

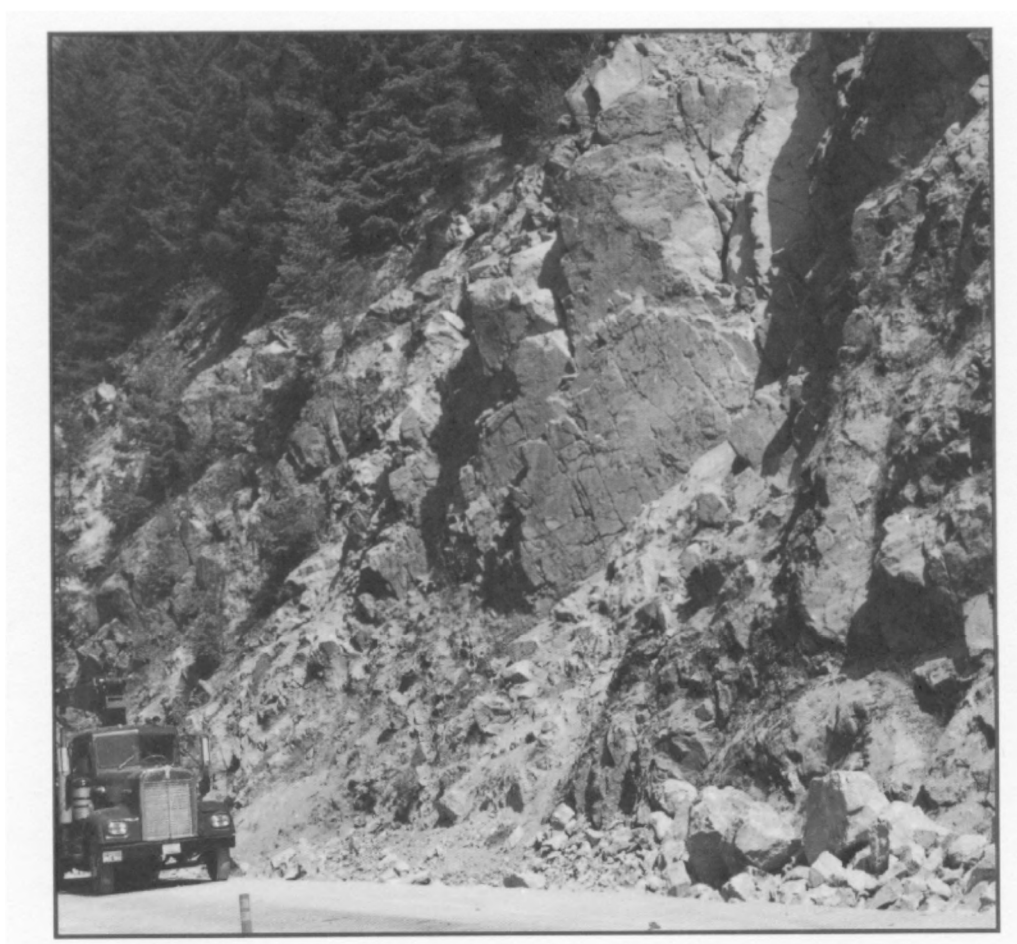
美國交通部

聯邦公路管理局

發文編號 FHWA SA-93-057/1993 年 11 月

NHI 課程編號 130220

落石危害評等系統 學員手冊



國家公路機構



參與創新

公告

為能夠資訊交流，本文件由交通部贊助發行，本出版品不得視為標準、規範或法規，

美國政府概不擔保其相關的產品或製造商。本文中的商標或製造商名稱，僅在視為必要時才列舉。

1. 報告編號 FHWA-SA-93-057	2. 政府存取編號	3. 收件人目錄編號	
4. 標題和副標題 落石危害評等系統 - 學員手冊		5. 報告日期 1993 年 8 月	
		6. 執行組織代碼	
7. 作者 Lawrence A. Pierson, C.E.G. Robert Van Vickie, R.P.G.		8. 執行組織報告編號	
9. 執行組織名稱和地址 SNI International Resources, Inc. 4041 North Central Avenue Phoenix, AZ 85012		10. 工作單位編號(TRAIS)	
		11. 合約或補助編號 DTFH61-92-Z-00069	
12. 贊助機構名稱和地址 FHWA Office of Technology Applications 400 Seventh Street, SW Washington, DC 20590		13. 報告類別和涵蓋期間 最終報告 1992 - 1993	
		14. 贊助機構代碼	
15. 補充公告 FHWA 專案經理：Chien-Tan Chang FHWA 技術聯絡人：Barry Siel NHI 聯絡人：Larry Jones			
16. 摘要 已完成落石危險評級系統（RHRS）的制定，本系統已由奧勒岡州交通部進行全面的測試和實施，RHRS 意指用於管理公路附近地區落石的相關過程，本系統藉由積極主動的設計提供合理的方法，針對施工地點及如何花費建設資金作出明智決策，降低落石的相關風險。 本課程的學員手冊記錄 RHRS 要件，即相關機構應實施本系統的相關步驟並討論所需的參與程度。本文還說明實現本系統的益處和限制。 本手冊可作為現場指南，也可作為邊坡評等使用最終資料庫建立落石破壞修復設計和判定施工優先等級等相關人員的桌面參考文件。			
17. 關鍵字：落石 落石危害評等系統(RHRS) 奧勒岡州交通部(ODOT) 優先排序		18. 發行聲明 本文無任何限制可透過下列機構開發佈： National Technical Information Services Springfield, VA 22161	
19. 安全分類 (本報告內容) 未分類	20. 安全分類 (本頁內容) 未分類	21. 頁碼 104	22. 價格

序言

許多公路的路段都有岩石邊坡，可能會碰到落石，落石的可能原因部份是因為過去的建築實務過於依賴侵略性的挖掘技術，雖然這些實務作法有助於清除破碎物，但通常讓邊坡更容易出現不必要的落石。

落石危害評等系統(RHRS)旨在作為一種工具，可讓運輸機構主動解決落石危險的問題而非只是簡單應對落石事故。RHRS 提供一種可受到法律保護標準化的方法，藉由數據加以區分落石區的明顯風險，對有限建設資金的運用進行優先排序。

奧勒岡州交通部(ODOT)在 1984 年開始制定 RHRS，由聯邦公路管理局（FHWA）贊助募集資金，led-fund，公路規劃和研究機構（HPR）撥款讓 ODOT 完成系統的開發制定，並在 3,000 多個地點進行測試。

在研討會中，RHRS 是提供給負責進行 RHRS 落石區評等的作業人員和判定該機構是否應採用 RHRS 措施的管理人員。

就這些管理人員而言，研討會一開始的第一個小時就是提報執行概要。實施並執行 RHRS 的學員將接受為期兩天的訓練，第 1 天在教室內上課，將學習如何執行評等，建立落石資料庫並使用此資訊進行落石修復的優先排序。最後一天就是實務練習，要求學員在該機構管轄範圍內的兩個實際落石區體驗 RHRS 的實務應用過程。

目錄

	頁碼
第 1 章：執行概要.....	1
1.1 前言	1
1.2 落石危害評等系統的評估	2
1.3 系統特性概要	4
1.4 RHRS 優點	5
1.4.1 獲得相關知識	5
1.4.2 公眾認知	5
1.4.3 法律保護	6
1.5 執行	6
1.5.1 RHRS 修改	7
1.5.2 培訓	9
1.5.3 成本	10
1.6 限制	12
1.7 結論	13
第 2 章：邊坡調查.....	14
2.1 目的	14
2.2 方法	14
2.3 相關人員	15
2.4 資訊收集	15
第 3 章：初步評等.....	18
3.1 目的	18
3.2 標準	18
3.2.1 道路落石可能性估計	19
3.2.2 落石活動歷史紀錄	19
3.3 分類說明	19
3.4 如何使用初步評等的結果	21
3.5 研討會問題、課堂練習 1	22
第 4 章：詳細評等類別.....	25
4.1 目的	25
4.2 概覽	25
4.3 評分系統	25
4.4 得分輔助	27
4.4.1 圖形	27
4.4.2 指數公式	29
4.4.3 評分表	29
第 5 章：詳細評等類別.....	31

5.1 類別說明.....	31
5.2 類別相片.....	31
5.3 邊坡高度類別.....	31
5.3.1 類別重要性.....	32
5.3.2 測量方法.....	32
5.3.3 標準實例.....	34
5.3.4 課堂練習 1.....	35
5.4 排水溝效用類別.....	36
5.4.1 類別重要性.....	36
5.4.2 類別測量.....	36
5.4.3 標準說明.....	37
5.4.4 標準實例.....	37
5.5 車輛平均風險(AVR)類別.....	40
5.5.1 類別重要性.....	40
5.5.2 標準實例.....	41
5.5.3 課堂練習 1.....	41
5.6 決策視距類別百分比.....	42
5.6.1 類別重要性.....	42
5.6.2 測量方法.....	42
5.6.3 AASHTO 決策視距	43
5.6.4 DSD 公式.....	43
5.6.5 標準實例.....	44
5.6.6 課堂練習 1.....	45
5.7 道路寬度類別.....	46
5.7.1 類別重要性.....	46
5.7.2 測量方法.....	46
5.7.3 標準實例.....	47
5.7.4 課堂練習 1.....	48
5.8 地質特徵.....	48
5.8.1 案例 1：結果條件類別.....	49
5.8.1.1 類別重要性.....	49
5.8.1.2 標準說明.....	50
5.8.1.3 標準實例.....	50
5.8.2 案例 1：岩石摩擦類別.....	52
5.8.2.1 類別重要性.....	52
5.8.2.2 標準說明.....	52
5.8.2.3 標準實例.....	53
5.8.3 案例 2：結構條件類別.....	55
5.8.3.1 類別重要性.....	55
5.8.3.2 標準說明.....	55
5.8.3.3 標準實例.....	56
5.8.4 案例 2：沖蝕率類別差異.....	58
5.8.4.1 類別重要性.....	58
5.8.4.2 標準說明.....	58

5.8.4.3 標準實例.....	59
5.8.5 選擇適當案例.....	60
5.8.6 課堂練習 1.....	61
5.9 每個事件類別的落石大小或落石量.....	62
5.9.1 類別重要性.....	62
5.9.2 該使用哪種標準？.....	62
5.9.3 標準實例.....	63
5.9.4 課堂練習 1.....	64
5.10 氣候和邊坡水流的類別.....	64
5.10.1 類別重要性.....	65
5.10.2 評估方法.....	65
5.10.3 資訊來源.....	65
5.10.4 標準實例.....	66
5.10.5 課堂練習 1.....	66
5.11 落石歷史紀錄類別.....	67
5.11.1 類別重要性.....	67
5.11.2 標準說明.....	67
5.11.3 資訊來源.....	68
5.11.4 課堂練習 1.....	68
5.12 課堂練習 1 概要.....	68
5.13 後記.....	70
第 6 章：初步設計和成本估計	71
6.1 落石控制方法.....	71
6.2 落石整治設計.....	71
6.2.1 一般落石整治技術.....	72
6.2.2 審查初步設計.....	73
6.3 成本估計.....	73
6.4 課堂練習 1.....	75
第 7 章：專案計畫識別與制定	76
7.1 專案計畫識別.....	76
7.1.1 評分方法.....	76
7.2.2 評比方法.....	76
7.2.3 整治方法.....	77
7.2.4 近似法.....	77
7.2 落石相關事故.....	78
第 8 章：年度審查和更新.....	79
8.1 審查和更新.....	79
8.2 審查目的.....	79
第 9 章：落石資料庫管理計畫	82

9.1 自動化資料庫數值(RDMP).....	82
9.2 訂製資料庫.....	82
9.3 程式相關內容.....	83
9.3.1 製作報告.....	83
第 10 章：課堂練習.....	86
10.1 目的.....	86
10.2 練習程序.....	86
10.2.1 練習 2 程序.....	86
10.2.2 練習 3 程序.....	87
10.3 練習 2.....	87
10.3.1 初步評等.....	90
10.3.2 詳細評等.....	90
10.3.3 初步設計和成本估計.....	92
10.4 練習 3.....	94
10.4.1 初步評等.....	97
10.4.2 詳細評等.....	97
10.4.3 初步設計和成本估計.....	99
10.5 課堂練習概要.....	101

圖目錄

圖	頁碼
圖 1.1 每個人都期待旅途的安全.....	1
圖 1.2：落石造成的鐵路事故	2
圖 3.1：C 級邊坡.....	20
圖 3.2：B 級邊坡.....	20
圖 3.3：A 級邊坡.....	21
圖 3.4：差異性沖蝕造成的懸垂邊坡	22
圖 3.5：110 呎高邊坡.....	23
圖 3.6：無效的路旁排水溝	23
圖 4.1：邊坡高度評分圖	27
圖 5.1：落石是由高速公路上方的天然邊坡破壞所造成	33
圖 5.2：當邊坡幾乎垂直並可直通頂部時，可以用量尺測量其高度。	34
圖 5.3：判定邊坡的垂直高度而非斜面長度，73 呎高的邊坡得分為 25。	34
圖 5.4：此掉落區域的寬度成為良好的承接區	37
圖 5.5：在狹窄的無效路旁排水溝，新增邊坡中段的排水功能。	38
圖 5.6：此邊坡上的落石會落在道路上，排水溝無承接區。	38
圖 5.7：此地點可能發生大量落石事故，落石不會掉落在排水溝中。	39
圖 5.8：在崎嶇地形中，在彎道豎立速限交通標誌很常見，記得記錄此資訊。	41
圖 5.9：前方道路可能隱藏岩石的水平曲線實例	44
圖 5.10：垂直曲線也可能限制視距	44
圖 5.11：經測量的距離為 330 呎.....	45
圖 5.12：僅評估鋪設表面的寬度，應注意到未鋪砌路肩的距離損失。	47
圖 5.13：在分隔的公路上，僅測量駕駛員可用的道路部份。	47
圖 5.14：地層傾向公路	49
圖 5.15：隨機逆向接合的岩石	50
圖 5.16：應注意傾覆破壞，這也是一種逆向接合。	51
圖 5.17：持續性逆向接合	51
圖 5.18：不規則岩石接合，應注意到岩石曝露表面的粗糙紋理。	53
圖 5.19：曝露的波浪狀接合面	53
圖 5.20：平面形的接合面，此表面大致光滑。	54
圖 5.21：風化接合面，應注意到岩石表面間的紅色黏土。	54
圖 5.22：差異性沖蝕造成的落石	56
圖 5.23：案例 2 是岩屑坡面上的材質移動.....	56
圖 5.24：層狀材質容易出現差異性沖蝕	57
圖 5.25：過度陡峭的土壤/岩石邊坡	57
圖 5.26：與具有阻抗性的岩石相比，接縫處的土壤更容易受到沖蝕，差異明顯。	59
圖 5.27：邊坡底部的碎屑受到凍融循環和雨水的強烈影響，出現極端的差異。	60
圖 5.28：以落石大小用於評估此事件	63
圖 5.29：可用落石大小或落石量以獲得最高得分	63
圖 5.30：邊坡上的氣候和水流最終都會在這個新建地點造成問題	66
圖 5.31：落石歷史紀錄重大事件	68
圖 5.32：重大事件	70

圖 8.1：應注意到遠處的大幅度懸垂	80
圖 8.2：當大塊落石落下時，碎片會掉落到道路上，未來的落石尺寸將會更小並落在排水溝中。	80
圖 9.1：狀態主選單的電腦螢幕	83
圖 9.2：按照區域、公路和起始里程點的排序選單	84
圖 9.3：評等選單，類別中的最大值即選用為第 1 級。	84
圖 9.4：依成本-RHRS 評分排序的數據.....	85
圖 9.5：依總得分排序的成本-RHRS 數據.....	85
圖 10.1：落石地點 2 概覽邊坡高度？	87
圖 10.2：排水溝效用？	88
圖 10.3：AVR？應注意到豎立的速限.....	88
圖 10.4：地質特徵？	89
圖 10.5：落石大小？	89
圖 10.6：落石地點 3 概覽邊坡高度？	94
圖 10.7：10 呎溝渠是不足的，有 75% 的岩石會掉落在道路上。排水溝效用？	95
圖 10.8：決策視距？道路寬度？	95
圖 10.9：地質特徵？	96
圖 10.10：落石大小？	96

表目錄

表	頁碼
表 1.1：ODOT 的 RHRS 成本(7/01/90)	10
表 1.2：已完成工作的說明.....	11
表 1.3：時間消耗.....	11
表 1.4：費用明細.....	11
表 1.5：各步驟時間/費用百分比的花費	12
表 3.1：初步評等系統.....	18
表 4.1：落石危害評等系統概要表.....	26
表 4.2：指數公式.....	29
表 5.1：決策視距.....	43
表 6.1：落石防護技術.....	72
表 10.1：課堂練習概要.....	101

第 1 章：執行概要

1.1 前言

身為運輸管理機構，我們希望為大眾提供安全的公路系統，這絕不是一個容易達成的目標，公路需穿過岩石開挖地區，這讓困難度更為複雜。在像是奧勒岡州這樣的山區，許多公路都會穿過陡峭地形，高速公路附近的岩石坡更是常見。其中有些人造邊坡的高度超過 100 呎，許多是位於崎嶇的天然邊坡地基附近，這是延伸數百英呎上坡路段。

這些路段自然容易出現落石，這種落石的可能性是公路系統造成的必然結果。直到最近，標準的施工方法仍採用過度積極性的爆破和斷裂技術來建造岩石坡，雖然這些實務作法有助於道路開挖，但通常讓邊坡更容易出現不必要的落石。在這些狀況下，各管理機構面臨需降低落石風險的艱鉅任務。

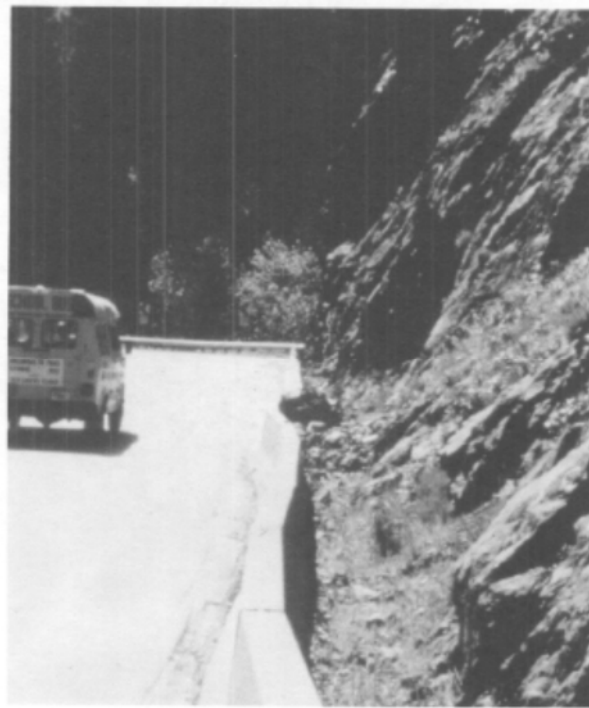


圖 0.1 每個人都期待旅途的安全

ODOT 的管理層和法律顧問認為需採用有系統的方法設定落石專案計畫的優先順序，並妥善分配有限的修復資金。為能夠確保有效執行，本計畫先檢查公路系統的所有岩石坡，判定落石最可能影響道路的區域。一旦確定後，這些路段將由受訓過的人員進行評等，藉此判定哪些路段對公眾會造成最大的風險，為能夠實現此目標，需要 1 個評等系統。

1.2 落石危害評等系統的評估

ODOT 於 1984 年即開始討論需要 RHRS 系統，在本主題的初步文獻內容中，對 C.O.Brawner 和 Duncan Wyllie(1)撰寫的論文進行審查，在落石事件引發非常嚴重的鐵路事故後，作者即制定評等標準和評分方法。該系統旨在積極評估鐵路附近的岩石坡，評等需進行落石修復的地點和工作的優先順序。藉由此方法，可根據落石事件的可能性和預期效果將落石區段分為 A、B、C、D、E 等類別。



圖 1.2：落石造成的鐵路事故

在隨後的論文(2)中，Wyllie 概述更詳細的評等程序，可用於判定落石地點的優先處理順序。Wyllie 的第 2、3、4、5 種方法包括特定的評估類別，使用指數評分系統對這些類別進行評分。

採用制定 RHRS 原型的兩種方法，從 Brawner 和 Wyllie 早期的論文中，根據主觀評估對落石地點進行分組，此構想即列入初步評級作業中。在 Brawner 和 Wyllie 隨後的論文中，評等表、評等類別和指數評分系統列入詳細評等的作業中，有些類別與 Brawner 和 Wyllie 類似，而其他類別則屬新類別。所有這些類別都根據過去幾年在全州境內所制定和使用的 RHRS 相關經驗進行修改，本文添加評等標準的詳細內容，可藉此了解系統及其相關的應用。

