

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第0477號

土木研究所資料

地滑防止技術指引及解說

2007年9月

獨立行政法人土木研究所
土 砂 管 理 研 究 團 隊
地 滑 小 組

地滑防止技術指引及解說（提案）

土砂管理研究團隊 地滑小組

摘要

地滑現象因所處的地形、地質、地質構造等環境而有不同的變動，其事態進展難以預測。因此，在擬定地滑對策時，必須精確掌握地滑特徵，以臨機應變的方式實施有效對策。

為防止地滑災害，除了進行適當的調查、規劃、設計、施工之外，也有必要實施緊急調查或工程完工後維護檢查與觀測。本資料說明策定地滑防止計畫之標準方法及其注意要點。

關鍵詞：地滑，災害，地滑防止計畫

【 目 錄 】

第1章 概說

1.1. 指引之目的與內容.....	1
1.2. 指引之適用	1
1.3. 指引之構成	2

第2章 調查

2.1. 概說.....	3
2.2. 預備調查.....	4
2.2.1. 預備調查之概要及目的	4
2.2.2. 文獻調查	4
2.2.3. 地形判釋調查.....	5
2.3. 概略調查.....	7
2.3.1. 概略調查之概要及目的	7
2.3.2. 現地調查	7
2.4. 精密調查.....	10
2.4.1. 精密調查之概要及目的	10
2.4.2. 地形調查	12
2.4.3. 地質調查	12
2.4.4. 滑動面調查	17
2.4.5. 地表變形觀測.....	27
2.4.6. 地下水調查	33
2.4.7. 土力試驗	43
2.5. 解析.....	46

第3章 計畫

3.1. 地滑防止計畫	51
3.1.1. 概說.....	51
3.1.2. 保全對象之確認.....	51
3.1.3. 計畫安全係數之設定.....	52
3.1.4. 警戒避難對策.....	52
3.1.5. 環境保護的考量.....	53
3.2. 地滑防止設施配置計畫.....	54
3.2.1. 概說.....	54

3.2.2. 邊坡穩定分析	55
3.2.2.1. 土力強度參數	56
3.2.2.2. 孔隙水壓	57
3.2.3. 工法之選定	58
3.2.4. 抑制工之計畫	60
3.2.5. 抑止工之計畫	64
3.3. 實施工程時的安全對策	65

第 4 章 緊急時之調查與危機管理基準

4.1. 概說	67
4.2. 緊急時的調查	67
4.2.1. 現場調查	67
4.2.2. 地滑運動之預測	70
4.3. 緊急時管理基準的設定	79
4.4. 應急對策	83

第 5 章 設計

5.1. 概說	87
5.2. 抑制工之設計	87
5.2.1. 地表水排除工	87
5.2.2. 地下水排除工	91
5.2.3. 排土工	101
5.2.4. 邊坡趾部填方工程	103
5.2.5. 河川構造物的侵蝕防止工	104
5.3. 抑止工之設計	105
5.3.1. 基樁工程	105
5.3.2. 深樁工	110
5.3.3. 錨錠工程	112

第 6 章 工程實施後地滑邊坡之維護檢查與觀測

6.1. 概說	119
6.2. 維護檢查	119
6.3. 觀測	119
6.4. 資料與紀錄之保管	120
6.5. 反映到地滑防止計畫中	120

第7章 地滑防止設施之機能維持

7.1. 概説.....	121
7.2. 維護檢查.....	121
7.3. 觀測.....	122
7.4. 附屬設施.....	122
7.5. 資料與紀錄之保管.....	123
7.6. 地滑防止設施機能降低之判定.....	123
7.7. 修繕等.....	124

卷末參考資料

1. 地滑發生主要因素.....	129
1.1. 地滑素因.....	129
1.2. 地滑誘因.....	131
1.3. 地滑地形.....	132
1.4. 滑動面形狀.....	136
1.5. 滑動面構造.....	138
2. 地滑地地下水.....	139
3. 地滑分類.....	140
4. 「RE・MO・TE ² 」.....	143
4.1. 「RE・MO・TE ² 」概要及目的.....	143
4.1.1. 「RE・MO・TE ² 」概要.....	143
4.1.2. 「RE・MO・TE ² 」目的.....	144
4.2. 適用條件.....	145
4.2.1. 對象坡面.....	145
4.2.2. 量測地點.....	145
4.3. 使用設備之構成項目.....	149
4.4. 事前準備.....	158
4.5. 量測方法.....	159

第1章 概說

1.1 指引之目的與內容

地滑防止技術指引（以下，「本指引」）係說明為防止地滑災害而實施調查、規劃、緊急時的調查與危機管理、設計、工程實施後地滑邊坡維護檢查與觀測、地滑防止設施維持機能之標準方法與留意點。

此外，本指引所稱的地滑是指局部土地因地下水等所產生滑動現象或伴隨移動之現象。

本指引內容應對應技術水準提升，隨時修訂。

解說

地滑現象因地形、地質、地質構造等所處環境而異，因此進行調查、規劃等時，有必要參考此處所述內容進行檢討，精確掌握對象地滑之特徵並施行有效對策。

亦即，若取得持續性調查的結果及新資訊，有必要修正、調整調查與規劃等。此外，有時有必要因應地滑運動狀況變化，實施追加調查與規劃等。出現斷斷續續性滑動之地滑邊坡，有必要充分瞭解，必須依據調查所取得資訊迅速解析，並且推動適當之對策。

1.2 指引之適用

地滑係地中深處所發生自然現象，很難完全預測，因此實施調查、規劃與對策工程，重點在於能對應地滑現象。

因此，若本指引適用過程中會產生不合理狀況，可不適用。

此外，若有能更適當達成預期目的之方法，不應妨礙其採用。

1.3 指引之構成

本指引係依調查、規劃、緊急時之調查與危機管理基準、工程實施後地滑邊坡維護檢查與觀測，地滑防止設施維持機能等章節順序，說明各階段標準作法與注意要點。

為實施地滑對策而進行的有限調查，有可能無法充分掌握地滑運動及其特性，實務上推動對策應隨時保有此意識，參考本指引，建立從調查到維護管理地滑對策事業的整體概念。

此外，眼前已明顯滑動或具高地滑潛勢時，為了能因進行應急調查與對策確保，而能確保一定之安全性之後進入一般調查與規劃，另立第4章「緊急時之調查」。

解說

本指引之構成如圖1-1所示。

地滑對策從調查到施工後設施維持機能一系列的內容，見第2章、第3章及第5章到第7章說明。另一方面，眼前已明顯滑動之地滑或高地滑潛勢而有必要緊急對應時，見第4章緊急時調查與危機管理基準相關事項之說明。

地滑對策所進行之調查相當有限，很難先完全掌握地滑運動與特性再施行對策，此係現況問題點。因此，有時有必要在施工中或施工後藉由觀測、監測實施追加工程。基於上述背景，閱讀本指引不必按照第1章到第7章前後順序，必要時也可在確認地滑運動狀況中，根據必要性回去閱讀前面章節。

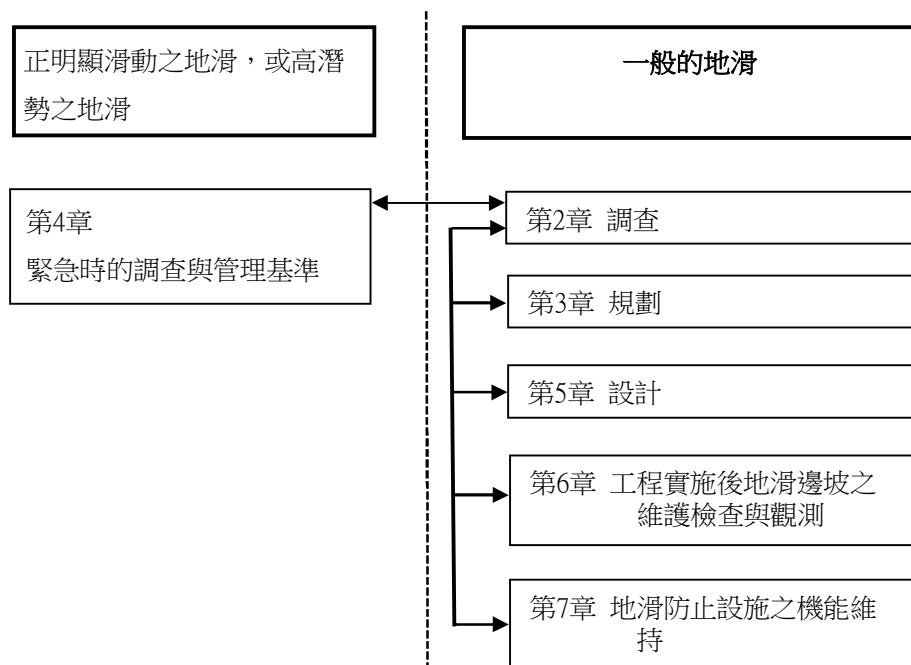


圖1-1 本指南之構成

第2章 調查

2.1 概說

地滑調查的實施目的為策定地滑防止計畫。必要時應區分預備調查、概略調查及精密調查，實施之。

此外，地滑防止計畫旨在於守護國民生命、財產與公共設施等不受地滑所引致災害危害，係符合河川砂防技術基準之地滑防止計畫。

解說

地滑調查所實施預備調查、概略調查與精密調查之概要及各自的關係，如圖2-1所示。以下依據相關調查結果進行解析。

此外，緊急施作對策工時，為了以現地踏勘判斷地滑範圍及活動狀況、決定對策工程量，有時應先實施必要最小限度之滑動面調查與地下水調查等。

此外，施工期間及施工後之對策工可取得許多集水井開挖壁面狀況及地下水排除工所掌握排水狀況等資訊，若需緊急施作對策工或長期掌握地滑之發生與滑動機制，一併進行地滑調查之對策工程是有效作法。

基於「土砂災害警戒區域等之土砂災害防止對策推動相關法律」實施基準調查（以下，基準調查），基本上應針對大區域範圍每5年實施一次，而此處所說明之預備調查、概略調查及精密調查的對象範圍與實施時期各有不同。但基礎調查有些部分也和預備調查、概略調查、精密調查重複，因此，所取得資料與數據可如圖2-1所示，於實施各項調查時交互活用。

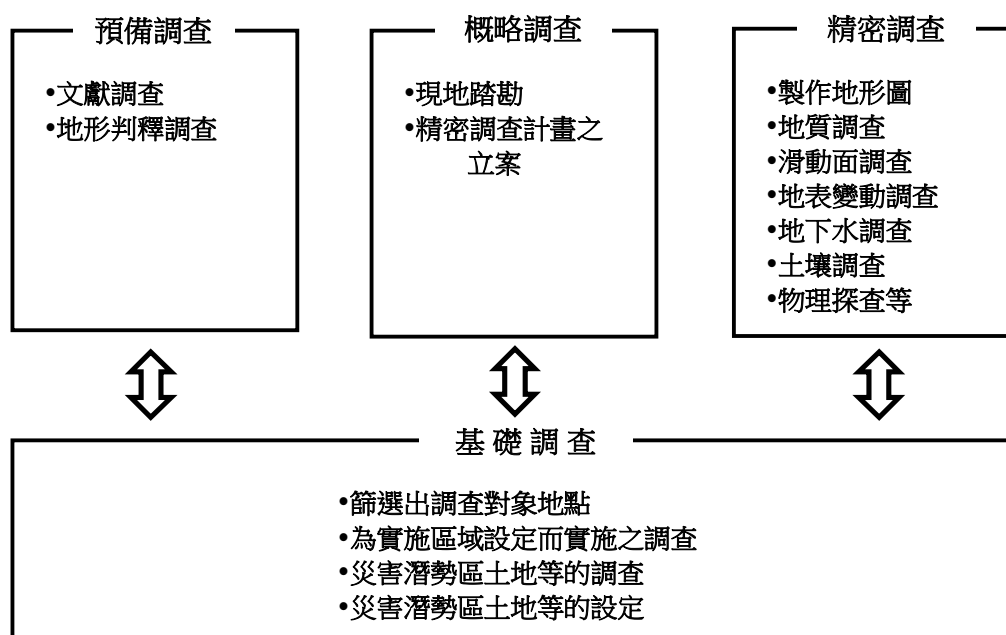


圖2-1 地滑調查概要¹⁾ 補充而成

2.2 預備調查

2.2.1 預備調查之概要及目的

預備調查旨在掌握大區域地滑地之分布、地質、地下水等概況。
預備調查應依據文獻調查及地形判釋調查進行之。

2.2.2 文獻調查

文獻調查旨在掌握地滑特性，蒐集對象區域的地形、地質、氣象、過去之地滑紀錄及附近發生地滑相關資訊。

解說

地滑易於特定地形與地質區域反覆發生。此外，相同地形與地質區域易發生類似型態地滑（參照卷末參考資料1.1）。因此，文獻調查所瞭解之地形與地質、氣象、過去之地滑紀錄及附近曾發生地滑的資訊，可作為掌握該地區地滑潛勢與運動特性之重要線索。

文獻調查時取得下列資料後，應篩選出該地區地形與地質、鄰近地區曾發生地滑的紀錄及發生地滑時的氣象狀況等資訊。

（1）地形與地質等地層條件相關之資料

- 1) 地形圖
- 2) 航空照片
- 3) 地質圖
- 4) 地形分類圖、土地條件圖
- 5) 其他（現有之土壤、地質調查報告書等）

（2）過去災害紀錄、附近曾發生地滑之相關資料

- 1) 現有工程日誌、災害報告調查書、土壤（地質）調查報告書
- 2) 學會等研究論文、報告書
- 3) 聚落分布、土地利用狀況相關資料
- 4) 地方志、報紙
- 5) 其他（當地居民的訪談）

（3）氣象相關資料

- 1) 氣象月報
- 2) 各種觀測所的觀測資料

2.2.3 地形判釋調查

地形判釋調查旨在運用航空照片及地形圖等，瞭解大區域地形與地質特徵，應調查內容為地滑地形及地滑地質構造特性。

解說

運用地形圖及航空照片等判釋圖2-2所示之地滑地形（參照卷末參考資料1.3）及地質構造之弱帶等，係掌握現地踏勘所無法掌握大區域地滑地分布、非常有用之方法。

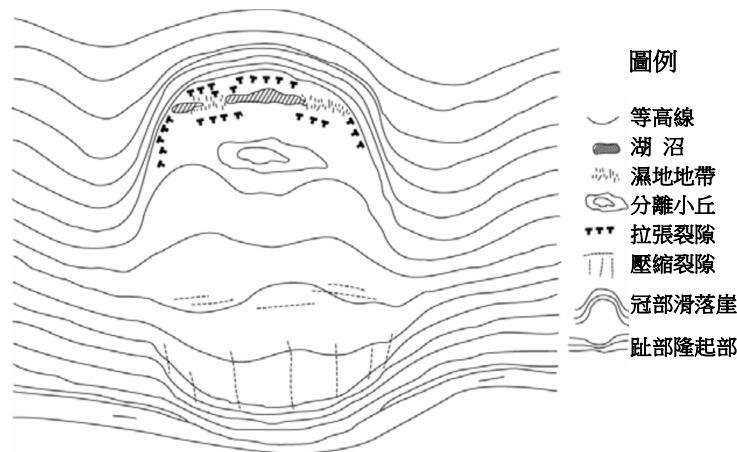


圖2-2 地滑地形模式圖²⁾

但過去反覆移動所形成之地滑地形雖是容易判釋地形之一，但有時容易誤認熔岩台地末端火山碎屑流堆積地與河岸階地為地滑地形，因此仍有必要以現地踏勘加以確認。此外，即使過去移動量小、地形圖上難以判釋的岩盤地滑，有時也可從地質構造弱帶預測可能發生地滑。

地形判釋所使用地形圖係國土地理院所發行1/25,000作品，內容涵括全國各地區且易取得。此外，近年來製作完成的數位地圖能3維的方式表現，對於大區域概查非常有用。此外，有些市町村製作1/10,000地形圖，特別是山區也有製作森林基本圖（1/5,000）。

圈定地滑地形應同時注意地質與地質構造。下列區域容易發生地滑，進行地形判釋時需多注意。

(1) 地質

- 1) 新第三紀之泥岩、凝灰岩
- 2) 沿破碎帶分布之結晶片岩（綠色片岩、黑色片岩）、黏板岩
- 3) 綠色岩類

- 4) 蛇紋岩
- 5) 屬溫泉餘土等火山性變質岩地區

(2) 地質構造（參照卷末參考資料1.1）

- 1) 伴隨破碎帶之斷層周邊地區、沿地質構造線之地區
- 2) 順向坡地區
- 3) 新第三紀之砂岩、泥岩等的褶曲背斜軸、向斜軸周邊地區
- 4) 火成岩與貫入岩之界面與周邊之地區
- 5) 蓋岩（玄武岩、安山岩、火山碎屑物等）地區

進行地形判釋時應注意下列地形並圈定之。

(3) 地形

- 1) 屬侵蝕平坦面下切成V型谷邊坡的地區
- 2) 崩塌形成厚堆積物的地區或埋積河谷地區
- 3) 山坡有小凹地、坡面下方有稍隆起地形或河川等擠壓地形或上游河川等中斷地形等屬集水地形之地區
- 4) 地滑高潛勢岩種之沖刷段邊坡，或沖刷段為硬岩時，其兩側邊坡所屬地區
- 5) 河川曲流段、凸岸發生侵蝕之地區
- 6) 形成千枚田（小塊田地相連、延伸至海邊之梯田）、梯田之地區

(4) 微地形

- 1) 等高線凌亂。等高線間隔上部內縮，中間部外擴，末端部再度內縮。
- 2) 坡面上部呈馬蹄形或四角形等的滑落崖，中間部呈現平坦緩坡斜面。此外，有時也出現分離小丘。
- 3) 存在凹地、陷落地、龜裂等。此外，山坡或山頂有時呈現帶狀陷落。
- 4) 出現池、沼與濕地有規則排列。
- 5) 地滑側面形成坑溝狀或出現裂縫。
- 6) 地滑背面山脊常呈陷落地形（地層陷落）。
- 7) 坡面末端陡峭、出現隆起或擠壓地形之地區
- 8) 道路與鐵道出現彎曲、構造物位移之地區
- 9) 坑溝與河川異常彎曲、河寬變窄之地區

2.3 概略調查

2.3.1 概略調查之概要及目的

概略調查旨在判斷對策之緊急性，必要時應策定應急對策。此外，為有效率進行精密調查而擬定精密調查計畫。因此，需確認地滑範圍與規模、移動狀況。

概略調查基本上應依據現場踏勘進行之。

2.3.2 現場踏勘

現場踏勘是基於預備調查結果為了調查計畫與應急對策計畫的立案而進行，進而概略掌握地滑的運動機制及其影響。

現場踏勘應特別注意①推估地滑範圍及危險範圍，②地質性質、狀況與地質構造，③推估微地形或大地形所形成地質構造，④推估地下水分布狀況，⑤推估地滑運動型態，⑥推估地滑誘因，⑦預測後續的地滑運動，⑧預測災情。

解說

現場踏勘注意要點如下。

(1) 推估地滑範圍及危險範圍

取得地滑周邊地形圖，由對岸高處等遠望，觀察地滑地及其周邊地形。由上述觀察結果與地滑地內產生裂縫、隆起等徵兆推估地滑活動範圍及地滑潛勢區域、可能受災範圍與維護對象等。

(2) 地質調查（地質性質與狀態及地質構造）

調查構成地滑土體之物質種類、粒徑、礫石等的岩質、形狀與黏土等的色調，藉以推估該地滑新或舊與滑動特性。此外，也可有助於推估基盤岩岩質與地滑土體。

調查周邊露頭基盤性質狀況可推估基盤之一般層序、層位、走向及傾斜狀況，可進一步推估該地質構造上之地滑特性。若周邊地層存在斷層及破碎帶等，追蹤其分布並探究是否與地滑地有關，相當重要。

(3) 地形調查（推估微地形或大地形所形成地質構造）

地形調查主要以觀察微地形與大地形推估地質構造並確認地滑地形（參照卷末資料1.3）

(4) 推估地下水分布狀況

調查地滑地內外之池、沼、濕地及湧水點。有池、沼時，瞭解各湧水點之湧水量與降雨的關連，可推估該湧水是來自淺層地下水或來自深層地下水。

(5) 滑動型態（由各種徵兆）的推估

主要是調查微地形、主裂隙、側向裂隙、趾部裂隙及道路、民宅、石牆等構造物是否有異狀及植生是否有樹幹彎曲等異常，推估地滑運動型態與方向。

(6) 推估地滑之誘因

探究地滑發生時的氣象或滑動型態等，推估其誘因（參照卷末參考資料1.2）。

地滑誘因多如下所列，但有的非單一誘因所引致發生，而是複數誘因所造成，因此必須慎重檢討。

- 1) 地滑趾部河川等所造成之侵蝕
- 2) 長期間降雨或融雪
- 3) 颱風等的豪雨
- 4) 地滑趾部實施的挖方、地滑冠部實施的填方
- 5) 地表水與地下水處理不完備
- 6) 淹水（蓄水池周邊地滑的狀況）
 - a) 一開始淹水時（水位上升時）
 - b) 水位急劇下降時
- 7) 地震、火山活動

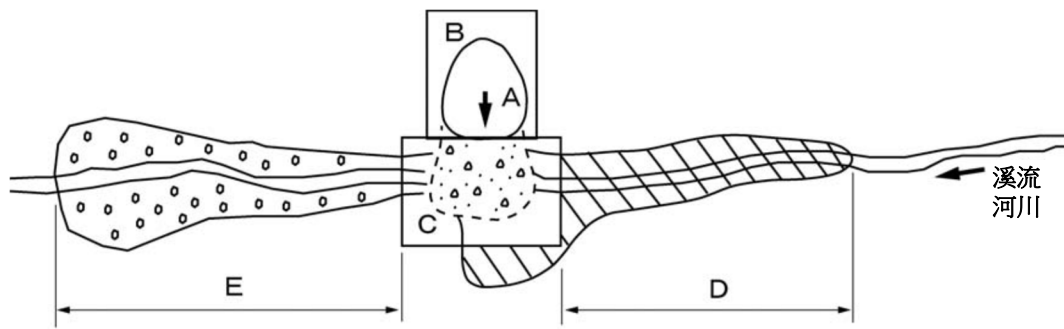
(7) 預測後續的地滑運動

只靠現場踏查很難預測後續地滑的運動，但一般就岩盤與風化岩地滑而言，具備幾乎相同滑動面坡度的地滑塊體，滑落可能性高。地滑趾部位置高於河床者，崩塌危險性更高。

(8) 地滑運動活潑化伴隨的災害潛勢區域與災情預測

到前項為止進行的調查若已發現地滑活動活躍可能性提高，有必要推定該地滑的受災區域，儘早實施必要之措施（確立警戒與避難體制等）。受災區域有必要仔細掌握地滑周邊地形，特別注意地滑是否往上部坡面擴大。船底形地滑及椅子形地滑趾部可能發生二次地滑，此時因土體薄，地滑規模通常較小，因此有必要注意降雨很可能促使地滑活動活躍化。

此外，地滑土體滑落時有必要預測土石流潛勢及影響範圍、是否可能形成堰塞壩以及堰塞壩潰決而造成的災害範圍（參照圖2-3）。



A：地滑區塊
 B：具備A區相同地滑素因之坡面
 C：移動土體到達的範圍
 D：地滑危險區域外的淹水區域
 E：C下游氾濫區域

A+B：地滑危險地點
 A+B+C：地滑危險區域
 A+B+C+D+E：地滑受災推估區域

圖 2—3 推估地滑災害區域範圍之案例³⁾

(9) 研擬應急對策

依據現場踏勘結果可幾乎可推估地滑發生機制及滑動機制，當預測該地滑可能活躍化或產生地層滑落時，有必要檢討建立地滑監測體制、避難體制、應急對策。此外，必要時也應制定配置可即時監測地滑活動儀器等的緊急調查計畫。

地滑發生機制（素因、誘因）及滑動機制（平面範圍、滑動型、地滑區塊劃分、移動方向、移動速度等）的推估概要，可參考卷末參考資料之表參-1。

2.4 精密調查

2.4.1 精密調查之概要及目的

精密調查應確認預備調查與概略調查結果，說明地滑的發生及運動機制。

精密調查對應其目的，可分為①地形調查，②地質調查，③滑動面調查，④地表變動調查，⑤地下水調查，⑥土力試驗等。

解說

通常，每個地滑滑動塊體都應予以分析，精密調查計畫立案前有必要將地滑區域劃分成幾個運動塊體，設定調查測線。

精密調查時應掌握內容及調查項目，如表2-1所示。表2-1的內容係依據預備調查及概略調查結果，事先推估並充分檢討必要性的各項調查。精密調查結果之數據可作為地滑機制分析的依據，因此精密調查計畫立案時，必須充分檢討所實施之分析。

表2-1為標準調查項目與內容。不同於過去已調查與須實施應急對策等的調查項目，必須配合地滑狀況檢討調查項目。

表2-1 必須掌握內容及精密調查項目

		精密調查項目						
		地形調查	地質調查	滑動面調查	地表變動調查	地下水調查	土壤試驗	環境調查
必須掌握內容	① 依據地形與地質等劃分的地滑類型（參照表參-1）	○	○					
	② 地質構造上的弱帶	○	○					
	③ 運動塊體之分割與各滑動塊體到達的範圍	○			○			
	④ 各滑動塊體的運動狀況			○	○			
	⑤ 地滑土體的面積與量	○		○				
	⑥ 地滑面的形狀與位置		○	○				
	⑦ 地下水分布與流動狀況					○		
	⑧ 物性常數及其他		○				○	
	⑨ 地滑地點之自然環境	○						○

1) 運動塊體之分割

地滑防止計畫應針對整體移動之各運動塊體逐一擬定。因此，一般需實施各運動塊體分析。擬定精密調查計畫有必要依據預備調查及現場踏勘結果，劃分地滑區域成幾個運動塊體。

分割地滑區域的運動塊體應考量地形、地質與推估之受災等。塊體分割應依據微地形與運動狀況進行，含一個冠部的邊坡及張力裂縫所涵蓋之邊坡設定為一個單位。

此處之劃分運動塊體分割可應用於策定地滑防止計畫。分割過細可能讓地滑防止計畫在立案過程中難以討論，因此有時應從大局著眼做概要之塊體分割。此外，滑動塊體有必要依據精密調查結果修正之。

2) 調查測線之設定

調查測線係決定地質調查、地下水調查等實施位置之基準測線，各滑動塊體應逐一設定。地滑範圍廣闊時，應布設數條調查測線。

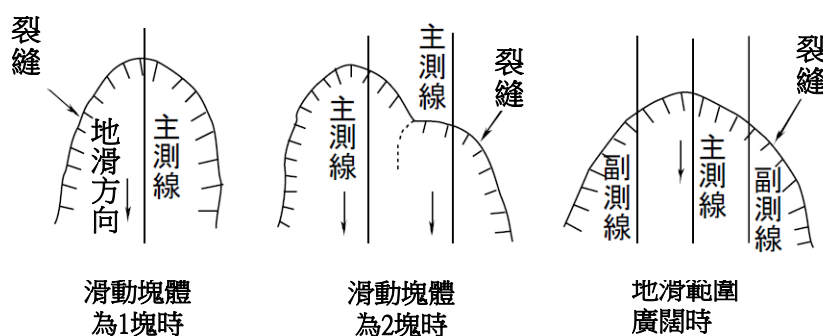


圖 2—4 調查測線之設定¹⁾

主測線能具體確認地滑運動塊體之地質、地質構造、地下水分布、地表變動及滑動面等，應於適合進行對策基本規劃及基本設計的地點及方向設定之。主測線斷面為二維安定分析所使用，調查測線則有必要設在避免對策過少的位置，並與滑動方向幾乎平行地設定。此時，若坡面上部與下部滑動方向不同，有時會以折線的方式進行。

副測線係為掌握特別是地質構造與地下水分布等的橫斷面或平面狀況，作輔助性調查所需要的測線，原則上與主測線平行。地滑的滑動體寬度達到100m的寬闊範圍時，應於主測線兩側約50m左右之間隔設置副測線群。

2.4.2 地形調查

地形調查應製作可作為地滑對策基礎資料之地形圖。

地形圖應記載調查及對策所必要的事項。此外，地形圖應具備可分割地滑運動塊體的精度與範圍。此外，必要時應先製作包含對象地滑周邊地形及過去地滑地在內的大範圍地形圖。

解說

地形圖應記載調查及實施對策所必要之事物，並具備地形上及能分割地滑運動塊體的精度與範圍。地形圖比例尺在滑動長度小於200m時約為1/500，大於200m時若希望顯示整個地滑區域，約為1/1,000～1/3,000，若希望只顯示部分地滑區域，則可用1/500。特別是面積很大時，可用比上述更小的比例尺製作全區，然後針對對象地滑運動塊體及其周遭範圍製作地形圖。應圖示項目為民宅、道路、各種構造物、河川（含小溪流）、崩塌地、沼地、湧水地點、濕地、裂縫、滑落崖、水田、旱田等。

掌握對象地滑周邊地形或上部坡面狀況，可製作含周邊過去地滑地的大範圍地形圖。

地形圖製作完成即可作為日後地滑對策之基本資料，從調查計畫到擬定對策計畫都能使用，因此有必要慎重決定其範圍與精度。此外，需注意航空照片等所製作之地形圖常無法正確表現地形。近年來也有些案例，以雷射斷面儀（光達LiDAR）製作之地形圖能輕易完成微地形判釋。

2.4.3 地質調查

地質調查旨在掌握地質、土壤、滑動面等的狀況。

地質調查原則上實施地質鑽探調查，必要時也可進行彈性波探測、地電阻探測、自然放射能探測等。

解說

地質調查有必要確認以下項目。

- （1）可能與地滑變動有關之脆弱地層、滑動面的分布
- （2）主要抵抗部分或影響地滑移動範圍之抵抗部分、承載力較大之地層

此外，地質調查主要實施鑽探調查。必要時可同時併用大區域調查之彈性波探測等。另外，基於地質調查結果再度進行現場踏勘、確認地滑區域地質構造與地質之後，有必要推估滑動面之深度與形狀。

1) 鑽探調查

鑽探調查係在地中、依深度順序直接採樣，以瞭解地滑滑動面、地質及地質構造之調查。鑽探調查原則上應進行全岩採樣，調查後多利用鑽探孔進行後續調查，因此有必要事先仔細評估鑽井孔徑大小。

- (1) 滑動面調查（管式應變計、孔內傾斜儀、縱向型伸縮計之調查，孔壁之觀察）
- (2) 地下水調查（地下水位觀測、地下水追蹤、孔隙水壓量測、地溫量測、抽水試驗、地下水檢層、其他檢層）

(1) 鑽探調查測線之布設與長度

鑽探原則上應沿地滑運動方向設定之主測線，以30~50m左右間隔在滑動塊體內布設3孔以上以及運動塊體外上部斜面至少1孔，總計4孔以上為原則。地滑塊體面積較小時，應在能掌握地滑區地質之最適當地點布設2孔以上。此外，必要時應在副測線以50~100m左右間隔布設鑽探孔。然後，若基盤內分布斷層、破碎帶或地層構造複雜、滑動面形狀複雜之時，有必要另外進行補充鑽探調查。每個鑽探孔長度必須足以確認基盤。有些地滑土體內的岩塊容易被誤認為是基盤，因此最好至少有個鑽探孔的鑽探深度較深。

若無法推估地滑塊體層厚時，原則上假定每個鑽探孔長度為地滑滑動體寬度之1/3左右，然後參考挖深結果調整長度。

圖2-5係複數塊體所構成地滑，其測線及鑽探地點布設案例，規模較小地滑多半只進行主測線鑽探。此外，規模較大地滑，其精密調查少有1年的短期間內完成，應隨時藉由鑽探調查結果、進行機制分析並逐步修正精密調查計畫。在此情況下，有些鑽探位置未必符合最初計畫。布設鑽探地點，應考慮也可應用於製作斷面圖、橫斷面圖、地滑面等高線、地下水位等高線等。

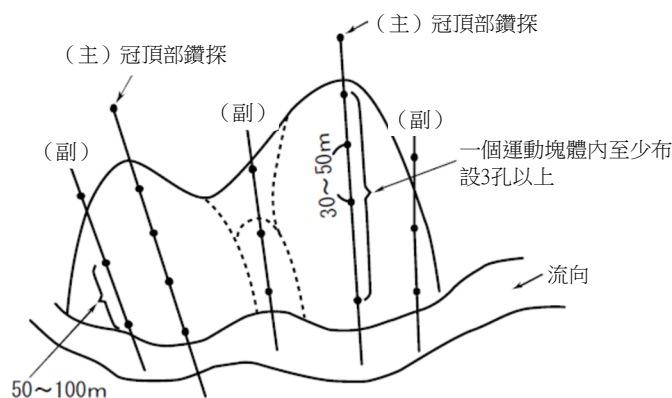


圖2-5 各滑動體沿測線布設之鑽探孔⁴⁾部份修正而成

(2) 結果之整理

整理鑽探調查結果應先檢討地滑區之地質、土壤性質及滑動面，針對必要之項目，彙整觀察成果製作鑽探柱狀圖。

鑽探柱狀圖重點包括岩心所呈現地質、土壤觀察及鑽探狀況記錄、鑽探過程及最後之孔內水位（參照圖2-30）、岩心取樣率。此外，岩盤調查可同時觀察風化程度、裂縫角

度、層理面與片理之角度、裂縫量等，其垂直分布狀況也應記錄。地質、土壤及滑動面觀察應由經驗豐之專業人員實施。滑動面及地滑土體性質與形狀，可拍攝岩心照片（彩色）來紀錄。為了讓岩心照片呈正常顏色，攝影時最好貼3色或5色標準色調板。圖2-6係鑽探柱狀圖案例。

鑽探調查結果應依據「地質調查資料整理要領（案）」⁵⁾整理並數位資料化。製作柱狀圖格式可參考「地滑調查用鑽探柱狀圖製作要領（案）」⁶⁾。

調 査 名 稱 2006年度〇〇地區地滑調查業務
事業・工程名稱

表格N

地滑調査用方法

圖 2-6 鑽探柱狀圖記載案例⁶⁾補充而成

(3) 利用鑽探孔進行的調查

鑽探掘進過程中，有時也可利用未插套管之孔壁（裸孔狀態之區間）等，進行表2-2所列各種試驗。

表2-2所列試驗也可用來進行地滑地層特性之定量評估，在抑止工設計、滲流分析、應力應變分析（FEM等）方面也很用。

表2-2 在鑽探孔內實施之試驗⁷⁾ 部分修正而成

利用孔底地盤實施的現場試驗	動態的現場試驗	標準貫入試驗、大型貫入試驗、（N十字片鑽剪力試驗）
	靜態的現場試驗	深層載荷試驗、十字片鑽剪力試驗、（孔內環剪試驗）
利用孔壁地層實施的現場試驗	靜態的現場試驗	孔內水平載荷試驗（自主推進型動態壓力量測試驗） （孔內剪切試驗、周面摩擦測定試驗、孔內岩心貫入試驗）
	滑動面調查	管式應變計量測、孔內傾斜儀量測、縱型伸縮計量測、多層移動量計測
其他項現場試驗		（地中應力測定試驗、推進阻力測定型探測）
孔壁觀察		孔內攝影機
物理檢層	速度檢層	P波檢層、PS檢層
	電氣檢層	電阻率檢層、自然電位檢層、
	放射能檢層	自然放射能檢層、密度檢層、中子檢層
	其他	孔徑檢層、溫度檢層、地盤斷層掃描儀、鑽孔彎曲測定
地下水調查	水位與水壓測定	孔內水位測定、孔隙水壓測定
	現場滲水試驗	鑽探法、套管法、壓力計法
	抽水試驗	單井法、觀測井法
	岩盤地下水試驗	湧水壓試驗（JFT）、侖琴(Lugeon)試驗
	其他	地下水檢層、水質調查、流向流速調查

2) 彈性波探測

彈性波探測係以測定彈性波在地層間傳導速度確認地層分布特性。實施地滑調查時，彈性波探測可推測特別是大面積地滑地之地層分布。但彈性波探測是以地表往下之地層越來越硬為前提，若地層間包夾軟弱層即無法掌握。

彈性波探測實施方法如下。

- (1) 折射法
- (2) 淺層反射法
- (3) 常時微動法

彈性波速度與地質之間已知有如下關係。

- (1) 一般而言彈性波速度愈快壓縮速度越強，特別是相同種類岩石，這種傾向很明顯。
- (2) 岩石風化後，彈性波速度會變慢，風化越激烈的部分，彈性波速度變得越慢。

(3) 破碎程度越明顯，彈性波速度愈慢。

(4) 固結程度越低，彈性波速度越慢。

3) 自然放射能探測

構成地表的岩石類有的含鈾、釷系統等放射性元素，這些在崩塌過程中生成惰性氣體氦或鈾。這些惰性氣體也是放射性元素，但通過地下斷層或裂縫帶時會往地面散逸。在地表量測這些放射性元素，這些放射性元素量多的地點，推估岩盤內可能存在斷層或破碎帶。

4) 電氣探測

電氣探測有二種方法，包含人為讓電流流入地層，量測藉由地層內電氣特性變化所產生電位變化的電阻法，及量測地層內自然電位之自然電位法。

地滑調查一般使用電阻法，但因地層變化即使相同地層也可能因含水或非含水而產生電氣特性變化，因此很難只靠電氣探測結果瞭解地層狀態時，則有必要併用鑽探結果等，評估電氣探測結果。

2.4.4 滑動面調查

滑動面調查應進行滑動面判定。

滑動面可針對運用鑽探調查及機器（管式應變計，孔內傾斜儀，縱向型伸縮計，多層移動量計，潛變井等）所量測等所取得的結果，綜合判定之。

解說

滑動面調查方法除了鑽探調查，也可使用量測儀器。所使用量測儀器含管式應變計、孔內傾斜儀、縱向型伸縮計、多層移動量計、潛變井等方法，滑動面的判定有必要綜合參考利用地質調查方法與量測儀器進行調查的結果。此外，管路周圍阻塞常降低量測精度，最好在量測儀器調查滑動面所使用的鑽探孔同時觀測地下水位。

1) 依據鑽探調查進行判定

依據地質調查判定滑動面，通常使用下列方法。

(1) 鑽探過程的判定

地滑移動活躍區域在鑽進過程中會發生鑽孔彎曲、每次鑽進相同深度時可感受阻抗或採取半月型岩心等方法，確認滑動面位置。

(2) 以岩心鑽探觀察進行判定

岩心鑽探觀察可推定滑動面位置。岩心觀察應注意色調、龜裂形狀與量、風化狀況、黏土層等，綜合判定滑動面。

滑動面附近常伴隨移動產生岩石破碎，有時也會出現擦面或擦痕、木片混入岩心等狀況，有必要特別注意此時岩心之狀況。

地滑土體垂直方向構成模式如圖2-7所示。滑動面黏土化、透水性小且呈暗色，移動層則多半透水性大、呈褐色系色調。但有必要注意，可能會因地下水分布狀況、地滑土體內位置（冠部、趾部等）而異。



圖2-7 地滑坡面之構成⁸⁾部分修正而成

以岩心觀察判定滑動面時的注意要點如下⁹⁾。

- 1) 是否存在軟弱黏土層
- 2) 是否位於崩積土下面
- 3) 是否位於風化岩或岩盤上面
- 4) 是否位於異種岩石等的界面
- 5) 岩盤中是否存在軟弱夾層或破碎部
- 6) 堆積岩中是否有堆積構造紊亂狀況
- 7) 地滑規模、型態與滑動面深度相關之狀況

此外，若有鑽孔壁觀察結果（孔壁照片、展開圖等），應以岩心觀察相同的方法用來判定滑動面。

2) 以滑動面測桿判定

鑽探內先插入短管，一定期間後上拉短管，該管會在鑽孔彎曲深度處停止。然後，由孔口垂放同種短管，同樣可獲得停止的位置，如此即可確認滑動面。

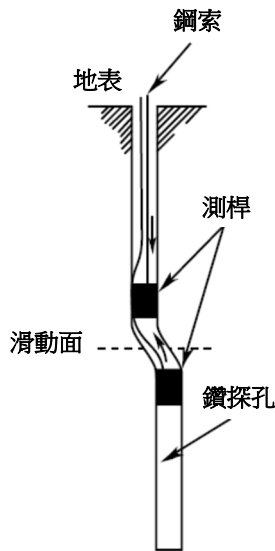


圖 2—8 以滑動面測桿判定滑動面⁸⁾ 部分修正

3) 以管式應變計判定

以管式應變計量測滑動面的特徵是以量測鑽探孔全長，掌握其彎曲，但壽命只有1~2年左右。管式應變計大致在每1mPVC管等水管外圍180度相反位置貼一對（2片應變片）乃至2對應變片，以量測應變片之應變。應變片方向原則上與地滑運動方向一致，運動方向不明時則各地點以直角2方向總計貼4片應變片。

此外，管式應變計設置於鑽探孔內時，孔壁與管間空隙有必要完全充填水泥漿等（最近作法是添加丙烯藥液也有黏合效果）。應變片測定原則上7日進行1次，但也可依據地滑運動狀況縮短或拉長量測時間間距。

分析所使用測定值原則上為管式應變計設置一週後開始之數值。量測結果整理成變動累積圖，然後依據表2-3所示判定基準等，判斷滑動面。但即使測定值變動明顯，若無累積傾向，就無法判定為滑動面。反之，若應變量小，即使變動c地滑面，如果在某深度具備累積性時，則有必要繼續觀測。

圖2-9係以時間序列說明之從最深部開始應變量累積值圖例。

表 2-3 依據管式應變計觀測結果判定地滑之基準²⁾部分修正而成

變動類別	累積變動值 (μ /月)	變動型態		存在滑動面之 地形與地質的 可能性	綜合判定	
		累積傾向	變動狀態		變動判定	滑動性之外
變動A	大於5,000	顯著	累積	有	確定	顯著活動地盤～ 崩積土地滑
變動B	大於1,000	稍顯著	累積	有	準確定	緩慢移動之潛移 型地滑
變動C	大於100	輕微顯著	累積 斷續 攪動 迴歸	有	潛在異常	無法判斷有無存 在滑動面，有必 要繼續觀測
變動D	大於1,000 (短期間)	無	斷斷續續 攪動 迴歸	無	潛在異常	無滑動面 地滑之外的主要 因素

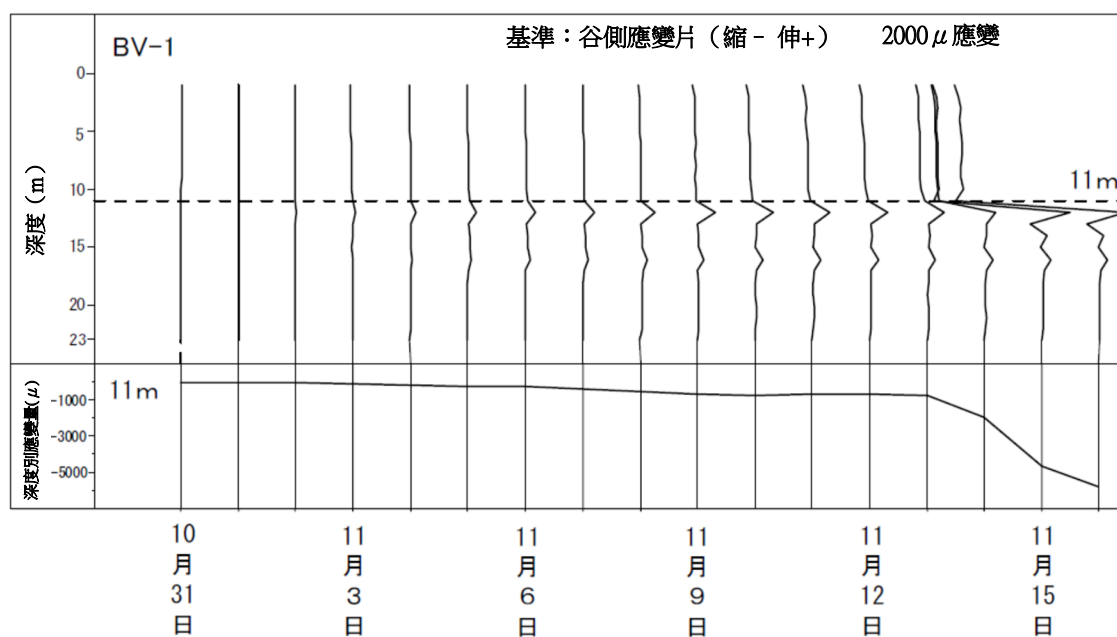


圖 2-9 以管式應變計觀測應變累積圖案例

4) 以孔內傾斜儀進行判定

孔內傾斜儀使用方法為，是在鑽探孔內插入、設置量測傾斜用的導管，然後沿導管插入傾斜儀並使之上下移動，以測定導管傾斜角。其缺點是，若鑽探孔嚴重彎曲，就無法插入導管，但仍能追蹤鑽探管幾乎連續彎曲所造成之形狀變化。圖2-10為插入型孔內傾斜儀之概要，圖2-11為量測結果案例圖。

