

地下水補注管理技術參考手冊 (河槽補注篇)



主辦機關：經濟部水利署
執行機關：川霖科研有限公司

中華民國 114 年 11 月

目錄

目錄	i
圖目錄	iii
表目錄	v
第 1 章 前言	1
1.1 緣起	1
1.2 技術手冊使用對象	1
1.3 如何使用技術手冊	2
1.4 技術手冊導覽	2
第 2 章 名詞解釋與定義	4
第 3 章 地下水基本概念	6
3.1 水文循環	6
3.2 地下水流動	7
3.3 地下水水質	9
3.4 臺灣地區地下水概況	9
3.5 地下水補注地質敏感區概述	13
3.6 次級可補注河段概述	17
第 4 章 河槽人工地下水補注概念	22
4.1 河槽人工地下水補注概述	22
4.2 相關地下水補注法規	25
第 5 章 河槽補注設施規劃設計	26
5.1 資料蒐集	26
5.2 初步評估	28

5.3 細部評估	29
5.4 現地調查	31
5.5 補注設施規劃設計要項	34
5.6 設計結果	40
第 6 章 河槽補注設施設置	41
6.1 輸水設施	41
6.2 補注池設置	42
第 7 章 河槽補注設施營運及維護	44
7.1 設施管理原則	44
7.2 設施操作監測	44
7.3 設施操作維護	46
第 8 章 河槽補注設施補注成效評估	49
8.1 資料蒐集	49
8.2 補注成效評估	50
8.3 經濟成本效益評估	53
第 9 章 河槽補注設施案例	55
參考文獻	67
附錄一 河槽補注設施檢核表	
附錄二 雙環入滲試驗操作步驟	
附錄三 定量抽水試驗步驟	
附錄四 河槽補注設施規劃計畫書	
附錄五 會議意見回覆表	

圖目錄

圖 1-1 河槽補注設施設置流程圖	3
圖 3-1 水文循環圖	6
圖 3-2 非拘限含水層與拘限含水層	8
圖 3-3 臺灣地下水區及地下水觀測井分布圖	12
圖 3-4 濁水溪沖積扇地區水文地質及地下水水流概念模型	14
圖 3-5 地下水補注地質敏感區劃定流程	15
圖 3-6 全臺地下水補注地質敏感區	16
圖 3-7 全臺地下水區次級可補注河段分布	21
圖 4-1 河槽補注設施示意圖	24
圖 4-2 補注池類型之河槽補注設施	24
圖 4-3 簡易土堤類型之河槽補注設施	25
圖 5-1 得水河川及失水河川示意圖	27
圖 5-2 河川斷面與地下水水位關係示意圖	27
圖 5-3 不同底床坡度之水深與流量關係圖	35
圖 5-4 補注設施設計平面圖	37
圖 5-5 補注設施施工縱斷面示意圖	38
圖 5-6 補注設施施工橫斷面示意圖	39
圖 5-7 不同底床坡度之蓄水深度與單位寬度蓄水體積關係圖	40
圖 6-1 河槽補注設施平面配置範例	41
圖 6-2 河槽補注設施之進出流渠道	42
圖 6-3 補注設施之補注池設置過程	43
圖 7-1 補注設施損毀後維護作業示意圖	47

圖 8-1 水丘高度與補注池徑向距離關係圖	53
圖 9-1 濁水溪河槽補注設施地點	55
圖 9-2 濁水溪河槽地電阻影像剖面圖	57
圖 9-3 濁水溪河槽補注設施雙環入滲試驗	57
圖 9-4 濁水溪河槽補注設施	58
圖 9-5 濁水溪河槽補注設施維護情況	59
圖 9-6 高屏地區地下水補注區位置圖	61
圖 9-7 高屏地區之隘寮溪河槽補注設施	63
圖 9-8 高屏地區河槽補注設施毀損維護情況	64
圖 9-9 美國熊峽谷補注計畫示意圖	66

表目錄

表 1-1 章節內容概述	2
表 3-1 臺灣地下水區水文地質架構特性	10
表 3-2 中央管河川之次級可補注河段	17
表 4-1 河槽補注設施之優缺點	25
表 5-1 河槽人工地下水補注資料蒐集檢核表	27
表 5-2 河槽補注設施初步評估準則檢核表	29
表 5-3 河槽人工地下水補注場址評分標準	30
表 5-4 常見地表地球物理探測方法	31
表 5-5 常見地表下地球物理探測方法	32
表 5-6 常見入滲試驗方法	32
表 5-7 入滲係數參考值	33
表 7-1 地下水補注設施管理項目	44
表 7-2 河槽補注設施修復費用概估	47
表 7-3 河槽補注設施阻塞維護方法	48
表 8-1 補注成效評估作業檢核表	50
表 8-2 水平衡分析及達西公式適用補注設施	50
表 9-1 濁水溪河槽補注設施歷年補注量	60
表 9-2 高屏地區河槽補注設施歷年補注量	64

第1章 前言

1.1 緣起

地下水作為臺灣重要的水資源之一，不僅提供穩定的補充水源，亦在緩解旱季用水需求、調節水資源分配方面發揮重要作用。另過去部分地區地下水過度抽取，出現地層下陷、海水入侵等問題，威脅生態環境與國土安全。因此，利用地下水補注進行地下水復育，以減緩地層持續下陷，成為當前水資源管理的重要方向之一。此外，將水源補注至含水層進行儲水，可於地面水資源短缺(枯旱期間)時，抽汲地下水進行供應，如此可大幅降低缺水風險。考量目前於臺灣地區人工地下水補注是以「河槽補注設施設置」為主，係配合河槽疏濬工程於河道中設置臨時土堤來增加滯水時間，以達到地下水補注目的，本地下水補注管理技術參考手冊(河槽補注篇)(以下簡稱技術手冊)即以此為目標進行撰擬，以供相關從業人員做為參考。

本技術手冊編撰係參考美國土木工程師學會(American Society of Civil Engineers, ASCE)所發表之「地下水人工補注之標準手冊(Standard Guidelines for Managed Aquifer Recharge (ASCE, 2020))」，再依臺灣地區的地質條件、含水層特性、河流分布及水資源管理需求等特性調整，深入探討河槽人工地下水補注相關規劃、設計、設置、操作與維護及效益評估等程序及作業，所提供之資訊可讓機關承辦同仁或相關從業人員有一定程度的基礎認知，並可依不同的規模及特性於本手冊相關章節內容中找出因地制宜最佳方案執行。

1.2 技術手冊使用對象

本技術手冊提供河槽人工地下水補注方案相關技術及資訊，供規劃、設計、設置、操作、維護及效益評估參考，依業務權責由經濟部水利署(以下簡稱水利署)及其所屬各河川分署及市(縣)政府等單位分工執行，亦可提供決策者及政府機關相關人員實務應用之參考。

1.3 如何使用技術手冊

對於擬參與河槽人工地下水補注設施之相關人員，其未具備地下水水文知識且未實際建置及操作河槽補注經驗者，建議先閱讀第3章地下水基本概念及第4章河槽人工地下水補注概念，接著進入基本規劃與設計階段(第5章)，接續開始執行河槽補注設施設置程序(第6章)及後續營運及維護程序(第7章)。最後，根據河槽補注設施操作過程監測成果進行成效評估(第8章)。

1.4 技術手冊導覽

技術手冊整體流程分為4個階段，包含規劃設計階段、設置階段、營運及維護階段、成效評估階段，相關流程以及分工作業如圖1-1所示；其中補注設施設置有兩種方式，其一為配合河川疏濬、河道整理工程、揚塵抑制與水覆蓋等措施進行設置河槽補注設施，其二為加強地下水補注措施，即經由水利署評估該地區需要額外增加地下水補注量體。若將疏濬區域做為補注區域，則該區域規劃由河川分署或縣市政府負責，若為加強地下水補注措施，主要由水利署進行規劃並提供河川分署或縣市政府等單位，包含補注設施區域範圍、目標補注量與補注設施規劃等原則，而細部設施(引水地點及最終補注設施設置點位)與設置部分將由河川分署或縣市政府等單位進行規劃設置；補注設施營運及維護包含設施操作監測、觀測設施維護以及土堤與補注池維護，其中設施操作監測、觀測設施維護作業由水利署負責進行維護作業，而土堤及補注池維護由河川分署與縣市政府負責；最終成效評估則由水利署負責。

表1-1 章節內容概述

章節	標題	內容概述
第1章	前言	緣起、目的及技術手冊架構。
第2章	名詞解釋與定義	提供河槽補注相關名詞解釋與定義。
第3章	地下水基本概念	介紹水文循環過程、地下水流動及水質，並說明臺灣地區地下水概況、地下水補注地質敏感區及次級可補注河段位置。

第4章	河槽人工地下水補注概念	介紹河槽人工地下水補注目的、補注水源及補注方法等概念。
第5章	河槽補注設施規劃及設計	說明河槽補注設置地點規劃原則、篩選方式及設施設計應注意事項。
第6章	河槽補注設施設置	基本之輸水設施及補注池設置。
第7章	河槽補注設施營運及維護	營運及維護階段注意事項。
第8章	河槽補注設施補注成效評估	提供河槽補注設施之補注分析要點。
第9章	河槽補注設施案例	應用案例供建置規劃參考。

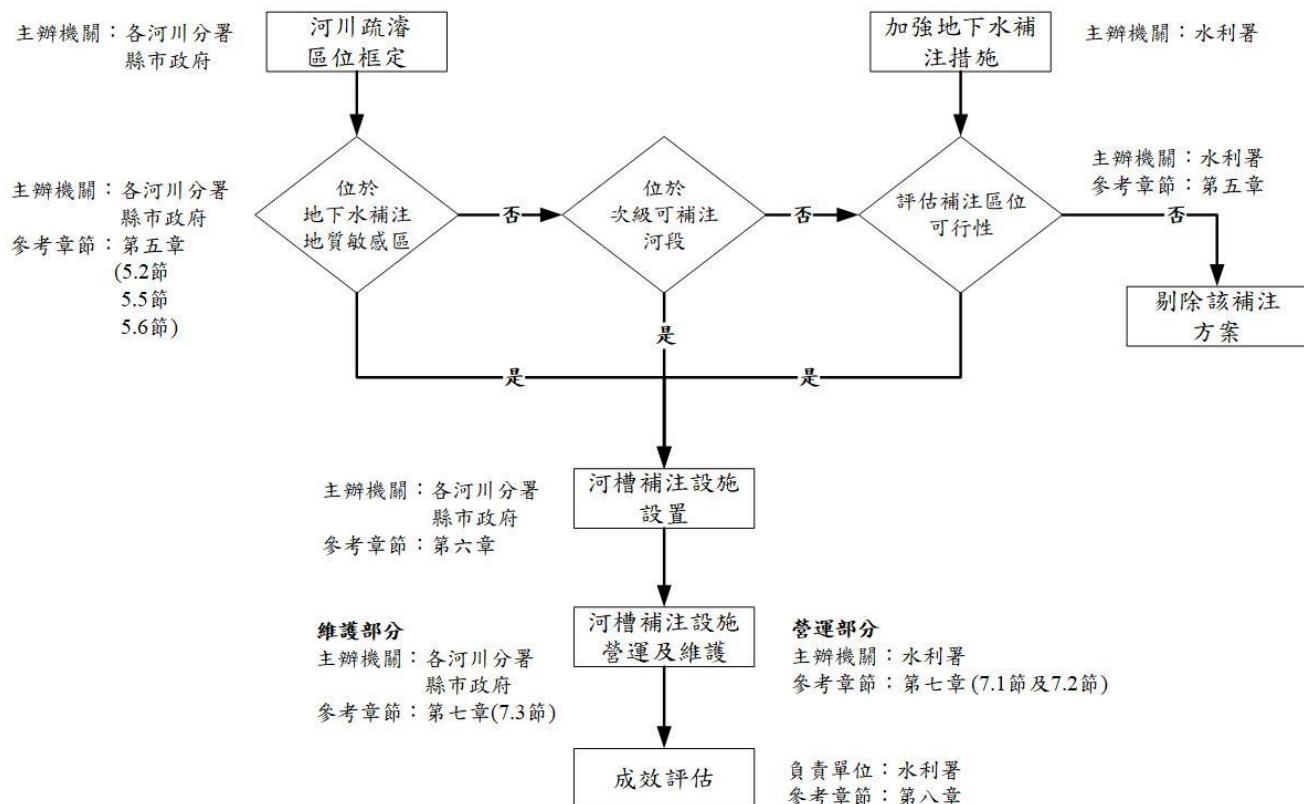


圖 1-1 河槽補注設施設置流程圖

第 2 章 名詞解釋與定義

※下列名詞解釋依筆畫順序排列

中文 英文	名稱	解釋與定義	參考 出處
含水層 Aquifer		多孔性含水地層或地床。如透水性之岩石、砂粒或礫石等，能含存並可經濟有效流出大量有用之地下水。該水層僅受重力影響，可視為一地下水蓄水庫。含水層中視地下水面之有無可分為非拘限含水層與拘限含水層。又滲漏水層是為上兩種水層之混合型態。	註 1
阻水層 Aquitard		低透水性之地層，且當下層含水層抽水時，可以足夠速率傳遞水分提供含水層部份之水源補注。	註 1
絕水層 Aquifuge		不含水分且無孔隙供水流通的岩層。	註 1
拘限含水層 Confined aquifer		拘限在上、下均有相對不透水地層中間之水層。其中之地下水承受足夠壓力可以自動上升至不透水層之上面，但不一定到達地面。若該處水壓面下降至其上面拘限含水層之下邊緣層面以下時，則拘限水層轉變成非拘限水層。	註 1
水力梯度 Hydraulic gradient		在某一指定方向上，總水頭隨距離變化而產生的變化。而該方向即為總水頭下降速率達到最大值的方向。	註 2
透水係數/水力傳導係數(K) Hydraulic conductivity		指流體在地面下通過有孔隙之土石物質時難易程度之量度。由該土石物質中該等孔隙之大小、形狀、相互連通程度，以及該流體之黏滯度(Viscosity)決定之。因次為 LT^{-1} 。	-
入滲率 Infiltration rate		指一段特定時間中進入土壤表面之水量，即入滲之速率。因次為 LT^{-1} 。	-
巢狀觀測井 Nest well		這是一種水文學和地質學中的井結構，用於地下水監測或污染調查。巢狀觀測井由多根井管	-

中文 英文	名稱	解釋與定義	參考 出處
		組成，這些井管被設置在相同的位置，但深度不同，以便在不同的地下深度收集樣本或監測數據。	
補注 Recharge		由雨水、地面河川之滲水或其他水源流入飽和層，使其水量增加。	-
補注區 Recharge basin		指一個地面區域，該區域內之水經由入滲或經逕流後再以入滲之方式進入含水層。	-
補注量 Recharge volume		指進入地下含水層或地下水系統的水量。	-
飽和層 Saturated zone		地下水體中所有孔隙或裂隙完全被水填滿的地層區域。這一層位於地下水水面的下方，水壓大於大氣壓，並且是地下水的主要儲存和流動區域。	-
比出水量(S_y) Specific yield		指非拘限含水層中，岩石或土壤因重力排水而產生的水量與岩石或土壤體積的比例，為無因次單位。	註 2
儲水係數(S) Storativity/Storage coefficients		含水層在單位水頭變化時，單位面積含水層所釋放或吸收的水量。在非拘限含水層中，儲水係數相當於比出水量(Specific yield)，為無因次單位。	註 2
非拘限含水層 Unconfined aquifer		指飽和層之上表面為地下水水面(Water table)之一種水層。	
非飽和層 Unsaturated zone or vadose zone		介於地表面和自由水面間之區域，其中包含根系層、中間層、毛管層。此區域內孔隙內所含的水分其壓力小於大氣壓力，且孔隙除了水分外還包含空氣和其他氣體。飽和的水體亦可能存於非飽和層中，暫棲地下水即為一例。	註 1

參考出處欄內「-」符號表示為本技術手冊整理相關資料後初擬之名詞解釋。

註 1：經濟部水利署，「水利科技名詞」。

<https://www.wra.gov.tw/NewsRiverNounCategory.aspx?n=25142&sms=500>。

註 2：Fetter, (2001).

第3章 地下水基本概念

3.1 水文循環

水文循環是水在大氣、地表、地下及海洋之間不斷轉換和流動的過程，包括蒸發、凝結、降水、入滲和逕流。

水係為所有生命賴以維生之重要資源，其存於大氣、海洋、溪流、湖泊、冰川或冰蓋及地表下，圖 3-1 為水文循環圖，地面水經由蒸發至大氣層，水氣冷卻、凝結成為降水回到地表，再入滲至土壤及岩層中形成地下水或匯集成地表逕流再流入河川、湖泊或大海，不斷自系統中任一部份轉換或流動至另一部份，此即為水文循環。



修改自 USGS: <https://www.usgs.gov/water-science-school/water-cycle>

圖 3-1 水文循環圖

3.2 地下水流動

地下水流動速率取決於含水層水文地質特性及水力梯度。

地下水自補注區到排出點間之停留時間，對於潮溼氣候地區中的湧泉可能是數天，其淺層地下水可能是數月至數年，而深層地下水則可能為數十年至數百年；乾燥氣候地區深層含水層則可能長達數千年至數萬年。

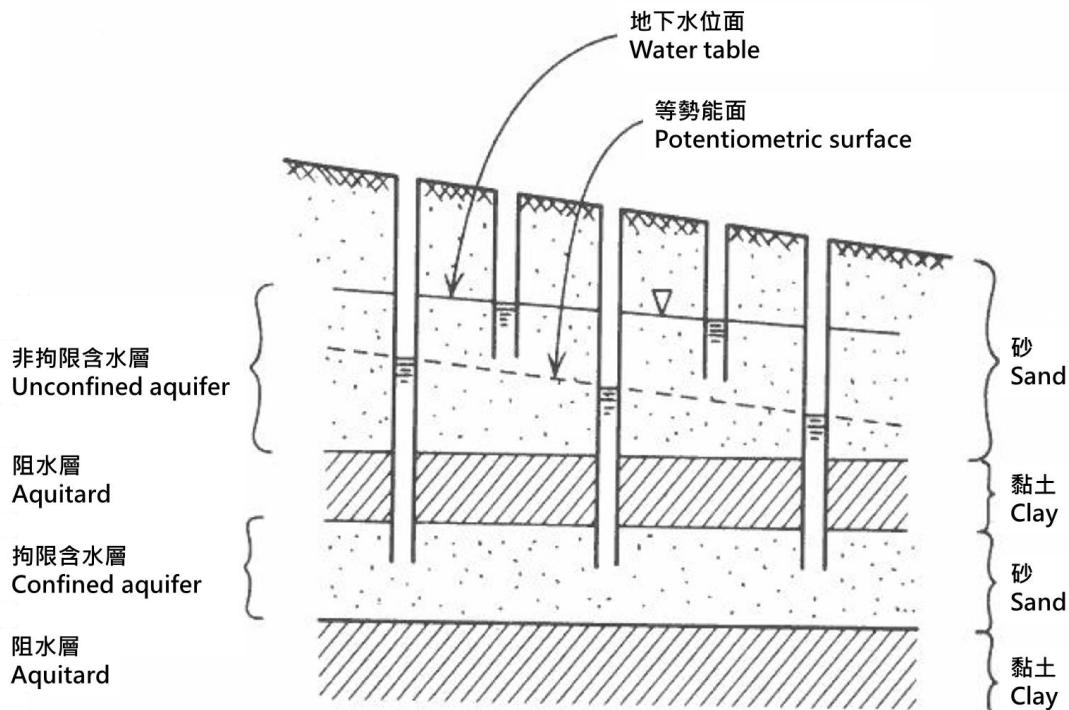
◆ 地下水補注行為

地下水補注是維持地下水資源永續的重要行為，它主要分為自然補注和人工補注兩大類。

地下水補注可分為非拘限含水層補注與拘限含水層補注兩類，非拘限含水層與拘限含水層示意如圖 3-2，非拘限含水層指飽和層之上表面為地下水水面(Water table)之一種水層。而拘限含水層指拘限在上、下均有相對不透水地層(阻水層)中間之水層，其中之地下水承受足夠壓力可以自動上升至阻水層之上面，但不一定到達地面。若該處水壓面(等勢能面)下降至其上面拘限含水層之下邊緣層面以下時，則拘限水層轉變成非拘限水層。而阻水層指低透水性之地層，且當下層含水層抽水時，可以足夠速率傳遞水分提供含水層部份之水源補注。

非拘限含水層之補注主要來自於地表或近地表之入滲補注，依據各種計算方法顯示，於潮溼氣候地區其長期自然補注率大致為平均降雨量之 20 %至 30 %，如於乾旱或半乾旱地區(降雨量小於 20 mm/year)，非拘限含水層之長期自然補注率可能不及降雨量之 1 % (Delin and Risser, 2007)。非拘限含水層之人工補注來源包含灌溉用水入滲、渠道或人工蓄水設施滲漏(農田、滯洪池、攔河堰、壩及水庫等)及地下水補注設施(滲透水池、變更河床、土坑、水溝及補注井)等。

拘限含水層自然補注主要發生於其露頭處，此處含水層通常不分層，未存有阻水層阻隔垂向入滲補注，補注行為與非拘限含水層相同，而拘限含水層之人工補注多需透過補注井始可達成，經由人工補注可加速地下水復育，就地下水情勢較惡劣的區域局部加強改善地下水資源。



修改自 Freeze and Cherry (1979)

圖 3-2 非拘限含水層與拘限含水層

◆ 含水層儲蓄

含水層儲蓄潛能取決於含水層厚度、面積及水文地質特性等因素。

對於非拘限含水層而言，含水層可用儲水空間大致可視為其平時水位變動上下限間之空間，而拘限含水層之可儲水空間則應考量避免含水層破裂之壓力限制。為量化含水層可儲水空間應進行必要之現地調查工作並進行評估，評估重點在於目前含水層地下水儲量及未來可增加儲量，並確認此儲量得滿足地下水補注方案之需求。

含水層水文地質特性可透過鑽探、地質探測、實驗室試驗、現地抽水試驗或示蹤劑試驗等方式觀察地下水流動行為來予以確認，其中孔隙率(porosity)、比出水量、儲水係數等，係用於評估含水層儲水能力之參數。

◆ 地下水排出

地下水可透過流向地面水體、植物蒸散、大氣蒸發、滲漏至相鄰含水層等自然方式排出，也可通過人為抽水行為排出。

地下水排出型態如下：

1. 地面水體：地下水可流向溪流、湖泊、湧泉等地面水體。
2. 植物蒸散：植物根系吸收地下水並透過蒸散作用排出。
3. 大氣蒸發：部分地下水可通過地表蒸發進入大氣。
4. 滲漏到相鄰含水層：地下水可藉由含水層之間的裂隙，滲漏至鄰近含水層。
5. 人為行為：常見為設置水井進行抽水，提取地下水使用。

3.3 地下水水質

原始地下水因長期與地質材料接觸，可能溶解多種天然物質，如砷、矽或鈾等對人體有害之重金屬，一般情況下可直接使用，但仍應進行水質檢測，確認符合標準後方可利用。

補注區之地下水至排出區間流動時間愈長，其溶解物質愈多，因此，未受污染或原始地下水含有多種天然物質，其中如砷、矽或鈾等重金屬物質對人體具有危害，應予以留意。因此，原始地下水於一般情況下可不經處理即可利用，但其絕非純淨，於使用前應先進行完善水質檢測。

3.4 臺灣地區地下水概況

依據水利署公告臺灣地區地下水資源較豐富地區共計 11 個。

臺灣地區地下水區為臺北盆地、桃園中壢台地、新苗地區、臺中地區、濁水溪沖積扇、嘉南平原、屏東平原(包括恆春平原)、蘭陽平原、花東縱谷等 9 個地下水區，再加上離島之澎湖地區及金門地區，共計 11 個地下水區，各地下水區之水文地質架構特性如表 3-1。自民國 81 年至 97 年依據「臺灣地區地下水觀測網整體計畫」辦理全臺主要地下水區之地下水觀測網建置與維護、水文地質調查、地下水水位觀測、地下水質監測及相關研究等工作。而後，每年依據各地下水區之觀測井井況進行新增、維護及汰換，截至民國 114 年 11 月止，全國已建置 817 口地下水觀測井(如圖 3-3)，其每口地下水觀測井監測頻率為 10 分鐘一筆，可於水利署「水文資訊網」查詢全臺即時地下水水位資料，亦可查詢地下水水質狀態，該網站已整合各項地下水水文相關資料，可作為後續相關評估作業之參考依據。

表 3-1 臺灣地下水區水文地質架構特性

地下水區	水文地質架構特性
臺北盆地	臺北盆地主要由新店溪與大漢溪沿岸沖積扇為主要補注區，於永和與浮洲等扇端因砂質泥層分隔而分流為自由水與受壓水，並在西北部淡水河左岸匯流區排出。臺北盆地的地下水系統分層，劃分成 3 個含水層與 3 個阻水層，而以大漢溪與淡水河為分界，其西側區域的第二含水層(F2)受局部泥層的分布影響，劃分為 F2-1、F2-2 及 F2-3 三個次層。
桃園中壢台地	桃園中壢台地之含水層大致可分為兩層，第一層為表層的階地礫石層，包括晚更新世紅土礫石層與全新世的河階礫石；第二層為更新世楊梅層砂層。表層階地礫石含水層廣布於全地下水區，呈東高西低型態，礫石粒徑愈往西邊愈小。楊梅層含水層岩相組合與沉積環境分析結果顯示，龍潭一帶均為陸相礫石堆積，往海側方向之南勢、頭洲及觀音等站則顆粒逐漸變小，呈現海相地層特性。另因新期構造抬升影響，東側抬升較高，造成地層具有向西傾斜之位態，故沿沖積扇發展之含水層亦呈現向西傾斜之情況，
新苗地區	新苗地區之含水層大致可分為第一層和第二層含水層。第一層含水層屬全新世沖積層、砂丘及更新世晚期的紅土礫石層，此類地下水層較未受斷層或構造的影響，地下水層呈水平分布。第二層含水層指更新世頭嵙山地層，由於受構造作用影響，形成許多獨立的小系統。區內出露以泥或極細砂為主的地層，因透水係數極低，歸類為阻水層。由於本區水文地質特性複雜，且沖積層多分布於不同河川沿岸，且互不連通，自成為單一含水層系統。
臺中地區	臺中地區在盆地北部及東部皆以沖積扇所沉積之厚層礫石為主，無較明顯的阻水層。在盆地中部西側之烏日地區，地層仍以厚層礫石為主，但仍夾有數層砂泥層，形成區域之阻水層。清水海岸平原全區皆為現代沖積層所覆蓋，區域內東側大肚山山腳有清水斷層通過，於靠近大肚台地及大甲溪與烏溪處有厚層之礫石層分布，越往海邊則越以細顆粒之細沙或泥層為主。含水層系統較為複雜包括三個含水層與兩個阻水層，但含水層並不發達，厚度約 20~50 公尺。
濁水溪沖積扇	濁水溪沖積扇於地面 300 公尺深度內之水文地質架構是由 4 層含水層間夾 3 層阻水層所組成，而阻水層向東尖滅，扇頂附近的各地下含水層則互相連通，含水層延伸至臺灣海峽中，各層最終都分別尖滅於增厚之阻水層中，亦即各地下含水層在下游端應該近似封閉，並未於海床出露。
嘉南平原	嘉南平原北段為多條發源自麓山帶河川堆積而成，沉積環境主要受到第四紀以來海平面變化的影響，其沉積速率向南遞增，但其粒度則反向南變細，此區域大致可區分為四層含水層；嘉南平原南段受新期構造活動影響，已固結的海相泥質基盤高區將本區域分割成數個獨立的地下水次分區。南段東西向縱深不到 15 公里，且因受構造影響，站與站之間的岩性變化極大。
屏東平原	屏東平原之含水層極為發達，厚度大且延展遍布全區，而近地面的頂層礫石非拘限含水層愈往西愈薄。阻水層僅在沿海地區有較連續的分布，並夾於含水層中，

