



國立臺灣大學工學院土木工程學系

碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

特殊大跨徑橋梁碳足跡分析及減碳策略之研究：以
「安心橋」為例

Research on Carbon Footprint Analysis and Carbon
Reduction Strategies for Special Long-Spanning Bridges :
A Case Study of the Anhsin Bridge

李家振

Lee, Chia-Cheng

指導教授：荷世平 博士

Advisor: Ho, Shih-Ping, Ph.D.

中華民國 112 年 07 月

July 2023

國立臺灣大學碩士學位論文

口試委員會審定書

MASTER'S THESIS ACCEPTANCE CERTIFICATE
NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY

特殊大跨徑橋梁碳足跡分析及減碳策略之研究：以「安心橋」為例

Research on Carbon Footprint Analysis and Carbon Reduction Strategies for Special Long-Spanning Bridges : A Case Study of the Anhsin Bridge

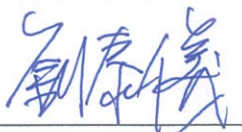
本論文係__李家振__ P09521701 __在國立臺灣大學土木工程學系完成之碩士學位論文，於民國_112_年_7_月_8_日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明。

The undersigned, appointed by the Department of Civil Engineering College of Engineering National Taiwan University on 8th July 2023 have examined a Master's thesis entitled above presented by _ Chia-Cheng Lee _ P09521701 _ candidate and hereby certify that it is worthy of acceptance.

口試委員 Oral examination committee:



(指導教授 Advisor)





系主任/所長 Director:



中文摘要



隨著城市及工業發展而來的是全球溫室效應及氣候變遷問題日益嚴重，如何減碳並推展永續工程是接下來所有工程人員必須面對的重要課題，精準掌握工程碳排狀況並研擬減碳對策方能有效達成碳排減量目標。

本研究採用「文獻回顧法」，參考目前最新碳足跡標準發展及過往相關研究之碳盤查方式，並以一個具代表性的特殊大跨徑橋梁「安心橋」為實例，相關碳足跡量化則採用「排放係數法」。

本研究案例工程「安心橋」為安坑輕軌運輸系統計畫之跨越新店溪路段橋梁，結構型式為單塔非對稱斜張桁架複合式軌道橋，依碳盤查結果分析，此類特殊大跨徑橋梁之「工程材料」排碳量占比最高，達 84.5%，其次為「機具能耗」，占比為 11.3%，此二部分合計已達 95.8%，為此類型工程減碳之關鍵因子，本研究案例工程採用以下二種方式達到減碳效益，而且此二種方式非但沒有增加施工成本，反而有撙節成本的效益。

- 一、改變混凝土配比：採用飛灰爐石替代率 40%之配比，減碳量達 2,360.2 tonCO₂e，減碳效果已超過 6 座大安森林公園（25.8 公頃，每年可吸碳約 384.6 tonCO₂e）每年可吸碳數量總和。
- 二、改變鋼桁架吊裝施工方式：藉由改變吊裝施工方式，讓原規劃設置於新店溪之施工便橋及臨時支撐架免設置，減少排碳量至少達 301.6 tonCO₂e(此減碳量尚未考慮施工便橋例行維護及遇颱風或豪大雨來襲，須將覆蓋板系統緊急撤除之相關作業)。

關鍵詞：減碳、永續工程、碳足跡、特殊大跨徑橋梁、安心橋、混凝土配比

ABSTRACT



The rapid urban and industrial development has exacerbated the global greenhouse effect and climate change. Consequently, engineers face the imperative task of curbing carbon emissions and promoting sustainable engineering. This study employs the "Literature Review Method", referring to the latest carbon footprint standards and carbon inventory methodologies utilized in previous research. A case study of the "Anhsin Bridge," a notable long-spanning bridge, is presented to illustrate the application of these concepts.

The case project "Anhsin Bridge" is a bridge crossing over Xindian Creek section of the Ankeng Light Rail MRT System. The structure is a single tower asymmetrical cable-stayed design with truss frames system rail bridge. Our carbon inventory analysis identified "engineering materials" as the most significant contributor, accounting for 84.5%. The second-highest contributor is "machine energy consumption," representing 11.3% of total emissions. These two factors account for 95.8% of carbon emissions in this particular project and are therefore key factors for carbon reduction efforts. The following two methods are proposed to achieve carbon reduction objectives, without increasing construction costs and even providing cost-saving benefits:

Firstly, we adopt a concrete proportion adjustment. By substituting 40% of cement with fly ash and ground-granulated blast-furnace slag, carbon emissions can be curtailed by an impressive 2,360.2 tonCO₂e. Notably, this reduction surpasses the annual carbon absorption capacity of 6 Daan Forest Park (spanning 25.8 hectares), estimated at approximately 384.6 tonCO₂e per year.

Secondly, we propose a modification to the truss frame installation method. By implementing an alternative approach, the temporary bridge and temporary support

frame originally planned to be installed at Xindian Creek will no longer be required. And the reduction of carbon emissions will be more than 301.6 tonCO₂e, excluding the carbon emissions associated with routine maintenance of the temporary bridge or the emergency removal of the Checked Metro Desk during typhoons or heavy rainfall.

Keywords: carbon emissions, sustainable engineering, carbon footprint, special long-spanning bridge, Anhsin Bridge, concrete proportion

目錄



口試委員會審定書.....	i
中文摘要.....	ii
ABSTRACT.....	iii
目錄.....	v
圖目錄.....	viii
表目錄.....	xi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 研究範圍.....	2
1.4 研究架構與流程.....	2
1.4.1 論文研究架構.....	2
1.4.2 論文研究流程.....	5
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 國內外工程碳管理發展.....	6
2.2 碳足跡盤查及查證規範發展.....	9
2.3 碳足跡盤查研究.....	12
2.3.1 碳足跡盤查研究案例.....	12
2.3.2 小結.....	14
2.4 工程具體減碳作為.....	15
2.4.1 土方以鐵路運輸.....	16
2.4.2 土方挖填平衡.....	18
第三章 研究方法.....	19
3.1 功能單位.....	19
3.2 邊界與範疇界定.....	19
3.2.1 邊界.....	19
3.2.2 範疇.....	20
3.3 碳足跡計算方式.....	22
3.3.1 活動強度資料來源.....	24
3.3.2 碳足跡係數選用原則.....	25
3.3.3 碳排放計算排除工項說明.....	25
3.4 排碳係數引用來源及說明.....	26
3.4.1 鋼筋材料排碳係數.....	26
3.4.2 預拌混凝土材料排碳係數.....	27
3.4.3 其他材料排碳係數彙整表.....	30
3.4.4 運輸及燃料排碳係數.....	31

3.4.5 施工機具排碳係數彙整表	32
3.4.6 人員出勤逸散係數	33
3.4.7 施工管理用電	34
3.4.8 施工管理用水	34
第四章 「安心橋」之碳足跡盤查	35
4.1 工程概述	35
4.2 主要施工項目說明	37
4.2.1 P9-17 基礎	37
4.2.2 P9-16 基礎	38
4.2.3 鋼橋塔	40
4.2.4 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜	44
4.3 碳足跡計算與分析	51
4.3.1 基樁工程	51
4.3.2 擋土支撐工程(含施工構台)	56
4.3.3 地質改良工程	59
4.3.4 橋梁下部結構工程	64
4.3.5 鋼構工程	69
4.3.6 上部結構工程	77
4.3.7 軌道工程	80
4.3.8 電氣工程	84
4.3.9 金屬護欄工程	89
4.3.10 施工人員生活廢棄物	91
4.3.11 非工區施工管理	92
第五章 「安心橋」之碳足跡分析與減量策略	94
5.1 碳足跡盤查結果與分析	94
5.1.1 工程主體	94
5.1.2 施工管理(非工區)	96
5.1.3 整體碳足跡	96
5.2 特殊大跨徑橋梁碳足跡分析之改進建議	97
5.3 「安心橋」之碳足跡減量策略及效益分析	99
5.3.1 改變混凝土配比	99
5.3.2 改變施工方式(機具)減碳具體作為	99
5.4 特殊大跨徑橋梁之碳足跡減量策略	103
5.4.1 飛灰爐石替代水泥	103
5.4.2 改變施工方式	105
5.4.3 螺旋箍筋基樁	107
5.4.4 多螺箍橋墩工法	108
5.4.5 在地化材料	109

5.4.6 台電臨時電替代發電機	110
5.4.7 小結	110
第六章 結論與建議	111
6.1 結論	111
6.2 建議	112
參考文獻	115
附錄 1：預力系統材料進口報關資料	120
附錄 2：塔吊海運裝船及陸運規格構件表	122

圖目錄



圖 1-1 本論文研究邏輯架構圖	4
圖 1-2 本論文研究流程圖	5
圖 2-1 國際碳管理趨勢及重點	7
圖 2-2 氣候變遷行政架構	9
圖 2-3 溫室氣體議定書範疇及價值鏈排放示意圖	11
圖 2-4 ISO 14067 標準與其他標準之關聯性	12
圖 2-5 APSCS 工法斷面示意圖與實際施工現地照片	14
圖 2-6 蘇花改計畫內容及分標示意圖	16
圖 2-7 土方以火車運輸實況照片	17
圖 2-8 南澳路堤段及生態池	18
圖 3-1 基礎建設-橋梁之生命週期流程圖	21
圖 3-2 專案工程碳足跡計算階層示意圖	22
圖 4-1 安坑輕軌線示意圖	36
圖 4-2 安心橋配置及造型發想示意圖	37
圖 4-3 P9-17 擋土支撐平面及斷面示意圖	38
圖 4-4 P9-16 擋土支撐平面及斷面示意圖	39
圖 4-5 P9-16 施工構台及 STT3330 固定式塔吊平面圖	39
圖 4-6 鋼橋塔下部結構以移動式吊車吊裝示意圖	40
圖 4-7 塔吊爬升與橋塔單元關係圖	41
圖 4-8 鋼橋塔上部結構安裝程序步驟 1	41
圖 4-9 鋼橋塔上部結構安裝程序步驟 2	42
圖 4-10 鋼橋塔上部結構安裝程序步驟 3	42
圖 4-11 鋼橋塔上部結構安裝程序步驟 4.....	43
圖 4-12 鋼橋塔上部結構安裝程序步驟 5	43

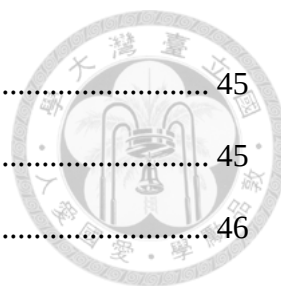


圖 4-13 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 1.....	45
圖 4-14 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 2.....	45
圖 4-15 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 3.....	46
圖 4-16 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 4.....	46
圖 4-17 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 5.....	47
圖 4-18 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 6.....	47
圖 4-19 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 7.....	48
圖 4-20 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 8.....	48
圖 4-21 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 9.....	49
圖 4-22 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 10.....	49
圖 4-23 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 11.....	50
圖 4-24 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 12.....	50
圖 4-25 鋼桁架橋分區圖	70
圖 4-26 鋼纜配置圖	72
圖 4-27 免拆模板施工區域及數量統計表	77
圖 4-28 軌道工程平面示意圖	80
圖 4-29 安心橋電氣工程示意圖	85
圖 4-30 金屬護欄示意圖	89
圖 5-1 工程主體碳足跡分布	95
圖 5-2 工程主體各分項工程碳足跡分布	95
圖 5-3 施工管理碳足跡分布	96
圖 5-4 整體碳足跡分布	97
圖 5-5 原規劃鋼桁架橋施工方式步驟 1→2→3	100
圖 5-6 原規劃鋼桁架橋施工方式步驟 4→5	101
圖 5-7 實際跨溪段施工方式(利用捲揚機及運輸台車供料給吊車)施工示意圖 ..	101
圖 5-8 金門大橋替代工法施作區域示意圖	106

圖 5-9 台 76-4 標基樁鋼筋籠加工廠配置及加工作業流程	107
圖 5-10 以案例工程 P9-15 為例計算螺旋箍筋設計之鋼筋減量比例	108
圖 5-11 多螺箍橋墩工法雙柱配筋及加工完成鋼筋籠.....	109





表目錄

表 3-1 案例工程核定混凝土配比	28
表 3-2 案例工程核定混凝土配比爐石飛灰替代率計算表	28
表 3-3 與案例工程相似配比碳排放係數表	29
表 3-4 案例工程配比碳排放係數估算表	29
表 3-5 金屬及非金屬材料排碳係數彙整表	30
表 3-6 其他材料排碳係數彙整表	31
表 3-7 燃料排碳係數表	32
表 3-8 施工機具排碳係數彙整表	33
表 3-9 台電電力排碳係數表	34
表 4-1 基樁工程混凝土設計數量與實際澆置數量比較表	52
表 4-2 基樁工程鋼筋設計數量與實際使用數量比較表	53
表 4-3 基樁工程施工機具設備統計表	54
表 4-4 基樁工程實際開始及完成時間	55
表 4-5 擋土支撐實際施作數量明細表	56
表 4-6 擋土支撐工程施工機具設備用油及人員出勤逸散排碳量計算表	57
表 4-7 擋土支撐工程(含施工構台)施工時間、出工，機具及設備使用統計表...	58
表 4-8 地質改良工程實際施工數量明細表	59
表 4-9 P9-16 扶壁 ϕ 1.2m 噴射灌漿實際灌漿數量明細表	60
表 4-10 P9-17 地質改良第 1 次灌漿數量明細表	60
表 4-11 P9-17 地質改良第 2 次灌漿數量明細表	61
表 4-12 P9-17 遮斷壁灌漿數量明細表	61
表 4-13 地質改良實際使用材料及排碳量計算表	62
表 4-14 地質改良施工機具設備明細表(一).....	62
表 4-15 地質改良施工機具設備明細表(二).....	63

表 4-16 下部結構工程混凝土設計數量與實際使用數量比較表	66
表 4-17 下部結構工程鋼筋設計數量與實際使用數量比較表	66
表 4-18 下部結構施工機具設備統計及排碳量計算表	67
表 4-19 鋼橋塔工程完成數量統計及碳排放計算表	69
表 4-20 盤式支承統計及碳排放計算表	71
表 4-21 鋼桁架工程數量統計及排碳量計算表	71
表 4-22 鋼纜設計統計表	73
表 4-23 其他預力系統材料統計表	73
表 4-24 預力系統材料排碳量計算表	74
表 4-25 鋼構工程主要施工機具設備表(一).....	74
表 4-26 鋼構工程主要施工機具設備表(二).....	75
表 4-27 鋼構工程主要施工機具設備單趟運輸碳排放計算表	75
表 4-28 鋼構工程其他機具及設備統計及排碳量計算表	76
表 4-29 橋面板材料統計及排碳量計算表	78
表 4-30 橋面板材料運輸排碳量計算表	78
表 4-31 胸牆及電纜槽材料統計及排碳量計算表	78
表 4-32 胸牆及電纜槽材料運輸排碳量統計表	79
表 4-33 上構工程施工機具設備統計及排碳量計算表	79
表 4-34 一般軌道材料數量統計及排碳量計算表	82
表 4-35 特殊軌道數量統計及排碳量計算表	82
表 4-36 軌道工程材料運輸排碳量計算表	83
表 4-37 軌道工程施工機具設備統計及排碳量計算表	84
表 4-38 接地及避雷針工程完成數量及排碳量統計表	85
表 4-39 塔柱維修照明及航空障礙燈工程完成數量及排碳量統計表	86
表 4-40 路線段插座工程完成數量及排碳量統計表	86
表 4-41 路線段照明工程完成數量及排碳量統計表	87

表 4-42 光雕工程完成數量及排碳量統計表(一).....	87
表 4-43 光雕工程完成數量及排碳量統計表(二).....	88
表 4-44 電氣工程施工機具設備統計及排碳量計算表	89
表 4-45 上桁架不銹鋼欄杆標準單元(6M)材料統計表	90
表 4-46 橋面熱浸鍍鋅欄杆標準單元(6M)材料統計表	90
表 4-47 金屬護欄工程施工機具設備統計及排碳量計算表	91
表 4-48 生活垃圾數量統計表	92
表 4-49 合署辦公室用電量統計及排碳量計算總表	93
表 5-1 工程主體排碳量統計表	94
表 5-2 施工管理排碳量統計表	96
表 5-3 混凝土使用量及減碳量計算表	99
表 5-4 P9-16 施工構台排碳量計算表	102
表 5-5 核定強度 420kg/cm ² 之混凝土配比.....	104
表 5-6 二種不同 420kg/cm ² 混凝土配比材料使用量差異及實際減碳量計算....	104



第一章 緒論

1.1 研究動機

人類文明的起源通常就是從逐水草而居開始，一座城市通常也是伴隨在重要流域旁逐漸成形，隨著經濟的發展，在舊都市蛋黃區發展漸趨飽和的情況下，都市的發展不斷往外圍的蛋白區擴大延伸，一日生活圈的範圍不斷擴大，交通運輸的需求也因此不斷提升，交通建設立體化及大跨徑橋梁縮短運輸時間的需求也成為現代都市交通的基本要求。

每個知名的城市通常少不了一座可以代表這個城市的景觀橋，提到舊金山首先想到的就是金門大橋（Golden Gate Bridge）；提到雪梨時，首先印入眼簾的肯定是雪梨歌劇院（Sydney Opera House）和雪梨港灣大橋（Sydney Harbour Bridge）的影像。在國內，提到斜張橋首先想到的一定是國道 3 號的高屏溪斜張橋，也相信大家在走過蘇花改後，肯定也會對白米高架橋的米粒造型橋塔留下深刻的印象，大跨徑橋梁除了提供更便利運輸功能外，通常也能形塑出一條公路、一個城市甚至是一個國家給人的第一印象，並成為當地地標及熱門景點。

於此同時，伴隨城市及工業發展而來的是全球溫室效應及氣候變遷問題日益嚴重，而土木工程等基礎建設建造產生之高碳排放量更是其中幫兇之一，如何減碳並推展永續工程是接下來所有工程人員必須面對的重要課題，其中碳足跡盤查就是碳管理的基礎，唯有精準掌握碳足跡分布狀況並研擬減碳對策方能有效達成碳排放減量目標。

1.2 研究目的

近年國內特殊大跨徑橋梁案例，從安坑輕軌運輸系統計畫之「安心橋」、「金門大橋」到「淡江大橋」陸續動工、完工，也興起另一波斜張橋及跨海大橋等特

特殊橋梁的討論熱度，相信在未来，更高的橋塔、更大跨徑的橋梁也會不斷出現，然國內目前似乎尚無將此類地標型之特殊大跨徑橋梁於實際建造過程產生之碳排放量進行盤查統計及分析。

在此一背景下，本論文將蒐集國內外過去已完成之文獻研究成果，以及國內現有相關之資料(如環保署網站資料等)，並以目前國內於新北市安坑地區正進行施工之安坑輕軌運輸系統計畫之「安心橋」碳足跡分析實例，探討此類特殊大跨徑橋梁之碳足跡分析如何以較有效且正確的方式辦理，並提供此類工程之減碳策略，期望能提供給後續其他類似特殊大跨徑橋梁工程於規劃設計、現場施工參考，更進一步讓相關主管部門、主辦機關或施工廠商更了解一個特殊大跨徑橋梁工程全生命週期中相關細節，並提供其他類似工程進行碳盤查時參考，以期許這類特殊大跨徑橋梁工程完成後，除了發揮提供運輸功效及成為地標景點外，更能成為一個環保、低碳排的永續指標工程，甚至更進一步引領營建產業之節能減碳風氣。

1.3 研究範圍

本研究係以安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程之跨越新店溪橋梁「安心橋」為研究對象，針對此橋施工時各施工項目之碳足跡進行計算及分析，並探討是否有何策略可降低碳排放量，同時評估是否會因此而增加費用，計算範圍包括假設工程、主體工程、主要工程材料生產及運輸、機具設備及投入人力等相關項目產生之碳排放量。

1.4 研究架構與流程

1.4.1 論文研究架構

本論文研究邏輯架構圖詳下圖 1-1，並依下列六個步驟進行，各階段執行重點分述如下：

1、研究主體確立：



確認本研究動機與目的後擬定研究主體，並確認研究方向。

2、文獻回顧：

主要回顧文獻包括國內外工程碳管理發展、碳足跡盤查及查證規範發展、碳足跡盤查研究，及工程具體減碳作為。

3、研究方法：

本研究將以一個具代表性的特殊大跨徑橋梁「安心橋」為實例，碳足跡量化則採用「排放係數法」，亦即『 $\text{碳足跡} = \text{活動強度} * \text{排放係數}$ 』，其中活動強度係指會造成碳排放的相關活動，而排放係數則為對應各項活動的單位活動強度碳排放量。

4、「安心橋」之碳足跡盤查：

包括工程簡介、特殊施工項目(或工法)說明及碳足跡計算。

5、「安心橋」之碳足跡分析與減量策略

分析「安心橋」碳足跡分布，找出關鍵因子，並確認施工過程減碳成效並評估是否衍生其他費用，同時提出特殊大跨徑橋梁碳足跡分析之改進建議及碳足跡減量策略。

6、結論與建議

對研究結果總結歸納，並提出後續研究方向之建議。

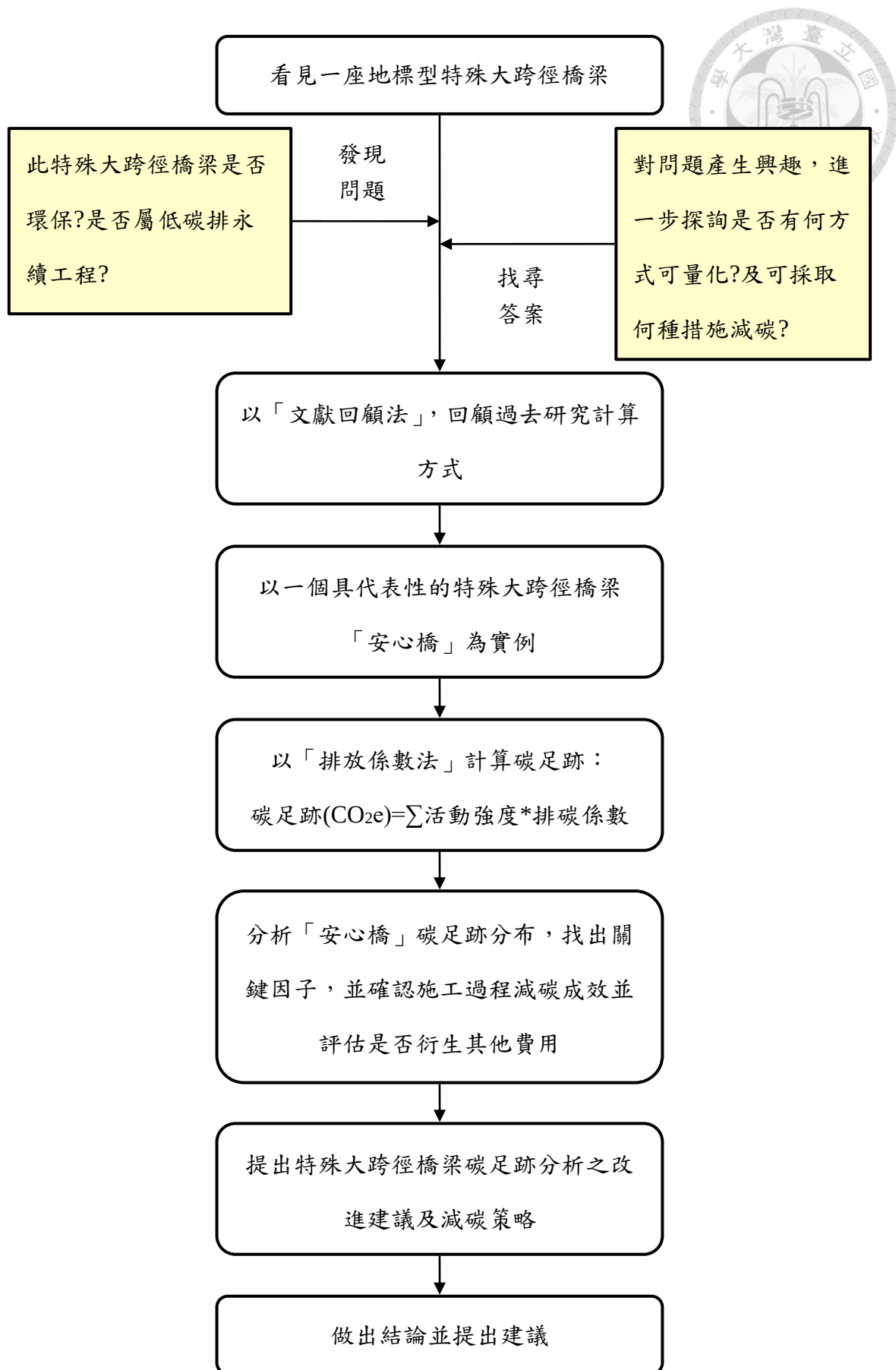


圖 1-1 本論文研究邏輯架構圖



1.4.2 論文研究流程

本論文研究流程詳下圖 1-2 所示：

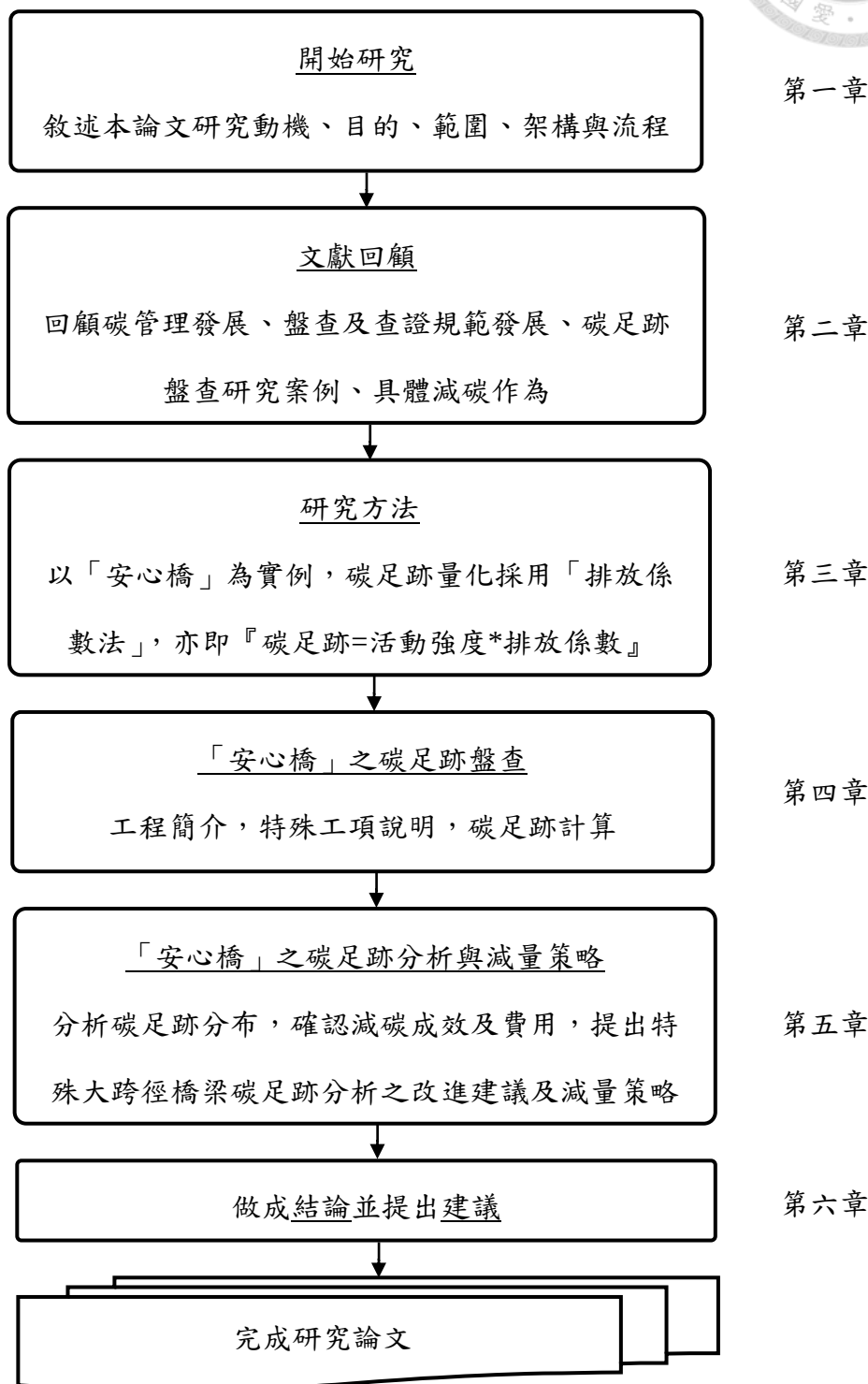


圖 1-2 本論文研究流程圖



第二章 文獻回顧

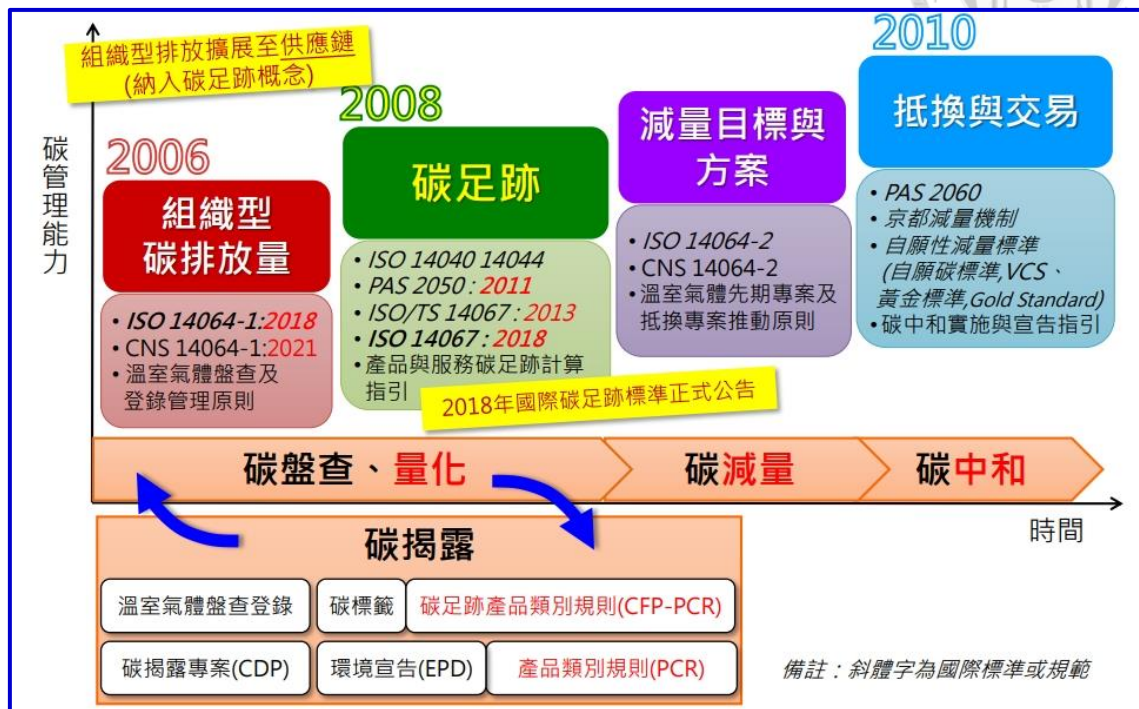
2.1 國內外工程碳管理發展

1972 年 6 月 16 日聯合國於瑞典舉辦首屆人類環境會議，考慮到需要取得共同的想法和制定共同的原則以鼓舞和指導世界各國人民保持和改善人類環境，通過「聯合國人類環境宣言」(也稱為「斯德哥摩爾宣言」)(聯合國 NGO 世界公民總會台灣分會網站新聞，2023 查詢[1])，這可說是全球討論永續發展的起點，也是啟動各國政府重視環境保護及永續發展的開端。

聯合國大會設立之「政府間氣候變化綱要公約談判委員會」(INC/FCCC)於 1991 年在華盛頓召開首次會議，氣候變遷議題正式躍上聯合國舞台，並在歷經多次會議討論，終於在 1992 年通過「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)，該公約目的為穩定維持大氣中溫室氣體的濃度，使氣候系統適應氣候變化且不受到人為干擾，同時兼顧糧食生產與經濟發展。嗣於 1997 年於日本京都舉行第 3 次締約方會議 (COP 3) 時通過「京都議定書 (Kyoto Protocol)」(全名「聯合國氣候變化綱要公約的京都議定書」，為 UNFCCC 的補充條款)，針對包括二氧化碳在內之氟氯碳化物等六種溫室氣體，定出具體減量目標(外交部網站，2023 查詢[2])；2015 年在巴黎召開的 COP 21，各締約方協議未來將一起努力讓地球氣溫的上升幅度，控制在與前工業時代相比最多攝氏 2 度內的範圍，且應努力追求前述升溫幅度標準續減至攝氏 1.5 度內的更艱難目標，此氣候協議就是「巴黎協定」(Paris Agreement)(外交部網站，2023 查詢[3])；2021 年於蘇格蘭格拉斯哥舉行之 COP 26，通過「格拉斯哥氣候協議」(Glasgow Climate Pact)，維持「巴黎協定」降溫目標以及各國承諾逐步減少煤炭使用共識。

為減輕全球暖化及氣候變遷所帶來的巨大衝擊，世界各國政府與民間組織也持續推動溫室氣體排放減量與能源管理相關措施，國際碳管理趨勢及重點(詳圖 2-1)，也由過去各組織營運範圍內的組織型碳盤查，轉換為將盤查的範圍擴展至相

關供應鏈，重視產品與服務碳足跡，以掌握完整生命週期之溫室氣體排放，並以淨零碳排與碳中和為目標。



我國亦自民國 97 年 6 月 5 日行政院發布「永續能源政策綱領」揭示兼顧「能源安全」、「經濟發展」與「環境保護」的政策目標(行政院網站新聞，2023 查詢[5])起，即開始一系列將節能減碳概念納入政策規範的作為，首先核定通過「永續公共工程-節能減碳政策白皮書」，要求公共工程必須從技術面在工程全生命週期(包括可行性評估、規劃設計、發包、施工及維護管理)各階段，都必須落實節能減碳理念(管制二氧化碳排放量、再生料運用、提升設備節能效益、基地土方平衡等)，以確保公共工程整體的減碳效益；並從制度面如透過公共工程審議制度再造、建構永續綠色採購環境等方式推動節能減碳，同時搭配宣導及鼓勵，藉以發揮最大效益(行政院公共工程委員會，2011[6])。

行政院公共工程委員會於隔年(98 年)5 月，於「公共建設督導會報」討論通過「振興經濟擴大公共建設投資計畫落實節能減碳執行檢討作業要點」，並於同年 12 月修正後頒行，要求各計畫綠色思維(內涵)必須在規劃設計階段即納入考量，並貫穿至後續之執行與營運，同時明確訂定各部會執行「4 年 5,000 億振興經濟擴

大公共建設投資計畫」綠色內涵不低於工程預算(不含土地、地上物補償及勞務採購等非工程經費)之 10%(行政院公共工程委員會，2009[7])。

交通部依循國家重視工程排碳與減碳的政策方向，也於民國 99 年 5 月提出「交通部節能減碳規劃設計參考原則」，內容主要分為 5 大交通型式，包括一般道路、高快速公路網、捷運系統、桃園航空城以及自行車路網(交通部，2010[8])；交通部運輸研究所亦接續於民國 100 年進行「交通運輸工程碳排放量推估模式建立之研究」，建立參數資料庫，發展適用於工程規劃設計階段的交通運輸工程碳排放量推估模式，及道路工程碳排放成本效益分析方法(交通部運輸研究所，2012[9])。

民國 101 年交通部公路總局在順應國際潮流及為達成政府之節能減碳公共工程政策目標，率先以所轄「台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫」(此計畫為交通部回應東部民意「一條安全回家的路」之訴求，從「社會正義」之角度切入，並強調兼顧「環境保護」理念所推動的工程計畫(蘇花改工程處網站，2023 查詢[10]))，推動國內第一個道路工程實施碳管理及施工期間碳足跡盤查工作之計畫。

目前全球已有超過 130 國提出「2050 淨零排放」的宣示與行動。為呼應此一全球趨勢，我國蔡英文總統亦於 110 年 4 月 22 日世界地球日宣示，『2050 淨零轉型也是臺灣的目標。政府隨後於 111 年 3 月及 12 月分別公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」及「12 項關鍵戰略行動計畫」，並於 112 年 1 月核定「淨零排放路徑 112-115 年綱要計畫」，針對淨零碳排目標進行各面向的減緩與調適。同時《溫室氣體減量及管理法》修正草案亦於 112 年 1 月 10 日經立法院三讀通過，同年 2 月 15 日總統公布施行，名稱修正為《氣候變遷因應法》，並納入 2050 年淨零排放目標、提升氣候治理層級、徵收碳費專款專用、增訂氣候變遷調適專章、納入碳足跡及產品標示管理機制，不僅對外展現我國邁向淨零排放目標之決心，對內也建構更為韌性的氣候法制基礎。』(行政院新聞傳播處網路新聞，2023 查詢[11])。行政院亦配合於 112 年 3 月 20 日核定將於同年 4 月 22 日世界地球日成立「環保署氣候變遷局」(行政架構詳圖 2-2)，成為我國氣候行動專責機關。

歐盟碳關稅預計將從 112 年 10 月 1 日起開始實施，針對高碳排商品課徵碳排費用，蔡英文總統於 112 年 4 月 19 日參加台灣美國商會謝年飯致詞時表示，碳金融是達成能源供應穩定和多樣性目標的關鍵，國內也將成立「碳交易平台」。減碳工作將不再僅僅是理念與責任，更已成為一個足以影響企業及產業競爭力及存續不得不重視的關鍵課題。

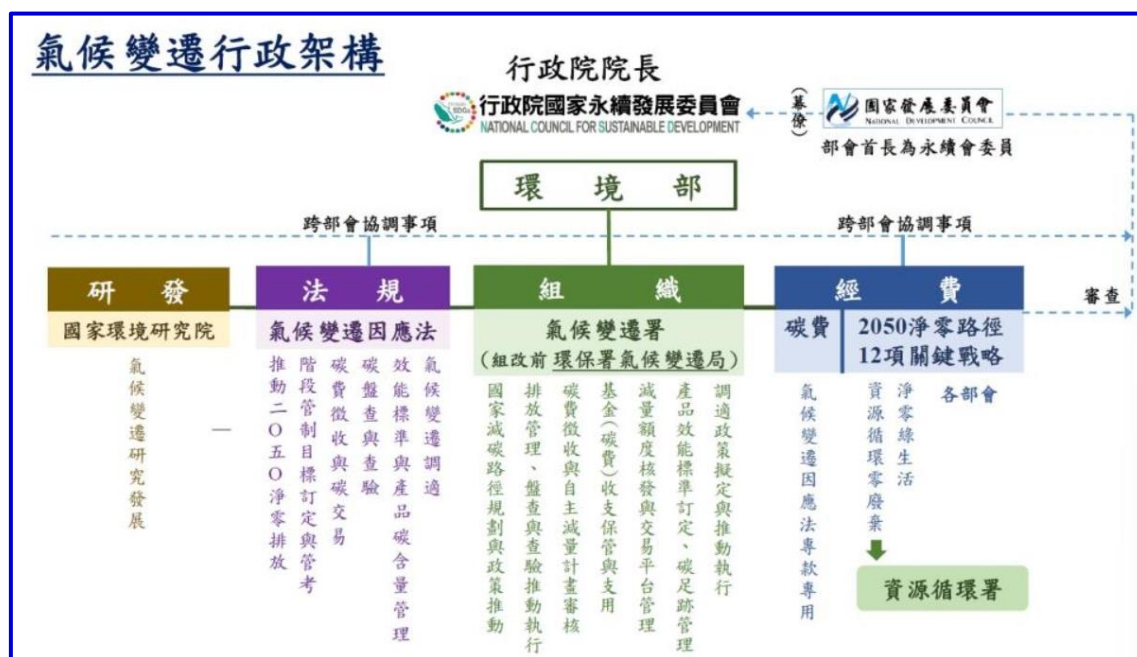


圖 2-2 氣候變遷行政架構(環保署網站，2023[12])

2.2 碳足跡盤查及查證規範發展

「碳足跡」(carbon footprint)，係指用以量化製程、製程系統或產品系統溫室氣體排放的參數，以表現它們對氣候變遷的貢獻(行政院環境保護署，2010[13])。碳足跡評估方法，最早付諸於文字、形成規範，是在由碳信託機構(Carbon Trust)和英國環境、食品與鄉村事務部(Defra)聯合發起，委由英國標準協會(BSI)編製發布的「PAS 2050：2008 產品與服務生命週期之溫室氣體評估標準」中，BSI 也另外公布了「PAS 2050 Guide 使用指南」，作為提供組織導入產品或服務碳足跡排放的參考。PAS 2050 的定位為屬於公眾可獲取的規範，為英國國家標準或國際標準制訂前的暫行性標準，後因在 2011 年國際標準仍尚未推出，英國標準協會遂於同

年參考國際標準草案(ISO 14067(DIS))，推出 PAS 2050：2011 版本。

PAS 2050：2008 是建構在相關性、完整性、一致性、準確性及透明性等五大原則。組織在建立產品碳足跡時，可將評估流程分為三大流程，分別為起始、計算產品碳足跡及後續宣告，其中計算產品碳足跡包括建立製程地圖、確認邊界及優先順序、數據收集、計算碳足跡及不確定性評估等步驟(黃雪娟，2010[14])。

