

第七章 結論與建議

7.1 結論

本計畫執行共計 21 個月，完成「國道邊坡全生命週期維護管理系統」之系統開發、功能擴充工作項目，提供高公局邊坡管理單位一套符合全生命週期管理概念的整合性工具平台，大幅協助高公局進行國道邊坡業務執行，並提昇國道邊坡相關管理效率及能量。本計畫同時針對國道邊坡管理系統所收集資料進行加值研究分析，探討國道邊坡分級、損壞統計分析、地錨拉力衰減行為研究及國道邊坡安全性可靠度分析等研究項目，獲致良好成果。茲將本計畫執行成果及結論說明如下。

1. 國道邊坡基本資料及各項維護管理資料建立

本計畫開發「國道邊坡全生命週期維護管理系統」，將國道邊坡進行系統化管理，透過資訊系統管理方式達成以下幾項成果：

(1) 標準化邊坡單元列管機制

以邊坡編碼原則，定義各列管邊坡單元，期藉由標準化之規範，可明確管理各項與邊坡相關資料，以利後續查詢、統計及分析之用。系統功能以業務導向區分不同管理模組，包含基本資料管理、規設新建資料管理、監測資料管理、巡查資料管理、養護資料管理等各生命週期階段之資料收納，屬於橫向之資訊化管理方式。

(2) 邊坡全生命週期完整履歷

藉由以上邊坡標準化單元之建立，可將搜整之邊坡相關生命週期資料，以邊坡為單元檢視所有彙整之生命週期完整履歷，包含基本資料、規設新建資料、巡查紀錄、養護資料、相關文件等，可提供管理者清楚檢視所有與該邊坡相關之資料，屬縱向之資訊化管理方式。

(3) 整合養護手冊巡查流程與機制

第一版巡查維護介面於 101 年 1 月 1 日上線使用，後配合高公局「國道邊坡評估分級與地錨定量分級第 2 次研商會議結論」，調整養護手冊所列表 5-1 至表 5-4 之巡查表格，以新版取代之；系統亦配合調整所有巡查維護模組、相關聯之養護整修模組、待辦事項、綜合查詢等連動模組，並於 101 年 3 月 5 日（中華民國 101 年 2 月 6 日工字第 1016000787 號函）前已完成線上輸入介面及所有相關連動模組修正。新版巡查流程可透過系統輸入巡查結果，並依據巡查分級規則由系統自動計算出該次巡查結果分級，巡查對象包含植生護坡擋土設施及地錨巡查兩類；舊版之巡查資料仍保存於系統中，可提供進行新舊版巡查資料查詢。

(4) 自動化監測、圖形化管理

本計畫配合高公局自動化監測儀器設置，訂定自動化監測介接規範，透過標準化之資料規格與傳輸方式，由發送端依據標準定期產製自動化監測標準化資料，並由本系統接收端透過使用者定義之頻率與位置，自動擷取自動化監測發送端之觀測資料，經由解譯後轉入資料庫成為自動化監測數值，可節省各單位自行開發自動化監測查詢介面之成本，並可統一於本系統進行查詢與管理，並可配合多元通報機制發送相關警戒訊息。

系統介面透過圖形化方式，提供清楚之圖示讓使用者瞭解各監測儀器之監測狀況，以圖形及顏色區分是否異常，提供直覺式之圖形化管理。

(5) 即時提供最新整體列管資訊

本計畫提供資訊化管理介面收納邊坡相關資料，並可透過系統直接產製各項列管邊坡統計資訊，包含列管邊坡分級數量統計、監測儀器數量統計、缺失統計等整體資訊，管理者可快速瞭解全國列管邊坡狀況。

(6) 地理資訊圖台空間管理

配合地理資訊系統之建立，建立各邊坡概略位置點位資料，提供點線面等繪製功能，強化邊坡位置描述方式；另外巡查異常點位亦可透過圖台方式進行點選，以提供巡查及養護人員更明確瞭解各項異常發生位置，透過地理資訊圖台空間化管理，擴充邊坡管理之面向。

