臺灣公路工程

第 44 卷　第 1 期

〈每月 15 日出刊〉

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vol. 44 No.1 Jan. 2018

交通部公路總局

中華民國 107 年 1 月 15 日

封　　面　　說　　明

台14甲線28K_29K　雪景

陳毅銘　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 1 期 目錄

專題研究

不同目標黏度之再生瀝青混凝土之研究

..... 洪明澤、蘇育民、何鴻文…（2）

106 年金質獎

台 12 線沙鹿陸橋改建工程獲第 17 屆公共工程金質獎優等之經驗分享

..... 陳敬明、呂正安、盧勇廷…（22）

出版者：臺灣公路工程月刊社
社　址：10863 臺北市萬華區東園街 65 號
Address：No.65, Dongyuan St., Wanhua Dist.,
Taipei City 10863, Taiwan （R. O. C.）
電　話：（02）2307-0123 轉 8008
網　址：http://www.thb.gov.tw/本局資訊/影音及出版品

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　鉦　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
陳嘉盈　林清洲
陳松堂　吳昭煌
江金璋　邵厚潔
顏召宜

臺灣公路工程第 44 卷第 1 期
民國 107 年 1 月
Taiwan Highway Engineering
Vol. 44 No.1 Jan. 2018 pp. 2-21

不同目標黏度之再生瀝青混凝土之研究

洪明澤 *、蘇育民 **、何鴻文 ***

摘要

本研究係因再生瀝青混凝土配比為配合目標黏度之要求，為增加 RAP 摻配比例往往需使用到再生劑，惟市面上再生劑種類繁多，品質穩定性及效果恐良莠不齊，不若軟化劑為固定 2 家大廠（中油及台塑）出產，品質穩定性及效果較佳。故本研究探討再生瀝青混凝土配比使用 AC-10 為軟化劑，RAP 摻配比例為 20%、30%及 40%，並依摻配比例調整適當目標黏度，藉由馬歇爾穩定值、馬歇爾流度值試驗、滯留強度試驗、及漢堡車轍輪跡等試驗，以力學特性評估 RAP 料摻配比例合理性。由研究結果得知，當 RAP 料摻配比例為 40%時，混合料工作拌合曲線超出規範帶，因此本研究建議過度老化 RAP 料應用在再生瀝青混凝土配比摻配比例不宜超過 30%；添加適量的 RAP 料在穩定值、流度值、以及滯留強度試驗成效，均不遜於新料；漢堡車轍輪跡試驗的結果則顯示，RAP 料的添加量與抵抗車轍能力成正相關，添加 20 與 30% RAP 的混合料相較全新混合料在抵抗車轍能力相比較佳，但對於抗疲勞能力有待評估，建議後續要納入疲勞試驗，進行更完整的考量。

關鍵詞：目標黏度、再生瀝青混凝土、漢堡車轍輪跡試驗

一、前言

依據交通部 2016 年統計資料顯示，臺灣之公路總長度達 43,365 公里[1]，且用於鋪面之瀝青混凝土佔 96%以上；顯見臺灣每年的瀝青混凝土刨除料（Reclaimed Asphalt Pavement，以下簡稱 RAP）的總量非常龐大，故瀝青刨除料的再生利用是值得研討的課題。

1.1 研究動機與目的

國內目前雖有將 RAP 料運用在再生瀝青混凝土鋪面（RAC，Recycled Asphalt Concrete），但由於供大於求的緣故，依然有過多的 RAP 料堆置於瀝青廠，甚有多年後

* 國立高雄科技大學土木工程系博士生暨交通部公路總局材料試驗所路面科科長
** 國立高雄應用科技大學土木工程系助理教授
*** 時任交通部公路總局材料試驗所所長　現任工務組組長

仍未使用，導致 RAP 瀝青與粒料性質已過度老化，依照現行規範規定，無法將其使用在再生瀝青混凝土鋪面。因此本研究案主要動機係將過度老化 RAP 料應用於再生瀝青混凝土中，藉由實驗室試驗了解其效果；主要係希望藉由此研究結果進行現地試鋪，以適切的過度老化 RAP 料摻配比例應用於現地，以達消耗 RAP 料之目的。

1. 研究範圍

本研究先依工程會施工綱要規範[2]的相關規定，進行密級配瀝青混凝土配合設計，以過度老化的 RAP 料，比例分別為 20%、30%及 40%，再行比較相關試驗結果與特性，用以決定最適合的 RAP 料摻配比例。

二、文獻回顧

2.1 再生瀝青混凝土

瀝青混凝土刨除料（Reclaimed Asphalt Pavement，以下簡稱 RAP）使用於瀝青混凝土混合料中已行之有年，大部分再生瀝青混凝土都從既存瀝青混凝土鋪面刨除，再將粒料尺寸處理成適用於瀝青混凝土混合料之大小[3]。RAP 料不同於原始粒料，部分特點須加以考量，分述如下：

1. 基本性質

依據交通部工程會施工綱要規範第 02966 章[2]，規定運回拌和廠作為再生瀝青混凝土之既有瀝青混凝土挖（刨）除料，應符合下列條件：

（1） 瀝青含量（%）：3.0 以上（對刨除混合料重量比）。

（2） 針入度（25℃、5 sec、100g）：15 以上。

（3） 再生瀝青粒料不得含達有害量之木屑、金屬、有機物、土壤、及其他有害物。

2. 瀝青膠泥選擇

美國採用 Superpave 級配設計規範後，研究顯示一般添加 RAP 料的摻配比例對於 Performance Grade（PG）瀝青膠泥選擇之影響，研究結果如下[4]：

（1）低含量（15%以下）：用同一等級 PG 瀝青膠泥。

（2）中含量（15~25%以下）：可以使用次一等級 PG 瀝青膠泥做軟化劑。

（3）高含量（25%以上）：使用拌合圖表決定適當的新黏結料等級。

3. 變異性質

使用 RAP 關鍵在於材料變異性之控制，因為 RAP 從舊路面移除，可能包含原路面以及修補、破碎處理和其他養護處理等材料。RAP 可能已混入舊路面底層、中層和面層，同時來源不同的 RAP 可能囤積在相同的料堆，更增加 RAP 的變異性[4]。

4. 瀝青路面的老化特性[5]

瀝青路面失去功能作用的原因很多，路面結構設計的不合理、路基強度不足、水的破壞作用、混合料配合比設計不合理、施工工法、瀝青老化及交通狀況等諸多因素的影響。瀝青老化是諸多導致瀝青路面失去功能的原因之一，也是路面失去使用功能的主要因素。隨著老化現象的發展，瀝青變脆導致路面抗變形能力降低，隨車輛經過和低溫的作用，易產生裂縫，終將形成龜裂。瀝青路面老化的主要原因係為瀝青與氧氣的作用，產生更進一步的氧化，最後使瀝青逐漸硬化變脆開裂，不能發揮其原先應有的黏結作用，使得道路瀝青失去彈性。

從化學成分的角度對瀝青的化學成分進行分析為：飽和烴、芳香烴、膠質和瀝青質，老化後的瀝青與一般瀝青之間的區別在於化學成分上的不同。瀝青質含量增加，芳香烴和膠質含量減少，飽和烴因分裂化與揮發作用而引致含量降低。瀝青老化後針入度下降、脆性性質和軟化點升高，瀝青的黏度隨老化時間呈指數型態上升。

5. 瀝青路面的再生應用[5]

瀝青路面的再生利用，不但可節約瀝青、砂石等原材料，而且節約工程投資，同時有利於處理廢料、減少佔地面積、保護環境，因而具有顯著的經濟、社會和環境效益。再生過程係將廢棄的或翻新的瀝青路面, 經過翻挖、回收、破碎、篩析，與軟化劑或再生劑、新粒料、新瀝青材料等按一定比例重新拌和，鋪築成具有一定性能的瀝青路面。

6. 目標黏度（Target Viscosity）

再生瀝青混凝土之瀝青膠泥，以軟化劑或再生劑軟化後，所改善的瀝青膠泥可期望的黏度，稱之為目標黏度[3]。國內外針對不同目標黏度之再生瀝青混凝土研究較少，國內有研究[6]將目標黏度設為 2000 及 5000 Poises，分別探討添加軟化劑及再生劑的效果，因其新生及 RAP 粒料皆相同及軟化劑皆為 AC-10，其研究結果如表 1：

表 1.目標黏度 2000 及 5000 Poises 試驗結果表[6]

試驗項目	目標黏度	
	2,000 Poises	5,000 Poises
針入度	52.2	28.2
延展性（cm）	147	138.5
閃火點	318	249
穩定值（kgf）	1283	1612
流度值（0.1mm）	38.0	52.6
間接張力值（kg/cm^2）	11.19	17.83
浸水剝脫試驗（1 天）	8.59	17.16
浸水剝脫試驗（3 天）	7.26	15.24
滯留強度（%）	87.5	90.3
6,000 次車轍試驗動穩定值（回/mm）	6,250	8,333
12,000 次車轍試驗動穩定值（回/mm）	10,317	15,000

三、研究方法

3.1 研究方法

研究首先是文獻回顧、試驗器材及材料準備，接著分別進行新料瀝青混凝土配合設計試驗及過度老化 RAP 料物理性試驗，再以試誤法決定過度老化 RAP 料 20%、30%及 40%之 3 組再生瀝青混凝土工作拌合公式（JMF），使其相差最大值在±2.5%內，依據該計算結果進行再生瀝青混凝土配合設計，最後進行瀝青混凝土成效試驗及試驗結果比較與分析。研究流程如圖 1：

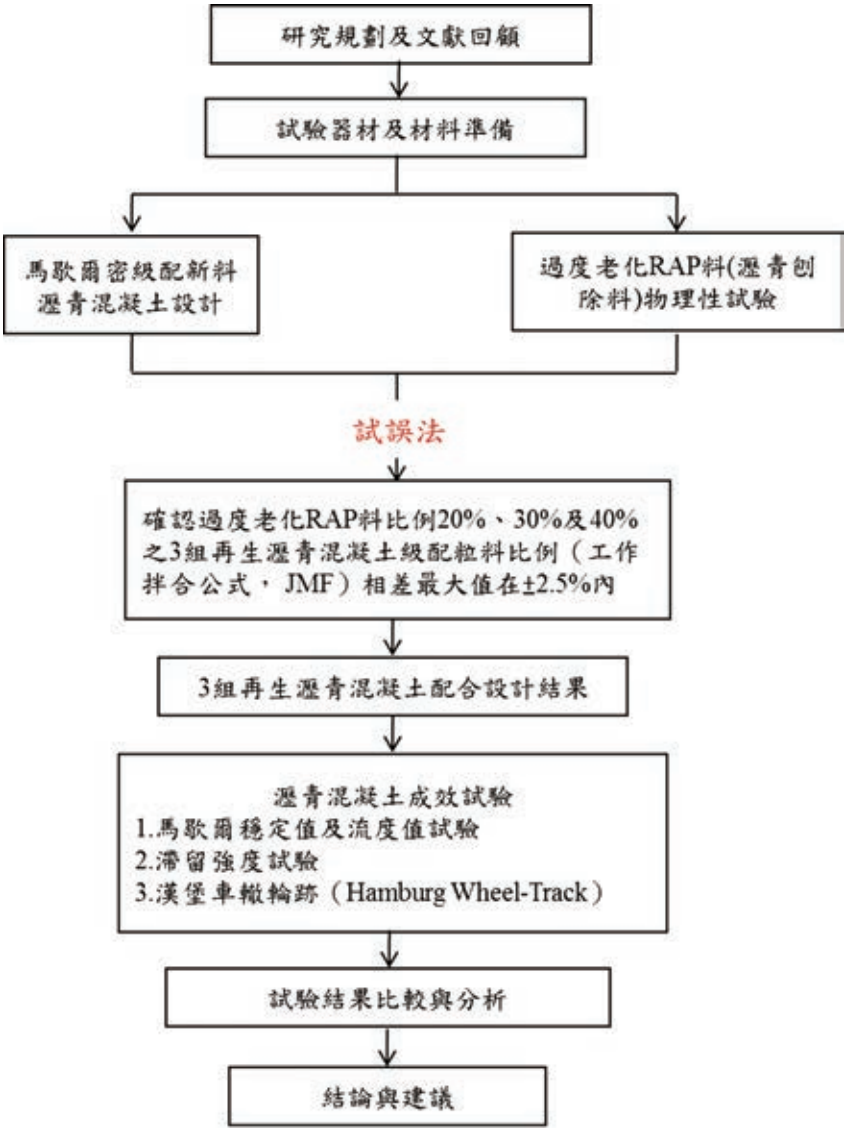


圖 1.研究流程

3.2 研究材料

本研究之材料主要為過度老化 RAP 料、軟化劑及瀝青混凝土配合設計新料粒料，其中瀝青混凝土配合設計新料粒料包含粗粒料、細粒料及礦物填縫料，以下分述之：

1. 過度老化 RAP 料

本研究之 RAP 料為同一刨除路段刨除料，經過瀝青廠進行清除雜物及破碎處理，為消耗過多 RAP 料，選用過度老化 RAP 料（針入度小於 15）如圖 2，進行再生瀝青混凝土配比試驗；該 RAP 料除針入度不符工程會施工綱要規範[2]規定外，其餘項目（瀝青含量及有害物規定）仍須符合交通部公路總局施工說明書規定。

2. 軟化劑

為管控研究過程之變因及排除再生劑對再生瀝青混凝土之影響，本研究排除使用再生劑，僅以 AC-10 作為軟化劑。因控制軟化劑種類，使 RAP 料摻配比例與目標黏度兩者關係，呈現正相關，故為增加 RAP 料摻配比例，研究過程中將目標黏度分別設定為 2000、3000 及 4000 poises，再計算不同目標黏度下，RAP 料最大摻配比例。

3. 粗、細粒料及礦物填縫料

本研究不論再生或新料瀝青混凝土配合設計，規格皆為標稱最大粒徑 19mm 密級配，其中新料粗粒料選用六分石、三分石及兩分石 （業界慣稱） 三種如圖 2，以目視判斷為質地堅韌、潔淨、耐磨之碎石；新料細粒料則為天然砂及機製砂之混合物如圖 2，目視判斷應須質地堅硬、表面粗糙且顆粒富有稜角；新料礦物填縫料為石粉如圖 2，且不含有水分、土塊、黏土顆粒或其他有害物質；三種粒料皆由同一料源廠所提供。

