

ISSN:1812-2868

# 臺灣公路工程

第 44 卷 第 7 期

〈每月 15 日出刊〉



TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vol. 44 No.7 Jul. 2018

交通部公路總局

中華民國 107 年 7 月 15 日



封 面 說 明

台1線457K  
2018 國際自行車賽

林文貴 提供



# 臺灣公路工程

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

中華民國 41 年 11 月 11 日創刊

## 第 44 卷 第 7 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

陳 彥 伯

#### 社長

許 鈺 漳

#### 總編輯

陳 敬 明

#### 總幹事

李 崇 堂

#### 編輯

賴常雄 陳進發

鄧文廣 李忠璋

黃三哲 何鴻文

蔡宗成 薛讚添

陳營富 陳嘉盈

林清洲 李順成

陳松堂 吳昭煌

江金璋 邵厚潔

顏召宜

#### 專題研究

不同瀝青混凝土填縫料之成效特性研究

.....何鴻文、朱建東、洪明澤、郭鴻騰 (2)

#### 實務報導

台 18 線易致災路段高精度 LiDAR 測量及互動式公路管理 3D 建置

.....蔡衛勇、王鐘緯、林志交 (34)

## 不同瀝青混凝土填縫料之成效特性研究

何鴻文<sup>1</sup>、朱建東<sup>2</sup>、洪明澤<sup>3</sup>、郭鴻騰<sup>4</sup>

### 摘要

本研究以國內常用 19mm 密級配瀝青混凝土，調整填縫料使用材料（包含水泥、石粉、石灰、飛灰及回收粉等 5 種材料），作為單一改變因素，再進行瀝青混凝土成效特性試驗，分析兩者之相關性。研究結果顯示，漢堡車轍輪跡試驗結果，石灰及水泥表現最佳；石粉表現次之；飛灰及回收粉輪次數相近表現最差。回收粉與石灰車轍對應輪次數相差約 19%。以 SIP 點分析，回收粉之抗剝脫效果最差。石灰以濕拌方式製作瀝青混凝土試體進行漢堡車轍輪跡試驗，其抗車轍能力比所有以乾拌方式進行漢堡車轍輪跡試驗之填縫料為佳約可提升 30%，以此方式添加填縫料將更有抗剝脫能力之效果。穩定值、流度值、滯留強度試驗，試驗結果皆能符合規範之要求，石灰的穩定值及流度值較高，其餘填縫料無明顯之差異。回彈模數試驗，石灰表現最佳；水泥表現次之；石粉、飛灰及回收粉相近表現最差。石灰及水泥抗疲勞及車轍變形能力較佳。間接張力強度試驗，回收粉及石粉表現最好，石灰、水泥及飛灰較為相近，間接張力強度試驗結果較無法分析不同填縫材料之抗剝脫效果。浸水間接張力強度試驗結果分析，試驗結果皆達 70% 以上，石灰的張力強度比表現最佳；水泥張力強度表現次之；石粉、飛灰及回收粉表現最差。回收粉與石灰相差達 16%。綜合成效試驗結果，填縫料使用石灰及水泥可提升抗剝脫及抗車轍變形之效果。回收粉因含部分油質不溶於水，無法檢測 PI 值，不符公路總局施工說明書第 02741 章規定填縫料材料要求，建議回收粉不應作為填縫料。

**關鍵詞：**填縫料、回收粉、成效試驗

<sup>1</sup> 交通部公路總局工務組組長(時任交通部公路總局材料試驗所所長)

<sup>2</sup> 交通部公路總局材料試驗所副所長

<sup>3</sup> 交通部公路總局材料試驗所路面科科長

<sup>4</sup> 交通部公路總局材料試驗所路面科幫工程司

## 一、前言

臺灣位處亞熱帶地區，屬於高溫多雨之天氣型態，瀝青混凝土路面在多雨潮濕環境之下，時常發生水侵害造成瀝青混凝土剝脫破壞。目前瀝青混凝土配比設計會加入礦物填縫料，填縫料之效用主要為增加瀝青混和料之勁度並且有抗車轍及抗剝脫之能力，本研究透過成效試驗，試著找出最佳填縫料材料，藉以提高鋪面成效及抗水侵害之能力。

瀝青混凝土配比設計有關礦物填縫料的要求，須符合工程會施工綱要規範第 02741 章「瀝青混凝土之一般要求」，其組成可為石粉、石灰、水泥、飛灰或其他經工程司認可之無機物粉末，填縫料不得含有水分、土塊、黏土顆粒或其他有害物質。

除了上述施工說明書提及的礦物填縫料，部分瀝青拌合廠，為節省施工成本，實際上填縫料使用拌合廠內的回收粉。所謂回收粉，為瀝青拌合廠乾拌過程中產生之粉塵，透過集塵系統過濾所回收之細料。回收粉的組成性質並不固定，且在收集的過程中沾染燃燒不完全的顆粒，顏色通常較黑。

本研究係針對瀝青混凝土使用石粉、石灰、水泥、飛灰及回收粉等不同之礦物填縫料，經由各項成效試驗，了解各種填縫料對於瀝青混凝土抵抗水氣、變形及耐久性之影響，提供瀝青混凝土鋪面工程設計之參考。

## 二、文獻回顧

### 2.1 瀝青混凝土鋪面造成剝脫之原因

剝脫指的是水份入侵瀝青混凝土中，使瀝青膠泥與粒料喪失黏結力而造成瀝青混凝土路面損壞，使得路面的耐久性降低。在相關文獻[1]中指出造成剝脫現象是由很多因素所構成，而水份是經常是造成路面剝脫的主要原因，影響剝脫的因素主要是級配種類、瀝青特性、粒料特性、環境因素、交通量及鋪築過程。

為了增加瀝青混凝土抗剝脫的能力，在 19 世紀中期已有相關研究使用化學摻劑也就是所謂的防剝劑在瀝青混凝土中。防剝劑的功用主要是降低瀝青膠泥與粒料之間表面張力，讓瀝青膠泥能夠充分包裹粒料以及增加彼此間的黏結力。石灰是最普遍的防剝劑，添加石灰的瀝青混凝土能夠有效減緩瀝青老化現象，增加老化前及降低老化後瀝青的勁度及提升低溫時的延展性，路面因此提升抵抗剝脫的能力[1]。

### 2.2 填縫料的性質及功用

填縫料在瀝青混凝土中主要性質有兩個方面，其一為填充性質，填縫料填充瀝青混和料中粒料之間的空隙，填縫料被瀝青膠泥包裹，成為單獨填塞級配料中空隙並黏附於大粒料表面，使得瀝青混凝土壓實後密度更高，穩定性也更好。另一方面填縫料有膠漿的性質，填縫料與瀝青膠泥混和成為膠漿體進而填充於瀝青混和料級配料中之孔隙，並能黏結各種粒料，使得瀝青混凝土壓實後密度更高，穩定性也更好[2]。

礦物填縫料對瀝青混合料有加勁效應，當瀝青膠漿與細粒料結合後會產生更高的黏滯度及稠度。不同的填縫料造成的黏度不盡相同。在相關文獻中提出瀝青膠漿加勁主要分三個部份[3]：

1. 體積填充加勁，低剛性母體加入剛性物質造成加勁。
2. 物理化學加勁，瀝青膠泥與填縫料顆粒表面相互影響產生加勁。
3. 顆粒間相互作用加勁，填縫料和改質瀝青顆粒間相互影響造成，超出體積填充以及物理化學2種加勁效果。

### 2.3 填縫料的種類介紹

有關填縫料種類很多，僅針對本研究使用石粉、石灰、水泥、飛灰以及回收粉等 5 種填縫料加以介紹。

#### 1. 石粉[2]

石粉來源為天然石材，透過打碎研磨而得，石粉主要成分為氧化鈣，石粉的特性因石材來源不同而異，如石材為親水性，則使用石材製成填充粉如矽質石粉，會因本身親水性效果可能造成剝脫的現象。如石材為親油性，則使用石材製成填充粉如花崗岩石粉，因填充粉的親油性與瀝青膠泥有較好的親和，較不易產生剝脫現象。

#### 2. 石灰

石灰的活性很大，顆粒十分細緻，具有較大的接觸面積，石灰顆粒比石粉細緻，表面組織粗糙有許多微小的突出物，使石灰對瀝青混凝土具有相當良好的加勁效果。

在相關文獻中[1]，以石灰做為防剝劑的方式添加於瀝青混和料中，其添加的方式為，粒料與石灰混和前先添加相當於粒料重量 6% 的水，呈濕潤狀態，接著再以 110 度溫度烘乾 15 小時以上，再與瀝青拌合成瀝青混凝土，這樣的添加方式比較不容易從粒料表面脫落，使石灰扮演防剝劑的角色。

在美國瀝青協會 MS-24 [Moisture Sensitivity Best Practices to Minimize Moisture Sensitivity in Asphalt Mixtures. First Edition ,ASPHALT INSTITUTE] [4]中指出，石灰是一種優良的高鹼性無機粉末，相關研究人員觀察到在瀝青混合料中加入石灰可以改善骨材和瀝青之間的粘結性。調查美國添加石灰於瀝青混和料中有三種方式，以下為這三種添加方式的說明。

- (1) 乾石灰加在乾骨料：這種添加熟石灰的方法是最簡單的，通常成本最低的，只需要向現有的熱拌瀝青設備添加石灰儲存倉和計量系統。
- (2) 乾石灰加在濕骨材：將熟石灰添加到瀝青混合料中的第二種常用方法是將乾石灰施用於濕骨材，通常在飽和面（SSD）條件以上 1 至 3%。骨材放到攪拌機運行的時候添加水。然後將石灰引入攪拌機中，將石灰和骨材混合在一起。

(3) 石灰漿添加在乾骨材：石灰漿以約 3 份水與 1 份石灰質量混合而成。將石灰漿計量後放到骨材上並通過攪拌機以確保充分混合和塗覆。然後將經處理的骨材直接進料到場中或儲存並浸製一段時間以允許石灰最好的在骨材塗層上。

### 3. 水泥

本研究使用的水泥為卜特蘭水泥，是由矽酸鹽水泥熟料、0%-5% 石灰石或粒化高爐爐渣、適量石膏磨細製成的水硬性膠凝材料。波特蘭水泥熟料的主要成分為矽酸三鈣 ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ )、矽酸二鈣 ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ )、鋁酸三鈣 ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 和鐵鋁酸四鈣 ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ )。

### 4. 飛灰

在行政院公共工程飛灰混凝土使用手冊[5]，定義飛灰為煤粉經鍋爐燃燒，由氣體排放，以集塵設備收集而得之粉末。其品質須符合 CNS 3036 [卜特蘭水泥混凝土用飛灰及天然或煨燒卜作嵐攪和物]或 CNS 11271[卜特蘭飛灰水泥用飛灰]之規定。飛灰係卜作嵐 (pozzolan) 材料之一種，其品質因燃煤品質及鍋爐運轉狀況而變化。一般顆粒細，含碳量低，球形顆粒多，玻璃質含量多，即為優良品質之飛灰。

### 5. 回收粉

因應行政院環保署的要求，生產瀝青混凝土拌合業者，必須在場區內設置集塵系統，而回收粉即為瀝青拌合廠乾拌過程中產生之粉塵，透過集塵系統過濾所回收之細料。回收粉在收集的過程中沾染燃燒不完全的顆粒其組成性質並不固定，且無法確認回收粉為安全無害的填充材料。

## 2.4 填縫料使用之法令規定

填縫料規定依據工程會施工綱要規範第 02741 章「瀝青混凝土之一般要求」如下：[6]

1. 係指通過 1.18mm (No.16) 篩之細料，於粗細粒料經混合結果缺少通過 0.075mm (No.200) 篩之材料時使用。
2. 其組成可為石粉、石灰、水泥、飛灰或其他經工程司認可之無機物粉末。
3. 依 CNS 5088 試驗法，其塑性指數 (PI) 不得大於 4 (但石灰和水泥不受此限制)。
4. 不得含有水分、土塊、黏土顆粒或其他有害物質；除設計圖說另有規定外，依 CNS 5265 篩分析法，其級配應符合表 1 之規定。

表 1 礦物填縫料級配表

試驗篩孔寬	通過百分率 (%)
1.18 mm (No.16)	100
0.60 mm (No.30)	97~100
0.30 mm (No.50)	95~100
0.075 mm (No.200)	70~100

5. 加入礦物填縫料後之混合粒料應符合級配要求，除設計圖說另有規定外，加入填縫料之重量不得超過混合粒料總重之7%。

### 三、研究方法與流程

#### 3.1 研究方法

本研究先蒐集填縫材料之相關文獻，包含使用填縫材料之相關規定、各種填縫材料性質、使用填縫材料效應以及瀝青混凝土成效試驗等，依照研究目的進行研究規劃，接著進行成效試驗之規劃，將試驗結果進行綜合分析，研究流程如圖 1。

本研究以國內常用 19mm 密級配瀝青混凝土，配比設計中僅改變填縫材料之變因，針對水泥、石粉、石灰、飛灰及回收粉等 5 種材料，進行瀝青混凝土穩定值、流度值、滯留強度試驗、間接張力強度試驗、浸水間接張力強度試驗、回彈模數試驗及漢堡車轍輪跡試驗等成效特性試驗，找出不同的填縫材料是否都可以達到瀝青混凝土抵抗車轍及抗剝脫之能力。

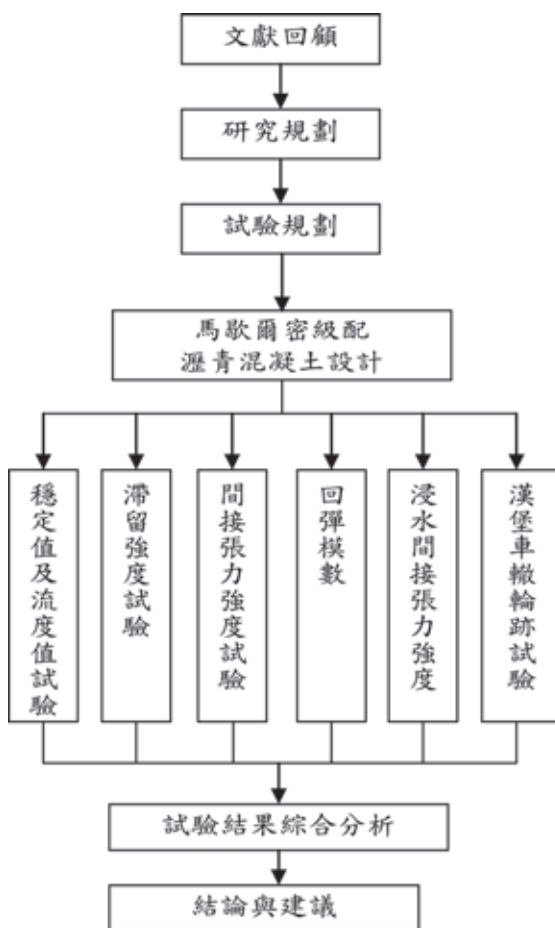


圖 1 研究流程



### 3.2 瀝青膠泥及粒料物理性試驗

本研究瀝青膠泥使用 AC-20，粒料採用新北市鄰近大漢溪之碎石級配，為確保使用瀝青膠泥及粒料物理性質均能符合規範要求，先進行相關物理性試驗。

#### 3.2.1 瀝青膠泥針入度及黏度試驗

##### 1. 針入度試驗:

為確認瀝青膠泥的軟硬程度作為瀝青膠泥分類的等級之依據。試驗方法依據 CNS10090 [7]，將瀝青膠泥放在 25 度恆溫水槽以標準針 5 秒貫入深度，取三組試驗數據並且求其平均值，以確保本研究使用瀝青膠泥分級符合規範要求（公路總局施工說明書第 02741 章「瀝青混凝土之一般要求」）。

##### 2. 黏度試驗:

為測定瀝青膠泥在某一個特定溫度下之流動，該試驗結果可以決定瀝青混凝土拌合、鋪設以及滾壓之溫度。試驗方法依據 CNS14186 規範[8]，使用 Brookfield 公司製作黏度儀進行瀝青黏度試驗，以確保本研究使用瀝青膠泥分級符合規範要求（公路總局施工說明書第 02741 章「瀝青混凝土之一般要求」）。

#### 3.2.2 粒料及填縫料比重試驗

依據 CNS 488 規範 [9]，針對粗粒料進行比重試驗測定粗粒料比重。依據 CNS5090 規範[10]，針對細粒料及填縫料（石粉、石灰、飛灰）進行比重試驗測定細粒料及填縫料之比重。

回收粉因不溶於水，比重試驗溶劑無法採用蒸餾水，在 CNS5090「土壤比重試驗法」中提及煤油是比水還要理想之溶劑，本研究將回收粉加入煤油中確實可融入煤油，因此回收粉之比重試驗採煤油做為溶劑，去除試樣中空氣則以真空抽氣方式。

水泥遇水會有水化熱造成硬化之問題，比重試驗依據 CNS11272「水硬性水泥密度試驗法」[11]測定水泥比重。

### 3.3 馬歇爾配比設計

本研究以馬歇爾法 AI MS-2 進行 19mm 密集配之配合設計，依據 AI MS-2 第 7 版[12]，配合設計以空隙率 4% 為目標，瀝青膠泥含量以空隙率 4% 對應之含油量為瀝青混凝土配比設計原則，瀝青混凝土配合設計規格以及設計基準須符合表 2 及表 3 所示。

本研究先以石粉做為瀝青混凝土填縫料進行馬歇爾配合設計，在求得配合設計級配及曲線圖，且該配合設計符合規範要求之後，其他填縫料均以此級配圖做為依據，在僅改變不同的填縫料情況之下進行馬歇爾配比設計，求出不同填縫料所需瀝青膠泥含量。

表 2 瀝青混凝土配合設計規格

密級配種類	19.0 mm (3/4in.)
適用層次	面層或底層
每層壓實厚度 (cm)	4.0~6.5
試驗篩孔寬mm	過篩重量百分率 (%)
25.0 (1 in.)	100
19.0 (3/4 in.)	90~100
12.5 (1/2 in.)	—
9.5 (3/8 in.)	56~80
4.75 (No.4)	35~65
2.36 (No.8)	23~49
1.18 (No.16)	—
0.60 (No.30)	—
0.30 (No.50)	5~19
0.15 (No.100)	—
0.075 (No.200)	2~8

表 3 馬歇爾配合設計基準

打擊次數	75
穩定值 (kgf)	≥817
流度 (0.25 mm)	8~14
孔隙率 (%)	3~5
滯留強度指數%	≥75
粒料間空隙率 (VMA, %)	≥13
瀝青填充率 (VFA, %)	65~75
瀝青用量 (%)	4~6

### 3.4 成效試驗

完成馬歇爾配比設計，將不同填縫料之瀝青混凝土試體進行馬歇爾試體穩定值、流度值、滯留強度及回彈模數試驗。另使用 SGC 製作不同填縫料之瀝青混凝土試體進行漢堡車轍輪跡試驗。浸水間接張力強度試驗之瀝青混凝土試體則以空隙率 6~8% 之馬歇爾試體製作。

#### 3.4.1 馬歇爾試體穩定值、流度值及滯留強度試驗

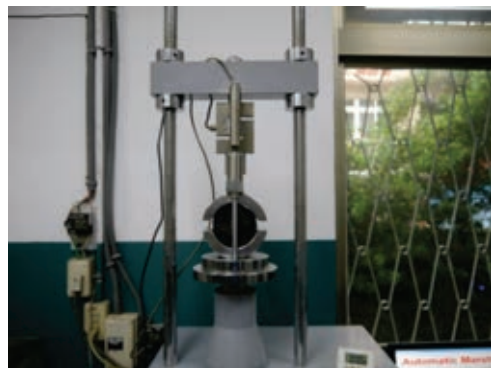
依據 AI-MS2 進行相關試驗，先以夯壓溫度夯打馬歇爾試體，待冷卻後，量測高度；開啟恆溫水槽使溫度達  $60.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$  後，將試體放置恆溫水槽 30 分鐘，再放置馬歇爾試驗模具內，以速率 50.8 mm/min 上升直至試體損壞，試驗所得力量，即為穩定值。試驗方法如圖 2 所示。

參閱交通部公路總局施工說明書第 02741 章規定，夯打 2 組（2 顆/組以上）瀝青含量相同之馬歇爾試體，一組用馬歇爾穩定值試驗方式，所得穩定值為 P (30min)；另一組則將馬歇爾試體放置水槽時間更改成 24 小時，其餘試驗方式與馬歇爾穩定值試驗相同，試驗所得穩定值為 P (24Hr)。滯留強度指數計算方式如下：

$$\text{滯留強度指數(\%)} = \frac{P(24\text{Hr})}{P(30\text{min})} \times 100\%$$



1. 將試體放入  $60^\circ\text{C}$  水槽 30min



2. 進行穩定值及流度值試驗

圖 2 穩定值及流度值試驗步驟

### 3.4.2 漢堡車轍輪跡試驗

本研究依據不同填縫料之配比設計所得之瀝青含量製作試體，在瀝青混凝土拌合以乾拌方式進行，所謂乾拌即目前瀝青混凝土拌合方式，將粒料及填縫料混和經過加熱後添加所需之瀝青膠泥含量。

依據相關文獻研究[13]，石灰如先依比例加水後再與粒料拌合加熱接著再與瀝青膠泥拌合，此種添加石灰方式將有較佳之抗剝脫效果。本研究濕拌方式為以約 3 份水與 1 份石灰質量混合而成石灰漿，再將石灰漿添加到乾骨材。本研究針對石灰製作乾拌以及濕拌兩種試體進行車轍試驗。

漢堡車轍輪跡試驗係依據 AASHTO T324-14 [ Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) ] [13]規定測試方法。

表 4 為漢堡車轍輪跡試驗規定。試驗儀器及試體放置如圖 3。

表 4.車轍輪跡試驗規定

規定項目	內容
水溫	50°C
載重	705 ±4.5N
車輪往返頻率	每分鐘 52±2 次
試體尺寸	8 字模試體 (由 2 個直徑 4"試體組成，如圖 2)，高度為 40±1.0 mm
試驗結束條件	車轍深度 20mm 與 10,000 cycles 先達到者



