



曾惜水源、南得好水、永續水循環—— 曾文南化聯通管統包工程 A2 標

中興工程顧問公司大地工程部技師 / 賴宏源
中興工程顧問公司大地工程部計畫副經理 / 王元度
國統國際股份有限公司管工部副經理 / 聶廷宇
經濟部水利署南區水資源分署副工程司 / 張宇騰
經濟部水利署南區水資源分署工程員 / 張揚揮

關鍵字：曾文南化聯通管、韌性基礎建設、大口徑推管、承插式推進鋼管

摘要

曾文水庫與南化水庫為穩定臺南及高雄聯合調度供水系統之關鍵。行政院於 107 年 6 月 11 日核定「曾文南化聯通管工程計畫」，使曾文水庫、南化水庫及高屏攔河堰之水源能串連，健全南部地區供水備援系統，並作為曾文水庫水源的另一緊急供水通道，成為具韌性的基礎建設。本計畫管路全長約 25 公里，沿既有道路埋設，設計輸水能力為每日 80 萬噸，主要採用推管工法，以減少對當地居民作息及交通之衝擊。推管之管材（直徑 2.6 公尺）包括延性鑄鐵管（DIP）及可大幅縮短工時及提高安全性，由國統公司研發之承插式水道用推進鋼管（WSP）。本文將介紹

曾文南化聯通管工程計畫之特色、大口徑推管工法於本工程之特色與應用，以及跨河水管橋之設計考量。

一、計畫簡介

1-1 緣起

臺灣南部地區因用水成長及氣候變遷影響，公共用水吃緊。104 年臺灣南部地區遭遇枯旱，曾文、南化水庫無法相互支援；104 年 5 月 4 日公布高雄市分區供水，採行每週供 5 停 2 措施。政府考量供應南部地區之南化水庫淤積嚴重，復以現況水源供水方式單一，缺乏備援系統。為完善水源調度網路，



加強基礎建設之韌性，經濟部水利署南區水資源分署（簡稱南水分署）推出「曾文南化聯通管工程計畫」（簡稱本計畫），規劃於曾文水庫及南化水庫之間建立聯通管，做為供水系統雙迴路之一環。計畫期程自 108 年起至 114 年止，本計畫管路行經臺南市楠西區、玉井區及南化區，沿既有道路埋設，管路全長約 25 公里，設計輸水能力為每日 80 萬噸（CMD）。本計畫分為 A1、A2、A3 等三標（如圖 1），以統包方式辦理。

1-2 計畫特色

本計畫聯通管完成後，將達到 1 加 1 大於 2 的效益，可串聯曾文水庫、南化水庫、烏山頭水庫、高屏溪攔河堰等 4 座蓄水設施，相互支援嘉義、臺南、高雄三區域之水資源，提升供水韌性，輸水情境包括以下四種（如圖 2）：



