



# 淡江大橋碳管理思維及執行歷程

中興工程顧問股份有限公司環境工程部工程師 / 陳奕伸

關鍵字：淡江大橋、公共工程、生命週期評估、碳管理、碳足跡盤查、節能減碳

## 摘要

隨著全球氣候變遷加劇，2050 淨零排放已成為國際關鍵轉型目標。營建產業作為高耗能與資源依賴型產業，其碳盤查制度化與減碳工法之實踐刻不容緩。本文以國家級地標工程「淡江大橋及其連絡道路新建工程（第3標）」為對象，詳述其全生命週期碳管理思維與執行歷程。碳足跡盤查作業依循 ISO 14067 標準與環境部公告之產品類別規則，並建立涵蓋機關、監造及施工廠商之三級盤查體系。自開工至 2025 年底，本計畫累計檢核逾 7 萬筆活動紀錄，分析顯示工程材料佔總排碳量達 90.56%，且排碳熱點隨工進由前期之基樁工程轉移至後期之鋼構節塊。在減碳實務方面，透過 IP 型低碳水泥應用、螺旋箍筋工法及場電取代柴油等措施，累計達到約 84,388 tCO<sub>2</sub>e 之減碳效益，相當於 548

座大安森林公園年碳吸存量。最後，本工程所建立之本土化材料碳係數庫與管理模式，可作為未來大型基礎建設落實碳管理之示範標竿。

## 一、氣候變遷與國內外政策因應

近年來，全球氣候加速惡化，大氣中二氧化碳濃度已達到 200 萬年來最高，人為溫室排放導致全球平均氣溫持續攀升，引發極端降雨與乾旱頻傳，使自然與經濟系統面臨嚴峻衝擊 [1]。為應對氣候危機，國際社會自 2005 年建立首項具法律拘束力的減碳協議《京都議定書》[2]；隨後 2016 年生效之《巴黎協定》更確立將全球升溫控制在 1.5°C 內的願景 [3]，並要求各國每 5 年更新國家自定貢獻（Nationally Determined Contributions, NDC）。



依據 2018 年政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 發布的《全球暖化 1.5°C 特別報告》[4]，全球須於 2050 年達成淨零排放以將全球升溫控制在 1.5°C 內。此共識在第 26 至 29 屆歷屆締約方大會 (Conference of Parties, COP) 中持續深化，從減少化石燃料補貼、設立損失補償基金到確立脫離化石燃料轉型路徑，展現國際行動已從目標設定轉向務實轉型。目前全球已有 139 個國家、333 個城市宣示淨零目標，涵蓋全球 77% 的 GDP [5]。

我國自 2010 年代發布《永續公共工程—節能減碳政策白皮書》以來 [6]，政府逐步將減碳目標納入公共工程體系，並隨著溫室氣體排放議題日益受到重視，公共工程委員會開始

建立工程碳排放量估算與碳盤查試辦作業，企圖透過執行足量案例累積經驗值，作為後續公共工程節能減碳策略之參考。近年來，公共工程委員會訂定七大類型公共工程減碳作業指引，交通部公路局、高速公路局及鐵道局更於 2026 年 1 月發布公路、國道及鐵道工程減碳作業指引及碳管理手冊，作為交通類公共工程推動減碳與碳管理作業之重要依循。

## 二、淡江大橋（第 3 標）工程碳管理理念

淡江大橋及其連絡道路新建工程（第 3 標）（以下簡稱本工程）為國內具代表性的跨河橋梁工程，橫跨淡水河口，串聯新北市八里區與淡水區。主橋採單塔不對稱斜張橋設計，全長約 2.035 公里（如圖 1）。

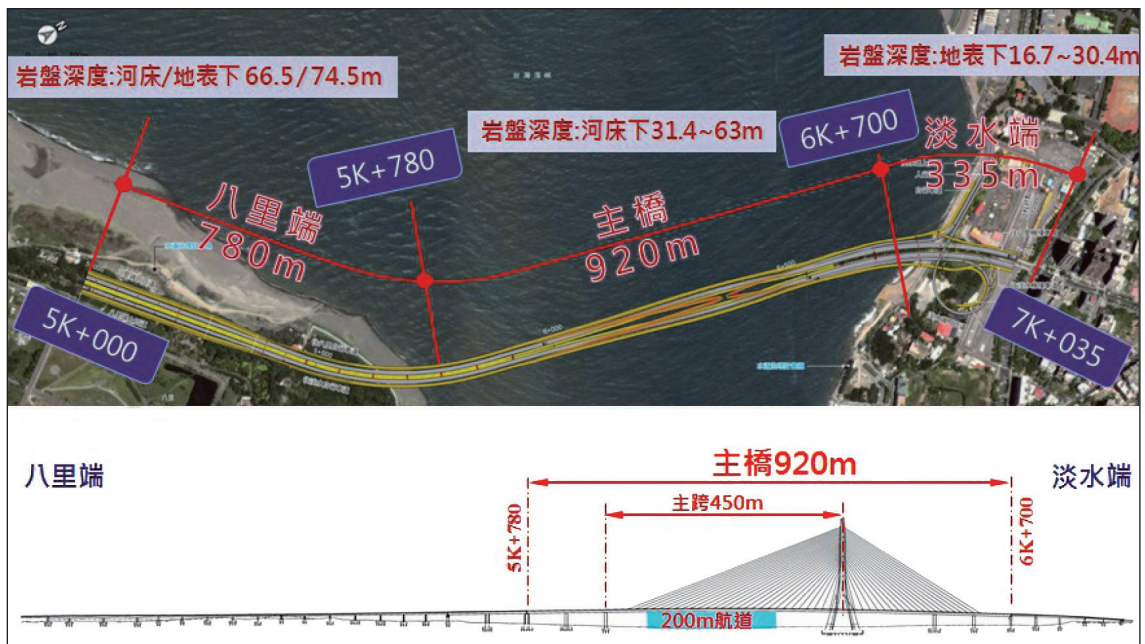


圖 1 淡江大橋及其連絡道路新建工程（第 3 標）工程範圍



本工程碳足跡盤查計畫隨工程開工於2019年同步啟動，涵蓋盤查執行計畫擬定、啟始會議、教育訓練、座談會與研討會、設計階段排碳量估算，以及施工階段之工程碳足跡實際盤查等工作。實際盤查內容包括供應商盤查、碳盤查佐證資料與國內外排放係數之蒐集，並每年委託第三方查驗機構進行現場查核，以確保年度資料蒐集與計算結果之正確性與一致性。同時配合工程碳排放盤查系統資料庫之建置與維護，逐步建立具可重複性與可追溯性之工程碳排放資料基礎。

