

## 第四章 邊坡分級及安全評估機制建立

### 4.1 國道邊坡分級評估

國道高速公路沿線，於施工開發後，道路兩側產生多處規模範圍不同之邊坡。為有效管理及掌握各邊坡之狀況，有必要依各邊坡之基本資料及現況，進行邊坡安全性分級，並依分級結果訂定各級管理或維護辦法。其最終目的為評估邊坡是否可能發生潛在災害，並依評估結果，考量是否須整治處理。

邊坡分級之具體做法，必須先訂定一套通用之評分及分級方法。其中各評分項目之分數高低，可經由各項調查、監測或檢測所得，而評分結果可輸入系統程式中，自動根據給定的分級原則，對所有邊坡進行分級。

本章節首先探討邊坡安全評估方法的相關文獻，比較各類方法之優缺點，並以數處國道邊坡為實際案例，代入不同的評估方法中嘗試評分，最後根據實際操作結果，提出本計畫建議之評估方法。

#### 4.1.1 文獻回顧

邊坡安全性的評分結果取決於兩項因素：評分項目以及各項目所佔之配分權重，此兩項因素將決定評分結果是否合理。目前相關文獻中，評分項目及權重的制定方式大致可分為兩類，分別為影響因子評分法及專家法。兩種方法說明如下：

##### 1. 影響因子評分法

影響因子評分法係以實際邊坡為案例，取得各種與邊坡穩定有關的影響因子資料（如坡度、岩性、植生狀況等）之後，再透過各種統計或分析方法，求得各個因子對於邊坡穩定性的影響力高低，給予配分或權重，構成一套評分模式。

此方法優點為客觀分析，可避免人為主觀因素造成的影響。且分析的實際案例越多時，可以預期建立的評分模式準確度越高。缺點為分析案例的數量不足時，分析所得的結果可能不具通用性及代表性，因此需要盡可能以大量的案例對評分模式進行「訓練」，並檢視結果，將不合理之資料去除，使模式更趨於準確。整體而言，實行上複雜度較高，需投入之研究時間較長。

以影響因子評分法建立評分模式，過程可分為兩大步驟，首先為影響因子的選擇以及取得實際資料，二為分析各個因子的權重，建立評分模式，並對此模式進行訓練。兩大步驟的相關做法說明如下。

##### (1) 影響因子之選擇及資料取得

過去國內外對於邊坡穩定影響因子的研究甚多，王熙松 (2005) 曾綜整前人研究以及國內外相關單位所考量的影響因子，整理如表4.1，結果顯示各單位對於影響因子的選擇差異性甚大。

表 4.1 邊坡穩定因子之選用比較 (王熙松 2005)

主因子	次因子	Pierson 評估方法(1992)	李德河(1991)	江晏佃(1999)	NAPHM 坡地災害調查系統	NAPHM 土石流災害調查系統
地形	坡高	✓	✓	✓		
	坡度		✓	✓	✓	✓
	地形		✓		✓	
	位置		✓		✓	
	突懸			✓		
	坡向				✓	
地質	風化性節理發達度	✓	✓	✓	✓	
	岩性				✓	✓
	岩石粗糙度	✓				
	地質原貌		✓			
	覆土層狀況				✓	
浮石	安定狀態			✓		
	形狀					
	數目					
	大小	✓				
環境	植生		✓	✓	✓	✓
	道路寬度	✓				
	落石歷史	✓				
	土地利用		✓		✓	✓
	落石溝	✓				
氣象	降雨、積雪	✓	✓	✓		
	凍結、溶解	✓				
	地下水滲出			✓		
主因子	次因子	日本一般國道 19 號(1986)	日本池田和彥等(1985)	日本塚原健男(1982)	日本高速道路(1986)	美國奧樂岡州(1990)
地形	坡高	✓		✓		✓
	坡度	✓	✓		✓	
	地形	✓			✓	
地質	風化性節理發達度	✓	✓	✓	✓	✓
	岩性	✓	✓	✓	✓	✓
	岩石粗糙度					✓
	表土	✓				
	安定狀態	✓			✓	
浮石	形狀				✓	
	數目				✓	
	大小					✓
	植生	✓	✓	✓	✓	
環境	落石坡面與水道關係	✓				
	整治設施徵兆	✓				
	落石能量	✓		✓	✓	
	防護設施	✓				
	道路寬度					✓
	落石歷史	✓			✓	✓
	集水面積	✓	✓			✓
氣象	湧水	✓	✓	✓		
	風力	✓			✓	
	降雨、積雪	✓	✓		✓	
	凍結、溶解	✓				✓
	日夜溫差	✓				
	人為活動				✓	
危害度	交通量	✓				✓

## (2) 各影響因子之權重比例

決定各個影響因子權重高低的方法，常用者有多變量分析及類神經網路等數種，過去已有許多研究(王智仁，2001；陳志豪，2002；李德河等，2004)針對不同析方法比較其優缺點，結果顯示類神經網路的分析結果在一般情況下優於其他分析方法。

林勝義(2004)以阿里山公路五彎仔地滑區為例進行研究時發現，類神經網路在部分情況下，效果較多變量分析更佳，但在影響因子與結果之關係不明顯的情況下，容易出現過度學習或分析過於複雜等情況，且在部分情況下，其誤判率高於多變量分析。上述結果顯示不同分析方法的適用時機有所差別，故應用時仍有必要視實際情況選擇分析方法。

## 2. 專家法

專家法係直接徵詢相關領域的專家意見，例如問卷調查或座談等方式，調查各專家對於邊坡安全評分項目及權重的看法，以數量化之方式作答。蒐集意見後進行統計分析，即可決定邊坡分級時考量的評分項目及權重。

專家法之優點為過程較為可行性高、所需時間較少。缺點為專家意見屬於主觀判斷，評分模式受到個人看法及經驗的影響較大。

專家法之實行過程相對於影響因子評分法較為簡單，但做法將影響調查結果的代表性，其重點如下：

### (1) 調查對象的選擇

王熙松(2005)曾以邊坡穩定性之影響因素及影響力權重為題，對於學術界、政府機關、研究單位及工程顧問公司共四個領域進行問卷調查，結果顯示不同領域的專家對於各影響因素的權重方面，看法偶有明顯差異。若以單一影響因素做比較，不同領域專家所認定的權重差異最大約可達40%。因此，問卷調查時應廣泛蒐集各界之意見，以確保統計結果不偏向任何一類領域的經驗。

### (2) 問卷內容的檢定

填答問卷者若發生筆誤，或前後想法不一致的情況，其問卷結果參考性將降低，甚至不具代表性。針對此問題，有一方法可驗證問卷內容是否有前後矛盾的現象，此方法稱為「一致性檢定」。問卷答案經此法檢定後，可得到一致性指標(Consistency Index, C.I)，若 $C.I = 0$ ，代表問卷內容前後完全一致。Saaty(1980)則建議以 $C.I \leq 0.1$ 為可接受之範圍。

### (3) 應用實例

目前國內外之邊坡評分或分級方法實例，多屬「專家法」，茲說明如下：

#### A、香港土力工程處(GEO)

香港土力工程處 (Geotechnical Engineering Office, 以下簡稱 GEO) 為香港境內各邊坡之權責單位，自 1977 年成立起，其管理方法有效使邊坡災害逐年減少，故成為各國參考對象。

探討其具體做法，GEO 於成立初期係委託專業顧問公司制定邊坡之檢查項目，並實際執行，做成「斜坡記錄冊」。由於檢查項目及分級方式係由專業公司建立，其建立方法屬於專家法。

當時對於風險的分級係以邊坡若發生崩塌時所造成的「經濟風險」及「人命風險」進行分級，因此風險等級並不代表邊坡發生災害的可能性高低，僅提供主管機關考量邊坡整治之優先順序 (香港土力工程處，2007)。1997 年，GEO 進一步將邊坡穩定之影響因素納入考量，制定一套「邊坡優先分類系統 (The New Priority Classification Systems for Slopes and Retaining Walls, NPCS)」(Wong, 1997)，此方法用於評比各邊坡進行整治的優先順序，其評分公式如下：

$$T.S = (I.S \times C.S) / 100 \quad (4.1)$$

其中：

*I.S*：Instability score，不穩定因子評分（與邊坡穩定性有關）

*C.S*：Consequence score，風險因子評分（與保全對象有關）

*T.S*：總分

*I.S.* 值越高，代表邊坡本身發生災害之可能性及規模越大；*C.S.* 值越高，代表邊坡發生災害時，可能造成的經濟及生命損失越大。若無任何保全對象，則 *C.S.* 值等於 0。

*I.S* 及 *C.S* 所考慮的評分項目及配分方式，隨邊坡類型有所不同，主要分為四種類型，包括土壤挖方邊坡、岩石挖方邊坡、填方邊坡及擋土牆。如以岩石挖方邊坡為例，*I.S* 及 *C.S* 的評分計算公式如下：

$$\begin{aligned} I.S. &= (A1 + A2) + B \times (C1 + C2 + C3 + D1 + D2) + (E1 + E2) + (EJ) \\ C.S &= K(F + G)H \times V \end{aligned} \quad (4.2)$$

公式中，所有符號所代表之意義及給分範圍，大致整理如表 4.2 及 4.3，完整之 NPCS 系統對於四種類型邊坡的評分表及建議給分方式，如附件八所示。

表 4.2 岩石挖方邊坡之 *I.S* 評分項目 (Wong, 1997)

影響因子類型	參考的因子	分數範圍
A. 邊坡幾何條件	A1. 坡高 A2. 坡度 A3. 坡頂集中荷重分布情形	10~40 10~40 人為判斷
B. 破壞模式	B1. 落石 B2. 傾倒 B3. 平面破壞 B4. 楔型破壞	0~3 0~3 0~5 0~4
C. 岩體狀況	C1. 不連續面間距 C2. 不連續面之粗糙度及滲流情形 C3. 不連續面的延伸性 C4. 岩性及任何構造、弱面	0~30 0~50 0~30 人為判斷
D. 水流	D1. 坡面排水狀況 D2. 岩體不連續面之間的滲流狀況	0~15 0~15
E. 異常徵兆或災害歷史	E1. 地表異常徵兆 E2. 災害歷史	0~30 0~40
EJ. 工程判斷	EJ. 人為判斷邊坡破壞可能性	0~30

表 4.3 岩石挖方邊坡之 *C.S* 評分項目 (Wong, 1997)

影響因子類型	參考的因子	分數範圍
F. 位於坡頂的設施	F1. 設施的類型 F2. 坡頂與設施間的距離	0.1~4 人為判斷
G. 位於坡趾的設施	G1. 設施的類型 G2. 坡趾與設施間的距離	0.1~4 人為判斷
J. 上下邊坡之地形	上下邊坡坡度	0~1.5
K. 可能災害規模大小	可能發生破壞的塊體體積	0.1~1.0
V. 風險係數	人為判斷	1.0~1.25

## B、日本道路協會

日本道路協會於「道路土工-切土工·斜面安定工指針」(2009)中提出，針對不同邊坡災損型態（分別為落石與崩壞、岩盤崩壞、地滑、土石流等四種），提出不同的防災巡檢調查表格，以「地滑」災害為例，其調查表格如圖4.1所示，調查表格內容主要分為三個部分：

### a. 基本資料

- 地滑區地形
- 地質（地質構造、岩性及地下水狀況）

### b. 現況

- 災害歷史
- 地表徵兆



### c. 已採整治作為之功效

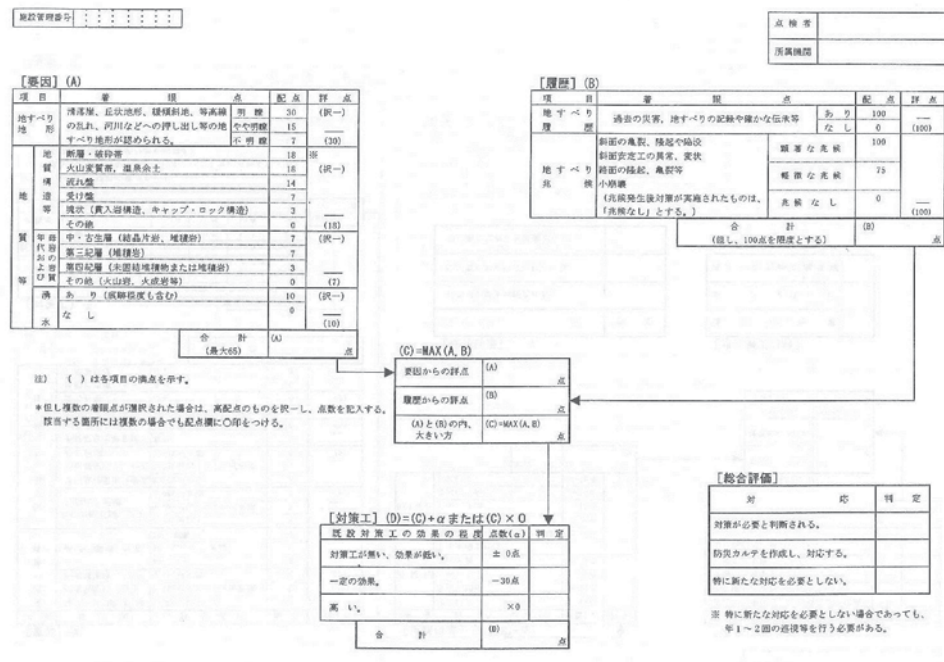


圖 4.1 日本道路協會地滑安定度調査表

各調查項目有其評分及權重，經各項評分加總後，判定該地滑區之安全性，以決定後續之處理對策，作為道路維護作為之參考。

### C、交通部公路總局

交通部公路總局為篩選公路順向坡養護優先順序，於「公路順向坡檢測制度研究」(李維峰等，2011)中，採以一般工程師容易上手填寫之表格評分方式進行風險評估，主要分為二個階段。

第一階段為「環境基本條件評分」，由基層人員執行，評估項目主要有10項（如表4.4），各項目均分為四個等級，分別給予3、9、27、81四種不同分數，加總後得其總分，總分分為三個評分等級，總分越高者代表其風險越高（如表4.5），其中評分等級為III者，代表邊坡已有不穩定徵兆，需進行「整治需求評分」，以決定其整治需求強度。

表 4.4 公路順向坡環境基本條件評分表 (李維峰等，2011)

	3 分	9 分	27 分	81 分
坡度 $D(^{\circ})$ 及坡趾層面出露	$D < 15^{\circ}$ 且坡趾層面無出露	$D < 15^{\circ}$ 且坡趾層面出露 或 $15^{\circ} \leq D < 30^{\circ}$ 且坡趾層面無出露	$15^{\circ} \leq D < 30^{\circ}$ 且坡趾層面出露 或 $D \geq 30^{\circ}$ 且坡趾層面無出露	$D \geq 30^{\circ}$ 且坡趾層面出露
地面水、地下水滲流狀況	坡面無地下水滲流	坡面有少量地下水滲流	坡面有大量地下水滲流	地面水逕流
植被覆蓋程度	植被密集(植被面積 $\geq 80\%$ )	植被中等( $30\% \leq$ 植被面積 $< 80\%$ )	植被稀疏( $10\% \leq$ 植被面積 $< 30\%$ )	無植被(植被面積 $< 10\%$ )
河(海)岸侵蝕	無河(海)流經過	-	有河(海)流經過，無侵蝕現象	有河(海)流經過，且具河岸侵蝕現象
危險徵兆	無	1 個	2 個	3 個以上
防治工法異常狀況	無	1 個	2 個	3 個以上
排水工法異常狀況	無	1 個	2 個	3 個以上
*年平均崩塌次數 $N(\text{次})$	$N < 1/4$	$1/4 \leq N < 3/4$	$3/4 \leq N < 5/4$	$N \geq 5/4$
*年平均崩塌規模 $V(\text{m}^3)$	$A < 100$	$100 \leq A < 500$	$500 \leq A < 2000$	$A \geq 2000$
*道路交通流量 PCU	$\text{PCU} \leq 5000$	$5000 \leq \text{PCU} < 10000$	$10000 \leq \text{PCU} < 15000$	$\text{PCU} \geq 15,000$

表 4.5 公路順向坡環境基本條件處理對策建議表 (李維峰等，2011)

評分等級	環境基本條件評分值 A	處理對策建議
I	$A < 50$	邊坡穩定現況良好，建議僅需定期進行檢測工作。
II	$50 \leq A < 200$	邊坡稍有不穩定之徵兆，建議進行一般性之修復、補強工作，並列入詳細檢測對象。
III	$A \geq 200$	邊坡已有不穩定之徵兆，原有整治工法可能已喪失功效，即刻進行詳細檢測，並進行「公路順向坡整治需求評分」。

第二階段為「整治需求評分」，此部分由專業工程人員執行，評估項目依主要可能採取之整治工法類型不同，分為「穩定工法需求評分表」及「排水工法需求評分表」二部分，如表4.6及表4.7所示。最後將「環境基本條件評分」、「穩定工法需求評分表」、「排水工法需求評分表」等三項評分加總，依表4.8之分級方式，將順向坡之處理對策等級分為三級，以供後續整治優先順序篩選之參考。

表 4.6 公路順向坡穩定工法需求評分表 (李維峰等，2011)

評分項目	3 分	9 分	27 分	81 分
順向坡與道路夾角( $\alpha$ )	$\alpha=0$	$0<\alpha<40^{\circ}$	$40^{\circ}\leq\alpha<70^{\circ}$	$\alpha\geq 70^{\circ}$
順向坡層面傾角( $\theta$ )	$0\leq\theta<5^{\circ}$	$5^{\circ}\leq\theta<10^{\circ}$	$10^{\circ}\leq\theta<20^{\circ}$	$\theta\geq 20^{\circ}$
邊趾開挖(H)	無	少量 ( $H<1m$ )	中等 ( $1m\leq H<3m$ )	大量 ( $H\geq 3m$ )
坡面風化程度	無 (新鮮岩石)	輕微 (輕度風化岩石)	中等 (中等風化岩石)	大量 (高度風化岩石或完全風化之殘留土)
穩定工法整治現況	功能尚可	局部損壞	功能喪失	無穩定整治工法

表 4.7 公路順向坡排水工法需求評分表 (李維峰等，2011)

評分項目	3 分	9 分	27 分	81 分
邊坡植被情形	坡面植被良好	坡面有輕微冲刷情形	坡面無植被保護	坡面冲刷嚴重，有明顯冲刷溝
層面排水狀況	良好	好	普通	差
坡面地下水滲流情形	坡面無地下水滲流	降雨時坡面有少量地下水滲流	降雨時坡面有大量地下水滲流	平時有地下水滲出
豪大雨時之排水狀況	狀況良好，降雨可透過排水工法確實排除	降雨時偶有排水斷面滿管之現象	降雨時有部分水量溢流至路面	降雨時有大量水量溢流至路面
排水工法設置現況	內外排水工法皆有，功能良好	僅有內部排水工法，部分阻塞	僅有表面排水工法，部分阻塞	無排水工法

表 4.8 公路順向坡整治需求處理對策表 (李維峰等，2011)

評分等級	整治需求評分值		處理對策建議
	穩定工法 A+B	排水工法 A+C	
III a	$A+B<350$	$A+C<350$	邊坡稍有不穩定之徵兆，建議進行一般性之修復、補強工作
III b	$350\leq A+B<550$	$350\leq A+C<550$	邊坡稍有不穩定之徵兆，除修復補強工作外，應進行現場監測工作。
III c	$A+B\geq 550$	$A+C\geq 550$	邊坡已有不穩定之徵兆，原有整治工法可能已喪失功效，建議進行緊急搶修工作。



#### 4.1.2 高速公路局現有邊坡評分方式

高公局於民國 100 年修訂之「高速公路養護手冊」第五章中，對於路基及邊坡，依據其需處理程度予以分級，共分為 A、B、C、D 四個等級（第 5.3 節），各邊坡等級之處理敘述如下：

**A 級坡：** 邊坡有明顯不穩定徵兆，需密切觀察並採取必要措施。

**B 級坡：** 邊坡發現有些許疑似不穩定徵兆，需加強觀察。

**C 級坡：** 邊坡無明顯不穩定徵兆，僅需進行一般定期觀察。

**D 級坡：** 邊坡處於穩定狀況，僅需安排定期檢測。

此分級依據僅有定性描述，尚缺乏定量之評估基準。然而「高速公路養護手冊」中，已訂定邊坡巡查作業檢查表（如表4.9所示），不失為一可行方法。

表 4.9 高公局「養護手冊」之邊坡巡查檢查表（101 年 2 月）

表 5-1 邊坡 ☐ 定期 ☐ 特別巡查檢查表(1/2)

國道編號：

日期： 年 月 日 時 分 天氣狀況(晴/陰/雨)：

養護單位							
檢查位置		里 程：		<input type="checkbox"/> 北上(西向)、 <input type="checkbox"/> 南下(東向)			
現場 狀 況	地質狀況	<input type="checkbox"/> 土層邊坡 <input type="checkbox"/> 岩層邊坡 <input type="checkbox"/> 礫石層邊坡 <input type="checkbox"/> 其他地質，說明：					
	邊坡形狀	坡 高	公 尺	坡度(坡距比)		邊坡面寬	公 尺
	地下水狀況	排 水	<input type="checkbox"/> 乾燥 <input type="checkbox"/> 濕潤	湧 水 位 置		湧 水 量	約 公升/分
		湧 水	<input type="checkbox"/> 表面水 <input type="checkbox"/> 湧水	湧水之地質狀況			
	排(洩)水管	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 阻塞					
監 測 系 統		<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有，項目說明：					
監 測 情 形		<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有： <input type="checkbox"/> 自行量測 <input type="checkbox"/> 委外量測		監 測 頻 率 <input type="checkbox"/> 每月 <input type="checkbox"/> 每季 <input type="checkbox"/> 每半年 <input type="checkbox"/> 每年 <input type="checkbox"/> 其他			
災 害 歷 史		以往災害 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有		鄰近災害 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有，說明：			
邊 坡 類 別		<input type="checkbox"/> 植生邊坡 <input type="checkbox"/> 護坡 <input type="checkbox"/> 擋土設施					
巡 查 項 目		影 響 程 度 評 估					
		低		中		高	
1. 坡頂出現明顯解壓(張)裂縫與凹陷		<input type="checkbox"/> 無明顯裂縫		<input type="checkbox"/> 有差異沉陷產生		<input type="checkbox"/> 明顯裂縫或凹陷	
2. 鄰近道路路面出現龜裂或局部陷落		<input type="checkbox"/> 路面無異常現象		<input type="checkbox"/> 路面張力裂縫不大，無陷落		<input type="checkbox"/> 路面出現陷落或隆起	
3. 邊坡裂縫、突出、坍塌；設施空洞		<input type="checkbox"/> 無明顯裂縫或坍塌		<input type="checkbox"/> 輕微裂縫或僅有小坍塌發生		<input type="checkbox"/> 明顯裂縫或有大坍塌	
4. 設施變形；設施擠(鼓)出、隆起、鬆動		<input type="checkbox"/> 無龜裂變形或僅表層龜裂		<input type="checkbox"/> 有明顯裂縫但無傾斜外凸		<input type="checkbox"/> 顯傾斜或外凸	
5. 設施混凝土表面剝落；設施鋼筋暴露、銹蝕		<input type="checkbox"/> 無或少數僅發生於上部位置		<input type="checkbox"/> 發生於中間位置		<input type="checkbox"/> 多處有損壞或發生於下部位置	
6. 設施本體結構損壞；設施基礎損壞		<input type="checkbox"/> 無損壞現象		<input type="checkbox"/> 本體結構部分損壞		<input type="checkbox"/> 本體結構或基礎損壞嚴重	
7. 設施結構之整體沉陷、移動		<input type="checkbox"/> 無整體沉陷移動		<input type="checkbox"/> 輕微整體沉陷移動		<input type="checkbox"/> 明顯整體沉陷移動	
8. 邊坡發現深層滑動現象		<input type="checkbox"/> 無深層滑動現象		<input type="checkbox"/> 輕微深層滑動現象		<input type="checkbox"/> 明顯深層滑動現象	
9. 地(岩)錨錨頭脫落、變形或銹蝕		<input type="checkbox"/> 無脫落、變形或銹蝕現象		<input type="checkbox"/> 少數錨頭變形、銹蝕與脫落		<input type="checkbox"/> 錨頭脫落情形普遍	
10. 邊坡風險危害程度		<input type="checkbox"/> 無滑動潛勢，對生命及經濟損失無影響		<input type="checkbox"/> 淺層滑動，影響範圍僅至路肩邊溝，對生命及經濟損失影響輕微		<input type="checkbox"/> 滑動體或掉落物影響用路人安全及主線車輛通行，對生命及經濟損失影響性高	
11. 邊坡地層位態		<input type="checkbox"/> 斜交或逆向坡		<input type="checkbox"/> 順向坡、滑動面未出露		<input type="checkbox"/> 順向坡、滑動面出露	
12. 邊坡樹木傾倒、雜草異常茂盛		<input type="checkbox"/> 無傾倒或目視不明顯		<input type="checkbox"/> 現象輕微		<input type="checkbox"/> 多處有傾倒或明顯異於周邊	
13. 邊坡崩落；邊坡鬆動浮石、滾石		<input type="checkbox"/> 無崩土、泥流、落石或土石堆現象發生		<input type="checkbox"/> 僅小部分表土崩落且目視判斷無危及邊坡整體穩定		<input type="checkbox"/> 明顯出現崩土、泥流、落石或土石堆現象	
14. 邊坡坡頂與坡面截水、排水設施現況		<input type="checkbox"/> 無龜裂或僅局部淤積		<input type="checkbox"/> 排水不良且有積水現象		<input type="checkbox"/> 排水溝龜裂導致排水流失或土壤沖蝕現象	
15. 邊坡湧水；設施排水、湧水		<input type="checkbox"/> 從既設洩水孔或水平排水管出水		<input type="checkbox"/> 非從既設洩水孔或水平排水管出水		<input type="checkbox"/> 夾雜有泥沙出水	
16. 設施裂縫、龜裂		<input type="checkbox"/> 無裂縫、龜裂現象		<input type="checkbox"/> 輕微裂縫		<input type="checkbox"/> 多處發生且位於下部位置	
注 意 事 項		檢查結果應依影響程度勾選。發現異常情形，應於備註欄註記。					
備 註							
檢查人員：				單位主管：			

表 5-1 邊坡 ☐ 定期 ☐ 特別巡查檢查表(2/2)

國道編號： 日期： 年 月 日 時 分 天氣狀況(晴/陰/雨)：

養護單位							
檢查位置		里 程：		<input type="checkbox"/> 北上(西向)、 <input type="checkbox"/> 南下(東向)			
現場 狀 況	地質狀況	<input type="checkbox"/> 土層邊坡 <input type="checkbox"/> 岩層邊坡 <input type="checkbox"/> 礫石層邊坡 <input type="checkbox"/> 其他地質，說明：					
	邊坡形狀	坡 高	公 尺	坡度(坡距比)		邊坡面寬	公 尺
	地下水狀況	排 水	<input type="checkbox"/> 乾燥 <input type="checkbox"/> 濕潤	湧 水 位 置		湧 水 量	約 公升/分
		湧 水	<input type="checkbox"/> 表面水 <input type="checkbox"/> 湧水	湧水之地質狀況			
	排(洩)水管	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 阻塞					
監 測 系 統		<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有，項目說明：					
監 測 情 形		<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有： <input type="checkbox"/> 自行量測 <input type="checkbox"/> 委外量測		監 測 頻 率 <input type="checkbox"/> 每月 <input type="checkbox"/> 每季 <input type="checkbox"/> 每半年 <input type="checkbox"/> 每年 <input type="checkbox"/> 其他			
災 害 歷 史		以往災害 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有		鄰近災害 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有，說明：			
邊 坡 類 別		<input type="checkbox"/> 植生邊坡 <input type="checkbox"/> 護坡 <input type="checkbox"/> 擋土設施					
邊坡巡查項目		影響程度評估					
		低		中		高	
17. 設施接縫異樣、接縫不符合		<input type="checkbox"/> 不明顯		<input type="checkbox"/> 有少數裂縫但無傾斜或位移。		<input type="checkbox"/> 多處發生，且有明顯異於周邊之傾倒或位移情形。	
18. 設施框架鬆脫、填敷材料突出、下沉；設施回填材料流失		<input type="checkbox"/> 不明顯		<input type="checkbox"/> 有少數流失		<input type="checkbox"/> 多處流失造成淘空之現象	
19. 設施材料老化程度、斷裂、腐蝕及損壞情形；設施附屬結構物損壞		<input type="checkbox"/> 無附屬結構物損壞現象		<input type="checkbox"/> 少數附屬結構物損壞現象		<input type="checkbox"/> 附屬結構物嚴重損壞	
20. 邊坡表土剝落、雨蝕溝；設施沖刷		<input type="checkbox"/> 植被良好		<input type="checkbox"/> 坡面有裸露		<input type="checkbox"/> 有沖蝕、雨蝕溝之現象	
21. 邊坡平臺上堆積物；設施背面堆積土，超載		<input type="checkbox"/> 無蓄水現象或坡頂排水良好		<input type="checkbox"/> 坡頂有蓄水但無龜裂與滲漏現象		<input type="checkbox"/> 坡頂蓄水有龜裂滲漏或漫流現象	
22. 植生枯損		<input type="checkbox"/> 無植生枯損現象		<input type="checkbox"/> 少數枯損		<input type="checkbox"/> 多處枯損，且現象嚴重	
23. 垃圾堆積		<input type="checkbox"/> 無堆積現象		<input type="checkbox"/> 僅少數堆積，且未位於坡頂		<input type="checkbox"/> 堆積量大，且位於坡頂	
24. 非法耕作及佔有		<input type="checkbox"/> 無耕作或佔有現象		<input type="checkbox"/> 疑似有耕作或佔有現象		<input type="checkbox"/> 確認有耕作或佔有現象	
邊坡巡查結果分級：							
注 意 事 項		檢查結果應依影響程度勾選。發現異常情況，應於備註欄盡量以量化數據方式註記。					
備 註							
檢查人員：				單位主管：			

高公局於民國 100 年已另案委託台灣世曦工程顧問股份有限公司，針對「高速公路養護手冊」之邊坡分級，予以定量之分級制度，其分級方式即參考前述之巡查作業檢查表內容，作為各邊坡環境現況之評分項目，並對於各項目分別給予高、中、低三種評分。最後，根據各項目與邊坡安全之相關性差異，配合邊坡監測及地錨檢測成果，制定出一套邊坡分級流程（如圖4.2、表4.10）。

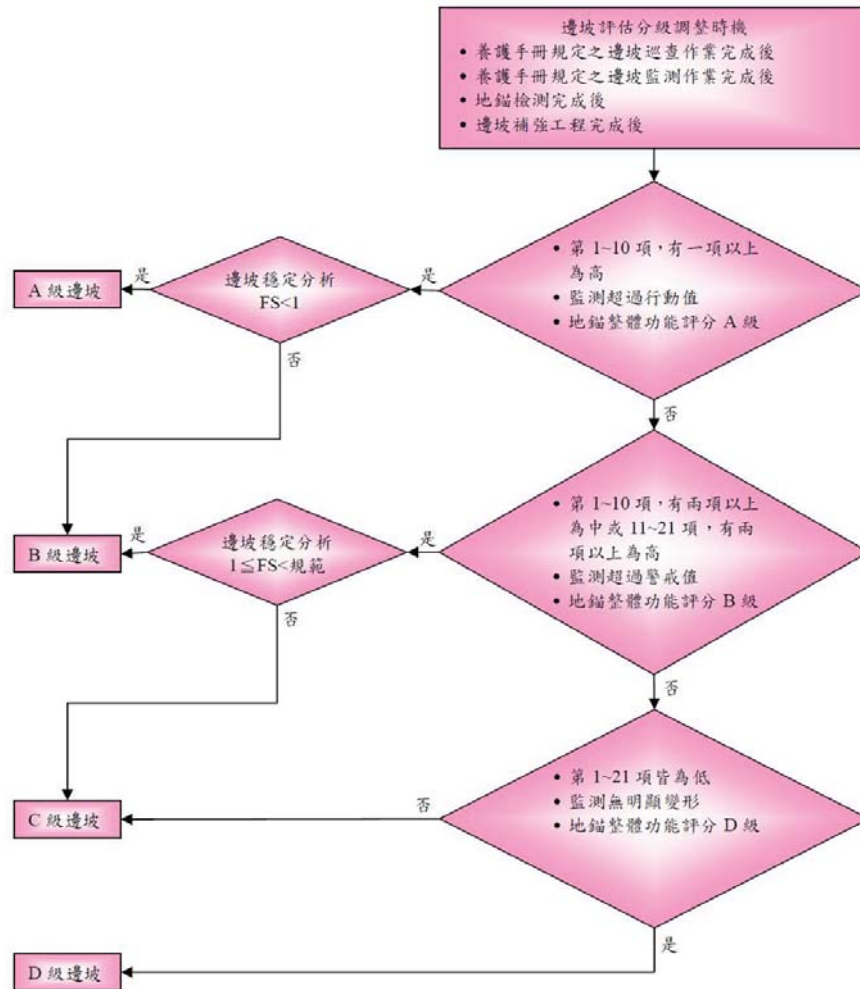


圖 4.2 高速公路局現行之邊坡安全分級流程 (交通部臺灣區國道高速公路局，2011)



表 4.10 邊坡評估分級表 (交通部臺灣區國道高速公路局，2011)

分級	養護手冊分級	輔助之分級判斷方式	
A 級	邊坡有明顯不穩定徵兆，需密切觀察並採取必要措施。	邊坡巡查	詳表 1，當第 1~10 項，有一項以上為“高”且邊坡穩定分析任一分析狀況安全係數低於 1.0，若大於 1 則為 B 級邊坡；或
		邊坡監測	監測資料超過行動值且邊坡穩定分析任一分析狀況安全係數低於 1.0，若大於 1 則為 B 級邊坡；或
		地錨檢測	地錨整體功能評分為 A 級(有未揚起現象時應特別注意)且邊坡穩定分析任一分析狀況安全係數低於 1.0，若大於 1 則為 B 級邊坡。
B 級	邊坡發現有些許疑似不穩定徵兆，需加強觀察。	邊坡巡查	詳表 1，當第 1~10 項有兩項以上為“中”或第 11~21 項，有兩項以上為“高”且邊坡穩定分析任一分析狀況安全係數介於規範值與 1.0 之間，若大於規範值則為 C 級邊坡；或
		邊坡監測	監測資料超過警戒值且邊坡穩定分析任一分析狀況安全係數介於規範值與 1.0 之間，若大於規範值則為 C 級邊坡；或
		地錨檢測	地錨整體功能評分為 B 級且邊坡穩定分析任一分析狀況安全係數介於規範值與 1.0 之間，若大於規範值則為 C 級邊坡
C 級	邊坡無明顯不穩定徵兆，僅需進行一般定期觀察。	邊坡巡查	非屬於 A 級、B 級及 D 級邊坡；或
		邊坡監測	監測資料低於警戒值；或
		地錨檢測	地錨整體功能評分為 C 級
D 級	邊坡處於穩定狀況，僅需安排定期檢測。	邊坡巡查	表 1，當第 1~21 項皆為“低”；或
		邊坡監測	監測資料無明顯變形現象；或
		地錨檢測	地錨整體功能評分為 D 級

### 4.1.3 不同邊坡分級方法之比較

比較高公局目前現有之邊坡分級方法，以及國內外其他邊坡分級方法，其主要差異為其他分級方法中，採用較多「邊坡先天條件」為評估項目。例如詳細之地質構造、岩性地質條件、水系分布情形及坡高、坡度等地形條件。目的係藉由先天條件之優劣，推估邊坡未來發生災害之可能性高低，作為是否需要整治之參考依據。

反觀高公局現有之邊坡分級方法，所參考之三大基本項目為：邊坡巡查、邊坡監測及地錨檢測。此三大項目之執行目的，均為直接調查「邊坡現況是否已發生異常」，而非以邊坡先天條件推估未來發生災害的可能性，其涵義與其它分類方法差異甚大。

為進一步瞭解此分級方法與其他方法之差異，本計畫挑選數處國道邊坡作為案例，套用香港 NPCCS 分類系統的岩石挖方邊坡評分法，嘗試填寫評分表。同時參考高公局現有之邊坡分級方法，嘗試填寫邊坡巡查檢查表，如附件九所示。所得之各邊坡評估結果綜整如表 4.11 及表 4.12。其中邊坡監測及地錨檢測分級結果，係參考「國道邊坡安全監測、評估補強技術諮詢」計畫之成果，邊坡穩定分析則參考「國道高速公路局中區工程處轄區邊坡監測分析與評估」之成果。



表 4.11 香港 NPCS 分類法試填寫結果

評分項目		邊坡編號								備註
		144k+962~ 145k+352(N)	148k+650~ 149k+400(N)	150k+102~ 150k+582(N)	138k+452~ 138k+802(S)	150k+102~ 153k+202(S)	124k+450~ 124k+800(N)	231k+500~ 231k+700(S)	23k+578~ 23k+733(W)	
A	A1	40	40	40	40	40	40	10	40	
	A2	10	10	10	10	10	5	25	10	
	A3	0	0	0	0	0	0	0	0	
B	B1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	B2	0	0.75	0	0	0	0	0	0	
	B3	0.75	0	0.75	0.75	0	0.75	0.75	0	
	B4	0	0	0	0	0	0	0	0	
C	C1	?	?	?	?	?	?	?	?	現有資料不足以判斷不連續面間距大小及延伸性等性質
	C2	?	?	?	?	?	?	?	?	
	C3	?	?	?	?	?	?	?	?	
	C4	?	?	?	?	?	?	?	?	
D	D1	15	0	5	15	0	0	0	0	
	D2	0	5	0	0	0	0	5	0	
E	E1	5	5	25	0	0	0	0	0	
	E2	0	0	10	0	0	40	0	40	
EJ		0	10	10	0	0	10	0	0	主觀判斷災害可能性
F	F1	0.1	0.1	4	4	4	0.5	4	0	
	F2	0	0	0	0	0	0	0	0	
G	G1	4	4	4	4	4	4	4	4	
	G2	0	0	0	0	0	0	0	0	
J		1.2	1.2	1.5	1.5	1.5	0	1.5	1.5	
K		0.3	0.3	0.3	0.7	0.1	0.1	0.3	0.1	主觀判斷可能災害規模
V		1	1	1	1	1	1	1	1	
I.S.		?	?	?	?	?	?	?	?	C項目分數不明，無法計算
$\alpha$		0.8	0.8	0.8	1.0	0.5	0.5	0.8	0.5	
$\beta$		1.8	2.8	2.0	2.6	1.0	0.5	2.0	1.0	
F		0.1	0.1	4	4	4	0.5	4	0	
G		8	8	8	8	8	8	8	8	
C.S.		72.9	72.9	108	252	36	25.5	108	24	
T.S.		?	?	?	?	?	?	?	?	C項目分數不明，無法計算

表 4.12 高速公路局現行邊坡分級方法試填寫結果（引用民國 100 年巡查成果）

計畫名稱		國道高速公路局中區工程處轄區邊坡監測分析與評估	國道邊坡安全監測、評估補強技術諮詢		分級結果	
里程	路線	邊坡穩定	邊坡監測	地錨檢測	邊坡巡檢	綜合分級
138k+622~138k+802(N)	國 3	F.S. OK	D	C	C	C
142k+602~143k+102(N)	國 3	F.S. OK	D	C	B	C
144k+962~145k+352(N)	國 3	F.S. OK	D	C	B	C
148k+650~149k+400(N)	國 3	1.0<F.S.<規範值 採補強處理	D	B	A(9,10)	B
149k+215~149k+502(N)	國 3	1.0<F.S.<規範值 採補強處理	D	D	B	D
150k+102~150k+582(N)	國 3	1.0<F.S.<規範值 採補強處理	D	C	A(9,10)	B
138k+452~138k+802(S)	國 3	F.S. OK	D	C	C	C
140k+672~141k+022(S)	國 3	F.S. OK	D	B	B	B
142k+602~143k+102(S)	國 3	F.S. OK	D	D	B	D
150k+102~153k+202(S)	國 3	F.S. OK	D	B	C	B
166k+202~166k+822(S)	國 3	F.S. OK	D	D	C	D
124k+450~124k+800(N)	國 1	F.S. OK	D	A	B	C
231k+500~231k+700(S)	國 3	F.S. OK	D	C	B	C
17k+685(WE) (國姓 1 號隧道西洞口)	國 6	F.S. OK	D	C	C	B
20k+140(WE) (國姓 1 號隧道東洞口)	國 6	F.S. OK	D	C	C	C
23k+578~23k+733(W)	國 6	F.S. OK	D	D	D	D
24k+523(W) (國姓 2 號隧道西洞口)	國 6	F.S. OK	D	D	C	D
28k+753(WE) (埔里隧道東洞口)	國 6	F.S. OK	D	C	C	C

根據試填評分表之結果，兩種方法之優缺點比較如下：

#### 1. 可行性之比較

試填評分表之過程中，可發現香港 NPCS 分類系統在沒有詳細之鑽探及試驗等資料時，難以對於岩體狀況（C 項目）給予定量評分。其它如可能發生災害之規模大小（K 項目），也難以在此情況下客觀給分。即使此類評分方法在學理上可合理推估邊坡發生災害之可能性，並達到理想的定量評分，但在實行上，必須針對每一邊坡均執行較詳細之調查及試驗，才具可行性。其它評分方法凡需參考詳細地質等條件者，亦將面臨相同之可行性問題。

反之，若採用高公局現有之邊坡分級方法進行評分，則三大參考項目均無實行上的困難。其中「邊坡巡查」可藉由工程人員執行巡查，取得所需資料；「邊坡監測」及「地錨檢測」則為高公局定期執行工作，且可獲得定量的數據，因此在資料取得與分級上均無可行性問題。

#### 2. 分級結果參考性比較

除可行性問題以外，分級結果是否具有參考性，為最重要之關鍵問題。若採用其它分級方法，其評分項目大多均考慮邊坡詳細之先天條件，因此可合理推估未來邊坡發生災害之可能性，具有一定程度之參考性。

反觀高公局現行之邊坡分級方法中，除邊坡巡查項目中有考量地層位態以外，其他項目均與邊坡先天條件無關，但均可直接反映邊坡現況是否已有異常變化，因此評估結果的參考性甚高。美中不足之處為邊坡已呈現異常變化時，可爭取之應變時間較短。然而此問題可藉由裝設自動化監測儀器，即時監控邊坡位移或地錨預力之變化，爭取更多時效。

綜合上述兩點比較結果，高公局現行之邊坡分級方法兼具良好之可行性及參考性，適合繼續沿用。惟觀察邊坡巡查之檢查表項目，以及分級流程等，內容仍有進一步調整改良的空間，故本計畫進一步對邊坡檢查表及分級流程等內容進行研析，並提出調整建議。

### 4.1.4 國道邊坡分級研析

#### 4.1.4.1 邊坡巡查檢查表調整建議

邊坡監測及地錨檢測工作，所得結果為定量之數據資料，因此在評分與分級上疑義較少。而現行邊坡巡查之檢查表項目（如表4.9），其係參考前期版本「高速公路養護手冊」之內容修改，其原意並非用於邊坡評估分級，故檢查項目有調整改良之空間。本計畫對於邊坡巡查檢查表所提出之調整建議，大致可分為三項，分述如下：

##### 1. 檢查項目簡化合併及刪改

以現行檢查表第 1 項及第 3 項為例，其內容均為邊坡是否出現裂縫或凹陷、坍塌等異常徵兆，差別僅在於第 1 項特別針對坡頂部分，第 3 項則未針對邊坡任何部位（坡頂、中段坡或坡趾）。根據目前邊坡分級之流程，無論邊坡任何部位出現上述異常徵兆，均分類於 A 或 B 級（進一步參考邊坡穩定分析結果而定），故建議此二項目可簡化合併為 1 項，不影響邊坡分級結果。

另外，現行檢查表第 8 項為「邊坡發現深層滑動現象」，此項目建議刪減。原因為邊坡滑動深度難以藉由現場直接判斷，且深層滑動通常伴隨有邊坡或結構物開裂，或坡趾隆起等表徵，在檢查表中已有其他客觀項目可直接反映，故建議刪除此項目，減少主觀判斷之影響。

## 2. 檢查項目分類歸納

邊坡檢查表中各個項目所反映的問題類型不同，例如部份項目係反映邊坡穩定性是否異常，部份則代表設施是否異常，另有部份項目與邊坡穩定性及設施均無關。若將各檢查項目分類整理為數個大類，則檢查人員填寫檢查表時，更容易理解檢查項目所代表之意義及重點為何。且後續執行安全分級時，可針對不同大類之項目分別考量，使分級結果將更具實質意義。

經分類歸納後，本計畫建議之檢查表內容如表 4.13 所示。各檢查項目歸納為五大類，各大類所代表之意義分別如下：

### 第一大類：邊坡異常表徵

包括邊坡出現裂縫或趾部隆起等現象，此大類之現象為邊坡可能已有不穩定情形之直接徵兆。

### 第二大類：設施異常表徵

包括混凝土剝落、龜裂、空洞、變形等狀況，代表設施本身已老化，或已經受到邊坡不穩定等外在因素影響，而產生異常。

第一及第二大類項目與邊坡穩定性之關聯較為直接，在邊坡安全分級時，應作為主要考量項目。

### 第三大類：其他異常表徵

包括邊坡是否有滾石、排水設施是否淤積或邊坡是否產生侵蝕溝等。此大類之現象並不代表邊坡已有不穩定情形，惟就長期而言，此大類之異常現象可能間接使邊坡穩定性惡化，或潛在風險較高，故仍有必要加以考量。

### 第四大類：其他

例如垃圾堆積、非法耕作及占有等，對於邊坡穩定性以及人車、道路均無直接影響，在安全分級的流程中不做參考。惟就管理角度而言，此大類之問題有必要進行處置，故建議檢查表中保留此大類項目，做為現場狀況紀錄。

### 第五大類：危害評估

包括災害影響程度，以及邊坡地層位態兩項。此大類項目係用於評估邊坡一旦發生災害，對於人、車、道路可能造成之傷亡程度及經濟損失。若此大類項目之評估結果均為「低」，代表此邊坡即使發生崩塌等災害，亦不致造成傷亡或損失。反之，若此大類有任一項為「中」或「高」，則邊坡有不穩定疑慮時，有必要優先治理，其安全分級應列為較危險之等級。

### 3. 檢查表定量描述

現行之檢查表中，對於「影響程度評估」之描述，主要為定性之描述，尤其在現場有異常狀況時，影響程度應評估為「中」或是「高」，不容易做出客觀判斷。故本計畫所建議之檢查表（表4.13）內容中，對於影響程度之描述，儘可能給予定量之描述。以第一大類之第一項為例，若發現坡面有裂縫時，影響程度以裂縫寬度作為評估依據，寬5 mm 以下為「中」，以上為「高」。學術上，少有針對裂縫寬度等問題之研究，故檢查表之定量描述主要係根據實務經驗給予參考值。即使此參考值並無物理意義，仍有助於明確區分影響程度之高低，提升檢查表之鑑別度及客觀性。



表 4.13 本計畫建議之邊坡巡查檢查分級表

項次		檢 查 項 目	影響程度		
			低	中	高
一、 邊坡 異常 表徵	1	坡面(含坡頂)出現明顯解壓(張)裂縫或坍陷	無明顯裂縫	輕微裂縫(寬度<5mm)，或略有差異沉陷產生(差異量<5mm)	明顯裂縫(寬度≥5mm)或明顯差異沉陷(差異量≥5mm)或坍陷
	2	道路路面出現龜裂或陷落	路面無異常現象	路面有輕微開裂(裂縫寬度<2mm)，或略有差異沉陷產生(差異量<5mm)	路面出現明顯開裂(寬度≥2mm)，或明顯差異沉陷(差異量≥5mm)或陷落或隆起
	3	坡趾區域出現坡面或道路隆起	無隆起現象	有隆起現象，但不明顯	目視可見明顯隆起
二、 設施 異常 表徵	1	設施變形；設施擠(鼓)出、隆起、鬆動	無龜裂變形或僅表層龜裂	有明顯裂縫(寬度<2mm)但無傾斜外凸	明顯裂縫(寬度≥2mm)，或有傾斜或外凸
	2	設施混凝土表面剝落；設施鋼筋暴露、銹蝕	無或少數發生於上部位置	出現數量超過 2 處，且位於中間位置	多處(超過 4 處)或大比例面積有損壞，且多發生於下部位置
	3	設施本體結構損壞；設施基礎損壞	無損壞現象	本體結構局部損壞	本體結構或基礎損壞嚴重
	4	設施結構之整體沉陷、移動	無整體沉陷或移動	目視可見輕微沉陷或移動	目視可見明顯整體沉陷移動(估計超過 1cm)
	5	設施裂縫、龜裂、空洞	無裂縫、龜裂或空洞現象	輕微裂縫或空洞	多處發生且位於下部位置
	6	設施接縫異樣、接縫不符合	不明顯	接縫有錯動，但無傾斜或位移。	接縫有明顯錯動(≥2mm)，有明顯異於周邊之傾倒或位移情形多處發生，或多處發生。
	7	設施框架鬆脫、填敷材料突出、下沉；設施回填材料流失	不明顯	有少數流失	多處(超過 3 處以上)流失，並造成洶空現象
	8	地(岩)錨錨頭脫落、變形或銹蝕	無脫落、變形或銹蝕現象	錨頭保護座破損，產生裂縫或有滲水現象	錨頭與承壓版明顯分離或脫落旋轉
三、 其他 異常 表徵	1	曾有災害歷史或補強	無災害歷史或補強	曾有災害歷史或補強，但完工時間已超過 5 年以上	曾有災害歷史或補強，但完工時間近 5 年內
	2	邊坡崩落；邊坡鬆動浮石、滾石	無崩土、泥流、落石或土石堆現象發生	僅小部分表土崩落且目視判斷無危及邊坡穩定	明顯出現崩土、泥流、落石或土石堆現象
	3	邊坡坡頂與坡面截水、排水設施狀況	無龜裂或僅局部淤積	排水不良且有積水現象	排水溝龜裂導致排水流失或土壤沖蝕現象
	4	邊坡湧水；設施排水、湧水	從既設洩水孔或水平排水管出水	非從既設洩水孔或水平排水管出水	夾雜有泥沙出水
	5	設施材料老化程度、斷裂、腐蝕及損壞情形；設施附屬結構物損壞	無附屬結構物損壞現象	少數附屬結構物損壞現象	附屬結構物嚴重損壞
	6	邊坡表土沖刷(剝落、雨蝕溝)	植被良好	坡面有裸露	有沖蝕、雨蝕溝之現象
	7	邊坡平臺上堆積物；設施背面堆積土，超載	無蓄水現象或坡頂排水良好	坡頂有蓄水但無龜裂與滲漏現象	坡頂蓄水有龜裂滲漏或漫流現象
四、 其他	1	邊坡樹木傾倒、雜草異常茂盛	無傾倒或目視不明顯	現象輕微	多處有傾倒或明顯異於周邊
	2	植生枯損	無植生枯損現象	少數枯損	多處枯損，且現象嚴重
	3	垃圾堆積	無堆積現象	僅少數堆積，且未位於坡頂	堆積量大，且位於坡頂
	4	非法耕作及佔有	無耕作或佔有現象	疑似有耕作或佔有現象	確認有耕作或佔有現象
五、 危害 評估	1	災害影響程度	發生邊坡災害不影響高速公路主線、附近道路或建物等保全對象	發生邊坡災害不影響高速公路主線或建物，但影響附近道路等保全對象	發生邊坡災害，將直接影響高速公路主線等保全對象
	2	邊坡地層位態	斜交或逆向坡	順向坡、滑動面未出露	順向坡、滑動面出露

#### 4.1.4.2 邊坡分級流程建議

現行之邊坡分級流程，如圖4.2所示。本計畫對於分級流程亦提出進一步調整建議，內容大致分為二項，分述如下：

##### 1. 分級流程調整為四階段之架構

本計畫建議之分級流程，如圖4.3，整體流程概分為四階段。其中，本計畫建議之重點在於分級階段細分為「初步分級階段」和「確認分級階段」。

細分其原因，主要為邊坡巡查與監測及地錨檢測結果，代表之意義差別甚大。監測及地錨檢測所得之結果，係為直接檢測數據，可直接確認邊坡狀況，然而受限經費等因素，執行頻率較低；邊坡巡查未必能直接掌握微小變化，然而考量之項目較廣泛，包括邊坡狀況、設施狀況甚至危害度等等，且執行容易，頻率相對甚高。因此，建議由本計畫建置之系統，自動對每一筆上傳至系統中的邊坡巡查資料，進行初步分級。平時即可透過系統對於初步分級結果之統計資料，快速掌握眾多邊坡之概況。而邊坡若有監測及地錨檢測資料時，再依「確認分級階段」之流程，檢核初步分級之結果是否需要上修或下修。

##### 2. 重新調整分級流程圖中之判別式，以檢查表之五大類項目為依據

如4.1.4.1節所述，本計畫建議將邊坡巡查表之項目歸類為五大類，其重要程度不同，分級時應分別考量，故本計畫建議之分級流程圖中，初步分級階段的各個判別式，均根據五大類項目重新設計。以第一個判斷式為例，若最重要的第一及第二大類有任何一項為高（代表邊坡不穩定之可能性較高），且第五大類有一項為中以上（代表此邊坡若發生災害，有可能造成傷亡或損失），則初步分級時即列為最危險之A級。其餘之B、C、D，均依此類推，根據檢查表各大項目之實際意義，設計分級流程之判斷式，所做出的分級結果將更具有實際意義。

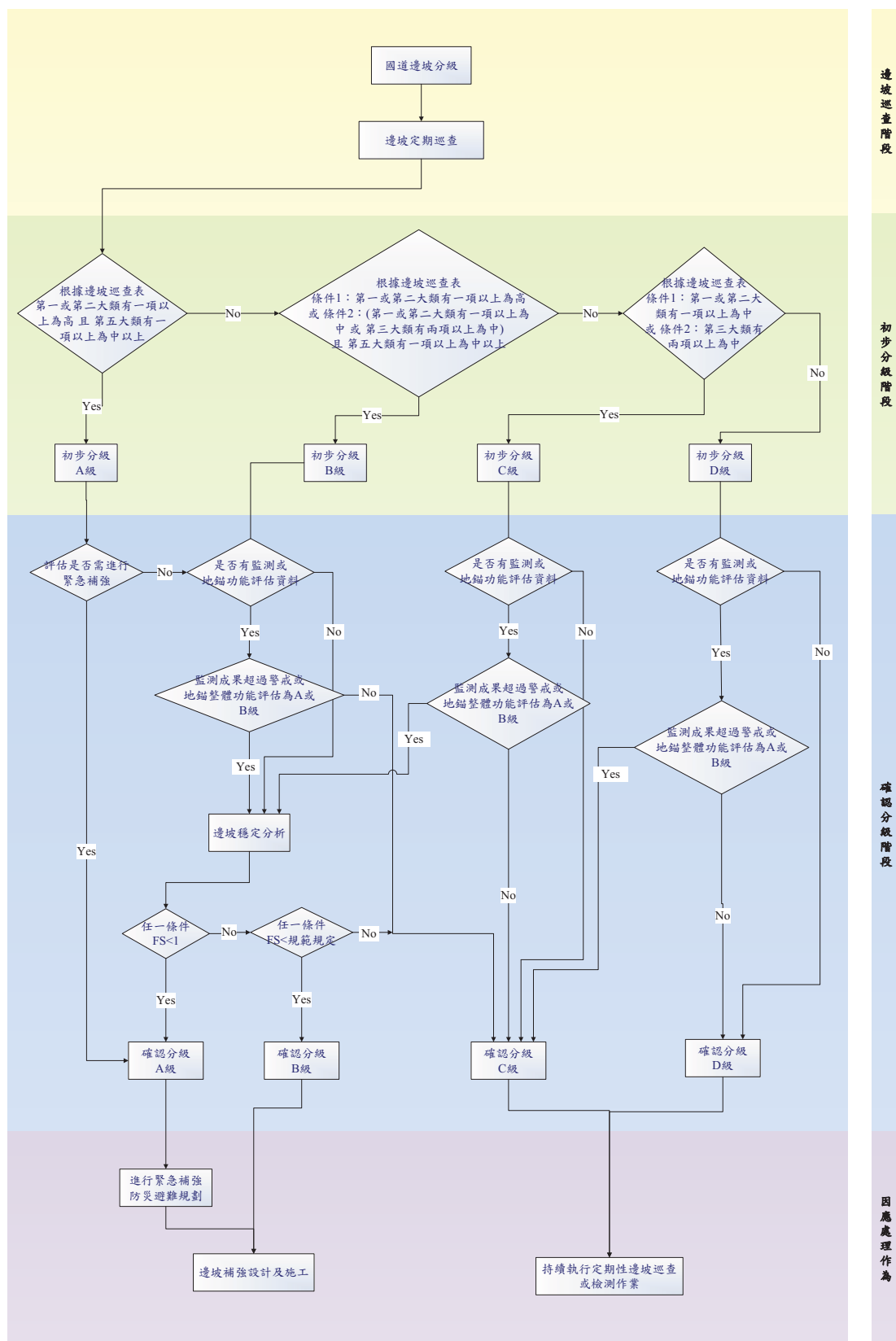


圖 4.3 本計畫建議之邊坡安全分級流程

#### 4.1.4.3 邊坡分級方法試填結果

為瞭解本計畫調整後的檢查表及分級流程，在實際使用上是否具可行性及合理性，故本計畫於目前既有之邊坡巡查紀錄中抽樣，將巡查結果套用於本計畫建議之檢查表及分級流程，進行「初步分級」，並比較每處邊坡的新分級結果與目前的原分級結果，所挑選的邊坡數量及相關資料如表4.14所示。

表 4.14 試填分級之邊坡數量

所屬單位	邊坡抽樣數量	巡查紀錄抽樣數量	說明
北區工程處各工務段	18 處	共 18 筆	1.抽樣對象為原分級 A 或 B 級之邊坡。 2.各邊坡隨機抽樣一筆巡查紀錄
中區工程處大甲工務段	152 處	共 299 筆	1.抽樣對象為大甲段所轄之國道 3 號所有邊坡。 2.各邊坡之歷次巡查紀錄中，所有可進行分級的資料均納入試填對象，故紀錄筆數大於邊坡數量。 3.原分級結果均為 C 或 D 級。

本計畫以大甲工務段所轄範圍之國道 3 號所有邊坡，作為主要試填對象。此外，由於大甲段各邊坡之原分級均為 C 或 D 級，為瞭解 A 或 B 級邊坡套用新分級流程後，分級結果有何變化，故於北區工程處所轄範圍之各邊坡中，再隨機挑選 18 處原分級為 B 級以上之邊坡，進行試填。結果如表4.15～表4.19所示。

表 4.15 北區工程處各工務段所轄邊坡之試填初步分級結果統計

等級	原分級結果	試填分級結果	說明
A 級	1 筆	1 筆	其中 1 處邊坡降為 B 級
B 級	17 筆	5 筆	其中 12 處邊坡降為 C 級
C 級	--	12 筆	
D 級	--	--	

表 4.16 大甲工務段所轄邊坡之試填分級結果統計

等級	原分級結果	試填分級結果	說明
A 級	--	--	
B 級	--	--	
C 級	40 筆	6 筆	其中 34 處邊坡降為 D 級
D 級	259 筆	293 筆	

表 4.17 北區工程處各工務段所轄邊坡之試填分級結果

項次	邊坡位置	巡檢日期	原分級結果	試填分級結果
1	國道 1 號逆向起 95k400m~迄 95k600m	102/2/19	B	C
2	國道 1 號順向起 8k247m~迄 8k697m	101/6/16	A	A
3	國道 1 號順向起 9k910m~迄 10k300m	101/6/16	A	B
4	國道 3 號雙向起 0k750m~迄 0k900m	101/12/13	B	C
5	國道 3 號逆向起 4k700m~迄 5k100m	101/12/4	B	C
6	國道 3 號逆向起 28k300m~迄 28k500m	102/12/17	B	C
7	國道 3 號順向起 5k343m~迄 5k785m	101/6/15	B	B
8	國道 3 號順向起 21k520m~迄 21k890m	101/12/13	B	C
9	國道 3 號順向起 88k700m~迄 90k0m	101/10/2	B	C
10	國道 3 號雙向起 32k626m~迄 32k710m	101/12/17	B	C
11	國道 3 號逆向起 13k280m~迄 14k070m	101/10/19	B	C
12	國道 3 號逆向木柵交流道出口匝道 (往北西方向)起 1k600m~迄 1k700m	101/12/10	B	B
13	國道 3 號逆向起 35k072m~迄 35k460m	101/11/16	B	B
14	國道 3 號逆向起 96k600m~迄 97k350m	101/2/24	B	C
15	國道 3 號順向起 11k040m~迄 11k190m	101/12/17	B	C
16	國道 3 號順向起 36k900m~迄 37k0m	101/12/6	B	B
17	國道 3 號順向起 99k100m~迄 99k560m	101/2/20	B	C
18	國道 5 號順向起 6k334m~迄 6k500m	102/1/25	B	B



表 4.18 大甲工務段所轄邊坡之試填分級結果（國道 3 號北上側）

項次	邊坡位置	巡查次數	巡查日期	原分級結果	試填分級結果
1	起 110k703m~迄 110k~741m	1	101.4.23	D	D
2	起 111k208m~迄 111k~610m	4	101.4.18	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.25	D	D
			101.8.8	D	D
3	起 111k610m~迄 112k~476m	1	101.4.23	D	D
4	起 112k496m~迄 112k~965m	1	101.4.23	D	D
5	起 116k10m~迄 118k~352m	1	101.4.23	D	D
6	起 118k655m~迄 119k~90m	1	101.4.23	D	D
7	起 119k130m~迄 119k~388m	1	101.4.23	D	D
8	起 121k222m~迄 121k~373m	4	101.4.18	C	D
			101.6.19	D	D
			101.6.25	C	D
			101.8.8	C	D
9	起 121k373m~迄 122k~503m	1	101.4.23	D	D
10	起 122k503m~迄 122k~643m	4	101.4.18	C	D
			101.6.19	D	D
			101.6.25	C	D
			101.8.8	C	D
11	起 122k643m~迄 124k~513m	1	101.4.23	D	D
12	起 124k583m~迄 125k~733m	1	101.4.23	D	D
13	起 125k733m~迄 125k~978m	4	101.4.18	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.25	D	D
			101.8.8	D	D
14	起 129k430m~迄 129k~690m	4	101.4.18	C	D
			101.6.19	D	D
			101.6.25	D	D
			101.8.8	D	D
15	起 129k690m~迄 130k~128m	1	101.4.23	D	D
16	起 130k698m~迄 131k~299m	1	101.4.23	D	D
17	起 132k360m~迄 133k~223m	1	101.4.25	D	D
18	起 133k486m~迄 133k~593m	1	101.4.24	D	D
19	起 133k593m~迄 133k~803m	4	101.4.26	C	D
			101.6.19	D	D
			101.6.24	D	D
			101.8.8	D	D
20	起 133k803m~迄 133k~898m	1	101.4.24	D	D
21	起 134k160m~迄 134k~349m	1	101.4.24	D	D
22	起 134k489m~迄 134k~803m	1	101.4.24	D	D
23	起 134k803m~迄 135k~103m	4	101.4.10	D	D
			101.6.19	D	D

大甲工務段所轄邊坡之試填分級結果（國道3號北上側）（續）

項次	邊坡位置	巡查次數	巡查日期	原分級結果	試填分級結果
			101.6.24	D	D
			101.8.8	C	C
24	起 138k470m~迄 138k~620m	1	101.4.24	D	D
25	起 138k622m~迄 138k~802m	4	101.4.10	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.24	D	D
			101.8.8	D	D
26	起 138k810m~迄 138k~890m	1	101.4.24	D	D
27	起 139k450m~迄 139k~850m	1	101.4.24	D	D
28	起 139k170m~迄 139k~280m	1	101.4.24	D	D
29	起 140k10m~迄 140k~232m	1	101.4.24	D	D
30	起 140k232m~迄 140k~432m	4	101.4.26	C	D
			101.6.19	D	D
			101.6.24	D	D
			101.8.8	D	D
31	起 140k450m~迄 140k~530m	1	101.4.24	D	D
32	起 140k662m~迄 140k~822m	4	101.4.26	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.24	D	D
			101.8.8	D	D
33	起 140k850m~迄 141k~0m	1	101.4.24	D	D
34	起 141k900m~迄 142k~150m	1	101.4.24	D	D
35	起 142k152m~迄 142k~312m	4	101.4.26	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.24	D	D
			101.8.7	D	D
36	起 142k382m~迄 143k~742m	4	101.4.10	C	C
			101.6.19	D	D
			101.6.24	D	D
			101.8.7	D	D
37	起 144k962m~迄 145k~352m	4	101.4.26	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.24	D	D
			101.8.7	D	D
38	起 146k317m~迄 146k~802m	4	101.4.26	C	D
			101.6.19	D	D
			101.6.24	C	D
			101.8.7	C	D
39	起 148k122m~迄 148k~352m	4	101.4.26	C	D
			101.6.19	D	D
			101.6.24	D	D
			101.8.8	D	D
40	起 148k380m~迄 148k~650m	1	101.04.24	D	D

大甲工務段所轄邊坡之試填分級結果（國道3號北上側）（續）

項次	邊坡位置	巡查次數	巡查日期	原分級結果	試填分級結果
41	起 148k650m~迄 149k~0m	4	101.4.26	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.25	C	C
			101.8.7	D	D
42	起 149k0m~迄 149k~215m	4	101.4.12	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.25	D	D
			101.8.7	D	D
43	起 149k215m~迄 149k~502m	4	101.4.12	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.25	D	D
			101.8.7	D	D
44	起 150k100m~迄 150k~320m	4	101.4.26	C	D
			101.6.19	D	D
			101.6.25	D	D
			101.8.7	C	D
45	起 150k320m~迄 150k~585m	4	101.4.12	C	D
			101.6.19	D	D
			101.6.25	C	D
			101.8.6	C	D
46	起 150k600m~迄 151k~150m	1	101.4.25	D	D
47	起 151k310m~迄 151k~820m	2	101.4.25	D	D
			101.4.26	D	D
48	起 152k702m~迄 153k~202m	4	101.4.12	C	D
			101.6.19	D	D
			101.6.25	C	D
			101.8.6	C	D
49	起 153k470m~迄 153k~870m	1	101.4.25	D	D
50	起 153k950m~迄 154k~480m	1	101.4.25	D	D
51	起 154k730m~迄 155k~780m	1	101.4.25	D	D
52	起 155k810m~迄 155k~890m	1	101.4.25	D	D
53	起 155k920m~迄 156k~740m	1	101.4.25	D	D
54	起 156k870m~迄 157k~310m	1	101.4.25	D	D
55	起 157k330m~迄 157k~620m	1	101.4.25	D	D
56	起 157k760m~迄 158k~230m	1	101.4.25	D	D
57	起 158k280m~迄 159k~350m	2	101.4.24	D	D
			101.4.25	D	D
58	起 161k582m~迄 162k~2m	5	101.4.12	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.25	D	D
			101.8.6	D	D
			101.8.8	D	D

大甲工務段所轄邊坡之試填分級結果（國道3號北上側）（續）

項次	邊坡位置	巡查次數	巡查日期	原分級結果	試填分級結果
59	起 162k150m~迄 162k~780m	1	101.4.25	D	D
60	起 163k100m~迄 163k~550m	1	101.4.25	D	D
61	起 163k590m~迄 163k~750m	1	101.4.25	D	D
62	起 164k350m~迄 164k~750m	1	101.4.25	D	D
63	起 166k402m~迄 166k~882m	4	101.4.24	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.25	D	D
			101.8.6	D	D
64	起 169k682m~迄 171k~22m	4	101.4.24	D	D
			101.6.1	D	D
			101.6.25	D	D
			101.8.6	D	D
65	起 171k50m~迄 172k~530m	1	101.4.25	D	D
66	起 172k690m~迄 172k~880m	1	101.4.25	D	D
67	起 173k310m~迄 173k~480m	1	101.4.25	D	D
68	起 173k552m~迄 174k~142m	4	101.4.24	C	D
			101.6.19	D	D
			101.6.24	D	D
			101.8.6	D	D
69	起 174k422m~迄 174k~722m	4	101.4.24	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.25	D	D
			101.8.6	D	D
70	起 174k792m~迄 175k~272m	4	101.4.20	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.25	D	D
			101.8.6	D	D
71	起 175k450m~迄 175k~790m	1	101.4.25	D	D
72	起 175k900m~迄 176k~50m	1	101.4.25	D	D
73	起 176k590m~迄 176k~850m	1	101.4.25	D	D
74	起 177k422m~迄 178k~442m	4	101.4.20	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.24	D	D
			101.8.6	D	D
75	起 176k190m~迄 176k~520m	2	101.4.25	D	D
			101.4.27	D	D
76	起 182k60m~迄 182k~470m	1	101.4.25	D	D
77	起 182k570m~迄 182k~760m	1	101.4.25	D	D
78	起 183k290m~迄 183k~470m	2	101.4.25	D	D
			101.4.27	D	D
79	起 183k570m~迄 184k~260m	1	101.4.25	D	D
80	起 184k592m~迄 184k~997m	4	101.4.20	D	D

大甲工務段所轄邊坡之試填分級結果（國道 3 號北上側）（續）

項次	邊坡位置	巡查次數	巡查日期	原分級結果	試填分級結果
			101.6.19	D	D
			101.6.25	D	D
			101.8.6	D	D
81	起 185k960m~迄 186k~100m	1	101.4.25	D	D
82	起 182k890m~迄 183k~250m	1	101.4.25	D	D
總計		174 筆		C 級：25 筆 D 級：149 筆	C 級：3 筆 D 級：171 筆



表 4.19 大甲工務段所轄邊坡之試填分級結果（國道 3 號南下側）

項次	邊坡位置	巡查次數	巡查日期	原分級結果	試填分級結果
1	起 121k260m~迄 124k~513m	1	101.4.26	D	D
2	起 129k567m~迄 130k~128m	1	101.4.26	D	D
3	起 110k703m~迄 110k~741m	1	101.4.26	D	D
4	起 111k21m~迄 111k~310m	1	101.4.26	D	D
5	起 111k310m~迄 111k~600m	4	101.1.18	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.26	D	D
			101.8.8	D	D
6	起 111k600m~迄 111k~610m	1	101.4.26	D	D
7	起 112k496m~迄 112k~965m	1	101.4.26	D	D
8	起 116k10m~迄 118k~352m	1	101.4.26	D	D
9	起 118k655m~迄 119k~90m	1	101.4.26	D	D
10	起 119k130m~迄 119k~388m	1	101.4.26	D	D
11	起 124k583m~迄 125k~753m	1	101.4.26	D	D
12	起 125k831m~迄 126k~10m	1	101.4.26	D	D
13	起 130k698m~迄 131k~299m	1	101.4.26	D	D
14	起 132k514m~迄 133k~223m	1	101.4.26	D	D
15	起 133k486m~迄 133k~898m	1	101.4.26	D	D
16	起 134k160m~迄 134k~349m	1	101.4.26	D	D
17	起 134k489m~迄 135k~465m	1	101.4.26	D	D
18	起 138k352m~迄 138k~752m	4	101.4.18	C	D
			101.6.19	D	D
			101.6.24	C	D
			101.8.7	C	D
19	起 138k752m~迄 138k~900m	1	101.4.26	D	D
20	起 139k180m~迄 139k~300m	1	101.4.26	D	D
21	起 139k450m~迄 139k~600m	1	101.4.26	D	D
22	起 139k750m~迄 139k~890m	1	101.4.26	D	D
23	起 140k10m~迄 140k~222m	1	101.4.26	D	D
24	起 140k222m~迄 140k~542m	4	101.4.18	C	D
			101.6.19	D	D
			101.6.24	C	D
			101.8.7	C	D
25	起 140k702m~迄 141k~12m	4	101.4.18	C	D
			101.6.19	D	D
			101.6.24	C	D
			101.8.7	C	D
26	起 141k170m~迄 141k~400m	1	101.4.26	D	D
27	起 141k850m~迄 142k~0m	1	101.4.26	D	D
28	起 142k102m~迄 142k~232m	4	101.4.18	C	D

大甲工務段所轄邊坡之試填分級結果（國道 3 號南下側）（續）

項次	邊坡位置	巡查次數	巡查日期	原分級結果	試填分級結果
			101.6.19	D	D
			101.6.24	C	D
			101.8.7	C	D
29	起 142k232m~迄 142k~550m	1	101.4.26	D	D
30	起 142k712m~迄 143k~2m	4	101.4.18	C	C
			101.6.19	D	D
			101.6.24	D	D
			101.8.7	D	D
31	起 143k552m~迄 143k~952m	4	101.4.26	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.26	D	D
			101.8.7	D	D
32	起 143k952m~迄 144k~190m	1	101.4.26	D	D
33	起 146k317m~迄 146k~802m	4	101.4.30	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.26	D	D
			101.8.7	D	D
34	起 148k250m~迄 148k~600m	1	101.4.26	D	D
35	起 148k702m~迄 149k~202m	4	101.4.12	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.26	D	D
			101.8.7	D	D
36	起 150k102m~迄 150k~582m	4	101.4.12	C	C
			101.6.19	D	D
			101.6.24	D	D
			101.8.7	D	D
37	起 150k582m~迄 151k~80m	1	101.4.26	D	D
38	起 151k102m~迄 151k~302m	4	101.4.12	C	C
			101.6.19	D	D
			101.6.24	D	D
			101.8.7	D	D
39	起 151k350m~迄 151k~800m	2	101.4.27	D	D
			101.4.30	D	D
40	起 152k802m~迄 153k~162m	4	101.4.30	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.26	D	D
			101.8.8	D	D
41	起 153k470m~迄 153k~870m	1	101.4.27	D	D
42	起 153k950m~迄 154k~500m	1	101.4.27	D	D
43	起 154k750m~迄 155k~760m	1	101.4.27	D	D
44	起 155k880m~迄 155k~890m	1	101.4.27	D	D

大甲工務段所轄邊坡之試填分級結果（國道3號南下側）（續）

項次	邊坡位置	巡查次數	巡查日期	原分級結果	試填分級結果
45	起 155k920m~迄 156k~730m	1	101.4.27	D	D
46	起 156k830m~迄 157k~330m	1	101.4.27	D	D
47	起 157k350m~迄 157k~610m	1	101.4.27	D	D
48	起 157k750m~迄 159k~350m	2	101.4.27	D	D
			101.4.30	D	D
49	起 162k200m~迄 162k~780m	1	101.4.27	D	D
50	起 163k100m~迄 163k~580m	1	101.4.27	D	D
51	起 163k620m~迄 163k~730m	1	101.4.27	D	D
52	起 164k330m~迄 165k~120m	1	101.4.27	D	D
53	起 166k402m~迄 166k~882m	4	101.4.20	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.26	D	D
			101.8.6	D	D
54	起 169k822m~迄 171k~22m	4	101.4.20	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.26	D	D
			101.8.6	D	D
55	起 171k22m~迄 172k~530m	1	101.4.27	D	D
56	起 172k690m~迄 172k~880m	1	101.4.27	D	D
57	起 173k310m~迄 173k~480m	1	101.4.27	D	D
58	起 173k550m~迄 173k~650m	1	101.4.27	D	D
59	起 175k22m~迄 175k~122m	4	101.4.20	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.26	D	D
			101.8.6	D	D
60	起 175k410m~迄 175k~790m	1	101.4.27	D	D
61	起 175k900m~迄 176k~50m	1	101.4.27	D	D
62	起 176k590m~迄 176k~760m	1	101.4.27	D	D
63	起 177k182m~迄 179k~13m	4	101.4.20	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.26	D	D
			101.8.6	D	D
64	起 182k60m~迄 182k~470m	1	101.4.27	D	D
65	起 182k570m~迄 182k~760m	1	101.4.27	D	D
66	起 182k890m~迄 183k~250m	1	101.4.27	D	D
67	起 183k570m~迄 184k~260m	1	101.4.27	D	D
68	起 184k635m~迄 184k~954m	4	101.4.20	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.26	D	D
			101.8.6	D	D

大甲工務段所轄邊坡之試填分級結果（國道 3 號南下側）（續）

項次	邊坡位置	巡查次數	巡查日期	原分級結果	試填分級結果
69	起 185k960m~迄 186k~100m	1	101.4.27	D	D
70	起 161k582m~迄 162k~2m	3	101.4.30	D	D
			101.6.19	D	D
			101.6.26	D	D
總計		125 筆		C 級：15 筆 D 級：110 筆	C 級：3 筆 D 級：122 筆

比較試填分級與原分級結果，無論 C、D 級邊坡或是 A、B 級邊坡，在進行初步分級之後，等級大多下降 1 級。觀察試填結果降級之邊坡，造成差異之關鍵項目，大多與檢查表中的第五大類項目有關。由於本計畫之分級流程對於第五大類項目有特殊考量，造成試填結果與原分級有所差異。

尤其原分級為 B 級之邊坡中，有 12 處降級為 C 級，其中就有 10 處邊坡降級原因與第五大類項目有關。該 10 處邊坡之第一及第二大類項目沒有任何一項為「高」（邊坡或設施沒有特別明顯之異常），且第五大類項目均為「低」（此邊坡發生災害時不至於造成傷亡或損失），顯然不應列為較危險之 A 級或 B 級邊坡，故分級結果降為 C 級，應為合理結果。除了原先列為 B 級之邊坡以外，原 C 級邊坡有 34 處在試填時降級，原因大多也與上述情況相同。

根據試填結果，可驗證本計畫建議之檢查表及分級流程確實有助於提高邊坡分級之合理性，不至於高估邊坡之危險性。而少數邊坡在試填結果中仍維持 A 級或 B 級，顯示實際上具有明顯異常徵兆的邊坡，在套用本計畫分級流程後，仍可適當反映出其危險性，不失鑑別度。且實際操作上，並未增添困難度，故建議後續可以此方式，取代現行之邊坡分級方法。

#### 4.1.5 地錨功能評分表之調整建議

本計畫建議之邊坡分級方法，於確認分級階段，需參考地錨功能檢測之分級成果，而地錨功能之分級方法，雖非屬本計畫工作項目，但由於其分級成果對於邊坡分級影響甚大，故本計畫亦檢討現行方法之可行性，提出後續修改方向以供參考。

高速公路養護手冊之表 5-4：地錨邊坡整體功能評分表（表 4.20），為目前高速公路地錨邊坡之功能評分表，其評分方式為先針對抽樣之個別地錨各項目檢測成果，賦予不同之權重配分，得到各地錨之評分，而整體地錨邊坡之功能評分，則為個別地錨評分之平均。

表 4.20 現行之地錨邊坡整體功能評分表

<b>一、地錨邊坡基本資料</b>									
檢查位置：里程				<input type="checkbox"/> 北上(西向)、 <input type="checkbox"/> 南下(東向) 完工日期： 年 月 日					
<b>二、施工方式</b>									
地錨型式：		護坡方式：		排水方式：					
<b>三、幾何尺寸</b>									
地錨邊坡尺寸：		長(m)	寬(m)	高(m)	地錨尺寸：		自由段(m) 錨碇段(m)		
<b>四、地質概況</b>									
錨碇段地質描述：				邊坡坡度：					
<b>五、檢測資料</b>									
檢測日期： 年 月 日				檢測廠商：					
項目	功能影響配分	檢視內容	權重	地錨編號					
錨座保護座外觀	10	•錨頭保護座翻轉或掉落	0						
		•錨頭保護座與受壓版分離大於 2mm	0.25						
		•水質為強烈腐蝕							
		•錨頭保護座與受壓版分離，且小於 2mm	0.50						
		•受壓版開裂或下方表土掏空							
		•水質為顯著腐蝕							
		•錨頭保護座週邊滲水、白華或錨座外觀輕微破損	0.75						
		•水質為中等腐蝕							
		•無異狀或水質正常	1.0						
錨頭組件	15	•組件脫落(夾片脫落，鋼腱內縮或斷裂)。	0						
		•鋼腱或錨頭表面可見局部鐵鏽碎片和裂縫，分佈表面積大於 50%以上，鋼腱橫切面已因鏽蝕而變形。	0.25						
		•鋼腱或錨頭表面可見局部鐵鏽碎片和裂縫，但分佈表面積小於 50%。	0.50						
		•輕微鏽蝕或滲水。錨頭有鏽蝕現象，鏽蝕深度淺薄，無法量測或小於 0.1mm。	0.75						
		•無鏽蝕且無滲水	1.0						
內視鏡鋼腱鏽蝕	25	•鋼腱斷裂或鋼絞線散開且全面鏽蝕。	0						
		•鋼腱呈深褐色，表面已有珊瑚狀或瘤狀突起或鏽蝕面積達 90%以上。	0.25						
		•鋼腱呈深褐色，表面略粗糙，尚無珊瑚狀或瘤狀突起或鏽蝕面積介於 50~90%。	0.50						
		•鋼腱呈淺褐色，但表面光滑或鏽蝕面積介於 10~50%。	0.75						
		•無異狀或鏽蝕面積未達 10%	1.0						
殘餘荷重	50	•拉脫、鋼腱斷裂或 $Tr=0$	0						
		• $Tr>1.2Tw$ 或 $Tr\leq 0.2Tw$	0.33						
		• $0.2Tw<Tr\leq 0.5Tw$	0.66						
		• $0.5Tw<Tr\leq 0.8Tw$	0.77						
		• $0.8Tw<Tr\leq 1.2Tw$	1.0						
單一地錨功能評分小計									
單一地錨功能評估分級 $\beta$									



