

農田水利設施之碳排管理-以四張犁分線改善工程為例

劉宜君⁽¹⁾

摘要

全球氣候變遷下，極端氣候情形加劇，各國針對溫室氣體的排放已加強制約，目前我國農業部提出將於2040年提前達成淨零排放之目標，其中農田水利設施改善工程屬於減量範疇之一。本研究以四張犁分線改善工程為例，應用 PCCES 系統，分別以設計階段及竣工階段時之工項數量採用排放係數法計算其碳排放量，並針對碳排放量較高之工項提出減碳策略。研究結果顯示本工程碳排放量最高之工項為 210kgf/cm^2 預拌混凝土，若以飛灰與爐石粉替代10%，將可使工程碳排量減少6.5%。此外，本研究認為農田水利工程部分工項無法對應於 PCCES 資料庫中既有工項，僅能使用經費碳排係數進行碳排量計算，此狀況將造成碳排量的計算結果產生誤差，日後若能改善此部分，將有助於提升碳排放量計算的準確性。

(關鍵詞：碳排放量、碳排管理、減碳策略)

Managing Carbon Emissions in Irrigation and Drainage Projects: A Case Study of the Sizhangli Canal Improvement

Yi-Jun Liu⁽¹⁾

PhD Student⁽¹⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University,
Taiwan

ABSTRACT

Global climate change intensified extreme weather events, leading to stricter international regulations on greenhouse gas emissions. Taiwan's Ministry of Agriculture set a goal to achieve net-zero emissions by 2040, with the improvement of agricultural water conservancy facilities identified as one of the key mitigation policies. The study used the Sizhangli Irrigation Canal Improvement Project as a case study and applied the PCCES system to estimate carbon emissions at both the design and completion stages using the emission coefficient method based on the quantities of construction items. Carbon reduction strategies were proposed for items with higher emission levels. The results show that the construction item with the highest carbon emissions is the 210 kgf/cm^2 ready-mixed concrete. A 10% substitution with fly ash and slag powder is estimated to reduce the project's total carbon emissions by 6.5%. Moreover, the study found that certain construction items in irrigation and drainage engineering cannot be matched with existing items in the PCCES database, and the calculation must rely on the

⁽¹⁾國立中興大學水土保持學系博士生(通訊作者 e-mail : starliu082@gmail.com)

expenditure-based carbon emission factor, which potentially causes estimation errors. Addressing this issue in the future would greatly improve the accuracy of carbon emission assessments in similar projects.

(Keywords : Carbon emissions, Carbon emission management, Carbon reduction strategy)

一、前言

全球暖化日益嚴重，為避免造成生態系統的衝擊，世界各國紛紛將減碳列入政策，並宣告在2050年達到淨零排放 (Net Zero)的目標。為呼應全球淨零趨勢，臺灣從2010年開始推行節能減碳，目前我國農業部門展望提前於2040年達成淨零排放目標，並訂定四大主軸政策，分別為「減量」、「增匯」、「循環」及「綠趨勢」，其中農田水利工程屬於「減量」範疇中，每年減碳目標如表 1所示。農田水利設施在工程施工過程中，使用的工程材料、消耗燃料與能源皆產生溫室氣體排放，以致增加環境負荷，透過執行碳管理作業，可有效進行減碳。

表 1農田水利工程每年減碳目標

Table 1 Annual Carbon Reduction Goal for Agricultural Water Projects

年份	114 年	115 年	116 年	117 年
減量比例	2.5%	5%	10%	15%
依據農田水利跨域整合永續發展計畫(114-117 年)(核定本)，農業部，2024。				

針對減碳作業，許多部門應用多種方案進行嘗試，公路總局2012年發展「工程碳管理架構與機制」以臺9線南迴公路安朔草埔段工程為例，進行碳足跡盤查工作，透過完整的工程施工期程，分年度實質盤查，提供其他公部門作為參考(陳保展等人，2017)。賴進信等人(2022)呈現經濟部水利

署透過「公共工程經費電腦估價系統」(簡稱 PCCES)，以工程項目的單價分析，實現由預算數量並結合對應之碳排放係數，自動計算出預期碳排放量，藉此提出「碳預算管理」的管理模式，並透過不同階段(工程提報、工程設計、工程發包等)的檢核，逐步檢視碳排放量，以進行管理。

