



工程碳足跡 盤查發展及成果介紹

— 以臺9線南迴公路安朔草埔段 為例

陳保展／交通部公路總局西部濱海公路南區工程處處長

黃炳勳／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部資深協理

蔣啟恆／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部技術經理

劉 珊／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部副理

湯允中／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部計畫經理

許肇安／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部工程師

節能減碳已成為順應世界潮流及政府政策目標，交通部公路總局於 2012 年即發展「工程碳管理架構與機制」，以工程生命週期之碳管理為目標，作為未來我國工程設計規劃減碳考量依據。「臺9線南迴公路安朔草埔段工程」即於此架構與機制下，並依據 ISO 14067（或 PAS 2050）全生命週期產品碳足跡規範，以及行政院環保署 2014 年頒布之基礎建設碳足跡產品類別規則（CFP-PCR），於工程施工期程，進行分標段、分年度之實質盤查工作，並於工程竣工時，以數據資料充足且完整的碳足跡盤查報告，向合格的驗證機構提出查驗申請並取得碳足跡聲明證書。最終目標期望依據實際盤查結果，瞭解「臺9線南迴公路拓寬改善後續計畫安朔草埔段工程」生命週期之整體碳排放量，及建立本土化之產品碳排放係數及工程碳足跡參數。並建議本工程於施工期間進行減碳作為，展現整體工程減碳成效。

本文將就臺9線南迴公路安朔草埔段新建工程之碳盤查內容，實際作為與初步成果進行說明，包含細部設計成果之碳排放量推估、實際工程碳足跡輔導及盤查、查證、工程碳排放量彙整及碳匯變化量調查；最後依實際碳足跡盤查及碳匯變化量調查結果，提出本工程全生命週期碳排放量盤查報告，以供各工程先進及類似橋梁或隧道案例作參考。

前言

由於氣候異常、地球暖化現象日益加劇，世界各地均遭逢因氣候變遷所帶來之環境變化挑戰。對於大自然的反撲，世界各國紛紛加強溫室氣體排放之制約。2015 年聯合國氣候變化綱要公約第 21 次締約國會議（COP21）「巴黎氣候協議」（UNFCCC, 2015）決議，在 21 世紀結束前，要將地球暖化程度控制在攝氏 2 度內（目標 1.5 度內）。目前臺灣制訂的「溫室氣體減量及管理法」，則要求 2050 年的溫室氣體排放量，將回到 2005 年 2.45 億噸的 50% 以下。所有作為都具體顯示須對溫室氣體排放加以盤查、管制，並藉由碳足跡盤查，

尋找出具成效之減碳計畫。簡言之，碳足跡、碳揭露、碳中和等作為，已成為全球環境議題上的重點課題。

行政院於 2008 年揭示「永續公共工程 - 節能減碳政策白皮書」為公共工程辦理節能減碳之指導方針，後續於 2009 年頒訂「振興經濟擴大公共建設投資計畫節能減碳執行方案」，則明定公共工程執行預算需考量一定比例之綠色內涵經費，2010 年更直接將「推動節能減碳公共工程」列為國家節能減碳總計畫的十大標竿之一。另交通部亦於 2010 年公告「交通部節能減碳規劃設計參考原則」，提出於公共工程執行各階段，由規劃、設計、施工乃至營運階段，各階段當遵循之節能減

碳作為。運研所亦於 2011 年完成「交通運輸工程碳排放量推估模式建立」研究案（中興工程顧問股份有限公司, 2012），初步訂出公共工程中工程項目之排碳係數，供各界執行碳排放計算之參考。

公路總局為順應世界潮流及政府節能減碳之政策目標，亦於 2012 年發展「工程碳管理架構與機制」，以工程生命週期之碳管理為目標，並作為未來國內工程設計規劃減碳考量之依據。因此「臺 9 線南迴公路安朔草埔段工程」碳足跡盤查工作，即建立於此架構與機制下。於工程施工期程，進行分年度之實質盤查工作，並於工程竣工時，以數據資料充足且完整的碳足跡報告，向合格的驗證機構提出查驗申請並取得碳足跡聲明證書。

本文標的之工程名稱為台 9 線南迴公路安朔至草埔段 C1 橋梁標及 C2 隧道標新建工程，位於臺 9 線台東縣與屏東縣界，總長約為 11 公里，截至 2016 年底 C1 標施工進度約為 57.88%，C2 標則約為 42.97%。

本文首先闡述細部設計完成後針對細設資料進行碳排放量推估工作，並於各項工程施工階段與實際盤查結果進行比較與修正，以期日後提供資料庫參採使用。

工程簡介

概述

「臺 9 線南迴公路拓寬改善後續計畫安朔草埔段工程」起點於既有臺 9 線新樁號 443k + 000（即為本工程起點里程 0k + 000）岔出，於既有臺 9 線樁號 459k + 300 附近銜接回原線（如圖 1），全長約 11 公里。自工程起點至隧道北口（里程 6k + 300）為 C1 橋梁標，主要內容為路堤填築及橋梁工程。其中路堤段約 1.47 公里，含相關配合之擋土牆工程，橋梁工程包括高架橋雙向合併段約 4.45 公里，雙向分離段約 0.39 公里，並於隧道北洞口前設置迴車道橋，橋梁段配合工址條件規劃採用場鑄逐跨工法、支撐先進工法及場鑄懸臂工法等工法施工，工期計約 49 個月。自隧道北口（里程 6k + 300）至工程終點，主要內容為隧道工程及橋梁工程，其中隧道工程為雙孔單向隧道各約 4.6 公里，主要採水平鑽炸工法施工，配合隧道通風需求於主線里程 8k + 900 附近設置一處豎井，豎井採沉降工法施工，另於隧道南洞口端雙向各配置一單元之鋼箱型梁橋，採吊裝工

法施工。另為配合環評承諾，隧道開挖之剩餘土石方需運至大武漁港南側養灘，工期計約 60 個月。

地質概況

工址範圍之地層現代以沖積層為主，除了回填土層外，由中細粒至巨礫岩塊及砂土構成，里程 2k + 600 以後覆蓋層厚度逐漸變薄。岩層部份屬潮州層，主要由硬頁岩所構成，偶夾細粒薄層石英砂岩。褶皺則為本區域主要之地質構造型態；沿線緊密拖曳褶皺構造相當普遍，沿板劈理面之剪裂帶發育亦相當普遍，也造成本區域地層不連續面變化較大與岩層的破碎；主要之褶皺為計畫路線西端之草埔背斜，數條中視規模尺度之褶皺。



圖 1 盤查標的工程位置圖

國內外工程碳足跡及工程碳管理發展 碳足跡盤查之發展

自 1992 年聯合國氣候變化綱要公約（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）通過後，各國政府與民間組織持續推動溫室氣體減量與能源管理相關措施。重要之締約國（COP）年會對於全球碳管理趨勢如圖 2 所示；整體發展係由組織型溫室氣體管制開始，再逐漸將盤查的範圍擴展至相關供應鏈，重視產品與服務碳足跡盤查。在完成產品或服務碳足跡盤查，並量化碳排放數據後，則透過碳揭露



