

臺灣公路工程

第 43 卷 第 4 期

〈每月 15 日出刊〉



TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vo1. 43 No.4 Apr. 2017

交通部公路總局

中華民國 106 年 4 月 15 日



封 面 說 明

台 9 線 金 崙 至 多 良 段 公 路

王 富 生 攝



臺灣公路工程

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

中華民國 41 年 11 月 11 日創刊

第43卷 第 4 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

夏 明 勝

總編輯

李 忠 璋

總幹事

李 崇 堂

編 輯

賴常雄 陳進發

鄧文廣 林福山

黃三哲 蔡宗成

薛讚添 陳敬明

林清洲 廖吳章

陳嘉盈 陳松堂

邵厚潔 何鴻文

專題研究

盤點公路工程二氧化碳排放量估算表單之建置與應用

.....鄭敏華、徐文義、鍾文貴...(2)

實務報導

台12線沙鹿陸橋V型墩柱遇地下管線之安全防護

.....陳敬明、呂正安、盧勇廷...(30)

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

盤點公路工程二氧化碳排放量估算表單之建置與應用

鄭敏華*、徐文義**、鍾文貴***

摘要

全球暖化問題促使世界各國重視溫室氣體管理，工程碳管理也成為國際間共同關注的議題，我國亦因應制訂碳管理相關政策。本研究依據我國行政院公共工程委員會之綠色減碳指標計算規則及行政院環境保護署公告碳足跡資料庫為基礎，參酌相關文獻建立二氧化碳排放量盤點計算式，將工程設計階段之預算書單價分析表單，依工程投入材料、運輸及施工等階段工項辦理二氧化碳排放量計算，建置對應各單價分析表的二氧化碳排放量盤點計算表單，公路工程於設計階段即可藉此估算二氧化碳排放量的總排放量，達到工程碳管理之目的，進而作為選用節能減碳工法決策參考。

本文以台 9 線 470.5k 邊坡擋土牆工程為二氧化碳排放量計算案例，工程為基樁、半重力式擋土牆及加勁擋土牆等組合之複合式結構物，藉由工程預算書提供之單價分析表及明細表等辦理材料、運輸及施工等各階段之二氧化碳排放量計算，以預算書工料數量推估二氧化碳排放量之總量，分析討論案例工程各構造之二氧化碳排放量產生成因及減碳改善建議。

一、前言

我國交通部公路總局於 101 年初發展出工程碳管理架構與機制，如圖 1-1 所示，以工程生命週期為考量、戴明管理循環（PDCA）為參考的滾動式與持續漸進式的碳管理循環。目前建築產業界對於工程興建過程中產生二氧化碳排放量計算方法，

* 交通部公路總局第三區養護工程處楓港工務段副段長

** 交通部公路總局第三區養護工程處副處長

*** 國立屏東科技大學土木工程系副教授（通訊作者）

尚缺乏一致性，以致於阻礙了工程碳管理議題的發展。本研究之主要目的在於考慮公路工程於設計階段時，將工程預算使用之「單價分析表」予以盤點估算各工料分析表對應之排碳量，進而推估計算整體工程於材料生產、運輸及施工過程中之二氧化碳總排放量，以預防性概念將二氧化碳中和抵消措施，達減碳決策參考。



圖 1-1 公路總局道路工程碳管理架構
(蘇花公路改善工程處，2016)

二、二氧化碳排放量估算方法

依據我國經濟部能源局-能源產業溫室氣體資訊中心公告溫室氣體之排放源量化完成排放源鑑別後，即可根據以下步驟來計算溫室氣體排放量，如圖 2-1 所示。

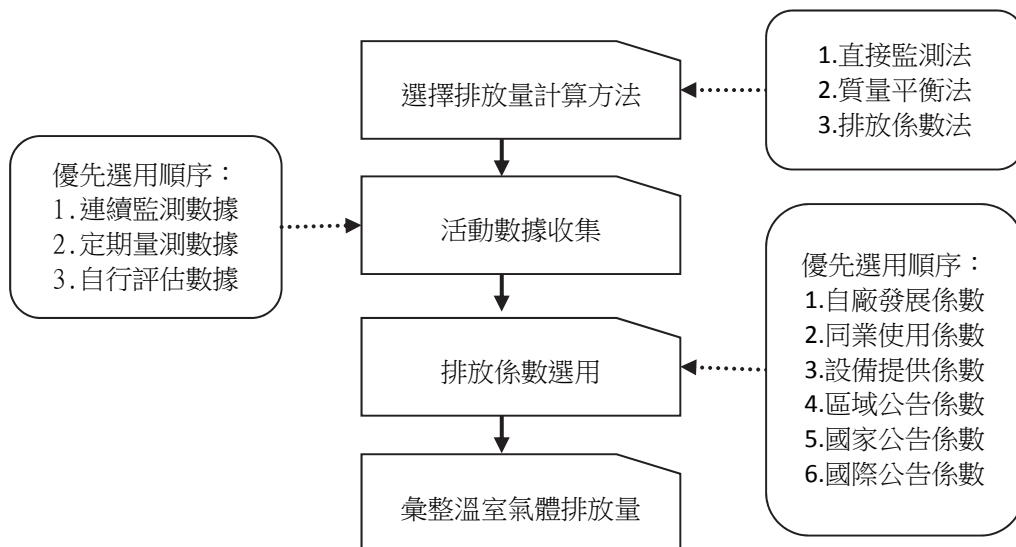


圖 2-1 計算溫室氣體排放的步驟
(能源局，2016)

A. 溫室氣體排放計算方式

在量化直接溫室氣體排放量時，可利用監測儀器直接量測、質能平衡或排放係數等方法，估算排放設施所產生之溫室氣體排放量。其量化方法說明如下：

- (1) 直接監測法：係以連續排放或定期採樣方式來進行廢氣的監測，測定出溫室氣體之排氣濃度，並根據排氣濃度與流量來計算溫室氣體排放量之方法。
- (2) 質量平衡法：利用製程或化學反應式中物種質量與能量之進出、產生、消耗及轉換等質量平衡理論，來計算溫室氣體排放量之方法。
- (3) 排放係數法：利用原料、物料、燃料之使用量或產品產量等數值乘上特定之排放係數而得稱之排放係數法，此法是目前最常見之量化方式，國內進行溫室氣體排放量計算時多採用此法。

B. 彙整溫室氣體排放量

完成活動數據蒐集及排放係數選擇等步驟後，即可進行各排放源所產生之每種溫室氣體排放量計算。由於溫室效應對氣候衝擊程度的不同，故利用全球暖化潛勢 (Global Warming Potential, 簡稱 GWP) 轉換為二氧化碳當量 (CO₂e)。基於完整性的原則，首次進行盤查與設立基準年時，應將邊界內所擁有或控制之排放設施或作業活動完整納入盤查，盡可能量化其產生之直接溫室氣體排放或能源間接溫室氣體排放，以掌握組織邊界內各排放設施或作業活動之排放量 (能源局，2016)。

2.1 規劃設計階段二氧化碳排放量計算方式建立

規劃設計階段對於材料生產、材料運輸及工地施工等三個部份二氧化碳排放量之計算，皆是以活動數據乘上排放係數來表示二氧化碳排放量活動數據。利用臺灣營建業使用能源之單位 CO₂ 排放量計算表 (見表 2-1)，可查出使用能源產生的 CO₂ 係數，簡化 IPCC 之計算步驟。例如：每使用 1 公升的柴油，從表中可查出該項能源相當會排出 3.49 (kg-CO₂/公升)。在不同能源使用過程中並不是所有碳均被釋放出來因此必須扣除不完全轉換的部份此即「碳固定化」比率，依據 IPCC 1996 年版柏油非作為燃料能源使用，如作為原料使用時應考量「碳固定化」部份，由表 2-1 可知柏油之碳固定比率為 1，亦表示在能源使用過程中所有的碳是完全不被釋放出來，故其 CO₂ 排放量為零。

近年來，我國行政院環保署 (2016)，臺灣產品碳足跡資訊網，依據我國產品與服務碳足跡計算指引建立「公用係數資料庫」，因此，本研究案例分析之各工料 CO₂ 排放係數仍以環保署揭露之數據估算碳足跡計算為主，不足部份再依參考文獻提供之數據辦理估算。依據經濟部能源局-能源產業溫室氣體資訊中心公告溫室氣體之排放源量化之排放係數法為碳排放狀況量化評估，其基本計算式為：

$$\text{二氧化碳排放量 (CO}_2\text{e)} = \sum \text{活動數據} \times \text{排放係數} \dots\dots\dots (2.1)$$

依(2.1)式可分別推導得「材料生產階段」、「材料運輸階段」及「工地施工階段」等二氧化碳排放計算式，以便工程案例建造過程二氧化碳排放量的盤點計算具有一致性。

表 2-1 臺灣主要各類能源之二氧化碳排放係數

類別	燃料別	單位	CO ₂ 排放係數 (kg-CO ₂ e/單位)	註
煤	原料煤	KG	2.693	*1
	燃料煤	KG	2.534	*1
燃料油	柴油(於固定源使用)	公升	3.460	*2
	柴油(於移動源使用)	公升	3.490	*2
	燃料油(蒸餘油/重油使用)	公升	4.020	*2
	蒸餘油(燃料油)	公升	3.110	*1
	液化天然氣(於固定源使用)	M ³	0.070	*2
	液化天然氣(於移動源使用)	M ³	2.590	*2
其他能源	柏油	公升	0	*1
	水	度	0.17	*2
	電	度	0.66	*2

註：*1、依據經濟部能源局(2013)公告資料經整理燃料排放數據採 IPCC(2006)原始數值與能源局提供之熱值計算所得。

*2、依據行政院環保署(2016)-碳足跡計算服務平台之提供碳足跡資料。

2.2 材料生產階段二氧化碳排放量估算

工程材料的取用包含就地取材工廠製造生產與回收等各階段部份皆會造成二氧化碳的排放效應，一些較常用的工程材料需要高度加工與高耗能密度的建材產品(如鋼鐵及水泥等)的二氧化碳排放係數，均較天然建材(如砂石)為高。因此就環保的觀點來說「再生材料」不僅可延續結構物材料的生命週期，並可減少新開採能源而造成環境的傷害，對有限的地球資源環境而言，鼓勵使用回收再利用之建材確實有其必要。

依據(2.1)式可得材料生產階段產生之總二氧化碳排放量以(2.2)式表示，計算得建材相關產品單位產生 CO₂ 排放統計表(見表 2-2)。

$$P_{co_2} = \sum_{i=1}^n V_{mi} \times CO_{2pi} \dots\dots\dots (2.2)$$

式中： P_{co_2} = 材料生產階段產生之總二氧化碳排放量。

n = 工程所使用的材料種類數。

V_{mi} = 工程施作之各類材料總量（活動數據）。

CO_{2pi} = 各類材料生產階段之單位二氧化碳排放係數。

表 2-2 建材相關產品單位產生二氧化碳排放係數統計表

建材相關產品		單位	使用能源別				排放係數 (kg-CO _{2e} /單位)
			電能 (kwh)	燃料 煤	燃料 油	天然氣 (m ³)	
石質類	砂礫	m ³	1.32		0.76		3.93
	採石（原石）	m ³	1.63		0.96		4.94
	石材加工階段耗損	才	0.3				0.20
	石材加工品（6分厚板）	m ²					2.31
鋼鐵類	鋼胚（高爐）	T	414.25	720.5	11.51	2.05	2150.73
	鋼胚（電弧爐）	T	550			15	401.85
	碳鋼鋼胚（電弧爐製程）	kg					0.53
	軋延小鋼胚	kg					2.42
	鋼筋（電弧爐作業）	kg					0.66
	線材（高爐）	T	557.6	720.5	15.73	2.47	2263.39
	鋼筋（不分類）	T					923.45
	型鋼（不分類）	T					940.86
水泥類	卜特蘭水泥（乾式）	T					940
	水泥熟料	T					950
	預拌廠加工拌合	m ³	2.04				1.35
	預拌混凝土（3000psi）	m ³					347
	預拌混凝土水中（4000psi）	m ³					424.94
木材類	木合板	m ³	208.88				137.86
	木地板（2cm厚）	m ²	6.56				4.33
	木合板（6分板）	m ²					3.24
	木模板	m ²	0.238				0.16
	木材原材（林管木）	m ³					-904.6
化學類 &	聚氯乙烯（PVC粉）	T	309		53.2		417.8
	聚丙烯（PP）	T	452		37		447.06
	聚苯乙烯（PS）	T	320.2		333.0		1551.6

塑膠類	高密度聚乙烯 (HDPE)	T	388.7		8.8	291.92
	PVC 管加工	T	279			184.14
	PVC 接頭加工	T	1300			858
	塑膠布*2	T	894.4		98.2	985.07
	塑鋼料	T	323			213.18
	PVC 料	T	313			206.58
	PVC 管	kg				0.75
	地工織袋 (規格 70/105)	m ²				2.479
	加勁格網 (規格 160/80)	m ²				3.858
	加勁格網 (規格 240×120)	m ²				5.51
	不織布	kg				5.5
瀝青類	瀝青混凝土加工	T	1.54		9	37.2
	瀝青混凝土	T				30.24
	再生瀝青混凝土	T				46.72

資料來源：鄭敏華 (2016)。

2.3 材料運輸階段二氧化碳排放量估算

依據運研所相關研究與英國環境署工程碳排放計算器之運輸二氧化碳排放量計算方式，吾人可考慮以全國統計資料進行特定運輸型式之單位延人公里（客運）或單位延噸公里（貨運）燃料耗用量為參數，以運輸距離估算該工程的碳排放量（楊典樵，2010；陳昭秀，2013）。

因考量預算階段無法確定施工廠商使用材料之出廠位置，依據交通部統計處 104 年 7 月 1 日公告之「103 年度汽車貨運調查報告」，整理各類商品之總延噸公里數及總貨運量來更新修正平均運輸距離及二氧化碳排放量。因此依據 (2.1) 式可得材料運輸階段產生之總二氧化碳量以 (2.3) 式表示：

$$T_{CO_2} = \sum_{i=1}^n W_{mi} \times \frac{A_{mi}}{E_{ci}} \times CO_{2ci} \dots\dots\dots (2.3)$$

式中： $W_{mi} \times \frac{A_{mi}}{E_{ci}}$ 為活動數據。

T_{CO_2} = 材料運輸階段產生之總二氧化碳排放量。

W_{mi} = 工程所使用的材料運輸之重量（單位：T）。

A_{mi} = 各材料類別之運輸平均運距。

E_{ci} = 平均燃油效率。本研究假設平均燃油效率值為 4 公里/公升柴油，來代表全體貨車之燃油效率（張又升，2002）。

CO_{2ci} = 各類能源二氧化碳排放係數。

本研究依據建築物生命週期二氧化碳排放量評估之建材公路運輸階段能源的消費量，其中建材單位重量的平均運輸距離採主計處（2015）我國交通部統計資料來簡化計算。分別計算出各類商品的平均運輸距離（本文假設所有貨運車輛使用的燃料皆為柴油且平均燃油效率值為 4 公里/公升），計算結果整理如臺灣 2014 年全國公路汽車貨運（營業貨車）平均運距與二氧化碳排放係數統計表（表 2-3）。

表 2-3 臺灣 2014 年全國公路汽車貨運（營業貨車）平均運距與 CO₂ 排放係數統計表

項次	商品別	總延噸公里 Ton-Kms	總貨運量 噸數 Tonnage	平均 運距 (km/T)	單位運 輸耗 (柴油) 量 (L)	排放係數 (kg-CO ₂ /T)	備註
1	砂、石及黏土	2,811,562,107	70,718,281	39.76	9.94	34.69	
2	人造纖維及玻璃 纖維紡織品	87,617,549	823,622.62	106.38	26.60	92.83	
3	針織布	35,377,958	443,360.85	79.79	19.95	69.63	
4	不織布	32,012,967	529,883.37	60.42	15.11	52.73	
5	合板及組合木材	447,322,650	4,065,406.17	110.03	27.51	96.01	
6	石油煉製品	215,690,914	4,417,265.13	48.83	12.21	42.61	
7	焦炭及其他煤製 品	144,504,093	1,668,544.70	86.60	21.65	75.56	
8	合成橡膠	37,154,423	468,864.86	79.24	19.81	69.14	
9	合成纖維	38,432,662	328,628.23	116.95	29.24	102.05	
10	其他人造纖維	24,516,705	391,784.91	62.58	15.65	54.62	
11	水泥	175,992,974	1,370,804.72	128.39	32.10	112.03	
12	水泥製品	192,193,609	3,567,549.81	53.87	13.47	47.01	
13	其他非金屬礦物 製品	180,401,001	1,480,793.72	121.83	30.46	106.31	
14	生鐵及粗鋼	552,299,716	6,001,994.98	92.02	23.01	80.30	
15	鋼鐵初級製品	2,001,638,324	33,146,663.30	60.39	15.10	52.70	
16	其他金屬製品	181,825,400	2,107,015.87	86.30	21.58	75.31	
17	其他運輸工具	7,454,979	112,455.85	66.29	16.57	57.83	

資料來源：鄭敏華（2016）。

2.4 工地施工階段之二氧化碳排放量估算

依據 (2.1) 式可得工地施工階段產生之二氧化碳排放量以 (2.4) 式表示：

$$M_{CO_2} = \sum_{i=1}^n O_{mi} \times Hr_{wi} \times C_{CO_2wi} \dots\dots\dots (2.4)$$

式中： $\sum_{i=1}^n O_{mi} \times Hr_{wi}$ 為活動數據。

M_{CO_2} = 工程施工階段產生之總二氧化碳排放量。

n = 各類施工機具。

O_{mi} = 各施工機具之平均耗油率。

Hr_{wi} = 施工機具平均工率，依照施工規範中施工機具工作量分析，可得各機具於單位工作量之時間（單位工作時數），進而得知施工機具平均工率，以 (2.5) 式表示：

$$Hr_{wi} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{V_{ii}}{W_{ai}} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

