

朴子溪渡槽改建工程之節能減碳與保育對策

The Energy Saving, Carbon Reduction and Conservation Measures of Puzi River Aqueduct Structure Reconstruction Engineering

農業部農田水利署嘉南管理處

處長	工務組長	工事股長	設計股長	二等助工師	二等助工師
劉業主	蔡榮興	徐富城	王建安	蔡攻諤	鄭琳縈
Yeh-Chu	Rong-shine	Fu-Cheng	Chien-An	Mei-Hsuan	Lin-Ying
Liu	Tsai	Hsu	Wang	Tsai	Cheng

摘要

朴子溪渡槽自 1930 年完工營運迄今已近百年，肩負農業、工業與民生用水跨越河川輸水的重任，為嘉義地區提供穩定水源。期間因結構損壞於 1980 年經歷 1 次改建，現因極端氣候、設施老舊、鄰近斷層及地層下陷等問題，再次辦理改建，而本次改建工程不僅強化耐震、耐洪及耐久性能，更積極導入節能減碳與保育理念，從工程全生命週期之設計、施工及維護管理等各面向擬定相關策略目標致力建構優質永續之公共工程。

在設計上，渡槽主體選用鋼構 I 型梁，結合主梁結構，可減少自重與材料耗用，較傳統形式減少 428 噸碳排，亦達到抗震目的；而帽梁設計預留槽體頂升空間，兼顧將來耐洪能力的提升。此外，槽體使用預製構件及標準化設計，可縮短工期並降低現場施工碳排。在施工上，積極推行綠色工法，同時納入綠色能源，實施土方平衡、工地廢料分類回收、道路灑水與防塵措施，減少外運土石方與施工廢棄物對環境的衝擊；而施工所、機械及監測設備等亦優先使用太陽能等再生能源、低耗能或綠色標章材料。在維護管理方面，採用重力送水，不需額外電力，評估每年至少可減少約 85.52 噸碳排；而創新伸縮縫設計採雙層橡膠墊與預埋螺桿，有效改善漏水情況，維修時僅需更換橡膠墊即可，簡化高處作業，降低維修碳排與作業風險；此外，塗裝材料採用高耐候性氟素樹脂塗料，維護週期由 5 年延長至 15 年，預計百年內可減少 13 次維護作業，進而減碳約 112 噸。

在生態保育方面，工程融入生態檢核理念，秉持「迴避、縮小、減輕、補償」原則，避開環境敏感區位，並於工區內實施多項保育對策，包括設置鳥類棲架、蝙蝠屋及種植植栽等，同時活化假設工程，創造景觀休憩平台，達到減廢再利用，兼顧休憩功能與生態綠化，評估植栽每年約可達到 459 公斤固碳量，發揮微型碳匯成效。

面對氣候變遷的挑戰，用創新思維及最新技術強化農業用水之韌性，落實公共工程節能減碳與環境保育理念，建構優質永續之公共建設，確保農民灌溉用水無虞，工程改善成果全民共享。

關鍵詞：渡槽、節能減碳、生態保育

Abstract

Puzi River aqueduct is operated since 1930, and already exist nearly 100 years. Responsible for transporting water across rivers for agriculture, industry and living water. Providing a stable water source for Chiayi area. It reconstruct once in 1980 due to structural damage. Because extreme climate, outdated facilities, nearby faults and ground subsidence , it reconstruct again now. This time not only design from "earthquake resistant" , "flood resistant" and "lasting" ,but also include energy saving, carbon reduction and conservation measures. Formulate relevant strategic objectives from all aspects of the project life cycle, including design, construction, and maintenance management. Do the best to build high-quality and sustainable public projects.