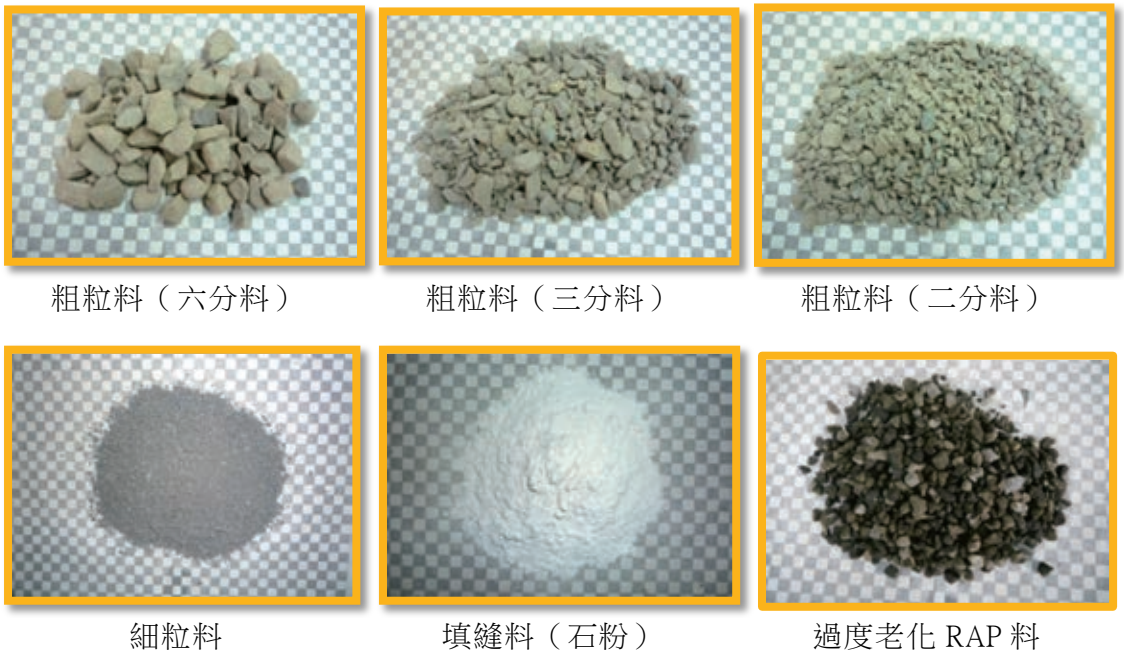


圖 2.研究材料

4. 瀝青混凝土成效試驗

瀝青混凝土的成效試驗（Performance Test）是指瀝青混凝土的相關力學性質試驗，對於瀝青混凝土混合料之承載力、抗水侵害…等性能進行比較。本研究之瀝青混凝土成效試驗包含馬歇爾穩定值試驗、流度值試驗、滯留強度試驗及漢堡車轍輪跡試驗（Hamburg Wheel-Track Testing）。以下分述之：

（1）馬歇爾穩定值試驗

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±1.0℃後，將試體放置恆溫水槽 30 分鐘，再放置馬歇爾穩定值試驗模具內，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。

（2）滯留強度試驗

參閱交通部公路總局施工說明書規定，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：

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

（3）漢堡車轍輪跡試驗

依據 AASHTO T324[7]規範進行相關試驗，主要內容如下：

（1）適用試體為實驗室製作試體及現地取樣試體。

（2）水溫：將試樣浸入溫度控制在 40～50℃（104 至 122℉）的水浴或瀝青膠泥的指定溫度。

（3）鋼輪規定：直徑 203.2mm（8 in.），47mm（1.85 in.）寬，載重是 705 ±4.5N，每分鐘 52±2 次在試樣往返。

（4）試體規定：直徑 15 公分（6 in.）試體，高度在 60±1mm，依據 ASTM D4867，將試驗樣品之空隙率控制在 7±1%。

（5）試驗儀器如圖 3。

圖 3.儀器整體及試體放置照片

四、研究結果分析

4.1 新料瀝青混凝土配合設計試驗結果

新料瀝青混凝土配合設計粒徑摻配比例如表 2，配合設計粒徑曲線如圖 4，試驗結果如表 3，將此試驗結果做為基礎，進行後續試驗。

表 2.新料瀝青混凝土配合設計粒徑摻配比例

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

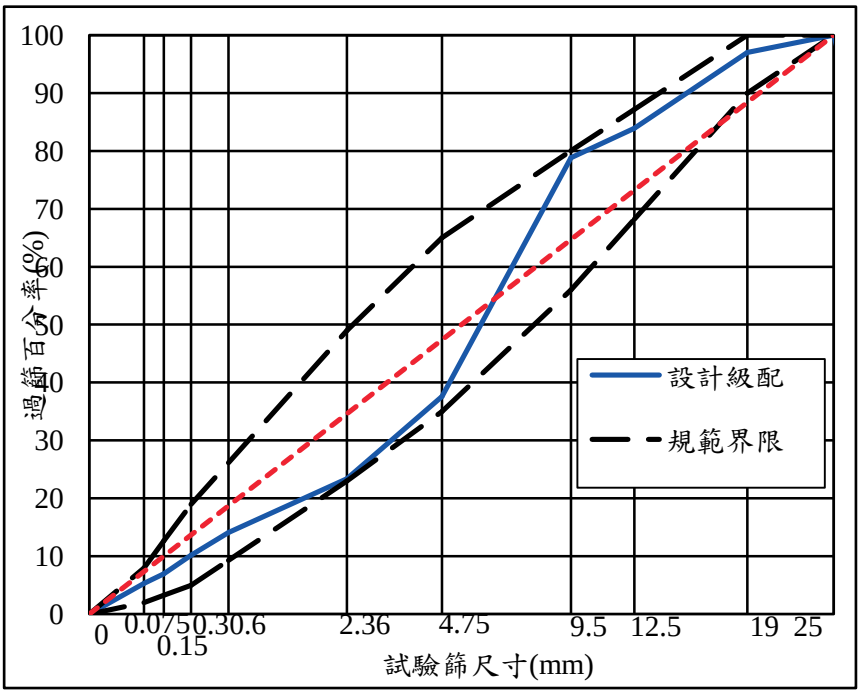


圖 4.新料瀝青混凝土配比設計粒徑曲線圖

表 3.新料瀝青混凝土配合設計試驗結果

項　　目	建議配比及相應各值	規範值＊
1. 粒料配合比	如附「粒料配比計算表」	如附「粒料配比計算表」之規範
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(kg/m^3)	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	2.617	—
10. 瀝青比重	1.033	—
11. 混合料最大理論密度(kg/m^3)	2467	—
12. 滯留強度指數(%)	86	≧75

4.2 再生瀝青混凝土試驗結果

1. RAP 料性質試驗結果

RAP料取自北部某瀝青廠之路面刨除料，經過破碎後RAP料進行相關性質之試驗，包含洗油後瀝青膠泥性質試驗（黏度、針入度及含油量）及洗油後粒料試驗（篩分析及比重），試驗結果如表 4 及表 5。

表 4.RAP 料洗油後瀝青膠泥性質試驗結果表

項目	RAP 料
針入度（0.1mm）	12
60℃黏度（poises）	175,000
含油量（%）	3.9

表 5.RAP 料洗油後粒料性質試驗結果表

粒料	RAP 料		
篩號（mm）	各別留篩百分率（%）	累計留篩百分率（%）	過篩百分率（%）
19.0	0	0	100.0
12.5	4	4	96.0
9.5	13	17	83.0
4.75	25	42	58.0
2.36	11	53	47.0
1.18	15	68	32.0
0.60	7	75	25.0
0.30	5	80	20.0
0.15	6	86	14.0
0.075	4.7	90.7	9.3
單位重	2.575		

2. 目標黏度設定

目標黏度、RAP 料摻配比例及軟化劑（或再生劑）等級三者互制關係，若控制軟化劑等級，則目標黏度與 RAP 摻配比例呈正相關。即 RAP 摻配比例越高，則目標粘度越高；本研究均以 AC-10 作為軟化劑，且為達 RAP 料摻配比例，目標黏度定為 2000、3000 及 4000（Poises），經過計算法求軟化劑 AC-10（1000±200 Poises），對不同目標黏度之 RAP 料摻配比例試算，其結果如表 6 所示。由表 6 之試算結果可以發現，軟化劑之黏度許可誤差為±20%，本研究試算結果得到目標黏度 2000 Poises 之 RAP 料摻配比例設定為 20%（以下簡稱「目標 2000-RAP20%」組），目標黏度 3000 Poises 之 RAP 料摻配比例設定為 30%（以下簡稱「目標 3000-RAP30%」組），目標黏度 4000 Poises 之 RAP 料摻配比例設定為 40%（以下簡稱「目標 4000-RAP40%」組）。

表 6.不同目標黏度之摻配比例計算結果表

目標黏度（Poises）	RAP 料添加量（%）	新瀝青膠泥添加比例（%）	新瀝青黏度（Poises）	符合 AC-10（1000±200 Poises）
2000	20	85.1	1109	√
	30	77.4	765	×
	40	70.4	523	×
3000	20	85.2	1726	×
	30	77.5	1199	√
	40	70.4	844	×
4000	20	85.2	2366	×
	30	77.4	1691	×
	40	70.3	1183	√

3. 三組再生瀝青混凝土配比各種粒料摻配比例結果

為調整三組再生瀝青混凝土配比假設條件下，僅有 RAP 摻配比例不同的變因，經由試誤法調整三組再生瀝青混凝土配比各個篩號之工作拌合公式（JMF）誤差在 ±2.5 %以內。經過試誤結果，「目標 2000-RAP20%」組配合設計粒徑摻配比例如表 7。

表 7.「目標 2000-RAP20%」組配合設計粒徑摻配比例

粒料	6 分石		3 分石		2 分石		砂		填縫料		RAP		JMF（%）	規範帶（%）
試驗篩號	配合比例													
	16%		**13%**		**37%**		**12%**		**2%**		**20%**			
25mm	100.0	**16.0**	100.0	**13.0**	100.0	**37.0**	100.0	**12.0**	100.0	**2.0**	100.0	**20.0**	**100.0**	100
19mm	81.3	**13.0**	100.0	**13.0**	100.0	**37.0**	100.0	**12.0**	100.0	**2.0**	100.0	**20.0**	**97.0**	90~100
12.5mm	13.4	**2.1**	86.3	**11.2**	99.7	**36.9**	100.0	**12.0**	100.0	**2.0**	96.0	**19.2**	**83.4**	–
9.5mm	6.0	**1.0**	68.0	**8.8**	96.9	**35.9**	100.0	**12.0**	100.0	**2.0**	83.0	**16.6**	**76.3**	56~80
4.75mm	2.8	**0.4**	4.9	**0.6**	26.5	**9.8**	99.3	**11.9**	100.0	**2.0**	58.0	**11.6**	**36.3**	35~65
2.36mm	1.7	**0.3**	1.1	**0.1**	4.6	**1.7**	81.2	**9.7**	100.0	**2.0**	47.0	**9.4**	**23.2**	23~49
1.18mm	1.3	**0.2**	0.9	**0.1**	2.8	**1.0**	62.4	**7.5**	100.0	**2.0**	32.0	**6.4**	**17.2**	–
600μm	1.1	**0.2**	0.9	**0.1**	2.1	**0.8**	44.9	**5.4**	100.0	**2.0**	25.0	**5.0**	**13.5**	–
300μm	1.0	**0.2**	0.9	**0.1**	1.8	**0.7**	27.8	**3.3**	100.0	**2.0**	20.0	**4.0**	**10.3**	5~19
150μm	0.8	**0.1**	0.8	**0.1**	1.5	**0.6**	14.1	**1.7**	100.0	**2.0**	14.0	**2.8**	**7.3**	–
75μm	0.6	**0.1**	0.7	**0.1**	1.1	**0.4**	7.3	**0.9**	100.0	**2.0**	9.3	**1.9**	**5.4**	2~8

「目標 3000-RAP30%」組配合設計粒徑摻配比例如表 8

表 8.「目標 3000-RAP30%」組配合設計粒徑摻配比例

粒料	6 分石		3 分石		2 分石		砂		填縫料		RAP		JMF（%）	規範帶（%）
試驗篩號	配合比例													
	16%		12%		33%		8%		1%		30%			
25mm	100.0	**16.0**	100.0	**12.0**	100.0	**33.0**	100.0	**8.0**	100.0	**1.0**	100.0	**30.0**	**100.0**	100
19mm	81.3	**13.0**	100.0	**12.0**	100.0	**33.0**	100.0	**8.0**	100.0	**1.0**	100.0	**30.0**	**97.0**	90~100
12.5mm	13.4	**2.1**	86.3	**10.4**	99.7	**32.9**	100.0	**8.0**	100.0	**1.0**	96.0	**28.8**	**83.2**	–
9.5mm	6.0	**1.0**	68.0	**8.2**	96.9	**32.0**	100.0	**8.0**	100.0	**1.0**	83.0	**24.9**	**75.1**	56~80
4.75mm	2.8	**0.4**	4.9	**0.6**	26.5	**8.7**	99.3	**7.9**	100.0	**1.0**	58.0	**17.4**	**36.0**	35~65
2.36mm	1.7	**0.3**	1.1	**0.1**	4.6	**1.5**	81.2	**6.5**	100.0	**1.0**	47.0	**14.1**	**23.5**	23~49
1.18mm	1.3	**0.2**	0.9	**0.1**	2.8	**0.9**	62.4	**5.0**	100.0	**1.0**	32.0	**9.6**	**16.8**	–
600μm	1.1	**0.2**	0.9	**0.1**	2.1	**0.7**	44.9	**3.6**	100.0	**1.0**	25.0	**7.5**	**13.1**	–
300μm	1.0	**0.2**	0.9	**0.1**	1.8	**0.6**	27.8	**2.2**	100.0	**1.0**	20.0	**6.0**	**10.1**	5~19
150μm	0.8	**0.1**	0.8	**0.1**	1.5	**0.5**	14.1	**1.1**	100.0	**1.0**	14.0	**4.2**	**7.0**	–
75μm	0.6	**0.1**	0.7	**0.1**	1.1	**0.4**	7.3	**0.6**	100.0	**1.0**	9.3	**2.8**	**5.0**	2~8