2. 邊坡分級及安全評估機制建立

(1) 國道邊坡分級評估

- A、高公局現行之邊坡分級方法，具有可行性高，具代表性之優點。若與其它國家的分級方法比較，國外大多以邊坡的詳細地質、地形等資料，推估未來發生災害之可能性大小，學理上之合理性充足，但需要大量之鑽探等工作，才能取得資料。而高公局現行分級方法主要參考邊坡巡查、邊坡監測及地錨檢測三大項目之結果，內容均為邊坡現況的直接檢查資料，故同樣具有代表性，且無需進行大量鑽探等調查，可行性高。
- B、現行之邊坡分級流程，以及邊坡巡查檢查表，經本計畫深入探討，仍有許多進一步調整之空間。例如邊坡巡查檢查表中的各項目，經重新調整歸納後，分類為五大類，各有不同之重要性及意義，在邊坡分級流程中，不同大類之項目，給予不同程度之考量，相當於給予不同權重，使分級結果更能適當反映出邊坡應治理之優先順序。此外，邊坡巡查表的描述，也儘可能設定定量標準，以利檢查人員客觀評估，降低主觀影響。
- C、本計畫於現有之邊坡巡查資料中，抽樣 317 筆資料，套用調整過後之邊坡分級方法，分級結果有部份維持原等級，半數以上結果為降級（下降至較安全之等級）。主要原因為本計畫的分級方法，將「即使發生災害，

對於人車或道路亦不致於造成影響」的邊坡，評估為較安全之等級，使得危害度較高的邊坡，能確實透過分級結果突顯出來。總結本計畫邊坡分級方法之優點，在於加強分級的合理性，提升鑑別度，且可行性更佳，建議可用於未來高公局邊坡分級方法。

(2) 損壞歷史統計分析

由國道邊坡人為設施損害統計數據分析，可以得知邊坡各類人為設施之結構使用年限平均值。由於現階段之常態分佈曲線，是取自現有數據所求出之平均值及標準差，而做出預測之常態分佈曲線，此一曲線並非實際之現況，而只是現階段資料的推估，所以此曲線必會隨著數據的增加而重新調整。此外，邊坡巡檢資料之上傳保存於近年來才受到重視，為了要使統計數據更為準確以及確保其推論之合理性，因此本節特別選用實際使用年限 20 年以內之資料，應該可以提高整體數據之可信度。

從 20 年以內之損壞統計資料常態分佈曲線中，我們可以得知以下兩個論點：

- A、本研究第一種統計論點的依據，是指當資料非常充足之情況下，可以假設推論其會呈現一常態分布曲線，由此可知其損壞年限之百分比集中在哪一段年限區間。如以擋土 20 年內之數據來說，可以得知在區間 -1σ 到 $+1\sigma$ 之相對應年限為 12.6~15.9 年，意謂在 12.6~15.9 年這其間，總共達到 68.27% 之擋土設施損壞。
- B、本研究亦提出第二種論點，針各項設施從建造日期至某一年限之累積損壞百分比來探討此次統計之結果。我們將所分析出的各類別結構使用年限，以常態分布曲線累計面積之概念，可推論其從建造年份達到某一年份時，損壞之累積值達到多少百分比，由此便可以很明顯看出擋土、地錨、護坡、排水，在每一階段年限共損壞了多少，詳細之數據請參見第 4.2 節。由統計結果可以看出擋土、地錨、護坡、排水分別在 12.6、11.4、10.7、13.5 年時有 15.87% 損壞，而在 15.9、15.1、14.5、18 年時有 84.13% 損壞。

本計畫所提常態分佈曲線，在巡查資料越來越充份的情況下，可持續修正以符合高公局人為設施使用年限現況。

本研究採用之地工數值分析程式為：PLAXIS、SLOPE/W、及 STABL 三種，經由上述三種地工數值軟體，分析國道邊坡穩定性結果比較，可以得到幾點結論如下：

- A、以有限元素法分析時劃分的網格大小會影響其精確度，網格越小其模擬結果將越精準。
- B、以有限元素法分析地錨時，須在邊坡上加上基板，防止表面土壤受地錨拉力而遭破壞。
- C、有限元素法與極限平衡法最大的區別為，有限元素法會考慮材料變形，極限平衡法則否。