現行之地錨邊坡整體功能評分表（續）

<b>一、地錨邊坡基本資料</b>																									
檢查位置：里程		<input type="checkbox"/> 北上(西向)、 <input type="checkbox"/> 南下(東向) 完工日期： 年 月 日																							
<b>二、施工方式</b>																									
地錨型式：		護坡方式： 排水方式：																							
<b>三、幾何尺寸</b>																									
地錨邊坡尺寸：		長(m)	寬(m) 高(m) 地錨尺寸： 自由段(m) 錨碇段(m)																						
<b>四、地質概況</b>																									
錨碇段地質描述：																									
邊坡坡度：																									
<b>五、檢測資料</b>																									
檢測日期： 年 月 日		檢測廠商：																							
地錨邊坡整體功能評分 $\alpha$																									
地錨邊坡整體功能分級																									
<p>註：</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>1. 單一地錨功能評估分級 <math>\beta</math></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th>總分</th> <th>單一地錨功能分級</th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>X. 功能喪失</td> </tr> <tr> <td><math>\beta \leq 40</math></td> <td>A. 極差</td> </tr> <tr> <td><math>40 &lt; \beta \leq 60</math></td> <td>B. 不佳</td> </tr> <tr> <td><math>60 &lt; \beta \leq 80</math></td> <td>C. 尚可</td> </tr> <tr> <td><math>80 &lt; \beta</math></td> <td>D. 正常</td> </tr> </table> </div> <div style="width: 45%;"> <p>2. 地錨邊坡整體功能評分 <math>\alpha = (\sum \text{各地錨總分} / \sum \text{地錨支數})</math></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th>整體評分</th> <th>整體功能分級</th> </tr> <tr> <td><math>\alpha \leq 40</math></td> <td>A. 極差</td> </tr> <tr> <td><math>40 &lt; \alpha \leq 60</math></td> <td>B. 不佳</td> </tr> <tr> <td><math>60 &lt; \alpha \leq 80</math></td> <td>C. 尚可</td> </tr> <tr> <td><math>80 &lt; \alpha</math></td> <td>D. 正常</td> </tr> </table> </div> </div>				總分	單一地錨功能分級	0	X. 功能喪失	$\beta \leq 40$	A. 極差	$40 < \beta \leq 60$	B. 不佳	$60 < \beta \leq 80$	C. 尚可	$80 < \beta$	D. 正常	整體評分	整體功能分級	$\alpha \leq 40$	A. 極差	$40 < \alpha \leq 60$	B. 不佳	$60 < \alpha \leq 80$	C. 尚可	$80 < \alpha$	D. 正常
總分	單一地錨功能分級																								
0	X. 功能喪失																								
$\beta \leq 40$	A. 極差																								
$40 < \beta \leq 60$	B. 不佳																								
$60 < \beta \leq 80$	C. 尚可																								
$80 < \beta$	D. 正常																								
整體評分	整體功能分級																								
$\alpha \leq 40$	A. 極差																								
$40 < \alpha \leq 60$	B. 不佳																								
$60 < \alpha \leq 80$	C. 尚可																								
$80 < \alpha$	D. 正常																								
<p>注意事項：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>錨座保護座外觀、錨頭組件及內視鏡鋼腱銹蝕檢視依其檢視結果填寫評分，並依序貼附照片。</li> <li>殘餘荷重檢測結果須檢附試驗曲線圖(圖中應標示設計荷重 Tw 及殘餘荷重 Tr 位置)。</li> <li>邊坡外觀檢視如有多處發生地錨保護座翻轉或掉落情形，應於備註欄註記。</li> </ol>																									
地錨編號：																									
錨座保護座外觀照片	錨頭組件照片	內視鏡鋼腱銹蝕照片	殘餘荷重試驗曲線																						
地錨編號：																									
錨座保護座外觀照片	錨頭組件照片	內視鏡鋼腱銹蝕照片	殘餘荷重試驗曲線																						
備註：																									
檢測人員：		單位主管：																							

經逐項檢視現行地錨功能評分項目，係根據目前高公局採用之地錨功能檢測方式方法，包括錨座外觀檢視、錨頭組件檢視、內視鏡檢視及揚起試驗等四大項目，由前期研究計畫之檢討，各項目的給分標準也尚屬合理，但配分方式偏向以地錨殘餘預力來評估整體地錨護坡功能（配分佔 50%），恐易低估地錨長期功能之評估。建議後續計畫可朝以下方向進行研究調整。

1. 地錨邊坡意指地錨護坡系統及所在邊坡（含範圍內之各項工程設施），地錨邊坡之現況功能不應僅由地錨護坡系統之檢測成果加以評定。因此建議，現行之地錨邊坡整體功能評分表可改為地錨護坡系統整體功能評分表，以避免混淆。
2. 地錨護坡系統包含「地錨」及「承壓系統」二部分，建議整體功能評估，均應考量此二部分之檢測成果。
3. 整體地錨部分之評估，在抽檢之個別地錨為採亂數隨機取樣之前提下，可由功能檢測成果加以評估。

而個別地錨之功能評估，建議分別依「健全度」及「服務性能」加以個別檢討。

- (1) 健全度：地錨之健全度，代表該支地錨之各項組件（如錨頭保護系統、錨頭組件系統、鋼腱系統等）現況之完整性或功能，與興建完工後初始狀態之差異，即代表該支地錨現況之「健康程度」，必可推判該支地錨在環境狀況不改變下之使用壽命。
- (2) 服務性能：地錨之現況服務性能，一般係指地錨之殘餘荷重，即代表該支地錨對於邊坡穩定所提供之性能。

由於地錨之設計多採用安全係數法，因此地錨之「服務性能」高低並不必然與「健全度」相關，常見地錨鋼腱已嚴重銹蝕，健全度差，但該地錨之殘餘荷重仍與設計荷重相當，服務性能仍符合設計需求。

4. 地錨承壓系統亦為影響整體地錨護坡系統功能性之重要因素，建議應加以評定，但評定原則建議以「全體承壓系統」為評估標的，而非單一地錨之承壓系統。
5. 由於因檢測科技進步或待測環境改變（如自由段已因改善而全滿漿，而無法再以內視鏡深入探視），現行地錨檢測方式可能有所改變，建議評估項目以定義檢視標的物為原則，避免納入特定檢測方式之產出成果，以提昇評估方法之使用性。

## 4.2 損壞歷史統計分析

### 4.2.1 文獻回顧及資料收集

由於國道邊坡工程具有極高之複雜性、不確定性及風險性，且臺灣地質構造脆弱，環境條件複雜，因此國道高速公路於全生命週期間，自然難以避免邊坡工程相關損壞事

故之發生。然由於缺乏相關邊坡損壞機制分析之參考依循，使得全面性落實生命週期概念的管理系統，無法針對不同性質資料進行分析（例如巡查監測資料與養護頻率之關聯），對高公局所轄各區處邊坡現況獲得更全面的掌握，以有效的進行國道沿線維護及檢修的流程，進而減少邊坡災害，提高國道工程整體效益，並確保用路人的行車安全。因此，國道邊坡損壞歷史統計分析工作重點，乃為依據巡查所收集的資料，對各路段邊坡的各項人為設施，進行統計分析，以了解何處易遭損壞及導致損壞原因。

一般而言，邊坡之損壞原因可歸納為二大類，即：環境本質因素及外在誘發因素。環境本質因素可分為地形、地質材料、地質構造、地表植被及地下水等項目；外在誘發因素可分為降雨、地震及人為開發等，邊坡之損壞多由上述單一或多種因素組合所導致。基本資料因此包括邊坡環境及人為設施等二大項，其中人為設施主要為工程上所採用的元件或措施，如擋土牆、地錨、護坡、排水等。由於國道高速公路兩側多為上下邊坡，往往豪雨來襲時，雨水造成淺層土壤飽和、剪力強度下降，造成嚴重邊坡沖蝕、淺層滑動等現象，甚者造成大規模的圓弧形滑動、順向坡滑動破壞，其事故處理費用龐大之外，更可能造成人員生命的損失。

高公局曾於民國九十一年委託辦理北二高邊坡體檢工作，以瞭解北二高邊坡損壞相關問題（堅尼士工程顧問有限公司，2002）。由研究成果報告中各邊坡在完工後數年之破壞潛勢來看，邊坡破壞原因不外乎下列諸端：地質調查不足，導致地質構造（如順向坡）預估位置與實際開挖時有差異；因分析方法及參數使用錯誤，對邊坡斜率估計太過樂觀；填土於不良地質區，因承载力不足而破壞；因地表逕流入滲而造成水位上升，剪力強度降低而破壞；施工順序不當，因開挖坡趾而引起順向坡破壞；因環境變遷（如風化、入滲等），施工因應不足；施工單位素質不佳，對現場地質與設計原意瞭解有限，或施工偷工減料，或對品質缺乏認識；超過設計標準之暴雨、地震等天然因素（不可抗力）；及設計與施工間之界面因素。本研究之損壞基本資料整理工作，乃依收集到的資料，對國道各路段人為設施損壞情形進行整理，以瞭解設計年限及服務年限等概念。

另根據國道新建工程局於 92 年委託堅尼士工程顧問有限公司研究之「國道大地工程事故調查鑑定作業準則」（2003），對國道沿線邊坡之勘察與部份災害原因研判，一般國道邊坡或路堤於施工中或完工後數年之發生破壞災害原因可歸納為五個方向：調查、設計、施工、使用維護、其他。

以下就邊坡災害歸因於各項目之原因，摘述如後：

1. 歸因於調查階段之因素：

- (1) 地質調查數量不足，導致岩層性質或不連續面等地質構造預估位置與實際開挖時有差異。
- (2) 未確實執行或未執行地質調查工作，例如以少量鑽孔等調查資料虛報多量鑽孔資料。
- (3) 地質資料研判錯誤。

(4) 調查單位未能充份掌握基地之地層與工程環境特性，未確實評估可能之地質災害及缺乏相關之大地評估分析工作，且未告知設計單位可能之風險及潛在危險性。

(5) 測量錯誤或未經實測逕行提供不實資料。

2. 歸因於設計階段之因素：

(1) 因地質材料參數使用不當，導致不安全之分析結果。

(2) 未根據調查單位所提供之地層調查報告，合理且妥適予以規劃設計各種擋土措施，導致不安全之結果。

(3) 因輕忽破壞機制、分析方法使用不當或未達安全要求規範之標準，導致災害之發生。

(4) 規劃設計工法不當，未適切考慮地形、地質或水文條件等環境因素，導致災害之發生。

(5) 路堤填土於不良地質區，因承载力不足或沉陷量過高而破壞。

(6) 未適當考慮降雨因素之影響。暴雨時，因地表逕流入滲土壤或岩層不連續面，造成水位與水壓之升高，剪力強度降低而滑動破壞。

(7) 未適當考慮地震因素之影響，滑動破壞剪力強度降低而破壞。

3. 歸因於施工階段之因素：

(1) 施工順序不當，造成挖坡趾而引起邊坡崩塌或順向坡滑動。

(2) 施工期間遇豪雨等環境變化等因素，未能及時設置防災措施，造成工程災害。

(3) 未依圖施工。

(4) 施工期間已發現邊坡有非預期之裂縫或不正常之出水現象，未能及時通報處理，導致情況惡化，引致邊坡滑動崩塌等災害。

(5) 施工單位素質不佳，對施作工程項目之專業知識與瞭解有限，或施工時偷工減料，或對品管缺乏認識，導致工程災害之發生。

(6) 施工期間未詳閱施工圖說，或對圖說原意不瞭解，未進行與設計單位溝通，並逕行修改原設計，導致工程災害之發生。

4. 歸因於使用維護階段之因素：

維護管理單位未能定時體檢並進行維護工作，或有失敗之徵兆時未能及時提醒相關單位，導致工程災害之發生。

5. 歸因於其他之因素：



- (1) 超過設計規範或標準之暴雨、地震等不可抗力或無法預期之天然因素，或其他不可預期之因素。
- (2) 地質之變異性：雖經一般實施之地質調查、鑽探、試驗、監測等程序，仍無法察覺並事先預防之地質災變。

至於在資料分析方面的工作，主要為符合生命週期維護管理的概念，針對國道邊坡所轄範圍，蒐集有關邊坡基本資料、自然環境、地質狀況等基本資料，配合監測資訊、巡查維護紀錄、養護整修紀錄，分析各路段人為設施安全性，以及所對應的邊坡進行安全評估。

土木工程人員需於工程設計年限內，確保邊坡服務性能在安全界限內。而要達成此目標，除了建設期間的規劃、設計、施工等需有周全的考量外，工程完工後的維護、檢修、保養更形重要。台灣坡地面積占百分之七十以上，重大交通建設無不與坡地有關。自從 2010 年 4 月 25 日國道 3 號高速公路在七堵路段 3k+100 附近發生大規模坍方事件，造成 3 輛汽車遭掩埋 4 人罹難後，高公局與國道新建工程局，更積極檢討國道道路邊坡全生命週期的管理與維護問題，並曾於 100 年 1 月 21 日對外召開「道路邊坡全生命週期管理實務研習會」，會中交通部毛部長於致詞時亦提到：(1) 台灣天候地質條件須以較國際更嚴格的標準來看待；(2) 邊坡地錨若視作永久結構體，其實是有其生命週期，一旦建立後即進入生命衰退期，到一期限後即需要補強或重建。

邊坡人為設施由於設計條件改變或年久失修，即應進行工程使用壽命檢查、維修並評估，必要進行補強延壽或重建，以維護地工結構安全及增加工程使用年限。然而近年來全球氣候變遷，極端氣候現象加劇，加上臺灣地理位置特殊，地震與颱風等天災隨時可能侵襲，國道邊坡安全設施面臨更趨嚴峻的考驗。就工程而言生命週期為整個分析投資期間的時間，即設施出生到拆除重建的時間。生命週期可分為規劃 (Planning)、設計 (Design)、施工 (Construction)、維護 (Maintenance) 等 4 個階段 (毛治國等，2011)。然而國道邊坡各種人為設施之設計年限或使用年限或服務年限，仍存在許多不確定的影響因素，至今尚有諸多發展研究空間。

舉例來說，地錨使用在高挖方邊坡及具有較深層破壞潛能邊坡之穩定功能與防制效益上，確實有其優越性，過去曾廣為國內工程界肯定及採用。但於普遍採用後之地錨，因頗多使用者欠缺正確的認知，對其設計與施工品質未能有效確實管控，以至社會大眾及工程界出現不少反對採用地錨之聲浪。

行政院研究發展考核委員會委託中華民國土木技師公會全國聯合會研究之「我國因應重大天然災害風險之公共設施安全係數研究」(2011)，國道三號七堵段走山災變係肇因於地錨抵抗不住順向坡大量土石方向下滑動龐大力量而斷裂，造成重大災難事件，對於公共工程所使用作為永久設施或結構體受力一部份之工程材料，如地（岩）錨應訂定 30 年之使用年限。因暴露於大自然空氣中之鋼筋混凝土結構物之使用年限一般為 50~100 年，地（岩）錨之鋼線或鋼絞線係深埋於土石（或岩層）中，受地下水入滲之潮濕環境影響，極易因時間久遠而生鏽、腐蝕。訂定 30 年之使用年限配合長期監測機制，方能確保公共安全。當然，其他工程材料亦該有相同考量。

#### 4.2.1.1 損壞記錄統計分類

國道邊坡多經開挖或填方等地形之改變，因此常設置人為擋土結構或護坡工程加以穩定。較常用邊坡擋土工法包括：擋土排樁工法、坡趾壓重工法、修緩坡以減輕邊坡荷重、噴凝土(加地錨)工法、地錨加格框護坡工法、石籠加勁擋土牆、RC 擋土牆、排水等方法，但皆可能在營運生命週期發生損壞情況。本研究對損壞紀錄分類(分為擋土牆、地錨、護坡、排水設施等)，並進行統計分析，統計其損壞次數，及發生損壞的情況(條件)為何，再進行相關說明。

高公局 100 年 2 月修訂之技術規範「高速公路養護手冊」(2011)中說明，邊坡之養護在使路基、路肩、邊坡、擋土設施及其他保護邊坡設施，並透過各種養護巡查、監測設置或維護措施，以維持邊坡之穩定、安全及完整。其中相關擋土牆、地錨、護坡、排水設施等人造設施之一般注意事項如下：

##### 1. 擋土牆(設施)注意事項

- (1) 保持擋土設施之兩端與相鄰邊坡連接處完全密接。
- (2) 經常勘查護坡與擋土設施之坡趾，如發現坡趾遭受沖刷或淘空，應儘早修復。
- (3) 擋土牆必須保持完整，背填土石如有沖失，應予填實，洩水孔務須保持暢通，以減少孔隙水壓力。洩水孔如有堵塞，應及時疏通，如無法疏通，應另行選擇適當位置增設洩水孔，或於牆背後沿擋土牆增作牆後排水設施，以防止牆後積水引起側向壓力增加。
- (4) 擋土牆基腳易遭受雨水及溪流沖刷，導致基礎淘空而滑動坍塌，應注意檢查，適時保護。颱風、地震及豪雨後，尤須加強檢查。
- (5) 擋土牆常因其頂部荷重變化，排水不良以及邊坡破壞，含水量增加等因素，使擋土牆發生沉陷或龜裂，故應隨時注意，並針對破壞因素設法改善加固。
- (6) 擋土牆因土壓力增加，有倒塌之虞時，如背後有岩層，可用預力地錨錨碇法加固。
- (7) 如有良好之岩石基礎，可加築混凝土撐柱(或牆)加固。
- (8) 如牆趾前方地形較為平緩時，可在牆趾處填土，以增加其穩定性；如牆趾前方呈斜坡時，可在牆趾前打樁並加築混凝土護牆，以防止滑動。
- (9) 除上述方法外，亦可在牆後換填透水材料，降低地下水位，以減少牆背側向壓力。如配合上述方法一併實施，將更可增加擋土牆之安全。
- (10) 原擋土牆損壞嚴重，若採用前述加固方法仍不能達到設計強度要求時，應考慮將損壞部分拆除重建。為防止不均勻沉陷，新舊擋土牆間應設置施工縫，並應注意新舊擋土牆接頭協調。
- (11) 護坡或擋土設施之頂面與路肩同平整，以使鋪面、路肩之集水得由其表面排下，不致滲入牆內或被阻滯。



(12) 適度利用植生美化護坡及擋土設施。

2. 對於鋼筋混凝土擋土牆巡查項目及要點如下：

- (1) 擋土牆結構形式種類眾多，在檢查作業前須先了解各種形式擋土牆之特徵，並應詳閱竣工圖。
- (2) 高擋土牆或設置於坡面上、軟弱地盤上之擋土牆，由於基礎地盤、填土、開挖等變形之影響，易發生移動、沉陷、傾斜，故檢查時應就本體構造物所在處與周邊環境合併調查。又擋土牆因此等變形而在牆面上發生較多裂縫，此種裂縫與乾燥收縮所生之規則裂縫不同，一般多呈縱向和水平向，而水平向裂縫多係因地表變動所致，尤應注意。
- (3) 擋土牆之排水設施是否發揮其功能也是重要檢查項目之一，若洩水孔排水功能喪失將增加擋土牆背面之壓力，易造成擋土牆之倒塌。

3. 地錨工法注意事項 (中華地理資訊學會，2002)

根據國外的研究顯示，導致地錨服務年限降低的因子包括腐蝕、潛變或喪失握裹所致之預力損失、設計載重未考慮彎矩應力、循環荷重、凍結力、靜水壓，及錨碇破壞等。國際混凝土協會 (FIP) 針對 35 件地錨破壞案例進行調查分析 (間接引自「地錨設計與施工規範暨解說」)，抗張材斷裂的位置大都在錨頭附近及自由段為多；破壞原因如同美國聯邦高速公路研究計畫所做的結論：

- (1) 導致地錨服務年限降低的主要原因係腐蝕的問題，潛變較少被發現。但無論如何潛變仍可能影響地錨的功能，因此藉由如本報告所述使用中的檢驗方法，可協助評估潛變的可能性。
- (2) 許多地錨腐蝕問題源自所處環境，包括腐質土及錨孔成為水路而有地下水流經。
- (3) 錨碇段被觀察到具腐蝕現象之案例不多，但卻發現有漿體裂縫的存在，特別是錨碇段的前端。此現象肇因於施加預力，使得應變集中於該區，導致漿體裂縫的產生。當有地下水存在時，此種裂縫會降低漿體對鋼材的保護，提供鋼材與土壤中電解質作用的機會，因而加速腐蝕。
- (4) 經由正確的安裝及完整的防蝕保護，地錨未必容易腐蝕，即使是位於腐質土區亦然。

4. 噴漿 (剛性護坡) 注意事項

- (1) 剛性邊坡防護工程若有龜裂、滑動、沉陷等現象，邊坡很可能崩坍，應及早處理以防止其擴大。表面龜裂、剝落之損壞在檢查時較易察覺，但有關沉陷、移動、內部空洞等則需運用觀測儀器測量檢定之。

- (2) 由噴漿面之洩水孔或裂縫湧出之水量較多處，常因湧水通路使噴漿背面洶空，產生內部空洞，因此在地下水位高時應檢查噴漿面有否與地表面隔離或噴漿背面是否有空洞存在。
- (3) 擋土牆必須保持完整，背填土石如有沖失，應予填實，洩水孔務須保持暢通，以減少孔隙水壓力。洩水孔如有堵塞，應及時疏通，如無法疏通，應另行選擇適當位置增設洩水孔，或於牆背後沿擋土牆增作牆後排水設施，以防止牆後積水引起側向壓力增加。

#### 5. 坡面排水設施養護

- (1) 截水溝設於路塹坡頂之外，將雨水攔截並導流於平緩山坡或自然溝壑，使其不致沿邊坡直沖而下，造成沖刷及破壞邊坡穩定。一般設在路塹之上方，養護時較易被忽略，一旦淤積亦不易清理，故應特別記載，以利巡查養護。截水溝一般可使用深寬各 30 公分以上之 U 形混凝土溝或漿砌卵石溝。
- (2) 坡面平臺溝一般設在高路塹邊坡及高路堤坡面上，除原有既設者外，較重要道路應於拓寬時考慮施設。路塹邊坡段增設平臺溝應注意事項如下：挖土之邊坡如相當平緩，無需設置平台，但邊坡受風化影響土粒鬆散易剝落，且為機械施工或養護上便於立足，及為避免地表逕流流速增加引起沖蝕，每 6~8 公尺高邊坡宜設一平臺，寬約 1~1.5 公尺。其位置設在表土與岩層交界處，或於擋土牆頂部。路堤邊坡段增設平臺溝應注意事項如下：路堤填土高度超過 8 公尺以上，應考慮設置平臺，寬 1.5~3 公尺，臺面亦應略為內斜，以利臺面及坡面之流水匯集於平臺溝。
- (3) 高路塹或高路堤之坡頂截水溝、路肩側溝及坡腰之平臺溝，為避免流速及流量增加造成不經濟之大斷面，減少滲透及減低局部堵塞時可能發生危害之程度，於適當距離應設置豎溝（或吊溝）排洩。

然由於邊坡工程在其全生命週期中之不確定性甚高，即或在相同地質及環境下，仍可採多種人為地工構造之設計，因此就設計而言，常無所謂絕對之正確性及安全性。國道新建工程局便曾彙整二高邊坡的災變案例(2000)，對案例依坍塌類型，如逆向坡傾覆型、弧型或平面滑動型、流動型、複合型等破壞加以分類。並另以坍塌原因加以分類，包括因填土於不良地質區或因地質構造預估位置與實際有差異等（表4.21）。經綜合檢討上述邊坡坍塌案例，可以印證水是所有坍塌破壞的主要殺手。水破壞土顆粒間之毛細吸力，使土粒間之孔隙水壓力由負值（未飽和狀態）增至正值（飽和狀態），因此降低土體剪力強度。此外，蓄積之水壓力，將增加岩土體下滑之驅動力，使邊坡易於坍塌。

表 4.21 二高邊坡事故以邊坡坍塌原因分類 (交通部臺灣區國道新建工程局，2000)

坍塌原因	坍塌案例
因填土於不良地質區	里程 0k+900m 樟樹里高架橋北橋台路堤段 (案例 1) 里程 14k+300m 政大後山地滑 (案例 2) 里程 82k+400m~83k+100m 路堤大填方區 (案例 24)
因地質構造預估位置與實際有差異	里程 71k+290m~71k+680m 右側傾向坡平面滑動 (案例 14) 里程 80k+210m~83k+100m 順向坡平面滑動 (案例 18、19、20、21、22、23、24 及 25)
因連日降雨及地表逕流入滲造成地下水位上升、剪力強度降低	案例 3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、15、16、17、26、27、28、29、30、31、32、33

當然前述各邊坡破壞發生後均經提出整治工法改善完畢，其採用之工法包括修緩坡以減輕邊坡荷重、坡趾壓重工法、擋土排樁工法、噴凝土加岩栓工法、地錨加格框護坡工法、石籠加勁擋土牆、RC 擋土牆、排水工法等，如表4.22所示。

表 4.22 二高邊坡事故整治工法與整治案利統計表 (交通部臺灣區國道新建工程局，2000)

整治工法	整治案例
修緩坡以減輕邊坡荷重	案例 4、10、11、12、17、18、28、29、30、31、32、33
坡趾壓重工法	案例 2、6、24、29
擋土排樁工法	案例 1、3、5、9、14、18、19、20
噴凝土加岩栓工法	案例 4、5、7、12、13、14、18、19
地錨加格框護坡工法	案例 3、4、5、14、18、19、23、25
石籠加勁擋土牆	案例 14、15、17、18、21、22、31
RC 擋土牆	案例 27、32、33
排水工法	案例 2、3、9、11、13、16、24

由於國道邊坡多經開挖或填方等地形之改變，因此常配合以人為擋土結構加以穩定邊坡，而國道擋土結構常見之破壞類型有：RC 擋土牆之位移破壞、地錨破壞、噴漿破壞、及排水設施破壞等類型。國道邊坡定期巡查範圍為對道路主線兩側邊坡，進行全面性巡查與建檔。巡查範圍至路權線外延伸 50 公尺處，但於專業判斷有需要時，便則擴大巡查範圍。維護管理單位若未能定時巡查並進行維護工作，或於有失敗之徵兆時未能及時提醒相關單位，則常導致工程災害之發生。因此，本項工作隨後對損壞紀錄進行分類，分類項目可依據不同引致損壞的原因來考慮，此項工作可納入邊坡管理系統，作為一項統計分析功能。

巡查資料中相關於各類人為設施之巡查紀錄項目，本研究於提出討論並經同意後，開始進行蒐集收集歷次巡查的各種表單紀錄中，重要且可供做生命週期管理的項目，而



經討論後所提出的各類人為設施之巡查紀錄項目在4.2.2節中詳細論述。藉由資料庫系統之建置，期能有效加強國道邊坡管理的功能性與永續性，並提升高公局防災應變能力。國道邊坡如能有良好之維護管理，及對邊坡設施之損壞維修能有符合經濟、品質及時程之作業程序，便可使道路維持原設計之生命週期（即當初預期壽命），或繼續有效地延長其壽命，以服務公眾。

#### 4.2.1.2 結構使用年限損壞定義探討

本研究計劃探求國道邊坡人為設施之使用時間與使用年限之關係，需要分析在同一段，同一類的人為設施約多久會發生損壞，以得知該類設施在何種狀況下易損壞，並推估大約多久應進行養護，以符合生命週期的概念。此時，國道邊坡人為構造物之類型，現場內外排水設施、野溪、山溝、公共水土保持設施現況，及邊坡及擋土牆設施狀況，皆為重要有效的資料。此外，損壞之原因研判技術與分析技術，亦更為確保工作成果品質之基礎。

於國道邊坡損壞事件基本資料蒐集及統計分類後，並考量國道邊坡人為設施平日營運維護狀況，隨後之重要工作則為依據相關數據，預判養護工作之急迫性，以作為現場作業規劃之參考。當然，亦可附帶調查與瞭解災害現場或附近區域之各種與大地工程相關之災害歷史，以輔助研判災害發生之原因。在管理架構下納入生命週期概念，可將國道的維運目標有效的依設施年限、邊坡安全評等、養護成果等來實施階段性的工作，可以提升國道對用路人的服務品質，也能確保國道發揮原有的功能。國道邊坡如果能有良好之維護管理，及對邊坡人為設施之損壞維修能有符合經濟、品質及時程之作業程序，則可使道路維持原設計之生命週期（即當初預期壽命），甚或繼續有效地延長其壽命，以服務公眾。

##### 1. 使用年限 (Service life) 相關定義

目前國內在使用年限這個名詞上，雖已有了少部分之研究[8]，但實際上並沒有詳細的規範及定義。國外部份，在日本則已經有了一些相關研究(大即信明等)，對於使用年限進行探討。但以結構物的層面來說，工程界關於年限使用的名稱雖然有諸多不同，其意義卻是非常相近通用的。因此，本節對於蒐集整理的常用年限相關名詞進行定義解釋，說明如下：

- (1) 設計使用年限：設計者依照委託者之需要，根據相關設計規範及法令的規定，於設計階段中明確要求的使用年限。目前國內尚無相關規範及法令明確規定，但國外則已有相關規範及法令可循。
- (2) 結構使用年限（服務年限）：基本上從結構物完工安置後，在所預想的環境與常態性的維護管理之下，至結構物狀態已無法滿足設計階段時最小限度需求之期間。
- (3) 保固年限：一般會於設計階段的合約中提到，當結構物完工安置並正式啟用後，必須確保該結構物可以滿足設計時的最低要求。在國內無相關規範及規

定，目前皆由委託者及設計單位決定，但在國外由於設計使用年限已有訂定相關規範及法令，意即等同於保固年限。

- (4) 安全使用年限：基本為該物開始啟用後，在常態使用狀況下，不經維護管理而能正常使用的時間，一般常用於家電、機械類等物品。以工程界的觀點來說，一般結構物都會於設計時加入環境、材料、施工品質及其他變因等等，並直接要求其結構物的安全性及耐用性，所以此名詞於工程界甚少使用。
- (5) 極限使用年限：在結構物正式啟用，使用時間已達到當初設定使用年限後，經一定程度的維護管理之下，使該結構物能夠繼續使用，目前該名詞只在日本的「建築工事標準仕様書・同解説・JASS 5 鋼筋混凝土工事 1997」(日本建築學會，1997) 出現過。
- (6) 養護年限(養護週期)：在結構物完工正式啟用後，定期的對該結構物進行維護管理，以維持該結構物功能正常，直到結構物狀態崩毀無法繼續使用，這段定期進行維護管理的時間就是其養護年限，也等同於一般所說的養護週期(多久該養護以便繼續使用)，而其目的就是延長該結構物的結構使用年限。但到底多久該進行養護，則可依照「公路養護手冊」(交通部公路總局，2012) 第 3 章，和「高速公路養護手冊」第 5 章及第 7 章辦理。

在此順便一提的是，在國外的現行規範中，許多國家都期望延長結構物的使用年限，進而規定設計使用年限的要求，以作為結構設計的依據以及推算結構使用年限的指標，其內容如下所述：

**歐洲：** 根據 EUROCODES 1999，評判的標準以需要適當的維護管理為前提的使用年限觀念。並將結構物之設計使用年限劃分為四個等級，如下：

**第一級：** 簡單的結構物，設計使用年限為 15 年。

**第二級：** 可簡易替代之結構物，設計使用年限為 25 年。

**第三級：** 結構物與其他公共結構物，設計使用年限為 50 年。

**第四級：** 橋樑、紀念性與其他結構物，設計使用年限為 100 年。

**美國：** 根據 AASHTO 1994，主要以結構物的疲勞與生命週期成本(LCC)作為考量，設定結構物之設計使用年限為 75 年。

**紐西蘭：** 根據 NZS 3101 1995，以使用年限超過 50 年時，必需修正結構物之耐久性，因此訂定設計使用年限為 50 年。

**日本：** 根據「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鋼筋混凝土工事 1997」，以局部小規模維修以及是否需要大規模補修為前提，且在設計使用年限內之結構物不需要大規模維修的標準下，分為三級，如下：

**一般：** 設計使用年限為 30 年，極限使用年限為 65 年。

**標準：** 設計使用年限為 65 年，極限使用年限為 100 年。

**長期：** 設計使用年限為 100 年。

## 2. 結構使用年限評估方法

本研究計畫的目的是以統計方法，瞭解一般邊坡人為設施結構物究竟能使用多久（結構使用年限或服務年限）。雖然國內現階段沒有完整明確的規定，但國外目前已經有相關的規定，來要求其結構物之使用年限。從永續經營管理而言，使用年限的觀點可視為一種結構物壽命的參考指數，即使用年限的決定仍存在許多不確定的影響因素。一般而言，其考量觀點如下（黃榮堯等，2003）：

**經濟性：** 一般所指之經濟性使用年限，係指當結構物機能發生降低時，只要其尚未達無法使用狀態，而可藉由修復工作來恢復其原先使用機能，此等修復工作可能會在結構物的使用過程進行好幾次，但累計修復的金額仍比拆除重建的金額還低，若費用過高則也許可採不修復更為合適。

**功能性：** 結構物本身功能要求滿足當初所預定的使用用途或機能，但隨著時間及環境的遷移改變，對設計構造與型式等會產生新的需求，而結構物已無法滿足這些需求及改變，則可視為預期功能已不敷使用功能的需求，即視為到達功能性使用年限。

**物理性：** 以結構物經長期使用，在自然條件下造成使用性能降低的觀點來決定壽命。此觀點下的結構物，通常發生之現象為結構材料發生嚴重老化，以致影響構件的強度，再衍生安全堪慮而須加補強或拆除重建，無法再維持其原設計使用性。結構物在自然條件下完全毀壞的情況較少，由於地震、水力所造成的結構物損壞較多，雖然結構物在實際上並未到達自然老化的情況，但從結果來說，它亦可視為已經到達物理使用年限。

結構使用年限研究課題，近年來在國際間已受相當重視。由於各國在社會人文發展背景、政策、技術乃至於工程文化都有所差異，如何發展建立結構使用年限研究方向也有所不同，各國結構使用年限之特性分析比較，見於表4.23。



表 4.23 各國結構使用年限之特性

	歐洲	美國	日本
背景	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 根據使用年限與工作環境來考慮耐久性的極限狀態。</li> <li>2. 在結構損壞的機制裡，歸納出結構抵抗環境作用能力。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 根據使用年限明確規定耐久性極限狀態。</li> <li>2. 在結構損壞的機制裡，歸納出結構抵抗環境作用能力。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 根據使用年限的耐久性，設計結構物構造要求。</li> <li>2. 分析結構抵抗力，根據時間變化的規律訂定明確使用期。</li> </ol>
準則	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使用年限內之結構物不應有大規模維修。</li> <li>2. 以具有適當的維護管理為前提。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 設計使用年限內之結構物不需進行大規模維護管理。</li> <li>2. 以腐蝕、疲勞及 LCC 作為考量。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 考量結構物局部小規模維修與大規模補修。</li> <li>2. 以抵抗因子、LCC 作為考量。</li> </ol>
方法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究各構件明確使用年限。</li> <li>2. 整合各構件整體使用年限以建立線性模式。</li> <li>3. 引用地理資訊系統技術並發展試驗能力。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究各主要構件明確使用年限。</li> <li>2. 認為主要構件的使用年限可以代表整體的結構物。</li> <li>3. 應用大量的監測系統以及統計資料。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究各主要構件的主要劣化模式。</li> <li>2. 整合主要構件的劣化模式以建立使用年限。</li> <li>3. 藉由完善的監測系統，來訂定材料的耐久性與使用年限之基準。</li> </ol>

國道邊坡多經開挖或填方等地形之改變，因此常設置人為擋土結構或護坡工程加以穩定。較常用邊坡擋土工法包括：擋土排樁工法、坡趾壓重工法、修緩坡以減輕邊坡荷重、噴凝土（加地錨）工法、地錨加格框護坡工法、石籠加勁擋土牆、RC 擋土牆、排水等方法，但皆可能在營運生命週期發生損壞情況。本計畫主要研究項目分為擋土牆、地錨、噴漿護坡及排水設施等，分別針對該項進行統計分析，統計其損壞次數，及發生損壞的情況（條件）為何，再進行相關結構使用年限的評估。

## 4.2.2 損壞紀錄統計分析

### 4.2.2.1 統計方法選用

本研究為了能使巡查表單資料經過統計後，可以更加明確清晰的看出四類人為設施之結構使用年限損壞百分比的趨勢，因此採用敘述統計方法的觀念來作為統計基礎。亦即以散佈圖做常態分布曲線，及肩形圖做累積次數曲線的分析，進而求出整體資料之平均數及標準差來探討損壞年限之界定。

在圖4.4常態分布曲線及累計面積圖中，X軸為邊坡人為設施之結構使用年限，可以明顯看出其平均值以及標準差。而在其曲線下之累計面積，則可很清楚得知在某年限中損壞的百分比達到多少。

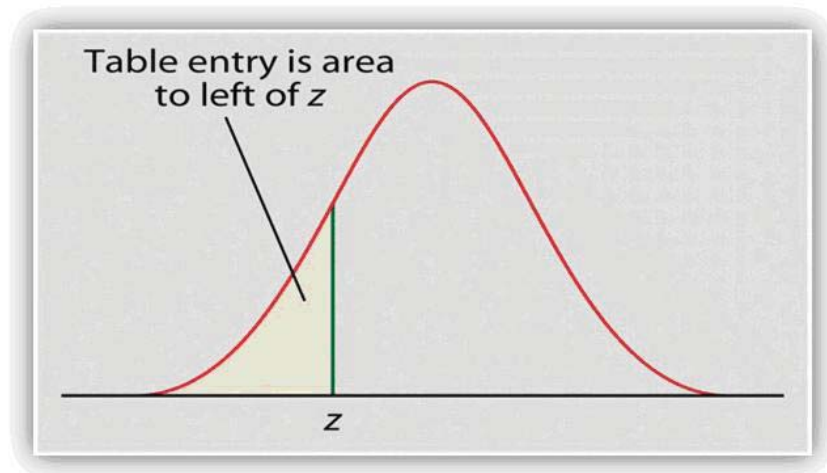


圖 4.4 常態分布曲線及累計面積圖

圖4.5中之肩形圖，則是將數據累計統計所產生之結果。由其斜率可以看出損壞年限之高峰期，此函數圖可以迅速得知年限歷時與損壞數量之關係，進而推算結構使用年限及探討汰換機制。

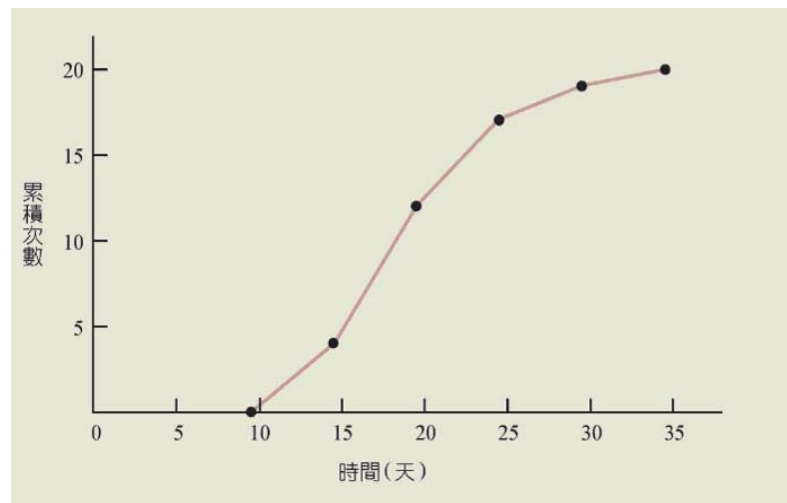


圖 4.5 肩形圖

#### 1. 邊坡人為設施損壞統計說明

本研究統計資料皆取自於網站“國道邊坡全生命週期維護管理系統”，本節截取該網站中之巡查資料予以彙整統計至 101/10/27 日，共有 10508 筆資料在網站上可供察看。再將此 10508 筆資料中篩選過濾出 1254 筆邊坡之最近巡查資料，並從這些資料中劃分為擋土、地錨、護坡、排水等四大類別。

本研究使用於統計之巡查表中的表單類型，皆採用植生擋土巡查 (new) 之資料，如圖4.6所示；由邊坡履歷中可以看出該邊坡防護設施之建造日期，如圖4.7所示；而巡查單中則採用至目前為止各邊坡之最新一筆的資料，如圖4.8。在本階段已完

成上傳的 10,508 筆資料中，因為有部分缺少防護設施之建造日期，以及其他種種相關資料不齊全之情形，本研究僅採用經篩選後可使用之最新資料。

國道邊坡全生命週期維護管理系統

巡查維護資料

巡查資料查詢

巡查維護資料

總共 10,508 筆 每頁顯示 100 筆

邊坡	日期	巡查人	巡查頻率	類型	邊坡履歷	預覽
國道 3 號南向南深路出口左側出口匝道(往北西方向)0k000m~0k300m	101/10/12	趙略昇	定期	植生護土坦(新)		
國道 3 號南向南深路出口左側出口匝道(往北西方向)0k350m~0k650m	101/10/12	趙略昇	定期	植生護土坦(新)		
國道 3 號南向 3k250m~3k475m	101/10/12	趙略昇	定期	植生護土坦(新)		

圖 4.6 巡查維護資料頁面

邊坡履歷 [ 0103XX-007970A00000000 ]

防護設施基本資料

路綫: 國道 3 號

方向: 順向

養護單位: 北區工程處木柵工務段

建造日期: 2001/03/01

設定巡查頻率: 每年(365天), 起算日 2012/01/01

負責人: 陳彥年

起點里程: 起7k970m~迄8k~180m (長度:210 公尺)

邊坡分類: C

縣市: 基隆市

紀錄人員: 何智能

工程編號:

環境資訊

位置: 起點坐標 經度: 25.09233 緯度: 121.66

迄點坐標 經度: 緯度:

挖/填方:

地質:

岩層層序:

岩體種類:

覆蓋層情形:

地質構造:

主要坡向:

上被坡度:

坡形:

圖 4.7 邊坡履歷頁面



日期	巡檢人	巡檢頻率	天氣狀況	預覽
2011/10/06	富國徐儲	定期	陰	
2012/05/15	趙皓昇	定期	晴	
2012/08/21	趙皓昇	定期	晴	
2012/10/12	趙皓昇	定期	晴	

圖 4.8 邊坡巡查資料頁面

於進行資料統計前，首先要先對四大類別損壞之判定有所選擇，經過討論後，決定採用 101 年 2 月之新頒巡查表（表4.24）作為判斷依據，再由目前新頒巡查表單裡的 14 項檢查項目中，對各類別挑出至少一項作為判別標準。新頒巡查表中相關於各類人為設施之巡查紀錄項目，已於本研究進行過程中重新整理於表4.25中。

表 4.24 新頒巡查表巡查紀錄項目

項次	檢查項目	影響程度		
		低	中	高
1	坡頂出現明顯解壓(張)裂縫與凹陷	無明顯裂縫	有差異沉陷產生	明顯裂縫或凹陷
2	鄰近道路路面出現龜裂或局部陷落	路面無異常現象	路面張力裂縫不大，無陷落	路面出現陷落或隆起
3	邊坡裂縫、突出、坍塌；設施空洞	無明顯裂縫或坍塌	輕微裂縫或僅有小坍塌發生	明顯裂縫或有大坍塌
4	設施變形；設施擠(鼓)出、隆起、鬆動	無龜裂變形或僅表層龜裂	有明顯裂縫但無傾斜外凸	明顯傾斜或外凸
5	設施混凝土表面剝落；設施鋼筋曝露、鏽蝕	無或少數僅發生於上部位置	發生於中間位置	多處有損壞或發生於下部位置
6	設施本體結構損壞、設施基礎破壞	無損壞現象	本體結構部份損壞	本體結構或基礎損壞嚴重
7	設施結構之整體沉陷、移動	無整體沉陷移動	輕微整體沉陷移動	明顯整體沉陷移動
8	邊坡發現深層滑動現象	無深層滑動現象	輕微深層滑動現象	明顯深層滑動現象
9	地(岩)錨錨頭脫落、變形或鏽蝕	無脫落、變形或鏽蝕現象	少數錨頭變形、鏽蝕與脫落	錨頭脫落情形普遍
10	邊坡風險危害程度	無滑動潛勢，對生命及經濟損失無影響	淺層滑動，影響範圍僅至路肩邊溝，對生命及經濟損失影響輕微	滑動體或掉落物影響用路人安全及主線車輛通行，對生命及經濟損失影響性高
11	邊坡地層位態	斜交或逆向坡	順向坡、滑動面未出露	順向坡、滑動面出露
12	邊坡樹木傾倒、雜草異常茂盛	無傾倒或目視不明顯	現象輕微	多處有傾倒或明顯異於周邊
13	邊坡崩落；邊坡鬆動浮石、滾石	無崩土、泥流、落石或土石堆現象發生	僅小部分表土崩落且目視判斷無危及邊坡整體穩定	明顯出現崩土、泥流、落石或土石堆現象
14	邊坡坡頂與坡面截水、排水設施現況	無龜裂或僅局部淤積	排水不良且有積水現象	排水溝龜裂導致排水流失或土壤沖蝕現象
15	邊坡湧水；設施排水、湧水	從既設洩水孔或水平排水管出水	非從既設洩水孔或水平排水管出水	夾雜有泥沙出水
16	設施裂縫、龜裂	無裂縫、龜裂現象	輕微裂縫	多處發生且位於下部位置
17	設施接縫異樣、接縫不符合	不明顯	有少數裂縫但無傾斜或位移	多處發生，且有明顯異於周邊之傾倒或位移情形
18	設施框樑鬆脫、填敷材料突出、下沉；設施回填材料流失	不明顯	有少數流失	多處流失造成淘空之現象
19	設施材料老化程度、斷裂、腐蝕及損壞情形；設施附屬結構物損壞	無附屬結構物損壞現象	少數附屬結構物損壞現象	附屬結構物嚴重損壞
20	邊坡表土剝落、雨蝕溝；設施沖刷	植被良好	坡面有裸露	有沖蝕、雨蝕溝之現象
21	邊坡平台上堆積物；設施背面堆積土，超載	無蓄水現象或坡頂排水良好	坡頂有蓄水但無龜裂與滲漏現象	坡頂蓄水有龜裂滲漏或漫流現象
22	植生枯損	無植生枯損現象	少數枯損	多處枯損，且現象嚴重
23	垃圾堆積	無堆積現象	僅少數堆積，且未位於坡頂	堆積量大，且未於坡頂
24	非法耕作及佔有	無耕作或佔有現象	疑似有耕作或佔有現象	確認有耕作或佔有現象



表 4.25 新頒巡查表中相關於各類人為設施之巡查紀錄項目

類別	項次	檢查項目
擋土設施	4	設施變形；設施擠(鼓)出、隆起、鬆動
	5	設施混凝土表面剝落；設施鋼筋曝露、銹蝕
	6	設施本體結構損壞；設施基礎損壞
	7	設施結構之整體沉陷、移動
地錨	9	地(岩)錨錨頭脫落、變形或銹蝕
護坡	16	設施裂縫、龜裂
排水	14	邊坡坡頂與坡面截水、排水設施現況
	15	邊坡湧水；設施排水、湧水

此後，便可根據表4.25中之選項，來統計各類人為設施損壞與否之數量。進行判斷的準則為：每一類別中只要有一個項目是有出現中度或高度之響程度情況，即判定此一類別為損壞狀態。本項統計工作更進一步對四大類別之損壞年限，分別進行以下四種情形之統計：

- (1) 僅針對巡查表單中記錄為實際損壞之項目做統計；
- (2) 對所有項目做統計，亦即實際損壞＋虛擬損壞；
- (3) 將所有虛擬損壞項目之年限乘以 1.5 倍作為其損壞年限，亦即實際損壞＋虛擬損壞 $\times 1.5$ ；
- (4) 將所有虛擬損壞項目之年限乘以 2 倍作為其損壞年限，亦即實際損壞＋虛擬損壞 $\times 2$ 。

上述情形中之1(2)~1(4)假設，乃是為了要使用所有資料數據來進行統計，因此將所有尚未損壞之年限數據，分別假設為現有日期即為損壞年限、乘以現有年限之 1.5 倍、以及乘以現有年限之 2 倍。為了與實際損壞之名稱做對應區分，因此稱呼假設損壞之設施為虛擬損壞。此外，原先為了要更清楚中度與高度影響程度之關係，而將上述四項統計方式，也分成以中度損壞為標準及以高度損壞為標準，再分別進行統計工作；然而由於高度損壞之資料仍然甚少，因此只針對中度損壞做統計標準，最後以 EXCEL 畫出常態分布曲線以及累積次數肩形圖，並額外放上相對次數統計直條圖，來一起進行討論分析，圖形數據的部分將在隨後四個小節分別詳細說明之。

## 2. 實際損壞項目之年限統計

本次擋土、護坡、排水實際之損壞情況件數，由期初僅僅 20 餘件分別更新至 61、81 以及 150 筆，而地錨也由原來的僅有 4 筆更新為 20 筆。此外，除了提出以中度損壞為標準之圖表外，更在各圖表中額外附上相對次數長條圖之圖表（詳表4.26及圖4.9~4.16），以利了解各類別護坡設施之實際損壞年限，並可以進而與理論推論之常態分布曲線作比較。



表 4.26 實際損壞項目統計次數百分比

實際 年限	擋土			地錨			護坡			排水		
	個數	相對百分比	累積百分比	個數	相對百分比	累積百分比	個數	相對百分比	累積百分比	個數	相對百分比	累積百分比
1	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	1	1.25%	1.25%	1	0.67%	0.67%
2	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	1.25%	0	0.00%	0.67%
4	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	1.25%	0	0.00%	0.67%
5	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	1.25%	0	0.00%	0.67%
8	1	1.64%	1.64%	0	0.00%	0.00%	1	1.25%	2.50%	1	0.67%	1.33%
9	0	0.00%	1.64%	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	2.50%	0	0.00%	1.33%
10	1	1.64%	3.28%	1	5.00%	5.00%	2	2.50%	5.00%	3	2.00%	3.33%
11	1	1.64%	4.92%	1	5.00%	10.00%	1	1.25%	6.25%	4	2.67%	6.00%
12	4	6.56%	11.48%	0	0.00%	10.00%	8	10.00%	16.25%	19	12.67%	18.67%
13	6	9.84%	21.31%	8	40.00%	50.00%	2	2.50%	18.75%	13	8.67%	27.33%
14	0	0.00%	21.31%	0	0.00%	50.00%	0	0.00%	18.75%	1	0.67%	28.00%
15	3	4.92%	26.23%	1	5.00%	55.00%	4	5.00%	23.75%	8	5.33%	33.33%
16	2	3.28%	29.51%	0	0.00%	55.00%	1	1.25%	25.00%	2	1.33%	34.67%
17	4	6.56%	36.07%	3	15.00%	70.00%	11	13.75%	38.75%	22	14.67%	49.33%
18	2	3.28%	39.34%	0	0.00%	70.00%	0	0.00%	38.75%	3	2.00%	51.33%
33	0	0.00%	39.34%	0	0.00%	70.00%	1	1.25%	40.00%	0	0.00%	51.33%
34	0	0.00%	39.34%	0	0.00%	70.00%	0	0.00%	40.00%	0	0.00%	51.33%
36	0	0.00%	39.34%	0	0.00%	70.00%	0	0.00%	40.00%	0	0.00%	51.33%
37	6	9.84%	49.18%	0	0.00%	70.00%	19	23.75%	63.75%	13	8.67%	60.00%
38	0	0.00%	49.18%	0	0.00%	70.00%	0	0.00%	63.75%	0	0.00%	60.00%
41	31	50.82%	100.00%	6	30.00%	100.00%	29	36.25%	100.00%	60	40.00%	100.00%

擋土中度損壞常態分佈(實際)

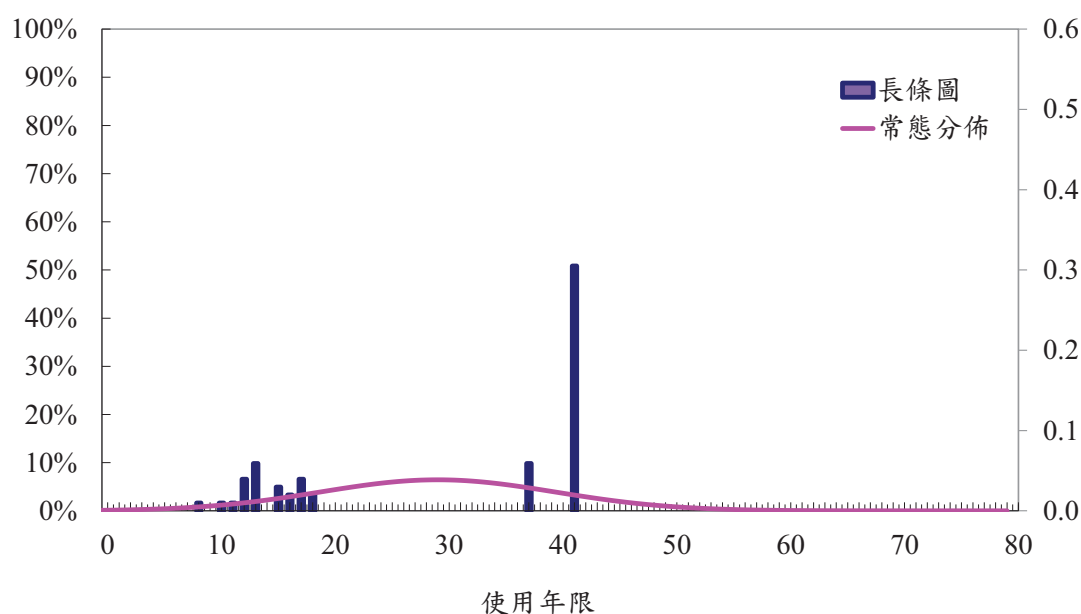


圖 4.9 擋土中度損壞 (常態)

擋土中度損壞累積次數(實際)

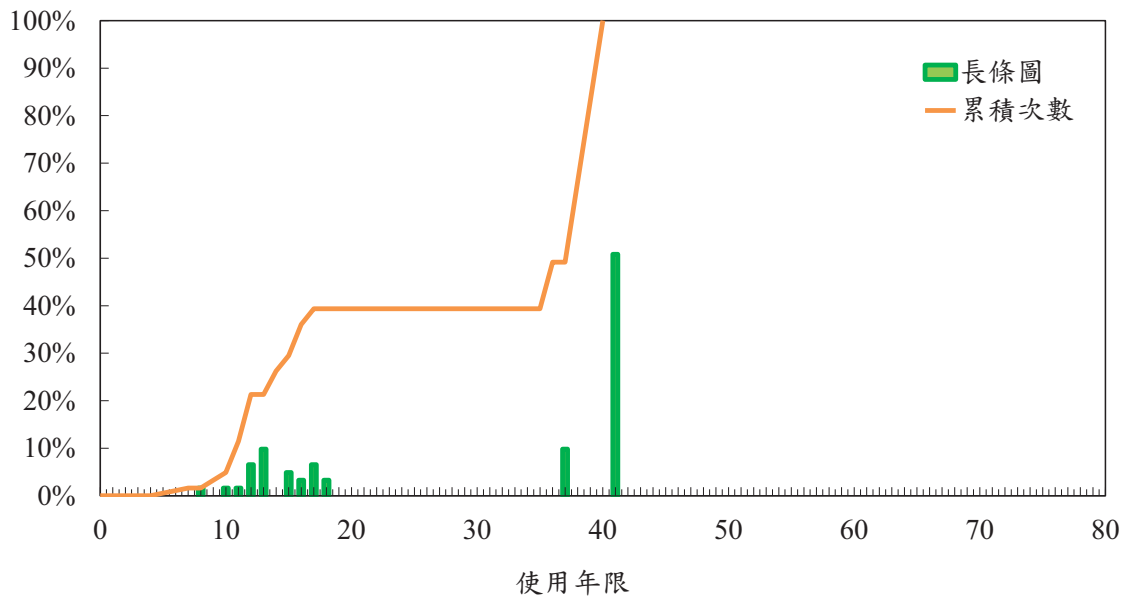


圖 4.10 擋土中度損壞 (累積)

地錨中度損壞常態分佈(實際)

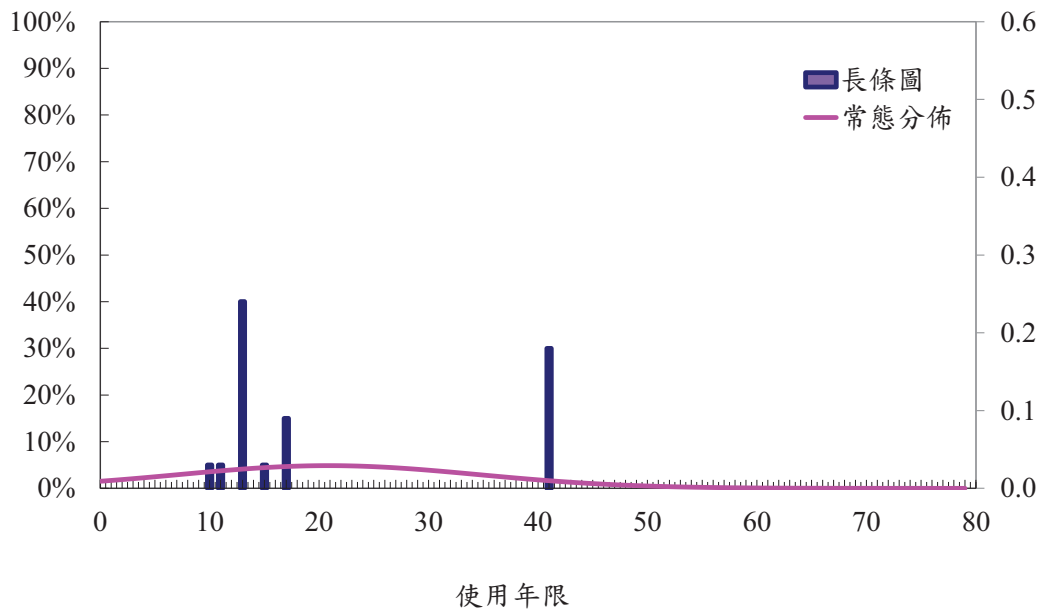


圖 4.11 地錨中度損壞 (常態)

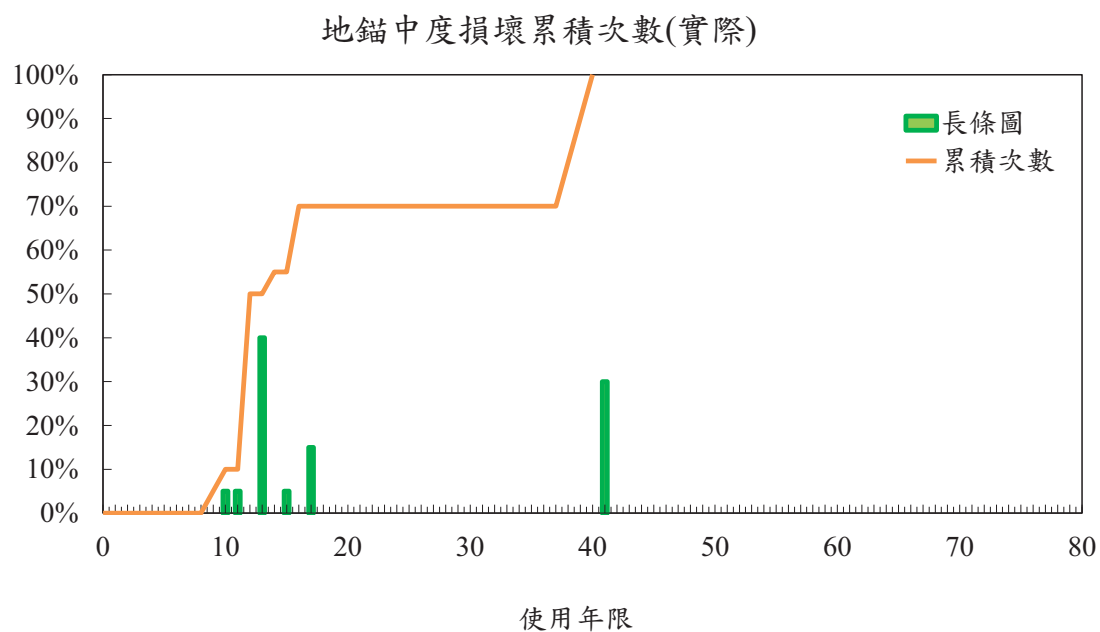


圖 4.12 地錨中度損壞 (累積)

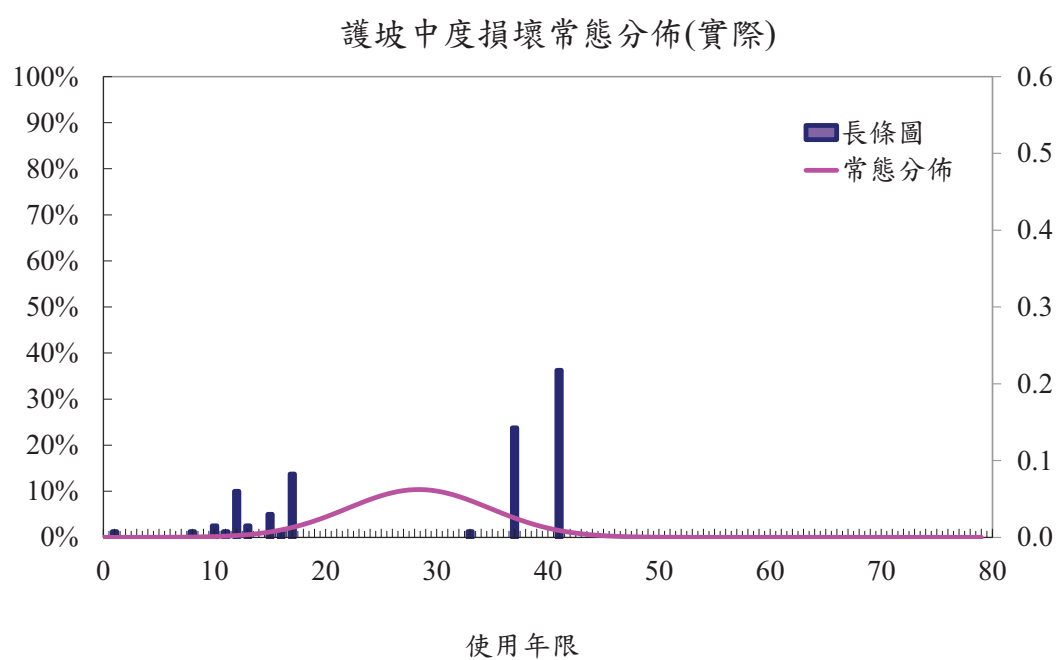


圖 4.13 護坡中度損壞 (常態)

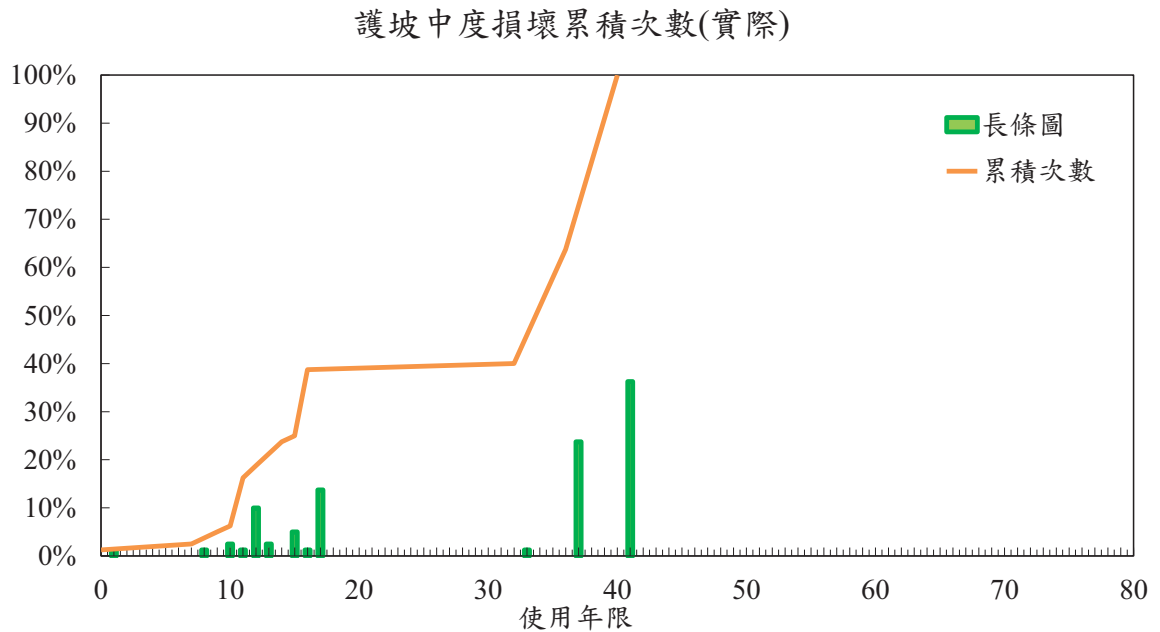


圖 4.14 護坡中度損壞 (累積)

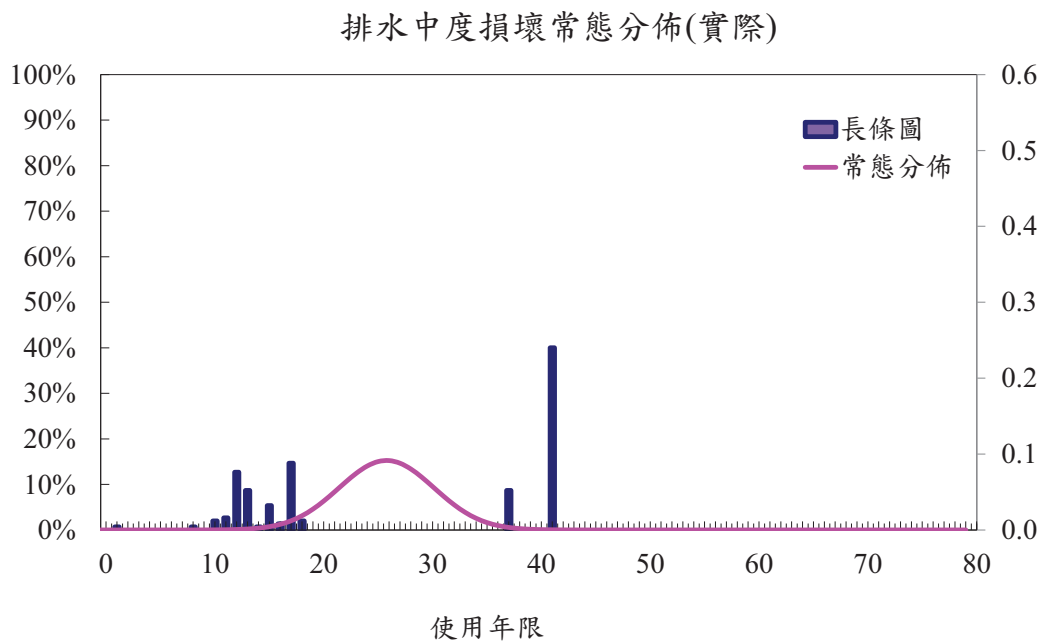


圖 4.15 排水中度損壞 (常態)

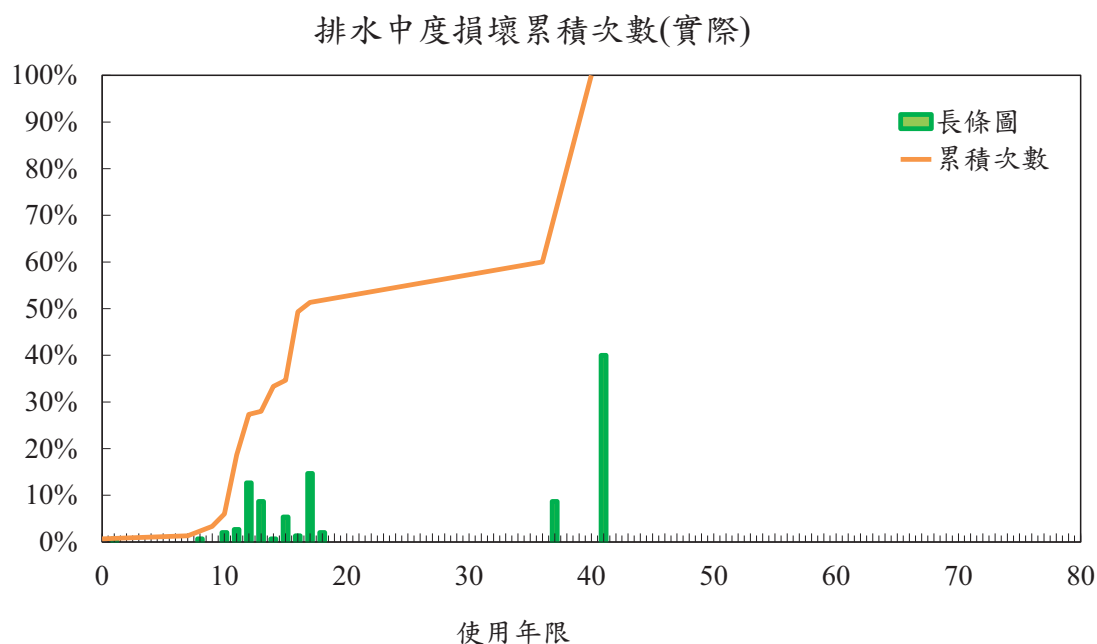


圖 4.16 排水中度損壞（累積）

### 3. 實際損壞項目 + 虛擬損壞之年限統計

為了能夠使用所有資料數據進行統計，本小節將所有尚未損壞之年限數據，保守地假設為損壞年限即為現有日期。為了與實際損壞之名稱做對應區分，因此稱假設其損壞之設施為虛擬損壞。此外，除了提出以中度損壞為標準之圖表外，亦在各圖表中額外附上相對次數長條圖之圖表，以利了解各類別護坡設施之實際損壞年限，並可以進而與理論推論之常態分布曲線作比較（表4.27及圖4.17~4.24）。

表 4.27 實際損壞項目 + 虛擬損壞統計次數百分比

實+ 虛 年限	擋土			地錨			護坡			排水		
	個數	相對百分比	累積百分比	個數	相對百分比	累積百分比	個數	相對百分比	累積百分比	個數	相對百分比	累積百分比
1	2	0.16%	0.16%	2	0.16%	0.16%	2	0.16%	0.16%	2	0.16%	0.16%
2	1	0.08%	0.24%	1	0.08%	0.24%	1	0.08%	0.24%	1	0.08%	0.24%
4	13	1.04%	1.28%	13	1.04%	1.28%	13	1.04%	1.28%	13	1.04%	1.28%
5	61	4.86%	6.14%	61	4.86%	6.14%	61	4.86%	6.14%	61	4.86%	6.14%
8	11	0.88%	7.02%	11	0.88%	7.02%	11	0.88%	7.02%	11	0.88%	7.02%
9	78	6.22%	13.24%	78	6.22%	13.24%	78	6.22%	13.24%	78	6.22%	13.24%
10	23	1.83%	15.07%	23	1.83%	15.07%	23	1.83%	15.07%	23	1.83%	15.07%
11	145	11.56%	26.63%	145	11.56%	26.63%	145	11.56%	26.63%	145	11.56%	26.63%
12	158	12.60%	39.23%	158	12.60%	39.23%	158	12.60%	39.23%	158	12.60%	39.23%
13	434	34.61%	73.84%	434	34.61%	73.84%	433	34.53%	73.76%	434	34.61%	73.84%
14	1	0.08%	73.92%	1	0.08%	73.92%	1	0.08%	73.84%	1	0.08%	73.92%
15	10	0.80%	74.72%	10	0.80%	74.72%	10	0.80%	74.64%	10	0.80%	74.72%
16	9	0.72%	75.44%	9	0.72%	75.44%	9	0.72%	75.36%	9	0.72%	75.44%
17	36	2.87%	78.31%	3	0.24%	75.68%	36	2.87%	78.23%	36	2.87%	78.31%
18	4	0.32%	78.63%	36	2.87%	78.55%	4	0.32%	78.55%	4	0.32%	78.63%
33	1	0.08%	78.71%	1	0.08%	78.63%	1	0.08%	78.63%	1	0.08%	78.71%
34	2	0.16%	78.87%	2	0.16%	78.79%	2	0.16%	78.79%	2	0.16%	78.87%
36	2	0.16%	79.03%	2	0.16%	78.95%	2	0.16%	78.95%	2	0.16%	79.03%
37	37	2.95%	81.98%	37	2.95%	81.90%	37	2.95%	81.90%	37	2.95%	81.98%
38	110	8.77%	90.75%	111	8.85%	90.75%	111	8.85%	90.75%	110	8.77%	90.75%
41	116	9.25%	100.00%	116	9.25%	100.00%	116	9.25%	100.00%	116	9.25%	100.00%

擋土中度損壞常態分佈(實+虛)

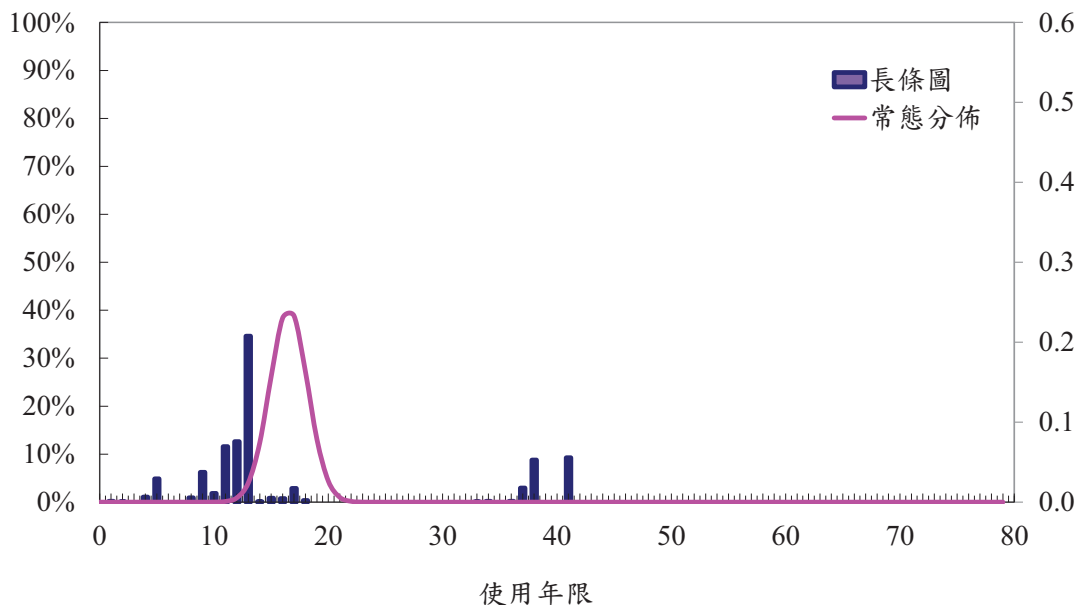


圖 4.17 實際損壞項目 + 虛擬損壞之擋土中度損壞 (常態)



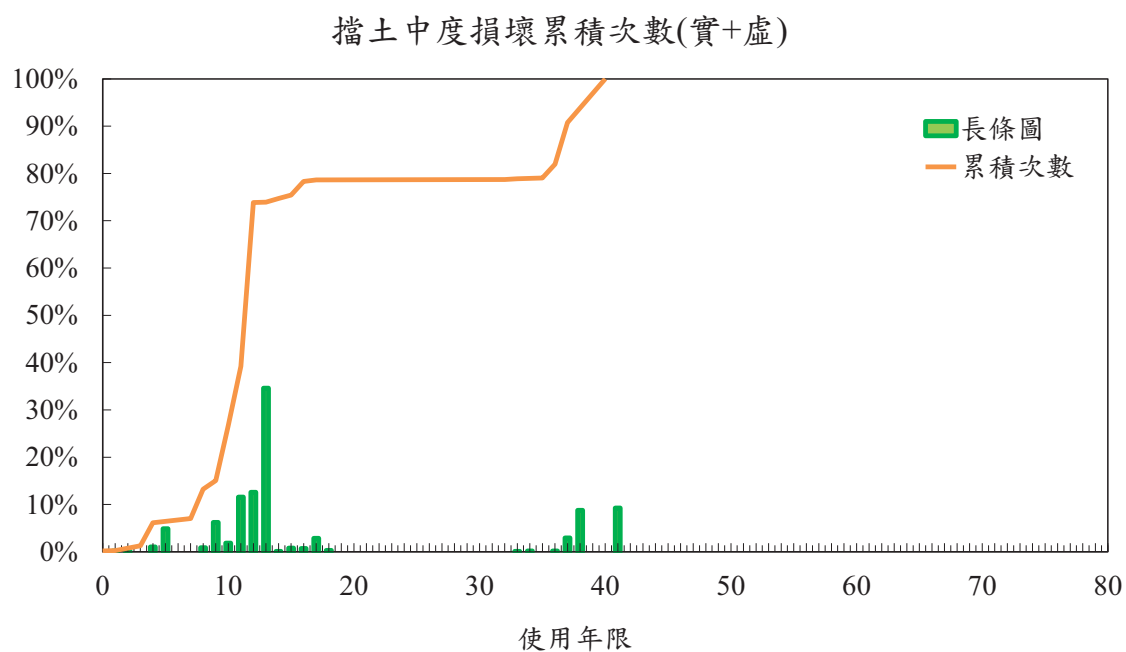


圖 4.18 實際損壞項目 + 虛擬損壞之擋土中度損壞 (累積)

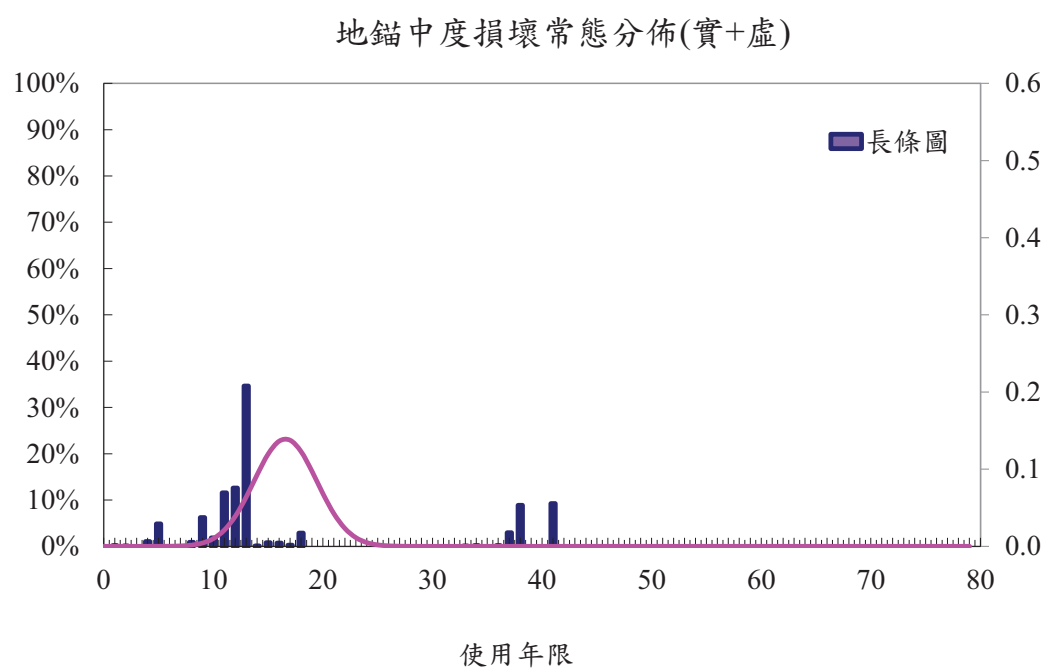


圖 4.19 實際損壞項目 + 虛擬損壞之地錨中度損壞 (常態)

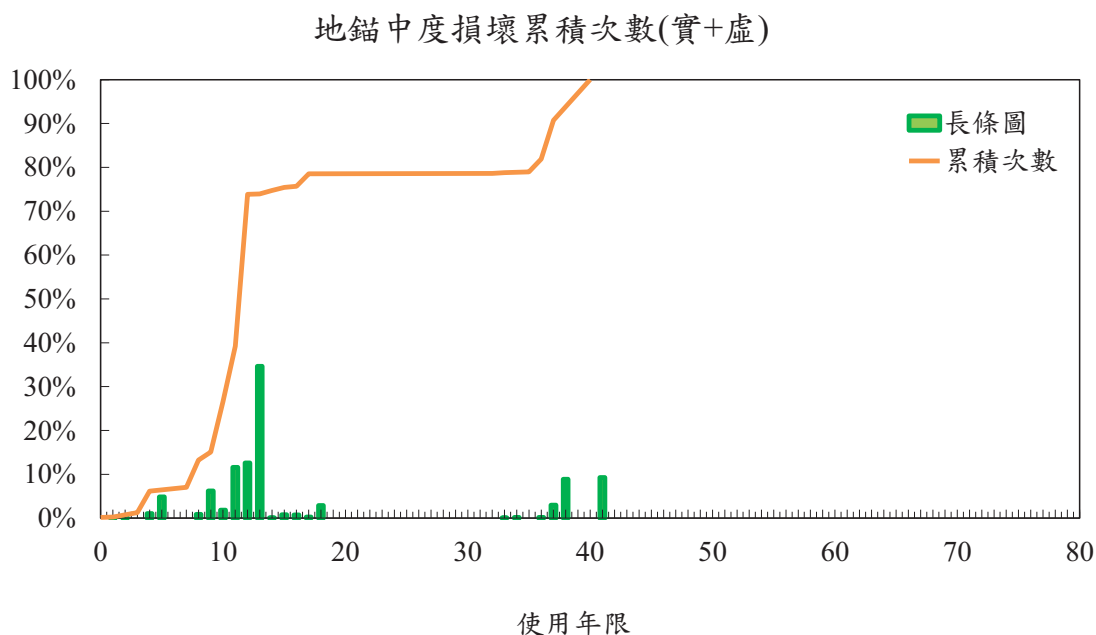


圖 4.20 實際損壞項目 + 虛擬損壞之地錨中度損壞 (累積)

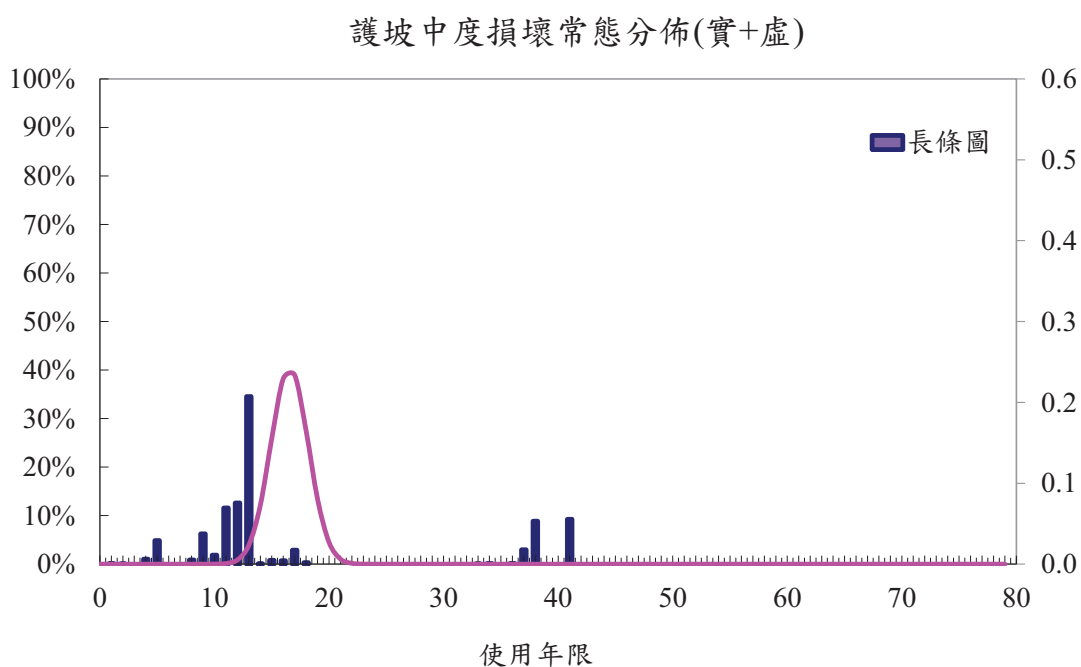


圖 4.21 實際損壞項目 + 虛擬損壞之護坡中度損壞 (常態)