At design, the aqueduct use steel I-beam, and it also be the main beam structure. It can reduce weight and material consumption. Compared with traditional methods, it can effectively reduce carbon emissions by 428 tons, and achieve the need of earthquake resistant. At top-beam design, reserve space for future tank lifting. Considering the improvement of flood resistance in the future. In addition, the tank body uses pre-production and standardization design. It can shorten construction period and reduce carbon emissions from on-site construction. At construction, promote green construction methods and do by green energy. Earthwork balance, waste sorting and recycling, road watering and dust prevention measures. All can reduce the impact of waste on the environment. Construction site, machine, and monitoring facilities, prioritize the use of renewable energy such as solar energy, low-energy materials or green labels. At maintenance, water supply by gravity replace electricity, it can effectively reduce carbon emissions by 85.52 tons. We use rubber to replace traditional steel plate and embed bolts to avoid pass through steels. It's very usefull to reduce the probability of water leakage. And it also very convenient to mainten and it also reduce the risk of working at heights. Besides, the coating material adopts highly weather-resistant fluorine resin paint. The maintenance cycle extended from 5 years to 15 years. Expected that the maintenance operations will come down to 13 within 100 years. It can effectively reduce carbon emissions by 112 tons.

At ecological conservation, according to the principles of avoidance, reduction, mitigation and compensation. The project set bird habitat, bat house and planting,etc. At the same time, we let the temporary work to reuse for rest platform. It can effectively carbon sequestration by 459 tons.

For the challenge of climate change, strengthening agricultural water resilience with innovative thinking and the latest technologies to do the public projects with energy saving, carbon reduction and conservation measures. To build high-quality and sustainable public projects is useful to make sure agricultural water stable. The results are shared by everyone.

Keywords : Aqueduct 、 Energy Saving and Carbon Reduction 、 Ecological Conservation

一、前言

朴子溪渡槽是地方重要的「農業基礎建設」，肩負農業、工業與民生用水跨越河川輸水的重任，更是北嘉義地區灌溉系統樞紐。由於舊渡槽興建年代久遠，除設施老舊、槽體滲漏且墩柱基礎裸露外(圖 1)，經檢討有出水高不足、橋長不足及耐震能力不足等問題，不僅影響供水穩定性，亦存在潛在安全風險，遂辦理本次改建工程。

在近年全球氣候變遷趨勢下，極端降雨與旱象頻仍，順應政府推動的淨零碳排政策與生態議題，公共工程亦責無旁貸，須於規劃、設計、施工與維護各階段導入節能減碳與生態保育的思維，以順應將來公共工程之發展方向。



圖 1 朴子溪舊渡槽

二、節能減碳具體作法

本工程以「循環材料、系統設計、節能規劃」為核心原則，致力在工程生命週期中實現最大減碳效益，透過創新設計與高效施工方式，大幅降低材料使用與能源消耗，同時考量維修便利性與永續性，展現永續公共工程的實踐精神。各階段節能減碳策略具體作法如下：

1. 採用鋼構渡槽，維持重力送水

本次改建工程中，輸水效率是首要考量重點，而為長期營運考量，需維持嘉南大圳一貫之「重力輸水」模式，因此在橋型選擇上，以「鋼構渡槽」取代傳統預力混凝土渡槽(圖 2)，不僅減輕結構自重，縮短工期，也能符合結構安全與跨河建造物跨距需大於 40 公尺及耐震上的需求。而採用重力輸水取代電力抽水，為本案重要的節能減碳措施，透過地勢高差及縝密的水理計算，輸水量可達 30cms。無需依賴機械設備，避免長期電能消耗與碳排放，大幅降低營運能源需求，完全展現「以自然代替能源」的低碳理念。

透過重力送水方式，不僅消弭了抽水設備故障帶來的風險，也減少定期維護所需的能源與材料投入，達到「源頭減碳、全生命週期低能耗」的目標。其節能效益不僅體現在日常營運階段，更能於極端氣候或電力供應不穩定情境下，持續維持灌溉用水供應，展現高度韌性與可靠性，更確保渡槽在百年生命週期中維持低能耗與低維護需求，評估每年約可減少碳排 85.52 噸，100 年生命週期約減少碳排達 8,552 噸(圖 3)。

