：優 ○：佳 △：尚可

第三章 觀測方式及監測系統規劃

3.1 廣域監測階段

3.1.1 廣域監測目的

利用多時序之遙測技術監測地表現況及地形變化現況，並利用多期判釋成果初判邊坡穩定性之變化及邊坡上可能滑動位置之選取。

【說明】

本階段適用於保全度、發生度及活動度低之對象，其任務目的為調查具有大規模崩塌潛勢區微地形特徵之邊坡，藉由遙測技術針對廣域的地面特徵及地形起伏進行觀測，並利用多時序之資料分析地表面及地形面之變動歷史，以達到監測之目的。當本階段監測項目中的TCP-InSAR監測成果顯示地表變動較大時，建議可調整為地表位移階段並提升調查頻率及精度。

本階段之監測為利用衛星運轉週期之特性，於固定時間間距取得影像進行影像及地形之判釋，其影像取得之週期性受衛星軌道運行影響，因此於衛星選用時須注意影像取得之頻率。

3.1.2 廣域監測方式

本階段執行方式包含資料蒐集、影像解析及判釋、多時序影像比較及必要之現場勘查作業。

遙測影像的解析度、取得頻率及其適用性取決於遙測載具的設備，使用時須考量適用性。

【說明】

本階段利用遙測影像及現場勘查進行邊坡穩定性之監測，遙測影像之取得、解析及判釋為本階段之主要工項，現場勘查可作為驗證判釋成果之依據。

本階段遙測資料建議取得兩種類型之資料來源，其一為可見光的光學影像，利用地表上地物之形貌、顏色等繪製特徵判釋，並比較不同期之特徵變化來推估邊坡上之開發行為、地表變形及植生狀況等特性之變化；其二資料來源為遙測地形資料，依照載具不同可分光達及雷達影像，光達影像特性為高解析度的地形資料且可產製數值高程模型(DEM)資料，並可用於判釋地表微地形之特徵；雷達影像則可利用雷達波回傳之相位差進行不同時期的高精度地表變位量比較，可以用於比對地表在不同時期之變形特徵。

一、調查方式

本階段使用遙測影像進行廣域監測，因此建議使用之影像來源為星載雷達及星載可見光影像各一，影像解析度需可明顯辨識邊坡上之地物特徵及崩塌範圍之變化，並能於固定時間取得影像以符合監測之需求。

二、注意事項

1. 影像來源選用需注意影像取得之頻率、日照方向、拍照角度、拍照日期等，建議優先選取條件相近之影像進行比較。

2. 雷達合成孔徑雷達(InSAR)分析技術不限，但建議符合邊坡監測之需求，邊坡變位分析點位應足以區分活動範圍。
3. 須注意雷達影像拍攝角度及軌道運行造成的陰影效應，如無法進行陰影處之判釋則建議考慮使用升降軌、不同衛星或使用多顆衛星資料來彌補不足。

三、建議頻率

本階段廣域監測資料建議每季進行一次資料蒐集，如有特殊豪大雨或地震事件，則視情況補充蒐集乙次，本階段使用之儀器及參考頻率如表3.1說明。每季蒐集之影像時間、拍攝時間及月分盡量相同，以作為後續比對之用。

表 3.1 廣域監測調查方式建議表

類型	調查方式	調查頻率	備註
遙測影像	可見光影像(衛星)	每季	遇災害事件需補充判釋
	可見光影像(航照)		視情況使用
	可見光影像(UAV)		視情況使用
	地形資料(InSAR)	每季	遇災害事件需補充判釋
	地形資料(LiDAR)		視情況使用
雨量計	雨量計	參考鄰近資料	
現場勘查		乙次	遇災害事件需補充調查

3.1.3 廣域監測成果產出

成果建議包含(1)可見光影像地物特徵判釋成果(每季一張)、(2)可見光影像前後期影像差異比較圖、(3)雷達干涉圖之地形前後期差異比較圖。

可見光影像判釋成果應可清晰辨識地物特徵及崩塌面範圍變化；雷達干涉圖應套疊地形判釋成果呈現，調查範圍內之地相位值參考點須足夠判釋邊坡滑動之特性。

【說明】

廣域監測之成果建議以每季為單位，產出每季之影像判釋成果及前期比較成果，於每季查核點提出月報說明每季之調查成果，並以鄰近測站之雨量資料研判變化之原因。

可見光影像之地物特徵判釋，建議至少需繪製現場之房舍、道路、土地使用範圍、崩塌地範圍、河道、蝕溝及其他應標示之相關資訊，並套疊前期影像說明變異分析。

雷達地形變化比較圖應套疊影像判釋成果解讀(包含崩塌範圍、崩崖及其他相關微地形特徵)，並套疊計畫範圍、道路及保全對象等相關圖層，作為分析判釋之輔助資訊。雷達干涉圖中相位值參考點不宜過少，呈現時應足以辨識計畫範圍內之地表變位之程度。雷達干涉圖製作方式建議以現行學界、業界已有使用之技術為主。

3.2 地表位移監測階段

3.2.1 地表位移監測目的

利用相對簡易之儀器監測地表位移量，提升監測之時間解析度以確認邊坡活動性。

【說明】

本階段適用於保全度中或高、發生度中或低的對象，其任務目的為調查邊坡地表之活動性，以利用較少及相對便宜的監測儀器達到監測之目的，並以連續回傳之監測成果補足廣域監測階段時的時間解析度不足部分。當本階段之監測成果發現地表有顯著的滑動趨勢者，則建議可調整為細部調查階段，進行更細部之調查來了解大規模崩塌潛勢區的破壞模式及破壞機制。

本階段透過現場勘查、地表地質調查、雨量資料、地表GPS監測系統及地表伸縮計等監測儀器，分別擷取現場的地形、地質、水文及地表變位等資料，針對邊坡之地質模型及活動性進行初步判釋。

3.2.2 地表位移監測方式

本階段透過現場勘查、地表地質調查、雨量計、地表GPS監測系統及地表伸縮計等監測儀器，分別擷取現場的地形、地質、水文及地表變位等資料，針對邊坡之地質模型及活動性進行初步判釋。