圖 2 國際碳管理趨勢

方式公開組織或產品與服務之碳排放資訊，作為社會溝通、訂定減量目標與減量承諾的基礎。而後為達成減量目標，應執行減碳專案或碳削減措施，再透過國際規範或自願性減碳的碳抵換（Carbon Offsets）與交易機制，抵減無法透過減量降低的碳排放量，達到特定邊界內整體零淨排放（即排碳量不再增加）或稱碳中和的境界。

有關 UNFCCC 第 21 次締約國會議已於 2015 年 11 月 30 日在法國巴黎召開，達成之「巴黎氣候協議」（UNFCCC, 2015）是繼京都議定書之後，最具有約束力的全球溫室氣體減量新協議，成功凝聚 195 個參與國史無前例地無異議一致通過協定內容。要控制全球升溫在 2 度內，並淘汰所有的化石燃料，致力於乾淨並且安全無虞的再生能源。「巴黎氣候協議」（UNFCCC, 2015）決議的要點如下：

1. 西元 2100 年前，限制全球溫度漲幅在與前工業化時期相比攝氏 2 度之內，更進一步的遠程目標為控制在 1.5 度之內。
2. 要求 2020 年檢討各國目標，接著每五年檢討，並將 INDC（國家預期自主貢獻）模式轉換為更強化之 NDC（國家自主貢獻）機制進行；另外，同步辦理全球暖化控制進度盤點。
3. 參與國須致力將人類活動排放的溫室氣體，在下半個世紀降低到能與大自然吸收量平衡的程度。
4. 2020 年前，已開發國家每年投入 1000 億美元的氣候資金，資金配置隨著國家減排目標定期檢討，2025 年產生新的資金目標。
5. 許多國家將因氣候變遷蒙受損失，但不會因為協議而產生任何法律責任或賠償要求。

國際碳足跡盤查規範

碳足跡的定義與評估方法，最早付諸於文字、形成規範，是在英國標準協會（BSI）、碳信託（Carbon Trust）和英國環境、食品與農村事務部（Department for Environment, Food and Rural Affairs, Defra）聯合發佈的 PAS 2050：2008（BSI,2008）商品和服務生命週期溫室氣體排放評估規範（Specification for the assessment of the life cycle green house gas emissions of goods and services）中。PAS 2050 的定位屬於公開可取得規範（Publicly Available Specification），為英國國家標準或國際標準制訂前的暫行性標準，通常三年後會再審查以確認下一個三年是否該重新修訂為國家標準或撤銷，屆時若未成為正式的英國國家標準（BS）將不再具指引效力。然而在碳足跡議題的持續發燒，而國際標準仍然無法推出的狀況下，英國標準協會遂於 2011 年 10 月份參考碳足跡國際標準草案（ISO 14067（DIS），推出 PAS 2050：2011（BSI, 2011），作為國際標準通過前，與未來的國際標準不至於差異過大的碳足跡評估參考標準。

PAS 2050 的內容重點與準則規範彙整如表 1，其特色在於以標準化的方法，作為產品和服務之生命週期溫室氣體排放量的內部評估依據，並在產品和服務生命週期溫室氣體排放基礎上，輔助評估替代產品之配置、採購和生產方法、原材料和供應商的選擇，提昇評估結果的可信度及可比較性。目前國際間推動產品碳足跡查證與規範之制定，主要即參考 PAS 2050 而訂，該指引亦為國際標準組織制定產品碳足跡標準 ISO 14067 之重要參考。

表 1 PAS 2050 準則摘要說明

內容重點	準則內容
適用對象	適用於所有產品與服務
計算對象	IPCC 所列之溫室氣體，包括：CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCs, PFCs, SF ₆ , HFEs, CFCs, HCECs, PFPE, 含溴的鹵化烴類（海龍）、碳氫化合物及其他
計算範疇	Cradle to Grave（搖籃至墳墓）及 Cradle to Gate（搖籃至大門）
引用標準	ISO 14040、ISO 14044（生命週期評估原則與框架）
計算方式	ISO 14064（溫室氣體排放與減）
數據要求	其他補充要求文件（如：ISO 14025 環境宣告之產品類別標準）
分配方法	特定活動碳足跡 = 活動強度（體積、耗能量、燃料用量、距離、時間等）× 排放係數（每單位活動之二氧化碳當量排放量）
溝通方法	遵照 ISO 14044，包含：時間、地理特性、技術規範、正確性、精確度、完整性、一致性、再現性、資料來源

此外，國際標準組織（ISO）對於溫室氣體排放評估規範發展由 ISO 14064-1（ISO, 2006）之組織型碳盤查，逐步結合 ISO 14040 生命週期評估和 ISO 14044 產品與服務生命週期溫室氣體排放，發展至 ISO 14067 產品碳足跡之規範。藉由組織型溫室氣體管制開始，再逐漸將盤查的範圍擴展至相關供應鏈，重視產品與服務碳足跡盤查，發展為完整之碳足跡規範。

目前 ISO 14067 產品碳足跡量化與溝通之要求與指引（Greenhouse gases Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification and communication），已於 2013 年 5 月正式公告為國際技術規範 ISO/TS14067:2013（ISO, 2013）；預期正式之 ISO14067 標準，將於本（2017）年公告。故工程若已竣工並完成碳足跡盤查總結報告及查證程序，但 ISO 14067 尚未公告，則以取得 PAS 2050 查證聲明取代之。

碳足跡盤查準則：產品類別規則（PCR）

目前國際間開發共同的產品類別規則是國際組織 GEDnet 努力的目標，為整合各國現有 EPD（環境產品宣告）系統，瑞典發起國際產品環境宣告系統：International EPD® System，目的在促進各國的第三類環境宣告一致化，以利全球產品能一致且正確地依循經過驗證的 PCR 進行產品生命週期評估、提出具有國際代表性的 EPD，減少未來出口其他國家時遇到不必要的貿易障礙，並避免因各國方法不同而造成製造商的人、物力消耗。

本計畫分別依循道路及橋梁二個 PCR 辦理，首先是瑞典運輸管理局（The Swedish Transport Administration）於 2014 年 2 月 28 日經由國際 EPDs 系統正式公告公路、街道及道路 PCR（PRODUCT GROUP: UN CPC 53211 HIGHWAYS（EXCEPT ELEVATED HIGHWAYS），STREETS AND ROADS）為最高準則。內容包含：總則、產品定義、功能單位宣告、內容聲明、單位及數量、系統邊界、截斷原則、分配原則、數據描述及數據質量要求、環境產品宣告內容、環境產品宣告之有效性、本 PCR 修改等 12 節。本道路 PCR 宣告單位為：公里 — 主要道路 — 一年，其生命週期邊界自原料開採／製造（含運輸）階段、施工階段、營運管養階段之所有過程皆須納入盤查，至於運輸服務及工程拆除階段，則排除於邊界條件外。

其次為義大利 R.T.I. NIER 工程公司及 LCA 實驗室於 2013 年 12 月 20 日經由國際 EPDs 系統正式公告橋梁及高架道路 PCR（PRODUCT GROUP: UN CPC 53221 BRIDGES AND ELEVATED HIGHWAYS），目前為國際上橋梁碳盤查之最高準則。內容同樣包含：總則、產品定義、功能單位宣告、內容聲明、單位及數量、系統邊界、截斷原則、分配原則、數據描述及數據質量要求、環境產品宣告內容、環境產品宣告之有效性、本 PCR 修改等 12 節。本橋梁 PCR 宣告單位為：公尺 — 一年（參考服務年限），其生命週期範圍與前述道路 PCR 相同。