「目標 4000-RAP40%」組配合設計粒徑摻配比例如表 9。

表 9.「目標 4000-RAP40%」組配合設計粒徑摻配比例

粒料	6 分石		3 分石		2 分石		砂		填縫料		RAP		JMF（%）	規範帶（%）
試驗篩號	配合比例													
	16%		11%		29%		3%		1%		40%			
25mm	100.0	**16.0**	100.0	**11.0**	100.0	**29.0**	100.0	**3.0**	100.0	**1.0**	100.0	**40.0**	**100.0**	100
19mm	81.3	**13.0**	100.0	**11.0**	100.0	**29.0**	100.0	**3.0**	100.0	**1.0**	100.0	**40.0**	**97.0**	90~100
12.5mm	13.4	**2.1**	86.3	**9.5**	99.7	**28.9**	100.0	**3.0**	100.0	**1.0**	96.0	**38.4**	**82.9**	–
9.5mm	6.0	**1.0**	68.0	**7.5**	96.9	**28.1**	100.0	**3.0**	100.0	**1.0**	83.0	**33.2**	**73.8**	56~80
4.75mm	2.8	**0.4**	4.9	**0.5**	26.5	**7.7**	99.3	**3.0**	100.0	**1.0**	58.0	**23.2**	**35.8**	35~65
2.36mm	1.7	**0.3**	1.1	**0.1**	4.6	**1.3**	81.2	**2.4**	100.0	**1.0**	47.0	**18.8**	**23.9**	23~49
1.18mm	1.3	**0.2**	0.9	**0.1**	2.8	**0.8**	62.4	**1.9**	100.0	**1.0**	32.0	**12.8**	**16.8**	–
600μm	1.1	**0.2**	0.9	**0.1**	2.1	**0.6**	44.9	**1.3**	100.0	**1.0**	25.0	**10.0**	**13.2**	–
300μm	1.0	**0.2**	0.9	**0.1**	1.8	**0.5**	27.8	**0.8**	100.0	**1.0**	20.0	**8.0**	**10.6**	5~19
150μm	0.8	**0.1**	0.8	**0.1**	1.5	**0.4**	14.1	**0.4**	100.0	**1.0**	14.0	**5.6**	**7.6**	–
75μm	0.6	**0.1**	0.7	**0.1**	1.1	**0.3**	7.3	**0.2**	100.0	**1.0**	9.3	**3.7**	**5.4**	2~8

將三組再生瀝青混凝土配比各個篩號之工作拌合公式（JMF），繪製配合設計粒徑曲線圖如圖 5，由圖形可看出 3 條曲線相當契合，非常接近同一曲線。

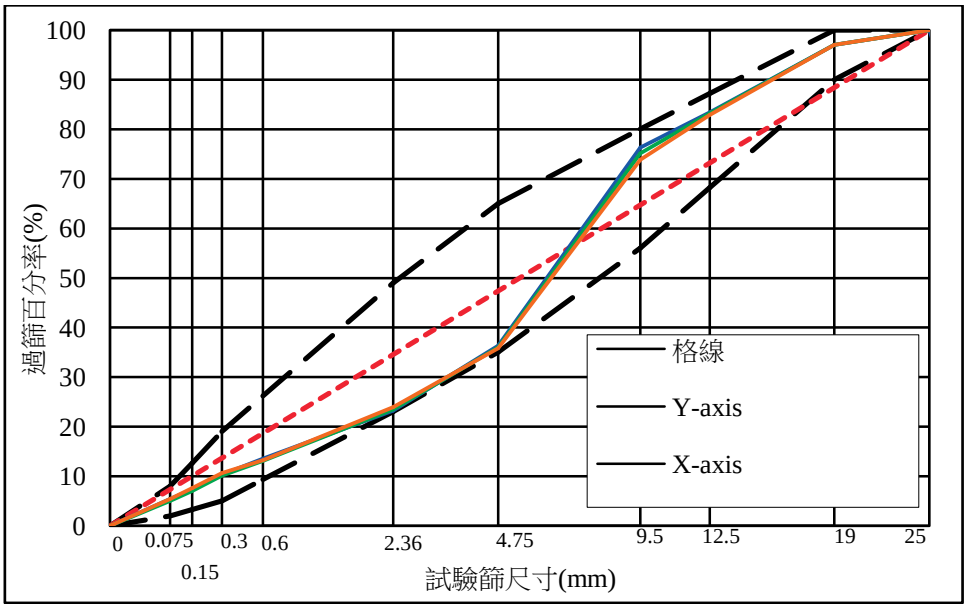


圖 5.三組再生瀝青混凝土配比設計粒徑曲線圖

4. 再生瀝青混凝土試驗結果

三組再生瀝青混凝土配比經過配比試驗，試驗結果分述如下：

「目標 2000-RAP20%」組配合設計試驗結果如表 10。

表 10.「目標 2000-RAP20%」組配合設計試驗結果

項　　目	建議配比及相應各值	規範值＊
1. 粒料配合比	如附「粒料配比計算表」	如附「粒料配比計算表」之規範
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（%）	5.8	—
c. 對混合料（%）	5.5	4 ～ 10
3. 試體密度（kg/m^3）	2324	—
4. 穩定值（kgf）	1120	≧ 817
5. 流度值（0.25mm）	9.6	8 ～ 14
6. 粒料間空隙率（V.M.A.，%）	15.6	≧ 13
7. 瀝青填充率（V.F.A，%）	72	65 ～ 75
8. 空隙率（Va，%）	4.5	3 ～ 5
9. 粒料平均比重	2.611	—
10. 瀝青比重	1.033	—
11. 混合料最大理論密度(kg/m^3)	2433	—
12. 滯留強度指數（%）	94	≧75

「目標 3000-RAP30%」組配合設計試驗結果如表 11。

表 11.「目標 3000-RAP30%」組配合設計試驗結果

項　　目	建議配比及相應各值	規範值＊
1. 粒料配合比	如附「粒料配比計算表」	如附「粒料配比計算表」之規範
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（%）	6.2	—
c. 對混合料（%）	5.8	4 ～ 10
3. 試體密度（kg/m^3）	2318	—
4. 穩定值（kgf）	1080	≧ 817
5. 流度值（0.25mm）	9.0	8 ～ 14
6. 粒料間空隙率（V.M.A.，%）	16.7	≧ 13
7. 瀝青填充率（V.F.A，%）	71	65 ～ 75
8. 空隙率（Va，%）	4.6	3 ～ 5
9. 粒料平均比重	2.607	—
10. 瀝青比重	1.033	—
11. 混合料最大理論密度（kg/m^3）	2430	—
12. 滯留強度指數（%）	88	≧75

「目標 4000-RAP40%」組於瀝青含量 6.0%時，配合設計試驗結果如表 12，惟流度值、瀝青填充率（V.F.A）及空隙率（Va）皆超出範圍值，依該 3 項數值與含油量關係圖趨勢線趨勢（如圖 6~8），瀝青含量必須超出 6%，才能符合規範值要求。因瀝青含量超出 6.0%，與一般國內所使用之最佳瀝青含量 4-6%不同，故不建議繼續提高最佳瀝青含量進行試驗，且因無法試驗得最佳瀝青含量之配合設計試驗結果，後續不進行該組別相關成效試驗。

表 12.「目標 4000-RAP40%」組配合設計試驗結果

項　　目	建議配比及相應各值	規範值＊
1. 粒料配合比	如附「粒料配比計算表」	如附「粒料配比計算表」之規範
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（%）	6.4	—
c. 對混合料（%）	6.0	4 ～ 10
3. 試體密度（kg/m^3）	2252	—
4. 穩定值（kgf）	1120	≧ 817
5. 流度值（0.25mm）	7.8	8 ～ 14
6. 粒料間空隙率（V.M.A.，%）	18.5	≧ 13
7. 瀝青填充率（V.F.A，%）	62	65 ～ 75
8. 空隙率（Va，%）	7.1	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^3）	2425	—
12. 滯留強度指數（%）	95	≧75

註：紅色字體為超出規範要求值。

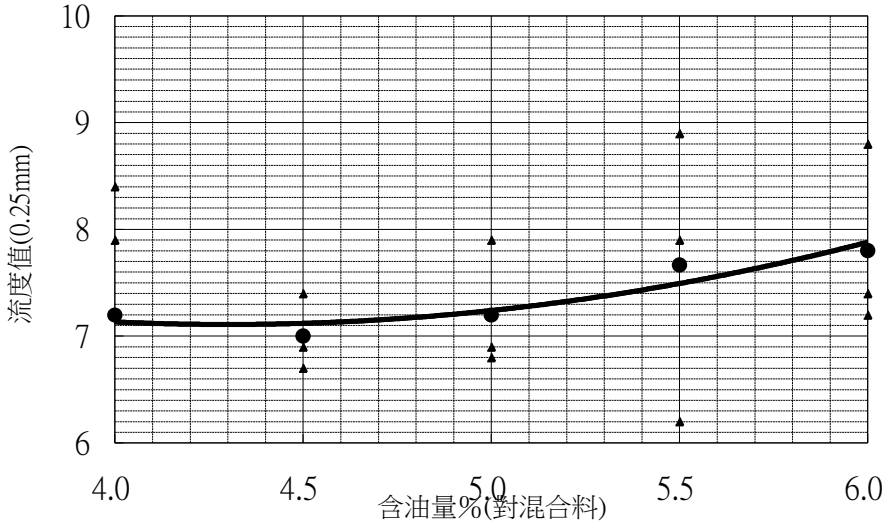


圖 6.「目標 4000-RAP40%」組配合設計流度值試驗結果

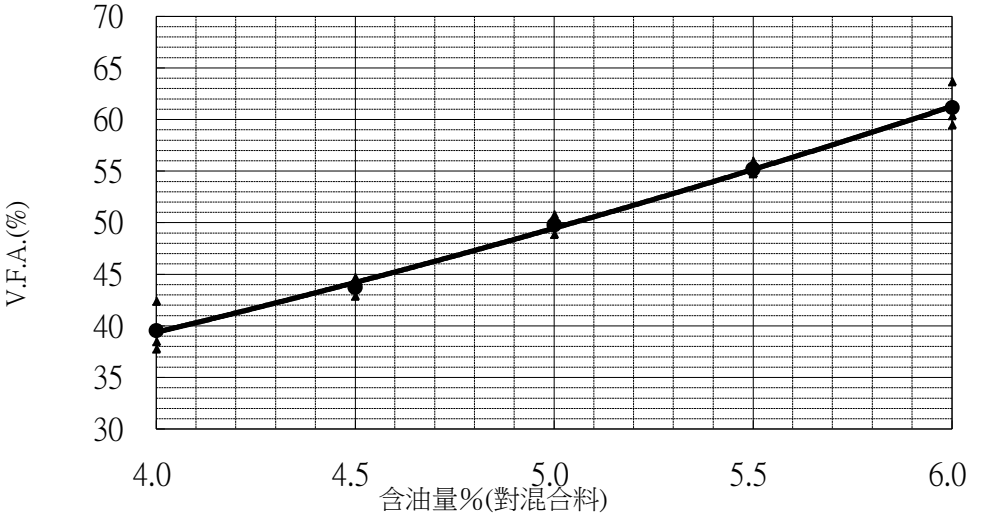


圖 7.「目標 4000-RAP40%」組配合設計瀝青填充率試驗結果

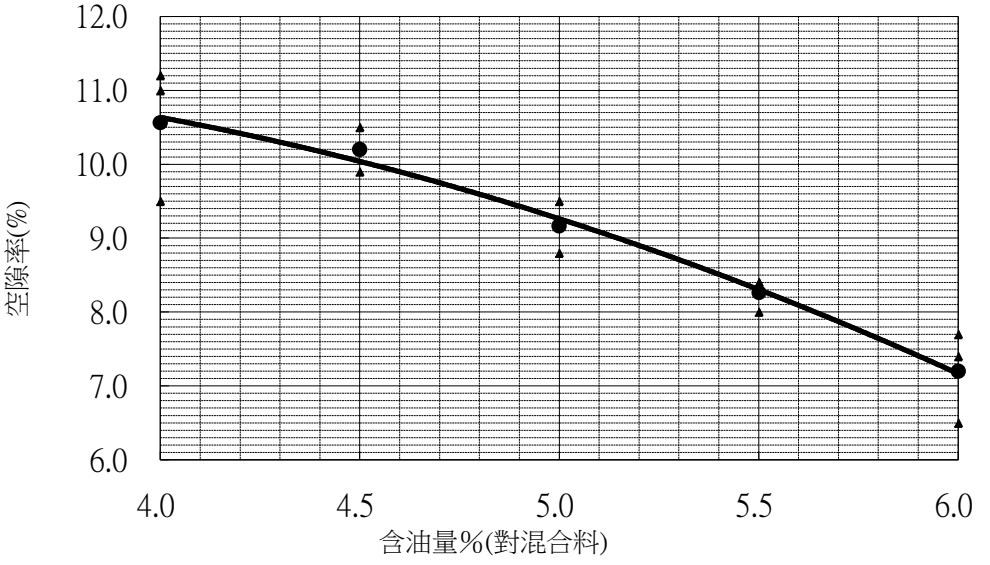


圖 8.「目標 4000-RAP40%」組配合設計空隙率試驗結果

再生瀝青混凝土配合設計試驗結果分析：

（1）瀝青含量：以「目標 2000-RAP20%」及「目標 3000-RAP30%」配合設計試驗結果比較，發現隨著 RAP 比例增加，瀝青含量會升高，「目標 4000-RAP40%」甚至高於 6.0%。

（2）V.M.A 及空隙率：以「目標 2000-RAP20%」及「目標 3000-RAP30%」配合設計試驗結果比較，發現隨著 RAP 比例增加，V.M.A 及空隙率會升高。

5. 再生瀝青混凝土成效試驗結果

（1）馬歇爾穩定值試驗及流度值試驗結果

將新料瀝青混凝土配比及 2 組再生瀝青混凝土配比穩定值及流度值試驗結果整理如表 13，繪製比較圖形如圖 9。

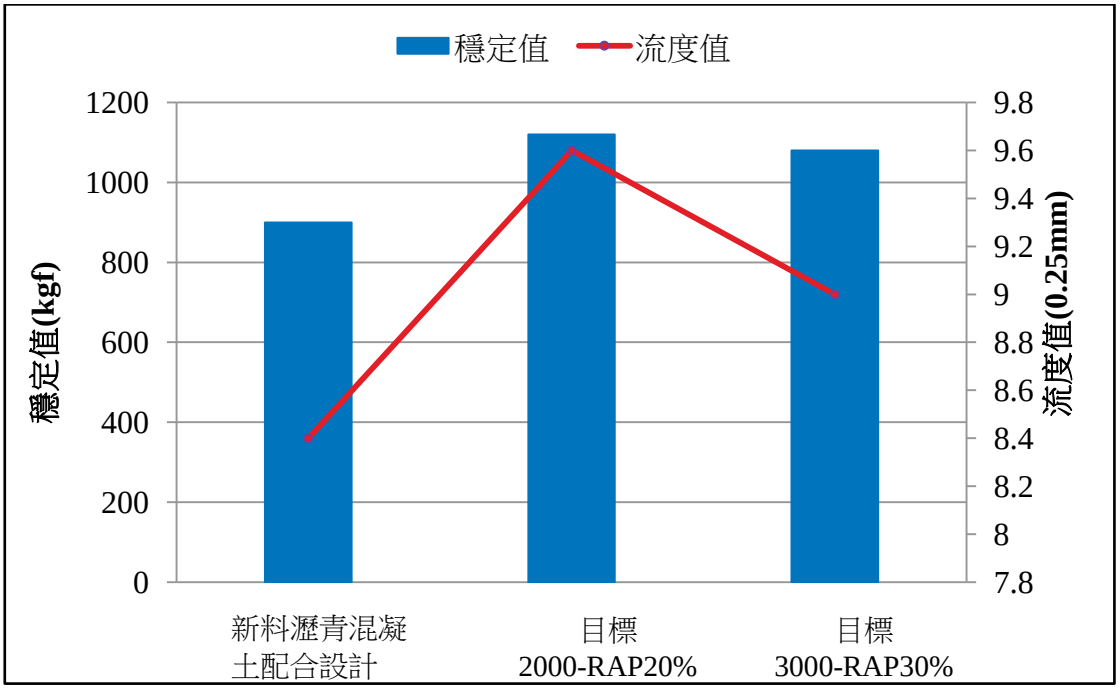


圖 9.馬歇爾穩定值及流度值試驗結果比較

表 13.馬歇爾穩定值及流度值試驗結果

項目	新料瀝青混凝土配合設計	再生瀝青混凝土配合設計		
		目標 2000-RAP20%	目標 3000-RAP30%	目標 4000-RAP40%
穩定值（kgf）	900	1,120	1,080	-
流度值（0.25mm）	8.4	9.6	9.0	-