### 三、碳足跡盤查依循標準及規範

本計畫針對淡江大橋（第3標）工程之碳足跡量化作業，旨在建立具公信力與科學依據的數據基礎，因此量化方法須依循國際標準與國內環境部公告之相關規範。

#### 1. 產品碳足跡量化核心標準：ISO 14067

本計畫視淡江大橋為一大型營建產品，主要依循國際標準 ISO 14067:2018「溫室氣體—產品碳足跡—量化之要求與指引」[7]，該標準提供一套系統性的碳足跡量化方法，並要求從生命週期評估（Life Cycle Assessment, LCA）的角度，完整盤查產品在各階段之碳排放。

#### 2. 營建產品生命週期評估框架：EN 15804

考量營建產品具備構造複雜、使用壽命長等特殊特性，本計畫在評估邊界上參考了具指標性的歐洲標準 EN

15804:2012+A2:2019/AC:2021「永續營建工程—環境宣告—營建產品類別的核心規則」之生命週期模組 [8]。該標準將營建產品生命週期分為以下階段：

1. 產品階段（A1~A3）：包含原料開採、原料運輸及加工製造。
2. 施工階段（A4~A5）：包含材料運輸及施工作業能耗。
3. 營運階段（B1~B8）：包含與結構相關的使用、維護、修復、置換、整修，以及與操作相關的能資源使用。
4. 壽命終了階段（C1~C4）：包含拆除、廢棄物運輸處理、最終處置。
5. 系統邊界外效益和負荷（D）：包含再利用、循環使用或回收潛能。

其中，本計畫將產品階段、施工階段及營運階段納入評估邊界。

#### 3. 碳足跡產品類別規則（CFP-PCR）

有別於一般的產品類別規則（Product Category Rules, PCR）規範多種環境衝擊指標的評估方法，碳足跡產品類別規則（Carbon Footprint of Products-Product Category Rules, CFP-PCR）則針對產品碳足跡評估方法進行規範。另考量淡江大橋（第3標）工程包含路堤段及橋梁段，本計畫優先依循環境部已公告之「道路工程」[9]與「橋梁工程」[10]碳足跡產品類別規則，該文件的規範重點摘要如下：

1. 系統邊界：原料取得階段、施工建造階段及營運管理階段（50年）。



2. 功能單位：每公里 – 寬度。
3. 數據品質：一級數據（Primary Data）佔上游總排放比例需達 10%，包含組織本身及供應商。

#### 四、設計階段工程排碳量估算

設計階段進行工程排碳量估算，透過量化分析主要排碳來源，將施工階段排碳納入決策考量，並作為工程設計結構、材料選擇及施工工法比較及優化依據。

##### 1. PCCES 工程排碳量估算

PCCES 工程排碳量估算方式及整體作業流程如圖 2 所示，以工程設計階段所提供相關設計資料及工程數量為基礎，並結合 CNS 國家標準規範（各工程材料相關），以及國內外碳排放係數資訊，彙整建立

PCCES 工程預算資料，作為工程碳排放量推估主要依據。

透過 PCCES 工程預算書其項目拆解及預算分析表內容，可進一步細分工程中各施作工項組成，包括材料使用種類及數量，以及施工過程中所需機具使用時數或使用量。而各工程施作工項排碳量，係依據其實際或預估使用量，乘以對應排放係數進行計算（排放係數法），推算單一工項及整體工程排碳量。

整體而言，PCCES 工程預算書為進行工程排碳量估算核心資料來源，透過預算項目拆解及排碳係數採用，可有效推估不同類型工程於設計階段潛在碳排放量，並作為工程方案比較及減碳評估依據。部分工項雖受限於資料取得不易，或部分排放來源尚未納入估算範疇，仍存在估算不確定性與限制，但整體方法仍具備良好系統性，可作為工程碳排放管理及減碳策略擬定重要參考工具。



圖 2 PCCES 工程排碳量估算方式及流程



## 2. 工程排碳量估算結果

依據前述 PCCES 工程排碳量估算方法進行分析，本工程於設計階段推估工程總碳排放量約為 254,064 tCO<sub>2</sub>e，排放來源結構分析可知，工程碳排放主要來自工程材料，其排放量占整體 97.02%，顯示材料使用為影響工程碳足跡主要因素；相較於機具使用及運輸所產生排碳量，占比分別約為 2.03% 與 0.95%。

依施作工程工項進行排放量分析（如圖 3 所示），結果顯示橋梁基礎工程及結構工程為主要排碳來源，合計占整體工程排放量約 95.42%。其中，結構工程排碳量占比約 38.15% 為最高，尤以主橋結構相關工項為主要貢獻來源，顯示其大量使用高碳排材料（如

鋼材、鋼筋及混凝土）及結構規模，對整體工程碳足跡具有顯著影響。其次為橋梁基礎工程，其排放占比約為 36.50%，反映深基礎施工及水中混凝土使用所造成排碳量特性。

## 五、施工階段碳足跡盤查執行歷程

為掌握本工程施工階段碳排放，依循公共工程碳管理制度，建立完整碳足跡盤查流程。盤查自盤查範疇界定出發，透過跨單位協作、會議與現地輔導，確保資料蒐集與計算之完整與一致。並導入供應商盤查與第三方年度預審機制，逐年提升數據品質，以作為完工取得碳足跡查證之基礎。以下內容將針對盤查範疇、盤查工作組織及碳足跡盤查相關會議做詳細說明：