我國碳足跡產品類別規則（CFP-PCR）

行政院環保署於 2014 年 5 月 30 日核准基礎建設 — 道路、隧道、橋梁等三種工程類型之碳足跡產品類別規則（PCR）。內容定義包含基礎建設之系統邊界、生命週期範圍。原料取得階段、施工建造階段及管理營運階段之一級數據、二級數據之來源與情境皆有詳列規範，以作為未來基礎建設 — 道路、隧道、橋梁等工程計算碳足跡之依據。其中橋梁及隧道工程（Tunnel Infrastructure）CFP-PCR 核定之正式文件名稱與適用範圍說明分述如下：

1. 橋梁工程：我國各種類型之橋梁工程，包含木橋、鋼筋混凝土橋、鋼構橋梁及組合式橋梁等各種類型橋梁。功能為提供各類型載具跨越地形，連結河流或山谷兩側，並包含滿足此功能之交控、照明與其他必要附屬設施。本產品的功能單位定義為每公里 - 寬度之橋梁之修建（包含橋梁設備與其他必要附屬設施），以及未來 50 年之營運。
2. 隧道工程：我國各種類型之隧道工程，包含公路、鐵梁、人行、水流及捷運等各種隧道類型。功能為提供車輛通行或輸送物資穿越山岳、平地或海底之通梁，並包含滿足此功能所需之環控、照明與其他必要附屬設施。本產品的功能單位定義為每公里 - 斷面積之隧道之修建（包含隧道設備與其他必要附屬設施），以及未來 50 年之營運。

碳管理計畫工作內容

本案例之工作內容，包含：文獻資料蒐集與盤查制度建立、本計畫各標工程細部設計成果之碳排放量評估、實際工程碳足跡輔導及盤查、查證、工程碳排放量

彙整及碳匯變化量調查，最後依實際碳足跡盤查及排放量推估結果，配合碳匯變化量調查結果等如圖 3。其詳細之工作內容說明如後：

1. 工程細部設計成果之碳排放量評估：建立本工程之排碳資料庫、工程碳排放量計算及工程節能減碳效益評估檢討等。
2. 實際工程碳足跡輔導及盤查、查驗及查證：本工程所使用之產品（材料、半成品、成品及設備等）碳排放活動數據資料調查或收集及各類施工活動碳足跡實際盤查、查驗及查證。盤查範圍包含 ISO/TS 14067、PAS 2050 及環保署制訂之我國「產品與服務碳足跡計算指引」所定義之材料、機具、運輸、廢棄物、水電及燃料等，及碳匯變化、人員運輸以及施工範圍之外的組織型盤查亦涵蓋在內。
3. 計算工程碳排放總量：經由實際碳足跡盤查結果，計算本工程碳排放總量。
4. 總體碳匯變化量調查：調查本工程用地範圍內之碳匯變化量。
5. 碳排放量評估及減碳成效成果：由本計畫文獻資料之蒐集與盤查制度建立，依實際碳足跡盤查、推估及碳匯變化量調查結果，彙整完成本計畫之整體碳排放量評估及減碳成效，以呈現整體執行成果。



圖 3 施工階段盤查標的及範圍

碳足跡計算方式

基於碳足跡計算規範要求與目前國際碳管理趨勢，排碳係數需採用生命週期係數；完整的生命週期係數定義為考量其原物料開採提煉、運輸、製造、使用及廢棄階段之碳排放量。此外，為提升盤查結果代表性，亦應以本土化係數為優先。依此原則，本案例排碳係數選用來源及原則說明如後：

• 排放係數來源

排放係數蒐集之主要來源有以下 5 種：

1. 供應商配合本計畫盤查所得之產品碳足跡係數。
2. 環保署公告或供應商提供之產品碳足跡係數。
3. 結合國內公告係數與係數資料庫計算而得之生命週期係數。
4. 國內外生命週期資料庫。
5. 國內外文獻刊載之排放係數。

• 係數選用原則

由於相同類型項目可能有數種排放係數，本計畫之排放係數選用將根據下列原則進行篩選，包括：盤查範疇、生命週期盤查方式、技術性、地理性與時間性。

計算之溫室氣體種類

本案例計算之溫室氣體種類除二氧化碳外，包括 IPCC 2007 年第四次評估報告中所列之所有溫室氣體，包括：二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氧化亞氮 (N₂O)、氫氟碳化物 (HFCs)、全氟碳化物 (PFCs)、六氟化硫 (SF₆) 及蒙特婁議定書所管制之物質等。

系統邊界

以工程生命週期考量，碳足跡計算範圍包括時間邊界及地理邊界。

• 時間邊界

時間邊界考量施工建造階段及營運管理階段之碳排放量，如圖 4 所示。

施工建造階段 — 資料蒐集期間參考公共工程三級品管制度表單填報要求，以工程開工日至竣工日為原則。由本案例蒐集未來工程營運能耗、維護修繕之相關資料，以推估方式計算其排碳量。營運管理階段之交通排碳量無論於國際或我國之道路、橋梁產品類別規則，均已將其排除，故本案亦將交通排碳量排除營運管理階段之計算範圍中。



圖 4 碳足跡計算邊界示意圖

● 施工建造階段之地理邊界

本計畫之盤查以施工建造階段為主，盤查範圍以地理邊界界定。

考量涵蓋範圍之完整性，碳足跡盤查範圍包括兩大部分：1. 工程主體及 2. 施工管理。

工程主體包含本隧道工程之施工過程中所有投入物料、能資源之製造及使用之排碳量，所使用機具或建物其製造或建造排碳量不列入計算，此設定可符合 PCR 系統邊界設定之要求。施工管理則主為專用於本工程各標工程之管理及監造之活動。

碳排放量計算方式

碳足跡計算以排放係數法進行，由該活動各種溫室氣體活動數據，乘以該活動單位溫室氣體排放或移除係數，再乘以所排放之溫室氣體的全球暖化潛勢（GWP）所得之合計量，以二氧化碳當量（CO₂e）表示。

碳排放量（CO₂e）= \sum 活動強度 $i \times (\sum$ 溫室氣體排放或移除係數 $ij \times$ 全球暖化潛勢 $ij)$

其中： i 為活動種類； j 為溫室氣體種類。

GWP 值以 IPCC 2007 年第四次評估報告為主。

細部設計推估

細設推估的目的

交通部公路總局推展之「工程碳管理架構與機制」，最終目標為建立公共工程之碳管理資料庫，細設推估之目的如引言所述，為與各項工程施工階段與實際盤查結果進行資料庫比較與修正，可提供未來工程於規設階段，即可以規設圖說、數量進行碳排放量推估並且不致產生過大誤差。

推估方式

依據本計畫細設成果，先行將設計成果中各工項數量轉換為主要活動數據計算碳排放量，並以經費比例分析無法由設計成果呈現之排碳源；至於排碳係數之決定，將同步參考國內外各政府單位、學會相關資料，以及生命週期軟體如 Simapro 所連結之環境資料庫，進行各項工程材料碳排放係數之參照引用。例如能源係數使用環保署公用碳足跡資料庫，鋼筋及混凝土使用國內已通過查證的碳足跡係數。