農村水保署(2025)提及針對工程類減碳的作法有兩類，包括「碳足跡盤查」及「碳管理」。其中工程類的「碳足跡盤查」往往需要為整個工程進行碳排放量的收集，計算碳排放量時，需要蒐集各類材料、油料單、水電費及施工日誌等，且持續時間長達一至五年，相當耗財耗時，多屬於單一案例執行。而「碳管理」則是在原有減碳規劃設計下，且不影響工程品質之前提，參考減碳指引的建議目標，以工程生命週期概念管理碳排放量，執行各階段減碳策略。於規劃設計階段時進行碳排放量的推估，以了解碳排放量及主要碳排放源，藉此提出減碳策略；於施工階段提出減碳的施工方式。在計算碳排放量時是以預算書工程項目進行推估，可廣泛運用於不同案例。

相對於碳足跡盤查適用單一個案，碳管理作業可通案適用(農村水保署，2025)，後續本研究將採用碳管理方式進行，並參考農村水保工程減碳作業指引(農村水保署，2025)及農田水利工程減碳作業參考指引

(草案)(農水署, 2025), 應用 PCCES 系統, 計算個別工項之碳排量, 檢視該工程之碳排放量, 若無變更設計, 竣工階段之碳排放量將與設計階段一致, 透過比較兩個階段總碳排量, 可評估工程碳管理作業的成效, 並針對主要碳排量較高的工項提出改善策略, 以利後續農田水利工程有效減碳。

二、工程簡介

因應氣候變遷造成水文現象極端化, 農田水利署策劃與推動農田水利設施重大工程, 積極改善農田水利設施更新, 藉此增進灌溉管理作業, 以提升灌溉排水服務效率及用水效益。其中農田水利設施自水源至農田水利系統中, 分別可分為導水路、幹線、支線、分線、給水路, 藉由改善渠道, 可使輸水效率提升, 確保輸水暢通, 目前考量水工結構物後續的維護管理及使用年限, 多以鋼筋混凝土形式進行設計。

四張犁分線座落於彰化縣和美鎮四張里, 源頭來自烏溪, 經福馬圳導水路流進彰化縣, 總長約650公尺。早期居民多以務農為主, 該渠道現況為內面工, 因其渠道破損影響給水路輸水效率, 故有改善之需求。此次施工區間為樁號0+195至樁號0+503, 鄉路改善308公尺, 如圖 1 所示。



圖 1 四張犁分線改善工程施工起終點

Figure 1 Sizhangli irrigation canal improvement project of start and end point.

本工程為鋼筋混凝土結構, 設計斷面為寬度60公分、高度60公分, 其中包含2座住戶通行橋樑, 設計坡度為1/700, 設計水深約為18.3公分, 標準斷面配筋形式如圖2所示, 工期為日曆天為120日曆天。本工程因設計階段數字誤植造成計算有誤及安全因素, 於施工階段辦理變更設計1次, 實際作業日曆天為61日曆天。

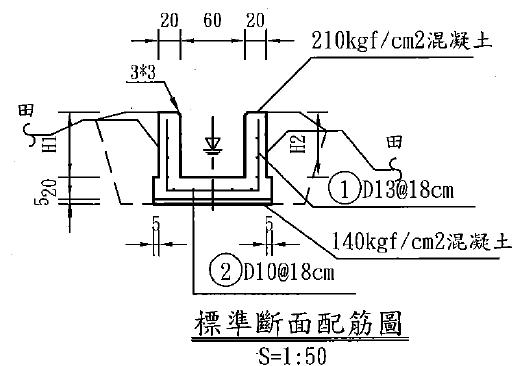


圖 2 標準斷面配筋圖

Figure 2 Standard Structural Reinforcement Cross-Sections

三、研究方法

1. 工程碳排放量計算

為有效且快速計算本工程之碳排放量，首先確認工程中所用之工項，可對應PCCES系統，該系統除了可作為公共工程預算編制的工具，工程會自2013年嘗試將碳排放量推估計算納入該系統，分析設計階段時，人力、機具，材料、雜項等資源數量與碳排放間之關係(工程會，2013)。

目前PCCES系統的優勢在於其數據庫已存有工程項目詳細的人、機、料分析，透過各細項建立對應的碳排放係數資料庫，可實現由預算數量自動計算出預期碳排放量，形成「經費預算 - 碳預算」的雙軌管理模式(呂斌豪及黃琬淇，2025)。

農水署(2025)將農田水利工程常見工程項目類型進行整理，可概分成5類，分別為：工程材料、機具運作、植栽、臨時設施及未有碳排係數或數量不明確(通常計算單位為一式)難以明確衡量，工程材料以材料數量(體積、面積、重量等)乘以單位碳排係數進行計算；機具運作以機具運作時間乘以單位時間所消耗能源作為計算；植栽部分，因植栽具有碳匯效益因此為負值；臨時設施部分因其可重複利用(如抽水機、告示牌等)，故不計算生產之碳排放量(潘建中，2024)；未有碳排係數或數量不明確之工項，會以該項經費乘上經費碳排係數，來計算碳排放量。

