

ISSN:1812-2868

臺灣公路工程

第 47 卷 第 7-8 期

〈每月 15 日出刊〉



TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vol. 47 No.7-8 Aug. 2021

交通部公路總局

中華民國 110 年 8 月 15 日



封 面 說 明

台76線東洞口-鋼構之美

沈鈞 提供



臺灣公路工程

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

中華民國 41 年 11 月 11 日創刊

第 47 卷 第 7-8 期 目錄

本刊為中華民國 41 年 11 月 11 日創刊，至 63 年 3 月 1 日發行第 22 卷第 5 期，經合併本局發行之臺灣公路工程、養路及公路機料等三種月刊，仍以臺灣公路工程為名，於 63 年 7 月 15 日起重訂為第 1 卷第 1 期繼續發行

臺灣公路工程

發行人

許 鈺 漳

社長

林 聰 利

總編輯

陳 敬 明

總幹事

李 崇 堂

編輯

鄧文廣 陳進發

李忠璋 蔡宗成

劉雅玲 葉双福

陳松堂 薛讚添

陳營富 劉世桐

吳昭煌 李順成

謝哲雄 詹益祥

江金璋 邵厚潔

顏召宜

專題研究

瀝青混凝土運用均衡式配合設計法

(Balance Mix Design)成效之研究

.....黃榮波、洪明澤、朱建東、顏召宜... (2)

實務報導

UAV/S 影像拍攝及 3D 建模準備作業及成果簡述

.....顏介鏘、王鐘緯、鄧嘉欣... (23)

中橫公路上谷關至德基段地貌變異分析及安全性評估

.....劉世桐、邵維國、呂正安、張博翔... (33)

瀝青混凝土運用均衡式配合設計法 (Balance Mix Design) 成效之研究

黃榮波¹、洪明澤²、朱建東³、顏召宜⁴

摘要

本研究採用國內常用的19mm密級配瀝青混凝土，分別由臺灣北部、南部及東部三地瀝青廠取得粒料，搭配單一來源AC-20瀝青進行馬歇爾配合設計，分別先求得3個地區的建議瀝青含量，同時導入均衡式配合設計-漢堡輪跡試驗及半圓彎曲(SCB)疲勞試驗，依相同粒料摻配比例製作3個地區含油量4.0%~6.0%(共5個含油量)試體進行試驗，分別求得各地區漢堡輪跡試驗「輪次-含油量」及半圓彎曲(SCB)疲勞試驗「FI指數-含油量」之回歸曲線，依均衡式配比設計精神，以漢堡輪跡試驗12,000輪次及半圓彎曲(SCB)試驗FI指數8之對應含油量作為可接受瀝青含量區間之上下限，再求得3個地區之均衡式配合設計建議瀝青含量(本研究暫時採用可接受瀝青含量區間之中間值為建議瀝青含量)。從馬歇爾配合設計及均衡式配合設計建議瀝青含量之瀝青混凝土成效試驗結果顯示，均衡式配合設計在回彈模數及間接張力強度稍優於馬歇爾設計法。未來可進一步依所在地區之氣候、交通量等因素列入均衡式配合設計考量，確認本土化均衡式配合設計流程，以提升瀝青混凝土鋪面工程材料品質。

關鍵字：均衡式配合設計法(Balance Mix Design)、成效試驗、漢堡車轍輪跡儀、半圓彎曲

一、前言

疲勞開裂、永久變形(車轍)和溫度裂縫是三種主要瀝青混凝土鋪面破壞模式，混合料配合設計應在適當情況下考慮這些破壞模式對混合料之影響，故可考量以實驗室力

¹ 交通部公路總局材料試驗所副工程司

² 交通部公路總局材料試驗所科長

³ 交通部公路總局材料試驗所副所長

⁴ 交通部公路總局材料試驗所所長

學性能評估作為混合料設計的一環。均衡式配合設計法(Balance Mix Design)以傳統馬歇爾設計法為基礎，導入漢堡車轍輪跡及疲勞裂縫等成效試驗，決定瀝青含量可接受區間，並可依所在地區、氣候、交通量…等因素，增加其他力學性能評估試驗，使設計瀝青含量最佳化，以驗證鋪面鋪設後成效，解決鋪面實際與預訂成效不相符問題，提升瀝青混凝土鋪面工程材料品質。

本研究目的：

- 1-1. 蒐集國內外有關瀝青混合料車轍、裂縫等成效評估，以及均衡式配合設計法相關文獻。
- 1-2. 將取自北部、南部及東部瀝青廠之粒料，以馬歇爾配合設計法求得之最佳瀝青含量，再以相同粒料摻配比例導入均衡式配合設計法(漢堡輪跡及裂縫試驗)求得之最佳瀝青含量，比較兩組最佳瀝青含量間之差異，並運用其它成效試驗進行進一步評估驗證。
- 1-3. 探討均衡式配合設計法未來實際應用於瀝青混合料配合設計之可行性及發展性。

二、研究流程

本研究先蒐集國內外相關文獻，再依照研究目的進行規劃、試驗、結果分析及結果與建議，本研究之流程如圖 1。

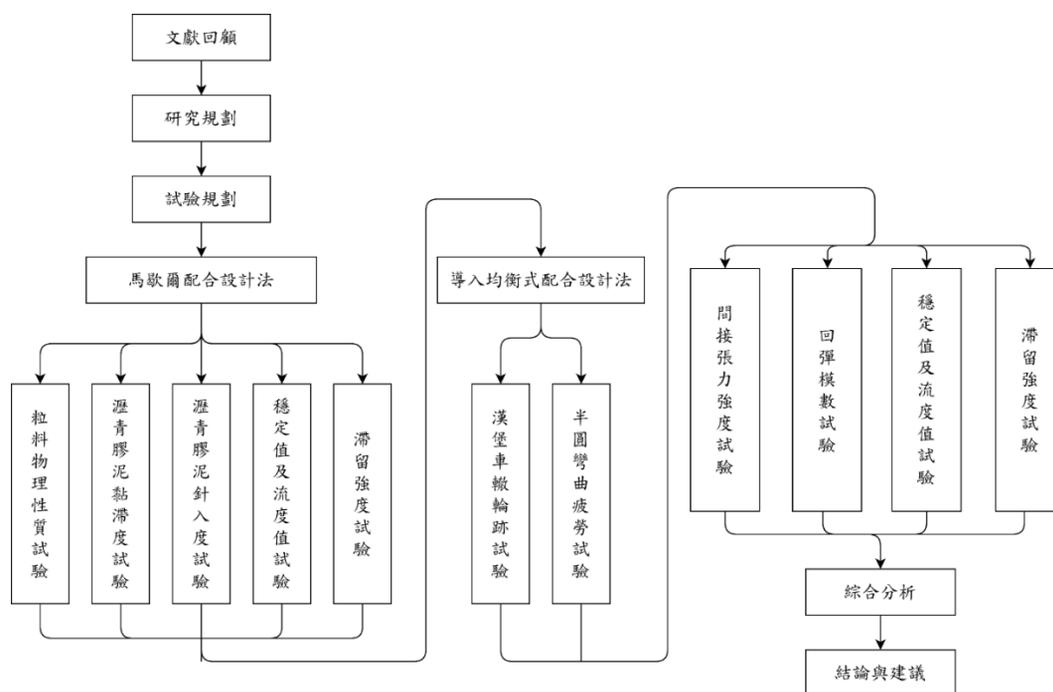


圖 1 研究流程圖

三、文獻回顧

Buchanan, S. (2017)[1]指出，均衡式配合設計法(Balance Mix Design)定義是指「瀝青混合料設計採用適當條件化試樣的成效試驗以解決多種破壞模式，考慮方向包含混合料老化、交通、氣候和路面結構內的位置。基本上，它包括為預期應用和服務要求而設計混合物。」其概念如圖 2

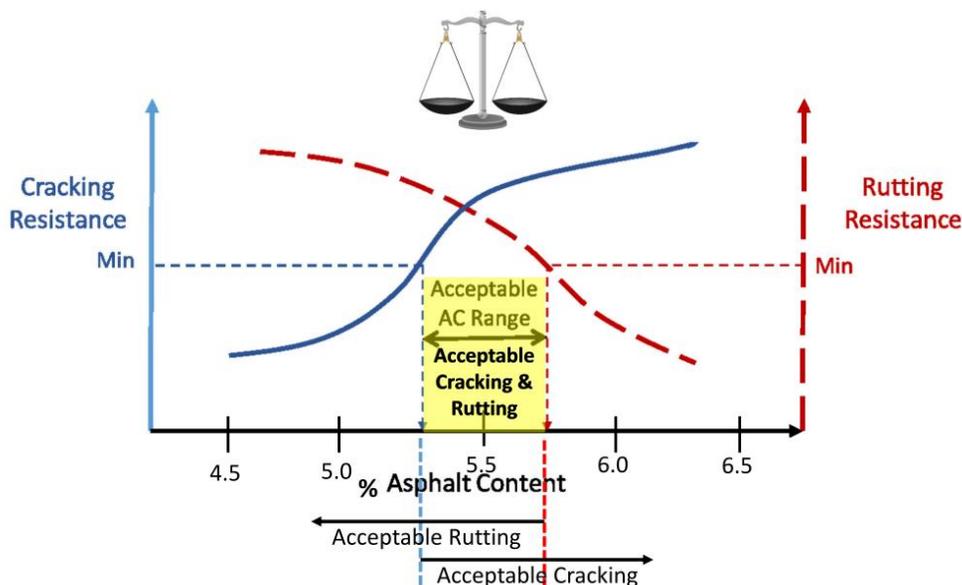


圖 2 具成效驗證的體積設計流程圖

Buchanan, S.另指出，均衡式配合設計法主要設計方法有 3 種，美國各有不同的州單位正在使用，以下說明：

3-1. 具成效驗證的體積設計(Volumetric Design w/Performance Verification)流程，如圖 3。

它是具成效驗證的 Superpave 設計方法，若成效表現不佳，則重新進行設計，體積特性必須符合現有規範限制。目前使用的州包含伊利諾伊州、路易斯安那州、新澤西州、德州及威斯康辛州。

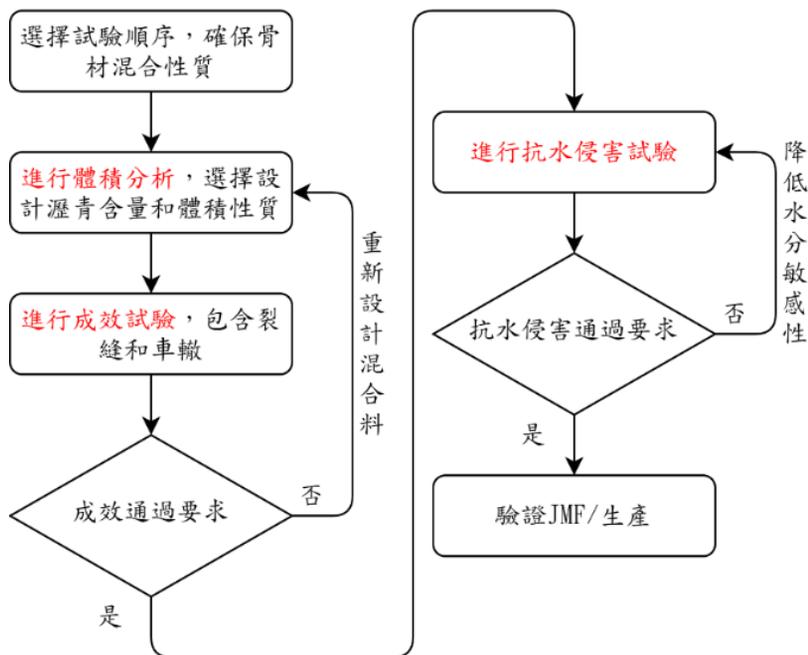


圖 3 具成效驗證的體積設計流程圖

3-2. 成效改良的體積設計(Performance-Modified Volumetric Design)流程，如圖 4。

使用現有規範設計初始瀝青含量後，再進行成效試驗；成效試驗結果允許「改良」混合料比例（和/或）調整瀝青含量和最終的體積性能，其結果可能會超出現有規範限制。使用的州：加利福尼亞州。

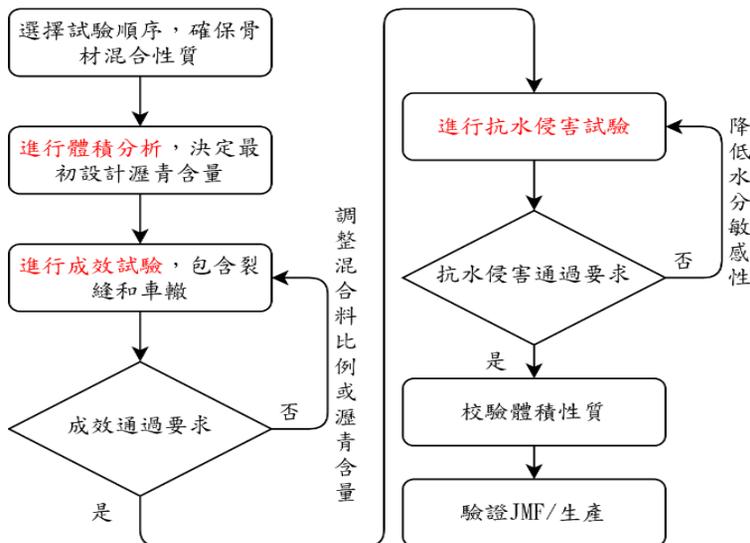


圖 4 成效改良的體積設計流程圖

3-3.成效設計(Performance Design)流程，如圖 5。

這個設計方法主要在不同瀝青含量進行一系列的成效試驗，並從結果中選擇設計瀝青含量，而確認體積性質為本方法最後一個步驟。本方法未堅持要求符合現有規範限制。目前在美國尚未有使用的州政府，不過新澤西州正研擬草案中。

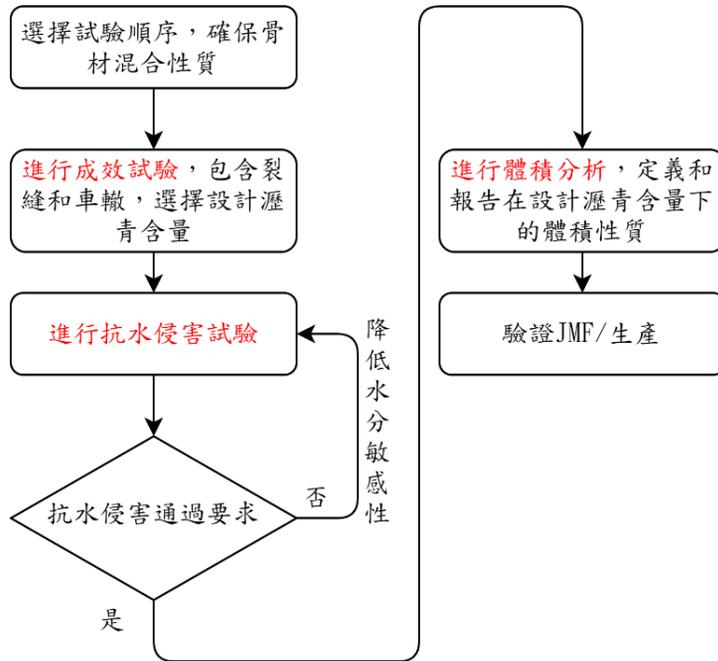


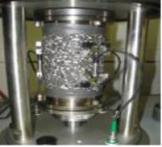
圖 5 成效設計流程圖

Dave Newcomb(2015)[2]指出瀝青材料是如何變化的。1901~2000 年期間，幾乎全部使用未改質、RAP 的使用量低及密級配的瀝青混凝土，所以體積設計法是沒有什麼大問題的。而 2000~2016 年，PG 系統全面使用、瀝青變得昂貴、溫拌瀝青混凝土、PPA(polyphosphoric acid)製造高 PG、REOB(re-refined engine oil bottom)製造低 PG、聚合物、更多 RAP 和 RAS、較小的 NMAS 及 SMA 的使用，必須使用均衡式配合設計法。

現地觀測到主要路面破壞包含車轍(瀝青混合料層中的車轍)、疲勞裂縫(含自下而上和自上而下開裂)、反射裂縫(從下面的裂縫/接縫開裂)、低溫裂縫(由於低溫導致混合物收縮)及水分侵害(剝脫)等現象。均衡式配合設計法車轍可使用 Asphalt Pavement Analyzer 或 Hamburg Wheel Track Test。

裂縫試驗則可選用 9 種，分別為：IDT、低溫狀態 SCB、TSRST/ UTSST、DCT、OT、RDT、S-VECD、彎曲梁疲勞及中溫狀態 SCB，試驗的應用各有不同，如表 1。

表 1 裂縫試驗方式彙整

<p>疲勞裂縫 試驗</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Bottom Up</p>  <p>Bending Beam Fatigue</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Bottom Up</p>  <p>Texas Overlay Test</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Bottom Up / Top Down</p>  <p>SCB - LTRC - Jc - IFIT</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Bottom Up</p>  <p>Direct Tension Cyclic Fatigue, S-VECD</p> </div> </div>
<p>溫度裂縫</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>IDT Creep Compliance</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>TSRST</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>SCB at Low Temp</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Disk Shaped Compact Tension (DCT)</p> </div> </div>
<p>反射裂縫</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Disk Shaped Compact Tension (DCT)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Texas Overlay Test</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>SCB (IFIT)</p> </div> </div>

Newcomb, D.(2015)[2]舉了一個均衡式配合設計法的例子：最高瀝青含量是以體積設計決定，以密度 98% ($[Gmb/Gmm] \times 100\%$ ，相當於空隙率 2%) 之瀝青含量為上限，如圖 6(a)所示為 5.4%；漢堡輪跡試驗決定最高瀝青含量，20,000 次 Cycles 之車轍深度 < 0.5 in 為最高瀝青含量，如圖 6(b)所示為 5.1%，但必須不超過密度 98% 之上限含量 5.4%。最低瀝青含量是以 OT (Overlay Tester) 試驗決定，大於 300 Cycles 為最低瀝青含量，如圖 6(c)所示為 4.75%。最佳瀝青含量 (OAC) 為抗裂性的最高的瀝青含量或抗車轍性的最高瀝青含量。故選擇 5.1%。