（2）滯留強度試驗結果

將新料瀝青混凝土配比及 2 組再生瀝青混凝土配比滯留強度試驗結果整理如表 14，繪製比較圖形如圖 10。

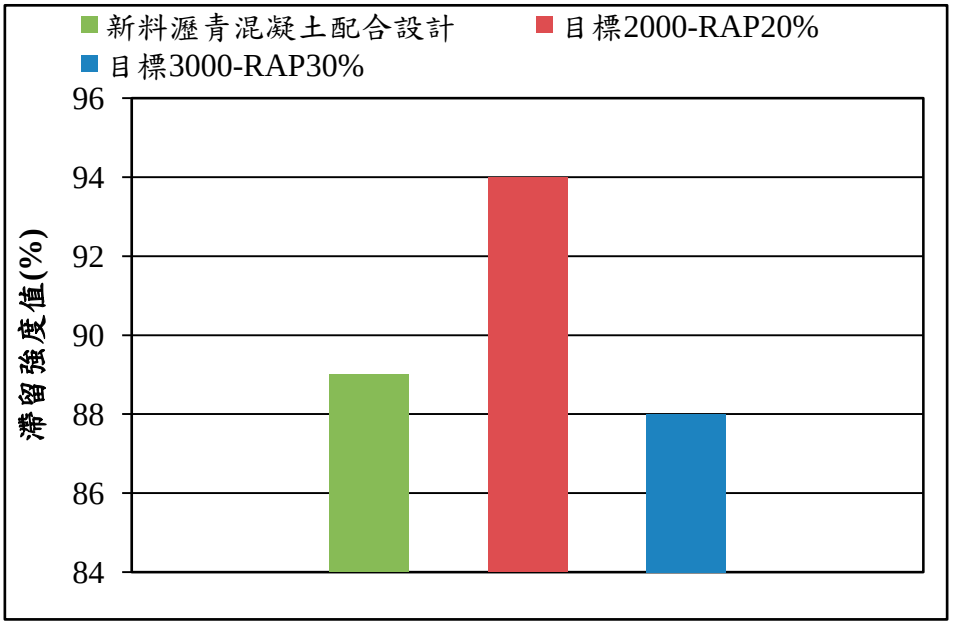


圖 10.滯留強度試驗結果比較

表 14.滯留強度試驗結果

項目	新料瀝青混凝土配合設計	再生瀝青混凝土配合設計		
		目標 2000-RAP20%	目標 3000-RAP30%	目標 4000-RAP40%
滯留強度指數（%）	89	94	88	-

（3）漢堡車轍輪跡試驗結果

將新料瀝青混凝土配比及 2 組再生瀝青混凝土配比漢堡車轍輪跡試驗結果整理如表 15，繪製比較圖形如圖 11 至圖 13。

表 15.漢堡車轍輪跡試驗結果

項目	新料瀝青混凝土配合設計		再生瀝青混凝土配合設計			
			目標 2000-RAP20%		目標 3000-RAP30%	
輪跡	1	2	1	2	1	2
剝脫點（SIP）輪次平均值 (深度,mm)	11,626 (9.04)	12,504 (7.75)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
深度 12.5mm 輪次值	13,136	13,900	＞ 20,000	＞ 20,000	＞ 20,000	＞ 20,000
深度 12.5mm 輪次平均值	13,518		＞20,000		＞20,000	

註：N.A.表示剝脫點（SIP）不顯著。

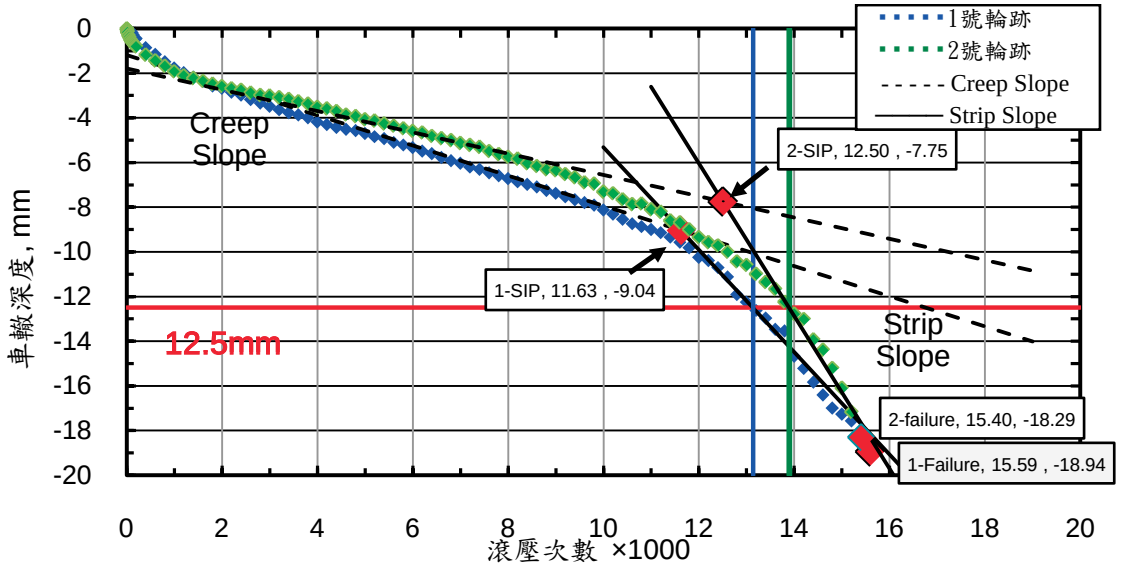


圖 11.新料瀝青混凝土配合設計漢堡車轍輪跡試驗結果

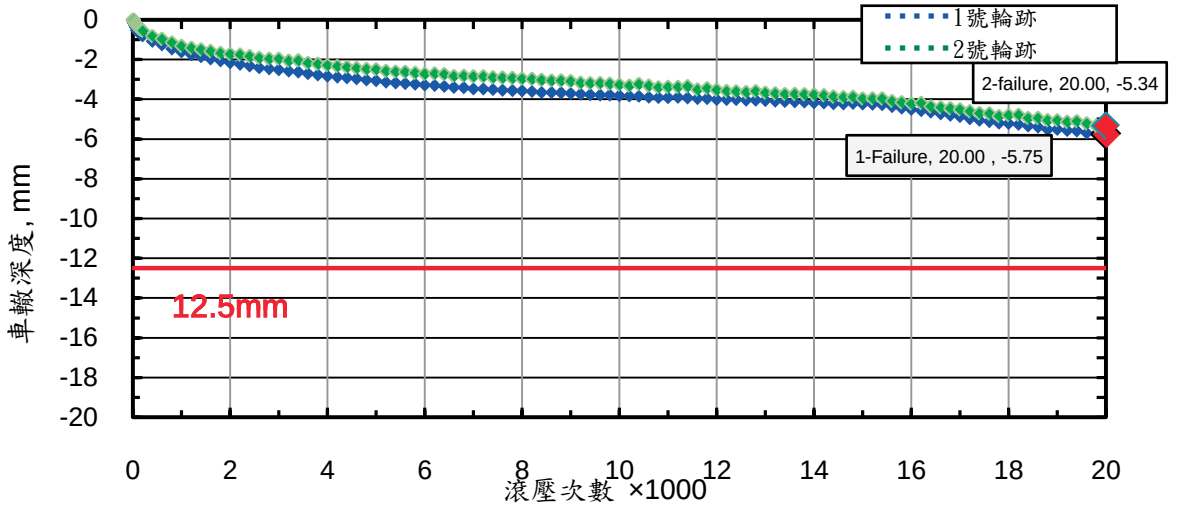


圖 12.目標 2000-RAP20%漢堡車轍輪跡試驗結果

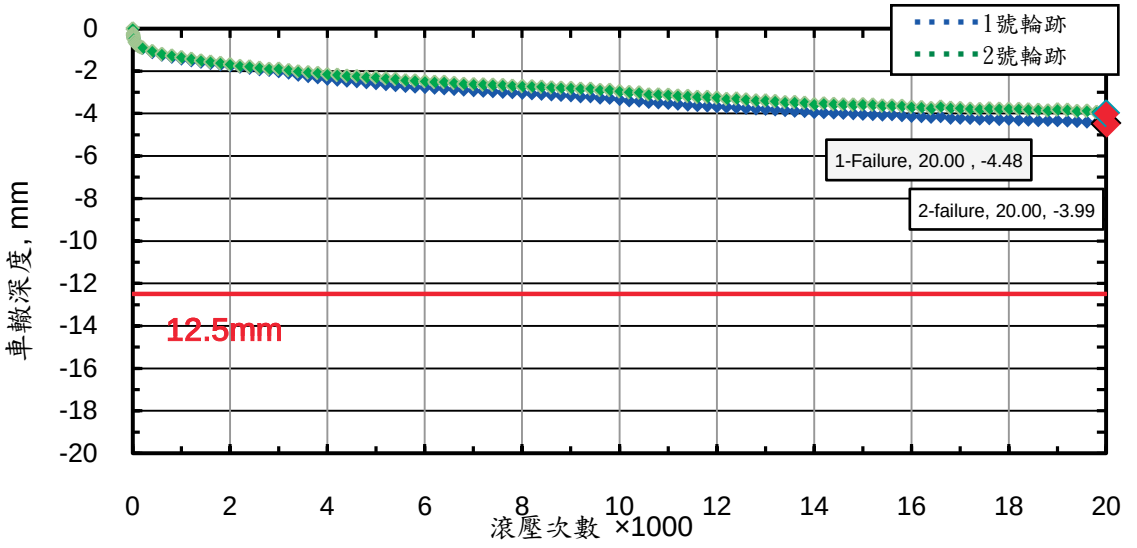


圖 13.目標 3000-RAP30%漢堡車轍輪跡試驗結果

6. 再生瀝青混凝土回收瀝青黏度試驗

將 2 組再生瀝青混凝土以最佳瀝青含量及級配粒料進行拌合後，再依交通部公路總局施工說明書第 02966 章[再生瀝青混凝土]規定，進行回收瀝青黏度之試驗，將試驗結果及規範要求值整理如表 16。很明顯 2 各組別試驗結果皆不符合規範要求值。

表 15. 再生瀝青混凝土回收瀝青黏度試驗結果

組別	新瀝青膠泥添加比例（%）	回收黏度值（Poises）	再生瀝青混凝土配比規範（Poises）
目標 2000-RAP20%	85.1	12,800	不得超過 6,500±35% （4,225~8,775）
目標 3000-RAP30%	77.5	25,400	

五、結論與建議

1. 依 RAP 料添加量比例為20%、30%及40%試驗結果來看，若能屏除交通部公路總局施工說明書第02966章[再生瀝青混凝土]，有關再生瀝青混凝土配比設計試驗之瀝青目標絕對黏度，測定溫度為60℃應在2,000poises 及再生瀝青混凝土配合設計後依配比拌和之回收瀝青黏度試驗，測定溫度為60℃ 應不得超過6,500±35%
之 2 點規定要求，RAP 添加量比例在 30%以內還能符合配比規範其他要求，惟仍要考量現地試舖觀察成效及壓實度（空隙率）變化情形以決定適當添加比例，故此作法對於去化過度老化 RAP 料（針入度 15 以下）有相當程度效用。

2. 成效試驗中，穩定值試驗、流度值試驗與滯留強度試驗結果都顯示在符合配比規範要求下， RAP 料以添加量20%結果為最佳，高於新料及 RAP 料的添加量30%的成效。初步成果顯示在力學表現及抗水侵害方面，添加20%的 RAP 料的成效表現不遜於新料，惟添加超過30%的 RAP 料配比設計最佳含油量結果已超出國內常用含油量 4.0%-6.0%，故建議 RAP 料添加比例不宜超過30%。

3. 在成效試驗中，漢堡車轍輪跡試驗的結果顯示，在符合配比規範要求下， RAP 料的添加量與試驗結果成正相關，初步成果顯示添加 RAP 料比例在20及30%時，由於黏滯度提高，則抵抗車轍能力較佳，但建議 RAP 之添加比例以不超過30%為原則。惟 RAP 料添加過多可能會導致疲勞裂縫提早發生，後續研究將再加入疲勞試驗後，進行更完整探討。

參考文獻

[1] 交通部網站，交通統計，道路長度及橋梁座數，105 年道路長度及橋梁座數概況，擷取日期：2017 年 9 月 18 日，網站：http://www.motc.gov.tw/。

[2] 交通部公路總局，施工說明書，2012 年 10 月。

[3] Asphalt Institute Manual Series No.2(AIMS-2) Sixth Edition, “Mix Design Methods For Aspalt Concrete and Other Hot-Mix Types”,199

[4] National Cooperative Highway Research Program (March 2001—Number 253), “Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Guidelines”

[5] 張強、王鵬（2006），瀝青路面的老化與再生應用，華東公路月刊。

[6] 符曉天（2010），再生瀝青混凝土添加再生劑之成效研究，高苑科技大學土木工程學系碩士論文。

[7] AASHTO T324,“Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) ”,2016.