	厚度遠小於含水層。含水層只有在南側有顯著之分隔，在平原北側及東側則合而為一。屏東平原之含水層大致可區分為含水層一、含水層二、含水層三之一及含水層三之二等四層。
花東縱谷	花東縱谷主要含水層為現代沖積層，一般含水層厚，質地粗淘洗佳、透水性良好，屬含水量極豐富之地下水區。本地下水區由於縱谷內並未發現明顯成層之黏土不透水層，其含水層可視為互通之自由含水層。
蘭陽平原	蘭陽平原含水層大致可劃分為四個含水層及三個阻水層，自地面以下分別為第一含水層、第一阻水層、第二含水層、第二阻水層、第三含水層，第三阻水層、第四含水層及岩盤，本區等岩盤線主要由西往東及由南北往中央漸增，含水層平均厚度約在 200 公尺左右。
澎湖地區	澎湖地區之水文地質架構，於地表下 250 公尺範圍內，劃分為二個含水層及一個阻水層，自地面以下分別為第一含水層、第一阻水層及第二含水層。
金門地區	金門地區以尚義與瓊林為界，分為東西兩半島，西半島由透水性佳的紅土層、砂礫石層組成含水層，厚度不一，最厚可達到 60 公尺。東半島再以獅山及太武山為界，受到花崗岩出露之影響，含水層厚度只僅 20~30 公尺，屬於現代沖積層；而烈嶼則因總面積不大而視為同一個分區。



圖 3-3 臺灣地下水區及地下水觀測井分布圖

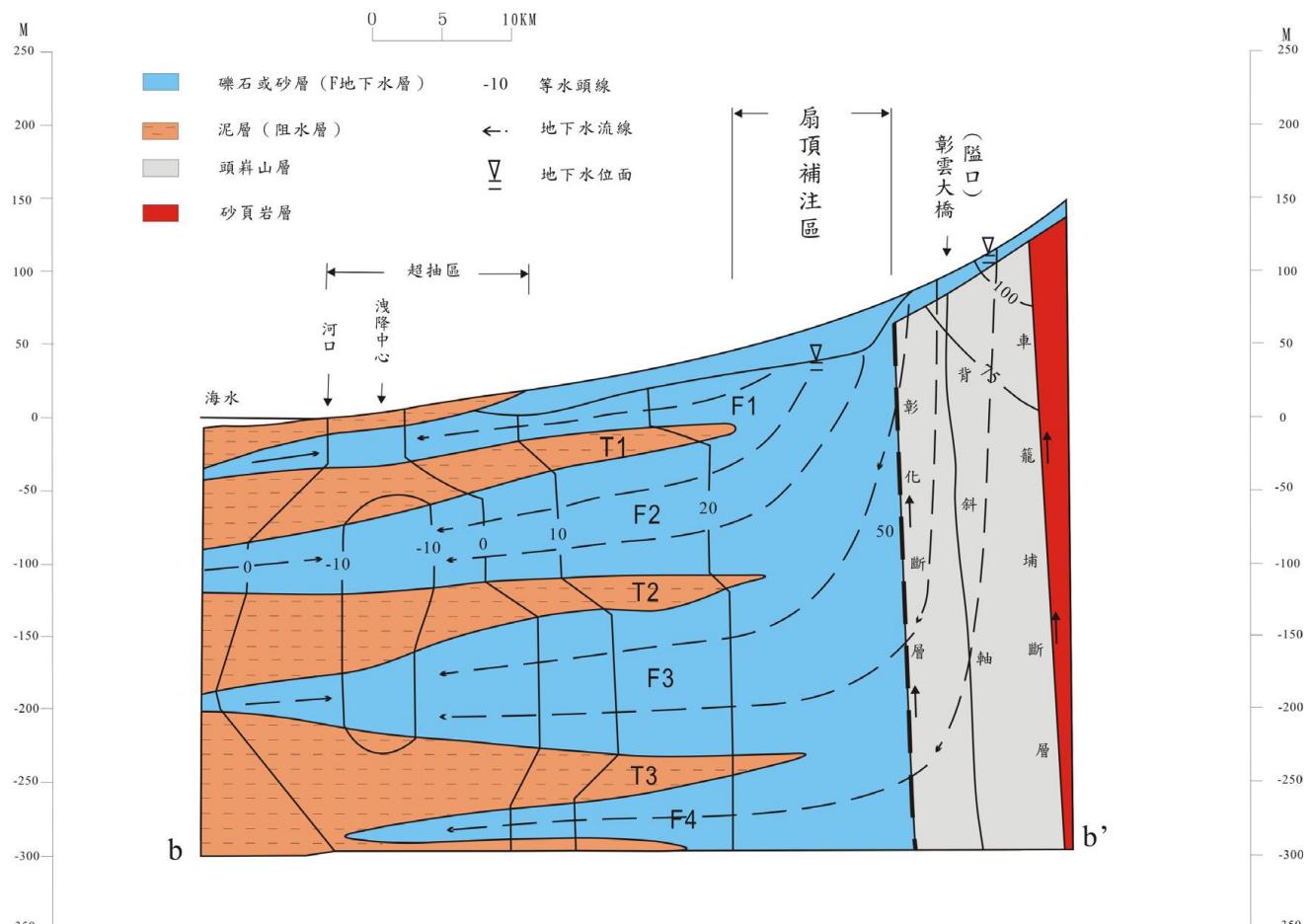
3.5 地下水補注地質敏感區概述

地下水補注區為地下水之水源地，地表易於入滲且連通至各地下含水層，由此處入滲之雨水或地面水，將補注至各地下含水層。因此，為了保護珍貴的地下水資源，維持穩定補注量並防範污染，故經濟部地質調查及礦業管理中心將主要之地下水補注區，劃定為地下水補注地質敏感區。

地質敏感區基地地質調查及地質安全評估作業準則於民國 101 年 3 月 6 日經濟部經地字第 10104600660 號令訂定發布全文 29 條，根據作業準則第 9 條及第 11 條調查臺灣地區地下水補注地質敏感區。

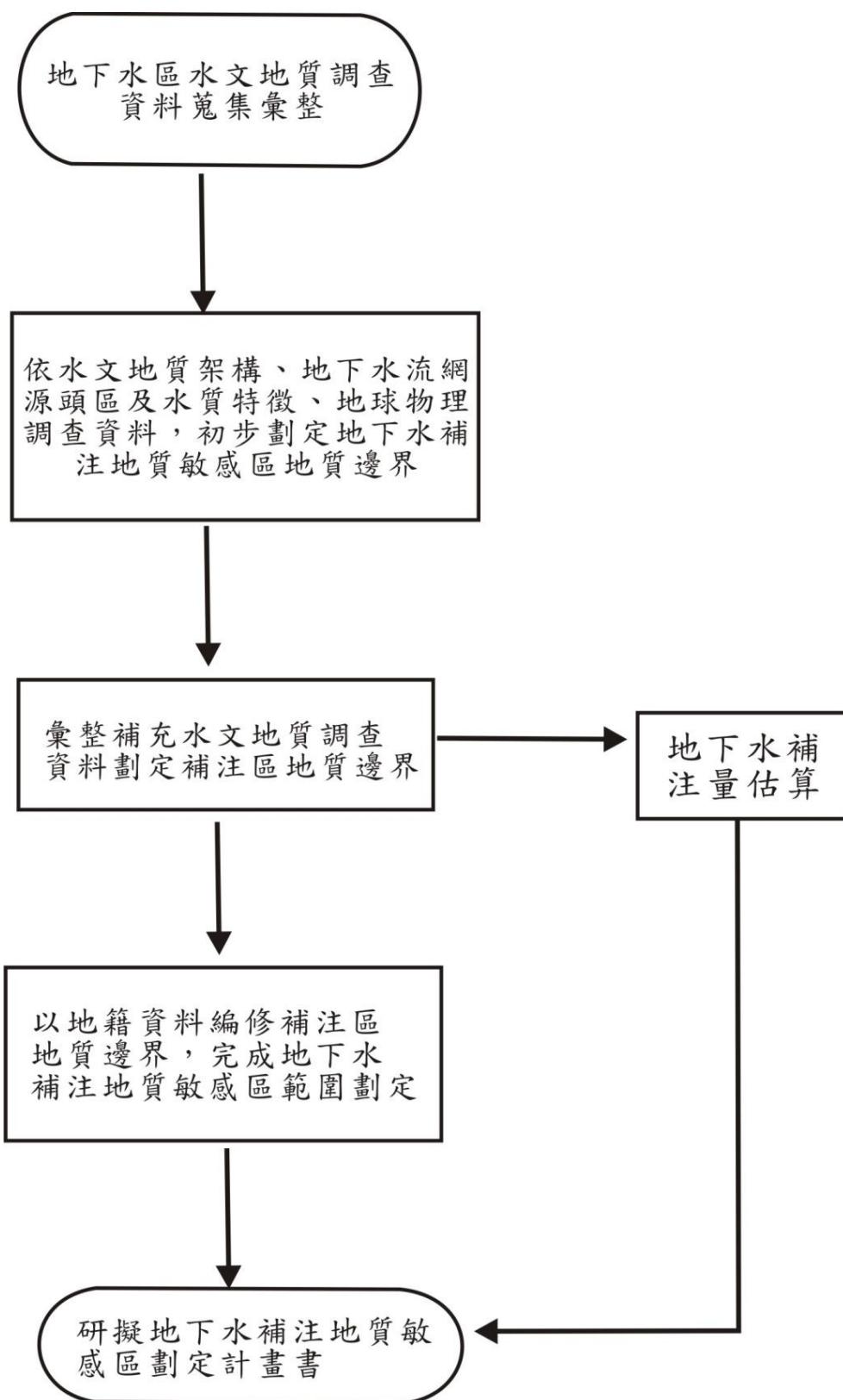
經濟部地質調查及礦業管理中心(以下簡稱地礦中心)為劃定地下水補注地質敏感區，先蒐集彙整地下水區水文地質資料，依照水文地質剖面、地下水位分布及水質特徵，初步劃定平原區地下水補注地質敏感區地質邊界(圖 3-4)。接著，進行邊界區補充水文地質調查工作，如地球物理探測及地質鑽探，並彙整補充調查成果，以劃定目標地區地下水補注區之地質邊界。其次，依據上述補充調查資料疊地籍資料，編修地下水補注區之地質邊界。最後，依據地籍資料編修完成後，即完成地下水補注地質敏感區之劃定，流程圖如圖 3-5。

地礦中心所劃定地下水補注地質敏感區成果如圖 3-6 所示。臺灣本島 9 個地下水區中，主要地下水補注地質敏感區有臺北盆地的新北市部分地區，約佔臺北盆地總面積之 4.98%、臺中地區的臺中市及南投市部分地區，約佔臺中地區總面積之 39.90%、濁水溪沖積扇的彰化縣及雲林縣部分地區，約佔濁水溪沖積扇總面積 9.40%、嘉南平原的嘉義市及臺南市部分地區，約佔嘉南平原總面積 3.00%、屏東平原的高雄市及屏東縣部分地區，約佔屏東平原總面積 28.20%、蘭陽平原的宜蘭縣，約佔蘭陽平原總面積 22.10%。地下水補注地質敏感區可作為後續河槽補注區規畫之參考依據。



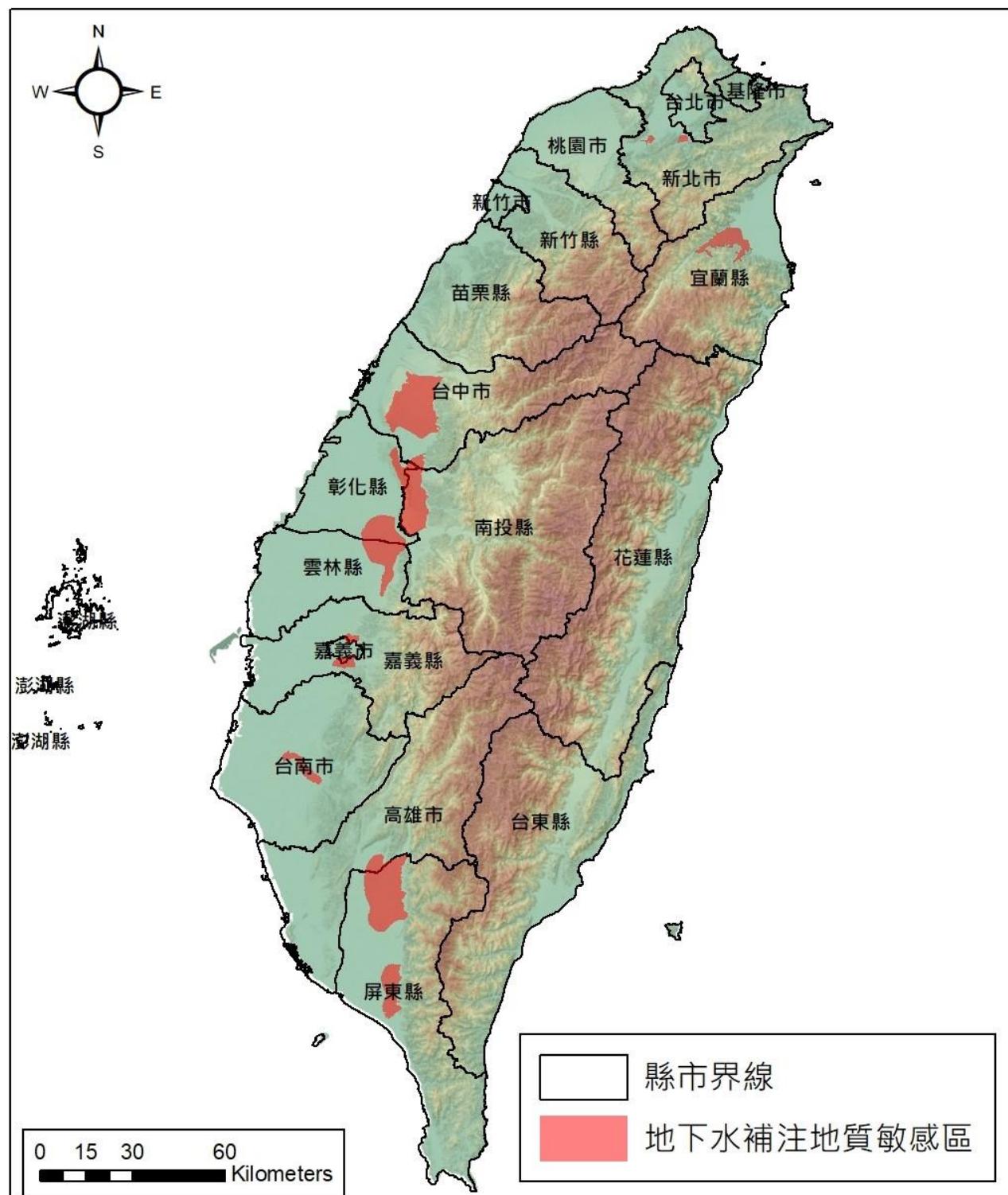
資料來源：經濟部地質調查及礦業管理處，民國 103 年

圖 3-4 濁水溪沖積扇地區水文地質及地下水水流概念模型



資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心，民國 103 年

圖 3-5 地下水補注地質敏感區劃定流程



修改自經濟部地質調查及礦業管理中心「地質雲加值應用平台」

圖 3-6 全臺地下水補注地質敏感區

3.6 次級可補注河段概述

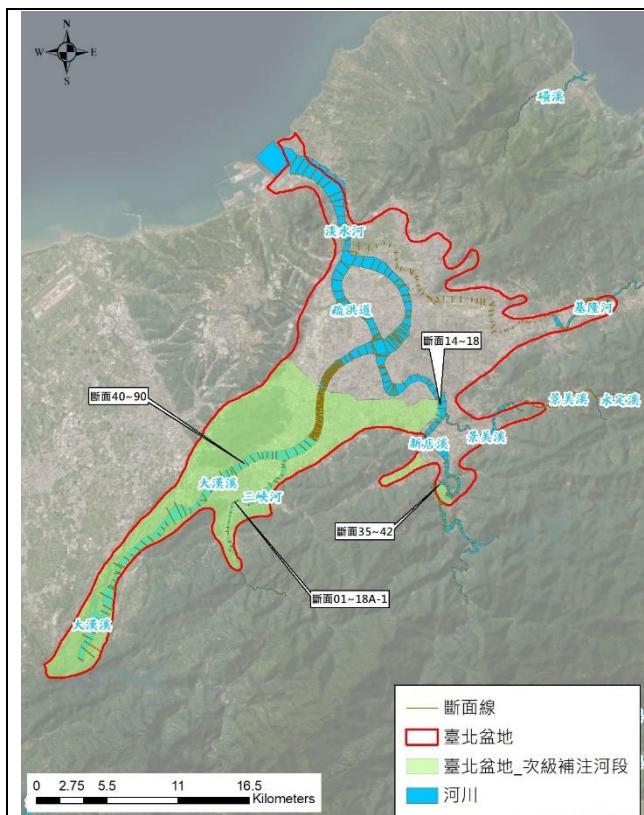
次級可補注河段係指位於地下水補注地質敏感區外，且於非拘限含水層中，地表至地下水水位面之間無明顯低透水性黏土層之區域。其次級可補注河段執行河槽人工地下水補注對於非拘限含水層之地下水資源亦有助益，且未來下游地區可做為伏流水開發潛勢區。

為界定次級可補注河段範圍，本技術手冊利用臺灣本島各地下水區非拘限含水層中，依據每口觀測井近五年(民國 109 年~113 年)平均地下水水位，結合地礦中心地質鑽探成果之距地表最近黏土層所在深度(以黏土層厚度超過 50 公分為原則)，分別繪製地下水水位及黏土層空間分布圖，並套疊於相同地下水區，再進行地下水水位及黏土層深度空間分析。空間分析係假設相同位置之地下水水位高於黏土層，即地表至地下水水位之間無黏土層，則判定為次級可補注河段。依此原則於各地下水區內之中央管河川劃定次級可補注河段，如表 3-2 及圖 3-7。

表 3-2 中央管河川之次級可補注河段

地下水區	河川名稱	斷面範圍	地下水區	河川名稱	斷面範圍
臺北盆地	大漢溪	40~90	蘭陽平原	五十溪	01~12
臺北盆地	三峽河	01~18A-1	蘭陽平原	大湖溪	03-1~08
臺北盆地	新店溪	14~18、35~42	蘭陽平原	蘭陽溪	11~42
桃園中壢臺地	鳳山溪	10~23	蘭陽平原	粗坑溪	01~07
新苗地區	頭前溪	13~32	蘭陽平原	羅東溪	01~17、20~24
新苗地區	中港溪	00~03、16~24	蘭陽平原	安農溪	01~83
新苗地區	後龍溪	13~15、24~53、67~69	花東縱谷	木瓜溪	00~16
新苗地區	雞隆河	01~08	花東縱谷	花蓮溪	00~62
新苗地區	沙河溪	09~14	花東縱谷	荖溪	01~27
新苗地區	打馬溝溪	01~10	花東縱谷	壽豐溪	01~20
新苗地區	汶水溪	00~02	花東縱谷	北清水溪	01~23
台中地區	大安溪	00~52	花東縱谷	鳳林溪	01~19
台中地區	大甲溪	01~35、47~57	花東縱谷	萬里溪	01~22
台中地區	烏溪	16~69	花東縱谷	馬太鞍溪	01~20
台中地區	筏子溪	01~28	花東縱谷	馬佛溪	01~32
台中地區	大里溪	00~08、13~27	花東縱谷	光復溪	00~30
台中地區	旱溪	01~42	花東縱谷	南清水溪	01~08
台中地區	烏牛欄溪	01~04	花東縱谷	富興溪	01~05

地下水區	河川名稱	斷面範圍	地下水區	河川名稱	斷面範圍
台中地區	部子溪	01~03	花東縱谷	大肚滑溪	01~02
台中地區	大坑溪	01~04	花東縱谷	馬遠溪	01~04
台中地區	貓羅溪	01~12	花東縱谷	富源溪	03~23
濁水溪沖積扇	濁水溪	48~88	花東縱谷	阿夜西溪	01~04
濁水溪沖積扇	虎尾溪	01~06、09~13	花東縱谷	紅葉溪	01~11
濁水溪沖積扇	雲林溪	02~09	花東縱谷	苓雅溪	01~05
濁水溪沖積扇	乾溪	07~39	花東縱谷	呂範溪	01~04
濁水溪沖積扇	梅林溪	32~34	花東縱谷	三笠溪	04~17
濁水溪沖積扇	石牛溪	23~70	花東縱谷	豐坪溪	01~29
濁水溪沖積扇	崙子溪	03~29	花東縱谷	中平溪	01~06
濁水溪沖積扇	大湖口溪	59~88	花東縱谷	高寮溪	01~03
濁水溪沖積扇	北港溪	64~75	花東縱谷	樂和溪	01~02
濁水溪沖積扇	三疊溪	01~09	花東縱谷	卓溪	01~09
濁水溪沖積扇	石龜溪	01~09	花東縱谷	樂樂溪	01~10
嘉南平原	牛稠溪	11~15	花東縱谷	阿眉溪	00~05
嘉南平原	濁水溪	01~15	花東縱谷	馬加祿溪	01~05
嘉南平原	清水溪	01~09	花東縱谷	九岸溪	00~08
嘉南平原	八掌溪	16~36、80~84	花東縱谷	崙天溪	00~12
嘉南平原	赤蘭溪	10~77	花東縱谷	打巴溪	01~08
嘉南平原	湧水溪	01~42	花東縱谷	螺仔溪	01~06
嘉南平原	曾文溪	00~13	花東縱谷	鰲溪	01~02
嘉南平原	鹽水溪	00~15	花東縱谷	秀姑巒溪	08~92
嘉南平原	二仁溪	00~04	花東縱谷	卑南溪	01~11、81~101
屏東平原	荖濃溪	00~05	花東縱谷	紅石溪	07~15
屏東平原	高屏溪	32~69、93~99	花東縱谷	崁頂溪	02~06
屏東平原	隘寮溪	117~128	花東縱谷	加鹿溪	04~17
屏東平原	武洛溪	01~05	花東縱谷	加典溪	04~15
屏東平原	東港溪	02~20	花東縱谷	鹿寮溪	01~16
蘭陽平原	宜蘭河	01~35	花東縱谷	鹿鳴溪	01~03
蘭陽平原	大礁溪	04~18	花東縱谷	鹿野溪	03~18
蘭陽平原	小礁溪	06~09			



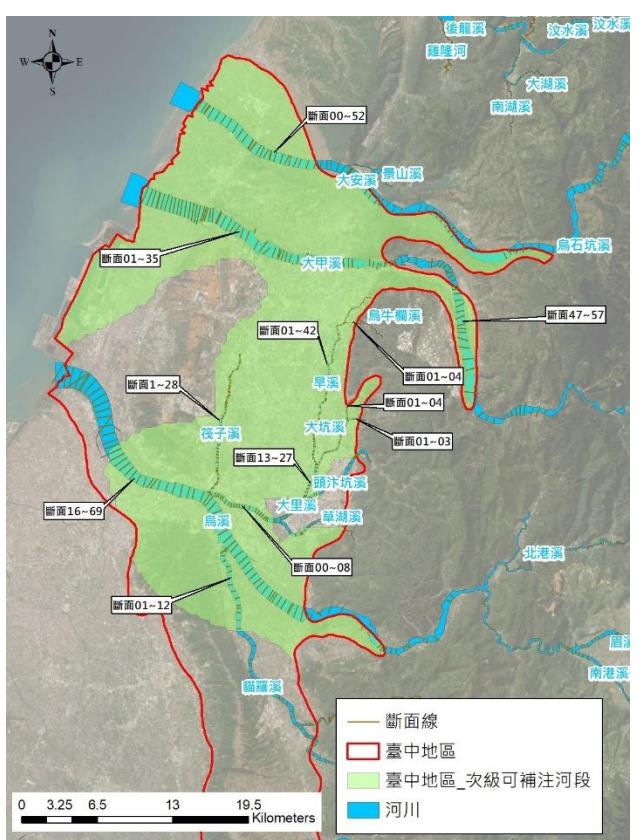
(a) 臺北盆地



(b) 桃園中壢台地



(c) 新苗地區



(d) 臺中地區



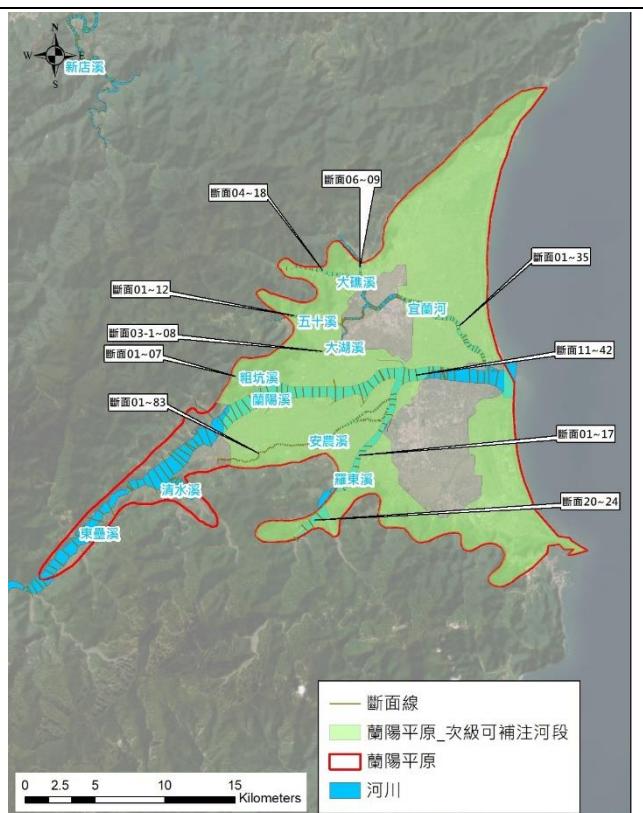
(e) 濁水溪沖積扇



(f) 嘉南平原



(g) 屏東平原



(h) 蘭陽平原

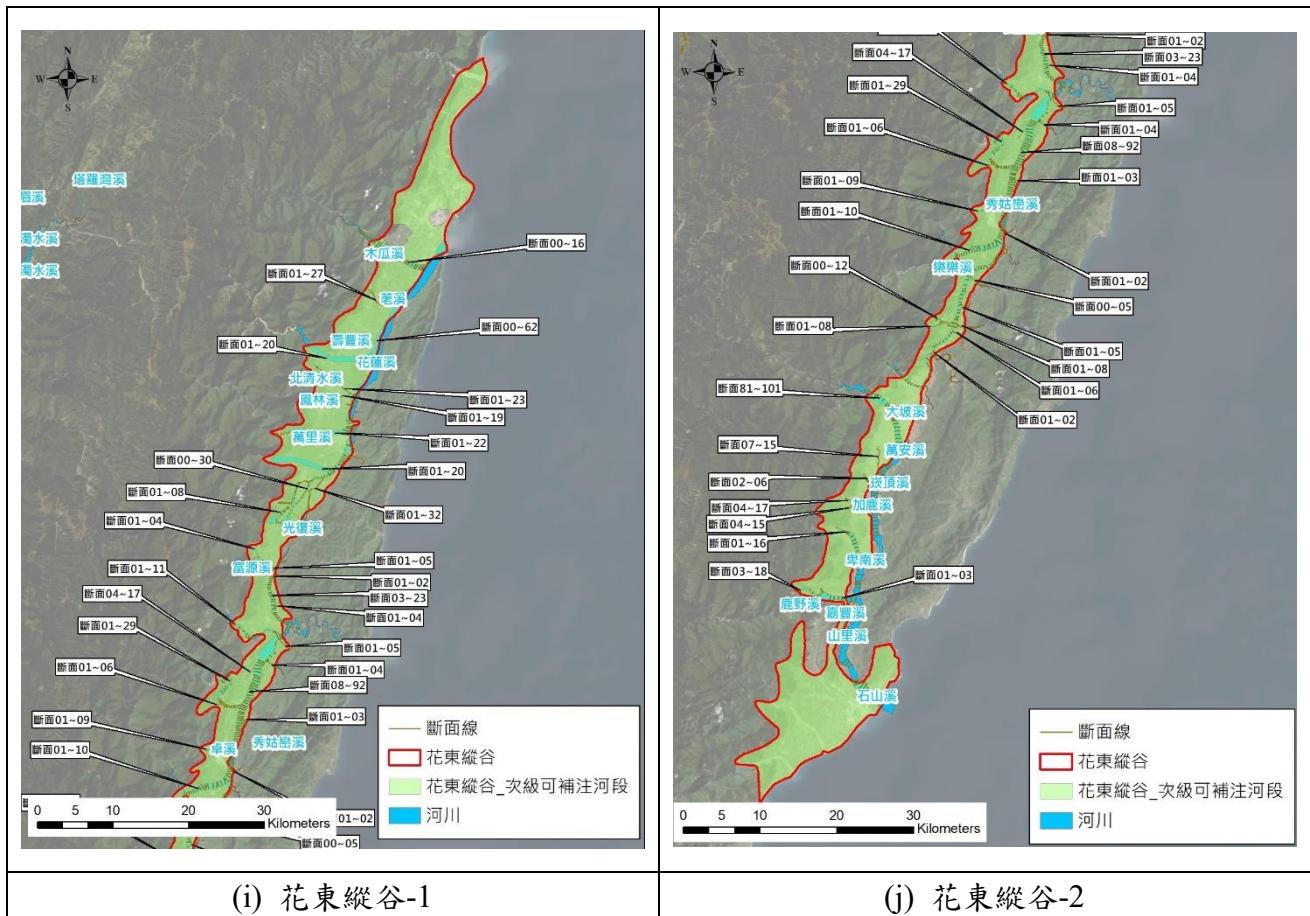


圖 3-7 全臺地下水區次級可補注河段分布

第4章 河槽人工地下水補注概念

4.1 河槽人工地下水補注概述

河槽人工地下水補注係指藉由人為方式增加地表入滲補注，主要係於河道內之灘地利用挖深或堆置簡易土堤方式營造蓄水空間，以進行地下水補注作業。河槽補注設施因設置於河道內，故原則上仍應以防洪為優先考量。