本研究「四張犁分線改善工程」之工項數量詳細表，如表2所示，表中分別顯示設計階段及竣工階段實際數量。

表 2 工項數量詳細表
Table 2 Quantity table of engineering items

項次	項目及說明	單位	設計階段 數量	竣工階段 數量
1	土方工作，挖方	M ³	358.0	358.0
2	土方工作，填方	M ³	245.0	245.0
3	結構用混凝土，預拌，210kgf/cm ²	M ³	162.0	157.0
4	結構用混凝土，預拌，140kgf/cm ²	M ³	17.0	17.0
5	鋼筋，SD280, D10mm	KG	2,216.0	2,216.0
6	鋼筋，SD280, D13mm	KG	8,738.0	4,190.0
7	鋼筋，SD420W, D19mm	KG	251.0	251.0
8	堵縫結構混凝土用模板，乙種	M ²	761.0	761.0
9	普通模板，基礎	M ²	132.0	132.0
10	銅製模板，RC護欄用	M ²	9.0	9.0
11	水泥漆，室外用	M ²	13.0	13.0
12	瀝青混凝土鋪面，厚5cm	M ²	24.0	24.0
13	瀝青黏層	M ²	24.0	24.0
14	控制性低強度回填材料，混凝土用粗料	M ³	5.0	5.0
15	焊接鋼筋130*80cm	組	5.0	5.0
16	臨時設施，施工便道	M ²	1,540.0	1,540.0
17	牆頭刷漆處理費	M	578.0	578.0
18	機械拆除，結構物拆除 (建築物以外之結構物拆除)	M ³	2.0	2.0
19	清除及拆除，雜草雜木	式	1.0	1.0
20	止水帶，聚氯乙烯，A型，150x4mm	M	35.0	35.0
21	伸縮縫，高密度保麗龍板	M ²	7.0	7.0
22	樹脂填縫	M	44.0	44.0
23	瀝青混凝土面層，厚5cm，路面切割費	M	24.0	24.0
24	電力電信桿保護(鋼軌捲5M及鋼索固定)	支	8.0	8.0
25	施工測量，放樣	式	1.0	1.0
26	汛期工地防災滅災作業費	式	1.0	1.0
27	3" PVC排水管	式	1.0	-
28	重機械搬運費	處	1.0	1.0
29	渠道新舊衝接修復費	式	1.0	1.0
30	建物保護措施費	式	1.0	1.0
31	產品，工程告示牌及工地標誌 ，工程告示牌	面	1.0	1.0
32	產品，職業安全衛生，一般器材 ，安全衛生告示牌	面	1.0	1.0
33	施工常見缺失看板	面	1.0	1.0

後續蒐集碳排係數，本研究採用碳排係數的順序分別為：1.公共工程委員會公告經第三方查驗證之碳排係數，目前使用版本為113年5月公告，其彙整許多公共工程產品碳排放係數資料，並出示數據來源(如經濟部水利署、交通部高公局、交通部公路局)，如圖3所示；2.其他相關工程單位所提供之碳排係數(如農業部農村水保署)或是3.相關中英文獻等。

在確認工項後，本研究採用排放係數法計算碳排放量(式1)。排放係數法係指利用原(物)料、燃料之使用量或產品產量等數值乘上特定之排放係數，並依產生之各類溫室氣體排放量乘上該項之全球暖化

潛勢 (Global Warming Potential, GWP) 得到二氣化碳排放當量(CO_2e)(環境部, 2024)。GWP 是指在一段期間內，單一溫室氣體質量單位產生之輻射衝擊，相對於相等單位的二氣化碳之倍數(農村水保署, 2023)，故不同溫室氣體排放量透過 GWP 換算後，可一致轉換為二氣化碳排放當量來表示，故計算公式可簡化為：

碳排放量(CO_2e)

$$= \text{活動數據} \times \text{排放係數} \times \text{全球暖化趨勢(GWP)}$$

$$= \text{活動數據} \times \text{碳排放係數} \quad (\text{式1})$$

其中，活動數據即為工程項目的量化數據，或以經費規模代表該工項之活動數據；而碳排放係數即為單位活動數據排放的二氣化碳當量，由工項之各類溫室氣體排放係數與全球暖化潛勢(GWP)值的乘積加總而得。

