

治山技術基準解說目錄

第4編 地滑防止事業

第1章 事業之定義及目的	1
第2章 地滑調查分析	5
第1節 概說	5
第2節 預備調查	5
2-1 概說	5
2-2 調查種類	6
2-3 彙整	6
第3節 現地踏勘	6
3-1 概說	6
3-2 踏勘	6
3-3 彙整	8
第4節 地形測量	8
4-1 概說	8
4-2 地面測量	8
4-3 空載光達測量	9
4-4 彙整	9
第5節 土質及地質調查	9
5-1 概說	9
5-2 物理探測	10
5-2-1 概說	10
5-2-2 震波探測	11
5-2-3 地電阻探測	14
5-3 地質鑽探調查	15
5-3-1 概說	15
5-3-2 地質鑽探之位置、深度等	19
5-4 土壤探測試驗	20
5-4-1 概說	20
5-4-2 標準貫入試驗	20
5-5 土質及岩石試驗	21
5-5-1 概說	21
5-5-2 資料採取	23
5-6 試掘觀察調查	24
5-7 彙整	24
第6節 地下水調查	25
6-1 概說	25

6-2	地下水位調查	26
6-3	孔隙水壓調查	26
6-4	地下水檢層	27
6-5	地下水追蹤調查	28
6-6	簡易抽水試驗	29
6-7	抽水試驗	30
6-8	水質調查	32
6-9	地下水流出量調查	32
6-10	彙整	33
第7節	地表滑動量調查	33
7-1	概說	33
7-2	標誌觀測	33
7-3	地表伸縮計	34
7-4	傾斜計	34
7-5	彙整	35
第8節	地中變動量調查	35
8-1	概說	35
8-2	管式應變計（應變測定管）	36
8-3	孔內傾斜計	36
8-4	地中伸縮計	36
8-5	多層位移計	36
8-6	彙整	37
第9節	氣象調查	37
9-1	概說	37
9-2	降水量調查	37
9-3	積雪量調查	37
9-4	彙整	38
第10節	機制分析	38
10-1	概說	38
10-2	測線之設定	39
10-2-1	概說	39
10-2-2	測線之設定	39
10-3	滑動面之判定	39
10-4	地滑滑動區塊之確定	40
10-5	地滑發生機制之探明	40
10-6	邊坡安定分析	41
10-6-1	概說	41
10-6-2	邊坡穩定分析方法及種類	41
10-6-3	土壤力學參數之設定	48
10-6-4	孔隙水壓之設定	49
10-7	彙整	51

第3章 地滑防治工程計畫	52
第1節 計畫之基本理念	52
第2節 計畫規模	52
第3節 地滑防治工程計畫之策定	53
3-1 地滑防治工程計畫之具體方針	53
3-2 環境保全	55
第4節 地滑防治工的種類	55
4-1 概說	55
4-2 工法之選定及組合	56
第4章 地滑防治工之設計	58
第1節 概 說	58
第2節 測 量	58
2-1 測量範圍	58
2-2 測量種類	59
2-2-1 平面測量	59
2-2-2 縱斷測量	59
2-2-3 橫斷測量	59
第3節 抑制工設計	59
3-1 概說	59
3-2 滲透防止工	60
3-2-1 目的	60
3-2-2 位置	60
3-2-3 工法種類與構造	60
3-3 地表排水工	61
3-3-1 目的	61
3-3-2 位置	61
3-3-3 工法種類與構造	62
3-4 溪流保全工	62
3-4-1 目的	62
3-4-2 位置	62
3-4-3 工法種類與構造	63
3-5 暗渠工	63
3-5-1 目的	63
3-5-2 位置	64
3-5-3 工法種類與構造	65
3-6 橫向鑽掘集排水暗渠工	65
3-6-1 目的	65
3-6-2 位置、集水管數目、方向、長度及斜率	65
3-6-3 構造	66
3-6-4 效果之計算	67

3-7	集水井工	70
3-7-1	目的	70
3-7-2	位置	71
3-7-3	配置	71
3-7-4	種類別	72
3-7-5	直徑及深度	72
3-7-6	構造	73
3-7-7	安定性檢討	73
3-7-8	橫向鑽掘集水管	79
3-7-9	橫向鑽掘排水管	79
3-7-10	效果之計算	81
3-8	排水廊道工	81
3-8-1	目的	81
3-8-2	位置	82
3-8-3	剖面	82
3-8-4	斜率	82
3-8-5	支承保護工、襯砌工	82
3-8-6	構造	83
3-8-7	坑口部	83
3-8-8	鑽掘集水管工	83
3-8-9	效果之計算	84
3-9	挖方工	84
3-9-1	目的	84
3-9-2	位置	85
3-9-3	挖方區域及挖方深度	85
3-9-4	開挖坡面之形狀	85
3-9-5	開挖坡面之保護	85
3-9-6	挖方之處理	86
3-10	坡趾填方工	86
3-10-1	目的	86
3-10-2	位置	86
3-10-3	填方區域及填方厚度	87
3-10-4	填方基礎	87
3-10-5	填方坡面之形狀	87
3-10-6	填方坡面之保護	88
3-11	排氣管工	88
3-11-1	目的	88
3-11-2	位置	88
3-11-3	構造	88
3-12	治山防砂壩等	89
3-12-1	目的	89

3-1 2-2	位置	89
3-1 2-3	種類與構造	90
3-1 3	擋土工	90
3-1 3-1	目的	90
3-1 3-2	位置	90
3-1 3-3	種類與構造	91
第4節	抑止工之設計	91
4-1	概說	91
4-2	排樁工	91
4-2-1	目的	91
4-2-2	位置	91
4-2-3	排樁的形式	92
4-2-4	樁材種類別	96
4-2-5	排樁的構造、間距與配置	98
4-2-6	安定性檢討	100
4-2-7	樁內部及外周之處理	105
4-3	深基樁工	105
4-3-1	目的	105
4-3-2	位置	105
4-3-3	深基樁工的設計格式	106
4-3-4	深基樁工的規格	109
4-3-5	深基樁工的構造、配置及間距	109
4-3-6	安定性之檢討	110
4-3-7	深基樁工外周之處理	110
4-4	錨錠工	110
4-4-1	目的	110
4-4-2	位置及打設角度、配置	111
4-4-3	錨錠工之型式	115
4-4-4	安定性之檢討	115
4-4-5	耐久性之確保	118
第5章	地滑防治效果之驗證	120
第1節	概說	120
第2節	調查之種類	120
第3節	施工效果之驗證	122
3-1	目的	122
3-2	地滑防治效果之判定	122
3-3	地滑安定度評估	122
第4節	地滑防治工維護管理之檢討	122
用語解說		124

第 1 章 事業之定義及目的

地滑防治事業之目的在進行抑制或抑止地滑，以防止或減輕地滑所引致之災害。

〔說明〕

1 地滑防治事業

地滑防治事業的目的是防止或減輕地滑所引致之災害，除了個別地滑區塊的抑制或抑止對策之外，相關聯地滑區塊或推估可能受災區域之對策、周邊環境之顧慮及軟體對策等工作之實施。

此外，除了依據地滑等防止法進行地滑防治工程相關計畫時適用本編內容之外，依森林法相關的保安設施計畫相關工作，若出現該當於地滑各種性質之現象，亦準用本編之基準。

2 地滑防治事業之推動方法

地滑防治事業之實施，必須事先評估計畫效果，配合地滑特性、規模及保全目標重要程度，施作地滑防治工程等，並試圖防止或減輕地滑所可能引致之災害。

此外，地滑之機制與地滑防治工程效果等仍有部分不明之處，即使完成當初的地滑防治計畫可能仍無法達成目標。因此，應於計畫推動的各階段持續吸收新的知識見解、修正計畫，充分檢討、驗證工程之對策效果。



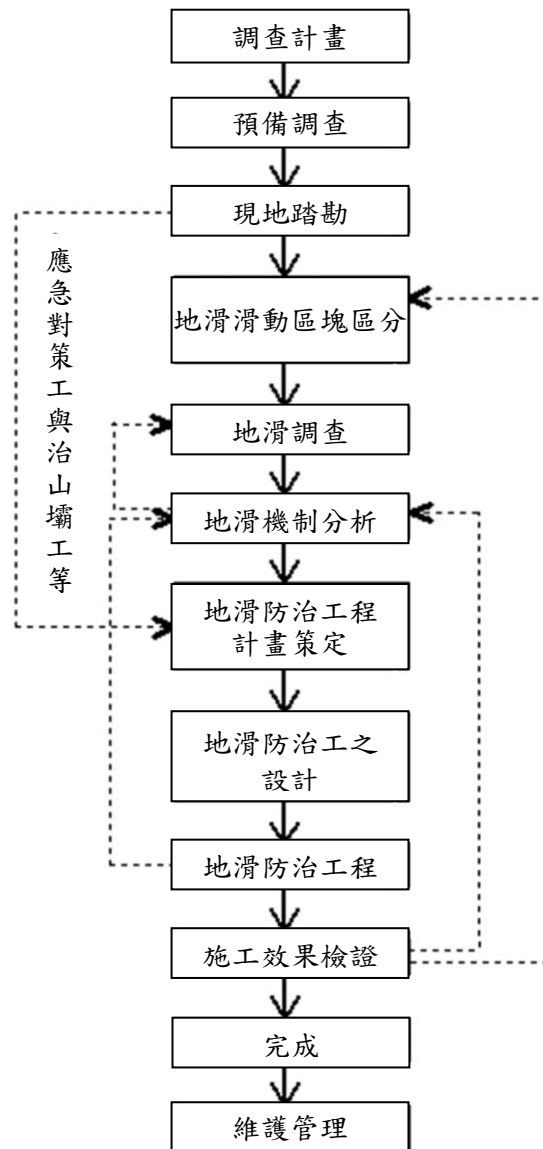


圖 1-1 地滑防止事業之流程

〔參考〕

1 地滑之定義

治山技術基準之地滑，指依地滑等防止法（1958 年法律第 30 號）所定之「地滑指土地局部因地下水等所產生的滑動現象或伴隨產生的地表面位移現象。」。

2 地滑之分類

地滑之分類一般依地質與運動型態分類之。

（1）依地質分類（小出博、日本的地滑，1955）

依地質分類有各種地滑分類，其代表性的如下。

① 第三紀層地滑

第三紀層一般地層之固結度低，易含水。其中泥岩與頁岩等大多含水率高，新含會變得軟弱，反覆乾燥、濕潤，會產生快速黏土化的岩質特徵。分布在日本東北、北陸、山陰、九州北部等日本海側丘陵山地之地滑，大部分屬第三紀層地滑。

② 破碎帶地滑

破碎帶地滑指地殼運動岩石變形破碎，容易黏土化之地帶所產生之地滑，發生在火成岩、古生層及中生層，日本系魚川到「靜岡構造線」以及沿「中央構造線」分布的地滑都屬破碎帶地滑。

③ 溫泉地滑

溫泉地滑指受溫泉作用或硫化作用等後火山作用之地質現象影響，因而產生岩石特殊變質，形成所謂溫泉餘土後所發生之地滑，鳴子、箱根、別府等溫泉地帶所發生的地滑，屬溫泉地滑。

(2) 依據運動形態分類

地滑的運動形態分類如表 1-1 所示。

表 1-1 依運動形態的分類

地滑對策所須進行的具體調查項目	地滑的類型
① 位移速度或有無滑動層	崩塌性、地滑性
② 位移土體的攪亂程度	崩積型、地塊型
③ 位移的規則性	持性性、間歇性
④ 位移是否明顯	活動性、休眠性、潛在性
⑤ 位移速度及剪切模式	塑性狀態、液性狀態
⑥ 滑動面的形狀	平面型（層型）地滑、 弧型地滑、複合地滑
⑦ 相關力的平衡條件	主動的、被動的、後退性、前進性
⑧ 與基岩走向傾斜之對比	走向型、斜向型、順向坡型、逆向坡型
⑨ 發生的主次關係	主地滑、次（子）地滑
⑩ 發達的形式	幼年形、青年形、壯年形、老年形
⑪ 水文地質條件	自由地下水型、受壓地下水型
⑫ 發生形態	初生型、再活動型

3 地滑與崩塌的差異

「地滑」與「崩塌（崩崖）」主要差異如表 1-2 所示。

表 1-2 「地滑」與「崩塌」之比較

項 目	地滑	崩塌
地 質	多發生於特定地質或地質構造的地方。	與地質關聯性較少。
土 質	主要是黏性土的滑動面滑動。	砂質土（砂質壤土、火山灰土壤、白砂等）地帶特別常發生。
地 形	多發生在 $5^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 緩坡，特別是上部有台地狀地形時。 地滑地形顯著	多發生於 20° 以上陡坡之 0 級河川（序）、源頭附近地區。
滑動狀況	持續性、再發性、隨時間變化	突發性，不太隨時間變化。
移動速度	0.01mm/日 $\sim$ 10mm/日為多，速度緩慢。	10mm/日以上，速度極快。
土 體	土體較少攪亂，多保持原形地移動。	土體整個攪亂。
誘 因	經常受地下水影響，常因受壓地下水等而發生。	常受降雨特別是強降雨影響；常因自由地下水而發生。
規 模	1 $\sim$ 100 公頃，規模大。	就面積規模而言，通常不大。
徵 兆	發生前會出現地表面龜裂、沉陷、隆起與地下水變動等狀況。	發生前徵兆較少，多突發性崩落。

（渡等 1971 年發表之論文經駒村等修改，1992）（部分修正）

第2章 地滑調查分析

第1節 概說

地滑防治工程的規劃與設計，應先進行有效且適切的調查，依據調查結果瞭解地滑之機制。

〔說明〕

1 地滑調查

為合理且有效進行地滑防治事業，不只掌握地滑的實際狀況，還應依據周邊地區的立地特性等策定地滑防治事業。為此，應事前進行預備調查與現地踏勘，確認調查目的後選定符合現地狀況的詳細調查內容種類。調查所取得成果須驗證其是否取得了足以瞭解發生機制的充分資訊，若有資訊不足之處，進行再調查。

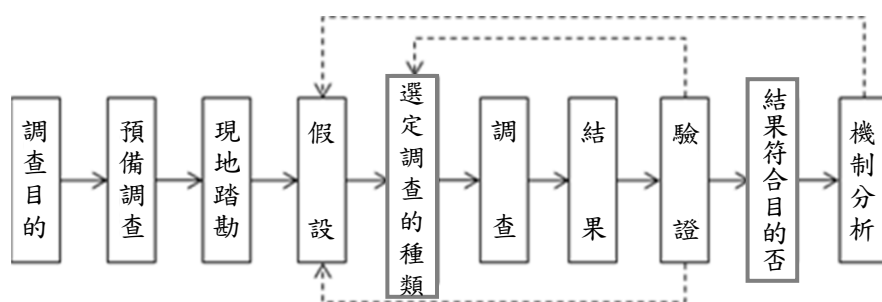


圖2-1 調查的順序

又，地滑防治工程之中有的為了檢討驗證工程種類與工法規劃，或地滑防止工效果，會進行各種調查。

2 機制分析

機制分析除了綜合地滑調查結果、確認地滑範圍與形狀之同時，也應解明地滑主要因素，瞭解其發生機制或移動特性。

機制分析所進行的安定檢算，要掌握地質特性、滑動面形狀以及地下水賦存狀態等，並與地滑發生過程予以整合。

第2節 預備調查

2-1 概說

預備調查為現地踏勘之前先依據既有的資料，掌握該當地滑地及周邊地區的概況為目的。

〔說明〕

預備調查主要是進行文獻等的調查，多於地滑調查計畫初期階段進行。預備調查成果會影響後續調查，因此蒐集資料與文獻等時，應儘量選擇精度較高者。

2-2 調查之種類

調查之種類應配合所需狀況選擇其中適切者。

〔說明〕

預備調查的標準種類如下。

- 1 地形地質調查：準用第2編第2章第2節地形調查2-2「預備調查」、第3節土質及地質調查3-2「予備調查」之規定。
- 2 環境調查：準用第2編第2章第6節「氣象調查」、第10節「環境調查」之規定。
- 3 社會調查：準用第2編第2章第11節「社會調查」之規定。

〔參考〕

日本各地所分布的地滑多屬再活動地滑，能依據地形圖的等高線型態判讀地滑範圍。此外，航空照片3D視覺化地形判讀或植生覆蓋狀況與地質構造等判讀，乃至於空載光達測量數據的微地形表現圖（紅色立體地圖※1、CS立體圖※2等），都可用來掌握地形。

※1「紅色立體地圖」係亞細亞航測株式會社所開發的技術（日本專利第3670274號等）

※2「CS立體圖」係長野縣林業總合中心所研發的衛星圖像立體判讀方法。

2-3 彙整

預備調查的成果應從掌握自然特性及社會特性概要等的角度進行彙整，作為後續調查等的參考。

〔說明〕

彙整預備調查時不只羅列相關數據，也應持續探究數據背後的意涵，努力進行資料與文獻等的分析。

此外，各種調查須列舉後續調查所須進行的事項，彙整其與地滑活動有關之事項。

第3節 現地踏勘

3-1 概說

現地踏勘目的為掌握地滑機制概略，提供作為後續調查計畫或緊急對策工規劃之參考。

〔說明〕

現地踏勘應掌握地滑所形成的現地概況，將踏勘結果活用於對保全對象或周邊環境所擬的調查計畫，以及緊急對策工之規劃。

地滑現場應儘量掌握可用來釐清地滑滑動區塊及其相互關係、移動方向等的機制。

3-2 踏勘

踏勘應依據預備調查的資料，進行地形、地質、植生及水文等調查。

〔說明〕

踏勘應掌握地滑所形成的地表變形、地質分布、地下水狀況以及有無湧水等狀況，現地蒐集可用來確認周邊環境狀況的資訊。

踏勘應先依據航空照片或地形圖概略掌握地滑區域，然後連同周邊必要之範圍一起進行。

除了依據預備調查結果等有效率地進行踏勘之外，也應儘量將所取得的資訊載入地圖，正確掌握現地狀況並完成紀錄。

〔參考〕

1 地滑地形的特徵

地滑所形成的地形特徵如下。

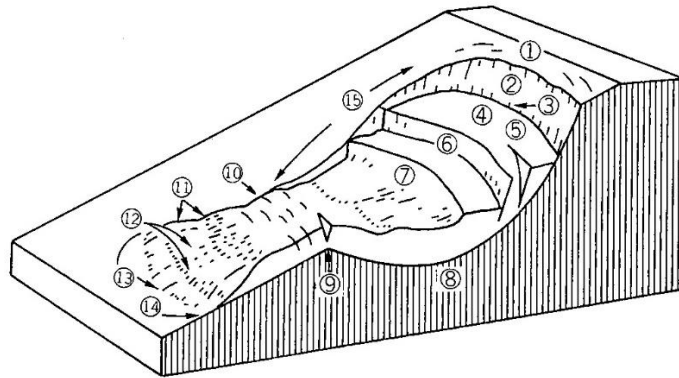


圖2-2 地滑各部位的名稱 (D.J.Varnes 原圖)

(摘自) 地滑工學-理論與實踐- (股份公司) 山海堂 1989.3 (部分修正)

①冠部(Crown)，②主崩崖(Main Scarp)，③頂點(Top)：移動土體連接主崩崖的最高處，④頭部(Head)：連接主崩崖的土體上部，⑤橫向裂縫(Transverse Crack)，⑥次崩崖(Minor Scarp)：其上下方各自形成小塊體。⑦縱向斷裂帶(Longitudinal Fault Zone)：地滑滑動區塊左右兩側分成一些小區塊，或被分割成細長型區塊。⑧破壞面(滑動面)(Surface of Rupture)，⑨足部(Foot)：滑動面與原先地表面的交界線，有時會被土石覆蓋或掩埋。⑩橫向張裂(壓縮龜裂)，⑪橫向脊(Transverse Ridge)：隆起部，⑫放射狀龜裂，⑬趾尖(Tip)：地滑趾部的尾端，⑭趾部(Toe)、⑮右側翼(Right Flank)

2 地滑地的植生

地滑地內的樹木常見如下之特徵。

立枯、幹裂、根曲、浮出、傾倒(方向：朝山側、朝谷側、沿等高線、斜向、背分、放射狀、不規則)

此外，地滑所形成窪地或陷沒部分有時會形成沼澤或濕地，不久後沼澤濕地特有植物侵入。

常見的沼澤、濕原與濕地植物如表 2-1 所示。

表 2-1 濕地的植物

植物分類	性 質	種 類
水生植物	根部不附著底土：浮游植物 根部附著底土 植株部分在水面上：沉水植物 葉片浮在水面上：浮葉植物 植株大部分在水面上：挺水植物	浮萍 黑藻、眼子菜 菱角、印度苔 菜 蘆葦、寬葉香
濕地植物	常見於低窪濕地或常時淺水區：挺水植物 隨著陸化而產生蘆葦⇒荻⇒芒等不同的優勢種	珍菰（茭白 筍）、海濱三 稜草、莞（蘭 草）
濕地適應性強的木本植物	楊柳類、水曲柳、春榆、日本七葉樹、木胡桃、栲樹、土肉桂等	

3 簡易水質調查

現地踏勘必要時應以攜帶用的測定器測定水溫、水位、水量、pH值、RpH值、溶氧量及導電度等。

3-3 彙整

現地踏勘的成果應適切地彙整在地形圖等。

〔說明〕

現地踏勘成果應在地形圖上標示出地滑現象特有的地表地形與地物，並彙整踏勘地點所拍攝的照片。

為方便未來各階段用途，也應彙整與本計畫有關的重要資訊。

第 4 節 地形測量

4-1 概說

地形測量目的為掌握地滑所產生的地表變形及其周邊地區的地形。

〔說明〕

地形測量應測量地滑地形特有的堅硬不動層、滑落崖、龜裂、沼澤、凹地、隆起地帶、斷層等的位置、方向、湧水點及保全對象等，標示在地形圖上。

這些地表所呈現現象，都是瞭解地滑形態、範圍與移動方向等的重要資訊。

測量範圍之設定，最好稍大於地滑影響範圍。

4-2 地面測量

地面測量應於現地以測量儀器直接量測地滑地周邊的地形。

〔說明〕

地面測量乃是因應目的，以適切的測量方法與測量儀器（全站儀、地面光達等）測量地滑地及其周邊的地形。

測量時應於地滑地外的堅硬不動層設控制點，以便即使之後地滑位移，仍有舊的地點位置作參考以建立各項調查測線的基準。

此外，測量方法準用第2編第5章第1節「測量」之規定。

4-3 空載光達測量

空載光達測量係利用航空機所搭載光達測距裝置，取得地形的三維座標。

〔說明〕

空載光達測量係由小型飛機、直升機、無人機等搭載光達測距裝置，朝地表面發射雷射光，由其反射光計測地形形狀。

以整合機體的位置資訊等進行分析，可算出三維座標。

主要應用於大範圍地滑或難以進入現場的地滑地，與地面測量比較，可能較有效率。

〔參考〕

1 各種空載光達測量之不同特徵

較之小型飛機與直升機空載光達測量，無人機空載光達測量能進行低高度攝影，取得更高解析度的數據資料，且計測攝影範圍小，較短時間完成計測、成本較低。

2 空載光達測量所能取得的資料

(1) 原始數據

除了地面高程之外，也能取得包含建物、樹木高程等資訊的三維座標值點群數據。依原始數據算出地球表面高程模型，即所謂之數值地表模型(DSM：Digital Surface Model)。

(2) 地面數據

原始數據去除建築物與樹木等地面之數據所得到的點群數據。以地面數據建立的地面高程模型，稱為數值高程模型(DEM：Digital Elevation Model)。

4-4 彙整

地形測量結果應適切地整理為平面圖。

〔說明〕

平面圖應記載測量的地形特徵，及保全對象的關係。

此外，應配合地滑滑動區塊面積、保全對象重要度與位置等，適切地設定比例尺。

又，依據測量成果所繪製的平面圖，應載入地形測量前已確認的調查基本事項以及其他重要事項。

第5節 土質及地質調查

5-1 概說

土質及地質調查目的在瞭解地滑地周邊土質及地質特性，用來當作施工規劃與設計時的基礎資料。

〔說明〕

土質與地質乃是地滑潛因之重要因素。地滑地的土質與地質複雜且變化多，因此，應配合調查目的、目標範圍與重要程度等，選擇符合所須精度的調查方法。

主要的調查種類如下。

- 1 物理探測
- 2 地質鑽探調查
- 3 物理檢層
- 4 土壤探測試驗
- 5 土質及岩石試驗
- 6 試掘觀察調查

5-2 物理探測

5-2-1 概說

物理探測目的在於觀測地盤的物理現象，掌握地質構造與地下水賦存狀態等。

〔說明〕

物理探測應調查地下的岩石、地層厚度、分布、構造及地下水狀態等，透過物理現象中介間接從地表調查地盤中之物理性質與狀態。

物理探測主要種類如下，應配合現地狀況作選擇。

- 1 震波探測
- 2 地電阻探測

〔參考〕

地滑調查也可使用上述二種方法之外的以下方法。

1 地溫探測

利用地盤的相對溫度差，掌握地下水流動層的分布，一般作法為量測地下一公尺的地溫。

2 自然放射能探測

測定並分析裂縫或破碎帶所釋出的自然放射線（主要為 γ 射線），掌握 γ 射線的分布狀況。

3 電磁探測

有依據自然電磁場的電場與磁場測定結果計算出地下電阻率分布的 MT 法、以人工發射音頻測定與 MT 法相同的 CSAMT 法，以及以電磁響應為時間函數的 TEM 法。

各種探測方法及特徵如下。

表 2-2 各種探測方法與特徵

方法	優點	缺點
震波探測	○可探測的深度較大。 ○能有效測出地中之斷層與岩脈等特殊構造的位置。	○低速度帶與高速度帶傾角之判定不易。 ○測線常受到平行或斜交的異常速度帶影響而難以判別。 ○地下水賦存狀況之反應較不敏感（若低速度層飽和，速度會變快，產生分析誤差） ○難以判定地滑面與軟弱層等的夾層。
地電阻探測	○能敏感探測出脈狀構造等之水平方向的異常媒質。 ○能敏感分辨含水狀態與含黏土礦物量之差異，適合用來進行地下水調查。 ○某種程度能由電阻率的不同側向模式推估出地質的構造。	○能探測的深度遠小於震波探測。 ○比震波探測還更容易受地表地形條件影響。 ○容易受水平方向的異常媒質影響，因此需測點位置及電極排列之展開方向要詳加考量。 ○電阻率漸增或漸減的地層分層，地電阻探測分析誤差較大。
地溫探測	○能比其他調查方法更精準掌握地下水脈位置。 ○瞭解水脈位置，有助於掌握集水井適當的設置位置及橫向集水管工程適當挖掘方向。	○有利用淺層地溫與地下水溫度差的調查方法，若此二者溫度顯示相同時，本調查法便不適用。 ○主要適用於較淺層地下水分布地方。
自然放射能探測	○以地質學特徵為指標進行表層地質分類、地質邊界檢測、風化進行狀況或地質遞變狀態等之解析。 ○能用來掌握是否有下伏岩層裂縫開口或破碎部位位置，瞭解裂縫存在狀態及其長期時間變化。	○容易受表土的粒徑、地面植被與接地條件等影響。 ○量測所使用儀器簡便、低成本，但誤差較大，且無法排除γ射線強度等複雜地質條件與人為條件干擾。 ○需仔細進行背景臨界值調整，但相關分析基準尚未有定論。
電磁探測	○適合用來推估大面積地層與岩相分布狀況。 ○能相當有效地檢測出地層邊界與斷層等地質構造的電阻率異常體。	○出現高電阻率的電阻異常時，調查效率低於地電阻探測。

5-2-2 震波探測

震波探測係測定人為所產生震波在地盤中傳播的速度，然後由物性差異所產生速度變化狀況推估出地質構造等。

〔說明〕

1 震波探測的特徵

震波探測係利用構成地盤的岩石種類、地盤孔隙率與孔隙水等物性值差異所形成的不同震波速度，而進行震波速度層分類，依鑽探調查的地層分類與震波速度對比，掌握線或面的地層連續性與地質構造。

震波包含在地盤內部傳遞的實體波，以及沿地表面傳遞同時傳遞愈深衰減愈快的表面波，地滑調查時通常採用實體波的 P 波進行。

2 震波探測的種類

地滑調查所使用的震波探測法，主要有折射法與反射法。

(1) 折射法

折射法係以折射波算出各地層中震波速度，然後進行定量的構造分析。大部分地滑調查採用這種方法。

震波會在不同地層之間產生折射，地表面測定裝置可觀測其地盤間傳遞狀況，取得震波訊號走時曲線，從而分析、推估出風化土層、基盤面及破碎帶等狀況。

(2) 反射法

反射法係利用震波在地層境界面產生的反射波，以震波到達該境界面的時間分析地層界面相對半定量深度的方法。地滑調查若要掌握地下地質狀況細微變化，可使用淺層反射法。

3 彙整

測定結果彙整為以橫軸為距離、縱軸為時間的走時曲線與速度層剖面圖。然後與鑽探調查以及其他調查結果對比，可推估出崩積土層、風化層、基盤層、破碎帶與低速層（帶）等。

〔參考〕

1 主要的岩石震波速度

主要的岩石與震波傳播速度關係，如圖 2—3 所示。



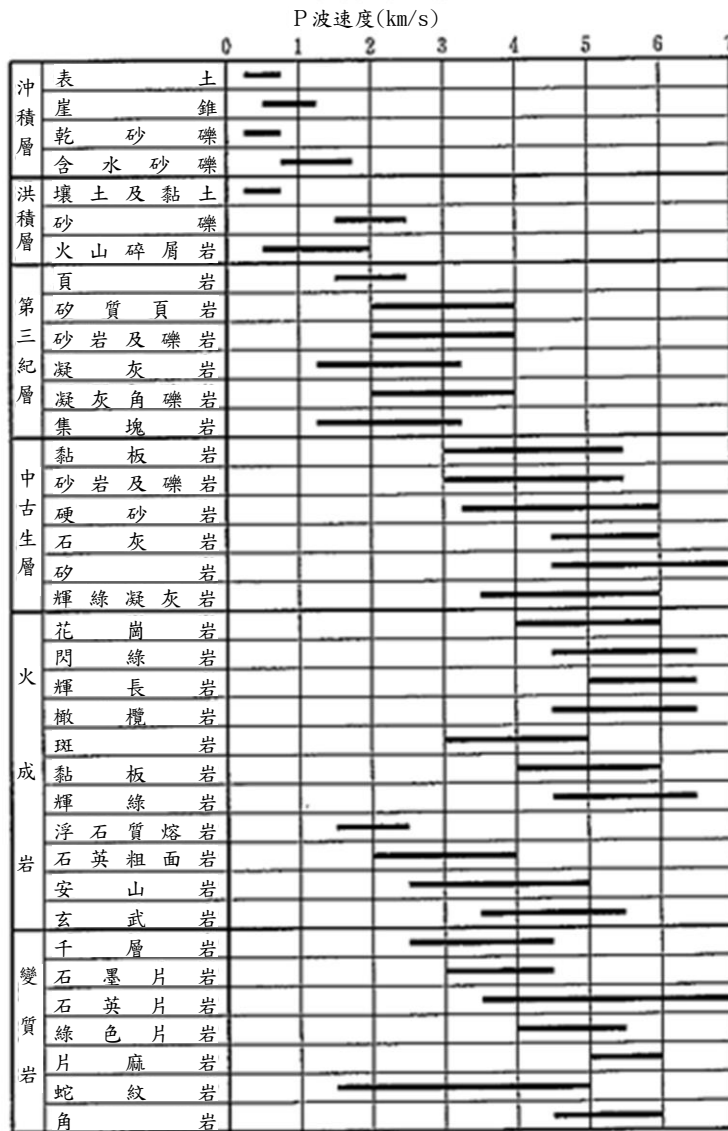


圖 2-3 主要岩石與震波傳播速度
(摘自) 地盤調查法 地盤工學會

2 震波斷層掃描

震波斷層掃描係將醫學所使用的 X 光斷層掃描應用於震波探測（特別是鑽探孔與孔之間、地表與鑽探孔之間以及調查橫坑與坑之間），由此可算出更詳細的震波速度分布剖面。

震波斷層掃描實際應用於地滑地，需注意以下事項。

- (1) 地滑地之震源與受震點距離愈遠，震波斷層掃描解析度愈差。
- (2) 若地質性質與構造非常複雜，震波傳遞路線不可能單純，因此在不同地滑區塊間進行斷層掃描精度會降低。
- (3) 地表附近表土與崖錐等的分布多不規則，地表面震波波動觀測效果因此不佳，且地滑區塊可能被表土或崖錐覆蓋而無法進行掃描。

5-2-3 地電阻探測

地電阻探測係於地中通電流，量測地層電阻而推估地下的地質構造與地下水狀況等。

〔說明〕

1 地電阻探測的特徵

地電阻探測係於地下通電流，量測地盤內所產生電位的變化，分析其變化狀況掌握地盤的相對電阻分布狀況，此稱為「地電阻法」。

地盤內的電阻率依構成地盤的岩石與礦物種類、地盤的孔隙率、飽和度、孔隙水之電阻率等而定，會產生數 Ωm ~數千 Ωm 範圍不同的電阻率值，因此可用來掌握地層的連續性、地層脈狀構造以及地下水狀況等。

2 地電阻法

地電阻法係於地中埋設二電極後通電流，並在電流電極之間讓其他二極電位電極接地，而量測其間的電位，算出大地的近似電阻率 (apparent resistivity)，此作法不會受電極的接地電阻影響，且電極展距與探測深度之間存在某種固定關係，因此可用來進行地下構造探測。

地電阻法有幾種不同做法，最常見的是威納電極陣列法 (Wenner Array) 法。

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I} \quad <2-5-1>$$

在此， ρ_a ：大地的近似電阻率， a ：電極間隔，

I ： C_1 與 C_2 之間的電流， V ： P_1 與 P_2 之間產生的電位差。

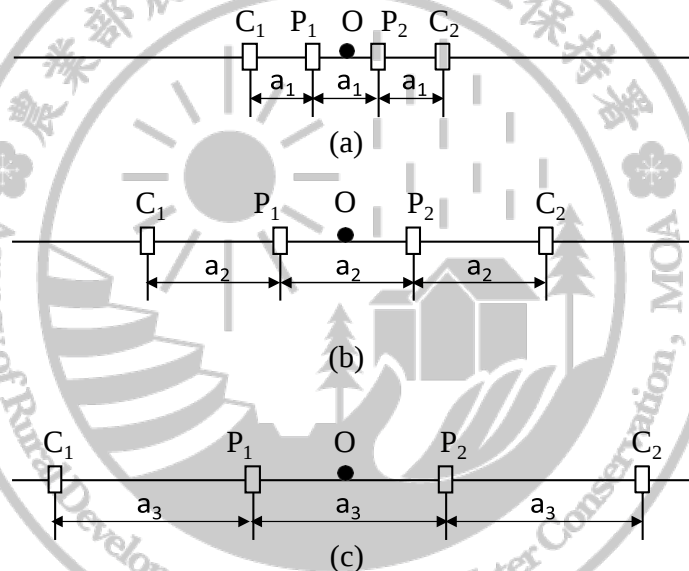


圖 2-4 以威納電極陣列法進行地電阻垂直探測

3 彙整

測定結果彙整為地電阻分布圖。然後與鑽探調查等其他調查結果比對，即可推估出地質構造與地層含水狀況。

〔參考〕

1 高密度地電阻探測

高密度地電阻探測是使用多頻道地電阻測定器，沿測線等間隔布設多點電極，調查測線上短時間高密度自動測定的地盤電阻率數據，算出近似電阻率分布，然後進行反算分析，算出地盤真正電阻率分布剖面的探測方法。

高密度地電阻探測係先將感測器密接固定在邊坡，測定精度優於地電阻法，且使用有限元素法（FEM）與反算分析等方法，避免分析者個人操作產生差異，確保較佳分析精度，以電腦計算方式更容易製作相對電阻斷面圖等優點。

2 主要岩石的電阻率

主要岩石的電阻率，如圖 2-5 所示。

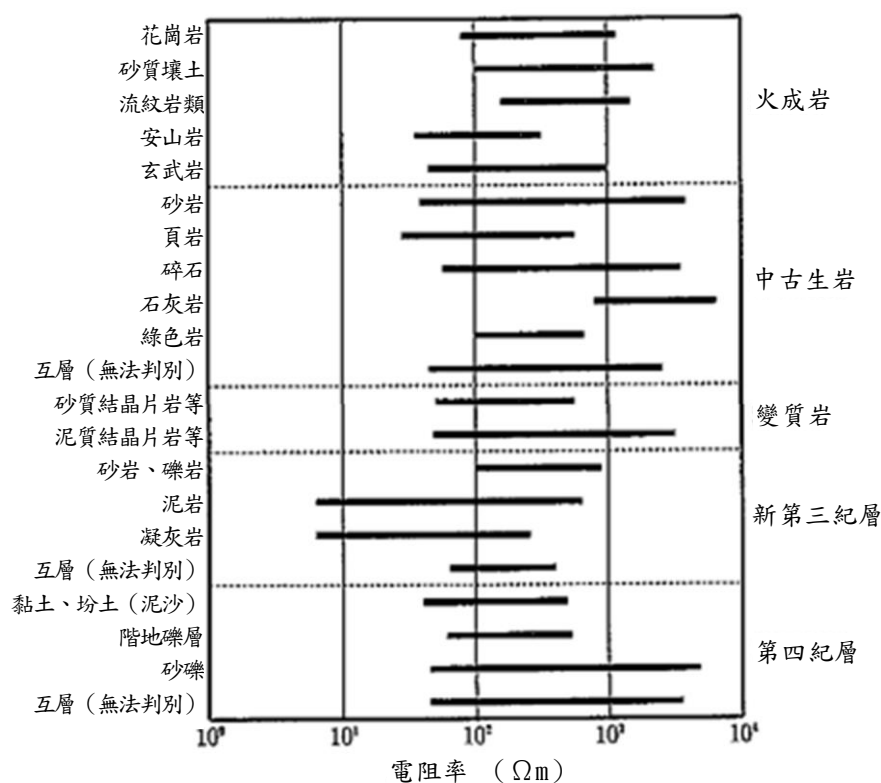


圖 2-5 主要岩石的電阻率
(摘自) 物理探測手冊 物理探測學會

5-3 地質鑽探調查

5-3-1 概說

鑽探調查目的在直接掌握土質、地質、地質構造等，必要時利用鑽探孔進行各種調查或資料採取。

〔說明〕

1 鑽探調查係以鑽探機器等挖掘小口徑豎坑，採集地滑移動層及不動基盤層的岩心等，以肉眼觀察調查土質、地質、層序、滑動面、岩石風化與破碎狀況等，並由鑽掘中豎坑的水位變化或豎坑排水狀況等了解地層透水性與含水狀況。通常採用旋轉鑽探法。