◆ 河槽人工地下水補注

河槽人工地下水補注是指利用地表入滲方式進行地下水補注作業，主要係於河道內的灘地設置補注設施，增加地下水補注量藉以增補地下水資源。由於補注設施位於河道範圍內，其設計與構造不得影響河道原有防洪功能。

◆ 設置範圍

河槽補注設施以「用地範圍線(紅線)」內為主要設置範圍，其用地範圍線係指包括水道預定或已建築之河防建造物或排水設施與水防道路及養護保留使用地與應實施安全管制所及之範圍線，在河川圖籍上常用紅色線表示，故一般俗稱「紅線」。

◆ 補注水源及水質

河槽人工地下水補注之補注水源為天然地面水體，依環境部於民國 108 年 5 月 8 日環署水字第 1080032718 號函，對於天然地面水作為地下水補注之水質限制說明如下：「如引取天然地面水體再以人工方式進行地下水補注，且無涉及混合水污染防治法所定之廢(污)水，則不適用水污染防治法第 32 條規定」。故以河槽設置補注設施方式可直接引用天然地面水體做為補注水源。

另參考環境部「全國環境水質監測資訊網」之河川污染指數(River Pollution Index, RPI)評估河段設置河槽補注設施適宜性，其 RPI 由生化需氧量、溶氧量、氨氮及懸浮固體等 4 項理化水質參數組成，用以根據其數值來對污染程度加以分類，主要分為未(稍)受污染、輕度污染、中度污染及嚴重污染等四級。依據濁水溪及高屏地區河槽補注設施推動經驗，應以未(稍)受污染至中度污染之間的 RPI 分級，以作為河槽補注設施補注水源及水質之評估原則。

◆ 補注方式

河槽人工地下水補注屬於地表入滲補注方法之一，故地表至目標含水層間應存有高滲透性之地質材料(如礫石、砂及砂質壤土等)，且地表土壤亦應具有高滲透性，其他應考慮因素包含：

- (1) 補注區內不應存有滲入或溶入補注水源之不良物質，且不應存有污染團。
- (2) 考量成本下應可獲面積充足之土地，以達到所需補注量。
- (3) 補注區位置之地下水水位應低於補注區底部高程，使地面水可入滲補注至含水層中。

◆ 河槽補注設施

河槽補注設施係指配合河川疏濬、河道整理工程、揚塵抑制與水覆蓋等工程措施於施設時，藉由挖深區域或就地取材，將多餘的土砂堆置成簡易土堤方式營造蓄水空間，增加滯水範圍及減緩水流的速度，促進滯留水源得入滲至下層土壤進而補注含水層，河槽補注設施示意如圖 4-1 所示。

河槽補注設施係為臨時性設施，分為簡易土堤及補注池類型，目前曾實施之河槽補注設施包含彰雲地區濁水溪、石榴班溪與高屏地區荖濃溪、隘寮溪及高屏溪等河槽補注設施，均為配合河川分署或縣市政府河川疏濬作業，藉由引水方式進入既有疏濬挖深區域，以執行河槽補注作業，各地區河槽補注作業情形如圖 4-2 及圖 4-3 所示，考量設置地點及主流的關係，可將河槽補注設施分為離槽式補注設施或在槽式補注設施：

- (1) 離槽式補注設施指將河槽補注設施設置於高灘地上，與主流分離，需透過輸水設施將主流水源引入補注設施內，如圖 4-2(a)。此型式因不直接位於主流中，具有降低颱洪期間補注設施被沖毀風險的優點。
- (2) 在槽式補注設施指河槽補注設施設置於主流範圍，如圖 4-2(b)~(d)，由於位於主流範圍，不需額外輸水設施即可取得主流水源，但相對地，其在颱洪期間遭受沖毀的風險較高。

各地區可因地制宜，採取合適方式實施河槽人工地下水補注，綜合上述，有

關河槽補注設施之優缺點詳如表 4-1。

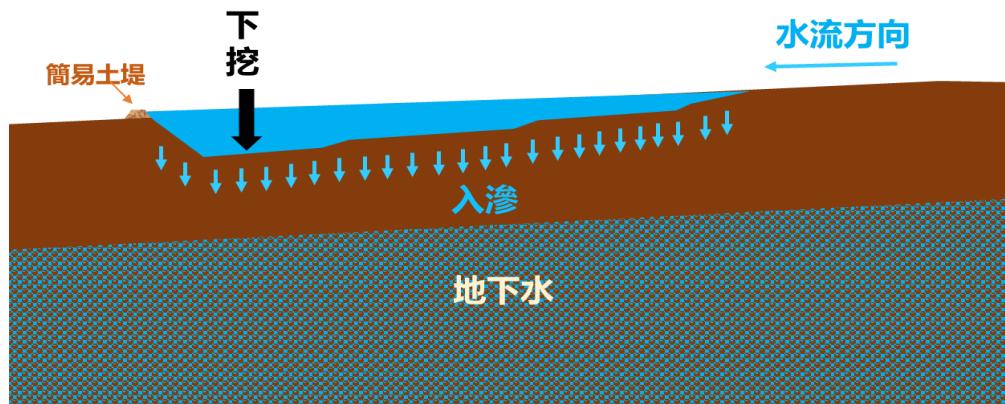


圖 4-1 河槽補注設施示意圖

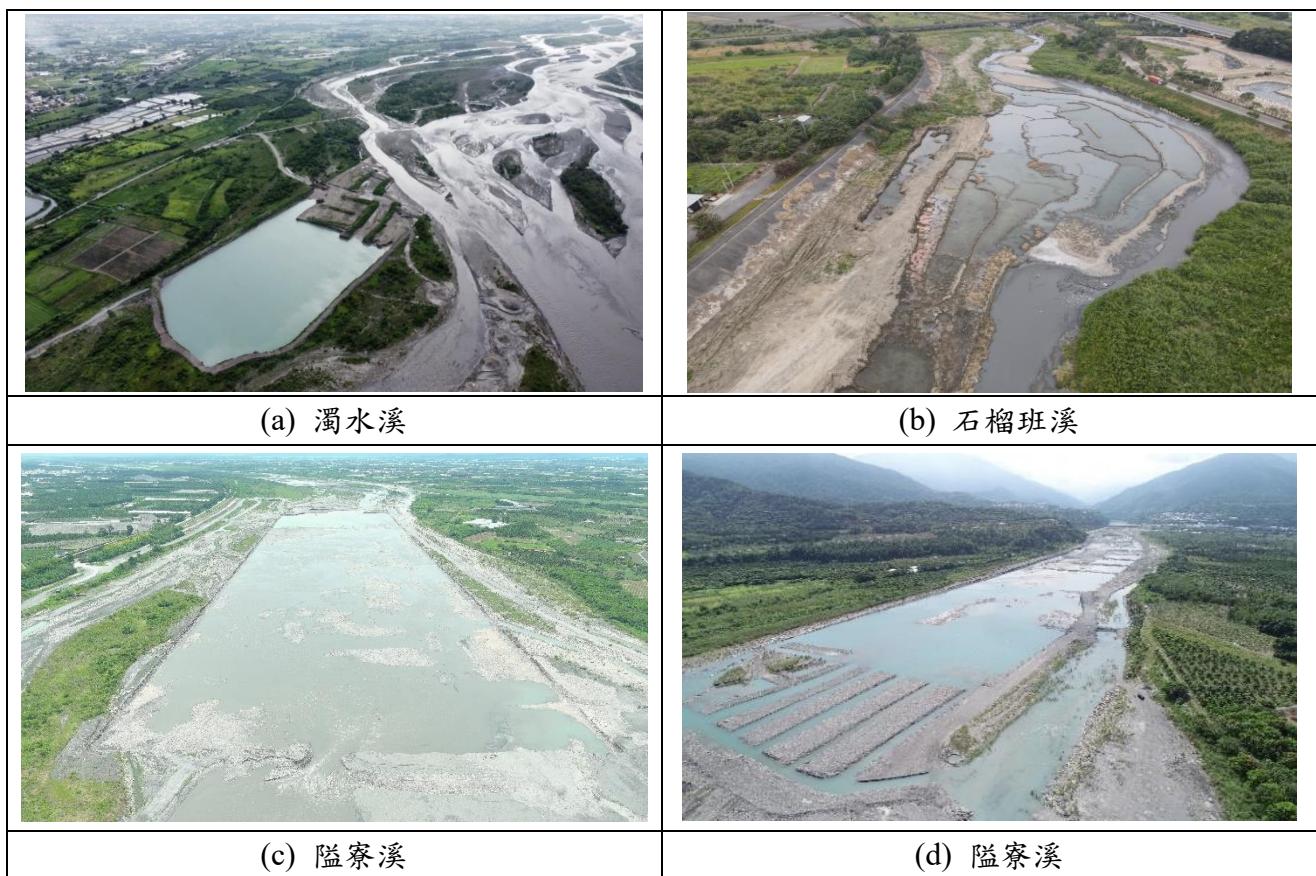


圖 4-2 補注池類型之河槽補注設施



圖 4-3 簡易土堤類型之河槽補注設施

表 4-1 河槽補注設施之優缺點

優點	缺點
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 施工成本低 ✓ 技術要求低，操作簡單 ✓ 補注水源水質預處理需求低 ✓ 補注水流經非飽和層有水質淨化效果 	<ul style="list-style-type: none"> ● 需要大面積土地 ● 需設置監測設施以確認補注水源可到達含水層 ● 隨操作時間增長，入滲率將大幅下降，維護作業需更頻繁

4.2 相關地下水補注法規

我國與地下水補注相關之法規包含水利法、水污染防治法及土壤處理標準等。河槽補注設施係採用簡易土堤或蓄水池等臨時性補注設施，並藉由此等設施延長河道內地面水的滯留時間，進而提高入滲補注量。由於河槽補注設施並未直接取水使用，亦不涉及興辦水利事業之法規，因此無需申請相關水權。然而，若河槽補注工程中包含進出水渠道、地下水觀測井等固定式設施，則需依相關規定申請水利建造物。此外，河槽人工地下水補注之補注水源引用天然地面水，依環境部函文內容不涉及水污染防治法及土壤處理標準等水質法規。

第5章 河槽補注設施規劃設計

河槽補注設施規劃設計步驟包含資料蒐集、區位挑選及設施規劃設計等，因補注區位分為配合河川疏濬及加強補注措施兩類，其中加強補注措施係指由水利署或其他單位提供可能適宜地點，以強化該區位之地下水補注量能。倘若補注設施係屬配合河川疏濬、河道整理工程、揚塵抑制或水覆蓋等措施所施設，則該設施應由河川分署進行規劃設計；如屬於加強補注措施，如引水地點及最終補注設施設置點位，則應由水利署進行評估規劃，並將補注設施區域範圍及補注設施規劃原則提供予河川分署或縣市政府等單位，再由河川分署及縣市政府進行相關細部規劃設計。

5.1 資料蒐集

欲評估及規劃河槽人工地下水補注方案，需配合資料蒐集及彙整作業，始可確認方案之可行性。

河槽人工地下水補注資料蒐集工作應包含規劃及場址調查，各階段資料蒐集檢核表如表 5-1 所示。

規劃階段蒐集資料時應著重於相關法律規定及相關技術參數，如流量歷線、河相歷史、水文地質、含水層水平及垂直滲透性、周邊地下水水位及含水層厚度等參數。另，利用所蒐集資料評估地下水補注地質敏感區、河川水質及水資源供應現況等。

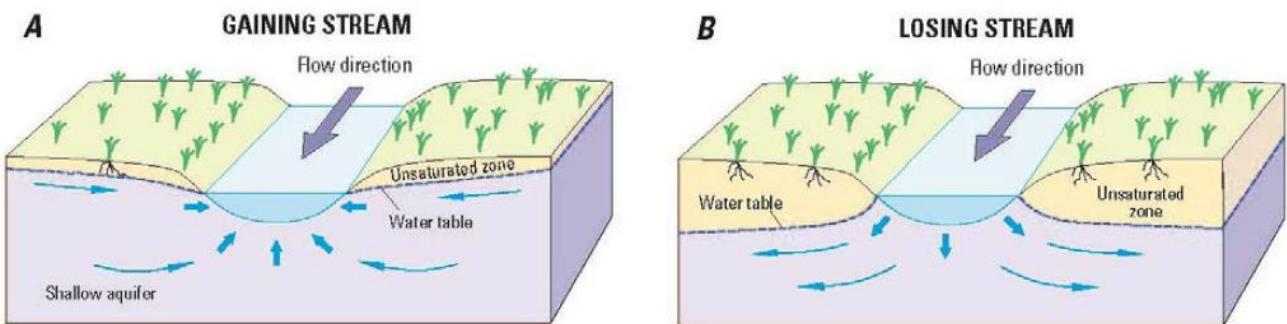
場址調查階段為降低評估方案之不確定性，視需求擇定必要項目進行現地勘查、地質探測、入滲試驗或抽水試驗等補充調查工作，亦可增加小型模場試驗，如已具有充足且可信之資料可供建置數值模型時，可進行資料敏感度分析、確定資料蒐集之優先順序及評估方案成效等。

河槽人工地下水補注於規劃階段應蒐集設置區位河段之河相歷史以釐清設置區位河段為得水河川(gaining river) 或為失水河川(losing river)，如圖 5-1 所示，得水河川或失水河川評估方式可參考相關研究計畫成果取得資料，或依據河川斷面及地下水水位高程資料評估，評估成果如圖 5-2(a)所示，當地下水水位高於河川斷

面，稱為得水河川；圖 5-2(b)顯示地下水水位遠低於河川斷面，故為失水河川。綜合上述，河槽人工地下水補注方案應擇定於失水河川區段設置補注設施。

表 5-1 河槽人工地下水補注資料蒐集檢核表

河槽補注設置	資料蒐集項目	執行機關
規劃階段	<input type="checkbox"/> 流量歷線、 <input type="checkbox"/> 河相歷史、 <input type="checkbox"/> 水文地質、 <input type="checkbox"/> 含水層水平及垂直滲透性、 <input type="checkbox"/> 周邊地下水水位、 <input type="checkbox"/> 含水層厚度	水利署
	<input type="checkbox"/> 地下水補注地質敏感區、 <input type="checkbox"/> 河川水質、 <input type="checkbox"/> 水資源供應現況	河川分署
場址調查階段	限縮於規劃階段所選定之場址範圍，進行相關試驗： <input type="checkbox"/> 現地勘查、 <input type="checkbox"/> 地質探測、 <input type="checkbox"/> 入滲試驗、 <input type="checkbox"/> 抽水試驗、 <input type="checkbox"/> 模擬試驗、 <input type="checkbox"/> 數值模式	水利署



資料來源：Winter (1998)

圖 5-1 得水河川及失水河川示意圖

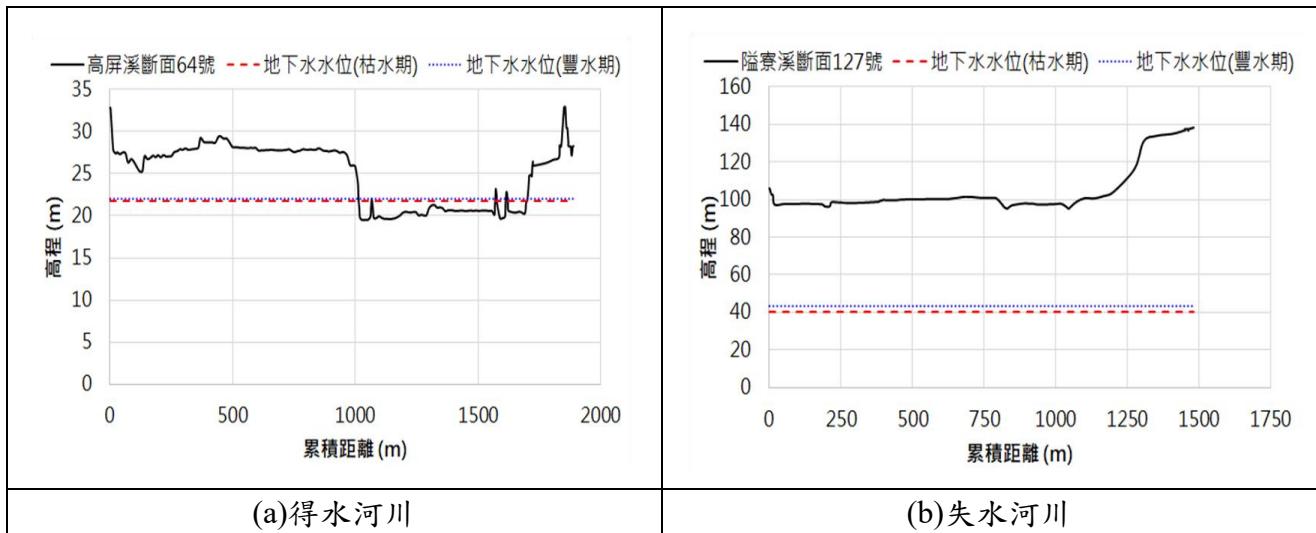


圖 5-2 河川斷面與地下水水位關係示意圖

上述資料蒐集工作，除利用現地調查外，河槽人工地下水補注區位周邊地面及地下水之水文資料可透過水利署「水文資訊網」蒐集，評估適宜河槽人工地下水補注區位可參考地礦中心公告之地下水補注地質敏感區進行初步規劃。另，環境部於中央管河川與地下水皆有例行性水質監測資料，篩選河槽人工地下水補注區時，應考量預定補注水源之河川水質及其周邊地下水水質，再依據 RPI 分類進行評估，其相關水質資料可於環境部「全國環境水質監測資訊網」查詢。

5.2 初步評估

在規劃階段若存在大量潛在場址，可採取二階段評估程序，依序為「初步評估」與「細部評估」。初步評估之目的在於迅速篩選適宜區位，通常以相對簡單且易於應用的標準作為基礎，用以確認並篩選潛在區位。

含水層水文地質特性、補注水源及水質為初步評估階段之重點資訊，因此應以地下水補注地質敏感區或次級可補注河段列為優先挑選目標並依據潛在補注區位，依表 5-2 初步評估準則檢核並篩選，如檢核結果均為「是」，表示該區位為適宜區位；而如出現「否」時，該區位則應予以排除或進入第二階段之細部評估，評估準則各項說明如下：

1. 地下水補注地質敏感區或次級可補注河段：可利用水利署「地層下陷監測資訊整合服務系統」查詢地下水補注地質敏感區範圍或前 3.6 節查詢中央管河川次級可補注河段。
2. 補注水源：河槽補注設施之補注水源主要來自河川，於初步評估階段應考量補注水源水量、下游水權人水權量及生態基流量等，避免產生用水競合或影響河川生態之情形。
3. 補注水源水質：參考環境部「全國環境水質監測資訊網」之 RPI，評估河槽補注水源適宜性，建議選擇未(稍)受污染至中度污染之河段為宜。
4. 執行河槽補注方案應具有規劃、建造及營運之能力。

表 5-2 河槽補注設施初步評估準則檢核表

項次	檢核項目	檢核結果
1	位於地下水補注地質敏感區或次級可補注河段	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
2	具有足夠補注水源	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
3	具有合適水質進行補注	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
4	具有規劃、建造及營運河槽人工地下水補注方案之能力	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

5.3 細部評估

初步評估篩選後，如未屬潛在區位，應視該區位之特性，得進行細部評估，於細部評估階段應採量化方式進行適宜區位之篩選。

細部評估應依據蒐集之背景資料，配合河槽人工地下水補注場址評分標準(表 5-3)，以進行量化評分，進而篩選適宜區位。河槽人工地下水補注潛在場址於細部評估時，其評估標準可能涵蓋多種層面，而各層面可能具有不同重要性，如出現此狀況則應對不同標準項目分配加權係數，權重愈大代表該項標準愈重要，如訂定各項標準給分的情況一樣，確定加權係數之程序亦透過專業判斷及納入利害關係人之建議，而為一滾動調整之程序。

當各項標準給分及加權係數均確定，即可就各河槽人工地下水補注潛在場址評估給分，再將分數乘上加權係數加總，以獲各河槽人工地下水補注潛在場址總分。而後，再依總分排序，即可得知各潛在區位具推動可行性之高低程度。表 5-3 為河槽人工地下水補注場址評估標準評分表示例，可依據各挑選補注區位進行優劣排序，再決定是否進行設置，建議以總評分百分比為 60%以上之場址始納入排序。此評分表僅適用於評估河槽人工地下水補注適宜區位，於細部評估過程參考之用，如河槽地下水補注方案具有其獨特性，則應就其目標訂定合宜之評分標準。評分標準項目說明如下：

1. 水文地質適宜性：參考鄰近該地區水利署地下水觀測井基本資料表之透水係數。
2. 含水層儲蓄能力：依據該地區地表高程與地下水水位高程差，乘上比出水量及面積，之後再除以面積，即為含水層儲蓄能力。

3. 河相歷史：分析整年度該河段之地下水水位低於河槽底床高程(失水河川)天數，即為可供入滲補注天數。
4. 補注水源：參考水利署水文年報資料，評估該河段上游監測站之水位及流量監測資料，分析其整年度可供河槽補注之水源天數。
5. 補注水源水質：與 5.2 節初步評估的第三項補注水源水質相同方法。
6. 生態衝擊：可參考農業部林業及自然保育署「生態調查資料庫系統」查詢該河段是否存在瀕危物種。

表 5-3 河槽人工地下水補注場址評分標準

評估標準	標準描述	評分準則									
		高			中				低		
		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
一、水文地質特性											
1. 水文地質適宜性	依據含水層透水係數 (K, m/day)	>100	100-55	54-10	9.99-7.75	7.74-5.50	5.49-3.25	3.24-1.00	0.99-0.50	0.49-0.10	<0.1
2. 含水層儲蓄能力	可用於儲蓄之空間(m ³ /m ²)	>1	1-0.81	0.8-0.61	0.6-0.41	0.4-0.31	0.3-0.21	0.2-0.11	0.1-0.05	0.04-0.01	<0.01
二、環境因素											
3. 河相歷史	地下水水位低於河槽底部天數，即可供入滲補注天數(day)	>310	310-255	255-200	200-165	165-130	130-95	95-60	60-40	40-20	<20
4. 補注水源	每年可運用天數(day)	>310	310-255	255-200	200-165	165-130	130-95	95-60	60-40	40-20	<20
5. 補注水源水質	依據 RPI 評估污染指數區間值	未(稍)受污染			輕度污染		中度污染		嚴重污染		
		0-0.6	0.7-1.2	1.3-2.0	2.1-2.5	2.6-3.0	3.1-4.5	4.6-6.0	6.1-7.3	7.4-8.6	8.7-10
6. 生態衝擊	是否存在瀕危物種	小範圍存有瀕危物種			部份區域存有瀕危物種				大範圍存有瀕危物種		

資料來源：修改自 CWCB (2007)

5.4 現地調查

區位經篩選後，需進行現地調查作業，包含現地勘查及試驗等，目的在於釐清該區位於水文地質、環境因素及實施執行所需考量之具體課題，進而確認該區位之可行性。

現場勘查及試驗項目得依據預設補注設施地點之水文地質資料完整性，根據各別區位需求擇定執行項目，現地調查項目如下：

1. 現地勘查：確認預設補注設施區位之現場環境實際狀況。
2. 地球物理探測：確認預設補注設施區位之地質分布及含水層深度。其中，含水層幾何分佈及側向延伸可利用地表或地表下地球物理探測方法探測，亦可進一步配合地質鑽探，則可清楚描述含水層三維空間分佈狀況及可能基盤深度。宜留意於判讀地質探測資料時，應充份配合其他調查成果共同比對，並由具經驗之地質專業人員進行，以確保資料判讀的正確性。表 5-4 及表 5-5 分別為常見之地表及地表下地球物理探測方法。

表 5-4 常見地表地球物理探測方法

方法名稱	量測或推估物理量	評估用途
時間域或頻率域電磁探測法(Frequency-domain and time-domain electromagnetic induction)	隨深度地層變化	大範圍定義含水層及阻水層側向及垂向邊界
伽馬射線光譜法(Gamma ray spectrometry)	量測放射性物質[如鉀(K)、鈾(U)及鈻(Th)]是否存在	描繪了大面積沉積環境的變化，有助於呈現區域地層特性
震波反射或折射法(Seismic refraction and reflection)	測量地質材料震波速度變化	判斷基岩及阻水層深度
微重力探測法(Microgravity)	測量由近地表地質材料密度變化引起的重力加速度變化	定義基岩表面的幾何形狀或是否存在斷層
可控源音頻大地電磁探測法(Controlled-source audio frequency magnetotellurics, CSAMT)	鑑別沖積層或基岩中的導電帶及電阻帶	描繪黏土層及地下水分佈圖
透地電達(Ground-penetrating radar)	鑑別淺層地層雷達反射行為	定義地層及地質結構
地電阻影像剖面探測(Electrical resistivity tomography, ERT)	利用不同介質電阻率推估地表下地質分布	描繪二維或三維地質分布

表 5-5 常見地表下地球物理探測方法

方法名稱	量測或推估物理量	評估用途
自然電位井測(Spontaneous potential)	測量鑽孔深度與地面接地面電壓之間的電位	鑑別粗顆粒層與細顆粒層；地層厚度；地下水水質相對變化
電阻率井測(Normal and/or lateral resistivity)	測量流過地層電流的電阻率	劃定地層並確定地層厚度；鑑別含水層
自然伽馬井測(Natural gamma ray)	測量地層中-40，鈾-238 和鈈-232 礦物發出的自然輻射	鑑別砂岩和黏土土層；測量土層的厚度
中子井測(Neutron)	測量中子源與傳感器之間的中子散射	確定土層的相對孔隙度；地層的含水量
伽馬-伽馬密度井測(Gamma-gamma density)	測量誘導伽馬射線的吸收率	測量地層材料的密度
震波井測法(Sonic logs)	測量聲波速度	鑑別固結土層及黏土層；固結土層中裂隙及裂縫密度
孔內聲波及光學造影儀探測(Acoustic and optical televiewer logs)	使用聲反射或光學儀器提供鑽孔壁的可視化圖像	鑑別地層、裂縫密度和方向
溫度井測(Temperature logs)	水溫	確定垂直水力梯度、裂隙及土層變化
流速儀井測(Flowmeter logs)	測量含水層流入或流出相對流量	確定井下的流量分佈

