



農業部農村發展及水土保持署
Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation, MOA

國外文獻導讀

落石危害評等系統-學員手冊



趙彥勛

113年10月22日



公路安全



陡峭的邊坡

移動中的車輛

可行駛的道路



RHRS系統 (Rock-fall Hazard Rating System)

- 邊坡數據- 創建落石地點的地理資料庫
- 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
- 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
- 初步設計和成本估算- 將整治資訊添加到落石資料庫中
- 專案計畫識別與制定- 達成落石修復的專案計畫項目
- 年度審查和更新- 維護落石資料庫

邊坡數據

■ 落石段：

沿著公路的不間斷邊坡，其中落石發生率和模式均相同者。

■ 邊坡調查需要：評估人員與養護人員





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 GMLN		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 DC/FRA		結構 _____
岩石摩擦 RIUPC-S		岩石摩擦 _____
案例 2		案例 2
差異性沖蝕特徵 FONM		差異性特徵 _____
沖蝕率的差異 SMLE		差異比值 _____
落石大小/數量 呎/[碼 ³]		落石大小 _____
氣候		氣候 _____
降雨 LMH		
結冰點 NSL		
邊坡水流 NIC		落石歷史紀錄 _____
落石歷史紀錄 FOMC		
意見：		總得分 _____

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



初步評等

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

道路落石可能性考慮因子

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

落石活動歷史紀錄

1. 公路落石頻率
2. 落石量
3. 落石大小
4. 清除頻率

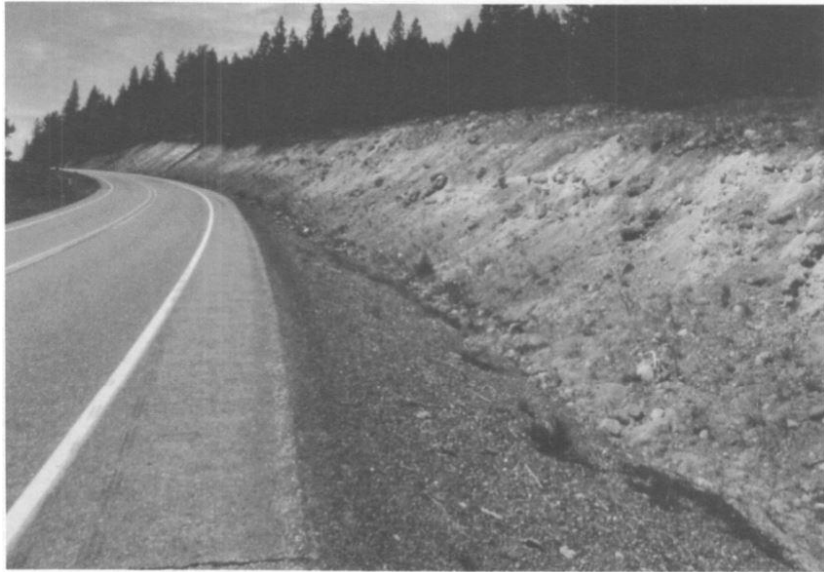
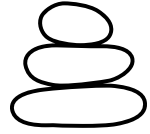


圖 3.1：C 級邊坡



圖 3.2：B 級邊坡



圖 3.3：A 級邊坡



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 3立方碼	2呎 6立方碼	3呎 9立方碼	4呎 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	

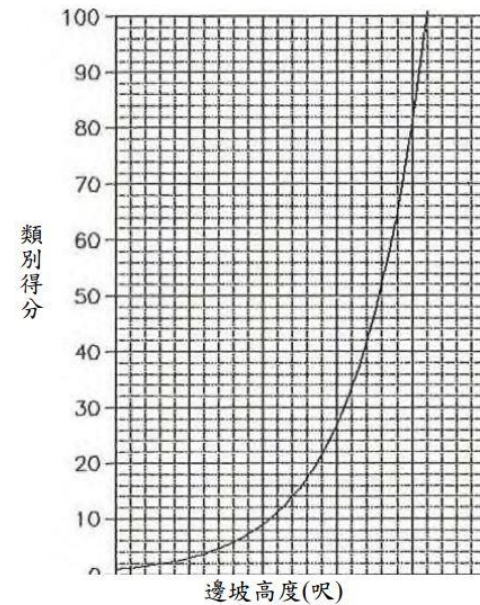
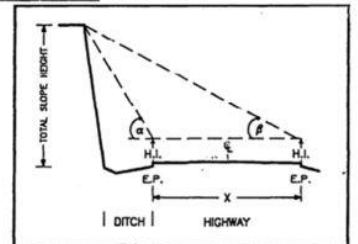