2 旋轉鑽探法分為以下二類。

(1) 取岩心鑽探

- (2) 不取岩心鑽探
- 3 進行邊坡穩定分析及擬定地滑防治工程計畫，應精準掌握滑動面位置。其中，鑽探調查雖為點的調查，但能直接掌握地下狀況，是調查的主要基礎。
現地踏勘應有地形與地質調查之概念，依據踏勘結果擬訂調查計畫，提高調查效果。
- 4 鑽探調查孔後續利用該調查孔進行地中移動量調查等調查，應有效的設定調查孔配置與深度。此外，有些調查需設專用孔，應配合調查目標與期望之精度，適切地配置。
- 5 為取得地滑防治工程所須地盤資訊，必要時應進行驗證之地質鑽探。
驗證之地質鑽探是在基樁工程、錨錠工或集水井工等規劃設計時，為了確認地滑滑動面及地下水狀況等，以決定鑽探規模與鑽探井數量。因此，應針對地滑調查分析尚未調查地點，進行細部補充調查。
- 6 彙整
鑽探調查結果應彙整作成地質柱狀圖，並加上現地調查所作成的地形圖、地質圖及物理探測結果等，綜合檢討，作成地質構造相關斷面圖與平面圖。
此外，應作成鑽探日報分析圖，確認各鑽探區間的地層透水性。

〔參考〕

1 地質柱狀圖格式與鑽探日報分析圖例

(1) 地質柱狀圖的記載事項

① 地質柱狀圖應記載以下事項。

地區名稱、調查年度、調查地點編號、擔當技術者、鑽探機械名稱、柱狀符號、地質與土質名稱、色調、軟硬、岩心採取率、RQD（岩石品質指標）、鑽探孔內水位、輸水與排水量、湧水與漏水的位置及其量、管式應變計等孔內觀測儀器的設置位置、土質試料採取位置、觀察事項及其他必要之事項。

② 觀察事項之內容如下。

移動層的性狀、所含有的礫石種類、礫徑、礫質、岩石磨圓度、含有率等、含水量（乾燥、潮濕、飽和）、滑動面黏土的產生狀況、基岩層的裂縫與破碎狀況、風化狀況、孔內異狀（崩塌、鑽探孔彎曲、出現沼氣、地溫劇變等）。

(2) 鑽探數據日報分析圖之記載事項與分析

① 鑽探數據日報分析圖係依鑽掘作業如下之數據作成。

- a 每日鑽掘作業前後的孔內水位
- b 鑽掘過程產生湧水及漏水的位置及其程度，以及各鑽掘區間送水鑽掘、無水鑽掘之區別
- c 套管與膨土使用狀況（使用或不使用，區間及時間點等），工程前夜及當日的天候

② 分析時應針對各鑽掘區間，判定地層的透水性、含水性。

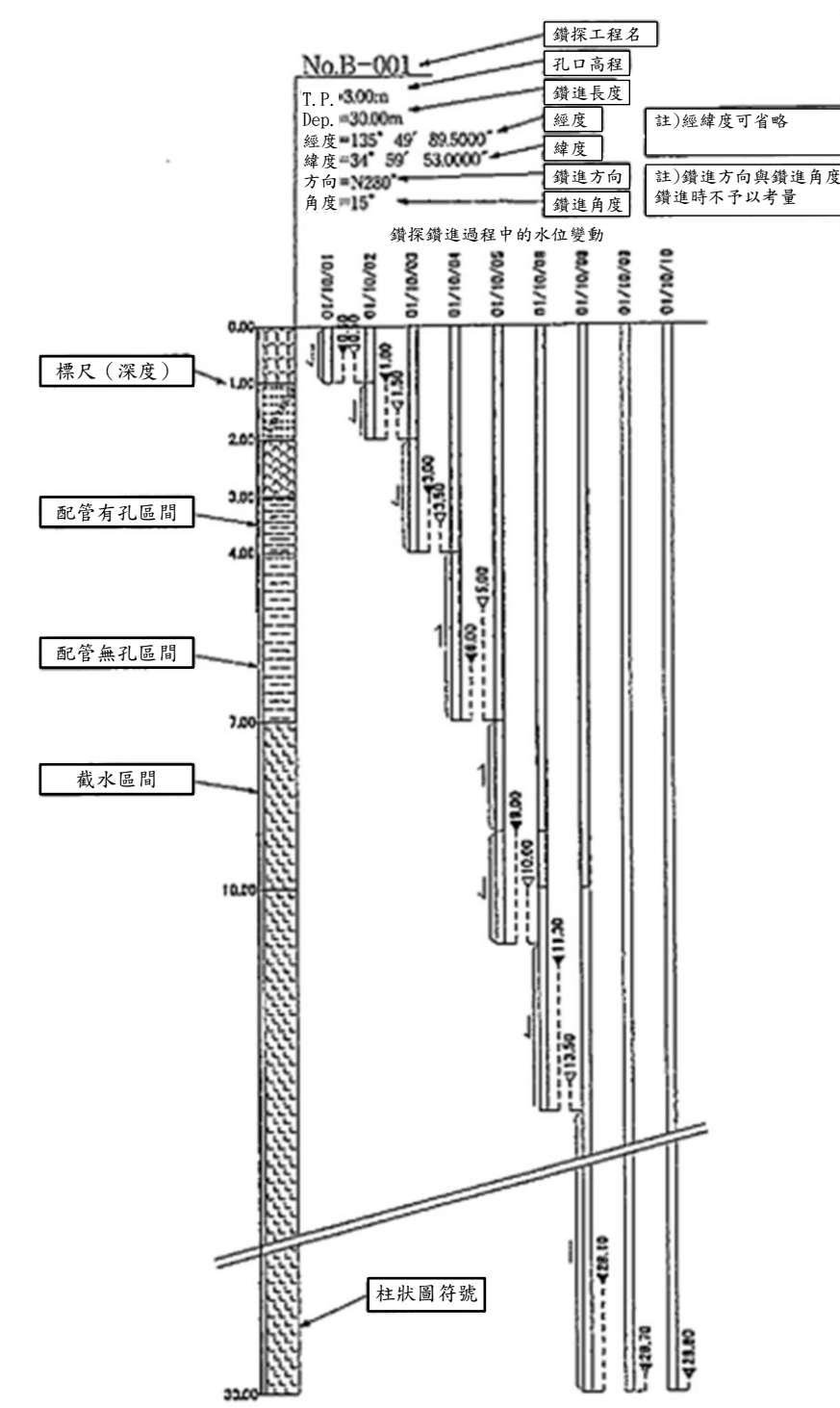


圖 2-7 鑽探數據日報分析圖案例
(摘自) 土木研究所資料第 3868 號

2 物理檢層

利用鑽探孔進行的調查包含物理檢層。物理檢層目的為進行地滑地層類型區分(滑動面判定、風化度判定、潛在滑動面檢測等)、地滑原因之地下水含水層檢測、與地滑機制關係密切的地質構造掌握、岩盤物性測定等。地滑調查常使用速度檢層與電氣檢層。

表 2-3 物理檢層的調查目的

調查目的	檢 層
地滑地層區分	電氣檢層、速度檢層
含水層檢測	電氣檢層
岩盤物性掌握	速度檢層

3 音射式孔內探測儀（BHTV）

音射式孔內探測係使用超音波測定鑽探孔壁的音響阻抗，由地層的軟硬、風化狀況與裂縫狀況等進行滑動面判定、掌握地質構造與岩盤物性。

超音波會在不同媒質的境界面產生反射，其強度會隨媒質間的音響阻抗（媒質密度與音波速度的積）之差與反射面光滑程度而改變。硬質地層反射訊號強，軟質地層反射訊號弱，裂縫區位幾乎無反射訊號。音射式孔內探測利用反射訊號強弱與走時數據，能將難以或用光學影像化的地滑地孔壁視覺化，檢測出黏土高含量之滑動面及音響阻抗形成高低差的層理構造或裂縫等。

測定的反射訊號強度與地震波走時依其值大小所呈現的濃淡圖像，可繪製孔壁展開影像，用來判定滑動面，進行不連續面構造的分析。

此外，超音波會在空氣中快速衰減，因此只能在孔內有水區間進行。此外，要取得良好記錄，應降低鑽掘對孔壁的擾動，讓測定器保持在鑽探孔中心。

5-3-2 鑽探的位置、深度等

鑽探調查除了配合調查目的選定必要的位置之外，也應擇定適當的深度、角度與鑽探孔口徑。

〔說明〕

鑽探調查能進行特定地點地質的掌握，因此應選擇符合調查目的的鑽探位置。但在必要範圍內，應盡量減少鑽探孔數目與深度。

1 位置

鑽探調查的位置應依據現地踏勘或地形測量的結果，選擇能判斷出地滑範圍、地層連續性、破碎帶位置、地下水連續性及滑動面等的地點。

2 口徑

鑽探口徑通常以 66mm 為標準。但使用鑽探孔進行其他調查或為掌握更正確之判斷時，可使用更大的口徑。

3 方向與角度

鑽進角度以鉛直往下為標準，若只為確認基盤層之走向傾斜或表土層時，鑽進方向與地表斜面或地表面成直角，且鑽探深度很淺等，可配合調查目的改變方向與角度。

4 深度

鑽探深度須滿足鑽探的目的，機制分析之必要深度，須達到滑動面與基盤層。

5-4 土壤探測試驗

5-4-1 概說

土壤探測試驗調查係依據土層之貫入、旋轉、拉出等過程的阻抗強弱，瞭解土壤的強度與密度等。

〔說明〕

土壤探測試驗調查屬原位試驗，一般應用於土壤擾動小的試料取樣、難以進行室內土質試驗的砂質土或鬆軟黏土，以及難以連續掌握地盤性狀的情況。土壤探測試驗調查依據地盤深度方向的抵抗力值，可直接推估不同深度地盤的抵抗力強弱與變形特性、密度等。

地滑調查多使用標準貫入試驗，進行表層地盤調查或補充地質之確認，可參照第2編第2章第3節3-6「土壤探測試驗調查」進行調查。

5-4-2 標準貫入試驗

標準貫入試驗係以原位置土壤軟硬、緊實之相對值以及土層構成之判定求算N值。

〔說明〕

試驗方法參照日本產業規格(JIS A 1219-2001)。

此方法乃是鑽探孔內實施的代表性試驗，調查所取得的N值常換算成各種土壤參數供設計之用。

此外，其他土壤探測試驗所取得的測定值，多能換算成標準貫入試驗的N值。

「參考」

1 由標準貫入試驗判別、推定之事項

表 2-4 標準貫入試驗調查結果可判釋之事項

分類	判別、推定之事項	
可調查結果一覽表 綜合判定的事項	土質構成、深度方向的強度變化 支持層的位置（地表向下的深度與地層構造） 有無軟弱層（納入壓密沉陷計算的土層厚度） 透水性、有無液化土壤層	
可由 N 值直接推定 的事項	砂 質 地 盤	相對密度、抗剪角、即時沉陷量、擋土牆等的容許支承力、水平地盤反力係數、樁之極限尖端承载力、樁之極限周邊摩擦力、剪力波速、變形係數、土壤液化強度
	黏 土 地 盤	土壤結持度、一軸壓縮強度（黏著力）、水平地盤反力係數、剪力波速、變形係數

2 以標準貫入試驗等所算出N值求取水平地盤反力係數之實驗式

由N值求取水平地盤反力係數（ k_h ）的實驗式，代表性例子如下所示。

(1) 港研式

$$k_h = 200 \text{ N (tf/m}^3\text{)} \rightarrow k_h = 2000 \text{ N (kN/m}^3\text{)} \quad <2-5-2>$$

(2) 地滑地內的孔內水平載重試驗數據（林野廳與長野縣）蒐集結果的公式

$$k_h = 691 \text{ N}^{1.441} \text{ (tf/m}^3\text{)} \rightarrow k_h = 1550 \text{ N}^{1.441} \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad <2-5-3>$$

N值 300 左右時適用本公式。

3 地盤反力試驗

地盤狀態不穩定或配合構造物的重要程度，可不由N值進行推定，而直接進行地盤反力試驗。

地盤反力試驗的方法有垂直載重試驗與水平載重試驗。

垂直載重試驗的目的為判定構造物自重等垂直方向載重時的基礎地盤穩定性。一般方法使用 JIS A 1215 的平板載重試驗。

水平載重試驗可用來求取樁工程等計畫實施地點的樁周地盤反力，方法有鑽探孔內載重試驗等。

5-5 土質、岩石試驗

5-5-1 概說

土質、岩石試驗的目的在掌握地滑地土壤或岩石的物理與力學性質。

〔說明〕

1 土質試驗

土質試驗乃是為瞭解土壤分類與各種性質而採取地盤土壤試料所進行的各種試驗總稱。一般為了蒐集地盤穩定與變形分析、基礎構造物設計與施工等所需的基礎數據而進行土質試驗。

此外，有時為了進行地滑邊坡穩定分析，須進行土質試驗，算出滑動面殘餘剪力強度。

2 岩石試驗

岩石試驗在掌握必要的岩盤物理特性，可用來檢討各種地滑防治工的穩定性與施工方法，決定構造物的形式、形狀、尺寸與配置。

3 試驗方法

土質試驗的試驗方法應依據日本工業規格及地盤工學會基準所制定試驗方法進行。

〔參考〕

1 土質試驗的種類

土質試驗的種類一般如下。

表 2-5 物理試驗的種類

試驗的種類	試驗的目的及適用範圍	求取的物理量	摘要
①土壤顆粒密度試驗	粒徑試驗所需	土粒子密度 ρ_s	JIS A 1202
②土壤粒徑試驗 a 篩分析 b 比重計分析	求取粒徑分布	粒徑分布 均等係數 U_c	JIS A 1204
③土壤含水率試驗	求取含水率	含水率 w	JIS A 1203
④土壤濕潤密度試驗	算出土壤的黏著性	濕潤密度 ρ_t 乾燥密度 ρ_d	JIS A 1225
⑤土壤結特力 a 液性限度 b 塑性限度	土壤分類與土壤性質的預備試驗	液性限度 塑性限度	JIS A 1205

表 2-6 力學試驗的種類性質

性質	試驗的種類	所使用的試料	所求取的值
密實的性質	以夯實進行土壤固結試驗 JIS A 1210	攪亂	最適含水率 最大乾燥密度
	CBR 試驗 (加州載重比試驗) JIS A 1211	已攪亂 (未攪亂)	CBR 值 (設計 CBR、修正 CBR)
土壤的壓縮性	土壤壓密試驗 JIS A 1217、1227	未攪亂	壓密降伏應力、土壤壓縮指數、體積壓縮係數、壓密係數
土壤的強度	土壤直剪試驗 JGS 0560、0561	未攪亂	抗剪角 黏著力
	土壤三軸壓縮試驗 JGS 0520~0524	未攪亂	抗剪角 黏著力
	土壤一軸壓縮試驗 JGS 1216	未攪亂	一軸壓縮強度 變形係數
土壤的透水性	土壤的透水試驗 JGS 1218	已攪亂 (未攪亂)	透水係數

JIS:日本工業規格 JGS:地盤工學會基準

表 2-7 殘餘剪力強度量測之試驗

試驗的種類	試驗的概要	測值
滑動面剪力試驗 (定體積直剪試驗)	採取不攪亂滑動面試料的滑動面與試驗時剪切面一致而進行的直剪試驗。使用試料為不攪亂的滑動面試料。	原位置強度 (=殘餘強度)、尖峰強度、完全軟化強度
反覆直剪試驗 (定體積直剪試驗)	實現殘餘強度所需長變位與剪動方向前後連續反覆剪切試驗所完成的直剪試驗使用的試料為擾動的滑動面黏土。	尖峰強度、完全軟化強度、殘餘強度
環形剪力試驗 (定體積/定壓直剪試驗)	環形的供試體產生旋轉變位，實現殘餘強度量測所需長變位的直剪試驗。使用的試料為擾動的滑動面黏土之粒徑調整試料。	完全軟化強度、殘餘強度

2 岩石試驗的種類

岩石試驗的種類一般如下。

表 2-8 岩石物理性質試驗

性質	試驗的種類	測值
岩石物理性質	密度試驗	自然含水狀態的密度 乾燥密度、濕潤密度 吸水率、有效孔隙率
	含水量試驗 JIS A 1203	含水率
	超音波速度試驗	P波速度、S波速度、動態柏松比、 動彈性係數
岩石的結合程度 (耐久性試驗)	浸水崩塌度試驗	岩石消散指數
	岩石消散試驗	吸水量增加率、岩石消散率、岩石 耐久性指數
	凍結融解試驗 JIS A 6204	重量損失百分率曲線

表 2-9 岩石力學性質試驗

性質	試驗的種類	測值
抗剪強度	壓縮強度試驗 JIS M 0302	壓縮強度
	三軸壓縮試驗	黏著力、抗剪角
	直剪試驗	黏著力、抗剪角
拉伸強度	拉伸試驗 JIS M 0303	拉伸強度

3 地滑調查使用的土質試驗

(1) 掌握黏土礦物性質的試驗

膨潤性黏土礦物蒙脫石等，以及禾樂石（多水高嶺土），為地滑活動常見指標，可用以下方法分析出來。

- ① 試藥反應分析
- ② X光繞射分析

(2) 地質年代推定的試驗

為掌握地滑發生年代或地滑紀錄，可使用年代測定的標準方法如下。

- ① 碳14定年法
- ② 火山灰定年法（火山灰年代學）

5-5-2 試料的採取

試料採取應配合試驗的目的採用適當的方法。

[說明]

土質、岩石試驗所需採樣，應配合試驗目的選擇適當的地點。

採樣應儘可能原位置進行，正確呈現地質的自然狀態、避免擾動。此外，依試驗種類，採用擾動過的試料也有。

〔參考〕

避免擾動試料的採樣方法如下，可配合採樣地點、試驗種類及目的選擇最佳作法。

- 1 土塊採樣
- 2 岩心鑽探及標準貫入試驗採樣
- 3 利用鑽探孔進行採樣器採樣

此外，2與3二種採樣方法有許多種類，各有其適應的土性與特徵，應選擇最適當作法。

此外，採樣器所適應的土性及特徵，如表 2-10 所示。

表 2-10 採樣器主要適應的土性及特徵

採樣器的種類		構造	地質的種類									岩盤		
			黏性土			砂質土			砂礫					
			軟質	居中	硬質	鬆	居中	密	鬆	密	軟岩	中硬岩	硬岩	
			N 值的分類標準											
			0~4	4~8	8以上	10以下	10~30	30以上	50以下	50以上				
固定活塞式薄壁採樣器	伸縮桿式	單管	○	○		○								
	水壓式	單管	○	○		○								
旋轉式雙套管採樣器		雙套管		○	○									
旋轉式三套管採樣器		三套管		○	○	○	○	○		○				
旋轉式內藏雙套管採樣器		雙套管		○	○			○			○	○	○	
土塊採樣器		—	○	○	○	○	○	○		○	○			
○ 最適合 ○ 適合														

○ 最適合 ○ 適合

(摘自) 地盤調查法 地盤工學會

5-6 試掘觀察調查

試掘觀察調查除了直接觀察地層、掌握其狀態之外，也可當作試料之採樣。

〔說明〕

試掘觀察調查乃是由鑽孔調查等等小直徑鑽心或試料加以判斷，但鑽心與試料拿到地表面時可能會受各種外力影響而產生與原位置不同的狀態或特徵，因此操作時調查員應先挖掘能進行觀察的小坑，進行壁面觀察或採取土質與岩石試驗等所須之試料。

調查也可與集水井、排水廊道等工程同時實施；若無這類工程，也可另外開挖觀測井或調查用廊道。此時應配合作業安全性與調查內容，決定適當的試坑斷面大小。

5-7 彙整

土質與地質調查成果應配合調查目的，彙整成可掌握對象之土質與地質。

〔說明〕

- 1 土質與地質調查結果除了配合調查目的整理成圖表等以外，也應彙整成可作為未來規劃或設計的基礎資料。

- 2 各種調查結果除了綜合分析、整合之外，也應彙整製作地質圖與地質剖面圖等。

第6節 地下水調查

6-1 概說

地下水調查的目的在於調查地滑地及其周邊地下水賦存狀況、路徑及物理與化學性質，掌握地下水與地滑移動之關聯性，彙整作為規劃或設計時參考的基礎資料。

〔說明〕

調查種類以下列為標準，除了規劃適當的調查種類或數量外，依調查結果再度修正，必要時應追加調查。

- 1 地下水位調查
- 2 孔隙水壓調查
- 3 地下水檢層
- 4 地下水追蹤調查
- 5 簡易抽水試驗
- 6 抽水試驗
- 7 水質調查
- 8 地下水流出量調查

地滑地的地下水會促進地滑地內岩石風化、降低土壤剪力強度，且可能增加滑動面附近的孔隙水壓因而降低抗剪強度。除了掌握以地滑地為中心的周邊地下水水量、分布及水壓之外，對地滑機制的解析相當重要。

地滑地內的地下水分布不管是在平面，或是垂直面，相當複雜，應進行多元調查並綜合判斷。

〔參考〕

地下水的形態。

地下水依其貯留形態分為地層水與裂隙水。若從有無受壓的角度，可分類為自由地下水、非拘限含水層、受壓地下水、有壓地下水及暫棲地下水等分類。

1 地層水

地層水指填滿地層與土壤粒子間孔隙的地下水。

2 裂隙水

裂隙水指填滿岩石或地層中裂縫、節理與空洞等的地下水。

3 自由地下水（地泉水 phreatic water）

自由地下水指水面與大氣接觸且水面上水壓與大氣壓相等的地層水。地下水貯留量增減會造成自由地下水面變動，其含水層容積隨時在變化。

4 非拘限含水層（unconfined aquifer water）

屬裂隙（斷層、節理等的裂縫、洞窟）水，其上端透過裂縫與大氣相接的地下水。

5 受壓地下水 (confined groundwater)

受壓地下水指上面覆蓋黏土層或粉土層等阻水層 (不透水層或難透水層)、無自由水面且含水層上方有地層形成壓力作用的地層水，該層插入管子有時會自噴。

6 有壓地下水 (pressurized groundwater)

上面有壓力作用的裂隙水。

7 暫棲地下水 (perched groundwater)

通常面積廣闊、地下水面與地表面之間的土壤帶局部存在黏土層等鏡片狀阻水層，且其上方有和自由地下水本體分離，局部存在的自由地下水。

6-2 地下水位調查

地下水位調查係以水井或鑽探孔測定地下水的壓力水頭。

〔說明〕

1 地下水位調查

地下水位調查以水井或鑽探孔可簡易掌握地下水整體賦存狀態，為一般採用的基本調查。

地下水位可能對地滑滑動面產生孔隙水壓，此時該水位未必就是地下水層的壓力水頭，因此須一併進行其他調查，綜合判斷。

2 數據整理

地下水位調查結果除了整理成變動圖之外，應與移動量調查以及降水量調查等的結果對比，彙整成可看出地下水位與地滑移動關係的圖資。

〔參考〕

地下水位測定方法主要有以下幾種。

1 壓力式

地下水中設壓力式水位計，測定該水位的水壓。

2 探針式 (手動式)

測線先端探針頭裝置電氣接點，探針頭往下到達地下水面時會觸通電流，以此測定其深度。

3 浮標式

將浮標浮在地下水面，其升降透過鋼索連結至地面的記錄器，記錄水面升降。

6-3 孔隙水壓調查

孔隙水壓調查係直接測定與地滑有關的地下水孔隙水壓。

〔說明〕

作用在滑動面的孔隙水壓是邊坡穩定分析等常應用的重要因子。孔隙水壓調查在滑動面已確認時，可直接測定滑動面附近的地下水孔隙水壓。

1 孔隙水壓計之設置

地滑之孔隙水壓測定係測定滑動面附近的孔隙水壓，須事先確認鑽探孔內的滑動面或地下水帶的位置，才能測定該部分水壓。

測定方法可埋設孔隙水壓計直接測定水壓，或只針對滑動面附近進行濾管加工，在其上下截水的水位觀測專用孔觀測水位。

2 測定與數據整理

測定可採自記紀錄器或自動觀測系統，將之整理成變動圖。

〔參考〕

地下水位與地滑之關係

地下水位指在有地下水狀態下的壓力水頭與位置水頭之合計高度，如下式所示。

$$h = P/\gamma_w + Z \quad <2-6-1>$$

在此：

h ：地下水位 (m)

P ：地下水壓 (kN/m^2)

Z ：從基準面算起的高度 (m)

γ_w ：水的單位體積重量 (kN/m^3)

此外，地滑滑動面充填物的抗剪強度 (τ) 與垂直應力 (σ) 之關係，如下式所示。

$$\tau = c + (\sigma - u) \tan \varphi \quad <2-6-2>$$

在此、

c ：凝聚力 (kN/m^2)

φ ：摩擦角 ($^\circ$) (黏土會因含水量產生明顯變化， c' 與 φ' 分別代表有效應力所產生的凝聚力和摩擦角。)

u ：孔隙水壓 (kN/m^2)

上式孔隙水壓包含與滑動面相連地下水位所產生的水壓（揚壓力），以及膨脹性（又稱為「剪切增稠」）造成的過剩孔隙水壓，前者為地滑防治工程之排水工程的主要對象，亦即由地下水所產生的水壓。

地下水位調查目的即是為了了解揚壓力 u 。

6-4 地下水檢層

地下水檢層係測定鑽探孔內的地下水電阻率與溫度，了解地下水流動層的位置、流動程度等，以利掌握地下水的動態。

〔說明〕

地下水檢層乃是針對鑽探孔內的地下水，連續測定其作為指標之電阻或溫度，由其數值變化與趨勢，掌握地下水的垂直動態。

測定時應判斷地下水流動狀況，採用適當的調查方法。

〔參考〕

1 電阻施測方法

檢層施測方法依鑽探孔內狀況有食鹽水檢層、抽水檢層與逐步檢層等作法。

(1) 食鹽水檢層法（自然水位檢層）

鑽探孔內投入食鹽等電解質使之溶解，事先降低孔內水電阻，垂直測定從地下水流動層流入的地下水交換稀釋的電阻變動，以此掌握地下水流動狀況。此外，鹽分濃度高的地層，也可加入淡水，測定其電阻減少狀況。

(2) 抽水檢層

確認是否為流動性不佳地下水層，可強制抽取孔內水，使孔內水位下降。此時水力梯度劇升，便可進行地下水檢層。

(3) 逐步檢層

地下水檢層須以孔內水存在為條件，若不透水層出現破洞，孔內水漏失時，可與鑽探鑽進方向平行，在每一挖掘區間洗淨孔內進行地下水檢層。

2 溫度測定方法

以溫度計測定不同深度孔內水之溫度，掌握因地下水流動使溫度變化之地下水流動垂直狀況的影響。

測定方法包含鑽探孔鑽掘後孔內充滿泥水者，量測其溫度變化；也可於孔內注入溫水（冷水），強制孔內溫度變化而測定其溫度坡降變化。另外也可調查自噴期間的地下水溫度分布及靜止狀態下的溫度分布（主要用來調查溫泉的熱水貯留層特性）。

6-5 地下水追蹤調查

地下水追蹤調查係使用示蹤劑掌握地下水的流動路徑及流速。

〔說明〕

地滑調查之地下水追蹤調查係使用示蹤劑掌握地下水的供給源、供給路徑與流速等地下水流動狀態。

1 測定

上游地下水賦存可確認的位置投入示蹤劑後，推估地下水可能流到的位置，每一定時間間隔後採取地下水，調查示蹤劑的溶存濃度。

2 示蹤劑的種類

調查採用之示蹤劑須為容易溶於水且安定、不會被土壤粒子等吸附的物質，須容易檢出且無毒性。最常使用的是食鹽，但也可使用螢光染料等。

3 數據整理

調查結果若在檢出超過背景值的情況下驗出示踪劑，即可由此推估地下水的流路與流速，彙整製作圖表。

6-6 簡易抽水試驗

簡易抽水試驗係使用鑽掘中的鑽探孔，抽取孔內水，計算地下水量與透水係數。

〔說明〕

簡易抽水試驗係於鑽掘中的鑽探孔，於各一定區間分別抽取孔內水，測定出水量與水位回復狀況，計算各區間的地下水量與透水係數。

1 測定

抽水試驗係於達到每一定的鑽掘區間長度（標準為三公尺）時停止鑽掘，然後在試驗區間上方以套管截水。其次，抽取孔內水到達一定水位後，測定其汲取量。然後測定抽水停止後孔內水位恢復的時間。

2 數據整理

依簡易抽水試驗結果作成水位回復曲線，算出各區間的透水係數，然後在地質柱狀圖上標示抽水量與透水係數。

〔參考〕

以回復法算出透水係數，可依據時間與水位的測定記錄，以下式進行。

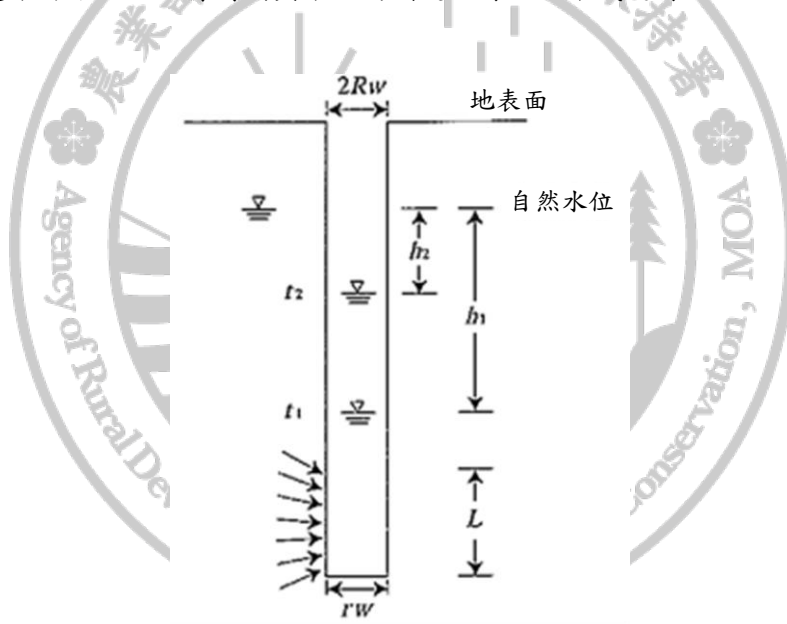


圖 2-8 簡易抽水試驗圖

$$k = \frac{(2.3)^2 R_w^2}{2L(t_2 - t_1)} \log\left(\frac{L}{r_w}\right) \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

<2-6-3>

在此、

k：透水係數 (cm/s)

R_w：套管的內徑半徑 (cm)

t₁：測定開始時間 (s)

- t_2 : 測定結束時間 (s)
 h_1 : 測定開始水位(從自然水位開始) (cm)
 h_2 : 測定結束水位(從自然水位開始) (cm)
 L : 前端試驗區間長度 (cm)
 r_w : 前端試驗區間的外徑半徑 (cm)

6-7 抽水試驗

抽水試驗係由鑽探孔、水井等抽取孔內水，由當時周邊地下水的變動算出地下水量、透水係數與影響半徑等。

〔說明〕

抽水試驗係針對目標地下水層設置抽水孔與觀測孔，從抽水孔抽取孔內水，並由此時的抽水量以及抽水孔與觀測孔分別之水位變動算出地下水量、透水（導水）係數（水力傳導係數）等水理參數以及異向性、排水所造成的影響半徑等。

特別是同時規劃施作許多地下水排除工時，抽水試驗可取得決定地下水排除工配置與規模等所須的基礎資料。

1 測定

於目標地下水層區間施作加裝濾管的抽水孔，以抽水馬達抽水。然後量測抽水孔及周邊配置的觀測孔水位，以計畫抽水量抽水，當各水位達到平衡狀態時停止抽水，再測定水位回復的過程。

2 數據整理

抽水試驗的結果彙整成水位變化圖、地下水面等值線圖等，並算出透水係數。

〔參考〕

1 抽水試驗的分析

抽水試驗分析方法眾多，常見的抽水井公式有下式之西姆公式（Thiem equation）。基本上適合應用於無邊界面的單獨井。

(1) 無邊界面時的西姆公式（基本形）

① 自由地下水

$$Q = \pi k (H^2 - h_w^2) / \ln(R/r_w) \quad <2-6-4>$$

$$\pi k (H^2 - h^2) = Q \cdot \ln(R/r)$$

在此、

- Q : 完全井的抽水量 (cm^3/s)
 k : 透水係數 (cm/s)
 H : 原水位高 (cm)
 h_w : 水井水位高 (cm)
 h : 離水井中心 r 任意點 $P(x, y)$ 的水位高 (cm)
 R : 影響半徑 (cm)
 r_w : 水井半徑 (cm)
 r : 與水井中心的距離 (cm)

② 受壓地下水

$$Q = 2\pi T(H - h_w) / \ln(R/r_w) \quad <2-6-5>$$

$$2\pi T(H - h) = Q \cdot \ln(R/r)$$

在此、

T ：透水係數= kb_w (cm^2/s)

b_w ：受壓含水層厚度 (cm)

地滑地多半是受壓地下水。

(2) 邊界面只有一個時

① 單邊有不透水壁體時

a 自由地下水

$$Q = \pi k(H^2 - h_w^2) / \ln(R^2/2a_1r_w) \quad <2-6-6>$$

$$\pi k(H^2 - h^2) = Q \cdot [\ln(R/d_1) + \ln(R/d_2)]$$

在此：

a_1 ：由實井中心到不透水壁體的距離 (cm)

d_1 ： $[x^2 + y^2]^{1/2} \dots \dots \dots$ 與實井的距離 (cm)

d_2 ： $[x^2 + (2a_1 - y)^2]^{1/2} \dots \dots \dots$ 與虛井的距離 (cm)

b 受壓地下水

$$Q = 2\pi T(H - h_w) / \ln(R^2/2a_1r_w) \quad <2-6-7>$$

$$2\pi T(H - h) = Q \cdot [\ln(R/d_1) + \ln(R/d_2)]$$

② 單邊為連續壁時

a 自由地下水

$$Q = \pi k(H^2 - h_w^2) / \ln(2a_1/r_w) \quad <2-6-8>$$

$$\pi k(H^2 - h^2) = Q \cdot \ln(d_2/d_1)$$

b 受壓地下水

$$Q = 2\pi T(H - h_w) / \ln(2a_1/r_w) \quad <2-6-9>$$

$$2\pi T(H - h) = Q \cdot \ln(d_2/d_1)$$

除此之外，還有群井或直交乃至平行的二邊界面公式。

2 水井公式等所使用的用語

原水位高：受壓地下水時為任意的基準面；自由地下水則是從不透水層測得的水位面高度。

水井水位：水井壁水位的高度。水井內的水位未必保持不變。

邊界面：連續壁或不透水壁體等地下水文不連續的面。

連續壁：此處為水位高度不會因為抽水而改變位置。地滑之冠部龜裂（滑落崖）或側壁列狀裂縫等時，地下水位容易因雨水滲透上升。地滑防止工程最好在地下水位不會改變的安全側施工，排水規劃則會在此施作截水牆。

不透水壁：截斷地下水文連續性的邊界面。例如，在岩盤地滑形成頭部陷落帶的下游側之壁面，成為地下水無法出入之壁面的位置。

完全井：貫通含水層的水井。

不完全井：非貫通含水層的水井。

複合井：一定半徑圓周上設置數口水井時，與這些水井等值的一口水井。

群井：相同影響半徑 R 內的水井群。水井群之重疊只限在 R 的範圍內。

6-8 水質調查

水質調查係分析地下水等的水質，以掌握其化學特性。

〔說明〕

水質調查係調查湧水、水井及鑽探孔等孔內水的化學特性，以掌握地下水路徑變化及其水質特性。

調查方法有現場實施的現地測定，以及採水樣以試料進行定性與定量分析的室內試驗，可配合現地狀況選擇適當的調查方法與調查項目。

1 現地測定

簡易量測儀器現地測定能測定的項目有限，但可同時調查許多地點，且能避免時間經過所造成的水質變化。最常進行的調查項目有水溫、 pH （氫離子濃度）等基本水質要素，以及與水中溶解離子總量有關的導電度與溶氧等。