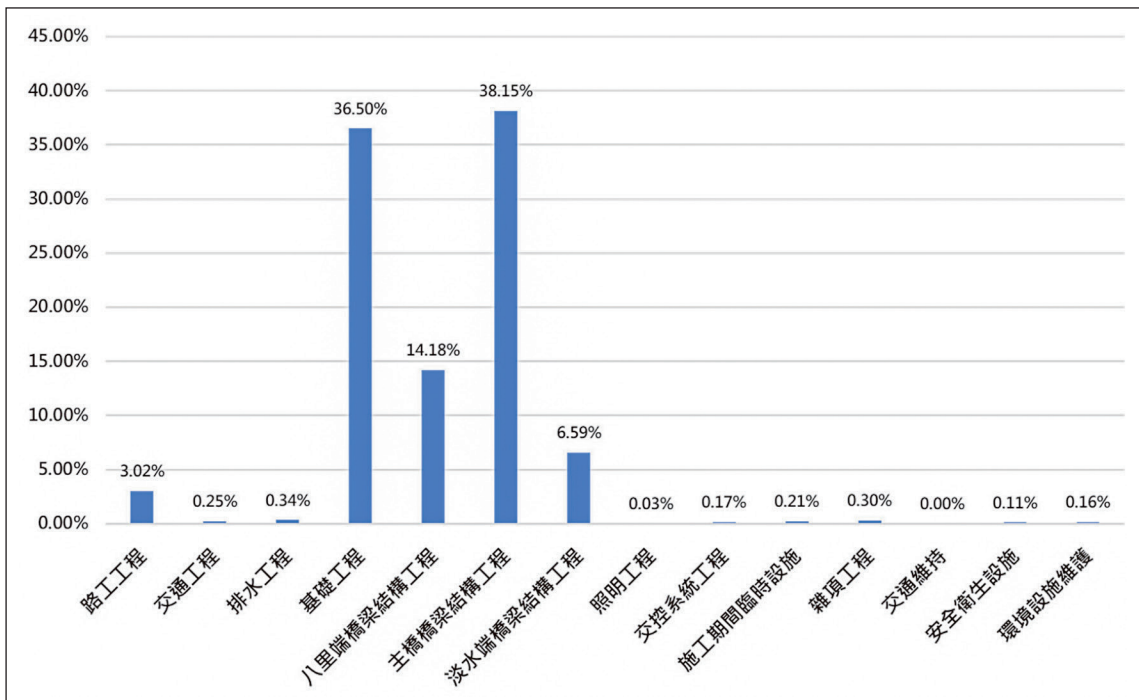


圖 3 各施作工程排碳量占比結果



### 1. 盤查範疇

淡江大橋（第3標）工程碳足跡盤查邊界及範疇如圖4所示，盤查執行範疇包含工區及非工區區域，對於工區盤查需包含工程材料使用、運輸、能資源使用、機具使用及運輸、碳匯變化及廢棄物處理項目等，更包含大宗工程上游材料供應商盤查，而非工區則包含施工管理單位（機關、監造及承包商）人員出工、逸散設備、能資源使用以及交通油耗等資訊。

### 2. 盤查工作組織

本工程碳盤查與查證工作，採分工明確的組織架構執行，分工架構如圖5。盤查資料主要由承攬、協力、材料及機具供應商依工程實際施工情形提供，相關盤查資料經由監造及輔導單位進行初步彙整與資料檢核。工程碳盤查成果須通過第三方查證單位之年度預審及最終完工查證程序，查證單位依循既有查證準則，針對盤查資料來源、計算邏



圖4 工程施工期間碳足跡盤查範疇

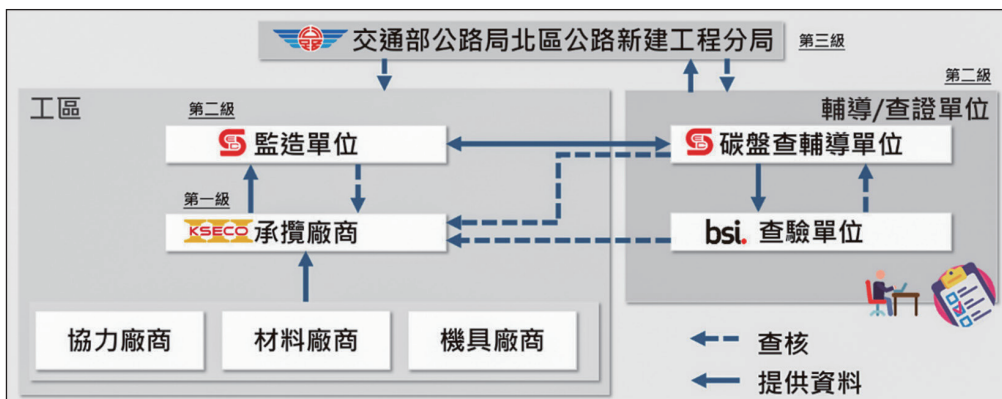


圖5 盤查工作組織架構



輯及排放係數適用性進行獨立審查。整體監督機制由主管機關統籌，透過輔導、查證與行政管理之角色分工，形成自資料蒐集、審核、查證至成果確認之完整流程。此一組織與運作模式不僅提升工程碳盤查結果之透明度與可信度，亦為公共工程碳管理制度之制度化與實務推動提供重要支撐。

### 3. 碳足跡盤查相關會議

為確保工程碳足跡盤查工作之順利推動與跨單位協作，碳足跡盤查初期即召開碳足跡盤查啟始會議（如圖 6），邀集主管機關、承攬廠商、監造／碳盤查輔導單位及第三方查證機構共同參與，明確界定盤查範疇、作業流程及各方權責，並建立後續執行與溝通機制。透過啟始會議之制度性安排，有助於凝聚各參與單位對工程碳盤查目標與方法之共識，降低執行過程中之認知落差與協調成本。此外，碳足跡盤查執行期間持續辦理教育訓練、座談會及研討會，累計辦理多場次活動，透過系統性教育訓練與經驗交流，不僅強化工程相關人員對碳盤

查制度之理解與實務操作能力，亦促進跨單位經驗傳承與問題回饋機制之建立，進一步提升工程碳足跡盤查作業之執行效率與成果品質。

為提升工程碳足跡盤查資料之完整性與可靠性，於施工期間採每月定期工區現場盤查輔導機制，透過每月現地訪查，掌握工程施工進度、材料使用情形及機具運作狀況，並與承攬廠商及協力供應商進行即時溝通，確認盤查項目與資料填報內容之正確性。同時，於現場蒐集現場材料相關資訊，包括材料規格及尺寸等，作為工程碳排放計算之重要基礎。藉由持續的現場輔導與資料確認，有助於降低盤查資料缺漏與誤填風險，提升整體盤查作業之執行效率。另針對工程碳排放占比較高之大宗材料（鋼管樁、竹節鋼筋、鍍鋅鋼筋、盤式支承、鋼構結構、瀝青混凝土、預拌混凝土、IP 水泥及防蝕塗料），本計畫進一步推動供應商盤查，透過確認盤查項目及材料供應商、供應商現場輔導、掌握供應廠商現況及盤查範圍確認等分階段作業，建立材料碳排放係數，提升一級數據品質。



圖 6 碳足跡盤查啟始會議



本計畫更導入第三方查驗機構之年度預審機制，於工程施工期間辦理年度工程排放量之預審作業。透過每年執行之年度預審，針對當年度工程碳排放盤查清冊、資料來源及計算方法進行系統性審查，提前確認排放量盤查結果之合理性，並作為工程完工後順利取得碳足跡查證聲明書之重要基礎。年度預審作業分為資料審查與現場查核兩階段進行（如圖 7），由查驗機構依既定查證程序，逐項檢視盤查資料完整性與一致性，並提出補正與改善建議；盤查團隊則依查驗意見補充相關佐證資料，完成修正與確認。此一循環式查證流程不僅可即時發現潛在盤查缺失，亦有助於逐年累積工程碳排放資料品質，降低完工階段查證風險。整體而言，透過第三方年度預審機制之導入，強化工程碳盤查制度之透明度與可信度，並提升公共工程碳管理實務之執行效能。