式中： n = 各類施工項目； V_{ii} = 各工程項目施作之總時間； W_{ai} = 各類施工機具完成之總工作量； CO_{2wi} = 各機具使用之油類二氧化碳排放係數。

有關施工機具能耗可參考行政院公共工程委員會委託研究 (2012)，「研訂公共工程計畫相關審議基準及綠色減碳指標計算規則」委託研究案-成果報告減碳規則篇資料辦理。本文摘錄機具能耗參考資料統計表如表 2-4。

表 2-4 機具能耗參考資料統計表

項目	類別	機具名稱及規格	馬力 (kW)	燃料類別	能源耗用係數	單位	機具能源耗用率	單位	資料等級
1	挖土機	挖土機，0.55m ³	89	高級柴油	0.14	L/kW · h	12.46	L/hr	B
2	挖土機	挖土機，0.7m ³	128	高級柴油	0.14	L/kW · h	17.92	L/hr	B
3	動力鏟	動力鏟，2.3m ³	195	高級柴油	0.14	L/kW · h	27.30	L/hr	B
4	挖土機	抓斗式挖土機，0.55m ³	195	高級柴油	0.14	L/kW · h	27.30	L/hr	B

2.5 施工技術人員之二氧化碳排放量估算

本研究依工程案例之工料分析彙整出各類人員之總工作時數，但在未有相關調查資料的情況下，仍無法進行轉換，且工程人員往返工區之運輸油耗量無法詳細進

行盤點且各工程的人力往返距離亦難以估算，因此有關施工從業技術人員之二氧化碳排放量，於工程規劃設計階段，建議採每人時之化糞池溫室氣體排放係數作為計算基準。

經參考國立中興大學之溫室氣體盤查系統-系數管理（2016）資料（表 2-5），因此可依據表 2-5 分別計算每人每小時及每工（假設每日工作為 8 小時）活動數據之化糞池排放源二氧化碳排放計算結果：

CH₄ 排放係數估算數 = (A×B) ÷ 1000000000 × C × (D×E) × (F÷100) 公噸/人-年

CH₄ = (0.6×200) ÷ 1000000000 × 360 × (8×15.625) × (85÷100) = 0.004654 T/人-年

二氧化碳排放量 (CO₂e/年) = 人數 × CH₄ 排放係數 (G) × CH₄ (GWP 值)

其中有關全球暖化潛勢 (Global Warming Potential, GWP) 是指在將 CO₂ 的 GWP 值設定為 1 的情況下，CH₄ 能吸收的熱超過 CO₂ 的 23 倍，故其 GWP 值為 23；N₂O 所吸收的熱較 CO₂ 多 296 倍，故其 GWP 值即為 296（資料來源：經濟部溫室氣體減量資訊網，2016）。

二氧化碳排放量 = 1 × 0.004654 × 23 = 0.107 (T-CO₂e/年) /人

二氧化碳排放量 (每小時) = 0.107 × 1000 ÷ 365 (天) ÷ 24 (小時)

= 0.012 (kg-CO₂e/hr) /人

二氧化碳排放量 (每工) = ∑活動數據 × 排放係數 = 8 × 0.012 = 0.096 = 0.10 (kg-CO₂e) /工

表 2-5 化糞池碳排放量計算

設備名稱	化糞池
(A) BOD 排放因子	0.6 公噸 CH ₄ /公噸-BOD
(B) 平均污水濃度 mg/L	200
(C) 工作天數 (天)	教職員工：250 天 學生：195 天
(D) 每人每天工作時間 (小時)	教職員工：8 時 學生：一般生：8 時 學生：進修生：8 時 學生：住宿生：12 時
(E) 每人每小時廢水量 (公升/小時)	15.625
(F) 化糞池處理效率 (%)	85
(G) CH ₄ 排放係數	(A×B) ÷ 1000000000 × C × (D×E) × (F÷100) 公噸/人-年
溫室氣體排放量 (公噸 CO ₂ e/年) = 人數 × CH ₄ 排放係數 (G) × CH ₄ (GWP 值)	

註：資料來源，國立中興大學，溫室氣體盤查系統（2016）

2.6 碳匯變化量估算

碳匯變化量部分係以地表植被的改變量為活動強度，若植被遭移除代表碳匯減量、植生復育則代表碳匯增量，輔以林木固碳係數進行碳匯變化量計算如(2.6)式(陳昭秀, 2013)，其中地表植被單位面積二氧化碳固定量可參考表 2-6。

$$\text{碳匯變化量} = \Sigma (\text{新種植栽面積} \times \text{固定碳排係數}) - \Sigma (\text{既有植栽面積} \times \text{固定碳排係數}) \quad (2.6)$$

表 2-6 臺灣各種植栽單位面積 CO₂ 固定量

栽植類型		CO ₂ 固定量 kg/m ²	覆土深度	
			屋頂、陽台、露臺	其他
生態複層	大小喬木、灌木、花草密植混種區(喬木間距 3.5m 以下)	1,200	1.0m 以上	1.0m 以上
	闊葉大喬木	900		
	闊葉小喬木、針葉喬木，疏葉喬木	600		
喬木	棕櫚類	400	0.7m 以上	
	灌木(每 m ² 至少栽植 2 株以上)	300	0.4m 以上	0.5m 以上
多年生蔓藤	100			
草花花圃、自然野草地、草坪		20	0.1m 以上	0.3m 以上

註：栽種於屋頂及露台的喬木若有良好的防颱技術工法(必須檢附技術資料)，加設特殊固定設施可給予優惠，其覆土深度得降為原來之 60%。

資料來源：內政部建築研究所(2015)。

三、案例分析結果與討論

3.1 複合式擋土牆工程案例概述

本研究選用交通部公路總局某一災害修復工地為例，工地基地位於屏東縣獅子鄉為台九線省道公路 470k+500，係屬南迴公路，南迴公路為連接屏東縣枋山鄉楓港與臺東縣臺東市馬蘭之間，往北接續花東公路。南迴公路段是屏東縣與臺東縣交通往來重要且主要樞紐，102 年 8 月 27 日康芮颱風豪雨造成台 9 線 470k+500 道路路基坍方，470k+500 路段原屬自然邊坡，因楓港溪河床地農民種植西瓜造成河道改向，進而沖刷擋土牆基腳，導致路基流失嚴重影響行車通行。

因工區基地位於恆春半島，地形因中央山脈高度降低至 400-1000 公尺左右，而每年從 10 月到次年 4 月，東北季風翻過山脈而下，強勁的下坡風直撲恆春半島西

岸，而落山風是臺灣恆春半島對於東北季風的慣稱。落山風是屬於下坡風（山風），襲捲在背風坡的車城、牡丹、恆春等地區，落山風瞬間強度可達 6、7 級，相當於輕度颱風的威力，施工環境惡劣。

工程案例工程為避免楓港溪河水持續攻擊擋土牆基腳，且基礎需承受上方被填土高達約 22m，基於以安全為導向，及減輕對自然環境造成傷害，擇訂採用基樁、半重力式擋土牆及加勁擋土牆等組合成為複合式擋土牆辦理修復，其主要結構之數量詳表 3-1。案例工程之位置及平面圖如圖 3-1 與圖 3-2、構造剖視圖及加勁擋土牆示意圖分別詳如圖 3-3 與圖 3-4，以及施工中現況相片和工程施工前後對照相片如圖 3-5 與圖 3-6 所示。

表 3-1 工程案例之結構物數量統計表

項次	結構物分類及說明	數量
1	全套管式鑽掘混凝土基樁，長 10m，D=1200mm	115 支×10 m /支=1150 m
2	半重力式擋土牆，高度 H=12m	150m
3	TAPE A H=6m 加勁擋土牆（埋深 10m）（第 1 層）	170m
4	TAPE B H=4m 加勁擋土牆（埋深 10m）（第 2 層）	170m



圖 3-1 案例工程位置

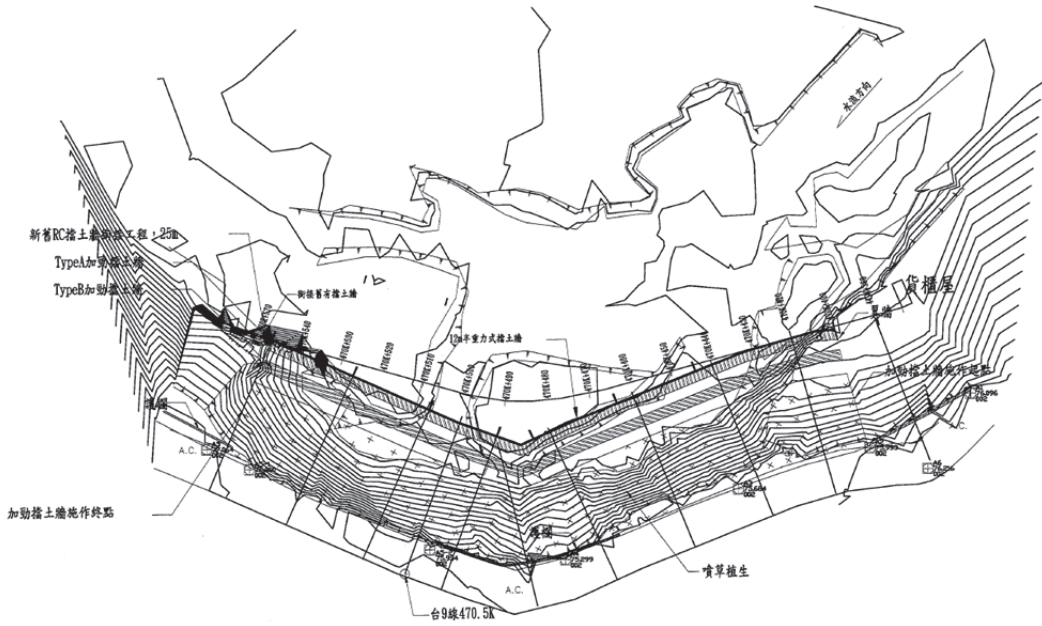
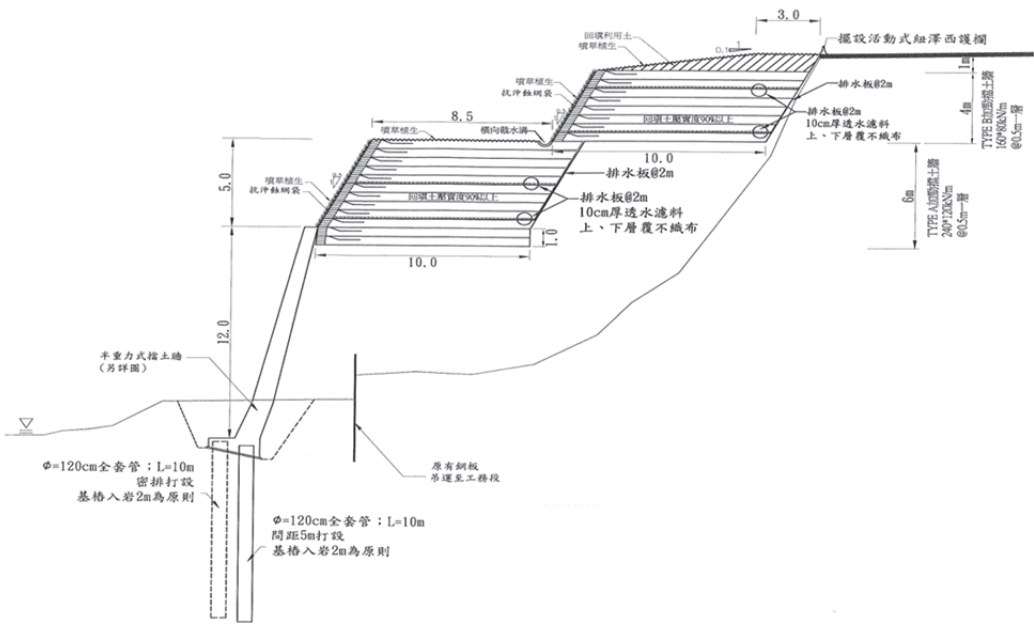