3. 入滲試驗：評估預設補注設施區位地表入滲能力，經試驗結果推估垂向透水係數，釐清該區位水文地質適宜性，且作為後續 8.2 節利用達西公式推估補注量之相關參數。常見入滲試驗包含雙環入滲試驗、入滲坑試驗及定水頭試驗等，各試驗適用範圍、優勢及限制如表 5-6 所示。依據濁水溪河槽補注設施推動經驗，現地調查常使用雙環入滲試驗，試驗步驟詳如附錄二。另，初步評估預設補注設施，尚未進行相關試驗時，亦可參考不同土壤所對應的入滲係數(CIRIA, 2015)，如表 5-7。

表 5-6 常見入滲試驗方法

試驗方法	適用範圍	優勢	限制
雙環入滲	土壤表層	減少水平滲流影響	需較多水量
入滲坑	大面積土壤表層	反映整體入滲能力	受蒸發影響
定水頭	高滲透性土壤	快速準確	需實驗設備，非現場試驗

表 5-7 入滲係數參考值

土壤質地	入滲係數(m/s)
礫石 (Gravel)	$3 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-2}$
砂 (Sand)	$1 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5}$
壤質砂土 (Loamy sand)	$1 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-5}$
砂質壤土 (Sandy loam)	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-5}$
壤土 (Loam)	$1 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-6}$
粉質壤土 (Silt loam)	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-5}$
砂質黏壤土 (Sandy clay loam)	$3 \times 10^{-10} \sim 3 \times 10^{-7}$
粉質黏壤土 (Silty clay loam)	$1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-6}$

資料來源：CIRIA (2015)

4. 抽水試驗：評估預設補注設施區位含水層之地下水流動速度，抽水試驗步驟詳如附錄三，經試驗結果推估含水層水平方向透水係數，釐清其水文地質適宜性，亦可估算補注水源停留含水層時間。
5. 模場試驗：預設補注設施區位，可透過建置小型模場進行地下水補注試驗，以評估該區位補注設施地下水補注成效，作為後續實際設置補注設施之參考依據。
6. 數值模式：預設補注設施區位於規劃或設計階段，可利用數值模式評估地下水補注方案之成效，針對地表入滲補注設施操作後之水丘高度及對於鄰近地區之影響。此外，數值模式亦可模擬天然補注量及人工補注量之多寡與差異。依據含水層材料成份及補注水源水質狀況所建立之數值模式，可評估水質變化及阻塞可能性，決定所應設置之預處理設施及程序。模型設計可依據所蒐集之數據資料種類多寡進行設置，由大尺度模型(地下水區)確認大範圍地下水流場整體流向，再縮小至預設補注設施區位周邊小尺度模型，以評析預設補注設施區位周邊補注成效。數值模式工具可參考 MODFLOW，該數值模式為美國地質調查所 (United States Geological Survey, USGS) 發展之有限差分三維飽和地下水數值模式，可評估地下水補注成效。

5.5 補注設施規劃設計要項

河槽補注設施規劃設計之要項包含區位規模、設置地點及設置方式。

河槽補注設施於設計應考量下列事項：

1. 設置河槽補注設施以不違反疏濬工程防洪目的為原則。
2. 補注區位規模可依照已規劃之河川疏濬、河道整理、揚塵抑制與水覆蓋等措施之範圍為原則，或採目標補注量推估，利用達西公式($R = k \times A$)推估所需補注面積。舉例來說，如以每年目標補注量為 600 萬立方公尺，該區位每日平均入滲率為 0.233 公尺及操作時間為枯水期 6 個月，且保守估計蓄水面積可達 50 %，則推估補注面積需達 286,123 平方公尺(約 28.6 公頃)以上。
3. 依據河川管理辦法第 41 條規定，河槽補注設施應距離堤防堤腳、防洪牆、護岸或堤防附屬建造物等 80 公尺以上，以確保防洪設施安全。
4. 補注設施設計時應考量主河道需維持生態基流量。

參考相關文獻資料(Tennant, 1976)，維持生態機能之最低河川生態基流量至少須維持原河道年平均日流量之 10 %，而若要維護一個契合生態環境之棲地條件，則需年平均流量之 30 % 之生態基流量。

5. 補注設施設置地點應以河道彎曲的非攻擊面為原則，以降低河槽補注設施被毀損機率。
6. 輸水設施設計：河槽補注設施屬臨時性設施，常於颱洪期間遭受沖毀，因此輸水設施宜以簡易之進、出流渠道為主，以降低建置及維護成本。依據濁水溪及高屏地區以往推動經驗，簡易進出流渠道多採堆填土石渠道方式引水，亦可配合疏濬工程挖方深度加以調整，使地面水由上游進流渠道流入補注設施，多餘水量則透過出流渠道流回主河道。進出流渠道之尺寸設計，可採曼寧公式推估進出渠道流量，如下式：

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S_o^{1/2} \quad (\text{式 5-1})$$

其中， Q 為流量(L^3/T)； A 為通水斷面積(L^2)； n 為曼寧粗糙度($L^{1/6}$)，可參考民國 106 年發表之水土保持手冊擇定； R 為水力半徑($= A/P$ ； L)； P 為潤周長(L)； S_o 為底床坡度(無單位)。

假設渠道寬度 2 公尺，曼寧粗糙度(n)採 0.025，利用曼寧公式分析不同底床坡度下之水深對流量之關係，如圖 5-3 所示。

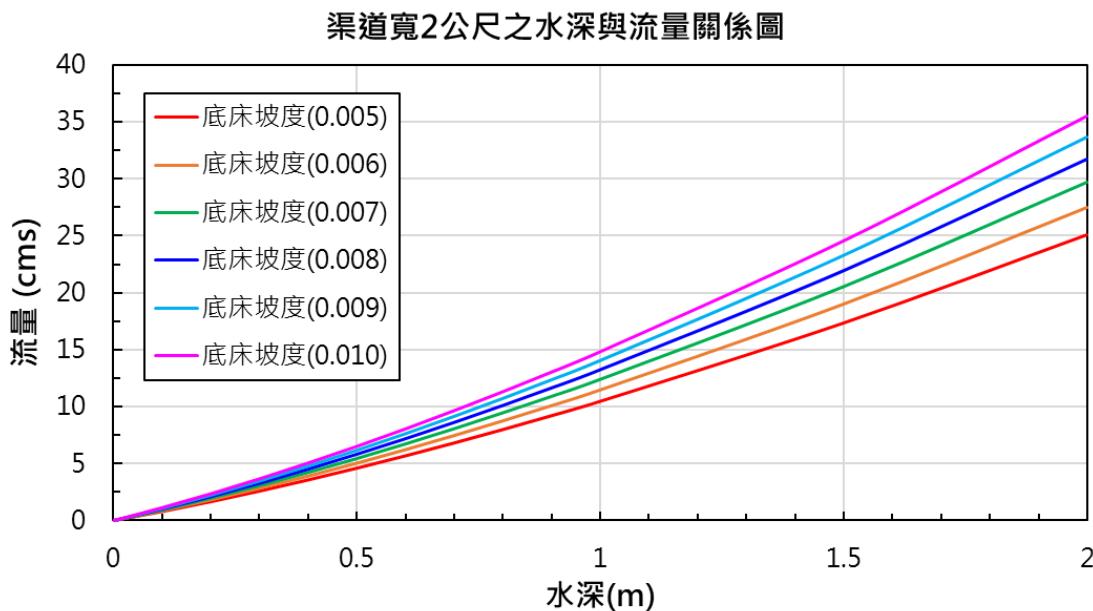


圖 5-3 不同底床坡度之水深與流量關係圖

7. 河槽補注設施設計：依據濁水溪及高屏地區以往推動經驗，多採用補注池或簡易土堤方式進行設置河槽補注設施，二類設施適用時機及其設計應注意事項，詳述如下：

(1) 補注池：適用時機為配合疏濬工程、河道整理、揚塵抑制與水覆蓋等措施之開挖作業，利用所挖深之蓄水空間設置補注池。若以補注池方式設置，需以疏濬所需總土方量為主，進行補注池深度及面積規劃，而補注池底部坡度則需要依據現場河段條件進行設計，參考濁水溪河槽補注區及高屏地區河槽補注之推動經驗，其補注池之池底坡度比例多介於 0.5 % ~ 0.9 %，坡度越平緩可增加蓄積水量及滯留時間。補注池設計範例如圖 5-4、圖 5-5 及圖 5-6 所示。

(2) 簡易土堤：適用時機於欲設置補注設施之河段無疏濬工程時，則可採

用簡易土堤攔蓄地面水，以增加蓄水面積及滯留時間。設置地點以鄰近主河道為原則，可降低引水工程施作成本，依據濁水溪歷年設置土堤推動成果，設置土堤高度介於 1 公尺至 2 公尺，其土堤高度應視現場環境條件及需求調整，如河段平均坡度越陡，設置土堤高度宜提高，才確保充足之蓄水面積。亦可採分段蓄水方式設置土堤以降低土堤高度，藉以增加地面水攔蓄面積。土堤材料可利用鄰近之河床粒料堆置，鄰近主河道土堤宜設置出流渠道，使多餘水源回流至主河道。圖 5-7 為不同底床坡度下蓄水深度與單位寬度蓄水體積關係圖，以簡易土堤寬度 10 公尺、高度 1.5 公尺、底床坡度為 0.005、蓄水深度 1 公尺為例，依據圖 5-7 可推估單位寬度之蓄水體積為 100 立方公尺，再乘上土堤寬度 10 公尺，即可推估蓄水體積為 1,000 萬立方公尺。

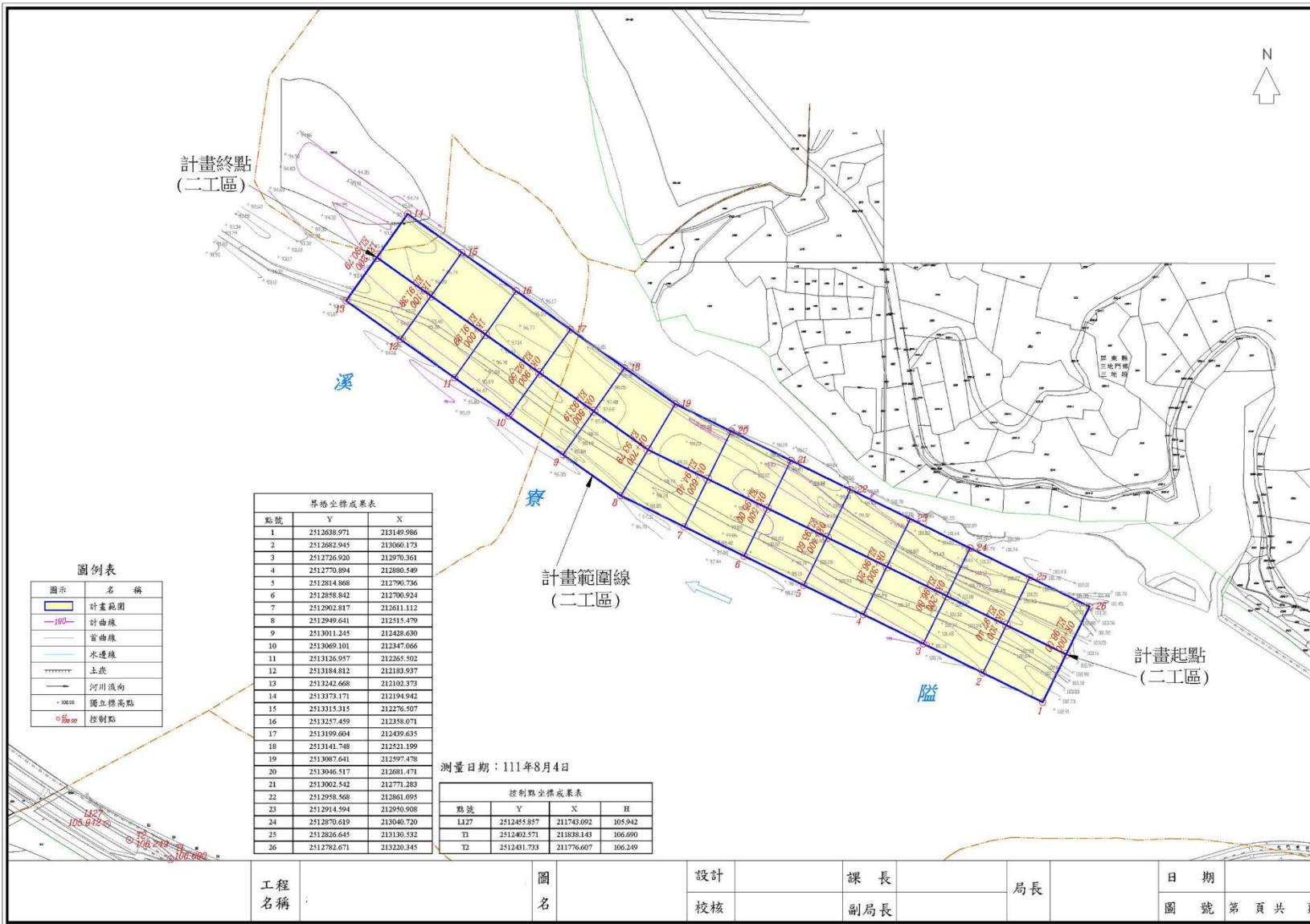


圖 5-4 補注設施設計平面圖

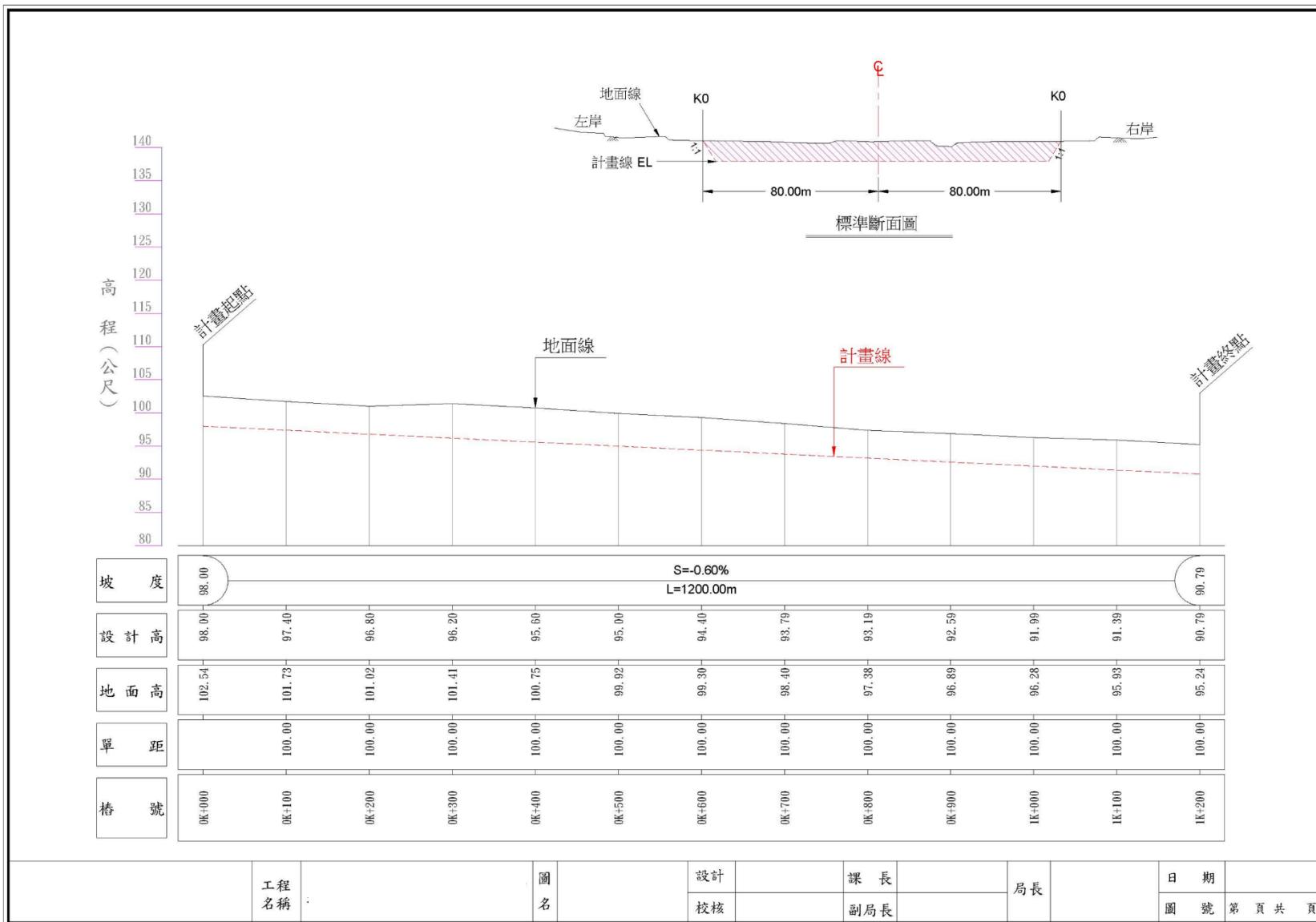


圖 5-5 補注設施施工縱斷面示意圖

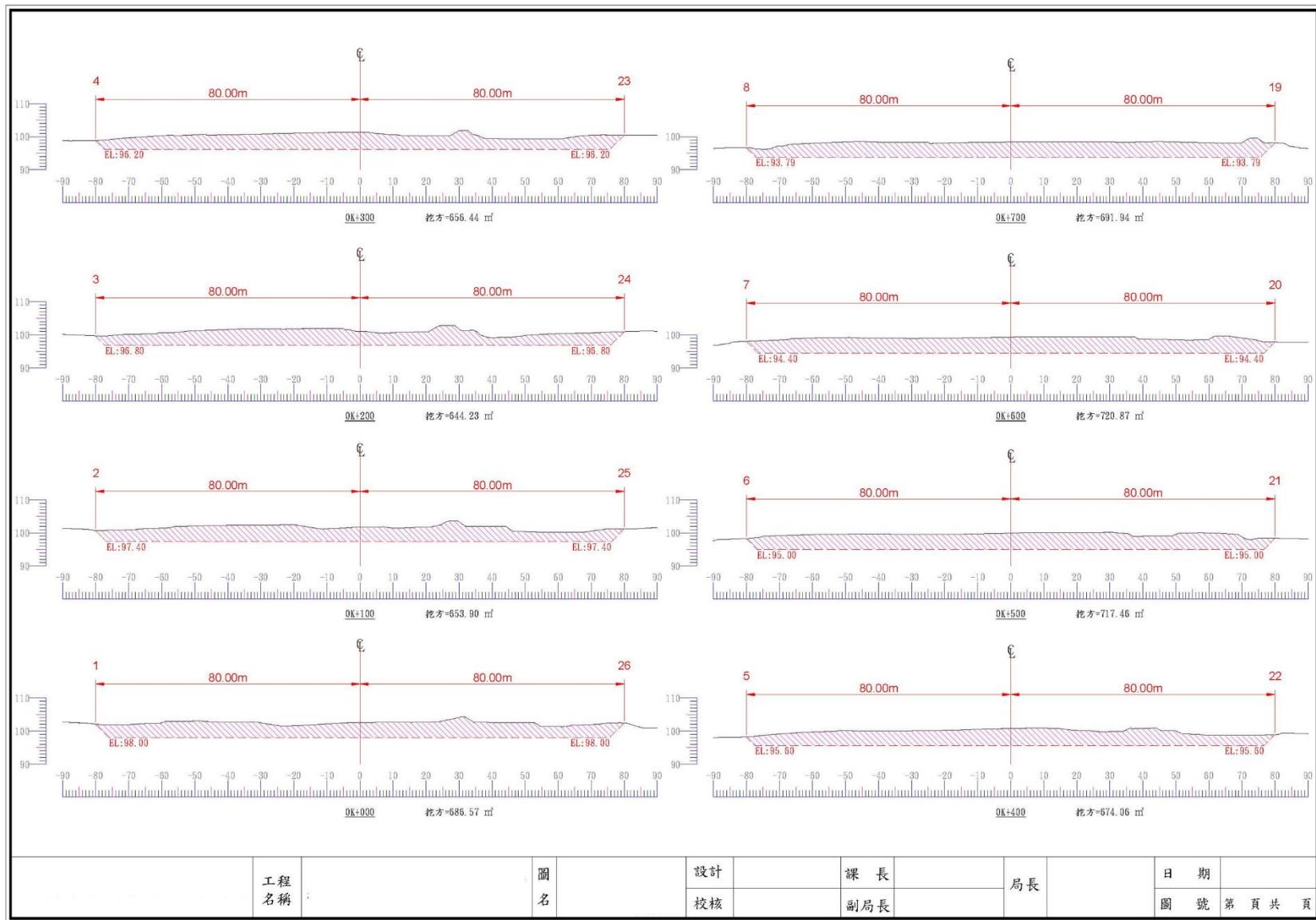


圖 5-6 補注設施施工橫斷面示意圖

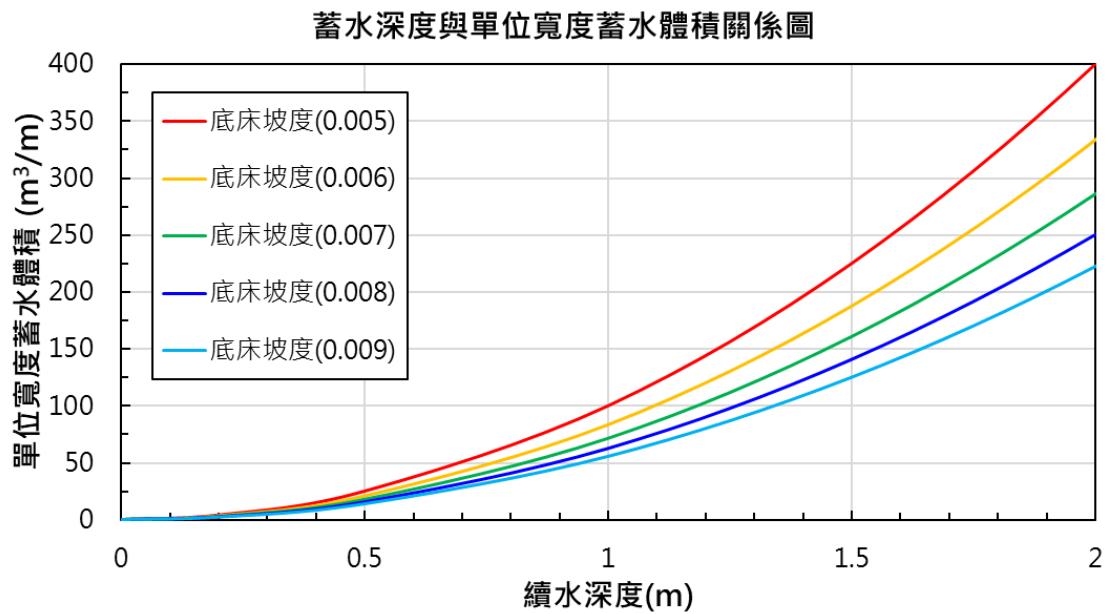


圖 5-7 不同底床坡度之蓄水深度與單位寬度蓄水體積關係圖

5.6 設計結果

設計階段需產出預計補注量、補注設施規模、成本、施工進度表及避免水權競合之管理措施。

河槽補注設施規劃計畫書格式如附錄四，河槽補注設施之最終設計文件應包含下列內容：

1. 目標補注量
2. 河槽補注設施範圍
3. 河槽補注設施及其附屬設施之類型、尺寸、位置及間距等
4. 全數設施之單位成本及總成本，包含操作及維護費用
5. 施工進度表
6. 避免水權競合之管理措施
7. 環境影響說明

第 6 章 河槽補注設施設置

河槽補注設施設置由各河川分署及縣市政府執行，補注設施設置需依據前述所產出之設計文件進行，並考量設置地點的環境條件採離槽式或在槽式補注設施，如圖 6-1 為離槽式補注池型式的河槽補注設施平面配置範例。



圖 6-1 河槽補注設施平面配置範例

6.1 輸水設施

河槽補注設施可採用堆置簡易土石渠道或挖深渠道方式進行引水，進出流渠道應平整並壓實，以減少坍塌並利於後續量測。

輸水設施除設計階段需考量水力條件外，於現場設置亦攸關補注設施之運作成效。現場配置宜依據地形、河道特性及補注設施位置綜合考量，並兼顧施工便利性與維護管理需求，圖 6-2 為高屏地區之隘寮溪進出流渠道設置現場照片，進出流渠道之現場設置要點說明如下：

1. 以土石堆或挖深方式形成臨時進出流渠道，其結構應簡單，並可於洪水後快速修復。
2. 進流渠道應位於補注設施上游側，縮短水路並確保高程落差足以維持重力引水。
3. 渠道線型宜避免急彎，以減少沖蝕與淤積風險。
4. 出流渠道則設於補注設施下游側，應確保可順利流回主河道。

5. 出口方向需避免直沖堤岸或河槽，宜順勢導回主河道，以維持穩定性。



(a) 簡易進流渠道



(b) 簡易出流渠道

圖 6-2 河槽補注設施之進出流渠道

6.2 補注池設置

河槽補注設施之補注池應依河道地形設計，其補注池坡度大致介於 0.5 % ~ 0.9 %，可採序列補注池或增設臨時簡易土堤延長滯水時間。

補注池設置規模及尺寸需依據河防安全需求、疏濬面積及河道地形變化等因地制宜調整，圖 6-3 為補注池設置現地施工情況。因採河川水進行補注作業，故其懸浮質沉澱阻塞將降低補注池之補注成效，故如於現地條件及施工量能許可下，可考量設置序列式補注池或於補注池下游側增設簡易土堤以提高滯水時間，延長滯留時間，增加地下水補注量。



(a) 補注設施施工中



(b) 補注設施完工

圖 6-3 補注設施之補注池設置過程

第7章 河槽補注設施營運及維護

補注設施營運及維護包含設施操作監測、設施操作維護以及土堤與補注池維護，其中設施操作監測、設施維護作業由水利署負責執行，而土堤及補注池維護由河川分署與縣市政府執行。

7.1 設施管理原則

河槽補注設施管理涉及利用設施將補注水源引導至補注池，以促進地下水補注的過程。這些設施的管理需要兼顧設施操作監測及操作維護等項目。

設施管理需進行各項設施之監測及維護，如氣象水文、地面水文及地下水監測設施，其各項監測項目如表 7-1 所示，各別補注設施需視其特性及後續補注量推估方法，擇定合宜之監測設備，以獲取所需之資訊。

表 7-1 地下水補注設施管理項目

設施管理項目	執行機關
一、氣象水文監測	水利署
1. 雨量監測設施	
2. 蒸發量監測設施	
二、地面水文監測	
1. 流量監測設備	
2. 補注池水位	
3. 補注區蓄水面積	
三、地下水文監測	
1. 地下水水位	
2. 地質探測	
3. 氫氧同位素檢測	

7.2 設施操作監測

設施操作監測目的為提供補注設施補注成效評估之基本資料，本項作業由水利署進行監測。

1. 雨量監測設施

降雨資料為水平衡分析法之重要參數。可利用交通部中央氣象署(以下簡稱中央氣象署)及水利署於全國各地已建置具備自動傳輸之雨量站進行降雨量資

料蒐集，挑選鄰近補注設施之雨量站資料進行蒐集。另外，亦可自行設置降雨量監測設備，建議可選用具有自動傳輸功能，以降低人力收取資料之時間成本，其監測設備之監測頻率建議應至少為 1 小時 1 筆雨量資料。