針對未能取得碳排放係數的工項，目前常直接利用工程經費，結合以建立的回歸模型來建立經費碳排係數，用以估算碳排放量，此方法優點在於其簡便性及可快速得到結果。如賴建信等人(2022)提及水利署分析2019至2021年推動之相關工程約930件水利工程之碳排量，線性回歸單位經費下之碳排量，如表 3所示；農村水保署(2025)盤查2020年及2021年工程項目、竣工資料等，建立工程經費與工程碳排量的關係式，因此可依據不同工程類型之工程經費計算碳排放量，如表 4所示。

表 3各類型水利工程之每萬元碳排放量

Table 3 Carbon emission footprint of water resources engineering per ten thousand funding of investment.

水利工程	每萬元碳排放量 (ton- CO_2e /萬元)
河海工程	0.38
防汛備料工程	1.11
水資源 非專案工程	0.48
資料整理自賴進信等人，2022。	

農水署(2025)盤點2020至2023年之工程案件，從中抽樣計算碳排量，共採計437件，並進行回歸，建立工程經費與工程碳排量之關係(圖4)，目前可知農田水利工程每萬元將產生0.5206 ton- CO_2e 之碳排量，本研究後續將採用其經費碳排係數進行碳排放量計算。其碳排放量計算方式如下式(2)：

碳排放量(CO_2e)

$$= \text{單項經費(萬元)} \times \text{經費碳排放係數}$$

$$= \text{單項經費(萬元)} \times 0.5206(\text{ton-}\text{CO}_2\text{e}/\text{萬元})(\text{式2})$$

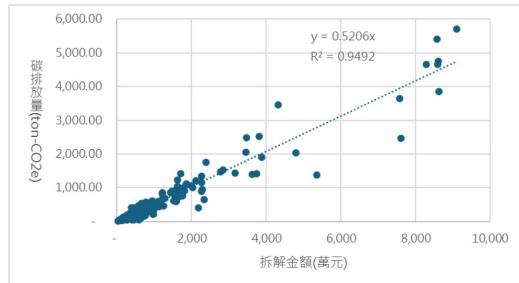


圖 3農田水利工程經費碳排係數(農水署，2025)

Figure 3 Carbon Emission factor of irrigation and drainage engineering budget.

本會彙整中央各部會及地方政府提供公共工程產品碳排放係數資料(113年5月)						
公共工程產品碳排放係數資料(113年)						
	項目	宣告單位	碳排放係數(kgCO ₂ e/宣告單位)	生命週期範疇	數據來源	查驗單位
1	機械拆除，無筋混凝土，未含運費	m3	13.641	規劃設計	水利工程減碳作業參考指引	經BSI第三方查驗證
2	清除及掘除	m3	1.325	規劃設計	水利工程減碳作業參考指引	經BSI第三方查驗證
3	臨時擋土牆設施，打拔(不分類)	m	0.483	規劃設計	水利工程減碳作業參考指引	經BSI第三方查驗證

圖 4 碳排係數資料來源(行政院公共工程委員會網站)

Figure 4 Sources of emission factor data

表 4 各類型水保工程之每萬元碳排放量

Table 4 Carbon emission footprint of soil and water conservation engineering per ten thousand funding of investment.

水土保持工程	每萬元碳排放量 (ton-CO ₂ e/萬元)	農村再生工程	每萬元碳排放量 (ton-CO ₂ e/萬元)
崩塌地處理	0.5317	道路改善	0.3792
野溪治理	0.6447	排水改善	0.4731
農塘營造	0.3748	廣場鋪面	0.3536
農路改善	0.5905	景觀綠美化	0.1831
水保不分類	0.6069	農再不分類	0.3459

資料來源：農村水保署，2025

2. 碳排管理

由設計階段及竣工階段所提供的施工工項的活動數據，結合排放係數和工程經費進行碳排放量計算，若施工內容、數量沒有變更，則兩階段碳排量一致，若工程辦理變更設計，竣工階段可用來確認該工程之最終碳排量，避免疏忽變更設計所產生之碳排量變化。針對兩個階段的碳管理主要策略分別為：設計階段依現況需求考量最適施作規模、土方挖填平衡、規劃剩餘土石方再利用方式(如現場攤平、近運利用及遠運利用)並強調材料和施工的減碳；竣工階段著重於減碳率評量、檢討，並將其結果投入下一次碳管理