最佳瀝青含量選擇，最高瀝青含量=5.4%，選擇瀝青含量 (OAC) =抗裂性的最低的瀝青含量或抗車轍性的最高瀝青含量。故最佳瀝青含量(OAC)=5.1%

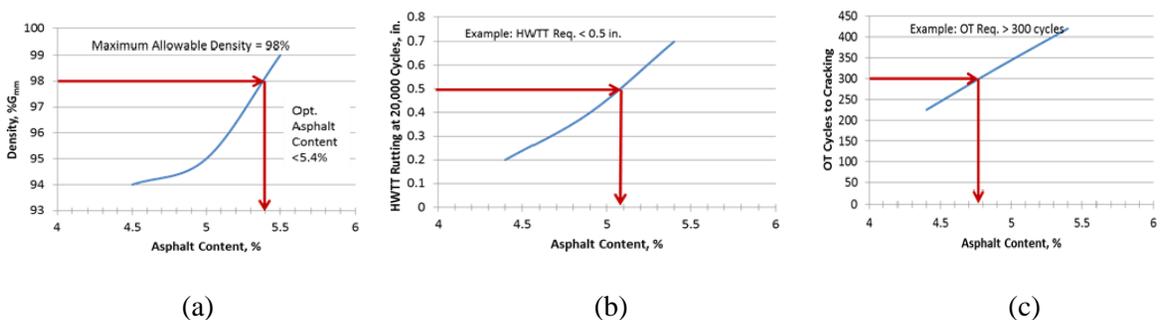


圖 6 (a)密度與瀝青含量關係 (b)車轍與瀝青含量關係 (c)裂縫與瀝青含量關係

Johnson, D. (2016)[3]另一個均衡式配合設計法的例子，德州交通局(Texas DOT)，先進行體積分析，採用漢堡輪跡試驗(HWTT) [AASHTO T 324]及 Overlay Tester (OT)試驗 [Tex-248-F]兩種成效試驗。HWTT 樣品是經過短期老化的，而 OT 樣品是經過長期老化的。在車轍深度 12.5mm 及 OT 試驗 300 cycles 規範下，得到可接受的瀝青含量範圍為 5.3~5.8%，如圖 7 所示。

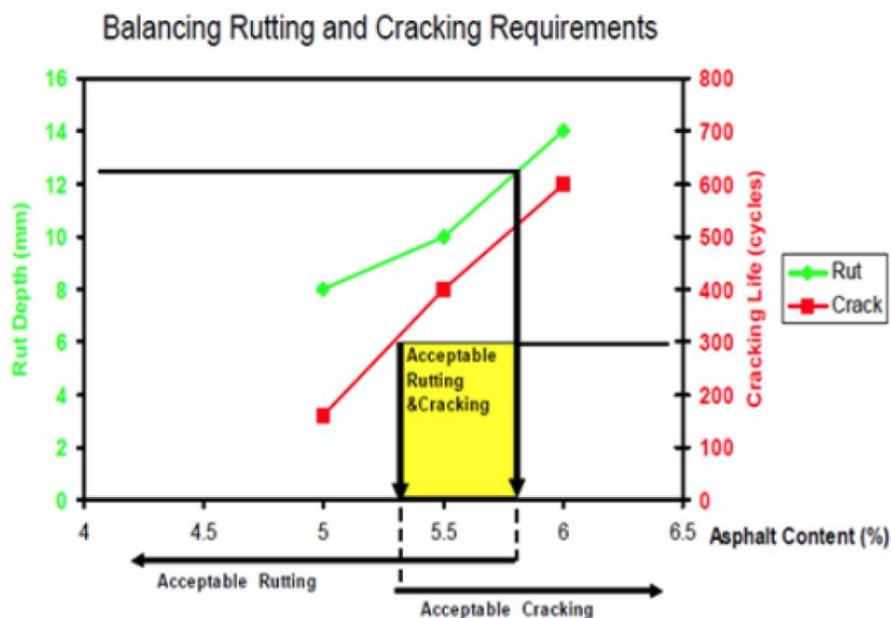


圖 7 德州交通局均衡式配合設計範例

West, R.等(2018)[4]統計美國各州最普遍用於瀝青混合料之成效試驗如表 2；調查美國各州交通局及瀝青承包商認為最有可能解決瀝青混合料抗車轍性能試驗方法之調查結果，以漢堡輪跡試驗(HWTT)為最多，如圖 8；美國各州交通局及瀝青承包商認為最有可能解決瀝青混合料抗水侵害性能試驗方法之調查結果，以漢堡輪跡試驗(HWTT)為最多，如圖 9；美國各州交通局及瀝青承包商認為最有可能解決瀝青混合料疲勞裂縫試驗方法之調查結果，以四點彎曲疲勞試驗(BBF)及半圓彎曲(SCB)疲勞試驗(I-FIT)為最多，如圖 10。

表 2 美國各州最普遍用於瀝青混合料成效試驗

Mixture Property	Laboratory Test	Test Standard
Thermal cracking	Disk-Shaped Compact Tension Test	ASTM D7313-13
	Indirect Tensile (IDT) Test	AASHTO T 322-07
	Semi-Circular Bend (SCB) Test	AASHTO TP 105-13
	Thermal Stress Restrained Specimen Test	BS EN12697-4
Reflection cracking	Disk-Shaped Compact Tension Test	ASTM D7313-13
	Texas Overlay Test	TxDOT Tex-248-F NJDOT B-10
	Illinois Flexibility Index Test	AASHTO TP 124-16
Bottom-up fatigue cracking	Direct Tension Cyclic Fatigue Test	AASHTO TP 107-14
	Flexural Bending Beam Fatigue Test	AASHTO T 321 ASTM D7460
	IDT Fracture Energy Test	N/A
	Illinois Flexibility Index Test	AASHTO TP 124-16
	SCB at Intermediate Temperature	LaDOTD TR 330-14 ASTM D8044-16
Top-down fatigue cracking	Texas Overlay Test	TxDOT Tex-248-F
	Direct Tension Test	N/A
	IDT Energy Ratio Test	N/A
	Illinois Flexibility Index Test	AASHTO TP 124-16
Rutting	Asphalt Pavement Analyzer	AASHTO T 340
	Flow Number	AASHTO TP 79-15
	Hamburg Wheel Tracking Test	AASHTO T 324
	Superpave Shear Tester	AASHTO T 320-07
	Triaxial Stress Sweep Test	AASHTO TP 116-15
Moisture susceptibility	Hamburg Wheel Tracking Test	AASHTO T 324
	Tensile Strength Ratio	AASHTO T 283

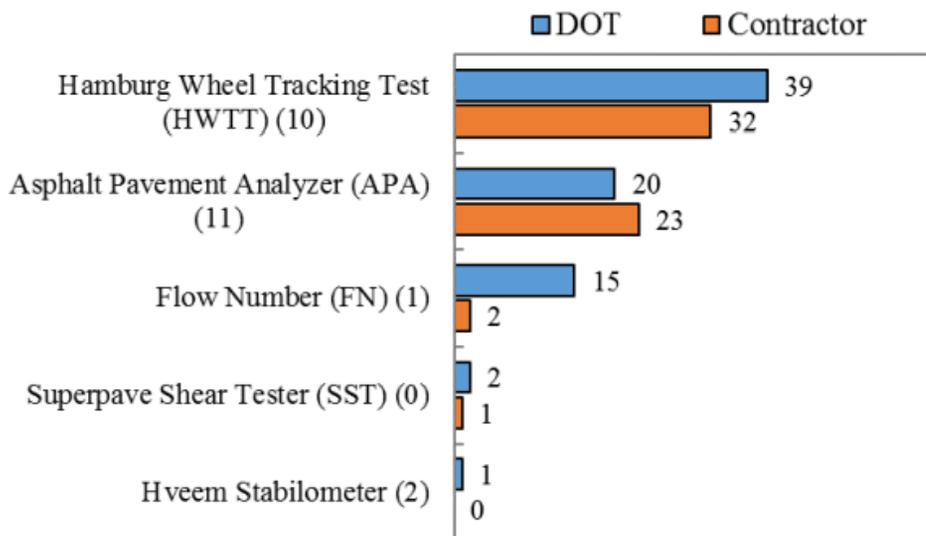


圖 8 美國州交通局及承商認為可解決 AC 抗車轍試驗方法之調查結果

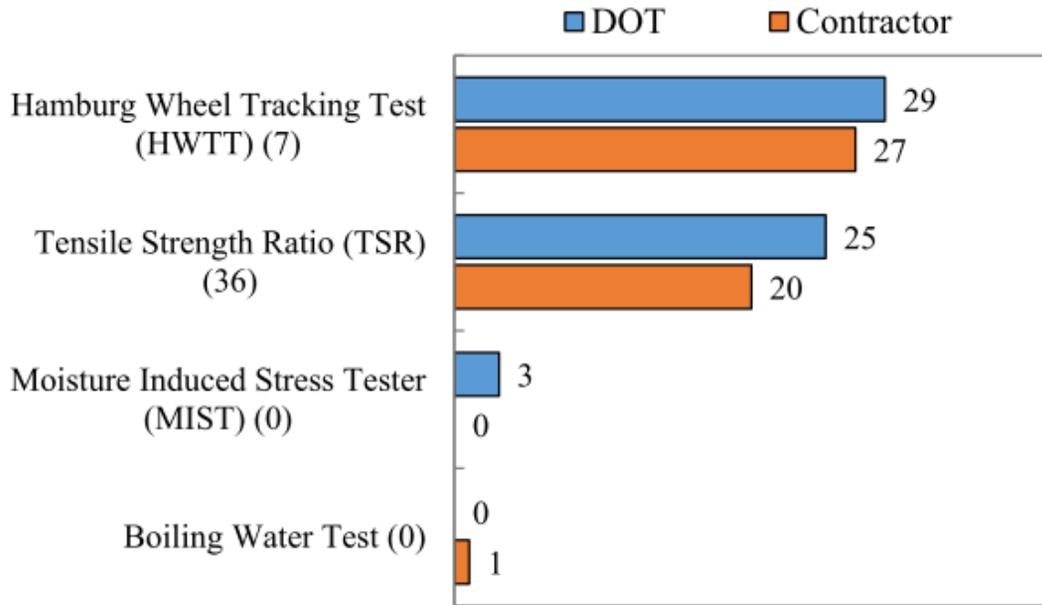


圖 9 美國州交通局及承商認為可解決 AC 抗水侵害的試驗方法之調查結果

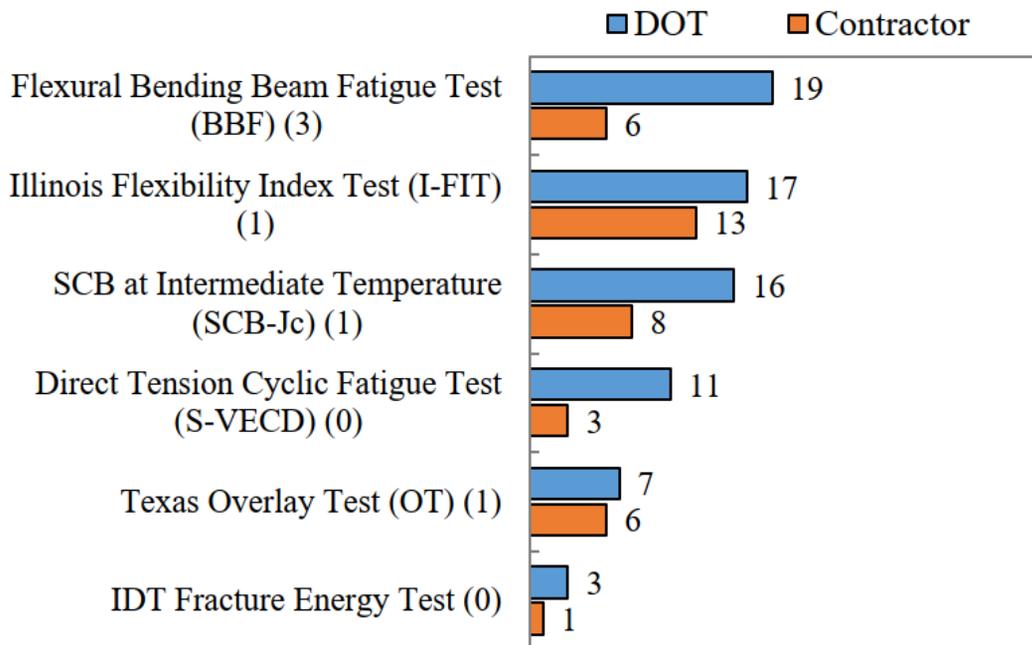


圖 10 美國州交通局及承商認為可解決 AC 疲勞裂縫的試驗方法之調查結果

Lu, Q.等(2006)[5]、Yildirim, Y.等(2007)[6]及 Rahman, F.[7]等(2014)指出，常用於評估鋪面成效的輪跡試驗參數包含車轍深度、滾壓次數、潛變斜率(Creep Slope)及剝脫斜率(Strip Slope)等。

Al-Qadi, I. L.等(2015)[8]指出，伊利諾州半圓彎曲疲勞試驗(IL-SCB、中溫 SCB 或 I-FIT)所得 FI 指數(Flexibility Index)間與現地鑽心相關性良好，或可作為均衡式配合設計法(Balance Mix Design)之關鍵指標。

四、研究方法

本研究採用國內常用的 19mm 密級配瀝青混凝土為對象，由臺灣北部、南部及東部三地瀝青廠取得粒料，搭配單一來源 AC-20 瀝青進行馬歇爾配合設計，分別先求得 3 個地區的建議瀝青含量。同時導入漢堡輪跡試驗及半圓彎曲(SCB)疲勞試驗，依相同粒料摻配比例製作 3 個地區含油量 4.0%~6.0%(共 5 個含油量)試體進行試驗，分別求得各地區漢堡輪跡試驗「輪次-含油量」及半圓彎曲(SCB)疲勞試驗「FI 指數-含油量」之回歸曲線，依均衡式配比設計精神，以漢堡輪跡試驗 12,000 輪次(楊士賢等,(2015)[9]建議)及半圓彎曲(SCB)疲勞試驗 FI 指數 8(伊利諾州交通局規範[10])之對應含油量作為可接受瀝青含量區間之上下限，再求得 3 個地區之均衡式配比設計建議瀝青含量(本研究暫時採用可接受瀝青含量區間之中間值為建議瀝青含量)。再依上述設計法之建議瀝青含量拌製相關成效試驗試體，以驗證相關配比設計結果之成效。成效試驗項目包含回彈模數、間接張力強度、穩定值、流度值及滯留強度等。

4-1.漢堡車轍輪跡試驗(Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Asphalt Mixtures)

依據 AASHTO T32-14 規定，試驗在指定水溫下，使用加載鋼輪(直徑 203.2mm、寬度 47mm、荷重 705N)，對浸水狀態下的夯實瀝青混合料試體，以每分鐘 52 次速率往返滾壓，儀器自動記錄滾壓次數及對應車轍深度，試驗目的在評估試體的抗車轍及水份侵害能力。本研究依配合設計結果拌製瀝青混合料，並採用 SGC 旋轉式壓實機製作直徑 15cm、厚度 6cm 試體(旋轉角： $1.16 \pm 0.02^\circ$ ，旋轉時垂直壓力： $600\text{kPa} \pm 18\text{kPa}$)，製作的試體空隙率需介於 $7 \pm 1\%$ 的範圍內。試體以 SGC 扭剪夯實機製作完成後，使用切割機將圓形試體切弦，使 2 個試體能組成 8 字形裝入聚乙烯模及試驗架上。試驗水溫設定為 $50 \pm 1^\circ\text{C}$ ，儀器設定滾壓次數達 20,000 次或車轍深度達 20mm 時停止試驗，再依據儀器內建程式讀取試驗結果，試體置入輪跡試驗儀器及試驗中如圖 11 (a)及(b)所示。



(a)



(b)

圖 11 (a)車轍試體置入輪跡試驗儀 (b)試驗進行中

4-2.半圓彎曲(SCB)疲勞試驗(I-FIT)

依據 AASHTO TP 124-18 規定，使用 SGC 製作直徑 15cm、高度 16cm 的圓柱試體，切取中間兩塊厚度 5cm 試體切成半圓狀，然後在半圓試體中間切開一個寬 1.5mm、高 15mm 切口(圖.3.6)，放在具有韌性之防漏塑膠袋後，再置於 $25\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 恆溫水槽中水浴。水浴之時間為 $2\text{h}\pm 10\text{ min}$ ，快速放置在試驗儀夾具中，首先以 0.05kN/s 之加載速率加載至 0.1kN 後，隨即轉成以 50mm/min 之速率加載試體破壞(荷重降至 0.1kN 時)，試驗停止(在試驗過程中，試驗儀會即時擷取及記錄荷重與位移之數據，並計算開裂能 G_f 及韌性指數 FI 等參數)。試體置入試驗儀及測試開裂狀況如圖 12 (a)及(b)所示。



(a)

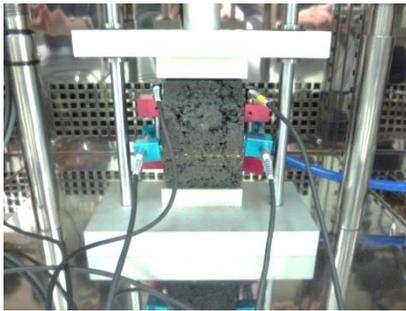


(b)

圖 12 (a)半圓彎曲(SCB)試驗儀 (b)半圓試體施壓開裂狀況

4-3. 回彈模數試驗(The Resilient Modulus of Bituminous Mixtures by Indirect Tension Test, MR)

依據 ASTM D7369-11，利用反覆間接拉伸試驗測得瀝青混合物之回彈模數，可用於評估材料品質，瀝青混合物試樣可為試驗室製作或現地取樣。本研究採用試驗室夯製的馬歇爾試樣 1 組 3 個進行測試(直徑 4in，每面夯打 75 下)，試驗時試樣需置於 25°C 的恆溫控制箱 6 小時以上再進行試驗，試驗參數設定為加壓頻率 0.33HZ、加壓次數 100 次、施加作用力於試體時間為 0.1 秒，試樣裝設及電腦設定控制如圖 13(a)及(b)所示。



(a)



(b)

圖 13 (a) MR 試樣測微計裝設 (b) MR 電腦設定控制

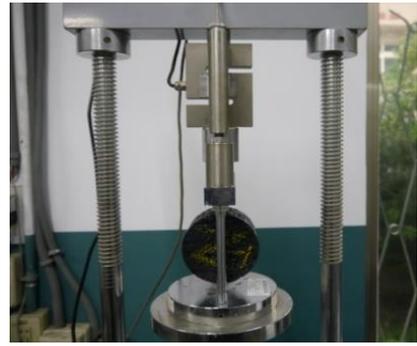
4-4. 間接張力強度試驗(Indirect Tensile [IDT] Strength of Bituminous Mixtures)

依據 ASTM D6931-12，於試樣側面施加均勻線載重，使試樣產生劈張破壞測得間接張力強度，瀝青混合物試樣可為試驗室製作或現地取樣，本試驗目的在求得試體的間接張力強度。本研究採用試驗室夯製的馬歇爾試樣進行測試，試樣製備先求得目標孔隙率 $7\pm 1\%$ 的夯打次數，其中求得的夯打次數為 35 下，並依求得的夯打次數製備每組 3 個試樣。本研究採用試驗規範程序 C，將試樣置於 $25\pm 1^\circ\text{C}$ 的恆溫水槽中水浴 30 分鐘後，執行間接張力強度試驗(儀器加載速率符合 $50\pm 5\text{mm}/\text{min}$ 規定)，測得最大荷重(P)，試樣水浴及執行試驗如圖 14(a)及(b)所示，間接張力強度計算方式如下，式中：① S_t 間接張力強度，kPa；②P：最大荷重，N；③t：試驗前試樣高度，mm；④D：試樣直徑，mm。

$$S_t = \frac{2000 \times P}{\pi \times t \times D} \quad (1)$$



(a)



(b)