圖 4.1：邊坡高度評分圖

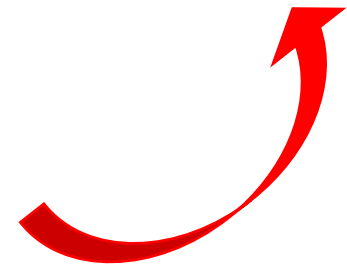
FEET	SLOPE HT. score	FEET	SLOPE HT. score	% AVRS	% AVRS	AVRS	SIGHT DIST. score	%	SIGHT DIST. score	ROAD WIDTH IN FEET	ROAD WIDTH score	QUANTITY ea. yr.	score	Decision	Right Distance	MPH	
9	1	26	13	9	1	36	12	36	100	73	12	13	100	1	1	300	30
10	2	26	13	10	2	50	13	37	96	76	11	18	83	1.5	2	375	35
11	2	26	13	11	3	66	14	38	91	77	11	30	81	2	2	450	36
12	2	60	14	12	2	81	15	38	86	78	10	31	71	2.5	2	525	35
13	2	61	15	13	2	62	15	40	81	79	10	32	62	3	3	600	40
14	2	62	15	14	2	63	16	41	77	80	9	23	54	3.5	4	675	45
15	2	63	16	15	2	64	17	42	73	81	9	24	47	4	4	750	50
16	2	64	17	16	2	65	17	43	69	82	8	25	41	4.5	5	825	55
17	2	65	17	17	2	66	18	44	65	83	8	26	36	5	6	900	60
18	2	66	18	18	2	67	19	45	62	84	7	27	31	5.5	7	975	65
19	2	67	19	19	2	68	20	46	58	85	7	28	27	6	8	1050	70
20	2	68	20	20	2	69	21	47	55	86	6	29	24	6.5	11	1125	75
21	3	69	21	21	3	70	22	48	52	87	6	30	21	7	13	1200	80
22	3	70	22	22	3	71	23	49	49	88	6	31	18	7.5	16	1275	85
23	3	71	23	23	3	72	24	50	47	89	5	32	16	8	19	1350	90
24	3	72	24	24	3	73	25	51	44	90	5	33	14	8.5	22	1425	95
25	3	73	25	25	3	74	26	52	42	91	5	34	12	9	27	1500	100
26	3	74	26	26	3	75	27	53	40	92	5	35	10	9.5	32	1575	105
27	3	75	27	27	3	76	28	54	38	93	4	36	9	10	36	1650	110
28	3	76	28	28	3	77	29	55	36	94	4	37	8	10.5	42	1725	115
29	4	77	29	29	4	78	31	56	34	95	4	38	7	11	56	1800	120
30	4	78	31	30	4	79	32	57	32	96	4	39	6	11.5	67	1875	125
31	4	79	32	31	4	80	34	58	30	97	4	40	5	12	81	1950	130
32	4	80	34	32	4	81	35	59	29	98	3	41	5	12.5	97	2025	135
33	4	81	35	33	4	82	37	60	27	99	3	42	4	13	100	2100	140
34	4	82	37	34	4	83	38	61	26	100	3	43	3	13.5	117	2175	145
35	5	83	38	35	5	84	40	62	24	101	3	44	3	14	120	2250	150
36	5	84	40	36	5	85	42	63	23	102	3	45	3	14.5	138	2325	155
37	5	85	42	37	5	86	44	64	22	103	3	46	2	15	141	2400	160
38	5	87	46	38	5	87	46	65	21	104	2	47	2	15.5	159	2475	165
39	5	88	48	39	5	88	48	66	19	105	2	48	2	16	162	2550	170
40	5	89	50	40	5	89	50	67	18	106	2	49	2	16.5	180	2625	175
41	5	90	52	41	5	90	52	68	17	107	2	50	1	17	183	2700	180
42	5	91	55	42	5	91	55	69	16	108	2	51	1	17.5	201	2775	185
43	7	92	57	43	7	92	57	70	15	109	2	52	1	18	204	2850	190
44	7	93	60	44	7	93	60	71	15	110	2	53	1	18.5	222	2925	195
45	7	94	60	45	7	94	60	72	14	111	2	54	1	19	225	3000	200
46	8	95	62	46	8	95	62	73	13	112	2	55	1	19.5	243	3075	205
47	8	96	65	47	8	96	65	74	13	113	1	56	1	20	246	3150	210
48	8	97	71	48	8	97	71	75	12	114	1	57	1	20.5	264	3225	215
49	8	98	74	49	8	98	74	76	11	115	1	58	1	21	267	3300	220
50	8	99	78	50	8	99	78	77	11	116	1	59	1	21.5	285	3375	225
51	8	100	81	51	8	100	81	78	10	117	1	60	1	22	288	3450	230
52	10	101	85	52	10	101	85	79	10	118	1	61	1	22.5	306	3525	235
53	10	102	86	53	10	102	86	80	9	119	1	62	1	23	309	3600	240
54	11	103	82	54	11	103	82	81	9	120	1	63	1	23.5	327	3675	245
55	11	104	87	55	11	104	87	82	8	121	1	64	1	24	330	3750	250
56	12	105	100	56	12	105	100	83	8	122	1	65	1	24.5	348	3825	255
57	12			57	12			84	8			66	1	25	351	3900	260