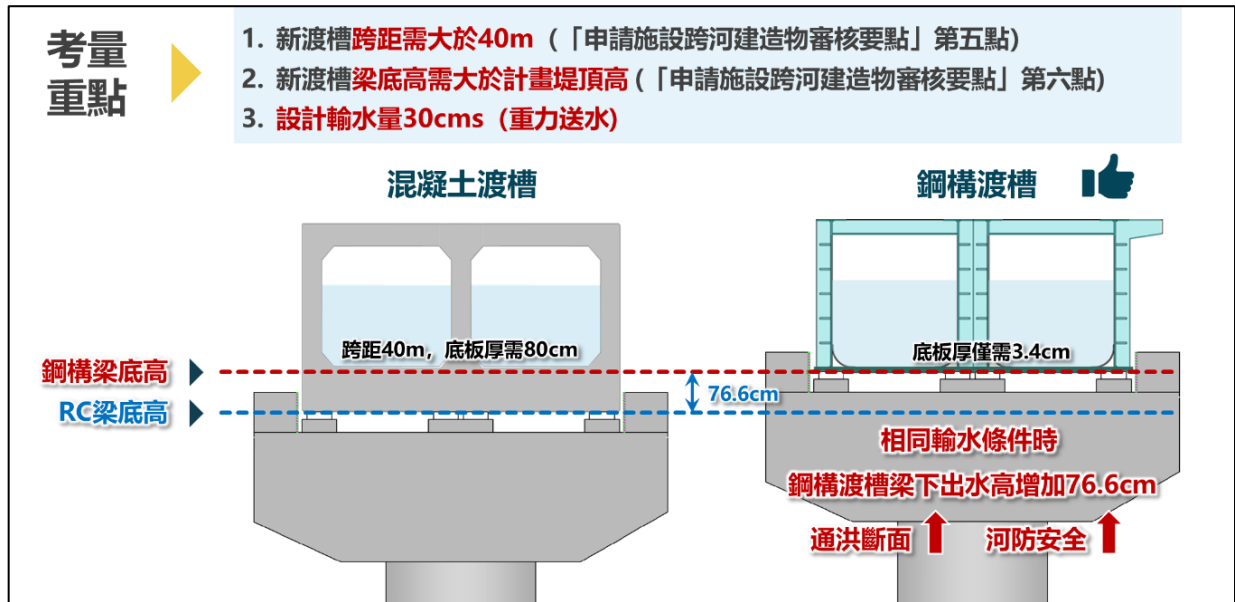


圖 2 渡槽型式比較



圖 3 槽體材料差異碳排放量比較

2. 槽體兼作大梁，節省鋼材用量

本工程採用槽體兼作大梁的創新策略，突破傳統鋼構桁架(像是一個外部支撐骨架)支撐整個結構，渡槽則是另外安裝在桁架上，本工程以「鋼構 I 型梁」使其兼具主梁腹板功能，渡槽本身不只是用來承載水，亦設計成結構的一部分，大幅減少鋼材需求，縮小結構量體，有效降低工程階段的鋼材生產與運輸所產生的碳排放，透過結構合一的創新設計思維，不僅節省成本與工期，同時實現顯著的減碳成效，評估約可減少碳排 428 噸(圖 4)。