## 六、工程碳足跡盤查結果分析

依據工程盤查範疇以及工程施作進度，透過排放係數法計算施工階段碳排放量，掌握

工程排放熱點，並將橋梁主要結構施作階段逐步進行分析。

### 1. 施工階段工程碳足跡結果

施工期間排碳量逐年結果如圖 8 所示，自開工至 2025 年底總排碳量約 247,940 tCO<sub>2</sub>e，隨工程施作進度，2019 年至 2024 年期間以橋梁結構以基礎、墩柱及上構為主，每年約增加 35,000 ~ 40,000 tCO<sub>2</sub>e 排碳量，但隨 2025 年主橋完成鋼構節塊閉合施作，年排碳量增幅為歷年最高。總排碳量來源上，工程材料排碳量占比 90.56% 為最高，施工機具占比 5.63% 為其次，材料及機具運輸 2.64%，其他（廢棄物處理及人員出工）為 0.75%，土石方及廢棄物運輸為 0.42%。

以施工作項作為分析，鋼構及鋼構組裝場為主要排放來源，占比約 30.14%，其次為基樁占比約 21.62%，而上構、樁帽及墩柱依序，以上工項佔整體排放量合計約 88.69%，



圖 7 資料審查與現場查核

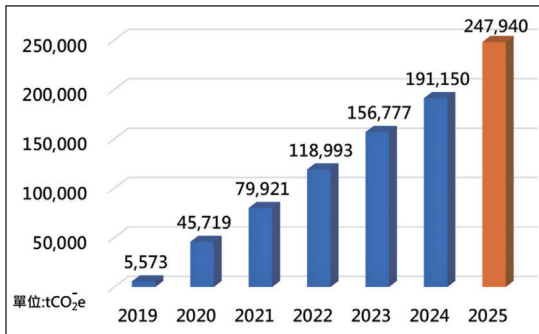


圖 8 工程碳足跡逐年累加結果

與設計階段估算結果中，基樁及橋梁結構為主要來源相符。

施工期間工程碳排放量逐年累加結果如圖 9 所示，自開工至 2025 年底，累計施工期間總碳排放量約為 247,940 tCO<sub>2</sub>e，由時間序列分析可知，隨工程施作進度推進，2019 年至 2024 年期間施工重點主要集中於橋梁基礎

工程、墩柱及上部結構施作，各年度碳排放量呈穩定增加趨勢，年增量約介於 35,000 至 40,000 tCO<sub>2</sub>e 之間，至 2025 年期間，隨主橋鋼構節塊閉合等工程完成，鋼構節塊材料進場及組裝施作，使當年度碳排放量增幅達施工期間歷年最高，顯示鋼構節塊對整體施工階段碳排放量具有顯著影響。

就總排碳量來源結構進行分析，工程材料為主要碳排放來源，占比高達 90.56%；其次為施工機具使用，占比約 5.63%；材料及機具運輸所衍生之碳排放占比約為 2.64%。其餘排放來源包括廢棄物處理及人員出工等活動，占比約 0.75%，而土石方及廢棄物運輸占比則約為 0.42%。上述結果顯示，施工階段碳排放仍高度集中於材料投入及其相關施工活動，與工程設計階段推估結果所呈現之趨勢相符。

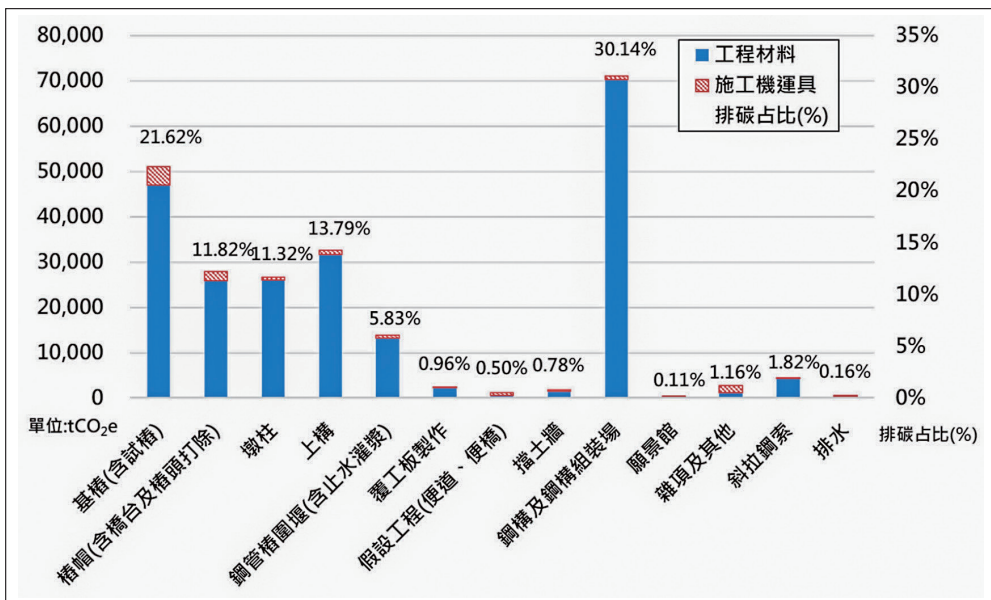


圖 9 各施作工項排碳佔比



以施作工項別進行排碳量分析，結果顯示鋼構工程及鋼構組裝場為施工期間最主要之碳排放來源，占整體施工排放量約 30.14%；其次為基樁工程，占比約 21.62%。其後依序為上構工程、樁帽工程及墩柱工程等主要結構工項。上述主要工項合計占整體施工期間排碳量約 88.69%，顯示施工階段碳排放高度集中於主要結構工項。

## 2. 工程結構排碳特性分析—基樁

本工程基樁共施作 796 支，依樁徑規格區分，包含直徑 2.5 m（共 58 支）、2.0 m（共 566 支）及 1.5 m（共 172 支），所採工程材料包括 SD420W 鋼筋、350 kgf/cm<sup>2</sup> 水中混凝土，以及相關材料間隔器及基樁測管等；施工機具則包含起重機、搖管機、挖土機、空壓機、發電機及拖板車。

基樁工程排碳源占比如圖 10 所示，結果顯示水中混凝土為主要排碳源，占比約 56.20%，其次為鋼筋 30.29%，機具排碳占

比則約 9.24%，運輸排放占比約為 2.94%，其餘排碳源包括膠管、間隔器及其他材料，其排放占比皆低於 1%，分別約為 0.84%、0.28% 及 0.22%，對整體排放量影響有限。

單位體積排碳量而言，不同直徑基樁呈現一定差異：直徑 2.5 m 基樁約 0.41 tCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，直徑 2.0 m 基樁約介於 0.35 ~ 0.49 tCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，直徑 1.0 m 基樁約介於 0.35 ~ 0.55 tCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>。

## 3. 工程結構排碳特性分析—樁帽

本工程樁帽共施作 104 座，所採用工程材料包括 SD420W 鋼筋及混凝土，且因應不同結構需求分別採用 80 kgf/cm<sup>2</sup>、350 SCC kgf/cm<sup>2</sup> 及 350 kgf/cm<sup>2</sup> 巨積混凝土，施工機具則包含起重機、挖土機、泵送車、吊卡車、發電機及破碎機。