PAS 2050：2008 版本標準公告後，也掀起國內與國際間掀起一股”碳足跡標示”旋風，其他以碳足跡為考量建立生命週期碳排放量評估方法與準則的國家或組織還包括：

- 1、日本經濟產業省：2009 年公布依據產品碳足跡評估與標示之一般原則所訂之技術規範(TS-Q-0010)。
- 2、世界資源協會(WRI)與世界永續發展商業委員會(WBCSD)：為了提供企業一個進行溫室氣體盤查的通用性標準，WRI 與 WBCSD 在 1998 年整合雙方資源共同發起「溫室氣體盤查議定書倡議行動」，並在 2001 年公布「企業溫室氣體會計與報告標準」。2011 年 10 月同時推出兩項溫室氣體議定書(GHG Protocol)標準，分別是「產品生命週期會計與報告標準」及「公司價值鏈(範疇三)會計與報告標準」，擴大全球企業組織進行碳排放量評估時的考量範圍，此項範疇三標準可以協助公司了解其供應鏈溫室氣體排放量與找出應該設定排放減量目標之處(溫室氣體議定書範疇及價值鏈排放示意圖詳圖 2-3)，其中範疇三包含以下 15 個類別(世界資源協會與世界永續發展商業委員會，2011[15])：
 - (1) 上游活動：採購的產品和服務、資本財、燃料與能源相關活動、上游運輸與配送、營運過程產生的廢棄物、商務旅行、員工通勤及上游資產租賃等 8 個類別。
 - (2) 下游活動：下游運輸與配送、銷售產品與服務的加工、銷售產品與服務的使用、銷售產品與服務的生命終期處理、下游資產租賃、加盟及投資等 7 個類別。
- 3、台灣：因國際標準組織(ISO)之產品碳足跡計算標準(即 ISO 14067)尚未完成，

環保署奠基於 CNS 14040 與 CNS14044 以建立之生命週期評估法，於 2010 年公告「產品與服務碳足跡計算指引」，讓國人計算碳足跡時有所依循，以協助國內產業界推動產品與服務碳足跡盤查，並於 2011 年公告「產品與服務碳足跡查證技術指引」，作為查驗機構或業者自身進行內部查證作業之參考，以提升國內碳足跡評估結果之品質。

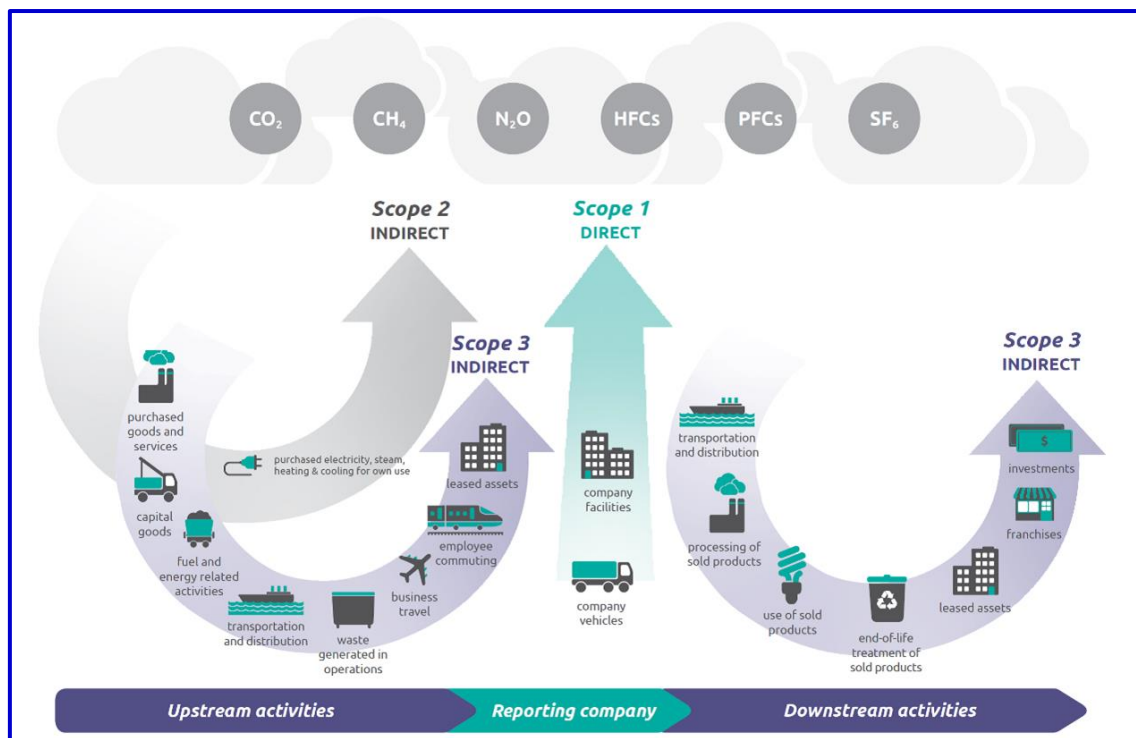


圖 2-3 溫室氣體議定書範疇及價值鏈排放示意圖(WRI&WBCSD，2011 [15])

國際標準組織於 2012 年開始發展國際碳足跡標準(ISO 14067)，並於 2013 年 5 月 21 日以技術規範(Technical Specification，縮寫為 TS)的型式，公告 ISO/TS 14067：2013「產品碳足跡量化與溝通標準原則、要求與指引(Greenhouse gases - Carbon footprint of products -Requirements and guidelines for quantification and communication)」，並可以此標準作為碳足跡發證之依據，然技術規範並非正式標準，仍需要定期檢討、複審，以確定是否持續有效、修訂為正式標準或作廢終止。在經過多年的努力，最後終於在 2018 年 8 月 20 日公開正式國際標準 ISO 14067：2018「產品碳足跡量化要求與指引(Greenhouse gases-Carbon footprint of products-Requirements and guidelines for quantification)」(國際標準組織，2018[16])，為產

品碳足跡的量化和報告提供了全球認可的原則、要求和指南，ISO 14067 標準與其他國際標準之關聯性(鄭仲凱，2018[17])詳圖 2-4。

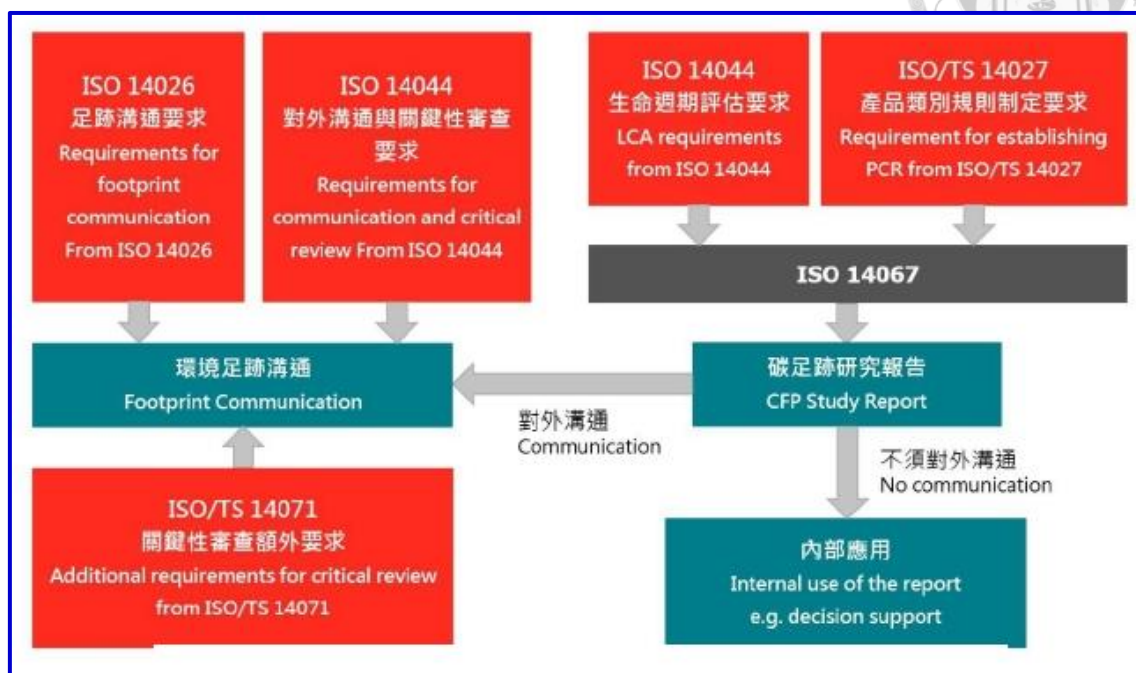


圖 2-4 ISO 14067 標準與其他標準之關聯性(鄭仲凱，2018[17])

2.3 碳足跡盤查研究

2.3.1 碳足跡盤查研究案例

林宏霖 102 年 7 月於「工程規設階段之碳盤查及其減碳策略-以潛盾工程為例」(林宏霖，2013[18])研究，以規設階段採情境模擬方式推估碳排放量(利用 PCCES 資源統計表及 SimaPro7.3.3 軟體)，並以減少棄土運輸、鋼材電弧爐加工取代高爐加工、混凝土配比加入飛灰及爐石等作為減碳策略，其中以土方開挖後於工址進行再生利用，減少棄土運輸減碳效果最為顯著。

「台 9 線南迴公路安朔草埔段」碳盤查係依據 ISO 14067(或 PAS 2050)全生命週期產品碳足跡規範實施，其中 C1 橋梁標自 103 年 5 月開工盤查至 105 年底，各年度碳排放量皆以「工料使用」所占比例最高，分別為 82.4%、90.1%及 94.4%；C2 隧道標自 102 年 7 月開工盤查至 105 年底，各年度碳排放量仍是以「工料使用」所占比例最高，分別為 75.5%、86.5%、72.3%及 71.8%。(其中 C2 隧道標因主隧

道尚未開始施作襯砌結構工程，主要結構工程材料(包含鋼筋、混凝土等)仍尚未大量使用，故「工料使用」所占比例略低於 C1 橋梁標。)由盤查結果顯示，此路段二個標案無論是橋梁工程或是隧道工程，「工程材料」皆為整體生命週期之最大宗碳排放源(陳保展等，2017[19])。

「台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫」自 101 年 7 月起，開啟國內第一個道路工程實施碳管理及施工期間碳足跡盤查工作之計畫，執行過程共產出 3 項工程類別之碳足跡產品類別規則(CFP-PCR)，順利取得 7 張碳足跡查證聲明書，並提供環保署產品碳足跡資訊網 34 筆本土化碳足跡係數。依實際盤查結果顯示，雖然橋梁標與隧道標排碳特性不同，但施工階段排碳量皆以「工程材料」為最主要排碳來源，分別為 93%及 86%。此計畫整體減碳量約為 332,489 tonCO₂e，與整體土建標施工建造階段排碳量比較，減碳效益約 18%，其中最大碳排減量來源為「以飛灰及爐石替代水泥」，約佔 98.1%(許佩蓓，2022[4])。

行政院農業委員會水土保持局配合行政院公共工程委員會於 102 年 3 月 6 日召開「公共工程碳排量估算試辦作業研商會議」，以其所轄台南分局委辦之「萬得野溪整治工程」進行碳排放估算，估算結果以「工程材料」排碳量最大，約占 98.7%，當中最大排碳源為預拌混凝土，占比為 81.2%，該工程之節能減碳策略包括採用高強度混凝土及鋼筋以減少材料使用量、土方平衡減少棄土及植生綠化以增加造氧減碳(行政院農業委員會水土保持局，2014[20])。

水利署響應實踐 2050 淨零碳排的願景，於 111 年 2 月依工程生命週期執行階段般訂「水利工程減碳作業參考指引(規劃設計篇)」，系統性推動工程減碳，藉由盤點 108 年至 110 年水利署推動水利工程之碳排放量，設定基準值並率定減碳目標，111 年提出水利工程設計之碳排放量估算主要依據 PAS 2050 準則，並利用單價分析表中「機具」、「工料」等二大類(考量「人員」為既存碳排來源，不因工程實施而加計於工項碳排放量，單位碳排放以 0 計算)計算碳排放量(賴建信等，2022[21])。

劉泰儀等 111 年 12 月於「Using a Unique Retaining Method for Building

Foundation Excavation : A Case Study on Sustainable Construction Methods and Circular Economy」(劉泰儀等，2022[22])研究，於林口世大運選手村建案，依工地現址實際地質鑽探及地下水位資料，在經結構計算確認安全無虞後，改變擋土支撐施工方式，以鋼軌配合背拉鋼棒系統工法(APSCS, Anchor Pile with Steel Cables System)替代傳統內支撐擋土工法(詳圖 2-5)，除了節省施工成本外，也縮短整體工期 90 天，並減少碳排量 677.6 tonCO₂e。

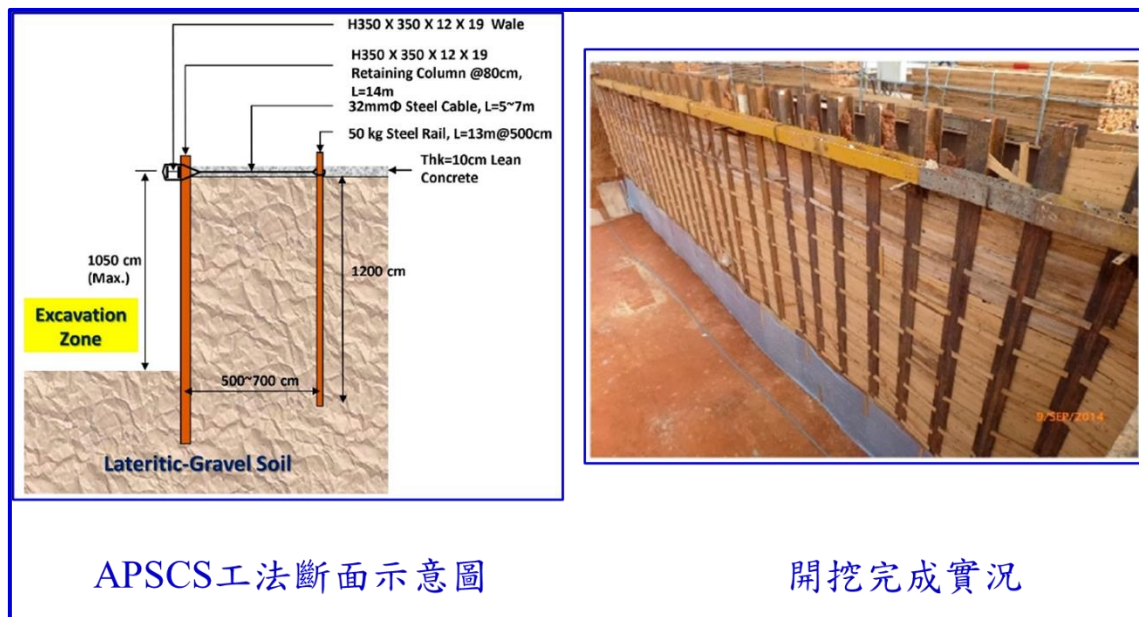


圖 2-5 APSCS 工法斷面示意圖與實際施工現地照片(劉泰儀等，2022 [22])

2.3.2 小結

依上述文獻相關研究，可歸納出以下重點事項：

- 1、規劃設計階段先做碳排放推估，了解碳排分布及關鍵因子，有助碳排減量策略擬定及控制整體碳排數量。
- 2、通常「工程材料」碳排放量占整體碳排比例最高，其中又以混凝土、鋼筋及鋼構(當鋼構為主要工作項目時)排碳量為最大，亦即混凝土、鋼筋及鋼構為一般基礎建設減碳之關鍵因子，減少工程混凝土、鋼筋及鋼構之材料設計(使用)量及其製程(包含電力、水、配比等)的排碳量可以達到的減碳效益最大。
- 3、妥善規劃儘量讓土方挖填平衡、再利用(如加工製成級配粒料或混凝土骨材等)，

以減少棄土數量同時減少運輸距離，減碳效果顯著。

- 4、發揮創意，有時在不增加施工成本下改變施工方式，也可獲得縮短整體工期效益及達到減碳效果。



2.4 工程具體減碳作為

基礎設施工程的生命週期包括可行性評估、規劃設計、施工、操作及維護階段，其中最具減碳潛力者為初期可行性評估及規劃設計階段，從路線規劃、施工方式及材料選用這 3 個部分做仔細的評估，可大幅減低碳的排放量；到施工階段時，減碳潛力空間已較小。

以下就以公路總局辦理之「台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫」(簡稱蘇花改計畫，計畫內容及分標示意圖詳圖 2-6)於規劃設計階段採取的二個具體減碳設計方案為例，說明如何利用改變運輸方式及施工方式(工法)達成減碳效益。

蘇花改計畫推動係以安全、可靠運輸服務及強化維生幹道抗災性為目標，針對路段災損阻斷及交通肇事頻率較高路段進行改善，包括蘇澳至東澳段(A 段)、南澳至和平段(B 段)及和中至大清水段(C 段)三個路段，各段進行改善的原因如下：

- 1、A 段：道路線形不佳為易肇事路段。
- 2、B 段：易落石坍方阻斷頻繁路段。
- 3、C 段：路基狹窄且常落石坍方路段。(蘇花改工程處網站，2023 查詢[10])



圖 2-6 蘇花改計畫內容及分標示意圖(蘇花改和中工務段，2018[23])

2.4.1 土方以鐵路運輸

蘇花改計畫蘇澳至東澳段(A 段)包含 3 個土建標，其中 A2 標(台 9 線蘇花公路東澳隧道新建工程)為一長隧道工程(長度約 3.3 公里)，開挖方式以鑽炸為主，施工時將產生大量之剩餘土方，為減少工程施作對環境及交通之影響，於規劃設計階段即規劃將剩餘土方以鐵路運輸替代公路運輸(邵厚潔等，2016[24])，期能有效減少台 9 線上運土卡車數量、降低車流量以減輕對當地交通的衝擊，同時減少空氣汙染物排放數量。

A2 標為雙孔雙向隧道，開挖施工工作面採分別於隧道北口及南口往中間方向開挖，因隧道北口及南口分別鄰近台鐵「永樂車站」及「東澳車站」，主辦機關於規劃設計階段即先行與鐵路局溝通租借場地並商討鐵路運輸方式及班次。於施工階段，隧道土方開挖後即直接由運土車載運至車站暫置場，再以貨櫃裝箱後以火車運輸至「新馬車站」作後續處理(其中可利用土方交付宜蘭縣政府標售處理，不可利用土方送往三星回填區進行回填)，土方以火車運輸實況照片詳圖 2-7 所示，依該工程實際於 102 年初開工後至 104 年底實際碳盤查統計分析，確認將剩餘土方以鐵路運輸替代公路運輸方案，隧道北口工作面減碳百分比為 11%，南

口工作面減碳百分比為 44%，南北口工作面共減碳約 3,557 tonCO₂e，減碳效果達 9 座大安森林公園（25.8 公頃，每年可吸碳約 384.6 tonCO₂e）每年可吸碳數量總和，顯示 A2 標剩餘土方以鐵路運輸替代公路運輸減碳效益卓越。

經再進一步檢視實際盤查結果，發現主要減碳成效來自「減少活動強度」及「減少排放係數」，分述如下：

- 1、減少活動強度：利用縮短運輸距離減少活動強度降低排碳量，其中北口採鐵路替代公路運輸，總運輸距離約縮短 0.3 公里；南口採鐵路替代公路運輸，總運輸距離約縮短 4.4 公里。
- 2、減少排碳係數：利用改變運輸機具減少排碳係數降低排碳量，經實際盤查北口土方傾卸車運輸係數為 0.3411 kgCO₂e/tkm、南口土方傾卸車運輸係數則為 0.3252 kgCO₂e/tkm，無論是北口或南口的土方傾卸車運輸係數均遠高於交通部運研所「行車成本調查分析與交通建設計畫經濟效益評估之推廣應用」（2010）所載鐵路運輸排碳係數 0.07754 kgCO₂e/tkm。



圖 2-7 土方以火車運輸實況照片(蘇花改工程處網站，2014)



2.4.2 土方挖填平衡

蘇花改計畫南澳至和平段(B 段)包含 4 個土建標，其中 B2 標(台 9 線蘇花公路觀音隧道新建工程)為一長隧道工程(隧道長度約 5.6 公里)，施工時將產生大量之剩餘土方，然因工地工址偏僻且經查營建署「營建剩餘土石方資訊服務中心」資料，蘇花改計畫路廊並無需土之公共工程可辦理搓合利用，為有效減少土石方處理量，於規劃設計階段即考量儘量朝土方挖填平衡方式設計，以減低對環境及交通的衝擊，故於鄰標 B1 標(台 9 線蘇花公路南澳武塔段新建工程)規劃南澳路堤段以容納 B2 標隧道產生之多餘土方。土方由 B2 標隧道開挖後，利用工區施工便道、便橋及舊北迴閒置隧道改建成之運輸道路，直接運往 B1 標土方回填區(南澳路堤段)進行回填，該回填區容納土方數量多達 255 萬方(交通部公路總局，2011[25])，採用此土方平衡方式設計，除有效達成土方資源再利用、減少剩餘土方處理量、並大幅縮短土方運送距離；同時藉由土方回填區，規劃植生綠化及生態池活化生態空間(詳圖 2-8)，達到減碳效益。



圖 2-8 南澳路堤段及生態池

第三章 研究方法



本研究採用「文獻回顧法」，參考目前最新碳足跡標準發展及過往相關研究之碳盤查方式，並以一個具代表性的特殊大跨徑橋梁「安心橋」為實例，相關碳足跡量化則採用「排放係數法」(許佩蓓等，2012[26])，計算式為：

$$\text{碳足跡}(\text{CO}_2\text{e}) = \sum \text{活動強度} * \text{排碳係數}(\text{CO}_2\text{e}/\text{單位活動強度})$$

其中，活動強度(重量、體積、耗能量、燃料用量等)係指會造成碳排放的相關活動，而排放係數則為對應各項活動的單位活動強度二氧化碳當量排放量。並依下列步驟進行，包括：功能單位定義、邊界與範疇界定、排碳量計算方式說明，排碳係數引用來源及說明，分別說明如下。

3.1 功能單位

依據行政院環境保護署「產品與服務碳足跡計算指引」(2010年2月12日版)(行政院環境保護署，2010[27])，在進行碳足跡計算時，應清楚地指明產品系統之功能，並以每功能單位之二氧化碳排放當量(CO_2e)報告之。本研究係以特殊大跨徑橋梁為標的，考量其獨特性，將功能單位定義為每「座」之橋梁修建(包含橋梁設備及其他必要附屬設施)。

3.2 邊界與範疇界定

3.2.1 邊界

依據「溫室氣體排放量盤查作業指引(2022年5月)」(行政院環境保護署，2022[28])，盤查邊界設定為標的物所涵蓋的地理邊界，並將事業可控制其運作之所有排放源納入盤查邊界。因此，本研究之邊界界定為案例工程施工範圍。



3.2.2 範疇

我國推動產業溫室氣體盤查作業，主要係參考國際間 ISO 14064-1 及 GHG Protocol 溫室氣體盤查議定書規範，計算範疇一及範疇二之溫室氣體排放，僅需鑑別範疇三之排放源(行政院環境保護署網站，2023 查詢[29])。

- 1、範疇一：直接溫室氣體排放，針對直接來自於組織所擁有或控制的排放源。
- 2、範疇二：能源間接排放源，係指來自於輸入電力、熱或蒸汽而造成間接之溫室氣體排放。
- 3、範疇三：其他間接排放源，由組織活動產生之溫室氣體排放，非屬能源間接溫室氣體排放，而係來自其他組織所擁有或控制的溫室氣體排放來源。

國際標準 ISO 14067：2018 則是考量生命週期各階段(原物料、生產、配銷、使用、棄置)之影響，要求量化範圍為搖籃到墳墓、搖籃到大門、大門到大門(範疇一、範疇二、範疇三)；並要求當有相關之 PCR(產品類別規則)或 CFP-PCR(碳足跡產品類別規則)存在時，則應予以採用。

行政院環境保護署為使同一種類型、功能之產品(包括商品或服務)，於計算碳足跡排放量時能有相同規則，特別訂定「碳足跡產品類別規則訂定、引用及修訂指引」，同時也提供「碳足跡產品類別規則」(CFP-PCR)範本供參。目前行政院環境保護署產品碳足跡資訊網網站已開放提供多項「碳足跡產品類別規則」(CFP-PCR)供下載使用。

依據 2019 年 10 月 8 日最新核定「碳足跡產品類別規則(CFP-PCR)基礎建設-橋梁(第 3.0 版)」，基礎建設-橋梁之生命週期流程涵蓋「原料取得階段」、「施工建造階段」、「營運管理階段」、「使用階段」及「拆除(解)階段」等五階段，詳如下圖 3-1 所示。其中「使用階段」為使用者透過載具利用橋梁提供之功能性進行各種類型運輸的過程，為避免與載具之使用階段重複計算，「使用階段」不納入 PCR(Product Category Rules)之範疇；另因橋梁在配合適當的維護作業，可長期持續提供服務，因此「拆除階段」亦不納入 PCR 之範疇(環境保護署，2019[30])。

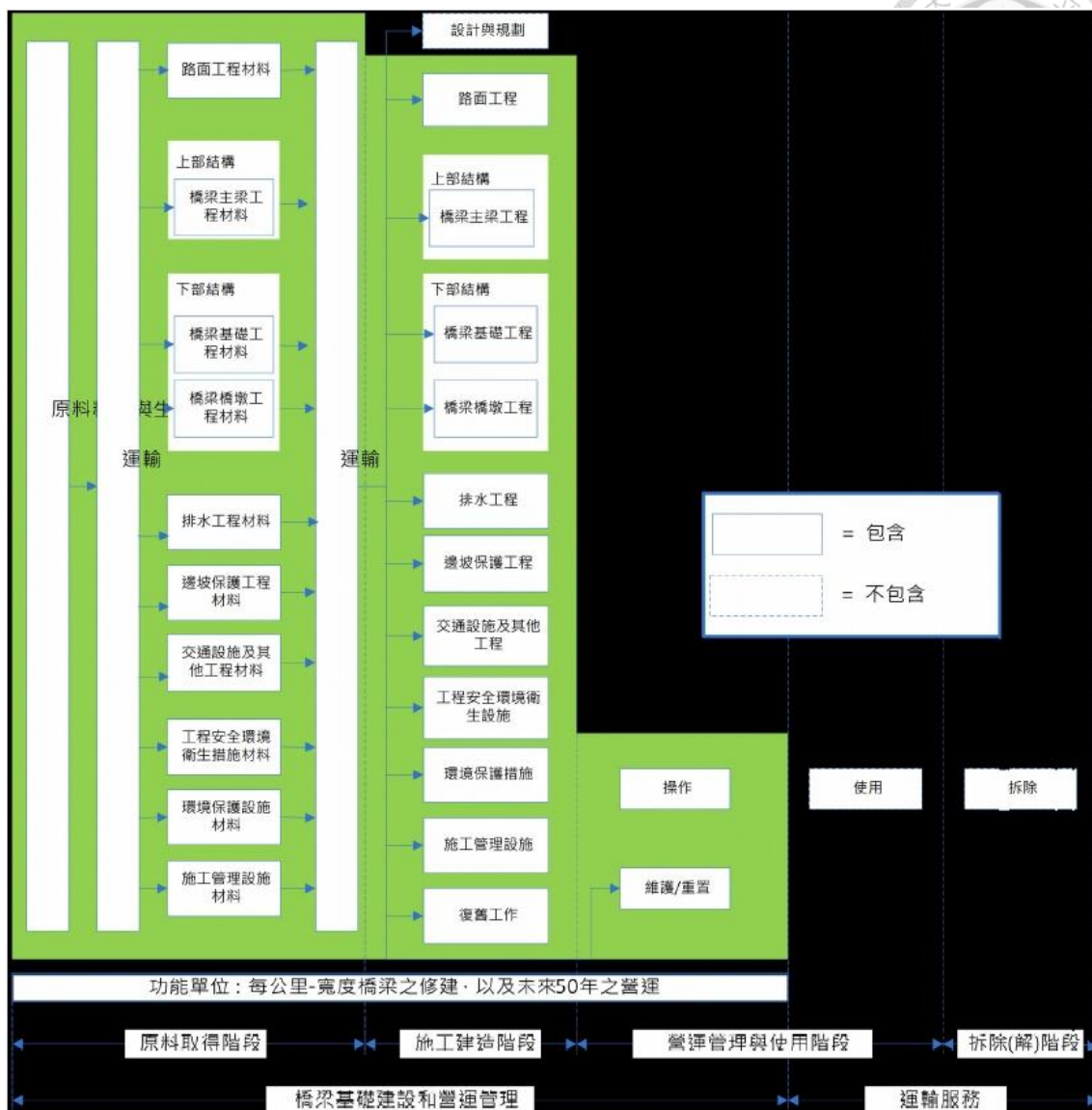


圖 3-1 基礎建設-橋梁之生命週期流程圖(行政院環境保護署，2019[30])

綜上，本研究碳足跡量化方法主要依據 ISO-14067：2018 規定，量化範圍包括範疇一、範疇二及範疇三，並以工程生命週期完整性考量，先遵循「碳足跡產品類別規則(CFP-PCR)基礎建設-橋梁(第 3.0 版)」之橋梁之生命週期流程圖(詳圖 3-1 所示)，計算包括「原料取得階段」、「施工建造階段」及「營運管理階段」等三階段之碳排放量。然因「營運管理階段」設定為 50 年，時間長且目前案例工程尚無任何營運維護產生之碳排放資訊，因此本研究將「營運管理階段」排除，僅計算「原料取得階段」及「施工建造階段」之碳排放量。



3.3 碳足跡計算方式

檢視案例工程建造過程中所有施工程序，依前述邊界與範疇，蒐集活動強度及排放係數，分為「工程主體」及「施工管理」二部分；其中工程主體依工程特性分解為各分項工程，各分項工程再分別依材料、運輸、直接排放量(機具能耗)、外購電力及人員出勤等五大類計算排碳量；「施工管理」則分成用電、用水、車輛油耗及人員出勤等四類計算排碳量(許佩蓓等，2012[26])，如圖 3-2 所示。

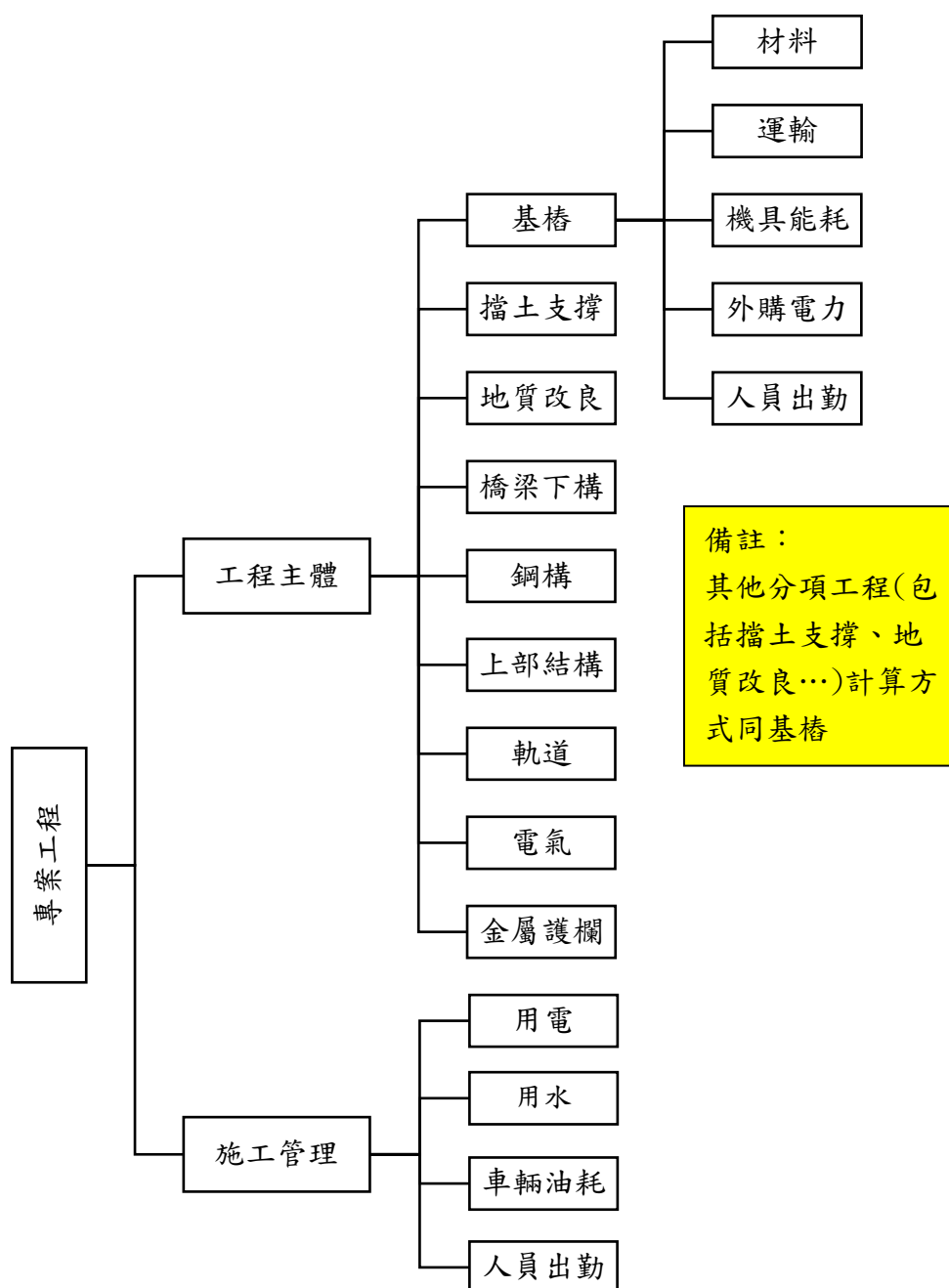


圖 3-2 專案工程碳足跡計算階層示意圖



1、材料排碳量：

$$\text{工程材料碳排放量} = \sum \text{工程材料用量} * \text{工程材料排放係數}$$

- 2、運輸排碳量：運輸過程中的燃料耗用造成的排放量，包括機具運輸、材料運輸、人員運輸及廢棄物運輸。當該工程運輸所需燃料量資料無法取得或計算獲得的情況下，亦可以特定運輸型式之單位延噸公里(貨運)排放量來估算該工程的碳排放量(環保署產品碳足跡資訊網碳足跡資料庫”公路運輸-貨車”之宣告單位即為延噸公里)，計算方式可採以下二種方式擇一辦理：

(1) 運輸碳排放量

$$= \sum \text{燃料用量} * \text{工程材料排放係數}$$

$$= \sum (\sum (\text{運輸量} / \text{運具載運量}) * \text{運輸距離} * \text{往返係數} * \text{運具油耗係數}) * \text{燃料排放係數}$$

(2) 運輸碳排放量

$$= \sum ((\text{運輸量} * \text{運輸距離}) * \text{往返係數} * \text{運輸排放係數})$$

往返係數說明：拌合車自拌合廠載運預拌混凝土材料至工地後，最後一定會回到拌合廠；此外，因案例工程土方外運至棄土區(台北港)之運輸車輛皆須先造冊並提報收土單位同意後始可進入該工區，因此土方外運車輛不會有”回頭車”狀況發生，所以拌合車及土方外運車輛至工地往返產生之排碳量皆屬於案例工程，故將往返係數設定為 2。其餘運輸載具，因目前運輸業生態大多會有”回頭車”狀況發生，因此回程運輸產生之碳排放量以 0.5 趟計算(即將 50%的回程運輸排碳量分配至本案例工程)，故往返係數設定為 1.5。

- 3、直接排放量(機具能耗)：施工機具設備或現場的燃料使用造成的排放量。

$$\text{直接碳排放量} = \sum \text{燃料用量} * \text{燃料排放係數}$$

$$= \sum (\sum \text{機具操作時數} * \text{機具單位時間油耗}) * \text{燃料排放係數}$$

- 4、外購電力排碳量：向台電公司購買用於工區範圍內場地照明、通風或耗電機具設備的用電量造成的排放量。(若設備機具用電所耗電力來自於燃油發電機，則此部分則以發電機之燃料耗用量於直接排放量中計算。)



外購電力碳排放量 = $\sum$ 用電量 * 電力排放係數

5、人員出勤排碳量：主要分為廢棄物排放源及化糞池排放源產生的排碳量。

廢棄物碳排放量 = $\sum$ 廢棄物量 * 廢棄物處理排放係數

化糞池排放源碳排放量 = $\sum$ 出工人時 * CH₄ 排放係數 * GWP

(GWP：Global Warming Potential, 全球暖化潛勢值)

3.3.1 活動強度資料來源

因本研究案例工程於契約並無要求必須實施碳盤查，且於施工期間亦無實施碳盤查的規劃，故僅能依據可收集到的資訊進行碳排放量計算，其中部分資訊為間接推論得來，針對相關資訊來源分述如下：

- 1、大宗材料(鋼筋及混凝土)：鋼筋及混凝土材料每次進場皆有相關憑證(簽單)，以實際使用數量作統計。
- 2、鋼構：各類鋼材加工前皆須辦理檢(試)驗，所以各類鋼材皆有實際使用數量，然因案例工程鋼構廠未實施碳盤查致無法估算出鋼材於加工製造過程產生之碳排放量，因此相關鋼構成品碳排放量依實際施工圖結算數量，並以鋼板之碳排放係數計算。
- 3、運距(包含材料、機具、廢棄物等)：依材料供應商(或施工廠商)工廠(或辦公室)至工地運輸路線實際運距計算。
- 4、由國外進口材料(機具)，依實際報關資訊(數量及重量)計算，然因國外實際生產工廠位置及由工廠生產後運輸至港口之方式相關資訊不足，因此由國外進口材料(機具)運輸產生之碳排放量僅計算國外港口至台灣港口及台灣港口至工地所產生之碳排放量。
- 5、其他施工工項完成數量依實際結算數量計算。
- 6、施工人員出工統計表及施工機具統計表則依施工日誌統計數量。
- 7、油單、電表、水表依實際統計數字。



3.3.2 碳足跡係數選用原則

本研究選用碳足跡係數來源分成二種，包含：

- 1、材料供應商自身工廠曾經取得其產品碳足跡查證聲明書或曾經在其他工程(或研究案)有配合辦理過碳盤查者，將直接引用該產品碳足跡係數。
- 2、資料庫及文獻係數：
 - (1) 優先採用環保署建立之產品碳足跡係數：環保署為因應國內碳排量化與減碳目標之需求，自 102 年起已著手推動本土碳足跡排放係數資料庫的建置作業，至 112 年 4 月已完成共 30 個類別，1,068 種產品碳足跡係數。
 - (2) 若環保署資料庫無相符產品碳足跡係數時，再蒐集其他國內外資料庫或其他文獻。

3.3.3 碳排放計算排除工項說明

- 1、ISO 14025 第三類環境宣告(EPD，Environmental Product Declaration)，係指由供應商提供、經獨立性確認之量化的環境生命週期產品資訊，目的為協助消費者能夠自行選擇最環保的產品。然依據 ISO 14025 之規定，廠商要申請進行第三類環境宣告(EPD)時，必須依據該項產品類別規則(PCR)進行數據之蒐集及宣告。因此第三類環境宣告的過程可分為兩部分，首先是 PCR 的驗證，再來才是 EPD 的確認及宣告。瑞典為整合各國現有 EPD 系統，發起國際產品環境宣告系統：International EPD® System，並於 2010 年 11 月公告營建 PCR 基本模組。依據該模組，工程過程使用機具、建物若生命週期超過 3 年則可不計算該機具、建物產出過程造成之碳排放量，故排除生命週期超過 3 年之施工機具設備(如挖土機、吊車等)及建物。
- 2、排除可回收重複使用之臨時設施及設備(如擋土設施、施工架、鋼模等)產出過程之碳排放量：擋土設施等臨時設施及設備，於完工後即可運出工地重複

使用，通常使用次數皆可超過數十次以上，且生命週期超過 3 年，故材料產出造成之排碳量不列入計算，僅計算運輸與打設(施作)機具能耗碳排放量。

- 3、排除機具、運具之維修保養碳排放量：機具、運具依出廠年份、車況、使用頻率、是否為廠商自有抑或是外租的差異，所需之維修保養有很大的差異，「安心橋」主要施工構件為鋼構，加上塔高達 130 公尺，依目前國內營建生態，此類工程施工之大型吊車大多採短期外租方式，考量此類機具在工地現場時間不定且不長，因此將機具、運具之維修保養產生的碳排放量排除。
- 4、排除人員上下班交通運輸碳排放量：安心橋施工工項多，各專業施工人員，來自全省各地，此部分資訊收集不易，且上下班能耗實際碳排放量並不高，因此將此部分的碳排放量排除。(依據 ISO-14067：2018 規定，若個別的物質流或能源流對碳足跡的影響微不足道，得考量實務因素予以排除。)
- 5、排除材料供應商工廠加工製造之碳排放量：因目前國內營建業材料供應商除較具規模且有出口業務需求之廠商如中鋼、東鋼等，其餘大部分廠商皆尚未曾實施過碳盤查，致產品於工廠加工製造過程(例如：由鋼板製作成鋼箱梁，由鋼材、橡膠及其他配件組合製作成盤式支承等)產生之碳排放量無法確切掌握，故將此部分產生之碳排放量排除。(依據由環保署制定之碳足跡產品類別規則(CFP-PCR)範本[31]之切斷規則，任何單一溫室氣體源之排放貢獻占產品預期之生命週期內溫室氣體排放量 $\leq 1\%$ 者，此程序/活動可於盤查時被忽略，累計不得超過 5%。)依據過往實際碳足跡盤查案例皆顯示材料之碳排放量占比為最高，評估將此部分之碳排放量排除應尚不至於影響整體盤查結果。