(A) 儀器設備



(B) 試體放置

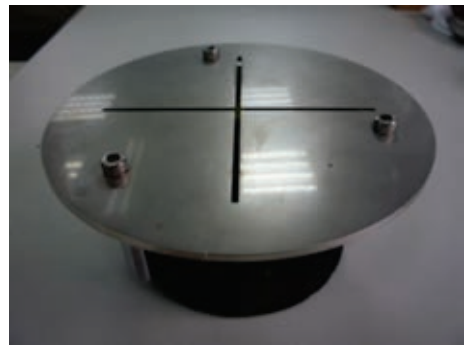
圖 3 車轍輪跡試驗儀器及試體放置

### 3.4.3回彈模數試驗

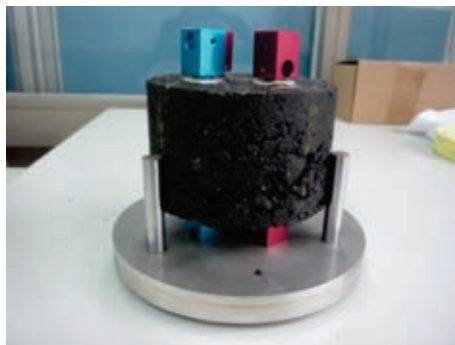
瀝青混凝土回彈模數試驗為非破壞性試驗，模擬車輛行走在瀝青混凝土路面，對路面所產生的影響。試驗方式依據 ASTM D7369-11[14]，為反覆間接拉伸試驗測得瀝青混合物之回彈模數，為對瀝青混合物施加半正弦波形之荷重，其荷重沿試體垂直平面中心線上作用，試體受力作用期間量測其水平和垂直變形。利用測得回彈水平及垂直變形量計算試體之彈性波松比。求得試體波松比後可進而計算得出試體回彈模數。試驗參數設定為加壓頻率 0.33HZ、加壓次數 100 次、施加作用力於試體時間為 0.1 秒，試驗步驟如圖 4 所示。



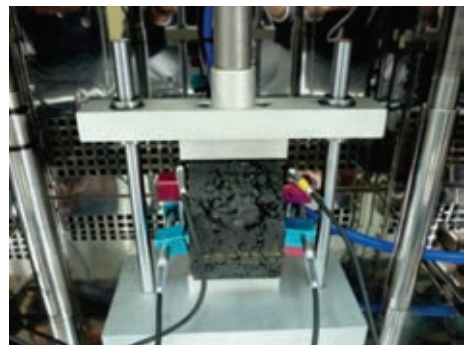
1. 試體製作



2. 利用十字刻畫板劃分試體



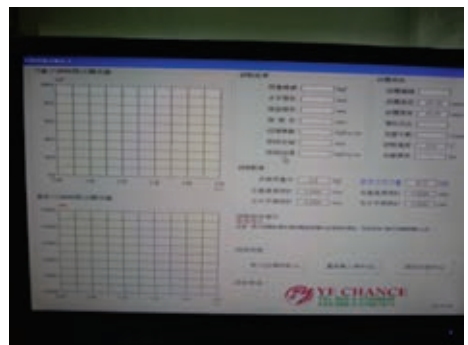
3. 測微計安裝製具黏著



4. 試體放置 25°C烘箱 6 小時



5. 電子測微計安裝



6. 設定參數後啟動程式開始試驗

圖 4 回彈模數操作步驟

#### 3.4.4 間接張力強度及浸水間接張力強度比試驗

對於評估耐久性之浸水剝脫試驗中，需特別注意試體之孔隙飽和度，於 ASTM D4967 規範中要求其試體之孔隙飽和度需在 55-80% 之間，此為控制試體內有足夠之水份，讓剝脫現象得以明顯產生，以模擬濕潤氣候下，雨水滲入路面、停留於瀝青層內及經過交通反覆載重作用下，浸水前後試體強度及力學性質之變化。試驗流程及步驟如圖 5、圖 6。

依據 CNS15306 瀝青混凝土鋪面混合料受水分影響試驗法[16]，於試驗室夯製試體，試體夯製之空隙率相當於工地預期之空隙率等級介於 6%~8% 的範圍，將試體分成空隙率大約相等的 2 組，每組 3 顆試體，1 組維持乾燥狀態，另 1 組以水及濕氣養護至部分飽和狀態。兩組分別進行抗張試驗，水分侵害的潛在性以潮濕分組的張力強度與乾燥分組的張力強度比值表示。

進行張力強度之前，乾燥分組的試體浸於 25 度水槽中 20 分鐘以調整試體溫度。測定張力強度時將一個試體以徑向放置於加載試驗機上，上下各安置 1 只加壓條並使加壓條互相平行且對準試體垂直軸面中心線，於直徑方向以 50mm/分鐘之速率施加荷重直至到達最大荷重。繼續加載直到試體破裂，將試體分開如有水分浸害產生。張力強度比計算如下：

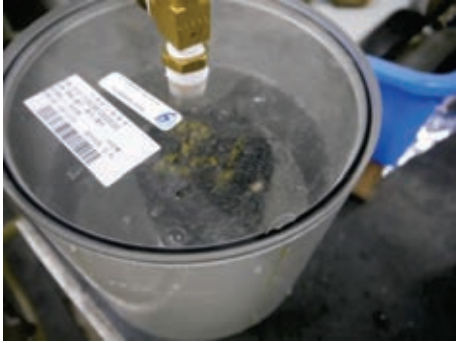
$$TSR = (S_{tm}/S_{td}) 100$$

TSR：張力強度比 (%)

$S_{tm}$ ：濕養護分組試體之平均張力強度 (kPa)

$S_{td}$ ：乾燥養護分組試體之平均張力強度 (kPa)

在美國瀝青協會 MS-24 [5]，認為 TSR 值為 80% 以上之瀝青混合物不易受到水分損害。TSR 值在 60% 以下，則瀝青混合物易受潮濕損害。



1. 濕養護試體放入真空水槽抽氣



2. 量測水中重及面乾飽和重



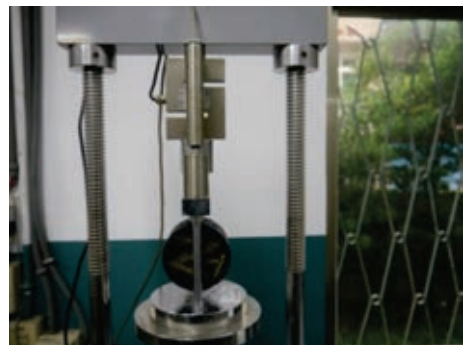
3. 放入 60°C 水槽 24hr



4. 量測試體高度



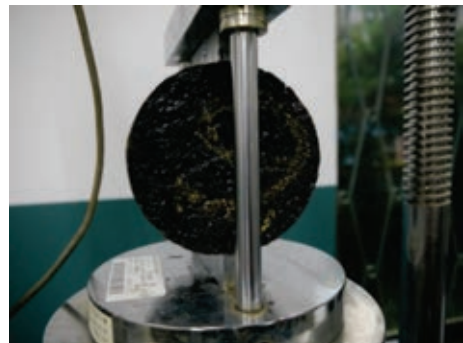
5. 放入 25°C 水槽 1hr



6. 進行浸水間接張力強度試驗



7. 乾燥養護試體放入 25°C 水槽 20min



8. 進行間接張力強度試驗

圖 5. 浸水間接張力強度試驗步驟

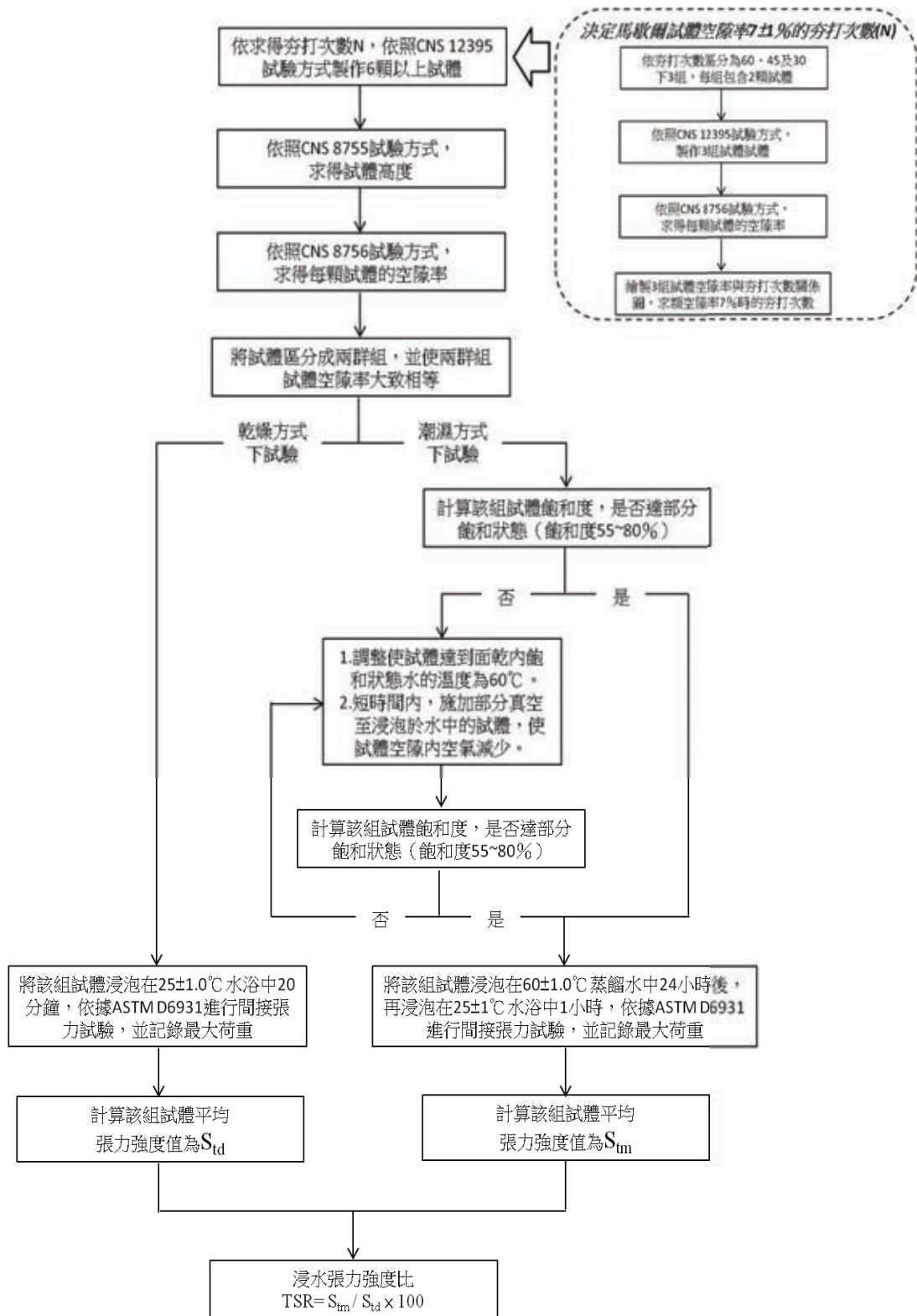


圖 6. 浸水間接張力強度試驗流程[15]



## 四、試驗結果分析探討

### 4.1 瀝青膠泥及粒料物理性試驗結果

#### (1) 瀝青膠泥黏度及針入度試驗結果

由下表 5 可知本研究使用瀝青膠泥 AC-20 之黏度試驗符合規範要求，另針入度試驗結果，與相對應之黏度分級相當。

表 5 瀝青膠泥黏度及針入度試驗結果

試驗項目	試驗結果	試驗規範
黏度，60°C，(Poises,P)	1,920	2,000±400
針入度，25°C，(0.1mm)	70	60~70

#### (2) 粒料物理性試驗結果

各種填縫料之外觀照片如圖 7，粒料及填縫料比重試驗結果如表 6 所示，各種填縫料之顏色顆粒細度以及比重各不相同。



石粉



石灰



水泥



飛灰



回收粉

圖 7 粒料及各種填縫料

表 6 粒料及填縫料比重試驗結果

粒料種類	試驗結果	填縫料種類	試驗結果
六分石	2.632	石粉	2.696
三分石	2.631	石灰	2.334
二分石	2.621	水泥	3.179
砂	2.696	飛灰	2.481
		回收粉	2.536

## 4.2 馬歇爾配比設計結果

### 4.2.1 填縫料為石粉之配比設計結果

本研究各種填縫料之瀝青混凝土配合設計粒徑摻配比例皆如表 7，配合設計粒徑曲線如圖 8。

填縫料為石粉之瀝青含量最窄可接受範圍為 5.0%~5.6%，如圖 9，設計瀝青含量 5.4%，相關試驗結果如下表 8。

表 7 瀝青混凝土配合設計粒徑摻配比例

粒料 試驗 篩號	6 分石		3 分石		2 分石		砂		填縫料		JMF (%)	規範帶 (%)
	配 合 比 例											
	16%	15%	44%	22%	3%							
25mm	100.0	<b>16.0</b>	100.0	<b>15.0</b>	100.0	<b>44.0</b>	100.0	<b>22.0</b>	100.0	<b>3.0</b>	<b>100.0</b>	100
19mm	81.3	<b>13.0</b>	100.0	<b>15.0</b>	100.0	<b>44.0</b>	100.0	<b>22.0</b>	100.0	<b>3.0</b>	<b>97.0</b>	90~100
12.5mm	13.4	<b>2.1</b>	86.3	<b>12.9</b>	99.7	<b>43.9</b>	100.0	<b>22.0</b>	100.0	<b>3.0</b>	<b>83.9</b>	—
9.5mm	6.0	<b>1.0</b>	68.0	<b>10.2</b>	96.9	<b>42.6</b>	100.0	<b>22.0</b>	100.0	<b>3.0</b>	<b>78.8</b>	56~80
4.75mm	2.8	<b>0.4</b>	4.9	<b>0.7</b>	26.5	<b>11.7</b>	99.3	<b>21.8</b>	100.0	<b>3.0</b>	<b>37.6</b>	35~65
2.36mm	1.7	<b>0.3</b>	1.1	<b>0.2</b>	4.6	<b>2.0</b>	81.2	<b>17.9</b>	100.0	<b>3.0</b>	<b>23.4</b>	23~49
1.18mm	1.3	<b>0.2</b>	0.9	<b>0.1</b>	2.8	<b>1.2</b>	62.4	<b>13.7</b>	100.0	<b>3.0</b>	<b>18.2</b>	—
600µm	1.1	<b>0.2</b>	0.9	<b>0.1</b>	2.1	<b>0.9</b>	44.9	<b>9.9</b>	100.0	<b>3.0</b>	<b>14.1</b>	—
300µm	1.0	<b>0.2</b>	0.9	<b>0.1</b>	1.8	<b>0.8</b>	27.8	<b>6.1</b>	100.0	<b>3.0</b>	<b>10.2</b>	5~19
150µm	0.8	<b>0.1</b>	0.8	<b>0.1</b>	1.5	<b>0.7</b>	14.1	<b>3.1</b>	100.0	<b>3.0</b>	<b>7.0</b>	—
75µm	0.6	<b>0.1</b>	0.7	<b>0.1</b>	1.1	<b>0.5</b>	7.3	<b>1.6</b>	100.0	<b>3.0</b>	<b>5.3</b>	2~8

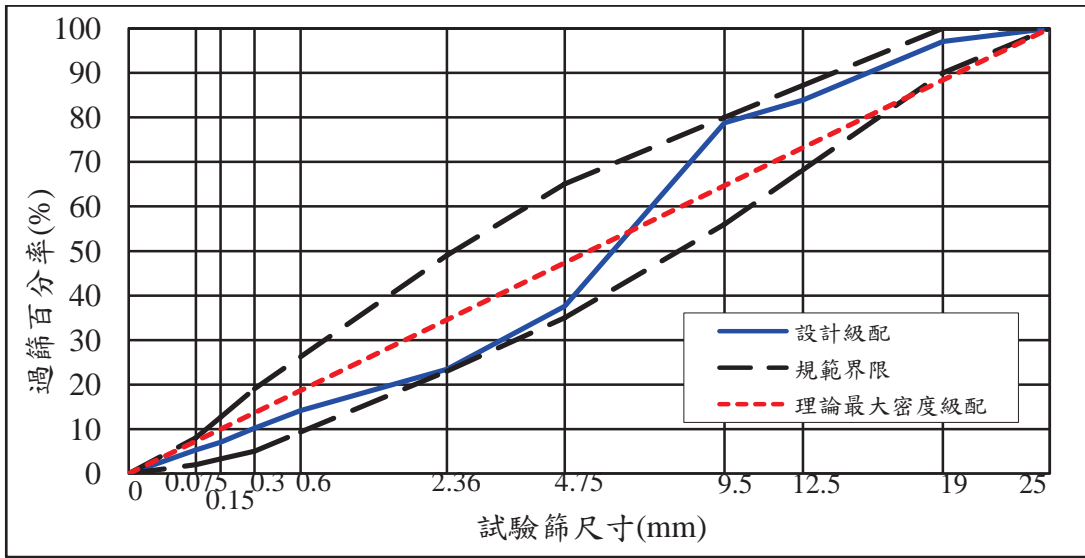


圖 8 粒料級配圖 (FHWA 0.45 次方)

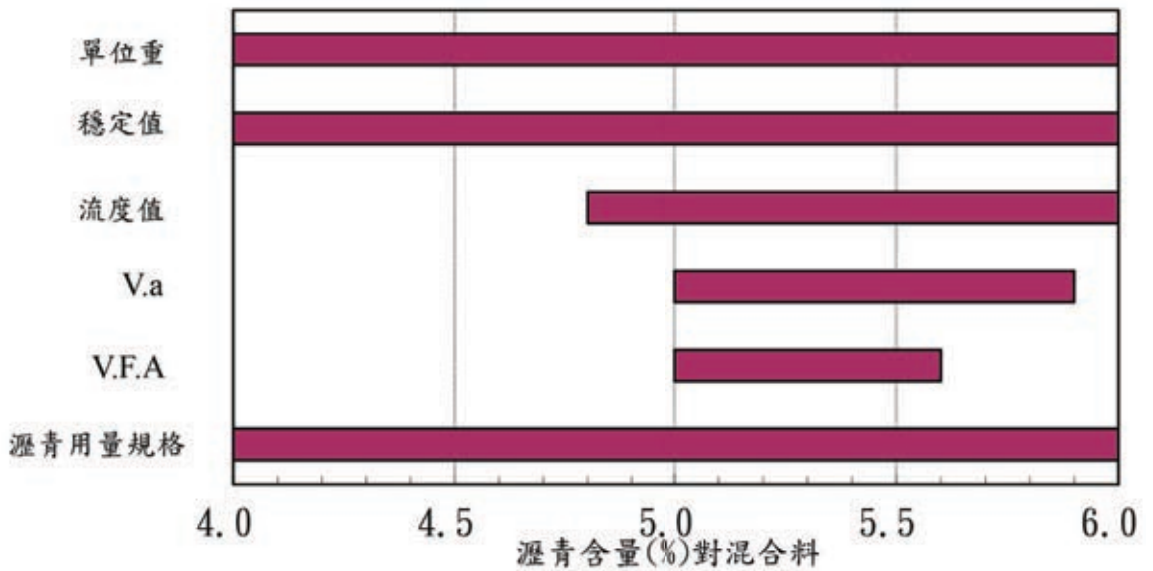


圖 9 填縫料為石粉之瀝青混合料各性質可接受瀝青含量範圍

表 8.填縫料為石粉之馬歇爾配比設計相關試驗結果

項 目	建議配比及相應各值	規範值*
1. 粒料配合比	如表 7	如表 7 規範
2. 瀝青含量		
a. 瀝青種類	黏度分級 AC-20	黏度分級 AC-20
b. 對乾粒料 (%)	5.7	—
c. 對混合料 (%)	5.4	4 ~ 10
3. 試體密度 ( $\text{kg/m}^3$ )	2368	—
4. 穩定值 (kgf)	940	$\geq 817$
5. 流度值 (0.25mm)	8.6	8 ~ 14
6. 粒料間空隙率 (V.M.A., %)	14.2	$\geq 13$
7. 瀝青填充率 (V.F.A., %)	72	65 ~ 75
8. 空隙率 (Va, %)	4.0	3 ~ 5
9. 粒料平均比重	2.617	—
10. 瀝青比重	1.033	—
11. 混合料最大理論密度 ( $\text{kg/m}^3$ )	2467	—
12. 滯留強度指數 (%)	86	$\geq 75$

#### 4.2.2填縫料為石灰之配比設計結果

填縫料為石灰之瀝青含量最窄可接受範圍為 4.9%~5.5%，如圖 10，設計瀝青含量 5.3%，相關試驗結果如下表 9。

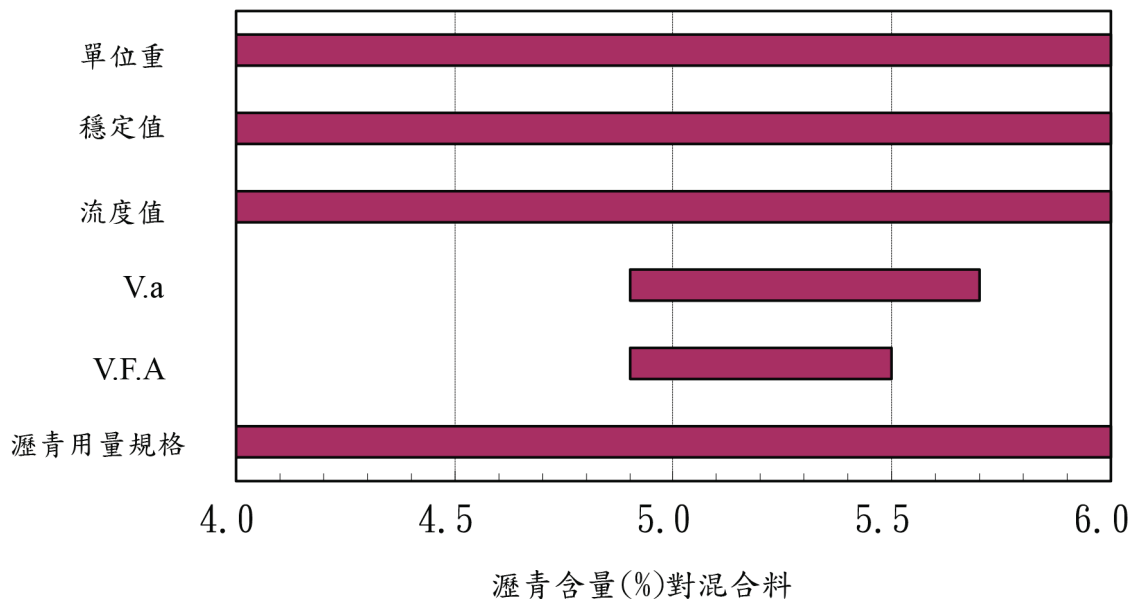


圖 10 填縫料為石粉之瀝青混合料各性質之可接受瀝青含量範圍圖

表 9 填縫料為石灰之馬歇爾配比設計相關試驗結果

項 目	建議配比及相應各值	規範值*
1. 粒料配合比	如表 7	如表 7 規範
2. 瀝青含量		
a. 瀝青種類	黏度分級 AC-20	黏度分級 AC-20
b. 對乾粒料 (%)	5.6	—
c. 對混合料 (%)	5.3	4 ~ 10
3. 試體密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2352	—
4. 穩定值 (kgf)	1025	≥ 817
5. 流度值 (0.25mm)	12.5	8 ~ 14
6. 粒料間空隙率 (V.M.A., %)	14.2	≥ 13
7. 瀝青填充率 (V.F.A, %)	74	65 ~ 75
8. 空隙率 (V.a, %)	4.0	3 ~ 5
9. 粒料平均比重	2.605	—
10. 瀝青比重	1.033	—
11. 混合料最大理論密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2450	—
12. 滯留強度指數 (%)	90	≥ 75