儀器擺設位置建議透過現場調查成果調整，以布設於活動性較高、具保全對象及平均擺放為原則，其中雨量計建議放置於接近山脊位置、地表伸縮計建議放置於坡頂崩崖張裂處。

本階段監測儀器建議達到自動化即時回傳之需求，監測廠商建議架設伺服器統整回傳成果後，供給農村水保署大規模崩塌調查資料庫介接使用，資料擷取格式建議參考「大規模崩塌監測資料規範」建立。

【說明】

地表位移監測重點為即時的地表變位資料取得，本階段除建議於邊坡上平均布設並依需求調整地表位移監測系統外，亦須於安裝監測儀器前辦理現場勘查及地表地質調查，以確保安裝位置具有代表性。

一、調查方式

1. 現場勘查

建議依據遙測影像判釋成果(崩塌範圍、崩崖及其他地形特徵)進行現場勘查，確認現場之地表或結構物是否具地表變形徵象，確認地形變化是否與遙測判釋相符及人為開發，並記錄植被現況及地表水及地下水特徵，繪製判釋成果中比對修正。

2. 地表地質調查

依據蒐集之地質圖、災害潛勢圖、地形圖等資料，套疊影像判釋成果進行現場地表地質調查，建議檢核項目包含地形特徵、地層分布、地質構造、順向坡、岩屑層分布、侵蝕溝及河道等特徵。並將調查成果套疊於工作底圖中綜合研判，初擬大規模崩塌潛勢區邊坡之地質模型。

3. 雨量計

本階段建議依照現場環境條件設置自記式雨量計，原則上安裝於崩塌地影響範圍外之鄰近山脊處，安裝時須注意盛雨口以上45度無遮蔽物之空曠地，以確實取得足以反映雨量之資訊。

4. 地表GPS監測系統

地表GPS監測系統得依經濟考量選擇單頻GPS或雙頻GPS監測系統，惟監測成果應需解算後方能使用，提供大規模崩塌潛勢區之資料庫參數亦應提供解算後資料。GPS監測系統建議平均佈設於滑動速率較快及範圍外穩定地區乙處，總測站數包含穩定點建議至少大於四處，得依現場狀況調整監測點位數量。

5. 地表伸縮計

地表伸縮計建議安裝於坡頂(崩崖)裂隙的張裂位置，一端固定於穩定區，另一端固定於崩崖下方之已滑動塊體上，須注意地表伸縮計之鋼索長度應依足以量測變位量之資訊。

二、注意事項

1. 本階段監測儀器建議達自動化即時回傳之需求，監測廠商應架設伺服器統整回傳成果後，供給農村水保署大規模崩塌調

查資料庫介接使用，資料格式建議參考「大規模崩塌監測資料規範」。

2. GPS監測資料應需解算後方可使用，廠商應於供應資料前解算完成，以降低誤差。
3. GPS監測儀器建議放於崩塌塊體具活動性，且表層土相對穩定之區域(降低淺層崩塌及其他因素之干擾)，並注意GPS觀測站上方之淨空及環境干擾之問題(如高壓電塔)。

三、建議頻率

本階段之監測頻率建議每10分鐘紀錄乙次。

表 3.2 地表位移監測調查方式及頻率建議表

名稱	觀測 頻率	回傳頻率	單位	備註
雨量計	10分鐘	10分鐘		視情況安裝
單頻地表GPS	60分鐘	60分鐘	公尺	視情況安裝
雙頻地表GNSS	10分鐘	10分鐘	公尺	必要安裝
地表伸縮計	10分鐘	10分鐘	公厘	視情況安裝

註：回傳頻率將影響 GPS 精度，建議須有演算法消除誤差。

3.2.3 地表位移監測成果產出

本階段產出成果包含現場勘查成果、地表地質調查成果、地表變位監測成果及相關雨量紀錄，除監測資料需即時回傳外，建議每月提出月報說明監測成果，輔以雨量紀錄及其他相關資料進行綜合評估。

【說明】

本階段建議提出現場勘查成果、地表地質調查成果並進行初步的地質模型建置，並依據調查成果於坡面設置監測儀器且於報告中說明設置則。

地表變位監測成果及相關雨量紀錄，除監測資料需即時回傳外，建議每月提出月報說明監測成果，月報成果建議包含儀器安裝之方式、儀器安裝位置(方向)、GPS監測成果、地表伸縮計監測成果、雨量觀測成果等資料，並整合以上條件進行綜合研判，比對前後期階段之地表變位之變異性，提出監測成果說明。

GPS監測成果需依時間及變位量製作變位歷線圖(含XY軸兩方向)，並於平面圖底圖上標示各監測站之移動方向及速率，建議套疊廣域監測成果之雷達干涉圖輔助判斷於不同時期的變異性。

3.3 細部監測階段

3.3.1 細部監測目的

利用現場調查成果安裝長期監測儀器於重點位置，用於管理值訂定及防災用途。由於地下地質調查於本階段才開始施作，因此需利用漸進式調查方式，建立地質模型後輔以地表變位監測成果確認監測儀器放置位置。

1. 前期調查階段

利用現場調查、地質鑽孔、簡易觀測、簡易GPS監測或地物調查等方式了解邊坡活動性、崩塌範圍及滑動面深度，用以驗證前期圖資資料及影像判釋成果並進行修正。分析所得之崩塌破壞模式可做為後續防災處置及監測計畫之參考依據。

2. 長期監測階段

於前期調查階段確認邊坡破壞模式及滑動面後，依照防災之目的需求配置適當之監測儀器，建立長期監測系統，作為研判邊坡活動性及警戒值之依據，目的為建立邊坡之防災預警系統，作為避難疏散之用。

【說明】

本階段適用於保全度中或高、發生度高之對象，可能為已經發生崩塌之區域，或是有顯著地表位移處，其目的在於了解大規模崩塌潛勢區的破壞類型與崩塌機制，以配置監測儀器對邊坡進行監測。調查原則依據前期調查及長期監測之順序施作，以前期調查之成果確認滑動面位置後進行長期監測的儀器佈設，兩階段工作為連續性工作，建議依序完成整套調查及監測系統設置。