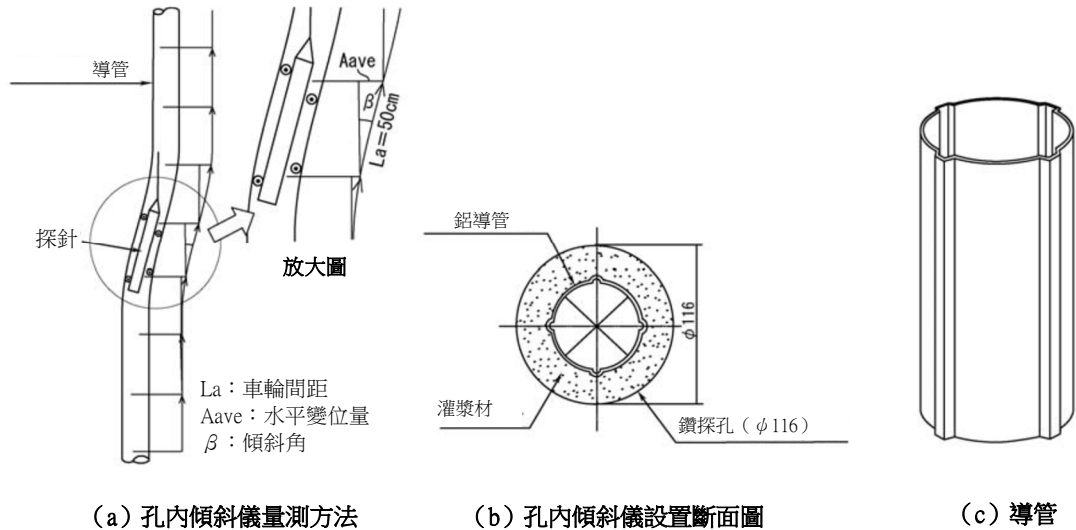


圖 2—10 插入型孔內傾斜儀概要圖¹⁰⁾補充而成

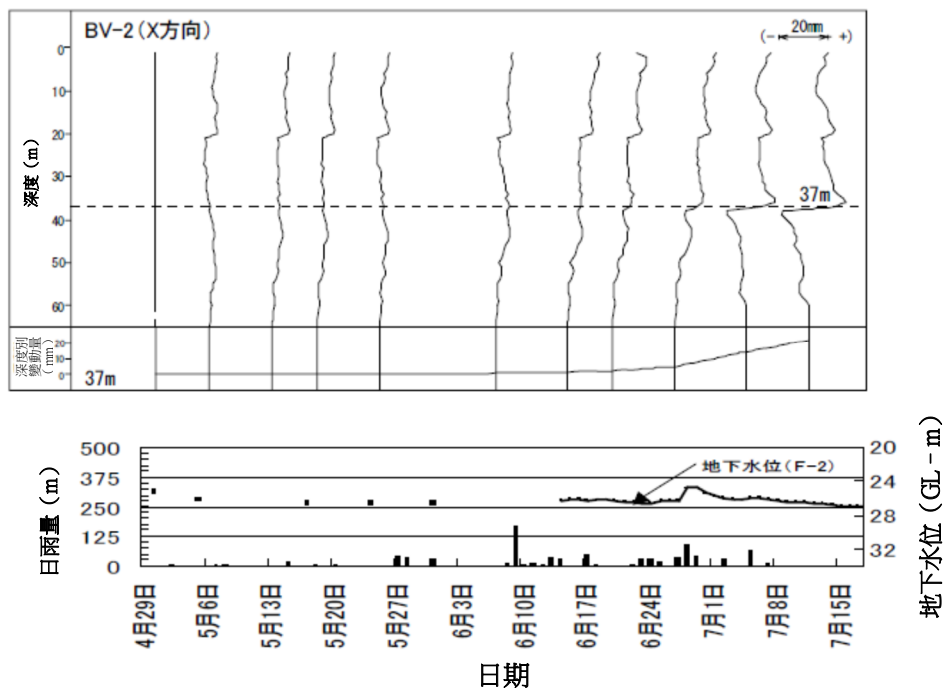


圖 2—11 孔內傾斜儀量測結果變動累積圖案例

量測結果以孔底開始傾斜量積分的方式呈現，彎曲明顯且有應變累積的位置，判定為滑動面，量測時感測器可能受溫度影響失準，因此有必要將感測器放入溫度變化較小的地中內部一段時間，才進行量測。

孔內傾斜儀應固定在孔內滑動面深處，也可使用量測傾斜與變形的設置型孔內機種。圖2-12為孔內傾斜儀設置概要。

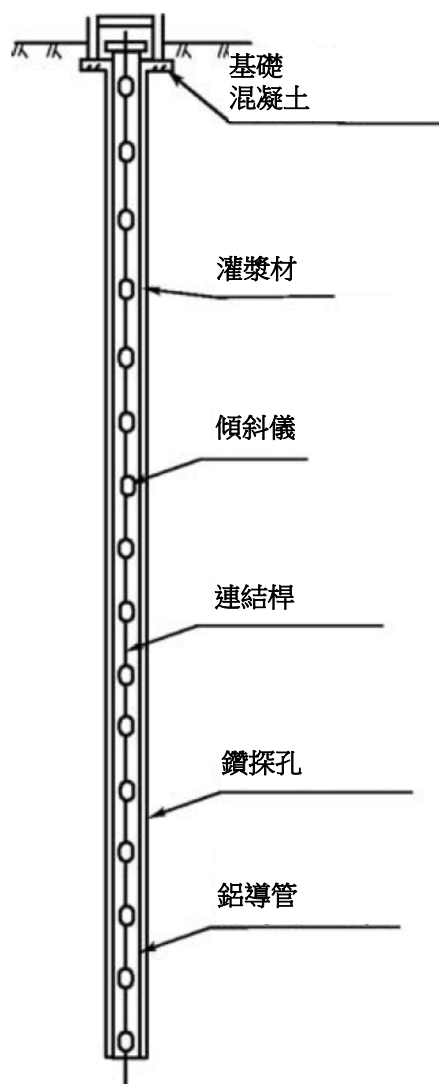


圖 2-12 設置型孔內傾斜儀之整體設計圖例¹⁰⁾ 部分修正

5) 以縱型伸縮儀進行判定

本方法將基本上是將可量測地滑移動量的地盤伸縮儀1支或多支設在鑽探孔內垂直方向，可直接量測包夾滑動面上下地層變位。鋼索前端部定在鑽探孔孔底然後拉到地面，在地面量測鋼索伸縮量。地滑冠部沉陷時，會顯示壓縮傾向。圖2-13為其概要。此外，積雪致使難以進行地表變動調查時，也可以成為地盤伸縮儀的代用法。

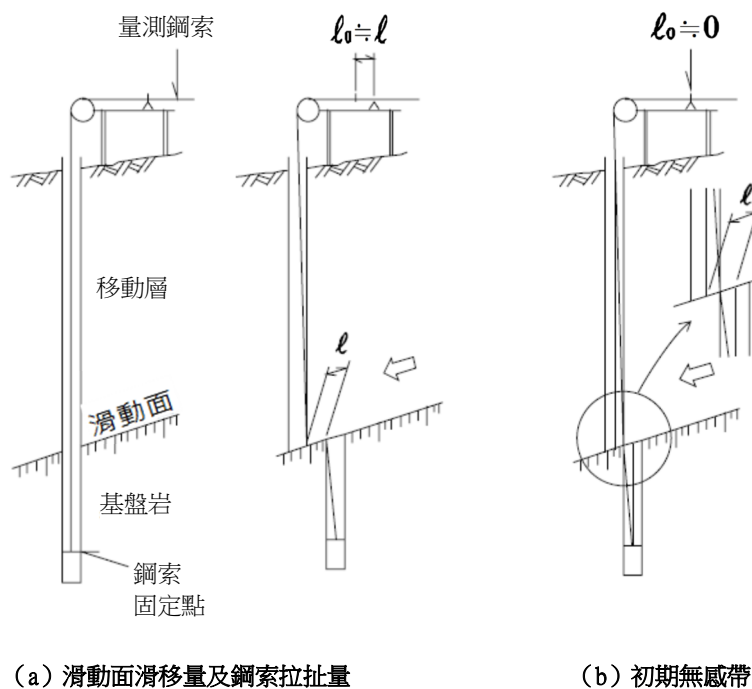


圖 2—1 3 縱型伸縮計儀概要圖¹⁰⁾

6) 以多層移動量計進行判定

多層移動量計量測滑動面之方法，可運用在滑動面深度不明、存在許多滑動面及出現大變位等情況。這種方法將鋼索固定在地滑土體內垂直設置之PVC管內任意複數深度，量測連結地面之鋼索伸縮量。地上部高約1.0m、寬0.5m、長0.5m大小的測台上，每台滑車都設置不銹鋼量尺。各深度拉上來的鋼索通過此測定台，會被鉛錘或彈簧以一定載重拉扯，就能從各深度鋼索拉長狀況直接測定滑動面滑移量（圖2-14）。測定結果需製作時間累積圖，橫軸記載日期，縱軸記載各深度累積伸縮量，如此就能判定滑動面位置。

圖2-15係地面量測部構造。

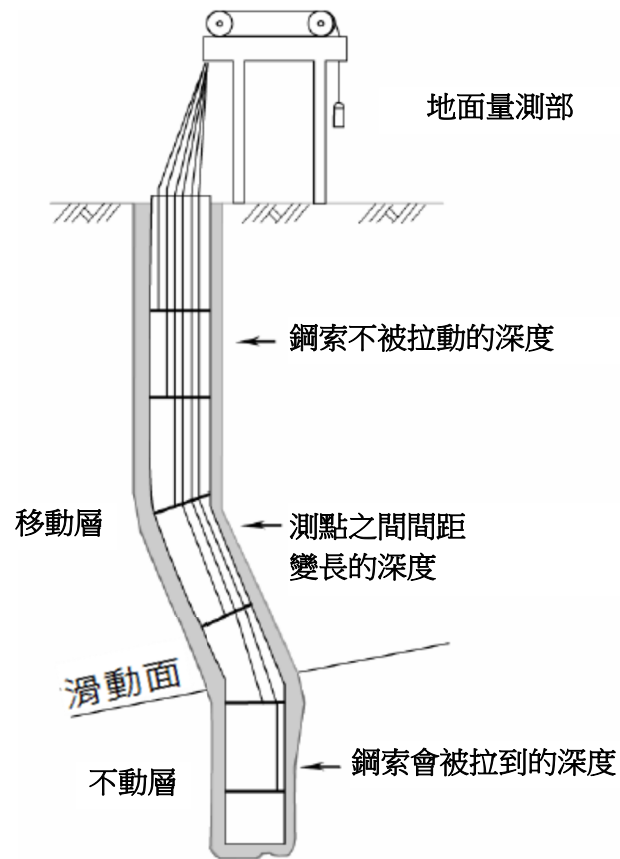


圖 2—1 4 多層移動量計概要圖¹¹⁾

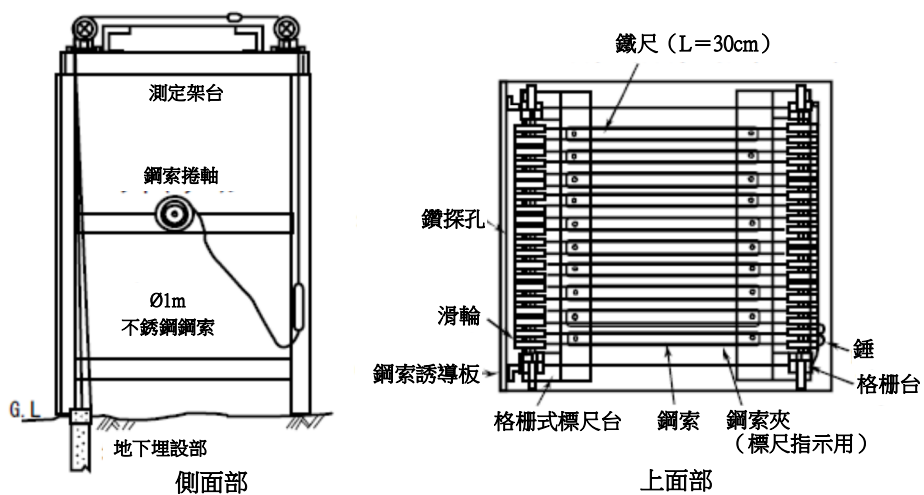


圖 2—1 5 多層移動量計量測部¹¹⁾

7) 以潛變井進行判定

在地滑地挖掘直到基盤岩之套筒式水井，施工後放鬆垂直方向之螺栓，即可形成水井中每10~50cm高度套筒環片累積而成的形狀。若套筒中存在滑動面，某個深度會產生環片走位，就能藉此確認滑動面深度及移動量。利用潛變井時，可觀察滑動面或採取土力試驗使用之不攪動試料。圖2-16為其概要說明。

設置潛變井除了應先觀察開挖面（壁面），並以照片及展開圖來記錄，必要時還須採集土力試驗所需試料。運用潛變井實施抽水試驗等地下水調查，也是有效。

潛變井直徑，考量坑內作業安全性，可設定與集水井相同。

此外，一系列調查完成後，可運用潛變井作為地下水排除工也十分有效。

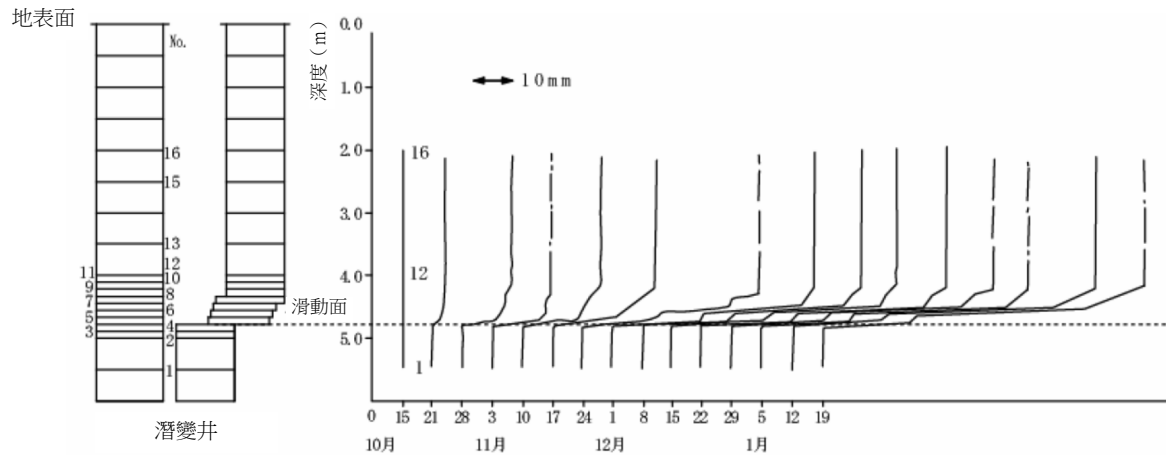


圖2-16 潛變井概要圖¹⁰⁾

8) 量測儀器類之特徵

前述量測儀器性能如表2-4所示。實施滑動面調查應掌握滑動面之位置（深度）及變位量。「滑動面位置（深度）、測定間距」欄記載量測間距最小值。「測定範圍」欄記載實際可測定的最大深度。此外，滑動面變位量代表精度及最大值測定範圍。這些都是標準值，不同產品互有差異。地滑現場設置量測儀器，有必要先確認各產品規格。表2-4說明各種量測儀器的一般機能，基本上並非量測精度佳、測定範圍大的量測儀器。實施滑動面調查須考量能否連續量測、設置是否容易、耐久性如何，以及會不會受積雪影響等。而且，重點是需配合現場狀況選擇適當量測儀器，持續觀測。

表2-4 量測儀器類特徵

	量測項目			
	滑動面位置（深度）		滑動面變位量	
	測定間距	測定範圍	精度	測定範圍
孔內應變計	1.0m	50m左右	（可間接量測）	
孔內傾斜儀	0.5m	50m左右	1.0cm	10cm左右
縱型伸縮儀	（無法測定）			200cm左右
多層移動量計	1.0m	30m左右		200cm左右
潛變井	0.1~0.5m	20m左右	10.0cm	100cm左右

2.4.5 地表變形觀測

精密調查時所實施之地表變形觀測，係以地盤伸縮計、地盤傾斜計、地面測量、GPS測量等，量測地表所發生裂縫、塌陷、隆起等變形，掌握地滑發生與運動機制。

解說

一般地表變形觀測方法如下，其目的如圖2-17所示。

- (1) 以地盤伸縮計實施之方法
- (2) 以地盤傾斜計實施之方法
- (3) 測量之方法
 - 1) 地面測量
 - 2) GPS測量

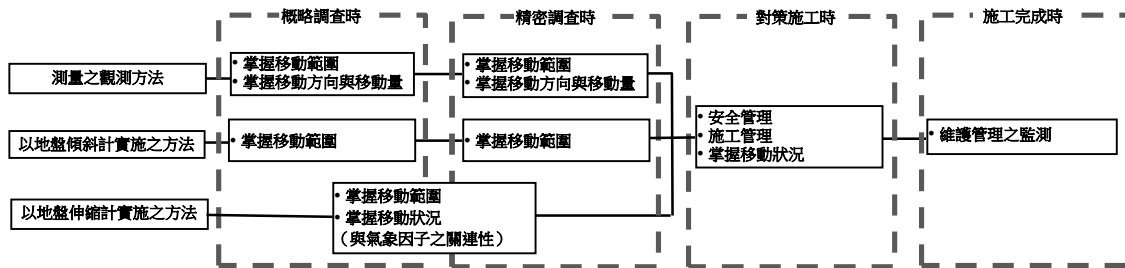


圖2-17 地表變形調查之目的與方法

概略調查、精密調查及對策工施行期間、對策工完成後各階段調查目的互有差異。特別時精密調查期間與施工完成後的調查目的殊異。精密調查目的為掌握地滑機制，施工完成後主要目的為地滑地及對策工的維護管理。

1) 以地盤伸縮計進行調查

地盤伸縮計係測定地滑引致裂縫或高差區間伸縮量的儀器。地盤伸縮計最好設在沿各調查測線之地滑滑動方向。地盤伸縮計觀測值會連續自動記錄。次項地盤傾斜計也是。觀測對象應涵括融雪、梅雨、颱風季等，掌握降雨等所對應地滑移動特性，觀測期間最好大於1年，持續長期觀測。

圖2-18係地盤伸縮計設置方法。鋼鋼線固定樁採具充分斷面、固定能力佳材料並打進地中超過1m。設置間隔原則上小於15m。此外，應全力防止草木接觸或溫度變化引致鋼鋼線伸縮，並以PVC管等保護。此時應避免讓保護管接觸鋼鋼線。地滑冠部位置不明或需掌握地滑整體移動狀況時，可沿主測線連續設置地盤伸縮計。

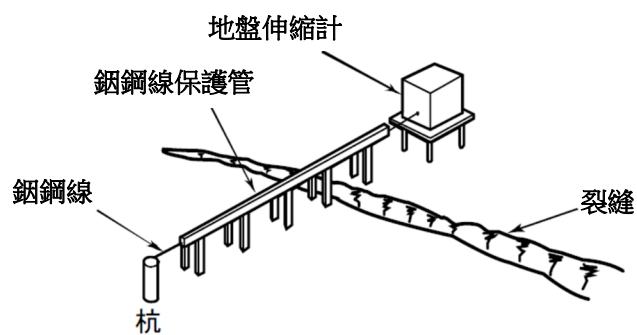


圖 2-18 地盤伸縮計設置概略圖¹⁾

調查結果整理成縱軸為累積地盤伸縮量、橫軸為日時，且能對照降水量或地下水位之圖表。圖2-19為量測結果彙整案例。表2-5所示能與判定基準做比較的資料整理方法同樣可行。

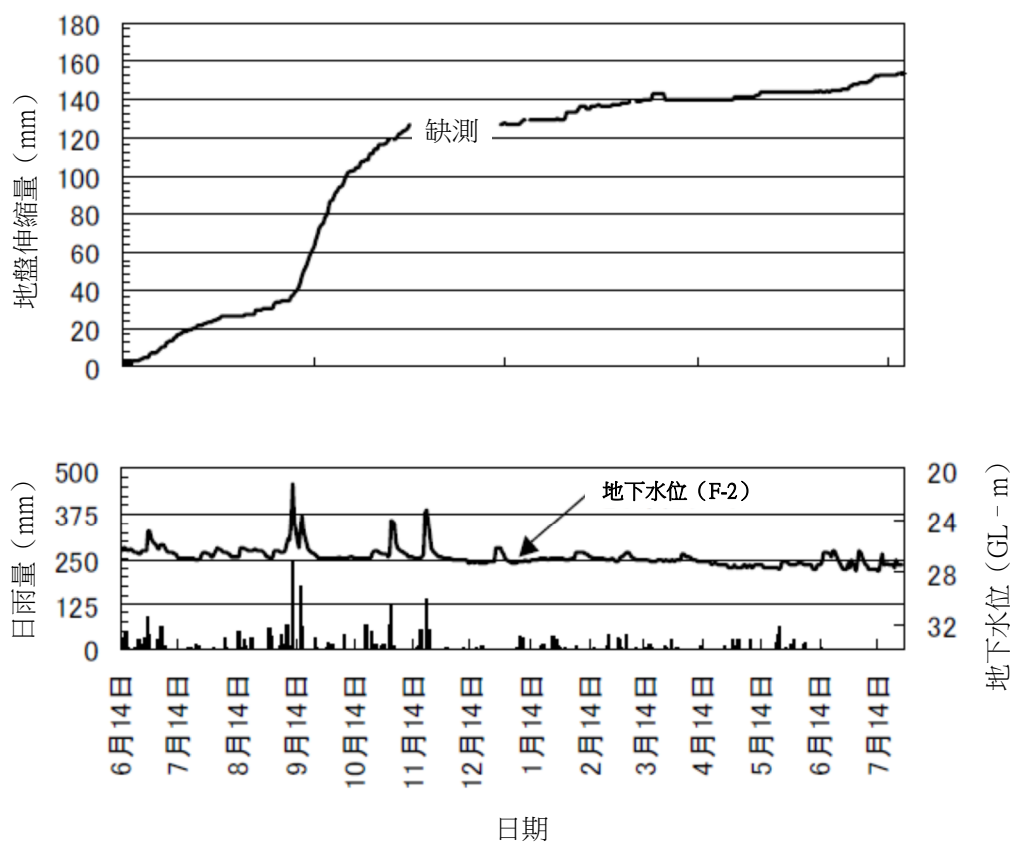


圖2-19 地盤伸縮計測定結果整理案例

表 2-5 依據地盤伸縮儀觀測結果設定之地滑判定基準²⁾之部分修正

變動種別	日變位量 (mm)	累積變位量 (mm/月)	往一定方向 之累積狀況	綜合判定	
				變動判定	運動性等
變動 A	大於1	大於10	顯著	確 定	活躍地運動中、 表層與深層滑動
" B	0.1~1	2~10	稍顯著	準 確 定	緩慢運動中， 黏土與崩積土滑動
" C	0.02~0.1	0.5~2	些微	潛 在	有必要持續觀測
" D	大於0.1	無 (斷續變動)	無	異 常	局部地層變動及其他

2) 以地盤傾斜計進行調查

地盤傾斜儀可設在地滑地面及沿主測線之滑動塊體上方坡面，探討地滑擴大可能性。此外，必要時可在滑動塊體兩側設置。設置地盤傾斜計之平台，須從地面挖深約20cm，然後如圖 2-20 所示打設混凝土塊，表面鋪設水平之玻璃板。此儀器設置台有必要事先覆蓋儀器收納箱，傾斜計有水管式、隨動式、差動變速式等等。水管式測定時須讓 2 支傾斜儀以 N-S、E-W 2 方向垂直交叉，設置時傾斜計之主軸（有分度板之軸）設定在 N、E 側。

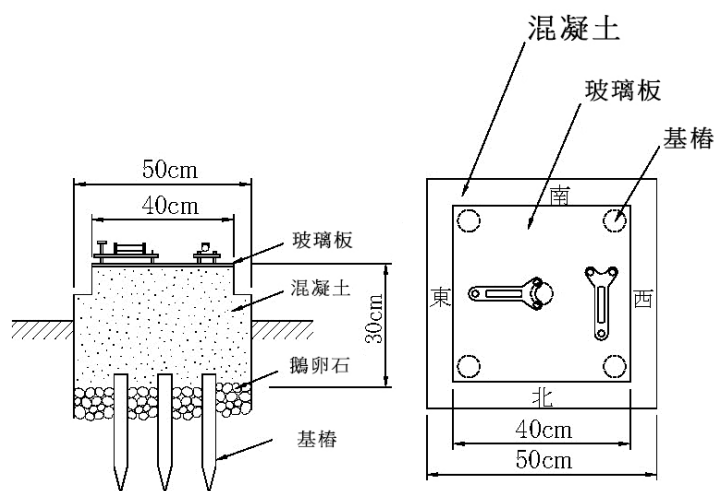


圖 2-20 地盤傾斜計設置案例¹²⁾ 補充

調查結果縱軸為傾斜累積量與日傾斜變動量，橫軸則為日期，整理成和降雨量或地下水位之對照圖，計算傾斜累積速度與日平均傾斜變動量。圖 2-21 係測定結果彙整案例。地滑運動之有無為主的判定基準為為其累積性，運動狀況則可由變動量掌握。由表 2-6 所示之判定基準可判斷地滑變動狀況。

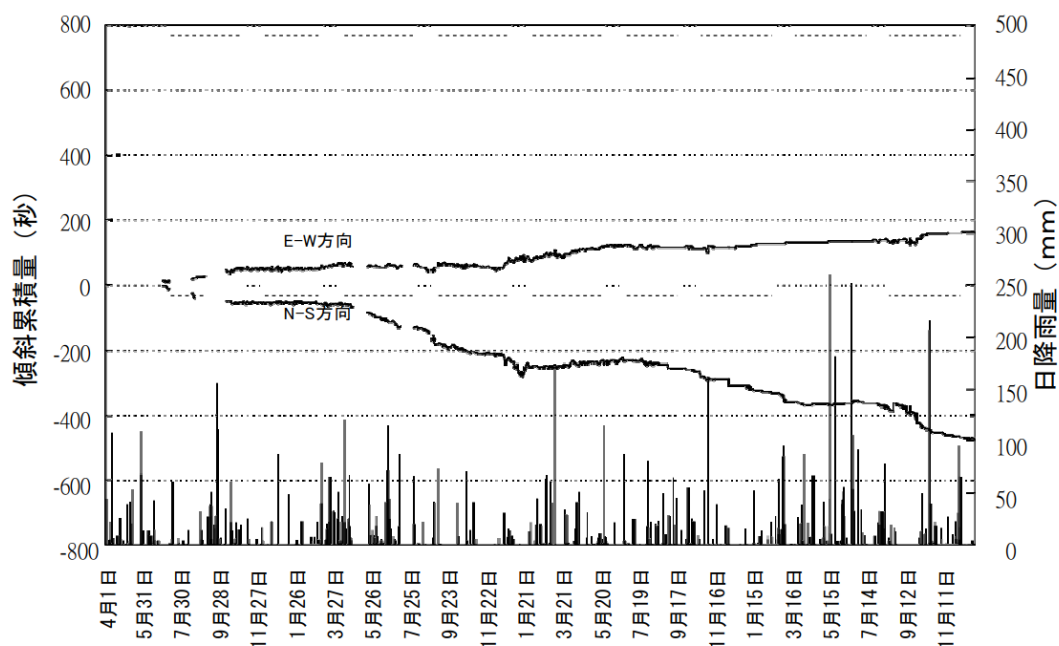


圖 2－21 地盤傾斜計測定結果

表2-6 依據地盤傾斜計觀測結果設定之地滑判定基準²⁾部分修正而成

變動種別	日平均變動量 (秒)	累積變動值 (秒/月)	傾斜量有無 累積狀況	傾斜運動方向與 地形之關聯性	綜合判定	
					變動判定	活躍性等
變動 A	大於5	大於100	顯著	有	確定	活躍地運動中
" B	1～5	20～100	稍顯著	有	準確定	緩慢運動中
" C	小於1	20 以下	稍微	有	潛在	有持續觀測之必要
" D	大於3	無 (斷續變動)	無	無	異常	局部地層變動及其他

3) 以地面測量進行調查

以地面測量之調查主要應在地滑運動方向不明或運動劇烈時實施。

以地面測量進行之調查包含以地滑運動區域外固定點為基準之橫斷面通視測量或移動樁位測量、三角測量、航空照片測量等。

圖 2－22 係移動樁位測量之結果。由圖 2－22 可確認地滑運動之分布與運動方向。

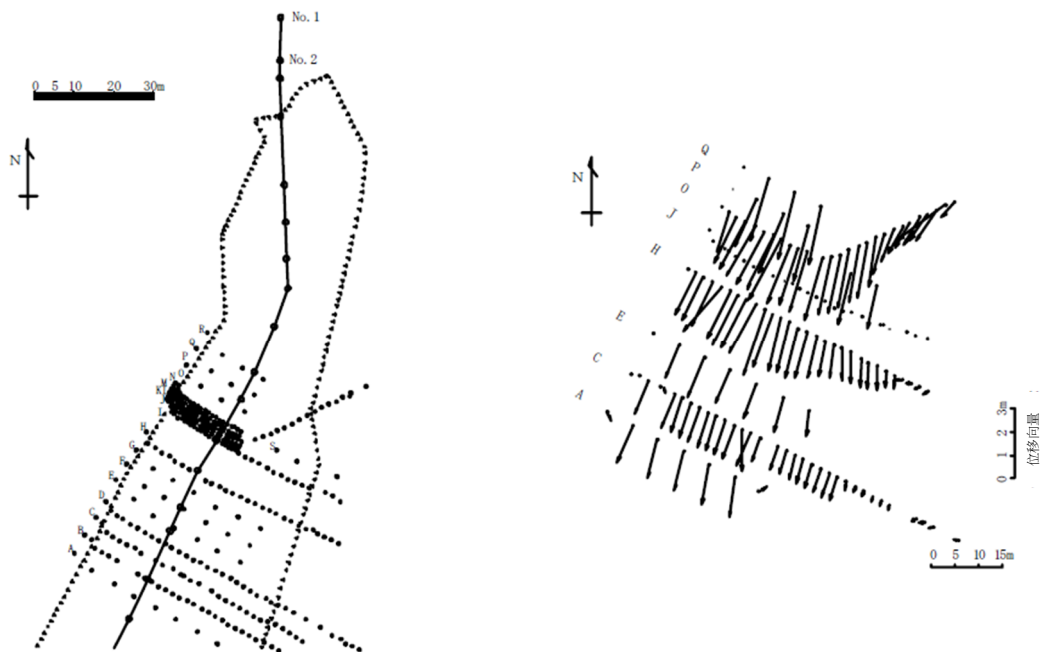


圖 2-22 移動樁位測定結果¹⁾

4) GPS 測量調查

GPS測量主要應用於地滑滑動方向不明或地滑區寬闊而有必要實施移動量觀測時進行。

本方法以運用複數人工衛星、能自動測量觀測點之三維座標系統，其構成如圖 2-23 所示，包含太空部分、使用者與控制部分，優點是各觀測點不須有通視的必要性、受天候影響小、可進行夜間觀測與長時間連續觀測。測量誤差大小因人工衛星數目而定，大多為 $\pm 5 \sim 10\text{mm}$ 。但若衛星數目太少或天候不佳狀況下測量，精度會降低。GPS測量即使每次測定誤差稍大，但連續觀測即可掌握變動方向。

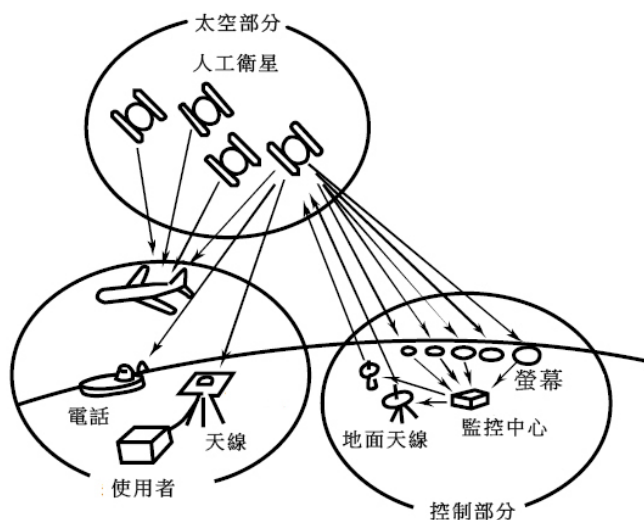


圖 2-23 GPS 測量概念圖¹³⁾

5) 其他量測儀器之調查

(1) 光纖感測器調查

通過光纖的光會受溫度、應變、彎曲等影響而產生特性（光之強度、頻率、波長等）之變化，因此，光纖具備感測機能。光纖感測器不需電源，抗落雷與電磁波，適合野外量測，因此被大量運用於坡面監測相關研究。目前光纖感測運用於電氣式量測機器並已實用化的有變位計、傾斜計、水位計、方位計、溫度計等。地滑量測方面也持續開發地盤伸縮計、地盤傾斜計、管式應變計、水壓式水位計等。此外，許多人利用一條光纖可實施多點量測的優點，持續開發掌握地滑面運動狀況之方法¹⁴⁾。

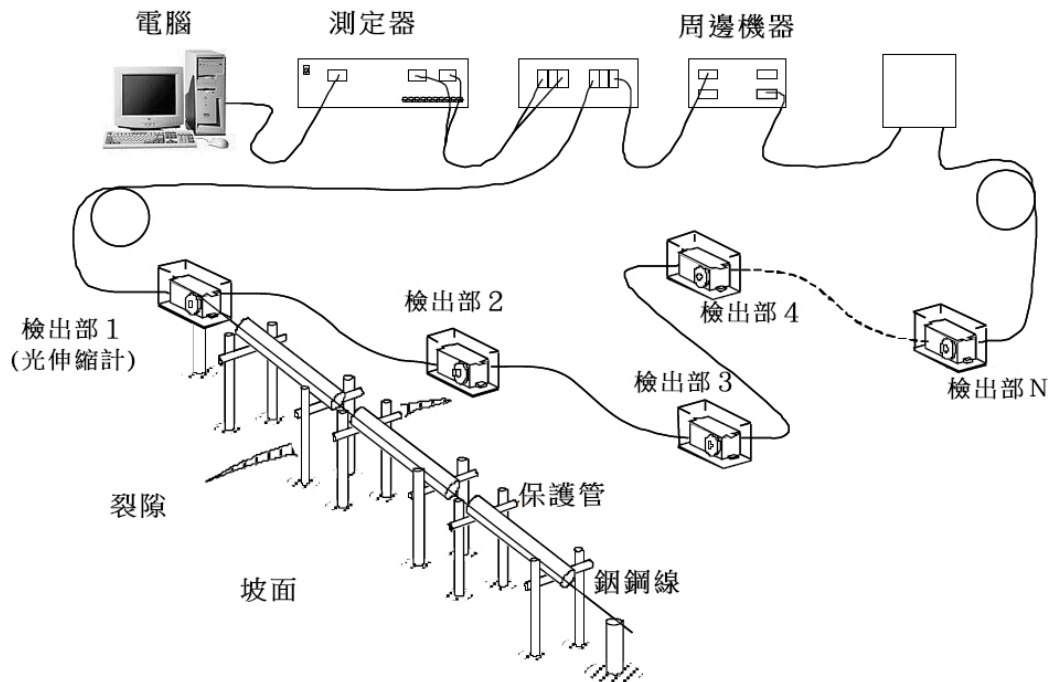


圖 2-24 運用光纖感測的地盤變位全測站儀觀測¹⁵⁾

(2) 雷射掃描調查

地滑發生後想取得地形圖或難以進入地滑區內而需實施動態觀測時，地面3D雷射掃描測量已被普遍應用。

本方法量測原理與全測站儀等光波測量相同，係由儀器內部鏡面迴轉改變雷射方向，發出每秒數千次高速雷射光。3D掃描數據可用來製作地形圖，或以某基準點數據之差分計算移動量。

地滑移動觀測方面，設置標板的免稜鏡光波測量也是有效方法。

此外需注意，上述方法在量測距離約100m時，會有數cm量測誤差。

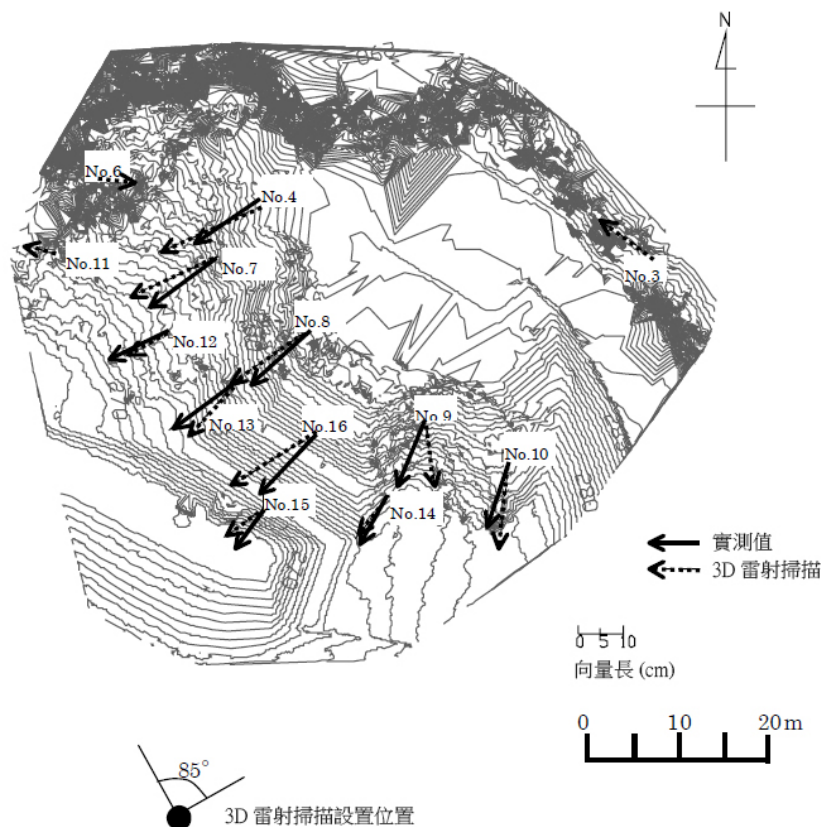


圖 2－25 以雷射掃描測定移動量之案例¹⁶⁾

2.4.6 地下水調查

地下水調查旨在取得實施邊坡穩定分析或檢討對策工所需基礎資料，調查內容包含地下水供給地滑區之路徑、地滑區之地下水分布與流動趨向、作用在滑動面之孔隙水壓等。

地下水調查應配合目的實施地下水位觀測、孔隙水壓觀測、鑽探過程的水位變動測定、地下水檢層、地下水溫度檢層、孔內流向與流速測定、地下水追蹤調查、電氣探測、地溫探測、水質探測與簡易抽水試驗等。

解說

地下水調查內容如表 2－7 所示，應配合目的進行必要之調查。

表 2－7 地下水調查之目的與種類¹⁾ 部分修正而成

目 的	調 查 項 目
掌握作用在地滑面的孔隙水壓	孔隙水壓測定，地下水位測定
檢討邊坡地下水位變動與降雨之關聯性	孔隙水壓測定，地下水位測定
掌握邊坡地下水流動層	地下水檢層，簡易抽水試驗
掌握邊坡地下水流動路徑	地下水追蹤，水質分析
掌握邊坡地下水分析	電氣探測，地溫探測，水溫調查，水質分析
掌握邊坡透水性	透水試驗，簡易抽水試驗

1) 孔隙水壓調查

(1) 地下水位觀測

地下水位觀測旨在測定調查鑽探孔之水位，掌握降雨及地下水變動之關聯性及作用在滑動面之孔隙水壓，沿主測線設置之鑽探孔有持續觀測的必要性。

需連續測定地下水位時，可使用自記式水位計。自記水位計有浮球式（圖 2－26）與水壓式（圖 2－27）二種。

浮球式有浮球與孔壁間摩擦或重錘與浮球間不平衡、計器摩擦太大等狀況，有時會無法順利追隨水面變化。特別是地下水位變化速度比河川等慢，需注意維持這種水面追隨機制。同一鑽探孔內同時放入重錘與浮球將造成摩擦容易過大，有必要鑽探孔旁邊另外開挖重錘用孔，浮球與重錘分開設置。

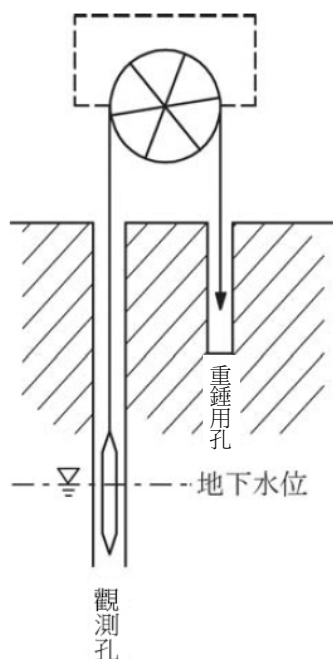


圖 2－26 浮球式水位計¹³⁾

水壓式係於接近地下水位觀測孔孔底深度地點設置水壓式水位計，水位計之電子訊號透過纜線保存在地上部設置之記錄器。但這種量測方法也有孔底泥土淤積、量測儀器老朽化問題，需定期維護檢查。

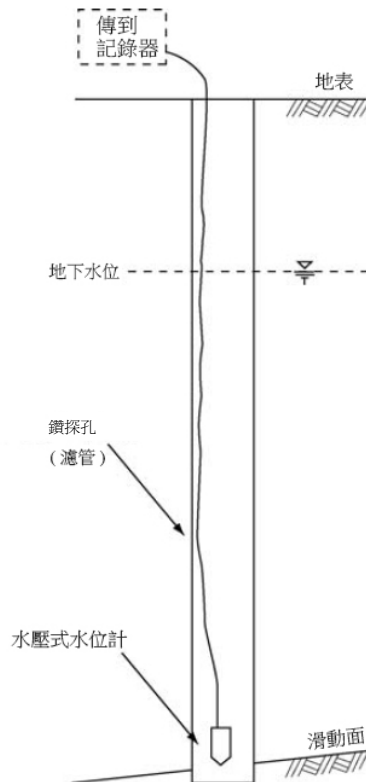


圖 2-27 水壓式水位計

另外也有探針式水位計簡單地下水位觀測法。探針式水位計刻度標尺尾端設電子接點，接點到達水面會形成電子迴路導電，以電流計偵測或是亮燈的方式，都能正確測定水面深度。

鑽探過程可能貫穿數條地下水帶，因此，除了孔內水位，也有必要同時記錄湧水、逸水、鑽探循環水之顏色等。鑽探結束後也有必要長期觀測孔內地下水，掌握地下水位。

地下水觀測孔有全面過濾孔與部分過濾孔之分，若有複數地下水帶，全面過濾孔的觀測水位無法呈現正確之水位，因此最好使用局部過濾孔以進行量測。

地下水位觀測結果應整理成當日降雨量與地表變動量之對照圖，作為檢討與地滑移動關聯性及地滑對策工之基本資料。

(2) 孔隙水壓量測

量測滑動面附近孔隙水壓可直接以孔隙水壓計量測，或以只有滑動面附近濾管加工之地下水位測定專用孔（局部過濾孔）測定孔隙水壓。這兩種方法都需事前掌握滑動面與流動層。

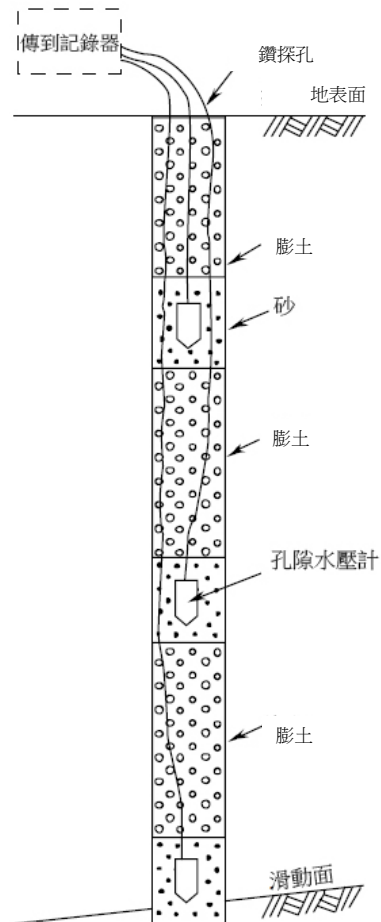


圖 2－28 埋設型孔隙水壓計（以複數深度量測時）

地滑地內地下水文狀況複雜時，有必要量測複數深度之受壓地下水帶孔隙水壓（圖 2－28）。

圖 2－29 為孔隙水壓量測案例。

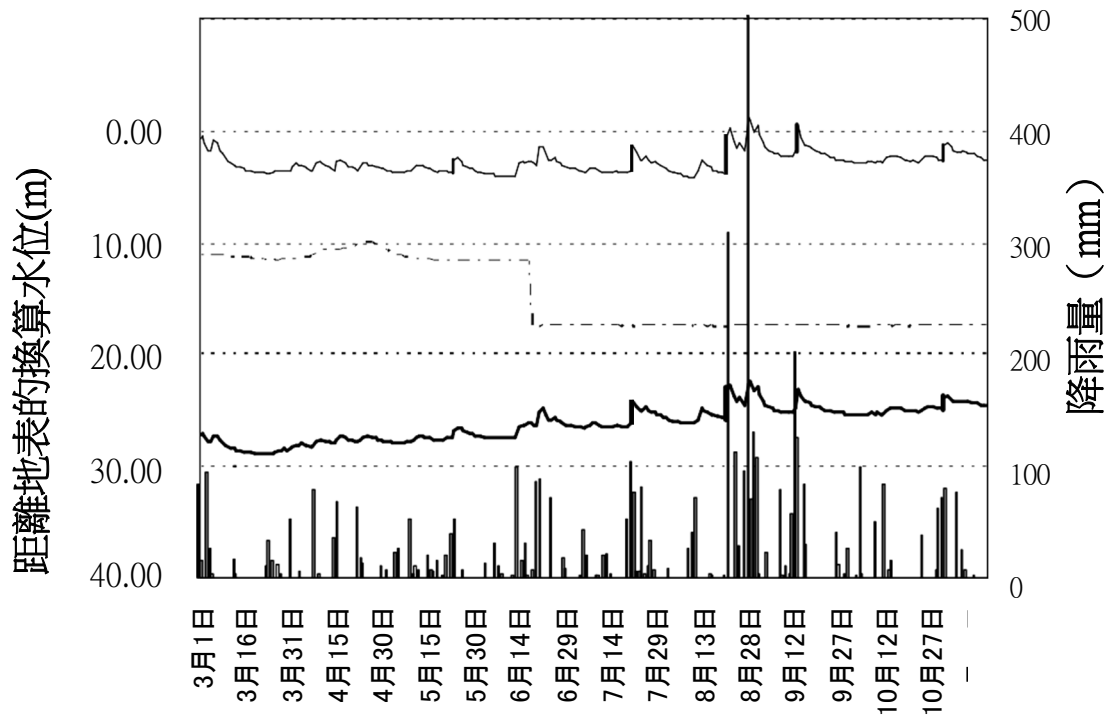


圖 2-29 孔係水壓量測案例

2) 地下水分布調查

有利用鑽探孔進行調查之 (1)~(5)以及進行面的調查(6)~(9)等方法。

(1) 鑽進中的水位變動

地滑區很可能在鑽探調查過程中出現孔壁崩塌或擠壓凸出等狀況，將套管插入抵達鑽進深度時也常見此狀況。此時可只掌握掘進前端之地下水文狀況，由鑽進中之水位變動評估地下水文狀況。

