

交通技術標準規範公路類公路工程部

公路邊坡工程設計規範



交通部頒布

中華民國 104 年 12 月

交通技術標準規範公路類公路工程
公路邊坡工程設計規範

交通部頒布
中華民國 104 年 12 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

交通技術標準規範公路類公路工程部：
公路邊坡工程設計規範／交通部「編」--初版。
-- 臺北市：交通部，民 104. 12
面；公分

ISBN 978-986-04-7294-3 (平裝)

1. 公路工程 2. 技術規範

442.1

104027389

交通技術標準規範公路類公路工程部

公路邊坡工程設計規範

出版者：交通部

編審者：交通部

地 址：10052 臺北市仁愛路 1 段 50 號

網 址：<http://www.motc.gov.tw/mocwebGIP/wSite/cti?xItem=4932&ctNode=154&mp=1>

電 話：(02)2349-2072

出版年月：中華民國 104 年 12 月

印 刷 者：欣德複印社

地 址：桃園市中壢區中大路 150 巷 108 號

電 話：(03)420-0922

版(刷)次冊數：初版一刷 130 冊

定 價：每本新台幣 240 元正

本書同時刊載於交通部網頁

展售處：五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號

電話：(04) 2226-0330

國家書店松江門市：10485 臺北市松江路 209 號 1 樓

電話：(02) 2518-0207

GPN：1010403065

ISBN：978-986-04-7294-3 (平裝)

公路邊坡工程設計規範

類：公路類

部：公路工程部

規範：公路邊坡工程設計規範

複審作業小組

行政召集人：鄭賜榮

委託召集人：田永銘、王泰典

諮詢顧問：宋裕祺

複審委員：汪世輝、李佳翰、吳進興、林志平、林銘郎、徐力平、
陳天健、陳正勳、郭安妮、卿建業、黃立遠、葛宇甯、
董家鈞、楊國鑫、葉韓生、蕭富元、魏敏樺、顧承宇
(人名依姓氏筆劃為序)

工作人員：李紫彤、邱雅筑、曹孟真、許珮筠、詹尚書、劉曉樺、
盧育辰、羅百喬
(人名依姓氏筆劃為序)

草案編訂小組

執行單位：社團法人中華民國大地工程學會

計畫主持人：方永壽

共同主持人：林美聆、廖洪鈞

研究人員：林宏達、王國隆、謝佑明、黃文昭、何泰源、蕭秋安、
黃崇仁、李嶸泰、王瀛恭、廖瑞堂、陳昭維、陳德偉、
林育崇、陳永昇、田耘昇、江定國、陳俊仲、楊品錚、
林益正、鄭清江、鄭世豪、劉彥君、莊漢鑫

前 言

我國目前尚未針對公路邊坡工程相關的設計與施工頒布專冊規範，本部為提升國人用路安全，考量近年來國內工程技術水準顯著提升及因應國際通用相關規範之變遷，遂責成國道新建工程局辦理公路邊坡設計、施工、維護與管理等相關規範條文制訂之研擬工作，該局於民國 102 年委託社團法人中華民國大地工程學會執行，並於民國 104 年 2 月完成條文「公路邊坡工程設計規範(草案)」草案。為使規範內容更臻完善，本部賡續於民國 104 年委託國立中央大學辦理「公路邊坡工程設計規範複審工作」，邀集國內對公路邊坡設計具專長之學者以及具實務經驗之專家，組成審查委員會進行複審工作。複審作業期間，召開多次分組工作會議，研議草案條文，並歷經十次審查會議，反覆討論，獲致共識，始克定案。

本規範包括「總則」、「工址調查」、「地工材料試驗與參數評估」、「邊坡穩定分析」、「邊坡穩定工程處置」、「邊坡地錨設計」、「邊坡排水設施設計」、「坡面保護設施設計」、「大地監測系統規劃」、「其他邊坡穩定工程設計」等十章節及相關內容。

本規範編訂原則如下：

1. 依公路法第三十三條之規定訂定。
2. 適用於公路邊坡調查、試驗及其穩定保護設施之設計。
3. 進行公路邊坡工程設計時，除遵照本規範之規定外，仍應考量其特殊需求，在本規範之基礎下，訂定適合之設計原則，並得視需要參考國際規範或標準以及符合政府頒訂之相關規範、手冊等之規定。
4. 使用公制單位。
5. 本規範採原則性規定，實際應用時仍需依據學理及工程實務進行設計。本規範未規定者，得引用其他法規及相關規範等辦理。

目 錄

前言

規範條文

第一章 總則	1
1.1 說明.....	1
1.2 法令依據.....	1
1.3 適用範圍.....	1
1.4 一般原則.....	1
1.5 名詞定義.....	2
第二章 工址調查	4
2.1 說明.....	4
2.2 調查規劃原則.....	4
2.3 調查階段與項目.....	5
2.4 調查方法.....	5
2.5 大地工程參數之評估.....	6
2.5.1 一般原則.....	6
2.5.2 大地工程參數決定.....	6
2.6 大地工程調查報告.....	6
2.6.1 大地工程紀實報告.....	6
2.6.2 評估分析報告.....	6
第三章 地工材料試驗與參數評估	8

3.1 說明.....	8
3.2 現地取樣.....	8
3.3 現地試驗.....	8
3.4 室內試驗.....	8
3.5 試驗結果的評估與參數的推定.....	8
3.5.1 試驗結果的評估.....	8
3.5.2 大地工程參數推估值的建立.....	9
第四章 邊坡穩定分析	10
4.1 說明.....	10
4.2 土壤邊坡穩定分析.....	10
4.3 岩石邊坡穩定分析.....	10
4.4 數值分析方法之選用.....	10
4.5 應力狀態、地下水及地震力.....	10
4.6 邊坡穩定性評估.....	11
第五章 邊坡穩定工程處置.....	12
5.1 說明.....	12
5.2 設計考量.....	12
5.3 減少驅動力.....	12
5.4 增加抵抗力.....	12
5.5 附屬設施.....	12
第六章 邊坡地錨設計	13
6.1 說明	13
6.2 地錨之構造與種類.....	13

6.3 地錨規劃注意事項.....	13
6.4 安全係數及穩定性.....	13
6.5 載重.....	14
6.6 配置.....	14
6.7 錨長.....	14
6.8 錨碇體.....	14
6.9 錨頭.....	14
6.10 錨碇力.....	15
6.11 預力.....	15
6.12 整體穩定.....	15
6.13 防蝕保護設計.....	15
第七章 邊坡排水設施設計.....	16
7.1 說明.....	16
7.2 設計考量.....	16
7.3 地表排水設施.....	16
7.3.1 一般設計考量.....	16
7.3.2 坡面排水設施配置.....	16
7.4 地下排水設施.....	17
7.4.1 一般設計考量.....	17
7.4.2 地下排水設施配置.....	17
第八章 坡面保護設施設計.....	18
8.1 說明.....	18
8.2 坡面保護設施之選擇.....	18
8.3 植生保護設施.....	18

8.4 構造物保護設施.....	18
第九章 大地監測系統規劃.....	20
9.1 說明.....	20
9.2 設計考量.....	20
9.3 監測系統規劃.....	20
9.3.1 系統規劃原則.....	20
9.3.2 量測方式.....	20
9.4 監測系統設計.....	21
9.5 監測頻率.....	21
9.6 監測期程.....	21
9.7 監測報告.....	21
第十章 其他邊坡穩定工程設計.....	22
10.1 說明.....	22
10.2 落石防治工程處置.....	22
10.2.1 落石防治基本原則.....	22
10.2.2 落石防治工程處置之選擇.....	22
10.2.3 落石預防工程處置設計考量.....	23
10.2.4 落石防護工程處置設計考量.....	23

規範解說

第一章 總則	C-1
C1.1 說明	C-1
C1.2 法令依據	C-1
C1.3 適用範圍	C-1
C1.4 一般原則	C-1
C1.5 名詞定義	C-2
第二章 工址調查	C-4
C2.1 說明	C-4
C2.2 調查規劃原則	C-4
C2.3 調查階段與項目	C-5
C2.4 調查方法	C-7
C2.5 大地工程參數之評估	C-11
C2.5.1 一般原則	C-11
C2.5.2 大地工程參數決定	C-11
C2.6 大地工程調查報告	C-12
C2.6.1 大地工程紀實報告	C-12
C2.6.2 評估分析報告	C-13
第三章 土工材料試驗與參數評估	C-14
C3.1 說明	C-14
C3.2 現地取樣	C-14
C3.3 現地試驗	C-17
C3.4 室內試驗	C-18

C3.5 試驗結果的評估與參數的推定	C-20
C3.5.1 試驗結果的評估	C-20
C3.5.2 大地工程參數推估值的建立	C-21
第四章 邊坡穩定分析	C-22
C4.1 說明	C-22
C4.2 土壤邊坡穩定分析	C-23
C4.3 岩石邊坡穩定分析	C-24
C4.4 數值分析方法之選用	C-24
C4.5 應力狀態、地下水及地震力	C-25
C4.6 邊坡穩定性評估	C-27
第五章 邊坡滑動之穩定工程處置	C-29
C5.1 說明	C-29
C5.2 設計考量	C-30
C5.3 減少驅動力	C-30
C5.4 增加阻抗力	C-31
C5.5 附屬設施	C-32
第六章 邊坡地錨設計	C-33
C6.1 說明	C-33
C6.2 地錨之構造與種類	C-33
C6.3 地錨規劃注意事項	C-33
C6.4 安全係數及穩定性	C-35
C6.5 載重	C-36
C6.6 配置	C-36

C6.7 錨長.....	C-36
C6.8 錨碇體.....	C-37
C6.9 錨頭.....	C-37
C6.10 錨碇力.....	C-37
C6.11 預力.....	C-38
C6.12 整體穩定.....	C-38
C6.13 防蝕保護設計.....	C-39
第七章 邊坡排水設施設計.....	C-41
C7.1 說明.....	C-41
C7.2 設計考量.....	C-41
C7.3 地表排水設施.....	C-43
C7.3.1 一般設計考量.....	C-43
C7.3.2 坡面排水設施配置.....	C-43
C7.4 地下排水設施.....	C-44
C7.4.1 一般設計考量.....	C-44
C7.4.2 地下排水設施配置.....	C-45
第八章 坡面保護設施設計.....	C-47
C8.1 說明.....	C-47
C8.2 坡面保護設施之選擇.....	C-48
C8.3 植生保護設施.....	C-48
C8.4 構造物保護設施.....	C-49
第九章 大地監測系統規劃.....	C-52
C9.1 說明.....	C-52

C9.2 設計考量	C-52
C9.3 監測系統規劃	C-53
C9.3.1 系統規劃原則	C-53
C9.3.2 量測方式	C-53
C9.4 監測系統設計	C-54
C9.5 監測頻率	C-56
C9.6 監測期程	C-56
C9.7 監測報告	C-56
第十章 其他邊坡穩定工程設計	C-58
C10.1 說明	C-58
C10.2 落石防治工程處置	C-58
C10.2.1 落石防治基本原則	C-58
C10.2.2 落石防治工程處置之選擇	C-59
C10.2.3 落石預防工程處置設計考量	C-60
C10.2.4 落石防護工程處置設計考量	C-62
參考文獻	Ref-1

表 目 錄

表 4.6-1 邊坡長久性及臨時性安全係數(FS).....	11
表 C1.5-1 邊坡破壞型態分類(譯自 HUNGR 等(2013)).....	C-3
表 C4.5-1 不同限度狀態下所對應之荷重情形.....	C-26
表 C6.4-1 單一地錨之最小安全係數.....	C-35
表 C8.1-1 坡面保護設施的種類與目的.....	C-47

規範條文

第一章 總則

1.1 說明

本規範目的在於提供施行公路邊坡工程及其附屬設施設計作業之依循。

1.2 法令依據

本規範係依據公路法第三十三條之規定訂定。

1.3 適用範圍

本規範適用於公路邊坡調查與試驗及其穩定保護設計。

1.4 一般原則

大地工程調查報告為詳細紀錄工址環境及工程地質特性調查結果之文件，並提供大地工程參數量測值及推估值，為進行邊坡設計及施工之重要參考資料。

公路邊坡設計應依據大地工程調查報告，評估邊坡穩定性及可能的破壞類型，並採用適當方法分析邊坡穩定程度，提供各種邊坡穩定工程處置設計依據。

公路邊坡設計除邊坡之坡體穩定工程處置外，應包含坡面保護設施、排水設施以及大地監測系統設計等內容。

公路邊坡設計在設計使用年限內應符合一定程度的安全性，並可依據交通量、經濟價值、保全對象及替代道路等，分類邊坡類別，決定大地工程參數設計值。

公路邊坡設計各項文件管理應於邊坡開發各階段妥善進行，相關調查資料、參數設定、設計條件及各項設施之設置，併同施工過程之調查、監測及施工紀錄等，均應完整建立保存，以提供其相關設施之使用管理及維護之依據。

有關安全衛生設備之設置應符合相關法規。

1.5 名詞定義

本規範名詞定義如下：

邊坡：土壤或岩石等坡體材料構成之坡面，包含自然邊坡以及經由人工挖填形成的坡面。

坡高：設計考量之坡趾至坡頂之高程差。

坡角：邊坡的斜度，常以坡高除以在水平面上的投影長度，以角度或百分比表示。

邊坡破壞類型：依運動方式可概分為三類，包括落石、邊坡滑動及土石流。

- (1) 落石：陡峭邊坡因弱面發達裂痕加大，致使坡體之岩塊、石礫剝離或固結度低的土砂礫等，由坡面上崩落、掉落或翻倒的現象。
- (2) 邊坡滑動：邊坡滑動主要為坡體之破壞土石產生移動，依破壞面的型態一般可分為旋滑和平滑兩類。
- (3) 土石流：泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物，以重力作用為主，水流作用為輔之高濃度流動體。土石流大多發生在上、中游屯積大量不穩定砂礫的溪流流域內。

設計使用年限：邊坡工程設施在正常使用及維護情形下，仍可符合其使用目的之預計年限。

常時水位：透過調查觀測綜合當地水文資料研判之一般地下水位。

高水位：設計使用年限期間所考慮之最高地下水位。

地震力：設計使用年限期間所考慮之邊坡在地震時所受之作用力。

邊坡穩定分析：邊坡穩定與保護設施之設計過程中，依據邊坡坡體材料、地質構造、水文地質、地形環境與工程條件等因素，研判邊坡破壞類型，並考量坡體材料之工程特性以及施工步驟，分析施工中與完工後臨界滑動位置及穩定性。

邊坡安全係數：邊坡穩定分析所得之坡體臨界滑動面上的阻抗與驅動之比值。

生態工程：以生態為思維導向，安全為設計考量的工程。採行之措施與構造設施必須近乎自然，原則上儘可能就地取材且施工合乎當地生態的特質，以達到工程穩定並降低工程對當地環境與生態之衝擊。

長久土工設施及臨時土工設施：進行土工設施穩定性分析時，僅考慮施工期間使用之土工設施為臨時設施；以設計使用年限或設施之生命週期為考量之土工設施，視為長久設施。

坡面保護設施：為防治坡面遭受沖蝕或發生風化等情況，所實施的各種保護措施。坡面保護設施不包括防治落石之因應設施。

坡體穩定設施：為防治因邊坡之坡體發生崩壞或滑動而破壞鄰近設施，或為已呈現不穩定之邊坡增進其穩定程度，進而改善已破壞道路之損壞狀況等情況，所實施的防治、修復、補強或改善等穩定措施，統稱為坡體穩定設施。

落石防治設施：為避免發生落石或落石擊中人車及設施，採取抑制落石運動的預防措施，或在落石發生地點下方或道路兩側所實施的落石防護措施，統稱為落石防治設施。

土石流防治設施：為減輕或防止土石流造成災害及公路設施受損，而在具土石流災害發生潛能區域內所實施的防治措施，統稱為土石流防治設施。

排水設施：為減少地表水及地下水對於邊坡穩定不良影響，進行地表水收集、排除以及控制地下水位的措施，統稱為排水設施。

第二章 工址調查

2.1 說明

本章闡述公路邊坡工程所需的大地工程調查工作，其目的在於獲得工址地質與地工資訊，並依需要針對地工參數進行評估。

坡地之地質條件及水文狀況較一般平地地區變異性大，為避免因潛在因子未能全盤掌握，導致開發風險增加，應進行周詳之調查規劃。

公路邊坡工程應依據大地工程調查結果進行設計作業，設計與調查應密切合作，以達成更有效率之設計。

工址調查應依工址地質及地工條件與工程特性，擬訂工址調查計畫後辦理。現地調查作業應依核定之工址調查計畫執行，並提出大地工程調查紀實報告。依法登記執業之專業技師依據大地工程調查紀實報告，考量工程計畫之特性及需求，撰寫評估分析報告並簽證。

本章各項規定以重要性高的邊坡類別為主要對象，其它邊坡類別可參酌相關規定辦理。

各項調查除本規範要求外，並應遵守其它適用之地質調查與評估作業相關法規及規範，包含水土保持技術規範、地質敏感區基地地質調查及地質安全評估作業準則或其他相關法規等。

2.2 調查規劃原則

公路邊坡大地工程調查規劃應考慮工程特性、地質特性與邊坡特性，以有效獲得與邊坡工程設計施工有關之地形、地質、水文等資訊。

邊坡調查的範圍、位置、項目、數量、方法以及調查預算編列，應考慮邊坡類別、邊坡破壞類型、邊坡風險程度，其調查範圍原則上應涵蓋整體邊坡之可能影響範圍。

邊坡調查規劃應考慮工程不同階段之需求不同，分階段進行調查。

2.3 調查階段與項目

公路邊坡大地工程調查計畫原則上應包括規劃階段調查計畫、基本設計階段調查計畫、細部設計階段調查計畫、施工階段調查計畫，並依不同階段之需求，選定調查工作底圖精度要求。

規劃階段調查計畫應考慮調查成果足以呈現工址及其鄰近區域之大地工程環境、地形、地質、氣象、水文以及施工條件等，提供工址是否適合開發評估之依據，據以擬定調查項目。

基本設計階段調查計畫應考慮調查成果足以提供基本設計所需大地工程資訊，評估地工設施型式、施工方法及可行性、施工對周遭環境之影響等，據以擬定調查項目。

細部設計階段調查計畫應考慮調查成果足以提供設計所需參數，應用相關理論模式或分析模型評估地工設施之性能，並足以釐清工址周遭地層變異性大、重要地質構造及地層破碎等地質敏感區域之位置以及其可能的影響程度，據以擬定調查項目。

規定之施工階段調查計畫，應考慮調查成果足以詳實記錄各項工程施作期間出露之地層狀況、地層弱帶與特性、岩土材料特性，以及地下水變化情形等資料，並足以檢核設計條件，據以擬定調查項目。

各階段之調查，均應基於前一階段調查成果妥善擬定調查計畫。調查所得地質模型及設計參數，應隨規劃、設計及施工進程之檢視、調查或監測結果不斷更新調整。

2.4 調查方法

工址調查的方法眾多，包括基本資料蒐集、遙測影像判釋、地表地質調查、地球物理探測、鑽探或其他開挖調查；為獲得設計參數，常於鑽探或開挖調查過程進行現地試驗，或取樣進行室內試驗。各種調查方法間常可互補，所有調查資料應進行綜合解釋，不宜過度依賴單一方法之調查結果決定工址地質與地工特性。

基本資料蒐集與遙測影像判釋可於室內完成，且其成果為地表地質調查路線規劃重要參考。地球物理探測、鑽探或其他開挖調查、取樣及現地與室內試驗屬地表下調查。

工址調查應先進行基本資料蒐集、遙測影像判釋等室內作業，再進行現地勘查與地表地質調查，依其結果規劃地表下調查工作。

監測亦為重要調查方法之一，例如調查地下水位變化及潛在滑動面或破壞面位置。

2.5 大地工程參數之評估

2.5.1 一般原則

土工設施及邊坡之設計與分析，需要建立計算用的相關地盤模型。此模型所需之土工參數應依據所有大地工程調查、室內試驗、以及監測資訊的蒐集，並經適當判讀與詮釋，以充分代表現地地盤情形。

2.5.2 大地工程參數決定

土工參數推估值可由試驗量測值直接決定，或依據地質或土工知識(如理論、經驗式、相關聯性)由相關之量測值轉換求得。

土工參數特徵值之選取應謹慎且廣泛地考慮工址類似之地質及土工資料、工程經驗、以及不同大地工程調查與試驗之一致性，以有效評估所採用地盤模型的限度狀態。

2.6 大地工程調查報告

大地工程調查報告應呈現調查過程蒐集之所有大地工程資訊，原則上分為大地工程紀實報告與評估分析報告兩部分。

2.6.1 大地工程紀實報告

大地工程紀實報告需包含現地調查與現地試驗結果、室內試驗方法與試驗結果、室內試驗報告等。

2.6.2 評估分析報告

評估分析報告應詮釋大地工程調查與試驗之結果，並評估所需提供之工址土工資訊。

評估分析報告中應載明設計所需之地盤模型與地工參數以及其決定流程。各種經過工程地質與大地工程方法估計處理過的資訊，需說明詮釋時採用的假設。若試驗與調查資料有不足或不完整、差異及低精度之情況，應檢討差異之原因。

地工參數之估算，應考慮各項調查、試驗、觀測與監測結果之相互關係以及過去之經驗。

地工參數之選擇宜考量應力狀態、應力路徑、應力歷史、應變量、反覆載重、水力特性、乾燥潮濕循環、異質異向性、時間效應等，同時宜注意地工設施與地盤間之關聯性。

以反算分析得到之地工參數作為設計參數時，應驗證分析所採用模型(如地工設施模型或組成律模型)假設之一致性，及應力應變變化幅度與範圍。評估分析報告應詮釋大地工程調查與試驗之結果，並評估所需提供之工址地工資訊。

第三章 土工材料試驗與參數評估

3.1 說明

材料試驗的目的是經由選擇適當的試驗方法和試驗項目，並藉試驗結果求得的量測值，直接或間接換算得到相關大地工程參數的合理推估值，再從推估值中決定出大地工程參數特徵值，以利後續設計與施工階段之邊坡穩定分析及相關土工設施的安全性或可靠度評估。

3.2 現地取樣

現地取樣之目的在於取得土壤或岩石，確認分類並概估其工程性質，再以取得之試樣進行試驗，綜整相關成果供工程規劃、設計與施工之參考。

3.3 現地試驗

現地試驗是以儀器於現地直接對土工材料進行試驗，以蒐集地層資訊，並獲取所需的大地工程參數，或直接將試驗結果應用於設計模型中。不同現地試驗方法各有其優缺點與限制，使用時必須注意。