圖 1 本計畫及本工程位置

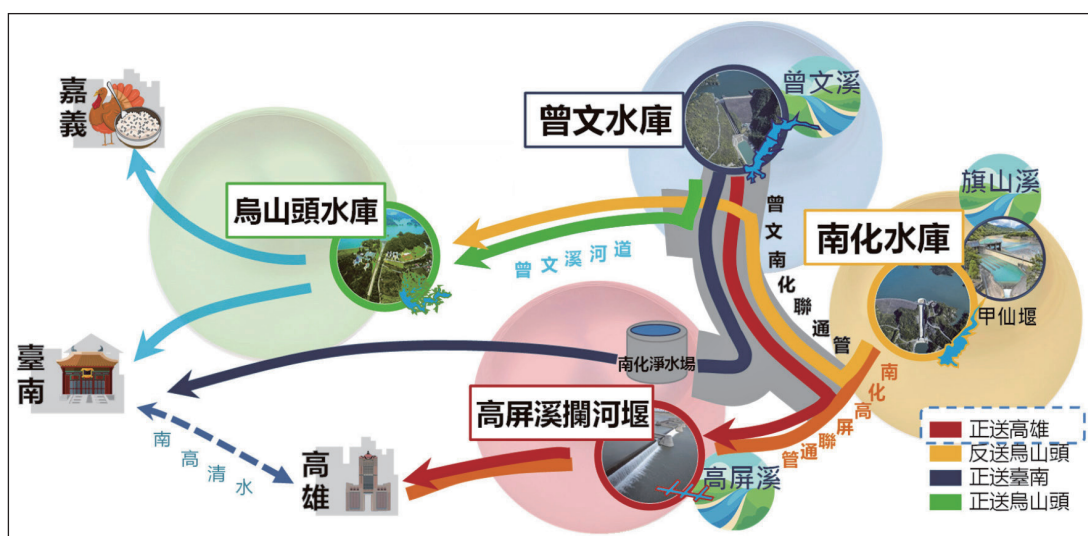


圖 2 曾文南化聯通管輸水四種情境示意圖



1. 正送高雄：曾文水庫之原水經曾文南化聯通管，再轉由原有之南化高屏聯通管輸送至高屏溪攔河堰，可供應高雄地區民生用水。
2. 反送烏山頭：南化水庫之溢流水，經由曾文南化聯通管反送至烏山頭水庫蓄存。
3. 正送臺南：曾文水庫之原水經由曾文南化聯通管，輸往南化淨水場，再由既有之自來水管路支援臺南地區之民生及科技用水。
4. 正送烏山頭：曾文水庫之原水經由曾文南化聯通管，再轉由曾文水庫下游之曾文溪河道放流，再經由東口堰輸水至烏山頭水庫。

由前述可知，僅一條曾文南化聯通管，可雙向輸水，在工程量體上大幅減少但功能

不減，亦大幅減少維護管理的成本。由於各輸水起迄點的高程已預先規劃，使輸水方式得以採用重力輸送，無需依靠電力進行加壓輸水，在營運操作上亦有節能減碳的效益。

二、工程介紹

2-1 工程簡介

本計畫其中之 A2 標（簡稱本工程），由國統國際股份有限公司（簡稱國統公司）及中興工程顧問股份有限公司（簡稱中興公司）組成之統包團隊承攬。本工程之工程布置詳圖 3 及圖 5，管線起點為曾庫公路與市道 175 線銜接點，終點位於省道台 3 線之楠西區與玉井區交界附近，主要沿市道 175 線與省道



圖 3 本工程平面布置圖



圖 4 本工程路線沿線地質圖

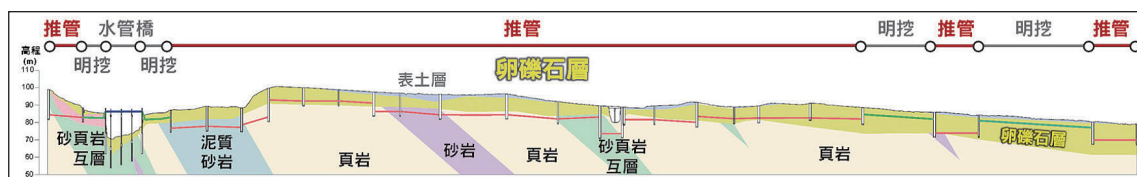


圖 5 本工程工址地質條件及管線布置縱斷面圖

台 3 線施設，管線總長 6,211 公尺，包括明挖段 1,310 公尺、推管段 4,675 公尺（約佔全線之 75%）及水管橋 226 公尺，管徑為 2.6 公尺。其中人口密集與道路狹小地區為降低交通影響，採推進工法方式辦理，共規劃 26 處推進工作井，依管線設計壓力不同，採用水道用推進鋼管（WSP, Water Steel Pipe）（壓力大於 10 kgf/cm^2 ）及延性鑄鐵管（DIP, Ductile Iron Pipe）（壓力未大於 10 kgf/cm^2 ）。

2-2 工程地質

計畫路線之地層單位由老至新依序為竹頭崎層、北寮頁岩、鏡面砂岩、玉井頁岩、階地堆積層以及現代沖積層；地質構造則為玉井向斜，並無斷層經過，如圖 4 之區域地質圖。依據鑽探成果，工區沿線地層主要由回填層、一般土層、卵礫石層、岩層所組成，沿線分布情形如圖 5 所示，其中地表之回填層厚度約有 0.2 ~ 2.5 公尺，其下為厚約 0.3 ~ 4.5 公尺之粉質細砂／粉質黏土層夾粉土；地表下、回填層或砂土／黏土層以下為厚約 0.9 ~ 16.0 公尺（最大鑽探深度以上）卵礫石層，卵礫石層以下主要為砂頁岩層，強度約在 $30 \sim 160 \text{ kgf/cm}^2$ 。

卵礫石層粒徑平均約 20 ~ 30 公分，可達 40 公分以上，局部可達 1 公尺以上，礫石材料

以砂岩或頁岩為主，偶有變質砂岩，少數礫石之力學試驗顯示，強度可達 800 kgf/cm^2 以上。

三、推進工程

3-1 推進機之選用

本工程推進段之管線直徑達 2.6 公尺，為我國歷年來最大口徑推進工程之第二例（首例為台灣自來水公司 106 年竣工，位於新北市之「水量調度幹管及光復抽水加壓站（第一階段）工程」，推進長度達 2,660 公尺），總長 4,675 公尺。為避免掘進時開挖面因複合地層而增加施工困難度，設計上以避開岩土交界為原則，俾使各推進區段之管線位置皆位於岩層或卵礫石層中。考量本工程之推進作業路徑有行經人口較稠密之楠西市區，另有高地下水位等問題，經評估後採用密閉式泥水加壓式推進機。圖 6 為本工程分別使用於岩層及卵礫石層之推進機切削面盤。