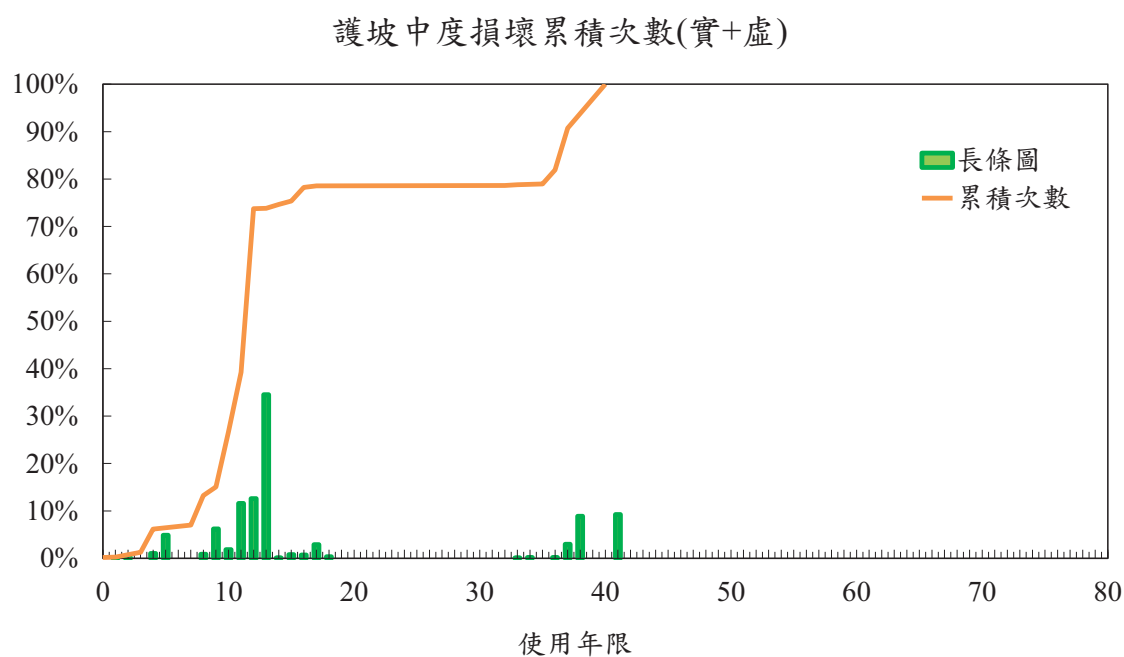


圖 4.22 實際損壞項目 + 虛擬損壞之護坡中度損壞 (累積)

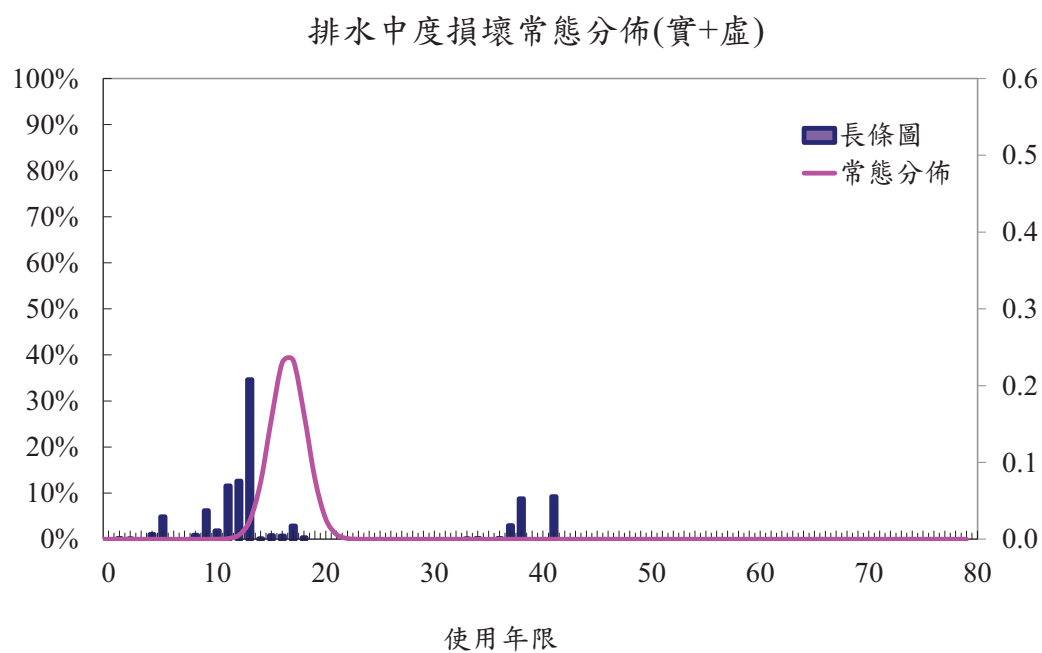


圖 4.23 實際損壞項目 + 虛擬損壞之排水中度損壞 (常態)

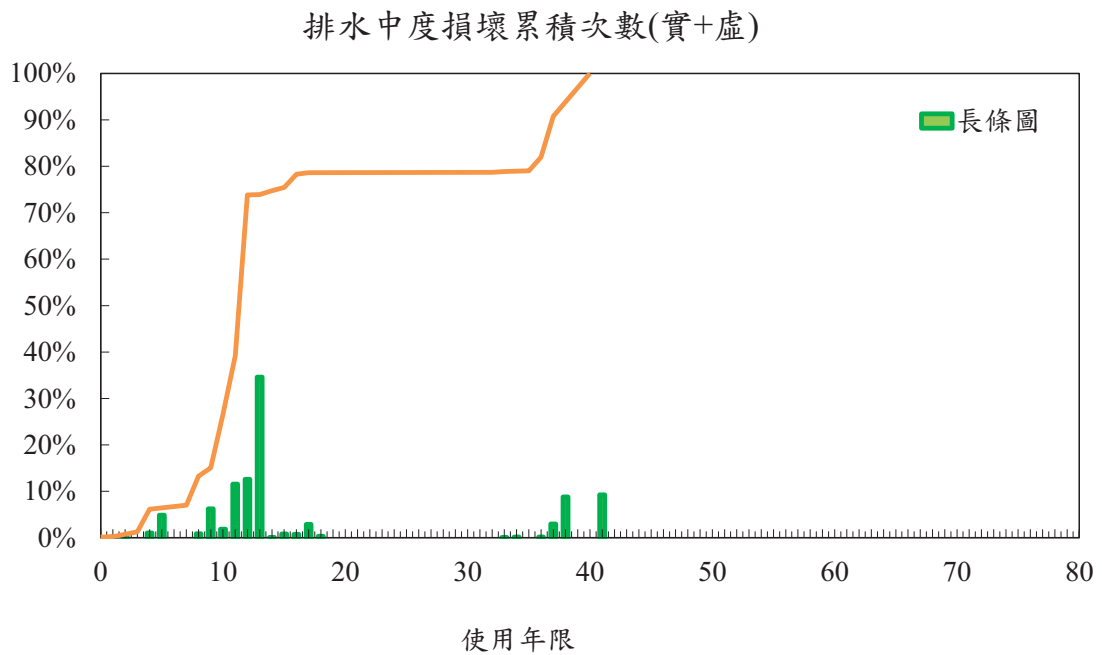


圖 4.24 實際損壞項目 + 虛擬損壞之排水中度損壞（累積）

#### 4. 實際損壞項目 + 虛擬損壞 $\times 1.5$ 之年限統計

為了要可以使用所有資料數據進行統計，本小節將所有尚未損壞之年限數據，假設為損壞年限即為現有日期  $\times 1.5$  倍。為了與實際損壞之名稱做對應區分，因此稱假設其損壞之設施為虛擬損壞。此外，除了提出以中度損壞為標準之圖表外，亦在各圖表中額外附上相對次數長條圖之圖表，以利了解各類別護坡設施之實際損壞年限，並可以進而與理論推論之常態分布曲線作比較（表4.28及圖4.25~4.32）。

表 4.28 實際損壞項目 + 虛擬損壞年限  $\times 1.5$  統計次數百分比

實+虛 1.5 年限	擋土			地錨			護坡			排水		
	個數	相對百分比	累積百分比	個數	相對百分比	累積百分比	個數	相對百分比	累積百分比	個數	相對百分比	累積百分比
1	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	1	0.08%	0.08%	1	0.08%	0.08%
2	2	0.16%	0.16%	2	0.16%	0.16%	1	0.08%	0.16%	1	0.08%	0.16%
3	1	0.08%	0.24%	1	0.08%	0.24%	1	0.08%	0.24%	1	0.08%	0.24%
6	13	1.04%	1.28%	13	1.04%	1.28%	13	1.04%	1.28%	13	1.04%	1.28%
8	62	4.94%	6.22%	61	4.86%	6.14%	62	4.94%	6.22%	62	4.94%	6.22%
10	1	0.08%	6.30%	1	0.08%	6.22%	2	0.16%	6.38%	3	0.24%	6.46%
11	1	0.08%	6.38%	1	0.08%	6.30%	1	0.08%	6.46%	4	0.32%	6.78%
12	14	1.12%	7.50%	11	0.88%	7.18%	18	1.44%	7.89%	29	2.31%	9.09%
13	6	0.48%	7.97%	8	0.64%	7.81%	2	0.16%	8.05%	13	1.04%	10.13%
14	78	6.22%	14.19%	78	6.22%	14.04%	81	6.46%	14.51%	79	6.30%	16.43%
15	25	1.99%	16.19%	23	1.83%	15.87%	23	1.83%	16.35%	28	2.23%	18.66%
16	2	0.16%	16.35%	0	0.00%	15.87%	1	0.08%	16.43%	2	0.16%	18.82%
17	148	11.80%	28.15%	147	11.72%	27.59%	154	12.28%	28.71%	163	13.00%	31.82%
18	156	12.44%	40.59%	158	12.60%	40.19%	150	11.96%	40.67%	142	11.32%	43.14%
20	428	34.13%	74.72%	426	33.97%	74.16%	432	34.45%	75.12%	421	33.57%	76.71%
21	1	0.08%	74.80%	1	0.08%	74.24%	1	0.08%	75.20%	0	0.00%	76.71%
23	7	0.56%	75.36%	9	0.72%	74.96%	6	0.48%	75.68%	2	0.16%	76.87%
24	7	0.56%	75.92%	9	0.72%	75.68%	8	0.64%	76.32%	7	0.56%	77.43%
26	32	2.55%	78.47%	33	2.63%	78.31%	25	1.99%	78.31%	14	1.12%	78.55%
27	2	0.16%	78.63%	4	0.32%	78.63%	4	0.32%	78.63%	1	0.08%	78.63%
33	0	0.00%	78.63%	0	0.00%	78.63%	1	0.08%	78.71%	0	0.00%	78.63%
37	6	0.48%	79.11%	0	0.00%	78.63%	19	1.52%	80.22%	13	1.04%	79.67%
41	31	2.47%	81.58%	6	0.48%	79.11%	29	2.31%	82.54%	60	4.78%	84.45%
50	1	0.08%	81.66%	1	0.08%	79.19%	0	0.00%	82.54%	1	0.08%	84.53%
51	2	0.16%	81.82%	2	0.16%	79.35%	2	0.16%	82.70%	2	0.16%	84.69%
54	2	0.16%	81.98%	2	0.16%	79.51%	2	0.16%	82.85%	2	0.16%	84.85%
56	31	2.47%	84.45%	37	2.95%	82.46%	18	1.44%	84.29%	24	1.91%	86.76%
57	110	8.77%	93.22%	110	8.77%	91.23%	110	8.77%	93.06%	110	8.77%	95.53%
62	85	6.78%	100.00%	110	8.77%	100.00%	87	6.94%	100.00%	56	4.47%	100.00%



擋土中度損壞常態分佈(實+1.5虛)

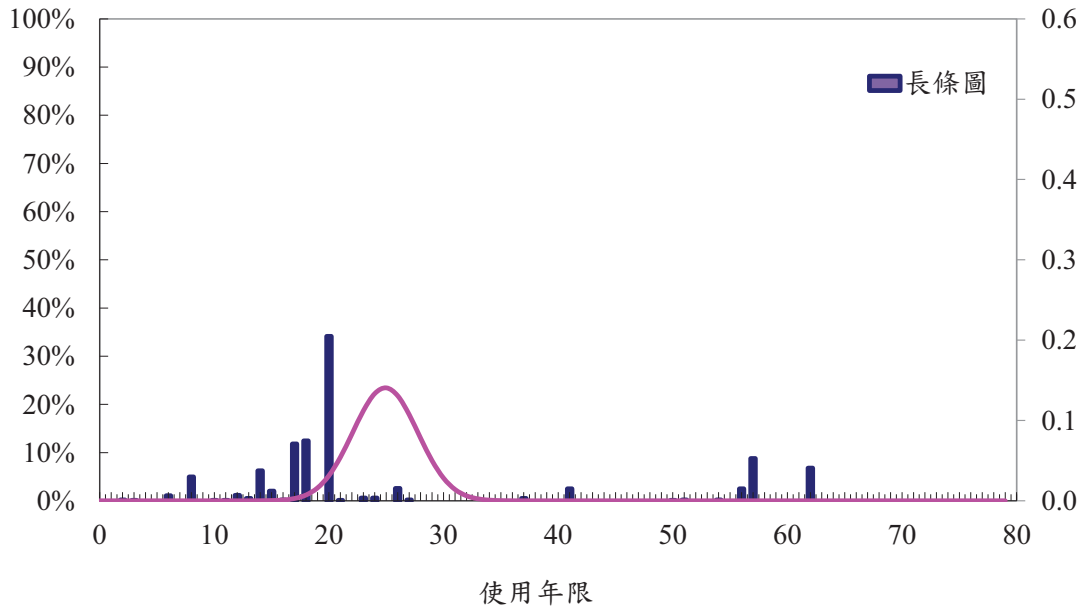


圖 4.25 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之擋土中度損壞 (常態)

擋土中度損壞累積次數(實+1.5虛)

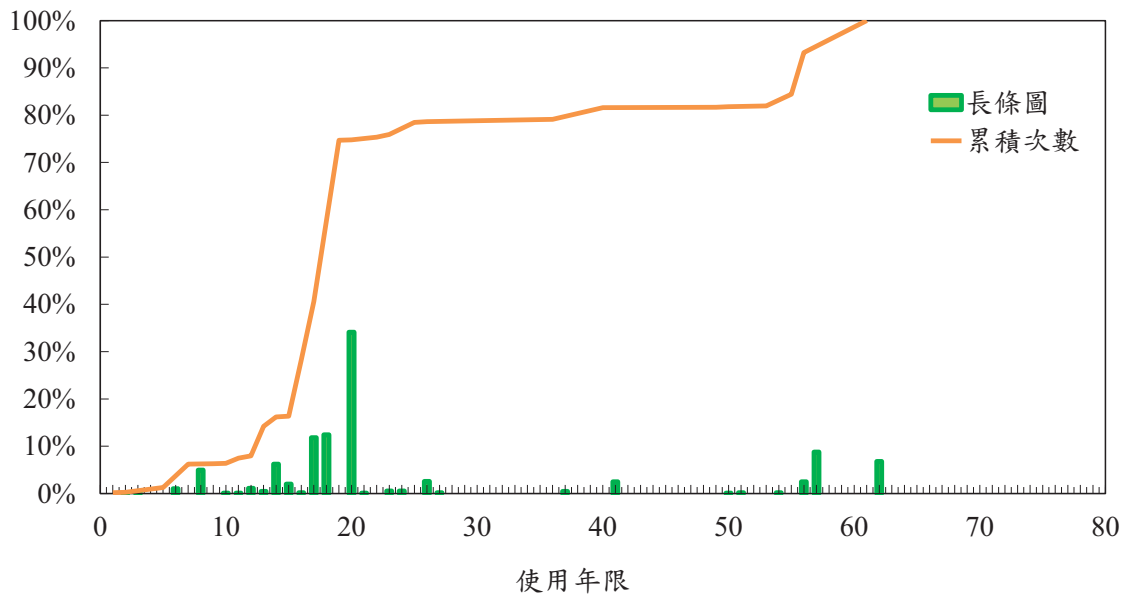


圖 4.26 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之擋土中度損壞 (累積)

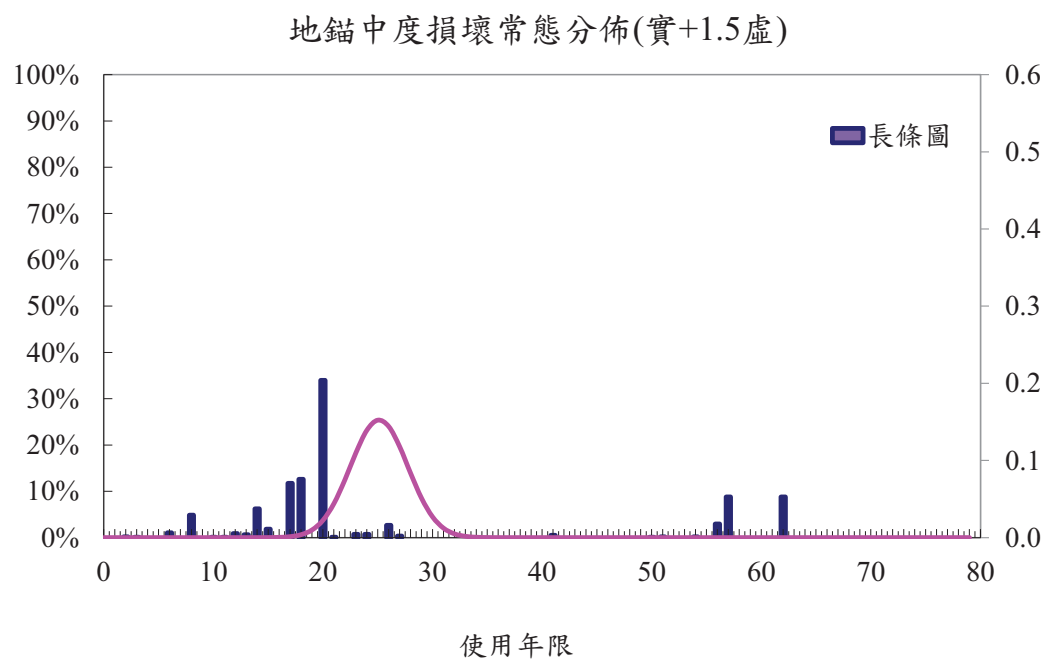


圖 4.27 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之地錨中度損壞 (常態)

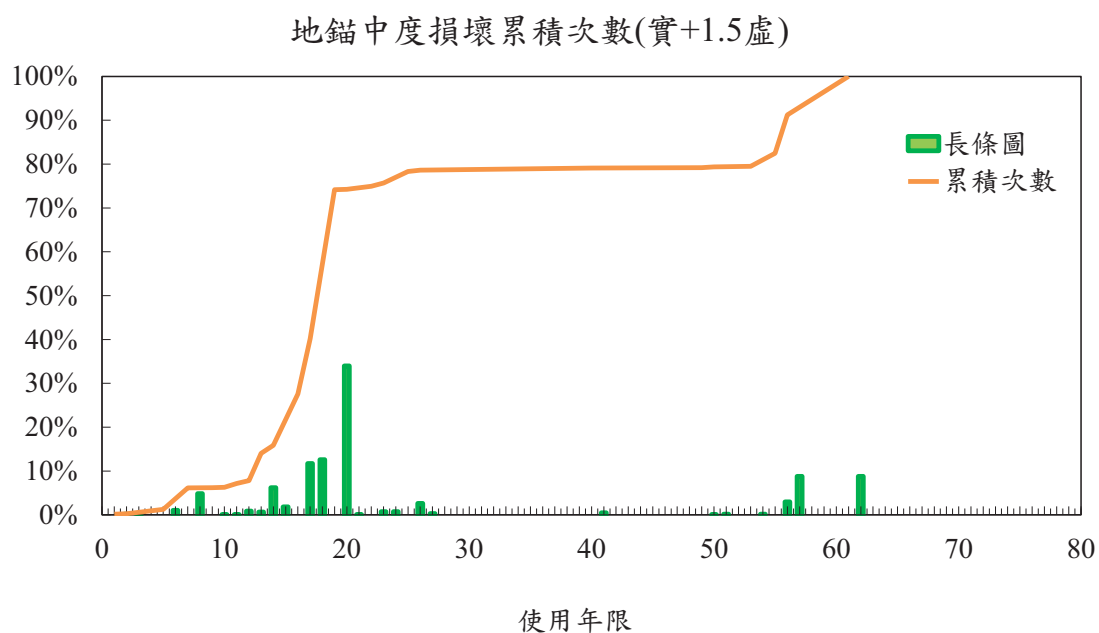


圖 4.28 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之地錨中度損壞 (累積)

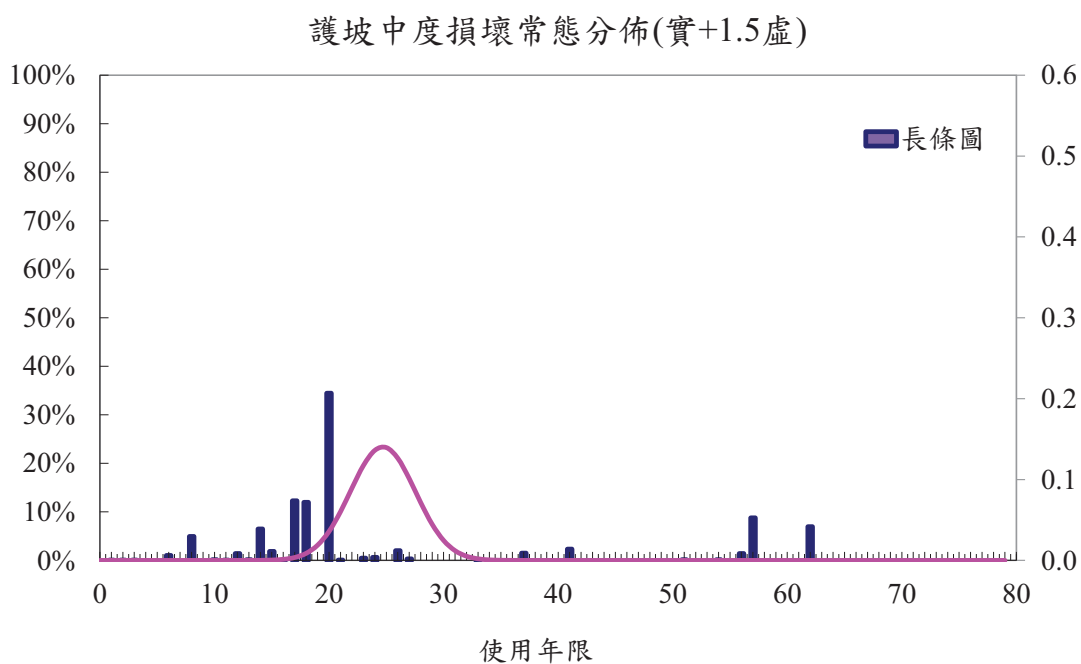


圖 4.29 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之護坡中度損壞 (常態)

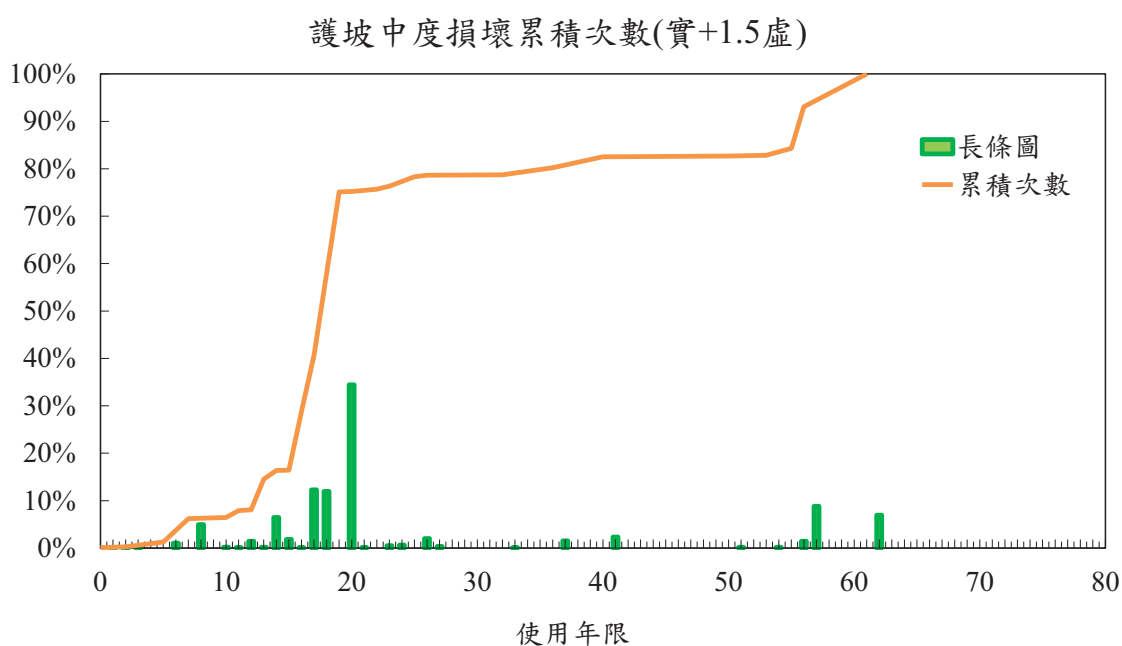


圖 4.30 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之護坡中度損壞 (累積)

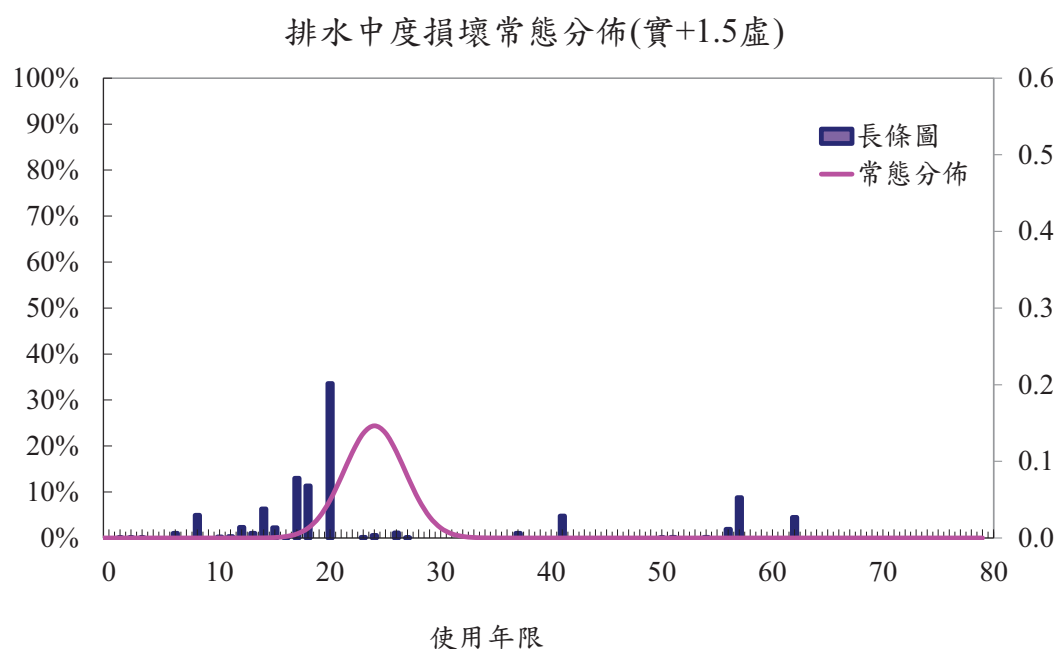


圖 4.31 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之排水中度損壞 (常態)

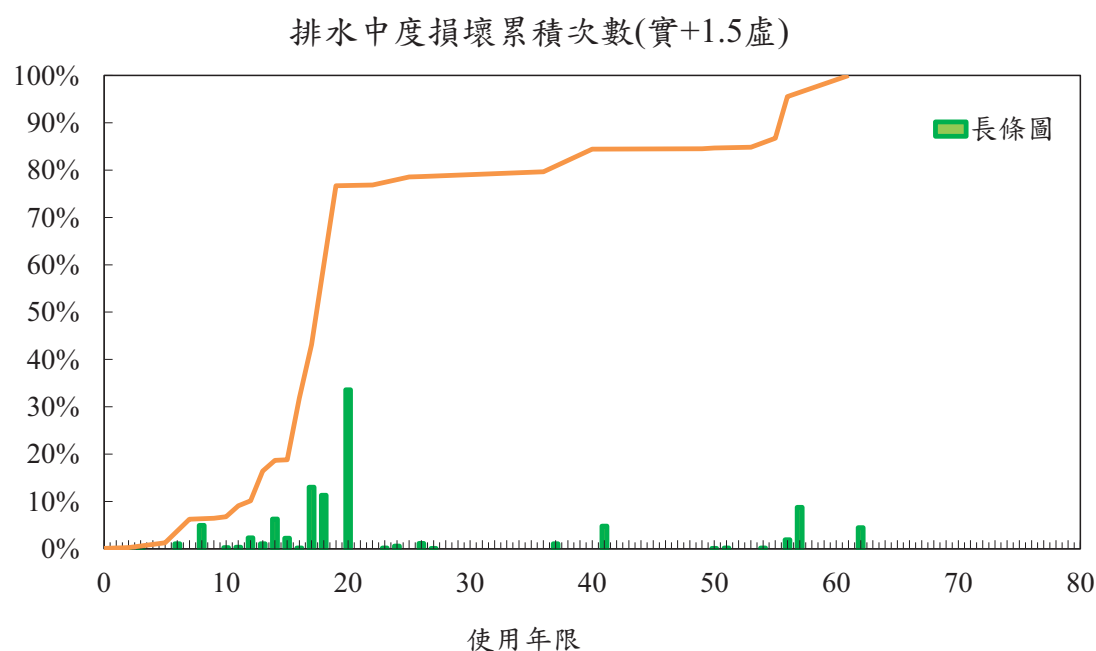


圖 4.32 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之排水中度損壞 (累積)

#### 5. 實際損壞項目 + 虛擬損壞 $\times 2$ 之年限統計

為了要可以使用所有資料數據進行統計，本小節再將所有尚未損壞之年限數據，假設為損壞年限即為現有日期  $\times 2$  倍。為了與實際損壞之名稱做對應區分，因此稱假設其損壞之設施為虛擬損壞。此外，除了提出以中度損壞為標準之圖表外，亦

在各圖表中額外附上相對次數長條圖之圖表，以利了解各類別護坡設施之實際損壞年限，並可以進而與理論推論之常態分布曲線作比較（表4.29及圖4.33~4.40）。

表 4.29 實際損壞項目 + 虛擬損壞年限  $\times 2$  相對次數百分比

實+虛 2.0 年限	擋土			地錨			護坡			排水		
	個數	相對百分比	累積百分比	個數	相對百分比	累積百分比	個數	相對百分比	累積百分比	個數	相對百分比	累積百分比
1	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	1	0.08%	0.08%	1	0.08%	0.08%
2	2	0.16%	0.16%	2	0.16%	0.16%	1	0.08%	0.16%	1	0.08%	0.16%
4	1	0.08%	0.24%	1	0.08%	0.24%	1	0.08%	0.24%	1	0.08%	0.24%
8	14	1.12%	1.36%	13	1.04%	1.28%	14	1.12%	1.36%	14	1.12%	1.36%
10	62	4.94%	6.30%	62	4.94%	6.22%	63	5.02%	6.38%	64	5.10%	6.46%
11	1	0.08%	6.38%	1	0.08%	6.30%	1	0.08%	6.46%	4	0.32%	6.78%
12	4	0.32%	6.70%	0	0.00%	6.30%	8	0.64%	7.10%	19	1.52%	8.29%
13	6	0.48%	7.18%	8	0.64%	6.94%	2	0.16%	7.26%	13	1.04%	9.33%
14	0	0.00%	7.18%	0	0.00%	6.94%	0	0.00%	7.26%	1	0.08%	9.41%
15	3	0.24%	7.42%	1	0.08%	7.02%	4	0.32%	7.58%	8	0.64%	10.05%
16	12	0.96%	8.37%	11	0.88%	7.89%	11	0.88%	8.45%	12	0.96%	11.00%
17	4	0.32%	8.69%	3	0.24%	8.13%	11	0.88%	9.33%	22	1.75%	12.76%
18	80	6.38%	15.07%	78	6.22%	14.35%	78	6.22%	15.55%	81	6.46%	19.22%
20	22	1.75%	16.83%	22	1.75%	16.11%	21	1.67%	17.22%	20	1.59%	20.81%
22	144	11.48%	28.31%	144	11.48%	27.59%	144	11.48%	28.71%	141	11.24%	32.06%
24	154	12.28%	40.59%	158	12.60%	40.19%	150	11.96%	40.67%	139	11.08%	43.14%
26	428	34.13%	74.72%	426	33.97%	74.16%	432	34.45%	75.12%	421	33.57%	76.71%
28	1	0.08%	74.80%	1	0.08%	74.24%	1	0.08%	75.20%	0	0.00%	76.71%
30	7	0.56%	75.36%	9	0.72%	74.96%	6	0.48%	75.68%	2	0.16%	76.87%
32	7	0.56%	75.92%	9	0.72%	75.68%	8	0.64%	76.32%	7	0.56%	77.43%
33	0	0.00%	75.92%	0	0.00%	75.68%	1	0.08%	76.40%	0	0.00%	77.43%
34	32	2.55%	78.47%	33	2.63%	78.31%	25	1.99%	78.39%	14	1.12%	78.55%
36	2	0.16%	78.63%	4	0.32%	78.63%	4	0.32%	78.71%	1	0.08%	78.63%
37	6	0.48%	79.11%	0	0.00%	78.63%	19	1.52%	80.22%	13	1.04%	79.67%
41	31	2.47%	81.58%	6	0.48%	79.11%	29	2.31%	82.54%	60	4.78%	84.45%
66	1	0.08%	81.66%	1	0.08%	79.19%	0	0.00%	82.54%	1	0.08%	84.53%
68	2	0.16%	81.82%	2	0.16%	79.35%	2	0.16%	82.70%	2	0.16%	84.69%
72	2	0.16%	81.98%	2	0.16%	79.51%	2	0.16%	82.85%	2	0.16%	84.85%
74	31	2.47%	84.45%	37	2.95%	82.46%	18	1.44%	84.29%	24	1.91%	86.76%
76	110	8.77%	93.22%	110	8.77%	91.23%	110	8.77%	93.06%	110	8.77%	95.53%
82	85	6.78%	100.00%	110	8.77%	100.00%	87	6.94%	100.00%	56	4.47%	100.00%



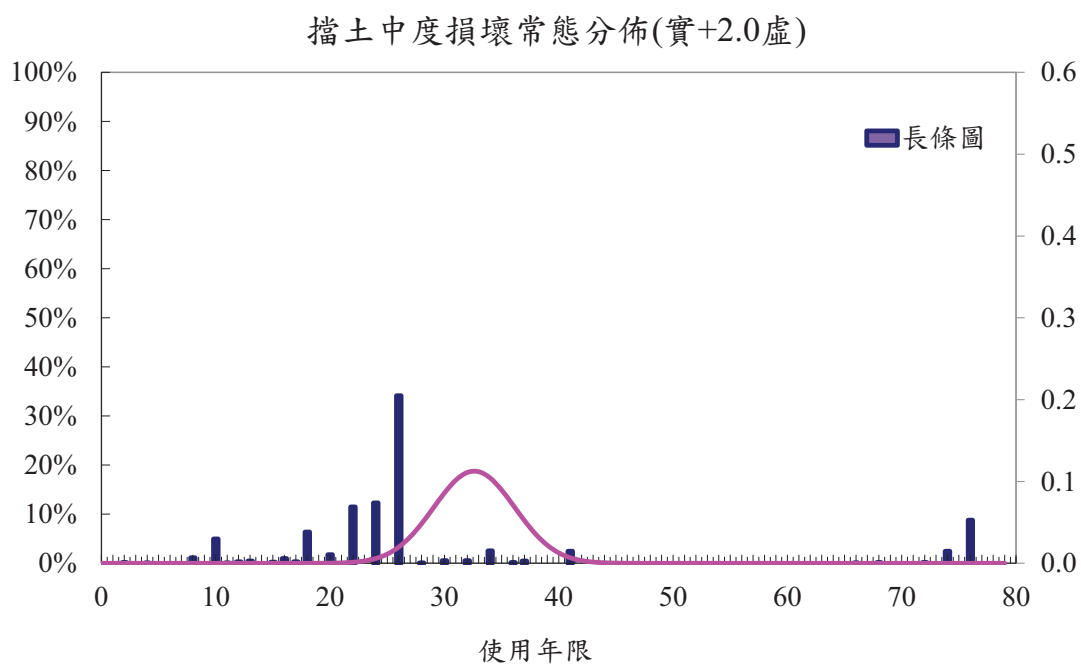


圖 4.33 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 2$  之擋土中度損壞 (常態)

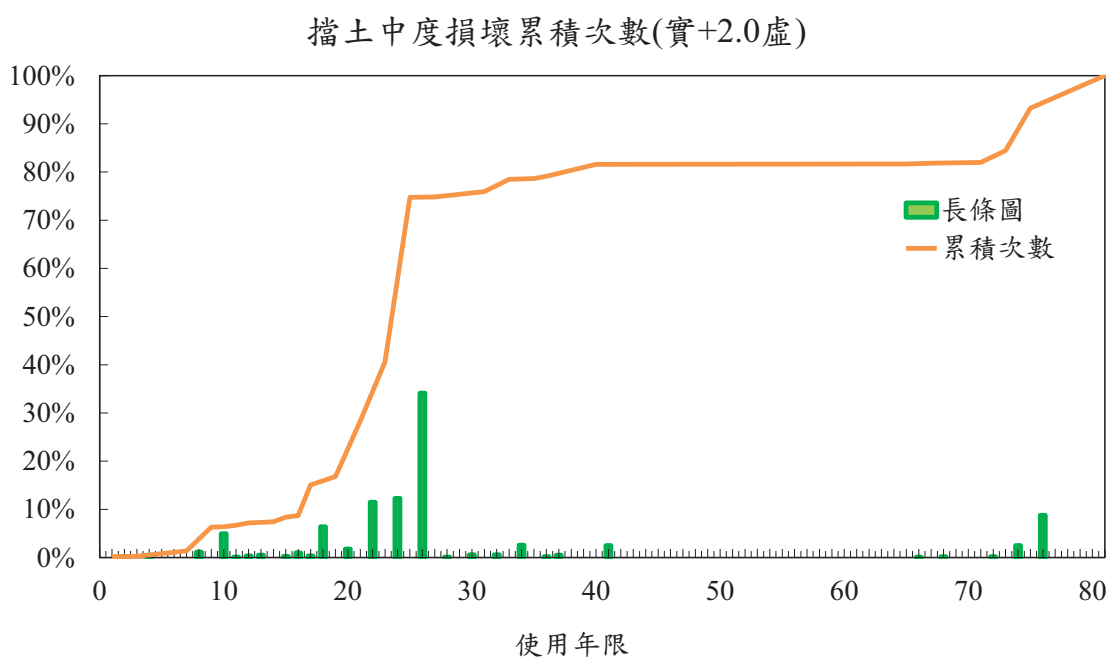


圖 4.34 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 2$  之擋土中度損壞 (累積)

地錨中度損壞常態分佈(實+2.0虛)

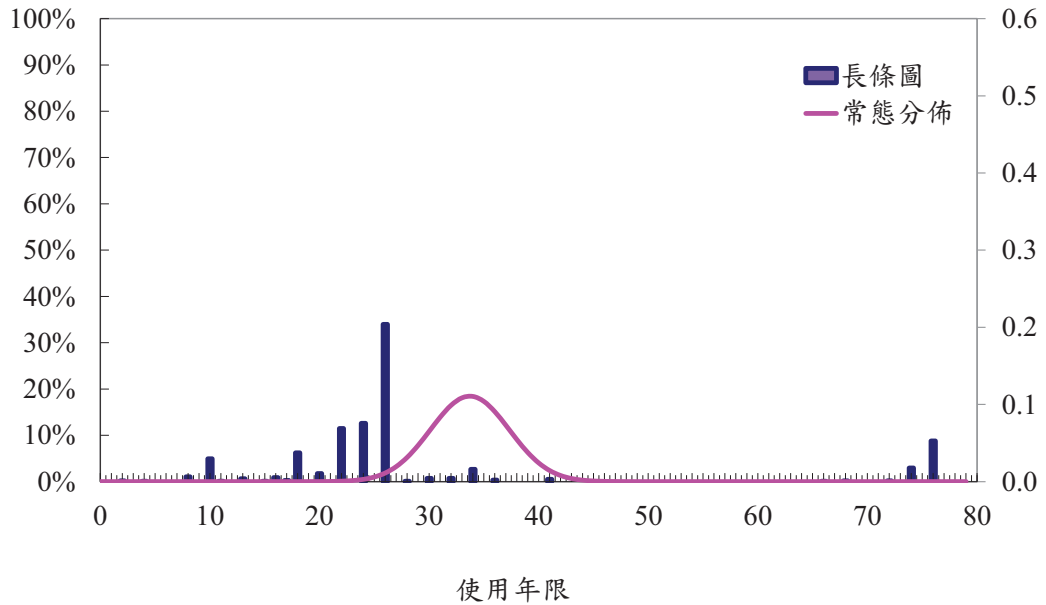


圖 4.35 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 2$  之地錨中度損壞 (常態)

地錨中度損壞累積次數(實+2.0虛)

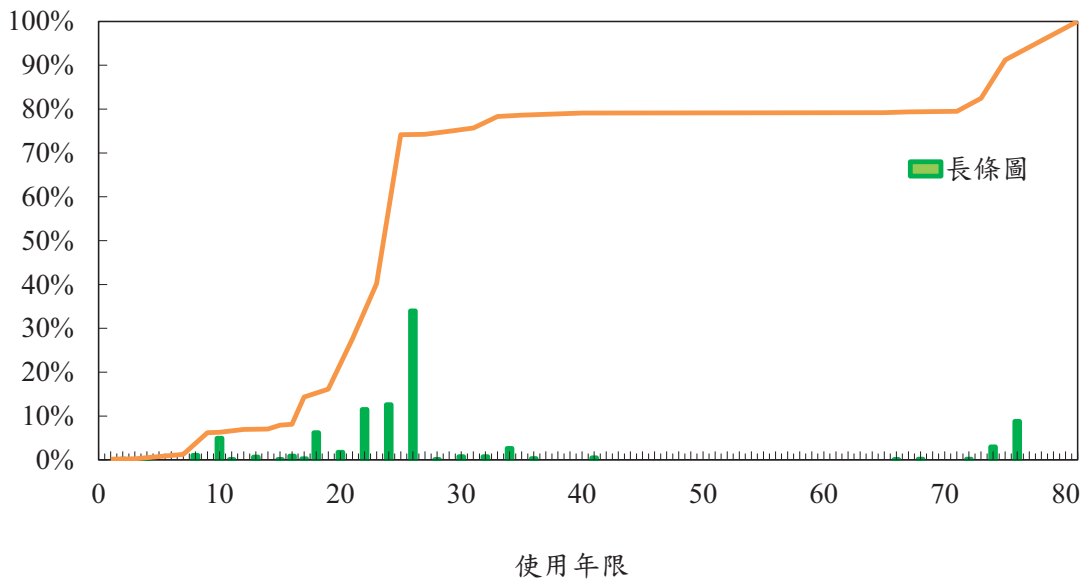


圖 4.36 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 2$  之地錨中度損壞 (累積)

護坡中度損壞常態分佈(實+2.0虛)

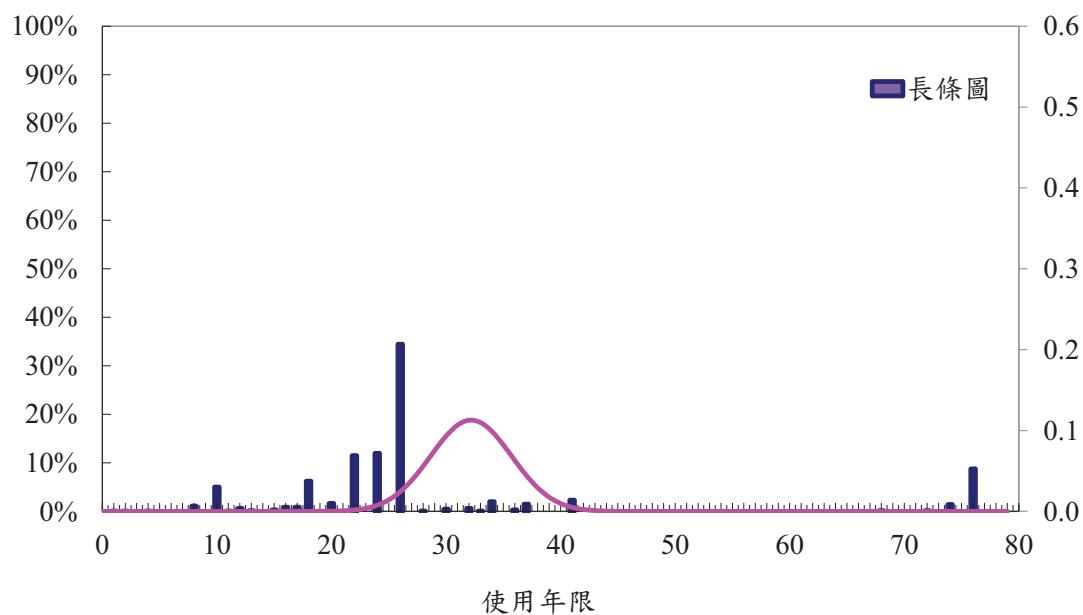


圖 4.37 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 2$  之護坡中度損壞 (常態)

護坡中度損壞累積次數(實+2.0虛)

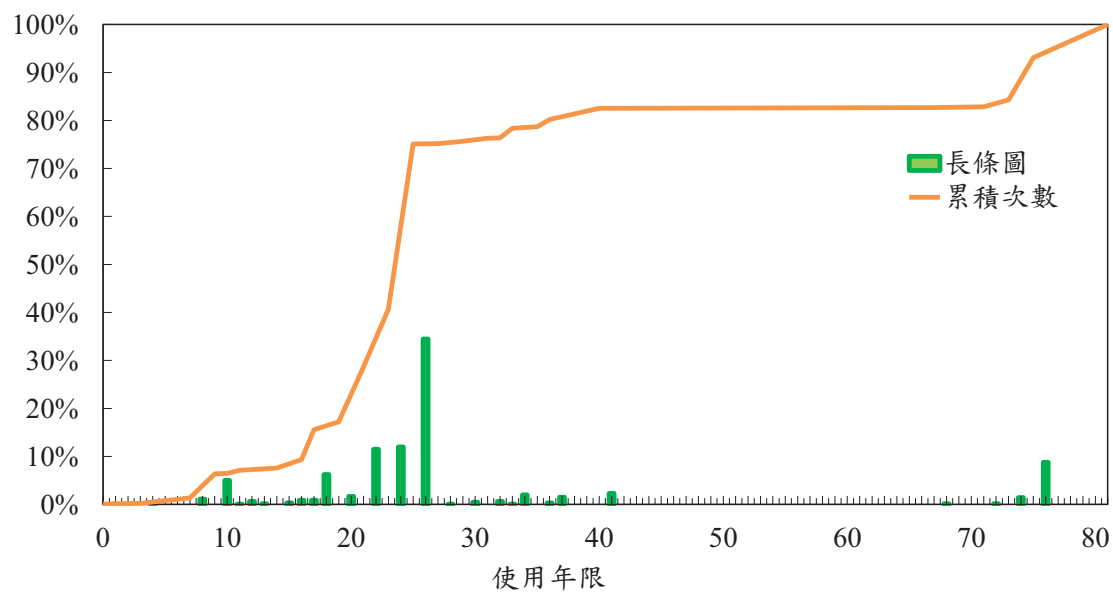


圖 4.38 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 2$  之護坡中度損壞 (累積)

排水中度損壞常態分佈(實+2.0虛)

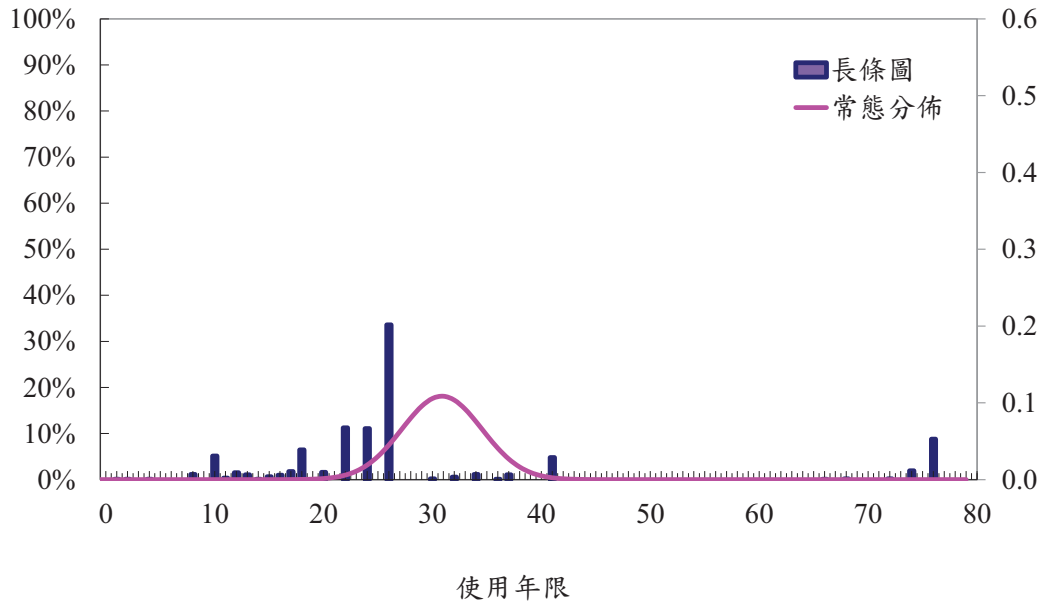


圖 4.39 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 2$  之排水中度損壞 (常態)

排水中度損壞累積次數(實+2.0虛)

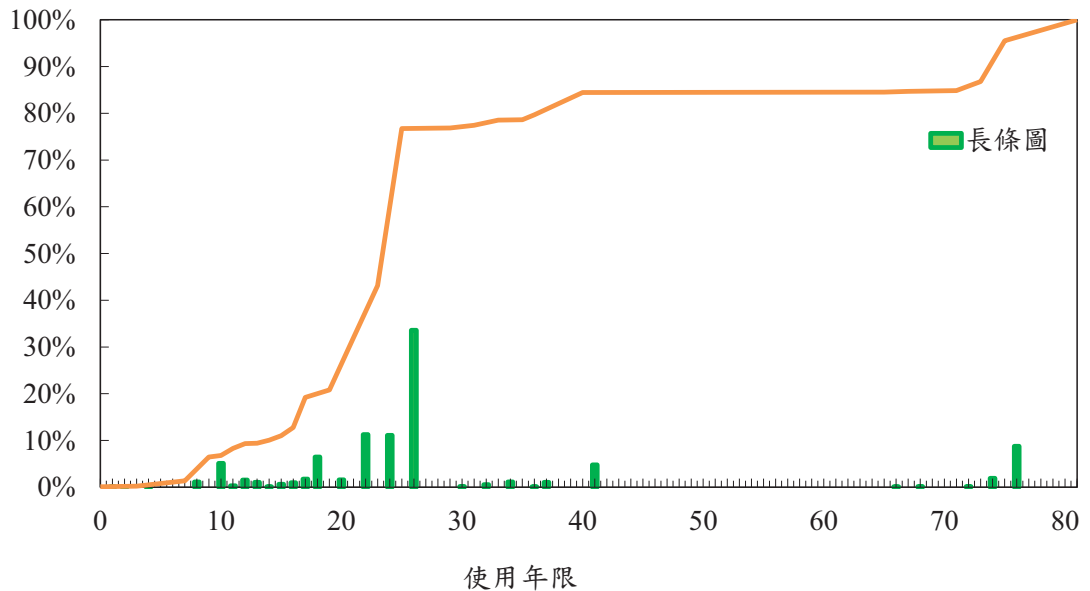


圖 4.40 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 2$  之排水中度損壞 (累積)

## 6. 結構使用年限統計結果討論

由前面四小節統計數據中，可以得知邊坡各類人為設施之結構使用年限平均值，詳見於表4.30。平均值是以所有統計到的年限以及次數做加總，並除以整體之個數而得。由於此一平均值是整體之加總平均，因此實際損壞所得到的平均值，反

有可能會大於實際+虛擬、及實際+虛擬 $\times 1.5$ 之平均值。至於標準差的部分，則可由公式推算出來，由標準差可以看出各數據間的極端值間差距有多少，標準差越大表示最高值和最低值差越多；反之，若標準差越小表示最高值和最低值相差不大，由此來補足平均數只看到平均值，但看不到極端值之缺失。

表 4.30 擋土/地錨/護坡/排水中度損壞之平均值、標準差、變異係數（單位：年）

類別		擋土	地錨	護坡	排水
實際	平均	29.98	21.85	29.38	26.77
	標準差	10.32	13.66	6.41	4.36
	變異係數	34%	62%	21%	16%
實際 + 虛擬 1.0	平均	17.53	17.57	17.55	17.53
	標準差	1.64	2.87	1.64	1.64
	變異係數	9%	16%	9%	9%
實際 + 虛擬 1.5	平均	25.91	26.12	25.70	25.01
	標準差	2.84	2.62	2.70	2.73
	變異係數	10%	10%	10%	10%
實際 + 虛擬 2.0	平均	33.60	34.71	33.19	31.86
	標準差	3.54	3.60	3.53	3.67
	變異係數	10%	10%	10%	11%

例如，由表4.30中可明顯看到，實際損壞之擋土設施之標準差為 10.32 年，遠大於實際+虛擬之標準差 1.64 年。這是因為實際損壞之擋土設施的數據極端值差異，大於實際+虛擬損壞之擋土設施的極端值差異。主要原因則為統計資料數量不足而造成的。

更進一步，我們將所統計之數據分析出其平均值及標準差，並取得各自之累積次數肩形圖後，再去推測其各自之常態分布曲線。由於現階段之常態分布曲線，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布曲線，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。

此次報告也特別將各項目之相對次數長條圖展現出來，便可以很明顯看到各類別在不同使用年限時損壞之數目。有別於常態分布曲線，相對次數長條圖可以更清楚看出現階段之實際損壞次數之分佈情況，可以拿來與由理論所推得知常態分布曲線作一比較與探討，並可以了解整體損壞年限曲線之走向。

從常態分布曲線中，我們可以得知兩個論點：

**第一論點：** 由於統計項目為如圖4.41之常態分布曲線下方面積，表示所有損壞數量百分比。若範圍為 $\pm 2\sigma$ ，表示集中於曲線下方，從 $-2\sigma$ 到 $+2\sigma$ 所涵蓋的面積。常態分佈曲線下方面積，等於積分常態分佈曲線，亦即：

$$F(x; \mu, \sigma^2) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf}\left(\frac{x - \mu}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right] \quad x \in \mathbb{R} \quad (4.3)$$



或者，標準常態分佈曲線 ( $\mu = 0.0$ ;  $\sigma = 1.0$ ) 下方面積，即等於涵蓋機率：

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt = \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{x}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad x \in \mathbb{R} \quad (4.4)$$

所以，當我們要求  $-2\sigma$  到  $+2\sigma$  之間的常態分佈機率，也就是計算  $-2$  到  $+2$  之間的標準常態分佈曲線下方面積，也就等於  $\Phi(2) - \Phi(-2)$  ( $-\infty$  積分到  $+2$ ，減去  $-\infty$  積分到  $-2$ )。以 Excel 中輸入公式：`=NORMSDIST(2)-NORMSDIST(-2)`，就會得到答案為  $0.954499736103641 = 95.45\%$ 。而以相同方式也可求得  $-3\sigma$  到  $+3\sigma$ 、 $-4\sigma$  到  $+4\sigma$  等之相對應百分比，由此便可以得知損壞最多之百分比，會在多少年限期間。

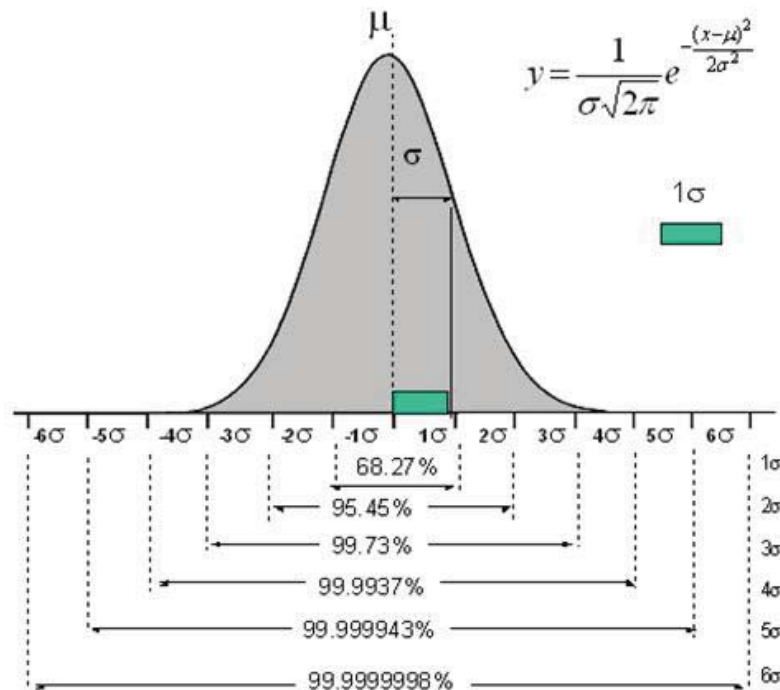


圖 4.41 常態分佈曲線涵蓋面積圖

實際損壞之年限範圍，亦可由表4.31說明。例如以 101 年 10 月份擋土之統計數據來說，可以得知在區間  $-1\sigma$  到  $+1\sigma$  之相對應年限為 20~40 年，意謂在 20~40 年這其間，總共達到 68.27% 之擋土設施損壞。在此分別計算出各統計方法中各類別年限之相對應百分比，詳細之數據請見表4.31~4.34。

表 4.31 實際損壞之曲線下面積年限範圍（單位：年）

實際損壞	擋土 (101.10)	地錨 (101.10)	護坡 (101.10)	排水 (101.10)
$u+1\sigma$	40	36	36	31
$u$	30	22	29	27
$u-1\sigma$	20	8	23	22

表 4.32 實際 + 虛擬之曲線下面積年限範圍（單位：年）

實際 + 虛擬	擋土 (101.10)	地錨 (101.10)	護坡 (101.10)	排水 (101.10)
$u+4\sigma$	24	29	24	24
$u+3\sigma$	22	26	22	22
$u+2\sigma$	21	23	21	21
$u+1\sigma$	19	20	19	19
$u$	18	18	18	18
$u-1\sigma$	16	15	16	16
$u-2\sigma$	14	12	14	14
$u-3\sigma$	13	9	13	13
$u-4\sigma$	11	6	11	11

表 4.33 實際 + 虛擬  $\times 1.5$  之曲線下面積年限範圍（單位：年）

實際 + 虛擬 $\times 1.5$	擋土 (101.10)	地錨 (101.10)	護坡 (101.10)	排水 (101.10)
$u+4\sigma$	37	37	37	36
$u+3\sigma$	34	34	34	33
$u+2\sigma$	32	31	31	30
$u+1\sigma$	29	29	29	28
$u$	25	26	26	25
$u-1\sigma$	23	24	23	22
$u-2\sigma$	20	21	20	20
$u-3\sigma$	17	18	17	17
$u-4\sigma$	15	16	14	14

表 4.34 實際 + 虛擬  $\times 2.0$  之曲線下面積年限範圍 (單位：年)

實際 + 虛擬 2.0	擋土 (101.10)	地錨 (101.10)	護坡 (101.10)	排水 (101.10)
$u+4\sigma$	48	49	47	47
$u+3\sigma$	44	46	44	43
$u+2\sigma$	41	42	40	39
$u+1\sigma$	37	38	37	36
$u$	34	35	33	32
$u-1\sigma$	30	31	30	28
$u-2\sigma$	27	27	26	25
$u-3\sigma$	23	23	23	21
$u-4\sigma$	19	20	19	17

**第二論點：** 我們若將所分析出的各類別人為設施之結構使用年限，以圖4.4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（在此暫以標準差為基本計算單位）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，在某一階段年限共損壞了多少，詳細之數據請參見表4.35~4.38，各表中分別列出了各類別人為設施結構使用年限之相對應的損壞百分比。

由表4.35可以看出，擋土、護坡、排水分別在 20、23、22 年時有 15.87% 損壞，並分別在 40、36、31 年時有 84.13% 損壞。而地錨從資料上可以明顯看出其使用年限為 8 年時，累計損壞百分比已達 15.87%，而累計損壞百分比 50% 時，使用年限為 22 年，此數據又與擋土、護坡、排水三項之使用年限相近，往後可以對這部份做更深一步觀察及討論。

表 4.35 實際損壞之曲線累計面積年限範圍 (單位：年)

實際 損壞 (z)	累計 損壞 (%)	擋土 (101.10)	地錨 (101.10)	護坡 (101.10)	排水 (101.10)
$u-1\sigma$	15.87	20	8	23	22
$u$	50.00	30	22	29	27
$u+1\sigma$	84.13	40	36	36	31

表 4.36 實際 + 虛擬損壞之曲線累計面積年限範圍（單位：年）

實際 虛擬 (z)	累計 損壞 (%)	擋土 (101.10)	地錨 (101.10)	護坡 (101.10)	排水 (101.10)
u-3σ	0.13	13	9	13	13
u-2σ	2.28	14	12	14	14
u-1σ	15.87	16	15	16	16
u	50.00	18	18	18	18
u+1σ	84.13	19	20	19	19
u+2σ	97.72	21	23	21	21
u+3σ	99.87	22	26	22	22

表 4.37 實際 + 虛擬 1.5 之曲線累計面積年限範圍（單位：年）

實際 虛擬 1.5 (z)	累計 損壞 (%)	擋土 (101.10)	地錨 (101.10)	護坡 (101.10)	排水 (101.10)
u-3σ	0.13	17	18	17	17
u-2σ	2.28	20	21	20	20
u-1σ	15.87	23	24	23	22
u	50.00	25	26	26	25
u+1σ	84.13	29	29	29	28
u+2σ	97.72	32	31	31	30
u+3σ	99.87	34	34	34	33

表 4.38 實際 + 虛擬 2.0 之曲線累計面積年限範圍（單位：年）

實際 虛擬 2.0 (z)	累計 損壞 (%)	擋土 (101.10)	地錨 (101.10)	護坡 (101.10)	排水 (101.10)
u-3σ	0.13	23	23	23	21
u-2σ	2.28	27	27	26	25
u-1σ	15.87	30	31	30	28
u	50.00	34	35	33	32
u+1σ	84.13	37	38	37	36
u+2σ	97.72	41	42	40	39
u+3σ	99.87	44	46	44	43

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。不過由於資料筆數並不是非常完善，本研究會隨著資料越來越充足的情況下，持續修正此一曲線。

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。這也由於資料筆數並不是非常完善，本研究亦會隨著資料越來越充足的情況下，持續修正此一曲線。

最後另可由變異係數 (Coefficient of Variation) 之概念，了解資料彼此間的差異程度，其定義如下：變異係數  $(C.V.) = (\sigma/\mu) \times 100\%$ 。當變異係數愈小，表示資料彼此間的差異越小，而當變異係數愈大，則表示資料彼此間的差異愈大、愈參差不齊。本階段資料之變異係數列於表4.30中。

#### 4.2.2.2 邊坡人為設施損壞統計說明（20 年內）

由前4.2.2節中各圖可以明顯看出，長條圖之圖形之分佈情況位於統計年限座標軸的左右兩側。若仔細地從實際損壞之圖形中來看（圖4.9~4.16），其中一個高峰值顯示於損壞年限 10 年與 20 年間，而另一高峰值則出現在 40 年左右。經由歷次期中報告及工作會議之討論後推測，這可能是由於早期統計資料因年份較為久遠，在資料紀錄上不如現今完善，且此次年限統計方式乃由“國道邊坡全生命週期維護管理系統”網站上，根據“101 年 2 月新頒巡查表”中紀錄之建造日期以及巡查日期推算而得，在“新頒巡查表”資料前之數據，或許當時曾損壞過但無紀錄者亦或紀錄不良者，皆不予以納入考量。因此很多損壞年限皆高達 40 年左右，其可靠性有待商討，因此造成表4.30中實際損壞數據之變異係數皆較為偏高，連同常態分部曲線之曲線涵蓋範圍亦被拉大。

為了要提高統計數據之可信度以及準確性，特別在本4.2.2.2節，針對損壞年限於 20 年以內之四項邊坡人為設施再做一次統計，而資料也重新進行彙整更新至 102 年 2 月 1 日。經過整理後篩選過濾出 1,165 筆邊坡之最近巡查資料，並從這些資料中劃分為擋土、地錨、護坡、排水等四大類別，同時也一併修正各設施之平均值、標準差以及重新推估其常態分布曲線。

由於常態分布曲線為此次推估結構損壞年限之重要依據，然而本研究使用之數據，是否能夠以常態分布曲線來推估，即成為一個重要前提。一般學術上較常用來檢定常態分布適用性的方式為卡方檢定，在下節中會詳細描述卡方檢定之理論，並以本次數據中的擋土設施結構使用年限進行舉例驗證。

##### 1. 常態分佈適用性（以擋土設施實際損壞舉例驗證）

為了驗證本研究所統整之擋土、地錨、護坡、排水等四項人為設施的損壞年限數據，是否適合以常態分布曲線推論，乃為本節之重點所在。考量年限統計資料之特性以及現階段學術上較為常用之適合度檢定方式，因此選用卡方檢定來做為判斷是否為常態分佈之工具，並從實際損壞中擋土設施之數據做舉例驗證。

卡方檢定為無母數統計學中的一部分，所謂無母數統計學是指，母體分配不是常態，或母體分配不知道，或是樣本為小樣本情況下的統計推論方式。卡方檢定主要用於類別資料 (Categorical data) 檢定，常用之用途有配合度檢定、獨立性檢定、齊一性檢定。其中獨立性檢定及齊一性檢定分別是用來檢定兩個屬性間是否獨立，以及兩個或兩個以上母體某一特性的分配是否齊一或相近的統計方法。而配合度檢定正是用來檢查一組資料是否滿足某種分配的問題，其是利用樣本資料檢定母體分配是否為某一特定分配或理論分配的統計方法。因此本研究採用卡方檢定中之配合度檢定作為判別資料是否為常態分佈曲線之依據 (方世榮，1998)。

卡方配合度檢定中，最重要的一個審核基準值與自由度有很大的關係，所謂自由度（degree of freedom，簡稱 df）是指組成一個卡方統計量中可以自由變動的個數。卡方統計量中每含一個條件式，即失去一個自由度。自由度的主要功能，在於調整卡方分配的形狀。由圖4.42中可看出配合度卡方分配為一右偏分配，其形狀因自由度而異，當自由度愈大，向右偏斜程度愈小，也越接近常態分布情形 (Lapin, 2003)。

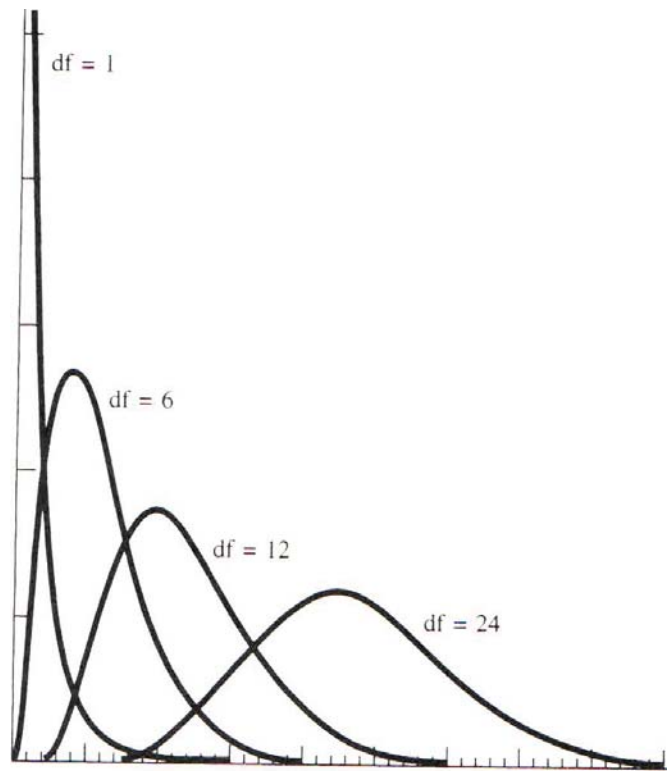


圖 4.42 卡方曲線與自由度關係圖

配合度檢定之假設檢定方式主要建立在虛無假設  $H_0$ 、對立假設  $H_1$  及顯著性  $\alpha$  的觀念上，當我們不知道母體分配時，應先設立母體為某種分配的假設：

**虛無假設  $H_0$ ：** 凡所定的假設欲予以否定的稱之

- (1) 表示母體參數與樣本統計量間並未存在差異的情況。
- (2) 當結論無法否定虛無假設時，表示「無充份證顯示虛無假設為偽」。
- (3) 虛無假說所陳述的事件永遠無法被證實為真。

**對立假設  $H_1$ ：** 與虛無假設對立之假設

表示母體參數與樣本統計量間存在差異的情況。

**顯著性  $\alpha$ ：** 有足夠的證據推翻虛無假設時，稱此檢定具顯著性。

由上可以明顯看出並了解到，要知道一組數據是不是符合某一分配，首先需先假設其數據為某一分配，此作法即為假設檢定中之虛無假設  $H_0$ ；而與其相對立的，



假設其數據不為某一分配，則稱此假設為對立假設  $H_1$ 。而顯著性通常設為 0.05，顯著性的值越低，越是嚴謹。顯著水準為 0.05 時則代表存在 5% 機率拒絕  $H_0$ ，而相對有 95% 接受  $H_0$ ，亦即為 95% 信賴區間之觀念。

配合度檢定之所以稱為配合度檢定，乃是因為此一檢定方法的目的，在於檢定觀察次數與虛無假設的期望次數的接近程度，以檢定它是否符合某一特定分配。其計算公式如式 4.5 所示，公式中可看出卡方統計量之值必為正數。

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - e_i)^2}{e_i} \quad (4.5)$$

式中， $O_i$  為第  $i$  組的樣本觀察次數； $e_i$  為期望次數（或理論次數）。

若是由公式 4.5 所計算出之卡方值  $\chi^2$  值越小，表示檢定之結果未達顯著差異 (Do not reject  $H_0$ )；反之，卡方值  $\chi^2$  越大，代表統計量與理論值的差異很大。一旦卡方值大於以自由度與選定顯著水準經過右尾檢定所得之臨界值，即可獲得顯著的統計結論 (reject  $H_0$ ，意味著當檢定結果為顯著時，則表示虛無假設  $H_0$  被推翻)。如圖 4.43 中計算值卡方量大於理論值之卡方臨界值，因此落於拒絕域中 (林惠玲、陳正倉，2005)。

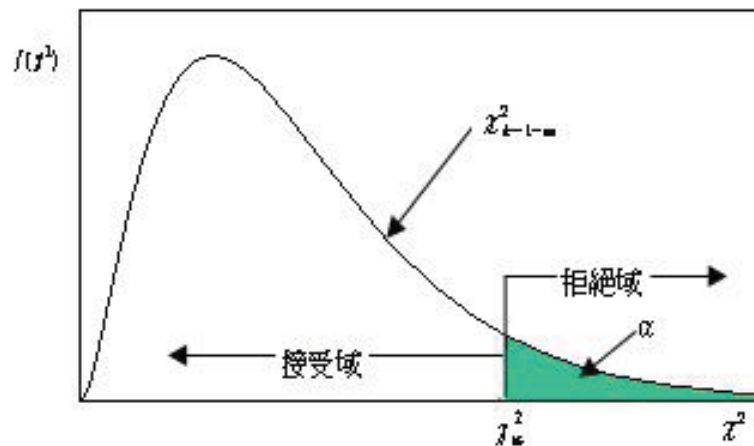


圖 4.43 卡方檢定的拒絕域與接受域

由於卡方適合度檢定通常只適用於大樣本，一般說來，在分組時唯有在所有組別中的期望值次數  $(e_i) \geq 5$  時，卡方適合度檢定才適用。若分組組別中有期望值次數  $(e_i) < 5$  時，該組必須與相鄰組合併至  $e_i \geq 5$  為止，即組數必須減少，而自由度也相對減少 (林惠玲、陳正倉，2005)。期望值計算方式則如式 4.6 所示：

$$e_i = n \cdot Pr \left( \frac{\text{第 } i \text{ 組下界} - \text{平均值}}{\text{標準差}} \leq Z < \frac{\text{第 } i \text{ 組上界} - \text{平均值}}{\text{標準差}} \right) \quad (4.6)$$

式中， $n$  為數據筆數， $Pr$  為經計算後查標準常態分配表所得之機率。

以擋土設施實際損壞統計數據作為驗證：  $H_0$ ：資料取自常態分配；  $H_1$ ：資料不是取自常態分配。

根據卡方檢定之分組公式  $1 + 3.31\log(\text{資料數})$ ，將擋土設施之統計數據概略分為六組，平均數及標準差分別代入 14.23 及 1.65，並以標準差作為分組的依據，此外考量整體資料分布之情況，因此分組情況以年限 10.94 隨標準差年往後遞增至年限 20 年，如表 4.39 所示。其中

$$\begin{aligned}
 e_1 &= n \cdot Pr\left(Z < \frac{\text{第 } i \text{ 組上界} - \text{平均值}}{\text{標準差}}\right) = 30 \cdot Pr\left(Z < \frac{10.94 - 14.23}{1.65}\right) \\
 &= 30 \cdot Pr(Z < -1.9939) = 30 \cdot (0.0235) = 0.705 \\
 e_2 &= n \cdot Pr\left(\frac{\text{第 } i \text{ 組下界} - \text{平均值}}{\text{標準差}} \leq Z < \frac{\text{第 } i \text{ 組上界} - \text{平均值}}{\text{標準差}}\right) \\
 &= 30 \cdot Pr\left(\frac{10.94 - 14.23}{1.65} \leq Z < \frac{12.59 - 14.23}{1.65}\right) \\
 &= 30 \cdot Pr(-1.9939 \leq Z < -0.9939) \\
 &= 30 \cdot (0.1611 - 0.0235) = 30 \cdot 0.1376 = 4.128
 \end{aligned}$$

其餘以此類推。

表 4.39 擋土實際損壞卡方分組表

組別	使用年限		觀察次數 ( $O_i$ )	期望次數 ( $e_i$ )
1	< 10.94		1	0.705
2	10.94	12.59	10	4.128
3	12.59	14.23	3	10.167
4	14.23	15.88	5	10.239
5	15.88	17.52	10	4.062
6	17.52	20	1	0.6921
合計	-	-	30	30

表 4.39 中可以明顯看出 1、2、5、6 組的期望次數皆低於 5，根據卡方檢定之作法予以合併，如表 4.40 所示。

表 4.40 調整後卡方分組表

組別(i)	使用年限		觀察次數 ( $O_i$ )	期望次數 ( $e_i$ )
1	< 14.23		14	15
2	14.23	20	16	15
合計	-	-	30	30

最後代入卡方檢定公式：

$$\chi^2 = \frac{(14-15)^2}{15} + \frac{(16-15)^2}{15} = 0.1333 < X_{1,0.05}^2 = 3.841$$

其中經由卡方中自由度公式  $k-1-m$  計算後為 1 (其中  $m$  為估計的參數個數，若在計算過程中，為了計算進行而自行假設參數時，要扣掉所假設參數的個數)，且信賴區間設為 95%，即顯著水準為 0.05，查表得 3.841，又因為  $\chi^2 = 0.1333 < 3.841$ ，故  $H_0$  不顯著，沒有有足夠的證據推翻虛無假設，亦即沒有證據說此組資料不是常態分配。因此，本研究以常態曲線來描述損壞年限之分布狀況，應該是可行的。

## 2. 實際損壞項目之年限統計 (20 年以內)

為了要提高統計數據之可信度以及準確性，將目前可採用之 1,165 筆資料中之擋土、地錨、護坡、排水四類邊坡設施，針對其損壞年限於 20 年內實際損壞之數據，單獨再做一次統計。除了同 4.2.2.1 節提出以中度損壞為標準之圖表外，亦在各圖表中額外附上相對次數長條圖，以利了解各類別人為設施之實際損壞年限，並可以進而與理論推論之常態分布曲線作比較 (詳表 4.41 及圖 4.44~4.51)。

表 4.41 實際損壞項目年限統計次數百分比 (20 年內)

實際 年限	擋土			地錨			護坡			排水		
	個數	相對百分比	相對百分比	個數	相對百分比	相對百分比	個數	相對百分比	相對百分比	個數	相對百分比	相對百分比
0	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%
1	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	5	8.94%	8.94%	0	0.00%	0.00%
8	1	3.33%	3.33%	0	0.00%	0.00%	1	1.79%	10.73%	2	1.96%	1.96%
10	0	0.00%	3.33%	1	11.11%	11.11%	3	5.36%	16.09%	3	2.94%	4.90%
11	1	3.33%	6.66%	1	11.11%	22.22%	2	3.57%	19.66%	5	4.90%	9.80%
12	9	30.00%	36.66%	1	11.11%	33.33%	18	32.14%	51.80%	31	30.39%	40.19%
13	3	10.00%	46.66%	4	44.44%	77.77%	5	8.94%	60.74%	15	14.71%	54.90%
14	0	0.00%	46.66%	0	0.00%	77.77%	0	0.00%	60.74%	1	0.98%	55.88%
15	5	16.67%	63.33%	0	0.00%	77.77%	6	10.72%	71.46%	9	8.83%	64.71%
16	2	6.67%	70.00%	0	0.00%	77.77%	1	1.75%	73.21%	3	2.94%	67.65%
17	8	26.67%	96.67%	2	22.23%	100.00%	15	26.79%	100.00%	31	30.39%	98.04%
18	1	3.33%	100.00%	0	0.00%	100.00%	0	0.00%	100.00%	2	1.96%	100.00%

擋土中度損壞常態分佈(實際)

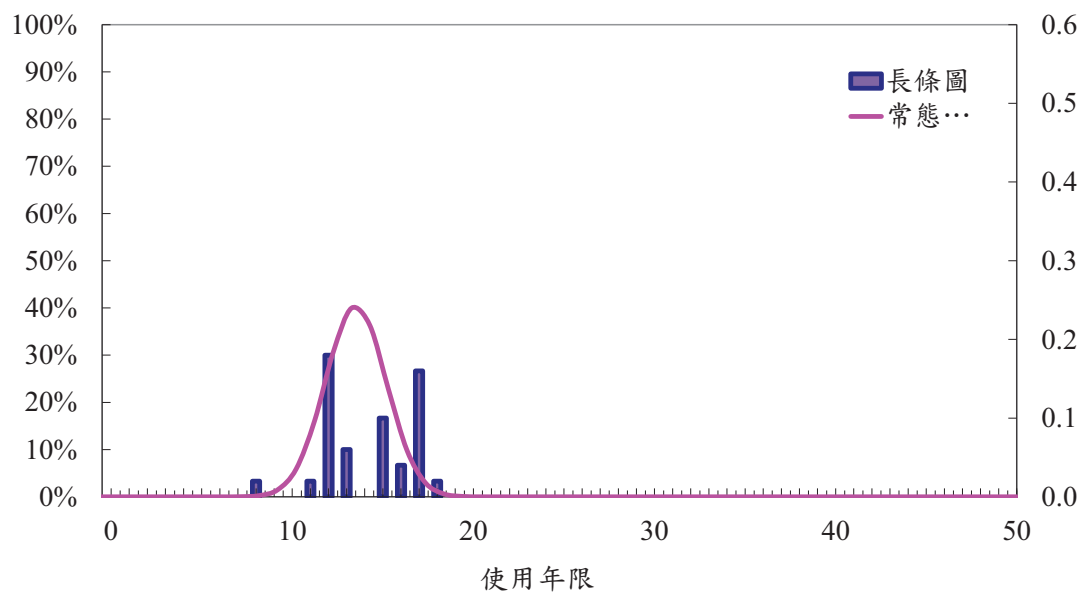


圖 4.44 擋土中度損壞（常態）（20 年內）

擋土中度損壞累積次數(實際)

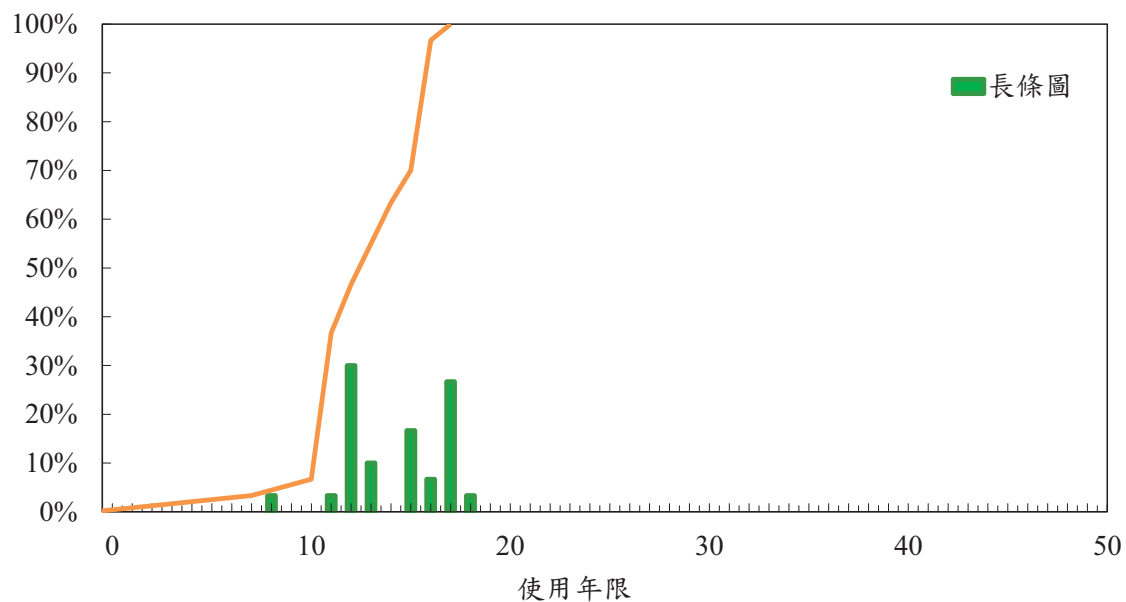


圖 4.45 擋土中度損壞（累積）（20 年內）

地錨中度損壞常態分佈(實際)