制定 RHRS 的最後階段始於 1989 年 7 月，當時的 ODOT 被選中進行名為落石危害評等系統的 HPR 集資研究，本研究資金由下列機構贊助：

各州公路局

- | | |
|--------------|-------------|
| 1. 亞利桑那州公路局 | 6. 新墨西哥州公路局 |
| 2. 加州公路局 | 7. 俄亥俄州公路局 |
| 3. 愛達荷州公路局 | 8. 奧勒岡州公路局 |
| 4. 麻州公路局 | 9. 華盛頓州公路局 |
| 5. 新罕布什爾州公路局 | 10. 懷俄明州公路局 |

聯邦公路管理局

- | | |
|------------------|--------|
| 1. CTIP (直屬聯邦機構) | 3. 研究處 |
| 2. 執行處 | |

本研究旨在對有效的 RHRS 進行最終的確定，在規範制定相關系統並根據多項標準進行價值評估：

1. 系統是否易於理解且使用容易？
2. 是否充份解釋標準的內容？
3. 幾個不同的評估者能否達到一致性的評估結果？
4. 得分是否足以反映落石的危險？

藉由全州實施此計畫，RHRS 在 3,000 多個地點進行測試，最終確定說明內容並制定相關的表格和評等輔助工具，所有的相關資訊都記錄在 RHRS 用戶手冊(3)中，在全國境內，FHWA 主辦 5 個區域性岩土工程研討會，藉此與國家級公路管理部門分享這些測試結果。

ODOT 的工程地質人員花了很多時間重新設計並測試落石危害評等系統，專業背景和對落石的理解讓他們具備創建和維護 RHRS 系統和資料庫的獨特資格。

1.3 系統特性概要

RHRS 是 1 個可讓管理機構積極管理公路系統岩坡的過程，此系統提供機構合理的方式，可在施工地點及如何花費建設資金等方面做出明智的決策，此過程的 6 個步驟概要說明如下：

1. 邊坡數據 - 創建落石地點的地理資料庫（第 2 章）。
2. 初步評等 - 將落石地點分為 3 個可管理的範圍，分別為 A、B 和 C 等級的邊坡（第 3 章）。
3. 詳細評等 - 判定已確定出現的落石地點，從最不危險到最危險的各種地點（第 4 章和第 5 章）。
4. 初步設計和成本估算 - 將整治資訊添加到落石資料庫（第 6 章）中。
5. 專案計畫識別與制定 - 達成落石修復的專案計畫項目（第 7 章）。
6. 年度審查和更新 - 維護落石資料庫（第 8 章）。

值得注意的是，RHRS 使用兩種邊坡等級：即初始邊坡數據收集期間所執行的初步評等和詳細評等，初步評等可以刪除許多無須進一步考量的邊坡，此階段是執行 RHRS 最有效最具有成本效益的方法，在大範圍具有落石可能性的許多邊坡上，對管理機構而言更是有用。

1.4RHRS 優點

徹底實施落石危害評估系統主要有 3 個好處：

1. 獲得相關知識
2. 公眾認知
3. 法律保護

這三者的「底線」在於採取必要步驟來理解問題，並可讓管理機構積極處理落石問題。

1.4.1 獲得相關知識

藉由實施 RHRS 管理層可獲得詳細資訊和一致性的流程，幫助管理機構就岩坡專案計畫的資金分配做出切合實際的決策。管理機構知道落石相關的問題後，才能夠合理規劃解決問題，如同所有成功的規劃活動一樣，需徹底了解問題。

奧勒岡州 DOT 在落石危害評等系統方面的經驗獲益良深，他們樂意在專案計畫方面採用優質資訊，管理機構認為公共安全問題正得到妥善的解決，並可藉由制定 RHRS 為管理機構提供更多的法律保護。

1.4.2 公眾認知

公眾已了解到許多的風險都與駕駛有關，大多數的風險都是人為錯誤所造成，在這方面，落石相關的事故絕非尋常，很少有公路事故是不受到公眾關注的，我們期望對此問題採取一些因應措施。

為能夠因應此問題，管理機構需向公眾證明不僅已意識到落石問題，而且還能夠採取謹慎措施降低落石的風險。RHRS 系統現在被認為可有效處理落石問題，使用此系統可證明管理機構確實了解其確保安全上的責任，並積極採取因應方法解決落石問題。

1.4.3 法律保護

法院認為管理機構無法在任何特定的時間擁有足夠的資金藉此處理所有安全相關的問題。但需建立 1 個系統，在提供資金後，可藉由此系統判定和制定所需的確保安全專案計畫，包括落石的修復等，ODOT 的經驗顯示在法律上這是可達成的事項。

最近實施的 RHRS 迄今尚未依法進行測試，但俄勒岡州多年來一直有優先制定落石建設專案計畫的清單，所列出的落石地點被視為曾經發生事故和/或養護成本過高，通常只列出約 100 個地點，這些地點不是因其落石的可能性而是因為落石的歷史紀錄而登列，根據收益/成本分析對這些落石地點進行優先排序。即便如此，考慮到落石事故的國家賠償訴訟庭外和解和有利州政府的新發現事實，資金容許下，ODOT 已有處理落石的明確計畫和方法。在聯邦政府認可下，即可制定優先順序，在這方面為各個管理機構提供更好的服務。

1.5 執行

RHRS 過程需要更多的承諾並專注於岩坡問題上，這通常需要對許多管理機構進行規範。所需的參與承諾需要額外的工作時間和資金來培訓相關的工作人員、完成初步調查、定期更新資料庫並制定降低落石風險的整治方案。

建議管理機構徹底實施幾個 RHRS 步驟，這些步驟可分為兩方面：

1. RHRS 修正
2. 人員培訓

可能需對 RHRS 進行一些定製作業，此外，工作人員還需經過適當的培訓並具備豐富的經驗，才能夠進行邊坡評估並制定整治措施，相關成本取決於管理機構過去經驗與流程和員工資源，也需評估岩石坡的落石量。

1.5.1 RHRS 修改

可理解到某些修改是不可避免的，但應記得 RHRS 是高度發展的系統，藉由重大的修正和回顧 ODOT 和 FHWA 過去許多努力可能被證明是不必要的。

在執行機構內，由岩土工程、維護和專案計畫制訂部門的代表所組成的委員有助於指導實施 RHRS，本指南可協助確保盡可能提供最可用的成品。

一致性是 RHRS 標準的要件，在全面實施前應完成任何必要的修改，這些修改可能包括：

- 更改基本的 RHRS 規範以符合當地條件。
- 修改 1 個或多個數據收集表、圖表或工作表。

- 變更 Rockfall 資料庫管理計畫 (RDMP) 或開發該管理機構的資料庫系統。

當然在每個機構中落石問題的範圍及其物理條件都不相同，系統的詳細評等用於評估某個落石地點的物理和歷史條件，為評等所建立的標準是根據廣泛的可能條件範圍作成。若所在地區的條件不在擬議標準的範圍內，或大多數邊坡的條件屬於此範圍的特例者，則建議修改相關的標準。此類的修改將容許更適當的評分區隔，對更多的危害地點進行更好的識別劃分。

例如在坡高類別中，使用既定的標準下，邊坡需超過 105 呎才能獲得 100 分的最高分。若所在地區的邊坡非常少，就無需藉由分數來區分此類別的相對風險，應調整標準以避免出現此問題。

本手冊中的表格是為了滿足 RHRS 和 RDMP 的要求而製作，但管理機構通常在組織和文件地理資訊內容的處理方式上各有不同，可能需要修改表格內容以符合管理機構的正常作業程序。

若已修改評分標準，還需修改測量標準計算分數用的指數公式，這些公式是用於製作評分圖表和評分表，方便執行評等程序，若修改標準時，則需重新製作評分表。

電腦資料庫是 RHRS 的要件，需隨時方便製作大量的資訊，此外，由於 RHRS 數據的使用方式很多，因此採用多種不同的格式呈現數據靈活性攸關緊要，紙本拷貝檔案系統無法滿足此需求。

FHWA 制定 PC 架構的 Rockfall 資料庫管理程序 (RDMP) 是專門為 RHRS 所設計。這是獨立式資料庫的應用程式，無需軟體支援功能，可免費提供副本給各州，此應用程式的使用方法非常簡單，自動化資料庫數值(RDMP)是性能優異的工具，強烈建議使用此工具，若需根據管理機構的需求協助特別訂製 RDMP 時，可藉由 FHWA 獲得幫助。

若管理機構已擁有大型資料庫系統，即可採用此系統將 RHRS 資訊匯入，藉由遍行全州的系統聯網善用快速傳輸資訊的優勢。

1.5.2 培訓

成功完成 RHRS 系統有賴於許多人的努力，評估人員、數據登錄人員和設計人員都需接受培訓。在奧勒岡州的案例中，所有的職責概由工程地質學家來承擔，他們幫助開發 RHRS 系統、執行評等、輸入數據並進行初步設計和成本估計，由於經過適當培訓，已成功證明可實現合理具有可重複性的邊坡評等作業並可製作高品質的初步設計內容。

邊坡評估和設計概念應由經驗豐富的工作人員來進行，培訓內容應包括 RHRS 課堂介紹和本課程第 2 天的實習，邊坡聯合評估練習有助於群組成員在標準使用上達成共識，執行過程中的群組溝通有助於維護 RHRS 應用上的一致性。

在全面實施前應針對落石地點進行評等，應盡量根據最廣泛的條件選擇這些落石地點，每個評估人員應獨立執行自己的評估作業，對評估結果進行同儕審查確保統一的標準(相較於較大的評估人員群組，較小的群組可提供更具有一致性、可重複性和可用性的結果。)，此時最好對 RHRS 或操作程序進行最終的修正。

若使用主機系統時，可將 RHRS 資訊輸入資料庫將其分配給數據輸入人員。人員熟悉數據輸入作業時，可將這項工作的培訓成本降低到接近零的程度。但僱用額外的工作人員確保這些人員提供可理解的數據內容，可能不是最明智的選擇。若評估人員輸入數據時，需要一些時間來熟悉這些程序，應盡可能提供簡單好用的 PC 架構 RDMP 資料庫系統，將培訓成本最低化。

制定最先進的初步設計和成本估算是­項專業技能，此專長可能超出管理機構的能力所及，可能需要外包。若管理機構具有此類的專業人員時，只需進行例行審查，只需很少的培訓或根本無需培訓。因為是初步設計，只要工作內容由合格的內部專家仔細審查，經驗不足的評估人員即可具備這些設計上的概念，讓這些評估人員獲得新經驗將是有益的。

1.5.3 成本

如考慮將資源用於此類承諾，成本是管理機構的首要考量。此承諾相關的成本取決於管理機構的經費和落石範圍，管理機構可藉由奧勒岡州的案例比較(1990 的花費金額)估算其成本，下表詳列 ODOT 的實施成本。

表 1.1：ODOT 的 RHRS 成本(7/01/90)

類別	中途支付步驟 (加載費率)		耗用時數	總數
地質學家 1	\$ 21.81/hr	X	878.5	\$19,160.08
地質學家 2	\$24.01/hr	X	793.0	\$19,039.93
地質學家 3	\$27.84/hr	X	164.0	\$ 4,565.76
地質學家主管	\$30.72/hr	X	448.0	\$13,762.56
管理處	\$16.25/hr.	X	44.5	\$ 723.12
工程技師 1	\$16.29/hr.	X	139.0	\$ 2,264.31
維修技師 2	\$17.42/hr	X	960.0	\$16,732.00
運送工程 1	\$24.01/hr	X	80.75	\$ 1,942.11
加班總工時	\$可變費用	X	66.5	\$ 1,654.65
費用				<u>\$ 7,325.00</u>
			總數	\$87,169.52

表 1.2：已完成工作的說明

邊坡數量	執行的工作
3000*	全州邊坡總數所有項目進行 A、B、C 評等。
1340	判定為 A 或 B 級邊坡則輸入 RHRS 資料庫中
501	判定為 A 的邊坡再進行詳細評等

* 被判定為 C 級邊坡者無需記錄

表 1.3：時間消耗

相關人員	時間
全部人員	3493.5 小時或 436.68 日
地質學家(僅限於這些人)	2283.5 小時或 285.00 日

表 1.4：費用明細

邊坡類別	每個邊坡的成本*
所有 A、B、C 級的破壞邊坡	每個破壞邊坡評估作業花費\$ 29.00 元
僅限於 A 和 B 級破壞邊坡	每個破壞邊坡評估作業花費\$ 65.00 元
僅限於 A 級破壞邊坡	每個破壞邊坡評估作業花費\$ 174.00 元

*分組總成本/邊坡數量

表 1.5：各步驟時間/費用百分比的花費

類別	建議*	ODOT# (實際狀況)	成本/步驟(ODOT)
培訓	10%	2%	\$ 1,743.39
初步評等	50%	53%	\$46,199.84
詳細評等	30%	31%	\$27,022.55
設計/成本估計	10%	14%	\$12,203.73

* 建議作為實施 RHRS 的指南，實際百分比因各個管理機構有所不同。

完成作業後，最終的 RHRS 產品是 1 個全州性的資料庫，可用於識別所有的 A 級和 B 級邊坡並包括所有 A 級邊坡的初步設計和成本估算內容，表 1.4 顯示僅根據 A 級邊坡數量完成此估算的開支為每個邊坡需花費 174.00 美元，成本相當合理。

1.6 限制

無論事故區域在 RHRS 優先列表中的排名如何，管理機構都可回應落石事故，應避免過度反應的傾向，使用詳細評級重新評估發生事故的地點，判定落石事件其可能性的增減，落石地點的投資金額與新評估的結構應彼此一致。

落石危害評等系統提供管理機構關於邊坡評等的優先排序方法，此判定部份內容較主觀，雖然邊坡評估過程盡可能簡單，但特定的邊坡可能出現偏頗數值，這在很大程度上取決於評估者的能力及如何一致性地解釋和使用評等標準，應記得任何 A 級邊坡無論是 700 或 600 的詳細評等得分值，都可能在道路上出現落石。

1.7 結論

奧勒岡州 DOT 在 RHRS 方面的經驗獲益良深，機構管理層回應這是一種舒緩和接納措施，他們樂意在專案計畫方面採用優質資訊，他們可合理判定在何處運用岩質邊坡的工程分配資金，這是實施落石危害評等系統前無法實現的事項。

第 2 章：邊坡調查

2.1 目的

邊坡調查旨在收集落石區的特定資訊，第一步即採用 RHRS 的基本功能，只藉由此功能即可讓管理機構了解落石問題的嚴重程度。

2.2 方法

最好是對危險地點或數量無先入為主觀念的情況下進行調查，即使是全州最重要的落石地點也少有人了解這一點。

邊坡調查起初會有非常沉重的資訊收集過程，最好進行任務的分層管理，實務上通常一開始就採用既有的維修範圍進行分層管理。

準確劃分落石區段非常重要，就 RHRS 目的而言，落石段可定義為：
沿著公路的不間斷邊坡，其中落石發生率和模式均相同者。

落石段的界限由鄰近公路的邊坡長度來判定，邊坡中斷可能是因為排水、交叉道路和地形等眾多因素所造成。

在不間斷的區段中，落石量（頻率和/或數量）可能明顯不同，這種差異的兩個實例就是中斷的頻率或方向以及沖蝕率上的變化，出現這種變化時，所需修復的緊迫性和類型可變化到足以讓邊坡劃分段變成應各別獨立劃分的落石段。

落石模式（落石原因）也可能有所不同，岩石類型、邊坡幾何外形或掉落區域大小的變化可能出現在不中斷的邊坡區域內，因此，邊坡可能曝露出不同的材質特性或造成公路上落石的條件，由於這些變化，整治種類各有不同的實施頻率並可劃定其他適合整治的區段。

以這種方式建立落石區段需要專業技能和人力，預期結果可建立具有彈性的可用資料庫，必要時，在專案計畫開發過程中即可先界定計畫範圍，稍候再進行地點分組。

2.3 相關人員

邊坡調查需要兩個人：評估人員執行初步評級，必要時還需進行詳細評等，養護人員應是最了解公路落石歷史紀錄和相關維護活動的人員。

2.4 資訊收集

養護人員提供的歷史紀錄正是初步評等的要件，過去的落石活動是未來用於預期的良好指標，很多時候一個落石記錄不明的地點，只能依賴該段公路工作人員的相關記憶，邊坡調查正好可提供歷史紀錄，應包括下列資訊：

1. 落石活動的位置點
2. 落石活動的頻率
3. 最常落石的時間
4. 每個事件的落石大小/落石量
5. 落石材質的物理特性
6. 落石停止地點
7. 可用的事故歷史紀錄
8. 關於落石原因的意見
9. 排水溝清洗/道路巡檢頻率
10. 維護回應的估計成本

應在下一頁的意見欄中記錄此資訊。

RHRS 落石地點數據表

公路：

區域：

公路#	_____	起點里程點	_____	左/右	_____	終點里程點	_____
郡別#	_____	日期	_____	新文件	_____	評等人	_____
類別	A B	ADT	_____	更新	_____	速限	_____

類別	備註	類別得分
邊坡高度_____ (呎) / /		邊坡高度 _____
排水溝效用 G M L N		排水溝效用 _____
車輛平均風險 %		AVR _____
視距：_____ 呎		視距 _____
決策地點百分比 %		道路寬度 _____
道路寬度： _____ 呎		
地質特徵		地質特徵
案例 1		案例 1
結構條件 D C/ F R A		結構 _____
岩石摩擦 R I U P C - S		岩石摩擦 _____
案例 2		案例 2
差異性沖蝕特徵 F O N M		差異性特徵 _____
沖蝕率的差異 S M L E		差異比值 _____
落石大小/數量 呎/[碼 ³]		落石大小 _____
氣候		氣候 _____
降雨 L M H		
結冰點 N S L		
邊坡水流 N I C		落石歷史紀錄 _____
落石歷史紀錄 F O M C		
意見：		總得分

在數據表上方處應記錄公路名稱和編號、區域或區段、開始和結束里程點、該路段的中心線是左側或右側、郡別、日期和評估者的姓名,落石段的界限判定應達百分之一哩的精度。

第 3 章：初步評等

3.1 目的

初步評級旨在將邊坡數據檢查的落石段分為 3 個更廣泛更容易管理的範圍和類別，若無此步驟，將花費更多額外的時間來進行低度到中度危害地點的詳細評等作業，此評等是對落石可能性的主觀評估，需要經驗豐富具有洞察力的人員做出有效的判斷。

3.2 標準

A、B 或 C 級邊坡初步評等所採用標準如下所示：

表 3.1：初步評等系統

標準	類別	A	B	C
道路落石可能性估計		高	中	低
落石活動歷史紀錄		高	中	低

RHRS 是主動系統，主要用於評估落石地點的可能性，因此，估算道路落石可能性的標準是初步評等的控制因素。例如，若路上的邊坡落石可能性非常高（邊坡包含顯示活動位移和非常有限的掉落區），無論過去的落石活動如何，即歸類為 A 級邊坡。「落石活動歷史紀錄」的標準用於補充初步評等作業，需加以說明。例如，假設檢查現場後不清楚落石的可能性，可將邊坡分類為 A 級或 B 級邊坡。養護人員應確認雖然近年來落石活動已減少，但落石可能性仍然很高，此類的邊坡即歸類為 A 級邊坡。

3.2.1 道路落石可能性估計

對道路落石可能性進行評等估計時，應考慮以下因素：

1. 落石材質大小估計
2. 落石量/事件估計
3. 可用數量
4. 排水溝效用

3.2.2 落石活動歷史紀錄

評估落石活動的歷史紀錄時應考慮下列因素：

1. 公路落石頻率
2. 落石量
3. 落石大小
4. 清除頻率

3.3 分類說明

C級落石區意指該區域不太可能出現落石或假如出現落石時，不太可能掉落到道路上。換言之，出現危害風險的幾率幾乎等於零，下一頁為典型的C級邊坡實例，值得注意的是，即使邊坡出現落石，這些落石幾乎不會落到地面上，因此無需收集此類邊坡的資料庫資訊。