分析套管插入深度與鑽探掘進前後水位差等，可判斷受壓地下水帶與透水層、漏水層等。圖 2-30 係鑽進中水位變動整理案例。由此圖可知，10 月 5 日作業開始前之水位還高於 10 月 4 日作業結束時的水位。由此可推估，深度 4.00~7.00m 處有地下水帶分布。

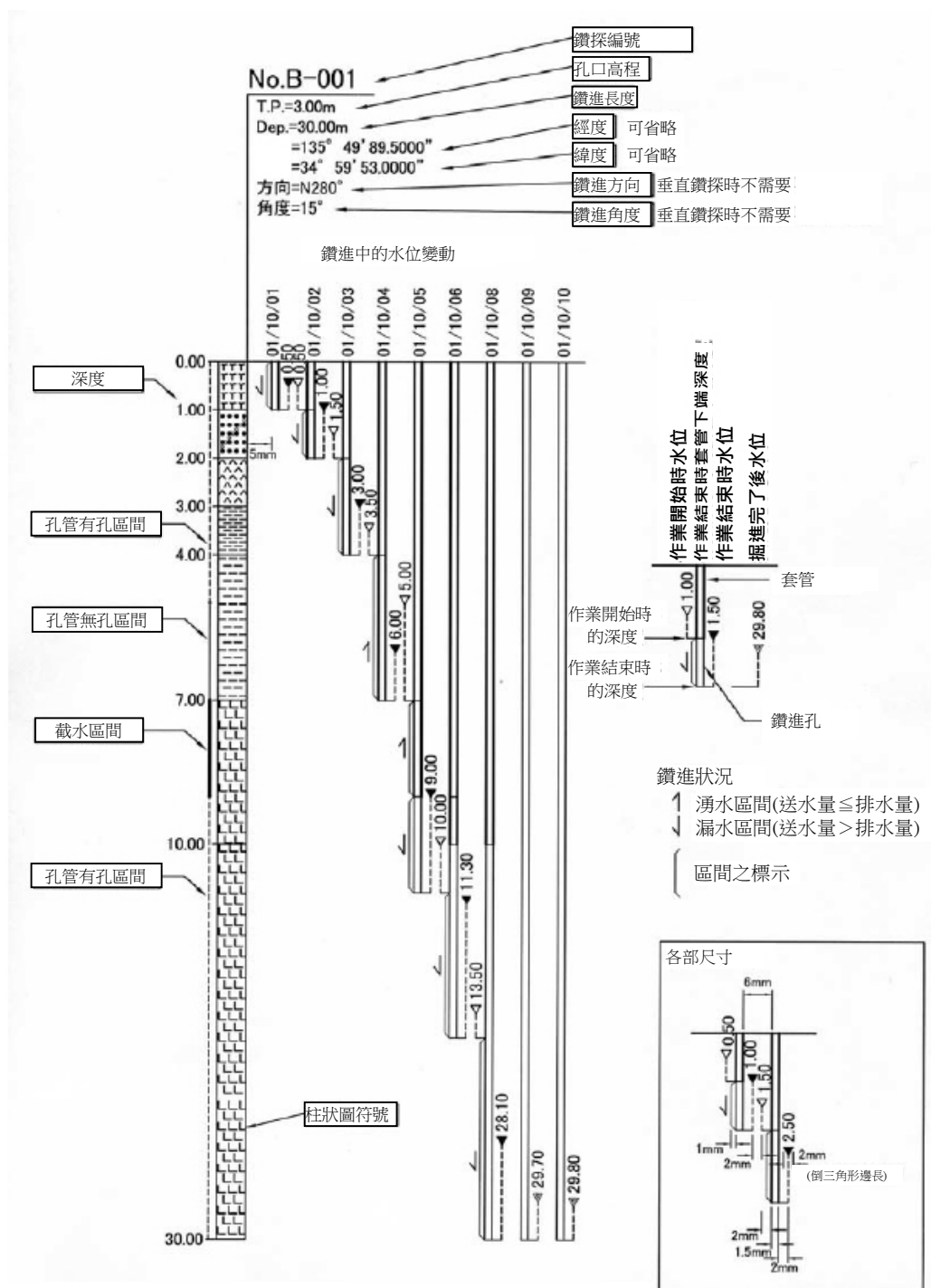


圖2-30 鑽進中水位變動記載案例⁶⁾局部修正而成

(2) 地下水檢層

地下水檢層係利用調查鑽探孔之孔內水，沿調查鑽探孔調查、分析地下水流動層位置及流動狀況。

測定順序為首先測定鑽探孔內水之電阻值，然後以達到該值約1/10之電阻值為目標，將食鹽等電解物質均勻注入孔內。地下水流動面的食鹽水被流動地下水稀釋會增加電阻值，測定隨時間經過之變化，即可確認流動層。量測部有電極每25cm連結電線之多極式及電極只有前端連結電線之單極式。電極插入鑽探孔內倒入靜置狀態食鹽水，然後以10、20、30、60分鐘間隔測定孔內水的電阻值。

若鑽探孔穿過不透水層，滑動面下方水位降低，就可能無法測出真正的地下水位與流動層。為因應這種可能狀況，鑽進各階段都應實施地下水檢層。此外，人為改變孔內水位可能可以因此掌握自然狀態下的潛在流動層。

其結果以食鹽投入後或10分鐘後為基準，讓每小時的電阻值變化在地質柱狀圖上呈對比地完成記載，然後檢討與地下水流動層位置及地層之關聯性。此外，地層斷面圖先記載這項結果，可讓地下水流動路徑更明確。地下水檢層結果可依表2-8、圖2-31，判定屬「流入檢出」、「上升流狀檢出」、「下降流狀檢出」、「未檢出」或「其他」之何種。圖2-32係地下水檢層及其判定案例圖示。判定地下水流動層，不能只依賴地下水檢層結果，還須依據鑽進中之水位變動，鑽探岩心性質狀態綜合判定。

一般常使用鹽分置換成電阻率的流動層調查法，除此之外的測定溶氧方法也已實用化¹⁷⁾。此外，也有人使用感測器搭配電導度計或光纖等量測方法¹⁸⁾。

表 2 - 8 地下水檢層結果判定劃分⁹⁾

地下水檢層結果	圖案	備 註
流入檢出	→	如圖2-31(a)所示，確認有地下水流入之區間
上升流狀檢出	↑	圖2-31(b)所示，確認有變化之區間
下降流狀檢出	↓	圖2-31(c)所示，確認有變化之區間
未檢出		電阻率幾乎都無變化之區間
其他		流入檢出、上升流狀檢出、下降流狀檢出、未檢出之外的區間

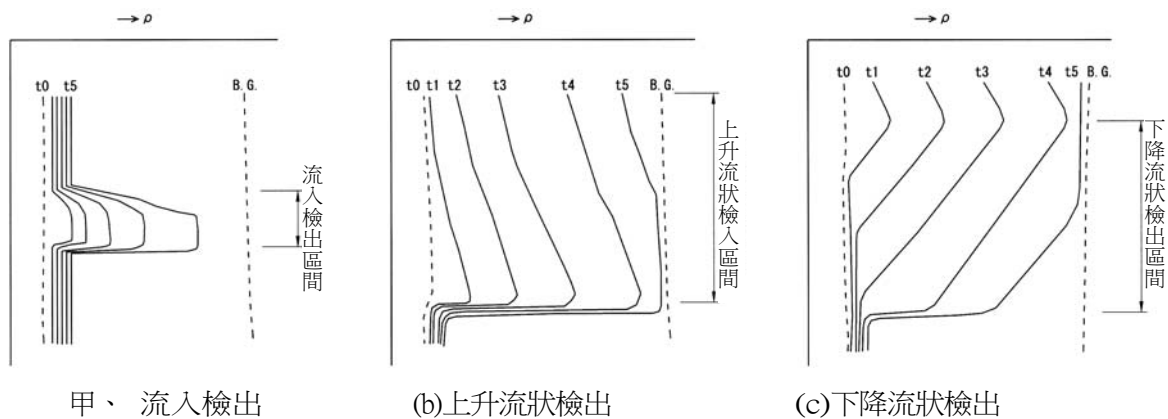


圖 2-3 1 地下水檢層結果之判定⁶⁾

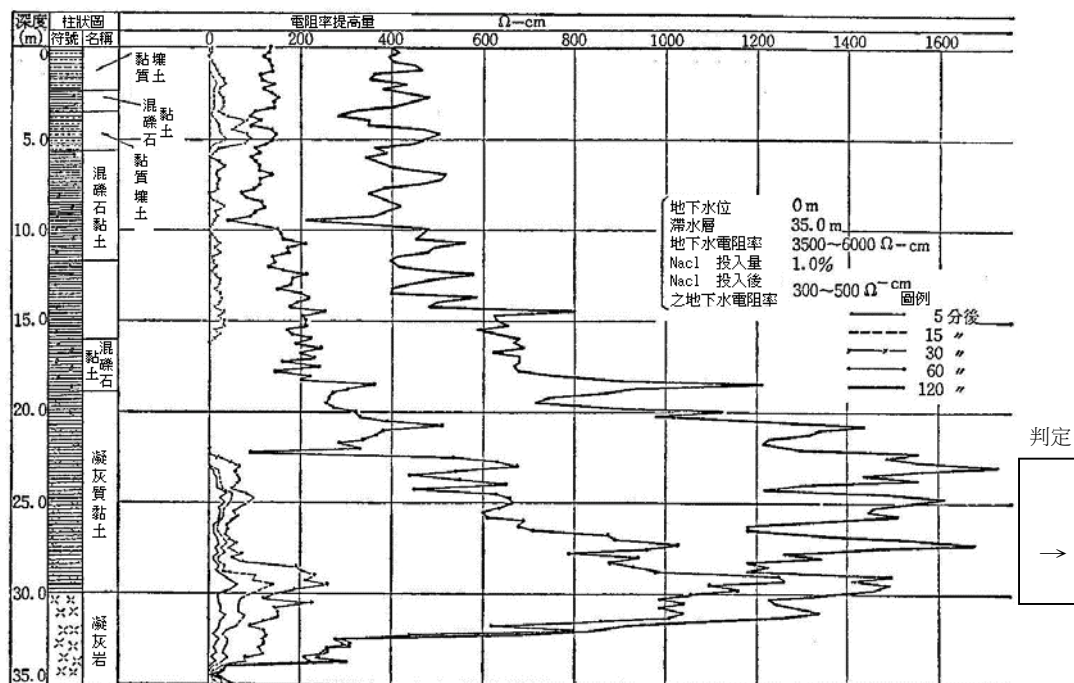


圖 2-3 2 地下水檢層測定結果²⁾

(3) 簡易抽水試驗

簡易抽水試驗利用調查鑽探之孔內水，算出地下水流動層及地層滲透係數。

調查方法為鑽探開挖時每 3 ~ 5 m 設置裸孔，以抽水機或簡易取水器將孔內水汲高到一定水位為止，算出水的汲上量，到達一定水位後停止汲水，並算出時間~水位恢復曲線。由恢復曲線可算出每個深度的滲透係數。

進行地下水分析時，地層的滲透係數相當重要。此外，即使地下水檢層無法取得良好結果，有時仍能以簡易抽水試驗取得良好結果，因此最好實施簡易抽水試驗。

(4) 地下水溫度檢層

地下水溫度檢層係將鑽探孔內水換成溫水，由地下水流入所伴隨產生之溫度變化調查、分析地下水流動層之位置及流動狀況。

目前已開發出多點量測感測器與量測系統，能短時間完成量測與分析。

圖 2 - 3 3 係多點溫度檢層裝置概要說明。

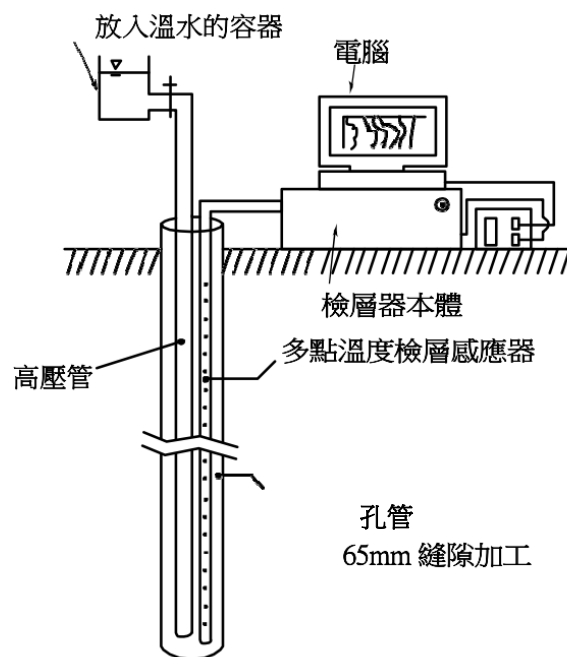


圖 2 - 3 3 多點溫度檢層裝置概要圖¹⁹⁾

(5) 孔內流向與流速測定

調查地下水流向與流速之方法²⁰⁾有①利用螺旋槳上裝置流向與流速計直接量測之方法，②利用孔內攝影機目視地下水內流動之不純物（示蹤劑，tracer）追蹤、調查其速度與方向的方法，③各種示蹤劑進行機械性量測的方法。其中，①與②方法流速緩慢時水流紊亂，難以量測，因此使用③方法。

(6) 地下水追蹤調查

地下水追跡係利用調查鑽探孔等，將水溶性色素、食鹽等無機藥品示蹤劑投入地下水，然後由湧水、鑽探孔、水井、溪流等進行檢出，可推估水流路徑（流動方向）。檢出需與事前測定之各取水位置背景值做比較。

示蹤劑投入地點可選在坡面上部，應注入大量水讓示蹤劑確實流出，其水頭容易使之滲透。取水應在相關區域更多鑽探孔、湧水地點、水井、溪流實施。若以鑽探孔進行，考量透水層位於水面下時示蹤劑擴散慢、很慢抵達地下水流動層或有濃度變薄、流向不明等狀況，最好參照地下水檢層結果，在透水層位置進行取水。因此，最好使用可再任意深度取水之取水器具。投入示蹤劑後進行取水，第一天分別為投入後0.5、1、2、4、8小時取水，第2天之後每日取水1次，最少須實施20日。各別採水點示蹤劑檢出結果與檢出時間在平面圖標示，可清楚看出地下水流動路徑。此外，示蹤劑應使用無毒產品，調查實施前至少一周每日測一次背景值濃度，並以超過該分散值的值進行檢出（參照圖2-34）。

地下水追蹤調查可從示蹤劑投入孔與和採水孔距離及檢出時間推定透水係數，也可作為設計地下水排除工之基礎資料。

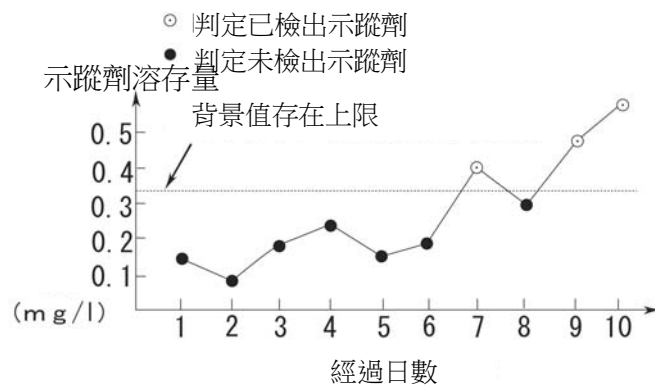


圖2-34 示蹤劑檢出結果圖¹⁾

(7) 電氣探測

電氣探測多用來掌握廣域地下水分布狀況，一般多使用電阻率法。

地電阻率會因為岩石或土之組成、破碎帶及裂縫所形成孔隙率、飽和度、地下水電阻率、風化及變質所形成黏土礦物含有量等而變化。因此，實施電氣探測有時也可了解地滑土體特性。

(8) 地溫探測

地滑區長期測定湧水地點及排水鑽探孔排水溫度，容易發現水溫一整年呈現 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 左

右的穩定數值。反之，1m深度時地表溫度多呈現 $\pm 10\sim 13^{\circ}\text{C}$ 明顯變化。可見地表溫度與有流動地下水之地溫有溫度差，而由這種溫度差可推估地下水脈位置。

實施1m深處地溫量測，可用鐵棒將熱敏電阻溫度計插入已打通之孔底，在溫度計部與地溫同化5～10分鐘後測定。

(9) 水質調查

依據陸地水水質進行地滑區分布之地下水分類並比較、檢討其性質，可推估地下水流動路徑以及地表水與地下水之關係。一般而言，地下水分為降雨後滲透進入地中後短時間即湧出之淺層地下水與長期滯留地底下之深層地下水。

淺層地下水滯留地底時間短，其水質組成與陸地水相近，常見於移動層厚度較薄的地滑或崩塌地、大規模地滑末端及道路挖方坡面等。深層地下水可分為沿基岩內裂縫、斷層、破碎帶流動之地下水，以及沿基岩表面地形流動之地下水。後者具淺層地下水與前者之中間性質，可視為兩者混合之地下水。

調查時可在地滑及其周邊地下水露頭（湧水、水井、鑽探孔、池沼、溪流等）各取水約1公升，進行水質試驗，確認、推估地下水流動路徑。一般而言，試驗項目多依據國土調查法水質調查作業規定準則，實施項目為水溫、pH、EC、BOD、 HCO_3 、Cl、 SO_4 、 SiO_2 、Ca、Mg、Na、K等。

2.4.7 土力試驗

土力試驗可掌握地滑面強度或設計對策工所必要之地盤強度。

掌握滑動面強度需針對不同目的實施直剪試驗（直接剪力試驗）、三軸壓縮試驗、環剪試驗（環形剪力試驗）等土壤或岩心試驗。

掌握設計對策工所必要之地盤強度，應實施孔內水平載重試驗、標準貫入試驗等。

解說

試驗試料多使用鑽探取得之岩心試體，也可在地滑滑落崖或趾部、集水井及排水廊道等施工而發現滑動面露頭時進行。

剪力強度有尖峰剪力強度、完全軟化強度、殘餘強度，這些數值何者可運用於實際的地滑穩定分析，相關調查研究並無明確答案。此外，滑動面整體之剪力強度推估也有差異，因此如「3・2・2・1 土力強度參數」所示，大多使用所謂的「逆算法」。不同土力強度參數下的地下水排除工效果好壞差異很大，因此，土力試驗取得之直剪強度參數多半只能當作參考值。

掌握設計對策工設計所需強度的調查，可實施計算地盤反力係數之孔內水平載重試驗以及標準貫入試驗等。

1) 物理試驗

物理試驗旨在調查土壤的物理性質，其中的地滑調查，主要是針對滑動面材料實施含水比試驗、粒徑試驗、液性與塑性限度試驗、濕潤密度試驗等。

此外，物理試驗可比力學試驗用較短時間取得結果，因此，使用岩心鑽探之深度方向物性值與柱狀圖對比標示，也可判定滑動面。

2) 直剪試驗

滑動面黏土直剪試驗將試體放入上下可分開的剪力盒，在垂直應力載荷的狀態下，讓剪力盒的一部份以直線水平移動的方式對另一部份進行剪力試驗，以數個試體在不同壓密應力下進行試驗，藉以算出強度參數 c 與 ϕ 。也有人使用反覆直剪試驗機求取殘餘強度，並已實用化。

3) 三軸壓縮試驗

三軸壓縮試驗的試體係直徑3.5~5.0cm，高8.0~12.5cm之圓筒形，以壓縮的方式間接算出剪力強度，可控制作用在試體之應力或孔隙水壓。但有只能壓縮約15%試體高度，無法量測殘餘強度等缺點。

4) 環剪試驗

滑動面黏土環剪試驗之試體成中空環狀，大多內徑6.0~10.0cm，外徑 10.0~20.0cm，高1.0~2.0cm。此試驗特徵為，剪力沿環狀圓周方向前進，因此可形成無限大的剪力變位，一般而言，大變位形成之滑動面黏土強度特性（殘餘強度）再現性相當高。

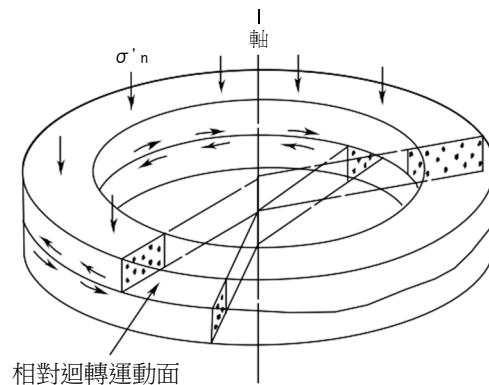


圖 2-35 環剪試驗器²¹⁾

5) 試料種類與強度別之試驗機選定

表 2-9 為針對不同試驗試料所選定強度別之試驗機選定。

尖峰強度多運用不擾動試體，以三軸壓縮試驗求取，但也可以反覆直剪試驗或環剪試驗求取。完全軟化強度多以運用泥漿試料之三軸壓縮試驗求取，但也可利用泥漿試料或不擾動試體之反覆直剪試驗、環剪試驗求取。殘餘強度無法以三軸壓縮試驗測定，必須以反覆直剪試驗或環剪試驗其中一種方法量測之。此外，含滑動面之試料可真實重現滑動面強度狀態，但難以設定在試驗機臺上測試。

上述方法可由地滑活動狀況判斷並實施。

表 2-9 試料種類與強度別試驗機選定^{2,2,23)}

強度 試料	尖峰強度	完全軟化強度	殘餘強度	剪切試驗法
不擾動	○、 $\overline{CU}$	×	×	三軸壓縮試驗
	△、 CD 、Ⅲ	△、 CD 、Ⅱ	○、 CD 、Ⅰ	反覆直剪
	△、 CD 、Ⅲ	△、 CD 、Ⅱ	○、 CD 、Ⅰ	環剪
泥漿	×	○、 $\overline{CU}$	×	三軸壓縮
	×	△、 CD 、Ⅲ	○、 CD 、Ⅰ	反覆直剪
	×	△、 CD 、Ⅲ	○、 CD 、Ⅰ	環剪
預切削	×	×	×	三軸壓縮
	×	×	○、 CD 、Ⅱ	反覆直剪
	×	×	○、 CD 、Ⅱ	環剪
含滑動面	△、 $\overline{CU}$ 、或 CD			三軸壓縮
	○、 CD 、Ⅱ			反覆直剪
	○、 CD 、Ⅱ			環剪

測定強度

○：可利用
△：有時可利用
×：不可能利用

試驗條件

CU ：壓密不排水
(孔隙水壓測定)
 CD ：壓密排水

剪切位移量

Ⅰ：大幅提高
Ⅱ：提高
Ⅲ：很少

2.5 解析

基於預備調查、概略調查與精密調查之結果，研究與判斷地滑發生素因、地滑發生之誘因、地滑塊體之範圍與規模、滑動面形狀與位置、地下水狀況等地滑之發生與運動機制，製作地滑運動塊體圖及地滑斷面圖。

解說

解析時應依據表 2－10 所示調查結果，分析地滑之機制，製作地滑運動塊體圖及地滑斷面圖。

表 2－10 解析項目與利用之調查

		利用之調查						
		預備調查	現地踏勘	製作地形圖	地質調查	滑動面調查	地表變動調查	地下水調查
解析項目	製作地滑運動塊體圖							
	地滑運動塊體圖	○	○	○			○	
	土地利用與構造物等	○	○					
	地滑地形之特徵		○	○				
	各種調查觀測位置與結果				○	○	○	○
	滑動面等高線圖		○	○	○	○	○	
	製作地滑斷面圖							
	地質斷面圖	○	○		○			
	地下水位分布		○					○
	土地利用與構造物等	○	○					
	地滑斷面形狀之特徵		○	○	○	○		
	各種調查觀測位置與結果				○	○	○	○
	地滑機制解析	○	○	○	○	○	○	○

1) 地滑機制解析

若要反映調查結果到對策計畫，地滑機制解析應綜合分析地滑調查結果，探討、瞭解地滑發生之素因、地滑發生誘因、地滑塊體之範圍與規模、滑動面形狀與位置、地下水，製作地滑運動塊體圖與地滑斷面圖。此外，除了說明對策計畫構想，也應附具各種調查結果。

(1) 地滑發生之素因

一般而言，地滑區有容易致生地滑之素因，即使後述人為誘因所引致地滑，其發生主要因素也幾乎都起因於某種自然性要因。具體素因有地形與地質（土壤）、地質構造、地下水狀態等。

(2) 地滑發生之誘因

有前述發生地滑素因之地區，進入集中豪雨與梅雨期等雨季，以及融雪產生逕流水或有地震及其他各種自然環境變化（河川所造成的坡趾淘刷及地滑區內之地表與地下水流路變化、阻塞等）狀況，都可能成為誘因而誘發地滑。

另一方面，有前述素因地區若於地滑冠部施作填方（頭部載重）或於坡趾部實施挖方（坡趾阻抗降低）以及坡面淹水等，都可能成為人為誘引發地滑。此外，火山地帶也可能因為火山噴氣引致溫泉變質作用，造成地滑。

(3) 地滑塊體之範圍與規模

特別是以地表變動調查結果為中心，決定整體地滑範圍，並依據變動形態劃分地滑塊體，了解這些運動方向、移動狀況與降水量等的關聯。另外，也須了解各地滑塊體面積及土方量。

除此之外，應依據各項調查結果，掌握今後地滑塊體移動可能性及範圍。

(4) 滑動面形狀與位置

特別是以地滑面調查結果為中心，掌握滑動面形狀及其位置（深度）、地質與地質構造之關聯性。

(5) 地下水

特別是以地下水調查結果為中心，探討地下水分布與地下水位變化狀況、地下水流動方向、水質區分等與地滑滑動之關聯性。

2) 地滑運動塊體圖

地滑運動塊體圖係為解析之基本資料，應於地形圖註記滑動塊體（圖 2－3 6）。

製作方法是在地形圖上以虛線標示預備調查、概略調查及精密調查結果所取得地滑運動塊體等等。此時也應以虛線標示地盤傾斜計等所推估之潛在地滑範圍。另外，必要時也應製作說明滑動面分布之滑動面等高線圖。

完成檢討對策計畫後，也應在地形圖上記錄對策工及對策工之主要規格、項目等。

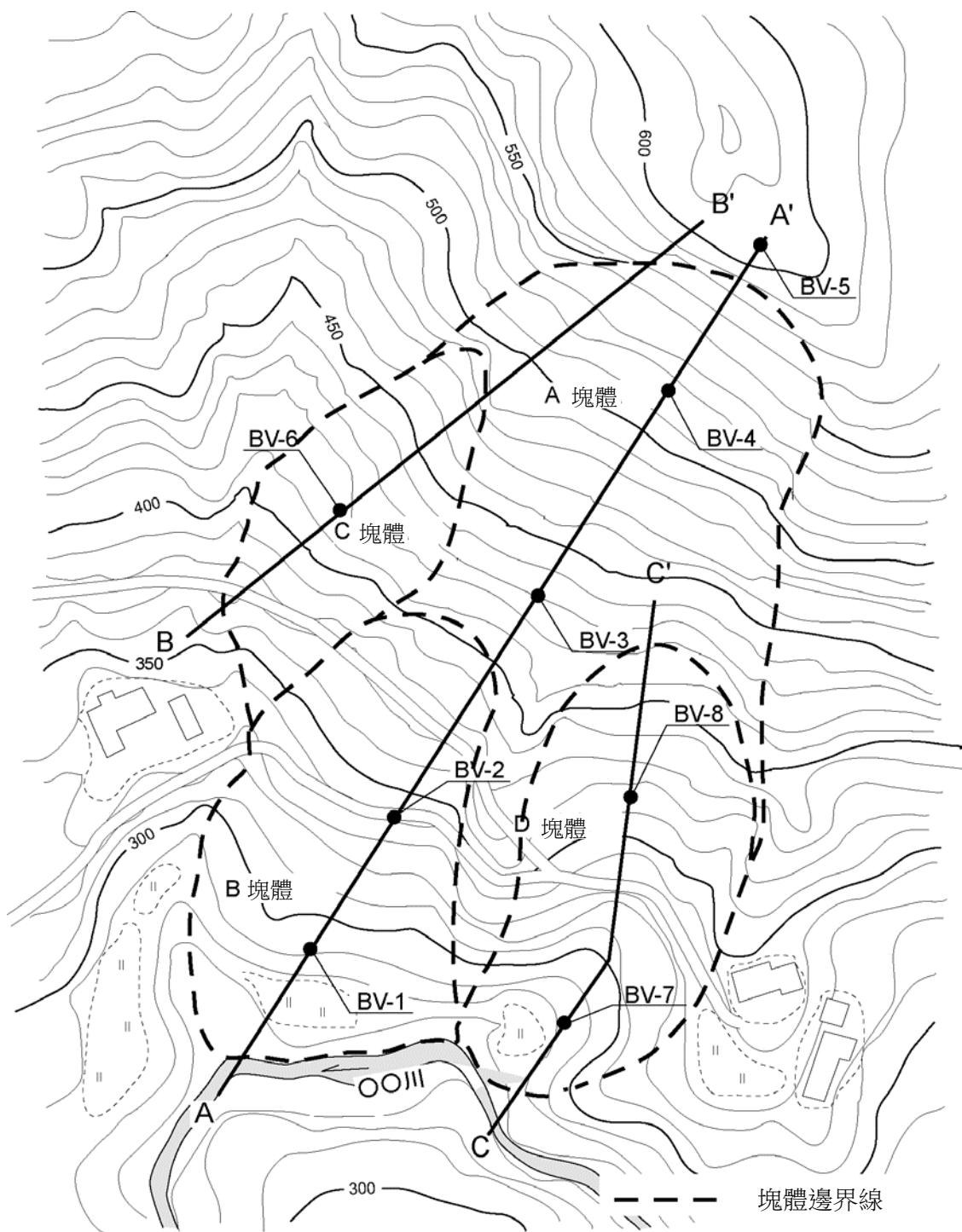


圖 2-36 地滑運動塊體圖案例

3) 地滑斷面圖

地質斷面圖應在地質斷面圖上標示調查結果。

製作方法，原則上應製作沿與地滑運動方向一致主測線之地滑地質斷面圖，標示推估之滑動面與地下水位、裂縫位置。地質斷面圖應先充分掌握鑽探及其他調查結果，才進行標示。此外，必要時也應針對副測線或地滑橫斷測線製作斷面圖。

若能掌握地滑發生前之斷面形狀，也應標示於本圖之中，並標示地下水檢層結果所判定之帶水層位置、各鑽探孔觀測到的最高水位與最低水位等。縱斷面圖應沿測線製作比例尺 1/200 或 1/500 左右（縱與橫為相同比例尺）、標示地表坡度之變化點、裂縫、高差、池沼、凹地、台地、調查鑽探地點、各種量測儀器設置及表土、基盤岩之層準與坡度、基盤岩與崩積土之區別、土質、斷層、破碎帶之分布等（圖 2-37）。

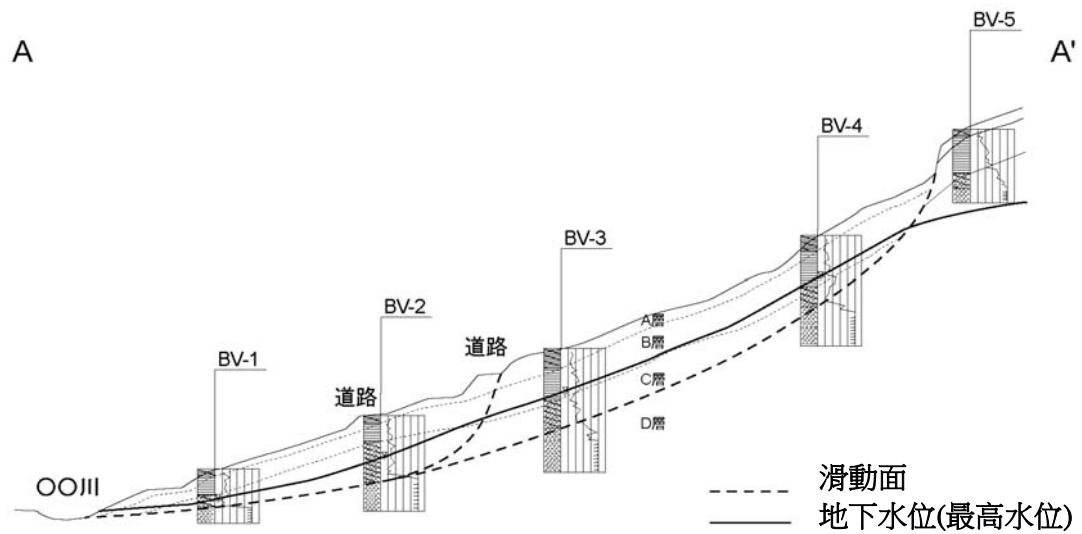


圖 2-37 主測線地質斷面圖之案例

參考文獻

- 1) (社)日本河川協會：建設省河川砂防技術基準(案)同解説調査編，山海堂，pp.199～218，1997。
- 2) 藤原明敏：地滑之分析與防止對策，理工圖書，222p，1979。
- 3) 全國地滑崖崩對策協議會：地滑對策事業指引，全國治水沙防協會，360p，2000。
- 4) 渡正亮、酒井淳行：地滑地之概查與調查之構想，土木研究所資料第 1003 號，70p，1975。
- 5) (財)日本建設資訊總合中心：地質資料整理要領(案)，大成出版社，374p，2003。
- 6) 小山内信智、石井靖雄、綱木亮介：地滑調查用鑽探柱狀圖製作要領(案)，土木研究所資料第 3868 號，22p，2002。
- 7) (社)全國地質調查業協會聯合會：新版鑽探口袋書，歐姆出版社，pp.212，1993。
- 8) 渡正亮、小橋澄治：地滑與坡面崩塌之預測與對策，山海堂，p66,85，1987。
- 9) 佐渡耕一郎、吉松弘行、藤田壽雄：以模糊理論判定滑動面之方法，《地滑》，Vol.31，No.3，pp1～8，1994。
- 10) 地滑觀測便覽編集委員會：隨時隨處都能派上用場的地滑觀測便覽，(社)地滑對策技術協會，529p，1996。
- 11) 池谷浩、吉松弘行、南哲行、寺田秀樹、大野宏之：現場技術人員參考之砂防與地滑、崖崩、雪崩防止工程口袋書，山海堂，380p，2001。
- 12) 渡正亮：地滑調查之地盤傾斜計利用方法，《地滑》，Vol.7，No.4，pp.27～32，1970。
- 13) 綱木亮介：Ⅲ・調查技術整體，地滑防止技術研修教材上卷，(社)地滑對策技術協會，2000。
- 14) 吉田克美、井良沢道也、市瀬榮彦、田村隆雅、月岡浩、島津藤夫：光纖調查與量測方法之研究(其 1)，第40屆日本地滑學會演講發表會演講集，pp.287～290，2001。
- 15) 樋口佳意、長友聖二、山本彰、高嶋徹：運用光纖微環干涉計測定地盤變位，第38屆地層工學研究發表會演講集，No.121，2003。
- 16) 淺野広樹、石井靖雄、綱木亮介：3D雷射掃描量測地滑移動量之研究，第40屆日本地滑學會研究發表會演講集，pp.279～282，2001。
- 17) 柳原幸希、綱木亮介、吉田克美：利用溶氧實施地下水檢層的方法，《地滑》，Vol. 36，No. 4，pp40～47，1997。
- 18) 綱木亮介、吉田克美、山崎宣悦、窪田昌作：光纖溫度分布量測技術之地下水溫度檢層應用，第 36 屆日本地滑學會演講發表會演講集，pp.189～192，1997。
- 19) 竹内篤雄：溫度量測調查流動地下水之方法，古今書院，480p，1996。
- 20) 土壤調查法修定編集委員會：地層調查法，(社)地層工學會，pp.334～342，1995。
- 21) Bishop, A. W. et al: A New Ring Shear Apparatus and its Application to the Measurement of Residual Strength, Geotechnique, Vol.21, No.4, pp 273～328, 1971.
- 22) 建設省：決定滑動面土壤強度方法之研究，第 42 屆建設省技術研究會報告，pp.155，1988。
- 23) 中村浩之、白石吉信、清水清文：運用地滑黏土剪力強度試驗結果實施坡面安定度評估，土木技術資料，Vol.22，No.8，pp.31～35，1980。

第3章 計畫

3.1 地滑防止計畫

3.1.1 概說

地滑防止計畫係依據地滑調查結果，搭配地滑防止設施整備之硬體對策與警戒避難體制整備之軟體對策所形成綜合性對策之計畫。

策定計畫時應整合周邊環境、相關法令及地區計畫等。

解說

地滑防止工程對象之地滑一般而言規模較大，且多由複數滑動塊體所構成，多半需好幾年才能完成工程。另一方面，地滑坡面多存在民宅、公共設施等，若地滑活動活躍，就須實施確切的警戒避難等軟體對策。因此也應經常考慮實施能確保警戒避難體制之軟體對策，策定地滑防止計畫。

地滑防止計畫應參考事前實施之地滑調查與解析結果，設定評估各種地滑現象(地形、地質、規模、滑動狀況等)、保全對象重要度、事業緊急性、事業效果等的計畫規模與內容。

此外，策定計畫時有必要儘量整合周邊環境、相關各種法令與區域計畫等。

3.1.2 保全對象之確認

地滑防止計畫之保全對象應考量並確認對象地滑之規模及發生與運動機制等。

地滑防止計畫之對象災害型態包括：

- ① 地滑邊坡上人員、民宅、道路、田地、公共設施等受害
- ② 地滑邊坡下方人員、民宅、道路、田地、公共設施等遭受地滑移動連帶之災害
- ③ 堰塞壩上游區域淹水災害
- ④ 堰塞壩潰決引致下游區域土石流與洪水災害。

解說

地滑現象多緩慢移動，但也有的突發性移動甚至滑落的地滑。因此，有必要參考對象地滑附近之前的案例，設定地滑移動範圍及災害可能擴及之範圍（參照2・3・2(8)）。

保全對象之重要性因設施等的利用狀況以及有無替代設施而異。例如，若為道路，可能因通行量及有無替代道路而異。地滑多發生在山區，即使有替代道路有時仍需相當長的時間繞路。

3.1.3 計畫安全係數之設定

地滑防止計畫應設定各地滑運動塊體之計畫安全係數 (P.Fs)。

一般性地滑防止工程配合目前滑動狀況將現況安全係數暫定為0.95~1.00，綜合考量地滑發生、運動機制與保全對象重要度、推估災害程度等，設定計畫安全係數 (P.Fs) 為1.10~1.20。

此外，應急對策等即使能暫時確保安全，計畫安全係數 (P.Fs) 仍應設定大於1.05。

此外，需注意的是在此所謂安全係數係決定地滑防止工程之量，不代表工程後坡面之安定性。

解說

上述計畫安全係數之設定方法，係由過去挖填方所造成地滑案例，推估地滑發生前之安全係數設定為1.00，當安全係數下降約5~10%將引致地滑活躍化之案例¹⁾、滑動面隨地滑運動出現強度降低狀況，以及推估持續運動可能出現土體破碎、透水性提高狀況，參考過去各地地滑防止工程依其經驗而設定之參考安全率。另外，有需要注意這些計畫安全係數係使用安定分析的簡便法，並以後述之逆算法（參照 3・2・2・1）算出土壤剪力強度參數之經驗值。

3.1.4 警戒避難對策

地滑警戒避難對策應針對地滑之發生與運動機制，制定可作為警戒避難參考之管理基準（參照 4・3），並應設置地盤伸縮計、地盤傾斜計等監測儀器，與有關機關建立適當聯絡體制。

解說

為防止地滑引致災害，應在實施地滑防止工程時一併防止人員受害，因此有必要實施警戒避難對策。地滑一般而言移動速度比崩塌慢，因此已可依據邊坡位移狀況或量測儀器量測到的移動量，實施警戒避難。因此，地滑警戒避難最好基於地滑移動觀測結果實施。地滑移動特性會因地滑地形、地質與滑動面形狀等產生差異，因此應事前參考調查與分析結果或鄰近地滑案例進行檢討，針對地滑移動特性制定警戒避難基準。若要順利完成警戒避難，應設置地盤伸縮計、地盤傾斜計等監測儀器，迅速取得資料與數據，與有關機關建立適當聯絡體制。實施地滑警戒避難對策，有需要注意以下要點。

- (1) 掌握警戒避難之對象範圍
 - ・地滑移動狀況監測體制
 - ・地滑範圍與到達範圍
- (2) 明確設定應實施警戒避難之時間點
 - ・設定警戒避難基準值
- (3) 明確設定警戒避難相關資訊傳達體制

3.1.5 環境保護的考量

地滑防止設施整備發揮防災所需效果，難免對環境造成某種程度不良影響，應儘量降低其影響。

解說

活躍的地滑活動會對邊坡環境造成不良影響，因此即使從邊坡環境維護的觀點來看，也有必要讓地滑運動停止下來。地滑防止工雖能防止地滑土體滑落、維護地滑邊坡棲息動植物之棲息場所，但另一方面地滑防止工雖能讓地滑運動停止，卻也有改變邊坡環境之虞。比如，大規模排土工、邊坡趾部填土工程挖除邊坡上分布的植生等。此外，地下水排除工可能改變地滑區之地下水條件、消滅濕地或池沼，對向濕性植物等造成不良影響。

設施整備發揮防災所需效果，不可避免會對環境造成某種程度不良影響，但應儘量減輕其影響，並針對設施整備後將會恢復之環境主要因素，採用能促進自然環境再生計畫、構造與施工方法等。此外，設施形狀與配置方面，也有必要充分考量景觀與生態系統。

地滑防止設施整備所影響之環境分成自然環境與景觀、生活環境有兩種，需特別注意之環境相關問題如下，都有必要於調查、工程、維護管理各階段適當處理之。

(1) 自然環境與景觀

- 大規模排土工、邊坡趾部填土工程會大幅度改變邊坡環境。檢討對策工程種類時，可能有必要加入注意自然環境再生之觀點，選定工程種類並推動綠化。
- 與抑止工等同時實施之坡面工應注意考量自然環境與景觀，提早實施綠化。
- 有必要充分考量工程實施過程中樹木採伐與泥水發生等影響地滑防止工程環境的問題。