推估成果 — C1 橋梁標

本工程屬橋梁工程，其工作項目高達 476 項，扣除臨時工項（假設工程）、施工工項及以費用為計價工項後之活動數據約 181 項，經由現階段碳排放係數資料庫中搜尋，可尋求碳排放係數之工程材料工項約 166 項，再就上述工程材料，乘以其對應之碳排放係數，再將各該工項碳排放量加總，初步估算碳排放量為 153,769 TCO₂e。另再依工程預算金額比例，計算該等已知碳排放係數之工項，其所佔金額約為工程材料工項總計之 85.4%，來推算本計畫工料部份之總碳排放量約為 180,038 TCO₂e。

以上推估數據僅就本標工程材料部分加以估算，對於施工機具之直接排放量推估，則依據交通部運輸研究所 2012.05「交通運輸工程排碳量推估模式建立與效益分析之研究」報告，有關對公路總局蘇花改工程各標之研究案例，經比對與本標工程規模相當之標別，其施工機具之直接排放量約佔總工程排放量之 16%，由此推算本標工程之總碳排放量約為 214,331 TCO₂e。如再引用歐盟文獻，對於營運管養階段之設施操作維護排碳量約佔施工階段之 14% 推估，則本標全生命週期之總碳排放量約為 244,338 TCO₂e，計算流程詳圖 5 所示。



圖 5 C1 標細設推估計算流程圖

推估成果 — C2 隧道標

本標工程主要為隧道工程，其工作項目高達 900 餘項，扣除臨時工項（假設工程）、施工工項及以費用為計價工項後之活動數據約 200 餘項，經由現階段碳排放係數資料庫中搜尋，可尋求碳排放係數之工程材料工項約 275 項，再就上述工程材料，乘以其對應之碳排放係數，再將各該工項碳排放量加總，初步估算碳排放量為 127,621 TCO₂e。另再依工程預算金額比例，計算該等已

知碳排放係數之工項，其所佔金額約為工程材料工項總計之 84.1%，來推算本計畫工料部份之總碳排放量約為 151,800 TCO₂e。

以上推估數據僅就本標工程材料部分加以估算，對於施工機具之直接排放量推估，則依據交通部運輸研究所 2012.05「交通運輸工程排碳量推估模式建立與效益分析之研究」報告，有關對公路總局蘇花改工程各標之研究案例，經比對與本標工程規模相當之標別，其施工機具之直接排放量約佔總工程排放量之 16%，由此推算本標工程之總碳排放量約為 180,700 TCO₂e。如再引用歐盟文獻，對於營運管養階段之設施操作維護排碳量約佔施工階段之 14% 推估，則本標全生命週期之總碳排放量約為 206,000 TCO₂e，計算流程詳圖 6 所示。

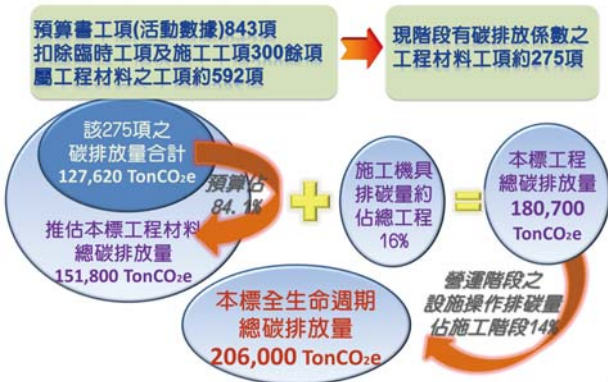


圖 6 C2 標細設推估計算流程圖

盤查輔導作業原則

作業流程

工地現場盤查輔導工作為本計畫執行核心，其工作流程將先由承包商進行活動數據蒐集彙整及單據表單留存建檔，上傳至碳管理資訊平台後，再由盤查單位進行碳足跡量化；期間透過承包商及監造單位（駐地工程師）進行內部查核，以及盤查單位書面及現場查核等程序，可確保資料品質。活動數據蒐集資料將定期彙整，再對應已匯入資料庫中之碳排放係數相乘後，即可成為排放清冊。本計畫盤查輔導流程將依據核定之盤查標的、範圍及邊界等，執行盤查輔導工作，如圖 7 所示。

活動數據蒐集

施工排碳量計算係由工程活動數據乘上碳排放係數而得，如何完整及正確蒐集活動數據，有賴於盤查表單之妥善制定。



圖 7 盤查輔導流程圖

依據實際執行流程規劃，本作業施工活動數據紀錄（包含施工碳管理日誌及施工碳管理登錄表），須由承包商依實際施工情形每日記錄，並完整蒐集相關單據或佐證資料。本計畫之盤查輔導單位並定期統計施工活動數據，彙集成月報及年報資料，並於每年度由查證單位完成成果預審，以分年度查證方式逐步統計各年度碳排放量，直至工程完工後再做最後階段查證，以克服隧道工程施工工期長之問題。

排放係數選定

碳足跡排放係數選用正確與否，影響碳足跡估算成果甚鉅，為提昇本計畫之一級數據佔比，以及符合碳足跡查證需求，本計畫先以細部設計成果資料，針對主要工程項目所列之各項材料及能資源使用，先行率定碳排放係數高之材料，於施工階段在製造廠進行該項材料之產品碳足跡盤查。且為確保係數選用之正確性，本計畫規劃碳足跡相關排放係數蒐集及選用程序如圖 8 所示，並說明如下：

本計畫蒐集各項可能之碳排放係數來源，並從中挑選切合本工程特性之排放係數，以建立本土化工程用碳排放係數資料庫為目標。首先，進行工程用材料及能資源碳排放係數之擇定，依照資料來源之針對性以及數據品質之掌握性，將蒐集碳足跡之資料來源優先順序排序如下：

1. 本計畫盤查原物料供應商之本土係數
2. 本計畫盤查單位曾執行盤查之係數
3. 國內業者自行盤查之係數
4. 國內環保署公告各項碳足跡排放係數
5. 內政部公告之建築材料碳排放係數
6. 國內外研究文獻產出之工程材料碳足跡排放係數
7. 國內外生命週期評估軟體資料庫內之碳足跡係數



圖 8 碳足跡排放係數選用流程說明

C1 標施工階段碳排放量計算

C1 橋梁標自 2014 年 5 月開工，至 2016 年底為止，實際進度約 57.88%，以下各節將分就各年度之工料、機具、公務運輸、用水及用電、廢棄物及植栽碳匯變化進行說明。

C1 標 2014 年度試算結果

C1 標 2014 年度工程材料使用為 7,999.46 TonCO_{2e}，工程材料運輸為 513.94TCO_{2e}，各種材料類別使用量如表 2。

表 2 C1 標 2014 年材料類別使用統計表

材料類別	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
熱軋竹節鋼筋	3195.28	39.94%
混凝土類	2559.37	31.99%
噴凝土類	887.40	11.09%
其他	1424.03	16.97%
合計	7,999.46	100.00%