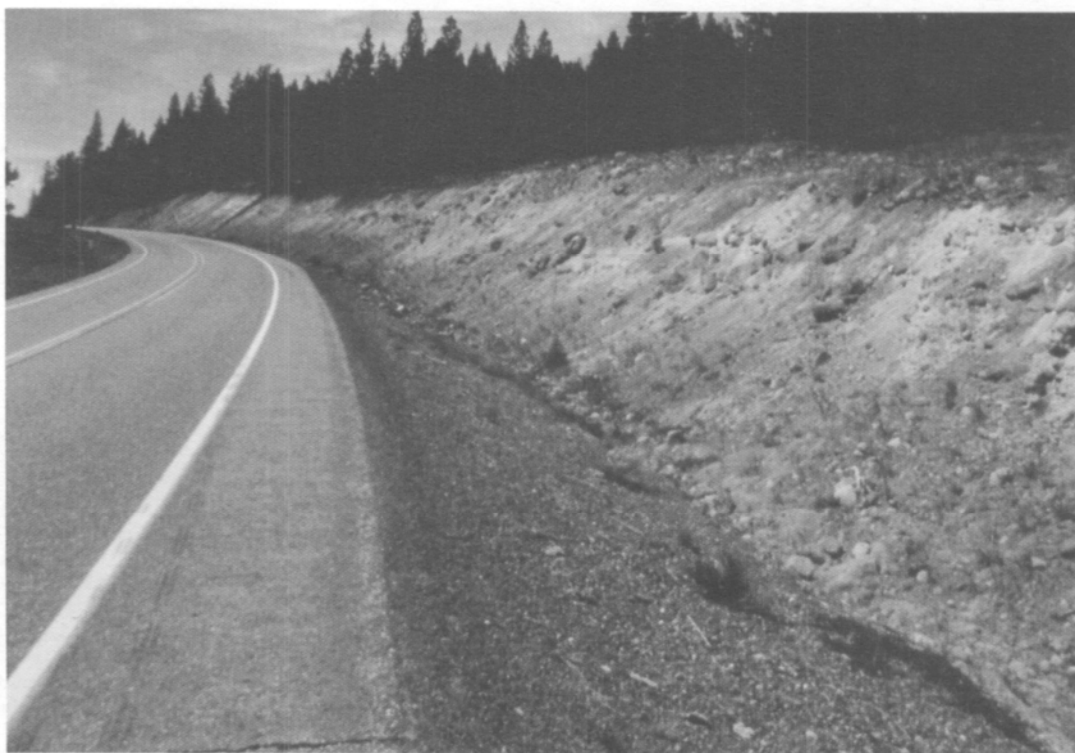


圖 3.1：C 級邊坡

B 級邊坡的風險範圍從低度危害升到中度危害，下圖顯示典型的 B 級邊坡實例，雖然邊坡可能出現落石，但其掉落區域足以阻擋幾乎所有的落石落到道路上，在這個地點很少出現落石。



圖 3.2：B 級邊坡

A 級邊坡的風險範圍從中度升到高度危害，下面顯示明顯的 A 級斜率實例，值得注意的是，邊坡出現數不盡的岩石，除了掉落在道路上之外無處可掉落，此外，也出現視距不足道路狹窄的狀況。



圖 3.3：A 級邊坡

應用標準的一致性很重要，與這些決策相關的能力和作業熟練度隨著經驗而提高，一旦進行評等後，所有的 A 級評等邊坡都應拍照存查，在後續討論初步設計概念時，這些照片非常有用，對於邊坡的年度變化識別特別有用。

3.4 如何使用初步評等的結果

此評估是 RHRS 過程的關鍵步驟，尤其是涉及大量的邊坡評估作業。在這個步驟中，需進行進一步的判定，初步列入 A 級邊坡者才需進行詳細評等作業，以節省勞力並確保針對最關鍵的事項進行評估。在時間和資金允許下才進行 B 級邊坡的評等，無需理會 C 級邊坡，因此，此類的數據不登錄在全州的資料庫中。

在奧勒岡州的數千個邊坡評等中，有 839 個邊坡是 B 級邊坡，有 501 個是 A 級邊坡。所有的 A 級邊坡都進行詳細評等作業，顯然，由於有許多路段被判定為 A 級邊坡，因此這些邊坡數量的相關作業執行將持續到下個世紀，當列入 B 級邊坡時，更容易理解為何 C 級邊坡無需列入資料庫中。

3.5 研討會問題、課堂練習 1

下圖顯示將作為工作坊第一個課堂練習的落石地點，這些落石路段也列入落石資料庫中，後續再進行詳細評等作業。



圖 3.4：差異性沖蝕造成的懸垂邊坡

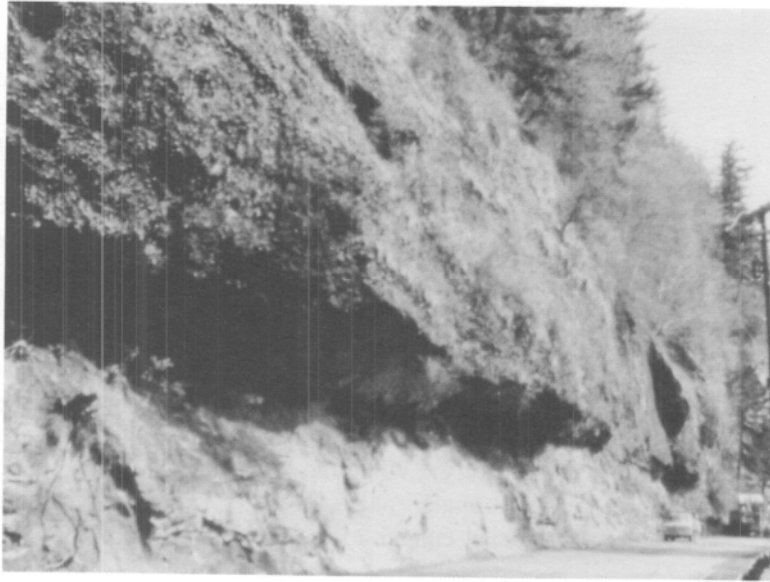


圖 3.5：110 呎高邊坡



圖 3.6：無效的路旁排水溝

邊坡超過 100 呎即顯示出沖蝕的不同嚴重影響程度（圖 3.5），路旁邊溝無法限制落石掉入道路上（圖 3.6），養護人員表示此路段出現重大問題，從 11 月到 5 月（雨季）及夏季風暴期間，上方鵝卵石尺寸的礫岩幾乎每天都會掉落在路面上。此外，約每 3 到 5 年發生一次重大落石事件，太多的邊坡無法得到支撐。兩個沉砂設施間的邊坡水流會迅速沖蝕下方處，導致岩石懸垂。

根據此證據，按照第 18 頁的初步評級系統即可進行標準分類。

路面落石估計可能性 = **A B C**

落石活動歷史紀錄 = **A B C**

此落石路段將以下列方式輸入 RHRS 資料庫

一個 **A B** 類邊坡

第 4 章：詳細評等類別

4.1 目的

詳細評等旨在藉由數字區分所識別各個位置點的落石風險，評等後，可根據得分進行這些地點的分類和優先排序，這些列表有助於判定應啟動安全專案計畫的位置點。

4.2 概覽

下一頁顯示詳細評等的內容，包括 12 種邊坡的評等和評分（這些類別的詳細說明如第 5 章），任何邊坡即可進行這些類別得分的加總。高得分的邊坡意指風險較高，這 12 種代表落石整體危害的要素，右邊 4 欄的基準標準為各類相關風險增加的推估分類。

4.3 評分系統

因此，隨著風險從左向右增加，每欄的相關分數從 3 分增加到 81 分。這些分數呈指數增長，指數評分系統可快速提高分數，藉此區分更危險的落石地點，這些分數代表從 1 到 100 的連續分數。進行邊坡評等時，使用整個分數而非特定的分數進行評估，可讓每個評估者更靈活地評估極端變化條件的相對影響。最初，新手評分者使用特定分數可能更覺得上手，無需較多的判定，但一再使用這些特定分數無法善用此評分系統，不建議這樣的使用狀況。

表 4.1：落石危害評等系統概要表

類別			評等標準和評分			
			3 分	9 分	27 分	81 分
邊坡高度			25 呎	50 呎	75 呎	100 呎
排水溝效用			良好承接區	中度承接區	受限承接區	無承接區
車輛平均風險			25%時間	50%時間	75%時間	100%時間
決策視距百分比			適當視距、 100%設計低 限值	中度視距、 80%設計低限 值	限制視距、 60%設計低限 值	非常有限視 距、40%設計 低限值
含鋪砌路肩的道路寬度			44 呎	36 呎	28 呎	20 呎
地 質	案 例 1	結構條件	不連續接 合、順向	不連續接合、 錯亂方向	不連續接合、 逆向	不連續接合、 逆向
		岩石摩擦	粗糙、不規則	波浪狀	平面	黏土填充或光滑黏土
地 質 特 徵	案 例 2	結構條件	較少數差異 性沖蝕特徵	偶爾出現差異 性沖蝕特徵	常出現差異性 沖蝕特徵	嚴重差異性沖 蝕特徵
		沖蝕率的差異	小差異	中度差異	明顯差異	極端差異
落石量/落石事件的落石 大小			1 呎	2 呎	3 呎	4 呎
			3 立方碼	6 立方碼	9 立方碼	12 立方碼
氣候和邊坡水流			低度到中度 降雨；無冰 點、邊坡無 水流	中度降雨或短 暫結冰期或邊 坡斷斷續續出 現水流	高度降雨或冗 長結冰期或邊 坡持續出現水 流	高度降雨或長 結冰期或邊坡 持續出現水流 且長結冰期
落石歷史紀錄			少數落石	偶爾落石	常出現落石	持續落石

4.4 得分輔助

為了幫助評分，已對所有類別製作評分表，並已為所有可直接測量的類別制定評分表。這些評分輔助工具可提高配分的一致性和執行詳細評等的速度，即使對於主觀的判定類別，這些圖表也是有用的，特別是先前評等的邊坡條件可直接繪製在圖上作為參考。

4.4.1 圖形

圖表內容為適當評分的類別評估相關事項，即使採用主觀評等類別（如排水溝效用），圖表在配分條件的基準上將非常有用。圖表內容曲線為函數 $y = 3^x$ ，藉此定義所有類別的指數評分系統。這些圖表旨在符合既定標準，若修改標準時，需修正圖表以符合新標準。

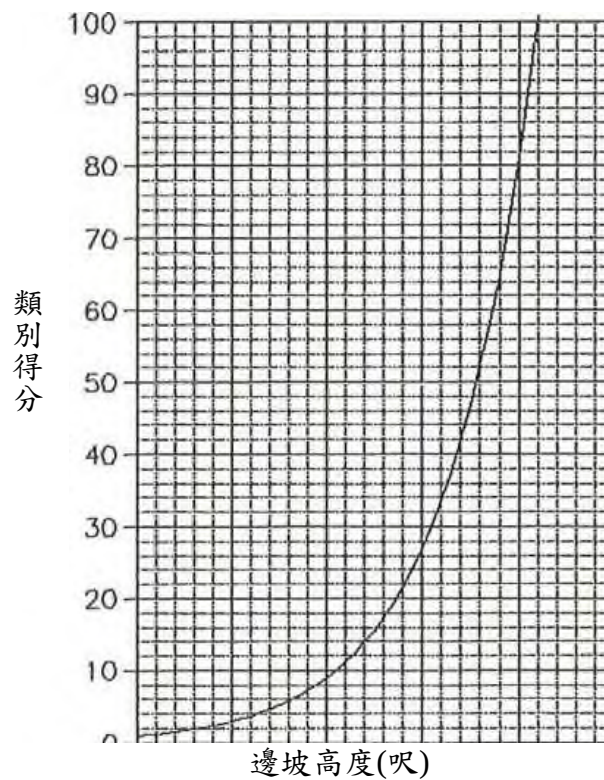
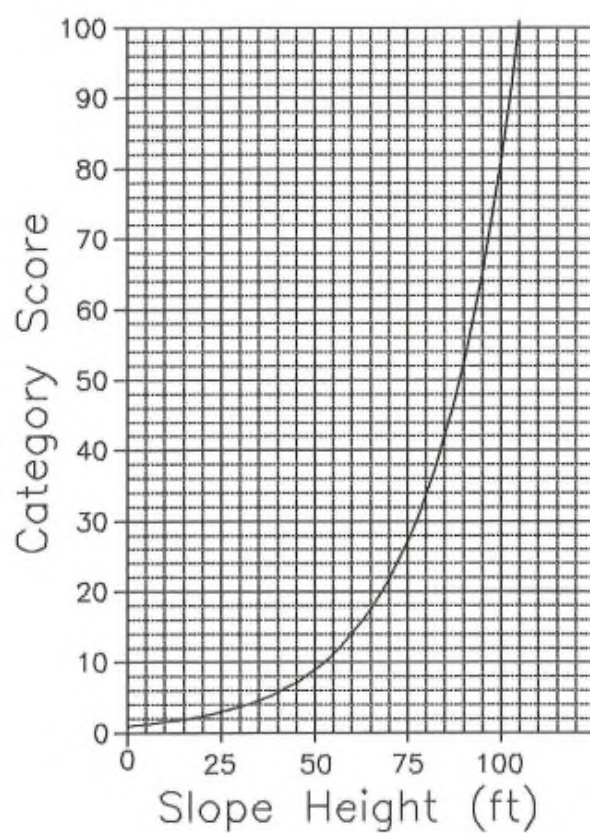


圖 4.1：邊坡高度評分圖

圖表的 X 軸包括每個類別的標準，Y 軸表示從 1 到 100 可能的連續數值，一旦建立邊坡類別的標準後，即可快速判定相關的分數，可參見下列實例：



量測高度 90 呎其得分為 52 分。

4.4.2 指數公式

藉由算出函數 $y=3X$ 的 x 值，將可測量的類別精確分數製成下列的表格。某些管理機構可能更願意在他們的資料庫中列入這些公式，以後只要輸入落石地點的測量值即可。應記得若更改評等標準時，則需修改這些公式。

表 4.2：指數公式

邊坡高度 $X = \frac{\text{邊坡高度(呎)}}{25}$	道路寬度 $X = \frac{52 - \text{道路寬度(呎)}}{8}$
車輛平均風險 $X = \frac{\% \text{ 時間}}{25}$	落石大小 $X = \text{落石大小(呎)}$
視距 $X = \frac{(120 - \% \text{ 決策視距})}{20}$	落石量 $X = \frac{\text{落石量 (立方呎)}}{3}$

4.4.3 評分表

已使用這些指數公式製作評分表，這些表中的分數都具有可重現性，唯一可能的變化是出於人為錯誤或類別測量的差異，下一頁顯示的評分表及詳細評等評級使用的公式列於各個現場數據表的背面。

FEET	SLOPE HT. score	FEET	SLOPE HT. score
9	1	56	13
10	2	58	13
11	2	59	13
12	2	60	14
13	2	61	15
14	2	62	15
15	2	63	16
16	2	64	17
17	2	65	17
18	2	66	18
19	2	67	19
20	2	68	20
21	3	69	21
22	3	70	22
23	3	71	23
24	3	72	24
25	3	73	25
26	3	74	26
27	3	75	27
28	3	76	28
29	4	77	29
30	4	78	31
31	4	79	32
32	4	80	34
33	4	81	35
34	4	82	37
35	5	83	38
36	5	84	40
37	5	85	42
38	5	87	46
39	6	88	48
40	6	89	50
41	6	90	52
42	6	91	55
43	7	92	57
44	7	93	60
45	7	94	60
46	8	95	62
47	8	96	65
48	8	97	71
49	9	98	74
50	9	99	78
51	9	100	81
52	10	101	85
53	10	102	88
54	11	103	92
55	11	104	97
56	12	105	100
57	12		

%	AVR score	%	AVR score
9	1	58	13
10	2	59	13
11	2	60	14
12	2	61	15
13	2	62	15
14	2	63	16
15	2	64	17
16	2	65	17
17	2	66	18
18	2	67	19
19	2	68	20
20	2	69	21
21	3	70	22
22	3	71	23
23	3	72	24
24	3	73	25
25	3	74	26
26	3	75	27
27	3	76	28
28	3	77	29
29	4	78	31
30	4	79	32
31	4	80	34
32	4	81	35
33	4	82	37
34	4	83	38
35	5	84	40
36	5	85	42
37	5	86	44
38	5	87	46
39	6	88	48
40	6	89	50
41	6	90	52
42	6	91	55
43	7	92	57
44	7	93	60
45	7	94	60
46	8	95	62
47	8	96	65
48	8	97	71
49	9	98	74
50	9	99	78
51	9	100	81
52	10	101	85
53	10	102	88
54	11	103	92
55	11	104	97
56	12	105	100
57	12		

%	SIGHT DIST. score	%	SIGHT DIST. score
36	100	75	12
37	96	76	11
38	90	77	11
39	86	78	10
40	81	79	10
41	77	80	9
42	73	81	9
43	69	82	8
44	65	83	8
45	62	84	7
46	58	85	7
47	55	86	6
48	52	87	6
49	49	88	6
50	47	89	5
51	44	90	5
52	42	91	5
53	40	92	5
54	38	93	4
55	36	94	4
56	34	95	4
57	32	96	4
58	30	97	4
59	29	98	3
60	27	99	3
61	26	100	3
62	24	101	3
63	23	102	3
64	22	103	3
65	21	104	2
66	19	105	2
67	18	106	2
68	17	107	2
69	16	108	2
70	16	109	2
71	15	110	2
72	14	111	2
73	13	112	2
74	13	113	1

ROAD WIDTH IN FEET	ROAD WIDTH score
18	100
19	93
20	81
21	71
22	62
23	54
24	47
25	41
26	36
27	31
28	27
29	24
30	21
31	18
32	16
33	14
34	12
35	10
36	9
37	8
38	7
39	6
40	5
41	5
42	4
43	3
44	3
45	3
46	2
47	2
48	2
49	2
50	1

QUANTITY cu. yd.	score
1	1
1.5	2
2	2
2.5	2
3	3
3.5	4
4	4
4.5	5
5	6
5.5	7
6	9
6.5	11
7	13
7.5	16
8	19
8.5	22
9	27
9.5	32
10	39
10.5	47
11	56
11.5	67
12	81
12.5	97
13	100

Decision Sight Distance	MPH
300	20
375	25
450	30
525	35
600	40
675	45
750	50
875	55
1000	60
1015	65

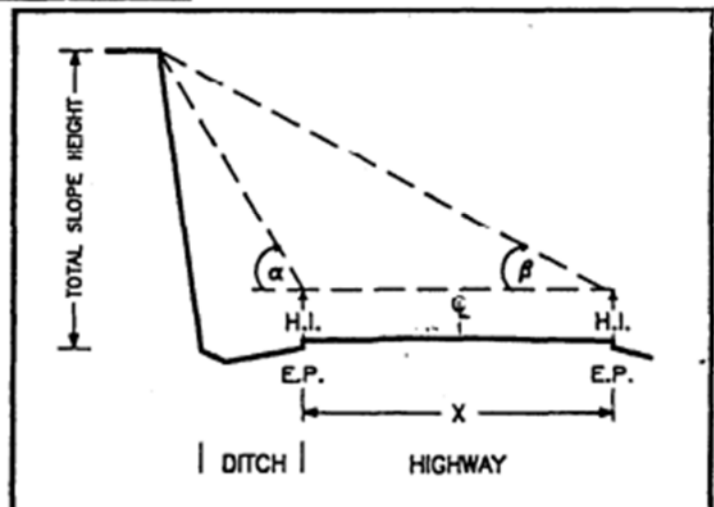
岩塊 大小	得分
0.5	2
1	3
1.5	5
2	9
2.5	16
3	27
3.5	47
4	81
4.5	100

$$AVR\% = \frac{(ADT / 24) \times \text{slope length (miles)} \times 100}{\text{speed limit}}$$

Where: ADT = Average Daily Traffic

$$\text{Slope Height} = \frac{\sin \alpha \times \sin \beta \times X}{\sin(\alpha - \beta)} + \text{H.I.}$$

Where: H.I. = Height of Instrument
Where: X = horizontal distance between α and β



第 5 章：詳細評等類別

5.1 類別說明

在決定如何進行落石評分前，需充份理解並仔細考慮每個類別的標準。隨著 RHRS 的發展，很明顯的是評分標準需進一步加以說明，藉此限制評估者對標準的不同解釋程度。為了提高評等的一致性，就每個類別編寫了說明內容。

這些說明內容即根據廣泛的現場系統測試所撰寫，有些類別需進行主觀評估，而其他類別可直接測量再評分。說明內容更詳細解說相關標準，可藉由限制評估者所需的解釋量降低類別評分變動的可能性。

5.2 類別相片

來自多個落石地點的照片可用於說明類別標準，照片實例標準與實際邊坡條件相關的有價值輔助手段，在某些情況下可用於說明標準的預期限制。若考慮修改標準時，這是有益的參考資料。