3.4 室內試驗

室內試驗係於實驗室內以試驗設備檢定取樣土工材料(土壤或岩石)之一般物理性質與力學性質，其成果可作為地層分類與工程規劃、設計參數選用及評估之依據。

3.5 試驗結果的評估與參數的推定

3.5.1 試驗結果的評估

室內或現地試驗中取得的大地工程資訊應再經過評估，以確認其代表性、合理性及適用性，並將試驗評估結果與現地調查之結果一併收錄於評估分析報告中。

3.5.2 大地工程參數推估值的建立

大地工程參數的推估值可由各項試驗結果，經由理論式、經驗式或經驗圖表轉換求得。使用轉換方法時，應記錄所用的轉換方法並評估所使用轉換方法的適用性。

第四章 邊坡穩定分析

4.1 說明

公路邊坡設計必須研判可能破壞型態，並選擇適當的方法分析穩定狀態，據以進行設計。

本章穩定分析以坡體滑動分析為主，其他破壞類型之邊坡可依相關學理方法，分析其穩定狀態。

邊坡穩定分析可採用極限平衡分析或數值分析。

邊坡地層複雜、破壞型式不具規則、設計條件受變形量控制或地震力作用影響時，可採用數值分析方法分析變形量及破壞行為。

4.2 土壤邊坡穩定分析

土壤邊坡需考慮滑動面之破壞型式、現地土壤之應力狀態及材料行為，選擇「有效應力分析法」或「總應力分析法」、以及坡體臨界滑動面附近對應應力範圍適當之材料參數，進行邊坡穩定分析。

4.3 岩石邊坡穩定分析

岩石邊坡需考慮地質構造、岩體弱面位態與空間分佈，評估破壞型式，並考量破壞岩體自重、水壓力、地震力以及坡體穩定設施之錨碇力等作用力，進行邊坡穩定分析。

4.4 數值分析方法之選用

運用數值分析方法分析邊坡穩定時，須選擇適當的材料組成律及參數，模擬坡體材料應力及應變行為。

4.5 應力狀態、地下水及地震力

邊坡分析應依據設計限度狀態考慮對應的應力狀態，並選擇適當的地下水及

地震力條件進行分析。

應力狀態應考慮施工狀態之變化，並檢核分析結果之合理性。

地下水應依據設計使用年限或施工期間等考量，選擇高水位或常時水位進行分析，並於施工期間持續觀測驗證，視需要回饋檢核設計值。

地震力應依據設計使用年限或施工期間等考量，選擇設計地震力進行分析，並可採動態分析法或擬靜態分析法。

邊坡地層可能受土壤液化導致穩定疑慮時，應進行土壤液化影響分析。

4.6 邊坡穩定性評估

整體邊坡之穩定性應依據邊坡穩定分析結果評估，並符合適當的安全性要求。

邊坡穩定設計方法可分為容許應力設計法、性能設計法與可靠度設計法，設計邊坡及其地工設施時，可選擇其中一種方法進行分析與計算。

選用容許應力法時，依據整體安全係數檢核穩定性。常見的一般邊坡長久性及臨時性安全係數要求如表 4.6-1。選用性能設計法時，依據分項係數檢核穩定性。選用可靠度設計法時，依據破壞機率檢核穩定性。

表 4.6-1 邊坡長久性及臨時性安全係數(FS)

長久性 (設計使用年限)	常時	$FS \geq 1.5$
	設計地震	$FS \geq 1.1$
	高水位	$FS \geq 1.2$
臨時性 (施工中)	常時	$FS \geq 1.2$
	設計地震	$FS \geq 1.0$
	高水位	$FS \geq 1.1$

表 4.6-1 中臨時性邊坡係指工期在二年以內之工程邊坡，常時水位為十年一次降雨重現期所對應之地下水位。高水位之選定如採工程設施加以控制時，應考慮該工程設施性能之可靠性，以確保水位控制之有效程度。

第五章 邊坡穩定工程處置

5.1 說明

公路邊坡於規劃階段即應依據工址調查結果，儘量避免通過可能發生邊坡滑動的地區。

公路邊坡經穩定分析後，安全係數不符合設計要求者，需採用邊坡穩定工程處置以增進邊坡穩定。

針對滑動破壞類型之邊坡，邊坡穩定之對策包括減少驅動力及增加抵抗力等兩類之工程處置及設施。

5.2 設計考量

邊坡穩定工程處置及設施應依據其性能需求，決定所需考量的限度狀態，分析計算邊坡整體及穩定設施之穩定程度，包括構造物所能承受之應力及變形，驗證邊坡設計滿足各項穩定性要求。

5.3 減少驅動力

減少邊坡滑動驅動力可透過減少坡體承受之荷重達成，包括降低坡角或坡高、邊坡載重及地下水位等。

5.4 增加抵抗力

增加邊坡滑動抵抗力可透過提供邊坡滑動阻抗或提高邊坡抗剪強度達成，常見的措施前者如坡趾填土、設置擋土構造物、地錨等，後者如採用加勁材、地盤改良、止滑構造物等方式。前述方式亦可合併使用。

5.5 附屬設施

公路邊坡設計應考量營運維護階段邊坡巡查、檢測、監測以及維修所需之通道與設施。

第六章 邊坡地錨設計

6.1 說明

邊坡地錨是一種可以提高岩體抗滑能力、減少岩體下滑作用力的邊坡穩定工程設施。

邊坡地錨依使用目的與功能，可分長久性與臨時性地錨。設計時，除須顧及地錨自身之穩定與包含地錨之構造物整體穩定外，尚需考慮經濟性、施工性以及周邊環境等條件。

6.2 地錨之構造與種類

地錨之基本構造包括錨碇段、自由段及錨頭等三部份。

地錨依其設計使用目的、錨碇體與地層間之錨碇行為機制、錨碇段抗張材之應力傳佈方式、錨碇體之施工方式、錨頭之裝置以及抗張材之回收方式等之不同，可區分為數種不同型式及類別之地錨。

6.3 地錨規劃注意事項

規劃使用地錨時，應先確定地錨之使用目的、設計功能、工程重要性、使用年限等基本條件，並綜合評估地錨和其他工法併用之注意事項。

選擇地錨方案前須先就地層、地權及對環境影響等條件，充份評估其可行性，並考慮各種地層之特性及其對錨碇段之影響。

具長久功能之地錨，規劃設計時應考慮材料防蝕、潛變、錨碇段長期穩定性、以及維護與管理等。

6.4 安全係數及穩定性

地錨安全係數須考量使用地錨之長期與短期需求、公共安全危害程度、地質不確定性、構造物之重要性及銹蝕影響等因素，分別就影響地錨整體行為之構件和材料介面加以規定，對抗張材、地層/漿體介面及漿體/抗張材介面等因子，訂定地錨設計所需之各項最小安全係數。

地錨設計必須檢討地錨之整體穩定性、埋置深度、群錨效應、錨碇段尺寸等。

6.5 載重

地錨應能承受支撐的主要邊坡設施及岩體傳遞之各類載重，並依其使用目的與功能，考慮不同之載重組合，如地表超載重、土壓力、水壓力等。

6.6 配置

地錨配置須考量整體穩定及錨碇段地層條件，以及設置角度、長度、地錨間距等。錨碇段與鄰近可能受影響之構造物須保持適當之距離，應避免鄰錨間之相互影響。

6.7 錨長

邊坡地錨設計須注意自由段之長度至少要深入且超過可能滑動破壞面，達到穩定或堅實之錨碇地層。錨碇段長度應視荷重條件、地層條件、錨碇段直徑等因素，綜合分析而定。

6.8 錨碇體

錨碇體之設計考量，包括漿體、漿體與抗張材介面、漿體與防蝕護管介面等，均須有充分的強度及耐久性，以承受設計荷重。

6.9 錨頭

錨頭及其附屬構件須檢核其強度，以承受抗張材之拉力，不致產生有害之變形，必要時得進行試驗。

若需重複施拉預力或荷重解除時，錨頭必須有對應的構造型式和組件。

錨頭及其附屬構件須有適當之防蝕保護措施，並考慮日後維護檢視工作之便利性。

6.10 錨碇力

錨碇力設計包括極限荷重與設計荷重。極限荷重是地錨所能承受之最大荷重，容許荷重是地錨容許錨碇力以及抗張材容許拉力兩者之較小值。地錨之設計荷重，不得大於地錨之容許荷重。

6.11 預力

地錨所需施加之預力量應配合使用目的及地層條件，以提供構造物設計功能必須之錨碇阻抗來決定鎖定荷重。為顧及施加預力過程的損失量，地錨之鎖定荷重應為地錨設計拉力，再加上預力移轉至構造物時之推估損失荷重。

應用於構造物之長久性地錨，必須檢討施拉預力後歷時變化。

地錨施加預力對構造物所產生之變位量，應限制在構造物之容許變位量範圍內。

6.12 整體穩定

構造物或邊坡利用地錨加以穩定時，應就包含構造物、地層及地錨等因子，檢討整體穩定性。

6.13 防蝕保護設計

地錨防蝕保護設計應考慮其耐久性、穩定性，應依其使用功能、設計年限選擇適當的防蝕保護方法，使自由段、錨碇段及錨頭在施工及使用期間不損害其防蝕功能。除錨碇段抗張材之保護外，尤須注意錨頭和錨頭下方自由段抗張材之防蝕保護。

長久性地錨以雙重防蝕保護為原則。

第七章 邊坡排水設施設計

7.1 說明

公路邊坡應依據其設計水文條件，提供足夠容量之排水設施。

邊坡排水設施包括地表排水及地下排水系統。

邊坡排水設施應檢核排水系統之合理性及其聯外情形。

7.2 設計考量

邊坡排水系統以重力方式立即排水為設計原則，應依據公路邊坡之類別、地區降水特性及排水構造物之重要性等因素，研選適當之設計流量。

設計流量應考慮重現期距，以適當之方式推算或驗證。應用工程設施控制設計高水位時，應考量該工程設施之長期效能。

7.3 地表排水設施

7.3.1 一般設計考量

地表排水之目的在於攔阻地表逕流及匯集降雨，透過排水設施疏導及排除，避免邊坡不穩定。地表水沿邊坡裂隙入滲，可能造成邊坡破壞，故地表排水設施之設置應配合坡面整治同時進行。

7.3.2 坡面排水設施配置

坡面排水系統為利用工程或其他方法將上游之地表水或地下水引導、分流或排除，使其破壞力減低，以減輕或避免邊坡災害之發生。

排水設施應足以宣洩逕流，並與現有排水系統適當銜接。人工邊坡最頂部如仍有地表逕流沖刷之虞者，應在其上游處設置截水溝或其它相關設施。

7.4 地下排水設施

7.4.1 一般設計考量

應考量降雨入滲對於邊坡穩定性的影響，不同邊坡的地下水位受降雨的影響可能不同，應依據大地工程調查結果，考量不同重現期距降雨強度的地下水條件變化進行設計。

7.4.2 地下排水設施配置

地下排水設施如水平排水管、排水廊道、集水豎井等，均為常用於降低地下水之工法。所設計之排水設施應儘量以重力式排水為原則，並考慮日後維護清淤之方便性。

第八章 坡面保護設施設計

8.1 說明

坡面保護設施係指邊坡經穩定分析符合設計需求者，為避免坡面受表面逕流、雨水沖蝕或風化，在坡面上覆蓋植生或構造物保護，以維護坡面穩定的設施。

坡面保護設施可分為植生保護設施及構造物保護設施二大類，兩者須妥善運用，以達坡面長期穩定、保護自然環境及景觀美化之目的。

坡面保護設施必須配合充份安全之排水設計，施工中對於開挖裸露坡面之保護亦須考慮其安全性。

8.2 坡面保護設施之選擇

坡面保護設施之選擇，以維護坡面之長期穩定為首要原則，應充分掌握現地條件及周邊環境，確實瞭解及運用各種對策工法的特徵及機能，選擇符合經濟性、施工性及容易維護管理的工法。

坡面保護設施應兼顧保護自然環境及景觀美化之目的，工法選擇上宜檢討植生保護設施與構造物保護設施併用之方式。

8.3 植生保護設施

植生保護設施設計應考量工址之氣候、土壤、地形及海拔高程等因素，選擇設施種類，並優先選擇邊坡鄰近之原生植物。

植生保護作用受植物生長狀況影響，設施設計須注意營造有利植物生長之環境，必要時透過編柵、掛網、格框或土工織物等方式，發揮植生初期固定表土、減少沖刷或防止客土流失之效果。

8.4 構造物保護設施

構造物保護設施的目的在防止坡面的沖蝕、風化及表層的滑落、崩塌等，以維護坡面的長期穩定。當坡面保護設施不適合採用植生時，或僅採用植生對坡面的長期穩定有疑慮時，可採用本工法或設施。

構造物保護設施的設計，以經驗方法為主。設計應保持彈性，宜考慮依據施工期間所獲取之新資訊進行必要之回饋設計，以確保獲得必要的設計功能。

第九章 大地監測系統規劃

9.1 說明

為確保公路邊坡施工及長期穩定，需在調查、設計、施工及維護管理等階段，分別規劃並建置完整的大地監測系統。

調查與設計階段之監測資料應提供邊坡穩定分析及工程規劃設計之依據。施工階段之監測資料除作為施工及防災參考外，並可回饋設計，驗證邊坡各項條件與設計階段之一致性；若有明顯不符時，可做為檢討及因應調整之依據。調查、設計及施工階段之監測資料應妥為保存，併同管理維護階段之巡查、檢測或監測資料，提供公路邊坡大地工程設施維護與管理之依據。

大地監測系統之規劃設置，可依邊坡類別、現地條件及不同階段之需求，規劃並選擇適當之監測設施。

9.2 設計考量

為掌握公路邊坡之穩定性，研判可能的災害型態、災害機制及致災因子，並於調查階段取得設計所需之大地工程分析參數，應視需要設置邊坡監測系統。調查及設計階段設置之監測系統需考量不同階段的監測需求及銜接介面。

9.3 監測系統規劃

9.3.1 系統規劃原則

監測系統之規劃，需考量邊坡環境、地形、地質及地下水等因素，並應依據初步研判可能之邊坡破壞型態，配合設計階段所需取得之各項地工參數，考量施工中之動線，依據監測目的擬定調查與設計階段監測計畫循序施行。

9.3.2 量測方式

大地監測系統依量測方式可分為人工手動、半自動及全自動監測等三類。系統設計應基於公路邊坡施工及維護可能之風險、邊坡地質特性及工程特性，綜合考量系統設置目的、監測成果代表性、現場環境狀況以及經濟性等，選擇合宜之

量測方式。

9.4 監測系統設計

常見之邊坡監測項目可分為氣候、水文、地層變位以及既有構造物等四類，監測系統設計應考慮各類別監測項目對邊坡穩定之影響程度，以及調查、設計、施工等階段之需求、可能破壞型態、環境變化等，選擇適合之監測類別、項目、儀器種類、型式、數量及設置位置，以取得有效且具工程意義之監測成果。

9.5 監測頻率

調查與設計階段之手動監測頻率以每一至三個月至少一次為原則，監測時間可依據天氣條件調整。半自動及全自動監測系統之量測頻率至少 30 分鐘一次，以掌握豪雨等特殊事件期間監測成果之完整性。

9.6 監測期程

調查與設計階段之監測期程以執行一至二年為原則，以取得邊坡地下水位及地層變位資料，利於邊坡之穩定分析及設計。若因調查與設計階段時程受限，則宜至少持續一乾季及雨季之週期。

9.7 監測報告

監測報告應包括監測項目、儀器佈置、監測歷程、量測值以及監測成果之分析等部分。針對邊坡穩定影響因素設置之監測項目數據如有異常，應提出邊坡穩定分析研判結果，以及處理對策建議。

第十章 其他邊坡穩定工程設計

10.1 說明

邊坡破壞類型大致分為落石、邊坡滑動及土石流三大類。其中邊坡滑動可依據本規範前述章節，進行邊坡穩定分析及穩定工程處置設計。

隧道洞口邊坡依據本規範進行穩定工程處置設計時，應另行考慮邊坡受隧道開挖擾動之影響。

本章說明落石防治工程處置設計。土石流防治工程處置，可依據相關規範辦理。

10.2 落石防治工程處置

10.2.1 落石防治基本原則

落石防治的目的在於保護通行人車及公路相關設施，免於遭受落石災害。防止落石災害的方法，可分為落石防治工程處置與交通管制二大類。落石防治工程處置對策包括「落石預防工程處置」與「落石防護工程處置」；交通管制對策可採區間禁止通行或管制通行的方法。

落石防治的基本原則須妥善應用落石坡面調查結果，周詳考量現場狀況後，再決定對策工法，並充分考量各防治工程處置功能上之限制。併用組合多種工程處置，成效往往優於採用單一工程處置。

10.2.2 落石防治工程處置之選擇

落石防治工程處置包括在落石發生源頭實施的「落石預防工程處置」，以及發生落石時降低災害程度的「落石防護工程處置」，應依據道路及坡面的狀況，選擇最適當的工程處置。

落石防治工程處置之種類配置及設計條件，應依據落石之不穩定程度、落石規模、落下路徑、運動型態等，適當模擬及分析計算。

10.2.3 落石預防工程處置設計考量

僅依賴落石預防工程處置可能無法完全阻止落石發生時，可考慮同時併用落石防護工程處置。

應充分發揮落石預防工程處置的機能，進行妥善的設計。設計時應考慮落石發生原因及地形條件、各對策工法的特點、道路設施、交通運輸狀況、對周邊環境的影響等因素，有效實施對策工法及其併用工法的組合。

10.2.4 落石防護工程處置設計考量

落石防護工程處置的設計，須先分析設施所承受之外力，再依據現場調查或過去防治等經驗，以決定最妥適的設計條件。

落石防護設施設計時，應考慮落石發生原因及地形條件，各對策工法的特點、道路設施、交通狀況、對周遭環境的影響等，有效實施對策工法及其併用工法的組合。

規範解説

第一章 總則

C1.1 說明

C1.2 法令依據

C1.3 適用範圍

本規範適用於公路邊坡調查與試驗及其穩定保護設計，基於風險管理及工程生命週期考量，使公路邊坡於設計使用年限內具預期之安全性。

C1.4 一般原則

大地工程參數為建立地層條件、土工設施與邊坡穩定分析模型所需之參數，包括地層與邊坡幾何尺寸(例如地層厚度及邊坡傾角、走向等)以及坡體材料之物理性質與力學特性參數(例如單位重、壓縮性、滲透性、變形模數與強度參數等)。

量測值為各種現地與室內試驗量測所得之數值。例如：現地調查試驗得到之地下水位高程與標準貫入試驗 N 值、室內三軸試驗測得土壤之變形模數與剪力強度參數凝聚力或摩擦角。

推估值係由量測值，經過理論、經驗或統計相關性，估算而得之大地工程參數。例如：由標準貫入試驗 N 值利用經驗式推估砂土相對密度或土層變形模數。

限度狀態定義設計邊坡及相關土工設施的性能狀態，當性能狀態被超越後，邊坡及相關設施將無法滿足其相關之設計準則。邊坡設計時應依據其性能需求決定限度狀態，原則上應考慮下列二種限度狀態，必要時亦可包括其他限度狀態。

- **使用性限度狀態**：係常時狀況下，土工設施在設計使用年限內皆能確實執行定期維護時，其設施性能符合之使用需求。使用性限度狀態之地下水位以常時水位考量，地震狀況可參考公路相關設計規範定義之中小度地震，如「公路橋樑耐震設計規範」。
- **修復性限度狀態**：在修復性限度狀態內，土工設施若受損，仍可藉經濟可行的修復手段使其恢復耐久性與原有使用機能，且其重要性仍能保持的限度狀態。修復性限度狀態之地下水位以設計使用年限內之高水位考量之，地震狀況以設計地震加以考量。

特徵值為使用分析模式預測地工設施限度狀態過程中，最適合之大地工程參數代表值。

設計值為進行性能驗證時，代入分析模式計算之大地工程參數。若以分項係數法進行設計時，特徵值乘以分項係數即為設計值。

公路邊坡設計應考慮坡體穩定工程處置的大地監測系統，提供施工過程透過觀察法，依據現場施工及監測結果，針對原設計進行檢核及必要之修正。

公路邊坡可依據交通量、經濟價值、保全對象及替代道路等，分類邊坡設計類別，如：

- SC1 類別：重要性一般或交通流量較少之公路邊坡屬之。
- SC2 類別：重要性中或交通流量中等之公路邊坡屬之。
- SC3 類別：重要性高或交通流量大之公路邊坡，如國道、快速道路或重要公路。

因地形或質條件限制、道路邊坡重要性或其他特殊考量，公路主管機關得定義特殊考量類別公路邊坡及其設計安全性要求。

C1.5 名詞定義

不同邊坡破壞類型的規模與運動速率差異很大，因此，邊坡之設計與施工應注意邊坡可能的破壞類型。表 C1.5-1 整理邊坡破壞型態分類，係譯自 Hungr 等(2013)更新 Varnes(1978)之分類法，主要分類因素包括邊坡運動型態、速率、路徑以及移動材料等。國內常依邊坡破壞的運動方式概分為落石、邊坡滑動以及土石流等三類。其中落石包含墜落與傾覆，側潰類型在台灣較為少見，而坡體變形因運動速率低，需較長的監測時間釐清其影響範圍。

表 C1.5- 1 邊坡破壞型態分類(譯自 Hungr 等(2013))

運動型態	材料種類	
	岩石	土壤
墜落(fall)	岩石墜落(rock fall)	巨礫/岩屑/粉砂滾落(boulder/debris/silt fall)
翻覆、傾覆 (topple)	岩石塊體傾覆(rock block topple) 岩石撓曲傾覆(rock flexural topple)	礫石/砂/粉砂傾覆(gravel/sand/silt topple)
滑動(slide)	岩石弧形地滑(rock rotational slide) 岩石平面型滑動(rock planar slide) 岩楔滑動(rock wedge slide) 岩石複合滑動(rock compound slide) 岩石不規則滑動(rock irregular slide)	黏土/粉砂弧形地滑(clay/silt rotational slide) 黏土/粉砂平面型地滑(clay/silt planar slide) 礫石/砂/岩屑滑動(gravel/sand/debris slide) 黏土/粉砂複合滑動(clay/silt compound slide)
側潰(spread)	岩坡側潰(rock slope spread)	砂/粉砂液化側潰(sand/silt liquefaction spread) 靈敏性黏土側潰(sensitive clay spread)
流動(flow)	岩石崩滑、岩石崩流(rock avalanche)	砂/粉砂/岩屑不飽和流動(sand/silt/debris dry flow) 砂/粉砂/岩屑流動(sand/silt/debris flow slide) 靈敏性黏土流動(sensitive clay flowslide) 土石流、岩屑流(debris flow) 泥流(mud flow) 岩屑洪流(debris flood) 土石崩流(debris avalanche) 土流(earth flow) 泥碳流(peat flow)
坡體變形 (slope deformation)	山坡變形(mountain slope deformation) 岩坡變形(rock slope deformation)	土坡變形(soil slope deformation) 土壤潛移(soil creep) 土石緩滑(solifluction)