#### 4.2.3 填縫料為水泥之配比設計結果

填縫料為水泥之瀝青含量最窄可接受範圍為 5.5%~6.0%，如圖 11，設計瀝青含量 5.9%，相關試驗結果如下表 10。

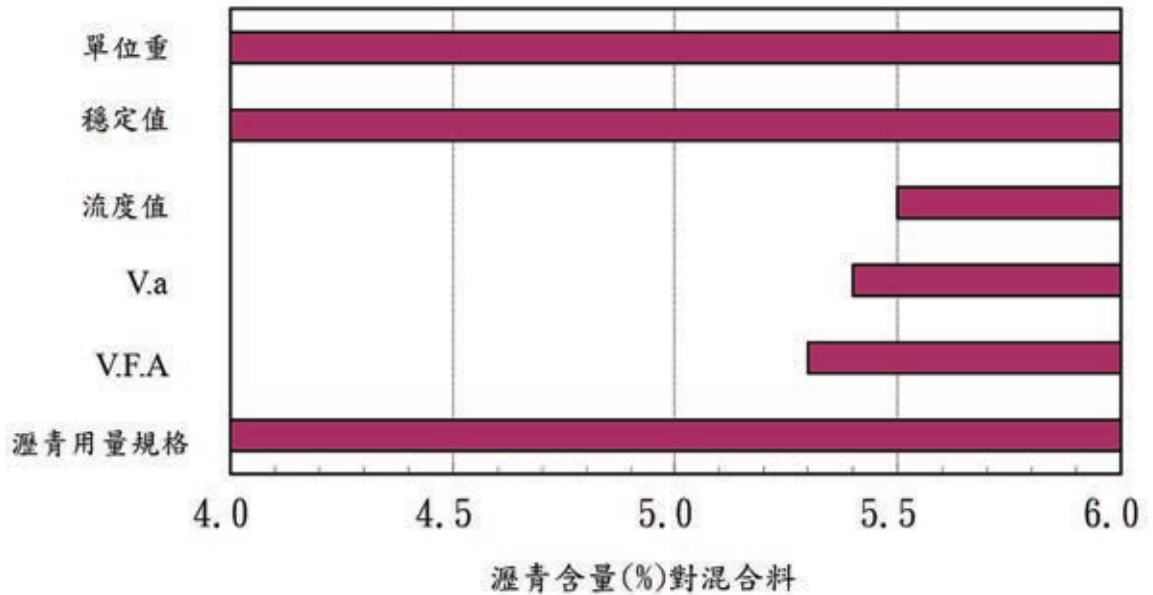


圖 11 填縫料為水泥之瀝青混合料各性質之可接受瀝青含量範圍圖

表 10 填縫料為水泥之馬歇爾配比設計相關試驗結果

項目	建議配比及相應各值	規範值*
1. 粒料配合比	如表 7	如表 7 規範
2. 瀝青含量		
a. 瀝青種類	黏度分級 AC-20	黏度分級 AC-20
b. 對乾粒料 (%)	6.3	—
c. 對混合料 (%)	5.9	4 ~ 10
3. 試體密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2352	—
4. 穩定值 (kgf)	900	≥ 817
5. 流度值 (0.25mm)	8.4	8 ~ 14
6. 粒料間空隙率 (V.M.A., %)	15.5	≥ 13
7. 瀝青填充率 (V.F.A, %)	74	65 ~ 75
8. 空隙率 (Va, %)	4.0	3 ~ 5
9. 粒料平均比重	2.628	—
10. 瀝青比重	1.033	—
11. 混合料最大理論密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2454	—
12. 滯留強度指數 (%)	95	≥ 75

#### 4.2.4 填縫料為飛灰之配比設計結果

填縫料為飛灰之瀝青含量最窄可接受範圍為 5.2%~5.7%，如圖 12，設計瀝青含量 5.6%，相關試驗結果如下表 11。

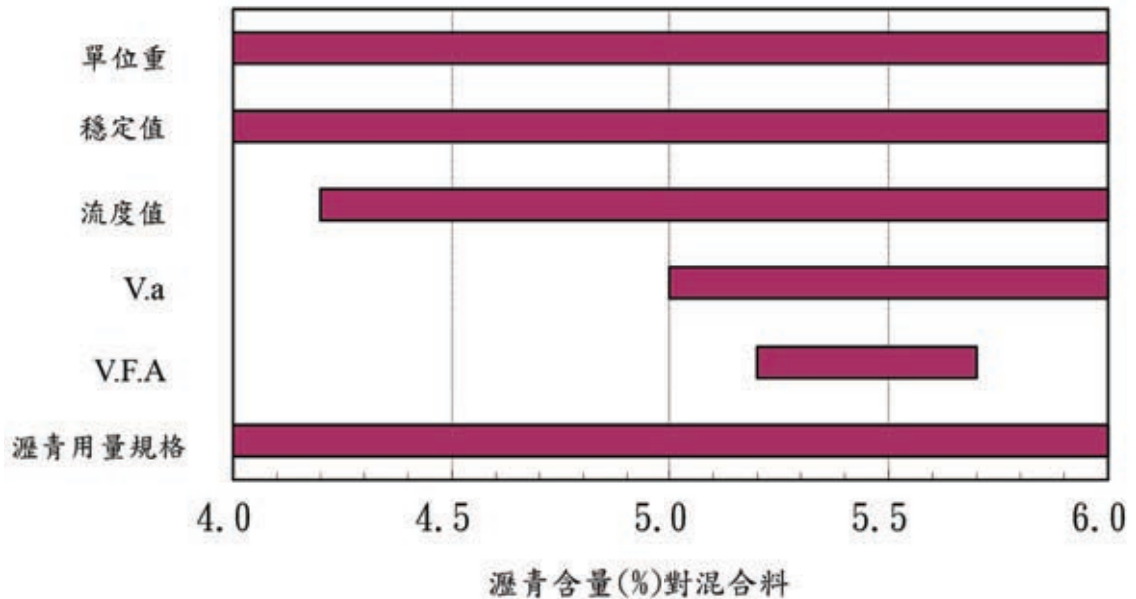


圖 12. 填縫料為飛灰之瀝青混合料各性質之可接受瀝青含量範圍圖

表 11 填縫料為飛灰之馬歇爾配比設計相關試驗結果

項 目	建議配比及相應各值	規範值*
1. 粒料配合比	如表 7	如表 7 規範
2. 瀝青含量		
a. 瀝青種類	黏度分級 AC-20	黏度分級 AC-20
b. 對乾粒料 (%)	5.9	—
c. 對混合料 (%)	5.6	4 ~ 10
3. 試體密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2362	—
4. 穩定值 (kgf)	920	≥ 817
5. 流度值 (0.25mm)	10.2	8 ~ 14
6. 粒料間空隙率 (V.M.A., %)	14.5	≥ 13
7. 瀝青填充率 (V.F.A, %)	72	65 ~ 75
8. 空隙率 (V.a, %)	4.0	3 ~ 5
9. 粒料平均比重	2.610	—
10. 瀝青比重	1.033	—
11. 混合料最大理論密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2459	—
12. 滯留強度指數 (%)	92	≥ 75

#### 4.2.5 填縫料為回收粉之配比設計結果

填縫料為回收粉之瀝青含量最窄可接受範圍為 4.7%~5.3%，如圖 13，設計瀝青含量 5.1%，相關試驗結果如下表 12。

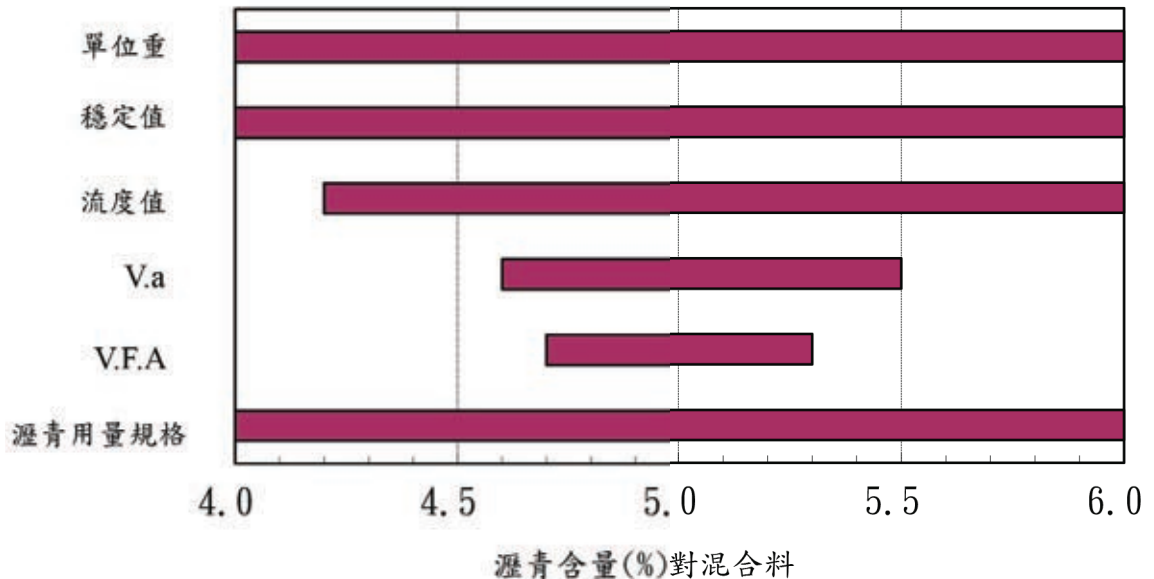


圖 13 填縫料為回收粉之瀝青混合料各性質之可接受瀝青含量範圍圖

表 12 填縫料為石灰之馬歇爾配比設計相關試驗結果

項目	建議配比及相應各值	規範值*
1. 粒料配合比	如表 7	如表 7 規範
2. 瀝青含量		
a. 瀝青種類	黏度分級 AC-20	黏度分級 AC-20
b. 對乾粒料 (%)	5.4	—
c. 對混合料 (%)	5.1	4 ~ 10
3. 試體密度 ( $\text{kg/m}^3$ )	2364	—
4. 穩定值 (kgf)	940	$\geq 817$
5. 流度值 (0.25mm)	10.6	8 ~ 14
6. 粒料間空隙率 (V.M.A., %)	14.0	$\geq 13$
7. 瀝青填充率 (V.F.A, %)	72	65 ~ 75
8. 空隙率 (Va, %)	4.0	3 ~ 5
9. 粒料平均比重	2.617	—
10. 瀝青比重	1.033	—
11. 混合料最大理論密度 ( $\text{kg/m}^3$ )	2460	—
12. 滯留強度指數 (%)	96	$\geq 75$



### 4.3 馬歇爾試體穩定值、流度值及滯留強度試驗結果分析

各種填縫料製作之馬歇爾試體進行穩定值、流度值及滯留強度試驗結果彙整如表 13 所示，繪製比較圖表如圖 14~16，從比較圖表顯示石灰之穩定值及流度值高於其他填縫料，其他填縫料之穩定值及流度值彼此間差異不大。

表 13 各種填縫料馬歇爾試體穩定值、流度值及滯留強度試驗結果

填縫料種類	石粉	石灰	水泥	飛灰	回收粉
穩定值 (kgf)	940	1025	900	920	940
流度值 (0.25mm)	8.6	12.5	8.4	10.2	10.6
滯留強度 (%)	86	90	95	92	96

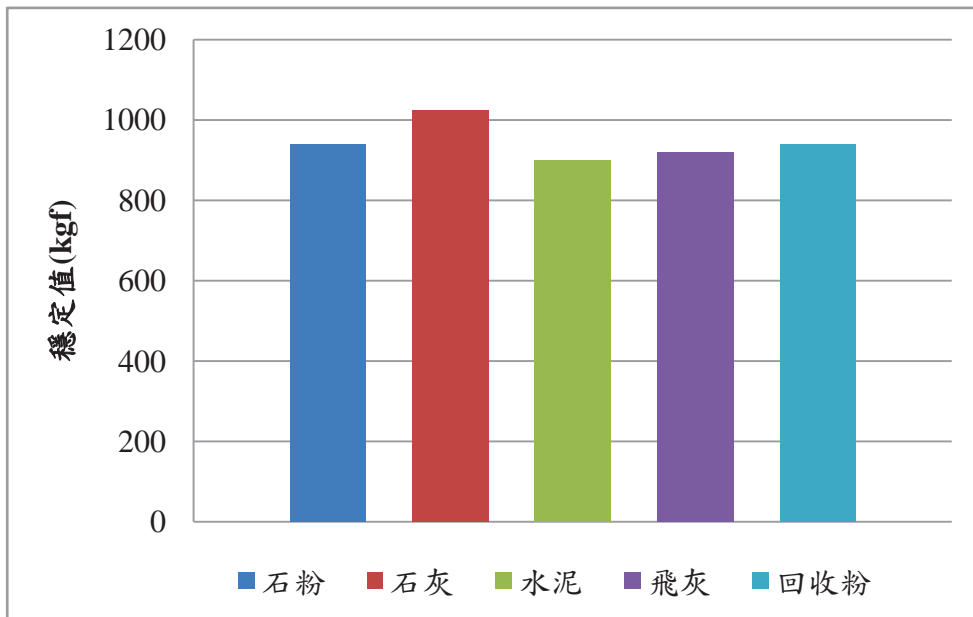


圖 14 馬歇爾穩定值試驗結果

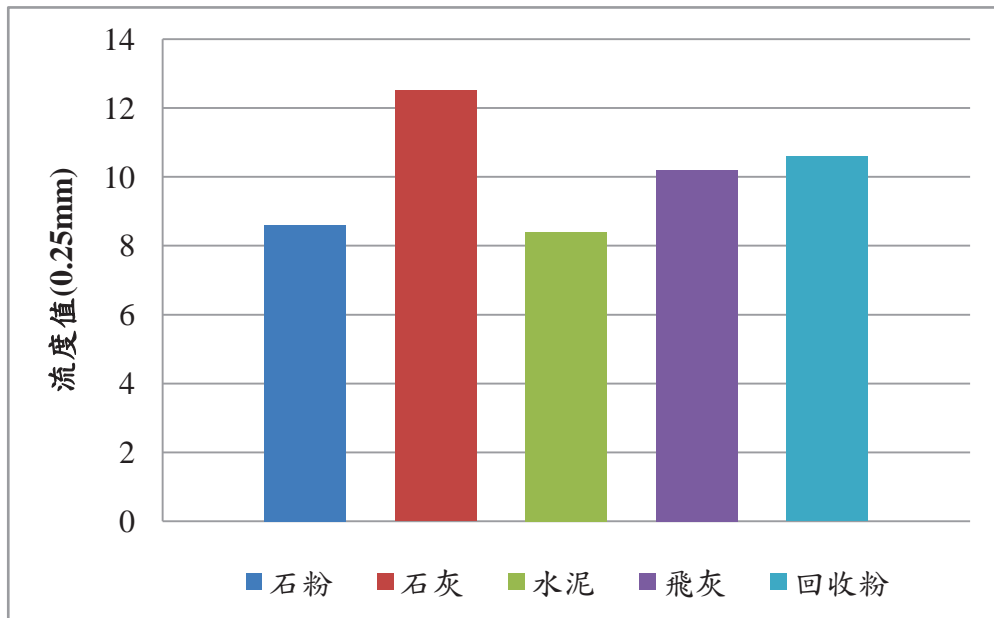


圖 15 馬歇爾流度值試驗結果

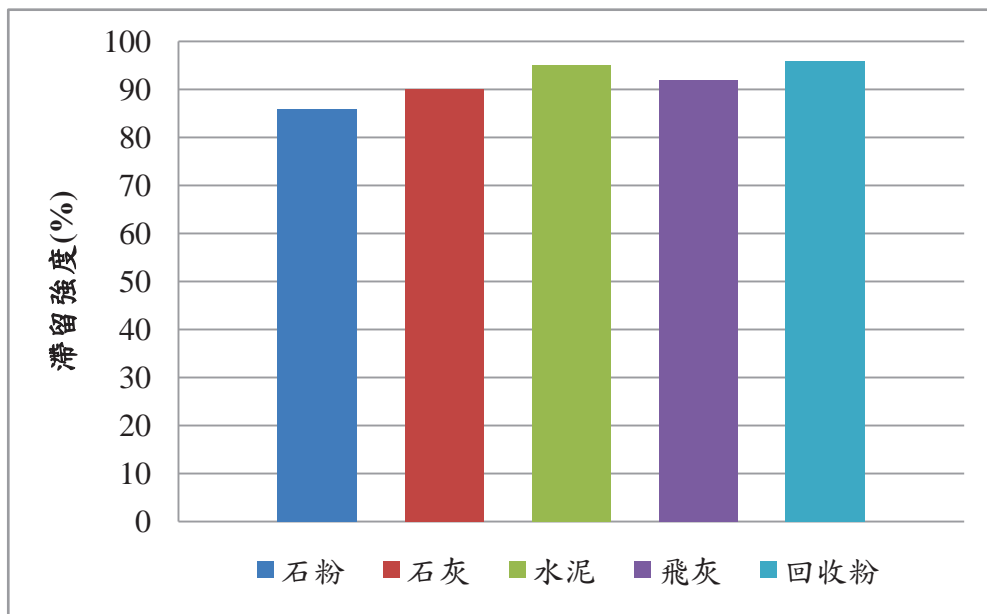


圖 16 馬歇爾滯留強度試驗結果

#### 4.4 漢堡車轍輪跡試驗結果

各種填縫料之車轍試驗結果如表 14，繪製比較圖表如圖 17，車轍深度對應輪次數之車轍輪機曲線圖如圖 19~24。各種填縫料之車轍深度 12.5mm 對應之輪次數皆達 10,000 輪次以上，石灰及水泥之輪次數表現最佳，石粉之輪次數表現次之，飛灰及回收粉表現最差。另石灰以濕拌方式之車轍試驗所對應輪次數表現比所有以乾拌方式之填縫料佳。

為觀察各種填縫料之抗剝脫能力，將車轍試驗結果之 SIP 點也就是車轍試驗的剝脫點，列表如表 15，繪製比較圖表如圖 18 所示，石灰以濕拌方式 SIP 點表現最佳，石粉及石灰 SIP 點相近表現次之，飛灰及回收粉 SIP 點相近表現最差，水泥因 SIP 不明顯以 NP 表示。

從車轍結果以及 SIP 點所列，石灰以濕拌方式之 SIP 點對應輪次數最佳，以此方式添加填縫料至瀝青混凝土確實有抗剝脫之效果。回收粉之 SIP 點對應輪次數最差，填縫料使用回收粉較無抗剝脫效果。另水泥因抗車轍能力較佳，其 SIP 點較不明顯。

表 14 各種填縫料之車轍試驗結果

填縫料種類	石粉	石灰	水泥	飛灰	回收粉	石灰(濕拌)
車轍深度 12.5mm 對應輪次數 (Passes)	13,136	14,121	14,650	11,239	11,889	18,268

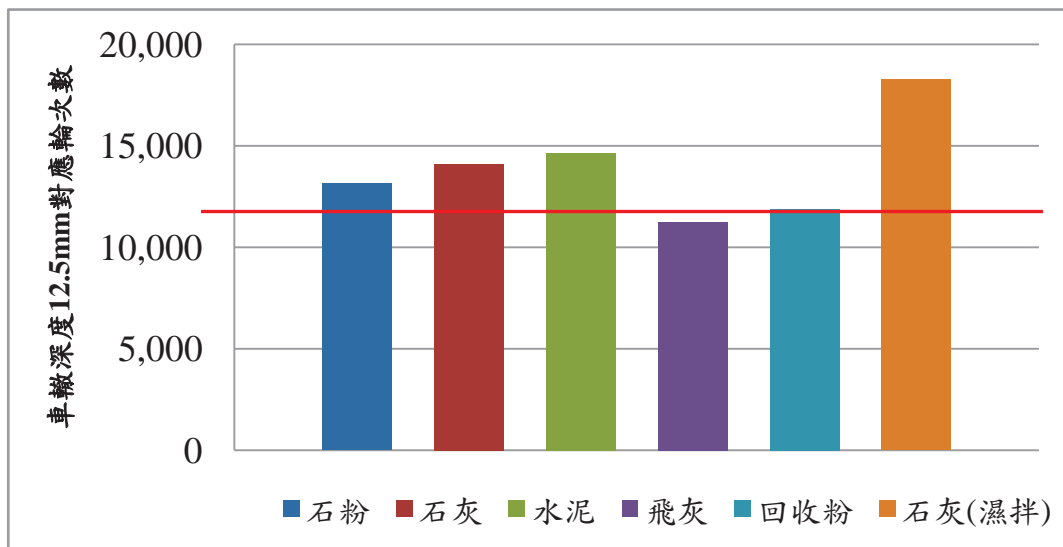


圖 17 漢堡車轍輪跡試驗結果

表 15 各種填縫料之 SIP 點

填縫料種類	石粉	石灰	水泥	飛灰	回收粉	石灰(濕拌)
SIP 輪次數 (Passes)	11,626	12,499	N.A. (SIP 不顯著)	11,597	11,226	16,699
SIP 對應車轍深度 (mm)	9.04	9.41	N.A.	11.95	11.00	10.37