前期調查階段為利用遙測判釋階段完成之判釋成果及工作底圖，進行現場之檢核，依序包含現場勘查、地表地質調查、地球物理探測、地質鑽探、地下水位觀測、地表變位觀測及地下變位觀測。流程圖詳圖3.3.1說明。長期監測階段必須設置可即時監測回傳之監測儀器，利用即時回傳之地表變位、地下變位、地下水位變化及雨量站等資訊，設立管理值系統作為行動準則，提供後端管理決策之用，並於決定各邊坡之注意值、警戒值後，建立預警系統。本階段相關流程圖詳圖3.3說明。

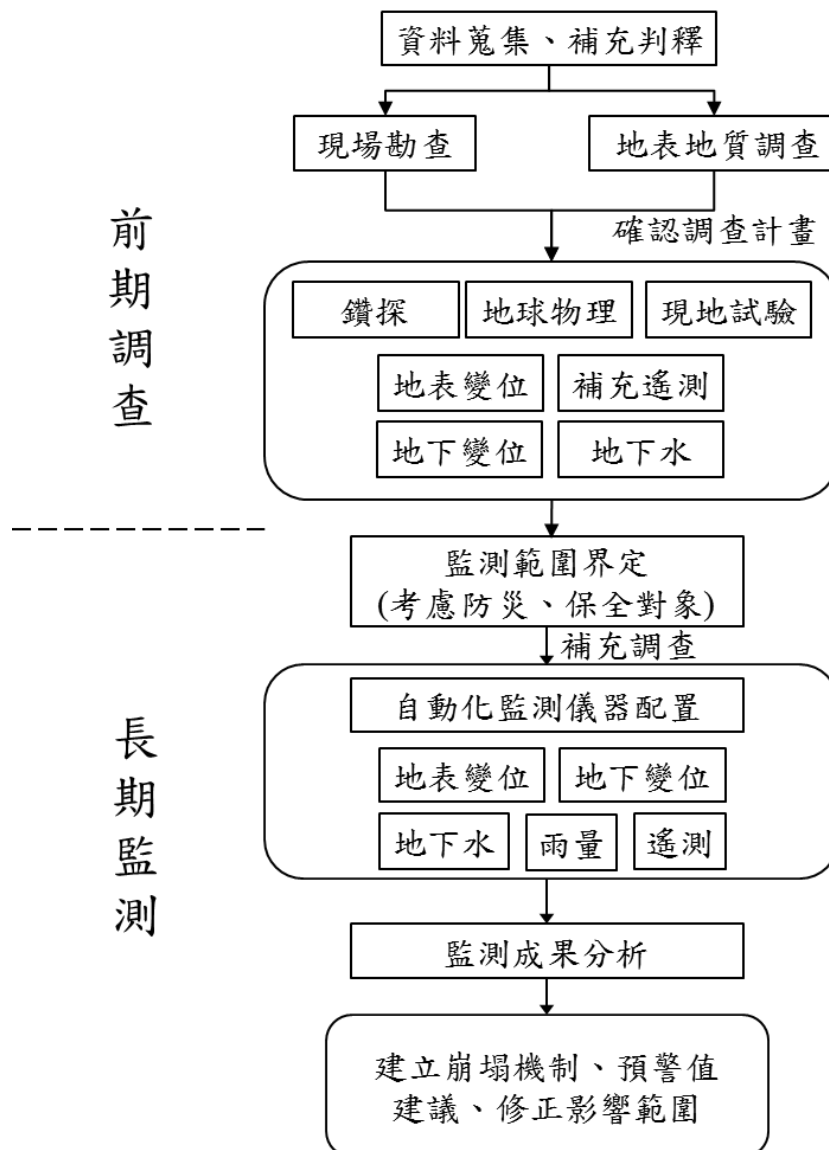


圖 3.3.1 調查與觀測階段流程圖

3.3.2 細部監測方式

本階段調查方式因應需求區分為前期調查及長期監測兩階段，前期調查目的為準確的設置長期監測儀器設備而調查；長期監測目的則為建立防災預警之基礎資料。

兩階段之調查內容包含現場勘查、地表地質調查、地表變位、地下變位、地下水位之觀測與監測，並搭配遙測影像判釋成果進行綜合評估而成，建議調查儀器選用可參考長期監測儀器選用

長期監測階段，需針對大規模崩塌潛勢區範圍內之雨量、地表變位、地下水位及地下變位進行監測，原則上儀器測得之資料須即時回傳，遙測影像於此階段以每季判釋一次為原則(以蒐集資料為原則，可參考其他計畫辦理成果)。

地表建議設置之儀器包含雨量計、GPS 監測系統(單頻\雙頻)、地表伸縮計，地下監測調查包含滑動面附近之地下水位監測及地下變位監測等，儀器選用得參考第二章儀器說明，以可自動連續計讀之儀器為原則並達即時監測之目標。

表3.3.1、表3.3.2儀器配置原則須參考廣域監測成果、地表變位監測成果及前期調查成果配置，原則上於一處大規模崩塌潛勢區之邊坡需設立一主要測線，如果不足或具有多個滑動面則可視情況補充複測線。於主要測線至少需布設四孔鑽孔並安裝相關地下變位、地下水位之監測儀器進行調查。詳細之調查建議可詳下列內文及圖說說明(圖3.3.2~圖3.3.5)。

前期調查之觀測頻率以手動量測為原則，長期監測頻率則以可即時自動回傳為原則，建議之儀器回傳頻率詳表3.3.3及表3.3.4。

本階段監測儀器建議達到自動化即時回傳之需求，監測廠商應架設伺服器統整回傳成果後，供給農村水保署大規模崩塌調查資料庫介接使用，資料擷取格式建議參考「大規模崩塌監測資料規範」建立。

【說明】

本階段調查方式因應需求區分為前期調查及長期監測兩階段，前期調查目的為準確的設置長期監測儀器設備而調查；長期監測目的則為建立防災預警之基礎資料。以下依據儀器選用原則、建議配置方式、監測頻率及精度建議等資訊依序說明。

一、調查方式

1. 前期調查儀器選用

本階段調查方式，可分為地表調查及地下調查，地表調查依照調查順序包含補充遙測影像判釋、現場勘查、地表地質調查、地表變位觀測(得沿用地表變位監測成果)；地下調查依照調查順序包含地球物理探測、地質鑽探調查、地下水位觀測及地下變位觀測。各調查項目可依階段需求，參考第二章相關調查方式及儀器佈設頻率等資訊參考辦理。