表 4.2：指數公式

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

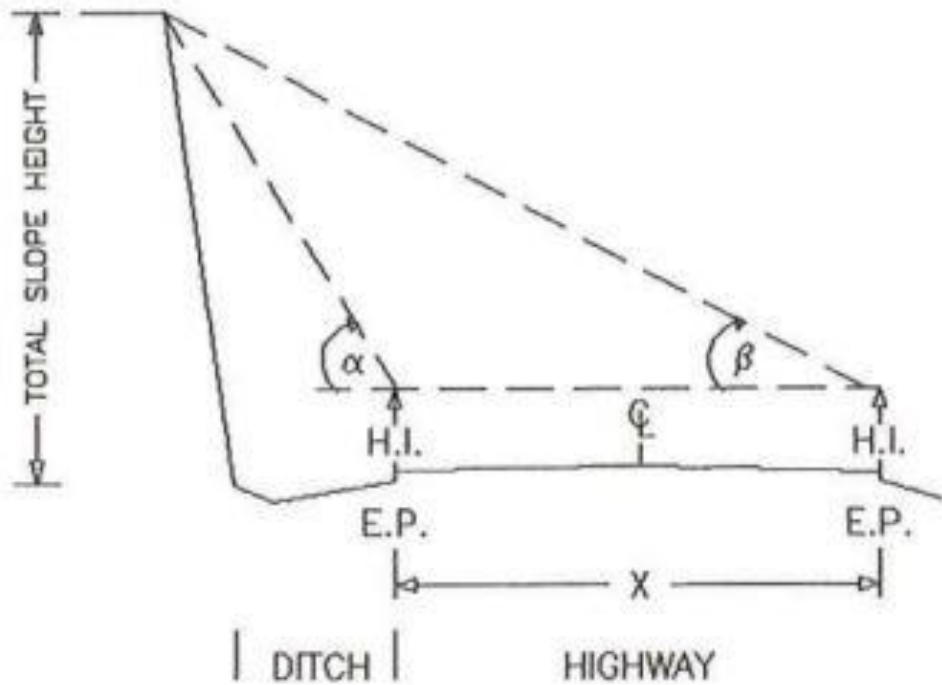


$AVRS = \frac{(ADT/24) \times \text{slope length (miles)} \times 100}{\text{speed limit}}$
Where: ADT = Average Daily Traffic



詳細評等

邊坡高度圖



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

其中：X = 角度測量間距

HI = 儀器高度

■ 邊坡高度：

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，由破壞邊坡上方的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。

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



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

■ 排水溝：

結果的可靠性明顯取決於評估者本身的經驗。

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：

- ✓ 邊坡高度和角度
- ✓ 排水溝寬度、深度和形狀
- ✓ 預計每次事件的落石量
- ✓ 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。