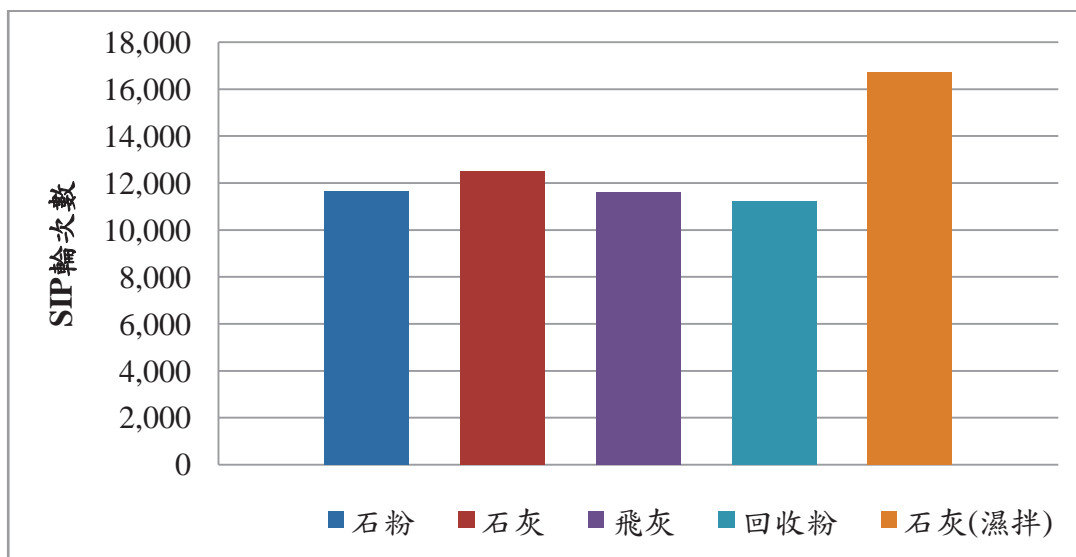


圖 18 漢堡車轍輪跡試驗 SIP 點對應輪次數

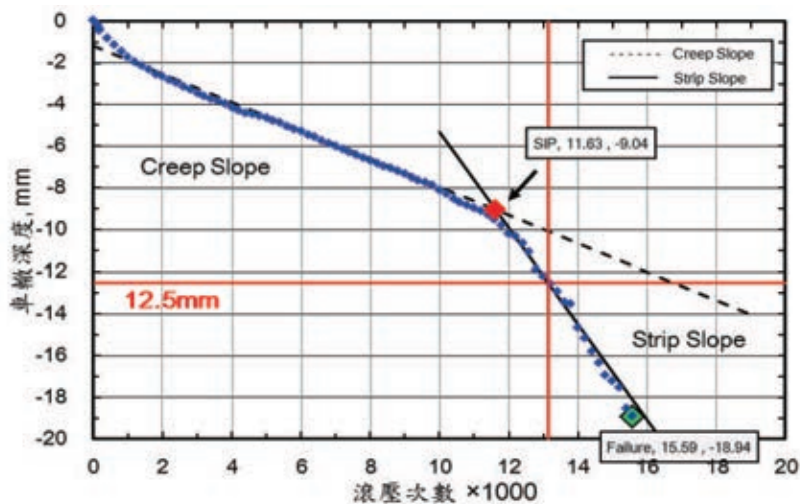


圖 19 填縫料為石粉之 Hamburg 車轍輪跡曲線圖

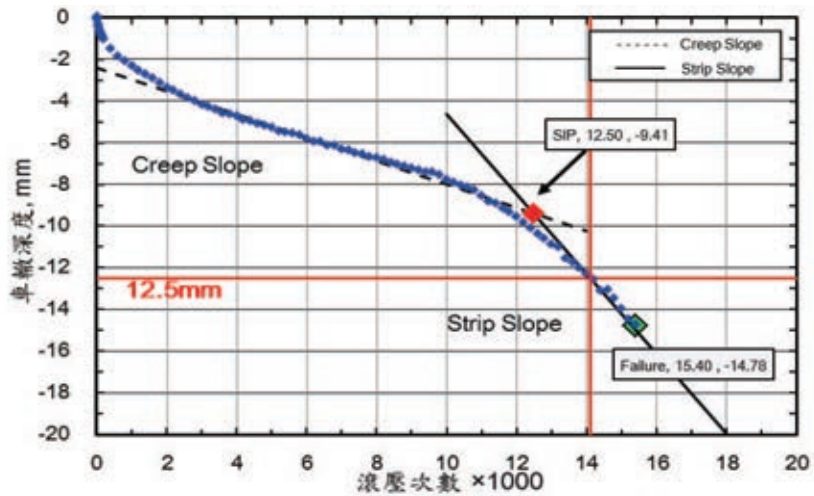


圖 20 填縫料為石灰之 Hamburg 車轍輪跡曲線圖

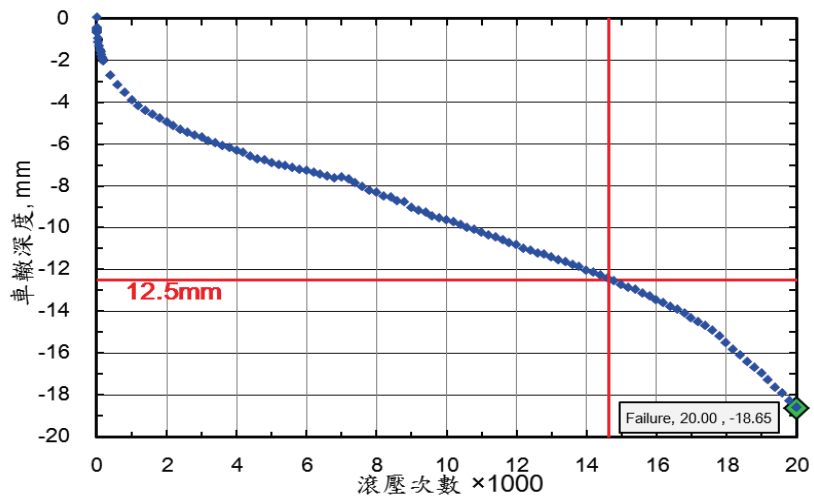


圖 21 填縫料為水泥之 Hamburg 車轍輪跡曲線圖

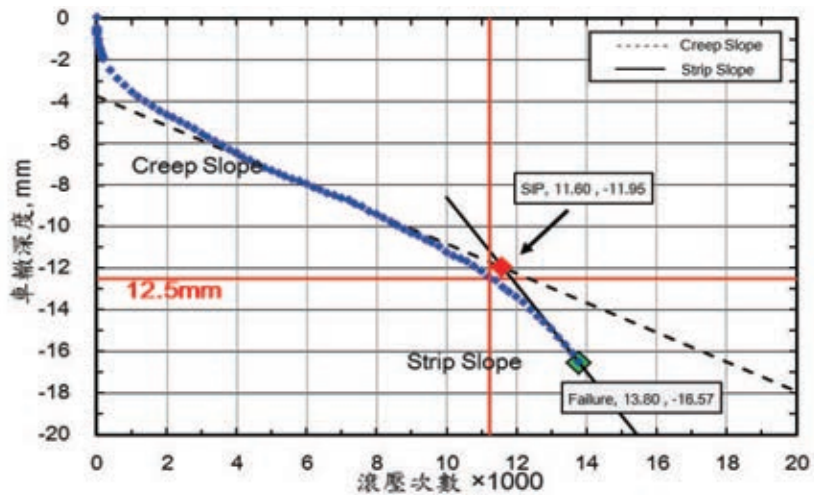


圖 22 填縫料為飛灰之 Hamburg 車轍輪跡曲線圖

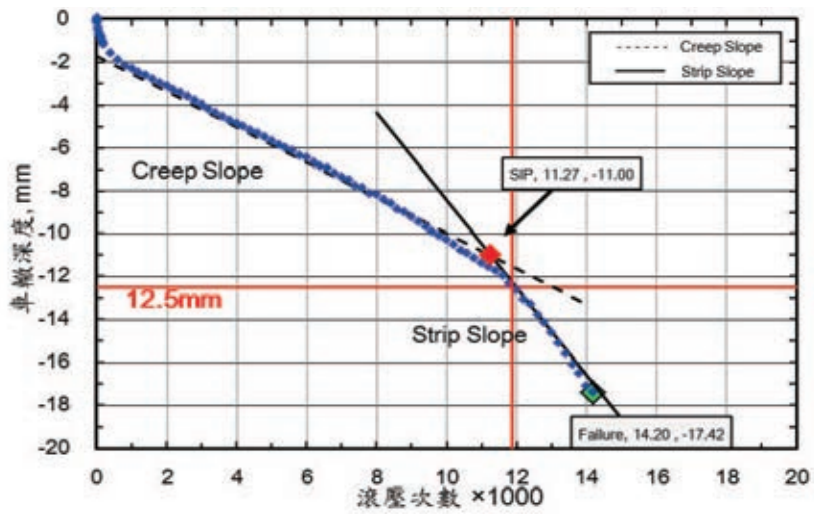


圖 23 填縫料為回收粉之 Hamburg 車轍輪跡曲線圖

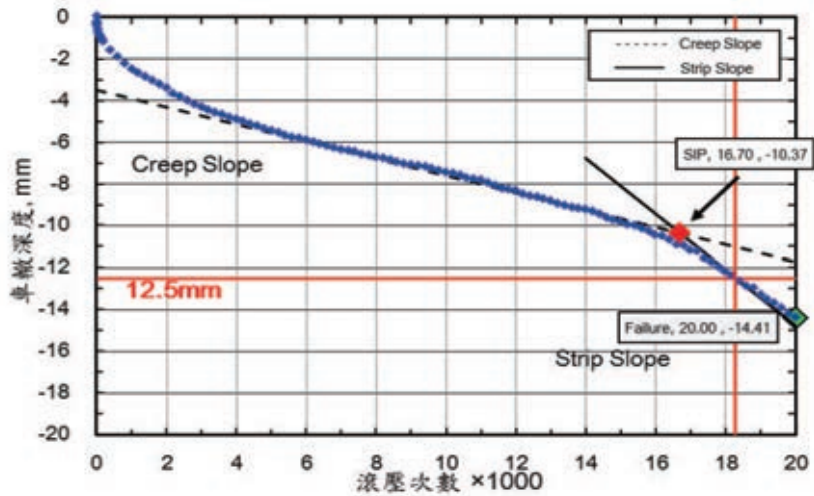


圖 24 填縫料為石灰（濕拌）之 Hamburg 車轍輪跡曲線圖

#### 4.5 回彈模數試驗結果分析

各種填縫料之回彈模數試驗結果如表 16，繪製比較圖表如圖 25，各種填縫料之回彈模數皆達  $6,000 \text{ kg/cm}^2$  以上，石灰表現最好  $8,286 \text{ kg/cm}^2$ ，水泥表現次之為  $7,246 \text{ kg/cm}^2$ ，石粉、飛灰及回收粉 3 種填縫材料相近介於  $6000\sim 7000 \text{ kg/cm}^2$  之間。

表 16 各種填縫料之回彈模數試驗結果

填縫料種類	石粉	石灰	水泥	飛灰	回收粉
回彈模數 ( $\text{kg/cm}^2$ )	6,619	8,286	7,246	6,020	6,915

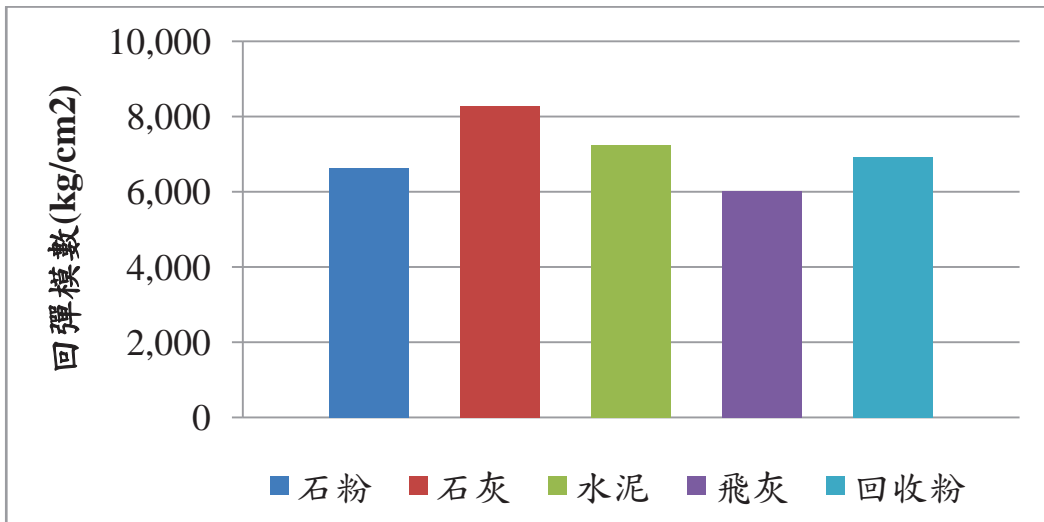


圖 25 回彈模數試驗結果

#### 4.6 間接張力強度及浸水間接張力強度試驗結果分析

依據 ASTM D4867，減少夯打次數的方式，製作較高空隙率的試體。依此方法重新求得夯打次數與空隙率的關係，試驗結果如表 17，繪製關係圖如圖 26。經由圖形繪製夾擊線，空隙率 7%，夯打次數為 50 下。

表 17 夯打次數與空隙率試驗結果

夯打次數 (下)	15	40	75
空隙率 (%)	8.5	7.8	4.0

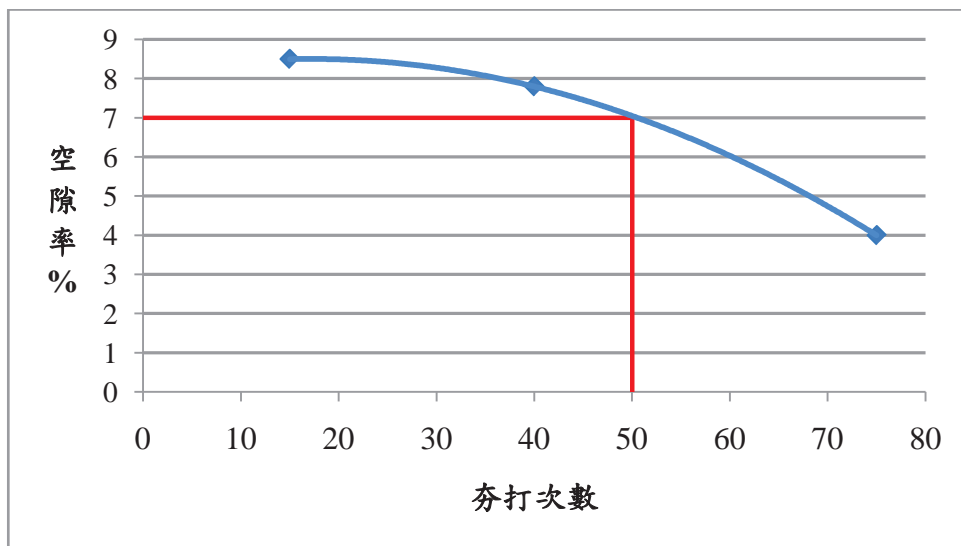


圖 26 4 英吋試體空隙率與夯打次數關係

各種填縫料之間接張力強度試驗為乾燥養護分組之張力強度試驗結果，如表 18，繪製比較圖表如圖 27。間接張力強度以回收粉及石粉表現最好，達 600kPa 以上，石灰、水泥及飛灰則在 500~600kPa 之間。

各種填縫料之浸水間接張力強度試驗結果如表 19 中『濕養護分組強度』，與乾燥養護分組強度比較結果繪製 TSR 比較圖表如圖 28，依據美國瀝青協會 MI-24 建議，TSR 值為 80% 以上之瀝青混合物不易受到水分損害，TSR 值在 60% 以下，則瀝青混合物易受潮濕損害。研究結果顯示各種填縫料之 TSR 皆達 70% 以上，石灰表現最好達 90%，水泥表現次之達 83%，石粉、飛灰及回收粉 3 種填縫材料相近約 75%。

表 18 各種填縫料之乾燥養護張力強度試驗結果

填縫料種類	石粉	石灰	水泥	飛灰	回收粉
乾燥養護分組強度 $S_{td}$ (kPa)	620	565	550	571	671



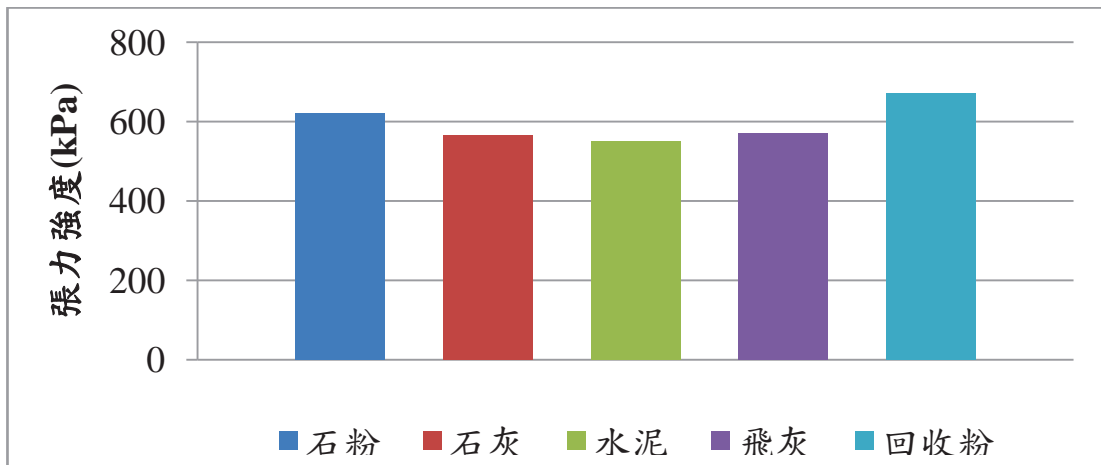


圖 27. 間接張力強度試驗結果

表 19. 各種填縫料之乾燥、浸水間接張力強度試驗結果

填縫料種類	石粉	石灰	水泥	飛灰	回收粉
乾燥養護分組強度 $S_{td}$ (kPa)	620	565	550	571	671
濕養護分組強度 $S_{tm}$ (kPa)	464	507	455	415	497
張力強度比 TSR $S_{tm}/S_{td}$ (%)	75	90	83	73	74

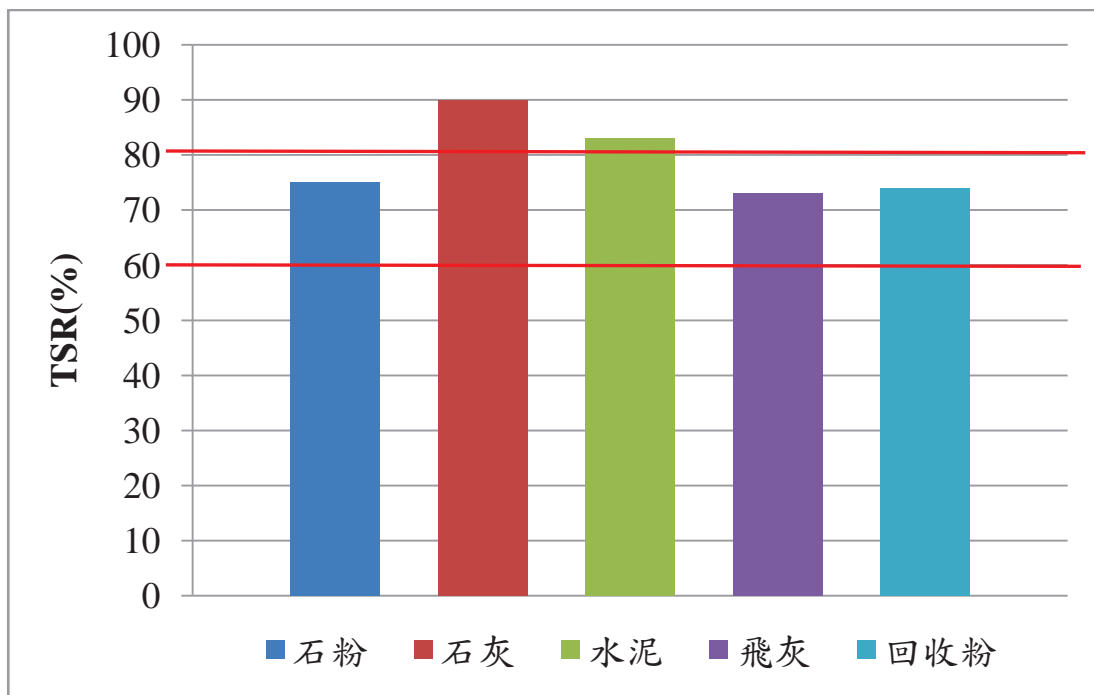


圖 28. 各種填縫料之張力強度比 TSR

## 五、結論與建議

### 5.1 結論

1. 本研究以不同填縫材料進行瀝青混凝土配比設計，其結果之建議瀝青膠泥含量範圍落在5.1%~5.9%之間。
2. 以不同填縫料材料進行漢堡車轍輪跡試驗結果，達車轍深度12.5mm 對應輪次數，石灰及水泥輪次數相近，抗車轍表現最佳；石粉對應輪次數表現次之；飛灰及回收粉輪次數相近，抗車轍表現最差，回收粉與石灰車轍對應輪次數相差約19%。以 SIP 點對應輪次數分析抗剝脫效果，石灰以濕拌方式表現最佳，回收粉表現最差。綜合前述，填縫料使用石灰及水泥之抗剝脫能力最佳，使用回收粉之抗剝脫能力最差。
3. 石灰以濕拌方式製作瀝青混凝土試體進行車轍試驗，其抗車轍能力比以乾拌方式進行車轍試驗之填縫料為佳約可提升30%，以此方式進行填縫料添加將更有抗剝脫能力之效果。惟石灰以濕拌方式添加至瀝青混和料，需增加製作設備、儲存空間及製作時間，其成本較為昂貴。
4. 以不同填縫材料進行穩定值、流度值、滯留強度試驗，試驗結果皆能符合規範之要求，石灰的穩定值及流度值較高，其餘填縫料無明顯之差異，顯示穩定值、流度值以及滯留強度試驗結果較無法顯示不同填縫材料之抗剝脫效果。
5. 以不同填縫材料進行回彈模數試驗，石灰表現最佳；水泥表現次之；石粉、飛灰及回收粉相近表現最差。石灰及水泥抗疲勞及車轍變形能力較佳。
6. 以不同填縫材料進行間接張力強度試驗結果分析，回收粉及石粉表現最好，達600 kPa 以上，石灰、水泥及飛灰則在500~600 kPa 之間，惟間接張力強度試驗係以乾燥試體進行張力試驗，尚未模擬水侵害之情況，試驗結果較無法分析不同填縫材料之抗剝脫效果。
7. 以不同填縫材料進行間接張力強度試驗結果分析，石粉、飛灰及回收粉介於60~80% 之間，石灰及水泥則為80%以上。石灰的張力強度比表現最佳；水泥張力強度表現次之；石粉、飛灰及回收粉表現最差。回收粉與石灰相差達16%，顯見添加石灰及水泥之抗剝脫效果較佳。