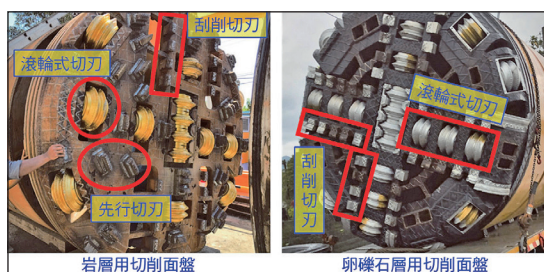


圖 6 本工程使用之推進機



岩層用切削面盤上配置有先行切刃、刮削切刃、滾輪式切刃，其中先行切刃為切削面盤運轉時最先切削及挖鬆岩盤之部份，而滾輪式切刃用以破碎由先行切刃切削後較大之岩塊，再由刮削切刃進一步將地盤切削，並將切削後之岩屑經由面盤開口進入土艙內，於面盤轉動時可將較大之岩塊進行二次破碎。卵礫石層用切削面盤上之配置則僅有刮削切刃以及滾輪式切刃，直接先以滾輪式切刃破碎地中之卵礫石，再由刮削切刃進一步將地盤切削，切削後之土石經由面盤開口進入土艙內，並將較大之石塊進行二次破碎。

3-2 DIP-U2 推進管之施工

本工程之推進管線，管線設計壓力未大於 10 kgf/cm^2 時採用 DIP-U2 型推進管。管

材之銜接方式，為先將插口插入承口，再將橡膠圈推入承口，依序插入組合圈及附有螺栓之壓圈，最後進行螺栓鎖固。DIP-U2 型推進管之接頭構件諸元詳圖 7，接頭安裝流程圖詳圖 8。圖 9 及圖 10 為本工程之使用實例照片。

3-3 WSP 推進管施工技術創新

本工程 WSP 型推進管段（管線設計壓力大於 10 kgf/cm^2 ）約有 1,708 公尺。目前臺灣 WSP 推進施工多採用日本水道鋼管協會之 WSP 雙層鋼管型式（詳圖 11），施工步驟為：(1) 內鋼管內、外銲接及剷修；(2) 內鋼管銲道 RT 檢驗及判讀；(3) 內鋼管內、外塗裝環氧樹脂；(4) 雙層鋼管間填充隔熱材料；(5) 外接縫鋼管銲接。此傳統銜接施工步驟較為繁瑣且耗時較久，故推進機頭及前方管體