- **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。



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。

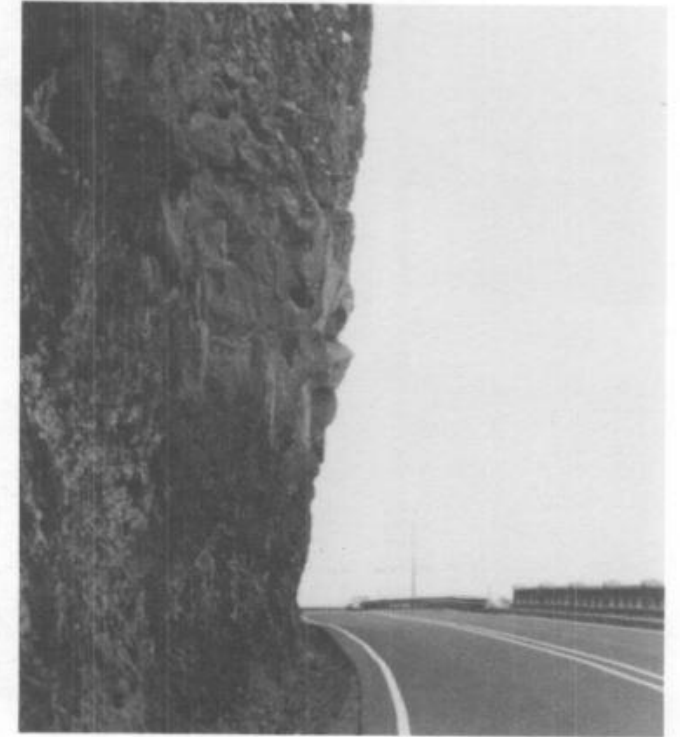


圖 5.6：此邊坡上的落石會落在道路上，排水溝無承接區。



■ 車輛平均風險(AVR)

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。

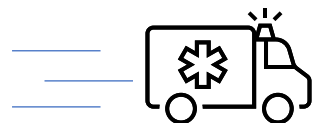
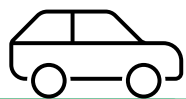
$$\frac{\text{ADT (車/日)} \times \text{邊坡長度 (哩)} / 24 \text{ (小時/日)}}{\text{速限 (哩/小時)}} \times 100\% = \text{AVR}$$

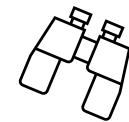
根據所建立的標準評估出這些結果：

車輛平均風險(AVR)	25%時間	50%時間	75%時間	100%時間



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。





■ 決策視距百分比

「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
---------	------------------------	-------------------	-------------------	---------------------

