

ISSN:1812-2868

臺灣公路工程

第 48 卷 第 11-12 期

〈每月 15 日出刊〉



TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vol. 48 No.11-12 Dec. 2022

交通部公路總局

中華民國 111 年 12 月 15 日



封 面 說 明

台3丙線6.1k-集集大橋與攔河堰

陳凱傑 提供



臺灣公路工程

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

中華民國 41 年 11 月 11 日創刊

第 48 卷 第 11-12 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

陳文瑞

社長

林聰利

總編輯

李志隆

總幹事

李崇堂

編輯

鄧文廣 陳進發

李忠璋 蔡宗成

劉雅玲 陳松堂

葉双福 李順成

陳俊堯 劉世桐

吳昭煌 林文雄

郭清水 詹益祥

江金璋 李宗仁

王韻瑾

實務報導

瀝青混凝土成效試驗規範專案推動執行計畫追蹤評估成果

.....顏召宜、朱建東、洪明澤、楊士潔... (2)

多時序遙測影像及高精度光達數值地形模型應用於
山區公路易致災路段評估以台 9 丁線蘇花公路為例

.....林文正、陳鶴仁... (34)

瀝青混凝土成效試驗規範專案推動執行計畫 追蹤評估成果

顏召宜¹、朱建東²、洪明澤³、楊士潔⁴

摘要

本研究係自臺灣各地挑選工程(以下稱專案工程)於施工期程內進行督導，並於完工驗收增列「漢堡車轍輪跡試驗」項目，另挑選與專案工程地理位置及施工日期相近之「非車轍試驗路段」（以下稱同時期非專案工程），兩者進行3年追蹤觀測試驗比較。

專案工程與同時期非專案工程試驗結果顯示，車轍表現專案工程表現與同時期非專案工程相近，試驗結果平均值皆未達到車轍分級(無車轍)。鋪面平整度試驗結果為專案工程略優於同時期非專案工程。現場目視鋪面狀況為專案工程優於同時期非專案工程，且專案工程中現場目視鋪面狀況最差者，成效試驗(漢堡車轍試驗結果)亦為表現最差者，顯示兩者有相關性，故成效試驗優劣能反應出鋪面於服務期間品質。

關鍵字：漢堡車轍輪跡試驗、平整度、現場目視鋪面狀況

壹、前言

本研究為公路總局 105 年「瀝青混凝土成效試驗規範專案推動執行計畫」的追蹤評估，該計畫係 105 年度，自臺灣 5 處挑選工程(專案工程)辦理瀝青混凝土成效試驗，專案工程主要執行內容如下：

- 一、成立「推動小組」於施工期程內進行督導：督導內容包含瀝青混凝土原料重模試驗、拌合廠供料端抽查、工地施工端抽查、施工中取樣試驗及完工後取樣試驗。
- 二、增列施工補充說明及漢堡車轍輪跡試驗驗收規定：專案工程除依據本局施工說明書「技術規定」相關內容辦理外，另於完工驗收階段增列「漢堡車轍輪跡試驗」項

¹ 交通部公路總局材料試驗所 所長

² 交通部公路總局材料試驗所 副所長

³ 交通部公路總局材料試驗所 科長

⁴ 交通部公路總局材料試驗所 助理工程員

目，各專案工程不同階段車轍試驗結果彙整如表 1。

表 1 各專案工程不同階段車轍試驗結果

單位：輪次

專案工程	原料重模	施工中取樣	完工後取樣
甲	9,629	>20,000	8,579、10,656、13,270、 14,664 及 16,512
乙	12,950	>20,000	16,220、18,122、18,184 及 20,000 以上
丙	7,980	>20,000	10,887、11,179 及 17,308
丁	4,318	9,098	4,425 及 4,818
戊	>20,000	>20,000	10,815、12,060 及 13,756

除專案工程外，另外挑選與專案工程地理位置及施工日期相近之「非車轍試驗路段」（同時期非專案工程），上述兩者進行 3 年追蹤評估與比較，以完成本研究。

貳、研究內容

本研究挑選五處進行專案工程及同時期非專案工程進行評估，工程資料及追蹤成效評估執行內容概述如下：

一、工程資料

(一) 基本資料

專案工程及同時期非專案工程基本資料如表 2 所示。

表 2 專案工程及同時期非專案工程基本資料

工程	里程及車道	竣工日期
專案工程甲	北部某省道 16K+000~21K+000 雙向車道	105 年 8 月 18 日
同時期非專案工程甲	北部某省道 14K+167~17K+700 順樁車道(與專案工程甲為同省道)	105 年 8 月 2 日
專案工程乙	中部某省道 187K+099~190K+200 順樁車道	105 年 9 月 7 日
同時期非專案工程乙	中部某省道 187K+099~189K+680 逆樁車道(與專案工程乙為同省道)	105 年 11 月 7 日
專案工程丙	南部某省道 185k+809~190k+293 順樁車道	105 年 8 月 26 日
同時期非專案工程丙	南部某省道 196K+500~198K+500 順樁車道	105 年 10 月 24 日

	(與專案工程丙為同省道)	
專案工程丁	東部某省道 316K+000~318K+400 順逆樁車道	105年10月8日
同時期非專案工程丁	東部某省道 0K+825~4K+750 順逆樁車道	105年11月21日
專案工程戊	南部某省道 155k+765~158k+100 逆樁車道	105年08月31日
同時期非專案工程戊	南部某省道 152k+595~155k+765 順樁車道 (與專案工程戊為同省道)	105年08月21日

(二) 交通量

專案工程及同時期非專案工程交通量如表 3 所示。

表 3 專案工程及同時期非專案工程交通量

工程	年份	路線起迄樁號	方向	各車種車輛數 (輛/日)						
				小型車	大客車	大貨車	全聯結車	半聯結車	機車	合計
甲 (專案工程 及同時期 非專案工程)	106	北部某省道 14K+402~ 20K+994	逆樁	5,065	88	327	0	43	7,972	13,495
			順樁	8,124	139	483	0	43	12,202	20,991
	107		逆樁	5,239	105	204	0	29	6,632	12,209
			順樁	9,311	139	323	0	56	9,419	19,248
乙 (專案工程 及同時期 非專案工程)	106	中部某省道 188K+105~193K+617	逆樁	15,986	530	265	1	37	18,359	35,178
			順樁	15,524	604	269	1	20	16,495	32,913
	107		逆樁	15,361	518	230	0	28	17,321	33,458
			順樁	14,979	561	240	0	23	17,425	33,228
丙 (專案工程 及同時期 非專案工程)	106	南部某省道 185K+205~194K+780	順樁	5,628	38	104	1	18	2,352	8,141
		南部某省道 194K+780~203K+077		5,484	43	196	4	60	3,444	9,231
	107	南部某省道 185K+205~194K+780	順樁	5,497	40	112	2	20	2,763	8,434
		南部某省道 194K+780~203K+077		5,561	37	248	2	35	3,268	9,151
專案工程 丁	106	東部某省道 313K+000~319K+737	逆樁	1,595	23	127	0	109	237	2,091
			順樁	3,008	48	128	0	82	333	3,599

	107		逆樁	2,619	54	147	0	89	471	3,380
			順樁	2,453	76	118	0	81	473	3,201
同時期非 專案工程 丁	106	東部某省道 0K+000~16K+563	逆樁	447	6	8	0	0	208	669
			順樁	582	6	8	0	0	226	822
	107		逆樁	527	6	27	0	0	256	816
			順樁	503	6	21	0	0	263	793
戊 (專案工程 及同時期 非專案工 程)	106	南部某省道 151K+479~160K+400	逆樁	6,314	46	996	3	107	2,092	9,558
			順樁	6,563	47	1,086	7	82	2,287	10,072
	107		逆樁	5,778	41	240	0	20	1,656	7,735
			順樁	4,894	32	165	0	18	1,470	6,579

二、追蹤成效評估執行內容

追蹤成效評估執行內容中，相關試驗部分為現場鋪面表觀、明尼蘇達車轍規沉陷點位量測、瀝青混凝土回收黏度試驗及鋪面平整度，以下分別說明試驗內容及檢驗頻率：

(一) 現場鋪面表觀：有坑洞、車轍、龜裂等行為時，量測或拍照記錄之，用以觀察鋪築後瀝青混凝土的現場使用狀況。檢驗頻率為每月 1 次。量測過程如圖 1。



圖 1 現場目視鋪面狀況進行量測

(二) 明尼蘇達車轍規沉陷點位量測：取道路鋪築長度 20% 的外側範圍進行量測，量測點位置為明尼蘇達車轍規最右側腳位，距標線 10 公分處，主要目的為探討鋪築後瀝青混凝土隨著時間車載的沉陷影響。檢驗頻率為每季 1 次。量測過程如圖 2。



圖 2 明尼蘇達車轍規沉陷點位量測

(三) 瀝青混凝土回收黏度試驗：於驗收時點位前約 1m 處鑽心取樣，進行回收黏度試驗，以分析鋪築後瀝青混凝土黏度與時間的變化關係。惟同時期非專案工程並不進行回收黏度試驗。檢驗頻率為每 2 季 1 次。取樣過程如圖 3。



圖 3 瀝青混凝土回收黏度試驗試體取樣

(四) 鋪面平整度：完工後之 IRI 檢測值為參考組，配合公路總局材料試驗所每年之例行性 IRI 檢測結果做相對比較。量測設備如圖 4。



圖 4 材料試驗所路面檢測車

參、追蹤評估試驗成果

一、專案工程甲及同時期非專案工程甲

(一) 瀝青混凝土回收黏度試驗

專案工程甲試驗結果如表 4，回收黏度結果變化如圖 5。

表 4 回收黏度試驗結果

時間	0 季(鋪設完)	2 季	4 季	6 季	8 季	10 季	12 季
第一組	6,140	9,017	17,700	21,100	19,767	21,900	22,600
第二組	5,850	8,517	11,500	11,400	13,700	19,000	20,100
第三組	6,740	11,100	13,600	15,400	16,200	20,200	20,400

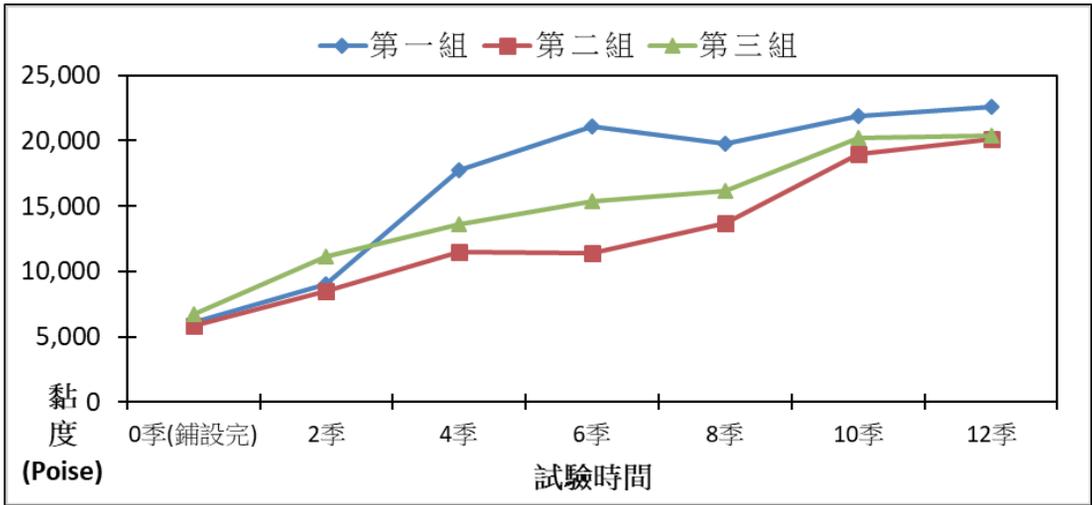


圖 5 回收黏度試驗變化

(二) 明尼蘇達車轍規量測試驗結果

1. 專案工程甲

專案工程甲共量測 100 個點位，量測試驗結果計算如表 5，試驗結果隨時間變化如圖 6。

表 5 明尼蘇達車轍規試驗結果

單位：mm

觀測日期	106.06.07	106.09.08	107.01.22	107.04.27	107.07.04	107.09.21	108.06.17	108.11.20
最大值	3.93	4.21	4.15	3.75	4.2	4.21	4.79	4.75
平均值+1標準差	1.71	1.88	1.96	2.14	2.03	2.19	2.10	2.01
平均值	0.957	1.095	1.066	1.303	1.121	1.283	1.192	1.147
標準差	0.75	0.78	0.89	0.84	0.91	0.91	0.91	0.86
平均值-1標準差	0.21	0.32	0.18	0.46	0.21	0.37	0.28	0.29
最小值	0	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02

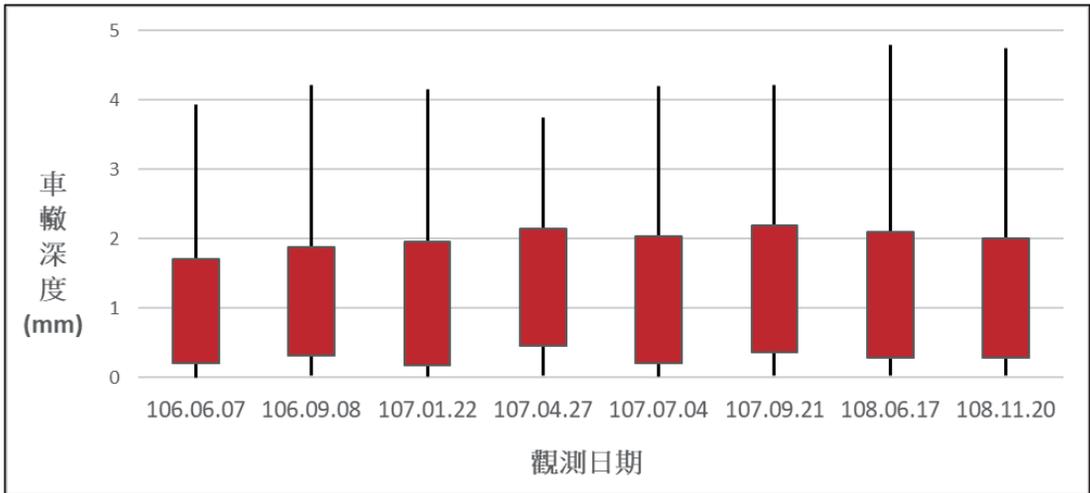


圖 6 明尼蘇達車轍規試驗結果變化

2. 同時期非專案工程甲

同時期非專案工程甲共量測 80 個點位，量測試驗結果計算如表 6，試驗結果隨時間變化如圖 7。

表 6 明尼蘇達車轍規試驗結果

單位：mm

觀測日期	106.06.07	106.09.08	107.01.22	107.04.27	107.07.04	107.09.21	108.06.17	108.11.20
最大值	6.3	5.39	6.51	6.73	7.44	7.16	7.18	7.36
平均值+1標準差	3.51	3.57	4.10	4.69	5.05	5.09	5.01	5.07
平均值	2.018	2.185	2.453	2.759	2.958	3.546	3.048	3.131
標準差	1.49	1.38	1.65	1.93	2.09	1.54	1.96	1.94
平均值-1標準差	0.53	0.81	0.80	0.83	0.87	2.01	1.09	1.19
最小值	0.03	0.05	0.01	0.05	0.04	0.05	0.02	0.04

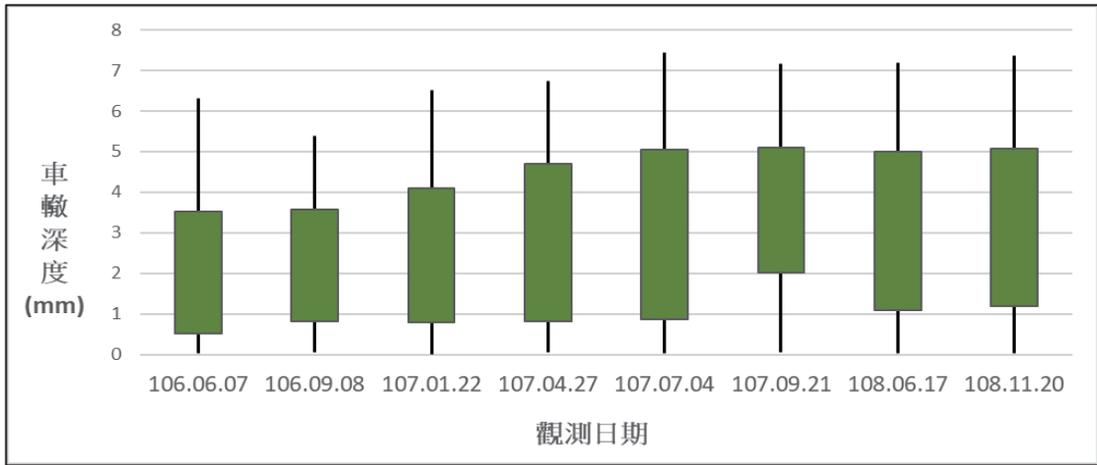


圖 7 明尼蘇達車轍規試驗結果變化

(三) 現場目視鋪面狀況結果

1. 專案工程甲

108 年 11 月 20 日現場目視鋪面發現主要破壞狀況如圖 8。



圖 8 現場目視主要破壞狀況

2. 同時期非專案工程甲

108 年 11 月 20 日現場目視鋪面發現主要破壞狀況如圖 9。



圖 9 現場目視主要破壞狀況

(四) 鋪面平整度

專案工程甲及同時期非專案工程甲鋪面平整度觀測結果如表 7。

表 7 鋪面平整度觀測結果

單位：m/km

專案工程甲					
觀測日期	106.01.19	106.06.13	106.11.22	107.07.13	108.01.09
全路段 IRI 平均值	2.64	2.97	2.70	2.72	2.71
IRI _{100m} 最大值	3.82	4.35	4.33	4.17	4.45
同時期非專案工程甲					
觀測日期	106.01.19	106.06.13	106.11.22	107.07.13	108.03.21
全路段 IRI 平均值	2.93	2.98	3.05	3.16	3.03
IRI _{100m} 最大值	3.34	3.64	3.78	3.84	4.07

註：IRI_{100m} 為每百公尺 IRI 平均值。

(五) 試驗結果分析

1. 回收黏度：試驗結果顯示 3 組數值整體趨勢為隨著時間增加而上升；惟每次觀測鑽心試體取出後，下次觀測為距離 1m 之鑽心試體，為同批鋪設材料但非同一位置試體，致使有些數值為降低(如第一組第 6 季及第 8 季)。
2. 明尼蘇達車轍規：
 - (1) 專案工程試驗結果於觀測日期 107 年 4 月 27 日後，試驗結果之「平均值+1 標準差」數值維持在 2.01~2.19 mm，顯示變化趨於穩定，試驗結果中的「最大值」則略為上升，由 3.75 mm 上升至 4.75 mm，依 ASTM D6433[1]車轍分級規定，深度小於 6mm，皆未達到車轍分級(無車轍)。
 - (2) 同時期非專案工程試驗結果於觀測日期 107 年 7 月 04 日後，試驗結果之「平均值+1 標準差」數值維持在 5.01~5.09 mm，顯示變化趨於穩定，試驗結果中的「最大值」數值亦維持在 7.16~7.44 mm，依 ASTM D6433 車轍分級規定，車轍深度屬於 L 級(6mm~13mm)，輕級。
 - (3) 專案工程優於同時期非專案工程。
3. 現場目視鋪面狀況：專案工程破壞狀況都屬於輕微，同時期非專案工程則有明顯車轍及側擠等狀況，結果顯示專案工程優於同時期非專案工程。
4. 鋪面平整度：
 - (1) 專案工程於觀測日期 106 年 11 月 22 日後，IRI 平均值維持在 2.70~2.72 m/km，顯示變化趨於穩定，IRI_{100m} 最大值則維持在 4.17~4.45 m/km。
 - (2) 同時期非專案工程於觀測日期 106 年 11 月 22 日後，IRI 平均值維持在 3.03~3.16 m/km，顯示變化趨於穩定，IRI_{100m} 最大值則維持在 3.78~4.07 m/km。
 - (3) 全路段 IRI 平均值結果，專案工程優於同時期非專案工程；IRI_{100m} 最大值結果，則為同時期非專案工程優於專案工程。

二、專案工程乙及同時期非專案工程乙

(一) 瀝青混凝土回收黏度試驗

專案工程試驗結果如表 8，回收黏度結果變化如圖 10。

表 8 回收黏度試驗結果

時間	0 季(鋪設完)	2 季	4 季	6 季	8 季	10 季	12 季
第一組	3,700	8,643	8,393	9,783	10,100	20,500	21,800
第二組	4,243	8,173	10,933	12,533	11,700	17,300	19,100