如所採邊坡工程設施有設計使用年限不一致之情形，則應於使用年限內予以重新補強或施設，以使邊坡之相關設施於設計使用年限內具一致之有效性。

邊坡穩定分析時所採用之「常時水位」，為依據地下水位觀測井於調查期間觀測所得之平均地下水位，並依據當地水文資料及以往之觀測資料，加以適當研判推估後，決定「常時水位」。於常時與地震時狀況下之邊坡穩定分析採用此地下水位。

高水位可依據降雨強度、降雨延時、地表逕流量、坡面與坡體材料之滲透係數及工程控制條件推求。

第二章 工址調查

C2.1 說明

近年來坡地災害發生頻繁，公路邊坡工程調查技術漸漸受到重視。坡地地質及水文條件變異性大，在開發前如未能有效調查，往往造成開發中或開發後邊坡不穩定之現象。本章闡述公路邊坡工程所需的大地工程調查規劃，其目的在於獲得工址地質與地工資訊，並依需要針對地工參數進行評估。

坡地之地質條件及水文狀況較一般平地變異性大，常因潛在因子(如地下水位面變化)未能全盤掌握，導致開發風險增加，甚至發生災害而必須投入更多整治經費。考量坡地開發對環境及生態之影響，於規劃階段應依環境影響評估法、地質法及水土保持法相關法令納入各項調查，並進行整體可行性評估。

為使工址調查成果足以提供公路邊坡設計所需充分的地質與地工資訊，設計與調查雙方應及早討論並密切合作，擬定調查計畫，適時提供適當調查成果，以達成更有效率的工程設計。

本章有關工址調查各項規定係以重要性高的邊坡類別為主要對象，並可依據公路之交通量、經濟價值、保全對象、替代道路或其他特殊考量，適度調整應用。

除本規範要求外，公路邊坡通過「地質敏感區劃定變更及廢止辦法」所定義之地質敏感區，應依「地質敏感區基地地質調查及地質安全評估作業準則」之相關規定進行補充調查。各階段工址調查如於開發期程中屬水土保持法管轄範圍，則於開發期程應滿足「水土保持技術規範」內容要求進行調查。若為特殊重要工程，或其他相關法令另有規定者，需配合詳細考量。

C2.2 調查規劃原則

工址調查應依工址地質及地工條件與工程特性，擬訂工址調查計畫後辦理。大地工程調查計畫應考慮工程之施工方法、以及所建造地工構造物之性能要求，且遵循國家標準或相關規範，進行周詳之規劃以利調查工作之推行。

調查的範圍應視工程規模、種類與特性，適當規劃調查內容，考慮邊坡類別、邊坡破壞類型、邊坡風險程度，規劃適當的調查方法、項目、數量、位置以及預算編列，以有效獲得工址之地質、地形、地球物理、水文等資訊。工址鄰近有關的舊有工程、建物、基礎等歷史開發紀錄、以及自然環境變化等背景資料，宜納入調查

計畫之規劃內容，儘可能蒐集。

C2.3 調查階段與項目

工址調查為分階段、分精度、持續性之工作，公路邊坡大地工程調查計畫原則上應包括規劃階段調查計畫、基本設計階段調查計畫、細部設計階段調查計畫、施工階段調查計畫。不同階段，調查工作底圖與調查精度即有所不同。各階段之調查，均應基於前一階段調查成果妥善擬定調查計畫，因此，每一階段調查成果應說明下一階段調查要項。

工程規劃階段應參考環境影響評估法、地質法及水土保持法相關法令規定，妥善進行調查規劃。工程設計與施工階段之調查，則應基於規劃階段之調查成果，逐步更新與提高地質模型之精度。細部設計調查計畫應根據基本設計調查計畫之結果進行詳細的規劃，以符合設計需求，並要求施工階段應詳細記錄施工過程所遭遇之地層變化、地質弱帶、地下水位變化等相關資料，以進行地質模式之修正，以及設計參數調整，視需要檢核工程設計之合適性。

一、 規劃階段調查

1. 此階段調查計畫需依地質法等相關法規和生態保育需求，進行生態環境及工址調查，以進行邊坡開發規劃設計，並依其開發規模及相關法令之規定，就開發行為對於環境與生態之衝擊與影響加以評估。
2. 此階段調查計畫除需蒐集相關文獻外，並需進行野外實地調查蒐集資訊。
3. 規劃階段之大地工程調查，目的在於先行瞭解工地及鄰近區域之大地工程環境、地質條件、水文條件、大地參數及施工條件，且調查工作底圖精度不應低於 1:25000，並需依相關法規或規範辦理。
4. 此階段調查計畫結果應足夠確認邊坡各項大地工程處置之可行性，並依需要提出替代方案，以減少後續維護成本及復育當地環境需要支出的社會成本。

二、 基本設計階段調查

1. 基本設計調查之目的在於蒐集地質與地工資訊，提供基本設計所需參數。調查工作底圖精度不應低於 1:5000，且調查範圍需適度延伸，必要時需含括整個邊坡。
2. 調查報告須提供足夠之大地工程資訊，包含(但不限於)下列項目：
 - (1) 相關地工設施之型式與樣式初步評估；
 - (2) 建議施工方法並評估其可行性；

- (3)對地工設施行為有明顯影響之地層與地質構造深度與範圍；
- (4)施工過程中對周遭環境之影響；
- (5)工址可能承受之地震規模；
- (6)邊坡穩定分析需考慮相關地質與水文地質條件；
- (7)潛在滑動面或破壞面位置之初步評估；
- (8)細部設計大地工程調查之規劃。

三、細部設計階段調查

- 1.設計者應依基本設計調查之結果，規劃細部大地工程調查，大地工程調查人員應依據其規劃內容進行細部大地工程調查。
- 2.細部大地工程調查工作底圖精度應不低於 1:2000，如有地層變異性大或重要地質構造及地層破碎時，其調查精度宜局部再予以增加。
- 3.調查成果應可提供設計所需參數，以應用於各項設計分析模型，並評估地工設施之性能。
- 4.細部調查中應釐清下列項目，以瞭解工址附近地質與地工特性：
 - (1) 詳細地層與地質構造，如斷層、坑洞及破碎帶等；
 - (2) 坡體滑動、崩積層、或潛變之潛在位置與影響範圍；
 - (3) 土壤與岩石之物理特性、水力特性與力學特性；
 - (4) 坡體工程環境地質條件及水文條件；
 - (5) 岩盤不連續面之特性，包括位態、延續性、間距、粗糙度、壁面強度、開口寬、填充物、滲水、組數與岩塊尺寸等；
 - (6) 膨脹性或塌陷性土壤或岩石。
- 5.經過敏感區之公路邊坡調查時，應依據地質法相關規定進行調查。

四、施工階段調查

- 1.施工階段調查為觀察法重要一環，重要目的之一為檢核地質模型以及回饋設計。
- 2.施工階段各項工程施作期間，應詳實記錄出露之地層狀況、地層弱帶與特性、材料強度特性以及地下水變化情形。若有必要，應進行比例尺大於 1:1000 之地質露頭測繪。
- 3.施工階段各項調查及參數紀錄與設計條件有明顯差異時，應檢核調整地質模型、參數以及設計。本工作為施工過程重要的品質管理要項。
- 4.調查所得地質模型與設計參數，應隨規劃、設計及施工進程之檢視、調查或監測結果不斷更新調整。

C2.4 調查方法

邊坡調查的項目依不同目的，其調查項目會有所不同。工址調查項目包括基本資料蒐集、遙測影像判釋、地表地質調查、地球物理探測、鑽探或其他開挖調查，為獲得設計參數常利用鑽探或開挖調查時取樣，進行室內試驗，或利用鑽探或開挖調查時進行現地試驗；前兩項分析工作可於室內完成，且成果為地表地質調查路線規劃重要參考。第四項以後屬於地表下調查，地表下調查應基於前三項工作成果妥為規劃後再據以執行。

一、基本資料蒐集

1. 資料蒐集應收集足夠精度之地形圖、地質圖、相關環境地質圖資等，以判釋現場地貌、水系以及地層與地質構造資料。
2. 地質圖一般是以現場露頭或是個別鑽探資料推測繪製而成，在現場調查時應依據需求進一步規劃鑽探及進行現地地質調查。
3. 遙測影像可協助判釋地形、地貌及水系、水文，且不同年份的遙測影像可以判斷過去地形演育，進而推斷出工址之歷史及地質資料。
4. 資料蒐集之成果應足以提供地形的描述(如坡度、坡向及地形特徵)、地質特性與所可能發生之邊坡災害類型。
5. 地質調查應依計畫需要及地質之複雜性，選用適當比例尺之地形底圖，各階段調查所需地形底圖之精度需求如下：
 - 規劃調查階段不低於 1:25,000。
 - 設計調查階段不低於 1:2,000。
 - 施工階段不低於 1:1000。
 - 重要設施附近可視需要提高地形底圖精度。

二、地表地質調查

1. 地表地質調查應將調查結果紀錄在精度不低於各階段調查所需之地形底圖，一般地表地質調查成果應包括平面圖與剖面圖，且依需要加註文字說明以及照片或示意圖。調查結果應合併室內作業成果，作為地表下調查規劃之依據。
2. 現場勘查時必須注意可能有過去工程留下之地工設施，並參考其他環境地質相關圖資，瞭解相關崩塌潛勢。
3. 地質調查的目的在於找出可能發生崩塌地點，調查主要對象應包含現場地形、水系特徵、覆蓋土層、岩盤露頭、地層、構造、水文地質以及影響邊

坡穩定之地質營力。與岩體及構造相關之調查項目如下：

- (1) 可能之地質構造位置；
 - (2) 弱面之種類、描述與評估；
 - (3) 岩體材料類別；
 - (4) 岩體材料組成、異向性與風化程度。
4. 對於大面積之施工場地，宜進行全面性的地形測繪及地表勘查。
 5. 出露岩體之岩性及構造，應記錄在地質圖中，並在現場紀錄表中詳盡描述，以提供做為地表下調查比對之用。

三、鑽探調查

1. 鑽探調查為地表下調查之主要方法之一，目的在於查明地層垂直剖面、研判地質構造、取得土讓、岩石及其弱面試體、求取土壤或岩石材料之力學性質、尋找安裝儀器、孔內試驗或地錨錨定段最佳位置以及檢驗地質改良效果。
2. 鑽探規劃與施作品質之優劣常主控工址調查之成敗。原則上，鑽探規劃應基於室內作業、地表地質調查以及地球物理探測成果進行。
3. 鑽孔數量應依據各階段不同精度需求加以決定。鑽孔數量於規劃階段應能充分反映地表下地層分佈；基本設計階段應能繪出地質剖面，並初步評估工址可能潛在滑動面或破壞面(若為不穩定邊坡)；細部設計階段除需得到設計所需參數，並應對於潛在破壞面有全面瞭解，且於該潛在破壞面至少佈設3個調查鑽孔，深度以穿過潛在破壞面為原則。此外，對於地質條件變異性大或弱帶出現處，應局部加強調查密度。
4. 施工中調查若發生有與設計階段之調查結果不一致之情況、或是發現邊坡已存在不穩定現象，應視情況需要進行補充鑽探調查。
5. 工址通過其它法規或規範規定適用範圍時，應依其規定進行補充調查。

四、地球物理探測

1. 地球物理探測常可獲得地表下地質條件之二維甚或三維的大範圍資訊，在空間解析度及量測範圍與鑽探具有互補性，可有效輔助鑽探之地表下調查工作。
2. 地球物理探測方法種類繁多，如震波探測、直流電法探測、電磁波探測及孔內地球物理方法等。不同探測方法各有其適用性與限制，調查規劃時需依調查目的與現地條件妥善加以選擇。因地球物理探測成果為利用不同物理方法所獲得之間接物理性質，與工程性質之相關性常存在許多影響因子，

應與其他調查所得資料綜合解釋，以增加地表下地質條件判釋之合理性。

五、土壤與岩石室內試驗

1. 室內試驗工作應依據相關規範進行。
2. 室內試驗可分為土壤及岩石試驗兩部分，並分別進行其基本性質及工程性質試驗。試驗規劃應考量實際地層特性、現地應力、水文狀態以及受工程影響之變動。
3. 求取耐震設計所需要參數時，可採用之動態室內試驗，包含動態三軸、動態直剪、共振柱以及波速量測等。

六、現地試驗

於現地直接進行之試驗，可避免室內試驗因取樣、試體準備等可能造成的試體擾動，同時可獲得現地應力及水文狀態下之地工材料強度或承载力等特性。一般土層以標準貫入試驗(礫石土及岩層不適用)、圓錐貫入試驗(礫石土及岩層不適用)及十字片剪試驗(適用於軟弱黏土)較常使用。平板載重試驗、現地直剪、現場抽水試驗或透水試驗等各有其不同調查目的，需依據施工方式及現地應力狀態考量，進行長短期試驗。現地試驗應依工程設計之需求加以規劃，並考量施工方式及現地應力狀態進行試驗。

七、監測

監測亦為調查的重要方法，例如調查地下水位變化、潛在滑動面或破壞面位置、以及邊坡變形及穩定性，均可利用監測技術獲得重要資訊。大地工程監測可妥善運用調查鑽孔，並視需要埋設監測儀器，於工程不同階段延續進行調查。

八、地下水觀測

地下水量測所使用的設備，應依照土層滲流特性(如受壓、未受壓含水層)不同而有所不同。開放式觀測系統是以地下水位觀測井觀測非受壓或受壓地下水層的水位。封閉式系統則是直接埋設壓力感測計於預定的地層位置，直接量測該點水壓。

開放式系統適用於相對高滲透性的含水層，如砂、礫石層、或富存裂隙的岩層。但在低滲透性的土壤或岩層中，可能會因為地下水滲透流量過小，不及注入或離開觀測井，進而低估或高估地下水位。開放系統若位處或接近調查區域，可解釋為工址的現地地下水位量測結果。此外，水位觀測井若有湧泉或自流井的現象也應注意，表示地表下可能含有受壓含水層或是滲流方向有由深處往淺處流動之趨勢(深處水頭高於淺處)。

封閉式系統則可用於各種土壤或岩層，在滲透性非常低的地層中(如黏性填土或少裂隙的岩層)應該使用封閉系統。非常短期水位變動或快速的孔隙水壓連續變化應採用電子式壓力感測計紀錄數據。

若封閉式系統選用立管式水壓計，仍應留意水壓延遲反應問題。

根據測量目的、現地地形、地層分布與土壤或岩層材料性質決定地下水位觀測站的數量、位置、深度，特別應考慮地層的滲透性，同時，觀測井設置應確保測量到的孔隙水壓是預定位置的水壓力，並應採適當方式阻隔觀測區段地下水與周圍非觀測標的之地層或其他含水層直接流動。

記錄的數量和頻率以及測量週期應視測量的目的，以及鑽井施工後地層水位達到穩定的時間決定；若欲取得地下水位變動資訊，則記錄頻率應該增加，間隔時間應小於預期的環境變動時間，且應至少持續一乾季一雨季。

九、水文調查

區域地下水調查可採用地下水觀測井及水壓計，觀測井之數量依不同階段調查精度需求決定。地下水觀測井數量及位置應考量地質、均質度、地形及水文特性變化及潛在破壞面位置。地下水位觀測井應儘早佈設，其觀測時間應至少持續一乾季一雨季，井深應可反映年度水文變化下之最低水位狀況，且觀測資料須反應地下水之最高及最低水位變化。

十、潛在滑動面調查

潛在滑動面或破壞面調查方法包括地球物理探測、鑽探調查與現地監測，重點在於可能滑動面或破壞面位置之判定，及層面位態是否具有順向坡之型態特徵等。可依據現地地質狀況及地表徵兆，研判滑動面或破壞面可能深度位置後加以調查。潛在滑動面或破壞面之調查應在基本設計階段評估其可能潛在位置，細部設計階段則依據其評估結果進行鑽探規劃及補充調查。一般判定滑動面或破壞面潛在發生位置所需之地質條件如下：

1. 地層剖面及分佈；
2. 覆蓋土層及岩盤之交界；
3. 岩盤內破碎帶；
4. 軟弱地層；
5. 砂岩或頁岩互層之順向坡；
6. 石灰岩、礫石層下接頁岩或泥岩之順向坡；
7. 夾有軟弱黏土薄層；
8. 其他。

如已研判滑動面或破壞面位置，在細部設計調查階段，其鑽探調查之鑽孔佈設，應能穿過滑動面位置深度以下，且應於滑動面上至少選取三孔，針對滑動位置進行採樣及試驗，以協助判定滑動面之確切位置、材料強度以及其他特性。

C2.5 大地工程參數之評估

C2.5.1 一般原則

地工構造物及邊坡之設計與分析，需要建立計算用的相關地盤模型。此模型所需之地工參數應根據所有大地工程調查、室內試驗、以及監測資訊的蒐集，並經適當判讀與詮釋，以充分代表現地盤情形。

由於大地工程參數具有明顯的不確定性，參數特徵值的決定及特徵值之變異程度(以標準差或變異係數衡量)，成為攸關邊坡設計成敗的關鍵因素。

一般分析方法採用安全係數作為設計依據，安全係數為最危險滑動面抗剪力除以驅動力之值。由於大地工程材料參數調查具不確定性，而材料的不確定性在一般的穩定性分析中並沒有直接處理，在數據不足時，實際的安全係數可能不同於分析計算值。地工參數變異性大時，可能採用較高的安全係數。然而，過於保守的安全係數往往造成施工成本的浪費，且仍無法確實掌握安全性；此時可針對潛在滑動面進行取樣密度較高的調查，更精確地掌握地工參數的特徵值與其變異程度。在驗證設計成果之安全性時，可採用可靠度之觀念驗證設計之安全性。

在規劃階段與初步設計階段由於調查時取樣密度較低，為進行邊坡穩定可靠度分析，可採用后列方法之一估算地工參數的變異性：

1. 參考鄰近既存工程施工階段的調查資料、調查報告、或是其他研究報告，以估計現地之大地工程參數與其變異性。
2. 常用地工參數之變異係數(標準差/期望值)。

然而在細部設計階段，參數的選定不宜繼續使用前述方法。細部設計階段之參數選定以採用較密集的取樣調查與實驗所得參數為原則，如調查數量不足以估算參數變異性，宜進行參數敏感度分析，驗證細部設計階段之參數選定。

C2.5.2 大地工程參數決定

推估值是量測值經由理論式或經驗式轉換而成之地工參數值。例如：依據標準貫入N值估算出的楊氏模數值、依據三軸試驗之莫爾圓得到之凝聚力與摩擦角

等。依據大地工程調查、試驗、以及監測得到之地工參數量測值，可以經由地質或地工知識(如理論、經驗式、相關聯性)求得地工參數之推估值。推估值可以經由以下途徑求得：

1. 當推估值與量測值之意義相同時，經評估後，可將量測值視為推估值。
2. 當推估值與量測值之意義不同時，可以將量測值藉由理論式或經驗式轉換為推估值。

特徵值是針對所採用的相關地盤模型評估所得最適當的代表值，目的是要評估設計之限度狀態。當估算特徵值時，必須考慮邊坡的破壞機制，例如淺層滑動的邊坡，剪力強度的特徵值應以淺層的土壤為考量；深層滑動的邊坡，剪力強度的特徵值應以深層的土壤為考量。對土壤的剪力強度而言，特徵值可以視為沿著潛在滑動面之平均推估值。對土壤的單位重而言，特徵值可以視為潛在滑動面以上土體之平均推估值。對土壤與結構界面的剪力強度而言，特徵值可以視為沿著該介面之平均推估值。

C2.6 大地工程調查報告

大地工程調查報告為呈現對調查過程中所有蒐集到的大地工程資訊，包含地質構造、地工特性與相關資料，一般分為紀錄與評估分析等兩部分。紀錄部分為大地工程紀實報告，為呈現地質特徵以及工址相關數據，評估分析部分則分為陳述對調查、試驗、觀察與監測數據之詮釋與評估的結果。

C2.6.1 大地工程紀實報告

大地工程紀實報告之撰寫原則需包含現地調查與現地試驗結果、室內試驗方法與試驗結果、室內試驗報告，報告涵蓋下列各種大地工程資訊：

1. 主要及次要承包商之名稱；
2. 大地工程調查的目的與期望；
3. 現地勘查結果，包含地表水文資訊、鄰近設施行為及工址之工作區地表裸露狀況；
4. 現地調查設備、施作項目、調查數量、取樣數量、試體運送及試體運送程序等報告；
5. 現地試驗方法、試驗結果及試驗結果報告；
6. 地下水位變動之狀況；
7. 施作現地調查與室內試驗的時間間隔；

8. 室內試驗調查方法、試驗方法、試驗結果及調查作業報告；
9. 鑽孔紀錄，包含岩心照片及推定之地層結構；
10. 現地調查結果。

C2.6.2 評估分析報告

工址地工資訊之評估宜包括以下項目：

1. 各種調查、試驗、與觀測結果的圖表，如果必要，應以柱狀圖表示資料之分布關係；
2. 地下水水位、水壓變化與季節性變化之描述；
3. 地盤地質模型之細部說明；
4. 土壤與岩石強度與變形性之詳細描述；
5. 地層內不規則或異狀現象(如空洞等)之描述與可能解釋；
6. 地工參數推估值之資料庫；
7. 如有滑動面時，應包含滑動面之位置以及滑動面相關各項參數之研判；
8. 填方材料特性與開挖過程可能遭遇之困難。

地工參數之選擇，應考慮以下因素：

1. 初始應力狀況；
2. 有效應力之大小與路徑；
3. 應變大小與剪力發展之程度；
4. 水力條件(如排水情形、透水性、與地下水位)；
5. 異向性；
6. 時間效應(如風化、剪動率、潛變、老化)；
7. 應力應變歷史(如過壓密效應)；
8. 反覆的浸水與乾燥之影響(如飽和率、膨脹性、自由水與滯留水)；
9. 不連續面(如節理與破裂面)；
10. 不均質性(如不連續之薄土層)。