## 5.2 建議

1. 瀝青混凝土為增加抗剝脫能力，建議填縫料選用石灰或水泥，可提升抵抗車轍變形之效果。
2. 回收粉因含部分油質不溶於水，無法檢測 PI 值，依據公路總局施工說明書第02741章規定填縫料塑性指數 (PI) 不得大於4，但石灰和水泥不受此限制，故按此規定，回收粉不符填縫料材料要求，建議回收粉不應作為填縫料。

## 文獻

- [1] 余政儒，“瀝青混凝土添加石灰耐久性之研究”國立中央大學碩士論文，1994年，6月。
- [2] 張邦域，“瀝青混凝土填縫料與拌合方法之研究”國立臺灣科技大學碩士論文，1994年，6月。
- [3] 蔡辰安，“石膠泥瀝青混凝土添加不同填縫料其成效特性之研究”國立成功大學碩士論文，2000年，6月。
- [4] MS-24 Moisture Sensitivity Best Practices to Minimize Moisture Sensitivity in Asphalt Mixtures. First Edition ,ASPHALT INSTITUTE.
- [5] “公共工程飛灰混凝土使用手冊”行政院公共工程委員會。
- [6] “施工綱要規範第 02741 章「瀝青混凝土之一般要求」”行政院公共工程委員會。
- [7] “CNS10090 瀝青物針入度試驗法”，中國國家標準。
- [8] “CNS14186 無填縫料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)”，中國國家標準。
- [9] “CNS 488 粗粒料密度、相對密度(比重)及吸水率試驗法”，中國國家標準。
- [10] “CNS5090 土壤比重試驗法”，中國國家標準。
- [11] “CNS11272 水硬性水泥密度試驗法”，中國國家標準。
- [12] MS-2 Asphalt Mix Design Methods 7th Edition, ASPHALT INSTITUTE
- [13] “AASHTO T324-14 Standard Method of test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA)”，AASHTO.
- [14] “D 4123 - 82 Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures1”，ASTM.
- [15] 溫拌瀝青混凝土性能之研究，交通部公路總局材料試驗所 103 年自行研究案。
- [16] “CNS15306 瀝青混凝土鋪面混合料受水分影響試驗法”，中國國家標準。

# 台 18 線易致災路段高精度 LiDAR 測量及 互動式公路管理 3D 建置

蔡衛勇\*、王鐘緯\*\*、林志交\*\*\*

## 摘要

台 18 線阿里山公路為往返阿里山與嘉義市區之重要交通要道，其公路邊坡因本身的地質、地形影響以及易因地震或颱風豪雨等事件誘發邊坡破壞，使得道路安全性降低，造成用路人之生命財產損失，易使區域性經濟發展與產業運輸因道路中斷而產生重大影響。因此有效建立高精度數值高程模型資料庫以及建置互動式公路管理 3D 系統，提供後續規劃及工程參考使用，以便於地方政府、公家機關或是學術單位有效的資料建置。

**關鍵詞：**空載光達、地面光達、車載光達、3D 系統建置

## 一、前言

台 18 線（阿里山公路）長久以來，一直受到天災的侵襲，近年來，尤以莫拉克 88 水災無情的來襲，造成台 18 線柔腸寸斷，對於阿里山的觀光及居民生計均造成無以附加的沉重打擊。因此，作為災後阿里山公路修築、規劃、檢討、及管理需要，基本資料的獲取及持續的地形監測，是公路總局第五區養護工程處一直思考的方向。有效掌握災後整體公路所需基本資料，並將地形成果整合於已發展之地理資訊系統，供災時搶救災規劃路線資訊、災後重建作業基本地形資料依據、平時道路、邊坡修繕工程以及公路養護規劃等相關作業參考用，是未來發展的重點之一。

對於易致災公路區域之基本圖資需求實屬頻繁，其重要性關係著公路養護規劃，包括公路巡查作業、橋隧隧道檢測維護作業、養護資源調配管理作業。因此藉由本計畫產生一個良好的作業成果，並且參考國際上先進技術應用使得各項效益有顯著發揮，並有效整合光達及影像等測繪之技術，提升基本資料品質，以多元的資料來源完成以往困難

---

\* 交通部公路總局第五區養護工程處阿里山工務段段長

\*\* 交通部公路總局第五區養護工程處阿里山工務段幫工程司

\*\*\* 中興測量有限公司林志交經理/測量技師、高玉惠副理、鄧嘉欣工程師

並緩慢的資訊獲取作業過程，並使得公路幾何設計、交通路面工程及橋樑工程等問題，均能提供高精度及高解析度的資訊內容，以進一步作為後續易致災調查分析之來源。

此外，本計畫亦建置互動式公路管理 3D GIS 系統軟體，有效提升並整合本計畫產製之多元多尺度光達點雲、數位影像、720 度環景及 3D 模型資料，進行既有及本計畫產製資料的整合應用，對於後續相關單位的地形、影像等圖資更新、相關案件規劃之初步成果預期應用以及系統化、數位化的展示資料共享都可達到最大效益。

## 二、計畫範圍

本計畫計畫範圍為台 18 線五彎仔地區（42K+000~46K+000）以及福山至阿里山地區（69K+000~89K+000），總長共計 24 公里（詳如圖 1）。以及為了資料的連續性及完整性，本計畫亦蒐集觸口至阿里山地區（34K+000 至 89K+000），總長計 55 公里車載光達掃瞄以及 720 度環景攝影資料。全案執行時間為民國 103 年 11 月 20 日至民國 105 年 3 月 29 日止。

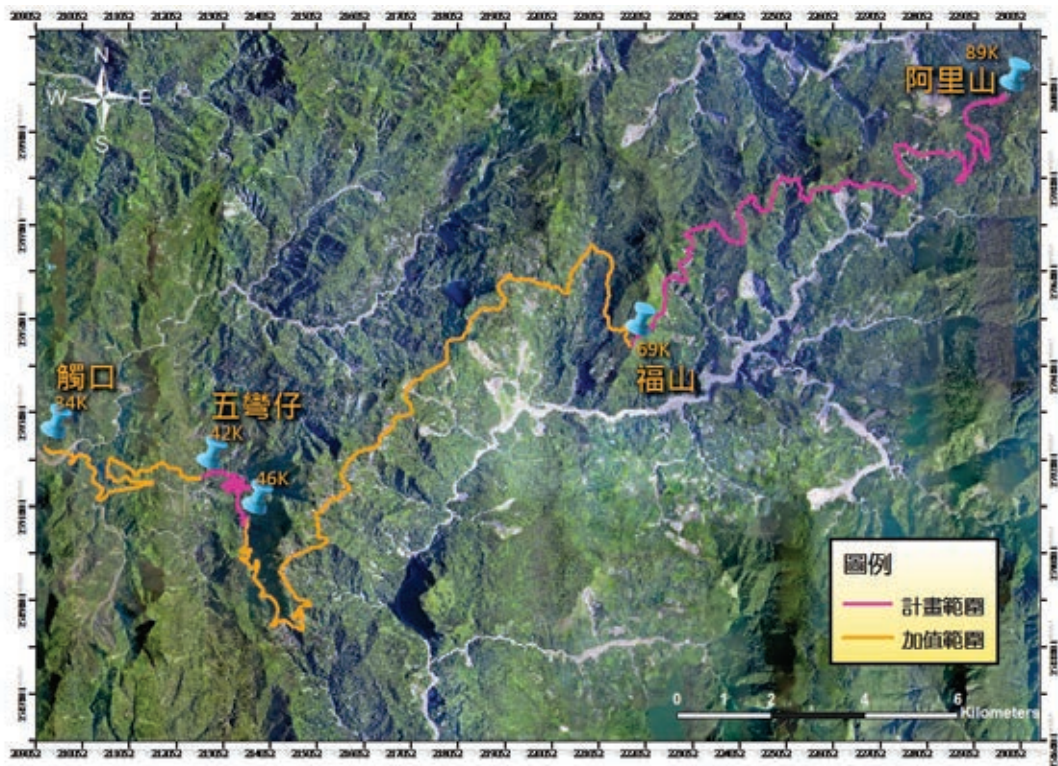


圖 1 本計畫區域作業範圍圖

### 三、 多元光達技術及 3D 公路管理系統整合

本次計畫涵蓋了空載光達測量、新設主控制點測量、地面光達測量、互動式 3D 公路管理系統以及車載光達測量，作業內容相當多元化。以下將分別針對各作業項目進行說明以及相關成果展示，整體作業執行流程如圖 2 所示。

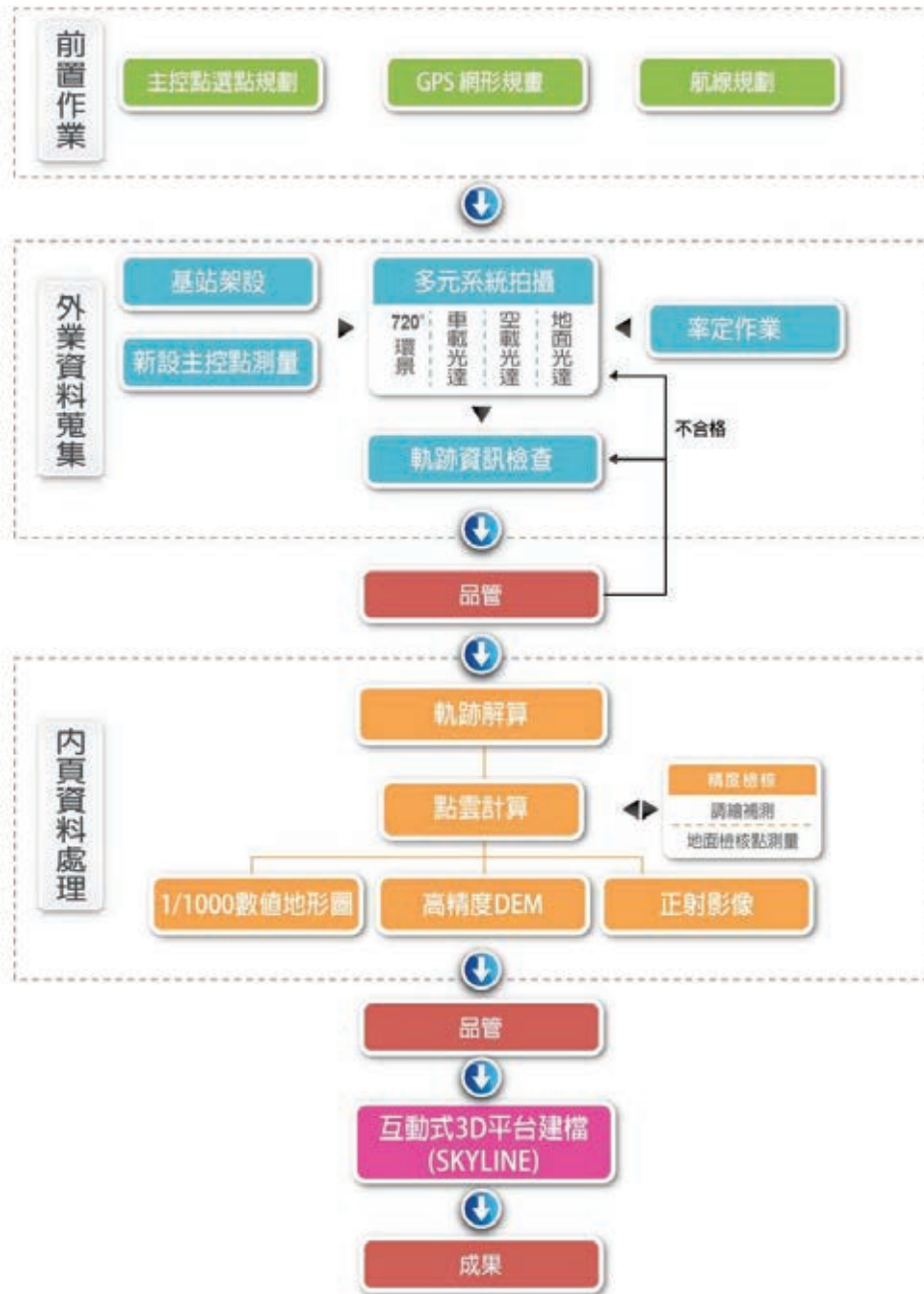


圖 2 作業執行流程圖

### 3.1 空載光達測量

本計畫空載光達測量作業內容有飛航掃瞄作業、數值高程模型 (DEM)、數值表面模型 (DSM) 製作、空中三角測量、正射影像製作以及 1/1000 數值地形圖製作，以下將依序說明空載光達測量相關作業內容以及成果展示。

#### 3.1.1 飛航掃瞄作業

##### 1. 光達掃瞄及航空攝影儀器

本測區地表起伏大，經評估後選用最高每秒 400,000 點掃瞄速度之「ALTM Pegasus」空載光達設備，以及高解析度專業航拍相機「DiMAC Ultralight+」（如表 1 及圖 3），同步蒐集光達掃瞄資料以及航拍影像。此外，載具則使用前進航空公司之 B-23062 航拍定翼機（如圖 3）。

表 1 本計畫空載光達施測採用儀器規格表

類別	型號	項目	規格
空載 掃瞄儀	ALTM Pegasus	作業高度	地表面上 300~2500m
		水平精度	優於 1/5,500*航高
		高程精度	< 5~15 cm
		測距回波數	每筆雷射光束含 4 個測距回波 ( 包含最後回波 )
		雷射強度值	12 位元
		掃瞄頻率	0~140Hz
		雷射反射率	100~400 kHz
		掃瞄角度	0~75°
		擺動補償	± 32.5° ( 依據掃瞄角度 )
數位 航拍相機	DiMAC Ultralight+	相機焦距	70.4268mm
		像幅大小	8984×6732 pixels
		像素尺寸	6um
		色彩濃度	16bit
		快門速度	1/125~1/250 秒
航拍定翼機	B-23062	有效負重	3513.5 磅
		座位	4 人
		最高時速	110~178 浬
		飛行高度	25000 呎
		飛行距離	700~1000 浬
		航行時間	6 小時



(a) 空載掃瞄儀



(b) 數位航拍相機



(c) 航拍定翼機

圖 3 本計畫空載光達施測採用儀器實體照

## 2. 航線規劃及掃瞄作業

本計畫依照 94 年內政部頒布「LiDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序(草案)」規定蒐集之空載光達點雲必須符合各航帶之點雲密度每平方米至少 1 點(裸露地為每平方米至少 2 點)，因根據 DEM 成果之解析度，決定掃描之原始點雲密度，以 1 公尺網格解析度之 DEM 為例，原始點雲密度應達 1 點/平方公尺以及航帶重疊比例至少 40%，作業區域各條航線之頭尾皆須有交叉檢核航線(Cross Line)。航高則依儀器之性能、飛行載具及地形等因素加以設計。飛航掃瞄參數如表 2。航線規劃詳圖 4。

表 2 作業範圍掃瞄參數表

飛航區域	航線數	最高 (m)	最低 (m)	離地高 (m)	航高 (m)	航速 (KTS)	掃瞄角度 (deg.)	雷射脈衝率 (KHz)	掃瞄頻率 (Hz)	掃瞄帶寬 (m)	重疊帶寬 (%)	點雲密度 (pt/m <sup>2</sup> )
1~2	2	920	500	1500	2100	110	±20	150	40	1398.9	40	3.1
3~9	7	2300	1300	2500	3500	110	±25	100	32	2331.5	40	3.0
加值航線	1	2300	1300	2500	3500	110	±25	100	32	2331.5	40	3.0
Cross line	4	2300	500	2500	3000	110	±25	150	40	2331.5		3.1
總公里		95.32km										



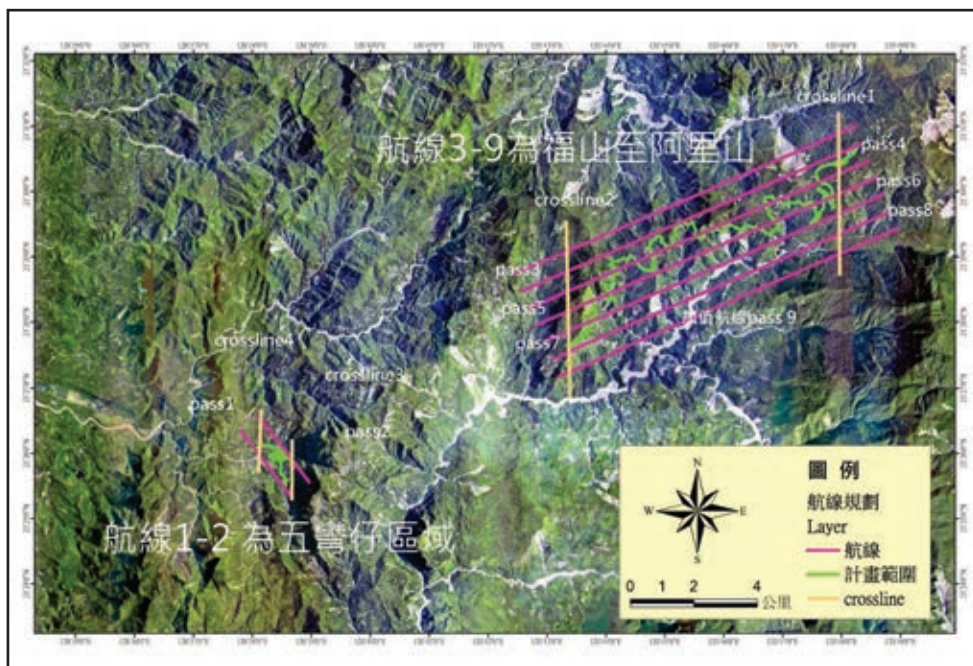


圖 4 航線規劃

飛航掃瞄時應維持每條航線至少有二個 GPS 基站同步接收 GPS 觀測量，基站與航線範圍應小於 20 公里。其設置處應透空良好且無訊號干擾之虞，同時製作完整之測量紀錄。經勘察後，為確保透空良好的環境，以本次新設的已知點 0011 與 0013 等兩點作為本次空載光達之基站（圖 5）。此外，飛航時確保衛星訊號可達 PDOP<4 品質時，方可作業。



(a) 0011 基站現況圖



(b) 0013 基站現況圖

圖 5 基站現況圖

本次計畫完成飛航作業時間為 104 年 03 月 15 日，飛航掃瞄外業流程可分為以下 4 個步驟：

- (1) 飛航導航：提供飛行員液晶顯示面板。導航修正航線飛到規劃的航線，操作者於機艙內監控即時飛行狀態系統，包括檢查掃瞄的軌跡是否在規劃航線上、是否有掃瞄裂縫，即時決策重掃，監控 GPS 資料品質，監控 IMU 資料品質。
- (2) 操作紀錄：記錄檔名、攝像圖名、記錄飛航參數、記錄時間計時器操作狀況、確認雷射操作狀態、異常狀態記錄、監視記錄儲存容量等。
- (3) 飛航參數與掃瞄參數：配合航線圖說明每條航線之日期、航高、航速、掃瞄角度、掃瞄頻率、雷射脈衝率、每條航線計算 GPS 所使用之地面控制點、使用儀器之規格等掃瞄參數與飛航參數及儀器資訊等。
- (4) 以利用 KGPS/IMU 進行相機外方位參數之工作經驗，於本計畫將採用 POSAV 510 系統提供直接定理定位方式 (Direct Georeference) 以獲取每個時刻的外方位資訊。

### 3. 空載資料收集與處理

空載 LiDAR 資料前處理作業包括原始資料整理備份、飛航掃瞄航跡 POS 解算及 LiDAR 原始點雲產出。雷射掃瞄資料作業流程如圖 6。

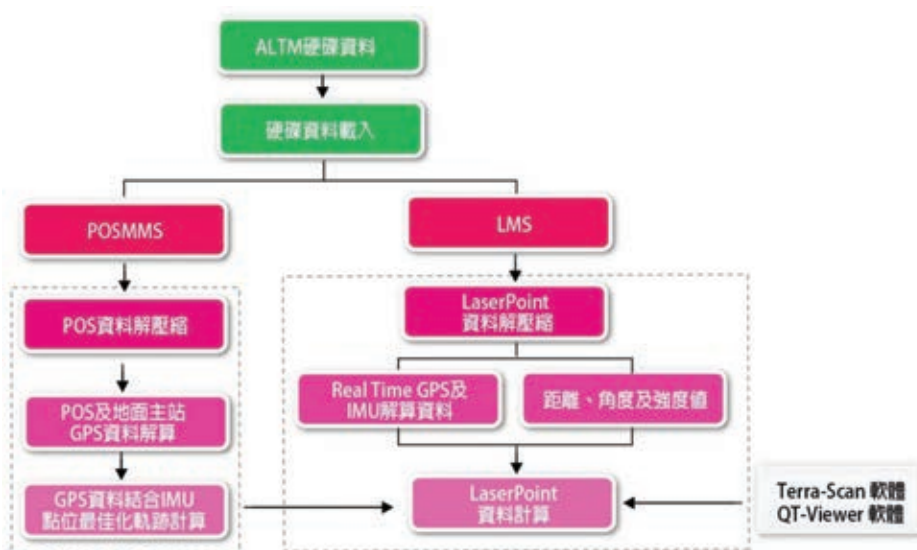


圖 6 空載雷射掃瞄資料作業流程

結合 LiDAR 之 POS Sbet 軌跡資料與雷射掃瞄測距資料 (掃瞄角與距離) 代入 Optech LMS 或 DASHMap 軟體中 (Optech, 2018)，配合計算後的軌跡資訊輸入，加入各項系統誤差率定參數、坐標投影參數，逐條航線求解原始點雲資料。飛航軌跡圖 7 所示。