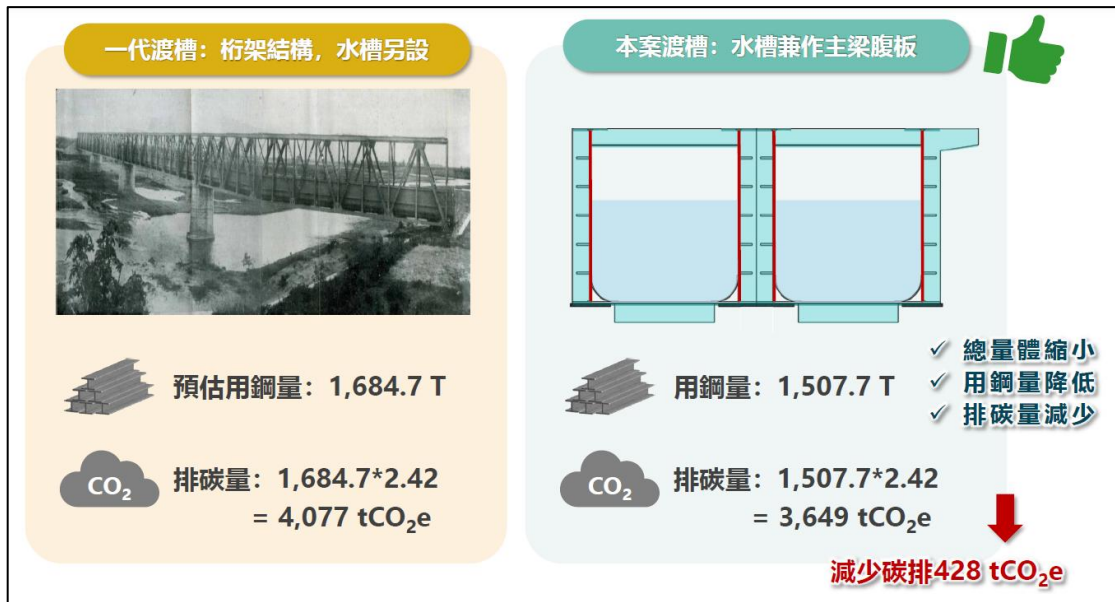


圖 4 槽體結構差異碳排放量比較

3. 減少基礎開挖，墩柱同步減量

本案透過歷史資料，合理評估朴子溪河道在深槽百年未變動的穩定條件下，配合整體地形環境，設計不同樁帽深度，以縮小基礎開挖及回填作業範圍，同時減少墩柱混凝土使用量，避免過度設計，同時兼顧耐洪與施工安全。

經由結構計算，墩柱跨距可由原 20 公尺增加至 46 公尺，落墩數量由原 9 座大幅縮減至 5 座，此舉不僅能有效降低施工過程中土方外運與機具操作所帶來的碳排放，也能減少混凝土製造過程中的碳排放，達到減碳的效果，經核算基礎開挖量減少 3,928m³，墩柱混凝土減量 313m³，整體減少碳排約 156 噸(圖 5)。

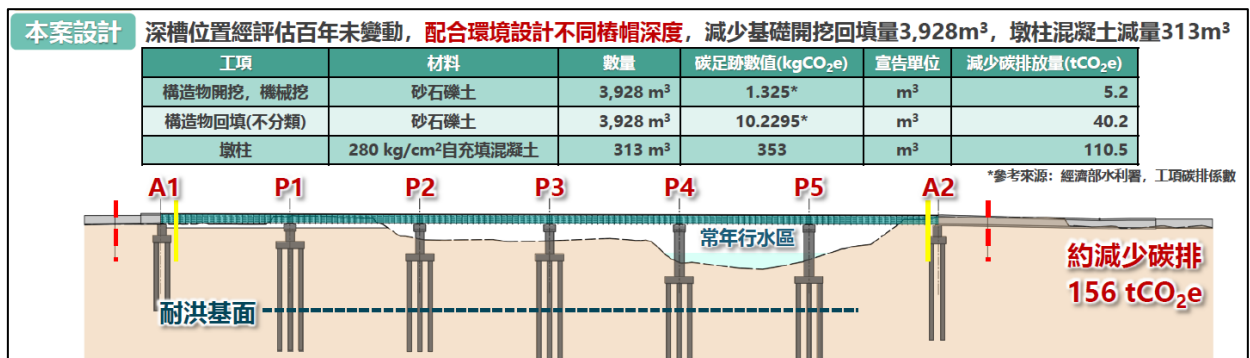


圖 5 槽體結構差異碳排放量比較

4. 提昇防蝕效能，降低維護頻率

本案鋼構塗裝採用高性能、高耐候性之「氟素樹脂」面漆，接合處採圓頭螺栓加強油漆塗覆完整性，鋼構截角處及扭斷型螺栓尾部進行磨圓處理，有效提昇鋼構防蝕能力，透過這些措施，渡槽在潮濕與高鹽分環境下，仍能耐久使用，避免鏽蝕造成劣化風險。依環境評估結果，維護週期可延長至 15 年，相較於傳統工法，以 100 年生命週期來看，維修次數減少逾 50%，有效降低維護作業所衍生的資源消耗，減少碳排約 112 噸 (圖 6)。