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

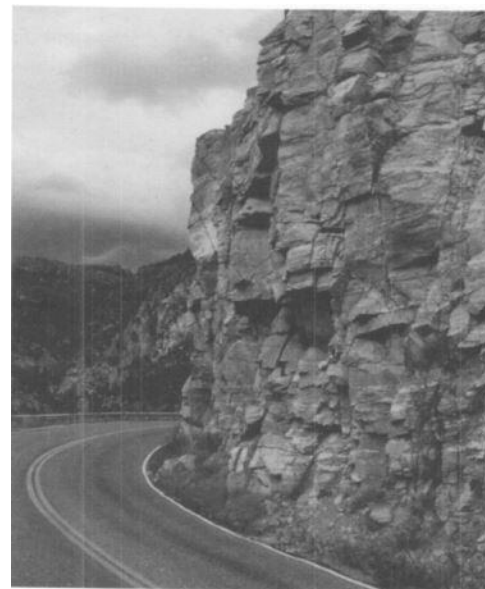


圖 5.9：前方道路可能隱藏岩石的水平曲線實例



圖 5.10：垂直曲線也可能限制視距

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



■ 道路寬度

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。

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

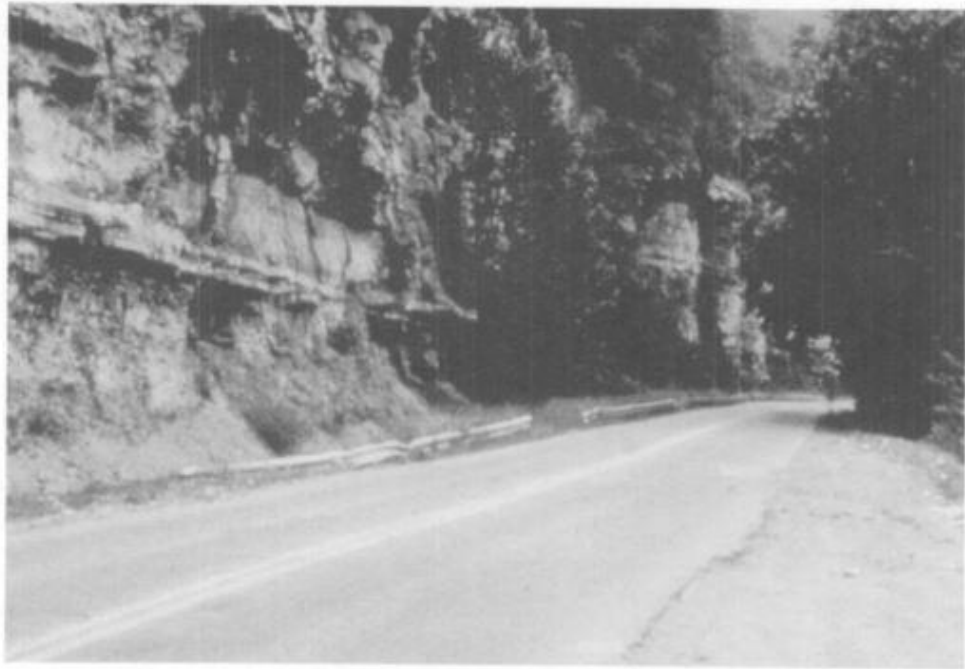


圖 5.12：僅評估鋪設表面的寬度，應注意到未鋪砌路肩的距離損失。

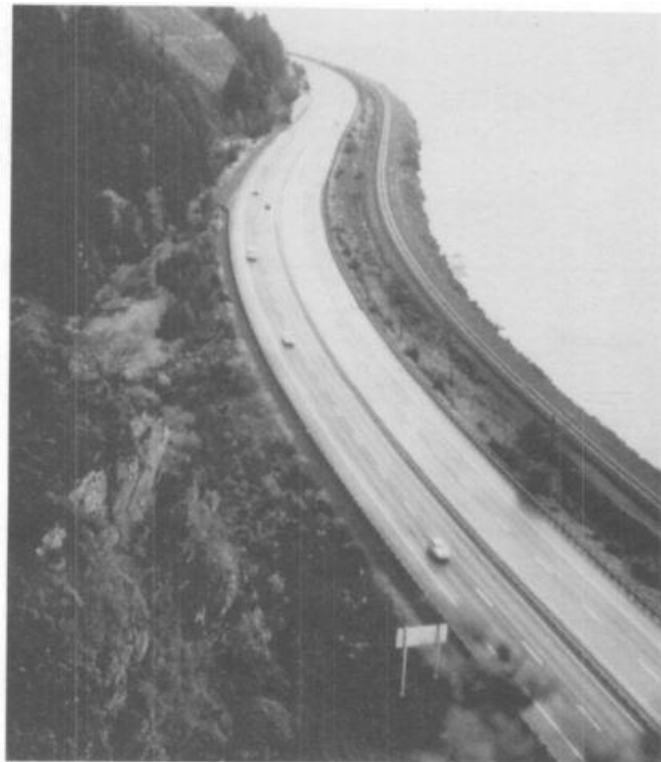
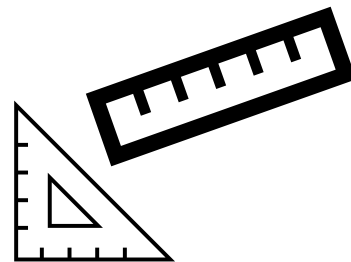


圖 5.13：在分隔的公路上，僅測量駕駛員可用的道路部份。





地質特徵

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
地質特徵	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

■ 案例1-結構條件

- 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、錯亂方向，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。