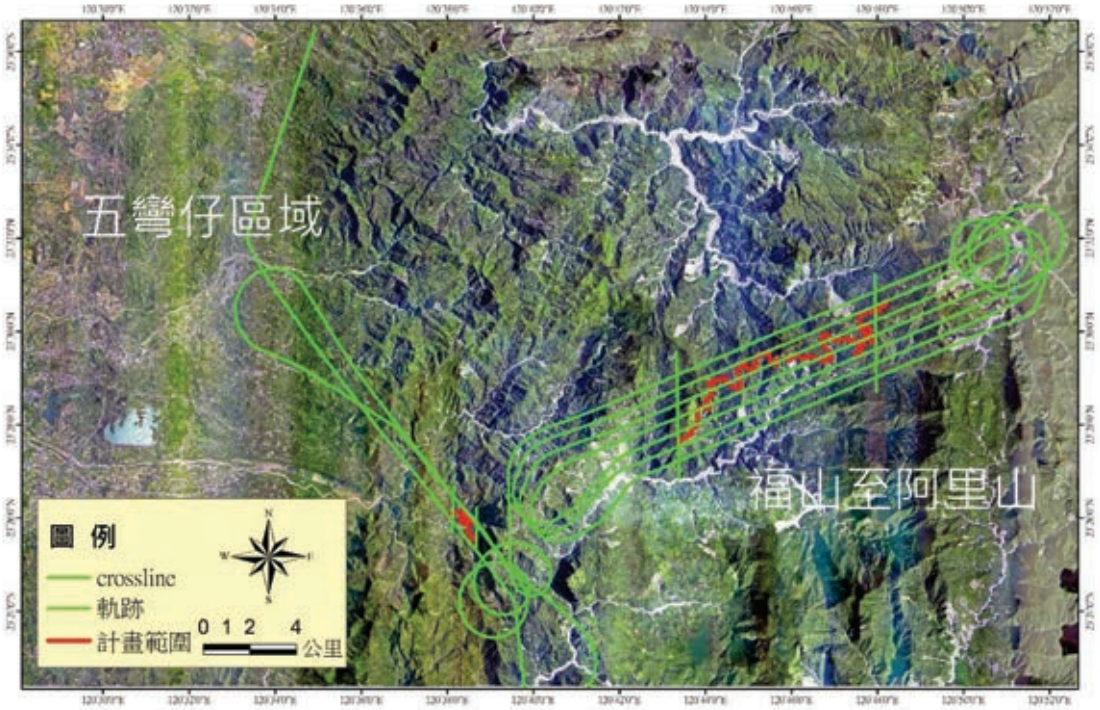


圖 7 飛航軌跡圖

原始雷射點雲成果可用不同型態來表示。每條航線原始點雲產出後，需逐條檢驗資料品質，包括點雲密度、不合理點位，以及重疊區點雲高程內部精度檢核等。圖 8 為飛航掃瞄成果（高程上彩）圖。

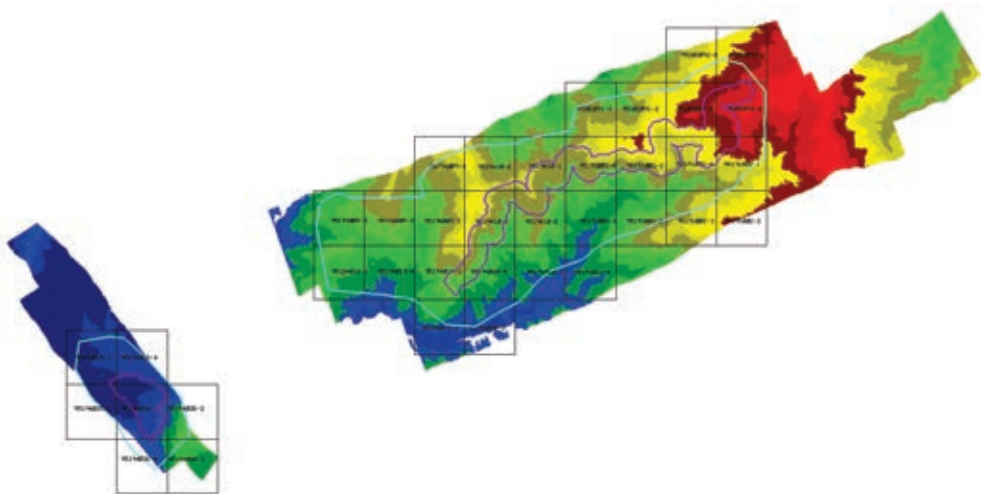


圖 8 飛航掃瞄成果（高程上彩）圖

### 3.1.2 數值高程模型（DEM）、數值表面模型（DSM）製作

光達點雲資料處理程序中，須將點雲過濾分類成地面點與非地面點，乃是後處理程序的重點工作，人工檢視編修程序，更是仰賴豐富經驗才能在效率上判讀正確，快速進行人工檢視編修。人工編修點位過程亦可配合光達掃瞄同步拍攝之正射影像，依不同之地表覆蓋給予不同自動過濾參數再次分類及人工編修，以確保點位分類之正確性，示意圖 9 以及圖 10。

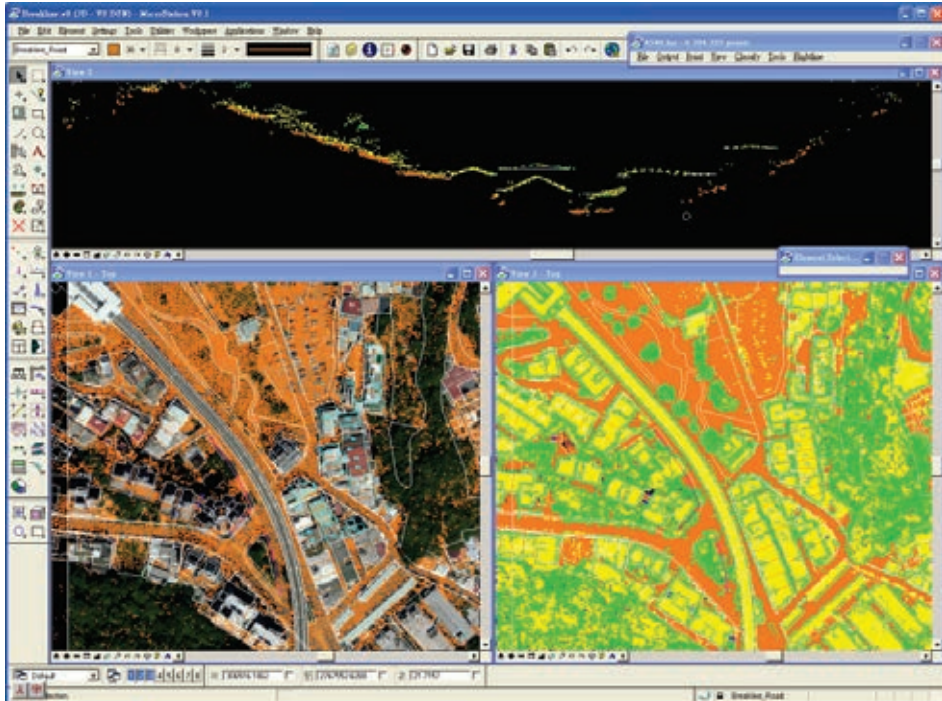


圖 9 點雲分類作業畫面

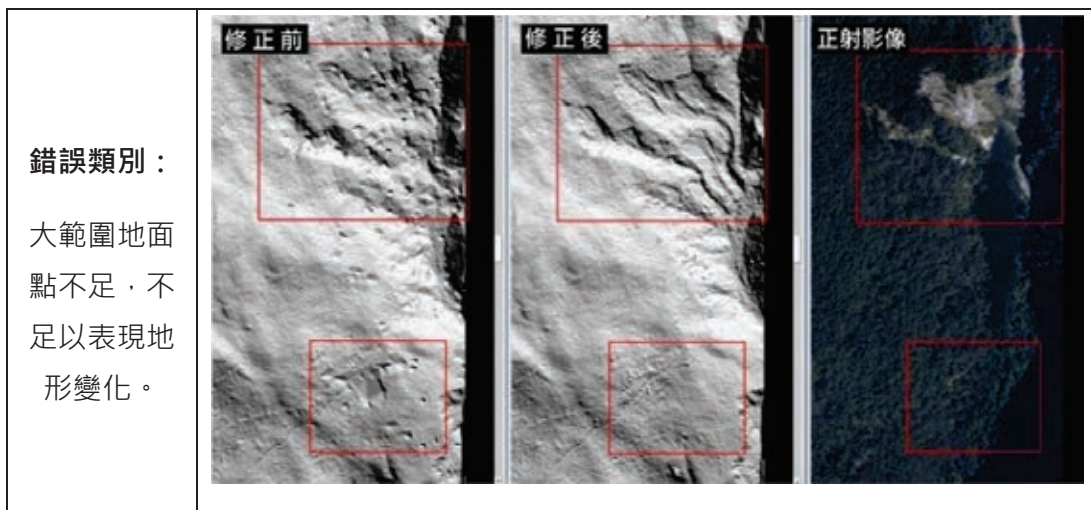
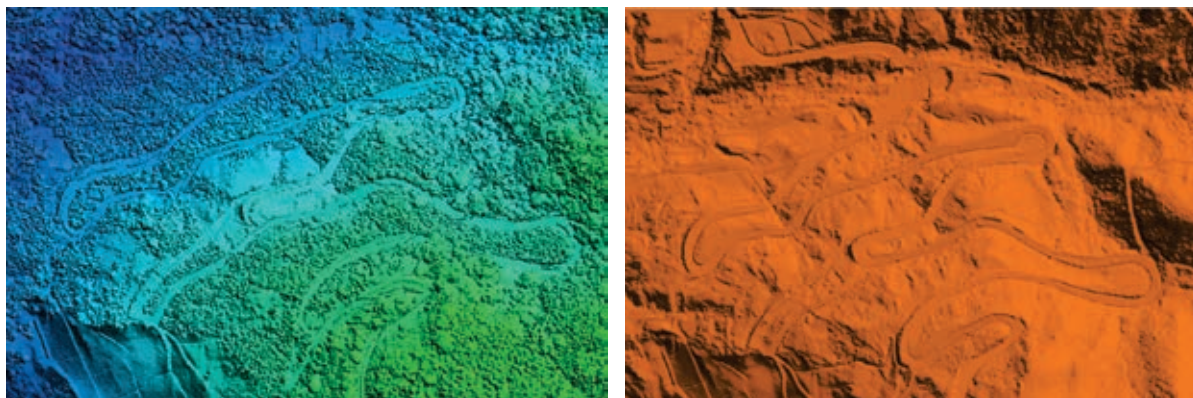


圖 10 編修檢核修正圖

根據內政部 2003 年所公布之「高精度及高解析度數值地形模型測製規範(草案)」，數值地形模型經過分幅、分類、編輯與薄化處理後之地表面與地形面點雲資料，藉由記錄的高程資料，依實際需求產製 1×1 公尺整數網格的 DEM/DSM 資料，以 Terra Scan 及 Terra Modeler 軟體，將地面點與地表覆蓋資訊分別組成地面高程與地表覆蓋面，再利用 SCOP++內插模式進行成果產製，圖 11 為五彎仔 DSM 以及 DEM 成果示意圖。



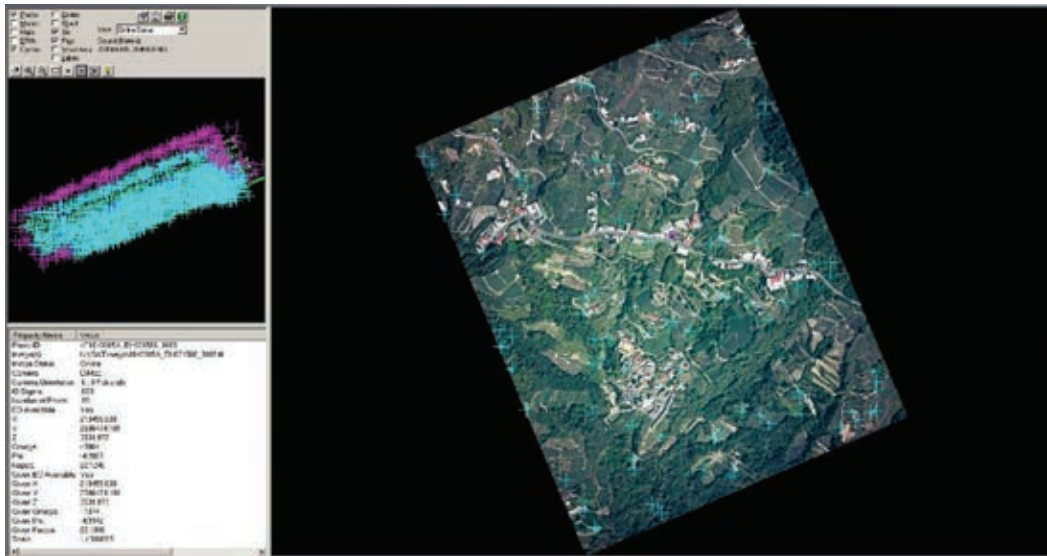
(a) DSM 成果示意圖

(b) DEM 成果示意圖 (shading)

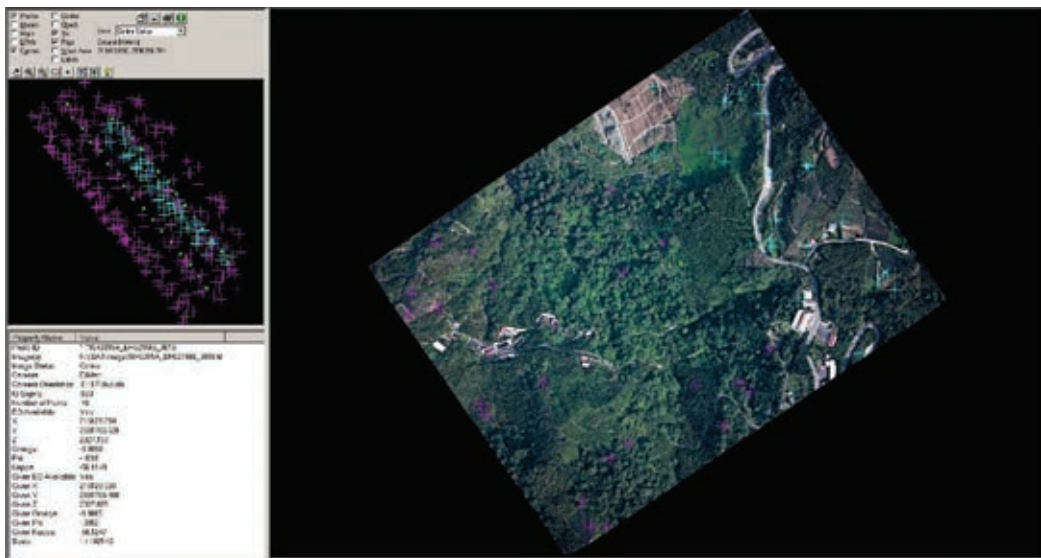
圖 11 五彎仔 DSM (a) 以及 DEM (b) 成果示意圖

### 3.1.3 空中三角測量

採影像匹配自動化量測空中三角連結點，特徵點均勻分布於各影像，相鄰航帶之間以 60%重疊率計算基線時，每一基線距離內至少有 1 個四重以上點連結鄰航帶。確保連結點強度後，以連結點進行空三平差計算，過程中根據統計報表中，連結點向量殘差值判斷其是否為正確匹配特徵點並刪除大錯連結點。反覆進行上述偵錯程序後，直至所有點的殘差值都在要求精度範圍內，輸出所有影像之外方位參數，圖 12 為特徵點匹配示意圖。



69K~89K ( + : Pass Point、+ : Tie Point)



42K~46K ( + : Pass Point、+ : Tie Point)

圖 12 特徵點匹配示意圖

### 3.1.4 正射影像製作

輸出完成逐幅確認每個正射影像像元位置是否錯移、扭曲或色差。如有上述錯誤，則依其實際測量高度進行正射微分糾正或相鄰航帶的色調調整。最終完成全區無接縫彩色正射影像，如圖 13 所示。



圖 13 無縫鑲嵌正射影像圖

### 3.1.5 1/1000數值地形圖製作

本計畫千分之一地形圖總面積為 960 公頃，圖幅數為 50 幅，數值地形圖圖面按內政部「基本地形圖資料庫圖式規格表」規定分幅編纂及圖面整飾（含圖元類別與註記、圖式線號、圖例、圖廓、方格線、方格線坐標、圖號、比例尺、地名、行政界線、圖幅接合表等）整理成數值地形圖（向量資料檔），圖 14 為立體製圖成果套正射影像圖。



圖 14 立體製圖成果套正射影像圖

### 3.2 地面光達測量

為求取得更細緻、準確之地表資訊，本計畫總共針對 11 處崩塌地、邊坡以及跨河橋梁進行地面光達掃瞄，詳細作業內容為地面光達掃瞄、資料處理以及點雲動畫影片製作。

#### 1. 地面光達掃瞄作業

在進行地面光達掃瞄之前，為了便利後續之資料分析以及將成果轉換至本計畫坐標系統 TWD97 之下，需先進行控制點引測之作業，而本次引測控制點皆屬於本計畫新埋設之控制點，方可達到坐標系統一致之成果。

另依據施工補充條款，已知控制點檢測標準為，距離較差值小於 1/10000，方可用於平面控制測量之依據。本計畫係採用全測站電子經緯儀進行控制點檢測以及引測作業（現場作業如圖 15 所示，作業相關人員皆配帶反光背心與工地安全帽，若於路邊作業，皆佈設紅色三角錐，以示作業人員安全）。



圖 15 控制點引測工作照

依照本計畫需求，由於崩塌地面積廣大，為全面性的蒐集光達點雲資料，大多數的崩塌地掃瞄，係採用的儀器為 RIEGL 生產的雷射掃瞄儀 VZ-1000(規格詳見表 3)，屬長距離之地面三維雷射掃瞄儀，儀器本身內含掃瞄稜鏡的快速雷射測距儀，無需反射稜鏡即可精確獲得掃瞄點的三維坐標，並可在短時間內得到大量的點位資訊，外業掃瞄照片如圖 16。





圖 16 外業三維雷射掃瞄操作實景

另外，台 18 線 87K+000 邊坡，在 102 年 03 月 21 日、102 年 06 月 19 日與 102 年 09 月 17 日，由中構日建股份有限公司委託中興測量有限公司已完成三次不同時期的掃瞄，因此，本計畫於該處邊坡採用與當時相同型號 Z+F 5010 IMAGER 地面掃瞄儀（規格詳見表 3），俾利後續持續的資料比對及分析。

表 3 雷射掃瞄儀規格

雷射掃 瞄儀	RIGEL VZ-1000		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 測距能力：最長測距 1400 m</li> <li>· 雷射測距精度：5 mm</li> <li>· 掃瞄角度：100°x360°</li> <li>· 資料獲取點數：122,000 pts/sec</li> <li>· 解析力：0.0005°</li> <li>· 雷射等級：一級安全雷射（眼睛可直視）</li> <li>· 回波數：多重回波</li> <li>· 測距方式：脈衝式</li> <li>· 相機：Nikon D600 2430 萬畫素全片幅相機</li> <li>· 系統整合：內建 GPS 接收儀（可作 1 PPS 同步）及指北針</li> </ul>
雷射掃 瞄儀	Z+F Imager 5010		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 雷射測距精度：0.1~1 mm</li> <li>· 資料獲取點數：1,000,000 pts/sec</li> <li>· 解析力：水平方向：0.0002° 垂直方向：0.0004°</li> <li>· 雷射等級：一級安全雷射（眼睛可直視）</li> <li>· 測距方式：相位式</li> <li>· 相機：M-Cam 500 萬工業級相機</li> </ul>

## 2.資料處理

於現場進行地面 3D 雷射掃瞄時，可能因掃瞄區域面積過大，無法一次將所有區域涵蓋掃瞄，必須分次及多個不同的角度才能掃瞄完成，因此所獲得之資料為許多不同的掃瞄專案檔累積而成，必須透過點雲拼接才能得到最後整個測區之點雲資料。

而根據測區範圍，現況情形以及設定參數，將影響最後掃瞄測站的數量，但最終目的，都是在測區範圍內得到足夠的雷射點雲資料。而本計畫在點雲資料的接合上，係使用 RIGEL 開發的 RISCAN PRO 軟體，採用的接合原理為其研發的多測站平差演算法，亦稱 MSA (Multi-Station Adjustment)，分為四個步驟說明：

- (1) 點雲資料載入：一般而言，三維雷射掃瞄儀所獲取的資料量均十分龐大，資料儲存方式均以壓縮的格式儲存，因此必須以儀器所附的軟體進行資料解壓縮與格式轉換；本計畫所使用的 VZ-1000，採用 RISCAN PRO 軟體進行這項工作，先將原始檔 (\*.rxp) 轉換至專案檔格式 (\*.rsp)，資料夾同時有視景影像檔 (\*.jpg)；視景影像檔為 360 度環景影像，可以了解單次掃瞄現場的概略狀況，作為後續人工選取共軛點的參考及進行點雲上彩。
- (2) 選取共軛參考點進行人工近似匹配：由於重覆點雲區的不規則網格目前並無法以電腦完全自動化匹配，因此採行自動匹配前，需由人工方式選取兩個不同測站間重覆的共軛點（至少需 4 點以上）進行人工匹配，如圖 17 所示，使不同測站點雲的大略重合，以利後續自動化匹配。