課堂練習 1 將作為初步評等的實例也提供本章使用，本練習將提供學員第一次進行邊坡詳細評等的機會，顯示評等條件的照片將列入各個類別的最後討論內容中。

5.3 邊坡高度類別

此類別評估邊坡高度的相關風險，測量的高度是垂直高度而非邊坡面的距離，坡高測量是測量預計落石的最高點，由破壞邊坡上方天然邊坡出現落石現象，測量距離應包括切割高度和落石來源在天然邊坡上的附加垂直高度。下面列出與設定點一致的基準高度，直接進行此類別的測量和評分。

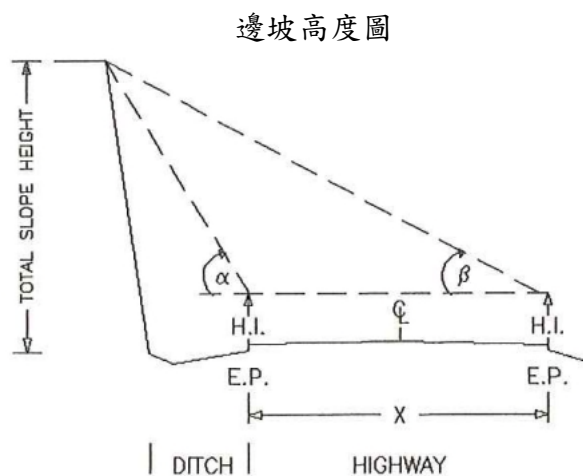
邊坡高度	25 呎	50 呎	75 呎	100 呎
------	------	------	------	-------

5.3.1 類別重要性

岩石位於邊坡上的高度越高，落石的可能性就越大，位能增加更加大風險，因此隨著邊坡高度的增加落石評等則越高。

5.3.2 測量方法

可藉由下列的關係式算出邊坡高度如下：



$$\text{邊坡總高度} = \frac{(X) \sin \alpha \times \sin \beta}{\sin (\alpha - \beta)} + \text{HI} \quad (1)$$

其中：X = 角度測量間距

HI = 儀器高度

需記錄距離 X 的角度 α 和 β ，可使用 Brunton 羅盤或傾斜儀測量這些角度，粗心可能出現顯著測量誤差，多次測量這些角度得出平均值，即可將誤差降到最低。為能夠進一步將誤差降到最低，定義距離為 X 的各點其高度應盡可能彼此相等，僅使用路面鋪設邊緣（E.P.）作為一般的指標，但此測量對第 5 類的道路寬度評等也是有用的。

從切口前方未必可看到落石邊坡上的最高點，此狀況如下圖所示。



圖 5.1：落石是由高速公路上方的天然邊坡破壞所造成

可能需修改坡高類別以適應當地的條件，例如，在奧勒岡州最初評等獲得 81 分的邊坡高度為 45 呎，本圖讓太多的落石路段出現最高的邊坡高度得分，即根據目前的狀況調整相關標準加大分數間隔程度，根據目前的標準，所有的高度為 105 呎或更高的邊坡都可獲得 100 分的分數。

5.3.3 標準實例



圖 5.2：當邊坡幾乎垂直並可直通頂部時，可以用量尺測量其高度。



圖 5.3：判定邊坡的垂直高度而非斜面長度，73 呎高的邊坡得分為 25。

5.3.4 課堂練習 1

使用 5.3.2 節概述的方法判定邊坡高度，測量值(和相關事實)為：

1. 傾斜儀得出的高度為 5 呎(H.I.)。
2. 從路緣到路緣的 X 距離為 30 呎。
3. α 和 β 角的測量值分別是 70 度和 57 度

邊坡總高度是_____呎

使用 4.4.3 節（第 30 頁）中的評分表，邊坡高度類別的得分為：__.

5.4 排水溝效用類別

藉由不讓落石掉落在道路上，即可測量排水溝效用，評估此類別需考慮許多因素，結果的可靠性明顯取決於評估者本身的經驗，排水溝效用是主觀的評等類別，相關標準說明如下：

排水溝效用	良好的承接區	中度承接區	有限的承接區	無承接區
-------	--------	-------	--------	------

5.4.1 類別重要性

與特定岩石邊坡剖面相關的風險取決於排水溝擋住落石的表現，當落石掉落在道路上，無論從邊坡上掉落多少石塊，對公眾的危害程度都很低時，即獲得很低的得分。相反地，若很少發生落石事件沒有排水溝時，可能出現更大的危害，此類的得分即更高。

5.4.2 類別測量

較寬的掉落區域未必可確保落石不掉落在道路上，在估算排水溝效用時，評估者應考慮幾個因素如：1) 邊坡高度和角度；2) 排水溝寬度、深度和形狀；3) 預計每次事件的落石量；4) 邊坡的不規則外形（落石特徵）對落石的影響。評估邊坡不平規則性的影響尤為重要，因為這會完全抵消落石區的預期效益，可從養護人員取得寶貴的排水溝性能資訊。

5.4.3 標準說明

評分應符合以下的標準：

3 分：良好的承接區，全部或幾乎所有的落石都落在集水的排水溝內。

9 分：中度承接區，落石偶爾落在道路上。

27 分：有限的承接區，落石時常落在道路上。

81 分：無承接區，無排水溝或排水溝失效，全部或幾乎所有的落石都落在道路上。

5.4.4 標準實例

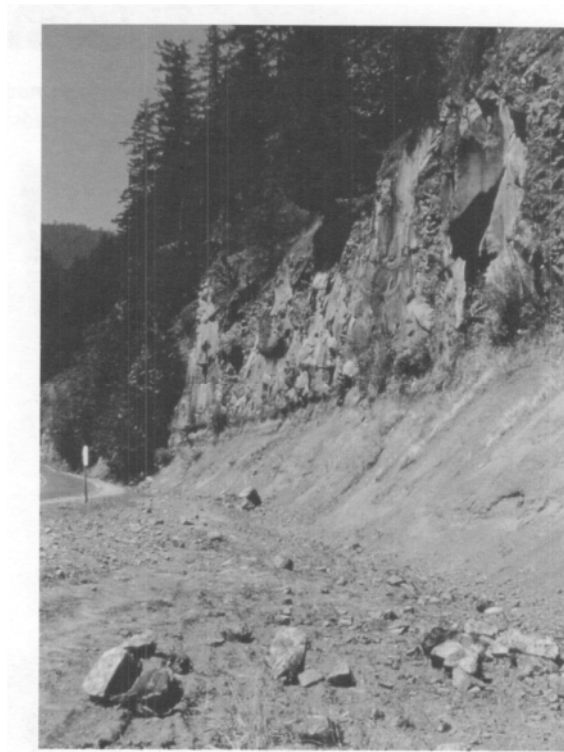


圖 5.4：此掉落區域的寬度成為良好的承接區



圖 5.5：在狹窄的無效路旁排水溝，新增邊坡中段的排水功能。



圖 5.6：此邊坡上的落石會落在道路上，排水溝無承接區。

5.4.5 課堂練習 1

如圖 5.7 所示的小型排水溝和懸垂的邊坡相結合，讓排水溝幾乎完全無法發揮其效用，此區域大部份的落石都掉落在道路上。

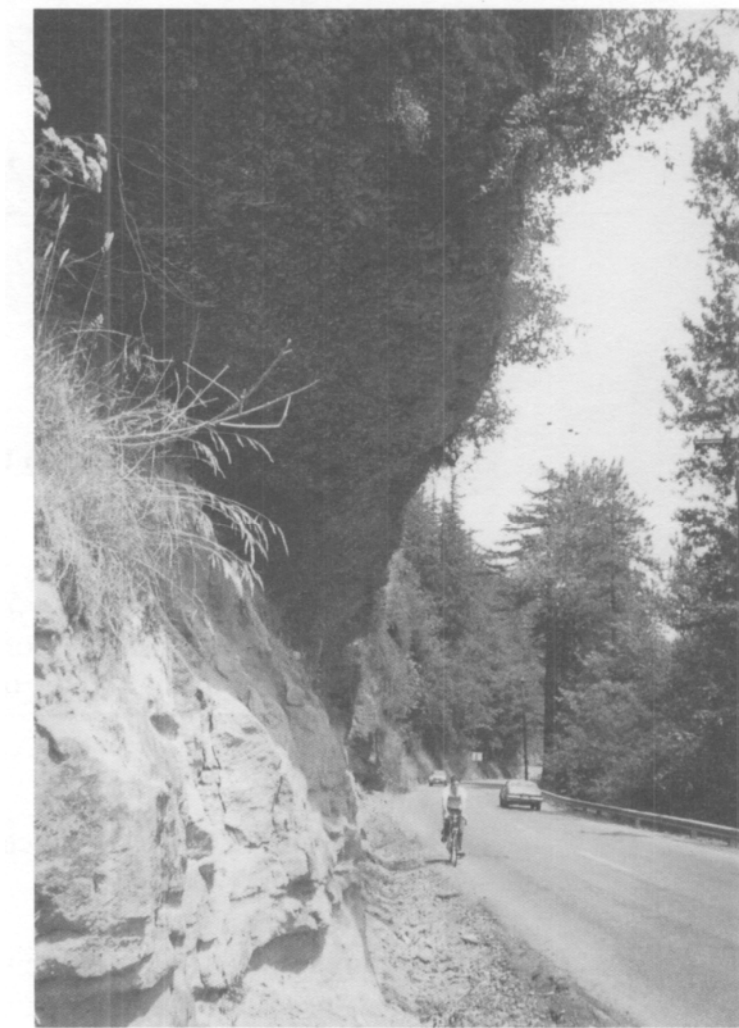


圖 5.7：此地點可能發生大量落石事故，落石不會掉落在排水溝中。

在 5.4.3 節的基準中，適當的排水溝效用類別得分為_____。

5.5 車輛平均風險(AVR)類別

關於 AVR 類別，在落石路段評估車輛出現時間相關風險百分比，百分比是根據邊坡長度、平均每日交通量（ADT）和現場公佈的速限公式（如下所示）算出。

$$\frac{\text{ADT (車/日)} \times \text{邊坡長度 (哩)} / 24 (\text{小時/日})}{\text{速限 (哩/小時)}} \times 100\% = \text{AVR}$$

根據所建立的標準評估出這些結果：

車輛平均風險(AVR)	25%時間	50%時間	75%時間	100%時間
-------------	-------	-------	-------	--------

5.5.1 類別重要性

藉由結合 ADT，落石路段長度和速限即可產生 1 個類別，用於表示車輛碰到落石事件的可能性。算出車輛在落石路段的平均時間百分比，另一種方法就是得知落石出現時有多少車輛在場，100%評等意指就平均而言，車輛將在 100%的時間內出現在落石路段，若出現高 ADT 值或更長的邊坡長度時，將出現大於 100%的數值，當發生這種情況時，即表示任何特定時間內測量路段會至少出現多部車輛。結果近似車輛出現落石路段的可能性，因此造成車輛墜落事件，此結果也反映出該路線的重要性。

5.5.2 標準實例



圖 5.8：在崎嶇地形中，在彎道豎立速限交通標誌很常見，記得記錄此資訊。

5.5.3 課堂練習 1

此落石區從 4.06 哩延伸到 4.48 哩的位置點，ADT 是每天 3,000 台車輛。在落石區時，評估者應記得記錄每小時 4 英哩的速限，使用下列 5.5 節中的公式，即可算出 AVR。

$$\frac{\text{ADT (車/日)} \times \text{邊坡長度 (哩)} / 24 (\text{小時/日})}{\text{豎立的速限 (哩/小時)}} \times 100\% = \text{AVR}$$

AVR = _____

請參閱相關的評分表確定 AVR 評分內容。

得分 = _____。

5.6 決策視距類別百分比

「決策視距」類別將藉由 AASHTO 規定的落石路段設計低限值，比較可用的視距值。視距是沿著道路連續可見 6 英吋物體的最短距離，決策視距(DSD)是指是駕駛員感知問題然後讓車輛停下來所需的道路長度（以英尺為單位）。

決策視距百分比	適當視距、 100%設計低限值	中度視距、80% 設計低限值	限制視距、60% 設計低限值	非常有限視距、 40%設計低限值
---------	--------------------	-------------------	-------------------	---------------------

5.6.1 類別重要性

當難以看到道路上的障礙物或出現意外或不尋常的狀況，DSD 是攸關緊要的。在整個落石路段可明顯改變視距，水平和垂直的公路曲線及岩石露頭和路邊植被等障礙物，會嚴重影響駕駛員察覺道路上岩石的注意力和反應能力。

5.6.2 測量方法

首先，記錄整個落石路段速限，然後從兩個方向穿過現場，確定視距最受限制的位置點，判定哪個方向的視線最短，應評估水平和垂直視距，通常物體位於最彎曲道路曲線時，這是被遮擋最多的路段。若沒有霧線時，則在霧線或路面邊緣的位置放置 1 個 6 英吋大的物體，然後沿著交通動線的反方向霧線（路面邊緣）行走，為測量物體在路面上方 3.5 呎高度處消失所需的距離，捲尺有助於進行此測量作業。

5.6.3 AASHTO 決策視距

可從下表確定速限所需的判定視距值。

表 5.1：決策視距

豎立的速限(哩/小時)	決策視距(呎)
25	375
30	450
35	525
40	600
45	675
50	750
55	875
60	1,000
65	1,050

根據 AASHTO 「公路和街道幾何設計政策」(4)的表 III-3，即可修改決策視距與速限間的關係，列出的距離代表設計低限值，應採用整個落石路段速限值而非公路設計的速限值。

5.6.4 DSD 公式

一旦測量了實際視距並從表中確定推薦視距後，即可將這兩個數值代入下面的公式中算出「決策視距百分比」。

$$\frac{\text{實際視距}}{\text{決策視距}} \times 100\% = \text{ ______ } \%$$

5.6.5 標準實例

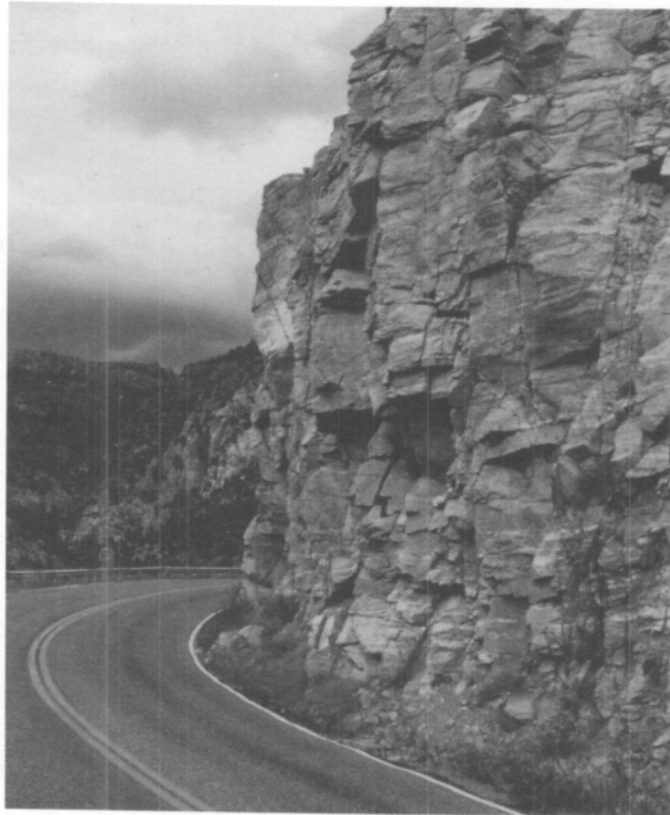


圖 5.9：前方道路可能隱藏岩石的水平曲線實例



圖 5.10：垂直曲線也可能限制視距

5.6.6 課堂練習 1

從西邊逼近的視距非常好，但如圖 5.11 所示，落石路段東端的視距受公路水平曲線的影響。



圖 5.11：經測量的距離為 330 呎

根據每小時 40 英哩的速限，從表 5.1 即可判定適當的 DSD，可將這兩個數值代入下面的公式計出判定視距百分比。

$$\frac{\text{實際視距}}{\text{決策視距}} \times 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \%$$

使用 DSD 評分表判定此類別的分數。

DSD 得分 = .

5.7 道路寬度類別

測量垂直於公路的道路寬度，當道路寬度不定時，採用整個落石路段最小的寬度值，靠近道路的未鋪砌路肩不在測量範圍內。標準為：

含鋪砌路肩的道路寬度	44 呎	36 呎	28 呎	20 呎
------------	------	------	------	------

5.7.1 類別重要性

若駕駛員注意到道路上的岩石或落石時，駕駛員可能作出反應並迴避落石，這種機動空間越大，駕駛員在沒有遇到其他路邊危險或迎面而來的車輛時，避過落石的可能性就越大，測量值代表道路可用的機動寬度。

5.7.2 測量方法

測量垂直於公路中央線的道路寬度，路面的邊緣即隔開了道路，不同的評估者很難在未鋪砌路肩和無法迴避的邊坡路段上得出具有一致性的估計值，因此，未鋪設的路肩不在測量範圍內，當整個落石路段道路寬度改變時，測量的截面應為最小寬度的面積，在分叉的公路上，僅測量駕駛員可用的道路部份。

5.7.3 標準實例

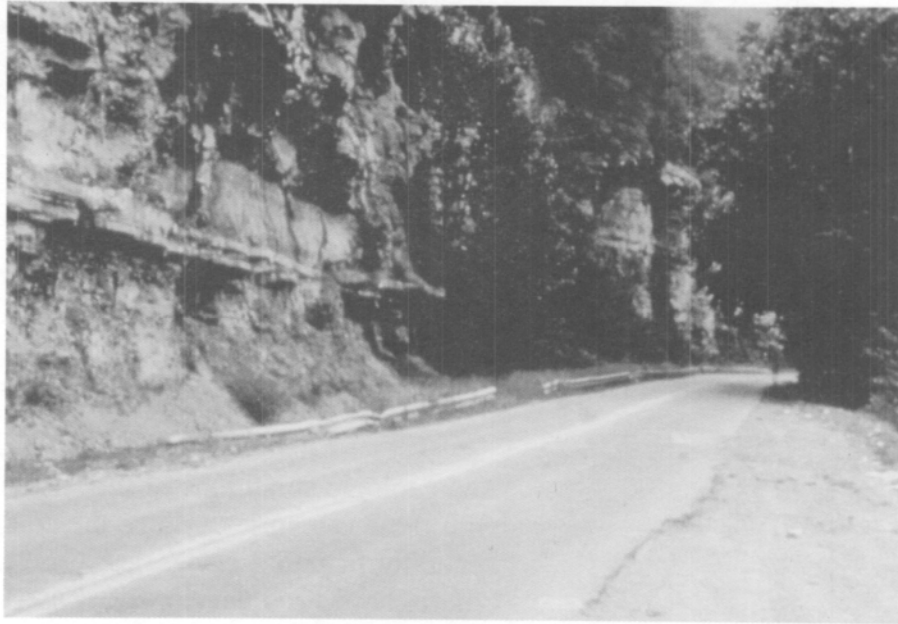


圖 5.12：僅評估鋪設表面的寬度，應注意到未鋪砌路肩的距離損失。

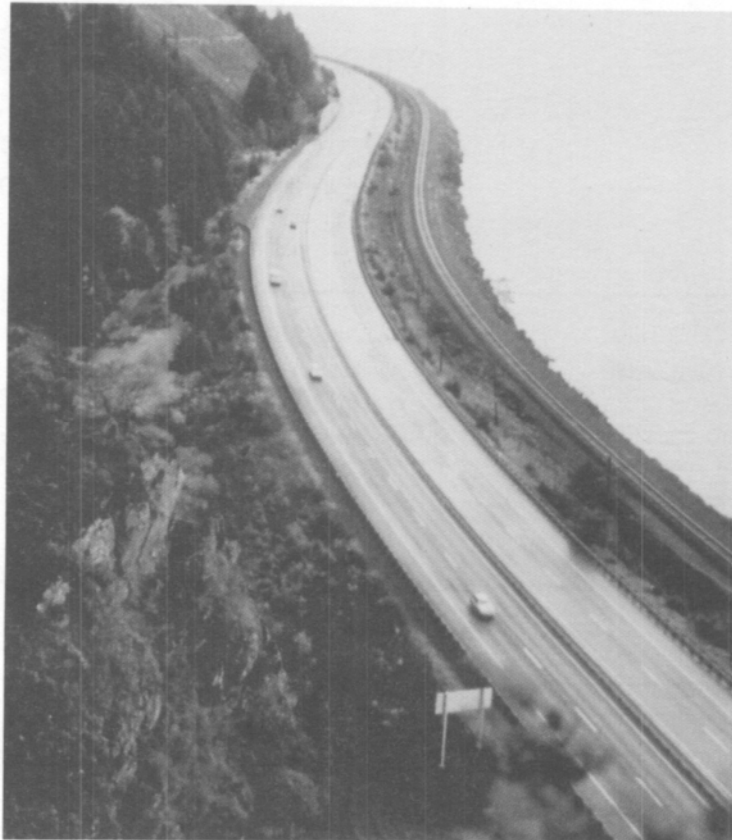


圖 5.13：在分隔的公路上，僅測量駕駛員可用的道路部份。

5.7.4 課堂練習 1

此路段包括兩條 12 英呎的車道，1 條位於道路南側的 4 英呎鋪砌路肩和靠近邊坡北側的 2 英呎鋪砌路肩，根據適當的評分表，該道路地點的道路寬度類別得分是多少呢？