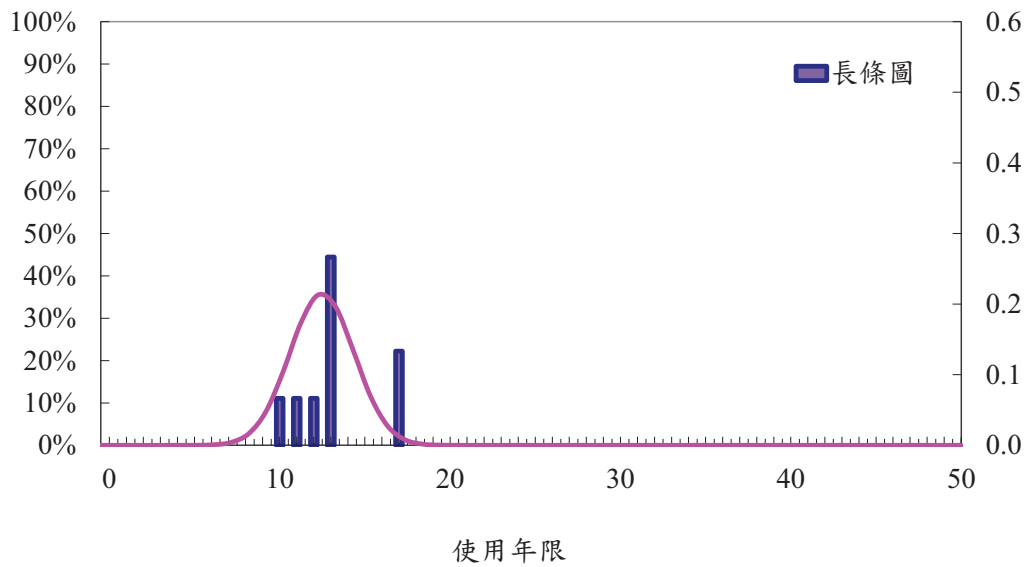


圖 4.46 地錨中度損壞 (常態) (20 年內)

地錨中度損壞累積次數(實際)

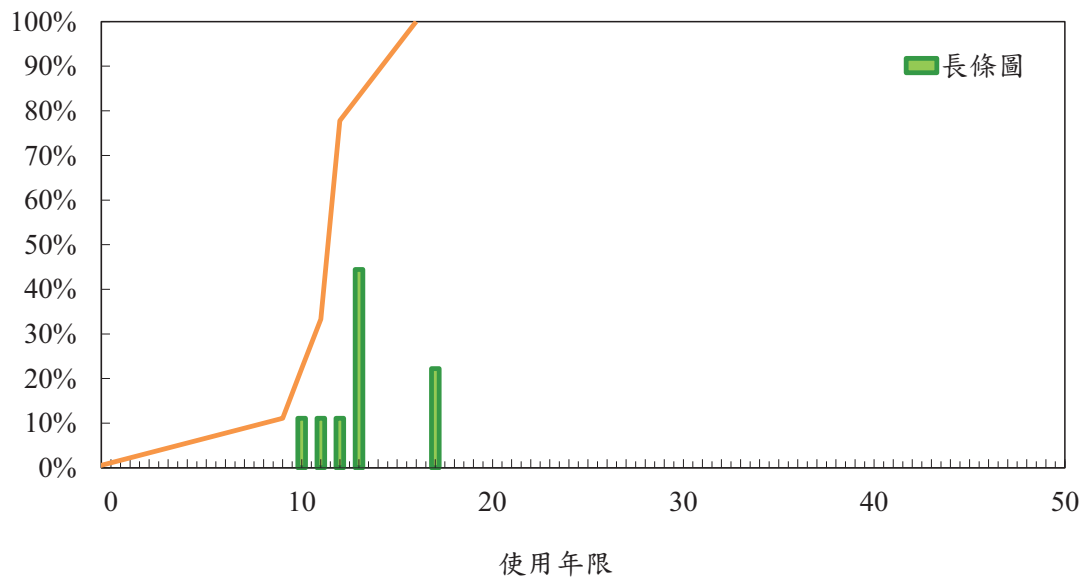


圖 4.47 地錨中度損壞 (累積) (20 年內)

護坡中度損壞常態分佈(實際)

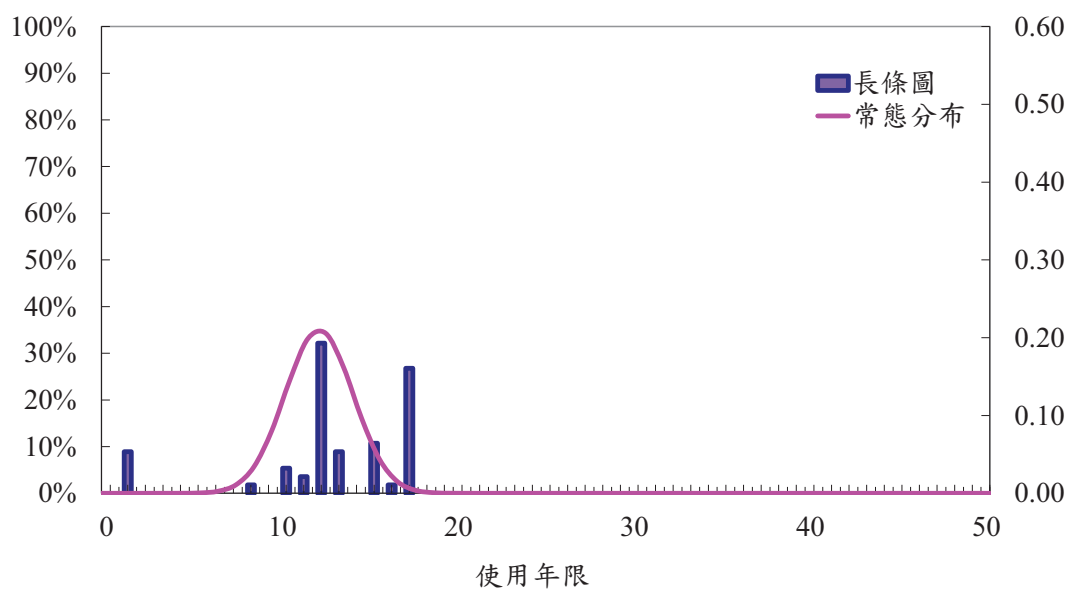


圖 4.48 護坡中度損壞（常態）（20 年內）

護坡中度損壞累積次數(實際)

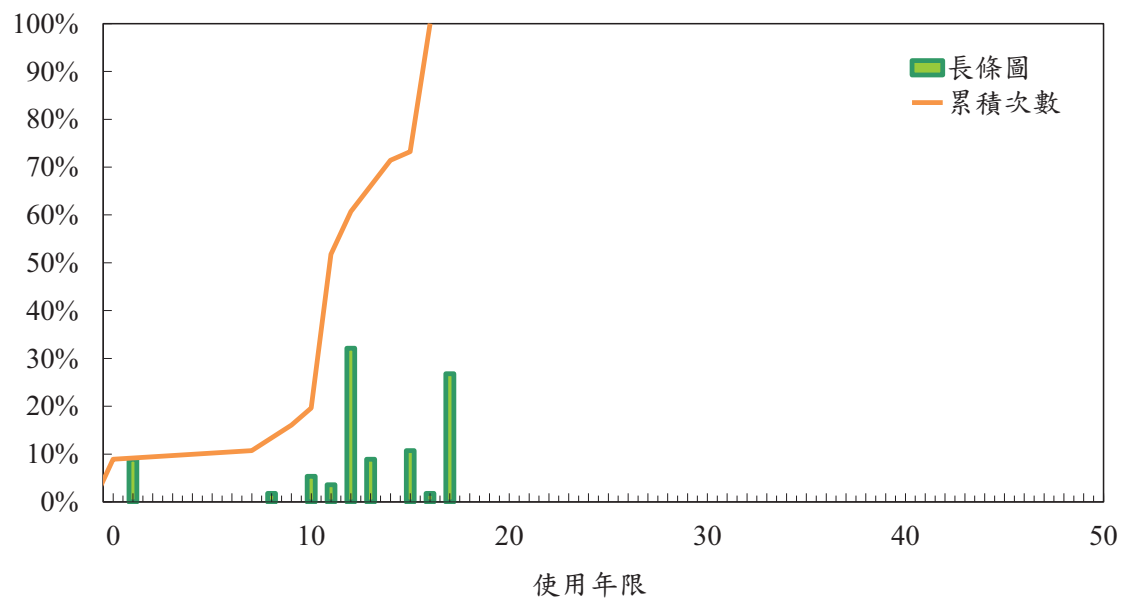


圖 4.49 護坡中度損壞（累積）（20 年內）



排水中度損壞常態分佈(實際)

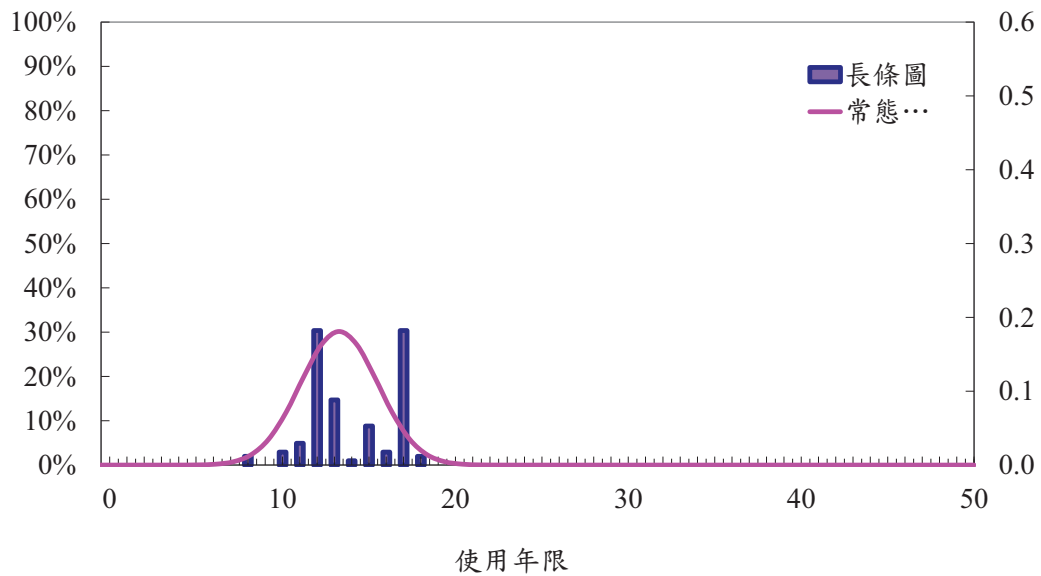


圖 4.50 排水中度損壞（常態）（20 年內）

排水中度損壞累積次數(實際)

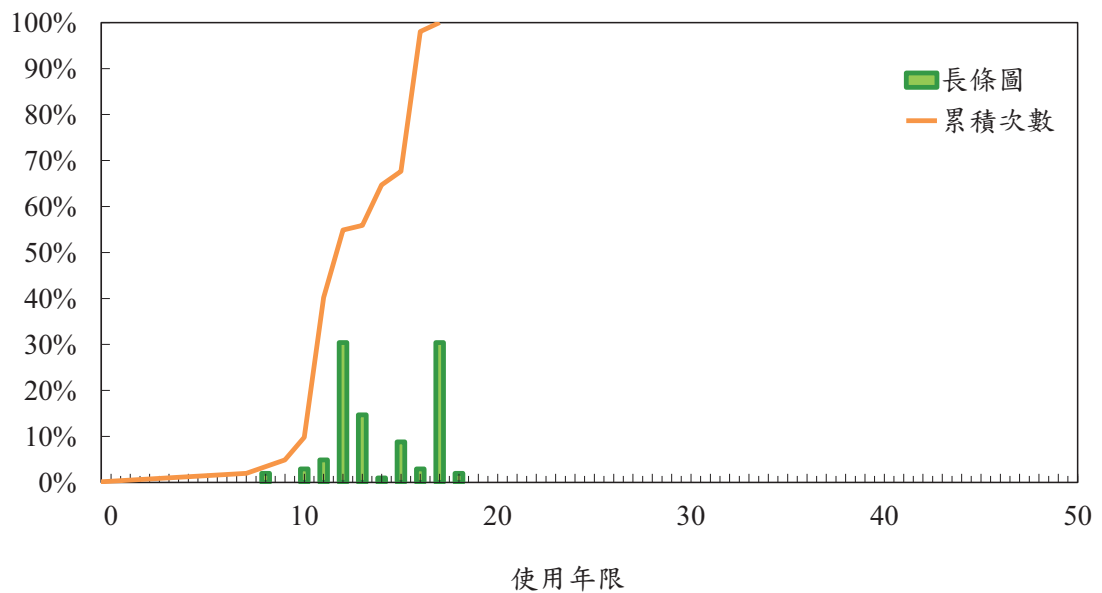


圖 4.51 排水中度損壞（累積）（20 年內）

### 3. 實際損壞項目 + 虛擬損壞年限之年限統計（20 年內）

為了能夠使用所有資料數據進行統計，本小節將所有尚未損壞之年限數據，皆假設為損壞年限即為現有日期。為了與實際損壞之名稱做對應區分，因此稱假設其損壞之設施為虛擬損壞；此外為了要確保統計數據之保守度以及準確性，因此特別將四類邊坡設施其損壞年限於 20 年內之資料單獨做一次統計。同時，除了提出以中度損壞為標準之圖表外，亦在各圖表中額外附上相對次數長條圖之圖表，以利了解各類別人為設施之實際損壞年限，並可以進而與理論推論之常態分布曲線作比較（表4.42及圖4.52~4.59）。

表 4.42 實際損壞項目 + 虛擬損壞統計次數百分比（20 年內）

實+ 虛 年限	擋土			地錨			護坡			排水		
	個數	相對百分比	累積百分比	個數	相對百分比	累積百分比	個數	相對百分比	累積百分比	個數	相對百分比	累積百分比
1	7	0.81%	0.81%	7	0.81%	0.81%	7	0.81%	0.81%	5	0.58%	0.58%
3	1	0.12%	0.93%	1	0.12%	0.93%	1	0.12%	0.93%	1	0.12%	0.70%
4	1	0.12%	1.04%	1	0.12%	1.04%	1	0.12%	1.04%	1	0.12%	0.81%
5	2	0.23%	1.27%	2	0.23%	1.27%	2	0.23%	1.27%	2	0.23%	1.04%
8	11	1.27%	2.54%	11	1.27%	2.54%	11	1.27%	2.54%	11	1.27%	2.32%
9	49	5.66%	8.21%	49	5.66%	8.21%	49	5.66%	8.20%	49	5.68%	8.00%
10	6	0.69%	8.90%	6	0.69%	8.90%	6	0.69%	8.89%	6	0.70%	8.69%
11	144	16.65%	25.55%	144	16.65%	25.55%	144	16.63%	25.52%	144	16.69%	25.38%
12	166	19.19%	44.74%	166	19.19%	44.74%	166	19.17%	44.69%	166	19.24%	44.61%
13	399	46.13%	90.87%	399	46.13%	90.87%	400	46.19%	90.88%	399	46.23%	90.85%
14	1	0.12%	90.98%	1	0.12%	90.98%	1	0.12%	90.99%	1	0.12%	90.96%
15	13	1.50%	92.49%	13	1.50%	92.49%	13	1.50%	92.50%	13	1.51%	92.47%
16	15	1.73%	94.22%	15	1.73%	94.22%	15	1.73%	94.23%	15	1.74%	94.21%
17	47	5.43%	99.65%	47	5.43%	99.65%	47	5.43%	99.66%	47	5.45%	99.65%
18	3	0.35%	100.00%	3	0.35%	100.00%	3	0.35%	100.00%	3	0.35%	100.00%

擋土中度損壞常態分佈(實+虛)

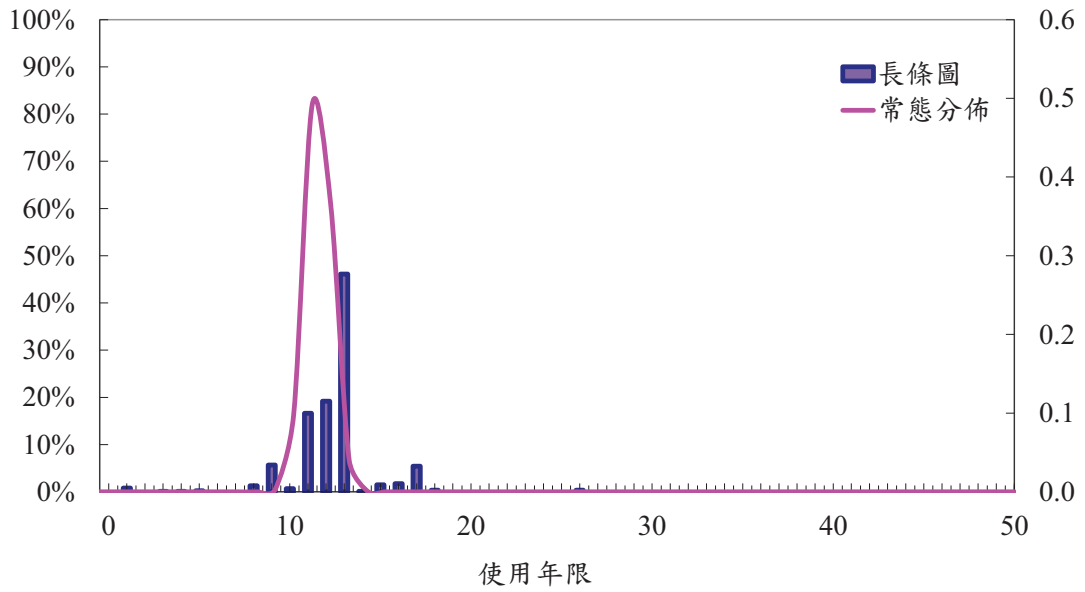


圖 4.52 實際損壞項目 + 虛擬損壞之擋土中度損壞 (常態) (20 年內)

擋土中度損壞累積次數(實+虛)

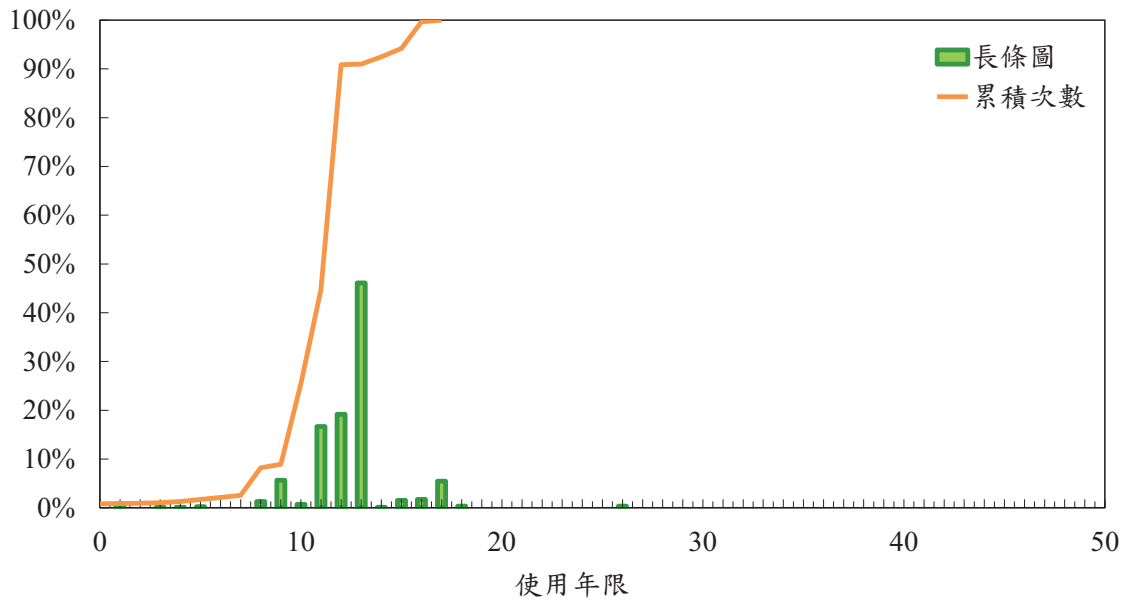


圖 4.53 實際損壞項目 + 虛擬損壞之擋土中度損壞 (累積) (20 年內)

地錨中度損壞常態分佈(實+虛)

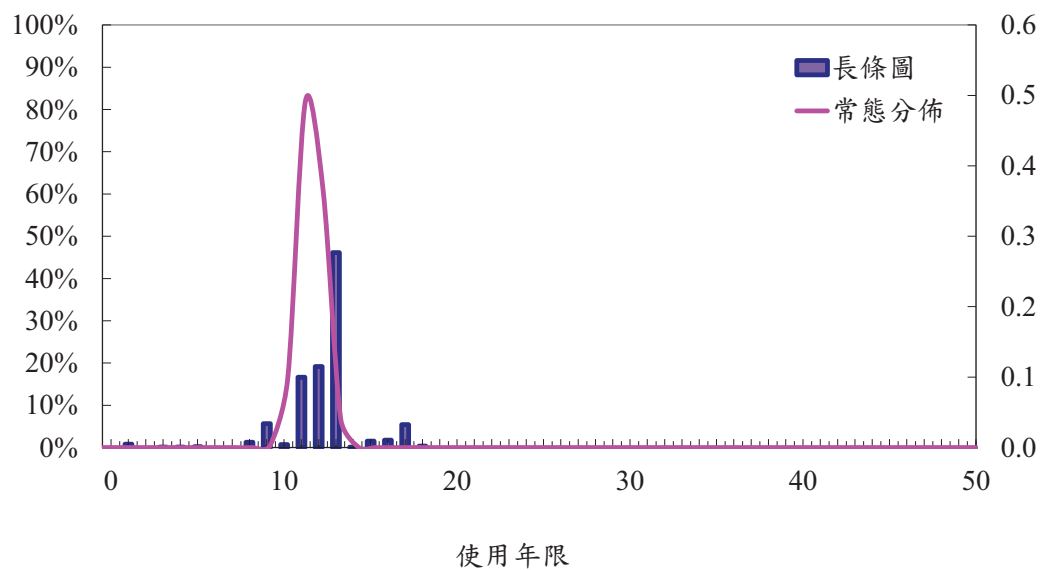


圖 4.54 實際損壞項目 + 虛擬損壞之地錨中度損壞（常態）（20 年內）

地錨中度損壞累積次數(實+虛)

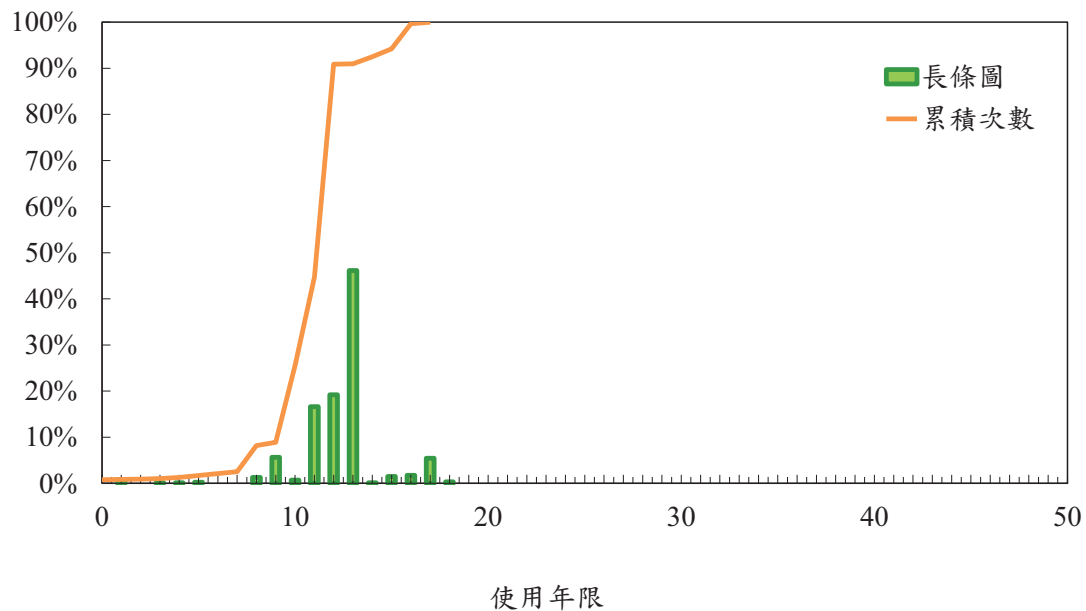


圖 4.55 實際損壞項目 + 虛擬損壞之地錨中度損壞（累積）（20 年內）

護坡中度損壞常態分佈(實+虛)

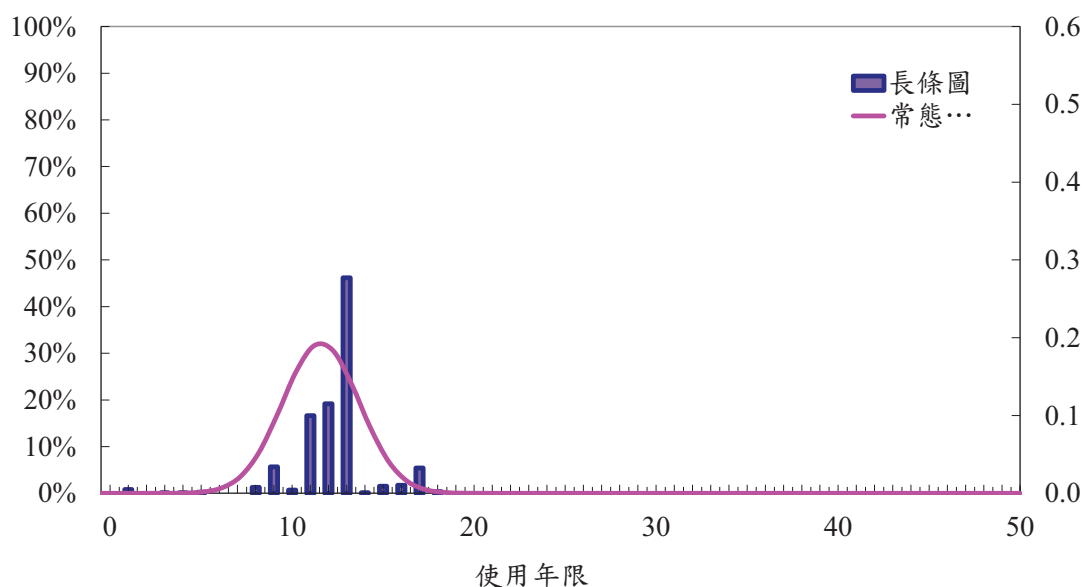


圖 4.56 實際損壞項目 + 虛擬損壞之護坡中度損壞 (常態) (20 年內)

護坡中度損壞累積次數(實+虛)

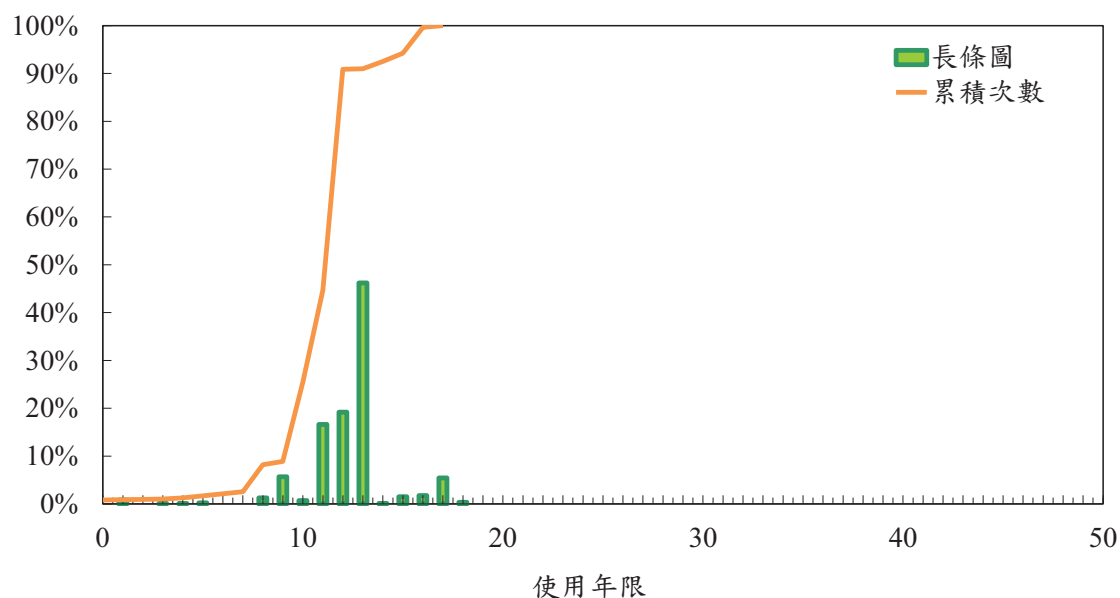


圖 4.57 實際損壞項目 + 虛擬損壞之護坡中度損壞 (累積) (20 年內)

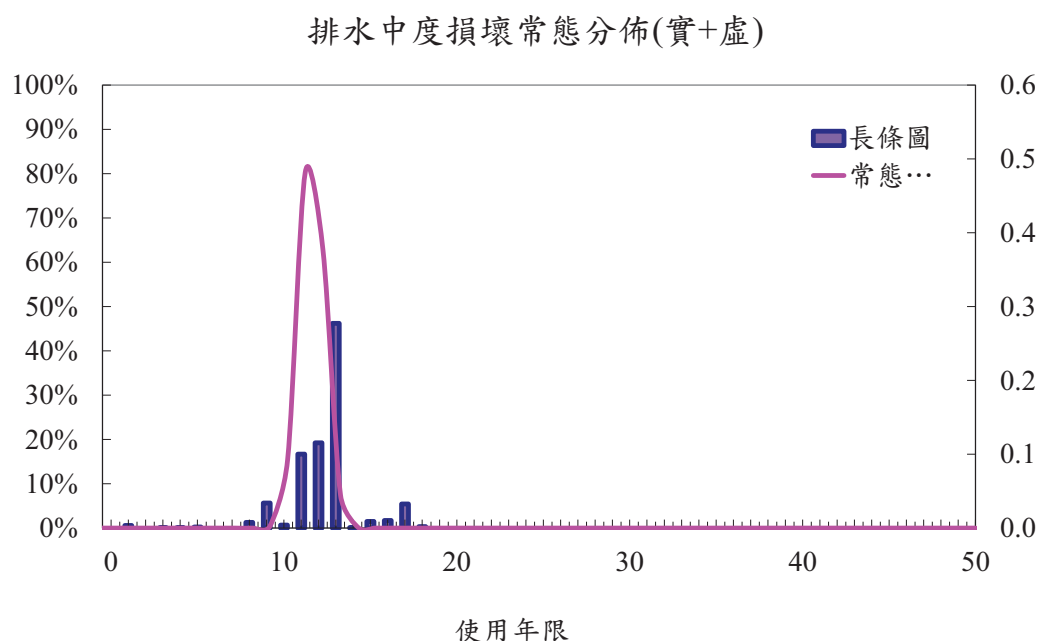


圖 4.58 實際損壞項目 + 虛擬損壞之排水中度損壞（常態）（20 年內）

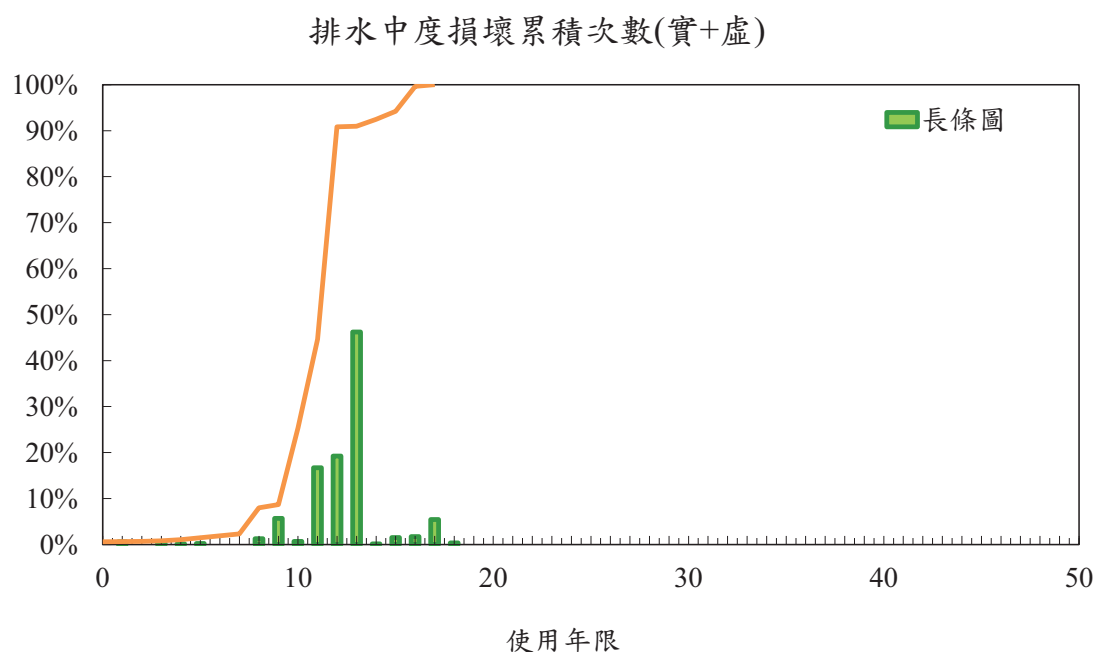


圖 4.59 實際損壞項目 + 虛擬損壞之排水中度損壞（累積）（20 年內）

#### 4. 實際損壞項目 + 虛擬損壞年限 $\times 1.5$ 之年限統計（20 年內）

為了要可以使用所有資料數據進行統計，本小節將所有尚未損壞之年限數據，假設為損壞年限即為現有日期  $\times 1.5$  倍。為了與實際損壞之名稱做對應區分，稱假設其損壞之設施為虛擬損壞；此外為了要確保統計數據之保守度以及準確性，因此



特別將四類邊坡設施其損壞年限於 30 年內（相對於實際損壞 20 年之 1.5 倍）之資料，再單獨做一次統計。同時除了提出以中度損壞為標準之圖表外，亦在各圖表中額外附上相對次數長條圖之圖表，以利了解各類別人為設施之實際損壞年限，並可以進而與理論推論之常態分布曲線作比較（表 4.43 及圖 4.60~4.67）。

表 4.43 實際損壞項目 + 虛擬損壞年限  $\times 1.5$  統計次數百分比（20 年內）

實+虛 1.5 年限	擋土			地錨			護坡			排水		
	個數	相對百分比	相對百分比	個數	相對百分比	相對百分比	個數	相對百分比	相對百分比	個數	相對百分比	相對百分比
1	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	5	0.58%	0.58%	0	0.00%	0.00%
2	7	0.81%	0.81%	7	0.81%	0.81%	2	0.23%	0.81%	5	0.60%	0.60%
3	0	0.00%	0.81%	0	0.00%	0.81%	0	0.00%	0.81%	1	0.12%	0.73%
5	1	0.12%	0.93%	1	0.12%	0.92%	1	0.12%	0.93%	0	0.00%	0.73%
6	1	0.12%	1.04%	1	0.12%	1.04%	1	0.12%	1.04%	1	0.12%	0.85%
8	3	0.35%	1.39%	2	0.23%	1.27%	3	0.35%	1.39%	2	0.24%	1.09%
10	0	0.00%	1.39%	1	0.12%	1.39%	3	0.35%	1.73%	0	0.00%	1.09%
11	1	0.12%	1.50%	1	0.12%	1.50%	2	0.23%	1.96%	0	0.00%	1.09%
12	18	2.08%	3.59%	12	1.39%	2.89%	28	3.23%	5.19%	9	1.09%	2.18%
13	3	0.35%	3.94%	4	0.46%	3.35%	5	0.58%	5.76%	0	0.00%	2.18%
14	49	5.67%	9.61%	49	5.66%	9.01%	49	5.65%	11.41%	49	5.93%	8.10%
15	11	1.27%	10.88%	5	0.58%	9.58%	9	1.04%	12.45%	3	0.36%	8.46%
16	2	0.23%	11.11%	0	0.00%	9.58%	1	0.12%	12.56%	2	0.24%	8.71%
17	151	17.48%	28.59%	146	16.86%	26.44%	157	18.09%	30.65%	139	16.81%	25.51%
18	158	18.29%	46.88%	165	19.05%	45.50%	148	17.05%	47.70%	135	16.32%	41.84%
20	396	45.83%	92.71%	395	45.61%	91.11%	395	45.51%	93.21%	387	46.80%	88.63%
21	1	0.12%	92.82%	1	0.12%	91.22%	1	0.12%	93.32%	0	0.00%	88.63%
22	8	0.93%	93.75%	0	0.00%	91.22%	0	0.00%	93.32%	5	0.60%	89.24%
23	0	0.00%	93.75%	13	1.50%	92.73%	7	0.81%	94.13%	4	0.48%	89.72%
24	13	1.50%	95.25%	15	1.73%	94.46%	14	1.61%	95.74%	43	5.20%	94.92%
26	39	4.51%	99.77%	45	5.20%	99.65%	34	3.92%	99.66%	31	3.75%	98.67%
27	2	0.23%	100.00%	3	0.35%	100.00%	3	0.35%	100.00%	1	0.12%	98.79%
28	0	0.00%	100.00%	0	0.00%	100.00%	0	0.00%	100.00%	1	0.12%	98.91%
30	0	0.00%	100.00%	0	0.00%	100.00%	0	0.00%	100.00%	9	1.09%	100.00%

擋土中度損壞常態分佈(實+1.5虛)

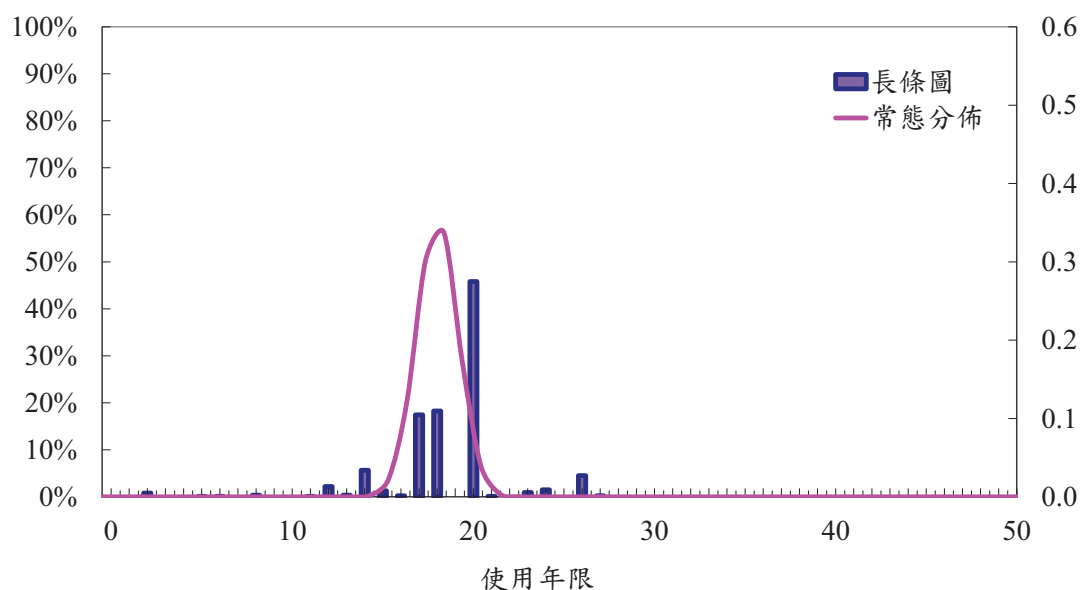


圖 4.60 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之擋土中度損壞 (常態) (20 年內)

擋土中度損壞累積次數(實+1.5虛)

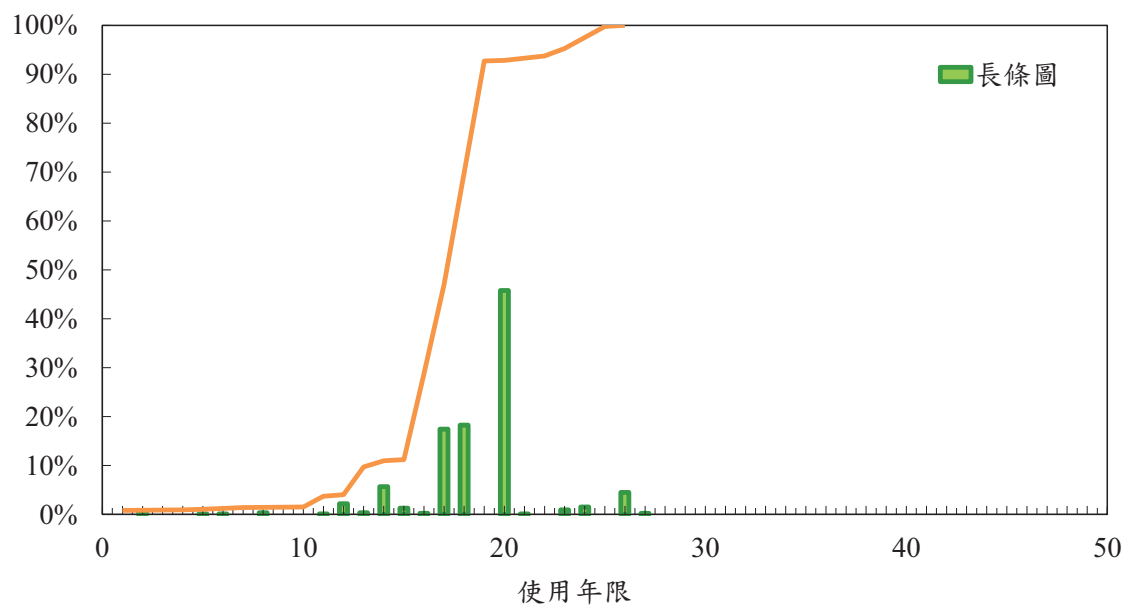


圖 4.61 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之擋土中度損壞 (累積) (20 年內)

地錨中度損壞常態分佈(實+1.5虛)

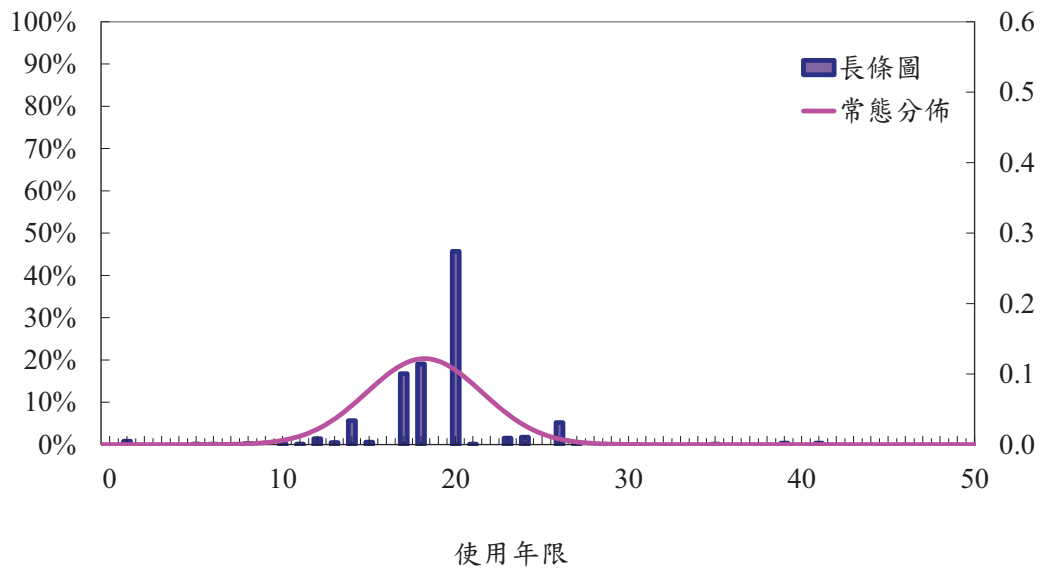


圖 4.62 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之地錨中度損壞 (常態) (20 年內)

地錨中度損壞累積次數(實+1.5虛)

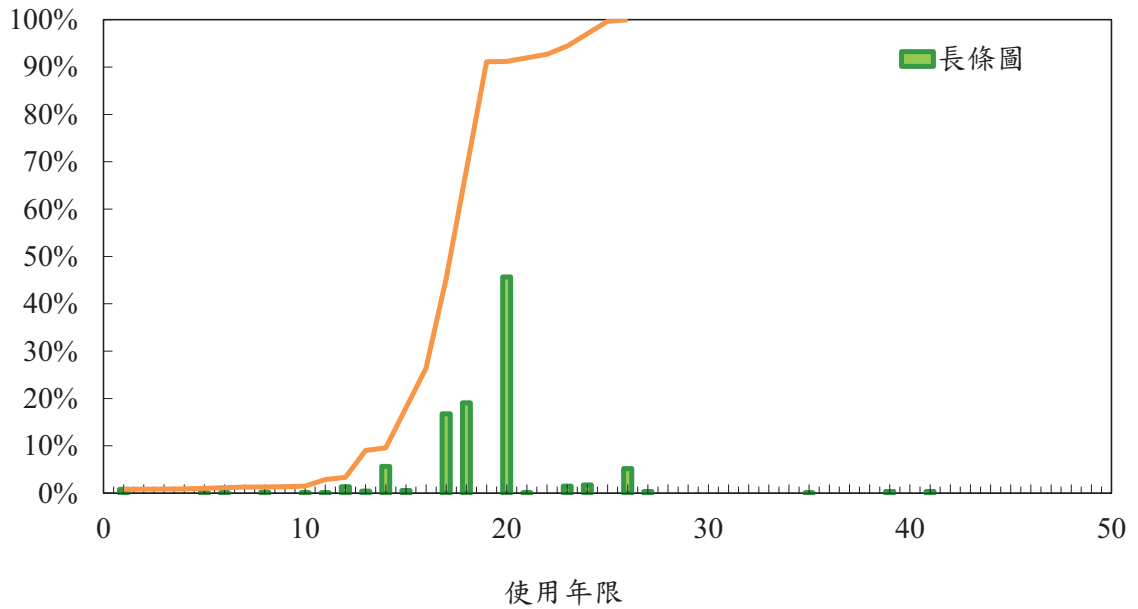


圖 4.63 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之地錨中度損壞 (累積) (20 年內)

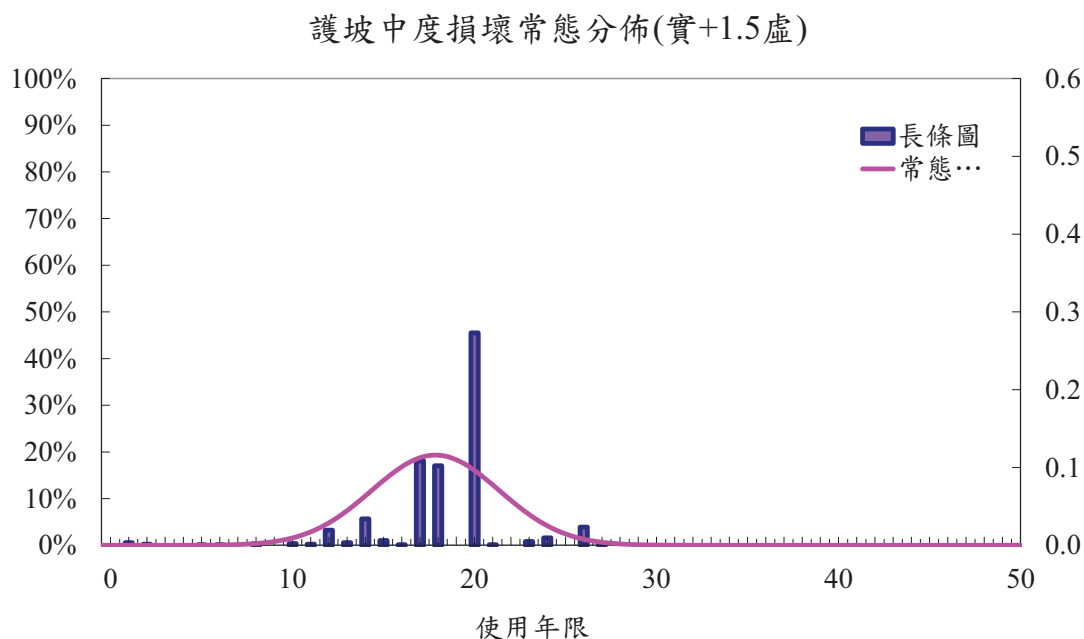


圖 4.64 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之護坡中度損壞 (常態) (20 年內)

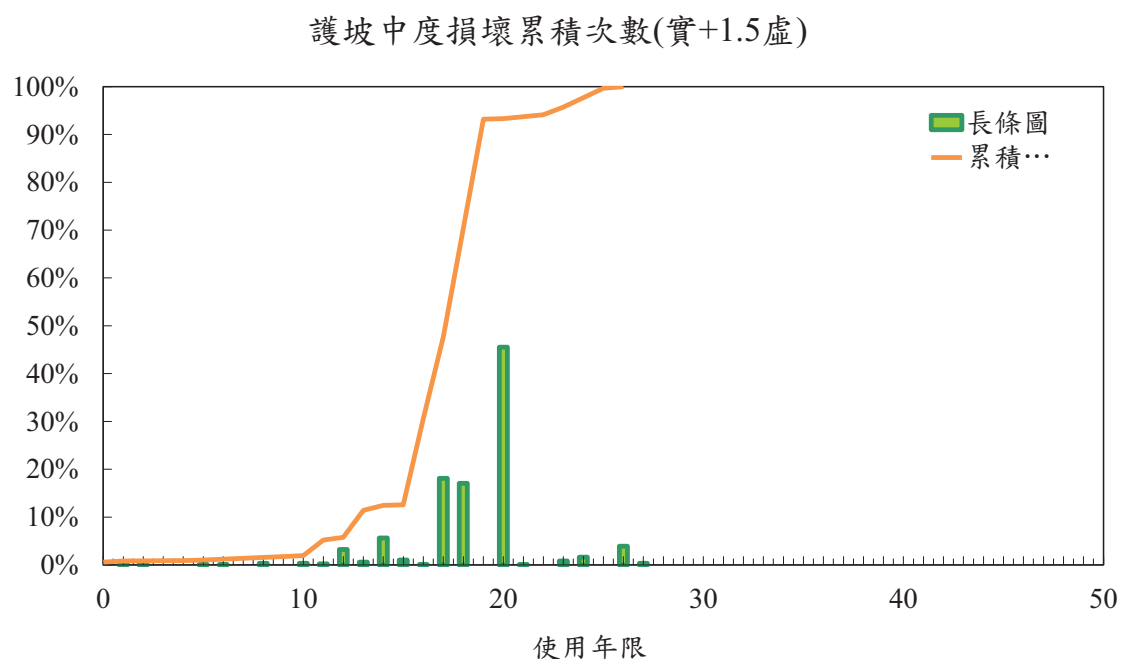


圖 4.65 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之護坡中度損壞 (累積) (20 年內)

排水中度損壞常態分佈(實+1.5虛)

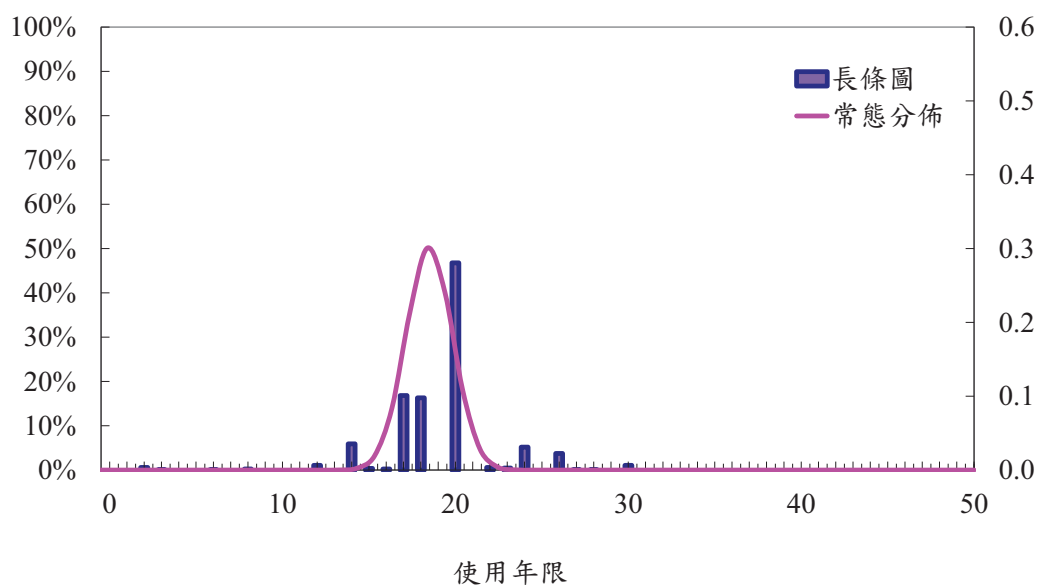


圖 4.66 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之排水中度損壞 (常態) (20 年內)

排水中度損壞累積次數(實+1.5虛)

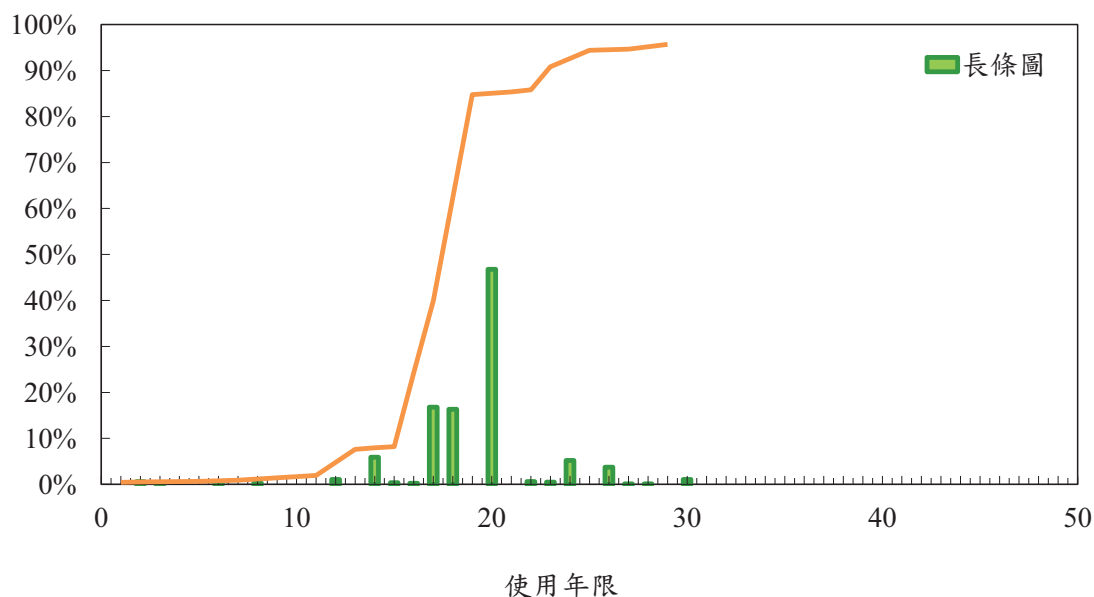


圖 4.67 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 1.5$  之排水中度損壞 (累積) (20 年內)

## 5. 實際損壞項目 + 虛擬損壞年限 $\times 2$ 之年限統計 (20 年內)

為了要可以使用所有資料數據進行統計，本小節將所有尚未損壞之年限數據，假設為損壞年限即為現有日期  $\times 2$  倍。為了與實際損壞之名稱做對應區分，稱假設其損壞之設施為虛擬損壞；此外為了要確保統計數據之保守度以及準確性，因此特別將四類邊坡設施其損壞年限於 40 年內（相對於實際損壞 20 年之 2 倍）之資料，再單獨做一次統計。同時，除了提出以中度損壞為標準之圖表外，亦在各圖表中額外附上相對次數長條圖之圖表，以利了解各類別人為設施之實際損壞年限，並可以進而與理論推論之常態分布曲線作比較（表 4.44 及圖 4.68~4.75）。

表 4.44 實際損壞項目 + 虛擬損壞年限  $\times 2$  統計次數百分比 (20 年內)

實+虛 2.0	擋土			地錨			護坡			排水		
年限	個數	相對百分比	相對百分比	個數	相對百分比	相對百分比	個數	相對百分比	相對百分比	個數	相對百分比	相對百分比
1	0	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	5	0.56%	0.56%	0	0.00%	0.00%
2	7	0.80%	0.80%	7	0.81%	0.81%	2	0.23%	0.79%	5	0.57%	0.57%
6	1	0.11%	0.91%	1	0.12%	0.92%	1	0.11%	0.90%	1	0.11%	0.68%
8	2	0.23%	1.14%	1	0.12%	1.04%	2	0.23%	1.12%	3	0.34%	1.02%
10	2	0.23%	1.37%	3	0.35%	1.39%	5	0.56%	1.69%	5	0.57%	1.59%
11	1	0.11%	1.48%	1	0.12%	1.50%	2	0.23%	1.91%	5	0.57%	2.16%
12	9	1.03%	2.51%	1	0.12%	1.62%	18	2.03%	3.94%	31	3.52%	5.68%
13	3	0.34%	2.85%	4	0.46%	2.08%	5	0.56%	4.51%	15	1.70%	7.38%
14	0	0.00%	2.85%	0	0.00%	2.08%	0	0.00%	4.51%	1	0.11%	7.49%
15	5	0.57%	3.42%	0	0.00%	2.08%	6	0.68%	5.18%	9	1.02%	8.51%
16	12	1.37%	4.79%	11	1.27%	3.35%	11	1.24%	6.42%	12	1.36%	9.88%
17	8	0.91%	5.71%	2	0.23%	3.58%	15	1.69%	8.11%	31	3.52%	13.39%
18	50	5.71%	11.42%	49	5.66%	9.24%	49	5.52%	13.64%	51	5.79%	19.18%
20	6	0.68%	12.10%	5	0.58%	9.82%	3	0.34%	13.98%	3	0.34%	19.52%
22	143	16.32%	28.42%	143	16.51%	26.33%	142	16.01%	29.99%	139	15.78%	35.30%
24	157	17.92%	46.35%	165	19.05%	45.38%	148	16.69%	46.67%	135	15.32%	50.62%
26	396	45.21%	91.55%	395	45.61%	90.99%	397	44.76%	91.43%	386	43.81%	94.44%
28	1	0.11%	91.67%	1	0.12%	91.11%	1	0.11%	91.54%	0	0.00%	94.44%
30	8	0.91%	92.58%	13	1.50%	92.61%	7	0.79%	92.33%	4	0.45%	94.89%
32	13	1.48%	94.06%	15	1.73%	94.34%	14	1.58%	93.91%	12	1.36%	96.25%
34	40	4.57%	98.63%	45	5.20%	99.54%	40	4.51%	98.42%	24	2.72%	98.98%
35	5	0.57%	99.20%	1	0.12%	99.65%	9	1.01%	99.43%	6	0.68%	99.66%
36	2	0.23%	99.43%	3	0.35%	100.00%	3	0.34%	99.77%	1	0.11%	99.77%
37	5	0.57%	100.00%	0	0.00%	100.00%	2	0.23%	100.00%	2	0.23%	100.00%



擋土中度損壞常態分佈(實+2.0虛)

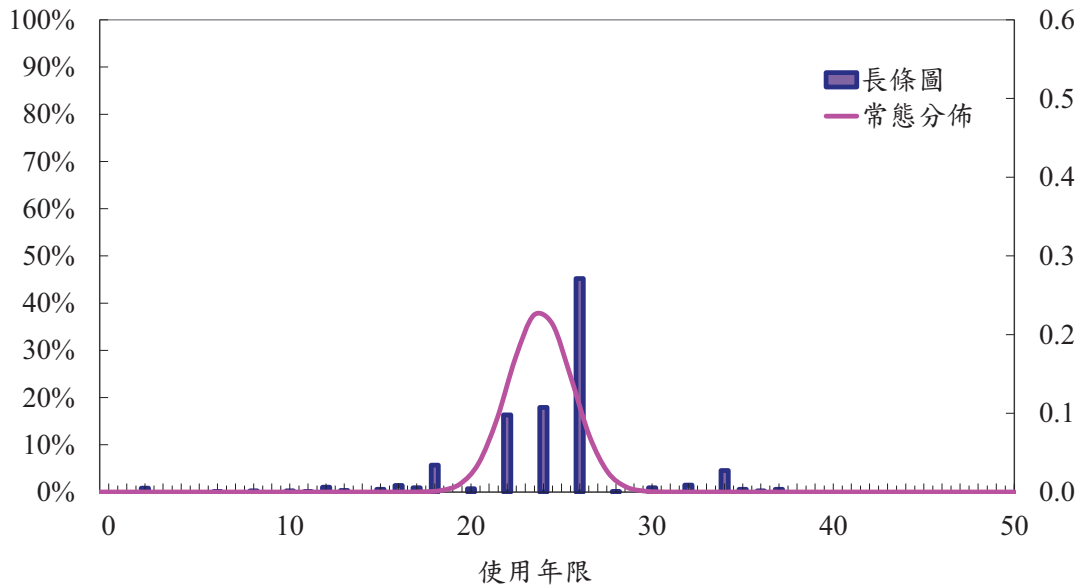


圖 4.68 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 2$  之擋土中度損壞 (常態) (20 年內)

擋土中度損壞累積次數(實+2.0虛)

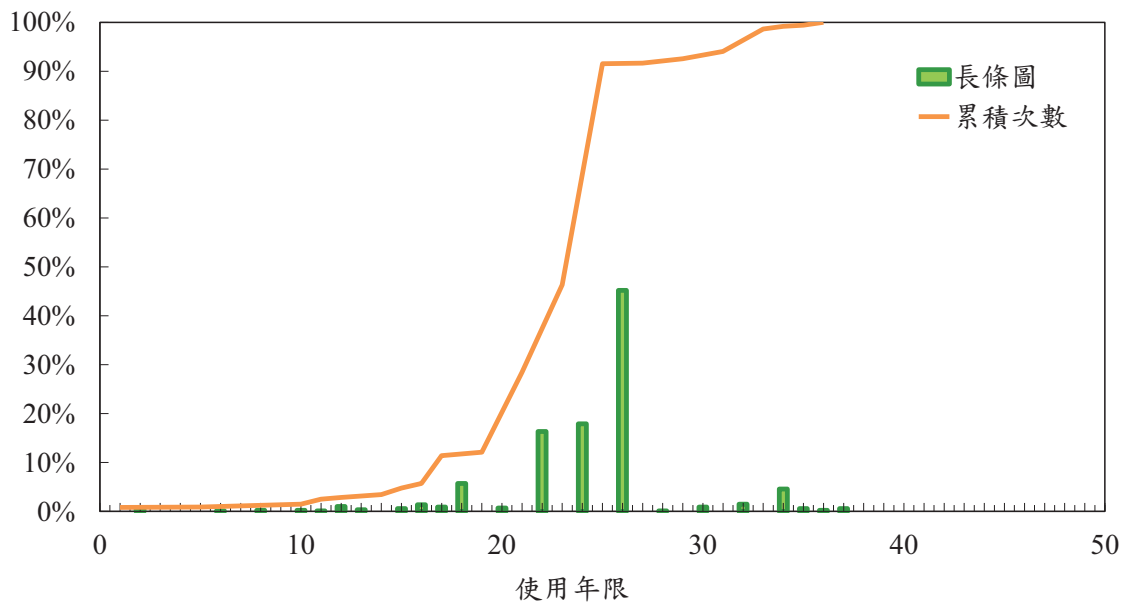


圖 4.69 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 2$  之擋土中度損壞 (累積) (20 年內)

地錨中度損壞常態分佈(實+2.0虛)

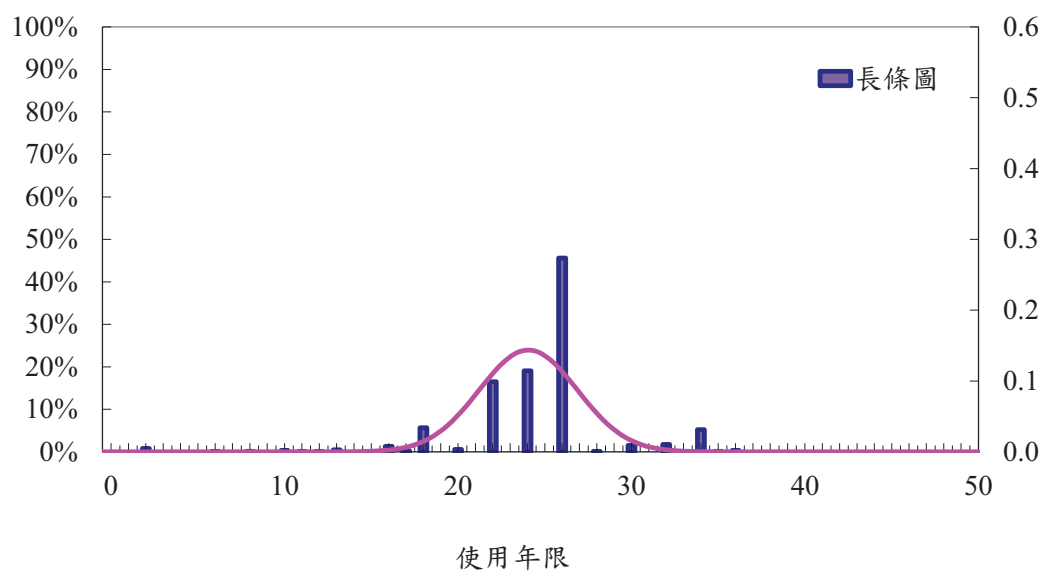


圖 4.70 實際損壞項目 + 虛擬損壞 ×2 之地錨中度損壞 (常態) (20 年內)

地錨中度損壞累積次數(實+2.0虛)

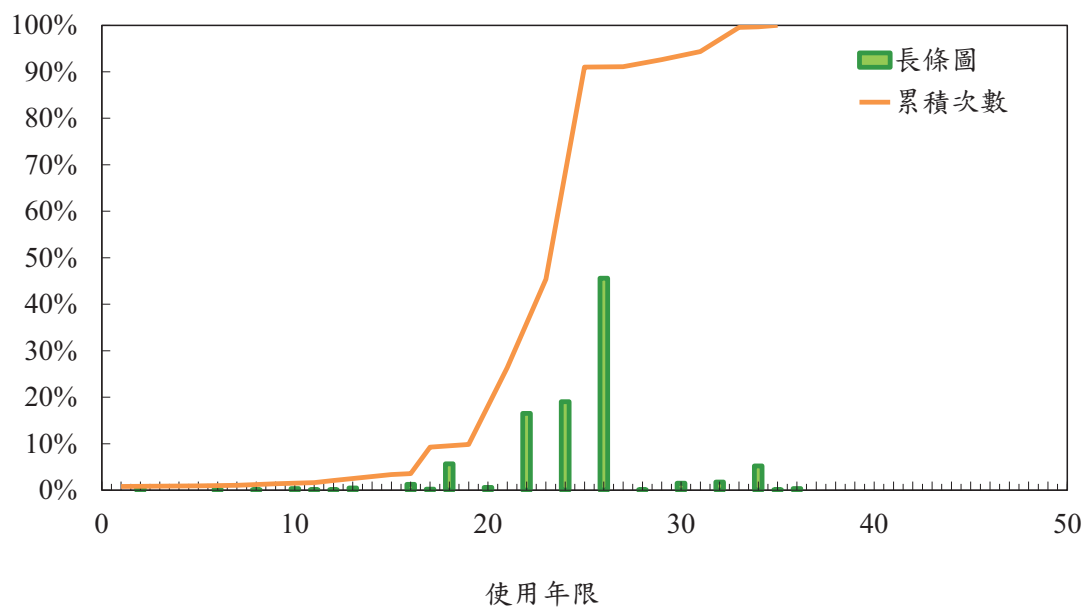


圖 4.71 實際損壞項目 + 虛擬損壞 ×2 之地錨中度損壞 (累積) (20 年內)

護坡中度損壞常態分佈(實+2.0虛)

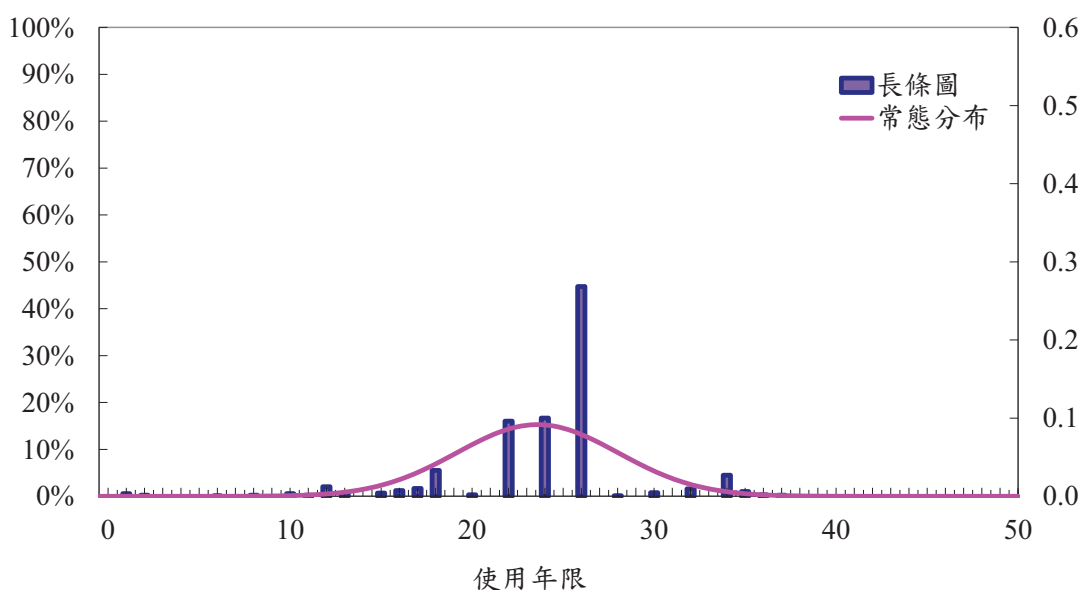


圖 4.72 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 2$  之護坡中度損壞 (常態) (20 年內)

護坡中度損壞累積次數(實+2.0虛)

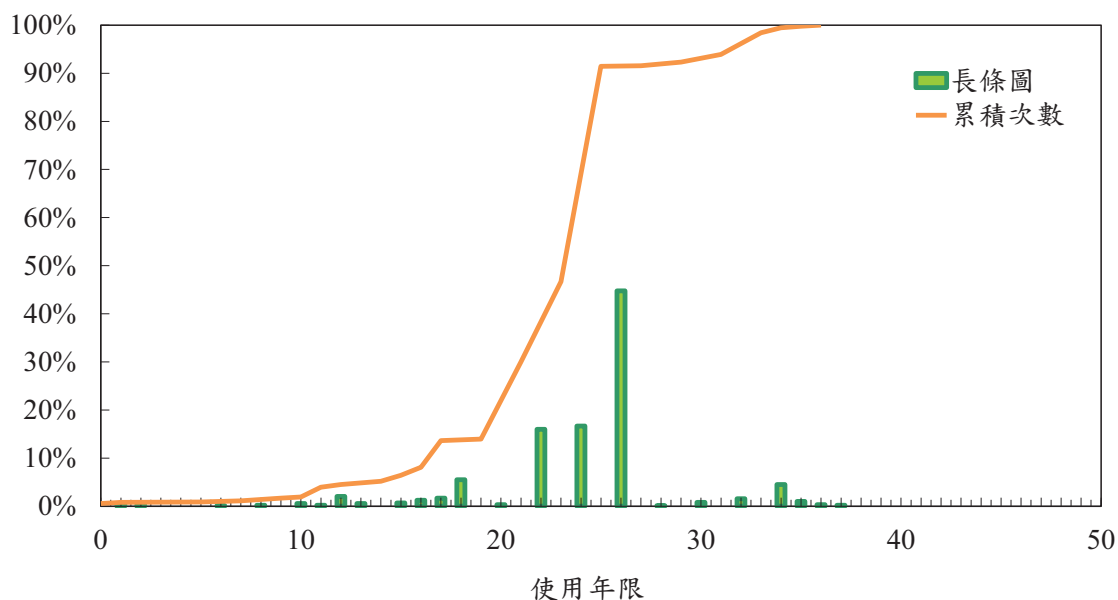


圖 4.73 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 2$  之護坡中度損壞 (累積) (20 年內)

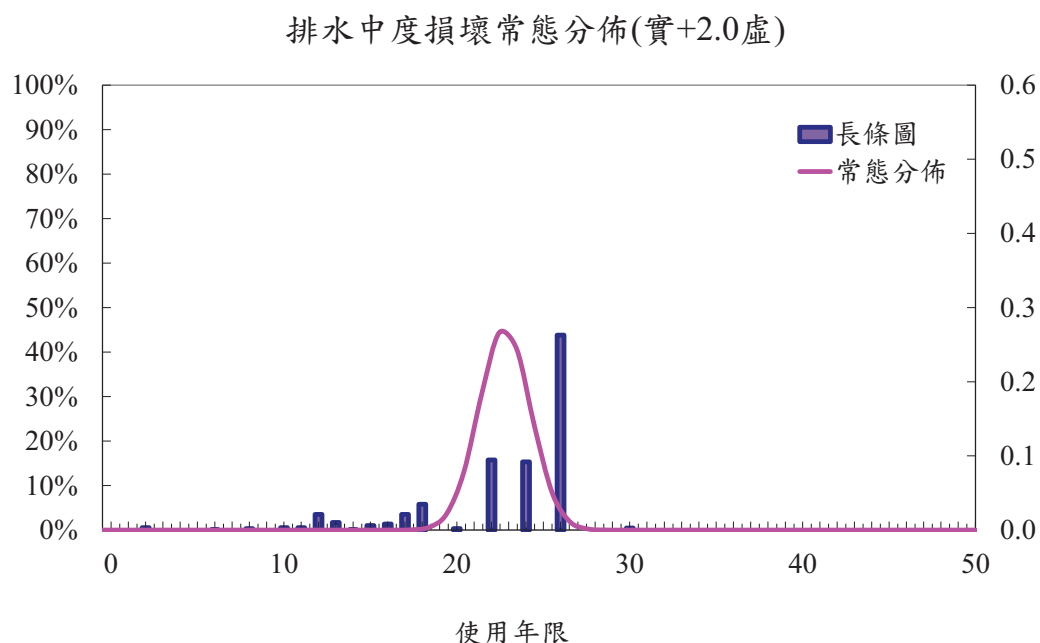


圖 4.74 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 2$  之排水中度損壞（常態）（20 年內）

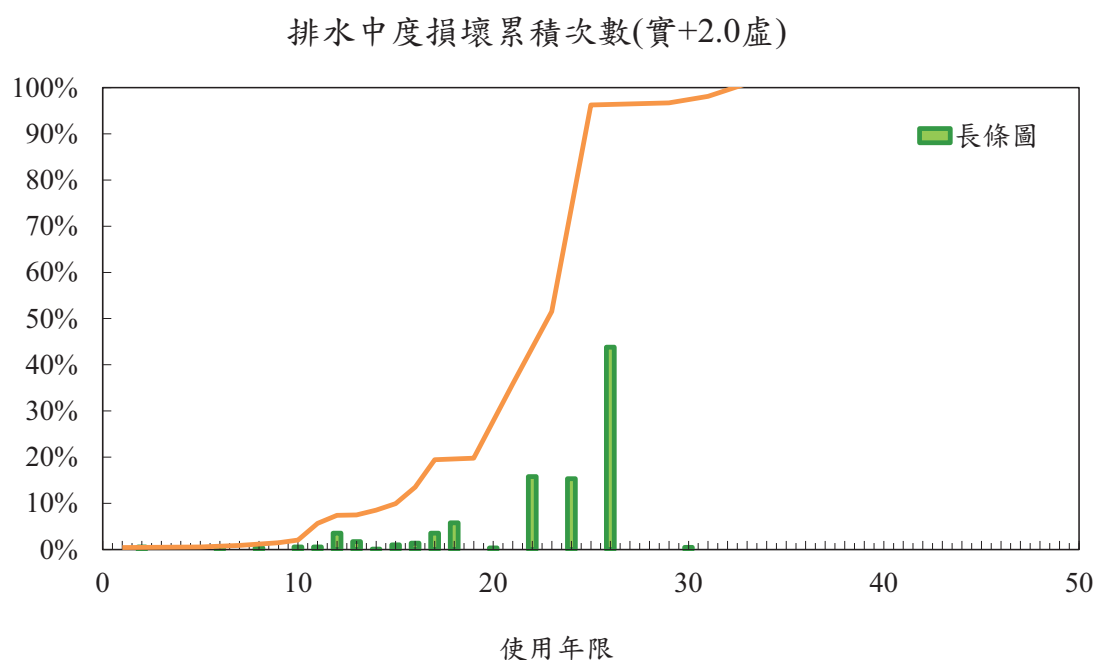


圖 4.75 實際損壞項目 + 虛擬損壞  $\times 2$  之排水中度損壞（累積）（20 年內）

#### 6. 結構使用年限統計結果討論（20 年內）

由前面四小節統計數據中，可以得知邊坡各類人為設施之結構使用年限平均值。平均值是以所統計到的年限以及次數做加總，並除以整體之個數而得，由於此一平均值是整體之加總平均，因此實際損壞所得到的平均值，仍有可能會大於實際

+ 虛擬、及實際 + 虛擬  $\times 1.5$  之平均值。標準差的部分，則可由公式推算出來，由標準差可以看出各數據間的極端值間差距有多少，標準差越大表示最高值和最低值差越多；反之，若標準差越小表示最高值和最低值相差不大，由此來補足平均數只看到平均值，但看不到極端值之缺失。

例如，由表4.45中可明顯看到，實際損壞之擋土設施之平均為 14.23 年，遠大於實際 + 虛擬之平均 12.34 年。這是因為實際損壞之擋土設施的數據極端值差異，大於實際 + 虛擬損壞之擋土設施的極端值差異，主要原因則為統計資料數量上實際損壞之數據極端不足而造成的。

表 4.45 邊坡設施中度損壞之平均值、標準差、變異係數（20 年內）（單位：年）

類別		擋土	地錨	護坡	排水
實際	平均	14.23	13.22	12.63	14
	標準差	1.65	1.86	1.90	2.21
	變異係數	11.57%	14.07%	15.07%	15.75%
實際 + 虛擬 1.0	平均	12.34	12.34	12.35	12.37
	標準差	0.72	0.72	2.07	0.73
	變異係數	5.87%	5.87%	16.77%	5.88%
實際 + 虛擬 1.5	平均	18.64	18.83	18.49	19.11
	標準差	1.12	3.27	3.44	1.32
	變異係數	6.03%	17.37%	18.60%	6.92%
實際 + 虛擬 2.0	平均	24.34	24.56	24.11	22.74
	標準差	1.74	2.77	4.35	1.45
	變異係數	7.15%	11.30%	18.04%	6.29%

當然，我們可更進一步將所統計之數據分析出其平均值及標準差，並取得各自之累積次數肩形圖後，再去推測其各自之常態分布曲線。由於現階段之常態分布曲線，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布曲線，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。

本報告也特別將各項目之相對次數長條圖展現出來，便可以很明顯看到各類別在不同使用年限時損壞之數目，有別於常態分布曲線，相對次數長條圖可以更清楚看出現階段之實際損壞次數之分布情況，可以拿來與由理論所推得之常態分布曲線作一比較與探討，並可以了解整體損壞年限曲線之走向。

此外，由於邊坡巡查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 年以內之資料常態分布曲線中，我們可以得知兩個論點，在此再次描述：

**第一論點：** 由於統計項目為如圖4.41之常態分布曲線下方面積，表示所有損壞數量。實際損壞之年限範圍，亦可由表4.46說明之。例如以擋土 20 年內之數據

來說，可以得知在區間  $-1\sigma$  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。在此分別計算出各統計方法中各類別年限之相對應百分比，詳細之數據請見表 4.46~4.49。

表 4.46 實際損壞之曲線下面積年限範圍（20 年內）（單位：年）

實際損壞	擋土 (102.2)	地錨 (102.2)	護坡 (102.2)	排水 (102.2)
$u+1\sigma$	15.9	15.1	14.5	16.2
$u$	14.2	13.2	12.6	14
$u-1\sigma$	12.6	11.4	10.7	11.8

表 4.47 實際 + 虛擬之曲線下面積年限範圍（20 年內）（單位：年）

實際 + 虛擬	擋土 (102.2)	地錨 (102.2)	護坡 (102.2)	排水 (102.2)
$u+3\sigma$	14.5	14.5	18.6	14.6
$u+2\sigma$	13.8	13.8	16.5	13.8
$u+1\sigma$	13.1	13.1	14.4	13.1
$u$	12.3	12.3	12.3	12.4
$u-1\sigma$	11.6	11.6	10.3	11.6
$u-2\sigma$	10.9	10.9	8.2	10.9
$u-3\sigma$	10.2	10.2	6.1	10.2

表 4.48 實際 + 虛擬  $\times 1.5$  之曲線下面積年限範圍（20 年內）（單位：年）

實際 + 虛擬 1.5	擋土 (102.2)	地錨 (102.2)	護坡 (102.2)	排水 (102.2)
$u+4\sigma$	23.1	31.9	32.2	24.4
$u+3\sigma$	22.0	28.6	28.8	23.1
$u+2\sigma$	20.9	25.4	25.4	21.8
$u+1\sigma$	19.8	22.1	21.9	20.4
$u$	18.6	18.8	18.5	19.1
$u-1\sigma$	17.5	15.6	15.1	17.8
$u-2\sigma$	16.4	12.3	11.6	16.5
$u-3\sigma$	15.3	9.0	8.2	15.1
$u-4\sigma$	14.1	5.7	4.7	13.8



表 4.49 實際 + 虛擬  $\times 2.0$  之曲線下面積年限範圍 (20 年內) (單位：年)

實際 + 虛擬 2.0	擋土 (102.2)	地錨 (102.2)	護坡 (102.2)	排水 (102.2)
$u+4\sigma$	31.3	35.7	41.5	29.2
$u+3\sigma$	29.6	32.9	37.2	27.7
$u+2\sigma$	27.8	30.1	32.8	26.2
$u+1\sigma$	26.1	27.3	28.5	24.8
$u$	24.3	24.6	24.1	23.3
$u-1\sigma$	22.6	21.8	19.8	21.8
$u-2\sigma$	20.9	19.0	15.4	20.4
$u-3\sigma$	19.1	16.2	11.1	18.9
$u-4\sigma$	17.4	13.5	6.7	17.4

**第二論點：**我們將所分析出的各類別結構使用年限，以圖4.4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（在此暫以標準差為基本計算單位）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，詳細之數據請參見表4.50~4.53，各表中分別列出了各類別在  $-\sigma \sim +\sigma$  及  $-3\sigma \sim +3\sigma$  之各結構使用年限之相對應的損壞百分比。

由表4.50可以看出擋土、地錨、護坡、排水分別在 12.6、11.4、10.7、11.8 年時有 15.87% 損壞，而在 15.9、15.1、14.5、16.2 年時有 84.13% 損壞。可以明顯看出累積損壞百分比與實際推得之損壞年限的關係。

表 4.50 實際損壞之曲線累計面積年限範圍 (20 年內) (單位：年)

實際 損壞 (z)	累計 損壞 (%)	擋土 (102.2)	地錨 (102.2)	護坡 (102.2)	排水 (102.2)
$u-1\sigma$	15.87	12.6	11.4	10.7	11.8
$u$	50.00	14.2	13.2	12.6	14
$u+1\sigma$	84.13	15.9	15.1	14.5	16.2

表 4.51 實際 + 虛擬損壞之曲線累計面積年限範圍 (20 年內) (單位：年)

實際 + 虛擬 (z)	累計 損壞 (%)	擋土 (102.2)	地錨 (102.2)	護坡 (102.2)	排水 (102.2)
$u-3\sigma$	0.13	10.2	10.2	6.1	10.2
$u-2\sigma$	2.28	10.9	10.9	8.2	10.9
$u-1\sigma$	15.87	11.6	11.6	10.3	11.6
$u$	50.00	12.3	12.3	12.3	12.4
$u+1\sigma$	84.13	13.1	13.1	14.4	13.1
$u+2\sigma$	97.72	13.8	13.8	16.5	13.8
$u+3\sigma$	99.87	14.5	14.5	18.6	14.6