(2) 生活環境

- 有要注意地滑地多位於陡峭山壁，同時也是民眾重要的生活場所。
- 地滑區大多地下水豐富，經常是當地居民利用的水源。地下水排除工則可能對這類地下水利用產生不良影響，因此有必要事前充分調查。
- 另一方面，也有完成地下水排除工後地下水可作為農業用水、除雪用水、飲料水等地區居民新型水利用案例，因此有必要充份調查地下水利用之可能性與地區民眾需求狀況²⁾。

3.2 地滑防止設施配置計畫

3.2.1 概說

策定地滑防止設施配置計畫，應基於地滑防止計畫（參照 3・1），考量地滑規模、發生與運動機制、保全對象之重要度、推估之災害程度等，防止地滑災害發生。

事前調查有時未必能瞭解地滑全貌，因此應依據之後所掌握資訊修正計畫。

此外，地滑防止工程施工期間及施工後應確認所實施工程是否如計畫地發揮效果，必要時應修正計畫。

解說

地滑防止設施配置計畫為防止地滑災害，應基於地滑防止計畫（參照 3・1），考量地滑規模及發生與運動機制、保全對象之重要度、推估之災害程度等，充分檢討工法特性，策定工法、施工位置、數量及施工順序等計畫。

地滑區很多時候是由相互關連而活動的複數運動塊體所組成。地滑防止設施之配置應基於防止計畫，必要時配合運動塊體範圍、塊體之相互關係或安定度、保全對象之位置及重要性，設定各塊體對策優先度，提升個別安定性，擬定可提升對象地滑地整體安定性之計畫。此外，事前調查未必能瞭解地滑全貌，因此有時需依據後續調查，修正計畫。

地滑防止工程施工期間及施工後有必要確認所實施工法是否發揮計畫預期效果。判定工程效果，最好依據移動量等地滑現象進行評估。但地滑現象通常緩慢且大多因異常氣象（豪雨、久雨、融雪等）而間歇性活動，因此，地滑現象消失後判定效果時應特別小心注意。實施地滑防止工程結束時之判斷，必要時在工程已完工後仍須持續觀察數年，確認無地滑所引致異常地層移動。

3.2.2 邊坡穩定分析

地滑防止設施配置計畫應針對各地滑運動塊體，沿運動方向斷面實施邊坡穩定分析，並基於其結果，決定可確保所定計畫安全率（P.Fs）之地滑防止工程工法及規模。

解說

穩定分析方法有依據應力的極限平衡、強調安定性之極限平衡法，及考量土壤應力與應變關係之應力分析法。

極限平衡法最常見的是分割法（切片法），並因切片間力等假設條件差異發展出簡便法（Fellenius 法）、Bishop 法、Janbu 法、Morgenstem-Price 法等方法^{3）、4）}。極限平衡法除了利用主測線上的斷面進行二維安定分析之外，也有處理整個地滑塊體的三維穩定分析方法。三維穩定解析法有Hovland 法^{5）}、三維簡易 Janbu 法^{6）}等。此外，也有進行沿複數測線之二維斷面穩定分析且考量各斷面間寬而設定其權重的簡易三維評估方法^{7）}。

應力分析法係根據對象之地滑不連續面的處理方式，分為有限元素法、個別元素法、剛性彈簧模型等方法^{8）}。

穩定分析最好針對地滑地特性（平面形狀、滑動面形狀、移動狀況等），由上述方法選擇適當的分析方法實施。過去較多人使用二維簡便法，計畫安全係數也是依據過去使用簡便法所取得實績完成設定。

以下舉例說明簡便法。

簡便法係與Fellenius法（又稱為Sweden式分割法）相同形狀，原本主要用來處理圓弧性地滑，由圓弧地滑迴轉中心相關的迴轉力距與抵抗力距之比例算出安全係數。但後來連非圓弧地滑也適用該計算式，使用時只考量力的平衡。

$$F_s = \frac{\sum(N-U) \cdot \tan \phi' + c' \sum l}{\sum T} \quad \dots \quad (\text{式 } 3 - 1)$$

F_s ：安全係數

N ：切片因重力所產生之法向力（kN/m） $= W \cdot \cos \theta$

T ：切片因重力所產生之之剪力(滑動力)（kN/m） $= W \cdot \sin \theta$

U ：作用在切片上的孔隙水壓（kN/m）

l ：切片之滑動面長度（m）

c' ：滑動面之凝聚力（kN/m²）

ϕ' ：滑動面之內摩擦角（°）

W ：切片重量（kN/m）

θ ：滑動面切片部的傾斜角（°）

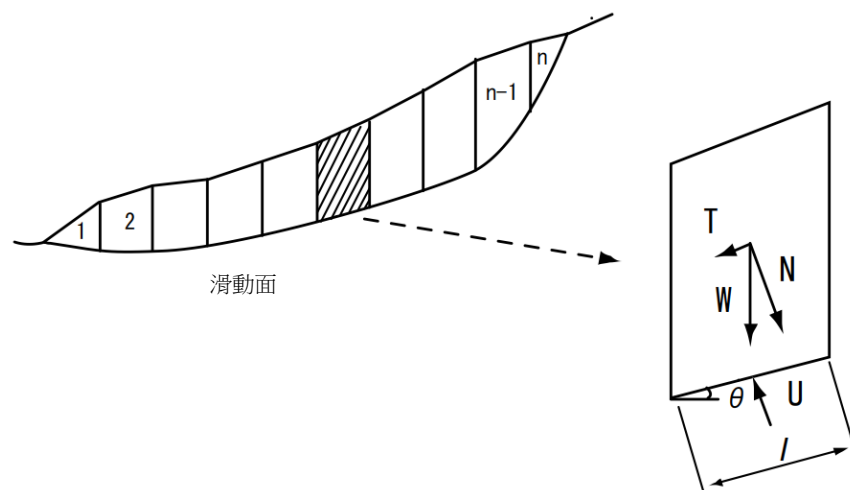


圖 3-1 簡便法模式圖

3.2.2.1 土力強度參數

邊坡穩定分析所使用之土力強度參數（滑動面凝聚力： c' 、滑動面之內摩擦角： φ' ）應配合地滑型態與土壤條件，以取樣滑動面黏土進行土力試驗或由地滑滑動狀態推估現狀安全係數、反推土力強度參數（逆算法）等最佳之方法設定之。

解說

設定土力強度參數的方法有①取樣滑動面黏土，進行土力試驗。②依據地滑活動狀態推估現狀安全係數，反推土力強度參數（逆算法）等。

以簡便法進行穩定計算時，若精密調查已清楚掌握滑動面深度、滑動體單位體積重量、孔隙水壓，則可依下列（1）～（3）順序算出凝聚力（ c' ）與內摩擦角（ φ' ）。

（1）設定現狀安全係數

應配合地滑移動狀況設定現狀安全係數（參照 3.1.3）

（2）凝聚力（ c' ）之推估

推估凝聚力（ c' ）多依據土力試驗或對象地滑之最大層厚，應參考表 3-1。當地滑之最大鉛直層厚大於 25m 時，通常將 c' 設為 25kN/m^2 ，但不可只處理 c' ，最好連同對應 c' 的 φ' 也一起綜合判斷，探討其妥當性，慎重決定之。又，當鉛直最大層厚小於 5m 時，應另行檢討研究。

（3）內摩擦角（ φ' ）之反推

（1）、（2）設定值帶入穩定分析式（式 3-1），即可反推出內摩擦角（ φ' ）。

依（1）～（3）順序算出凝聚力（ c' ）與內摩擦角（ φ' ），帶入穩定分析式，檢討達成計畫安全係數所需防止工程內容

此外，土體單位體積重量使用 $18\text{kN}/\text{m}^3$ ，但有較多白砂或巨石、孔隙較大地層或受熱液換質影響之地層，最好實施土力試驗決定之。

表 3－1 最大垂直層厚與凝聚力

地滑土體之最大鉛直層厚 (m)	凝聚力 c' (kN/m^2)
5	5
10	10
15	15
20	20
25	25

3.2.2.2 孔隙水壓

邊坡穩定分析所使用之孔隙水壓，應採用量測滑動面孔隙水壓方法之中最適當方法測得之值。

孔隙水壓最好以直接孔隙水壓計等量測之。若難以施行，應以鑽探孔內地下水位取代之。

解說

鑽探孔內地下水位若使用全面過濾孔，複數滯水層時有時會呈現不正確水位；透水性差的土壤時，較慢產生地下水位變化。因此，最好以直接孔隙水壓計等量測孔隙水壓。

但若難以施行時，應以鑽探孔內之地下水位取代之。但即使這種狀況仍有必要配合地滑水文地質構造，設置適當地下水位觀測孔，利用部分開孔的方式，在複數地下水帶分布或有逸水層時，也能掌握作用在滑動面的地下水帶水位變動。

災害剛發生無法取得充分地下水觀測資料與數據時，可先依據鑽探掘進中的水位變動或短期水位觀測結果進行穩定分析，擬定防止工計畫，等取得充分觀測數據，再適當地修正地滑防止計畫。

一般而言，進行穩定分析可使用過去地下水位最高觀測值。確認地滑滑動時的地下水位，則可利用滑動時的地下水位，以逆算法算出土力強度參數。

此外，Fellenius法在坡面陡峭時，有時 $(N-U) < 0$ 。此時當作 $(N-U) = 0$ 計算。

3.2.3 工法之選定

策定地滑防止設施配置計畫，應依據地滑防止計畫，掌握地滑規模及發生與運動機制、保全對象重要度、推估災害程度與工法之經濟性等，單獨或適當地組合施作抑制工與抑止工。

選定工法時應注意下列要點。

- 1) 應合理搭配運用抑制工與抑止工各自之特性，規劃設置在適當地點。
- 2) 地滑運動持續活躍時，原則上不先實施抑止工，而先以抑制工減緩其運動，待運動停止後才引進抑止工。
- 3) 考量施工期間及維護管理等總成本。

解說

地滑防止工與對策工，依其所具備機能之差異，大致可分為抑制工與抑止工。

抑制工・・・改變地滑地地形與地下水狀態等自然條件而改善滑動力、抵抗力之間的平衡，使地滑運動停止或減緩之工法

抑止工・・・強化構造物所具備抵抗力、使部分或全部地滑運動停止之工法

一般常使用的地滑防止工分類如圖 3－2 所示。

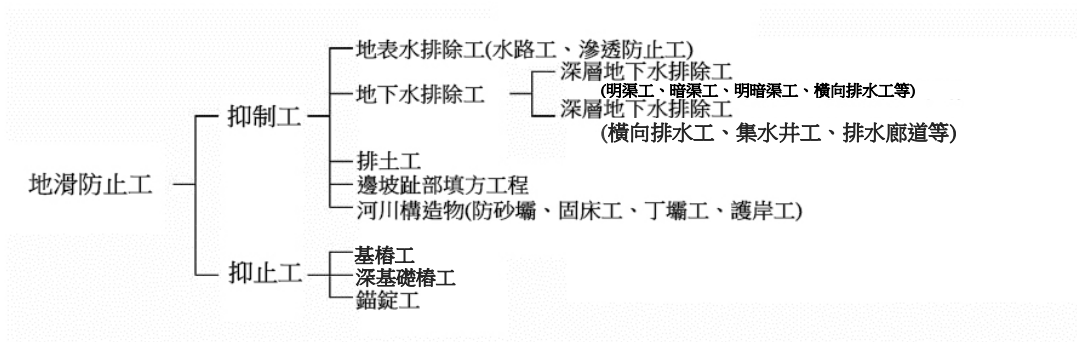


圖 3－2 地滑防止工之分類

施作地滑防止工應掌握地滑之素因與誘因，充分考量特別是降雨（融雪水）、地下水與地滑運動之關聯性、地形與地質、地滑規模、運動型態、運動速度、保全對象、經濟性（施工時期與維護管理等總成本）及優先順序等，選定適當之工法。原則上應先實施詳細調查，掌握對象地滑特徵，然後再制定對策工施工計畫。

各現場的地滑特性不同，因此對策工無法以相同方法論之。以下說明聚焦地滑誘因、滑動力的降低、抵抗力的強化、掌握地滑活動狀況、地滑規模及選擇適當對策工施工地點等規劃地滑防止工時的注意要點。

1) 地滑誘因（去除誘因）

去除地滑誘因一般而言是最有效的地滑防止對策。

多數自然發生之地滑，其誘因不外乎豪雨、久雨、融雪等導致地下水供給量增加。因此，地表水排除工與地下水排除工成為地滑防止對策首選工法。

反之，人為行為成為地滑誘因時，有效對策工的做法是實施應急對策，讓形成誘因之狀況恢復原狀。譬如，挖方或填方成為地滑誘因時，只要儘量除去其影響而恢復原狀，即能有效避免地滑。

2) 降低滑動力、強化抵抗力

降低地滑滑動力（穩定分析公式分母）之代表工法為地滑冠部實施排土工。這種工法具有速效性，但需謹慎確認排土坡面上方無不安定坡面或其他地滑塊體。

另一方面，強化抵抗力（穩定分析公式分子）代表工法為邊坡趾部填土工程與打樁工程。前者係地滑末端實施，屬有效工法之一。錨錠工程也是常用工法。

3) 地滑活動狀況

移動速度快之地滑無法施作抑止工，即使施作也可能被破壞。因此，應先去除挖方與填方等人為誘因，然後施作地表水排除工或橫向集水管工程等地下水排除工等抑制工，降低地滑土體移動速度後，再應必要性規劃施作抑止工。

4) 地滑之規模

以地下水排除工為例，若地滑規模小，地表施作橫向集水管工程貫穿滑動面施工並無困難。但若地滑規模擴大，則必須拉長集水管長度，故滑動面附近地下水排除效率就會降低。因此，此時可施作集水井工或選擇排水廊道等效率高且經濟之工法。

同理，即使實施了抑止工，若地滑規模擴大，仍難以施作打樁工程，此時可選擇施作錨錠工或深錨工。

5) 對策工施工地點

地滑冠部為張力區域、多裂縫與孔隙，施作地下水排除工或地表水排除工相當有效。此外，有時可施作地下水排除工，防止地滑區以外之地下水流入。另外，地滑冠部也可施作排土工。

另外，地滑末端為壓縮區域，適合實施邊坡趾部填土工程或抑止工。

3.2.4 抑制工之計畫

抑制工係改變地滑區地形與地下水狀態等而改善滑動力與抵抗力之間的平衡，讓地滑運動停止或緩和下來，規劃時應考量包含維護管理等之內之總成本，合理搭配下列工法，適當配置。

解說

抑制工包含下列工法。

- 排除地表水之工法：「水路工」與「滲透防止工」
- 排除淺層地下水（沿靠近地表地層內流動之地下水）：「暗渠工」、「明暗渠工」、「橫向排水工」
- 排除深層地下水（接近滑動面之深部地下水）：「橫向排水工」、「集水井工」、「排水廊道」
- 排除地滑冠部土體之工程：「排土工」
- 針對地滑末端實施排水性佳土體填土工程：「邊坡趾部填土工程」
- 保護溪岸穩定地滑末端工程：「以河川構造物等施作侵蝕防止工」

1) 地表水排除工

地表水排除工旨在防止降雨滲透與湧水、池沼、水路等的再滲透，抑制地下水上升。地表水排除工有水路工及滲透防止工，應配合地滑狀況選擇能儘早開工之工法。另外，規劃水路工應沿地滑地形，避免施作大量土工等。此外，排除流入地滑區之地表水，可規劃在遠離地滑裂縫與滑落崖之安定地滑區域周緣部實施。

地表水排除工效果，目前未必能進行定量說明，但最好當作地滑對策工使用。在降雨量與地滑運動關係密切的場合時，這是特別有效之工法。

(1) 水路工

水路工旨在迅速收集地滑區內之降雨而排出至區域外，以及排除來自區域外的流入水。

水路工又分為集水路工與排水路工二種。

① 集水路工

集水路工通常橫切過坡面，以利迅速收集坡面降雨與地表水。集水路工大體上應做成寬而淺，並連結排水路。

② 排水路工

排水路工應以逕流演算決定其斷面，以利迅速將收集到的水排出到地滑區外。排水路應設置在呈谷地形之地點，且原則上應以 20~30m 間隔設置帶工，並於排水路末端與水路合流點等設置固床工或集水井。

(2) 滲透防止工

滲透防止工係針對發生裂縫地點填充黏土、水泥或覆蓋塑膠布等工法。池沼與水路等漏水防止工，則規劃覆蓋不透水性材料、開挖池沼、施作替代水路及改良等工程。

2) 地下水排除工

地下水排除工可排除流入或滲透入地滑區域內的地下水或區域內分布之地下水，降低地滑土體內部之孔隙水壓（地下水位）。地下水排除工大致分為以接近地表地層內流動地下水為對象之淺層地下水排除工，及以靠近滑動面深處地下水為對象之深層地下水排除工。

地下水位計畫降低高度因對策工種類、地滑區地形、地質、土壤、地下水賦存條件而異，需參考地下水位分析結果或類似地點地下水位降低紀錄等檢討對策，決定施工方法。若難以分析地下水位或不易取得類似地點過去實際狀況，可參考下列數值作為基準。但此處所列數值係地滑地內已適度配置地下水排除設施時的經驗值，堪稱可預期地下水位降低高度最大值。因此，施工後應持續觀測，發現地下水位並未降低到目標值時，應再度檢討工法，研究是否追加施工。

橫向排水工	3m
集水井工	5m
排水廊道	8m

(1) 淺層地下水排除工

① 暗渠工

暗渠工旨在排除淺地層分布之地下水，或迅速排除降水所形成滲透水。特別是排除透水係數較小、土層中豐富之地下水，應積極規劃予以排除。可排除之地下水深度約地表以下 2m 左右。

② 明暗渠工

明暗渠工旨在防止地表水流入與滲透，排除滲透到地表以下較淺處之地下水。淺層地下水係地表水滲透而成，因此，地表凹部與河谷應搭配實施暗渠工與地表排水路工。

③ 橫向排水工

橫向排水工旨在排除明暗渠工等無法排除之淺地層地下水，應在可施工之地形規劃施作。最好依據地下水分析結果，設計橫向排水工口徑、長度與角度等。橫向排水工前端間隔一般為 5~10m，應在地下水豐富地區集中施作。

(2) 深層地下水排除工

① 橫向排水工

深層地下水排除工之橫向排水工旨在排除地滑面附近分布之深層地下水、沿斷

層或破碎帶之地下水。施作前應確認地滑塊體是否存在深層地下水及其水位，然後以透水層為主設計。橫向排水工前端間隔一般為 5~10m，實務上多貫穿預估滑動面，多鑽 5~10m。

② 集水井工

集水井工設置目的為排除深層地下水。特別是希望集中收集在較深位置的地下水時或橫向排水工長度大於 50m 時，應規劃施作集水井工。

集水井之集水希望是以集水鑽探取得之來自地下水脈的大量地下水，而非集水井壁面湧水。

活動中之地滑規劃設置集水井，其深度應在滑動面深度上方 2m 以內，以維護井筒及橫向排水鑽孔之安定。停止中的地滑時，也可貫穿滑動面而在安定之地盤設置集水井之井筒基礎。

集水井位置及規模應考量集水效果、施工安全性及維護管理等，而決定之。特別應檢討其配置與工法，讓集水井中之水能往地表自然排出。若集水井無法直接往地表排水，可規劃設置中繼井。上述各種施工方案都應注意避免排水鑽孔被地滑切斷，因此原則上配置時應避免排水管工程橫切過地滑塊體。

集水井工運用於有必要排除集中於地滑區內層狀或脈狀賦存地下水，當地下水分布為多層構造時，則有必要在深度方向施作二段以上之橫向集水鑽孔。

地質軟弱而湧水量大難以開挖時，可採用其他工法。此外，地層移動激烈地點，側壓提高有時可能造成井筒扭曲或破壞。因此，不僅從施工後維護管理的觀點，也需要由施工期間防止災害的角度，應儘量避免於類似地點施工。而且，決定集水井施作地點，原則上應先依據調查鑽探結果，以確認地質與基盤狀況。

設置二座以上集水井，應考量橫向集水管長度、集水井降低地下水位影響範圍及現場地下水狀況等，來決定位置及數量。

③ 排水廊道工程

排水廊道工程應於集水井工或橫向排水工程難以排除深層地下水時規劃施作。

排水廊道工程旨在利用廊道內之橫向集水管排除滑動面附近之深層地下水。此外，排水廊道大致可分為通過地滑面下方之底設廊道及設在地滑地周邊的周緣廊道。地滑土體內原則上不實施廊道開挖，通常規劃設置排水廊道的位置與距離滑動面會是排水廊道直徑 2 倍以上之地點。

橫向集水鑽孔應由廊道內之集水井鑽孔室往上或往側向，以鑽孔方式施作。

3) 排土工

排土工旨在排除地滑冠部土體，降低地滑的滑動力。規劃施作排土工時，應事先充分調查、檢討，避免誘發其上方邊坡的潛在性地滑。上方邊坡分布地滑時，應避免規劃施作本工法。

排土量應在正確掌握地滑規模與滑動面位置之後，再依據安定計算決定之。排土之後應努力於坡面及排土跡地綠化等以恢復自然環境。

地滑移動量大且作業人員進入地滑區內及地滑下方邊坡可能帶來危險或在陡坡作業可能危險時，應研究是否引進無人化施工技術。

排土工除了需要支出土砂搬運、土砂處理及計畫確定後挖方坡面之維護管理費用，有時還得耗費時間徵收用地。反之，本工法不像橫向排水工與集水井工等地下水排除工容易出現施工後集排水孔附著淤渣（黏泥）等降低機能之問題。因此，若比較施工性、土砂處理、用地、降低機能風險與維護管理費等總成本之後，判斷較為有利時，可積極採用本工法。

4) 邊坡趾部填土工程

邊坡趾部填土工程係於邊坡末端實施排水性佳之土體填方，以增加對地滑的滑動力之抵抗力。。地滑末端規劃施作填土工程時，應確認填土部及其周邊邊坡不會誘發新的地滑。填土位置多位於河川或溪流河床部，因此有時須修改河道或施作護岸工。

邊坡趾部填土工程同時施作排土工效果卓著，因此通常會一同規劃實施。此外，考量填土背面的地下水位有可能上升，最好同時施作地下水排除工。

填土量則以安定計算算出。填土部應努力綠化恢復自然環境或景觀。此外，應採取如排土工一節所述，能確保作業人員安全之施工方法。

5) 以河川構造物等施作侵蝕防止工

以河川構造物等施作侵蝕防止工係於出現流水造成河床降低或溪岸侵蝕破壞地滑土體安定而成為地滑發生誘因時，規劃可保護溪岸、穩定地滑末端之侵蝕防止工。

地滑防止工相關之河川構造物包含防砂壩、固床工、護岸工、丁壩工等。此外，有時也會規劃進行河川改道。

地滑區正下方若規劃施作防砂壩、固床工，其淤砂具有與邊坡趾部填土工程相同防止地滑末端崩塌與侵蝕之機能。

防砂壩與固床工原則上應在地滑區下方、不受地滑影響，具有安定基盤的地方施作。若地滑區域內正在規劃施作一系列的防砂壩或固床工，則侵蝕防止工也可在其正下游且不受地滑影響的地點規劃施作構造物。

3.2.5 抑止工之規劃

規劃抑止工應以利用強化構造物所具備抵抗力、使部分或全部地滑運動停止為目標，考量維護管理在內總成本而單獨或合理搭配施作以下工法。

解說

抑止工之工法如下。

- 利用鋼管或鋼筋混凝土等所具備剪切抵抗力或彎曲抵抗力，直接抵抗地滑移動土體滑動：「打樁工程」、「深基礎樁工程」
- 利用預力鋼腱（鋼材等）張力強度使邊坡安定化：「錨錠工」

1) 排樁工程

打樁工程係將鋼管樁等貫穿滑動面，直接插到不動土體，以增加剪切抵抗力與彎曲抵抗力、而直接抵抗地滑移動土體滑動之工法。

打樁工程一般都將複數鋼管樁與地滑移動方向成直角方向排列，以一體的方式抵抗地滑滑動力的工法。因此，若實際地滑活躍程度或推估移動量大於 1 mm/day，除非所規劃排樁工程同時施工，否則個別打樁無法發揮對抗效果。因此，應先實施應急對策工程或抑制工，確認地滑活動大致停止之後再施工。

規劃施作排樁工程，原則上應選擇地滑活動塊體中央部下方且埋樁所在基盤強固且能發揮預期地盤反力之地點。

2) 深基礎樁工程

深基礎樁工係在豎坑填充鋼筋混凝土，以深基礎樁之抵抗力對抗地滑的滑動力。地滑滑動力太大、排樁工程難以確保預定計畫安全係數（ $P \cdot F_s$ ）時，應在基礎地盤良好時規劃施作。

深基礎樁工係挖掘直徑 2.5~6.5m 豎坑達到不動土體，然後以填充鋼筋混凝土之深基礎樁轉變成為地樁的工法。有些地層的條件難以實施大口徑機械開挖或彎曲樁無法抵抗地滑的滑動力時，可施作深基礎樁工。挖掘豎坑期間需注意施工安全管理。此外，為順利處理挖掘過程中的排水，有必要在事前充分調查、檢討地下水與湧水。

3) 錨錠工

錨錠工係將預力鋼腱（鋼材等）插入坡面，利用固定在基盤內的鋼材張力強度穩定坡面。地滑對策工所用的錨錠工是希望藉由錨錠工增加滑動面法向應力，以提高剪切抵抗力效果（束緊效果），以及地滑土體將滑落時，在滑動面接線方向，錨錠工會發揮張力拉住地滑土體效果（抗滑功能）。錨錠工應規劃設置在最能發揮抗滑功能或束緊效果之地點。

錨錠工係以高強度鋼材作為拉伸材使固定在地盤，將作用在拉伸材頭部之荷重傳遞到固定地層，以群體反力構造物與邊坡一體化，將地滑安定化之工法。若地滑地為陡坡打樁工程、深基礎樁工無法取得充足地盤反力或情況緊急需儘早發揮效果，可選擇適當地點施作錨錠工程。

3.3 施工時的安全對策

應配合地滑的滑動狀況，在施工期間以地表伸縮計等監測移動狀況。此外，應依據變位量或降雨量等設定安全管理基準，引進無人化施工機械施作冠部排土工或邊坡趾部填方工程等，檢討施工安全對策。

参考文献

- 1) 渡正亮，小橋澄治：地すべり・斜面崩壊の予知と対策（《地滑與坡面崩塌之預測與對策》），山海堂，pp41，pp115-117，1987。
- 2) （社）地滑對策技術協會：地すべり対策により生じた地下水利用のための手引き（《地滑對策所形成地下水利用方法手冊》），106p，1997。
- 3) 地質工學會：土質工学ハンドブック（《地質工學手冊》），pp223～263，1982。
- 4) 地質工學會：斜面安定解析入門（《邊坡穩定分析入門》），189p，1989。
- 5) Hovland, H. J.: Three-dimensional slope stability analysis method（《三維邊坡穩定分析方法》），ASCE, Vol.103, No.GT9, pp.971～986, 1977.
- 6) 鵜飼恵三，細堀建司：簡易 Bishop 法、簡易 Janbu 法および Spencer 法の三次元への拡張（《簡易 Bishop 法、簡易 Janbu 法與 Spencer 法往三維之擴張》），土木學會論文集No.394/III-9，pp.21～26，1988。
- 7) Lambe, T. W. & Whitman, R. V. : Soil Mechanics（《土壤力學》），John Wiley & Sons. Inc.，570 p，1969。
- 8) 譬如，（社）地盤工學會：切土法面の調査・設計から施工まで（《挖方坡面之調査與設計到施工》），pp102～111，1998。

第4章 緊急時之調查與危機管理基準

4.1 概説

確認地滑引致邊坡或坡面產生異狀時，應進行如下之對應檢討。

- ① 確認異狀範圍及地滑移動方向
- ② 量測移動量與變位量等
- ③ 推估發生機制（素因與誘因）
- ④ 預測移動土體之活動
- ⑤ 研究地滑擴大之可能性
- ⑥ 推估影響範圍
- ⑦ 設定危機管理基準值

解説

此處說明地滑引致發生異狀時，有助於進行危機管理之技術。

此外，危機管理須依據災害對策基本法、土砂災害警戒區域等之土砂災害防止對策推動相關法，實施警戒與避難等。

上述①～⑦以時間序列列舉對應項目，但緊急時有必要併行對應。

特別是⑥與⑦係人命攸關對應項目，因此有必要做迅速且安全之判斷。

另外，實施現場調查與緊急對策，須先確保作業人員安全。

4.2 緊急時的調查

4.2.1 現場調查

現場調查應進行「確認異狀範圍」、「量測移動量與變位量等」。

應在比出現異狀範圍更大的範圍確認異狀範圍。

量測移動量與變位量等應利用地表伸縮計等，以配合滑動狀況之適量測間隔實施，必要時應事先檢討有考量變位量變大或危險度提高、無法靠近狀況的量測方法。

解説

1) 確認異狀範圍

確認邊坡有異狀，首先有必要確認異狀產生範圍與地滑移動方向。依據上述狀況可進行「③推定發生機制」、「④預測移動土體之活動」、「⑤評估地滑是否可能擴大」，因此有必要先進行正確且詳細之調查。調查時除了確認異狀範圍，也不可忽略涵蓋異狀範圍之大規模地滑區。因此應充分確認背後與相隣邊坡的狀況。此外，實施調查時應最優先確保調查人員之安全。

調查時的觀測重點如下。

(1)地形

概觀宏觀的地形，調查既有之地滑、崩落地分布狀況。此外，從微觀角度確認異狀範圍之微地形，有助於推估地滑範圍。

事先利用地形圖掌握周邊區域的大地形，並且最好由產生異狀坡面對岸或上空等遠望整個坡面。

(2)地質與地質構造

除了取得地質圖之外，調查露頭掌握地質、地質構造，有助於推定地滑範圍與移動土體性質狀況等。

(3)構造物與坡面異狀之分布

構造物容易發現異狀。反之，邊坡異狀有時難以發現。但劇烈移動時，邊坡多半會出現某種異狀，應實施詳細調查瞭解異狀範圍，有助於推估地滑範圍。

一般而言，崩塌上部與側部邊坡不安定，有必要進行詳細調查。此外，地滑活動可能在末端部發生崩塌，須確認前崩塌與上部邊坡地形之關連性。

(4)湧水

地滑區常出現豐富湧水。滑動面成為不透水層時，常在末端部滑動面露頭髮現湧水，調查湧水位置有助於推估地滑範圍。

2) 移動量、變位量等的量測

地表異狀部明顯時，有必要利用地盤伸縮計量測伸張、壓縮之變位量，確認移動範圍。通常地盤伸縮計跨過伸張裂縫，架設在移動土體側與不動地側上面。但若尚未確認冠部異狀範圍且擔心移動範圍擴大時，有必要在上方邊坡也設置地盤伸縮計。這種情況如圖 4－1 所示，應以遷急線或遷緩線為目標，連續設置幾台地盤伸縮計。

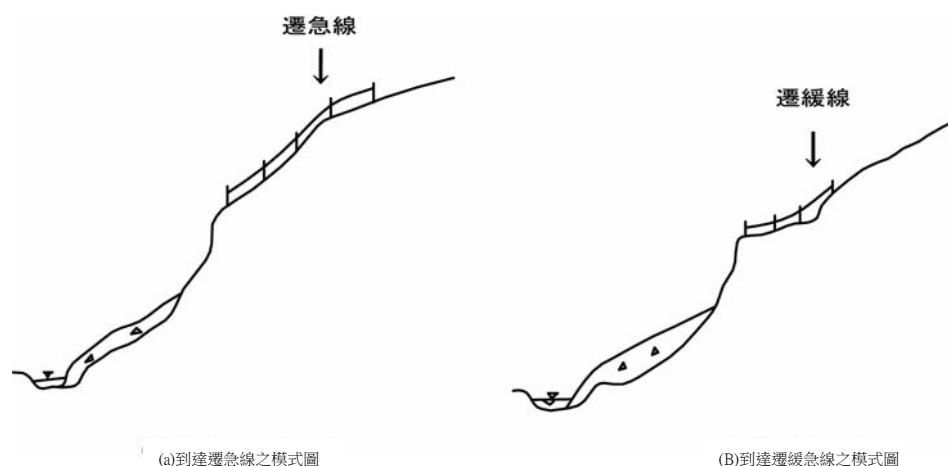


圖 4－1 地盤伸縮計設置範圍¹⁾

地盤伸縮計不只能量測邊坡異狀確認移動範圍，也可用於「④預測移動土體活動」及「⑦設定危機管理基準值」，乃至於作為擬定應急對策工程計畫、判斷應否實施緊急避難及工程期間安全管理之基準。

地盤伸縮計最好配合滑動狀況，以10分鐘之短間距設定測定時間間距，同時裝置警報器，將有助於迅速完成警戒避難。此外，若法規限制進入的邊坡，必要時可使用自動量測型機器，取得各項資料數據。

設置地表伸縮計注意事項方面，若推估變位量太大可能出現無法測定，應事先選定以彈簧等取得反力類儀器。另外，若地盤伸縮計無法測定，或危險度提高難以接近地滑地，需評估以測量機器進行邊坡監測。

測量儀器監測多使用光波或雷射高精度測距儀。方法是將光波或雷射光照射在對象物上，由其往返時間算出距離。光波測量使用反射稜鏡，可確保一定精度，但移動速度極快的地滑區或陡崖地點有時難以設置反射稜鏡。在這類高危險度邊坡直接對對象物照射雷射的無稜鏡測量相當有效，但因不必設置稜鏡、無法相同地點進行量測、視準誤差變大，而且有時無法進行夜間量測。

土木研究所地滑小組為了解決這些課題，與民間企業共同研究，開發了可在遠距離安全設置之標靶及設置、量測方法「RE・MO・TE²（遙測2：遙測科技2）」，能更精準量測人員難以進入之危險邊坡。

「RE・MO・TE²」係將封入反光漆彈放在十字弓箭頭上，朝坡面發射、完成反光漆塗布。實驗顯示距離 300m時確認有±50cm命中精度。可在距離斜面相當遠地點進行一系列作業，因此能安全實施觀測作業。此外，卷末參考4有「RE・MO・TE² 量測手冊」。

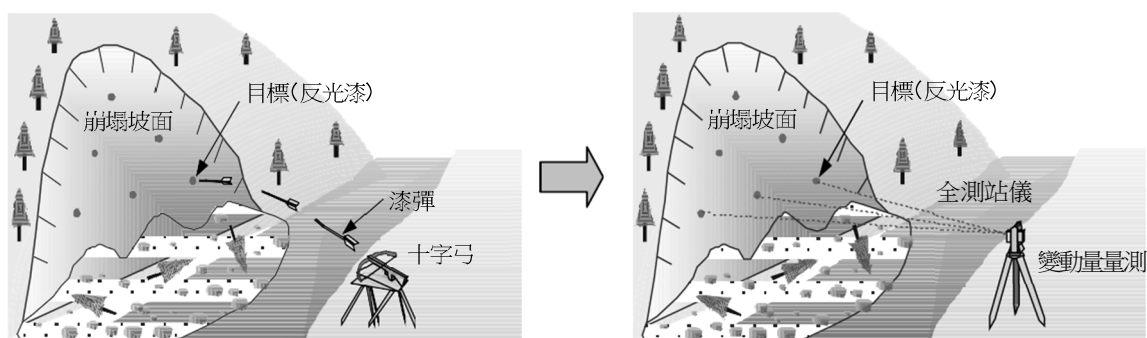


圖 4－2 設置遠距標靶之量測方法「RE・MO・TE²」概要

地盤發生裂縫的簡易量測方法，緊急時可利用貫板量測移動量（水平、垂直變位）（圖 4-3）或量測需裂縫兩端木柱之間距等。這些只是量測儀器調集前的應急對應，同時也多半需取得多數地點數據資料才能實施。此外，許多人利用移動樁測量（橫斷面通視測量、光波測距），掌握移動狀況。另外，利用CCTV(閉路電視)等監測坡面或河川狀況，也是有效作法。

選定量測地點應精確掌握移動狀況。另外，從掌握地滑範圍及移動狀況的觀點來看，最好儘量取得更多量測數據。若已設置地盤伸縮計、孔內傾斜計、縱型伸縮計等量測儀器，機器架設後異狀仍擴大或產生新裂縫，需重新設量測儀器。

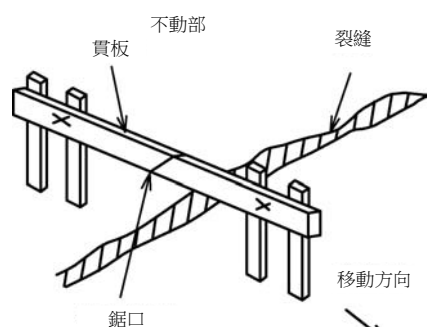


圖 4-3 以貫板量測之案例¹⁾

4.2.2 地滑運動之預測

「推估地滑發生機制（素因、誘因）」、「預測移動土體運動」，同時「研究地滑擴大可能性」、「推估地滑影響範圍」。

解說

1) 推估發生機制（素因、誘因）

推估地滑發生機制（素因、誘因）對預測今後地滑運動趨向非常重要。應掌握坡面地形、地質、地質構造等素因，研究地層移動擴大可能性，推估坡面移動誘因，檢討警戒避難體制整備及應急對策。檢討時應注意要點如下。

- (1) 地形
- (2) 地質、地質構造
- (3) 降雨（地下水位）狀況
- (4) 人為活動（挖方、填方等）

(1)、(2)係地滑素因相關事項。掌握素因相當重要，但災害剛發生時未必能清楚掌握。

(3)、(4)係地滑誘因相關事項。地滑誘因有降雨、融雪水、地滑末端侵蝕、地震等自然要因及挖方、填方、蓄水池建設等人為要因。應急對策工程有效做法是，排除成為誘

因之主要因素，因此，掌握誘因非常重要。

2) 移動土體運動之預測

由地滑異狀與地形狀況可預測移動土體今後運動趨向。

可塑性愈大地層從產生裂縫到滑落為止時間越長，且滑動面為弧狀或船底形時，即使伴隨產生末端隆起，也不易滑落。反之，末端開放型或規模較小滑動面容易滑落，降雨也多有即效性的影響。

由地滑異狀或地形狀況等判斷移動土體之運動趨向，有以下幾種模式。

(1) 滑落性地滑

滑落之後的移動土體安定性較高。

滑落崖之高差通常比較大，因此上方邊坡可能會不穩定。

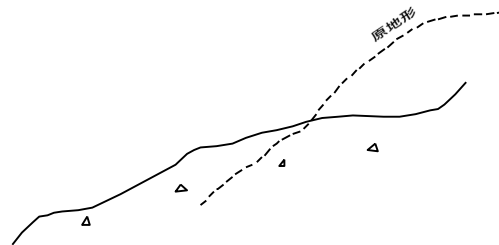


圖 4-4¹⁾

(2) 伴隨末端隆起

推估滑動面接近水平或形成逆坡。移動量增加連帶使移動土體末端部成為抵抗體，移動開始收斂。

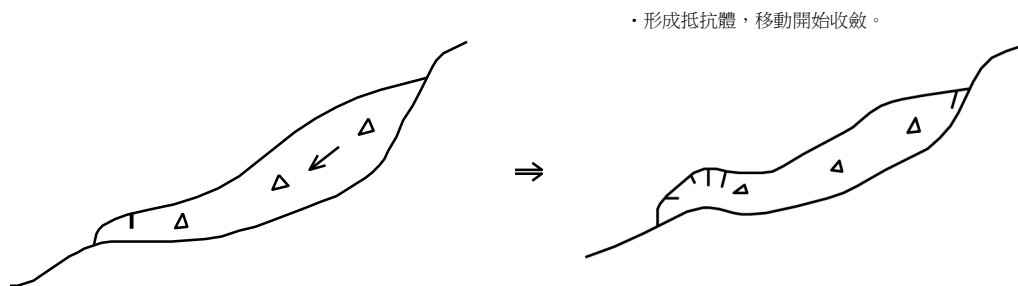
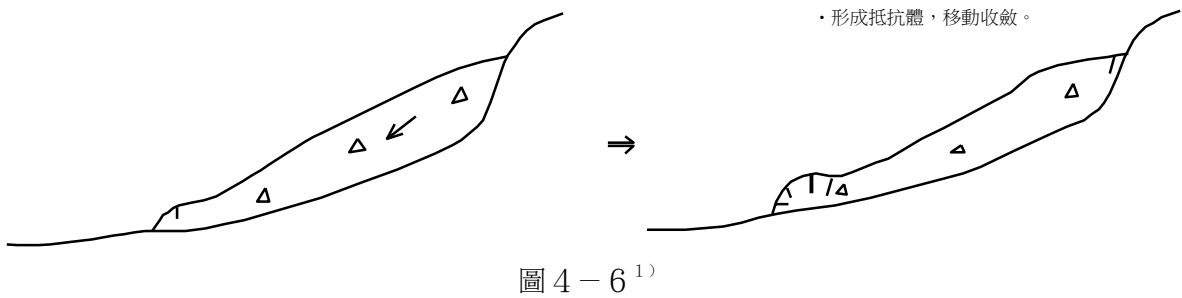
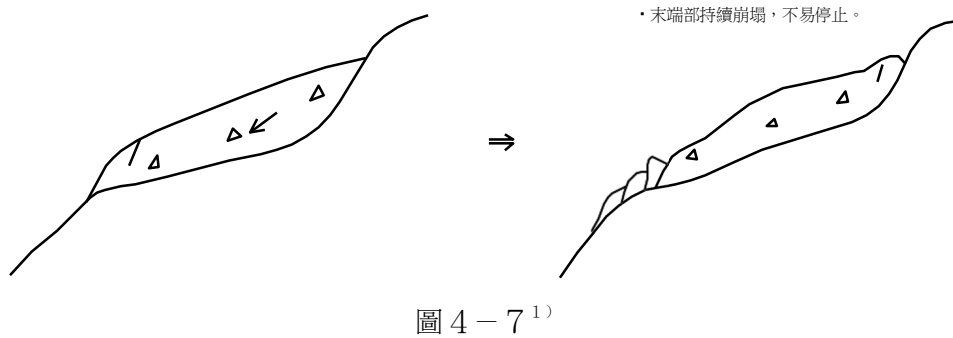


圖 4-5¹⁾

(3)末端部坡度較緩時
與(2)相同理由，移動開始收斂。



(4)末端部坡度較陡時
末端持續崩塌，不易產生針對移動的抵抗體，崩塌不易停止。



但這些都只是一般性描述，有必要針對個別現場特性慎重判斷。特別是地下水豐富地點，土體有土石流化之虞，須特別注意。

此外，一般滑落前移動速度會急遽增加，可進行觀測，事先預測滑落時間點。發現邊坡異常，應測定伸張裂縫最上部之拉伸量，計算滑落時間點或安裝警報器進行觀測。

跨越裂縫（伸張裂縫）設置地盤伸縮計，測定其移動速度並預測坡面滑落時間點方法有齊藤提出的潛移破壞預測法²⁾，及福圓所提出、依移動速度倒數的預測法³⁾等。地滑崩落會造成社會嚴重影響，最好利用這些方法事先預測滑落狀況。但需注意，能精確預測的地滑有限。