當實驗室採用不擾動土樣以估算地工參數時，應考慮樣本取樣時之擾動、樣本中之不均質性及不連續面、尺寸效應等。當估算土樣粒徑分布，或是當採用含易碎顆粒之土樣進行試驗時，需注意準備試體之過程是否會改變土樣粒徑分布。

第三章 土工材料試驗與參數評估

C3.1 說明

材料試驗的目的是經由選擇適當的試驗方法和試驗項目，並藉試驗結果所得的量測值，直接或以理論式、經驗式間接換算得到相關大地工程參數的推估值，經評估試驗所得的參數是否具有代表性、能否反映現地地層環境下大地工程材料的工程特性後，自試驗推求得到的推估值中，決定大地工程參數特徵值，提供邊坡穩定分析及相關土工設施的安全性與可靠度評估所用。因此，材料試驗項目的選擇、試驗方法，以及所得參數的評估相當重要。

取樣、處理、搬運及儲存試體的方法影響其的擾動程度。現地土壤材料的取樣方法可依據取樣過程對試體的擾動程度，概分為三類，取出的試體品質分別對應不擾動、擾動及重模試體；試體品質亦可依據其擾動程度以及所能揭露的現地材料特質資訊，分為不同的等級。為獲得可信的土工材料參數，應自試驗規劃及取樣階段，依據試驗對試體品質的要求，自適當的取樣方法中選取合適者執行，試驗結果之評估亦應考量試體品質所能揭示的土工材料特性。

本章說明材料試驗規劃時應依循的原則以及邊坡工程常用的各種現地或室內試驗方法及注意事項，並介紹自各該試驗能推定的大地工程參數推估值。

C3.2 現地取樣

現地取樣前首先應決定土工材料試體的品質要求(如擾動、不擾動或重模土樣)，並考慮地層性質及欲自試驗中瞭解的材料特性，以選擇合宜的取樣方法。

規劃取樣時應注意現地材料的特徵，如不連續面的空間分佈、夾泥等特性；一個完整試體未必能夠代表岩土的整体行為特性。在選擇取樣方式時，應先決定欲自材料試驗中瞭解的是地層的岩土整體特性(連續取樣)，或者只是完整試體的材料特性(間隔取樣)。

一、現地取樣方法

試驗試體的取得方式可分為鑽孔取樣或開挖取樣。取樣的項目及數量應能獲得必要大地工程設計參數之需求。

1. 鑽孔取樣：取樣方法的選擇必須考慮後續室內試驗所需的試體品質要求、尺寸、欲採集試體位處的地層與深度、以及鑽孔過程可得到的其

它大地工程資訊，選取適合的方法及設備進行取樣。

2. 開挖取樣：自開挖明坑、試坑、地下導坑、豎井的開挖面取得岩土試體。

試體應採容器儲放，並於容器適當位置用標籤清楚標明取樣有關資料，例如：(a)合約名稱、(b)場地名稱或代號、(c)孔號、孔位及鑽孔角度、(d)試體編號、(e)取樣日期、(f)試體的簡單描述、(g)試體頂部及底部於地面下的深度、(h)試體取樣的位置及方向。

儲放不擾動試體之容器應能防漏氣、防水，試體上下兩端須與容器兩端修齊，容器壁應用布擦淨、擦乾，試體可用剛熔的臘薄封數層、鋁箔紙或 O 型密封圈密封。試體與封蓋間的空間應用鋸末、砂或其它適合的材料填塞，封蓋可用防水膠帶或封臘密封。供室內試驗使用的取樣試體應儘快小心運送，搬運與儲存過程應盡量避免試體性質受震動及氣候影響而改變。

二、土壤試體

土壤試體須包含取樣來源地層中主要礦物成分，且不應混雜來自其他地層中的材料或取樣過程留下的添加物，並能滿足欲施作試驗的試體品質最低要求。

不擾動試體在取樣、處理與儲存過程中含水量和孔隙率只容許零至微量擾動，試體的含水量與孔隙率與現地土壤相近，土壤所含的化學組成物性質與比例未發生改變。但在特定的意外狀況下，如地層的改變或變異，仍可能導致試體品質不如預期。

擾動試體中土壤所含的化學組成物性質、比例未發生改變，仍能自試驗結果得知自然含水量、大致辨別不同土壤層的排列、走向與組成物，但土壤試體的結構已因擾動改變。但在特定的意外狀況下，可能導致取得的試體品質不如預期。

因取樣、處理與儲存過程嚴重擾動，試體中土壤結構已完全改變，以致不同於現地，試體品質接近重模狀態。不同土層或組成物已無法識別，且試體的含水量已無法代表現地的自然含水量。

由現地土壤性質和取得的試體等級擾動程度，可進行不同試驗。例如，擾動試體一般不會對土壤顆粒造成影響，故粒徑分佈試驗可採用擾動試體進行，但試體擾動可能改變土壤排列結構及含水量，故應特別注意選用試體之擾動狀況。

三、岩石試體

岩體中不連續面和填充材料的特性經常主控岩體材料強度或變形行為，在岩石取樣過程中，這些岩體中構造弱帶及其填充材料必須被謹慎詳實的記載及

取樣。

不擾動岩石試體的岩石結構在取樣和處理過程幾無擾動，可自試驗直接推定現地岩體或岩石材料強度與變形特性、含水量、密度、滲透性。岩體中的組成物質未發生改變。

擾動岩石試體的岩石結構已經被擾動，岩體的整體強度、變形行為、含水量、密度、孔隙率及滲透性已經發生改變，但仍能取得包含現地岩體中所有的組成物質並保留各組成物的原始比例的試體。試體中的岩塊仍保有與現地岩塊(非完整岩體)相同的強度與變形行為、含水量、密度與孔隙率，同時可識別出岩體中不連續面的大致排列方式。

因取樣、處理與儲存過程嚴重擾動，造成試體中岩體結構與不連續面的性質已不同於現地，此類試體中岩石材料已經被擊碎，組成物可能發生改變，僅能從中得知岩石種類。

四、試體取樣規劃

規劃土壤及岩石試體取樣程序時，首先基於大地工程調查的目的、現地地質狀況、大地工程設施或設計工法的複雜度，研擬欲進行的試驗項目和數量，進而決定試驗所需的試體品質要求與試體數量。依照試體必須具備的現地特性，決定適當的試體品質等級，並綜合考量預期的現地土壤、岩石類型和地下水條件，自合適的地工材料試體取樣方法類別中選取。

規劃鑽探取樣時，可依照取樣樣本的位置和特性，採用兩種不同的策略。第一種是取得完整連續的試樣，鑽探時於鑽孔底部使用鑽掘器材或特定的取樣器取樣。另一種策略是只取得鑽孔中特定深度的試體，如薄管取樣及標準貫入試驗(SPT)。

取樣規劃時，鑽探或挖掘方法的選擇及採用的取樣設備，應符合相關規範規定的取樣方法類別要求。

取樣時，應考慮取樣樣本之代表性。在非均質地層或必須詳細調查現地地層狀況之處，鑽孔取樣時可採用連續取樣或增加取樣數量。

取樣過程除了機械性擾動和試體取出後的應力釋放外，取樣的土壤類型亦影響試體擾動程度。敏感性高的土壤容易被擾動，須特別注意取樣造成的試體擾動；敏感性低的土壤(如硬粘土)，或可選用限制較少的取樣方法取得不擾動試體。不同工程問題需要土壤參數的精確度並不相同，在規劃取樣程序時，應納入充分考量前述各因素，使取得的土壤試體擾動程度滿足一致性，以及試體品質可接受之需求。

C3.3 現地試驗

現地試驗可避免取樣時對土壤或岩石造成之擾動，為取得土壤或岩石工程性質之可靠方法之一，惟所測得之參數受試驗時的現地環境條件影響，應用於推求大地工程參數時應考量此項限制。

現地試驗規劃時，應依據地質條件以及地工設施的設計方法和施工所需，決定適合的試驗項目、施作位置及數量。進行現地試驗應注意下列事項：

1. 現地試驗應參照最新國家標準相關規範辦理，無相關規範者，應採公認之試驗方法或規範為之。無適當方法或規範者，其試驗方法應經專業人員認可。
2. 現地試驗應依工址既有地盤資料、設計需求及施工方法，訂定試驗計畫，包括試驗目的、依循規範、試驗方法、施作位置、數量、試驗設備、流程，資料擷取、結果分析及參數評估等。
3. 現地試驗之儀器設備均需經國家認證之試驗機構或學術單位校核簽證，校核結果與其時效須經查驗。
4. 試驗結果之合理性應加以評估。依據現地試驗結果計讀或推導地工參數時，應考慮試驗時現地環境條件之影響。若前後期調查結果不相符、或與對工址原有認知不符合時，應考慮進行補充試驗或變更試驗項目，評估試驗結果時亦可參考取樣時的鑽探紀錄。
5. 地層的結構或材料組成若具有異向性，進行現地試驗時應一併考慮。
6. 處理試驗結果時，若使用理論式、經驗式或圖表推定相關大地工程參數或係數，應考慮該轉換公式在個案中的適用性及參數的使用範圍。推定參數時，應依循各試驗規範或相關研究報告所規定的轉換公式，並考量轉換公式是否適用於試驗時的現地地層或環境條件，並確認所推定的參數是否與其他方法所得資料相符。

現地試驗報告內容應包括試驗規劃描述、試驗規範、儀器設備、試驗過程、試驗結果、結果分析、評估方法及評估結果。

土壤的變形特性常採變形模數、垂直地盤反力係數、水平地盤反力係數等參數描述，常見的現地試驗包括孔內載重試驗、平鈹載重試驗、現場載重試驗；強度特性常採視凝聚力、視摩擦角、黏土不排水剪力強度、尖端阻抗或摩擦阻抗、標準貫入試驗(SPT) N 值等參數描述，常見的現地試驗包括現地直接剪力試驗、現地十字片剪試驗、圓錐貫入試驗、標準貫入試驗；透水特性常採水力傳導係數描述，常見的現地試驗包括孔內透水試驗、變(定)水頭透水試驗、現地抽水試驗等。

岩石的變形特性常採地盤反力模數、彈性模數、包生比等參數描述，常見的現

地試驗包括岩盤孔內變形試驗、套鑽法、孔底法等；強度特性常採視凝聚力、視摩擦角、弱面剪力強度及殘餘強度等參數描述，常見的現地試驗包括現地直剪試驗、現地弱面直剪試驗；透水特性常採水力傳導係數描述，常見的現地試驗包括岩層滲漏試驗、封塞水力試驗、孔內流速試驗。

此外，水位觀測井、水壓計常用於觀測地下水位或孔隙水壓，砂錐法及夯實試驗常用於推求現地相對密度或夯實度，孔內攝影掃描常用於調查地表下之弱面分佈及位態。

C3.4 室內試驗

進行室內試驗時，需特別注意下列事項，以免影響室內試驗之結果。

1. 室內試驗項目與數量須依據各階段調查、工程需要以及地盤特性訂定。
2. 室內試驗使用之儀器設備應經國家檢校單位校核簽證，校核結果與其時效須經查驗。
3. 現地採取之試體及薄管送達實驗室後，應先核對隨送之紀錄表無誤後，方予收藏。試體及薄管應收於專用之儲藏設施中，並妥善管理，以免試體遺失或受到擾動。試驗前所有試體均應再行檢視，確定其品質，不符品質要求者應予捨棄。
4. 室內試驗應參照最新國家標準相關規範辦理。國家標準無相關規範者，得採國際規範或公認之試驗規範或方法替代；無適當之規範者，應採用經專業人員認可之試驗方法。
5. 試驗結果之合理性須加以評估，不合理者應予廢棄，並補作試驗。為免試驗結果偏差，同一試驗之試驗數量應多於1組。

室內試驗報告應包含前言、取樣方法、試體品質、試驗規範及試驗結果等章節。試驗原始紀錄應予以存檔，以備查考。

一、土壤試驗

物理性質試驗主要用於土壤或岩石的分類，將性質相似的土壤，劃分為同一類別，所需試驗包括含水量、液塑性限度、比重、粒徑分析等測定。常見的土壤物理性質試驗包含含水量試驗、阿太堡限度試驗—液性限度(LL)及塑性限度(PL)、比重及粒徑分布。

土壤及地下水的不同化學性質可能對工程設施、土壤強度及進行土壤改良時造成不同影響，可測定其有機質、氯鹽、硫酸鹽、及氯化物含量以及 pH

值大小，提供設計參數之參考。

土壤之強度特性可由視凝聚力及視摩擦角等參數描述，常透過土壤直接剪力試驗、土壤三軸壓縮試驗、土壤單軸(無圍)壓縮試驗求得；壓縮性與變形特性可由壓縮指數、回脹指數、壓縮係數、體積壓縮係數及壓密係數等參數描述，常透過單向度壓密試驗以及三軸壓縮試驗，以直接或間接方式求得。

土壤的透水特性常用水力傳導係數描述，常依據其滲透性高低，分別採用定水頭試驗及變水頭試驗測定。

現地場址若有土壤夯實之需要，則需先於實驗室內對於欲夯實之土壤進行夯實試驗，其目的在於求得土壤含水量與夯實後乾密度之關係；此外，夯實完畢之試體亦可採用加州貫入比等試驗，量測其強度隨含水量之變化。

二、岩石試驗

岩石的一般物理性質常以其單位重、含水量、比重、孔隙率及吸水率等參數描述。

岩石浸水後若因吸水而產生體積變化，則需進行吸水膨脹試驗，膨脹性試驗分為以下兩種：(1)在體積不變的狀況下量測回脹壓力(單向度回脹壓力)，(2)在自由回脹的狀況下量測回脹應變(含單向度及三向度回脹應變)。此兩種試驗分別稱作單向度回脹壓力試驗及單向度(三向度)回脹應變試驗。回脹壓力與回脹應變均為該岩石之膨脹性指標。

岩石在不同濕度、溫度之環境下，會有不同程度的風化及崩解現象，常透過消散耐久性試驗測定其消散耐久性指數描述之。

岩石的強度特性可由視凝聚力、視摩擦角、單壓強度、抗張強度等參數表示，常透過點荷重試驗、岩石單軸抗壓強度試驗、岩石三軸壓縮試驗、岩石弱面直剪試驗、巴西人試驗等方法求得。

因岩石與岩體破壞包絡線常非直線，應特別注意莫爾庫倫破壞準則之適用性，此外，岩體強度不易根據室內實驗獲得，通常需根據岩體分類法加以評估。不連續面強度除了利用岩石弱面直剪試驗求取以外，亦經常利用野外調查不連續面特性，並依據不連續面粗糙度、壁面強度以及正向應力推估不連續面破壞準則。

C3.5 試驗結果的評估與參數的推定

C3.5.1 試驗結果的評估

室內或現地試驗中取得的大地工程資訊應該再經過評估，以確認其代表性、合理性及適用性，並收錄於現地調查報告中，調查報告應包含的項目有：

1. 現地調查與室內試驗調查的結果；
2. 試驗過程的檢討與建議；
3. 根據調查結果對現地地層簡化分層的敘述；
4. 各簡化地層一般物理性質、力學性質以及變形行為的說明；
5. 對邊坡內不規則地層變化或特殊地質狀況如不連續面等性質加強說明；
6. 評估地下水位變化、地層種類、取樣方法、試體的儲存、運送和處理過程對試驗結果的影響以及校正結果；
7. 根據試驗結果，重新檢視內業預判結果和現地調查時之異同，並檢視對於地層細部狀況所做的假設。

應儘可能包含的項目包括：

1. 以圖表綜合說明根據工址調查結果之現地地層剖面，說明相關地層的分布與邊界以及地下水位；
2. 由試驗結果推定的土工材料之大地工程參數，並檢討其代表性、合理性與適用性。

評估試驗結果，推定大地工程參數與撰寫現地調查報告時，應注意現地地層中是否存在弱帶(及相對應的試驗值)，否則在推定大地工程參數時可能會忽略地質弱帶的存在和潛在危害。此外，大地工程參數的變異度可能造成工址設計條件的顯著差異。依據試驗結果推定大地工程參數時，應注意相同地層中經由不同試驗項目結果推定的參數是否相符，若有差異則應記錄並進行進一步討論。

推定不同地層面的交界或地下水位時，應依據地質學原理進行評估，若調查點位夠密集且地層空間變化不致過於劇烈，則可使用地質統計學內插方法，但應同時記錄所使用的內插方法以及適用的證明。

地下水量測結果的評估需考慮工址的地質條件與大地工程條件、單一測量結果的準確度、孔隙水壓長時間的變動、觀測期長短及觀測季節與工址的自然氣候條件。評估項目應包含觀測到的地下水位、孔隙水壓的最高值及最低值，並記載

該值發生的時間。若有需要使用工址附近於極端氣候下的地下水位上下限，則可由正常狀況下地下水位測量結果推估而得，若推估值缺乏資料佐證，應小心使用。

C3.5.2 大地工程參數推估值的建立

有關大地工程參數推估值的建立，可參考本規範第二章相關說明。

第四章 邊坡穩定分析

C4.1 說明

邊坡穩定分析必須對邊坡所處之地形環境、地質構造及工程條件，以及邊坡之幾何形狀、材料力學特性、受力情況及坡內孔隙水壓之分佈狀況等因素有充分之瞭解，研判邊坡可能的破壞類型，選取適當的分析位置、剖面以及適當的參數，方能得到合理的邊坡整體穩定分析結果。

進行邊坡穩定分析之前，應先依據地形條件、地層及地工材料特性，評估邊坡可能的破壞類型後，針對各破壞類型進行穩定分析。邊坡破壞類型依運動方式可概分為落石、邊坡滑動及土石流等。本章所討論的邊坡穩定分析主要針對滑動破壞類型，具其他破壞類型潛能之邊坡，可依相關學理方法分析其穩定狀態。

滑動破壞類型在土壤邊坡及岩石邊坡中的型態以及影響因素皆不相同。土壤邊坡坡體地層以土壤為主，無明顯層面或是不連續面之軟岩、高度破碎之岩層、以及填土邊坡等亦有類似的特性。岩石邊坡泛指穩定性受地質構造或不連續面控制之邊坡，一般以岩石地層為主。

邊坡穩定分析常見的方法有極限平衡法及數值分析法兩大類。採用極限平衡法分析計算安全係數之步驟如下：

1. 依地形環境、地質構造、工程條件以及經驗研判，選取適當的分析位置並假設一可能之滑動面之位置。
2. 針對該滑動面進行穩定分析，並決定其安全係數。
3. 重新假設滑動面並進行分析。
4. 重複前述步驟，直到獲得最小之安全係數為止。

該最小安全係數即為邊坡整體之安全係數，所對應之滑動面即為臨界滑動面。

部分邊坡採用極限平衡法分析安全係數雖符合要求，卻存有變形過大之疑慮，或是部分邊坡具持續蠕動等潛變情形，無法採用極限平衡方法準確分析，此時邊坡設計條件受變形量控制，可藉由數值分析方法，考慮坡體之應力及應變行為，推求坡體變形量及可能之破壞形態。此外，對於地層複雜、破壞型式不具規則性、潛在滑動面不易判定之邊坡，或是地形複雜影響地震力作用時，亦可藉由數值分析方法分析其穩定狀態。

數值分析成果可提供邊坡變位參考，然所求得之變位受材料組成律、參數及邊界條件設定之影響，可能與實際變位有所差異，且邊坡長期持續變位不易準確模擬

分析，故數值分析法雖可協助研判邊坡穩定與變位情形，仍宜注意其於實際情形之適用限制。

C4.2 土壤邊坡穩定分析

土壤邊坡穩定分析常採用極限平衡方法進行。不同地層條件下，滑動面如為平面、圓弧及複合等較具規則之破壞型態，可分別採用平面分析法、圓弧分析法及切片分析法。對於其他較不具規則或坡體變形較大者，可採用數值分析方法進行穩定分析。

邊坡穩定分析應考慮現地土壤應力可能之變化，選擇「有效應力分析法」或「總應力分析法」進行分析。土壤材料特性參數可能隨應力狀態而改變，邊坡穩定分析應考慮坡體臨界滑動面附近對應的應力範圍，選擇適當的材料參數。

平面分析法、圓弧分析法及切片分析法說明如后：

1. 平面分析法

假設破壞面為一平面，如 Culmann 分析法及無限邊坡法，一般適用於具明顯弱層地層、且弱層約略平行於坡面或出露於鄰近坡趾處之邊坡。

2. 圓弧分析法

假設破壞面為一圓弧，可採用 Taylor 分析法及摩擦圓法。此分析法僅適用於均質、邊坡幾何形狀及地層條件不複雜之邊坡。

3. 切片法

此方法將滑動體分成許多個垂直片段，適用於非均質土壤、邊坡幾何形狀及地層條件複雜、或是需慎重考慮孔隙水壓力之邊坡。依據力平衡條件簡化程度及不同的切片間作用力假設，衍生出不同之切片法，如 Bishop 簡化法、Janbu 簡化法、Janbu 嚴謹法、Spencer 法及 Morgenstern-Price 法等。滿足完整力平衡條件之切片法，其安全係數準確度通常優於僅滿足部分力平衡條件之切片法。Bishop 簡化法一般而言精度已相當準確，然因此法所採用之片間水平合力為零條件，受到外加水平力作用如地錨或水平地震作用力時，則不適用。滿足所有力平衡條件的切片法，稱為嚴謹切片法(如 Spencer 法、Janbu 嚴謹法及 Morgenstern-Price 法)，此類切片法可分析不規則形狀之滑動面，適用範圍相對較廣。

對於地層複雜、破壞類型可能不具規則性或多重潛在滑動面、或坡體變形過大之邊坡，可採用有限元素或有限差分法等數值分析方法進行穩定分析。

C4.3 岩石邊坡穩定分析

岩石邊坡常受地層構造及不連續面的空間分佈，以及其與坡面的相對關係，具有平面滑動、楔形滑動以及傾覆(翻倒)等不同的潛在運動型態，可採用立體投影分析，研判可能的破壞型態，以利後續穩定分析。

1. 平面滑動穩定分析

滑動面與張裂隙的走向皆平行或近乎平行坡面、張裂隙垂直時，地下水可能沿裂隙滲入滑動面，並在滑動面於坡面交會處滲出，形成三角形分佈的水壓力，導致張裂隙與滑動面構成的岩塊發生滑動。平面滑動穩定分析需針對張裂隙與可能滑動面形成的滑動塊體，考慮塊體自重、張裂隙與可能滑動面上水壓分布、地錨及其他工程設施等，採用滑動面之弱面材料參數進行分析。坡面甚陡且張裂隙非常接近坡面時，需注意滑動面上水壓力合力以及張裂隙水壓力合力是否可能造成滑動塊體傾覆，不限於平面滑動穩定分析。