- D、以 PLAXIS 進行分析時，若遇到土層過小如弱面，會導致劃分網格時，元素過於扁長，將導致計算時誤差加大。所以建議在分析時可先將弱面加後，使網格劃分時能較為平均。
- E、以 PLAXIS 進行分析時，邊界條件設定需要足夠遠，否則破壞面將會被邊界限制，導致結果誤差加大。
- F、以 SLOPE/W 及 STABL 進行分析時，因其破壞面選定的不同，會對分析結果有所影響。
- G、經由地工數值分析程式，可對各類型邊坡損壞之發生機制與發生原因等進行模擬。本研究對國道維護時可能發生之邊坡滑動崩塌之大地工程災害問題，期能進行至可討論其破壞機制、原因、及徵兆。

(3) 養護頻率分析

- A、本研究分析北工處（木柵段和關西段）、中工處（大甲段、苗栗段與南投段）、南工處（白河段和屏東段）等工務段之國道各邊坡地錨總體檢報告，分析之檢測工作項目包括：(1) 地錨邊坡檢視記錄 (2) 地錨錨頭保護座外觀檢視紀錄 (3) 錨頭組件檢視紀錄 (4) 錨頭組件細部檢視紀錄-內視鏡 (5) 地錨之現況殘餘荷重檢視紀錄（揚起試驗），分析結果顯示各檢測項目之間並不具備明顯的相關性，並且前 4 項的結果和第 5 項揚起試驗地錨殘餘荷重大小關聯性很低。
- B、地錨殘餘荷重大小很可能會影響邊坡的穩定性，因此建立地錨殘餘荷重隨時間衰減的趨勢，是工程實務上相當有價值的工作。本研究統計分析了北工處（木柵段和關西段）、中工處（大甲段、苗栗段與南投段）、南工處（白河段和屏東段）等工務段實施揚起試驗的地錨，透過地錨篩選準則：(1) 剔除 $R = 0$ 且同時為分級 X 級或銹蝕斷裂或錨碇段拉脫的資料點、(2) 剔除無法計算 R 值的資料點、(3) 剔除 $R > 1$ 的資料點、(4) 該邊坡地錨剔除比例 $> 50\%$ 則整面邊坡地錨視為全面無效。最後本研究採用 655 筆地錨資料，雖然這些資料已經透過嚴謹的篩選準則，剔除不合適的資料，整體而言資料點還是相當分散，總的來說，國道邊坡地錨拉力隨時間衰減的行為相當明顯，並且在同一個時間點地錨拉力衰減的比值其範圍也相當廣，呈現高度的變異性。
- C、上述資料經統計分析建立一條地錨拉力衰減趨勢線 ($R = 0.001t^2 - 0.05t + 1$)，其中 t 表示時間、 R 表示拉力比值 ($\text{ratio} = T_r/T_w$)、 T_r 是揚起試驗的地錨殘餘荷重、 T_w 是地錨當初的設計荷重。
- D、本研究後續運用所建立之地錨拉力衰減趨勢線，以國道 3 號北上 138k+622 至 138k+802 之邊坡做為示範案例，進行隨時間變化之邊坡穩定分析，結果顯示邊坡穩定安全係數會隨著地錨拉力衰減而逐漸降低，透過設定不同的地震情境和使用年限，地錨拉力衰減趨勢線便可用來分析邊坡長期穩定分析，提供工程師更完整的邊坡穩定評估資訊。