2. 長期監測儀器選用

長期監測階段，需針對大規模崩塌潛勢區範圍內之雨量、地表變位、地下水位及地下變位進行監測，原則上儀器測得之資料須即時回傳，遙測影像於此階段以每季判釋一次為原則(以蒐集資料為原則，可參考其他計畫辦理成果)。

地表建議設置之儀器包含雨量計、GPS監測系統(單頻\雙頻)、地表伸縮計，地下監測調查包含滑動面附近之地下水位監測及地下變位監測等，儀器選用得參考第二章儀器說明，以可自動連續計讀之儀器為原則並達即時監測之目標。

表 3.3.1 前期調查方式建議表

類型	調查方式	量測方式	備註
遙測觀測	可見光影像(衛星)	每季	資料蒐集為主，如有不足得由計畫產製
	可見光影像(航照)		
	可見光影像(UAV)		
	地形資料(InSAR)	每季	
	地形資料(LiDAR)		
雨量觀測	雨量計	日雨量	參考鄰近測站
現場勘查		乙次	必要
地表地質調查		乙次	必要
地表變位觀測	GPS監測系統	半自動/自動	依現況選擇使用
	地形測量	手動	
	地表伸縮計	手動	
地球物理探測	地電阻探測	乙次	依現況擇一使用
	震波探測	乙次	
地質鑽探		4孔以上	必要
地下水位觀測	水位觀測井	手動	依現況擇一使用
	封層水壓觀測井	手動	
地下變位觀測	傾斜儀	手動	必要

表 3.3.2 長期監測方式建議表

類型	儀器	量測方式	備註
遙測觀測	可見光影像(衛星)	每季	資料蒐集為主，如有不足得由計畫產製
	可見光影像(航照)		
	可見光影像(UAV)		
	地形資料(InSAR)	每季	
	地形資料(LiDAR)		
雨量觀測	雨量計	自動	必要
現場勘查		配合現況補充	必要
地表地質調查		配合現況補充	必要
地表變位監測	GPS監測系統	自動	單/雙頻(解算)
	地表沉陷釘	自動	依現況擇一使用
	地表伸縮計	自動	
	全測站	自動	
結構物監測	傾斜計	自動	依現況選擇使用
	裂縫計	自動	
地質鑽探		搭配監測鑽掘	
地下水位監測	水壓觀測井	自動	必要，建議採封層水壓觀測井
	封層水壓觀測井	自動	
地下變位監測	定置型傾斜儀	自動	依現況擇一使用
	孔內伸縮計	自動	
	TDR	自動	
	SAA	自動	

二、注意事項

1. 前期調查儀器配置原則

本階段遙測影像、現場調查(包含現場勘查及地表地質調查)建議包含崩塌面範圍內所有區域及鄰近可能影響範圍，並依照調查成果設定預定觀察之主要測線，測線需平行坡面滑動方向，且應為滑動面最深且活動性最高之位置，如調查中發現數個滑動面則可視情況補充副測線。

本階段地球物理探測配置建議平行及垂直主要測線各一條，除間接調查地下地質現況外，需作為後續鑽孔深度規劃之參考，因此地球物理探測建議早於鑽探進行，並於後續利用鑽探岩芯修正地物判釋成果。

地質鑽探於坡面調查至少需佈設4孔鑽探，分別位於滑動體頭部、中央、趾部及冠部附近之穩定區，其中以中央地區之鑽孔優先進行並鑽穿滑動面3~5公尺(安裝傾斜儀)，再依照滑動面深度規劃後續3孔鑽探深度，4孔鑽孔中分別安裝2孔傾斜儀(頭部、中央)及水位觀測井(冠部、趾部)，原則上傾斜儀與地下水位觀測井不得共用。

地表變位觀測得視計畫內容安排地表伸縮計及地表GPS系統，地表伸縮計建議放置於調查成果發現之崩崖且具張力裂縫處，其兩端固定端應分別位於坡頂穩定位置及崩崖下方滑動體上緣，伸縮計之鋼索長度亦須考量滑動距離調整。地表GPS原則上優先放置於潛在大規模崩塌範圍中活動性較高及保全對象附近，並考慮坡面透空度、透視度及相對不受淺層崩塌影像之位置，並須於潛在大規模崩塌範圍外穩定區設置一處觀測站進行比較。