2. 蒸發量監測設施

蒸發量資料為水平衡分析法之重要參數。中央氣象署所屬的氣象觀測站、水庫管理單位及農業試驗所均利用 A 型蒸發皿監測各地的蒸發量，如補注設施周邊存有上述單位蒸發量監測資料，可蒐集蒸發量資料進行後續計算分析。亦可於現地或鄰近適宜地點設置 A 型蒸發皿進行觀測，A 型蒸發皿為直徑 120.7 公分，以鍍鋅金屬所製成之圓形水槽，蒸發皿外緣高為 25 公分，初始水深為 20 公分，藉由每日量測水位變化計算日蒸發量，蒸發量監測設備之監測頻率建議應至少為 1 小時 1 筆蒸發量資料。

3. 流量監測設備

流量資料為水平衡分析法之重要參數。於補注設施之入流口及出流口設置流量監測設備，監測流量變化。流量監測方式可採監測入出流口水位，配合現地流量量測資料所繪製之流量率定曲線進行推估，流量監測設備之監測頻率建議應至少應為 1 小時 1 筆水位資料。

4. 補注池水位及蓄水面積監測設施

補注池水位變化資料亦為水平衡分析法之重要參數。於補注池內架設自記式水位計監測水位變化，監測頻率建議應至少為 1 小時 1 筆資料。如採達西公式進行補注量推估者，則可利用衛星影像或航拍正射影像推估補注設施蓄水面積，影像取得頻率建議至少為 1 月 1 次。

5. 地下水水位監測設施

地下水水位監測可利用現有觀測井或新設觀測井，監測頻率建議應至少為 1 小時 1 筆地下水水位資料。亦可於緊鄰補注設施處設置不同深度之巢狀觀測井，用以監測垂直水力梯度及含水層地下水水位。此外，於設施鄰近區域則應設置觀測井進行地下水水位監測及水質採樣，觀測井點位及所需數量需考量周邊地下水流向及流速進行設置，建議補注設施下游側應至少設置 3 口觀測井，

以利判斷其流向及流速。

6. 地球物理探測

地球物理探測應於河槽補注設施內或其周邊進行，採可取得水文地質三維空間分布為原則規劃地球物理測線佈設，其地球物理探測方式可參考表 5-4 或表 5-5。亦可於補注設施設置前、中及後進行採用可探測地下水水位之地球物理方法進行探測，以評估設施操作之具體成效。

7. 氢氧同位素檢測

氫氧同位素(hydrogen and oxygen isotopes)濃度可用於釐清補注設施周遭地下水水體組成成分比例，可作為評估補注成效之方法，實施氫氧同位素檢測應採集包含雨水、地面水及地下水，其雨水及地面水採集地點以鄰近補注設施為原則，地下水採樣地點除鄰近觀測井地下水之外，需採集較遠處之地下水，以供作比對之用。不同水樣採集頻率建議雨水原則為降雨即採，地面水及地下水採樣頻率原則為 1 至 2 個月採樣 1 次。

7.3 設施操作維護

針對河槽補注設施而言，設施操作維護包含毀損設施維護、設施阻塞維護、環境負面影響、補注池安全性及場址設施安全性等 5 個面向，本項作業由河川分署或縣市政府執行。

1. 設施毀損維護

颱洪過後時常造成補注設施毀損，導致蓄水空間降低或不足，故河川分署與縣市政府於補注設施損毀後，依據水情狀況進行維護作業，現地作業如圖 7-1 所示，可採以修復土堤方式維持補注功能為原則，依據濁水溪河槽補注設施修復為經驗，修復費用可納入既有編列河川維護管理費用，相關河槽補注設施修復之項目、數量及費用如表 7-2 所示，惟此等數量及單價僅供參考，各河川分署或縣市政府應考量河槽補注設施修復範圍及修復次數等，進行評估計算各工作項目數量及所需經費。

表 7-2 河槽補注設施修復費用概估

項次	工作項目	單位	數量	單價(元)	合計(元)
1	土方工作，填方	m^3	270,000	28.80	7,776,000
2	開挖機，履帶式，1.40~1.49 m^3 ， 總重 30 噸	時	550	1,402.00	771,100
3	傾卸貨車，總重 20~20.9t	時	110	623.00	68,530
-	合計	-	-	-	8,615,630

資料來源：第四河川分署



圖 7-1 補注設施損毀後維護作業示意圖

2. 設施阻塞維護

阻塞為地表入滲補注設施操作維護關鍵課題，因補注水源中存有懸浮質，地表入滲補注設施均會發生阻塞現象，故需予以清除，以維持入滲率，阻塞現象可區分為物理性、生物性及化學性等三類，各類阻塞可單獨或同時發生 (Hutchinson et al., 2013a, 2013 b)，補注池阻塞成因及對應之維護方式如表 7-3 所示，原則上河槽補注設施均適用此方法維護補注池阻塞問題。

另外，河槽補注設施若於當年度因颱洪影響被沖毀，補注設施可利用修復補注設施期間進行底泥刮除作業，若河槽補注設施並無損壞發生則觀察如補注量有下降之趨勢則需進行淤泥刮除作業。

表 7-3 河槽補注設施阻塞維護方法

阻塞類型	成因	減輕方法(Minimization)	緩解方法(Mitigation)
物理性	懸浮固體物沉積於補注池池底	設置沉澱池，於補注水源進入補注池前去除懸浮固體物	補注池蓄水/乾燥循環，阻塞層刮除
生物性	微生物生長形成生物膜，生物膜、微生物及其代謝產物阻塞土壤孔隙	頻繁蓄水/乾燥程序減少營養鹽，利用人工溼地去除硝酸鹽及磷	補注池蓄水/乾燥循環，阻塞層刮除
化學性	化合物沉澱(如碳酸鈣、氧化鐵、氧化錳)	提高補注水源溶氧量，避免厭氧條件	補注池蓄水/乾燥循環，阻塞層刮除

3. 環境負面影響

如補注池蓄水時間長久或維護不當，易產生不佳氣味及蚊蟲孳生等環境負面問題，另一可能負面影響為補注水源水質出現顯著變化時，可能使補注池池底土壤溶出原吸附於顆粒上之重金屬之不良物質，此可能造成補注池內水質劣化，甚而影響地下水水質。因此，當補注水源水質出現顯著變化時，應停止補注池操作。

4. 補注池安全性

補注池可能因滲漏造成地質材料流失可發生破壞現象，如於補注池邊坡或土堤處可能發生往下游之管湧現象，如發現管湧現象發生時，應緩慢降低補注池蓄水水位，直至管湧現象停止，並於土堤上游側確定滲入位置，並於滲入位置進行止水作業。

5. 場址設施安全性

安全維護應包含於操作維護作業之中，以保護民眾不致發生危險或設施遭到破壞，因此應設置必要阻隔措施及警告標示。

第8章 河槽補注設施補注成效評估

8.1 資料蒐集

河槽補注設施之補注成效估將由水利署負責進行相關評估作業，所需相關資料包含水文、水文地質及氫氧同位素檢測等。其中試驗區域周邊地面及地下水水位資料可透過水利署水文資訊網進行蒐集，氣象資料可至中央氣象署網站進行蒐集。

◆ 水文歷時資料

藉由蒐集補注區周邊水文資料可評估補注設施地下水補注成效，故於補注設施設置期間以及設施操作期間應蒐集下列資料：

1. 降雨量
2. 蒸發量
3. 補注設施入、出流量
4. 補注設施水位及蓄水面積
5. 地下水水位

◆ 水文地質資料

1. 入滲率
2. 地球物理探測結果

◆ 氢氧同位素檢測

氫氧同位素檢測資料主要為檢視補注區周邊及補注至地層中水體組成，以推估補注後其地下水流向。

1. 雨水
2. 補注設施鄰近之地面水
3. 觀測井之地下水

8.2 補注成效評估

為評估操作河槽補注設施對地下水資源的貢獻，可由補注量推估、地球物理探測、區域地下水分析、氫氧同位素分析及補注設施下方水丘分析評估補注成效，各項河槽補注成效評估作業如表 8-1 所示。

表 8-1 補注成效評估作業檢核表

河槽補注設施	分析項目	執行機關
成效評估作業	補注成效評估： <input type="checkbox"/> 補注量推估方法_____、 <input type="checkbox"/> 地質探測分析、 <input type="checkbox"/> 氫氧同位素分析、 <input type="checkbox"/> 地下水水位、 <input type="checkbox"/> 流向分析。 經濟效益評估： <input type="checkbox"/> 替代高環境社會成本水源、 <input type="checkbox"/> 砂源、 <input type="checkbox"/> 生態系統服務效益。	水利署

◆ 補注量推估

河槽補注設施推估地下水補注量原則採水平衡分析法及達西公式。相較之下，水平衡分析法所需參數多於達西公式，補注量推估結果也較達西公式準確，但是水平衡分析法需耗費較多人力及時間成本進行監測獲取資料，達西公式所需參數較少，具有簡易快速評估補注量優勢。推估方法可依河槽補注設施之特性及所設置之監測設備予以擇定，兩種方法適用之設施類型、優勢、限制及適用情境如表 8-2 所示，其分析原理如後所述。

表 8-2 水平衡分析及達西公式適用補注設施

方法	優勢	限制	適用情境
水平衡分析	1. 推估補注量結果相對準確。	1. 所需監測水文資訊相對較多，故需耗費較多人力及時間，建立及蒐集相關水文資料。 2. 補注區入出流口需具有穩定流路，以減少測量水位及流量誤差。	具有穩定流路之輸水渠道，且補注池無沖毀風險之地點。
達西公式	1. 推估補注量所需參數較少。 2. 分析方式簡易快速。	1. 需補注區垂直入滲率及蓄水面積。 2. 每日蓄水面積變化差異不能過大。	輸水渠道無穩定流路，且補注池遭受颱洪沖毀風險高之地點。

1. 水平衡分析法(Al-Muttair and Al-Turbak, 1989)

水平衡分析法(water balance analysis)是以河槽補注設施為控制體，藉由入流量、出流量、降雨量、蒸發量及儲水量變化等水文參數，利用質量平衡(mass balance)概念於相同時間下進行分析，流入項包含降雨量及河槽補注設施之補注水源入流量，流出項則包含蒸發量及河槽補注設施之出流量，而儲蓄項則由河槽補注設施水位隨時間變化中予以估算。

如使用水平衡分析法評估補注量需有準確之入、出流斷面資料，才能獲取代表性流量資料。水平衡分析法公式如下：

$$R = P + Q_i - E - Q_o \pm \Delta S \quad (\text{式 8-1})$$

其中， R 為補注量 [m^3/day]； P 為降雨體積 [m^3/day]，由每日降雨量乘上河槽補注設施面積取得降雨體積； Q_i 為入流量 [m^3/day]； E 為蒸發體積 [m^3/day]，由每日蒸發量乘上河槽補注設施蓄水面積取得蒸發體積； Q_o 為出流量 [m^3/day]； ΔS 為河槽補注設施每日水位變化體積 [m^3/day]，由每日水位變化量乘上河槽補注設施蓄水面積所得之每日水位變化體積。

2. 達西公式(Martín-Rosales et al., 2007)

達西公式僅需河槽補注設施之垂向入滲率及蓄水面積即可推估補注量，計算方式簡易快速，根據 ASCE (2020) 發表之地下水人工補注之標準手冊說明地表補注措施(surface facilities)可使用達西公式進行推估入滲補注量，其達西公式如下：

$$R = k \times A \quad (\text{式 8-2})$$

其中， R 為補注量 [m^3/day]； k 為入滲率 [m/day]； A 為河槽補注設施蓄水面積 [m^2]。

◆ 地球物理探測結果

地球物理探測是補注設施監測之重要方法，可用於評估補注前區位之地層結構與滲透能力、補注中監測入滲水分布情形及補注後評估長期補注效益。在補注前，透過地質探測可判別補注設施下方土壤含水量與滲透性，確保選址適合補注。

需求。補注期間進行地球物理探測，可評估入滲水擴散範圍，確認入滲狀況是否符合預期，並檢視可能阻塞之區域。補注後，實施地質探測可作為長期監測方法，評估入滲水與原地下水的交互作用，以及補注設施下方水丘特性判斷補注效果是否穩定，並調整後續補注策略。

◆ 區域地下水水位歷時及流向分析

分析區域地下水水位有助於了解補注區域對於周邊地下水環境之影響，亦可了解其區域地下水流向，協助釐清補注後受益區域若發生污染情形亦可進行追蹤。常用方法為地下水水位歷線分析，透過蒐集河槽補注設施周邊觀測井地下水水位連續監測資料，評估河槽補注設施設置操作過程中，對地下水水位產生的影響，反映河槽補注設施操作後抬升水位之成效。

地下水等水位流向分析，係以克利金插值法(Kriging)進行不同觀測井同一時段之空間插值，可檢視地下水水位空間分布及流向，即可評估河槽補注設施下游側地下水流向。地下水流向亦可協助判讀河槽補注設施之補注水量流向及可能受益區域。

◆ 氢氧同位素分析

氫氧同位素分析係依據同位素於不同溫度、緯度、高度及時間會呈現差異之特性，可透過同位素測值之差異或變化量評估地下水各來源之補注關係(Williams, 1997)。為掌握河槽補注設施對於地下水補注之成效，需蒐集長期雨水、地面水及地下水之穩定氫氧同位素(stable of hydrogen and oxygen isotopes)變化量，並使用質量平衡方式推估河槽補注設施及周邊範圍內地下水各項補注源之來源比例及補注量，參考 Yeh (2009)提出之穩定同位素質量平衡方程式：

$$G(V_1 + V_0) = IV_1 + OV_0 \quad (\text{式 8-3})$$

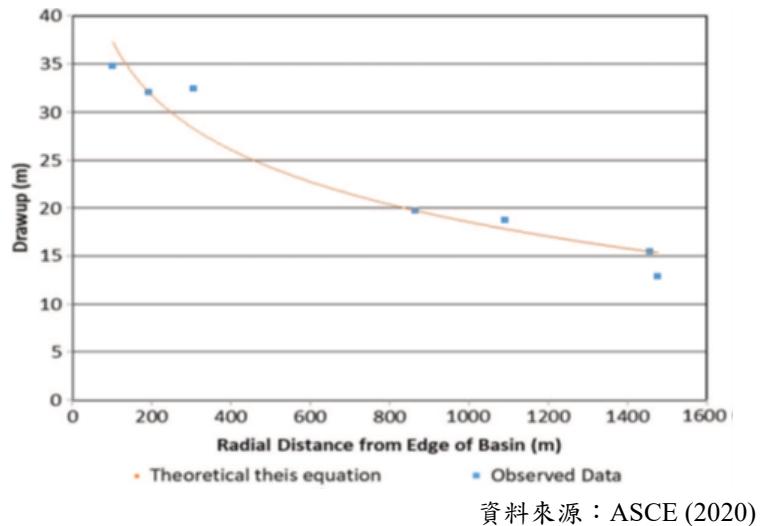
$$G = I \frac{V_1}{V_1 + V_0} + O \frac{V_0}{V_1 + V_0} = I(1 - X) + OX \quad (\text{式 8-4})$$

其中， G 為地下水之氧穩定同位素； I 為內源(區內雨水)之氧穩定同位素； O 為外源(區外流入之地面水或地下水)之氧穩定同位素； V_1 為內源補注體積； V_0 為外源補注體積； $I-X$ 為內源補注比例； X 為外源補注量之比例。

式中， G 、 I 、 O 為現地採集之地下水、雨水及地面水水樣，經儀器分析所得之氧同位素，可求得河槽補注區之外源及內源補注量之比例。

◆ 設施下方水丘分析

水丘分析部分，評估水丘形成高度函數式可由入滲率、非飽和層厚度、含水層透水係數、含水層儲水係數及含水層邊界條件等參數所描述，Hantush (1967) 推導矩形及圓形補注池水丘高度計算式，Glover (1974) 則推導線源水丘高度計算理論式，以計算水丘高度。計算水丘高度可配合不同位置觀測井實際地下水水位比對，建立水丘高度與補注池徑向距離關係式，以圖 8-1 為例，後續可利用實際地下水水位及關係式分析水丘變化，以檢視補注成效。



資料來源：ASCE (2020)

圖 8-1 水丘高度與補注池徑向距離關係圖

8.3 經濟成本效益評估

經濟成本效益評估以替代高環境社會成本水源、砂源及生態系統服務效益等 3 項指標進行評估。

依據游景雲(2021)彙整美國陸軍工兵團水利工程經濟效益評估相關規定，說明衡量工程計畫之經濟可行性時，主要評估直接及有形效益，其中與河槽補注設施工程較為相關指標為替代高環境社會成本水源、砂源及生態系統服務效益，以下說明分析方式：

◆ 替代高環境社會成本水源

$$B_{GW} = Q_{GW} \times P_{GW} \quad (\text{式 8-5})$$

其中， B_{GW} 為水資源工程計畫替代高環境社會成本水源效益； Q_{GW} 為水資源工程計畫可減少地下水抽取量； P_{GW} 為地下水影子價格。而地下水影子價格，因區域性之問題，每單位水量抽取所影響之物理條件因地下集水分區之不同而有極大差異，且不同區域社會環境問題不一樣，故此參數值引用上需多加考量。

參考烏溪烏嘴潭人工湖計畫，以重置成本法將抽取地下水之環境成本(地下水影子價格)，作為減抽地下水之效益。並利用消費者物價指數將其調整至民國 102 年物價水準，得到平均抽取地下水之環境成本(地下水影子價格 P_{GW})為每噸 23.34 元。因設定減抽彰化地下水量目標(Q_{GW})為每年 6,200 萬噸，進而推估每年減抽地下水之環境效益(B_{GW})約 14.47 億元，但此效益無法內化為實質收益。

◆ 砂源

$$B_{VS} = Q_{VS} \times P_{VS} \quad (\text{式 8-6})$$

其中， B_{VS} 為水資源工程計畫砂源效益； Q_{VS} 為水資源工程計畫可增加之有價砂原量； P_{VS} 為單位有價料之價格。

單位有價料之價格可參考地礦中心調查各縣市所產各類砂石之價格。另外，無價料效益如防淤工程之洩水所挾帶之泥砂，補充下游河川砂源，其對於河道的沖刷與海岸的沖蝕將有所助益。砂石可視為成本，亦可視為效益，須依分析案例而定。

參考地礦中心「土石資源服務平台」，統計民國 113 年全國砂石價格平均為每立方公尺 349 元，故 P_{VS} 為 349 (元/立方公尺)，而 Q_{VS} 代表設置河槽補注池所挖除之砂石體積，假設河槽補注設施長度 500 公尺、寬度 200 公尺、挖深 1 公尺，其挖除之砂石體積約為 10 萬立方公尺，依據上述條件及式 8-6 計算砂源效益為 3,490 萬元。因各地區河段砂石價格不同，故應依照各地區實際砂石價格進行砂源效益分析。

第 9 章 河槽補注設施案例

一、濁水溪河槽補注計畫

- 計畫地點：彰雲地區之濁水溪沖積扇扇頂。
- 營運機構：水利署及第四河川分署。
- 補注方式：地表入滲。
- 補注設施面積：6 公頃至 227 公頃。
- 建置年份：民國 109 年起迄今。

彰化雲林地區位處濁水溪沖積扇地下水區，此區域因長期地面水供應不足以致水資源供需失衡，長期處於地下水資源超抽現象，因地下水超抽導致地下水水位下降，誘發地層下陷發生，目前仍為我國地層下陷發生主要地區。依據「地下水保育管理暨地層下陷防治第三期計畫」及「雲彰地區地層下陷具體解決方案暨行動計畫第二期」，持續推動彰雲地區地下水補注作業，因此水利署於彰雲地區濁水溪河段尋找合適地點執行河槽補注作業。

盤點第四河川分署疏濬地點及地下水補注地質敏感區套疊，挑選濁水溪河段(斷面 60 至 82)進行河槽補注作業，河槽補注區挑選結果如圖 9-1 所示。

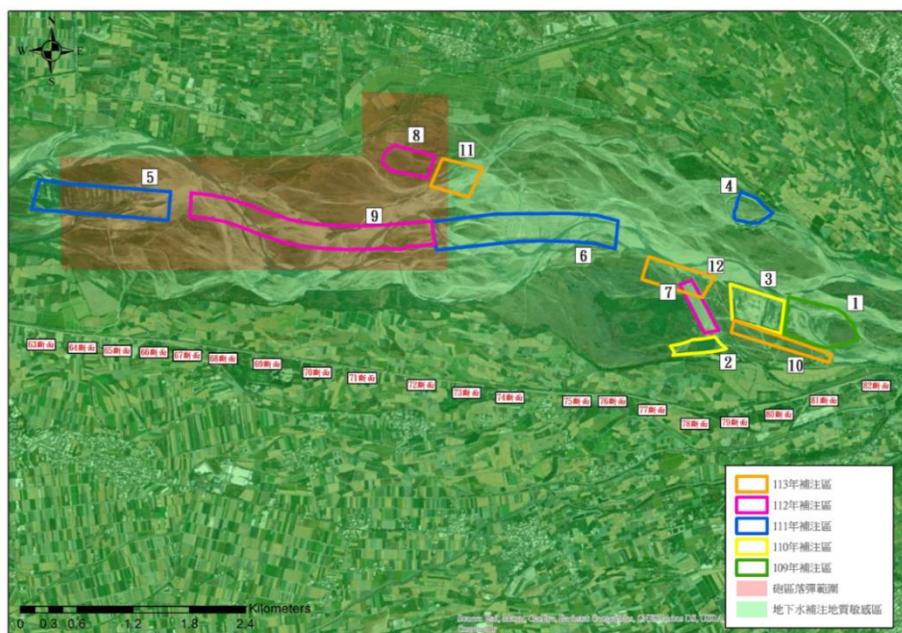


圖 9-1 濁水溪河槽補注設施地點

依河槽補注設施初步評估準則評估該地點設置河槽補注設施之可行性，以下為評估要點：

(一) 初步評估

1. 地下水補注地質敏感區

評估工作應首重於補注地點是否位於地下水補注地質敏感區，地下水補注地質敏感區主要位於地下水區扇頂，依據地礦中心公告之地下水補注地質敏感區為主要挑選原則(圖 3-3)，濁水溪河段地下水補注地質敏感區大致位於彰雲大橋至中沙大橋之間，此區河床地質入滲速率優於其餘地區。

2. 補注水源來源

具有穩定且充足之補注水源，始可確保地下水補注效益得以提升。濁水溪河槽補注設施之補注水源為濁水溪上游放流量，依據水文年報顯示濁水溪河槽補注設施上游之彰雲橋流量站監測結果，顯示該處歷年平均流量為每秒 136.41 立方公尺，且無斷流歷史紀錄，表示補注水源水量充沛。

3. 補注水源水質

依據環境部全國環境水質監測資訊網之 RPI 結果顯示濁水溪該河段 RPI 指數為中度污染，尚屬於可接受範圍。

4. 具有規劃、建造及營運河槽人工地下水補注方案之能力

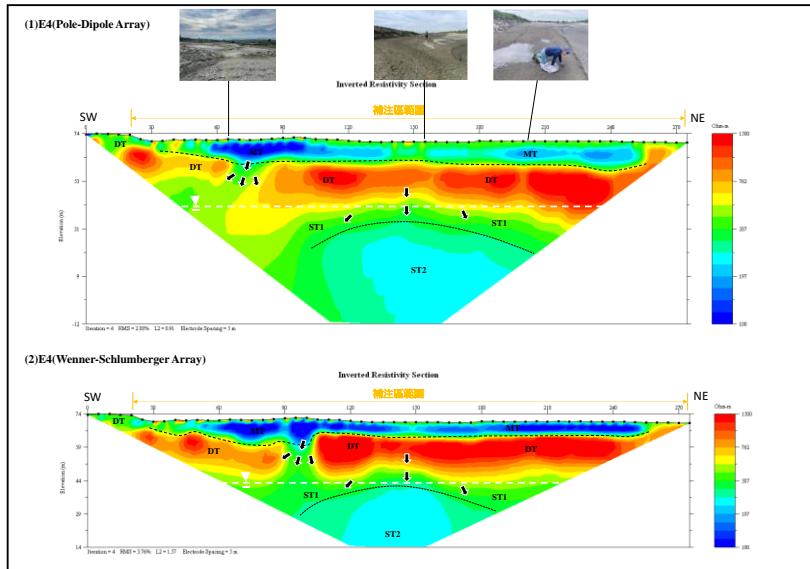
由第四河川分署建置及維護河槽補注設施，而水利署負責營運及成效評估，故具有規劃、建造及營運河槽人工地下水補注方案之能力。

依據初步評估結果顯示濁水溪河段(斷面 60 至 82)具有建置河槽補注設施之可行性。

(二) 現地調查

1. 現地勘查：確定河槽補注設施設置地點後，至現場勘查環境實際狀況。
2. 地球物理探測：利用地電阻影像剖面探測方法確認河槽補注設施地點之地層地質特性，剖析調查範圍內地下水可能產生之補注行為或地下水文特徵，進

而掌握地下岩性之分布並判斷補注邊界範圍，如圖 9-3 所示，根據地電阻影像剖面探測結果顯示地下水水位可能位於地表下 33 公尺。



資料來源：經濟部水利署，民國 110 年

圖 9-2 濁水溪河槽地電阻影像剖面圖

3. 入滲試驗：為調查河槽補注設施地點垂直入滲能力並作為後續達西公式推估補注量之參數，利用雙環入滲試驗取得濁水溪河槽補注設施之入滲率，現場雙環入滲試驗如圖 9-3 所示。



資料來源：經濟部水利署，民國 113 年

圖 9-3 濁水溪河槽補注設施雙環入滲試驗

(三) 河槽補注設施設置

濁水溪之河槽補注設施其依據第四河川分署疏濬範圍、地形及地面水水流方向，分別設置輸水設施及補注池，河槽補注設施設置如圖 9-4 所示，其補注水源

為上游濁水溪 3 號水門放流水，以堆置簡易土石渠道方式將補注水源引導至補注池 1 及補注池 2 執行地下水補注作業，最後於補注池 2 將多餘水量回流至濁水溪河道內。