表 4.52 實際 + 虛擬 1.5 之曲線累計面積年限範圍 (20 年內) (單位：年)

實際 虛擬 1.5 (z)	累計 損壞 (%)	擋土 (102.2)	地錨 (102.2)	護坡 (102.2)	排水 (102.2)
u-3σ	0.13	15.3	9.0	8.2	15.1
u-2σ	2.28	16.4	12.3	11.6	16.5
u-1σ	15.87	17.5	15.6	15.1	17.8
u	50.00	18.6	18.8	18.5	19.1
u+1σ	84.13	19.8	22.1	21.9	20.4
u+2σ	97.72	20.9	25.4	25.4	21.8
u+3σ	99.87	22.0	28.6	28.8	23.1

表 4.53 實際 + 虛擬 2.0 之曲線累計面積年限範圍 (20 年內) (單位：年)

實際 虛擬 2.0 (z)	累計 損壞 (%)	擋土 (102.2)	地錨 (102.2)	護坡 (102.2)	排水 (102.2)
u-3σ	0.13	19.1	16.2	11.1	18.9
u-2σ	2.28	20.9	19.0	15.4	20.4
u-1σ	15.87	22.6	21.8	19.8	21.8
u	50.00	24.3	24.6	24.1	23.3
u+1σ	84.13	26.1	27.3	28.5	24.8
u+2σ	97.72	27.8	30.1	32.8	26.2
u+3σ	99.87	29.6	32.9	37.2	27.7

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。不過由於資料筆數並不是非常完善，本研究會隨著資料越來越充足的情況下，持續修正此一曲線。

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。這也由於資料筆數並不是非常完善，本研究也會隨著資料越來越充足的情況下，持續修正此一曲線。

最後另可由變異係數 (Coefficient of Variation) 之概念，了解資料彼此間的差異程度，其定義如下：變異係數 (C.V.) =  $(\sigma/\mu) \times 100\%$ 。當變異係數愈小，表示資料彼此間的差異越小，而當變異係數愈大，則表示資料彼此間的差異愈大、愈參差不齊。本節特別針對各項設施 20 年內之數據，單獨做了一次統計，由此可以使整體數據趨於保守，而從表 4.45 中也可明確看出其變異係數明顯降低，而常態分布曲線也變為較為集中，以上總總皆表示資料彼此間之差異性大幅下降。

### 4.2.3 損壞機制數值分析

任何國道邊坡人為設施之工程損壞或災害，均自有其發生之機制與原因，然諸多大地工程問題皆發生於地表面之下，一般除借助地下調查或探測技術外，多數問題亦僅

能由外在結構體裂縫與傾斜情況，或地表位移情況等徵兆研判發生原因。最經濟有效之途徑則為經由地工數值分析程式，對各類型邊坡損壞之發生機制與可能發生原因等進行模擬。若能以數值分析方式進行模擬探討，則將可大大提高對人為設施損壞機制的瞭解及其最佳整治之道。本研究採用之地工數值分析程式為：PLAXIS、SLOPE/W、及 STABL 三種。

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，討論其可能破壞類型、機制、徵兆，及可能原因。具體作法為將損壞紀錄進行分類（擋土牆、地錨、護坡、排水設施四類），並以目前最常用的邊坡穩定分析程式（PLAXIS、SLOPE/W、及 STABL 三種），進行數值模擬分析，瞭解其及發生損壞的原因為何，進行深入說明及建議。

#### 4.2.3.1 PLAXIS 有限元素程式介紹

PLAXIS 係為土壤及岩盤專用之有限元素分析軟體，為荷蘭 PLAXIS B.V. 公司產品，其發展可追溯至 1987 年荷蘭 Delft 科技大學（Technical University of Delft，校園照片見圖4.76），因由荷蘭公共工程及水利管理部之需求，而研發出二維有限元素分析程式，用以分析河堤於軟弱土壤上之行為。其後，為能應用於大地工程中各種類型之問題，此程式經過後續不斷的更新，專門研究發展相關於土壤變形行為的數值模式，並將發展出之數值模式應用於 PLAXIS 有限元素程式中。因為廣大的需求，1993 年成立 PLAXIS B.V. 公司，而於 1998 年 Windows 版正式問世，本研究採用 PLAXIS 8.5 版有限元素程式。



圖 4.76 Technical University of Delft 校園照片

PLAXIS 有限元素程式是一套人性化且非常適用於大地工程的軟體，可分析各種地工及土壤結構互制的問題。該程式以視窗型式輸入材料參數及邊界條件，其功能及操

作性，可模擬分析路堤、土壩穩定、隧道、基礎深開挖、地錨、土釘、加勁擋土結構、槽溝、筏式基礎、樁基礎、及滲流等應力與變形問題；此外，亦適合分析滲流、壓密沈陷、潛變及孔隙水壓等類型之問題，本程式除一般靜力分析外，亦可輸入地震紀錄進行動態分析。

## 1. PLAXIS 程式基本操作

PLAXIS 的基本主要程式包含前處理之輸入程式 (Input)、計算程式 (Calculations)、後處理之輸出程式 (Output)、及曲線程式 (Curves) 用以追蹤某一幾何點之某一物理量的歷程變化。對一個大地工程的幾何模型來說，包括區域之土層與地下水層的劃分、結構和支撐物件、施工的階段與外加載重等。而在輸入程式 (Input) 設定的過程中，則以點 (Point)、線 (Line)、區塊 (Cluster) 三種基本的元件，來建構欲分析案例之幾何模型。在完成幾何模型的設定後，系統將會根據線和區塊的分界，自動產生有限元素網格。而一個有限元素網格，由元素 (Element)、節點 (Node) 與應力點 (Stress point) 三個部份所構成，其詳細說明如下：

- (1) 元素：當系統自動建立網格時，區塊會被劃分各三角形元素。其中三角形元素可分為 15-node 與 6-node 兩種，供使用者選擇。15-node 的元素能提供較為精確的應力計算與破壞載重，而 6-node 的元素則是能在正常狀態下快速計算出結果。對於使用者而言，15-node 的元素雖能提供較為精確的計算結果，但也較為費時。
- (2) 節點：於有限元素的計算中，位移的計算皆集中於節點。於程式進行計算之前，可先選定節點，並於計算後繪出載重 - 位移關係曲線。
- (3) 應力點：與位移不同，應力與應變在有限元素的計算中，皆集中在應力點。在進行計算之前，亦可先選定應力點，並於計算後繪出應力路徑與應力 - 應變關係曲線。

## 2. PLAXIS 程式組成及指令說明

使用 PLAXIS 有限元素程式最關鍵為前處理之輸入程式，所有求解分析案例之基本資料，皆必須於此步驟中設定與建立。PLAXIS 有限元素程式之前處理部分，對於土壤層次、結構物、施工順序、荷重及邊界條件的輸入，皆基於方便的視窗型式繪圖程序，如此可對實際狀況進行細緻且精確的模擬。輸入程式指令可分為幾何指令群、荷重指令群、材料指令群、網格指令群、及初始狀態指令群。分別說明如下：

- (1) 幾何指令群：幾何指令群包含以類似 CAD 界面建立幾何邊界。除一般邊界外，梁元素、界面元素等亦於本指令群中建立。
- (2) 荷重指令群：荷重指令群包含加載點荷重及線荷重於幾何指令群所建立之幾何邊界上，並包含邊界條件的建立。



- (3) 材料指令群：材料指令群用以啟動資料庫，來產生及修改各種材料之參數，包含土壤、梁、加勁材及界面等。
- (4) 網格指令群：網格指令群用以設定網格比例及粗細，以自動產生有限元素網格，並可於局部區域加密。
- (5) 初始狀態指令群：初始狀態指令群包含給定地下水單位重，產生水位線，給定水頭或流量邊界條件，以進行滲流或壓密分析，以及在所有分析進行前產生初始有效應力。

PLAXIS 有限元素程式的計算類型分為塑性計算、壓密計算、Phi-c 折減、優化網格及動態分析等類型，使用者可依分析需求來選擇計算類型。塑性計算主要是處理開挖、填築、加載、卸載及穩定分析等問題；壓密計算主要是處理壓密問題；Phi-c 折減主要是折減土壤的強度之方法來執行穩定分析；優化網格計算主要是處理一些大變形問題，如均佈載重作用下加勁擋土牆的變形問題；動態分析主要是可輸入地震紀錄進行動態分析等。PLAXIS 有限元素程式於計算程式中，可施行階段性施工計算，如於建造加勁擋土牆時，可經由啟動及停止某區域內之元素，來模擬分析每個施工階段之應力及位移量變化。

PLAXIS 有限元素程式之後處理部分，主要以圖形來展示計算之結果，可讓使用者對所計算的成果，利用輸出圖形來清楚表示。變形之圖形表達可為網格變形圖、總的或者單一步驟的變位量、以及總的或者單一步驟的應變量，變位量和應變量皆可分別由箭頭、輪廓線或輪廓強調色彩表示。應力的圖形輸出可分為有效應力、總應力、孔隙水壓力和超額孔隙水壓力，壓力亦可由輪廓線或輪廓強調色彩表示，變位、應力及結構物內力等之精確值，亦可由輸出表格中得到。

PLAXIS 有限元素程式之曲線程式，可直接瞭解某點的應力、應變、位移、荷載、孔隙水壓力及應力路徑等的變化情況，即可針對重要的點位進行深入之研究。

### 3. PLAXIS 土壤組合律模式

PLAXIS 數值分析應用於大地工程時，材料組合律模式 (Constitutive Model) 選擇，對於分析結果（材料狀況、應力與應變行為等）有相當程度的影響。本節簡述在 PLAXIS 程式中多種組合律模式之適用性：

- (1) Linear Elastic 模式：此模式使用等向性線彈性的 Hooke 定律，線彈性模型包括彈性模數  $E$  和波生比  $\nu$  兩個彈性剛度參數。用線彈性模型來模擬土壤性質是有很大的局限性的，主要用於剛性類型的土壤。
- (2) Mohr-Coulomb 模式：Mohr-Coulomb 模式主要描述土壤行為的一種一階近似。Mohr-Coulomb 模式包括五個輸入參數，參數為土體彈性的彈性模數  $E$  和波生比  $\nu$ 、土體塑性的摩擦角  $\phi$ 、凝聚力  $c$ 、及膨脹角  $\Psi$ 。
- (3) Soft Soil 模式：Soft Soil 模式特別適用於正常壓密的黏性土壤之主壓縮，此模式最適合用於模擬土壤主要壓密的行為。

- (4) Hardening-Soil 模式：Hardening-Soil 模式是一種高階土壤行為的模式，此模式適用於各種土壤。Hardening-Soil 模式採用三個不同的輸入剛度，可以將土體剛度描述的更為準確：三軸加載剛度  $E_{50}$ 、三軸卸載剛度  $E_{ur}$ 、和壓密儀加載剛度  $E_{oed}$ 。我們一般取  $E_{ur} = 3E_{50}$  和  $E_{oed} = E_{50}$  作為不同土體類型的平均值。但是，對於非常軟的土壤或非常硬的土壤通常會給出不同的  $E_{oed}/E_{50}$  比值。
- (5) HS Small 模式 (Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness)：HS Small 模式與上述 Hardening-Soil 模式雷同，均屬於彈塑性的雙曲線模式，且增加了土壤微小應變量，可以將土體描述的更為準確。HS Small 模式的土壤勁度會依土壤的應變量而作調整，為一與土壤應變量相關之模式。
- (6) Modified Cam-Clay 模式：Modified Cam-Clay 模式適用於正常壓密黏土或輕微過壓密黏土，描述材料在剪力作用下，符合土壤臨界狀態與諧和流法則之塑性模式，因體積變化影響材料變形與剪力強度之特性。此模式假設在體積應變與平均有效應力之間存在對數關係。
- (7) Soft-Soil-Creep 模式：Soft-Soil-Creep 模式為高階土壤黏塑性的模式，此模式包括主要和次要壓密，可用於模擬軟弱土壤隨著時間變化之行為。所有的土壤都會產生潛變，而潛變和鬆弛主要是指各種軟弱土壤，包括正常壓密黏土、粉土和泥炭土，於探討土壤潛變或鬆弛情況下，可採用 Soft-Soil-Creep 模式。
- (8) Jointed Rock 模式：節理岩體模式屬於雙曲線模式，特別適用來模擬成層或節理發達之岩層的行為。

#### 4.2.3.2 SLOPE/W 程式介紹

Geostudio 套裝軟體是加拿大 GEO-SLOPE 公司，邀請國際大地工程界享譽盛名的 D.G. Fredlund 教授，從 20 世紀七十年代開始研發，經過 40 多年的發展，它已經成為世界級的邊坡穩定性分析和非飽和土壤滲流方面的專業軟體。此軟體適合用於分析模擬土壤、岩石等大地材料的力學行為。Geostudio 套裝軟體，總共有 SLOPE/W、SEEP/W、SIGMA/W、QUAKE/W、TEMP/W、CTRAN/W、AIR/W 及 VADOSE/W 等八種程式，可分別用於分析邊坡穩定、滲流、應力應變、地震、溫度變化、傳導、蒸發及汙染物運移等問題；各程式單元可以獨立作業解決問題，亦可同時解決多方位問題，便於合併作業為此軟體優點之一。本節將僅對 SLOPE/W 程式之使用及分析基本步驟做一介紹。

SLOPE/W 程式於北美地區已應用幾十年，目前為此區域使用佔有率最高之大地工程分析軟體，已累積了大量的應用經驗。對於綜合問題公式化的特徵，它可以使用八種方法，以分析計算簡單或複雜的邊坡穩定問題。另外 SLOPE/W 程式可對簡單或者複雜的滑移面形狀改變、孔隙水壓力狀況、土壤性質、不同的載入方式等大地工程問題進行分析。

SLOPE/W 主要運用極限平衡理論，針對不同土壤類型、複雜地層和各種滑動面形

狀的邊坡，孔隙水壓力分布狀況進行建構模式分析。SLOPE/W 具有 Morgenstern-Price、GLE、Spencer、Bishop、Ordinary、Janbu、Sarma、Corps of Engineering、Lowe-Karafiath 多種分析方法，獨特的有限元素法配合極限平衡理論進行邊坡穩定有效的計算與分析，也可以利用參數法進行隨機的穩定性分析，對滑動面形狀改變、孔隙水壓力狀況、土體性質、不同的承載模式等大地工程問題，從簡單到複雜的均能有效估算，具有廣泛的應用範圍與強大的分析功能。

土壤強度模式則包含莫耳-庫倫 (Mohr-Coulomb) 法則、雙線性 (Bilinear) 法則、不排水 (Undrained) 法則、相異性 (Anisotropic) 強度準則、Hoek and Brown 模式準則與其它各類型之強度準則等。孔隙水壓力模型包括 Ru 係數、壓力線、等壓力線、水力梯度值、有限元素計算的壓力和壓力水頭；透過同心圓和半徑線、滑移面前端的塊體或全部指定的形狀定義的可能滑移面；針對各種土體特性和承載條件的分布函數來進行隨機近似分析。除此之外，SLOPE/W 程式使用 Monte-Carlo 逼近法，可以計算出傳統上安全係數的標準偏差問題。

至於與其它程式的結合應用，則可從 SEEP/W 程式中調用孔隙水壓力值，使得 SLOPE/W 程式對於非常不規則的飽和/非飽和現況，和穩定分析中的瞬態孔隙水壓現況分析成為可能。例如，使用者可以對因孔隙水壓力隨時間變化而產生的穩定性變化進行分析。

此外，亦可從 SIGMA/W 程式或 QUAKE/W 程式中調用應力值。在 SLOPE/W 程式中使用有限元素方法計算應力，除了可以對靜態變形或地震動力進行分析外，還可以進行邊坡的穩定性分析。比如使用者可以計算在地震荷載作用下邊坡穩定的最小安全係數，或者使用者可以使 Newmark 類型的程式來得到相應的永久變形。

### 1. 實際應用範圍

SLOPE/W 程式使用於邊坡穩定分析時，可針對不同土壤類型、複雜地層和各種幾何形狀之滑移面及邊坡中各種不同的孔隙水壓力分佈狀況。一般來說，SLOPE/W 程式可用於解決下列問題：

- (1) 岩盤上異質土層邊坡穩定分析：岩盤上覆蓋軟弱土層在坡頂有張力裂縫，複合式滑動面等各種情況下，可使用 Spencer、Ordinary、Bishop、Janbu、Morgenstern-Price 等切片法分析邊坡穩定的安全係數。
- (2) 塊體破壞分析：土層若為軟硬交互層次的塊體滑動，亦可採用程式分析。
- (3) 外力荷重及補強：適用於有外力荷重，地錨、地工織物補強及坡趾穩定平台等情況的邊坡穩定分析。
- (4) 複雜的孔隙水壓力情況：孔隙水壓可採用各種形式來進行輸入，簡單的可利用地下水位來進行輸入，較複雜情況可以採用有限元素法分析所得各結點的孔隙水壓來進行輸入。
- (5) 採用有限元素法計算應力進行穩定性分析：有限元素計算所得的結點應力，可同時計算每個切片之局部穩定係數及整體邊坡的穩定安全係數。



- (6) 採用 Quake stress 功能可進行動力穩定分析：當工程結構受到地震或動力荷重作用時，可以使用 QUAKE/W 程式進行分析，分析所得的結構物應力狀態作為 SLOPE/W 程式分析的輸入資料，以便計算結構物在震動期間的安全係數，並可以推估結構物的永久變位。
- (7) 機率穩定性分析：邊坡穩定分析輸入參數的不確定性會影響邊坡分析的結果，SLOPE/W 程式對輸入的參數可設定其標準偏差，並分析其參數對邊坡穩定安全係數之機率分佈影響。

## 2. 分析原理及方法

SLOPE/W 程式之分析原理是採用二維極限平衡理論，主要以切片法進行邊坡分析與計算安全因子，包括：Spencer、Ordinary、Bishop、Janbu、Morgenstern-Price、及 General Limit Equilibrium，各方法之特性如下：

### (1) Spencer Method

此法設定整個滑動面所產生的切片側力是恆定，因此並不考慮切片側力之影響，並假設正向力與剪力之合力，方向相反但大小不相等，而且認為所有切片所受的切片法向力與切片正向力，大小比例關係為固定值，即各切片的法向力和正向力的合力的方向相同。同時滿足彎矩平衡與力平衡方程式，故可使用於圓弧型破壞面與非圓弧型破壞面之分析。

### (2) Ordinary Method

假設切片兩側正向力與剪力之合力，大小相等方向相反，故不考慮其作用，平衡方程式採用彎矩平衡，適用於圓弧型破壞面分析。

### (3) Bishop Method

與 Ordinary Method 不同點是假設切片間剪力為零，即切片間只有正向力作用，此種假設導致無法滿足切片中水平方向之力平衡。本方法只滿足切片中之垂直方向平衡，以及整體的力矩平衡，平衡方程式採用彎矩平衡，適用於圓弧型破壞面分析。

### (4) Janbu Method

此法對於切片間作用力所做的假設與 Bishop 簡化法相同，即假設切片之間無剪力作用，致無法滿足力矩平衡的情況。其切片正向力需要一個經驗係數進行修正，因此本方法只滿足各個切片的垂直方向之平衡，以及滑動土體之整體水平方向平衡。同時本方法不限定只使用於圓弧破壞的情況，對於非圓弧滑動的情況亦可以使用，但其安全係數須分析者考量其經驗係數進行修正。

### (5) Morgenstern-Price Method

Morgenstern and Price 於 1965 發展出來是一種類似於 Spencer 方法的切片法，考慮切片側力之影響，並假設正向力與剪力之合力，方向相反但大小不相等，然而不同的之處在於，此切片側力的大小及方向是可以被指定的。將側

力傾角簡化為特定函數  $f(x) = X/(E \times \lambda)$ ，而  $\lambda$  為一特定之比例常數， $x$  為坡底滑動處至切片的水平距離， $E$  為切片間之正向作用力， $f(x)$  為土體內應力分佈型式函數，是一假設函數。此法滿足彎矩平衡與力平衡方程式，因此可適用到任何形狀的破壞面，但是在使用該法時需要考慮到  $f(x)$  的選取是否合適。同時切片間作用力的作用點應該接近於底部之 1/3 切片高度處，以及切片間的安全係數必須大於沿滑動面處的安全係數，由於在計算的過程中牽涉到數值積分，因此在運算上較為複雜。在 Morgenstern and Price 應用實例運算後發現，在圓弧滑動的情況之下，所產生的安全係數與 Bishop 簡化法相同，同時安全係數對於  $f(x)$  改變所造成的影響不太明顯。

#### (6) General Limit Equilibrium

通用極限平衡法 (GLE) 為 SLOPE/W 程式的主要分析方法理論，此法總結了各種極限平衡法的特點。其中除了考慮切片側力外，並假設正向力與剪力方向相反但大小不相等，此外計算彎矩及力的安全係數中，將切片間力函數列入計算考慮。

此外，SLOPE/W 程式除了使用極限平衡方法進行邊坡穩定分析外，亦可使用有限元素法進行邊坡穩定分析，但須配合 SIGMA/W 程式一併使用。

### 3. 通用極限平衡法理論

通用極限平衡法 (GLE) 為 SLOPE/W 程式的主要分析方法理論，因此特別介紹此種方法的理論基礎。通用極限平衡法採用下列靜力方程式來求解安全係數：

- (1) 對每一切片之水平作用力求總和所推導之方程式，可用來求解切片間之正向作用力  $E$ 。
- (2) 對每一切片之垂直作用力求總和所推導之方程式，可用來求解切片底面上之正向作用力  $N$ 。
- (3) 所有切片對某一共同點的力矩總和，所推導之方程式可用來求解力矩平衡安全係數  $F_m$ 。
- (4) 所有切片之水平作用力總和所推導方程式，可用來求取力平衡安全係數  $F_f$ 。

上述的分析仍然處於超靜定狀態，因此必須對切片間之合力作用方向作假設。切片間之合力作用方向，可以利用一個切片間力函數  $f(x) = X/(E \times \lambda)$  來表示，其力矩及力平衡將隨著計算中所採用之力函數百分比 ( $\lambda$ ) 而變化，最後依據力矩平衡 ( $F_m$ ) 及力平衡 ( $F_f$ ) 方程式即可計算安全係數，同時滿足力矩平衡及力平衡之安全係數即可視為 GLE 之收斂安全係數。

#### 4.2.3.3 邊坡穩定分析程式 STABL 介紹

STABL 程式由美國普渡大學 (Purdue University) 於 1974 年所開發，並於 1986 年更新為 STABL5M，再於 1989 年增修加勁土壤邊坡而成 STABL6H 程式，以 FORTRAN 程

式語言依據極限平衡法理論撰寫而成，其理論依據二維之極限平衡法，分析邊坡穩定問題，且以切片法計算安全係數，另可附加前後處理功能之 STED/win 程式。此程式在分析使用上頗為簡便，乃將邊坡切片簡化為靜定狀態，並利用力或力矩平衡求得臨界安全係數。程式中有多種切片分析法可求取邊坡安全係數及可能滑動破壞面之位置。此外，對於異向性的土壤、地下水位、地表荷重、地震力、地錨、加勁擋土結構等亦均能夠分析，其應用於邊坡相關問題之分析上相當普遍，此程式為目前國內在邊坡穩定分析與研判上應用非常廣泛的程式。

對於地震力的作用，STABL 亦可以擬靜態的方式而加以分析，可謂功能完備，用途廣泛的邊坡穩定分析程式。對於相同幾何與材料強度之邊坡，若採用不同之分析方法，其所得的安全係數與臨界破壞面，均有相當程度的差異。通常對於高  $c$  值低  $\phi$  值之黏土質邊坡，則多產生深層滑動破壞，在分析時須針對不同的地質構造或土壤組成，選擇適當的分析方法。一般而言，對於均質之土壤邊坡，邊坡破壞近於圓弧破壞，可利用圓弧分析法進行分析，但對於有弱面或岩盤存在之邊坡，則須利用塊狀滑動分析。影響邊坡穩定的因素很多，如地形、地質構造、土壤強度參數等。根據研究顯示，利用 STABL 程式進行邊坡穩定分析時，影響其分析精度的主要因素依序為孔隙水壓、 $c$  值、 $\phi$  值、地形量測之精度及土壤單位重，在分析時若能提高對這些參數的掌握程度，便可提高邊坡穩定分析之可靠程度。

#### 1. STABL 與 STED/win

STABL 與 STED/win 的差別在於 STABL 為 Dos 版，輸入與使用上皆較為不便；STED/win 則為 Window 版，它能提供電腦輔助設計系統，在輸入時即可在螢幕上顯示幾何模型，因此在分析使用上頗為簡便。

#### 2. 主要分析方法及特性

STABL 程式之分析原理是採用二維極限平衡理論，以切片法進行邊坡分析與計算安全係數，主要包括：Spencer 法、Bishop 法、及 Janbu 法等。一般滑動面及不規則形狀之滑動面可採用 Janbu 簡化法及 Spencer 法分析，而在圓弧滑動面則採用 Bishop 簡化法。對於各方法的特性總結如下：

##### (1) Spencer 法：

- 為目前數值分析最穩定之分析方法。
- Morgenstern-Price 法中  $f(x)$  函數為常數時，則分析方法與本法相同。
- 切片側向力之合力傾角  $\theta$  值，對於力矩平衡求出之 F.S. 值影響不大。
- 當  $\theta = 0^\circ$  時，分析原理即與 Bishop 法相同。
- 適用於不規則形狀之破壞面（含圓弧破壞）。

##### (2) Bishop 法：

- 進行圓弧破壞分析時，在各種情況下，皆可得到較正確之安全係數，其數值也較為穩定。

- 切片間的垂直剪力  $X$  不列入考慮。
- 滿足所有的力平衡條件，但不滿足所有的水平力的平衡條件。
- 適用於圓弧破壞面。

(3) Janbu 法：

- 分析數值較不穩定，有不易收斂之情形。
- 切片間的剪力為 0。
- 求得安全係數後還需乘以一修正係數。
- 分析結果與 Spencer 法及 Morgenstern-Price 法相近。
- 適用於不規則形狀之破壞面（含圓弧破壞）。

#### 4.2.3.4 數值模擬範例說明－自選範例

本範例邊坡為高公局中區工程處大甲段轄區一國道 3 號北上 148K+650 處之邊坡，委託中興工程顧問公司，進行「國道高速公路局中區工程處轄區邊坡監測分析與評估」工作。大甲段目前針對轄區邊坡進行監測系統佈設共計 21 處，包括傾斜管 31 孔及水位觀測井 26 孔，以及原自動監測改為人工監測之 2 孔傾斜管。

本邊坡剖面長約 135m，高度約 60m，土層共有 5 層分別為 GP、SS、SS/MS、Backfill 以及一弱面，傾斜管 3 孔，水位觀測井 1 孔，由上至下共設有 5 層地錨，第 1~2 層地錨長度為 35m，拉力 45T，間隔 5m；第 3 層地錨長度為 20m，拉力 65T，間隔 4m；第 4~5 層地錨長度為 20m，拉力 45T，間隔 4m；並在第 1 層與第 2 層設有一長 8m，間隔 0.2m 之微型樁。

##### 1. PLAXIS 模擬分析

以有限元素法 PLAXIS 進行分析模擬時，須注意的細節是有限元素法分析邊坡時，會將斜坡之剪力納入初始應力計算。此外，分析地錨時須在邊坡上加上基板，防止表面土壤受地錨的拉力而遭破壞。

本次分析之邊坡共為 5 層，各層參數如表 4.54，分析狀況分別設定為常時、高水位及地震。分析的結果可以得到常時之 FS 為 1.79，高水位之 FS 為 1.47，地震時之 FS 為 1.13，邊坡剖面之網格圖及於各狀況下之穩定性分析結果圖形，請見圖 4.77~4.80。

表 4.54 自選範例各層土壤參數

參數 土層	$\gamma_t$	$\gamma_{sat}$	c	$\phi$	E
GP	19.62	19.62	19.62	33	34500
SS	18.64	18.64	4.95	30	34500
SS/MS	20.11	20.11	38.86	21	25000
Backfill	19.62	19.62	0.981	33	34500
弱面	19.62	19.62	0.127	20	6000



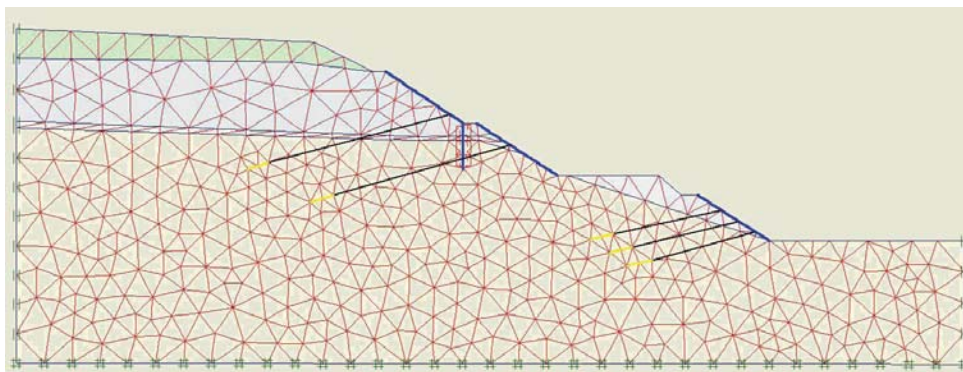


圖 4.77 PLAXIS 邊坡剖面網格圖

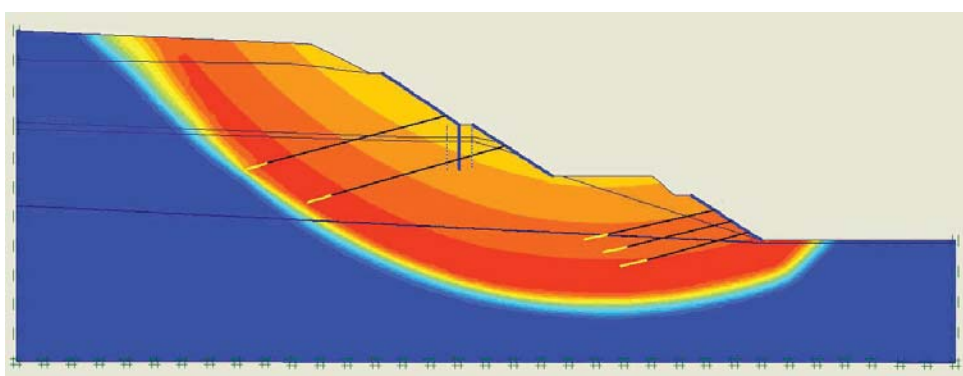


圖 4.78 PLAXIS 常時之結果位移圖

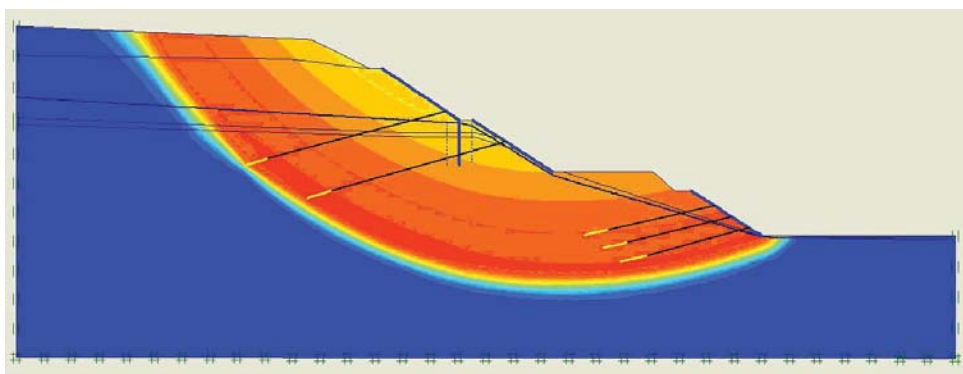


圖 4.79 PLAXIS 高水位之結果位移圖

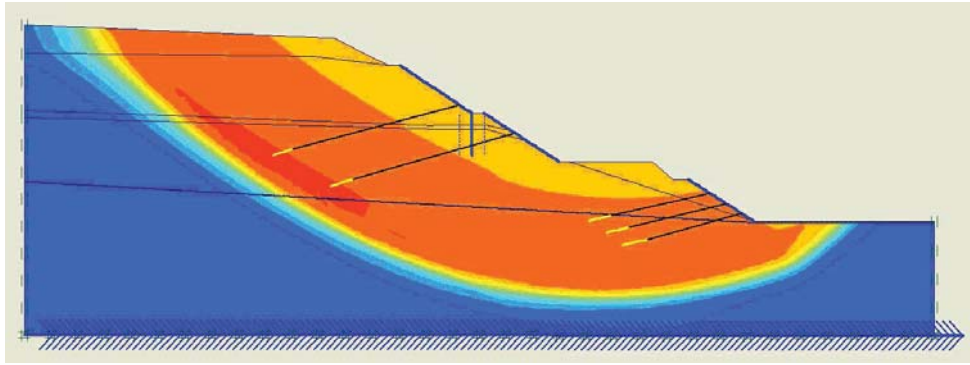


圖 4.80 PLAXIS 地震之結果位移圖

## 2. SLOPE 模擬分析

以 SLPOE/W 進行模擬分析時，主要之分析理論為極限平衡法，所以土層參數只需鍵入  $\gamma_{sat}$ 、 $c$ 、和  $\phi$ 。SLOPE/W 進行模擬分析時，不需土壤彈性模數，且模擬分析時與有限元素分析不同的是，極限分析法不會考慮斜坡剪力。

土層相關參數也如表4.54所示，模擬地震參數  $K_v$  為 0.12、 $K_h$  為 0.18。由最後分析的結果可以得到，常時之 FS 為 1.76，高水位之 FS 為 1.43，地震時之 FS 為 1.15，各種狀況下穩定性分析之結果圖形，請見圖4.81~4.84。

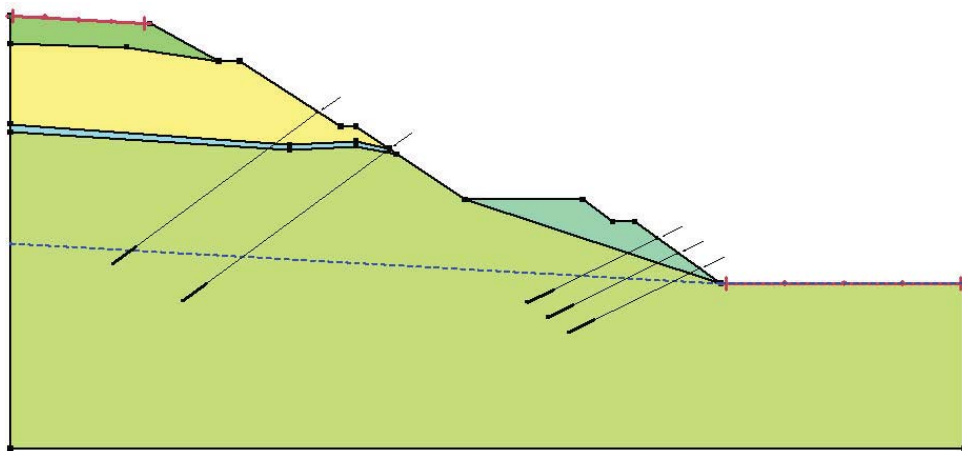


圖 4.81 SLOPE/W 分析剖面模型圖



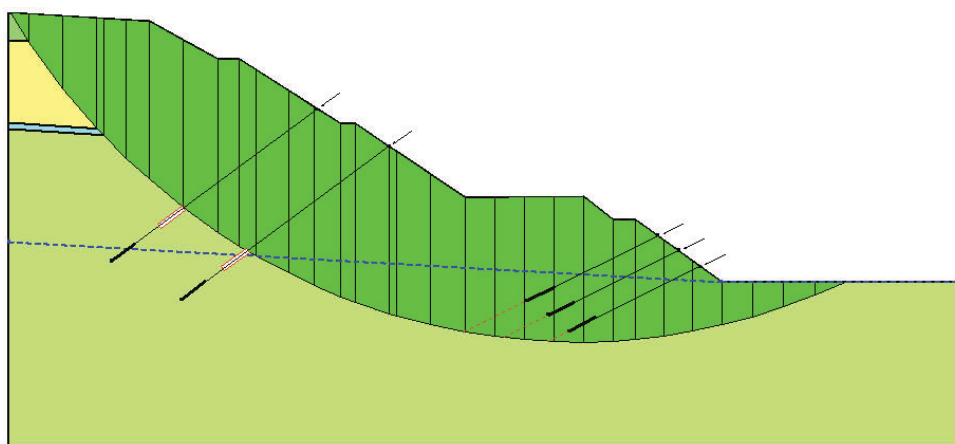


圖 4.82 SLOPE/W 常時之穩定性分析結果圖

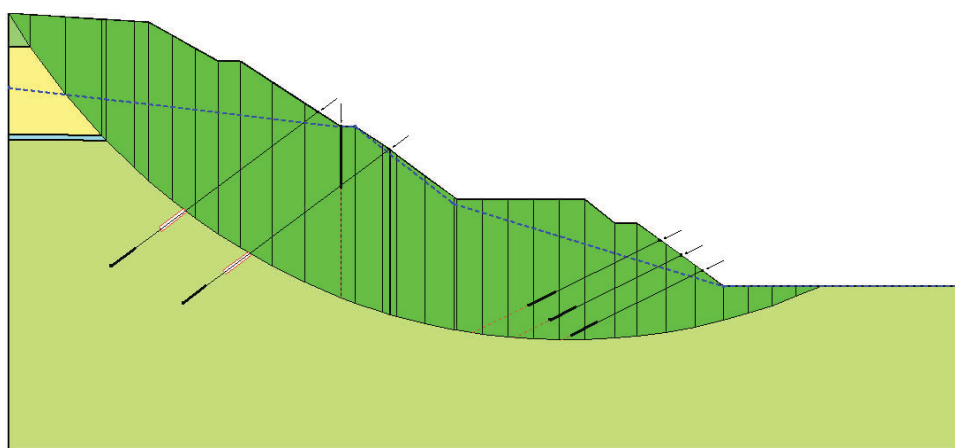


圖 4.83 SLOPE/W 高水位之穩定性分析結果圖

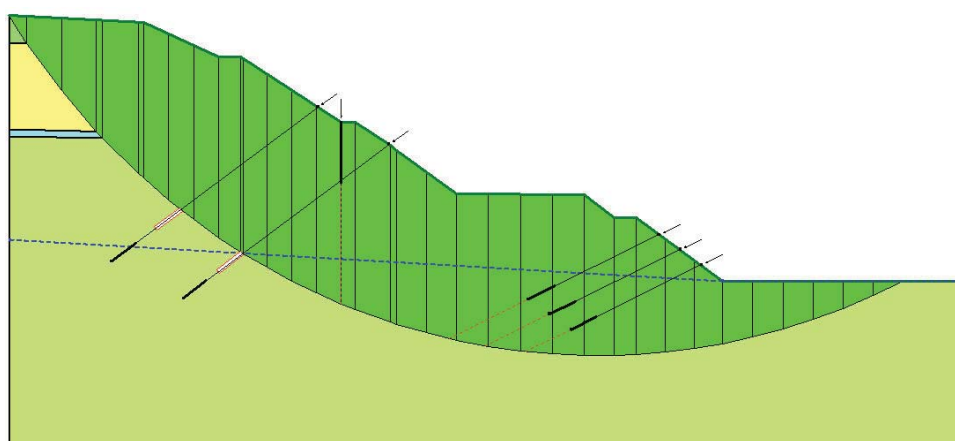


圖 4.84 SLOPE/W 地震時之穩定性分析結果圖

### 3. STABL 模擬分析

STABL 為大地工程界常用之邊坡穩定分析程式，主要分析理論一樣以極限平衡法為主，但是在操作方面相較之下，較為精簡，所考慮之參數以及計算方式也較一般商程式簡化。

各層土壤參數也如表4.54所示，模擬地震參數  $K_v$  為 0.12、 $K_h$  為 0.18。最後分析的結果可以得到，常時之 F.S 為 1.79，高水位之 F.S 為 1.47，地震時之 F.S 為 1.12，各種狀況下穩定性分析之結果圖形，請見圖4.85~4.88。

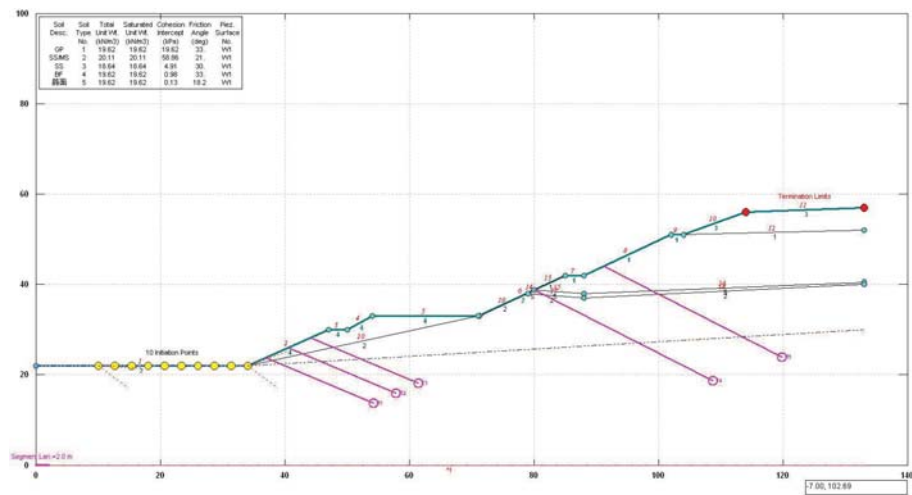


圖 4.85 STABL 分析剖面模型圖

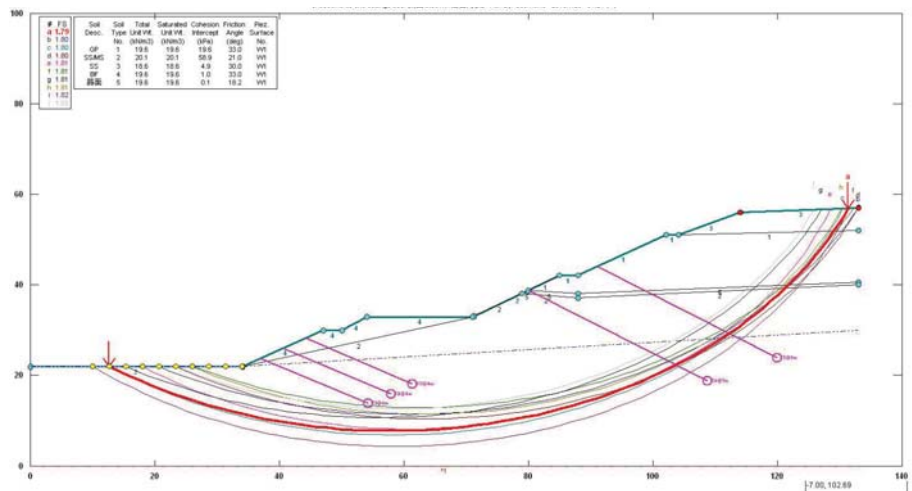


圖 4.86 STABL 常時之穩定性分析結果圖

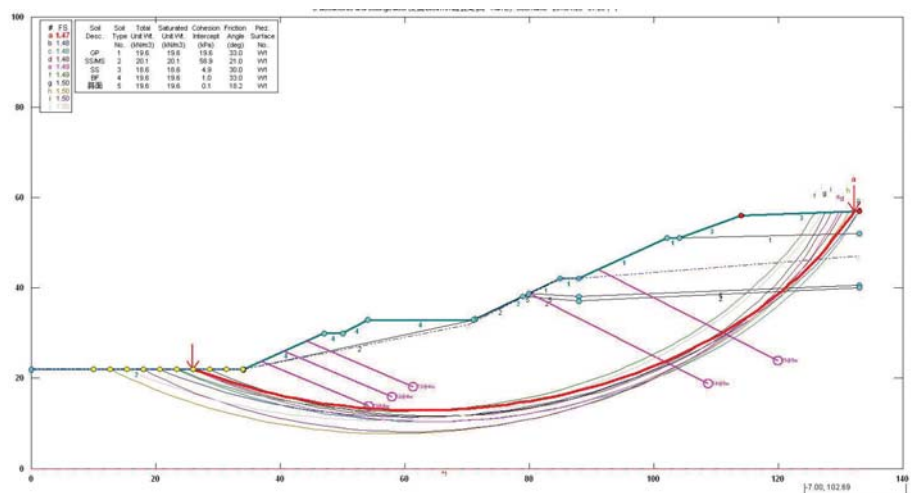


圖 4.87 STABL 高水位之穩定性分析結果圖

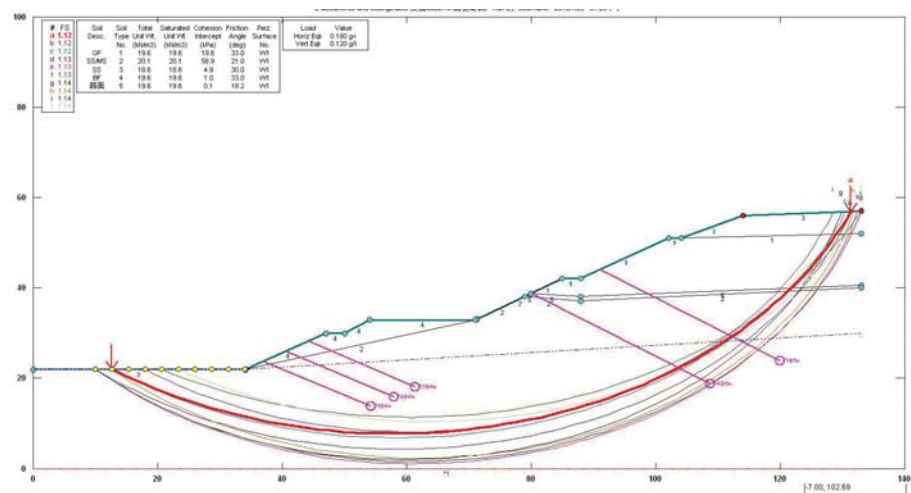


圖 4.88 STABL 地震時之穩定性分析結果圖

#### 4. 數值模擬結果分析比較

本節進行數值模擬的範例邊坡為國道 3 號北上 148K+650N 處之邊坡，選定原因主要為該邊坡為新工階段，因此具有模擬分析之價值，並且可與本計劃有相輔相成之功用。模擬使用 PLAXIS、SLOPE、及 STABL 等三種常用於工程界及學術界之邊坡分析軟體，主要比較其分析結果及其優缺點，比較結果如表 4.55 所示。

表 4.55 三種地工數值軟體分析自選範例結果比較表

狀態 程式	常時	高水位	地震
PLAXIS	1.79	1.47	1.13
SLOPE/W	1.76	1.43	1.15
STABL	1.79	1.47	1.12

#### 4.2.3.5 數值模擬範例說明－共同案例

本範例邊坡為高速公路局中區工程處大甲段轄區（國道 3 號）138K+622N 處之新建邊坡，並由中工處委託中興工程顧問公司，進行「國道高速公路局中區工程處轄區邊坡監測分析與評估」工作。大甲段目前針對轄區邊坡進行監測系統佈設共計 21 處，包括傾斜管 31 孔及水位觀測井 26 孔，以及原自動監測改為人工監測之 2 孔傾斜管。

本邊坡剖面長約 130m，高度約 70m，傾斜管 2 孔，水位觀測井 1 孔，土層共有 7 層分別為風化砂岩、黃棕色砂岩、灰色泥質砂岩、黃棕色砂岩偶夾灰色泥岩、灰色砂岩、黃棕色砂岩偶夾灰色泥岩以及灰色砂岩偶夾灰色泥岩；由上至下共設有 7 層地錨，第 1 層地錨長度為 35m，拉力 65T，間隔 3m；第 2~4 層地錨長度為 35m，拉力 65T，間隔 2m；第 5 層地錨長度為 30m，拉力 45T，間隔 4m；第 6~7 層地錨長度為 35m，拉力 65T 間隔 2m。

##### 1. PLAXIS 模擬分析

以有限元素法 PLAXIS 進行分析模擬時，須注意的細節是有限元素法分析邊坡時，會將斜坡之剪力納入初始應力計算。此外，分析地錨時須在邊坡上加上基板，防止表面土壤受地錨的拉力而遭破壞。

本節分析之邊坡共為 7 層，各層參數如表 4.56，分析狀況分別設定為常時、高水位及地震。分析的結果可以得到常時之 FS 為 1.68，高水位之 FS 為 1.55，地震時 FS 為 1.10，邊坡剖面之網格圖及於各狀況下之穩定性分析結果圖形，請見圖 4.89~4.92。

表 4.56 共同案例各層土壤參數

土層 \ 參數	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$E$ (kN/m <sup>2</sup> )
風化砂岩	18.64	19.62	0.981	30	34500
黃棕色砂岩	19.62	20.6	4.905	30	34500
灰色泥質砂岩	20.6	20.6	9.81	30	34500
黃棕色砂岩偶夾灰色泥岩	19.62	20.6	5.87	31	34500
灰色砂岩	20.6	20.6	11.77	31	34500
黃棕色砂岩偶夾灰色泥岩	19.62	20.6	6.87	31	34500
灰色砂岩偶夾灰色泥岩	20.6	20.6	15.7	32	34500

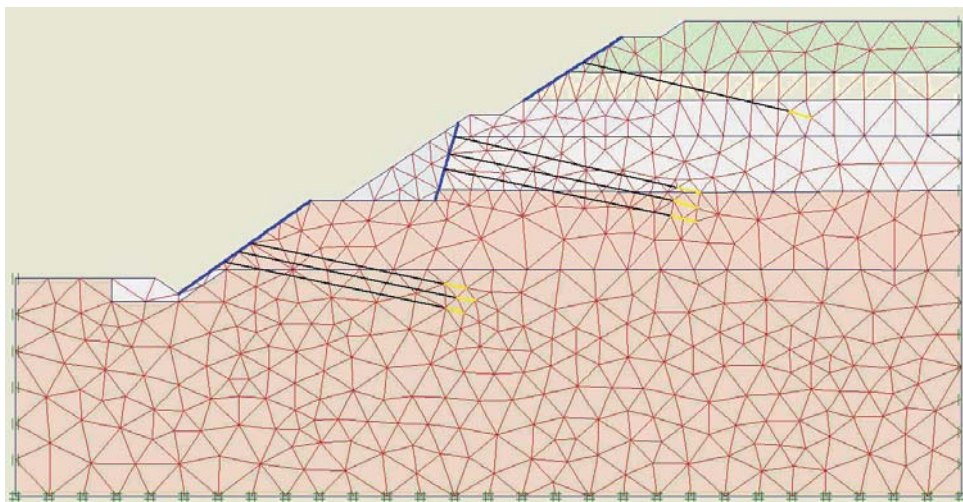


圖 4.89 共同案例 PLAXIS 邊坡剖面網格圖

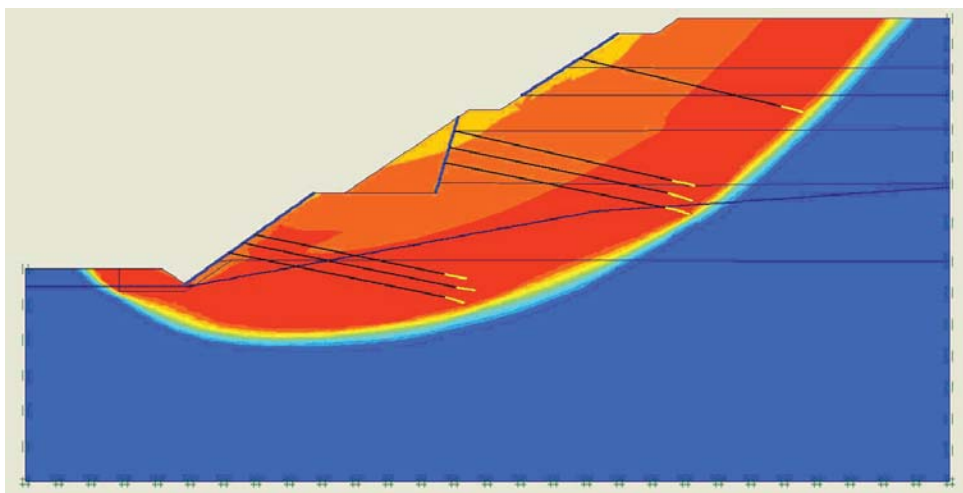


圖 4.90 共同案例 PLAXIS 常時之結果位移圖

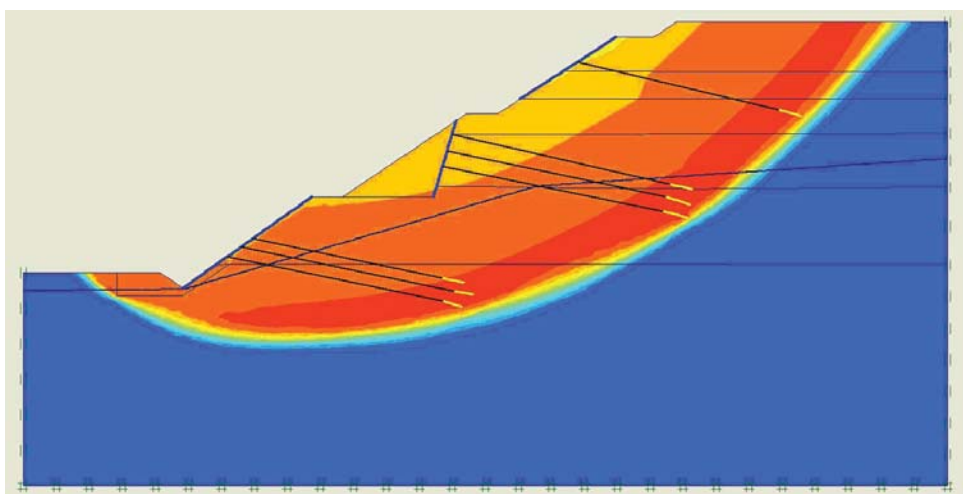


圖 4.91 共同案例 PLAXIS 高水位之結果位移圖



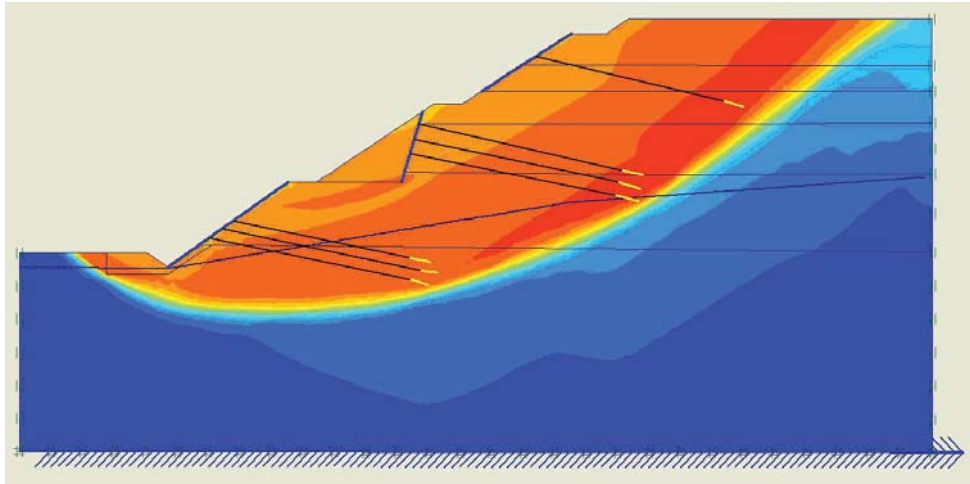


圖 4.92 共同案例 PLAXIS 地震之結果位移圖

## 2. SLOPE 模擬分析

以 SLPOE/W 進行模擬分析時，主要之分析理論為極限平衡法，所以土層參數只需鍵入  $\gamma_{sat}$ 、 $c$ 、和  $\phi$ 。SLPOE/W 進行模擬分析時，不需土壤彈性模數，且模擬分析時與有限元素分析不同的是，極限分析法不會考慮斜坡剪力。

土層相關參數也如表4.56所示，模擬地震參數  $K_v$  為 0.12、 $K_h$  為 0.18。由最後分析的結果可以得到，常時之 FS 為 1.71，高水位之 FS 為 1.61，地震時之 FS 為 1.22，各種狀況下穩定性分析之結果圖形，請見圖4.94~4.96。

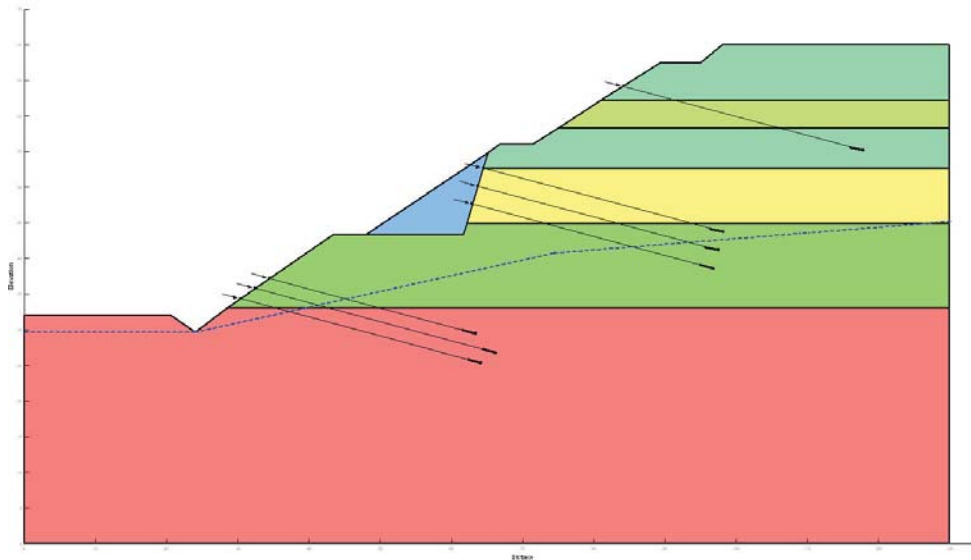


圖 4.93 共同案例 SLOPE/W 分析剖面模型圖





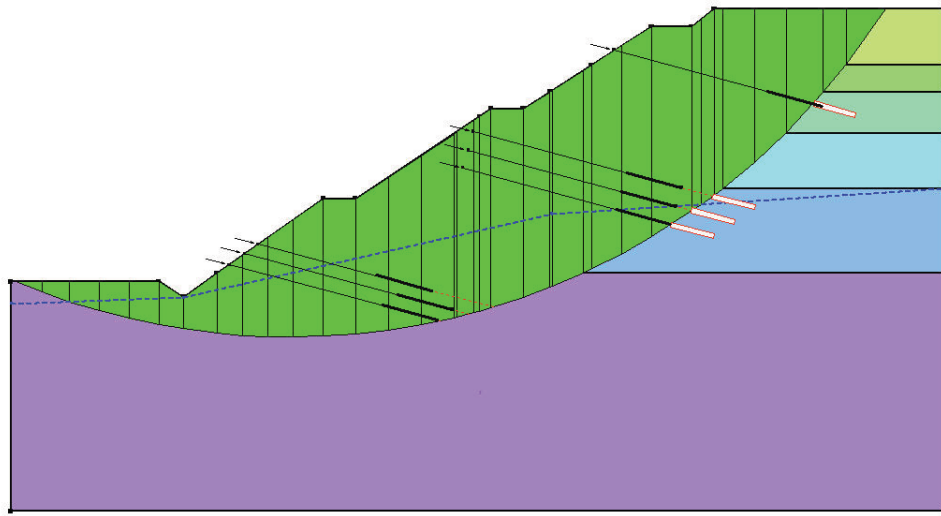


圖 4.96 共同案例 SLOPE/W 地震時之穩定性分析結果圖

### 3. STABL 模擬分析

STABL 為大地工程界常用之邊坡穩定分析程式，主要分析理論一樣以極限平衡法為主，但是在操作方面相較之下，較為精簡，所考慮之參數以及計算方式也較一般商程式簡化。

各層土壤參數也如表4.56所示，模擬地震參數  $K_v$  為 0.12、 $K_h$  為 0.18。最後分析的結果可以得到，常時之 F.S 為 1.71，高水位之 F.S 為 1.63，地震時之 F.S 為 1.20，各種狀況下穩定性分析之結果圖形，請見圖4.97~4.100。

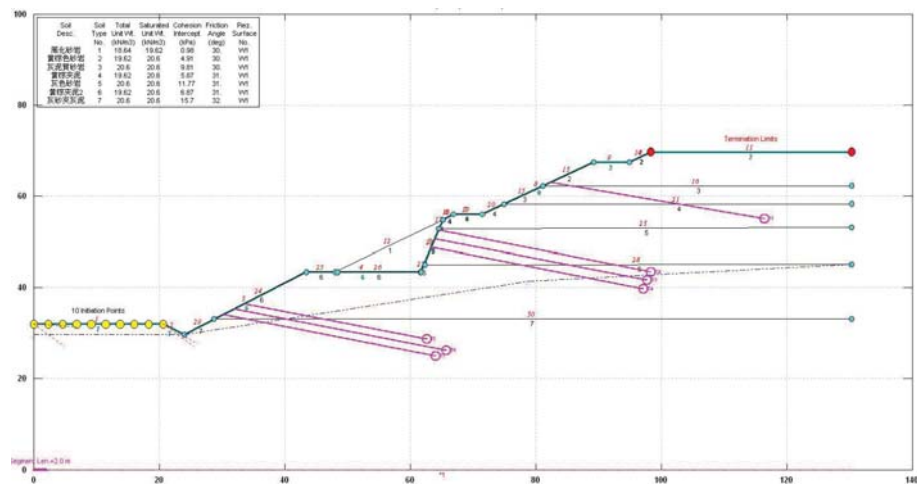


圖 4.97 共同案例 STABL 分析剖面模型圖

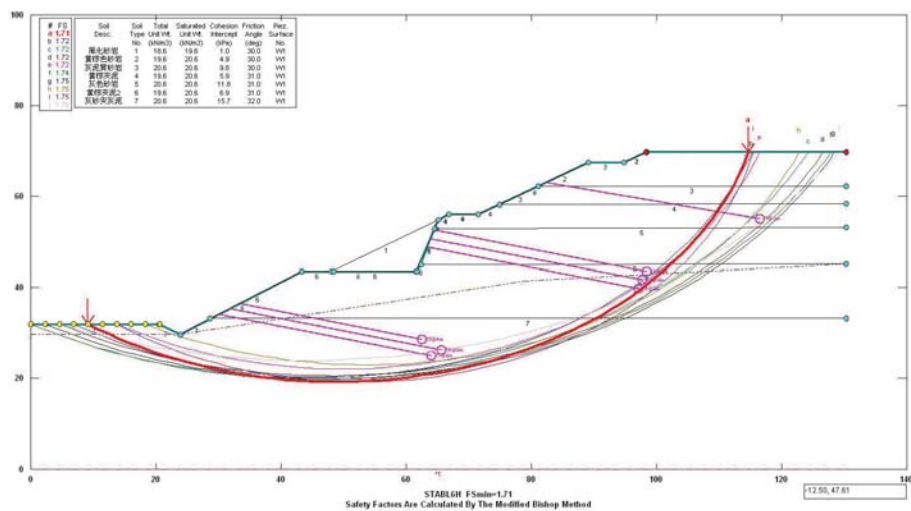


圖 4.98 共同案例 STABL 常時之穩定性分析結果圖

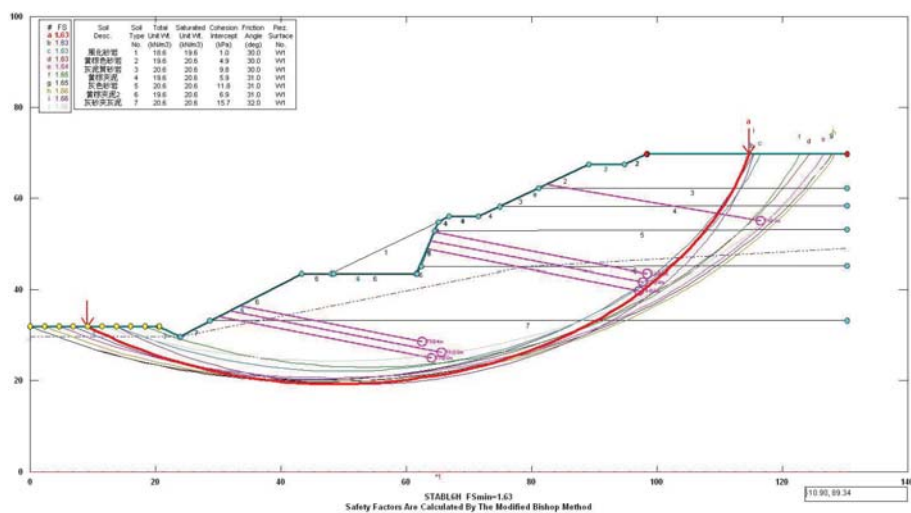


圖 4.99 共同案例 STABL 高水位之穩定性分析結果圖

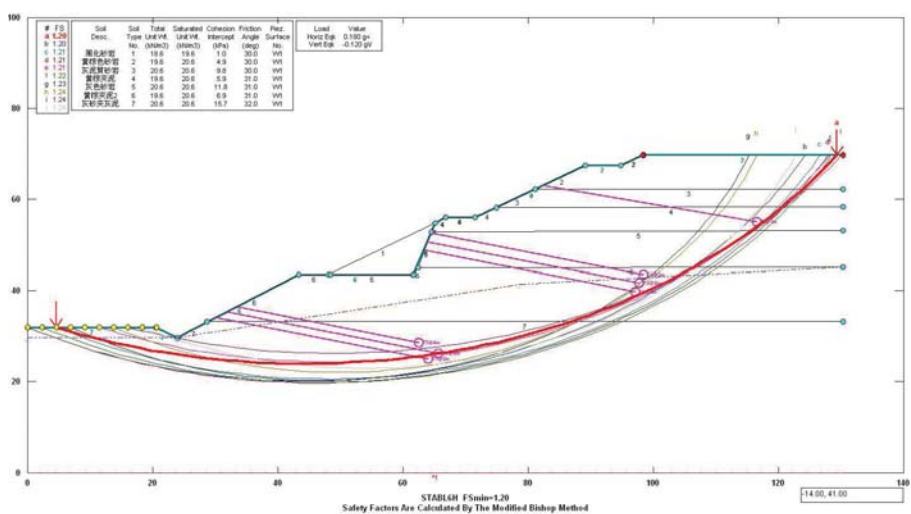


圖 4.100 共同案例 STABL 地震時之穩定性分析結果圖

#### 4. 數值模擬結果分析比較

本次進行數值模擬的範例邊坡為國道 3 號北上 138K+622N 處之邊坡，選定原因主要因應業主要求，並且可與本計劃有相輔相成之功用。本次模擬使用 PLAXIS、SLOPE、及 STABL 等三種常用於工程界及學術界之邊坡分析軟體，主要比較其分析結果，以及其優缺點，其比較結果如表 4.57 及表 4.58 所示。

表 4.57 三種地工數值軟體分析共同案例結果比較表

狀態 程式	常時	高水位	地震
PLAXIS	1.68	1.55	1.10
SLOPE/W	1.71	1.61	1.22
STABL	1.71	1.63	1.20

表 4.58 三種地工數值軟體優缺點比較表

分析方法	優點	缺點
有限元素法 (PLAXIS)	1.可考慮材料變形 2.可考慮彈性模數之影響 3.不需假設滑動面	1.分析費時 2.無法直接求得 FS 3.邊界條件處理不易 4.土壤應力-應變關係不易述說
極限平衡法 (STABL、SLOPE)	1.可直接求得 FS 2.分析方便	1.不考慮材料變形 2.須假設可能破壞面 3.FS 與實際值誤差大

## 4.3 養護頻率分析

### 4.3.1 資料收集及養護項目分類

近幾年國道邊坡滑動破壞事件造成嚴重的生命財產損失，引起社會大眾高度的關切，目的事業主管機關對於如何有效地執行國道邊坡維護/養護管理，是相當急迫的課題。基於永續經營的理念，國道的維護保養應該要以全生命週期的概念來進行，以期有效地維護交通設施的安全，確保服務水準並延長使用壽命。一般而言，過去執行的養護頻率大都基於經驗法則來訂定，這樣的做法雖然不見得有堅實的理論基礎，不過也有相當的實用性。國道邊坡交通設施的養護頻率與方式，很顯然地會和邊坡的安全性有直接的關係，根據台灣高速公路養護手冊(2011)將邊坡依據其需處理程度予以分級，共分為 A、B、C、D 四個等級，各邊坡等級之處理敘述如下：

1. A 級坡：邊坡有明顯不穩定徵兆，需密切觀察並採取必要措施。
2. B 級坡：邊坡發現有些許疑似不穩定徵兆，需加強觀察。
3. C 級坡：邊坡無明顯不穩定徵兆，僅需進行一般定期觀察。
4. D 級坡：邊坡處於穩定狀況，僅需安排定期檢測。

邊坡等級除於特別狀況（颱風、大豪雨、地震等災害）、全面安全總體檢評估作業後應進行調整外，養護單位應於各年度進行例行性之檢討作業。至於邊坡損害原因大致可歸納為六大項：1. 劣化或風化、2. 水流侵蝕、3. 大地應力作用、4. 地震、5. 潛在敏感性區域、6. 工程施工。

香港土木工程拓展署 (Civil Engineering and Development Department, CEDD) 土力工程處 (Geotechnical Engineering Office, GEO) 提出斜坡風險分級方式，如表4.59 所示，香港 GEO 對於邊坡的分類有「非常高風險」、「高風險」、「中等至高風險」、「中等風險」、「低至中等風險」、「低風險」共六級，理論上公路邊坡分級未來應該反應至養護頻率的決定。

表 4.59 香港土木工程拓展署土力工程處 (GEO) 斜坡風險分級

類別	意思	範例
非常高風險	倘若發生崩塌，許多市民會受到直接威脅。	人口稠密地區內接近使用中的建築物的斜坡及擋土牆。
高風險	倘若發生崩塌，有些市民會受到直接威脅。	在市區、鄉村、領有牌照土地及寮屋區內的許多斜坡及擋土牆(視乎該斜坡或擋土牆接近使用中的建築物的程度而定)。
中等至高風險	倘若發生崩塌，市民受到威脅的可能性為中等至高	在市區、鄉村、領有牌照土地及寮屋區內的許多斜坡及擋土牆(視乎該斜坡及擋土牆接近民居的程度而定)
中等風險	倘若發生崩塌，市民受到威脅的可能性為中等。	斜坡及擋土牆發生崩塌時可能影響建築物的情況
低至中等風險	倘若發生崩塌，市民受到威脅的可能性為低至中等。	斜坡及擋土牆發生崩塌時可影響主要道路，並可能導致意外發生。
低風險	倘若發生崩塌，市民受到威脅的可能性低。	與郊區道路相連的斜坡及擋土牆，以及低矮或坡度不大而且並非緊貼建築物的斜坡及擋土。
註： (1) 就個別斜坡及擋土牆，「斜坡記錄冊」內列出的風險類別，只適用於該地點在記錄所示的日期的情況(有關日期在現場記錄表內列明)。 (2) 個別斜坡及擋土牆的風險類別，可能因為日後發展或該處的用途改變而有所轉變，出現這種情況時必須重新評估其風險類別。 (3) 在評估上述風險類別時，並未考慮到斜坡或擋土牆崩塌所造成的經濟後果。		

高速公路養護手冊(2011)的規定，公路邊坡之坡面應保持平順、堅實且無沖刷溝，其坡度應符合設計規定；公路邊坡如遭受豪雨、地震、地下水滲流或其他原因，而發生開裂、滑落或坍方，致影響行車安全，甚或阻斷交通時，應立即採取適當緊急措施，並儘速修復通車。其注意事項如下：

1. 由上邊坡坍落於車道或路肩之土石雜物，均應完全清除，如數量過大，應先清除適當寬度之通行車道，暫時維持通行，並於內側挖掘臨時邊溝，以排除雨水，再繼續清除。
2. 邊坡開挖時應自上部逐次向下順序進行開挖，必要時需設置擋土護坡穩定設施，不得由下部掏挖，以免造成崩坍，損及鋪面或傷及人員。
3. 在邊坡開挖過程中，應設排水設施，隨時排除地面水及地下水，必要時應設置擋土或保護設施，以免造成崩坍滑落。
4. 坡地由於地質及地形之變化較大，於開挖後應依實際情況研判，調整開挖之坡度，增設水土保持設施或擋土構造物等，以維路基及邊坡之穩定。



5. 填土路堤邊坡因雨水沖刷，易形成沖溝、坑洞及缺口，應即時用黏結性良好之土壤或砂包修補夯實。對較大之沖溝及缺口，整修時，應將原邊坡挖成台階形，然後分層填築夯實，並注意與原坡面銜接平順。
6. 於坡趾工作之人員，需注意落石及崩坍。
7. 巡查邊坡時事先應規劃路徑，視需要進行除草作業、施設檢測步道或檢測梯，以維護檢測人員安全。無農路時，則於路肩利用爬梯或攀爬工具至坡頂，填寫巡查紀錄並拍照備查（惟每階邊坡坡面過大時須另施作檢修通道以確保邊坡坡頂之可及性）。
8. 各項維護措施及穩定工法，應避免景觀上之突兀。
9. 考量全球氣候及環境劇烈變遷，邊坡地型屢受颱風、豪大雨侵襲致影響其穩定性，甚而影響高速公路通行安全，為儘早發現可能災害潛勢，對路權以外之邊坡亦有加強巡查之必要。
10. 養護單位派員進入路權外公、私有土地辦理巡查及檢測，應事先通知其管理機關所有人、使用人或管理人。

另外關於護坡與擋土設施必須要注意的項目有：

1. 保持護坡或擋土設施之兩端與相鄰邊坡連接處完全密接。
2. 經常勘查護坡與擋土設施之坡趾，如發現坡趾遭受沖刷或淘空，應儘早修復。
3. 擋土牆必須保持完整，背填土石如有沖失，應予填實，洩水孔務須保持暢通，以減少孔隙水壓力。洩水孔如有堵塞，應及時疏通，如無法疏通，應另行選擇適當位置增設洩水孔，或於牆背後沿擋土牆增作牆後排水設施，以防止牆後積水引起側向壓力增加。
4. 擋土牆基腳易遭受雨水及溪流沖刷，導致基礎淘空而滑動坍塌，應注意檢查，適時保護。颱風、地震及豪雨後，尤須加強檢查。
5. 擋土牆常因其頂部荷重變化，排水不良以及邊坡破壞，含水量增加等因素，使擋土牆發生沉陷或龜裂，故應隨時注意，並針對破壞因素設法改善加固。
6. 擋土牆因土壓力增加，有倒塌之虞時，如背後有岩層，可用預力地錨錨碇法加固，如圖4.101所示。



圖 4.101 地錨加固工法示意圖

7. 如有良好之岩石基礎，可加築混凝土撐柱（或牆）加固，如圖4.102所示。

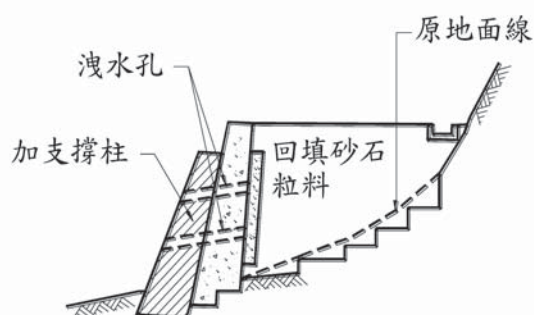


圖 4.102 加築混凝土牆加固工法示意圖

8. 如牆趾前方地形較為平緩時，可在牆趾處填土，以增加其穩定性；如牆趾前方呈斜坡時，可在牆趾前打樁並加築混凝土護牆，以防止滑動，如圖4.103所示。

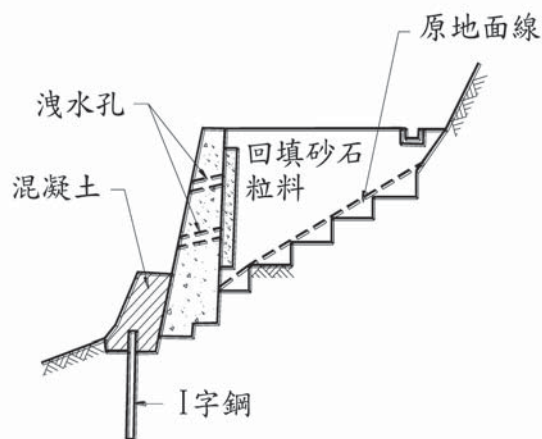


圖 4.103 混凝土撐柱加固工法示意圖

9. 除上述方法外，亦可在牆後換填透水材料，降低地下水位，以減少牆背側向壓力。如配合上述方法一併實施，將更可增加擋土牆之安全。
10. 原擋土牆損壞嚴重，若採用前述加固方法仍不能達到設計強度要求時，應考慮將損壞部分拆除重建。為防止不均勻沉陷，新舊擋土牆間應設置施工縫，並應注意新舊擋土牆接頭協調。
11. 護坡或擋土設施之頂面與路肩同平整，以使鋪面、路肩之集水得由其表面排下，不致滲入牆內或被阻滯。
12. 適度利用植生美化護坡及擋土設施。

根據高速公路養護手冊(2011)其巡查頻率原則上依據邊坡等級予以進行，其各巡查類別之頻率如下：

1. 經常巡查—每日巡查至少一次以日間巡查為主。
2. 定期巡查—例行性之定期巡查頻率得視邊坡等級而定，由養護單位負責評估。原則上 A 級坡每月至少 1 次，B 級坡每季至少 1 次，C 級坡則每年至少 1 次，至於 D 級坡則規劃每 3 年至少 1 次。為確實針對邊坡進行安全評估作業，除例行性之巡查作業外，針對邊坡全面安全總體檢部分，則由養護單位視轄區邊坡穩定狀況，每 4~5 年為一週期，委託專業服務單位辦理之。
3. 特別巡查—颱風及大豪雨前後、地震（當地震度 4 級以上）後視現地狀況為之。

各養護單位得視其需要自行訂定巡查頻率。巡查項目要點依據設施類別主要可分為植生邊坡、護坡與擋土設施三大類。若以邊坡安全性的考量，國道邊坡的養護工作可以包括下列幾類：

1. 邊坡滑動防護設施：包括擋土牆完整性（如傾斜、龜裂、位移等）、岩錨/岩栓完整性（如錨頭是否鬆脫、鋼鍵是否斷裂或銹蝕等）、排樁樁頭是否產生位移等。
2. 陡坡或風化碎岩坡護坡設施：包括擋土面牆是否破裂、剛性護坡完整性、柔性護坡是否變形擠壓、植生是否傾倒或枯死、噴凝土是否破裂或掉落等。
3. 排水設施：坡面排水溝是否可以有效集水、集水井是否堵塞、擋土牆排水孔是否塞孔喪失排水功能等。

本研究計畫對過去國道高速公路既有的邊坡資料，進行各邊坡養護對象的分類與統計分析工作，分類的原則依照各設施的重要性、材料特性、劣化行為等為考量。國道邊坡交通設施養護對象分類與統計資料，將可提供後續劣化分析以及養護頻率建議的基礎。

### 4.3.2 養護對象劣化分析方法

一般而言，交通設施需要定期/不定期的養護，主要是因為人造設施的性能，會隨著服務時間的增加有衰減的現象，當材料劣化超過某一個程度，可能造成交通設施的服務性能低於標準，甚或造成破壞的情況，因此養護頻率（或養護強度）的訂定，必須由各設施的劣化情況來決定。研究首先收集目前國道高速公路邊坡分級資料，依照各邊坡的狀況進行養護對象的分類工作，繼而依照各養護對象進行劣化的分析工作。

交通設施的劣化評估方法可以分為定值性法 (Deterministic Approach) 以及機率分析法 (Probabilistic Approach)。定值性的分析方法發展基礎可分為以下幾類：

1. 經驗法：完全根據過去的工程案例累積的經驗與知識，所發展出來的預測方法，通常經驗法受限於案例資料的數量，以及現地資料的合理性，無法準確預測養護對象的劣化情況。
2. 半經驗法：透過室內加速試驗以及現地試驗，模擬交通設施材料現地劣化的情況，並參考過去的工程經驗，藉以發展出簡化的半經驗分析方法。
3. 數值分析法：基於經驗與半經驗的知識與試驗結果，發展數學模型用以預測材料劣化的情況。數值分析法應用頗為廣泛，不過分析的可靠程度取決於數學模型的合理性，以及參數選取的正确性。

以機率的概念來看，劣化分析方法所需要的參數應屬於隨機變數 (random variables)，然而應用定值性分析方法估計劣化結果，卻是一種平均值的概念，換言之，劣化預測分析所需要的參數都被視為非隨機變數（一般都取平均值），預測結果屬於最可能發生的情況（以常態分布為例，發生機率為 50%）。理論上設施劣化有相當大的機率會超過此預測值。因此以既有的定值性分析方法，進行劣化分析所建議的養護頻率，很可能在實務操作上會遭遇許多不足之處。例如本次養護完成至下一次養護時，可能發現交通設施劣化情況遠超過預期。過去的研究顯示，交通設施的構件統計結果顯示具備隨機變數的行為，例如混凝土構件的保護層厚度統計上符合常態分布的隨機變數定義，另外混凝土鋼筋腐蝕造成保護層剝落也發現具有隨機特性。

實務上導入機率分析的觀念來發展劣化的機率分析法，在國道邊坡交通設施的養護工作，應該有相當大的應用價值。不過工程師必須了解，交通設施養護對象劣化分析方法的合理性（即所謂的模式不確定性），以及分析參數是否具備隨機變數的特性（及參數不確定性），必須非常謹慎地進行研究加以率定，否則應用發展的機率分析法進行分析，可能比使用經驗法或半經驗法結果更不理想。本研究計畫將嘗試導入機率分析的概念，嚴謹地發展一套劣化分析的機率評估方法，並且為了日後的實務應用可行性，將進一步思考如何適度簡化，以便讓真正執行養護工作的第一線工程人員，能夠很容易地使用，這點本研究認為非常關鍵。



### 4.3.3 養護對象劣化分析結果

欲進行國道邊坡擋土設施養護劣化分析，基本上必須先了解分析對象包含的項目，如4.3.1節所述，邊坡擋土設施包括(1)邊坡滑動防護設施：包括擋土牆完整性（如傾斜、龜裂、位移等）、岩錨/岩栓完整性（如錨頭是否鬆脫、鋼鍵是否斷裂或銹蝕等）、排樁樁頭是否產生位移等；(2)陡坡或風化碎岩坡護坡設施：包括擋土面牆是否破裂、剛性護坡完整性、柔性護坡是否變形擠壓、植生是否傾倒或枯死、噴凝土是否破裂或掉落等；(3)排水設施：坡面排水溝是否可以有效集水、集水井是否堵塞、擋土牆排水孔是否塞孔喪失排水功能等。以邊坡穩定的角度來看，上述這些因子相對重要的主要有岩錨或地錨的功能性、擋土牆及護坡的完整性、排水設施的功能性等，實務上擋土牆及護坡的完整性可以透過巡查作業有效的執行，岩錨或地錨的功能性以及排水設施的功能性則比較困難，基本上排水設施首重能夠將邊坡地下水有效的排出，以減少邊坡滑動的驅動力，這個部分可能可以透過降雨後巡查排水孔是有可以有效排水來執行。岩錨或地錨的功能性則很難透過一般巡查可以判定地錨是否依舊保有原有的功能，因此在養護頻率的分析上，岩錨或地錨的功能性是最困難的工作項目。