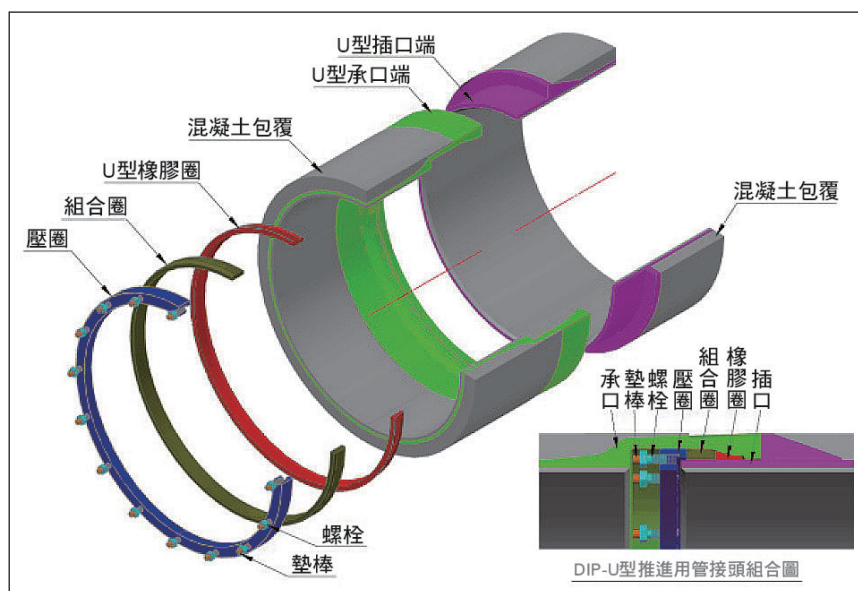


圖 7 DIP-U2 型推進管接頭構件諸元及組合圖

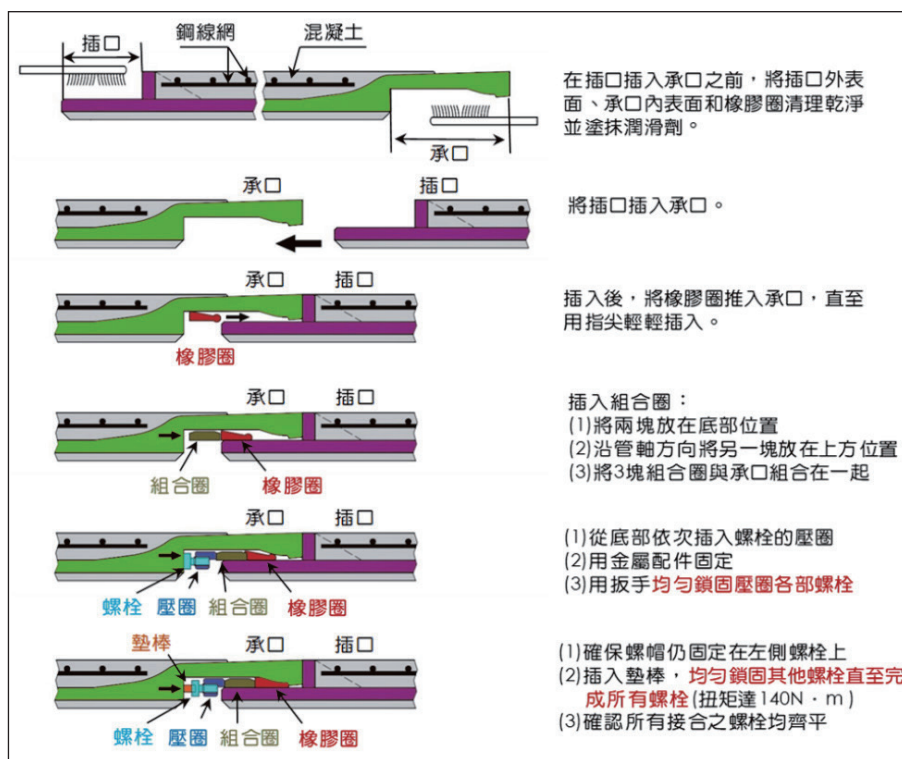


圖 8 DIP-U2 型推進管接頭安裝流程圖



圖 9 DIP-U2 型推進管（長 6 公尺）



圖 10 DIP-U2 型推進管之接頭構件

可能因待機過久而遭受地層擠壓，不易次輪之推進作業，另外銲接施工及相關檢測費用高，且大量的銲接作業有較高之職安風險，皆為傳統 WSP 雙層鋼管推進施工之主要缺點。

國統公司憑藉多年施工經驗，自行研發設計 WSP 雙層鋼管之承插銜接方式（如圖 12），係於推進井 WSP 管內側安裝膠圈後，將前後兩管銜接緊實即可進行下一輪之推

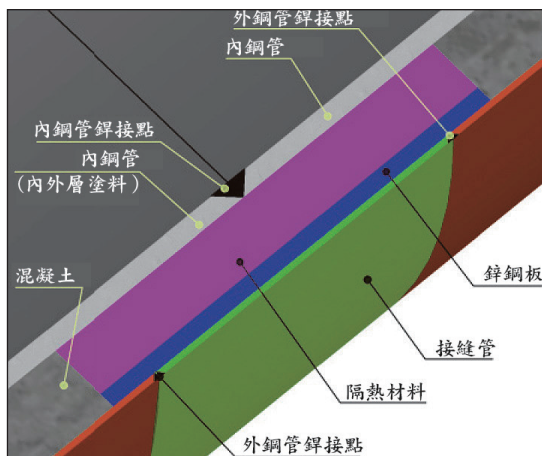


圖 11 日本水道鋼管協會 WSP 銲接方式

進，施工步驟簡單省時，可降低推進風險，同時具有較佳防蝕效果。由於加大接頭止漏橡膠圈之截面積，可使管體在承受不均勻外壓下之承、插口間隙變形量變小，俾提高管材之使用壽命。圖 13 及圖 14 為本工程之使用實例照片。本工程承插式 WSP 在完工後分段試水及全段通水均符合規範要求，並且為 0 漏水量之優異效能，故承插式 WSP 除了在工進上可提升效率，在施工品質上亦有良好表現。