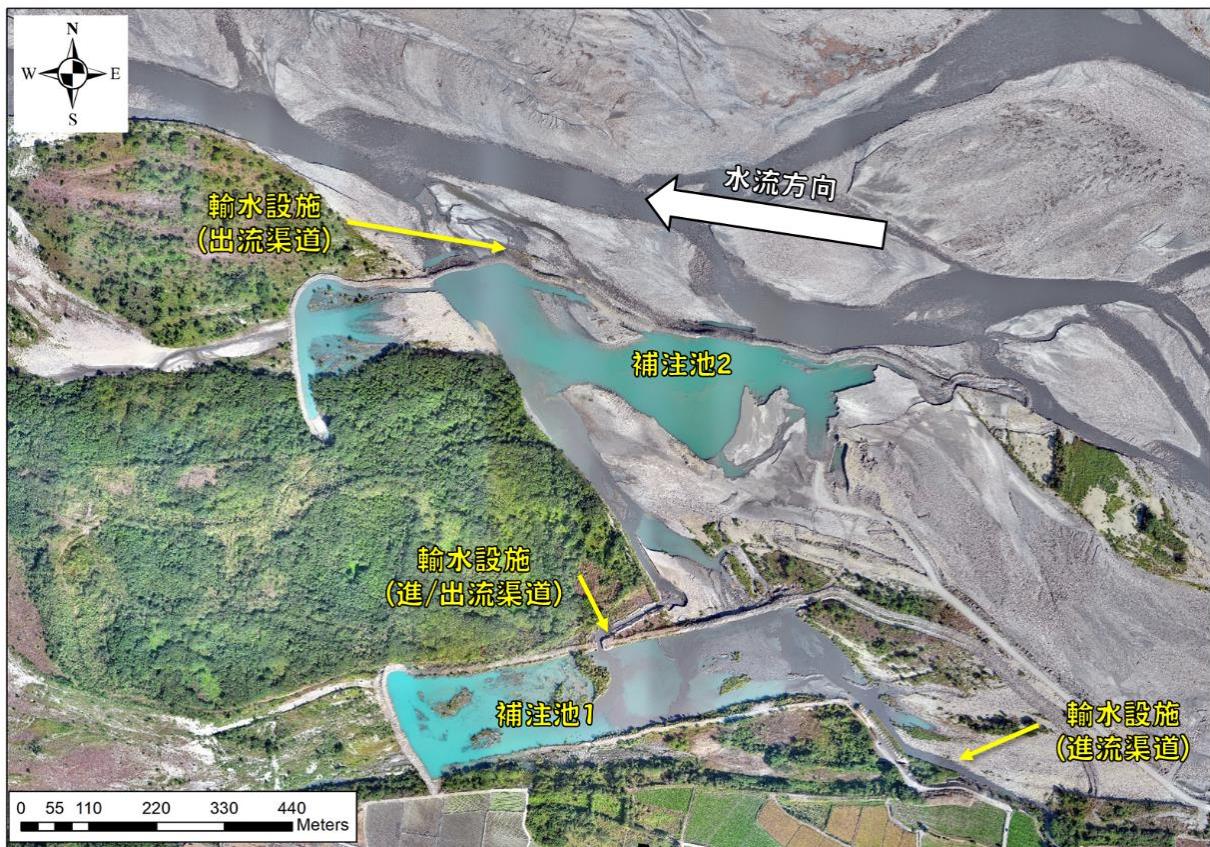


圖 9-4 濁水溪河槽補注設施

(三) 河槽補注設施營運及維護

濁水溪河槽補注設施於豐水期間如遭遇颱洪事件，會導致河槽補注設施被沖毀或淤積，例如民國 113 年 7 月凱米颱風造成濁水溪河槽補注設施嚴重淤積，導致補注功能降低，如圖 9-5(a)所示，因此，第四河川分署於水情穩定後，重新進行疏濬以回復河槽補注設施補注功能，如圖 9-5(b)。



(a) 颱風造成補注設施淤積狀態

(b) 補注設施修復後狀態

圖 9-5 濁水溪河槽補注設施維護情況

(四) 補注成效評估

第四河川分署自民國 108 年開始陸續於濁水溪建置河槽補注設施，從民國 109 年 1 月於濁水溪南岸完成設置 28 公頃補注區，其設置方式為設置低矮簡易式臨時土堤以及挖深河槽進行蓄水，並配合現地入滲試驗所得之參數與 UAV 航拍蓄水面積，採用達西公式評估補注成效，當年度補注量約為 540 萬噸；民國 110 年除修復 28 公頃補注區，亦於下游處分別 2 處補注區其分別為 8 公頃與 25 公頃，當年度地下水補注量推估約為 853 萬噸；民國 111 年持續擴大補注區面積，該年度新增 3 處補注區，其面積分別為 10 公頃、40 公頃以及 35 公頃，濁水溪補注區面積合計為 146 公頃當年度地下水補注量推估約為 2,571 萬噸；民國 112 年的總補注面積增至 227 公頃，其補注量達到 3,597 萬噸；民國 113 年的總補注面積增至 291 公頃，其補注量達到 4,900 萬噸，歷年補注量成果如表 9-1 所示，足見河槽補注設施執行地下水補注作業之成效。此外，第四河川分署於濁水溪下游區域(西螺大橋下游)利用水覆蓋進行揚塵防治措施，亦使用臨時土堤攔蓄地面水進行揚塵抑制，其功能除揚塵抑制外亦有地下水補注功能。

表 9-1 濁水溪河槽補注設施歷年補注量

建置 年度	補注區 編號	規劃面積 (公頃)	歷年入滲補注量(萬噸)				
			109 年	110 年	111 年	112 年	113 年
108	1	28	540.0	629.9	837.1	428.9	377.09
109	2	8	-	223.1	401.3	458.6	307.06
110	3	25	-	-	795.1	415.5	313.00
110	4	10	-	-	90.8	157.3	77.97
111	5	40	-	-	292.6	909.0	1,397.50
111	6	35	-	-	154.3	769.1	945.53
112	7	8	-	-	-	264.9	141.38
112	8	23	-	-	-	193.8	329.32
112	9	50	-	-	-	-	1,011.18
113	10	6	-	-	-	-	-
113	11	15	-	-	-	-	-
113	12	43	-	-	-	-	-
合計		291	540	853	2,571.2	3,597.1	4,900.03

二、高屏溪河槽補注計畫

- 計畫地點：高屏地區之高屏溪、荖濃溪及隘寮溪河段。
- 營運機構：經濟部水利署及第七河川分署。
- 補注方式：地表入滲。
- 補注設施面積：14 公頃至 139 公頃。
- 建置年份：民國 112 年起迄今。

民國 112 年高屏地區水情嚴峻，在考量臺灣環境特性與條件下，地下水即為地面水源不足時短期的救命水源，亦是唯一解方；然而，考量旱災過程增加地下水抽用，因此，除抗旱應變期間與抗旱結束後，需持續進行地下水環境監控，做為抗旱抽水與後續地下水保育工作參考外，若能多增加地下水量，當枯旱時，地下水资源亦可作為備源供水來源，減少水庫用水量，提高枯旱時期地下水资源調配韌性。

依地下水補注地質敏感區、補注水源來源、土地取得可得性等納入考量評估地下水補注設施設置，其初步挑選補注區位置如圖 9-6 所示。

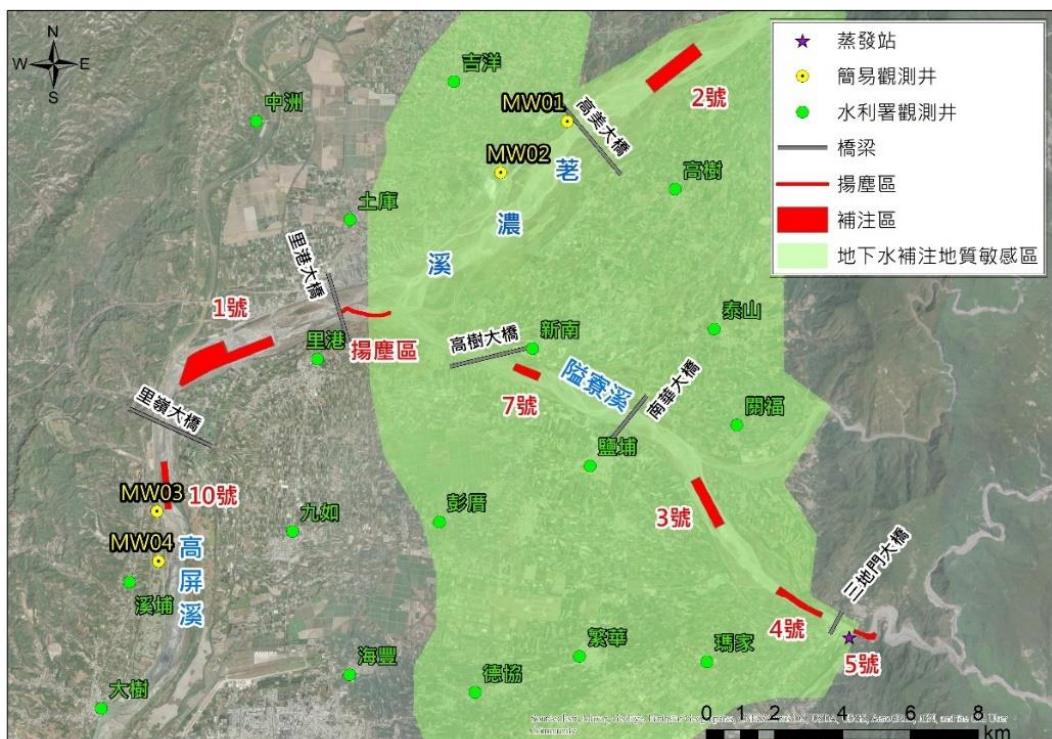


圖 9-6 高屏地區地下水補注區位置圖

依河槽補注設施初步評估準則評估該地點設置河槽補注設施之可行性，以下為評估要點：

(一) 初步評估

1. 地下水補注地質敏感區

評估工作應首重於補注地點是否位於地下水補注地質敏感區，地下水補注地質敏感區主要位於地下水區扇頂，依據地礦中心公告之地下水補注地質敏感區為主要挑選原則(前圖 3-3)，高屏地區地下水補注地質敏感區大致位於荖濃溪及隘寮溪，面積約為 264.69 平方公尺，此區河床地質入滲速率優於其餘地區。

2. 補注水源來源

具有穩定且充足之補注水源，始可確保地下水補注效益得以提升，高屏地區補注水源主要為荖濃溪及隘寮溪地面水，依據下游最近的里嶺大橋年平均日流量為每秒 234 立方公尺，年逕流量 74.08 億立方公尺，有足夠水量，惟豐水期流量佔全年 80% 以上，豐枯差異較明顯。

3. 補注水源水質

依據環境部全國環境水質監測資訊網之 RPI 結果顯示荖濃溪及隘寮溪 RPI 指數為中度污染，尚屬於可接受範圍。

4. 具有規劃、建造及營運河槽人工地下水補注方案之能力

由第七河川分署建置及維護河槽補注設施，而水利署負責營運及成效評估，故具有規劃、建造及營運河槽人工地下水補注方案之能力。

依據初步評估結果顯示高屏地區荖濃溪、隘寮溪及高屏溪具有建置河槽補注設施之可行性。

(二) 現地調查

1. 現地勘查：確定河槽補注設施設置地點後，至現場勘查環境實際狀況。

2. 入滲試驗：為調查河槽補注設施地點垂直入滲能力並作為後續達西公式推估補注量之參數，利用雙環入滲試驗取得高屏地區河槽補注設施之入滲率。

(三) 河槽補注設施設置

高屏地區之河槽補注設施依據第七河川分署疏濬範圍、地形及地面水水流方向，分別設置輸水設施及補注池，隘寮溪河槽補注設施設置如圖 9-7 所示，其補注水源為隘寮溪主河道之地面水，以堆置土石渠道將補注水源引導至補注池執行地下水補注作業，將多餘水量放流至隘寮溪下游。

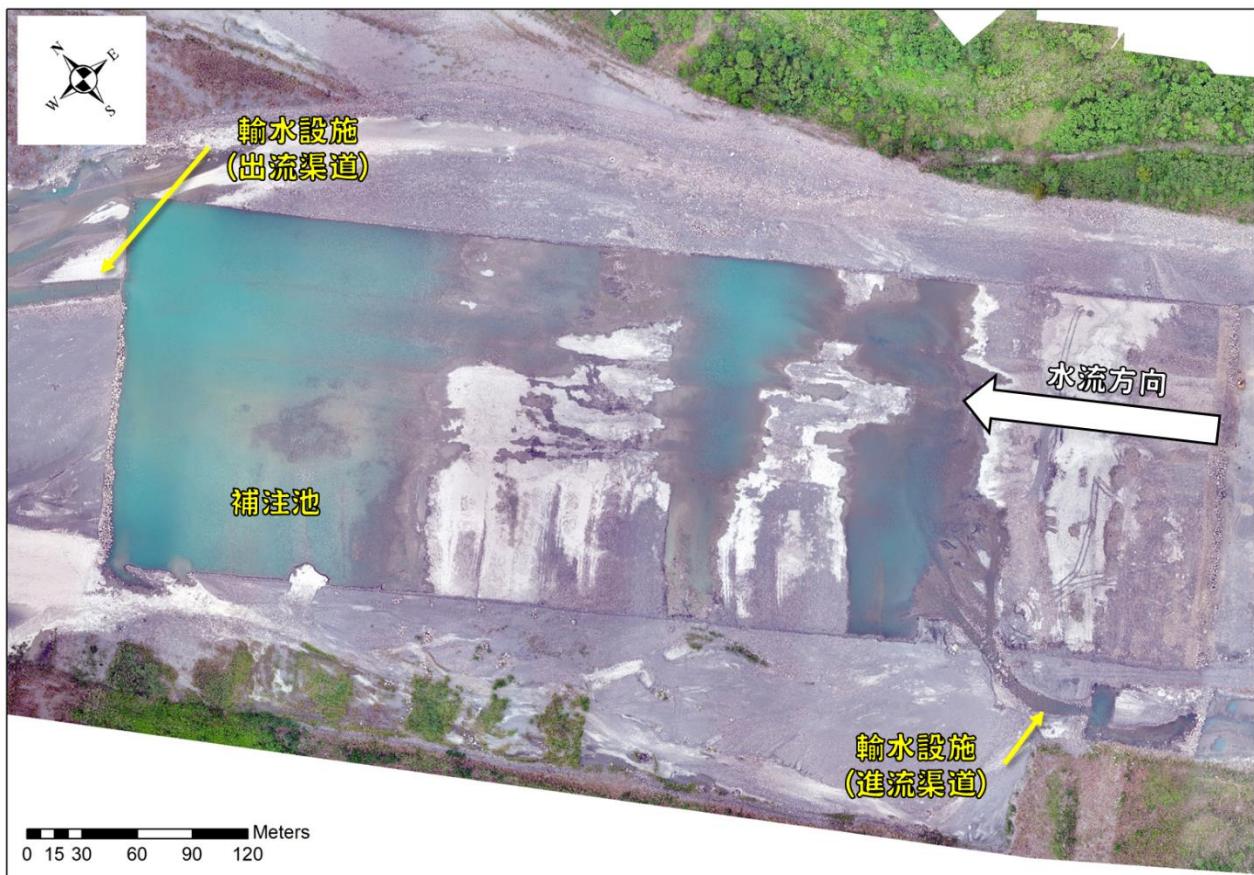


圖 9-7 高屏地區之隘寮溪河槽補注設施

(四) 河槽補注設施營運及維護

高屏地區河槽補注設施於民國 112 年 7 月杜蘇芮颱風造成高屏地區河槽補注設施嚴重淤積，導致補注功能降低，因此，第七河川分署於水情穩定後，以簡易土堤圍水方式回復河槽補注設施補注功能，如圖 9-8 所示。



圖 9-8 高屏地區河槽補注設施毀損維護情況

(五) 補注成效評估

高屏地區河槽補注設施配合第七河川分署及縣市政府疏濬工程，自民國 112 年開始陸續建置河槽補注設施，總補注面積為 306 公頃並配合現地入滲試驗所得之參數與 UAV 航拍蓄水面積，採用達西公式評估補注成效，其補注量達到 2,768 萬噸；民國 113 年維持既有河槽補注設施外，新增 1 處 50 公頃揚塵區執行地下水補注作業，該年度總補注量達到 5,212 萬噸，歷年補注設施補注量成果如表 9-2 所示，足見河槽補注設施執行地下水補注作業之成效。

表 9-2 高屏地區河槽補注設施歷年補注量

建置 年度	補注區 編號	規劃面積 (公頃)	歷年入滲補注量(萬噸)	
			112 年	113 年
112	1	139	353.1	2,961.66
112	2	45	566.2	319.41
112	3	48	591.6	460.63
112	4	30	769.4	1,023.57
112	5			
112	7	16	326.2	69.96
112	10	28	161.7	83.89
113	揚塵區	50	-	293.50
合計		365	2768.2	5212.62

三、國外案例-美國熊峽谷補注計畫

- 計畫地點：美國新墨西哥州阿爾伯克基。
- 營運機構：阿爾伯克基伯納利洛縣水務局。
- 補注方式：地表入滲。
- 補注設施面積：1.56 公頃。
- 建置年份：民國 98 年(西元 2009 年)。

阿爾伯克基伯納利洛縣水務管理局(水務局)於民國 98 年實施地下水補注項目，其目的是為里奧格蘭德盆地中部的聖塔菲群(Santa Fe group)含水層系統補充地下水，以建立長期的乾旱儲備水源。熊峽谷補注計畫藉由河道中的固定式補注設施將地面水蓄積在補注設施中，通過 150 公尺厚的非飽和層(vadose zone)將過濾後的地面水補注至含水層中(圖 9-9)。

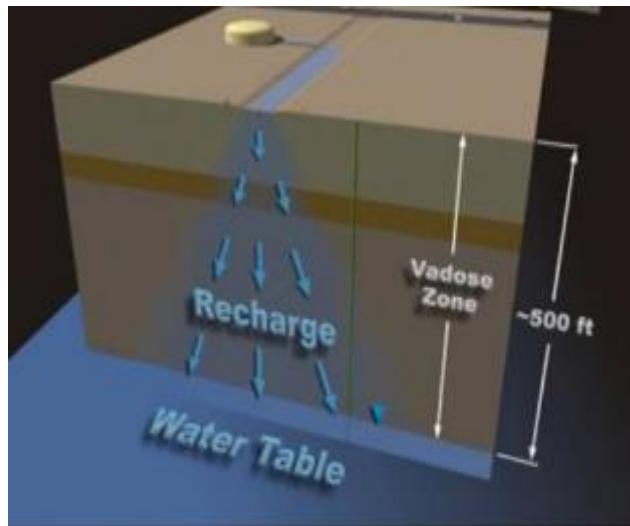
1. 補注水源：水庫放流水
2. 水質：由於水並非直接注入含水層，因此無需在入滲前將水處理至飲用水標準。
3. 補注池尺寸：總長約 854 公尺，寬度介於 15-21 公尺。

該計畫設置散熱感測器(heat dissipation sensors)、水質吸滲儀(water quality suction lysimeter)、三個用於監測水位和水質的觀測井以及中子測井接入管(neutron logging access tubes)，用以監測水分從非飽和層移動至地下水位的過程。

第一次全面補注執行作業從民國 103 年 11 月到 104 年 3 月，其利用水平衡分析法評估補注量為 64.22 萬噸。新墨西哥州工程師辦公室(new Mexico office of the state engineer, OSE)為本次補注向水務局提供 62.29 萬噸補注水源，佔補注量之 97 %。該計畫於民國 105 年 10 月至 106 年 2 月再次執行，補注量為 68.26 萬噸。



(a) 補注設施空拍圖



(b) 補注過程示意圖

資料來源：Miller et al. (2021)

圖 9-9 美國熊峽谷補注計畫示意圖

參考文獻

1. Al-Muttair, F. F., and A. S. Al-Turbak. 1989. "Estimation of recharge from a reservoir using two water budget models." *Journal of the American Water Resources Association*, 25(4), 727-732.
2. ASCE (American Society of Civil Engineers). 2020. "Standard guidelines for managed aquifer recharge." ASCE/EWRI 69-19. Reston, VA: ASCE.
3. CWCB (Colorado Water Conservation Board). 2007. SB06-193 underground water storage study. Denver: CWCB.
4. CIRIA (Construction Industry Research and Information Association). 2015. "Planning, design, construction and maintenance of Sustainable Drainage Systems."
5. Delin, G. A., and D. W. Risser. 2007. "Ground-water recharge in humid areas of the United States—A summary of ground-water resources program studies, 2003–2006." Fact Sheet 2007-3007. Reston, VA: USGS.
6. Freeze, R. Allan and John A. Cherry. 1979. "Groundwater", PRENTICE HALL, Englewood Cliffs, NJ.
7. Fetter, C. W. 2001. "Applied hydrogeology" 4th edition.
8. Glover, R. E. 1974. "Transient groundwater hydraulics." Ft. Collins, CO: Water Resources Publications.
9. Hantush, M. D. 1967. "Growth and decay of groundwater mounds in response to uniform percolation." *Water Resources Research*, 3(1), 227-234.
10. Hutchinson, A., M. Milczarek, and M. Banerjee. 2013a. "Clogging phenomena related to surface water recharge facilities." In *Clogging issues associated with managed aquifer recharge methods: IAH commission on managing aquifer recharge*, Australia, R. Martin, ed., 95-106. International Association of Hydrogeologists. Australia.
11. Hutchinson, A., D. Phipps, G. Rodriquez, G. Woodside, and M. Milczarek. 2013b. "Surface spreading recharge facility clogging-The Orange County water district

- experience.” In Clogging issues associated with managed aquifer recharge methods: IAH commission on managing aquifer recharge, Australia, R. Martin, ed., 107-118. International Association of Hydrogeologists. Australia.
12. Martín-Rosales, W., A. Pulido-Bosch, Á. Vallejos, J. Gisbert, J. M. Andreu, and F. Sánchez-Martos. 2007. “Hydrological implications of desertification in southeastern Spain” Hydrological Sciences Journal, 52, 1146–1161.
 13. Miller, K., M. Burson, and M. Kiparsky. 2021. “An Urban Drought Reserve Enabled by State Groundwater Recharge Legislation: The Bear Canyon Recharge Project, Albuquerque, New Mexico” Water Management, Science and Technology.
 14. Megdal, S. B., and A. Forrest. 2021. “Groundwater recharge for water security: The Arizona Water Banking Authority experience.” Case Studies in the Environment, 5(1), 1113999.
 15. Tenant, D. L. 1976. “Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resource”, Fisheries, 359-373.
 16. Winter, T.C. 1998. “Ground Water and Surface Water: A Single Resource.” DIANE Publishing Inc.
 17. Williams, A. E. 1997. “Stable isotope tracers: natural and anthropogenic recharge, Orange County, California.” Journal of Hydrology, 201, 230-248.
 18. Yeh, H. F., C. H. Lee, K. C. Hsu, P. H. Chang, and C. H. Wang. 2009. “Using stable isotopes for assessing the hydrologic characteristics and sources of groundwater recharge.” Environmental Engineering and Management Journal, 19(4), 185-191.
 19. 行政院農業委員會水土保持局，民國 106 年，水土保持手冊。
 20. 游景雲，2021，經濟成本效益概念探討及水利工程分析架構，土木水利工程，Vol. 48，No. 4，pp, 45-64。
 21. 經濟部地質調查及礦業管理中心，民國 103 年，地下水補注地質敏感區劃定計畫書(G0001 濁水溪沖積扇)。
 22. 經濟部水利署，民國 109 年，臺灣地下水補注工作動起來了，電子報 372 期。

23. 經濟部水利署，民國 113 年，113 年濁水溪沖積扇河槽補注觀測與成效評估計畫。
24. 經濟部水利署，民國 113 年，地層下陷監測資訊整合服務系統，https://landsubsidence.wra.gov.tw/water_new/GroundWater/SensitiveAreaIndex，瀏覽日期：2024 年 8 月 28 日。
25. 經濟部水利署，民國 114 年，水文資訊網，<https://gweb.wra.gov.tw/HydroInfoCore/>，瀏覽日期：2025 年 10 月 15 日。
26. 經濟部水利署，民國 114 年，水利科技名詞，<https://www.wra.gov.tw/NewsRiverNounCategory.aspx?n=25142&sms=500>，瀏覽日期：2025 年 10 月 15 日。
27. 經濟部地質調查及礦業管理中心，民國 114 年，地下水補注地質敏感區，<https://www.gsmma.gov.tw/nss/p/index>，瀏覽日期：2025 年 10 月 15 日。
28. 經濟部地質調查及礦業管理中心，民國 114 年，土石資源服務平台，<https://amis.mine.gov.tw/chain/stati>，瀏覽日期：2025 年 10 月 15 日。
29. 環境部，民國 114 年，全國環境水質監測資訊網，<https://wq.moenv.gov.tw/EWQP/zh/Default.aspx>，瀏覽日期：2025 年 10 月 15 日。
30. 農業部林業及自然保育署，民國 114 年，生態調查資料庫系統，<https://ecollect.forest.gov.tw/Ecological/ProjectManager/ResultPresentation.aspx>，瀏覽日期：2025 年 10 月 15 日。

附錄一 河槽補注設施檢核表

○○○溪河槽補注設施規劃檢核表

階段	檢核項目		執行機關
規劃階段	初步評估	1. 是否位於地下水補注地質敏感區或次級可補注河段 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否，以下免填 2. 是否完成調查河川水質 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 3. 是否完成調查水資源供應現況 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	河川分署
	細部評估	已完成蒐集水文及地質項目： <input type="checkbox"/> 流量歷線、 <input type="checkbox"/> 河相歷史(失水河段或得水河段)、 <input type="checkbox"/> 水文地質、 <input type="checkbox"/> 含水層水平及垂直滲透性、 <input type="checkbox"/> 周邊地下水水位、 <input type="checkbox"/> 含水層厚度	
場址調查階段	限縮於規劃階段所選定之場址範圍	已完成試驗項目： <input type="checkbox"/> 現地勘查、 <input type="checkbox"/> 地質探測、 <input type="checkbox"/> 入滲試驗、 <input type="checkbox"/> 抽水試驗、 <input type="checkbox"/> 模場試驗、 <input type="checkbox"/> 數值模式	水利署
設置階段	監測設施設置	已完成設置監測及試驗項目 <input type="checkbox"/> 降雨量監測設施、 <input type="checkbox"/> 蒸發量監測設施、 <input type="checkbox"/> 補注池入、出流量監測設施、 <input type="checkbox"/> 補注池水位監測設施、 <input type="checkbox"/> 觀測井。	水利署
營運及維護階段	維護階段	1. 是否具有補注設施維護作業 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 2. 是否有進行環境維護作業 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 3. 是否有維持補注場址設施安全性之防護設施 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	河川分署
	營運階段	可取得水文資料： <input type="checkbox"/> 降雨量、 <input type="checkbox"/> 蒸發量、 <input type="checkbox"/> 補注設施入、出流量、 <input type="checkbox"/> 補注池水位、 <input type="checkbox"/> 補注區蓄水面積、 <input type="checkbox"/> 地下水水位、 <input type="checkbox"/> 地質探測、 <input type="checkbox"/> 氫氧同位素檢測	
成效評估階段	效益分析	1. 補注成效評估： <input type="checkbox"/> 補注量推估方法_____、 <input type="checkbox"/> 地質探測分析、 <input type="checkbox"/> 氫氧同位素分析、 <input type="checkbox"/> 地下水水位、 <input type="checkbox"/> 流向分析。 2. 經濟效益評估： <input type="checkbox"/> 替代高環境社會成本水源、 <input type="checkbox"/> 砂源	水利署

附錄二 雙環入滲試驗操作步驟

雙環入滲試驗操作步驟

土壤垂直入滲率可採用雙環入滲試驗進行推估，以下針對試驗設備、雙環入滲試驗步驟、土壤垂直入滲率推估方法進行說明：

一、雙環入滲設備

雙環入滲設備包含馬奧利特瓶以及雙環，本試驗所用之規格如表-1 所示，雙環入滲設備如圖-1 所示。

表-1 雙環入滲儀器規格

尺寸大小		直徑(mm)	高度(mm)	厚度(mm)
雙環入滲儀1	內環	300	450	2
	外環	600	500	2
馬奧利特瓶2	瓶身	250	500	4
	通氣管(內)	22	450	2
	通氣管(外)	22	300	2
	注水管	22	450	2

註：1.參考財團法人中興工程顧問社(民國104年)。



圖-1 改良式雙環入滲儀及馬奧利特瓶操作圖

二、雙環入滲試驗步驟

雙環入滲試驗步驟如圖 2 所示，相關試驗說明如下：

(一) 位置選定：

需挑選約 1.2 m^2 以上之平整地，於施作前將地表植生與岩屑清除，並進行坐標定位。

(二) 雙環入滲儀設置：

將雙環入滲儀以敲擊方式置入地表下約 30 cm 處，並檢視內外環是否阻絕且不相通。

(三) 馬奧利特瓶設置：

將馬奧利特瓶置於雙環入滲儀上方，調整通氣管至所需之定水頭高度，使試驗時內外環水面可保持同高度，並將水體注入馬奧利特瓶中，待瓶中氣泡消失後進行標尺調整，即完成設置。