2 室內試驗

以採水樣的試料進行水質分析(JIS K 0101、JIS K 0102 等)，調查精度較高之詳細水質特性。一般進行的分析項目有 pH 、導電度、主要離子（如下）、矽元素量等。

主要陽離子：鈉離子、鈣離子、鉀離子、鎂離子等

主要陰離子：氯離子、硫酸根離子、鹼性離子（碳酸氫離子）等

6-9 地下水流出量調查

地下水流出量調查應調查地滑地湧出地下水的流出量，以掌握地下水動態。

〔說明〕

為掌握地滑地內所流出之地下水，應調查湧水、水井、鑽探孔等的流出量。

地下水流出量測定方法有如下三種。

1 容器量測法

使用量水斗或量水箱，以一定間隔手動量測水量。

2 量水堰量測法

製作有 V 型槽口的量水堰（三角量水堰），以自記水位記等方式量測水位，並以流量公式(JISB 8302 等)算出地下水流出量。

3 流量計量測法

以巴歇爾水槽 (JIS B 7553)、堰型、傾斗式流量計或電磁流量計進行測定。

6-10 彙整

地下水調查成果應配合不同調查種類分析其數據資料，掌握和地滑移動有關的地下水水壓及其分布，並彙整作成圖表。

〔說明〕

地下水調查成果是掌握地下水壓、地下水水平面與垂直分布的重要基礎資料，除了彙整作成平面圖與地質剖面圖等之外，也應一併探討、瞭解影響滑動面的地下水壓與地下水狀況。

第7節 地表滑動量調查

7-1 概說

地表滑動量調查的目的在於掌握地滑地的地表面移動狀況。

〔說明〕

地表滑動量調查應配合地中變動量調查，掌握地表面的移動量、移動方向與移動速度，以作為地滑滑動塊體區分的明確資料。

調查種類以下列為基準，因應現地狀況適當選擇。此外，必要時應一併設置地面與地中的自動測定系統，進行自動觀測。

- 1 標誌觀測
- 2 地表伸縮計
- 3 地盤傾斜計

7-2 標誌觀測

標誌觀測係量測設置在地滑地內外地表面的標柱或標誌，藉此掌握地滑的範圍、移動方向與移動速度等。

〔說明〕

標誌觀測有簡易變位板、標柱與標誌觀測，因應現地狀況選擇適切的作法。

觀測結果應彙整作成平面圖與移動量測定圖。

1 簡易變位板

簡易變位板係在地滑裂縫等地點兩側打樁，於其兩端固定有刻劃尺度的貫板，測定地滑移動量。

2 標柱與標誌觀測

標柱與標誌觀測係於地滑移動方向不明或地滑位移劇烈時派上用場，作法是設置標柱或標誌，然後測量其位移距離等，瞭解地滑移動實況。

觀測時有各種測量方法，應配合調查目的選擇適當作法。

〔參考〕

標柱與標誌觀測的方法

地滑調查一般使用以下方法。

1 通視測線測量與高程差測量

於地滑地兩側地質穩定地點設基準點，在連結二基準點的通視測線上設測標，量測通視測線與基準點的位移大小。測量可使用全站儀或光波測距儀等。

2 三角測量等方法

由二處以上地質穩定的標柱或標識等測點，以三角測量等方法測量，掌握地滑移動量。

3 航空照片

地滑地內外設測標，利用小型飛機、直升機或U A V（無人機）等進行航空照片拍攝，和一定期間後拍攝的照片或圖化地形圖比較，算出地滑移動量。若地滑位移劇烈，比例尺可設定為3000分之1～5000分之1；移動量小，設定為500分之1～1000分之1（直升機攝影）為多。

4 G N S S測量

為地滑地外地面與地滑地內設置G N S S訊號接收器，高精度量測二者相對位置之測量方法。此外，以地面站（電子控制點）所作成校正資料而精準即時定位的網絡型R K T（即時動態定位），也愈來愈成熟、精準。

5 L P（雷射斷面）測量

L P測量係對地表面發射雷射光，然後由具特徵地物或標誌的反光算出地滑地表面移動狀況的方法。也可用U A V等搭載雷射測距裝置，或空中計測乃至於地面設置雷射斷面儀進行計測。定期進行地表面觀測，進行觀測點差分解析（利用不同計測時期的D E M數據），可掌握地表面變動。

7-3 地表伸縮計

地表伸縮計觀測係以在地滑地之地表面壓縮與伸張兩點以鋼索聯結測定，可藉此掌握地滑位移時間點與移動量等。

〔說明〕

- 1 測定儀器在有明顯裂縫等的地滑地點，與地滑移動方向平行架設鋼鋼線。
- 2 若需掌握整體地滑塊體的移動態，在長坡面之情形下，可連續設置數具地表伸縮計。
- 3 記錄方法除了自記式之外，也可使用自動觀測常用的電子式記錄計，配合目的選擇適當器材。

7-4 傾斜計

傾斜計觀測應以高感度傾斜計測定地表面的傾斜變動，掌握地滑移動狀況。

〔說明〕

- 1 傾斜計有手動觀測操作的水管式傾斜計，以及可自動觀測的電子式傾斜計，配合調查目的選擇適當的器材。

- 2 水管式傾斜計乃是使用有大曲率半徑水準器的高感度計器，將二台水準器安裝呈直交之T字型，以其合成的傾斜量可算出該地點的傾斜方向與傾斜量。
- 3 水管式傾斜計能測得尚未出現地表移動微候的微小地表移動，找出移動量非常小的地滑範圍，另外也可用來掌握地滑暫時停止後再度移動的微候。

7-5 彙整

地滑移動量調查成果應將不同調查的關聯性加以整理，彙整移動量、移動方向與移動範圍等，作成適切的圖表。

〔說明〕

地表移動量調查的目的在於掌握地滑移動方向與範圍，因此應彙整調查結果，作為後續作業在掌握滑動塊體區分及選定調查種類之參考。

此時應在既有平面圖上標示移動量與移動方向等，並且儘量與地中變動量調查整合。

第8節 地中變動量調查

8-1 概說

地中變動量調查的目的在於利用鑽探孔設置量測儀器，掌握地滑滑動面的位置、移動量、移動方向與移動層的變動等。

〔說明〕

調查種類如下之基準，依現地狀況適當選擇。

- 1 管式應變計
- 2 孔內傾斜計
- 3 地中伸縮計
- 4 多層移動量計

地中變動量調查係量測鑽探孔內所產生的變形，調查地滑活動狀況，取得可用來瞭解地滑滑動面位置、移動量（移動時期與速度）、移動方向、移動層變動等地滑機制重要參考資料。

此外，若要進行施工效果判定或取得維護管理所須資料，須持續調查一定期間。

〔參考〕

地滑滑動面測桿

地滑滑動面測桿操作方法是將測桿放進鑽探孔內，每隔一段時間拉出測桿，若測桿因地滑活動彎曲，即可由測桿卡住狀況確認滑動面位置。相對的，也可由孔口插入測桿。

這種方法雖無法定量瞭解地中變動量，但操作簡單、有效，常作為其他調查工作的輔助。

8-2 管式應變計（應變測定管）

管式應變計之觀測係測定插入且固定在鑽探孔內測定管的彎曲量，以瞭解滑動面的位置、移動方向與移動狀況。

〔說明〕

管式應變計係以一定間隔張貼的應變計（片）計測測定管之彎曲量，取得應變量數據。

通常是在測定管外側每隔 1.0 公尺張貼成對的應變計（一個方向貼兩片），配合地滑移動方向插入鑽探孔內。此外，若地滑移動方向不明，相互垂直方向得各張貼一對應變計，二方向合計四片，以此方法進行向量分析而確認地滑移動方向。

8-3 孔內傾斜儀

孔內傾斜儀之觀測，係測定固定在鑽探孔內導管之傾斜狀況，算出地滑滑動面的位置、移動量、移動方向與移動層變動。

〔說明〕

孔內傾斜儀係將相互垂直二方向有溝槽之導管插入鑽探孔內固定之，以計測器插入導管，連續測定導管傾斜量，即可瞭解地滑滑動面的位置、移動量與移動方向等。

一般每間隔 50 公分左右進行一次測定，可由二方向的變位瞭解地滑移動方向。

又，孔內傾斜儀敏感度高，若導管變位太大（達 5～10 公分），將難以插入。

〔參考〕

設置型孔內傾斜儀

為了可在相同深度連續測定地中傾斜狀況，也可在地中埋設傾斜感測器。

8-4 地中伸縮計

地中伸縮計之觀測，係利用鑽探孔將固定在鑽探孔內基盤面的鋼絲拉到地表面，測定其伸縮量，算出地滑的移動量。

〔說明〕

地中伸縮計係在貫通滑動面的鑽探孔（配管）內裝設鋼絲，計測鋼絲伸縮量，可算出地滑移動量。只要鋼絲不被扯斷，就能持續計測，適合大移動量地滑的觀測。

地中伸縮計除了安裝在鑽探孔內，也可設在集水井內。

8-5 多層位移計

多層移動量計觀測地中變動量，作法是將固定在鑽探孔內不同深度的鋼絲拉到地表面，測定鋼絲伸縮量，算出不同深度方向的地滑土體變動狀況。

〔說明〕

多層移動量計在地滑滑動面不明或有許多滑動面時，為了掌握地滑滑動面的位置、移動量與移動層的變位，在深度方向以一定間隔（標準約 1 公尺）分別固定鋼絲，然後計測各深度的移動量。

上部之沉陷量可作修正，測點間之移動量亦可測定。

8-6 彙整

地中變動量調查成果應彙整、作成可用來掌握地中滑動面與移動狀況的資料。

〔說明〕

地中變動量調查結果是掌握地滑滑動面形狀或移動狀況的重要基礎資料，應與地下水調查等的結果對比，整理成時間序列圖表，彙整作成滑動面位置與移動狀況的資料。

第9節 氣象調查

9-1 概說

氣象調查的目的是調查地滑地及其周邊的氣象，掌握與地滑移動的關聯性。

〔說明〕

氣象調查係在地滑地及其周邊進行降水量或積雪量調查，取得可用來分析地滑地移動與降雨、積雪之關聯性的基礎資料。此外，也可觀測氣溫等而推定融雪量。

調查種類如下之基準，依現地狀況作選擇。

- 1 降水量調查
- 2 積雪量調查

此外，無法進行現地觀測時，可利用最靠近的氣象觀測所觀測數據，但必要時應以適當方法進行觀測資料校正。

〔參考〕

一般氣象調查

地滑防治工的規劃、設計，對氣溫、濕度、風速、風向、日射量、日照時間等一般性氣象數據的持續觀測，作成基礎資料有其必要。

9-2 降水量調查

降水量調查應現地測定降水量，掌握降雨特性。

〔說明〕

降水量調查係以雨量計測定現地降水量，釐清降雨與地滑移動之關係。使用雨量計以自記紀錄計或連接自動觀測系統的傾斗式雨量計為準。

9-3 積雪量調查

積雪量調查應現地測定積雪量，掌握降雪特性。

〔說明〕

積雪量調查的標準作法為現地觀測積雪深度。

積雪密度因地點而異，原本測定應換算成水量的積雪水量，因積雪水量難以直接測定，因此以積雪深度作為指標進行調查。

積雪深度之持續觀測有以下二種方法。

1 以雪尺量測

讀取現地豎立的雪尺刻度，測定積雪深度。

2 以積雪深度計測定

設置超音波式或光感測式積雪深度計，進行連續觀測。

〔參考〕

融雪量調查

融雪也可能成為地滑活動誘因。掌握融雪量有以下方法。

1 積雪水量變化

積雪水量變化應由積雪水量的時間變化推估融雪量，除了融雪量之外，也可順便推估雪內含水量增減以及降水與降雪量之附加求取。

2 融雪水流出法

融雪水流出法應由雪融後流出的水量推估融雪量。這方面有蒸滲儀（lysimeter）量測法與流域流出法。

3 度日法（degree day method）

度日法又稱為積溫法（累積氣溫法），作法是估算一定期間的平均（例如 1 日或 1 小時）氣溫與基準溫度差值之累積值，由其相關性簡單算出融雪量。

9-4 彙整

氣象調查成果因應不同調查種類分析資料，掌握與地滑移動有關的氣象條件，彙整作成圖表。

〔說明〕

氣象調查成果應彙整年降水量、雨量分布圖、最大日雨量、最大時雨量、連續降雨量、降雪量、最大積雪量等數據，作成圖表。

此外，氣象調查結果是掌握地滑誘因所需的重要基礎資料，因此也應探討氣象與地滑移動的關聯性。

第 10 節 機制分析

10-1 概說

機制分析的目的係為了擬定地滑防治工程計畫，需綜合解析該當地滑之潛因、誘因及地滑機

〔說明〕

機制分析應活用地滑調查結果等，釐清地滑的土質條件、發生機制及移動特性，彙整作成擬定地滑防治計畫所需的基礎資料。

機制分析應釐清以下事項。

1 判定地滑滑動面

2 確定地滑塊體之區分

3 釐清地滑發生機制

4 設定邊坡穩定分析所使用的各單元

10-2 測線之設定

10-2-1 概說

測線應能立體掌握地滑滑動塊體，設定為地滑機制分析必要之基準線。

〔說明〕

測線對於機制分析及設計與施工等的成敗影響重大，應審慎設定之。

10-2-2 測線之設定

測線應依據現地調查，設在足以代表地滑滑動塊體的位置。

〔說明〕

1 測線之設定

測線除了可作為邊坡穩定分析等的基準線，也可當作現地調查各種調查測線網的基準線，因此應設在足以代表地滑滑動塊體的位置。

進行二維及近似三維邊坡穩定分析時，測線設定優劣會明顯影響分析結果，因此，測線的位置、方向及長度應審慎決定。

2 測線之設置

(1) 測線的位置及方向，基本上應基於現地調查所掌握的移動範圍及移動方向，以地滑滑動塊體中心且與移動方向平行設定之。但若現地踏勘判斷地滑最深處不在中心線上，最好將測線設在最深處。此外，若坡面的移動方向改變，可設定成折線。

(2) 測線長度應縱切地滑滑動塊體，並保持較充裕的長度。地滑頭部側為了確認從背後供給地下水狀況，須確保有充足長度，且地滑防治工採填方工時，或末端橫向河川形狀可能有影響時，滑動面末端形狀會變成很重要，此時末段部也需確保足夠的長度。

(3) 測線基準點應設在日後可進行檢核的地質穩定地點。

3 副測線之設定

副測線應在地滑滑動塊體太大或太複雜（非對稱），只靠主測線無法取得充分之調查成果時設定之。此外，若能掌握地滑立體之機制或地下水分布等，可依地滑的規模與形態設多條測線。

若要採用副測線作為三維穩定分析等的測線時，測線位置、方向及長度之決定，須多加檢討。

10-3 滑動面之判定

滑動面的形狀應綜合檢討地滑調查結果，判定之。

〔說明〕

滑動面形狀對邊坡穩定分析以及工種與工法的選定與配置、地滑防治工的效果影響重大，應瞭解地滑係三維現象，正確掌握其立體形狀甚為重要。

進行判定應依據現地踏勘等所掌握的知識見解，或地表變動量調查之結果，判定地表面的滑動面位置，綜合判斷其他現地調查或地中移動量調查、地下水調查等的結果，確定滑動面位置。

地滑滑動面應彙整成容易看出其立體形狀的縱斷面圖、橫斷面圖或等高線圖等。此外，已完成充分調查的地滑地可用 C A D（電腦輔助設計）等，構建容易掌握其立體地滑形狀的三維模型。

10-4 地滑滑動塊體區分之確定

地滑滑動塊體區分應綜合判斷滑動面形狀或移動狀況等，確定之。

〔說明〕

地滑滑動塊體區分應綜合瞭解現地調查所掌握的地滑範圍與各種調查結果，依據滑動面的形狀與變形狀態、移動特性等，最後確定滑動塊體區分。此滑動塊體區分乃是進行邊坡穩定分析與規劃地滑防治工程的基本單位。

完成分區的地滑滑動塊體應釐清各滑動塊體區分的根據與理由、移動狀況、擴大的可能性、與相鄰滑動塊體的關係，以及對保全對象的影響等。

10-5 地滑發生機制之探討

地滑機制之探討，目的在找出地滑潛因與誘因，瞭解地滑移動特性。

〔說明〕

地滑發生機制探討主要是依據現地調查，釐清地滑潛因與誘因，掌握這些因素與地滑移動的關係。地滑發生機制探討是擬定地滑防治工程計畫須先確認的重要事項。

1 地滑潛因

地滑潛因是地滑發生地點本身具備的發生原因，具體而言有地形、地質、地質構造、地下水文條件等。

釐清地滑潛因可驗證地滑滑動塊體與滑動面形狀，並用來檢討地滑活動可能性高低。

地滑滑動塊體之外具有相同潛因的區域，也應考慮發生地滑擴大之可能性。

地滑擴大可能性較高的場合，受限於挖方工或坡趾填土工等地滑防治工之組合以外，應考慮防止地滑擴大之規劃。

2 地滑發生之誘因

地滑發生之誘因是地滑發生之關鍵現象或行為。誘因中有自然現象與人為因素。

自然誘因一般為降雨或降雪伴隨產生的地下水壓上升，除此之外也有地滑地尾端小規模崩塌或河川滔刷等造成地滑地尾端失去支撐。另外也有積雪載重或地震所造成。

人為誘因主要是斜面進行挖方或填方，以及隧道開挖等土木工程所造成，乃至於水庫蓄水所造成等。

對上述主要誘因詳加瞭解後，應檢討適當的工程種類與工法的組合，或採用適當的施工順序。

〔參考〕

以邊坡穩定分析公式反算滑動面剪力強度參數時，應給予適當的安全係數，但安全係數只有在在地滑開始的臨界狀態安全係數 $F_s=1.0$ 時才能驗證，因此最好先以觀測數據掌握臨界狀態下之地下水壓分布。

10-6 邊坡安定分析

10-6-1 概說

邊坡安定分析目的在決定具必要安定水準的地滑防治工程種類、工法及規模。

〔說明〕

邊坡安定分析主要目的是利用地滑安全係數等評估地滑防治工程效果，決定地滑防治工程的種類、工法及規模。

邊坡安定分析應評估移動特性，確認分析對象的移動塊體，進行各移動塊體安全係數之計算。

邊坡安定分析的順序如圖 2-9 所示。

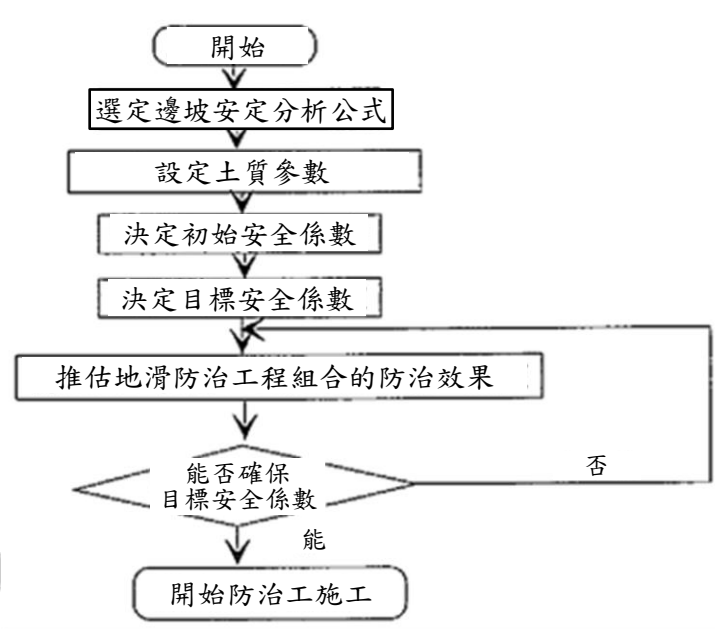


圖 2-9 邊坡安定分析的流程

10-6-2 邊坡安定分析的方法及種類

邊坡安定分析的方法及種類應考量地滑的規模、滑動面形狀與地下水文條件等，選定之。

〔說明〕

邊坡安定分析方法主要有只考量滑動面剪力（下滑驅動力）與抗剪強度（抗滑力）極限均衡的極限平衡法，以及納入應力—應變關係的應力分析法。地滑機制分析及地滑防治工程計畫所使用的邊坡安定分析，一般採用極限平衡法。

極限平衡法係將邊坡分割成幾個切片，分別計算其安定度，屬於一般的分割法，另有二維分析與三維分析二種方法。

二維邊坡安定分析公式一般有畢休普（Bishop）法、揚布（Janbu）法等。更嚴密的公式有摩根斯坦—普拉斯法（Morgenstern&Price，M&P 模式）、史賓塞（Spencer）法等。

邊坡安定分析的方法及種類應配合地滑地的特性適當地選擇。

1 地滑的規模

地滑是三維土體移動現象，實務上常使用以主斷面之坡面應力均衡的二維邊坡安定分析。但若地滑規模太大或主斷面明顯偏離地滑塊體中央，或地滑橫斷面形狀非對稱，只靠一個二維斷面很難正確評估地滑整體的安定性與地滑防治工效果。這類情況最好使用三維邊坡安定分析方法。

2 滑動面的形狀

二維邊坡安定分析公式分為非圓弧地滑的公式以及圓弧地滑的公式。分析時應先配合滑動面形狀，選定適當的邊坡安定分析公式。

(1) 非圓弧地滑：揚布法、摩根斯坦－普拉斯法、非圓弧之史賓塞法等

(2) 圓弧地滑：畢休普法、圓弧之史賓塞法等

3 地下水文條件

一般對地滑產生作用的地下水多半會在滑動面附近的裂隙帶（crack zone）流動，若判斷該處地下水為有壓地下水或受壓地下水，可只計算作用在滑動面的水壓。

〔參考〕

少數情況下，由地下水檢層等判斷地下水在整個移動層內流動（即地下水為自由地下水時），除了考量作用在滑動面的水壓外，也須考量作用在切片面的水壓。此時計算水壓大小的方法有「全重量與全部孔隙水壓」以及「水中重量及滲透水壓」等考慮方法。

1 受壓（有壓）地下水對應的二維邊坡安定分析公式，以及受壓（有壓）地下水對應的代表性二維邊坡安定分析公式，如下。

(1) 簡易揚布公式

非圓弧地滑邊坡安定性分析的公式雖不少，代表性的有簡易揚布公式。簡易揚布公式具備實用性計算精度，是常見的簡易邊坡安定分析公式。

$$F = f_0 \frac{1}{\sum W \tan \alpha + Q} \sum \frac{c' b + (W - ub) \tan \varphi'}{n_\alpha}$$
$$n_\alpha = \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \cdot \tan \varphi' / F) \quad <2-10-1>$$

$$f_0 \cong \left[50 \frac{d}{L} \right]^{1/33.6}$$

在此， f_0 ：修正係數，但， $d/L \leq 0.02$ 以下時， $f_0 = 1.0$

Q ：作用的水平力 (kN/m)

W ：切片的重量 (kN/m)

α ：滑動面傾角 (°)

c' ：黏著力 (kN/m²)

- b : 細片的寬度 (m)
 u : 平均孔隙水壓 (kN/m²)
 ϕ' : 抗剪角 (°)
 L : 舌端部與冠部龜裂深度點的聯結直線長度為 (m)
 d : L 和與 L 平行的滑動面切線的距離 (m)

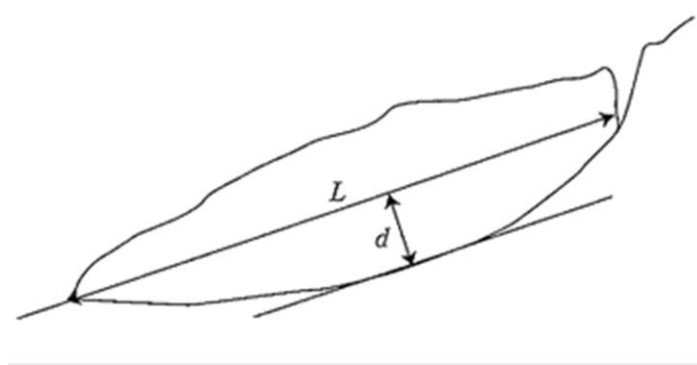


圖 2-10 d/L 的量測方法

(摘自) 地滑工學-最新題材-(股)山海堂 1995年3月

(2) 揚布 (SHIN-Janbu) 法

岩盤地滑陷落帶形成過程之模式圖如圖 2-11 所示。揚布法係考量岩盤地滑陷落帶形成過程之各階段滑動面的剪力阻抗或陷落帶內地下水壓的影響都有變化，經改良揚布公式，就其代表性公式為始動地滑公式與一次性地滑公式。

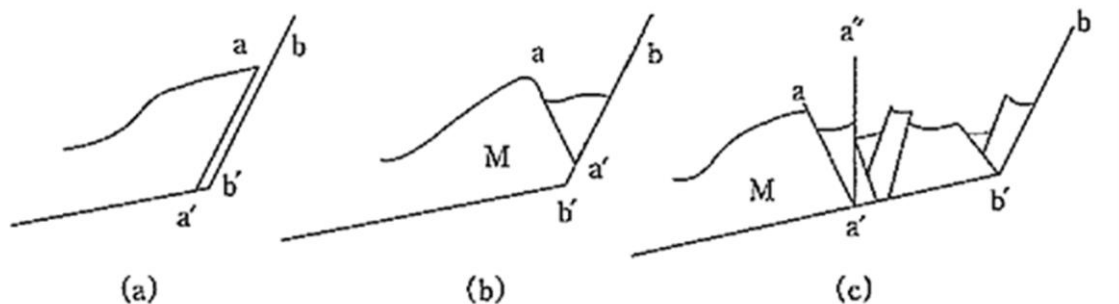


圖 2-11 陷落帶形成過程

(摘自) 地滑工學-最新的題材-(股)山海堂 1995年3月

a 岩盤始動地滑

始動地滑是陷落帶形成的初期階段，安定分析使用主滑落崖剪力阻抗尚未充分發揮狀態的安定分析公式。

圖 2-12 之中，①水壓 V 作用在 $a-a'$ 面上，② $a-a'$ 面之剪力阻抗並未發揮作用，③細片 n 的有效重量與細片 $(n-1)$ 合體後會作用到細片 $(n-1)$ 的滑動面。

$$F = f_0 \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left[\frac{c'b + (W - ub)\tan\phi'}{n\alpha} \right] + \frac{W_n' \tan\phi'}{n\alpha_{n-1}}}{\sum_{i=1}^{n-1} (W \tan\alpha) + W_n' \tan\alpha_{n-1} + Q}$$

<2-10-2>

在此， W_n ：切片 n 的重量 (kN/m^2)

W_n' ：切片 n 的有效重量 $= W_n - V \cdot \cos\theta$ (kN/m^2)

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w Z_w^2 / \sin\theta$$

$$Q = V \cdot \sin\theta = \frac{1}{2} \gamma_w Z_w^2$$

γ_w ：水的單位體積重量 (kN/m^3)

θ ：對裂縫面水平面的傾角 ($^\circ$)

Z_w ：裂縫內的水位高 (m)

f_0 ：簡易揚布公式的修正係數

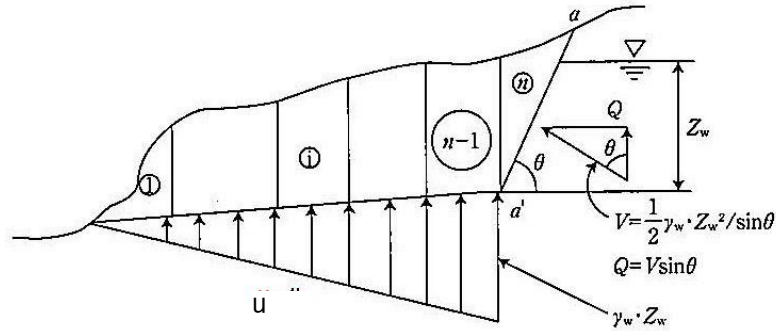


圖 2-12 裂縫內水位 Z_w 與上舉力（上揚力） u 的分布

（摘自）地滑工學-最新的題材-(股)山海堂 1995年3月

b 一體滑動

圖 2-13 之中，①水壓 V 作用在 $a-a'$ 面上，②沿 $b-b'$ 面的滑動面之剪力阻抗有效。

$$F = f_0 \frac{\sum_{i=1}^n \frac{c'b + (W - ub)\tan\phi'}{n\alpha}}{\sum_{i=1}^n W \tan\alpha + Q}$$

<2-10-3>

在此， $W_n = 1/2 \gamma_t (h + h')b + V \cos\theta - 1/2 (\gamma_t - \gamma') Z_w^2 \cot\theta$

W_n ：地滑地擋土牆腳切片的重量 (kN)

γ_t 、 γ' ：土體濕潤或水中單位體積重量 (kN/m^3)

Z_w ：地滑地擋土牆腳尾端 a' 的水位高 (m)

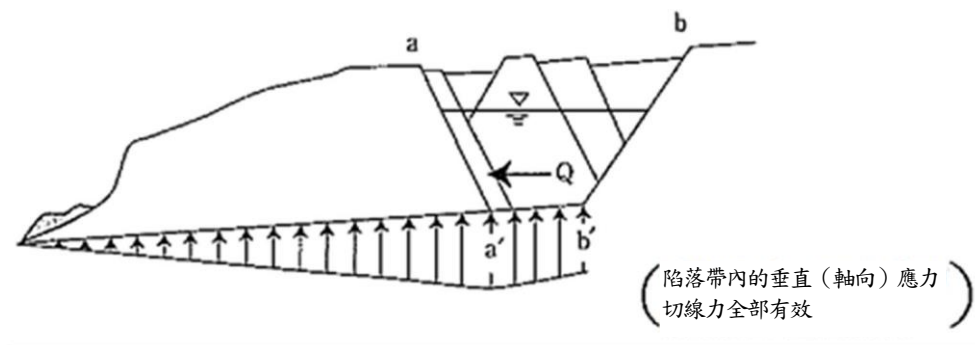


圖 2-13 一體滑動（陷落帶地滑）

（摘自）地滑工學-最新的題材-(股)山海堂 1995年3月

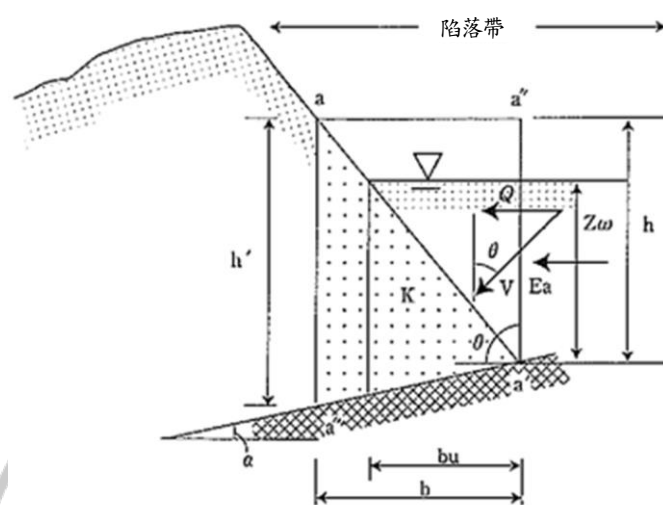


圖 2-14 地滑地擋土牆腳切片

（摘自）地滑工學-最新的題材-(股)山海堂 1995年3月

(3) 簡易畢修普法（Bishop）

簡易畢修普法為圓弧地滑的安定分析公式，其實用性計算精度，是有名的安定分析公式。

$$F = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum \left[\frac{c'b + (W - ub) \tan \varphi'}{\cos \alpha + \sin \alpha \tan \varphi' / F} \right] \quad <2-10-4>$$

(4) 費倫紐斯簡化法（Fellenius，即「瑞典圓弧法」）

費倫紐斯簡化法為圓弧地滑安定分析公式，在滑動面坡度較大的切片位置有地下水壓時，誤差較大。進行較嚴密之安定分析，因常會算出偏低的安全係數，故反算土質強度參數會有偏高情形，因而誇大防治工的效果，偏危險設計之可能性較高。因此，利用時應充分檢討計算誤差的影響。

$$F = \sum \frac{c'l + (W \cos \alpha - ul) \tan \varphi'}{W \sin \alpha} \quad <2-10-5>$$

在此， l ：細片的滑動面長

2 對應自由地下水的二維安定分析公式

(1) 修正費倫紐斯法

此為圓弧地滑安定分析公式，將地下水壓當作自由地下水計算其浮力的方法。適用於崩塌性地滑移動層內地下水幾乎視為自由地下水的情況。

$$F = \sum \frac{c'l + (W - ub) \cos \alpha \tan \varphi'}{W \sin \alpha} \quad <2-10-6>$$

(2) 考量水中重量與滲透水的方法

① 自由地下水對應畢修普公式

$$F = \frac{1}{\sum \left\{ W \sin \alpha + P \cos(\theta - \alpha) \sqrt{1 + \frac{u^2}{4r^2} - \frac{u}{r} \cos \alpha} \right\}} \times \sum \frac{c'b + (W' + \Delta X + P \sin \theta) \tan \varphi'}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \varphi'}{F}} \quad <2-10-7>$$

在此， W' ：土體有效重量 (kN/m)

α ：滑動面傾角 (°)

θ ：地下水面傾角 (°)

P ：滲透力 ($= \gamma_w \cdot V = \gamma_w \sin \theta \cdot ub$)

ΔX ：作用在細片兩壁的剪力差

$X_n - X_{n+1}$ ($\sum \Delta X = 0$)

② 自由地下水對應揚布公式

$$F = \frac{1}{\sum (W' + \Delta X) \tan \alpha + \sum P (\sin \theta \tan \alpha + \cos \theta E_b - E_a)} \times \sum \frac{c'b + (W' \Delta X + P \sin \theta) \tan \varphi'}{n_\alpha} \quad <2-10-8>$$

在此， α ：滑動面傾角 (°)

θ ：地下水面傾角 (°)

W' ：土體有效重量 (kN/m)

ΔX ：作用在細片兩壁的剪力差 ($\sum \Delta X = 0$)

P ：地下水滲透力 (kN/m)

E_a ：作用在末端的水平外力 (kN/m)

E_b ：作用在冠部的水平外力 (kN/m)

(3) 考量全部重量與全部孔隙水壓的方法

① 自由地下水對應畢修普公式

$$F = \frac{1}{\sum (W \sin \alpha + \Delta U \cos \alpha)} \sum \left[\frac{c'b + (W - ub) \tan \varphi'}{\cos \alpha + \sin \alpha \tan \varphi' / F} \right] \quad <2-10-9>$$

在此， W ：土體重量 (kN/m)

b ：細片寬度 (m)

α ：滑動面傾角 (°)
 c' ：黏著力 (kN/m²)
 ϕ' ：抗剪角 (°)
 u ：作用在滑動面的平均孔隙水壓 (kN/m²)
 ΔU ：作用在細片兩側的水壓差 (kN/m)

② 自由地下水對應揚布公式

$$F = \frac{1}{\sum\{(W - \Delta V) \tan \alpha + \Delta U\} + Q} \sum \frac{c' b + (W - \Delta V - ub) \tan \phi'}{n^\alpha} \quad <2-10-10>$$

$$n_\alpha = \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \cdot \tan \phi' / F)$$

在此， ΔV ：作用在細片兩側的鉛直力之差 (kN/m)

3 三維安定性分析公式

三維安定性分析最有名的是霍夫蘭 (Hovland) 公式，此方法係將二維費倫紐斯法擴張成三維，費倫紐斯法本身有計算誤差的問題，因此，鵜飼等提出將畢修普法與揚布法擴張為三維的方法。

地滑地進行三維現象分析，就以下問題加以檢討。

(1) 詳細調查移動土體三維形狀之場合

若所推估的滑動面三維形狀明顯異於實際狀況，安定性分析的計算誤差會變大，應以側壁附近為中心，詳細調查地滑地形狀。

(2) 對應三維安定性分析進行地滑防治工設計方法之場合

挖方工與坡趾填方工程可進行安定性分析，例如，斜向打設錨錠工之張應力如何用三維的方法呈現，每一根不同長度的打樁如何計算其承载力等，因抑止工或地下水排除工的設計方法尚未能確定，因此須慎重檢討。

4 近似三維安定分析公式

近似三維效果評估方法之一，即萊姆及惠特曼 (Lamb & Whitman) 所提出的方法。作法是算出多個縱斷面的二維安全係數，以縱斷面的斷面積加權平均，如圖 2-15 所示，使用各二維安定分析斷面的安全係數 F 與斷面積 A ，並以下式算出近似三維安全係數。和三維安定分析所使用的雷帝斯基法 (Leshchinsky) 做比較，確認其演算精度以及方法之有效性，並可用來進行挖方工或地下水排除工效果的三維評估。

$$F_{3D} = \frac{A_1 \cdot F_1 + A_2 \cdot F_2 + A_3 \cdot F_3}{A_1 + A_2 + A_3} \quad <2-10-11>$$