3.4 排碳係數引用來源及說明

3.4.1 鋼筋材料排碳係數

鋼筋在煉製的過程中，主要分為「高爐」與「電爐」二種方式，電爐的原料為廢鋼，高爐則是鐵礦砂開採；除了原料來源的不同外，這二種製程所費的

能源及造成之污染量，更有著巨大差異，其中高爐製程包含其原料前置處理製程皆會耗費大量的能源並產生大量的碳排放，經研究證實，電爐煉鋼廠較高爐煉鋼廠約可減少 75%之碳排放量(東和鋼鐵，2017[32])。

本案例工程使用鋼筋之供應商為東和鋼鐵股份有限公司，由該公司桃園廠供料，該廠採用「電爐」(電弧爐)製程，其主要原料為廢鐵、生石灰、矽鐵等，經由電弧爐、精煉及鑄造等單元煉製成型為鋼胚，後續再由鋼胚加熱、軋延、裁剪、包裝等程序製成鋼筋成品。

東和鋼鐵桃園廠為一貫作業製程，前端之鋼胚為自行生產，且於同一廠內進行鋼筋產製，該廠在 99 年成為全國第一座配置無加熱爐軋延設備的鋼筋廠。沒有加熱爐最大的好處在於無需使用重油、天然氣等燃料進行燃燒加熱，故能減少能源耗用及燃燒過程中產生的污染源排放。該廠亦已完成 103 年度鋼筋之產品碳足跡盤查及查證作業，並已取得碳足跡之查證聲明書，本研究將直接引用該查證聲明書之碳足跡係數，該廠 103 年度 SD420W 及 SD280W 鋼筋碳足跡係數分別為 0.834 及 0.835kgCO₂/kg(此數值與環保署碳足跡資料庫網站由公路總局西部濱海公路南區臨時工程處於 2020 建置公告數值一致)。

3.4.2 預拌混凝土材料排碳係數

預拌混凝土材料排碳係數計算方式依下列步驟辦理：

- 1、步驟 1：檢視案例工程實際核定使用之混凝土配比資料(詳表 3-1)(新亞建設，2018[33])，計算爐石飛灰替代率(詳表 3-2)。
- 2、步驟 2：參考環保署產品碳足跡資訊網網站(2023 查詢[34])碳足跡資料庫類似配比混凝土碳排放係數資訊(詳表 3-3)，再依案例工程與資料庫類似配比之飛灰爐石替代比例差異量乘上水泥與飛灰爐石粉碳排放係數差異，計算得到案例工程各種混凝土配比之碳足跡係數(詳表 3-4，項次 3~項次 8)。
- 3、步驟 3：當找不到類似配比資訊時，則以膠結材(水泥、飛灰及爐石)使用量

最接近之配比估算。以案例工程為例，因環保署網站目前尚無設計強度 315kg/cm² 水中混凝土之碳排放係數資訊，經檢視案例工程實際配比，發現強度 315kg/cm² 水中混凝土實際膠結材重量為 452kg，與強度 350kg/cm² 自充填混凝土(SCC)膠結材 450kg 相近。因此，利用 315kg/cm² 水中混凝土與 350kg/cm² 自充填混凝土配比之水泥、飛灰及爐石使用差異量，估算 315kg/cm² 水中混凝土碳排放係數(詳表 3-4，項次 9)。

表 3-1 案例工程核定混凝土配比(新亞建設，2018[33])

項次	水泥型號	配比設計強度 kgf/cm ²	膠結材重量				拌合水	化學附加劑	細骨材	粗骨材	總重
			水泥 kg	爐石 kg	飛灰 kg	合計 kg					
1	I	140	156	78	26	260	183	1.95	992	893	2,330
2	I	175	166	28	83	277	183	2.07	971	899	2,331
3	I	210	186	93	31	310	181	2.33	934	911	2,338
4	II	280	237	119	40	396	175	2.97	866	915	2,355
5	I	420	286	143	48	477	185	3.34	751	931	2,347
6	II	315W	271	136	45	452	187	3.16	825	872	2,339
7	II	350SCC	270	135	45	450	176	3.60	891	835	2,356

表 3-2 案例工程核定混凝土配比爐石飛灰替代率計算表

項次	配比編號	台泥水泥型號	配比設計強度 kgf/cm ²	膠結材重量				爐石飛灰替代率	備註
				水泥(台泥) kg	爐石(六輕) kg	飛灰(中聯) kg	膠結材合計 kg		
1	XA14C5	I	140	156	78	26	260	40%	
2	XA17C5	I	175	166	28	83	277	40%	
3	XA21C5	I	210	186	93	31	310	40%	
4	XA28F5	II	280	237	119	40	396	40%	
5	XA42C8	I	420	286	143	48	477	40%	
6	XA31Y0	II	315 水中	271	136	45	452	40%	
7	XA35ES	II	350SCC	270	135	45	450	40%	

表 3-3 與案例工程相似配比碳排放係數表(保護署產品碳足跡資訊網網站[34])

項次	碳係數名稱	數值	宣告單位	公告年份	資料來源
1	預拌混凝土(140kgf/cm ² ，飛灰爐石粉替代率 45%)	1.99E+02	M3	2017	蘇花改
2	預拌混凝土(175kgf/cm ² ，飛灰爐石粉替代率 45%)	1.94E+02	M3	2017	蘇花改
3	預拌混凝土(210kgf/cm ² ，飛灰爐石粉替代率 45%)	2.20E+02	M3	2017	蘇花改
4	預拌混凝土(280kgf/cm ² ，飛灰爐石粉替代率 45%)	2.63E+02	M3	2017	蘇花改
5	預拌混凝土(420kgf/cm ² ，飛灰爐石粉替代率 45%)	3.83E+02	M3	2017	蘇花改
6	自充填預拌混凝土(350kgf/cm ² ，飛灰爐石粉替代率 45%)	2.95E+02	M3	2017	蘇花改
7	卜特蘭水泥(II型)	9.81E-01	kg	2020	西濱南
8	卜特蘭水泥(II型)	9.64E-01	kg	2019	西濱南
9	飛灰爐石粉(散裝)	4.68E+01	mt	2022	中聯資源
10	飛灰爐石粉(散裝)	4.82E+01	mt	2016	中聯資源

表 3-4 案例工程配比碳排放係數估算表

項次	碳係數名稱	單位	數值	備註
1	卜特蘭水泥(II型)	kg	9.73E-01	平均
2	飛灰爐石粉(散裝)	mt	4.75E+01	平均
3	預拌混凝土(140kgf/cm ² ，飛灰爐石粉替代率 40%)	M3	2.11E+02	
4	預拌混凝土(175kgf/cm ² ，飛灰爐石粉替代率 40%)	M3	2.07E+02	
5	預拌混凝土(210kgf/cm ² ，飛灰爐石粉替代率 40%)	M3	2.34E+02	
6	預拌混凝土(280kgf/cm ² ，飛灰爐石粉替代率 40%)	M3	2.81E+02	
7	預拌混凝土(420kgf/cm ² ，飛灰爐石粉替代率 40%)	M3	4.05E+02	
8	自充填預拌混凝土(350kgf/cm ² ，飛灰爐石粉替代率 40%)	M3	3.16E+02	
9	預拌水中混凝土(315kgf/cm ² ，飛灰爐石粉替代率 40%)	M3	3.17E+02	



3.4.3 其他材料排碳係數彙整表

本研究彙整目前環保署網站資訊及相關文獻後，整理與案例工程類似材料之碳排放係數及來源彙整如下表 3-5 及表 3-6 所示(資料來源包括中鋼查證聲明(2018[35])及東鋼查證聲明(2020[36])、環保署產品碳足跡資訊網網站(2023 查詢[34])、蘇花改碳足跡正式成果報告(中興工程顧問股份有限公司，2021[37])及其報告內引用 Gabi 6.5 資料及楊長益(2022[38])研究引用資料)。

表 3-5 金屬及非金屬材料排碳係數彙整表

類別	項目	規格	係數單位	係數	資料來源
金屬材料	鋼板	2018 年公告	kgCO ₂ e/kg	2.0480	中鋼查證聲明
	熱浸鍍鋅鋼捲		kgCO ₂ e/kg	3.2060	
	型鋼	2019 年公告	kgCO ₂ e/kg	0.9740	東鋼苗栗廠查證聲明
	預力鋼腱	2019 年公告	kgCO ₂ e/kg	2.8500	環保署
	不銹鋼銲接管	2016 公告	kgCO ₂ e/kg	1.7500	環保署
	不鏽鋼(電弧爐製程，SS304)	2013 公告	kgCO ₂ e/kg	2.0100	環保署
	銅線		kgCO ₂ e/kg	3.8240	Gabi 6.5
	銅管		kgCO ₂ e/kg	2.4623	Gabi 6.5
	鋼線		kgCO ₂ e/kg	0.6250	Gabi 6.5
	鋁(擠壓成型材料)		kgCO ₂ e/kg	9.0114	Gabi 6.5
	鋼軌	50N 鋼軌、UIC 鋼軌	kgCO ₂ e/kg	0.9470	楊長益研究
	RSG 導線管	G28(1.90kg/M)	kgCO ₂ e/m	6.0914	中鋼熱浸鍍鋅換算
	RSG 導線管	G42(2.79kg/M)	kgCO ₂ e/m	8.9447	
	RSG 導線管	G54(3.92kg/M)	kgCO ₂ e/m	12.5675	
	RSG 導線管	G82(5.88kg/M)	kgCO ₂ e/m	18.8513	
非金屬材料	HDPE	2015 公告	kgCO ₂ e/kg	2.2500	環保署
	PVC 材質		kgCO ₂ e/kg	2.1303	Gabi 6.5
	PVC 塑膠管	2015 公告	kgCO ₂ e/kg	2.4000	環保署
	交連聚乙烯(XLPE)		kgCO ₂ e/kg	2.7700	Gabi 6.5
	PVC 導線管，E 管	35mm ² (0.608kg/M)	kgCO ₂ e/m	1.4592	Gabi 6.5 PVC 管換算
	PVC 導線管，E 管	52mm ² (1.01kg/M)	kgCO ₂ e/m	2.4240	
	乙烯丙烯橡膠		kgCO ₂ e/kg	2.8900	環保署
	石蠟		kgCO ₂ e/kg	1.3100	環保署
	皂土		kgCO ₂ e/m	0.5215	Gabi 6.5
	油漆		kgCO ₂ e/kg	2.4469	Gabi 6.5



表 3-6 其他材料排碳係數彙整表

類別	項目	規格	係數單位	係數	資料來源
骨材	級配		kgCO ₂ e/kg	0.0344	Gabi 6.5
	砂		kgCO ₂ e/kg	0.0041	Gabi 6.5
電線 電纜	XLPE(PVC)電纜	3.5mm ²	kgCO ₂ e/m	0.6300	蘇花改，億泰
	XLPE(PVC)電纜	5.5mm ²	kgCO ₂ e/m	0.6000	蘇花改，億泰
	XLPE(PVC)電纜	8mm ²	kgCO ₂ e/m	0.4025	蘇花改，大同
	XLPE(PVC)電纜	14mm ²	kgCO ₂ e/m	0.7364	蘇花改，大同
	XLPE(PVC)電纜	22mm ²	kgCO ₂ e/m	1.1047	蘇花改，大同
	XLPE(PVC)電纜	38mm ²	kgCO ₂ e/m	1.8823	蘇花改，宏泰
	XLPE(PVC)電纜	100mm ²	kgCO ₂ e/m	5.3100	蘇花改，億泰
	XLPE(PVC)電纜	3C 5.5mm ²	kgCO ₂ e/m	1.1618	蘇花改，宏泰
	XLPE(PVC)電纜	3C 8mm ²	kgCO ₂ e/m	1.5715	蘇花改，大同
	XLPE(PVC)電纜	3C 14mm ²	kgCO ₂ e/m	2.7266	蘇花改，宏泰
	XLPE(PVC)電纜	3C 22mm ²	kgCO ₂ e/m	3.5000	蘇花改，億泰
	XLPE(PVC)電纜	4C 5.5mm ²	kgCO ₂ e/m	1.5361	蘇花改，宏泰
	XLPE(PVC)電纜	4C 8mm ²	kgCO ₂ e/m	2.2667	蘇花改，宏泰
	XLPE(PVC)電纜	4C 22mm ²	kgCO ₂ e/m	4.6800	蘇花改，億泰
	XLPE 電纜	1/C 100mm ²	kgCO ₂ e/m	5.3100	採同 XLPE(PVC)
	XLPE 電纜	1/C 150mm ²	kgCO ₂ e/m	7.3420	蘇花改，大同
	銅網隔離電纜	12/C 1.25mm ²	kgCO ₂ e/m	1.3400	蘇花改，億泰
	PVC 電纜	3.5mm ²	kgCO ₂ e/m	0.1909	蘇花改，宏泰
廢棄物	運輸	柴油動力垃圾車	kgCO ₂ e/tkm	1.3100	環保署
	焚化	2020 年公告	kgCO ₂ e/kg	0.3600	環保署

3.4.4 運輸及燃料排碳係數

本研究彙整目前環保署網站資訊及相關文獻後，彙整燃料排碳係數表之碳排放係數及來源如下表 3-7 所示。其中環保署產品碳足跡資訊網針對柴油與汽油可分於固定源使用及移動源使用兩種類別，本研究將視機運具為固定式或移動式分別引用不同碳排係數。

表 3-7 燃料排碳係數表

類別	項目	規格	係數單位	係數	資料來源
運輸	全拖車、大貨車	35t	kgCO ₂ e/tkm	0.1400	蘇花改
	全拖車	43t	kgCO ₂ e/tkm	0.0996	蘇花改
	營業用大貨車(柴油)	2022 年公告	kgCO ₂ e/tkm	0.1310	環保署
	營業用小貨車(柴油)	2022 年公告	kgCO ₂ e/tkm	0.5870	環保署
	營業用小貨車(汽油)	2022 年公告	kgCO ₂ e/tkm	0.6830	環保署
	大貨車(傾卸車)		kgCO ₂ e/tkm	0.3330	蘇花改
	大貨車(預拌車)		kgCO ₂ e/tkm	0.5746	蘇花改
	船運	國際海運貨物運輸	kgCO ₂ e/tkm	0.0198	環保署
燃料	柴油	移動源-道路(2019)	kgCO ₂ e/L	3.3800	環保署
		移動源-非道路(2019)	kgCO ₂ e/L	3.6100	環保署
		固定源(2019)	kgCO ₂ e/L	3.3500	環保署
	汽油	移動源(2019)	kgCO ₂ e/L	3.0200	環保署
		固定源(2019)	kgCO ₂ e/L	2.9300	環保署

3.4.5 施工機具排碳係數彙整表

本研究施工機具排碳係數主要引用由行政院公共工程委員會委託研究之『「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」研究案-成果報告減碳規則篇』中之碳排放係數參考表(蔡文豪等, 2012[39])，堆高機能耗則參考台松堆高機股份有限公司網站(2023 查詢[40])資料，CX50 系列柴油堆高機型錄，每年以操作使用 1,500 小時(5 小時/天，25 天/月)，碳排放量為 26,100 kgCO₂e，亦即排碳係數為 26,100/1,500=17.5 kgCO₂e/hr，彙整與本研究有關之施工機具排碳係數如下表 3-8 所示。

表 3-8 施工機具排碳係數彙整表

項目	類別	機具名稱及規格	馬力 (kW)	機具 燃料 耗用率	單位
1	傾卸貨車	傾卸貨車，總重 15t	140~149	13.63	L/hr
2	傾卸貨車	傾卸貨車，總重 21t	200~209	19.27	L/hr
3	傾卸貨車	傾卸貨車，總重 35t	270~279	25.38	L/hr
4	水車	淨載重 8t，總重 15t	140~149	13.63	L/hr
5	吊車	吊車，10~19t	80~89	34.17	L/hr
6	吊車	吊車，20~29t	110~119	47.70	L/hr
7	吊車	吊車，40~49t	170~179	70.35	L/hr
8	鑽掘機	全套管鑽掘機，200~209kw	200~209	34.40	L/hr
9	水泥砂漿	水泥砂漿樁鑽孔機及拌合機	30~39	5.64	L/hr
10	挖土機	挖土機，0.55m ³	89	12.46	L/hr
11	挖土機	挖土機，0.70m ³	128	17.92	L/hr
12	挖土機	抓斗式挖土機，0.55m ³	195	27.30	L/hr
13	清掃機	清掃機	59	8.30	L/hr
14	推土機	D4E，Caterpillar	95	13.30	L/hr
15	壓路機	自走式膠輪壓路機，8.5~20MT	100	12.50	L/hr
16	混凝土	混凝土泵浦車，20~30m ³ /h	270	32.40	L/hr
17	吊車	膠輪式吊車，13.6MT	120	30.00	L/hr
18	吊車	膠輪式吊車，27.2MT	158	39.50	L/hr
19	吊車	膠輪式吊車，45.4MT	238	59.50	L/hr
20	堆高機	KOMATSU CX50		17.40	kgCO ₂ e/hr

3.4.6 人員出勤逸散係數

施工人員出勤逸散產生之碳排放主要分為二大類，分別為廢棄物排放源及化糞池排放源，分述如下：

- 1、廢棄物排放源：廢棄物排放係數引用環保署產品碳足跡資訊網岡山垃圾焚化廠 107 年實際盤查結果：360 kgCO₂e/ton；廢棄物運輸同樣引用環保署產品碳足跡資訊網資料，以 1.31 kgCO₂e/tkm 計算(環境保護署產品碳足跡資訊網網站，



2023 查詢[34])。

2、化糞池排放源：以 $1.59375\text{E-}03/\text{人時} \times 27.9 = 0.0444656 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{人時}$ 計算，說明如下。

- (1) 參考行政院環境保護署事業溫室氣體排放量資訊平台「溫室氣體排放係數管理表 6.0.4 版，2019」[41]，以 $0.003825 \text{ ton}/\text{人-年}(\text{CH}_4 \text{ 排放係數})$ 計算，亦即 $0.003825/(300 \times 8) \text{ kg}/\text{人時}(\text{CH}_4 \text{ 排放係數}) = 1.59375\text{E-}03 \text{ kg}/\text{人時}(\text{CH}_4 \text{ 排放係數})$ 計算總溫室氣體排放。
- (2) 此外，依據聯合國政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)第六次評估報告(2021)溫室氣體 CH_4 的全球暖化潛勢值(Global Warming Potential, GWP) 為 27.9(GWP 是衡量溫室氣體對全球暖化影響的一種手段，是將特定氣體和相同質量二氧化碳比較之下，造成全球暖化的相對能力，二氧化碳的全球暖化潛勢定義為 1。)(行政院環境保護署，2022[28])

3.4.7 施工管理用電

整理環保署產品碳足跡資訊網網站台電各年度之電力碳排係數(行政院環境保護署產品碳足跡資訊網網站，2023 查詢[34])如表 3-9 所示(單位： $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{度}$)。

表 3-9 台電電力排碳係數表

年度	106	107	108	109
電力排碳係數	0.694	0.642	0.601	0.590

3.4.8 施工管理用水

離案例工程最近之淨水場為直潭淨水場，因此，本研究之自來水排碳係數將直接引用環保署產品碳足跡資訊網台北自來水(2020)之碳排係數： $0.0948 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{度}$ (行政院環境保護署產品碳足跡資訊網網站，2023 查詢[34])(此係數為長興淨水場、公館淨水場、雙溪淨水場、陽明淨水場與直潭淨水場之淨水處理平均值)。



第四章 「安心橋」之碳足跡盤查

「安心橋」為目前國內位於新北市新店區正在建造之安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程之跨越新店溪橋梁，因為工程尚在施工中，故所有討論的素材，均為至目前完成部分之實際情況及資料，這些資料及數據，在本論文中經整理分析後，為本論文用以進行學術研究之用，期望能提供給後續其他類似特殊大跨徑橋梁工程進行規劃設計、施工及碳盤查參考。

4.1 工程概述

安坑輕軌運輸系統計畫位於新店區及安坑地區，全線約 7.5 公里，共設置 K1、K3、K4 及 K5 等 4 座平面車站，K2、K6、K7、K8 及 K9 等 5 座高架車站，以及 1 座機廠，路線詳圖 4-1。(安坑輕軌土建契約業主需求書(一)，2016[42])

1、路線：由安泰路與安一路交會處之機廠起，採平面方式沿著安一路中央預留廊帶北行，過和成街口後以高架方式跨越二叭子溪、雙城路及玫瑰路後回復為平面方式，續沿安一路安和支線轉至安和路，改以高架方式沿安和路北行，在跨越國道三號高速公路、五重溪及新北環快高架橋後，於安和路三段水利署新店辦公區轉向東行，隨後跨越新北環河快速道路、新店溪至新店十四張地區，銜接捷運環狀線十四張站(Y7 站)。

2、候車站：於安一路平面段上，分別於和成街口南側設 K1 站，玫瑰路口南側設 K2 站，僑信路口南側設 K3 站，車子路口南北側設 K4 站、安忠路口東側設 K5 站，續沿安一路安和支線轉至安和路，改以高架方式沿安和路北行，於安和路與安康路口北側設 K6 站，台灣麥芽廠舊址附近設 K7 站，於安和路三段水利署新店辦公區設 K8 站，隨後跨越新北環河快速道路、新店溪至新店十四張地區，設置 K9 站與環狀線 Y7 站轉乘。

3、機廠：位於安泰路與安一路交會處北側，採立體化配置，設置包括駐車廠、維修廠、變電站、行政大樓及滯洪池等，整體設施用地約 3.56 公頃。



圖 4-1 安坑輕軌線示意圖(整理自安坑輕軌土建契約業主需求書(一)，2016[42])

本案例工程「安心橋」(詳圖 4-2)為安坑輕軌運輸系統計畫之跨越新店溪路段橋梁，為單塔非對稱斜張桁架複合式軌道橋，採 3 跨連續設計，橋梁全長 502 公尺，跨距配置為 225.0+149.3+127.7(或簡化以 225+150+128 表示)公尺，主梁採用鋼桁架系統，桁高 10 公尺；斜張橋採用 A 型鋼橋塔，高度約 130 公尺，向里程增加方向傾斜 10° ，為國內首座複合式軌道橋，也是目前國內最長跨距軌道橋梁。

「安心橋」造型發想來自「飛鳥展翅戲水的形象轉化為斜張型式，象徵每天能平安順心，往來「安坑新店」」。(新亞建設，2016[43])



圖 4-2 安心橋配置及造型發想示意圖(整理自新亞建設企劃書，2016[43])

4.2 主要施工項目說明

主體工程施工工序為首先施做基樁工程，接續為擋土支撐工程(含施工構台)、地質改良工程，及下部結構工程(包括基礎、墩柱及帽梁)，接著再施作上部結構工程(包括橋塔、主梁及鋼纜)，最後則為軌道工程(電氣工程及金屬護欄工程則屬配合工程)。以下針對「安心橋」較特殊且具特色之工作項目，包括 P9-17 基礎、P9-16 基礎、鋼橋塔吊裝、斜張橋主梁及預力鋼纜安裝施工說明如下。

4.2.1 P9-17 基礎

P9-17 橋墩基礎緊鄰通車營運中之捷運環狀線 P702 橋墩基礎，而 P9-17 基礎開挖深度達 14 公尺，基於保護既有結構物，避免結構開挖時造成影響，除採斜坡明挖降低整體開挖深度、打設擋土設施及架設內支撐外，並於基礎開挖範

圍內開挖完成面下施做地質改良及於鄰環狀線 P702 橋墩基礎側採用設置鋼板樁及以地質改良作業設置遮斷壁，以確保對於鄰近捷運設施之影響在容許範圍內，P9-17 基礎開挖擋土支撐配置平面及斷面圖分別如圖 4-3 所示。

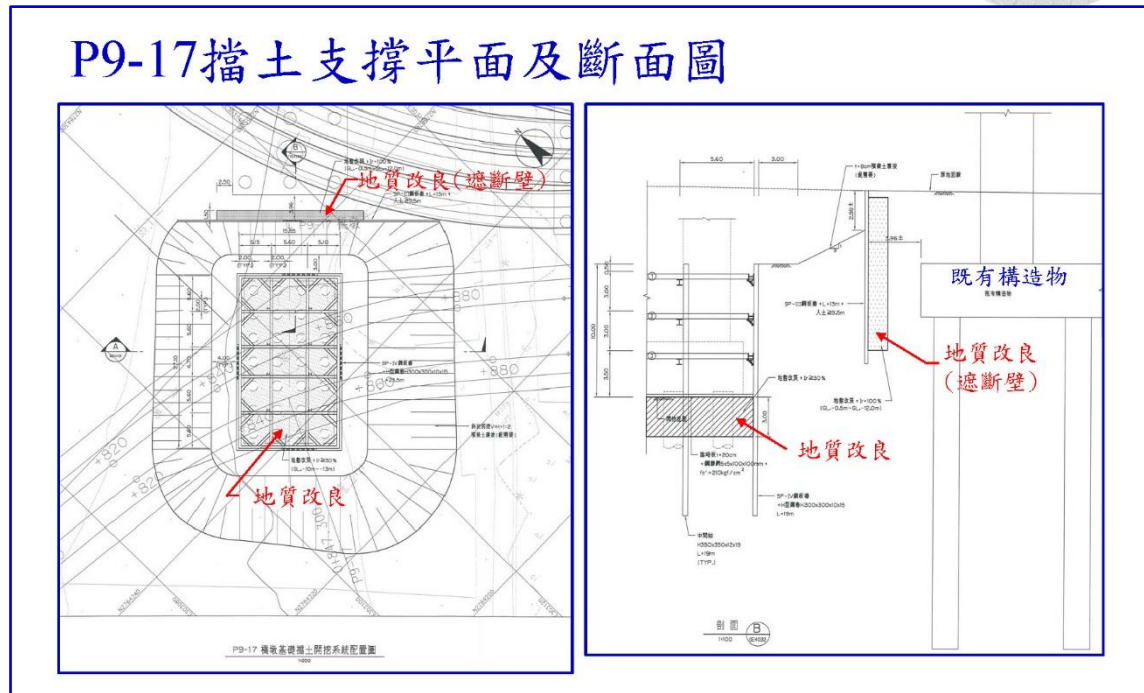


圖 4-3 P9-17 擋土支撐平面及斷面示意圖

4.2.2 P9-16 基礎

P9-16 為安心橋之主橋橋塔基礎，座落位置為緊臨新店溪之高灘地，由於主橋塔鋼構基礎施工需求，在墩柱位置不得設置中間柱，內支撐系統為克服此限制，以大斜撐方式配置；此外，在基礎西北隅處有中油管線通過，管線深度在開挖深度範圍內，為降低本墩開挖作業對中油管線的影響，基礎西北隅以切角方式設計，平行管線並維持離管線約 3 公尺距離，同時於擋土壁體與中油管線間增設一排 9M 鋼板樁，於靠中油管線側的擋土壁體內側施作扶壁，並於基礎開挖範圍內開挖完成面下施做 1.5 公尺厚之地質改良，來抑制壁體變形量，以減低中油管線可能產生之變位(形)，P9-17 基礎開挖擋土支撐配置平面及斷面圖如圖 4-4 所示。

P9-16擋土支撐平面及斷面圖

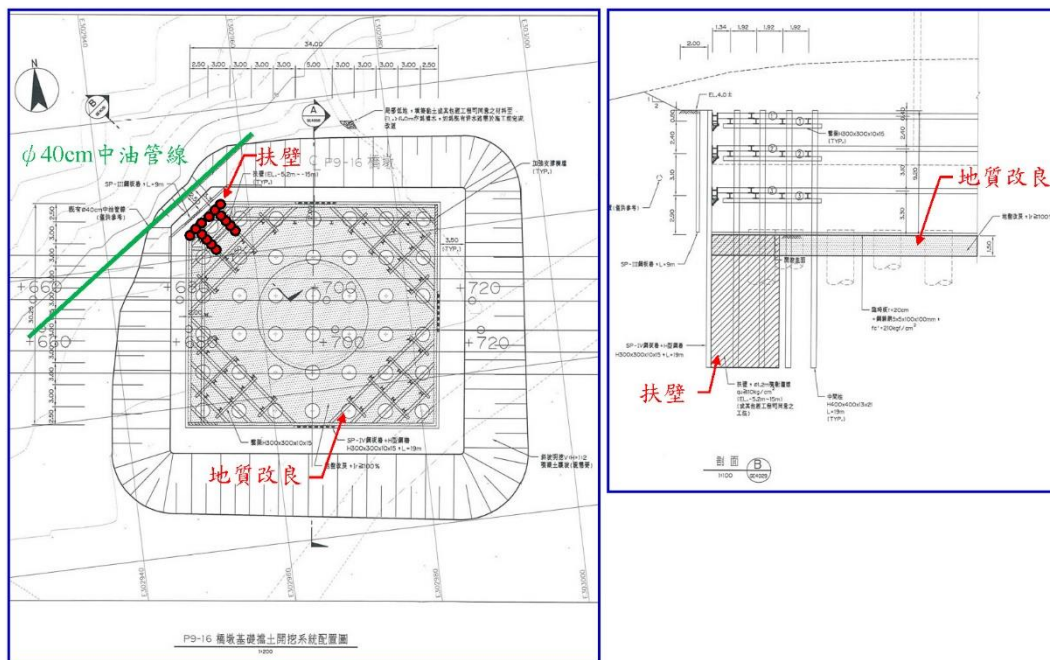


圖 4-4 P9-16 擋土支撐平面及斷面示意圖

此外，為配合基礎、鋼橋塔基礎及固定式塔吊安裝施工需求，P9-16 另設置一處 20 公尺*15 公尺之施工構台，如圖 4-5 所示。



圖 4-5 P9-16 施工構台及 STT3330 固定式塔吊平面圖



4.2.3 鋼橋塔

鋼橋塔構件共分成 17 個單元，依吊裝採用機具設備分成下部結構(第 1~6 單元)及上部結構(第 7~17 單元)，其中下部結構係直接利用移動式吊車站立在施工構台上直接吊裝(詳圖 4-6)(新亞建設，2018[44])，上部結構則採用 STT3330 固定自爬式塔吊，STT3330 作業能力為 1,000M-T，塔節高度為 138.5 公尺(1 補強節(13m)+2 基礎塔節(8.97m)+6 標準補強節(5.98m)+12 標準節(5.98m))，塔吊爬升與橋塔關係詳圖 4-7(新亞建設，2018[45])，前桁架長度為 70 公尺，針對 STT3330 作業半徑及荷重能力與鋼橋塔構件單元重量比較如下：

- 1、最重構件：第 17 個單元，約 140 噸，距離 18 公尺；塔吊作業半徑 20 公尺可吊重 160 噸，可滿足需求。
- 2、最遠構件：第 7 個單元，約 67 噸，距離 30 公尺；塔吊作業半徑 30 公尺可吊重 99 噸，可滿足需求。

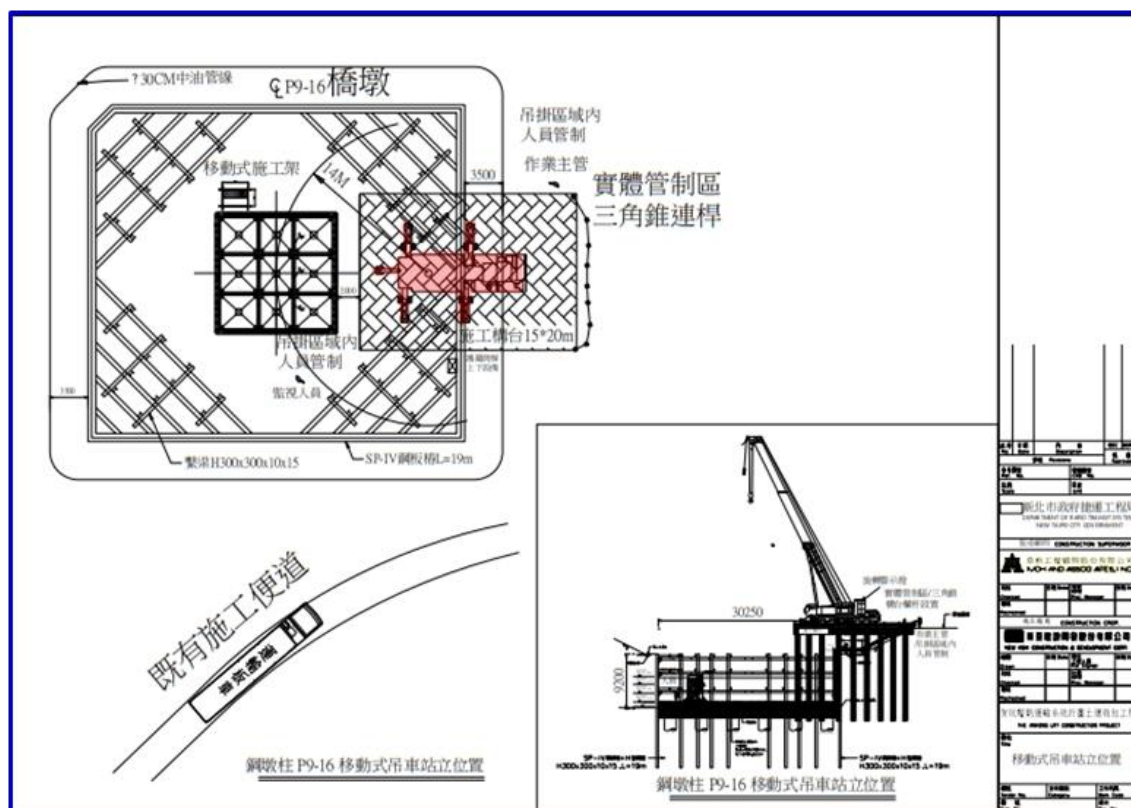


圖 4-6 鋼橋塔下部結構以移動式吊車吊裝示意圖(新亞建設，2018[44])

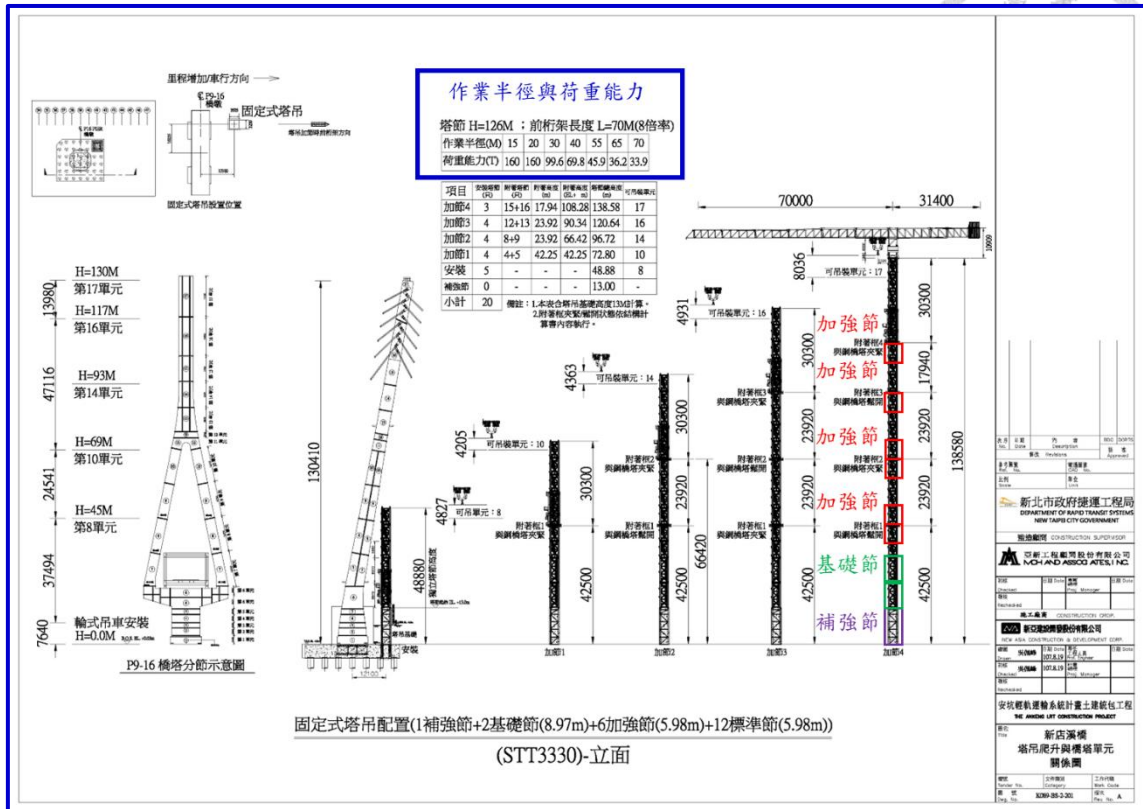


圖 4-7 塔吊爬升與橋塔單元關係圖(新亞建設，2018 [45])

鋼橋塔第 7~17 單元施工步驟如下圖 4-8~圖 4-12(新亞建設，2018[45])所示。

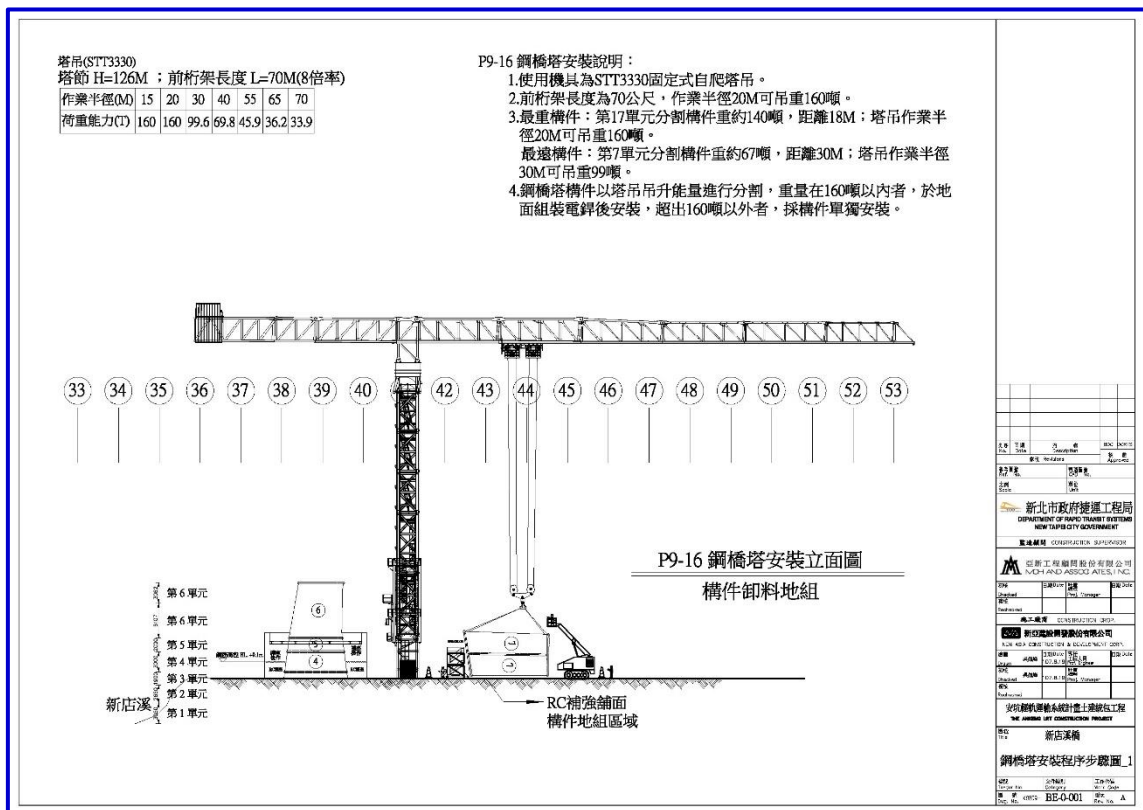
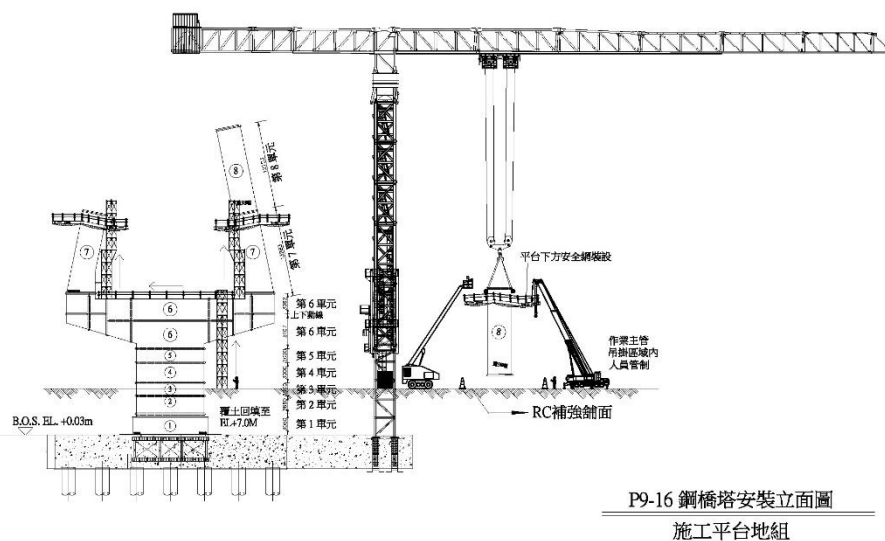


圖 4-8 鋼橋塔上部結構安裝程序步驟 1(新亞建設，2018 [45])