圖 3-2 工程平面圖



加勁擋土牆標準圖
S=1:200 單位:m

圖 3-3 構造剖視圖

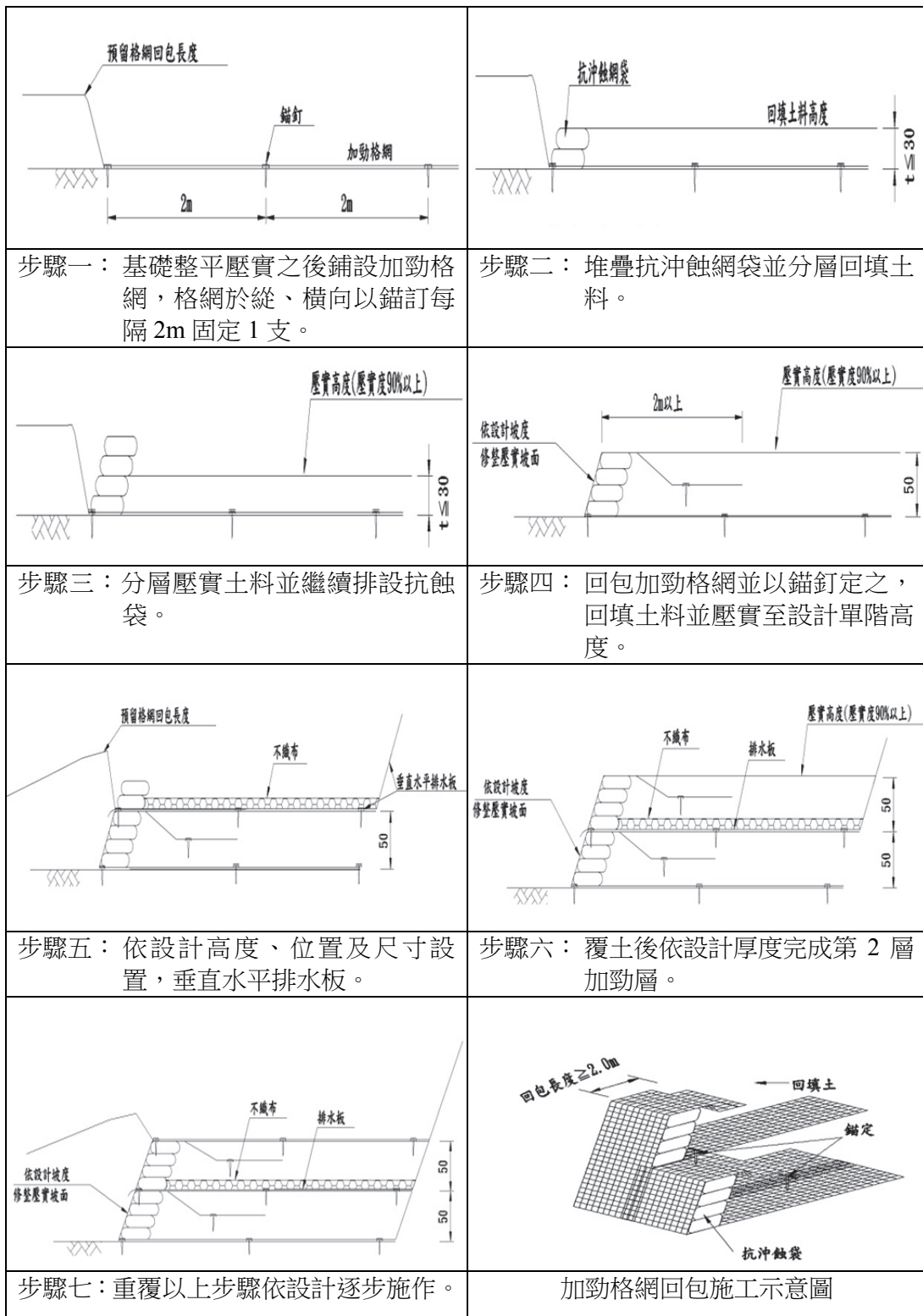


圖 3-4 加勁擋土牆示意圖

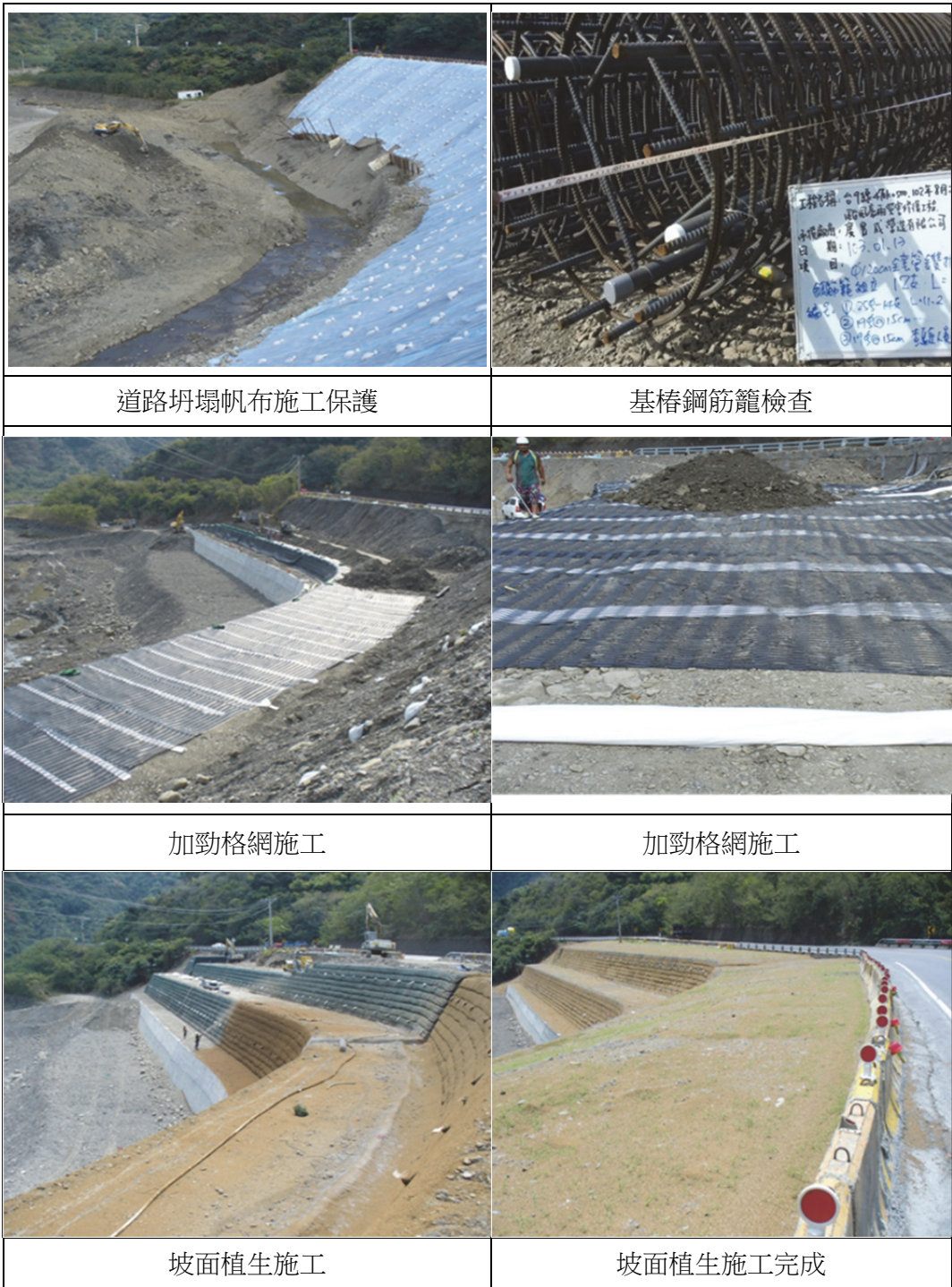
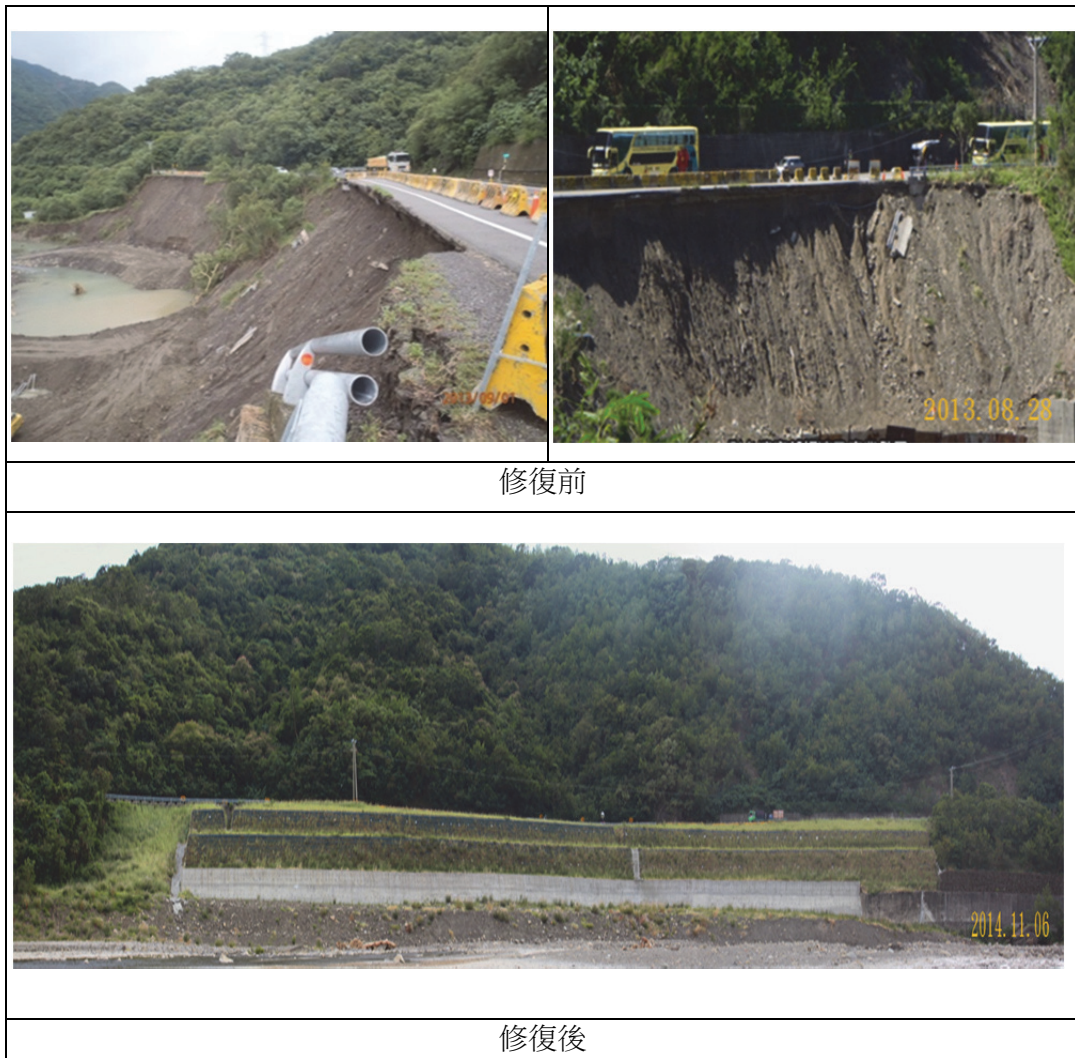


圖 3-5 施工中現況相片



修復前

修復後

圖 3-6 工程施工前後相片

3.2 工料項目之二氧化碳排放量盤點計算

二氧化碳排放量盤點估算，其中各工項 CO₂ 排放量之盤點，依據各項工項單價分析表中各項材料施工投入數量，將其分類成材料生產、運輸及施工等三階段進行分析估算，其計算公式參照第二章節所述計算式。以工程工項第壹-1「機械挖土方」及「TAPE A H=6m 加勁擋土牆（埋深 10m）」工料分析之碳排放量估算為例，說明其計算過程如下：

3.2.1 工程案例之「機械挖土方」工項二氧化碳排放量推估

(1) 施工機械

「機械挖土方」工項使用之施工機具為挖土機（挖土機，0.7 m³），此工料施工時

間 0.025 (hr/m³)，查施工機具能耗參考資料 (表 2-4)，得知機具能源耗用率為 17.92 (L/hr)。

$$\text{活動數據} = \sum_{i=1}^n O_{mi} \times Hr_{wi} = 17.92 \text{ (L/hr)} \times 0.025 \text{ (hr/m}^3\text{)} = 0.448 \text{ (L/m}^3\text{)}$$

CO_{2ci} 排放數據=各機具使用之油類 CO₂ 排放係數為 3.49 (kg-CO_{2e}) /L

[查表 2-1，柴油 (於移動源使用，2013)]。代入 (2.4) 式得

$$\begin{aligned} M_{CO_2} &= \sum_{i=1}^n O_{mi} \times Hr_{wi} \times C_{CO_2wi} \\ &= 0.448 \text{ (L/m}^3\text{)} \times 3.49 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /L} = 1.56 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^3 \end{aligned}$$

(2) 配合工資

查單價分析此工項之活動數據為 1 工/m³，排放係數為 0.1 (kg-CO_{2e}) /工，技工 CO₂ 排量=1 工/m³×0.1 (kg-CO_{2e}) /工=0.1 (kg-CO_{2e}) /m³。

(3) 工具損耗

經查工料分析得知原設計工項之「施工機械」金額 54.29% 估算，因此本工料之 CO₂ 排量=1.56 (kg-CO_{2e}) /m³×54.29%=0.85 (kg-CO_{2e}) /m³。

表 3-2 「TAPE A H=6m 加勁擋土牆 (埋深 10m)」工項二氧化碳排放量分析統計表

壹. 一.1	工作項目：機械挖土方			排碳係數 (kg-CO _{2e}) /m ³			備註	計價代碼： 0231620E61
	工料名稱	單位	數量	數值	單位	數量		
	施工機械	時	0.025	17.92	L/hr	1.56		L9200000009,#
	配合工資	工	1.000	0.1	工	0.1		W01271200014,#
	工具損耗	式	1.000	1.00	式	0.85		
	合計	m ³	1.000			2.51		
	人工：機具：							
	材料：雜項：	單位：m ³		合計		2.51		

3.2.2 工程案例之「TAPE A H=6m 加勁擋土牆 (埋深 10m)」工項二氧化碳排放量推估

本工作項目之各料分析原設計工率分析採以每 6m² 之加勁擋土牆面積單位為 (m²) 之工料分析基準計算辦理。

(1) 加勁格網 (規格 240×120KN/m)

依據國內某專業地工材料產品製造廠商提供資料：活動數據為加勁格網（規格 160/80）每 m^3 單位重約 700g，（規格 240/120）每 m^3 單位重約 1000g。排放係數經查表 2-2，加勁格網（160/80）碳盤查之碳足跡為 $3.858 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^2$ 。因此，加勁格網（ $240 \times 120 \text{KN/m}$ ）碳排放係數換算： $(1000/700) \times 3.858 = 5.51 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^2$ 。

查原設計預算之工料分析可得加勁格網（規格 $240 \times 120 \text{KN/m}$ ）活動數據（ V_{mi} ）為每平方公尺「TAPE A H=6m 加勁擋土牆（埋深 10m）」使用 192.19 (m^2) 加勁格網（規格 $240 \times 120 \text{KN/m}$ ）之數量。排放係數為 $5.51 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^2$ ，加勁格網（規格 $240 \times 120 \text{KN/m}$ ）之 CO_2 排放量代入 (2.2) 式得：

$$P_{co_2} = \sum_{i=1}^n V_{mi} \times CO_{2pi} = 192.19 \text{ (m}^2\text{/m}^2) \times 5.51 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^2 = 1058.97 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^2$$

(2) 抗沖蝕網袋（土工織袋）

土工織袋之活動數據查工料分析可知本工項「TAPE A H=6m」每 m^2 約使用 180 個袋子。排放係數依據國內某專業地工材料產品製造廠商提供資料（如表 2-2 所示），工地織袋（規格 70/105）其重量為 400g/m^2 ，且其產品碳足跡為 $2.479 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^2$ 。因本工料使用抗沖蝕網袋其重量為 40g，本工項每 m^2 約使用 180 個袋子。故按重量比例可估算抗沖蝕網袋之二氧化碳排放係數為 $40/400 \times 2.479 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^2$ ，亦 $0.248 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^2\text{/袋}$ 。

本工料之活動數據為 $V_{mi} = 180 \text{ (袋)}$ ，排放係數為 $0.248 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^2$ ，抗沖蝕網袋（土工織袋）之 CO_2 排放量代入 (2.2) 式得

$$P_{co_2} = \sum_{i=1}^n V_{mi} \times CO_{2pi} = 180 \times 0.248 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^2\text{/袋} = 44.64 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^2$$

(3) 錨釘為使用#4 鋼筋

查工程設計圖說得知，本工項之錨釘一支長約 0.6m，單位重 0.994 kg/m ，此工項每 m^2 使用 21 支錨釘。

活動數據 = $0.994 \text{ (kg/m)} \times 0.6 \text{ (m/支)} \times 21 \text{ (支/m}^2) = 12.5244 \text{ (kg/m}^2)$

且排放係數查表 2-2 得鋼筋之碳係數碳排放係數為軋延小鋼胚及鋼筋（電弧爐作業）之產品組合故為 $2.42 + 0.66 = 3.08 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /kg}$ ，因此工料本工料之活動數據為 $V_{mi} = 12.52 \text{ (kg/m}^2)$ ，排放係數為 $3.08 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /kg}$ ，錨釘 CO_2 排放係數代入 (2.2) 式得

$$P_{co_2} = \sum_{i=1}^n V_{mi} \times CO_{2pi} = 12.5244 \text{ (kg/m}^2) \times 3.08 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /kg} = 38.58 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^2$$

(4) 排水版

依據某專業地工材料產品製造廠商提供之排水版之重量為 0.25 (kg/m)，其中排水版外覆不織布為 0.05kg/m，內層為材質屬聚苯乙烯 (PS) 0.2 (kg/m)。經查表 2-2 聚苯乙烯 (PS) 產品碳排放係數為 1.5516 (kg-CO₂e/kg)，又依據國內專業的不織布生產公司提供 (第二類) 不織布碳足跡為 5.5 (kg-CO₂e/kg) 查表 2-2。本工料分析可知工項之排水版為 (12.34 (m/m²))，排水版外覆不織布之活動數據為 0.05 (kg/m) × 12.34 (m/m²) = 0.617 (kg/m²)；聚苯乙烯 (PS) 活動數據為 0.20 (kg/m) × 12.34 (m/m²) = 2.468 (kg/m²)，因此，工料之活動數據及排放係數代入 (2.2) 式得排水版二氧化碳排放量為：

$$\begin{aligned} P_{co_2} &= \sum_{i=1}^n V_{mi} \times CO_{2pi} \\ &= 0.617 \text{ (kg/m}^2\text{)} \times 5.5 \text{ (kg-CO}_2\text{e/kg)} + 2.468 \text{ (kg/m}^2\text{)} \times 1.5516 \text{ (kg-CO}_2\text{e/kg)} \\ &= 7.22 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^2 \end{aligned}$$

(5) 清碎石

由工料分析表得活動數據為 2 (m³/m²)，再查表 2-2 建材相關產品單位產生 CO₂ 排放統計表得本工料 CO₂ 排放係數為 3.93 (Kg-CO₂e/m³)。代入 (2.2) 式得清碎石二氧化碳排放量：

$$P_{co_2} = \sum_{i=1}^n V_{mi} \times CO_{2pi} = 2 \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{)} \times 3.93 \text{ (kg-CO}_2\text{e/m}^3\text{)} = 7.86 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^2$$

(6) 不織布

由工料分析表得工程不織布每 m² 約為 200g 且數量為 44m²，可計算得活動係數為 0.2 (kg/m²) × 44 (m²/m²)，再查表 2-2 其不織布產品碳足跡為 5.5 (kg-CO₂e) /kg，代入 (2.2) 式得不織布二氧化碳排放量：

$$\begin{aligned} P_{co_2} &= \sum_{i=1}^n V_{mi} \times CO_{2pi} \\ &= 0.2 \text{ (kg/m}^2\text{)} \times 44 \text{ (m}^2\text{/m}^2\text{)} \times 5.5 \text{ (kg-CO}_2\text{e/kg)} = 48.4 \text{ (kg-CO}_2\text{e) /m}^2 \end{aligned}$$

(7) 地工材料運輸

本工項之各材料每 m² 之重量依據 (2.3) 式計算，結果如表 3-3 所示。

表 3-3 「TAPE A H=6m 加勁擋土牆 (埋深 10m)」每 m² 工料運輸之二氧化碳排放量統計

項次	工料重量 W_{mi} (A) (T/ m ²)	平均運距×CO ₂ 排放 係數 $\frac{A_{mi}}{E_{ci}} \times CO_{2ci}$ (B) (kg-CO _{2e} /T) (表 2-3)	二氧化碳排放量 (C) = (A) × (B) (kg-CO _{2e} /m ²)	
加勁格網 (240×120KN/m)	=1 (kg/m ²) ×192.19 =0.19 (T/ m ²)	其他人造 纖維	54.62	10.38
抗沖蝕網袋	=30×40×6 (g/ m ²) =7.2×10 ⁻³ (T/ m ²)	其他人造 纖維	54.62	0.39
錨釘	=0.994 (kg/ m) ×0.6×21 =0.013 (T/ m ²)	其它金屬 製品	75.31	0.98
排水版	=0.25 (kg/m) ×12.34 =3.09×10 ⁻³ (T/ m ²)	其他人造 纖維	54.62	0.17
清碎石	=2.3 (T/m ³) ×2 (m ³ /m ²) =4.6 (T/ m ²)	砂、石及 黏土	34.69	159.57
不織布	=200 (g/m ²) ×44 =8.8×10 ⁻⁴ (T/ m ²)	不織布	52.73	0.5
合計				171.99

(8) 土工材料施工

加勁擋土牆之填方與壓實作業，要比一般擋土牆之背後填方嚴格，因其作業須在受限制之工作面上有效率地進行，且不可使牆面承受異常之水平力，故施工機具之選擇及配置必須恰當。選用滾壓機具應配合填土料性質、工程規模及作業條件等，通常以震動式壓路機最為有效。若細粒料含量較多之砂土，則採用膠輪壓路機較佳。靠近牆面 1.5m 範圍之填方滾壓，應採用小規模滾壓作業用之輕型滾壓機具。因本工程之預算編製時無對本工項進行施工機具詳細分析，經查「TAPE A H=6m 加勁擋土牆 (埋深 10m)」及「Type A 加勁擋土牆側向收邊」施工實際完成數量依序分別為 1098 m²+228 m²=1,326 m²，進場施工時數合計約為 80 小時，代入施工機具之平均工率(2.5)式辦理計算，其中： $W_{ai}=1,326(\text{m}^2)$ ； $V_{ti}=80(\text{hr})$ 。經計算結果施工機具之平均工率為 0.060 hr/m²，代入(2.4)式可計算得表 3-4，即「TAPE A H=6m 加勁擋土牆 (埋深 10m)」施工階段之二氧化碳排放量為 6.68 kg-CO_{2e}/ m²。