(4) 邊坡安全評估

- A、國3北上138k+622至138k+802平時邊坡穩定分析，極限平衡安全係數等於1.735滿足規範之要求。地震時邊坡穩定分析果，極限平衡安全係數為1.262，亦符合規範之規定。
- B、國3北上149k+000至149k+215平時邊坡穩定分析和地震時邊坡穩定分析，極限平衡安全係數分別為2.023及1.340，均符合規範之規定。
- C、國3北上150k+320至150k+585平時邊坡穩定分析和地震時邊坡穩定分析，極限平衡安全係數分別為1.698及1.110，均符合規範之規定。
- D、國3北上138k+622至138k+802材料變異係數等於7%時之平時邊坡可靠度分析結果顯示平時邊坡之破壞機率為0.0%。國3北上138k+622至138k+802地震時邊坡破壞機率分析(COV=7%)，邊坡破壞機率亦為0.0%。當材料變異係數數COV=20%時之平時及地震時之邊坡破壞機率分析，邊坡破機率分別為0.25%及6.75%。
- E、國3北上149k+000至149k+215材料變異係數等於7%時之平時邊坡可靠度分析結果顯示平時邊坡之破壞機率為0.0%。國3北上149k+000至149k+215地震時邊坡破壞機率分析(COV=7%)，邊坡破壞機率為0.05%。當材料變異係數數COV=20%時之平時及地震時之邊坡破壞機率分析，邊坡破機率分別為0.10%及4.95%。
- F、國3北上150k+320至150k+585材料變異係數等於7%時之平時邊坡可靠度分析結果顯示平時邊坡之破壞機率為0%。國3北上150k+320至150k+585地震時邊坡破壞機率分析(COV=7%)，邊坡破壞機率為1.00%。當材料變異係數COV=20%時之平時及地震時之邊坡破壞機率分析，邊坡破機率分別為0.10%及20.35%。
- G、以國3北上138k+622至138k+802邊坡為例，當邊坡材料強度參數（凝聚力 and 摩擦角）變異性不大（COV=7%）時，不論平時或地震5年至25年的破壞機率均為0.0%，也就是說材料參數變異性不大時，邊坡相對地穩定性較高，受地錨劣化拉拔力降低的響不大。當邊坡強度參數變異性為13%時，5年至25年平時的邊坡破壞機率仍為0.0%，但地震時將有1.85%至2.65%的破壞機率。當邊坡強度參數變異性較大時（COV=20%），5年至25年邊坡破壞機率均大致為0.25%，亦即邊坡在沒有地震力作用的情況下，25年內發生破壞的機率不大。若考慮地震力作用，當邊坡強度參數變異性為20%時，邊坡破壞機率則由5年的7.20%逐漸提升至25年的8.85%。
- H、國3北上138k+622至138k+802邊坡平時的穩定度很高，即使地錨的拉拔力隨時間增加而降低，邊坡破壞的發生機率不高。但考慮地震力作用時，邊坡的破壞機率將隨時間的增加而增加，25年時將有8.85%的破壞機率。

3. 多元通報機制

本計畫透過聯絡對象與通訊技術建立多元通報機制，通報方式可分為電子郵件、簡訊及傳真 3 種方式，通報內容包含各單位待辦事項、監測資料警戒通知、特別巡查通知及自訂客製化簡訊發送通知等方式，提供快速且彈性之通訊方式，縮短資訊傳輸之過程。

4. 教育訓練

本計畫依合約規定辦理 2 階段教育訓練各 2 場，包含 1 場成果發表會，另增加釐正教育訓練，並配合「國道邊坡資訊交流平台」之開發，辦理 1 場教育訓練，參與人次共計 375 人次。

教育訓練提供國道邊坡管理系統操作手冊及實機線上操作課程，有效幫助高公局業務單位及協同廠商了解國道邊坡管理系統運作流程，有助於推動並落實全生命週期管理概念。

本計畫成果發表會邀請不同單位共同參與，會中發表本計畫成果共計 7 場演講，提供各級單位在全生命週期管理議題上交流機會，並展現高公局於邊坡管理技術及相關研究之重要成果及精進作為。

7.2 建議

1. 「國道邊坡全生命週期維護管理系統」功能擴增

(1) 配合重點列管項目調整系統管理介面

高公局現行針對列管邊坡均定期召開控管會議確認邊坡管理事項，目前「國道邊坡全生命週期維護管理系統」中針對規設新建、養護整修、監測及巡查均已有一定程度之資料蒐集，然針對如巡查業務、監測業務等發包工程，尚未納入本系統中進行控管，因此對於高公局邊坡管理之整體工程經費控管較無法掌握。本計畫建議可依據現行控管會議中所需之經費列管表進行分析，與業務單位討論後，將相關所需納入資訊系統管理之相關資訊加入本系統中，即可針對各類型工程進行年度經費之統計，可提供高公局管理單位確認每年度規劃經費、執行經費之整體情形，亦可透過完整資料之建置掌握各邊坡安全評估、監測廠商等較完整之列管資訊。

(2) 民眾版「國道邊坡全生命週期維護管理系統」

有鑑於高公局多年管理國道邊坡有成，基礎管理資訊系統已有一定架構，並已陸續收納各項邊坡相關資訊，種種基礎資料與局內政策建議可提供一般民眾瞭解，透過民眾版系統之建立，宣導高公局相關邊坡管理政策，提供用路人安全資訊，將內部管理成效公開透明化，建立民眾與公機關間之雙向交流。