臺灣公路工程第 44 卷第 1 期
民國 107 年 1 月
Taiwan Highway Engineering
Vol. 44 No.1 Jan. 2018 pp.22-51

台 12 線沙鹿陸橋改建工程獲第 17 屆公共工程金質獎優等之經驗分享

陳敬明[*]、呂正安[**]、盧勇廷[***]

摘要

行政院公共工程委員會每年辦理之金質獎，號稱為工程界的奧斯卡獎，眾多參賽標案歷經所屬中央部（會）查核初評合格後，方能獲推薦參加金質獎。若能獲得金質獎之肯定，對主辦機關、設計單位、監造單位及廠商等，皆屬工程界中崇高的肯定。沙鹿陸橋改建工程，第一階段主線已完工、刻正進行第二階段匝道施工，工址所在路段車流量高、房屋密集、管線眾多、跨越鐵路、穿越鐵路、及媒體高度觀注等種種挑戰，從設計階段即周延審查規劃，至施工階段面對困難皆嚴密構思對策，終能一一克服困難。施工團隊彙整各重要施工歷程，獲交通部推薦參加第 17 屆金質獎評比，並獲優等之肯定，故將設計、施工困難克服及準備重點等彙整分享，供各工程單位參考。

關鍵字：金質獎、沙鹿陸橋、管線、跨越鐵路、穿越鐵路

一、工程概要

沙鹿陸橋位於台 12 線（臺灣大道）里程 3K+448 處，如圖 1 所示，為台 12 線上唯一跨越鐵路的高架橋，西往臺中港區、東至臺中市中心，交通位置十分重要。高架橋跨越梧棲排水、縱貫鐵路海線及舊台 1 線（中山路），東、西行主線各 2 車道，其外側皆配置 2 線匝道供上、下中山路；高架橋兩側各有 2 座機車及人行地下道穿越海線鐵路，為涵蓋多種結構物之綜合性工程，圖 2 為平、立面圖，其中工區內有台電 69KV 超高壓電纜座及台水公司 1000MM 之水管潛埋縱貫工區。

---

[*] 時任交通部公路總局第二區養護工程處處長　現任規劃組組長
[**] 交通部公路總局第二區養護工程處卓蘭工務所主任
[***] 交通部公路總局第二區養護工程處工務課課長

圖 1 台 12 線沙鹿陸橋位置圖

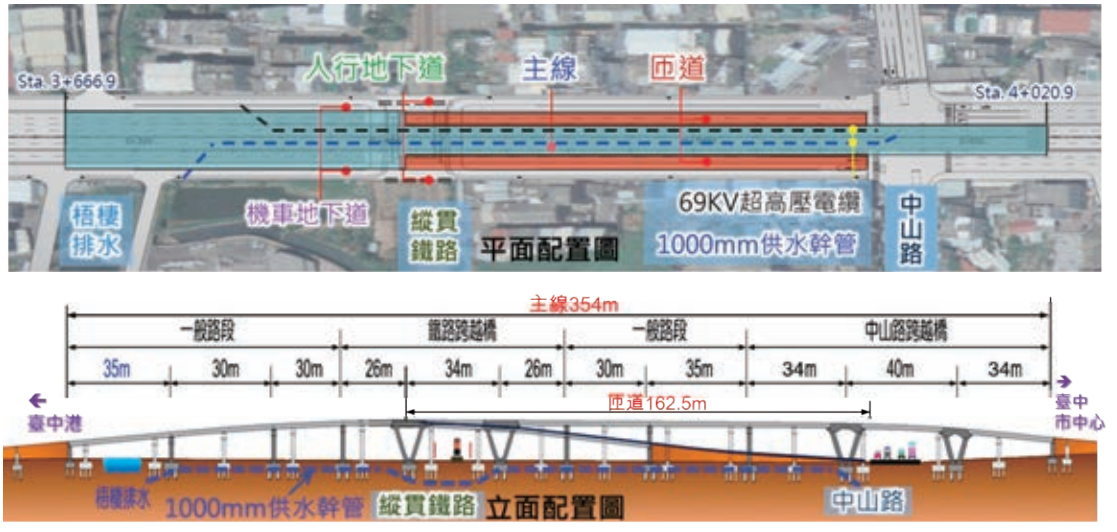


圖 2 沙鹿陸橋平面配置圖（上）及立面配置圖（下）

中央主線高架橋 354M（11 跨）、兩側引道各 162.5M（含跨越鐵路高架橋 3 跨）。沙鹿陸橋主線寬 31M 配置 8 車道，路幅全寬 50M，標準斷面如圖 3 所示。兩側機車地下道計 474M（箱涵段 88M）、兩側人行地下道計 56M（箱涵段 22M），其他尚有排水工程、交通工程及照明工程等。

本工程遭遇之困難：高架橋跨越鐵路、4 座地下道穿越鐵路、15 種管線錯綜複雜分佈於工區、兩側鄰房約 400 戶密集分佈於工區兩側、每日雙向車流 40000PCU，實為工程界極為困難之工程，如圖 4 上圖所示。主辦機關積極思索對採用有效對策：透過周延之設計、施工前召開記者會宣導大範圍改道及工區疏導之交維策略、事先研擬可行之困難克服之道、並積極落實三級品管等，讓工程推展順利且品質達到標準以上，如圖 4 下圖所示。

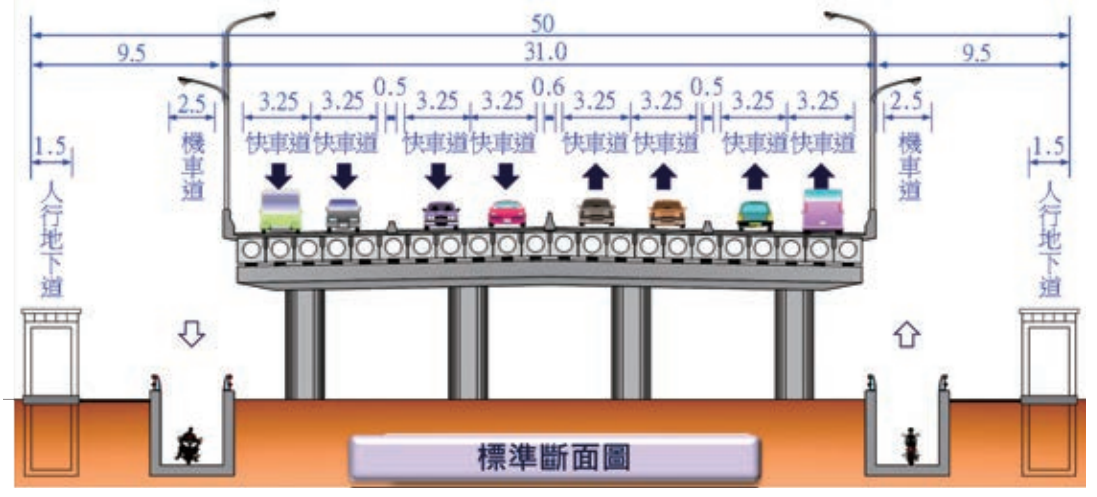


圖 3 沙鹿陸橋標準斷面圖

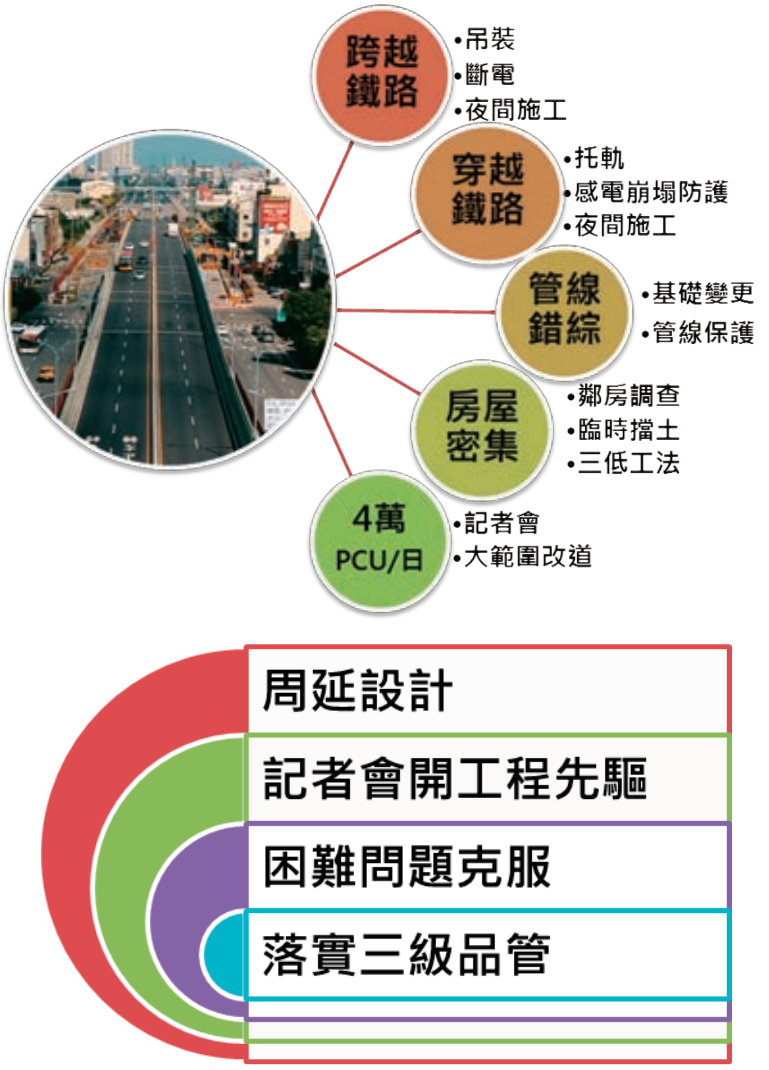


圖 4 沙鹿陸橋遭遇之困難（上）及解決策略（下）

本工程為維持臺灣大道東、西行不因施工而中斷，採用半半施工：先施作中央主線四車道及北側人行地下道，其後再進行匝道、兩側機車地下道及南側人行地下道，第二階段施工情形如圖 5 所示。本工程於 104 年 4 月 20 日開工，於 106 年 9 月 29 日接受行政院公共工程委員會金質獎初評小組（領隊：黃英及 5 位評審委員）評審，工程進度以 9 月 15 日為基準日（源自每月 20 日估驗計價計至 15 日之施工數量）。

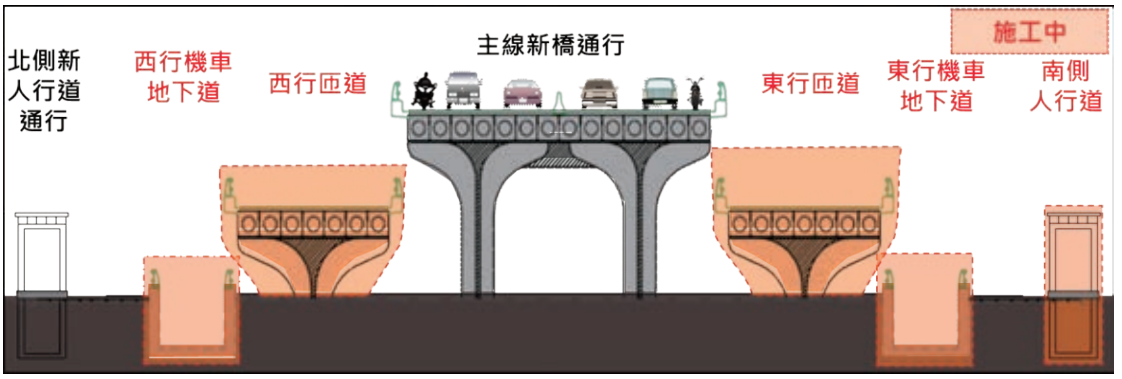


圖 5 沙鹿陸橋第二階施工車道配置示意圖

為作好源頭控管施工品質及進度，主辦機關於發包策略上採行政府採購法異質採購最低標（現稱為評分及格最低標），評分的設計上：重視廠商之履約能力、具有嚴謹專案組織、職安與品質並重及加強工程管理，配分如圖 6 所示。再者，針對工區管線錯綜複雜，在設計階段即辦理管線協調會請各單位預先發包及備料，此外，也辦理管線試挖，如照片 1，預擬可行之因應對策；針對跨越鐵路及穿越鐵路等需協調臺鐵局電力段、電務段及工務段等，也事先開會討論，以利工程開工後能接續順利推展。

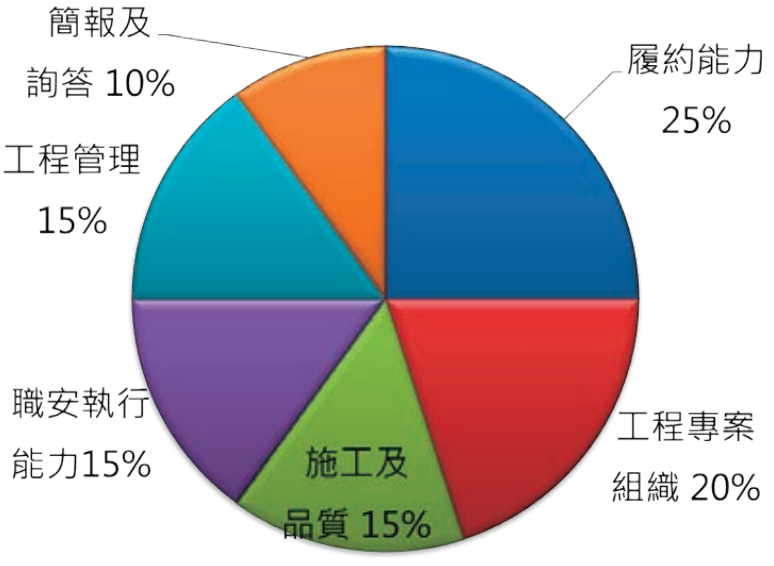
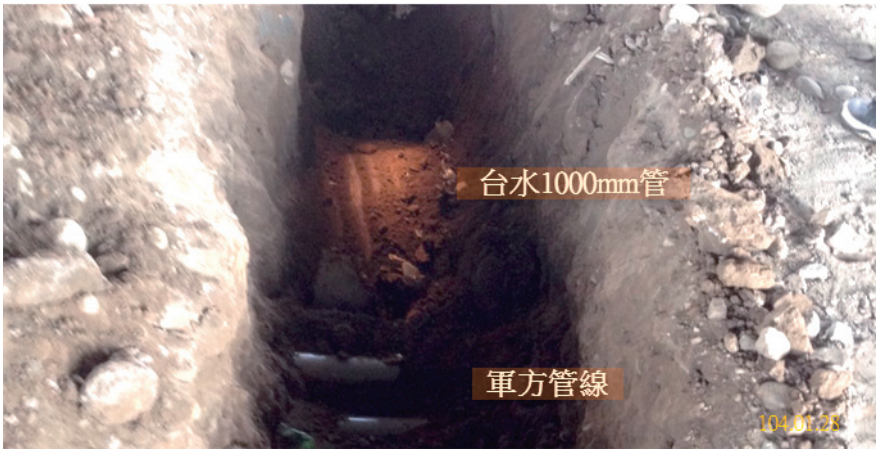