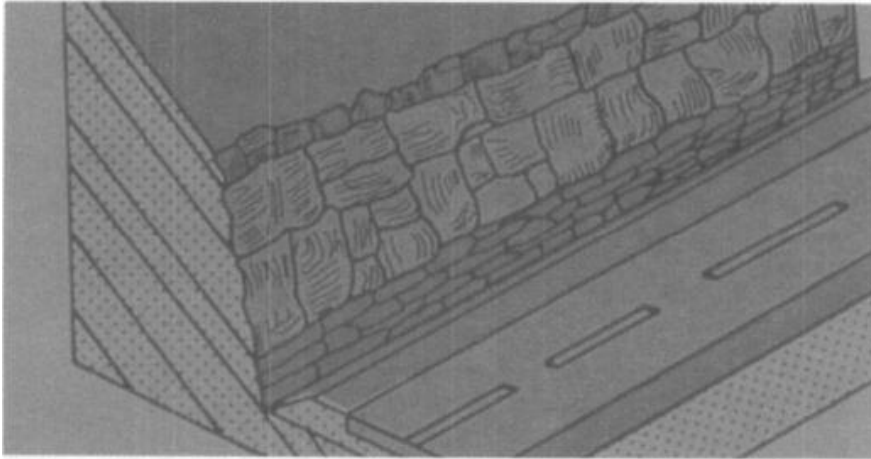


圖 5.14：地層傾向公路



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。



■ 案例1-岩石摩擦

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。

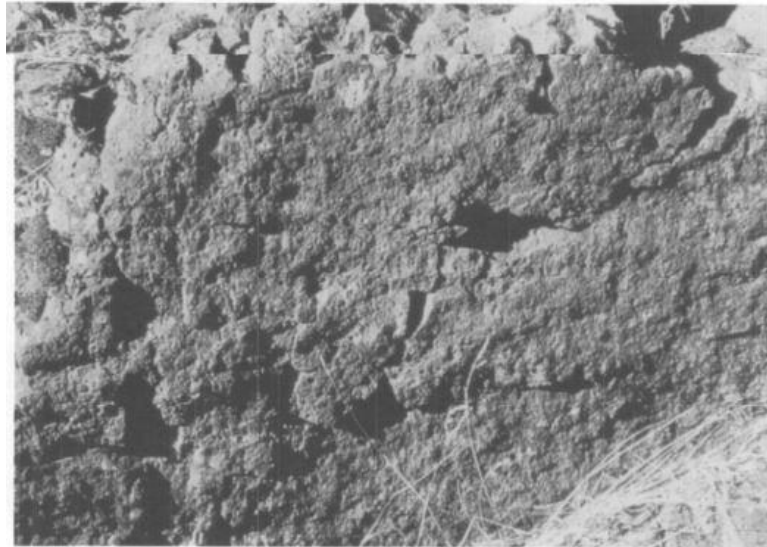


圖 5.18：不規則岩石接合，應注意到岩石曝露表面的粗糙紋理。

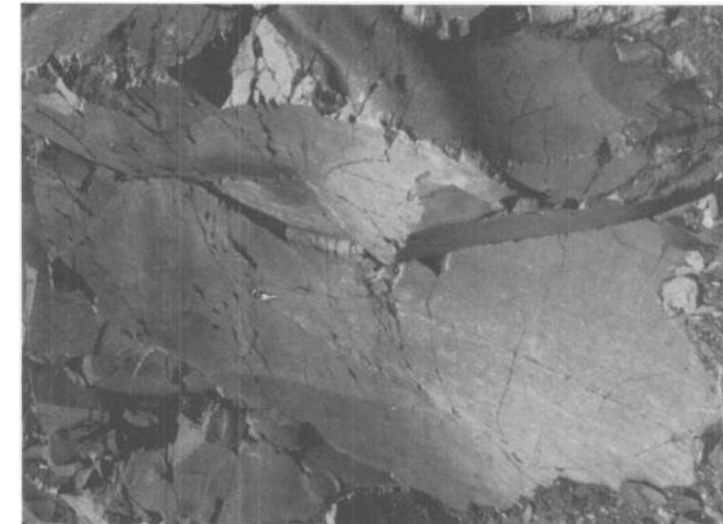


圖 5.19：曝露的波浪狀接合面



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。

■ 案例2-沖蝕率的差異

- 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。

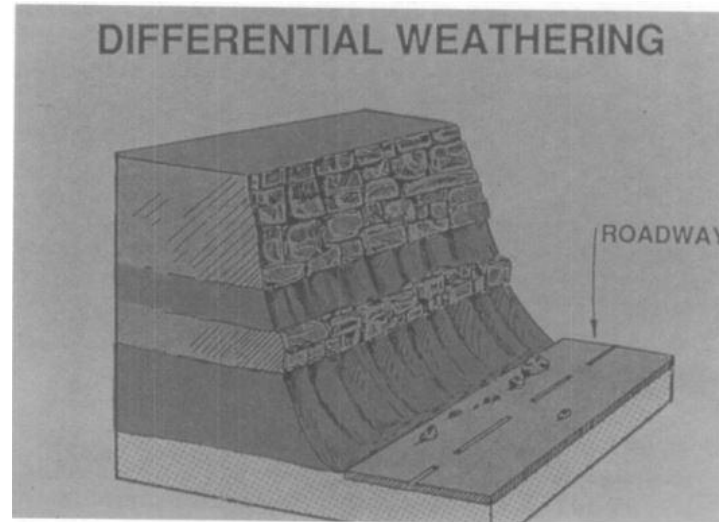


圖 5.22：差異性沖蝕造成的落石

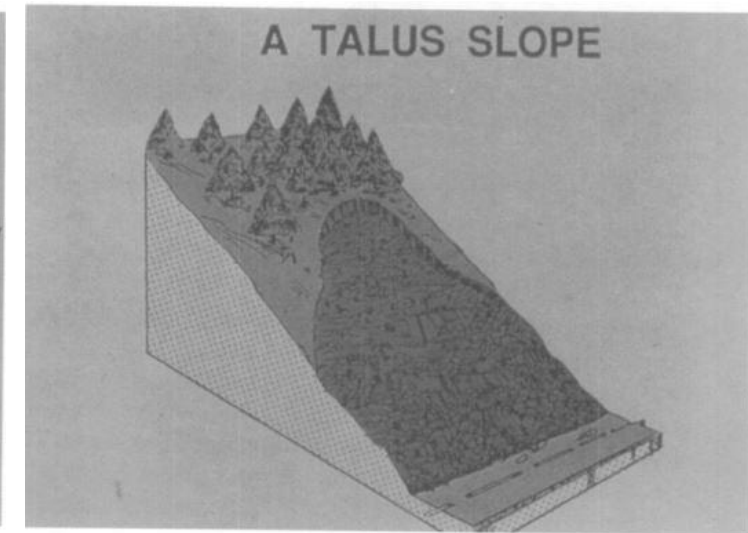


圖 5.23：案例 2 是岩屑坡面上的材質移動



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



■ 案例2-結構條件