圖 14 (a) 間接張力試樣 25°C水浴 (b) 間接張力強度試驗

五、結果及分析

5-1.馬歇爾配比設計

南部、北部及東部粒料摻配比例均依交通部公路總局施工說明書第 02741 章規定 [11]採用的 19mm 密級配規格進行摻配。各地區粒料級配結果如圖 15~17 所示：

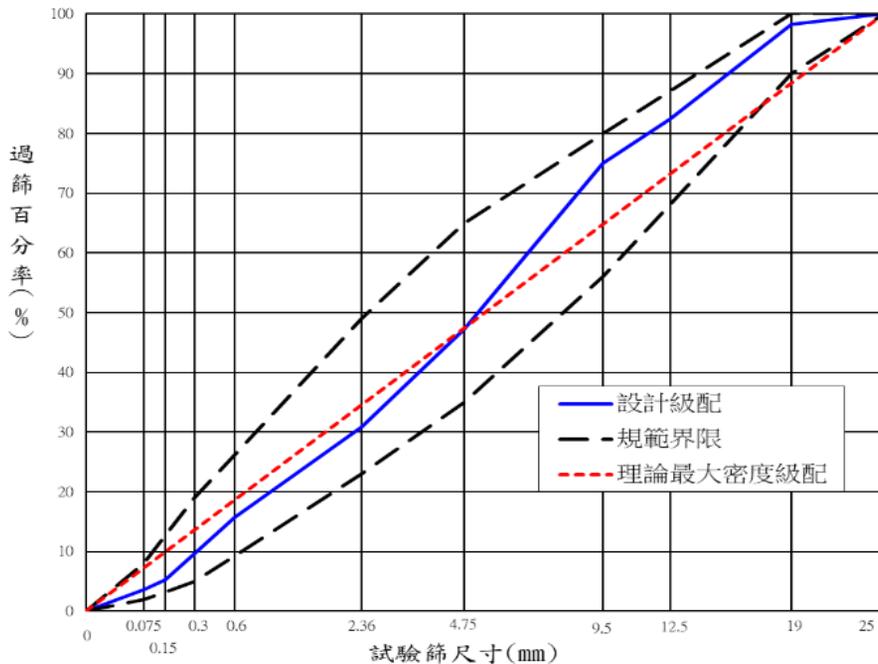


圖 15 南部粒料級配圖(FWHA 0.45 次方)

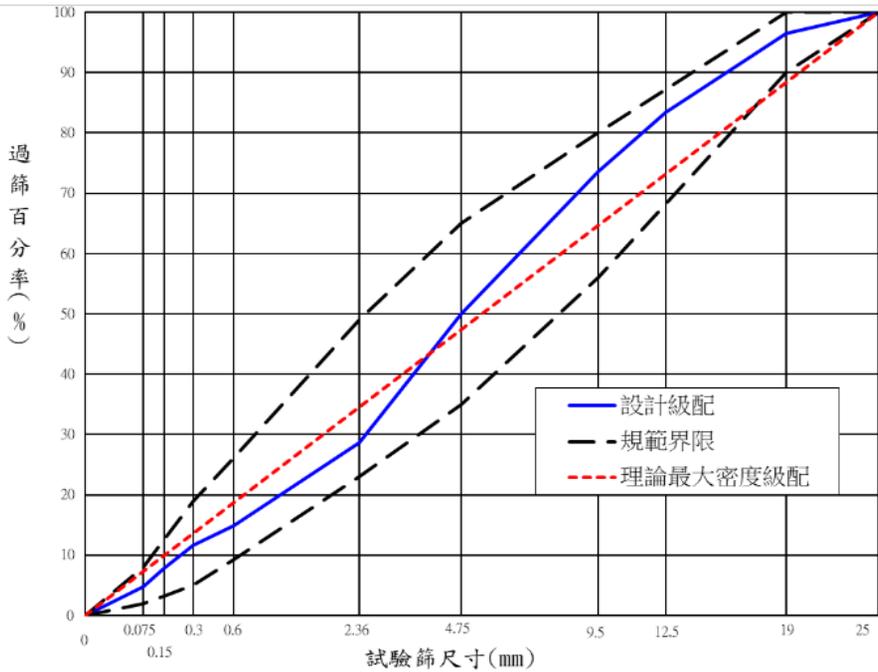


圖 16 北部粒料級配圖(FWHA 0.45 次方)

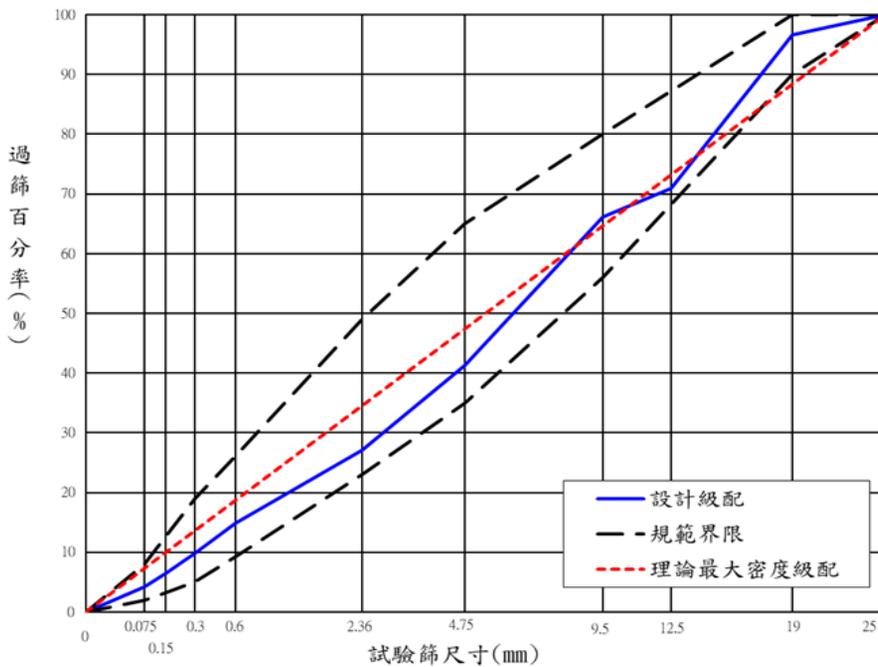


圖 17 東部粒料級配圖(FWHA 0.45 次方)

配比設計試驗結果彙整如表 3 所示，南部、北部及東部料相應的穩定值、流度值、瀝青填充率及粒料間空隙率及滯留強度皆符合規範值規定。

表 3 馬歇爾配比設計試驗結果彙整表

項目	建議配比及相應各值			規範值
	南部	北部	東部	
1.粒料配合比				
2.瀝青含量				
a.瀝青種類	AC-20	AC-20	AC-20	黏度分級 AC-20
b.對乾粒料(%)	5.9	5.4	4.6	—
c.對混合料(%)	5.6	5.1	4.4	4 ~ 10
3.試體密度(kg/m ³)	2346	2373	2406	—
4.穩定值(kgf)	1080	1300	1150	≥ 817
5.流度值(0.25mm)	10.4	12.7	9.8	8 ~ 14
6.粒料間空隙率(V.M.A.%)	15.7	13.8	13.3	≥ 12.2
7.瀝青填充率(V.F.A.%)	74	71	70	65 ~ 75
8.空隙率(V _a %)	4.0	4.0	4.0	3 ~ 5
9.粒料平均比重	2.625	2.621	2.660	—
10.瀝青比重	1.034	1.034	1.034	—
11.混合料最大理論密度(kg/m ³)	2445	2473	2507	—
12.滯留強度指數(%)	83	77	78	≥ 75

5-2. 導入均衡式配比設計之結果

南部、北部及東部料依據前揭圖 15~17 粒料級配分布(工作拌合公式, JMF), 製作瀝青含量 4.0%、4.5%、5.0%、5.5%、6.0% 直徑 15cm、厚度 6cm 之 SGC 試體各 4 顆, 以及直徑 15cm、厚度 5cm 之半圓試體各 4 顆, 分別進行漢堡車轍輪跡試驗及半圓彎曲(SCB)試驗。試體空隙率均控制在 7±1%。

漢堡輪跡試驗係依 12,000 輪次(車轍深度 12.5mm)對應瀝青含量回歸計算; 半圓彎曲(SCB)試驗係依 Flexibility Index (FI)=8 對應瀝青含量回歸計算。由於本國目前尚無相關規範, 本研究暫時以漢堡輪跡試驗(12,000 輪次)及半圓彎曲(SCB)疲勞試驗(FI=8)所夾集之可接受瀝青含量範圍之中間值作為建議瀝青含量。南部、北部及東部料試驗及計算結果如圖 18~圖 20 所示。

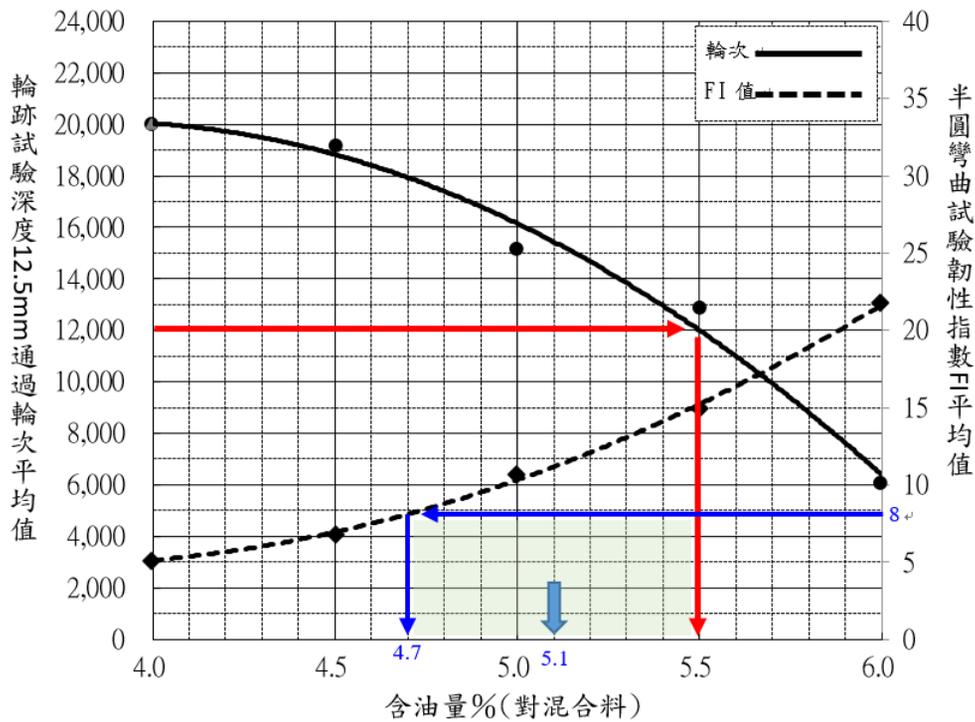


圖 18 南部料輪跡及疲勞試驗回歸曲線分析圖

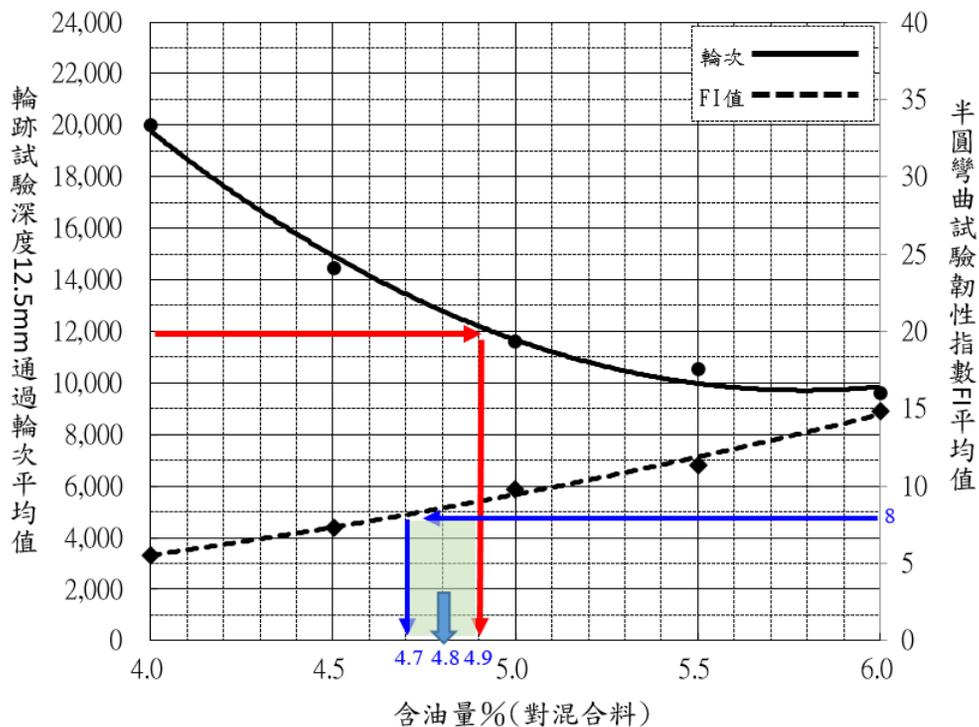


圖 19 北部料輪跡及疲勞試驗回歸曲線分析圖

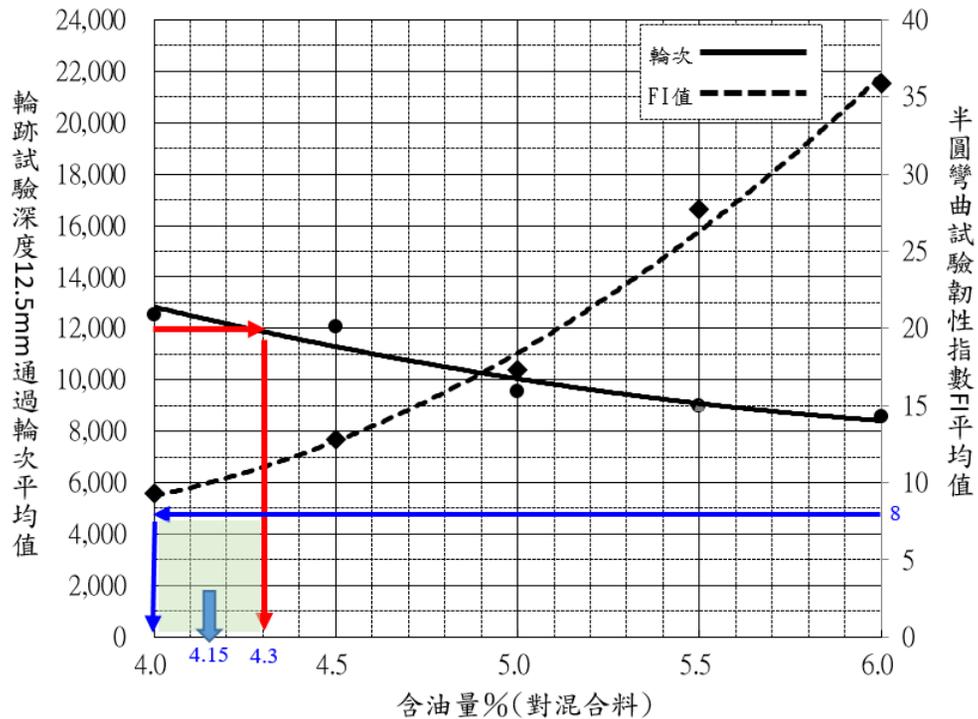


圖 20 東部料輪跡及疲勞試驗回歸曲線分析圖

綜合馬歇爾配合設計法及導入均衡式配合設計法之設計成果如表 4，其中馬歇爾配合設計法建議瀝青含量較由輪跡試驗及半圓彎曲(SCB)疲勞試驗組合成之均衡式配合設計法所得建議瀝青含量為高。

表 4 各配合設計法成果彙整表

	馬歇爾配合設計法		均衡式配合設計法 (輪跡+半圓彎曲)		馬歇爾與均衡式之可接受瀝青含量範圍之重疊區間
	可接受瀝青含量範圍	建議瀝青含量(空隙率 4%)	可接受瀝青含量範圍	建議瀝青含量(暫定為中間值)	
南部料	5.2~5.6%	5.6%	4.7~5.5%	5.1%	5.2~5.5%
北部料	4.75~5.3%	5.1%	4.7~4.9%	4.8%	4.75~4.9%
東部料	4.3~4.75%	4.4%	4.0~4.3%	4.15%	4.3%

5-3.建議瀝青含量之成效試驗

從表 4 可知，馬歇爾配合設計法南部粒、北部粒及東部粒之建議瀝青含量分別為 5.6%、5.1%及 4.4%；均衡式配合設計法求得南部粒、北部粒及東部粒之建議瀝青含量分別為 5.1%、4.8%及 4.15%，本研究針對上述 3 個地區、2 個不同建議瀝青含量進行穩定值、流度及滯留強度試驗、回彈模數試驗及間接張力試驗等，以瞭解其成效之差異。