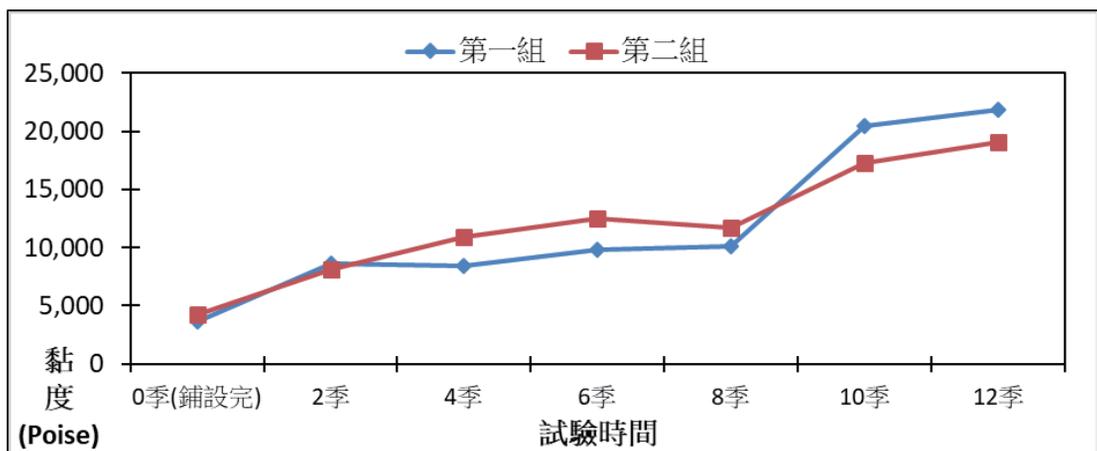


圖 10 回收黏度試驗變化

(二) 明尼蘇達車轍規量測試驗結果

1. 專案工程乙

專案工程乙共量測 60 個點位，量測試驗結果計算如表 9，試驗結果隨時間變化如圖 11。

表 9 明尼蘇達車轍規試驗結果

觀測日期	106.06.29	106.09.25	107.01.11	107.04.09	107.06.25	107.11.19	108.06.24	108.11.21
最大值	4.19	4.43	4.02	4.02	6.04	6.42	6.32	6.22
平均值+1標準差	2.16	2.38	2.22	2.41	3.51	3.70	3.62	3.68
平均值	1.18	1.342	1.257	1.388	2.117	2.293	2.149	2.177
標準差	0.98	1.04	0.96	1.02	1.39	1.41	1.47	1.5
平均值-1標準差	0.20	0.30	0.30	0.37	0.73	0.88	0.68	0.68
最小值	0	0.03	0.05	0.02	0.01	0.07	0.01	0.06

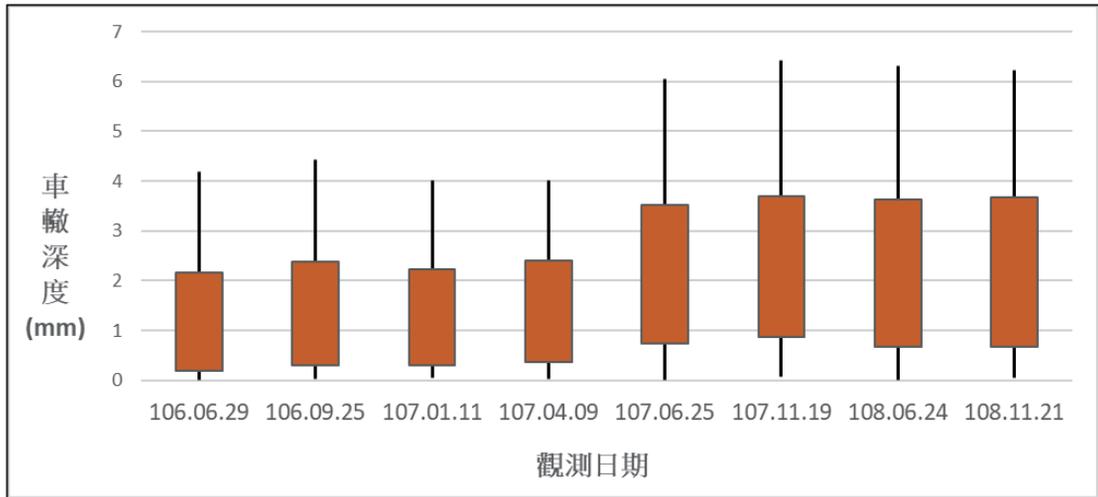


圖 11 明尼蘇達車轍規試驗結果變化

2. 同時期非專案工程乙

同時期非專案工程乙共量測 60 個點位，量測試驗結果計算如表 10，試驗結果隨時間變化如圖 12。

表 10 明尼蘇達車轍規試驗結果

觀測日期	106.06.29	106.09.25	107.01.11	107.04.09	107.06.25	107.11.19	108.06.24	108.11.21
最大值	2.68	3.55	3.11	3.08	5.02	5.01	5.55	5.84
平均值+1標準差	1.83	2.13	1.91	2.00	2.38	3.15	3.62	3.84
平均值	1.079	1.265	1.154	1.182	1.242	1.916	2.379	2.509
標準差	0.75	0.86	0.76	0.82	1.14	1.23	1.24	1.33
平均值-1標準差	0.33	0.41	0.39	0.36	0.10	0.69	1.14	1.18
最小值	0	0.07	0.04	0.01	0.02	0.04	0.16	0.12

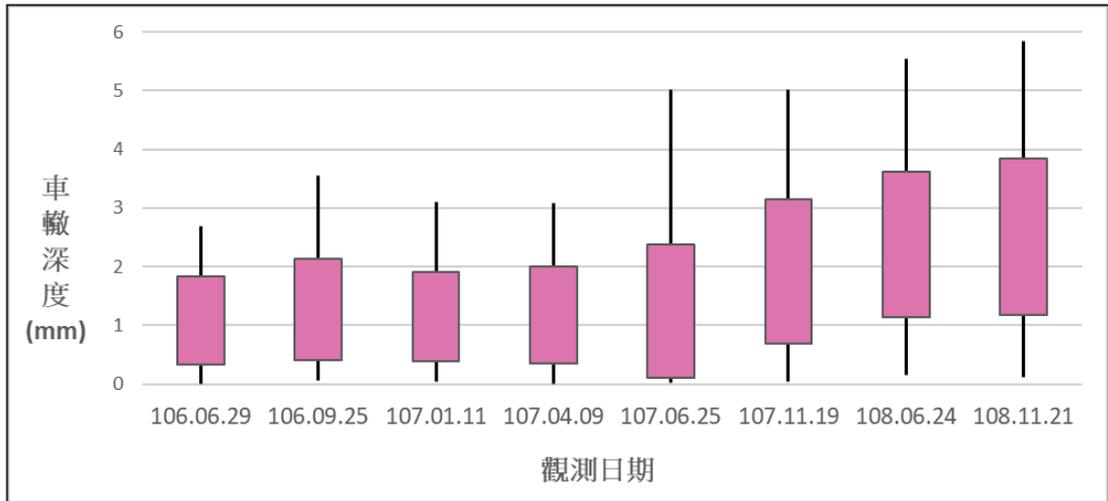


圖 12 明尼蘇達車轍規試驗結果變化

(三) 現場目視鋪面狀況結果

1. 專案工程乙

108 年 11 月 21 日現場目視鋪面發現主要破壞狀況如圖 13。



圖 13 現場目視主要破壞狀況

2. 同時期非專案工程乙

108 年 11 月 21 日現場目視鋪面發現主要破壞狀況如圖 14。



圖 14 現場目視主要破壞狀況

(四) 鋪面平整度

專案工程乙及同時期非專案工程乙鋪面平整度觀測結果如表 11。

表 11 鋪面平整度觀測結果

單位：m/km

專案工程乙				
觀測日期	105.09.05	106.06.07	107.03.22	108.05.14
全路段 IRI 平均值	2.51	2.47	2.72	2.53
IRI _{100m} 最大值	3.45	3.27	4.66	3.33
同時期非專案工程乙				
觀測日期	105.09.05	106.06.07	107.03.22	108.05.14
全路段 IRI 平均值	----	2.14	2.19	2.28
IRI _{100m} 最大值	----	3.24	3.09	3.94

(五) 試驗結果分析

1. 回收黏度：試驗結果顯示 2 組數值整體趨勢為隨著時間增加而上升；惟每次觀測鑽心試體取出後，下次觀測為距離 1m 之鑽心試體，為同批鋪設材料但非同一位置試體，致使有些數值為降低(如第一組第 2 季、第 4 季及第二組第 6 季、第 8 季)。
2. 明尼蘇達車轍規：
 - (1) 專案工程試驗結果於觀測日期 107 年 6 月 25 日後，試驗結果之「平均值+1 標準差」數值維持在 3.51~3.70 mm，顯示變化趨於穩定，試驗結果中的「最大值」維持在 6.04~6.42mm，顯示變化趨於穩定，依 ASTM D6433 車轍分級規定，車轍深度屬於 L 級(6mm~13mm)，屬於輕級。
 - (2) 同時期非專案工程試驗結果於觀測日期 107 年 11 月 19 日後，試驗結果之「平均值+1 標準差」數值維持在 3.15~3.84 mm，顯示變化趨於穩定，試驗結果中的「最大值」數值亦維持在 5.01~5.84 mm，依 ASTM D6433 車轍分級規定，車轍深度小於 6mm，皆未達到車轍分級(無車轍)。
 - (3) 專案工程與同時期非專案工程表現相近。
3. 現場目視鋪面狀況：專案工程及同時期非專案工程破壞狀況都屬輕微，結果顯示專案工程與同時期非專案工程表現相近。
4. 鋪面平整度：
 - (1) 專案工程 IRI 平均值維持在 2.47~2.72 m/km，顯示變化極小，IRI_{100m} 最大值則維持在 3.27~4.66 m/km，顯示變化較大。
 - (2) 同時期非專案工程 IRI 平均值維持在 2.14~2.28 m/km，顯示變化極小，IRI_{100m} 最大值則維持在 3.09~3.94m/km，顯示變化較大且有明顯上升趨勢。
 - (3) IRI 平均值及 IRI_{100m} 最大值結果，同時期非專案工程都略優於專案工程。

三、專案工程丙及同時期非專案工程丙

(一) 瀝青混凝土回收黏度試驗

專案工程試驗結果如表 12，回收黏度結果變化如圖 15。

表 12 回收黏度試驗結果

時間	0 季(鋪設完)	2 季	4 季	6 季	8 季	10 季	12 季
第一組	4,597	5,310	7,873	8,090	9,580	9,470	10,020
第二組	4,817	6,377	9,640	10,300	10,900	9,803	12,200

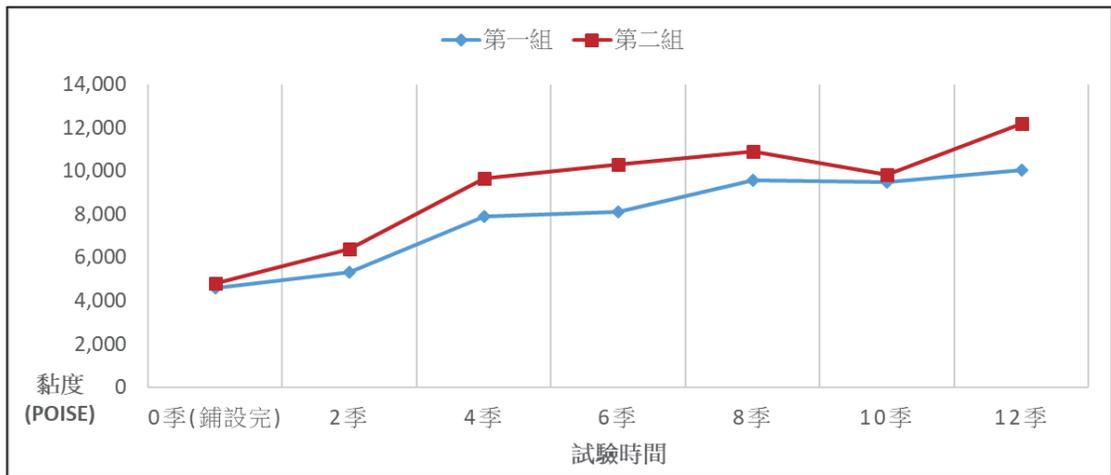


圖 15 回收黏度試驗變化

(二) 明尼蘇達車轍規量測試驗結果

1. 專案工程丙

專案工程丙共量測 100 個點位，量測試驗結果計算如表 13，試驗結果隨時間變化如圖 16。

表 13 明尼蘇達車轍規試驗結果

觀測日期	106.06.21	106.09.20	106.12.07	107.03.21	107.06.21	107.10.04	108.06.12	108.12.05
最大值	2.77	3.17	3.62	3.55	4.35	4.55	4.5	4.52
平均值+1標準差	1.54	1.54	2.16	2.03	2.49	2.09	2.11	2.01
平均值	0.88	0.889	1.365	1.237	1.527	1.305	1.363	1.185
標準差	0.66	0.65	0.79	0.79	0.96	0.78	0.75	0.82
平均值-1標準差	0.22	0.24	0.58	0.45	0.57	0.53	0.61	0.37
最小值	0	0.01	0.04	0.03	0	0.02	0.01	0.01

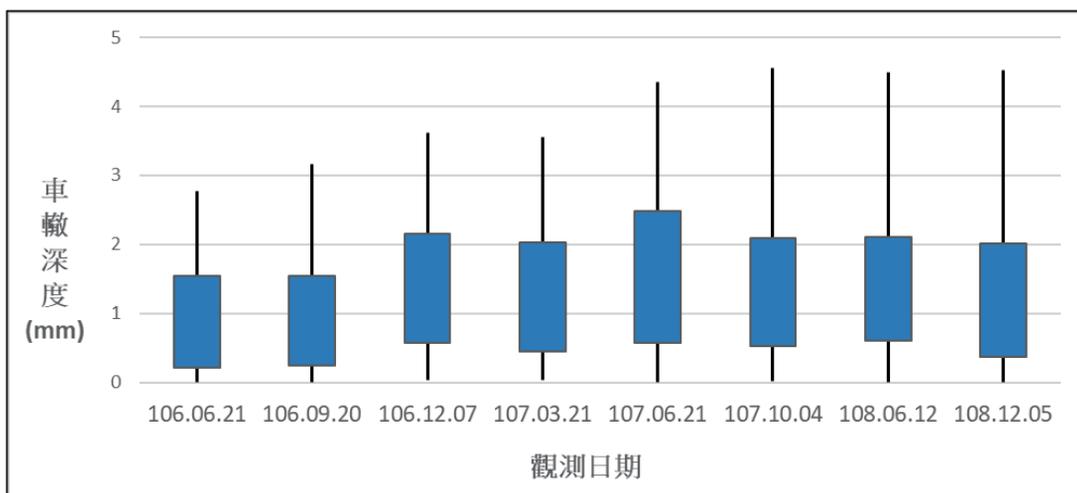


圖 16 明尼蘇達車轍規試驗結果變化

2. 同時期非專案工程丙

同時期非專案工程丙共量測 100 個點位，量測試驗結果計算如表 14，試驗結果隨時間變化如圖 17。

表 14 明尼蘇達車轍規試驗結果

觀測日期	106.06.21	106.09.20	106.12.07	107.03.21	107.06.21	107.10.04	108.06.12	108.12.05
最大值	1.91	2.98	3.9	2.18	5.02	2.58	2.91	3.62
平均值+1標準差	1.22	1.42	1.70	1.36	2.51	1.74	2.16	2.15
平均值	0.715	0.77	0.891	0.762	1.297	1.062	1.397	1.374
標準差	0.5	0.65	0.81	0.6	1.21	0.68	0.76	0.78
平均值-1標準差	0.22	0.12	0.08	0.16	0.09	0.38	0.64	0.59
最小值	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05	0.06	0.09

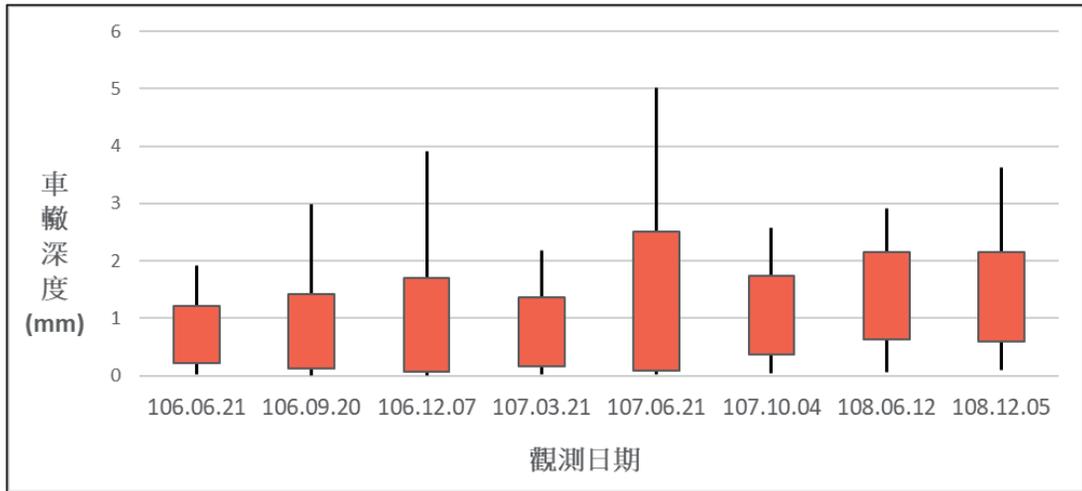


圖 17 明尼蘇達車轍規試驗結果變化

(三) 現場目視鋪面狀況結果

1. 專案工程丙

108 年 12 月 05 日現場目視鋪面發現主要破壞狀況如圖 18。



圖 18 現場目視主要破壞狀況

2. 同時期非專案工程丙

108 年 12 月 5 日現場目視鋪面發現主要破壞狀況如圖 19。



圖 19 現場目視主要破壞狀況

(四) 鋪面平整度

專案工程丙及同時期非專案工程丙鋪面平整度觀測結果如表 15。

表 15 鋪面平整度觀測結果

單位：m/km

專案工程丙			
觀測日期	105.09.12	106.09.08	107.01.12
全路段 IRI 平均值	1.95	2.02	2.14
IRI _{100m} 最大值	2.56	3.51	3.28
同時期非專案工程丙			
觀測日期	105.09.12	106.09.08	107.01.12
全路段 IRI 平均值	----	2.98	2.97
IRI _{100m} 最大值	----	4.19	4.30

(五) 試驗結果分析

1. 回收黏度：試驗結果顯示 2 組數值整體趨勢為隨著時間增加而上升；惟每次觀測鑽心試體取出後，下次觀測為距離 1m 鑽心試體，為同批鋪設材料但非同一位置試體，致使有些數值為降低(如第一組第 8 季、第 10 季及第二組第 8 季、第 10 季)。
2. 明尼蘇達車轍規：
 - (1) 專案工程試驗結果於觀測日期 106 年 12 月 07 日後，試驗結果之「平均值+1 標準差」數值維持在 2.01~2.49mm，顯示變化趨於穩定，試驗結果中的「最大值」數

值亦維持在 3.62~4.52 mm，依 ASTM D6433 車轍分級規定，車轍深度小於 6mm，皆未達車轍分級(無車轍)。

(2) 同時期非專案工程試驗結果，顯示觀測日期 107 年 06 月 21 日整體數值變異較大，以下不列入分析討論。於觀測日期 107 年 03 月 21 日後，試驗結果之「平均值+1 標準差」數值維持在 1.36~2.16 mm，顯示變化趨於穩定，試驗結果中的「最大值」數值亦維持在 2.18~3.62 mm，依 ASTM D6433 車轍分級規定，車轍深度小於 6mm，皆未達車轍分級(無車轍)。

(3) 專案工程與同時期非專案工程表現相近。

3. 現場目視鋪面狀況：專案工程及同時期非專案工程破壞狀況都屬輕微，結果顯示專案工程與同時期非專案工程表現相近。

4. 鋪面平整度：

(1) 專案工程 IRI 平均值維持在 1.95~2.14 m/km，顯示變化趨於穩定，IRI_{100m} 最大值則維持在 2.56~3.51 m/km。

(2) 同時期非專案工程於觀測日期 106 年 11 月 22 日後，IRI 平均值維持在 2.97~2.99 m/km，顯示變化趨於穩定，IRI_{100m} 最大值則維持在 4.08~4.30 m/km。

(3) IRI 平均值及 IRI_{100m} 最大值結果，皆為專案工程略優於同時期非專案工程。

四、專案工程丁及同時期非專案工程丁

(一) 瀝青混凝土回收黏度試驗

專案工程丁試驗結果如表 16，回收黏度結果變化如圖 20。

表 16 回收黏度試驗結果

時間	0 季(鋪設完)	2 季	4 季	6 季	8 季	10 季	12 季
第一組	5,010	9,200	14,800	16,000	22,400	33,100	33,400

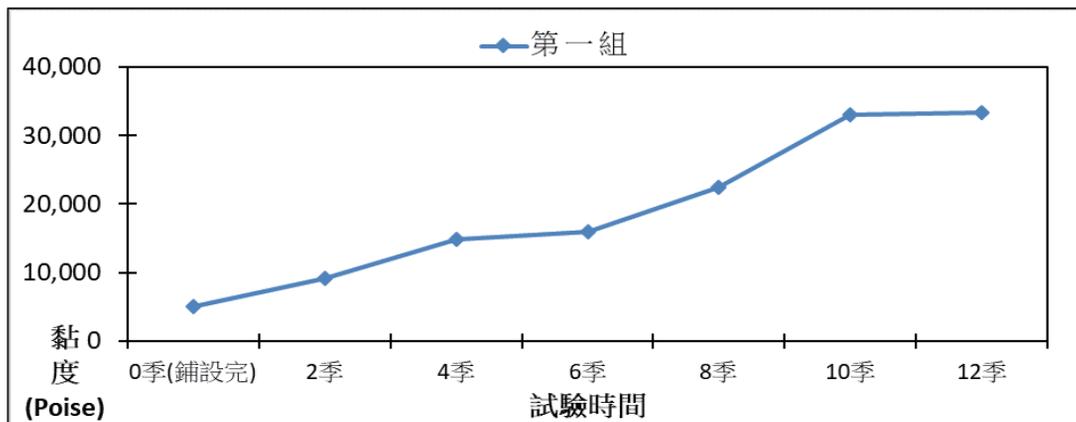


圖 20 回收黏度試驗變化

(二) 明尼蘇達車轍規量測試結果

1. 專案工程丁

專案工程丁共量測 40 個點位，量測試驗結果計算如表 17，試驗結果隨時間變化如圖 21。

表 17 明尼蘇達車轍規試驗結果

觀測日期	106.07.03	106.10.05	107.01.25	107.05.03	107.07.26	107.10.30	108.06.20	108.11.28
最大值	5.53	5.33	4.6	4.48	5.71	4.32	4.92	4.19
平均值+1標準差	3.10	3.09	3.10	2.91	3.16	2.82	3.02	2.69
平均值	5.53	5.33	4.6	4.48	5.71	4.32	4.92	4.19
標準差	0.04	0.25	0.11	0.03	0.2	0.15	0.02	0.11
平均值-1標準差	0.68	0.91	0.80	0.51	0.58	0.50	0.16	0.67
最小值	0.04	0.25	0.11	0.03	0.2	0.15	0.02	0.11