(四) 內外環注水：

將內外環注水至馬奧利特瓶通氣管之高度，並開啟馬奧利特瓶下方通氣管及注水管閥門，即開始進行試驗紀錄。

(五) 試驗紀錄：

由於初始入滲速度較快，故於試驗開始後 5 分鐘內以 10 秒 1 筆資料進行紀錄，而試驗開始後之 5 至 10 分鐘因入滲速度趨緩，因此以 30 秒 1 筆資料進行紀錄，而 10 分鐘後則以 1 分鐘 1 筆資料進行紀錄，直至 30 分鐘或達穩定入滲情形(本團隊採連續 10 筆紀錄相同入滲情形為標準)。

(六) 資料判讀：

由於馬奧利特瓶與內環規格略有差異，而試驗記讀係以馬奧利特瓶下降速率進行記錄，因此需將其下降速率推算回內環規格之下降速率，藉此獲得正確之資料。

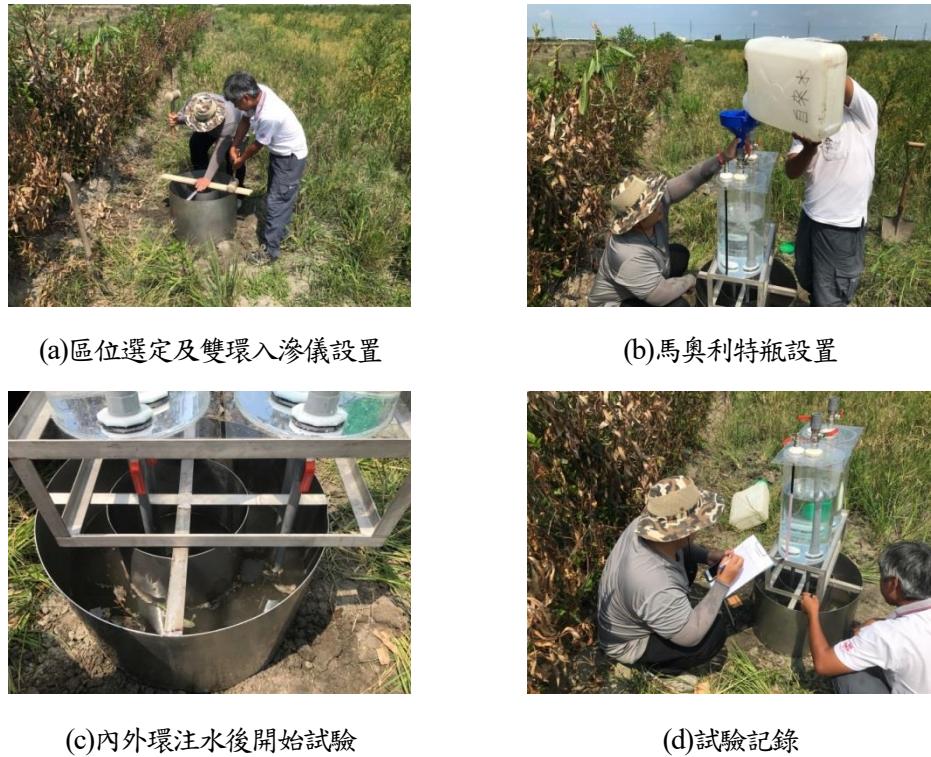


圖 2 雙環入滲試驗步驟

三、土壤垂直入滲率推估方法

雙環試驗係藉由馬奧利特瓶中水位隨時間之變化關係估算土壤垂直入滲率，並藉以繪製入滲曲線，常見之入滲推估公式包含 Kostiakov、Horton、Philip、Huggins and Moke 與 Richards 等，其中又以 Horton 入滲公式(Horton, 1940)應用最為廣泛，該公式能反應地表產生積水情況下之土壤平衡入滲速率，並以指數遞減的形式表示如式-1 所示：

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-\alpha t} \quad (\text{式-1})$$

其中， f_c 為穩定入滲率(Equilibrium Infiltration Rate, LT^{-1})，亦可稱為飽和水力傳導係數、 f_0 為初始入滲率(Initial Infiltration Rate, LT^{-1})、 α 為 Horton 入滲參數(Coefficient of Permeability)、 t 為時間(T)。

附錄三 定量抽水試驗

單井抽水試驗

一、原則

依據經濟部水利署施工規範第 02243 章鑿井工程之相關規定辦理抽水試驗。

二、抽水試驗

抽水試驗應先行分級抽水試驗以求出安全出水量後，再連續做 6-24 小時(不包括回升水位紀錄)之定量抽水試驗。

(一) 分級抽水試驗：以水井承受最大且穩定之抽水量為第五級，最少量為第一級，分 5 級抽水，由第一級至第五級順次連續抽水，各級抽水試驗記錄時間為 100 分鐘，依據分級抽水試驗結果，求得抽水井的安全出水量。

(二) 定量抽水試驗：依分級抽水試驗求得之穩定安全出水量，進行定量抽水試驗，記錄時間為每分鐘紀錄一筆需連續紀錄。俟水井回復靜水位後，辦理連續 6-24 小時定量抽水試驗作業，如定量抽水試驗未能達安全出水量時，應重行洗井後再辦理抽水試驗。

(三) 量水設備採用量水堰(直角三角堰、矩形堰、全寬形堰)、超音波水量計、電子式水量計或機械式水量計檢測。

(四) 水位洩降與抽水量紀錄：抽水試驗時應隨時記錄水位洩降及測量出水量，如表 1，並應調整設備使能保持穩定出水量，其波動幅度不得大於 10%，惟抽水機啟動後 5 分鐘內不受限制。

表 1 抽水試驗紀錄表

水井地點及座標： 水井井徑及深度： 試驗人員：						抽水機口徑： 進水口深度： 抽水機型式： 抽水機馬力：			
分級抽水試驗						定量抽水試驗			
日期：						抽水量： 日期：			
分級/流量	時間 (時:分)	累計 時間	水位 (M)	水位 洩降 S	備註	時間 (時:分)	累計 時間	水位 (M)	水位洩降 S (M)
第一級 流量：				靜水位					
第二級 流量：									
第三級 流量：									
第四級 流量：									
第五級 流量：									

三、分析方法

(一)安全出水量

1. 將洩降資料繪製於半對數圖上(時間為對數軸)，求取各級抽水量在各級抽水時間段中所貢獻之洩降量[S]。
2. 計算各級抽水試驗之總洩降量[$\sum S$]，如表 2 所示。

表 2 分級抽水試驗彙整表

分級	Q (m ³ /day)	S (m)	$\sum S$ (m)
1			
2			
3			
4			
5			

3. 以抽水量[Q]為橫軸，洩降與抽水量比值[S/Q]為縱軸，繪製抽水量-洩降與抽水量比值關係。
4. 若井內水位洩降主要由含水層損失所貢獻(水流呈層流狀態)，則資料點應大致呈線型分布。繪製線性趨勢線，其斜率即 C，與縱軸(Q=0)之截點即為 B。
5. 將前一步驟所求得之斜率與截距，及各級抽水量分別帶入下式，即可求得各級抽水量下之水井效率。

$$\text{水井效率} = BQ/(BQ+CQ^2) \quad (1)$$

6. 有時在較高抽水量的狀況下，因水井損失(擾流)的比重加大，而致 S/Q 之變化率顯著加大，顯示抽水已超過水井之理想抽水量，造成擾流以致產生額外的洩降，此一斜率變化之處所對應的抽水量[Q]，即稱為水井的安全出水量，意即，該井之抽水量不宜超過此一安全出水量，以避免因額外洩降所造成水井使用壽命縮短之情形。

(二)水文地質參數

1. 將表 1 中累計時間[t]與洩降[S]，以洩降[S]為縱軸，累計時間[t]為橫軸，點繪於橫軸為對數尺度(logarithmic scale)之半對數圖上。
2. 利用全數累計時間[t]與洩降[S]點繪之點，以迴歸方式求得一對數曲線方程式(於半對數圖為直線)。
3. 利用對數曲線求取累計時間[t]恰等於 1 及 1,000 之洩降 S_1 及 $S_{1,000}$ ，並計算其洩降差值 ($S_{1,000} - S_1$)，此洩降差值定義為單位對數循環洩降變化量[ΔS]。
4. 將表 1 中抽水量[Q]及單位對數循環洩降變化量[ΔS]代入
$$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta S}$$
，求得導水係數(Transmissivity)[T]；若已知含水層厚度[D]，可將導水係數[T]除以含水層厚度[D]，可求得透水係數[K]。

附錄四 河槽補注設施規劃計畫書

○○○溪河槽補注設施規劃計畫書

目錄

一、前言

二、流域概述

三、計畫河段現況測量與調查

(一) 水資源供應現況

(二) 河川流量及水質

(三) 水文地質

四、計畫內容

(一) 目標量補注

(二) 河槽補注設施範圍

(三) 河槽補注設施及其附屬設施之類型、尺寸、位置及間距等

(四) 全數設施之單位成本及總成本，包含操作及維護費用

(五) 施工進度表

(六) 避免水權競合之管理措施

(七) 環境影響說明

五、附圖、表

(一) 河槽補注設施計畫位置示意圖

(二) 河槽補注設施計畫縱斷面圖

(三) 河槽補注設施計畫各橫斷面圖

附錄五 會議意見回覆表

114 年度「地下水補注管理技術參考手冊(草案)」

專家學者會議

時間：114年08月05日(星期二)下午2時

會議意見回覆對照表

一、張委員良正	
(一)圖 1-1 中設置是否含工程發包?若為在槽式是搭配河川疏濬。	感謝委員意見，本手冊河槽補注設施均為配合河川疏濬、河道整理工程、揚塵控制與水覆蓋等措施時，藉由其挖深或堆置簡易土堤方式營造蓄水空間執行補注作業。故無涉及工程發包。
(二)河道內的作法可再說明清楚。	感謝委員意見，已於 4.1 節補充說明河槽補注設施設置範圍及方式。
(三)手冊中有提到河道外，也是歸於河槽補注?河道外是指堤防外?	感謝委員意見，本手冊主要聚焦於河道內配合疏濬作業設置河槽補注設施，故已刪除河道外補注設施，並於 4.1 節補充說明河槽補注設施設置範圍。
(四)離槽式與在槽式工程的性質差異很大，應該在規劃開始就分開考量。離槽式有固定工程需進行一般的規劃設計流程，在槽式則可大為簡化。	感謝委員意見，本手冊主要聚焦於河道內配合疏濬作業設置河槽補注設施，故已刪除離槽式補注設施方法，並於 4.1 節補充說明河槽補注設施設置範圍。
(五)若為河道中補注，則應選失水河段並考慮設上下游水位流量站。	感謝委員意見，5.1 節資料蒐集部分，已有說明應調查河槽補注設施河段之河相歷史，以釐清補注區域河段為得水河川 (gaining river) 或為失水河川 (losing river)。另外於 7.2 節設施操作監測部分，說明如欲利用水平衡分析評估補注量，應於河槽補注設施進出流渠道設置水位流量站。
(六)P4 中 S_y 之定義有問題，請更正。	感謝委員意見，已修正比出水量定義。

(七)附錄之抽水試驗，因在河槽中且不是抽水井，無需求取安全出水量，定量試水才是重點。	5.1 節資料蒐集部分，附錄三之抽水試驗步驟主要依據經濟部水利署施工規範第 02243 章鑿井工程所列之步驟。
二、李委員振誥	
(一)本案參考手冊之執行，相當有意義與價值。	感謝委員肯定。
(二)4.3 節之再生水與淡化海水是否可作為補注水源，請再思考，請對“河槽”之定義在前言加以說明。	感謝委員意見，本手冊主要聚焦於河道內配合疏濬作業設置河槽補注設施，其水源主要取自河川地面水，故已刪除該章節內容並於 4.1 節定義河槽補注設施設置範圍。
(三)4.6 節含水層儲蓄之操作，如何訂定不 予抽取之標準，其下限值如何訂定？	感謝委員意見，本手冊主要聚焦於河道內配合疏濬作業設置河槽補注設施，進行地下水補注作業，並無涉及含水層儲蓄之操作，故已刪除該章節內容。
(四)“水道”加入 4.7 節。	感謝委員意見，4.7 節內容已調整為 4.1 節，並於河槽補注設施設置範圍加入“水道”名詞。
(五)表 5-1 加入“上下游河川流量歷線”資料蒐集，以及地下水出滲段與入滲段資料蒐集。	感謝委員意見，表 5-1 已納入河川流量歷線及地下水出滲段與入滲段(河相歷史)資料蒐集。
(六)河川附屬建造物 80 公尺範圍內，應不得設置為補注設施，請說明 80 公尺緣由。	感謝委員意見，主要依據河川管理辦法第 41 條規定。
(七)第 7 章請對設施營運方式多加說明。	感謝委員意見，第 7 章已有補充說明相關內容。
(八)本案河槽補注手冊，似僅提及補注池概念，而補注井之概念似未提及。	感謝委員意見，本手冊主要聚焦於河道內配合疏濬作業設置河槽補注設施進行地下水補注作業，故已刪除其餘地下水補注方法介紹。
(九)附錄一之檢核表，請再檢視其各檢核項目之是否有重複部分。	感謝委員意見，已修正附錄一重複項目。
(十)附錄四請再檢討第三條之第(二)項內	感謝委員意見，已刪除原第三條

容是否有必要列入。	之第(二)項”堤防(護岸)基腳頂高、橋樑基礎頂高及基樁深度、取水口高程及電塔等其它跨河構造物調查成果”內容。
三、黃委員智昭	
(一)比出水量定義之敘述與單位洩降出水量相似，請再檢視；另建議比照儲水係數定義，修訂為非拘限含水層中，單位面積水頭下降所釋放出水量。	感謝委員意見，已依據 Fetter (2001) 所編列之 Applied hydrogeology 書籍對比出水量定義進行修正。
(二)非拘限含水層定義中之絕水層，其定義為何？請補充說明。	感謝委員意見，依據水利署水利名詞解釋，絕水層(Aquifuge)為不含水分且無孔隙供水流通的岩層。
(三)表 3-1 臺灣地下水區水文地質架構特性，建議參酌地礦中心已公告之地下水補注地質敏感區計畫書內容；另臺中地區清水海岸平原之水文地質架構，建議再蒐集已有之文獻資料。	感謝委員意見，表 3-1 已參考地下水補注地質敏感區計畫書內容進行修正相關說明。臺中地區清水海岸平原之水文地質架構部分，已參考劉宏仁等人(2021)臺中海線地區地下水資源量化評估之期刊進行補充說明。
(四)報告中台中地區、台中市、台北盆地、臺南市，修正為臺中地區、臺中市及臺北盆地、臺南市。	感謝委員意見，3.5 節已統一相關縣市、地下水區名詞。
(五)P28 得水河川(graining river)修正為(gaining river)。	感謝委員意見，已修正相關誤植內容。
(六)表 5-3 河槽人工地下水補注方案評分標準示例中，評分準則高、中、低三項是否應再訂正分組標準，請再考量。	感謝委員意見，表 5-3 評分準則高、中、低評分準則已補充分組標準。
(七)表 5-4 磁力探測法，主要為調查岩石的磁性強度，例如火山岩，較常用於地熱調查；另建議增列地電阻影像剖面探測法。	感謝委員意見，表 5-4 已刪除磁力探測法並補充地電阻影像剖面探測法。
(八)附錄三有關最佳出水量分析方法，建議再詳細補充其分析內容；另圖 2 中，其斜率應為 C 與縱軸之截點應為 B，請再檢視。	感謝委員意見，已修正 C 為斜率、B 為截距。
(九)分級抽水試驗規定中，安全出水量及	感謝委員意見，已修正誤植文字，

最佳出水量兩名詞，其意義是否相同，請再補充說明。	應統一為安全出水量。
(十)定量抽水試驗資料分析步驟中 T 之中文名稱宜統一。	感謝委員意見，附錄三之 T 值已統一名詞為導水係數(Transmissivity)。
四、羅委員偉誠	
(一)肯定本手冊的完成和成果。	感謝委員肯定。
(二)請確認 Aquitard 應為微水層， Aquiclude 應為阻水層。	感謝委員意見，依據水利署雙語詞彙，Aquitard 為滯水層/半透水層/阻水層，而 Aquiclude 為微水層。
(三)P4 是否按英文字母排序表中名詞解釋。	感謝委員意見，第 2 章名詞解釋順序已調整為英文字母排序方式。
(四)透水係數是否為 permeability? 而 hydraulic conductivity 為水力傳導係數? 請確認。建議加入單位。	感謝委員意見，依據水利署雙語詞彙，Hydraulic conductivity 為透水係數，而 Permeability 為土壤滲透係數。另外，透水係數之定義說明已有說明單位”水穿過孔隙介質或地層的難易程度，因次單位與速度相同，即單位時間內之長度。”。
(五)含水層的儲水能力，可由 storativity 和 specific storage 來量化，建議可以加入名詞解釋。	感謝委員意見，已納入儲水係數(storativity)之說明。
(六)一般地下水補注分為 diffuse recharge and focused recharge，較少分為地表入滲、非飽和層及飽和層補注。	感謝委員意見，本手冊地下水補注分類方式主要參考 ASCE 於 2021 年發表”Standard guidelines for managed aquifer recharge”分類方式。另外，本手冊河槽補注設施屬於地表入滲補注方式。
(七)P35“一般常使用 MODFLOW...評估地下水補注成效”，文中又提到 MODFLOW 為飽和地下水流數值模式，雖然 MODFLOW 有 UZF 模組，但如果要計算地表入滲及非飽和層補注須要知道保水曲線的參數，亦即	感謝委員意見，保水曲線參數可藉由現地試驗或相關文獻取得，例如 Brooks-Corey 模式之保水曲線參數，參考 Vereecken et al. (2007)所發表文章”Explaining soil moisture variability as a function of

<p>像 Brooks-Corey 模式及潮濕乾燥的 scanning curve，是一個關鍵議題。</p>	<p>mean soil moisture: A stochastic unsaturated flow perspective”，已詳列不同土壤類型對應保水曲線參數。</p>
<p>(八)在推估補注面積時，在 P35 提到將以達西公式透過 Q 與時間 t 反推，然達西速度的計算常高於實際現場的地下水速度，影響補注成效的估算。</p>	<p>感謝委員意見，該段主要說明規畫設計階段為達目標補注量，可利用達西公式反推補注設施面積，而地下水補注成效估算應執行入滲試驗以調查實際入滲率。</p>
<p>五、經濟部水利署 水利行政組 陳視察右典</p>	
<p>(一)依過往經驗，疏濬工區多於非汛期辦理，常無水蓄積，倘水情狀況不佳時，也易衍生與下游水權單位搶水之爭議事件，爰最佳補注時間應為汛期尾聲，如疏濬工區河槽未因颱洪事件回淤，再進行圍水土堤才具效益，避免維護經費過高。</p>	<p>感謝委員意見，本手冊河槽補注設施設置時機為配合河川疏濬工程完工後，其挖深區域作為補注設施，而河槽補注設施操作期間引水亦應考量下游水權，避免產生用水競合問題。</p>
<p>(二)疏濬工程補注池於颱洪事件後是否具維護效益，如何評估？其基準建議具體律訂。</p>	<p>感謝委員意見，河槽補注設施維護部分，主要由河川分署或縣市政府考量現場水情及河槽補注設施毀損狀況是否進場維護。</p>
<p>(三)地下水補注多選擇於扇頂部分，鑑於高鐵雲林段沉陷熱區(如：TK226~232)多位於扇央部分，建議針對扇央部分顯著下陷地區多規劃施設鄰近之地下水補注工程。</p>	<p>感謝委員意見，水利署相關計畫亦有針對扇央地區執行地下水補注工程，如民國 112 年砂樁工法於新虎尾溪地下水補注之應用計畫。</p>
<p>六、經濟部水利署 水源經營組 黃工程員吉正</p>	
<p>(一)河槽補注用水原則雖不用申請水權，但提醒如果從補注設施中取水作其他用途，如灌溉或養殖，就需要申請水權。</p>	<p>感謝委員意見，4.2 節已有說明“這些設施並未直接取水使用，也不涉及水利事業的興辦，因此無需申請相關水權”。</p>
<p>(二)在以目標補注量推估所需補注面積時，手冊中建議以達西公式進行推算，但因現地之 K 值不易取得，建議於手冊中依不同環境提供建議 K 值，以利執行單位進行推算。</p>	<p>感謝委員意見，5.4 節之表 5-7 已補充不同土壤類型所對應入滲率參數，作為參考。</p>
<p>七、經濟部水利署 水文技術組 阮組長香蘭</p>	

(一)目的：整合資源，地下水補注工作規劃與疏濬工程、滯洪池工程或休耕農地銜接，利用既有場域進行簡易設施或處置以達到補注目的。	感謝委員意見，4.1 節已強調河槽補注設施主要配合河川疏濬、河道整理工程、揚塵控制與水覆蓋等措施，經由引水進入既有疏濬挖深場域執行河槽補注作業。
(二)分工：考量實務可操作性，較屬技術面者如評估、規劃設計、監測及成效評估由水文技術組主政(第 5、7、8 章)，另現場設施維護及管理者，由河川分署或縣市政府水利單位負責(第 6、7 章)。	感謝委員意見，1.4 節之圖 1-1 河槽補注設施設置流程圖已依照實務可操作性進行分工。
(三)操作上：與水政組合作，每年河川分署會提報未來 3 年的疏濬計畫(核定後進行當年度核定工程的設計、發包及執行)，水文組獲得資料後即可進行評估，並將評估可施作之河槽補注設計需求提供水政組轉河川分署或縣市政府水利單位納入疏濬工程設計中，以一次到位辦理，無需二次施工。	感謝委員意見，遵照辦理。

八、經濟部水利署水文技術組 張工程員乃蓉

(一)在槽式補注設施常常因颱洪過後而損壞，建議補充維護作業大概所需經費，以利評估維護效益。	感謝委員意見，7.3 節表 7-2 已補充維護費用。
(二)P.56 針對經濟成本效益評估提出 3 項指標，惟在第 9 章設施案例中並未見如何計算及應用，亦未提供相關成本參數來源或試算範例。建議於案例分析章節中補充，或是效益評估部分依據現行作法撰寫，以利作為各地區未來推動補注設施時之參考依據。	感謝委員意見，8.3 節各項經濟成本效益評估已補充範例試算。
(三)本案已於 113 年召開兩次專家學者會議，建議相關意見回覆表可當附錄附於手冊中。	感謝委員意見，遵照辦理。

九、經濟部水利署 第五河川分署 彭工程員皓楷

(一)石榴班溪的案例，較沒有看到，所給的範例皆是河道較寬的地點，是否可增加像石榴班溪這類型的建議？	感謝委員意見，4.1 節已納入彰雲地區濁水溪、石榴班溪與高屏地區荖濃溪、隘寮溪及高屏溪河槽
---	---

	補注設施等範例及說明。
(二)未來可能在八掌溪續推河槽補注區，是否可以把合適的暫置區空間也納入參考指引或後續建議的點，以避免純進行頻率較高的河道整理，不符經濟效益。	感謝委員意見，欲設置河槽補注設施場址可利用本手冊 5.2 節初步評估方式，評估該場址是否適宜設置河槽補注設施。
(三)在槽式補注設施，有關後續維護以目前開口廠商配合情形，看起來都會導向臨時簡易土堤型式，是否一般工程設計(挖深、坡度)，有點多此一舉，實際上很快就會回淤，導回土堤型式。	感謝委員意見，本手冊河槽補注設施設置時機為配合河川疏濬工程完工後，其挖深區域作為補注設施，故建置過程並無額外產生過多工程施工，而颱洪導致河槽補注設施淤積或毀損，為修復河槽補注設施之補注功能，採用簡易土堤型式較為簡易及快速。

十、經濟部水利署 第七河川分署 黃工程員主雄

(一)河槽補注設施設計應兼顧地質與生態，河槽補注建議納入生態相關議題，以土庫提防尾為例，現場有草鴞復育相關計劃，尚不知河槽補注設施是否會有影響。	感謝委員意見，5.3 節之表 5-3 河槽人工地下水補注場址評分標準中，已有納入生態衝擊考量。
(二)圖 5-4 示意圖建議加入設施名稱、水流方向以利判讀，像是圖 6-1。也可以加入離槽式圖說資訊以利了解河槽補注設施差異。	感謝委員意見，因調整章節編排方式，已刪除圖 5-4 示意圖。另外，本手冊主要聚焦於河道內設置河槽補注設施，故已刪除離槽式等說明。

十一、經濟部水利署水利規劃分署 吳正工程司文賢(書面意見)

(一)1.4 手冊導覽-「...若需將疏濬區域做為補注區域，則該區域規劃由河川分署負責，若為加強地下水補注措施，主要由水利署進行規劃並提供河川分署或縣市政府等...」，何謂「加強地下水補注措施」？請說明或是內容重新表達。	感謝委員意見，加強地下水補注措施是指即經由水利署評估該地區需要額外增加地下水補注量體。
(二)第 2 章名詞解釋，一些名詞的解釋宜加強或修潤用語，例如，入滲率、孔隙率、水力梯度、阻水層、非拘限含	感謝委員意見，第 2 章名詞解釋已修潤用語。

水層、補注、補注區、補注率（量）等。	
(三)圖 3-1，很明顯出現 USGS 字眼，卻說修改自 ASCE (2020)，是否妥適，請斟酌。	感謝委員意見，該張圖 ASCE(2020)亦是引用自 USGS，故本手冊修正圖 3-1 來源為 USGS。
(四)p8，3.2 地下水流動-地下水水流動速率指的是地下水在含水層中實際移動的速度。移動速度取決於多種因素，地下水水流動速率主要由以下兩個參數決定：水力傳導係數 (K) 及水力梯度 (i)；為何與氣候狀況有所關連？該項內容請再斟酌。	感謝委員意見，3.2 節地下水水流動內容已修正為”地下水水流動速率取決於含水層水文地質特性及水力梯度。”
(五)p8，地下水補注行為-地下水補注是維持地下水資源永續的重要行為，它主要分為自然補注和人工補注兩大類。這兩者都是指水從地表或非飽和帶滲入地下，最終補充到飽和含水層的過程。該項內容表達不甚完整或有系統性、層次性的表達，請修潤。	感謝委員意見，3.2 節地下水補注行為內容已修正為”地下水補注是維持地下水資源永續的重要行為，它主要分為自然補注和人工補注兩大類。”
(六)p8，含水層儲蓄-含水層儲蓄潛能指的是一個含水層在豐水期能夠有效儲存多餘水量，並在枯水期時釋放出來的能力。影響含水層儲蓄潛能的關鍵因素：儲存係數 (Storage Coefficient, S) 或比出量 (Specific Yield, S_y)，含水層的厚度與面積及地層特性。建議該項內容再修潤與精簡。	感謝委員意見，3.2 節含水層儲蓄內容已修正為”含水層儲蓄潛能取決於含水層厚度、面積及水文地質特性等因素。”
(七)p10，地下水蘊藏量，不適合使用「蘊藏量」這名詞，地下水資源具有可再生特性，因為「蘊藏量」使用於金屬、非金屬不可再生資源。	感謝委員意見，3.4 節已刪除”蘊藏量”文字。
(八)p13，「..地下水補注地質敏感區主要位於＊＊縣市...」，該描述請修正，如此寫法會讓人誤會該敏感區範圍相當大。	感謝委員意見，已修正論述如下：地下水補注地質敏感區主要涵蓋臺北盆地的新北市部分地區，約佔臺北盆地總面積 4.98%、臺中地區的臺中市及南投市部分地區...
(九)p15，地下水補注目的，建議修訂為	感謝委員意見，本手冊主要聚焦