P9-16 鋼橋塔安裝說明：

- 1.使用機具為STT3330固定式自爬吊吊。
- 2.前桁架長度為70公尺，作業半徑20M可吊重160噸。
- 3.最重構件：第17單元分割構件重約140噸，距離18M；塔吊作業半徑20M可吊重160噸。
- 4.最遠構件：第7單元分割構件重約7噸，距離30M；塔吊作業半徑30M可吊重99噸。
- 5.鋼橋塔構件以塔吊吊升能量進行分割，重量在160噸以內者，於地面組裝塔吊後安裝，超出160噸以外者，按構件單臺安裝。



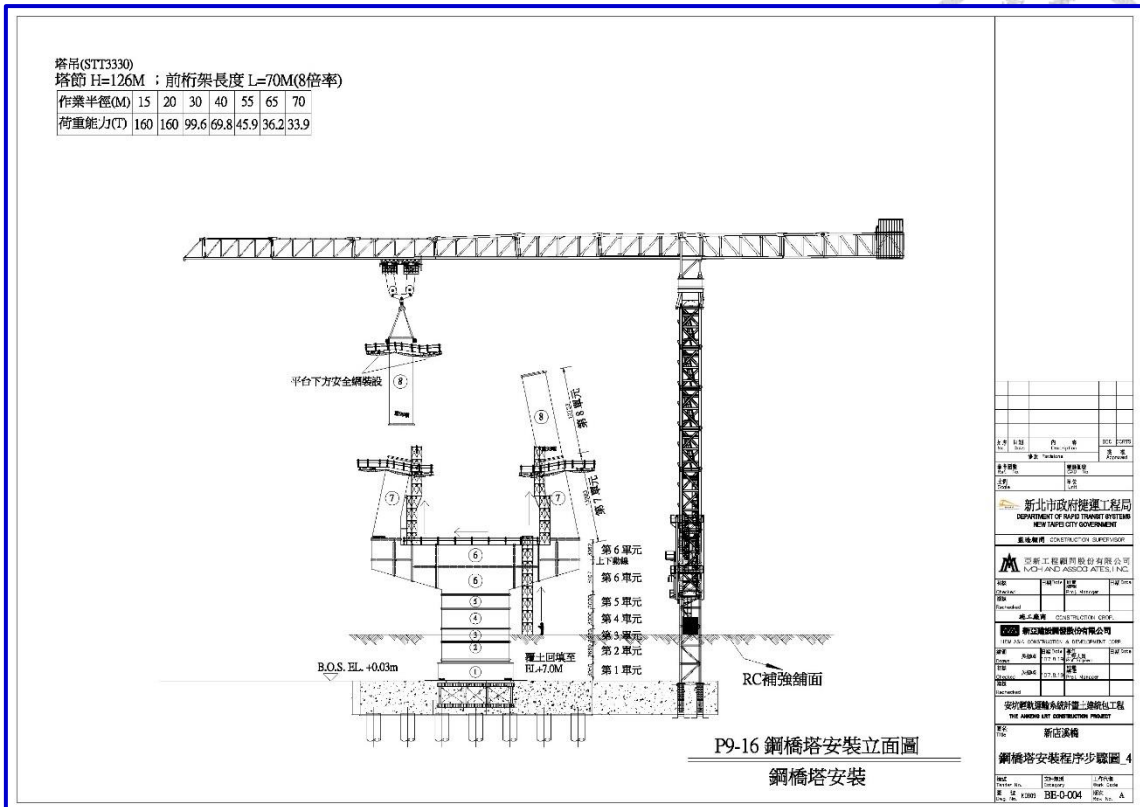


圖 4-11 鋼橋塔上部結構安裝程序步驟 4(新亞建設, 2018 [45])

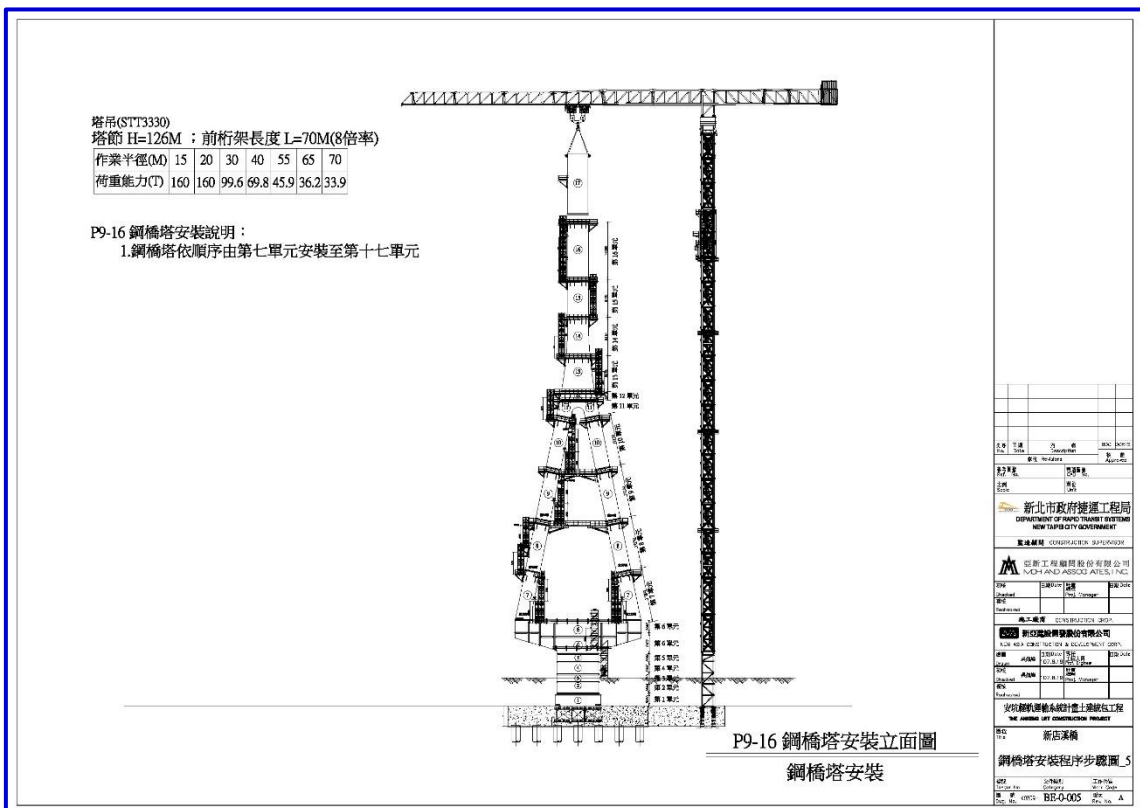


圖 4-12 鋼橋塔上部結構安裝程序步驟 5(新亞建設, 2018 [45])



4.2.4 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜

主梁採用鋼桁架系統，為 3 跨連續，全長 502 公尺，跨距配置為 225+150+127 公尺，鋼纜則為二側各 6 對，施工方式說明如下(新亞建設，2019[46])：

1、鋼桁架橋(跨距 225 公尺)：

- (1) 墩柱位置：P9-15~P9-16。
- (2) 總長 225 公尺、橋寬 15.0 公尺、橋高 10.0 公尺，共計 19 個單元，每個單元再細分為 29 個構件(BOX 箱梁、RH 梁)，以高張力螺栓接合。
- (3) 前 3 單元以 STT3330 塔吊安裝，第 4 單元起以固定式伸臂起重機(型號 FAVCO M380D)進行吊裝；構件於主橋塔旁以送料捲揚機吊放至運輸台車上，再以運輸台車供料給固定式伸臂起重機進行安裝。

2、鋼桁架橋(跨距 150 公尺)：

- (1) 墩柱位置：P9-16~P9-17。
- (2) 總長 150 公尺、橋寬 15.0 公尺、橋高 10.0~18.0 公尺，共計 13 個單元，每個單元再細分為 29 個構件(BOX 箱梁、RH 梁)，以高張力螺栓接合。
- (3) 前 4 單元以塔吊安裝，其它單元則以移動式吊車採就地支撐工法安裝。

3、鋼桁架橋(跨距 127 公尺)：

- (1) 墩柱位置：P9-17~P9-18。
- (2) 總長 150 公尺、橋寬 18.0~22.3 公尺、橋高 10.0 公尺，共計 11 個單元，每個單元再細分為 31 個構件(BOX 箱梁、RH 梁)，以高張力螺栓接合。
- (3) 以移動式吊車採就地支撐工法安裝。

4、預力鋼纜：

- (1) 鋼纜錨碇位置為 P9-16 鋼橋塔，二側各 6 對鋼纜，配合鋼桁橋(225M)及鋼桁橋(150M)單元施工依序安裝並施拉第一階段預力，待所有鋼桁架皆完成安裝且臨時支撐架皆拆除完成後再施拉第二階段預力。

主梁(鋼桁架)及預力鋼纜詳細安裝程序步驟詳圖 4-13~圖 4-24 所示。

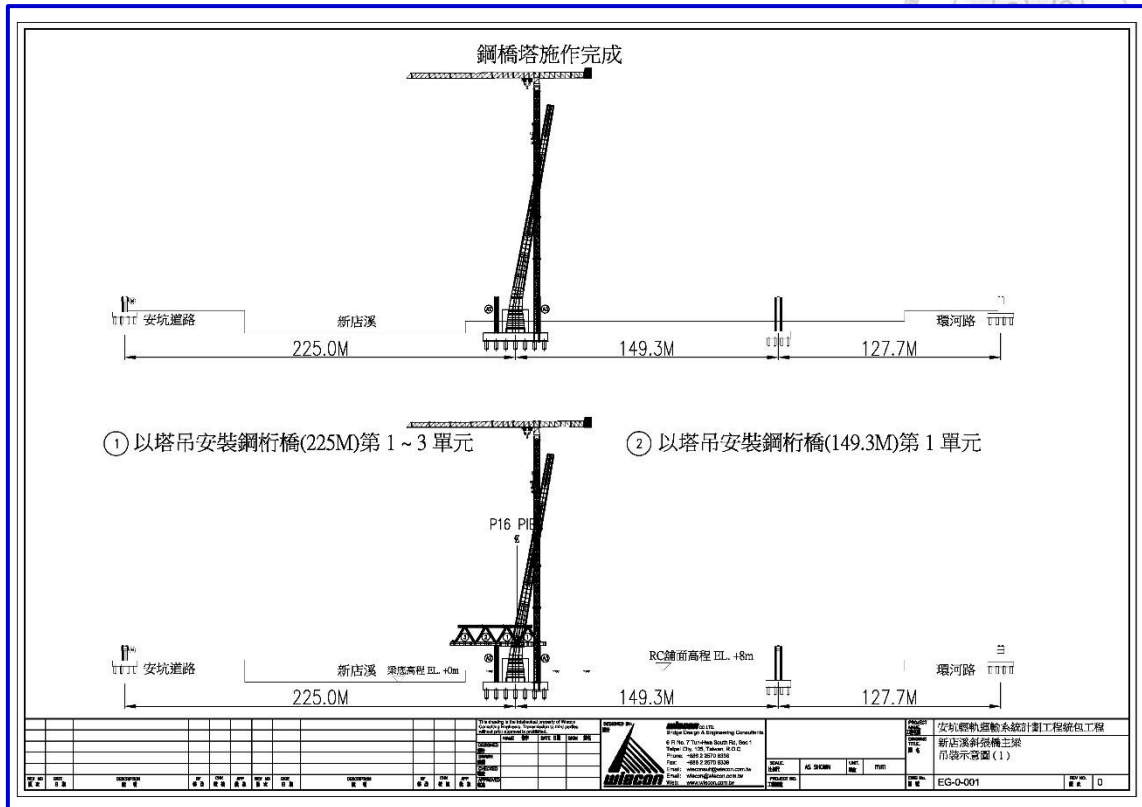


圖 4-13 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 1(新亞建設，2019 [46])

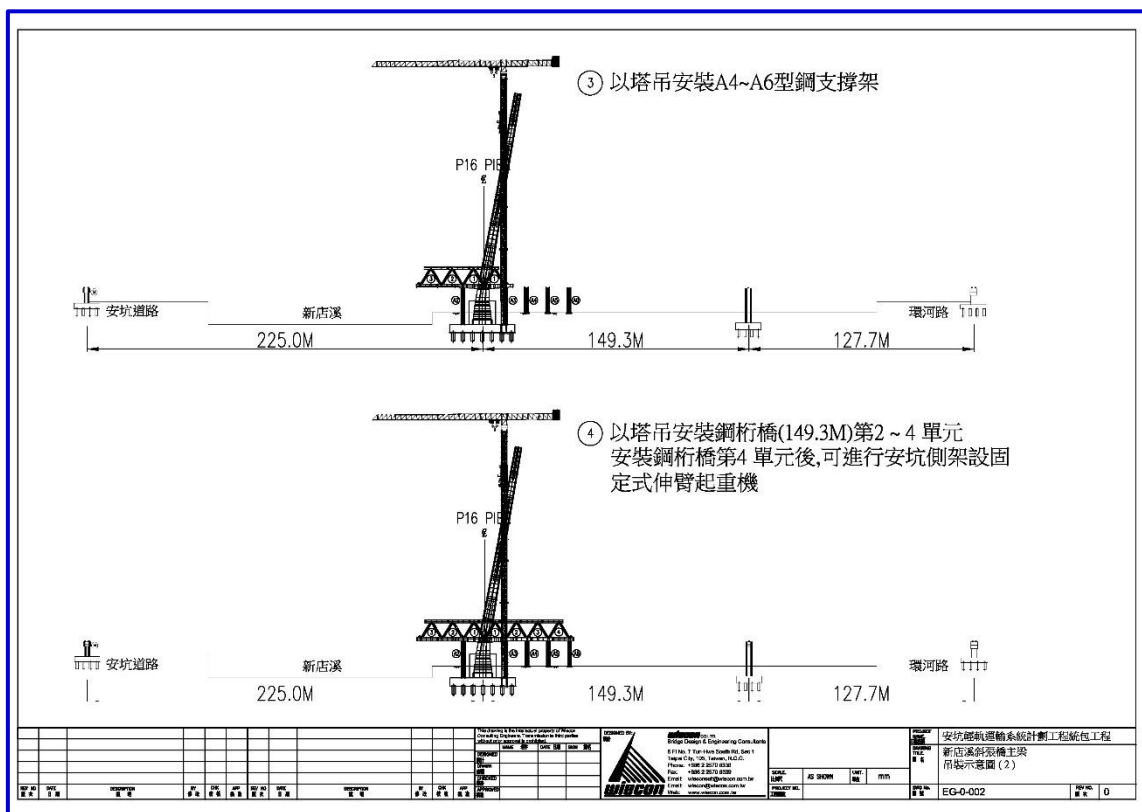


圖 4-14 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 2(新亞建設，2019 [46])

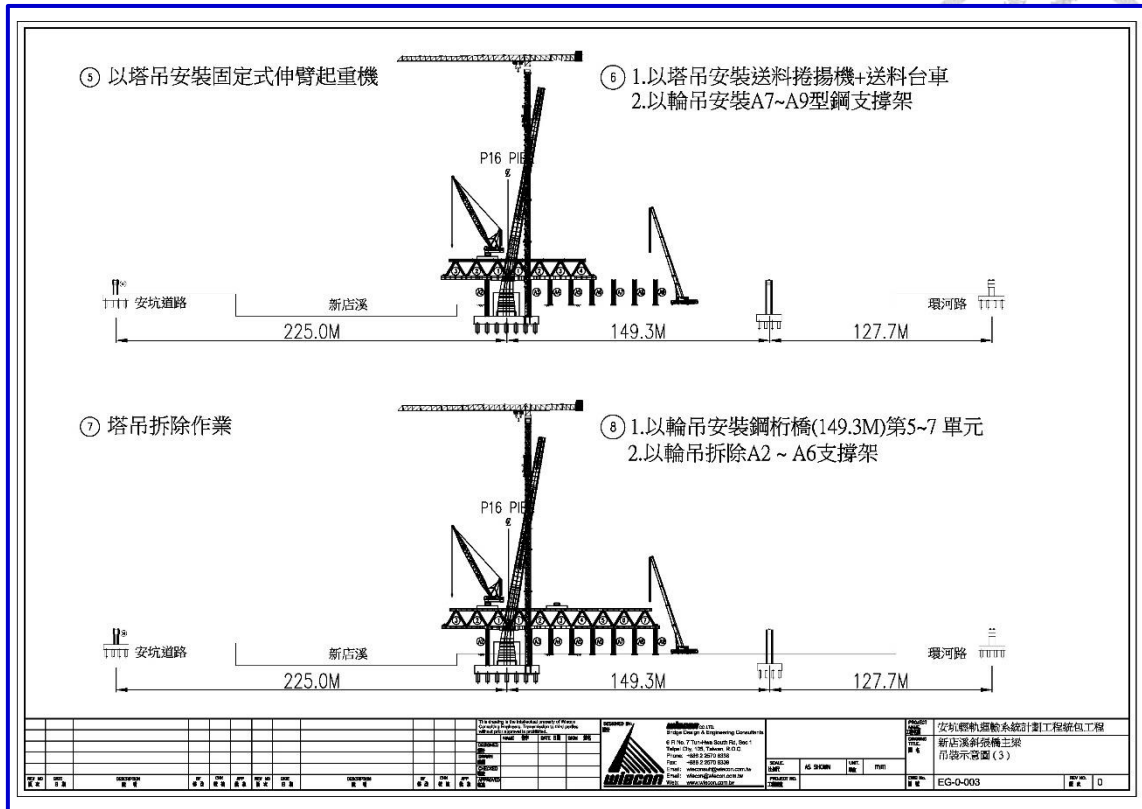


圖 4-15 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 3(新亞建設，2019 [46])

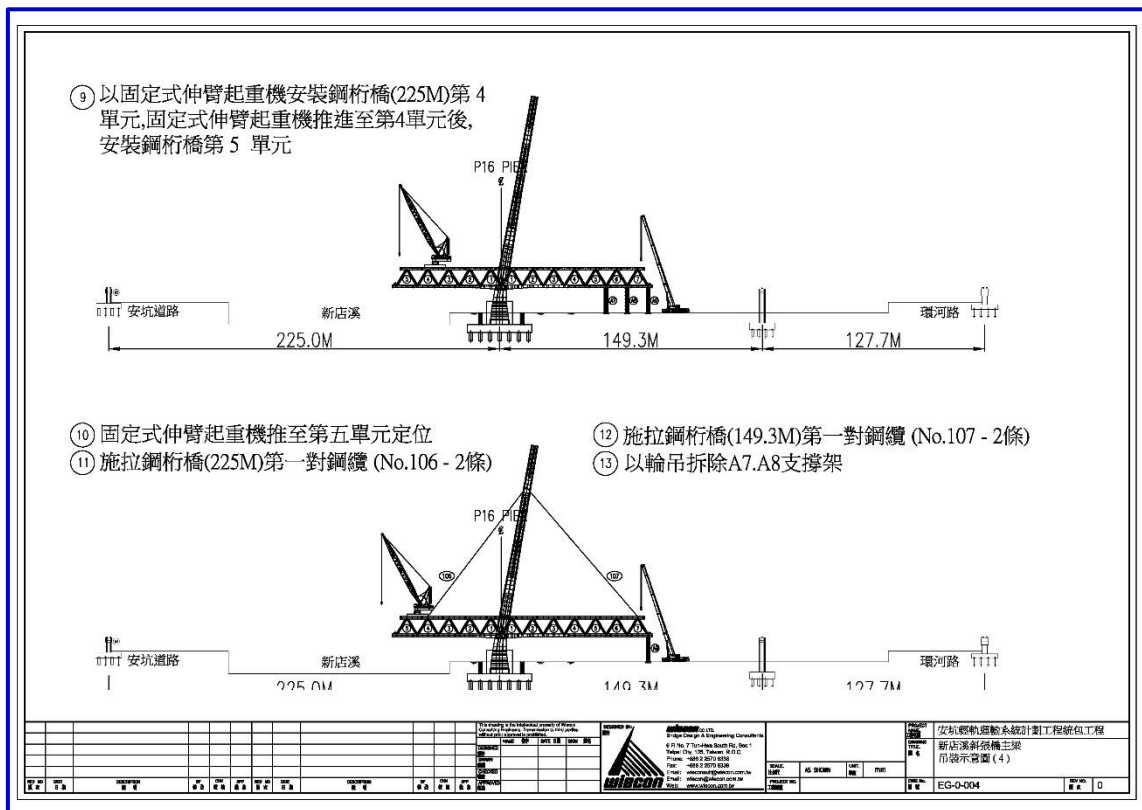


圖 4-16 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 4(新亞建設，2019 [46])

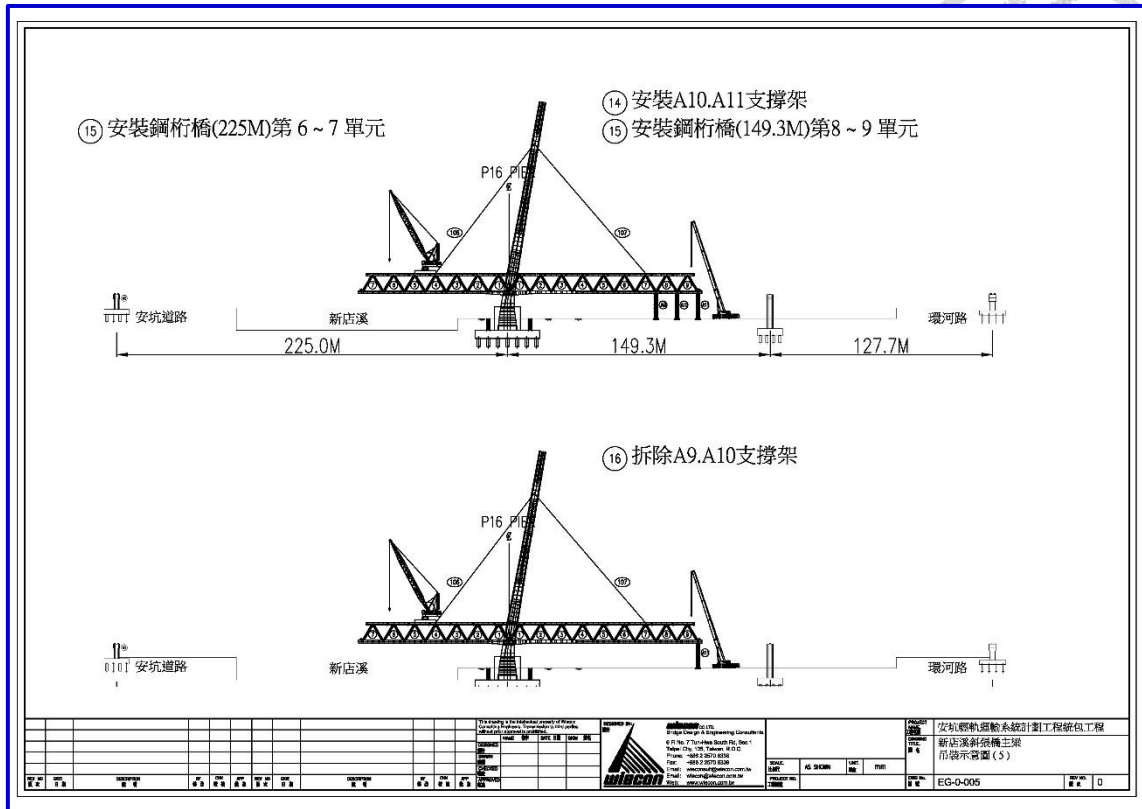


圖 4-17 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 5(新亞建設，2019 [46])

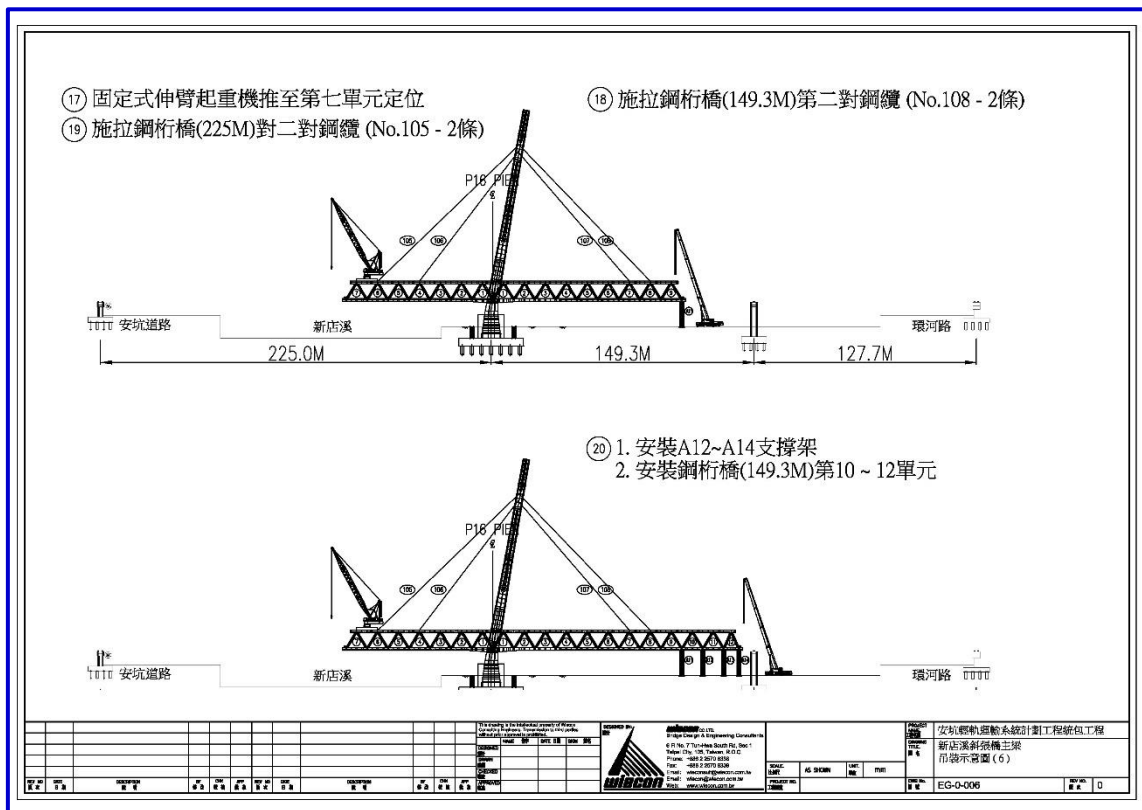


圖 4-18 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 6(新亞建設，2019 [46])

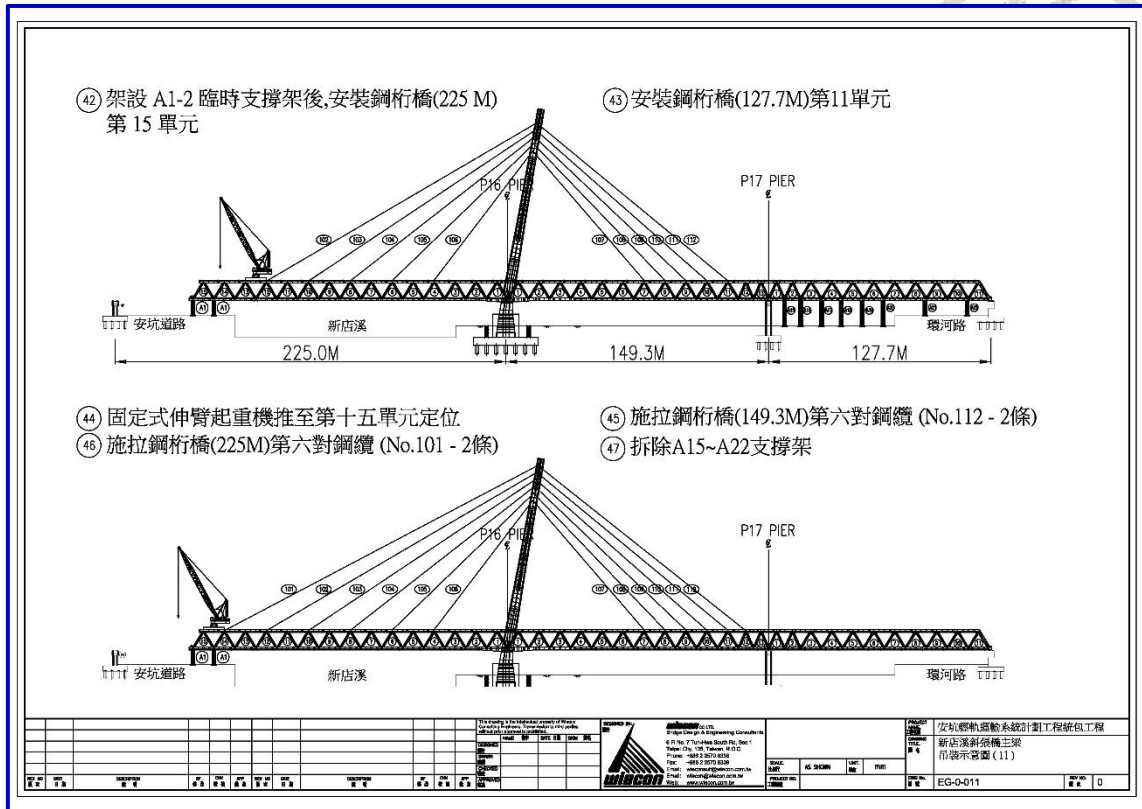


圖 4-23 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 11(新亞建設，2019 [46])

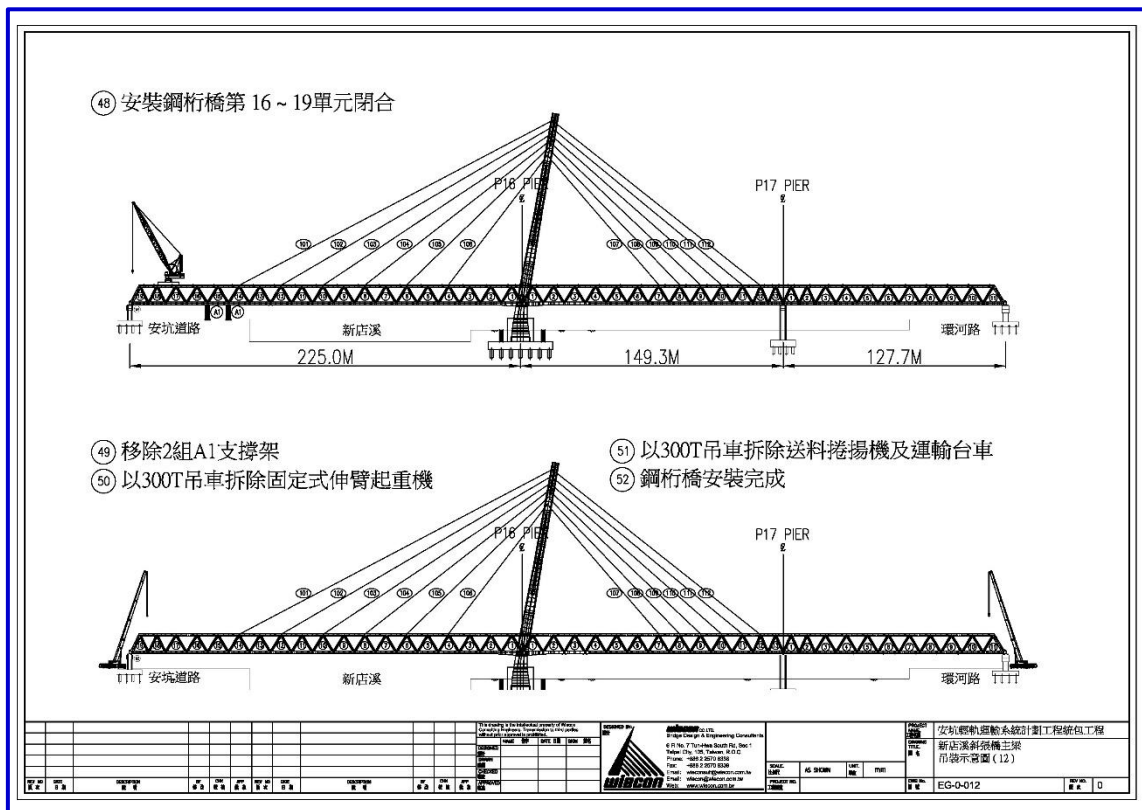


圖 4-24 主梁(鋼桁架)及預力鋼纜程序步驟 12(新亞建設，2019 [46])



4.3 碳足跡計算與分析

碳足跡計算範圍包括工區及非工區，分成「工程主體」及「施工管理」二部分，其中「工程主體」總共可分成基樁工程、擋土支撐工程(含施工構台)、地質改良工程、橋梁下部結構工程、鋼構工程、上部結構工程、軌道工程、電氣工程及金屬欄杆工程等九項分項工程；各分項工程再分別依材料、運輸、直接排放(發電機、機具設備油耗)、外購電力及人員出勤(其中施工人員生活廢棄物因係於工區設置垃圾子車統一處理，故將採合併計算)等五大類計算排碳量；「施工管理」則分成用電、用水、車輛油耗及人員出勤等四類計算排碳量。

4.3.1 基樁工程

「安心橋」為 3 跨連續斜張橋，下部結構工程包含 4 個基礎，分別為 P9-15、P9-16、P9-17 及 P9-18，其中 P9-16 為主橋塔，基樁及基礎所需承受載重最大，依結構計算評估後基樁樁徑設計採 ϕ 2.0 公尺，其餘則採 ϕ 1.5 公尺，P15~P18 基樁樁數及長度分別為 19m*20 支、35m*42 支、25m*28 支、30m*20 支。

此外，為驗證設計之基樁實際承載能力是否與設計值相符，特別規劃於 P9-16 及 P9-17 二處基礎進行基樁載重試驗，基樁工程排碳量計算如下。

4.3.1.1 基樁工程混凝土材料

基樁工程混凝土設計總量為 $8,289.8\text{M}^3$ ，實際澆置數量為 $9,144.5\text{M}^3$ ，超用(損耗)數量為 854.7M^3 ，超用(損耗)百分比為 10.31%，設計數量與實際澆置數量比較表詳表 4-1。此比例相較於過往施工經驗(8%~10%)有偏高現象，經再檢視各墩損耗情形，發現其中以 P9-15 及 P9-17 損耗比例偏高，這二墩基樁設計樁長分別為 19 公尺及 25 公尺，樁長相對其他各墩較短，此樁長差異應為混凝土材料使用量損耗較高主因，因為基樁工程結構混凝土皆設計為水中混凝土，而規範及設計圖皆要求於基礎施工時需敲除之劣質混凝土高度至少為 1.5 公尺；另實務上考量基樁混凝土澆置完成後皆需拔除最後一節全套管，而拔除後混凝土完成面將因混凝土需填補套管拔除後之空隙導致混凝土澆置完成面往下降，此下

降高度會因各墩地質狀況不同而有所差異，通常施工人員為符合設計圖規定及確保混凝土品質皆會多澆置一些，此部分多澆置之混凝土對應較短樁長之基樁混凝土設計量比例，將會因分母較小而相對提高。

預拌混凝土材料由「和昌國際工業股份有限公司」拌合廠供應，地址位於台北市內湖區安康路 111 號，與工地距離約 12.5 公里，考量拌合車自拌合廠載運預拌混凝土材料至工地後，最後一定會回到拌合廠(不會有回頭車狀況發生)，因此由拌合廠至工地往返產生之運輸排碳量皆屬於案例工程。

表 4-1 基樁工程混凝土設計數量與實際澆置數量比較表

項次	結構物 編號	樁徑	樁長	樁數	澆置 數量 (M ³)	設計 數量 (M ³)	超用 數量 (M ³)	超用 百分比 (%)	備註
1	P9-15	φ 1.5m	19.0	20	860.5	724.6	135.9	18.76%	
2	P9-16	φ 2.0m	35.0	42	5,478.5	5,012.5	466.0	9.30%	載重 試驗
3	P9-17	φ 1.5m	25.0	28	1,635.0	1,439.3	195.7	13.59%	載重 試驗
4	P9-18	φ 1.5m	30.0	20	1,170.5	1,113.4	57.1	5.13%	
合計					9,144.5	8,289.8	854.7	10.31%	

基樁工程混凝土整體排碳量：

1、材料：9,144.5*317/1,000=2,898.8 tonCO_{2e}

2、材料運輸：9,144.5*2.339(單位重)*12.5*0.5746*2(往返)/1,000=307.3 tonCO_{2e}

3、小計：2,898.8+307.3=3,206.1 tonCO_{2e}

4.3.1.2 基樁工程鋼筋材料

由於鋼筋材料採分批進場並統一於工地設置之鋼筋場加工後再送至施工現場，因此，各墩實際使用量無法個別計算比較，僅能以總量計算分析。經統計(詳表 4-2)，鋼筋設計總量為 1,147.0T，實際使用數量為 1,207.3T，超用(損耗)數量為 60.3T，超用(損耗)百分比為 5.26%，此超用(損耗)比例與過往施工經驗(5%~8%)相符。

鋼筋材料由「東和鋼鐵股份有限公司」桃園廠供料，地址位於桃園市觀音區保障里 8 鄰草漯 49-6 號，與工地距離約 57.4 公里，運輸載具為 43t 全拖車，考量目前國內鋼筋廠之運輸作業通常採外包方式，而運輸業生態大多會整體考量並儘量安排回頭車，因此回程運輸產生之碳排放量以 0.5 趟計算(即將 50%的回程運輸排碳量分配至本案例工程)。

表 4-2 基樁工程鋼筋設計數量與實際使用數量比較表

壹、基樁施工圖							
項次	結構物編號	樁徑	樁長	樁數	設計數量(T)		使用量(T)
					單支	每墩	
1	P9-15	φ 1.5m	19.0	20	5.26	105.12	
2	P9-16	φ 2.0m	35.0	42	13.28	557.85	
3	P9-17	φ 1.5m	25.0	28	8.77	245.68	
4	P9-18	φ 1.5m	30.0	20	8.20	163.97	
小計一						1,072.6	
貳、其他(同電位鋼筋及載重試驗)							
項次	鋼筋類別	鋼筋 號數	鋼筋 長度	鋼筋 支數	設計數量(T)		使用量(T)
					單樁	墩	
1	P9-15同電位鋼筋	D19	22.0	1	0.05	0.99	
2	P9-16同電位鋼筋	D19	38.0	1	0.09	3.59	
3	P9-17同電位鋼筋	D19	28.0	1	0.06	1.76	
4	P9-18同電位鋼筋	D19	33.0	1	0.07	1.49	
小計二						7.83	
1	P9-16主樁試樁延伸段鋼筋					6.74	
2	P9-16錨樁試樁延伸段鋼筋					21.35	
3	P9-16錨樁向上延伸錨定鋼筋 (每支錨樁36支鋼筋)	D36	9.0	144		10.24	
4	P9-17主樁試樁延伸段鋼筋					7.42	
5	P9-17錨樁試樁延伸段鋼筋					17.06	
6	P9-17錨樁向上延伸錨定鋼筋 (每支錨樁14支鋼筋)	D36	8.5	56		3.76	
小計三						66.57	
合計(小計一~三)						1,147.0	1,207.3

基樁工程鋼筋整體排碳量：

1、材料：1,207.3*0.834=1,006.9 tonCO₂e

2、材料運輸：1,207.3*57.4*0.0996*1.5/1,000=10.4 tonCO₂e



3、小計：1,006.9+10.4=1,017.3 tonCO_{2e}

4.3.1.3 基樁工程施工機具設備運輸

基樁工程施工採用 2 套施工機組，並於工區範圍內設置 1 處鋼筋加工場，實際使用機具設備詳表 4-3 所示。

表 4-3 基樁工程施工機具設備統計表

項次	名稱	單位	數量	說明
1	油壓搖管機(台製凌基 200 型)	組	2	38T(含動力箱)
2	100 噸履帶式吊車(KOBELCO BMS1000)	部	2	107T
3	55 噸履帶式吊車(KOBELCO 7055-3F)	部	1	56.7T
4	PC-200 挖土機(挖斗 0.8M ³)	部	2	20T
5	鋼套管 ϕ 2.0M*55M(每節 6~12M)	組	1	約 139T
6	鋼套管 ϕ 1.5M*55M(每節 6~12M)	組	1	約 105T
7	鐵板(作業場地用)219*2440*20t	塊	30	每片 471kg
小計	$2*38+2*107+1*56.7+2*20+1*139+1*105+30*0.471=644.8T$			
8	取土設備(抓斗、取土桶等)	組	2	7 車 (每車以 15T 估算)
9	150KVA 柴油發電機	部	3	
10	10 英吋特密管*51M	套	2	
11	電焊機	部	10	
12	垂直度超音波檢測儀	部	1	

基樁專業施工廠商工廠位於林口，與工地距離約 35 公里，相關施工機具、設備運輸以 43t 全拖車運輸，運輸產生之碳排放量計：
 $(644.8+7*15)*35*0.0996*1.5/1,000*2(\text{進場及出場})=7.8 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

4.3.1.4 基樁工程用電、機具設備油耗及人員出勤逸散

基樁機組及設備於 106 年 10 月 5 日進場，並於 10 月 12 日開始鋼筋籠加工及製作，惟因施工日誌並未紀載鋼筋籠每日實際完成數量，因此部分資訊係參

考施工計畫及詢問專業廠商得來，鋼筋籠加工以每組鋼筋工班 8 人，每日可生產約 3 支基樁鋼筋籠計算，故加工時間以 37 天計算，各墩基樁實際開始及完成時間(混凝土澆置時間)如下表 4-4 所示，每組基樁機組施工人員為 4 人，通常每墩施工為每日連續施工不休息，僅於移墩時會休息，實際工作天數為 150 天。

表 4-4 基樁工程實際開始及完成時間

項次	墩柱編號	樁數	開始時間	完成時間	工期	備註
1	P9-15	20	107/10/1	107/10/23	23	
2	P9-16	42	106/10/16	106/12/16	62	
3	P9-17	28	106/12/13	107/1/15	34	
4	P9-18	20	108/1/15	108/2/14	31	
合計		110			150	