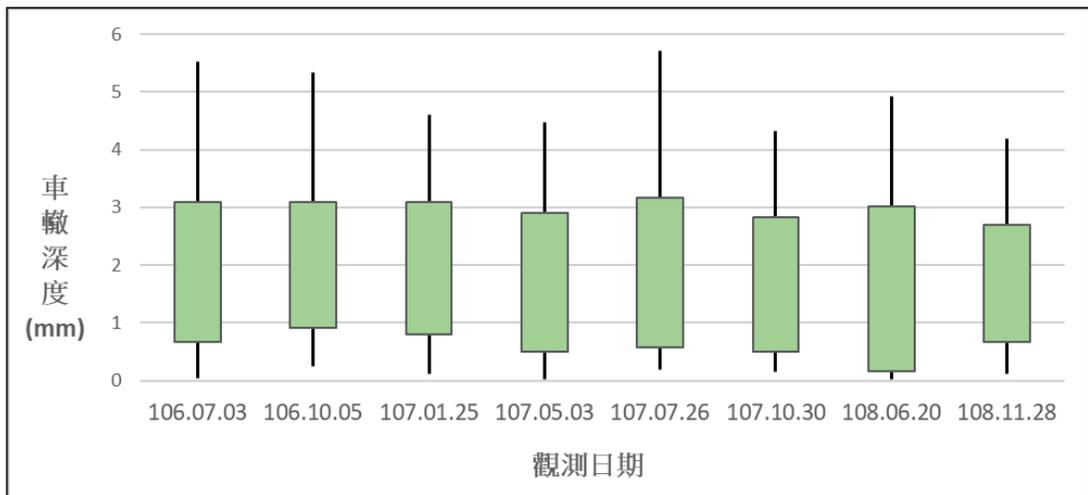


圖 21 明尼蘇達車轍規試驗結果變化

2. 同時期非專案工程丁

同時期非專案工程丁共量測 40 個點位，量測試驗結果計算如表 18，試驗結果隨時間變化如圖 22。

表 18 明尼蘇達車轍規試驗結果

觀測日期	106.07.03	106.10.05	107.01.25	107.05.03	107.07.26	107.10.30	108.06.20	108.11.28
最大值	5.32	5.42	5.64	5.64	3.86	5.71	6.81	5.49
平均值+1標準差	2.91	2.52	2.69	3.02	2.82	3.47	3.18	3.07
平均值	1.611	1.392	1.436	1.756	1.786	1.958	1.71	1.725
標準差	1.3	1.13	1.25	1.26	1.03	1.51	1.47	1.34
平均值-1標準差	0.31	0.26	0.19	0.50	0.76	0.45	0.24	0.39
最小值	0.01	0.05	0.06	0.14	0.12	0.01	0.13	0.02

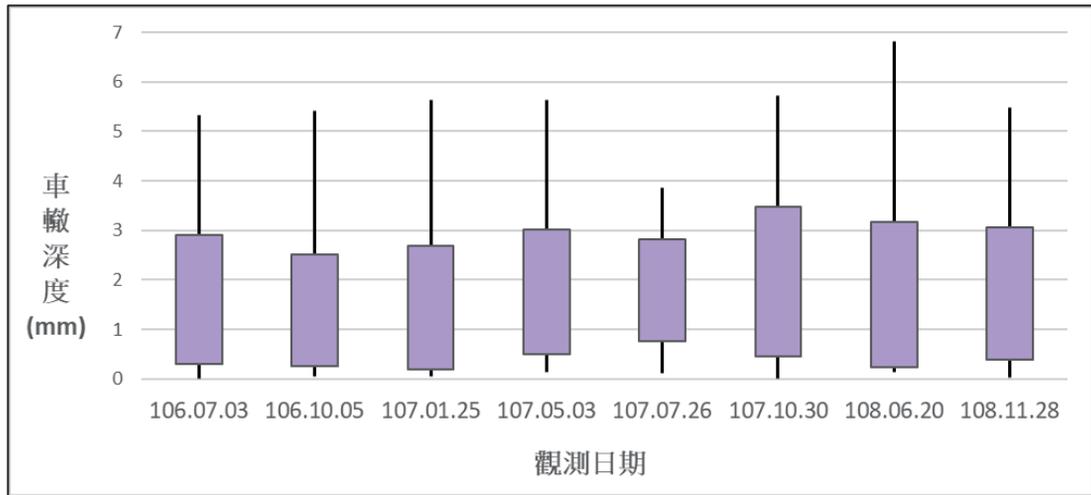


圖 22 明尼蘇達車轍規試驗結果變化

(三) 現場目視鋪面狀況結果

1. 專案工程丁

108 年 11 月 28 日現場目視鋪面發現主要破壞狀況如圖 23。

	
<p>輕微裂縫</p>	<p>輕微裂縫</p>
	
<p>裂縫</p>	<p>輕微冒油</p>
	
<p>輕微裂縫</p>	<p>裂縫</p>
	
<p>鏽斑</p>	<p>鏽斑</p>

圖 23 現場目視主要破壞狀況

2. 同時期非專案工程丁

108 年 11 月 28 日現場目視鋪面發現主要破壞狀況如圖 24。

	
材料析離	輕微裂縫
	
凹陷與裂縫	裂縫
	
車轍及裂縫	裂縫

圖 24 現場目視主要破壞狀況

(四) 鋪面平整度

專案工程丁及同時期非專案工程丁鋪面平整度觀測結果如表 19。

表 19 鋪面平整度觀測結果

單位：m/km

專案工程丁				
觀測日期	106.01.10	106.07.19	107.01.10	108.03.26
全路段 IRI 平均值	2.26	2.34	2.44	2.48
IRI _{100m} 最大值	3.54	3.69	3.95	4.76
同時期非專案工程丁				
觀測日期	105.11.30	106.07.19	107.01.10	108.04.17
全路段 IRI 平均值	3.33	3.31	3.33	3.44
IRI _{100m} 最大值	5.39	5.91	5.53	5.73

(五) 試驗結果分析

1. 回收黏度：試驗結果顯示整體趨勢為隨著時間增加而上升。
2. 明尼蘇達車轍規：
 - (1) 專案工程試驗結果，試驗結果之「平均值+1 標準差」數值維持在 2.69~3.16mm，顯示變化穩定，試驗結果中的「最大值」數值亦維持在 4.19~5.71 mm，依 ASTM D6433 車轍分級規定，車轍深度小於 6mm，皆未達到車轍分級(無車轍)。
 - (2) 同時期非專案工程試驗結果，顯示觀測日期 107 年 07 月 26 日整體數值變異較大，以下不列入分析討論。於觀測日期 107 年 05 月 03 日後，試驗結果之「平均值+1 標準差」數值維持在 3.02~3.47 mm，顯示變化趨於穩定，試驗結果中的「最大值」數值亦維持在 5.49~6.81 mm，依 ASTM D6433 車轍分級規定，車轍深度屬於 L 級(6mm~13mm)，屬於輕級。
 - (3) 專案工程表現優於同時期非專案工程。
3. 現場目視鋪面狀況：專案工程破壞狀況大都屬於輕微，同時期非專案工程則有明顯凹陷、裂縫及車轍等狀況，結果顯示專案工程優於同時期非專案工程。
4. 鋪面平整度：
 - (1) 專案工程 IRI 平均值維持在 2.26~2.48 m/km，顯示變化穩定，IRI_{100m} 最大值則維持在 3.54~4.76 m/km。
 - (2) 同時期非專案工程 IRI 平均值維持在 3.31~3.44 m/km，顯示變化穩定，IRI_{100m} 最大值則維持在 5.39~5.91 m/km。
 - (3) IRI 平均值及 IRI_{100m} 最大值結果，專案工程皆優於同時期非專案工程。

五、專案工程戊及同時期非專案工程戊

(一) 瀝青混凝土回收黏度試驗

專案工程試驗結果如表 20，回收黏度結果變化如圖 25。

表 20 回收黏度試驗結果

時間	0 季(鋪設完)	2 季	4 季	6 季	7 季
第一組	5,110	7,970	7,340	8,750	11,800
第二組	5,897	6,980	10,367	11,600	17,400

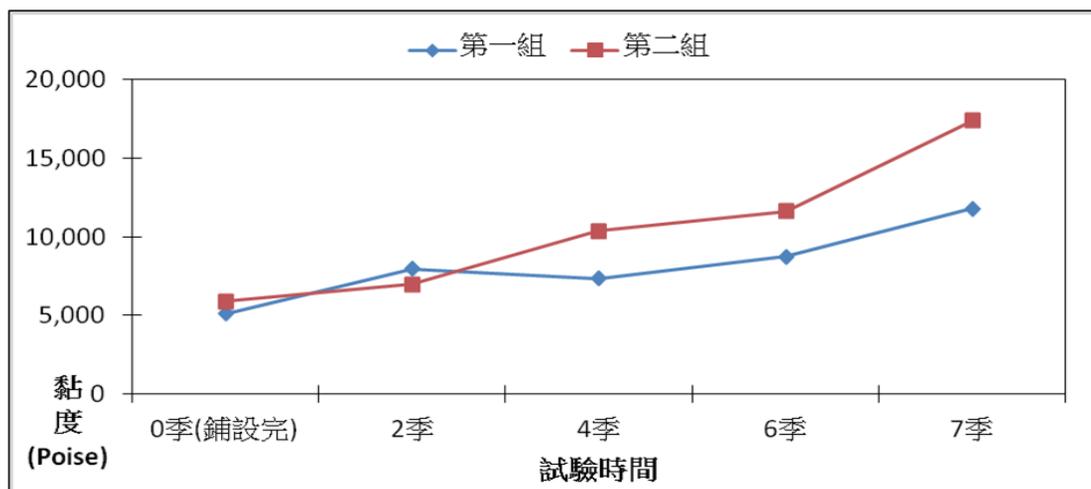


圖 25 回收黏度試驗變化

(二) 明尼蘇達車轍規量測試驗結果

1. 專案工程戊

專案工程共量測 60 個點位，量測試驗結果計算如表 21，試驗結果隨時間變化如圖 26。

表 21 明尼蘇達車轍規試驗結果

觀測日期	106.07.05	106.10.17	107.01.17	107.04.23	107.08.08
最大值	3.42	3.19	3.11	3.91	3.92
平均值+1 標準差	2.11	2.02	1.99	2.21	2.41
平均值	1.33	1.308	1.257	1.284	1.399
標準差	0.78	0.71	0.73	0.93	1.01
平均值-1 標準差	0.55	0.60	0.53	0.35	0.39
最小值	0.01	0.14	0.04	0.02	0

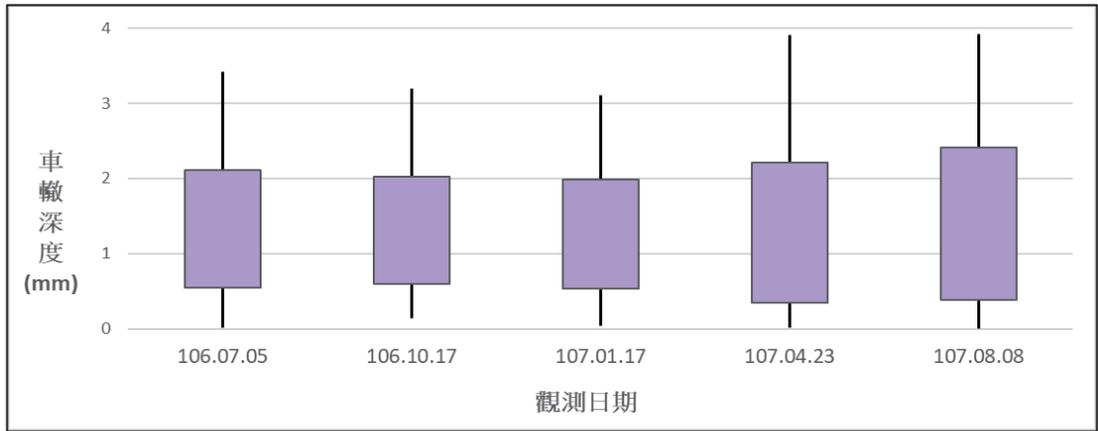


圖 26 明尼蘇達車轍規試驗結果變化

2. 同時期非專案工程戊

同時期非專案工程共量測 60 個點位，量測試驗結果計算如表 22，試驗結果隨時間變化如圖 27。

表 22 明尼蘇達車轍規試驗結果

觀測日期	106.07.05	106.10.17	107.01.17	107.04.23	107.08.08
最大值	1.94	3.1	3.4	3.09	3.99
平均值+1 標準差	1.18	1.43	1.98	1.96	3.01
平均值	0.66	0.779	1.28	1.212	2.202
標準差	0.52	0.65	0.70	0.75	0.81
平均值-1 標準差	0.14	0.13	0.58	0.46	1.39
最小值	0	0	0.11	0.11	0.48

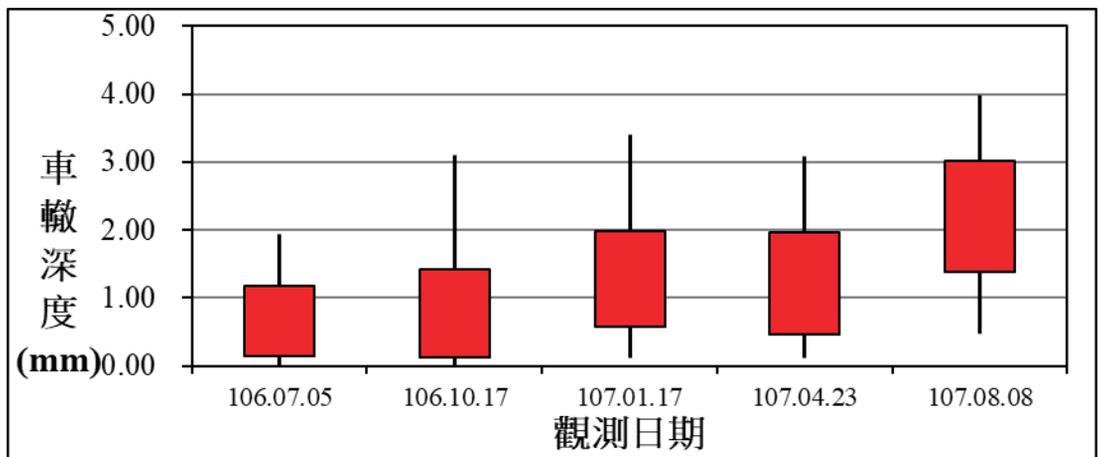


圖 27 明尼蘇達車轍規試驗結果變化

(三) 現場目視鋪面狀況結果

1. 專案工程戊

107 年 08 月 08 日現場目視鋪面發現主要破壞狀況如圖 28。



圖 28 現場目視主要破壞狀況

2. 同時期非專案工程戊

107 年 8 月 8 日現場目視鋪面發現主要破壞狀況如圖 29。



圖 29 現場目視主要破壞狀況

(四) 鋪面平整度

專案工程戊及同時期非專案工程戊鋪面平整度觀測結果如表 23。

表 23 鋪面平整度觀測結果

單位：m/km

專案工程戊			
觀測日期	105.12.15	106.09.08	107.03.30
全路段 IRI 平均值	2.18	2.31	2.31
IRI _{100m} 最大值	2.90	3.18	3.59
同時期非專案工程戊			
觀測日期	105.12.15	106.09.08	107.03.30
全路段 IRI 平均值	2.42	2.42	2.55
IRI _{100m} 最大值	2.39	2.39	4.91

(五) 試驗結果分析

1. 回收黏度：試驗結果顯示 2 組數值整體趨勢為隨著時間增加而上升；惟每次觀測鑽心試體取出後，下次觀測為距離 1m 鑽心試體，為同批鋪設材料但非同一位置試體，致使有些數值為降低(如第一組第 2 季、第 4 季)。
2. 明尼蘇達車轍規：
 - (1) 專案工程試驗結果，試驗結果之「平均值+1 標準差」數值維持在 1.99~2.41mm，顯示變化穩定，試驗結果中的「最大值」數值亦維持在 3.11~3.92 mm，依 ASTM D6433 車轍分級規定，車轍深度小於 6mm，皆未達車轍分級(無車轍)。
 - (2) 同時期非專案工程試驗結果，試驗結果之「平均值+1 標準差」數值由 1.19 mm 上升至 3.01mm，變化趨勢為上升，試驗結果中的「最大值」數值亦由 1.94 mm 上升至 3.99mm，變化趨勢亦為上升，依 ASTM D6433 車轍分級規定，車轍深度小於 6mm，皆未達車轍分級(無車轍)。
 - (3) 專案工程表現略優於同時期非專案工程。
3. 現場目視鋪面狀況：專案工程及同時期非專案工程破壞狀況都屬輕微，結果顯示專案工程與同時期非專案工程表現相近。
4. 鋪面平整度：
 - (1) 專案工程 IRI 平均值維持在 2.18~2.31 m/km，顯示變化穩定，IRI_{100m} 最大值則維持在 2.90~3.59 m/km。
 - (2) 同時期非專案工程 IRI 平均值維持在 2.42~2.55 m/km，顯示變化穩定，IRI_{100m} 最大值則維持在 2.39~4.91 m/km。
 - (3) IRI 平均值及 IRI_{100m} 最大值結果，專案工程皆優於同時期非專案工程。

六、綜合分析

(一) 回收黏度：各工程試驗結果顯示趨勢隨著時間增加而上升。整理各工程最後 1 次試驗結果如下表 24，其中最高為專案工程丁 33,400 Poises。

表 24 各工程最後 1 次回收黏度試驗數值

工程	專案工程甲			專案工程乙		專案工程丙		專案工程丁	專案工程戊	
	第一組	第二組	第三組	第一組	第二組	第一組	第二組	第一組	第一組	第二組
試驗數值	22,600	20,100	20,400	21,800	19,100	10,200	12,200	33,400	11,800	17,400

(二) 明尼蘇達車轍規：各工程觀測結果，甲、丁及戊為專案工程表現優於同時期非專案工程，乙及丙為專案工程表現與同時期非專案工程表現相近。

(三) 現場目視鋪面狀況：甲及丁，結果顯示專案工程表現優於同時期非專案工程；乙、丙及戊，結果顯示專案工程與同時期非專案工程表現相近。

(四) 鋪面平整度：

1. IRI 平均值：甲、丙、丁及戊，專案工程皆優於同時期非專案工程；乙則是同時期非專案工程優於專案工程。
2. IRI_{100m} 最大值：丙、丁及戊，專案工程皆優於同時期非專案工程；甲及乙，則是同時期非專案工程優於專案工程。
3. 整理各工程最後 1 次觀測，IRI 平均值及 IRI_{100m} 最大值結果如下表 25。專案工程在 IRI 平均值最大值為甲 2.71，IRI_{100m} 最大值為丁 4.76；同時期非專案工程在 IRI 平均值最大值為丁 3.44，IRI_{100m} 最大值為丁 5.73。顯見綜合分析結果，專案工程優於同時期非專案工程。

表 25 各工程最後 1 次鋪面平整度數值

單位：m/km

位置	甲		乙		丙		丁		戊	
	專案工程	非專案工程								
全路段 IRI 平均值	2.71	3.03	2.53	2.28	2.14	2.99	2.48	3.44	2.31	2.55
IRI _{100m} 最大值	4.45	4.07	3.33	3.94	3.28	4.08	4.76	5.73	3.59	4.91

肆、結論與建議

- 一、回收黏度試驗結果隨著時間增加而上升，且其試驗數值應有其合理性。
- 二、車轍表現，整體而言，專案工程表現與同時期非專案工程相近，且各地專案工程與同時期非專案工程，試驗結果平均值皆未達到車轍分級(無車轍)。
- 三、現場目視鋪面狀況，整體而言，5 個專案工程中，主要破壞狀況數量以丁最多，表現最差；比較各專案工程與同時期非專案工程，則專案工程優於同時期非專案工程，惟各同時期非專案工程亦沒有嚴重破壞，如坑洞、重級車轍....等狀況，顯見各養護單位於工程出現狀況時，都有即時給予處理，使專案工程與同時期非專案工程，於定期觀測時間至現地目視，有一些局部修補，但都無明顯且嚴重破壞。
- 四、鋪面平整度，整體而言，專案工程表現略優於同時期非專案工程。
- 五、綜合上述 5 點，本追蹤評估達成效果與收穫，綜整如下：
 - (一) 專案工程在鋪面平整度略優於同時期非專案工程，顯見專案工程之推動過程確實能提升工程品質。
 - (二) 不論是專案工程或同時期非專案工程，試驗結果都表現良好。推測其原因，應為專案工程推動期間，嚴格督導，帶動同時期非專案工程提升品質，效果良好；證實專案工程推動過程中，對其他工程有相互砥礪與正面影響之效益。
 - (三) 專案工程丁成效試驗(漢堡車轍試驗結果)為 5 個專案工程中表現最差，現場目視鋪面狀況亦為表現最差，兩者有相關性，故成效試驗優劣能反應出鋪面於服務期間品質。
 - (四) 因為有超過 3 年試驗及觀測，對於「回收黏度試驗與時間關係」實際狀況，獲得更確切且合理之數據。

伍、參考文獻

- [1] ASTM D6433-18 Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys, ASTM。

多時序遙測影像及高精度光達數值地形模型應用於山區公路易致災路段評估以台 9 丁線蘇花公路為例

林文正¹、陳鶴仁²

摘要

蘇花公路係位於臺灣東海岸的幹線公路，自 1932 年開通，1990 年全線解除單向行車管制，至今已逾數十年，由於極端氣候之威脅，在颱風、豪雨來臨之際，常面臨邊坡落石、土石崩滑、路基流失，造成交通阻斷，甚至危及用路人行車安全，為我國公路近十年來致災風險最高路段之一。