在此， F_{3D} ：三維安全係數的近似值

F_1 、 F_2 、 F_3 ：二維分析所算出的安全係數

A_1 、 A_2 、 A_3 ：同上的斷面積

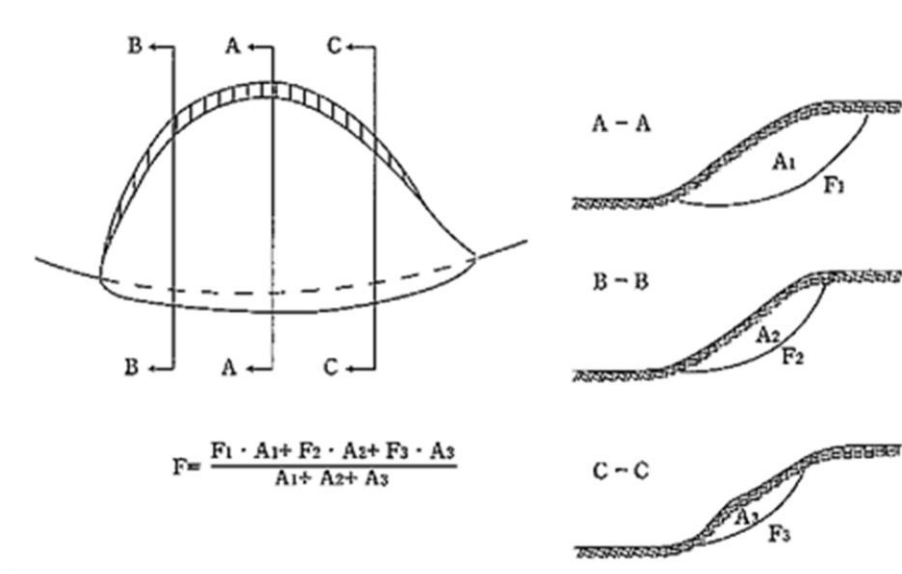


圖 2-15 三維效果取近似值的作法
(摘自) 地滑工學-最新的題材-(股)山海堂 1995年3月

10-6-3 土壤剪力強度參數之設定

邊坡安定性分析所使用的土壤剪力強度參數，應依據地滑移動實況或滑動面黏土試驗結果評估設定之。

[說明]

邊坡安定性分析所使用的土壤剪力強度參數，為滑動面黏土的黏著力 c 與抗剪角 ϕ 。

地滑安定性分析係以有效應力分析為前提，因此剪力強度相關參數也使用有效應力所產生的黏著力 c' 與抗剪角 ϕ' 。

滑動面的剪力強度參數最好能由土質試驗結果取得，現場條件若無法進行土質試驗，可利用同樣具有地滑潛因之地滑地的土質試驗值、文獻資料資訊與物理試驗結果等所取得的推定值。

[參考]

以極限平衡法進行邊坡安定性分析，通常先決定安全係數，然後進行土壤剪力強度參數反算（反算分析）。

反算分析依 c' 與 ϕ' 的設定方式，有如下作法。

1 設定 ϕ' ，反算 c'

採取滑動面內未擾動試料，由直接計測滑動面剪力強度的剪力試驗或利用擾動滑動面黏土所進行的各種殘餘強度試驗（環剪試驗、反覆直剪試驗等）算出 ϕ' ，帶入安定性分析公式而反算出 c' 的方法。

如此算出的 c' 值包含特殊規範條件或側壁部與尖端部的抵抗力等，其值大於土質試驗結果。但推估地滑防治工效果時， c' 高估的影響較 ϕ' 誤差的影響為小。

2 設定 c' 反算 ϕ'

除了依滑動面黏土的土質試驗結果等得出 c' 的方法之外，由所見中古生代地層與結晶片岩地帶的地滑，或第三紀層地滑冠部裂縫與趾部隆起現象，可視為滑動面剪力強度低於殘餘強度的結果，此時可設定 $c'=0$ 。此外，也可利用滑動面黏土的土質試驗結果等求取 c' 。

在此所算出的 ϕ' 也包含特殊規範條件或側壁部與趾部的抗滑力等，其值有時還大於土質試驗結果。其結果可能有高估地滑防治工效果的危險，因此應參照土質試驗結果與文獻資訊等，進行所取得 ϕ' 之驗證。

3 殘餘係數法

滑動面所期待的實際平均剪力強度位於是尖峰剪力強度與殘餘剪力強度之間哪一個狀態所呈現的殘餘係數 R ，以此推估目前平均剪力強度的方法。殘餘係數 R 以下式表示，取 $0 \sim 1$ 的值。

$$R = \frac{\tau_p - p}{\tau_p - \tau_r}$$

在此， τ ：平均剪力強度， τ_p ：尖峰強度， τ_r ：殘餘強度

具體測定方法為作成現狀安全係數之下的 $c'-\tan\phi'$ 圖（曲線A），畫出連結尖峰強度與殘餘強度的直線（直線B），曲線A與直線B交點位置的強度就是現在的平均剪力強度。

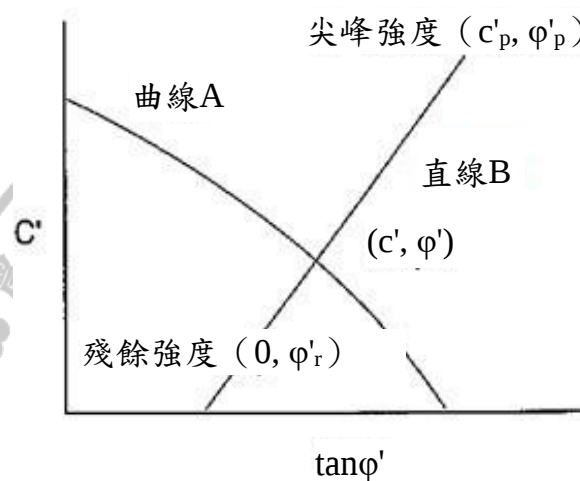


圖 2-16 $c'-\tan\phi'$ 圖

已經產生剪裂面的滑動面黏土無法測定其尖峰強度，因此將完全軟化強度視為尖峰強度。

10-6-4 孔隙水壓之設定

安定分析所使用的孔隙水壓應考量地滑地整體孔隙水壓分布，配合目的適切地設定其水壓。

〔說明〕

安定分析包含推估土壤剪力強度參數、推估地滑防治工的效果以及進行施工或地滑地安定性評估等，應配合利用目的實施。因此，安定分析所使用的孔隙水壓，使用的是時間序列變化中適切時間點的值。

安定分析所使用的孔隙水壓，可由地滑移動相關滑動面附近地下水層取得。但若難以取得孔隙水壓，也可權宜地從地下水壓求得。

〔參考〕

1 土壤剪力強度參數推估所使用的孔隙水壓

推估土壤剪力強度參數所使用的孔隙水壓，最好取臨界狀態的壓力值。若無法確認臨界狀態，也可使用觀測期間最高水位所求取的孔隙水壓。

2 決定地滑防治工程的工程種類與工法、規模及推估其效果所使用的孔隙水壓

決定地滑防治工程的工程種類與工法、規模，以及推估地滑防治工效果所使用的孔隙水壓，最好使用地滑最容易活動狀態時的水壓，一般使用觀測最高水位。但若觀測最高水位之降水量明顯小於地滑發生時，所觀測到的最高水位稱不上最危險狀態，難以擬定適切的地滑防治工計畫。此時必要時應進行觀測最高水位之補正。

3 地滑防治工程施工後安定性評估所使用的孔隙水壓

地滑防治工程施工後安定性評估所使用的孔隙水壓，可將觀測最高水位與將來預期的最高水位等納入考量，設定之。

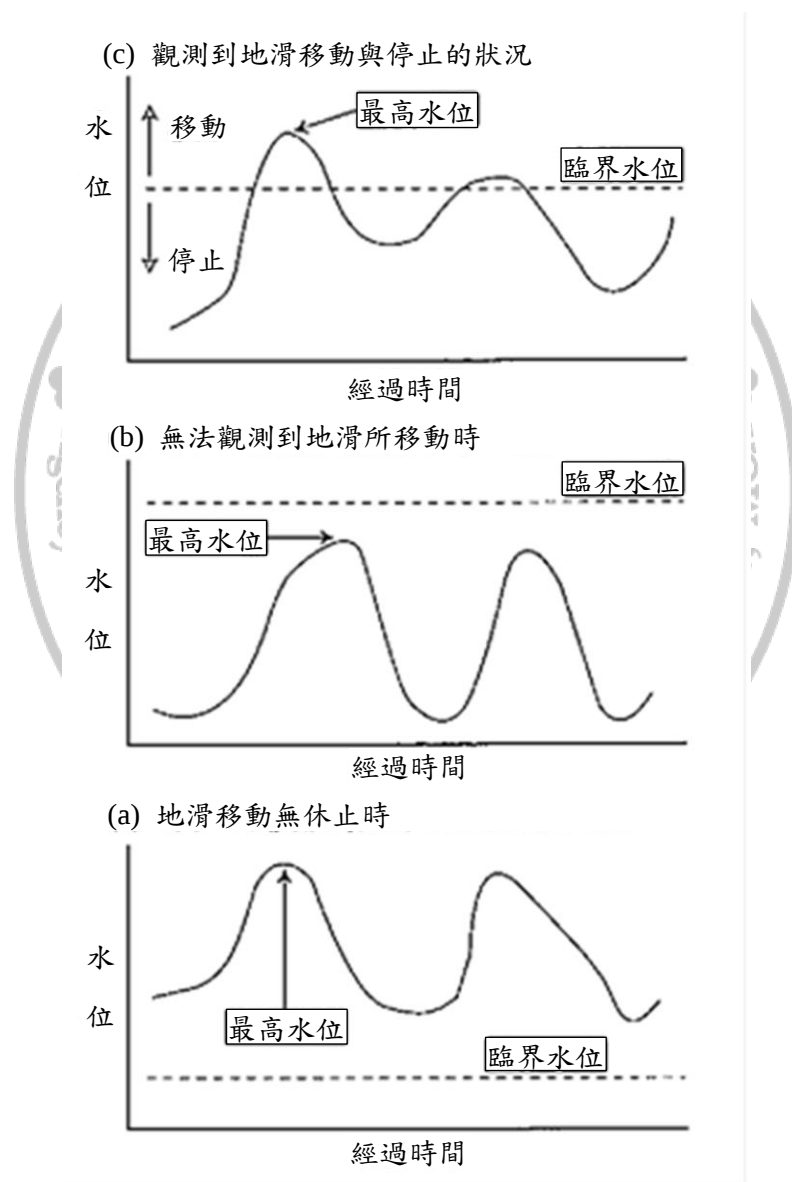


圖 2-17 地滑移動狀況與觀測水位之關係

4 以超越機率（重現期距）水位進行安定性評估

求取重現期距考量分析之最高水位（超越機率水位），以此水位進行邊坡安定分析。所構建的降雨之地下水位模型，可用來算出對應計畫降雨的模型分析水位，將之設定為超越機率水位。

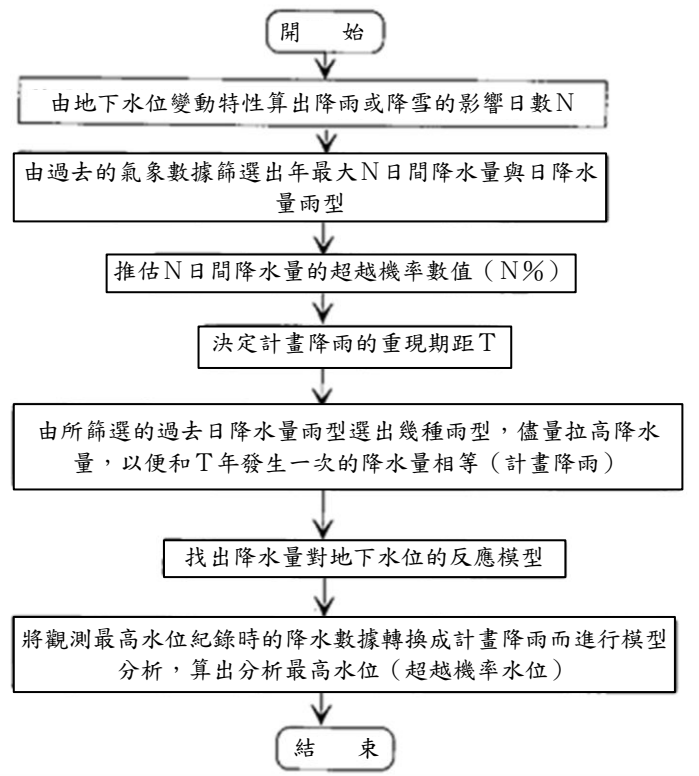


圖 2-18 算出超越機率水位的流程

10-7 彙整

機制分析之結果除了各地滑機制分析項目一一彙整，也應彙整地滑地的立地條件與崩塌危險度關聯性。

〔說明〕

機制分析結果除了彙整機制分析各項目（滑動塊體區分、滑動面形狀、地下水壓分布、土壤剪力強度參數、滑動機制）的檢討結果與穩定分析結果，也應綜合判斷最終分析結果地滑滑動塊體移動狀況、危險度與保全對象重要度等，彙整能用來精準判斷地滑防治工程計畫所應適用的工程種類與工法、施工地點及規模等的數據資料。

第3章 地滑防治工程計畫

第1節 計畫的基本理念

地滑防治工程計畫為防減地滑所造成災害，需注意環境保護，並有效且適當規劃地滑防治工，擬定可提升安全水準及確保安全的計畫。

〔說明〕

- 1 地滑防治工程計畫除了以地滑防治工提升地滑安全係數外，也須注意周邊環境保護並進行地滑防治工維護、確保機能正常等綜合規劃。

此外，地滑防治工程計畫通常針對不同地滑滑動塊體個別規劃，但也可相關多個滑動塊體及推估可能受災區域一起規劃。

- 2 地滑發生造成住宅、公共設施或交通機關等受災或情勢危急時，應進行緊急對策。

緊急對策包含地滑活動之抑制與土砂流出之抑止的工程，以及用來防止人員受傷害為主之警戒避難等軟體對策。緊急對策工程沒有多餘時間進行地滑調查，只能依專門技術人員等概略調查結果規劃施工。臨時工程之外的緊急對策工程效果，應於地滑調查分析完成後再度檢討，並納入地滑防治工程計畫。

第2節 計畫規模

地滑防治工程計畫之計畫規模，需考量對象地滑特性、流域重要程度以及與保全對象的關聯性等決定之。

〔說明〕

- 1 目標安全係數

決定目標安全係數時應仔細評估地滑的規模、保全對象重要性及保全對象受災危險程度等，以1.1~1.2為標準。

因為地滑地及周邊地形等狀況，無法立刻施作地滑防治工程，而只能擬定被動對策，以及受限於工程種類與工法等無法確保足夠安全係數，乃至於即使預估能充分達成目標安全係數，但有特別重要保全對象等時，須一併檢討實施警戒避難等對策，因此應與相關機關密切聯繫，保持合作。

- 2 安全係數的區分與意義

隨著自然條件的變動以及工程計畫的進展，地滑的安全係數會有如下區分與意義。

現狀安全係數 F_s ：地滑安全係數會隨誘因改變及地滑防治工施工而變化，有其時間點的安全係數。通常指地滑防治工施工時期，在該時期最高水壓的安全係數。

臨界安全係數 F_c ：地滑開始滑動時（臨界狀態）的安全係數，為 $F_s = 1.0$ 的狀態。

初期安全係數 F_0 ：地滑防治工程計畫出發點的安全係數，為最危險狀態。有時會與地滑防治工施工前的目標安全係數一致。

計畫安全係數 F_x ：與地滑防治工效果重疊而達成的計畫安全係數。（ x 為地滑防治工符號）

安全係數提升幅度 ΔF_x ：個別工程一件所能提升安全係數的幅度。

目標安全係數 F_p ：地滑防治工程整體所達成的安全係數（最終的計畫安全係數）

第3節 地滑防治工程計畫之擬定

3-1 地滑防治工程計畫的具體方針

地滑防止工程計畫應檢討實施所必要之工程種類與工法、工程配置、數量、施工順序等，能有效達成必要安全水準之效果的適切計畫。

[說明]

- 1 擬定地滑防治工程計畫時，若已有治山事業整體計畫，應充分掌握地區特性，配合其整治方針與整治計畫進行規劃。

此外，治山事業整體計畫應參考第2編第3章第3節「山地治山計畫之擬定」。

- 2 擬定地滑防治工程計畫應檢討下列項目，釐清工程種類搭配、施工順序及伴隨工程進度安全係數提升的過程，並檢討包含施工與維護管理注意要點，以及周邊環境保全要求等。

- (1) 目標安全係數 F_p 之設定

依據第2節「計畫規模」進行檢討。

- (2) 初期安全係數 F_0 之設定

地滑防治工程計畫初期出發點之安全係數，一般採用地滑防治工程施工前觀測最高水位的安全係數。其數值有時會與地滑防止工施工前的現狀安全係數相同，但若因為道路或河川相關的挖填方工程等造成地滑穩定性明顯降低，或觀測最高水位不正確而需補正時，其值會小於現狀安全係數。（參照第2章第10節10-6-4「孔隙水壓之設定」）。

- (3) 工程種類的選定與組合之檢討

地滑抑制工（可直接提升安全係數）及地滑抑止工組合選項進行複數選定。

- (4) 各種工程種類配置之檢討

配合各工程種類的施工適合地點、施工地點數目、工程是否會相互干擾，以及施工順序、所須工期等，檢討工程種類配置方案。

- (5) 各種工程種類安全係數提升幅度 ΔF_x 之檢討

依據(4)算出各種工程種類安全係數提升的效果。

- (6) 施工順序與計畫安全係數 F_x 流程之檢討

依適切施工順序完成施工時，計算其安全係數提升過程。

- (7) 各種工程種類規格與數量之檢討

進行安定分析與各種工程種類的效果評估，依據構造計算等檢討其規格與數量。

- (8) 工程經費的概算

針對各種組合的候補工程種類，概算其施工經費。

(9) 檢討及彙整

綜合檢討上述事項，並瞭解有效且適切工程種類的組合、施工順序及隨工程進度之安全係數提升過程。

3 工程施工過程中安全係數的變化過程，如下圖所示。

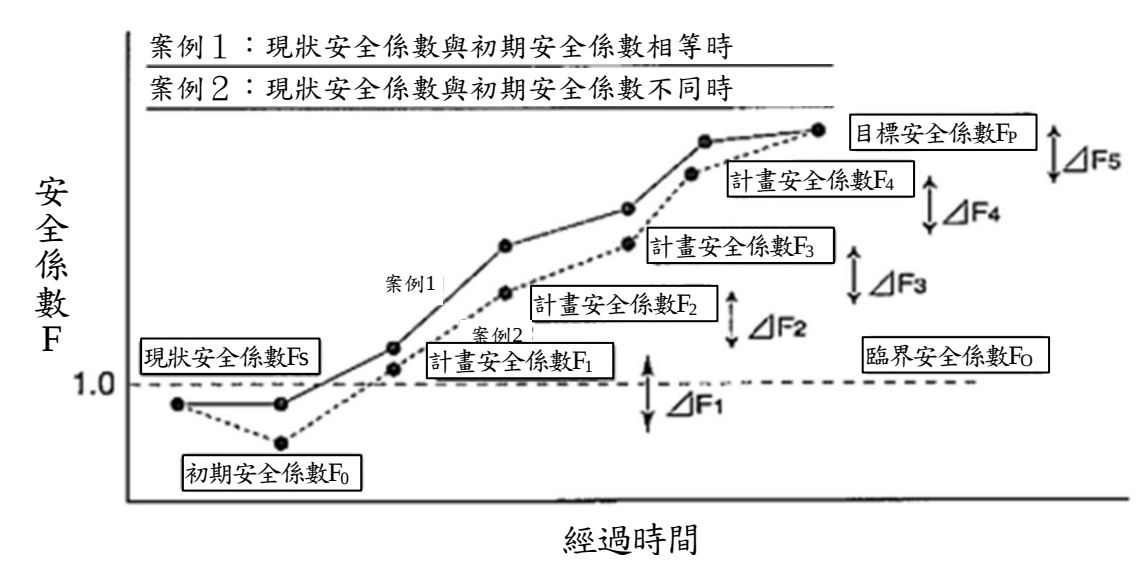


圖 3-1 地滑防止工程計畫安全係數推移案例

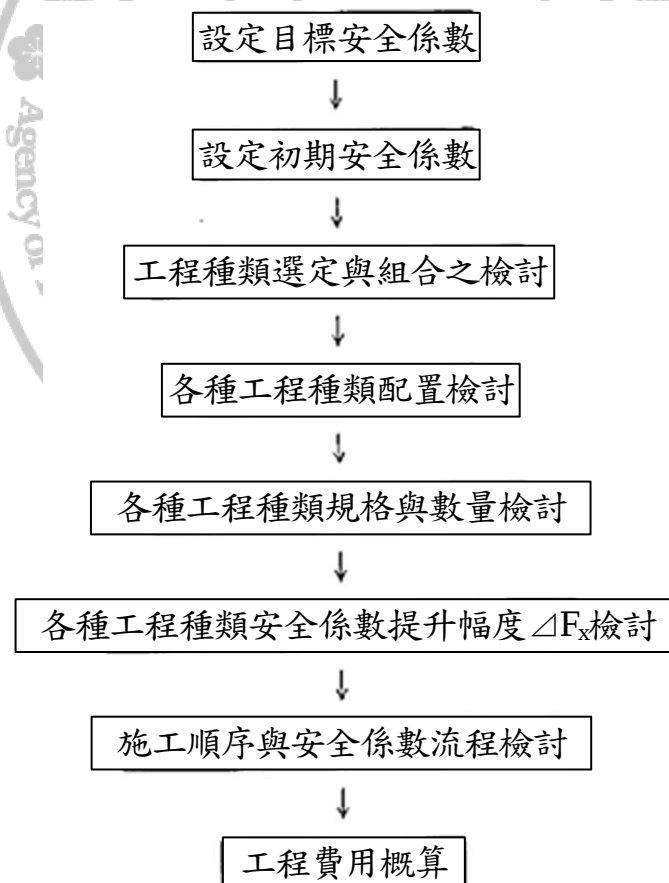


圖 3-2 地滑防治工程計畫內容及作業流程

3-2 環境的保全

地滑防治工程計畫擬定時，應盡力達成周邊環境之保全。

〔說明〕

擬訂地滑防治工程計畫應依據地區自然特性等，考慮生態系或自然景觀等自然環境。同時應參考自然環境調查與現地踏勘所取得知識見解，擬訂必要的環境保全對策。

〔參考〕

環境保全行為的概念

對環境因開發受損的影響抑制到最低之保全行為，主要是「減災(mitigation)」的概念，可細分為迴避、縮小、修正、減輕、補償五個階段。

推動事業預期可能對環境造成的負擔，會呈現各自不同的狀況，因此應個別判斷，依不同場合與有關單位或人員協商。

減災的部分，詳見第2編第3章3-2-6「對環境的保全與形成之貢獻」的〔參考〕部分。

第4節 地滑防治工的種類

4-1 概說

地滑防治工分為抑制地滑滑動力的抑制工與直接抵抗地滑的抑止工。

〔說明〕

- 1 地滑防治工分為改變地形或地下水等自然條件以改善地滑滑動力與抗滑力平衡的抑制工，以及以排樁工或錨錠工等人為構造物的抗滑力直接抑止地滑的抑止工。

地滑防治工程採用的標準工程種類如下。

(1) 抑制工

① 地表水排除工

- a 滲流防止工
- b 排水工
- c 溪流保全工

② 地下水排除工

- a 暗渠工
- b 橫向鑽掘集水暗渠工
- c 集水井工
- d 排水廊道工

③ 挖方工

④ 坡趾填方工

⑤ 排氣井工

⑥ 治山防砂壩工

⑦ 擋土工

(2) 抑止工

① 排樁工

② 深基樁工

③ 錨錠工

2 此處的工程種類直接或間接與地滑防治有關，其中伴隨地滑及崩塌形成荒廢山地的綠化工等坡面工程，規劃時準用第2編第5章「坡面工的設計」。

3 地滑防治工可直接或間接提升工程安全係數。「直接提升」是直接改變安定分析公式之項目而提升安全係數；「間接提升」雖無法直接拉高安全係數數值，但可防止地表水滲透地下、穩定山坡斜面、固定山腳以防止地滑地地形變化，抑制安定分析公式各項目惡化的效果。

地滑防治工大致分類如表 3-1 所示。此外，即使間接提升安全係數的工法，經驗上有時還是能直接提升安全係數，不同現地條件也有可能產生與表中分類不同的狀況。

表 3-1 各種地滑防治工程提升安全係數的分類

提升安全係數的分類	工 程 種 類		摘 要	
直接提升	地下水排除工	橫向集水暗渠工	※	
		集水井工		
		排水廊道工		
		(深井排水工)	※	鉛直挖掘大口徑井並以水中泵浦等抽取地下水而降低地下水位的工法。 可緊急排除地下水。 與排水廊道工等連結，可完成自然排水。
	挖方工		※	
	坡趾填方工		※	
	排樁工			
	深基樁工			
間接提升	錨錠工			
	地下水排除工	暗渠工		可用來直接提升較淺地滑地的安全係數。
	地表水排除工	地表排水工	※	
		溪流保全工	※	
		滲流防止工	※	
	治山防砂壩工等			
	擋土工等			
	排氣井工			
	排樁工		※	緊急工程可打設木樁或H型鋼。

註：摘要欄的※為緊急工程可採用的工程種類。

4-2 工法的選定及組合

工法選定及其組合需考量工法間的互補性與加乘效果，選定有效且適切的做法。

〔說明〕

擬定地滑防治工程計畫，應充分掌握各種工法的特長與適用性，考量工法互補與加乘效果，選定適切工法並發揮組合效果。

主要注意事項如下。

1 地表水排除工應優先採用。施工應先確保地滑地穩定，地滑移動中進行的緊急對策，有時也可在地滑滑動塊體外的地點實施。

- 2 地表水排除工與暗渠工應能在集中豪雨等狀況下抑制地下水陡升，減輕地下水排除工之負擔。
- 3 抑止工應在確保地滑已停止的狀態下施工。抑止工可大幅降低工程成本，標準做法是併用抑制工。
- 4 不同工法抑止工的組合，有時會因為抑止機制之不同而無法發揮互補效果。因此，施工前應充分評估施工規劃位置的地滑移動特性以及各抑止工的抑止機制以決定之。



第4章 地滑防治工之設計

第1節 概說

地滑防治工設計的目的是依據地滑防治工程計畫，進行適切的設計。

〔說明〕

- 1 地滑防治工設計應依據地滑防治工程計畫，有效果且經濟的充分檢討。此外，也應一併檢討與地滑防止工周圍進行中的野溪治理（溪流工程）對策及坡面對策等的關係。

地滑防治工的位置應確認其現地狀況，查核計畫內容。

- (1) 確認是否有林木、裂縫分布、崩塌地形等自然條件狀況
- (2) 確認是否有既設的構造物與電線桿等施工障礙物件
- (3) 確認所準備的機械是否適合現地施工以及機械能否搬到現場
- (4) 確認施工是否對四周之自然、社會環境、景觀及當地居民造成不良影響
- (5) 周邊是否有其他正在進行的工程，以及是否會相互影響

- 2 地滑防治工設計應明確依據地滑防治工程計畫之工程設置目的（工法所需具備之性能等），同時驗證或查核設計內容是否能達成設置目的。此外，設計說明書應載明設置的目的。

〔參考〕

- 1 設置目的（具備的性能等）之設定及其驗證

準用第2編第4章第2節2-1「溪流工設計的基本構想」的〔參考〕。

- 2 構造物安全性相關查核

查核方法應依具理論妥當性的方法或以實驗等方式，適切地驗證所應具備性能。本基準提示傳統查核方法之中適當的做法。

此外，使用本基準所列之外的查核方法或技術時，應提出驗證方法與結果妥當性之充分根據，必要時並應接受第三方機構等的適合性評估。

第2節 測量

2-1 測量的範圍

地滑防治工設計所需測量，應就地滑防治工之位置及規模所需之充分範圍加以測量。

〔說明〕

- 1 地滑防治工設計應依地滑調查分析成果進行。因此，測量必須容易與地滑調查分析成果及地滑防治工程計畫對照之足夠範圍實施之。
- 2 地滑防治工所需測量，大多於地滑調查分析階段完成，以地滑調查分析所使用之各種圖面作為設計圖之情形也有。

2-2 測量的種類

測量的種類有平面測量、縱斷面測量及橫斷面測量。

2-2-1 平面測量

平面測量用於決定地滑防治工的配置及數量等，應依據測量成果作成平面圖。

〔說明〕

- 1 測量方法準用第2編第5章第1節「測量」之說明。
平面圖應詳細且正確記載決定工程種類與工法所根據的調查測線、鑽探調查等的位置，以及地滑滑動塊體區分、湧水點、裂縫等地滑防治工設計所需之調查結果，且須容易與調查資料進行檢核。
- 2 平面測量所作成圖面比例尺以 1/500 為準，縱斷面圖及橫斷面圖的水平與垂直皆與平面圖相同。但可依據地滑範圍大小改變比例尺。

2-2-2 縱斷測量

縱斷測量應測定計畫目標地點的主要縱斷面地形，依據其成果作成縱斷面圖。

〔說明〕

- 1 地滑防治工設計所需之縱斷測量，準用第2編第5章第1節「測量」規定，特別是挖方工土方量計算所需的縱斷面測量，其目標土方量的高低誤差會嚴重影響施工經費，因此須確保適切的測線密度。
- 2 縱斷面圖為了檢討樁工埋樁深度、錨錠工的錨定岩層、洩水鑽探位置及長度等所需的地表地形以外，應將鑽探地質柱狀（剖面）圖的重點、地層分類、地下水文狀況、滑動面、基盤面等各種調查成果記入。

2-2-3 橫斷測量

橫斷測量應測定計畫目標地點橫斷方向的地形，依其成果作成橫斷面圖。

〔說明〕

- 1 地滑防治工設計所需之橫斷面測量，準用第2編第5章第1節「測量」規定。
- 2 樁工、錨錠工、擋土工及集水井工等橫斷面圖應記載地層分類、水文狀況、滑動面、基盤面等各種調查成果，並用來檢討埋樁入土深度及計算土（岩）質別的鑽探長度。

第3節 抑制工之設計

3-1 概說

抑制工是以除去或減輕地滑發生原因，或改變地形以防止地滑為目的。

〔說明〕

抑制工可區分以排除造成地滑誘因之地下水等的工法，及以改變地形，降低地滑滑動力的工法或其他工法。

地下水排除等的工法效果呈現慢，但能改善地滑地體質，可提升持續性效果。此外，改變地形減緩地滑滑動力的工法，具速效性且確實有用。因此，地滑移動現象已經暫時停止，只剩下明顯受地下水等影響的地滑，前者（排除地下水工法）較有效果；需立刻發揮抗滑效果的地滑，後者（改變地形、減緩滑動力）工法較有效。

3-2 滲透防止工

3-2-1 目的

滲透防止工的目的是防止地表水由裂縫等滲透地中而促發或助長地滑。

〔說明〕

滲透防止工係針對地表裂縫發生地點、地表水滯留的凹地、沼澤、濕地等地下水供給源地點，防止地表水滲透、防範地下水引致或助長地滑的工程，多於地滑活動初期階段緊急施作。

3-2-2 位置

滲透防止工施工位置應選擇地表水容易滲透地點。

〔說明〕

滲透防止工旨在防止地表水由裂縫或地形凹地滲透地面，應掌握地滑地及其周邊地形特徵，選定有滲透之虞的地點規劃施工。

3-2-3 工程種類與構造

滲透防止工設計時，應選擇具水密性且最能發揮效果的工程種類及工程構造。

〔說明〕

滲透防止工的構造及形狀應配合地表水有滲透之虞範圍及施工地地形等，通常無一定型式。

滲透防止工所使用材料應選擇具水密性、能柔軟貼緊地表者。

主要工法如下。

1 黏土填充工法

發生在地滑地內部的裂縫，以充填黏土或膨土等方式防止地表水滲透。

2 塑膠布覆蓋法

地滑地內產生裂縫的地方，以塑膠布覆蓋防止地表水滲透，為應急對策工法。

3 瀝青板工法

沼澤與濕地等面積較大地點，滲透防止工可鋪設瀝青（厚）板，防止地表水滲透。

3-3 地表排水工

3-3-1 目的

地表排水工旨在將地表水及地下水排除工所收集之地下水排到地滑地外。

〔說明〕

地表排水工能快速將地滑地內的地表水誘導、排放到地滑地外，防止地表水滯留地滑地內或滲入土中。坡面小台階排水、地下水排除工以及暗渠工排水末端處理也可適用。

可規劃與暗渠工合併設置。

3-3-2 位置

地表排水工位置應選擇目標區能有效集水且快速排放的地點。

〔說明〕

地表排水工通常以橫斷方向地滑地最低凹處設置之，但若地滑後地形複雜，也可整地調整地形，設在能集水的位置。

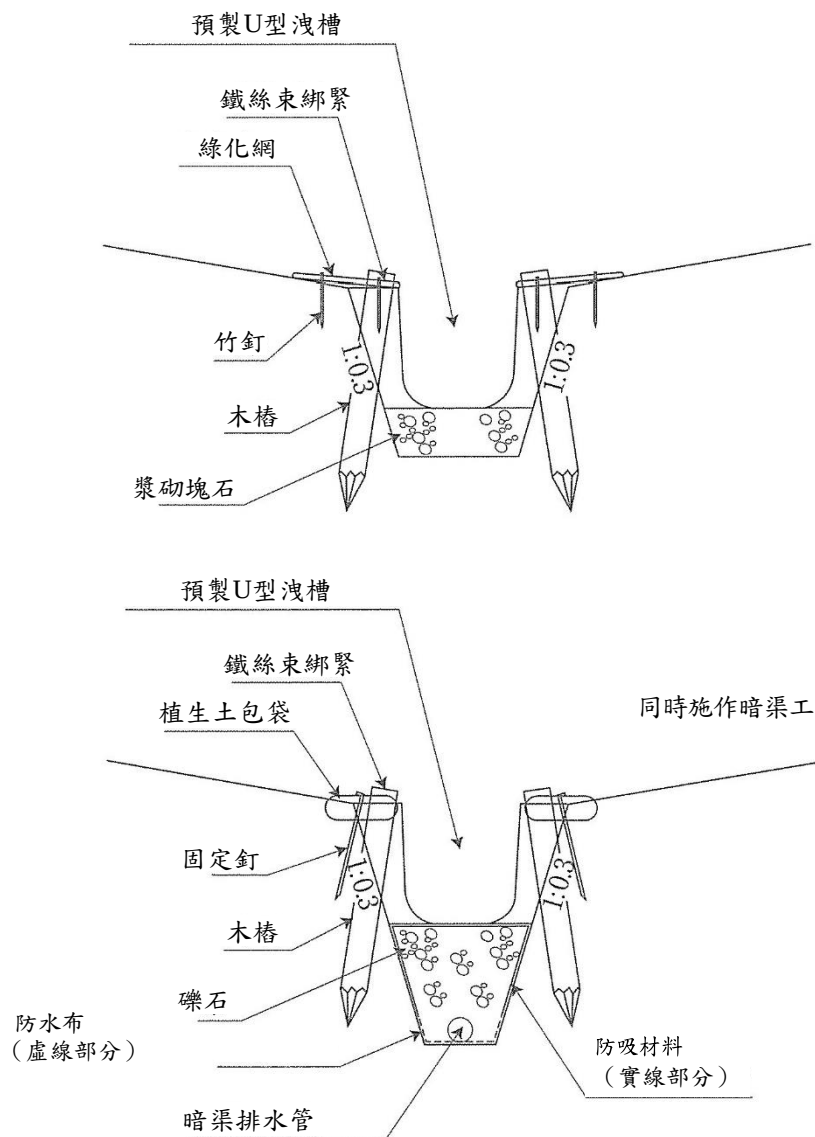


圖4-1 地表排水工舉例

3-3-3 工程種類與構造

地表排水工的種類與構造應考量地滑動態、地表面地形、土質條件、施工位置、使用材料之耐久性及與周遭環境調合等，選擇最適切的做法。

〔說明〕

地表排水工的種類及構造，相關事項準用第2編第5章第3節3-5「地表排水工」規定。地滑防治工須特別注意，應採防漏水、具水密性的構造。

此外，地滑地表變形潛勢地點，不妨選擇具可撓性的構造。

3-4 溪流保全工

3-4-1 目的

溪流保全工設在地滑地或其周邊溪流，旨在防止溪流水侵蝕及溪流水滲入地下。

〔說明〕

溪流保全工乃是溪流水有侵蝕河岸、助長地滑活動之虞時，用來加以防範的工程。溪流保全工除了施作長久之構造物之外，也有將溪流水導引到地滑地外的「導水路」，或緊急防止滲透之臨時溪流保全工。