基樁工程施工機具設備施工油耗排碳量：

- 1、鋼筋籠加工：油耗來源為 50 噸履帶式吊車及 150KW 柴油發電機，參考東元柴油引擎發電機之單位油耗 0.27L/kWh(30~250KW)(中興顧問，2021[47])，油耗排碳量計 $(7*37*34.4*3.61+0.27*150*7*37*3.35)/1,000=67.3 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。
- 2、鑽掘及基樁施工：油耗來源為 100 噸履帶式吊車及 150KW 柴油發電機，油耗排碳量計 $(34.4*7*150*3.61+0.27*150*7*150*3.35)/1,000=272.9 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。
- 3、其他：基樁施工前後基地挖土機整地及基樁鋼筋籠以 35t 拖板車自加工場運送至工地現場，屬每日配合工作，每日平均 1~2 小時，故以每日運轉 1.5 小時估算，排碳量計 $(14.1+25.38)*1.5*150/1,000=8.9 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。
- 4、合計： $67.3+272.9+8.9=349.1 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

施工人員出勤日數計 $8*37+4*150=896$ 天，出勤逸散排碳量計：
 $896*8*0.0444656/1,000=0.3 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

4.3.1.5 基樁工程排碳量合計

整體基樁工程排碳量計：

- 1、材料： $2,898.8+1,006.9=3,905.7 \text{ tonCO}_2\text{e}$



2、材料運輸：307.3+10.4=317.7 tonCO₂e

3、機具設備運輸：7.8 tonCO₂e

4、基樁工程用電、機具設備油耗：349.1 tonCO₂e

5、人員出勤逸散：0.3 tonCO₂e

6、合計：3,905.7+317.7+7.8+349.1+0.3=4,580.6 tonCO₂e。

4.3.2 擋土支撐工程(含施工構台)

「安心橋」墩柱基礎擋土措施採以鋼板樁或 H 型鋼樁搭配內支撐方式施工，其中 P9-16 為配合基礎、鋼橋塔基礎及固定式塔吊安裝施工需求，於施做擋土措施時，同步設置一處 20 公尺*15 公尺(300 平方公尺)之施工構台，實際擋土支撐實際施作數量詳表 4-5 所示。

表 4-5 擋土支撐實際施作數量明細表

項次	項目	單位	結算	重量 (T)	備註
1	SP-IV 鋼板樁 L=19m	M	220.00	795.25	P9-16、P9-17
2	H 型鋼樁 (H300)L=19m	支	268.00	473.56	P9-16、P9-17
3	SP-III 鋼板樁 L=9m	M	111.60	150.66	P9-15、P9-16
4	SP-III 鋼板樁 L=6m	M	31.20	28.08	P9-16
5	中間柱 L=19m(H400*400*13*21)	T	163.40	163.40	P9-16
6	中間柱 L=19m (H350*350*12*19)	T	20.52	20.52	P9-17
7	中間柱 L=9m (H300*300*10*15)	T	5.02	5.02	P9-15
8	中間柱 L=8m (H300*300*10*15)	T	4.46	4.46	P9-18
9	H 型鋼水平支撐(含橫擋、 角撐、水平支撐)	T	591.17	591.17	
10	P9-16 構台 (15m*20m)	M2	300.00	271.58	
11	H 型鋼樁 L=8m (H300*300*10*15，P9-18)	支	96.00	71.42	P9-18
合計				2,575.1	

擋土支撐工程(含施工構台)專業施工廠商工廠位於五股，與工地距離約 24



公里，相關施工材料運輸以 43t 全拖車或大貨車運輸，運輸產生之碳排放量計：

$$(2,575.1 \times 24 \times 0.0996 \times 1.5 / 1,000) \times 2 = 18.5 \text{ tonCO}_2\text{e}。$$

4.3.2.1 擋土支撐工程(含構台)施工機具設備運輸

擋土支撐工程(含施工構台)主要施工機具設備包含 2 部 PC-300 打樁機(30T)、2 部 PC-200 挖土機(20T)、20 片鐵板(每片 471kg)、100KW 發電機*1 部、電焊機*4 部、相關手工具(發電機、電焊機及各類手工具以 15T 一車估算)，及各類吊車及吊卡車(15T)，相關施工機具、設備運輸除吊車及吊卡車外，係以 43t 全拖車或大貨車運輸至工地，相關施工機具設備運輸產生之碳排放量計：

$$((30 \times 2 + 20 \times 2 + 0.471 \times 20 + 15) \times 24 \times 0.0996 \times 1.5 / 1,000) \times 2 = 0.9 \text{ tonCO}_2\text{e}。$$

4.3.2.2 擋土支撐工程(含構台)施工機具設備碳排放及人員出勤逸散

擋土支撐工程(含施工構台)施工機具、設備用油及人員出勤逸散排碳量分別為 356.1 tonCO₂e 及 0.3 tonCO₂e，詳細計算表詳表 4-6。實際擋土支撐工程(含施工構台)施工時間、出工、機具及設備使用統計表詳表 4-7。

表 4-6 擋土支撐工程施工機具設備用油及人員出勤逸散排碳量計算表

項次	工作項目	單位	數量	每日工作時數	機具燃料耗用率(L/hr)	排碳係數	排碳量(T)
一	施工機具、用油						
1	PC-300 打樁機	天	100.0	6.0	17.92	3.61	38.81
2	PC-200 挖土機	天	99.0	6.0	12.46	3.61	26.72
3	45T 吊車	天	80.0	6.0	59.50	3.61	103.10
4	15T 吊卡車	天	164.0	6.0	30.00	3.61	106.57
5	100KVA 發電機	天	149.0	6.0	27.00	3.35	80.86
小計一							356.1
二	人員出勤逸散	工	906.0	8.0		0.0444656	0.3
小計二							0.3



表 4-7 擋土支撐工程(含施工構台)施工時間、出工，機具及設備使用統計表

項次	工作項目	開始 時間	完成 時間	工期	出工 人數	機具、設備				
						打樁機 (PC-300)	挖土機 (PC200)	吊車 (45T)	吊卡車 (15T)	發電機 (100KVA)
一、P15基礎										
1	鋼板樁打設	2018/11/13	2018/11/16	4	4	1	1		1	
2	支撐架設	2018/11/20	2018/11/21	2	5			1	1	1
3	支撐拆除	2018/11/25	2018/11/25	1	5			1	1	
4	鋼板樁拔除	2019/1/14	2019/1/14	1	3	1			1	
小計一				8	34	5	4	3	8	3
二、P16基礎(含擋土支撐及施工構台)										
1	鋼板樁及H型鋼樁打設	2018/1/9	2018/2/11	34	5	1	1		1	1
2	施工構台立柱打設	2018/2/27	2018/3/8	10	5	1	1		1	1
3	1st支撐(含構台)架設	2018/3/25	2018/3/29	5	7			1	1	1
4	2nd支撐(含構台)架設	2018/4/3	2018/4/11	9	7			1	1	1
5	3rd支撐(含構台)架設	2018/4/17	2018/4/23	7	7			1	1	1
6	3rd支撐(含構台)拆除	2018/6/7	2018/6/9	3	7			1	1	1
7	1st&2nd支撐(含構台)1st拆除	2018/6/19	2018/6/20	2	7			1	1	1
8	1st&2nd支撐(含構台)2nd拆除	2018/7/17	2018/7/20	4	7			1	1	1
9	施工構台拆除	2018/8/24	2018/8/26	3	7			1	1	1
10	鋼板樁、H型鋼樁及構台柱拆除	2018/9/1	2018/9/10	10	4	1	1	1	1	1
小計二				87	491	54	54	43	87	87
三、P17基礎										
1	遮斷壁鋼板樁打設	2018/2/1	2018/2/1	1	4	1	1		1	
2	1st鋼板樁及H型鋼樁打設	2018/2/23	2018/2/28	6	6	1	1		1	1
3	2nd鋼板樁及H型鋼樁打設	2018/3/9	2018/3/15	7	6	1	1		1	1
4	3rd鋼板樁及H型鋼樁打設	2018/3/19	2018/3/30	12	6	1	1		1	1
5	1st支撐架設	2018/7/22	2018/7/24	3	6			1	1	1
6	2nd&3rd支撐架設	2018/7/27	2018/8/9	14	6			1	1	1
7	3rd支撐拆除	2018/9/25	2018/9/27	3	6			1	1	1
8	1st&2nd支撐拆除	2018/10/26	2018/10/28	3	6			1	1	1
9	鋼板樁及H型鋼樁拔除	2018/11/17	2018/11/24	8	4	1	1	1	1	1
小計三				57	324	34	34	31	57	56
四、P18基礎										
1	H型鋼樁打設	2019/3/16	2019/3/21	6	4	1	1		1	
2	支撐架設	2019/3/22	2019/3/23	2	5			1	1	1
3	1st襯版施工	2019/3/21	2019/3/21	1	5				1	
4	2nd襯版施工	2019/3/29	2019/3/30	2	5				1	
5	支撐拆除	2019/5/11	2019/5/11	1	5			1	1	1
6	H型鋼樁拔除	2019/5/15	2019/5/15	1	3	1	1			
小計四				13	57	7	7	3	12	3
合計(小計一~四)				165	906	100	99	80	164	149

4.3.2.3 擋土支撐工程(含構台)排碳量合計

整體擋土支撐工程(含施工構台)排碳量計：

1、施工材料運輸：18.5 tonCO₂e

2、施工機具設備運輸：0.9 tonCO₂e



3、施工機具、設備用油：356.1 tonCO₂e

4、人員出勤逸散排碳量：0.3 tonCO₂e

5、合計：375.8 tonCO₂e

4.3.3 地質改良工程

考量 P9-17 基礎緊鄰捷運環狀線基礎、P9-16 緊鄰中油管線及新店溪，基礎開挖前，除設置必要之擋土措施外，另規劃於這二座基礎開挖範圍內基礎開挖完成面下方施做地質改良，並搭配遮斷壁及扶壁工法，以抑制壁體變形量，避免結構開挖時造成危害，實際施作之地質改良數量明細詳表 4-8 所示。

表 4-8 地質改良工程實際施工數量明細表

項次	項目	單位	P9-16	P9-17	合計	備註
1	地質改良 $I_r \geq 100\%$ (EL.-5.2m~-6.7m)	M ³	1,528		1,528	P9-16
2	扶壁 ϕ 1.2m 噴射灌漿 (EL.-5.2m~-15m)	支	14		14	P9-16
3	地質改良 $I_r = 100\%$ (遮斷壁) (GL.-0.5m~-12.0m)	M ³		190	190	P9-17
4	地質改良 $I_r \geq 30\%$ (EL.-4.2m~-7.2m)	M ³		1,090	1,090	P9-17

4.3.3.1 地質改良工程材料及材料運輸

「安心橋」地質改良施工採高壓噴射樁(P9-16 扶壁)及雙環塞工法(P9-17 遮斷壁、P9-16 及 P9-17 基礎底地質改良)二種施工方式，實際灌漿材料配比及灌注數量，分述如下：

1、高壓噴射樁：

(1) 灌漿材料：水泥漿。

(2) 每立方公尺(1,000L)之配比為(水泥 500kg+水 840L)。實際灌注量為
22,842+22,848=45,690L。(詳表 4-9)

表 4-9 P9-16 扶壁 ϕ 1.2m 噴射灌漿實際灌漿數量明細表

樁號	1	2	3	4	5	6	7	小計
日期	107.3.2	107.3.2	107.3.2	107.3.3	107.3.3	107.3.3	107.3.3	
流量	3,270	3,270	3,270	3,270	3,228	3,264	3,270	22,842
樁號	8	9	10	11	12	13	14	小計
日期	107.3.2	107.3.2	107.3.2	107.3.2	107.3.2	107.3.2	107.3.3	
流量	3,270	3,270	3,270	3,240	3,264	3,270	3,264	22,848

2、雙環塞工法：灌漿材料為懸濁型水泥皂土液，每立方公尺(1,000L)之配比為(水泥 399kg+皂土 32kg+水 862L)。

(1) P9-16 基礎底：第 1 階段灌注 445 孔，285,972L；第 2 階段灌注 445 孔，104,844L，合計 390,816L。

(2) P9-17 基礎底：第 1 階段灌注 38 孔，66,121L，第 2 階段 38 孔灌注，35,810L，合計 101,931L。(詳表 4-10 及表 4-11)

(3) P9-17 遮斷壁：16 孔，16,872L。(詳表 4-12)

(4) 合計：390,816+101,931+16,872=509,619L。

表 4-10 P9-17 地質改良第 1 次灌漿數量明細表

樁號	1	2	3	4	5	6	7	小計	
流量	1,892	1,904	1,916	1,904	1,894	1,910	1,894	13,314	
樁號	8	9	10	11	12	13	14	小計	
流量	1,908	1,900	1,892	1,880	1,872	1,884	1,908	13,244	
樁號	15	16	17	18	19	20	21	小計	
流量	1,896	1,892	1,880	1,888	1,878	1,858	1,884	13,176	
樁號	22	23	24	25	26	27	28	小計	
流量	1,890	1,902	1,896	1,882	1,862	1,894	1,884	13,210	
樁號	29	30	31	32	33	34	35	小計	
流量	1,876	1,895	1,844	1,880	1,896	1,912	1,874	13,177	
樁號	36	37	38					小計	合計
流量	1,878	1,890	1,876					5,644	66,121

表 4-11 P9-17 地質改良第 2 次灌漿數量明細表



樁號	1	2	3	4	5	6	7	小計	
流量	954	962	946	960	910	956	940	6,628	
樁號	8	9	10	11	12	13	14	小計	
流量	892	952	942	916	904	912	944	6,462	
樁號	15	16	17	18	19	20	21	小計	
流量	920	948	976	950	972	964	924	6,654	
樁號	22	23	24	25	26	27	28	小計	
流量	950	964	972	908	948	928	956	6,626	
樁號	29	30	31	32	33	34	35	小計	
流量	968	948	964	950	956	960	936	6,682	
樁號	36	37	38					小計	合計
流量	908	940	910					2,758	35,810

表 4-12 P9-17 遮斷壁灌漿數量明細表

樁號	1	2	3	4	5	6	7	8	小計	
流量	924	760	1,028	1,400	808	1,126	870	1,254	8,170	
樁號	9	10	11	12	13	14	15	16	小計	合計
流量	856	928	1,214	828	748	1,312	1,324	1,492	8,702	16,872

材料排碳量計算：

統計上列「安心橋」地盤改良工程(包含 P9-16 扶壁、P9-17 遮斷壁、P9-16 及 P9-17 基礎底地質改良)實際灌漿數量，並依配比計算各材料使用量後，再依材料碳排係數計算排碳量計 239.9 tonCO₂e(詳表 4-13)。

材料運輸排碳量計算：

1、水泥：237.298*90* 0.14/1,000*1.5=4.5 tonCO₂(水泥由晉瑜企業股份有限公司

龍德廠供料，工廠地址位於宜蘭縣冬山鄉，距離工地約 90 公里。)

2、皂土：16.34*18* 0.14/1,000*1.5=0.1 tonCO₂e(皂土由湧泉建材有限公司供料，

工廠地址位於新北市汐止區，距離工地約 18 公里。)

3、合計：4.5+0.1=4.6 tonCO₂e。

表 4-13 地質改良實際使用材料及排碳量計算表

項次	工作項目	數量 (L)	配比(每 1,000L)				備註
				水泥 (kg)	皂土 (kg)	水 (L)	
			地改	399	32	862	
			扶壁	500		840	
1	P9-17 遮斷壁(地改)	16,872		6,732	540	14,544	
2	P9-16 地質改良	390,816		155,936	12,506	336,883	
3	P9-17 地質改良	101,931		40,670	3,262	87,865	
4	P9-16 扶壁	66,121		33,061	0	55,542	
合計				237,298	16,340	496,536	
排碳係數				0.9730	0.5215	0.948E-3	
排碳量小計(kg)				230,891	8,521	471	
排碳量合計(ton)				239.9			

4.3.3.2 地質改良工程機具及設備運輸

地質改良工程主要施工機具詳表 4-14 及表 4-15 所示，專業施工廠商工廠位於新北市土城區，與工地距離約 10 公里。相關施工機具、設備運輸以 35t 全拖車或大貨車運輸(依專業施工廠商表示，大約運了 8 車，每車以 15 噸估算)，運輸產生之碳排放量計： $8 \text{ 車} \times 15 \text{ ton} \times 10 \times 1.5 \times 0.14 / 1,000 \times 2 = 0.5 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

表 4-14 地質改良施工機具設備明細表(一)

項次	品名	性能及規格	單位	數量	備註
一、超高壓噴射樁					
1	超高壓 PUMP	HP-120	組	1	
2	鑽孔機	HC-25 型	台	1	
3	發電機	250KV(DENYO)	台	1	
4	高速水泥拌合機	500L	組	1	
5	二次攪拌筒	500L	組	1	
6	儲水桶	1.8m*1.8m*1.5m	個	1	
7	送漿管		式	1	
8	鋼鑽桿及其零配件		式	1	
9	挖土機	PC-200	台	1	

表 4-15 地質改良施工機具設備明細表(二)

項次	品名	性能及規格	單位	數量	備註
二、雙環塞工法					
1	鑽孔機	S280 型履帶式油壓鑽機	台	2	
2	鑽孔泵浦	NAS-4200L/分	台	1	
2	漿液攪拌機	MVM-5200L	台	1	
3	電磁流量計	0~60L/分	台	1	
4	灌漿泵浦	RSP-100*2N,0~20L/min*2	台	1	
5	藥液製造攪拌機	SLE-3000,3000L/h	台	1	
6	水槽	24M3	套	1	
7	發電機	150KVA	台	1	
8	水中泵浦	φ 50mm	台	1	

4.3.3.3 地質改良工程施工用電、機具設備油耗及人員出勤逸散

地質改良施工機具、設備進場時間為 107 年 3 月 1 日進場，撤場時間則為 107 年 4 月 13 日，期間共施工 38 天，出工人數計 304 工，然因施工日誌並未記載統計施工機具每日運轉時數，故以施工日數每日運轉 7 小時估算碳排放量。

施工用電由 250KV 發電機及 150KV 發電機各 1 台提供，柴油引擎發電機油耗排碳量為 $(250+150)*38*7*0.27*3.35/1000=96.2 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。此外，鑽孔機及挖土機動力來源則為柴油引擎(鑽孔機及挖土機皆屬配合施工機具，非長時間皆處於運轉，每日運轉時數以 4 小時估算，因鑽孔機尚無相關耗油量文獻資料，以同挖土機 14.1L/hr 計算)，排碳量 $=4*14.1*4*38*3.61=30.9 \text{ tonCO}_2\text{e}$ ，合計 127.1 tonCO₂e。

人員出勤逸散排碳量計： $304*8*0.0444656/1000=0.1 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

4.3.3.4 地質改良工程排碳量合計

整體地質改良工程排碳量計：

1、材料：239.9 tonCO₂e



- 2、材料運輸：4.6 tonCO₂e
- 3、施工機具設備運輸：0.5 tonCO₂e
- 4、施工機具、設備用油：127.1 tonCO₂e
- 5、人員出勤逸散排碳量：0.1 tonCO₂e
- 6、合計：239.9+4.6+0.5+127.1+0.1=372.2 tonCO₂e

4.3.4 橋梁下部結構工程

「安心橋」下部結構工程包含 4 個基礎，分別為 P9-15、P9-16、P9-17 及 P9-18，基礎尺寸分別為 P9-15(長 14.25m*寬 18.00m*高 3.00m)、P9-16(長 34.00m*寬 30.25m*高 5.00m)、P9-17(長 14.25m*寬 25.55m*高 4.00m)、P9-18(長 15.00m*寬 18.00m*高 2.50m)，皆為樁基礎，除 P9-16 斜張橋主橋塔採用鋼構外，其餘各墩柱及帽梁皆以鋼筋混凝土設計。

4.3.4.1 橋梁下部結構工程混凝土材料

橋梁下部結構工程混凝土設計總量為 11,998.0M³，實際澆置數量為 12,635.5M³，超用(損耗)數量為 637.5 M³，超用(損耗)百分比為 5.3%，設計數量與實際使用數量比較詳表 4-16，與過往施工經驗整體損耗 2%~3%有明顯過大現象，針對不同強度混凝土超用(損耗)量發生原因分析如下：

- 1、140kg/cm²：過往施工經驗此強度之混凝土僅使用在基礎墊底 PC，由於此部分設計厚度僅 10 公分，且基礎開挖面很難整理至非常平整，故通常損耗率會達到 10%~15%，實際澆置部位除基礎 PC 外尚包括 P9-16 鋼橋塔第 1~5 單元柱內灌漿。經實際統計，實際超用(損耗)量為-221.4M³(-14.9%)，此損耗數量顯示為負數看起來顯不合理，經再查實際澆置紀錄，發現於 107 年 5 月 7 日 P9-16 基礎 PC 澆置之混凝土採用強度 280 kg/cm²之混凝土施工(高於設計等級)，原因為施工廠商考量因 P9-16 位處新店溪旁，開挖深且開挖完成面無法完全將地下水排除，加上 P9-16 為安心橋要徑工作項目，為爭取時間，才



以較高等級之混凝土施工，該次實際澆置數量為 188M^3 若將此數量納入計算實則超用(損耗)量為 -33.4M^3 ，另外鋼橋塔第 1~5 單元柱內灌漿設計量達 $1,190\text{M}^3$ ，然此部分混凝土設計量並未扣除鋼板體積，此鋼板體積即為前述負值之超用(損耗)量發生原因。

2、 $280\text{kg}/\text{cm}^2$ ：澆置部位為基礎，過往案例基礎施工時皆須組立基礎模板，且混凝土設計量計算並未扣除鋼筋體積，故過往經驗基礎混凝土實際施工之損耗應可控制在 2%。然經實際統計之超用(損耗)量為 $839.5\text{M}^3(9.3\%)$ ，即時扣除前述 P9-16 PC 澆置數量 188M^3 ，超用(損耗)量仍高達為 $651.5\text{M}^3(7.2\%)$ ，造成此超用(損耗)量主因為施工廠商自身基於整體考量的結果。原因係下部結構施工時將擋土設施緊貼基礎邊界打設，如此即無須再施作基礎模板及後續之基礎回填作業，然擋土設施無論採 H 型鋼樁或鋼板樁，為避免因施工過程偏差或土壓力造成擋土設施些許變形造成入侵結構範圍，施作擋土設施會預留大約 30~40 公分的安全範圍，才造成實際基礎混凝土超用(損耗)量較大的原因。

3、 $350\text{ kg}/\text{cm}^2$ 自充填：澆置部位為墩柱及帽梁，此部位採用鋼模施工，精準度高且較沒有漏漿問題，依過往實際經驗，損耗應可控制在 2%(此損耗通常來自澆置次數多，且每次澆置數量少所致)。經實際統計後之超用(損耗)量為 $13.1\text{M}^3(0.9\%)$ ，略優於過往經驗。

4、 $420\text{kg}/\text{cm}^2$ ：澆置部位為帽梁頂部之支承墊，此部分設計澆置數量都很小，每處數量通常未達 1M^3 ，故較難歸納出一定之損耗率，本案實際設計量僅 3.1M^3 ，實際使用量為 9.5M^3 ，其中 P9-15 支承墊澆置過程發生拌合車到工地現場後，混凝土壓送車臨時故障無法施工，致當時有 2.5M^3 之混凝土因超過規定時間致無法使用，扣除這個非正常損耗數量後，實際使用量為 7M^3 ，超用量(損耗)為 $3.9\text{M}^3(125.1\%)$ ，不過因為此部分混凝土數量太小，故超用(損耗)百分不具代表意義。

表 4-16 下部結構工程混凝土設計數量與實際使用數量比較表

項次	項目	單位	設計量	使用量	超用(損耗)	
			合計		數量	百分比
1	140kgf/cm ² 混凝土	M ³	1,481.4	1,260.0	-221.4	-14.9%
2	280kgf/cm ² 混凝土	M ³	9,045.5	9,885.0	839.5	9.3%
3	350kgf/cm ² 自充填混凝土	M ³	1,467.9	1,481.0	13.1	0.9%
4	420kgf/cm ² 混凝土	M ³	3.1	9.5	6.4	205.5%
合計			11,998.0	12,635.5	637.5	5.3%

下部結構工程混凝土整體排碳量：

1、材料： $(1,260 \times 193 + 9,885 \times 269 + 1,481 \times 325 + 9.5 \times 439) / 1,000 = 3,387.7 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

2、材料運輸：

$(1,260 \times 2.33 + 9,885 \times 2.355 + 1,481 \times 2.356 + 9.5 \times 2.347) \times 12.5 (\text{排碳係數}) \times 0.5746 \times 2 (\text{往返}) / 1,000 = 427.0 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

3、小計： $3,387.7 + 427 = 3,814.7 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

4.3.4.2 橋梁下部結構工程鋼筋材料

橋梁下部結構工程鋼筋設計總量為 1,444.9T，實際使用數量為 1,531.5T，超用(損耗)數量為 86.6T，超用(損耗)百分比為 6.0%，詳表 4-17，此超用(損耗)比例符合過往施工經驗(5%~8%)區間。

表 4-17 下部結構工程鋼筋設計數量與實際使用數量比較表

項次	項目	單位	設計量					使用量	超用(損耗)	
			P9-15	P9-16	P9-17	P9-18	合計		數量	百分比
1	鋼筋 SD420W	T	143.4	716.3	460.2	125.0	1,444.9	1,531.5	86.6	6.0%

下部結構工程鋼筋整體排碳量：

1、材料： $1,531.5 \times 0.834 = 1,277.3 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

2、材料運輸： $1,531.5 \times 57.4 \times 0.0996 \times 1.5 / 1,000 = 13.1 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

3、小計： $1,277.3 + 13.1 = 1,290.4 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。



4.3.4.3 橋梁下部結構工程機具及設備運輸

橋梁下部結構工程主要施工機具及設備包括 100KVA 柴油發電機*1 部、電焊機*3 部、彎筋機*2 部、鋼筋裁切機*1 部、PC-300 挖土機*1 部、壓路機*1 台、基礎鋼模*1 套、墩柱鋼模*2 套、15T 吊卡車*1 部及配合現場作業以外租方式之 25T~60T 吊車及泵浦車。其中除 PC-300 挖土機、壓路機、基礎鋼模及墩柱鋼模係以板車運至工地外(以 8 車, 平均 20T/車估算), 專業施工廠商公司位於桃園青埔, 距工地約 44 公里, 其他小型設備及手工具為配合現場施工進度, 陸續以吊卡車載運至工地, 因吊卡車油耗排碳量將另外計算, 故此部分之運輸不另計算。

機具及設備運輸排碳量計: $8*20*44*0.0996*1.5/1,000*2=2.1 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

4.3.4.4 橋梁下部結構工程施工用電、機具設備油耗及人員出勤逸散

施工機具設備(不含土方外運卡車)油耗排碳量計 361.2 tonCO₂e(詳表 4-18)。

表 4-18 下部結構施工機具設備統計及排碳量計算表

項次	單位	數量	每日運作時數	燃料耗用率 L/hr	係數單位 kgCO ₂ e/L	排碳量 T	備註
挖土機(PC200)	天	105	6	17.92	3.6100	40.8	
挖土機(PC100)	天	108	6	12.46	3.6100	29.1	
吊車(25T)	天	179	6	39.50	3.3800	143.4	
吊卡車(15T)	天	27	6	30.00	3.3800	16.4	
泵浦車	天	36	6	34.62	3.3500	25.1	
土車	天	81	6	25.38	3.3800	41.7	內運
推土機	天	22	6	13.30	3.6100	6.3	
壓路機	天	18	6	12.50	3.6100	4.9	
鏟裝機	天	2	6	8.30	3.6100	0.4	
高空車	天	25	6	12.46	3.6100	6.7	
水車	天	5	6	13.63	3.3800	1.4	
發電機(45KVA)	時	199	6	11.25	3.3500	45.0	
小計						361.2	



除上表相關施工機具設備外，本案例工程之施工剩餘土石方係利用 35t 砂石車運輸至台北港供台北港回填使用(台北商港物流倉儲區填海造地計畫第二期造地工程，非屬案例工程工作範圍)，運距約 34.9 公里。實際運至台北港之土石方依實際與專業施工廠商結算數量計：33,441M³(自然方)，另依據案例工程地質調查工作成果報告書(新亞建設，2016[48])，地質鑽孔編號 BP-64(P9-16 位置)樣號 S-1、S-2~S-6(地下 1.85 至地下 9.00)之土壤單位重分別為 2.03、2.23、2.31、2.38 及 2.07t/M³，以平均約 2.20t/M³ 計算，餘土遠運台北港之車輛運輸排碳量計： $33,441 \times 2.20 \times 34.9 \times 0.14 / 1,000 \times 2 = 718.9 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

人員出勤逸散排碳量計： $2,506 \times 8 \times 0.0444656 / 1000 = 0.9 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

4.3.4.5 橋梁下部結構工程排碳量合計

整體橋梁下部結構工程排碳量計：

- 1、材料： $3,387.7 + 1,277.3 = 4,665 \text{ tonCO}_2\text{e}$
- 2、施工材料運輸： $427 + 13.1 = 440.1 \text{ tonCO}_2\text{e}$
- 3、施工機具設備運輸： $2.1 \text{ tonCO}_2\text{e}$
- 4、施工機具、設備用油： $361.2 + 718.9 = 1,080.1 \text{ tonCO}_2\text{e}$
- 5、人員出勤逸散排碳量： $0.9 \text{ tonCO}_2\text{e}$
- 6、合計： $4,665 + 440.1 + 2.1 + 1,080.1 + 0.9 = 6,188.2 \text{ tonCO}_2\text{e}$



4.3.5 鋼構工程

4.3.5.1 鋼橋塔材料及材料運輸

鋼橋塔設計規劃共分為 17 個單元，相關工作由專業施工廠商「長榮鋼鐵股份有限公司」承作，各單元構件皆於該公司鋼構事業本部新營廠(台南市鹽水區八德路 66 號)加工製造後，再運送至工地進行安裝作業，因長榮鋼鐵鋼構廠目前尚未曾辦理過碳盤查作業，因此，鋼材於鋼構廠加工之碳排放量未納入計算，僅計算材料之碳排放量，排碳量計：6,978.6tonCO₂e(實際完成數量統計及碳排放計算表詳表 4-19 所示)。

表 4-19 鋼橋塔工程完成數量統計及碳排放計算表

項次	項目及說明	單位	合計	排碳係數 kgCO ₂ e/kg	排碳量 T	備註
1	鋼橋塔，ASTM A36	T	18.3	2.048	37.5	
2	鋼橋塔，ASTM A709 Gr.50	T	1,440.7	2.048	2,950.6	
3	鋼橋塔，SBHS500	T	1,711.9	2.048	3,506.0	
4	鋼橋塔油漆	T	69.3	2.447	169.6	15,260gal(4 批)， 重量 1.2kg/L
5	熱浸鍍鋅處理(橋塔欄杆平台)	T	9.4	3.206	30.1	
6	橋塔欄杆平台-25x3 鍍鋅格柵板	T	2.9	3.206	9.3	
7	強力螺栓，ASTM A490	T	69.9	2.048	143.2	
8	錨定螺栓，JIS G4051 S45C(N)	T	63.7	2.048	130.5	
9	螺栓，A325	T	0.9	2.048	1.8	
合計			3,387.0		6,978.6	

鋼橋塔各單元構件於鋼構廠加工製造後，再以 43t 板車運輸送抵工地，運距約 267 公里，相關材料運輸排碳量計： $3,387 \times 267 \times 0.0996 \times 1.5 / 1,000 = 135.1 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。



4.3.5.2 鋼桁架橋材料及材料運輸

為有效管理現場安裝、鋼構廠備料及假組立需求，將鋼桁架橋分為 A 區~F 區，共 6 區、43 單元(詳圖 4-25)。

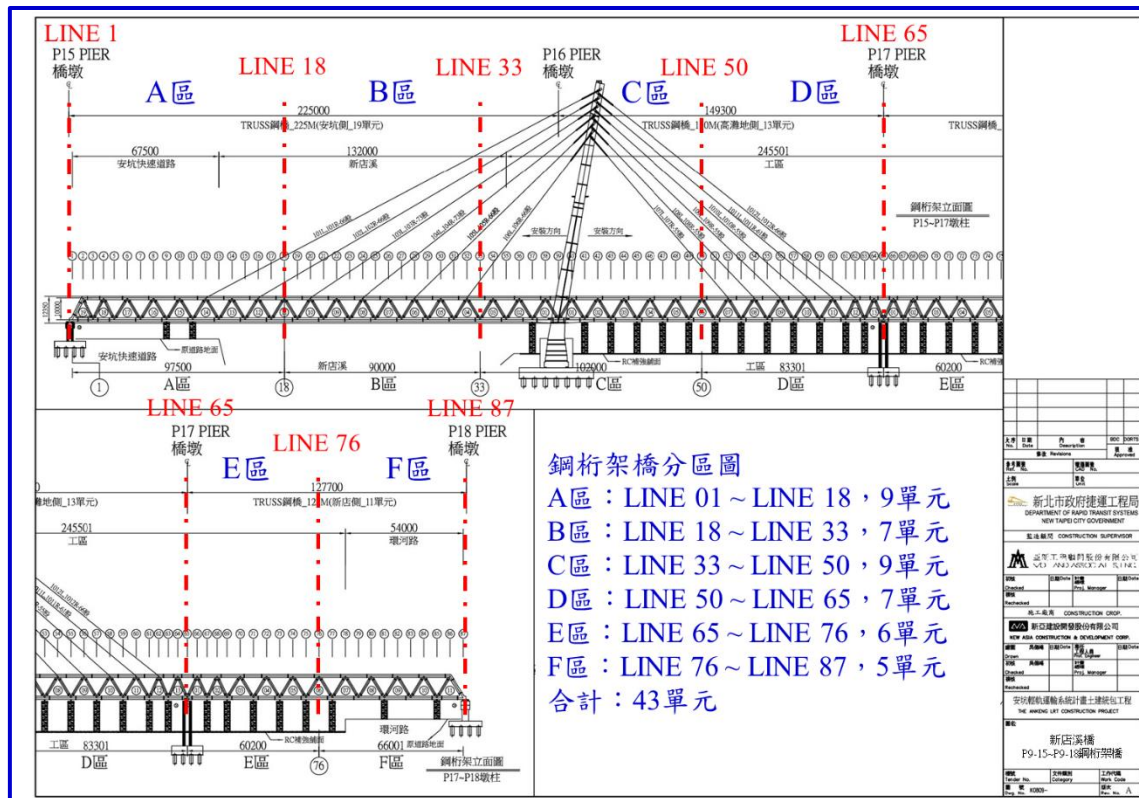


圖 4-25 鋼桁架橋分區圖

其中除盤式支承材料供應商工廠位於彰化縣伸港鄉外(運距約 165 公里)，其他鋼桁架橋各單元構件與鋼橋塔同樣於長榮鋼鐵鋼構事業本部新營廠加工製造後，再運至工地，相關材料及材料運輸排碳量計算如下：

1、盤式支承：(盤式支承統計及碳排放計算詳表 4-20)

- (1) 材料：126.5 tonCO₂e。
- (2) 材料運輸： $36.9 \times 165 \times 0.0996 \times 1.5 / 1,000 = 0.9$ tonCO₂e。
- (3) 合計：126.5+0.9=127.4 tonCO₂e。

2、鋼桁架構件：(鋼桁架工程數量統計及排碳量計算詳表 4-21)

- (1) 材料：17,339.8 tonCO₂e。
- (2) 材料運輸： $8,468.2 \times 267 \times 0.0996 \times 1.5 / 1,000 = 337.8$ tonCO₂e

(3) 合計：17,339.8+337.8=17,677.6tonCO₂e。

表 4-20 盤式支承統計及碳排放計算表

項次	工作項目	單位	數量	組成	單位重量 (kg/組)	產品重量 (kg/組)	產品 總重 T	排碳係數 kgCO ₂ e/kg	產品 排碳量 kgCO ₂ e/組	排碳量 T
1	盤式支承，雙向活動， V=1200tf，(P9-15)	組	2	橡膠	37.8	940.7	1.9	2.890	3,234.3	6.5
				A709 Gr.50	903.0			3.461		
2	盤式支承，雙向活動， V=1200tf，(P9-16)	組	4	橡膠	33.3	760.6	3.0	2.890	2,613.4	10.5
				A709 Gr.50	727.3			3.461		
3	盤式支承，雙向活動， V=1500tf，(P9-17)	組	1	橡膠	49.6	1,231.6	1.2	2.890	4,234.1	4.2
				A709 Gr.50	1,181.9			3.461		
4	盤式支承，雙向活動， V=2000tf，(P9-16)	組	2	橡膠	70.8	1,445.1	2.9	2.890	4,961.2	9.9
				A709 Gr.50	1,374.3			3.461		
5	盤式支承，雙向活動， V=2000tf，(P9-18)	組	2	橡膠	70.8	2,038.1	4.1	2.890	7,013.3	14.0
				A709 Gr.50	1,967.2			3.461		
6	盤式支承，雙向活動， V=2600tf，(P9-17)	組	1	橡膠	117.6	2,574.2	2.6	2.890	8,842.0	8.8
				A709 Gr.50	2,456.5			3.461		
7	盤式支承，雙向活動， V=5000tf，(P9-16)	組	4	橡膠	279.7	5,289.2	21.2	2.890	18,146.1	72.6
				A709 Gr.50	5,009.5			3.461		
合計							36.9			126.5
備註	1、盤式支承主體外露面以鋅金屬熔射防蝕處理，排碳係數以中鋼盤查(電鍍鋅鋼捲：3.461估算)									
	2、盤式支承本體以外如螺栓、防塵罩、游標尺等因量體過小，未納入計算。									

表 4-21 鋼桁架工程數量統計及排碳量計算表

項次	工作項目	單位	合計	排碳係數 kgCO ₂ e/kg	排碳量 T	備註
1	鋼構 A709 Gr.36	T	36.0	2.048	73.7	
2	鋼構 A709 Gr.50	T	6,689.7	2.048	13,700.5	
3	鋼構 SBHS500	T	1,427.0	2.048	2,922.6	
4	油漆	T				數量已併入橋塔
5	強力螺栓 A325 TYPEIII	T	245.7	2.048	503.2	
6	強力螺栓 A490 TYPEIII	T	67.5	2.048	138.2	
7	普通螺栓 A307	T	0.8	2.048	1.6	
8	剪力釘(D=19mm， L=160mm)	T	1.6	0.729	0.0	4,360 支， 0.356kg/支
合計			8,468.2		17,339.8	



4.3.5.3 預力系統材料及材料運輸

「安心橋」採外置預力系統，鋼纜配置為主橋塔左右側各 12 組(6 對)，合計 24 組(12 對)，由 55 股、61 股、66 股及 73 股鋼絞線所組成(配置詳圖 4-26)，設計數量統計如表 4-22。

鋼絞線設計總長度為 214,804 公尺(鋼絞線單位重：1.101 公斤/公尺)，總重為 $214,804 \times 1.101 / 1,000 = 236.5$ 公噸，該鍍鋅鋼絞線由中國大陸廠商「江陰法爾勝鋼鐵製品有限公司」供料，實際進口報單為 243 公噸(約 2.7%損耗量)

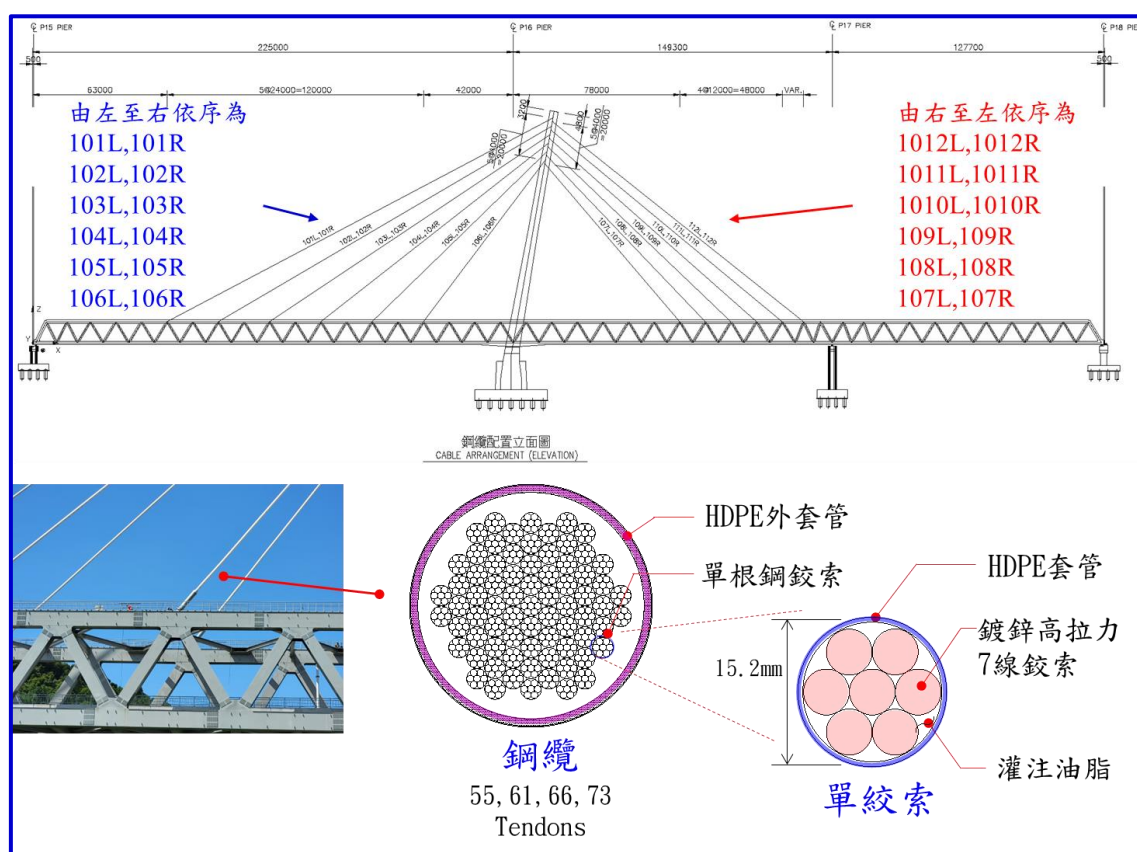


圖 4-26 鋼纜配置圖

除鋼絞線外，其它預力系統材料亦由中國大陸進口(詳表 4-23)，進口報單資料詳附錄 1，相關材料於 108 年 3 月 5 日由上海港以海運方式運抵基隆港(約 635km)，再以 43t 板車運送至工地(約 38.3km)，整體預力材料排碳量計算如下：