圖 6 採行政府採購法異質採購最低標之配分情形



照片 1 設計階段辦理管線試挖（鐵路西側 PN4）情形

於金質獎現地評審時，將工程概要、工區環境、工程特性、施工概況、面臨之挑戰及主辦機關所採取之積極有效對策等，一一精要勾勒出來，使金質獎評審委員能在短時間內掌握工程概況。依現行金質獎參賽規定簡報 40 分鐘，主辦機關大致分配 5 分鐘，因此，簡報需提綱挈領而能引發委員興趣。簡報者以機關首長為佳，照片 2 為本工程受評時主辦機關處長簡報情形（簡報時間分配 5 分鐘），接續為設計單位分配 6 分鐘、監造單位分配 10 分鐘、承攬廠商分配 19 分鐘，總計控制在 40 分鐘之限內，時限到有專人按鈴停止簡報。因此，在評審前已安排全部簡報演練 1~2 次，以期能在規定時間內清楚表達簡報內容並以首長層級審視各簡報，讓全部簡報更周延且富有巧思。

（1）主辦機關簡報情形（左前方為領隊、站立簡報者為處長陳敬明）

（2）處長熟稔簡報內容流暢闡述（站立者為處長陳敬明）

照片 2 本工程於 106 年 9 月 29 日受評時簡報情形

二、周延設計

於公共工程委員會至現地評審時，設計單位應就主辦機關所拋出之工程挑戰及對策，在評審項目架構上，將其條理式周延地說明，通常採用先全面性的特性說明，其後再逐一分鏡說明各部分的設計理念，並強調較一般工程不同或更具難度之設計挑戰，使委員能更深入瞭解各議題，而非單就設計成果加以闡述。欲達到上述成效，事先亦須請設計單位共同參與檢討全部四單位之簡報，使其掌握主辦機關策略方向及施工階段之困難處理呈現方式，方能串聯周延扮演好承先啟後之角色。

本工程屬市區橋梁改建工程，設計不能只是技術層面單一考量，故應適時汲取地方特性納入設計，讓工程兼具功能性與區域融合。本工區位於西側梧棲區及東側沙鹿區之交會處，且兩側鄰房密佈，為落實住民參與及整合地方意見，設計階段多次與地方人士、里辦公室、區公所等討論及交換意見，且共辦理兩次地方說明會：102 年 10 月 30 日及同年 11 月 14 日；辦理三次公聽會：102 年 11 月 22 日、同年 12 月 10 日及同年 12 月 30 日；就地下道等代辦事項與臺中市政府協調一次，如照片 3 所示。獲致設計共識：地下道採原址改建、施工期間維持交通方式及避免影響區域排水等重要事項。透過住民溝通交換意見、地方說明會初步整合意見、持續溝通凝聚共識、辦理公聽會廣納各方意見，雖然程序繁複，然而不僅對於設計方案推動有實質助益，對施工階段而言，潛在的紛擾於設計階段消彌化解，施工可能的阻礙亦因而減低。

設計階段與沙鹿區公所討論

設計階段與當地里辦公室討論

設計階段汲取地方人士意見

設計階段與鄰房住民溝通

設計階段辦理第一次公聽會

設計階段辦理第二次公聽會

照片 3 設計階段多次與地方討論彙集意見情形

2.1 工程特性

本工程為市區高架橋，所面對之限制：施工空間受限、避免環境汙染、既有管線眾多；又屬原橋原址改建，所面對之挑戰：避免新舊結構衝突、需友善鄰近住戶、且需維持原有功能。工區整體特性為結構配置困難，而且後續施工動線嚴重受限。

本工程跨越梧棲排水、海線縱貫鐵路及市區中山路，其中鐵路及中山路為維持火車及車輛通行之安全，皆有淨高限制，如圖 7 所示，設計面臨之挑戰：

1. 為維持施工期間臺灣大道之通行，新橋墩僅能配置在舊橋墩外側，即橋梁跨度必須加長、梁深需求隨之加大。
2. 橋下空間淨高需求，因而橋梁底部必須抬高；又匝道接到既有中山路，長度受限，而橋面高程必須壓低才能避免縱坡過大。

故設計條件係平面、立面皆嚴重受限下仍須兼顧梁深與跨度之需求，如圖 7 所示。

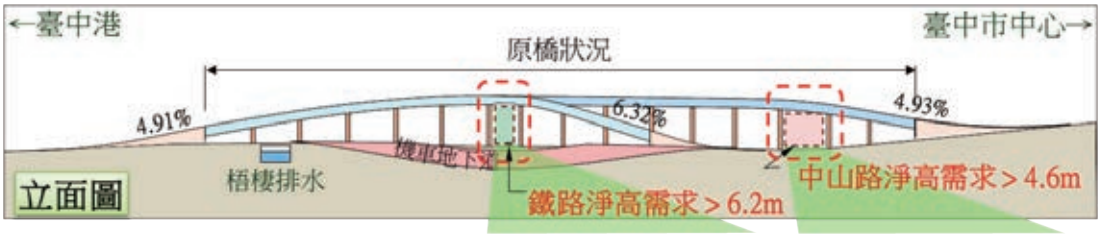


圖 7 跨越鐵路及中山路之淨高需求示意圖

2.2 跨越鐵路及中山路高架橋之設計考量及因應對策

沙鹿陸橋原橋跨越鐵路之跨度 17m、淨高 5.9m，如照片 4 所示。設計本橋段之主要考量為：鐵路淨空需求為 6.2m 及避免新、舊橋衝突。因應對策如表 1 所示，係採用密排中空梁來降低梁深，以達到淨高之需求；又配置 V 型墩柱以閃避既有橋墩，且跨度增加同時又可減短大梁長度，設計配置如圖 8 所示。

照片 4 沙鹿陸橋原橋跨越鐵路之跨度及淨高情形

表 1 跨越鐵路高架橋之設計考量及對策

設計考量	因應對策	設計成果
鐵路安全淨空及梁深限制	採用密排中空梁使 梁深降低	梁深 1.2m（舊橋）➔ 0.9m 淨高 5.9m（舊橋）➔ 6.2m
避免新、舊橋基衝突	採用 V 型橋墩使 大梁長度縮短	跨度 17m（舊橋）➔ 34m 新橋跨度 34m➔大梁長 22m

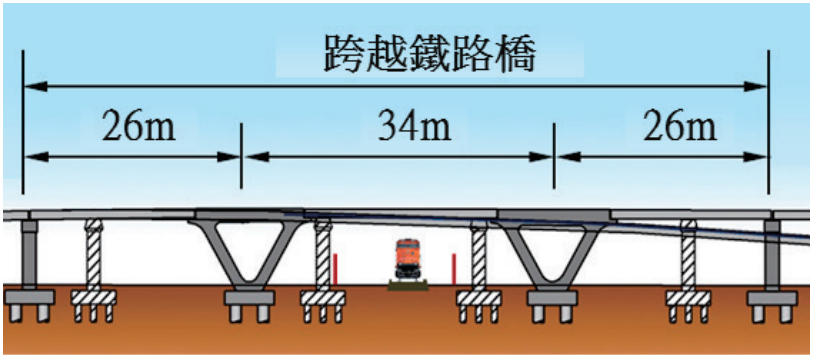


圖 8 沙鹿陸橋跨越鐵路段配置 V 型墩柱以增加跨度及減短梁長

沙鹿陸橋原橋跨越中山路之跨度 25m、淨高 4.3m，如照片 5 所示，設計本橋段之主要考量為：通行淨空需求為 4.6m 及避免新、舊橋衝突。因應對策如表 2 所示，亦採用密排中空梁來降低梁深，以達到淨高之需求；又配置 V 型墩柱以閃避既有橋墩，且跨度增加同時又可減短大梁長度，另亦可增加人行道寬度及車行轉向視距，設計配置如圖 9 及 10 所示。

照片 5 沙鹿陸橋原跨越中山路高架橋段

表 2 跨越中山路高架橋之設計考量及對策

設計考量	因應對策	設計成果
提高橋下通行淨高 增加車輛轉向視距 優化行人穿越空間	採用密排中空梁使梁深降低	梁深 1.2m（舊橋）➔1.0m 淨高 4.3m（舊橋）➔4.7m
避免新、舊橋基衝突	採用 V 型橋墩使大梁長度縮短	跨度 25m（舊橋）➔40m 新橋跨度 40m ➔大梁長 30m

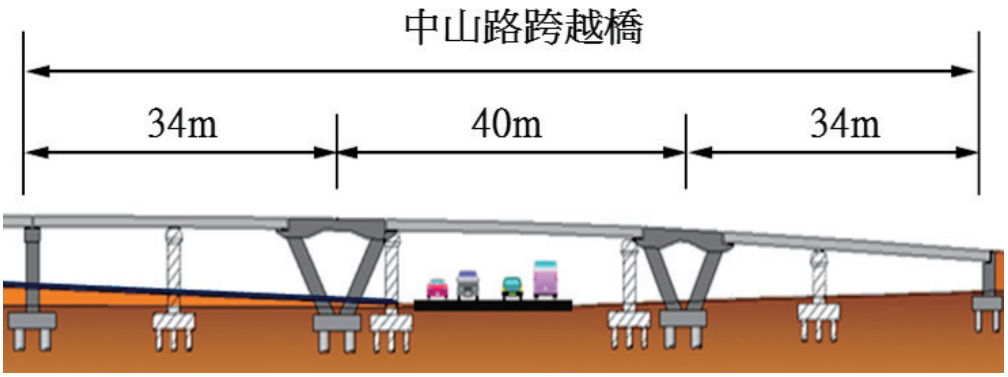


圖 9 沙鹿陸橋跨越中山路段採用 V 型墩柱以增加跨度及減短梁長

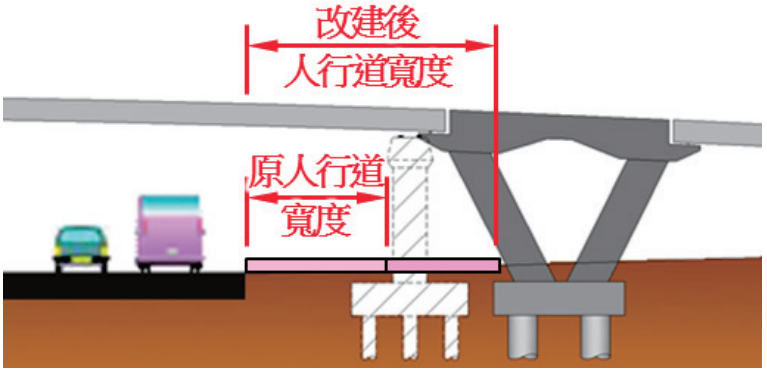


圖 10 沙鹿陸橋跨越中山路段採用 V 型墩柱可增加人行道寬度及轉向視距

此外，考量本工程位於市區鄰房緊密路段，工址視覺背景複雜，不宜採用造型特殊之橋型。為結構功能需求外又能兼具區域特性之元素，故採用 V 型墩柱具有鹿角之意象，以呼應沙鹿地名之由來；此外，V 型墩柱之帽梁配置加勁版，除結構上可減少頂板厚度以降低設計地震力，同時可與梧棲舊名五汊港（眾多河流扇狀分流處）之意象結合，如照片 6 所示。經周延構思以簡單線條融入地方意象，於不增加經費情況下創造樸實橋型中的亮點。

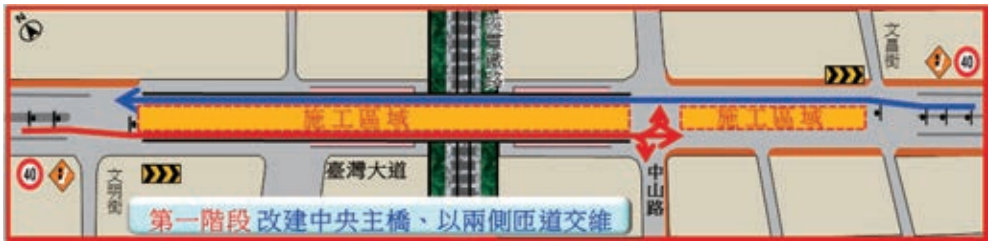
（1）V 型墩柱呼應沙鹿地名意象

（2）加勁版梁呼應梧棲地名意象

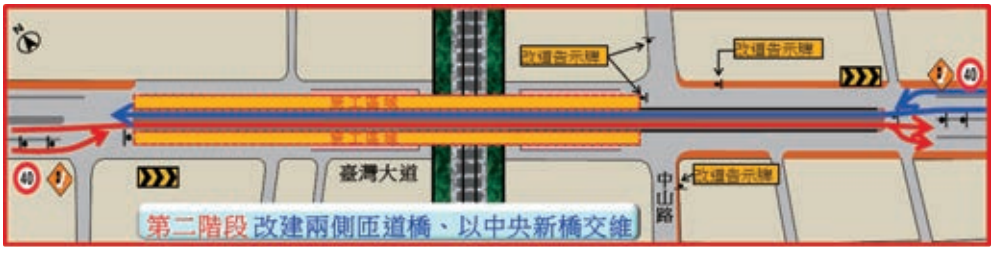
照片 6 以 V 型墩柱及加勁版梁呼應地名意象

2.3 交通維持及鐵路營運維持之設計考量及因應對策

本路段車流量每日雙向約 40000PCU，施工改道需考量用路人之習慣，故第一階段先改建中央主線四車道，如此，快車可由兩側匝道維持通行、機車維持由兩側地下道通行，動線變化較少，降低因突然改變而易生肇事的機會。第二階段進行兩側匝道及機車地下道施工，快車及機車皆利用主線通行，歷經第一階段施工改道後，此時用路人已習慣本路段為施工路段而需依號誌、牌面引導及慢行通過工區，因而第二階段施工動線變更較大之情形，用路人亦能適應。兩階段施工之交通改道情形如圖 11 所示。



（1）第一階段主線施工利用匝道維持通行可將動線變化降低



（2）第二階段施工快車及機車皆利用主線通行

圖 11 沙鹿陸橋交維改道導入用路人習慣

為維持火車正常營運，利用托軌工法將鐵軌架設在工程梁上，如圖 12 所示，在工程梁下可進行箱涵改建作業。托軌工法之步驟為：打設 H 型鋼樁、澆置支承座、道碴開挖、設置支承墊、吊放工程梁，一系列之作業皆利用夜間鐵路斷電封鎖後施作。本項作業事先需廠商提送詳細施工計畫，並與臺鐵局相關單位審查、現勘、討論，透過密切配合逐一完成各施工步驟及安全措施，始能完成托軌作業及確保火車營運正常，如照片 7 所示。