如崩塌面有不同之滑動塊體，可視情況新增副測線，並至少補充2孔鑽探。

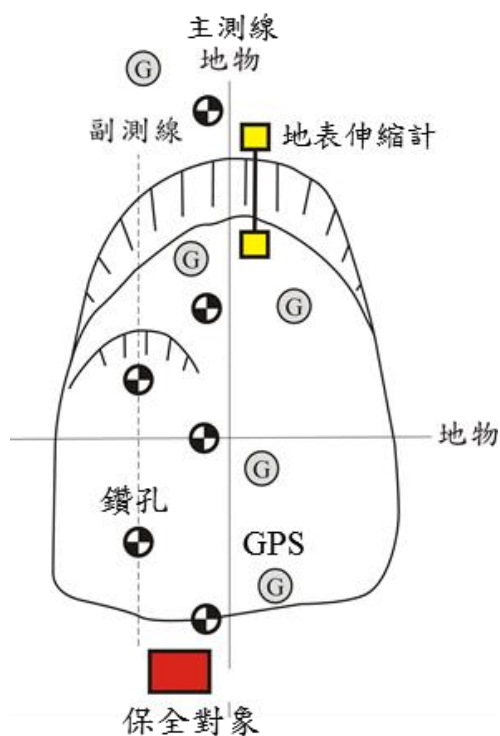


圖 3.3.2 前期調查階段平面配置示意圖

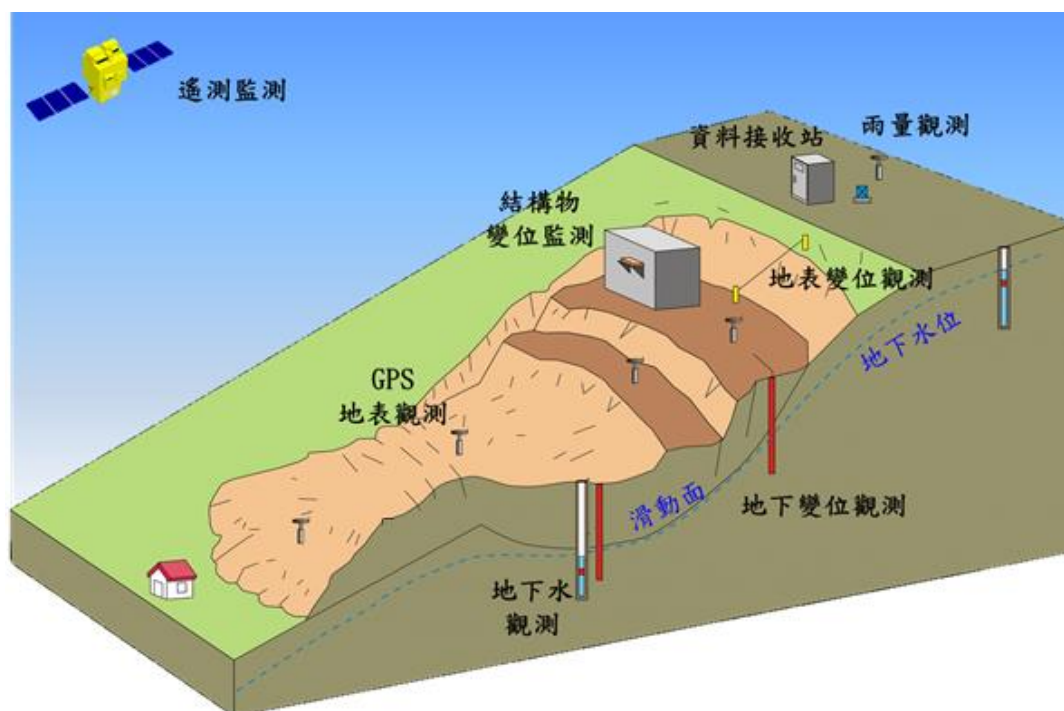


圖 3.3.3 前期調查階段邊坡儀器配置示意圖

2. 長期監測儀器配置原則

本階段之儀器擺設位置，須依照大規模崩塌潛勢區邊坡之破壞模式依個案處理，原則上配置於能夠反應不同活動區塊之代表性之位置、變位量最顯著及距保全對象最近之位置，以達到監測之目的。

自記式雨量計原則上建議配置於坡頂之崩塌範圍外，自記式水位井建議針對滑動面附近之含水層進行監測，自記式地表變位計建議配置於滑動量最大及距離保全對象位置最接近處，地表變位(GPS)則建議平均佈設於滑動速率較快及潛勢區範圍外相對穩定地區乙處，並建議於坡頂安裝自記式地表伸縮計。

本階段安裝位置建議依照普查調查成果繪製之地質模型調整，考慮滑動面深度、滑動徵象明顯及保全對象位置，以最有效率且經濟之配置自記式監測儀器及傳輸系統，建立即時監測系統回傳資料庫並進行分析。

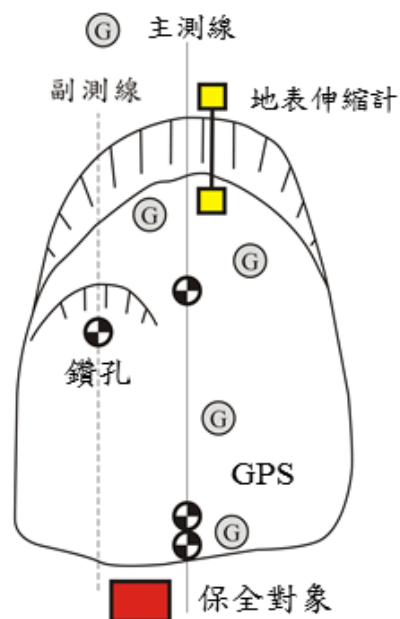


圖 3.3.4 長期監測階段平面配置示意圖

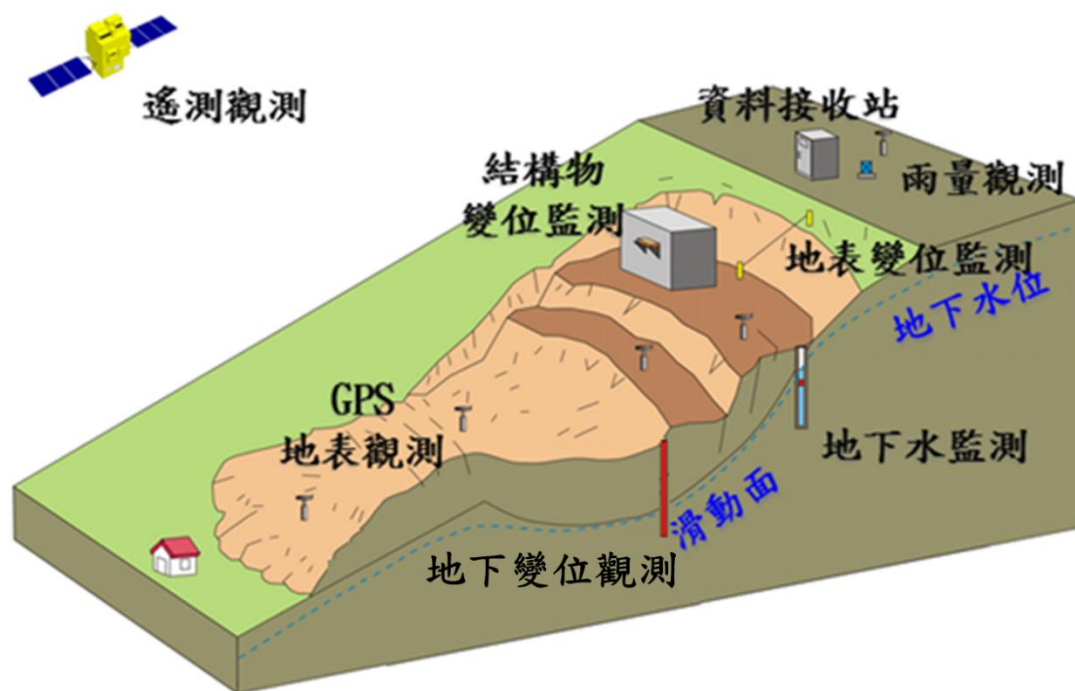


圖 3.3.5 長期監測階段邊坡儀器配置示意圖

三、建議頻率

1. 前期調查儀器頻率建議

調查階段現場儀器(水位、地表變位、地下變位)以手動量測為原則，原則上(每月/每季)於現場進行一次量測，如遇豪大雨及土砂事件則視情況補充量測乙次。

調查精度原則上以能達到調查精度需求為準，雨量原則以公釐為單位，地表及地下變位原則上以公分為單位。

表 3.3.3 前期調查階段頻率及精度建議

	觀測頻率	平時回傳頻率	單位
雨量計	每月	每月	公釐
地表GPS	10分鐘	60分鐘	公尺
地表變位	手動	每月	公分
地下變位	手動	每月	公分
地下水位	手動	每月	公尺