3-4-2 位置

溪流保全工應設置在能讓有引致地滑之虞的流水安全流下的地點。

〔說明〕

溪流保全工通常是為了讓溪流在其原有位置流動，因此應規劃流暢的溪流線形。

此外，規劃溪流保全工的溪流改道或導水路時，應儘量選擇地滑地外之地點設置。



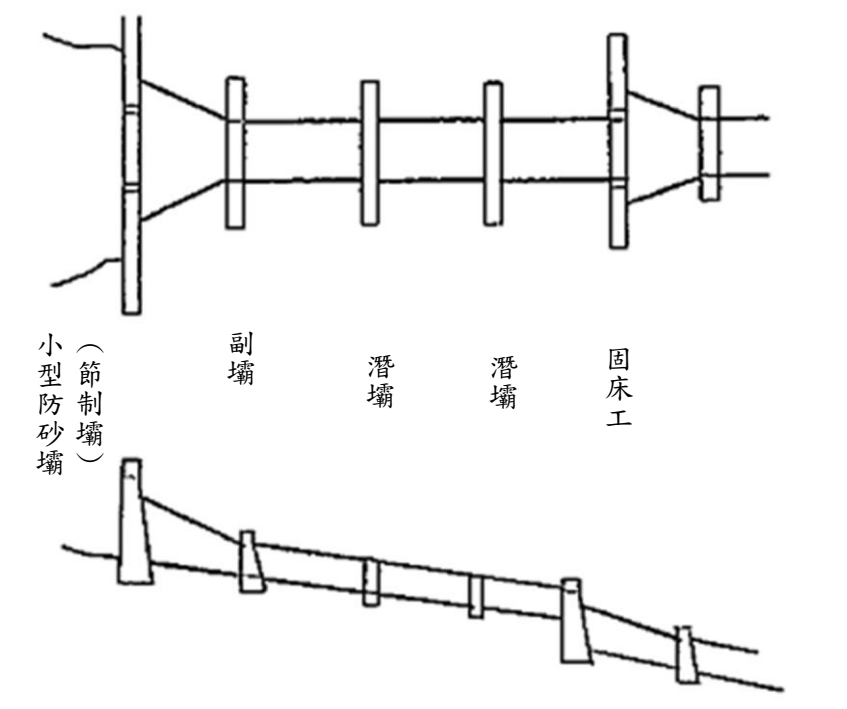


圖4-2 溪流保全工舉例

3-4-3 工程種類與構造

溪流保全工的工程種類與構造應考量地滑動態、地表面地形、土質條件、施工位置、使用材料的耐久性以及是否與周遭環境調合等，選擇最適切的做法。

〔說明〕

溪流保全工的工程種類及構造準用第2編第4章第6節「溪流保全工」規定。但作為地滑防治工一環的溪流保全工，設計時應充分考量地滑的狀況。

地滑防治工所需的溪流保全工如下。

- 1 為避免地滑後溪水立刻流入地滑地，需施作臨時溪流保全工時
- 2 地滑地內需讓溪流改道或設置施工導水路時
- 3 地滑移動暫時停止、需避免溪流產生新的滲透水時
- 4 為防範地滑末端變形或防止侵蝕發生而施設時

此外，溪流保全工的工程種類有：

- 1 的情況時，為預製塑膠管工程、織布模板填充水泥工程、瀝青板工程等。
- 2 的情況時，分為臨時與永久構造物。臨時構造物與1同，永久構造物採混凝土或鋼製等。
- 3 的情況時，採用混凝土與混凝土製品等。
- 4 的情況時，多採準用第2編第4章第6節「溪流保全工」的產品。

3-5 暗渠工

3-5-1 目的

暗渠工目的是排除地滑地及其周邊土地往地滑地內滲透的淺層地下水。

〔說明〕

暗渠工係以排除接近地表的淺層地下水以提高地滑土體強度、達成地滑安定化，以及防止降雨及溶雪水滲透增加深層地下水。

暗渠工一般與地表排水工合併設置之設計為多。

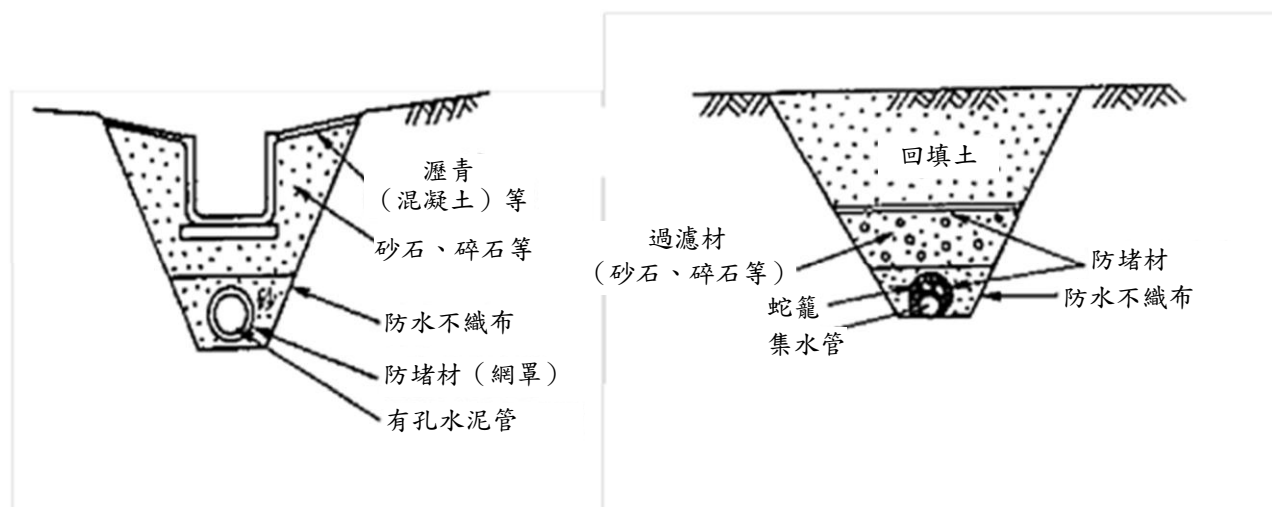


圖4-3 暗渠工的案例

〔參考〕

暗渠工的效果計算

非常淺的地滑可用以下方法算出暗渠工達成地下水位降低效果的安全係數。

- 1 利用暗渠公式（假設暗渠工設在有自由地下水且靠近施工基地地板時）進行評估，
參照本節 3-6-4

- 2 利用過去的實際應用成果進行評估

曾在相同地質環境下施作暗渠工、有效降低地下水位量的實際應用成果，可參考推估暗渠工施作效果。

3-5-2 位置

暗渠工之位置應選擇在能有效率排除淺層地下水的地點，並以適當深度及間距進行配置。

〔說明〕

暗渠工施作地點應依地滑調查分析結果，選地表水與滲透水容易滙集的地點，進行有效配置。

適合施作暗渠工的地點包括崩崖底部有地表水流動的地點、斜面凹部等形成集水地形的地點等。

用來排除土壤內孔隙水、提高地滑土體安定度的暗渠工，最好設在沿斜面的位置，且密集排列成為集水暗渠工。

暗渠的排水末端銜接集水井等，使地下水成為地表水，然後以地表排水工等排出工地。

3-5-3 工程種類與構造

暗渠工應選擇有充分排水能力、耐久性與施工性，具充分承受上部載重、土壓強度的構造。
此外，暗渠底部應有防止集水再度滲入地中的措施，並配合地滑移動狀況選擇適當的材料。

〔說明〕

地滑防治工程施作的暗渠工，其工程種類與構造等準用第2編第5章第3節3-6「暗渠工」規定。
但設計以暗渠工作為地滑防治工時，應注意如下事項。

- 1 暗渠越深效果越好，但開挖地面可能造成土體移動、具危險性，一般深度小於2公尺為宜。
- 2 暗渠管的材料不因地滑移動產生地盤變動而損害機能，且為避免集水再度滲入地中，暗渠底部應鋪設防水不織布。
- 3 若也希望收集地表水，暗渠可填塞鵝卵石或未篩分砂礫石、碎石等直到地表面。

〔參考〕

大規模暗渠工

此為離地表2~5公尺、可排除地下水的暗渠。施工須先打設板樁或圓木，砌築溝壁挖出溝槽，最底部埋設集水管後回填鵝卵石、未篩分砂礫石與碎石等。此外，板樁會妨礙地下水集水，回填後須拔除。板樁與圓木樁適合打設在緩坡，能更有效收集地滑地豐富的淺層地下水。

3-6 橫向鑽掘集排水暗渠工

3-6-1 目的

橫向鑽掘集排水暗渠工旨在以地面鑽孔鋪設暗渠，而排出地滑所產生的地下水。

〔說明〕

橫向鑽掘排水暗渠工程乃是用來排除開挖埋設暗渠所無法排出之深度，且可能會破壞滑動面穩定的地下水之地滑防治工程。施工容易，但須注意精準掌握地下水帶。

3-6-2 位置、集排水管數目、方向、長度及斜率

- 1 橫向鑽掘集排水暗渠工程的施工位置、集排水管數目、方向與長度，應以能最有效收集地下水帶的方式決定之。
- 2 橫向鑽掘集排水暗渠的斜率應能讓地下水自然流出的角度。

〔說明〕

- 1 橫向鑽掘集排水暗渠工程的孔口位置，應配合所需排除地下水的位置與壓力水頭之降低量，儘量規劃最短的鑽掘長度。
- 2 鑽掘方向及集排水管數目，應配合地下水帶分布及地下水流動方向，以能達到最佳集排水效果為原則。

3 暗渠集排水管長度之規劃應確實到達目標地層。

4 暗渠集排水管打設斜率之規劃，一般應以仰角貫通地下水帶，且集水區間越長越好。若預期會有高水頭受壓地下水脈自噴之排水，應以俯角開孔。

〔參考〕

橫向鑽掘集排水暗渠工之施工案例

依地下水調查結果等確認地下水賦存量大、地滑地具高透水性，或滑動面附近有可能再次造成地滑的大量地下水，可使用 300mm 以上管徑的大口徑暗渠工集排水套管。

大口徑集排暗渠較不易堵塞、集水效果大且容易維護管理。又，大口徑套管採用鋼管，強度提高、更具耐久性，因此不限橫向鑽掘集排水暗渠工，也常應用於集水井的橫向鑽掘集水管與橫向鑽掘排水管。

但採用橫向鑽掘暗渠工之數量如果太大，工程費用升高未必有效率。因此重點是確實掌握帶水層狀況，符合經濟性與有效率的規劃施工。

3-6-3 構造

鑽掘之集水管口徑，以能在集水區間可設置的大小，且套管能有效集水為目標。

〔說明〕

- 1 鑽掘之口徑大小，以能在集水區間可設置的大小為準。通常使用內徑 40~50mm 套管為多，但進行低透水地層集水時，口徑可提高。此外，破碎帶地滑等穿孔不易地點，套管長度可能得延長，一開始鑽掘的口徑須加大，然後越進去口徑分二階段或三階段縮小，否則套管可能扭曲因而無法到達正確地層。
- 2 套管大部分使用硬質 PVC 管，有時得插入通氣管，此時須注意地熱或地下水之 PH 值等。套管在集水區間的部分進行穿孔加工。此外，集水的地下水，沿套管流下途中可能再度滲入地層，此時應進行該地點之止水處理，防止再滲透。
- 3 鑽掘橫向集排水暗渠工的孔口須以混凝土或蛇籠等加以保護，流末端則銜接地表面排水工等，避免所排放的地下水再度滲入地中。

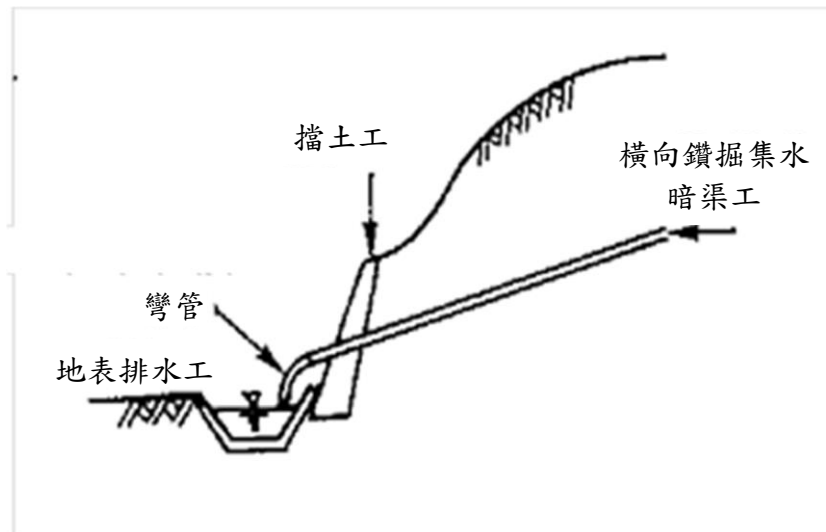


圖 4-4 橫向鑽掘集水暗渠工孔口的保護

3-6-4 效果的計算

橫向鑽掘集排水暗渠工效果的計算，應配合施工位置及集排水管數目進行。

〔說明〕

橫向鑽掘集排水暗渠工的排水效果乃是因為鑽孔貫通地下水帶，其集排水暗管在穿孔區間發揮集水效果所致，因此，有效範圍侷限於集排水管穿孔有效區間及地下水文影響範圍內，影響範圍外的水壓不會因此降低。橫向鑽掘集排水暗渠工可用平面及主斷面掌握集排水管穿孔有效區間位置，算出影響範圍內的水壓降低效果。

若只用主斷面的二維安定分析檢討排水效果所帶動的安全係數上升，遠離主斷面的橫向鑽掘集排水暗渠工效果，以橫斷面方向之平均水壓降低作適當的判斷。

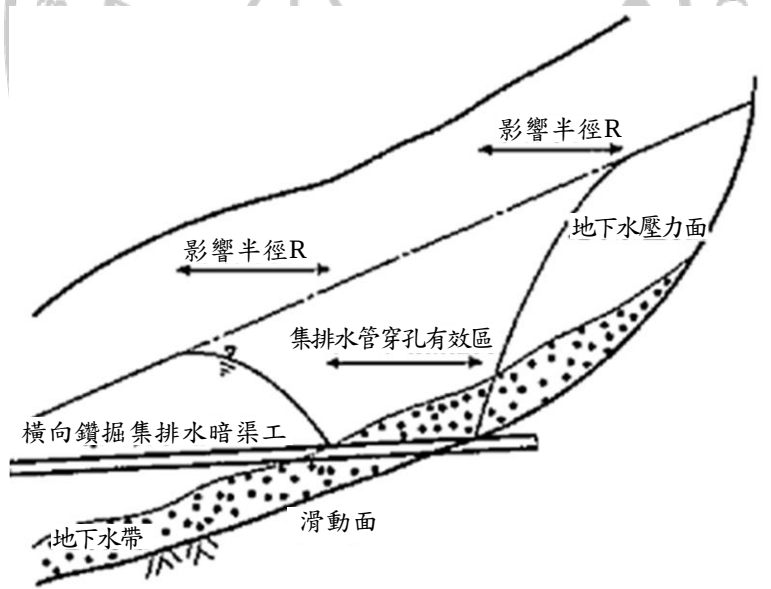


圖 4-5 橫向鑽掘集排水暗渠工的影響範圍（縱斷方向）

[參考]

橫向鑽掘集排水暗渠工效果推估方法

橫向鑽掘集排水暗渠工效果推估，主要是利用集水暗管滲透公式，針對集排水管適當的區間進行理論計算。地滑地地下水流動複雜，難以精準掌握，但集水管滲透公式能有效驗證橫向鑽掘集排水暗渠工的集排水效果。

其他也有以有限元素法之滲透流分析推估其效果的方法。

1 集水暗管滲透公式

(1) 受壓地下水的情況

小柳與前川公式指出，集水暗管穿孔有效區間的鑽孔間距 $2d$ 與集水暗管中間點水位降低計畫高 s 之關係，如下式所示。

$$d = \frac{2b_w}{\pi} \sinh^{-1}[\exp(x)] \quad <4-3-1>$$

$$\theta = 2 \sin^{-1} \frac{d}{a} \quad <4-3-2>$$

$$x = \ln \left[\sinh \frac{\pi r_0}{2b_w} \right] + \pi k \frac{s_0 - s/2}{q} \quad <4-3-3>$$

$$q = \pi k \frac{s_0}{\ln \frac{\sinh(\pi R/2b_w)}{\sinh(\pi r_0/2b_w)}} \quad <4-3-4>$$

在此， L_s ：有效集排水管穿孔區間長度 (m)

s_0 ：集排水管理設位置的水壓降低高程 $= H - h_0 - b_w$ (m) ($h_0 \doteq r_0$)

H ：原水位高 (m)

h_0 ：集水管內水位高 (m)

b_w ：地下水帶厚 (m)

k ：透水係數 (m/s)

R ：影響圈 (m)

s ：集排水暗管中間點的水壓降低計畫高 (m)

a ：從集水井到集排水暗管鑽孔區間中間的距離 (m)

d ：集排水暗管穿孔區間的鑽孔間距 1/2 (m)

r_0 ：集排水暗管半徑 (m)

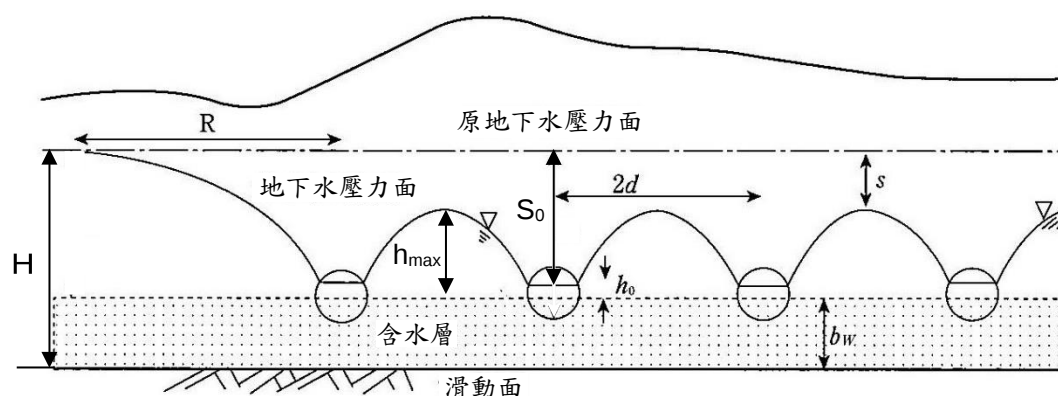


圖 4-6 橫向鑽掘集排水暗渠工的影響範圍（橫斷方向）

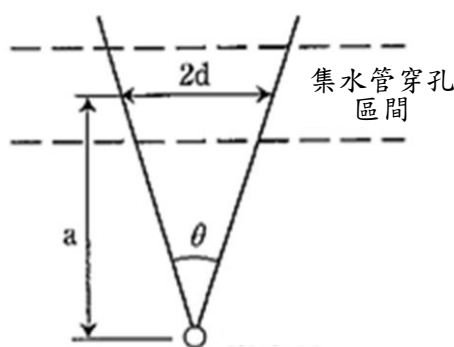


圖 4-7 橫面鑽掘集排水暗渠工的先端間距

（摘自）地滑工學-理論與實踐-(股)山海堂 1989.3 部分修正

(2) 自由地下水的情況

以可斯查可夫公式對原地下水位降低及雨水滲透兩方為對象之場合，求取集排水暗管尾端間距 $2d$ 與平均水位高 $\bar{h}$ 的關係，如下式所示。

$$\bar{h} = \frac{q_0 + \omega d}{\alpha k} \left(\ln \frac{d}{r_0} + \frac{r_0}{d} - 1 \right) \quad <4-3-5>$$

$$q_0 = \alpha_0 k \frac{H_1}{\ln(R/r_0)} \quad <4-3-6>$$

在此， $\bar{h}$ ：集排水暗管高程所測得的平均水位高 (m)

h_{max} ：集排水暗管間的最高水位高 (m)

q_0 ：不考慮雨水滲透情況的入流量 (m^3/s)

r_0 ：集排水暗管半徑 (m)

ω ：入滲量（雨量強度之程度）(m/s)

k ：透水係數 (m/s)

α_0 ：係數 ($\pi/2 + h_{max}/d$)

H_1 ：由集排水管高程測得的原地下水位 (m)

R ：影響圈 (m)

2 集水暗渠的影響半徑

集排水暗渠的影響半徑可用抽水試驗算出，由理論公式求算之方法則有庫薩金公式。其次，受壓地下水之場合以及自由地下水之場合，影響半徑計算公式分別如下。

(1) 受壓地下水的影響半徑 R 如下式。

$$R = 575 \cdot s_0 \sqrt{k b_w} \quad (\text{m}) \quad <4-3-7>$$

在此， R ：影響圈 (m)

b_w ：地下含水層厚 (m)

s_0 ：暗渠位置的水位降低高度 $= H - h_0 - b_w$ (m)

k ：透水係數 (m/s)

h_0 ：含水層上面到暗渠內水位之高度 (m)

H ：原地下水位高 (m)

(2) 自由地下水的影響半徑 R 如下式所示。

$$R = 575 \cdot s_0 \sqrt{k H} \quad <4-3-8>$$

在此， R ：影響圈 (m)

H ：原水位高 (m)

s_0 ：暗渠位置的水位降低高度 (m)

k ：透水係數 (m/s)

3-7 集水井工

3-7-1 目的

集水井工的目的是排除無法從地表排除的滑動面附近地下水。

〔說明〕

集水井工是在排除無法從地面直接排除的地下水時，規劃之。在此應排除之地下水層更深處挖掘縱向井（豎坑、直井），然後以鑽掘集水橫管（輻射管）收集地下水，再由鑽掘排水橫管排水。

基盤面為谷形、想像地下水集中此處往下流動之場合，或有大量地下水滯留之場合，該井筒應可期待具集水功能。但山區地下水系複雜，只靠集水井往往無法充分集水，此時可從集水井的鑽掘橫向孔收集地下水。

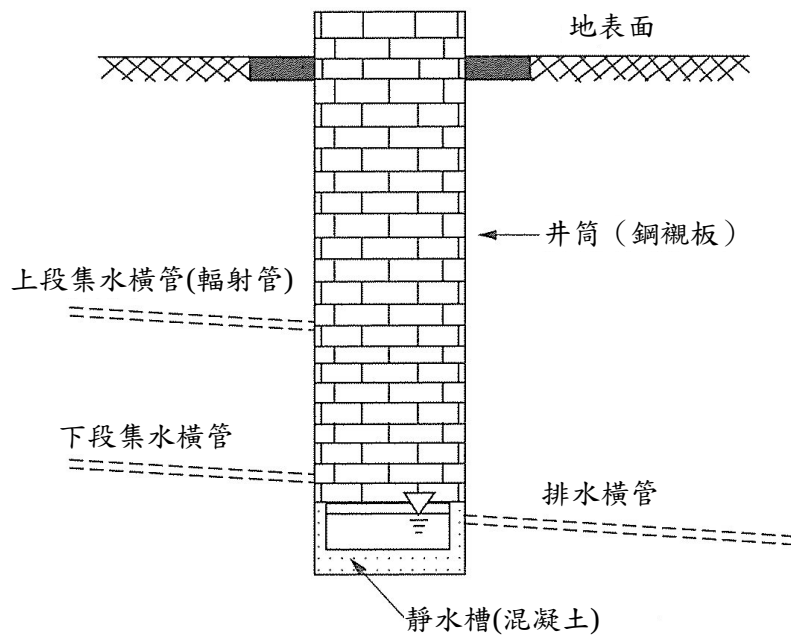


圖 4-8 集水井剖面圖案例

3-7-2 位置

集水井工應設在能以最佳效率收集影響地滑地下水的位置。

〔說明〕

集水井工應依所須排除地下水的分布、流動方向、壓力水頭等地下水調查等的結果，設在地下水位較高處或基盤面等高線圖凹地形部分，以利收集地下水。

有陷沒帶的地滑為防止地下水侵入陷沒帶內，影響下游滑動面水壓，應在陷沒帶內設集水井，有效排除對地滑可能有不良影響的地下水。

集水井若設在活動中的地滑地，施作過程中可能遭遇井壁崩塌等危險，完工後集水井也有破壞風險，因此最好設在地滑地外，以集水橫管深入地滑地內，排除地滑地地下水。

3-7-3 配置

- 1 規劃設複數集水井時，應考量個別集水井的集水範圍及其影響圈大小，適度地進行配置。
- 2 排水有時須施作中繼專用井，此時可一併施作較長的排水橫管，減少中繼井數目。

〔說明〕

集水井工規劃應考量地滑的規模、地形與地質構造等，配合可能進一步造成地滑的地下水賦存狀況，決定其配置地點。

集水井間距大小，以能最有效排除目標地下水為原則。須連結集水井發揮排水效果時，集水井間距最大長度以排水橫管能施作的長度為限。

大規模地滑應檢討同時施作排水廊道等的排水對策。

集水橫管數目及打設間距，準用橫向鑽掘集水管（集水暗渠）工程之規定。

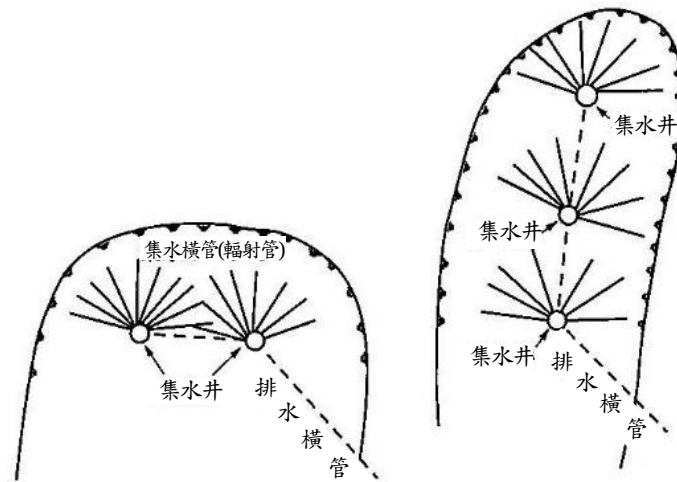


圖 4-9 集水井的配置舉例

3-7-4 種類別

集水井有各種可因應不同外力的耐力產品，應配合地滑地的狀況作選擇。

〔說明〕

- 1 集水井井壁（井筒）材料一般使用鋼襯板。鋼襯板集水井施工，首先往下挖出井穴，然後在其中組裝鋼製圓形浪板構成井筒。
- 2 容易產生砂湧或隆起（地盤上舉）的地盤，適合採用鋼筋混凝土框集水井之井壁較不易崩落。
- 3 也可配合地形，不同區段搭配使用上述二種工法，施作集水井。

3-7-5 直徑及深度

- 1 集水井口徑規劃應配合施工安全性及集排水橫管鑽掘施工容易度等，決定之。
- 2 集水井深度須到達地滑基礎地盤內部。但若滑動尚未停止，原先規劃地滑地內施作的集水井，深度可得調整。

〔說明〕

- 1 集水井內徑一般為 3.5 公尺或 4.0 公尺，但可配合施工安全性、深度及集排水橫管鑽掘長度略加調整。
- 2 深開挖之集水井應特別採取防止集水井上方物體掉落或瓦斯氣排除等安全對策。
- 3 為排除滑動面附近的地下水而在地滑地基盤內設置橫向排管時，集水井底部須貫入基礎地盤內往下 2~3 公尺左右。

此外，集水井底部打設未設置在基盤內仍能有效排除目標地下水，或為了防止地滑持續活動而破壞集水井，也可將集水井底部設在滑動面上方。

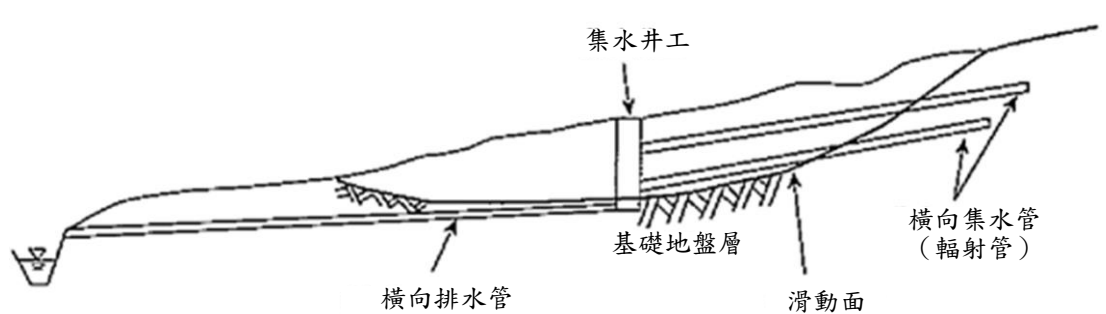


圖 4-10 集水井底部設在基盤內的做法

3-7-6 構造

集水井構造應配合目的與現地條件，並考量安定性與施工性。

〔說明〕

- 1 集水井構造應考量地盤條件與施工性等，採用安全構造。
此外，使用鋼襯板井筒時，若有挖掘過程中井筒移動、集水井孔壁崩塌等外壓增強狀況，應增設補強環片。
- 2 施作集水井應將井筒口部牢牢固定，採用能抵抗傾斜或自重沉陷等的構造。
- 3 為避免所收集地下水再度滲入地中，集水井基礎部儲水槽應鋪設具水密性的混凝土等。
- 4 集水井維護管理，內部須設升降梯或放梯子。
- 5 集水井頂部防範外人進入，應將井筒伸出地表面 0.5~1 公尺左右，並蓋上孔蓋、加鎖，四周並設置圍籬。

3-7-7 安定性檢討

集水井應具備足以承受預估重量的載荷安定性。

〔說明〕

作用在集水井井筒的外力一般只計算土壓，不納入水壓。此外，土壓設定為主動土壓，不計入地滑土壓。

集水井設在移動中的地滑地內而須考慮地滑土壓時，井筒之安定檢算準用深基樁工作業基準，但此時施工仍具危險性，完工後被破壞的風險很大，因此應綜合檢討搭配實施其他工法排除地下水。

〔參考〕

- 1 作用在集水井上的土壓
作用在集水井上的土壓如下區分。
(1) 深度小於 20 公尺的集水井
可用朗金土壓公式算出。

$$p = K_A \cdot \gamma \cdot h_a \quad <4-3-9>$$

$$p_{max} = K_A \cdot \gamma \cdot H \quad <4-3-10>$$

在此， p ：任意深度 h (m) 的主動土壓強度 (kN/m^2)

p_{max} ：集水井底部的主動土壓強度 (kN/m^2)

K_A ：主動土壓係數

$$= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - \frac{2c}{rh} \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad <4-3-11>$$

ϕ ：土壤的抗剪角 ($^\circ$)

c ：土壤的黏著力 (kN/m^2)

γ ：土壤的濕潤單位體積重量 (kN/m^3)

H ：集水井深度 (m)

$$P = \frac{1}{2} \cdot r \cdot H^2 \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - 2 \cdot c \cdot H \cdot \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) + \frac{2 \cdot c^2}{r} \quad <4-3-12>$$

在此， P ：作用在深度 H 主動土壓 p 之單位寬度的土壓合力 (kN/m)

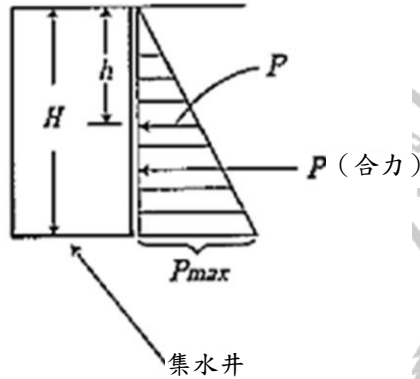


圖 4-11 土壓分布圖（朗金土壓公式）

(2) 深度 20m 以上的集水井

土壓的合力 P 等於朗金土壓公式所算出的 P ，土壓分布可配合周邊土壤的拱圈作用，以 Terzaghi 公式算出。

$$p = \left\{ \frac{12(3m-2)}{H^3} h^2 + \frac{6(3-4m)}{H^2} h \right\} - P \quad <4-3-13>$$

$$p_{max} = \frac{3(3-4m)^2}{4(2-3m)} \cdot \frac{P}{H} \quad <4-3-14>$$

$$h' = \frac{3-4m}{4(2-3m)} \cdot H \quad <4-3-15>$$

在此， p ：任意深度 h (m) 的主動土壓強度 (kN/m^2)

p_{max} ：最大主動土壓強度 (kN/m^2)

m ：土壓合力 P 之作用點在集水井深度 H 的比值

($m \doteq 0.55$)

h' ：最大主動土壓強度產生的深度 (m)

H ：集水井深度 (m)

P ：土壓的合力 (kN/m)

$$= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - 2 \cdot c \cdot H \cdot \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) + \frac{2 \cdot c^2}{\gamma}$$

<4-3-16>

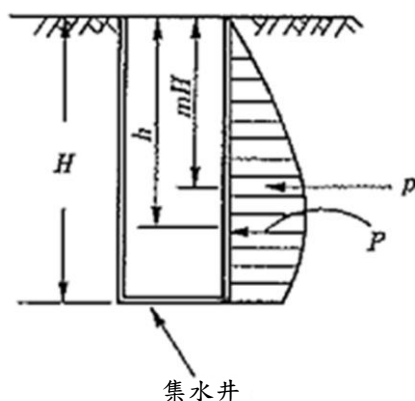


圖 4-12 土壓分布圖 (Terzaghi 極限承载力)

(3) 土質條件為多層構造時的集水井

算出各層的土壓分布，求得最大主動土壓 p_{max} 。

例如，圖 4-13 多層構造土質條件下打設的集水井，可以如下之計算公式算出 p_{max} 。

$$p_1 = \gamma_1 h_1 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_1}{2} \right) \quad <4-3-17>$$

$$p_2 = \gamma_1 h_1 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_2}{2} \right) - 2c_2 \tan \left(45^\circ - \frac{\phi_2}{2} \right) \quad <4-3-18>$$

$$p_3 = \{ \gamma_1 h_1 + \gamma_2 (h_2 - h_1) \} \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_2}{2} \right) - 2c_2 \tan \left(45^\circ - \frac{\phi_2}{2} \right) \quad <4-3-19>$$

$$p_4 = \{ \gamma_1 h_1 + \gamma_2 (h_2 - h_1) \} \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_3}{2} \right) - 2c_2 \tan \left(45^\circ - \frac{\phi_3}{2} \right) \quad <4-3-20>$$

$$p_5 = \{ \gamma_1 h_1 + \gamma_2 (h_2 - h_1) + \gamma_3 (h_3 - h_2) \} \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_3}{2} \right) - 2c_3 \tan \left(45^\circ - \frac{\phi_3}{2} \right) \quad <4-3-21>$$

在此， $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ ：各層土壤濕潤單位重量 (kN/m³)

h_1, h_2, h_3 ：各層由地表往下的厚度 (m)

ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 ：各層的抗剪角 (°)

c_1, c_2, c_3 ：各層的土壤黏著力 (kN/m²)

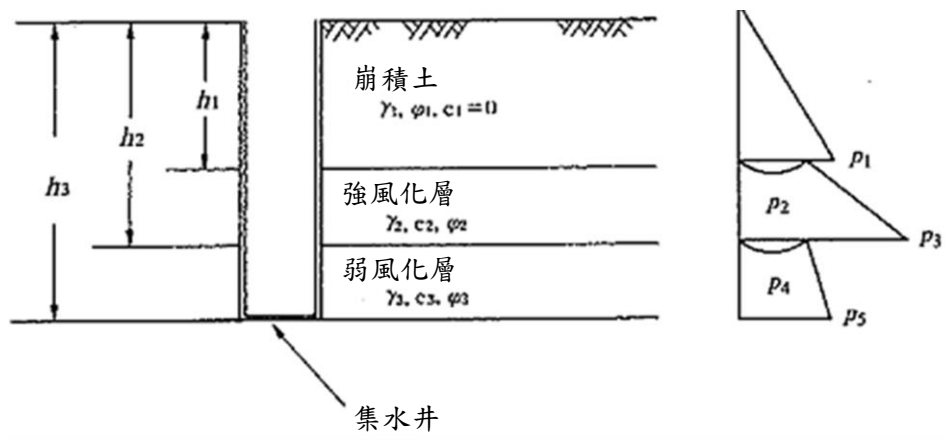


圖 4-13 土壓分布圖（多層構造的土質）

2 鋼襯板的板厚

鋼襯板以弧形浪板四邊安裝輪緣（凸緣），組裝成圓環井筒，載重作用下圓環會變形成橢圓形，受載重作用的一側凹陷、土壓減少，載重傳遞到隆起部分而達成整體安定，成為防止挫屈的構造。

但若變形程度太嚴重仍可能產生挫屈。因此，集水井使用的鋼襯板厚度須考慮橢圓變形的量。

(1) 最大彎矩

橢圓變形的量是四周土壓作用在圓環上時，如圖 4-14 所示圓形變成橢圓形的變形量（ U_0 ），相同土壓 P 情況下的最大彎矩 M_{max} ，可以下式算出。

$$M_{max} = PR \left(U_0 + \frac{U_0 P}{P_{cr} - P} \right) = \frac{PU_0 R}{1 - P/P_{cr}} \quad <4-3-22>$$

在此， M_{max} ：最大彎矩（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）

P ：土壓 = $p_{max} \times 1.0$ （ kN/m ）

R ：集水井半徑（ m ）

U_0 ：初期橢圓變形的量（ m ）

P_{cr} ：挫屈危險土壓

$$= 1.5 \times \frac{2EI}{R^3} = \frac{3EI}{R^3} \quad (\text{kN/m}^2)$$

E 與 I ：剛襯板與補強環片的合成彎曲硬度

E ：楊氏（彈性）係數（ kN/m^2 ）

I ：截面二維力矩（面積慣性矩）（ m^4 ）

但有效斷面積及有效截面積二維力矩可配合集水孔與螺栓孔等減少。

此外，初期橢圓變形的量即使非崩塌性地盤或擠壓性地盤，因施工都會超挖，因此，鋼襯板集水井初期橢圓變形量（ U_0 ）預估值為鋼襯板波高（圖 4-15 的 a）1/2 乘以安全係數 1.5。此外，補強環片周邊應加挖到局部可安裝螺栓的程度（圖 4-15 的 b）。