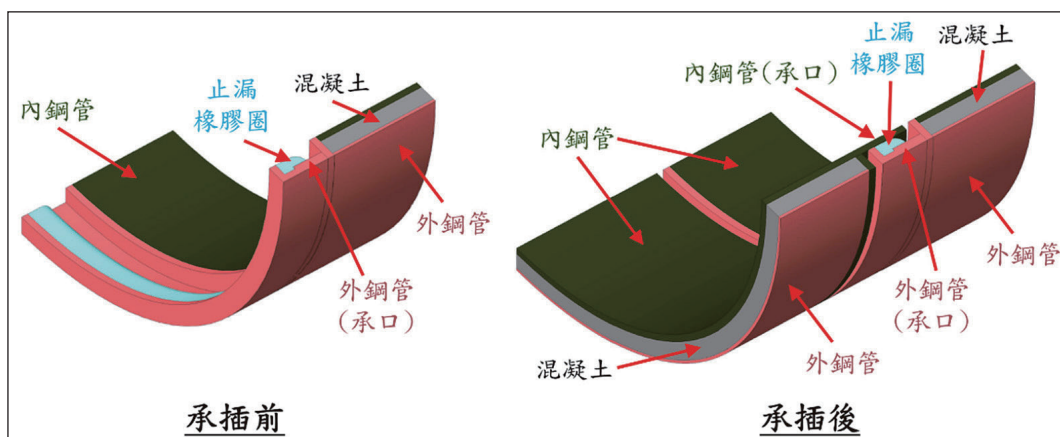


圖 12 國統公司承插式 WSP 之承插銜接示意圖



圖 13 國統公司承插式 WSP (長 6 公尺)



圖 14 國統公司承插式 WSP 承口內緣



四、跨河水管橋

4-1 水管橋之設計

本聯通管工程於通過曾文溪之區段，以跨河水管橋之方式跨越，且並行於現有市道175號之曾文一號橋下游側。既有曾文一號橋之橋墩配置間距為30公尺，而水管橋之橋墩採配合既有橋梁橋墩位置配置，同時增加跨距至60公尺，可增加通洪斷面及減少沖刷，確保水管橋與既有橋梁之耐久性；施工上亦可避免於汛期作業，進而減輕施工風險，並增加工期掌握度。

在橋梁型式的選定，以滿足結構安全之前提下，考量與週遭環境融合度，並儘可能減輕未來養護需求。經評估，採用 π 型補強水管橋（於管梁上下各設置 π 型補強鋼鈑），不僅外型上低調融合環境，且結構行為簡

單、施工便捷、養護簡易，工程材料大幅減少，符合低碳永續的目標。

水管橋基礎型式，在考量減少施工過程對既有曾文一號橋之影響，不採用沉箱基礎型式，而採用群樁基礎，施工安全性高、品質控制佳。橋台型式之選擇，為減少既有邊坡之開挖範圍，降低對環境之衝擊，採用井式基礎之型式。

經以上考量，將原基本設計之水管橋型式予以優化，詳圖15之比較圖，優化後之細部設計重點如表1所示，圖16為水管橋完工後照片， π 型補強水管橋標準斷面如圖17，橋墩立面圖如圖18。