表 3-4 「TAPE A H=6m 加勁擋土牆（埋深 10m）」及「Type A 加勁擋土牆側向收邊」每 m² 施工機具之二氧化碳排放量統計

項次	施工機具	使用能源	機具能源耗用率 (O_{mi})	工作時數 (Hr_{wi})	排放係數 (C_{CO_2})	M_{CO_2} (kg-CO ₂ e/m ²)
1	開挖機，0.70~0.79m ³	柴油	14.1 (L/hr)	0.060 (hr/m ²)	3.49 (kg-CO ₂ e/L)	2.95
2	振動壓路機，10~10.9t	柴油	17.8 (L/hr)	0.060 (hr/m ²)	3.49 (kg-CO ₂ e/L)	3.73
合計						6.68

表 3-5 「TAPE A H=6m 加勁擋土牆（埋深 10m）」工項二氧化碳排放量分析統計表

壹.一.13	工作項目：TAPE A H=6m 加勁擋土牆（埋深 10m）			排碳係數 (kg-CO ₂ e) / m ²			備註	計價代碼：16132016C11
	工料名稱	單位	數量	數值	單位	數量		
	加勁格網 (240*120KN/m)	m ²	192.190	5.51	m ²	1058.97		M1613201601282
	抗沖蝕網袋	袋	180.000	0.248	m ²	44.64		M16132016012
	錨釘	支	21.000	0.66	kg	8.26		M16132016013
	排水版	m	12.340	0.51	m ²	7.22		M16132016014
	清碎石	m ³	2.000	3.93	m ³	7.86		M16132016015
	不織布	m ²	44.000	5.50	m ²	48.40		M16132016016,#
	地工材料運輸	式	1.000	1.00	式	171.99	本研究新增	
	地工材料施工機具	m ²	6.000	6.68	m ²	40.08	本研究新增	
	合計	m ²	6.000			1387.42		
	計	m ²	1.000			231.24		
	人工：機具：	單位：m ²	合計			231.24		
	材料：雜項：							

本研究工程案例之二氧化碳排放量盤點計算，係依據工程設計階段之預算書單價分析表單為主架構，將工程投入材料、運輸及施工等階段工項按前述計算式 (2.1~2.6)，進而建置二氧化碳排放量估算表單。以案例工程之工作項目：壹.一.1「機械挖土方」及壹.一.13「TAPE A H=6m 加勁擋土牆（埋深 10m）」二氧化碳排放量統計為計算例，計算結果統計整理為表 3-2 及 3-5 所示。亦可利用相同盤點計算

方式得各工料分析表之二氧化碳排排放量，詳細內容請參考鄭敏華(2016)P31~P69。

3.3 工程案例之二氧化碳排放量盤點計算結果

各工項依材料生產、材料運輸及工地施工等三個部份均以活動數據乘上排放係數之二氧化碳排放量盤點估算結果詳表 3-6 與表 3-7，由此兩表得知本文工程案例結構部份造成之溫室氣體二氧化碳排放量之總量為 4,905,412 (kg-CO₂e)。

表 3-6 案例工程各工項二氧化碳排放量之統計總表

項次	項目及說明	單位	總活動數據	碳排係數	單位	碳排量 (kg-CO ₂ e)	備註	編碼
1	機械挖土方	m ³	54,417	2.51	(kg-CO ₂ e)/m ³	136,587	壹.一.1	0231620E61, #, *
2	回填利用土	m ³	54,417	0.74	(kg-CO ₂ e)/m ³	40,269	壹.一.2	0231700000, #, *
3	近運利用, 運距5-10km	m ³	54,417	7.53	(kg-CO ₂ e)/m ³	409,760	壹.一.3	02323700YZ, #, *
4	軀體模板製作及裝拆	m ²	4,395	181.35	(kg-CO ₂ e)/m ²	797,033	壹.一.4	031102ZM11, #, *
5	鋼筋加工及組立	kg	399,958	0.74	(kg-CO ₂ e)/kg	295,969	壹.一.5	03210ZA001, #, *
6	210kgf/cm ² 混凝土及澆置(含水泥)	m ³	4,141	469.03	(kg-CO ₂ e)/m ³	1,942,253	壹.一.6	0331024205, #, *
7	280kgf/cm ² 水中混凝土	m ³	1,430	549.06	(kg-CO ₂ e)/m ³	785,156	壹.一.7	03310242059, #, *
8	基樁完整性試驗	支	30	1.31	(kg-CO ₂ e)/支	39	壹.一.8	02469701012, #, *
9	樁頭處理, 基樁, D=1200mm	處	115	29.56	(kg-CO ₂ e)/處	3,399	壹.一.9	024697010122, #, *
10	基樁完整性試驗測管	m	4,600	1.46	(kg-CO ₂ e)/m	6,716	壹.一.10	0246970101223, #, *
11	PVC洩水管, 10cm ϕ , 濾料包及安裝	處	450	2.19	(kg-CO ₂ e)/處	986	壹.一.11	02469701012239, #, *
12	全套管式鑽掘混凝土基樁, D=1200mm, 鑽掘(含空鑽)	m	1,150	118.24	(kg-CO ₂ e)/m	135,976	壹.一.12	16132016C1196, #, *
13	TAPE A H=6m加勁擋土牆(埋深10m)	m ²	1,098	231.24	(kg-CO ₂ e)/m ²	253,902	壹.一.13	16132016C11, #, *
14	TAPE B H=4m加勁擋土牆(埋深10m)	m ²	718	127.51	(kg-CO ₂ e)/m ²	91,552	壹.一.14	16132016C12, #, *
15	TypeA加勁擋土牆側向收邊	m ²	228	89.14	(kg-CO ₂ e)/m ²	20,324	壹.一.15	16132016C14, #, *
16	TypeB加勁擋土牆側向收邊	m ²	277	65.15	(kg-CO ₂ e)/m ²	18,046	壹.一.16	16132016C15, #, *
17	橫向截水溝	m	237	118.07	(kg-CO ₂ e)/m	27,982	壹.一.17	0330021IOS1, #, *
18	坡面植生	m ²	5,060	- 12.29	(kg-CO ₂ e)/m ²	- 62,198	壹.一.18	05120ZB00315, #, *
19	2.6mm ϕ 菱形立體網及鋪設	m ²	284	5.85	(kg-CO ₂ e)/m ²	1,661	壹.一.17(4)	02469R00013, #
總計						4,905,412		

表 3-7 案例工程各結構之二氧化碳排放量統計總表

項次	項目及說明	單位	總活動數據	碳排係數	碳排量 (kg-CO ₂ e)	備註	編碼
壹	工程碳排放量統計						
一	基樁						
1	鋼筋加工及組立	kg	232,875	0.74	172,328	壹.一.5	03210ZA001, #, *
2	280kgf/cm ² 水中混凝土	m ³	1,430	549.06	785,156	壹.一.7	03310242059, #, *
3	基樁完整性試驗	支	30	1.31	39	壹.一.8	02469701012, #, *
4	樁頭處理, 基樁, D=1200mm	處	115	29.56	3,399	壹.一.9	024697010122, #, *
5	基樁完整性試驗測管	m	4,600	1.46	6,716	壹.一.10	0246970101223, #, *
6	全套管式鑽掘混凝土基樁, D=1200mm, 鑽掘(含空)	m	1,150	118.24	135,976	壹.一.12	16132016C1196, #, *
	小計				1,103,614		
二	半重力式鋼筋混凝土擋土牆						
1	機械挖土方	m ³	28,297	2.51	71,025	壹.一.1	0231620E61, #1, *
2	回填利用土	m ³	28,297	0.74	20,940	壹.一.2	0231700000, #, *
3	近運利用, 運距5-10km	m ³	28,297	7.53	213,076	壹.一.3	02323700YZ, #, *
4	輕體模板製作及裝拆	m ²	4,395	181.35	797,033	壹.一.4	0311022M11, #, *
5	鋼筋加工及組立	kg	165,090	0.74	122,167	壹.一.5	03210ZA001, #, *
6	210kgf/cm ² 混凝土及澆置(含水泥)	m ³	4,141	469.03	1,942,253	壹.一.6	0331024205, #, *
7	PVC洩水管, 10cm ϕ , 濾料包及安裝	處	450	2.19	986	壹.一.11	02469701012239, #, *
	小計				3,167,480		
二	加勁擋土牆						
1	機械挖土方	m ³	26,120	2.51	65,561	壹.一.1	0231620E61, #1, *
2	回填利用土	m ³	26,120	0.74	19,329	壹.一.2	0231700000, #, *
3	近運利用, 運距5-10km	m ³	26,120	7.53	196,684	壹.一.3	02323700YZ, #, *
4	鋼筋加工及組立	kg	1,993	0.74	1,475	壹.一.5	03210ZA001, #, *
5	TAPE A H=6m加勁擋土牆(埋深10m)	m ²	1,098	231.24	253,902	壹.一.13	16132016C11, #, *
6	TAPE B H=4m加勁擋土牆(埋深10m)	m ²	718	127.51	91,552	壹.一.14	16132016C12, #, *
7	TypeA加勁擋土牆側向收邊	m ²	228	89.14	20,324	壹.一.15	16132016C14, #, *
8	TypeB加勁擋土牆側向收邊	m ²	277	65.15	18,046	壹.一.16	16132016C15, #, *
9	橫向截水溝	M	237	118.07	27,982	壹.一.17	033002110S1, #, *
10	2.6mm ϕ 菱形立體網及鋪設	m ²	284	5.85	1,661	壹.一.17(4)	02469R00013, #
	小計				696,516		
合計					4,967,610		
貳	植栽碳匯之減碳量統計						
1	坡面植生	m ²	5,060	-12.29	-62,198	壹.一.18	05120ZB00315, #, *
	小計				-62,198		
總計					-62,198		
參	工程之總碳排放量(壹+貳)合計				4,905,412	壹.一.18	05120ZB00315, #, *

3.3.1 工程案例中各單元結構物二氧化碳排放量分析

1. 本工程案例二氧化碳排放量計算結果，以 10m 深之基樁造成之二氧化碳排放量值佔 63.76%為最高，其次為 10m 高之半重力式鋼筋混凝土擋土牆其二氧化碳排放量佔 22.22%，而 2 層累計 10m 高之加勁擋土牆其二氧化碳排放量佔 14.02 %。

2. 各單元結構物主要工料二氧化碳排放量百分比分析：

(1) 基樁部份：二氧化碳排放量值為 1,103,614 (kg-CO₂e)，其中以「280kgf/cm² 水中混凝土」71.14%，其次依序為「鋼筋加工及組立」15.61%及「全套管式鑽掘混凝土基樁，D=1200mm，鑽掘（含空鑽）」工項 12.32%等。

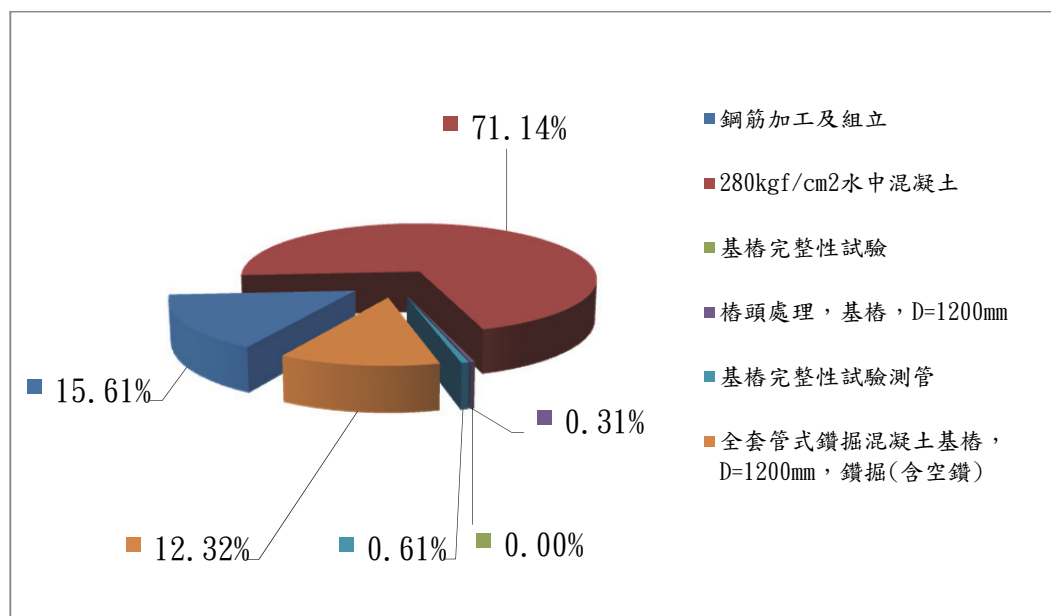


圖 3-1 基樁擋土牆之各工料二氧化碳排放量百分比圖

(2) 半重力式鋼筋混凝土擋土牆部份：二氧化碳排放量值為 3,167,480 (kg-CO₂e)，其中以「210kgf/cm² 混凝土及澆置（含水泥）」工項 61.32%為最高，其次依序為「軀體模板製作及裝拆」25.16%、「近運利用，運距 5~10km」6.73%及「鋼筋加工及組立」3.86%等。

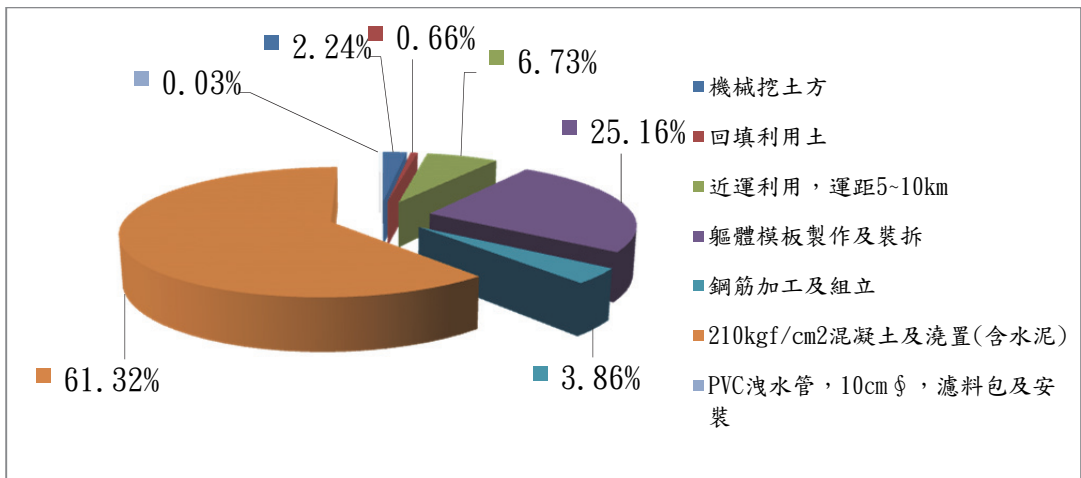


圖 3-2 半重力式擋土牆之各工料二氧化碳排放量百分比圖

(3) 加勁擋土牆部份：二氧化碳排放量值為 696,516 (kg-CO₂e)，其中以「TAPE A H=6m 加勁擋土牆(埋深 10m)」工項 36.45%為最高，其次依序為「近運利用，運距 5~10km」28.24%，「TAPE B H=4m 加勁擋土牆(埋深 10m)」13.14%，「機械挖土方」9.41%，「橫向截水溝」4.02%，「TypeA 加勁擋土牆側向收邊」2.92%，「回填利用土」2.78%，「TypeB 加勁擋土牆側向收邊」2.59%等。

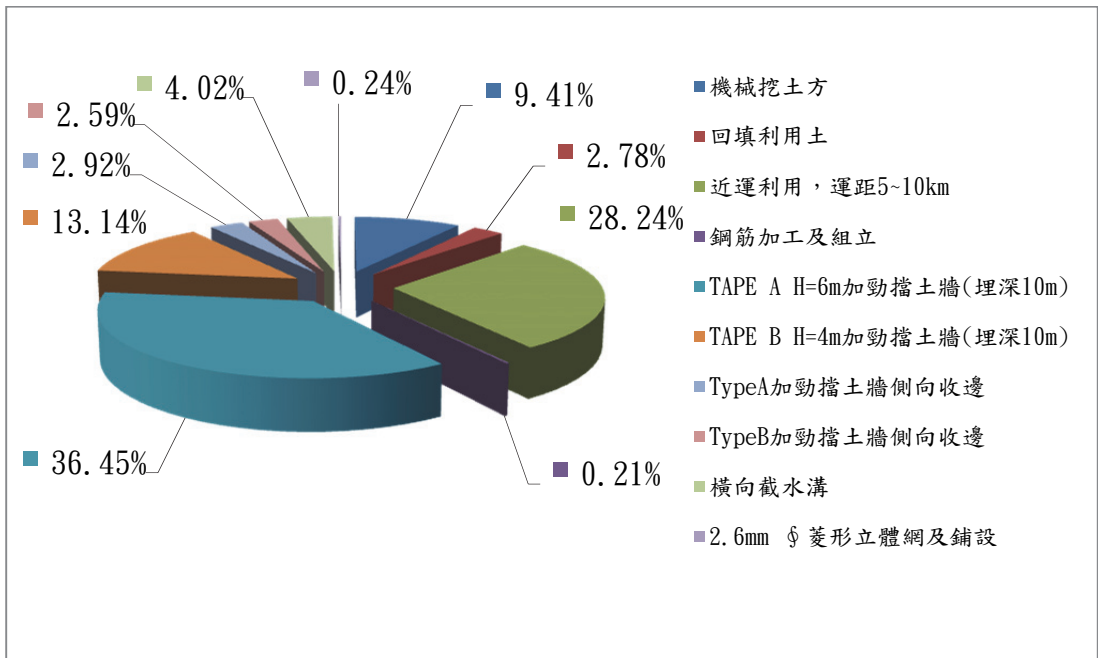


圖 3-3 加勁擋土牆之各工料二氧化碳排放量百分比圖

(4)「坡面植生」係屬碳中和範疇，且本工程之碳匯碳排放量碳排放量值為-62,198 (kg-CO₂e)，僅佔工程之總體二氧化碳排放量 (-1.27) %。

3.3.2 加勁擋土牆與傳統擋土牆二氧化碳排放量估算之相互比較

經統計案例工程各結構物單位之二氧化碳排放量估算詳如表 3-8，此表顯示以「基樁」及「半重力式擋土牆」結構物造成之二氧化碳排放量為較高，原因為「基樁」及「半重力式擋土牆」結構物施工使用材料為「210kgf/cm² 混凝土及澆置(含水泥)」及「280kgf/cm² 水中混凝土」之二氧化碳排放量為最高，佔工程之總體二氧化碳排放量高達 54.9%。主要成因為混凝土於製造過程中仍需消耗大量能源所致。