道路寬度得分 = _____

5.8 地質特徵

可用這些類別評估落石斷面的地質條件，由於引起落石的條件通常分為兩類，因此制定案例 1 和案例 2 的評等標準，案例 1 用於接合邊坡或其他中斷路段，為造成落石的主要結構特徵。案例 2 是用於差異性沖蝕或過度陡峭的邊坡，這些為控制落石的主要條件。

無論哪種情況最適合邊坡都應該用於進行評等，若兩種情況都存在並不清楚哪種狀況占主導地位時，則兩者都需評分，但只有最差的狀況（最高分）才進行評等，兩種案例的標準說明如下：

地 質 特 徵	案 例 1	結構條件	不連續接合、 順向	不連續接合、 錯亂方向	不連續接合、 逆向	連續接合、 逆向
		岩石摩擦	粗糙、 不規則	波浪狀	平面	黏土填充或 光滑黏土
	案 例 2	沖蝕率類 別差異	很少差異性沖 蝕特徵	偶爾出現差異 性沖蝕特徵	常出現差異性 沖蝕特徵	嚴重差異性沖 蝕特徵
			小差異	中度差異	明顯差異、 順向結構	明顯差異、 逆向結構

5.8.1 案例 1：結果條件類別

案例 1 的邊坡落石是由不連續的運動所造成，這裡所謂的「接合」意指所有可能的不連續路段，包括岩層、頁岩層、裂縫和斷層等。所謂的「連續」是指長度大於 10 英尺的接合路段，所謂的「逆向」不僅適用於邊坡的空間關係，也適用於岩石摩擦角、接合填充和水流的影響（如果存在的話），

以下是案例 1 結構條件類別的標準。

結構條件	不連續接合、 順向	不連續接合、 錯亂方向	不連續接合、 逆向	不連續接合、 逆向
------	--------------	----------------	--------------	--------------

5.8.1.1 類別重要性

相較於大岩石接合的岩石更容易出現落石，沿著這些接合段發生的運動，其運動阻力顯著小於完整岩塊，當接合面與邊坡逆向時，落石的可能性更大。逆向接合意指單獨或與其他接合面組合的複雜接合面，在力學上容易造成平面、圓形、塊狀、楔形或傾倒的破壞，下圖顯示逆向的接合狀況。

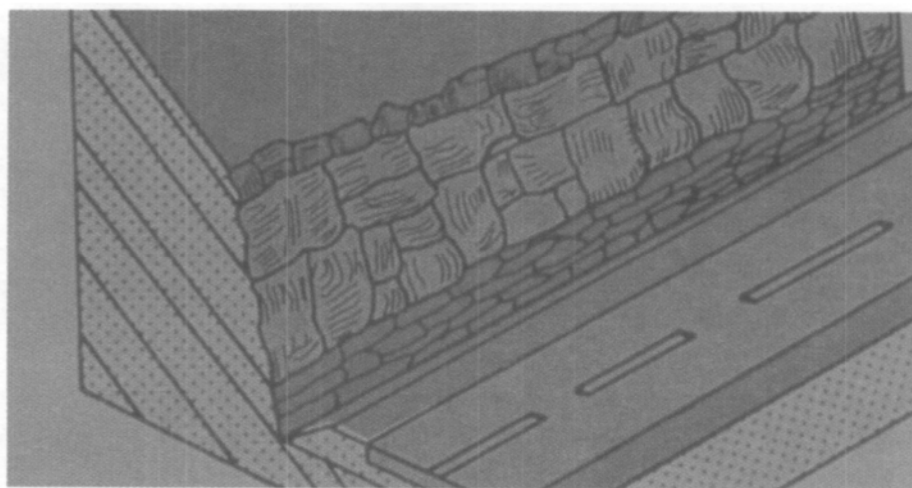


圖 5.14：地層傾向公路

5.8.1.2 標準說明

評分應符合以下的標準：

3 分：不連續接合，順向 邊坡包含接合岩石，但無逆向接合。

9 分：不連續接合，隨機接合 邊坡包含不同形態的隨機接合，此邊坡可能有一些逆向接合的岩塊，但不存在明顯逆向型態。

27 分：不連續接合，逆向 岩石邊坡出現明顯的逆向接合，這些特徵的連續接合長度短於 10 呎。

81 分：連續接合，逆向 岩石邊坡出現優勢逆向接合，且長度大於 10 呎。

5.8.1.3 標準實例



圖 5.15：隨機逆向接合的岩石



圖 5.16：應注意傾覆破壞，這也是一種逆向接合。



圖 5.17：持續性逆向接合

5.8.2 案例 1：岩石摩擦類別

沿著不連續路段運動的落石可能受到接合面所控制，根據不同的粗糙程度即可說明接合狀況，可根據下列標準評估粗糙程度。

岩石摩擦	粗糙、不規則	波浪狀	平面	黏土填充或光滑黏土
------	--------	-----	----	-----------

5.8.2.1 類別重要性

此參數直接影響岩塊的相對運動，沿著接縫、岩層或其他不連續路段的摩擦受制於岩石表面的巨粗糙程度(macro roughness)及微粗糙度(micro roughness)，巨粗糙度是指相對於可能運動方向的接合面起伏程度，微粗糙度是表面紋理，在邊坡接縫處出現熱液蝕變或風化物質時，即表示已發生移動形成滑溜或斷層土壤，或接縫處於開放狀態下或充滿水流，落石的可能性更大。

5.8.2.2 標準說明

標準說明如下：

3 分：粗糙，不規則 接合面粗糙、不規則足以構成嵌合。

9 分：波浪狀 具粗糙但無嵌合能力。

27 分：平面 具光滑但微粗糙的接合面，摩擦只來自岩石表面的粗糙度。

81 分：黏土填充或光滑黏土 低摩擦力材質分開岩石表面，消除接縫面的任何巨或微粗糙，低摩擦角度的光滑接合面也屬於此類別。

5.8.2.3 標準實例

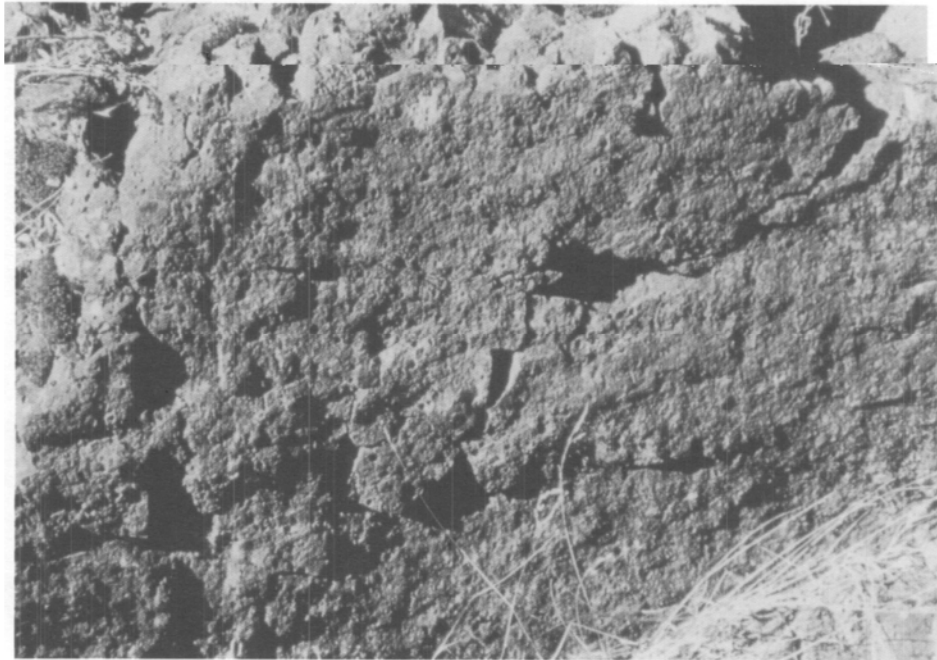


圖 5.18：不規則岩石接合，應注意到岩石曝露表面的粗糙紋理。

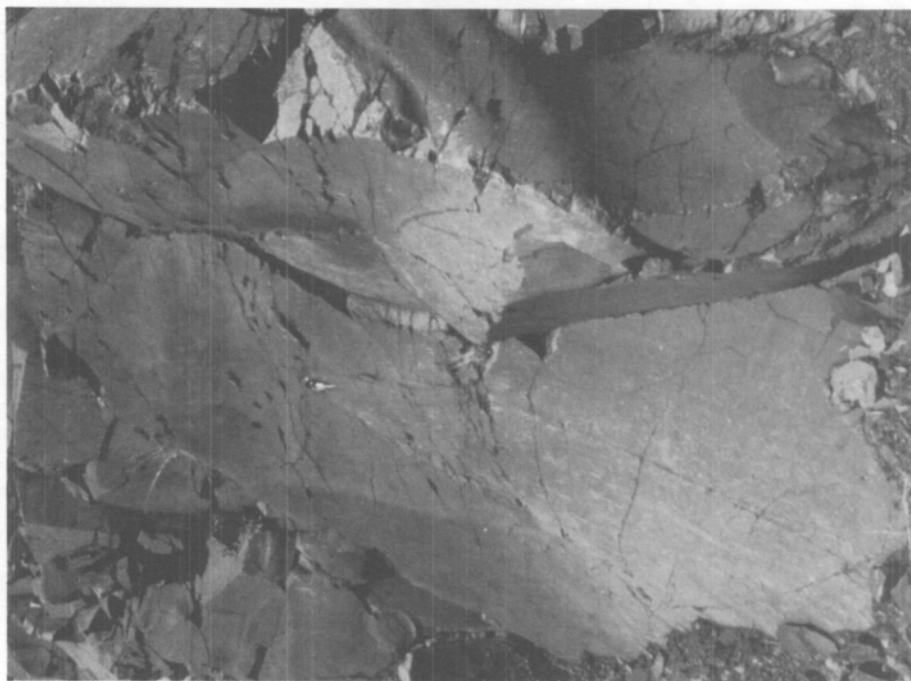


圖 5.19：曝露的波浪狀接合面

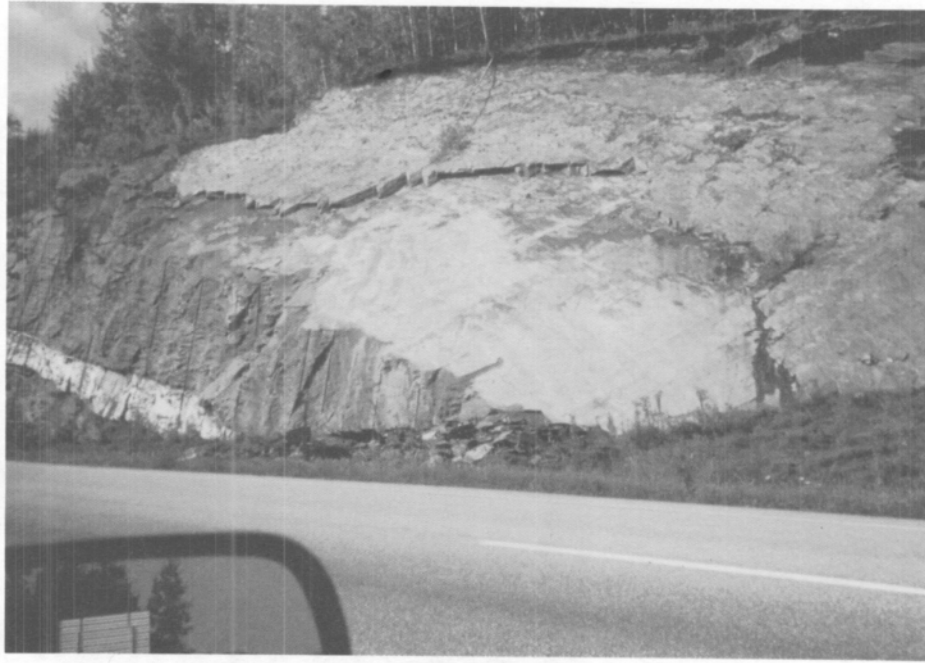


圖 5.20：平面形的接合面，此表面大致光滑。



圖 5.21：風化接合面，應注意到岩石表面間的紅色黏土。

5.8.3 案例 2：結構條件類別

本案例用於差異沖蝕或過度陡峭造成落石主因的邊坡，沖蝕特徵包括過度陡峭的邊坡、無支撐的岩石（懸垂）或曝露在邊坡上岩石，這些最終會造成落石事件。標準為：

結構條件	很少差異性沖蝕特徵	偶爾出現差異性沖蝕特徵	常出現差異性沖蝕特徵	嚴重差異性沖蝕特徵
------	-----------	-------------	------------	-----------

5.8.3.1 類別重要性

落石通常是由沖蝕所引起，造成局部或整個邊坡失去支撐。容易出現此狀況的邊坡類別為：岩石層包含更容易受到沖蝕的結構單位，可因此破壞更堅固的岩石、岩屑坡，這是具有高度可變性的岩層如礫岩和泥流，因為差異風化讓阻延落石的岩石和岩塊掉落，而且風化使得土壤基質材料被沖蝕後，讓岩石/土壤/邊坡上的岩石。

5.8.3.2 標準說明

評分應符合以下的標準：

3 分：很少差異性沖蝕特徵 未完全分佈整個邊坡上，只有幾個不同的沖蝕特徵。

9 分：偶爾出現差異性沖蝕特徵 廣泛分佈整個邊坡上的些微差異性沖蝕特徵。

27 分：常出現差異性沖蝕特徵 大量分佈整個邊坡上的許多差異性沖蝕特徵。

81 分：嚴重差異性沖蝕特徵 嚴重的案例，如危險的沖蝕產生的懸垂或出現過度陡峭的土壤/岩石邊坡或岩屑坡。

5.8.3.3 標準實例

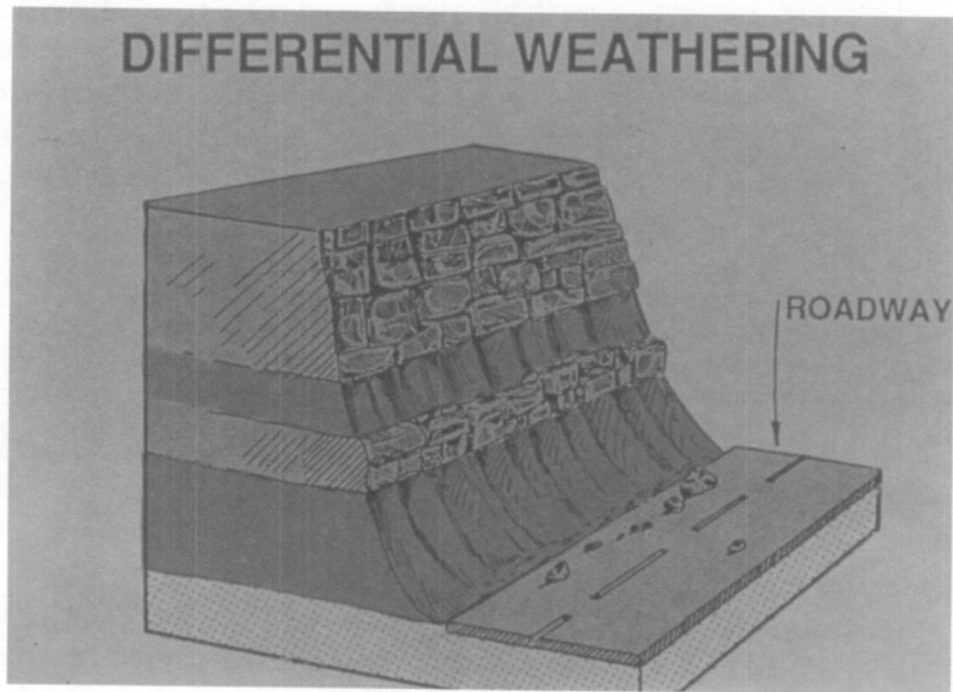


圖 5.22：差異性沖蝕造成的落石

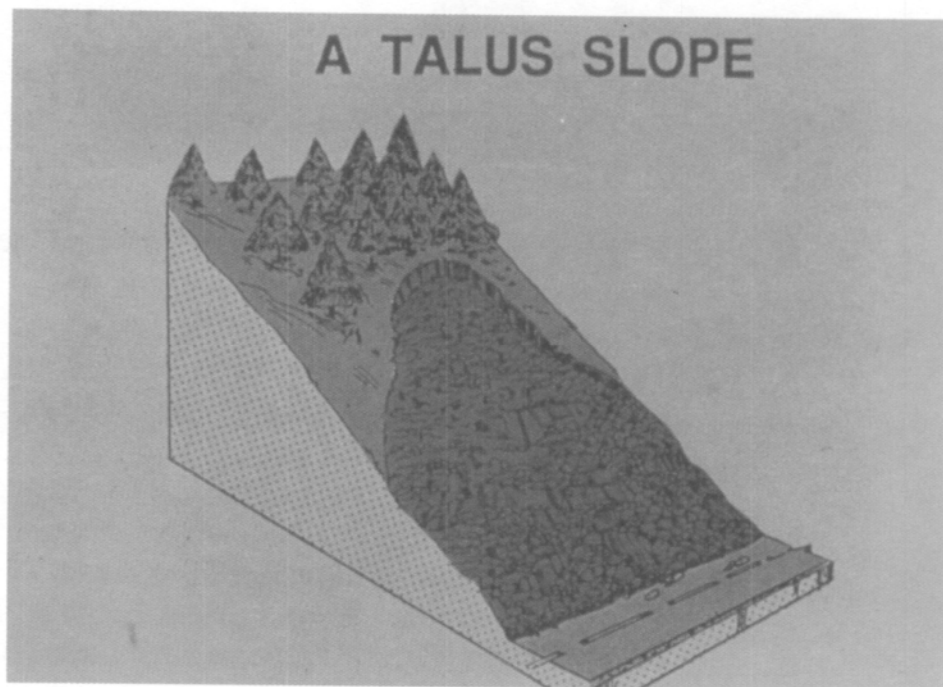


圖 5.23：案例 2 是岩屑坡面上的材質移動



圖 5.24：層狀材質容易出現差異性沖蝕



圖 5.25：過度陡峭的土壤/岩石邊坡

5.8.4 案例 2：沖蝕率類別差異

邊坡中的材質具有顯著不同的特性，這些特性可控制風化和沖蝕速度，隨著沖蝕的進行造成邊坡的某個部份不受支撐，落石事件的可能性即增加，下文列舉邊坡內部沖蝕率的差異性及如何影響落石風險的相關標準。

沖蝕率的差異	小差異	中度差異	明顯差異、 順向結構	明顯差異、 逆向結構
--------	-----	------	---------------	---------------

5.8.4.1 類別重要性

案例 2 邊坡的沖蝕率與未來落石事件的可能性直接相關，隨著沖蝕的進行即造成無支撐或過度傾斜的邊坡條件，應考慮常見的物理化學沖蝕過程和事件發生期間的落石量所造成的影響。