民國 99 年 4 月國道 3 號七堵段發生走山事件之後，高公局針對全台國道各邊坡進行地錨總體檢，這些報告資料非常寶貴，因為可以從中統計分析地錨性能劣化的趨勢。因此，本研究展開全台國道各邊坡地錨總體檢報告的分析工作，目前已經收整的資料範圍包括北工處（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）。經檢視上述區段的報告，七個區段各邊坡里程範圍、外觀檢視支數、內視鏡檢視支數、揚起試驗支數和現場檢測工作完成時間等資料如表4.60至表4.64所列，其中主要檢測工作內容如下：

1. 地錨護坡目視檢視及紀錄：包括蒐集相關設計圖說（竣工圖及整治圖）、災害歷史及既有監測成果、邊坡目視檢查及記錄
2. 錨頭組件檢視：包括錨頭組件檢視及記錄（含內視鏡檢視）、內視鏡檢視、自由段灌漿面量測
3. 地錨揚起試驗：包括地錨揚起試驗、錨頭保護座復舊

表 4.60 北工處木柵段邊坡地錨分布里程及檢測工作

國道	里程範圍	外觀檢視(支)	鑿開檢視(支)	內視鏡(支)	揚起試驗(支)	現場邊坡檢視時間(y/m/d)
3	17k+145~17k+385(北上線)	298	15	15	15	100.01.04
3	萬芳交流道開道 1(西向開道)	43	5	5	5	100.03.01
3	萬芳交流道環道 5(西向環道)	166	14	14	14	100.03.01
3	福德隧道北口(北上線)	255	13	13	13	100.03.10
3	福德隧道南口(南下線/北上線)	400	25	25	25	100.03.10
3	21k+600~21k+700(南下線)	68	7	7	7	100.04.07
3	木柵隧道北口(南下線/北上線)	224	12	12	12	100.03.28
3	25k+600(北上線)	23	3	3	3	100.03.21
3	新店隧道北口(北上線)	758	51	51	51	100.04.11
3	新店隧道南下北口(南下線/北上線)	47	5	5	5	100.04.11
3	南下線 14k+200(南下線/北上線)	65	6	6	5	100.04.08
3 甲	國三甲 1.2k(南下線/北上線)	35	4	4	4	100.04.07
共執行 12 處		2382	160	160	159	----
註:日期年份為民國						

表 4.61 北工處關西段邊坡地錨分布里程及檢測工作

國道	里程範圍	外觀檢視(支)	鑿開檢視(支)	內視鏡(支)	揚起試驗(支)	現場邊坡檢測時間(y/m/d)
3	81k+350~81k+490	105	6	6	6	100.09.29
3	85k+600~85k+630	59	10	10	6	100.10.04
3	85k+600~85k+850	93	17	10	7	99.11.09
3	96k+285~96k+480	406	42	21	21	99.12.15
3	96k+390~96k+470	71	13	8	5	99.11.17
3	97k+083~97k+183	38	8	4	4	99.12.17
3	97k+358~97k+633	132	14	7	7	99.11.24
3	44k+100~44k+200	80	14	8	6	99.12.01
3	94k+500~94k+700	85	15	9	6	99.11.29
3	94k+550~94k+750	93	17	10	7	99.11.30
1	94k+200~94k+300	34	8	4	4	100.01.26
3	102k+770~102k+820	43	7	7	7	100.10.12
共執行 12 處		1163	171	104	86	----
註:日期年份為民國						



表 4.62 中工處（大甲段/苗栗段/南投段）邊坡地錨分布里程及檢測工作

國道	工區	里程範圍	外觀檢 視(支)	鑿開檢 視(支)	內視 鏡(支)	揚起試 驗(支)	現場檢測工 作完成時間 (y/m/d)
3	大甲-1	138k+452~138k+802 (北上側)	63	5	5	5	100.3.20
3	大甲-2	142k+602~143k+102 (北上側)	40	4	4	4	100.4.7
3	大甲-3	144k+962~145k+352 (北上側)	25	3	3	3	100.3.20
3	大甲-4	148k+702~149k+552 (北上側)	622	38	38	36	99.11.30
3	大甲-5	150k+102~150k+582 (北上側)	156	11	11	9	99.11.30
3	大甲-6	138k+452~138k+802 (南下側)	229	19	19	17	100.3.27
3	大甲-7	140k+672~141k+022 (南下側)	55	6	6	5	100.3.20
3	大甲-8	142k+602~143k+102 (南下側)	32	4	4	4	100.3.31
3	大甲-9	150k+102~153k+202 (南下側)	24	3	3	3	100.3.20
3	大甲-10	166k+202~166k+822 (南下側)	16	3	3	3	100.3.27
1	苗栗-1	124k+450~124k+800 (北上側)	488	25	25	25	100.4.17
3	南投-1	231k+500~231k+700 (南下側)	413	21	21	21	100.4.24
6	南投-2	17k+685 (東西向)(國 姓 1 號隧道西洞口)	195	16	16	16	100.5.8
6	南投-3	20k+140 (東西向)(國 姓 1 號隧道東洞口)	85	7	7	7	100.5.1
6	南投-4	23k+578~23k+733 (西向)	15	3	3	3	100.5.8
6	南投-5	24k+523 (西向)(國姓 2 號隧道西洞口)	25	3	3	3	100.4.24
6	南投-6	28k+753 (東西向)(埔 里隧道東洞口)	43	4	4	4	100.5.15
共執行 17 處			2526	175	175	168	----
註:日期年份為民國							

表 4.63 南工處白河段邊坡地錨分布里程及檢測工作

國道	工區	里程範圍	外觀檢視(支)	鑿開檢視(支)	內視鏡(支)	揚起試驗(支)	現場檢測工作完成時間(y/m/d)
3	25-1	281k+705~282k+096 (北上側)	82	8	2	6	99.12.10
3	25-2	282k+500~282k+600 (北上側)	24	3	3	3	100.1.19
3	25-4	283k+360~283k+650 (北上側)	115	6	6	6	100.1.19
3	25-5	284k+520~284k+846 (北上側)	176	9	9	9	100.1.19
3	25-6	284k+875~285k+296 (北上側)	120	7	7	7	100.2.18
3	25-7	286k+245~286k+550 (北上側)	108	9	9	7	100.2.18
3	25-9	287k+885~288k+146 (北上側)	82	8	8	6	100.2.18
3	26-1	292k+375~292k+516 (北上側)	46	5	5	5	99.12.10
3	26-2	292k+596~292k+806 (北上側)	92	9	7	6	100.3.18
3	26-4	295k+695~295k+796 (北上側)	18	3	3	3	100.3.18
3	27-1	301k+295~301k+500 (北上側)	87	10	10	8	100.3.18
3	27-2	301k+500~301k+715(北上側)	108	8	5	8	99.12.10
3	28-1	354k+015~355k+440 (南下側)	235	13	13	12	99.12.10
3	28-2	354k+815~355k+415 (南下側)	496	27	27	27	100.4.20
3	28-3	356k+365~356k+470 (南下側)於農路外側	23	3	3	3	100.4.20
3	28-4	356k+600~356k+700 (南下側)於農路外側	50	5	5	5	100.4.20
共執行 16 處			1391	133	122	121	----
註:日期年份為民國							

表 4.64 南工處屏東段邊坡地錨分布里程及檢測工作

國道	里程範圍	外觀檢視(支)	鑿開檢視(支)	內視鏡(支)	揚起試驗(支)	現場檢測工作完成時間(y/m/d)
3	360k+495~360k+775(北上側)	158	9	8	8	100.5.1
3	360k+919~361k+149(北上側)	171	9	9	9	100.5.1
3	361k+246~361k+532(北上側)	85	8	6	6	99.12.15
3	361k+699~361k+845(北上側)	39	4	4	4	99.12.15
3	361k+935~362k+113(北上側) 並包含 362 k +113 ~ 362 k +195 等畸零塊	134	7	7	7	99.12.15
3	362k+935~363k+186(北上側)	107	12	11	10	99.12.15
3	364k+135~364k+225(北上側)	43	4	4	4	100.5.1
3	364k+609~364k+809(北上側)	94	9	9	7	99.12.15
3	370k+133~370k+249(南下側)	48	5	5	5	100.5.1
3	378k+298 田寮 3 號高架橋 A1 橋台	12	3	3	3	100.5.1
3	378k+899 中寮隧道北口上方 岩壁	266	21	17	15	100.5.1
3	383k+431~383k+713(北上側)	984	53	52	50	100.5.1
3	12+0.490~12+0.545 燕巢系統 交流道北往東匝道右側	22	3	3	3	100.5.1
3	386k+043 高屏溪河川橋 A1 橋 台	48	6	6	4	100.5.1
共執行 14 處		2211	153	144	135	----
註:日期年份為民國						

依據上述工作項目總共可以獲得五種檢測資料，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)。本研究以各區段地錨護坡檢視成果進行說明，分析結果如表 4.65 至表 4.87 所示，其中工作項目中的地錨邊坡檢視紀錄只針對邊坡實際狀況進行目視檢視，無法進行評估等級判定，故不列入考量。

表 4.65 至表 4.70 為地錨保護座外觀經過綜合評估判定之結果，單就保護座外觀進行地錨完整性的初步判定，基本上絕大部份的報告都分為五級，包括 A 級、B 級、C 級、D 級、X 級，各分級的分類標準可以參考表 4.65 至表 4.70 之描述，其中只有北工處關西段（表 4.66）分為 A 級、B 級、C 級、D 級四級。

表 4.65 北工處木柵段地錨錨頭保護座外觀檢視紀錄-綜合評估外觀

路段	里程範圍	X 級	A 級	B 級	C 級	D 級	總計
		(功能喪失): 錨頭翻轉或掉落或鋼腱斷裂射出	(極差): 1.地錨功能可能嚴重受損(分離大於 2mm。2. 水質為強烈腐蝕	(不佳): 1.地錨功能可能受損(分離小於 2mm、受壓版開裂或下方表土淘空)。2. 水質為顯著腐蝕	(尚可): 1. 周邊環境不利於地錨長期功能(滲水、白華或錨座外觀輕微破損)。2. 水質為中等腐蝕	(正常): 1. 無異狀。2. 水質正常	---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
北上線	17k+145~17 k +385	0/0	0/0	0/0	32/11	266/89	298/100
西向開道	萬芳交流道開道 1	3/7	0/0	0/0	5/12	35/81	43/100
西向環道	萬芳交流道環道 5	0/0	0/0	1/1	25/15	140/84	166/100
北上線	福德隧道北口	0/0	0/0	1/0	24/9	230/90	255/100
南下線/ 北上線	福德隧道南口	0/0	2/1	0/0	26/7	372/93	400/100
南下線	21k+600~21k+700	0/0	1/1	2/3	17/25	48/71	68/100
南下線/ 北上線	木柵隧道北口	0/0	0/0	0/0	25/11	199/89	224/100
北上線	25k+600	0/0	0/0	0/0	2/9	21/91	23/100
北上線	新店隧道北口	1/0	0/0	0/0	29/4	728/96	758/100
南下線/ 北上線	新店隧道南下北口	0/0	3/6	0/0	2/4	42/89	47/100
南下線/ 北上線	南下線 14k +200	0/0	0/0	0/0	8/12	57/88	65/100
南下線/ 北上線	國三甲 1.2k	0/0	0/0	0/0	3/9	32/91	35/100

表 4.66 北工處關西段地錨錨頭保護座外觀檢視紀錄（4 種分級）

國道	里程範圍	A 級	B 級	C 級	D 級	總計
		損壞：1. 錨頭蓋已掉落。2. 鋼鍵多數斷裂或滑脫。	(不佳)：1. 保護蓋破損嚴重。2. 錨頭組件已有外露情形。3. 護坡有所損壞。	(尚可)：1. 保護蓋些微破損。2. 錨頭並無出露。3. 周圍滲水。4. 輕微白華。	正常	--
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
3	南下 85k+600~85k+850	3/17.6	5/29.4	7/41.2	2/11.8	17/100
3	北上 44k+100~44k+200	0/0	0/0	1/1.3	79/98.7	80/100
3	南下 94k+550~94k+750	0/0	0/0	4/4.3	89/95.7	93/100
3	北上 94k+500~94k+700	0/0	0/0	5/5.9	80/94.1	85/100
3	北上 96k+390~96k+470	0/0	0/0	5/7	66/93	71/100
3	南下 96k+285~96k+480	0/0	0/0	11/2.7	395/97.3	406/100
3	南下 97k+083~97k+183	0/0	0/0	7/18.4	31/81.6	38/100
3	南下 97k+358~97k+633	0/0	0/0	5/3.8	127/96.2	132/100
1	南下 94k+200~94k+300	0/0	2/5.9	3/8.8	29/85.3	34/100

表 4.67 北工處關西段地錨錨頭保護座外觀檢視紀錄（5 種分級）

國道	里程範圍	A 級	B 級	C 級	D 級	X 級	總計
		極差(地錨功能可能嚴重受損)	不佳(地錨功能可能受損)。	尚可(保護蓋或格梁輕微受損、開裂)	正常(保護蓋或格梁無受損)	X. 功能喪失(錨頭組件已脫落且嚴重銹蝕)	
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
3	南下 81k + 350~81k +490	0/0	0/0	0/0	105/100	0/0	105/100
3	南下 85k + 600~85k +630	0/0	0/0	0/0	59/100	0/0	59/100
3	南下 102k+770~102k+820	0/0	0/0	6/14	37/86	0/0	43/100



表 4.68 中工處（大甲段/苗栗段/南投段）地錨錨頭保護座外觀檢視紀錄-綜合評估外觀

工區	里程範圍	X 級 (功能喪失):錨頭 翻轉或 掉落或 鋼腱斷 裂射出	A 級 (極差):研判 地錨功能可 能嚴重受損 (分離大於 2mm或保護 座嚴重破 損、錨頭外 露)	B 級 (不佳):研判 地錨功能可 能受損(分 離小於 2mm、受壓 版開裂或下 方表土淘 空)	C 級 (尚可):周 邊環境不 利於地錨 長期功能 (滲水、白 華或外觀 輕微破損)	D 級 (正常): 無異狀	總計 ---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
大甲-1	138k+452~138k+802 (北上側)	0/0	0/0	17/27	22/35	24/38	63/100
大甲-2	142k+602~143k+102 (北上側)	0/0	0/0	23/57.5	3/7.5	14/35	40/100
大甲-3	144k+962~145k+352 (北上側)	0/0	2/8	21/84	1/4	1/4	25/100
大甲-4A	148k + 702 ~149 k + 200(北上側)	0/0	3/0.6	327/69	76/16	68/14.4	474/100
大甲-4B	149k+200 ~552(北上 側)	0/0	3/2	16/11	18/12	111/75	148/100
大甲-5	150k+102~150k+582 (北上側)	2/1.3	3/1.9	88/56.4	55/35.3	8/5.1	156/100
大甲-6	138k+452~138k+802 (南下側)	0/0	0/0	157/68.6	22/9.6	50/21.8	229/100
大甲-7	140k+672~141k+022 (南下側)	1/1.8	3/5.5	24/43.5	6/11	21/38.2	55/100
大甲-8	142k+602~143k+102 (南下側)	2/6.3	0/0	8/25	1/3.1	21/65.6	32/100
大甲-9	150k+102~153k+202 (南下側)	0/0	0/0	21/87.5	0/0	3/12.5	24/100
大甲-10	166k+202~166k+822 (南下側)	0/0	1/6.25	2/12.5	3/18.75	10/62.5	16/100
苗栗-1	124k+450~124k+800 (北上側)	0/0	0/0	53/11	102/21	333/68	488/100
南投-1	231k+500~231k+700 (南下側)	0/0	0/0	259/63	10/2	144/35	413/100
南投-2	17k+685(東西向)(國 姓1號隧道西洞口)	0/0	0/0	10/5	42/21.5	143/73.5	195/100
南投-3	20k+140(東西向)(國 姓1號隧道東洞口)	0/0	0/0	2/2.4	0/0	83/97.6	85/100
南投-4	23k+578~23k+733(西 向)	0/0	0/0	2/13	0/0	13/87	15/100
南投-5	24k+523(西向)(國姓 2號隧道西洞口)	0/0	0/0	0/0	8/32	17/68	25/100
南投-6	28k+753(東西向)(埔 里隧道東洞口)	0/0	1/2.3	6/14	7/16.2	29/67.5	43/100



表 4.69 南工處白河段地錨錨頭保護座外觀檢視紀錄-綜合評估外觀

工區	里程範圍	X 級 (功能喪失): 錨頭翻轉或 掉落或鋼腱 斷裂射出	A 級 (極差): 研判地錨 功能可能 嚴重受損 (分離大 於 2mm 或保護座 嚴重破損 、錨頭外 露)	B 級 (不佳): 研判地 錨功能 可能受 損(分離 小於 2mm、受 壓版開 裂或下 方表土 淘空)	C 級 (尚可): 周邊環境 不利於地 錨長期功 能(滲水 、白華或 外觀輕微 破損)	D 級 (正常):無 異狀	總計 ---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
25-1	281k+705~282k+096 (北上側)	0/0	4/4.9	15/18.3	16/19.5	47/57.3	82/100
25-2	282k+500~282k+600 (北上側)	0/0	0/0	0/0	0/0	24/100	24/100
25-4	283k+360~283k+650 (北上側)	0/0	1/0.9	109/94.8	2/1.7	3/2.6	115/100
25-5	284k+520~284k+846 (北上側)	0/0	1/0.6	175/99.4	0/0	0/0	176/100
25-6	284k+875~285k+296 (北上側)	0/0	2/1.7	39/32.5	25/20.8	54/45	120/100
25-7	286k+245~286k+550 (北上側)	0/0	1/0.9	107/99.1	0/0	0/0	108/100
25-9	287k+885~288k+146 (北上側)	0/0	0/0	79/96.3	3/3.7	0/0	82/100
26-1	292k+375~292k+516 (北上側)	0/0	3/6.5	25/54.4	0/0	18/39.1	46/100
26-2	292k+596~292k+806 (北上側)	3/3.3	1/1.1	72/78.2	16/17.4	0/0	92/100
26-4	295k+695~295k+796 (北上側)	0/0	0/0	18/100	0/0	0/0	18/100
27-1	301k+295~301k+500 (北上側)	0/0	0/0	84/96.5	0/0	3/3.5	87/100
27-2	301k+500~301k+715(北 上側)	0/0	1/0.9	4/3.7	33/30.5	70/64.9	108/100
28-1	354k+015~355k+440 (南下側)	4/1.7	2/0.9	69/29	1/0.5	159/67.9	235/100
28-2	354k+815~355k+415 (南下側)	1/0.2	2/0.4	480/96.8	3/0.6	10/2	496/100
28-3	356k+365~356k+470 (南下側)於農路外側	0/0	0/0	23/100	0/0	0/0	23/100
28-4	356k+600~356k+700 (南下側)於農路外側	0/0	0/0	50/100	0/0	0/0	50/100

表 4.70 南工處屏東段地錨錨頭保護座外觀檢視紀錄-綜合評估外觀

工區	里程範圍	X 級 (功能喪失): 錨頭翻轉或掉落或鋼腱斷裂射出	A 級 (極差): 研判地錨功能可能嚴重受損(分離大於 2mm 或保護座嚴重破損、錨頭外露)	B 級 (尚可): 研判地錨功能可受損(分離小於 2mm、受壓版開裂或下方表土淘空)	C 級 (尚可): 周边环境不利於地錨長期功能(滲水、白華或外觀輕微破損)	D 級 (正常): 無異狀	總計 ---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
-	3-N360k+495~360k+775	2/1.3	11/7	28/17.7	2/1.3	115/72.7	158/100
29-1	3-N360k+919~361k+149 (29-1)	2/1.2	20/11.7	50/29.2	2/1.2	97/56.7	171/100
29-2	3-N361k+246~361k+532	1/1.2	3/3.5	12/14.1	1/1.2	68/80	85/100
29-3	3-N361k+699~361k+845	1/2.6	0/0	1/2.6	0/0	37/94.8	39/100
29-5	361k+935~362k+113 (北上側)並包括 362k+113~362k+195 等畸零塊	4/3	8/6	4/3	0/0	118/88	134/100
29-7	3-N362k+935~363k+186	2/1.9	1/1	24/22.5	0/0	80/74.6	107/100
-	3-N364k+135~364k+225	0/0	0/0	11/25.6	2/4.7	30/69.7	43/100
29-8	3-N364k+609~364k+809	0/0	0/0	51/54.3	0/0	43/45.7	94/100
-	3-S370k+133~370k+249	0/0	0/0	0/0	0/0	48/100	48/100
-	國道 3-378k+298 田寮 3 號高架橋 A1 橋台	0/0	0/0	0/0	0/0	12/100	12/100
-	國道 3-378k+899 中寮隧道北口上方岩壁	8/3	32/12	0/0	0/0	226/85	266/100
-	國道 3-N383k+431~383k+713	8/0.8	8/0.8	190/19.3	0/0	778/79.1	984/100
-	國道 3-N12+0.490~12+0.545	4/18.2	7/31.8	11/50	0/0	0/0	22/100
-	國道 3-386k+043 高屏溪河川橋 A1 橋台	0/0	0/0	0/0	0/0	48/100	48/100

確認實際地錨組件銹蝕程度則如表4.71至表4.76所示，地錨保護座外觀與錨頭銹蝕程度有相近的判定等級。為深入了解地錨內部錨碇段和自由段的鋼腱銹蝕狀況，則另行利用內視鏡檢視，表4.77至表4.82顯示鋼腱銹蝕程度分級，分級標準也是分為五級，包括 A 級、B 級、C 級、D 級、X 級，其中只有北工處關西段（表4.78）分為 A 級、B 級、C 級、D 級四級。

表 4.71 北工處木柵段錨頭組件檢視紀錄-錨頭銹蝕程度分級

路段	里程範圍	X 級	A 級	B 級	C 級	D 級	總計
		(功能喪失):組件脫落(夾片脫落,鋼腱內縮或斷裂)。	(極差):錨頭有深層銹蝕,鋼腱或錨頭表面可見局部鐵銹碎片和裂縫,分佈面積大於 50%上,鋼腱橫切面已因銹蝕而變形。	(不佳):嚴重銹蝕或滲水錨頭有深層銹蝕,鋼腱或錨頭表面可見局部鐵銹碎片和裂縫,但分佈面積小於 50%。	(尚可):輕微銹蝕或滲水。錨頭有銹蝕現象,銹蝕深度淺薄,無法量測或小於 0.1mm。	(正常):無銹蝕或無滲水。	---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
北上線	17k+145~17k+385	1/7	3/20	10/67	1/7	0/0	15/100
西向開道	萬芳交流道開道 1	0/0	0/0	5/100	0/0	0/0	5/100
西向環道	萬芳交流道環道 5	1/7	1/7	4/29	8/57	0/0	14/100
北上線	福德隧道北口	2/15	1/8	0/0	10/77	0/0	13/100
南下線/ 北上線	福德隧道南口	2/8	1/4	13/52	6/24	3/12	25/100
南下線	21k+600~21k+700	0/0	1/14	3/43	2/29	1/14	7/100
南下線/ 北上線	木柵隧道北口	0/0	0/0	5/42	7/58	0/0	12/100
北上線	25k+600	0/0	0/0	0/0	3/100	0/0	3/100
北上線	新店隧道北口	2/4	8/16	28/55	13/25	0/0	51/100
南下線/ 北上線	新店隧道南下北口	0/0	1/20	1/20	3/60	0/0	5/100
南下線/ 北上線	南下線 14k+200	0/0	0/0	2/33	4/67	0/0	6/100
南下線/ 北上線	國三甲 1.2k	0/0	0/0	1/25	3/75	0/0	4/100

表 4.72 北工處關西段錨頭組件檢視紀錄-錨頭銹蝕程度分級（4 級）

國道	里程範圍	A 級	B 級	C 級	D 級	總計
		損壞：(不佳)相關組件已分離且嚴重銹蝕。	(不佳)：部分鋼鍵滑脫且明顯生銹。	(尚可)：組件無分離或滑脫、輕微生銹。	正常：完整無銹蝕情形。	---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
3	南下 85k+600~85k+850	2/11.8	7/41.2	6/35.2	2/11.8	17/100
3	北上 44k+100~44k+200	0/0	1/7.2	13/92.8	0/0	14/100
3	南下 94k+550~94k+750	1/5.9	5/29.4	11/64.7	0/0	17/100
3	北上 94k+500~94k+700	1/6.7	3/20	11/73.3	0/0	15/100
3	北上 96k+390~96k+470	0/0	0/0	13/100	0/0	13/100
3	南下 96k+285~96k+480	0/0	2/4.8	40/95.2	0/0	42/100
3	南下 97k+083~97k+183	0/0	0/0	8/100	0/0	8/100
3	南下 97k+358~97k+633	0/0	0/0	14/100	0/0	14/100
1	南下 94k+200~94k+300	0/0	2/25	6/75	0/0	8/100

表 4.73 北工處關西段錨頭組件檢視紀錄-錨頭銹蝕程度分級（5 級）

國道	里程範圍	A 級	B 級	C 級	D 級	X 級	總計
		極差：錨頭有深層銹蝕，鋼鍵或錨頭表面可見局部鐵銹碎片和裂縫，分佈面積大於 50% 以上，鋼鍵橫切面已因銹蝕而變形。	不佳：嚴重銹蝕或滲水錨頭有深層銹蝕，鋼鍵或錨頭表面可見局部鐵銹碎片和裂縫，但分佈面積小於 50%。	尚可：輕微銹蝕或滲水。錨頭有銹蝕現象，銹蝕深度淺薄，無法量測或小於 0.1mm。	正常：無銹蝕或無滲水	功能喪失：組件脫落(夾片脫落，鋼鍵內縮或斷裂)。	---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
3	南下 81k+350~81k+490	0/0	0/0	6/100	0/0	0/0	6/100
3	南下 85k+600~85k+630	0/0	0/0	8/80	0/0	2/20	10/100
3	南下 102k+770~102k+820	0/0	0/0	7/100	0/0	0/0	7/100

表 4.74 中工處（大甲段/苗栗段/南投段）錨頭組件檢視紀錄-錨頭銹蝕程度分級

工區	里程範圍	X 級	A 級	B 級	C 級	D 級	總計
		(功能喪失): 組件脫落 (夾片脫落, 鋼腱 內縮或斷裂)。	(極差): 錨頭有深 層銹蝕, 鋼腱或 錨頭表面可見局 部鐵銹碎片和裂 縫, 分佈表面積 大於 50 % 上, 鋼 腱橫切面已因銹 蝕而變形。	(不佳): 嚴重 銹蝕或滲水錨 頭有深層銹 蝕, 鋼腱或錨 頭表面可見局 部鐵銹碎片和 裂縫, 但分佈 表面積小於 50 %。	(尚可): 鋼 腱成淺褐色, 但表面光滑或 銹蝕面積 介於 10 ~ 50 %。	(正常): 無異狀或 銹蝕面積 未達 10 %。	---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
大甲-1	138k+452~138k+802 (北上側)	0/0	0/0	0/0	0/0	5/100	5/100
大甲-2	142k+602~143k+102 (北上側)	0/0	0/0	0/0	0/0	4/100	4/100
大甲-3	144k+962~145k+352 (北上側)	0/0	2/67	1/33	0/0	0/0	3/100
大甲-4A	148k+702~149 k+200(北上側)	0/0	0/0	9/32	18/64	1/4	28/100
大甲-4B	149k+200~552(北上 側)	0/0	0/0	0/0	1/10	9/90	10/100
大甲-5	150k+102~150k+582 (北上側)	0/0	0/0	0/0	3/27	8/73	11/100
大甲-6	138k+452~138k+802 (南下側)	0/0	0/0	1/5	8/42	10/53	19/100
大甲-7	140k+672~141k+022 (南下側)	0/0	2/33	0/0	4/67	0/0	6/100
大甲-8	142k+602~143k+102 (南下側)	0/0	0/0	0/0	0/0	4/100	4/100
大甲-9	150k+102~153k+202 (南下側)	0/0	1/33	0/0	2/67	0/0	3/100
大甲-10	166k+202~166k+822 (南下側)	0/0	0/0	0/0	0/0	3/100	3/100
苗栗-1	124k+450~124k+800 (北上側)	0/0	0/0	4/16	15/60	6/24	25/100
南投-1	231k+500~231k+700 (南下側)	0/0	0/0	4/19	13/62	4/19	21/100
南投-2	17k+685 (東西向) (國 姓 1 號隧道西洞口)	0/0	0/0	1/6	8/50	7/44	16/100
南投-3	20k+140 (東西向) (國 姓 1 號隧道東洞口)	0/0	0/0	1/14	1/14	5/72	7/100
南投-4	23k+578~23k+733 (西 向)	0/0	0/0	0/0	1/33	2/67	3/100
南投-5	24k+523 (西向)(國姓 2 號隧道西洞口)	0/0	0/0	0/0	1/33	2/67	3/100
南投-6	28k+753 (東西向) (埔 里隧道東洞口)	0/0	0/0	0/0	0/0	4/100	4/100

表 4.75 南工處白河段錨頭組件檢視紀錄-錨頭銹蝕程度分級

工區	里程範圍	X 級	A 級	B 級	C 級	D 級	總計
		(功能喪失): 組件脫落(夾 片脫落, 鋼 腱內縮或 斷裂)。	(極差): 錨頭有深 層銹蝕, 鋼腱或錨 頭表面可見局部鐵 銹碎片和裂縫, 分 佈表面積大於 50% 上, 鋼腱橫切面已 因銹蝕而變形。	(不佳): 嚴重銹 蝕或滲水錨頭有 深層銹蝕, 鋼腱 或錨頭表面可見 局部鐵銹碎片和 裂縫, 但分佈表 面積小於 50%。	(尚可): 鋼 腱成淺褐色, 但表面 光滑或銹蝕 面積介於 10 ~ 50 %。	(正常): 無 異狀或銹蝕 面積未達 10%。	---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
25-1	281k+705~282k+096 (北上側)	0/0	0/0	2/25	6/75	0/0	8/100
25-2	282k+500~282k+600 (北上側)	0/0	0/0	2/67	1/33	0/0	3/100
25-4	283k+360~283k+650 (北上側)	0/0	0/0	2/33	4/67	0/0	6/100
25-5	284k+520~284k+846 (北上側)	0/0	0/0	2/22.2	5/55.6	2/22.2	9/100
25-6	284k+875~285k+296 (北上側)	0/0	0/0	1/14.3	1/14.3	5/71.4	7/100
25-7	286k+245~286k+550 (北上側)	0/0	0/0	0/0	2/22.3	7/77.7	9/100
25-9	287k+885~288k+146 (北上側)	0/0	0/0	0/0	5/62.5	3/37.5	8/100
26-1	292k+375~292k+516 (北上側)	0/0	0/0	0/0	1/20	4/80	5/100
26-2	292k+596~292k+806 (北上側)	2/22.2	0/0	4/44.4	3/33.4	0/0	9/100
26-4	295k+695~295k+796 (北上側)	0/0	0/0	0/0	1/33	2/67	3/100
27-1	301k+295~301k+500 (北上側)	0/0	0/0	1/10	9/90	0/0	10/100
27-2	301k+500~301k+715( 北上側)	0/0	0/0	4/50	4/50	0/0	8/100
28-1	354k+015~355k+440 (南下側)	0/0	0/0	0/0	9/69.2	4/30.8	13/100
28-2	354k+815~355k+415 (南下側)	0/0	0/0	6/22.2	18/66.6	3/11.2	27/100
28-3	356k+365~356k+470 (南下側)於農路外 側	0/0	0/0	1/33	2/67	0/0	3/100
28-4	356k+600~356k+700 (南下側)於農路外 側	0/0	0/0	4/80	1/20	0/0	5/100



表 4.76 南工處屏東段錨頭組件檢視紀錄-錨頭銹蝕程度分級

工區	里程範圍	X 級	A 級	B 級	C 級	D 級	總計
		(功能喪失):組件脫落(夾片脫落,鋼腱內縮或斷裂)。	(極差):錨頭有深層銹蝕,鋼腱或錨頭表面可見局部鐵銹碎片和裂縫,分佈面積大於 50%上,鋼腱橫切面已因銹蝕而變形。	(不佳):嚴重銹蝕或滲水錨頭有深層銹蝕,鋼腱或錨頭表面可見局部鐵銹碎片和裂縫,但分佈面積小於 50%。	(尚可):鋼腱成淺褐色,但表面光滑或銹蝕面積介於 10~50%。	(正常):無異狀或銹蝕面積未達 10%。	---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
-	3-N360k+495~360k+775	1/11	0/0	2/22	0/0	6/67	9/100
29-1	3-N360k+919~361k+149 (29-1)	0/0	0/0	0/0	9/100	0/0	9/100
29-2	3-N361k+246~361k+532	3/37.5	0/0	5/62.5	0/0	0/0	8/100
29-3	3-N361k+699~361k+845	0/0	0/0	1/25	3/75	0/0	4/100
29-5	361k+935~362k+113(北上側)並包括 362 k + 113~362k+195 等時零塊	1/12.5	0/0	5/62.5	2/25	0/0	8/100
29-7	3-N362k+935~363k+186	3/25	0/0	2/16.7	7/58.3	0/0	12/100
-	3-N364k+135~364k+225	0/0	0/0	0/0	4/100	0/0	4/100
29-8	3-N364k+609~364k+809	0/0	1/11.1	2/22.2	6/66.7	0/0	9/100
-	3-S370k+133~370k+249	0/0	1/20	0/0	4/80	0/0	5/100
-	國道 3-378k+298 田寮 3 號高架橋 A1 橋台	0/0	0/0	0/0	3/100	0/0	3/100
-	國道 3-378k+899 中寮隧道北口上方岩壁	5/23.9	2/9.5	7/33.3	7/33.3	0/0	21/100
-	國道 3-N 383k +431 ~383k+713	2/3.8	3/5.7	39/73.6	9/16.9	0/0	53/100
-	國道 3-N 12+ 0.490 ~12+0.545	0/0	0/0	0/0	3/100	0/0	3/100
-	國道 3-386k+043 高屏溪河川橋 A1 橋台	0/0	0/0	0/0	0/0	6/100	6/100

表 4.77 北工處木柵段錨頭組件檢視紀錄-內視鏡（鋼腱銹蝕程度分級）

路段	里程範圍	X 級	A 級	B 級	C 級	D 級	總計
		(功能喪失):鋼 腱斷裂或鋼 絞線散開且 全面銹蝕。	(極差):鋼 腱成深褐色,表面已 有珊瑚狀 或瘤狀突 起或銹蝕 面積達 90%以上。	(不佳):鋼 腱程深褐色,表面略 粗糙,尚無 珊瑚狀或 瘤狀突起 或銹蝕面 積介於 50 %~90%。	(尚可): 鋼腱成淺 褐色,但 表面光滑 或銹蝕面 積介於 10 ~50 %。	(正常):無異 狀或銹蝕 面積未達 10%。	---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
北上線	17k+145~17k+385	0/0	12/80	1/7	1/7	1/7	15/100
西向開道	萬芳交流道開道 1	0/0	1/20	0/0	4/80	0/0	5/100
西向環道	萬芳交流道環道 5	0/0	8/57	2/14	4/29	0/0	14/100
北上線	福德隧道北口	0/0	8/62	3/23	2/15	0/0	13/100
南下線/ 北上線	福德隧道南口	1/4	13/52	6/24	5/20	0/0	25/100
南下線	21k+600~21k+700	0/0	6/86	1/14	0/0	0/0	7/100
南下線/ 北上線	木柵隧道北口	0/0	6/50	2/17	4/33	0/0	12/100
北上線	25k+600	0/0	3/100	0/0	0/0	0/0	3/100
北上線	新店隧道北口	2/4	36/71	7/14	6/12	0/0	51/100
南下線/ 北上線	新店隧道南下北 口	0/0	2/40	1/20	1/20	1/20	5/100
南下線/ 北上線	南下線 14k+200	0/0	5/83	0/0	0/0	1/17	6/100
南下線/ 北上線	國三甲 1.2k	0/0	3/75	1/25	0/0	0/0	4/100

表 4.78 北工處關西段錨頭組件檢視紀錄-內視鏡（鋼鍵銹蝕程度分級-4 級）

路段	里程範圍	A 級	B 級	C 級	D 級	總計
		損壞：鋼鍵已有斷裂情形	(不佳)：嚴重銹蝕	(尚可)輕微與中度銹蝕。	正常：完整無銹蝕情形。	---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
3	南下 85k+600~85k+850	3/50	2/33.3	1/16.7	0/0	6/100
3	北上 44k+100~44k+200	0/0	3/42.9	4/57.1	0/0	7/100
3	南下 94k+550~94k+750	0/0	1/33.3	2/66.7	0/0	3/100
3	北上 94k+500~94k+700	0/0	1/16.7	5/83.3	0/0	6/100
3	北上 96k+390~96k+470	0/0	0/0	8/100	0/0	8/100
3	南下 96k+285~96k+480	1/4.8	3/14.3	17/80.9	0/0	21/100
3	南下 97k+083~97k+183	0/0	0/0	4/100	0/0	4/100
3	南下 97k+358~97k+633	0/0	0/0	6/85.7	1/14.3	7/100
1	南下 94k+200~94k+300	0/0	3/75	1/25	0/0	4/100

表 4.79 北工處關西段錨頭組件檢視紀錄-內視鏡（鋼鍵銹蝕程度分級-5 級）

路段	里程範圍	A 級	B 級	C 級	D 級	X 級	總計
		極差：鋼鍵呈深褐色，表面已有珊瑚狀或瘤狀突起或銹蝕面積達 90% 以上。	不佳：鋼鍵呈深褐色，表面略粗糙，尚無珊瑚狀或瘤狀突起或銹蝕面積介於 50~90%。	尚可：鋼鍵呈淺褐色，但表面光滑或銹蝕面積介於 10~50%。	正常：無異狀或銹蝕面積未達 10%。	功能喪失：鋼鍵斷裂或鋼絞線散開且全面銹蝕。	---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
3	南下 81k+350~81k+490	0/0	0/0	6/100	0/0	0/0	6/100
3	南下 85k+600~85k+630	0/0	0/0	10/100	0/0	0/0	10/100
3	南下 102k + 770 ~ 102k+820	0/0	0/0	7/100	0/0	0/0	7/100

表 4.80 中工處（大甲段/苗栗段/南投段）錨頭組件檢視紀錄-內視鏡（鋼腱銹蝕程度分級）

工區	里程範圍	X 級	A 級	B 級	C 級	D 級	總計
		(功能喪失):鋼腱斷裂或鋼絞線散開且全面銹蝕。	(極差):鋼腱成深褐色,表面已有珊瑚狀或瘤狀突起或銹蝕面積達90%以上。	(不佳):鋼腱程深褐色,表面略粗糙,尚無珊瑚狀或瘤狀突起或銹蝕面積介於50%~90%。	(尚可):鋼腱成淺褐色,但表面光滑或銹蝕面積介於10~50%。	(正常):無異狀或銹蝕面積未達10%。	---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
大甲-1	138k+452~138k+802 (北上側)	0/0	0/0	2/40	3/60	0/0	5/100
大甲-2	142k+602~143k+102 (北上側)	0/0	0/0	0/0	4/100	0/0	4/100
大甲-3	144k+962~145k+352 (北上側)	0/0	0/0	2/67	0/0	1/33	3/100
大甲-4A	148k + 702 ~ 149 k + 200 (北上側)	0/0	15/54	11/39	1/4	1/4	28/100
大甲-4B	149k+200 ~552(北上側)	0/0	0/0	0/0	2/20	8/80	10/100
大甲-5	150k+102~150k+582 (北上側)	0/0	0/0	8/73	3/27	0/0	11/100
大甲-6	138k+452~138k+802 (南下側)	0/0	0/0	11/58	7/37	1/5	19/100
大甲-7	140k+672~141k+022 (南下側)	0/0	1/17	3/50	2/33	0/0	6/100
大甲-8	142k+602~143k+102 (南下側)	0/0	0/0	2/50	2/50	0/0	4/100
大甲-9	150k+102~153k+202 (南下側)	0/0	3/100	0/0	0/0	0/0	3/100
大甲-10	166k+202~166k+822 (南下側)	0/0	0/0	0/0	3/100	0/0	3/100
苗栗-1	124k+450~124k+800 (北上側)	1/4	4/16	12/48	8/32	0/0	25/100
南投-1	231k+500~231k+700 (南下側)	0/0	1/5	13/62	7/33	0/0	21/100
南投-2	17k+685 (東西向)(國姓 1 號隧道西洞口)	0/0	8/50	3/19	5/31	0/0	16/100
南投-3	20k+140 (東西向)(國姓 1 號隧道東洞口)	0/0	0/0	4/57	3/43	0/0	7/100
南投-4	23k+578~23k+733 (西 向)	0/0	0/0	1/33	2/67	0/0	3/100
南投-5	24k+523 (西向)(國姓 2 號隧道西洞口)	0/0	1/33	1/33	0/0	1/33	3/100
南投-6	28k+753 (東西向)(埔里 隧道東洞口)	0/0	1/25	2/50	0/0	1/25	4/100



表 4.81 南工處白河段錨頭組件檢視紀錄-內視鏡（鋼腱銹蝕程度分級）

工區	里程範圍	X 級	A 級	B 級	C 級	D 級	總計
		(功能喪失):鋼腱斷裂或鋼絞線散開且全面銹蝕。	(極差):鋼腱成深褐色,表面已有珊瑚狀或瘤狀突起或銹蝕面積達 90%以上。	(不佳):鋼腱成深褐色,表面略粗糙,尚無珊瑚狀或瘤狀突起或銹蝕面積介於 50%~90%。	(尚可):鋼腱成淺褐色,但表面光滑或銹蝕面積介於 10~50%。	(正常):無異狀或銹蝕面積未達 10%。	---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
25-1	281k+705~282k+096 (北上側)	0/0	0/0	1/50	1/50	0/0	2/100
25-2	282k+500~282k+600 (北上側)	0/0	0/0	2/67	0/0	1/33	3/100
25-4	283k+360~283k+650 (北上側)	0/0	0/0	2/33.3	1/16.7	3/50	6/100
25-5	284k+520~284k+846 (北上側)	0/0	0/0	3/33.3	3/33.3	3/33.3	9/100
25-6	284k+875~285k+296 (北上側)	0/0	0/0	3/42.9	4/57.1	0/0	7/100
25-7	286k+245~286k+550 (北上側)	0/0	0/0	0/0	4/44.5	5/55.5	9/100
25-9	287k+885~288k+146 (北上側)	0/0	0/0	0/0	4/50	4/50	8/100
26-1	292k+375~292k+516 (北上側)	0/0	0/0	1/20	2/40	2/40	5/100
26-2	292k+596~292k+806 (北上側)	0/0	0/0	5/71.5	2/28.5	0/0	7/100
26-4	295k+695~295k+796 (北上側)	0/0	0/0	0/0	2/67	1/33	3/100
27-1	301k+295~301k+500 (北上側)	0/0	0/0	8/80	2/20	0/0	10/100
27-2	301k+500~301k+715 (北上側)	0/0	0/0	1/20	3/60	1/20	5/100
28-1	354k+015~355k+440 (南下側)	0/0	0/0	9/69.2	4/30.8	0/0	13/100
28-2	354k+815~355k+415 (南下側)	0/0	6/22.2	18/66.6	3/11.2	0/0	27/100
28-3	356k+365~356k+470 (南下側)於農路外側	0/0	0/0	3/100	0/0	0/0	3/100
28-4	356k+600~356k+700 (南下側)於農路外側	0/0	1/20	3/60	1/20	0/0	5/100

表 4.82 南工處屏東段錨頭組件檢視紀錄-內視鏡（鋼腱銹蝕程度分級）

工區	里程範圍	X 級	A 級	B 級	C 級	D 級	總計
		(功能喪失): 鋼腱斷裂或 鋼絞線散開 且全面銹蝕。	(極差): 鋼 腱成深褐色, 表面已有珊瑚 狀或瘤狀突起 或銹蝕面積 達 90% 以上。	(不佳): 鋼 腱成深褐色, 表面略粗糙, 尚無珊瑚狀或 瘤狀突起或銹 蝕面積介於 50 %~90%。	(尚可): 鋼 腱成淺褐色, 表面光滑或銹 蝕面積介於 10 ~50%。	(正常): 無異 狀或銹蝕面積 未達 10%。	---
		支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%	支數/%
-	3-N360k+495~360k+775	0/0	0/0	7/87	1/13	0/0	8/100
29-1	3-N360k+919~361k+149(29-1)	0/0	0/0	6/67	3/33	0/0	3/100
29-2	3-N361k+246~361k+532	0/0	0/0	3/50	2/33.4	1/16.6	6/100
29-3	3-N361k+699~361k+845	0/0	0/0	1/25	1/25	2/50	4/100
29-5	361k+935~362k+113(北上側) 並包括 362 k + 113 ~ 362 k +195 等畸零塊	0/0	0/0	5/62.5	2/25	1/12.5	8/100
29-7	3-N362k+935~363k+186	1/9.1	0/0	3/27.3	7/63.6	0/0	11/100
-	3-N364k+135~364k+225	0/0	0/0	3/75	1/25	0/0	4/100
29-8	3-N364k+609~364k+809	0/0	0/0	1/11.1	3/33.3	5/55.6	9/100
-	3-S370k+133~370k+249	0/0	0/0	3/60	2/40	0/0	5/100
-	國道 3-378k+298 田寮 3 號高架 橋 A1 橋台	0/0	0/0	0/0	2/67	1/33	3/100
-	國道 3-378k+899 中寮隧道北 口上方岩壁	0/0	1/5.8	6/35.4	8/47	2/11.8	17/100
-	國道 3-N383k+431~383k+713	0/0	0/0	35/67	14/27	3/6	52/100
-	國道 3-N12+0.490~12+0.545	0/0	0/0	3/100	0/0	0/0	3/100
-	國道 3-386k+043 高屏溪河川 橋 A1 橋台	0/0	0/0	0/0	0/0	6/100	6/100

表4.83至4.87為地錨殘餘荷重經由揚起試驗測定之結果，表中詳細羅列邊坡里程範圍、完工日期、揚起試驗執行日期、原始設計荷重、殘餘荷重、殘餘荷重與設計荷重比(ratio)、揚起試驗檢視數量與百分比、採用之的錨數量、以及地錨剔除比例等。



表 4.83 北工處木柵段 12 處邊坡地錨之揚起試驗紀錄及計算分析結果

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	試驗日期 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨別 除比例 (%)
17k+145~17k+385 (北上線)	1N1-1-8	85.07.01	100.05.26	14.903	60	71	1.18					
	1N1-2-7	85.07.01	100.05.26	14.903	60	71	1.18					
	1N1-2-13	85.07.01	100.05.26	14.903	60	73	1.22					
	1N1-2-15	85.07.01	100.05.26	14.903	60	53	0.88					
	1N1-2-3	85.07.01	100.05.26	14.903	60	58	0.97					
	1N2-1-10	85.07.01	100.05.25	14.900	60	43	0.72					
	1N2-2-17	85.07.01	100.05.25	14.900	60	48	0.80					
	1N2-2-33	85.07.01	100.05.26	14.903	30	37	1.23	298	15	5.0	9	40.0
	1N3-1-4	85.07.01	100.05.24	14.897	60	61	1.02					
	1N3-2-11	85.07.01	100.05.24	14.897	60	53	0.88					
	1N2-1-25	85.07.01	100.05.29	14.911	30	36	1.20					
	1N2-2-42	85.07.01	100.05.29	14.911	30	27	0.90					
	1N5-1-13	85.07.01	100.05.29	14.911	60	52	0.87					
	1N4-2-2	85.07.01	100.05.29	14.911	60	42	0.70					
	1N4-1-8	85.07.01	100.05.29	14.911	60	56	0.93					
	1C1-1-5	85.01.18	100.04.28	15.278	30	9	0.30					
	1C1-1-8	85.01.18	100.04.28	15.278	30	31	1.03					
萬芳交流道匝道 1 (西向匝道)	1C1-2-3	85.01.18	100.04.28	15.278	30	32	1.07	43	5	11.6	1	80.0*
	1C1-4-5	85.01.18	100.04.28	15.278	30	33	1.10					
萬芳交流道環道 5 (西向環道)	1C2-1-6	85.01.18	100.04.28	15.278	30	32	1.07					
	2C1-1-12	85.01.18	100.04.26	15.272	60	11	0.18					
	2C1-1-23	85.01.18	100.04.26	15.272	60	66	1.10					
	2C1-2-18	85.01.18	100.04.26	15.272	60	9	0.15					
	2C2-1-4	85.01.18	100.04.26	15.272	60	66	1.10					
	2C2-1-17	85.01.18	100.04.26	15.272	60	67	1.12					
	2C2-2-11	85.01.18	100.04.27	15.275	60	67	1.12					
	2C3-2-3	85.01.18	100.04.26	15.272	60	62	1.03					
	2C4-1-7	85.01.18	100.04.27	15.275	60	67	1.12	166	14	8.4	2	85.7*
	2C4-1-16	85.01.18	100.04.27	15.275	60	67	1.12					
	2C4-2-3	85.01.18	100.04.27	15.275	60	60	1.00					
	2C4-2-13	85.01.18	100.04.27	15.275	60	63	1.05					
	2C5-1-3	85.01.18	100.04.27	15.275	60	66	1.10					
	2C5-1-14	85.01.18	100.04.28	15.278	60	66	1.10					
	2C5-2-7	85.01.18	100.04.28	15.278	60	66	1.10					
	1T1-1-4	84.02.04	100.05.23	16.303	60	53	0.88					
福德隧道北口 (北上線)	1T1-1-19	84.02.04	100.05.23	16.303	60	50	0.83					
	1T1-2-8	84.02.04	100.05.23	16.303	60	52	0.87					
	1T2-1-9	84.02.04	100.05.23	16.303	60	19	0.32	255	13	5.1	11	15.4
	1T2-2-4	84.02.04	100.05.23	16.303	60	24	0.40					
	1T3-2-2	84.02.04	100.05.22	16.300	60	70	1.17					
	1T3-1-37	84.02.04	100.05.13	16.297	60	64	1.07					

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	試驗日期 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨別 除比例 (%)
福德隧道南口 (南下線,北上線)	1T4-1-8	84.02.04	100.05.21	16.297	60	39	0.65					
	1T4-1-16	84.02.04	100.05.21	16.297	60	36	0.60					
	1T4-1-23	84.02.04	100.05.21	16.297	60	39	0.65					
	1T4-2-6	84.02.04	100.05.21	16.297	60	47	0.78					
	1T5-1-6	84.02.04	100.05.21	16.297	60	45	0.75					
	1T5-1-14	84.02.04	100.05.22	16.300	60	44	0.73					
	2T1-1-2	84.02.04	100.04.21	16.214	30	18	0.60	400	25	6.3	25	0.0
	2T1-2-5	84.02.04	100.04.21	16.214	30	24	0.80					
	3T1-1-5	84.02.04	100.04.19	16.208	30	6	0.20					
	3T1-2-8	84.02.04	100.04.21	16.214	30	14	0.47					
	3T2-1-2	84.02.04	100.04.21	16.214	30	26	0.87					
	4T1-1-5	84.02.04	100.04.22	16.217	30	10	0.33					
	4T1-1-27	84.02.04	100.04.25	16.225	30	21	0.70					
	4T1-2-19	84.02.04	100.04.24	16.222	60	48	0.80					
	4T1-2-34	84.02.04	100.04.25	16.225	60	42	0.70					
	4T1-3-6	84.02.04	100.04.22	16.217	30	7	0.23					
	4T1-3-37	84.02.04	100.04.25	16.225	30	13	0.43					
	4T2-1-3	84.02.04	100.04.21	16.214	30	24	0.80					
	4T2-1-17	84.02.04	100.04.23	16.219	30	16	0.53					
	4T2-2-7	84.02.04	100.04.19	16.208	30	25	0.83					
	4T2-2-27	84.02.04	100.04.23	16.219	30	17	0.57					
21k+600~21k+700 (南下線)	4T2-3-13	84.02.04	100.04.22	16.217	30	12	0.40					
	4T2-3-32	84.02.04	100.04.23	16.219	30	25	0.83					
	4T3-1-4	84.02.04	100.04.23	16.219	30	20	0.67					
	4T3-2-8	84.02.04	100.04.23	16.219	30	19	0.63					
	9T1-1-3	84.02.04	100.04.24	16.222	60	42	0.70					
	9T1-3-8	84.02.04	100.04.24	16.222	30	14	0.47					
	9T2-1-4	84.02.04	100.04.24	16.222	60	47	0.78					
	9T3-1-3	84.02.04	100.04.24	16.222	30	29	0.97					
	9T3-2-8	84.02.04	100.04.24	16.222	30	24	0.80					
	9T3-3-12	84.02.04	100.04.24	16.222	30	21	0.70					
木柵隧道北口 (南下線,北上線)	7N1-1-7	85.07.01	100.05.05	14.844	60	71	1.18	68	7	10.3	1	85.7*
	7N1-2-3	85.07.01	100.05.05	14.844	60	72	1.20					
	7N1-3-3	85.07.01	100.05.05	14.844	60	57	0.95					
	7N1-4-11	85.07.01	100.05.03	14.839	60	66	1.10					
	7N2-1-3	85.07.01	100.05.03	14.839	60	66	1.10					
	7N2-2-7	85.07.01	100.05.03	14.839	60	66	1.10					
	8N1-1-3	85.07.01	100.05.05	14.844	30	36	1.20					
	3N1-1-2	85.11.30	100.05.02	14.422	60	65	1.08	224	12	5.4	9	25.0
	3N2-1-3	85.11.30	100.05.02	14.422	60	66	1.10					
	4N1-1-3	85.11.30	100.05.02	14.422	60	49	0.82					

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	試驗日期 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨別 除比例 (%)
25k+600 (北上線)	4N1-1-9	85.11.30	100.05.02	14.422	60	53	0.88					
	4N1-2-5	85.11.30	100.05.02	14.422	60	51	0.85					
	4N2-1-8	85.11.30	100.05.01	14.419	30	17	0.57					
	4N2-2-3	85.11.30	100.05.01	14.419	30	25	0.83					
	4N2-2-12	85.11.30	100.05.01	14.419	30	9	0.30					
	4N2-4-4	85.11.30	100.05.01	14.419	60	65	1.08					
	5N1-2-5	85.11.30	100.05.01	14.419	60	52	0.87					
	5N1-3-7	85.11.30	100.05.01	14.419	60	20	0.33					
	5N1-5-2	85.11.30	100.05.01	14.419	60	32	0.53					
	3N1-1-7	85.11.30	100.05.11	14.447	60	73	1.22	23	3	13.0	1	66.7*
新店隧道北口 (北上線)	3N1-2-5	85.11.30	100.05.11	14.447	60	72	1.20					
	3N1-3-2	85.11.30	100.05.11	14.447	60	38	0.63					
	6T1-1-5	86.07.08	100.06.02	13.900	60	44	0.73					
	6T1-2-3	86.07.08	100.06.02	13.900	60	72	1.20					
	6T2-1-1	86.07.08	100.06.02	13.900	60	0	0.00					
	5T2-1-3	86.07.08	100.06.03	13.903	60	40	0.67					
	5T2-2-7	86.07.08	100.06.03	13.903	60	67	1.12					
	5T2-1-11	86.07.08	100.06.03	13.903	60	72	1.20					
	6T3-1-3	86.07.08	100.06.03	13.903	60	71	1.18					
	6T3-2-7	86.07.08	100.06.03	13.903	60	55	0.92					
	6T2-2-9	86.07.08	100.06.03	13.903	60	47	0.78					
	6T3-1-14	86.07.08	100.06.03	13.903	60	0	0.00					
	6T4-2-8	86.07.08	100.06.04	13.906	60	59	0.98					
	6T4-1-3	86.07.08	100.06.04	13.906	60	65	1.08					
	5T3-1-13	86.07.08	100.06.04	13.906	60	72	1.20					
	5T3-2-8	86.07.08	100.06.04	13.906	60	59	0.98					
	5T3-1-3	86.07.08	100.06.04	13.906	60	43	0.72					
	5T4-1-3	86.07.08	100.06.05	13.908	60	41	0.68					
	5T4-2-7	86.07.08	100.06.05	13.908	60	64	1.07					
	6T5-1-5	86.07.08	100.06.05	13.908	60	69	1.15					
	6T4-3-6	86.07.08	100.06.05	13.908	60	52	0.87					
	6T5-2-12	86.07.08	100.06.05	13.908	60	36	0.60					
	6T6-2-15	86.07.08	100.06.05	13.908	60	36	0.60					
	6T7-3-10	86.07.08	100.06.05	13.908	30	28	0.93					
	6T6-4-19	86.07.08	100.06.05	13.908	30	10	0.33					
	6T7-4-1	86.07.08	100.06.08	13.917	30	6	0.20					
	6T7-2-3	86.07.08	100.06.08	13.917	30	20	0.67					
	6T6-3-14	86.07.08	100.06.08	13.917	60	35	0.58					
	6T6-3-11	86.07.08	100.06.08	13.917	60	34	0.57					
	6T8-1-3	86.07.08	100.06.09	13.919	60	18	0.30					
	6T6-3-4	86.07.08	100.06.09	13.919	60	46	0.77	758	51	6.7	34	33.3

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	試驗日期 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨別 除比例 (%)
新店隧道南下北口 (南下線.北上線)	6T6-1-4	86.07.08	100.06.09	13.919	60	52	0.87					
	6T6-2-7	86.07.08	100.06.09	13.919	60	29	0.48					
	6T5-4-9	86.07.08	100.06.09	13.919	60	35	0.58					
	6T6-2-1	86.07.08	100.06.09	13.919	60	63	1.05					
	6T5-3-2	86.07.08	100.06.10	13.922	60	60	1.00					
	5T6-2-7	86.07.08	100.06.10	13.922	60	7	0.12					
	5T6-1-3	86.07.08	100.06.10	13.922	60	48	0.80					
	7T4-1-4	86.07.08	100.06.10	13.922	60	55	0.92					
	7T3-3-16	86.07.08	100.06.10	13.922	60	57	0.95					
	7T6-1-3	86.07.08	100.06.10	13.922	60	10	0.17					
	7T5-1-3	86.07.08	100.06.12	13.928	60	71	1.18					
	7T5-2-7	86.07.08	100.06.12	13.928	60	63	1.05					
	7T4-3-17	86.07.08	100.06.12	13.928	60	53	0.88					
	7T4-2-18	86.07.08	100.06.12	13.928	60	72	1.20					
	7T3-2-26	86.07.08	100.06.12	13.928	60	23	0.38					
	7T3-1-21	86.07.08	100.06.13	13.931	60	2	0.03					
	7T2-3-9	86.07.08	100.06.13	13.931	60	44	0.73					
	7T3-1-5	86.07.08	100.06.13	13.931	60	67	1.12					
	7T2-2-13	86.07.08	100.06.13	13.931	60	23	0.38					
	7T2-1-4	86.07.08	100.06.13	13.931	60	43	0.72					
南下線 14k+200(南 下線.北上線)	7T1-2-11	86.07.08	100.06.13	13.931	60	72	1.20					
	7T1-1-4	86.07.08	100.06.13	13.931	60	72	1.20					
	8T1-1-2	86.07.08	100.05.30	13.894	60	30	0.50					
	8T2-1-1	86.07.08	100.05.30	13.894	30	30	1.00	47	5	10.6	3	40.0
	8T2-2-5	86.07.08	100.05.30	13.894	30	28	0.93					
國三甲 1.2k(南下 線.北上線)	8T3-1-4	86.07.08	100.05.30	13.894	60	66	1.10					
	8T4-1-5	86.07.08	100.06.02	13.900	60	72	1.20					
	2S1-1-3	86.10.24	100.05.27	13.592	30	7	0.23					
	2S1-1-14	86.10.24	100.05.27	13.592	30	16	0.53					
	2S1-2-10	86.10.24	100.05.27	13.592	30	16	0.53	65	5	7.7	4	20.0
國三甲 1.2k(南下 線.北上線)	2S1-3-7	86.10.24	100.05.27	13.592	30	22	0.73					
	2S1-4-7	86.10.24	100.05.27	13.592	30	31	1.03					
	1E1-1-2	85.07.01	100.05.28	14.908	30	35	1.17					
	1E1-2-3	85.07.01	100.05.29	14.908	30	26	0.87					
國三甲 1.2k(南下 線.北上線)	1E1-2-7	85.07.01	100.05.30	14.908	30	27	0.90					
	1E1-4-5	85.07.01	100.05.31	14.908	30	26	0.87	35	4	11.4	3	25.0

註：日期年份為民國；經過時間為該次地錨完工時間至揚起試驗時間計算得出；  
地錨篩選準則：  
1. 剔除 R=0 且(a)屬於分級 X 或(b)銹蝕斷裂或(c)錨碇段拉脫的資料點；  
2. 剔除無法計算 R 值的資料點(如錨頭脫落或鋼鍵斷裂)；

表 4.84 北工處關西段 12 處邊坡地錨之揚起試驗紀錄及計算分析結果

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	邊坡檢視日 期(y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨剔 除比例 (%)
國道 3 號南下 81k+350-81k+490	A5	82.12.03	100.09.29	17.822	40	34	0.85	105	6	5.7	4	33.3
	A18	82.12.03	100.09.29	17.822	40	35	0.88					
	A33	82.12.03	100.09.29	17.822	40	37	0.93					
	B3	82.12.03	100.09.29	17.822	40	--	--					
	B25	82.12.03	100.09.29	17.822	40	37	0.93					
國道 3 號南下 85k+600-85k+630	C12	82.12.03	100.09.29	17.822	40	41	1.03	59	6	10.2	3	50.0
	1-A4	84.05.23	100.10.04	16.364	30	16	0.53					
	2-A5	84.05.23	100.10.04	16.364	30	--	--					
	2-A7	84.05.23	100.10.04	16.364	30	--	--					
	2-B8	84.05.23	100.10.04	16.364	30	25	0.83					
國道 3 號南下 85k+600-85k+850	1-C7	84.05.23	100.10.04	16.364	30	17	0.57	17	7	41.2	5	28.6
	1-D4	84.05.23	100.10.04	16.364	30	--	--					
	1-A4	84.05.23	99.12.07	15.539	80	20.5	0.26					
	1-A-17	84.05.23	99.12.07	15.539	80	60	0.75					
	1-A-20	84.05.23	99.12.07	15.539	80	30	0.38					
國道 3 號北上 44k+100-44k+200	1-A-25	84.05.23	99.12.06	15.539	80	0	0.00	80	6	7.5	6	0.0
	1-A-43	84.05.23	99.12.06	15.539	80	20.5	0.26					
	3-A-10	84.05.23	99.12.06	15.539	80	---	--					
	2-B-6	84.05.23	99.12.06	15.539	80	10	0.13					
	B-25	84.09.23	99.12.01	15.189	62.5	9.2	0.15					
國道 3 號南下 94k+550-94k+750	A-22	84.09.23	99.12.01	15.189	62.5	35	0.56	93	7	7.5	7	0.0
	A-17	84.09.23	99.12.01	15.189	62.5	59.9	0.96					
	A-4	84.09.23	99.12.01	15.189	62.5	62.5	1.00					
	B-8	84.09.23	99.12.01	15.189	62.5	20	0.32					
	C-17	84.09.23	99.12.01	15.189	62.5	45.1	0.72					
國道 3 號北上 94k+500-94k+700	B-7	84.09.23	99.12.01	15.189	90	52.7	0.59	85	6	7.1	6	0.0
	C-13	84.09.23	99.12.01	15.189	90	50	0.56					
	B-15	84.09.23	99.12.01	15.189	90	26.4	0.29					
	A-17	84.09.23	99.12.01	15.189	90	4.3	0.05					
	A-39	84.09.23	99.12.01	15.189	90	70.1	0.78					
國道 3 號北上 96k+390-96k+470	A-52	84.09.23	99.12.01	15.189	90	65.2	0.72	71	5	7.0	5	0.0
	A-13	84.09.23	99.12.01	15.189	90	49.9	0.55					
	F-39	83.08.14	99.11.29	16.292	80	45	0.56					
	D-32	83.08.14	99.11.29	16.292	80	60	0.75					
	E-22	83.08.14	99.11.29	16.292	90	90	1.00					

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	邊坡檢視日 期(y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨剔 除比例 (%)
國道 3 號南下 96k+285~96k+480	1-B-2	84.09.06	99.11.17	15.197	90	50	0.56					
	1-B-6	84.09.06	99.11.17	15.197	125	69.8	0.56					
	2B-D-23	84.06.07	99.12.15	15.522	90	20.7	0.23					
	2B-B-20	84.06.07	99.12.15	15.522	90	65	0.72					
	2B-B-14	84.06.07	99.12.15	15.522	90	65	0.72					
	2B-B-9	84.06.07	99.12.15	15.522	90	35.1	0.39					
	2B-D-4	84.06.07	99.12.15	15.522	90	70	0.78					
	2A-B-18	84.06.07	99.12.15	15.522	90	75	0.83					
	2A-A-9	84.06.07	99.12.15	15.522	90	87.8	0.98					
	2A-B-8	84.06.07	99.12.15	15.522	90	29.8	0.33					
	2A-C-5	84.06.07	99.12.15	15.522	90	80	0.89					
	1A-B-6	84.06.07	99.12.15	15.522	90	25	0.28					
	1A-A-14	84.06.07	99.12.15	15.522	90	45	0.50					
	1A-B-20	84.06.07	99.12.15	15.522	90	45	0.50					
	1A-A-23	84.06.07	99.12.15	15.522	90	60	0.67					
	1A-B-37	84.06.07	99.12.15	15.522	90	65	0.72					
	1B-A-2	84.06.07	99.12.15	15.522	90	100.8	1.12					
	1B-C-4	84.06.07	99.12.15	15.522	90	32.5	0.36					
	1B-B-21	84.06.07	99.12.15	15.522	90	50	0.56					
	1B-A-24	84.06.07	99.12.15	15.522	90	90	1.00					
國道 3 號南下 97k+083~97k+183	1B-A-11	84.06.07	99.12.15	15.522	90	90	1.00					
	1B-C-19	84.06.07	99.12.15	15.522	90	70	0.78					
	1B-D-14	84.06.07	99.12.15	15.522	90	90	1.00					
	A-2	84.06.07	99.12.17	15.528	90	74.8	0.83					
	B-9	84.06.07	99.12.17	15.528	90	70.2	0.78					
國道 3 號南下 97k+358~97k+633	A-11	84.06.07	99.12.17	15.528	90	75.3	0.84	38	4	10.5	4	0.0
	B-15	84.06.07	99.12.17	15.528	90	85.1	0.95					
	D-15	84.08.26	99.11.24	15.244	90	79.8	0.89					
	B-14	84.08.26	99.11.24	15.244	90	80.1	0.89					
	A-6	84.08.26	99.11.24	15.244	90	74.8	0.83					
	B-41	84.08.26	99.11.24	15.244	90	100	1.11					
	C-37	84.08.26	99.11.24	15.244	90	100	1.11					
	B-25	84.08.26	99.11.24	15.244	90	100	1.11					
	C-19	84.08.26	99.11.24	15.244	90	50	0.56					
國 1 南下 94k+200~94k+300	A-6	92.12.01	100.01.26	7.153	60	54.9	0.92					
	A-9	92.12.01	100.01.26	7.153	60	60	1.00					
	B-10	92.12.01	100.01.26	7.153	60	60	1.00	34	4	11.8	4	0.0
	B-18	92.12.01	100.01.26	7.153	60	60	1.00					
國道 3 號南下 102k+770~102k+820	A3	84.10.14	100.10.12	15.994	60	71	1.18					
	A7	84.10.14	100.10.12	15.994	60	49	0.82					
	A9	84.10.14	100.10.12	15.994	60	72	1.20	43	7	16.3	2	71.4*



里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	邊坡檢視日 期(y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨剔 除比例 (%)
	B5	84.10.14	100.10.12	15.994	60	59	0.98					
	B14	84.10.14	100.10.12	15.994	60	68	1.13					
	C6	84.10.14	100.10.12	15.994	60	70	1.17					
	C8	84.10.14	100.10.12	15.994	60	61	1.02					
註: 日期年份為民國; 經過時間為該次地錨完工時間至邊坡檢視時間計算得出; 地錨篩選標準則: 1. 剔除 R=0 且 (a) 屬於分級 X 或 (b) 銹蝕斷裂或 (c) 錨碇段拉脫的資料點; 2. 剔除無法計算 R 值的資料點 (如錨頭脫落或鋼鍵斷裂); 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 (即*表示該邊坡所有揚起試驗資料點全部剔除)。												

表 4.85 中工處（大甲段/苗栗段/南投段）17 處邊坡地錨之揚起試驗紀錄及計算分析結果

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	試驗日期 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨剔 除比例 (%)
138k+452~138k +802 (北上側)	PL-1-3(橋台)	92.08.27	100.03.19	7.561	65	72.4	1.11	63	5	7.9	2	60.0*
	CB-1-5	92.08.27	100.03.19	7.561	45	53.2	1.18					
	CB-1-24	92.08.27	100.03.19	7.561	45	29.1	0.65					
	PL-2-4	92.08.27	100.03.19	7.561	65	0	0.00					
	PL-1-8	92.08.27	100.03.19	7.561	65	41.9	0.64					
142k+602~143k +102 (北上側)	PL-4-2	92.08.27	100.03.30	7.592	65	34	0.52	40	4	10.0	1	75.0*
	PL-1-5	92.08.27	100.03.30	7.592	65	69	1.06					
	PL-2-6	92.08.27	100.03.30	7.592	65	69.7	1.07					
	PL-3-10	92.08.27	100.04.07	7.611	65	71.7	1.10					
	CB-1-9a	92.08.27	100.03.16	7.553	45	41	0.91					
144k+962~145k +352 (北上側)	CB-1-18	92.08.27	100.03.16	7.553	45	44	0.98	25	3	12.0	3	0.0
	CB-1-23	92.08.27	100.03.16	7.553	45	36.2	0.80					
	CB-1-13	91.10.18	99.11.20	8.089	45	41	0.91					
	CB-1-33	91.10.18	99.11.20	8.089	45	37.1	0.82					
	CB-1-44	91.10.18	99.11.22	8.094	45	32.7	0.73					
148k+702~149 k+200 (北上側)	CB-1-51	91.10.18	99.11.21	8.092	45	35.6	0.79	622	37	5.95	35	5.6
	CB-1-55	91.10.18	99.11.20	8.089	45	0	0.00					
	CB-1-59	91.10.18	99.11.22	8.094	45	38.1	0.85					
	CB-2-14	91.10.18	99.11.20	8.089	45	31.1	0.69					
	CB-2-48	91.10.18	99.11.21	8.092	45	23.2	0.52					
	CB-2-56	91.10.18	99.11.20	8.089	45	29.3	0.65					
	PL-1-33	91.10.18	99.11.22	8.094	45	16.6	0.37					
	PL-1-71	91.10.18	99.11.23	8.097	45	36.8	0.82					
	PL-1-85	91.10.18	99.11.23	8.097	45	31.9	0.71					
	PL-1-100	91.10.18	99.11.23	8.097	45	35.5	0.79					
	PL-2-39	91.10.18	99.11.22	8.094	45	37.8	0.84					
	PL-2-55	91.10.18	99.11.22	8.094	45	40	0.89					
	PL-2-75	91.10.18	99.11.23	8.097	45	25.5	0.57					
	PL-2-95	91.10.18	99.11.23	8.097	45	0	0.00					
	PL-3-24	91.10.18	99.11.21	8.092	65	25.2	0.39					
	PL-3-33	91.10.18	99.11.22	8.094	65	16.6	0.26					
149k+200~552	PL-3-45	91.10.18	99.11.22	8.094	65	34.7	0.53					
	PL-3-67	91.10.18	99.11.23	8.097	65	0	0.00					
	PL-3-79	91.10.18	99.11.23	8.097	65	0	0.00					
	PL-3-89	91.10.18	99.11.23	8.097	65	32.5	0.50					
	PL-3-105	91.10.18	99.11.23	8.097	65	34.2	0.53					
	PR-1-3	91.10.18	99.11.23	8.097	45	16	0.36					
	PR-1-10	91.10.18	99.11.23	8.097	45	13.2	0.29					
	PR-1-19	91.10.18	99.11.21	8.092	45	41.8	0.93					
	PR-1-26	91.10.18	99.11.21	8.092	45	21.8	0.48					
	PR-1-15	91.10.18	99.11.24	8.100	45	33.9	0.75					

國道邊坡全生命週期維護管理技術研究暨系統擴增開發  
成果報告

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	試驗日期 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨剔 除比例 (%)
(北上側)	PR-1-21	91.10.18	99.12.17	8.164	45	44.1	0.98					
	PR-1-51	91.10.18	99.11.24	8.100	45	41.8	0.93					
	PR-2-45	91.10.18	99.12.17	8.164	45	44	0.98					
	PR-2-59	91.10.18	99.11.24	8.100	45	22.8	0.51					
	PR-2-69	91.10.18	99.11.24	8.100	45	36	0.80					
	PR-3-11	91.10.18	99.12.17	8.164	45	33.9	0.75					
	PR-3-36	91.10.18	99.11.25	8.103	45	17	0.38					
	PR-4-65	91.10.18	99.11.25	8.103	45	28.5	0.63					
150k+102~150k +582 (北上側)	PR-1-7	91.10.18	99.12.16	8.161	45	31	0.69					
	PR-1-9	91.10.18	99.11.19	8.086	45	8.4	0.19					
	PR-1-26	91.10.18	99.11.20	8.089	45	57.1	1.27					
	PR-1-29	91.10.18	99.12.16	8.161	45	50.7	1.13					
	PR-1-37	91.10.18	99.11.18	8.083	45	23.5	0.52					
	PR-1-82	91.10.18	99.11.19	8.086	22.5	12.5	0.56	156	9	5.8	7	22.2
	RC-1-1	91.10.18	99.11.18	8.083	45	30.3	0.67					
	RC-2-5	91.10.18	99.11.18	8.083	45	43.5	0.97					
138k+452~138k +802 (南下側)	RC-3-3	91.10.18	99.11.18	8.083	45	33.2	0.74					
	PL-1-1(橋台)	92.08.27	100.03.24	7.575	65	72.1	1.11					
	PL-1-3(橋台)	92.08.27	100.03.23	7.572	65	72.4	1.11					
	CB-1-7	92.08.27	100.03.23	7.572	45	47.2	1.05					
	CB-1-15	92.08.27	100.03.23	7.572	45	39.8	0.88					
	CB-1-25	92.08.27	100.03.23	7.572	45	45	1.00					
	CB-1-40	92.08.27	100.03.22	7.569	45	51.2	1.14					
	CB-1-53	92.08.27	100.03.22	7.569	45	38	0.84					
	CB-1-63	92.08.27	100.03.22	7.569	45	43.2	0.96					
	CB-1-78	92.08.27	100.03.22	7.569	45	49.1	1.09	229	17	7.4	10	41.2
	PL-2-3(B)	92.08.27	100.03.23	7.572	65	51.9	0.80					
	PL-1-8(B)	92.08.27	100.03.23	7.572	65	55	0.85					
	PL-2-6(A)	92.08.27	100.03.24	7.575	65	60.1	0.92					
	PL-1-14(A)	92.08.27	100.03.24	7.575	65	59	0.91					
	PL-2-24(A)	92.08.27	100.03.24	7.575	65	71	1.09					
	PL-1-35(A)	92.08.27	100.03.24	7.575	65	67.5	1.04					
140k+672~141k +022 (南下側)	PL-2-46(A)	92.08.27	100.03.24	7.575	65	62.1	0.96					
	PL-2-55(A)	92.08.27	100.03.24	7.575	65	63.1	0.97					
	PL-2-5	92.08.27	100.03.18	7.558	65	35.8	0.55					
	PL-1-9	92.08.27	100.03.18	7.558	65	50.8	0.78	55	5	9.1	2	60.0*
142k+602~143k	CB-1-7	92.08.27	100.03.18	7.558	45	60.9	1.35					
	CB-1-19	92.08.27	100.03.18	7.558	45	57.9	1.29					
	CB-1-26	92.08.27	100.03.18	7.558	45	60.2	1.34					
	PL-4-2	92.08.27	100.03.29	7.589	65	60.9	0.94	32	4	12.5	2	50.0

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	試驗日期 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨剔 除比例 (%)
+102 (南下側)	PL-2-5	92.08.27	100.03.29	7.589	65	64.1	0.99				
	PL-1-7	92.08.27	100.03.29	7.589	65	73	1.12				
	PL-3-9	92.08.27	100.03.29	7.589	65	68	1.05				
150k+102~153k +202 (南下側)	PL-1-2	91.10.18	100.03.17	8.414	65	22.2	0.34	24	12.5	3	0.0
	PL-3-5	91.10.18	100.03.17	8.414	65	48.2	0.74				
	PL-2-7	91.10.18	100.03.17	8.414	65	57.5	0.88				
166k+202~166k +822 (南下側)	PL-1-3	91.04.22	100.03.25	8.925	65	57	0.88	16	18.8	3	0.0
	PL-2-6	91.04.22	100.03.25	8.925	65	59	0.91				
	PL-2-8	91.04.22	100.03.25	8.925	65	50	0.77				
124k+450~124k +800 (北上側)	RC-1-18(A)	76.08.15	100.04.14	23.664	35	10	0.29	488	5.1	16	36.0
	RC-1-33(A)	76.08.15	100.04.14	23.664	35	42.9	1.23				
	RC-1-47	76.08.15	100.04.14	23.664	35	1.1	0.03				
	RC-2-8(A)	76.08.15	100.04.14	23.664	30	6	0.20				
	RC-2-27(A)	76.08.15	100.04.14	23.664	30	1.1	0.04				
	RC-2-39(A)	76.08.15	100.04.14	23.664	30	1	0.03				
	RC-2-57(A)	76.08.15	100.04.14	23.664	30	38	1.27				
	RC-1-12(B1)	76.08.15	100.04.12	23.658	50	20.2	0.40				
	RC-2-23(B1)	76.08.15	100.04.12	23.658	50	0	0.00				
	RC-2-34(B1)	76.08.15	100.04.12	23.658	50	0	0.00				
	RC-1-43(B1)	76.08.15	100.04.12	23.658	50	5.2	0.10				
	RC-2-54(B1)	76.08.15	100.04.12	23.658	50	0	0.00				
	RC-2-65(B1)	76.08.15	100.04.13	23.661	50	21.1	0.42				
	RC-2-75(B1)	76.08.15	100.04.13	23.661	50	0	0.00				
	RC-1-86(B1)	76.08.15	100.04.13	23.661	50	7	0.14				
	RC-1-10(B2)	76.08.15	100.04.13	23.661	50	12.9	0.26				
231k+500~231k +700 (南下側)	RC-2-19(B2)	76.08.15	100.04.11	23.656	50	32.3	0.65	413	5.1	7	61.9*
	RC-1-28(B2)	76.08.15	100.04.11	23.656	50	16.1	0.32				
	RC-1-41(B2)	76.08.15	100.04.11	23.656	50	70.8	1.42				
	RC-2-49(B2)	76.08.15	100.04.11	23.656	50	35.2	0.70				
	RC-1-59(B2)	76.08.15	100.04.12	23.658	50	66.1	1.32				
	RC-2-67(B2)	76.08.15	100.04.12	23.658	50	0	0.00				
	PL-2-2(C)	76.08.15	100.04.06	23.642	50	61.7	1.23				
	PL-1-8(C)	76.08.15	100.04.06	23.642	50	66.5	1.33				
	PL-1-14(C)	76.08.15	100.04.06	23.642	50	---	---				
	PL-2-4	93.05.22	100.04.18	6.906	35	34.9	1.00				
	PL-4-9	93.05.22	100.04.18	6.906	35	33.9	0.97				
	PL-2-15	93.05.22	100.04.18	6.906	35	38.7	1.11				
	PL-5-19	93.05.22	100.04.18	6.906	35	29.6	0.85				
	PL-6-23	93.05.22	100.04.19	6.908	35	34.2	0.98				
	PL-1-26	93.05.22	100.04.19	6.908	35	36	1.03				
	PL-3-29	93.05.22	100.04.19	6.908	35	30.2	0.86				

國道邊坡全生命週期維護管理技術研究暨系統擴增開發  
成果報告

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	試驗日期 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tr)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨剔 除比例 (%)
17k+685 (東西 向) (國姓1號 隧道西洞口)	PL-5-33	93.05.22	100.04.19	6.908	35	34.7	0.99					
	PL-2-37	93.05.22	100.04.19	6.908	35	40	1.14					
	PL-3-42	93.05.22	100.04.19	6.908	35	41	1.17					
	PL-6-45	93.05.22	100.04.19	6.908	35	42.1	1.20					
	PL-3-48	93.05.22	100.04.20	6.911	35	45.9	1.31					
	PL-5-53	93.05.22	100.04.20	6.911	35	42.8	1.22					
	PL-6-58	93.05.22	100.04.20	6.911	35	42.1	1.20					
	PL-3-61	93.05.22	100.04.20	6.911	35	---	---					
	PL-4-65	93.05.22	100.04.20	6.911	35	37	1.06					
	PL-5-68	93.05.22	100.04.20	6.911	35	42.2	1.21					
	PL-6-72	93.05.22	100.04.20	6.911	35	40.2	1.15					
	PL-3-76	93.05.22	100.04.20	6.911	35	29.1	0.83					
	PL-4-79	93.05.22	100.04.21	6.914	35	37.2	1.06					
	PL-5-83	93.05.22	100.04.21	6.914	35	23.5	0.67					
	PL-2-5(A)	98.03.21	100.05.02	2.114	45	43	0.96					
	PL-3-5(A)	98.03.21	100.06.02	2.197	45	26.6	0.59					
20k+140 (東西 向) (國姓1號 隧道東洞口)	PL-3-6(A)	98.03.21	100.04.25	2.094	45	0.3	0.01					
	PL-1-10(A)	98.03.21	100.04.25	2.094	45	53.9	1.20					
	PL-2-3(B)	98.03.21	100.04.25	2.094	45	1.8	0.04					
	PL-2-4(B)	98.03.21	100.04.25	2.094	45	43.1	0.96					
	PL-3-4(B)	98.03.21	100.05.02	2.114	45	46.1	1.02					
	PL-4-7(B)	98.03.21	100.04.26	2.097	45	48	1.07					
	PL-2-10(B)	98.03.21	100.05.02	2.114	45	48	1.07					
	PL-1-11(B)	98.03.21	100.04.25	2.094	45	7	0.16					
	PL-2-11(B)	98.03.21	100.06.02	2.197	45	44.1	0.98					
	PL-1-4(C)	98.03.21	100.04.26	2.097	45	51.3	1.14					
	PL-3-6(C)	98.03.21	100.04.26	2.097	45	32.5	0.72					
	PL-1-5(D)	98.03.21	100.04.25	2.094	45	31.2	0.69					
	PL-3-10(D)	98.03.21	100.04.27	2.100	45	43.5	0.97					
	PL-5-12(D)	98.03.21	100.04.27	2.100	45	47.2	1.05					
	PL-3-2(A)	98.02.19	100.04.29	2.194	45	49	1.09					
23k+578~23k +733 (西向)	PL-1-5(A)	98.02.19	100.04.29	2.194	45	55.8	1.24					
	PL-5-7(A)	98.02.19	100.04.29	2.194	35	36.2	1.03					
	PL-1-5(B)	98.02.19	100.04.28	2.192	45	28	0.62					
	PL-4-7(B)	98.02.19	100.04.28	2.192	45	9	0.20					
	PL-3-10(B)	98.02.19	100.04.28	2.192	45	26.7	0.59					
	PL-2-15(B)	98.02.19	100.04.29	2.194	45	38.8	0.86					
24k+523 (西向)	PL-3-1	98.03.16	100.05.03	2.131	45	42.2	0.94					
	PL-1-3	98.03.16	100.05.03	2.131	45	47.8	1.06					
	PL-2-4	98.03.16	100.04.29	2.119	45	55	1.22					
	PL-7-3	98.05.15	100.04.22	1.936	65	65	1.00					
								15	3	20.0	1	66.7*
								25	3	12.0	2	33.3