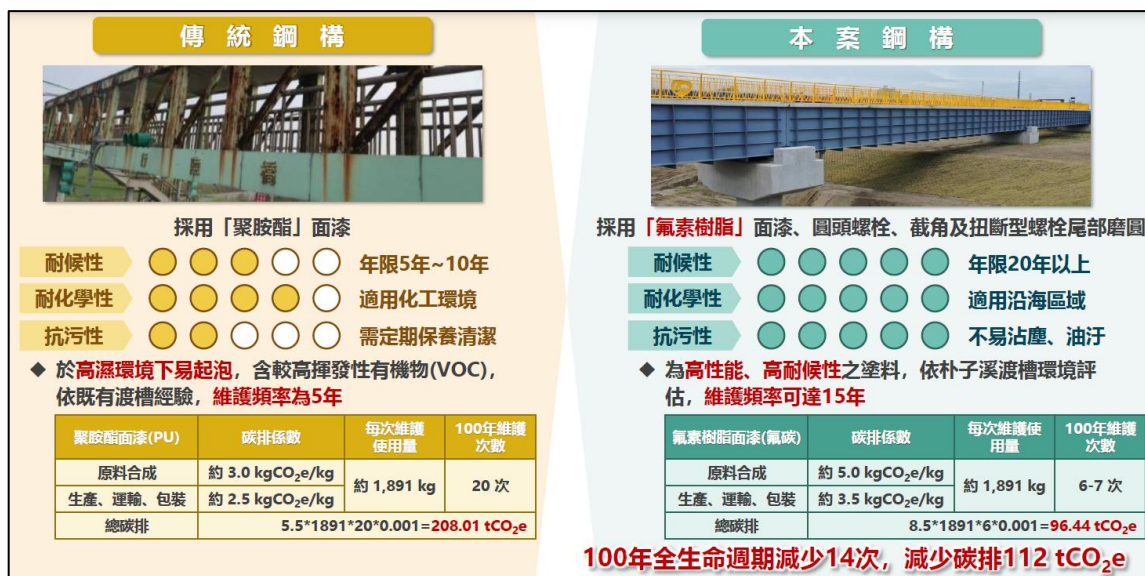


圖 6 鋼構塗裝差異碳排放量比較

5.預留頂升空間，簡化因應工項

為因應地層下陷對渡槽高程穩定性的長期衝擊，本案於帽梁處預留千斤頂頂升空間，未來可透過千斤頂進行渡槽頂升作業，調整渡槽結構高程，以符合防洪安全並延長設施使用年限，降低重建頻率及其衍生之碳排放量。預留千斤頂空間，無須再植筋施設固定千斤頂用之鋼板或托座，舉可有效減少材料使用、施工機具調度及運輸所產生之資源耗費與碳排放，提升整體結構維護之效率與永續性，預估可減少碳排 70 噸(圖 7)。