沖蝕造成的危害程度及此類別的評估得分，應可反映出沖蝕速度、曝露的岩石或岩塊大小、落石事件的發生頻率和活動期間的落石量。

5.8.4.2 標準說明

評分應符合以下的標準：

3 分：小差異 多年期間發展出小差異性的沖蝕特徵，環境接近平衡狀態的邊坡即屬於此類別。

9 分：中度差異 在幾年期間發展出中度差異性的沖蝕率。

27 分：明顯差異 邊坡在每年發展出明顯差異性的沖蝕率。

81 分：極端差異 持續快速發展出極端差異性的沖蝕率。

5.8.4.3 標準實例

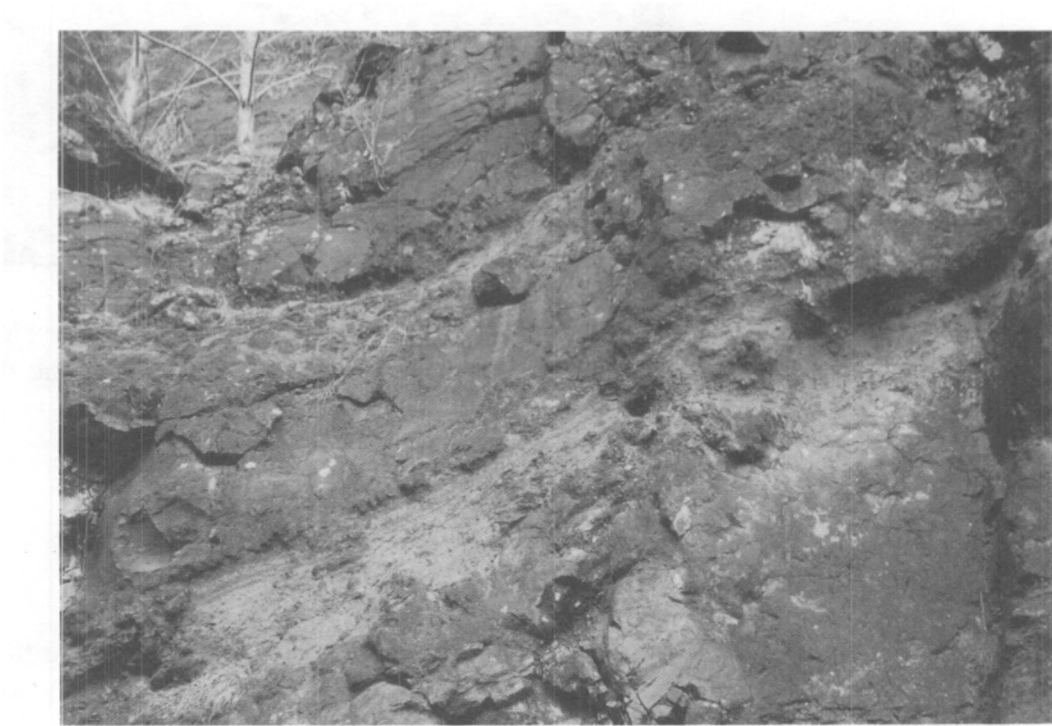


圖 5.26：與具有阻抗性的岩石相比，接縫處的土壤更容易受到沖蝕，差異明顯。



圖 5.27：邊坡底部的碎屑受到凍融循環和雨水的強烈影響，出現極端的差異。

5.8.5 選擇適當案例

工程地質學背景或該領域的其他培訓經驗對進行此類的評估非常有幫助，評估與落石可能性相關的地質特徵明顯取決於評估者的專業知識。需耗費許多小時制定此類別讓說明內容更完善，本節的說明內容需給予評估者足夠的指導，讓其充份自由使用專業知識和判斷力，藉此在兩者之間達成微妙的平衡。

評估案例的選擇應根據落石的物理因素，選擇通常會是非常明確的，例如，如果過岩石沿著不連續的區段發生落石時，則應使用案例 1 作參考。若落石是因為破壞或過度陡峭導致失去支撐時，則應使用案例 2 作參考。

若兩種情況都存在，則兩種狀況都進行評分，但只有最差的狀況（案例 1 或 2 的最高分）才進行評等，若局部區域造成嚴重落石，則應降低評定邊坡的總長度並對問題區域進行各別評級。

5.8.6 課堂練習 1

邊坡上方處是礫岩、硬質石英岩和火成岩石塊懸浮在膠結砂壤中，距離邊坡底部 10 至 15 英尺的是礫岩與黏結不良的粉砂岩，呈現水平接觸的結構，在兩個結構單元間的接觸部位，水流全年從邊坡流出。

這個地點出現兩種類型的落石，這兩種落石狀況都由相同的地質過程所造成 - 差異沖蝕。礫岩與粉砂岩結構單元間的沖蝕速率差異很大，在這些結構單元接合處的邊坡中，水流加速了粉砂岩的沖蝕產生危險的懸垂狀況。懸伸部位的尺寸每年增加數英尺，直到懸垂結構某次的重大落石事件中斷裂為止，沿著與邊坡平行的礫岩結構單元，即形成垂直應力匯聚在接合面造成結構破壞。這些是養護人員所描述大約每 3 到 5 年發生的重大落石事件，當發生此過程時，現場充足的雨水和風蝕破壞了礫岩結構，造成定期掉落卵石塊。

就歷史資訊與地質演化過程如何造成落石事件進行知識整合，即得出案例 2 邊坡狀況的結論，

可在第 55 頁和第 58 頁的標準說明內容中找到並使用上述資訊，根據案例 2 的地質特徵進行兩個類別的評分。

結構條件得分 = _____

沖蝕率的差異 = _____

5.9 每個事件類別的落石大小或落石量

在某些落石事件中，破壞是單一的岩塊所造成，在其他的案例中，落石事件可能包括許多不同大小的岩塊，可根據以下類別的標準評定各種落石類別。

落石大小	1 呎	2 呎	3 呎	4 呎
落石量/落石事件	3 立方碼	6 立方碼	9 立方碼	12 立方碼

5.9.1 類別重要性

與較小落石事件相比，較大的岩塊或落石量會產生更多的總動能和更大的衝擊力，此外，較大的落石事件會阻礙更多的道路，降低可安全避開落石的可能性。在任一案例中，岩塊或落石量越大產生的危險越大，因此得分越高。

5.9.2 該使用哪種標準？

此測量應代表最可能發生的落石事件類型，若落石形式為個別的岩塊時，則應使用落石大小進行評分。若落石事件出現許多的落石時，即根據落石量進行評分。可根據過去維護活動的歷史紀錄進行決策，或可在沒有歷史記錄的狀況下根據觀察結構進行估計，這種測量也有助於判定適當的整治措施。

5.9.3 標準實例



圖 5.28：以落石大小用於評估此事件



圖 5.29：可用落石大小或落石量以獲得最高得分

5.9.4 課堂練習 1

在初步評等期間，養護人員表示該地點出現兩種不同類型的落石，這兩種落石類別都是定期發生的。一種落石類型主要由 3 至 5 英吋的卵石所構成，這些鵝卵石從結構單元中沖蝕出來，偶爾也出現直徑約 3 英吋的礫岩脫落。第二種類型的落石出現在大懸垂不穩時，大量的岩石發生一次性的脫落，這些個別事件的落石量通常超過 50 立方碼，掉落在道路上。

藉由使用評分表，即可對落石地點的兩種落石類型進行評級並判定各個類別的評分結果。

落石大小得分 = _____

落石量/落石事件得分 = _____

此類別得分 = _____

5.10 氣候和邊坡水流的類別

根據以下標準，可採用此類別評估降雨、凍融循環和邊坡水流所造成的影響。

氣候和邊坡水流	低度到中度降雨；無冰點、邊坡無水流	適度降雨或短暫結冰期或邊坡間歇水流	高度降雨或冗長結冰期或邊坡持續水流	高降雨或長結冰期或邊坡持續水流且長結冰期
---------	-------------------	-------------------	-------------------	----------------------

為確保適當的分數間隔，應調整此類別的標準以適應當地條件。

5.10.1 類別重要性

水流和凍/融循環都有助於岩石風化和移動，降低整體邊坡的穩定性，此類別即評估降水量和結冰期的持續時間，因為這些是可測量的數值與落石特徵直接相關，此外，邊坡水流會加速沖蝕，因此，這也是一種落石類別。

5.10.2 評估方法

若已知邊坡出現連續或間歇水流則應進行評等，每年 20 英吋以下雨量的區域是「低降水區」，每年超過 50 英吋雨量的區域是「高降水區」，冷凍/解凍循環的影響可藉由冷凍條件的相關知識及其現場的影響來估算。

評估者應注意到 27 分的類別為長結冰期或出現水流問題的地點，如高降水量或持續水流的地區，81 分的類別為同時出現長結冰期和兩個極端水流條件之一的地點。

5.10.3 資訊來源

有關平均溫度和結冰期長度的相關資訊可從國家海洋和大氣管理局（NOAA）氣候的出版品（5）得知，全機構降水圖是一種有用的評分輔助工具，這些資訊內容通常可從例行維護的全州雨量計數據中取得。

5.10.4 標準實例

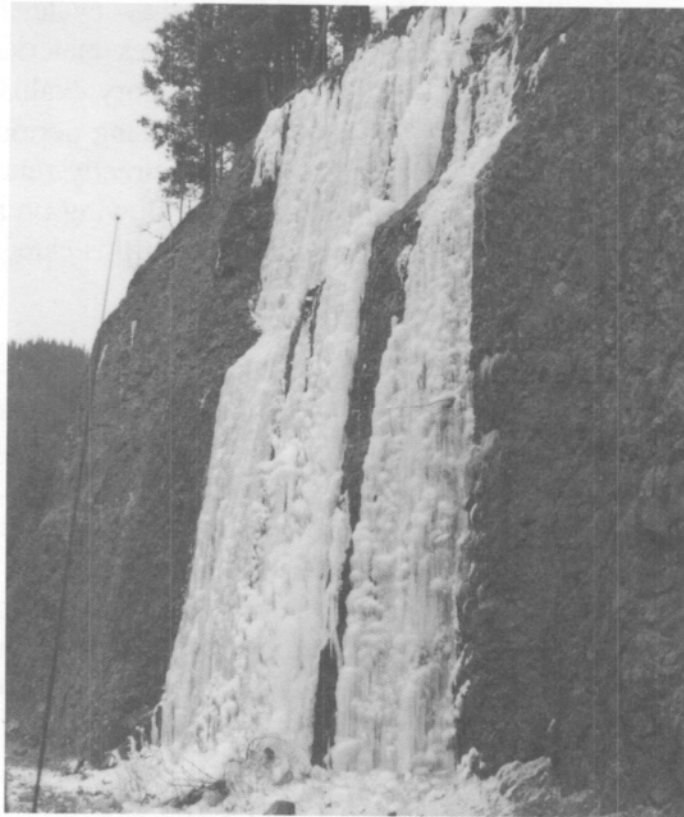


圖 5.30：邊坡上的氣候和水流最終都會在這個新建地點造成問題

5.10.5 課堂練習 1

此地位於每年降水量約 58 英吋的區域，幾乎所有的降水都是雨水，

該地區在冬季偶爾結冰，但這種情況很少見而且持續時間很短。在初步評等期間，養護人員指出幾乎全年都會出現滲水的狀況，他表示這種情況主要是因為該地區的降水，但夏季的大量灌溉及邊坡破壞上方處的果園也加劇了這種情況，
根據第 64 頁的標準即可判定落石類別的分數。

氣候和邊坡水流得分 = _____.

5.11 落石歷史紀錄類別

此類別將該地點的歷史落石活動評定為未來落石事件的參考指標，一般而言，過去事件的發生頻率和幅度是預期事件類型的極佳指標，為此類別所制定的標準為：

落石歷史紀錄	少數落石	偶爾落石	許多落石	持續落石
--------	------	------	------	------

5.11.1 類別重要性

落石歷史紀錄直接代表現場已知的落石活動狀況，這些資訊內容對未來落石的可能性是重要的查核事項，若您的給分與落石歷史紀錄不符時，則建議進行評等。

5.11.2 標準說明

3分：少數落石 每年落石事件只發生幾次（或更少）或僅在嚴重風暴期間發生，若無可用的落石歷史紀錄，也可使用此類別。

9分：偶爾落石 定期出現落石事件，每年和大多數風暴期間都會出現多次落石事件。

27分：許多落石 特定季節通常出現許多的落石事件，如冬季的結冰期或春季的潮濕期，此類別適用於特定季節經常發生落石事件者，但在一年中的其他期間沒有最大的落石問題，此類別也可用於發生嚴重落石事件的地方。

81分：持續落石 全年經常出現落石事件，此類別用於常出現嚴重落石事件的地點。

5.11.3 資訊來源

此資訊內容最好從邊坡的養護人員取得，新建地點可能沒有歷史紀錄或少有文檔資料，該地點的養護成本為可反映出落石活動狀況的唯一資訊來源。

5.11.4 課堂練習 1

在初步評等期間，養護人員表示經常出現落石也定期出現嚴重落石事件，如下圖 5.31 所示。



圖 5.31 落石歷史紀錄重大事件

根據此資訊，使用上一頁的標準判定落石歷史紀錄給予適當的評分。

落石歷史紀錄得分 = ____.

5.12 課堂練習 1 概要

下一頁內容是完整的 RHRS 落石地點數據表，其中包含 ODOT 的實際詳細評等數據。

RHRS 落石地點數據表

公路：頂點

區域：1

公路# 125	Beainnina M.P. 4.06	[L] / R	終點 M.P.: 4.48
郡別# 26	日期：92 07 07	新文件	評等人：Chassie
類別 [A] B	ADT：3.000	更新 X	速度限制：40

類別	備註	類別得分	
邊坡高度 <u>110</u> 呎		邊坡高度：100 排水溝效用：81 AVR：100 視距：36 道路寬度：20	
70°/ 57° / 30 呎 HI = 5 呎			
排水溝效用 G M L [N]	落石量太大		
車輛平均風險 <u>131</u> %			
視距 <u>330</u> 呎 決策地點距離百分比 <u>55</u> %			
道路寬度： <u>30</u> 呎		地質特徵	
地質特徵			
案例 1		案例 1	
結構條件 D C/F R A			
岩石摩擦 RIUPC-S			
案例 2		案例 2	
差異性沖蝕特徵 F O N [H]	大幅度維修懸垂		
沖蝕率差異 S M L [E]			
落石大小/數量 50 呎/[碼 ³]	高達 50,000 碼 ³	落石大小：100 氣候：27 落石歷史紀錄：81	
氣候 降雨 L M [H] 結冰期 N [S] L 邊坡水流 N I [C]	常年春季沖蝕泥岩		
落石歷史紀錄 F O M [C]	重大事件		
意見：道路時常出現落石，每隔 3 到 5 天出現大量落石。		總得分	726

在評估人員離開現場前，應檢查幾個項目以確保已收集所有必要的資訊內容。

1. 是否記錄所豎立的速限？
2. 是否對現場進行照相？
3. 是否收集足夠的資訊來進行初步設計和成本估算？

實施 RHRS 需花費大量的時間和資源，不要因為需返回路途獲得相關資訊而忽視了錯誤，因此增加這筆相關的費用。

5.13 後記

此邊坡在 1990 年初進行詳細評等，作為 ODOT 實施 RHRS 內容的一部份。因為高得分將其評為該地區最優先處理的邊坡之一，成為 1993 年或 1994 年落石防護專案計畫的目標。但在 1991 年 10 月，有一個 370 英尺長的突出部沿著一個幾英尺厚的應力裂縫區而脫落，約 50,000 立方碼的岩石掉落在道路上，幸運的是在出現破壞時，即暫停交通。但有 3 名安裝護欄的工人受傷，這張照片顯示可重新開放道路的清理工作。

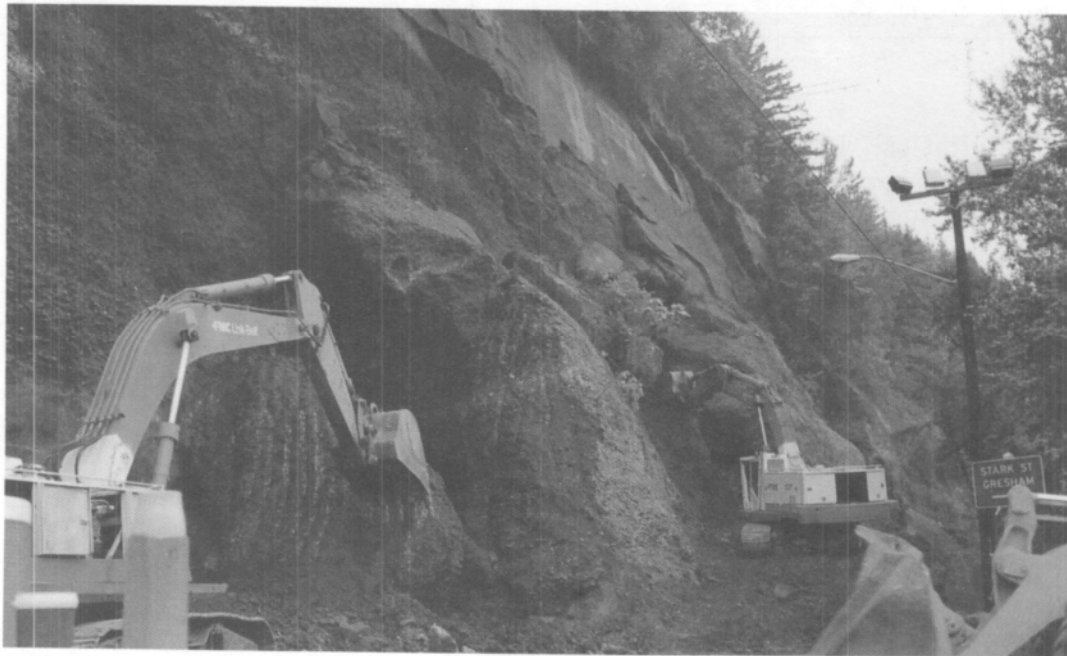


圖 5.32：重大事件

第 6 章：初步設計和成本估計

在規劃公路建設專案計畫時，重要的是要得知可預期的結果，期望的結果決定了專案計畫的範圍，可藉此估計營造成本和通行權需求等因素。在這些因素建立後，試圖改造不同但更合適的落石整治工程設計，是令人受挫且可能是根本無法完成的。

RHRS 流程的第 4 步驟是將初步設計和成本估算作為 RHRS 資料庫的部份內容，以解決此需求。在確定專案計畫的範圍在營造作好準備後，此資訊將用於優先排序過程中的最後階段。

6.1 落石控制方法

在詳細評等期間，評估者應收集特定地點足夠的相關資訊，才能夠針對這些地點建議落石整治措施。每個地點可能需要不止一種工程設計方法。

考慮到是否採取全面修正的方法或僅減少落石危險，為能夠讓管理階層作出明智決策，這些管理人員需了解這兩種選擇相關的成本和收益。減少危害的措施可從有限的持續改善（如邊坡清理）到更積極的步驟（例如安裝邊坡柵欄）而出現變化。

通常幾種技術的組合是最有效的，在早期階段旨在提供一種適當的方法來處理落石問題，這些初步概念可在日後藉由更詳細的調查和分析加以改善。

6.2 落石整治設計

本手冊內容未包含岩石力學，關於該主題的優良參考文獻為聯邦公路管理局出版品，這是由華盛頓州西雅圖的 Golder and Associates 機構出版的 No FHWA-TS-89-045 名為「岩石邊坡：設計、開挖和穩定」刊物。

擁有這方面技術的人員是非常寶貴，經驗是落石整治設計效用的最佳預測指標，我們對岩體力學性質的理解太有限，需完全依賴分析方法。

6.2.1 一般落石整治技術

一般使用幾種技術來處理落石，技術的選擇取決於若干因素，包括預期的落石大小或落石量、落石來源的取得、維護限制、營造預算和所期望的結果，下表說明常見的落石防護技術及其用途。

表 6.1：落石防護技術

技術	說明/目的
清理	藉由手工工具和機械設備清除邊坡上鬆散的岩石，通常與其他大多數的設計元素一起使用。
邊坡柵欄	在邊坡上鋪設纜線，用於防止落石，讓落石堆積在邊坡底部附近，即可進行後續的清除。
攔截圍籬	纜線柵欄處垂直鋪設到路邊溝處，圍籬（受撞擊的部位）可捕獲落下的岩石並將其引導到網架下方處，網架可減弱落石動能，讓落石落在承接區不影響道路。
開挖	清除邊坡雜物以便在道路附近形成落石掉落區，使用現代營造技術改善重建邊坡。
人為加固	藉由安裝機械支撐（包括岩石錨桿、岩石銷釘和纜線綁紮）來改善邊坡穩定性，用於固定邊坡上的岩石和土壤。
噴漿	砂漿或混凝土以高速氣動噴灑到邊坡上，主要用於保護噴砂面避免受到沖蝕，藉此阻延沖蝕造成的影響，也有助於固定邊坡上的岩石。
護欄系統	安裝剛性或柔性的護欄系統，可降低處理落石中產生的動能，相關實例包括紐澤西護欄、箱籠和編織纜線圍籬，這些系統通常鋪設在道路附近便於維護。
排水	藉由安裝水平式的排水溝或平台來降低邊坡內部水位，通常與其他設計元素一起使用。

6.2.2 審查初步設計

缺乏經驗會造成上述技術的錯誤使用，成本估算或開發專案計畫決策前，建議由經驗豐富的工作人員審查設計概念。

6.3 成本估計

成本估算是落石資料庫的重要資訊，在最終確定專案計畫優先順序時，將考慮到此類的資訊內容。這些不同設計元素，其成本在全國各地變化很大，因此，本文未列舉任何費用，

落石設計成本嚴格來說為落石整治措施的成本，（第 6 章）中。專案計畫的內容最終可能包括路面拓寬、護欄安裝、結構鋪設覆蓋等事項，這些成本項目及一般的人力物力動員、工程和應急成本不包括在 RHRS 成本估算的範圍內，此方法簡化估算過程，因為在比較落石地點和處理落石的相關成本時，這些額外的成本項目不會造成干擾，

相關實例的試算表如下一頁所示。

落石防護成本估計表

州公路名稱：_____ # _____
起點 M.P. _____
中央線左側或右側 _____
終點 M.P. _____
郡名 _____ # _____
評估日期(YYMMDD) _____
設計者姓名 _____
每日平均交通量 _____
豎立的限速(哩/小時) _____
RHRS 得分 _____

設計選項

本方法是落石__修正設計__減災設計。

設計元素

- | | |
|----------|----------|
| 1. _____ | 5. _____ |
| 2. _____ | 6. _____ |
| 3. _____ | 7. _____ |
| 4. _____ | 8. _____ |

成本估計

數量 X 單位成本		
1.	_____ X _____	= \$ _____
2.	_____ X _____	= \$ _____
3.	_____ X _____	= \$ _____
4.	_____ X _____	= \$ _____
5.	_____ X _____	= \$ _____
6.	_____ X _____	= \$ _____
7.	_____ X _____	= \$ _____
8.	_____ X _____	= \$ _____

選項總成本： \$ _____

成本/RHRS 得分比值 _____.