樁帽工程排碳源占比如圖 11 所示，結果顯示混凝土及鋼筋為主要排碳源，兩者合計

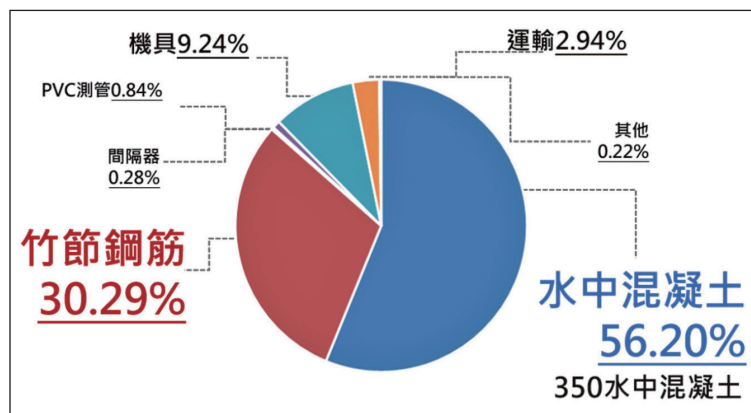


圖 10 基樁工程排碳量占比

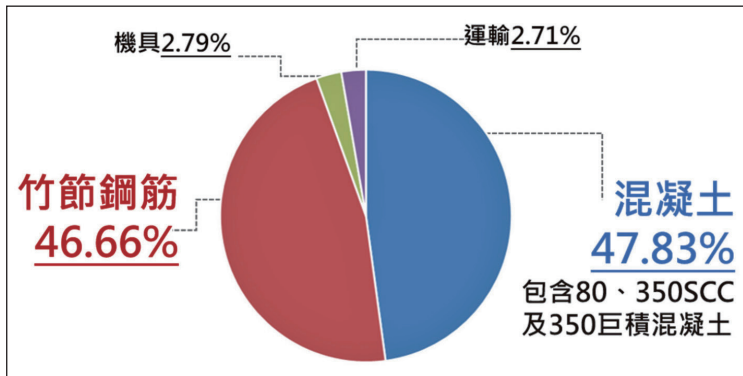


圖 11 樁帽工程排碳量占比

占比約 94.49%，機具排碳占比則約 2.79%，材料與機具運輸排放占比約為 2.71%。對樁帽單位體積排碳量而言，約介於 0.19 ~ 0.63 tCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>。

#### 4. 工程結構排碳特性分析—墩柱

本工程墩柱共施作 112 座，所採用工程材料包括 SD420W 鋼筋、混凝土及支承相關材料，混凝土因應不同結構需求分別採用 420 SCC kgf/cm<sup>2</sup>、490 kgf/cm<sup>2</sup> 及 560 SCC

kgf/cm<sup>2</sup> 巨積混凝土，施工機具則包含起重機、吊卡車、挖土機、泵送車、貨車、發電機及高空作業車。

墩柱工程排碳源占比如圖 12 所示，結果顯示鋼筋為主要排碳源，占比約 56.84%，其次為混凝土約 34.81%，而橋梁盤式支承及球型支承，占比約 5.81%，機具排碳占比則約 1.83%，運輸排放占比約為 0.71%。對墩柱單位體積排碳量而言，約介於 0.52 ~ 1.42 tCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>。

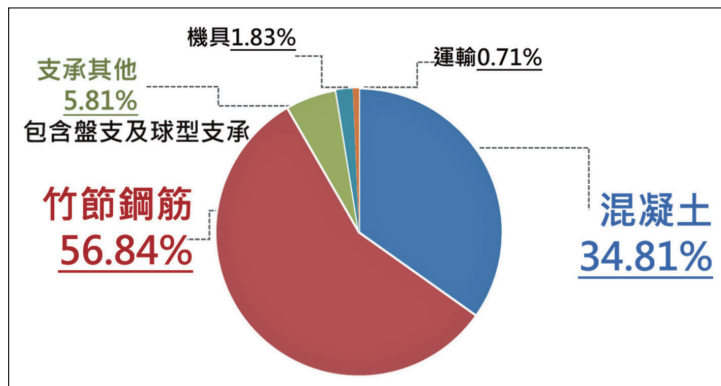


圖 12 墩柱工程排碳量占比



## 5. 工程結構排碳特性分析—上構

本工程上構施作包含引道段、公車道、匝道、機車道、自行車道單元以及其單元護欄作業，所採用工程材料包括SD420W鋼筋、混凝土、預力及排水材料，混凝土因應不同結構需求分別採用350 kgf/cm<sup>2</sup>（護欄）、420 kgf/cm<sup>2</sup>及420 kgf/cm<sup>2</sup>早強混凝土，施工機具則包含起重機、泵送車、發電機、沖洗機、吊卡車、貨車及高空作業車。

上構工程排碳源占比如圖13所示，結果顯示鋼筋為主要排碳源，占比約42.88%，其次為混凝土約39.47%，而預力施作相關材料排放占比約12.80%，運輸排放占比約為2.66%，機具排碳占比則約1.71%，排水相關構件則約0.47%。對上構單元單位面積排碳量而言，約介於0.47~0.76 tCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>。

## 6. 工程結構排碳特性分析—鋼構節塊

本工程鋼構節塊施作包含起始節塊、八里端吊裝、淡水端推進及河中段船運吊裝鋼

構節塊作業，所採用工程材料包括鋼材、防蝕塗料、鋁材、格柵板、氣體及矽砂，施工機具則包含起重機、挖土機、發電機、壓路機、高空作業車、吊卡車、貨車、拖板車及平台船。

鋼構節塊工程排碳源占比如圖14所示，結果顯示鋼材為最主要排碳源，占比約94.94%，而防蝕塗料約1.39%，鋁材排放占比則約1.09%，其餘排碳源包括格柵板、氣體、矽砂、機具及運輸，其排放占比皆低於1%。對鋼構節塊單位重量排碳量而言，約介於2.60~2.72 tCO<sub>2</sub>e/ton。

## 7. 工程結構排碳特性分析—主橋塔

本工程主橋塔施作包含鋼管樁、圍堰、止水、基樁、樁帽、墩柱及鋼箱鋼管施作階段，所採用工程材料包括鋼筋、混凝土、防蝕塗料、鋁材、格柵板、氣體及矽砂，施工機具則包含起重機、挖土機、發電機、壓路機、高空作業車、吊卡車、貨車、拖板車及平台船。