案例工程之「加勁擋土牆」使用大量非金屬加勁材，且加勁材為「加勁格網」亦是地工合成材料為主，地工合成材料之構造主要為聚合物纖維所組成、其材質主要有聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、聚酯 (PET) 等，相較於水泥製品所投入之需要消耗能源較低。

表 3-8 案例工程各結構物單位二氧化碳排放量估算統計

項次	結構物分類	單位	數量	二氧化碳排放量 (kg-CO ₂ e)	(kg-CO ₂ e)/單位	備註
1	全套管式鑽掘混凝土基樁，長 10m，D=1200mm	支	115	1,103,614	9,597	
2	半重力式擋土牆，高度 H=12m	m	150	3,167,480	21,117	
3	加勁擋土牆，2 層高度合計 10m (埋深 10m)	m	170	696,516	4,097	

四、結論與建議

本研究目的在依據以行政院環保署揭露之產品碳足跡資料而建立或修正道路工程常用之「建材相關產品單位產生 CO₂ 排放統計表」及依據交通部統計處 104 年 7 月 1 日公告之「103 年度汽車貨運調查報告」整理「臺灣 2014 年全國公路汽車貨運(營業貨車) 平均運距與 CO₂ 排放量推估值表」，為業界後續辦理相關工程碳足跡計算參考；另以比較分析基樁、鋼筋混凝土擋土牆及加勁擋土牆於材料、運輸及施工等階段其造成對環境影響之差異性。

4.1 結論

1. 本論文主要分析基樁、半重力式擋土牆及加勁擋土牆建築構造於建造過程中投入之具體能源和 CO₂ 排放物，自設計階段導入預算工料分析亦可得知二氧化碳排放

量影響的概念。施工方法為因地制宜擇定同時亦可提供 CO₂ 減量參考依據，進而達到最佳減碳的目的。

2. 設計階段若能及早得知於材料生產、運輸、建造、維護及使用結束期等生命週期有具體二氧化碳排放量之量化，即可以於設計當時預做提供能源回復及碳補償或抵消考量的參考。
3. 依據台 9 線 470.5k 複合式邊坡擋土牆工程估算二氧化碳排放量結果，就施工材料統計以「210kgf/cm² 混凝土及澆置（含水泥）」及「280kgf/cm² 水中混凝土」等工項為二氧化碳排放量值最高，整體工程 54.9%。主要原因為混凝土於製造過程中本身材料製造過程仍需消耗大量能源所致。
4. 台 9 線 470.5k 複合式邊坡擋土牆工程，底部之剛性構造物（基樁及半重力式擋土牆）佔整體之二氧化碳排放量 85.98%。為何不全部採用加勁擋土牆辦理改善?其主要原因為本工程基於以安全為導向，以減輕對自然環境造成傷害，而擇訂採複合式擋土牆辦理邊坡保護。土木工程之任何一種擋土牆辦理邊坡保護仍應考量因時、因地及因人制宜。
5. 本研究之工程案例依工料分析可彙整出各類人員之總工作時數，但在未有相關調查資料的情況下，仍無法進行轉換，且工程人員往返工區之運輸油耗量並無法詳細進行盤點。且於各工程的人力往返距離難以假設，因此有關施工從業技術人員之二氧化碳排放量，本研究以學校單位提供化糞池排放源參考估算二氧化碳排放量，仍與工地情況實有差異。
6. 經本研究之工程案例推估得知材料、運輸及施工等階段其造成對環境影響（未辦理碳匯變化量處理部份）總計為 4,905,412 (kg-CO₂e)，目前一般作法仍以植樹減碳辦理為普遍性，且可依據表 2-6「臺灣各種植栽單位面積 CO₂ 固定量」進行處理，若擇以生態複層栽植方式辦理 4,088 (4,905,412/1,200) m² 亦可達碳中和目的。

4.2 建議

綜合研究結果及研究過程中遇到的問題提出幾點建議，希望能有助於相關單位日後從事研究的方向

1. 本研究發現預編列時應詳加考量施工機械之使用工率分析，覈實編列，以利估算碳排放量之影響，以增加決策者對工法擇定考量。
2. 目前政府單位編列預算製表格式皆以行政院公共工程委員會提供之經費電腦估價系統 (PCCES) 為主，若能均符合 PCCES 之規定編碼一致編列各工料，其各材料生產、運輸及施工機具之碳足跡資料庫建立完，亦可更利於工程規畫設計階段之碳足跡計算及早控管碳排放量，且工程碳足跡之計算應可趨向一致。
3. 因建造施工而造成工程碳排放量，接續如何以最經濟及有效的方法來處理碳排放量

的問題以達碳中和目標，這將是我們值得深思問題。

參考文獻

1. 行政院環保署（2012），「委辦計畫建立碳中和推動機制與實踐專案計畫」。
2. 行政院公共工程委員會委託研究（2012），「研訂公共工程計畫相關審議基準及綠色減碳指標計算規則」委託研究案-成果報告減碳規則篇。
3. 張又升（2002），「建築物生命週期二氧化碳減量評估」，國立成功大學建築研究所博士論文。
4. 林政興、楊育誠、連惠邦（2009），「生態工程節能減碳」，第十三屆海峽兩岸水利科技交流研討會。
5. 陳炳達（2011），「連續壁工程之二氧化碳排放影響因子研究」，國立臺灣科技大學營建工程所碩士論文。
6. 楊典樵（2010），「柔性路面工程之二氧化碳排放量評估」，逢甲大學土木工程學系碩士論文。
7. 交通部運輸研究所（2012），「交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究」。
8. 詹璨榮（2010），「以二氧化碳排放量評估回包植生式加勁擋土牆」，國立臺灣科技大學營建工程所碩士論文。
9. 陳昭秀（2013），「橋梁工程碳排放量案例分析之研究」，國立中央大學營建管理研究所碩士論文。
10. 余品蓁（2012），「道路設計因子對行車碳排放影響之研究」，國立中央大學營建管理研究所碩士論文。
11. 陳立書（2014），「蘇花路廊鐵路與公路二氧化碳排放量分析」，國立東華大學自然資源與環境學系碩士論文。
12. 黃綉評（2015），「BIM 應用於室內裝修工程碳排放評估之研究」，國立高雄第一科技大學營建工程系碩士論文。
13. 鄭敏華（2016），「複合式擋土牆之二氧化碳排放量估算—以台 9 線 470.5k 邊坡擋土牆工程為例」，國立屏東科技大學土木工程學系碩士論文。
14. 交通部統計處（2015），「103 年度汽車貨運調查報告」。
15. 內政部建築研究所（2015），「綠建築評估手冊-基本型 2015 版」。
16. 行政院主計總處（2015），編印「103 年綠色國民所得帳編製報告」。
17. 行政院環境保護署（2010），編製「產品與服務碳足跡計算指引」。
18. 行政院環境保護署（2014），編製「2014 年中華民國國家溫室氣體清冊報告」。

19. 經濟部能源局 (2009), 「臺灣能源平衡表」, 民國 98 年。
20. Wiedmann, T. and J. Minx, 2007. "A Definition of Carbon Footprint," ISAUK, Research Report.
21. 交通部公路總局蘇花公路改善工程處 (2016), <http://suhua.thb.gov.tw/default.aspx>。
22. 中華民國交通部 (2016), <http://www.motc.gov.tw/>。
23. 交通部公路總局 (2016), <http://www.thb.gov.tw/>。
24. 經濟部能源局, 能源產業溫室氣體減量資訊網 (2016), <http://verity.eri.itri.org.tw>。
25. 經濟部能源局 (2016), <http://web3.moeaboe.gov.tw>。
26. 行政院環保署 (2016), <http://www.epa.gov.tw>。
27. 行政院環保署, 環保低碳活動平台 (2016), <http://greenevent.epa.gov.tw/>
28. 行政院環保署, 臺灣產品碳足跡資訊網 (2016), <https://cfp.epa.gov.tw/>。
29. 行政院環保署, 碳中和登入管理平台 (2016), <http://co2neutral.epa.gov.tw/>。
30. 國立中興大學, 溫室氣體盤查系統-系數管理 (2016), <http://safety.nchu.edu.tw/iso14064>。
31. 低碳永續家資訊網 (2016), <http://lcss.epa.gov.tw/default.aspx>。
32. 氣候變遷政府間專家委員會 (2016), <http://www.ipcc.ch/>。
33. 經濟部溫室氣體減量資訊網 (2016), <https://www.go-moea.tw/>
34. 行政院農業委員會林務局 (2016), <http://www.forest.gov.tw/>。

台 12 線沙鹿陸橋 V 型墩柱遇地下管線之安全防護

陳敬明*、呂正安**、盧勇廷***

摘要

省道縱貫全台、橫向連結縣市，由都市至鄉野、由山城到海鎮，遇山盤旋而上、河阻跨橋而過，又因維修容易，故常配合埋設或附掛管線，市區更是密集分佈。自來水幹管係供應廣大民生或工業用水，施工不慎損及破管，小則工區淹沒，大則鄰房或區域受損，修復則需大規模停水數日，經濟損失、民生不便，皆對政府形象有所影響，不容小覷。

台 12 線沙鹿陸橋改建工程位於臺中市海線車流量大、鄰房密布區域，工區區內橋梁附掛及地下埋設約 15 單位之管線，其中更有臺中港區主要供水幹管埋於主線兩橋墩之間，於鐵路段突降高程穿越，造成 V 型墩柱基礎需辦理變更大幅調降高程，衍生基樁施工需保護水管、基礎施工需吊掛水管並監測沉陷以防鄰房及鐵路受損，施工難度倍增。幸賴工程處監督有方、設計單位提供安全方案、監造單位嚴密把關、施工廠商步步為營，終能安全完成。

關鍵字：沙鹿陸橋、基樁、水管保護、基礎、吊掛水管

壹、前言

沙鹿陸橋位於台 12 線 3K+506~4K+156，為臺中市臺灣大道七段至八段交接處，西側為梧棲端、東側為沙鹿端，高架橋下中山路北往清水區、南到龍井區，也跨越海線鐵路，如圖 1 所示。橋兩旁民宅密集，354 公尺之高架橋於施工前鄰房調查戶數逾 400 戶，如照片 1 所示，且多屬老舊 3-4 層之房屋。橋址附近有沙鹿火車站、

* 交通部公路總局第二區養護工程處處長

** 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

沙鹿高工等機關學校，又有市場、郵局、銀行等重要民生機關，加上龍井交流道及沙鹿交流道、台 1 線中華路、台 61 線西濱快速公路、向上路等省道及地方重要道路，匯集於此，為臺中市海線重要交通滙流處，每日雙向車流量約 40000PCU，橋址重要性不言而喻。

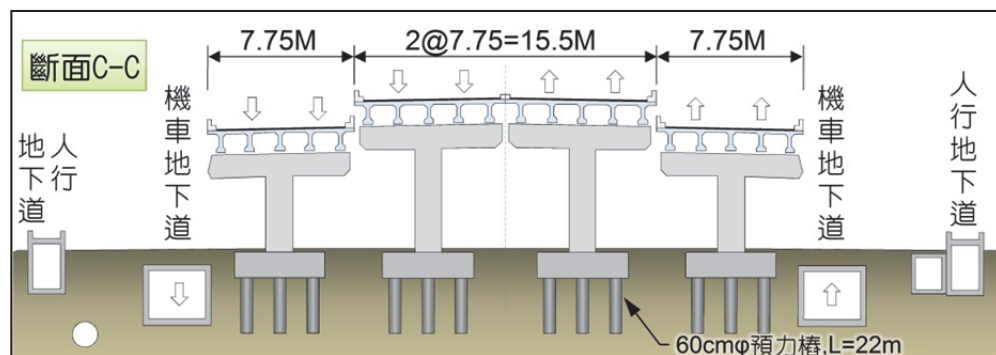
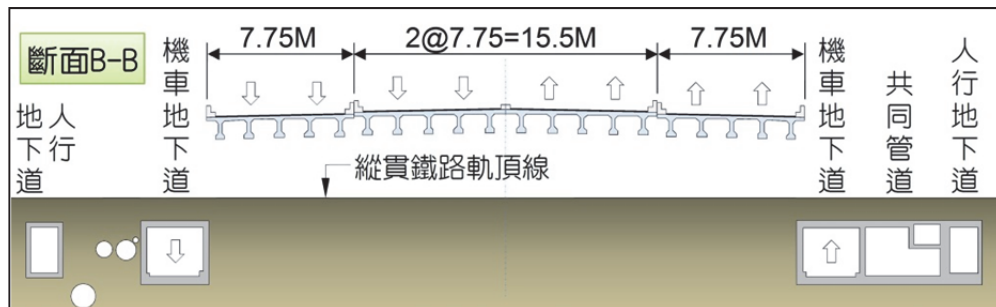
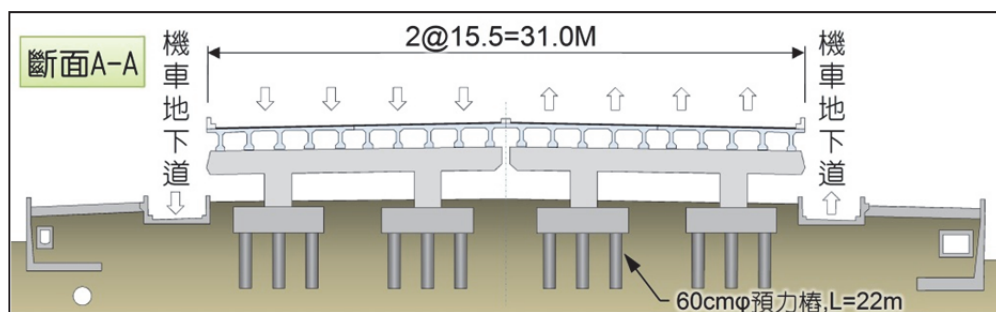
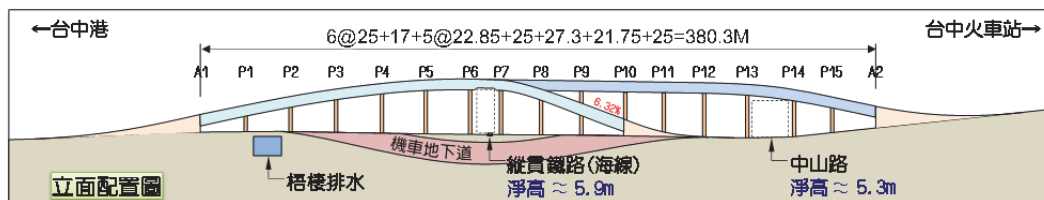
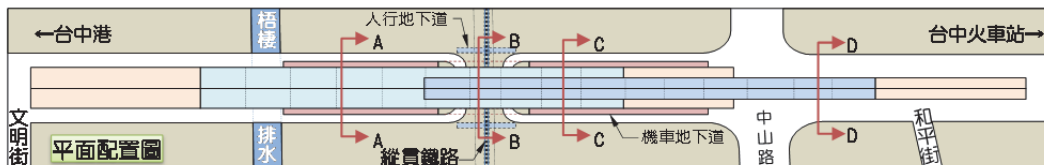


圖 1 沙鹿陸橋位置圖



照片 1 沙鹿陸橋鄰房密集且又跨越海線鐵路及中山路

沙鹿陸橋舊橋長 380.3m，採 I 型梁小跨徑配置-6@25m+17m+5@22.85m+25m+27.3m+21.75m+25m 配置，共計 16 跨，如圖 2 所示。其中，跨越海線縱貫鐵路之橋跨因橋下淨空需求而縮小梁深，採跨徑 17m 配置，於民國 66 年由財團法人中華顧問工程司設計。



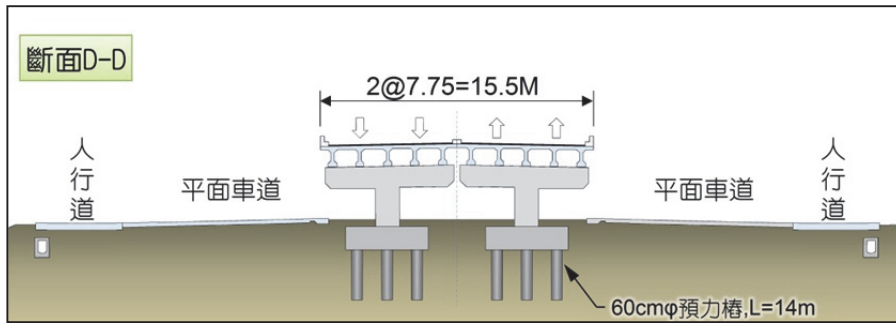


圖 2 舊沙鹿陸橋平面、立面及橫斷面配置示意圖

沙鹿陸橋為原址改建，於 102 年由台灣世曦顧問股份有限公司承攬設計工作。考量臺灣大道為臺中市火車站經住商密集之西屯區再到臺中港區之主要通道，經公路總局召開設計原則審查後，原 8 車道於改建時採半半施工-第一階段先施作中央主線 4 車道、第二階段再施作南北兩側匝道及機車地下道，配置通行方式如圖 3。如此，兩階段施工皆維持臺灣大道東、西行之行人、機慢車及快車等能通行。改建設計上部結構系統採用中空預力密集梁，具減少橋梁自重且能維持跨度需求之特點，如圖 4 所示；下部結構配置圓形墩柱與 V 型墩柱（跨鐵路及中山路）等，符合結構跨度需求外兼具輕盈優雅造型，共配置 11 跨，如圖 5 所示。