此工作表有助於成本估算，表格中的資訊內容記錄落石位置、說明設計概念、設計元素列表、設計元素的成本列表、選項總成本及 RHRS 成本比值等事項，管理機構可能需修改

此試算表以滿足其特定需求。

6.4 課堂練習 1

落石地點 1 的初步設計和成本估計包括如下，應注意到成本估算僅包括落石整治設計要素的相關成本。

設計選項說明

修整噴砂邊坡建立 22 英尺寬的掉落區，在切斷破壞部位下方 15 英尺處噴漿，藉此防止差異性沖蝕現象，在鋪砌路面邊緣安裝紐澤西護欄，

本方法是 X 落石整治 _____ 減災設計

設計元素

- | | |
|-----------------|----------|
| 1. <u>開挖</u> | 5. _____ |
| 2. <u>噴砂修整</u> | 6. _____ |
| 3. <u>噴漿</u> | 7. _____ |
| 4. <u>紐澤西護欄</u> | 8. _____ |

成本估計

數量 X 單位成本

1.	121.000 立方碼	X	3.50 =	\$ 423.500
2.	70.000 以呎為單位	X	2.00 =	\$ 140.000
3.	27.000 平方呎	X	3.00 =	\$ 81.000
4.	1.584 以呎為單位	X	22.00 =	\$ 34.900
5.	_____	X	_____ =	\$ _____
6.	_____	X	_____ =	\$ _____
7.	_____	X	_____ =	\$ _____
8.	_____	X	_____ =	\$ _____

選項總成本：\$679.400.00

成本/RHRS 得分比值 = 936

第 7 章：專案計畫識別與制定

實施 RHRS 的主要好處是減少系統內的落石可能性，只有根據結果參考資料庫制定出落石整治專案計畫後，才能夠發揮此優點。

7.1 專案計畫識別

有幾種方法可在 RHRS 流程的前幾個階段中用於收集資訊，以下是判定落石整治專案計畫的 4 種建議方法。

7.1.1 評分方法

可根據分數改善專案計畫的內容，這個系統最明顯的用途應了解到最危險的邊坡就是列表上方欄位中的邊坡，因此，可在資金容許時撥用邊坡整治資金。

使用這種方法的主要缺點是最高得分的邊坡往往需要最多的整治成本，管理機構需決定是否先處理列表上方欄位中的邊坡或撥用可用資金盡可能進行最多優先排序落石地點的整治。

7.2.2 評比方法

可根據營造估計成本相關的分數改善專案計畫的內容，實際上，這方法是最有利的權宜措施，最高評等邊坡的初步成本估算值除以 RHRS 評分即可列表，其中上方欄位中的列表為最低美元金額與 RHRS 得分的比值。從這個列表制定的專案計畫可藉由固定的投資金額提供系統最大的減災效果，判定名次較高的 100 個邊坡即採用此方法作為合理的起點。

若使用這種方法，由於成本較高，一些判定最高的邊坡可能無人處理。若情況緊迫時，可根據兩個列表內容制定相關的專案計畫，無論採用哪種方法，都可大幅降低落石的相關風險。

7.2.3 整治方法

可用具備類似整治設計的兩個或更多個路段作為基礎，以制定相關的專案計畫。在初步設計和成本估算過程確定列入類似結構特徵的落石路段，可藉此歸類為單一的專案計畫內容。尋找精通落石整治營造廣泛措施的合格包商是很困難的，限制承包合約內容的複雜性應可解決此問題。

這種方法的一個實例是採用一定長度的公路路段，將所有的邊坡工程合併為單一的專案計畫內容，讓更多的邊坡篩選工外包，此方法可更直接進行作業，更容易管理外包合約的事項，讓單價更低。

7.2.4 近似法

可根據落石路段的鄰近程度來制定專案計畫內容，因為確定落石地點即可適當提出正確的整治措施，讓更大量的工程外包。這種方法讓單價更低，可節省人力物力的整體動員成本。

這種方法的一個實例是沿著 20 英哩長的道路，將所有 A 級邊坡歸類例如單一的專案計畫中。

使用這種方法時，在 20 英哩的區域內可考慮列入 B 級邊坡，此方法將從 RHRS 資料庫中刪除整個路段，並可清楚標明正進展中的處理路段。

所有上述的方法有賴於實際施工和定期更新的 RHRS 資料庫中的相關數據。

7.2 落石相關事故

值得注意的是，即使 1 個 A 級邊坡的得分為 700，而另一個邊坡的得分為 600，兩者的落石都可能掉落到道路上。無論受影響路段的 RHRS 優先排序為何，管理機構需隨時因應落石事件，管理機構應避免過度反應，應重新評估發生地點進行詳細評等，判定落石可能性的增減狀況，該地點與其他已判定可能是落石新地點，在維護的投入金額上應彼此一致。

第 8 章：年度審查和更新

RHRS 流程的最後一步是對所有經評等的邊坡進行審查，該審查應每年進行一次，審查（和更新）是重要的一步，因為這可確保管理機構在創建 RHRS 資料庫的既有投資。

應確保資訊對專案計畫工具和政府機關可靠數據來源的貢獻價值。

8.1 審查和更新

若資料庫中的任何邊坡已進行施工或維護活動，將內容進行修改時，則應檢查修改內容並從 RHRS 系統中刪除或重新進行評等。還應評估任何新建的邊坡並在必要時將相關數據添加到資料庫中。最後，資料庫中所有的 B 級邊坡都應詳細評等並進行初步設計和成本估算。

任何落石路段現有的初步設計應根據場地的修改進行相關的評估，現場條件的變化可能讓舊設計不適用，隨著投標價格的變化，成本估算應定期更新。

所有邊坡經過評等後，管理機構可使用該機構的評分而非初步評等期間的主觀評估標準來重新劃分 A 級或 B 級邊坡，該管理機構可選擇完全放棄這些過去的評等結構。

8.2 審查目的

天然條件意外的變化，寒冬、春季或秋季異常高降水量可能加速影響未來落石事件的可能性，人為活動也可能改變邊坡的狀況，有時候可降低落石的可能性。

圖 8.1 和 8.2 顯示 1 個落石事件，藉由移除不穩定的岩塊可降低落石的可能性。



圖 8.1：應注意到遠處的大幅度懸垂



圖 8.2：當大塊落石落下時，碎片會掉落到道路上，未來的落石尺寸將會更小並落在排水溝中。

並非所有可能影響邊坡評等的變化都與本實例中的變化一樣明顯，有時候很難辨別這些變

化。評估者應參考過去檢查所拍攝的照片以幫助識別其中的變化。也可查看最近的維護資訊內容，藉此確定是否落石地點出現任何可能影響邊坡評等的重大事件。

應持續進行審查和更新，考慮到經濟因素，大部份的工作應可全年期間完成，評估者可往返於工作地點履行其他職責。

第 9 章：落石資料庫管理計畫

在管理機構的轄地內，RHRS 產生落石地點和狀況大量的相關資訊，為能夠讓管理機構受益於這些資訊內容，管理機構需在決策過程有效地使用這些數據，此決策需使用電腦資料庫。

FHWA 開發出 1 個名為「落石資料庫管理計畫 (RDMP)」的 PC 資料庫應用程式，RDMP 的設計可滿足 RHRS 用戶的需求。

9.1 自動化資料庫數值(RDMP)

電腦資料庫是 RHRS 的要件，有許多使用 RHRS 數據的方法，RDMP 自動化資料庫可提供多種不同格式的數據。

RDMP 是獨立系統，無需軟體的支援，可免費提供此應用程式的副本和用戶手冊，此應用程式使用簡單並內建安全檢查功能，RDMP 是優秀值得強烈推薦的工具。

9.2 訂製資料庫

RDMP 旨在滿足奧勒岡州交通部的需求，因此，這是可按照地區、公路和里程點識別落石地點的 ODOT 法，此方法可能與其他的落石地點記錄方式不一致，若需要協助，可將 RDMP 定制調整以滿足其他管理機構的需求，本應用程式的作者也可提供協助。

Barry D. Siel, P.E.
FHWA Regional Geotechnical Engineer
555 Zang Street #400
Lakewood, Colorado 80228
(303)969-6718

9.3 程式相關內容

隨附於軟體的用戶手冊，其內容包含安裝和操作落石資料庫管理應用程式的逐步說明。RDMP 實際上是兩個應用程式所組成，第 1 個應用程式是 RFHQ，旨在提供管理機構的總部使用。第 2 個應用程式是 RFRG，旨在提供管理機構的各區辦公室使用。RHRS 落石數據由各區辦公室收集輸入到 RFRG 中，區域資料庫副本定期藉由軟碟或數據機進行更新，總部可整合所有的區域數據用於制定全州的落石整治策略。

RDMP 的總部和各區版本都有幾乎相同的功能，差別在於各區用的應用程式處理該區的數據，總部用的應用程式可單獨處理各區的資料庫或將所有各區的資料庫合併到單一的全州資料庫中。

9.3.1 製作報告

可藉由排序和查詢過程，從資料庫的資訊內容製作報告。此外，可對報告資訊內容進行分級，分類選單螢幕的實例如下所述。

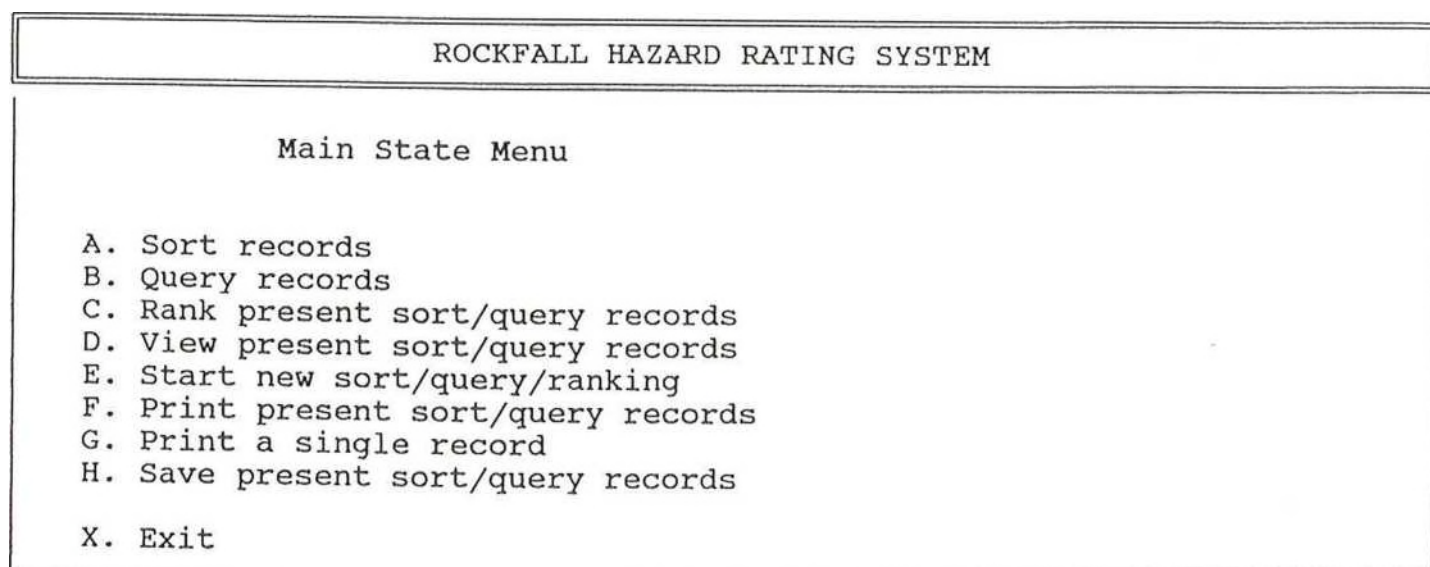


圖 9.1：狀態主選單的電腦螢幕

ROCKFALL HAZARD RATING SYSTEM

Sort Hierarchy

Sort Selection List

1. REG	Total Score = TSC	Width Score = WTH
	Cost = CST	Roadway Width = KW5
2. HWY	Cost/T. Score = CTS	Case 1 Score = SC1
	Slope Score = SLP	Friction Score = RCK
3. BMP	Slope Height = KW1	Case 2 Score = SC2
	Ditch Score = DCH	Erosion Score = ERS
4.	Risk Score = RSK	Block Score = BLK
	Distance Score = DST	Climate Score = CLM
5.	Actual Distance = K11	History Score = HST
	County = CTY	Beg. MP = BMP
CTRL-W to sort	Highway = HWY	Avg. Traffic = ADT
ESC to exit	Region = REG	Posted Speed = MPH

圖 9.2：按照區域、公路和起始里程點的排序選單

ROCKFALL HAZARD RATING SYSTEM

Ranking

Rank Selection List

Rank by:	Total Score = TSC	Width Score = WTH
	Cost = CST	Roadway Width = KW5
ESC to exit	Cost/T. Score = CTS	Case 1 Score = SC1
	Slope Score = SLP	Friction Score = RCK
	Slope Height = KW1	Case 2 Score = SC2
	Ditch Score = DCH	Erosion Score = ERS
	Risk Score = RSK	Block Score = BLK
	Distance Score = DST	Climate Score = CLM
	Actual Distance = K11	History Score = HST

圖 9.3：評等選單，類別中的最大值即選用為第 1 級。

9.3.2 報告實例

下文列舉 RDMP 報告的摘錄內容，用於說明應用程式靈活實用性。

ROCKFALL HAZARD RATING SYSTEM									
REG	HWY	BEGINNING MILE PT	CNTR LINE	DATE OF RATING	PRELIM COST ESTIMATE	COST/ SCORE	CLASS	TOTAL SCORE	RANK
5	010	30.14	L	04/10/90	\$ 7,000,000	11,647	A	601	1
3	018	23.44	R	07/26/91	\$ 930,761	1,708	A	545	2
2	162	43.32	L	06/12/91	\$ 570,000	851	A	670	3
2	162	44.52	L	06/07/90	\$ 350,000	640	A	547	4
5	413	1.00	L	05/10/90	\$ 408,000	638	A	639	5
2	016	84.93	L	04/01/92	\$ 400,000	552	A	725	6
5	005	220.50	L	09/12/91	\$ 200,000	394	A	508	7
2	162	40.47	L	12/19/91	\$ 210,000	381	A	551	8
2	162	39.65	L	11/25/91	\$ 180,000	354	A	509	9
2	162	40.00	L	11/26/91	\$ 140,000	262	A	534	10
2	162	41.03	L	11/26/91	\$ 100,000	181	A	552	11
2	162	40.80	L	11/26/91	\$ 110,000	165	A	668	12
2	162	41.70	L	12/23/91	\$ 90,000	161	A	558	13
2	039	1.67	R	12/03/91	\$ 55,000	103	A	535	14
2	016	59.72	L	11/25/91	\$ 40,000	79	A	508	15

Press ENTER to continue or ESC to exit

圖 9.4：依成本-RHRS 評分排序的數據

ROCKFALL HAZARD RATING SYSTEM									
REG	HWY	BEGINNING MILE PT	CNTR LINE	DATE OF RATING	PRELIM COST ESTIMATE	COST/ SCORE	CLASS	TOTAL SCORE	RANK
2	016	84.93	L	04/01/92	\$ 400,000	552	A	725	1
2	162	43.32	L	06/12/91	\$ 570,000	851	A	670	2
2	162	40.80	L	11/26/91	\$ 110,000	165	A	668	3
5	413	1.00	L	05/10/90	\$ 408,000	638	A	639	4
3	018	55.97	L	07/26/91	\$ 30,000	49	A	612	5
5	010	30.14	L	04/10/90	\$ 7,000,000	11,647	A	601	6
2	162	41.19	L	11/24/91	\$ 45,000	77	A	583	7
2	162	41.70	L	12/23/91	\$ 90,000	161	A	558	8
2	162	41.03	L	11/26/91	\$ 100,000	181	A	552	9
2	162	40.47	L	12/19/91	\$ 210,000	381	A	551	10
2	162	44.52	L	06/07/90	\$ 350,000	640	A	547	11
3	018	23.44	R	07/26/91	\$ 930,761	1,708	A	545	12
2	039	1.67	R	12/03/91	\$ 55,000	103	A	535	13
2	162	40.00	L	11/26/91	\$ 140,000	262	A	534	14
2	162	39.65	L	11/25/91	\$ 180,000	354	A	509	15

Press ENTER to continue or ESC to exit

圖 9.5：依總得分排序的成本-RHRS 數據

第 10 章：課堂練習

到目前為止已經交換大量的資訊內容，本文還增加兩個額外的課堂練習內容（課堂練習 2 和 3）為學員提供關於 RHRS 更多的應用實例。

10.1 目的

課堂練習旨在讓學員有機會解決可能遇到的任何問題，目標是在實地演練前盡可能將 RHRS 的應用標準化。課堂討論可讓學員了解其他人如何說明落石地點的特徵並對這些類別進行評分，這些練習還需進行集體實習的課程，藉此將各個評估者的落石地點評分落差範圍加以縮減。

10.2 練習程序

就兩個課堂練習而言，將進行初步和詳細評等，若時間允許，將討論初步設計概念和相關的成本，所需的資訊將由教師提供或藉由手冊中的照片加以說明，評分圖和評分表也隨著試算表一併提供。

10.2.1 練習 2 程序

指導員將在問題 2 提出期間回答問題並提供指導，鼓勵學員參與討論，課程練習結束將進行問答內容的檢討。

10.2.2 練習 3 程序

在問題 3 提出期間，參與者將自行解決問題，此練習可讓每個人確定自己對 RHRS 流程使用熟練度，與他人進行比較，在討論期間，應解決這方面任何的重大差異。

10.3 練習 2

進入奧勒岡市的 99E 公路，隨行的維護工頭指出這條公路是他所在地區的一個重要問題所在，過去 5 年中至少發生 4 次落石和兩次重大的落石事件，此外，在該地區工作人員告知仍有許多未提報的小型落石事件，落石的大小從 3 英吋到 3 英呎不等，因此，該地點在全年期間，由養護單位每天巡檢兩次，在冬季增加第三次的夜班巡檢。在惡劣天氣期間，養護單位每班巡檢數次，該地點的狀況如下頁中的圖 10.1 至 10.5 所示。