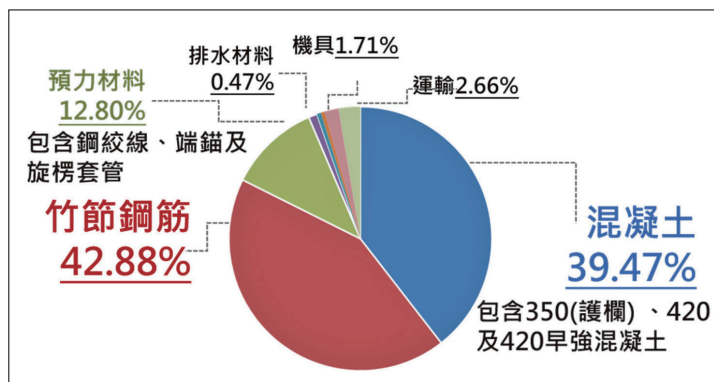


圖 13 上構工程排碳量占比

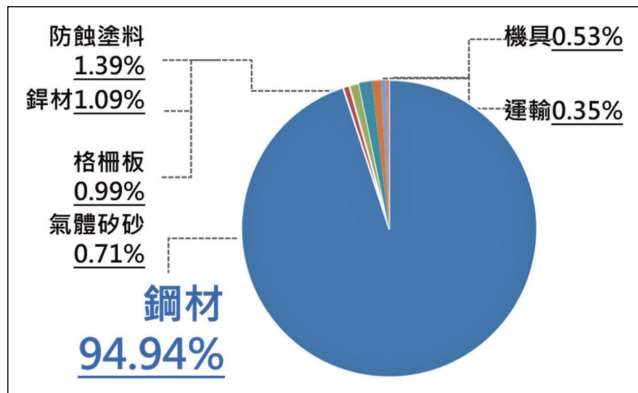


圖 14 鋼構節塊工程排碳量占比

主橋塔工程各階段工程排碳量如圖 15 所示，結果顯示樁帽階段排碳量為最高，佔整體排放量占比約 23.42%，其次為鋼管樁工

程，排放量占比約 22.29%，後續依序為基樁、墩柱、止水圍堰及鋼箱鋼管施作，其中基樁因工程特性，其機具能耗排碳量為最高。

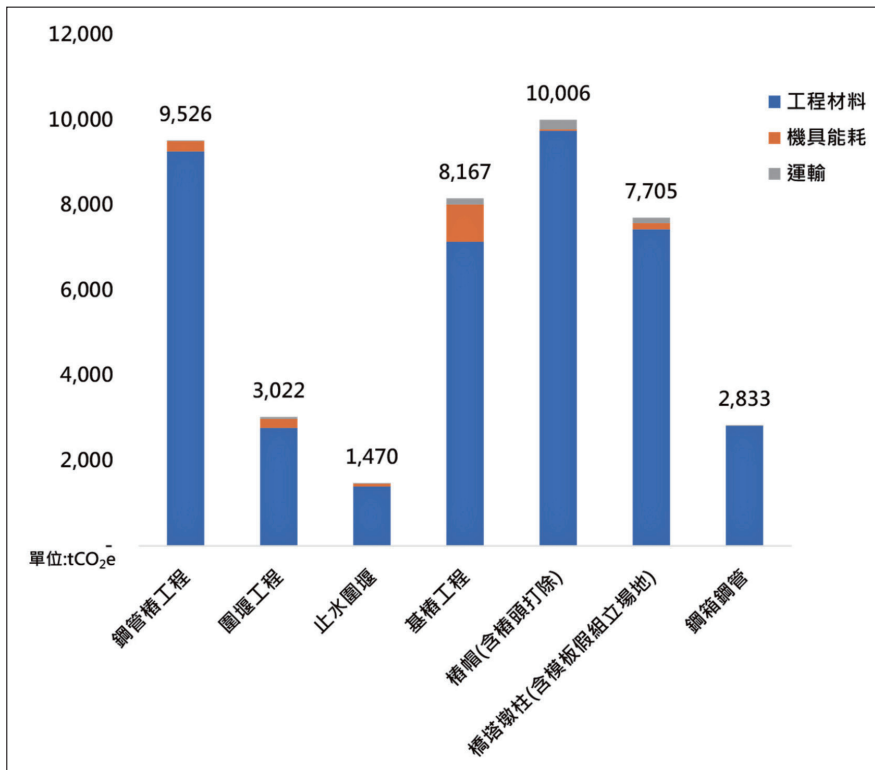


圖 15 主橋塔各階段工程排碳量



## 8. 工程結構排碳特性分析—整體橋梁

為探討本工程橋梁於各施工階段排碳情形，整合並分析橋梁各施作階段排碳結果。引橋段及公車道部分，將基樁、樁帽、墩柱及上構列為主要施工階段進行分析，其排碳佔比結果如圖 16 與圖 17 所示，基樁施作為主要排碳源，其佔比分別為 40% 及 45%，其次為上構施作，佔比分別為 31% 及 24%；相較之下，樁帽與墩柱排碳佔比差異不顯著。

主橋段施工階段與引橋段及公車道大致相同，惟上構改採鋼構施作方式。由圖 18 分析結果可知，鋼構施作為主橋段主要碳排放來源，排碳佔比可達 64%，其次仍為基樁施作，但相較於引橋段及公車道結果，排碳佔比僅 14%，而樁帽及墩柱施作階段，兩者排碳佔比則同樣未呈現顯著差異。

## 七、施工階段節能減碳措施與效益評估

除了工程碳排放量評估，作為碳管理的一環，本計畫亦規劃及導入具體減量措施，並將減碳效益量化呈現。

### 1. 低碳材料：IP 型水泥

本工程各類型預拌混凝土，大規模採用飛灰及爐石粉替代部分水泥，此種參入替代材料的水泥亦被稱為 IP 型水泥，相較於一般水泥具減碳效益。統計自開工至 2025 年底，本工程採用 IP 水泥產生之總減碳效益約達 78,906.00 tCO<sub>2</sub>e，平均減碳率達 65.81%（如表 1）。