C1 標 2014 年度施工機具使用為 556.26TCO_{2e}，而施工機具運輸為 23.34TCO_{2e}，各種機具類別使用量如表 3。

表 3 C1 標 2014 年機具類別使用統計表

機具類別	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
挖土機類	221.31	39.79%
發電機空壓機	142.55	25.63%
打樁機類	67.56	12.15%
吊車類	64.81	11.65%
鑽掘類	31.49	5.66%
卡車類	26.54	4.77%
破碎機類	1.32	0.24%
其他類	0.66	0.12%
合計	556.26	100.00%

C1 標 2014 年度公務運輸使用為 47.10 TCO_{2e}，用水使用為 0.53 TCO_{2e}，而用電使用為 218.94 TCO_{2e}，用電位置及度數如表 4。

表 4 C1 標 2014 年用電類別使用統計表

供電用途	耗電量 (度)	碳排放量 (TCO _{2e})
臨時辦公室 2F-1	6,408	4.42
臨時辦公室 1F-1	1,836	1.27
臨時辦公室 2F-2	4,376	3.02
臨時辦公室 1F-2	10,027	6.92
宿舍與辦公室	1,538	1.06
C1 標監造工務所用電	7,113	4.91
高南二段辦公室用電	7,940	5.48
西濱南工程處用電	278,071	191.87
合計	317,309	218.94

C1 標 2014 年度植栽變化碳匯為 333.02 TCO_{2e}，廢棄物及化糞池逸散為 9.16 TCO_{2e}，計算方式如表 5。

表 5 C1 標 2014 年廢棄物及化糞池逸散統計表

排放類別	排放項目	單位	數量	碳排放量 (TCO _{2e})
逸散	工地人員化糞池	人天	10,781	3.79
廢棄物	一般生活廢棄物焚化	ton	51.52	5.21
	一般生活廢棄物運輸	Ton km	567.85	0.16
小計				9.16

C1 標 2014 年度工程施工碳排放量為 9,714.25 TCO_{2e}，其中工料使用佔比超過 82%，其次為工料運輸與機具使用，約各佔 5.5%，各項排放源之排放量統計如表 6。

表 6 C1 標 2014 年工程施工碳排放量統計表

排放源	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
工料使用	7,999.46	82.35%
工料運輸	526.44	5.42%
機具使用	556.26	5.73%
機具運輸	23.34	0.24%
公務運具使用	47.10	0.48%
用電	218.94	2.25%
用水	0.53	0.01%
廢棄物	5.37	0.06%
人員化糞池逸散	3.79	0.04%
碳匯變化	333.02	3.43%
工程總量	9,714.25	100.00%

C1 標 2015 年度試算結果

C1 標 2015 年度工程材料使用為 50,999.50 TCO_{2e}，而工程材料運輸為 1,876.63 TCO_{2e}，各種材料類別使用量如表 7。

表 7 C1 標 2015 年材料類別使用統計表

材料類別	碳排放量 (TCO ₂ e)	佔比
混凝土類	26,875.31	52.70%
熱軋竹節鋼筋	17,605.56	34.52%
噴凝土類	4,889.49	9.59%
桁架	669.07	1.31%
其他	960.06	1.88%
合計	50,999.50	100.00%

C1 標 2015 年度施工機具使用為 3,308.97 TCO₂e，而施工機具運輸為 13.87 TCO₂e，各種機具類別使用量如表 8。

表 8 C1 標 2015 年機具類別使用統計表

機具類別	碳排放量 (TCO ₂ e)	佔比
挖土機類	1086.56	32.84%
其他類	1051.06	31.76%
發電機類	673.26	20.35%
空壓機類	335.58	10.14%
打樁機類	88.09	2.66%
鑽掘機類	74.41	2.25%
合計	3308.97	100.00%

C1 標 2015 年度公務運輸使用為 67.76 TCO₂e，用水使用為 0.97 TCO₂e，而用電使用為 126.16 TCO₂e，用電位置及度數如表 9。

表 9 C1 標 2015 年用電類別使用統計表

供電用途	耗電量 (度)	碳排放量 (TCO ₂ e)
臨時辦公室	2,402	1.59
工務所 -1	52,440	34.61
工務所 -2	15,000	9.90
C1 標監造工務所用電	34,957	23.07
高南二段辦公室用電	12,172	8.03
西濱南工程處用電	74,173	48.95
合計	191,144	126.16

C1 標 2015 年度廢棄物及化糞池逸散為 23.38 TCO₂e，計算方式如表 10。

表 10 C1 標 2015 年廢棄物及化糞池逸散統計表

排放類別	排放項目	單位	數量	碳排放量 (TCO ₂ e)
逸散	工地人員化糞池	人天	30,396	9.70
廢棄物	一般生活廢棄物焚化	ton	26.41	13.34
	一般生活廢棄物運輸	Ton km	1,452.78	0.34
小計				23.38

C1 標 2015 年度工程施工碳排放量為 56,594.04 TCO₂e，其中工料使用占比超過 90%，其次為機具使用及工料運輸，總計約佔 9%，各項排放源之排放量統計如表 11。

表 11 C1 標 2015 年工程施工碳排放量統計表

排放源	碳排放量 (TCO ₂ e)	佔比
工料使用	50,999.50	90.11%
工料運輸	1,876.63	3.32%
機具使用	3,308.97	5.85%
機具運輸	13.87	0.02%
公務運具使用	67.76	0.12%
用電	126.16	0.22%
用水	0.97	0.00%
廢棄物	13.68	0.02%
人員化糞池逸散	9.70	0.02%
碳匯變化	177.82	0.31%
工程總量	56,595.04	100.00%

C1 標 2016 年度試算結果

C1 標 2016 年度工程材料使用為 51,281.25 TCO₂e，而工程材料運輸為 922.37 TCO₂e，各種材料類別使用量如表 12。

表 12 C1 標 2016 年材料類別使用統計表

材料類別	碳排放量 (TCO ₂ e)	佔比
混凝土	32782.45	63.93%
熱軋竹節鋼筋	12670.48	24.71%
預力材料	3967.57	7.74%
噴凝土	1072.77	2.09%
其他	787.98	1.54%
合計	51281.25	100.00%

C1 標 2016 年度施工機具使用為 1,731.53 TCO₂e，而施工機具運輸為 16.28 TCO₂e，各種機具類別使用量如表 13。

表 13 C1 標 2016 年機具類別使用統計表

機具類別	碳排放量 (TCO ₂ e)	佔比
挖土機	486.50	28.10%
吊車	221.02	12.76%
發電機	470.48	27.17%
其他	553.53	31.97%
合計	1731.53	100.00%

C1 標 2016 年度公務運輸使用為 128.92 TCO₂e，用水使用為 0.47 TCO₂e，而用電使用為 210.23 TCO₂e，用電位置及度數如表 14。

表 14 C1 標 2016 年用電類別使用統計表

供電用途	耗電量 (度)	碳排放量 (TCO ₂ e)
工務所 -1	33000	21.45
工地臨時用電 -1	1370	0.89
工地臨時用電 -2	99	0.06
工務所 -2	153080	99.50
工地臨時用電 -3	842	0.55
C1 標監造工務所	48569	31.57
高南二段辦公室用電	17845	11.60
西濱南工程處用電	68626.10	44.61
合計	323431.10	210.23