- 1、材料：830.6 tonCO₂e(排碳量計算表詳表 4-24)。
- 2、材料運輸： $296.6 \times 635 \times 0.0198 / 1,000 + 296.6 \times 38.3 \times 0.0996 \times 1.5 / 1,000 = 5.4$ tonCO₂。

3、合計：830.6+5.4=836 tonCO₂e。

表 4-22 鋼纜設計統計表

項次	鋼纜位置	鋼纜編號	束數 A	鋼纜股數 B	設計每股長度 (M) C	設計總長度 (M) D=A*B*C
1	P9-15 ~P9-16 橋墩	101L,101R	2.0	66.0	210.0	27,720
2		102L,102R	2.0	66.0	187.0	24,684
3		103L,103R	2.0	73.0	161.0	23,506
4		104L,104R	2.0	73.0	140.0	20,440
5		105L,105R	2.0	66.0	117.5	15,510
6		106L,106R	2.0	66.0	97.5	12,870
7	P9-16 ~P9-17 橋墩	107L,107R	2.0	55.0	101.5	11,165
8		108L,108R	2.0	55.0	112.5	12,375
9		109L,109R	2.0	55.0	122.5	13,475
10		1010L,110R	2.0	55.0	135.0	14,850
11		1011L,111R	2.0	61.0	145.5	17,751
12		1012L,112R	2.0	66.0	155.0	20,460
小計			24.0		1,685.0	214,806

表 4-23 其他預力系統材料統計表

項次	項目	單位	數量	備註
1	預力端錨具	套	24	1、預力端錨具每套包含：張拉端錨具 1 個、固定端錨具 1 個、張拉端保護罩 1 個、固定端保護罩 1 個、防水罩 1 個、索箍 2 個、PE 連接筒及壓環 1 個、減振器 2 個。 2、供應商：江陰法爾勝住電新材料有限公司 FASTEN 錨具產品，型號：XL.A 15。 3、總重：19,495kg。
2	HDPE 管	M	1,685*2=3,370	1、供應商：甘肅天水萬維電纜材料有限公司。 2、總重：32,845kg。
3	蠟油防腐料	kg	1,215	



表 4-24 預力系統材料排碳量計算表

項次	設備名稱	單位	數量	排碳係數 kgCO ₂ e/kg	排碳量 T	備註
1	鍍鋅鋼絞線	T	243.000	2.850	692.6	
2	預力端錨具	T	19.495	3.206	62.5	24 套
4	蠟油防腐料	T	1.215	1.310	1.6	
3	HDPE 管	T	32.845	2.250	73.9	
合計			296.6		830.6	
1、鍍鋅預力鋼腱依環保署網站"預力鋼腱"碳排放係數計算。 備註： 2、預力端錨具依熱浸鍍鋅鋼材碳排放係數計算。 3、蠟油防腐料依石蠟碳排放係數計算。						

4.3.5.4 鋼構工程機具及設備運輸

鋼構工程施工主要分成鋼橋塔下部結構、鋼橋塔上部結構、鋼桁架橋及預力鋼纜三個部分，施工程序及步驟如第三章所述，主要使用機具設備詳表 4-25 及 4-26 所示，其中除固定式伸臂起重機(STT3330)係由中國大陸永茂建機製作(共 62 車，總重 973.1ton，詳細數量明細詳附錄 2)，由大連港以船運運至台北港(約 1,532 公里)後，再以 43t 全拖車運輸至工地(約 31.4 公里)，(施工完成後反方向送回：以陸運送至台北港，再以海運送回大連港)；其餘則由長榮鋼鐵鋼構事業本部新營廠以 43t 全拖車或大貨車運輸至工地。

表 4-25 鋼構工程主要施工機具設備表(一)

項次	設備名稱	單位	數量	備註
1	固定式塔吊(STT3330)	部	1	大陸進口
2	固定式伸臂起重機(M380D)	部	1	
3	運輸台車(30 噸)	部	1	
4	送料捲揚機(30 噸)	部	1	
5	柴油發電機(380V/500KA)	部	3	
6	柴油發電機(440V/300KA)	部	2	
7	柴油發電機(220V/200KA)	部	1	
8	高空作業車	部	6	

表 4-26 鋼構工程主要施工機具設備表(二)

項次	設備名稱	單位	數量	備註
9	手動電焊機 300A AC	部	2	
10	手動電焊機 600A AC	部	8	
11	電動扳手	台	5	
12	鎗修機	台	1	
13	空壓機	台	2	
14	乾燥機	台	1	
15	油壓千斤頂及泵浦	套	1	
16	臨時支撐型鋼支撐架	式	1	
17	其他手工具	式	1	
備註：本表未包含移動式(25T~700T)吊車及吊卡車				

鋼構工程主要施工機具設備運輸除 SST3330 塔吊之重量有詳實資料外，其他機具設備依專業施工廠商回復總共大約運了 12 車，每車以 15 噸估算，施工機具設備運輸碳排放計 $41.3 \text{ tonCO}_2\text{e/tkm}$ (詳表 4-27)*2(含完工撤場)=82.6 $\text{tonCO}_2\text{e/tkm}$ 。

表 4-27 鋼構工程主要施工機具設備單趟運輸碳排放計算表

項次	設備名稱	單位	總重 (T)	距離 (km)	排碳係數 $\text{kgCO}_2\text{e/tkm}$	調整係數	排碳量 (T)	備註
1	固定式塔吊 (STT3330)	部	973.1	1,532.0	0.0198	1.0	29.5	船運
			973.1	31.4	0.0996	1.5	4.6	陸運
2	其他機具設備	式	180.0	267.0	0.0996	1.5	7.2	
合計							41.3	
備註：		1、調整係數說明：船運係配合航班，僅計算單程；陸運偶有回頭車情形，回程運輸以半趟計算。 2、機具設備以 12 車，每車 15 噸，總重 180 噸估算。						

4.3.5.5 鋼構工程施工用電、機具設備油耗及人員出勤逸散

工地現場施工所需電力由六部柴油發電機提供，其中三部發電機(380V/500KVA)供塔吊使用；二部發電機(440V/300KVA)供吊裝及電鉗用，另一部發電機(220V/200KVA)供施工設備使用，依據專業施工廠商自行統計資料，施工

期間，發電機柴油總計使用 100,800L，此部分排碳量計 $100,800 \times 3.35 / 1,000 = 337.6$ tonCO_{2e}。

其他施工機具設備油耗排碳量計 2,477.1 tonCO_{2e}(詳表 4-28)(因目前「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附錄四所載之吊車機型最大僅至 40~49T，所以目前 45T 級以上吊車之燃料耗用係數皆採用 70.35L/hr 估算)。

表 4-28 鋼構工程其他機具及設備統計及排碳量計算表

項次	單位	數量	每日運作時數	燃料耗用率 L/hr	係數單位 kgCO _{2e} /L (kgCO _{2e} /hr)	排碳量 T
吊車(700T)	天	4	6	70.35	3.3800	5.7
吊車(500T)	天	114	6	70.35	3.3800	162.6
吊車(400T)	天	6	6	70.35	3.3800	8.6
吊車(300T)	天	75	6	70.35	3.3800	107.0
吊車(250T)	天	451	6	70.35	3.3800	643.4
吊車(160T)	天	6	6	70.35	3.3800	8.6
吊車(120T)	天	248	6	70.35	3.3800	353.8
吊車(45T)	天	289	6	70.35	3.3800	412.3
吊車(25T)	天	19	6	39.50	3.3800	15.2
吊卡車(15T)	天	8	6	30.00	3.3800	4.9
高空車	天	3,792	4	12.46	3.6100	682.3
堆高機	天	1,045	4		17.4000	72.7
小計						2,477.1

人員出勤逸散排碳量計： $16,414 \times 8 \times 0.0444656 / 1000 = 5.8$ tonCO_{2e}。

4.3.5.6 鋼構工程排碳量合計

整體鋼構工程排碳量計：

1、材料： $6,978.6 + 126.5 + 17,339.8 + 830.6 = 25,275.5$ tonCO_{2e}

2、施工材料運輸： $135.1 + 0.9 + 337.8 + 5.4 = 479.2$ tonCO_{2e}

3、施工機具設備運輸：82.6 tonCO_{2e}



4、施工機具、設備用油：337.6+2,477.1=2,814.7 tonCO₂e

5、人員出勤逸散排碳量：5.8 tonCO₂e

6、合計：25,275.5+479.2+82.6+2,814.7+5.8=28,657.8 tonCO₂e

4.3.6 上部結構工程

4.3.6.1 橋面板

為減少河道及道路上方橋面模板支撐作業，降低崩塌、墜落施工風險，跨新店溪區域及環河路區域橋面板底模施工採免拆模板施工(詳圖 4-27)，其餘則採傳統清水模板施作，橋面板實際施工使用材料排碳量為 1,418.3 tonCO₂e(詳表 4-29)。

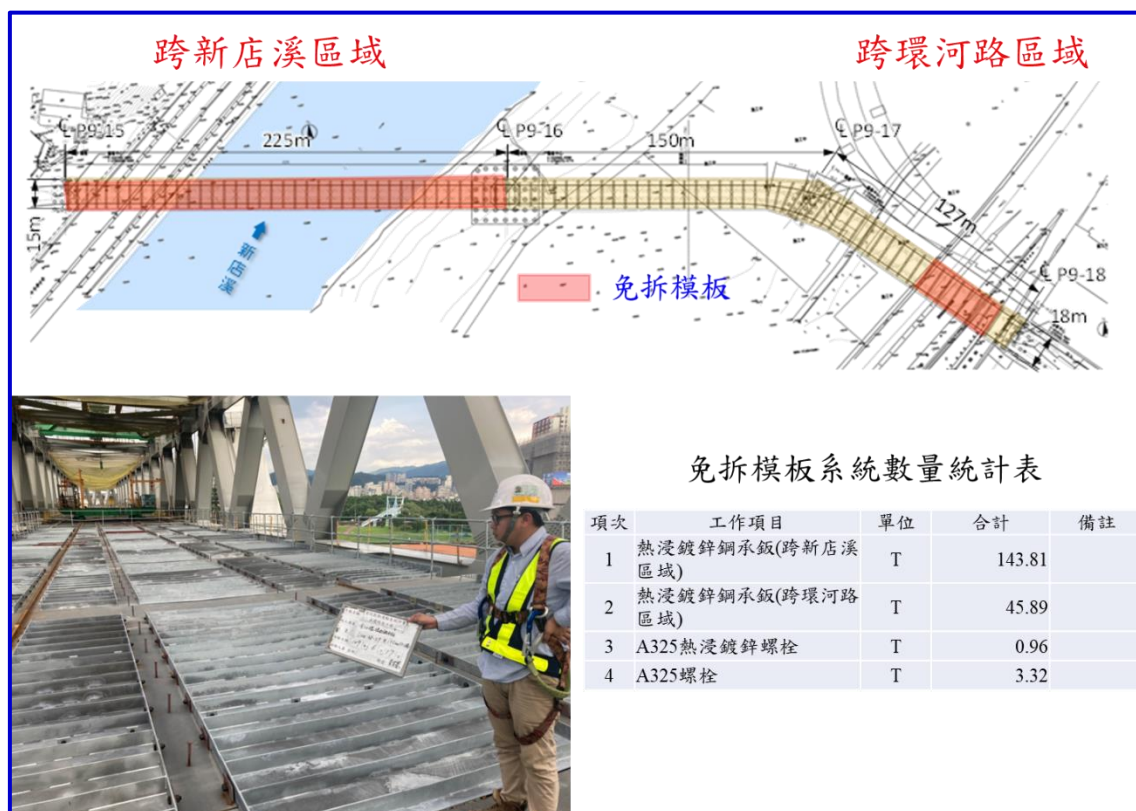


圖 4-27 免拆模板施工區域及數量統計表

表 4-29 橋面板材料統計及排碳量計算表

項次	項目	單位	數量	排碳係數	排碳量(T)	備註
1	420kgf/cm ² 混凝土	M ³	1,317.5	405	533.6	
2	175kgf/cm ² 混凝土	M ³	104.5	207	21.6	
3	鋼筋，SD420W	T	293.80	0.8340	245.0	
4	熱浸鍍鋅鋼承板(含鍍鋅螺絲)	T	190.66	3.2060	611.3	
5	A325 螺絲	T	3.32	2.0480	6.8	
合計					1,418.3	

材料運輸排碳量計 51.4 tonCO₂e(詳表 4-30)。

表 4-30 橋面板材料運輸排碳量計算表

項次	項目	單位	數量	單位重	距離	排碳係數	往返係數	排碳量 T
1	420kgf/cm ² 混凝土	M ³	1,317.5	2.347	12.5	0.5746	2.0	44.4
2	175kgf/cm ² 混凝土	M ³	104.5	2.331	12.5	0.5746	2.0	3.4
3	鋼筋，SD420W	T	293.80		57.40	0.0996	1.5	2.6
4	熱浸鍍鋅鋼承板(含鍍鋅螺絲)	T	190.66		37.10	0.0996	1.5	1.1
5	A325 螺絲	T	3.32		37.10	0.0996	1.5	0.0
合計								51.4

4.3.6.2 胸牆及電纜槽

胸牆及電纜槽材料排碳量為 124 tonCO₂e(詳表 4-31)，材料運輸排碳量計：13.6 tonCO₂e(詳表 4-32)。

表 4-31 胸牆及電纜槽材料統計及排碳量計算表

項次	項目	單位	數量	排碳係數	排碳量(T)	備註
1	280kgf/cm ² 混凝土	M ³	394.5	281	110.9	
2	鋼筋，SD420W	T	15.70	0.8340	13.1	
合計					124.0	

表 4-32 胸牆及電纜槽材料運輸排碳量統計表

項次	項目	單位	數量	單位重	距離	排碳係數	往返係數	排碳量 T
1	280kgf/cm ² 混凝土	M ³	394.5	2.355	12.5	0.5746	2.0	13.4
2	鋼筋，SD420W	T	15.70		57.40	0.0996	1.5	0.2
合計								13.6

4.3.6.3 上構工程施工用電、機具設備油耗及人員出勤逸散

上構工程施工機具設備油耗排碳量計 90 tonCO₂e(詳表 4-33)，人員出勤逸散排碳量計： $1,245 \times 8 \times 0.0444656 / 1000 = 0.4 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

表 4-33 上構工程施工機具設備統計及排碳量計算表

項次	單位	數量	每日運作時數	燃料耗用率 L/hr	係數單位 kgCO ₂ e/L (kgCO ₂ e/hr)	排碳量 T	備註
吊車(25T)	天	37	6	39.50	3.3800	29.6	
吊卡車(15T)	天	7	6	30.00	3.3800	4.3	
泵浦車	天	5	6	34.62	3.3500	3.5	
高空車	天	31	6	12.46	3.6100	8.4	
鏟裝機	天	59	6	8.30	3.6100	10.6	
堆高機	天	13	4		17.4000	0.9	
發電機(45KVA)	時	138	6	11.25	3.3500	31.2	
小計						88.5	

4.3.6.4 上構工程排碳量合計

整體上構工程排碳量計：

- 1、材料：1,418.3+124=1,542.3 tonCO₂e
- 2、施工材料運輸：51.4+13.6=65 tonCO₂e
- 3、施工機具、設備用油：88.5 tonCO₂e
- 4、人員出勤逸散排碳量：0.4 tonCO₂e



5、合計：1,542.3+65+88.5+0.4=1,696.2 tonCO₂e

4.3.7 軌道工程

「安心橋」軌道採無道碴道床基座式工法設計，因鄰近安坑輕軌終點站 K9 站，配合輕軌列車營運調度需求，於 K9 站前設置一套橫渡線剪式道岔；另考慮溫度變化、車輛剎車與加速力量會使鋼軌與橋梁間產生軌道縱向力作用，加上大跨徑橋梁易造成縱向阻力累積，使鋼軌產生異常軸力超過容許限度，故於此路段上下行線各設置一套鋼軌伸縮接頭(REJ)以降低鋼軌力，避免鋼軌因溫度變化造成損壞；此外，依據案例工程契約設計規範(安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程契約業主需求書(三)綱要性施工規範[49])規定，高架段軌道採工型鋼軌於區線半徑不大於 150 公尺時需設置護軌以防出軌意外發生，護軌兩端須超過該曲線 3 公尺，整體軌道配置詳圖 4-28 所示。

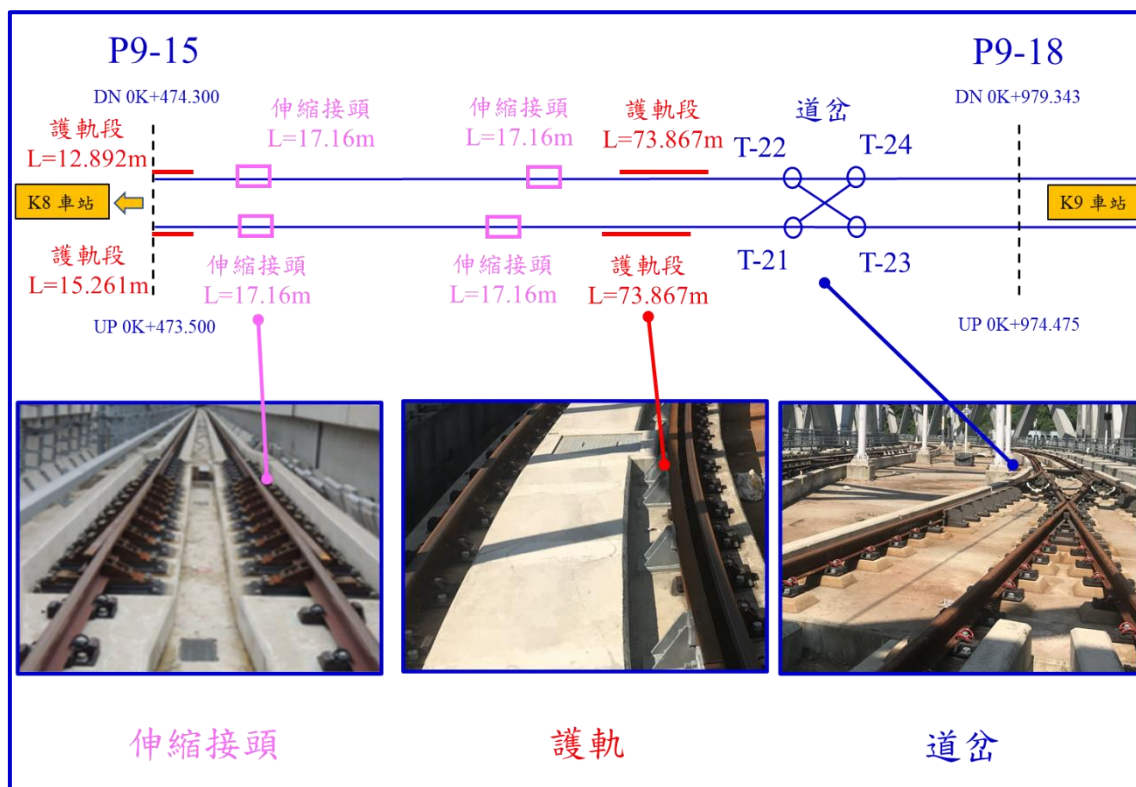


圖 4-28 軌道工程平面示意圖

因目前國內軌道工程市場規模太小，因此材料生產及製造廠商投資意願不足，

加上部分材料檢試驗尚無法於國內試驗室辦理，故現階段國內軌道工程材料，大部分仍需仰賴由國外進口，針對本案例工程之軌道工程材料由國外進口品項說明如下：

- 1、 工型鋼軌：由俄羅斯東方金屬公司(EVRAZ EAST METAL AG)供料，由俄羅斯納霍德卡港(Nakhodka)運送至基隆港，約 2,230km。
- 2、 道岔：由德國 voestalpine BWG GmbH 公司供料，由德國漢堡港(Hamburg)運送至基隆港，約 9,080km。
- 3、 鋼軌伸縮接頭：由德國 voestalpine Railway System GmbH 集團之 voestalpine Turnout Technology Germany GmbH(原名 voestalpine BWG)供料，由布萊梅港(Bremerhaven)運送至基隆港，約 9,156km。
- 4、 基鈹：由 DELACHAUX 集團之 Railtech-Pandrol Track System 公司供料，相關配件分別由下列國家進口(以船運方式運送至基隆港)。
 - (1) 基鈹：馬來西亞檳城喬治敦港(Penang(Georgetown))，約 3,140km。
 - (2) 預埋套筒及齒狀墊：中國大連港(Dalian)，約 1,532km。
 - (3) 基鈹螺栓&扣夾螺栓&扣夾墊圈：印度穆恩德拉港(Mundra)，約 5,223km。
 - (4) 扣夾：西班牙瓦倫西港(Valencia)，約 10,632km。

實際統計「安心橋」軌道工程相關材料使用量及碳排放量計算詳表 4-34(一般軌道)及表 4-35(特殊軌道)所示，排碳量計：487.1+97.9=585 tonCO₂e。

表 4-34 一般軌道材料數量統計及排碳量計算表

項次	工作項目	單位	數量	單位重	排碳係數	排碳量 T	備註
1	鋼筋，SD420W	T	46.1		0.834	38.5	
2	420kg/cm ² 混凝土	M ³	554.5		405.000	224.6	
3	接合釘	支	14,588.0	0.2762	2.327	9.4	φ 16*17.5cm
4	50E6 耐磨工型鋼軌	M	1,812.0	50.90	0.947	87.3	50.9kg/M
5	標準型 DFF 基鈑 (412*209mm)	片	2,422.0	11.2473	3.206	87.3	11.2473kg/片
6	鎖緊墊圈	片	4,844.0	0.0797	3.206	1.2	0.0797kg/片
7	預埋套管及齒狀墊	支	4,844.0	1.1800	3.206	18.3	1.18kg/支
8	基鈑螺栓、扣夾螺栓及扣夾墊圈	組	4,844.0	0.8590	3.206	13.3	0.859kg/組
9	扣夾	個	4,844.0	0.4620	3.206	7.2	0.462kg/組
合計						487.1	
備註：軌道材料主要以金屬製品為主，其他如彈性外包材，惟占比不高，排碳量以實際重量*金屬製品排碳係數計算。							

表 4-35 特殊軌道數量統計及排碳量計算表

項次	工作項目	單位	數量	單位重	排碳係數	排碳量 T	備註
1	鋼筋，SD420W	T	11.7		0.8340	9.8	
2	420kg/cm ² 混凝土	M ³	113.6		405.00	46.0	
3	接合釘	支	2,304.0	0.28	2.3270	1.5	φ 16*17.5cm
4	50E6-R50 道岔含基鈑/扣件	組	4.0	6,456.1	0.9470	24.5	6,456.1kg/組
5	50E6-直線/直線菱岔含基鈑/扣件	組	1.0	5,570.9	0.9470	5.3	5,570.9kg/組
6	鋼軌伸縮接頭含基鈑/扣件	組	4.0	1,532.0	0.9470	5.8	1,532kg/組
7	護軌	M	160.6	32.99	0.9470	5.0	32.99kg/M
合計						97.9	
備註：特殊軌道材料進口包括相關零配件，排碳量以實際重量*鋼軌排碳係數計算。							

材料運輸碳排放量計算詳表 4-36 所示，排碳量計 118.5 tonCO₂e。

表 4-36 軌道工程材料運輸排碳量計算表

項次	工作項目	單位	數量	單位重(kg)	總重量 T	距離 km	排碳係數	排碳量 T	備註
一、一般軌									
1	鋼筋，SD420W	T	46.1	1,000	46.1	12.5	0.0996	0.1	
2	420kg/cm ² 混凝土	M ³	554.5	2,347	1,301.3	57.4	0.5746	85.8	
3	接合釘	支	14,588.0	0.2762	4.0	324	0.1310	0.3	岡山
4	鎖緊墊圈	片	4,844.0	0.0797	0.4	9.9	0.5870	0.0	中山區
5	50E6 耐磨工型鋼軌	M	1,812.0	50.900	92.2	2,230	0.0198	4.1	
6	標準型 DFF 基鈑	片	2,422.0	11.2473	27.2	3,140	0.0198	1.7	
7	預埋套管及齒狀墊	支	4,844.0	1.1800	5.7	1,532	0.0198	0.2	
8	基鈑螺栓、扣夾螺栓及扣夾墊圈	組	4,844.0	0.8590	4.2	5,223	0.0198	0.4	
9	扣夾	個	4,844.0	0.4620	2.2	10,632	0.0198	0.5	
10	項次 5~9 由基隆港至工地運輸				131.5	38.3	0.0996	0.8	
二、特殊軌									
1	鋼筋，SD420W	T	11.7	1,000	11.7	12.5	0.0996	0.0	
2	420kg/cm ² 混凝土	M ³	113.6	2,347	266.6	57.4	0.5746	17.6	
3	接合釘	支	2,304.0	0.2762	0.6	324	0.1310	0.0	岡山
4	護軌	M	160.6	32.99	5.3	319	0.1310	0.3	南市南區
5	50E6-R50 道岔含基鈑/扣件	組	4.0	6,456.1	25.8	9,080	0.0198	4.6	
6	50E6-直線/直線菱岔含基鈑/扣件	組	1.0	5,570.9	5.6	9,080	0.0198	1.0	
7	鋼軌伸縮接頭含基鈑/扣件	組	4.0	1,532.0	6.1	9,156	0.0198	1.1	
8	項次 5~7 由基隆港至工地運輸				37.5	38.3	0.0996	0.2	
合計								118.5	

施工機具設備油耗排碳量計 65.5 tonCO₂e(詳表 4-37)，人員出勤逸散排碳量計： $2,310 \times 8 \times 0.0444656 / 1000 = 0.8 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

表 4-37 軌道工程施工機具設備統計及排碳量計算表

項次	單位	數量	每日運作時數	燃料耗用率 L/hr	係數單位 kgCO ₂ e/L	排碳量 T	備註
吊車(25T)	天	28	6	39.50	3.3800	22.4	
吊卡車(15T)	天	35	6	30.00	3.3800	21.3	
泵浦車	天	15	8	34.62	3.3500	13.9	
發電機(45KVA)	天	35	6	11.25	3.3500	7.9	
小計						65.5	

整體軌道工程排碳量計：

- 1、材料：585 tonCO₂e
- 2、施工材料運輸：119 tonCO₂e
- 3、施工機具、設備用油：65.5 tonCO₂e
- 4、人員出勤逸散排碳量：0.8 tonCO₂e
- 5、合計：585+119+65.5+0.8=770.3 tonCO₂e

4.3.8 電氣工程

「安心橋」電氣工程包含「接地及避雷針工程」、「塔柱維修照明及航空障礙燈工程」、「路線段照明及插座工程」及「光雕工程」四大類，施作位置詳圖 4-29 所示，實際施工完成數量及排碳量分別統計如下表 4-38~表 4-43

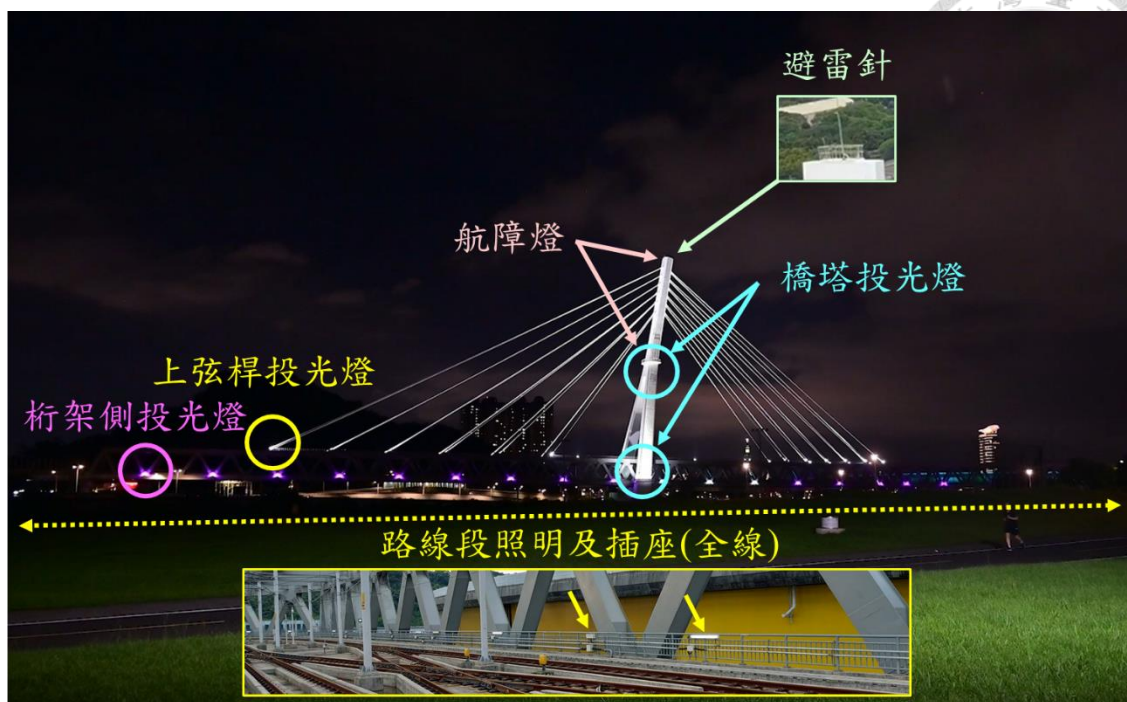


圖 4-29 安心橋電氣工程示意圖

表 4-38 接地及避雷針工程完成數量及排碳量統計表

項次	工作項目	單位	數量	排碳係數 kgCO ₂ e/kg	排碳量 T	備註
1	鍍鋅銅棒 25mm ϕ *3M	支	4.0	3.8240	0.2	13.2kg/支
2	MACH 電暈式避雷針(材質：SUS304)	只	1.0	2.0100	0.0	20kg/只
3	接地網銅絞線 250mm ²	M	10.0	3.8240	0.0	0.0224kg/M
4	接地線，交連 XLPE 電力電纜 600V 1/C 100mm ²	M	375.0	5.3100	2.0	
5	接地線，交連 XLPE 電力電纜 600V 1/C 150mm ²	M	180.0	7.3420	1.3	
6	PVC 導線管，E 管 52mm ²	M	180.0	2.4240	0.4	
7	PVC 導線管，E 管 35mm ²	M	375.0	1.4592	0.5	
8	避雷接地測試箱(材質：SUS304)	只	1.0	2.0100	0.0	10kg/只
合計					4.4	

表 4-39 塔柱維修照明及航空障礙燈工程完成數量及排碳量統計表

項次	工作項目	單位	數量	排碳係數 kgCO ₂ e/kg	排碳量 T	備註
1	LED 投光燈， 功率:10W±2W	盞	119	447.0000	53.2	環保署 LED 18W
2	控制器箱體(SUS304 材質)大	組	1	2.0100	0.1	30kg/組
3	防爆接線盒	組	136	2.0100	0.0	5kg/組
4	RSG 導線管，G28	M	1,100	6.0914	6.7	
5	XLPE(PVC)電纜 1/C 8mm ²	M	400	0.4025	0.2	
6	XLPE(PVC)電纜 1/C 5.5mm ²	M	1,700	0.6000	1.0	
7	PVC 接地用電纜 1/C 3.5mm ²	M	1,100	0.6300	0.7	
8	XLPE(PVC)電纜 3C 8mm ²	M	380	1.5715	0.6	
9	XLPE(PVC)電纜 3C 5.5mm ²	M	1,150	1.1618	1.3	
10	航空障礙燈	盞	5	650.0000	3.3	環保署 LED 70W
11	航空障礙燈控制箱	箱	1	2.0100	0.0	10kg/箱
12	控制器箱體(SUS304 材質)大	只	2	2.0100	0.0	30kg/只
13	防爆接線盒	組	5	2.0100	0.0	5kg/組
14	RSG 導線管，G28	M	220	6.0914	1.3	
15	XLPE(PVC)電纜 600V 3C 14mm ²	M	380	2.7266	1.0	
16	XLPE(PVC)電纜 3C 5.5mm ²	M	220	1.1618	0.3	
17	銅網遮蔽控制電纜 AWG22 2P	M	180	1.4300	0.3	
合計					71.6	

表 4-40 路線段插座工程完成數量及排碳量統計表

項次	工作項目	單位	數量	排碳係數 kgCO ₂ e/kg	排碳量 T	備註
1	插座箱(200*450*150)	組	20	200.0000	4.0	估算
2	插座熔絲箱(IP65,300*300*200)	只	20	2.0100	0.2	5kg/組
3	82RSG 鍍鋅厚導線管	M	1,000	18.8513	18.9	
4	XLPE(PVC)電纜線徑 100mm ²	M	4,160	5.3100	22.1	
5	XLPE(PVC)電纜線徑 5.5mm ²	M	1,040	0.6000	0.6	
合計					45.8	

表 4-41 路線段照明工程完成數量及排碳量統計表

項次	工作項目	單位	數量	排碳係數 kgCO ₂ e/kg	排碳量 T	備註
1	照明燈具(LED20W*2)	組	66	894.0000	59.0	環保署太陽能 18WLED
2	方向指示標示燈箱 (LED20W*1)	組	22	447.0000	9.8	環保署太陽能 18WLED
3	LED 投光燈(IP65)	組	4	650.0000	2.6	環保署 LED 70W
4	燈具熔絲箱(IP65,200*250*150)	只	92	2.0100	0.9	5kg/組
5	54RSG 鍍鋅厚導線管	M	1,896	12.5675	23.8	
6	XLPE(PVC)電纜線徑 38mm ²	M	8,136	1.8823	15.3	
7	XLPE(PVC)電纜線徑 5.5mm ²	M	2,080	0.6000	1.2	
8	防水金屬軟管 1"(27)	M	92	2.4000	0.1	0.356kg/M
9	防水金屬軟管 2"(54)	M	184	2.4000	0.2	0.48kg/M
合計					112.9	

表 4-42 光雕工程完成數量及排碳量統計表(一)

項次	工作項目	單位	數量	排碳係數 kgCO ₂ e/kg	排碳量 T	備註
一	橋塔投光燈					
1	照明燈具 560W (橋塔投光燈)	只	24	650.0000	15.6	環保署 LED 70W
2	燈具安裝腳架及配件	只	24	2.0100	1.0	20kg/組
3	控制器箱體(SUS304)小	組	24	2.0100	0.7	15kg/組
4	控制器箱體(SUS304)大	組	3	2.0100	0.2	30kg/組
5	RSG 導線管，G28	M	250	6.0914	1.5	
6	RSG 導線管，G42	M	110	8.9447	1.0	
7	XLPE(PVC)電纜 1/C 22mm ²	M	1,560	1.1047	1.7	
8	XLPE(PVC)電纜 1/C 8mm ²	M	360	0.4025	0.1	
9	XLPE(PVC)電纜 1/C 5.5mm ²	M	180	0.6000	0.1	
10	XLPE(PVC)電纜 1/C 3.5mm ²	M	780	0.6300	0.5	
11	XLPE(PVC)電纜 4C 22mm ²	M	380	4.6800	1.8	
12	XLPE(PVC)電纜 4C 8mm ²	M	380	2.2667	0.9	
13	XLPE(PVC)電纜 4C 5.5mm ²	M	380	1.5361	0.6	



表 4-43 光雕工程完成數量及排碳量統計表(二)

項次	工作項目	單位	數量	排碳係數 kgCO ₂ e/kg	排碳量 T	備註
二	上弦桿投光燈					
1	照明燈具 240W (上弦桿投光燈)	只	28	650.0000	18.2	環保署 LED 70W
2	燈具安裝腳架及配件	只	28	2.0100	1.1	20kg/組
3	控制器箱體(SUS304)小	組	28	2.0100	0.8	15kg/組
4	控制器箱體(SUS304)大	組	6	2.0100	0.4	30kg/組
5	RSG 導線管，G28	M	2,800	6.0914	17.1	
6	XLPE(PVC)電纜 1/C 22mm ²	M	3,000	1.1047	3.3	
7	XLPE(PVC)電纜 1/C 14mm ²	M	900	0.7364	0.7	
8	XLPE(PVC)電纜 1/C 5.5mm ²	M	2,000	0.6000	1.2	
9	XLPE(PVC)電纜 1/C 3.5mm ²	M	2,000	0.6300	1.3	
10	銅網遮蔽控制電纜 AWG22 2P	M	2,000	1.4300	2.9	
三	衍架側投光燈					
1	照明燈具 80W (衍架側投光燈)	只	84	650.0000	54.6	環保署 LED 70W
2	燈具安裝腳架及配件	只	42	2.0100	1.7	20kg/組
3	控制器箱體(SUS304)小	組	42	2.0100	1.3	15kg/組
4	控制器箱體(SUS304)大	組	6	2.0100	0.4	30kg/組
5	RSG 導線管，G28	M	1,200	6.0914	7.3	
6	XLPE(PVC)電纜 1/C 5.5mm ²	M	2,200	0.6000	1.3	
7	XLPE(PVC)電纜 1/C 3.5mm ²	M	1,200	0.6300	0.8	
8	XLPE(PVC)電纜 3C 22mm ²	M	850	3.5000	3.0	
9	XLPE(PVC)電纜 3C 14mm ²	M	500	2.7266	1.4	
10	XLPE(PVC)電纜 3C 5.5mm ²	M	2,200	1.1618	2.6	
11	銅網遮蔽控制電纜 AWG22 2P	M	1,200	1.4300	1.7	
合計					148.8	

施工機具設備油耗排碳量計 21.1 tonCO₂e(詳表 4-44)，人員出勤逸散排碳量計： $2,310 \times 8 \times 0.0444656 / 1000 = 0.8 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

表 4-44 電氣工程施工機具設備統計及排碳量計算表

項次	單位	數量	每日運作時數	燃料耗用率 L/hr	係數單位 kgCO ₂ e/L	排碳量 T	備註
吊車(25T)	天	14	4	39.50	3.3800	7.5	
吊卡車(15T)	天	14	4	30.00	3.3800	5.7	
發電機(45KVA)	天	35	6	11.25	3.3500	7.9	
小計						21.1	

整體電氣工程排碳量計：

1、材料： $4.4 + 71.6 + 45.8 + 112.9 + 148.8 = 383.5 \text{ tonCO}_2\text{e}$

2、施工材料運輸：相關材料係利用吊卡車進場時一併進場，不另計算。

3、施工機具、設備用油：21.1 tonCO₂e

4、人員出勤逸散排碳量：0.8 tonCO₂e

5、合計： $383.5 + 21.1 + 0.8 = 405.4 \text{ tonCO}_2\text{e}$

4.3.9 金屬護欄工程

「安心橋」金屬護欄包括塔柱、上桁架及橋面三個部分，其中塔柱護欄數量已納入鋼橋塔數量統計表內，上桁架金屬欄杆及橋面金屬欄杆施工位置詳圖 4-30 所示，上桁架欄杆設計材質為不銹鋼(SUS 304)，橋面欄杆則為熱浸鍍鋅鋼管。

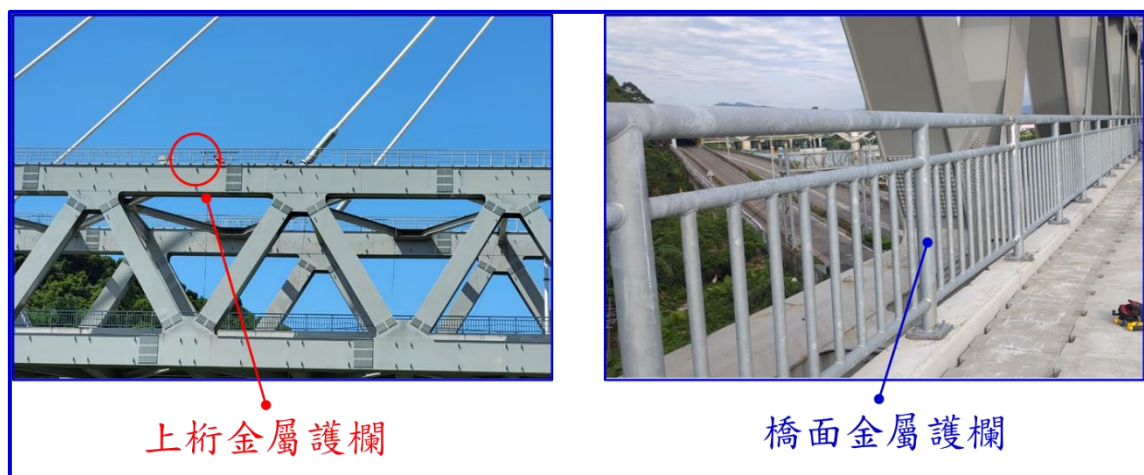


圖 4-30 金屬護欄示意圖

上桁架欄杆標準單元為 6 公尺，材料實際重量為 259.55 公斤(詳表 4-45)，「安心橋」上下行線上桁架不銹鋼欄杆總長為 988 公尺，相關不銹鋼(SUS 304)材料設計總重量為 $988 \times (259.55/6)/1,000 = 42.74\text{T}$ ，排碳量計 $42.74 \times 1.75 = 74.8 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