作業調整。

四、結果與討論

1. 碳排放量計算結果

依據四張犁分線改善工程設計階段之工項及碳排係數進行計算，主體工項共計有33項，扣除臨時設施不計算(2項)，可對應碳排係數的工項16項，其碳排放量計算結果如表5所示；未有碳排係數的工項為15項，其碳排放計算結果如表 6所示。其餘職業安全衛生費、環境保護措施費、品質管制作業費等，多為人工或行政程序，碳排係數為0，本工程設計階段總碳排放量為91.080 ton-CO₂e。

本工程於施工階段時進行過一次變更設計，變更項目包括：其一為「鋼筋，SD280，D13mm」及「結構用混凝土，預拌，210kgf/cm²」兩項工項，因其數字誤植造成數量計算有誤，故辦理變更；其二則是考量通行之安全性扣除橋面上的排水孔。於竣工階段最終碳排放量為85.023 ton-CO₂e，兩階段相差6.057 ton-CO₂e，扣除數量計算錯誤之問題，兩階段總碳排放量相差0.071 ton-CO₂e，即為取消工項(3" PVC 排水管)所產生，在設計階段時需考量管理維護階段所會面臨的問題，避免於施工階段進行變更設計。此外分成兩階段計算之優點亦凸顯出來，可有效正確計算工程之總碳排放量。

依據竣工時的工項數量進行碳排量計算，如表 5 及表 6 所示，可發現碳排量主要來源為「結構用混凝土，預拌，210kgf/cm²」佔所有來源的71.0%；其次為「結構用混凝土，預拌，140kgf/cm²」佔所有來源6.1%，兩者皆為預拌混凝土，後續可針對此部分提出減碳策略。

透過計算工程經費碳排解算率，可知工程的碳排放計算是否完整，農村水保署(2023)表示若水土保持工程解算率 < 70%，就需重新分析計算或個案說明解算率過低之原因。本研究將採用70%解算率作為標準，來評估本工程碳排放計算的完整性。計算方式如下式(3)：

$$\text{工程經費碳排解算率}(\%) = \frac{\text{已知碳排係數工項的經費(萬元)}}{\text{發包工作費(萬元)}} \quad \text{式(3)}$$

本工程發包工作費約為182.53萬元，其

中已知碳排係數工項的經費約為160.70萬元。本件工程經費碳排解算率為160.70萬元除以182.53萬元，得出約88.04%。其計算結果解算率大於70%，表示本件工程的碳排放計算結果尚屬完整。

2. 減碳策略

在農田水利工程中，為考量水工結構物後續的維護管理及使用年限，常以混凝土作為主要材料，依據本工程碳排放量計算結果可知主要碳排來源皆來自預拌混凝土。對於預拌混凝土，目前國內中鋼、台泥、亞泥等龍頭企業已開發低碳鋼與水泥，針對預拌混凝土其碳排主要來自水泥製造，其每噸產量約排放 0.8~1.0 ton-CO₂e，約占全球碳排的7~8% (李銘智，2025)。根據環境部提供之碳足跡資料，顯示不同替代率飛灰爐石，可有效降低水泥使用量及碳排量。農村水保署(2025)彙整各規格混凝土若以不同比例飛灰與爐石粉取代混凝土其減碳效果(圖 5)。

本工程主要使用之預拌混凝土為210kgf/cm²，竣工階段時所使用數量為157m³，其碳排係數為384.2850kg-CO₂e /每單位，若以飛灰與爐石粉替代10%，其碳排係數會降至349.23kg-CO₂e /每單位，未添加飛灰及爐石粉時，碳排放量為60.333ton-CO₂e，若以飛灰與爐石粉替代10%，碳排放量為54.829 ton-CO₂e，此工項的碳排放量將減少5.504 ton-CO₂e，相當於減少整件工程產生碳排量之6.5%。同樣地當140 kgf/cm²預拌混凝土，若以飛灰與爐石粉替代10%，其碳排係數將會從304.7850kg-CO₂e /每單位，降至282.84 kg-CO₂e /每單位，本工程使用數量為17m³，其碳排放量可由5.181 ton-CO₂e 降至

4.808 ton-CO₂e，碳排放量將可減少0.373 ton-CO₂e。整體而言，使用飛灰與爐石粉取代混凝土的減碳效果十分顯著。

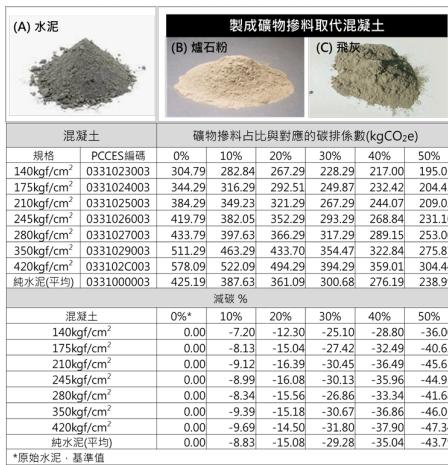


圖 5不同占比的飛灰及爐石粉減碳效果(農村水保署，2025)

Figure 5 Carbon reduction effects of different proportions of fly ash and slag powder.