(3) 加強整合「國道邊坡巡查系統」

交通部運輸研究所於 101 年度開發「國道邊坡巡查系統」，為避免資料不一致及重工等資源浪費，因此邊坡基本資料與巡查資料需與本系統進行介接，由於 101 年度僅針對植生護坡擋土設施進行巡查作業之開發，尚未整合地錨巡查作業，因此建議可針對現有植生護坡擋土設施及地錨巡查作業流程，重新檢討國道邊坡巡查系統之操作介面與流程，以整合介面簡化巡查操作流程；同時本系統亦需配合資料交換作業，已完善行動化巡查作業之整體資料流。

(4) 地質資料介接應用

今年度本計畫以示範資料開發地質剖面圖，然因中央地質調查所該地質資料網路服務尚未完整，因此建議待該功能與服務版本穩定後，可介接本計畫所需查閱之地質資料，俾利提供較完整之地質資料參考。

(5) 持續系統正常維運

為維持「國道邊坡全生命週期維護管理系統」系統正常維運，提供正常線上使用無誤，該系統必須持續軟硬體維護作業，並依據各時期之政策予以配合調整，以符合高公局邊坡管理之現況。

2. 邊坡巡查評分機制研究

- (1) 依據「巡查維護」資料庫紀錄，統計各項巡查項目低中高發生頻率，並參考缺失照片，將定性分級（低、中、高）進行初步定量分級，分別給予不同分數，並以實際缺失照片給予判定標準建議。
- (2) 採用不同定量分數組合，配合巡查紀錄及邊坡初步分級紀錄，檢核試算結果，提出最適合邊坡巡查檢查表之評分組合。
- (3) 依據資料庫巡查缺失統計結果，區分北、中、南地區巡查缺失特性，進行巡查檢查項目調整建議，以「因地制宜」概念研擬不同邊坡巡查檢查表，並討論其合理性及可行性。

3. 地錨邊坡整體功能評分機制研究

依據本局未來地錨邊坡巡查檢測方式，研擬符合本局作業之地錨邊坡功能評分方式及分級機制，並討論分級機制合理性及可行性。

4. 以品管方式進行損壞統計

依據計劃進行中所收集的巡檢資料，對各路段邊坡的各項人為措施，進行深入之統計分析，以瞭解各種人為設施之可能服務年限及導致損壞原因。配合前期研究成果，考量研析國道邊坡人為設施平日營運維護狀況，嚐試建立養護工作急迫性指標，以作為現場作業規劃之參考。

5. 未來高公局定期辦理地錨邊坡檢測之成果資料，可增補本研究所蒐集的地錨揚起試驗資料，進行地錨拉力衰減趨勢線的更新作業；若工程師認為該趨勢線可能高估地錨拉力，也可以考慮以下限值，或者推估趨勢線向下偏移一個標準差的方式來分析，則可獲得更保守的分析結果。
6. 建置國道邊坡安全性風險評估之基準值（風險值）
 - (1) 針對國道邊坡管理現況，研擬風險評估流程及方法建議。
 - (2) 以風險值觀念針對國道邊坡安全性進行評估，並依據文獻及高公局案例，建立風險基準值，導入風險評估概念，作為管理參考條件之一。
7. 擴充前期研究之邊坡穩定可靠度分析流程，導入其他不確定性因子，包括：(1) 不同地區地震規模、(2) 全球暖化下極端降雨情境、(3) 地錨拉力衰減特性、(4) 地質參數不確定性。
8. 建置國道 B 級坡以上可靠度分析資料庫

針對所有 B 級坡以上的邊坡，運用本計畫邊坡穩定可靠度分析流程，詳細進行邊坡穩定可靠度風險評估，建置國道 B 級坡以上可靠度分析資料庫，提供高公局查閱或執行進一步分析工作。
9. 運用本計畫邊坡穩定可靠度分析流程，探討養護強度（或養護頻率）的建議方式，建立邊坡養護時間點決定流程，延長擋土設施的服務年限，並保持在正常運作範圍，提供應有之安全性。