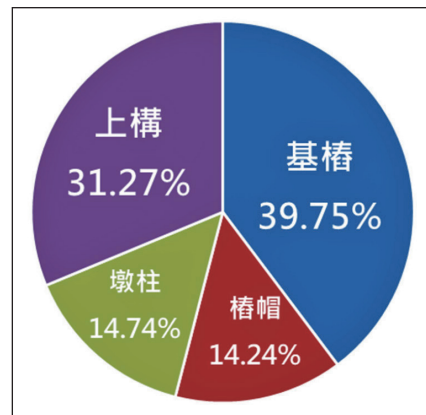


圖 16 引橋段排碳量占比

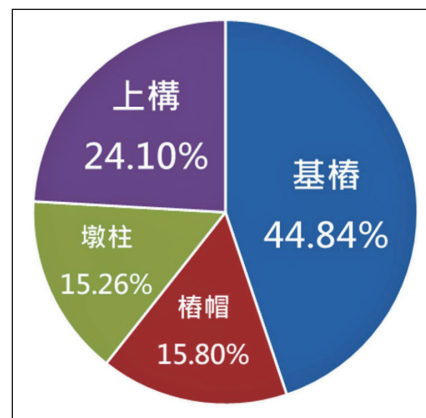


圖 17 公車道排碳量占比

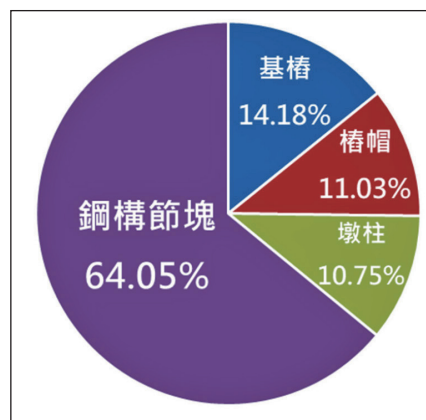


圖 18 主橋段排碳量占比



表 1 各型混凝土之 IP 水泥減碳效益

混凝土型式	總用量 (m <sup>3</sup> )	純水泥排碳量 (tCO <sub>2</sub> e)	水泥 + 飛灰 + 爐石粉排碳量 (tCO <sub>2</sub> e)	減碳量 (tCO <sub>2</sub> e)	減碳率
80 kgf/cm <sup>2</sup> (IP 型水泥)	3,371.50	641.46	222.74	418.72	65.28%
140 kgf/cm <sup>2</sup> (IP 型水泥)	818.50	192.06	66.69	125.37	65.28%
175 kgf/cm <sup>2</sup> (IP 型水泥)	269.50	69.10	23.99	45.11	65.28%
210 kgf/cm <sup>2</sup> (IP 型水泥)	8,658.00	2,525.82	877.07	1,648.75	65.28%
280 kgf/cm <sup>2</sup> (IP 型水泥)	3,794.50	1,289.18	447.66	841.53	65.28%
280 kgf/cm <sup>2</sup> (I 型水泥) - 覆工板	3,224.00	978.54	575.73	402.81	41.16%
350 kgf/cm <sup>2</sup> (IP 型水泥)	7,907.00	2,915.64	1,012.43	1,903.21	65.28%
350 kgf/cm <sup>2</sup> (IP 型水泥) -SCC	35,823.50	13,631.56	4,733.43	8,898.13	65.28%
350 kgf/cm <sup>2</sup> (IP 型水泥) - 水中	133,836.00	54,686.19	18,989.27	35,696.93	65.28%
350 kgf/cm <sup>2</sup> (IP 型水泥) - 巨積	17,869.50	6,249.25	2,169.99	4,079.26	65.28%
420 kgf/cm <sup>2</sup> (II 型水泥)	3,214.00	1,217.17	422.65	794.52	65.28%
420 kgf/cm <sup>2</sup> (IP 型水泥) -SCC	14,380.00	5,784.56	2,008.63	3,775.92	65.28%
420 kgf/cm <sup>2</sup> (IP 型水泥) - 早強	38,051.50	17,444.18	6,057.33	11,386.85	65.28%
490 kgf/cm <sup>2</sup> (IP 型水泥)	6,549.00	2,527.63	849.80	1,677.83	66.38%
490 kgf/cm <sup>2</sup> (IP2 型水泥) -SCC	3,219.50	1,268.84	329.70	939.14	74.02%
560 kgf/cm <sup>2</sup> (IP 型水泥)	197.00	80.32	27.89	52.43	65.28%
560 kgf/cm <sup>2</sup> (IP2 型水泥) -SCC	19,818.00	8,402.99	2,183.48	6,219.51	74.02%
總計	301,001.00	119,904.48	40,998.48	78,906.00	65.81%

註：1. IP 型水泥及 IP2 型水泥指波特蘭水泥與飛灰爐石粉混合的水泥，兩者成分相似但皆具有抵抗硫酸鹽侵蝕特性，適用於如水庫、港灣及碼頭等特定環境，IP2 型水泥成分上有較多限制，且水合反應亦較為緩慢，但具有較高抗侵蝕能力，因此 IP2 型水泥用於對結構強度及抗侵蝕要求較高之區域（如本工程主橋段橋墩及主橋塔）。

2. 減碳量 = 純水泥之排碳量 - 水泥 + 飛灰 + 爐石粉之排碳量。

3. 減碳率 = 1 - 水泥 + 飛灰 + 爐石粉之排碳量 / 純水泥之排碳量。

## 2. 創新工法：螺旋箍筋工法

本工程基樁圍束區箍筋採用螺旋箍筋工法進行綁紮，雖較傳統閉合彎鉤形式（橫箍筋工法）需額外進行搭接焊接作業，但因能

減少鋼筋使用量故能具減碳效益。本工程 796 支基樁已全數施作完成，統計採用螺旋箍筋工法產生之總減碳效益約達 485.29 tCO<sub>2</sub>e，減碳率達 20.46%（如表 2）。

表 2 基樁圍束區採螺旋箍筋工法之減碳效益

螺旋箍筋工法		閉合彎鉤工法	減碳量 (tCO <sub>2</sub> e)	減碳率
鋼筋排碳量 (tCO <sub>2</sub> e)	焊材排碳量 (tCO <sub>2</sub> e)	鋼筋排碳量 (tCO <sub>2</sub> e)		
1,856.85	29.47	2,371.62	485.29	20.46%

註：1. 減碳量 = 閉合彎鉤工法鋼筋之排碳量 - 螺旋箍筋工法鋼筋及焊材之排碳量。

2. 減碳率 = 1 - 螺旋箍筋工法鋼筋及焊材之排碳量 / 閉合彎鉤工法鋼筋之排碳量。



### 3. 工區場電取代柴油發電機

本工程部份工作項目以場區電力作為機具設備之電力來源，因台電電力碳足跡為 0.6058 kgCO<sub>2</sub>e/kWh [11]，相較於以柴油發電機為電力來源具備減碳效益。

參考本工程使用之東元柴油發電機單位油耗，並搭配柴油（固定源使用）碳足跡係數，可計算得柴油發電機發電之單位排碳量為 0.8883 ~ 0.9514 kgCO<sub>2</sub>e/kWh。統計自開工至 2025 年底，本工程採用工區場電產生之總減碳效益約達 1,099.97 ~ 1,345.66 tCO<sub>2</sub>e，減碳率達 31.80% ~ 36.33%（如表 3）。

表 3 場電取代柴油發電機之減碳效益

發電機規格	單位排碳量 (kgCO <sub>2</sub> e/kWh)	單位度數減碳量 (kgCO <sub>2</sub> e/kWh)	減碳量 (tCO <sub>2</sub> e)	減碳率 (%)
30-250 kW	0.8883	0.2825	1,099.97	31.80%
350 kW	0.9514	0.3456	1,345.66	36.33%

註：1. 減碳量 = 柴油發電機發電之排碳量 - 工區場電之排碳量。

2. 減碳率 = 1 - 工區場電之排碳量 / 柴油發電機發電之排碳量。

### 4. 其他節能減碳作為

除上述措施外，本計畫亦落實多項工地現場的節能減碳作為：(1) 工區用水回收循環再利用 (2) 混凝土剩料製作混凝土墊塊 (3) 工區土石方挖填平衡及再利用以減少外運 (4) 淡水、八里兩端工區分別向鄰近之混凝土供應商進料 (5) 主橋塔圍束區以 2 層環型鋼箱梁支撐取代傳統開挖支撐 (6) 工區照明採用