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	試驗日期 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨剔 除比例 (%)
(國姓 2 號隧道 西洞口)	PL-5-6	98.05.15	100.03.18	1.842	45	30	0.67					
	PL-1-12	98.05.15	100.04.22	1.936	45	47.6	1.06					
	PL-1-2(A)	97.03.14	100.05.06	2.144	35	38	1.09					
	PL-3-4(A)	98.05.15	100.05.06	1.975	35	41	1.17					
	PL-3-5(B)	98.05.15	100.05.06	1.975	45	55.3	1.23	43	4	9.3	1	75.0*
	PL-2-12(B)	98.05.15	100.05.11	1.989	45	45	1.00					
註：日期年份為民國；經過時間為該次地錨完工時間至揚起試驗時間計算得出； 地錨篩選準則：												
1. 剔除 R=0 且 (a) 屬於分級 X 或 (b) 銹蝕斷裂或 (c) 錨碇拉脫的資料點；												
2. 剔除無法計算 R 值的資料點 (如錨頭脫落或鋼鍵斷裂)；												
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 (即*表示該邊坡所有揚起試驗資料點全部剔除)。												



表 4.86 南工處白河段 16 處邊坡地錨之揚起試驗紀錄及計算分析結果

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	現場檢測工作 完成時間 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試 驗數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨剔 除比例 (%)
281k+705~282k+ 096(北上側)	PL-1-7	90.11	99.12.10	9.111	45	19.5	0.43	82	6	7.3	6	0.0
	PL-2-12	90.11	99.12.10	9.111	45	39.5	0.88					
	PL-2-18	90.11	99.12.10	9.111	45	40	0.89					
	PL-2-25	90.11	99.12.10	9.111	45	24.5	0.54					
	PL-1-29	90.11	99.12.10	9.111	45	32.5	0.72					
	PL-2-39	90.11	99.12.10	9.111	45	35.5	0.79					
282k+500~282k+ 600(北上側)	PL-1-4	90.11	100.01.19	9.219	35	21.8	0.62	24	3	12.5	3	0.0
	PL-1-9	90.11	100.01.19	9.219	35	19.8	0.57					
	PL-2-9	90.11	100.01.19	9.219	35	28.9	0.83					
	PL-1-11	90.11	100.01.19	9.219	65	29.8	0.46					
	PL-3-11	90.11	100.01.19	9.219	35	5.6	0.16					
	PL-1-24	90.11	100.01.19	9.219	65	31.5	0.48					
283k+360~283k+ 650(北上側)	PL-3-24	90.11	100.01.19	9.219	35	25.5	0.73	115	6	5.2	6	0.0
	PL-1-37	90.11	100.01.19	9.219	65	37	0.57					
	PL-2-37	90.11	100.01.19	9.219	65	37.7	0.58					
	PL-1-8	90.11	100.01.19	9.219	65	48.2	0.74					
	PL-1-27	90.11	100.01.19	9.219	65	52.5	0.81					
	PL-1-39	90.11	100.01.19	9.219	65	43.8	0.67					
284k+520~284k+ 846(北上側)	PL-1-51	90.11	100.01.19	9.219	65	46.1	0.71	176	9	5.1	9	0.0
	PL-2-39	90.11	100.01.19	9.219	65	32.7	0.50					
	PL-2-51	90.11	100.01.19	9.219	65	28	0.43					
	PL-4-39	90.11	100.01.19	9.219	65	63	0.97					
	PL-4-51	90.11	100.01.19	9.219	65	40.4	0.62					
	PL-5-39	90.11	100.01.19	9.219	65	52	0.80					
284k+875~285k+ 296(北上側)	PL-1-26	90.11	100.02.18	9.300	45	43.7	0.97	120	7	5.8	7	0.0
	PL-3-5	90.11	100.02.18	9.300	45	42.5	0.94					
	PL-4-9	90.11	100.02.18	9.300	45	40.9	0.91					
	PL-6-9	90.11	100.02.18	9.300	45	43.1	0.96					
	PL-8-23	90.11	100.02.18	9.300	45	24	0.53					
	PL-8-25	90.11	100.02.18	9.300	45	0	0.00					
286k+245~286k+ 550(北上側)	PL-10-5	90.11	100.02.18	9.300	45	25.1	0.56	108	7	6.5	6	14.3
	PL-1-19	90.11	100.02.18	9.300	65	61.4	0.94					
	PL-1-26	90.11	100.02.18	9.300	65	62.5	0.96					
	PL-2-5	90.11	100.02.18	9.300	65	62.5	0.96					
	PL-2-11	90.11	100.02.18	9.300	65	67.7	1.04					
	PL-3-12	90.11	100.02.18	9.300	65	60.2	0.93					
287k+885~288k+ 146(北上側)	PL-4-5	90.11	100.02.18	9.300	65	55.7	0.86	82	6	7.3	6	0.0
	PL-5-12	90.11	100.02.18	9.300	65	30.3	0.47					
	PL-1-7	90.11	100.02.18	9.300	45	15.4	0.34					
	PL-1-18	90.11	100.02.18	9.300	45	32.8	0.73					
	PL-2-18	90.11	100.02.18	9.300	45	22.3	0.50					

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	現場檢測工作 完成時間 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨別 除比例 (%)
292k+375~292k+516(北上側)	PL-2-27	90.11	100.02.18	9.300	45	18	0.40					
	PL-3-3	90.11	100.02.18	9.300	45	45	1.00					
	PL-4-7	90.11	100.02.18	9.300	45	38	0.84					
	PL-1-4	90.11	99.12.10	9.111	45	22	0.49					
	PL-1-8	90.11	99.12.10	9.111	45	38	0.84					
	PL-1-21	90.11	99.12.10	9.111	45	18.5	0.41					
	PL-2-12	90.11	99.12.10	9.111	45	33	0.73	46	5	10.9	5	0.0
292k+596~292k+516(北上側)	PL-2-17	90.11	99.12.10	9.111	45	0	0.00					
	PL-1-7	90.11	100.03.18	9.383	45	11	0.24					
	PL-2-7	90.11	100.03.18	9.383	45	9.1	0.20					
	PL-2-4	90.11	100.03.18	9.383	45	60.7	1.35					
	PL-1-3	90.11	100.03.18	9.383	45	26.6	0.59	92	6	6.5	5	16.7
	PL-1-6	90.11	100.03.18	9.383	45	25	0.56					
	PL-2-6	90.11	100.03.18	9.383	45	25.2	0.56					
295k+695~295k+796(北上側)	PL-1-3	90.11	100.03.18	9.383	35	38.8	1.11					
	PL-1-7	90.11	100.03.18	9.383	35	32.7	0.93	18	3	16.7	2	33.3
	PL-2-3	90.11	100.03.18	9.383	35	34.8	0.99					
	PL-1-7	90.11	100.03.18	9.383	65	38.3	0.59					
	PL-2-3	90.11	100.03.18	9.383	65	15.5	0.24					
	PL-2-7	90.11	100.03.18	9.383	65	26.7	0.41					
	PL-1-12	90.11	100.03.18	9.383	65	62.3	0.96	87	8	9.2	6	25.0
301k+295~301k+500(北上側)	PL-2-5	90.11	100.03.18	9.383	65	54	0.83					
	PL-3-7	90.11	100.03.18	9.383	65	59	0.91					
	PL-4-12	90.11	100.03.18	9.383	65	78.8	1.21					
	PL-4-14	90.11	100.03.18	9.383	65	68.1	1.05					
	PL-1-7	90.11	99.12.10	9.111	65	61	0.94					
	PL-1-19(3)	90.11	99.12.10	9.111	65	52.5	0.81					
	PL-2-13	90.11	99.12.10	9.111	65	>52.5	--					
301k+295~301k+500(北上側)	PL-3-5	90.11	99.12.10	9.111	65	45.1	0.69					
	PL-3-17	90.11	99.12.10	9.111	65	63.1	0.97	108	8	7.4	7	12.5
	PL-4-22	90.11	99.12.10	9.111	65	28	0.43					
	PL-2-1(橋台)	90.11	99.12.10	9.111	65	59.2	0.91					
	PL-2-3(橋台)	90.11	99.12.10	9.111	65	40	0.62					
	CL-1-15	89.02	99.12.10	10.861	40	36.8	0.92					
	CL-1-23	89.02	99.12.10	10.861	40	37.5	0.94					
354k+015~355k+440(南下側)	CL-1-35	89.02	99.12.10	10.861	40	0	0.00					
	CL-1-53	89.02	99.12.10	10.861	40	35	0.88					
	CL-2-9	89.02	99.12.10	10.861	40	24	0.60	235	12	5.1	12	0.0
	CL-2-45	89.02	99.12.10	10.861	40	34.8	0.87					
	CL-3-18	89.02	99.12.10	10.861	40	20	0.50					

國道邊坡全生命週期維護管理技術研究暨系統擴增開發  
成果報告

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	現場檢測工作 完成時間 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨剔 除比例 (%)
354k+815~355k+ 415(南下側)	CL-3-29	89.02	99.12.10	10.861	40	20.5	0.51					
	CL-1-71	89.02	99.12.10	10.861	40	33.8	0.85					
	CL-1-95	89.02	99.12.10	10.861	40	25	0.63					
	CL-2-86	89.02	99.12.10	10.861	40	18.9	0.47					
	CL-3-58	89.02	99.12.10	10.861	40	16	0.40					
	CL-1-19	89.02	100.04.20	11.222	40	43.8	1.10					
	CL-1-42	89.02	100.04.20	11.222	40	34	0.85					
	CL-1-61	89.02	100.04.20	11.222	40	33.9	0.85					
	CL-1-62	89.02	100.04.20	11.222	40	19.5	0.49					
	CL-1-80	89.02	100.04.20	11.222	40	7.8	0.20					
	CL-1-95	89.02	100.04.20	11.222	40	14	0.35					
	CL-1-115	89.02	100.04.20	11.222	40	34.6	0.87					
	CL-1-137	89.02	100.04.20	11.222	40	30.5	0.76					
	CL-2-5	89.02	100.04.20	11.222	40	24.6	0.62					
	CL-2-30	89.02	100.04.20	11.222	40	14.2	0.36					
	CL-2-52	89.02	100.04.20	11.222	40	37.3	0.93					
	CL-2-71	89.02	100.04.20	11.222	40	17	0.43					
	CL-2-88	89.02	100.04.20	11.222	40	14.9	0.37					
	CL-2-105	89.02	100.04.20	11.222	40	27.8	0.70					
	CL-2-127	89.02	100.04.20	11.222	40	18.2	0.46					
356k+365~356k+ 470(南下側)於農 路外側	CL-3-48	89.02	100.04.20	11.222	40	22.1	0.55					
	CL-3-62	89.02	100.04.20	11.222	40	27	0.68					
	CL-3-65	89.02	100.04.20	11.222	40	30	0.75					
	CL-3-102	89.02	100.04.20	11.222	40	38.2	0.96					
	CL-3-123	89.02	100.04.20	11.222	40	32.9	0.82					
	CL-4-15	89.02	100.04.20	11.222	40	11.8	0.30					
	CL-4-56	89.02	100.04.20	11.222	40	20.1	0.50					
	CL-4-75	89.02	100.04.20	11.222	40	24.8	0.62					
	CL-4-91	89.02	100.04.20	11.222	40	20.5	0.51					
	CL-4-111	89.02	100.04.20	11.222	40	26.9	0.67					
356k+600~356k+ 700(南下側)於農 路外側	CL-5-51	89.02	100.04.20	11.222	40	11	0.28					
	CL-5-61	89.02	100.04.20	11.222	40	11.1	0.28					
	CL-1-53	89.02	100.04.20	11.222	40	24.2	0.61					
	CL-1-12	89.02	100.04.20	11.222	40	27.8	0.70					
	CL-2-9	89.02	100.04.20	11.222	40	20	0.50					
	CL-1-4	89.02	100.04.20	11.222	40	12.3	0.31					
	CL-1-13	89.02	100.04.20	11.222	40	24	0.60					
	CL-2-8	89.02	100.04.20	11.222	40	21.9	0.55					
	CL-2-18	89.02	100.04.20	11.222	40	30.9	0.77					
	CL-3-10	89.02	100.04.20	11.222	40	22	0.55					
								23	3	13.0	3	0.0
								50	5	10.0	5	0.0

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	現場檢測工作 完成時間 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨剔 除比例 (%)
註： 1. 日期年份為民國；經過時間為該次地錨完工時間至現場檢測工作完成時間計算得出； 2. 完工時間 90.11 之地錨推估其時間為 90.11.01；完工時間 89.02 之地錨推估其時間為 89.02.01； 地錨篩選準則： 1. 剔除 R=0 且 (a)屬於分級 X 或 (b)銹蝕斷裂或 (c)錨碇段拉脫的資料點； 2. 剔除無法計算 R 值的資料點(如錨頭脫落或鋼鍵斷裂)； 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(即*表示該邊坡所有揚起試驗資料點全部剔除)。												

表 4.87 南工處屏東段 14 處邊坡地錨之揚起試驗紀錄及計算分析結果

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	試驗日期 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨剔 除比例 (%)
360k+495~360k+775 (北上側)	A1-6	89.04.29	100.11.18	11.553	40	21	0.53	158	8	5.1	8	0.0
	A2-6	89.04.29	100.11.18	11.553	40	26.5	0.66					
	A3-7	89.04.29	100.11.19	11.556	40	23	0.58					
	A3-21	89.04.29	100.11.18	11.553	40	22	0.55					
	A3-51	89.04.29	100.11.18	11.553	40	13	0.33					
	A4-3	89.04.29	100.11.19	11.556	40	12	0.30					
360k+919~361k+149 (29-1)(北上側)	A4-41	89.04.29	100.11.18	11.553	40	24	0.60	171	9	5.3	7	22.2
	A4-55	89.04.29	100.11.18	11.553	40	29	0.73					
	B1-4	89.04.29	100.01.17	10.717	40	18	0.45					
	B2-12	89.04.29	100.01.17	10.717	40	20	0.50					
	B3-9	89.04.29	100.01.17	10.717	40	17	0.43					
	B4-6	89.04.29	100.01.17	10.717	40	9	0.23					
361k+246~361k+532 (北上側)	B5-11	89.04.29	100.01.17	10.717	40	20	0.50	85	6	7.1	3	50.0
	B6-19	89.04.29	100.01.17	10.717	40	34	0.85					
	B7-6	89.04.29	100.01.18	10.719	40	0	0.00					
	B7-29	89.04.29	100.01.17	10.717	40	15	0.38					
	B7-45	89.04.29	100.01.17	10.717	40	0	0.00					
	C1-11	89.04.29	99.12.10	10.614	40	0	0.00					
361k+699~361k+845 (北上側)	C1-19	89.04.29	99.12.10	10.614	40	33	0.83	39	4	10.3	0	100.0*
	C2-14	89.04.29	99.12.10	10.614	40	50	1.25					
	C2-34	89.04.29	99.12.10	10.614	40	50	1.25					
	C3-10	89.04.29	99.12.10	10.614	40	28	0.70					
	C3-51	89.04.29	99.12.09	10.611	40	34	0.85					
	D1-1	89.04.29	99.12.09	10.611	40	50	1.25					
361k+935~362k+113 (北上側)並 362k + 113~362k + 195 等畸 零塊	D1-10	89.04.29	99.12.09	10.611	40	50	1.25	134	8	6.0	1	87.5*
	D2-3	89.04.29	99.12.09	10.611	40	41	1.03					
	D2-13	89.04.29	99.12.09	10.611	40	50	1.25					
	E1-7	89.04.29	99.12.07	10.606	40	57.5	1.44					
	E1-20	89.04.29	99.12.07	10.606	40	43	1.08					
	E2-2	89.04.29	99.12.07	10.606	40	22	0.55					
362k+935~363k+186 (北上側)	E3-38	89.04.29	99.12.07	10.606	40	0	0.00	107	10	9.3	3	70.0*
	E3-44	89.04.29	99.12.06	10.603	40	49	1.23					
	E3-45	89.04.29	100.06.18	11.136	40	42	1.05					
	E3-49	89.04.29	99.12.07	10.606	40	0	0.00					
	E3-57	89.04.29	99.12.07	10.606	40	57	1.43					
	F1-2	89.04.29	101.12.12	12.619	40	6	0.15					
	F3-2	89.04.29	101.12.12	12.619	40	28	0.70					
	F4-3	89.04.29	101.12.08	12.608	40	50	1.25					
	F6-4	89.04.29	101.12.08	12.608	40	50	1.25					
	F6-7	89.04.29	101.12.08	12.608	40	58.5	1.46					
	F6-35	89.04.29	101.12.08	12.608	40	50	1.25					

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	試驗日期 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨剔 除比例 (%)
364k+135~364k+225 (北上側)	F7-4	89.04.29	101.12.08	12.608	40	43	1.08					
	F7-8	89.04.29	101.12.08	12.608	40	50	1.25					
	F7-32	89.04.29	101.12.09	12.611	40	50	1.25					
	F7-48	89.04.29	101.12.08	12.608	40	34.5	0.86					
364k+609~364k+809 (北上側)	G1-3	89.04.29	100.01.15	10.711	40	9	0.23	43	4	9.3	3	25.0
	G1-9	89.04.29	100.01.15	10.711	40	11	0.28					
	G2-12	89.04.29	100.01.14	10.708	40	41.5	1.04					
	G3-3	89.04.29	100.01.14	10.708	40	18.5	0.46					
370k+133~370k+249 (南下側)	H2-2	89.04.29	99.12.11	10.617	40	18	0.45					
	H2-9	89.04.29	99.12.11	10.617	40	40	1.00					
	H2-17	89.04.29	99.12.11	10.617	40	5	0.13	94	7	7.4	7	0.0
	H3-35	89.04.29	99.12.10	10.614	40	15	0.38					
378k+298 田寮 3 號高 架橋 A1 橋台	H4-2	89.04.29	99.12.11	10.617	40	23	0.58					
	H4-19	89.04.29	99.12.11	10.617	40	28	0.70					
	H4-28	89.04.29	99.12.11	10.617	40	17	0.43					
	I1-10	88.04.28	100.01.16	11.717	35	14	0.40					
378k+899 中寮隧道 北口上方岩壁	I1-21	88.04.28	100.01.16	11.717	35	-	-	48	5	10.4	4	20.0
	I2-2	88.04.28	100.01.16	11.717	35	11	0.31					
	I2-16	88.04.28	100.01.16	11.717	35	17	0.49					
	I2-23	88.04.28	100.01.16	11.717	35	11	0.31					
383k+431~383k+713 (北上側)	J1-2	98.02.03	100.01.16	1.953	40	30	0.75	12	3	25.0	3	0.0
	J1-6	98.02.03	100.01.16	1.953	40	23.5	0.59					
	J1-12	98.02.03	100.01.16	1.953	40	40	1.00					
	KC1-5	88.11.11	100.03.13	11.339	35	34	0.97					
383k+713~383k+843 (北上側)	KC3-2	88.11.11	100.03.13	11.339	35	28	0.80					
	KL1-2	88.11.11	100.03.11	11.333	35	14	0.40					
	KL5-5	88.11.11	100.03.11	11.333	35	28	0.80					
	KL7-1	88.11.11	100.03.11	11.333	35	12	0.34					
383k+843~383k+913 (北上側)	KL8-9	88.11.11	100.03.11	11.333	35	29	0.83					
	KL11-6	88.11.11	100.03.10	11.331	35	-	-	266	15	5.6	14	6.7
	KL12-2	88.11.11	100.03.10	11.331	35	17	0.49					
	KL13-13	88.11.11	100.03.9	11.328	35	10	0.29					
383k+913~383k+983 (北上側)	KL14-6	88.11.11	100.03.9	11.328	35	21	0.60					
	KL16-6	88.11.11	100.03.8	11.325	35	27	0.77					
	KR3-4	88.11.11	100.03.13	11.339	35	28	0.80					
	KR4-7	88.11.11	100.03.13	11.339	35	12	0.34					
383k+983~383k+1053 (北上側)	KR6-2	88.11.11	100.03.13	11.339	35	27.5	0.79					
	KR8-4	88.11.11	100.03.13	11.339	35	24	0.69					
	L1-2	88.12.30	100.03.31	11.253	45	26	0.58	984	50	5.1	47	6.0
	L2-6	88.12.30	100.03.31	11.253	45	31	0.69					
383k+1053~383k+1123 (北上側)	L3-2	88.12.30	100.03.31	11.253	45	25	0.56					



國道邊坡全生命週期維護管理技術研究暨系統擴增開發  
成果報告

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	試驗日期 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨剔 除比例 (%)
	L4-3	88.12.30	100.04.06	11.267	45	26	0.58					
	L4-12	88.12.30	100.03.31	11.253	45	31	0.69					
	L5-5	88.12.30	100.04.06	11.267	45	13.5	0.30					
	L6-23	88.12.30	100.03.30	11.250	45	36.7	0.82					
	L7-2	88.12.30	100.04.06	11.267	45	28.6	0.64					
	L8-11	88.12.30	100.03.30	11.250	45	41.5	0.92					
	L9-15	88.12.30	100.03.29	11.247	100	75	0.75					
	L10-4	88.12.30	100.03.29	11.247	45	38.5	0.86					
	L11-2	88.12.30	100.03.27	11.242	45	19.5	0.43					
	L11-52	88.12.30	100.03.29	11.247	100	64	0.64					
	L13-9	88.12.30	100.03.27	11.242	100	64	0.64					
	L13-24	88.12.30	100.03.28	11.244	100	67	0.67					
	L13-45	88.12.30	100.03.29	11.247	100	93	0.93					
	L14-26	88.12.30	100.03.29	11.247	100	78	0.78					
	L15-11	88.12.30	100.03.24	11.233	45	27	0.60					
	L16-15	88.12.30	100.03.24	11.233	100	61	0.61					
	L16-39	88.12.30	100.03.23	11.231	100	76	0.76					
	L17-4	88.12.30	100.03.25	11.236	45	16.5	0.37					
	L17-20	88.12.30	100.03.24	11.233	45	21	0.47					
	L18-5	88.12.30	100.03.24	11.233	45	40	0.89					
	L18-21	88.12.30	100.03.24	11.233	100	71	0.71					
	L18-50	88.12.30	100.03.23	11.231	100	84	0.84					
	L19-16	88.12.30	100.03.25	11.236	100	37	0.37					
	L19-44	88.12.30	100.03.24	11.233	100	92	0.92					
	L20-2	88.12.30	100.03.25	11.236	100	48	0.48					
	L21-14	88.12.30	100.03.20	11.222	100	-	-					
	L21-28	88.12.30	100.03.21	11.225	100	-	-					
	L21-34	88.12.30	100.03.21	11.225	100	67	0.67					
	L21-65	88.12.30	100.03.22	11.228	100	25	0.25					
	L22-7	88.12.30	100.03.23	11.231	100	74	0.74					
	L23-4	88.12.30	100.03.20	11.222	100	71	0.71					
	L23-10	88.12.30	100.03.20	11.222	100	58	0.58					
	L23-22	88.12.30	100.03.21	11.225	100	74	0.74					
	L23-53	88.12.30	100.03.22	11.228	100	101	1.01					
	L23-70	88.12.30	100.03.23	11.231	100	92	0.92					
	L24-14	88.12.30	100.03.21	11.225	100	58	0.58					
	L24-35	88.12.30	100.03.22	11.228	100	86	0.86					
	L24-55	88.12.30	100.03.22	11.228	100	91	0.91					
	L25-3	88.12.30	100.03.20	11.222	100	60	0.60					
	L26-8	88.12.30	100.03.20	11.222	100	36	0.36					
	L26-22	88.12.30	100.03.19	11.219	100	62	0.62					

里程範圍	編號	完工日期 (y/m/d)	試驗日期 (y/m/d)	經過時間 (y)	原始設計 荷重(Tw)	殘餘荷重 (Tr)	RATIO	實際檢視 地錨數量 (支)	揚起試驗 數量 (支)	揚起試驗 百分比 (%)	採用之地 錨數量 (支)	地錨剔 除比例 (%)
	L26-67	88.12.30	100.03.19	11.219	100	86	0.86					
	L28-17	88.12.30	100.03.19	11.219	100	92	0.92					
	L28-22	88.12.30	100.03.19	11.219	100	97	0.97					
	L28-45	88.12.30	100.03.19	11.219	100	89	0.89					
	L28-65	88.12.30	100.03.18	11.217	100	91	0.91					
12+0.490~12+0.545 燕巢系統交流道北往 東匝道右側	L28-74	88.12.30	100.03.18	11.217	100	74	0.74					
	M1-1	88.11.02	100.01.20	11.217	45	21	0.47	22	3	13.6	3	0.0
	M3-1	88.11.02	100.01.20	11.217	45	15	0.33					
386k+043 高屏溪河 川橋 A1 橋台	M3-10	88.11.02	100.01.20	11.217	45	21	0.47					
	N1-1	88.12.27	100.04.07	11.278	100	99	0.99					
	N1-21	88.12.27	100.04.07	11.278	100	76	0.76	48	4	8.3	4	0.0
	N2-3	88.12.27	100.04.07	11.278	100	73	0.73					
	N2-8	88.12.27	100.04.07	11.278	100	84	0.84					

註：日期年份為民國；經過時間為該次地錨完工時間至揚起試驗時間計算得出；  
地錨篩選標準則：  
1. 剔除 R=0 且 (a) 屬於分級 X 或 (b) 銹蝕斷裂或 (c) 錨碇段拉脫的資料點；  
2. 剔除無法計算 R 值的資料點 (如錨頭脫落或鋼鍵斷裂)；  
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 (即\*表示該邊坡所有揚起試驗資料點全部剔除)。

簡單的說，五種檢測的方式其結果並不一致，這樣的結果其實也是可以預期的，因為不同檢測方式的目的其實都不一樣，以邊坡穩定的角度來看，其中以第(5)項地錨之殘餘荷重最為重要，因為地錨的拉力會直接影響到邊坡的穩定性，因此本研究後續分析各工務段地錨揚起試驗結果。

本研究分析的七個工務段（北工處木柵段與關西段、中工處大甲段、苗栗段與南投段、南工處白河段與屏東段）的地錨揚起試驗分析結果如圖4.104至圖4.108所示，這五個圖的水平座標是時間，也就是國道各邊坡近兩年執行地錨揚起試驗的檢測時間扣除當初地錨完工時間，垂直座標則是以揚起試驗的地錨殘餘荷重值 (Tr) 除上當初地錨設計荷重值 (Tw)，做此正規化的目的是希望讓不同工務段邊坡地錨的揚起試驗結果，可以一同分析比較，另外，根據各工程處的報告，當初是以隨機取樣的方式選取各邊坡地錨來執行揚起試驗，因此圖4.104至圖4.108的分析結果可以代表各工務段地錨荷重衰減的行為。

圖4.104至圖4.108顯示各工務段地錨殘餘荷重分布相當廣泛，以圖4.106中區為例，同樣的時間下，地錨的殘餘荷重除上設計荷重的比值，可以從 0.0（完全失效）分布到 1.4（超過當初的設計值），顯示即便是在同一處邊坡，位置相近的地錨都可能表現出相當不同的行為，這一點是工程實務上相當有價值的分析結果。

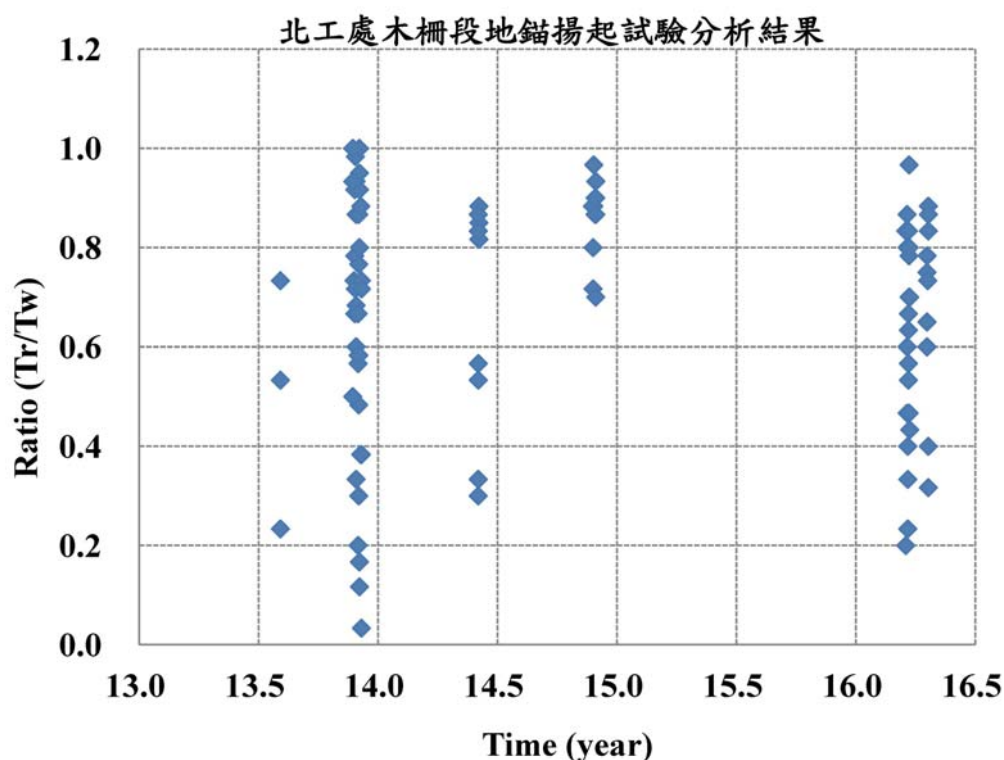


圖 4.104 北工處木柵段地錨揚起試驗分析結果

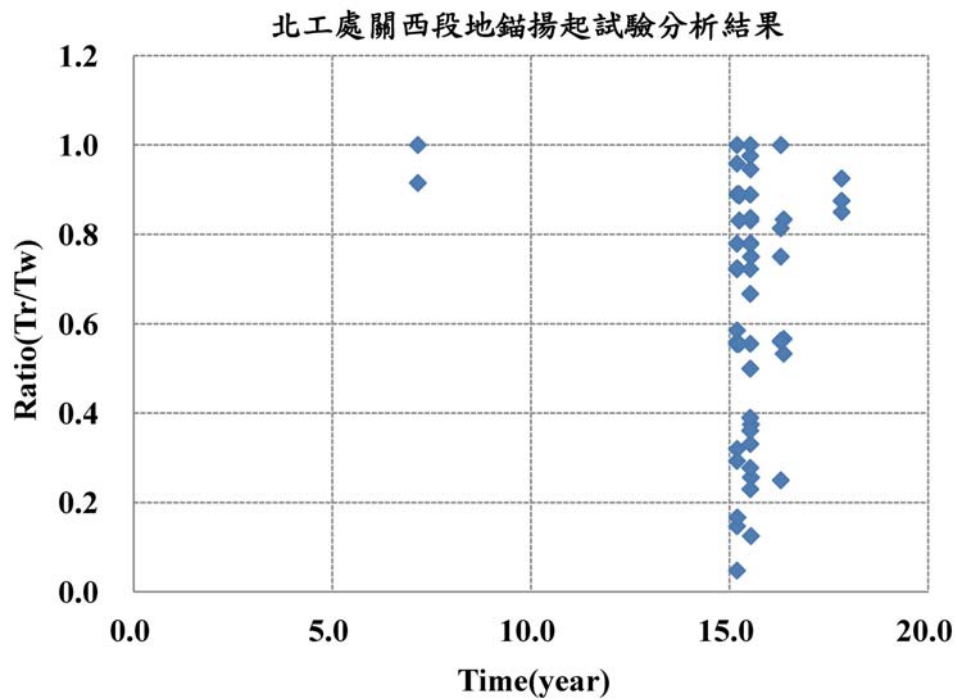


圖 4.105 北工處關西段地錨揚起試驗分析結果

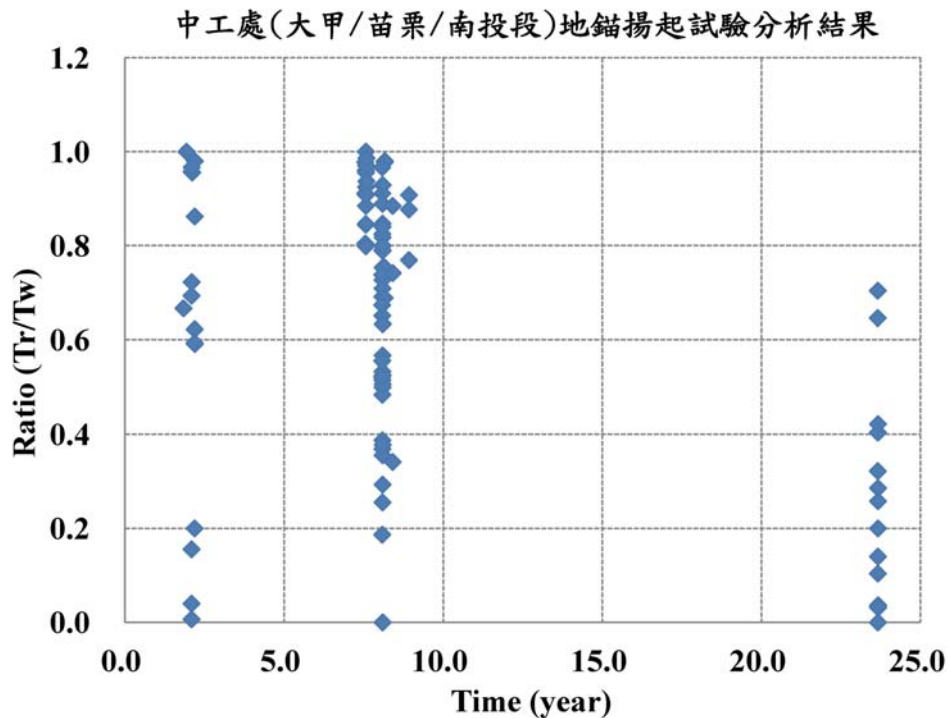


圖 4.106 中工處（大甲段/苗栗段/南投段）地錨揚起試驗分析結果

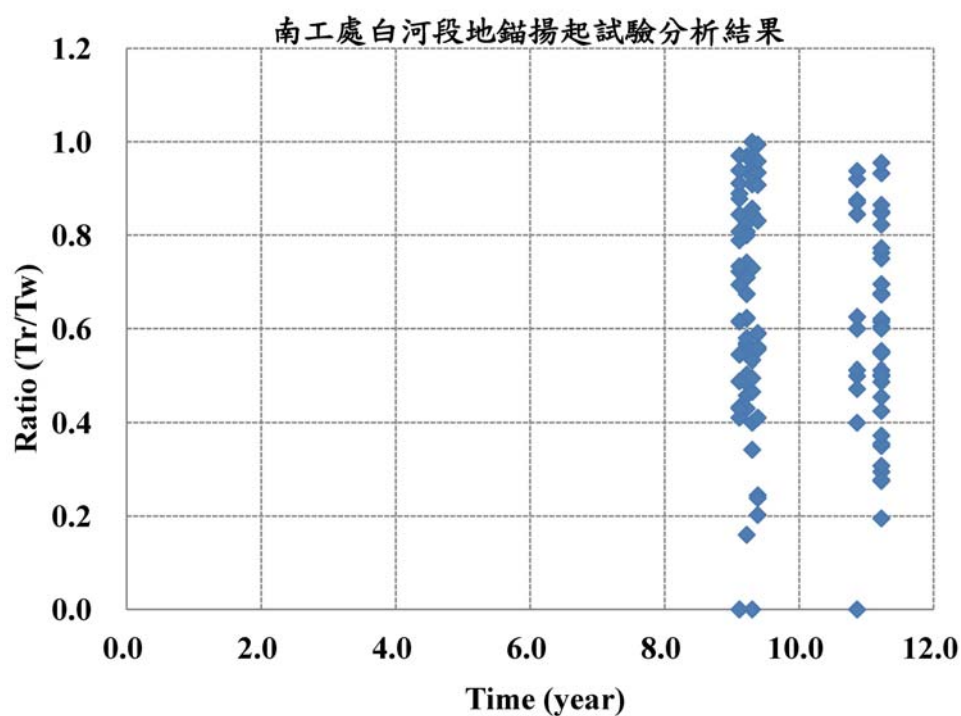


圖 4.107 南工處白河段地錨揚起試驗分析結果

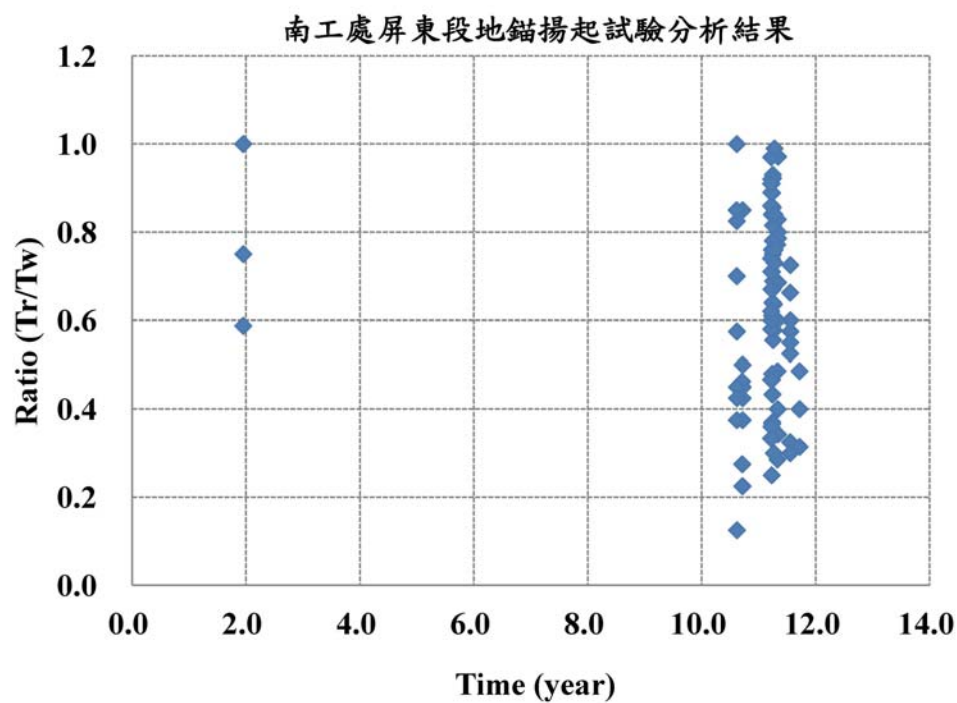


圖 4.108 南工處屏東段地錨揚起試驗分析結果

圖4.104至圖4.108為根據試驗報告初步的分析結果，這些資料點必須進一步探討是否可以用以迴歸地錨拉力衰減的趨勢。本研究建立地錨篩選準則，說明如下：

1. 剔除  $R = 0$  且同時為 (a) 分級 X 級或 (b) 銹蝕斷裂或 (c) 錨碇段拉脫的資料點：以地錨錨頭保護座外觀檢視分級 X 級的定義為功能喪失，包括錨頭翻轉或掉落或鋼鍵斷裂射出，若該地錨的揚起試驗為  $R = 0$ ，則剔除該地錨資料點。
2. 剔除無法計算  $R$  值的資料點（如錨頭脫落或鋼鍵斷裂）：報告中若某地錨在執行揚起試驗過程發生錨頭脫落或鋼鍵斷裂，導致無法確認該地錨的殘餘荷重，則剔除該地錨資料點。
3. 剔除  $R > 1$  的資料點：學理上若邊坡沒有滑動，地錨的殘餘荷重會隨著時間的增加而逐漸降低（可能是固定端滑動、錨頭鬆脫、鋼鍵銹蝕等原因），若某地錨揚起試驗結果顯示拉力比值超過 1.0，其所處的邊坡應該已經產生某種程度的滑移，造成地錨的荷重增加，以本研究的欲建立的地錨性能劣化趨勢行為來看，這些地錨已經不符合分析的條件，因此將比值大於 1.0 的資料點剔除。
4. 該邊坡地錨剔除比例  $> 50\%$  則整面邊坡地錨視為全面無效（即 \* 表示該邊坡所有揚起試驗資料點全部剔除）：地錨篩選準則第 3 點是針對每一支地錨進行判釋，若某一邊坡被選出執行揚起試驗的地錨，其超過 50% 地錨的拉力比值超過 1.0，則該邊坡被定義為已經發生明顯的滑動行為，該邊坡所有的揚起試驗資料點都被剔除。

圖4.109是將圖4.104至圖4.108所有資料點匯整在一起，一如預期般資料點相當分散，仔細的觀察圖4.109，本研究訂出資料點上下限的區域，並且建議一條地錨拉力劣化的趨勢線。



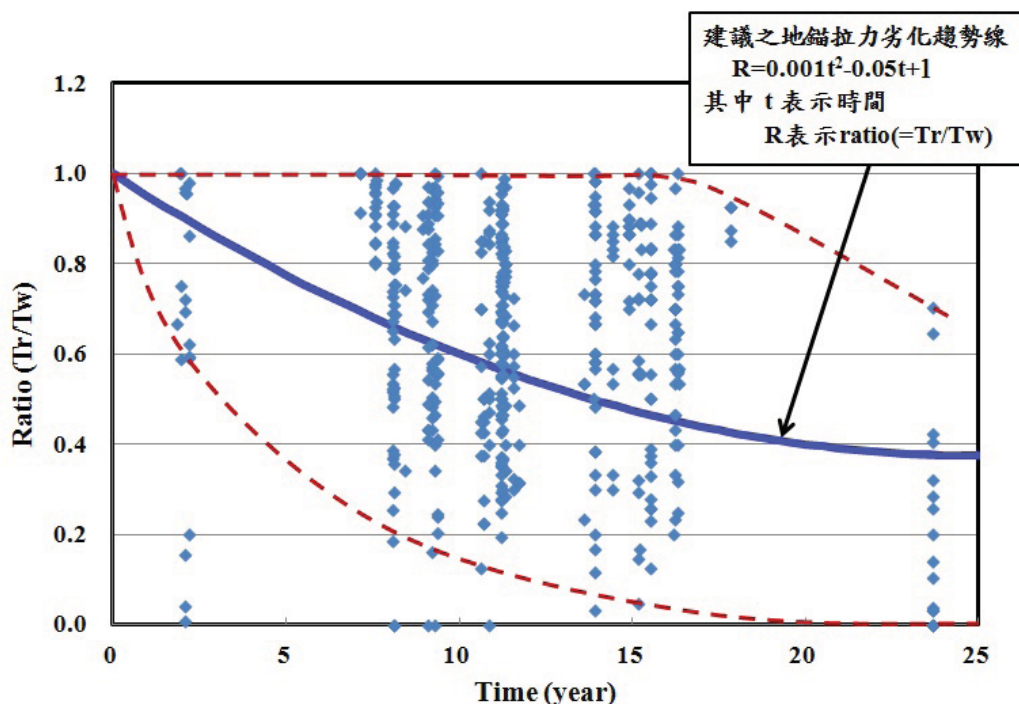


圖 4.109 建議之地錨拉力劣化趨勢線

趨勢線的公式如下：

$$R = 0.001t^2 - 0.05t + 1 \quad (4.7)$$

其中  $t$  表示時間、 $R$  表示拉力比值 ( $ratio = T_r/T_w$ )， $T_r$  是揚起試驗的地錨殘餘荷重； $T_w$  是地錨當初的設計荷重。公式4.7已經可以運用在邊坡工程穩定分析，進行邊坡穩定性隨時間增加的改變趨勢分析，未來需要建立不同時間點，其 Ratio 的分布型態，以便未來進行養護頻率和邊坡可靠度分析之用。不過本研究必須先強調，上述的趨勢線受限於既有地錨揚起試驗資料的年限，目前僅適用於 25 年內，超過 25 年不建議使用。未來若有超過 25 年的資料增補，則可以再次更新此趨勢線。

#### 4.3.4 考量地錨拉力劣化行為之邊坡長期穩定分析

本節利用上一節分析建置的地錨荷重隨時間衰減的趨勢線，進行考量地錨劣化行為之邊坡長期穩定分析，此節分析的方法尚未導入可靠度分析，其主要目的是用來說明如何運用研究成果於邊坡長期性的穩定分析。本研究採用國道 3 號北上 138k+622 至 138k+802 之邊坡進行分析，邊坡概況如圖4.110所示，其地層屬頭嵙山層香山相，岩性為砂岩、粉砂岩及頁岩互層，偶夾薄層礫岩，屬岩屑崩坍低潛勢區。邊坡高度 35m、面寬 180m，現場以混凝土面版、鋼筋混凝土格梁地錨為保護工。此處邊坡大至分為三階，於最上面的一階設置有一排地錨，地錨間距為 3m，錨碇段為 10m，預力為 65 噸。中間這一階設置有三排地錨，地錨間距為 2m，錨碇段為 10m，預力為 65 噸。最下面這一階亦設置三排地錨，由上而下第一排地錨間距為 4m，錨碇段為 10m，預力為 45 噸；第二

排和第三排地錨間距為 2m，錨碇段為 10m，預力為 65 噸。

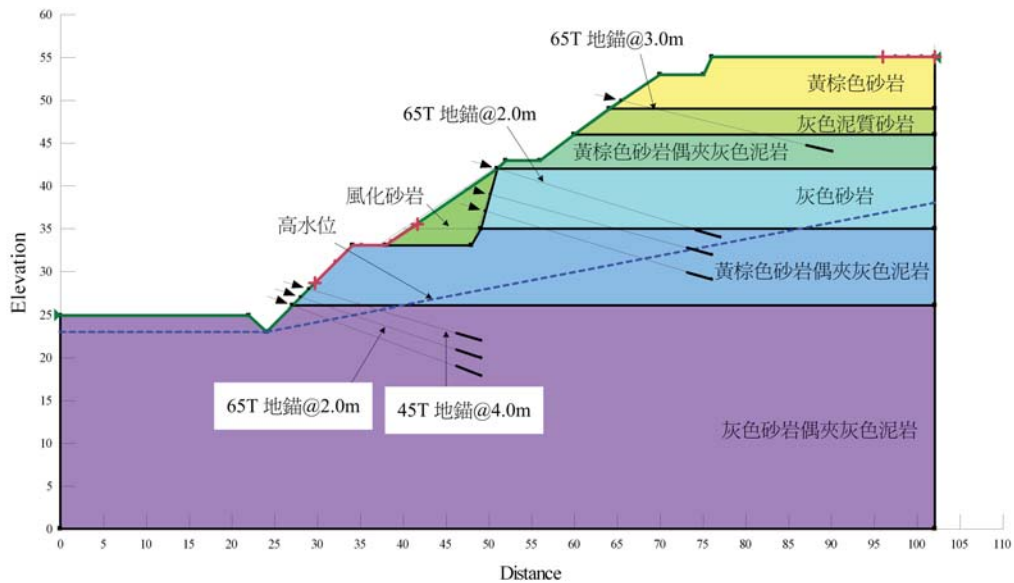


圖 4.110 國 3 北上 138k+622 至 138k+802 邊坡模型

此示範案例邊坡穩定分析之考量說明如下：

1. 考慮高水位情況。
2. 可慮地震力作用情況（Case 1: 水平向 0.27g、垂直向 0.18g；Case 2: 水平向 0.18g、垂直向 0.12g）。
3. 以 Morgenstern-Price 法進行穩定分析。
4. 邊坡受地震作用時之安全評估係以仿靜態地震係數法來考慮。
5. 運用本研究 4.3.3 節建置之地錨拉力衰減趨勢線來進行長期穩定性分析。

表 4.88 為國道 3 號北上 138k+622 至 138k+802 邊坡案例穩定分析之材料參數，研究首先進行不考慮地錨存在（即自然邊坡）之穩定分析，分析進一步分為不考慮地震作用及考慮地震作用兩種情況；其次進行考慮地錨加固之穩定分析，地錨的荷重以施工完成後不同年期依據公式 4.7 來計算，本研究設定施工後 0 年、2 年、4 年、6 年、8 年、10 年、13 年、16 年、20 年、24 年進行 R 值的計算，計算結果為 R=1.0、0.9、0.82、0.74、0.66、0.6、0.52、0.46、0.4、0.38；分析同樣分為不考慮地震作用及考慮地震作用之情況，在考慮地震作用下又分為兩種情況：(1) Case 1: 水平向加速度 0.27g、垂直向加速度 0.18g；(2) Case 2: 水平向加速度 0.18g、垂直向加速度 0.12g。

表 4.88 國道 3 號北上 138k+622 至 138k+802 邊坡案例穩定分析之材料參數

材料種類	單位重 (kN/m <sup>3</sup> )	飽和單位重 (kN/m <sup>3</sup> )	凝聚力 (kPa)	摩擦角 (degree)
風化砂岩	18.64	19.62	0.98	30
黃棕色砂岩	20.60	20.60	9.81	30
灰色泥質砂岩	18.64	18.64	0.98	30
黃棕色砂岩偶夾灰色泥岩	19.62	19.62	5.89	31
灰色砂岩	20.60	20.60	11.77	31
黃棕色砂岩偶夾灰色泥岩	19.62	19.62	6.87	31
灰色砂岩偶夾灰色泥岩	20.60	20.60	15.70	32

本示範案例考慮地錨加固穩定分析中各層地錨 Pullout resistance 輸入值如表4.89所示，表中之數值乃依據不同年期的 R 值配合圖4.110中各層地錨的預力值進行計算而得。

表 4.89 國道 3 號北上 138k+622 至 138k+802 邊坡案例各層地錨 Pullout resistance 輸入值

地錨編號 (由上至下)	Pullout resistance (kPa)										←R值
	1.00	0.90	0.82	0.74	0.66	0.60	0.52	0.46	0.40	0.38	
Anchor #1	159.82	144.48	130.61	118.07	106.73	96.49	87.23	78.85	71.28	64.44	
Anchor #2	159.82	144.48	130.61	118.07	106.73	96.49	87.23	78.85	71.28	64.44	
Anchor #3	159.82	144.48	130.61	118.07	106.73	96.49	87.23	78.85	71.28	64.44	
Anchor #4	159.82	144.48	130.61	118.07	106.73	96.49	87.23	78.85	71.28	64.44	
Anchor #5	110.64	100.02	90.42	81.74	73.89	66.80	60.38	54.59	49.35	44.61	
Anchor #6	159.82	144.48	130.61	118.07	106.73	96.49	87.23	78.85	71.28	64.44	
Anchor #7	159.82	144.48	130.61	118.07	106.73	96.49	87.23	78.85	71.28	64.44	

國道 3 號北上 138k+622 至 138k+802 邊坡案例長期穩定分析 (Case 1: 水平向加速度  $0.27g$ 、垂直向加速度  $0.18g$ )，結果如圖4.111至圖4.114所示，其對應的 R 值分別為  $R = 1.0$ 、 $R = 0.74$ 、 $R = 0.52$ 、 $R = 0.38$ ，四種不同的 R 值分析的破壞面其實非常接近。

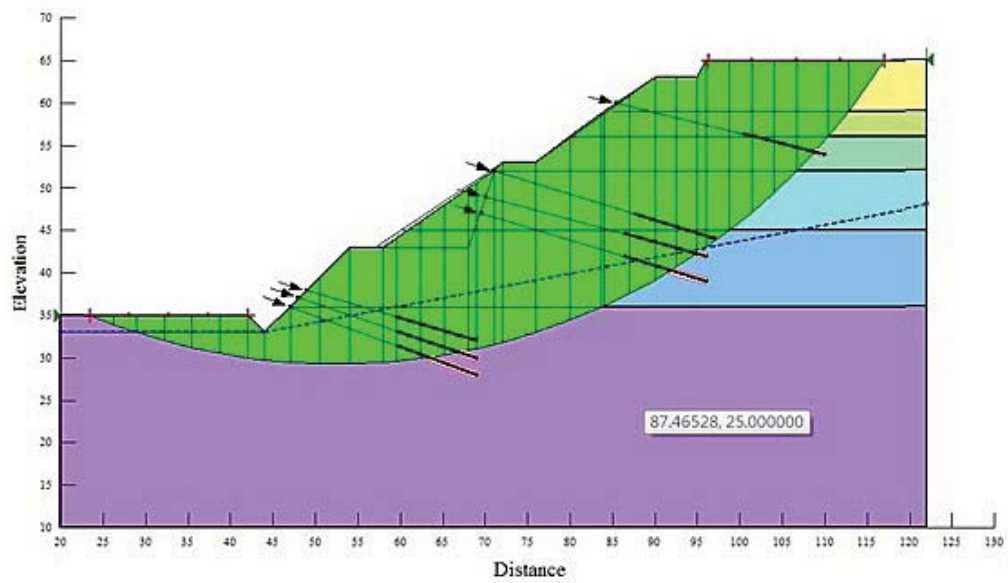


圖 4.111 國道 3 號北上 138k+622 至 138k+802 邊坡案例穩定分析結果 (R=1.0)

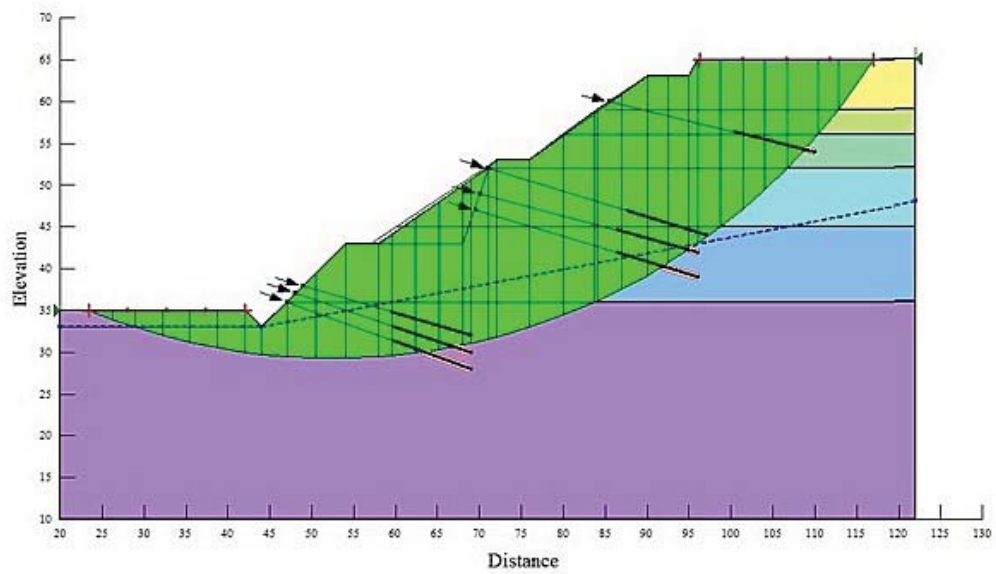


圖 4.112 國道 3 號北上 138k+622 至 138k+802 邊坡案例穩定分析結果 (R=0.74)

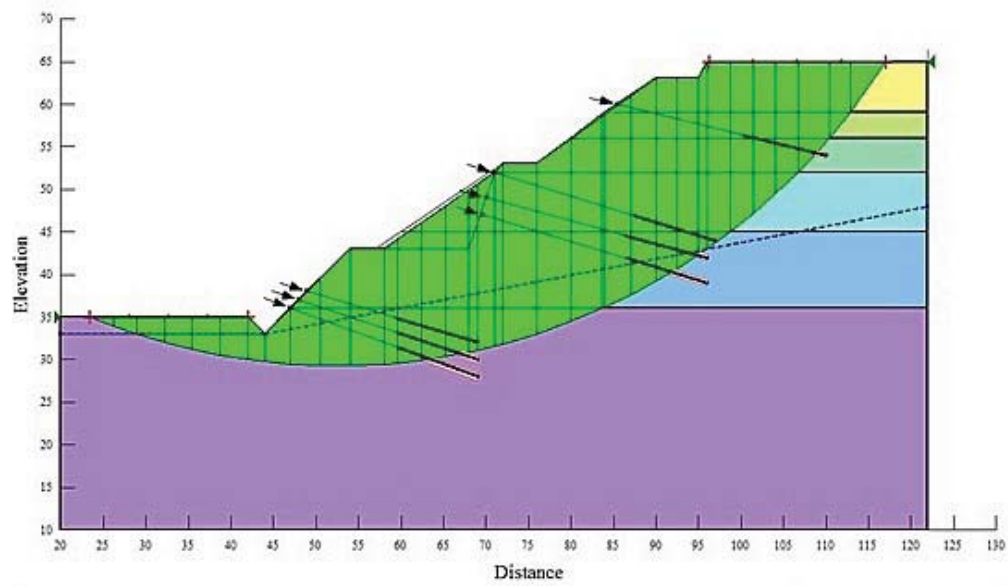


圖 4.113 國道 3 號北上 138k+622 至 138k+802 邊坡案例穩定分析結果 ( $R=0.52$ )

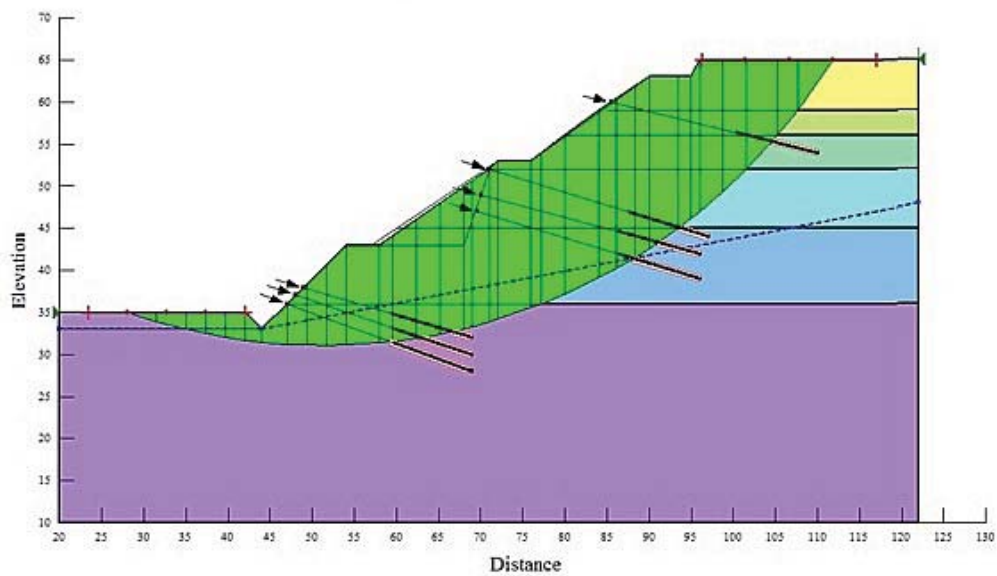


圖 4.114 國道 3 號北上 138k+622 至 138k+802 邊坡案例穩定分析結果 ( $R=0.38$ )



表4.90為國道3號北上138k+622至138k+802邊坡案例不同情境分析結果彙總，當此邊坡案例未設置地錨，若不考慮地震力作用其安全係數為1.563，超過規範規定屬於安全的，但是若考慮地震力時，以Case 1（水平向0.27g、垂直向0.18g）而言，其安全係數會低於規範規定的1.1；但若考慮Case 2（水平向0.18g、垂直向0.12g），其安全係數則略高於規範容許值。

表 4.90 國道3號北上138k+622至138k+802邊坡案例分析結果

水位情境:高水位情況			年期	安全係數		
分析標的				不考慮地震	考慮地震力Case 1 (水平向0.27g、 垂直向0.18g)	考慮地震力Case 2 (水平向0.18g、 垂直向0.12g)
原始邊坡(不考慮地錨)			0	1.563	1.011	1.134
地錨加固	R=	1.00	0	1.681	1.124	1.272
	R=	0.90	2	1.679	1.120	1.267
	R=	0.82	4	1.677	1.117	1.263
	R=	0.74	6	1.674	1.114	1.259
	R=	0.66	8	1.672	1.111	1.256
	R=	0.60	10	1.669	1.109	1.253
	R=	0.52	13	1.667	1.107	1.250
	R=	0.46	16	1.665	1.105	1.248
	R=	0.40	20	1.664	1.103	1.245
	R=	0.38	24	1.662	1.098	1.242

表4.90也顯示隨著拉力比值R的下降（表示使用年期的增加），邊坡穩定安全係數確實會隨著地錨殘餘荷重的衰減而逐漸減小，以Case 1（水平向0.27g、垂直向0.18g）而言，當一開始設置地錨後，其邊坡穩定安全係數為1.124（> 1.1），理論上是安全的，隨著使用年限的增加，其安全係數逐漸趨近於規範規定的1.1。Case 2（水平向0.18g、垂直向0.12g）則由於地震作用力較小，其安全係數在分析年限內都高於規範容許值。表4.90繪製成圖4.115可以更清楚地呈現其安全係數下降的趨勢。



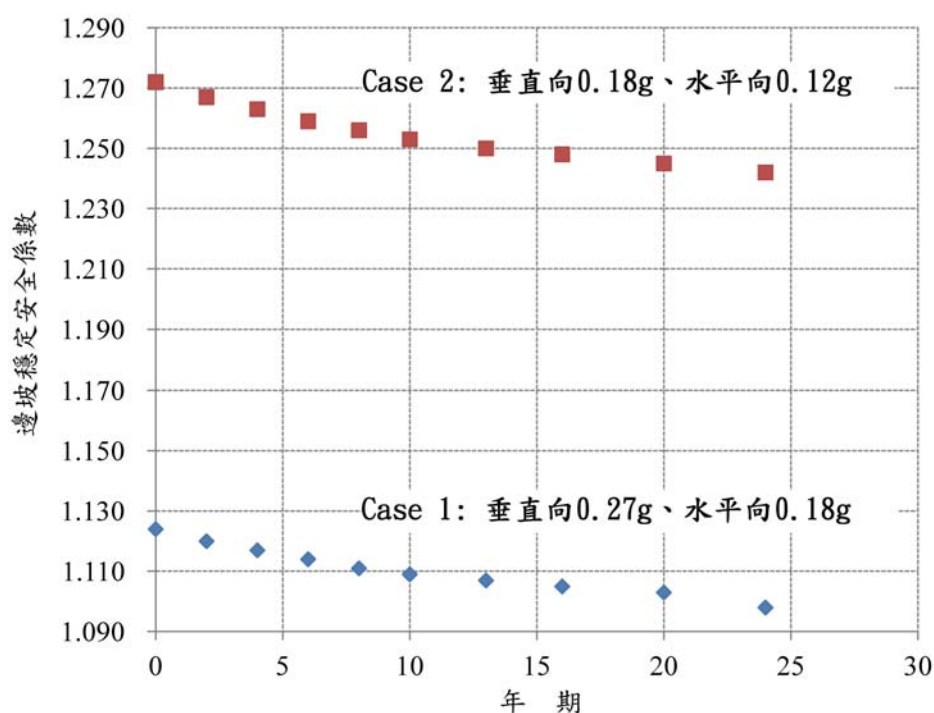


圖 4.115 國道 3 號北上 138k+622 至 138k+802 邊坡考慮地錨殘餘荷重衰減之穩定分析

以上的分析是基於定值性的分析方法，也就是不考慮參數的不確定性，雖然分析上已經將地錨殘餘荷重隨使用年限下降的行為考慮進去，不過分析結果  $FS > 1.1$  時真的代表絕對安全嗎？這是工程師非常關心的問題。如圖4.116所示，以地震力 Case 1 (水平向 0.27g、垂直向 0.18g) 的情況來說，當使用年限達 8 年後，邊坡穩定安全係數  $FS$  會降到 1.11，這個數值以規範來看是安全的，但是真的安全嗎？我們真的有信心地震作用下該邊坡真的安全嗎？若考慮參數的不確定性（土壤和地錨參數），則即便  $FS = 1.11$ ，是不是有可能會有某種程度的破壞機率？

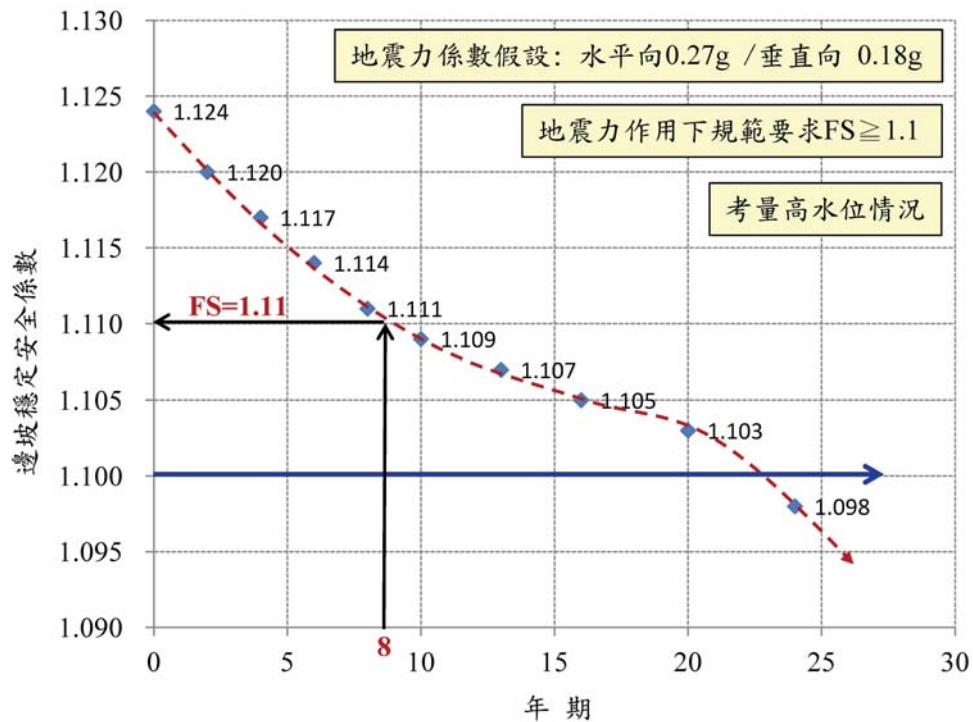


圖 4.116 國道 3 號北上 138k+622 至 138k+802 邊坡案例考慮地震力 Case 1 之穩定分析

本研究接下來即以地錨使用至第 8 年，配合地震力 Case 1（水平向 0.27g、垂直向 0.18g）的情況，進行邊坡破壞機率分析，地層參數的不確定性 (uncertainty)，包括凝聚力 and 摩擦角，基本上以原有的定值性參數值當作平均值 (mean)，變異系數 (COV) 則取 20%，並以常態分布進行分析。分析以蒙地卡羅法進行 2000 次計算，分析結果第 8 年邊坡穩定定值性安全係數為 1.11 的情況下，其破壞機率可以高達 26.9%。必須強調這個情況是以地震力（水平向 0.27g、垂直向 0.18g）來分析，若以規範的建議地震力（水平向 0.18g、垂直向 0.12g）來分析，其破壞機率相對較低。

上述的分析欲透過考量地錨拉力衰減的行為，進行邊坡穩定機率分析，可以提供工程師更多的分析資訊，做為判斷邊坡是否安全的依據，以及未來地錨如何建立養護頻率的基礎，後續將配合 4.4 節邊坡安全評估進行詳細的邊坡穩定機率分析。

### 4.3.5 養護頻率分析

交通設施養護對象養護頻率的建議，首先分析高公局國道養護整修紀錄，歸納各路段的每年養護次數，配合巡查資料，可以進行養護對象發生損壞及其發生原因，並檢討養護的方式及手段是否達到效果。其次根據本研究發展的劣化分析機率評估方法，選取養護及監測資料較完整的記錄進行案例研究，探討現行的養護方式是否有改進的空間。另外，對照邊坡分級及局內列管重點加強點位，可以進一步討論養護強度（採用年平均次數來表示）是否達到定期保養維修的目標，檢討養護方式及頻率是否可以延長該人為措施的服務年限，並保持在正常運作範圍，提供應有之安全性。此項工作內容需應用交

又比對、分析的方法從巡查資料、災損歷史、及邊坡分級等各項因素來討論養護的有效性及養護強度標準值的訂定。

本計畫之養護頻率分析工作內容具體說明如下（請參見圖4.117）：

1. 資料收集與分析：依照高公局選定之工務段，收集過去該工務段所有養護工程的詳細資料，以便進行養護工程項目分類與統計分析。
2. 養護次數統計分析：根據國道邊坡主要的養護對象與項目，進行養護次數統計分析，相關統計結果納入國道邊坡資料庫管理。
3. 劣化分析機率評估方法：依照選定之邊坡分析對象，進行劣化分析機率評估方法的建置工作。
4. 養護強度標準訂定：運用建置之劣化分析機率評估方法，進行養護強度標準訂定。

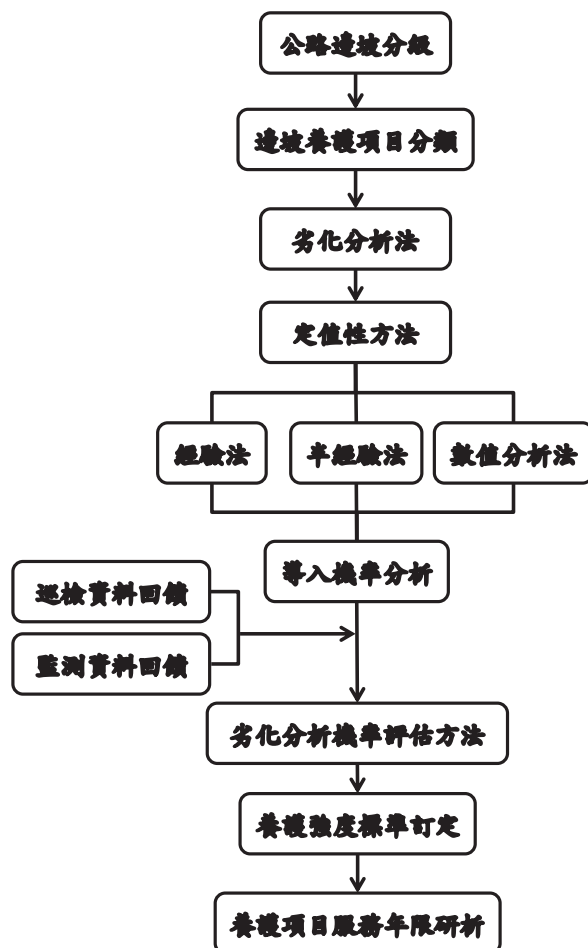


圖 4.117 養護頻率分析工作流程

養護頻率的研究特別著重於發展一個可以考慮材料劣化機率分析的評估方法，並且考慮影響養護強度標準的多重因子，希望透過演嚴謹的研究方法，建立國道邊坡養護項目服務年限的分析工作，協助高公局有效執行養護工作。

## 4.4 邊坡安全評估

### 4.4.1 文獻回顧

邊坡之損害原因大致可歸納為下列六項：

#### 1. 劣化、風化

道路邊坡常因溫度、風力及降雨等氣象因素，造成劣化及風化作用，如加以豪雨衝擊、地表逕流沖蝕及地下水位增高等負面影響，則將使原本穩定之邊坡逐步趨向不穩定，甚而導致平衡機制遭破壞引發崩塌災害。

#### 2. 水流侵蝕

源於小溪與河流、波浪、潮汐等水文現象造成之侵蝕作用，破壞地表土壤結構並將土石材料帶離，形成沖蝕溝，為多數滑動破壞之主因。如山區邊坡滑動部分係起因於溪流的侵蝕作用；河岸凹處，以及海岸線倒退引發之潮汐與波浪作用等，亦將導致崩塌之發生。

#### 3. 大地應力作用

地殼上之大地應力也為使邊坡逐步變陡，而改變平衡機制導致崩塌之之影響因子之一；如富含黏土之軟弱岩體若受到地盤力矩之嚴重擠壓與變形，則此地區之邊坡將持續發生坍滑破壞之狀況。

#### 4. 地震

地震產生之振動可導致不穩定邊坡土石崩落，或鬆砂、粉土或地下水面下之黏土自發性的液化，並可降低部分敏感黏土之剪力強度。當此類土壤相對密度較低時，其結構可能崩潰，因孔隙水壓力升高而發生液化。

#### 5. 潛在敏感地區

坡地災害之敏感地質有下列八大類：

- (1) 崩場地：自然或人工邊坡因自然力或外力作用，引致的材料搬運現象，其材料移動範圍稱之。
- (2) 斷層帶：斷層構造線附近，帶狀之剪裂帶構造，常出現破裂岩層或斷層泥分佈。
- (3) 河（海）岸侵蝕：位於河、海岸附近，受河、海水之沖刷侵蝕之邊坡。

- (4) 崖錐堆積和崩積土：懸崖的岩石因風化作用與侵蝕作用，或為碎石與土壤，崩落於懸崖下成為崖錐堆積。大規模的崖錐堆積，有的是由大規則崩山所造成，稱為「崩積層」或「崩積土」。
- (5) 填土：填方坡地大多未加滾壓，內部疏鬆，本身已經相當不穩定而易下陷，甚至滑動。
- (6) 沖積扇：當河流由山區流入平地或支流匯入主流的交界地方，因河床坡度減緩、流速減小，在出口處由上游所挾帶而下的沉積物會堆積下來，形成傾斜平緩之扇狀堆積地。
- (7) 台地陡坡下：台地高陡邊坡有別於崩積坡，在一般情況（不受洪水沖刷）下可維持 60 度以上坡角而不崩壞。
- (8) 地質不連續面：包括砂頁岩互層、泥岩夾層弱面及順向坡滑動層間。

6. 工程施工：許多崩塌發生肇因於鐵公路或河渠之建設施工。

- (1) 挖填方：填方邊坡最易發生崩塌之階段為在填土施工期間及完成之瞬間，填土完成後因排水壓密效應使孔隙水壓逐漸消散，土層之剪力強度及安全係數均將隨時間而提昇；挖方邊坡之破壞時機為開挖過程及完成後一時段內，開挖過程中可能因現地狀況與設計假設不符、臨時擋土設施不當，或施工程序及品質不佳等因素而造成邊坡崩塌；開挖完成一時段內，可能因開挖之解壓作用及孔隙水壓增加而造成邊坡崩塌，此時段內其安全係數隨時間增加而遞減；半挖半填邊坡則是綜合挖方及填方邊坡。
- (2) 荷重：在古老滑動區域，其現階段穩定狀況的微小改變將導致後續的滑動，永久性建物之建置如過於接近邊坡端點，明顯造成發生崩塌之誘因。此外，荷重之增加，例如在邊坡頂端之填土，將造成沿潛在破壞面平均剪應力增加而導致崩塌。
- (3) 振動：基樁打設或爆破所產生之振動也可能觸發崩塌，例如在坡趾下某深度的粉土層，將因基樁打設造成液化而導致敏感黏土層的大規模崩塌。另施工點之膨脹將導致剪力強度的逐步下降。最不確定的狀況之一，即為飽和疏鬆之砂層或粉土層，因基樁打設會產生孔隙水壓的增加，造成剪力強度瞬間降低或導致自發性液化，破壞穩定機制。

#### 4.4.2 示範段邊坡資料說明

本報告選定國道 3 號大甲段轄區，北上 138k+622 至 138k+802、北上 149k+000 至 149k+215 以及北上 150k+320 至 150k+585 等三處邊坡，作為邊坡安全評估之「示範段」。

大甲段轄區路段邊坡在地質分區上大部份屬於台灣西部麓山帶地質區，局部則屬濱海沖積平原。沿線附近出露之地層由老而新包括更新世之卓蘭層、頭嵙山層、更新世



晚期之紅土台地堆積層、階地堆積層及現代沖積層。由於本區出露之地層年代甚為年輕，其岩化作用尚不完全。除卓蘭層及頭嵙山層因形成年代稍早而呈半固結岩層外，其他均為未膠結或膠結不良之地層。

本路段卓蘭層岩性以鬆軟之青灰色泥質砂岩、粉砂岩、砂質泥岩為主，多呈層狀結構，岩性組合以砂岩偶夾泥岩為主，偶有砂岩及泥岩之薄互層。依地調所「地地岩體調查特性調查研究」計畫資料顯示，本區之卓蘭層施密特鎚試驗之岩石單壓強度在5~10MPa，強度甚低。

本路段頭嵙山層岩性以砂岩、泥岩及礫岩為主，可分為香山相及火災山相，香山相岩性組合包括砂岩泥岩互層、砂岩偶夾泥岩，其岩體強度甚低，施密特鎚試驗岩石單壓強度在1~10Mpa間。部份路段屬順向坡地形，故在砂岩及泥岩交界面順向坡滑動之潛勢較高。火災山相則以礫岩為主，其基質之施密特鎚試驗岩石單壓強度小於2.2 MPa，該礫岩因風化或人為開挖易發生沖蝕及溯源侵蝕等情形。

紅土台地堆積層、階地堆積層及現代沖積層均為未固結之沉積物，材料以礫石、砂、粉砂及泥為主。其中紅土台地堆積層大致可分為上部之土壤及下部之礫石層，其厚度各地不一，大致約在數公尺至數十公尺間。

本段路線通過數條斷層，於新竹苗栗地區之丘陵地帶，斷層均接近東西走向，多屬逆衝右移性質，且多為紅土台地堆積層、階地堆積層及現代沖積層所掩覆，至后里台地及大肚台地附近，斷層沿台地西緣分佈，呈北北東—南南西走向，均屬掩覆之逆斷層，依據2010年經濟部中央地質調查所公佈之活動斷層分佈圖顯示，后里台地西緣之大甲斷層及鐵砧山斷層屬第一類活動斷層；另大肚台地西緣之彰化斷層亦屬第一類活動斷層。

國3北上138k+622至138k+802邊坡地層屬頭嵙山層香山相，岩性為砂岩、粉砂岩及頁岩互層，偶夾薄層礫岩，屬岩屑崩坍低潛勢區。邊坡高度35m、面寬180m，現場以混凝土面版、鋼筋混凝土格梁地錨為保護工。

國3北上149k+000至149k+215邊坡地層屬土臺地，岩性為紅土、礫石、砂及粘土，屬岩屑崩坍低潛勢區。邊坡高度35m、面寬215m。現場以鋼筋混凝土格梁地錨為保護工。

國3北上150k+320至150k+585邊坡地層屬頭嵙山層香山相，岩性為砂岩、泥岩互層，層面走向順向坡，屬順向坡滑動及岩屑崩坍低潛勢區。邊坡高度25m、面寬265m，以筋混凝土格梁地錨、排樁地錨為保護工。

#### 4.4.3 邊坡安全分析

邊坡穩定分析的方法很多，但大多都是基於切片法，各種方法的主要差異在於是否滿足力平衡方程式以及力矩平衡方法式，以及是否考量切片之正向力和剪力。圖4.118為切片分析法中正向力及剪力的示意圖。



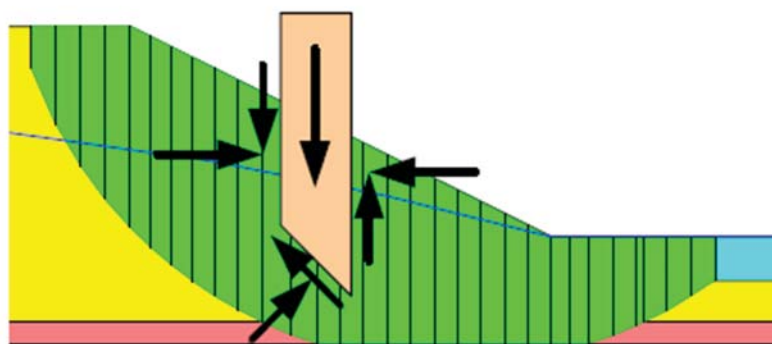


圖 4.118 切片和切片內之正向力及剪力

表4.91為常用之各種邊坡穩定分析方法考量的分析條件，由表中可見，Morgenstern-Price 邊坡穩定分析法既考慮切片正向力也考慮剪力，且同時滿足力平衡與力矩平衡方程式，算是較為嚴謹的邊坡穩定分析方法，所以本研究採用 Morgenstern-Price 法作為邊坡穩定分析方法。

表 4.91 各種邊坡穩定分析法的分析條件

方法	切片正向力 X	切片剪力 E	力矩平衡	力平衡	X/E 合力之關係
Ordinary Fellenius	No	No	Yes	No	不考慮內力
Bishop's Simplified	Yes	No	Yes	No	水平
Janbu's Simplified	Yes	No	No	Yes	水平
Spencer	Yes	Yes	Yes	Yes	常數
Morgenstern-Price	Yes	Yes	Yes	Yes	變數，使用者定義
Corps of Engineers-1	Yes	Yes	No	Yes	向坡頂傾斜
Corps of Engineers-2	Yes	Yes	No	Yes	向頂部切片之地表傾斜
Lowe-Karafiath	Yes	Yes	No	Yes	向平均地表及切片底部傾斜
Janbu Generalized	Yes	Yes	Yes(by slice)	Yes	驅動力的作用線和切片的力矩平衡
Sarma-vertical slices	Yes	Yes	Yes	Yes	$X = C + E \tan \phi$

根據規範規定，邊坡穩定安全係數平時安全係數應高於 1.5，地震時安全係數應高於 1.1。圖4.119為國 3 北上 138k+622 至 138k+802 邊坡穩定分析之模型，分析時採用莫

耳庫倫 (Mohr-Coulomb) 土壤模式，表4.92為分析時所採用之參數。圖4.120為國 3 北上 138k+622 至 138k+802 平時邊坡穩定分析之結果，極限平衡安全係數 1.735 滿足規範之要求。