原基本設計中對於水管橋橋台與地下管體二者間有配置鋼製可撓管，乃考量於地震時，可撓管可吸收相對位移以達隔離效果，

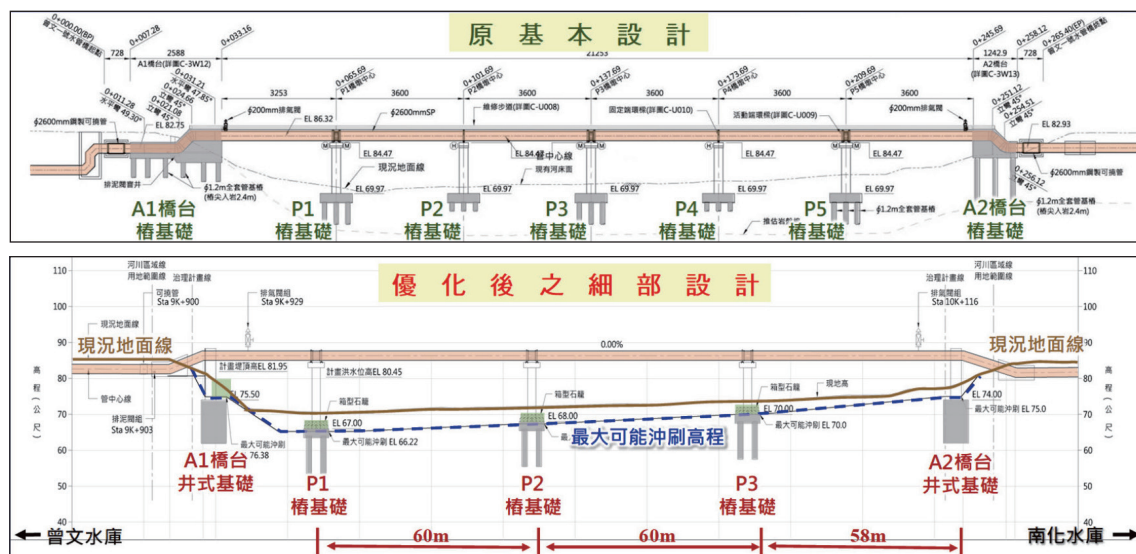


圖 15 水管橋優化設計縱斷面比較圖



表 1 水管橋之設計優化

結構單元	基本設計	優化後之細部設計
橋墩	設置 5 處橋墩 (墩距 36 m)	● 新設橋墩與既有橋墩對齊 ● 加大跨距以減少落墩 (墩距 60 m) → 增加通洪斷面、確保既有橋梁安全
橋墩 樁基礎	3 × 3 群樁 ($\Phi 1.2$ m)	● 加大樁徑 ($\Phi 1.5$ m) ● 減少基樁數量 (2 × 2 群樁, L = 10 m) → 提高工進、增加工期掌握度
橋台	重力式橋台 + 樁基礎	● 柱式橋台 + 井式基礎 ($\Phi 7$ m, L = 12 m) → 減少邊坡開挖、降低環境衝擊



圖 16 完工後之水管橋

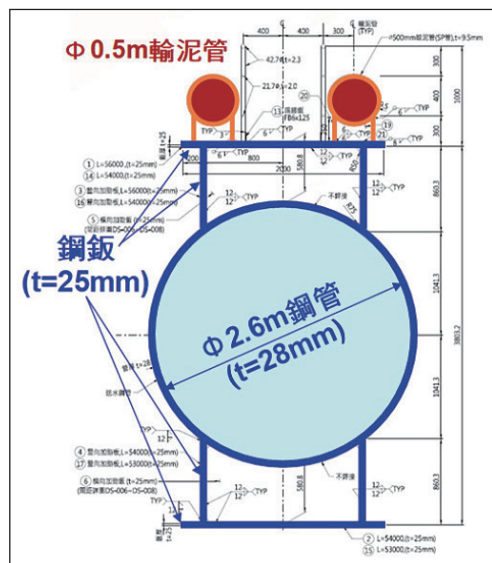


圖 17 π型補強水管橋標準斷面

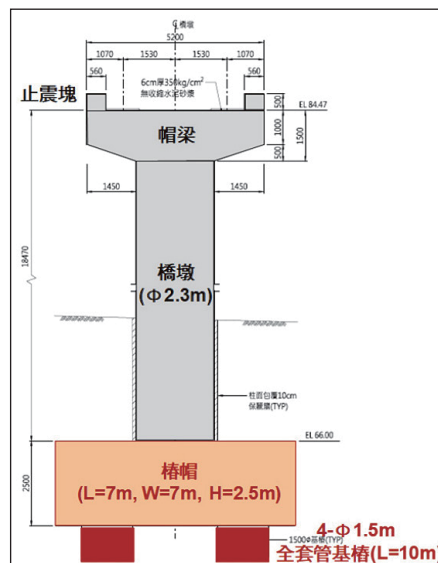


圖 18 水管橋橋墩立面圖



避免結構損壞，延長設施使用壽命。另原基本設計之橋梁型式為連續梁，細部設計則採用簡支梁，為釋放於橋墩節點處之彎矩，除在水管橋前後設置鋼製可撓管，於三個節點處亦配置鋼製可撓管（如圖 19）。契約施工技术規範中規定鋼製可撓管之最大伸長量為 14 公分，最大收縮量為 10 公分，依據細部設計之計算結果，節點之伸縮量最大為 5.94 公分，仍在鋼製可撓管之容許伸縮範圍內。

4-2 跨河水管橋之水理分析

依據經濟部水利署「申請施設跨河建造物審核要點」，曾文一號水管橋之設置需先向

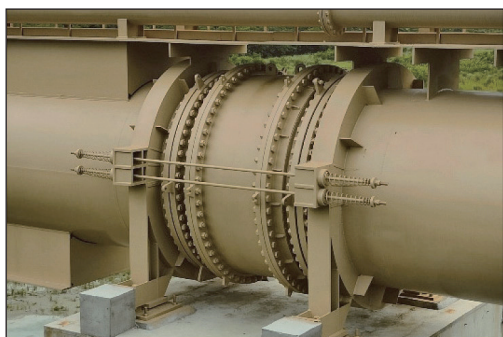


圖 19 鋼製可撓管

主管機關（水利署第六河川分署）提送河川公地使用申請。本工程使用中興工程集團研發之二維水理分析軟體（SEC-HY21）研析新、舊橋梁間之水理特性。二維水理分析項目包括曾文一號橋之既有橋墩（水管橋新建前）、曾文一號橋之既有橋墩與曾文一號水管橋橋墩設置後（水管橋新建後）之重現期距 100 年洪水位、壅水高、流速。

依據「申請施設跨河建造物審核要點」第七條第二項規定，二維水理演算分析成果，其墩前壅高不得超過該河段出水高之 26%，水利署民國 103 年「曾文溪水系曾文溪治理規劃檢討」採用之出水高為 1.5 公尺，故此河段墩前水位壅高不得大於 0.39 公尺。本工程模擬水管橋新建前後之曾文一號橋附近水位分布情形如圖 20，各橋墩墩前壅高如表 2，顯示設計符合相關規定之要求。