依據南部、北部及東部料穩定值試驗結果如圖 21，無明顯趨勢彰顯出何種設計方法成效較佳。

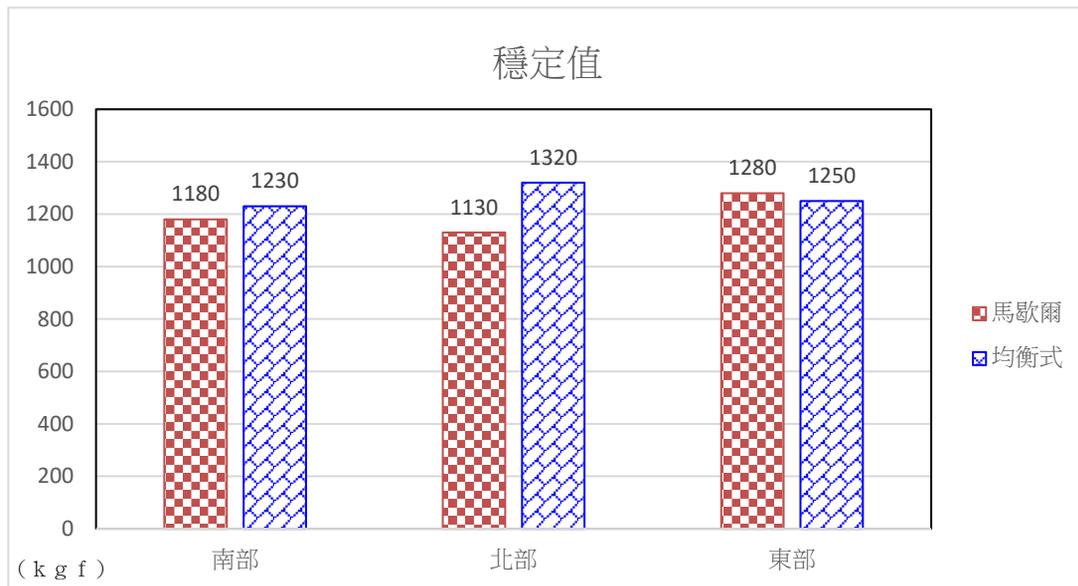


圖 21 各配合設計法穩定值圖

依據南部、北部及東部料流度值試驗結果如圖 22，符合施工說明書規定，但無明顯趨勢彰顯出何種設計方法成效較佳。

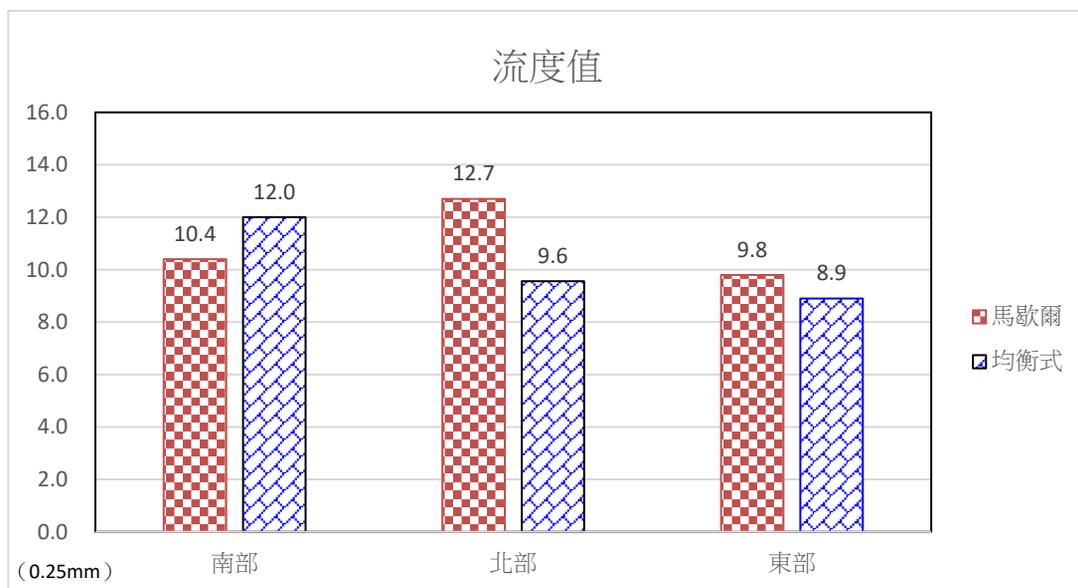


圖 22 各配合設計法流度值圖

依據南部、北部及東部料滯留強度試驗結果如圖 23，無明顯趨勢彰顯出何種設計方法成效較佳。

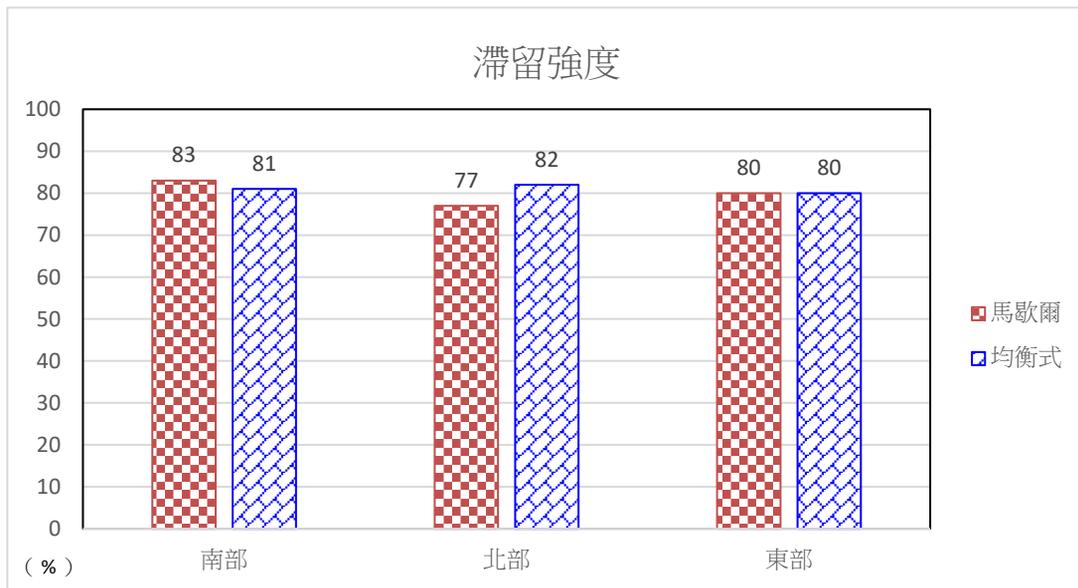


圖 23 各配合設計滯留強度圖

依據南部、北部及東部料回彈模數試驗結果如圖 24，均衡式配合設計較馬歇爾配合設計方法成效略佳。

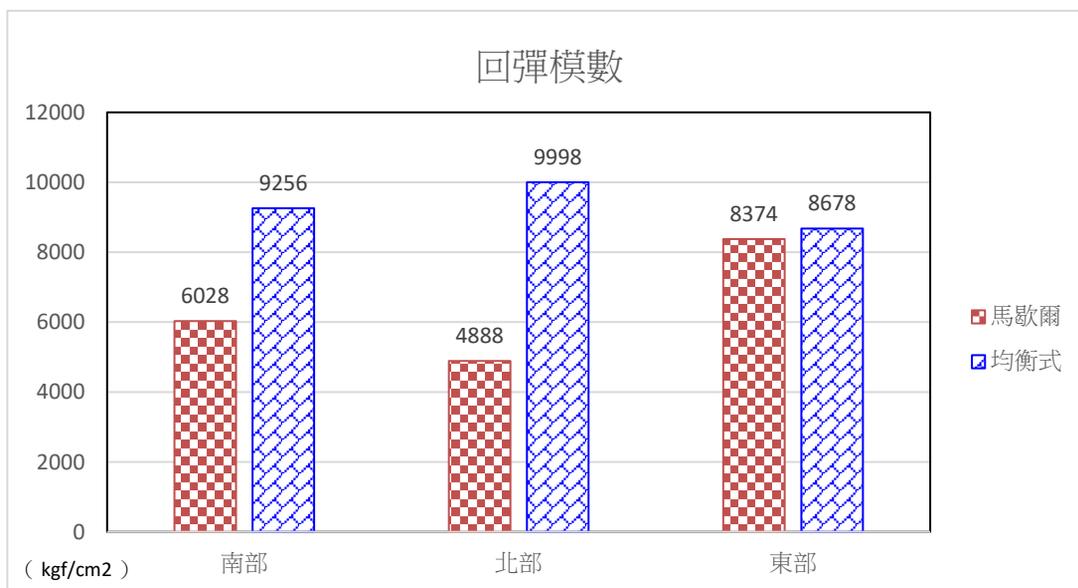


圖 24 各配合設計法回彈模數圖

依據南部、北部及東部料間接張力強度試驗結果如圖 25，均衡式配合設計較馬歇爾配合設計方法成效略佳。

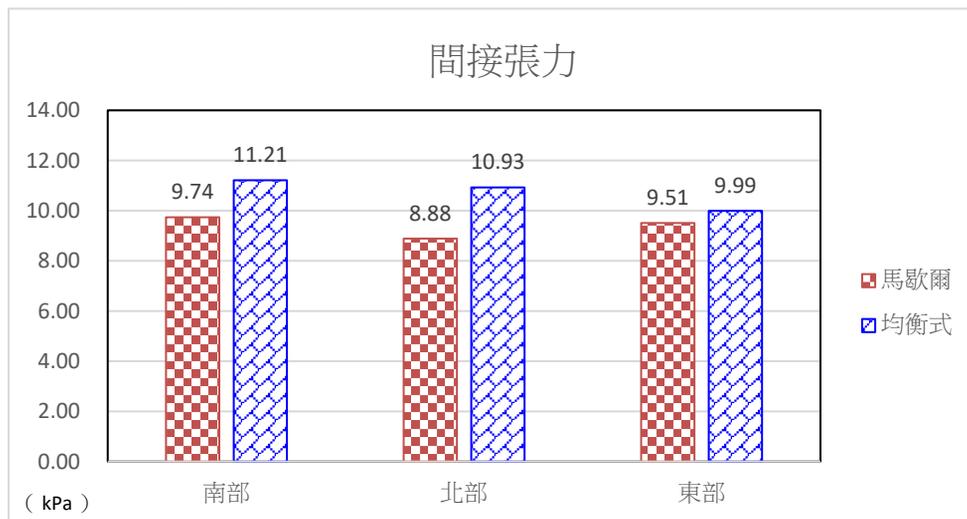


圖 25 各配合設計法間張力強度圖

六、結論及建議

1. 從配合設計結果來看，馬歇爾配合設計法之建議瀝青含量較均衡式配合設計法之建議瀝青含量為高。
2. 從不同瀝青含量(4.0%~6.0%)趨勢來看，瀝青含量低比瀝青含量高者之抗車轍能力為佳；瀝青含量高比瀝青含量低者之抗開裂能力為佳。
3. 從成效試驗結果來看，除穩定值、流量值及滯留強度試驗結果無法判斷成效優劣外，南部、北部及東部粒料均為均衡式配合設計較馬歇爾配合設計方法成效為佳。
4. 均衡式配合設計若採用漢堡輪跡試驗及半圓彎曲(SCB)疲勞試驗，可以在抗車轍及抗疲勞呈現兩組趨勢明顯且具鑑別度之曲線，方便求取可接受瀝青含量範圍。
5. 本研究均衡式設計法暫以可接受瀝青含量範圍之中間值作為建議瀝青含量，將來或可考量由表 3 之馬歇爾及均衡式之可接受瀝青含量範圍之重疊區間內，依照抗車轍或抗疲勞需求，決定合適的建議瀝青含量。
6. 另[具成效驗證的體積設計]、[成效改良的體積設計]及[成效設計]等 3 種均衡式配合設計法間之程序標準化及成效優劣，將來亦可進一步研究探討。
7. 本研究半圓彎曲(SCB)疲勞試驗 FI 規範值係引用伊利諾州規定，未必符合本土環境需求，或可再蒐集其它不同環境條件下之規範值，作為將來研究之參考。
8. 由研究結果來看，南部、北部及東部等不同區域之粒料性質差異，會影響抗車轍及抗疲勞之成效表現(在含油量合理情況下)，整體而言將影響未來抗車轍及抗疲勞規範值之訂定。

9. 為有效控制實驗室配合設計及生產施工兩端瀝青混凝土鋪面品質之一致性，在配合設計納入合適的成效試驗於國外已行之有年，而國內尚屬起步階段，冀望將來有更多人及資源投入研究，為國內瀝青混凝土鋪面品質創造一個新的里程碑。

參考文獻

- [1] Shane Buchanan Oldcastle Materials (2017). Balanced Asphalt Mixture Design - National Overview. 58th Annual Illinois Bituminous Paving Conference Champaign, Illinois.
- [2] Dave Newcomb Division Head, Materials & Pavements Texas A&M Transportation Institute (November,2015). Balanced Mix Design: The Need and the Process.
- [3] Johnson, D., P.E. Senior Regional Engineer, Asphalt Institute (2016). Balanced Mix Design (BMD). 2016 Idaho Asphalt Conference, Moscow, Idaho.
- [4] West, R., Rodezno, C., Leiva, F., and Yin, F. (2018). Development of a Framework for Balanced Mix Design, Final Report to the National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Project NCHRP 20-07/Task 406, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC.
- [5] Rahman, F., & Hossain, M. (2014). Review and analysis of Hamburg Wheel Tracking device test data (No. KS-14-1). Kansas. Dept. of Transportation. Bureau of Materials & Research.
- [6] Lu, Q., & Harvey, J. T. (2006). Evaluation of Hamburg wheel-tracking device test with laboratory and field performance data. Transportation Research Record, 1970(1), 25-44.
- [7] Yildirim, Y., Jayawickrama, P. W., Hossain, M. S., Alhabshi, A., Yildirim, C., Smit, A. D. F., & Little, D. (2007). Hamburg wheel-tracking database analysis. Texas Department of Transportation and Federal Highway Administration, FHWA/TX-05/0-1707-7.
- [8] Al-Qadi, I. L., Ozer., H., Lambros., J., El Khatib., A., Singhvi., P., Khan., T., Rivera-Perez., J., Doll, B.(2015). Testing Protocols to Ensure Performance of High Asphalt Binder Replacement Mixes Using RAP and RAS. Report No. FHWA-ICT-15-017. Illinois Center for Transportation.
- [9] 楊士賢、黃建維、徐登文、高健庭、張永翰、Susanto Hery Awan、Atiya Arief Fath (2016) 瀝青混凝土成效試驗規範之可行性研究，交通部公路總局。
- [10] Illinois Department of Transportation Memorandum (2019), HOT MIX ASPHALT MIXTURE DESIGN VERIFICATION AND PRODUCTION (MODIFIED FOR I-FIT PROJECTS) (BDE).
- [11] 交通部公路總局(108年8月修訂)。交通部公路總局施工說明書技術規定。

UAV/S 影像拍攝及 3D 建模準備作業及成果簡述

顏介鏘¹、王鐘緯²、鄧嘉欣³

摘要

有鑑於遙控無人機近來應用頻仍，遙控無人機管理規則及相關的法規也於109年3月31日正式上路，空拍事項除災害來臨時即時應用外，道路規劃、設計及周遭景觀及侵占事項都可以透過無人機影像拍攝結合3D建模達成目標，本文主要針對UAV/S影像拍攝的準備工作及3D建模可作分析進行簡要探討。

關鍵字：UAV、UAS、正攝影像、3D建模

一、前言

臺灣地區多為高山，其地勢陡峭交通不易到達，通常災害發生後，往往因災害發生地區具高危險性，調查分析人員無法深入災區瞭解災害發生情形及進行搶救，於此緊急情況下，為能有效提供即時災情資訊，可利用無人空中載具(Unmanned Aerial Vehicle，以下簡稱 UAV)做為即時的資訊蒐集管道針對山區道路特定邊坡區域進行 UAV/S 影像拍攝及三維模型製作，整體作業流程可分為(1)航拍前規劃及準備(2)執行拍攝作業(3)三維資料建模作業三大部分，流程圖如圖 1 所示，各項作業說明如下：

¹ 交通部公路總局五區養護工程處交通管理及控制中心公路防災小組長

² 交通部公路總局五區養護工程處阿里山工務段幫工程司

³ 中興測量有限公司

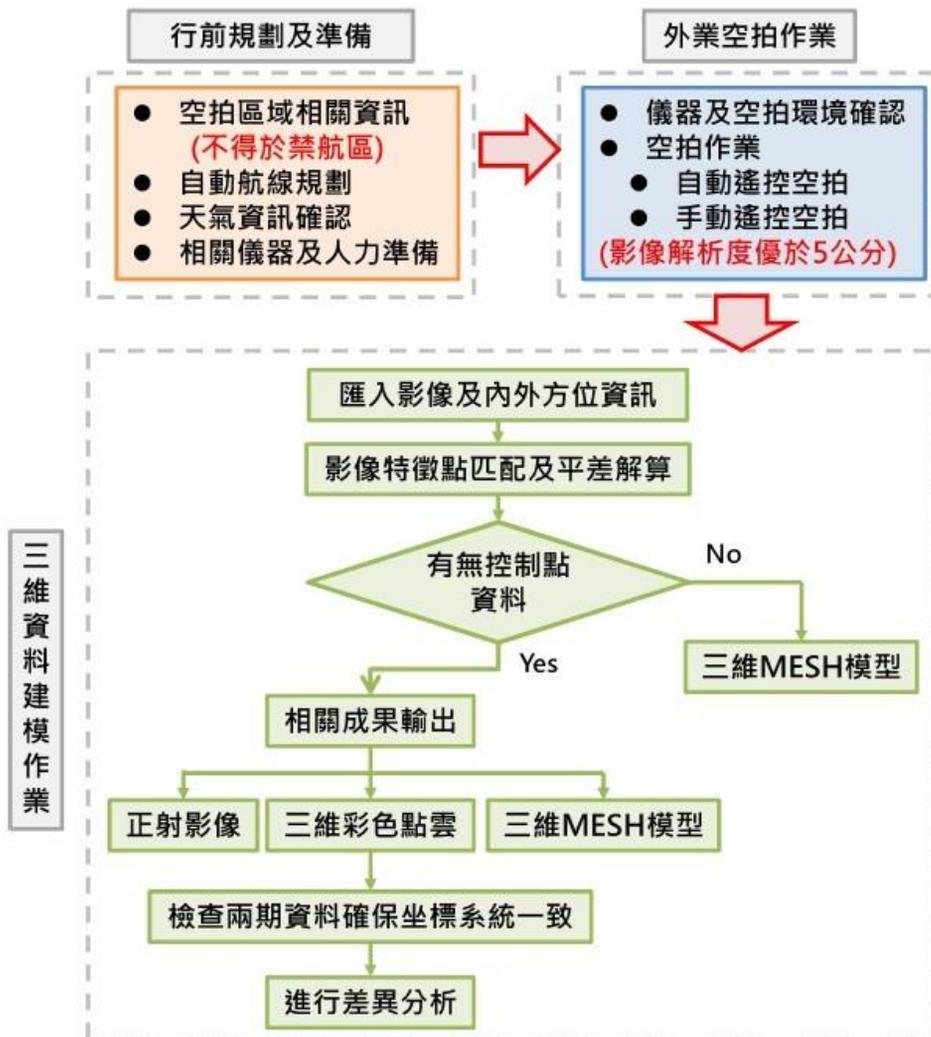


圖 1 UAV/S 影像拍攝及三維模型製作作業流

二、行前規劃及準備

2.1 空拍區域相關資訊

確認空拍範圍(1)應涵蓋邊坡災害滑體位置與未滑動週遭邊界外加邊坡坍塌可能擴大之範圍(2)構造物及設施相關及位置是否位於民航局所規定的禁航區(紅區)或限航區(黃區)，在禁航區中依據民用航空法第九章之二遙控無人機專章及遙控無人機管理規則進行空拍任務，限航區無例外排除僅能在機場標高 60 公尺以下或依據上述規則辦理進行空拍任務規劃，並確認遙控無人機作業手冊核備、操作手證照及無人機註冊碼、保險，活動申請登入後始可飛行，飛行前後均要上民航局遙控無人機管理資訊系統登載。