目前針對農田水利工程，農水署(2025)提出「減碳簡易檢核表」，請設計人員於設計階段時確認工程特性，其中檢核項目包括六項(表 7)，內容如下：依需求考量最適作規模、考量土方挖填平衡設計或剩餘土方再利用、應用現地材料、應用替代性材料或再生材料、規劃栽種原生植物等碳匯措施及其他減碳措施，以上六項檢核項目其減碳概念分別為工程非必要不施作，盡量減少新興工程的碳排；減少機具等使用所產生的碳排及選擇當地、低碳、低耗能、再生材料等，以及規劃碳匯或其他措施等。本工程採取節能減碳作為包括：考量現況需求進行標準斷面之設計及剩餘土方直接於渠壁外回填並現場攤平；另外就是縮短工程時間，使用較快速之工法以減少機具或人工所產生之碳排放量，

但此部分尚未能於碳排量計算結果顯示出來，建議未來可將預計工期與實際工期的天數差異，於竣工階段時作為減碳的成效評估之一。

表 5工程減碳簡易檢核表

Table 5 Simple carbon reduction checklist for engineering projects

工程名稱	工程編號	工程經費 (元)		工程編號	個案參考允許 碳排量(ton-CO ₂ e)	精算碳排量 (ton-CO ₂ e)
		工程總額	工程經費			
號	檢核項目				檢核	
1	依需求考量最適作規模	提報工程規模 (m/m ²): 設計工程規模 (m/m ²):			將挖方規劃利用於: 經土方挖填估算後，剩餘土方量約為(m ³):	
2	考量土方挖填平衡設計，或剩餘土方再利用	<input type="checkbox"/> 現場灘平	<input type="checkbox"/> 近運利用	<input type="checkbox"/> 遠運利用		
3	應用現地材料				因利用現地材料而減少混凝土用量約(m ³):	
4	應用替代性材料或再生材料				應用替代性材料約(m ³):	
5	規劃栽種原生植物等碳匯措施				種植樹種及數量:	
6	其他減碳措施				請說明:	

3. 工項限制

在計算碳排放量時，可發現部分工項無法中可對應於 PCCES 系統數據庫中存有之工項。本工程總計有33項工程項目，其中有15項無對應碳排係數，佔比達45.5%。本研究推測其無對應碳排係數的原因為：其一工項的單位為式，單位不夠明確，無法用來計算碳排放量；其二為工項屬於組合項目，如：牆頂倒角處理費、電力電信桿保護(鋼軌樁5M 及鋼索固定)等，其中包含材料、工序、人工、運輸等，尚需要拆解才能進行計算。

當透過經費碳排係數進行碳排放量推估，因其經費碳排係數會受物價波動具有時變性，因此在計算碳排放量時可能產生些微誤差。未來建議針對農田水利工程之工項，可進一步作單價分析，仔細拆分為人工、機具、材料等以推算碳排放量，並可持續擴充 PCCES 系統數據庫。

農田水利設施之碳排管理-以四張犁分線改善工程為例
劉宜君

表 6 工程碳排量計算結果

Table 6 Carbon emissions calculation results.