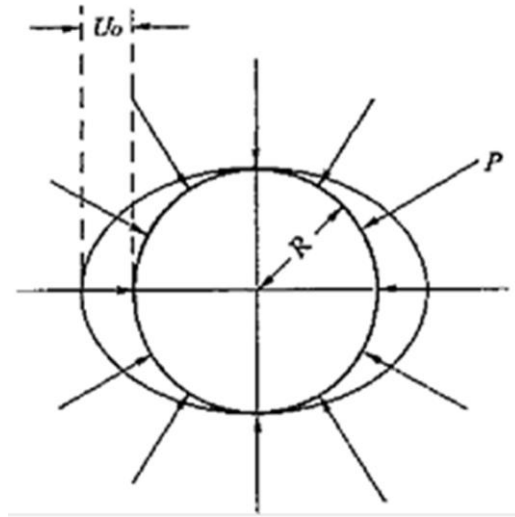


圖 4-14 橢圓變形量的說明

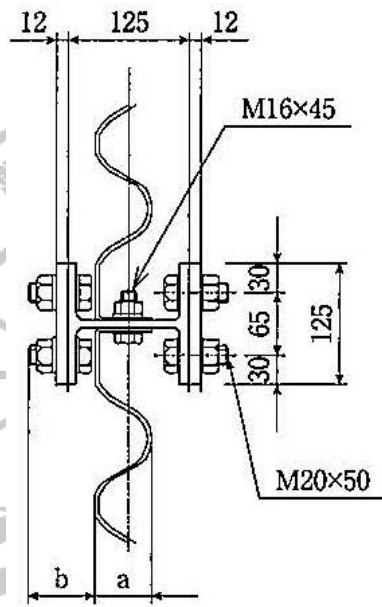


圖 4-15 集水井加挖 (overbreak) 說明圖

(2) 容許壓縮應力度

最大壓縮應力為 M_{max} 時所產生最大壓縮應力加上壓縮應力 $P \cdot R$ ，可以下式算出。

$$\sigma_{max} = \frac{PR}{A} + \frac{M_{max}}{Z} \leq \sigma_a \quad <4-3-23>$$

在此， σ_{max} ：最大壓縮應力度 (kN/m^2)

P ：土壓= $p_{max} \times 1.0$ (kN/m)

R ：集水井的半徑 (m)

A ：集水井的斷面積 (m^2)

Z ：集水井的斷面係數 (m^3)

σ_a ：容許壓縮應力度（kN/m²）

此外，使用補強環片時，補強環片與鋼襯板的容許應力度不同，須個別進行應力計算。

(3) 板厚之決定

鋼襯板板厚配合集水井的容許壓縮應力度，（ σ_a ）以及對應橢圓變形量（ U_0 ）的鋼襯板（使用補強環片時包含補強環片）的容許外壓（ P_a ），須符合 $p \leq P_a$ 。

p 可由下式算出。

$$p^2 - \left\{ \left(1 + \frac{A}{Z} U_0 \right) P_{Cr} + \sigma_a \frac{A}{R} \right\} p + \sigma_a \frac{A}{R} P_{Cr} = 0 \quad <4-3-24>$$

此外，搭配使用鋼襯板與補強環片時，其合成斷面之載重分配，軸力（N）以截面積比，彎矩（M）以截面積慣性矩比分配之，計算方法如下。

① 軸力（N）的分配比率

鋼襯板
$$\alpha_L = \frac{A_L}{A_L + A_H/l} \quad <4-3-25>$$

補強環片
$$\alpha_H = \frac{A_H/l}{A_L + A_H/l} \quad <4-3-26>$$

在此， α_L ：相對於軸力（N）的鋼襯板分配率

α_H ：相對於軸力（N）的補強環片分配率

A_L ：鋼襯板的斷面積（m²）

A_H ：補強環片的斷面積（m²）

l ：補強環片的間距（m）

② 相對於彎矩（M）的分配率

鋼襯板
$$\beta_L = \frac{I_L}{I_L + I_H/l} \quad <4-3-27>$$

補強環片
$$\beta_H = \frac{I_H/l}{I_L + I_H/l} \quad <4-3-28>$$

在此， β_L ：相對於軸力（N）的鋼襯板分配率

β_H ：相對於軸力（N）的補強環片分配率

I_L ：鋼襯板的斷面積（m²）

I_H ：補強環片的斷面積（m²）

③ 鋼襯板與補強環片的應力強度

鋼襯板
$$\sigma_L = \frac{\alpha_L \cdot N}{A_L} + \frac{\beta_L \cdot M}{Z_L} \leq \sigma_{La} \quad <4-3-29>$$

$$\text{補強環片} \quad \sigma_H = \left(\frac{\alpha_H \cdot N}{A_H} + \frac{\beta_H \cdot M}{Z_H} \right) \cdot l \leq \sigma_{Ha} \quad <4-3-30>$$

在此， σ_L ：鋼襯板的應力度

σ_H ：補強環片的應力度

Z_L ：鋼襯板的斷面係數

Z_H ：補強環片的斷面係數

式<4-3-29，4-3-30>的 M 代入式<4-3-22>的 M_{max} ，同樣的分別代入式<4-3-23>的 σ_{max} ，得到 $A'_L = A_L/\alpha_L$ ， $A'_H = A_H/\alpha_H$ ， $Z'_L = Z_L/\beta_L$ ，
在 $Z'_H = Z_H/\beta_H$ 情況下， p 整理如下。

$$p^2 - \left[\left(1 + \frac{A'_L}{Z'_L} U_0 \right) P_{Cr} + \sigma_{La} \frac{A'_L}{R} \right] p + \sigma_{La} \frac{A'_L}{R} P_{Cr} = 0 \quad <4-3-31>$$

$$p^2 - \left[\left(1 + \frac{A'_H}{Z'_H} U_0 \right) P_{Cr} + \sigma_{Ha} \frac{A'_H}{R} \right] p + \sigma_{Ha} \frac{A'_H}{R} P_{Cr} = 0 \quad <4-3-32>$$

鋼襯板與補強環片分別以公式<4-3-31，4-3-32>算出其容許外壓，並以鋼襯板與補強環片的容許外壓之中較小的一方為容許外壓。

- 3 基礎部靜水槽設計乃是為不讓完成集水的地下水再度滲透，因此會以水密性混凝土等施工，一般深度約 1.5 公尺。

3-7-8 鑽掘集水管工

鑽掘集水管工的位置、支數、方向及長度，應以能有效收集對地滑產生作用的地下水來決定。

〔說明〕

鑽掘集水管工係由集水井內進行鑽探孔收集對地滑造成作用的地下水，然後加以排除。

設計相關事項準用 3-6「鑽掘集水管工程」。

3-7-9 鑽掘排水工

鑽掘排水工應設在能自然流下的坡降之中最短長度的方向。

〔說明〕

鑽掘排水工須排除滙集於集水井內的地下水，因此應鑽掘穿孔並插入套管，設排水孔。

- 1 鑽掘排水工應具備能讓地下水自然流下的俯角。
- 2 套管管徑一般使用 100 公釐，集水量較大時可加大管徑，或設置二支以上，以集水量最大時靜水槽也不溢水為準。
- 3 鑽掘排水工之設計應避免橫切過滑動面，並以套管不因地滑活動而被扭斷為準。

4 鑽掘排水工的排水末端排水口應設在地滑滑動塊體外，或以地表面排水工安全地將水排到地滑滑動塊體外。此外，若橫向鑽掘排水工長度太長、無法以一支鑽掘排水管直接貫穿到排水預定地點，可評估設排水中繼井。

[參考]

1 鑽掘排水工一般採取 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 的坡降為多。

2 鑽掘排水工的長度於第三紀層地滑地常見的均質軟岩邊坡多為 70~80 公尺，破碎帶地滑地類複雜邊坡多為 50~60 公尺為多。

3 集水井工以自然排水為原則，但若須進行緊急對策，也可用水中幫浦強制排水。

4 排水管徑可以下式算出。

(1) 赫茲-威廉方程式

$$Q = 0.84935 \cdot A \cdot C \cdot R^{0.63} \cdot I^{0.54} \quad <4-3-33>$$

在此，Q：排水管內流量 (m^3/s)

A：排水管的斷面積 (m^2)

C：流速係數 (=100)

R：徑深 ($D/4$)

D：管徑 (m)

I：水力坡降

(2) 曼寧公式

$$Q = \frac{1}{n} A \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad <4-3-34>$$

在此，Q：排水管內流量 (m^3/s)

A：排水管的斷面積 (m^2)

n：曼寧粗糙係數 (=0.012)

R：徑深 ($D/4$)

D：管徑 (m)

I：水力坡降

(3) 井筒出口的流量可用下式算出。

$$Q = \frac{1}{\sqrt{1+f_e+\lambda(L/D)}} A \sqrt{2gH} \quad <4-3-35>$$

$$\lambda = 124.5n^2/D^{1/3} \quad <4-3-36>$$

在此，g：重力加速度 (m^2/s)

H：井筒水位以及到出口中心為止的高程 (m)

f_e ：流入損失係數 (=0.5)

λ ：損失摩擦係數

L：管長 (m)

式<4-3-35>之中的 L 遠小於 D 時，可以忽視之，

$$Q = 0.82A\sqrt{2gH}$$

另外，若 L 遠大於 D ，達到 $L/D > 1000$ ，則管內磨擦損失變大，可使用式<4-3-34>。

3-7-10 效果的計算

集水井工效果計算應納入集水井配置與集水井座數。

〔說明〕

集水井工排水效果發揮範圍視地下水文狀況而定，依集水井設置位置與座數排水之效果不同，水位不會一樣降低。排水效果計算須將集水井工施作位置、座數、影響範圍內的水壓降低效果、多集水井相互影響的效果等因素納入考量。

集水井工要充分發揮集水效果，最好能鑽掘到地滑滑動面下方，成為完全井。若集水井工無法挖到滑動面，只能當作不完全井而推估其集水效果。

只用主斷面二維安定分析檢討排水效果提升的安全係數時，得適切評估距離主斷面較遠的集水井效果，須將橫斷方向平均水壓降低狀況納入考量，進行安定分析。

〔參考〕

鑽掘集水管工的效果

地滑地地下水層是地層與裂隙交錯的複雜構造，若要更確實發揮集水效果，最好搭配使用井筒與鑽掘集水管工。

集水井工效果之計算、驗證集水井與鑽掘集水管工配置之查證時，以水井公式等計算集水井本身效果，推估地下水位降低的平面分布。因此計算集水井本身的抽水量 Q 與降雨時所供給的地下水量作為可能的集水量，以集水暗管公式決定鑽掘集水管支數，為習慣用的方法。

其他方法還有以有限元素法等進行滲透流分析的做法。

3-8 排水廊道工

3-8-1 目的

排水廊道工的目的是排除大規模地滑或集水井工無法排除的地下水。

〔說明〕

排水廊道工與集水井工相同，都用來排除地滑誘因之地下水。

排水廊道工應檢討地下水排除效果、經濟性、施工性、所需工期、施工上及維護管理上的安全性等，並和其他地下水排除工做比較而決定是否採用。一般如下狀況採用之。

- 1 能比鑽掘集水管工程或集水井工更有效排除地下水時
- 2 集水井工的鑽掘排水工無法正常排水時
- 3 地滑移動速度大且集水井工施工困難、有被破壞之虞乃至於有安全問題狀況時

4 地滑規模太大，且工程規劃須與集水井工或深井排水工等對策工程連結、施作立體地下水排除工時

3-8-2 位置

排水廊道工的位置應綜合檢討地下水排除效率及安全性，決定之。

〔說明〕

規劃排水廊道工應依據影響地滑地的地下水分布及滑動面、基岩面形狀、斷層與破碎帶所在地點等現地調查結果充分評估，並選擇安全且經濟，能有效排除地下水的施工位置。充分考量上述因素後選擇廊道路徑，以及適切的坑口位置。

3-8-3 剖面

排水廊道工應考量施工性、安全性、鑽掘方式等決定其斷面。

〔說明〕

1 廊道應考量相關法令規定、施工性、經濟性、工期與維護管理等，決定其斷面。內部斷面大小通常為2公尺～3公尺左右。

排水廊道工應設在穩定基盤岩層，斷面一般不大，標準斷面是上半部半圓之馬蹄形，採全斷面工法。

2 為了集水鑽掘的鑽掘工作室，必須確保鑽掘集水管工程作業之空間設置之，其構造應考慮鑽掘工程的施工性與安全性以決定之。

與鑽掘室連接的廊道構造上較脆弱，這部分的設計與施工應特別謹慎。

3-8-4 斜率

排水廊道應綜合考量施工性與排水的效率性，選擇適當的坡降。

〔說明〕

排水廊道縱斷坡降之規劃，須能讓所收集地下水自然流下，且確保施工安全性與效率。

排水廊道工屬小斷面，常以軌道搬運。軌道搬運若坡度大於2%，工程車輛出軌危險性高，須特別安全對策。

3-8-5 支堡工、襯砌工

廊道施工應施作可確保安全性的支堡工，廊道內部實施襯砌工程。

支堡工應採用符合山地條件與荷重條件的方式。

〔說明〕

支堡工與襯砌工是達成開挖廊道安定目的所施作的構造物。規劃設計應綜合考量地形與地質、山地的力學條件、覆土厚度大小、有無湧水、與地滑面的關係、施工方法等，施作合理的支撐保護工與襯砌工程。其材料可使用噴凝土、岩錨、鋼材等。

〔參考〕

前進地質鑽掘調查

廊道開挖前為確認廊道計畫軸線上的地質狀況，必要時應先進行前進地質鑽掘調查。

前進地質鑽掘調查可提早確認地表調查難以發現的地質局部變化或異常出水等，有助於廊道鑽掘安全。

3-8-6 構造

排水廊道工的構造應足以確保安全性與施工性，且須在能達成排水機能的條件下，配合現地狀況選擇適當做法。

〔說明〕

- 1 排水廊道工開挖時若預估可能有異常出水或噴出氣體等危險性，或者廊道可能得延長或擴大時，應設置避難坑或由地面穿孔的換氣孔等安全措施。
- 2 所收集的地下水會往廊道底部流動，為避免流動的水再度滲入地中，廊道底部與兩側側壁應為具水密性之構造，通常得打設混凝土襯板。
- 3 兩側側壁水密構造部分，其高度應依預期流水的深度決定。若整個廊道都規劃作為排水路，流速可能降低、土砂輸送困難，此時應檢討施作排水路。但若地盤條件不佳且廊道底盤開挖水路側壓太大可能導致廊道被壓壞，設計時應謹慎為之。

3-8-7 坑口部

坑口部應選安全的邊坡施作，若難以施工時，應擬定可確保邊坡及廊道安全的對策。

〔說明〕

- 1 坑口部覆土較薄，側向土壓或施工面崩塌危險性提高，應注意選擇適當位置，謹慎設計。
- 2 坑門的形式選定以及施工都會影響坡面安定，須謹慎為之。
此外，廊道內部空間須維持中空，以利於維護管理。坑門須加鎖，不可讓外人進入。

3-8-8 鑽掘集水管工

鑽掘集水管工應考量集水效果及施工性以決定其構造、配列、排水管數目與仰角。

〔說明〕

- 1 排水廊道工施作鑽掘集水管工，收集更多可能影響滑動面的地下水。廊道內設置鑽掘集水管之間距及構造，準用3-6「鑽掘暗渠工」方法。

- 2 為有效率地收集地下水之鑽掘集水管工，可貫穿滑動面，往上貫入必要的長度。
- 3 若地下水量太大，只靠朝上的鑽掘集水管無法降低地下水位時，可檢討施作集水井工集水，並以中繼鑽掘集水管將水排入廊道之中。

此外，直接從地面垂直鑽掘直到廊道的鑽孔集水方法也有。

〔參考〕

鑽掘集水管工貫入滑動面上部之長度，可考慮地下水帶分布狀況，以能有效率集水為目標決定之，但貫入過長會不經濟。滑動面呈波浪起伏形狀時，實際貫入長度可能與設計產生落差，因此，鑽進過程中應隨時檢查，決定個別集水管的最終鑽進長度。

鑽進滑動體長度以有壓地下水帶為例，大概 2 公尺為適當。自由地下水層則約 5 公尺左右。

3-8-9 效果的計算

排水廊道工的效果計算，應配合鑽掘集水管工之位置及集水管數目決定之。

〔說明〕

排水廊道工排水是廊道內所布設鑽掘集水管集水效果發揮所致。決定鑽掘集水管布設位置與集水管數目時，應考量影響範圍內水壓降低效果及各集水管相互效果。

〔參考〕

廊道內集水管布設規劃及排水效果之計算，因鑽掘集水管仰角較大，可假定集水管設置位置為貫穿地下水層的縱孔，則可適用水井公式。利用水井公式時的計算方法準用集水井工。水井公式適用地滑地之情形，無法取得充分計算精度之情形也有，因此由排水廊道工程及鑽掘集水管之配置計畫，在規劃階段檢討地下水位在何種分布情況下降低其水位之工作甚為重要。

其他也有以有限元素法(FEM)等進行滲流（力）分析之方法。

3-9 挖方工

3-9-1 目的

挖方工的目的在於排除地滑斜面頭部土體，減輕地滑滑動力。

〔說明〕

挖方工在排除地滑斜面頭部之土體，具有明顯抑制地滑效果，被認為屬半永久持續效果的抑制工。併用其他工程種類與工法，調整各種工程種類與工法的承载力，也被期待為更有效率的對策。又，挖方工也被視為阻止當前地滑移動的應急工程為多。

挖方工可大範圍改變自然坡面，除了須配合周邊景觀與自然環境之外，也應檢討使用在施工地防止侵蝕或達成森林復原的工程種類與工法。

3-9-2 位置

挖方工應選在能有效減緩地滑滑動力的地點施作。

〔說明〕

地滑穩定性容易受地滑頭部附近土體重量影響。挖方位置應規劃在地滑頭部附近施作，設定能有效減緩地滑滑動力的範圍。

挖方位置不當或滑動面形狀特殊時，可能對地滑減緩效果不彰，因此位置選擇需充分檢討。此外，使用二維安定分析時，距主斷面較遠位置挖方工的效果可能無法適當的評估之，因此挖方規劃應注意左右平衡。

3-9-3 挖方區域及挖方深度

挖方區及挖方深度應發揮減緩地滑滑動力最大效果，且避免挖方區上方坡面受挖方影響引致地滑。

〔說明〕

挖方工程係依掌握滑動面位置之安定計算所建構，因此掌握滑動面正確位置、反覆進行安定計算，以決定最低成本達到目標安全係數的開挖範圍及開挖深度。

若多處地滑滑動塊體相互關聯或地滑地上方斜面分布有潛在地滑地，挖方可能誘發其他地滑發生，須特別注意。

3-9-4 挖方之坡面形狀

挖方後的開挖坡面應避免既長又大之單一人工坡面，且須能避免發生崩塌。

〔說明〕

- 1 挖方後的開挖坡面坡度不可太大，以避免發生崩塌。若開挖坡面太長，為防止雨水引致崩塌或出現紋溝、蝕溝等表面侵蝕，應於適當高度切割成小坡段。
- 2 開挖坡面的坡度及平台間距做法如下。
軟岩的情況 坡度 1:0.5~1:1.2，平台間 垂直高度約 7 公尺
土砂的情況 坡度 1:1.0~1:1.5，平台間 垂直高度約 5 公尺
此外，通常平台寬約 1.0~2.0 公尺。
- 3 挖方工實施後開挖坡面表土若出現膨潤等異常狀況，挖方工之外應考慮其他適當工程種類與工法之配合。
- 4 各小坡段必要時應施作排水路，做法準用 3-3「地表排水工」。

3-9-5 挖方坡面的保護

挖方後開挖坡面應規劃施作坡面綠化工，必要時應實施坡面基礎整地工程。

〔說明〕

挖方後開挖坡面容易因降雨等產生紋溝與蝕溝。因此，挖方工之後應規劃坡面綠化工。選擇工程種類與工法時應避免破壞景觀與周邊環境；裸露岩盤等地點必要時應施作鋪面工。

此外，可同時施作擋土工；若坡面形成集水地形或集水面積太大時，應規劃施作地表排水工，防止雨水滲透引致侵蝕與坡面崩塌。

坡面綠化工準用第2編第5章第4節「坡面綠化工」做法；坡面基礎整地工準用同第5章第3節「坡面基礎整地工」。

3-9-6 挖土方的處理

挖土方應在地滑區以外進行殘土處理，殘土應避免可能造成崩塌之原因，且須有避免殘土流失的措施。

〔說明〕

- 1 地滑區域大多具有潛在發生地滑的危險性，因此殘土處理場應設在地滑區域外。不得已須設在地滑區域內時，應避免殘土處理造成地滑。
- 2 地滑地土壤容易風化或軟化，經擾動抗剪強度會變小，不適合當作填方材料為多。因此殘土處理須特別檢討避免再度崩塌或流失之對策。
- 3 殘土處理之進行應利用殘土作為資源，仔細調查其土質條件等，儘量大量活用土壤資源。利用現有剩餘土石方處理場或配合其他事業之土方調度等作為填方材時，可依該剩餘土石方處理場或其他事業之現地處理方法處理之。
- 4 剩餘土石方處理場之規劃應依住宅用地開發及特定填方等規制法（1961年法律第191號）第13條及第31條所規定技術基準（含同法施行令及同法施行細則之相關條文）、同法施行令第20條所規定都道府縣等施行細則、填方規制法相關公告以及填方等防災手冊（2023年5月26日）進行。

3-10 坡趾填方工

3-10-1 目的

坡趾填方工的目的是進行地滑斜面末端有效填土、提高地滑抵抗力以謀求坡面安定。

〔說明〕

坡趾填方工係於地滑塊體之滑動面傾斜度較緩的地滑末端進行填方，以謀求地滑地整體的穩定與抗滑強度。坡趾填方工也可應用於活動中的小規模地滑，當作暫時穩定地滑的緊急對策工。大規模地滑的坡趾填方工因規模大，用地取得困難之情形為多。

此外，坡趾填方工應避免讓填方的截水效果抬升地下水位，或填方急速增加載重而使孔隙水壓突然上升等狀況。又，此等場合時可評估實施鑽掘暗渠工等，排除地下水。

3-10-2 位置

坡趾填方工應選在能有效增加地滑抵抗力的場所實施。

〔說明〕

一般地滑滑動面之坡度為頭部陡坡，趾部為緩坡或逆向坡。

坡趾填方工之位置在滑動面緩坡或形成逆向坡處效果最好，因此適合在末端施作。

3-10-3 填方區域及填方厚度

填方區及土方回填厚度除了須最有效增加地滑抗滑力之同時，規劃時也應避免填土位置之下方坡面因填土之影響而產生地滑。

〔說明〕

坡趾填方工多應用在類似初期地滑、較單純的地滑滑動塊體，若經數次地滑，塊體相互牽引，形成複雜機制之地滑地時，須注意土方回填可能降低下方土體安定度。

填方區位置及土方回填厚度之規劃，應掌握填方對滑動面及地滑可發揮抗滑力的正確位置，並反覆進行安定計算，以達成最有效果、最具經濟性的計畫安全係數。

3-10-4 填方基礎

填方基礎之規劃目的在於施作填方工，以避免地盤不安定化。

〔說明〕

- 1 填方工基礎之坡面通常和填方一樣做成台階式工作面。又，做成台階式工作面時，應特別注意避免開挖等誘發地滑。此外，若地滑滑動塊體趾部因擾動土質變鬆軟時，可能產生基底破壞等危險，因此應避免進行大規模坡趾填方工。
- 2 填方區及其上段有湧水或流水時，水流滲入填方區可能降低土壤強度甚至破壞填方，應施作暗渠工等，確實排除湧水。

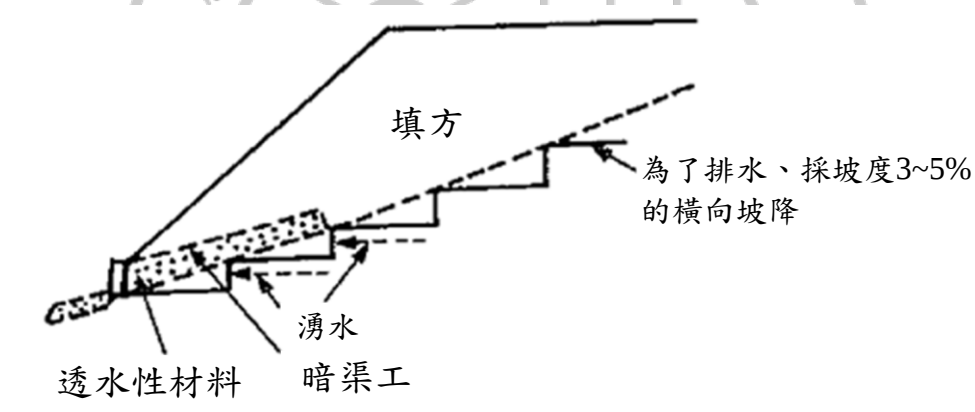


圖 4-16 填方基礎的排水處理案例

3-10-5 填方坡面的形狀

填方坡面坡度之規劃，應採用可避免崩塌的安全坡度，並避免形成大面積單一坡面。

〔說明〕

- 1 填方坡面坡度因填方材料與地盤狀況而不同，通常設定為 1:1.5~1:2.0，且填方鉛直高度每 5 公尺應設寬 1.0~2.0 公尺的平台。

- 2 大規模填方應進行安定分析，為讓填方工程的安全係數大於 1.5，應設適當的平台間距。
- 3 挖方工所挖取土壤有時不適當作填方材料，使用時應針對土質條件檢討其適用性。

3-10-6 填方坡面的保護

填方坡面除了坡面整地工程之外，也應規劃施作坡面綠化工。

〔說明〕

- 1 施作坡趾填方工的地滑斜面下方，為達成填方穩定，應規劃擋土工等坡面基礎工程。此時，坡趾填方工多選在坡腳（坡面尾端）為多，但必須是地滑滑動力不會直接作用的地點。
選擇工種與工法時，應注意構造物須有足夠排水性，且其高度須對應於填方高度。
- 2 填方區域的坡面應規劃防止侵蝕、穩定填方的坡面綠化工。
- 3 坡面整地工程準用第 2 編第 5 章第 3 節「坡面整地工程」，坡面綠化工則準用同第 5 章第 4 節「坡面綠化工」。

3-11 排氣工

3-11-1 目的

排氣工之目的在於有效果排除可能帶給地滑不良影響的火山氣體。

〔說明〕

活動中的火山地帶或溫泉地帶，有時會在火山氣體或熱水作用下產生岩石變質作用，形成可能變成地滑潛因的溫泉餘土與酸性白土。此外，火山氣體或熱水有時會成為地中孔隙壓上升引致地滑的誘因。排氣工是降低這類地滑地火山氣體壓力的工程種類與工法。

目前火山氣體壓力對地滑的影響機制及實況仍有許多不明之處，因此地滑安定分析，並未納入火山氣體壓力的項目。此外，排氣工排除火山氣體的過程中，也可能造成周邊地質新的變質與黏土化，甚至有排出有毒火山氣體之虞，因此實施時應慎重調查，規劃之。

3-11-2 位置

排氣工之位置，應選擇能有效率排除火山氣體對地滑可能造成不良影響的處所。

〔說明〕

排氣工應鎖定基岩層內的火山氣體流通路線設置。為此，須有充足的事前調查，掌握基岩層之地質構造及火山氣體實際分布狀況，選定適當位置。

3-11-3 構造

排氣工須採取能確實地讓基岩層內火山氣體排放到大氣的構造，同時應對火山氣體與熱水等物理化學具有耐久性，且能長期維持機能之特性。

〔說明〕

- 1 排氣工可抵達地滑地之地下深處，是排除火山氣體的工程種類與工法之一，也是最具實用性的鑽掘工法。
- 2 以鑽掘排氣孔將火山氣體排放到大氣，降低火山氣體壓力，施工時須避免排氣遭阻礙。除此之外排氣孔並無方向與角度的特別限制。
- 3 排氣工之管材須使用耐高溫與腐蝕材料，進行能有效收集火山氣體的開孔加工。設置時應注意避免讓所收集之火山氣體洩漏，確實導引到地面排放。
- 4 火山氣體為有毒氣體、高溫高壓、或噴出蒸氣等，因此具危險性，規劃、施工及維護管理時須特別注意。

3-12 治山壩等

3-12-1 目的

治山壩的目的在於防止地滑地末端溪流的縱向侵蝕與側向侵蝕，抑止、調節地滑地流出之土砂，並以防砂壩的堆砂發揮坡趾填方工程效果。

〔說明〕

流水造成溪流縱向與側向侵蝕之後，可能危及面向溪流的地滑滑動塊體穩定，誘發地滑移動。此時為防止地滑趾部侵蝕、維護地滑穩定，應設置治山壩等。

此外，地滑地下游地質穩定地點設置治山壩並於壩的背面堆砂，有時能抑止、調節流出土砂，發揮坡趾填方工效果。

又，若地滑地或地滑之後溪流河道阻塞（天然壩）土砂流出，為保全下游流域可設置治山壩。治山壩工程規劃應配合地滑規模與流出土砂量，可合併其他地滑防止工或水路（水流）切換工程等規劃之。

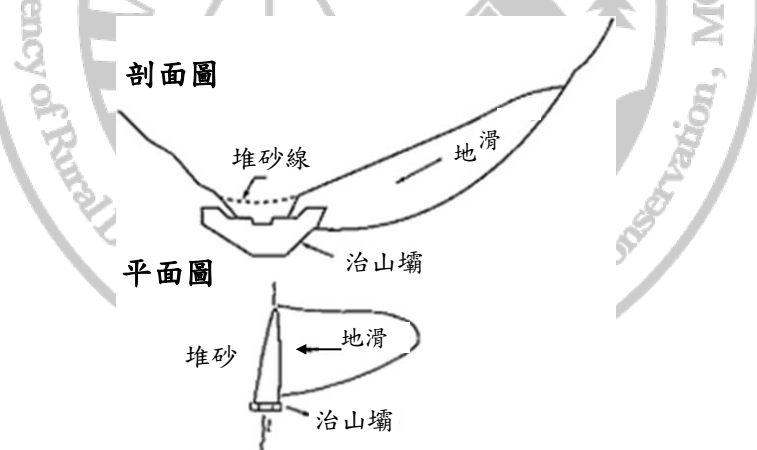


圖 4-17 治山壩的坡趾填方效果

3-12-2 位置

治山壩等的位置應選擇最能有效達成目的之地點。

〔說明〕

治山壩等的設置地點若主要目的是防止溪流縱向與橫向侵蝕，基本做法與「山地治山事業」的各工種與工法相同，但若規劃為地滑防止工，應避免選擇地滑正在移動的地點。此外，施工應避開經判斷坡面不穩定地點，不得已需在這種地點施工時，須仔細檢討對策。再者，基礎開挖等誘發或助長地滑發生之情形，應充分檢討避免之。

另外，若希望以堆砂強化坡趾填方效果，須注意坡趾填方具正面效果，但溪床上升也可能引致地滑滑動塊體孔隙水壓上升，應綜合二者利弊，選擇最佳地點施工。

3-12-3 種類別與構造

治山壩等的設計，應選擇最能有效達成目的的工程種類及構造。

〔說明〕

治山壩的工程種類、構造以及其他相關設計事項，基本上準用第2編第4章第3節「治山壩」規範，特別是地滑滑動塊體內或地滑潛勢區施作治山壩，最好採低挖方量且具可撓性的構造。

另外，治山壩施作時，構造物本身可能阻擋地滑滑動塊體的地下水流動或升高孔隙水壓，因此最好採用具透水性且構造物本身能促進排水的構造。

3-13 擋土工

3-13-1 目的

擋土工是挖方工與坡趾填方工的基礎工程之一，目的除了穩定地滑地、防止斜面下方侵蝕造成崩塌，且是地表排水工及暗渠工等工程之基礎；當基礎工方向改變時，也具有基礎的支承保護效果。

〔說明〕

擋土工屬抑制工，是挖方工與坡趾填方工的基礎工程之一，除了可穩定挖方坡面與坡趾填方工地之外，也可當作地表排水工與暗渠工的基礎，或基礎工改變方向時提供所需的支承功能。

3-13-2 位置

擋土工位置應選在最能達成施工目的的地點。

〔說明〕

擋土工設置位置基本上與第2編第5章第3節3-3「擋土工」相同，但為避免施工時誘發、助長地滑，選址時應注意以下事項。

- 1 作為挖方工的基礎工程選在邊坡邊界附近設置時
檢討挖方後的地形與地質條件，配合地盤的安全性選擇適當地點。
- 2 作為坡趾填方工基礎工程設置時
設置在挖方尾端附近時，注意地盤的安全性等，選定適當地點。
- 3 用來提供其他基礎工程支承保護時
應注意挖方與填方後的斜面坡度形狀，選定斜面坡度不太陡的地點施工。

3-1 3-3 類別與構造

擋土工設計時，應選擇最具效果的工程種類與構造。

〔說明〕

擋土工的工法、構造及其他設計相關事項，準用第2編第5章第3節3-3「擋土工」之規範，但地滑滑動塊體內或地滑潛勢區施作治山壩，最好採低挖方量且具可撓性的構造。

另外，治山壩施作時，構造物本身可能阻擋地滑滑動體的地下水流動或升高孔隙水壓，因此最好採用具透水性且構造物本身有促進排水的構造。

第4節 抑止工之設計

4-1 概說

抑止工的目的是在於利用結構物直接抑止地滑，防止地滑發生。

〔說明〕

抑止工係利用構造物的力學強度直接抵抗地滑滑動力，具即效性效果。此外，若要確保其經濟性及效果持續性，可檢討與抑制工合併設計。

4-2 排樁

4-2-1 目的

排樁工程的目的是在地滑斜面打入排樁，以抵抗地滑滑動力。

〔說明〕

排樁係以樁所具備之抵抗力抑制地滑滑動，讓地滑滑動力透過排樁傳導到地質穩定地盤或下游側地質移動層，藉此抑止地滑。

排樁規劃應充分檢討與其他抑止工的施工性與經濟性之比較。特別是施作大口徑基樁所需之運輸車與施工機械較大，須注意現場的運輸條件與施工條件。

4-2-2 位置

排樁之位置應評估地盤的性狀、排樁谷側移動層之狀態、施工方便性、保全對象等，選定最適切的位置。

〔說明〕

1 地盤的狀態

排樁之位置應避開可能造成流動現象的軟弱地盤，小崩塌或裂縫出現時，也可能影響排樁的機能，須仔細檢討移動特性等，判斷排樁工程是否採用。

2 排樁谷側移動層的狀態

期望採用排樁谷側移動層之地盤反力的設計公式時，在地滑不穩定化的時間點，應檢討排樁谷側之移動層能發揮地盤反力的施工位置。

3 排樁山側移動土層的狀態

在排樁山側之移動層不會受被動土壓破壞產生新地滑的地點設置排樁。

4 保全對象

打樁位置旁若有構造物，應加以控制樁頭變位、避免樁頭之變位影響構造物穩定。

5 施工性

施工應避開挖土機等施工機械與資機材難以搬入、搬出的地點，並注意施工方便性。

6 與其他抑止工併用

避免同時施作抑止機制不同的其他地滑抑止工，若不得已得併用時，應注意各抑止工的容許變形量，最好規劃在土壤壓縮部位讓移動特性幾乎相同。

4-2-3 排樁的型式

排樁工程的型式應配合施工位置的移動特性及滑動面深度、樁的機能，選擇最適當者。

〔說明〕

地滑抑止樁型式有一般的補強樁、楔形樁、剪力樁、抗滑樁以及適合較淺滑動面等狀況的半剛性樁。這些不同型式的樁適合的施工位置條件都不相同，應配合型式特徵選擇最適當者。

此外，剪力樁理論並無可用來驗證撓曲變形與力矩分布的方法，也無法在設計中反映鋼材的截面彎曲剛度，使用時須特別注意。

使用有限元素法等泛用的方法時，針對剪力樁強度參數與滑動面相關條件之給予，應有明確的根據。

〔參考〕

1 主樁型式

主樁型式特徵如下。

(1) 樁之谷側移動層能發揮有效阻力的排樁

① 補強樁：樁可視為彈性樓板上的樑，地滑的一部分推力傳遞到樁插入的地盤，剩餘推力則委給谷側移動層的阻力加以阻擋。

② 楔形樁：樁與移動層一體移動，以滑動面上下撓曲變形所產生的阻力來抵抗地滑滑動力的樁。

③ 剪力樁：只能增加滑動面抗剪力的樁。

(2) 無法發揮樁之谷底移動層有效阻力之樁的型式

抗滑樁：樁本身當作懸臂樑使用時。

(3) 滑動面淺的樁之型式

半剛體樁：樁為半剛體，在移動層內當作剛體樁使用，在基岩層內則當作彈性樁使用。

2 必要抑止力之計算

必要抑止力可用施工前的安全係數 F_0 與基樁工程所達成的安全係數 F ，以下列方法算出。

(1) 邊坡安定分析公式採用費倫紐斯法 (Fellenius) 及修正費倫紐斯法時，

$$P_u = (F - F_0) \sum T$$

$$P_{mu} = \left\{ \frac{(F - F_0)}{F} \sum T \right\} \quad <4-4-1>$$

在此， P_u ：地滑單位寬度所需的抑止力 (kN/m)

.....楔形樁、抗滑樁、補強樁（剪力檢定）、剪力樁打設時應用

P_{mu} ：地滑單位寬度所需的抑止力 (kN/m)