圖 2 災害現場勘畫面

活動區域範圍查詢GIS

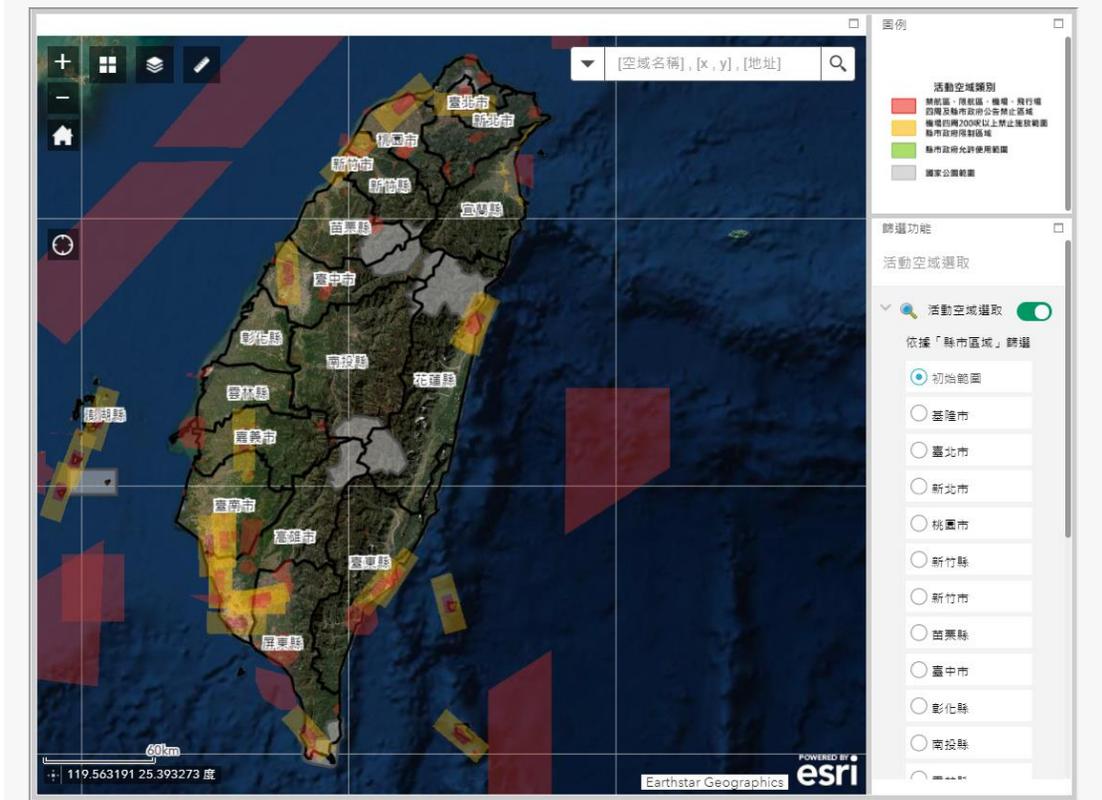


圖 3 禁航區或限航區範圍確認

2.2 自動航線規劃

確認空拍範圍後依照(1)預先設定構造物設施(2)邊坡單元或邊坡失穩形態(3)致災原因，將可能擴大範圍亦列入測繪，或至稜線、海岸等周遭地形明顯界限之範圍規劃航線，拍攝前後張影像需大於 70%前後重疊與 40%左右重疊(可由航線規劃系統調整設置圖 4-1)，起終點設置位置需將終點設置離操作手位置相近地方(圖 4-2)，高度越低則重疊率需設置越高(陳靜茹等 2016)，另於地形起伏變化急遽區域，前後、左右兩向重疊率皆應增加。其相片之地面解析度需優於每像素 10 公分，重點位置以每像素 5 公分為原則，產製之成果應足以觀察災害事件之地形或地貌前後變異。

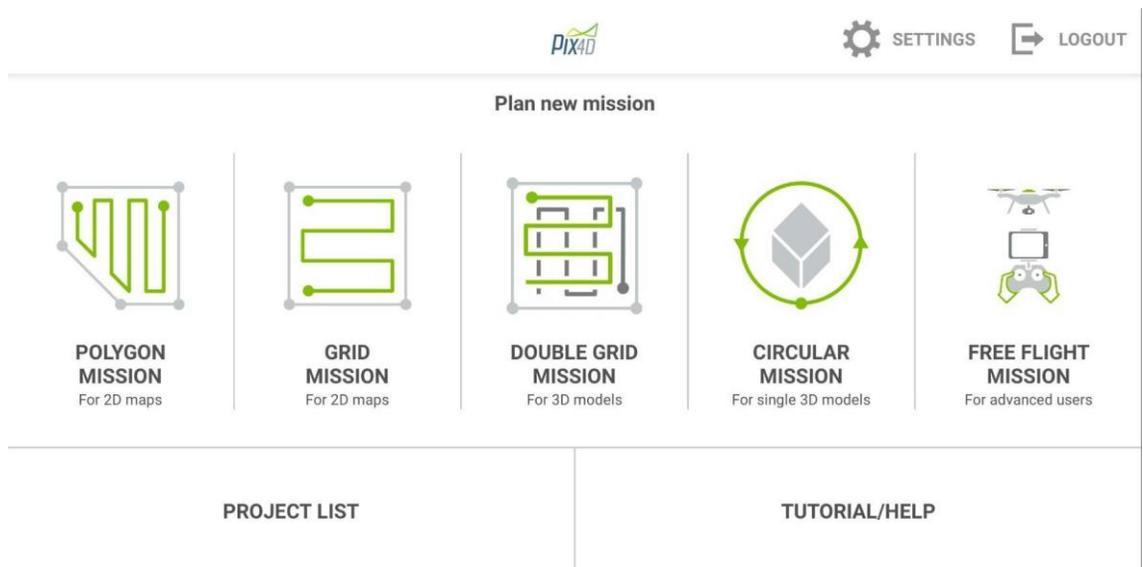


圖 4-1 航線規劃

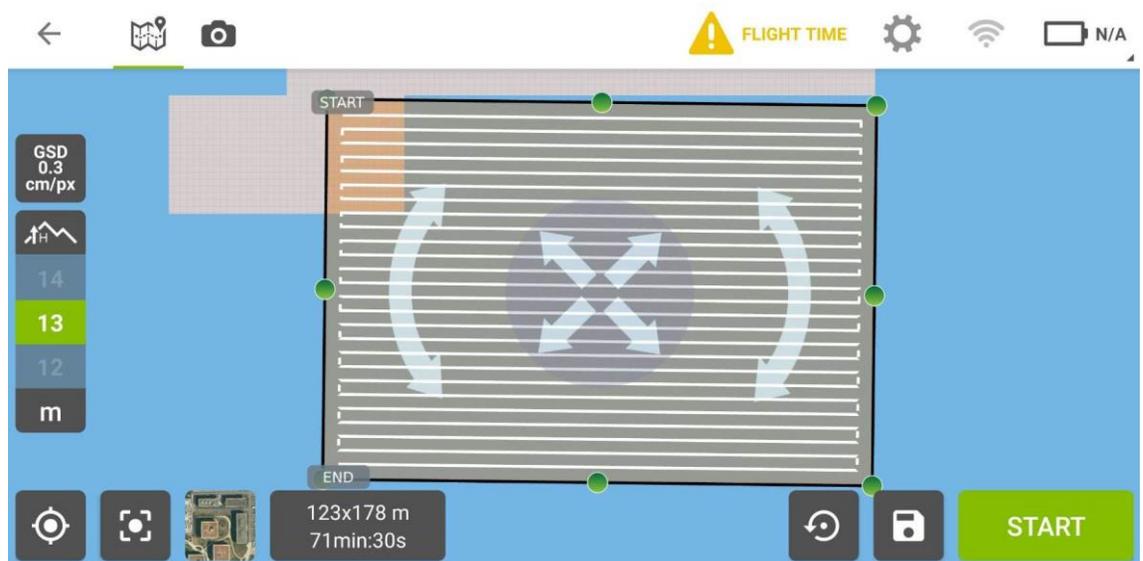


圖 4-2 航線規劃起迄點

2.3 空拍範圍區域天氣狀態變化與交通

天氣狀態的初步觀察跟出勤時間預估，也需初步掌握，以利於任務的時程安排。執行天氣資訊以中央氣象局天氣資訊為準，可作業之天候以地面風速 5 級風(含)以下之無雨且在不影響無人載具飛行之白晝進行拍攝為作業標準。航拍作業應以天氣晴朗、能見度佳、雲覆不影響空拍區域研判為原則，其中又以每日上午 9 時至下午 3 時之間實施較為適當。

2.4 相關儀器及人力準備

相關設備皆須於行前詳細檢查確實，包含空拍機、遙控器、電池，高效能筆記型電腦(航線規劃確認)等。在道路旁進行空拍機起降時，也需準備相關交通安全設備，例如交通錐、反光背心、安全帽等，除了保護操作手人員，也提醒其他用路人之注意。在山區災害範圍附近空拍時，人力至少需要兩人，除了主要操作手以外，尚需要第二位操作手及一位助手，可以隨時輔助主要操作空拍機的操作手，例如空拍機與周圍環境相對位置確認、設備組裝、即時資料處理等。

三、外業空拍作業

3.1 儀器及空拍環境確認

- (一) UAV/S起飛前需要確實檢查硬體及軟體，包含：旋翼是否安裝穩固、電池電量是否足夠、攝影鏡頭是否正常、衛星定位訊號是否正常接收等，軟體部分包含、無線電訊號與頻道設定是否優良、導控系統元件是否出現異常等。不同款式的UAV/S皆有大同小異的資訊需要做確認，以確保空拍操控過程的安全性。
- (二) 以空拍機確認周遭地形與環境，由於各地的地形與電塔設施狀況不同，皆有可能影響飛航安全，需要在飛航任務執行前先讓 UAV/S 起飛至適當高度，環視測區確認是否有影響飛安之因素。

3.2 空拍作業

UAV/S 空拍作業可分為自動遙控空拍及手動遙控空拍模式，下列為空拍注意事項

(一) 自動遙控空拍

適用於大範圍測區拍攝作業及地形起伏較平緩之區域，成果細緻度將會受到地勢高低影響，較高區域離空拍機鏡頭較近，成果通常較細緻，較低區域的建模成果細緻度則較差。

(二) 手動遙控空拍

適用於小範圍測區拍攝作業及地形起伏大之區域，由於空拍機離測區表面之距離可控制在數十公尺內，影像的地面採樣距離 GSD (Ground sample distance) 較大，建模成果的細緻度較高。

(三) 於山區進行空拍作業時須注意相片重疊率，如重疊率不佳所產製之三維模型成果較不細緻，須以手動空拍模式多角度拍攝補足因地形造成相片重疊率不足之問題，三維模型成果差異示意圖如圖5所示。



(a)相片重疊率不足



(b)多角度拍攝照片補足

圖 5 相片重疊率不同造成三維模型差異示意圖

四、三維資料建模作業

4.1 匯入影像及內方位資訊進行自動匹配

軟體將自動尋找影像之間的匹配點，透過匹配點可獲得每張影像的相對關係，提供後續建模的三維資訊(圖 6)。

4.2 進行空中三角平差計算並檢查成果精度

透過匹配點與影像的概略衛星定位座標，可進行空中三角平差計算，讓影像之間的相對位置與角度更加精確。

4.3 加入控制點資料

為確保建置之模型坐標位置，加入控制點進行約制，地面控制點至少 5 點(張國禎 2014)四角加中心點不足 5 點或無控制點則拍攝區塊應大於目的區域 1.2 倍，以便後續資料比對正確性。

4.4 相關成果輸出

完成空中三角平差計算後，影像之間的相對關係已更加精準，再透過更多的匹配點自動萃取，獲得更多的三維座標點位，再經由數以萬計的三維點位與影像色彩進行自動化建模，並產製三維模型、三維彩色點雲資料及正射影像。



圖 6 利用軟體建立 3D 模型(台 18 線 78.3k)

五、三維模型影像及崩塌域變異分析

針對特定邊坡區域進行三維模型建置及點雲資料分析，檢測分析如下：

5.1 變異性分析

特定點位地形地貌變異性分析係利用多期 UAV/S 航空攝影產製正射影像與數值地表模型比對前後期坡面地形地貌之變遷，一般有下列型態：

- (一) 剖面地表高程變化(圖7-1)。
- (二) 滑動坡體運移與堆積情形(圖8)。
- (三) 坡面風化侵蝕、植生、滲水等地貌變化之判釋。
- (四) 長期邊坡監測之應用。多期變異性分析應注意不同時期、不同觀測方法，以致不同精度之整合。

5.2 落石失穩分析

於特定點位落石失穩分析規劃實施時，應包括下列兩種型態：

- (一) 浮石落石分析：對於浮石、轉石，利用 UAV/S 近景空拍取得全視角照片(圖9)，用於檢視浮石或轉石周遭裂隙與固結支撐情形(圖10)，進行失穩分析。

(二) 落石擬運動分析：對於不連續面所切割之岩塊透過點雲判釋不連續面位態，並予座標化，建立不連續面與坡面之幾何關係，以赤平投影進行落石運動分析。

5.3 微地形災害徵兆之判釋

利用 UAV/S 航空攝影產製正射影像進行包括崩塌區源頭崩崖、張力裂縫及其線形、舊滑體等地形地貌災害徵兆之判釋，並以崩塌區與未崩塌區週遭背景之反差、崩塌區範圍大小或空間分布等立體視覺之不同、蝕溝植生排水等地貌特徵之不同為判釋要項。

5.4 人工設施檢查

針對優先關注邊坡，利用 UAV/S 航空攝影近景環拍進行人工設施檢視之進階檢測，依公路養護手冊進行邊坡各種大地工程設施類型與現況、各種異狀與型態、養護情形等之檢查。

(一) 路基及邊坡應經常巡查，以確保其功能，此為公路養護手冊第三章之規定。

(二) UAV/S 航空攝影解決以往人車不可達、視力不可及之問題，對於包括位於坡頂或路權外之公、私有土地或地面設施具危害公路行車安全之檢視，亦應加以檢查紀錄。



圖 7-1 DSM 圖層色化

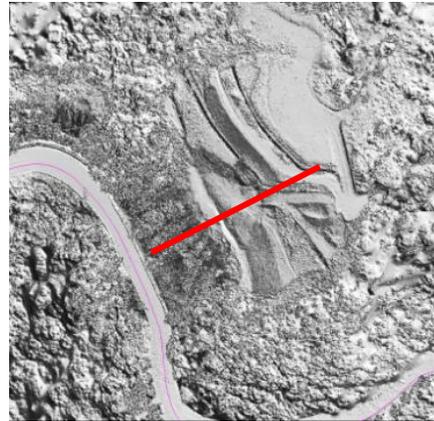


圖 7-2 剖面分析線

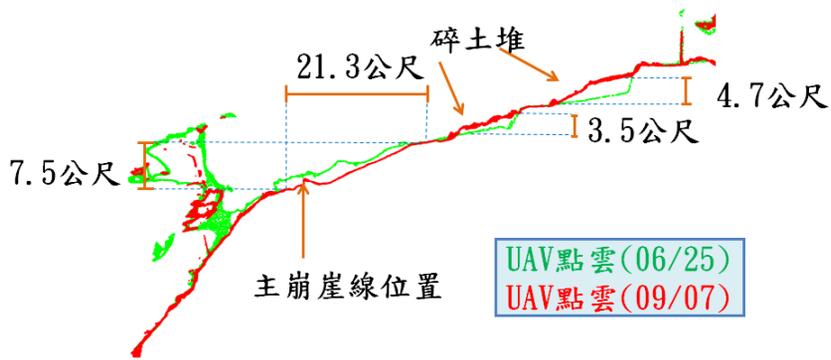


圖 8 滑動坡體運移與堆積情形



圖 9 近景空拍全景畫面



圖 10 針對浮石局部進行週邊拍攝

六、結語

無人飛機機動性極高，安全而且價廉，容易獲得極高的地面解析度影像，無人飛機同時酬載具備定位定向導航系統、自動飛行控制、即時影像、無線通訊系統及多種感測器等功能模組，使得空間資料的蒐集與調查更加便利而快速，大幅提昇了空間資訊取得之時效，對於災害發生後，可把握適合空照天候，立即執行航攝作業，進行災區航攝影像蒐集，可迅速掌握災情，爭取時效，通盤瞭解災區狀況，也可對於保全的例行巡邏，異常狀況的即時追蹤。

而多旋翼無人機發展快速擁有優異的低空定點停旋穩定性，有助於機動取得高解析

度影像品質，使空間資料的蒐集與調查更加便利而快速，大幅提昇了空間資訊取得之時效，對於現場調查作業，平時於適合空照天候或緊急災害勘查，隨時可執行航攝作業，進行調查區域航攝影像蒐集，利用導控軟體及 3D 建模軟體，可迅速掌握現場情形。

參考文獻

1. 台 18 線 34K~96K 路段光達於公路邊坡之應用：公路總局第五區養護工程處王鐘緯、中興測量有限公司鄧嘉欣(2018)。
2. 土木水利第四十一卷第四期：黃美甄、張國楨(2014)。無人飛行載具數值地形模型精度評估及應用。
3. UAV 航拍技術應用於河道變遷土砂監測和山區地形製圖之可行性分析：張崴、蕭宇伸(2017)。
4. 應用無人機於三維地形量測與正射影像精度之探討-以綠島為例：陳靜茹、盧韋勳、李孟學、江文山、吳永基(2016)。

中橫公路上谷關至德基段地貌 變異分析及安全性評估

劉世桐¹、邵維國²、呂正安³、張博翔⁴

摘要

民國88年921大地震後，中橫公路上谷關至德基段受損極為嚴重，為瞭解在地質脆弱環境下之便道安全性及災害風險，故藉由地貌變異分析計畫區域之地貌變化演進及研判便道沿線之災害潛勢。本研究利用衛星影像追蹤監測並分析自921地震後本區域邊坡崩塌地之變化情況，並參考日本學者井上公夫之研究繪製崩塌變遷推估曲線發現，本區邊坡目前處於回復期，估計約可於114年進入安定期。經綜整衛星影像評估、數值高程變異分析、正射影像圈繪、現地災害勘察、無人載具影像判釋、地調所公布潛勢區及谷關段落石清理紀錄之成果顯示：本計畫路段目前地質狀況處於回復調整階段，公路總局已啟動可行性研究計畫，以縮短未來復建方案執行之等待空窗期並及時銜接設計與施工作業。

關鍵字：中橫公路、航遙測影像、地貌變異分析、安全性評估

一、前言

中橫公路於 49 年完工通車，88 年 921 大地震後，中橫公路上谷關至德基段受損極為嚴重，之後兩度復建，但在通車前卻分別遭遇 89 年 517 震災與 93 年 72 水災，行政院秘書處於是函示：「基於經濟效益評估、生態維護、國土復育及安全考量，中橫公路谷關至德基段暫緩修復，待地質狀況穩定後，再予評估規劃。」。95 年 11 月，行政院指示公路總局評估復建可行性，後經 97 年行政院審議，啟動中橫便道搶通計畫，針對

¹ 交通部公路總局第二區養護工程處處長

² 交通部公路總局第二區養護工程處企劃科科長

³ 交通部公路總局第二區養護工程處谷關工務段段長

⁴ 中興工程顧問股份有限公司大地工程部副理

本路段多處高、中潛勢落石區域，施作 7 處鋼構明隧道及邊坡保護工程，終於 101 年 5 月完工，開放管制通行至今。

然而，中橫便道之定位為急救、救難便道，為瞭解在地質脆弱環境下之便道安全性及災害風險。公路總局自 101 年起推動「中橫公路上谷關至德基段地貌變異分析及安全性評估、探討服務工作」計畫，擬藉由地貌變異分析瞭解計畫區域之地貌變化演進及研判便道沿線之災害潛勢。該計畫結論建議持續追蹤監測本計畫區之崩塌變遷趨勢及進行短期中橫便道安全提昇工作。公路總局乃於 104 年進行「台 8 臨 37 線(中橫便道)易致災路段工程委託測量、設計及鑽探服務工作」及「中橫公路上谷關至德基段地貌變異分析及安全與可行性評估、探討服務工作(第 2 期)」。有關中橫公路本路段之歷史沿革請參閱圖 1-1。