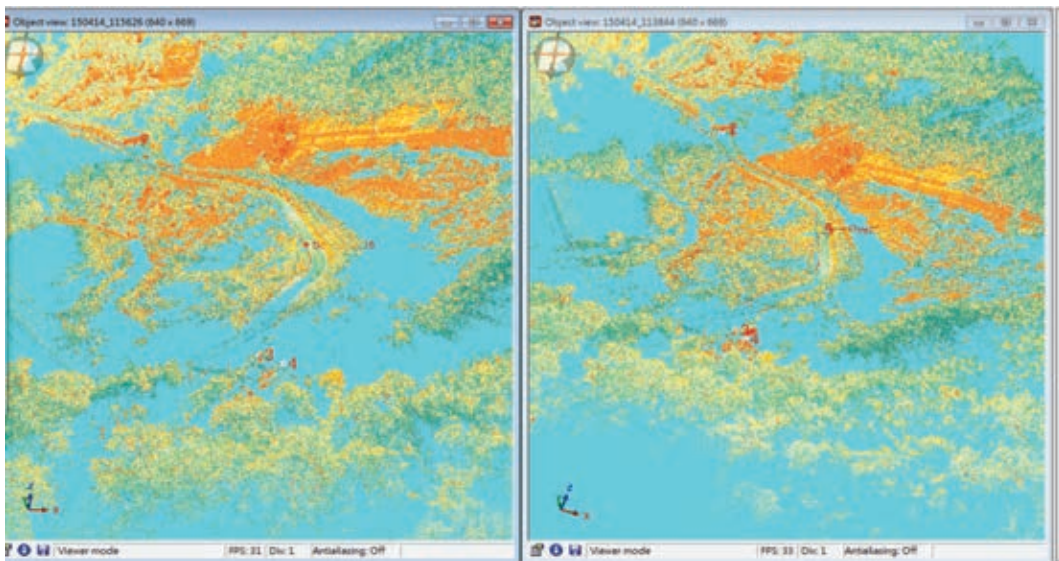


圖 17 共軛參考點選取

- (3) MSA 曲面匹配法：要使用曲面匹配進行拼接，需經 Plane Patch Filter 萃取平面向量資料，當取得各站平面向量後，方能開始平差並針對初步拼接後的點雲進行高精度拼接。

(4) 設定搜尋半徑及相關參數進行自動匹配：當人工近似匹配完成後，兩群不同的點雲資料已大致接合完成，此時於軟體中設定匹配的搜尋半徑，以進行自動匹配；通常，設定半徑範圍採漸進式逐步減小，因為其進行自動匹配時，會搜尋設定半徑內所有不規則格網進行最佳化接合，若設定值一下子給定過小，則可能無法搜尋出合適的接合面而失敗，但若給定值過大，則運算過程中可能導致誤判而使接合成果產生扭曲變形。因此，於本計畫設定的拼接精度門檻為 2 公分，且當誤差分布為一常態分佈曲線 (Normal distribution)，如圖 19 所示。顯示拼接成果是可靠的。

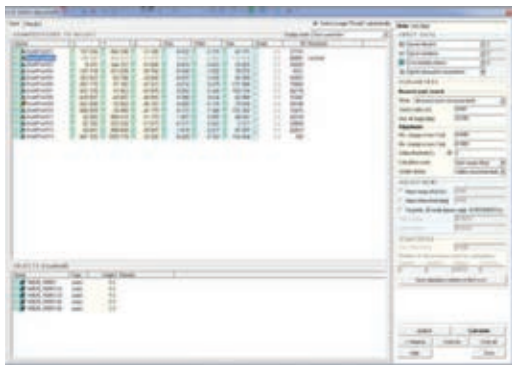


圖 18 設定相關參數進行自動匹配

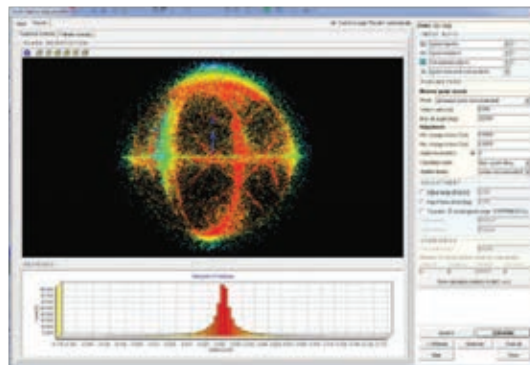


圖 19 誤差分布曲線

(5) 掃瞄成果：經過上述模型拼接步驟後，便可輸出每處崩塌地掃瞄成果之雷射點雲三維資料，圖 20、圖 21 分別為 77K+300 邊坡以及五彎仔 44K+000 邊坡資料拼接後之成果。



圖 20 77K+300 邊坡拼接後成果圖



圖 21 44K+000 邊坡拼接後成果圖

另外，本計畫提供 11 處重要地點的 720 度靜態環景拍攝，使邊坡的效果呈現及分析判釋上，將可更加的快速直觀，圖 22 為 59K+100 邊坡 720 度靜態環景展示。



圖22 59K+100邊坡720度靜態環景

### 3. 點雲動畫影片製作

此外，本計畫亦須提供 4 處崩塌地地面光達點雲動畫，針對點雲資料製作不同 3D 視角、動畫路徑瀏覽，提供真實地景實境瀏覽、提供影片格式及大小為 Microsoft WMV，1920\*1080 高解析度影片檔案。由於本計畫為一整合多系統來源整合案，因此，為了可以全面性提供以及瀏覽真實現地情形，動畫內容來源整合了光載光達、車載光達以及地面光達點雲資料，圖 23 為 71K+200 邊坡以及芙谷峽橋動畫示意圖。



圖23 71K+200邊坡以及芙谷峩橋動畫示意圖

### 3.3 車載光達掃描

本計畫加值車載光達掃描範圍由觸口至阿里山地區（34K+000~89K+000），總長 55 公里，此外，於掃描過程中，也同步拍攝 720 度環景影像資料，以獲取全面性的資料蒐集。

#### 1. 車載光達掃描作業

車載掃描儀器為 Optech 公司生產 Lynx M1，搭載著 2 個雷射掃描器、2 個 GNSS（GPS+GLONASS）接收器、4 個 500 萬畫素相機以及 720 度環景相機 Ladybug5，其相關儀器特性如表 4 所示。

表 4 車載光達儀器特性

設備名稱	廠牌/型式	儀器照片	說明
Lynx M1 車載光達系統	Lynx M1		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 感測器：2 組</li> <li>· 視野角度：360°</li> <li>· 雷射測量頻率：每一個掃描器可達最高達 500KHz（目前國內最高）</li> <li>· 測量距離：200 公尺（20%反射率）</li> <li>· 掃描速度：80Hz-200Hz（可變頻）</li> <li>· 眼安全性能：Class 1</li> <li>· 測距精度：8mm（1 sigma）</li> <li>· 絕對精度：±5 cm（1 sigma）</li> <li>· 特別設計：             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 唯一可調整相機角度及位置</li> <li>2. 具 2 組 GPS</li> <li>3. 系統架設高度可依需求調整</li> <li>4. iFLEX 電子晶片技術</li> </ol> </li> </ul>

於外業執行的時候，根據事先規劃時段進行掃瞄，掃瞄時速維持在20km/hr左右，確保點雲密度符合需求；另外，因行駛速率維持低速作業，外業執行時搭配警示標誌（或警示燈），以確保街景車之行駛安全（見圖 24），行駛時應保持與街景車間距大約 1~2 個車身；外業之車輛皆已辦理保險，以保障作業人員。執行時透過監測畫面隨時了解拍攝影像、點雲與定位品質（見圖 25）。



圖 24 作業時警示燈



圖 25 監控掃瞄作業

## 2. 資料解算

資料解算可分為以下步驟：

- (1) 掃瞄軌跡解算：車載設備採用可接收GPS與GLONASS之儀器，後續再以POSMMMS將地面GPS主站資料（採用與空載光達解算相同控制點0011及0013）及LYNX系統之GPS資料以動態差分求解，即可求得車載掃瞄軌跡（如圖26所示）。

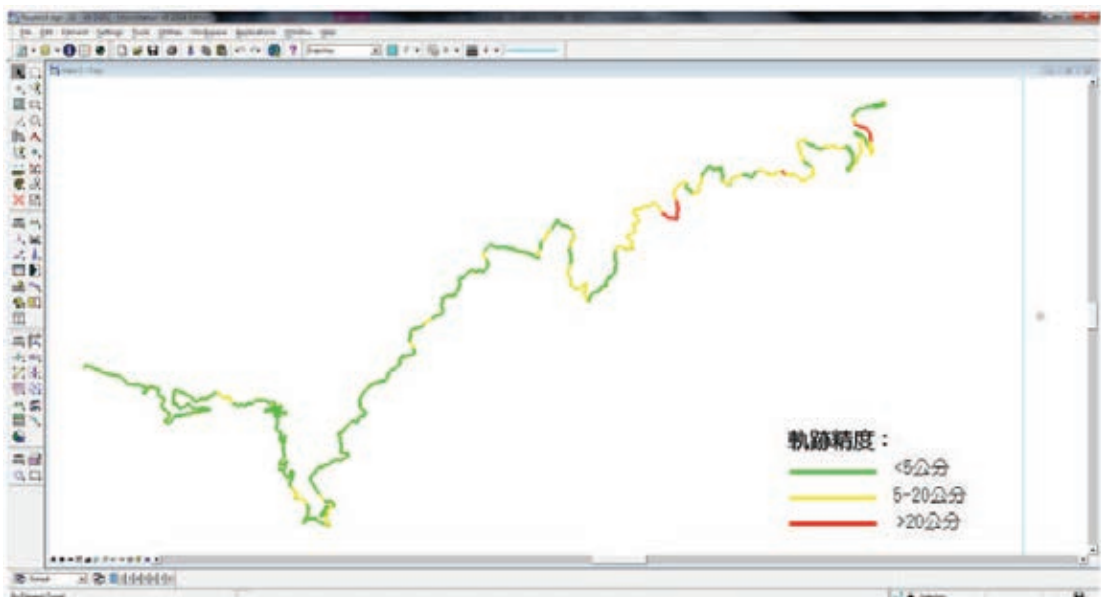


圖 26 車載光達掃瞄軌跡

- (2) 原始點雲產出：結合 LiDAR/環景/Images 之軌跡資料與雷射掃瞄測距（掃瞄角與距離），即可求解原始點雲和影像。

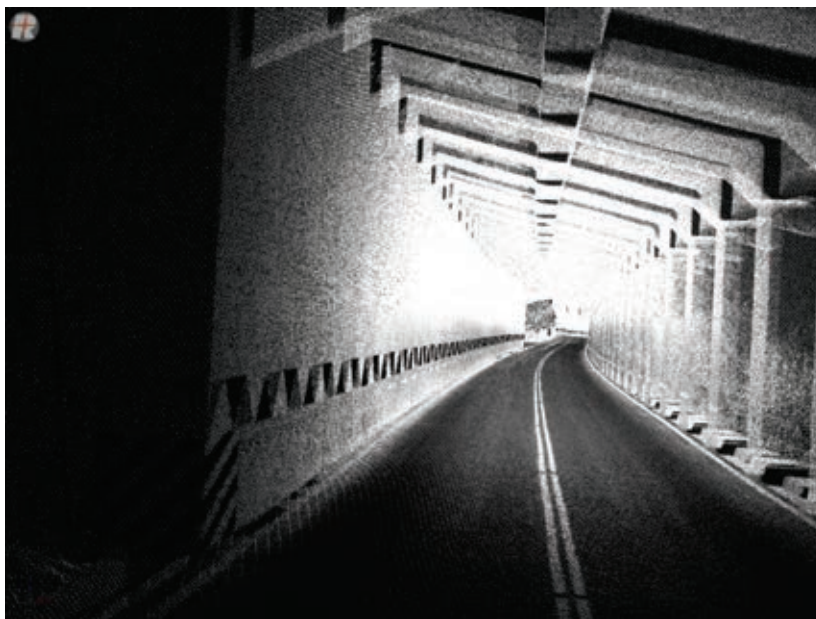


圖 27 車載點雲展示

- (3) 點雲平差：透過點雲誤差修正，將點雲資料間的空間上相對、絕對坐標的套疊修正、軌跡平差以及特徵標、線的偵測等，並可將車載掃瞄系統兩個掃瞄器之間的相對誤差經率定後參數供平差作業使用。
- (4) 利用獲取的校正參數可以先代入重新計算點雲與影像及兩者間的差異量，作為整合點雲與影像（環景等）間之誤差量依據後，再利用軟體進行聯合平差求解，以獲取更加之軌跡修正參數，如此可計算最佳之點雲坐標與影像（環景）外方位參數，供後續成果處理應用。

### 3. 環景影像作業與處理

此外，車載作業時，光達掃瞄與相機亦同步拍攝，蒐集 720 度無縫式街景環景影像照片（JPG 格式）及 3D（x、y、z）坐標資料，並採等間距（每 10 公尺 1 張照片）呈現，圖 28 為 720 度環景影像，可以看到車載掃瞄可以快速、清楚地蒐集駁坎以及道路資訊。

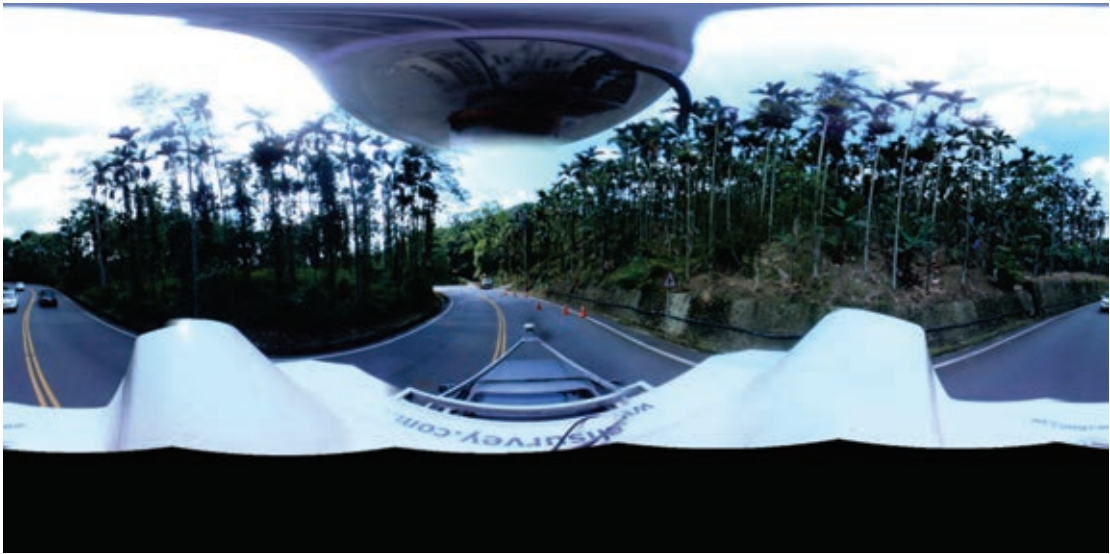


圖 28 720 度環景影像

### 3.4 互動式3D 公路管理系統

#### 3.4.1 Skyline 系統介紹

隨著科技的日新月異，虛擬實境的應用及需求已漸漸成為顯學，本計畫採用美國 SKYLINE 公司所出品的 SkylineGlobe 系列軟體，作為建置基礎 3D 的地形平台，並導入地理資訊系統（GIS）圖層套疊觀念，同時提供強大的即時運算分析能力，建置一可獨立執行、可以轉發散、且具有客製化坐標系統之三維互動式平台。Skyline 擁有「高畫質、高流暢度」等傑出效能表現，可結合航拍照片、衛星影像、地形地貌資訊、高程數值、向量數據及各種格式的特徵數據及分析，透過地形影像及高程數值的加入，顯示如親臨現場般逼真的 3D 環境。

而依據施工補充條款，本計畫採用之系統平台，應具有基本操作、可查詢圖層屬性、量測功能及地形剖面分析、建物 3D 模型展示以及地表潛入等功能，圖 29 為本計畫高精度之 3D 融合地形。分別詳述如下：



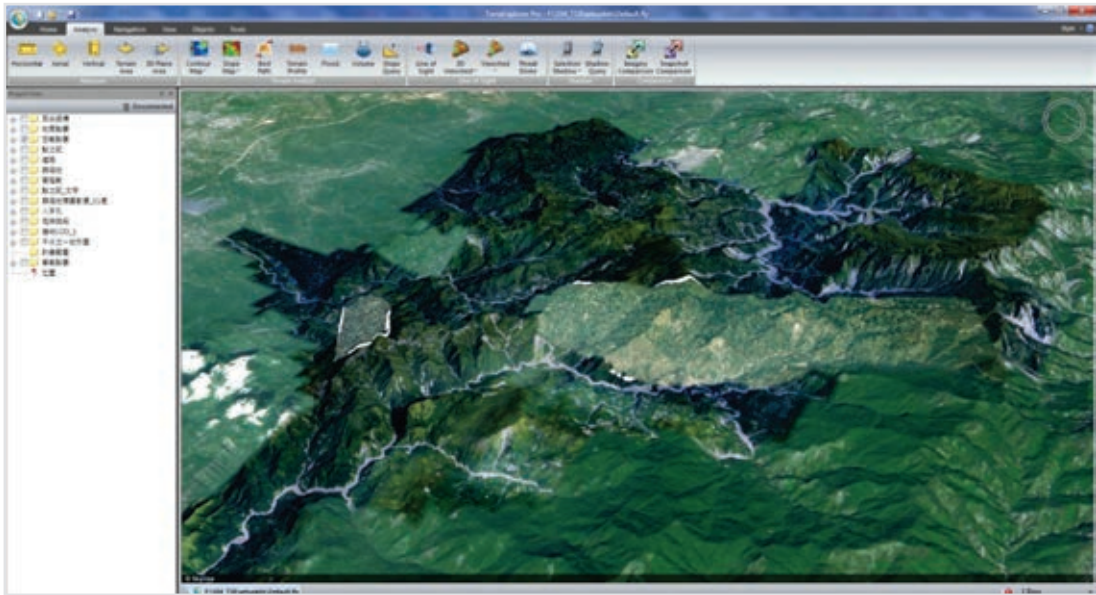


圖 29 本計畫高精度之 3D 融合地形

1. 基本操作：

具備基本操作(放大、縮小、平移、飛行、旋轉)，可藉由滑鼠、鍵盤、搖桿來控制三度空間移動，於 3D 環境下瀏覽者可自行設定移動及飛行參數(飛行的速度、速度增減、離地高度、轉彎及傾角方式)，並具備慣性拖曳及旋轉功能，透過畫面顯示獲得全區之最佳觀察效果。

2. 可查詢圖層屬性：

以本計畫建立的多系統整合的點雲圖資做為背景資料、11 處重點區域及沿線環景影像、8 大項基本數化圖資，提供使用者透過直覺式操作，進行全方位、多角度移動，並可針對任一影像製作快照存檔供展示及說明。

3. 量測功能及地形剖面分析：

系統提供了基本的量測功能，如空間距離、高度、垂直高度、坐標資訊、面積及地形剖面分析（詳見圖 30）等，並提供即時影像資料輸出。

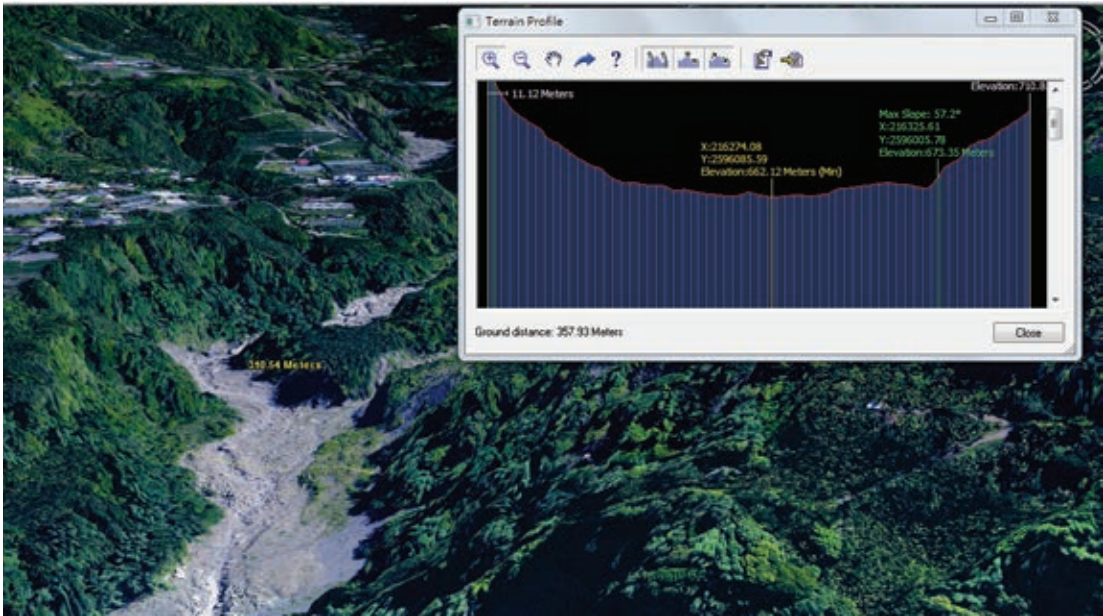


圖 30 地形剖面分析

#### 4. 建物3D 模型展示：

除了單純的數值地形與基礎資料呈現，為能視覺化模擬現場或未來規劃，更直覺化的進行分析應用，三維模型的放入成為GIS資料不可或缺的一部分。針對一般基本建物，將採大範圍尺度之塊狀模型量體，或稱LOD1模型，無屋頂、桁架等構造做為呈現方式（如圖31所示）。