依據地滑冠部地盤伸縮計觀測結果而預測地層滑落之案例如下。對象地滑5月起變位量升高，後來颱風相繼侵襲，8月10日0時15分發生滑落。

圖4-8～圖4-10係以齊藤式、福囿式預測滑落的結果。最好利用上述方法做比較，選擇預測該地滑滑落之最佳方法。

此外，有必要配合滑動狀況縮短滑落預測之實施間距。

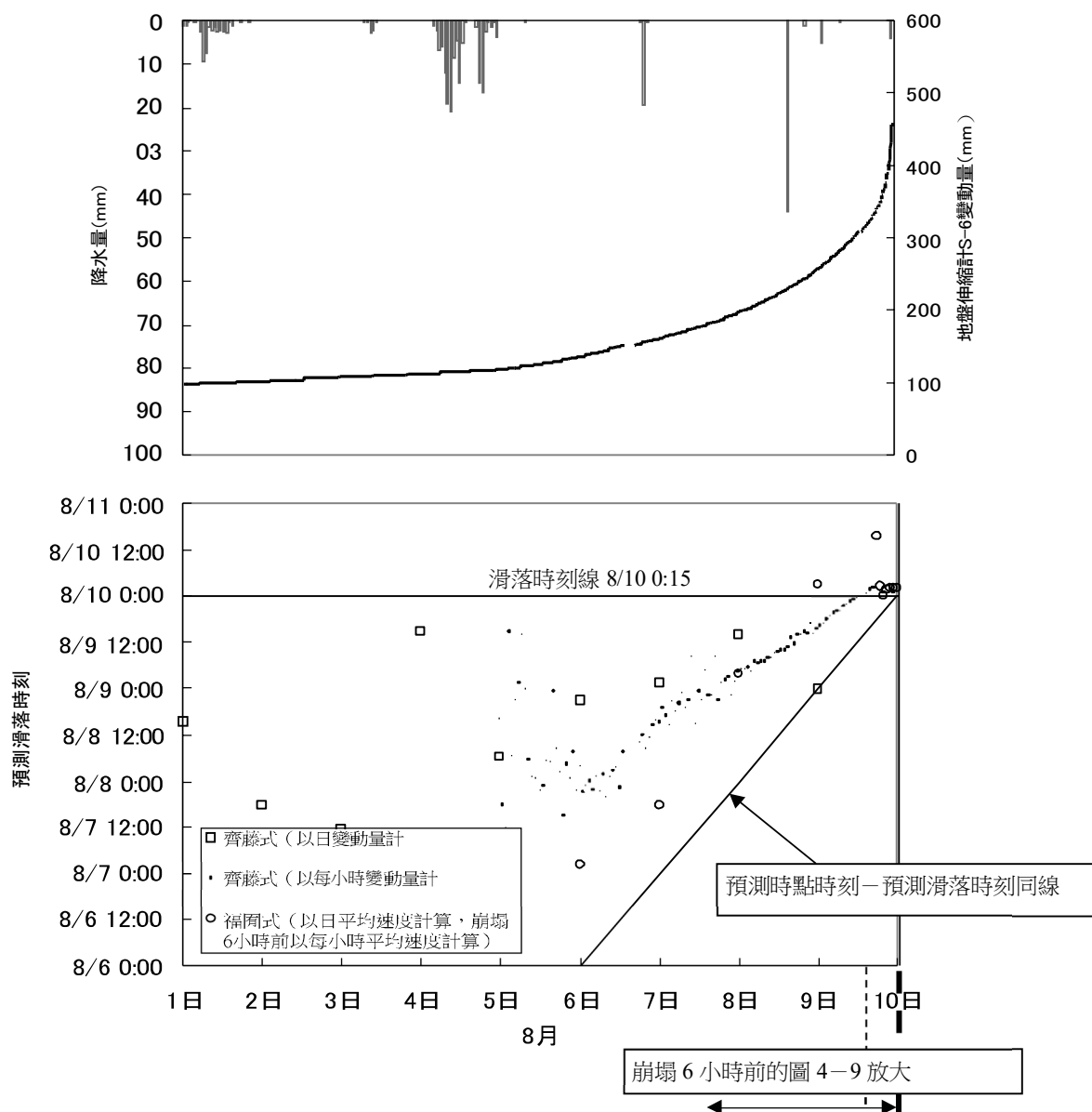


圖4-8 以齊藤式、福囿式預測滑落之結果(8月1日～8月10日)

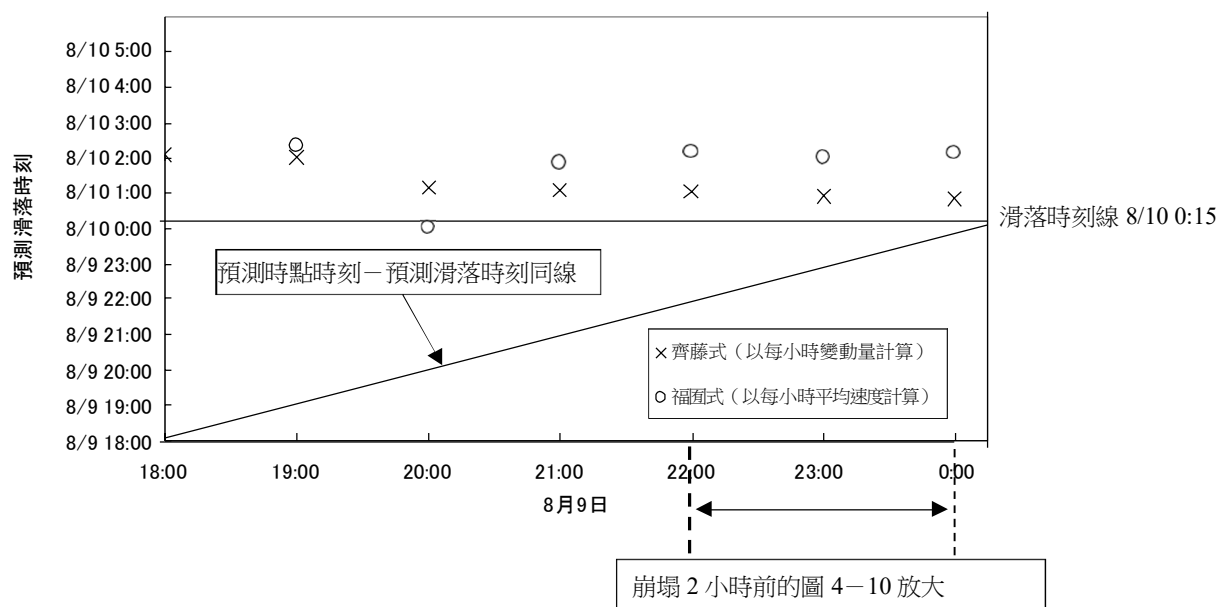
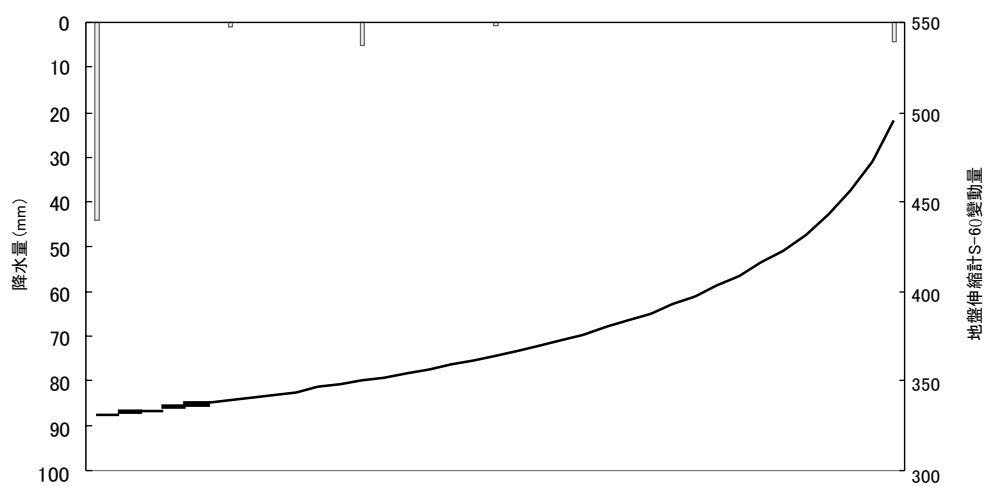


圖 4－9 滑落6小時前以齊藤式、福囿式預測滑落之結果
(以每小時之變動量進行預測)

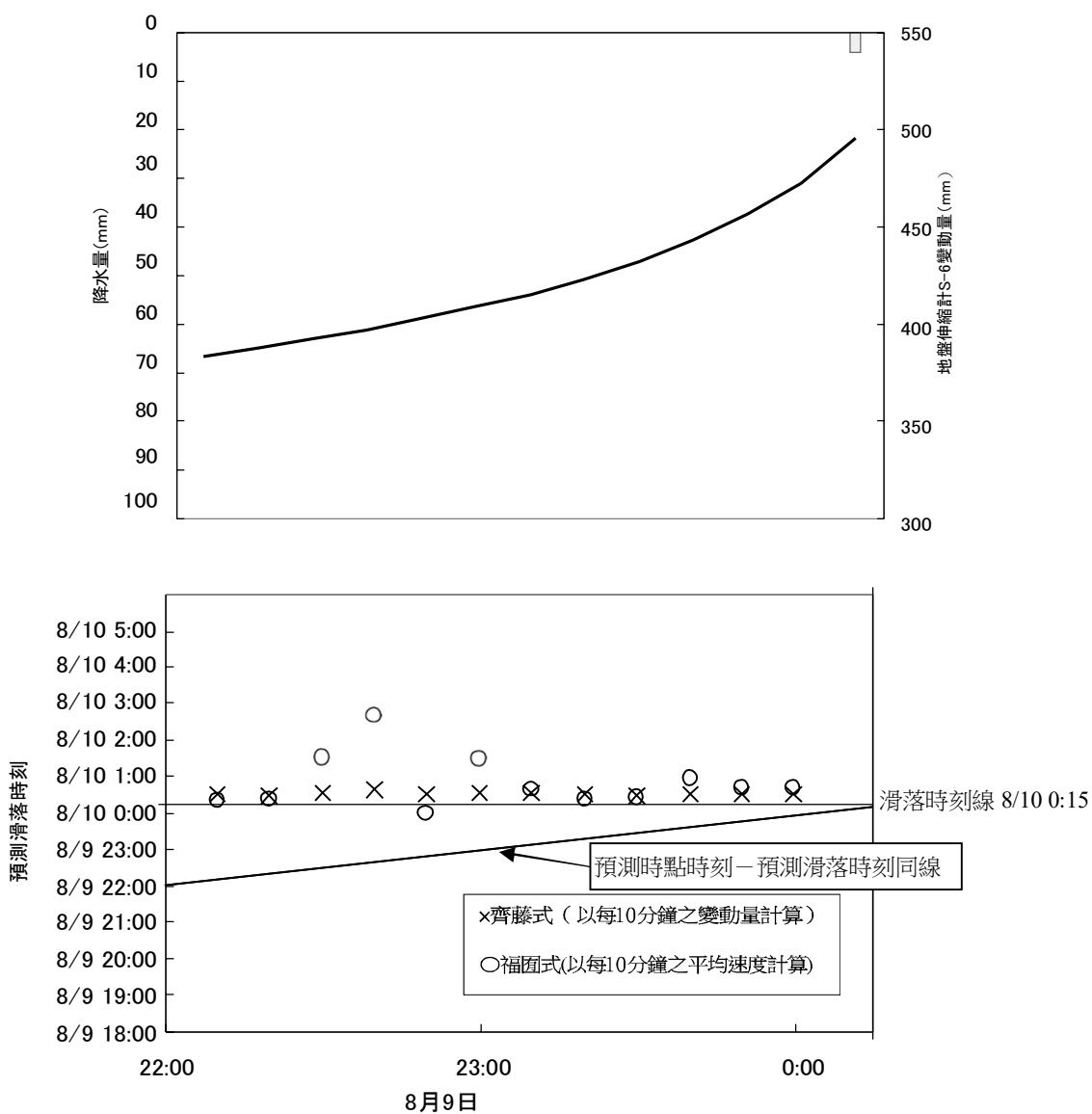


圖 4－1 0 滑落2小時前以齊藤式、福園式預測滑落之結果
(依據每10分鐘之變動量進行預測)

【參考 各預測法之說明】

① 以福囿之移動速度倒數進行預測的方法

福囿實驗發現，表面移動速度與加速度在雙對數圖上為直線關係，橫軸為時間，縱軸為移動速度的倒數，由移動速度倒數值推估直線與橫軸交點，可推測崩塌壞發生時刻。針對圖 4－8 之觀測結果，利用福囿所提出移動速度倒數計算，結果如圖 4－11 所示。圖 4－11 之中，移動速度倒數值推估之直線與橫軸交叉時間點，即是預測滑落時刻。

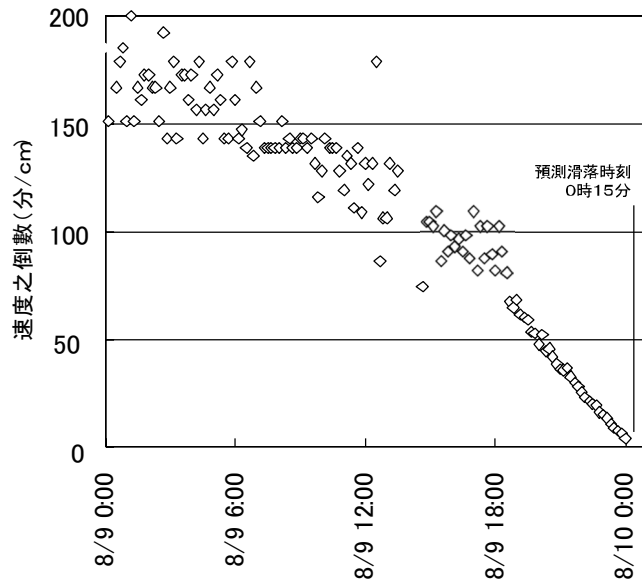


圖 4－11 福囿以移動速度之倒數預測滑落時刻

② 齊藤所提出之預測方法

齊藤⁴⁾依據現場測定與實驗，得到如圖 4－12 所示應變速度與到坡面破壞為止之時間關係。圖中縱軸代表到崩塌為止的時間（分），橫軸代表應變速度。

齊藤由二次潛變推導出概略崩塌預測之下式。潛變破壞時間標示為到實際發生崩塌為止之緩衝時間。

$$\log_{10} tr = 2.33 - 0.916 \cdot \log_{10} \dot{\epsilon} \pm 0.59 \quad \dots \quad (\text{式 4-1})$$

tr ：潛變破壞時間

$\dot{\epsilon}$ ：應變速度 ($10^{-4}/\text{分}$)

下式可算出 2 地點打設樁之間的應變速度。

$$\dot{\epsilon} = (\Delta l / l) / \Delta t$$

l ：樁間之距離(mm)

Δl ： Δt 所改變的移動量(mm)

Δt ： Δl 移動所需時間(分)

應變速度可由地盤伸縮計所測得變位量，帶入式 4-2 算出，到滑落為止之預估時間，則由式 4－1 算出。

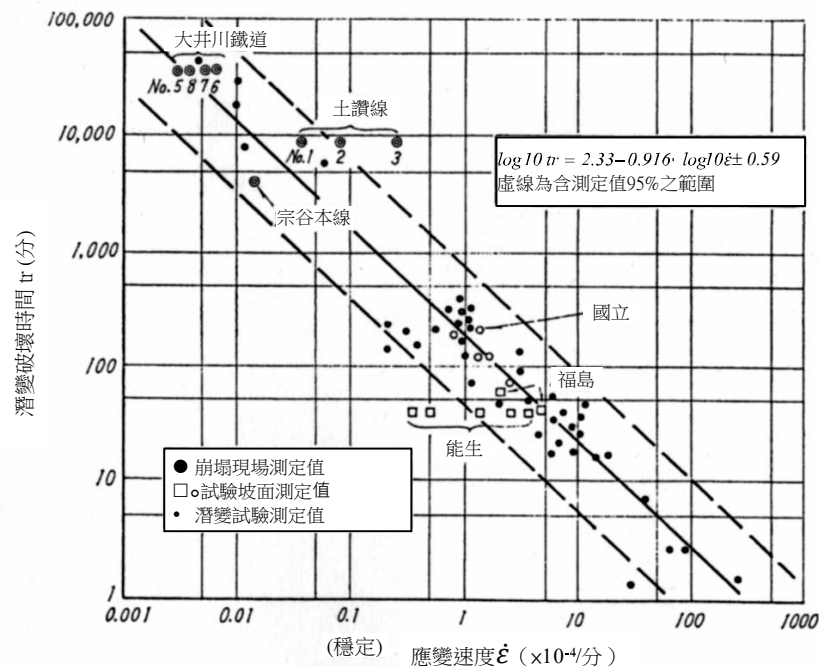


圖 4 - 1 2 邊坡崩塌實測結果²⁾

③ 三次潛變區域之預測方法

齊藤⁴⁾也提出了三次潛變區域預測方法。

3) 擴大可能性之探討

地滑擴大時可能有造成嚴重災害之危險性，因此有必要事先探討災害擴大之可能性。最好能注意以下要點，確認可能擴大之範圍，必要時設置地盤伸縮計等量測儀器。

(1) 地形

有無地滑地形，遷急線與遷緩線之分布，山脊與沖溝之分布、末端部的地形

(2) 地質與地質構造

斷層之分布、順向坡構造等

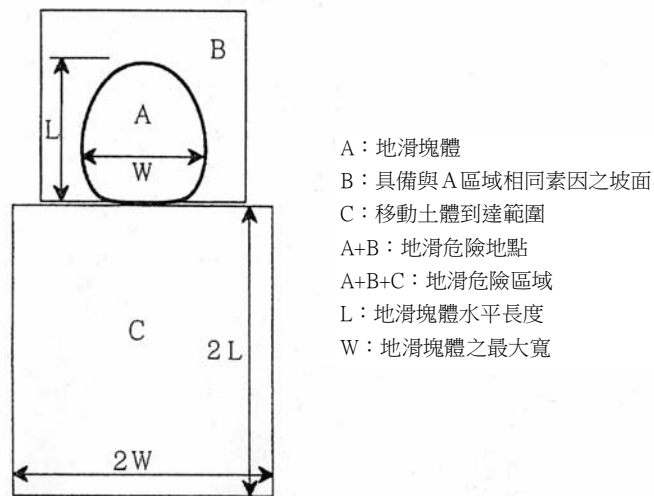
(3) 其他

異狀之分布位置、異狀之種類（裂縫、隆起等）、變位量之變化、湧水之分布、植生狀況

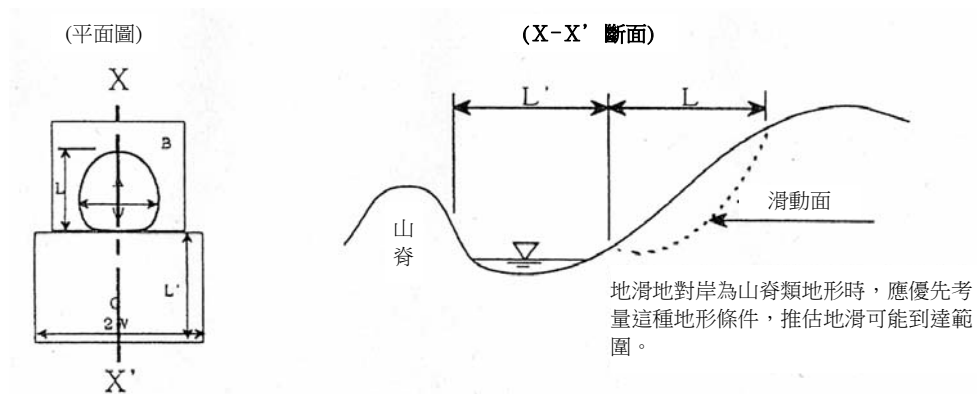
4) 影響範圍之推定

確認高移動潛勢之範圍之後，有必要精確推估地滑土體移動到達之範圍。過去災害案例之中地滑移動到達之範圍，95%在地滑舌端部算起、地滑長與寬2倍左右之距離內⁵⁾。因此，警戒避難基礎資料如圖 4 - 1 3 所示，最好能將地滑影響範圍設定為地滑塊體長度2倍、寬2倍左右之範圍。

但未必所有的地滑現象都在此範圍內。推估地滑影響範圍時，有必要參考對象地滑周邊區域過去的災害案例，考量地滑下方之地形或地滑移動特性而慎重探討之。此外，若有形成堰塞壩，有必要推估堰塞壩上游及下游區域之災害影響範圍，做為警戒避難對策之適當基礎資料（參照 2 · 3 · 2 (8)）。



(a) 地滑危險區域之範圍



(b) 移動土體到達範圍受地形條件制約之案例

圖 4-13 地滑土體到達範圍⁶⁾

4.3 設定緊急時管理基準值

配合地滑運動狀況建立警戒避難體制時，須設定依據地盤伸縮計等的量測值（變位量）等的危機管理基準值作為參考。

解說

表 4－1～4－3 係彙整過去管理基準值而完成設定之案例。基準值因地滑移動特性與地滑影響範圍而異，無法設定統一數字，大多數案例的地盤伸縮計移動量為 1mm／日級序時設定為「注意」，10mm／日級序時設定為「警戒」，數～10mm／小時級序時設定為「避難」與「禁止進入」⁷⁾。進行警戒避難相關體制判斷，不可只依據量測值，還得注意變位量是否有累積性。此外，地滑有時會急遽加速，因此應參考附近之災害案例，慎重設定。

解除警戒體制不可直接適用基準值，而應更重視安全地作判斷。譬如，解除警戒體制時，應確認某種程度安全度，或確認不會發生進一步的異狀等，慎重判斷。

表 4-1 管理基準值一覽表⁷⁾ 補充

(a) 地滑指定地等

地滑 名稱	依據地盤伸縮計所設定之管理基準值				其他 管理基準值	備 註
	注 意	警 戒	避 難	禁止進入		
A-1		4mm/h 或 20mm/D			降雨量	超過基準值時，實施踏勘
A-2	1mm/D	10mm/D	2mm/h*2h 4mm/h	10mm/h 專	地盤傾斜計(參考值) 管式應變計(參考值)	
A-3	1mm/D	10mm/D	4mm/h*2h	10mm/h 專	地盤傾斜計(參考值) 管式應變計(參考值)	
A-4	1mm/D	10mm/D	2mm/h*2h 4mm/h	10mm/h 專		
A-5	1mm/D	10mm/D	2mm/h*2h 4mm/h	10mm/h 專	地盤傾斜計(參考值)	
A-6	1mm/D	10mm/D	2mm/h*2h 4mm/h	10mm/h 專	地盤傾斜計(參考值) 管式應變計(參考值)	
A-7	1mm/D*7D	12- 17mm/D	2mm/h*2h 4mm/h		以多層移動量計設定 基準值	
A-8	1mm/D	10mm/D	2mm/h*2h 4mm/h	10mm/h 專		
A-9			2-4mm/h		降雨量	
A-10			4mm/h		降雨量	
A-11			1) 2mm/h 2) 4mm/h			1)低於此值，末端可施作邊坡趾部填土工程 2)低於此值，可實施冠部排土、洩水工 2)高於此值，應進行避難
A-12			2mm/h			超過基準值時，應進行踏勘，經協議，實施避難與交通管制
A-13	10mm/D	2mm/h	4mm/h		降雨量	超過4mm/h時，發布警報
A-14			4mm/h 20mm/D		降雨量	超過基準值時，應實施踏勘，量測儀器 確認狀況，必要時進行避難
A-15			1mm/D		降雨量	對策工實施過程中的基準值-作業中止深 礎工附近之移動計量測值為1mm/D

h：時 D：日 M：月 *△：持續△之期間 專：專家之判斷

有複數基準值時，在符合其中一方的階段適用之

表 4-2 管理基準值一覽表^{7) 補充}

(b) 蓄水池、水庫等

蓄水池 編 號	以地盤伸縮計管理之基準值		其他 管理基準值	備 註
	注 意	停止淹水		
B-1	1mm/D*3D(拉伸) 0.6mm/D*3D(壓縮)	3mm/3D 專	地表傾斜計、巡視	試驗蓄水期間之管理基準值
B-2	0.4mm/D		地表傾斜計、巡視	〃
B-3	1.2mm/3D	專	地表傾斜計、巡視 地中傾斜計	〃
B-4		2mm/h 10mm/D	巡視	試驗蓄水期間之管理基準值 研究處理方式與對策
B-5			地表傾斜計	試驗蓄水期間之管理基準值
B-6	0.4mm/D*3D	1mm/D 專	地表傾斜計、巡視	〃
B-7	4mm/h			隣接水庫之地滑基準值
B-8	1mm/D	專	地表傾斜計 地中變位計	試驗蓄水期間之管理基準值
B-9	0.4mm/D*3D	1mm/D	地盤傾斜計、巡視	〃

h：時 D：日 M：月 *△：持續△之期間 專：專家之判斷

有複數基準值時，在符合其中一方的階段適用之

表 4-3 管理基準值一覽表^{7) 補充}

(c) 道路等

路線 編號	以地盤伸縮計進行管理之基準值				其他 管理基準值	備 註
	注 意	警 戒	對策工	交通管制		
C-1				20mm/D 4mm/h 2mm/h*2h	傾斜計、加速度計等	開挖隧道期間之管理基準值 超過基準值時，實施交通管制
C-2					地中變位計	
C-3		3mm/h		4mm/h		
C-4		20mm/D		4mm/h	降雨量	
C-5	0.02mm/D 0.5mm/M	0.1mm/D 2mm/M	1mm/D 10mm/M			
C-6	0.02mm/D	0.1mm/D	1mm/D			
C-7				2mm/h		現地確認，若1小時後無異常可解除
C-8				2mm/h		現地確認，若1小時後無異常可解除 夜間禁止通行
C-9				2mm/h		〃
C-10				4mm/h		現地確認，檢討對應方法
C-11				2mm/h 10mm/D	降雨量	實施交通管制，暫停對策工施工 大於4mm/h時，對岸也實施交管
C-12				10mm/D		對策工施工期間之管理基準值 超過基準時，工程暫停
C-13		4mm/D		A : 2mm/h 10mm/D B : 4mm/h 20mm/D	降雨量	對策工施工期間之管理基準值 超過A，地滑末端工程 地中之工程暫停 超過B，全部的工程暫停
C-14				10mm/D		對策工施工期間之管理基準值 超過基準，工程暫停

h：時 D：日 M：月 *△：持續△之期間 專：專家之判斷

有複數基準值時，在符合其中一方的階段適用之

4.4 應急對策

地滑運動開始活躍，有嚴重危害地滑周邊住宅、房屋與公共設施之虞時，應建立居民警戒避難體制，並同時實施緩和地滑運動之應急對策。此時，從確保眼前安全的角度來看，計畫安全係數（P.Fs）應設定大於1.05。

選定應急對策工程種類應考量地滑的滑動狀況與作業安全。

解說

緩和地滑移動之有效方法為排除地滑誘因。但有些地形條件及地滑移動狀況未必能實施對策排除誘因。因此，排除地滑誘因為首選做法，但仍必須掌握地滑移動狀況、作業安全性，選定可使用工程種類。

應急對策較常使用之工程種類為滲透防止工、橫向排水工、排土工、邊坡趾部填方工程。

以下說明實施緊急對策注意要點。

(1)應急地表水排除工

以水路進行應急排水或設置替代水路、施作連接地滑區周圍之水路工，截斷流入地滑地內之地表水，或以塑膠布等覆蓋龜裂、進行湧水排水及開挖池沼排水等，則是防止地表水往地滑區滲透。

(2)應急地下水排除工

應針對地滑側面部及滑落崖背後地滑區外安定地點到地滑周緣裂縫之下方，實施橫向排水工。若能進入地滑區內，在地滑地內施作橫向排水工或以大口徑排水管進行豎坑抽水機排水，也是有效作法。

(3)應急排土工

實施應急排土工應慎重檢討地滑冠部排土預定地上方坡面安定性，以及有無潛在地滑。

實施排土工時，若地滑移動狀況有時會威脅進入人員人身安全，因此應研究是否引進無人化機械。

(4)應急邊坡趾部填土工程

邊坡趾部填土工程包括永久對策實施後去除的臨時邊坡趾部填方工程及永久性邊坡趾部填土工程。地滑末端到達河川時，任何情況都有必要充分研究、實施洪水等造成侵蝕之對策。此外，為避免填土工程引致背後邊坡地下水位上升，填方材應使用透水性佳材料。

實施邊坡趾部填土工程時，當地滑移動狀況會威脅進入人員人身安全，因此應研究是否引進無人化機械。

(5)以堰塞壩進行對應

堰塞壩上游區域推估可能產生淹水災害或堰塞壩潰決引致災害時，有必要提早排除移動土體或開挖流路。此時應注意開挖引致移動土體再移動之危險性以形成堰塞壩地滑坡面上部是否可能再度移動。上述土體若有再度移動之虞，需設置地盤伸縮計，監測土體移動狀況同時施工。應先瞭解土體移動類型（崩塌或地滑），研究是否引進無人化機械施工。

堰塞壩形成且下游有防砂壩時，應先確認囚砂容量，必要時須排除淤積土砂。此時應在堰塞壩下游設置土石流感測器等，並實施挖除淤積土砂作業之安全管理。堰塞壩潰決可能性不易預測，但仍有必要從堰塞壩上游流域面積、河床坡度、堰塞壩堰塞長度及構成材料等，綜合判斷。

(6)應急對策工程之規模

過去地滑案例報告顯示，安全係數降低5%左右時，地滑可能再度移動，有的案例安全係數提高5%左右，活動中的地滑就停止了¹⁾。

參考文獻

- 1) 綱木亮介：斜面変状時の対応と留意点，「地すべり防止工事士」登録更新特別研修テキスト（坡面異状時之對應與注意要點，「地滑防止工程士」登録更新特別研修教材），（社）地滑對策技術協會，51p，1999。
- 2) 齊藤迪孝：斜面崩壊時期の予知（坡面崩塌時期之預測），《地滑》，Vol.2，No.2，pp.7～12，1966。
- 3) 福囿輝旗：表面移動速度の逆数を用いた降雨による斜面崩壊発生時刻の予測法（使用表面移動速度例數之降雨引致坡面崩塌發生時刻預測之方法），《地滑》，Vol.22，No.2，pp.8～13，1985。
- 4) 齊藤迪孝：第三次クリープによる斜面崩壊時期の予知（第三次潛移引致坡面崩塌時間點之預測），《地滑》，Vol.4，No.3，pp.2～8，1968。
- 5) 綱木亮介，中村浩之，小島伸一：地すべり土塊の到達危険範圍の推定（地滑土體到達危險範圍之推定），論壇「掌握地滑災害發生危險地點相關各項問題」論文集，地滑學會，1990。
- 6) 全國地滑崖崩對策協議會：地すべり対策事業の手引き（地滑對策事業手冊），全國治水砂防協會，360p，2000。
- 7) 建設省土木研究所新潟試験所：地すべり管理基準値の実態調査報告書（地滑管理基準値實態調査報告書），土木研究所資料，第3184號，1993。

第5章 設計

5.1 概說

設計地滑防止設施，應依據地滑防止設施計畫，具備適當機能與安全性的設計。
設計地滑防止設施除了注意儘量使用長效耐久材料、防止時間變化之安全係數降低，同時應注意、檢討施工期間及後續維護管理總成本。
此外，最好隨時參考施工期間取得之數據，修正設計，發揮所需要效果。

5.2 抑制工之設計

5.2.1 地表水排除工

設計地表水排除工，應考量具備某種程度可承受變形而維持機能之彈性構造，以及是否容易維修。

解說

1) 水路工

水路工包含地滑坡面內凹地以樹枝狀施作之集水路及可排水的排水路，配置方法如圖 5－1 所示。此外，必要時應實施對策，避免地滑塊體外地表水流入地滑塊體內。

設計水路工注意要點如下。

- (1) 水路為防止地滑邊坡地表水集水與凹地積水再滲透之疏浚水路（圖 5－2）。選定水路路線應考慮以最小限的方式開挖地滑邊坡。

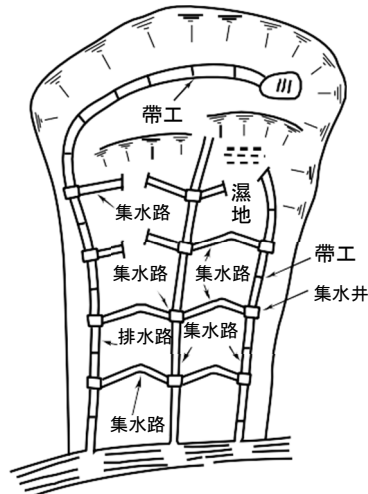


圖 5 - 1 地表排水路網

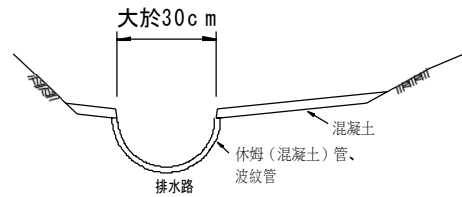


圖 5 - 2 地表排水路

- (2) 考量維護管理，集水路與小規模排水路寬，應儘量採寬淺形狀，至少大於 30cm。
- (3) 水路底部應實施混凝土打設防止流水再滲透，與支流之合流點及彎曲段、坡度變化點設置集水井，水路路肩打設混凝土或瀝青，避免表流水流入。
- (4) 幹線水路應依計畫最大洪水流量，算出水路通洪斷面。此外，計畫對象降水量多設定為超過機率1/50左右的規模。除此之外，水路斷面有必要考量土砂等淤積所減少斷面，預留20%以上備用空間。
- (5) 集水井可能成為階梯落差工時，應考量落差高程、流量、溢流水深，依據式 5 - 1 標準作法，決定集水井大小（圖 5 - 3）。

$$L = k(h_1 + t) \cdots \cdots (\text{式 } 5 - 1)$$

L：集水井內徑 (m)

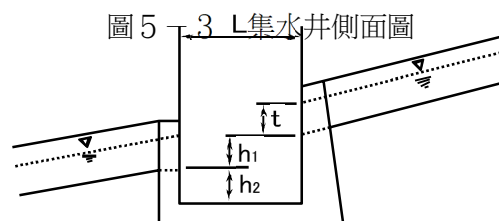
k：2.5~3.0

t：上游水路水深 (m)

h_1 ：上下游水路底部落差 (m)

h_2 ：集水井水壩深度 (m)

(0.2~0.5m)



- (6) 地下水位較高地點設置的水路，原則上應與暗渠工併為明暗渠工。
- (7) 圖 5－4 係集水井與階段工標準圖。集水井或階梯落差工應每 20 ～50m 設置一處。
- (8) 水路材料可使用鋼筋混凝土 U 型溝、半圓休姆管、波紋管、塑膠管。預估地滑或地表移動可能造成水路變形地點，選擇具屈撓性等、易追隨地表移動之材料。
- (9) 擔心雜草侵入水路之地點，水路兩側 1m 左右鋪設混凝土，能有效減少雜草侵入水路。
- (10) 伴隨地滑運動產生地盤隆起、沉陷可能使水路接合部裂開或水路破壞而漏水，有必要實施定期維護檢查與修復。

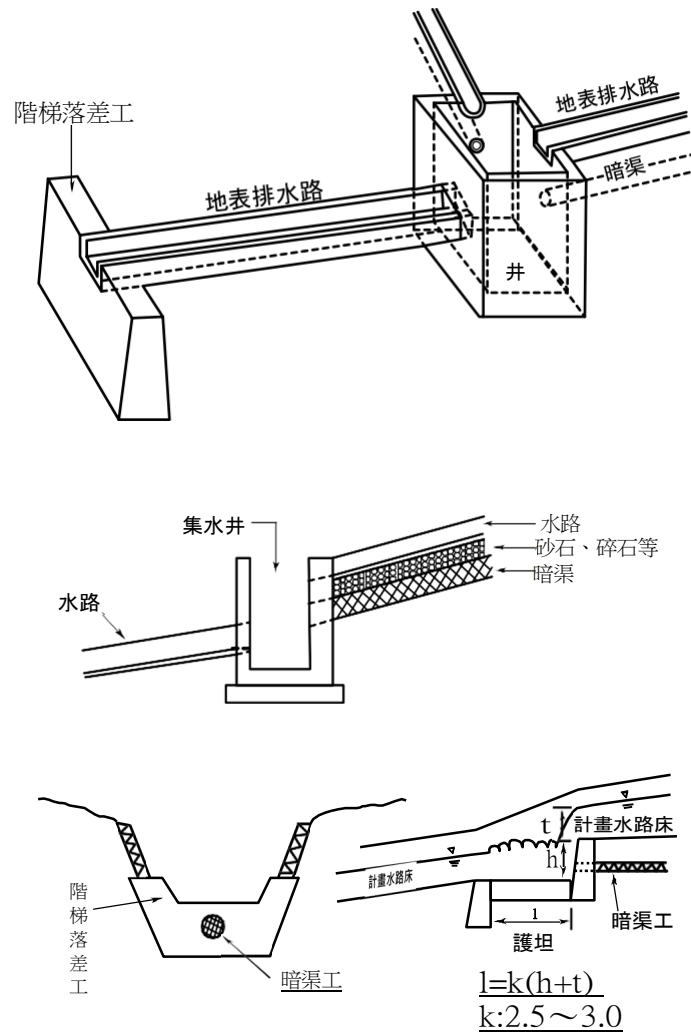


圖 5-4 集水井與階梯落差工標準圖

2) 滲透防止工

主要的滲透防止工如下。

(1) 填充工法

黏土或混凝土填充裂縫，適合緊急對策使用。

(2) 塑料薄膜覆蓋工法

塑料薄膜覆蓋裂縫，適合緊急對策使用。

(3) 漏水防止工法

沼地漏水時，以底部為瀝青等的不透水性材料加以覆蓋。

5.2.2 地下水排除工

設計地下水排除工應考量維持邊坡穩定所需地下水位高度、地滑狀況、設施安全性及是否容易維護管理等問題。

解說

1) 淺層地下水排除工

1-1) 暗渠工

設計暗渠工應注意以下要點。

- (1) 暗渠之配置應評估土壤與地下水狀況後，決定之。
- (2) 每條暗渠長約 20m，設計成直線，設置可防止暗渠阻塞或避免集水之地下水再滲透集水井，並以地表排水路進行排水。
- (3) 暗渠深度約 2m，溝底鋪防漏水之防水塑膠布。此外，為防止土砂被吸出，暗渠管周圍鋪設土砂吸出防止材（圖 5-5）。
- (4) 暗渠管周圍填塞濾材，提升淺層地下水集水效率（圖 5-5）。
- (5) 若也要進行地表水集水，可在暗渠填充鵝卵石或碎石直到地表。
- (6) 暗渠管材料應足以承受某種程度地盤變動，可使用蛇籠或多孔管。此外，坡度較陡時，可如圖 5-6 所示，以打樁等方法固定之。

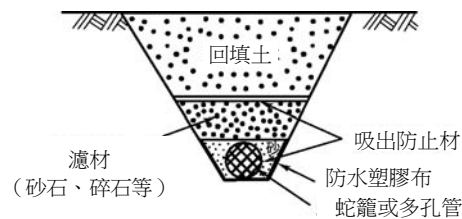


圖 5-5 暗渠工

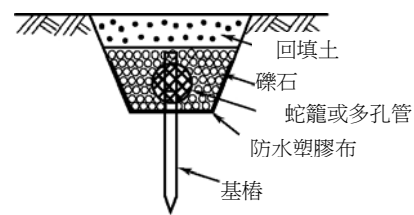


圖 5-6 蛇籠暗渠

1-2) 明暗渠工

設計明暗渠工（圖 5-7）應注意以下要點。

- (1) 明暗渠單一渠道過長時，集水可能再滲透。應考量現場狀況，決定明暗渠長度。
- (2) 一般而言，如圖 5-8 所示完成集水之地下水，應以每 20m 左右間距設置之集水井或階梯落差工，將水引導到地表水路進行排水。

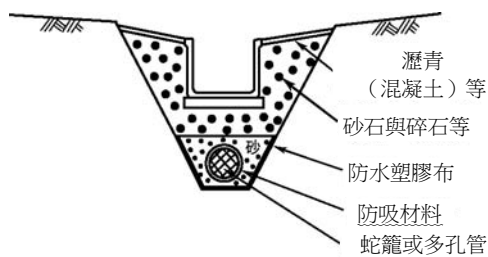


圖 5-7 明暗渠工

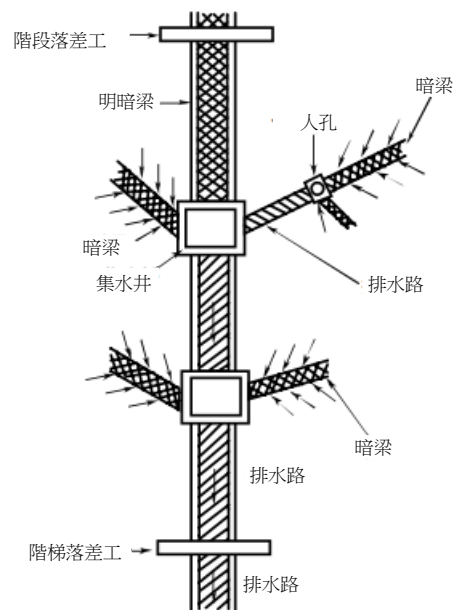


圖 5-8 集水之地下水處理

1-3) 橫向排水工

圖 5-9 為橫向排水工概念圖。如圖所示，應依地下水檢層結果等，考量地下水流動層位置施作橫向排水工。

設計橫向集水管工程應注意以下要點。

- (1) 橫向排水一般設置在淺層地下水集中地點，鑽探孔前端以 5~10m 之間隔，設計成放射狀或平行（圖 5-10）。此外，橫向排水工施工計畫應挖穿地滑面，加深 5~10m 的鑽探。

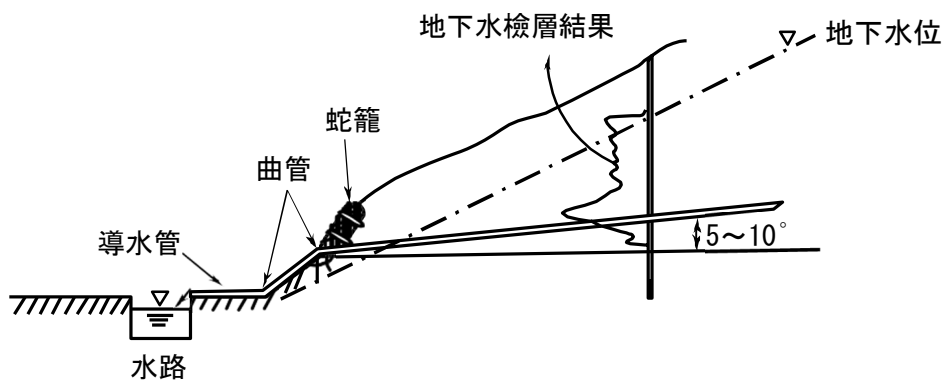


圖 5-9 橫向排水工

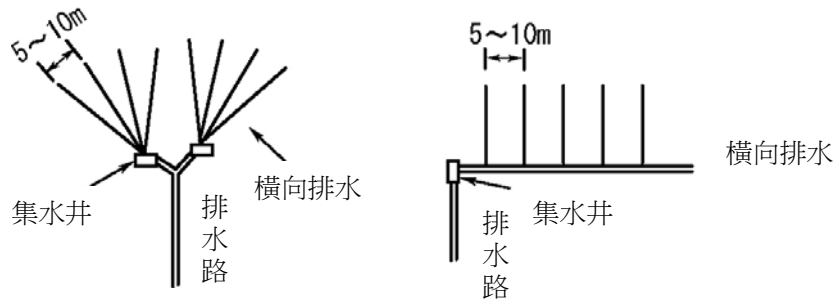


圖 5 - 1 0 橫向排水之配置

- (2) 完成集水之地下水導引到集水井或排水路，迅速往地滑區外排水。
- (3) 鑽探孔口需設置在安定地層，且應設置保護工，防止排水造成孔口崩塌（圖 5 - 1 1）。
- (4) 鑽探鑽進坡度為可完成集水之地下水自然流下坡度，約仰角 $5\sim 10^\circ$ ，鑽孔直徑約 66mm 以上。
- (5) 地滑邊坡土質為粘土且透水係數小時，鑽探孔徑應加大。
- (6) 集水管可使用內徑大於 40mm 之管，帶水層區間進行濾管加工。濾管做成圓形或凹槽型。此外，集水管接頭可做成管件接頭或對焊接頭，接頭標準長度約為內徑 1.5 倍。圖 5 - 1 2 為圓形濾管案例。
- (7) 應定期確認橫向排水的排水量，發現有堵塞等降低機能，應清洗孔內。（參照 5 · 4 · 1）

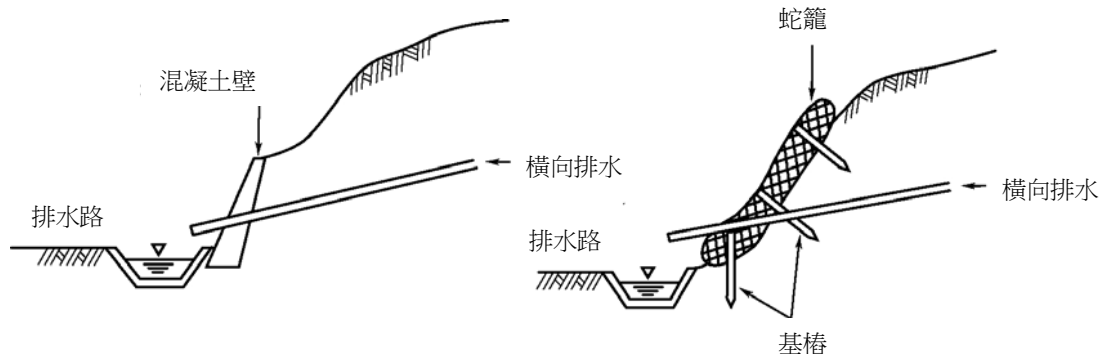


圖 5 - 1 1 橫向排水孔口保護工

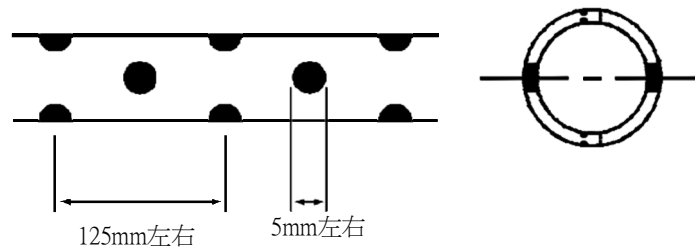


圖 5 - 1 2 集水管濾管施作案例

2) 深層地下水排除工

2-1) 橫向排水工

設計注意要點與 1-3) 相同，排除深層地下水時需注意以下要點。

- (1) 排除帶水層地下水之橫向排水管長度約為 50m，前端鑽掘孔徑大於 66mm。
- (2) 鑽進角度原則上為面向帶水層往上傾斜 $5\sim 10^\circ$ 。此外，應注意鑽進方向，施工時避免鑽探孔彎曲，且不可讓完成集水之地下水從集水管漏出去。
- (3) 排除受壓地下水時，應朝斜下方鑽探，也可以自噴方式排水。