圖 1-1 中橫公路上谷關至德基路段歷史沿革

二、地貌變異分析

中橫公路上谷關至德基段位在臺中市和平區，921 大地震前可分為台 8 線 37K~44K、44K~62K(中橫上線)及台 8 甲線 0K~17K(中橫下線)。自 101 年起，配合中橫公路谷關至德基便道搶通計畫完工，將修復完成開放管制通行之原台 8 線 37K~44K 及台 8 甲線 0K~17K 路段調整為台 8 臨 37 線 0K~24K，又稱之為「中橫便道」(詳圖 2-1 及圖 2-2)。

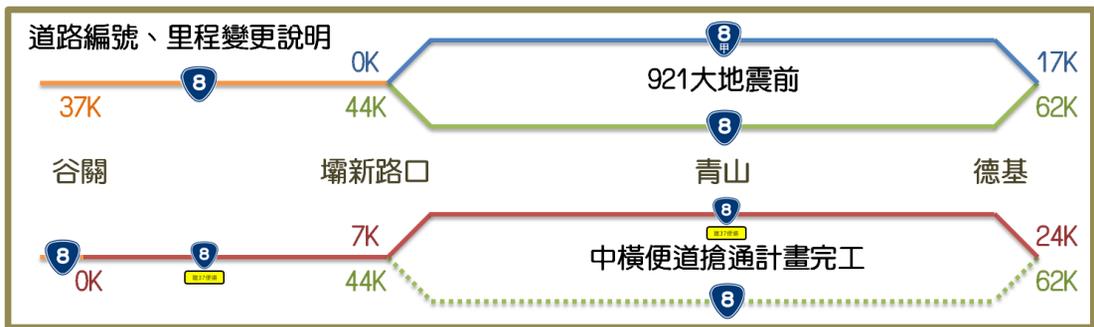


圖 2-1 計畫道路編號、里程變更說明



圖 2-2 計畫道路地理位置圖

本區公路邊坡易受強降雨沖蝕，加上本計畫沿線地質破碎、土石崩積、河谷解壓或高度風化，造成道路脆弱度攀高。傳統公路邊坡變異的監測方式，多仰賴人工以目視檢查，優點是頻率高、可隨時執行；缺點則是耗時費力，更欠缺與過去資料客觀比對之科學根據，不易掌握邊坡災害發生趨勢。而利用多尺度遙測影像整合之優勢，獲取所需之

詳細資訊，可達到對全路段快速實施大尺度判釋與監測的目標。本計畫即藉由此一方式進行公路邊坡之變異監測，依監測區域由大而小、由全計畫區至個案邊坡，分別以福衛二號衛星影像、空載光達掃描及旋翼無人飛行載具等方式，結合個別優點，以最有效率之方式掌握本計畫區(台 8 臨 37 線 0k~23.6k 及台 8 線 44k~62k)之邊坡變異情形，說明如后。

2.1 衛星影像

福衛二號衛星為我國第 1 顆自主掌控之光學遙測科學衛星，因具有每日再訪之特性，可提供近乎即時之高解析度衛星影像，有利於掌握災害研判、救災工作等之時效性，自 93 年發射迄今已參與國內外多次災害情資蒐集工作；惟福衛二號衛星任務已於 105 年 8 月 19 日由國家實驗研究院太空中心宣布正式除役，無法繼續提供服務。故後續改採用空間解析度同等或更優之衛星影像持續進行此項工作(如 SPOT-6/7 等衛星)。本計畫已完成 95 至 108 年(共 31 期)颱風豪雨事件前後之衛星影像判釋，以斜坡單元為單位，採自動化配合人工輔助之兩階段判釋法，崩塌地判釋成果範例詳圖 2-3。另計算「復育指標(Recovery Index)」，以了解計畫區域內各斜坡單元於近 3 年各期事件下之復育狀況。以下針對復育指標(簡稱 RI 值)說明定義及計算方式。

$$RI = \left(\frac{\text{各斜坡單元該事件下之復育率} - \text{各斜坡單元該事件下之新增崩塌率}}{\text{各斜坡單元該事件下之崩塌率}} \right)$$

復育指標(RI)：「+」值代表該斜坡單元於該事件後處於復育優於新增崩塌之狀況；反之「-」值則代表新增崩塌較復育顯著之情形。各斜坡單元於進行各災害事件 RI 值之線性趨勢迴歸後，將有 6 種復育指標趨勢類型，詳圖 2-4。

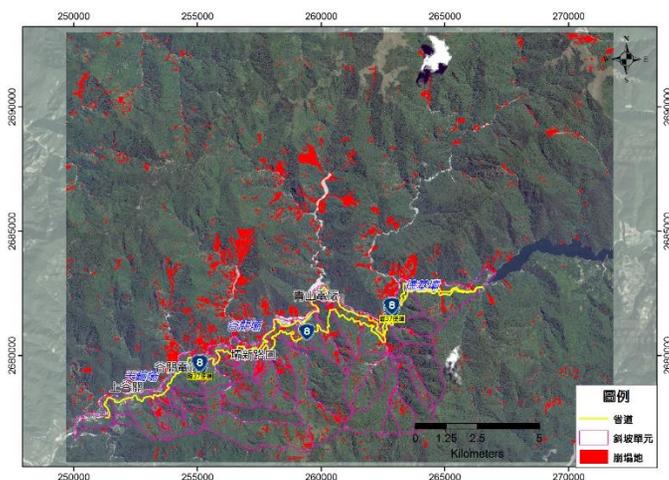


圖 2-3 影像崩塌地判釋成果圖範例

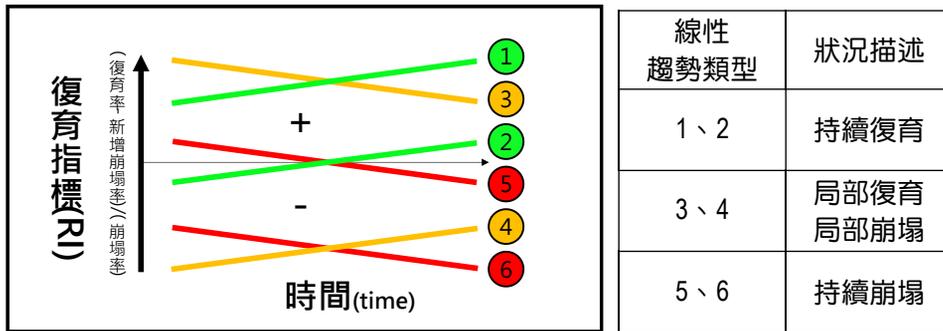


圖 2-4 復育指標趨勢類型示意圖

為推估計畫區域之崩塌變遷，計畫蒐集並參考其他類似研究。相較於其他國家(如：中國、南非、歐陸等)，日本不論在島國地形、氣候水文條件、地質年代上皆與臺灣較為近似，加上同處西太平洋，也同易於夏季遭受颱風暴雨侵襲，故國內亦常引用日本之技術規範。鑑此，本計畫乃參考日本學者井上公夫之研究，進行計畫區域之崩塌變遷推估。井上公夫於關東大地震後，以鄰近關東約 50km 處之丹澤山中津川流域為例，探討民國 11 年(1922)關東大地震後該區域崩塌地之變遷，提出崩塌地自 1896~1980 年間共計 84 年之變遷推估。該研究並將全期間概分為發生期、不安定期、回復期及安定期共 4 個階段。參考上述研究，本計畫以 921 大地震為重大事件，針對其後至 108 年間合計共 15 年之歷史影像崩塌地判釋資料，分析崩塌地面積與時間之關係，繪製崩塌變遷推估曲線，由於資料具有單一峰型之特性，故使用媒合度較佳之二次多項式迴歸類型進行統計，並對未來趨勢進行推估，此崩塌變遷推估曲線之成果，詳圖 2-5。

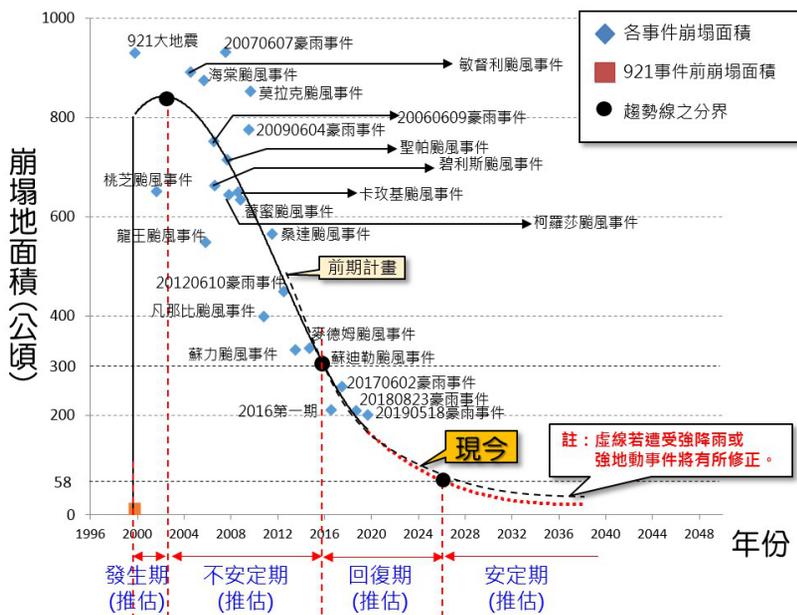


圖 2-5 本計畫崩塌變遷推估情形示意圖

藉由透過復育指標(RI)之趨勢分析，整合利用崩塌變遷推估趨勢線評估各斜坡單元現況之結果，各斜坡單元可以雙燈號完整考量近 3 年趨勢及現況，分析結果彙整如表 2-1。

表 2-1 各斜坡單元及道路區段之近 3 年趨勢及現況

斜坡單元	道路區段	里程樁號	近 3 年趨勢	現況	斜坡單元	道路區段	里程樁號	近 3 年趨勢	現況
S001	r001	台 8 線 32.7k-33.7k	持續復育	安定期	S031	r020 u005	台 8 臨 37 線 8.3k 台 8 線 45.8k-46.1k	持續復育	回復期
S002	r002	台 8 線 33.7k-34.9k	持續復育	安定期	S032	-	-	局部復育 局部崩塌	回復期
S003	r003	台 8 線 34.9k-35.7k	持續復育	安定期	S033	-	-	持續復育	回復期
S004	r004	台 8 線 35.7k-36.6k	持續復育	安定期	S034	r022 u007	台 8 臨 37 線 8.6k-9.6k 台 8 線 46.9k-47.4k	持續復育	回復期
S005	-	-	持續復育	安定期	S035	r021 u006	台 8 臨 37 線 8.3k-8.6k 台 8 線 46.1k-46.9k	持續復育	回復期
S006	r005	台 8 線 36.6k- 台 8 臨 37 線 0.5k	局部復育 局部崩塌	回復期	S036	-	-	持續復育	回復期
S007	r006	台 8 臨 37 線 0.5k-0.9k	局部復育 局部崩塌	回復期	S037	r023 u008	台 8 臨 37 線 9.6k-10.7k 台 8 線 47.4k-48.1k	持續復育	回復期
S008	r007	台 8 臨 37 線 0.9k-1.0k	持續復育	回復期	S038	r024 u009	台 8 臨 37 線 10.7k-10.8k 台 8 線 48.1k-49.2k	持續復育	回復期
S009	r008	台 8 臨 37 線 1.0k-1.6k	持續復育	回復期	S039	-	-	局部復育 局部崩塌	回復期
S010	r009	台 8 臨 37 線 1.6k-1.7k	持續復育	回復期	S040	-	-	持續復育	回復期
S011	-	-	持續復育	回復期	S041	r025 u010	台 8 臨 37 線 10.8k-11.9k 台 8 線 49.2k-50.1k	持續復育	回復期
S012	-	-	持續復育	回復期	S042	r026 u011	台 8 臨 37 線 11.9k 台 8 線 50.1k-50.6k	持續復育	回復期
S013	r010	台 8 臨 37 線 1.7k-3.4k	持續復育	回復期	S043	r027 u012	台 8 臨 37 線 11.9k-13.1k 台 8 線 50.6k-51.7k	持續復育	回復期
S014	-	-	持續復育	回復期	S044	r028 u013	台 8 臨 37 線 13.1k-14.3k 台 8 線 51.7k-51.9k	持續復育	回復期
S015	-	-	持續復育	回復期	S045	r029 u014	台 8 臨 37 線 14.3k-15.8k 台 8 線 51.9k-53.7k	持續崩塌	回復期
S016	r011	台 8 臨 37 線 3.4k-4.5k	持續復育	回復期	S046	r030 u015	台 8 臨 37 線 15.8k-17.1k 台 8 線 53.7k-55.1k	局部復育 局部崩塌	回復期
S017	r012	台 8 臨 37 線 4.5k-4.9k	持續復育	回復期	S047	-	-	持續復育	回復期
S018	r013	台 8 臨 37 線 4.9k-5.6k	持續復育	回復期	S048	-	-	局部復育 局部崩塌	回復期
S019	-	-	持續復育	安定期	S049	-	-	局部復育 局部崩塌	安定期
S020	-	-	持續復育	回復期	S050	r031 u016	台 8 臨 37 線 17.1k-17.7k 台 8 線 55.1k-56.0k	持續復育	不安定期
S021	-	-	局部復育 局部崩塌	回復期	S051	-	-	局部復育 局部崩塌	安定期
S022	-	-	局部復育 局部崩塌	回復期	S052	-	-	持續復育	回復期
S023	-	-	持續復育	回復期	S053	-	-	局部復育 局部崩塌	回復期
S024	r014	台 8 臨 37 線 5.6k-6.3k	局部復育 局部崩塌	回復期	S054	-	-	局部復育 局部崩塌	回復期
S025	r015	台 8 臨 37 線 6.3k-6.7k	局部復育 局部崩塌	不安定期	S055	-	-	持續復育	回復期
S026	r016 u001	台 8 臨 37 線 6.7k-7.1k 台 8 線 44.0k-44.5k	持續復育	回復期	S056	r032 u017	台 8 臨 37 線 17.7k-17.9k 台 8 線 56.0k-56.2k	持續復育	回復期
S027	r017 u002	台 8 臨 37 線 7.1k-7.6k 台 8 線 44.5k-45.0k	持續復育	回復期	S057	r033 u018	台 8 臨 37 線 17.9k-18.5k 台 8 線 56.2k-56.8k	局部復育 局部崩塌	安定期
S028	-	-	持續復育	回復期	S058	r034 u019	台 8 臨 37 線 18.5k-19.9k 台 8 線 56.8k-58.2k	局部復育 局部崩塌	回復期
S029	r018 u003	台 8 臨 37 線 7.6k-7.8k 台 8 線 45.0k-45.2k	持續復育	不安定期	S059	r035 u020	台 8 臨 37 線 19.9k-23.6k 台 8 線 58.2k-62.2k	局部復育 局部崩塌	回復期
S030	r019 u004	台 8 臨 37 線 7.8k-8.3k 台 8 線 45.2k-45.8k	持續復育	不安定期					

2.2 空載光達

本計畫於 105 年及 108 年以空載光達掃描計畫區沿線上、下邊坡範圍(面積約 68 km²)產製高精度數值高程地形並進行地形變異分析。由於計畫區地表起伏劇烈，經評估後於 105 年選用最高每秒 400,000 點掃描速度之「ALTM Pegasus」空載光達設備及高解析度專業航拍相機「DiMAC Ultralight+」，同步蒐集光達掃描資料以及航拍影像；108 年因應工具之進步，選用最高每秒 500,000 點掃描速度之「ALTM Pegasus HA500」空載光達設備及高解析度專業航拍相機「Phase One IXU-RS-1000」。此外，2 次作業之飛行載具皆係採用前進航空公司之航拍定翼機。以空載光達產製數值高程地形成果範例詳圖 2-6。

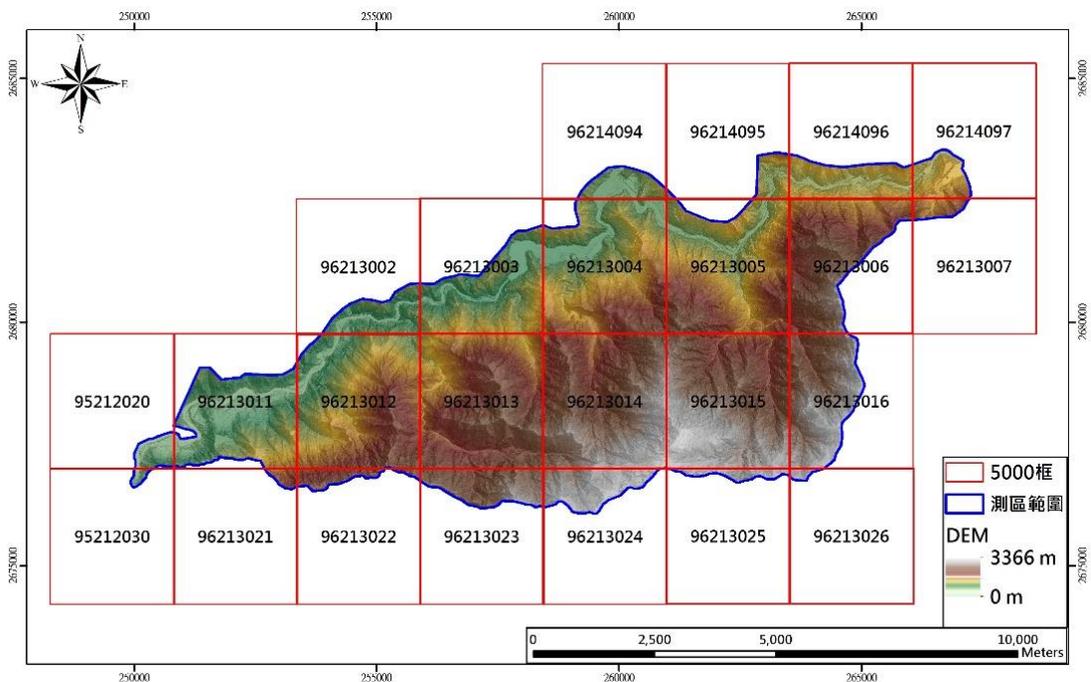


圖 2-6 空載光達施測之 DEM 成果範例

數值高程地形進行地形變異分析，其方法主要以後期高精度數值地形減去前期高精度數值地形，若所得網格內數值為負值即為崩塌或下刷之土砂流失，反之，即為土砂堆積；再乘上高精度數值地形網格面積大小，即為單一網格之地形變化體積量。

依據 105 年及 108 年間之數值地形變易分析結果(詳圖 2-7)顯示：坡面崩塌流失最大深度達 22.6m(位於台 8 臨 37 線 19.9k 到 23.6k 間、台 8 線 58.5k 到 62.2k 間)、堆積最大厚度為 18.5m，總坡面崩塌產出量約為 100.8 萬 m³；大甲溪此區段河道冲刷最大深度達 18.6m、淤積最大厚度達 18.8m，共約有 34.9 萬 m³ 之新增土方淤積於河道。主要淤