.....補強樁（力矩檢定，撓度檢定）打設時應用

$\sum T$ ：邊坡安定分析公式分母項的總和 (kN/m)

(2) 邊坡安定分析公式採用畢休普 (Bishop) 法及揚布 (Janbu) 法時

$$P_u = \frac{F \sum T - f_0 \sum S}{f_0}$$

$$P_{mu} = \frac{F \sum T - f_0 \sum S}{F} \quad <4-4-2>$$

在此， $\sum S$ ：邊坡安定分析公式分子項（對應排樁工程所達成的安全係數）

f_0 ：修正係數、畢休普法時，設定 $f_0=1$

3 水平支承力與垂直支承力之計算

樁的撓度分析在計算作用在樁的水平力所產生樁的變形量。由必要抑止力算出水平方向分力，作為樁的水平支承力。必要抑止力的鉛直分量（鉛直支承力）可視為作用在基樁上的軸力，樁之應力度檢定時須納入考量。水平支承力及垂直支承力以下列方法算出。

(1) 邊坡安定分析公式採用費倫紐斯法、修正費倫紐斯法、畢休普法時

$$H_u = P_u \cdot \cos \theta$$

$$H_{mu} = P_{mu} \cdot \cos \theta \quad <4-4-3>$$

$$V_u = P_u \cdot \sin \theta$$

$$V_{mu} = P_{mu} \cdot \sin \theta \quad <4-4-4>$$

在此， H_u ：水平支承力 (kN/m)

.....楔形樁、抗滑樁、補強樁（完成剪力檢定）、剪力樁打設時應用

H_{mu} ：水平支承力 (kN/m)

.....補強樁（完成力矩檢定與撓度檢定）打設時應用

V_u ：鉛直支承力 (kN/m)

.....楔形樁、抗滑樁打設時利用

V_{mu} ：鉛直支承力 (kN/m)

.....補強樁打設時利用

θ ：樁施工位置的滑動面傾角

(2) 邊坡安定分析公式使用揚布法時

$$H_u = P_u$$

$$H_{mu} = P_{mu}$$

<4-4-5>

$$V_u = 0$$

$$V_{mu} = 0$$

<4-4-6>

4 半剛性樁的設計理論

半剛性樁（剛彈性樁）在滑動面較淺之地滑或陡坡滑動情況下，移動層土質強度小於樁之強度，移動層部分的樁會產生剛性樁的行為。此外，樁貫入基岩層的部分因土質強度較大，樁可能會產生彈性樁的行為。因此，以樁的回轉中心為準，往上設定為剛性樁，往下設定為張有齡公式（Y.L.Chang公式）之高韌性樁的行為。

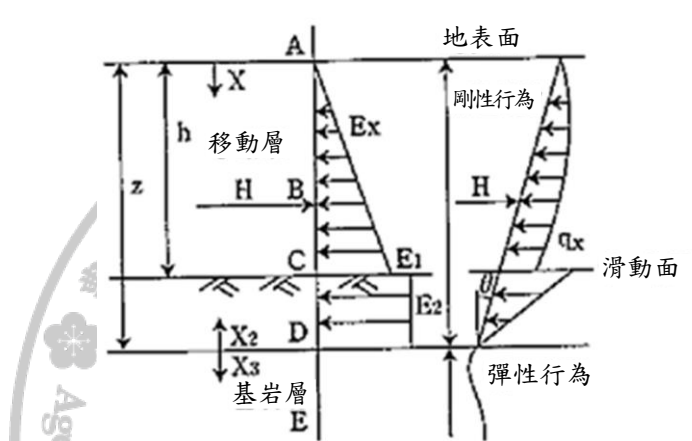


圖 4-18 半剛性樁的說明圖
(摘自) 地滑工學-最新的課題-(股)山海堂 1995.3

(1) 樁之回轉中心距地表深度 z 之決定

$h_1 = \beta_2 h$ 從表 4-1 之中讀取 $z_1 (= \beta_2 z)$ ，以下式算出 z 。

$$z = \frac{z_1}{\beta_2} \quad <4-4-7>$$

$$\beta_1 = \sqrt[4]{\frac{k_{h1}d}{4EI}}, \quad \beta_2 = \sqrt[4]{\frac{k_{h2}d}{4EI}} \quad <4-4-8>$$

$$n = \frac{\beta_1}{\beta_2} = \sqrt{\frac{k_{h1}}{k_{h2}}} \quad <4-4-9>$$

在此， h ：打樁地點的滑動面深度

k_{h1} 、 k_{h2} ：移動層與基岩層的水平地盤反力係數

β_1 、 β_2 ：移動層與基岩層的 β 值 (m^{-1})
 d 、 $E I$ ：樁的外徑(m)與彎曲剛性 ($\text{kN} \cdot \text{m}^2$)

表 4-1 z_1-h_1 函數表

h_1	n					
	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
0.5	2.455	2.455	2.454	2.454	2.454	2.453
1.0	2.847	2.841	2.838	2.835	2.833	2.832
2.0	3.757	3.722	3.696	3.678	3.666	3.658
3.0	4.820	4.729	4.659	4.607	4.572	4.550
4.0	5.987	5.828	5.700	5.601	5.532	5.487
5.0	7.217	6.989	6.796	6.643	6.530	6.455
6.0	8.486	8.188	7.930	7.719	7.558	7.447
7.0	9.779	9.412	9.089	8.819	8.607	8.457
8.0	11.086	10.652	10.267	9.937	9.673	9.480
9.0	12.404	11.905	11.457	11.069	10.752	10.515
10.0	13.729	13.165	12.655	12.210	11.841	11.559
11.0	15.058	14.431	13.861	13.359	12.937	12.610
12.0	16.392	15.701	15.071	14.513	14.040	13.667
13.0	17.728	16.975	16.286	15.672	15.148	14.730
14.0	19.067	18.251	17.503	16.835	16.260	15.796
15.0	20.407	19.529	18.723	18.000	17.375	16.866

註) $h_1 = \beta_2 h$ 、 $z_1 = \beta_2 z$

(摘自) 地滑工學-最新的課題-(股)山海堂 1995.3

[z_1 的方程式]

$$z_1^3 - 2h_1 z_1^2 - (3 - h_1^2)z_1 - \left(\frac{1}{6}n^4 h_1^3 - 2h_1 + 3\right) = 0 \quad <4-4-10>$$

(2) 旋轉角 θ 之計算

$$\theta = \frac{H}{2\beta_2^2 EI \left\{ n^4 h_1 \left(z_1 - \frac{2}{3}h_1 \right) + (z_1 - h_1)^2 - 1 \right\}} \quad <4-4-11>$$

在此， H ：作用在最內一行之樁上每縱深 1 公尺的地滑水平推力 (kN/m)

(3) 樁頭撓曲變形量 Δ_0 之計算

$$\Delta_0 = z \cdot \theta \text{ (mm)} \quad <4-4-12>$$

(4) 最大彎矩 $M_{\max}$ 、最大剪力 $S_{\max}$ 之計算

① 最大彎矩 $M_{\max}$

最大彎矩發生的位置可能是地滑推力產生作用的位置 (B 點)，或基岩內彎矩達到最大位置 (x_p : C~D 區間) 之二者之一。

B 點的彎矩

$$M_B = \frac{4E_1 \theta h^2}{81} \left[z - \frac{h}{3} \right] \quad <4-4-13>$$

C~D 區間的彎矩

$$M_{x_p} = -H \left[x_p - \frac{2h}{3} \right] + \frac{E_1 \theta h}{12} \{ 6zx_p - 4(z + x_p)h + 3h^2 \} \quad <4-4-14>$$

$$x_p = z - \sqrt{z^2 - \frac{2H}{E_2 \theta} + \frac{E_1 h(3z-2h)}{3E_2} - h(2z-h)}$$

最大彎矩

$$M_{max} = \max(|M_B|, |M_{x_p}|) \quad <4-4-16>$$

② 最大剪力 S_{max}

最大剪力發生位置在地滑推力產生作用的位置（B 點），其值為 S_{B-} 、 S_{B+} 之中較大者。

在此， $B-$ 與 $B+$ 分別代表 B 點上方、B 點下方。

B- 點的剪力

$$S_{B-} = \frac{2E_1 \theta h}{27} \left(3z - \frac{4}{3}h \right) \quad <4-4-17>$$

B+ 點的剪力

$$S_{B+} = -H + \frac{2E_1 \theta h}{27} \left(3z - \frac{4}{3}h \right) \quad <4-4-18>$$

最大剪力

$$S_{max} = \max(|S_{B-}|, |S_{B+}|) \quad <4-4-19>$$

4-2-4 樁材種類別

樁材的材質應滿足設計強度，配合地滑規模及周邊狀況選定之。

〔說明〕

樁材材質須能不因彎曲特性或彎曲強度而產生異方性，具適切品質管理且滿足所需強度條件，最能滿足此等條件的是鋼管。水平負擔力較小時，可選用 PC 樁或 RC 樁等。此外，緊急對策也可打入木樁或 H 型鋼樁。

鋼管一般使用拉伸強度 400N/mm² 或 490N/mm² 的鋼材，但需進行更大抑止力的大規模地滑對策，或需使用能產生更大彎曲應力的抗滑樁時，也可採用 570N/mm² 級等高張力鋼。

〔參考〕

1 高張力鋼

鋼材的彎曲剛性（EI）對一般鋼管或高張力鋼相同，但高張力鋼是能容許較大變形的鋼材。地滑抗滑樁乃是以樁變形產生止滑效果的被動樁，難以預測地滑滑動後滑動體變形程度，因此，實施地滑對策時，希望讓抗滑樁以較小變形發揮預期止滑效果。通常使用 490N/mm² 級以下鋼材，若需使用高張力鋼，應事先仔細評估樁的變形特性與變形量。

2 H型鋼樁或合成樁

H型鋼樁或合成樁因強度或彎曲特性之異方性，與地滑推估移動方向斜交時可能無法產生預期的性能，或者H型鋼與鋼管一體之變形難以驗證，加上鋼管製造技術不斷提升，大口徑、厚鋼管、高拉力鋼等鋼管之選項多，因此H型鋼樁或合成樁漸不受青睞。

3 適合用於排樁工程的鋼管 JIS 規格

表 4-2 地滑抑止用鋼管的 JIS 規格

規格編號	名稱	規格符號與材質
JIS A 5525	鋼管樁	SKK400 (SKK41) SKK490 (SKK50)
JIS G 3444	一般結構用的碳鋼管 (只限無接縫鋼管及外徑小於 318.5mm的熔接鋼管)	STK400 (STK41) STK490 (STK50) STK540 (STK55)
JIS G 5201	熔接結構用之離心力鑄鋼管	SCW490-CF (SCW50-CF) SCW520-CF (SCW53-CF) SCW570-CF (SCW57-CF)

4 鋼管的揚氏係數（彈性模數）及容許應力度

鋼管的揚氏係數 $E=2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

表 4-3 鋼材的容許應力度

鋼材規格	板厚 t (mm)	長期容許應力度 (N/mm ²)		短期容許應力度 (N/mm ²) (長期×1.5)	
		剪力	彎曲	剪力	彎曲
SKK400 及同級品	t ≤ 40	78	137	117	205
	t > 40	73	127	109	190
SKK490 及同級品	t ≤ 40	108	186	162	279
	t > 40	98	171	147	256
SCW490-CF 及同級品	t ≤ 40	108	186	162	279
	t > 40	108	186	162	279
SCW570-CF 及同級品	t ≤ 40	147	254	—	—
	t ≤ 75	142	245	—	—
	t > 75	137	240	—	—

(SCW570-CF 無短期之應用。)

5 長期強度與短期強度

通常抑止工設計時使用容許應力度法。鋼材的容許應力度有長期與短期值之分，應依據抑止工所產生的抑止力是長期性還是短期性，選定所需的容許應力度。長久對策所進行的抑止工，例如錨錠工乃是提供常態預（拉）力的抑止工，需具備長期容許應力度。排樁工程與深基樁工承受地滑應力可能產生變形而發揮抑止效果，通常無法恢復原狀，因此採長期容許應力度為對象。

另一方面，若抑止工承受載重時間不長，可採用具短期容許應力度的樁。例如，排樁工程與深基樁工若能藉由其他地滑防止工確保充足的安全係數，也可在地滑不穩定化機率較小地點，採用短期容許應力度。

4-2-5 基樁的構造、間距與配置

- 1 排樁構造應考量施工位置的滑動面深度與移動層狀況、地表土地利用等，決定之。
- 2 排樁間距與排列應檢討樁的穩定度、滑動面深度與施工性，決定之。

〔說明〕

1 樁頭的埋設深度

樁頭埋設應適當處理，避免樁之維護管理困難。一般而言，埋樁深度約 1 公尺左右。

2 樁材的厚度

樁材採用鋼管時，最好是單一厚度樁。

3 樁的排列

樁的排列大致上與地滑移動方向成直角，等間隔單列打設。若不得已需分段打樁，應仔細考量樁施工位置是否有地滑移動層位移問題。

4 樁的間距

樁的間距 D，須確保樁穩定性，並能避免拔樁產生，決定之。

〔參考〕

1 樁間距之決定

樁間距 D 依以下三種公式，採所算定值之中的最小值。

$$D_s = \frac{\tau_a A}{\alpha_0 S_{max}} = \frac{S_a}{S_{max}} \quad <4-4-20>$$

A

$$D_m = \frac{\sigma_a - \frac{Nf_1}{A}}{\frac{Nf_2}{A} + \frac{M_{max}}{Z}} = \frac{Ma}{M_{max}} \quad <4-4-21>$$

$$D_y = \frac{\Delta_a}{y_{max}} \quad <4-4-22>$$

在此， D_s ：剪力所需的樁間距 (m)

.....以抗滑樁、補強樁、剪力樁算出

D_m ：力矩所需的樁間距 (m)

.....以楔形樁、抗滑樁、補強樁算出

D_y ：撓曲度相關的樁間距(幾公尺以內)

.....以補強樁計算

S_a 、 M_a ：容許剪應力(kN)與容許彎矩(kN·m)

τ_a 、 σ_a ：剪力與力矩相關的樁材容許應力(kN/m²)

Δ_a ：樁的容許變形量(m)

A 、 Z ：樁的斷面積(m²)、斷面係數(m³)

S_{max} ：最大剪力(kN/m)

M_{max} ：最大彎矩(kN·m/m)

y_{max} ：最大變形量(m)

$$\alpha_0 = \frac{2(3d^2 - 6d \cdot t + 4t^2)}{3(d^2 - 2d \cdot t + 2t^2)} \quad <4-4-23>$$

(d 、 t ：樁的外徑與厚度(m)，通常為 $\alpha_0 \div 2.0$)

N_{f1} ：一根樁作用的軸力(kN)

(樁頭的荷載重量，最大彎矩深度的樁載重)

N_{f2} ：單位寬的軸力(kN/m)

(鉛直承载力、樁頭錨錠力等)

此外，樁之間隔須能避免拔樁決定之，施工位置之移動層厚而訂出的標準樁間隔基準值，如表 4-4 所示。又，其他如設定樁直徑 8 倍以內的樁間距標準。

表 4-4 標準樁間隔

移動層厚度 (m)	樁標準間隔 (m)
~10	小於 2.0
10~20	小於 3.0
大於 20	小於 4.0

(摘自)地滑鋼管樁設計要領(社團法人)地滑對策技術協會 2003.6

2 樁材的厚度變化

樁材太巨大時為降低成本，可減少樁頭或樁下緣的厚度，但須充分檢討設計時所推估的滑動面位置可靠度，以及能否於滑動面以外有張力裂縫與壓縮裂隙之存在、厚度變化位置之集中應力等。

3 交錯排列

樁材交錯排列時，作用在上游側與下游側的樁，載重很難保持均一，容易造成上游側的樁破裂或折斷，因此應儘量避免採用這項做法。又，設計演算時即使打樁鑽掘孔壁間小於 1 公尺，也不可因此輕易採取交錯排列，而應選擇具更高抗拉強度的樁材，且最好以單列方式確保適切的樁間距。

4-2-6 安定性檢討

排樁工程除了須讓樁所產生內部應力安定，也必須能安定樁周邊地盤。

〔說明〕

樁的安定性須配合樁之設計方式，針對所採用間距 D 進行剪應力檢定、彎矩檢定、變形量檢定、地盤的降伏（強韌度）以及破壞檢討、樁埋入不動層之深度、樁之谷側移動層的地盤反力及樁之山側移動層的被動土壓破壞，進行必要的檢討。

〔參考〕

1 應力強度之檢討

作用在樁上的剪應力及彎矩相關的應力強度，以及容許變形量可以下式求取之。

(1) 抗剪強度……抗滑樁、補強樁、抗剪樁

$$\tau_{max} = \alpha_0 \frac{D \cdot S_{max}}{A} \leq \tau_a \quad <4-4-24>$$

在此， τ_{max} ：樁所產生最大抗剪強度 (kN/m^2)

S_{max} ：單位寬的力所產生最大剪力 (kN/m)

D ：樁間距 (m)

τ_a ：容許抗剪強度 (kN/m^2)

$$\alpha_0 = \frac{2(3d^2 - 6d \cdot t + 4t^2)}{3(d^2 - 2d \cdot t + 2t^2)} \quad <4-4-25>$$

(d 、 t ：基樁外徑與厚度 (m)，一般為 $\alpha_0 \doteq 2.0$)

(2) 抗彎強度……楔形樁、抗滑樁、補強樁

$$\sigma = \frac{N_{f1} + D \cdot N_{f2}}{A} \pm \frac{D \cdot M_{max}}{Z} \leq \sigma_a \quad <4-4-26>$$

在此， σ ：樁所產生的抗彎強度 (kN/m^2)

N_{f1} ：作用在單根樁的軸力 (kN)

(樁頭荷載能力，最大彎矩深度的樁載重)

N_{f2} ：單位寬的力所產生的垂直力 (kN/m)

(鉛直承载力、樁頭錨錠力等)

A ：樁材的斷面積 (m^2)

Z ：鋼材的斷面係數 (m^3)

M_{max} ：單位寬的力所產生的最大彎矩 ($\text{kN} \cdot \text{m/m}$)

D ：樁的間距 (m)

σ_a ：容許抗彎強度 (kN/m^2)

(3) 容許變形量……補強樁

由單位寬水平承载力所算出的最大變形量 y_{max} 與樁間距 D 算出每根樁變形量 Y_{max} ，驗證其是否在容許值內。根據補強樁理論，容許變形量設定為 2 公分。

$$Y_{\max} = D \cdot y_{\max} \leq Y_a$$

<4-4-27>

在此， Y_a ：容許變形量

2 地盤的降伏（強韌度）與破壞之檢討………所有的樁

作用在樁上的被動土壓 Q (kN) 可以下式算出。

計算被動土壓除了彈性區之外，也須考量塑性區，若作用在樁上的被動土壓 Q_{p1} 、 Q_{p2} 大於外力（ H 、每根樁的水平承載力），則地盤為安全。

(1) 移動層

1

$$Q_{p1} = 3d \left(\frac{1}{2} \gamma_1 h_1^2 K_{p1} + 2c_1 h_1 \sqrt{K_{p1}} \right) \cdot \frac{1}{f_s} \quad <4-4-28>$$

(2) 不動層

1

$$Q_{p2} = 3d \left\{ \left(\frac{1}{2} \gamma_2 h_2^2 + \gamma_1 h_1 h_2 \right) K_{p2} + 2c_2 h_2 \sqrt{K_{p2}} \right\} \cdot \frac{1}{f_s} \quad <4-4-29>$$

在此， γ ：土壤單位體積重量(kN/m³)

d ：樁的直徑 (m)

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

安全係數 $f_s = 2$

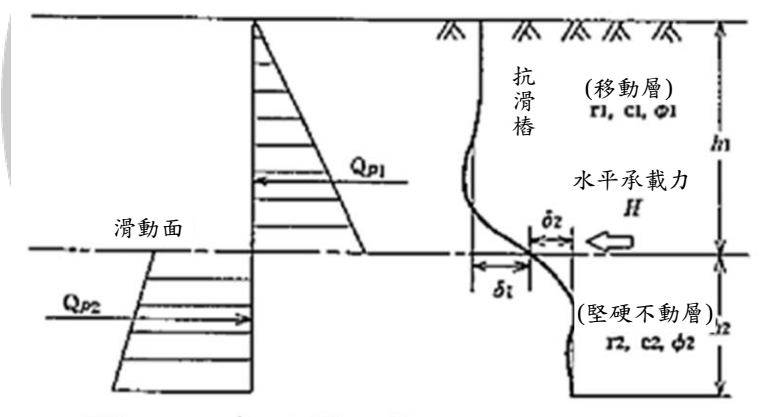


圖 4-19 作用在抗滑樁的被動土壓

(摘自) 地滑鋼管樁設計要領 (社)地滑對策技術協會 2003.6

3 堅硬不動層入土長度的檢討………所有的基樁

韌性樁的設計公式係以樁插入長度為半無限長作前提。各設計公式的計算方法如下。

(1) 楔形樁

$$l_r = (1.0 \sim 1.5) \times \left(\tan^{-1} \frac{\beta_1 - \beta_2}{\beta_1 + \beta_2} + \pi \right) / \beta_2 \quad <4-4-30>$$

(彎距第 1 個 0 點的 1.0~1.5 倍)

在此， l_r ：樁的插入長度 (m)

β_1 ：樁的特性參數（移動層）（ m^{-1} ）

β_2 ：樁的特性參數（堅實地層）（ m^{-1} ）

(2) 補強樁、半剛性樁

$$l_r = 2.5 \lambda_y / \beta_1 \quad <4-4-31>$$

（彎距第 1 個 0 點的 2.5 倍 λ_y ：彎距第 1 個 0 點深度係數）

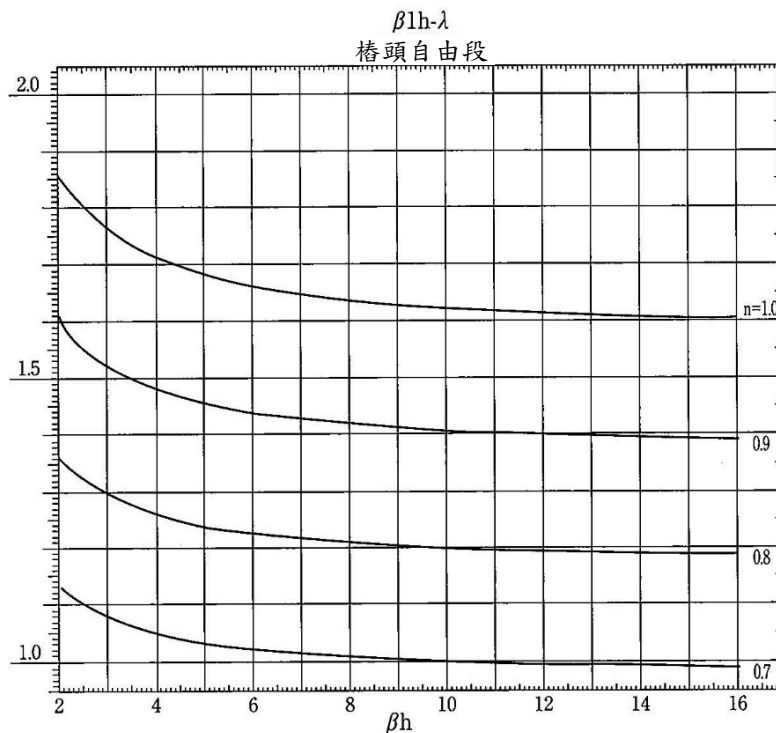


圖 4-20 由 βh 算出 λ 的圖
（摘自）地滑鋼管樁設計要領(社)地滑對策技術協會 2003.6

(3) 剪力樁、抗滑樁

$$l_r = (1.0 \sim 1.5) \pi / \beta \quad <4-4-32>$$

但也須考量鄰近滑動面的堅硬不動地盤局部攪亂狀況，最少須確保樁插入長度大於 3 公尺。

4 樁谷側移動層狀態之檢討

希望發揮樁谷側移動層地盤反力所採用的設計公式時，須檢討地滑不安定化的時點，樁谷側移動層能否充分產生地盤反力。這部分檢討的方法因樁設計公式而異，以補強樁理論應進行 F_d 檢定；以楔形樁理論或抗滑樁理論則檢討樁谷側移動層的有效阻力。

(1) F_d 檢定……補強樁

F_d 檢定應以下列方法檢討樁谷側移動層的狀態。

樁谷側移動層單獨的安全係數 F_d ，如下式所示。

$$F_d = \frac{\sum^d S}{\sum^d T + r'_s \cos \alpha} \quad <4-4-33>$$

在此， F_d ：樁谷側移動層單獨的地滑安全係數

$\sum^d S$ ：樁谷側移動層單獨的穩定分析公式分子項總和

$\sum^d T$ ：樁谷側移動層單獨的穩定分析公式分母項總和

r'_s ：樁谷側移動層的容許最大水平力 (kN/m)

α ：樁施工位置的滑動面傾角 (°)

(使用揚布穩定分析公式時， $\cos \alpha = 1$)

因此， F_d 與整體目標安全係數 F_p 相等時， r'_s 的值如下式所示。

$$r'_s = \frac{\sum^d S - F_d \sum^d T}{F_d} \cdot \sec \alpha \quad <4-4-34>$$

在此， $\sum^d S$ ：樁谷側移動層單獨的安定分析公式分子項總和 (F_p 對應值)

對透過樁傳遞到下游地盤反力的合力 R_s 要滿足下式之關係。

$$r'_s \geq R_s$$

$$R_s = H_{mu} \cdot \rho$$

在此， H_{mu} ：變形分析所使用的水平支承（承載）力 (kN/m)

ρ ：地盤反力之合力係數

(2) 有效阻力的檢討……楔形樁，剪力樁，抗滑樁

設計公式採在楔形樁、剪力樁或抗滑樁時，進行有效阻力之檢討。

樁谷側移動層的有效阻力 R_u 以下式算出。

$$R_s = \sum^d S - \sum^d T \quad <4-4-36>$$

在此， $\sum^d S$ ：樁谷側移動層單獨的安定分析公式分子項總和 ($F=1.0$ 處理)

$\sum^d T$ ：樁谷側移動層單獨的安定分析公式分母項總和

和排樁每單位寬的水平支承力 Hu 做比較，可算出有效阻力高低，如下：

① $R_u \geq Hu$ 時，具備充足的有效阻力，可選用楔形樁、剪力樁。

② $Hu > R_u \geq 0.7Hu$ 時，有效阻力稍不足。

可使用楔型樁，但須進行移動層地盤反力補正。

③ $Ru < 0.7Hu$ 時，有效阻力不足。可使用抗滑樁。

- 5 樁山側移動層被動土壓破壞的檢討……所有的基樁
應檢討樁山側移動層是否因為被動土壓破壞而產生新的地滑。
通常假想滑動面的安全係數 F_{AXY} 須大於目標安全係數。

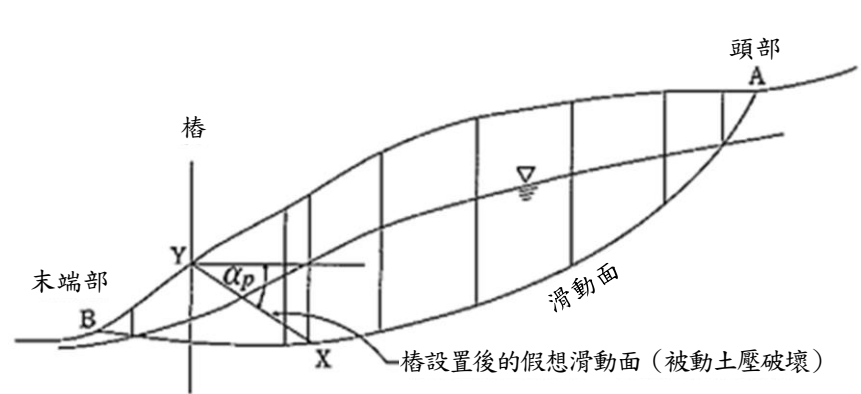


圖 4-21 樁山側移動層被動土壓破壞檢討圖

(摘自) 地滑鋼管樁設計要領 (社) 地滑對策技術協會 2003.6

$$\alpha_p = 45^\circ - \phi_1 / 2$$

$$F_{AXY} = \frac{\sum \{(N_{AX} - U_{AX}) \tan \phi + C \cdot L_{AX}\}}{\sum T_{AX} + \sum T_{XY}} + \frac{\sum \{(N_{XY} - U_{XY}) \tan \phi_1 + C_1 \cdot L_{XY}\}}{\sum T_{AX} + \sum T_{XY}} \quad <4-4-37>$$

在此， α_p ：水平面與 XY 面所形成的角度 (°)

F_{AXY} ：假想滑動面 AXY 的安全係數

$\sum$ ：滑動體各切片的總和

N_{AX} ：滑動面 AX 上作用在各切片滑動面的正向力 (單位寬) (kN/m)

N_{XY} ：假想滑動面 XY 上作用在各切片滑動面上的正向力 (單位寬) (kN/m)

U_{AX} ：滑動面 AX 上作用在各切片滑動面孔隙水壓所形成的力 (單位寬) (kN/m)

U_{XY} ：假想滑動面 XY 上作用在各切片滑動面上孔隙水壓所形成的力 (單位寬) (kN/m)

T_{AX} ：滑動面 AX 上作用在各切片滑動面的切向力 (單位寬) (kN/m)

T_{XY} ：假想滑動面 XY 上作用在各切片滑動面上的切向力 (kN/m)

L_{AX} ：滑動面 AX 上各切片的滑動面長度 (m)

L_{XY} ：假想滑動面 XY 上各切片的滑動面長度 (m)

ϕ ：滑動面 AX 的內部摩擦角 (°)

- ϕ_1 ：假想滑動面 XY 的內部摩擦角 ($^\circ$)
 c ：滑動面 AX 的黏著力 (kN/m^2)
 c_1 ：假想滑動面 AX 的黏著力 (kN/m^2)

4-2-7 樁內部及外周的處理

樁內部及樁與孔壁的縫隙，為防止樁材腐蝕或發揮抑止效果，應適切加以處理。

〔說明〕

- 1 樁設計時未考慮到樁材（鋼管）腐蝕可能降低斷面性能的問題，因此鋼管內填充砂漿或混凝土，以防止腐蝕。
- 2 孔壁與樁之間若有空隙，在抗滑效果發揮前之地滑變位量可能已經變大之同時，樁的變形對地盤反力未能充分發揮作用的疑慮也可能存在。此外，考慮地下水之滲入會降低抗滑樁機能，因此樁外周須全部充填水泥（灰）漿。

4-3 深基樁工

4-3-1 目的

深基樁工的目的是在地滑斜面打設大口徑基樁，以阻抗地滑的滑動力。

〔說明〕

深基樁工常用於

- 1 地滑規模較大、須較大抗滑力時
 - 2 受地理限制、無法搬入樁材或施工機械時
 - 3 集水井工排除地下水之後加做深基樁工，兼作集水井工時
- 等情況下的大口徑樁工。

深基樁工所需經費較大，只適合應用在有重要保全對象、無法施作其他低成本抑制工與抑止工且須阻抗相當大地滑推力時施設之。

4-3-2 位置

深基樁工的施工位置應檢討地盤的性狀、樁谷側移動層狀態、施工性及保全對象等，選定最適切的位置。

〔說明〕

深基樁工最適施作位置的選定方法，基本上與排樁工相同。地滑移動土體會受移動特性影響，形成壓縮區與張裂區，張裂區的樁谷側地盤反力通常無法十分期待。

樁谷側地表面傾斜或施工位置周邊的地層裂縫與小崩塌狀況等，也可能影響樁的機能。施工位置決定時，應充分檢討施工位置的地盤狀態、樁谷側移動層狀態、樁山側移動層狀態以及保全對象與施工性等。

詳細檢討內容準用樁工。

4-3-3 深基樁工的設計公式

深基樁工的設計公式應考量施工位置的移動特性或滑動面深度、基樁的機能，選擇最適合者。

〔說明〕

深基樁工的設計方法大致分為剛性樁與柔性樁，通常以下式判定。

$\beta l \leq 2$ ……剛性樁

$\beta l > 2$ ……柔性樁

在此，

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h d}{4EI}} \quad <4-4-38>$$

β ：樁的特性值 (m^{-1})

k_h ：移動層的水平地盤反力係數 (kN/m^3)

d ：深基樁工的外徑 (m)

EI ：深基樁工的撓曲（彎曲）剛性（模數） $(kN \cdot m^2)$

（彈性係數 E 可使用混凝土的彈性係數，或使用鋼材與混凝土斷面積比率所合成的值）

l ：施工位置的滑動面深度 (m)

〔參考〕

剛性樁設計時，通常可由力與彎矩的平衡點算出其地中的旋轉中心，但樁谷側移動層的地盤反力是否足夠，不同移動層的地盤反力也不一樣，操作時須注意。樁谷側移動層地盤反力的判斷方法準用排樁工，樁本體的設計方法則準用沉箱。

柔性樁的設計方法準用樁工，應依施工位置的狀態及移動特性，選定補強樁、楔型樁與抗滑樁等的設計公式。

1 水平外力

深基樁的直徑 $2b$ 大於變形樁，且軀體重量很大不能忽略，旋轉造成底面所伴隨產生的剪力與地盤反力大小必須注意。底面的地盤反力分布如圖 4-22 所示，有二種情況，情況(1) 為梯形分布，基樁軀體不會往上浮起；情況(2) 出現浮起狀況，操作方法各自不同。

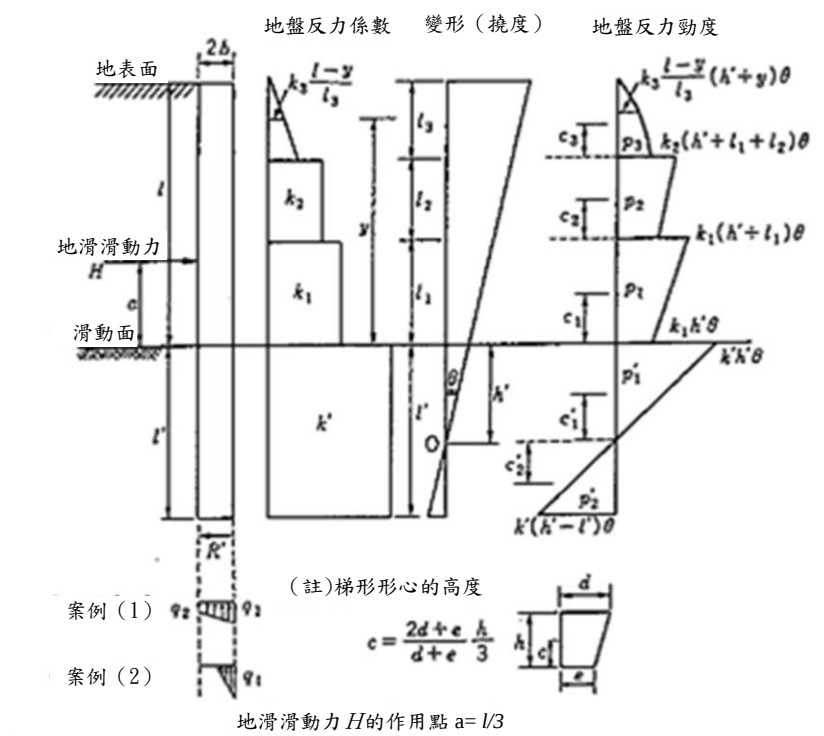


圖 4-22 深基樁工變形之平衡條件
(摘自) 地滑工學-理論與實踐-(股) 山海堂 1989.3

因此，深基樁應考慮的水平外力，有旋轉點上方的地滑滑動力 H 、旋轉伴隨產生的水平方向地盤反力 p 的合力 P 、旋轉點下方 p' 的合力 P' 以及底面的剪力 R' ，計 4 個項目。這裡的未知數有旋轉點 O 的深度 h' 與旋轉角 θ 兩個項目，點 O 的部分則取水平方向力的平衡條件以及彎矩平衡條件的二個公式，連立解開即可。以下為了方便將 kh 標示為 k 。

接著，如圖 4-22 所示，滑動面下方的地盤反力係數設定為 k' ，應該是從滑動面高度 $a = l/3$ 的地方作用的地滑合力。滑動面下方 $h'(h \geq 0)$ 的深度有旋轉點 O ，只有角 θ 之旋轉，則地盤反力度的分布如圖所示。又，最上層的地表面上 $k_3 = 0$ ，底面層 k_3 的三角形分布與變形的高度 y 方面， $(h' + y)\theta$ 得到直線，而地盤反力度的合力為 p_3 ；點 O 周邊的彎矩為 m_3 ，則分別從 $(l - l_3)$ 到 l 進行積分。

$$p_3 = \frac{1}{6} k_3 l_3 \theta (3h' + 3l - 2l_3) \quad <4-4-39>$$

$$m_3 = \frac{1}{12} k_3 l_3 \theta (6l_2 + (6h' - 8l_3)l + (3l_3 - 4h')l_3) \quad <4-4-40>$$

p_1 與 p_2 為梯形分布， p'_1 與 p'_2 為三角形分布，各自的合力及重心高度 c 可算出。

$$H - P - P' - R' = 0 \quad <4-4-41>$$

在此， $P = 2b(p'_1 + p_1 + p_2 + p_3)$ 、 $P' = 2bp_2$

$$R' = k_s(h' - l')\theta \cdot A$$

A：樁底面積(圖 4-22 的案例(2)時，其公式為 4-4-46 之 A') (m²)

k's：水平方向的剪力彈性模數= λk_v (kN/m³) ($\therefore \lambda=1/3 \sim 1/4$)

k_v ：鉛直方向的地盤反力係數 (kN/m³)