2. 楔形滑動穩定分析

邊坡之坡面與地層構造或不連續面中的兩弱面可能形成楔形塊體，因塊體自重或水壓力、地震力等外力作用，沿弱面發生楔形塊體滑動或轉動。進行楔形滑動穩定分析時，需依據工址調查結果考量各組節理、層面等弱面與坡面之交會位置，決定可能破壞之楔形塊體，據以計算驅動楔形塊體之下滑力，包括塊體自重、各滑動面上之水壓力以及外力，並依據驅動力之合力與兩弱面的空間關係，分析滑動破壞係沿兩弱面之交線滑動、沿某一弱面滑動或沿某一弱面轉動等。各種破壞型態中阻抗與驅動比值最小為楔形破壞之安全係數。

C4.4 數值分析方法之選用

數值分析可採用有限元素法、有限差分法、邊界元素法、離散元素法等方法。設計條件受變形量控制之邊坡運用數值分析法進行邊坡穩定分析時，需注意坡體材料在大變形條件下的應力及應變行為，選擇適當的材料組成律及參數，並檢核數值分析解算過程在坡體內部以及邊界條件等方面，皆符合大變形條件下的力平衡與位移諧合。

相對於極限平衡分析及理論公式，數值分析通常需要更精細的坡體材料組成律以及參數，尤其是地質構造、不連續面以及相關的剪力強度參數，對於水壓力及可能的外力及作用位置亦需較精確的資訊。邊坡穩定若需採用數值分析時，工址地質

調查計畫及材料試驗即應提供所需之資訊。邊坡穩定之數值分析應考慮施工程序及擋土設施，並視需要進行二維或三維穩定分析。

邊坡除整體穩定問題外，部分亦存在局部岩塊失穩的課題。除離散元素法外，可採用關鍵岩塊理論及不連續變形分析法進行分析計算。關鍵岩塊理論須依據岩坡弱面組數、位態、間距、延伸及弱面強度等資料，計算最大關鍵岩塊，評估邊坡岩塊之穩定性。不連續變形分析法具有完整之塊體運動架構，可處理分離塊體間之互制與互動行為，進行岩塊的大變位分析及運動計算，除穩定分析外，亦適用於落石及傾覆破壞等岩坡破壞型態分析。

C4.5 應力狀態、地下水及地震力

土壤邊坡分析應依據分析考慮設計年限內現地土壤應力、孔隙水壓力可能之變化，採用「有效應力分析」或「總應力分析」進行。選擇「有效應力分析」或「總應力分析」的主要考量，在於何者能適當描述因應力狀態改變造成的邊坡穩定程度變化。

「有效應力分析」考慮坡體孔隙水壓分布及變化，計算坡體材料之有效應力，採用有效應力強度參數進行邊坡穩定分析。坡體之孔隙水壓分布可經由實際量測的地下水位、水壓推估獲得，亦可依據理論，採用孔隙水壓參數計算超額孔隙水壓的變化，或採用數值分析方法模擬坡體內孔隙水壓分佈及變化決定。對於填方邊坡及長久性挖方邊坡之長期狀態，坡體內孔隙水壓經過長時間的消散，水頭接近靜止或地下水壓分布呈穩定狀態，適合採用「有效應力分析」進行邊坡穩定分析。施工中邊坡例如回填中路堤下方地層，若地層排水速率緩慢，坡體內孔隙水壓處於持續變化狀態，欲採用「有效應力分析」進行邊坡穩定分析時，需能準確量得坡體內孔隙水壓之變化。

軟弱黏土地層上的填方邊坡，因地層排水速率慢，填土過程超額孔隙水壓未必能及時消散，邊坡穩定分析以採用「總應力分析」為宜。邊坡填方完成後之長期狀態，因超額孔隙水壓已消散，則可採用「有效應力分析」。

「有效應力分析」與「總應力分析」的分析程序相似，不論採用何者進行邊坡穩定分析，皆應考慮邊坡施工期間以及長期狀態可能產生的荷載變化，且應分別依據坡體臨界滑動面附近的應力變化範圍，選擇適當的材料參數。一般而言，施工期間重視短期邊坡穩定，常採用「總應力分析」，地下水位短期變動大或存在急速洩降情形，亦以「總應力分析」不易出現過大的偏離。而自然邊坡具開挖解壓、長期滲

流等情況，則常採用「有效應力分析」進行分析。當邊坡存在地下水滲透時，應考量水流方向造成地下水壓力的變化，通常可透過土壤浸水單位重配合滲流力作用分析影響程度。

分析過程應注意坡體中應力量值及作用方向的合理性。坡頂存在張裂隙時，其位置及深度皆影響分析結果，且通常高估安全係數，應視現地地形況調整張裂隙至適當位置，並經重覆檢核確定安全係數。

地下水位或水壓力可透過現地調查獲得，但在觀測期間獲得的地下水位，不一定能反應設計年限可能發生的最高水位，分析時應評估邊坡中地下水位受降雨和其它因素影響而變動的幅度，或參考「水土保持技術規範」相關「水文調查與分析」章節，依據工址附近水文測站歷史觀測記錄分析推估。

地震對邊坡的影響可採用適當的數值分析方法進行動態分析，亦可採用擬靜態分析配合極限平衡分析安全係數的變化。擬靜態分析之設計地震力可參考 EN1998-1:2004 及「公路橋梁耐震設計規範」，分別考慮近斷層及遠斷層效應，說明如下：

設計地震水平作用力採用 0.5 倍設計水平加速度，而設計地震垂直向作用力則區分為兩種情形，其一為近斷層時，設計地震垂直作用力為設計水平作用力之正負 0.5 倍，其二為遠斷層狀況，設計地震垂直作用力為設計水平作用力之正負 0.33 倍。

擋土構造物若為錨碇或斜樁型式，地震時邊坡受到束制無法自由外移，引致之土壓力大於原本之主動土壓力條件，設計地震力可依照 AASHTO-1996 規範建議，採原設計地震力 3 倍計算之。

對於重要性一般或較低的邊坡，有關地震力之考慮可依據前述水平及垂直作用力酌予調整。

邊坡地層受地震作用時若可能因土壤液化，導致邊坡穩定性疑慮時，應進行土壤液化影響分析。不同限度狀態下對應之荷重如表 C4.5-1。

表 C4.5- 1 不同限度狀態下所對應之荷重情形

限度狀態	地下水位	地震力
使用性限度狀態	常時水位	中小度地震
修復性限度狀態	高水位	設計地震

C4.6 邊坡穩定性評估

整體邊坡之穩定性常採用安全係數表示，安全係數與地工參數 X 、靜載重 FD 、活載重 FL 、與水壓力 FU 等有關，穩定邊坡之安全係數應不小於 1，即：

$$FS(X,FD,FL,FU) \geq 1$$

邊坡設計方法可分為容許應力設計法(Allowable Stress Design, ASD)、性能設計法(Performance-based Design, PBD)及可靠度設計法(Reliability-based Design, RBD)。

容許應力設計法通常採用傳統安全係數的概念檢核穩定性。性能設計法則常採用分項係數(Partial Factor)的概念檢核穩定性，而材料係數法(Material Coefficient Method)與載重與阻抗係數設計法(Load and Resistance Factor Design, LRFD)皆可視為分項係數法的特例。可靠度設計法則是採用破壞機率的概念檢核穩定性。

1. 對容許應力設計法而言，穩定性設計需要滿足：

$$FS(X_k,FD_k,FL_k,FU_k) \geq \gamma_{FS}$$

其中下標 k 代表參數的特徵值， γ_{FS} 為設計所要求之安全係數。公路邊坡設計要求的安全係數 γ_{FS} 常需考慮二點因素：

- (1) 對地質構造、地下水、可能滑動面及大地工程參數之瞭解及掌握程度。
- (2) 當邊坡造成破壞時，可能造成損失之嚴重性。

邊坡破壞後之整治工程，因破壞型態及現地狀況較為明確，且可藉由現地調查獲得大地工程參數，設計安全係數可考慮保全對象與破壞造成損失的嚴重性等因素，酌予降低。

2. 性能設計法

選用性能設計法時，需要求得大地工程參數的「設計值」，並根據該設計值檢核穩定性。地工參數設計值之決定隨著所使用的設計方法而不同，因此設計值決定時應說明所使用的設計方法，並清楚說明設計值的決定流程。

- (1) 對分項係數法中的材料係數法而言，設計值為特徵值乘上適當之分項係數：

$$X_d = \gamma_X X_k, FD_d = \gamma_{FD} FD_k, FL_d = \gamma_{FL} FL_k, FU_d = \gamma_{FU} FU_k$$

其中 γ 為參數的分項係數。分項係數之決定應考慮該參數的不確定性，且需注意該分項係數是用在計算公式的阻抗端或是載重端，例如：靠近坡趾土壤的自重扮演阻抗端的角色，其單位重的分項係數應予折減，即小於 1。材料係數法的穩定性設計需要滿足：

$$FS(X_d, FD_d, FL_d, FU_d) \geq 1$$

- (2) 對分項係數法中的載重與阻抗因素設計法而言，可透過特徵值求得特徵阻抗

與特徵載重，設計阻抗為特徵阻抗乘上適當之阻抗係數，設計載重為特徵載重乘上適當之載重係數：

$$E_d = \gamma_E \times E(X_k, FD_k, FL_k, FU_k)$$

$$R_d = \gamma_R \times R(X_k, FD_k, FL_k, FU_k)$$

其中 E 為總載重， R 為總阻抗， γ_E 為載重係數， γ_R 為阻抗係數。阻抗與載重係數之決定應考慮阻抗與載重的不確定性。載重與阻抗因素設計法的穩定性設計需要滿足：

$$E_d \leq R_d$$

3. 可靠度設計法

由於大地工程參數具有明顯的不確定性，安全係數無法量化這些不確定性，以至於實際的安全係數可能不同於分析計算值。地工參數變異性大時，如採用較高的安全係數，往往造成施工成本的浪費，且仍無法確實掌握安全性；此時可針對潛在滑動面進行取樣密度較高的調查，更精確地掌握地工參數特徵值的統計性質，如期望值、標準差及變異係數。大地工程參數變異程度過大時，安全係數不易反應邊坡整體的穩定性，或是落石、傾覆或邊坡潛移等非整體邊坡破壞情形，可採用可靠度分析，驗證邊坡穩定與安全性。

可靠度設計法中，地工參數特徵值被視為隨機變數(Random Variable)，可以依據現地調查結果估算特徵值的期望值與變異係數。

規劃階段與基本設計階段，可參考鄰近既存工程施工階段的調查結果或其他報告，估算地工參數特徵值之期望值與變異係數。細部設計階段則宜採用較密集的取樣調查與試驗結果，估算地工參數特徵值之期望值與變異係數。依據特徵值之期望值、變異係數、機率分布型式、以及相關係數進行可靠度分析，估算安全係數小於 1 的機率：

$$P[FS(X_k, FD_k, FL_k, FU_k) < 1]$$

此機率稱為破壞機率。邊坡設計之安全係數計算量較小時，可採用蒙地卡羅模擬(Monte Carlo Simulation)估算破壞機率。安全係數計算量較大時，可視隨機變數數量，採用一階可靠度分析(First-order Reliability Method)或子集合模擬法(Subset Simulation)估算破壞機率。

邊坡穩定性之容許破壞機率可依據年破壞機率及破壞造成損失的嚴重性選定。

第五章 邊坡滑動之穩定工程處置

C5.1 說明

公路邊坡設計於規劃階段即應依據工址調查結果，儘量避免通過可能發生邊坡滑動的地區。如無法完全避開，則應調整公路線形或變更構造型式，避免造成邊坡大規模不穩定問題。例如：為了避免在順向坡開挖坡趾，可將構造型式由路塹調整為路堤或橋梁，雖然初期投入的工程建設經費較高，但是考量未來營運維護的風險與成本，採迴避方式仍為安全與經濟之邊坡處置選項。當公路規劃路線經過順向坡路段時，應依下列原則進行：

1. 路線穿越大範圍順向坡、剪裂帶或舊崩塌地時，應加強地質調查的精度，同時儘可能減少對原有地形的擾動，避免過高的挖方或填方。
2. 順向坡之不連續面可能出露或見光時，應特別考量擋土設施型式的選擇及施工步驟，以確保施工中之安全性及長期的穩定性。
3. 順向坡如採用地錨做為穩定設施時，應考量地錨的錨碇段需座落在穩定的地層，並避免不同高程地錨的自由段長度差異過大，造成應力集中。

公路邊坡依人工挖填與否，可分為挖方邊坡、填方邊坡及自然邊坡。挖方邊坡及自然邊坡常因解壓及風化影響，邊坡土壤及岩石材料強度隨時間而減降，邊坡整體穩定性也隨之降低；填方邊坡土壤特性則常因壓密及壓縮等作用，導致邊坡土壤強度隨時間而增加，邊坡整體穩定性也常隨之升高。

公路邊坡經穩定分析後，研判符合設計要求者，可採用排水及坡面保護設施以防止坡面風化或遭受沖蝕；研判屬不符合設計要求者，則需採用邊坡穩定工法以增進邊坡穩定。邊坡排水及坡面保護設施另詳第七章及第八章規範，本章主要針對公路邊坡開發過程，邊坡穩定經分析結果研判屬不符合設計要求者，為了增進邊坡穩定而採用減少驅動力或增加抵抗力等兩類對策相關之工程處置及設施。

1. 減少驅動力：邊坡滑動的驅動力主要為重力，因此減少驅動力即可有效增進邊坡穩定，主要工法包括降低坡角及降低邊坡載重。加強邊坡排水亦可有效減少驅動力。
2. 增加抵抗力：利用工程設施增加邊坡滑動之抵抗力，可分為外部及內部穩定工法。外部穩定工法係於邊坡的坡趾或坡面增加抵抗力以提高邊坡穩定性；內部穩定工法則係提高邊坡抗剪強度來穩定邊坡。

C5.2 設計考量

公路邊坡設計時應依據其重要性，包括交通量、經濟價值、保全對象及替代道路等，考量性能需求並決定設計限度狀態。原則上邊坡穩定分析應符合使用性限度狀態以及修復性限度狀態有關安全係數之要求，各項邊坡地工設施在使用年限內確實執行定期維護時，其設施性能符合使用需求；若遭受損害，仍可藉經濟可行的修復手段使其恢復耐久性與原有使用機能。

為了減輕公路邊坡維護管理之成本與負擔，應優先以自行穩定之坡度配置開挖坡及回填坡。如需設置邊坡穩定設施，則優先採用仰賴自重即能達到穩定之設施，例如坡趾填土、重力式擋土設施，其次考慮採用止滑構造物，如止滑樁、地錨等設施。

C5.3 減少驅動力

邊坡滑動的驅動力主要來自重力。邊坡材料受到重力作用而有下滑的趨勢，一旦驅動力超過滑動面之抵抗力，邊坡即發生滑動。減少驅動力的方式包括：降低坡角或坡高、降低邊坡載重及透過邊坡排水控制地下水位等。邊坡排水於第七章闡述。

邊坡設計於路權、經濟性及工程可行性容許下，可透過降低坡角、減輕滑動土體重量，以增進邊坡之穩定。降低坡角工程處置包括降低各階邊坡之坡度或高度、挖除坡面及坡頂之不穩定土石、增設邊坡台階以降低整體坡角等。降低坡角可有效減輕滑動土體重量，惟降低坡角通常需要更多的路權範圍，因此於規劃設計階段即須充分考量用地需求，及挖填土方之平衡。

公路人工挖填邊坡常採分階方式設計，每一階邊坡之高度以不大於 10 公尺為原則，逐階設置平台，挖方邊坡之設計以直橫比 1:1 至 1:1.5 為原則，而填方邊坡則以直橫比為 1:1.5 至 1:2.0 為原則，實際設計坡度應依地形、地質情況、鄰近結構物情況、經濟性、土方調配、行車視距、邊坡重要性及穩定性等考量而調整。

影響邊坡穩定之載重包含邊坡頂部構造物載重及滑動土體自重；坡頂構造物如位於影響邊坡穩定範圍內，可調整其位置或基礎型式，以減輕對於邊坡穩定之負面影響，例如將坡頂構造物改採深基礎，使構造物載重傳遞至滑動面以下之地層，以降低邊坡載重。如填方邊坡因路權範圍不足而無法降低坡角，或基礎承载力無法支撐填方邊坡重量時，設計可考慮採用輕質回填材料，或採用中空構造物取代填土，以降低滑動土體重量及下滑驅動力。

C5.4 增加抵抗力

增加邊坡滑動抵抗力可透過提供邊坡滑動阻抗或提高邊坡抗剪強度兩種方式達成，前者常利用擋土設施自重，如剛性或柔性擋土設施、坡趾填土等，以及採用地錨之錨碇力提高抵抗力；後者常採用止滑構造物如排樁穿過可能滑動區域，或是地盤改良等方式，提高邊坡的抗剪強度，以增進邊坡之穩定。

坡趾填土可增加坡趾處之靜載重，以增加邊坡之下滑抵抗力。對於遭到挖除坡趾之順向坡，如回填土仍可能不足以維持其穩定性，可於坡趾先採用簡易構造加以支撐，配合必要之排水設施，然後再回填坡趾。

坡趾填土應選用排水性佳之土方，配合設置地表及地下排水系統，以增進邊坡之穩定性。

擋土設施包括擋土牆及擋土排樁等。擋土牆一般可區分為剛性及柔性擋土牆；剛性擋土牆包括重力式擋土牆、半重力式擋土牆、懸臂式擋土牆及扶壁式擋土牆等；柔性擋土牆包括加勁式擋土牆、框條式擋土牆及石籠擋土牆等。此外，擋土排樁亦為常用之擋土設施，可不需開挖邊坡坡趾，應用於出現破壞跡象之邊坡整治工程，可有效降低施工風險，設計時應檢核樁體承受之剪力及彎矩，對於樁與樁間隔部分也應考量其安全性。

擋土牆型式之選擇應考量其設置目的、功能需求、重要性、地形與環境限制等因素。擋土牆設計須能夠抵抗土壓力、水壓力、靜載重、活載重及地震力，並應考量長期腐蝕、地下水、地表水及其他環境因子對擋土牆造成之損壞。長久性擋土牆之耐久性必須審慎考量，長久性擋土牆之外型應儘量配合環境現況予以美化。

擋土牆設計應考量邊坡整體穩定性、擋土牆牆體穩定性及擋土牆結構安全等。邊坡整體穩定性應依照第四章之規定辦理；擋土牆設計可參考內政部頒「建築物基礎構造設計規範」規定之安全係數。

填方邊坡可於填築時配合埋設加勁材料並逐層滾壓，常見的填方邊坡加勁材料包括地工合成材及鍍鋅鋼材等；挖方邊坡可於逐層降挖時有系統地打設土釘、灌漿錨筋等加勁材，以提高邊坡抗剪強度。加勁材料除了須考量其力學特性之外，應特別注意環境因子及加勁材耐久性。

止滑設施包括止滑樁、沉箱、連續壁、微型樁、兼具止滑功能之集水井等。止滑設施之型式相當多樣，其原理為將止滑設施構造物貫入邊坡並穿越潛在的滑動面，利用構造物剛性提高整體邊坡抗剪能力。

止滑設施之設計應計算其應力、位移與整體穩定性，以驗證設計是否滿足各項

穩定性之要求。

地盤改良可利用土壤置換工法、高壓灌漿工法、化學灌漿工法或電滲工法等，提高邊坡可能滑動區之地層剪力強度，以增進邊坡之穩定性。

1. 土壤置換工法係以良質土壤置換軟弱土層，以提高土壤剪力強度。
2. 高壓灌漿工法以高壓力將水泥漿注入地層，伴隨灌漿攪動土壤產生拌合效果，以擴大改良範圍、提高地層強度及控制地層變形性，一般適用於沖積層、崩積層或岩盤破碎帶之固結改良。
3. 化學灌漿工法一般使用如石灰、飛灰、氯化鈣注入土壤拌合，以提高土壤之剪力強度。
4. 電滲工法主要應用於軟弱黏土層之改良，以電壓促進土壤排出超額孔隙水壓，俾於施工期間獲得較佳之土壤剪力強度。

地錨設計應包含使用地錨之可行性、地錨系統選擇、錨碇力評估、自由段長度設計及防蝕保護設計，並應考量地權之取得、鄰近地下設施位置及地層特性等。

地錨應以邊坡穩定分析方法進行設計，並考慮變位對於鄰近構造物或地下設施之影響。地錨長度應足以穿過可能滑動面位置，並固定於穩定地層中。

地錨常使用於挖方邊坡，配合邊坡降挖由上往下逐層施工，如使用於填方邊坡，應特別考量背填土沉陷可能對地錨系統造成之影響。於用地範圍受到限制的邊坡，可考慮採用擋土排樁搭配地錨配置，以限縮邊坡開挖範圍。

C5.5 附屬設施

考量營運維護階段邊坡巡檢及維修需要，應依地形、環境設置必要的通道與設施，如需於坡面設置上下通道，可考量於直橫比 1:0.8 以上邊坡設置鋼製爬梯，直橫比 1:0.8 以下邊坡設置混凝土階梯及扶手。

第六章 邊坡地錨設計

C6.1 說明

地錨係將維持邊坡穩定所需拉力傳遞至周圍緊密地層中，由地層之抗剪強度提供足夠之摩擦阻抗，使地錨、支撐的主要邊坡設施及岩體、錨碇段周圍地層三者達到平衡狀態，以提高邊坡穩定性。

地錨之使用雖然存在若干不確定因素，但在地錨防蝕、驗收程序及維護流程漸趨制度化之情況下，地錨仍可做為解決一般大地工程問題與確保邊坡穩定的重要設施之一。

C6.2 地錨之構造與種類

地錨之基本構造可分為三大部份：錨碇段提供錨碇力之部份；自由段為抗張材受拉伸張及傳遞錨碇力至錨頭之部份；錨頭係承受鎖定抗張材及傳遞錨碇力至承壓結構體之部份，包括鎖定器與承壓板。抗張材錨碇段長是指抗張材與灌漿材料之設計握裹長度。抗張材自由段長是指地錨抗張材之設計可自由伸張長度。地錨實際能發揮之錨碇段長度和自由段長度，可能會因施拉過程中，自由段抗張材之摩擦力，以及錨碇段抗張材與灌漿材料間之局部滑脫而有所變化。