面對這些天災難測隨時可能遭受侵襲之易致災路段，亟須建構一套具全面性的整體治理與有效性的安全管控策略規劃，以達成公路防災減災之管控效能，提升蘇花公路整體用路安全。爰此，交通部公路總局第四區養護工程處(以下簡稱本處)委託聯合大地工程顧問股份有限公司(以下簡稱聯合大地)辦理「台 9 線蘇花公路 104K+600~181K+266(蘇澳至崇德)易致災路段調查評估與監測暨轄區隧道整體檢查委託服務工作(以下簡稱本計畫)」。

本計畫為易致災路段調查評估與處置方案研提，內容為藉由歷年航照資料、高解像力衛星影像資料、歷史災害資料及相關單位歷史致災資料蒐集等，配合空載光達掃描技術操作與資料獲取，研提並執行易致災路段劃定與現地調查方法，期能儘速掌握相關路段致災原因，進而規劃易致災路段後續處置方案，提升蘇花公路蘇澳至崇德段整體用路安全，並提出蘇花公路易致災路段之整體治理與安全管控策略規劃，以維蘇花公路整體用路安全，達到公路防災減災之管控效能。此外，本計畫應用衛星雷達干涉影像分析，配合空載光達地形特徵判釋成果，了解案例邊坡內長期地表變形分布特性，供日後參考應用。除易致災路段外，本計畫另辦理南澳工務段轄管隧道整體安全檢查，並建立隧道初步調查結果圖資系統，俾利日後隧道營運維護之管理。

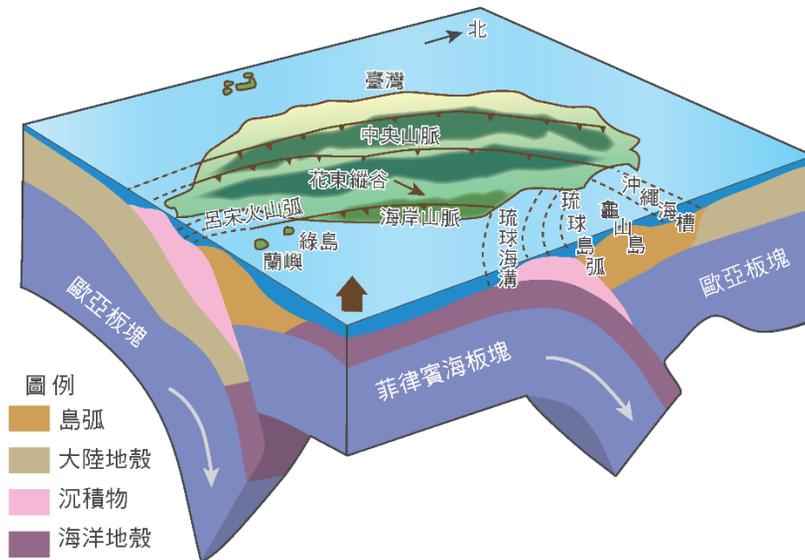
關鍵字：光達、易致災調查、航照

¹ 交通部公路總局第四區養護工程處南澳工務段和仁監工站 站長

² 交通部公路總局第四區養護工程處南澳工務段 段長

一、前言

臺灣位處歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的邊界(圖 1.1)擠壓之特性，造成山多平原少的地形條件，且受中央山脈南北走向阻隔影響，致使臺灣東西兩地之交通與基礎建設頻受限制。自十九世紀末邁向現代化開發以來，邊坡工程總是關鍵建設項目，而百餘年來的成果亦十分斐然，大量密佈的公路網分佈於全國。然臺灣受到板塊運動影響，地質作用強烈且頻繁，近年受到全球氣候變遷極端事件加劇的影響，完工營運的公路邊坡破壞阻斷交通的事件時有所聞(大地工程學會，2011)，除了邊坡破壞直接造成的受災損失外，災前的預警性道路封閉或受災時的交通阻斷影響災害防救業務的調度，災後的復建工程也往往因時程壓力，工期較長的治本方案難於實施(林銘郎等，2013)，高度影響了社會經濟的永續發展。



(底圖來源：中央氣象局)

圖 1.1 臺灣的板塊構造示意圖

本計畫履約標的為「台 9 線蘇花公路 104K+600~181K+266(蘇澳至崇德)易致災路段調查評估與監測委託服務工作」，全長約 77 km，工作面積約 432 km²，其工作範圍如圖 1.2 所示。因應「台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫(以下簡稱蘇花改)」，蘇花改全線於 109 年 1 月通車，蘇花改路段為台 9 線，而原舊蘇花公路則更名為台 9 丁線，故本計畫里程樁號調整為台 9 丁線 1 k+850~台 9 線 167 k+800。另本計畫需辦理南澳工務段轄區之隧道檢查工作(不含蘇花改隧道)，其工作範圍如表 1.1 所示。工作項目與內容如表 1.2 所示



圖 1.2 本案工作委託範圍(隧道總體檢查除外)

表 1.1 隧道總體檢查工作範圍

項次	路線	新樁號	舊樁號	隧道名稱	長度(m)	淨寬(m)	襯砌材料	車道數
1	台 2 線	168k+083		新蘭陽隧道	895	9.6	混凝土	2
2	台 2 線	168k+114		舊蘭陽隧道	895	9	混凝土	2
3	台 9 丁線	21k+616	124k+348	新澳隧道 (新)	1267	8.5	混凝土	2
4	台 9 丁線	21k+640	124k+356	新澳隧道 (舊)	1162	5	混凝土	1
5	台 9 丁線	51k+819	154k+680	澳花隧道	488.7	7.5	混凝土	2
6	台 9 丁線	60k+182	162k+938	和平隧道	839.3	7	噴凝土	2
7	台 9 丁線	61k+776	164k+616	和中隧道	372	7.5	混凝土	2
8	台 9 丁線	62k+192	165k+032	和仁隧道	823	7.5	混凝土	2
9	台 9 丁線	65k+773	168k+380	無名隧道	29	7.3	噴凝土	2
10	台 9 丁線	67k+013	169k+630	仁清隧道	200	7.5	混凝土	2
11	台 9 丁線	67k+859	170k+490	和清隧道	314.9	7.5	混凝土	2
12	台 9 線	158k+620	172k+090	大清水隧道	600	7.5	混凝土	2
13	台 9 線	159k+239	172k+720	13 號隧道	735	7.2	噴凝土	2

項次	路線	新樁號	舊樁號	隧道名稱	長度(m)	淨寬(m)	襯砌材料	車道數
14	台9線	159k+659	173k+140	錦文隧道	440	7.5	混凝土	2
15	台9線	161k+159	174k+650	滙德隧道	1460	7.5	混凝土	2
16	台9線	162k+986	176k+470	崇德隧道	325	7.5	混凝土	2
隧道總長：10,845.9 m								

表 1.2 工作項目與內容

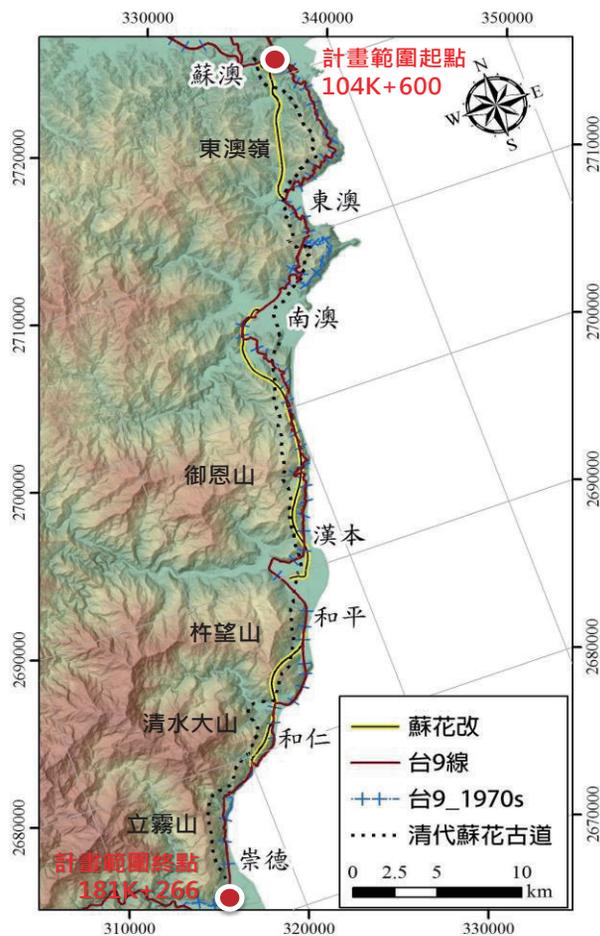
項次	工作項目	工作內容
1	空載光達掃瞄工作執行	針對本案沿線進行空載光達掃瞄工作，作為初次掃瞄資料建檔成果，復以其點雲資料製作數值地表模型(DSM)及數值高程模型(DEM)，作為後續易致災路段劃定工作之基礎依據。
2	歷年航照與高解像力衛星影像資料蒐集	以本案沿線為標的，蒐集近 10 年內航照與最近五期之高解像力衛星影像圖資(類型應以 QuickBird、WorldView、GeoEye、Pléiades 等為主，包含全色態與多光譜波段)其解析度至少須達 1m，且經過正射影像處理，作為後續易致災路段劃定之比對資料來源。
3	易致災邊坡歷年衛星雷達干涉影像蒐集與分析評估	於本案沿線間選擇曾發生災害或具中高致災潛勢邊坡，其面積需大於 1 km ² 區域，購置衛星雷達原始影像，應用多幅合成孔徑雷達影像分析，藉以驗證部分邊坡地形變位與光達影像，供日後參考應用。
4	隧道總體檢查服務工作	應用移動式地面光達，針對南澳段轄區隧道辦理光達掃描，同時應用非破壞檢查、微變位監測等方法，輔助建立南澳段轄管隧道基本資料並提供後續處置規劃建議。
5	歷史災害資料蒐集	針對本案沿線進行公路總局內近 20 年歷史災害資料蒐集及可能具致災潛勢之路段或點位。除沿線間之工程設施相關資料外，以致災原因區分為歷史災害雨量資料、地震資料等進行蒐集與彙整，作為後續易致災路段劃定之分析基礎資料。
6	其他相關單位歷史致災資料蒐集	除公路總局內所保存之歷史災害資料外，另應蒐集其他相關單位近 10 年內，於本案沿線間之歷史致災資料，所得之致災資料可作為後續易致災路段劃定之分析基礎。
7	易致災路段影響範圍模擬與劃定	根據不同災損類型提出易致災路段劃定之具體方法，對於本案沿線邊坡可能發生崩塌、土石流及其他災害型式路段，進行運移及堆積影響範圍模擬分析，藉此劃定可能發生道路阻斷之區域範圍，並依其劃定原則進行易致災路段判定。
8	易致災路段現地調查(含補充測量)	根據前項易致災路段之劃定成果，提出現地調查方法含公路邊坡檢測工作；執行本案沿線間之現地調查工作，內容應包含邊坡現況與工程設施狀況說明等內容；彙整先前與緊急處置時之調查、監測及整治工程資料。
9	易致災路段後	針對本案路線中易致災路段，提出短、中、長期之階段性安全維

項次	工作項目	工作內容
	續處置規劃	護與處置規劃建議，包含安全監測技術、建議整治工法及概算經費與相關參考資料。
10	地質鑽探及監測儀器設置	自甲方通知後 90 日內完成所有地質鑽探取樣與監測儀器設置，並開始執行監測工作，監測頻率以每個月監測 1 次，特殊天候進行 8 次監測，共計規劃 20 次，其監測頻率須配合甲方需求調整。

二、地形與地質

2.1 地形

本計畫範圍位於中央山脈東側山麓，東臨太平洋，西側山巒重疊，整體地勢由西向東傾降，自北向南漸高且地形變化更為陡峭，沿線經過東澳嶺、御恩山、杵望山、清水大山以及立霧山等，多為斷崖地形，整體地形如圖 2.1 所示。

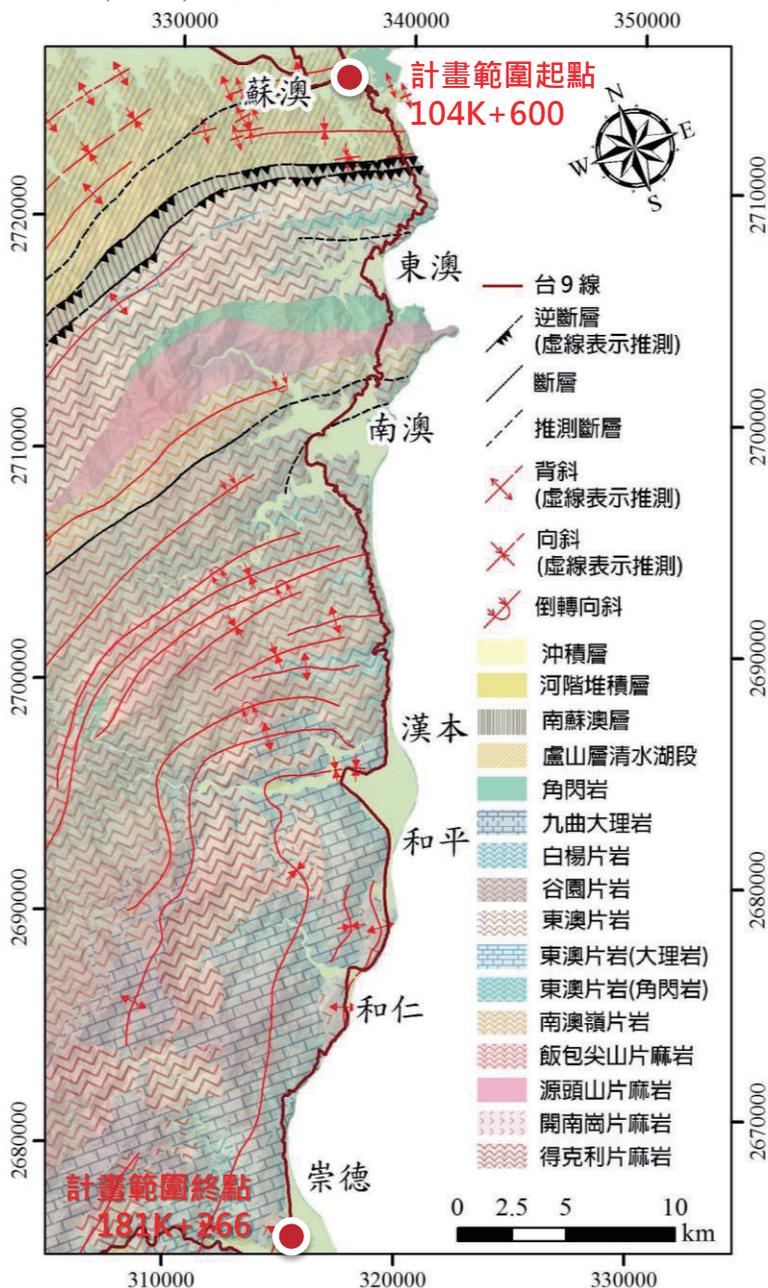


(底圖來源：國土測繪圖資服務雲 <https://maps.nlsc.gov.tw/>)

圖 2.1 現況地形圖

2.2 地質

本計畫範圍地質作用劇烈，板塊運動造成密佈的斷層及摺曲地層，完整岩體與破碎岩塊參雜一起。沿線主要地質位於中央山脈變質岩區，地層由北至南分布依序為：(1)南蘇澳層；(2)東澳片岩；(3)楓樹山角閃岩；(4)源頭山片麻岩；(5)南澳嶺片岩；(6)武塔片岩；(7)漢本大理岩；(8)大南澳片岩；(9)開南崗片麻岩；(10)九曲大理岩；(11)谷圍片岩等岩層，相關地質圖(圖 2.2)如下所示。



(資料來源：改繪自流域地質圖)

圖 2.2 地質圖

三、資料蒐集彙整

3.1 歷年航照與高解像力衛星影像資料蒐集

歷年航空正射影像與高解像力衛星影像為本計畫判釋與劃定易致災路段的基本圖資，亦為後續公路養護災害控管作業比對易致災路段地貌變異的依據。依據契約規定，本計畫以台 9 線蘇花公路 104K+600~181K+266(蘇澳至崇德)間沿線邊坡為標的，蒐集 75 幅航空正射影像以及最近五期解析度優於 1 m 的高解像力衛星影像圖資，包含全色態與多光譜波段，經過正射影像處理後，作為後續易致災路段劃定比對的資料來源。

1. 衛星影像

國內通行的衛星影像中，QuickBird、WorldView、GeoEye-1 等影像解析度優於 1 m，經向瑞竣科技股份有限公司查詢，目前計畫範圍同一年份拍攝的影像，經拼接後可得完整度高且雲遮少的影像圖資年份為 2012、2013、2014、2015 以及 2017 年，以上五期為本計畫蒐集之衛星影像，面積約 430 km²，劃定原則以至少通過公路上邊坡第一道稜線、下邊坡第一道谷線為原則，並考量衛星影像之邊長裁切處理需 5 km 以上，拍攝影像清單資訊整理如表 3.1 所示。本計畫所蒐集之衛星影像係委請瑞竣科技股份有限公司進行輻射校正(radiometric distortion)、衛星系統校正(sensor distortion)、無縫拼接與調色處理，最後使用衛星軌道參數及蒐集範圍之數值高程模型進行地圖投影處理，其全色態影像解析度達 0.5 m，多光譜(R、G、B、NIR)影像解析度達 1.65~1.85 m。本計畫以衛星軌道參數配合嚴密之軌道校正模式，使用共線式數學方程式進行解算，配合內政部所釋出之 20 公尺三維地形資料進行地圖投影處理，並輔以臺灣通用電子地圖做為正射之控制點資料來源進行正射處理。

2. 歷年航空正射影像

計畫範圍自 20 世紀中期起，分別由不同單位陸續拍攝航空照片。林務局農林航空測量所(以下簡稱農航所)自 1973 年起辦理臺灣地區大比例尺像片基本圖測製以及農林航測調查與遙感探測業務，成為此後國內最主要的航空照片測繪單位。迄 21 世紀初期，其他政府單位因特殊事件或業務需求自行委託拍攝，民間公司亦開始經營航拍業務，航空照片的選擇遂更為多元。

本計畫依據契約數量蒐集 75 幅(1/5000 圖幅框)航空正射影像，位置以易致災路段附近為主，蒐集的年份以歷史災害發生前後為優先，並考慮易致災路段位於影像中的位置、影像品質、雲遮等因素，以利提供後續判釋歷史災害範圍、類型與規模、以及災前是否出現地貌特徵等。

表 3.1 衛星影像蒐集清單

年份	拍攝日期時間	拍攝衛星	編號
2012 年	2012-03-26 02:43:24	WorldView-2	A
	2012-02-10 02:31:40	GeoEye-1	B
	2012-02-10 02:32:26	GeoEye-1	C
	2012-09-02 02:47:34	WorldView-2	D
2013 年	2013-11-24 02:40:46	WorldView-2	A
	2013-11-24 02:41:04	WorldView-2	B
	2013-10-30 03:01:14	WorldView-2	C
	2013-10-30 03:00:55	WorldView-2	D
2014 年	2014-09-10 02:53:26	WorldView-2	A
	2014-08-14 02:48:36	WorldView-2	B
	2014-08-25 02:08:44	QuickBird	C
	2014-02-17 01:52:52	QuickBird	D
2015 年	2015-11-29 02:29:47	WorldView-2	A
	2015-11-29 02:30:05	WorldView-2	B
2017 年	2017-02-16 02:51:22	WorldView-3	A
	2017-08-05 02:36:08	WorldView-2	B
	2017-08-05 02:36:19	WorldView-2	C
	2017-06-25 02:47:06	WorldView-2	D

3.2 歷史災害資料蒐集

歷史災害為易致災路段評估與災害控管的前車之鑑，透過歷史災害資料的蒐集與研析，可以更深入地瞭解計畫範圍公路沿線邊坡不同災害類型的空間分佈特性、失穩邊坡運動的發展歷程，以及造成公路交通與養護作業不同程度的影響，提供探討邊坡失穩的影響因素的寶貴資訊以及研判易致災路段直接的參考。本計畫針對台 9 線蘇花公路 104K+600~181K+266(蘇澳至崇德)間沿線，蒐集總局近 20 年紀錄的歷史災害路段或點位(圖 3.2)，包含公路災害、落石統計、邊坡口卡資料以及邊坡危險度評估因子評分(RHRS)等(圖 3.1)。

四工處

南澳段台9線147K+790-147K+960路段

A級邊坡危險度評估因子評分表



邊坡單元經緯度
起：(121.780244, 24.366527)
迄：(121.780682, 24.365351)