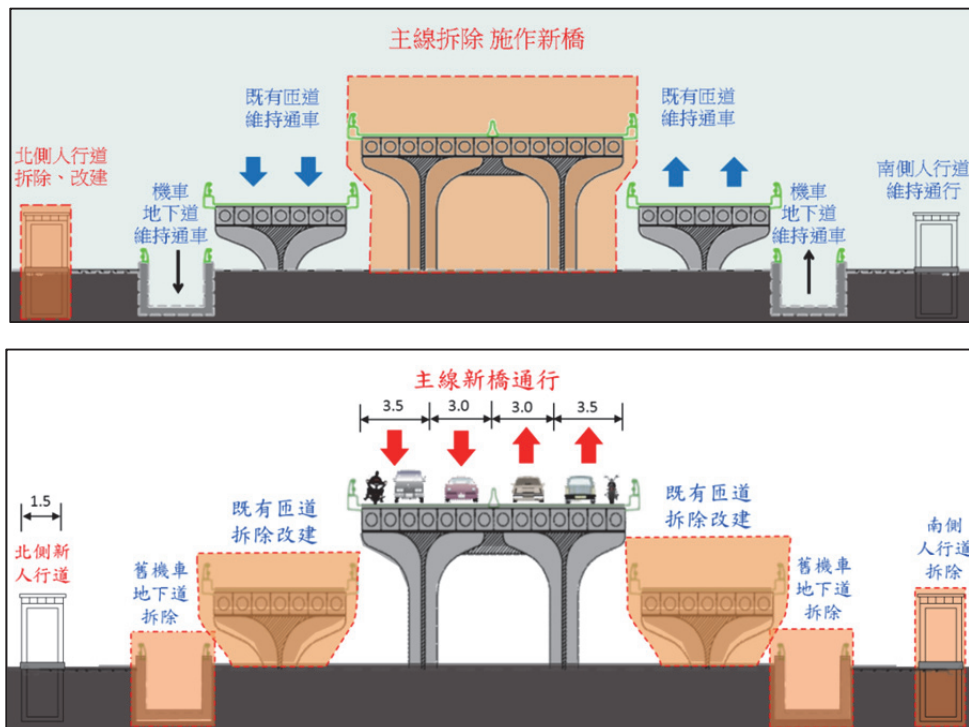


圖 3 沙鹿陸橋改建工程第一（上圖）及第二（下圖）階段交維斷面示意圖

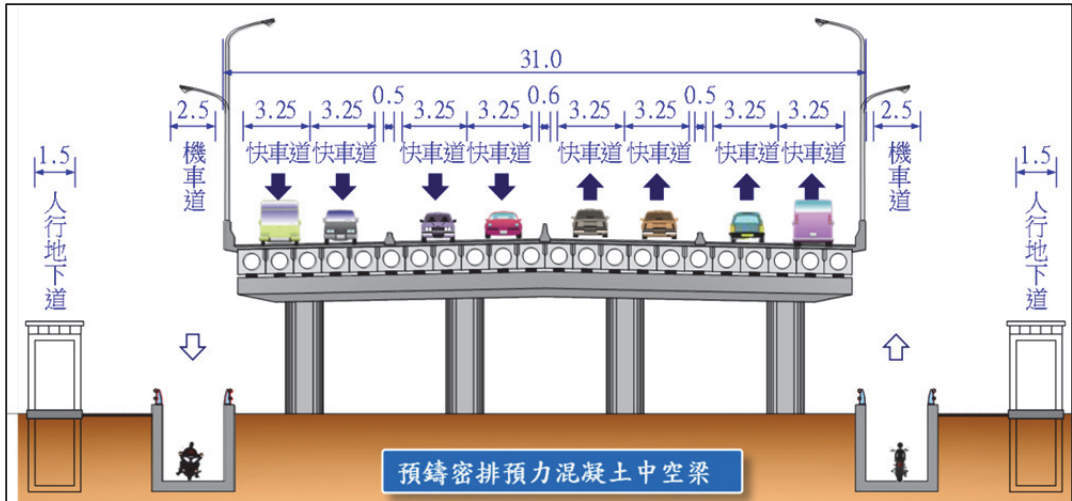


圖 4 沙鹿陸橋改建工程高架橋採中空密集梁斷面示意圖

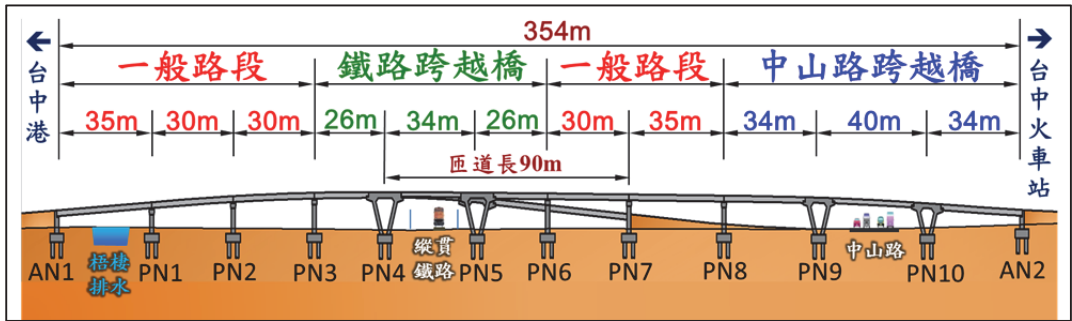


圖 5 沙鹿陸橋改建工程採 11 跨立面配置圖

106 年 2 月 20 日因臺中市某施工單位挖破精武東路與三賢街口之自來水幹管，造成東區、南區、大里區、太平區等全區及北屯區、大肚區、霧峰區、烏日區等部分里，大規模停水至 22 日；復水隔日於北屯區軍功路發生自來水主幹管排氣閥漏水事件，進行搶修作業又造成相同區域停水 2 日。一週內停水 2 次造成廣大用戶來不及儲水、寒流期間無熱水、馬達空轉損壞、或餐館業者缺洗滌，一時民怨沸騰。而沙鹿陸橋中央主線下方墩柱之間有自來水供水幹管、其中北側墩柱旁又有台電公司的 69KV 超高壓電纜，此外又有電信、電訊、瓦斯、警察、軍方及有線電視等近 15 家管線密集分佈，其中主線橋墩 PN5 基礎施工又遇自來水管潛遁穿越鐵路，施工須戰戰兢兢，容不得些微疏忽，否則釀致港區大規模停水、鐵路遭淘空沉陷等重大社會案件，損失恐難以估計。

本工程面對管線密佈的嚴峻考驗，施工期間與管線單位多方協調，從試挖確認管線分佈、適時調整基礎設計、基樁施工時防護管線、基礎施工時保護管線等，充

分考量施工細節而分析有效降低風險之對策，步步為營而完成主線完工之任務。本文紀錄基礎施工時水管如何安全防護之過程，期供各工程單位及施工廠商參考，以避免管線損毀而釀災。

貳、供水幹管分佈及結構配置安全對策

沙鹿陸橋改建後主橋共 11 跨，配置 10 墩柱及 2 座橋台，下部結構皆採用 1.5m ϕ 全套管基樁搭配樁帽板之基礎型式。因海線鐵路及中山路需考量通行淨高要求(鐵路 6.9m、中山路需 4.7m)，如照片 2 所示，故跨鐵路之 PN4-PN5 及跨越中山路之 PN9-PN10 配置 1.2x3m V 型橋墩配置，如圖 6 所示，餘 PN1~PN3、PN6~PN8 則採用 1.8m ϕ 圓柱，如圖 7 所示。



照片 2 沙鹿陸橋跨越鐵路（上）及中山路（下）需維持淨高供通行之情形

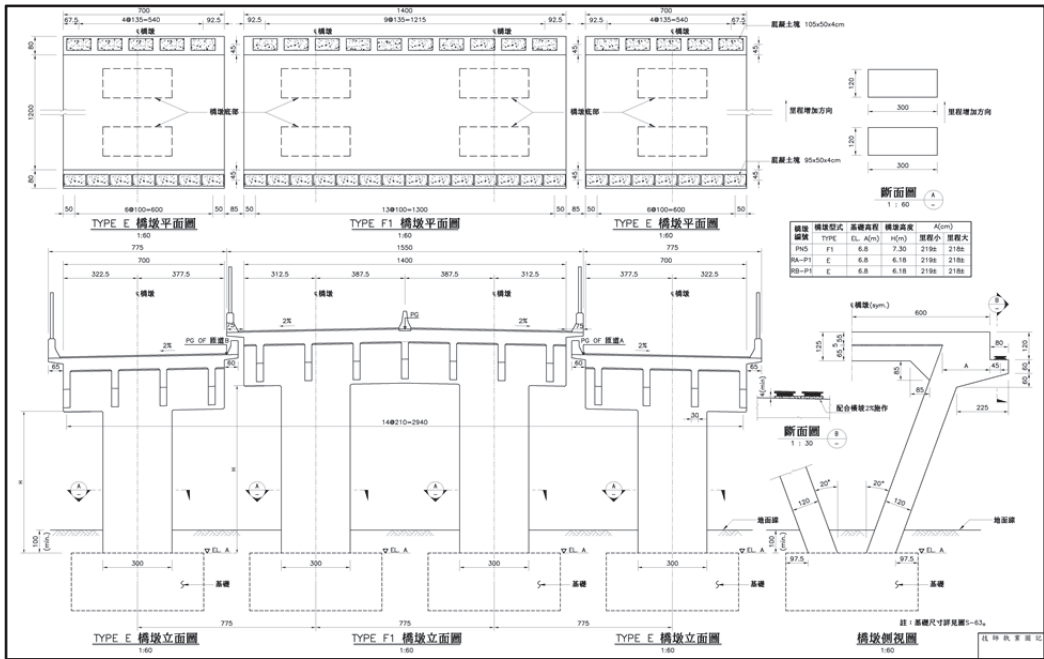


圖 6 沙鹿陸橋改建工程 V 型墩柱圖

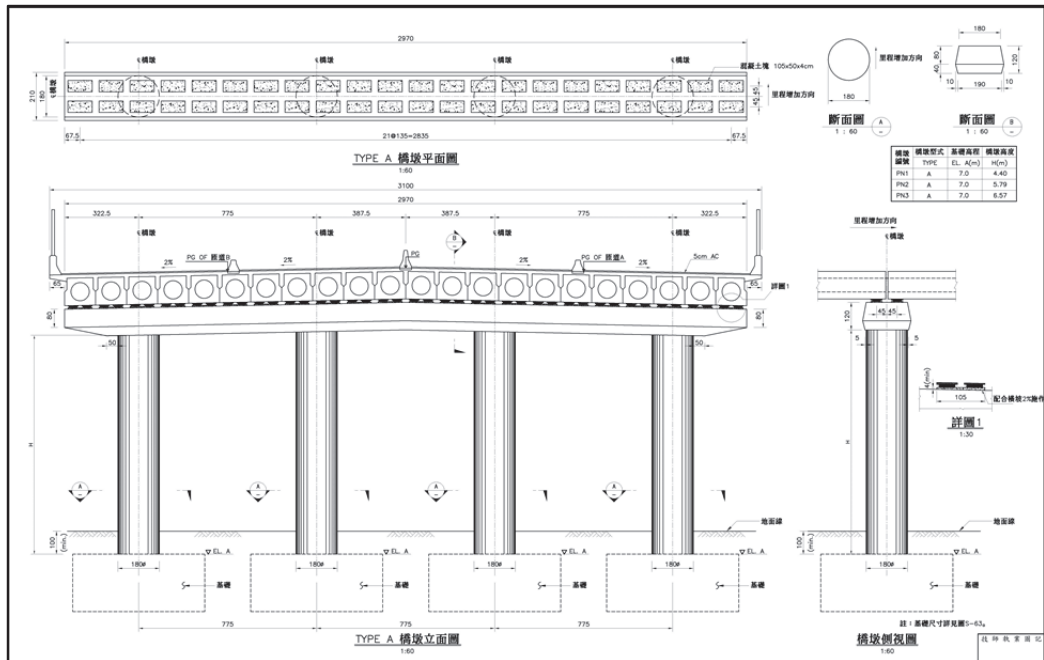


圖 7 沙鹿陸橋改建工程圓形墩柱圖

既有沙鹿陸橋係民國 70 年完工，水管亦於同期埋設。於設計階段即已召開管線協調會取得水管之分佈圖說，早期工程人員非採電腦繪圖而用手繪方式，加以管線圖資皆採相對結構位置而繪成，大小管皆以一條線表示，又地形、地貌經 30 多年變遷，因此相對而言管線圖說精準度偏低。為提高設計精確度，主辦機關交通部公路總局第二區養護工程處於發包前，要求設計單位進行探挖確認管線分佈。經會同自來水公司逐墩局部探挖後，確認既有 1000mm ϕ 自來水管線縱向穿越中央主線橋墩 PN2 至橋墩 PN9（臨中山路），且位於兩墩地面下方約 1 公尺深處，如圖 8 所示。其後將因應之圖說-基礎加長、基礎採獨立基礎者或變更為聯合基礎-預置於設計圖中，以減少開工後變更之情事。

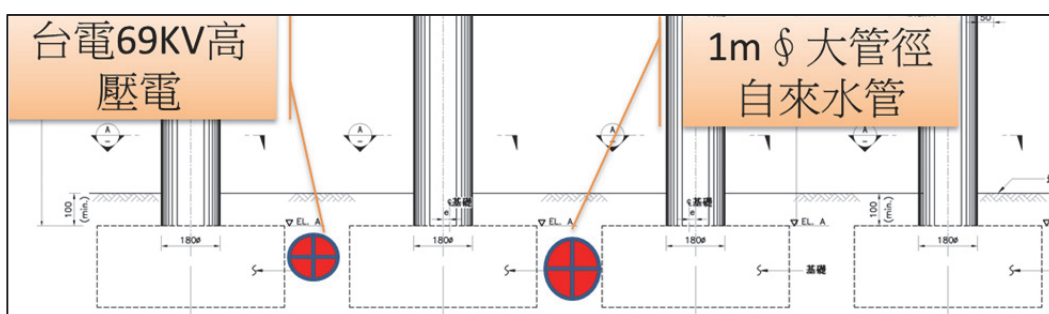


圖 8 沙鹿陸橋主線墩柱間水管及北側墩柱高壓電纜（5 管）分佈示意圖

經採異質採購最低標由恒億營造有限公司承攬施工。施工階段經全面探挖確認管位，發現於 PN4 及 PN5 之間水管係急降潛遁穿越鐵路，此與設計階段局部探挖所推管線走向於高程上有明顯出入，如照片 3 所示。因本自來水管為臺中港區重要供水幹管，遷移所耗時程緩不濟急且經費高昂不符經濟。水管遷移有其實務上之困難，因而 PN2~PN9 各墩基礎需配合調降高程，部分為獨立基礎、部分採聯合基礎等因應。



照片 3 沙鹿陸橋主線墩柱 PN5 基礎內水管急降分佈情形

本工程各墩及橋台皆採深基礎，臨鐵路之 PN5 因水管影響，基礎高程需配合調降至水管潛遁段下方，如圖 9 所示，且需考量施工中如何處理水管之混凝土支承墊塊。因東西走向之管線於穿越鐵路段之高程潛遁段又往南側偏，為免全套管作業之搖管機台直接作用在管身造成水管受壓損傷，因而全面探挖後將管身座標及走向回饋給設計單位，辦理變更設計將臨管北側 2 支及西南側 1 支基樁位置調移至距管較遠安全處，如圖 10 所示。因基礎調降 3.8m 及閃避管位調移基樁配置，造成上構作用力之力矩加大、不對稱分佈之基樁承載效率較低，因而基樁長度由 39.2m 變更達 50.2m 公尺。