項次	項目及說明	單位	設計階段 數量 (1)	竣工階段 數量 (2)	碳排係數 (Kg·CO ₂ e/每 單位) (3)	設計階段碳 排量 (ton·CO ₂ e) (1)×(3)	竣工階段碳 排量 (ton·CO ₂ e) (2)×(3)	竣工階段 所占比例 (%)	設計階段 單項經費 (元)
一、主體工程費									
1	土方工作，挖方	M ³	358.0	358.0	0.9810	0.351	0.351	0.4%	\$ 7,160
2	土方工作，填方	M ³	245.0	245.0	1.3390	0.328	0.328	0.4%	\$ 10,290
3	結構用混凝土，預拌，210kgf/cm ²	M ³	162.0	157.0	384.2850	62.254	60.333	71.0%	\$ 494,100
4	結構用混凝土，預拌，140kgf/cm ²	M ³	17.0	17.0	304.7850	5.181	5.181	6.1%	\$ 50,150
5	鋼筋，SD280，D10mm	KG	2,216.0	2,216.0	0.8936	1.980	1.980	2.3%	\$ 70,912
6	鋼筋，SD280，D13mm	KG	8,738.0	4,190.0	0.8936	7.808	3.744	4.4%	\$ 279,616
7	鋼筋，SD420W，D19mm	KG	251.0	251.0	0.8926	0.224	0.224	0.3%	\$ 8,283
8	堵縫結構混凝土用模板，乙種	M ²	761.0	761.0	1.2702	0.967	0.967	1.1%	\$ 277,765
9	普通模板，基礎	M ²	132.0	132.0	1.2702	0.168	0.168	0.2%	\$ 29,040
10	鋼製模板，RC護欄用	M ²	9.0	9.0	1.2702	0.011	0.011	0.0%	\$ 1,935
11	水泥漆，室外用	M ²	13.0	13.0	0.3420	0.004	0.004	0.0%	\$ 1,300
12	瀝青混凝土鋪面，厚5cm	M ²	24.0	24.0	8,1300	0.195	0.195	0.2%	\$ 7,680
13	瀝青黏層	M ²	24.0	24.0	0.0020	0.000	0.000	0.0%	\$ 600
14	控制性低強度回填材料，混凝土用粒料	M ³	5.0	5.0	94.4950	0.472	0.472	0.6%	\$ 7,000
18	機械拆除，結構物拆除（建築物以外之結構物拆除）	M ³	2.0	2.0	13,6410	0.027	0.027	0.0%	\$ 1,200
21	伸縮縫，高密度保麗龍板	M ²	7.0	7.0	0.0000	0.000	0.000	0.0%	\$ 1,750
	總計(2項臨時設施)					79.973	73.987	87%	124.88萬元
32	產品、職業安全衛生，一般器材，安全衛生告示牌	面	1.0	1.0	屬於臨時設施可重複利用，不計算				\$ 3,000
33	施工常見缺失看板	面	1.0	1.0					\$ 2,000
	小計(2項臨時設施)								0.5萬元
二、職業安全衛生費									
		式	1.0	1.0	0.0000	0.000	0.000	0%	\$ 16,138
三、環境保護措施費									
		式	1.0	1.0	0.0000	0.000	0.000	0%	\$ 17,661
四、廠商一級品質管制作業費									
		式	1.0	1.0	0.0000	0.000	0.000	0%	\$ 31,570
五、包商利潤及管理費									
		式	1.0	1.0	0.0000	0.000	0.000	0%	\$ 191,518
六、工程保險費									
		式	1.0	1.0	0.0000	0.000	0.000	0%	\$ 14,405
七、營業稅									
		式	1.0	1.0	0.0000	0.000	0.000	0%	\$ 86,921
	合計(二~七)								35.82萬元

備註：發包工作費為(一~七)加總，即表5及表6加總共182.53萬元。

表 7 工程碳排量計算結果(使用經費碳排係數)

Table 7 Carbon emissions calculation results.(Using the irrigation and drainage engineering budget's carbon emission factors.)

項次	項目及說明	單位	設計階段 數量 (1)	竣工階段 數量 (2)	經費碳排係數 (ton·CO ₂ e/每萬元) (4)	設計階段碳 排量 (ton·CO ₂ e) (4)×(5)	竣工階段碳 排量 (ton·CO ₂ e) (4)×(5)	竣工階段 所占比例 (%)	設計階段 單項經費 (元) (5)
一、主體工程費									
15	焊接鋼筋網130*80cm	組	5.0	5.0	0.5206	0.109	0.109	0.1%	\$ 2,100
16	臨時設施，施工便道	M ²	1,540.0	1,540.0	0.5206	1.603	1.603	1.9%	\$ 30,800
17	牆頂倒角處理費	M	578.0	578.0	0.5206	0.150	0.150	0.2%	\$ 2,890
19	清除及掘除，雜草雜木	式	1.0	1.0	0.5206	0.953	0.953	1.1%	\$ 18,300
20	止水帶，聚氯乙烯，A型，150x4mm	M	35.0	35.0	0.5206	0.164	0.164	0.2%	\$ 3,150
22	樹脂填縫	M	44.0	44.0	0.5206	0.046	0.046	0.1%	\$ 880
23	瀝青混凝土面層，厚5cm，路面切割費	M	24.0	24.0	0.5206	0.050	0.050	0.1%	\$ 960
24	電力電信桿保護(鋼軌5M及鋼索固定)	支	8.0	8.0	0.5206	1.999	1.999	2.4%	\$ 38,400
25	施工測量，放樣	式	1.0	1.0	0.5206	0.561	0.561	0.7%	\$ 10,780
26	汛期工地防災減災作業費	式	1.0	1.0	0.5206	0.469	0.469	0.6%	\$ 9,000
27	3"PVC排水管	式	1.0	-	0.5206	0.071	0.000	0.0%	\$ 1,360
28	重機械搬運費	處	1.0	1.0	0.5206	0.104	0.104	0.1%	\$ 2,000
29	渠道新舊銜接修復費	式	1.0	1.0	0.5206	0.104	0.104	0.1%	\$ 2,000
30	建物保護措施費	式	1.0	1.0	0.5206	4.515	4.515	5.3%	\$ 86,727
31	產品，工程告示牌及工地標誌，工程告示牌	面	1.0	1.0	0.5206	0.208	0.208	0.2%	\$ 4,000
	總計					11.107	11.036	13.0%	21.33萬元