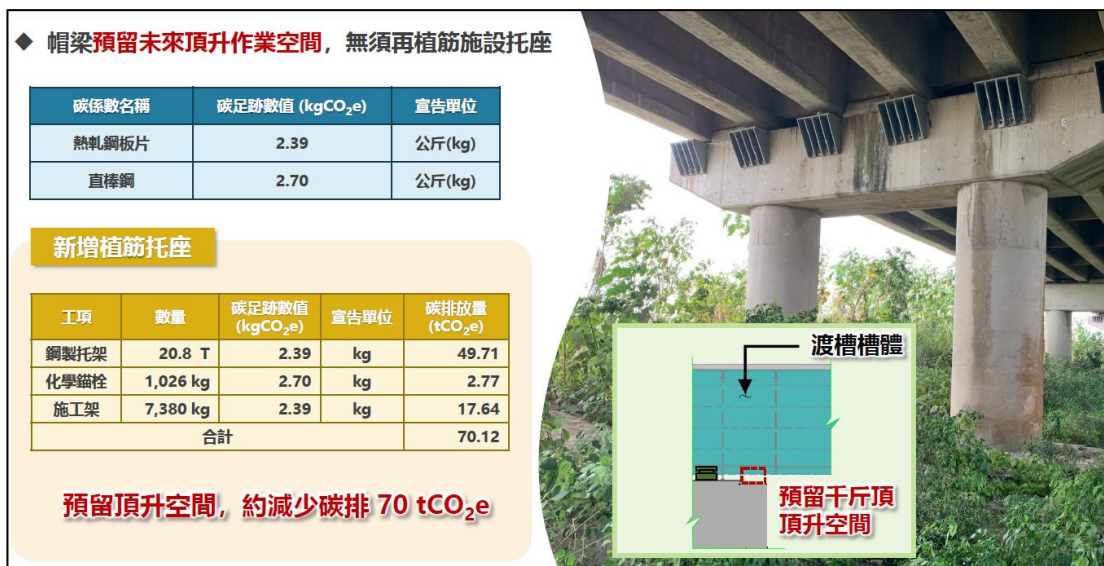


圖 7 預留頂升空間減少碳排評估

6.伸縮縫創新作為，提升維管效能

本工程渡槽長度 276 公尺，其中共有 7 處伸縮縫，如何避免漏水是一大課題。以往伸縮縫型式為槽內不鏽鋼板滑移，槽外設置橡膠，螺栓穿透鋼版、構材及橡膠施以固定，穿孔處如處理不當，容易滲水。鑒於以往經驗，本次渡槽伸縮縫改採預埋螺栓，槽內施

設兩層橡膠(圖 8)，因不穿透構材，可降低漏水機率，未來維護管理亦僅需更換槽體內之橡膠墊即可，較以往更安全且便利。此創新設計不僅提升渡槽結構防水與耐久性，更大幅提升維管效率，兼顧環境友善與營運永續，達到降低全生命週期碳足跡之效益。

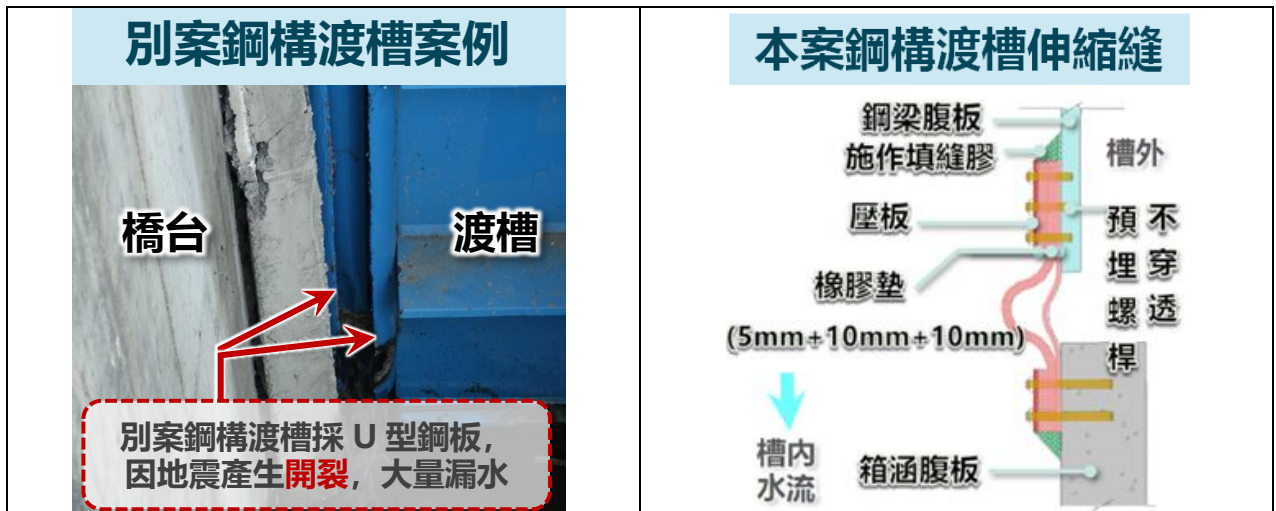


圖 8 渡槽伸縮縫示意圖

三、生態保育與環境友善作為

本工程導入多項節能與低碳工法，從材料來源、運輸距離、工法選擇到能源應用，均納入生態保育與環境友善考量，並以就地取材、再利用、綠能導入與綠覆植栽等方式，減少施工過程對環境的衝擊，達到低碳施工與環境融合的雙重目標。具體作法如下：