圖 10.1：落石地點 2 概覽邊坡高度？

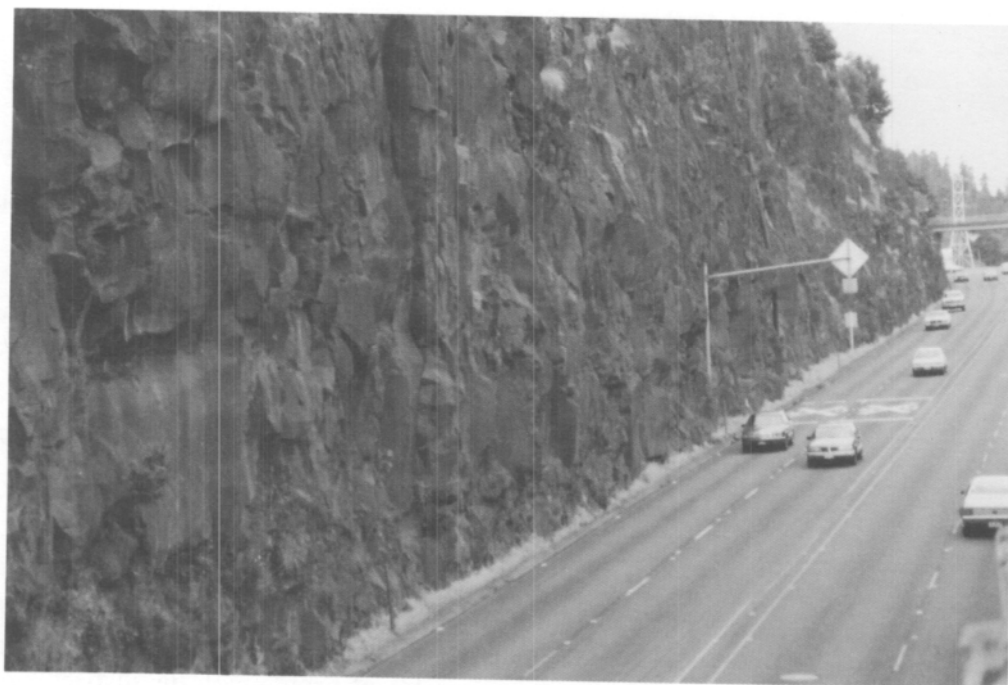


圖 10.2：排水溝效用？



圖 10.3：AVR？應注意到豎立的速限



圖 10.4：地質特徵？



圖 10.5：落石大小？

10.3.1 初步評等

落石路段從 12.62 哩到 12.94 哩，速限為每小時 30 英哩，ADT 為 18,300 車/日，岩石呈現高度破碎，未來可能造成岩塊掉落，無法鋪設排水溝或承接區，因此，任何落石都可能掉落到路上。

可使用照片、上述的數據及養護人員提供的歷史資訊，完成教師所提供落石評等數據表的上半部問題，在意見欄註明適當的資訊內容，使用第 3 章討論的初步評等標準對邊坡進行分類。

10.3.2 詳細評等

以下數據是在落石地點進行收集，將用於完成詳細評等作業，學員應使用這些照片確定落石地點的歸屬類別標準，參考第 4 章和第 5 章的資訊內容進行類別評分。

邊坡高度：

邊坡頂部附近有一條街道，可使用捲尺在邊坡邊緣直接測量其垂直坡高，垂直坡高為 116 呎。

排水溝效用：

沒有鋪設排水溝或承接區，此邊坡因為採用噴砂技術再加上高度破碎的地質構造，因此形成不規則狀的邊坡，整個邊坡出現許多的落石地點，其中一些是由玄武岩間的自然接觸所造成，其他是在發生落石時仍然阻擋落石留在岩壁上，還有一些落石已從邊坡掉落。

車輛平均風險：	落石路段從 12.62 哩到 12.94 哩，速限為每小時 30 英哩，ADT 為 18,300 車/日。
決策視距：	從北方進入落石地點的汽車從隧道中出來，但視距通常都很好，測量得出視距為 450 呎。
道路寬度：	高 ADT 值在測量車道寬度方面會出現問題，根據評估者對標準公路設計的經驗，道路寬度估計值為 46 呎。
地質特徵：	一般的結構為塊狀和柱狀玄武岩組合，在這個陡峭的邊坡上，塊狀花紋 10 到 20 呎長的垂直坡面相接合，這讓一些岩石從邊坡上掉落。在這種結構模式下，邊坡穩定性受到風暴和冰頂升高誘發地下水位升高的嚴重影響（為能夠支持這種觀點，維修工頭在初步判定期間說過暴風雨和冬季期間工作人員需特別注意這個邊坡。）一般來說，接合面之間的摩擦阻力提供良好的支撐，坡面大多是明顯粗糙到稍微光滑的構造。
各個事件的落石大小或落石量：	由於塊狀斷裂模式，大多數的落石事件由單一的岩塊或只有幾個岩塊所組成，養護單位工頭提到兩個約 5 到 10 立方碼的落石事件，但這類的落石事件很少見。邊坡的檢查結果可能出現 2 到 3 英呎的落石破壞，此發現與養護工頭提供的資訊內容彼此吻合，偶爾會出現直徑約 3 呎的落石。

氣候和邊坡水流：

該地點每年降水量約為 55 吋，主要是雨水，冬季經常出現結冰期但持續時間很短，在一年中大部分期間而言，水流大部份從邊坡縫隙滲出。

落石歷史紀錄：

可參考維修工頭提供的資訊。

10.3.3 初步設計和成本估計

應注意到會影響整治設計的落石地點狀況，設計時應加以考慮。藉由這種方式無需進一步考慮其他的整治計畫事項。

針對設計需再收集其他資訊的實例就是邊坡破壞頂端有砌牆的狀況下，此砌牆具有歷史紀錄上的重要性，整治時需避免破壞，下列的考慮事項也是重要的：

這種限制無法在岩石掉落區域採用開挖整治技術。

地質結構無法進行人工加固。

公路附近沒有足夠的空間可用於鋪設護欄。

邊坡太陡無法安裝擋板。

學員應使用成本估算試算表記錄初步設計和成本估算的相關資料，應考慮整治成本及設計構造，下一頁內容提供有完整的試算表內容。

落石防護成本估計表

各州公路局管理局名稱：	99E	# <u>001E</u>
起點 M.P.	12.62	
中央線左側或右側	左	
終點 M.P.	12.94	
郡名	Clackamas	# <u>3</u>
評估日期(YYMMDD)	91 08 08	
設計者姓名	Pfeiffer	
每日平均交通量	18,300	
豎立的限速(哩/小時)	30	
RHRS 得分	547	

設計選項說明

10 呎的中心處安裝 3 呎長錨以裝設邊坡攔石網，在已識別的重要岩塊上安裝約 25 個 10 呎大小的岩石錨桿。

此方法是____落石修正 X 減災設計。

設計元素

1. 邊坡攔石網	5. _____
2. 攔石網錨點	6. _____
3. 岩石螺栓	7. _____
4. _____	8. _____

成本估計

數量 X 單位成本

1. 81,600 平方呎	X 2.00	= \$ 163,200
2. 900 個	X 50.00	= \$ 45,000
3. 250 呎	X 25.00	= \$ 6,250
4. _____	X	= \$ _____
5. _____	X	= \$ _____
6. _____	X	= \$ _____
7. _____	X	= \$ _____
8. _____	X	= \$ _____

選項總成本：\$ 214,450.00

成本/RHRS 得分比： 392

10.4 練習 3

俄勒岡州 Estacada 以東的 Clackamas 河峽谷公路從 MP 30 到 MP 45 的 15 哩長路段幾乎都是連續落石路段，進行本邊坡路段調查/初步評級的評估者需大幅依賴養護人員所提供的資訊內容來劃分落石路段，落石地點如下圖 10.6 至 10.10 所示。



圖 10.6：落石地點 3 概覽邊坡高度？

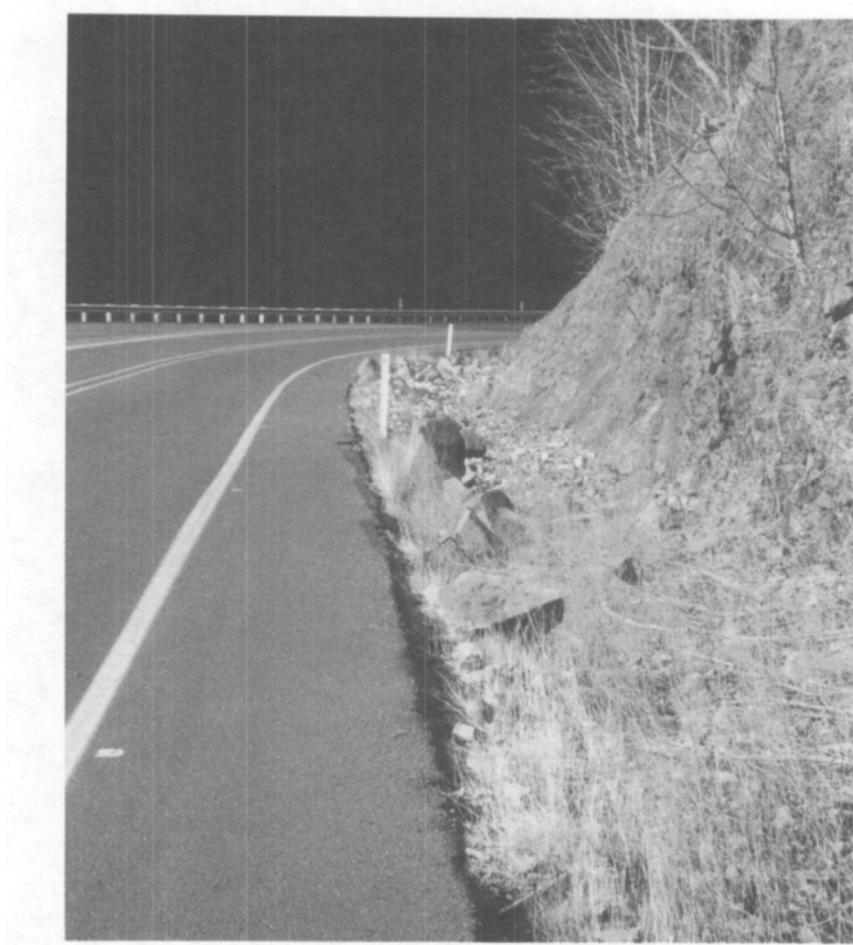


圖 10.7：10 呎溝渠是不足的，有 75% 的岩石會掉落在道路上。排水溝效用？



圖 10.8：決策視距？道路寬度？

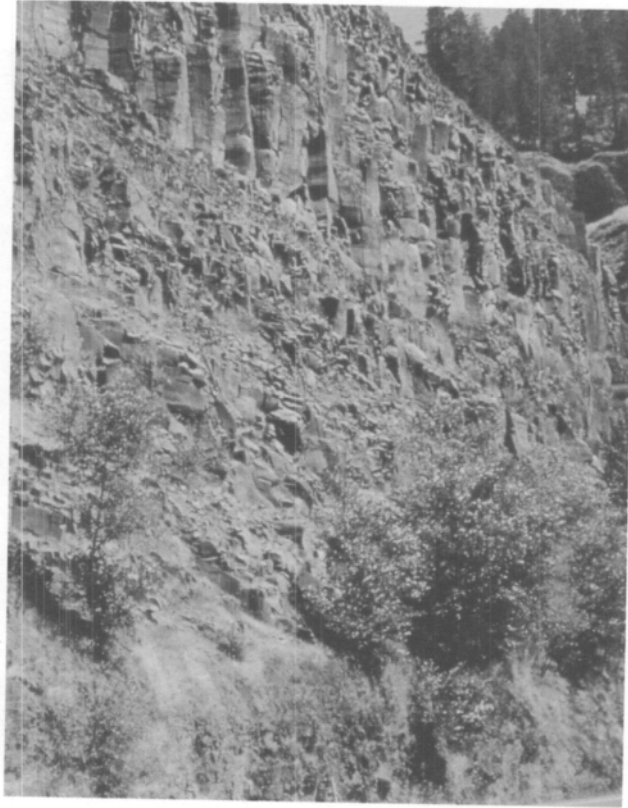


圖 10.9：地質特徵？

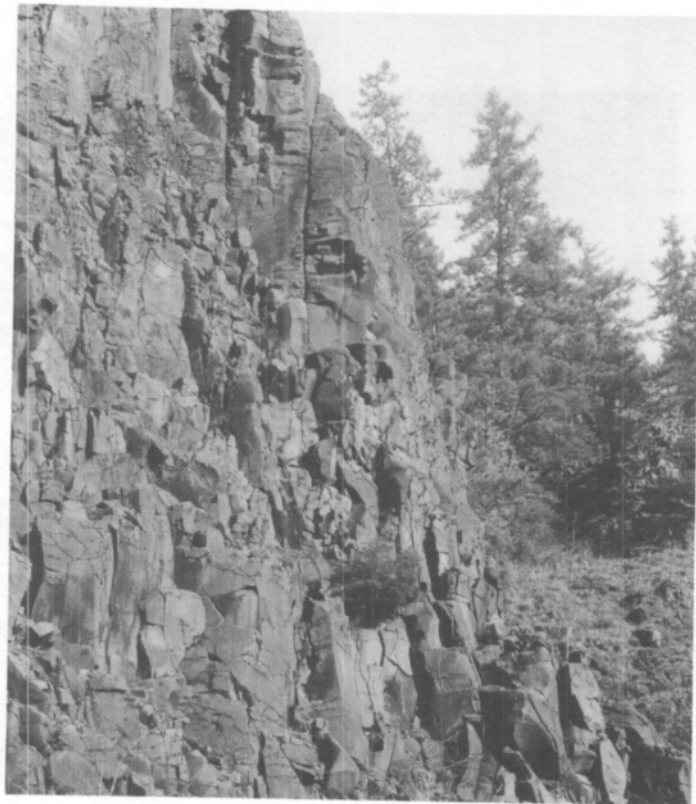


圖 10.10：落石大小？

10.4.1 初步評等

落石路段從 37.25 哩到 37.60 哩，根據養護人員的陳述，這是當地落石最嚴重的路段，大多數的落石問題發生在冬季，養護人員在 10 月至 4 月期間每天進行巡檢兩次，他們還在暴雨後檢查這個區域，根據歷史紀錄，切割高度、落石特徵和小型的掉落區域相結合，定期造成落石掉落在道路上。

可使用照片、上述的數據及養護人員提供的歷史資訊完成教師所提供落石評等數據表的上半部問題作答，在意見欄註明適當的資訊內容，使用第 3 章中討論的初步評等標準對邊坡進行分類。

10.4.2 詳細評等

以下是來自該落石地點的數據，可用於進行詳細評等作業。學員應使用這些照片確定落石地點的歸屬類別標準，參考第 4 章和第 5 章中的資訊內容進行類別評分。

邊坡高度：

邊坡太不規則無法直接測量坡高，可使用 5.3.2 節概述的方法判定坡高，儀器測量的坡高 5 呎，從路面邊緣到路面邊緣的 X 距離為 44 呎，角度為 65 度，B 角是 60 度。

排水溝效用：

排水溝寬度是 10 呎，不適合這麼高的邊坡，許多邊坡呈現不規則狀讓問題變得複雜，約 75% 的岩石會掉落在道路上，只有邊坡下方落石會掉落在承接區內。

車輛平均風險：	落石路段從 37.25 哩到 37.60 哩，豎立的速限為 45 哩/小時，每日平均交通量為每日 2,800 輛。
決策視距：	從西邊接近落石路段的司機會穿越一個急彎路段，使用量尺可量得 240 呎的距離。
道路寬度：	在路段西端的急彎範圍外，路緣加寬到 44 呎，只有雙線道，為 Big Eddy 休息區的道匝和停車區提供額外的路面寬度，該區域位於落石區外的東邊。
地質特徵：	該落石地點的地質由一系列水平排列的玄武岩所組成，岩石為大裂縫廣佈的柱狀玄武岩，在柱狀玄武岩中，某些冷卻的接合面為 15 至 20 呎的長度，隨著邊坡風化，這些柱狀玄武岩容易掉落，柱狀玄武岩的接合面稍微光滑並出現起伏現象。
每個事件的落石大小和落石量	邊坡上方可看到在約 5 到 8 呎的柱狀玄武岩，但養護人員指出這些岩塊掉落時會破裂，路上的落石大小很少超過 3 呎，出現落石時，也會挪動其他許多的岩石，在道路上形成落石事件，落石大小通常約 5 立方碼。

氣候和水流：

位於邊坡上的 Clackamas 河峽谷
（Clackamas 河峽谷）穿過 Cascade 山脈
（Cascade Mountains）西部山麓的邊坡，
雨量充沛，此地的降水主要來源是降雨，
平均每年約 90 吋降雨量，此地海拔夠高，
冬季常出現結冰期。

落石歷史紀錄：

可參考維修工頭提供的資訊。

10.4.3 初步設計和成本估計

與往常一樣，在現場應注意並考慮可能影響整治設計的狀況。

重要的是要注意詳細評等期間收集和記錄設計資訊的必要性，其他收集數據的現場查訪可能增加額外費用，應加以注意。

應注意到落石地點現場相關的各面向。

落石地點位於 Clackamas 河峽谷，此峽谷是美國林務局指定的風景區，應將景觀影響降到最低。

應考慮視距的改善，

該落石地點會出現 5 立方碼大小的落石，無法使用網架或降低墜落動能的圍欄。

學員應使用成本估算試算表記錄初步設計和成本估算的相關資料，應考慮整治成本及設計構造，下一頁內容提供有完整的試算表內容。

落石防護成本估計表

各州公路局管理局名稱：	Clackamas	# <u>171</u>
起點 M.P.	37.25	
中央線左側或右側	左	
終點 M.P.	37.60	
郡名	Clackamas	# <u>3</u>
評估日期(YYMMDD)	91 10 17	
設計者姓名	Pierson	
每日平均交通量	2,800	
豎立的限速(哩/小時)	45	
RHRS 得分	575	

設計選項說明

開挖邊坡的過渡平台，以改善落石掉落區（22 呎寬）達到公路等級，在鋪砌路緣安裝紐澤西護欄。

這是用於控制落石的_____修正方法 X 減災設計。

設計元素

- | | |
|------------|----------|
| 1. 開挖(平台) | 5. _____ |
| 2. 控制性刷坡 | 6. _____ |
| 3. 標準紐澤西護欄 | 7. _____ |
| 4. _____ | 8. _____ |

成本估計

數量 X 單位成本

- | | | |
|---------------|---------|-------------|
| 1. 13,200 立方碼 | X 4.00 | = \$ 52,800 |
| 2. 12,580 碼 | X 2.00 | = \$ 25,160 |
| 3. 1,850 碼 | X 22.00 | = \$ 40,656 |
| 4. _____ | X _____ | = \$ _____ |
| 5. _____ | X _____ | = \$ _____ |
| 6. _____ | X _____ | = \$ _____ |
| 7. _____ | X _____ | = \$ _____ |
| 8. _____ | X _____ | = \$ _____ |

選項總成本：\$ 118,616.00

成本/RHRS 得分比= 206

10.5 課堂練習概要

下表總結 3 個課堂練習的討論結果，包括詳細評等類別得分、總比值詳細內容、初步設計成本估算及成本估算對 RHRS 總分的比值。

表 10.1：課堂練習概要

類別	練習 1	練習 2	練習 3
高度	100(110 呎)	100(116 呎)	100(401 呎)
排水溝	81	100	27
AVR	100 (131%)	100 (813%)	55 (91%)
DSD	36 (330 呎) (55%)	3 (450 呎) (100%)	100 (240 呎) (36%)
寬度	20 (30 呎)	2 (48 呎)	3 (44 呎)
地質特徵	100 81	81 9	81 20
落石大小/落石量 每個事件	27 (3 呎) 100 (50 碼 ³)	27 (3 呎) 19 (8 碼 ³)	27 (3 呎) 6 (5 碼 ³)
氣候歷史紀錄	27 81	50 75	81 81
總得分	726	547	575
成本估計	\$679,400.00	\$214,450.00	\$118,616.99
成本估計/RHRS 比值	936	392	206

接下來的兩頁是分別為課堂練習 2 和 3 所製作的 RHRS 現場數據表。

RHRS 落石地點數據表

公路：99E

區域：1

公路 #	<u>IE</u>	Beainnina H.P. <u>12.62</u>	[L] / R	終點 H.P. <u>12.94</u>
郡別 #	<u>3</u>	日期 <u>91 08 07</u>	新文件	評等人： <u>Siel</u>
類別	[A] B	ADT <u>18,300</u>	更新	速限： <u>30</u>

類別	備註	類別得分
邊坡高度 116 呎	直通坡頂使用量尺測量	邊坡高度： <u>100</u>
排水溝效用 G H L[N]	無	排水溝效用： <u>100</u>
車輛平均風險：813%		AVR： <u>100</u>
視距： <u>450</u> 呎		視距： <u>3</u>
決策地點百分比		道路寬度： <u>2</u>
距離：100%		
道路寬度：48 呎		
地質特徵		地質特徵
案例 1	傾覆破壞	案例 1
結構條件 D [C]/F R [A]		結構： <u>81</u>
岩石摩擦 R I [U] P C - S		岩石摩擦： <u>9</u>
案例 2		案例 2
差異性沖蝕特徵 F O N [M]		差異性特徵 ____
沖蝕率差異 S M L [E]		差異比值 ____
落石大小/數量 3 呎/[碼 ³]	高達 8 碼 ³	落石大小： <u>27</u>
氣候		氣候： <u>50</u>
降雨 L M [H]		落石歷史紀錄： <u>75</u>
結冰期 N [S] L		
邊坡水流 N I [C]		
落石歷史紀錄 F O M [C]		
意見：根據事件歷史紀錄，全年需進行巡檢。		總得分： <u>547</u>

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2018

本文件之翻譯及轉載，均符合美國著作權法相關規定。