積於谷關壩到青山電廠間。推估與本河段兩側坡面及支流供應土砂量持續上升有關。

大甲溪河道變遷影響層面甚廣，如水庫後方之淤砂可能造成河道不穩定、影響水流，導致河岸遭衝擊、路基流失等。前期計畫亦曾針對土方資源進行初步研究，為淤積土砂尋求適當放置位置。而針對道路下邊坡若分析結果屬河道沖刷側，則應持續關注其掏刷及變化，必要時增設防治措施，以免道路下邊坡之趾部流失。此外，大甲溪右岸亦為土砂產出之重要來源，未來宜協調相關單位共同研商處理方式。

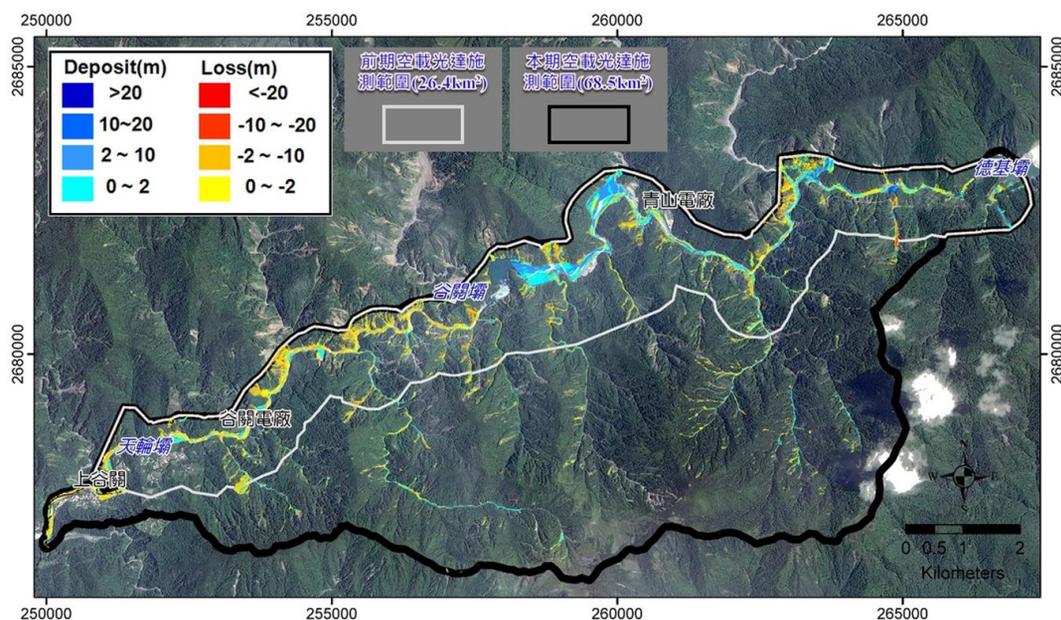


圖 2-7 105 年至 108 年地形變異及河道沖淤分析成果圖

2.3 無人飛行載具

進行山區現地調查時，因道路交通、地形因素或環境安全考量，而無法取得全面性較佳視角之拍攝照片時，可採用無人飛行載具(UAV)達成任務。其優點在於不受限於地形及交通，具有機動力強、時效性快、費用較低及天氣條件限制較少等特性，能克服傳統現地調查之地形視野障礙，獲得即時、清晰、全面之中低空照片，有助於環境資訊蒐集，並做為災害分析參考、後續治理規劃或治理成效追蹤評估之用。

以飛行載具分類，共分為穩定性較高之定翼機與易於定點拍攝之旋翼機兩類。本計畫由於拍攝地點位處山區，故選取起降容易、不受起飛跑道條件限制、易於定點拍攝且攜帶性與機動性高之旋翼機並搭配 1,200 萬畫素以上之取像設備進行無人載具空拍作業。取像完成後，再於後續產製解析度優於 25cm 之近正射影像及 DSM，以供地貌變異分析之用。

為追蹤中橫上線 3 處嚴重斷鏈位置之近年現況，公路總局第二區養護工程處谷關工務段遂指派本計畫於 108 年進行台 8 臨 37 線 15.5k、17.1k 及 20.3k(對應台 8 線 53.5k、

55.0k 及 58.8k)等 3 處災害路段進行旋翼 UAV 拍攝作業。茲以台 8 臨 37 線 15.5k(台 8 線 53.5k)為例,經 UAV 航拍影像處理後,據以建置 10cm 之 DSM 及正射影像(詳圖 2-8)。建立 DSM 資料後,與 105 年之空載光達所建置之 DEM 進行比較,追蹤整體地形高程差異量(詳圖 2-9)。

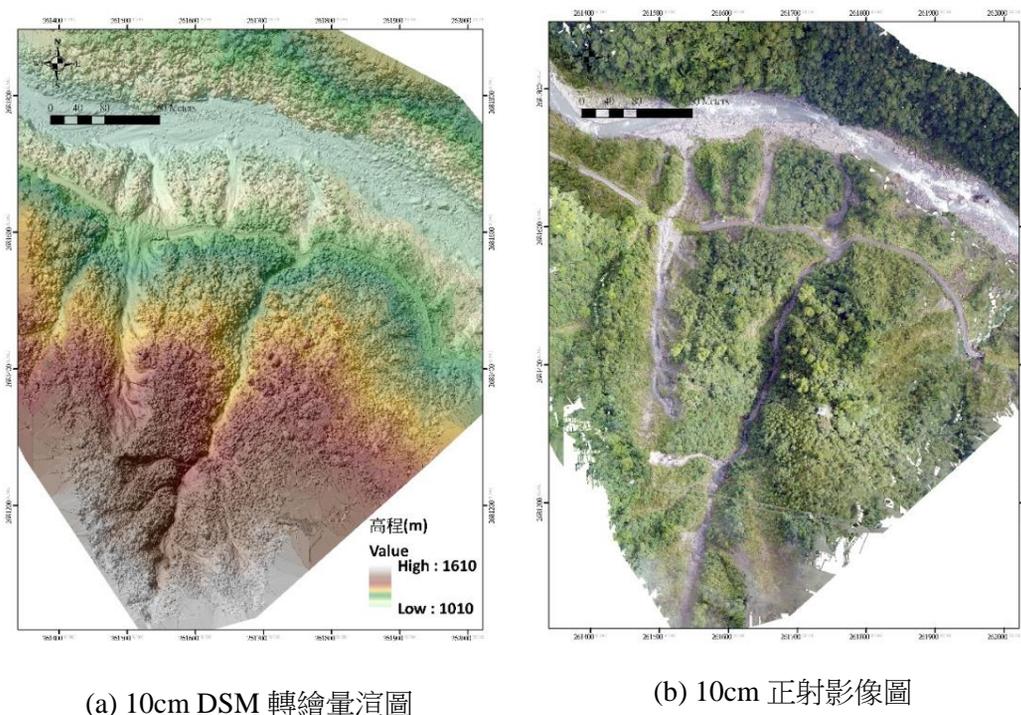


圖 2-8 台 8 臨 37 線 15.5k UAV 拍攝成果

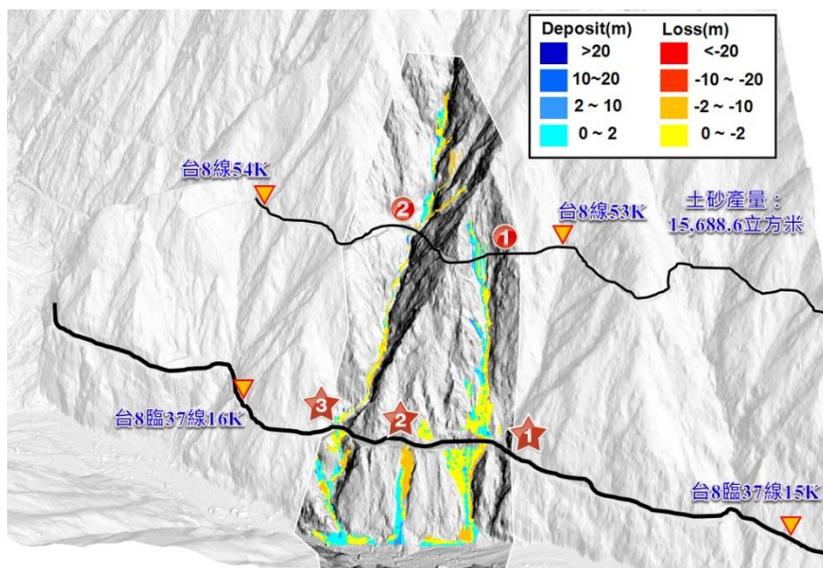


圖 2-9 台 8 臨 37 線 15.5k 數值地形高程差異分析成果

成果顯示：105 年至 108 年土砂產量為 15,688.6m³，流失最深達 8.5m。由圖 2-9 可知，鄰近上線之高程變異區主要有兩處：其中，一處位於邊坡坡面(圖中圓形編號 1)，較靠近 53.3k，影響範圍約有 30m，道路上下邊坡呈現土砂堆積；另一處位於野溪河道(圖中圓形編號 2)，道路線形與野溪交會處因沖刷而呈現土砂流失。鄰近下線之高程變異區主要有 3 處：其中，2 處位於邊坡坡面(圖中星形編號 1 及 2)，較靠近 15.5k，影響範圍自里程增加方向，依序各約有 80m 及 30m，且道路上下邊坡多呈現土砂流失；另一處位於河道(圖中星形編號 3)，橋梁與河道交會處因沖刷而呈現土砂流失。分析結果可知本區土砂仍持續產出，該處位置仍屬較不穩定狀態，未來須持續關注。

2.4 現地調查

全線現地踏勘及邊坡檢視，主要針對沿線易致災山凹處進行環境地質災害現況調查，詳實記錄現生之落石、岩屑崩滑、岩體滑動與蝕溝等環境地質災害。計畫執行至今，每年均進行一次現勘，記錄邊坡演育與變化情形並彙整現地勘查成果及所蒐集資料，供後續分析、評估及對策研擬之參考。

依據 108 年度調查成果，本計畫路段經統計，台 8 臨 37 線沿線落石有 118 處【台 8 臨 37 線 6.8k 壩新路口前 19 處(12 處已有改善工程)、台 8 臨 37 線 6.8k 壩新路口後 59 處(19 處已有改善工程)、中橫上線 40 處】，岩屑崩滑有 85 處【台 8 臨 37 線 6.8k 壩新路口前 8 處(5 處已有改善工程)、台 8 臨 37 線 6.8k 壩新路口後 34 處(18 處已有改善工程)、中橫上線 43 處】，土石流有 31 處【台 8 臨 37 線 6.8k 壩新路口前 6 處(5 處已有改善工程)、台 8 臨 37 線 6.8k 壩新路口後 11 處(6 處已有改善工程)、中橫上線 14 處】，詳表 2-2 所列。

表 2-2 台 8 臨 37 線暨中橫上線災害數量統計表

位置	落石		岩屑崩滑		土石流	
	總計	改善工程	總計	改善工程	總計	改善工程
台 8 臨 37 線 6.8k 壩新路口前	19	12	8	5	6	5
台 8 臨 37 線 6.8k 壩新路口後	59	19	34	18	11	6
中橫上線	40	-	43	-	14	-
合計	118	-	85	-	31	-

中橫上線全長約 18km，道路現況以道路里程 53k+247~53k+594 與 58k+327~58k+656 兩大崩塌地區分為 3 個區段：

第 1 區段自里程 44k+050 至 53k+247，沿線路況大致良好，道路上零星落石堆積，大致可分辨路基位置，局部道路鋪面仍算完整。此路段共計 4 處路基全毀路段、43 處道路受損(道路路幅不足 5m)。

第 2 區段自里程 53k+594 至 58k+327，沿線路況極差，道路雜草叢生，沿線塊石堆積導致路基埋覆，共計 11 處路基全毀路段、22 處道路受損。

第 3 區段自里程 58k+656 至 61k+900，沿線路況稍差，道路多雜草叢生、塊石堆積，僅局部道路鋪面仍完整，共計 2 處路基全毀路段、16 處道路受損。

中橫上線路基全毀路段累積總長約 2,129m，道路受損路段(道路路幅不足 5m)經全面較詳盡之檢視，累積總長則約有 6,900m，路基全毀路段位置詳圖 2-10。



圖 2-10 中橫上線路基全毀路段分布位置

2.5 潛勢分析

本計畫地質災害潛勢分析之地形單元製圖方法採用斜坡單元法。意即以斜坡單元為基本單位，並依據地質災害潛勢條件進行分析評估作業，最後完成地質災害潛勢圖之繪製。由於調查區域之地質災害主要為落石與岩屑崩滑，故潛勢分析以落石與岩屑崩滑為主，製圖要件及所需參考評估之資料包括：斜坡單元、Lidar DEM 資料處理獲得之坡度、環境地質基本圖中各種災害與環境地質因子、岩性組合與岩體強度之工程地質參數等，最後依據分析評估的結果製作成災害潛勢圖(詳圖 2-11)。

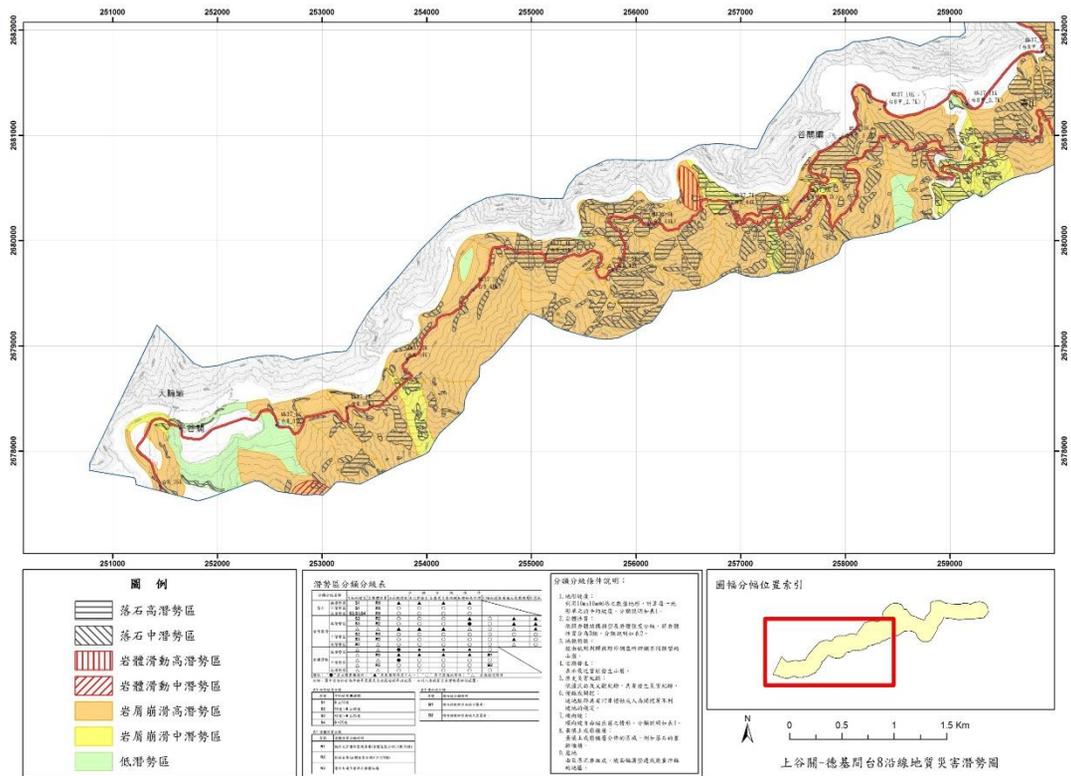


圖 2-11 地質災害潛勢圖(以計畫西段為例)

2.6 落石紀錄

中橫便道沿線岩質破碎、無植被之裸露邊坡隨處可見，落石坍方更是屢見不鮮，茲將機關提供 103 年~108 年本計畫路段之落石清理紀錄彙整如表 2-3，以為評估之用。惟 107 及 108 年度因落石清理之承包廠商僅記錄規模較大之落石災害，與 103 年~106 年之記錄標準不同，故無法併入統計。上述資料主要係顯示落石災害發生之頻繁程度，無法反映其對道路所造成之損害程度。

表 2-3 103 年~108 年落石清理紀錄

道路區段	道路里程	道路長度(km)	103年(次)	104年(次)	105年(次)	106年(次)	總計(次)	單位長度平均次數(次/km)	107年(次)	108年(次)
r005	0-0.5k	0.45	0	1	2	2	5	11	0	0
r006	0.5k-0.9k	0.41	2	15	17	5	39	94	0	1
r007	0.9k-1.0k	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0
r008	1.0k-1.6k	0.59	2	1	3	2	8	14	0	0
r009	1.6k-1.7k	0.12	0	1	2	1	4	32	0	0
r010	1.7k-3.4k	1.71	3	10	17(1)	7	37(1)	22	1	2
r011	3.4k-4.5k	1.06	10	20	9	4	43	41	1	0
r012	4.5k-4.9k	0.38	3	3	3	1	10	26	0	0
r013	4.9k-5.6k	0.70	9	26	20	17	72	104	1	1
r014	5.6k-6.3k	0.72	7	3	7	4	21	29	1	0
r015	6.3k-6.7k	0.46	1	11	13	5	30	65	1	2
r016	6.7k-7.1k	0.41	1	2	5	2	10	25	1	0
r017	7.1k-7.6k	0.45	1	1	6	1	9	20	0	1
r018	7.6k-7.8k	0.16	0	6	5(1)	1	12(1)	76	0	1
r019	7.8k-8.3k	0.56	3	6	8	2	19	34	3	0
r020	8.3k	0.06	1	3	1	0	5	90	0	0
r021	8.3k-8.6k	0.24	0	5	12	3	20	85	0	1
r022	8.6k-9.6k	1.07	1	4	7(1)	1	13(1)	12	1	1
r023	9.6k-10.7k	1.00	0	1	10	5	16	16	1	1
r024	10.7k-10.8k	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0
r025	10.8k-11.9k	1.06	0	0	1	0	1	1	0	1
r026	11.9k	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0
r027	11.9k-13.1k	1.14	0	3	4	4	11	10	1	0
r028	13.1k-14.3k	1.28	23	34(1)	21(3)	2	80(4)	62	1	1
r029	14.3k-15.8k	1.56	18	33(2)	31	4	86(2)	55	1	1
r030	15.8k-17.1k	1.31	5(1)	13(2)	27	7	52(3)	40	3	2
r031	17.1k-17.7k	0.58	3(1)	10	6	6	25(1)	43	0	2
r032	17.7k-17.9k	0.22	2	0	1	1	4	18	0	1
r033	17.9k-18.5k	0.52	3	8	12	6	29	56	0	1
r034	18.5k-19.9k	1.42	12	8	12	16	48	34	1	1
r035	19.9k-23.6k	3.70	14(3)	45(2)	64(4)	24	147(7)	40	5	5
總計			124	273	326	133	856	-	23	26

註 1：()表示發生道路中斷之嚴重落石災害次數

註 2：107~108 年僅記錄較大規模之落石災害

註 3：103~106 年發生次數為 35~60 次/km 者或 107~108 年發生較大規模落石災害 2 次者，以黃底標示；103~106 年發生次數超過 60 次/km 或 2 次以上嚴重者或 107~108 年發生較大規模落石災害 3 次以上者，以紅底標示