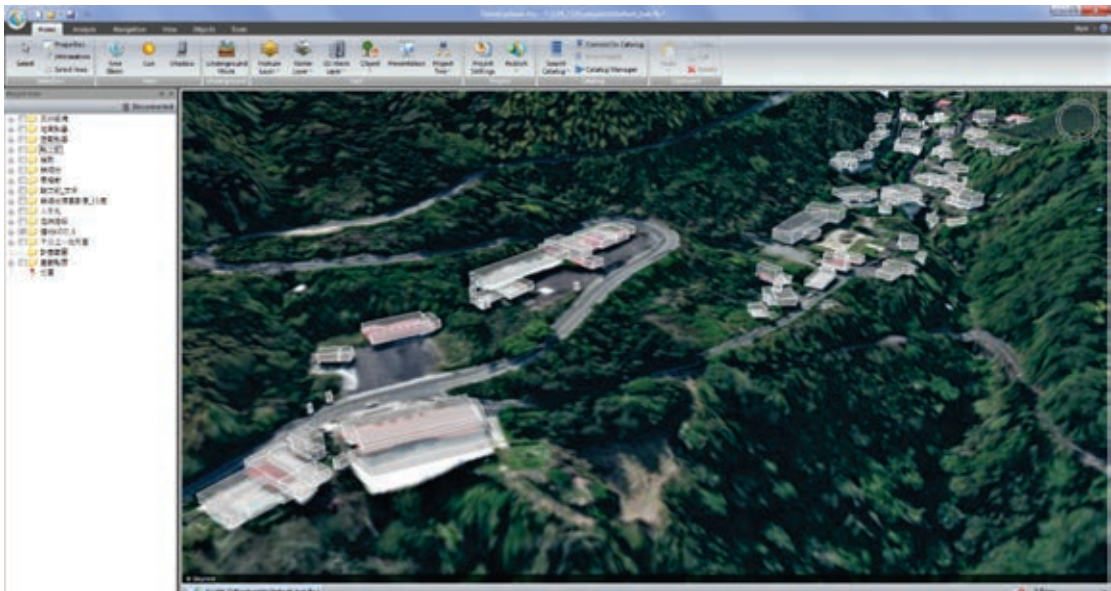


圖 31 建物 3D 模型展示

## 5. 潛入地表下功能：

此外，系統亦支援潛入地表下功能，若後續有要建立地下模型或是管線配置情形，皆可整合於系統，達到資料應用與共享的最大用途，圖 32 為地下模式示意圖。

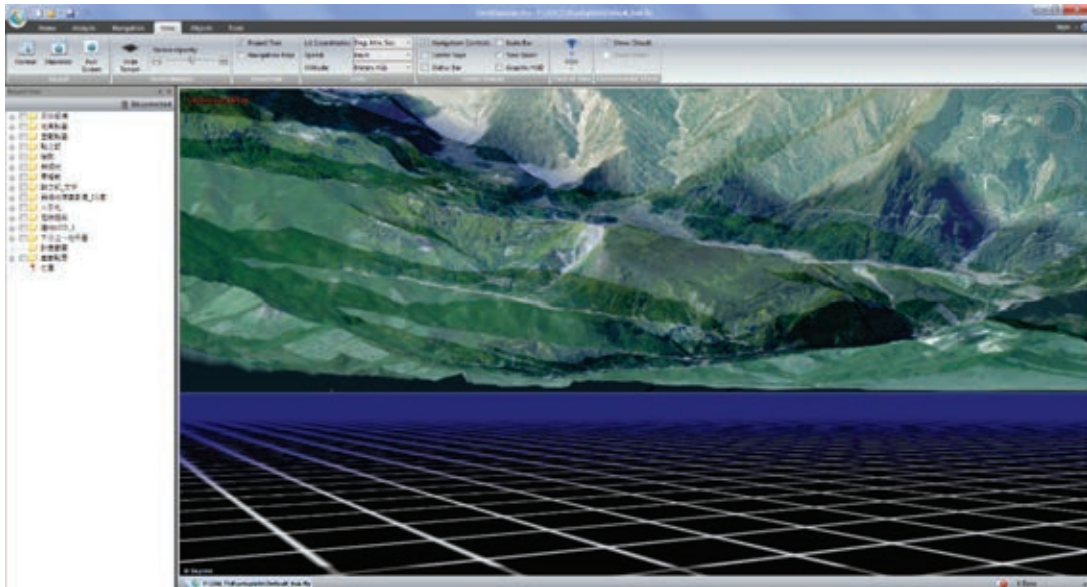


圖 32 開啟地下模式

## 3.4. 2 客製化與基本圖資建置

### 1. 客製化後的系統介面與功能介紹

一個好的管理系統平台，除了具備許多功能，最重要的是，必須要能滿足使用者的需求，打造一個專屬管理系統，透過資訊的分類與程式設定，建置一個「互動式 3D 公路管理系統」，提供快速化、直覺性的中文操作介面。

本計畫提出的互動式 3D 公路管理系統平台（圖 33），除移動、旋轉、量測、截圖等基本操作之外，配合工程相關業務的相關圖資管理（如後小節敘述）及快速查詢功能，再加上 Skyline 獨家專利串流技術處理龐大影像及向量圖資，無論在單機及網際網路上皆可順暢地導覽與呈現，提供高流暢度的巨量資料展示能力。

在整個平台建置完成後，為使資訊流通並獲得更充分的附加導覽價值，系統提供客製化界面的開發，依照使用需求量身打造專屬的互動管理平台，同時透過獨家的地形影像串流技術，讓任何使用者在不能萃取與修改資料的前提之下包裝並發布，提供一般使用者取得快速且穩定的瀏覽模式，除了兼顧單位的資料安全，也提供相同豐富且互動的 3D 虛擬實境呈現，讓真實的資訊與現地緊密結合在一起，達到即時、安全、互動之管理環境。

此外，由於控制點資訊以及里程碑資訊，為道路及邊坡養護重要的一環，因此，於該系統介面裡面，額外新設本計畫新設控制點點之記資料以及公路里程資訊查詢，便於使用者在後續管理以及快速查詢上使用。



圖33 「互動式3D公路管理系統」示意圖

## 2. 基本圖資建立

工程處之業務主要是針對公路之養護與工程設施施工等相關業務，因此，除針對本次計畫需求的基本圖資之外，亦額外提供了向量圖層，和相關分析功能（詳見表 5 所示），俾利於往後資料的管理、處理分析及應用。未來該系統亦可套疊地籍圖資或應用於救災道路分析，進行更多元化之管理應用。

表 5 系統平台提供的分析及圖資功能一覽表

項目	工作內容	資料格式
一、	本計畫基本圖資建置：	
	1M x 1M / 20cm (高精度 DEM/正射影像) 地形融合展現	1. *.DEM 2. *.TIF+TFW
	多尺度點雲展示 (空載、車載以及地面點雲)	*.XYZ
	沿途環景影像 (加值內容)	*.HTML+SHP
	主控制點點之記	*.SHP+PDF
	1/1000 數值地形圖重要圖層	*.SHP
二、	相關向量圖資資訊：	
	里程碑 (業主提供)	*.SHP
	崩塌地展示 (加值內容)	*.SHP
	危險路段分析 (急彎、陡坡) (加值內容)	*.SHP
	人手孔 (加值內容)	*.SHP
	重要建物模型 (加值內容)	*.DAE
三、	系統分析功能：	
	即時量測功能及剖面分析	
	飛行模擬	
	等高線及坡度坡向分析	

(1) 本計畫基本圖資建置

A. 1M x 1M / 20cm (高精度 DEM/正射影像) 地形融合展現

本次計畫 3D 的地形平台建置方面，將使用 TWD97 坐標系統，可方便各項圖資能互相整合和後續計畫資料展示呈現之使用。

3D 地形平台的正射影像底圖使用數位相機搭配空載光達之 DiMACUltraligh P65+所拍攝的高解析度影像圖資，其原始影像的地面解析度可達 15 公分 (GSD)，並搭配 1 米之 DEM 數值高程資料，對於整體 3D 導覽的成果無論在視覺上和精度上皆有很傑出的效果呈現，以助於取得細緻的地形樣貌及致災範圍區域準確地呈現，提供道路邊坡整治優先規劃資料及救災前搶災路線研擬，減少救災黃金時刻。



圖 34 高精度、高解析度地形融合呈現

#### B. 多元尺度點雲呈現

於本次計畫中將依需求提供各種尺度的現場資訊展現，在大範圍地區以空載光達做全區域的資料展現（詳如圖 35），道路兩旁的駁坎資料、隧道資料或是樹林遮蔽嚴重區域，則是透過車載光達進行資料收集，最後於 11 處重點區域進行地面光達的精密資訊建立(圖 36)，並搭配現場環景照片共同展現(圖 37)。可供更細微的資料展示及現地實景展示呈現，利於後續規劃道路及周邊養護工程作業之依據及參考使用。

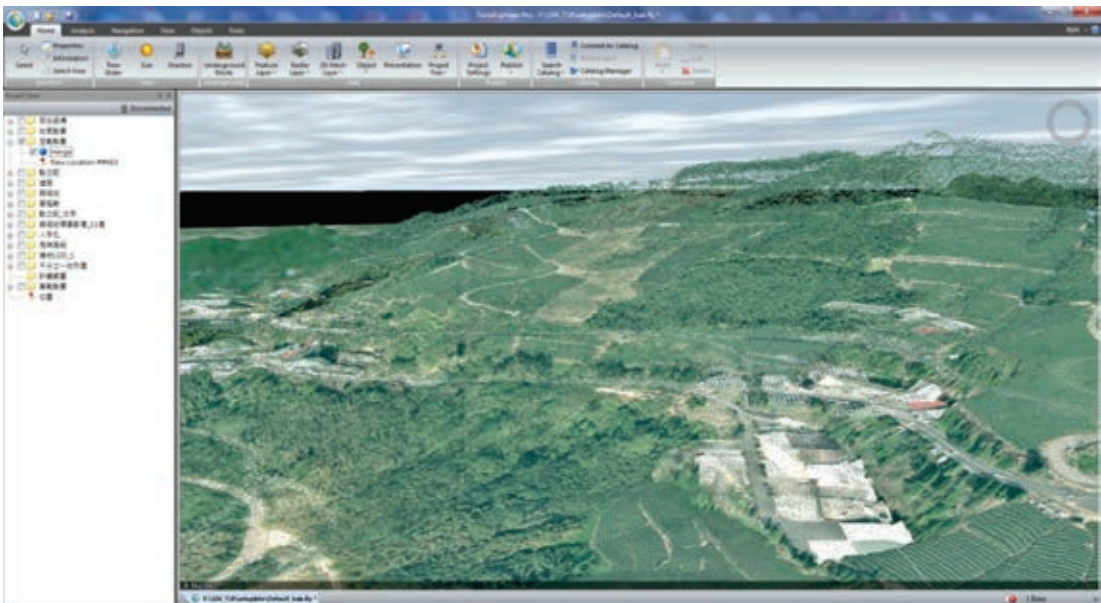


圖 35 大尺度範圍以空載光達點雲呈現



圖 36 重點區域搭配地面點雲呈現



圖 37 輔佐現場環景影像

### C. 主控制點圖層

可將本次計畫中新設主控制點及規劃使用聯測的已知控制點及點之記一同匯入管理系統，方便後續進行測量工程在控制點規劃及使用上的管理及基本資料提供，不需再重新埋設控制點及建立基本資訊，進而減少施工時間及材料費用。



圖 38 主控制點圖層匯入

### D. 1/1000 數值地形圖圖層

匯入本計畫所建置之 1/1000 數值地形圖所有 73 個圖層。



圖 39 千分之一數值地形圖層匯入



(2) 相關向量圖資資訊：

A. 里程碑：

道路中最重要的管理資訊就是里程數，本計畫提供台 18 線之里程資訊套疊於系統中，並提供快速查詢之功能，以提升管理效率，迅速掌握現場狀況，後續如有更新里程碑位置，亦可區分新舊里程碑位置，以便於後續易致災位置新舊里程之對照。

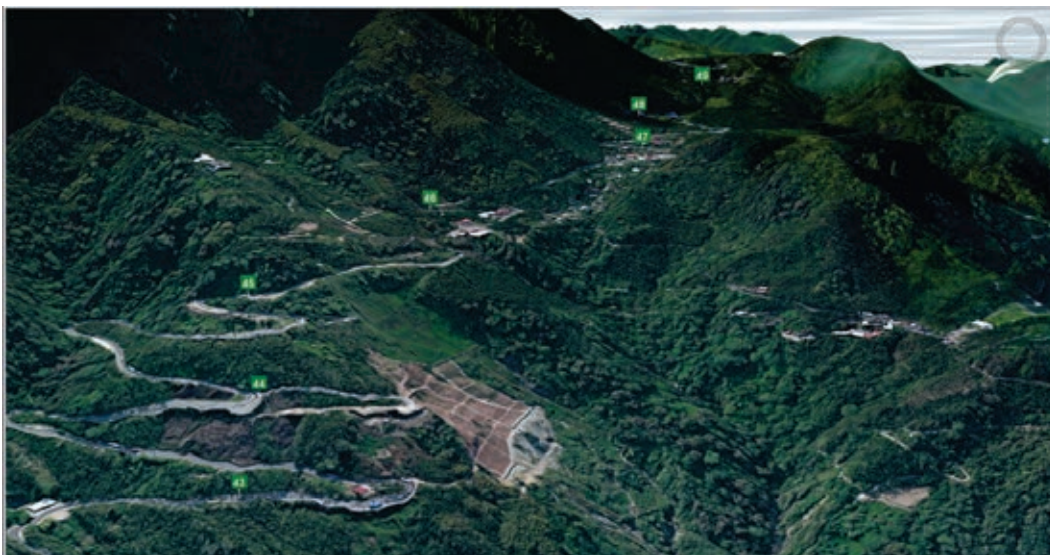


圖 40 里程碑測設及查詢

B. 人手孔：

道路中的管線資訊也是重要的資訊之一，系統可套疊相關人手孔資訊進行展示，並支援地下管線之建置與展示，對於管線工程作業提供明確位置及坐標資料，助於減少尋找人手孔及管線之時間。



圖 41 套疊人手孔資訊

### C. 建物模型：

除了單純的數值地形與基礎資料呈現，為能視覺化模擬現場或未來規劃，更直覺化的進行分析應用，三維模型的放入成為 GIS 資料不可或缺的一部分。本計畫以此次 1/1000 地形圖之建物圖層來進行建置，針對一般基本建物，將採大範圍尺度之塊狀模型量體，無屋頂、桁架等構造做為呈現方式。



圖 42 芙谷峩橋精緻建模

### D. 崩塌地位置路段

台 18 線位於阿里山中，道路常因天氣或周邊地質地形因素造成毀損，因此將進行崩塌地、露頭等位置進行標示，結合於系統中進行展示，日後再增加不同時期之崩塌地資訊並建置災害資料庫，對於易致災區域判釋及歷史災害資料管理具有重要的背景資訊，亦可協助使用者了解阿里山公路上易發生災害之區域以及推估未來災害發生之位置。



圖 43 崩塌地地區標示

## E. 危險路段資訊

而在道路管理中，公路普查的急彎及陡坡等危險路段資訊也是重要的資訊，透過資訊之疊加，提供完整快速的管理系統。而本計畫急彎陡坡的判定規範，則是依照公路總局所制定，公路縱曲線坡度在 7% 以上者之路段為陡坡，平曲線最小半徑小於 50 公尺之彎道則為急彎（詳如圖 44 紅色區域路線）。提供急彎位置告知用路人這些路段需降速駕駛，以避免發生車禍。亦可使用急彎之道路平曲線、坡度等資訊評估道路速限之速度，訂定合適的車速以確保用路人之安全。

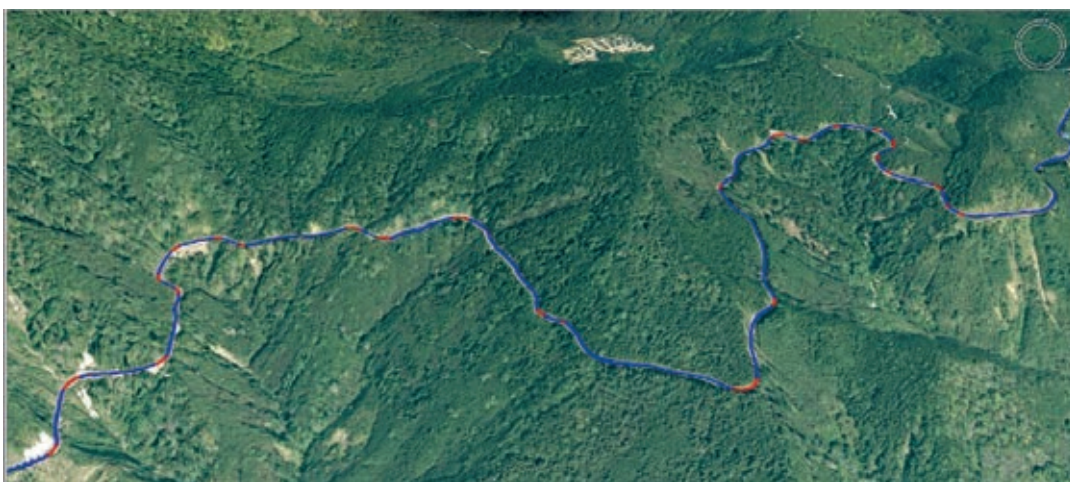


圖 44 紅色區域急彎資訊標註示意圖

### 3.4.3 不同系統間的相容性

SkyLine 系列軟體擁有多元化的資料交換格式，除了提供一般標準的 ShapeFile 的匯入匯出及編修外，更支援 Google 軟體的 KML、KMZ 檔案之匯入匯出，同時針對基礎資料庫、影像資料庫及空間資料庫也提供了直接連結之高相容性。尤其公路總局現有公路管理系統 SafeTaiwan 是架構在 Google Earth，在資料交換及傳輸上，Skyline 可透過 Kml、Kmlz 等 Google Earth 通用格式，快速地將資料進行編修或資料交換，達到資料共享的目的。

## 四、結論與建議

1. 本計畫結合多尺度光達技術（空載光達、車載光達以及地面光達）、地面控制測量以及互動式3D系統平台，完成五彎仔地區（42K~46K）以及福山至阿里山（69K~89K）的基本圖資資料蒐集與建置，總計繳交資料計有多尺度點雲資料、正射影像、數值地形圖、數值地形模型、環景影像、新設已知控制點等項目，如此完備的資料蒐集建置，使其在後續地質的分析應用或是道路管理上成為更有利的資訊與技術。
2. 對於空載光達產製優良1米網格的DEM成果，可以全面監測大範圍的地形情形，亦可透過多時期地形比對，瞭解整個變遷情形。此外，也可產製高精度八方位日照陰影圖，建議交付予地質及土木等專家，作為後續潛勢崩塌地區之分析，保護當地居民與用路人之安全。
3. 光達數值地形為崩塌地監測之重要應用，由空載光達蒐集大範圍面狀資料，車載光達蒐集道路沿線資料，地面光達蒐集重點區域點雲資料，如此多元系統的整合乃為日後資料整合的趨勢，如此高精度之數值高程模型，建議可用以進行山坡地或地表坡度、坡向與剖面之分析。
4. 山坡地之地層經常受到自然界之應力作用而產生滑動、崩壞、落石等現象，在崩塌地地層穩定度監測中，得知地表的變遷情形是一個重要的指標。而高精度DEM資料可反映真實的地表情形，透過不同時期的DEM資料比對，可精準分析出地層是否滑動、土石方量變化情形、崩塌量計算與河道變遷等變異情形。因此，建議應定期辦理圖資更新，將資料加上時間的維度，使其成為4D的資料，透過多期資料的變異分析，便可有效掌握崩塌地的變異情形，提早思考因應對策，避免重大災害發生。

## 參考文獻

1. 交通部公路總局第四區養護工程處（2014）台8線及台14甲線易致災路段調查評估與災害控管計畫委託服務工作成果報告書。
2. 交通部公路總局第五區養護工程處（2014）台18線高精度Lidar測量及互動式公路管理3D GIS建置計畫成果報告書。
3. Appanix, (2018) POSMMS User Manual
4. Optech (2018) Pegasus Summary Specification Sheet
5. TerraSolid, TerraScan, TerraModeler, and TerraMatch User's Guide (2017).

## 臺灣公路工程月刊徵稿簡則

- 一、本刊為交通部公路總局工程同仁業餘進修刊物，歡迎本局同仁及國內外有關公路之工程、經濟、規劃、管理、資訊等未經刊登於其他刊物之研究論著均接受投稿；論文如屬接受公私機關團體委託研究出版之報告書之全部或部份或經重新編稿者，作者應提附該委託單位之同意書，並於論文中加註說明。凡由本刊主動邀稿者，不受上述限制。
- 二、本刊為一綜合性公路工程刊物，下列各類稿件均表歡迎：
  1. 論著：以公路工程之理論著述，創作發明，具有學術價值者為主。
  2. 專題研究：以實際經驗及創見，促進技術之改進者為主。
  3. 譯述：以譯述國外書刊雜誌或工程報導，具有參考或實用價值者為主，長稿予以節譯，如涉及著作權問題，由譯者自行負法律責任。
  4. 實務報導：以報導工程設計、施工、試驗之實際經驗為主。
  5. 法令釋義：以介紹或解釋公路交通法規為主。
  6. 新書介紹：以介紹國內外有關公路工程交通新書為主。
  7. 工程文摘：以介紹國內外有關公路交通工程新知識為主。
  8. 讀者通訊：以反應或解答有關公路交通工程問題為主。
  9. 工程報導：以報導國內公路交通工程動態為主。
  10. 業餘隨筆：以有關工程方面之輕鬆雋永之散文記述為主。
- 三、為便於一次刊出，來稿以一萬五千字為限，其中應包括三百字以內之摘要及三至五個關鍵詞，並請註明姓名、身份證字號、戶籍地址、服務單位、職稱、聯絡地址及電話。
- 四、文稿中需註釋處，請標明上標不加括號序碼，按順序往下連續編號，再於文後條列說明。文稿中之數學式，函數請使用正體字、變數請使用斜體字。圖及表中之中文字請使用新細明體，英文字請使用 Times New Roman 字體，圖原則上不加框、繪圖物件以群組處理，表之框線均採細線。參考文獻請按出現序排列，文中提及時請標明上標加括號序碼，參考文獻資料必須完整無缺，請依序書寫作者姓名、論文篇名、期刊（圖書）題名、卷期、出版社、出版日期、起迄頁碼。
- 五、來稿照片、圖片解析度需清楚（或附寄原版），凡無法清晰辨認及製版者，恕不接受；並請提供 Microsoft Word 2010（含以上）版本之電子檔。
- 六、本刊編輯委員對來稿在不變更其論點之原則下有刪改權，來稿一經發表，依本社規定致稿酬，版權歸本刊所有，其他刊物如需轉載，應同時徵得作者及本刊同意，並註明出處。
- 七、來稿如欲退還稿件請附足郵資。
- 八、投稿請寄臺北市萬華區東園街 65 號 8 樓臺灣公路工程月刊社收。



開放時間

1. 每週一~五, 09:00~16:00。
2. 每週六、日及國定例假日休館, 遇特殊公務需求得除外。
3. 如遇政府公告停止辦公(遇天然災害)或其他緊急事件, 館亦配合暫停開放, 預約參觀者恕不另行通知。



交通部公路總局



交通部公路總局

2018.7/2 - 9/14

Mon-Fri 9:00 - 16:00



2018.7/2 - 9/14

Mon-Fri 9:00 - 16:00



交通部公路總局

2018.7/2 - 9/14

Mon-Fri 9:00 - 16:00

幸福公路館

聯絡地址：10863臺北市萬華區東園街65號1樓  
服務專線：02-2307-0123#2702、2704

# 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 107 年 7 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：先施印通股份有限公司

地 址：10491 臺北市中山區八德路二段 180 號

電 話：(02)8772-5566

中華民國 107 年 7 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)：11297109095019  
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