太陽能、LED 等節能照明燈具。統計自開工至 2025 年底，本工程其他節能減碳作為相較於無進行前述作為，所產生之總減碳效益約達 3,896.35 tCO<sub>2</sub>e（如表 4）。

表 4 其他節能減碳作為之減碳效益

減碳作為	減碳量 (tCO <sub>2</sub> e)
工區用水回收循環再利用	20.74
混凝土剩料製作混凝土墊塊	13.41
土石方挖填平衡及再利用	467.00
兩端工區分別向鄰近混凝土供應商進料	3,098.25
主橋塔圍束區採 2 層環型鋼箱梁支撐	288.14
工區照明採太陽能及 LED 燈具	8.81
合計	3,896.35

### 5. 防風林碳匯效益

本工程於八里端工區附近海岸，利用 6.07 公頃土地進行防風林補植作業，種植木麻黃、黃槿、水黃皮、瓊崖海棠、白千層、林投、草海桐、白水木、苦林盤、海桐等 10 種喬灌木。引用『臺灣 2050 淨零轉型「自然碳匯」關鍵戰略行動計畫』新植造林碳匯貢獻率 8.52 tCO<sub>2</sub>e/ha-yr [12]，並參照「溫室氣體自願減量專案管理辦法」移除類型專案展延型之計入期最長為 40 年 [13]，預估本工程防風林 40 年之總碳匯效益可達 1,562.09 tCO<sub>2</sub>e（如圖 19）。

## 八、結語與展望

淡江大橋（第 3 標）工程之碳管理執行歷程，不僅是數據的蒐集與碳排放的量化，更是一次公共工程管理思維轉型的齒輪。

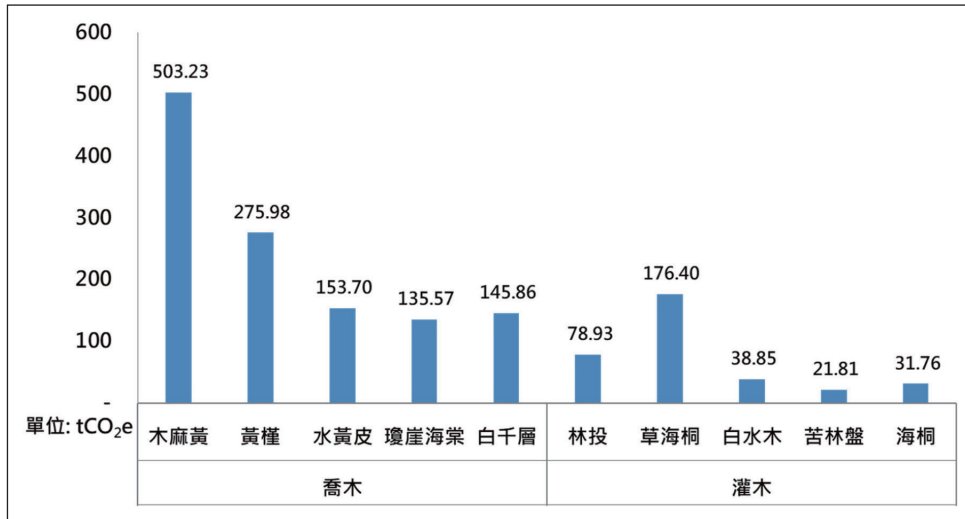


圖 19 防風林 40 年計入期之碳匯效益

### 1. 結論與實踐成果

綜合前述章節分析，摘要核心結論如下：

- (1) 結構材料為碳排放熱點：工程材料佔總排放量逾 90%。其中，基樁工程於工程前期佔比最高，隨著工程推進，目前鋼構節塊工程已成為最大碳排放來源。
- (2) 碳盤查價值：透過逾 7 萬筆活動數據之紀錄，建立了道路與橋梁工程之本土化碳排放數據庫。
- (3) 減碳成效顯著：統計自開工至 2025 年底，本工程各項節能減碳措施總減碳效益約達 84,388 tCO<sub>2</sub>e，相當於 548 座大安森林公園年碳吸存量（大安森林公園年碳吸存量約為 153.90 tCO<sub>2</sub>e [14]），其中採用 IP 水泥貢獻逾 93% 減碳效益占比。

### 2. PAS 2080 碳管理精神

參考 PAS 2080：2023「建築與基礎建設碳管理」標準 [15]，其有值得國內各類公共工程進行碳管理相關作業時效仿之精神：

- (1) 價值鏈成員攜手合作：碳管理不應只是後端的盤查統計，而需將業主、設計、施工及材料供應商等成員納入共同協作平台中，提升碳管理之效率。
- (2) 減碳決策提早進行：於工程生命週期各階段，愈前期整體減碳潛力愈大，故建議在規劃與設計等減碳影響力最高的階段進行重要決策。

### 3. 經驗傳承與展望

淡江大橋工程作為國內公共工程碳管理



示範性計畫之一，其所建立之盤查作業模式與本土化材料係數資料庫，將對完備國內公共工程碳預算管理制度有所貢獻，亦期許未來，「淡江大橋經驗」可協助引導國內公共工程產業從數位化接著邁向綠色卓越，實現2050淨零轉型之宏遠願景。

#### 參考文獻

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (2023). Climate Change 2021 – The Physical Science Basis
2. United Nations (1998). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change.
3. United Nations Framework Convention on Climate Change (2015). The Paris Agreement.
4. Intergovernmental Panel on Climate Change (2018). Special Report on Global Warming of 1.5°C.
5. Net Zero Tracker: <https://zerotracker.net/>
6. 行政院公共工程委員會 (2011)，永續公共工程－節能減碳政策白皮書 (修正本)。
7. ISO 14067: 2018, Greenhouse gases-Carbon footprint of products-Requirements and guidelines for quantification.
8. EN 15804: 2012+A2: 2019/AC: 2021, Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products.
9. 行政院環境部 (2019)，基礎建設 - 道路 (Infrastructure-Road) 碳足跡產品類別規則 (3.0 版)。
10. 行政院環境部 (2019)，基礎建設 - 橋梁 (Infrastructure-Bridge) 碳足跡產品類別規則 (3.0 版)。
11. 環境部產品碳足跡資訊網，取自：<https://cfp.moenv.gov.tw/WebPage/WebSites/CoefficientDB.aspx>
12. 行政院農業委員會 (2023)，臺灣 2050 淨零轉型「自然碳匯」關鍵戰略行動計畫。
13. 行政院環境部 (2023)，溫室氣體自願減量專案管理辦法。
14. 邱祈榮、林郁庭 (2024)。都市樹木之固碳能力推估—以臺北市大安森林公園為例。造園景觀學報，27(2)，37-62。
15. PAS 2080: 2023, Carbon management in buildings and infrastructure.