地錨種類依使用目的，可分為臨時性及長久性地錨。錨碇體可依錨碇行為機制之不同而分為摩擦阻抗型、承載阻抗型及二者複合型；抗張材可依其應力傳遞分佈之不同而分為承拉型、承壓型及二者複合型；錨碇體依施工方式，可分為無加壓式、低加壓式、高加壓式以及擴孔式；錨頭可依鎖定裝置的不同分為夾片型、螺帽型及二者複合型。

C6.3 地錨規劃注意事項

1. 規劃地錨時須先考慮下列事項：
 - (1) 規劃地錨之目的及其設計功能；
 - (2) 地錨為臨時性或長久性；
 - (3) 地錨是否為唯一選擇，其他替代方案之適用性為何；
 - (4) 地錨可否與其他替代方案併用。

2. 選擇地錨方案前須先就地層、地權及對環境影響等條件，充份評估其可行性。規劃地錨時，須考慮地錨長度是否在地權界限內，如超出地權範圍以外，則須徵求地主同意，並以設置可回收式地錨為佳。另外，地錨施工可能有噪音或引致鄰近房屋下陷等影響，規劃時應考慮其對環境影響的程度。進行地錨使用功能時，須就以下四點進行整體考慮：
 - (1) 錨碇段的錨碇能力；
 - (2) 地層與地錨的整體安全性；
 - (3) 被錨碇構造物的安全性；
 - (4) 防蝕性。
3. 地錨錨碇段之地層，一般可分為岩層、砂土層及黏土層，規劃時應考慮各種地層之特性及其對錨碇段之影響：
 - (1) 岩層錨碇段：錨碇段握裹力受該段岩體性質之影響極大，必須特別注意岩層風化程度，以及岩層的弱面及岩石裂縫造成之漏漿。為確保安全，摩擦阻抗型地錨之錨碇段長度一般不小於3公尺。泥岩、頁岩因遇水容易軟化、膨脹，其應考慮事項類同於黏土層錨碇段。
 - (2) 砂土層錨碇段：設置於砂土層中之錨碇段，因受灌漿壓力、土層孔隙率等影響，漿液滲流範圍常不規則，因此錨碇段並無規則形狀，實際之破壞界面亦無特定軌跡，故其極限荷重受施工影響極大，較難估算。
 - (3) 黏土層錨碇段：設置於黏土層中之錨碇段，因受潛變及施工擾動影響，地錨之可靠性仍有疑問，因此應特別注意現場作業，並應以試驗證實其可靠性。軟弱黏土層中之地錨應用案例有限，可靠性亦低；堅硬黏土層中之地錨則常採用擴座地錨。
4. 地錨因受現場施工作業、灌漿過程、地層變化等因素之綜合影響，其實際錨碇能力，應於施工現場進行證明試驗直接驗證。
5. 決定地錨施加預力之大小及方式時，必須檢討被錨碇構造物、周圍地層或鄰近構造物等之變位及穩定性。
6. 具長久功能之地錨，規劃設計時應考慮材料防蝕、潛變、錨碇段長期穩定性、以及維護與管理等。
7. 地錨使用期過後，若須解除預力或除去鋼腱，必須確定構造物或地層之穩定性，不致受影響。

C6.4 安全係數及穩定性

一般地錨使用期限在 2 年以內者，常可視為臨時性地錨，2 年以上者屬長久性地錨，長久性地錨與臨時性地錨之功能並無不同，其差異僅在於功能發揮期間的長短。兩種地錨依其使用年限，以及其一旦發生破壞可能造成災害程度的不同，設計時所考慮之安全係數，選用材料以及防蝕之處理方式亦不同，且依其使用之材料與防蝕方式，影響地錨之耐久性能。

地錨設計需考慮各主要組成材料與構件介面間之可能破壞機制，諸如地層/漿體介面、漿體/抗張材介面、以及抗張材強度等，單一地錨之安全係數可參考表 C6.4-1，表中安全係數之規定，係供選定參數和設計地錨尺寸使用，並非用來決定地錨試驗之最大試驗荷重。

地錨設計須就地錨之整體穩定性、埋置深度、群錨效應、錨碇段尺寸等，經完整設計流程加以分析。於地錨設計參數決定階段，若對當地地質狀況不甚瞭解，或該地區地質材料含泥量高、或地層破碎有漏漿之虞者，可視需要進行證明試驗，以取得地錨設計所需參數。

地錨設計之整體穩定性分析須注意：

1. 錨碇力選擇，原則上高錨碇力之單支地錨，其對整體穩定性局部安全性之貢獻，較設計多支低錨碇力之地錨為低。
2. 破壞面或滑動面之確定，需確認設計之自由段長度，能穿越破壞面，錨碇在不動地層內。
3. 瞭解工程計畫之界限範圍，防止地錨之延伸範圍超出計畫之界限範圍。
4. 環境條件之限制則包括地層狀況，既有地下埋設之公共設施、廢棄礦坑等。

表 C6.4-1 單一地錨之最小安全係數

分類	抗張材	地層/漿體介面	漿張材/漿體介面
臨時性地錨	1.6	2.0	2.0
長久性地錨	2.0	3.0	3.0

註(1)：安全係數可視證明試驗結果及可能引致之風險損失酌予調整。

註(2)：除使用鋼絞線做為抗張材及以水泥漿為灌漿材料外，使用特殊抗張材或灌漿材料設計時，其介面間的抗剪安全性，需在證明試驗時加以驗證。

C6.5 載重

地錨應能承受支撐的主要邊坡設施及岩體傳遞之各類載重，並依其使用目的與功能，考慮不同之載重組合，如地表超載重、土壓力、水壓力等。承受往復荷重之地錨，設計者應考慮最大往復荷重之狀況，估計地錨應承受之最大載重。地錨自由段之抗張材一般採用高拉力鋼絞線，只要自由段抗張材及錨碇段之拉拔力足夠，當可承受相當的往復荷重而不破壞。遇特殊工程條件時，應作特別的考量。

邊坡地錨設計須注意錨碇段應置於滑動破壞面以外，以達到穩定邊坡之效果。另外，作用於坡面之擋土構造物，應視坡面地質材料之情況妥適選擇，例如格梁式擋土構造物，大多用於堅固之岩盤上。

C6.6 配置

地錨配置須考量整體穩定及錨碇段地層條件，檢討荷重作用方向與大小、擋土構造物之形式、形狀及尺寸、錨碇段座落的地層、施工性、鄰近地錨之相互干擾性、支撐邊坡設施之穩定性、以及對鄰近之地下管線及構造物的影響等。

C6.7 錨長

地錨自由段長度之決定，應由地錨之構造、錨碇地盤性質及整體穩定性需求等，綜合考量之。自由段之長度至少要深入且超過可能滑動破壞面，達到穩定或堅實之錨碇地層。若地錨自由段過短時，錨碇力會經由地層直接傳遞到安置地錨之擋土構造物上，且因錨碇與錨頭間之地層厚度不足，無法提供足夠之錨碇阻抗塊體。故原則上自由段長度應在 4 公尺以上。錨碇段長度應視荷重條件、地層條件、錨碇段直徑等因素決定。

若錨碇段地質條件良好，摩擦阻抗型地錨之錨碇段長度一般採 3~10 公尺之間，而在地錨受力過程中，地層與漿體介面強度發揮到極限值後會降到殘餘強度，致使地錨之錨碇段全長無法同時發揮其極限強度，故當錨碇段長度超過某臨界值之後，即便增加錨碇段長，摩擦阻抗型地錨之極限錨碇力亦無法成正比例增加。不同的錨碇地層會有不同的錨碇長度臨界值。因此，若對當地地質狀況不甚瞭解，或是該地區地質材料含泥量高、或地層破碎有漏漿之虞者，錨碇長度之臨界值，宜經由證明試驗求得。此外，因考量地層之不確定性對地錨錨碇力之影響，摩擦阻抗型地錨之錨碇段長度不宜太短，宜維持在 3 公尺以上。

若因地質條件特殊，摩擦阻抗型地錨之錨碇段無法提供足夠的抗拉力時，可考慮採用擴座地錨或多段錨碇式地錨，並宜在設計階段或施工前驗證其錨碇行為後採用。

C6.8 錨碇體

抗張材與漿體、錨碇段護管與漿體、漿體與地層等介面間，必須有足夠的強度，以有效傳遞地錨之荷重，且抗張材所受之荷重，不得超過抗張材之容許抗張力。

有關抗張材與漿體介面間之握裹力，其破壞模式與一般鋼筋握裹行為不盡相同，故抗張材之握裹力極限值與其材料特性及漿體抗壓強度而定。

另外，水泥漿體與錨碇段護管介面間之摩擦抵抗力，極限摩擦力以不超過 30 kgf/cm² 為宜，可視需要經由全尺度試驗決定；而採用樹脂系材料時，須經由證明試驗得之。

C6.9 錨頭

1. 錨頭一般包括握線器、夾片及承壓板，其附屬結構尚包括混凝土基座或鋼質基座，錨頭之各類組件須適合抗張材之需要，而握線器、夾片、承壓板等之設計強度須能承受設計荷重及最大試驗荷重。若錨頭係以螺帽和螺桿方式鎖定，也須能承受設計荷重及最大試驗荷重。
2. 地錨之荷重係藉由基座將錨碇力作用於擋土構造物上。基座或承壓板之佈設，須與地錨之軸線垂直，並維持地錨全長之共線性。承壓板之大小和厚度、混凝土基座之強度、和配筋等均須加以檢討。一般而言，在地錨工作荷重條件下，混凝土基座所承受之容許壓應力，應小於混凝土 28 天抗壓強度之 30%。
3. 地錨施拉後，基座或承壓板所受之分力必須詳予檢討，以免基座滑移。
4. 為確保臨時性或長久性地錨功能性，當錨頭有銹蝕之慮時，必須進行必要之防蝕保護，以維持地錨荷重和擋土構造物之穩定。尤其在濱海、溫泉地區或其他有銹蝕顧慮之地區，更需注意。

C6.10 錨碇力

地錨之極限荷重，視承載地層、地錨組件及地層與地錨材料間之破壞行為而定，與抗張材之拉力強度、抗張材與漿體間之握裹強度、錨碇體與地層間之阻抗、地層

之剪力阻抗以及漿體之抗壓強度等因素有關，常以前述各條件極限荷重之最小值定之。地錨之極限荷重決定主要用於進行地錨錨碇段尺寸之設計。

地錨容許荷重為抗張材之容許荷重和錨碇段之容許錨碇力兩者之較小值；抗張材之容許荷重，為採用抗張材之極限強度除以各分類條件之最小安全係數。錨碇段之設計容許錨碇力，使用於臨時性功能者採極限荷重除以 2.0，而使用於長久性功能者採極限荷重除以 3.0。

C6.11 預力

鎖定荷重係指鎖定地錨抗張材時所施加之拉力，通常較設計荷重高 10~20%。地錨鎖定後，地錨能繼續保持之拉力稱為有效荷重。鎖定荷重為進行地錨鎖定時施加之荷重，其值為有效荷重加上預估拉張材摩擦損失荷重及抗張材滑動損失荷重之總和。鎖定荷重之最大值及最小值，須依構造物之容許變位來決定。設計時應充分檢討地錨之變位量及構造物之容許變位量。有效荷重雖依所考慮之構造物載重條件加以決定，但除一般設計載重外，仍須在最小載重條件下進行構造物應力之校核。例如，用於抵抗構造物傾倒之抗拔地錨，若因實際之載重較小時，地錨之預力反成為逆載重，可能造成構造物或地盤之損害。因此，過大之地錨鎖定荷重並不適當。

應用於構造物之長久性地錨，必須檢討施拉預力後歷時變化。其中，造成預力損失之主要原因包括：地層潛變行為、抗張材之鬆弛、護管與抗張材之摩擦損失、地層之壓密、鋼材錨碇時之預力損失等。反之，地錨預力亦可能增加，例如背拉式擋土構造物後方較大規模的地層滑動，若邊坡有持續滑動變形的趨勢，會造成地錨預力之增加。此時應先瞭解和掌握預力增加之原因，檢討該邊坡之穩定性，並採取適當的補強措施，不可逕行對地錨解載，使邊坡滑動的趨勢擴大，進而影響整體邊坡之穩定。

C6.12 整體穩定

利用地錨穩定構造物時，除檢討地錨極限荷重外，另應檢討包含構造物、地錨及整體地盤之穩定性，例如邊坡整體之安全係數應符合本規範第四章之要求。

用於穩定邊坡之地錨系統，其背拉能力要來自錨碇段和擋土構造物之相互對拉，若擋土構造物背後之土壤或岩石力學性質不佳，造成局部滑動破壞；或是因土壤流失致使擋土構造物背部或底部淘空，產生滑移破壞時，將使錨碇段和擋土構造物間失去對拉作用，造成地錨系統功能喪失，影響地錨邊坡之整體穩定。因擋土構

造物局部滑動破壞和底部淘空等原因，所衍生的邊坡整體穩定性問題，在進行邊坡穩定工程設計時，即應慎加考慮。

C6.13 防蝕保護設計

地錨防蝕保護設計應考慮其耐久性、穩定性進行防蝕設計，防蝕的目標係使地錨在使用期限內，不致因腐蝕而影響或喪失地錨之支撐穩定邊坡功能。防蝕保護應檢討錨碇段、自由段、錨頭的狀況及防蝕材料的效果，以決定其方式。長久性地錨為了確實進行防蝕，確保服務期間地錨功能不會大幅下降，需考慮地錨生命週期中最不利的腐蝕條件，決定防蝕保護對策。一般以雙重包覆的防蝕保護為原則，但仍應保持地錨防蝕設計因新材料新工法研發可發揮運用的彈性空間。

一、 自由段防蝕保護

1. 長久性地錨自由段除整束之護管外，每條抗張材均須加套小口徑護管，並以防蝕材料填充或包覆，以達到與腐蝕環境完全隔離的效果。
2. 使用期間需再復拉之地錨，其防蝕材料不得妨礙抗張材之自由伸張。
3. 長久性地錨自由段護管的強度應能承受灌漿壓力而不破損。
4. 自由段和錨碇段的界面常易腐蝕，必須特別注意防蝕保護。
5. 在環境條件不良有腐蝕之虞時，臨時性地錨應採用適當的防蝕措施。

二、 錨碇段防蝕保護

1. 長久性地錨之錨碇段抗張材應以錨碇段護管包覆，護管內部以水泥漿或樹脂漿充填。護管外部應有適當厚度之保護層和水泥漿。
2. 臨時性地錨錨碇段在以水泥漿填充的情況下，其錨碇段之抗張材與孔壁間應有 10mm 以上之覆蓋。抗張材在環境條件有腐蝕之虞時，臨時性地錨之錨碇段也應採用適當的防蝕措施。

三、 錨頭防蝕保護

1. 錨頭及其下方之地錨構件容易銹蝕，尤其是承壓板下方與自由段護管頂端之間，更是防蝕保護必須特別注意之處。
2. 需再復拉之地錨錨頭及自由段護管頂端應選擇適當的防蝕方式。
3. 在環境條件有腐蝕之虞時，臨時性地錨之錨頭應採用適當的防蝕措施。

四、 防蝕材料選擇

防蝕材料應具備耐久性，使地錨於使用期間能保有防蝕功能，且不得對地錨各部份組件之材料特性有不良影響。

1. 防蝕油脂/防蝕膏：

- (1) 防蝕油脂/防蝕膏應具有防蝕、潤滑、填縫、阻隔空氣和外部水份入侵功能。
- (2) 防蝕油脂不得與抗張材、混凝土及地錨護管、錨頭構件、地下水等發生化學變化。
- (3) 防蝕油脂/防蝕膏應確實具有地錨所需之防蝕功能及長期材料穩定性。
- (4) 防蝕油脂不可拘束自由段抗張材之伸張。
- (5) 因地錨抗張材和錨頭之外在環境不同，自由段護管和錨碇段護管內之防蝕油脂標準可與錨頭組件不同。

2. 自由段護管：自由段護管應具耐久性，能確實保護抗張材不受腐蝕、且不應對抗張材之伸張有拘束的作用。依使用功能之不同，分有包覆單條抗張材之小口徑護管和包覆整束抗張材之大口徑護管。

3. 錨碇段護管：

- (1) 錨碇段護管應具有適當的幾何形狀，使能將抗張材拉力傳至周圍地盤之機制，且防蝕護管尚需具有足夠強度，使不致因地錨拉力、入腱過程、或灌漿壓力而損壞。
- (2) 錨碇段護管應具完全水密性和耐久性，使能確實保護錨碇段抗張材不受腐蝕。

4. 熱縮套管：套於自由段護管尾端之塑膠管，可以加熱方式使其收縮，加強護管間或護管與抗張材接頭間之水密性，減少地錨組件之漏水和漏漿問題。

第七章 邊坡排水設施設計

C7.1 說明

台灣地質環境較不穩定，暴雨導致的邊坡崩塌破壞十分常見。水可能透過產生正或負的孔隙水壓力、改變地層中土壤或岩石的應力條件、體積或密度，造成邊坡內部或表面的侵蝕，或長期影響邊坡材料的礦物成分等，影響邊坡的穩定性。特別是高強度的降雨，除可能造成邊坡坡面沖蝕破壞外，對其地下水位的抬升亦有密切影響。因此，設置適宜之排水設施，包括地表排水及地下排水系統，常可有效提高邊坡穩定性。

地表排水的主要目的是為了減少降雨造成的坡面入滲及地表逕流造成的坡面沖蝕，排水系統應匯集坡面上的地表逕流，包含橫向及縱向排水設施，並引導至合適的排放點。

地下排水以坡體內部的的水體為主要對象，利用排水設施降低坡體地下水位，同時降低地下水位面以上土壤的飽和度，透過減少坡體負荷提高邊坡抗滑安全係數，達到提高邊坡穩定性的目標。

本章考量地表及地下水對於邊坡穩定性之影響，說明邊坡排水設施之設計。

C7.2 設計考量

公路邊坡基於維護管理考量，排水系統設計應以重力排水為主，立即排除坡面逕流為原則，且應避免於坡面設置滯洪設施。

排水設施應考慮邊坡之類別以及地區降水特性，研選適當的重現期距推算設計流量，據以設計適當的排水構造物。

不同重現期距之流量推算，有流量紀錄可參考者，由歷年流量資料推算；僅有雨量紀錄者，由雨量資料按雨量與逕流之關係，間接推求；無紀錄或紀錄不完整地區，可依經驗公式推求。

設計流量之推算應注意集水區之未來土地利用情況，必要時依據公路沿線相關集水區之氣象、水文及地文條件等資料，或參考鄰近既有排水設施之有關資料，進行水文特性分析，並宜採保守方式推估。

排水構造物之設計須考慮地理位置、水理條件、地文特性、社會經濟條件、施工材料以及維護管理等因素，決定合適的設施型式，並依據排水設施之設計流量，

進行水理分析決定構造物之尺寸。

設計流量採用不同重現期距之降雨強度推算時，降雨強度按邊坡所在位置或鄰近區域曾經分析或公告之公式計算；無適用公式者或自設雨量站者，可參考下述步驟推算設計雨量：

1. 雨量站選用

依計畫地區之水文氣象特性、集水區面積大小，選用鄰近水文氣象條件相似且具有長期雨量紀錄之雨量站。雨量站之選用應先查詢氣象或水利機關(構)之區域化相關研究，避免雨量站選用不確定性所造成之設計風險。

2. 雨量紀錄校核

雨量紀錄資料經研判如有存疑時，須與鄰近氣象特性相似雨量站之平均雨量比較，以雙累積曲線法或迴歸分析等方法校核之。雙累積曲線法通常僅適於長時間，如年雨量、季雨量之校正，日雨量及短時間暴雨紀錄不適用。

3. 雨量紀錄補遺

雨量紀錄短缺不全時，可選用內插法、正比法或適當方法補遺。

4. 降雨強度推算

平均降雨強度隨著降雨歷時增加而減少，因此，當集流時間等於暴雨歷時情況，逕流量達到最大值。對於設計重現期距之降雨，最大降雨強度需依據該地區的降雨強度與歷時曲線加以確定。

公路邊坡附近存有自記雨量紀錄者，可依時間—雨量關係式推求降雨強度設計值；若無自記雨量紀錄者，則可依鄰近自記雨量站資料推算。若附近無適當雨量站可供選用者，則可依據相關技術規範降雨強度推估公式推算之，如「公路排水設計規範」(Horner 公式)。惟降雨強度之推估值，不得小於水土保持技術規範所建議使用之無因次降雨強度公式推估值，且當施工期將歷經數個汛期時，其設計值應酌予增大。

5. 雨型

以單位歷線法或降雨—逕流模式推算設計流量時，應先選擇具代表性降雨之逐時雨量紀錄，以交替區塊法、無因次平均法或其他適當方法決定設計降雨之時間雨量分布。

公路邊坡所在位置有流量紀錄可參考者，得採用單位歷線法分析，配合集水區面積比推算設計流量。無實測流量紀錄者，應依據研選重現期距之降雨強度，採用合理化公式推算設計流量。

集水區面積為排水系統匯集點構成之面積。當考慮天然集水區時，其邊界由地

形輪廓線決定，地表逕流方向與等高線成直角。若集水區之水文條件受到人工排水設施影響，則須考慮這些既有設施的效應。且若集水區上游有人工構造物調節洪水或越區引水者，邊坡設計集水面積亦須另行調整之。集水區面積應依據適當比例尺之地形圖推算。

此外，山區或富含地下水區域，邊坡之設計流量應考量土壤或地層之滲水量或湧水量。

C7.3 地表排水設施

C7.3.1 一般設計考量

地表排水設施具有攔阻及疏導地表逕流、匯集降水並加以排除等功能，一般設計考量包括：

1. 排水設施之斷面應考慮地表水之泥砂含量，並酌予加大。
2. 開發區或構造物有被上游逕流沖刷之虞者，應在其上坡處設置截水溝。
3. 排水設施設置於填土區時，應考量基礎安全之強化。填方區應視實際需要設置地下排水設施。
4. 排水設施縱坡度較大而有滑動之虞者，應設置止滑樁；並評估設置消能池設施或截水牆。
5. 有破壞跡象或破壞歷史之邊坡更應特別注意地表排水系統設計，如地表水沿邊坡裂隙入滲，可能造成邊坡滑動破壞。此類邊坡除地表排水設施之設置外，應同時配合坡面整治與裂隙填補。
6. 排水渠流之流速可依據「水土保持技術規範」相關規定辦理。
7. 設計時應注意坡趾排水設施之應力集中情形，包括施工造成坡趾應力變化，並考量利用排水設施構造適度地協助支撐坡趾。