2. 長期監測儀器頻率建議

本階段監測頻率須符合大規模崩塌潛勢區防災之需求，原則上於平時之連續收測頻率每10分鐘回傳乙次，現場儀器紀錄頻率不可低於回傳頻率。

調查精度須符合防災之需求，雨量以公釐等級為原則，地表變位以公分等級為原則，地下變位以公分等級為原則。

表 3.3.4 長期監測頻率及精度建議

	觀測頻率	平時回傳頻率	使用單位	建議精度
雨量	10分鐘	10分鐘	公釐	量測值之 $\pm 1\%$ 以內
地表GPS	10分鐘	60分鐘	公尺	解算成果10公分以內
地表變位	10分鐘	10分鐘	公分	量測值之 $\pm 1\%$ 以內
結構物	10分鐘	10分鐘	公分	
地下變位	10分鐘	10分鐘	公分	
地下水位	10分鐘	10分鐘	公尺	

3.3.3 細部監測成果產出

1. 前期調查成果產出

本階段目的為建立大規模崩塌潛勢區地質概念模式，至少需完成現場勘查成果、地表地質調查成果、地質鑽探成果、地質剖面圖、滑動面分析圖。

2. 長期監測成果產出

本階段目的為大規模崩塌潛勢區活動性之監測，至少建議建立邊坡監測管理系統，並可即時得知現場監測儀器之成果及歷史監測記錄，於計畫執行階段須於(每月)提交監測成果報告。

利用長期監測成果，本階段建議研擬並提出邊坡之建議管理值(注意值、警戒值)，亦須擬定邊坡之防災計畫，上述成果經審查核可後可建立預警系統並提供邊坡管理單位執行參考。

【說明】

1. 前期調查成果產出

本階段目的為建立大規模崩塌潛勢區滑動模型，建議至少需完成現場勘查成果、地表地質調查成果、地質鑽探成果、地質剖面圖、滑動面分析圖。

(1) 現場勘查成果

包含現場調查點位、照片位置、拍攝方向並套疊崩塌範圍等相關圖資。

(2) 地表地質調查成果

標示調查點位、量測之位態、現場蝕溝、地質構造、岩性分布、現場岩屑層位置，並套疊調查範圍及其他相關圖層及調查成果於工作底圖中呈現。

(3) 地質鑽探成果報告

包含地質鑽探之岩芯紀錄、鑽探過程、鑽探位置、岩芯照片、鑽孔柱狀圖、鑽探期間照片及相關應檢附資料，並依經濟部地質調查及礦業管理中心規定之資料庫格式建置岩芯資料庫檔案(GEO2020)。

(4) 地質剖面及崩塌地地質發育概念模式

地質剖面建議搭配現場調查成果、地表地質調查、地質鑽探成果等綜合研判後繪製，剖面線原則與主要測線平行且涵蓋全坡面，圖面中建議將岩芯柱狀圖依照剖面比例置於坡面上相對位置，並繪製判釋完成之岩性分層、推估地下水位面、疑似滑動面位置、滑動面方向及構造分布等資訊。

2. 長期監測成果產出

本階段目的為邊坡面活動性之監測，建議至少建立邊坡監測管理系統，並可即時得知現場監測儀器之測得成果及歷史監測記錄，於計畫執行階段須於(每月)提交監測成果報告。

利用長期監測成果，建議本階段研擬並提出邊坡之管理值(注意值、警戒值)，提供邊坡管理單位執行參考。

(1) 監測成果月報

依據各月監測成果依據時間及變位量、雨量等資料製作歷線圖，並於報告中提出監測成果之綜合評估，檢視當月之活動性變化成果。

(2) 即時監測查詢系統

即時監測資料皆建議依照農村水保署定訂之「大規模崩塌監測資料規範」建置通用系統之交換格式並置於廠商單位之伺服器，作為大規模崩塌調查資料庫中展示即時監測資料之來源。

(3) 影響範圍及管理值訂定

依據調查成果建議可調整大規模崩塌潛勢區之影響範圍及管理值建議，得參考現行規範或國外之研究方式，惟須註明使用方法及來源，並以本案之監測成果輔助說明。

第四章 儀器維護管理

4.1 儀器維護及保養

為維護監測品質，建議定期進行崩塌監測站現場儀器設備例行性檢測及校正作業，並視儀器設備及線路裝置之檢校與維護情形加以修復更換，如觀測期間儀器設備有所損壞，修復更換後亦需進行檢測調校工作。

【說明】

為確保監測系統正常運作，須定期進行崩塌監測站現場儀器設備及檢測儀器例行性維護及保養作業，建議週期為一年兩次(儀器校正應至少一年一次)，為每年2次；防汛期前一次，下半年一次(9月底前完成)，並視儀器設備及線路裝置之檢校與維護情形進行後續修復更換作業，如觀測期間儀器設備有所損壞，修復更換後亦需進行檢測調校工作，以維護監測品質。檢測儀器之校正則依照國內相關認證校正規範辦理。

4.2 滾動式檢討及監測儀器調整

大規模崩塌潛勢區監測作業建議進行滾動式檢討，於各年度計畫成果之審查會中針對監測配置及量測成果進行評估，並依會議結論調整儀器監測位置、內容及頻率等資訊。

【說明】

大規模崩塌潛勢區監測作業成果建議逐年檢討，檢視其活動度變化或周遭環境變更時的變化，並於各年度監測計畫之審查會議中進行評估監測成效之滾動式檢討，並依會議結論調整儀器監測位置、內容及頻率等資訊。