評估結果為A-3:
A級邊坡第3級

台9線 147K+790-147K+960(147.7-147.8)		邊坡危險度評估因子評分表				附件2
評估因子	說明	評分準則與分數				
		3分	9分	27分	81分	
54	地形特徵【取平均】(A1)	5-14	15-24	25-34	35以上	
坡度(m)		40-49	50-59	60-69	70度以上	
坡度或坡型(取大值)				凹直形、凸嘴形	凸直形、凹溝形	
27	地質狀況【取大值】(A2)					
岩性	結晶質岩石 如:大理岩、石英岩	粗顆粒岩石 如:塊狀輝綠岩、砂岩	泥岩 (如:泥質頁岩、板岩、頁岩及砂質頁岩互層)	斷層帶		
不連續面	塊狀	節理發達	破碎、變質	崩塌(落石堆)、開裂		
斷台坡	斷面傾角<坡度	未見裂隙、無差異侵蝕	未見裂隙、差異侵蝕	軟弱		
	斷面傾角>坡度	無差異侵蝕	層面差異侵蝕	層面差異侵蝕		
27	植被覆蓋及水淹狀況【取大值】(A3)					
植被面積(%)	80以上	79-30	29-10	小於10		
排水設施	截排水完整	截排水不完整或損壞	出現淤溝、明顯沖刷	飽滿已堆積落石		
1.1	氣象加權(B1)	1	1.1	1.2	1.3	
加權因子	前一年度連續降雨月份單日最高降雨量(mm)	小於130	130-199	200-349	350以上	
3	近三年平均落石坍方歷史【取大值】(C1)					
災害紀錄(次/年) <有檢控紀錄>	1次以下	2-3次	4-6次	大於6次		
落石頻率 <連續3次清理紀錄>	每季1次以下	高於每季1次	高於每月1次	高於每週1次		
9	近三年落石尺寸及坍方規模大小【取大值】(C2)					
坍落土方量(m3)	小於200	200-499	500-999	1,000以上		
落石尺寸(m)	<0.2	0.2-0.6	0.6-2.0	>2.0		
9	交通流量狀況(C3)					
日平均交通量(PCU)	小於5,000	5,000-9,999	10,000-19,999	20,000以上		
81	道路寬度及腹地有無【取平均】(C4)					
道路寬度	大於9m	9m(含)以下	9m(含)以下	9m(含)以下		
腹地有無	有腹地	無腹地	有腹地	無腹地		
81	區域聯外交通影響(C5)					
是否為風景遊憩區主要道路	非主要道路	主要道路(觀光軸線)	非主要道路	主要道路(觀光軸線)		
替代道路有無	有替代道路	有替代道路	無替代道路	無替代道路		
0.9	現有防護設施加權(D1)					
加權因子	0.7	0.8	0.9	1.0		
防護設施成效	有二項防護設施且成效良好,或能作完成5年以上,或檢驗良好	一項防護設施成效佳或能作完成2年以上,或檢驗良好	指防護設施成效不佳或防護設施已能作完成尚未滿2年成效驗	無防護設施或有防護設施但無法清除致災成因		
	含預力地錨者於1年內已檢測過且有監控系統	含預力地錨者於2年內已檢測過且有監控系統	含預力地錨者於2年內已檢測過且無監控系統	含預力地錨者於2年內均未檢測過		
危險度評分					271.62	
危險度等級					第三級	

圖 3.1 邊坡危險度評估因子評分(RHRS)範例

3.2.1 公路災害

本計畫已蒐集政府資料開放平臺提供之主要內容道路(橋梁)歷史災情資料(截至2021年2月),該資料紀錄的格式主要欄位包括災害名稱、路線樁號、受損狀況、災害發生時間、預計搶通時間及交通影響情形等,部分的災害並提供災情照片。

3.2.2 落石統計

本計畫已蒐集南澳工務段所提供之2013年~2020年9月計畫範圍落石發生次數與位置,並將其依路段範圍整理如圖3.3。由圖可知以發生落石次數而言,南澳和平段發生次數最多、東澳南澳段次之;若以落石密度而言,東澳南澳段最為密集、和仁崇德段次之。

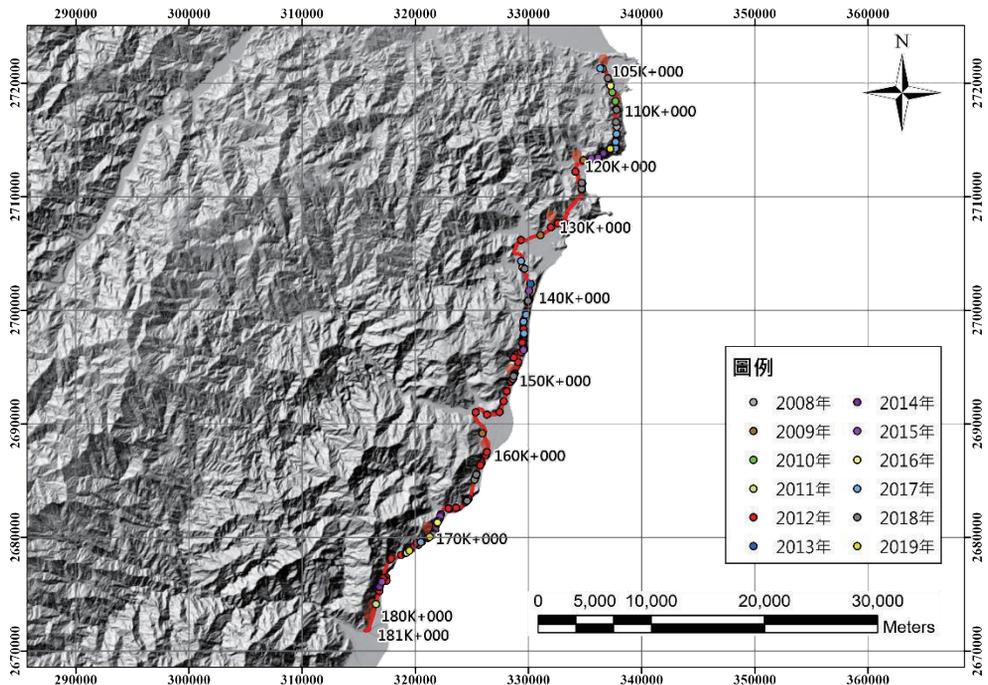
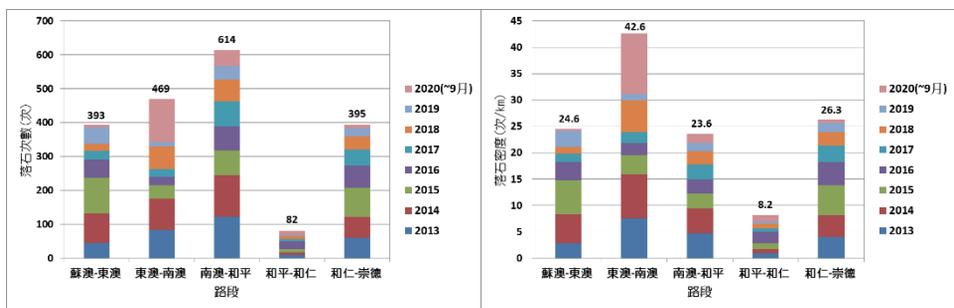


圖 3.2 計畫範圍 2008~2019 年道路災害分布圖



(a) 落石次數

(b) 落石密度

圖 3.3 計畫範圍 2013~2020 年 9 月落石統計

四、空載光達掃瞄工作執行

4.1 工作執行流程

空載雷射掃瞄之作業流程，主要可分為控制測量作業、飛航掃瞄規劃、空中資料掃瞄、原始點雲解算、點雲分類與編修及成果產出，其相關作業流程如圖 4.1 所示。

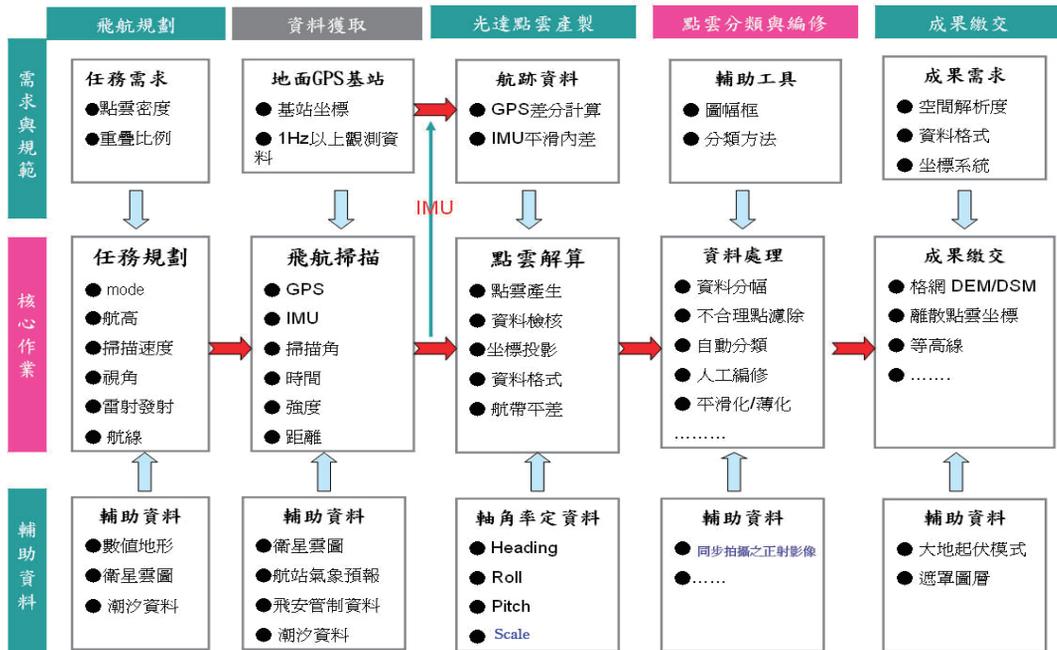


圖 4.1 工作流程圖

4.2 控制測量

4.2.1 航空標布設

為配合航空攝影測量的平面及高程控制，於測區布設 6 個航空標(R901~R906)做為新設控制點，本案航空標布設均採十字標方式布設，其布設規格如圖 4.2 所示，各航空標分布情形如圖 4.3 所示。

本計畫利用此 6 站進行聯測，與已知控制點一同進行平面坐標之測量，以便用於資料解算使用，或必要時增加新設基站以達本計畫之目標，控制點點位如表 4.1 所示。

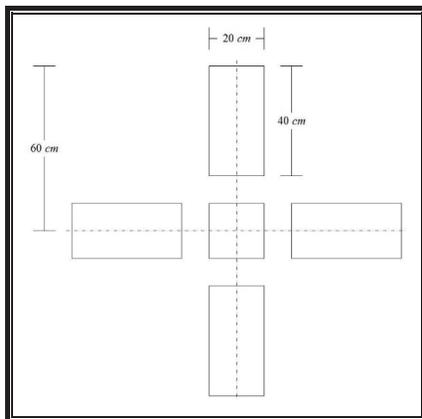


圖 4.2 航空標規格示意圖

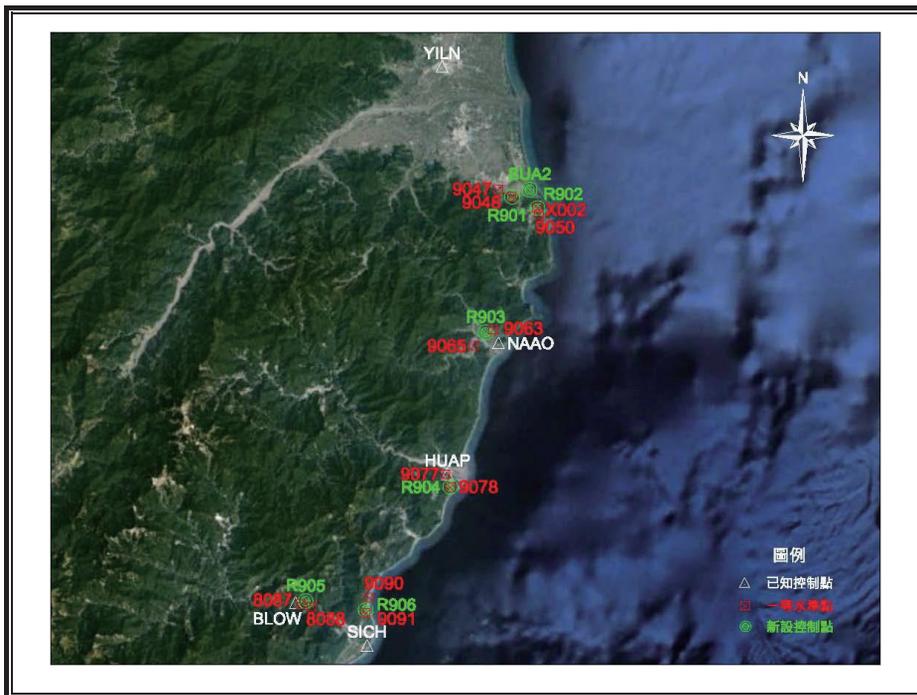


圖 4.3 選用之 GNSS 固定追蹤站分布圖

表 4.1 已知平面控制及新設控制點點位一覽表

序號	等級	點名	點號	序號	等級	點名	點號
1	大地基準站	宜蘭	YILN	7	航空標	-----	R901
2	一等衛星控制點	布洛灣	BLOW	8	航空標	-----	R902
3	一等衛星控制點	和平	HUAP	9	航空標	-----	R903
4	一等衛星控制點	南澳	NAAO	10	航空標	-----	R904
5	一等衛星控制點	新城	SICH	11	航空標	-----	R905
6	GNSS 連續站	蘇澳	SUA2	12	航空標	-----	R906

4.2.2 平面控制點測量

平面控制點測量除已知控制點之檢測及新設控制點的平面坐標測量，其中包含一交通部中央氣象局之 GNSS 連續站，為空載光達資料解算所使用之地面基站，共計檢測 5 個已知控制點、1 個 GNSS 連續站及 6 個新設控制點，總計共 12 個點。

4.2.3 高程控制測量

高程控制測量採用直接水準方式進行，藉以取得 6 個航空標的高程，以附合水準方式規劃施測，總計清查並檢測內政部一等水準點 12 個點及 6 個航空標，共計 6 條測線 18 個點位。

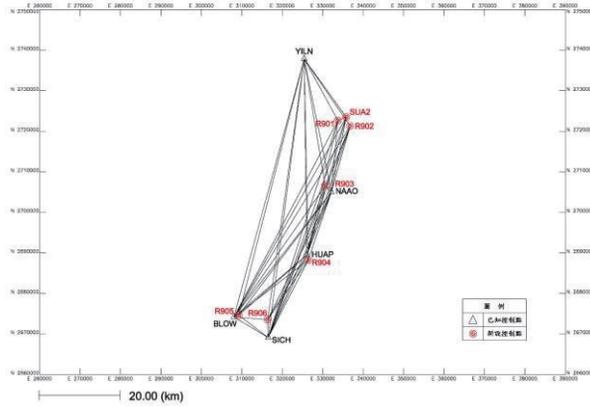


圖 4.4 衛星定位測量實際觀測網形圖

表 4.2 水準測量測段往返閉合差檢核成果表

序號	起點點號	終點點號	測段距離 (km)	往返閉合差 (mm)	往返閉合差標準值 (mm)	是否合格
1	X002	R902	0.029	0.20	1.36	是
2	R902	9050	1.851	-2.39	10.88	是
3	9048	R901	0.032	-0.16	1.43	是
4	R901	9047	2.145	1.06	11.72	是
5	9063	R903	0.980	-0.10	7.92	是
6	R903	9065	3.309	-0.81	14.55	是
7	9078	R904	0.036	-0.06	1.52	是
8	R904	9077	1.589	-1.47	10.08	是
9	9090	R906	1.508	2.33	9.82	是
10	R906	9091	0.408	1.46	5.11	是
11	8088	R905	1.841	3.58	10.85	是
12	R905	8087	0.736	2.53	6.86	是

4.3 空載光達資料蒐集

空載雷射掃瞄系統為整合雷射測距、光學掃瞄、全球定位系統及慣性導航系統等技術，快速獲得掃瞄點的瞬時三維坐標。其原理為利用近紅外光之脈衝雷射進行掃瞄，接收目標物多重反射訊號進行測距，飛行載體則以 DGPS 精密動態定位，並利用 IMU (Inertial Measurement Unit) 獲取姿態參數後，整合雷射掃瞄測距成果計算測點的三維坐標 (Ackermann, 1999；Briese and Pfeifer, 2001；Wehr and Lohr, 1999)。雷射掃瞄系統主要包含：「雷射掃瞄組件」以及「定位與定向組件(Position and Orientation System, POS)」二大部分。其中雷射掃瞄組件之性能如測距範圍、掃瞄寬度(掃瞄角)、點位密度(掃瞄頻

率)等，直接影響施測之能力；定位與定向組件之性能，則是影響測點精度之關鍵。本計畫使用加拿大 Optech 公司生產，型號 PegasusHA500 之空載雷射掃描儀。

4.3.1 準備作業

1. 飛航申請

本計畫遵循契約規定並依「國土測繪法」及「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」等相關規定，於 107 年 4 月 30 日向內政部提出申請實施本計畫飛航掃描作業，並於 107 年 6 月 26 日核復通過以及 107 年 8 月 7 日通過民航局核准。

2. 掃描規劃

空載雷射掃描資料獲取前需要有完整的飛航規劃，考慮的內容包括掃描區範圍、實施地形的高度、預定規劃的載體航高、掃描儀之掃描角度、每一航線涵蓋地面寬度、航線間的重疊率、交叉航線位置、點雲分布密度及航區管制等種種條件，故於實際進行飛航之前，必須規劃詳細的飛航資訊及展繪飛航規劃圖及提出飛航申請，以確定飛航任務之可行性。

掃描任務之規劃會影響點雲品質，如點雲密度、遮蔽程度、航帶檢核與重疊區分析等重要資訊。

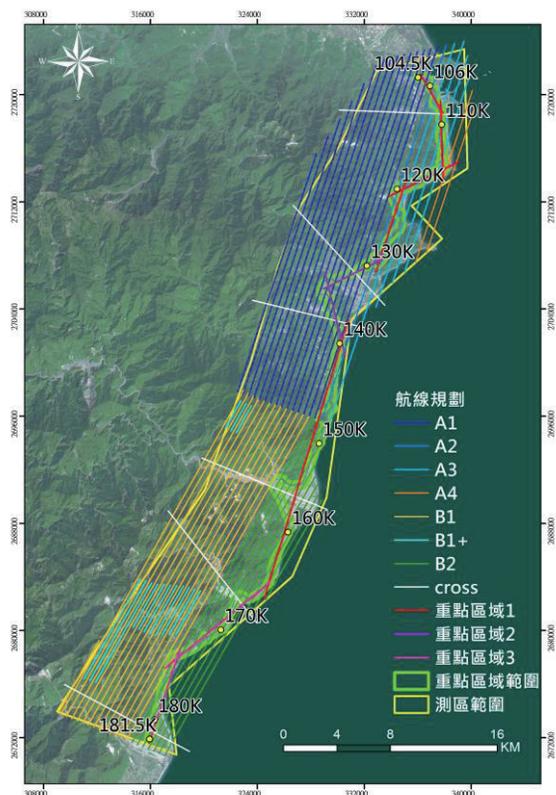


圖 4.5 航線規劃圖

4.3.2 飛航掃瞄

本次飛航作業係根據航線規劃進行作業，每次飛航任務掃瞄前，將航線軌跡資料輸入導航系統中，飛行員即依照所規劃之航線路徑飛行。空載光達資料掃瞄儀操作人員並依 LiDAR 儀器標準作業程序操作設備逐條獲取原始光達掃瞄資料，並逐條航線記錄原始光達掃瞄相關資料。掃瞄作業重點如表 4.3。

表 4.3 飛航掃瞄作業內容規劃與注意事項

項次	飛航掃瞄作業	作業內容
1	蒐集天候狀況	氣象預報資料、各地航空站氣象資料，提供研判雲高與雲量
2	蒐集衛星品質狀況	事先對衛星之顆數時段表、出沒軌跡圖、幾何精度指標(PDOP值)與出沒高度圖等資訊規劃最佳觀測時段
3	飛航現況品質	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 GNSS 資料品質，監控 IMU 資料品質
4	飛航成果確認	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 GNSS 所使用之地面控制點、使用儀器之規格等有關掃瞄參數與飛航參數及儀器資訊

4.4 資料處理與分析

資料處理及分析內容主要有空載光達資料解算、空中三角測量、DSM 及 DEM 製作、正射影像製作及多時期數值高程模型套合比對。

4.4.1 光達資料解算

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 4.6。

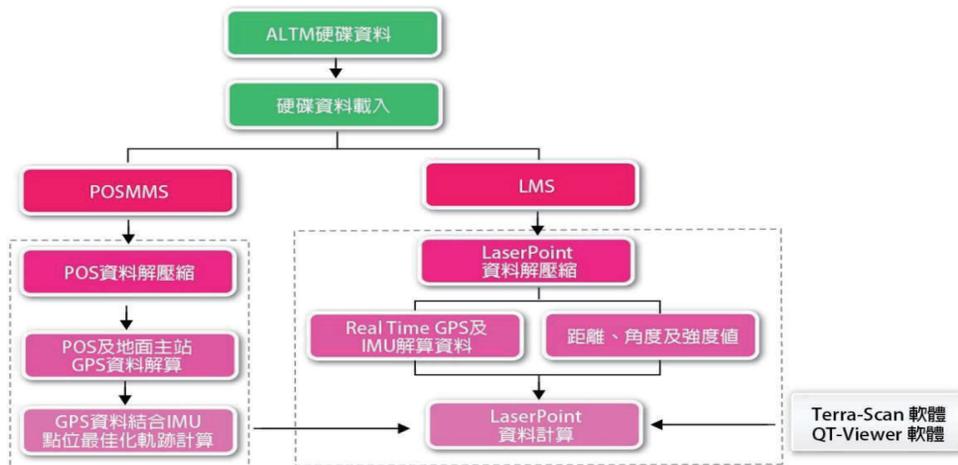


圖 4.6 空載雷射掃瞄資料作業流程

4.4.2 DEM/DSM 產製

經過分幅、分類、編輯處理後之地表面與地形面點雲資料，藉由紀錄的高程資料，依實際需求產製 1 公尺×1 公尺整數網格的 DEM 資料，以 TerraScan 及 TerraModeler 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，如圖 4.7 所示。

4.4.3 大地起伏轉換

全球定位系統提供的坐標，其高程化算為橢球面起算的橢球高(Ellipsoid Height)，但一般民生用途所需的高程資料是以大地水準面起算的正高(Orthometric Height)，故需要將橢球高轉為正高的換算過程，以提供與其他資料的整合應用。計畫中以內政部大地起伏模式(Geoid Model)進行正高化算，最新公布之大地起伏模型圖如圖 4.8 所示。