表 4-45 上桁架不銹鋼欄杆標準單元(6M)材料統計表

項次	構件編號	規格	單位	數量	單位重	重量 kg
1	上欄杆	2" ϕ *2.8t	M	12	3.98	47.76
2	立柱	1 1/4" ϕ *2.8t	M	24	2.76	66.24
3	下欄杆	1 1/4" ϕ *2.8t	M	12	2.76	33.12
4	踢腳板	PL 6t*140	M	12	6.66	79.92
5	連接板	PL 10t*140*160	片	16	1.78	28.48
6	接合螺栓	M16*40	只	32	0.126	4.03
合計						259.55

橋面欄杆標準單元為 6 公尺，材料重量為 90.86 公斤(詳表 4-46)，「安心橋」上下行線橋面鍍鋅欄杆總長為 1,004 公尺，相關鍍鋅材料設計總重量為 $1,004 \times (90.86/6)/1,000 = 15.20\text{T}$ ，排碳量計 $15.2 \times 3.206 = 48.7 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

表 4-46 橋面熱浸鍍鋅欄杆標準單元(6M)材料統計表

項次	構件編號	規格	單位	數量	單位重	重量 kg
1	上欄杆	76.3mm ϕ 4.0t	M	6	3.665	21.99
2	中欄杆	48.6mm ϕ 2.8t	M	6	1.630	9.78
3	下欄杆	48.6mm ϕ 2.8t	M	6	1.630	9.78
4	立柱	76.3mm ϕ 4.0t	M	4	3.665	14.66
5	分隔柱	34.0mm ϕ 2.3t	M	25.2	0.932	23.48
6	底板	PL 6t*160*160	片	4	1.206	4.82
7	預埋螺栓	12 ϕ *400	只	16	0.398	6.36
合計						90.86

金屬護欄工程自 110 年 6 月 1 日起進場施工至 111 年 12 月 19 日全數完成，期間總共施工天數為 34 天，相關施工機具設備油耗排碳量計 $9.4 \text{ tonCO}_2\text{e}$ (詳表 4-47)，人員出勤逸散排碳量計： $132 \times 8 \times 0.0444656/1000 = 0.0 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

表 4-47 金屬護欄工程施工機具設備統計及排碳量計算表

項次	單位	數量	每日運作時數	燃料耗用率 L/hr	係數單位 kgCO ₂ e/L	排碳量 T	備註
吊車(25T)	天	5	4	39.50	3.3800	2.7	
吊卡車(15T)	天	4	4	30.00	3.3800	1.6	
發電機(45KVA)	天	34	4	11.25	3.3500	5.1	
小計						9.4	

整體金屬護欄工程排碳量計：

1、材料：74.8+48.7=123.5 tonCO₂e

2、施工材料運輸：利用吊卡車進場時一併進場，不另計算。

3、施工機具、設備用油：9.4 tonCO₂e

4、人員出勤逸散排碳量：0.0 tonCO₂e

5、合計：123.5+9.4+0.0=132.9 tonCO₂e

4.3.10 施工人員生活廢棄物

「安心橋」施工期間施工人員產出之生活垃圾，施工單位委託專業合法處理廠商「水立方環保有限公司」(許可字號北市府(環)廢乙清字第 00359 號)處理，於工區設置垃圾子車(L1.37m*W1.08m*H1.30m，總容量 1.1 立方公尺)，採不定期方式於工地收集後直接送新店垃圾焚化廠處理，運輸距離約 5.3 公里，統計實際生活垃圾數量為 1,384.35M³，詳表 4-48，每立方公尺以 488kg(網路，2023 查詢[50])計算，合計約為 675.6T，排碳量為 675.6*360/1,000+675.6*5.3*1.31/1,000*2=252.6 tonCO₂e。

因施工人員生活廢棄物主要跟出勤人員數量有關，計算後之排碳量再依各項工程出工數比例分配至人員出勤部分。

表 4-48 生活垃圾數量統計表



項次	年度	數量		備註
		桶	M ³	
1	106	2.5	2.75	
2	107	122.5	134.75	
3	108	351.0	386.10	
4	109	722.0	794.20	
5	110	60.5	66.55	
合計		1,258.5	1,384.35	

4.3.11 非工區施工管理

「安心橋」自 106 年 9 月起開始施作整地起，至 111 年 6 月完成所有復舊作業，歷時約 58 個月，因此針對非工區施工管理之碳足跡計算，以這段期間作統計計算。此外，因「安心橋」占整體安坑輕軌土建工程契約金額比例約為 17%，因此，「安心橋」所有相關施工管理排碳量將以這段施工期間整體安坑輕軌土建工程之排碳量*17%計算。

4.3.11.1 用電、用水

施工期間由施工廠商提供合署辦公室供業主、專管、監造單位及施工廠商本身辦公空間，因此，辦公室用電及用水已包含安坑輕軌土建工程全部非工區施工管理用電及用水，分別計算如下：

- 1、用電：經統計合署辦公室用電量為 1,326,560 度，排碳量計 805 tonCO_{2e}(詳表 4-49)，因此「安心橋」施工管理用電排碳量為 805*17%=136.9 tonCO_{2e}。
- 2、用水：經統計合署辦公室施工管理用水計 20,025 度，「安心橋」施工管理用水排碳量計 20,025*0.0948/1,000*17%=0.3 tonCO_{2e}。

表 4-49 合署辦公室用電量統計及排碳量計算總表

項次	年度	B1F	1F	2F	小計	排碳係數	排碳量 T
1	106	26,080	31,360	13,760	71,200	0.694	49.4
2	107	103,760	89,600	37,120	230,480	0.642	148.0
3	108	123,360	105,760	39,600	268,720	0.601	161.5
4	109	144,880	115,920	46,000	306,800	0.590	181.0
5	110	160,320	120,880	50,720	331,920	0.590	195.8
6	111	60,160	37,600	19,680	117,440	0.590	69.3
合計					1,326,560		805.0

4.3.11.2 施工管理人員車輛油耗

因監造單位、專管單位及業主實際使用車輛數及加油量資訊無法取得(因監造、專管及業主等三個單位屬督導管理單位，使用車輛及加油量較少，評估未將此部分納入計算影響很小)，因此施工管理人員車輛之碳排放量僅計算施工廠商部分。

經統計，自 107 年 1 月至 107 年 12 月止施工廠商運輸車輛實際加油數量為汽車 18,170.18L，機車 2,180.67L，合計 20,350.85L(汽油)，平均每個月加油量為 1,695.9L，因此估算「安心橋」施工期間施工人員車輛排碳量為 $1,695.9 \times 58 \times 3.02 / 1,000 \times 17\% = 50.5 \text{ tonCO}_2\text{e}$ 。

4.3.11.3 施工管理人員出勤逸散

經統計自 16 年 9 月至 111 年 6 月止各單位管理人員(包含施工廠商、監造單位、專管單位及業主)統計人月為 7,139 人月(施工廠商為實際統計人月數，監造、專管及業主之人月分別依各單位編制監造*25 人、專管*12 人，業主*6 人計算)，人員出勤逸散計： $7,139 \times 22 \times 8 \times 0.044456 / 1,000 \times 17\% = 9.5 \text{ tonCO}_2\text{e}$ (工作時間：以每月平均工作 22 天，每天 8 小時計算)。



第五章 「安心橋」之碳足跡分析與減量策略

5.1 碳足跡盤查結果與分析

碳足跡盤查範圍包括工區及非工區，分成「工程主體」及「施工管理」二部分，其中「工程主體」依工程特性分解為各分項工程(如基樁、擋土支撐等等)，各分項工程再分別依材料、運輸、直接排放(機具能耗)、外購電力(本案例工程因工區無向台電申請臨時電，故無此類碳排放)及人員出勤等五大類計算排碳量；「施工管理」則分成用電、用水、車輛油耗及人員出勤等四類計算排碳量。

5.1.1 工程主體

依第四章實際盤查統計，工程主體碳足跡為 43,432.0 tonCO₂e (詳表 5-1)，其中以排碳量最高項目為「材料」，排碳量 36,720.4 tonCO₂e，占整體排碳量比例為 84.5%(工程主體排碳分布詳圖 5-1)；各分項工程則以「鋼結構工程」排碳量最大，計 28,813.6 tonCO₂e，占比為 66.3%，次高分項工程為下部結構工程，排碳量 6,212.4 tonCO₂e，占比為 14.3%(工程主體各分項工程占比詳圖 5-2)。

表 5-1 工程主體排碳量統計表

項次	工作項目	材料	機材運輸		機具 能耗	人員出勤		合計	占比 %
			材料	機具 設備		出勤 逸散	廢棄 物		
1	基樁	3,905.7	317.7	7.8	349.1	0.3	8.1	4,588.7	10.6%
2	擋土支撐		18.5	0.9	356.1	0.3	8.1	383.9	0.9%
3	地質改良	239.9	4.6	0.5	127.1	0.1	2.7	374.9	0.9%
4	下部結構	4,665.0	440.1	2.1	1,080.1	0.9	24.2	6,212.4	14.3%
5	鋼結構	25,275.5	479.2	82.6	2,814.7	5.8	155.8	28,813.6	66.3%
6	上部結構	1,542.3	65.0		88.5	0.4	10.7	1,706.9	3.9%
7	軌道	585.0	119.0		65.5	0.8	21.5	791.8	1.8%
8	電氣	383.5			21.1	0.8	21.5	426.9	1.0%
9	欄杆	123.5			9.4	0.0	0.0	132.9	0.3%
合計		36,720.4	1,538.0		4,911.6	262.0		43,432.0	100.0%
占比%		84.5%	3.5%		11.3%	0.6%		100.0%	

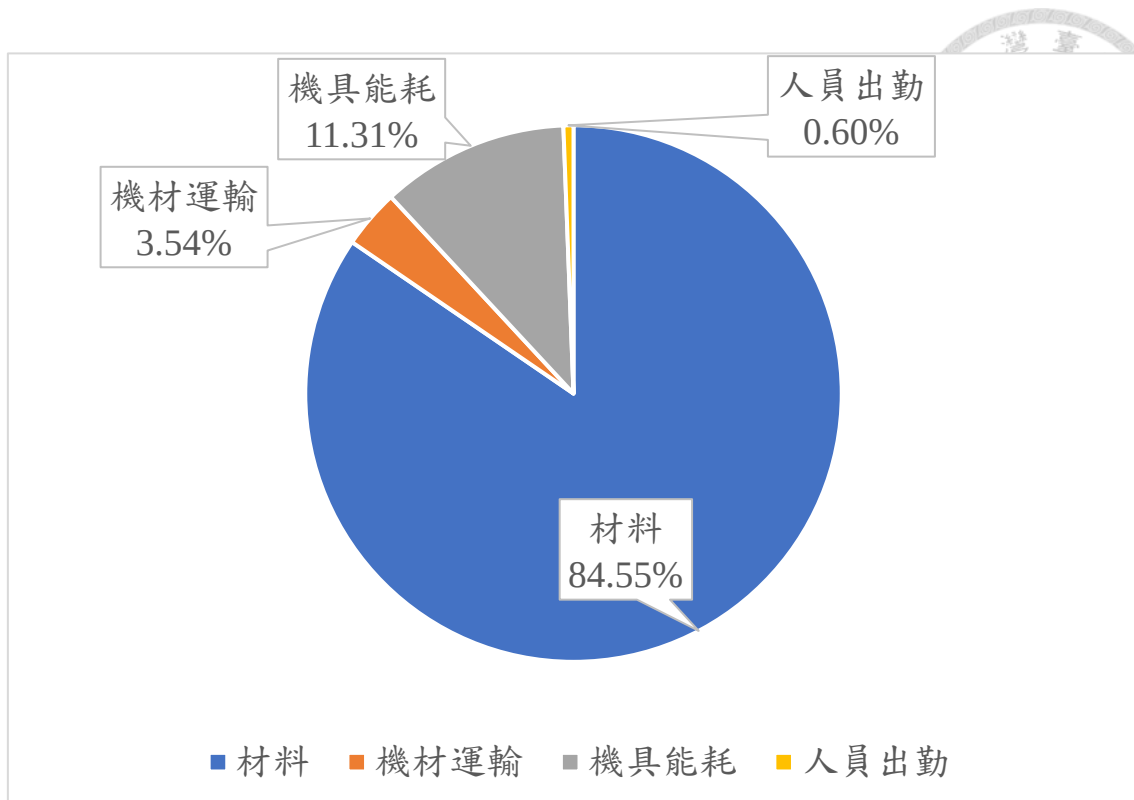


圖 5-1 工程主體碳足跡分布

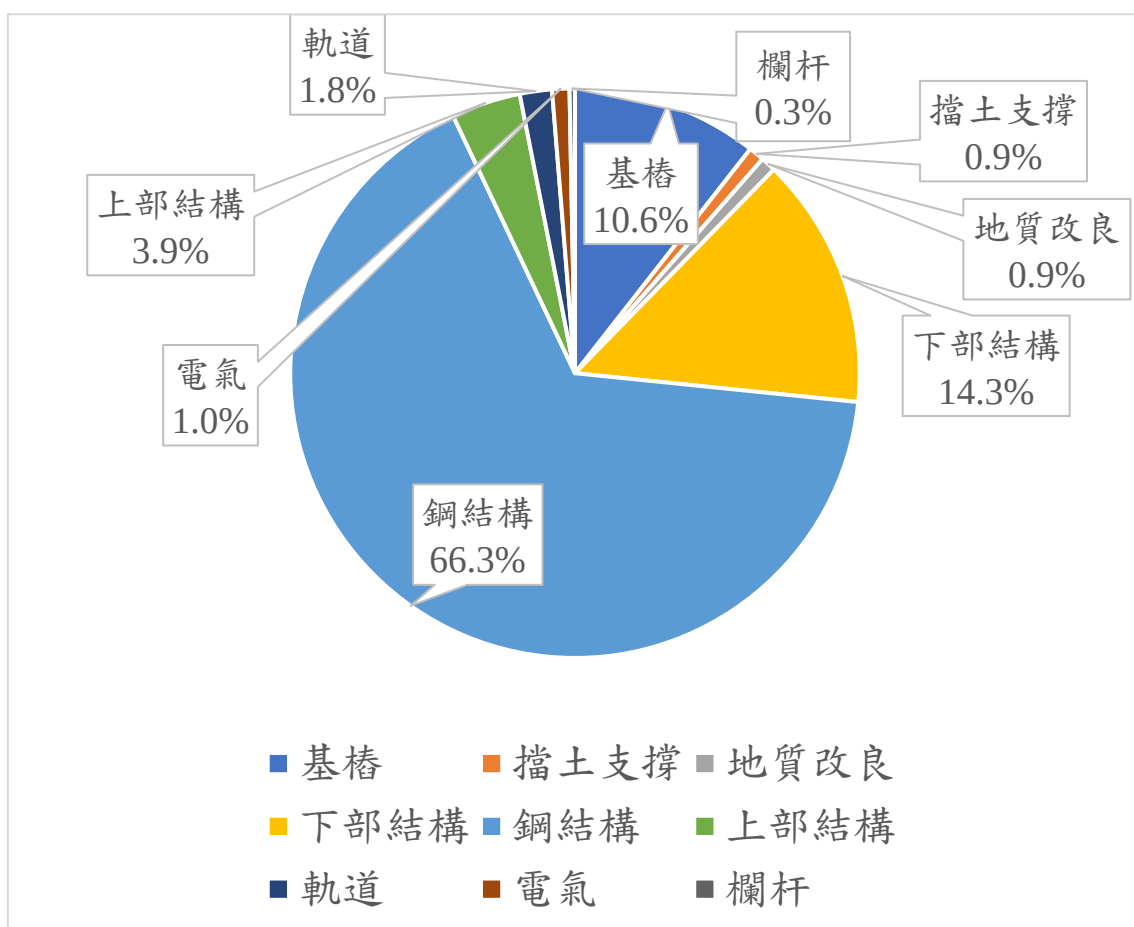


圖 5-2 工程主體各分項工程碳足跡分布



5.1.2 施工管理(非工區)

依第四章實際盤查統計，施工管理碳足跡為 197.2 tonCO₂e (詳表 5.2)，其中以排碳量最高項目為「用電」，排碳量 136.9 tonCO₂e，占整體排碳量比例為 69.4%，次高項目為「車輛油耗」，計 50.5 tonCO₂e，占 25.6%，二項合計已達施工管理排碳總量 95.0%(施工管理排碳分布詳圖 5-3)。

表 5-2 施工管理排碳量統計表

項次	工作項目	用電	用水	車輛油耗	人員出勤	合計
1	施工管理	136.9	0.3	50.5	9.5	197.2
	合計	136.9	0.3	50.5	9.5	197.2
	占比%	69.4%	0.2%	25.6%	4.8%	100.0%

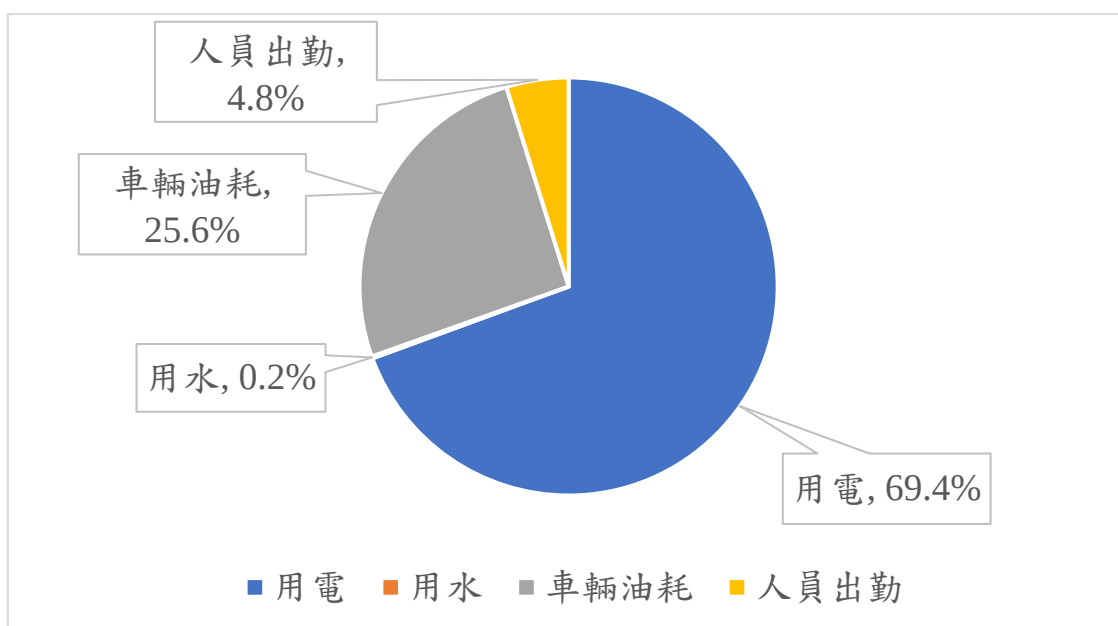


圖 5-3 施工管理碳足跡分布

5.1.3 整體碳足跡

整體碳足跡等於工程主體及施工管理(非工區)二部分的加總，總排碳量 = 43,432 + 197.2 = 43,629.2 tonCO₂e。工程主體及施工管理(非工區)占比分別為 99.5% 及 0.5%，詳圖 5-4。

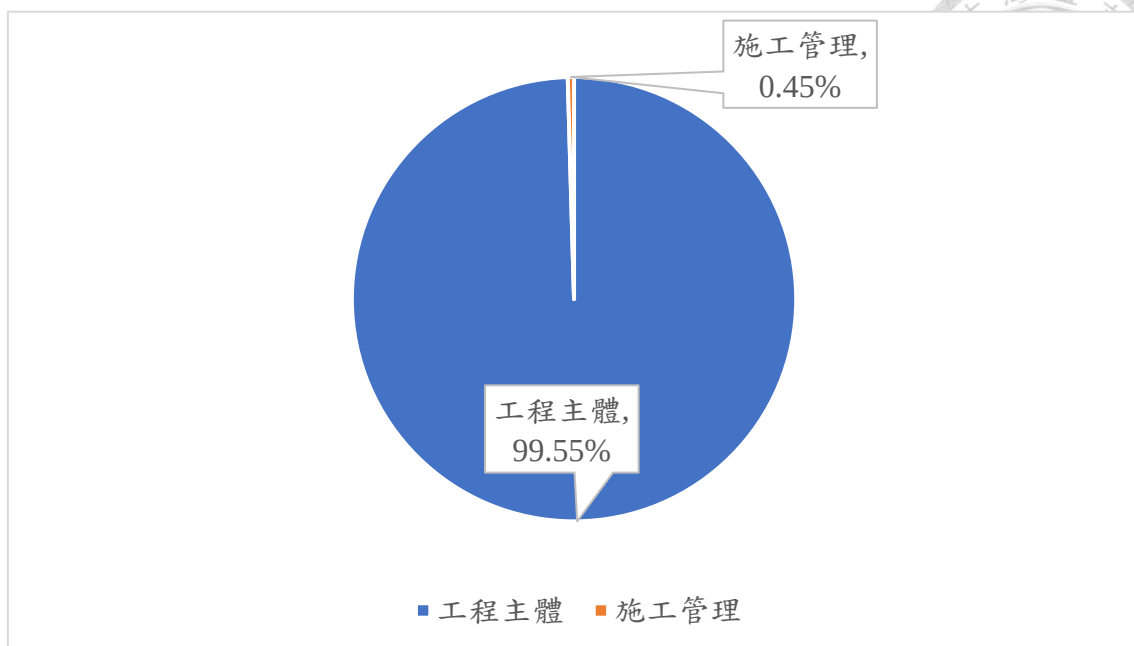


圖 5-4 整體碳足跡分布

5.2 特殊大跨徑橋梁碳足跡分析之改進建議

針對本研究利用案例工程「安心橋」進行特殊大跨徑橋梁碳足跡分析及減碳策略之研究，於實際盤查過程遭遇的狀況及感想提出後續改進建議事項如下。

- 1、依實際盤查統計結果可發現機具能耗排碳量占比 11.6%，為僅次「材料」之第 2 大排碳源，然此部分之實際機具耗油量為盤查過程最難收集之資訊，加上此類特殊大跨徑橋梁使用之施工機具通常較為特殊，且各類施工機具因廠牌、出廠年份等差異，實際耗油量可能會差異非常大，本研究係採施工日報實際出工統計並依經驗推估每日運作時數得來，建議日後可採取方式如下：
 - (1) 主承攬商自身機具設備之各類機具運轉時數表及加油量應詳實記載。
 - (2) 委託專業廠商施工或由材料供應商供料時，則建議於與協力廠商之合約(承攬與訂貨)中，規定要求協力廠商於每月提送估驗計價資料時，一併提供當月各類機具運轉時數表及加油量統計表(附加油發票影本)。如此，施工過程中各類機具實際能耗(包括主承攬商及各協力廠商)皆能輕易且清楚記錄，此部分之碳足跡亦可準確掌握，亦可針對其中高能耗機具之高



耗油原因進行檢討改進。

- 2、當碳足跡分析僅是為了碳管理而不是為了認證時，針對較次要構造物(占整體工程之契約金額及排碳量比例低)建議可採處理方式，以減輕碳盤查工作量。(此處理方式符合 ISO-14067：2018 截斷準則規定：「若個別的物質流或能源流對碳足跡或特別單元流程的影響微不足道，得考量實務因素予以排除。）」
 - (1) 以標準型式呈現之構造物如胸牆、電纜溝、金屬欄杆等，可先以一段期間或一定長度實際使用材料、機具及人力之碳足跡統計，計算出每公尺之碳足跡後，再乘上總長度方式計算即可。
 - (2) 使用材料種類眾多(可能多達數十種)但數量少之分項工程，如「電氣工程」，可以以較簡化方式辦理，只針對數量超過一定數額(如 100)之項目進行盤查即可。
- 3、施工過程資料的電腦化程度及細膩程度影響盤查工作量及正確性甚鉅，以下以本案例工程實際計算排碳量遇到幾個狀況作說明：
 - (1) 相關混凝土及鋼筋進場統計資料皆已以 EXCEL 建檔，資料收集就相對輕鬆很多，且準確性高。
 - (2) 地質改良相關灌漿資料皆為手寫資料，因此，要將這些資料重新建立就必須花費很多時間。
 - (3) 通常施工日誌針對出工人數及機具統計皆以總量呈現，然因本案例工程工作內容較為複雜且整個路線長達 7.5 公里，每日出工數大多為 2、3 百人以上，為有效管理，施工廠商除了每日施工日誌外，有另外製作「每日出工統計表」，針對不同區域、施工項目及施工協力廠商實際出工、機具作統計，此報表對於本研究也提供很大的幫助，同時也提升了盤查的準確性。



5.3 「安心橋」之碳足跡減量策略及效益分析

5.3.1 改變混凝土配比

本案例工程實際核定使用相關混凝土配比之飛灰爐石替代率為 40%，與純水泥配比比較，減碳量達 2,360.2 tonCO₂e (詳表 5-3)，減碳效果已超過 6 座大安森林公園 (25.8 公頃，每年可吸碳約 384.6 tonCO₂e) 每年可吸碳數量總和。

表 5-3 混凝土使用量及減碳量計算表

	單位	基樁	下構	上構	胸牆及電纜溝	軌道	合計	飛灰爐石數量 kg	飛灰爐石與水泥排碳係數差異 kgCO ₂ e/M ³	減碳量 T
140	M ³		1,260.0				1,260.0	104	0.925	121.2
175	M ³			104.5			104.5	111	0.925	10.7
210	M ³						0.0	124	0.925	0.0
280	M ³		9,885.0		394.5		10,279.5	159	0.925	1,511.9
420	M ³		9.5	1,317.5			1,327.0	191	0.925	234.4
350SCC	M ³		1,481.0			554.5	2,035.5	180	0.925	338.9
315水中	M ³	854.7					854.7	181	0.925	143.1
合計										2,360.2

此外，比較案例工程施工廠商實際向材料供應商採購強度 420kg/cm² 混凝土二種不同配比之價格發現，有摻加卜作嵐材料(飛灰爐石粉替代率 40%)之配比價格便宜了 250 元/M³，亦即有添加飛灰及爐石替代水泥之配比，除了可達到減碳效果外，同時也可撙節施工成本。

5.3.2 改變施工方式(機具)減碳具體作為

「安心橋」跨越新店溪段原規劃施工方式擬採節塊推進工法施工，施工順序及步驟詳圖 5-5~5-6 所示(新亞建設，2016[43])，後經施工廠商詳細評估與檢討後，改採將固定式伸臂起重機安裝於靠安坑端鋼桁架橋前緣；後續構件則利用設置於主橋塔旁之吊料捲揚機吊放至設置於已安裝完成鋼桁架之運輸台車上，再以運輸

台車供料給固定式伸臂工作車進行安裝(新亞建設, 2018[45])(詳圖 5-7)。改以此方式施工, 所有作業可利用已完成鋼桁架構件做為施工動線, 跨越新店溪段施工時可免於新店溪行水區設置施工便橋, 且無需於河中設置支撐鋼桁架之臨時支撐架。

施工便橋之立柱等同縮小河道通水河寬, 且有卡住大型異物的風險, 將造成新店溪水位壅高; 此外, 因整個「安心橋」鋼桁架吊裝作業施工工期超過 1 年(實際鋼桁架吊裝時間為 108 年 5 月至 109 年 9 月), 依過往台灣天氣特性, 加上近年來氣候異常變化加劇, 施工過程中恐難避免遭遇到超大豪雨或颱風來襲, 當發生超大豪雨或颱風警報發布時, 施工便橋之覆蓋版系統尚可緊急拆除運離, 但這些作為鋼桁架之臨時支撐架是無法拆除運離的, 除可能因大水將這些支撐架衝垮, 造成工程財損及工進延誤外, 如被洪水沖落之施工材料影響通水面積造成水位壅高、甚至破堤或影響下游秀朗橋安全時, 其後果將是不堪設想。

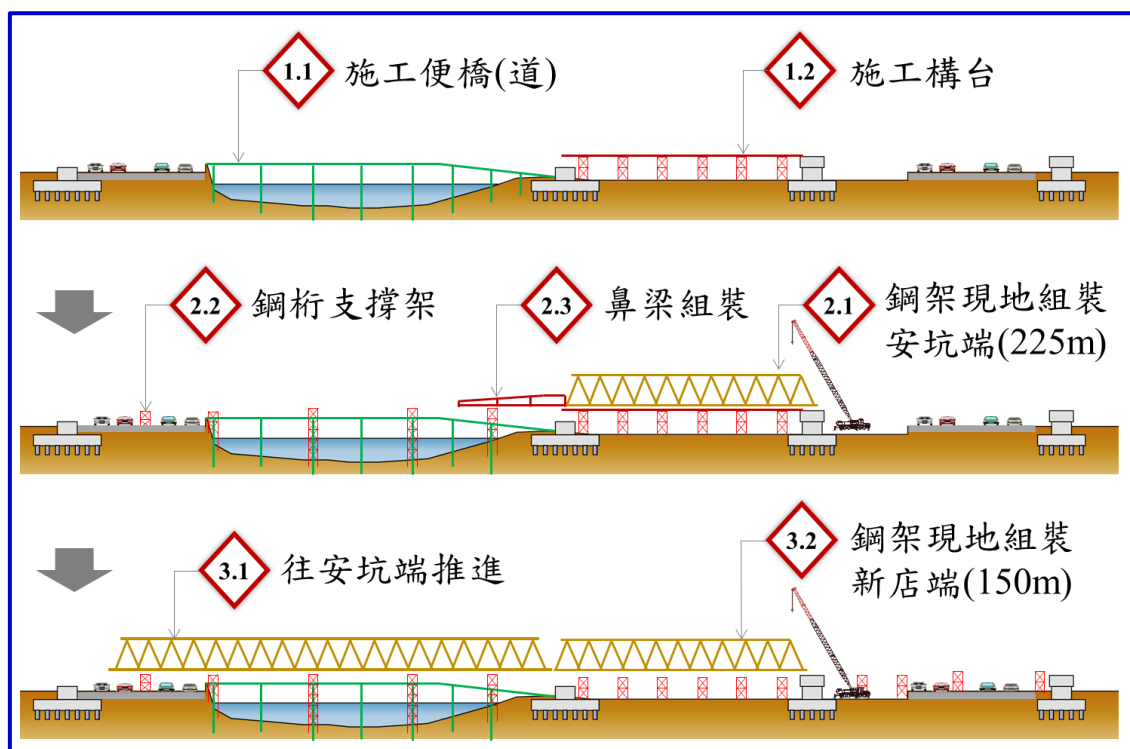


圖 5-5 原規劃鋼桁架橋施工方式步驟 1→2→3(整理自新亞建設企劃書, 2016[43])

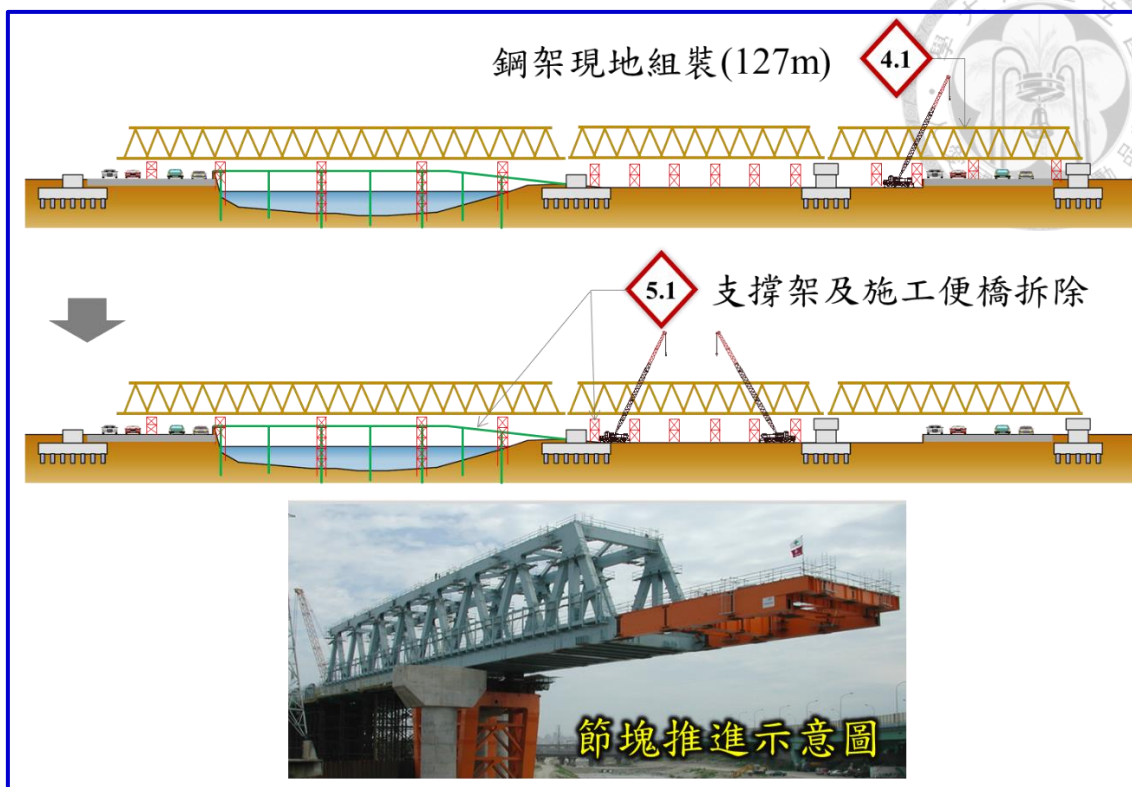


圖 5-6 原規劃鋼桁架橋施工方式步驟 4→5(整理自新亞建設企劃書，2016[43])

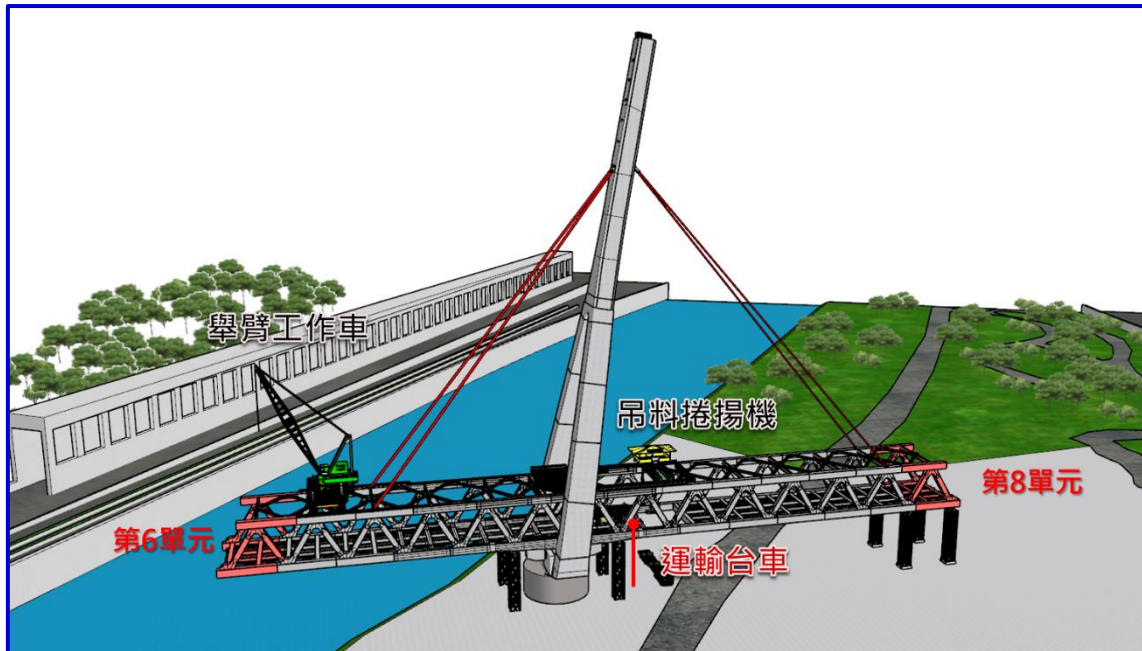


圖 5-7 實際跨溪段施工方式(利用捲揚機及運輸台車供料給吊車)施工示意圖(新亞建設，2018[45])

改變跨新店溪段鋼桁架橋施工方式減少施作之施工便橋數量達 2,080M²(原規劃設置便橋：8M 寬*110M 長*2 處+構台：4M 寬*20M 長*4 處)，以案例工程 P9-

16 施工構台為例，實際施作數量 300M²，排碳量為 43.5 tonCO₂e(P9-16 施工構台排碳量計算詳表 5-4，考量施工機具及設備係與擋土支撐工程採同一資源，故施工機具及設備之運輸排碳量不納入計算)。估計此施工便橋減做減少排碳量至少達 2,080*43.5/300=301.6 tonCO₂e(此減碳量尚未考慮施工便橋例行維護及遇颱風或豪大雨來襲，須將覆蓋版系統緊急撤除之相關作業)，減碳效果已接近 1 座大安森林公園每年可吸碳數量總和。

表 5-4 P9-16 施工構台排碳量計算表

項次	工作項目	單位	數量	每日工作時數	機具燃料耗用率(L/hr)	距離(km)	排碳係數	排碳量(T)
一	施工材料運輸	T	271.6			24.0	0.0996	1.95
二	施工機具、用油							
1	PC-300 打樁機	天	11.0	6.0	17.92		3.61	4.27
2	PC-200 挖土機	天	11.0	6.0	12.46		3.61	2.97
3	45T 吊車	天	9.0	6.0	59.50		3.61	11.60
4	15T 吊卡車	天	19.0	6.0	30.00		3.61	12.35
5	100KVA 發電機	天	19.0	6.0	27.00		3.35	10.31
三	人員出勤逸散	工	110.0	8.0			0.0444656	0.04
合計								43.5

改變跨新店溪段鋼桁架橋施工方式相關使用資源設備比較如下：

- 1、增加：舉臂工作車(未採用此設備時，安裝仍須使用其他類型吊車，故此部分可不納入考量)、吊料捲揚機及運輸台車。
- 2、減少：施工便橋、臨時支撐架、節塊推進工法前鼻梁及相關設備

綜上，施工廠商在評估並決定「安心橋」跨新店溪段鋼桁架橋施工方式時，或許並不是以減碳目的為最主要考量，不過，此改變確實也達到減碳效果，同時降低了施工風險，更重要的事，並沒有因此增加施工成本，反而因減少施作施工便橋，及無須引進相關節塊推進工法所需之材料設備，而有擷節施工成本的成效。



5.4 特殊大跨徑橋梁之碳足跡減量策略

5.4.1 飛灰爐石替代水泥

「工程材料」碳排放量占整體碳排比例最高，其中又以混凝土、鋼筋及鋼構排碳量為最大，針對混凝土材料，依 5.3.1 節分析，「安心橋」以飛灰爐石替代水泥比率為 40%之混凝土配比，減碳量達 2,360.2 tonCO₂e，減碳效果顯著。

此外，目前國內相關文獻於計算飛灰及爐石替代水泥減碳量計算時，皆很直覺的認定飛灰及爐石總量可以 1：1 完美的替代水泥用量，且其他材料使用量並不會改變，故直接以「減碳量」=「飛灰及爐石替代水泥的重量」*「水泥碳排係數-飛灰及爐石碳排係數」計算，而會以此方式計算的原因主要是一般工程於設計混凝土配比時，並不會針對同一強度混凝土設計二種不同配比(包括純水泥配比及有摻加卜作嵐材料(飛灰、爐石粉、矽灰等)配比)，因此，也無法得知其他材料使用量是否有所增減及其增減量為何？

實務上，只要混凝土配比改變，所有材料使用量應該都會有所改變，而這些材料使用量增減所造成的碳排放影響究竟如何？目前尚無相關研究說明，以下就以安坑輕軌實際核定配比做分析，計算配比改變所造成的影響。

安坑輕軌計畫高架橋型式主要分為場撐工法預力混凝土橋梁、懸臂工法預力混凝土橋梁、鋼構吊裝工法橋梁及特殊工法橋梁(安心橋：單塔非對稱斜張複合式橋梁)等四種，其中除用於預力混凝土之 420kg/cm² 混凝土設計採用純水泥配比外(預力混凝土採純水泥配比原因主要為整體工期考量，因為添加爐石粉及飛灰減少水泥用量，將會延長混凝土凝結時間及減緩強度成長速率，這與預力混凝土期望混凝土初期強度能快速提升至設計強度 80%以利施拉預力有所違背)，其他則採有摻加卜作嵐材料配比。因此，於安坑輕軌核定之混凝土配比中，強度 420kg/cm² 混凝土共有二種配比(詳表 5-5)(新亞建設，2018[33])，二種配比各種材料使用量差異及依據實際材料使用差異計算減碳量計算詳表 5-6 所示。

表 5-5 核定強度 420kg/cm²之混凝土配比(新亞建設，2018[33])

項次	配比編號	水膠比	膠結材重量				飛灰及爐石膠結材比例	拌合水		化學附加劑		細骨材 kg	大砂 50%	花砂 50%	粗骨材 kg	1cm 石 55% kg	2cm 石 45% kg	總重 kg
			水泥 (台泥 1 型) kg	爐石 (六輕) kg	飛灰 (中聯) kg	膠結材合計 kg		總水量 kg	自來水 kg	羧酸 TYPE-G kg								
1	XA42N8	0.390	476	0	0	476	0%	188	184	0.75%	3.57	764	382	382	948	521	427	2,376
2	XA42C8	0.395	286	143	48	477	40%	188	185	0.70%	3.34	751	376	375	931	512	419	2,347