- 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。

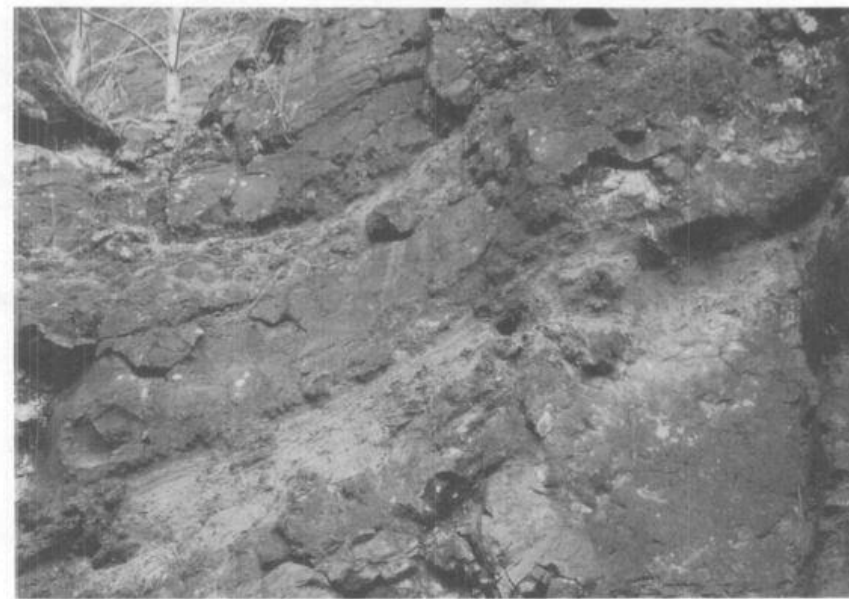


圖 5.26：與具有阻抗性的岩石相比，接縫處的土壤更容易受到沖蝕，差異明顯。

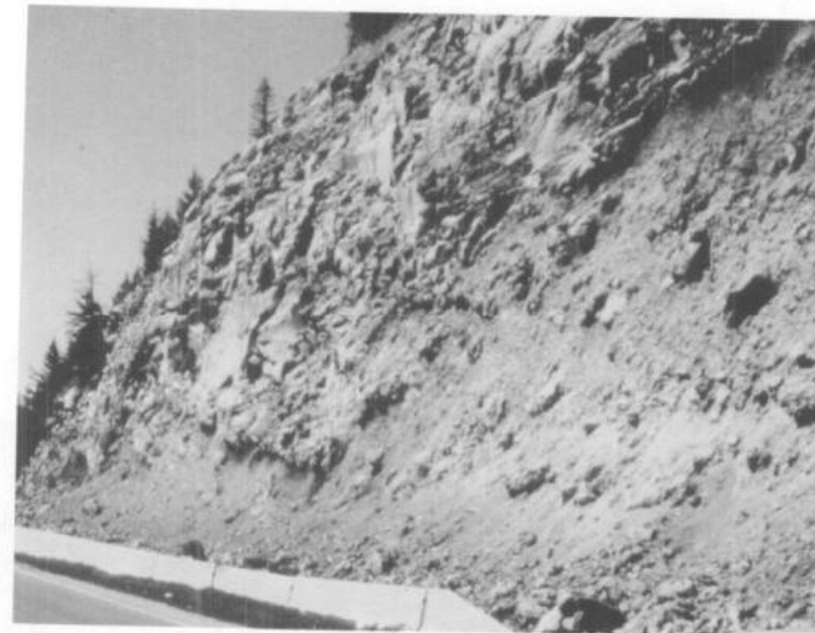


圖 5.27：邊坡底部的碎屑受到凍融循環和雨水的強烈影響，出現極端的差異。

■ 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

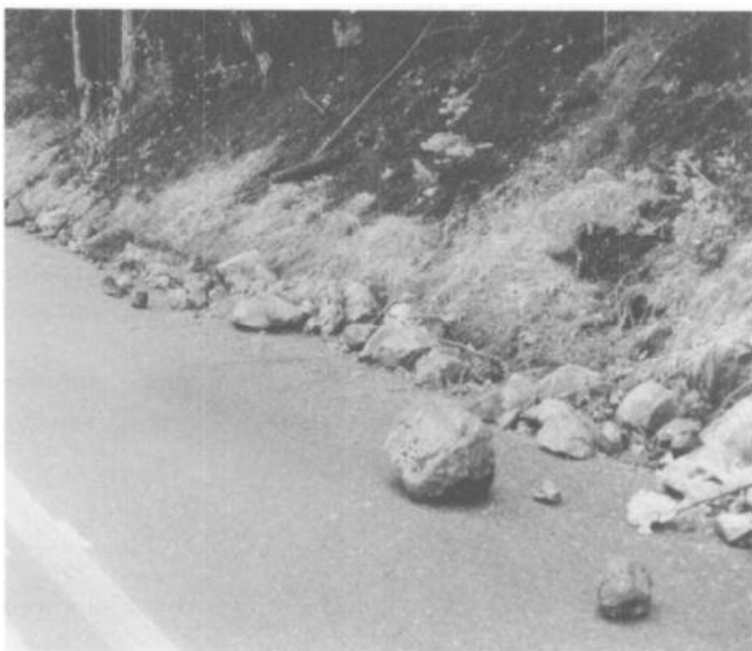


圖 5.28：以落石大小用於評估此事件



圖 5.29：可用落石大小或落石量以獲得最高得分



■ 氣候和邊坡水流

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。

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
---------	-------------------	-------------------	-------------------	----------------------



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

■ 落石歷史紀錄

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

- 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。



初步設計和成本估計

表 6.1：落石防護技術

技術	說明/目的
清理	藉由手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。

第_頁/共_頁
設計選項__

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(YMMMDD) _____
 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 _____



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。

- 評分方法
- 評比方法
- 整治方法
- 近似法





年度審查和更新



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。



參考文獻

落石危害評等系統-學員手冊，水土保持局技術研究發展小組編譯。
Research and Technology Development Team, SWCB, COA
December 2018

報告完畢
敬請指教



農業部農村發展及水土保持署
與您一起打拼