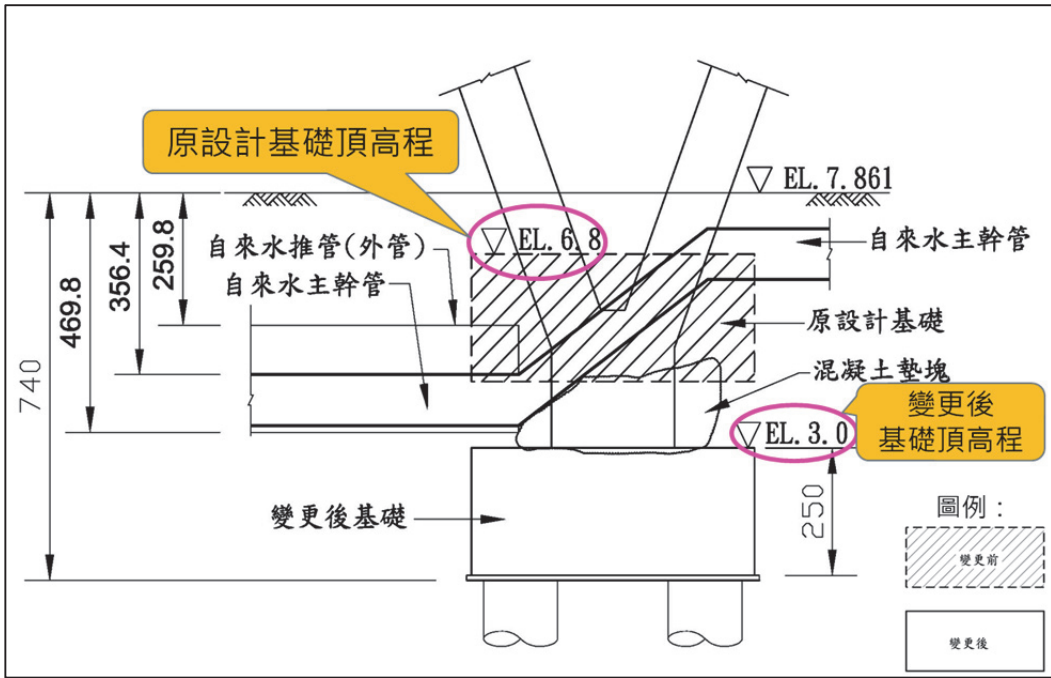


圖 9 沙鹿陸橋 PN5 基礎高程配合自來水管線分佈調降高程示意圖

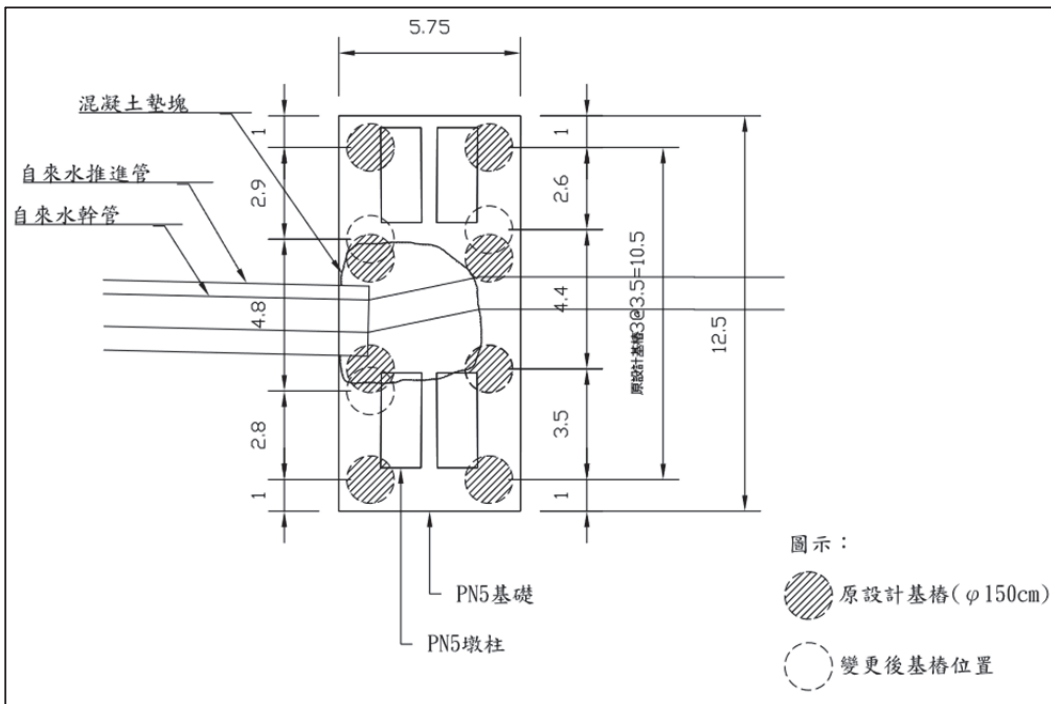


圖 10 沙鹿陸橋主線 PN5 自來水管潛遁往南偏移及樁位配合調移位置示意圖

本工程 PN5 變更調降基礎高程及增加基樁長度後，因橋旁民宅密集又緊臨海線鐵路，倘有不慎損傷水管則後果難以想像，如民宅淘空、鐵路沉陷等結構損傷，導致民眾有家歸不得、鐵路無法運行載客等，甚至影響港區廣大民生及工業用水，經濟損失難以估算。然變更設計的完備仍不足以保證本墩基礎施工的安全，實際施工仍有相當多細節需考量及細心研擬安全對策以為因應，考驗監造及施工單位對於安全規劃及如何確保高風險作業之能力。

參、全套管基樁施工安全防護

沙鹿陸橋改建工程第一階段主線基樁施工過程中，10 墩橋墩基礎施工有 8 墩皆須先辦理供水幹管之保護，其中 PN5 離民宅及海線鐵路最近，如照片 4 及圖 11 所示，最具挑戰性。



照片 4 沙鹿陸橋主線橋墩 PN5 施工前現況

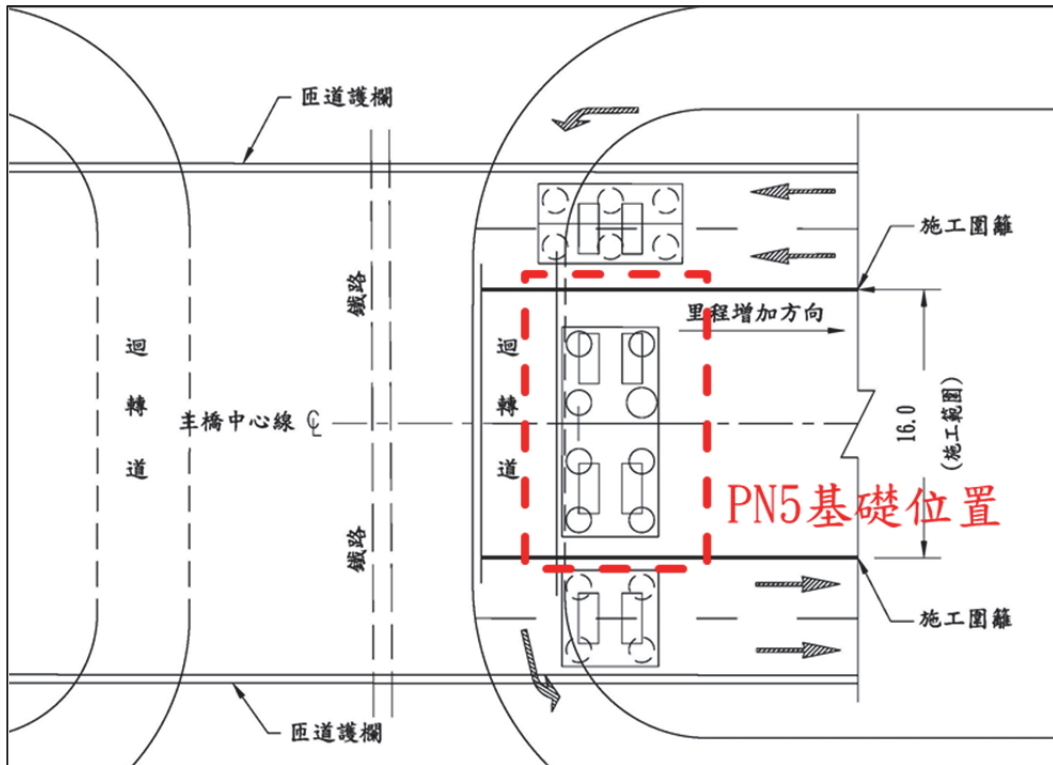


圖 11 沙鹿陸橋主線 PN5 位置緊臨鐵路及民宅示意圖

因改建 PN5 基礎位置座落於原平面迴轉道，故於基礎施工前需先將迴轉道往鐵路側偏移改道。於整地鋪築瀝青混凝土後，督導廠商於轉彎處及障礙物上標繪警示標線，以利用路人安全通行。其後將挖土機作業範圍明顯隔出，以確保用路人及其他作業工班之安全，相關作業程序及安全防護如照片 5 所示。



(1) 整地



(2) 舖築瀝青混凝土



(3) 障礙物繪黃黑斜紋加強警示



(4) 轉角處加強警示



(5) 探挖作業須將機具作業範圍安全圈圍出來

照片 5 沙鹿陸橋鐵路東側平面迴轉道改道後進行探挖管線情形

因自來水管已使用約 30 年，且 PN5 位屬工區低窪處較易積水，探挖管線時發現兩管接合處有滲水情形，推測係因土壤解壓、管身接合環片及螺栓老舊鬆脫所致，另自來水公司認為可能長期受 69KV 特高壓電纜之電位差影響致使水管材質變化。事先已與自來水公司沙鹿所建立良好橫向聯繫管道，水公司已認知常有接合老舊鬆脫情形，故備螺栓可供汰換。接獲通知後自來水公司隨即派員進行修復鎖緊作業，確保水管正常運作，供水不受影響，修復情形如照片 6。



(1) 管身接合處滲水進行螺栓更新 (2) 接合螺栓更新後情形

照片 6 探挖 PN5 發現水管接合處滲水進行汰換老舊螺栓情形

另考量管身老舊且覆土僅約 1 公尺，為避免搖管機振動反力造成自來水管破損，故全套管基樁施作前自來水管線需先進行保護措施：於 104 年 9 月至 12 月先後進行打設管身周圍鋼板樁、開挖自來水管、管身混凝土支撐墊塊鑽心切割剝離、推進管與水管間澆置混凝土保護座等，確保水管穩固以利後續作業能順利進展，施工圖說詳圖 12、施工情形詳照片 7。另因應搖管機座振動水管保護措施如圖 13，於管身兩側打設 2@2m-H300*300 L11m 之型鋼，其上鋪設 PL 7000*2400*16 之鋼板，確保搖管機作用力藉由鋼板分散並傳至 H 型鋼，以避免振動水管，施工情形如照片 8。保護措施完成後，方能進行全套管基樁作業。

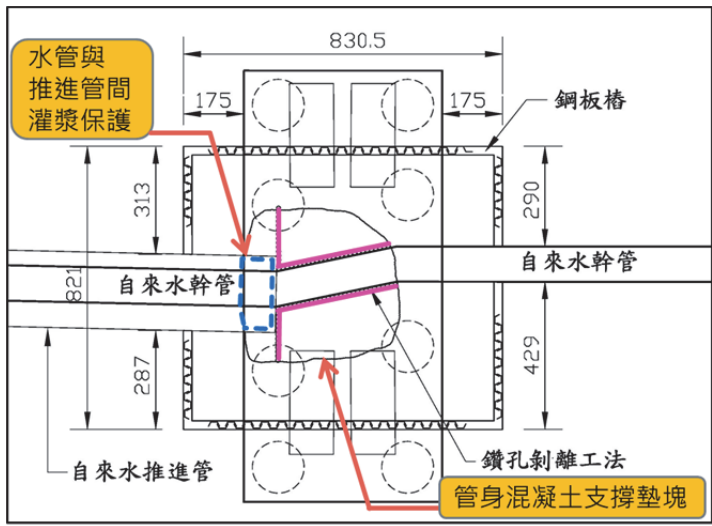


圖 12 PN5 自來水管支撐墊塊採鑽孔剝離工法示意圖



(1) 水管周圍打設鋼板樁



(2) 管身混凝土保護墊塊剝離



(3) 推進管與水管間灌漿穩固



(4) 水管與推進管間灌漿保護

照片 7 PN5 基樁施工前水管穩固安全作業

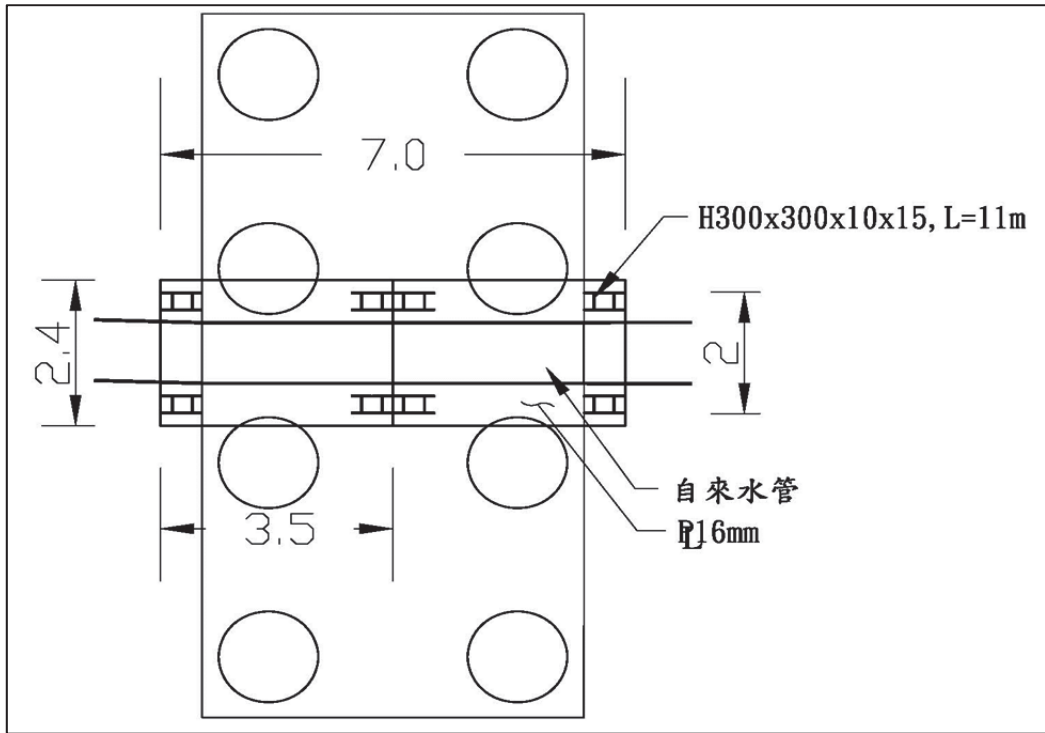


圖 13 PN5 基礎內水管旁打設 2 排型鋼再鋪鋼板之示意圖



照片 8 PN5 基樁施工前於管身兩側打設 2 排 H 型鋼之力量疏導安全作業

如前所敘，沙鹿陸橋主線施工期間係利用兩側匝道維持通行，故基樁作業空間僅能在兩匝道之間不到 16 公尺之間距，機具佈設空間及材料輸送動線近乎無彈性，如照片 9。經主辦機關現地督導提供基樁機具應事先定位之施工安全對策，由監造單位要求廠商逐支基樁作業機具定位於圖上，控制吊車作業時單側迴旋控制在工區圍籬內，如圖 14 所示（綠色為安全迴轉側），不得旋至通行匝道上。



照片 9 沙鹿陸橋主線改建期間新舊墩柱相間且匝道間空間侷限

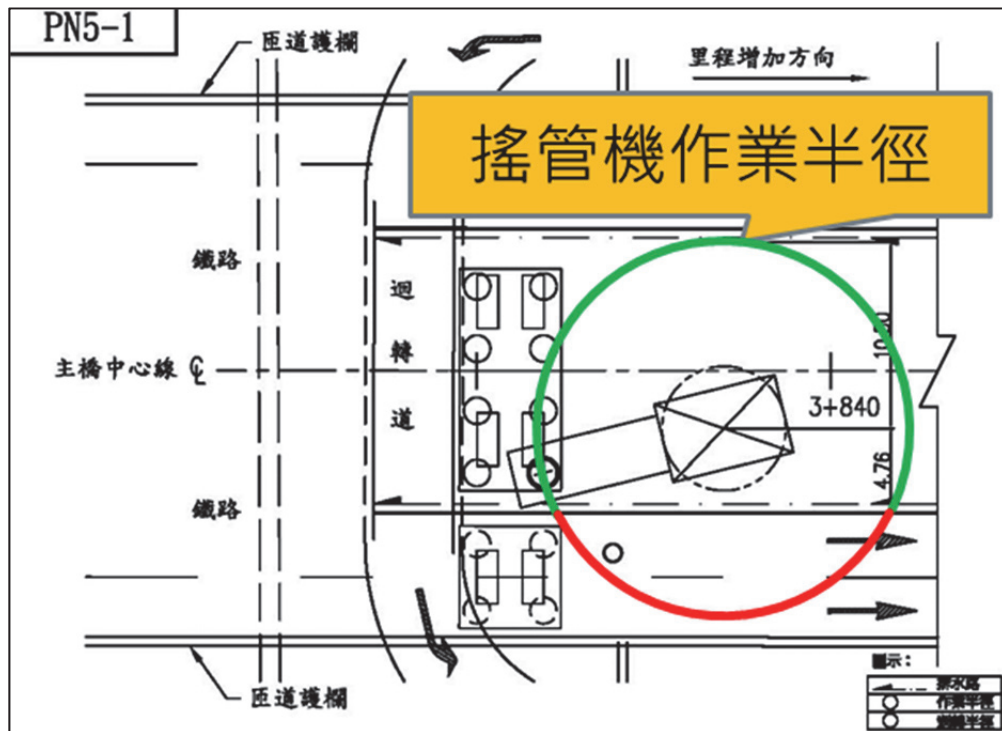


圖 14 PN5 搖管機事先定位及限制迴旋方向（紅色為匝道上禁止迴旋方向）

備妥定位安全圖說，廠商也事先與協力廠商召開會議告知監造單位之要求。然為確保安全圖說非紙上談兵，需人人至現場皆能一目了然機具是否設置於安全位置，監造單位再要求廠商將機具定位圖說張貼於現場。廠商全程派作業主管監看基樁協力商機具定位及實際施工情形，再由監造單位落實停檢抽查，避免有危及用路人通行安全之情形。另施工廠商有效利用型鋼式圍籬可移動性高之優勢，於匝道上架設圍籬防止抓斗泥漿噴濺匝道上之車輛，相關作業情形如照片 10。由主辦機關構思、監造單位嚴密督導及施工廠商落實執行基樁機具全面定位之策略奏效，基樁作業安全如質完成。



(1) 機具定位圖說張貼於現場



(2) 作業主管於基樁現場監看



(3) 鯊魚頭不得旋至通行匝道上方



(4) 匝上架設圍籬擋泥

照片 10 PN5 基樁作業各項安全對策

肆、基礎施工安全防護

基樁施作完成後，將水管周圍之鋼板樁及 2 排 H 型鋼拔除，其後進行基礎作業。作業流程如圖 15 所示，其中基礎擋土作業有兩道防護、2 項監測，潛遁自來水管亦有兩道防護、2 項監測。