此外，地盤反力係數 k_s 與 k_v 方面， k_0 為相當於以直徑 30cm 鋼體圓盤進行平板載重試驗所取得數值的地盤反力係數，若使用標準貫入試驗 N 值，則地盤反力係數 k ，可以下式算出。

$$k = 12.8k_0 \cdot B^{-3/4} \quad <4-4-42>$$

在此，B：荷重寬度 = 2b (m)

$$k_0 = \alpha \cdot E_0 / 30, \alpha = 1 \quad E_0 = 28N$$

不過，水平方向的反力係數因須分擔側面部分，預估會增加 20%。

2 與彎矩的平衡

$$H(\alpha + h') - 2b\{p'_1 \cdot c'_1 + p_1(h' + c_1) + p_2(h' + l_1 + c_2) + m_3 + p_3h'\} - 2b \cdot p'_2 \cdot c'_2 - R'(l' - h') - M'_B = 0 \quad <4-4-43>$$

在此， M_B 為與底面地盤反力度有關的彎矩，如此一來，地盤反力度 q_1 、 q_2 可以下式表示。
梯形分布：

$$M'_B = \frac{4}{3} b^4 \cdot k_v \cdot \alpha_0 \cdot \theta \quad (\alpha_0 = 0.589) \quad <4-4-44>$$

$$q_1, q_2 = \frac{W(l+U)-U}{A} \pm k_v \cdot b \cdot \theta \quad <4-4-45>$$

在此，W：深基樁單位長的重量 (kN/m)
U：作用在基樁的浮力 (kN)

三角形分布： $M'_B = K_v \cdot b^4 \cdot V_2 \cdot \theta$
 $q_1 = k_v \cdot b \cdot \theta$

在此， v ：由底面形狀決定的常數

$$v_2 = \frac{2}{3} \sin^3 \beta \cos \beta + \frac{1}{4} (\pi - \beta) + \frac{1}{16} \sin 4\beta \quad <4-4-46>$$

$$\text{此外，} A' = b^2 (\pi - \beta + \sin \beta \cos \beta) \quad <4-4-47>$$

由公式 <4-4-41>、<4-4-43> 及 <4-4-44> ~ <4-4-47> 算出 θ 與 h' ，然後進行系列檢定，算出各該應力。

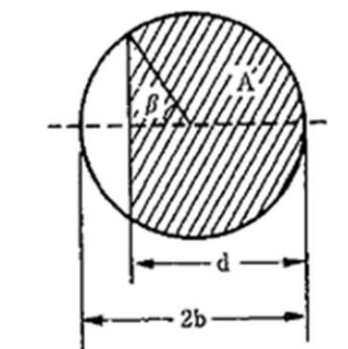


圖 4-23 β 與 A' 的說明圖
(出處) 地滑工學-理論與實踐-(股)山海堂 1989.3

4-3-4 深基樁工的規格

深基樁工所使用的鋼材及混凝土應滿足設計強度，且依據作用在其上的外力大小選定之。

〔說明〕

深基樁工的鋼材通常選用異形鋼筋。使用 H 型鋼或鋼管時，須特別確保與混凝土的一體性，對容許黏裹應力強度降低有所因應。

混凝土的容許應力度須考量現場打設的施工性，決定其設計基準強度。

4-3-5 深基樁工的構造、配置及間隔

1 深基樁工基本上採用圓柱或圓筒狀的鋼筋混凝土構造。

2 深基樁工的配置應考量安定性與施工性，決定其間隔。

〔說明〕

1 構造

深基樁工採用圓柱狀鋼筋混凝土構造。若希望發揮集水井工的機能時，可採用中空鋼筋混凝土圓筒。

鋼筋配置採用單列圓形排列，最多三列，並視必要的鋼筋量進行配筋。

2 配列

深基樁工最好採單列配置，讓全部樁平均承擔地滑推力。若採交錯配置，上游側之深基樁容易斷裂，因而不採交錯配置。

配列時，應與地滑移動方向大致呈直角，且等間隔設置。

3 間隔

深基樁工之間隔應考量樁周土壤是否流失而破壞安定性，以及基礎的安定性或施工性，以決定適當的間距。中心間距以直徑的 2.5 倍～8 倍為準，且須配合移動層的地質或滑動面深度等，決定之。

深基樁工設置段數以每個地滑滑動塊體為一段。不得已需多段設置時，應充分考慮深基樁施工位置的地滑移動層位移狀況而設置之。

4-3-6 安定性之檢討

深基樁工除了須達成深開挖工程所產生內部應力之安定外，也須檢討深開挖工程周邊地盤是否安定。

〔說明〕

- 1 深基樁工安定性之檢討，主要是掌握作用在每根深基樁上的最大剪力與最大彎矩。雖然樁頭的軸力 N 通常不考慮，必要抗滑力的鉛直分量 V_{mu} 則考慮作為作用的軸力。
打設箍筋以增強基樁剪耐力之情形時，主鋼筋的剪耐力（抗剪強度）或黏著耐力（應力強度）之計算應計入箍筋的強化效果。
- 2 鋼筋在不動層的插入長度及周邊地盤被動土壓破壞之檢討，準用第4節4-2-6「穩定性之檢討」。
- 3 確認深開挖工程底面能取得充分的地盤支承力。

4-3-7 深基樁工外周之處理

深基樁工與孔壁之空隙應妥善處理，以發揮基樁之抑止效果。

〔說明〕

深基樁工設置須與地盤密接，為充分發揮抑止效果，應於外周充填沙漿或混凝土，讓基樁密接地盤。此外，施兼作集水井工時，也須同樣處理。

孔壁支撐工程使用鋼襯板之場合，因為使用開口型鋼襯板，深基樁工內部之混凝土充填及外周充填變得可能。

4-4 錨錠工

4-4-1 目的

錨錠工（地錨工）的目的是連結地滑移動土體與基盤，以阻抗地滑滑動力。

〔說明〕

錨錠工應於地滑基盤內設置地錨錨錠段，並以抗張材連結設在地表受壓區的錨頭，藉此阻抗地滑滑動力。

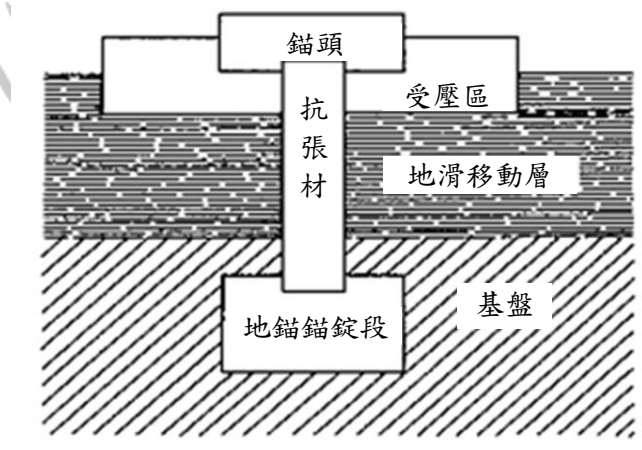


圖 4-24 錨錠工的基本構造

〔參考〕

錨錠工的基準

錨錠工的詳細作法準用地盤工學會「地錨之設計與施工基準」，同解說（JGS4101-2012）」。

4-4-2 位置及打設角度、配列

錨錠工的位置、打設角度及配列，應選擇最能有效阻抗地滑滑動力的方式。

〔說明〕

- 1 錨錠工應考量安全性、經濟性與施工性，選擇適切的位置、打設角度與配列。
- 2 錨錠工效果會受錨錠岩盤的良否左右，因此，錨錠工位置之決定時，應充分檢討如何錨錠在可承受設計載重的岩盤。
- 3 錨錠工無施工段數目之限制，但應讓錨錠整體發揮地滑抵抗力，避免應力集中某部分。配置方向須與地滑斜面橫切，亦即與地滑移動方向大致成直角等間隔設置。
地滑滑動力較大時，各地錨所需的地錨抗拉強度提高，此時需綜合考量錨錠承載層地盤及受壓板的支承地盤強度，決定所需打設的數目。
- 4 錨錠工機能如下圖所示，主要有二種。地滑時，滑動面的坡降緩且滑動面較深的情況為多，此時多有期待更大的抗滑效果。又，應評估錨錠初期希望發揮的張（拉）力，以決定之。

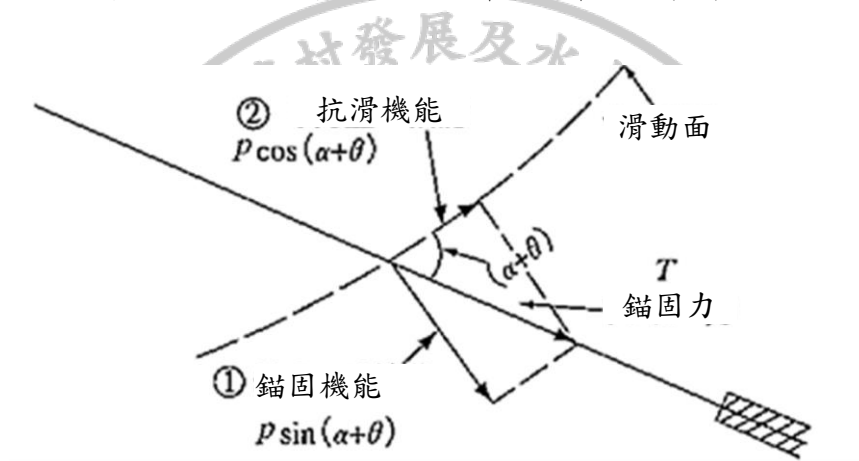


圖 4-25 錨錠工的二種機能

（摘自）道路地工、挖方工及邊坡穩定工法指南(2009 年版)(社)日本道路協會 2009.6

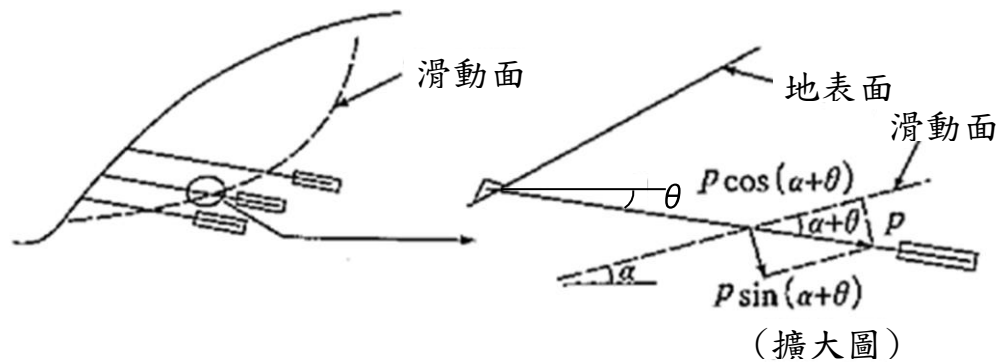


圖 4-26 希望發揮較大抗滑機能之情況（滑動面坡度和緩之情況）

（摘自）道路地工、挖方工及邊坡穩定工法指南(2009 年版)(社)日本道路協會 2009.6

〔參考〕

1 錨錠工配置注意要點

(1) 整體安定的確保

岩錨間隔及長度應考量錨固構造物周邊地盤等的整體安定性。

(2) 鄰近構造物的影響

地錨配置應考量對鄰近構造物（地上構造物與埋設物、排樁等）的影響，然後作決定。

2 地錨打設方向

以下狀況應仔細檢討、評估地錨的打設方向。

(1) 地滑移動方向與地錨打設方向不同時

- 是否需進行地錨抗滑力補正。
- 地錨插入長度變長者，抗張材規格可能會提高。

(2) 受壓板與錨錠方向並未直交時

- 受壓板上會產生側向土壓。
- 受壓板上會產生橫向拉力。
- 錨頭須裝設角度調整器。

此時，對應方法可針對邊坡施工區域分段施工，或樁頭裝設角度調整器。

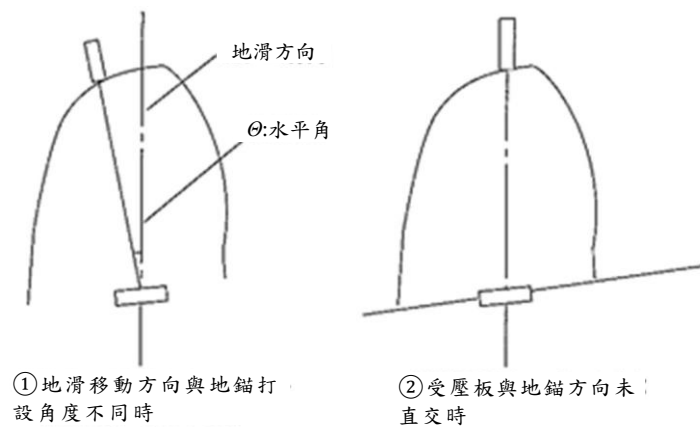


圖 4-27 地錨打設方向

3 所需錨固力之計算

錨錠工所需錨固力的計算方法如下。此外，若希望錨錠工在崩塌高危險斜面發揮高緊固效果，可參照第2編第5章第3節3-8「地錨工」的作法。

(1) 一般地滑地所需錨固力的計算公式

抑止地滑只需強化「抗滑機能」，每單位寬 (m) 地滑所需的錨固力 (P)，可以下列安定分析公式算出。

① 採用費倫紐斯 (Fellenius) 公式時

$$P = [(F - F_0) / F] \cdot \sec(\alpha + \theta) \cdot \Sigma T \quad <4-4-48>$$

在此， F ：計畫安全係數

$$F = \Sigma S / (\Sigma T - R)$$

R ：地錨所產生抗滑力 (kN/m)

$$R = P \cdot \cos(\alpha + \theta)$$

α ：與地錨交點的滑動面坡度 (°)

θ ：地錨傾角 (°)

$$F_0$$
：初期安全係數 $F_0 = \Sigma S / \Sigma T$

$$\Sigma T = \Sigma W \cdot \sin \alpha$$

ΣS = 安定分析公式右邊的分子項

② 採用揚布 (Janbu) 公式時

$$P = \{ [F(\Sigma T + Q) - f_0 \Sigma S] / F \} \cdot \sec(\alpha + \theta) \cos \alpha \quad <4-4-49>$$

在此， $F = f_0 \Sigma S / (\Sigma T + Q - R)$

$$R = P \cdot \cos(\alpha + \theta) / \cos \alpha$$

$$F_0 = f_0 \Sigma S / (\Sigma T + Q)$$

$$\Sigma T = \Sigma W \cdot \tan \alpha$$

ΣS = 安定分析公式右邊的分子項

Q ：地滑冠部龜裂充滿水所形成水平水壓等外力 (kN/m)

f_0 ：修正係數 $= (50 d/L)^{1/33.6}$

但， $d/L \leq 0.02$ 時， $f_0 = 1$

L ：連結地滑趾部與頭部裂縫深處的直線長度 (m)

d ： L 與 L 平行，且和銜接滑動面直線之間的距離 (m)

③ 畢修普 (Bishop) 公式的計算公式

$$P = (F \Sigma T - \Sigma S) / F \cos(\alpha + \theta) \quad <4-4-50>$$

但使用畢修普公式或揚布公式時，安定分析公式的兩邊包含目標安全係數，所求得的 P 分別帶入公式後，確認這個 P 可達成目標安全係數 F 。

(2) 移動層較薄、陡坡崩塌型地滑的計算公式

斜面陡峭且較淺的地滑，考量「抗滑機能」與「鎖緊機能」二者的效果，錨固力 (P) 可以下列安定分析公式算出。

① 費倫紐斯公式的計算公式

$$P = \Sigma T(F - F_0) / [F \cdot \cos(\alpha + \theta) + \sin(\alpha + \theta) \tan \varphi] \quad <4-4-51>$$

② 揚布公式的算法

$$P = (F \Sigma T - f_0 \Sigma S) / [F \cos(\theta + \alpha) / \cos \alpha + f_0 \sin \theta \tan \varphi' / n_\alpha] \quad <4-4-52>$$

在此， $n_\alpha = \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \tan \varphi' / F)$

③ 畢修普公式的算法

$$P = (F \Sigma T - \Sigma S) / [F \cos(\theta + \alpha) + \sin \theta \tan \varphi' / (\cos \alpha + \sin \alpha \tan \varphi' / F)] \quad <4-4-53>$$

4 錨錠工配置之基準

(1) 鄰近構造物的影響

地錨與鄰近構造物的水平間距最小須維持 3 公尺以上。

(2) 地錨錨錠段打設間隔

準用排樁工程，以 2.0 公尺～4.0 公尺為基準。

(3) 地錨傾角

地錨傾角因注入材硬化所產生樁體沉渣及水泥漿體凝結時的浮水會明顯影響錨錠耐力，因此應避免採水平面 $\pm 5^\circ$ 內的角度。

5 錨錠工的張（拉）力

(1) 只重視抗滑機能

一般設計錨固力多半設定為 50% 左右。

但此時應留意避免邊坡穩定安全係數 $F_s < 1.0$ 。

(2) 只重視鎖緊效果

設計時若只重視鎖緊效果，則為了發揮鎖緊效果，固定時的張（拉）力應設計為設計錨固力的 100%。

此時有效張力會因為地盤的潛變變形等原因改變，若因而無法確保約當於設計錨固力的有效張力，維護管理階段應進行張力管理，必要時重新鎖緊。

4-4-3 錨錠工之型式

錨錠工應選定地錨錨錠段能確實固定的型式。

〔說明〕

- 1 錨錠工的型式應配合地錨固定地盤之岩質與強度，選擇適當的產品。
- 2 錨錠工的型式可依地錨錨錠段與承載地盤的承載方式，大致分為以下三種。
 - (1) 摩擦型地錨
藉由錨錠段周面與承載層地盤的摩擦阻力，將地錨拉力傳遞到承載地盤。
 - (2) 支壓型地錨
藉由地錨錨錠段與承載地盤的支承抵抗，將地錨拉力傳遞到承載地盤。
 - (3) 混和型地錨
(1) 與 (2) 的複合型。

4-4-4 安定性之檢討

錨錠工在地錨承受載重時，樁頭、地錨抗拉段與地錨錨錠段都必須維持安定。

〔說明〕

- 1 錨錠工應以設計錨固力（抗拉載重）能安定為前提，決定所使用的抗張材與受壓板。

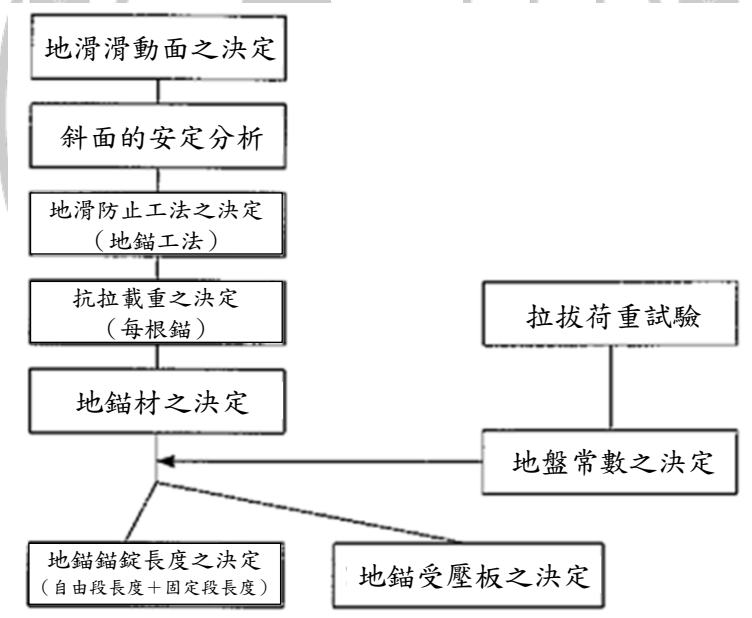


圖 4-28 錨錠工設計流程表

- 2 錨錠工之地錨抗張材應使用能確實將錨固力傳遞到地錨錨錠段的材料。抗張材的容許張應力須確保具備抗張材抗拉（阻抗）強度及降伏強度所需的安全係數。
- 3 受壓板的使用條件如下。
 - (1) 支承受壓板的地盤須在張力沉陷作用下仍保持安定
 - (2) 受壓板須在彎曲破壞及貫穿剪力破壞作用下仍維持安定
- 4 地錨錨錠段須在地滑滑動產生拉拔力時仍確保所需的安全係數。
- 5 地錨固定段應採用可實施高壓噴射灌漿的構造。灌漿品質須能充分承受設計載重。

〔參考〕

- 1 抗張材（預力鋼腱）之選定
設計錨固力(T_d)以下式求取，應選定達到 T_d 抗拉力的安全抗張材。

$$T_d = P \cdot D/n \quad <4-4-54>$$

在此， T_d ：設計錨固力 (kN/支)

P ：地滑單位寬所需的錨固力 (kN/m)

D ：地錨打設間隔 (m)

n ：施工段的數目

抗張材容許張應力的設定值應小於鋼材抗拉強度的 60%，或降伏強度的 75%。

- 2 抗張材的處理

錨錠工所使用抗張材除了斷面小容易受腐蝕影響外，溫度升高也可能鬆脫，因此保管時應避免日光直射。此外，乙炔切斷的切斷面 15~20 釐米範圍內，鋼材會受熱影響降低抗拉強度，尾端應多預留長度再行切斷，或以鋼筋切斷機切斷。

- 3 受壓板的選定

施作錨錠工的地表面一般為土砂層，地滑滑動、抗張材繃緊，造成地表面錨頭沉陷。預防可在錨頭設承壓板，充分發揮錨錠工效果。

受壓板有護板與格樑等，應配合坡面狀況、地錨各單元、施工性、經濟性、維護管理與景觀等因素，選擇適當的產品。

此外，應依據受壓板的型式與坡面狀況，檢討如下安定條件。

- (1) 對地盤承載力的安定效果

支撐受壓板的地盤支承力大小可用載重試驗求出，由計算求得之情況可使用 Terzaghi 之承載力公式。

(2) 對彎曲（撓曲）破壞及貫穿剪力破壞之安定性

受壓板是否能承受彎曲破壞而達成穩定性，多半是計算以地錨固定點為支點的「樑」之抗張力。一片受壓板上方固定幾塊地錨時，相鄰的地錨會變成連續梁，其端點視為懸臂樑，以此可算出斷面厚度及所需鋼筋量。此時的載重可視為均布載重。

貫穿剪應力及容許剪應力則依混凝土標準規格書計算。

又，以格樑作為受壓板而計算其斷面力時，多以地盤反力為均布載重，錨固力則視為作用在縱梁與橫樑二方向。

4 地錨錨錠段的決定

地錨錨錠段於地滑滑動時，係與受壓板成為一體而抵抗拉拔力、抑止地滑移動，其抗拔力之設計應參考極限拉拔力，確保具充分安全性。此外，極限拉拔力可利用地錨試驗加以確認。試驗方法準用地盤工學會基準「地錨設計及施工基準，同解說（JGS4101-2012）」，必要時應配合修改錨錠工計畫。

(1) 摩擦型地錨錨錠段之設計

摩擦型地錨錨錠段所需的固定長度，理論上應比較預力鋼腱（抗張材）與灌漿黏裹力所算出的長度，以及灌漿與地盤摩擦阻力所算出的長度，採用其中較長者。

① 由預力鋼腱與灌漿黏裹力所算出的預力鋼腱固定（拘束）段長度（ L_{sa} ）

$$L_{sa} = \frac{T_d}{U \cdot \tau_{ba}} \quad <4-4-55>$$

在此， L_{sa} ：預力鋼腱固定（拘束）段長度（m）

T_d ：設計錨固力（kN/支）

U ：預力鋼腱的視周長（m）

τ_{ba} ：灌漿與預力鋼腱容許黏裹應力強度（kN/m²）

② 由灌漿與地盤摩擦阻力所算出的地錨錨錠段長度（ L_a ）

$$L_a = f_s \frac{T_d}{\pi \cdot d_A \cdot \tau} \quad <4-4-56>$$

在此， L_a ：地錨錨錠段長度（m）

d_A ：地錨錨錠段直徑（m）

τ ：周面摩擦力（kN/m²）

f_s ：安全係數（2.5）

此外，固定段太長（設計載重變大）抗拉負載會無法均勻分布到全部固定段，因此一般設定為4～7公尺，最多不可大於10公尺。

又，地錨錨錠長度要是小於 10 公尺，應配合檢討打設錨錠數目及間隔。若錨錠長度太短，容易受地層變化影響而喪失抗滑力，因此最少須 3 公尺。

(2) 壓力承載型地錨錨錠段之設計

壓力承載型地錨錨錠段前面的支壓力具抵抗拔起作用，應配合地錨錨錠段前面錨錠承載層內的單軸壓縮強度，以下式算出適合的錨錠段灌漿長度。

$$h_r = \sqrt{3 \cdot m_k \cdot P / (\pi \cdot \sigma_c \cdot k_0 \cdot \tan^2 \varphi)} \quad <4-4-57>$$

在此， h_r ：錨錠段灌漿長度 (m)

m_k ：安全係數=1.5

P ：錨錠段設計載重 (kN)

σ_c ：錨錠岩盤的岩心單軸壓縮強度 (kPa)

k_0 ：錨錠承載地盤層內岩石柏松比所取得的係數
 $=v/(1-v)$

v ：錨錠岩盤的柏松比

φ ：錨錠岩盤的抗剪角(°)

5 錨錠段的灌漿

(1) 摩擦型錨錠工的灌漿

摩擦型錨錠工灌漿方法，有在錨錠段與非錨錠段交界裝設地錨孔灌漿阻隔墊片、錨錠段加壓注入灰泥或可黏合牛奶水，以及全孔灌漿等四種方法。加壓注入可提升灌漿材密度而提高其強度，且灌漿材侵入錨錠承載地盤內的裂縫等地方，會擴大地錨錨錠段實際直徑、增強周面摩擦力，因此，周面摩擦型錨錠工基本上採用加壓灌漿方式。

(2) 支壓型錨錠工的灌漿

支壓型錨錠工灌漿目的在於保護孔壁與鋼材防鏽，未必需加壓灌漿；但若希望增強錨錠段前面承載地盤內的岩盤支承力，最好加壓灌漿。

4-4-5 耐久性之確保

錨錠工須採取必要措施以確保其耐久性。

〔說明〕

錨錠工須能保持長期穩定，因此除了使用抗張材、進行錨頭防蝕，也須採用能再次鎖緊的構造。

〔參考〕

防鏽蝕工作

地錨防鏽蝕應配合施工期間及施工完成後的鏽蝕環境，檢討其構造。

1 抗張材的防蝕

錨錠工的構造應進行雙重防蝕，且須採用高耐蝕性材料。

2 錨頭的防蝕

錨頭防蝕的標準作法，應搭配使用保護套與防蝕材料（防鏽油）。

3 其他

地錨要發揮抗滑效果，可採用延展性較大的抗張材。



第5章 地滑防治效果之驗證

第1節 概說

地滑防治效果驗證的目的是判定地滑防治工程的施工效果，並進行適切維護管理的實施。

〔說明〕

地滑防治效果的驗證，應進行判定地滑防治工的效果，或安定度的評估，檢討地滑大致完工之判斷，或進行地滑防止工補修與追加工程等，及維護管理之必要性。

此外，為了驗證，須於工程期間或工程完成後，持續或定期調查地滑狀況。

又，地滑防治效果的驗證之外，必要時也應調查地滑防治工程對自然環境所造成的影響。

〔參考〕

所謂「大致完工」指確認地滑防治工程已達成判斷能維持一定安全性的狀態。但即判斷目標大致已達成時，必要時仍應進行施工效果驗證。

第2節 調查的種類

地滑防治效果驗證之調查，應配合現地狀況，選擇所需進行的調查。

〔說明〕

地滑防治效果驗證所需進行的調查，包含持續進行到目前的調查觀測，以及為判定地滑防治工程效果所進行調查。

調查計畫方案之擬定應參考已完成的地滑調查與機制分析結果，儘量整合各種調查與分析結果並設定觀測時間與測定頻率，以取得可用來進行維護管理或可判斷大致完工的資訊。

判定地滑防治工效果所需的調查以下列方法為準，應配合現地狀況適當地選擇。

又，1～5的部分準用「第2章 地滑調查分析」。

- 1 現地點檢
- 2 地表移動量調查
- 3 地中變動量調查
- 4 地下水調查
- 5 氣象調查
- 6 構造物行為調查

此外，調查地滑防治工程對自然環境所造成的影響時，應配合現地狀況準用第2章第2節2-2

〔說明〕2「環境調查」，進行調查。

〔參考〕

- 1 調查計畫方案的注意要點

驗證地滑防治效果所需進行調查之順利實施，須從機制分析時間點就擬定為驗證的調查而必要擬定之調查計畫。此外，重新進行調查時，也應仔細檢討機制分析結果，加以整合。

2 調查方法

以判定地滑防治工效果為目的時，可依據該工法的特徵，採用如下調查方法。

表 5-1 評估判定的調查方法

分 類	主要常用的調查方法
排水工、暗渠工、鑽掘暗渠工、集水井工、排水廊道工	現地點檢、地表移動量調查、地中變動量調查、地下水位調查、地下水排出量調查、構造物行為調查
挖方工、坡趾填方工、治山防砂壩工、擋土工等	現地點檢、地表移動量調查、地中變動量調查、構造物行為調查
排樁工、深基樁工、錨錠工	現地點檢、地表移動量調查、地中變動量調查、構造物行為調查

3 構造物行為調查

構造物行為調查應於完成施工的集水井工、樁工與錨錠工等設置感測器，調查施工部位構造物的位移與荷重狀況。

(1) 觀察與計測

以目視或測量儀器等測定構造物變形，進行安定性監測。連續測定構造物的位移，應於構造物安裝伸縮計等測量儀器。

(2) 孔內傾斜儀

於樁工與深基樁工設孔內傾斜儀，作法選用第 2 章第 8 節 8-3「孔內傾斜儀」。

(3) 地錨載重計

測定錨錠工所承受荷重，監測地滑滑動力變化狀況與錨錠工的安全性。

(4) 土壓計

於擋土工、集水井工與樁工等施工地點安裝土壓計，測定地盤對構造物的壓力，掌握壓力變化狀況並監測構造物的安定性。

(5) 管式應變計

測定集水井工與樁工等施工所造成的地盤變形，監測地滑滑動力變化或構造物安定性。又管式應變計片容易劣化，不適合長時期的觀測調查。

(6) 鋼筋（應力）計

測定擋土工等鋼筋混凝土構造物所產生的鋼筋應力，掌握構造物位移狀況、監測構造物的安定性。

4 自動觀測系統

為採用數據通訊技術長時觀測地滑舉動的系統。可即時監測災害風險升高狀況。

第3節 施工效果之驗證

3-1 目的

應綜合判斷各種調查的結果，驗證地滑防治工及地滑整體防範效果。

〔說明〕

地滑防治效果之驗證應依據各種調查結果，判定個個地滑防治工的效果，評估地滑整體安定度，同時進行必要修補、追加工程等地滑維護管理之檢討。此外，必要時地滑防治工程對自然環境造成的影響，也應進行驗證。

進行施工效果驗證，應將到目前為止所取得調查結果和地滑防治效果驗證所需調查結果進行對比，綜合判斷。此外，必要時應徵詢專家學者等的意見。

3-2 地滑防治工之效果判定

應綜合判斷各種調查結果，進行地滑防治工效果之判定。

〔說明〕

依據各種調查結果，綜合判定地滑防治工當初被要求性能的達成比例。此外，若判斷尚未能達成所需性能時，應作成修補與機能恢復之檢討所需資料。

又，也應彙整地滑防治工本身問題與改善對策等，作為未來地滑防治工程設計之參考。

3-3 地滑安定度評估

應綜合判斷各種調查結果，進行地滑安定度評估。

〔說明〕

應依據各種調查、機制分析與地滑防治工之效果判定等結果，綜合評估地滑地整體安定度。此外，若判斷穩定度尚未達標，應作成追加工程等之檢討所需資料。

進行安定度評估應驗證安定度的目標以及安定分析之條件、強度參數等，必要時加以改變，然後進行準用機制分析方法之安定分析。

第4節 地滑防治工維護管理之檢討

依據地滑防治工效果的判定及地滑安定度的評估，檢討地滑防治工需否進行必要的修補、機能恢復及追加工程。

〔說明〕

依據個個地滑防治工效果的判定結果，或地滑地整體安定度之評估，檢討地滑防止工是否必要修補、機能恢復與追加工程等，必要時進行相關措施。

〔參考〕

維護管理的注意要點

1 地表面排水工

水路內堆積物之清淤。此外，若發現水路有裂縫或接縫裂開等狀況，應進行修補。

2 地下水排除工

橫向鑽掘暗渠工或橫向鑽掘集水管工程若發現集水管阻塞、集水機能降低，可用高壓水進行洗淨。

集水井本體應確認井筒是否變形或腐蝕，並點檢連結井筒的橫向鑽掘集水管、橫向鑽掘排水管、升降梯、井蓋以及防止入內柵欄等附帶設施是否健全。

排水廊道也應確認內壁是否有裂縫、扭曲與擠壓等狀況。

3 排樁工程、深基樁工

確認排樁工程或深基樁工的排列是否混亂，樁頭是否有突出、傾倒，以及樁周地盤是否有異狀。另外，若有孔內傾斜計，應進行樁的行為與應力分析，評估其健全性。

4 錨錠工

錨錠工要進行錨錠頭部腐蝕與受壓構造物異狀等的定期點檢。此外，錨錠頭部可設載重計、觀測錨錠張（拉）力的變化。必要時應依觀測結果檢討進行鎖緊、卸載或追加施工等。

參考文獻

地滑政策技術現狀及今後展望相關之調查研究

（平成 25 年版 治山技術基準 解説 地すべり防止編 手引き）

公益社団法人 森林保全・管理技術研究所（H28.6）

グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説

公益社団法人 地盤工学会（H24.5）



用語解說

● 水文

地球上水循環所產生的各種現象，亦即地球上水的發現、分布、循環以及水的物理及化學性質乃至於水的物理化學相關環境等

● 有限元素法(FEM)

將地盤分割成有限個數的元素，地盤整體行為替換成元素集合體行為，然後進行應力與變形分析的數值分析法

● 反算（逆向）分析

利用現場觀測值或量測值，針對未知之參數進行定量、數學分析的方法

● 顯色反應

讓黏土接觸維生素A、類胡蘿蔔素等偶氮染料或聯苯胺等胺類，使之產生顏色或變色

● N 值

讓質量 63.5 ± 0.5 公斤 的夯錘由 76 ± 1 公分 高度自由落下、打擊安裝在柱頭的衝擊體（knocking block），並將鑽桿尾端所附標準貫入試驗用採樣器打入地盤 30 公分 所需的捶擊次數

● 消散

乾燥黏土塊急速浸泡水中而產生崩解的現象

水分侵入黏土後壓縮黏土土粒孔隙中的空氣，而在岩塊或土塊中產生張拉力，以及土粒吸收水分降低粒間作用力的狀況

● 砂湧

挖掘底面附近的砂質地盤產生往上的滲流，其滲透力將沙子往上抬而造成看似土砂沸騰的地盤破壞現象

● 隆起（地盤上舉）

黏性土壤地盤開挖工程，井壁背面土壤轉進到前面造成背面地盤沉陷，挖掘底面附近地盤因而鼓起的崩壞現象

● 彈性波

地震或人為火藥爆破以及重錘落下衝擊等所產生沿地球內部及地球表面傳播的波，包含地球內部傳播的實體波以及在地球表面傳播、隨深度減少而急速衰減的表面波

實體波又分為 P 波（縱波）與 S 波（橫波），表面波又分為洛夫波（Love wave）與瑞力波（Rayleigh wave）

● P 波

地球內部傳播的彈性波之中波的震動方向與行進方向一致的進行波（縱波），傳播速度通常比 S 波快約 1.7 倍，為地震最先出現振波而有 Primary wave（第一波）之簡稱

P 波速度在地殼內約為 $5.5 \sim 7.0 \text{ km/s}$

● S 波

地球內部傳播的彈性波之中波的振動方向與進行方向垂直的進行波（橫波），傳播速度比 P 波慢，且地震時通常在 P 波之後出現，而有 Secondary wave（第二波）之簡稱

S 波速度在地球內約為 3.0~4.0km/s

● 岩石品質指標（RQD，Rock Quality Disignation）

用來描述鑽探調查所掌握岩盤不連續性之數值

$$RQD = \frac{1 \text{ 公尺岩心之中 } 10 \text{ 公分以上完整岩心的總長度}}{100 \text{ 公分}} \times 100(\%)$$

● 柏松比（v）

承受應力的彈性體所產生應力方向的應變與其垂直方向應變之比值

● 楊氏彈性模（E）

彈性體材料所受到的拉伸或壓縮應力與其應力方向應變之比值

● 殘餘強度

承受較大剪應變之後，抗剪強度近似定常狀態時的強度

● 尖峰強度（峰值）

在比過去所承受壓密應力還小應力下而產生剪斷時，剪力強度在某個時間點產生最大值的最大剪力強度（過壓密黏土所呈現的最大剪力強度）

● 應力鬆弛（relaxation）

PC 鋼材在張應力作用狀態下長期固定，隨時間經過所產生的壓力減少現象