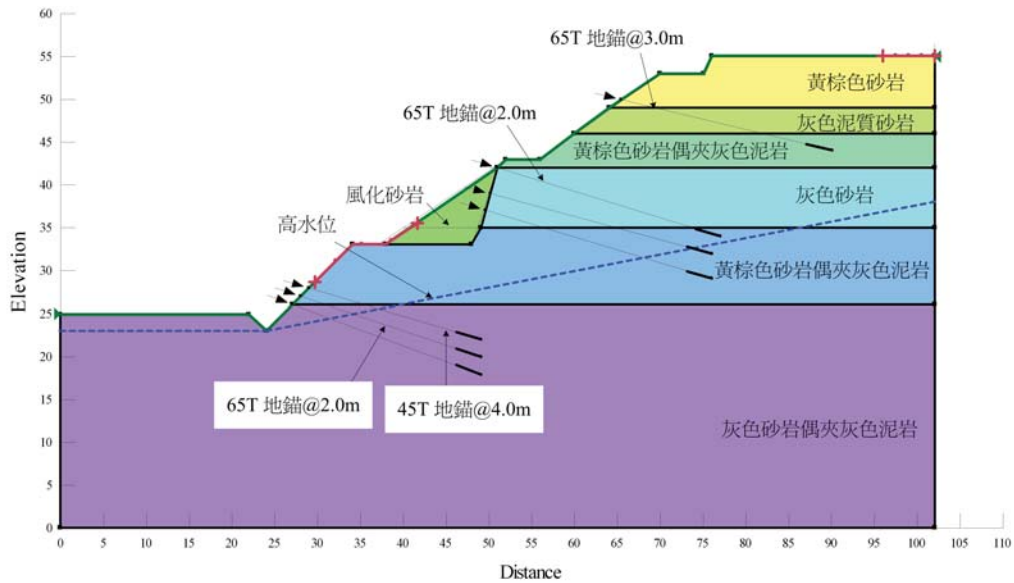


圖 4.119 國 3 北上 138k+622 至 138k+802 邊坡穩定分析之模型

表 4.92 國 3 北上 138k+622 至 138k+802 邊坡穩定分析材料參數

材料種類	單位重 $\gamma_i (t/m^3)$	飽和單位重 $\gamma_{sat} (t/m^3)$	凝聚力 $c (t/m^2)$	摩擦角 $\phi (deg)$
風化砂岩	1.90	2.00	0.1	30
黃棕色砂岩	2.00	2.10	0.5	30
灰色泥質砂岩	2.10	2.10	1.0	30
黃棕色砂岩偶 夾灰色泥岩	2.00	2.10	0.6	31
灰色砂岩	2.10	2.10	1.2	31
黃棕色砂岩偶 夾灰色泥岩	2.00	2.10	0.7	31
灰色砂岩偶夾 灰色泥岩	2.10	2.10	1.6	32

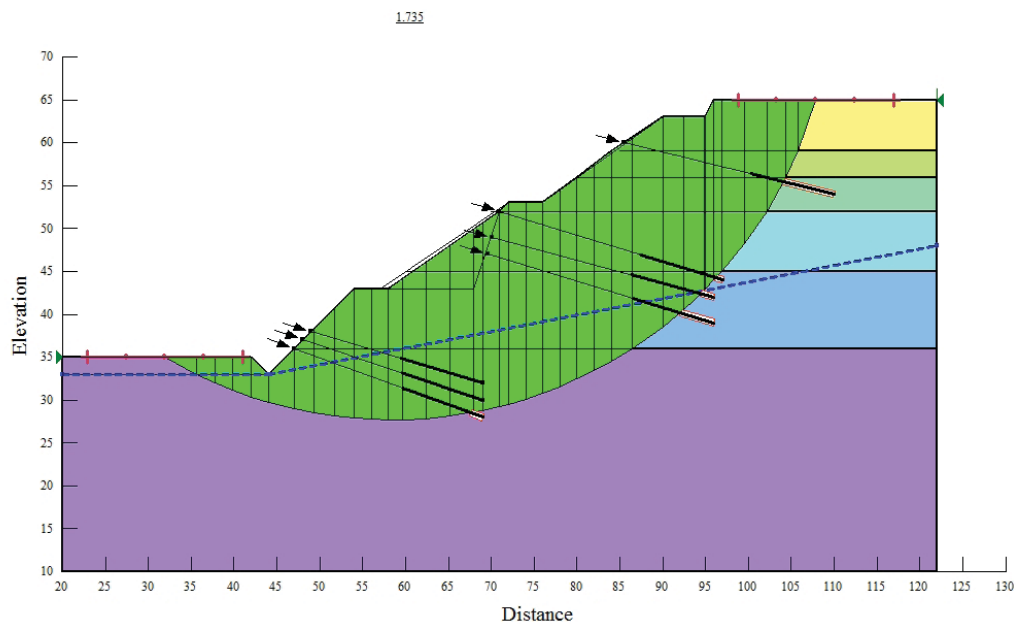


圖 4.120 國 3 北上 138k+622 至 138k+802 平時邊坡穩定分析之結果

邊坡地震時安全評估係以仿靜態地震係數法來考慮，取水平向地震係數 $=0.18$ 、垂直向震係數 $=0.12$ 進行分析。圖4.121顯示國 3 北上 138k+622 至 138k+802 地震時邊坡穩定分析之結果，極限平衡安全係數為 1.262，亦符合規範之規定。

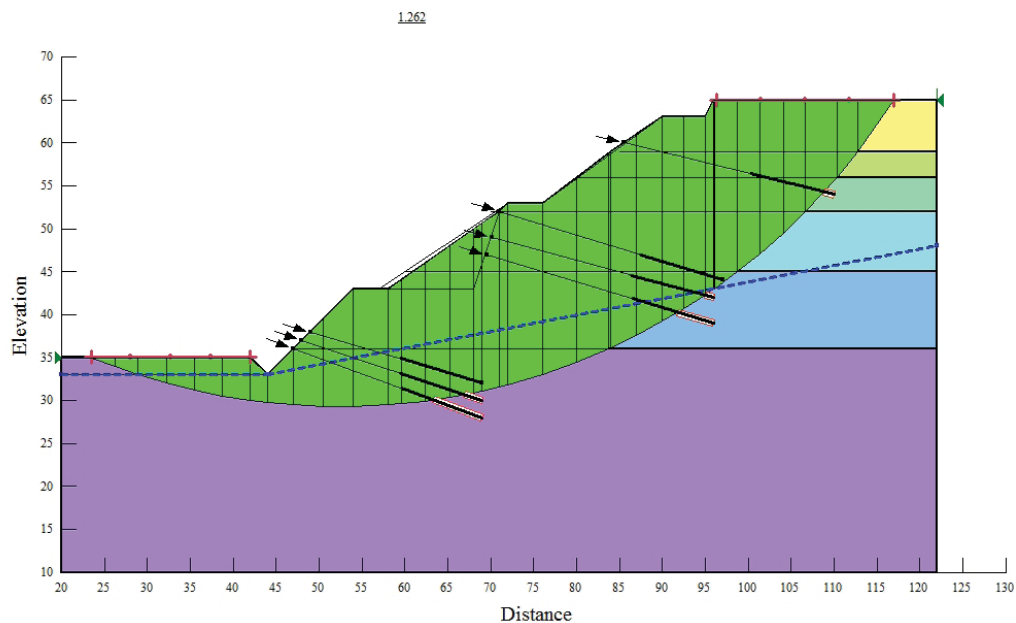


圖 4.121 國 3 北上 138k+622 至 138k+802 地震時邊坡穩定分析之結果

圖4.122則為國 3 北上 149k+000 至 149k+215 邊坡穩定分析之模型，表4.93為分析時所採用之材料參數。

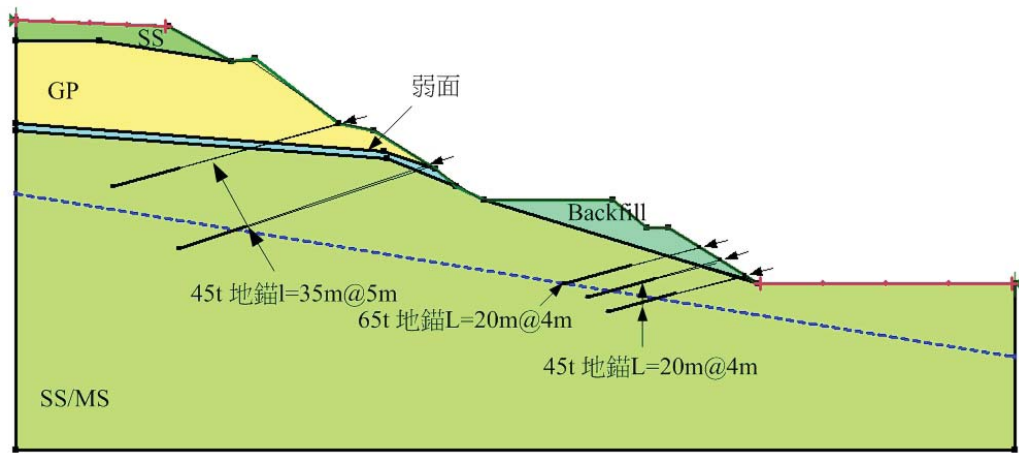


圖 4.122 國 3 北上 149k+000 至 149k+215 邊坡穩定分析之模型

表 4.93 國 3 北上 149k+000 至 149k+215 邊坡穩定分析材料參數

材料種類	單位重 $\gamma_i(t/m^3)$	飽和單位重 $\gamma_{sat}(t/m^3)$	凝聚力 $c(t/m^3)$	摩擦角 $\phi(deg)$
GP	2.00	2.00	2.0	33
SS/MS	2.05	2.05	6.7	24
SS	1.90	1.90	0.5	30
Backfill	2.00	2.00	0.1	33
弱面	2.00	2.00	0.013	18.2

圖4.123及圖4.124分別為國 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之結果，安全係數分別為 2.023 及 1.340，均符合規範之規定。

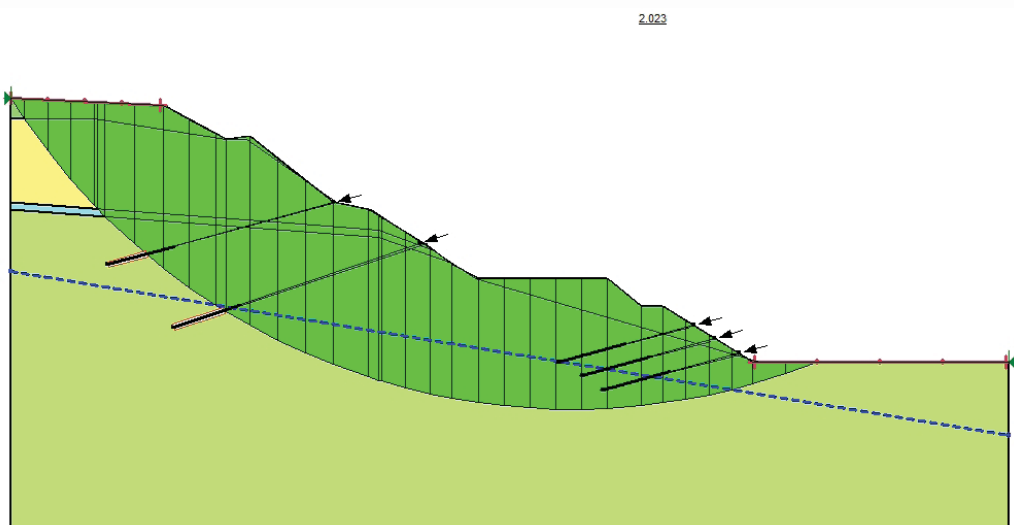


圖 4.123 國 3 北上 149k+000 至 149k+215 平時邊坡穩定分析

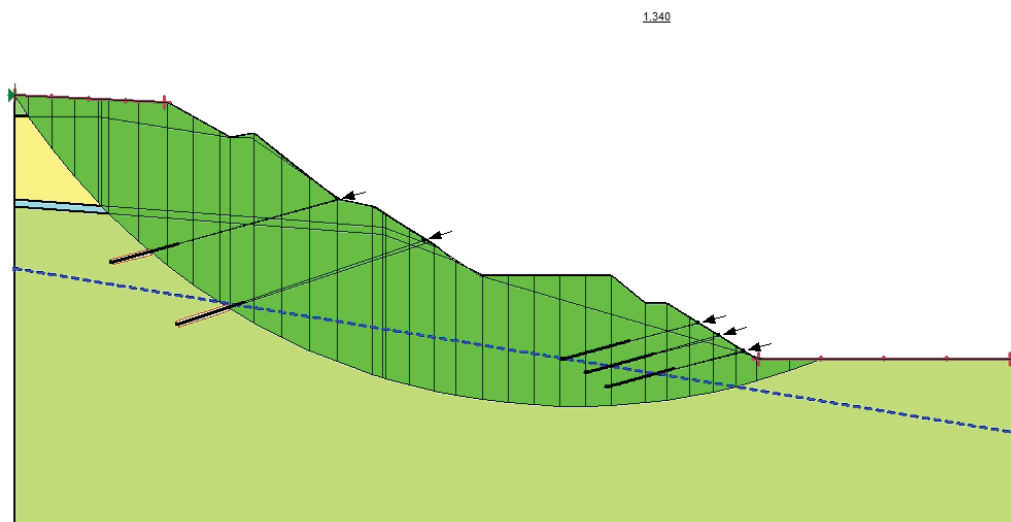


圖 4.124 國 3 北上 149k+000 至 149k+215 地震時邊坡穩定分析

圖4.125則為國 3 北上 150k+320 至 150k+585 邊坡穩定分析之模型，表4.94為分析時所採用之材料參數。

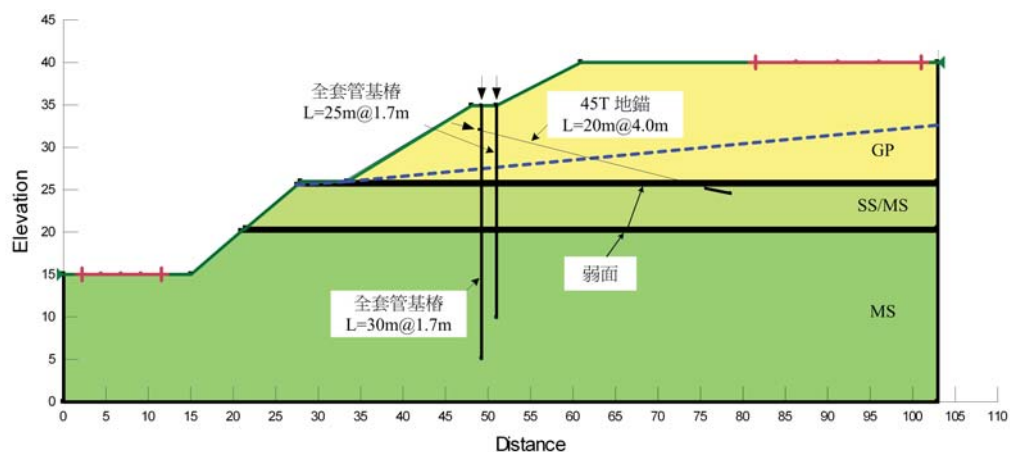


圖 4.125 國 3 北上 150k+320 至 150k+585 邊坡穩定分析之模型

表 4.94 國 3 北上 150k+320 至 150k+585 邊坡穩定分析材料參數

材料種類	單位重 $\gamma_i(t/m^3)$	飽和單位重 $\gamma_{sat}(t/m^3)$	凝聚力 $c(t/m^3)$	摩擦角 $\phi(deg)$
GP	2.0	2.0	1.0	36
SS/MS	2.1	2.1	2.0	30
MS	2.0	2.0	8.0	12
弱面	2.0	2.0	0.01	14

圖4.126及圖4.127分別為國 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之結果，安全係數分別為 1.698 及 1.110，均符合規範之規定。

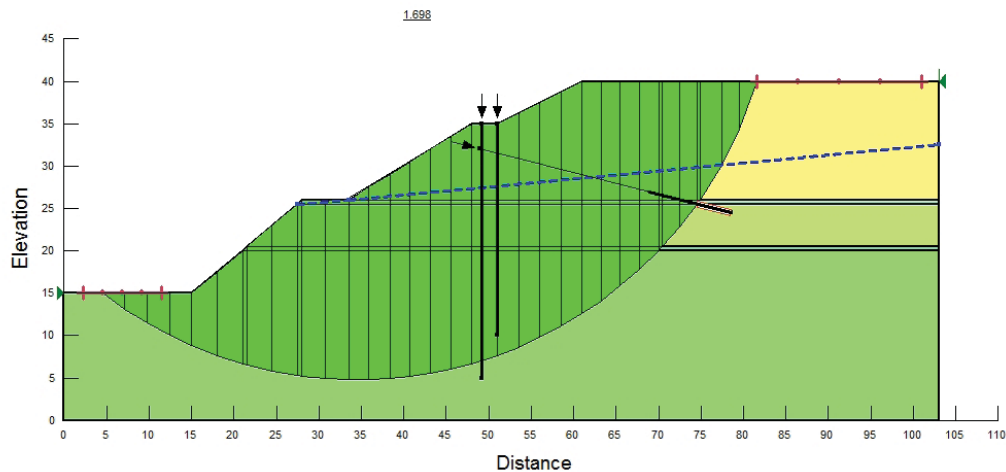


圖 4.126 國 3 北上 150k+320 至 150k+585 平時邊坡穩定分析

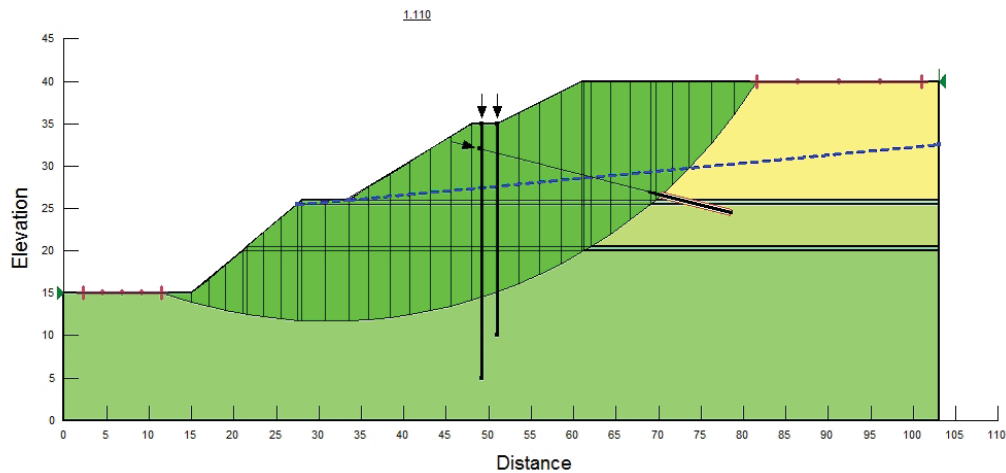


圖 4.127 國 3 北上 150k+320 至 150k+585 地震時邊坡穩定分析

#### 4.4.4 邊坡安全可靠度分析及分析流程

上節所述之邊坡穩定分析方法，均屬於定值性 (Deterministic) 的分析方法，並無法考慮分析模式及分析參數的不確定性 (Uncertainty)。Christian et al. (1994) 將土工系統之誤差分成資料散佈 (data scatter) 及系統誤差 (systematic error) 兩大類。如圖4.128所示，資料散佈又可進一步區分成空間變異性及量測干擾，系統誤差可區分成模式偏差及統計誤差兩類。土工系統的不確定分析可能比想像中要複雜許多，由於分析模式是土工系統分析與設計的基石，因此其中分析模式的不確定性需要加以深入研究。



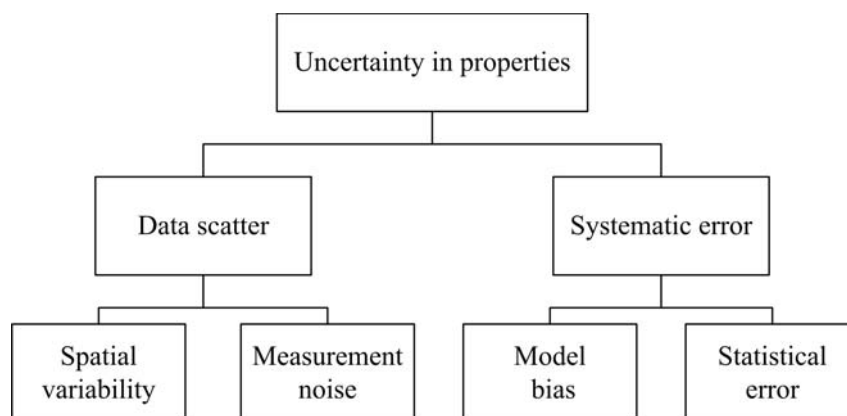


圖 4.128 土工系統之不確定性（重繪自 Christian et al., 1994）

邊坡工程設計的首要任務為避免開挖的破壞或崩潰，因此必須進行穩定分析。其次為避免因開挖引致過大的壁體變形及地表沈陷，造成開挖周邊建築物或公共設施的損壞，所以必須進行變形分析。截至目前為止；工程界對於邊坡工程的分析與設計，不論是穩定分析或變形分析，仍是採用傳統的定值性分析法 (deterministic method)，並沒有考慮大地工程中存在的極多不確定性。

在穩定分析方面，傳統的分析方法是基於工作應力設計 (working stress design, WSD)，以單一的「安全係數」表示邊坡工程狀態的穩定與否，如式4.8所示：

$$F_s = \frac{R}{L} \quad (4.8)$$

其中  $F_s$  為安全係數， $R$  為抵抗力， $L$  為驅動力。然而這個單一的安全係數，在抵抗力和驅動力部份都忽略了不確定性因素對分析結果的影響。如圖4.129所示，以式4.8計算所得的安全係數實為「平均安全邊際」(mean safety margin)，並無法考量系統破壞的機率及風險。事實上大地工程存在極多的不確定性，包括模型不確定性、材料性質的不確定性、土石空間的不確定性等，但傳統的分析、設計方法都沒有考慮這些不確定性。其實安全係數這個值的意義並不明確，不同分析方法假設的破壞機制不同，工程師難以決定適當的安全係數。Nguyen(1985) 即指出，一個安全係數 2.5 的工程設計並無法表示其安全性較安全係數 1.25 的設計高兩倍，同樣的；在一種破壞模式計算得到 1.5 的安全係數，亦不能保證其安全性比以另一種破壞模式計算所得安全係數 1.4 者為高。

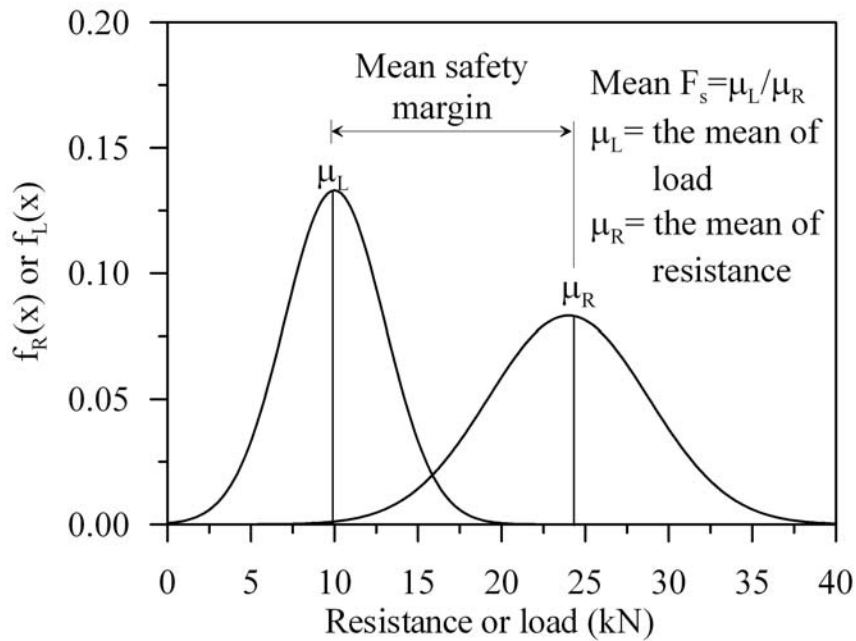


圖 4.129 傳統分析方法安全係數的定義

近年來，工程界已意識到以可靠度為基礎的大地工程設計，相對於傳統的設計方法具有更多的洞察力及優勢，世界各國的建築規範，亦已朝向可靠度設計 (reliability based design, RBD)、性能設計 (performance based design, PBD)、限度狀態設計 (limit state design, LSD)、載重與阻抗係數設計 (load and resistance factor design, LRFD) 等方向發展。可靠度分析可以評估工程所面臨的所有不確定性問題，以及考量不確定性對整體系統破壞之影響，是較合理的分析方法。可靠度設計以可靠度指標 (reliability index) 作為設計之依據，其定義如下 (Ang and Tang, 2008)：

$$\beta = \frac{\mu_m}{\sigma_m} \quad (4.9)$$

其中  $\mu_m$  和  $\sigma_m$  分別為性能函數 (performance function) 的期望值 (mean value) 及標準差 (standard deviation)。性能函數  $M$  之定義為抵抗力 ( $R$ ) 和驅動力 ( $L$ ) 之差 ( $M = R - L$ )。破壞機率和可靠度指標具有唯一的關係：

$$p_f = 1 - \Phi(\beta) \quad (4.10)$$

其中  $p_f$  為破壞機率， $\Phi$  為標準常態累積分佈函數。

圖4.130顯示三種不同型態的抵抗力及驅動力之機率密度函數分佈情形，由於圖4.130之抵抗力和驅動力的期望值 (mean value) 均相同，因此以傳統分析方法計算所得的安全係數均相同。然而若以機率理論分析，則可見三種不同型態之機率分佈型式實則具有不同的破壞機率，在傳統安全係數相同的條件下，圖4.130(c) 之破壞機率比圖4.130(a) 高出 400 倍！顯見忽略地工系統中之不確定性，只用一個單一的安全係數來表示工程設計的「安全性」的傳統分析方法，其實並不合理。

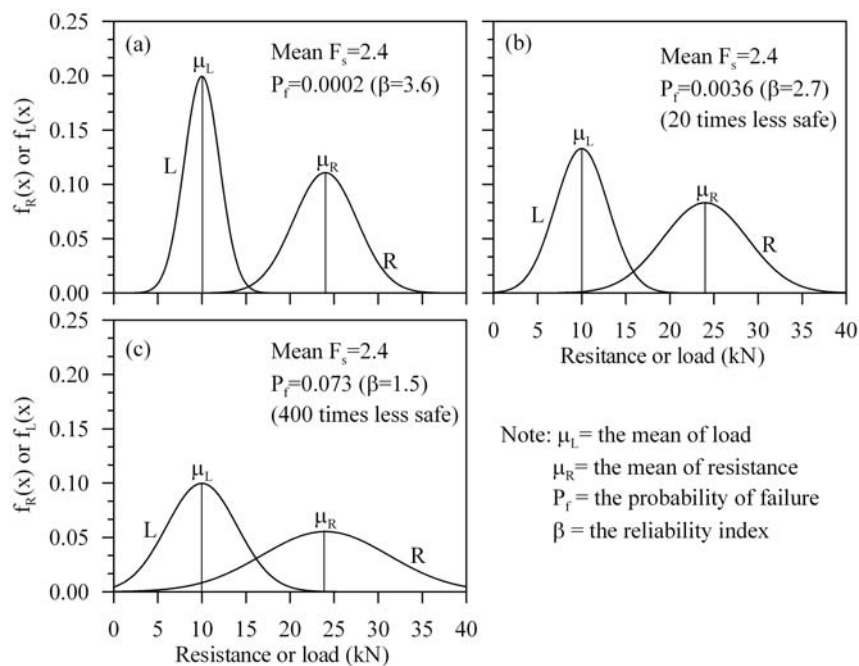


圖 4.130 三種相同安全係數但破壞機率並不不同的機率密度函數

綜所上述，正因為傳統的分析方法，無法考量分析模式及分析參數的不確定性，若土石空間具有較大的變異性時，即使計算所得有很高的安全係數，也並不能保證其系統安全的穩定度較高。因此；國道邊坡全生命週期維護管理實有必要採用可靠度分析。本專案進行邊坡穩定分析之流程如圖4.131所示。

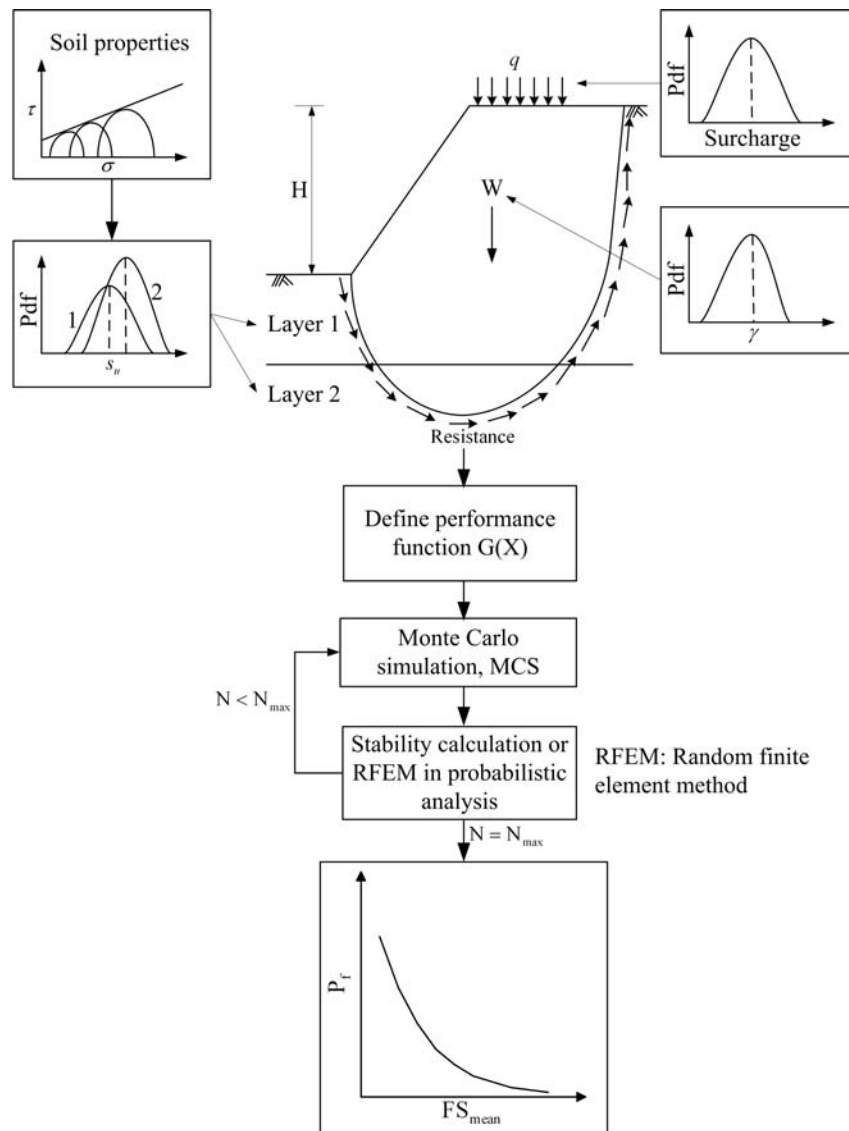


圖 4.131 邊坡穩定分析作業流程

本專案採用蒙地卡羅模擬 (Monte Carlo simulation) 求解邊坡安全之可靠度。蒙地卡羅模擬是一個隨機取樣法，根據大數法則 (Law of large number) 一系統之失效機率  $p_f$  可由下式估算 (Ang and Tang, 2008)：

$$p_f = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N I[g(x_j) \leq 0] \quad (4.11)$$

其中  $N$  為模擬次數， $g(x_j)$  為性能函數數 (Performance function)， $g(x_j) \leq 0$  即表示系統失效， $I(x)$  為指標函數，以下式定義：

$$\begin{aligned} I(x) &= 1 : g(x_j) \leq 0 \\ I(x) &= 0 : g(x_j) > 0 \end{aligned} \quad (4.12)$$

破壞機率之變異數 (Variance) 則可根據下式計算：

$$\begin{aligned} Var[p_f] &= Var\left[\frac{N_f}{N}\right] = \frac{1}{N^2} Var[N_f] \\ &= \frac{1}{N^2} N p_f (1 - p_f) = \frac{1}{N} p_f (1 - p_f) \end{aligned} \quad (4.13)$$

式4.13中  $N_f$  為系統失效次數。由式4.13可知，當實際失效機率很小時，蒙地卡羅估算值變異性會較大，在這種情況下，為了得到精準之失效機率，蒙地卡羅模擬需要較多的系統分析次數。根據以上的說明，本專案採用  $N = 2000$  進行邊坡安全可靠度分析之模擬次數。

可靠度分析前要先指定材料參數的機率密度函數 (Probability density function, PDF)，所需輸入參數為材料參數的期望值 (Mean) 和標準差 (Standard deviation)。自然界的事物大多呈常態分佈 (Normal distribution)，且常態分佈在地工界應用十分廣泛，所以本專案分析採用常態分佈作為材料參數的機率密度函數。

材料之變異性可用變異係數 (Coefficient of variation, COV)  $\delta$  表示：

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} \quad (4.14)$$

其中  $\sigma$  為標準差， $\mu$  為期望值。根據 Phoon and Kulhawy(1999) 的統計，土壤摩擦角之變異係數在 7% 至 20% 之間，因此本研究取變異係數等於 7% 和等於 20% 兩種情況計算材料強度參數之標準差，並進行可靠度分析。亦即邊坡破壞機率應在這兩種情況之間。此外，本研究採用莫耳庫倫破準測進行邊坡穩定分析，莫耳庫倫破壞準則所需之強度參數為凝聚力及摩擦角，故本研究進行可靠度分析時，係將土壤之凝聚力及摩擦角均視為不確定性變數。

圖4.132為國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，由圖中可知當 COV=7% 時，平時邊坡之破壞機率為 0%。圖4.133則為國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%。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則分示於圖4.134及圖4.135，邊坡破機率分別為 0.25% 及 6.75%。

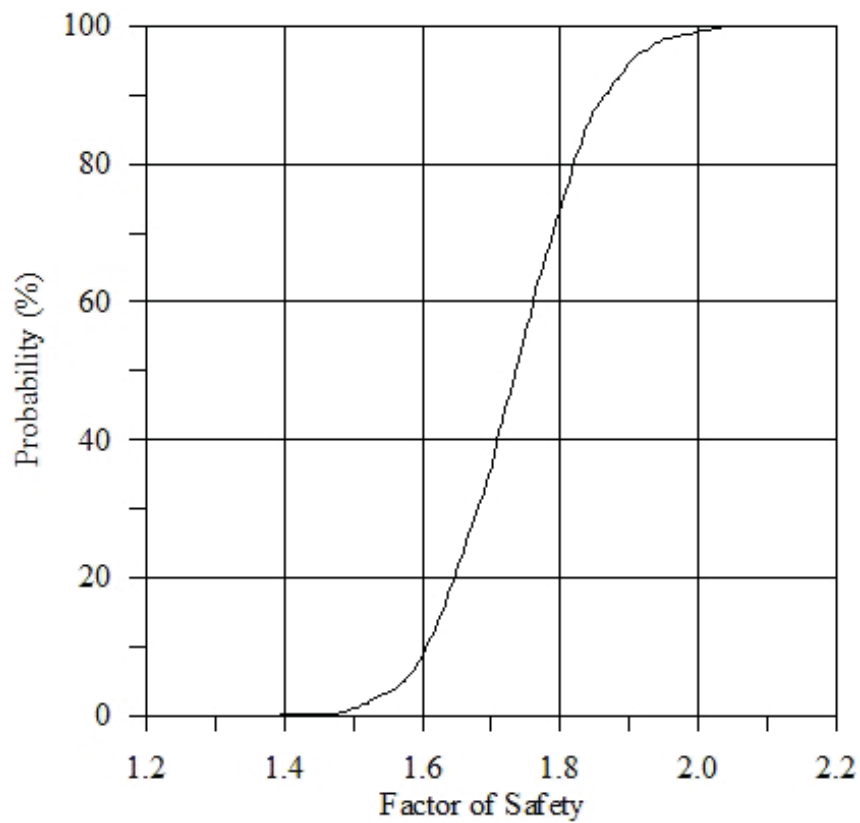


圖 4.132 國 3 北上 138k+622 至 138k+802 平時邊坡破壞機率分析 (COV=7%)

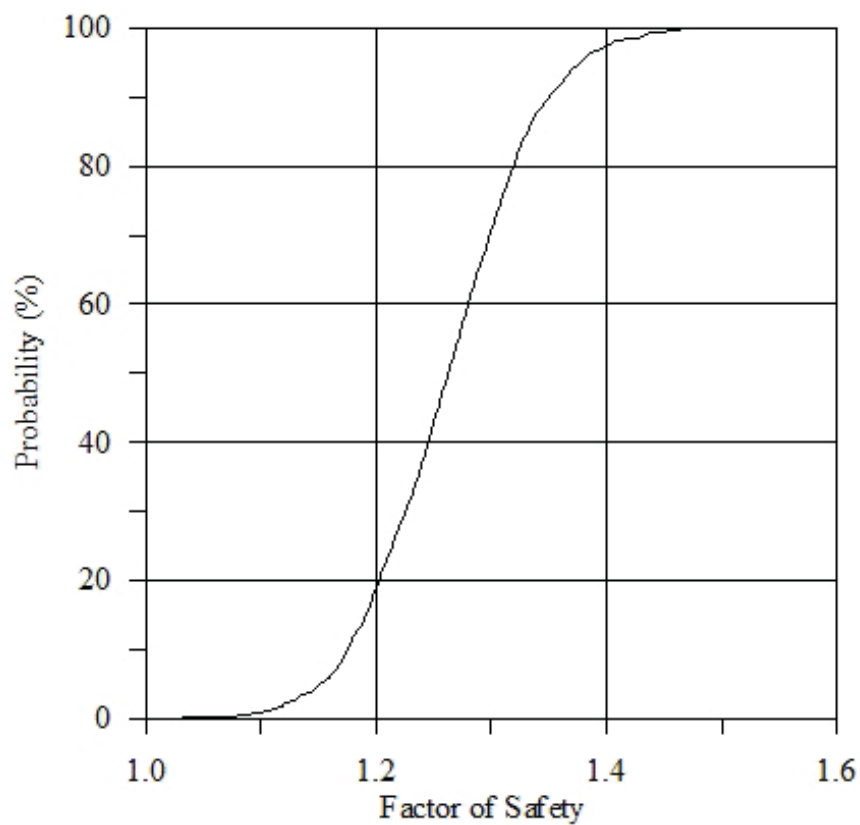


圖 4.133 國 3 北上 138k+622 至 138k+802 地震時邊坡破壞機率分析 (COV=7%)



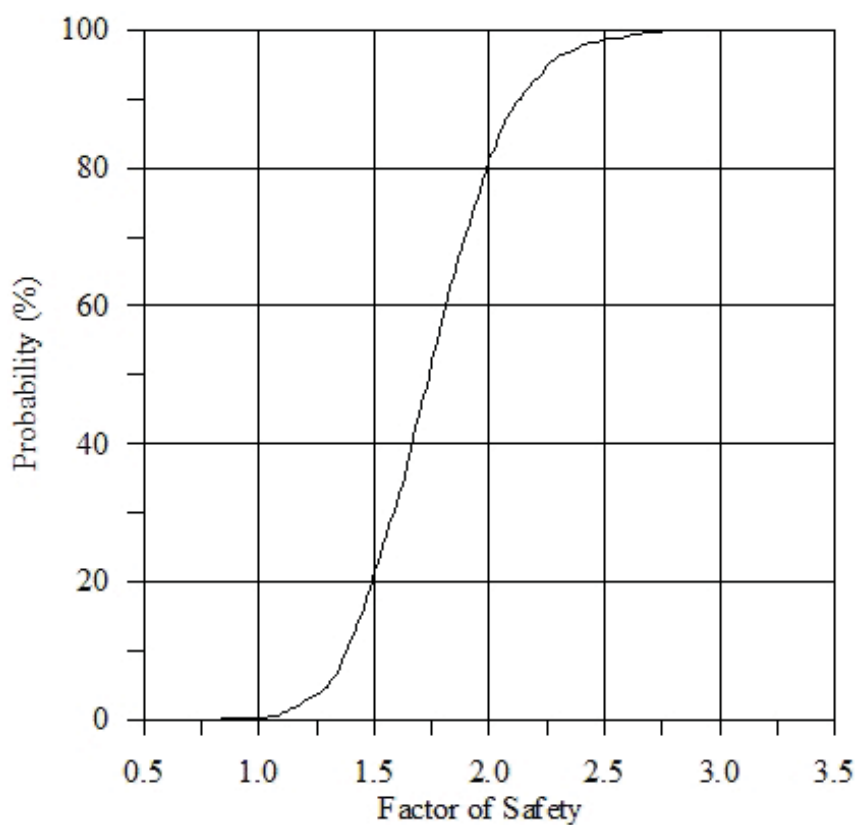


圖 4.134 國 3 北上 138k+622 至 138k+802 平時邊坡破壞機率分析 (COV=20%)

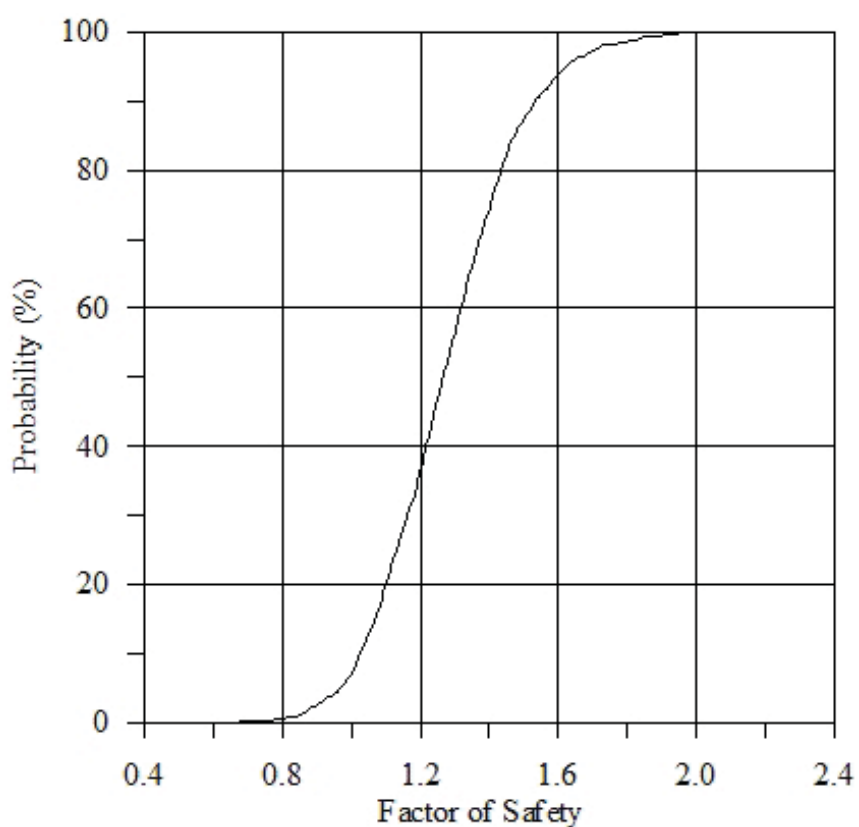


圖 4.135 國 3 北上 138k+622 至 138k+802 地震邊坡破壞機率分析 (COV=20%)

圖4.136為國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，由圖中可知當 $COV=7\%$ 時，平時邊坡之破壞機率為0%。圖4.137則為國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則分示於圖4.138及圖4.139，邊坡破機率分別為0.10%及4.95%。

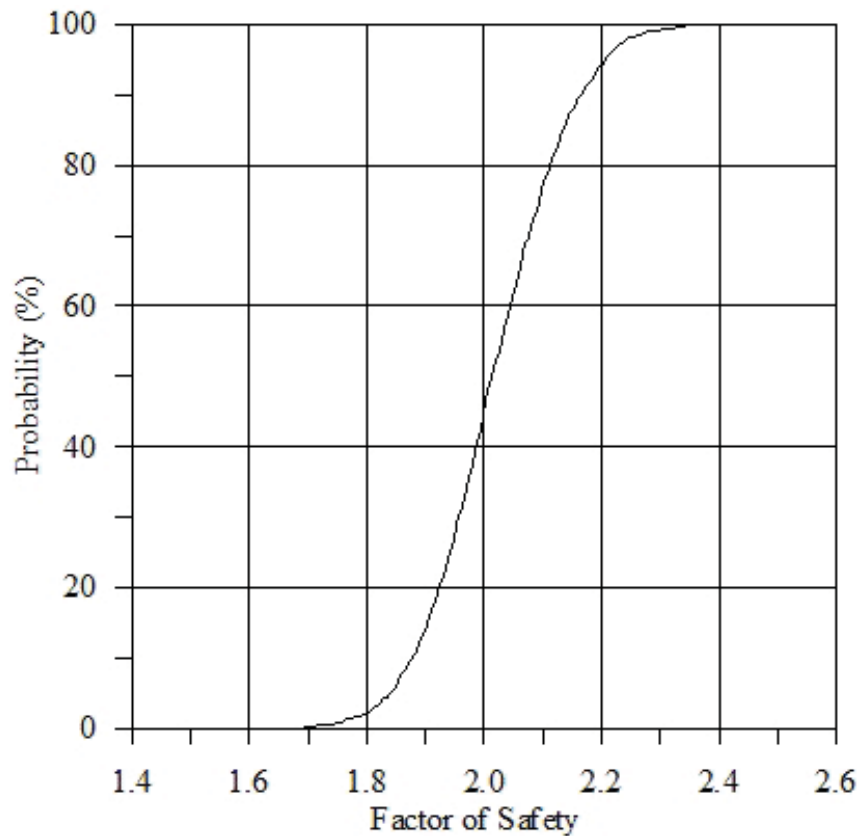


圖 4.136 國3北上149k+000至149k+215平時邊坡破壞機率分析（ $COV=7\%$ ）

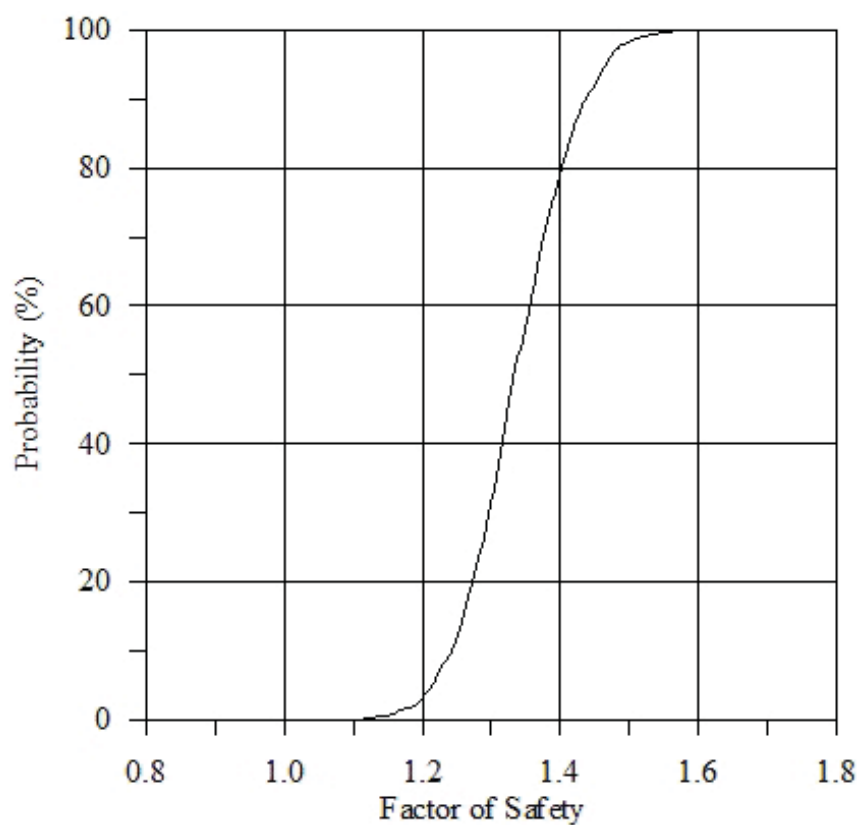


圖 4.137 國 3 北上 149k+000 至 149k+215 地震時邊坡破壞機率分析 (COV=7%)

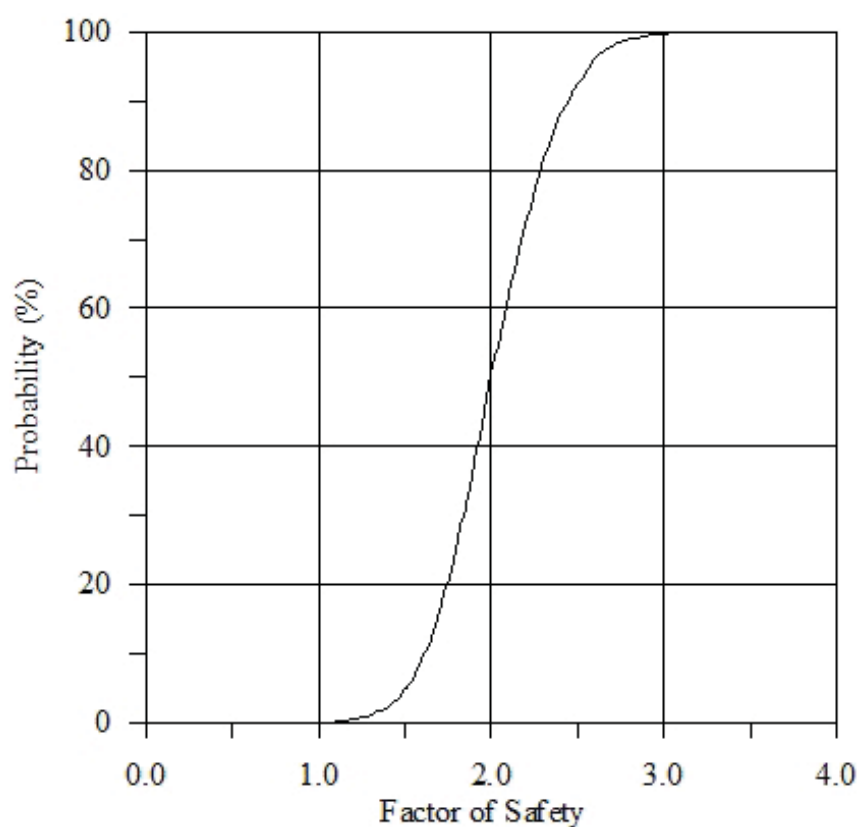


圖 4.138 國 3 北上 149k+000 至 149k+215 平時邊坡破壞機率分析 (COV=20%)

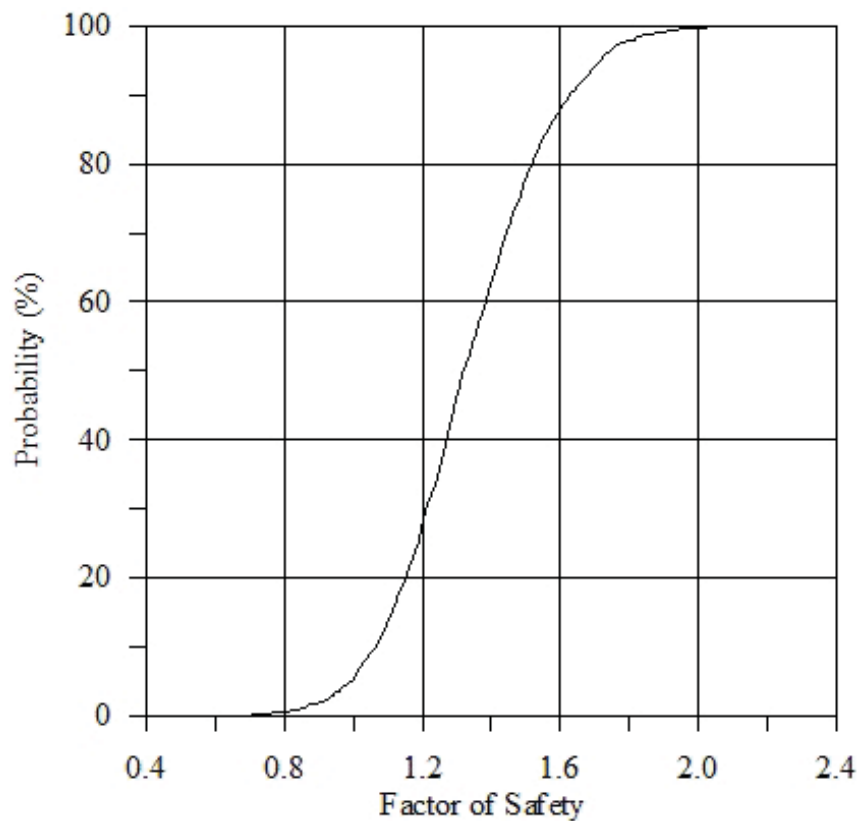


圖 4.139 國 3 北上 149k+000 至 149k+215 地震時邊坡破壞機率分析 (COV=20%)

圖4.140為 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，由圖中可知當 COV=7% 時，平時邊坡之破壞機率為 0%。圖4.141則為 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%。當材料變異係數數 COV=20% 時之平時及地震時之邊坡破壞機率分析則分示於圖4.142及圖4.143，邊坡破機率分別為 0.10% 及 20.35%。

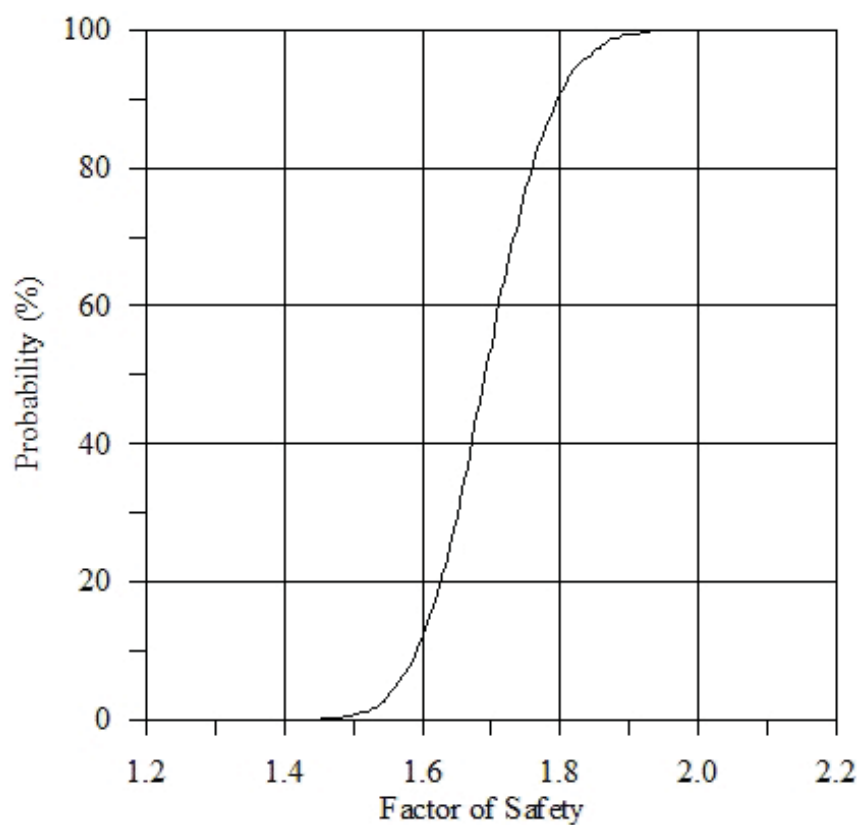


圖 4.140 國 3 北上 150k+320 至 150k+585 平時邊坡破壞機率分析 (COV=7%)

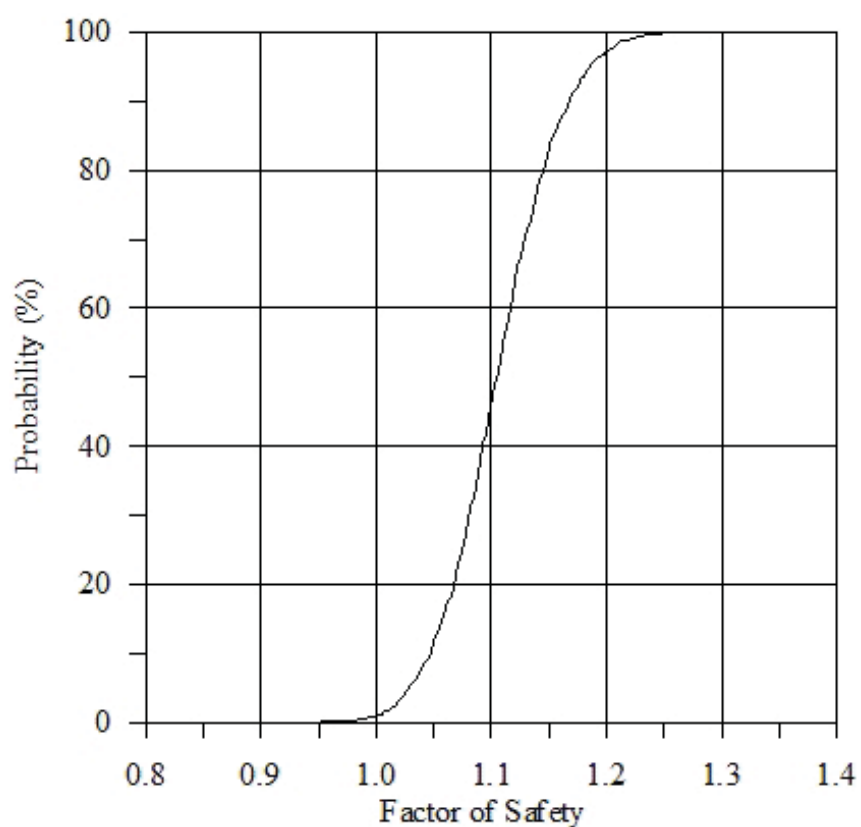


圖 4.141 國 3 北上 150k+320 至 150k+585 地震時邊坡破壞機率分析 (COV=7%)

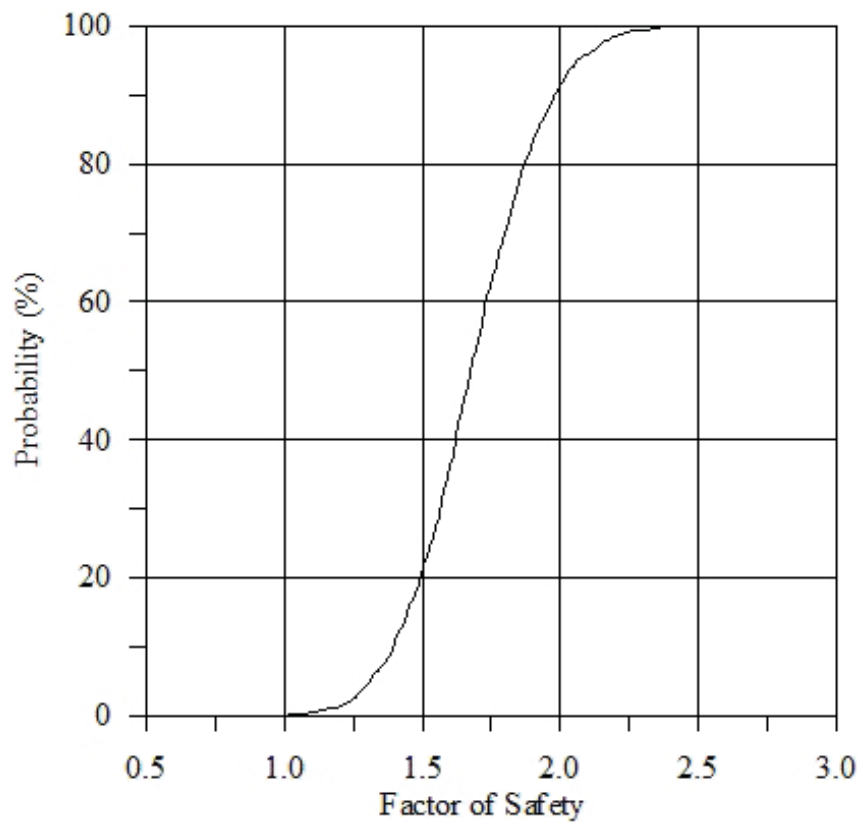


圖 4.142 國 3 北上 150k+320 至 150k+585 平時邊坡破壞機率分析 (COV=20%)

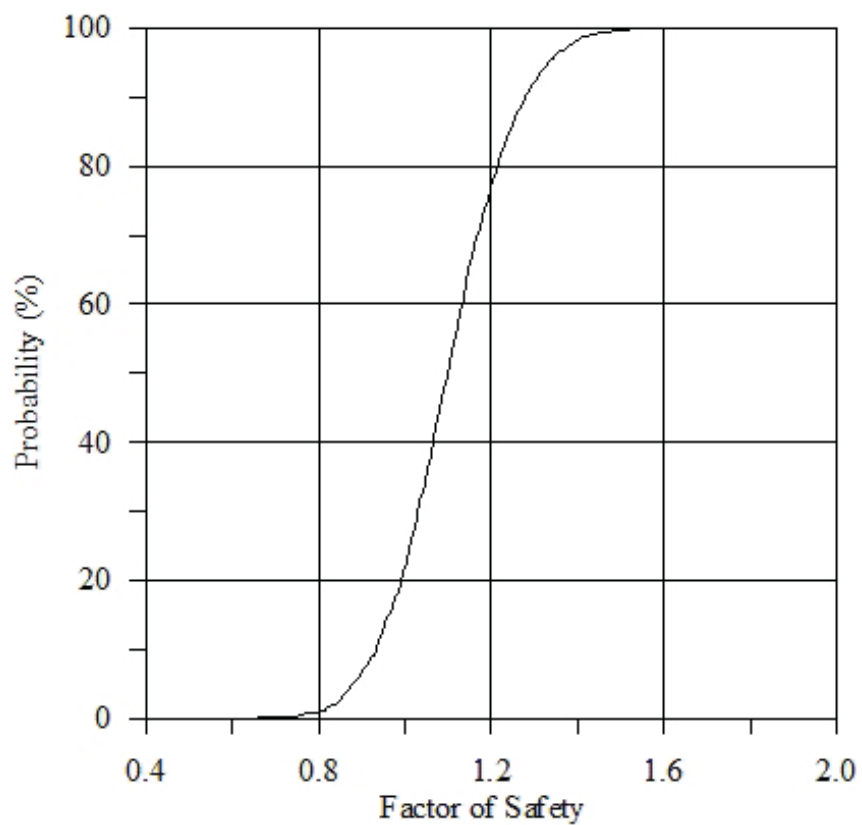


圖 4.143 國 3 北上 150k+320 至 150k+585 地震時邊坡破壞機率分析 (COV=20%)



根據以上的邊坡安全分析，可知以傳統定值性的邊坡穩定分析方法，國 3 北上 138k+622 至 138k+802、149k+000 至 149k+215 以及國 3 北上 150k+320 至 150k+585 三個區段之邊坡，其全係數均符合規範規定。但當土壤材料具變異性時，國 3 北上 138k+622 至 138k+802 平時邊坡具有 0.000%~0.250% 的破壞機率，地震時邊坡具有 0.000%~6.75% 的破壞機率。國 3 北上 149k+000 至 149k+215 平時邊坡具有 0.000%~0.1000% 的破壞機率，地震時則有 0.05%~4.95% 的破壞機率。國 3 北上 150k+320 至 150k+585 平時邊坡具有 0.000%~0.1000% 的破壞機率，地震時則有 1.00%~20.35% 的破壞機率。各區段邊坡可靠度分析之結果彙整如表 4.95。

表 4.95 邊坡安全可靠度分析結果

區段	變異係數 COV	狀況	最小安全 全係數	最大安全 全係數	平均安全 全係數	安全係數 標準差	可靠度 指標	破壞機率 (%)
138k+622N	7%	平時	1.3688	2.114	1.739	0.10276	7.1919	0.0000
		地震	1.0152	1.5176	1.2649	0.069462	3.814	0.000000
	20%	平時	0.77883	3.1054	1.7619	0.3018	2.5244	0.250000
		地震	0.63206	2.1874	1.2829	0.20379	1.3883	6.750000
149k+000N	7%	平時	1.5169	2.4247	2.0224	0.11271	9.0711	0.000000
		地震	0.99532	1.6175	1.3402	0.076762	4.4318	0.050000
	20%	平時	0.64391	3.3165	2.0287	0.32585	3.157	0.100000
		地震	0.40103	2.2331	1.3445	0.22196	1.5522	4.950000
150k+320N	7%	平時	1.3311	2.0397	1.6964	0.080468	8.6548	0.000000
		地震	0.88869	1.3175	1.1081	0.04779	2.2623	1.000000
	20%	平時	0.62293	2.6922	1.6934	0.23067	3.0059	0.100000
		地震	0.46267	1.7179	1.1081	0.1371	0.78814	20.350000

圖 4.144 為可靠度指標和破壞機率的關係，當可靠度指標為 1.5 時，破壞機約為 7%，已無法滿足構造物功能性之需求。當可靠度指標等於 1.0 時，破壞機率約為 16%，已經屬於「災害」等級。

圖 4.145 為 Baecher(1987) 統計之土木工程設施年破壞機率的經驗圖表，其中基礎工程之破壞機率為 0.1%~1.0%。本專案分析之二邊坡區在地震時之破壞機率偏高，建議應再針對現地地質情況及強度參數進行更精確地評估，以降低現地地質材料的變異性。

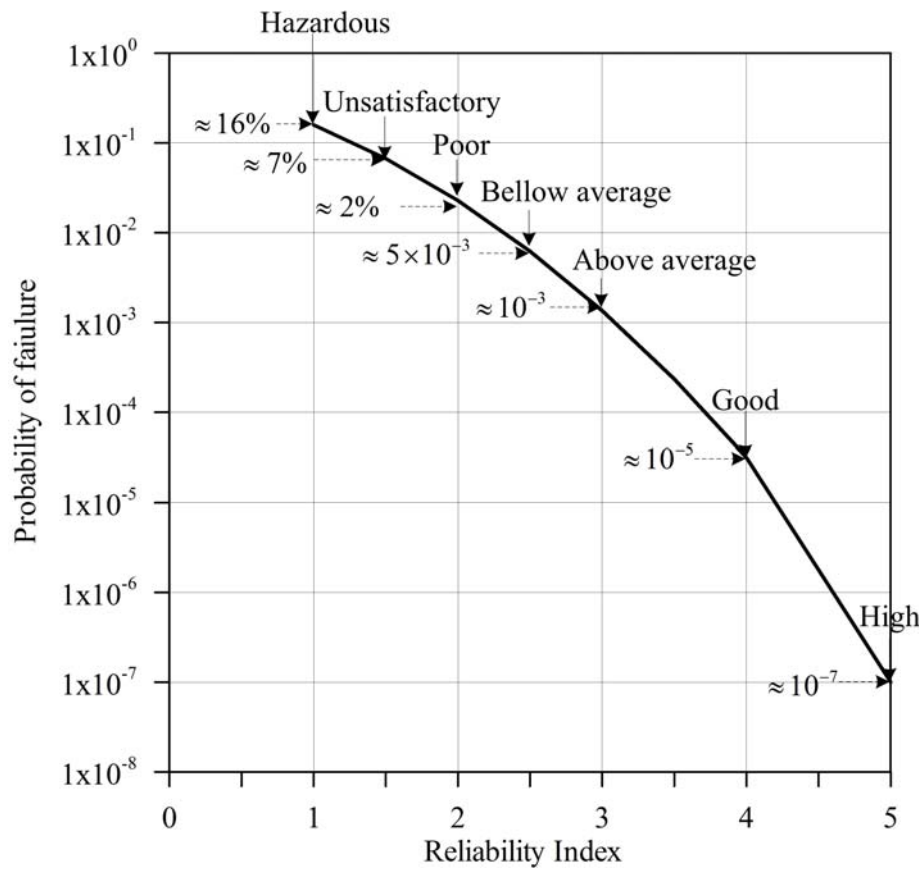


圖 4.144 可靠度指標和破壞機率的關係

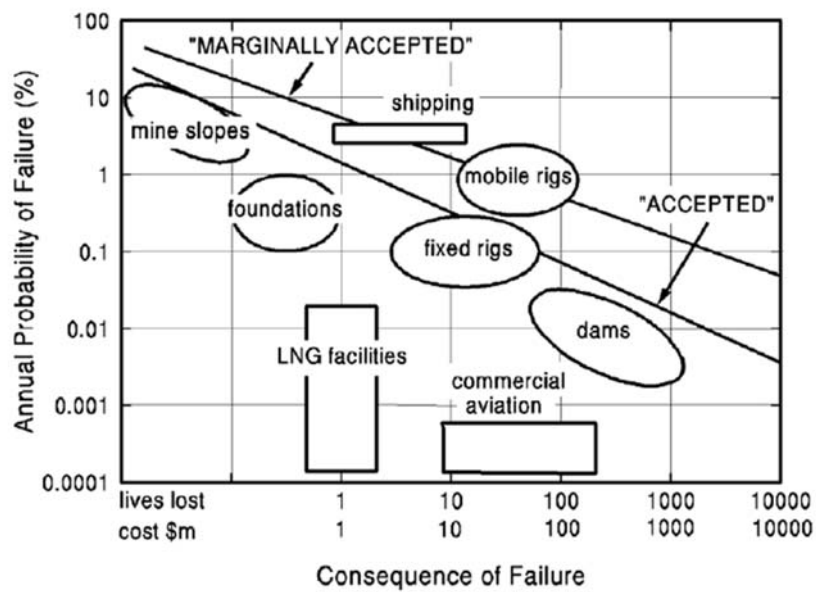


圖 4.145 土木工程設施

#### 4.4.5 邊坡安全與養護頻率綜合分析

邊坡工程首重穩定，然影響邊坡穩定的因素很多，如圖4.146所示，只要一個環節發生問題，邊坡工程即屬不穩定，小則影響交通，大則造成人民生命財產的重大損失。國道邊坡工程由擋土護坡結構及地錨（栓）所構成，各項設施的服務性能，均有隨時間增加而劣化的可能，因此國道邊坡設施需依設施的劣化程度，進行養護工作。以機率的概念來看，設施的劣化行為參數應屬隨機變數，當材料逐漸劣化時，邊坡工程的破壞機率會逐漸增加。若能在適當時機（破壞機率在某個數值時）進行設施養護，則能降低邊坡工程的破壞機率，這也是如圖4.147所示，以破壞風險為基礎的設計概念。

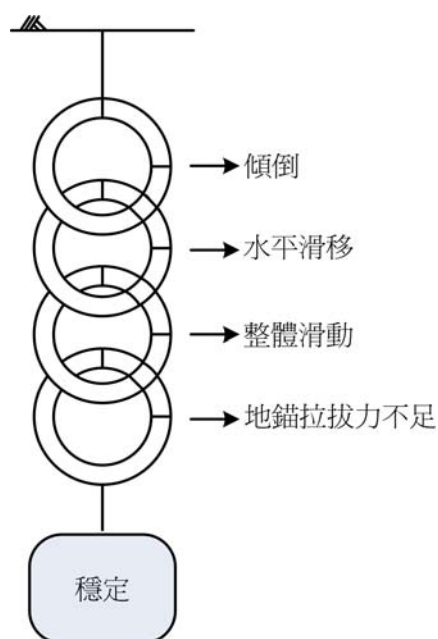


圖 4.146 邊坡工程整體穩定示意圖

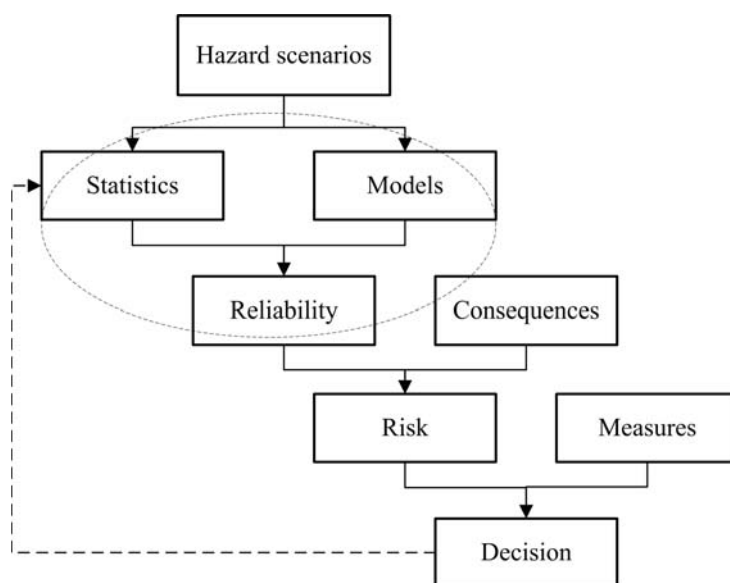


圖 4.147 以破壞風險為基礎的設計概念

邊坡工程實為一複雜的土壤—結構互制問題，往往存在著許多不確定性，本專案預計以如圖4.148的流程，結合可靠度分析進行邊坡安全破壞機率分析，當邊坡工程無法維持安全性能時，則進行養護工作以提升服務性能，直至材料劣化至無法藉由養護提升性能為止，此時即可根據分析結果，統計分析獲致邊坡工程的養護頻率。

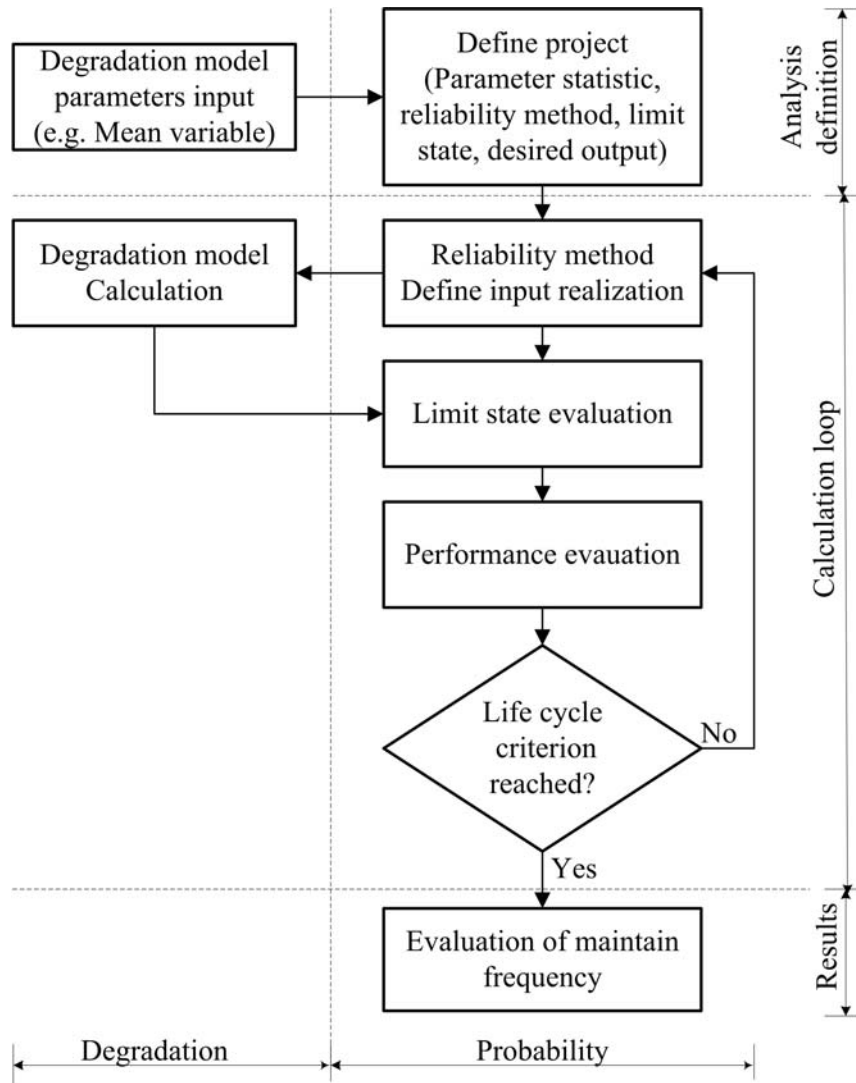


圖 4.148 邊坡安全和養護頻率綜合分析流程圖

本研究在4.3.3節已初步建立了國道邊坡地錨劣化趨勢曲線公式（如式4.7所示），根據此公式，可以計算地錨隨時間變化而降低之拉拔力。亦即邊坡地錨之拉拔力在 5、10、20 及 25 年後，目前之殘餘荷重將是初始設計荷重的 0.775、0.60、0.40 及 0.375 倍。據此可以計算考慮地錨劣化之邊坡破壞機率，本研究以國 3 北上 138k+622 至 138k+802 邊坡作為分析標的，分析結果如表4.96所示。

表 4.96 國 3 北上 138k+622 至 138k+802 邊坡考慮地錨劣化之可靠度分析

COV (%)	狀況	時間(年)	最小安全係數	最大安全係數	平均安全係數	安全係數標準差	可靠度指標	破壞機率(%)
7	平時	5	1.3878	2.0638	1.7236	0.0935	7.7402	0.000
		10	1.3690	2.0497	1.7059	0.0937	7.5323	0.000
		20	1.3889	1.9822	1.6840	0.0831	8.2295	0.000
		25	1.3840	1.9775	1.6793	0.0831	8.1693	0.000
7	地震	5	1.0071	1.5098	1.2570	0.0695	3.6980	0.000
		10	1.0005	1.5034	1.2505	0.0695	3.6031	0.000
		20	1.0363	1.4314	1.2297	0.0561	4.0986	0.000
		25	1.0328	1.4278	1.2261	0.0561	4.0336	0.000
13	平時	5	1.1352	2.4236	1.7313	0.1752	4.1753	0.000
		10	1.1154	2.4072	1.7136	0.1756	4.0647	0.000
		20	1.1688	2.2987	1.6917	0.1557	4.4422	0.000
		25	1.1637	2.2942	1.6870	0.1558	4.4099	0.000
13	地震	5	0.8201	1.7770	1.2633	0.1302	2.0222	1.850
		10	0.8133	1.7706	1.2567	0.1302	1.9714	2.150
		20	0.8862	1.6318	1.2362	0.1049	1.9400	2.600
		25	0.8827	1.6282	1.2326	0.1049	1.9300	2.650
20	平時	5	0.8607	2.9664	1.7458	0.2746	2.7155	0.250
		10	0.8391	2.9509	1.7280	0.2753	2.6447	0.250
		20	0.9332	2.7774	1.7061	0.2442	2.6447	0.250
		25	0.9278	2.7730	1.7013	0.2443	2.6447	0.250
20	地震	5	0.6236	2.1797	1.2750	0.2039	1.3487	7.200
		10	0.6165	2.1734	1.2684	0.2040	1.3661	7.700
		20	0.7131	1.9341	1.2478	0.1641	1.3166	8.750
		25	0.7095	1.9396	1.2451	0.1641	1.3002	8.850

表4.96顯示，當邊坡強度參數（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 0.00%，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 0.00%，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%。

圖4.149為地震時，國 3 北上 138k+622 至 138k+802 邊坡，完工時至 25 年內之邊坡破壞機率，圖中顯示邊坡破壞機率由完工時的 6.75% 呈線性逐漸增加至 20 年的 8.75%，而 20 年後的破壞機率則增加幅度較為平緩。

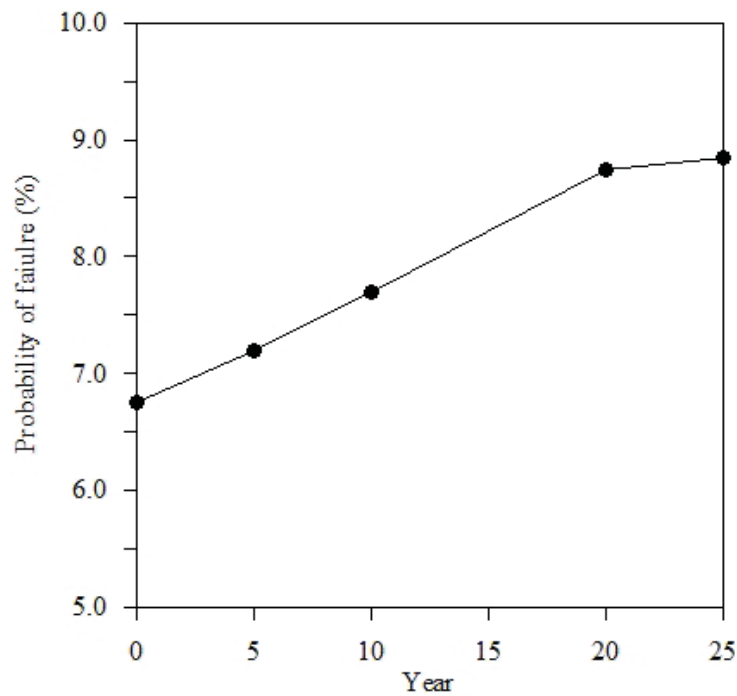


圖 4.149 國 3 北上 138k+622 至 138k+802 邊坡考慮地錨劣化效應的破壞機率（強度參數 COV=20%）

綜所上述，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。

## 4.5 示範案例綜合分析

綜合前述第 4.2 至第 4.4 節中所採用之共同範例，其對於邊坡穩定分析及安全性分析工作，可歸納如下步驟進行：

### 1. 選定邊坡

所選定之邊坡為有安全疑慮之邊坡，或需進一步確認穩定性之邊坡。決定邊坡段後，需同時獲得邊坡基本資料，包括剖面圖、地層分佈厚度、土壤參數、地下水位面及地錨強度參數等。

以本研究所採用案例：中區工程處大甲段轄區－國道 3 號北上 138k+622 處之邊坡為例，該邊坡委託中興工程顧問公司，進行「國道高速公路局中區工程處轄區邊坡監測分析與評估」工作。大甲段目前針對轄區邊坡進行監測系統佈設共計 21 處，包括傾斜管 31 孔及水位觀測井 26 孔，以及原自動監測改為人工監測之 2 孔傾斜管。其剖面圖及相關參數請參考第 4.3.4 節圖 4.110 及表 4.56 說明。

### 2. 進行邊坡穩定分析



決定邊坡段及相關參數後，即可進行地工數值分析。分析方法可以採用有限元素法或極限平衡法。可以參考第4.2.3.5節所採用的方式進行邊坡穩定分析。分析時可假設高水位及地震力等特殊狀況，以檢核是否符合規範要求。此時的穩定性分析為定值法分析方式，尚未考量參數不確定性及可靠度。

### 3. 進行地錨拉力衰減分析

上一步驟分析結果可作為一般性邊坡穩定性分析的結果，若邊坡上有設置地錨，則可利用本研究所提之地錨拉力劣化趨勢線（圖4.109），評估地錨在不同使用年數下之衰減程度，及以相對應的邊坡穩定性分析。以本研究示範邊坡為例，其地錨拉力衰減會影響邊坡整體穩定性，尤其在遭受地震力時之表現，其評估方式可參考第4.3.4節之說明。

### 4. 進行可靠度分析

完成定值性分析步驟後（上述2步驟），可進一步考慮參數不確定性，進行邊坡穩定可靠度分析，納入破壞機率觀念來評估邊坡整體安全性。以本研究示範案例，土壤參數不確定性可以假設COV值後進行分析，如第4.4.5節所說明。配合地錨拉力劣化的假設，可以檢驗參數不確定性與地錨邊坡的可靠度指標及破壞機率之關係，其結果如圖4.149所示。由分析結果可以了解在何種情況下（多少年，是否有地震，不確定性有多高等）該邊坡的破壞機率值將超過容許值，表示邊坡養護工作必須在適當時機進行，以降低邊坡破壞發生機率。

前述各步驟的分析方法皆在本研究計畫中進行試作及比較，所得之結果可作為未來高公局擬定規範及進行養護整修工作之重要參考，整體來說，當採用邊坡穩定分析來評估邊坡安全性時，建議依本計畫所建議流程，分別進行定值法及機率法的分析，以獲得較完整之邊坡安全性評估。