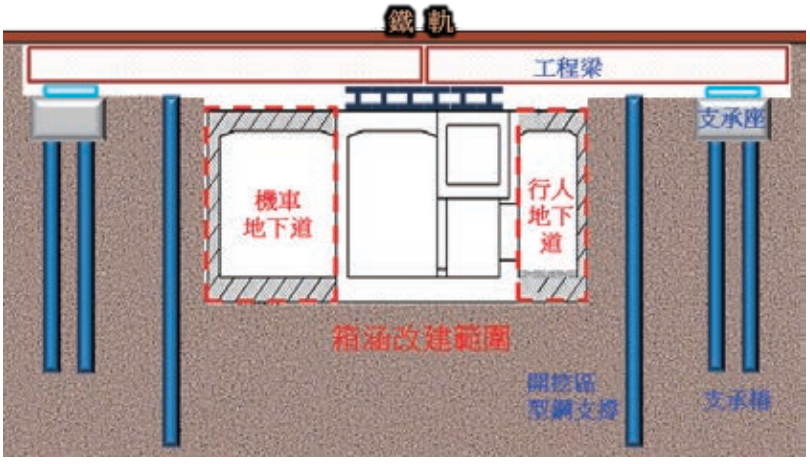


圖 12 利用工程梁托住鐵軌以維持火車正常營運

照片 7 火車正常行駛過本工程托軌工程路段

2.4 其他設計巧思

考量工區兩側作業空間受限且鄰房眾多，施工應避免環境污染。故拆橋規劃採用低噪音切除後再運離工區外進行破碎，如此可大幅減少現場作業及降低環境污染。另外，考量減少現場作業及高空作業，新作大梁亦規劃於工區外另設預鑄梁場，其後再運至現場吊裝，避免就地支撐影響通行及於鐵路上方作業等潛在危害。

原沙鹿陸橋在鐵路西側接近起點處之梁下方設置機車迴轉道，限高僅有 1.7M，如照片 8 所示，不僅通行不便有壓迫感，且梁下淨高小不利維修養護。改建設計時，利用新建橋台之背面設置過路箱涵，大幅提升通行淨高到 2.6M，如圖 13 所示，不僅提升通行安全，且日後維修容易。此外，新舊橋台間可作為餘土回填利用，舊橋台毋須打除，達到工程減量及節能減碳之效果。

照片 8 沙鹿陸橋原橋下機車迴轉道限高小通行不便

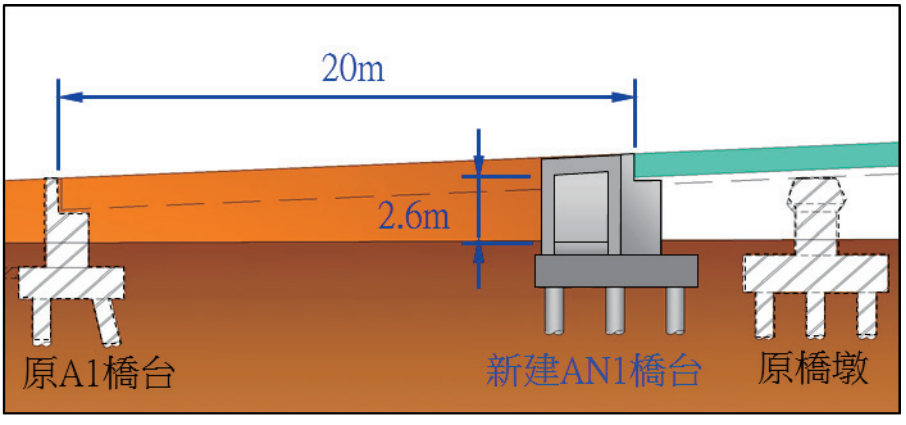


圖 13 改建沙鹿陸橋利用橋台背設置箱涵提高機車通行空間

沙鹿陸橋下方之中山路位處本區域地勢低窪處，如圖 14 所示，民國 96 年六八水災曾有淹水歷史。為避免淹水時民眾誤入，規劃於地下道入口處設置自動柵門機，可自動感知地下道水位而降下攔阻機車，如照片 9 所示；另規劃於地下道內設置監視器，可於遠端監看地下道內之情形，提升應變防災能力。

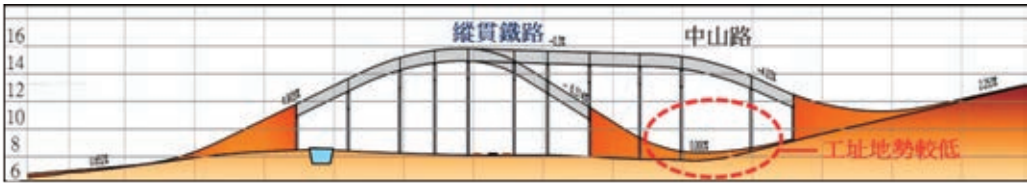


圖 14 沙鹿陸橋下中山路口為地勢低窪處較易淹水

照片 9 沙鹿陸橋地下道入口規劃設置地下道自動柵門機（如左上）

此外，本工程透過綠色材料、綠色工法及綠色環境等多面向導入綠色內涵，如圖 15 所示，相關費用約佔總工程經費約 13.8%，符合行政院 3,141 次院會指示至少應有 10 % 經費運用於綠色工法、材料之規定。整體而言，本工程利用預鑄模組來減少現場作業、利用低噪施工來降低環境影響、交通維持導入民眾用路習慣、利用 V 型橋墩來融入地方特色、利用橋台保留來減少工程規模、考量住民參與來降低工程阻力，以前瞻周延而務實的設計，期望打造一件精緻且功能完備的工程典範。

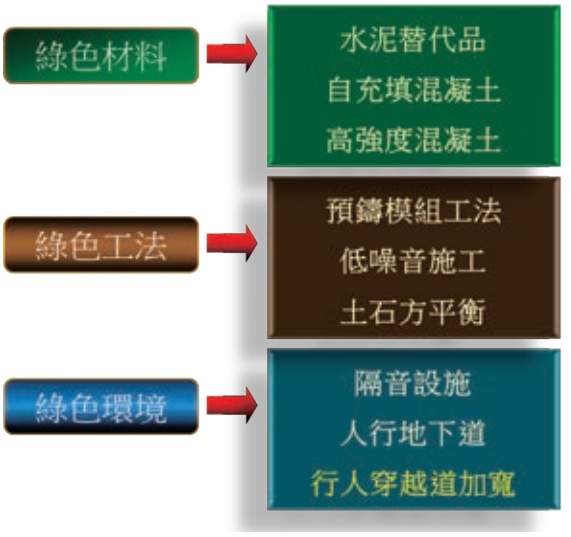


圖 15 沙鹿陸橋設計時多面向導入綠色內涵

三、挑戰及創新

本部分乃落實設計周延考量並將施工中對於困難克服所做之努力,具體呈現出來，以具代表性的圖說及照片為主，讓委員可以感受現場施工時之重重困難、施工團隊嚴密掌握施工重點並且戰戰兢兢的協調處理關鍵問題，最終一一克服之過程。除了困難克服的說明架構外，尚可帶入較柔性的且具關鍵性的議題，該整體簡報有骨架也有血肉，評審委員更能全面性的體會施工團隊對各議題的掌握度。

3.1 管線保護

本工程之工區屬狹長型，且兩側十分侷限，施工動線規劃不易，作業面拓展須循序漸進。又基礎坑中遭遇台水供水幹管及台電 69KV 超高壓電纜縱向穿越，且 PN5（臨鐵路）及 PN9（臨中山路）兩處皆有驟降潛遁，如照片 10 所示，此與管線圖資嚴重出入。管線若採遷移，不僅費用高且時程長（水管遷移約需 3300 萬元、時程 1 年；電纜約需 4400 萬元、8 個月）。現地避無可避，缺水缺電造成生活不便之苦，吾人有切身經歷，故每一步驟皆慎之又慎。

（1）水、電管縱向穿越工區情形（埋深大都<1M）

（2）水管在 PN5 基礎內驟降潛遁情形

照片 10 沙鹿陸橋工區基礎遭遇水、電管縱向穿越情形

積極與台水公司協調、現勘及維修計 18 次，台電更達 26 次，建立四方橫向聯繫（台水、台電、廠商、監造單位），以確保所研擬之保護工法安全可行，採用管身旁打設型鋼、其上舖鋼板來分散基樁搖管機振動力量，避免振損管身，如圖 16 所示。又為減少施工介面，乃將保護工皆納入主體工程代辦，建立安全三重監控（管線單位、廠商及監造單位），因而效率及安全性大幅提升。又事先協調管線單位備妥搶修器材，針對所研擬之安全防護工法列為每到工地必督事項，又於特別事件（如 105 年 2 月 6 日台

南大地震）後立即巡檢，而主辦機關亦加強督導下，終於順利克服基礎施工管線障礙，照片 11 為基礎施工時最困難兩處之水管及電纜保護工法。

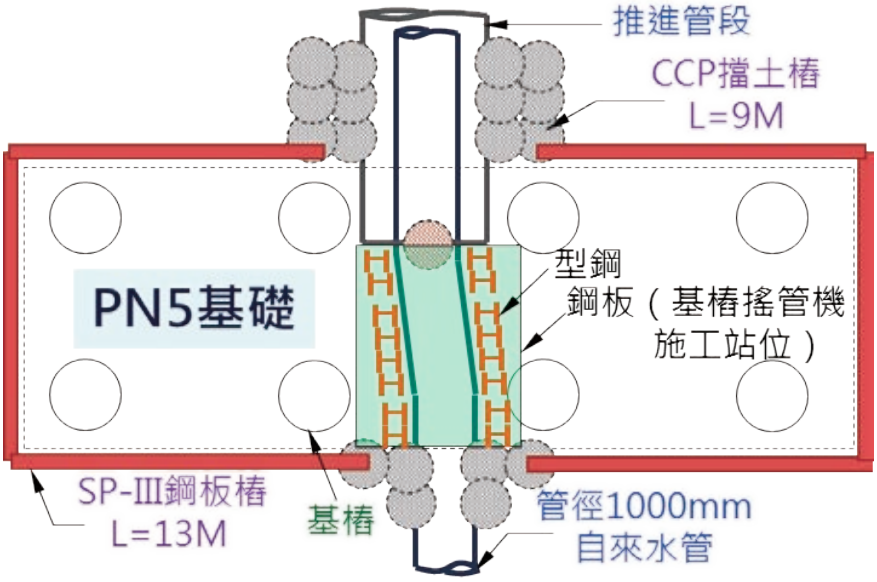


圖 16 採用打設型鋼再鋪鋼板之方式保護管線

照片 11 沙鹿陸橋 PN5 基礎水管採鋼吊架保護（左）、PN2-1 電纜採吊掛保護（右）

3.2 穿越鐵路

有關鐵路作業事項，上空有電車纜線、電車線支撐架；行車平面有鐵軌、枕木、道碴、軌道扣件、電力號誌連軌線、電路腳套、計軸器、控制箱等；埋在道碴內則有直埋電纜、光纖等，如照片 12 所示。臨近鐵路作業牽涉單位眾多、分工繁細，作業前需縝密協調、現勘，需移設之設備、需閃閉之纜線、需防護之器材，皆先盤點處理完善，才能確保架設工程梁階段進行順利。

照片 12 鐵道上工程梁範圍內之鐵路設施

為確保本工程梁架設作業順利，事先邀集臺鐵局臺中工務段（含現場監工領班）、彰化電務段（含號誌分駐所）及彰化電力段等眾多單位，共同審查廠商提送之托軌工程計畫，如照片 13 所示。審查的重點在於計畫之可行性、作業安全及防護、施工期間列車通行安全等，審查書圖後再赴現場確認，各步驟需謹慎以對。由於鐵路設施眾多、權責不同，審查時邀各單位皆須派員，否則容易因權責單位未表達意見而影響後續相關審查。

照片 13 邀集臺鐵局各相關單位到齊會審托軌工程計畫

由於鐵路相關作業皆利用夜間最後一班列車駛離工區鄰接之車站後，本工程位於北側清水站及南側沙鹿站之間，才能進行工區所在站區間斷電封鎖作業，其後作業至最早一班列車開出前半小時即須停止作業，供鐵路局人員巡查鐵路確保通車安全無虞。故無論「打設支承樁、擋土型鋼樁、澆置支承座、架設工程梁」等作業，實際上可以作業的時間僅約 4 小時，事先需萬全準備、施工時分秒必爭。

本工程於各階段夜間施工時，待臺鐵局架設接地線後，監造單位再以伏特偵測器（Voltage Detector）進行斷電感應，雙重保障作業區無感電危害。再者，事先探挖埋於道碴內之纜線，於打設型鋼樁時，應派專人再三確認打設位置，避免損及任何纜線，如照片 14 所示。架設托軌工程階段，因軌道枕木上扣件拆卸數量眾多，且工程梁架設後扣件需安裝回去，故協調臺鐵局加派人手。此外，工程梁架設應力求平直，不得有水平或垂直錯位過大之情形，否則皆會危及列車通行安全。架設工程梁完成情形如照片 15 所示，架設完成後即應每日進行軌道高程監測，如有異常即應通報鐵路局，確保軌道高程平順無波浪情形，才能保障火車通行安全，各相關作業防護彙整如圖 17 所示。

照片 14 監造單位進行斷電二次確認（左）及打設型鋼位置再三確認（右）

照片 15 沙鹿陸橋工區托軌工程完成情形

圖 17 托軌工程安全防護以確保火車安全通行為目標

3.3 拆橋及吊梁

不同於郊區或跨河橋梁等可於白天照明良好下施工，且採用大型機具就地破碎，面對市區拆橋作業，施工團隊事先必須進行全方位考量，涵蓋人的安全、車械安全及用路人的安全，且需兼顧環保概念，主要策略如圖 18 所示。

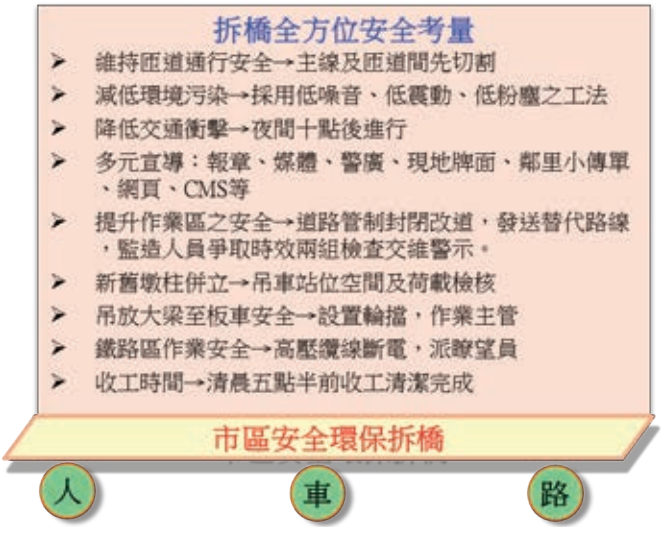
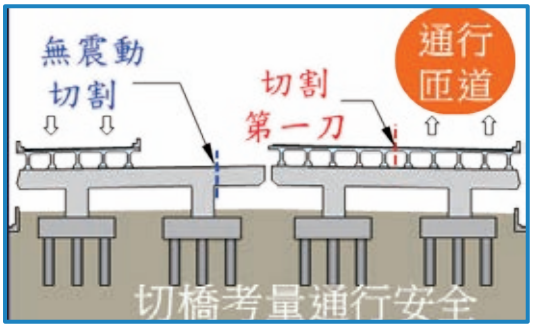