另外針對水管橋新建後對曾文一號橋之既有橋墩墩前流速之影響進行模擬，水管橋新建前後之流速分布如圖 21，可看出因為水管橋橋墩位於既有橋墩之遮蔽區內，故對既有橋墩之流速狀況影響不大，各墩前之流速詳如表 3，墩前流速僅略為增加 0 至 0.02 公尺／秒。

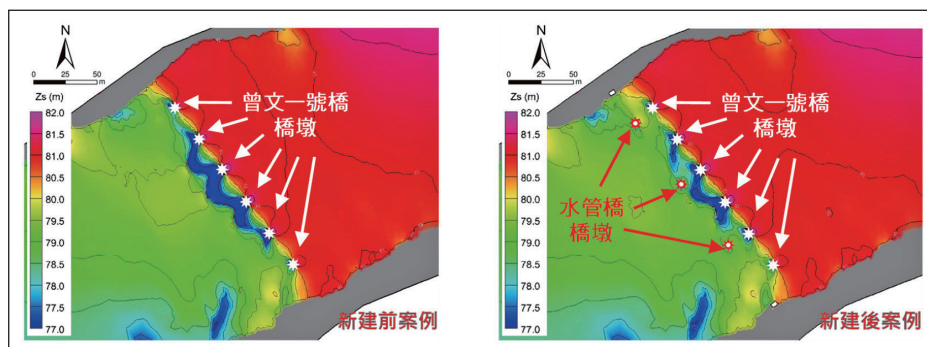


圖 20 曾文一號橋於水管橋新建前後之水位分布



表 2 曾文一號橋墩前水位壅高表

既有橋墩	P1	P2	P3	P4	P5	P6
水位壅高 (m)	+0.03	+0.02	+0.01	+0.01	+0.02	+0.02
二維水理出水高減少率	1.70%	1.10%	0.90%	0.90%	1.10%	1.10%

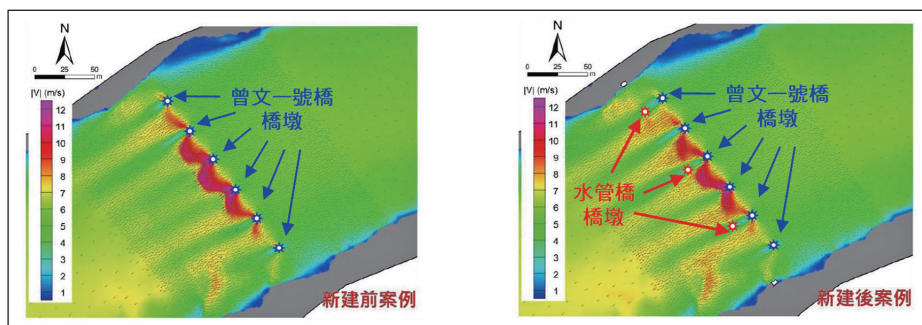


圖 21 曾文一號橋於水管橋新建前後之流速分布

表 3 曾文一號橋墩前流速表

既有橋墩	P1	P2	P3	P4	P5	P6
流速 (m/s)	4.36	5.20	5.37	5.42	5.30	4.30
流速差 (m/s)	0.00	+0.02	+0.02	+0.02	+0.02	-0.02

水管橋完工後，即於 113 年遭遇強烈颱風凱米帶來之大量降雨，曾文水庫放水量最高達 4,350 m³ / 秒，期間水管橋及既有橋梁均無影響，印證水管橋設計及施工品質無虞。

問公司辦理施工期間環境監測及生態檢核，並依迴避、縮小、減輕、補償等四大原則執行生態檢核之生態保育措施，施工期間均無異常情況發生。

五、生態永續

5-1 環境保育

依據環境部「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」第 13 條第 3 項規定，本計畫屬緊急抗旱工程，免實施環境影響評估，但南水分署為重視環境保育，比照環評等級額外編列預算委託專業環境生態顧

為傳達生態永續理念與曾文南化聯通管效益，本工程位於水管橋下游段之曾文一號橋引道週邊區域，設置一處環境教育園區，種植臺灣原生植物，並包括種植特色植物，如後大埔石櫟，以及瀕危的掌葉菜欒藤及三星果藤（如圖 22、圖 23）。另於引道擋土牆面設置環境教育藝術壁畫（如圖 24），以石材拼畫、浮雕陶板、抿石等描繪出曾文南化聯通管之功能效益，宣導永續水循環的理念。