C1 標 2016 年度廢棄物及化糞池逸散為 26.22 TCO_{2e}，計算方式如表 15。

表 15 C1 標 2016 年廢棄物及化糞池逸散統計表

排放類別	排放項目	單位	數量	碳排放量 (TCO _{2e})
逸散	工地人員化糞池	人天	31152	11.12
廢棄物	一般生活廢棄物焚化	ton	29.16	14.72
	一般生活廢棄物運輸	Ton km	1603.70	0.38
小計				26.22

C1 標 2016 年度工程施工碳排放量為 54,348.36 TCO_{2e}，其中工料使用占比超過 94%，其次為機具使用與工料運輸，總計約佔 5%，各項排放源之排放量統計如表 16，而一級數據占比約為 3.87%，如表 17 所示。

表 16 C1 標 2016 年工程施工碳排放量統計表

排放源	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
工料使用	51,281.25	94.36%
工料運輸	922.37	1.70%
機具使用	1,762.61	3.24%
機具運輸	16.28	0.03%
公務運具使用	128.92	0.24%
用電	210.23	0.39%
用水	0.47	0.00%
廢棄物	15.10	0.03%
人員化糞池逸散	11.12	0.02%
碳匯變化	0.00	0.00%
工程總量	54,348.36	100.00%

表 17 C1 標 2016 年一級數據佔比分析表

一級數據排放源	一級數據碳排放量 (ton CO _{2e})	一級數據佔比 (%)
機具使用	1762.61	3.24
公務運具	128.92	0.24
水電	210.70	0.39
總量	2102.23	3.87

C2 標施工階段碳排放量計算

C2 隊道標自 2013 年 7 月開工，至 2016 年底為止，實際進度約 42.97%，以下各節將分就各年度之工料、機具、公務運輸、用水及用電、廢棄物及植栽碳匯變化進行說明。

C2 標 2013 年度試算結果

C2 標 2013 年度工程材料使用為 1,767.33 TonCO_{2e}，工程材料運輸為 249.83TCO_{2e}，各種材料類別使用量如表 18。

表 18 C2 標 2013 年材料類別使用統計表

材料類別	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
混凝土類	1,320.49	74.72%
普特蘭水泥	131.13	7.42%
水電物料	123.51	6.99%
管罈鋼管	90.66	5.13%
熱軋竹節鋼筋	71.47	4.04%
其他	30.07	1.7%
合計	1,767.33	100.00%

C2 標 2013 年度施工機具使用為 218.08TCO_{2e}，而施工機具運輸為 15.68TCO_{2e}，各種機具類別使用量如表 19。

表 19 C2 標 2013 年機具類別使用統計表

機具類別	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
其他類	2.78	1.27%
震動破碎機類	9.97	4.57%
吊車類	11.48	5.26%
鑽堡類	24.60	11.28%
發電機空壓機	83.13	38.12%
挖土機類	86.13	39.49%
合計	218.08	100.00%

C2 標 2013 年度公務運輸使用為 41.47 TCO_{2e}，用水使用為 0.01 TCO_{2e}，而用電使用為 33.85 TCO_{2e}，用電位置及度數如表 20。

表 20 C2 標 2013 年用電類別使用統計表

供電用途	耗電量 (度)	碳排放量 (TCO _{2e})
草埔辦公室用電	33,312	22.99
北口工區用電	1,922	1.33
北口辦公室用電	2,993	2.07
監造工務所用電	2,727	1.88
高南二段辦公室	4,865	3.36
西濱南工處臨時辦公室	3,236	2.23
合計		33.85

C2 標 2013 年度植栽變化碳匯為 9.92 TCO_{2e}，廢棄物及化糞池逸散為 5.22 TCO_{2e}，計算方式如表 21。

表 21 C2 標 2013 年廢棄物及化糞池逸散統計表

排放類別	排放項目	單位	數量	碳排放量 (TCO _{2e})
逸散	工地人員化糞池	人天	6,770	2.16
廢棄物	一般生活廢棄物焚化	ton	5.88	2.97
	一般生活廢棄物運輸	Ton km	323.57	0.09
小計				5.22

C2 標 2013 年度工程施工碳排放量為 2,341.39 TCO_{2e}，其中工料使用佔比超過 75%，其次為工料運輸與機具使用，約各佔 10%，各項排放源之排放量統計如表 22。

表 22 C2 標 2013 年工程施工碳排放量統計表

排放源	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
工料使用	1,767.33	75.48%
工料運輸	249.83	10.67%
機具使用	218.08	9.31%
機具運輸	15.68	0.67%
公務運具使用	41.47	1.77%
用電	33.85	1.45%
用水	0.01	0.00%
廢棄物	3.06	0.13%
人員化糞池逸散	2.16	0.09%
碳匯變化	9.92	0.42%
工程總量	2,341.39	100.00%

C2 標 2014 年度試算結果

C2 標 2014 年度工程材料使用為 26,972.16 TCO_{2e}，而工程材料運輸為 1,103.65 TCO_{2e}，各種材料類別使用量如表 23。

表 23 C2 標 2014 年材料類別使用統計表

材料類別	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
混凝土類	17,836.09	66.13%
噴凝土類	4,678.69	17.35%
普特蘭水泥	892.65	3.31%
鋼纖維	694.44	2.57%
熱軋竹節鋼筋	644.96	2.39%
桁架	521.51	1.93%
先撐鋼管	278.25	1.03%
其他	1424.03	5.29%
合計	26,972.16	100.00%

C2 標 2014 年度施工機具使用為 2,290.55TCO_{2e}，而施工機具運輸為 23.04TCO_{2e}，各種機具類別使用量如表 24。

表 24 C2 標 2014 年機具類別使用統計表

機具類別	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
出土車類	6.10	0.27%
震動破碎機類	9.75	0.43%
發電機空壓機	21.12	0.92%
鑽堡類	21.56	0.94%
吊車類	59.37	2.59%
鏟裝機類	71.05	3.10%
挖土機類	772.88	33.74%
豎井辦公室用電	624.84	27.28%
南口辦公室用電	291.54	12.73%
北口隧道工區用電	412.34	18.00%
合計	2,290.55	100.00%

C2 標 2014 年度公務運輸使用為 150.56 TCO_{2e}，用水使用為 0.8 TCO_{2e}，而用電使用為 619.73 TCO_{2e}，用電位置及度數如表 25。

表 25 C2 標 2014 年用電類別使用統計表

供電用途	耗電量 (度)	碳排放量 (TCO _{2e})
草埔辦公室用電	138,902	95.84
北口辦公室用電	118,320	81.64
北口辦公室用電	200	0.14
專用預拌廠用電	202,920	140.01
監造工務所用電	9,395	6.48
高南二段辦公室用電	11,322	7.81
西濱南工程處用電	417,106	287.80
合計	898,165	619.73

C2 標 2014 年度廢棄物及化糞池逸散為 40.50 TCO_{2e}，計算方式如表 26。

表 26 C2 標 2014 年廢棄物及化糞池逸散統計表

排放類別	排放項目	單位	數量	碳排放量 (TCO _{2e})
逸散	工地人員化糞池	人天	50,864	16.75
廢棄物	一般生活廢棄物焚化	ton	45.63	23.05
	一般生活廢棄物運輸	Ton km	2,510	0.7
小計				40.50

C2 標 2014 年度工程施工碳排放量為 31,200.98 TCO_{2e}，其中工料使用佔比超過 86%，其次為機具使用、工料運輸與用電，總計約佔 13%，各項排放源之排放量統計如表 27。