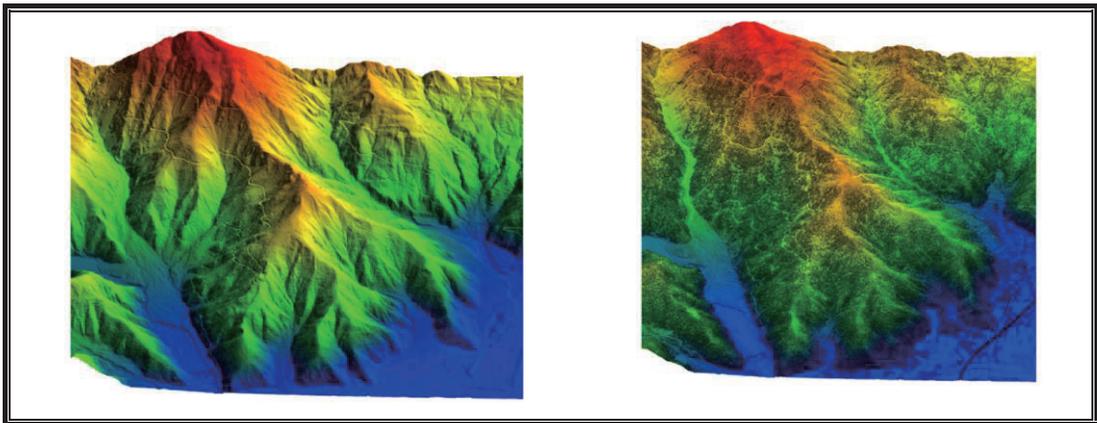


圖 4.7 DEM/DSM 成果圖

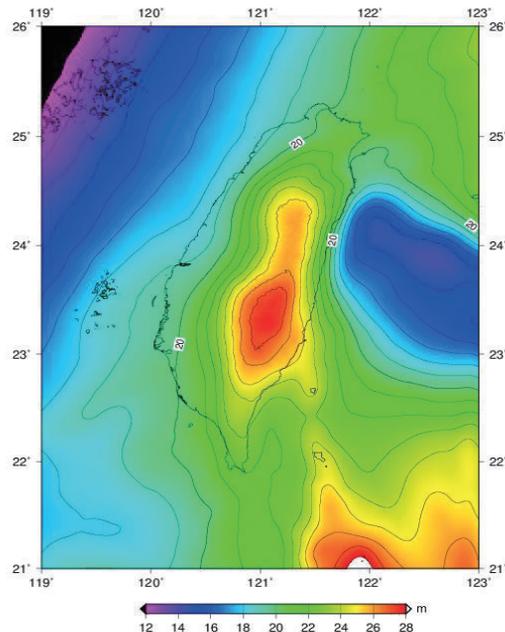


圖 4.8 重力法大地起伏模型(TWGEOID2014)圖

4.4.4 檢核點蒐集與 DEM 精度評估

DEM 檢核作業主要是利用現地抽樣檢核點檢測高程並計算其均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)，並通過常態分布計算誤差分布情形，以及抽樣評估，進一步理解 DEM 精度及品質 DEM 品質。

檢核標準依內政部「高精度及高解析度數值地形模型測製規範」，針對 5 種土地覆蓋分區，包含裸露地、矮植被、植生地、林地與密地，分別進行檢核點收集，每種土地覆蓋分區至少有 20 個地面測量檢核點，並於測量時紀錄選測檢核點所在位置之地形類別及平均植物高度，供計算高程精度標準參考，內業再比對檢核點與 DEM 高程差值，進行 DEM 精度檢核，提出精度評估。

對於點雲成果進行基本精度分析，利用檢核點附近之三個最鄰近地面網格點內插其高程後與此檢核點高程比較而得出其較差值(即成果高程減檢核高程)。輸出資訊有「平均高差」為所有用以計算點高差量平均值；「最大、最小高差」分別指所有計算的點位中高差量之最小與最大值；「平均絕對高差」為用以計算點高差絕對值的平均值；標準偏差公式(式 4.1)如下：

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{n-1}} \quad (\text{式 4.1})$$

而誤差分布的離散程度之均方根誤差所使用之公式為式 4.2：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (D_i)^2}{n}} \quad (\text{式 4.2})$$

其中 σ 為規範值，而 D_i 為檢定值 X_i 與擬真值 Y_i 之差值。

透過了解測區內檢核點的最大高差、最小高差以及均方根誤差，可以知道資料離散程度及準確度。此種初步檢驗考慮到每個樣本在統計上都具有代表性外，其基本精度評估之描述性統計值如下表 4.4 所示。

表 4.4 各類土地覆蓋分區基本精度分析表(單位：m)

土地覆蓋類型	檢核點數	平均高差	最大高差	最小高差	平均絕對高差	標準偏差	均方根誤差
裸露地	24	-0.034	0.098	-0.137	0.058	0.071	0.071
密林	22	0.024	0.327	-0.323	0.134	0.188	0.185
林地	22	0.020	0.350	-0.382	0.123	0.194	0.190
矮植被	24	0.004	0.208	-0.169	0.073	0.105	0.102
植生地	25	0.079	0.212	-0.055	0.093	0.080	0.112

並以折線圖呈現成果高程(Z2)與檢核高程(Z1)之較差，測試區高海拔不同土地覆蓋類型之高程較差都符合不同類型之精度規範。以高海拔裸露地為例，其精度規範區間為紅色折線以及綠色折線間，其裸露地之高程較差以折線圖呈現，顯示高程差值在精度規範區間，不合格點數為零，高程較差之均方根誤差通過正規化誤差指標 1.4σ 檢驗。而其他不同土地覆蓋類型較差值皆介於精度規範(σ)內，皆可通過 1.4σ 檢驗，如圖 4.9 所示。

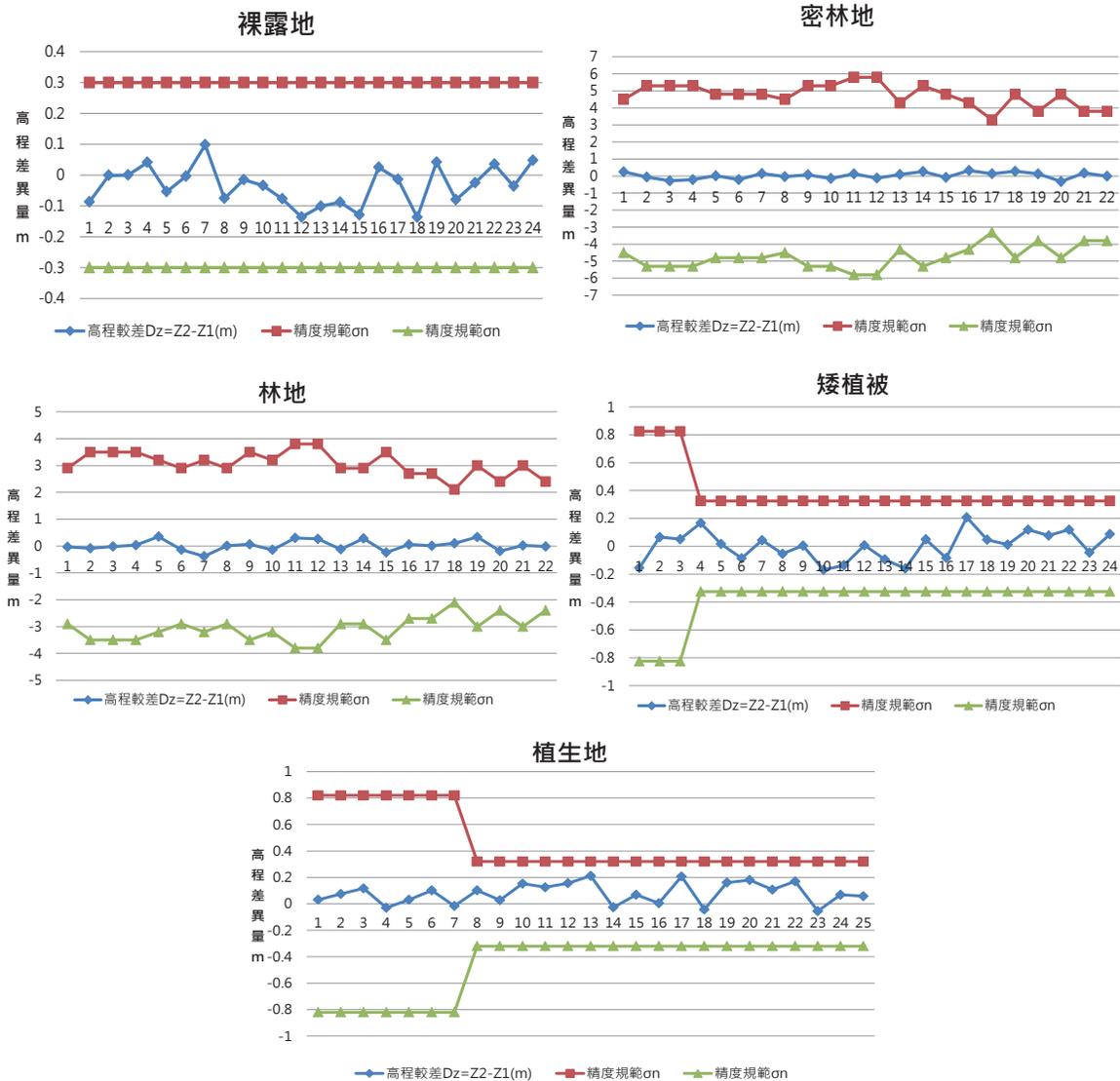


圖 4.9 點雲精度成果圖

五、易致災路段影響範圍模擬與劃定

基礎公共設施潛在的災害風險與其所在位置工程環境的穩定性以及基礎公共設施的重要性有關，致災的範圍、潛勢以及可能造成的單一事件最大損失等量化評估方法近年來為各界廣泛討論的議題，然目前國內尚無特定標準可茲依循。廣義而言，易致災路段係當某種臨界條件產生時，例如震度達一定級數的地震或是雨量達特定強度或累積量的豪大雨，造成該路段所處的工程地質或地工條件失穩，危害道路設施或阻斷人車通行之情況。我國公路邊坡災害類型通常採上邊坡災害與路基災害分類，上邊坡災害係指公路上方邊坡落石、岩體滑動與岩屑崩滑等造成交通阻斷，路基災害包括公路下邊坡岩體滑動、岩屑崩滑、向源侵蝕或海岸侵蝕等因素所造成的路基下陷、路面裂縫或錯動、路側設施錯動損壞、路面或邊溝排水不良、積水等現象。不論上邊坡災害或是路基災害，若其造成交通阻斷，甚至危及通行安全，即屬具危害的易致災路段。

依據本計畫工作範圍歷史致災事件觀察，大多數的致災原因為不同類型的邊坡失穩問題。本案針對計畫範圍間沿線邊坡進行不同類型的邊坡失穩條件評估及其影響範圍劃定，並以災害達到造成地工構造物破壞或阻斷交通為基準。對於零星的、局部的落石、小規模的淺層岩屑崩滑以及岩楔滑落，不列入易致災路段及影響範圍劃定的考量，因以現階段調查監測技術，不易發現此類潛在危害的條件，抑或是界定前述山崩類型的體積大小。

5.1 作業流程

本計畫以工作範圍公路沿線邊坡失穩、上邊坡災害以及路基災害的歷史事件為類比分析依據，蒐集計畫範圍歷年遙測圖資，針對致災路段判釋邊坡失穩滑動體範圍、上邊坡崩崖、下邊坡壓力脊分佈及蝕溝發育，並透過致災前更早期的歷史影像(含航空照片、正射影像與衛星影像等遙測圖資)觀察研析地表地形、地貌特徵及其多期的變異，利用遙測影像判釋、高精度光達產製之坡度陰影圖及八方位日照陰影圖，並配合現地調查作業，提供最新的遙測影像判釋具有邊坡失穩潛勢的位置。圖 5.1 為本計畫易致災路段判釋與影響範圍模擬劃定的作業流程，作業程序大致分為資料彙整、已致災路段工程地質特性研析、公路沿線致災潛勢研析及易致災路段影響範圍劃定等。

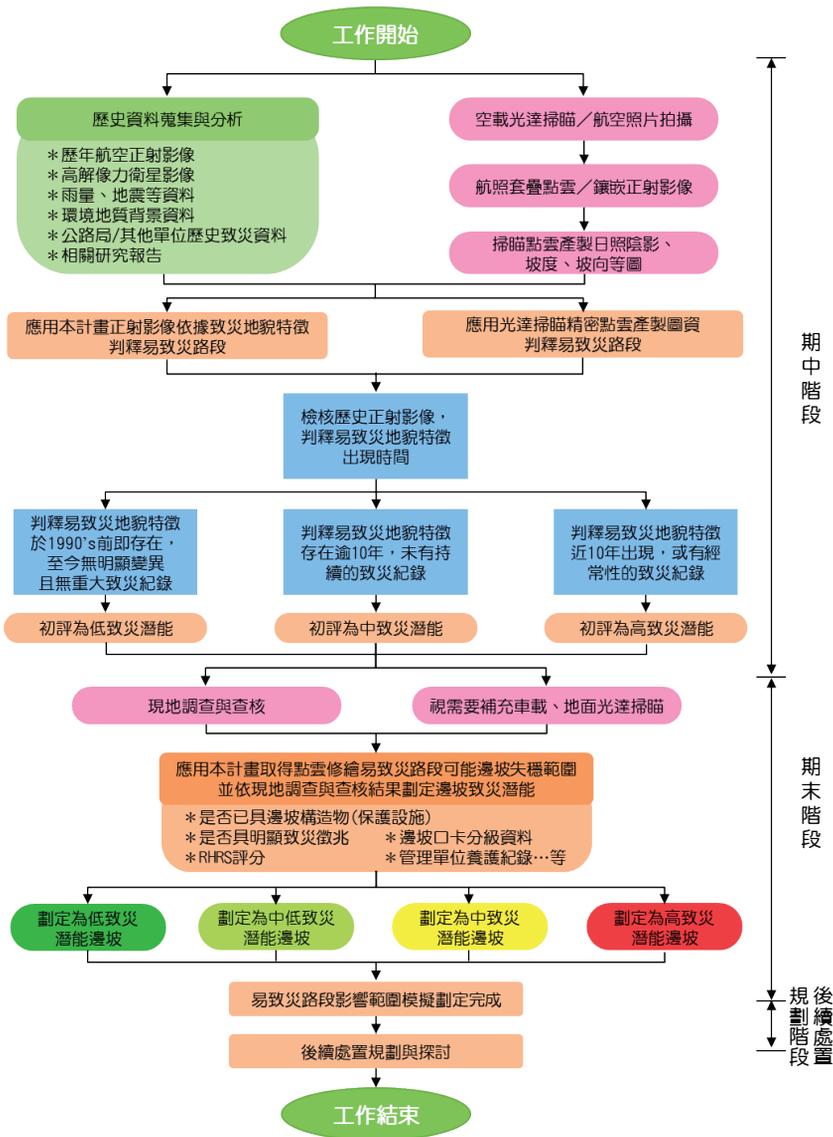


圖 5.1 易致災路段判釋與模擬劃定流程圖

5.2 模擬與劃定依據及方法

本計畫針對近期取得的高解像力衛星影像，以及配合空載光達掃瞄過程同步拍攝的航空照片，亦經鑲嵌、糾正、正射處理後，配合光達掃瞄點雲製作數值地表模型或數值高程模型，提供遙測影像判釋的主要依據。依據光達點雲測繪的數值高程模型，進一步模擬不同角度的日照陰影圖、坡度陰影圖、坡向及坡度變化圖等。其中日照陰影圖以太陽位於正北、東北、東方、東南、南方、西南、西方、西北方等 8 方位，配合 30、45 及 60° 俯角模擬日照下的地表陰影，必要時再依據地形地勢產製特殊角度的日照陰影圖。坡度陰影圖依據光達點雲數值高程模型，採用灰階方式呈現地形坡度變化，坡向圖表現地形坡面方位，坡度變化圖則表現坡度的改變率，相關圖資必要時可採彩色渲染圖呈現。

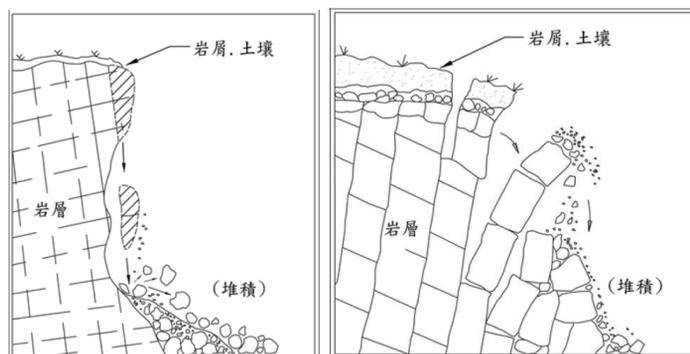
遙測影像判釋以邊坡滑動體、崩塌地、崩崖、土石流、蝕溝(含向源侵蝕)為主要標的，針對海岸側邊坡坡趾的淘刷、凸出的崩塌堆積亦納入，惟前述判釋標的限於可能影響本計畫工作範圍公路沿線邊坡，公路上邊坡稜線後方邊坡等，不在判釋工作規劃中。另外，落石及傾覆不易透過遙測影像直接判釋，將透過歷史災害及相關養護紀錄，針對具落石區邊坡個別處理，並配合崩崖、土石流、蝕溝等可能伴生落石的地貌特徵、鄰近範圍存在落石殘留巨石等進行比對。遙測影像判釋過程可能因雲遮、日照陰影或其他因素造成正射影像判釋困難，或圈繪結果存在疑義，則採用時間接近的影像輔助判釋，並赴現地查核比對，確保遙測影像判釋的正確性。

現地調查完成後，再次依據修繪的易致災潛勢範圍，依據現地初步研判可能的地形演化，人工研判模擬劃定邊坡失穩對公路土工構造物及通行的影響範圍，並評估致災的可能性，提供後續處置規劃探討的依據。

5.2.1 落石與岩楔傾覆

落石與岩楔傾覆航照判釋要點為航照上崖面色調呈光亮處，反應其為裸露或植被稀疏之坡面，或在陡崖下方可見坡度變緩且呈錐形堆積的崖錐地形特徵，其示意圖如圖 5.2。當地形圖中顯示坡度陡峭，或套疊優於 20 m × 20 m 網格之數值地形分析其平均坡度在 55°以上且坡高至少 5 m 的範圍地區，或具有曾經發生落石歷史記錄的地區，也可當作輔助判釋的資訊。圈繪範圍原則上應包含崩崖面及堆積區。若圈繪範圍面積大於 1.5 公頃，如有堆積區存在，則需將堆積區範圍加以圈繪標示。

以台 9 丁線 45 k+800(舊台 9 線 148 k+600)附近邊坡為例，如圖 5.3 所示，我們從坡度圖中可以看見多處的崩崖以及蝕溝，該處坡度大於 55°，從正射影像中可見下邊坡崩塌面坡坡趾之崖錐堆積物多為巨石殘留，研判該處山崩為落石或岩楔傾覆態樣。



(資料來源：中央地質調查所，2013)

圖 5.2 落石示意圖

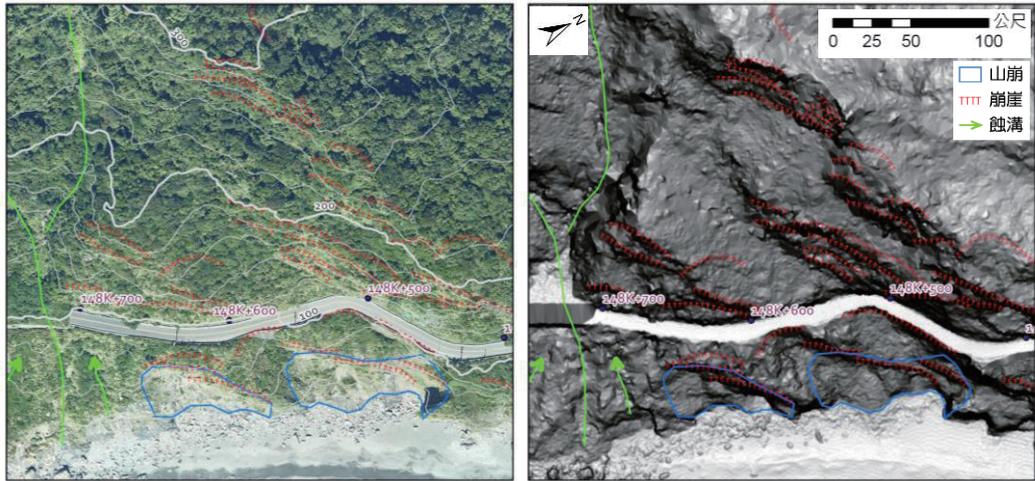
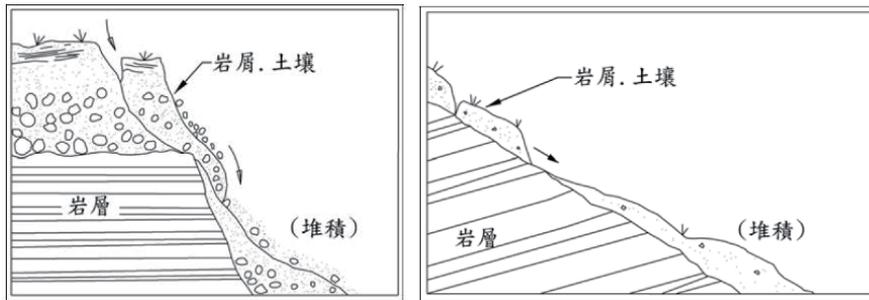


圖 5.3 落石及傾覆地區之正射影像、坡度圖及判釋範例(台 9 丁線 45 k+800)

5.2.2 淺層崩滑

岩屑崩滑發生要件為移動物質為岩屑(debris)及土壤(earth)，其移動方式在陡坡地為崩落，緩坡則為滑動。岩屑崩滑後坡面常呈細長條狀之裸露狀態，土石堆積於坡趾處。若崩塌作用未完全停止或崖坡面缺乏植生保護時，常易受沖蝕而持續發生擴大現象。航照判釋要點為航照上色調呈光亮之長條型裸露地，坡面呈現淺凹槽狀，植生色調與周圍區域不協調，下方之坡度變平緩處具有崩塌堆積特徵，其示意圖如圖 5.4。判釋過程如鄰近崩塌或狀似落石、岩楔傾覆時，可套疊優於 20 m × 20 m 網格之數值地形，分析其平均坡度在 55°以下且坡高至少 5 m 的範圍地區，或曾發生岩屑崩滑歷史記錄地區，也可當作輔助判釋的資訊。圈繪符合上述航照判釋具岩屑崩滑地貌特徵地區，圈繪範圍原則上應包含崩滑區及堆積區，然實務上舊岩屑崩滑區可能因植生復育而不易在遙測影像中察覺。