2-2) 集水井工程

集水井應設在易施工且安定地層，往透水層配置集水管（圖 5-13）。因此，集水井施工位置應以調查鑽探確認地質及基盤狀態後決定。

地下水賦存範圍大、設置二座以上集水井時，應考量橫向集水管長度、集水井造成地下水位降低之範圍以及地下水賦存狀況等適當配置。集水井工程係以集水管進行地下水集水，並不期待由集水井壁面完成集水。

集水井施工時也可直接觀察地滑邊坡地質及土壤狀態、以及滑動面位置及滑動面狀態等。此外，應注意此時也可採取不擾動試料，不只施工，希望還可以活用在調查中。

地滑土體多明顯風化且脆弱，集水井鑽掘或在集水井內進行鑽探作業，也應特別注意施工安全管理。

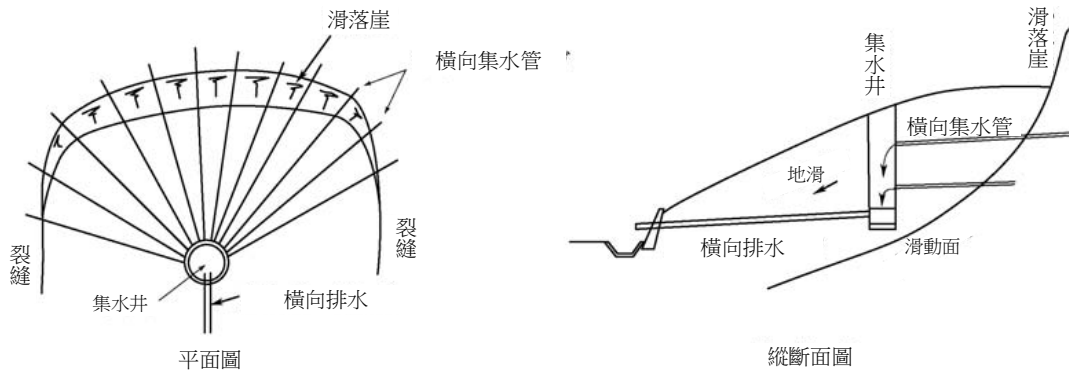


圖 5－13 集水井工程

(1) 集水井的深度

設置在移動中的地滑坡面內，集水井底部的深度應少於滑動面2m以上，若設置在停止中的地滑坡面或地滑坡面外，集水井應貫入基盤約2~3m。係因移動中的地滑坡面內集水井底部若貫入滑動面下方，地滑移動可能連帶破壞滑動面附近的集水井。此外，停止中的地滑坡面一般而言滑動面深度不明，難以確認施作集水井是否造成含水層不良影響，為提高集水井集水效果，因此將集水井底部貫入基盤中。

其他，移動中的地滑邊坡進行長期集水井施工，可能造成土壤變化或土壓提高之施工困難，因此應儘量縮短工期。

(2) 集水井的構造

集水井的形狀為圓筒型，標準內徑3.5~4.0m。但若土壤為礫石或混合轉石的土砂、硬岩、破碎岩等而造成集水管難以開挖時，可設計較大內徑。但不論選哪種設計，都須充分注意施工安全。

集水井為集排水管的維護管理，原則上設計成中空。此外，施工後地滑移動明顯、有破壞集水井之虞時，應急對策可在集水井內填充鵝卵石或河川塊石等，維護集水井。

集水井底部以混凝土打底，厚度約50cm，可阻絕地下水進入地滑層或基盤，避免助長地滑活動。

集水井材料一般使用鋼構造（襯砌板）及鋼筋混凝土，應考量材料是否容易搬到施工位置以及施工到維護管理之總成本。一般而言，地滑邊坡集水井施工地點多位於山區，多難以用大型機械搬運材料，且很少相同地點使用大量材料。在此情況下可選用輕量且施工性佳的材料。

為防止閒雜人等進入集水井，集水井筒頂部應高出地面1m左右，並設置天蓋與防護柵欄。此外，集水井內應設置扶梯。

1) 鋼構造（襯砌板）集水井之設計

作用在集水井外圍表面的載重，原則上只考慮土壓，而不考慮水壓。土壓為主動土壓，原則上不考量伴隨地滑運動產生之土壓。但實際上地滑運動很複雜，因此有時須視情況採用有考量地滑運動產生土壓之計算方法。另外，若預估集水井可能變形，可使用橫支柱或垂直加勁材補強集水井。此外，若推估可能有側向偏壓，設計時應納入考量。

耐挫曲之安全構建斷面厚度（板厚），應以作用在集水井外圍表面最大土壓 P_{tmax} ，依下式決定之。

$$q_A = \frac{3 \cdot E \cdot I}{f \cdot R^3} > P_{1max} \quad \dots \quad (\text{式 } 5-2)$$

q_A ：集水井外圍表面容許外壓（ kN/m^2 ）

E ：楊氏模數（彈性模量， kN/m^2 ）

I ：螺栓、波紋管每 1 m 深度截面二次矩（ m^4/m ）

但考量集水孔與螺帽孔等設計的有效斷面二次矩為 $0.8 I_0$ （ I_0 ：無集水孔與螺帽孔等時斷面二次矩）。

f ：安全係數（1.5~2.0）

R ：集水井半徑（m）

P_{tmax} ：作用在集水井外圍表面的最大土壓

式 5-2 係考量鋼板波形影響、柏松比為零時承受外壓薄肉圓筒每單位長之挫曲公式。若無法滿足這條公式，則應補強襯砌板與波紋管水平接縫，或內側嵌入 H 型鋼補強環補強。又，補強環斷面與間距應把補強環間距換算成單位長，決定之（圖 5-14）。

另外，若有明確的土壓等設計條件，可配合土壓分布改變構件斷面。

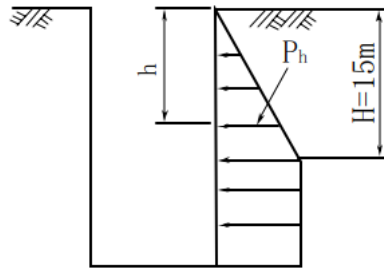


圖 5 - 1 5 作用在集水井外圍表面之土壓

2) 鋼筋混凝土集水井之設計

這種集水井適用於以下情況。

- a)一般地質為砂質地盤等相當均質地層，集水井容易因自重沉陷
- b)地層為含大量地下水因而容易產生井噴（噴泥現象）之砂質時
- c)地盤為容易產生隆起（受壓地下水抬升被覆層之現象）之軟黏土質時

(3) 橫向排水

集水井之常態排水原則上以橫向排水進行自然排水。機械排水故障時有無法排除地下水及引致地滑再移動之虞，且維持管理費用大。

橫向排水最大長度多半約 80m。排水管標準內徑 80~100mm之鋼管，若預估排水地下水量大，可適度加大孔徑或施作複數橫向排水。

橫向排水長度變長或橫向排水施作困難時，可在距離 70~80 m地點設置中繼水井，連結橫向排水。此外，橫向排水水流末端應設在地滑塊體內，利用水路將水流引導到地滑區外。又，排水末端可以蛇籠或擋土牆進行坡面的保護。

(4) 橫向集水管

橫向集水管可在各帶水層設置 1~數段，進行放射狀施工，同時排除淺層地下水。1支橫向集水管標準長度 50m，挖開滑落崖正下方滑動面、往基盤內鑽進時，橫向集水管長度可達到 80~100m。

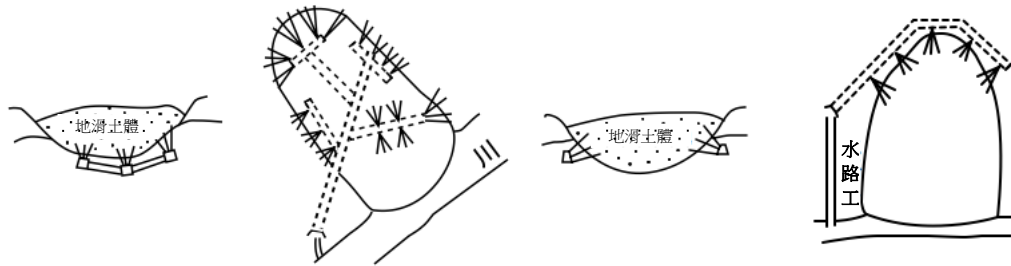
橫向集水管位置、方向、間距、隻數等，應依據地質或地下水調查結果決定之，但須視施工期間集水狀況而定，必要時須改變方向、間距與支數。此外，集水管使用內徑大於 40mm 之硬質PVC管，並與橫向排水之集水管一樣設置濾管。

2-3) 排水廊道工

排水廊道常用於地滑規模大、移動層較厚且移動速度大等情況。原因是集水井工要排除深層地下水得挖深，且移動速度大之地滑難以施工。

排水廊道原則上不設在地滑土體內而設置在安定的基盤岩內（圖 5-16），排除破壞滑動面強度地下水的方法則是連結廊道之橫向集水管與集水井。

設計排水廊道須注意以下要點。



(a)底設排水廊道

(b)周圍排水廊道

圖 5-16 排水廊道工

(1) 排水廊道之配置

基盤岩內排水廊道頂端到滑動面為止之距離，應考量地盤鬆動範圍、設定為大於廊道直徑 2 倍以上。此外，配置排水廊道應考量可能引致地滑之地下水脈分布，注意特別是地下水容易匯集之滑落崖正下方及地滑兩側面部之排水。此外，排水廊道坑口應儘量設在地盤堅固的地點。

(2) 排水廊道之縱斷坡面

排水廊道之縱斷坡面，係讓集水之地下水自然排水，面對坑口須有俯角，且其坡度一般小於 15/1000。

(3) 排水廊道之斷面及構造

排水廊道斷面形狀依使用材料不同分為馬蹄形、圓形、半圓形、梯形及矩形等（圖 5-17）。廊道為了容易進行集水設施等的維護管理，原則上做成中空，並考量耐久性設有襯砌。此外，廊道斷面應考量包含施工在內維護管理時的作業性，注意從施工到維護管理之總成本。

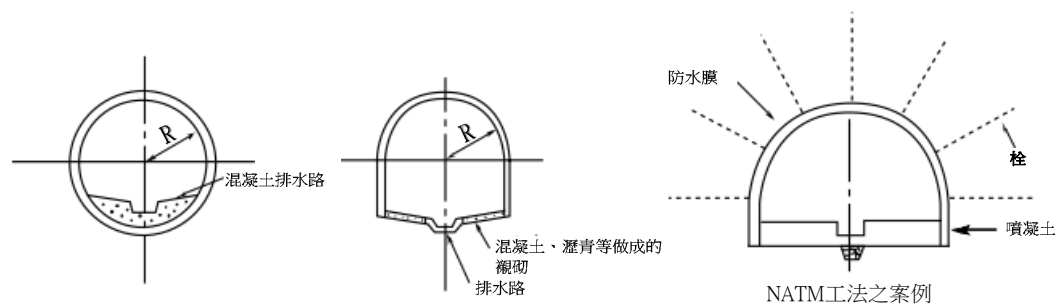


圖 5－17 排水廊道斷面形狀案例

襯砌材料使用混凝土、襯砌板、波紋管等。

(4) 緊急時的逃生用坑口

排水廊道長度大於 1000m 時，為實施安全管理，應設置緊急逃生斜坑或豎坑等。

(5) 集水

原則上由排水廊道完成集水。橫向集水管應朝向含水層設置，由廊道內往橫向或朝上做成放射狀。鑽探角度應參考到含水層為止之距離、管全長、橫切帶水層之區間長度等，決定之。

此外，施作較陡角度鑽探時，必要時應擴大廊道斷面設置鑽探室。橫向集水管之長度及集水管做法，參照「1－3 及 2－1 橫向排水工」。

(6) 排水

為避免橫向集水管之集水導致地下水再度滲透進入排水廊道地盤，排水廊道底部原則上採取和水路工相同構造。此外，排水廊道襯砌使用襯砌板或波紋管等，很可能因為底部接縫破損或螺栓鬆脫等引致漏水。因此，底部應以混凝土等施作水路，維持排水工機能。

(7) 作用在排水廊道之土壓

作用在排水廊道之土壓大小應考量地質、廊道斷面大小、施工方法、襯砌種類、施工時期及邊坡性質狀態等，決定之。

表 5－1 為參考值。

表 5 - 1 Karl Terzaghi之作用在支保工的土荷重表¹⁾

岩盤狀態	土荷重高度(m)	摘 要
①堅固而完整	0	有落盤或山體滑坡碎石飛濺時，需施作簡易支保工。
②堅固層狀或片岩狀	0~0.5 B	施作簡易支保工。不同場所的荷重會有不規則的變化。
③大塊狀而有一般程度之節理	0~0.25 B	
④一般程度的塊狀，有裂縫	0.25 B ~ 0.35 (B + H _t)	無側壓。
⑤明顯分割成小塊且有許多裂縫	(0.35 ~ 1.10) (B + H _t)	側壓小或無
⑥完全破碎，化學上並未風化	1.10 (B + H _t)	相當大的側壓與漏水使廊道下部軟弱時，有必要在支保工下部設置平台，或是設置圓形支保工。

(1) 本表為覆土大於 1.5 (B + H_t) 時作用在拱形鋼支保工頂拱之土重。

B：廊道開挖斷面寬 (m)

H_t：廊道開挖斷面高 (m)

(2) 本表設定廊道頂拱低於地下水位。但若廊道永久高於地下水位，可將④~⑥各值減去50%。

(8) 廊道支保工之材料

廊道支保工使用木材或鋼材，一般堅固岩盤或短期間埋入時使用木材；施加土壓地點或到施作襯砌為止期間相當長時，使用鋼材。最近有人使用噴凝土及岩栓施作之 NATM 工法。

2 - 4) 其他工法

其他工法有利用大口徑橫向集水管實施的集排水工法。本工法係以直徑300~600mm凹槽鋼管施作橫向排水工或集水井工橫向集水管。可於預估凹槽阻塞或橫向集水管破壞時使用。

5.2.3 排土工

排土工旨在達成坡面安定，設計時應以地滑冠部區域為中心，依據邊坡穩定分析而決定排土量、應排土位置、挖方邊坡坡度與垂直高度。

設計排土工應事先充分調查排土預定地上方邊坡安定性及有無潛在地滑，避免排土降低背後坡面之安定性、誘發地滑，充分檢討是否可採用本工法，並檢討排土後如何保護坡面。

解說

設計排土工注意要點如下。

(1) 挖方坡面

圖 5－18 為排土工與挖方坡面概念圖。挖方坡面坡度與垂直高度應依據地質條件等，事先調查、檢討坡面安定性決定之。此因挖方坡面隨時間經過可能逐漸不安定化，而有引致表層崩塌之虞。

軟岩等情況下實施挖方，坡面坡度約 $1:0.5\sim 1:1.2$ ，多設定每垂直高度7m一處平台（小台階）1.0~2.0 m。

此外，砂質土時垂直高度 5~10m的挖方坡面坡度約 $1:1.0\sim 1:1.5$ ，多設定為每垂直高度5~10m平台1.0~2.0 m左右。

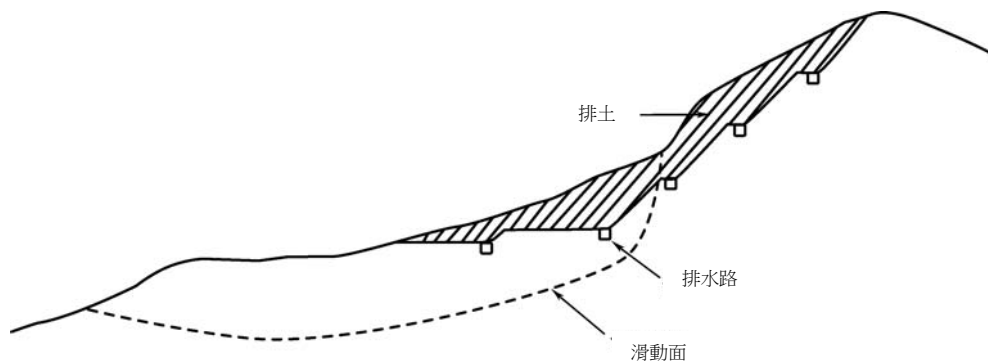


圖 5－18 排土工與挖方坡面

(2) 背後坡面安定性之檢討

實施排土時應事前充分調查排土預定地上方邊坡安定性及有無潛在地滑。因排土可能降低背後邊坡安定性，進一步誘發地滑。上方邊坡有潛在地滑時，應實施地滑排土工或抑止工，因此也應仔細檢討是否施作本工法。

(3) 排土後之坡面保護

排土後坡面容易因一般降雨引致地層軟弱化及邊坡崩塌。因此，排土後坡面應配合地形設置表面排水路與台階，設置集排水路以改善排水。

此外，為防止坡面侵蝕或風化，應以植生或構造物覆蓋坡面。不適合植生之坡面或只靠植生無法充分發揮安定效果之坡面，有必要同時施作坡面鋪石（坡面乾砌石）、預鑄混凝土塊漿砌工、格框工等加以保護。

5.2.4 邊坡趾部填土工程

邊坡趾部填土工程係以地滑坡面末端填土的方式增加地滑的滑動力抵抗力。應依據邊坡穩定分析，決定足以取得預定抵抗力之填土量與填方地點。

設計邊坡趾部填土工程也應依據基礎地盤調查結果，檢討填方部基地安定性，特別注意填方背後之地下水位處理。此外，須研究如何保護填方坡面及坡面尾端。

解說

圖 5－19 為邊坡趾部填土工程概念圖。

地滑邊坡多為已經擾動之軟弱地層，可能出現填方底部破壞。此外，若填方部下方邊坡不安定或有潛在地滑，可能可能被誘發。因此，設計邊坡趾部填方工程應依據基礎地盤調查結果，檢討填方部基盤安定性。

此外，邊坡趾部填土工程之填方高度與坡度應依填方材料及填方基礎地盤土壤特性而定。一般而言，填方的平均坡度為 $1:1.5 \sim 1:2.0$ ，填方每垂直高度5m設置約1.0~2.0m台階。此外，台階上有必要設置水路。

地滑邊坡末端有時會出現湧水或設置了橫向排水等設施，應避免填方阻礙排水。此外，若填方地點有淺層地下水含水層，填方及其載重可能會阻塞地下水出口，造成背後地下水位上升而讓邊坡不安定化，因此應充分注意填方背後之地下水處理。

邊坡趾部填方工程坡面，容易受降雨等造成崩塌或淘刷，應以坡面保護工等加以保護。坡面保護工應施作植生工、蛇籠工、格框工等，混凝土塊漿砌工等剛性結構應加以避免。但水庫蓄水池內施作水淹沒之坡面保護工，有時可使用塊石漿砌工或預鑄混凝土塊漿砌工。

坡面尾端原則上應設置四角形箱籠、鋼筋混凝土格框擋土牆、消波塊基礎固材預鑄混凝土塊擋土牆等，作為坡面基礎擋土牆。此外，使用混凝土重力式擋土牆，應特別注意避免基礎開挖等誘發地滑。填方部應注意防止表面侵蝕、維護自然環境與景觀並加以綠化。

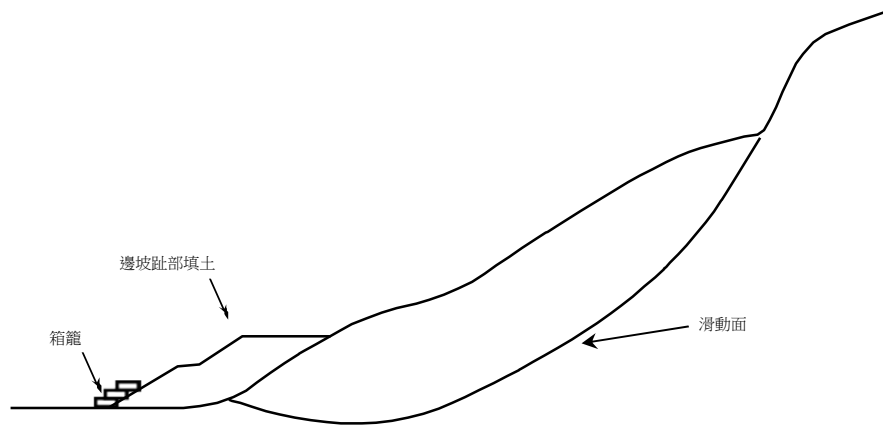


圖 5－19 邊坡趾部填土工程

5.2.5 河川構造物的侵蝕防止工

河川構造物之侵蝕防止工，係設計可防止地滑邊坡趾部被流水等侵蝕，引致溪岸崩塌、讓地滑運動再次活躍之工法。

解說

地滑邊坡趾部被流水等侵蝕，進而可能引致溪岸崩塌、地滑運動再度活躍化。此時可用河川構造物之侵蝕防止工防止地滑趾部的侵蝕。

此外，地滑邊坡正下方流動的部分設置防砂壩或固床工時，其淤砂有防止地滑邊坡趾部發生崩塌或侵蝕，以及發揮邊坡趾部填土工程效果。以下說明規劃設計之注意要點。

- (1) 施工時應最小限度開挖，避免破壞地滑安定性。
- (2) 避免施作侵蝕防止工使地滑坡面內地下水位上升，必要時應同時施作地下水排除施設。
- (3) 移動中之地滑區內規劃設置河川構造物，應採可因應流水等而不會受不良影響之韌性安全構造。
- (4) 地滑移動活躍時，應避免施作需開挖之構造物，或必須在下流安全地點設置防砂壩，希望讓淤積土砂能發揮邊坡趾部填土工程效果。

5 · 3 抑止工之設計

5 · 3 · 1 基樁工程

設計基樁工程應考量對象地滑地之地形與地質等，以取得預定之抑止力。

設計基樁工程時，應檢討基樁發揮預定抑止力時內部應力所對應之基樁穩定性，並注意不可讓基樁發生上部移動層造成被動破壞、基礎地盤破壞與基樁在過程中拔出等狀況。

解說

1)基樁工程之機能與分類

地滑之抑止樁，依機能分類如下。

(1) 抗彎樁

抗彎樁設計之條件係預估地滑在滑動時地滑土體會變形、基樁產生剪力與彎曲應力。抗彎樁又分為「楔形樁」與「抗滑樁」。

① 楔形樁

此係考量與移動土體一體化、移動之基樁在滑動面上下方撓曲時形成剪力與彎曲應力，因而將基樁設計成地滑的滑動力以集中載重的方式作用在滑動面。

② 抗滑樁

基樁背後側無法期待發揮地盤反力時，設計時可將基樁當作懸臂梁。地滑的滑動力則是在移動層內部的基樁以分布荷重或集中荷重的方式設計。抗滑樁是在地滑趾端或頭部附近施作基樁。

(2) 剪力樁

剪力樁之設計條件為地滑滑動時地滑土體不會變形（地樁不會發生彎曲應力），地滑滑動力係作用在滑動面之集中荷重，因此只需考量剪力。

2)基樁工程運用之條件

採用基樁工程，應充分考量其運用條件。過去的施工實績顯示，基樁工程多運用於移動層厚小於 20m 的情況，其餘使用條件還有應避開軟弱地層，且需移動層未因大量裂縫分割成小塊並於地滑活動休止期間施工等。

此外，設計上將基樁視為彈性體，需特別注意除了抗滑樁之外，基樁周邊具有充足的地盤反力為本工法的前提條件。

採用剪力樁須慎重確認無基樁彎曲破壞危險性。有些案例顯示，剪力樁在淺層地滑時發生傾倒。

3)基樁工程之水平承載力

基樁工程應考量對象地滑區之地形與地質等，以取得預定之計畫安全係數，進行設計。

計算基樁效果的公式有 Hennes 式、White 式及土研式等。利用這些公式算出的抑止效果為在剛性基樁且具無限強度狀況下，所產生基樁周邊地滑土體之破壞強度。但實際上基樁本身強度不可能無限大，因此，一根基樁不可能具備上式所算出之應力。從而，應以可施工之強度為基準，計算足以抑止地滑所需承受應力的單位寬度之基樁數目。

基樁施工多將基樁插入鑽好的垂直孔內，然後打設水泥砂漿，有時也可使用鋼管樁或H型鋼樁等敲擊樁，作為地滑對策之應急處置。但遇到礫石較多之土層等，打樁難以打到預定位置，打進基盤的深度極為有限。此外，這項工法會使基盤破碎，加速基盤風化等缺點。因此，永久對策應避免施作敲擊樁。

取得預定計畫安全係數之單位寬度基樁所負擔抑止力 P_r (kN/m)，可利用下列的簡易法計算。

$$P.F.s = \frac{\sum(W \cdot \cos \theta - U) \cdot \tan \phi' + c' \cdot \sum l + P_r}{\sum W \cdot \sin \theta} \quad \dots \quad (\text{式 } 5-5)$$

$$P_r = P.F.s \cdot \sum W \cdot \sin \theta - \sum(W \cdot \cos \theta - U) \cdot \tan \phi' + c' \cdot \sum l \quad \dots \quad (\text{式 } 5-6)$$

P_r ：單位寬度之基樁抑止力 (kN/m)

$P.F.s$ ：計畫安全係數

W ：切片之重量 (kN/m)

U ：影響切片之孔隙水壓 (kN/m)

l ：切片之滑動面長 (m)

θ ：滑動面切片之傾斜角 (°)

ϕ' ：滑動面之內摩擦角 (°)

c' ：滑動面之凝聚力 (kN/m²)

同時施作抑制工時，式 5-6 右邊之 U 、 W 、 l 應配合各種抑制工法效果量調整改變，求取基樁工程必要發揮之抑止力。

4)基樁施作位置

基樁施作位置原則上應選擇地滑運動塊體中央部偏下方、滑動面坡度較緩之地滑土體壓縮部，且移動層較厚、不易產生被動破壞之地點。

地滑防止工程對象範圍侷限在地滑運動塊體上端部時，基樁也可施作在滑動面坡度較陡的拉伸部。此時工程設計必須考慮到基樁下方坡面土體會滑落而無法發揮地盤反力的條件。

壓縮區設置基樁之位置，原則上應由地滑運動塊體末端比較各切片之滑動力 T_i 與抗滑力 R_i ，算出 $\sum R_i > \sum T_i$ （壓縮部）與 $\sum R_i < \sum T_i$ （拉伸部）之邊界，原則上選定低於該邊界且能充分發揮背面土壓之地點（圖 5-20）。

$$T_i = W_i \cdot \sin \theta_i \quad \dots \text{ (式 5-7)}$$

$$R_i = (W_i \cdot \cos \theta_i - U_i) \cdot \tan \phi' + c' \cdot l_i \quad \dots \text{ (式 5-8)}$$

T_i ：各切片之滑動力 (kN/m)

R_i ：各切片之抗滑力 (kN/m)

W_i ：切片重量 (kN/m)

U_i ：作用在切片上的孔隙水壓 (kN/m)

l_i ：切片之滑動面長度 (m)

θ_i ：滑動面分割片部之傾斜角 (°)

ϕ' ：滑動面之內摩擦角 (°)

c' ：滑動面之凝聚力 (kN/m²)

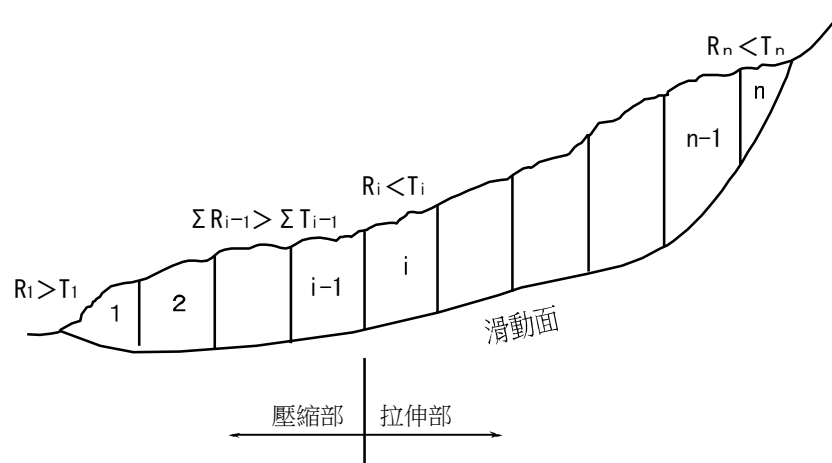


圖 5-20 在壓縮部設置基樁的位置¹⁾

不過，從地滑邊坡冠部到趾部連續設置地表伸縮計，依據各點之伸縮運動量測結果判定是壓縮部還是拉伸部，是最正確做法。

此外，決定基樁下緣位置的方法，當地滑末端施作基樁應避免基樁上部因被動破壞產生新的地滑（圖 5-21）。因此應滿足 $P.F_s' \text{ (式 5-10)} \geq P.F_s \text{ (式 5-9)}$ 。

$$P.F_s = \frac{\sum \{ (W_{ab} \cdot \cos \theta - U_{ab}) \cdot \tan \phi' + c' \cdot l_{ab} \} + P_r}{\sum W_{ab} \cdot \sin \theta} \quad \dots \text{ (式 5-9)}$$

$P.F_s$ ：基樁設置後原先地滑面之安全係數

P_r ：單位寬度之基樁抑止力 (kN/m)

W_{ab} ：滑動面 a b 切片重量 (kN/m)

l_{ab} : 滑動面 a b 之切片滑動面長 (m)
 U_{ab} : 滑動面 a b 作用在切片上的孔隙水壓 (kN/m)
 θ : 滑動面 a b 切片部之傾斜角 ($^{\circ}$)
 ϕ' : 滑動面 a b 之內摩擦角 ($^{\circ}$)
 c' : 滑動面 a b 之凝聚力 (kN/m²)

$$P.F.S' = \frac{\sum \{ (W_{ax} \cdot \cos \theta_{ax} - U_{ax}) \cdot \tan \phi_{ax}' + c_{ax}' \cdot l_{ax} \} + \sum \{ (W_{xy} \cdot \cos \theta_{xy} - U_{xy}) \cdot \tan \phi_{xy}' + c_{xy}' \cdot l_{xy} \}}{\sum W_{ax} \cdot \sin \theta_{ax} + \sum W_{xy} \cdot \sin \theta_{xy}} \quad \dots \quad (\text{式 } 5-10)$$

$P.F.S'$: 基樁設置後推估地滑面 a x y 之安全係數
 W_{ax} : 滑動面 a x 之切片重量 (kN/m)
 W_{xy} : 滑動面 x y 之切片重量 (kN/m)
 l_{ax} : 滑動面 a x 之切片滑動面長 (m)
 l_{xy} : 滑動面 x y 之切片滑動面長 (m)
 U_{ax} : 滑動面 a x 作用在切片上的孔隙水壓 (kN/m)
 U_{xy} : 滑動面 x y 作用在切片上的孔隙水壓 (kN/m)
 θ_{ax} : 滑動面 a x 切片部之傾斜角 ($^{\circ}$)
 θ_{xy} : 滑動面 x y 切片部之傾斜角 ($^{\circ}$)
 c_{ax}' : 滑動面 a x 之凝聚力 (kN/m²)
 c_{xy}' : 滑動面 x y 之凝聚力 (kN/m²)
 ϕ_{ax}' : 滑動面 a x 之內摩擦角 ($^{\circ}$)
 ϕ_{xy}' : 滑動面 x y 之內摩擦角 ($^{\circ}$)

$$\alpha = 45^{\circ} - \frac{\phi_{xy}'}{2} \quad \dots \quad (\text{式 } 5-11)$$

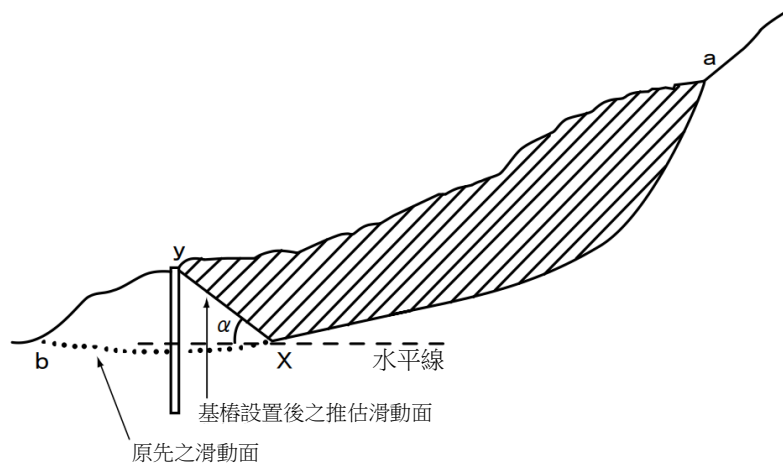


圖 5-21 基樁上部之被動破壞¹⁾

5)基樁設計外力之構想

設計基樁原則上應檢討彎曲應力及剪切應力¹⁾。若地滑防止工程保全對象構造物或土地僅限地滑運動塊體拉伸部，即使是地滑塊體拉伸部，施作基樁也可選擇靠近保全對象之地點。此時基樁背後地盤提供的反力不大，由基樁承受來自上方坡面全部的地滑滑動力，因此需設計足以對應之抗滑樁。

6)基樁材料種類與強度

基樁所使用鋼材強度必需滿足設計強度。基樁材料強度應配合作用在基樁的荷重，使用長期容許應力與短期容許應力。同時施作抑制工時，原則上使用短期許容應力。

設計強度方面，參考表 5－2 之數值。此外，鋼管樁所使用材質，參照JIS A 5525、JIS G 3444、JIS G 5201、JIS G 3106、JIS G 3101。

表 5－2 基樁之設計強度¹⁾ 部分修正而成

區 分	短期容許應力 N/mm ²		長期容許應力 N/mm ²	
	剪切	彎曲	剪切	彎曲
STK400 及同級品	118	206	78	137
SM490 及同級品	162	279	108	186

7)基樁之配置

基樁大致與地滑運動方向成直角，等距配置。

基樁間距應考量所採用基樁設計條件加以檢討。但有些土體的性質可能造成鑽孔後發生地盤鬆動或土體內部出現空心，因此應以表 5－3 之間距為標準，設定在基樁直徑 8 倍以內為準。

另外，為避免基樁施工造成基盤破損，孔壁間的距離須確保大於1m。計算上若孔壁間距小於 1m，可採取交錯基樁的配置方式。

表 5－3 基樁之間距²⁾ 部分修正而成

基樁設置位置之 移動層厚度	基樁之間距
0～10m	小於2.0 m
10～20 m	小於3.0 m
大於20 m	小於4.0 m

8)基礎埋入深度

基樁基礎部分埋入深度的決定需避免施加在基樁上的土壓造成基礎破壞。埋入深度須考量所採用基樁之設計條件。

孔壁與基樁間應加以填充，讓基樁與基礎地盤一體化。因此，孔壁與基樁之間可插入灌漿管，以水泥沙漿進行基礎裂縫填充與孔壁、基樁間填充。

5.3.2 深基礎樁工

設計深基礎樁工應考量對象地滑區之地形與地質，取得預定之抑止力。

設計深基礎樁工除了檢討發揮預定抑止力時所需具備承受內部應力對應之深基礎樁工安定性外，也須注意施作深基礎樁工不可造成上部移動層發生被動破壞、基礎地盤破壞與深基礎樁工間土體抽心。

解說

施作深基礎樁工（圖 5－2 2）應考量對象地滑區之地形與地質等，取得預定之抑止力。

設計深基礎樁工應充分調查滑動面等的地下構造，儘量設在堅固地盤上。

深基礎樁工所需承受單位寬度地滑土體之荷重，計算方法同基樁。

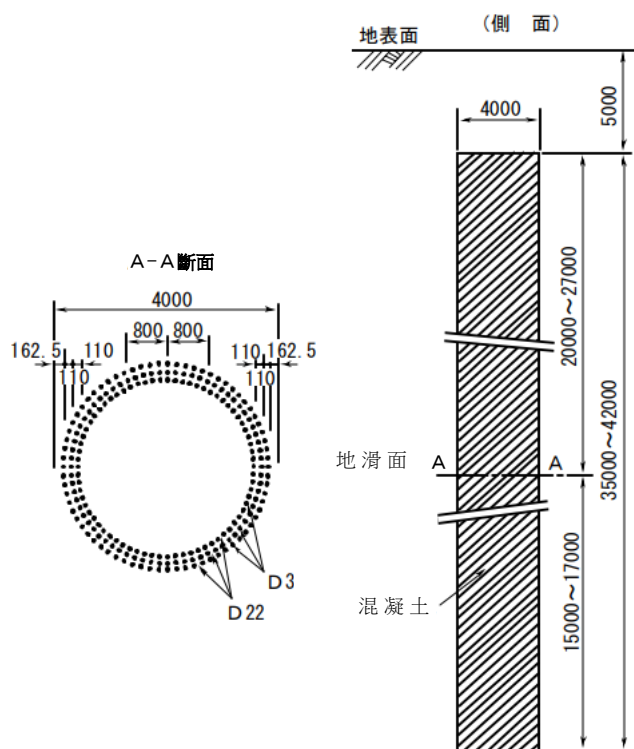


圖 5-22 深基礎樁工之案例 (單位：mm)

深基礎樁工這類大口徑構造物應設計為抗彎樁，還是受力仍不變形之剛體樁，一般多依下式判定。

$\beta l \leq 2$ 時設計為剛體樁。

$\beta l > 2$ 時設計為抗彎樁。

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K \cdot d}{4 \cdot E \cdot I}} \quad \dots \quad (\text{式 } 5-12)$$

K：埋入部地層之側向地盤係數 (kN/m³)

d：深基礎樁之外徑 (m)

l：滑動面往下之深基礎樁埋入長度 (m)

E：深基礎樁之彈性係數 (kN/m²)

I：深基礎樁之斷面二次距 (面積慣性距) (m⁴)

深基礎樁一般中間充填鋼筋混凝土。

深基礎樁工間距的計算為可取得計畫安全係數必要單位寬之抑止力除以1支深基礎樁工的抑止力，間距必須能避免產生抽心或基礎破壞。

5.3.3 錨錠工

設計錨錠工應考量對象地滑區之地形與地質等，以取得預定之抑止力，且須在其拉伸力情況下，確保錨錠的安定性，並一併維持固定地層與構造物（受壓板等）安定。

解說

(1) 概說

錨錠工基本上由下列三個構成要素所組成（圖 5－2 3）。

- 1) 錨錠頭部（含反力構造物）
- 2) 拉伸部
- 3) 錨錠固定部（錨體及固定地盤）

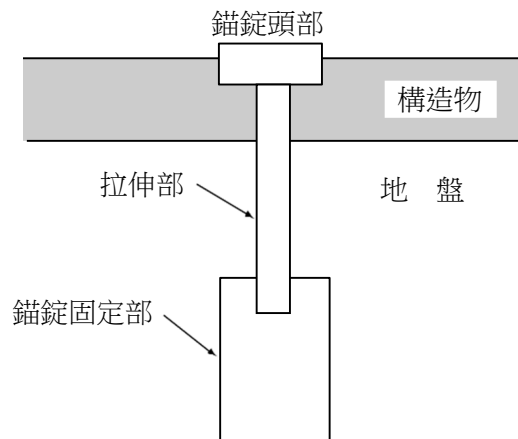


圖 5－2 3 錨錠工構成要素

地滑對策使用之錨錠工係透過拉伸部將作用在錨錠頭部的荷重傳遞到固定地盤，讓地滑土體與不動土體在一體化之後達成安定化。

設計錨錠工應考量對象地滑區之地形與地質等，取得預定之抑止力，且須能在其拉伸力狀態下，確保錨錠安定性，並一併維持固定地層與構造物（受壓板等）安定。

錨錠工施作位置、固定地盤位置、錨錠配置、錨錠傾角（錨錠打設方向與水平面的夾角）及構造物規模、構造等，都應考量地滑區地形、地質與移動狀況，慎重決定之。

錨錠工具有下列效果。

1) 鎖緊（束緊）效果

強化對坡面之垂直應力可強化抗剪力（圖 5－2 4）。發揮鎖緊效果的條件係避免移動土體受預力後不至出現明顯的壓縮與壓密變形。因此，若移動土體為黏土或崩積土、多裂縫風化岩層所構成時，恐難以期待有鎖緊（束緊）效果。此外，滑動面太深時也難發揮鎖緊（束緊）效果。

2) 束縛效果

當地滑土體沿滑動面往下移動時，藉由錨錠沿著與滑動面接線平行方向的分力，可束縛地滑土體滑落（圖 5－2 4）。鋼材可發揮強大抗拉力，可運用於滑動力大的地滑，或難以施作基樁的地滑區。

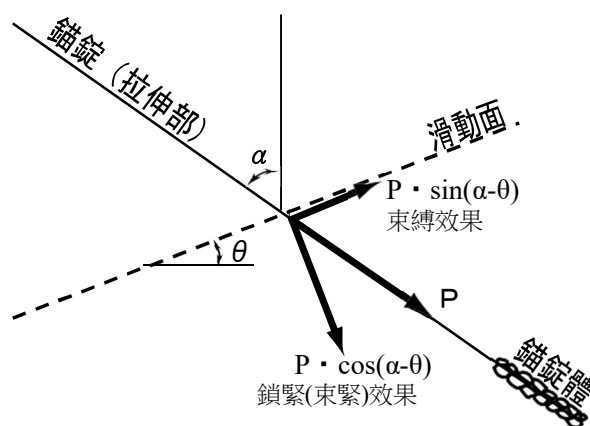


圖 5－2 4 錨錠之機能

以防止地滑為目的之錨錠工，多設置在能期待發揮「束縛機能」的地滑末端。設計時應考量錨錠之傾角、滑動面坡度與深度等，選擇最適當之機能。設計時可同時發揮這兩種效果。

(2) 必要錨錠力之計算

常當作地滑對策工的錨錠工主要機能為①鎖緊（束緊）效果、②束縛效果。錨錠工設計時，計算必要之錨錠力，可依其機能使用下式。

① 鎖緊效果所需錨錠力之計算

$$P.Fs = \frac{\{\Sigma(W \cdot \cos \theta - U) + P \cdot \cos(\alpha - \theta)\} \cdot \tan \phi' + c' \cdot \Sigma l}{\Sigma W \cdot \sin \theta} \dots (\text{式 5-13})$$

② 束縛效果所需錨錠力之計算

$$P.F_s = \frac{\Sigma(W \cdot \cos \theta - U) \cdot \tan \phi' + c' \cdot \Sigma l + P_r \cdot \sin(\alpha - \theta)}{\Sigma W \cdot \sin \theta} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (\text{式 } 5-14)$$

P.F_s：計畫安全係數

W：切片重量 (kN/m)

U：作用在切片上的孔隙水壓 (kN/m)

P：必要錨錠力 (kN/m)

ϕ' ：內摩擦角 (°)

c' ：凝聚力 (kN/m²)

l：切片之滑動面長度 (m)

θ ：錨錠打設地點之滑動面傾斜角 (°)

(參照圖 5-24)

α ：錨錠打設角度 (°)

(參照圖 5-24)

(3) 錨錠之配置

錨錠設置應考量反力構造物與周邊地盤與固定地盤之安定，以及對相鄰構造物之影響。錨錠固定位置及錨錠方向與間距，設計階段初期必須先估定。

1) 錨錠工施作地點

滑動面較陡的地滑冠部等岩栓與滑動面的交角接近直角時，錨錠抑止效果會降低，岩栓甚至可能被剪斷。應注意施作錨錠地點，原則上應避開地滑區冠部。

2) 對相鄰構造物之影響

錨錠工打設地點旁若有地中埋設物、隧道或基樁，應注意避免錨錠工影響上述構造物。錨錠工打設方向應與地滑移動方向一致。

3) 錨錠之傾角

錨錠傾角不可只依據力學的有利性決定，還需考量地形、地質與施工條件等決定之，錨錠施工有殘餘淀渣與灌漿材漲縮等需解決問題，因此，原則上施作傾角應避開水平面 -5° ~ +5° 的範圍。

4) 錨錠工設置間距

岩栓設置的間距應考量設計錨錠力、岩栓直徑及固定長度等岩栓各單元而決定之。

(4) 錨錠之設計

計算設計錨錠力與設計錨錠長度等，應參照「地錨設計與施工指引・同解說」³⁾。

(5) 防蝕

錨錠工原則上應使用經防蝕處理的永久錨錠 (圖 5-25)。錨錠防蝕需充分考量施工期間及施工完成後的腐蝕環境，對其構造進行檢討。此外，應設定最差腐蝕條件，擬定防蝕對策。