除年度檢討外，監測執行單位應於監測過程中按月提出月報說明，並於監測資料回傳過程中進行即時回饋之檢討，應注意回傳之資料品質是否符合需求，評估是否調整監測配置位置及頻率並於工作會議中提請討論。

第五章 儀器設置品管作業程序

5.1 監測系統擬定

崩塌地安全管理涉及層面極廣，其中利用監測作為崩塌地管理之方法，應完整兼顧監測系統規劃、儀器設置與維護、監測資料取得、分析以及預警。然因地質特性不同、破壞機制不同、保全對象不同、承受風險性能力不同，故監測規劃應有不同之原則。

【說明】

步驟一：確定監測計畫之目的

崩塌地大地工程安全監測系統設置之目的，在自然坡地（開發前之坡地現況）可概分為以下幾種狀況：

1. 以提供設計條件之調查與確認為目的。
2. 以評估坡地地層現況穩定為目的。
3. 以掌控鄰近坡地地層之現況穩定為目的。

步驟二：確定設置監測設施之種類與目標

為瞭解崩塌地整治前、整治中及整治後大地工程之安全性。監測工作最主要的重點項目有水的監測、應力、應變的監測與影像監測等。

步驟三：預估崩塌區監測變化

依不同的監測系統設置目的，預估各項監測設施可能之變化。配合相關的地層地質資料，經過機制預測與研判擬訂監測計畫。經專業工程師對監測設施佈設之位置、方向、數量與深度，獲得有用、有效率的數據。依監測結果分析則可以訂定合理的警戒值，及有效的預警方案。

步驟四：選擇合適的監測儀器

前面步驟完成確定後，則可以進行監測儀器的選擇。監測儀器的選擇，最重要的是要選擇最值得信賴的設備與方式。能在崩塌區內埋置監測儀器有最好的耐久性並對氣候溫度、溼度的變化有最小的敏感性且不影響正常之運作。感應器(Sensor)，測讀設備(Readout)及其間之連結，各自分開獨立，以所得觀測數據是『正確的數據』為最終之目標。

通常儀器設備經濟性的考量並不是最主要的考慮因素，材料成本、檢驗、安裝、維護、數據讀取、分析等等因素應一併考量，同時監測儀器、材料及專業廠商，過去的表現紀錄，更是應審慎考量的重要因素。

步驟五：維持穩定之監測結果

崩塌區風雨天候的狀況、觀測儀器的校核、保養維護的確實、技術操作人員的訓練以及其他可能影響監測數據準確性之因素，詳細記錄、規範、避免或排除影響監測數據準確性之因素，使監測數據能有最正確的讀數。

步驟六：於崩塌區平面配置圖上擬定監測設施之數量及位置

監測設施之數量與位置必須能足夠反應崩塌現象之情形，並且因此監測所得到之數據應可足以代表或掌握整個崩塌區範圍內的行為；且能夠配合防災作業中提供最迅速、最正確之監測數據。

監測設施之數量與所需之經費雖成正比，但是卻與產生災害之機率與所需整治之費用成反比，故數量之考量仍應以長期安全為最主要之考量因素。

步驟七：監測儀器之規格與防災相關要求

步驟八：監測頻率與防災管理標準

5.2 儀器設置品管作業

為提升監測設備資料蒐集品質，須進行崩塌監測站現場儀器設備例行性檢測率定校正作業，並視儀器設備及線路裝置之檢校與維護情形進行後續更換修復作業，如觀測期間儀器設備損壞修復，更換後亦需進行檢測調校工作；現場系統功能檢測調校結果須記錄彙整，提升監測品質。

【說明】

5.2.1 降雨量監測

降雨通常為地滑驅動的主要因子，亦為監測及預警的要項。

安裝前注意事項：

- 1.雨量筒需經過TAF校驗。
- 2.雨量筒安裝地點上方須透空。

現地儀器檢測校調方式：模擬降雨量倒進雨量筒，使雨量筒之產生讀數，並檢視資料記錄器所監測回傳數據，如有異常進行設備調整、維護，調整後須達到雨量筒讀數與資料記錄器一致。

5.2.2 地下水位監測

由於山坡地地下水之分佈、變化，對於邊坡之穩定性影響甚大，故須裝設水位觀測井或水壓計，以觀測地層中地下水分佈、變化狀況及水壓地大小，做為設計、後續施工管理及長期維護之重要依據。

安裝前注意事項：

- 1.地下水量測範圍須大於地下水位變動範圍。
- 2.建議須有大氣壓力平衡，降低氣壓影響。

現地儀器檢測校調方式：將水位計拉起數公尺，模擬水位相對下降，檢視監測數據，如有異常進行參數校正。

5.2.3 流量計監測

降雨形成之地表水在坡面上初期呈漫流情況，隨後一部分地表水滲入地下，形成地下水或中間滲流水；一部分地表水則隨著地形變化漸漸匯集，而形成地表逕流，在人工排水渠道或自然流水路向下游流動，若地表逕流量大於人工排水道或自然排水路之容許排水容量時，地表逕流即會溢出排水路，而四處流竄，造成大小不等之沖蝕溝，甚至沖毀各種檔土構造物及設施，故針對影響坡地所在之集水區域範圍的地表水特性應予以調查其流向、集水面積大小。