以台 9 丁線 29 k+950(舊台 9 線 132 k+700)附近邊坡為例，我們從坡度圖影像中可以看見崩崖的型態，再從正射影像中可以看見多處植生色調與周圍不協調(舊崩塌植生復育)，圖 5.5 所示，依據地形與地貌特性研判，圖中多數崩崖有關的邊坡失穩型態為淺層岩屑崩滑，說明淺層岩屑崩滑區於正射影像與空載光達掃瞄產製坡度陰影圖的影像特性以及判釋蝕溝、崩崖與崩塌區的結果，可以判釋該路段應為淺層崩滑態樣。



(資料來源：中央地質調查所，2013)

圖 5.4 岩屑崩滑示意圖

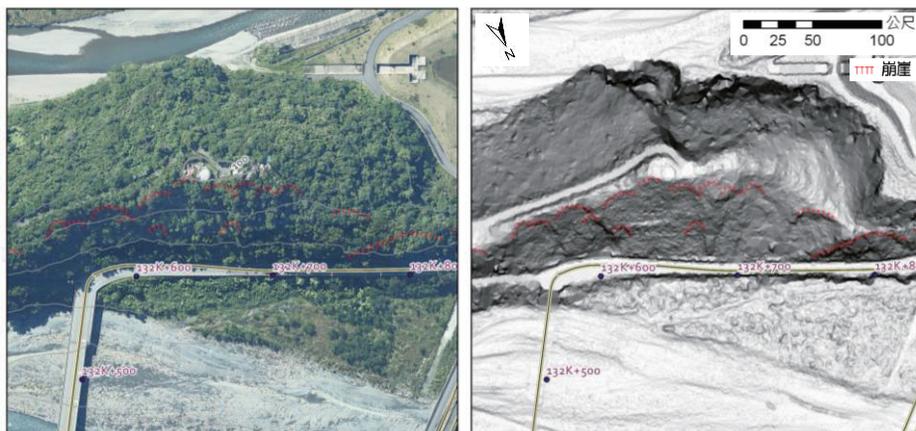


圖 5.5 岩屑崩滑地區坡度陰影圖、坡度圖及判釋範例(台 9 丁線 29 k+950)

5.2.3 深層滑動與重力變形

我國工程界目前尚未明確區隔深層滑動與重力變形，除明確確認滑動面者，本計畫將深層滑動與重力變形視為同義。國家災害防救科技中心另定義「大規模崩塌」，指崩塌面積超過 10 公頃或土方量達十萬立方米或崩塌深度在 10 米以上的崩塌地；此類深層的崩塌，近於高速運動的地滑。深層滑動之滑動面較深，平均厚約 10~20 公尺，滑動速度通常較慢，滑動後滑動體受擾動較少，一般圓弧滑移常屬之。深層滑動常發生在坡度 5°至 30°的緩坡面，但在陡坡地區也有發生大規模深層滑動的案例。在航照研判地貌表徵時，可觀察到在坡頂或坡側具有崩崖地形，坡趾隆起或堆積大量土石。滑動發生後常出現特殊的地形，包括滑落崖、滑動體、側翼及趾部等地形特徵，其示意圖如圖 5.6 至圖 5.7，描述如下。

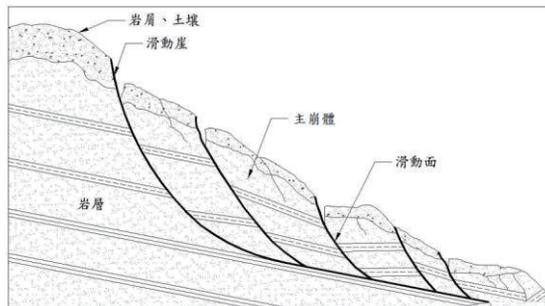
- A. 滑落崖：為呈馬蹄狀之崖坡，新滑落崖之坡面色調光亮，崖坡上緣冠部有同心圓弧狀張力裂縫，滑落崖下方有窪地或水池形成，其中滑落崖為崩崖的一種。
- B. 滑動體：外觀呈畚箕狀凹陷地形，植生林相改變與周圍林相不協調情況，例如草生地、竹林地，或是被開墾為梯田狀水旱田，而與周圍多年生林相有所差異，滑

動體上段呈現下陷地形，中段呈緩坡狀，下段則呈隆起地形。

C. 側翼(雙溝同源之水系特徵)：崩塌體的兩側為崩塌體與圍岩產生剪切破壞的地帶，岩土嚴重破碎，容易被侵蝕，久而久之就發育成兩條排水溝，其源頭處逐漸朝主崩崖的部份包抄，故稱之雙溝同源。

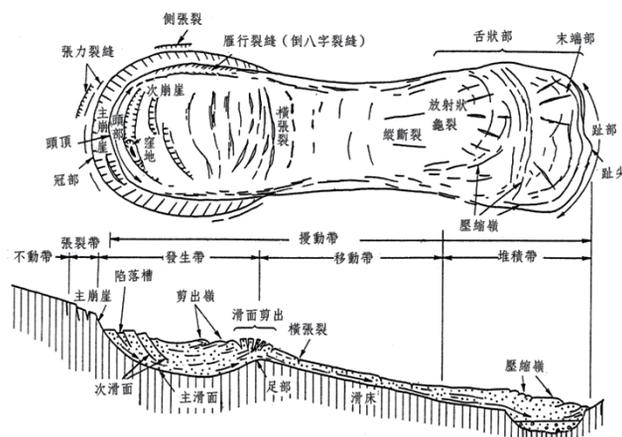
D. 趾部：趾部為河岸攻擊坡，由於趾部突出河道致使河道變窄或轉彎，上游河段則形成堰塞湖。

以台 9 丁線 8 k+950(舊台 9 線 111 k+700)附近邊坡為例，如圖 5.8 所示，我們從影圖的影像特性中可以看見層疊的崩崖的型態，圖中崩崖密佈，以沿蝕溝發展、或約略平行地形等高者佔大部分，與圖 5.6 及圖 5.7 的崩崖相似，另依據本區域之鑽探與監測資料推估滑動面深度在 G.L.23 m 處。又於正射影像中可以看出植被的層疊型態，因此該路段之邊坡應為深層滑動與重力變形態樣。



(資料來源：中央地質調查所，2013)

圖 5.6 岩體滑動(圓弧型滑動)示意圖



(資料來源：Selby,1993)

圖 5.7 弧形滑動各部位名稱

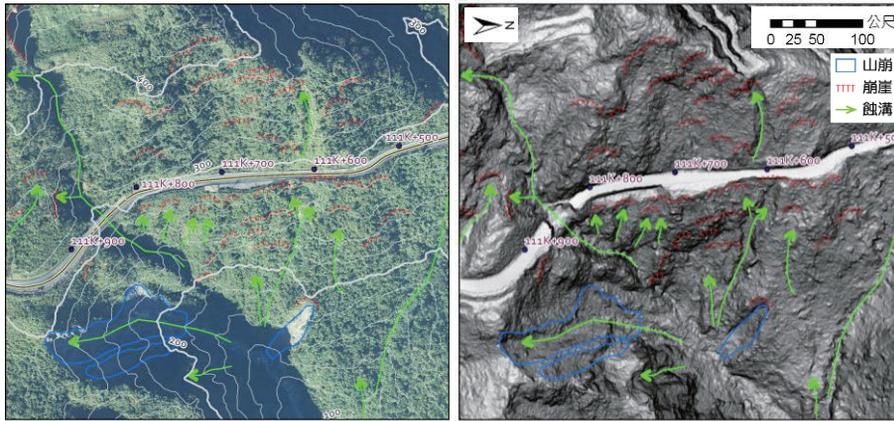


圖 5.8 深層地滑地區坡度陰影圖、坡度圖及判釋範例(台 9 丁線 8 k+950)

5.2.4 側向侵蝕與向源侵蝕

主要利用 LiDAR 數值地形輔以航照及衛星影像進行判釋。因地形經抬升或變化而使侵蝕的基準面下降，由於河床坡度變陡，流速加快，使得侵蝕作用加強河流下切，剛開始在河流的下游發生侵蝕，然後漸漸向上游發展，使河川源頭逐漸退後，為向源侵蝕。有河道深切且溪床坡度急轉陡峭，常年有水、地下水豐富易引發山崩等特性。

圖 5.9 以台 9 丁線 65 k+000(舊台 9 線 167 k+600)附近邊坡為例，示意向源侵蝕的正射影像與空載光達掃瞄產製坡度陰影圖的影像特性，主要利用 LiDAR 數值地形輔以航照及衛星影像進行判釋：

- A. 位於集水區上游的坡面上部附近。
- B. 河道支流上游有湯匙狀或碗狀的凹坡地形特徵。
- C. 在河道支流上游河谷源頭附近具有長條狀的蝕溝。

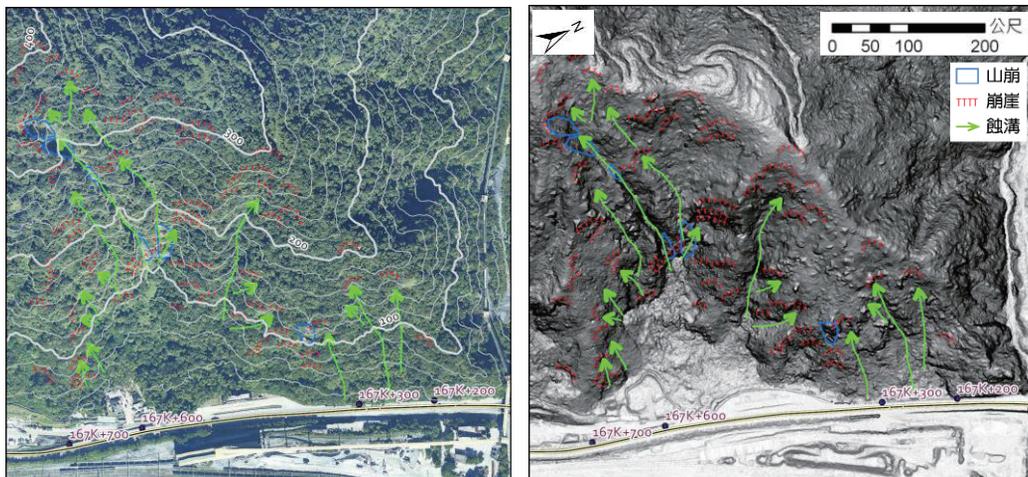


圖 5.9 向源侵蝕地區坡度陰影圖、坡度圖及判釋範例(台 9 丁線 65 k+000)

側向侵蝕則是在河水流動時，因河道內和外側流速不均、河水流動時對河床兩側造成磨蝕和沖刷作用，造成河川加寬的現象，因長期遭受河水的側蝕淘刷，易造成局部之山崩。蝕溝於正射影像中可見溝中有殘留堆積礫料，且上游區崩塌呈爪狀分布，或下游呈扇狀堆積者，判釋為土石流。

圖 5.10 以台 9 丁線 13 k+200(舊台 9 線 116 k+000)附近邊坡為例，示意河岸側向源侵蝕的正射影像與空載光達掃瞄產製坡度陰影圖的影像特性，主要亦利用 LiDAR 數值地形輔以航照及衛星影像進行判釋：

- A.河道攻擊坡位置的裸露坡地。
- B.裸露區域之長軸方向有水平方向之延伸。
- C.河道兩側為崩場地趾部，研判受河水之側蝕淘刷有關者。

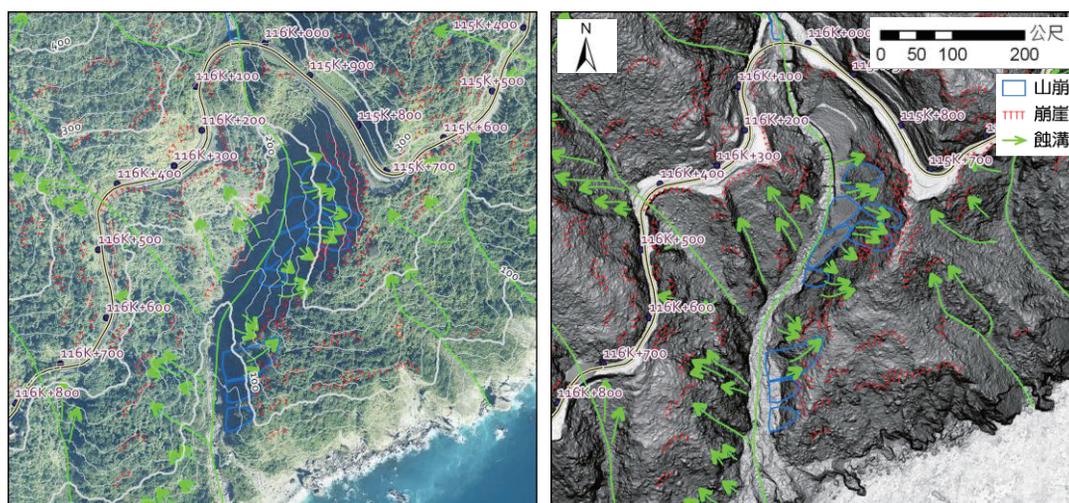


圖 5.10 側向侵蝕地區坡度陰影圖、坡度圖及判釋範例(台 9 丁線 13 k+200)

5.3 模擬與劃定結果

本計畫已於期中階段依前述所提之易致災路段判釋與模擬分析流程方法，蒐集計畫範圍內相關之歷史災害資料，依據空載光達掃瞄地形取得精密點雲產製的數值地形模型以及同步拍攝航空照片產製的正射影像，比對歷年遙測圖資，進行影像判釋公路沿線崩塌範圍以及具崩塌潛勢地形地貌。

期末階段透過現地補充調查與查核，針對室內判釋所得成果，包括具失穩潛勢邊坡以及易致災路段影響範圍等，進行必要的修繪作業，提出本計畫範圍易致災路段評估劃定結果。

依據像片基本圖圖號編定原則，本計畫空載光達繪測精密地形的工作範圍約可區分為 86 圖幅(圖 5.11)，然而工作範圍內公路諸多路段僅出現於圖幅範圍局部角隅，甚至完全未出現，應用像片基本圖圖框範圍呈現遙測影像判釋以至於未來易致災路段災害控

管，效益不佳。本計畫以公路為主體，考慮沿線邊坡穩定性可能造成公路致災的範圍，依據 1/5000 像片基本圖圖框規格，重新調整出圖位置，並依據新圖框於像片基本圖相對位置，參考像片基本圖編號加註方位，以利查詢。循此原則，本計畫遙測影像判釋、公路沿線邊坡失穩影響範圍劃設以及易致災路段評估的工作結果將採自行修訂的圖框上展示。圖 5.11 為本計畫安排之圖框範圍，共計 22 幅。每幅圖框位置皆包含 4 種圖資，含：(1)公路沿線邊坡遙測影像判釋結果；(2)公路沿線邊坡光達地形坡度圖判釋結果；(3)公路沿線致災影響範圍劃設結果；(4)易致災路段劃定結果。

本計畫範圍易致災路段評估劃定結果整合於附錄五圖冊，主要採 4 種圖資、分為 22 幅 1/5,000 圖框呈現整合成果，圖 5.12 至圖 5.15 係以圖號 97222065_L(蘇澳港_L)為例，展示本計畫易致災路段評估劃定結果。

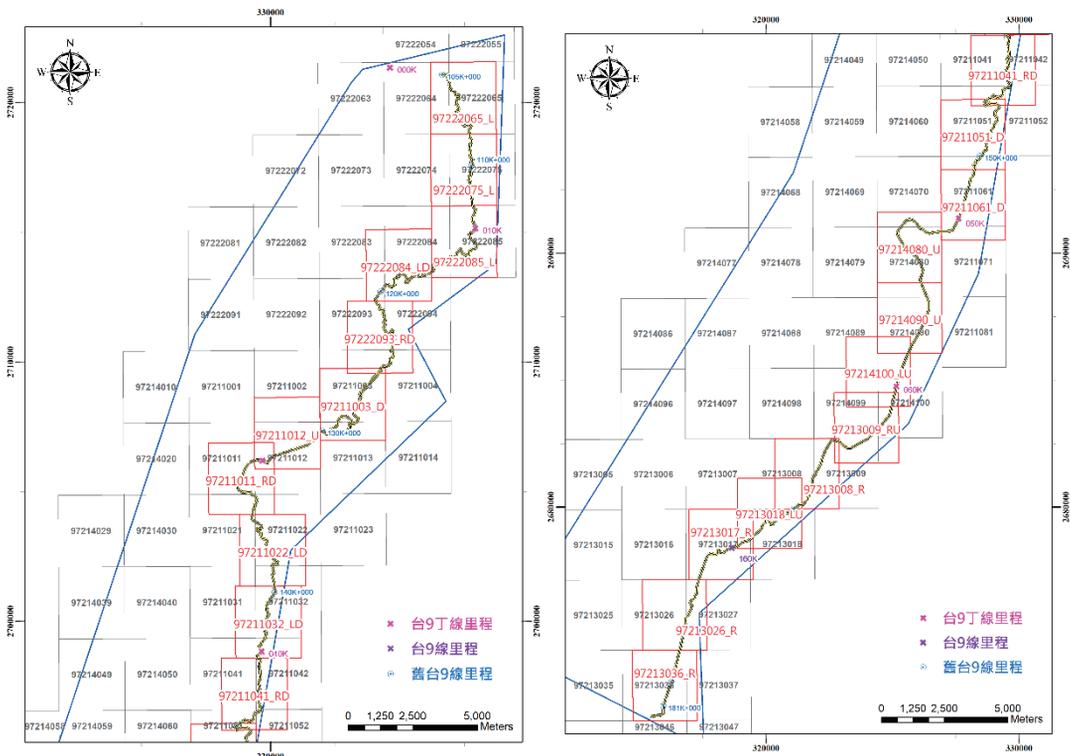


圖 5.11 公路沿線 1/5000 圖框索引圖

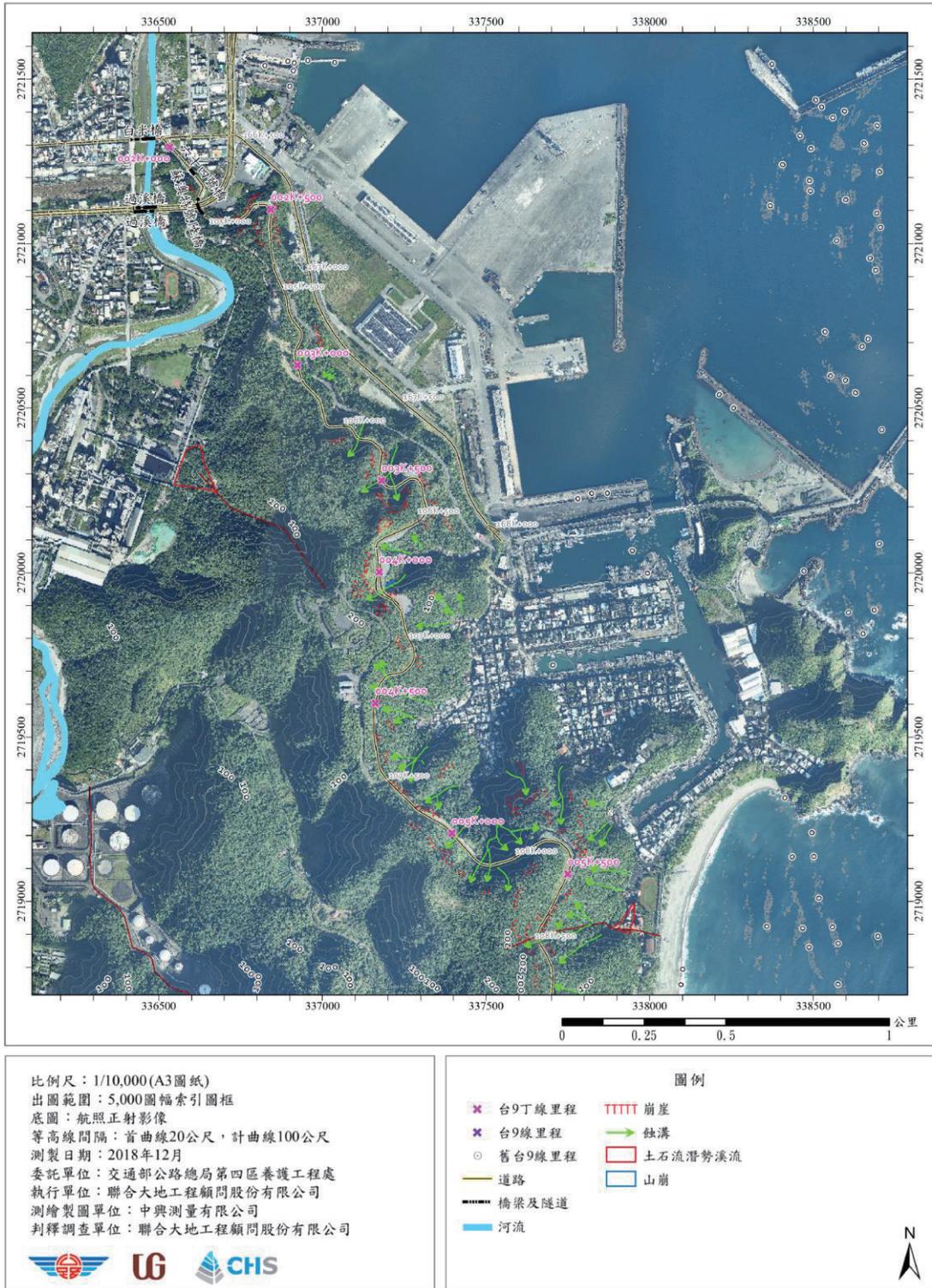


圖 5.12 公路沿線邊坡遙測影像判釋結果(例)