1. 落實生態檢核，維護生態環境

主動辦理生態檢核及物種調查，繪製生態敏感區圖，研擬迴避、縮小、減輕及補償等生態保育對策，並主動公開生態檢核相關表單與執行情形(圖 9)。



圖 9 落實各階段生態檢核及保育對策

2. 加強植生綠化，營造綠色環境

兩側橋台周邊設有植生綠美化，且護坡採蜂巢圍束網格設計，於蜂巢圍束網格內種植本土原生種植物，不僅加強土體安定，同時提升環境綠美化及固碳量，減少大面積混凝土鋪面，評估植栽固碳成效每年約有 1,657kg(圖 10)。



圖 10 營造綠色環境增加固碳

3. 納入綠色能源，提昇能源自主

於工務所設置屋頂型太陽能發電系統、加強通風安排，並使用太陽能告示牌、警示燈及水位站，運用可再生能源取代市電，有效降低施工期間之電力碳排放量。另工務所及施工中照明設備使用 LED 減碳燈具，以達節約能源、減少碳排(圖 11)。

考量節能規劃		節能節水措施	
加強 通風 安排→增加工務所及工具間遮蔭		使用節約能源設備 →LED照明設備	洗車台用水採用朴子溪 →降低自來水使用
採用綠色能源			
使用 再生能源 發電系統-使用太陽能警示燈具、水位監測系統			

圖 11 能源自主減少碳排

4.選用低碳材料，合作在地廠商

混凝土配比中採用飛灰爐石粉替代部分水泥，減少製程碳排，預估可降低碳排量 917 噸。選用離工址較近之在地優質廠商，除縮短運輸距離外，還可兼具品質保證，其運輸車輛及施工機具皆取得清潔排放自主管理-金級認可，透過定期保養減少施工機具磨損產生之額外耗能，預估可降低碳排量 397 噸(圖 12)。



圖 12 替代材料及運輸距離碳排評估

5.攜手跨域合作，共創永續價值

秉持文化傳承使命，配合國家發展政策，兼顧地方使用需求，公私部門齊心協力合作，推廣植樹活動、企業認養、生態保育、環境教育、文化傳承及水源調度等永續發展目標，實現資源共享、互助互利、環境永續等價值(圖 13)。



圖 13 跨域攜手共創永續價值

四、結論與展望

穩定的水源供應是農業生產的必要條件，本工程從全生命週期之規劃、設計、施工及維護管理等面向，皆納入節能減碳考量，在面對氣候變遷的挑戰下，用創新思維及最新技術，強化農業用水之穩定性，除追求結構安全與輸水效能外，導入節能減碳與生態保育理念，建構優質永續之公共建設，確保農民灌溉用水無虞，同時兼顧耐洪、耐震及耐久性。整體規劃將節能減碳目標與工程效益相結合，建構低碳、耐用及易維護的公共建設，期許透過工程經驗的分享，能成為後續工程精進的養分，共同為嘉南大圳下一個百年發展奠定環境友善與低碳永續的新里程碑。



圖 14 朴子溪渡槽完成照

五、參考文獻

1. 經濟部水利署，朴子溪水系(含支流牛稠溪)治理規劃檢討(成果報告)，2016。
2. 臺灣嘉南農田水利會，烏山頭水庫北幹線跨越龜重溪、急水溪、八掌溪、朴子溪等四座渡槽改建規劃方案(成果報告)，2017。
3. 行政院公共工程委員會，公共工程減碳策略白皮書，2022。
4. 環境部，我國淨零碳排路徑藍圖，2023。
5. 臺南市政府文化局，圳流百年：嘉南大圳的過去與未來—真正改變臺灣這塊土地的現在進行式，2020。
6. 農業部農田水利署，跟著工程師去旅行：你所不知道的嘉南大圳，2023。