安裝前注意事項：分析其需要之排水斷面，至於排水路之排水容量是否足夠，可在人工排水路上設置三角堰或矩形堰。

5.2.4 地表變形監測

邊坡表面的移動，為地滑、崩坍最直接的表徵，對地面的移動或傾斜量的監測，可視為大規模變化的前兆與預警。一般地表變形監測種類如下：

5.2.4.1 地滑計又稱為地表伸縮儀（Surface Extensometer）：地表水平位之監測。

安裝前注意事項：

- 1 應確認崩塌區範圍區分動點與不動點。
- 2 確保鋼線不會受環境影響。

現地儀器檢測校調方式：將鋼線拉動數公分，模擬相對滑(拉)動，檢視監測數據，如有異常進行參數校正。

5.2.4.2 沉陷觀測點 (Settlement Mark)：地表垂直變位之監測。

安裝或量測前注意事項：

- 1 沉陷點不易受外界影響而損壞，如：道路、施工工區。
- 2 水準儀或經緯儀應先經過校正。

5.2.4.3 裂縫計 (Crack Gauge)：地表裂縫寬度變化之監測。

安裝前注意事項：

- 1 應確認裂縫計安裝於裂縫兩側，並盡量垂直裂縫。
- 2 確保裂縫計刻度應定期檢查若有磨損應盡速更換。

5.2.4.4 傾度盤 (Tiltmeter)：結構物或擋土護坡構造物傾斜變位之監測。

安裝前注意事項：

- 1 應確認傾度盤底座安裝後穩固且不會受環境影響。。
- 2 量測儀器應經過定期檢測，建議2~3年進行定期檢測。

5.2.4.5 地表傾斜 (Surface tiltmeter)：崩塌區與構造物傾斜變位之監測。

安裝前注意事項：

- 1 地表傾斜安裝地點應安裝於穩固結構體或基座深入地表下30公分以上。
- 2 地表傾斜易受溫度影響建議增加保護蓋減少溫度影響，增加量測穩定度。

現地儀器檢測校調方式：考量傾斜儀穩定性，檢測電壓跳動幅度，亦為檢測傾斜角度數據之跳動範圍是否平穩，如有異常即更換新品。

5.2.4.5 GPS 全球定位系統 (Global Positioning System)：精確量測地表位移向量。

安裝前注意事項：

- 1 應確認安裝地點透空度良好，減少解算誤差。
- 2 現地應考量靜態測量與動態測量之解算差異再擇優進行。
- 3 GPS儀器需經過TAF校驗。

現地儀器檢測校調方式：考量GPS穩定性，檢測資料跳動幅度，亦為檢數據之跳動範圍是否平穩，如有異常即更換新品或更換安裝地點。

5.2.5 地中變形監測

地層內移動的量測，可以更正確的描述整體移動的量與範圍。

5.2.5.1 傾斜觀測管 (Inclinometer)：監測地層滑動面之深度、位移量之大小及滑動速率等。

安裝前注意事項：

- 1 應確認安裝地點不易受人為破壞。
- 2 盡量避免與水位觀測井共用。
- 3 傾斜觀測管觀測儀器應經過定期檢測，建議2~3年進行定期檢測。

5.2.5.2 TDR 地層滑動面觀測 (Time Domain Reflectometry , TDR)：地層滑動面之量測。

安裝前注意事項：應確認安裝地點不易受人為破壞、積水。

現地儀器檢測校調方式：考量 TDR 穩定性，檢測資料跳動幅度，

亦為檢數據之跳動範圍是否平穩，如有異常即重新製作 TDR 接頭維持波形完整。

5.2.6 應力監測

一般應力之監測種類如下

5.2.6.1 土壓計 (Earth Pressure Cell)：承受土壓力大小與壓力變化之監測。

5.2.6.2 鋼筋計 (Rebar Stressmeter)：應力分佈與應力變化監測。

5.2.6.3 地錨荷重計 (Load Cell)：地錨荷重變化之監測。

5.2.7 影像監測

利用 CCD 攝影機或其它影像設備，進行地滑地遠端即時監視。針對不同之監測目的，監測系統設施之種類應有不同之選擇。

安裝前注意事項：

- 1 應確認可觀看到特定保全對象或易制災區域。
- 2 影像解析度應大於 1920*1080 DPI，影像頻率應低於 10 秒一張。

5.3 資料品質規範及品質檢核機制

為提升大規模崩塌監測資料蒐集品質，須進行崩塌監測資料品質規範及品質檢核機制，因此建議大規模崩塌監測儀器之正確性與精度皆在量測值之 $\pm 1\%$ 以內，並利用其監測成果檢核儀器監測成果數值跳動量需小於量測值之 $\pm 1\%$ 以內。

【說明】

大規模崩塌潛勢區監測作業成果品質檢核建議汛期前檢討，檢視其監測值的穩定性，並於各年度監測計畫之審查會議中進行評估檢討，並依會議結論更換或維修監測儀器設備。

大規模崩塌潛勢區建議監測儀器之正確性與精度皆在量測值之 $\pm 1\%$ 以內，影像觀測須符合5.2.7中說明之影像頻率與解析度，另外GP單頻GPS、雙頻GPS需經過後解算與相關平差程序受環境影響較大，仍建議其監測成果數值跳動量需小於10公分以下，以符合防災之需求。

參考文獻

- [1] 經濟部地質調查及礦業管理中心;青山工程顧問股份有限公司
(2018),「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」。
- [2] 經濟部地質調查及礦業管理中心 (2018),「地質敏感區基地地質
調查及地質安全評估作業準則」。
- [3] 國立中興大學 (2017),「106 年大規模崩塌區調查及治理規劃方
法研究」, 農業部農村發展及水土保持署。
- [4] 廖瑞堂、陳昭維、吳澤雄、鄒鄭翰、呂家豪、高振誠、陳御崇
(2017),「山坡地監測準則」, 中華民國大地工程學會。
- [5] 王文能 (2016),「崩塌的地質特性與防災」, 中華防災學會出版
委員會。
- [6] 社團法人中華民國大地工程學會(2015),「公路邊坡大地工程設施
維護與管理規範」, 交通部台灣區國道新建工程局。
- [7] 國家災害防救科技中心(2015),「大規模崩塌災害防治行動綱
領」, 國家災害防救科技中心。
- [8] 廖洪鈞、廖瑞堂(2003),「坡地社區開發安全監測指引」, 內政部
營建署。

- [9] 震翔監測工程有限公司(2016)，「104 年度萬山、寶山、來義、藤枝林道 3.5K 及九份二山等崩塌地區監測系統維運與擴充計畫」，農業部農村發展及水土保持署。
- [10] 工程會(2012)，「施工綱要規範，02218 鑽探及取樣」，工程會。
- [11] Surya Parkash.(2012).Comprehensive landslides risk management.NIDM.
- [12] Lynn M. Highland and Peter Bobrowsky. (2008). The landslide handbook-a guide to understanding landslides. USGS circular 1325.
- [13] USGS.(2004). Landslide Types and Processes. USGS.