1) 錨錠體防蝕

錨錠體防蝕標準做法為覆蓋具一定厚度與強度之防蝕材質，內部填充防蝕灌漿材等。

2) 拉伸部防蝕

拉伸部防蝕標準做法應以具一定厚度與強度之材質覆蓋鋼鍵，鋼鍵與護套管之間填充防蝕材料（防銹油）。重新施加張力的錨錠，必須選擇不會阻礙鋼鍵拉伸的防蝕材料。

3) 錨錠頭部防蝕

錨錠頭部防蝕標準做法應搭配使用保護蓋與防蝕材料（防銹油）。此外，應配合重新施加張力之必要性，選擇適當的防蝕方法。

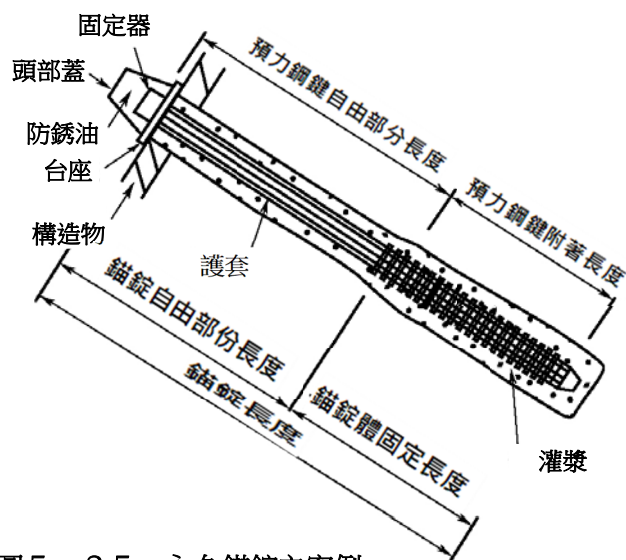


圖 5－25 永久錨錠之案例

(6) 受壓板

地滑對策所使用錨錠工為施作受壓板，需先形成挖方坡面。挖方施工前，應先仔細檢討，避免地滑運動活躍化。

受壓板之設計應足以承受錨錠拉伸力。受壓板係固定錨錠工而在坡面等施作的構造物。屬反力構造物之受壓板，有各種款式的獨立受壓板，以及施作坡面格框工程等所形成的連續受壓板，應充份考量坡面狀況，錨錠諸元、施工性、經濟性、維護管理與景觀等，選定之，設計時並應配合坡面狀況。地滑多使用挖方較少之獨立受壓板。

1) 對受壓板的作用力

對受壓板的作用力基本上含設計錨錠力（ T ）及其反力之地盤反力，受壓板所用混凝土與鋼筋容許應力依「混凝土標準說明書（土木學會）」⁴⁾定之。

2) 斷面力之計算

計算斷面力原則上以梁模式進行，地盤反力是否可視為等分布荷重，以及錨錠力是否可視為集中荷重，應考量背後地盤狀況而決定之。

3) 受壓板設置邊坡的綠化

設置受壓板而形成的挖方邊坡，應努力實施防侵蝕以及維護自然環境與景觀之邊坡綠化。

参考文献

- 1) (社)日本河川協會，建設省河川砂防技術基準（案）同解説設計編Ⅱ，pp.55,59，山海堂，1997．
- 2) 「地すべり鋼管杭設計要領」（《地滑鋼管樁設計要領》），（社）地滑對策技術協會，215p，2003．
- 3) （社）地盤工學會：グラウンドアンカー設計・施工指針・同解説（《地錨設計與施工指引：同解説》），（社）地盤工學會，219p，2001．
- 4) （社）土木學會：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（《混凝土標準說明書「構造性能檢核編」》），丸善，pp.243，2002．

第6章 工程實施後地滑邊坡之維護檢查與監測

6.1 概說

地滑之發生與運動機制相當複雜，且即使已完成地滑防止工程之地滑坡面，地滑滑動可能再度活躍。

因此，完成地滑防止工程之地滑邊坡應實施維護檢查與監測，以提早發現可能造成地滑災害之主要因素。

6.2 維護檢查

地滑防止工程實施後之地滑邊坡，應實施定期維護檢查與異常時維護檢查。

定期維護檢查應針對地滑引致邊坡變形或湧水狀況的變化，約一年一次在目視辨識範圍內進行現地踏勘。

異常時維護檢查與地震、豪雨後實施之定期維護檢查相同，目視進行。

解說

維護檢查分為定期維護檢查與異常時維護檢查二種。實施異常時維護檢查的判斷標準，應參考當地居民所提供地滑設施變形等重要相關資訊。此外，既有地滑地之量測儀器可能已撤除或喪失機能，因此實務上多以目視為主進行量測檢查。

定期維護檢查應針對下列項目每年約實施一次，在目視辨識範圍內進行現地踏勘。

- 1) 地滑引致邊坡變形（裂縫、高差、抑止構造物或道路等變形）狀況
- 2) 湧水狀況變化

必要時應事先施作混凝土鋪面等，劃定觀測帶，更精確掌握裂縫、高差、抑止構造物或道路等變形。

此外，有些維護檢查案例顯示，委由當地居民負責監控的巡視員制度相當有效。

6.3 監測

地滑防止工程實施後地滑邊坡之中若有須保全對象頗多之地滑等，為達成目視維護檢查及個別監視地滑邊坡安定狀況之目的，必要時應於地滑區內外設置量測儀器、進行觀測。

此外，維護檢查的結果若確認地滑引致邊坡變形時，應儘速實施地表面移動量或傾斜量監測，以掌握地滑的移動狀態。

解說

監測地表移動量可使用地表伸縮計、移動樁測量、GPS測量等。表6－1為地滑邊坡監測用儀器。

表6－1 地滑邊坡監測儀器觀測對象與方法

觀測對象		量測儀器與方法	量測值
地 滑 邊 坡	地表	地表伸縮計	地表移動量 裂隙開口量
		移動樁測量	地表移動量
		G P S 測量	地表移動量
		地盤傾斜儀	地盤傾斜量
	地中	管式應變計	地中應變量
		孔內傾斜計	地中移動量
		縱型伸縮計	移動量
		孔隙水壓計	孔隙水壓
		地下水位計	地下水位
		錨錠荷重計	預張力

6.4 資料與紀錄之保管

實施地滑邊坡維護檢查與監測，應參考邊坡相關履歷與記載維護檢查等資訊的邊坡檔案資料等。此外，維護檢查與監測結果相關資料與紀錄，應整理成容易使用之形式並妥善保管。

6.5 反映至地滑防止計畫上

地滑邊坡維護檢查與監測結果若發現可能引致地滑災害之主要因素，必要時應修正地滑防止計畫，檢討地滑災害防止對策。

第7章 地滑防止設施機能維持

7.1 概説

為保持地滑防止工程實施後地滑邊坡的安定，應維持已完工地滑防止設施之機能。

7.2 維護檢查

地滑防止設施應進行定期維護檢查與異常時維護檢查。

定期維護檢查，以一年一次左右的頻率，針對地表排水路狀況、地下水排除設施狀況及邊坡削坡、趾部填土邊坡狀況、河川構造物等侵蝕防止設施狀況，在目視辨識範圍內進行現場踏勘維護檢查。

異常時維護檢查與地震或豪雨等發生後的定期維護檢查相同，以目視實施之。

解說

維護檢查分為定期維護檢查與異常時維護檢查。定期維護檢查係針對以下事項，一年一次左右進行目視辨識範圍內之現地踏勘維護檢查。異常時維護，檢查必要時應與地震或豪雨等發生後之定期維護檢查相同，以目視實施之。

- 1) 地表排水路狀況（接縫是否有裂開、斷裂等損傷，是否有土砂淤積造成阻塞，集水井是否有破損、變形、土砂等的淤積狀況）
- 2) 地下水排除設施狀況
 - a) 集水井
 - ・ 集水井本體是否有破損變形、腐蝕之狀況，是否有淹水
 - ・ 集水管孔口是否有腐蝕、阻塞、積水狀況
 - ・ 排水管出口是否有腐蝕、阻塞、漏水狀況
 - ・ 附屬設施（天蓋、防進入柵欄、升降梯）是否有破損、變形、腐蝕等狀況
 - 況
 - ・ 集水井周邊變形（崩塌、龜裂、塌陷等）
 - b) 橫向排水
 - ・ 孔口保護設施破損變形狀況
 - ・ 集水管孔口腐蝕與阻塞狀況
 - c) 排水廊道
 - ・ 排水廊道內部裂縫或變形狀況
 - ・ 排水路是否有破損、變形、土砂等淤積狀況
 - ・ 集水管孔口是否有腐蝕、阻塞狀況
- 3) 削坡、趾部填土邊坡之狀況
 - ・ 邊坡是否有湧水
 - ・ 邊坡是否有崩落等狀況
- 4) 河川構造物侵蝕防止設施之狀況

- 河川構造物有無變形

5) 錨錠工之狀況

- 錨錠頭部狀況（是否有破斷、腐蝕、頭部蓋脫落狀況）
- 錨錠工受壓板是否有變形（裂縫、變形）

7.3 監測

保全對象較多的地滑等的地滑防止設施，除了需維護檢查，為監測地滑防止設施機能是否降低，也須因應必要性在地滑防止設施設置量測儀器，並監測之。

解說

表 7－1 為地滑防止設施所用之監測用儀器。維護檢查結果若發現地滑引致邊坡異狀，應進行地表面移動量或傾斜量監測，掌握地滑移動狀況（參照第 6 章之 6.3 觀測）。

判定集水井、橫向排水等地下水排除設施機能是否降低，應依據地下水排除設施完工後的地下水位降低量與降低範圍、地下水排除設施各階段排水量之變化，實施之。因此，有必要先取得孔隙水壓或地下水位、排水量之資料。

表 7－1 地滑防止設施量測儀器監測之對象與方法

監測對象		監測儀器與方法	量測值
防 止 設 施	地表排水路	排水量計	排水量
	橫向排水	〃	〃
	集水井	〃	〃
	基樁	孔內傾斜儀	基樁變形量
	錨錠	中心孔型荷重計	受壓板荷重

7.4 附屬設施

地滑防止設施為實施維護檢查及維護安全，必要時應設置集水井升降梯、天蓋或隔離防護柵及排水廊道坑口門板等附屬設施。

解說

地滑防止設施為實施維護檢查及維護安全，應設置附屬設施。

(1) 集水井附屬設施

集水井維護管理應設置以下的附屬設施。

- 1) 集水井內設升降梯（或梯子），以便人員下到底部。
此外，升降梯每5公尺高度設一平台。
- 2) 集水井頂部應設有出入口的鋼筋混凝土製等的天蓋，以避免人員跌落或樹葉等掉落集水井。
- 3) 集水井周圍應設置讓外人止步、能上鎖的出入管制防護柵。此外，積雪地帶應採耐積雪載重構造。

(2) 排水廊道附屬設施

廊道內應設置讓外人止步、坑口可上鎖門板。

此外，長度較長的廊道應檢討換氣(通風)方法。

7.5 資料與紀錄之保管

地滑防止設施之維護檢查與監測應依據明確紀錄地滑坡面設施配置圖、設施設置年份、設施構造等的設施登記簿資料實施之。此外，維護檢查與監測結果相關資料與紀錄，應整理成容易使用的形式並妥善保管。

7.6 地滑防止設施機能是否下降之判定

判定地下水排除設施機能是否下降，應逐年比較地下水排除設施效果範圍內（集水管設置範圍）地下水位與地下水排除設施排水量之對應關係。

解說

判定地下水排除設施機能是否降低，可如圖 7－1 所示逐年制作 $h-Q$ 曲線，比對相同地下水位時各個排水量。若結果發現排水量減少，可能是橫向集水管阻塞引致設施機能降低。此外，未設置監測儀器之地滑，應實施目視維護檢查，確認地滑防止設施機能是否降低。

若判定機能降低，最好實施地滑防止設施維護修繕工程。

另外，若移動監測結果顯示地滑的移動，則必須儘早策畫對策。

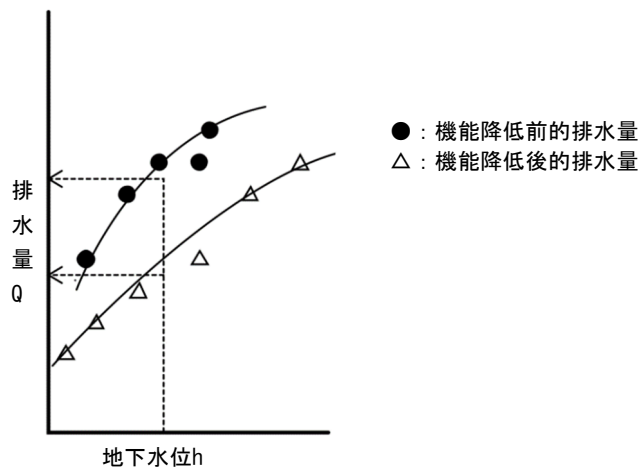


圖 7 - 1 由地下水位 h 與排水量 Q 之關係判定機能是否降低

7.7 修繕等

依據維護檢查與監測結果，必要時應修繕地滑防止設施，或檢討追加新設地滑防止設施。

解說

地滑防止施設必要時應修繕或追加設施。若依據維護檢查與監測結果，判斷只修繕無法阻止地滑再移動，應再次調查並檢討追加新地滑防止設施。

1) 地滑抑制設施之維護與修繕

(1) 水路

為防止水路機能降低，應定期維護檢查，進行以下維護修繕。

- 1) 為防止水路阻塞，應除去水路內淤積土砂與雜草。
- 2) 為防止水路漏水或水躍，應修繕接縫或水路蓋之破損。
- 3) 修繕因地盤沈陷所引致水路破損地點。

(2) 橫向排水

一般而言，利用橫向排水等從地下水排除設施取得之集水量會在設施設置後會有隨時間經過減少的傾向。原因包括地下水排除工發揮效果，以及橫向排水工程機能降低。後者主要原因是橫向集水管內附著淤渣，造成塞孔。

若已查明橫向排水機能降低原因或維護檢查發現設施破損，應實施以下維護修繕。此外，橫向排水管孔口有時因為草木茂密而無法判斷位置，為方便維護檢查，最好事先明示孔口的位置。

- 1) 集水管附著澱渣等時，應清洗集水管除去澱渣。
- 2) 孔口保護設施確認破損或變形，應予以修繕。
- 3) 集水井破損變形或土砂等淤積時，應修繕或排除淤積物，將所集水之地下水引導到水路上，迅速排出地滑區外。
- 4) 集水管腐蝕或破損嚴重時，應重新施作橫向排水。

(3) 集水井

確認集水井機能（排除地下水）降低或維護檢查發現設施破損，應實施以下維護修繕。此外，集水井內維護修繕作業有缺氧及沼氣中毒危險性，應同步實施通風及氧氣、有毒氣體濃度常時量測。

- 1) 集水井本體由井筒及補強材所構成，井筒是否正常攸關地下水集水機能及地滑恢復工程能否順利進行。因此，確認井筒及其補強材有變形、裂縫、腐蝕等狀況時，應立即補強。無法補強時，為防止井筒破壞，可在井筒內填充鵝卵石或河川塊石，維持集水井機能。
- 2) 集水管被地滑切斷時，應重新施工。
- 3) 集水管附著澱渣時，應清洗橫向集水管除去澱渣。
- 4) 排水管被地滑切斷時，為防止地下水積在集水井內，應立刻以抽水機排水，重新設置排水管。
- 5) 附屬設施係集水井維護管理與安全管理設施，若升降梯（或梯子）、天蓋、隔離防護柵變形或腐蝕，應立即修繕。

(4) 排水廊道

確認排水廊道機能（排除深層地下水）降低或維護檢查確認設施破損，應實施以下維護修繕。此外，廊道內維護修繕時有缺氧及沼氣中毒危險，應設置通風設施、使用氧氣罩等，以確保安全。

- 1) 排水廊道內部發現裂縫或歪斜變形等時，應立即補強。無法補強時為防止排水廊道破壞，應於廊道內填充鵝卵石或河川塊石，以維持排水機能。
- 2) 排水路淤積土砂等時，應努力除去土砂維持正常排水。
- 3) 集水管附著澱渣等時，應清洗集水管。

地下水排除設施的集水管阻塞及清洗，相關說明如下。

a) 集水管阻塞¹⁾

以小型攝影機調查集水管內部，發現集水管阻塞的主因為集水管內部附著澱渣。此外，推估澱渣多由集水管孔口附近慢慢往裡側附著。

澱渣主要成分為三氧化二鐵且含嗜鐵細菌。此外，集水管可能附著澱渣之地下水排除設施，地下水含鐵量大於 1mg/l ；大於 4mg/l 代表已大量附著。

b) 集水管的清洗

為恢復阻塞集水管之機能，以約20MPa高壓水噴射清洗集水管內部。

(5) 削坡、邊坡趾部填土坡面

完成削坡與邊坡趾部填土工程之坡面，應進行以下維護修繕。

- 1) 發現邊坡有大量湧水時，設置方箱型（四角型）箱籠阻擋湧水，避免橫向排水管孔口或坡面土砂流失。
- 2) 邊坡崩落時，設置方箱型箱籠等具柔軟性與透水性之設施，可防止崩落擴大。

(6) 河川構造物等侵蝕防止設施

河川構造物等出現異狀，必要時應適當處置，補強構造物、維持構造物機能。

2) 抑止設施之維護修繕

(1) 基樁工程、深基礎樁工

施作基樁工程與深基礎樁工的地點，最好監測基樁工程與深基礎樁工變形量及基樁周邊地滑移動層的移動量，確認基樁工程與深基礎樁工是否發揮設計效果。此外，基樁工程與深基礎樁工變形可以內部事先設置的孔內傾斜儀導管測知。基樁工程與深基礎樁工頭部變位，則可以移動樁測量測知。

維護檢查與監測可在容易發生地滑的豪雨期間或融雪期間前後實施。

基樁工程與深基礎樁工屬土中構造物，既設之構造物很難維護修繕。若維護檢查與監測發現基樁工程與深基礎樁工的破壞，應進行安定分析，檢討是否追加施作地滑防止設施。

(2) 錨錠工

完工後錨錠工確認是否充分發揮機能，希望可實施定期維護檢查與監測。

錨錠工是否健全，調查方法如下。

- 1) 定期維護檢查錨錠工頭部腐蝕狀況或混凝土是否出現裂痕等。

應防護錨錠工頭部、避免損傷，若有損傷可修補，或重新打設錨錠，進行適當的處置。

- 2) 監測錨錠張力之變化。

錨錠工的錨錠長度與自由長度部分均埋設於地層內，無法以目視確認錨。因此，可在錨錠工頭部設置荷重計，量測錨錠張力，由張力變化掌握錨錠工狀況。

監測頻率應考量下列條件，決定之。

- 1) 對保全對象物的影響程度
- 2) 固定地盤強度與性質狀態

此外，工程完工後須頻繁監測，發現荷重無變化才降低監測頻率。另外，維護管理紀錄應妥善保存。

若維護檢查與監測發現錨錠工張力降低，應以邊坡穩定分析檢討能否有效修補或補強錨錠工，必要時應考慮錨錠工的追加施工。

参考文献

- 1) 花岡正明，丸山清輝，小嶋伸一（2005）：地滑地の地表水・地下水排除施設の点検方法の検討（地滑區地表水與地下水排除設施維護檢查方法之探討），土木研究所資料第3967號，p.7，2005．

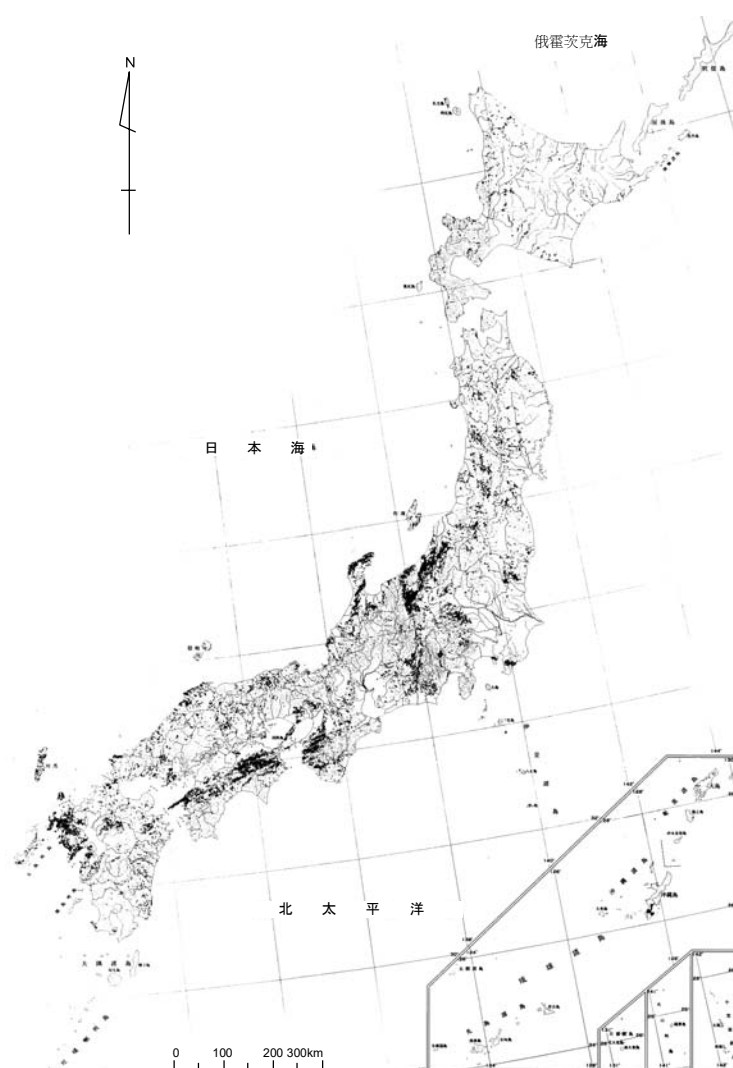
卷末參考

1 地滑發生主要因素

地滑多發生於具特定地質與地質構造之區域，由反覆移動而形成「地滑地形」之獨特地形。

1.1 地滑之素因

圖參－1 為日本的地滑分布圖。日本全國各地都可見地滑，最常發生在新潟與長野為中心的本州日本海沿岸新第三紀層綠色凝灰岩地帶及沿中央構造線從四國中央部到紀伊半島紀之川再連結到天龍川的變質岩地帶。

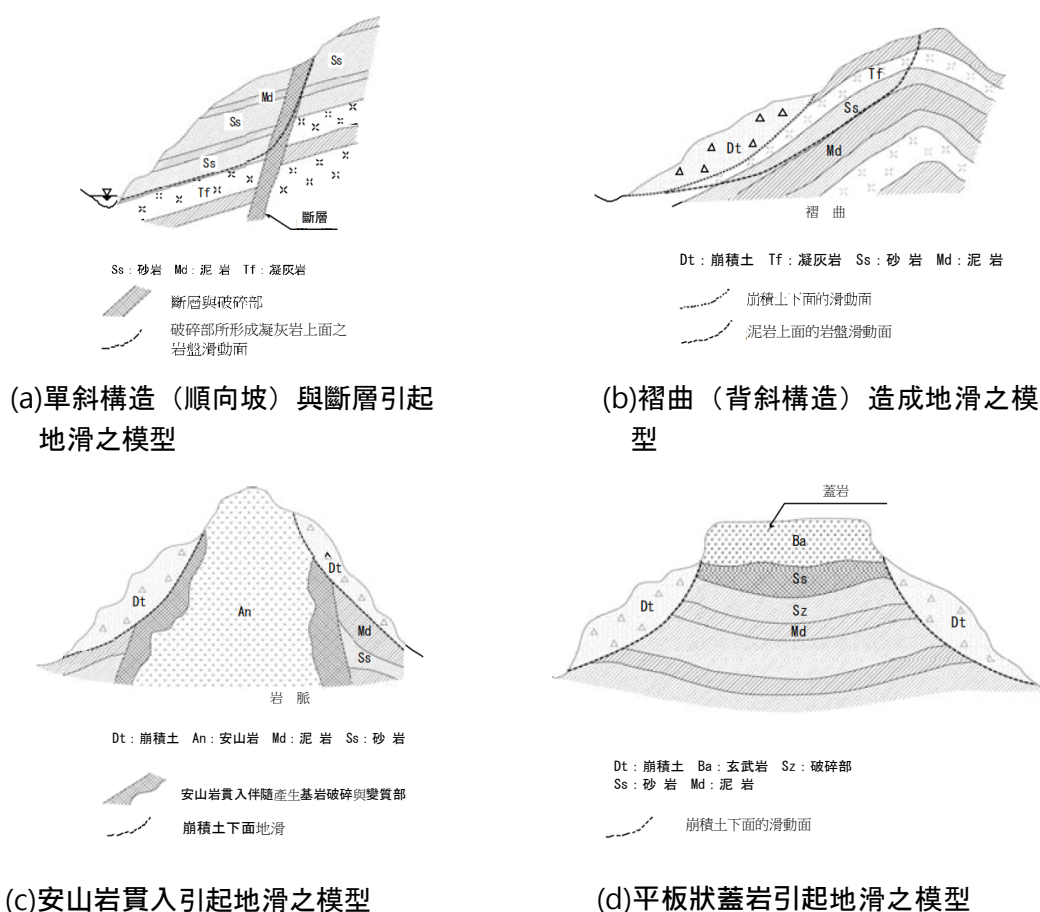


圖參－1 日本的地滑分布¹⁾

地滑多發生於低固結度泥岩、凝灰岩等新第三紀層地帶及岩石之破碎、變質帶等區域。容易發生地滑的區域如下。

- (1) 新第三紀層泥岩、凝灰岩分布區域
- (2) 古第三紀層頁岩、凝灰岩分布區域特別是地質構造線附近
- (3) 中古生層特別是結晶片岩、綠色片岩與黑色片岩分布區域，以及附近變質頁岩、黏板岩、輝綠凝灰岩分布地區
- (4) 較多火山碎屑物地區
- (5) 受熱液變質影響之區域
- (6) 受貫入作用等影響產生構造成破碎與變質的區域

容易發生地滑之地質構造還有中央構造線、糸魚川—静岡構造線、日高構造線等構造線周邊、斷層（圖參—2(a)）、破碎帶或非常明顯的褶曲軸、背斜軸（圖參—2(b)）、穹丘構造、貫入構造（圖參—2(c)）、蓋岩（圖參—2(d)）等。此外，逆向坡也可能出現逆向坡上方崖錐堆積物地滑。



圖參—2 地質構造造成地滑的模型²⁾

1.2 地滑之誘因

地滑發生之誘因如下。

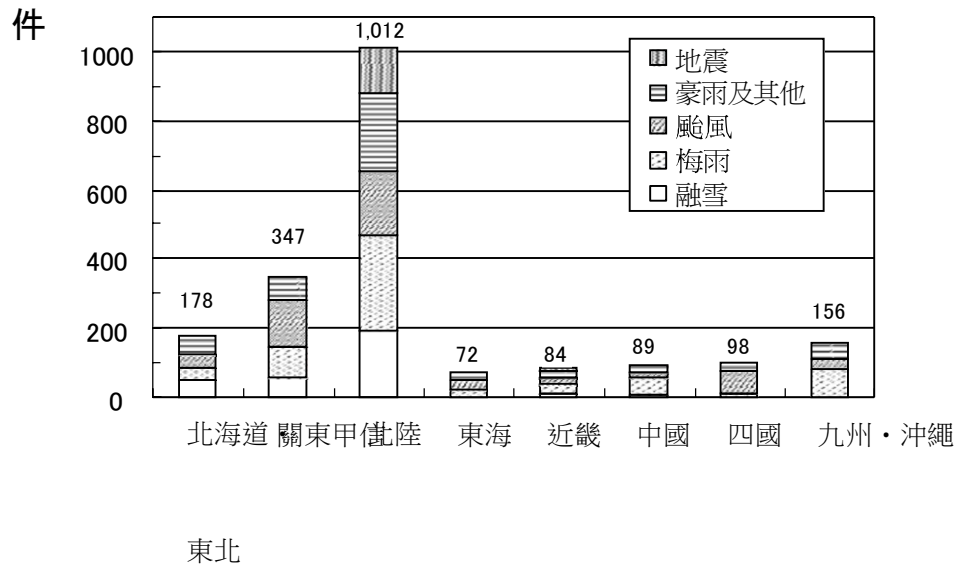
(1) 自然誘因

1) 降雨等誘因（久雨，集中豪雨，融雪等）

2) 地震等誘因（火山活動，地震引致地下水系變化等）

「1) 降雨誘因」有的是雨水或融雪水滲透邊坡、增加地下水，滑動面孔隙水壓升高引致地滑，有的是豪雨等引致地滑坡面末端崩塌，進一步造成邊坡安定失衡。

圖參－3 為1995年～2004年之區域別與誘因別地滑發生件數。新第三紀層分布的北陸地區常發生梅雨或融雪等引致地滑。此外，中古生層分布之四國地區，較多颱風伴隨豪雨產生之地滑。



圖參－3 1995～2004年誘因別地滑發生件數³⁾部分增加而成

「2) 地震等形成之誘因」常見地震引發規模相當大的崩塌。最著名的是1751年5月高田地震造成名立大崩塌，1847年5月善光寺地震引發虛空藏大崩山、1858年飛越地震引致鳶山大崩山等。此外，1995年發生之兵庫縣南部地震在仁川地區與西岡本地區引發地滑。上述地滑皆非發生在有明顯地滑地形之地點。有些看似地滑地形之坡面，地震後短暫性局部坡面移動，但地震對地滑坡面影響並不明確。

地震所引發地滑與崩塌，重要因子可能是地震震度大小、與震央之間的距離及與活斷層之距離。2004年新潟縣中越地震後發生地滑與崩塌的地點，大致分布在震度大於6之範圍，特別是震度在6強以上的，地滑與崩塌關連性更大⁴⁾。此外據研究，地滑與崩塌地點與地震上下方向最大速度之關連性，還大於與水平方向最大加速度之關連性⁴⁾。

(2) 人為誘因

- 1) 土工等（挖填方、隧道開挖等或水路等的漏水）所形成誘因
- 2) 邊坡被淹沒所形成誘因（水庫淹水）

「1) 土工等所形成誘因」有的住宅基地或道路建設等坡面挖填方引致地滑。此係因挖填方改變邊坡內的應力狀態，挖方降低土壤剪力強度，填方則增加地層滑動力。此外，挖填方甚至會明顯影響不曾發生地滑的一般安定坡面之安定性，有時會因此造成初生性岩盤地滑。因此，規劃施作大規模土工，不只應注意呈地滑地形之坡面，更須事先詳細調查。除此之外，有時開挖隧道也會誘發地滑。此係開挖引致周邊地盤鬆動，地盤下陷等邊坡內應力狀態的改變、形成地下水流動路徑，進一步造成地盤的劣化。

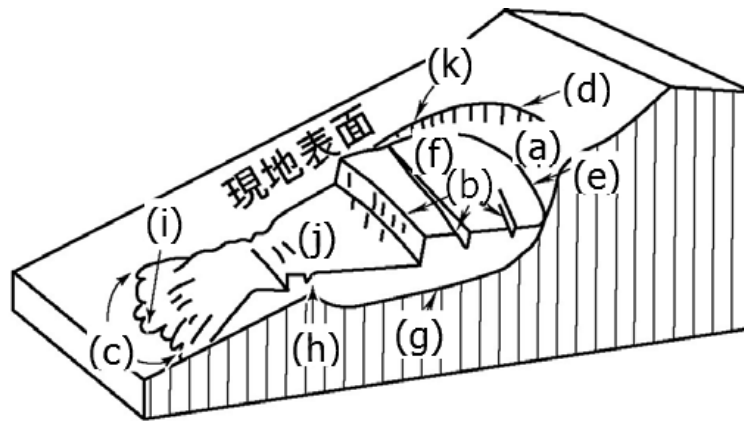
「2) 邊坡被淹沒所形成誘因」有的水庫完工後蓄水引致地滑。此時地滑發生原因如下⁵⁾

- a) 地滑土體因為被淹沒形成浮力
- b) 淹沒使地滑土體內地下水位上升
- c) 蓄水水位急速下降形成殘餘孔隙水壓
- d) 濱水帶侵蝕與崩塌使得被動土壓部分之荷重減少

1.3 地滑地形

地滑多反覆移動與停止，形成獨特地形，稱為「地滑地形」。

圖參－4 為滑動面呈船底形（參照 1・4）時的地滑地形及各部分名稱。此外，須注意有些地形相似，容易被誤認為地滑地形，例如河岸與海岸階地、熔岩台地、火山碎屑流堆積地等。



(a)主滑落崖（主崩崖） (b)次滑落崖(次崩崖) (c)趾部
(d)冠部 (e)頂部 (f)頭部 (g)滑動面 (h)滑動面趾部
(i)趾尖、前端(j)主崩體末端部 (k)側翼、右翼

圖參－4 地滑各部位名稱⁶⁾局部修正而成

以下說明地滑區的地形特徵。

- (1) 馬蹄形或四角形陡坡下方接連出現台地狀坡面或緩坡，其下部再有陡坡一連串地形所組成的坡面，下部出現隆起或擠壓。
- (2) 相對於地形圖上一般山坡坡面等高線幾乎相同間隔且平行，地滑地形則上部等高線間隔突然縮小（滑落崖），中間反而擴大（頭部），末端部再度縮小等系列地形（參照圖參－6(c)）。
- (3) 地滑冠部或末端部，常因移動而造成地表地形混亂，零星分布小型凸部或凹地。滑落崖下方或冠部附近發生沉陷，因此多塌陷地、池塘與沼澤等。
- (4) 地滑區兩側會被地滑移動所攪動，多形成坑溝狀，且多零星分布凸部或凹地。
- (5) 出現坑溝或河川異常彎曲、河幅縮小等狀況。

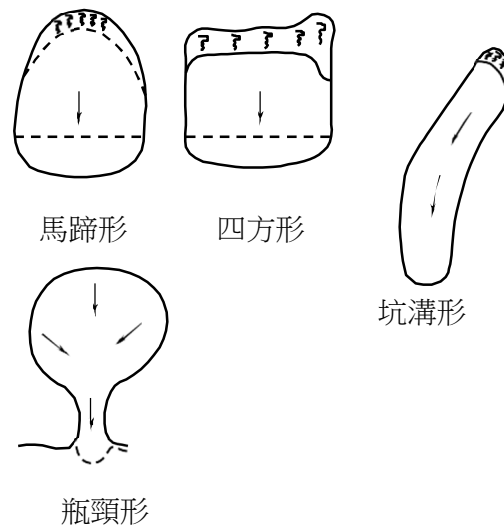
圖參－5 係地滑區的平面形狀。地滑區的平面形狀有馬蹄形、四方形、坑溝形、瓶頸形。

馬蹄形據研究占日本地滑地形40%，大致形成於坡面中央土層厚度大於兩側時⁷⁾。

四方形地滑出現在坡面中央土層厚度與兩側相同時。據研究，這種地形占日本地滑地形之10~15%⁷⁾。

坑溝形出現在馬蹄形或四方形地滑上方坡面進一步發生二次、三次地滑的地方。一般而言，這是地滑反覆發生所形成之地形，滑動面深度較淺⁶⁾。

瓶頸形多出現在盆地狀邊坡地滑，且坡面下方多有較堅固岩盤等時⁷⁾。



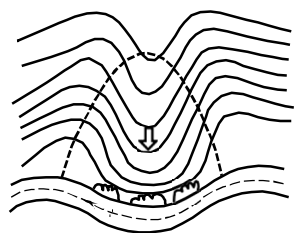
圖參－5 地滑之平面形狀⁷⁾

地滑地形有無明顯特徵，可看出該地滑移動過程，同時可作為預測未來地滑運動之重要參考。幾個月或幾年前才移動之地滑，通常還會有清楚地滑特徵，但若經過數十年或數百年，邊坡會受侵蝕影響，地滑特徵會變得模糊。此外，移動量大之地滑留下長期移動痕跡；移動量較小者受侵蝕影響，很快就看不出移動痕跡。

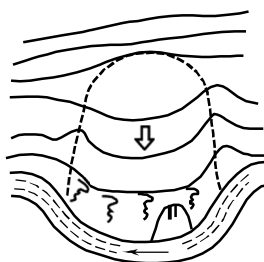
地滑地形會在移動停止後長時間受侵蝕影響，滑落崖變平緩，台地部分削平而失去地滑地形特徵。此外，地滑地形有時因反覆移動產生變化，有的在冠部上方的坡面產生新地滑。若冠部往上後退來到山脊部，則會變成山脊突然低於周邊部的地形。

移動量愈大、移動次數愈多，地滑地形都會形成相同緩坡，有的連地滑冠部都難以判釋。圖參－6 係依地滑地形變遷過程所分類的地形⁶⁾。

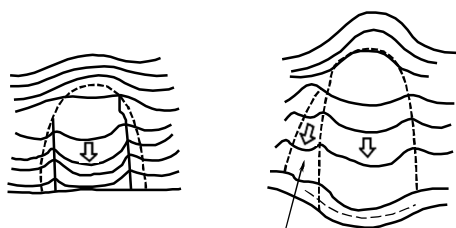
地滑地形有的規模與移動量非常大，可以1/10,000左右地形圖判釋，但也有小到連1/3,000～1/1,000地形圖無法判釋，只能現場踏勘或進行傾斜航空照片等方能判釋。



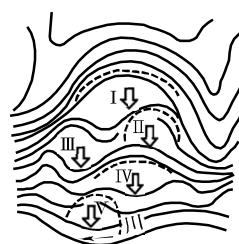
(a) 凸狀山脊地形



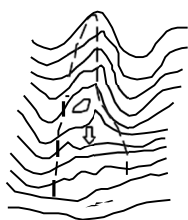
(b) 凸狀台地狀地形



(c) 凹狀單丘狀地形



(d) 凹狀多丘狀地形



(e) 凹狀緩坡面地形

地滑地形由(a)往(e)進化

圖參－6 依地滑地形變遷過程分類之地滑地形⁶⁾

1.4 滑動面形狀

地滑邊坡滑動面縱斷面形狀，一般而言新鮮岩盤發生之地滑會出現較直的折線形狀，然後移動層成為風化岩後折線變化部形成曲線狀，混有礫石的土砂或黏土則呈曲線狀或弧狀。因此，滑動面形狀依模式分類如下。

(1) 椅子型滑動面

圖參－7(a)係椅子型滑動面。這類具岩盤或接近岩盤性質狀態的地滑會出現(ㄣ)折線狀，混有礫石的土砂或黏土則呈(ㄣ)曲線狀。

(2) 船底型滑動面

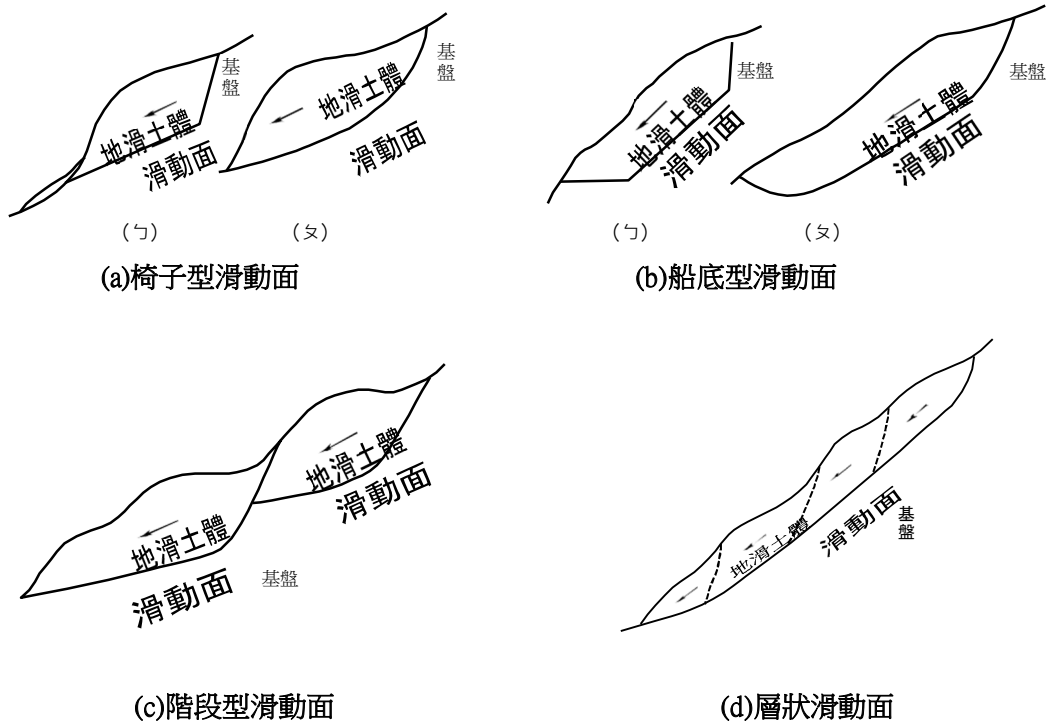
圖參－7(b)係船底型滑動面。這類滑動面地滑坡面下方出現壓縮所形成之隆起部。移動層性質狀態接近岩盤，會呈現(ㄣ)船底滑動面形狀；若移動層為土砂，則呈現(ㄣ)二條曲線挾一條直線的滑動面形狀。

(3) 階梯型滑動面

圖參－7(c)係階梯型滑動面。這類滑動面出現在椅子型或船底型滑動面地滑發生後，更上部坡面產生新的不安定化，其滑動面與下部地滑的滑動面以階梯狀相連。這種滑動面形狀較少出現在初生性地滑，地滑地形呈階梯狀。

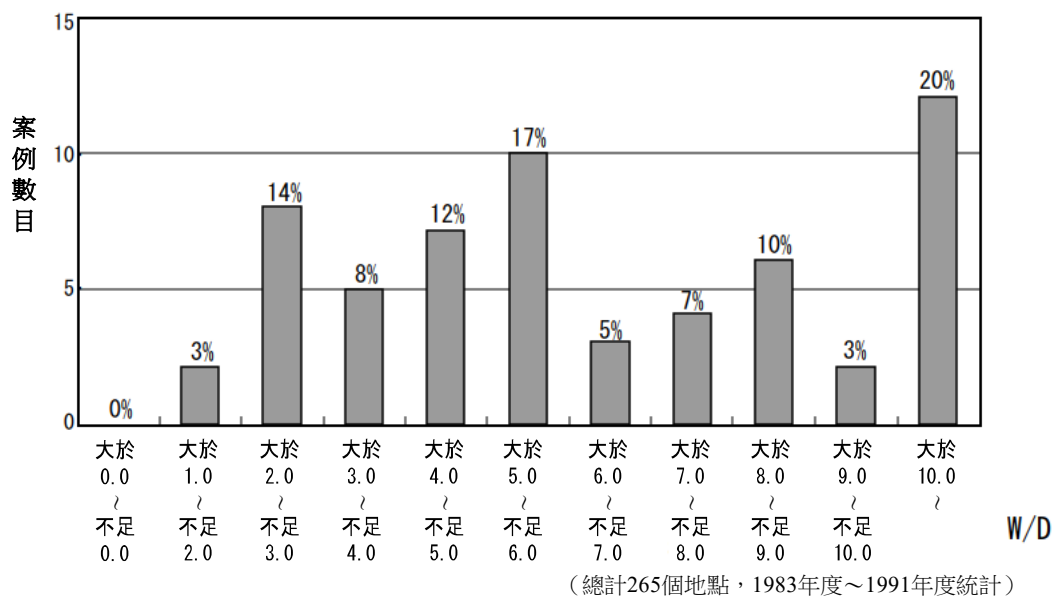
(4) 層狀滑動面

圖參－7(d)係層狀滑動面。這類滑動面出現在地滑滑動面上部坡面產生新地滑，且其滑動面屬連續相連地層時。地表地形與滑動面形狀不同，有很多凹凸與落差。此外，這類地滑非初生地滑，多屬反覆再移動所形成之地滑。



圖參－7 滑動面形狀模式圖⁶⁾

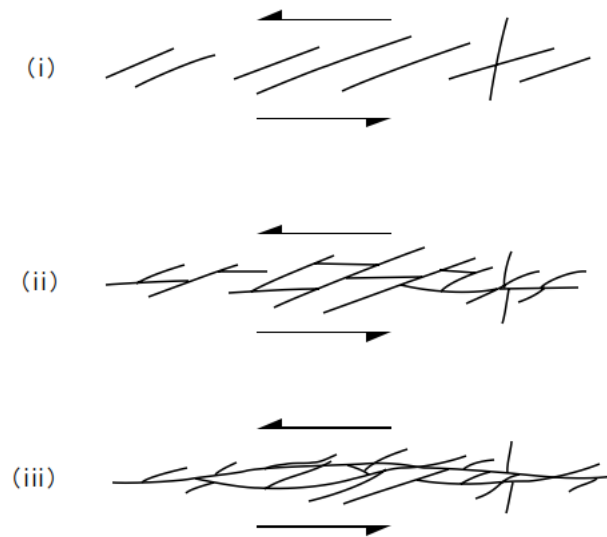
圖參－8 係地滑寬 (W) 與滑動面深 (D) 之比，顯示 W/D 之頻率分布。W/D 多在 5.0~6.0，平均值約 7。



圖參－8 地滑寬與滑動面深度之關係⁸⁾

1.5 滑動面構造

圖參－9係以黏土進行剪力試驗所呈現滑動面形成過程。滑動面由階段(i)往階段(iii)階段性地形成，剪切裂隙慢慢連續成形。因此，推估滑動面在初生地滑時會形成剪切帶，然後隨移動量增加變成面。