表 27 C2 標 2014 年工程施工碳排放量統計表

排放源	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
工料使用	26,972.16	86.45%
工料運輸	1,103.65	3.54%
機具使用	2,290.55	7.34%
機具運輸	23.04	0.07%
公務運具使用	150.56	0.48%
用電	619.73	1.99%
用水	0.80	0.00%
廢棄物	23.75	0.08%
人員化糞池逸散	16.75	0.05%
碳匯變化	0.00	0.00%
工程總量	31,200.98	100.00%

C2 標 2015 年度試算結果

C2 標 2015 年度工程材料使用為 26,972.16 TCO_{2e}，而工程材料運輸為 4,595.61 TCO_{2e}，各種材料類別使用量如表 28。

表 28 C2 標 2015 年材料類別使用統計表

材料類別	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
噴凝土	13,762.98	39.78%
混凝土類	6,515.49	18.83%
水玻璃	3,801.56	10.99%
其他類	3,461.85	10.01%
先撐鋼管	2,249.82	6.50%
普特蘭 II 型水泥	1,567.87	4.53%
熱軋竹節鋼筋	1,305.99	3.77%
鋼纖維	1,011.78	2.92%
桁架	921.47	2.66%
合計	34,598.80	100.00%

C2 標 2015 年度施工機具使用為 7,859.30 TCO_{2e}，而施工機具運輸為 6.46 TCO_{2e}，各種機具類別使用量如表 29。

表 29 C2 標 2015 年機具類別使用統計表

機具類別	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
吊車類	107.53	1.37%
出土車類	45.76	0.58%
挖土機類	1,723.43	21.93%
破碎機類	59.93	0.76%
鏟樁機類	369.53	4.70%
其他類	2.17	0.03%
豎井辦公室用電	2,197.60	27.96%
南口辦公室用電	2,009.40	25.57%
北口隧道工區用電	1,343.96	17.10%
合計	7,859.30	100.00%

C2 標 2015 年度公務運輸使用為 193.35 TCO_{2e}，用水使用為 0.74 TCO_{2e}，而用電使用為 531.59 TCO_{2e}，用電位置及度數如表 30。

表 30 C2 標 2015 年用電類別使用統計表

供電用途	耗電量 (度)	碳排放量 (TCO _{2e})
草埔辦公室用電	191,280.00	126.24
北口辦公室用電	181,920.00	120.07
專用預拌廠用電	347,640.00	229.44
監造工務所用電	18,811.00	12.42
西濱南工程處用電	56,602.00	37.36
高南二段辦公室用電	9,182.65	6.06
合計	805,435.65	531.59

C2 標 2015 年度廢棄物及化糞池逸散為 50.37 TCO_{2e}，計算方式如表 31。

表 31 C2 標 2015 年廢棄物及化糞池逸散統計表

排放類別	排放項目	單位	數量	碳排放量 (TCO _{2e})
逸散	工地人員化糞池	人天	62,670	19.99
廢棄物	一般生活廢棄物焚化	ton	58.66	29.62
	一般生活廢棄物運輸	Ton km	323.57	0.76
小計				50.37

C2 標 2015 年度工程施工碳排放量為 47,836.21 TCO_{2e}，其中工料使用占比超過 72%，其次為機具使用與工料運輸，總計約佔 26%，各項排放源之排放量統計如表 32，而一級數據佔比約為 56.86%。

表 32 C2 標 2015 年工程施工碳排放量統計表

排放源	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
工料使用	34,598.80	72.33%
工料運輸	4,595.61	9.61%
機具使用	7,859.30	16.43%
機具運輸	6.46	0.01%
公務運具使用	193.35	0.40%
用電	531.59	1.11%
用水	0.74	0.00%
廢棄物	30.38	0.06%
人員化糞池逸散	19.99	0.04%
碳匯變化	0.00	0.00%
工程總量	47,836.21	100.00%

C2 標 2016 年度試算結果

C2 標 2016 年度工程材料使用為 40,679.17 TCO_{2e}，而工程材料運輸為 3,276.43 TCO_{2e}，各種材料類別使用量如表 33。

表 33 C2 標 2016 年材料類別使用統計表

材料類別	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
混凝土	11,107.71	27.31%
熱軋竹節鋼筋	1,964.72	4.83%
水玻璃	4,479.15	11.01%
先撐鋼管	2,007.34	4.93%
桁架	675.69	1.66%
鋼橋	780.05	1.92%
噴凝土	13,342.99	32.80%
其他	6,321.52	15.54%
合計	40,679.17	100.00%

C2 標 2016 年度施工機具使用為 11,901.26 TCO_{2e}，而施工機具運輸為 12.43 TCO_{2e}，各種機具類別使用量如表 34。

表 34 C2 標 2016 年機具類別使用統計表

機具類別	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
挖土機	1774.63	14.74%
吊車	5.22	0.04%
鏟裝機	382.78	3.18%
出土車	44.98	0.37%
其他	654.33	5.44%
豎井辦公室用電	4321.66	35.91%
南口辦公室用電	3314.94	27.54%
北口隧道工區用電	1537.58	12.77%
合計	12036.12	100.00%

C2 標 2016 年度公務運輸使用為 173.31 TCO_{2e}，用水使用為 0.11 TCO_{2e}，而用電使用為 381.85 TCO_{2e}，用電位置及度數如表 35。

表 35 C2 標 2016 年用電類別使用統計表

供電用途	耗電量 (度)	碳排放量 (TCO _{2e})
草埔辦公室用電	212,160	137.90
北口辦公室用電	249,480	162.16
監造工務所用電	20,934	13.61
西濱南工程處用電	64,743.1	42.08
高南二段辦公室用電	40,151.8	26.10
合計	587,468.89	381.85

C2 標 2016 年度廢棄物及化糞池逸散為 70.85 TCO_{2e}，計算方式如表 36。

表 36 C2 標 2016 年廢棄物及化糞池逸散統計表

排放類別	排放項目	單位	數量	碳排放量 (TCO _{2e})
逸散	工地人員化糞池	人天	84168	30.05
廢棄物	一般生活廢棄物焚化	ton	78.78	39.78
	一般生活廢棄物運輸	Ton km	4332.97	1.02
小計				70.85

C2 標 2016 年度工程施工碳排放量為 56,630.27 TCO_{2e}，其中工料使用佔比約為 72%，其次為機具使用與工料運輸，總計約佔 27%，各項排放源之排放量統計如表 37，而一級數據佔比約為 45.32%，如表 38 所示。

表 37 C2 標 2016 年工程施工碳排放量統計表

排放源	碳排放量 (TCO _{2e})	佔比
工料使用	40,679.17	71.83%
工料運輸	3,276.43	5.79%
機具使用	12,036.12	21.25%
機具運輸	12.43	0.02%
公務運具使用	173.31	0.31%
用電	381.85	0.67%
用水	0.11	0.00%
廢棄物	40.80	0.07%
人員化糞池逸散	30.05	0.05%
破匯變化	0.00	0.00%
工程總量	56,630.27	100.00%