C7.3.2 坡面排水設施配置

坡面排水設施配置說明如下：

一、截水溝

1. 一般設置於坡頂外側或邊坡外側(圍)，攔截區外流入邊坡之地表逕流並引導排放至適當地點，以避免邊坡坡面遭受沖蝕破壞。
2. 若坡頂上方集水面積小，逕流量少，且邊坡無沖蝕之虞者，可不設截水溝。

二、平台溝(橫向排水溝)

1. 設置於各階段平台之坡趾處，以截阻每一階段之地表逕流。
2. 階段式邊坡，其平台寬度宜大於 1.5 公尺，採內斜式，平台面向坡趾傾斜 1% 至 3% 為原則。
3. 橫向排水設置之間距宜小於 10 公尺，且若排水長度超過 100 公尺時，應評估採分向或集中排水。
4. 橫向排水設施應沿邊坡等高線方向布置，以阻截地表逕流。

三、豎溝(縱向排水溝)

1. 於坡面與平台溝呈垂直布設，主要功能在於承接坡頂截水溝與平台溝之逕流，排放至下坡處坡趾邊溝。
2. 溝底坡度應與坡面相同，且為防止流速過快，在溝內或坡趾應評估設置消能設施之需求，防止沖刷破壞溝體結構。
3. 排水溝側與邊坡坡面界面處應考量順接及必要之回填夯實，避免開裂破壞或不均勻沉陷。

四、暗渠排水

1. 設於地層有滑動或潛在變動疑慮之處，暗渠宜採柔性材料施作，以抵抗地層滑動引起之彎曲折損。
2. 埋設暗渠蓄集地表水時，在地表應以礫石、碎石、砂等高透水材料填充，以便截集地表水流，並於其底部鋪設防水布。暗渠排水種類包括透水管暗渠、蛇籠暗渠、卵礫石暗渠及明暗渠組合等。

C7.4 地下排水設施

C7.4.1 一般設計考量

降雨入滲導致邊坡地下水位上升，對於邊坡穩定性減低的幅度受多項因素影響，包括地下水位初始位置、降雨強度與歷時、邊坡地層的組成材料、孔隙率、飽和度等。不同邊坡地下水對降雨的反應差異可能極大，設計前應進行大地工程調查，並依調查結果，考慮邊坡類別、不同設計重現期距之降雨量所產生的地下水條件變化等，進行地下排水設施設計。

邊坡地下水位受降雨影響，可能全無反應，亦可能即時增高，欲評估某一地點之地下水位之變化，需透過定時監測之水壓計或水位觀測資料推算。

設計前應進行大地工程調查，依據調查結果考量不同重現期距降雨強度之地下

水位變化，配合邊坡穩定分析結果研選設計地下水位，據以佈設地下排水設施，包括考量設施種類、排水效能、設置深度及間距等。

依據不同重現期距降雨強度推算地下水位時，可參考現場的孔隙水壓資料進行分析，包括降雨前、降雨期間及降雨後的資料。

地下排水管排出水量與其滲透係數、水力梯度成正比。排水管安裝後，地下水位逐漸降低，水力梯度亦隨之降低，因此排出水量將自初始值逐漸減低到一穩定值。

邊坡施工前、中、後之地下水位監測資料，可應用於調整各項排水設施之佈置與數量，以達設計地下排水設施之降水目標。同時，應用工程設施控制設計高水位時，應考量該工程設施之長期效能，設計必要的維護設施及通道。

C7.4.2 地下排水設施配置

一、排水濾層及盲溝

1. 填方邊坡底部通常應設置排水濾層及盲溝，以排除邊坡入滲之地下水。排水盲溝之設計埋設深度視需要研選，並應回填透水材料。
2. 排水盲溝須接出坡面，使地下水及雨水可順利排出坡面為原則。
3. 為排除淺層地下水，盲溝深度不宜超過 5 公尺。

二、水平排水管

1. 地表水平排水管為最經濟之地下排水工法，施作長度依現地調查結果訂定。此工法常見於一般邊坡穩定措施，應用前若能詳細探查水脈流向，將可提高排水管出水機率。
2. 使用鑽孔機具依邊坡地形狀況，以一特定向上傾斜角度進行鑽孔，再將排水管套入鑽孔，藉重力引出地下水。
3. 若有細粒料流失之疑慮者，排水管套入鑽孔前可包裹地工織物。
4. 水平排水管應配合邊坡開挖及其它邊坡保護設施如預力地錨等之進度，自上階全部完成後，再依序往下分階施工。

三、集水豎井

1. 為收集地滑區內或附近之地下水而開鑿之大口徑集水井，一般可配合井身四周所配置輻射方向之水平集(排)水孔引出地下水。
2. 集水豎井屬點狀排水，除具排水功能外尚可兼具部份擋土功能。實際應用上，集水豎井內需施鑽橫向集水管及排出水孔，故其內徑需配合施工空間需求考量。橫向集水管之深度及位置視地下水分佈而定，一般採放射狀向上施設，而排出水孔則需於井內最低處，採重力式排水。

3. 應選在地下水脈分布區域附近，且有堅硬基礎處設置。
4. 大口徑之集水豎井應加蓋保護，以避免人員或雜物掉入井中。

四、排水廊道

1. 排水廊道通常用於排除較深層地下水，當集水豎井工程仍難以排除深層地下水之情形下，可評估設計排水廊道，利用廊道內打設之縱向集水管，加速深層排水之效能。大型邊坡滑動治理工程中，排水廊道常是最有效之地下排水工法，但其施工費用相較高於其他治理工程，評估其排水效益時應予特別留意，一般當無替代方案時才會被採用。
2. 排水廊道內常打設交錯的橫向排水管，以增加有效排水面積。
3. 一般而言，排水廊道應設於滑動面以下之穩定地層內。若在地質條件不佳的邊坡中設計排水廊道，應採用剛度較大之支撐系統，以維結構之安全性。而設置之最佳位置及尺寸，亦須經邊坡滲流分析加以檢核，以確定可達降低地下水位線之設計標準。

第八章 坡面保護設施設計

C8.1 說明

坡面保護設施係指邊坡經穩定分析研判符合設計需求者，為避免坡面受表面逕流、雨水沖蝕或風化，在坡面上覆蓋植生或構造物保護，以維護坡面長期穩定的設施。當邊坡經穩定分析研判不符設計要求者，須採用邊坡穩定設施增進邊坡穩定，相關設計參閱第五章「邊坡穩定工程處置設施設計」。

坡面保護設施分為植生保護設施以及構造物保護設施二大類，表 C8.1-1 整理常見的坡面保護設施種類及其目的與特徵。

表 C8.1- 1 坡面保護設施的種類與目的

分類	坡面保護設施種類	目的及特徵
植生 保護 設施	一般植生(播種工法、植栽工法)	防止沖蝕及崩落、全面植生(綠化)
	編柵及掛網植生	防止岩土流失、防止坡面的沖蝕
	格框植生	穩定坡面表土、防止岩土流失及坡面沖蝕
	土工織物植生	穩定坡面表土、防止岩土流失及坡面沖蝕
構造物 保護 設施	<ol style="list-style-type: none"> 1. 砌石護坡 2. 混凝土護坡 3. 噴凝土護坡 4. 預鑄混凝土格框護坡 5. 場鑄混凝土格框(梁)護坡 6. 噴凝土格框護坡 7. 打樁編柵護坡 8. 石籠護坡 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 採構造物包覆坡面，防止坡面表層之風化侵蝕，及地表逕流造成沖蝕。 2. 格框及噴凝土可兼做穩定淺層崩壞之構造物。

植生保護設施利用生長於坡面上的植物，其根系緊固地安定坡面表層，防止地表逕流沖蝕；繁茂植生亦可緩和地表面溫度變化造成之表層崩落，藉由綠化提昇環境美觀。

惟植物的根系只能達坡面表層，對於滑動面較深的邊坡，植生保護的效果欠佳；日光、降雨無法到達的位置，如高架橋梁等構造物下方，或是邊坡土壤具強酸性等情況，植物生長不易。此外，在坡面坡度過大、或坡面岩土易因地表逕流沖蝕造成表層崩落時，施工困難，必須檢討採用構造物保護坡面之必要性。

坡面保護設施設計必須兼顧地表逕流之集水、導水及排水等坡面排水設施。在容易受沖蝕的砂土坡面、或長大坡面在降雨時大量雨水流入坡面下方時，為避免造成沖蝕，須在坡面之頂部、中間平台及坡趾設置排水設施，以匯集及排除流下的雨水逕流，並可考慮設置適當之地下排水設施以降低地下水位及孔隙水壓。此外，施工過程邊坡如可能因開挖而造成長期裸露情況，亦因考慮臨時性的坡面保護與排水設施。相關坡面排水設施，可參考本規範第七章「邊坡排水設施設計」。

C8.2 坡面保護設施之選擇

選擇坡面保護設施時，主要考量為維護坡面之長期穩定，除了坡面之岩土材料、硬度、pH 值等地質及土壤條件等因素外，亦須考量集水狀況、坡面湧水、滲水及氣象條件，以及坡面規模、坡度等因素，並將經費、工期、施工條件及相關法規等事項納入檢討。

一般而言，當坡面之坡度較邊坡穩定坡度更為緩和時，坡面保護設施以防止地表逕流沖蝕或表層風化為主要目的，採用植生防護為原則。當坡面之坡度接近穩定坡度時，常選用穩定度稍高的坡面保護設施，如噴凝土護坡、格框護坡等。當坡面之坡度大於穩定坡度時，坡面保護設施必須考慮配合具抵抗土壓力的地錨等其他設施一併設置。前述穩定坡度，係指設計考量之挖方坡面或填方坡面標準坡度的平均值。

對於開挖後風化較快的岩質坡面，開挖坡度的選擇宜避免風化可能導致崩壞的情況，且配合植生保護設施，或是選用可抑制風化的全覆蓋式坡面保護設施(如噴凝土護坡、格框護坡等)。此外，岩土材料特殊的坡面，應考慮適合土壤特性的坡面坡度或坡面保護設施。

C8.3 植生保護設施

植生保護設施係在坡面植生以防止表層之風化及沖蝕，並藉植生綠化達到保護自然環境及景觀美化之目的。此項保護設施係以植物為主體，必須注意施工後常須一定的時間，逐漸發揮預期的目標及效果，且受施工後降雨量、氣溫變動等因素影響，設計作業應考量工址之氣候、土壤、地形及海拔高程等因素，優先選擇邊坡鄰近之原生植物，且施工工期宜配合有利植物生長之季節性氣候條件，以有效發揮保護作用。

常見植生保護設施的種類如后：

一、一般植生

植生保護設施設計需注意植生前期作業、植生工程及維護管理工作，並考慮地區之氣候及土壤條件，植生施工季節一般以春、秋兩季為宜。一般植生設計的主要原則包括需：(1)有完備之植生前期作業、(2)選擇適當之植生工法及植物材料、以及(3)考量施工後之維護及管理工作。

二、編柵及掛網植生

1. 打樁編柵植生工法

打樁編柵之目的為固定表土、改善坡度及防止沖刷，以營造有利植物生長之環境，適用於一般挖填方邊坡、崩積邊坡或淺層崩塌之坡面保護。打樁編柵植生工法主要以萌芽樁、雜木樁或錨筋，沿等高線依適當距離打入土中，再以枝條、竹片、木片、塑膠網、鋼線網等編織成柵，防止植生客土流失。

2. 掛網植生工法

為防止無法植生之邊坡受風化侵蝕及雨水沖刷，可採打樁掛網植生工法，於邊坡坡面上鋪設以錨筋固定之鐵絲網，再噴植厚層客土植生。編柵及掛網植生工法需配合坡面排水系統設計之，避免遭受雨水、地表逕流沖蝕破壞。

三、格框植生

主要採錨筋、土釘或岩栓固定鋪設於邊坡坡面之混凝土格框，以穩定邊坡坡面表土，並於格框內噴植草種或客土植生，混凝土格框一般可採用預鑄格框或場鑄格框，適用於坡度較陡及堅硬坡面之植生。

四、土工織物植生

為彌補單純使用植生材料時，無法立即提供邊坡坡面沖蝕保護之缺點，邊坡坡面保護可採土工織物植生工法，以土工織物鋪設於邊坡坡面上後，回填客土植生，適用於沖蝕嚴重及需立即提供沖蝕保護之邊坡。

C8.4 構造物保護設施

不適合植生、或僅以植生無法維護長期穩定，可能有崩壞、落石之坡面，可採用構造物保護設施。常見的構造物保護設施包括：

一、砌石護坡

採砌石、鋪設石塊、混凝土型塊等方式，防止坡面風化及地表逕流沖蝕，

常用於坡度小於 1:1、由無凝聚力之砂質土壤或易崩落黏性土壤構成之坡面。坡面較陡的填方坡面，為了節省用地目的，亦可採用，如橋台填方邊坡。

坡面若有湧水或滲流水時，為維持石材、混凝土型塊底面良好排水狀態，必須採用卵石或碎石將背面填滿，此外，為避免土壤細料隨地下水流出，必須設置濾層。湧水量較多時，須增設水平排水孔或其他排水處理設施。

二、混凝土護坡

節理發達岩盤或鬆動崩積層構成的坡面，不易採用混凝土格框護坡或噴凝土護坡維護坡面長期穩定時，可採用混凝土護坡。在長大坡面且坡度較陡急時，打設混凝土時可加鋪鋼線網或鋼筋，同時埋設防止滑動的錨筋、土釘或岩栓。護坡構造物頂端必須採混凝土勾入地層內，防止地表水入滲。坡面若有湧水或滲流水時，應設置排水孔或適當的排水處理。

三、噴凝土護坡

適用於無湧水、無立即危險、但易風化之岩層，且該岩層可能因風化而導致岩石崩落之疑慮。此外，開挖後坡面堅固，但易因坡面滲水導致土質材料不穩定，或是不適用植生之坡面，亦適用噴凝土護坡。

噴凝土護坡設計應依據坡面狀況及氣象條件決定噴凝土厚度，並依材料配比、施工環境、氣象條件、機具設備搬運等因素，考量噴凝土護坡之耐久性問題。坡面若有滲流水情況，應設置排水孔或適當的排水處理。

四、預鑄混凝土格框護坡

適用於長大挖方邊坡之坡面，採用長度適當的錨筋、土釘或岩栓，將預鑄格框固定於坡面上，格框內回填良質土，並配合植生保護。挖方坡面有湧水情況，填方邊坡之坡度較陡以致不適合植生保護、或植生後仍可能出現坡面崩落，無法充分保護等情況，亦可採用。

坡度較陡、湧水量較大、或是格框內不易取得良質土以回填，以致植生有流失之疑慮時，可採用石塊或混凝土型塊鋪設處理。寒冷地區因結冰可能造成格框浮起，不適合採用預鑄混凝土格框護坡。

坡面有湧水或由無凝聚性的砂土構成時，可採用卵石等填充材鋪滿格框，且坡面宜先設置樹枝狀的排水溝，或鋪設透水性佳的墊布，再設置格框，以避免坡面砂土流出。

五、場鑄混凝土格框(梁)護坡

適用於可能湧水之風化岩層或長大坡面，且有長期穩定疑慮的情況，或是節理發達、龜裂明顯之岩盤，採預鑄混凝土格框無法穩定浮石，仍可能發生崩

落之坡面。格框採鋼筋混凝土於現場澆築，交點部分設置止滑錨筋、土釘或岩栓，格框內視狀況鋪設石塊、混凝土型塊、混凝土、噴凝土，或以植生保護。場鑄混凝土格框因重量大，具抵抗土壓之功能。場鑄混凝土格框常與地錨一併設置，可防止崩壞現象。

六、噴凝土格框護坡

適用於凹凸、龜裂多之岩盤坡面，或須及早保護的坡面。本工法的基本功能與場鑄混凝土格框相同，施工性更佳，適合在凹凸坡面上施工，且可配合坡面狀況做出各種形狀之格框，又稱為自由型框或自由梁工法。噴凝土格框護坡有數種施工法，且可以改變局部的尺寸，配合採用土/岩釘或地錨以適應不同的現場條件。設計時須考量各工法特性、經濟性及施工性等，經比較檢討後選擇適當工法。

七、打樁編柵護坡

植物生長期間，為防止坡面土砂或植生客土流失，常採用打樁編柵。先行在坡面打設木樁，打樁角度宜為垂直或介於坡面法線與垂直線之間，再以茅草、竹材、土工織物等編成護坡設施。

八、石籠護坡

適用於有湧水且可能發生土砂流失、因結冰可能導致護坡或表層岩土剝離之坡面，崩壞坡面之修復亦可採用。

石籠的形式有鋼線網製成的蛇籠與方籠二種。蛇籠適用於坡面表層湧水處理、表面排水及防止結冰等情況；方籠則常見於湧水位置或地層滑動地帶崩壞後的修復工法。石籠護坡因重量大，兼具坡面保護及抵抗土壓力之功能。

坡面湧水量較大時，須設置排水孔或適當的排水處理，以及考慮採用砂礫透水層回填保護，防止土砂隨地下水流出。

前述工法以被覆坡面以防止沖蝕及風化為主要目的，其中，場鑄混凝土格框護坡、噴凝土格框護坡、石籠護坡等構件斷面及重量較大，亦可做為抵抗土壓力之構造物，可參考本規範第五章「邊坡穩定工程處置」相關規定設計。此外，構造物保護設施常與坡面排水設施一併考量，以防止坡面受地表逕流沖蝕。

構造物保護設施的設計，以經驗方法為主，宜先決定適當載重，並妥善檢討使用材料、形狀、尺寸及品質要求，以維護坡面長期穩定的目的。設計應保持彈性，宜充分說明設計理念，並考慮納入施工前補充測量及地質調查，以及依據施工獲取之新資訊，依據設計原意進行必要之回饋設計，確保獲得必要的設計功能。

第九章 大地監測系統規劃

C9.1 說明

為確保公路邊坡施工中及長期之穩定，有必要在不同階段規劃完整的大地監測系統，適時建置並執行監測作業。

依邊坡大地監測系統設置時機，可概分為調查與設計、施工及管理維護等三個不同的階段，本章主要探討設計及施工階段之監測系統。有關管理維護階段之監測，可參考「公路邊坡大地工程設施維護與管理規範」第七章。

設計階段之監測系統利用安裝於現地之各類型感測器，採人工手動監測或自動監測記錄方式，取得與邊坡穩定安全相關之基本資料，如工址氣候條件、地下水狀況、可能滑動深度等，以利研判邊坡可能發生之災害型態、災害原因及機制，提供邊坡穩定分析及工程規劃設計之依據。工址調查階段設置之監測系統亦屬於設計階段之一部分。

大地監測系統之規劃設置，可依邊坡類別、現地條件，並考量設計、施工以及營運後管理維護階段之需求，規劃並選擇適當之監測設施。設計及施工階段設置之監測設施宜考量儘可能延續納入管理維護階段一併執行。

C9.2 設計考量

為掌握公路邊坡之穩定性，研判可能的坡地災害型態、災害機制及致災因子，並取得設計時所需之各項地工分析參數，公路邊坡於調查或設計階段，可設置邊坡監測系統，取得各項邊坡現場資訊。

邊坡監測系統設置之規模(設置範圍、儀器種類、數量、量測方式、頻率等)，應依邊坡之既有條件加以調整。若有以下情形之一者，應視實際情形需要，擴大監測系統之設置規模。

- 1.邊坡具有災害歷史，或現場具滑動徵兆者；
- 2.邊坡有重要保全對象者；
- 3.地質條件不佳或邊坡將採大規模挖填者。

C9.3 監測系統規劃

C9.3.1 系統規劃原則

各監測階段有其不同監測目的，因此監測系統之資料讀取方式、監測項目、儀器種類、監測頻率、監測時程等，均應有不同考量，需綜合研析並妥適規劃後，擬訂監測計畫循序實施。

監測計畫之內容至少應包括以下項目：

1. 權責單位、監測執行機構

敘明監測目的、權責單位及負責人員、監測執行機構及相關工作人員資料等。

2. 監測儀器佈置平面及剖面配置圖

應以圖形方式呈現，標示監測儀器之位置、深度與數量；若監測系統採自動量測方式者，需標示自動資料擷取系統之設備設置處。

3. 監測系統及安裝說明

應涵蓋整體系統說明、採用之儀器及設備之廠牌、型號、規格、操作原理、量測精度與誤差值範圍，安裝方法、監測方法、監測頻率，並說明儀器檢核、校正、維護、故障檢測及排除方法。特殊之監測設施應載明詳細之使用指引、維修步驟、異常狀況可能原因及處理方式表，以及技術支援之聯絡資料等。

4. 監測資料之處理

監測系統設置完成後應予測試，並進行初始值設定與記錄。監測數據應以圖形呈現為主，配合表格方式呈現。

C9.3.2 量測方式

大地監測系統依其量測方式分為：

1. 人工手動方式：以人力攜帶量測儀器，赴現地儀器設置處進行量測及記錄，攜回成果進行資料整理。
2. 半自動方式：現場設置資料擷取器，以固定頻率或於特定條件發生時，自動讀取儀器監測值並記錄，配合人工赴現場下載監測資料。
3. 全自動化方式：現場設置感測器透過資料擷取器及傳輸設備，自儀器量測、記錄、傳輸、彙整、繪圖、管理值研判等一系列運作，均採自動化方式，遠距即可收集大量且即時的監測成果，瞭解現場資訊。自動化監測系統的主體架構可分為四個部分。

- (1) 感測器：裝設於現場，量測監測區域的氣候、水文、應力及位移等物理量。
- (2) 資料擷取設備：控制現場監測儀器之資料擷取程序、量測方式，並儲存監測資料之設備。資料擷取器裝設於現地邊坡，除需匹配監測儀器之類型外，亦需考慮現場環境狀況(如：溫度、電力供給能力等)，評估適合之資料擷取器型式。為避免監測資料因通訊中斷而無法傳輸或遺失，資料擷取設備以具資料儲存功能者為佳。
- (3) 資料傳輸設備：將資料擷取器收集之監測資料，傳輸至後端伺服器之設備。傳輸設備之選擇與選用系統之傳輸方式有關，常用者可概分為有線傳輸及無線傳輸二大類。
- (4) 監測成果整合軟硬體：感測器、資料擷取設備及傳輸設備等均為監測系統之硬體部分，但完整的自動化監測系統尚需配合後端整合軟體，彙整收集監測資料，並以適當、適時的方式呈現或通報。