五、結論與建議

本研究以四張犁分線改善工程為例進行碳排管理作業，透過排放係數法計算該工程於設計階段及竣工階段產生之碳排放量，並針對主要碳排放量來源之工項，提出減碳策略。此外將現況計算碳排放量時可能遇到之困難提出建議。相關結論與建議如下：

1. 四張犁分線改善工程竣工階段產生之碳排放量為85.023 ton-CO₂e，碳排量主要來源工項為「結構用混凝土，預拌，210kgf/cm²」佔所有碳排放量71.0%，其減碳策略為應用飛灰及爐石粉替代10%，其碳排量可由60.333 ton-CO₂e 降至54.829 ton-CO₂e，相當減少整件工程產生碳排量的6.5%。
2. 本工程中15項工項(約佔全部工項45.5%)，無法直接對應到 PCCES 系統之數據庫，故計算碳排放量時僅能使用經費碳排係數乘上單一工項經費進行計算，日後若可改善此部分，將有助於提升碳排放量計算的準確性。
3. 本工程設計階段及竣工階段碳排放量計算結果並不相同，原因包括設計人員於數量計算時數字誤植造成之錯誤，以及現況施作時，民眾針對工程的陳情，建議可在設計階段多方考量，減少日後變更設計產生之繁複程序及碳放量的變動。
4. 分成設計階段與竣工階段進行碳排計算，可正確得出最終碳排放量，避免疏忽因工程辦理變更設計所產生之碳排放量，建議公共工程除了檢討設計階段工程本體的碳排多寡或減碳作為，亦將竣工階段一同考量。

參考文獻

1. 行政院公共工程委員會，
<https://www.pcc.gov.tw>
1. 環境部，產品碳足跡資訊網(CFP)，
<https://cfp-calculate.tw/>
2. 呂斌豪及黃琬淇(2025)，「工程發包策略與契約型態對施工階段碳管理：邁向碳有價的預算管理新紀元」，土木水利，55(2)，47-53。
[https://doi.org/10.6653/MoCICHE.202504_52\(2\).0009](https://doi.org/10.6653/MoCICHE.202504_52(2).0009)
3. 李銘智(2025)，「預拌混凝土低碳技術應用與整合策略（上）」，營建知訊，509期，54-65。
4. 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－以臺9線南迴公路安朔草埔段為例」，土木水利，44(3)，28-41。
<https://doi.org/10.6653/MoCICHE/2017.04403.05>
5. 潘建中(2024)，「水土保持淨零排放計算與審查」，水保技術，18卷，46-53。
6. 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，49(6)，84-94。
[https://doi.org/10.6653/MoCICHE.202212_49\(6\).0014](https://doi.org/10.6653/MoCICHE.202212_49(6).0014)
7. 行政院公共工程委員會(2013)，「應用公共工程經費電腦估價系統(PCCES)架構估算工程二氧化碳排放量委託研究案成果報告」。

農田水利設施之碳排管理-以四張犁分線改善工程為例
劉宜君

8. 農業部農村發展及水土保持署(2023),「水土保持工程2023年溫室氣體盤查及管理報告書」。
9. 農業部農村發展及水土保持署(2025),「農村水保工程減碳作業指引」。
10. 環境部(2024),「溫室氣體盤放量盤查作業指引」。
11. 農業部(2024),「農田水利跨域整合永續發展計畫(114-117年)(核定本)」。
12. 農業部農田水利署(2025),「農田水利工程減碳作業參考指引(草案)」。

114年11月14日收稿

114年12月18日修改

114年12月19日接受