圖 18 市區安全環保拆橋策略

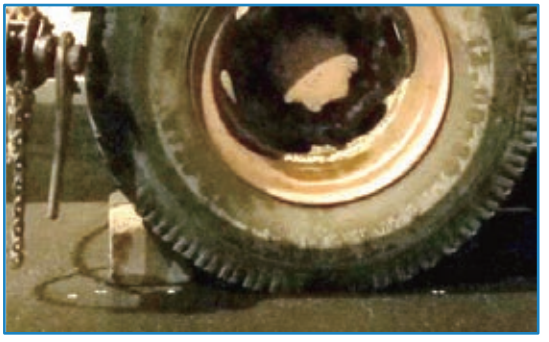
橋面板採用鋸盤式切割，規劃切割順序時，考量主線及匝道共構段之匝道尚需維持通行，故切割順序須先將主線及匝道分離，避免主線施工中之力量傳遞至匝道上，影響用路人之安全。再利用夜間十點以後對臺灣大道交通衝擊較小之時段，將大梁逐一載離工區，作業前吊車站位、吊車能量、吊車外伸撐座處之土壤承載力、運輸動線、管制交通宣導等，施工團隊都需事先盤點檢核到位，施工中作業區之安全防護更是不容忽視，像洽請警義交協助交通維持、吊掛作業主管、乃至設置輪擋等小細節，卻悠關作業安全甚大。此外，採用油壓鋼剪、加強灑水及運至郊區再進行破碎等，皆為減少環境衝擊之具體作為。相關拆橋作為如照片 16 所示。



切割順序須考量匝道通行安全

採用鋸盤切割橋面板

利用夜間進行大梁吊運作業



車械須設置輪擋

收工時間須控制在清晨五點半前

採用低震動油壓鋼剪並加強灑水

油壓鋼剪分離成小塊再運離工區

遠離市區再進行結構破碎

照片 16 加強安全及環保等市區拆橋作為

本工程預鑄大梁共 200 支，每支大梁兩端各設置 2 個套筒，如圖 19 所示，作為支承剪力鋼棒套入之用，故鋼棒套筒的位置須精準安裝，才能確保吊梁時順利定位，意即安全吊梁始於精準製梁。

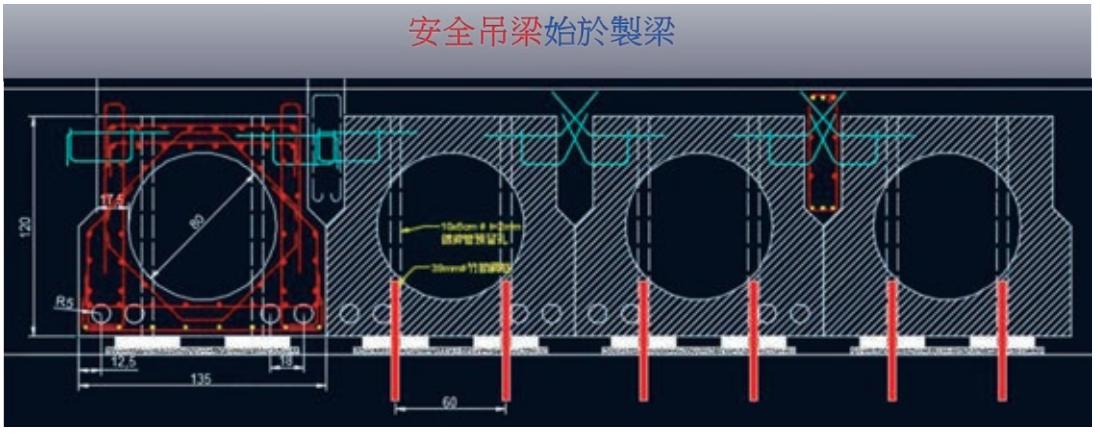


圖 19 每支大梁鋼棒位置需精準設置

為減少對臺灣大道交通衝擊，密排大梁吊梁作業乃安排於夜間十點以後進行。一夜之間順利將一跨密排大梁吊至定位是一項挑戰度極高的作業，事先密排梁的精準製作、侷限作業空間的佈設規劃、事先作好交通維持佈設考量、辦理交維勘查及多元宣導、新舊墩柱併列下吊車站位檢討、夜間作業時間有限下的進度掌控、現場風速不得過大（法規 7 級風以下）、車械設備盤點齊全完善、作業人員及警義交之安全防護到位等，如圖 20 所示，皆須精確安排到位，稍有疏漏即無法順利完成吊裝任務。在 PDCA（Plan-Do-Check-Action）管理循環不斷檢討精進下，本工程第一階段 126 支大梁皆順利吊裝完成，如照片 17 所示；106 年 9 月 29 日金質獎現地評比時，已規劃第二階段匝道吊梁作業，施工團隊始終秉持第一階段的縝密規劃安排來進行每一次的吊梁作業。

圖 20 夜間吊裝大梁須事先周延規劃

照片 17 第一階段主線大梁 126 支全數順利吊裝完成

3.4 其他挑戰及創新

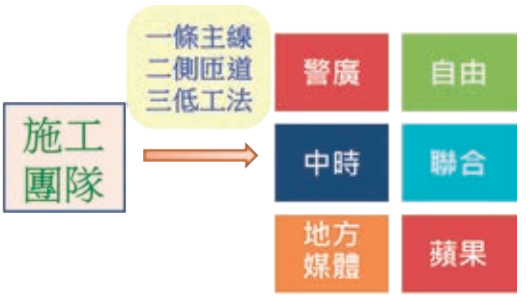
工區兩側鄰房密集且施工路段每日雙向車流達 40000PCU，瞭解當地民情及媒體交流，可謂確保工程順利推展之潤滑劑。施工團隊為周延推展工進，開工初期即與工區兩端之梧棲區及沙鹿區公所、當地交通執法機關清水分局等討論及研商精進策略，再透過一連串的積極作為，如交維審查會、地方說明會以及施工記者會等，彙整如表 3 所示，皆對後續施工有所助益。其中透過施工記者會，如照片 18 所示，宣導本工區採大範圍改道、工區小範圍疏導等措施，所獲效益頗大，乃本工程成功的第一步。

表 3 施工團隊於施工前期為周延推展工進之積極作為

掌握影響因子	• 掌握當地交通用路習性 • 民眾民意
具體積極作為	• 分別與梧棲、沙鹿之區長討論 • 與清水分局事先討論交維精進策略 • 與中央民代現地勘查 • 召開交維計畫審查會 • 召開地方說明會 • **召開施工記者會**
施工助益	• 充分掌握地方意見 • 預先發掘精進對策 • 建立多元溝通管道 • 敦親睦鄰 • **各階段重要施工訊息，如夜間封閉管制施工，媒體推播宣導，有益工作面順利推展**

照片 18 沙陸橋陸改建工程施工初期舉辦施工記者會情形

承續主辦機關於開工之初架構與媒體互動之橋梁，監造單位在施工中用心維持與眾多媒體良好溝通管道，以確保施工資訊能做最有效的推播。首先，傳遞給媒體的重要施工資訊必須巧思工程語彙，讓媒體能瞭解，必要時可藉由橫向專業單位到場協助說明，如圖 21 所示。再者，施工團隊於談論工程議題時，多採用庶民語意來溝通，讓媒體能準確傳達工程訊息，確保用路人能掌握到施工團隊欲傳達之意旨。

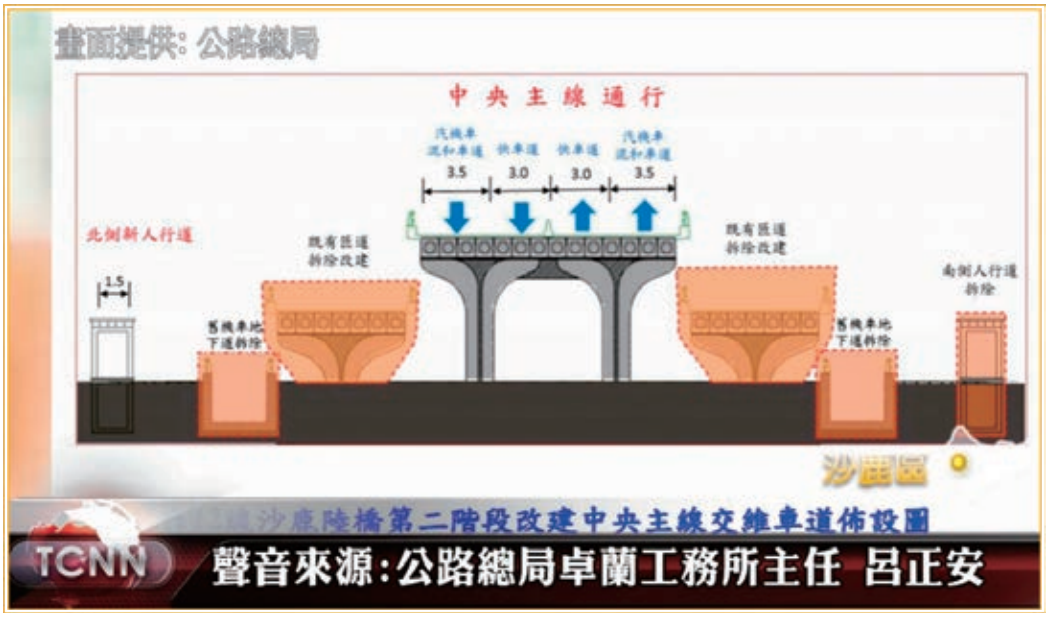


與媒體互動須巧思工程語彙　　協調橫向專業單位到場客觀談

圖 21 本工程施工團隊與媒體良好互動的積極作法

施工團隊所欲建構的互動氛圍：「勿因不了解而誤解、能夠平衡報導不偏離、讓民眾知悉而安心」，在本工程後續施工資訊皆持續獲報導，可獲見證，如圖 22 所示。本工程自交維改道、拆除橋梁、大梁吊裝、澆置中山路橋面板、春節期間全線通車、春節後封閉主線等等，皆主動發佈新聞稿，透過平面媒體、警察廣播電臺、有線電視跑馬燈等多元宣導讓廣大用路人知悉，確保施工作業不受干擾，因而有效提高工作效能。可以說，有效宣導乃市區安全順利施工重要關鍵之一。

（1）本工程重要施工訊息獲平面媒體持續報導



（2）本工程施工訊息協調有線電視業者協助推播宣導

圖 22 沙鹿陸橋改建工程施工訊息透過媒體及有限電視等多元宣導

本工區基礎施工深受自來水 1000MM 供水幹管影響，透過全面探挖、與管線單位多次現勘協調、研擬可行變更方案、施工中審慎保護管線，基礎得以順利安全完成。鑑於過程中如何保管線、管線位置資訊等，對於後續維修、養護作業等皆為寶貴的第一手資訊，於是施工團隊彙整相關過程，儲存於 GOOGLE MAP，日後可隨時、隨地取用該資訊，發揮雲端效用，相關作為如圖 23 所示。

圖 23 沙陸橋陸改建工程管線保護作為儲存於 Google Map

本工區挑戰眾多，為將處理對策之經驗分享於工程界，主辦機關乃彙整管線安全、梁場及吊梁之精進作為、及穿越鐵路採用托軌工法精進之策，投稿於公路工程，如圖 24 所示，期能透過交流提升工程技術。

圖 24 主辦機關彙整沙陸橋陸改建工程之挑戰對策投稿於公路工程

四、結論與建議

金質獎參賽工程分為四類（土木、水利、建築、設施）五級（第一級：契約金額在新臺幣十億元以上、第二級：巨額採購以上未達新臺幣十億元、第三級：查核金額以上未達巨額採購、第四級：新臺幣一千萬元以上未達查核金額、第五級：公告金額以上未達新臺幣一千萬元之工程），參加評比之進度要求為 60%以上。以交通部今（106）年轄下各局推薦之工程標共計 22 件，經交通部金質獎初評小組實地查核，以各類各級擇優推薦 1 標之原則，最終僅推薦 7 標參加公共工程委員會金質獎評比，能獲推薦已屬高度肯定。

參賽準備過程，不僅工地進度仍須持續推動及內業資料建置完整，針對評審標準所列評分指標（品質管理、進度管理、品質耐久性與維護管理、節能減碳、防災與安全、環境保育、創新科技），需詳細彙整構思工區作為，精製成完整的簡報，亦屬準備重點。因為，公共工程委員會至工地評比（本次領隊 1 人、委員 5 人）僅有短短半天，簡報無頁數限制卻有時間限制（40 分鐘），在有限時間內 4 個單位簡報（主辦機關、設計單位、監造單位、施工廠商）須讓評審委員印象深刻，因此準備階段須事先不斷檢討、演練、修改。另妥善安排會場（簡報架、受評內業資料擺設、委員座席、進出會場動線）、陪同說明人員、現地解說亮點等，皆須精心規劃力求整體評比過程能流暢順利。整個參賽過程雖然辛苦，但可凝聚團隊的向心力及提升團隊默契，且將施工過程的點點滴滴彙整過程，亦有助於提升工程專業能力，本標之獲獎更是公務生涯至高的榮譽。

另查調歷年得獎作品，大都屬設計能融合區域發展、具有眾多挑戰及具特色之工程，建議各主辦機關推薦參賽標案可事先審視該標工程之特性是否合適。

參考文獻

1. 交通部公路總局第二區養護工程處，「台 12 線沙鹿陸橋改建工程參加第 17 屆公共工程金質獎簡報」，2017 年 9 月 29 日。
2. 交通部公路總局第二區養護工程處，「台 12 線沙鹿陸橋改建工程委託測量、設計及地質探查技術服務工作」設計原則及橋梁型式報告（第二版），2013 年 12 月。
3. 交通部公路總局第二區養護工程處，「台 12 線沙鹿陸橋改建工程委託測量、設計及地質探查技術服務工作」細部設計成果，2014 年 8 月 14 日。

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。

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 1 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台北市中山區八德路二段180號
電　話：(02)8772-5566
中華民國 107 年 1 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

GPN2004100003

定價新台幣30元