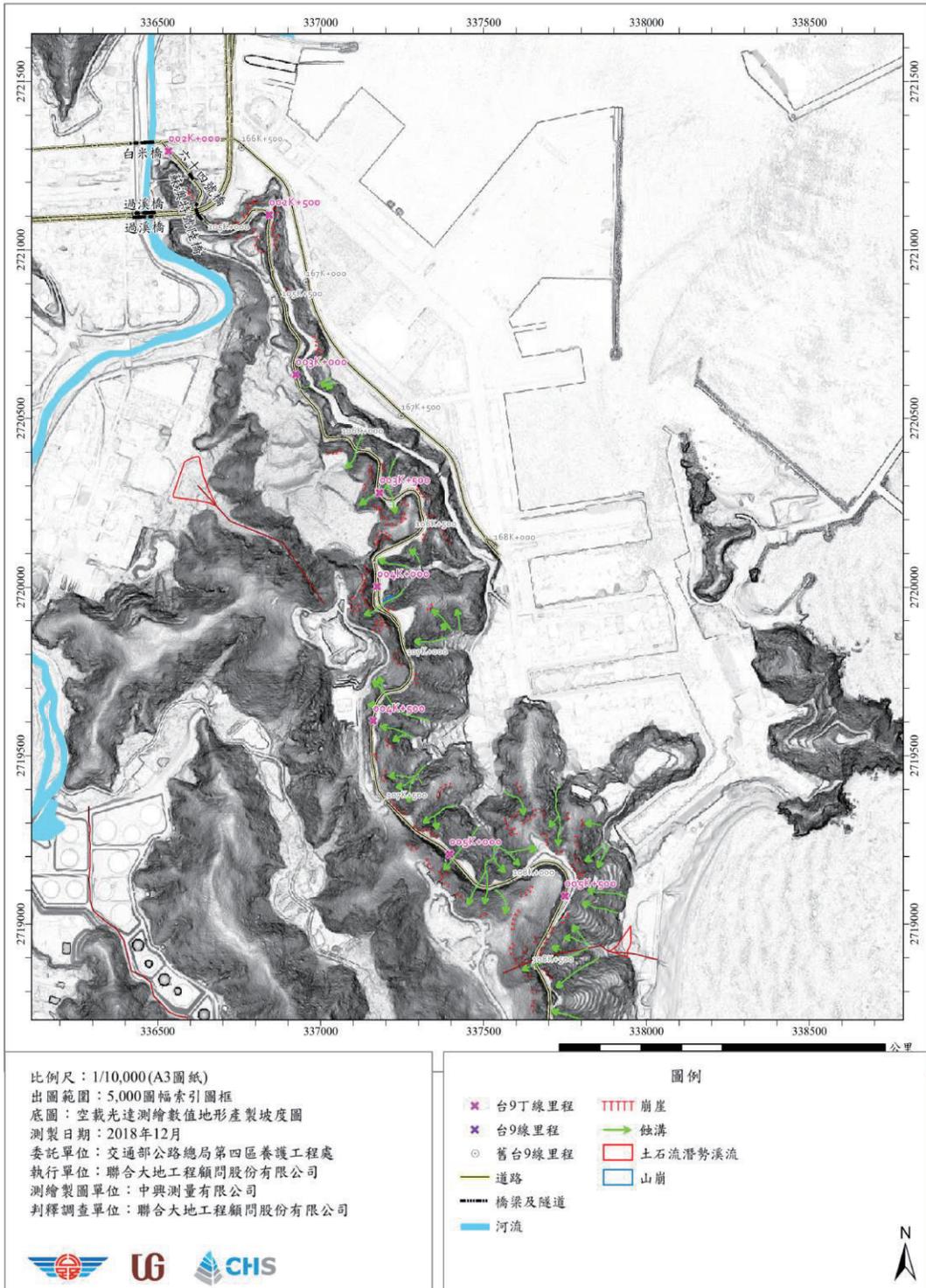


圖 5.13 公路沿線邊坡光達地形坡度圖判釋結果(例)

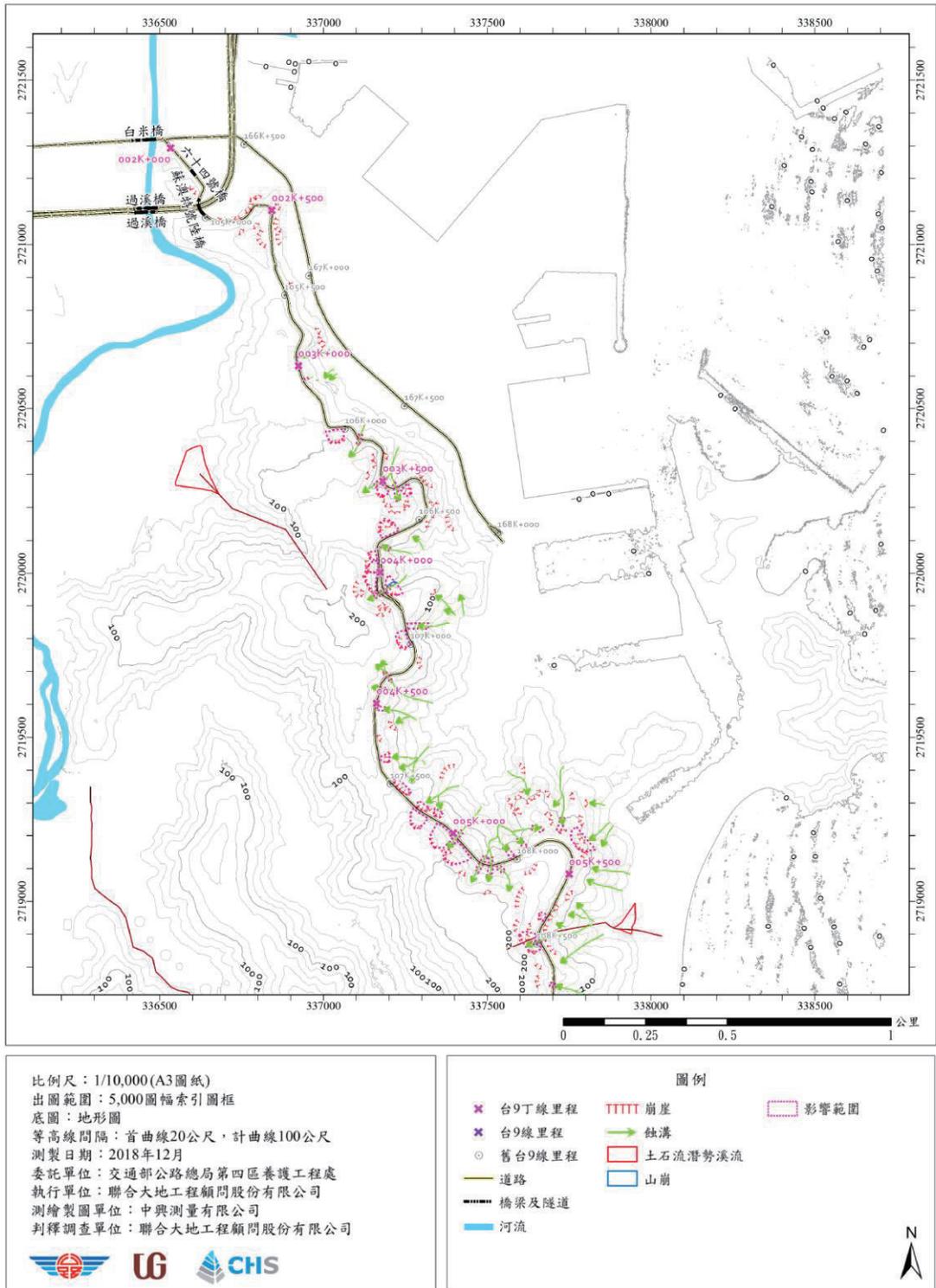
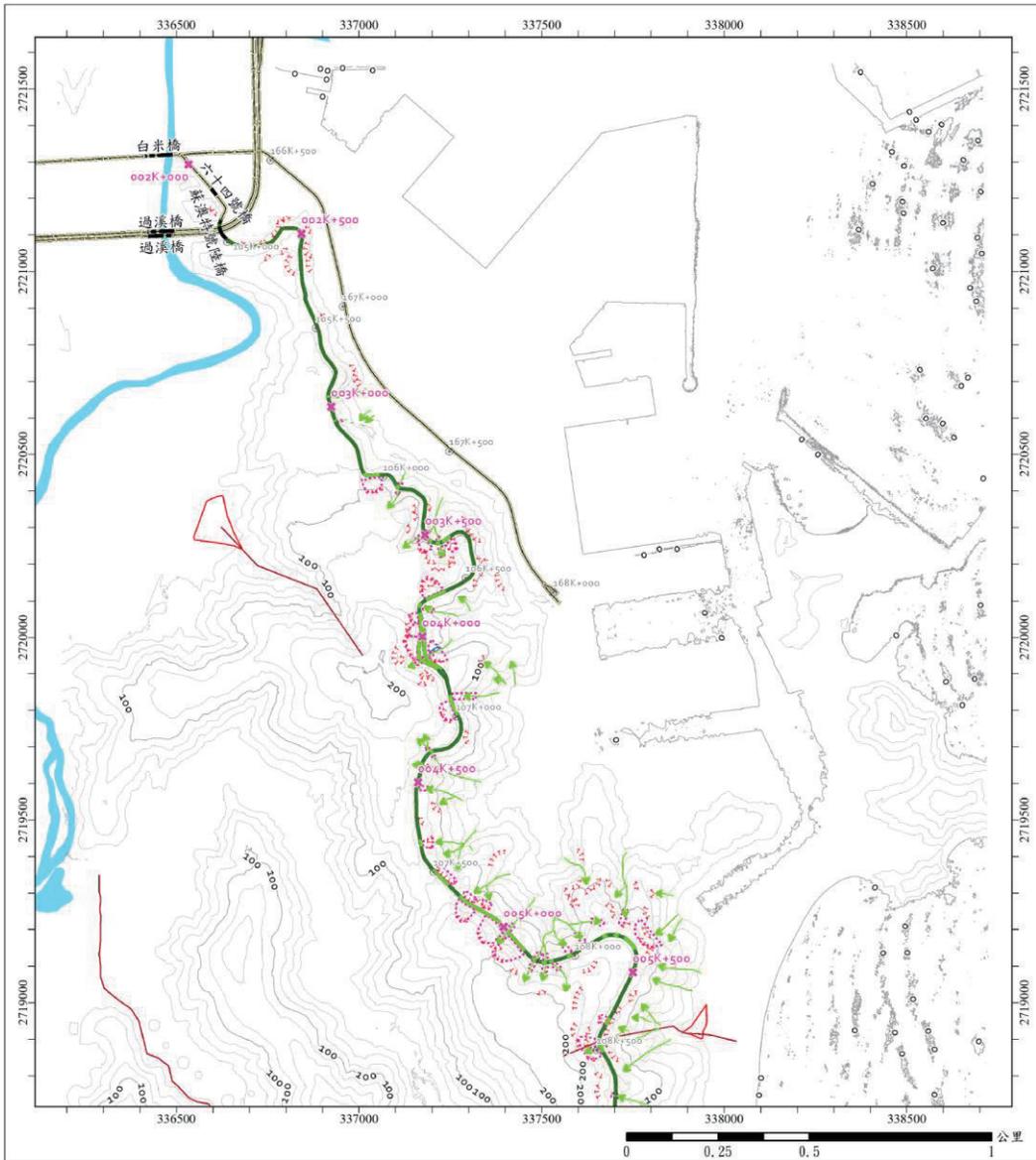


圖 5.14 公路沿線致災影響範圍劃設結果(例)



比例尺：1/10,000(A3圖紙)
 出圖範圍：5,000圖幅索引圖框
 底圖：地形圖
 等高線間隔：首曲線20公尺，計曲線100公尺
 測製日期：2018年12月
 委託單位：交通部公路總局第四區養護工程處
 執行單位：聯合大地工程顧問股份有限公司
 測繪製圖單位：中興測量有限公司
 判釋調查單位：聯合大地工程顧問股份有限公司

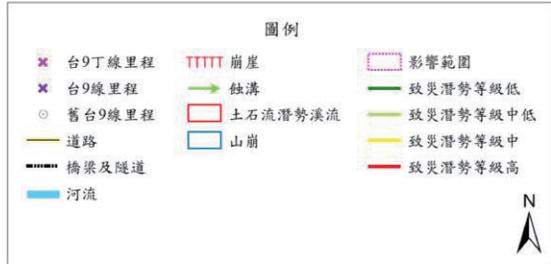


圖 5.15 易致災路段劃定結果(例)

5.4 易致災路段劃定結果統計

本計畫路段經判釋所得崩塌、崩崖、蝕溝以及土石流的數量，判釋的工作範圍係以公路沿線邊坡且致災時可能造成公路阻斷者為限，未包含整個圖框的範圍，如圖 5.12~15 所示，本計畫之路段臨近公路邊坡可能造成公路阻斷之崩崖(紅色 T 線)計有 4,030 處、蝕溝(綠色指引線)計有 1,683 處、山崩(藍色框線)計有 267 處、土石流(紅色框線)計有 13 條，詳表 5.1 所示。

依易致災路段危害等級劃設以阻斷道路為主要考量，將其公路邊坡之坡向及特性細分區段，約可被區分為 1,041 個區段，再依災害類型分類為下邊坡淺層岩屑崩滑、上邊坡淺層岩屑崩滑、邊坡深層岩體滑動、上邊坡落石及岩體崩落、土石流等 5 類評分，同時亦考量既有公路設施(如擋土牆、邊坡掛網或噴漿等)，於現地調查針對具失穩潛勢邊坡及易致災路段影響之範圍進行查核，調查路段是否存在與各類型邊坡失穩有關的地形地貌特徵，以及地工構造物是否有明顯異狀，並建立邊坡基本資料表，再視現地露頭情況辦理落石危害度(RHRS)評估以及岩體不連續面描述，最後依據現地調查成果修繪遙測判釋結果以及本路段致災潛勢等級。分別劃定其易致災潛勢等級(高、中、中低、低)，計畫沿線致災潛勢等級為高之路段長度計約 1,156 m，詳表 5.2 所示，約占計畫範圍總長之 1.5%。經評分後，本計畫高潛勢路段共計 11 處，目前工務段已完成整治工作，後續將視現況加強巡查工作，詳表 5.3 所示。

本計畫主要針對計畫沿線邊坡進行環境地質的邊坡普查，邊坡易致災潛勢劃設主要係考量災害重複性發生之頻率，以及是否具致災性地貌特徵與其變異，並經現地調查、邊坡危險度評估因子 RHRS 評分與查核篩選完成邊坡易致災潛勢評估。

易致災路段潛勢評估系屬自然邊坡天然災害分析上的相對等級劃分，在相同雨量、降雨強度或同等級地震下，通常高潛勢較中、低潛勢路段容易發生崩塌災害，惟因蘇花公路具複雜多變的地層分布、地質構造與滲流侵蝕，以及外來地震與強降雨在時間上的不可預測性，除無法確切預估單一事件發生土石崩落坍方之特定點位與時間，亦常因一些局部因素的交互影響，造成高、中、低潛勢路段落石坍方發生之突然，實不可將這些不可預測性歸責於本潛勢評估之任何結果。本計畫所完成各路段之高、中、中低、低潛勢評估結果，是依其相對比較性提供易致災路段預防性養護(Preventative Maintenance)管理或工程設施等資源投入之規劃評估，以及計畫推動輕重緩急排序之參考。

表 5.1 遙測影像判釋結果之明細表

判釋項目	崩崖	蝕溝	山崩	土石流
數量	4030	1683	267	13

*崩崖、山崩與土石流單位為處，蝕溝單位為條。

表 5.2 易致災路段危害等級劃設結果

危害等級	低	中低	中	高
路段長度(m)	55,676	15,640	5,969	1,156

表 5.3 建議辦理後續處置規劃路段列表(高潛勢)

編號	台 9 丁線/ *台 9 線里程	原台 9 線 舊里程	潛 勢 等 級	災害類型						後續處置					
				下 邊 坡 淺	岩 崩 滑	上 邊 坡 淺	岩 崩 滑	邊 坡 深 層	岩 體 滑 動	上 邊 坡 落	岩 體 崩 落	土 石 流	調 查	監 測	分 析
1	8 k+872~ 8 k+967	111 k+627~ 111 k+721	高		○	○					◎	●	◎	●	
2	21 k+492~21 k+532	124 k+185~ 124 k+216	高		○	△	○					◎	◎	●	
3	24 k+800~ 24 k+925	127 k+519~ 127 k+643	高	○	○		□						◎	●	◎
4	38 k+900~ 38 k+971	141 k+601~ 141 k+680	高		○		○					◎	◎	●	
5	43 k+720~ 43 k+775	146 k+491~ 146 k+666	高		○		○					◎	◎	●	
6	45 k+570~ 45 k+670	148 k+361~ 148 k+461	高		○							◎	◎	●	
7	46 k+790~ 47 k+862	149 k+600~ 149 k+672	高	□	○		○					◎	◎	●	
8	48 k+330~ 48 k+375	151 k+170~ 151 k+210	高		○		○						◎	●	◎
9	66 k+855~ 66 k+914	169 k+457~ 169 k+517	高		○	△						◎		●	
10	68 k+650~ 68 k+705	171 k+255~ 171 k+358	高		○									●	◎
11	*162 k+739~ 163 k+020	176 k+210~ 176 k+491	高		○		○					◎	◎	●	

備註：

1. 本表之易致災路段潛勢評估結果，是依其相對比較性提供易致災路段預防性養護計畫推動排序之參考，無法確切預估單一事件發生土石崩落坍方之特定點位與時間，以及高中低潛勢路段落石坍方發生之突然，實不可將這些不可預測性歸責於本潛勢評估之任何結果。
2. 排列順序依里程數依序排列，與處置優先順序無關。

災害類型危害等級：○高、□中、△低；處置規劃辦理：●建議優先、◎可視貴段需求。

六、結論與建議

本計畫係利用「歷年航照與高解像力衛星影像資料蒐集」、「歷史災害資料蒐集」、「其他相關單位歷史致災資料蒐集」與「空載光達掃瞄」建立基本資料與工作底圖，再透過「歷年衛星雷達干涉影像蒐集與分析評估」與「易致災路段現地調查(含補充測量)」完成「易致災路段影響範圍模擬與劃定」，最後亦參考「地質鑽探及監測儀器設置」成果提出「易致災路段後續處置規劃」報告。

採用加拿大 Optech 公司之空載雷射掃瞄儀 PEGASUS HA500，以 7 天飛航作業、74 條航線完成本計畫範圍之空載光達掃瞄，使重點區域點雲密度資料提高達 4 點(pt/m²)以上，並產製數值高程模型(DEM)、數值地表模型(DSM)以及正射影像，以提供本案易致災路段影響範圍模擬與劃定之工作底圖，此外，並額外承諾完成本計畫範圍全線車載光達掃瞄，以輔助高陡或倒懸邊坡之判釋作業。

前述資料透過空間資料系統軟體建置資料庫平台，有利於易致災路段邊坡穩定性以及大地工程設施效能的長期追蹤，並可進一步深入掌握問題特性，及早針對高致災潛能路段實施必要的加固穩定措施，適時地調整預警性封閉的實施時間與區段，不僅契合了現代化公路「防災重於救災、離災優於減災」的基本養護方針，同時也在公路工程永續發展的大道上大步地邁進(林文正，2016)。

易致災路段之調查與評估並非一次性之工作，而是需針對高潛勢路段於尚未進行改善工程前設置長期監測或告警系統，並依各路段特性每 5~10 年再次進行易致災路段定期監測、補充更新各項調查紀錄與評估結果，更新易致災潛勢圖資，以確保用路人之行車安全並有助於公路之養護作業。

七、謝誌

本文部分技術內容取自「台 9 線蘇花公路 104K+600-181K+266 (蘇澳至崇德) 易致災路段調查評估與監測暨轄區隧道整體檢查委託服務工作」期末報告，該計畫委託聯合大地工程顧問股份有限公司與中興測量有限公司辦理，特此申謝。

八、參考文獻

1. 大地工程學會(2011)，國道 3 號 3.1 公里崩塌事件原因調查工作總結報告，交通部調查報告。
2. 林銘郎、陳仁達、楊賢德、詹佩臻、劉桓吉、林偉雄、羅佳明、廖瑞堂、黃文正、王泰典(2013)，蘇花公路 115.7~116.1k 路段三處災害破壞機制之工程地質考量，大地技

師，6期，16-33頁。

3. 交通部中央氣象局全球資訊網，<https://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>。
4. 交通部公路防救災資訊系統，<http://bobe168.tw/>。
5. 財團法人中興工程顧問社 (2014)，「台 9 線蘇花公路 104k+750~130k+500(蘇澳至南澳)易致災路段調查評估與災害控管計畫委託服務工作(後續處置規劃書)」，交通部公路總局第四區養護工程處。
6. 林文正、傅立祥、劉世桐、廖吳章(2016)，多時序航照及高精度光達數值地形模型應用於山區公路易致災路段評估以中橫公路東段為例，臺灣公路工程，第 42 卷第 11 期，2-36 頁。
7. 經濟部中央地質調查所 (2013)，「1/50,000 易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置：圖冊」。
8. 經濟部中央地質調查所全球資訊網，<https://www.moeacgs.gov.tw/main.jsp>。
9. 聯合大地工程顧問股份有限公司 (2021)，「台 9 線蘇花公路 104K+600-181K+266 (蘇澳至崇德) 易致災路段調查評估與監測暨轄區隧道整體檢查委託服務工作」期末報告，交通部公路總局第四區養護工程處。

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 111 年 12 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 111 年 12 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