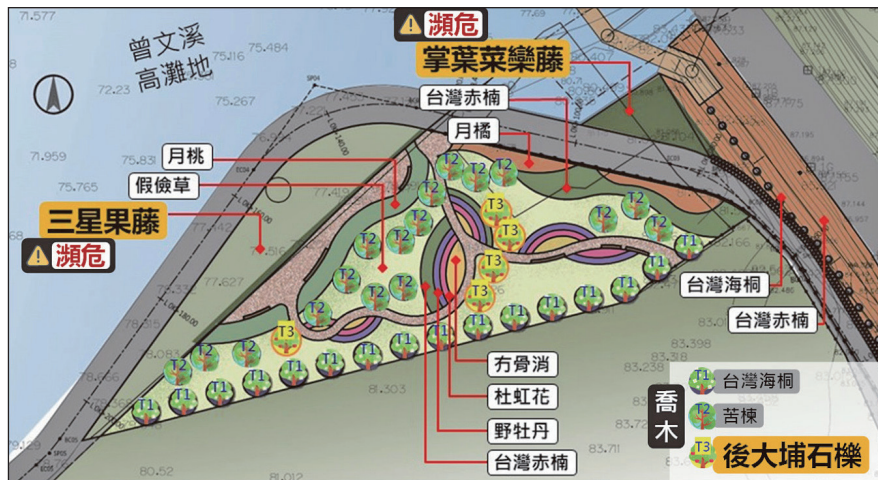


圖 22 環境教育園區植生配置圖



圖 23 環境教育園區現場一隅



圖 24 環境教育園區擋土牆藝術壁畫



5-2 節能減碳

本工程在設計與施工階段，將節能減碳列為重要目標。在設計方面之減碳量合計達 8,939,619 kgCO₂e，包括：

1. 地下管路之施工以推進工法取代明挖覆蓋逾 75%，減碳量達 8,605,918 kgCO₂e。
2. 水管橋減少落墩及工程量體，如原有 5 處落墩減少為 3 處、原設計重力式橋台及樁基礎改以量體較小之柱式橋台及井式基礎、以石籠工法取代混凝土邊坡護岸及作為橋梁防沖刷之混凝土塊結構等，減碳量共計 333,701 kgCO₂e。

施工方面之節能減碳措施，包括活用光電綠能、選用高效機具等，合計減碳量達 34,961 kgCO₂e。另外在環境教育園區中之植樹固碳，減碳量共計為 44,130 kgCO₂e／年。

六、結論

曾文南化聯通管為重力式雙向輸水、串聯曾文水庫、南化水庫、烏山頭水庫、高屏溪攔河堰等 4 座蓄水設施的備援系統，可靈活調度水資源、永續水循環，有效健全南部供水系統，增強基礎建設之韌性。

本工程之推進工程管線直徑達 2.6 公尺，為我國歷年來最大口徑推進工程之第二例，推進機採用密閉式泥水加壓式推進機，以因應岩層或卵礫石層，以及高地下水位之施工環境。另本工程使用之 WSP 管材，為研發改良後之承插式 WSP，係於推進井 WSP 管內側安裝加大之止漏膠圈後，將前後兩管銜接

緊實即可進行下一輪之推進，可加速工進，並降低施工風險，同時具有較佳防蝕效果，延長管材使用壽命，在壓力試驗成果亦有「零漏水量」之良好品質成果。

跨河水管橋之設計，將跨距增加至 60 公尺以減少落墩，可增加通洪斷面、減少沖刷，亦可避免於汛期作業，減輕施工風險。並以滿足結構安全之前提下，考量與週遭環境融合度、減輕養護需求，採用低調融合環境之 π 型補強水管橋。經二維水理演算分析水管橋對既有曾文一號橋之影響，不論在墩前水位壅高、流速，均符合「申請施設跨河建造物審核要點」之規定，且影響甚小，使新建水管橋對既有環境衝擊降到最低，提升耐久性。

本工程計畫比照環評等級辦理施工期間環境監測及生態檢核，同時在節能減碳的實踐上，分別從工程設計與施工面進行，設計上包括工法替代（推進工法取代明挖覆蓋）、水管橋等工程量體減量、植樹固碳，施工方面採用光電綠能、選用高效機具等，為環境永續盡一份心力。

本工程於 112 年榮獲第 17 屆推動職業安全衛生優良工程金安獎優等，更於 113 年第 24 屆公共工程金質獎榮獲水利工程類第一級工程優等，不僅在規劃設計、施工及維運階段之職安措施優良表現受到肯定，在永續效益和工程品質上也得到評審認同。

參考文獻

1. 國統國際股份有限公司，曾文南化聯通管統包工程 A2 標服務建議書，2020。
2. 國統國際股份有限公司，曾文南化聯通管統包工程 A2 標「補充地質調查報告書」，2020。
3. 國統國際股份有限公司，曾文南化聯通管統包工程 A2 標「推進工程分項施工計畫（含品質計畫）」，2020。