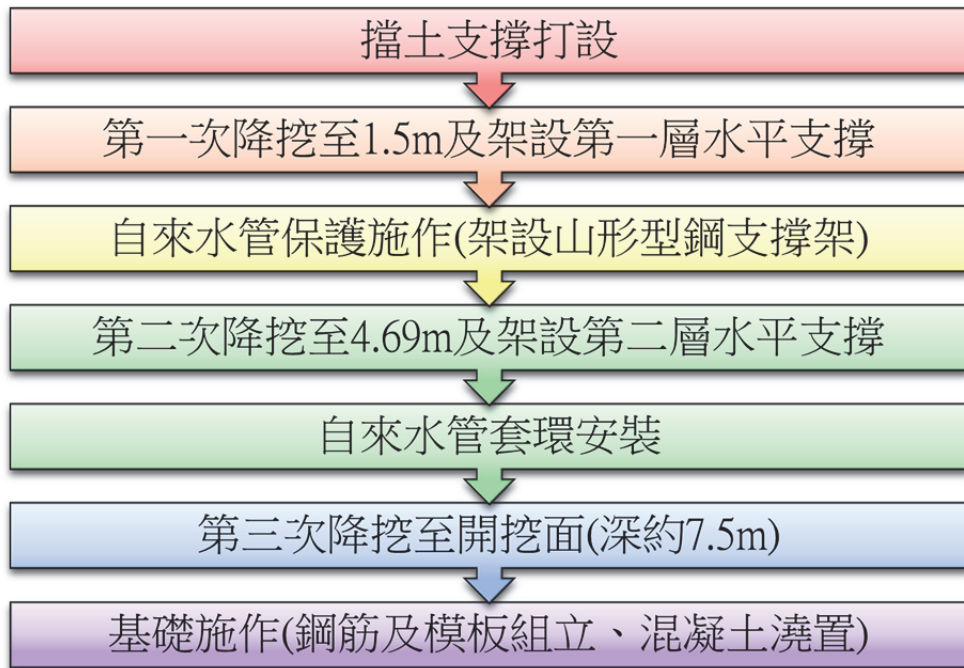


圖 15 基礎開挖擋土支撐及自來水管保護流程圖

首先進行擋土支撐打設作業。於基礎周圍打設 13 公尺長之鋼板樁，其後，因自來水管及穿越鐵路推進管下方皆無法打設鋼板樁，故需於管身兩側 1m 範圍內打設高壓噴射水泥樁 (CCP 樁)，即採鋼板樁及 CCP 樁結合等雙重保護，如圖 16 所示。接著進行第一階降挖至 1m 深及架設第一層水平支撐，水平撐架設完成後持續開挖至深約 2.59m，推進管段上部管身初露確定位置後，再補打推進管下方之 CCP 樁，如圖 17 所示，以確保基礎坑擋土完善。同時於基礎坑外佈設傾斜管及水平支擋上安裝應變計等 2 項監測，如照片 11。

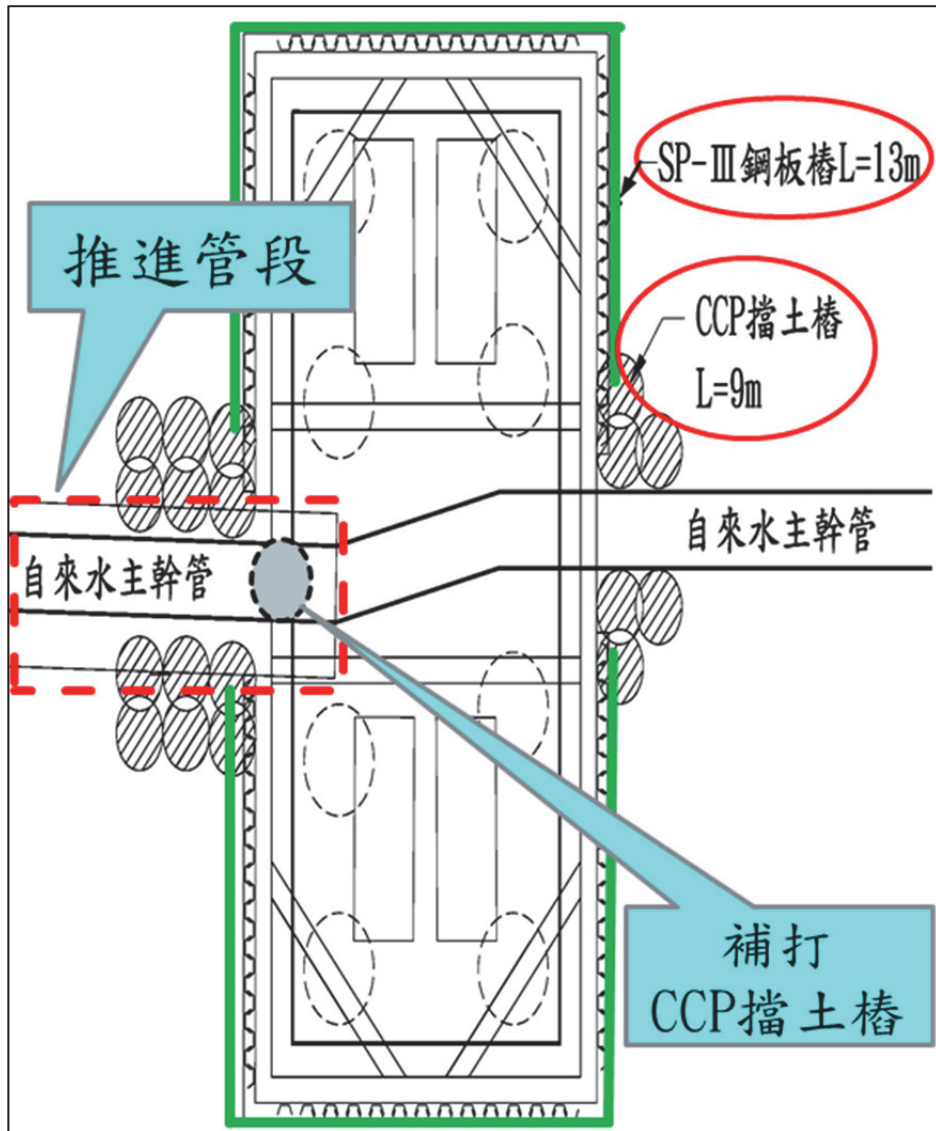


圖 16 PN5 基礎鋼板樁及 CCP 擋土樁打設示意圖

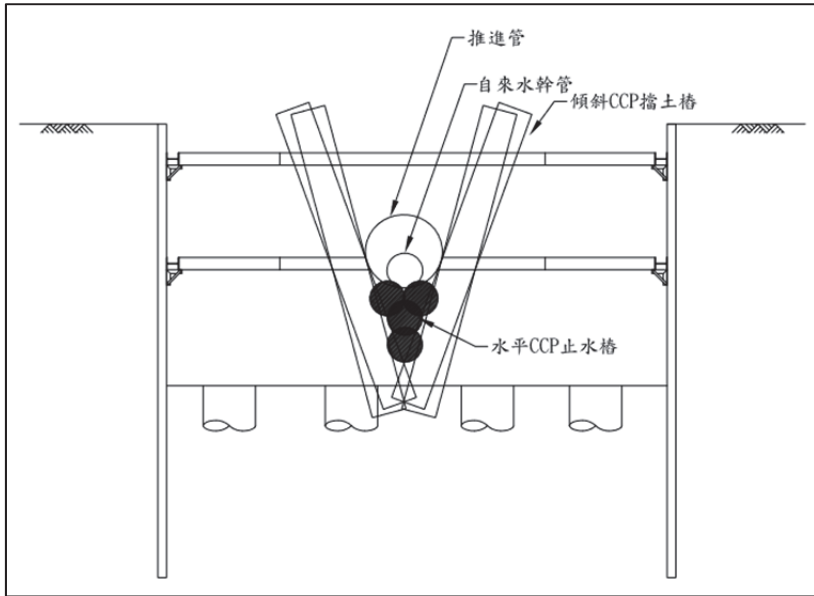


圖 17 推進管下方補打 CCP 樁示意圖



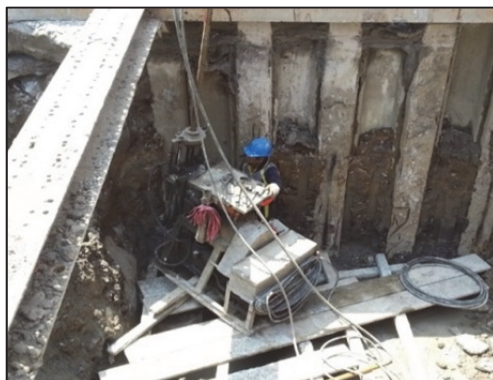
(1) 基礎周圍打設鋼板樁



(2) 水平支撐上安裝應變計



(3) 第一層水平撐架設後持續降挖



(4) 降挖後推進管下方補打 CCP 樁

照片 11 PN5 基礎第一階開挖擋土採鋼板樁及 CCP 樁雙重保護

為確保基礎施工時自來水管懸空段能安全承載自重、水重、管壓衝擊等多重力量作用，經技師研提鋼構造山型構架採 3 點吊掛保護水管方式，如圖 18。經監造單位邀集設計單位、施工單位及自來水公司檢討，確認結構可安全穩定承載，同意使用。接著進行自來水管保護作業-架設鋼構造山型吊架。先於基礎（寬 7.35m）坑外東側及西側各打設 1 支 H350*350*12*19 L11m 之型鋼（距離 10m），作為山型吊架之支承。其後將工廠預鑄之鋼吊架於現場吊裝組立，吊組時需事先規劃機具站立位置並指派專人指揮，避免吊掛物旋出工區外而影響匝道通行安全。吊至定位後，將山型架與支承 H 型鋼接合。

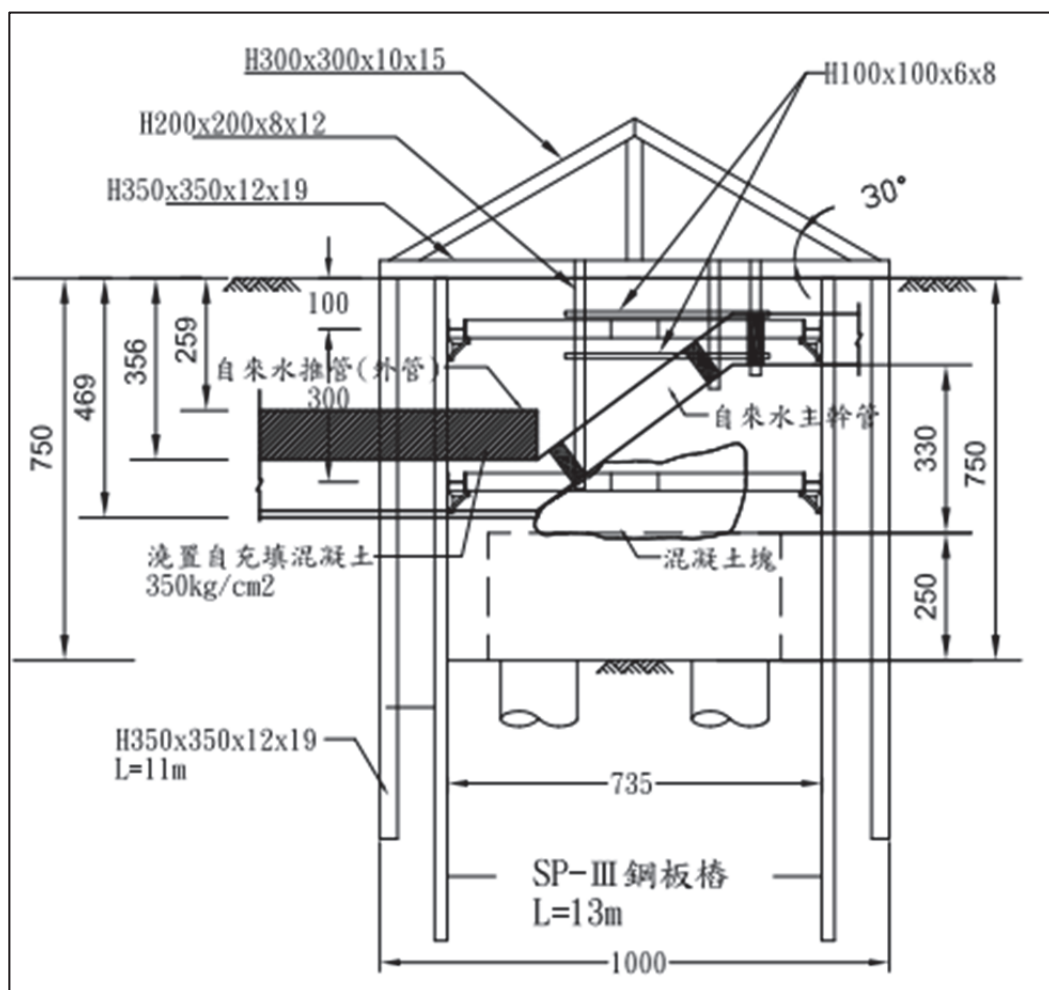


圖 18 山型鋼吊架結構配置圖

接著進行降挖至 4.69m 深並架設第二層水平支撐，其後將管身清理並依圖 18 山型吊架圖說於管身前中後 3 處安裝接合鋼環，再將鋼環接至管身兩側之型鋼架（H200*200*8*12），兩側型鋼架再與山型架之主梁（H350*350*12*19）接合。至此，水管由 3 鋼環-垂直型鋼-吊架主梁之方式結合，考量管內水流縱向衝擊力，故需再做縱向加勁將 3 垂直型鋼全部連結，故於管身兩側之垂直型鋼上、

下各架設水平連結桿（H100*100*6*8）連接，使整體構架靜不定度大幅增加，且穩定度提升足以抵抗水流之水平衝擊力，完成吊掛保護後如照片 12。



照片 12 自來水管採山型鋼吊架 3 點吊掛保護

自來水管於潛盾推進段採灌漿保護、管身以山型架 3 點吊掛保護，因 PN5 V 型柱基礎深度調降 3.8m，總開挖深度達 7.5m，故須對鋼吊架、臨鐵路側及臨房側佈點觀測沉陷情形，以確認管身穩定情形、鄰房及鐵路結構安全，監測情形如照片 13。



照片 13 PN5 基礎開挖後需監測山形架支承沉陷、臨鐵路及臨房之地面高程變化

當開挖深度至原地面上之 PC200 型挖土機之臂長達不到開挖面，改用小型挖土機至基礎坑內施作，惟第三次降挖不久開挖面出現砂湧現象。隨即由監造單位邀集設計單位現勘研商採用點井工法降低基礎周圍水位，否則砂湧現象擴大將造成鄰房與鐵路遭淘空，後果嚴重。經架設點井及抽水機後，監造單位密切觀察地下水抽出情形，確認無夾帶泥砂，且砂湧情形已不再發生，方同意廠商再進行開挖。受限基礎坑內山型架吊掛水管穿越，故廠商僅能利用迷你挖土機配合取土桶之方式，由地面上之 45T 吊車將土方吊出基礎坑，施工過程詳照片 14。



(1) PC200 臂長不足改用迷你挖土機

(2) 第三階開挖深遇砂湧



(3) 角隅處架設點井及抽水機



(4) 迷你挖土機及吊土桶

照片 14 PN5 基礎開挖第三階遇砂湧採點井工法再配合迷你挖土機

管身雙重保護、開挖 3 階至 EL. 7.4m 並完成擋土支撐後，方能進行基礎施工作業。進行基礎打底、鋼筋綁紮、組模、灌漿等期間，於臨路側及臨房舍側皆持續觀測原地面高程，隨時掌握基礎週圍變位情形、管身穩定度等，惟有如此方能掌握本階段施工風險關鍵因子。其後再進行 V 型墩柱組底模、組立鋼筋、側模及頂模、灌漿等，終於安全順利將最具挑戰性的 PN5 V 型墩柱聳立於工區，如照片 15。主線 PN5 從 104 年 9 月管線試挖後，至墩柱於 105 年 7 月完成，期間 300 多天挑戰不斷，沒有一日得以鬆懈，終能如期如質平安完成。



照片 15 步步為營謹慎因應下完成主線 PN5 V 型墩柱

伍、結論與建議

市區施工面對大型地下水管，百密不得一疏否則可能造成鄰房受損，鄰鐵路者會影響鐵路運行。沙鹿陸橋第一階段主橋改建 PN5 基礎施工，基樁機具定位、擋土支撐及水管保護皆採雙重防護、臨房及臨鐵路皆進行監測等安全措施，可供類似工程案例參考。惟土木工程面對的挑戰種類繁多，困難的工項經拆解步驟、掌握關鍵高風險因子研擬施工安全對策、現場按步就班落實執行，遇特殊狀況建立良好處置機制，則困難風險高者可化為簡易而安全可行。施工朝安全嚴密無漏而精進，乃是施工廠商經營穩定獲利之基，員工方能持續茁壯為公司貢獻，本文透過經驗分享交流，期能為業主、廠商及員工等三贏注入養分。

參考文獻

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，「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」初步設計報告，2014 年 4 月。
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，「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。
3. 恒億營造股份有限公司，交通部公路總局第二區養護工程處施工品質稽核簡報，2016 年 9 月 22 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 106 年 4 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：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 106 年 4 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)

臺灣郵政劃撥儲金帳戶 1 0 2 8 6 6 2 0 號
中華民國雜誌事業協會會員

ISSN 1812-2868



9 771812 286005

GPN 2004100003

本期定價新臺幣 30 元
半 年新臺幣 150 元
全 年新臺幣 300 元
軍人及學生訂閱半價優待