圖參－9 滑動面形成過程⁹⁾部分修正而成

2 地滑區之地下水

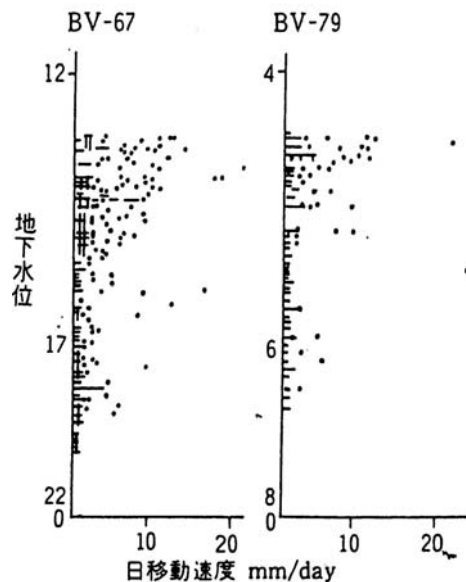
(1) 地滑區地下水之分布與流路

地滑區冠部即使不見來自邊坡上方的地表水流動，仍存在濕地與沼澤，且末端部可能出現零星湧水等現象，代表該地點土體的透水性與地下水供給量不均勻。土體透水性不同的話，很難精確掌握地下水流入地滑地內之路徑¹⁰⁾，但通常在地滑土體冠部及側部容易涵養較多的地下水。

(2) 地下水與地滑運動

如所周知，許多地滑發生於豪雨、融雪期間，主要原因是邊坡地下水位上升引致地滑。

圖參－10 係瀧坂地滑（福島縣）日移動量與地下水位關係圖。此外，瀧坂地滑係發生在新第三紀綠色凝灰岩區的大規模地滑。通常地下水位上升，日移動量也會有變大的傾向。完成地下水位與地滑移動量關係圖，即可檢討以施作集水井工等的地下水排除工防止地滑所需降低之地下水位。



圖參－10 日移動量與地下水位之關係⁷⁾

3 地滑分類

日本很早就有許多學者依照種種觀點，提出地滑分類。

小出博依據地質與分布之規則性所做的如下分類¹¹⁾，使用者眾。

- (1) 第三紀層地滑
- (2) 破碎帶地滑
- (3) 溫泉地滑

另外，渡正亮與酒井淳行依據地滑土體構成物質，分類如下⁶⁾。

- (1) 岩盤地滑
- (2) 風化岩地滑
- (3) 崩積土地滑
- (4) 黏土地滑

表參－1 為渡正亮與酒井淳行所製作地滑地形分類及地滑特徵一覽表。本表分別說明分類的各種地滑，其地形、地質、運動、主要對策工、原因等，主要特徵為整合地滑與對策工，一併思考。

渡正亮與酒井淳行的分類如表參－1 所示，可概略推估地滑運動速度、地滑運動持續性等運動特性、地滑主要原因、主要對策工等。

表參-1 (1) 渡氏的地滑地形分類⁶⁾部分修正而成

分類 特徵	岩盤地滑	風化岩地滑	崩積土地滑	黏質土地滑
平面形狀	馬蹄形，四方形	馬蹄形，四方形	馬蹄形，四方形， 坑溝形，瓶頸形	坑溝形，瓶頸形
微地形	凸狀山脊地形	凸狀台地狀地形	凹狀多丘狀台地形 凹狀單丘狀地形	凹狀緩坡面地形
滑動面形狀	椅子型，船底型	椅子型，船底型	階梯型，層狀	階梯型，層狀
主要土體之性質 (頭部)	岩盤或弱風化岩	風化岩 (多裂縫)	混雜巨礫或礫石之 土砂	混雜礫石的土砂
”(末端部)	風化岩	混雜巨礫的土砂	混雜礫石的土砂， 部分黏土化	黏土或混雜礫石的 黏土
運動速度	大於2cm/day	1.0 ~ 2.0cm/day 左 右	0.5~1.0cm/day	小於0.5cm/day
運動之持續性	短時間突發性	斷續持續某種程度 (數10~數100年 1次)	斷續性(每5~20年 1次左右)	斷續性(每1~5年1 次左右)
滑動面形狀	平面滑動 (椅子型)	平面滑動(冠部與 末端呈些微圓弧 狀)	圓弧與直線狀， 末端流動化	冠部為圓弧狀，但 大部分為流動狀
塊體化	大概1塊體	末端與側面發生二 次性地滑	冠部分割成2~3塊 體。	整體分成許多塊 體，相互關連而運 動
預知難易	非常困難，需實施 綿密之踏勘與精 查。	可以依 1/3,000 ~ 1/5,000 地 形 圖 預 測，也可利用航空 照片	也可利用 1/5,000 ~ 1/10,000地形圖確 認。請教當地民眾 也相當有用。	可依據當地民眾的 說法預測，非常容 易確認。
一般性坡面形 狀	一般會有台地，但 不明顯。多為凸形 邊坡，由鞍部產 生。	有明顯落差、帶狀 塌陷地與台地。近 看凹形，但主要部 分為凸形	形成滑落崖，下方 有沼澤、濕地等凹 地，冠部有幾個殘 丘，多凹形坡面。	冠部留下不明顯台 地，大部分為相同 緩坡與坑溝狀邊 坡。

表參－1（2） 渡氏的地滑分類^{6）部分修正而成}

分類 特徵	岩盤地滑	風化岩地滑	崩積土地滑	粘質土地滑
邊坡安定時的平均安全係數及其與人為作用之關聯性	大體上 $F_s > 1.10$ ，可短暫進行挖方、填方	$F_s = 1.05 \sim 1.10$ ，可能短暫降低5%左右的安全係數	$F_s = 1.03 \sim 1.05$ ，即使短暫降低3%左右的安全係數也能維持安定。	不可能實施挖方或填方，即使稍微施作土工也會再度誘發地滑運動。
主要的對策工	深層地下水排除工、排土工、抑止工	深層地下水排除工、排土工、地表水排除工、抑止工	冠部之深層地下水排除工、地表水排除工、河川構造物	冠部之集水井工、趾部末端淺層地下水與地表水排除工，河川構造物
對策工之效果	速效且能達成安定化	速效但發生異常天然現象時可能再度發生地滑。	對策工施工後需1～3年。末端部難以達成安定化。	屬遲效性，需完成後數年才能展現效果，難以達成完全安定化
主要原因	大規模土工，邊坡部分被水淹沒，地震、豪雨	集中豪雨、異常融雪或河岸潰決、地震、中規模土工，其他	異常久雨、融雪、颱風、集中豪雨、土工等	久雨、融雪、河川侵蝕、積雪、小規模土工
主要地質與構造	常受斷層與破碎帶影響。	廣泛分布於結晶片岩地帶與新第三紀層。會受到斷層與破碎帶影響。	廣泛分布於結晶片岩地帶與新第三紀層	最常出現於新第三紀層，也有部分出現在沿御荷鉾破碎帶等構造線的地點。

4 「RE・MO・TE²（遙測2）」

以下摘要介紹土木研究所與民間企業共同研究、開發之遙測邊坡變位方法：RE・MO・TE² 量測手冊^{1 3)} 概要。

詳細內容請參照該手冊。

4.1 「RE・MO・TE²（遙測2）」概要與目的

4.1.1 「RE・MO・TE²（遙測2）」概要

「RE・MO・TE²（遙測2：Remote Monitoring Technology2）」指以遠距的方式，從地滑區趾部末端等至崩塌坡面，利用十字弓發射漆彈命中並附著目標地點形成標靶，然後以免稜鏡全測站儀瞄準之高精度邊坡變動量測技術。

解說

免稜鏡型全測儀被認為是遠距監測邊坡的方法之一。通常，免稜鏡型全測儀觀測不使用標靶，無法同一點視認，容易產生視準誤差。本量測方法概要如圖參－1 1 所示。本量測方法係遠距設置標靶，以該標靶為視準，提升變位量測精度。

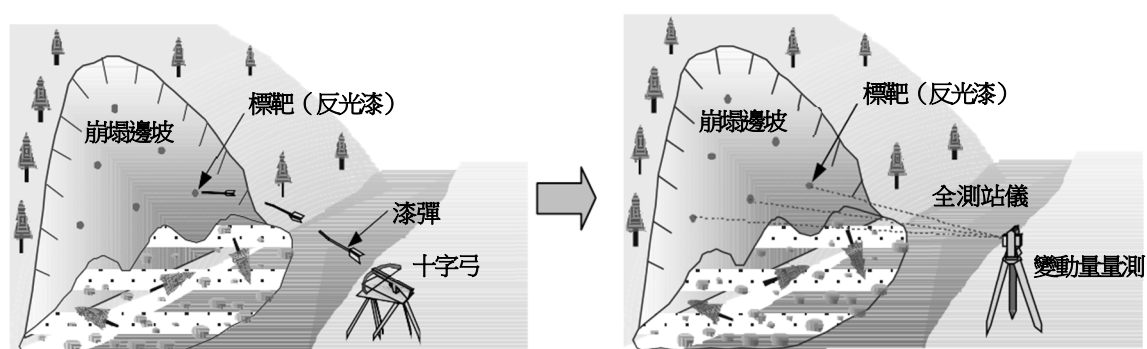
以下為本量測方法特徵。

- 甲、可針對有再崩落之虞的邊坡可設置遠距量測用標靶。量測時使用免稜鏡型全測站儀。從設置標靶到量測為止的一系列作業可在與坡面有點距離的地點安全實施。
- 乙、標靶使用添加玻璃珠的反光漆，能量測雷射反射強度、確認標靶位置，也能夜間量測。
- 丙、標靶設置方式為，十字弓箭頭裝設漆彈，往邊坡發射後在坡面完成塗布。
- 丁、十字弓照準可量測發射地點到設置目標之斜距離與掠射角(仰角)，並由仰角設定快速檢視圖算出仰角。水平方向照準以安裝在十字弓之示準器調整。發射架台可以控制仰角與水平角。
- 戊、實驗設定距離 300m，可確認±50cm 之命中精度。
- 己、以邊坡所形成標靶為視準，可提高免稜鏡型全測站儀的量測精度。

此外，本量測方法係土木研究所與民間3家企業所共同研究、開發，此刻正申請「由地滑區趾部末端量測崩落坡面地層變位方法」專利。

<共同研究者>

- 獨立行政法人土木研究所
- 興和股份公司
- PASCO股份公司
- RADIC股份公司



圖參－1 1 「RE·MO·TE²」概要^{1,2)}

4.1.2 「RE·MO·TE²」之目的

為確保實施崩塌邊坡人員搜救、挖除崩落土砂與應急工程等作業安全，研究與開發不需人員進入危險邊坡，可從遠端快速監測地盤變位為其目的。

解說

部分地滑末端部崩落土砂會擋住背後地滑土體，抑制崩塌擴大。但為了進行人員搜救、確保道路通行以及排除河道阻塞等，有時仍須應急處置、臨時性挖除崩落土砂。這類有形成二次災害之虞的邊坡，人員進入、實施調查觀測相當危險，因此有必要改採遠距離變動量量測的方法。

4.2 運用條件

4.2.1 對象坡面

十字弓設置標靶的對象以地滑區趾部末端或背後初露的岩盤為對象，配合觀測目的與觀測期間，選定量測地點。

標靶設置位置即邊坡變動觀測點，應選擇推估地形變動初期就會有變化的地點或地形變動後危險程度較大的地點。此外，最好是油漆易附著且不易流失之岩盤等。

解說

為達成交量測目的，選擇地點之條件為標靶油漆能附著邊坡。漆彈設計原理是命中對象邊坡時會因為撞擊而破裂，油漆飛濺。因此，土砂、低固結度岩盤或風化嚴重岩盤，箭直接刺入邊坡及命中的衝擊可能使岩盤表層崩落油漆無法附著，則非恰當地點。預期可能得長期監測時，也不應選擇短期內可能落下的轉石或因緊急工程除去的坡面作為標靶設置點。

本量測方法藉由量測器械與標靶之間的斜距離變化掌握邊坡變動狀況，因此需考量邊坡變動方向，決定量測儀器配置點與標靶設置地點。此外，若標靶設置距離大於 100m，設置後位置可能難以確認，因此，標靶最好設在特徵明顯、容易確認的邊坡上。

4.2.2 量測地點

發射標靶與進行量測作業的地點，應注意確保作業人員安全，避免發生二次災害。

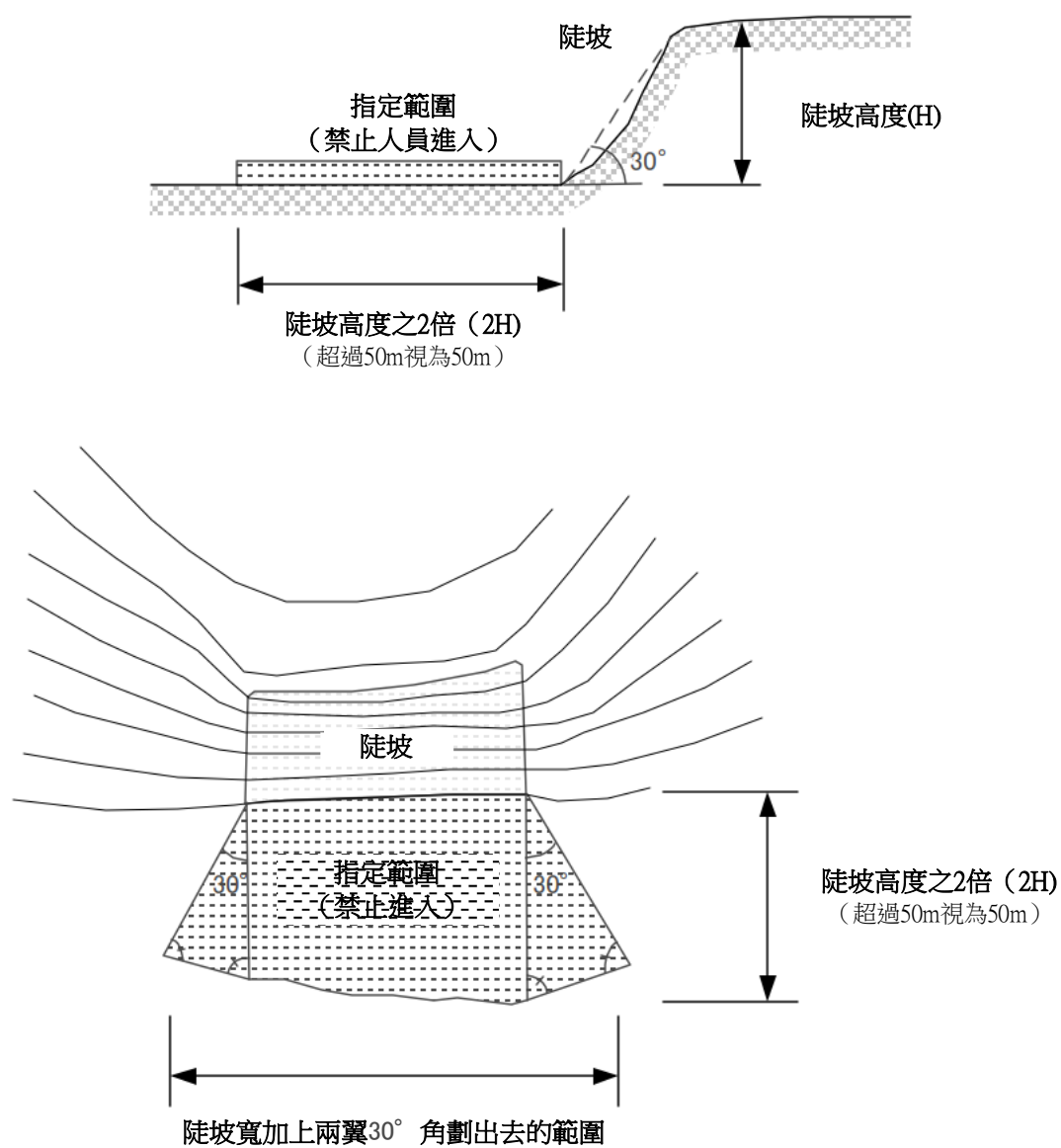
解說

選定十字弓發射地點與觀測地點，原則上應避開以下地點。此外，若為了發射十字弓等不得不進入該地點範圍內，應確保避難路線，隨時與該地點範圍外之監視員無線通話。

另外，現場地形條件為土砂明顯不會到達之區域，不列入避開觀測地點。

(1) 量測地點為陡坡時(以陡坡為對象時)(參照圖參－1 2)

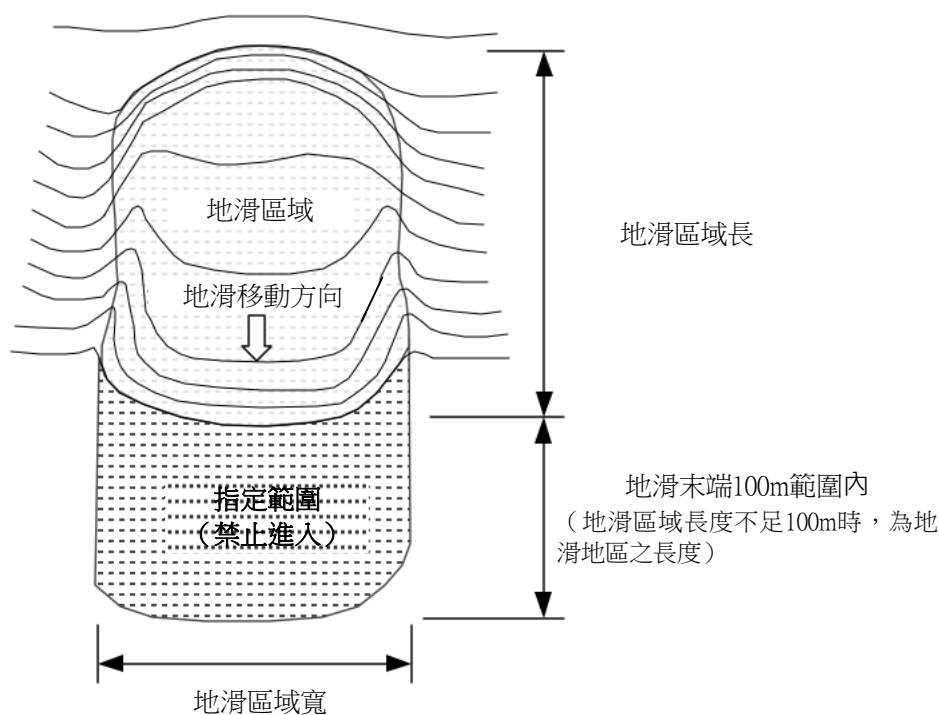
崩塌潛勢陡坡(坡度30 度以上之土地，高度5m以上)，沿坡面長方向等於陡坡高度 2 倍(超過50m時，視為50m)，且坡面寬方向從陡坡下緣兩端各自往外劃出30 度角直線圍成的範圍。



圖參－1 2 陡坡禁止人員進入之指定範圍

(2) 以地滑為對象時（參照圖參－1 3）

地滑潛勢坡面之移動方向、地滑區域末端100m內之範圍。



圖參－1 3 地滑地禁止人員進入之指定範圍

（範圍設定之根據）

陡坡方面，除了土砂災害警戒區域等之土砂災害防止對策推動相關法（2000年5月8日法律第57號）（以下，土砂災害防止法），同施行令（2001年3月28日政令第84號）第二條土砂災害警戒區域指定基準，追加往崩塌土砂側向 30° 角劃出去的範圍。

但地滑則以同基準設定為時速 4m 的移動，若直接適用該基準，則會相當保守。因此，即使確認有地滑移動之後仍足以避難之距離設定為100m。

（參考：土砂災害防止法施行令）

第二條 法第六條第一項政令所明定基準，條針對下列各款所揭示土砂災害發生原因之各種自然現象，所指定的土地區域。

一 陡坡崩塌 下列所揭示土地區域

a 陡坡地（限坡度為三十度以上、高度五公尺以上之區域。以下同）

b 下列土地區域之中，通過a所述陡坡地上端與下端之右端點之鉛直面，與通過左端點之鉛直面所挾的土地區域

（1） a點所述鄰接陡坡地上端的陡坡地外之區域、而和該上端水平距離十公尺以內者

（2） a點所述陡坡地下端所連接陡坡外之區域、而和該下端水平距離相當於該陡坡高度2倍（該當距離2倍超過50公尺時，以50公尺為限）以內者（發生陡坡崩塌時，確認地形狀況土石等明顯不會到達的區域除外）

二 土石流 （省略）

三 地滑 下列所揭示土地區域

a 地滑區域（指地滑正在移動的區域及地滑潛勢區域。以下同）

b 與a所述地滑區域相鄰之一定土地區域，在該地滑區域與該一定土地區域投影水平面上，該一定土地區域之投影與該當地滑區域境界線之投影（以下在本款稱為「境界線投影」）之中，連結和該當境界線投影與地滑方向（指該當地滑區域相關地滑地塊滑動時，在該當水平面上該當地滑地塊投影移動的方向。以下在本款與次條第三款b相同。）平行的該水平面上二直線之接點的部分而位於地滑方向者（同款b之中稱為「特定境界線投影」），與該境界線投影相連與地滑方向正交的該水平面上二條直線間距離（該距離超過二百五十公尺時，視為二百五十公尺），為在該水平面上與地滑方向平行移動所形成軌跡一致的土地區域（地滑發生時，從地形狀況確認伴隨地塊滑動所產生之土石不會到達的土地區域除外）。

4.3 使用裝置之構成

使用裝置之構成包含發射裝置與漆彈、照準及設置後確認用的儀器與資料、量測器械（全測站儀）。

解說

（1）發射裝置與漆彈

構成如下。

- ①十字弓
- ②箭
- ③漆彈
- ④發射架台

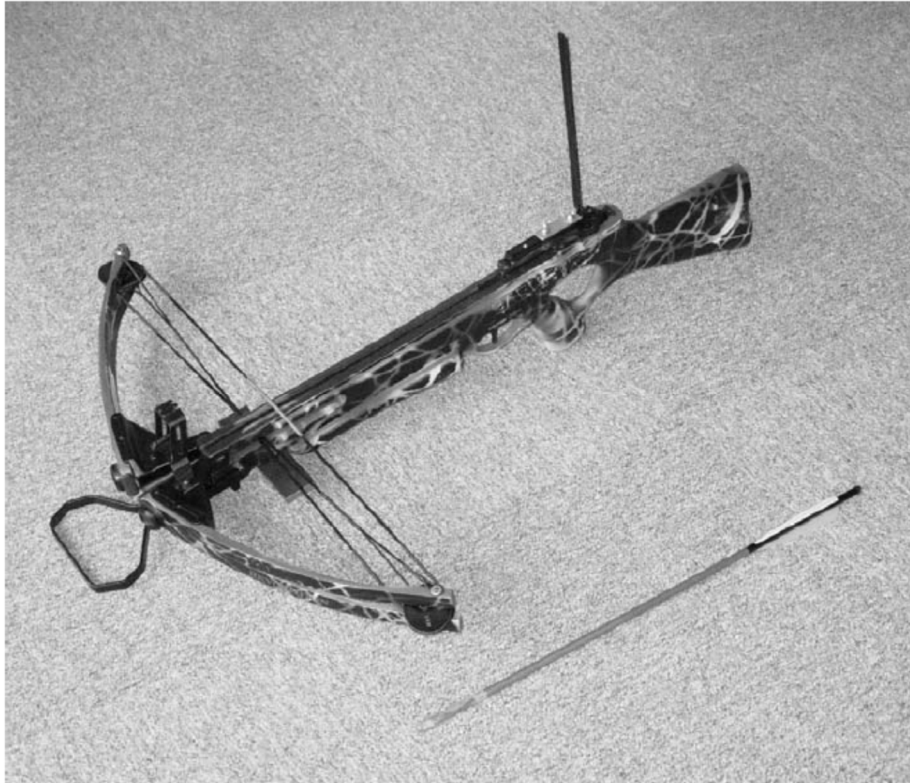
甲、十字弓

十字弓不需取得資格或許認可，18歲以上都可操作。且發射十字弓不需特殊技能，初學者也會操作。

本量測方法所使用十字弓規格如下。

品名	：	十字弓
製造廠	：	BARNETT公司
形式	：	REVOLUTION
十字弓強度	：	150磅（667N、68Kg）（目錄值）
箭之初速	：	104 m/s（目錄值）
全長	：	93.5 cm
全寬	：	71.0 cm
重量	：	3.45 kg

十字弓照片如照片參－1所示。



照片參 - 1 十字弓照片

乙、箭

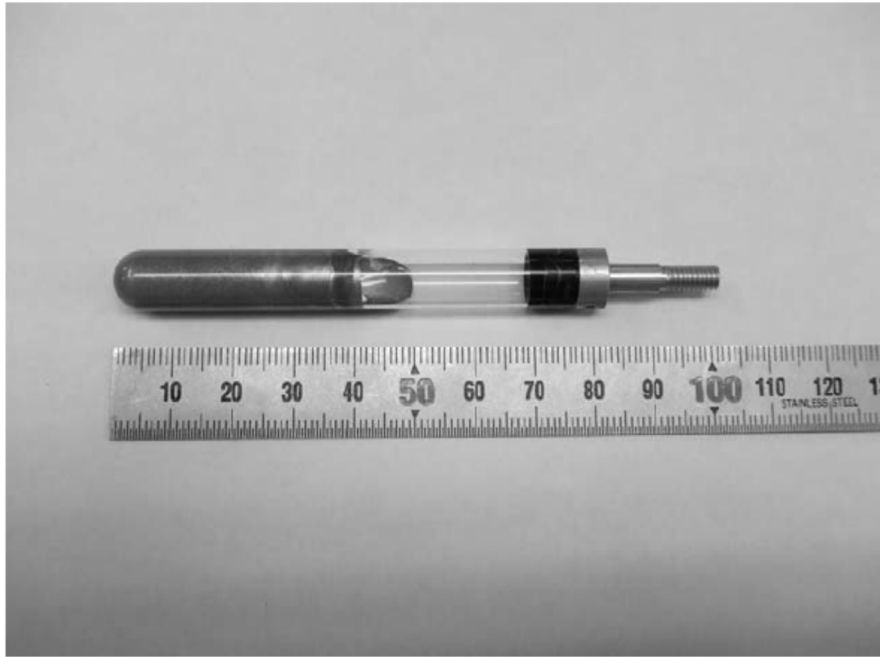
使用適合上述十字弓使用、長20英吋的箭。

本量測方法採用Houghton公司產品AP050（鋁製）。

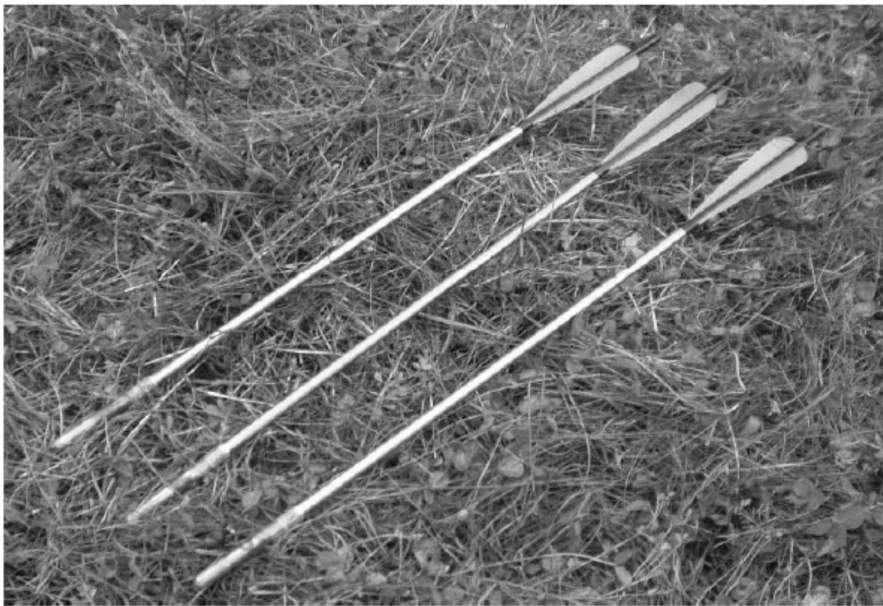
丙、漆彈

漆彈係玻璃製膠囊內封入油漆（照片參 - 2），以螺絲安裝在箭頭上（照片參 - 3）。漆彈為保管時內裝油漆不會乾掉之密閉構造。

油漆使用高能見度辨識性粉紅色反光漆，標準填充量2ml（最大3ml）。此外，反射光指射入塗膜表面玻璃珠的入射光，其反射光會與入射光平行反射之特性。



照片參-2 漆彈



照片參-3 箭頭安裝狀況

丁、發射架台

發射架台可用來調整、固定十字弓之仰角與水平角，讓十字弓穩定地對得到照準。

發射架台使用BARNETT公司生產的旋轉型十字弓專用架台，規格如下。

- 架台部分

架台材質	: 鋁 (A5052P)
架台全長	: 75 cm
架台全寬	: 20 cm
架台高	: 40.5 cm
架台重量	: 26.84 kg
垂直調整角	: 45度
水平調整角	: 30度

- 三腳架部分

三腳架形式	: 鋁製三腳架 (TS-165T)
三腳架腳頭	: 平面, 35 cm
三腳架樞紐	: 夾鉗式
三腳架伸縮長	: 全伸尺寸1660 mm, 全縮尺寸1000 mm
三腳架重量	: 4.4 kg (1台)
三腳架台數	: 2台 (三腳架重量8.8kg)

- 十字弓

重量	: 3.45 kg (本體)
總重量	: <u>架台26.84kg + 三腳架8.8kg + 十字弓3.45kg = 30.09kg</u>

發射架台安裝十字弓的全形照如照片參 - 4所示。



照片參 - 4 發射架台全形照片

戊、搬送與搬運用資材

本量測方法多運用於緊急狀況，資材須能快速搬到現場，為此製作方便空運（十字弓無空運限制）及宅配用的尺寸與重量的收納搬運箱。

收納搬運箱規格表如表參 - 2所示。

參考表 - 2 十字弓收納箱規格表

收納物		十字弓	設置架台上部	設置架台下部	三腳架
收納箱材質		鋁製 (t=1.5)	鋁製 (t=1.5)	鋁製 (t=1.5)	鋁製 (t=1.5)
重量 (kg)	收納箱重量	6.90	7.82	5.36	6.34
	收納物重量	3.24	14.68	12.16	4.40
	總重量	11.12	22.50	17.52	10.74
尺寸 (mm)	全長	883	823	723	1083
	全寬	503	523	303	273
	全高	124	201	208	213
	全長+全寬+全高	1510	1547	1234	1569
收納箱個數 (個)		1	1	1	2

（2）照準與設置後確認用的儀器與資料

量測標靶發射地點到設置地點之掠射角（擦角，grazing angle）、斜距離及確認標靶設置後之位置，可使用以下儀器或資料。

- ① 角度計
- ② 雷射測距儀
- ③ 仰角設定快速檢視圖
- ④ 雙筒望遠鏡

甲、角度計

具備0.1度精度之數位傾斜計（照片參－5）。可在標靶發射地點算出到設置地點之掠射角。數位傾斜計固定在筒上，可視野變窄的筒內能見度辨識坡面（照片參－6），降低量測角度誤差。



照片參－5 數位傾斜計



照片參－6 角度計量測實況

乙、雷射測距儀

與角度計相同，可在標靶發射地點完成量測。雷射測距儀能以公尺為單位量測發射地點到設置地點為止之斜距離（照片參－7）。



照片參-7 以雷射測距儀量測斜距離

丙、仰角設定快速檢視圖

依據①、②所取得之掠射角與斜距離，決定十字弓射角度。快速檢視圖（照片參-8）應依據弓箭軌道計算結果及過去實驗製作。



照片參-8 以仰角設定快速檢視圖計算仰角

丁、雙筒望遠鏡

用來確認發射前後坡面的狀況。肉眼很難確認所設置之標靶，須以雙筒望遠鏡確認標靶附著地點及附著狀況。

(3) 量測器械

量測器械可使用免稜鏡型全測站儀（照片參-9）。為確保量測精度，應使用可量測長距離且其誤差低之儀器，並須能簡單辨識所設置標靶之位置。因此，建議使用具備以下性能之量測器械。

- ①可量測距離達500m左右
- ②雷射測距精度在3mm+2ppm(免稜鏡)以上
- ③有反射光強度標示



照片參-9 以全測站儀進行量測

4.4 事前準備

適用本量測方法需事前蒐集現場相關資訊，確保資材準備與作業人員充足，並迅速建立可實施作業之體制。現場狀況之確認，原則上應實施現地視察。

解說

(1) 確認現場狀況

應事前確認以下現場資訊。

① 對象邊坡之地質

確認對象坡面地質標靶油漆是否容易附著。標靶須設在能掌握地滑活動或崩塌前兆之地點。即便是油漆容易附著之岩盤，若該地點無法掌握邊坡變動，仍不適合作為量測地點。

② 標靶設置區間之通視、仰角與斜距離

標靶發射地點須能確保與對象邊坡之間的通視辨識性，且無妨礙弓箭軌道之障礙物的必要條件。選定量測器械與量測地點等，必須藉由現地確認之。

另外，應計算設置區間之掠射角與斜距離，以仰角設定快速檢視圖確認能否設置標靶。應儘量在現地選定標靶設置地點，應以角度計或雷射測距儀實測確認之。

(2) 取得圖面或現場照片

實際作業階段應快速展開作業。因此，須事先取得平面圖與標靶設置邊坡照片，事先檢討設置位置及設置順序。現場應由複數作業人員分攤作業。標靶設置位置與設置順序應事先周知作業人員，現場在溝通良好的前提之下、方能順利完成作業。

(3) 資材準備

為能儘速著手現場作業，應事先準備資材、安排作業人員。需充分確認資材充足，實施必要之囤積資材或發送資材。漆彈與弓箭必須考慮無效發射，應有充足備份。此外，須有備份弦，以供替換。

另外，租車搬運器械進入現場，應選擇廂型車或麵包車等載台大的車種。

4.5 量測方法

為防範二次災害，量測作業應以不進入崩塌地等危險邊坡為前提。量測用之標靶係以十字弓發射生成設置。

固定量測器械並計算到達標靶之斜距離，即可掌握邊坡的變動。量測器械為免稜鏡型的全測站儀。

解說

量測流程如圖參 - 14所示。量測方法與注意事項如下。

① 以十字弓設置標靶

決定邊坡量測位置並以十字弓射出標靶漆彈，完成邊坡量測用標靶的設置。設置相關之注意事項如下。

- 發射標靶選擇能安全作業之地點。此外，利用快速檢視圖或快速檢視表，事先確認在對象邊坡可能設置標靶的距離與角度。
- 標靶設置點即為邊坡變動觀測點，原則上應選擇推估地質變動初期就會顯現之地點或變動後影響較大之地點。
- 標靶設置位置最好是塗料容易附著、不易流失之岩盤。
- 完成設置之標靶直徑約 5cm，量測位置與之距離大於 100m 難以目識確認，因此完成設置之最好容易確認、特徵明顯之地點。
- 標靶設置面最好與器械量測點正面相對。
- 標靶數量因崩落規模而異，若要進行面的觀測，應設置 5 處以上。
- 為快速完成設置作業，應事先檢討標靶設置位置與設置順序，並於作業前周知作業人員。此外，現場有時會受風勢等影響，射出的箭無法命中。為避免浪費箭，標靶設置順序最好從容易完成設置的地點（比如前方不遠處）開始，儘早掌握弓箭實際飛行與軌道計算之落差。

② 確認標靶設置

應確認標靶是否已完成設置。注意要點如下。

- 確認標靶是否在可連續量測數日之地點。有時設置地點剛好是岩盤中的浮石，即使無地滑變動石塊也可能滾落，或緊急對策時可能挖除該不安定岩塊等，類似狀況就不適合當作標靶設置點。

- 確認設置完成之標靶儘量位於一個器械設置點能量測的位置。
- 原則上是以器械點與標靶間的斜距離變化掌握坡面變動，因此須考量所設定之變動方向，確認標靶設置點能精確掌握邊坡變動。
- 若從器械設置點看過去設置標靶的岩盤面時明顯傾斜，可能就無法精確掌握邊坡變動，此時須確認由器械量測點看過去，設置標靶的岩盤面為正對面。
- 若適切的標靶不足時，應增加設置。

③量測位置選點與設置

選定器械設置點然後設置器械。注意要點如下。

- 由器械設置地點能清楚通視全部量測標靶。
- 量測距離以約 250m 仍具備足夠精度為目標。
- 器械最理想的配置應選在量測標靶與器械間之斜距離變化能直接呈現邊坡變動之地點。
- 配合上述事項，一般而言器械點應設在邊坡正對面的位置，此時仍須確保量測期間作業安全之位置與距離。
- 為確保器械設置點的再現性，應打設釘子或堅固樁。
- 量測時應施作腳樁加強固定，避免三角架位置有任何的移動。
- 三腳架應使用量測用三腳架，除了確實固定之外，須儘量減少日曬等不良影響。

④確認有無反射光強度標示

確認所使用之免稜鏡型全測站儀量測使用雷射（稜鏡）測距時是否能標示反射光強度。

能標示反射光強度 → 進入⑤

無法標示反射光強度 → 進入⑥

⑤確認標靶設置點（設定反射光強度最大地點）

於量測位置設置器械後，以全測站儀確認標靶測量點。測量點應設在反射光強度最大地點。量測點的選出步驟如下。

- 以觀測器掌握標靶中心點附近，量測其反射強度。
- 量測點往水平與垂直方向邊移動邊調整，找出能取得最大反射強度的量測點。
- 設定反射光強度最大之點為量測點初始值。
- 有複數相同反射強度之點時，選出最容易設定標記者。

⑥確認標靶設置點（目視量測）

器械設在量測位置，並以全測站儀確認量測標靶之量測點。量測點應設在有特徵之地點。選定量測點的步驟如下。

- 以觀測器掌握量測標靶中心點附近。
- 若能確認塗料即可以免稜鏡模式反覆量測，確認能否量測到得安定之數值。
- 也往量測點四周水平、垂直方向邊移動邊量測，確認所選定點為最適當之監測點。

⑦設定基準方向（水平角，鉛直角，斜距離）

- 連續量測過程中，為確保器械移動時仍具備再現性，應設定可作為初始值設定之量測點基準方向的基準點（背點）與目標物。
- 以基準點與目標物為基準，量測各量測點之水平角、鉛直角與斜距離。

⑧量測標靶點（連續監測）

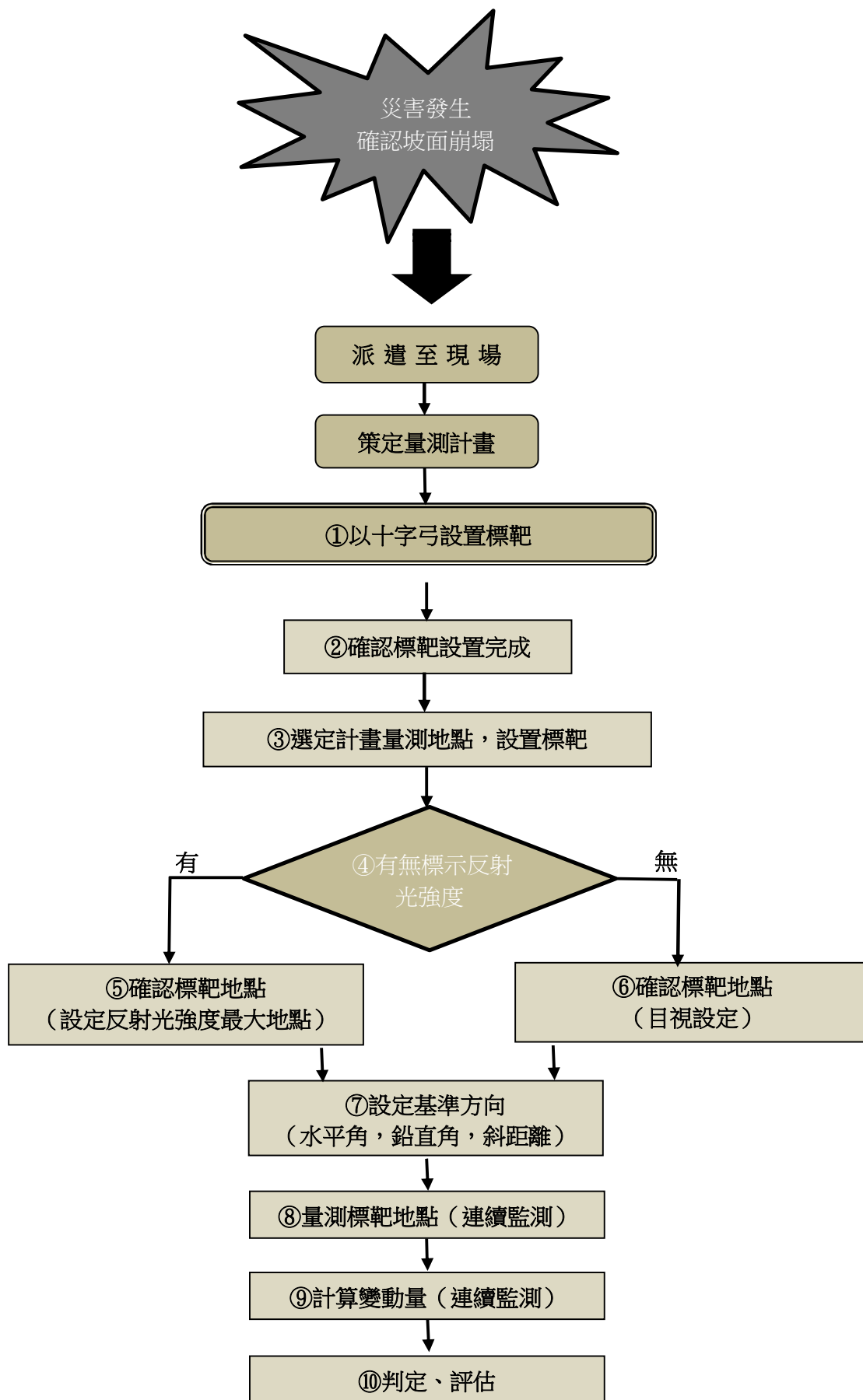
- 量測設定為初始值量測點之斜距離。
- 量測內容之中，時間序列監測數據相當重要，須記錄監測日期與時間。
- 量測時應觀測距離觀測所需氣象要素(天候、風向、風力、氣溫、氣壓)，進行距離補正。必要時應記錄監測者與手寫簿記者等之姓名。
- 量測時間（量測間隔）與有關機關協議定之。

⑨變動量計算（連續觀測）

- 依據量測紀錄計算變動量。
- 計算結果應圖表化，方便判斷變動狀況。

⑩判斷與評估

- 依據變動量計算結果，與相關機關協商、實施判定與評估。



圖參 - 14 「RE·MO·TE2」量測流程

參考文獻

- 1) 國土地理院：日本國勢地圖，1990。
- 2) 藤原明敏：地すべりの解析と防止対策（《地滑分析與防止對策》），理工圖書，pp.17，1979。
- 3) （財）砂防・地滑技術中心：土砂災害の実態（《土砂災害實況》），pp.9～14，2002。
- 4) 石井靖雄，野村康裕，藤澤和範，西本晴男，鈴木常正：平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震により発生した地すべりの特徴（《2004 年新潟縣中越地震引發地滑之特徵》），第 44 屆日本地滑研究發表會，pp.15～18，2005。
- 5) （財）國土開發技術中心：貯水池周辺の地すべり調査と対策（《水庫周邊地滑之調查與對策》），山海堂，pp.73，1995。
- 6) 渡正亮，酒井淳行：地すべり地の概査と調査の考え方（《地滑地概査與調查之構想》），土木研究所資料第 1003 號，70p，1975。
- 7) 渡正亮，小橋澄治：地すべり・斜面崩壊の予知と対策（《地滑與邊坡崩塌之預測與對策》），山海堂，260p，1987。
- 8) 吉松弘行：地すべりの発生機構とその形成機構（《地滑發生機制及其形成機制》），「基礎工」，Vol.21，No.3，pp.2～10，1993。
- 9) Skempton, A. W.：The strength along Structural Discontinuities in Stiff Clays（《硬黏土結構之不連續強度》），Proc.Geotechnical Conf., Oslo, Vol.2, pp.29～46, 1967。
- 10) 藤田壽雄：I・研修ガイダンスのための地すべり概論（《研修導讀地滑概論》），地滑防止研修教材，pp.46，2000。
- 11) 小出博：日本の地すべり－その予知と対策－（《日本地滑－預測與對策－》），東洋經濟新聞社，259p，1955。
- 12) 樋口佳意，藤澤和範，藤平大，小原嬢子：地すべり地末端の崩壊斜面における地盤変位の遠隔計測支援技術の開発（《地滑區末端邊坡崩塌地層變位遙測支援技術之開發》），土木技術資料，Vol.49,No.3,pp.58～63，2007。
- 13) 独立行政法人土木研究所：地すべり地末端の崩壊斜面における地盤変位の計測手法マニュアル（《地滑區末端崩塌邊坡地盤變位量測方法手冊》），土木技術資料，2007。

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2019

本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。