資料來源：公路總局第二區養護工程處谷關工務段

三、安全性評估

針對台 8 臨 37 線 0k~24k(中橫便道)及台 8 線 44k~62k(中橫上線)，綜整本計畫地貌變異分析之各項成果，評估各路段土砂災害潛勢高低。

(一) 台 8 臨 37 線(中橫便道)

(1) 評估因子(滿足下述條件代表該路段具危害潛勢)

- (a) 衛星影像：利用衛星影像，進行近 3 年及現況相對崩塌復育狀況評估(表 2-1)時，任一燈號呈現「紅燈」之斜坡單元及道路區段。
- (b) 數值高程：利用 108 及 105 兩期數值高程資料分析「平均崩塌/堆積深度」>2m 且鄰近道路區段。
- (c) 無人載具：利用無人載具空拍成果(包含前期)進行人工判釋後，崩塌裸露較嚴重之斜坡單元及道路區段。
- (d) 室內現地：利用最新正射影像於室內圈繪後，部分再經現地查核之現生災害區。
- (e) 潛勢分析：利用中央地調所判釋準則研判具備落石、岩屑崩滑或岩體滑動之高潛勢區。
- (f) 坍方落石：根據谷關工務段提供資料，詳 103-108 年落石清理紀錄(表 2-3)。

(2) 評估原則

(a) 高潛勢

- i. 「坍方落石」因子中，103~106 年發生坍方落石事件次數超過 60 次/km 或 2 次以上嚴重者或 107、108 年發生較大規模之坍方落石事件次數 3 次以上。
- ii. 「坍方落石」因子中，103~106 年發生坍方落石事件次數為 35~60 次者且「衛星影像」因子評估為具危害潛勢者。

(b) 中潛勢

- i. 「坍方落石」因子中，103~106 年發生坍方落石事件次數為 35~60 次者或 107、108 年發生較大規模之坍方落石事件次數 2 次以上。
- ii. 「衛星影像」因子評估具危害潛勢者且下述 4 項因子，「數值高程」、「無人載具」、「室內現地」、「潛勢分析」，其中 3 項評估為具危害潛勢者。
- iii. 「數值高程」、「無人載具」、「室內現地」、「潛勢分析」，皆評估為具危害潛勢者。

(c) 低潛勢

其餘未被評估為高潛勢及中潛勢之斜坡單元及道路區段。

(3) 評估成果

斜坡單元	道路區段	里程樁號	衛星影像	數值高程	無人具載	室內現地	潛勢分析	坍方落石
S006	r005	台 8 臨 37 線 0.0k-0.5k					✓	
S007	r006	台 8 臨 37 線 0.5k-0.9k		✓	✓	✓	✓	✓
S008	r007	台 8 臨 37 線 0.9k-1.0k			✓		✓	
S009	r008	台 8 臨 37 線 1.0k-1.6k		✓	✓	✓	✓	
S010	r009	台 8 臨 37 線 1.6k-1.7k					✓	
S013	r010	台 8 臨 37 線 1.7k-3.4k				✓	✓	✓
S016	r011	台 8 臨 37 線 3.4k-4.5k			✓	✓	✓	✓
S017	r012	台 8 臨 37 線 4.5k-4.9k				✓	✓	
S018	r013	台 8 臨 37 線 4.9k-5.6k				✓	✓	✓
S024	r014	台 8 臨 37 線 5.6k-6.3k		✓	✓	✓	✓	
S025	r015	台 8 臨 37 線 6.3k-6.7k	✓	✓	✓	✓	✓	✓
S026	r016	台 8 臨 37 線 6.7k-7.1k		✓	✓	✓	✓	
S027	r017	台 8 臨 37 線 7.1k-7.6k		✓		✓	✓	
S029	r018	台 8 臨 37 線 7.6k-7.8k	✓	✓		✓	✓	✓
S030	r019	台 8 臨 37 線 7.8k-8.3k	✓			✓	✓	✓
S031	r020	台 8 臨 37 線 8.3k		✓			✓	✓
S035	r021	台 8 臨 37 線 8.3k-8.6k			✓	✓	✓	✓
S034	r022	台 8 臨 37 線 8.6k-9.6k				✓	✓	
S037	r023	台 8 臨 37 線 9.6k-10.7k			✓	✓	✓	
S038	r024	台 8 臨 37 線 10.7k-10.8k		✓			✓	
S041	r025	台 8 臨 37 線 10.8k-11.9k					✓	
S042	r026	台 8 臨 37 線 11.9k		✓			✓	
S043	r027	台 8 臨 37 線 11.9k-13.1k			✓	✓	✓	
S044	r028	台 8 臨 37 線 13.1k-14.3k			✓	✓	✓	✓
S045	r029	台 8 臨 37 線 14.3k-15.8k	✓		✓	✓	✓	✓
S046	r030	台 8 臨 37 線 15.8k-17.1k		✓		✓	✓	✓
S050	r031	台 8 臨 37 線 17.1k-17.7k	✓		✓	✓	✓	✓
S056	r032	台 8 臨 37 線 17.7k-17.9k			✓		✓	
S057	r033	台 8 臨 37 線 17.9k-18.5k			✓	✓	✓	✓
S058	r034	台 8 臨 37 線 18.5k-19.9k			✓	✓	✓	
S059	r035	台 8 臨 37 線 19.9k-23.6k		✓	✓	✓	✓	✓

(二) 台 8 線 44k~62k(中橫上線)

(1) 評估因子(滿足下述條件代表該路段具危害潛勢)

- (a) 衛星影像：利用衛星影像，進行近 3 年及現況相對崩塌復育狀況評估(表 2-1)時，任一燈號呈現「紅燈」之斜坡單元及道路區段。
- (b) 數值高程：利用 108 及 105 兩期數值高程資料分析「平均崩塌/堆積深度」>2m 且鄰近道路區段。
- (c) 無人載具：利用前期定翼無人載具空拍之照片進行人工判釋後，崩塌裸露較嚴重之斜坡單元及道路區段。
- (d) 室內現地：利用最新正射影像於室內圈繪後，部分再經現地查核之現生災害區。
- (e) 潛勢分析：利用中央地調所判釋準則研判具備落石、岩屑崩滑或岩體滑動之高潛勢區。
- (f) 旋翼空拍：102 年利用旋翼無人載具空拍台 8 上線現況後，經判釋有明顯大片崩塌地或路基大量流失之路段。
- (g) 坍方落石：中橫上線現勘調查，經評估為路基全毀之路段。

(2) 評估原則

(a) 高潛勢

「衛星影像」因子、「旋翼空拍」因子及「路基全毀」因子，3 者中至少有 2 項評估為具危害潛勢者。

(b) 中潛勢

「衛星影像」因子、「旋翼空拍」因子或「路基全毀」因子，任一因子評估為具危害潛勢；且「數值高程」、「定翼無人載具」、「室內現地」、「潛勢分析」中，至少有 3 項評估為具危害潛勢者。

(c) 低潛勢

其餘未被評估為高潛勢及中潛勢之斜坡單元及道路區段。

(3) 評估成果

斜坡單元	道路區段	里程樁號	衛星影像	數值高程	無人載具	室內現地	潛勢分析	旋翼空拍	路基全毀
S026	u001	台 8 線 44.0k-44.5k		✓	✓	✓	✓		
S027	u002	台 8 線 44.5k-45.0k		✓		✓	✓		
S029	u003	台 8 線 45.0k-45.2k	✓	✓		✓	✓		
S030	u004	台 8 線 45.2k-45.8k	✓			✓	✓		
S031	u005	台 8 線 45.8k-46.1k		✓		✓	✓		✓
S035	u006	台 8 線 46.1k-46.9k			✓	✓	✓		
S034	u007	台 8 線 46.9k-47.4k				✓	✓		
S037	u008	台 8 線 47.4k-48.1k			✓	✓	✓		
S038	u009	台 8 線 48.1k-49.2k		✓		✓	✓		✓
S041	u010	台 8 線 49.2k-50.1k				✓	✓		
S042	u011	台 8 線 50.1k-50.6k		✓		✓	✓	✓	
S043	u012	台 8 線 50.6k-51.7k			✓	✓	✓	✓	✓
S044	u013	台 8 線 51.7k-51.9k			✓	✓	✓	✓	
S045	u014	台 8 線 51.9k-53.7k	✓		✓	✓	✓	✓	✓
S046	u015	台 8 線 53.7k-55.1k		✓		✓	✓		✓
S050	u016	台 8 線 55.1k-56.0k	✓		✓	✓	✓		✓
S056	u017	台 8 線 56.0k-56.2k			✓	✓	✓	✓	✓
S057	u018	台 8 線 56.2k-56.8k			✓	✓	✓		
S058	u019	台 8 線 56.8k-58.2k			✓	✓	✓	✓	✓
S059	u020	台 8 線 58.2k-61.9k		✓	✓	✓	✓	✓	✓

評估成果以紅底表示高潛勢區、黃底表示中潛勢區，其中中橫便道 0.5~0.9k、4.9~5.6k、6.3~6.7k、7.6~8.6k、13.1~17.7k 及 19.9~23.6k 屬土砂災害之高潛勢區；中橫上線 50.6~51.7k、51.9~53.7k、55.1~56.2k 及 56.8~61.9k 屬土砂災害之高潛勢區，如圖 3-1 所示。

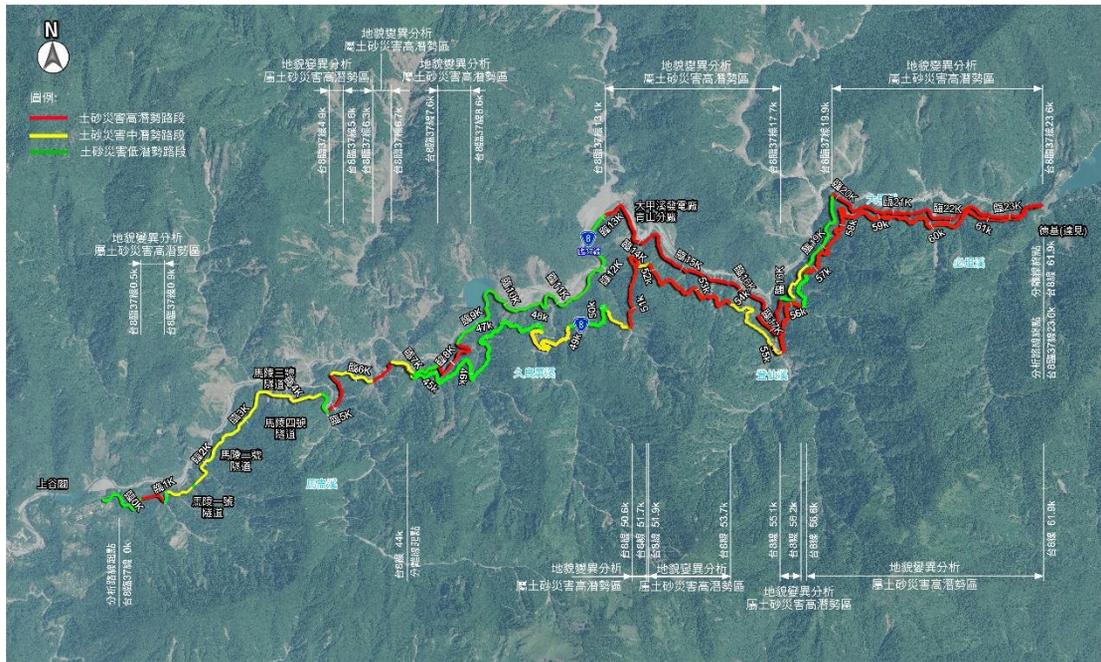


圖 3-1 中橫便道暨中橫上線土砂災害潛勢分級圖

四、結論

- (一) 計畫區目前已處於崩塌變遷推估曲線之回復期，倘若未來不再遭遇強降雨或強地動事件，估計約可於 2025 年(民國 114 年)後進入安定期。主要受益於近年較無重大致災事件，環境呈現相對較為穩定復育情形。
- (二) 綜整本計畫所進行之衛星影像評估、數值高程變異分析、正射影像圈繪、現地災害勘察、無人載具影像判釋及整理地調所公布潛勢區與谷關段落石清理紀錄之各項成果顯示：中橫便道台 8 臨 37 線 0.5k~0.9k、4.9k~5.6k、6.3k~6.7k、7.6k~8.6k、13.1k~17.7k 及 19.9k~23.6k 皆屬土砂災害之高潛勢區；至於中橫上線台 8 線，則有 50.6k~51.7k、51.9k~53.7k、55.1k~56.2k 及 56.8k~61.9k 屬土砂災害之高潛勢區。
- (三) 計畫區目前雖已邁入回復期。然而近年來氣候變遷導致極端降雨頻仍發生，即便目前初步看來 921 大地震後邊坡上堆積的不穩定料源多半已藉由歷年來之降雨帶入大甲溪河床中，惟仍難以排除未來極端事件造成大量新增崩塌的可能性。應持續追蹤監測本計畫區之崩塌變遷趨勢並進行滾動式檢討。
- (四) 公路總局刻正啟動本計畫路段之可行性研究，建議可依續辦理綜合規劃及環境影響評估等復建工程前期作業，以縮短長期方案等待空窗期並及時銜接後續設計與施工作業。

參考文獻

1. 井上公夫(1995),「關東地震と土砂災害」,砂防と治水,第 104 號, P.14-20。
2. 廖軒吾(2000),「集集地震誘發之山崩」,國立中央大學碩士論文。
3. 劉進金、翁勳政、黃金鴻、楊明宗(2001)。豪雨型崩塌地之遙測影像分析。二十一世紀土木工程技術與管理研討會論文集,第 C23-C33 頁。
4. 經濟部中央地質調查所(2006),「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫—坡地環境地質災害調查研究」,經濟部中央地質調查所。
5. 行政院農業委員會水土保持局(2006),「石門水庫土砂評量與整治率評估模式建立」,行政院農業委員會水土保持局。
6. 鄭錦桐、顧承宇、邱顯晉、林彥享、許世孟、張玉堉(2007),「大甲溪上游土石災害潛勢評估方法之研究」,中興工程,第 95 期,第 31-39 頁。
7. 經濟部中央地質調查所(2008),「97 易淹水地區上游集水區調查成果應用研究(1/3)」,經濟部中央地質調查所。
8. 鄧鳳儀(2008),「湖口崩塌地水文地質數值模型回饋分析研究」,國立中央大學碩士論文。
9. 李錦發、魏正岳、李彥良、梁均合(2008),「集集地震與其後之豪雨事件對中部坡地之影響」,2008 流域地質與坡地災害研討會。
10. 張維恕、蔡在宗(2009),「福衛二號影像判釋之莫拉克山崩災情」,2009 流域地質與坡地災害研討會論文集,第 D1 頁。
11. 壽克堅(2009),「大甲溪與烏溪流域土砂搬運堆積與地形地質關係之探討」,2009 流域地質與坡地災害研討會論文集。
12. 林昀靜、盧孟明(2010),「近五十年極端降雨之分析」,2010 台北災害管理研討會論文集。
13. 沈哲緯、鄭錦桐(2012),「大甲溪土砂災害評估與效益分析--以青山電廠復建為例」,危機管理學刊,第 9 卷,第一期,第 55-66 頁。
14. 林冠瑋、陳宏宇(2012),「莫拉克颱風對臺灣中南部河川輸砂量之影響」,Western Pacific Earth Sciences(西太平洋地質科學);第 12 卷,第 1 期,第 147-161 頁。
15. 陳頌夫(2012),「應用電腦視覺於隧道內定位之初探」,國立臺灣科技大學營建工程系,碩士論文。
16. 劉進金(2012),「空載光達技術運用於莫拉克風災區域所面臨的挑戰」,第三十一卷第二期,第 13 頁。
17. 蕭震洋、安軒霈、陳俊愷、饒見有、陳樹群(2014),「應用 UAV 量化台東金崙溪河川型態演變及致災特性」,中國土木水利工程學刊,第 27 卷,第 3 期,第 213 頁-222

頁。

18. Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., & Reichenbach, P. (1991). GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16(5), 427-445.
19. Mantovani, F., Soeters, R. and Westen, C.J.V. (1996). Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe. *Geomorphology*, 15, 213-225.
20. Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20, 117-135.
21. Yu, F. C., Chen, T. C., Lin, M. L., Chen C.Y., and Yu, W. H. (2006) Landslides and Rainfall Characteristics Analysis in Taipei City During the Typhoon Nari Event, *Natural Hazards*, Vol. 37, pp. 153-167
22. Chen, H., Lin, G.W., Lu, M.H., Shih, T.Y., Horng, M.J. Wu, S.J. Chuang, B. (2011). Effects of topography, lithology, rainfall and earthquake on landslide and sediment discharge in mountain catchments of southeastern Taiwan, *Geomorphology*, 133, 132-142.
23. Hovius, N., Meunier, P., Lin, C. W., Chen, H., Chen, Y. G., Dadson, S., Horng, M. J., Lines, M. (2011). Prolonged seismically induced erosion and the mass balance of a large earthquake, *Earth and Planetary Science Letters*, 304, 347-355.
24. Wu, C.H., Chen, S.C., and Chou, H.T. (2011). "Geomorphologic characteristics of catastrophic landslides during typhoon Morakot in the Kaoping Watershed, Taiwan." *Engineering Geology*, 123, 13-21.

臺灣公路工程

出版者：臺灣公路工程月刊社

地 址：10863 臺北市萬華區東園街 65 號

電 話：(02)2307-0123 轉 8008

網 址：<http://www.thb.gov.tw/> 本局資訊 / 影音及出版品

編 者：臺灣公路工程編輯委員會

出版年月日：中華民國 110 年 8 月 15 日

創刊年月日：中華民國 41 年 11 月 11 日

刊期頻率：每月 15 日出刊

本期定價：新臺幣 30 元

展售處：

五南文化廣場

地 址：40042 臺中市中山路 6 號

電 話：(04)2226-0330

國家書店松江門市

地 址：10485 臺北市中山區松江路 209 號 1 樓

電 話：(02)2518-0207 (代表號)

國家網路書店：<http://www.govbook.com.tw>

三民書局

地 址：10045 臺北市重慶南路一段 61 號

電 話：(02)2361-7511

印刷者：社團法人中華民國領航弱勢族群創業暨就業發展協會

地 址：10859 臺北市萬華區西園路二段 261 巷 12 弄 44 號 1 樓

電 話：(02)2309-3138

中華民國 110 年 8 月初版一刷

GPN：2004100003

ISSN：1812-2868

著作財產權：交通部公路總局

本刊內容不代表本局意見，發表之文字如需轉載或引用
請先徵得本刊之同意。

(請洽臺灣公路工程月刊社，電話：(02)2307-0123 轉 8008)

半年新臺幣150元
一年新臺幣300元
軍人及學生半價優惠

訂閱匯款至中央銀行國庫局(代號0000022)
帳號(共14碼)：1 2 2 9 7 1 0 2 1 0 8 0 1 9
戶名：交通部公路總局其他雜項收入戶

ISSN 1812-2868



9 771812 286005

GPN200410003

定價新臺幣30元