備註：設計坍度18±3.5cm，最大粒徑25mm

表 5-6 二種不同 420kg/cm² 混凝土配比材料使用量差異及實際減碳量計算

項次	配比編號	膠結材重量			拌合水	附加劑	細骨材 kg	粗骨材 kg
		水泥 (台泥) kg	爐石 (六輕) kg	飛灰 (中聯) kg	自來水 kg	羧酸 TYPE-G kg		
1	XA42N8 (純水泥)	476	0	0	184	3.57	764	948
2	XA42C8 (飛灰爐石粉替代率 40%)	286	143	48	185	3.33	751	931
差異		-190	143	48	1	-0.24	-13	-17
碳排係數		0.907	0.0482	0.0482	0.0948		0.0344	0.0041
碳排係數來源		環保署	環保署	環保署	Gabi		Gabi	Gabi
減碳量小計		-172.33	6.89	2.31	0.09		-0.45	-0.07
減碳量合計		-163.55						

依表 5-5 及表 5-6，比較 420kg/cm² 混凝土之純水泥配比與有摻加卜作嵐材料(飛灰爐石粉替代率 40%)二種不同配比，各種材料使用量差異如下：

- 1、水泥：減少 190kg。
- 2、飛灰及爐石：增加 143+48=191kg(較水泥減少量多 1kg)。
- 3、自來水：增加 1kg。
- 4、添加劑(羧酸 TYPE G)：減少 0.24kg。
- 5、骨材：減少 30kg，包括細骨材減少 13kg，粗骨材減少 17kg。

由配比材料差異發現，有摻加卜作嵐材料配比(飛灰爐石粉替代率 40%)，除飛灰及爐石總量較水泥減少量增加 1kg 及增加 1kg 的自來水以外，其他材料使用(包括化學添加劑羧酸 TYPE-G、細骨材及粗骨材)皆為減量，代表碳排放量也會減少，計算後實際減碳量為每立方公尺減少 163.55kg，減碳比率為 $163.55/(163.55+405)=28.8\%$ 。(其中羧酸 TYPE-G 因數量差異僅 0.24kg，且尚查無碳排係數，然以 Gabi 查得無收縮摻料 MW Power 之係數為 1.2078，判斷此部分影響非常小，應可忽略不計)。

目前國內相關文獻計算方式：減碳量=「飛灰及爐石替代水泥的重量」*「水泥碳排係數-飛灰及爐石碳排係數」= $(143+48)*(0.907-0.0482)=164.03\text{kg}$ ，減碳比率為 $164.03/(164.03+405)=28.8\%$ ，與實際減少 163.55kg，差異僅 0.48kg(約 0.29%)，這個差異來源主要為飛灰及爐石替代水泥量那 1kg 的差異(配比改變，膠結材由 476kg 調整為 477kg)，而這個差異量是很小的，占原純水泥配比膠結材比例為 0.21%，應可忽略不計。因此，經以案例工程強度 $420\text{kg}/\text{cm}^2$ 混凝土 2 種不同配比實際計算比較，目前國內相關文獻計算飛灰及爐石替代水泥減碳量計算方式：『減碳量=「飛灰及爐石替代水泥的重量」*「水泥碳排係數-飛灰及爐石碳排係數」』為可行的。

由以上分析可知，「安心橋」飛灰爐石替代水泥比率為 40%之混凝土配比減碳比率達 28.8，證實以飛灰爐石替代水泥為一減碳效益卓越之策略。

5.4.2 改變施工方式

特殊大跨徑橋梁之施工工法(方式)及機具通常都較為特殊，於設計規劃階段或施工前，發揮創意採用不同施工方式有時也可達到減碳效益，依 5.3.2 節分析，改變「安心橋」跨新店溪段鋼桁架橋施工方式減少排碳量達 43.5 tonCO₂e，確實也達到減碳成效。

甫於去年底通車之「金門大橋」(脊背跨海大橋)，該橋位於深槽區之橋梁上

部結構(包括邊橋路段及主橋路段共 1,770 公尺)原設計施工方式為「場鑄懸臂工法」，在施工廠商向業主提報替代工法獲准後，施工方式改為「預鑄節塊吊裝工法」，替代工法施工區域詳圖 5-8(整理自高速公路局，2021[51])。如此，相關預鑄節塊直接在興達港之預鑄場以半自動化方式生產後再運至工地現場安裝，於預鑄場施工期間施工廠商施工用電來源為台電電力，可減免大量發電機使用，此外，因施工方式改變亦節省大量海上施工機具(包含鋼筋、預力、混凝土澆置等施工需求)及人力。減少發電機、施工機具、人力除了擷節施工成本外，同時也可達到減碳效益。

「金門大橋」施工廠商將預鑄節塊場地設置在興達港的原因應該是該公司有其自身的考量，不過如果以減少碳排放量角度出發，將預鑄節塊場地設置在金門，並採用在地品質良好之花崗岩作為預拌混凝土骨材，因為可以減少大量骨材及預鑄節塊成品運輸，能達到的減碳效益應該會更大。



圖 5-8 金門大橋替代工法施作區域示意圖(整理自高速公路局，2021[51])



5.4.3 螺旋箍筋基樁

傳統基樁鋼筋籠之箍筋設計採單圈閉合彎鉤方式，近期已有部分工程在施工廠商提出構想後，主辦機關同意廠商所提變更施工方式。以目前施工中「東西向快速公路台 76 線(16k+607~20k+890)西湖至瓦礫路段新建工程」為例，該工程之基樁工程原設計採傳統箍筋方式，在施工廠商提出採螺旋箍筋方式之相關計畫及計算書後，主辦機關經評估後同意廠商提報方式。

該工程基樁鋼筋加工廠配置及加工作業流程詳圖 5-9(新亞建設，2023[52])所示。鋼筋籠於加工廠採自動化生產除可精準控制箍筋間距提升施工品質及效率外，更可減省大量人力及鋼筋(箍筋)材料使用量，減少碳排數量。

假如本案例工程之基樁亦採螺旋箍筋方式施工，以 P9-17 基樁為例，估計可減少鋼筋使用量達 4.2%(計算表詳圖 5-10)。



圖 5-9 台 76-4 標基樁鋼筋籠加工廠配置及加工作業流程(新亞建設，2023[52])

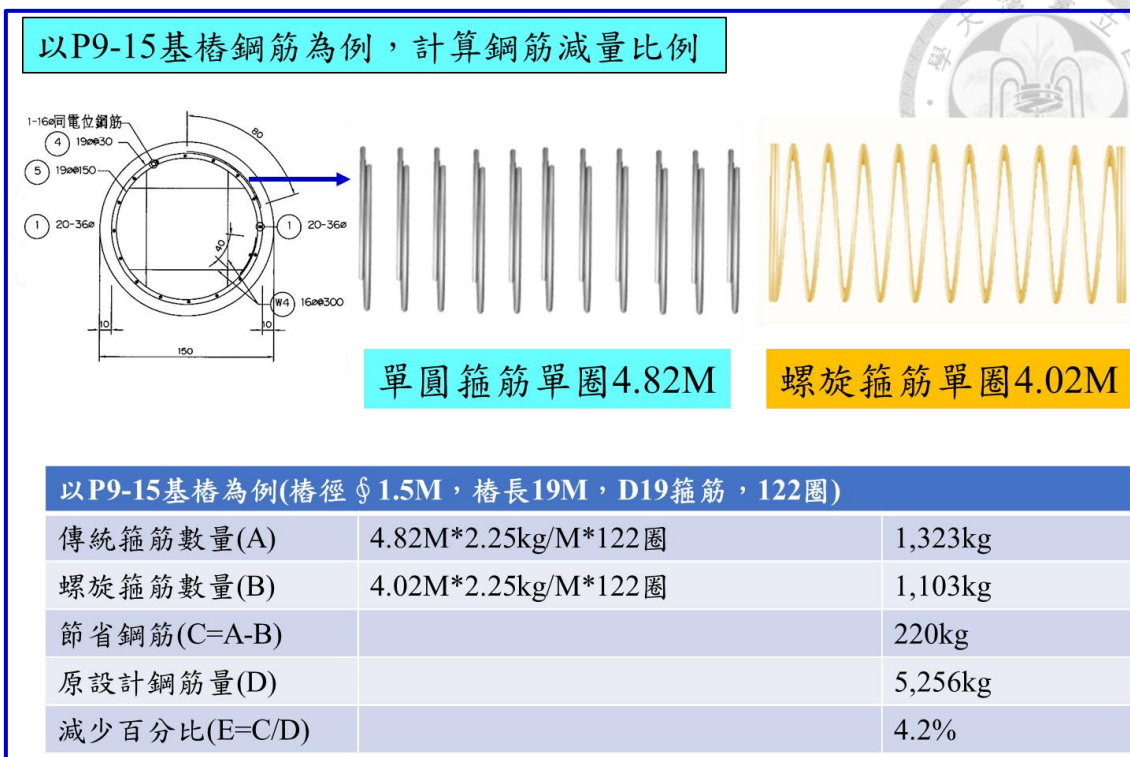


圖 5-10 以案例工程 P9-15 為例計算螺旋箍筋設計之鋼筋減量比例

5.4.4 多螺箍橋墩工法

自「潤弘精密工程事業股份有限公司」於 92 年發明「多螺箍筋」工法以來，此工法已逐步推廣運用至建築工程(特別是採用預鑄工法施工之建築工程)中，近年來國內橋梁工程亦已出現首次以「多螺箍鋼筋」工法之施工案例-「國道四號台中環線豐原潭子段第 C715 標潭子系統交流道工程」，此施工方法特色及優點包括：

- 1、螺箍筋於工廠採用自動化機械加工生產(詳圖 5-11)後再載運至工地吊裝，大大提升工作效率及施工品質，同時可減少大量施工人力。
- 2、與傳統箍筋橋墩施工方式比較，可節省大量鋼筋材料，達到碳排減量效益，依該工程統計分析，箍筋鋼筋量約減少 46%~56%，主筋鋼筋量約減少 3%(郭呈彰等，2021[53])。

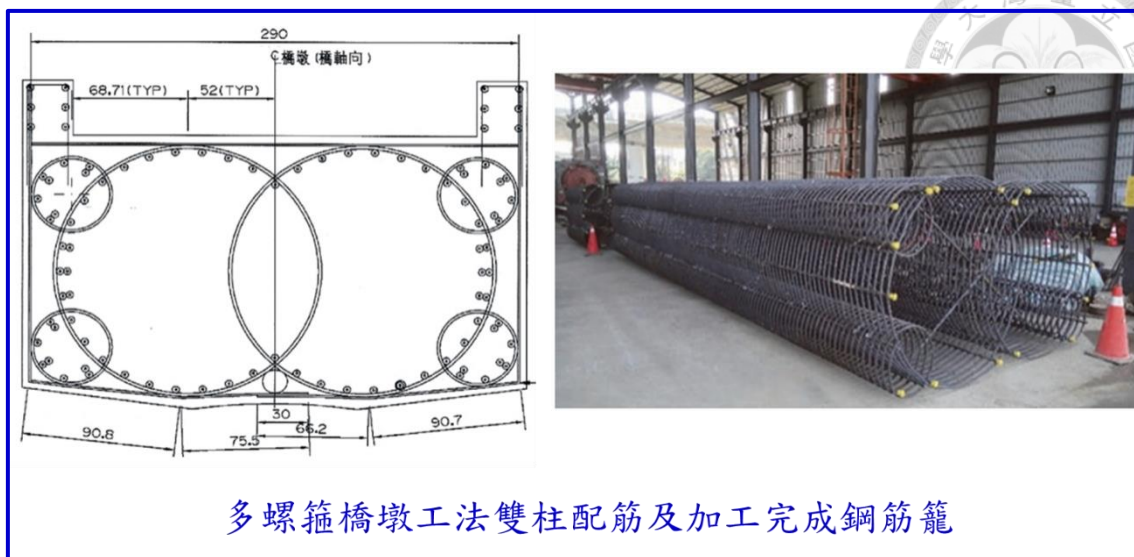


圖 5-11 多螺箍橋墩工法雙柱配筋及加工完成鋼筋籠(郭呈彰等，2021[53])

5.4.5 在地化材料

目前國內斜張橋之預力系統及軌道工程材料，尚有很多仍需由國外進口，而這些材料供應商大多為跨國的國際企業，生產據點遍布世界各個角落，本案例工程研究資料收集過程，因為部分機具及設備僅知道從國外哪一個港口運輸至台灣，可是無法確切知道其生產地(例如固定式伸臂起重機 STT3330 係由中國大陸永茂建機製作，並由大連港上船，然該起重機設備確切由哪一個工廠生產或由哪一個地方拆解後運至港口則不得而知)，故針對由國外進口機具及設備運輸碳足跡計算僅計算港口到港口而已。

因為船運之排碳係數僅約為陸運排碳係數的 $1/7 \sim 1/5$ 倍，因此，即使船運的距離可能高達數千公里，也會因為排碳係數較小的關係，排碳量並不會因為距離長而顯得特別的大。不過，如果再將機具及設備於進口國陸地運輸納入考慮時，像俄羅斯或中國大陸這種土地幅員如此大之區域，陸運的距離應該會相當的遠，此部分的碳足跡數量就會明顯增加，因此儘量就近採用在地化資源減少運輸距離肯定也可以達到減碳目的。



5.4.6 台電臨時電替代發電機

因「安心橋」主橋塔及鋼桁架吊裝作業主要施工位置位處新店溪高灘地，現地並無足以滿足工地施工需求容量之臨時電，且若於此區域向台電申請設置臨時電電箱恐有受到新店溪水位因豪雨或颱風來襲暴漲而有損壞之風險，故於「安心橋」施工時仍以發電機提供施工用電。然依據相關研究顯示，以台電臨時電替代發電機具減碳成效，故日後其他特殊大跨徑橋梁工程施工時，如環境允許，建議仍應考慮以台電臨時電替代發電機。

5.4.7 小結

由以上案例及分析，驗證飛灰爐石替代水泥及改變施工方式確實可作為特殊大跨徑橋梁之減碳策略，亦可確認螺旋箍筋基樁及多螺箍橋墩工法施工方式確實可行，除了提升品質、減低人力需求外亦可減少鋼筋材料使用量及減少碳排放量，唯因目前國內基樁工程及墩柱工程之設計大多尚未將此施工方式導入，而且在實作實算合約的框架下，廠商節省下之鋼筋材料費用業主並不會給付，加上加工廠場地及設備初期投資成本所費不貲(加工廠含天車約 2,000 萬，加工設備每套約 1,000 萬(套數視施工規模需要設置))。因此，一般而言，除非工程規模夠大且後續尚有其他工程可接續使用這些設備，否則在無其他誘因的情況下，目前廠商自主投注資金設置螺旋箍筋基樁及多螺箍橋墩工法鋼筋加工廠之意願極低，此部分建議後續政府主辦機關於工程設計階段可將此工法納入考量，同時編列合理之分潤機制，讓廠商有動機以此方式施工，創造業主可因鋼筋減量減少部分預算，同時廠商亦可分得合理利潤之雙贏結果，如此，更可順應政府減碳政策方向，達到減碳目的。

此外，就近採用在地化材料(包括機具設備)減少運輸距離，以及以台電臨時電替代發電機減低能耗同樣具減碳成效，日後其他類似工程亦可納入為減碳策略。

第六章 結論與建議



地球只有一個，面對全球溫室效應及氣候變遷問題日益嚴重，減碳工作已成為一個足以影響企業及產業(甚至是國家)競爭力及存續不得不重視的關鍵課題，本研究利用「安心橋」碳足跡分析實例，探討此類特殊大跨徑橋梁，歸納提出以下結論及建議。

6.1 結論

- 1、 碳足跡盤查就是碳管理的基礎，於規劃設計階段即先做碳排放推估，了解碳排分布及關鍵因子，有助碳排減量策略擬定及控制整體碳排數量，且效益最大。
- 2、 通常「工程材料」碳排放量占整體碳排比例最高，其中又以混凝土、鋼筋及鋼構排碳量為最大，亦即混凝土、鋼筋及鋼構為一般基礎建設減碳之關鍵因子，減少工程混凝土、鋼筋及鋼構之材料設計(使用)量及其製程(包含電力、水、配比等)的排碳量可以達到的減碳效益最大。
- 3、 依「安心橋」實際碳盤查結果顯示，此類特殊大跨徑橋梁「工程材料」碳排放量占整體碳排比例仍為最高，其次為「機具能耗」，分布如下所示。
 - (1) 「工程主體」排碳量占全部排碳量達 99.5%，「施工管理」排碳量僅占 0.5%。
 - (2) 「工程主體」之排碳量以「工程材料」排碳量占比最高，達 84.5%，其次為「機具能耗」，占比為 11.3%，此二部分合計已達 95.8%。
- 4、 發揮創意改變施工方式，或許有時並不是以減碳目的為最主要考量，但常常除了節省成本、縮短工期外，也可以達到減碳效益。
- 5、 本研究案例針對排碳量高之關鍵因子「工程材料」以改變混凝土配比方式，及發揮創意改變跨溪段鋼桁橋施工方式達到減少碳排放效益，此二種方式非但沒有增加施工成本，反而有摺節成本的效益，減碳成效如下所示：



- (1) 改變混凝土配比(飛灰爐石替代率 40%)：減碳量達 2,360.2 tonCO₂e，減碳效果已超過 6 座大安森林公園（25.8 公頃，每年可吸碳約 384.6 tonCO₂e）每年可吸碳數量總和。
 - (2) 改變跨溪段鋼桁橋吊裝方式：排碳量至少達 301.6 tonCO₂e，減碳效果已接近 1 座大安森林公園每年可吸碳數量總和。
- 6、螺旋箍筋基樁及多螺箍橋墩工法施工確實可行，建議後續政府主辦機關於工程設計階段可將此工法納入考量，同時編列合理之分潤機制，讓廠商有動機以此方式施工，創造業主可因鋼筋減量減少部分預算，同時廠商亦可分得合理利潤之雙贏結果。
- 7、就近採用在地化材料(包括機具設備)減少運輸距離，及以台電臨時電替代發電機減低能耗同樣具減碳成效，建議日後其他類似工程施工時，可納入為減碳策略。

6.2 建議

- 1、依實際盤查統計結果可發現，「機具能耗」排碳量為僅次「材料」之第 2 大排碳源，然此部分為最難收集之資訊，建議日後可於與協力廠商之合約(承攬與訂貨)中，規定要求協力廠商於每月提送估驗計價資料時，一併提供當月各類機具運轉時數表及加油量統計表(附加油發票影本)，如此，此部分之碳足跡即可輕易準確掌握，亦可針對其中高能耗機具之高耗油原因進行檢討改進。
- 2、本研究於進行案例工程碳盤查時發現，因目前國內營建業材料供應商除較具規模且有出口業務需求之廠商如中鋼、東鋼等，其餘大部分廠商皆尚未曾實施過碳盤查。因此，產品於工廠加工製造過程(例如：由鋼板製作成鋼箱梁，由鋼材、橡膠及其他配件組合製作成盤式支承等)產生之碳排放量無法確切掌握，因工程材料為碳排量占比最高項目，故將工廠加工製造過程產生之排

碳量排除不納入計算尚不至於影響整體碳盤查結果，建議日後可採以下二種方式進行改善。

(1) 政府：順應世界節能減碳趨勢潮流，讓國內法規與時俱進，目前金管會已於 2022 年 3 月 3 日啟動「上市櫃公司永續發展路徑圖」，依照公司實收資本額，自 2023 年起分階段推動，要求全體上市櫃公司於 2027 年完成碳盤查、2029 年前完成查證。建議後續仍應逐步落實至各中小企業及更小的工廠，並要求在所有產品出產包裝標示碳足跡量化數字(如標示不易，可以出具碳足跡量化證明文件方式)，讓產品之碳足跡更透明以提供業主(消費者)在選擇商品時可納入考量。

(2) 主承攬商：在法規尚未要求實施前，建議可在與協力廠商之合約(承攬與訂貨)中，納入協力廠商相關應配合事項之規定，例如要求提供原料(成品或半成品)來源、工廠能資源使用及填報相關盤查資料調查表等，將有助完成協力廠商工廠之碳足跡計算，同時可增加盤查之完整性。

3、當碳足跡分析僅是為了碳管理而不是為了認證時，針對較次要構造物(占整體工程之契約金額及排碳量比例低)建議處理方式，可參考 ISO-14067：2018 截斷準則規定，將個別的物質流或能源流對碳足跡或特別單元流程的影響微不足道項目排除，以減輕碳足跡工作量，並可依下列方式辦理：

(1) 以標準型式呈現之構造物如胸牆、電纜溝、金屬欄杆等，可先以一段期間或一定長度實際使用材料、機具及人力之碳足跡統計，計算出每公尺之碳足跡後，再乘上總長度方式計算即可。

(2) 使用材料種類眾多(可能多達數十種)但數量少之分項工程，如「電氣工程」，可以以較簡化方式辦理，只針對數量超過一定數額(如 100)之項目進行盤查即可。

4、施工過程相關資料留存之資訊化程度及細膩程度影響盤查工作量甚鉅，此部分如果做得好，相關碳盤查工作就會相對容易許多。

5、依據 ISO-14067：2018 規定，若個別的物質流或能源流對碳足跡的影響微不



足道，得考量實務因素予以排除。此外，依據由環保署制定之「碳足跡產品類別規則(CFP-PCR)-範本」之切斷規則，任何單一溫室氣體源之排放貢獻占產品預期之生命週期內溫室氣體排放量 $\leq 1\%$ 者，此程序/活動可於盤查時被忽略，累計不得超過 5%。然實務上，當整體碳足跡尚未完整計算出來時，任何單一工作項目(除非是數量少很輕易即可判斷出排碳量占比很少)之碳排放量是否 $\leq 1\%$ 是不容易判斷的。以案例工程為例，「擋土支撐工程(含施工構台)」及「地質改良工程」及「電氣工程」占比分別為 0.9%、0.9%及 1.0%，就處在可算可不算邊緣區域，因此，建議除非有資料收集不易或其他特別因素(如人力不足)考量下，於進行碳足跡計算時仍先納入以確保資料之完整性及正確性。

此外，「安心橋」為跨河鋼橋塔非對稱斜張桁架複合式軌道橋，與國內近年陸續施工中之特殊大跨徑橋梁，包括金門大橋(RC 塔柱跨海脊背橋，預鑄節塊吊裝工法)、淡江大橋(RC 塔柱跨海斜張橋)、中正新橋(跨河鋼拱橋)，分屬四種不同類型之特殊大跨徑橋梁，相信這四種橋梁因為結構設計型式、施工方式、工地位址及環境的差異，其排碳分布應該也會有很大的差異，建議日後對於永續工程或碳盤查有興趣者可再分別針對其他三座橋梁做碳排分析並作互相比較，相信也可以提供日後國內於興建此類型特殊大跨徑橋梁時能有不同的思維模式。

參考文獻



- [1] AWC(聯合國 NGO 世界公民總會台灣分會)網站。人權大事紀-1972 年聯合國人類環境宣言。檢自
<http://www.worldcitizens.org.tw/awc2010/ch/Declaration/1972.htm>(2023 年 4 月查詢)。
- [2] 外交部網站。UNFCCC 之回答錄。檢自
https://subsite.mofa.gov.tw/igo/News_Content.aspx?n=C60A5AF9E8F638E0&sms=FD69E2823D9785AA&s=0F2AF4C227A2C81C(2023 年 4 月查詢)。
- [3] 外交部網站。UNFCC 簡介-巴黎協定。檢自
<https://subsite.mofa.gov.tw/igo/cp.aspx?n=6034> (2023 年 4 月查詢)。
- [4] 許佩蓓(2022)。「台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫工程碳管理經驗分享及展望」簡報 p.9。中興工程顧問股份有限公司。
- [5] 行政院網站新聞(2008)。永續能源政策綱領。檢自
<https://www.ey.gov.tw/Page/9277F759E41CCD91/6f0faa1c-9406-48d0-97aa-78ccea4f3f02>(2023 年 4 月查詢)。
- [6] 公共工程委員會(2011)。永續公共工程-節能減碳政策白皮書(修正版)。
- [7] 公共工程委員會(2009)。振興經濟擴大公共建設投資計畫落實節能減碳執行檢討作業要點。
- [8] 交通部(2010)。交通部節能減碳規劃設計參考原則。
- [9] 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之研究。
- [10] 蘇花改工程處網站。話說蘇花。<https://suhua.thb.gov.tw/cp.aspx?n=10608>(2023 年 4 月查詢)
- [11] 行政院新聞傳播處網路新聞(2023)。重要政策-臺灣 2050 淨零排放。檢自
<https://www.ey.gov.tw/Page/5A8A0CB5B41DA11E/7a65a06e-3f71-4c68-b368->



- 85549fbca5d1(2023 年 4 月查詢)。
- [12] 行政院環境保護署產品資訊網環保新聞專區(2023)。行政院核定成立「環保署氣候變遷局」專責因應我國氣候變遷業務。檢自
<https://enews.epa.gov.tw/Page/3B3C62C78849F32F/58369690-3f69-4597-bf35-fa6c57f9af99>(2023 年 4 月查詢)。
- [13] 行政院環境保護署(2010)。產品與服務碳足跡計算指引 p.4。
- [14] 黃雪娟(2010)。ISO 溫室氣體系列國際標準趨勢介紹。永續產業發展雙月刊 No.53 p.34。
- [15] 世界資源協會(WRI)與世界永續發展商業委員會(WBCSD)(2011)。Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard p.5。
- [16] 國際標準組織(2018)。ISO 14067：2018「產品碳足跡量化要求與指引 (Greenhouse gases-Carbon footprint of products-Requirements and guidelines for quantification)」。
- [17] 鄭仲凱(2018)。新版 ISO 14067：2018 碳足跡國際標準解析。
- [18] 林宏霖(2013)。工程規設階段之碳盤查及其減碳策略-以潛盾工程為例。國立台北科技大學土木與防災研究所碩士論文。
- [19] 陳保展、黃炳勳、蔣啟恆、劉珊、湯允中、許肇安(2017)。工程碳足跡盤查發展及成果介紹-以台 9 線南迴公路安朔草埔段為例。土木水利 第四十四卷 第三期。
- [20] 行政院農業委員會水土保持局(2014)。萬得野溪整治工程 碳排放量估算及盤查結果成果報告。
- [21] 賴建信、許朝欽、陳加榮、林哲震(2022)。全國首創水利工程碳預算管理方法。土木水利 第四十九卷 第六期。
- [22] Tai-Yi Liu、Shiau-Jing Ho、Hui-Ping Tserng、Hong-Kee Tzou(2022)。Using a Unique Retaining Method for Building Foundation Excavation：A Case Study on Sustainable Construction Methods and Circular Economy。Buildings 2022,12,298。

- 
- [23] 蘇花公路改善工程處和中工務段(2018)。「中仁隧道接續工程」2018 年度交通部查核簡報。
- [24] 邵厚潔、林廷彥、許佩蓓、鄭維祐(2016)。蘇花改蘇澳東澳段-減碳指標工程。營建知訊第 403 期 p.4-p.15。
- [25] 交通部公路總局(2011)。台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫(蘇澳~東澳、南澳~和平、和中~大清水)環境影響說明書 p.7-41。
- [26] 許珮蓓、黃榮堯、曠永銓、黃琬淇、葛台生、羅遠成、何臺生、周武雄、張博翔、曹志宏、楊伊萍(2012)。交通部運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究 p.90。交通部運輸研究所合作研究計畫出版品。
- [27] 行政院環境保護署(2010)。產品與服務碳足跡計算指引。
- [28] 行政院環境保護署(2022)。溫室氣體排放量盤查作業指引 p.3-2。
- [29] 行政院環境保護署網站(2021)。產業溫室氣體盤查管理。檢自
<https://www.epa.gov.tw/Page/D00962771BF2D2E7/2e8ad46f-6f4b-4b27-82e1-b5bdd1222892>(新聞更新日期為 2021 年 7 月 1 日，2023 年 4 月查詢)。
- [30] 行政院環境保護署(2019)。碳足跡產品類別規則(CFP-PCR)基礎建設-橋梁(第 3.0 版)。
- [31] 行政院環境保護署，碳足跡產品類別規則(CFP-PCR)-範本，p.8
- [32] 東和鋼鐵(2017)。東和鋼鐵 105 企業社會責任報告書 p.59。
- [33] 新亞建設(2018)。預拌混凝土配比設計試拌(廠拌)成果報告書(和昌國際工業股份有限公司)。
- [34] 行政院環境保護署產品碳足跡資訊網網站。碳足跡資料庫資料。112 年 4 月查詢。
- [35] 中國鋼鐵股份有限公司(2018)。Product Carbon Footprint Verification Opinion Statement。
- [36] 東和鋼鐵企業股份有限公司苗栗廠(2020)。Verification Statement Carbon Footprint(評估期間為 2019 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日)。

- 
- [37] 中興工程顧問股份有限公司(2021)。「台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫施工期間工程碳管理委託服務工作」正式成果報告。
- [38] 楊長益(2022)。版式與道碴軌道工程之碳足跡與環境衝擊評估-以南迴鐵路工程為例 p.37。國立高雄科技大學土木工程系土木工程與防災科技碩士論文。
- [39] 蔡文豪、陳昭堯、吳文樵、陳啟明、鐘敦沛、彭成邦、侯鈞耀、黃志雄、王士傑(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附錄四。行政院公共工程委員會專案研究計畫。
- [40] 台松堆高機股份有限公司網站。檢自 http://www.taiwan-komatsu.tw/web/product/product_in.jsp?dm_no=DM1547537818395&pd_no=PD1583333835704(112 年 5 月查詢)。
- [41] 行政院環境保護署事業溫室氣體排放量資訊平台「溫室氣體排放係數管理表 6.0.4 版」(2019)。
- [42] 安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程契約業主需求書(一)。
- [43] 新亞建設。「安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程」企劃書(2016)。
- [44] 新亞建設(2018)。新店溪橋_鋼橋塔(P9-16)架設安裝施工計畫書(下部結構)。
- [45] 新亞建設(2018)。新店溪橋_鋼橋塔(P9-16)架設安裝施工計畫書(上部結構)。
- [46] 新亞建設(2019)。新店溪橋桁架橋架設安裝施工計畫書(上部結構)。
- [47] 中興工程顧問股份有限公司(2021)。「台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫施工期間工程碳管理委託服務工作」正式成果報告 p.5-13。
- [48] 新亞建設(2016)。地質調查工作成果報告書。
- [49] 安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程契約業主需求書(三)綱要性施工規範(第一冊土建工程施工規範)。
- [50] 網路。一立方米生活垃圾等於多少噸。檢自 <https://www.ciu-techniek.nl/kpj-126958/34LHlb1/>(112 年 5 月查詢)。
- [51] 高速公路局(2021)。「金門大橋建設計畫第 CJ02-2C 標金門大橋接續計畫」第 21 屆金質獎評選主辦機關簡報。

[52] 新亞建設(2023)。東西向快速公路台 76 線(16k+607~20k+890)西湖至瓦礫路段新建工程。基樁工程施工簡報。

[53] 郭呈彰、張瑜超、曹永德、莊孟曉、鄭吉益、林文政(2021)。多螺箍橋墩工法於國內橋梁工程之應用首例。土木水利 第四十八卷 第三期。

資料

進口報單

進口報單						海空運別(1) I 報單類別(2) G1 外貨進口								聯別		頁次第1頁/共2頁						
報單號碼(3) BC / I08/024/G0850						FC08024G0850								海關通關號碼(4) O8U8328014								
船舶名稱/ 船機代碼(5) 9179476 HE YANG				主提單號碼(8) 751909192258				匯率(16)														
船舶呼號(6) BKTC6		船舶航次/ 船機班次(7) 19009S/N		分提單號碼(9)				離岸價格(17)														
裝貨港名稱 /代碼(10) SHANGHAI		CNSHA 國外出口日期 (13) 108年3月5日		進口日期(14) 108年3月6日		運費(18)																
卸存地點代碼(11) KHH0680C 美商美國總統		進口運輸方式 代碼(12) 12		報關日期(15) 108年3月8日		保險費(19)																
統一編號(23) 97393939		海關監管編號(24)				特(26) 135		繳(27) 1		應加費用(20) 應減費用(21)												
中文名稱 三卓工程顧問股份有限公司						AEO編號		起岸價格(22)														
英文名稱 TRIPLE ENGINEERING CONSULTANT CO., LTD.																						
中/英地址 新北市新店區北新路1段293號7樓之1 7F.-1, NO.293, SEC.1, BEISIN RD., XINDIAN DIST., NEW TAIPEI CITY 231, TAIWAN (R.O.C.)																						
								簽證情形(28)		案號(29)												
中文名稱 JIANGYIN FASTEN YIQIANG ENGINEERING MATERIAL CO.,LTD.		AEO編號																				
英文名稱 NO.16, HEXIN ROAD, HUANGTU TOWN, JIANGYIN CITY, JIANGSU PROVINCE, CHINA																						
中/英地址																						
國家代碼(31) CN		統一編號(32)		JNFNYG		海關監管編號(33)																
生產國別(36) CHINA - CN						輸入許可文件號碼-項次(37) FTX208W0020271 -1		條件、幣別		淨重(公斤)(40) 243,000.00		進口稅率(44)		從價稅率(45)		納稅辦法(46)						
貨物名稱、商標(牌名)及規格等(35)						輸入貨品分類號列(38) 7312.10.90.20-4		檢查統計號碼(39)		金額		完稅價格數量(43)		從量稅率(44)		貨物稅率(46)						
						稅則號別		統計號碼		數量(單位)(41) (統計用)(42)		稅額		從價稅率(45)		貨物稅率(46)						
(保稅貨物註記/主管機關指定代碼)																						
總件數/單位(47) 447 PKG						包裝說明(48)				總毛重(公斤)(49) 298,073KGM												
標記(50)/質檢號碼(51)/其他申報事項(52) N/M														進口稅								
FSCU8192110 44G1 1 FCL/FCL														推廣貿易服務費								
FSCU8927652 44G1 1 FCL/FCL														營業稅								
MAGU5592870 44G1 1 FCL/FCL																						
MAGU5595436 44G1 1 FCL/FCL																						
MAGU5631615 44G1 1 FCL/FCL																						
RFCU5122922 44G1 1 FCL/FCL																						
TGCU6768462 44G1 1 FCL/FCL																						
														稅費合計								
														營業稅稅基								
														滯納金()日								
														通關方式		(申請)審核方式						
														證明文件請		聯別份數						
														報關人/AEO編號(53)		專責人員(54)						
														大華報關運輸股份有限 公司 TWAEO-104000012 (0240)		黃怡榮 (00851)						



進口報單

報單號碼(3)		BC/ /08/024/G0850		聯 別		頁 次		第 2 頁/共 2 頁	
主提單號碼(8)		751909192258		分提單號碼(9)					
項 次 (34)	生產國別(36)	輸出入許可文件號碼-項次(37)		單 價 (39)	幣 別	淨重(公斤)(40)	完稅 價格 數量(43)	進 口 稅 率 (44)	從 價 稅 率 (45)
	貨物名稱、商標(牌名)及規格等(35)	稅則號別	統計 號別						
3	ANCHORAGE AND ACCESSORY CHINA - CN 蠟油防腐料 HIGH TEMPERATURE WAX OIL	3403.19.10.00-4 Z00				1,215.00 81BLL			
4	聚乙烯套管 HDPE PIPE CHINA - CN	3917.21.00.00-1 Total : - - - - -				32,845.00 3,370MTR			
	TSLU0537581 44G1 1 FCL/FCL					296,555.00 243TNE 24SET 81BLL 3,370MTR vvvvvvvv			

附錄 2：塔吊海運裝船及陸運規格構件表

塔吊海運裝船及陸運規格構件表(第 1 頁/共 2 頁)

唛头号	图号	名称	包装件数	包装方式	毛重	净重	长CM	宽CM	高CM	体积M3
1	TE04	标准节1	1	裸装	22000	22000	646	325	351	73.69
2	TE04	标准节2	1	裸装	22000	22000	646	325	351	73.69
3	TE04	标准节3	1	裸装	22000	22000	646	325	351	73.69
4	TE04	标准节4	1	裸装	22000	22000	646	325	351	73.69
5	TE04	标准节5	1	裸装	22000	22000	646	325	351	73.69
6	TE04	标准节6	1	裸装	22000	22000	646	325	351	73.69
7	TE04F	附着节1	1	裸装	22800	22800	646	325	351	73.69
8	TE09	附着框1	1	裸装	7500	7500	535	266	82	11.67
9	6套标准节、1套	配件箱1	1	铁箱	3500	3400	154	73	68	0.76
10	TE04	标准节7	1	裸装	22000	22000	646	325	351	73.69
11	TE04	标准节8	1	裸装	22000	22000	646	325	351	73.69
12	TE04	标准节9	1	裸装	22000	22000	646	325	351	73.69
13	TE04	标准节10	1	裸装	22000	22000	646	325	351	73.69
14	TE04	标准节11	1	裸装	22000	22000	646	325	351	73.69
15	TE04F	附着节2	1	裸装	22800	22800	646	325	351	73.69
16	TE04F	附着节3	1	裸装	22800	22800	646	325	351	73.69
17	TE04F	附着节4	1	裸装	22800	22800	646	325	351	73.69
18	TE09	附着框2	1	裸装	7500	7500	535	266	82	11.67
19	TE09	附着框3	1	裸装	7500	7500	535	266	82	11.67
20	TE09	附着框4	1	裸装	7500	7500	535	266	82	11.67
21	TE03A	基础节1	1	裸装	32000	32000	945	325	351	107.80
22	TE03B	基础节2	1	裸装	32000	32000	945	325	351	107.80
23	TE04	标准节12	1	裸装	22000	22000	646	325	351	73.69
24	TE04F	附着节5	1	裸装	22800	22800	646	325	351	73.69
25	TE04F	附着节6	1	裸装	22800	22800	646	325	351	73.69
26	TE19.1	配重块A-1	1	裸装	12500	12500	580	300	40	6.96
27	TE19.1	配重块A-2	1	裸装	12500	12500	580	300	40	6.96
28	TE19.1	配重块A-3	1	裸装	12500	12500	580	300	40	6.96
29	TE19.1	配重块A-4	1	裸装	12500	12500	580	300	40	6.96
30	TE19.1	配重块A-5	1	裸装	12500	12500	580	300	40	6.96
31	TE19.1	配重块A-6	1	裸装	12500	12500	580	300	40	6.96

塔吊海運裝船及陸運規格構件表(第 2 頁/共 2 頁)

32	TE19.1	配重块A-7	1	钢架 Node	12500	12500	580	300	40	6.96	
33	TE19A.1	配重块A1-1	1	钢架 Node	12500	12500	600	300	40	7.20	
34	TE19A.1	配重块A1-2	1	钢架 Node	12500	12500	600	300	40	7.20	
35	TE19A.3	配重块D-1	1	钢架 Node	3000	3000	110	300	40	1.32	
36	TE19A.3	配重块D-2	1	钢架 Node	3000	3000	110	300	40	1.32	
37	TE12.1	一号臂	1	钢架 Node	34000	34000	1269	255	393	127.17	
38	TE12.2	二号臂	1	钢架 Node	31000	31000	1265	268	392	132.90	
39	TE12.3	三号臂	1	钢架 Node	17000	17000	1258	250	384	120.77	
40	TE12.4	臂+维修吊臂+引	1	钢架 Node	17000	17000	1250	240	330	99.00	
41	TE12.5	五号臂	1	钢架 Node	9000	9000	1240	210	330	85.93	
42	TE12.6	六号臂	1	钢架 Node	6000	6000	1035	200	320	66.24	
43	TE16.1	一号平衡臂	1	钢架 Node	35000	35000	1255	300	390	146.84	
44	TE16.2	二号平衡臂	1	钢架 Node	11000	11000	720	270	380	73.87	
45	TE16.3	三号平衡臂	1	钢架 Node	19000	19000	1225	260	382	121.67	
46		司机室	1	木箱 Wooden	1700	1500	367	180	255	16.85	
47	TE06	套架	1	钢架 Node	21000	21000	1252	430	396	213.19	
48		油缸	1	钢架 Node	4000	4000	300	60	60	1.08	
49		油缸	1	钢架 Node	4000	4000	300	60	60	1.08	
50		油缸	1	钢架 Node	4000	4000	300	60	60	1.08	
51		臂端节	1	钢架 Node	1000	1000	336	310	185	19.27	
52	TE07	下支座	1	钢架 Node	37000	37000	420	400	293	49.22	
53	TE08	上转台	1	钢架 Node	26000	26000	440	390	250	42.90	
54	TE10	塔头总成	1	钢架 Node	31000	31000	680	285	350	67.83	
55	TE14.1	变幅前车	1	钢架 Node	3800	3800	341	200	280	19.10	
56	TE14.2	变幅后车	1	钢架 Node	3600	3600	300	200	224	13.44	
57	LFV200D	起升机构	1	铁箱 Iron	22300	20900	427	368	260	40.86	
58		20尺集装箱	1	铁箱 Iron	12300	10000	606	244	244	36.08	
59		吊钩连接架	1	钢架 Node	2300	2300	420	80	90	3.02	
60		吊钩滑轮组	1	钢架 Node	1000	1000	110	55	160	0.97	
61		吊钩滑轮组	1	钢架 Node	1000	1000	110	55	160	0.97	
62		吊钩总成	1	钢架 Node	1300	1300	96	135	121	1.57	
62					973100	969100					3158.15