調查、設計階段之監測方式，可採手動方式為主。監測物理量受特定事件影響，或在短時間內可能出現明顯變化的監測項目，如雨量、地下水位及水壓，宜採半自動或全自動監測方式，以利透過頻率較高的連續性資料，掌握物理量臨界值及發生的時間。

C9.4 監測系統設計

常見的邊坡監測項目可分為氣候、水文、地層變位以及既有設施等四類。工址調查、設計或施工階段經評估認為需設置監測系統之公路邊坡，應進一步研判其可能破壞類型、所需調查或保全範圍，再研擬監測類別與項目，選擇監測儀器種類及型式、設置位置(深度)及數量之配置，才能達成有效且符合經濟效益之監測系統設計。以地層滑動監測為例，應先依據工址調查獲得之基本資料，研判邊坡可能破壞機制、滑動範圍、滑動方向、滑動面深度等，作為選擇地層變位監測項目、儀器種類(如傾斜儀、地表伸縮計、孔內伸縮計等)、以及配置設計之參考依據。

邊坡運動行為預測以及待測物理量可能變化範圍的研判結果，為考慮監測類別與項目、以及選用監測儀器種類、型式、量測範圍以及精度的主要依據。監測儀器佈設之位置、方向、數量與深度應詳加考量，以獲得有效且具有工程意義的數據，俾作為訂定合理的監測管理值及有效應對方案之依據。

監測儀器與設備的選擇，應以值得信賴、單純或不複雜、在監測環境中具耐久性、對氣候溫度、溼度變化敏感性低者為佳，且應考慮其材料及零件在施工機具運作、水、塵土或其他化學作用之影響下，是否具備正常運作之特性。

相同監測儀器種類，其精度、重複性、量測範圍、適用溫度等可能有所差異。監測系統設計應依據邊坡之特性，研判邊坡環境及待測物理量可能分佈範圍，選擇適當之儀器規格。採用自動化監測系統時，電子式儀器需考量感測器、資料擷取設備、資料傳輸設備之耗電量，以及配合之電力供給、資料傳輸，以及成果彙整及展示平台等。

監測儀器配置數量與設置位置，應能適當地反應監測邊坡可能之變化行為，以獲得具代表性之監測數據，研判公路邊坡變化的趨勢。惟對於坡地而言，臨界滑動之監測位置常不易精確預判，故選取之監測位置宜保留適當調整，以及預留增設監測點位的彈性。

1. 氣候條件監測類別

常見之監測項目包括雨量及地震等。其中雨量監測應選擇盛雨口以上 45 度角範圍內，無遮蔽物阻礙之空曠地，以提高監測成果代表性。地震監測主要以瞭解工址之加速度、速度及震幅等地震資訊，作為邊坡穩定動態分析之參考。

2. 水文條件監測類別

常採用水位觀測井或水壓計監測地下水位或水壓之分佈及變化。地下水監測儀器之安裝位置，應視鑽探調查取得之地層分佈、以及鑽探過程之地下水位變化記錄，進行綜合研判，並以配置於地下水位可能變動較大區域，或受壓水層深度範圍為原則。鑽探過程中，如調查發現有多層含水層或受壓水現象，宜以水壓為主要監測項目，並優先配置於邊坡臨界滑動面附近。

水文條件監測方式宜採半自動或全自動監測方式，以取得邊坡在豪大雨期間，地下水位變化之連續性資料，利於掌握邊坡之最高臨界地下水位。

3. 地層變位監測類別

當邊坡出現不穩定徵兆時，地層通常伴隨發生水平及垂直變位。因此，地層變位之監測成果可用於明瞭邊坡位移速率、方向及滑動面位置等，研判或複核邊坡可能之災害類型、穩定情形及滑動規模等，並為選擇邊坡穩定工法的依據。

地層變位類型依量測物理量區分，可分為：水平位移、垂直位移及三維變位。水平位移常透過設置於孔內之傾斜儀、定置型傾斜儀及孔內伸縮儀等方式監測，其孔深應超過臨界滑動面深度，或於地表坡面設置位移監測儀器；垂直位移可透過水準測量方式監測地表沉陷或監測孔內不同深度的沉陷量；三維變位常於邊坡監測範圍內設置固定觀測點，並自監測範圍以外地區採非接觸型式，透過儀器監測各觀測點的三維變位。

地層變位監測儀器位置、深度及數量應依據研判之可能滑動範圍及滑動深度加以配置。有滑動疑慮或重要邊坡應以至少配置一處位移監測斷面為原則，每一斷面至少需有二孔設置監測儀器。

4. 既有設施監測類別

邊坡若出現不穩定時，構築於邊坡上之構造物將發生應力狀況改變、變形、龜裂或傾斜。監測系統可利用邊坡上既有構造物，進行構造物傾斜、裂縫變化或地錨荷重變化等項目監測，研判邊坡之穩定性。

C9.5 監測頻率

調查、設計階段，採手動監測方式之監測頻率應以每一至三個月至少一次為原則，惟監測時間可根據天氣條件調整。例如，預期豪雨事件發生前，宜進行補充監測；豪雨事件結束後，在天候條件可行下，宜儘速再進行一次補充監測，以掌握在豪雨期間之邊坡狀況。其中，有關雨量、地下水位或水壓等監測，應儘量採用半自動監測或全自動監測方式，以記錄降雨期間之地下水位連續變化。

半自動及全自動監測系統之量測頻率，以 10 分鐘監測一筆為原則，惟在電力供應較為匱乏之環境下，監測頻率可適度減少，但不宜超過 30 分鐘一筆資料，以掌握豪雨期間監測成果之完整性。

C9.6 監測期程

調查、設計階段之監測期程以涵蓋邊坡可能歷經之各類型降雨型態為原則，取得邊坡不同氣候條件下之地下水位及地層位移變化資料，利於邊坡之穩定分析及設計。若設計階段因時程受限，不足以蒐集長時間之監測成果據以進行分析及設計，則監測時程宜至少持續一乾季一雨季，惟監測作業須配合後續施工期間持續進行，以蒐集更長期程之監測成果，提供設計值之回饋驗證。監測期程宜延續整體邊坡施工之工期，監測儀器、紀錄，均應完整建立保存，以提供其相關設施於設計使用年限內之使用管理及維護。

C9.7 監測報告

監測報告應敘明監測目的、權責單位及監測執行機構，並包括各類型監測之項目及儀器佈置，設置安裝、測試校正以及初始值量測成果、量測值及其變化、監測成果彙整及分析等內容。監測成果報告之主要架構，至少應包括：

1. 監測目的及權責單位：說明監測之目的、權責單位以及監測執行廠商或單位。
2. 監測歷程：說明期程及歷次監測時間，監測期間發生之特殊事件，如颱風、豪雨、地震、施工意外，或因儀器損壞而重新設置之時間等，應一併載明。

3. 監測儀器配置平面及剖面圖：底圖以實測地形圖為主，若無實測地形圖，則應採適當影像或地形圖，能清楚標示儀器佈置及位置。採用自動化量測方式時，儀器佈測圖應包括電力供給、資料擷取、傳輸等設備以及成果彙整及展示平台。
4. 測試校正以及初始值量測成果：包括各感測器以及資料擷取、傳輸設備之測試以及感測器的校正，以及初始值量測成果等。
5. 各分項監測儀器監測成果：監測成果儘量以歷時曲線方式表示，歷時區間以自監測作業開始至報告整理期間為原則，應清楚表示該儀器於各期間之監測成果。監測成果圖應標示現場特殊事件之發生期間，如有儀器損壞或故障情形，亦需一併標示。
6. 邊坡整體穩定性研判：依據各類型儀器之監測成果，綜合研判邊坡之穩定性。
7. 異常時緊急應變措施及處理建議：包含邊坡不穩定徵兆，監測系統異常之處理建議。

第十章 其他邊坡穩定工程設計

C10.1 說明

本規範前述章節有關邊坡穩定分析及穩定工程處置設計係以邊坡滑動破壞類型為主要對象，落石及土石流因發生機制、運動型態不同於邊坡滑動，穩定工程處置設計需另行考量。

隧道洞口邊坡除一般邊坡之工程特性外，因隧道開挖擾動可能造成邊坡鬆動，甚至破壞，洞口邊坡依據本規範進行穩定工程處置設計時，應詳細考量邊坡受隧道開挖擾動之影響，並參考相關規範辦理。隧道洞口設置應儘量減少邊坡受開挖擾動之範圍，宜以順應地形方式進行開挖及配置，並採用必要的先撐保護工法，減少開挖及擾動範圍，降低施工災害風險及營運維修風險。

本章說明落石防治基本原則、工程處置之選擇以及設計。有關土石流防治工程處置設計，包括溪溝治理及防治工程設計等，可依據「水土保持技術規範」相關規定辦理。

C10.2 落石防治工程處置

C10.2.1 落石防治基本原則

落石防治的目的，在於保障公路通行人車安全及防止公路相關設施受損，使兩者免於遭受落石的災害。防止落石災害的方法，可分為落石防治工程處置與交通管制二大類，並可輔以落石自動化監測系統及警報裝置。

落石防治工程處置對策，包括挖除坡面上的浮石、滾石等，或將其固定在坡面上的「落石預防工程處置」，以及在落石運動途徑或道路旁設置之「落石防護工程處置」等。交通管制的對策則是在落石發生後，針對公路通行人車可能造成危險之路段，採用區間禁止通行或管制通行的方法，避免再發生災害。

在規劃設計落石防治工程處置時，往往不易全面掌握可能發生落石的位置及運動路徑，而為防止可能發生的落石，在全部危險路段實施落石預防工程處置或落石防護工程處置，依經濟方面考量，可行性低；或雖有落石防治工程處置，也無法完全防止落石災害的發生。

落石防治的要領，在於考量路線的特性、落石的規模、落石發生頻率、災害頻率等條件後，採行適當的落石預防工程處置或落石防護工程處置，將落石所引起的災害減至最低的程度，並運用通行管制的方法，確保道路交通之安全。有關落石防治的基本原則如下：

1. 妥善應用落石坡面調查結果。
2. 落石源頭處理須周詳考量現場狀況後，再決定對策工法。
3. 應充分考量各防治工程處置的功能上之限制。
4. 併用組合多種工程處置，往往較採用單一工程處置有較佳之成效。

對於陡峭且長之落石坡面或不在路權內之坡面，落石預防工程處置未必適當。對於道路沿線的落石坡面，可併用通行管制及道路旁的落石防護工程處置，配合考量施工條件後，選定適當工法。

C10.2.2 落石防治工程處置之選擇

落石預防工程處置包括修坡及浮石、滾石挖除工等；嚴格而言，此等對策並非設施之工程處置，但仍可視為落石對策工法之一種。

規劃落石預防工程處置或落石防護工程處置時，可考慮落石調查結果，推算浮石穩定性、落石規模、落下路徑、運動型態(速度、跳躍高度、衝擊力)等，於適當地點選擇有效的工程處置。

1. 落石預防工程處置

落石預防工程處置以具發生落石潛能的坡面以及其上的浮石為主要對象，直接於落石發生源頭施行處置對策。常見的落石預防工程處置包括：(1)修坡；(2)浮石清除；(3)根部固定；(4)鋼纜固定(掛鋼纜)；(5)岩栓；(6)排水；(7)噴凝土；(8)砌石；(9)格框；(10)打樁編柵；(11)地錨。

修坡為人工坡面落石預防的主要工法，排水、噴凝土、砌石、格框、打樁編柵及地錨為一般性的坡面保護處置，可參考本規範相關章節。其他處置如浮石清除、根部固定、掛鋼纜及岩栓，主要用於落石防治對策上，其工法概要及設計說明於第 10.2.3 節。落石預防工程處置屬於落石發生源頭處理的對策工法，工法之選擇除各工法的特性外，亦需考量現地條件、施工性與經濟性。坡面上茂盛的樹林，亦具有抑制落石的效果，工法選擇必須注意樹木遭砍伐或可能被砍伐的情況。

2. 落石防護工程處置

常見的落石防護工程處置的種類包括防護網、柵、欄、牆、堤、棚及明隧道。

依據設置位置，落石防護工程處置的種類可分為：

- (1) 設置在落石發生源頭至道路之中間地帶(坡面中間)者，包括防護網、柵、欄、牆、堤等。
- (2) 設置在道路旁(坡面下方)者，包括防護網、柵、欄、牆、堤、棚及明隧道等。

3. 落石防治工程處置選擇原則

落石防治工程處置的選擇通常考量坡面某處，發生某種型態、規模的落石，以某種運動型態落下，並研判其影響公路的範圍及程度。考量不同的落石條件及運動型態，選擇有效的落石防治工程處置。落石防治工程處置的效果有：

- (1) 防止風化侵蝕；
- (2) 抑制落石發生；
- (3) 吸收落石能量；
- (4) 改變運動方向，導引落石至安全位置；
- (5) 抵抗落石撞擊，阻止落石運動。

在選擇對策工法時，須詳細檢討各種防治工程處置的功能、耐久性、施工性、經濟性以及維護管理等課題，選擇適合坡面狀況的工法或不同工法之組合。同時也須考量施工地點地層的設計及施工條件，以及交通運輸狀況等。對於地下水或人工邊坡造成鬆動、風化、明顯弱化的地層，不適合實施抵抗落石撞擊型態的落石對策，此時須檢討其他落石對策，以選擇適合現場狀況的工法。落石防治工程的施工性常受到設施及施工機具搬運等條件限制，設計時需詳細檢討施工的難易度，選擇具施工可行性的落石防治工程處置與對策。

C10.2.3 落石預防工程處置設計考量

落石預防工程處置是落石對策中極具成效的工法，但僅依該對策可能無法完全阻止落石的發生，因此，除應極力降低落石發生率外，可考慮同時併用落石防護設施。

落石預防工程處置與坡面保護工程處置有許多共通點，坡面保護工程處置之設計可參考本規範第八章。依據預防落石的觀點，各種落石預防工程處置的設計考量重點如后：

一、修坡

落石預防工程處置的修坡方法，是將分布在坡面或接近道路坡面中可能成為落石的浮石、滾石等，進行修挖或小塊移除，以達坡面穩定的工法。

二、浮石清除

在邊坡整體呈現穩定的坡面上直接清除浮石的工法。設計時需考量多數情況需在惡劣條件下施工，必要時須設置防止小滾石或小塊岩石崩落的堆石措施。

浮石清除對於大範圍落石情況，也極具效果，但是對於耐久性差、出現沖刷的坡面，須同時採用其他工法。

三、根部固定

不易去除的大浮石、滾石，可採用根部固定設施。此工法包括固定較小浮石的混凝土工或堆石工，以及固定較大規模浮石的鋼筋混凝土、鋼軌樁或H型鋼等。浮石較多的坡面上，亦可在突出或垂直切割的岩石隙縫中充填混凝土及砂漿，防止岩石自身

風化，並維持根部固定設施的穩定。

四、鋼纜固定

利用格子狀鋼纜或數條繩索，直接覆蓋浮石、滾石的基部，固定在坡面上防止其滑動或滾落。通常適用於浮石、滾石，或限於用地條件，必須立即固定在坡面上的情況。施工性較其他工法簡單，大多屬於臨時性構造物。

在利用鋼纜覆蓋於浮石上面時，必須充分確保其穩定性，避免鋼纜脫落。鋼纜的支撐部份必須利用錨釘(栓)等牢牢地固定在基岩上，以充分支撐浮石等的重量。

五、岩栓

利用鑽孔機具貫穿坡面上的大浮石、滾石，並將岩栓插入基岩固定。通常使用於分佈規模較小的落石邊坡。

六、排水

為預防降雨及湧水造成落石情況，可設置排水設施。

七、噴凝土

坡面無湧水，亦無崩壞危險，但存有浮石及風化岩盤，可採用混凝土或砂漿的噴漿工法，避免風化可能剝離岩盤坡面導致落石現象。噴凝土通常不適用於有浮石的砂土坡面或有湧水的坡面。

八、砌石

紋理較多的岩盤，坡面採用噴凝土仍無法有效發揮落石預防功能時，可採用砌石工法，砌石工的材料包括混凝土、石塊、混凝土型塊等。

九、格框

格框包括混凝土型塊(預鑄)格框及場鑄混凝土格框工，惟落石防治對策上，大多採用場鑄混凝土格框工。

十、打樁編柵

地表水、地下水可能侵蝕、風化岩盤填充料。為防治岩盤表面浮出岩塊、卵石、礫石時，可採用打樁編柵，具有防止坡面崩壞時發生的砂土、礫石及小粒徑礫石落下等效果。

十一、地錨

相較於固定岩栓，地錨的鋼腱長、伸張強度也大，因此在固定規模較大的浮石、滾石時，可同時採用砌石、格框等措施，以利在坡面上固定大範圍的浮石等不穩定土塊。

C10.2.4 落石防護工程處置設計考量

設計落石防護工程處置時，首先必須分析防護構造物所承受的外力。落石的重量、落下速度及衝擊落石防護工程處置設施的作用方向、作用位置等，會因現場的地形、地質、坡面風化程度、植生以及是否採用其他落石預防處置或落石防護工程處置等，而有所不同。因此，設計時必須依據現場調查或過去落石防治等經驗，決定最適宜的設計條件。必要時，亦須考量落石以外的載重，例如崩土、積雪、雪崩等條件。

落石防護工程處置的設計方法，可採用能量計算方法或是靜態強度計算方法。設置落石防護欄、落石防護網時，亦可直接依據類似坡面的實績經驗決定設計條件。

落石防護工程處置設計時所考量的載重範圍，依落石防護工程處置的種類而不同，通常必需考慮構造物載靜重、落石、崩土等堆積自重、土壓力、積雪重、車輛撞擊以及施工時載重、風、地震、溫度變化等載重之組合。

一、落石防護網

目前常用的落石防護網依用途區分，有包覆式落石防護網及口袋型落石防護網。包覆式落石防護網是利用防護網與地盤的摩擦力，抑制落石的掉落，因此，防護網必須具有承受防護網張力及自重的強度。

口袋型落石防護網的設計首先需決定落石能量，並計算口袋型落石防護網的可能吸收的能量。可能吸收能量較落石能量大時，須檢討可以承受鋼纜斷裂錨栓之穩定性。

二、落石防護柵(欄)

落石防護柵(欄)係適用於較小規模的落石對策，因此，必須依據坡面狀況，決定其種類、大小。必須設置落石防護工程處置的地點，如道路線形彎曲、道路長度長之情況時，宜適當地分段設置落石防護柵(欄)。各段的落石防護柵(欄)端部宜相互重疊，可防止落石掉入防護柵(欄)間隙內。

三、落石防護牆、堤

為防止落石滾落至道路的防護措施，主要設置在道路旁，落石防護牆、堤背後設置落石溝，提供堆積某種程度落石的空間，因此，大多設置在坡面坡度緩和的地點或道路旁較寬廣的地方。

設計方法通常考慮為重力式擋土牆，其基本設計原則採取吸收落石運動能量，轉換成擋土牆主體及支撐地盤的變形能量。設計時，除考慮地形及地質之外，如可能發生落石時，應檢討落石重量、落下高度，以及落石防護牆、堤的穩定性及斷面的勁度狀況。同時，必須考量地形及目前的落石現狀之後，決定落石防護牆、堤的設置長度及高度。

四、落石防護棚及明隧道

在道路旁無多餘用地，且容易發生落石的連續陡坡面處，或有大規模落石現象，可能飛越出落石防護欄等情況時，宜檢討採用落石防護棚或明隧道。

落石防護棚及明隧道設計需考量合理的可承受撞擊力，掌握構造物變形的吸收能量。落石防護棚及明隧道可將落石的衝擊載重轉換成擬靜態載重進行設計。

落石防護工設置目的在於吸收落石的運動能量，因此，轉換成為擬靜態載重進行設計時，應選擇能量吸收能力大的構造型式及材料與細部構件。

參考文獻

參考文獻

1. 行政院農業委員會水土保持局(2005)，「水土保持手冊」。
2. 行政院農業委員會(2012)，「水土保持技術規範」。
3. 交通部公路總局(2009)，「公路排水設計規範」。
4. 台北市政府大地工程處(2010)，「人工邊坡調查作業手冊」。
5. 行政院公共工程委員會(2006)，「台灣地區山區道路規劃設計參考手冊」。
6. 行政院交通部(2010)，「公路工程施工規範草案之研究」
7. 行政院交通部(2011)，「公路修建養護管理規則」。
8. 行政院交通部(2003)，「公路養護手冊」。
9. 行政院交通部(2011)，「國道 3 號 3.1 公里崩塌事件原因調查工作」。
10. 行政院內政部營建署(2003)，「坡地社區開發安全監測手冊」。
11. 交通部臺灣區國道高速公路局(2011)，「高速公路養護手冊」。
12. 交通部公路總局(2012)，「公路養護手冊」。
13. 交通部臺灣區國道高速公路局(2012)，「國道邊坡全生命週期管理系統操作手冊」。
14. 交通部臺灣區國道高速公路局(2010)，「國道邊坡監測作業標準作業程序」。
15. 交通部臺灣區國道高速公路局(2012)，「邊坡評估分級」。
16. 香港土木工程署土力工程處(1998)，「斜坡岩土工程手冊」。
17. 香港土木工程署土力工程處(2003)，「斜坡維修指南」。
18. 香港土木工程署土力工程處(2011)，「參考便覽第 03/2011 號」。
19. 交通部台灣區國道新建工程局(2003)，「邊坡穩定及保護之設計準則研訂與解說」。
20. Duncan, J. M. ,Factor of safety and reliability in geotechnical engineering, ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 126(4), 307-316. (2000)
21. Duncan, J. M. and Wright, S. G., Soil Strength and Slope Stability, Wiley, Hoboken, New York. (2005).
22. European Committee for Standardization, EN 1997-1, Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules (2004/12/22)
23. European Committee for Standardization, EN 1997-2, Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing (2007/4/30)
24. Federal Lands Highway, “Federal Highway Administration, Department of Transportation, Project Development and Design Manual”(Draft), (2011)

25. Hong Kong Geotechnical Control Office, "GEOSPEC" (1989)
26. Japan Society of Civil Engineers, "Principles, guidelines and terminologies for structural design code drafting founded on the performance based design concept" ver.1.0(2003/3)
27. SAICE "Code of Practice on Lateral Support in Surface Excavations", Geotechnical Division, South African Institution of Civil Engineers, PO Box 94345, Yeoville 2143, South African. (1989)

ISBN 978-986-04-7294-3



GPN : 1010403065

定價：240 元