表 38 C2 標 2016 年一級數據佔比分析表

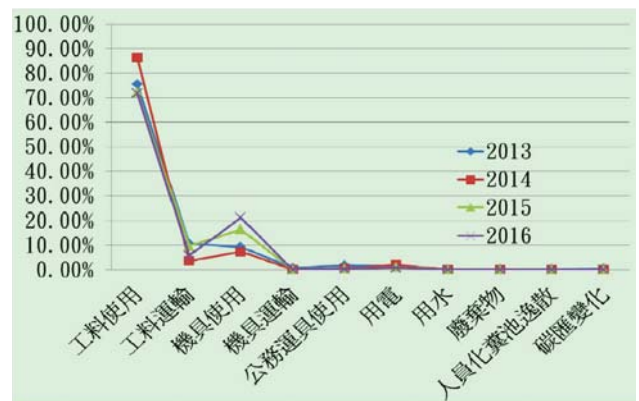
一級數據排放源	一級數據碳排放量 (ton CO _{2e})	一級數據佔比 (%)
鋼筋	1,964.72	3.47
混凝土	11,107.71	19.61
機具使用	12,036.12	21.25
公務運具	173.31	0.31
用電	381.96	0.67
總量	25,663.82	45.32

表 39 與表 40 分別顯示 C1 標及 C2 標各年度各項排放源佔比趨勢，各標各年度之主要排放源均為工程材料，但可觀察出 C2 隧道標施工機具使用所佔比例明顯高於 C1 橋梁標，故進行設計推估時應有所區別。

表 39 C1 標各年度排放源佔比趨勢圖



表 40 C2 標各年度排放源佔比趨勢圖



加值分析

本計畫除進行上述活動數據蒐集及排放係數律定之外，亦針對盤查結果進行額外分析，如單位工程進度排放量、各類工程單位長度排放量等，茲說明如下。

單位工程進度排放量

本計畫每半年針對工程進度、當期碳排放量與細設成果推估進行比較，除可掌握每一期單位進度排放量之變化，亦針對細設推估之成果提出推估模式或參數之修正，期能回饋至工程開工前對工程碳排放量提出更為準確之預估。詳細結果表列於表 41 及表 42，C1 標除 2014 年主要進行路堤工程，其後工進主要為基礎、下構及上構施工；C2 標除 2013 年主要進行洞口整地開挖之外，其餘工進主要為隧道內鑽炸施工、支保組立及噴漿作業。

表 41 C1 標單位工程進度碳排放量統計表

統計期間	碳排放量 (TCO _{2e})	當期工程進度 (%)	單位進度碳排放量 (TCO _{2e} /%)
2014.05-2014.12	9,714.25	5.2	1,868.13
2015.01-2015.12	56,595.04	26.55	2,131.64
2016.01-2016.12	54,348.36	26.13	2,079.92
合計	120,657.7	57.88	2,084.62
設計階段推估	214,331	100	2,143.31

表 42 C2 標單位工程進度碳排放量統計表

統計期間	碳排放量 (TCO _{2e})	當期工程進度 (%)	單位進度碳排放量 (TCO _{2e} /%)
2013.07-2013.12	2,341.39	0.94	2,490.84
2014.01-2014.12	31,200.98	14.49	2,153.28
2015.01-2015.12	47,836.21	13.37	3,577.88
2016.01-2016.12	56,630.27	14.17	3,996.49
合計	138,008.9	42.97	3,211.75
設計階段推估	180,700	100	1,807.00

由上表可知，C1 標目前實際碳排放量與設計階段推估約略相符，而 C2 標則高於細設推估量，最主要原因應與上節所述相同，即 C2 隧道標之施工機具所耗能源較推估時預測值更高，本案將在完工時針對隧道及橋梁分別提出不同之機具能耗量，可供將來公共工程參考之用。

本工程單位長度排放量

為了解本工程各類結構工項每單位行進米之碳排放量，以便於規劃設計時參考用以選擇最適方案，本計畫亦統整開工日起至 2016 年底各結構工項施作長度及總碳排放量，計算結果如表 43 所示（不含襯砌施工）。

表 43 本工程不同分區類別單位碳排放量統計表

使用分區類別	排放量 (TCO _{2e})	項目	長度 (m)	每進行米碳排放量 (TCO _{2e})
120cmφ 基樁	220.87	鋼筋、混凝土等 (含樁帽)	220	1.00
150cmφ 基樁	12,035.20	鋼筋、混凝土等 (含樁帽)	5,642	2.13
主隧道 (北上)	33,572.28	開挖、支保、噴凝土等	3,210.3	10.46
主隧道 (南下)	41,376.28	開挖、支保、噴凝土等	2,965.0	13.95
豎井	3,059.23	開挖、支保、噴凝土等	144.5	21.17
養灘	15,426.67	土方堆置、消波塊	425.0	36.30
人行連絡道	2,139.54	開挖、支保、噴凝土等	111.4	19.21

並針對本計畫主隧道不同岩層性質之碳排放量進行比較，比較結果如表 44 所示，由目前統計結果，第 VI 類岩層之碳排放量約為第 IV 類岩層之 1.5 倍。

表 44 隧道不同岩層性質碳排放量比較表

岩層類別	岩體性質	施作長度 (m)	單位碳排放量 (TCO _{2e} /m)
主隧道 (岩層 IV)	較堅硬	4566.35	9.32~12.94
主隧道 (岩層 V)	⇕	909.90	13.12~15.15
主隧道 (岩層 VI)	較軟弱	699.05	15.48~18.10

結論與建議

- (1) 本文涵蓋作業內容為：細部設計碳排放量推估、施工階段工程碳足跡盤查輔導（活動數據蒐集與排放係數律定）、資料統整與分析等。
- (2) 經統計 2013 至 2016 年間之排碳量分析，隧道工程材料碳排放量之佔比約為總量之 72~86%，橋梁工程則高達 82~94%，顯示工程材料為整體工程生命週期之大宗碳排放源；其中又以鋼筋、混凝土及噴凝土之碳排放量佔材料排放之 50% 以上，為碳排放熱點。
- (3) 配合施工期程，目前主隧道工程單位碳排放量之計算分析包含範圍僅至噴凝土部分；未來尚須將襯砌、仰拱、路面結構（含排水）等計入；橋梁部分則逐步納入下構及上構計算。
- (4) 本工作短期目標為取得本工程碳足跡查證聲明書，而長期目標為建立區域性工程碳管理資料庫，日後提供各類工程依照性質、規模、工法等參數，即可於規劃設計階段評估出更準確的碳排放量。

參考文獻

1. 中興工程顧問股份有限公司 (2016), 「西濱快速公路 WH77-A 標鹽埕交流道新建工程碳足跡盤查報告」。
2. 中興工程顧問股份有限公司 (2012), 「交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究」, 「交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究」。
3. 台灣世曦工程股份有限公司 (2016), 「臺 9 線南迴公路拓寬改善後續計畫安朔草埔段委託工程碳管理暨碳足跡盤查輔導及查證服務工作 104 年度年末進度報告書」。
4. BSI (2008). "Guide to PAS 2050. How to assess the carbon footprint of goods and services".
5. BSI (2011). "PAS 2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services".
6. ISO (2006), "ISO/CNS 14064. Greenhouse gases Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals".
7. ISO (2013), "ISO/TS 14067. Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification and communication".
8. UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). (2015). "Paris Agreement". 