<p>「地下水人工補注」，因為地下水補注分為自然補注及人工補注。本項內容之「水資源供應管理」、「水質管理」、「含水層復育」等用詞宜斟酌，上述目標用語不夠具體且不易達成。</p> <p>「水源開發與利用」、「水質淨化」等用語供參考。「含水層復育」是指針對受到污染的地下含水層，採取各種技術與方法，將污染物去除或降低其濃度，使其恢復到可利用的狀態，通常是飲用水標準。</p>	<p>於河道內配合疏濬作業設置河槽補注設施，故依據委員意見刪除原手冊第4章地下水補注概念，並著重說明河槽人工地下水補注概念。</p>
<p>(十)p15，「地下水補注組成方法」，建議修改為「地下水補注方案及內容」；該內容可為補注水源、水源前處理設施、補注設施、監測系統及營運管理等面向來敘述，除非還有「取水飲用」部分。</p> <p>(十一)p16，補注水源取得，建議再補充國內法規規定，使用各種水源取用需考量因素。</p>	<p>感謝委員意見，本手冊主要聚焦於河道內配合疏濬作業設置河槽補注設施，故依據委員意見刪除原手冊第4章地下水補注概念，並著重說明河槽人工地下水補注概念。</p> <p>感謝委員意見，本手冊主要聚焦於河道內配合疏濬作業設置河槽補注設施，故依據委員意見刪除原手冊第4章地下水補注概念，並著重說明河槽人工地下水補注概念。</p>
<p>(十二)p17，「對於河槽設置補注設施引用天然地面水體，增加地面水於河道內停留時間以進行地下水補注，……，並無涉及相關水質法律規範。」建議移至「補注水源」說明之。</p>	<p>感謝委員意見，本手冊主要聚焦於河道內配合疏濬作業設置河槽補注設施，故依據委員意見刪除原手冊第4章地下水補注概念，並著重說明河槽人工地下水補注概念。</p>
<p>(十三)p17，「補注方式」建議修改為「人工補注方式」。補注方式分為地表人工補注及地下人工補注。地表人工補注：水引導到地表，利用重力讓水慢慢滲入。這通常適用於地表土壤透水性良好的區域。地下人工補注：適用於地表有不透水層，或需要直接將水注入深層含水層的</p>	<p>感謝委員意見，本手冊主要聚焦於河道內配合疏濬作業設置河槽補注設施，故依據委員意見刪除原手冊第4章地下水補注概念，並著重說明河槽人工地下水補注概念。</p>

情況。	
(十四)p24，手冊主要重點為河槽補注，地表入滲池方案較適宜於河槽補注，建議其該法內容為主，其次之（基本不太可能在河槽處建設水質處理設施）。	感謝委員意見，已依據委員意見刪除原手冊第4章地下水補注概念，並著重說明河槽人工地下水補注概念。
(十五)p25，4.6節含水層儲蓄與第3章有重複，是否繼續存留，請考慮。	感謝委員意見，本手冊主要聚焦於河道內配合疏濬作業設置河槽補注設施，故依據委員意見刪除原手冊第4章地下水補注概念，並著重說明河槽人工地下水補注概念。
(十六)p26，4.7河槽地下水補注概述，建議增加『人工』，與自然補注作為區分。	感謝委員意見，河槽地下水補注概述已修正為河槽人工地下水補注概述。
(十七)p26，「...，各地區可因地制宜採合適方式執行河槽地下水補注作業」，前項所言「各地區可因地制宜採合適方式」是如何因地制宜採合適方式執行河槽人工補注池作業，宜明確說明如何選擇適當河段或地點。	感謝委員意見，因地制宜採合適方法指依據不同河段地點可選擇採用藉由疏濬挖深地區設置補注池或利用簡易土堤圍水方式設置補注設施。已於4.1節補充說明。
(十八)p28，5.1資料收集，宜將資料分類別（）後，要求需哪項項目資料與數據表達，以利閱讀及避免遺漏。	感謝委員意見，表5-1已修正為僅第5章節所需之資料項目，而各項目說明已補充至內容中。
(十九)表5-1，以各階段作為收集資料數據是否恰當請考量。	感謝委員意見，表5-1已修正為僅第5章節所需之資料項目。
(二十)建議列出工程探勘和選址工作之現場調查與試驗項目表，而不要像表5-1沒系統性、層次性列出，易遺漏數據資料。例如：水質成分、土壤物理性質、土壤化學性質、土壤水力學性質及地下水類別，在各類別之下，列出評估分析所需要的各參數項目。場地勘查與選址報告需呈現何種的量化數據與內容。現場勘查與選址，應該不用區分初步	感謝委員意見，表5-1已修正為僅第5章節所需之資料項目，而編排方式主要考量第5章節不同階段不同負責單位所需蒐集項目，故以此方式編排。 另外，「當規劃階段存有大量潛在方案時，可進行2階段評估」內容已修正為“在規劃階段若存在大量潛在場址，可採取二階段評估程序，依序為「初步評估」與「細

<p>評估、細部評估階段，畢竟該工程不是很複雜且投資成本高。此外，何謂「當規劃階段存有大量潛在方案時，可進行 2 階段評估」，潛在方案是指複數工址嗎？還是指地表補注池、井補注等補注工程？</p>	<p>部評估」。”，其指如果存在多處河段可設置河槽補注設施，可經由二階段評估程序進行篩選合適地點。</p>
<p>(二十一) p31，表 5-3，評估項目宜有層次，每個項目（水文地質特性、環境因素、實施執行因素）權重應不同，例如，土地可得性，河槽設置補注池，土地因素大致上不用考慮吧，除非該工址有租用情形發生。</p>	<p>感謝委員意見，考量本手冊主要聚焦於河槽人工地下水補注，故表 5-3 已重新修正符合河槽人工地下水補注項目。</p>
<p>(二十二) 表 5-3 之 (1)「滯留時間」，該評估因子用意為何？是不是地下徑流時間（從補注場地入滲點至天然排洩點（地表河渠）或人工抽水點所經歷時間），該徑流時間要求主要是規定補注水質需經過一定時間淨化方能被抽取引用，而且案例所提滯留時間計算方式不妥，流動過程可能被人工抽水方式抽用；(2)地水下溢淹，此項目何義？該項目名稱不易被理解；(3) 設施與洪水管理的整合性，此項目名稱是否妥適，請斟酌。</p>	<p>感謝委員意見，考量本手冊主要聚焦於河槽人工地下水補注，故表 5-3 已重新修正符合河槽人工地下水補注項目，部分不適用於河槽人工地下水補注之項目已刪除。</p>
<p>(二十三) p35，5.5 補注設施規劃設計注意事項，建議提出補注設施設計要項，而非僅有注意事項。此外，生態基流量如何決定？設計入滲池必須考量入滲池運行時機、引入水源量及入滲池淹水操作時間，非簡單假設計算式即可。</p>	<p>感謝委員意見，5.5 節生態基流量主要參考 Tennant (1976) 提出之生態基流量建議：若要維持生態機能之最低河川生態基流量至少須維持原河道年平均日流量之 10 %；另若要維護一個契合生態環境之棲地條件，則需年平均流量之 30 % 為生態基流量。 另外，已補充輸水設施之引水量、</p>

	補注池蓄水體積評估方法。
(二十四) p37，河段平均坡度越陡，不一定需將堤高增加來補注池面積，也可採多個補注池設計，此法也可避免地下水丘對地下水補注的影響。	感謝委員意見，5.5 節已補充說明可採分段蓄水方式設置土堤以降低土堤高度及增加攔蓄地面水面積。
(二十五) p38，設計文件內容，應該是要有補注設計量。	感謝委員意見，5.6 節已列目標補注量之項目。
(二十六) p49，利用氫氧同位素法釐清補注設施周遭地下水水體組成成分比例，作為評估補注成效，此方法在此處適用性不高，空間差異性應該不高（河川水與地下水早已有交換），倒不如選擇河川水質所含的成分與地下水水質成分差異較大的作為示蹤劑，若無則可選擇氯化鋰作為示蹤劑來分析。	感謝委員意見，考量成本及汙染風險，故於本手冊建議採用氫氧同位素分析方法。
(二十七) p51，「故若出現地下水過高之情況可藉由調整及控制補注池入流量調整水丘高度」，如何調整？倒不如在補注池設計時思考補注池的大小、數量，降低地下水丘對地下水補注的影響。	感謝委員意見，考量本手冊主要聚焦於河槽人工地下水補注，故7.3 節已刪除地下水溢淹的說明。
(二十八) 經濟成本效益評估，所提評估項目複雜不易分析，尤其生態系統服務效益，可否再提其他評估效益（更為直接簡單的項目）。	感謝委員意見，考量本手冊主要聚焦於河槽人工地下水補注，故8.3 節已刪除生態系統服務效益等說明。
(二十九) p59，案例說明，評估要點-地下水補注地質敏感區，該資料尺度較大，若採用工址探勘選擇則不足，無法得知選擇河段為失水或得水河川，建議應增加河川與地下水等值線圖來判斷適宜河段。	感謝委員意見，5.1 節已有說明如何評估得水河川或失水河川：得水河川或失水河川評估方式可藉由相關研究計畫成果取得資料或依據河川斷面及地下水水位高程資料評估。
(三十)建議手冊內容宜簡單扼要、避免過度重複性內容敘述。	感謝委員意見，已依據各位委員意見修正手冊內容。
結論	

<p>(一)河槽補注主要配合河川疏濬工程於地下水抽超地區執行疏濬工程時，可參考本手冊辦理補注工作，可減少用地取得及環評影響，其構造設施不可違反疏濬工程防洪目的。</p>	<p>5.5 節規劃設計注意事項已有補充河槽補注設施設置不可違反疏濬工程防洪目的為原則。</p>
<p>(二)綠色國民所得帳之地下水資源計算，每年地下水補注量除原天然補注計算量應再加計人工各種補注量，減少超抽量，使地下水補注量更為合理。</p>	<p>綠色國民所得帳相關分析為水利署另一計畫執行，爾後將提供相關人工補注量分析結果給予相關團隊，以利統計分析地下水補注量。</p>
<p>(三)本手冊修訂後，請水文技術組依程序辦理核定作業，完成後續於本署官網資訊服務下水利櫥窗之地下水區登載，提供各河川分署及縣市政府下載參考，另地下水觀測井設置與檢測作業準則，等地下水業務作業手冊於修訂完成後一併上傳登載。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>(四)附錄各種試驗若有標準施工規範，請將規範內容列於附錄，勿另訂標準，例如抽水試驗請附施工規範第 02243 章之試驗標準規範。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>(五)各審查委員及各與會代表所提意見，請川霖科研有限公司參照、補充及說明，並於修正版中逐一列表回應。</p>	<p>遵照辦理。</p>

114 年度「地下水補注管理技術參考手冊(草案)」

交流座談會議

時間：114年03月31日(星期一)下午2時

會議意見回覆對照表

一、經濟部水利署水文技術組 阮組長香蘭	
(八)目前河槽補注設施補注水源以地面水為主，建議可採用簡單且有效的水質判別方法，排除不適合的補注水源，以確保補注水質安全。	感謝委員意見，5.2 節初步評估階段已補充水質判斷準則，補注水源水質：可參考環境部全國環境水質監測資訊網之河川污染指數(RPI)評估河槽補注水源適宜性，選擇未(稍)受污染至中度污染之河段為宜(P.31)。
(九)建議優先採用在槽式補注方式結合疏濬工程同步施作，提升整體效益。	感謝委員意見，6.3 節補注池設置階段，已說明補注池設置可結合疏濬工程作業同步完成(P.41)。
(十)離槽式補注設施亦具可行性，建議可參考滯洪池設計方案，其中，乾式滯洪池可直接用於補注地下水，而濕式滯洪池則須評估設置砂樁補注設施的可行性。	感謝委員意見，4.7 節河槽地下水補注概述，離槽式(固定式)補注設施已補充說明滯洪池設計可參考規範，滯洪池型式設置離槽式(固定式)補注設施，其設計規範可參考「水土保持技術規範：第十六節滯洪設施」及「建築物設置透水保水或滯洪設施適用範圍及容量標準」(P.26)。
(十一) 有關坡面整治設計部分，建議針對坡面挖深部分，除縱向規劃設計外，應有橫向規劃設計，以利整體河槽補注設施排水與補注功能。	感謝委員意見，6.3 節補注池設置說明已補充補注池設置規模與形狀設置原則主要依據河防安全、疏濬面積及河道地形變化等因地制宜進行設置，以達到降低河防安全外，亦可增加地下水補注效益(P.41)。
(十二) 補注池規劃設計可考慮採用多池式分段補注設計，如上池、中池及下池，以利沉澱砂土與淨化水質，提升	感謝委員意見，6.3 節補注池設置說明已補充因採天然地面水進行補注作業，其懸浮物質的沉澱阻

補注效益。	塞為降低補注成效的主要原因，故施工範圍許可下，可考量設置序列式補注池，或於補注池中增加土堤以提升滯水時間，延長序列式後端補注池之操作時間(P.41)。
(十三) 效益評估方式，可參考美國工兵團水資源工程的效益成本評估模式，以利補注工程的效益評估與決策依據。	感謝委員意見，8.3 節經濟成本效益評估已依據美國陸軍工兵團水利工程效益評估方式進行修正(P.56)。
二、經濟部水利署水文技術組 李副組長珮芸	
(十一) 有關圖 1-1 河槽補注設置流程圖(p3)，對於非位於地下水補注地質敏感區經過評估合適區位則進行規劃設計流程，然經評估無合適區位亦要進行規劃設計嗎？此流程來看，似乎不妥適，請確認。	感謝委員意見，已修正圖 1-1 河槽補注設置流程圖(P.3)。
(十二) 臺灣地下水分區(包含澎湖金門)共計 11 個，表 3-1 地下水區水文地質架構特性的陳述，建議把離島部分一併納入。	感謝委員意見，表 3-1 已補充澎湖地區及金門地區等離島地區水文地質架構說明(P.13)。
(十三) 圖 4-3 河道內地表入滲補注設施示意圖，其各設施坐落位置為何？如何配置？請於圖面上標註。第 22~24 頁，有關地表入滲補注與非飽和層和飽合層補注其優缺點請整理成表格，以進行比較。	感謝委員意見，圖 4-3 已補充各設施坐落位置及配置說明(P.20)。另外已整理地表入滲補注、非飽和層和飽合層補注等優劣勢，如表 4-2 (P.18)。
(十四) 表 5-1，有關地下水補助資料蒐集檢核表列出各階段所應蒐集的項目，建議備註欄位改為檢核單位，另附錄五內容與表 5-1 同，請刪除。	感謝委員意見，表 5-1 已補充執行機關，並刪除附錄五內容(P.29)。
(十五) 表 5-2，河槽地下水補注方案的評分標準示例，其評估標準列 8 項，而實際應用為 9 項，請調整一致。至於評分準則以”高”為例可分成 8~10 分，以”中”為例可分成 4~7 分，然其標準又未細分，如何擇定？總計分數是 90	感謝委員意見，已調整表 5-3 河槽地下水補注方案評分標準示例，評估標準調整為 10 項，總分設計為 100 分。而評分準則分數採用範圍(例如高評分，分數為 8~10 分)方式，此設計為保留評估者專

分，能否設計為 100 分，較能符合一般認知。	業判斷空間(P.32)。
(十六) 針對第 38 頁設計結果，提及最終設文件應包含 6 項內容，建議訂出統一範本格式。結果需陳報水利署核定嗎？	感謝委員意見，已補充河槽補注設施規劃計畫書格式如附錄四。河槽補注設施規劃計畫書是否須呈報水利署核定將依照主辦單位要求辦理。
(十七) 對於河槽補注設施設置，請增加所需設備及設施，並利用空拍圖以及搭配設備(設施)來進行說明。	感謝委員意見，第 6-2 節河槽補注設施案例中，已補充空拍圖搭配設施進行說明(P.40)。
(十八) 表 7-1，地下水補注設施管理項目檢核表，因第 7 章是主要針對營運及維護，故成效評估作業部分請移到第 8 章，另請增加執行機關的欄位。至於圖 7-1 補注設施維護作業示意圖，與文字說明不合(毀損設施維護)，請調整。	感謝委員意見，表 7-1 已補充執行機關欄位並將成效評估作業部分移至第 8 章(P.47)。 圖 7-1 說明已修正為補注設施損毀後維護作業示意圖(P.50)。
(十九) 對於河槽補助設施案例，營運機關請增加河川分署，至於補注量推估，請以表格方式整理出歷年補注成效推估統計表。	感謝委員意見，第 9 章河槽補注設施案例部分，已補充河川分署單位及歷年補注量成果統計表(P.65)。
(二十) 第 67 頁，國外案例是工程全生命週期參考準則？內容似乎非案例介紹，請確定。	感謝委員意見，第 9 章河槽補注設施案例之國外案例，已修正為案例介紹(P.74)。
(二十一) 圖面甚多模糊不清楚，且統一為民國年，請修正。	感謝委員意見，已統一為民國年並修正圖面模糊不清的問題。
三、經濟部水利署 第一河川分署	
(十一) 建議釐清是否僅針對補注敏感區段進行施作，或是否有更廣泛的施作規劃。	感謝委員意見，依據圖 1-1 河槽補注設置流程圖說明疏濬區非位於地下水補注地質敏感區內，由水利署評估該疏濬區執行地下水補注的可行性(P.3)。
(十二) 手冊中補注流程圖中「規劃設計」階段出現重複項目，建議重新整理流程邏輯。	感謝委員意見，已修正圖 1-1 河槽補注設置流程圖(P.3)。
(十三) 在補注設施設計或施作前，是否需考量水利署之角色或工作？	感謝委員意見，圖 1-1 河槽補注設置流程中已標註水利署及河川分署。

	署負責之工作項目(P.3)。
(十四) 建議明確說明後續營運與維護管理主責單位的職責區分與執行機制。	感謝委員意見，7.2 節設施操作監測作業由水利署負責，而 7.3 節設施操作維護作業由河川分署負責，已補充相關文字於該章節(P.47)。
四、經濟部水利署 第二河川分署	
(九)建議在手冊中補充土地租用現況與需求之調查與建議，作為未來工程規劃參考。	感謝委員意見，表 5-3 河槽地下水補注方案評分標準，已納入土地權屬作為評估因子(P.32)。
(十)建議將手冊第一至第四章合併簡化內容，並強化第五至第八章之核心重點，突出本手冊主軸。	感謝委員意見，為使未具備基本水文知識及實際建置及操作河槽補注經驗者對地下水及河槽補注具有一定概念，故需保留第三章地下水基本概念及第四章地下水補注概念。而第五至八章之核心點已補充相關論述，使其更聚焦於河槽補注。
(十一) 地下水補注設施亦可納入考量河道內橫向攔河堰，並應提到補注設施設計以防洪為優先。	感謝委員意見，4.7 節河槽地下水補注概述已有說明離槽式(固定式)補注設施包含補注池、滯洪池或攔河堰(壩)等。另外已在 4.7 節補充說明補注設施因設置於河道內，故原則上應以防洪為優先考量，以降低災害風險(P.26)。
(十二) 「固定式」與「臨時性」用詞尚不明確，應補充具體定義與適用條件。	感謝委員意見，4.7 節河槽地下水補注概述內容中，已定義及說明固定式與臨時性河槽補注設施(P.26)。
(十三) 可探討以補注設施規模大小作為是否進行效益評估的依據。	感謝委員意見，河槽補注設施規模主要依照各河川分署疏濬範圍進行規劃及設置。為保育地下水資源，經評估該地點如具有河槽補注之可行性，即可執行河槽補注作業，以提升地下水資源。
(十四) 建議依據河川特性訂定合理挖深標準，避免一體適用的作法。	感謝委員意見，依據濁水溪歷年設置土堤成果，土堤設置高度介

	於 3 公尺至 4 公尺，以增加攔蓄地面水範圍，其土堤高度可視現場環境條件及需求再行調整，原則上該河段平均坡度越陡，則設置土堤高度越高，才具有足夠蓄水面積，或可採分段蓄水方式設置土堤以降低土堤高度及增加攔蓄地面水面積。
(十五) 建議手冊最後設計一份簡明扼要的檢查清單 (check list)，以利現地評估與工程檢核。	感謝委員意見，已新增河槽補注設施檢核表，如附錄一。
五、經濟部水利署 第三河川分署	
(四)建議將河道整理工作納入整體河槽補注工程考量，提升整體治理效益。	感謝委員意見，4.7 節河槽地下水補注概述已補充說明(P.26)。
(五)有關本分署烏溪轄區部分，後續請團隊再協助評估是否適合辦理地下水補注。	遵照辦理。
(六)有關揚塵控制與水覆蓋等措施，建議統整納入地表補注設計指引中。	感謝委員意見，4.7 節河槽地下水補注概述已補充說明(P.26)。
六、經濟部水利署 第四河川分署	
(三)河槽補注設施操作維護的費用在疏濬案結束後，恐怕就沒有經費可辦理維護，建請再考量其經費來源。	感謝委員意見，有關疏濬工程後無維護經費部分，可採開口契約方式辦理補注設施維護。
(四)臨時簡易土堤高度可考慮以序列式水池佈設，其堤高應不需設置到 3~4m，且應以河防安全為優先考量。	感謝委員意見，依據濁水溪歷年設置土堤成果，土堤設置高度介於 3 公尺至 4 公尺，以增加攔蓄地面水範圍，其土堤高度可視現場環境條件及需求再行調整，原則上該河段平均坡度越陡，則設置土堤高度越高，才具有足夠蓄水面積，或可採分段蓄水方式設置土堤以降低土堤高度及增加攔蓄地面水面積。
(五)為補注地下水於中高灘地圍填土堤所形成蓄水池，易有落淤情形且土質細軟不易處理，建請納入考量。	感謝委員意見，因補注設施維護執行單位為各河川分署，故各河川分署可依據現場淤積狀況評估

	後續採原地維護或於鄰近地點採新設補注設施方式維持地下水補注作業。
七、經濟部水利署 第五河川分署	
(四)所謂的距離 80 公尺，是否與疏濬的標準一致呢？	感謝委員意見，距離 80 公尺範圍規範與河川管理辦法第四十一條標準一致。
(五)疏濬中完成補注池，後續因豪大雨沖毀後，且疏濬工程已完工離場，是否仍有修復之需求，經費來源？	感謝委員意見，有關疏濬工程後無維護經費部分，可採開口契約方式辦理補注設施維護。
八、經濟部水利署 第六河川分署	
(三)目前本分署疏濬工程發包較為困難，建議在槽式地下水補注池後續維管另以開口契約辦理較妥。	感謝委員意見。
(四)本分署轄內曾文溪、鹽水溪及二仁溪皆有草鴞保育議題，建議選址須予以考量生態棲地等環境因子。	感謝委員意見，表 5-3 河槽地下水補注方案評分標準，已有納入生態衝擊作為評估因子(P.32)。
(五)疏濬區域皆屬較易淤積處且臨近主深槽，一次大型颱風豪雨事件皆可能造成地下水補注池淤滿或沖毀，是否仍須花費大筆經費進行後續維護，應配合考量地下水補注效益。建議可優先遴選幾處辦理，於評估效益確定可行後，再行擴大辦理。	感謝委員意見，有關維護經費部分，可採開口契約方式辦理補注設施維護。
九、經濟部水利署 第七河川分署	
(三十一) 手冊內容建議增加實際案例，從規劃、設計、施工及維管等進行說明，並針對各階段有可能遭遇之問題及解決對策說明，較能提供第一線同仁參考及解決問題。	感謝委員意見，第 9 章河槽補注設施案例部分，已補充各階段說明(P.58)。
(三十二) 依高屏溪疏濬補注地下水執行經驗，疏濬區完成後，常無鄰近水源可引入補注區，或遇颱風豪雨補注池易遭洪水沖毀等問題，減少補注效益，是否可藉由機動施作圍水土堤，增加補注面積，有待研究團隊精進相	感謝委員意見，因補注設施維護執行單位為各河川分署，故各河川分署可依據現場淤積狀況評估後續採原地維護或於鄰近地點採新設補注設施(補注池或圍水土堤)方式維持地下水補注作業，已

關於工法，以提升補注效益。	補充說明至 7.3 節(P.49)。
十、經濟部水利署 第八河川分署	
(一) 卑南溪目前開挖土方，可能作為地下水補注的工程有 3 種：疏濬工程、河道整理、揚塵抑制水覆蓋工程，其中前 2 種的規模不大，可能補注量有限。水覆蓋工程中下游都有，範圍面積也大，階梯式水梯田的土堤不高，工程方法可以作為參考。	感謝委員意見，4.7 節河槽地下水補注概述已補充說明在槽式(臨時性)補注設施包含河川疏濬、河道整理工程、揚塵控制與水覆蓋等措施(P.26)。
(二) 水覆蓋工程的做法，環團還是會有意見，故建議手冊納入公共工程生態檢核機制或相關的生態內容。	感謝委員意見，表 5-3 河槽地下水補注方案評分標準，已有納入生態衝擊作為評估因子(P.32)。
(三) 圖 3-2 臺灣地下水區分布圖的觀測井圖例為綠色，與地圖的底圖顏色相近，不易分辨，建議更換顏色。	感謝委員意見，圖 3-2 臺灣地下水區分布圖的觀測井符號已修正顏色(P.11)。
十一、經濟部水利署 第十河川分署	
(一) 淡水河補注施作效益偏低，加上與河防安全需求及建設 3~4 公尺土堤之間存在衝突，建議重新評估施作可行性，並考量安全與效益間的平衡。	感謝委員意見，各地區可依照現場河道狀況調整臨時簡易土堤設置高度，或採分段蓄水方式設置土堤以降低土堤高度及增加攔蓄地面水面積(P.41)。

113年度「地下水補注管理技術參考手冊(草案)」

專家學者會議

時間：113年08月08日(星期四)上午10時

會議意見回覆對照表

一、李委員振誥	
(一)手冊撰擬後使用層級為何？	感謝委員意見，手冊定位是供給各河川分署第一線人員以及有需要執行地下水補注作業的公家機關做為使用參考。
(二)建議可先以河槽補注方面專門進行撰擬，並以實務方面進行考量撰寫方向，於沖積扇地表可分扇頂、扇央及扇尾的方面進行考量。	感謝委員意見，本手冊將著重於河槽補注部分進行撰擬。
(三)水質問題是需要考量的一個項目，目前臺灣地區回收水尚不可行，這個部分尚需再行考量。	感謝委員意見，本手冊將著重河槽補注部分，故將不探討利用回收水進行補注。
(四)設施阻塞的問題於維護的方面是另一個需要進行考量的重點，如何改善設施阻塞可於手冊內說明。	感謝委員意見，有關阻塞部分於8.3 節設施維護操作有進行說明。
(五)土地所屬問題，於河道補注是沒有問題，如需於其他區位進行地下水補注，土地取得方面建議亦需進行說明。	感謝委員意見，本手冊將著重河槽補注部分，其用地應無問題，若需於其他區域進行補注，本手冊已把土地取得可能性作為評判是否適合作為補注區域之評分因子。
二、羅委員偉成	
(一)以水利署的層級來說手冊名稱有管	感謝委員意見，本手冊定位為供

<p>理故建議內容可以多方面進行考量，如可分為財務、技術、機構及營運等面向進行探討。</p>	<p>給各河川分署第一線人員以及有需要執行地下水補注作業的公家機關做為使用參考，而手冊內容將著重於河槽補注自規劃設計至設施關閉止各階段應注意及作業事項等進行說明。</p>
<p>(二)手冊需要有Check List，給定權重來綜合探討適不適宜執行。</p>	<p>感謝委員意見，本手冊於 5.2 節細部規劃中，有提供地下水補注管理方案評估標準評分表評估地下水補注地點適宜性。另於 5.1 節中有各階段需蒐集之資料檢核表。</p>
<h3>三、倪委員春發</h3>	
<p>(一)使用手冊使用的定位為何?</p>	<p>感謝委員意見，手冊定位是供給各河川分署第一線人員以及有需要執行地下水補注作業的公家機關做為使用參考。</p>
<p>(二)地下水補注敏感區應該納入手冊的內容中。後續可以建議以地下水補注敏感區域為優先考量，其他區域則可以轉為用評估規劃的方式從經濟、保育、社會等不同層面考量其補注適宜性。</p>	<p>感謝委員意見，地下水補注地質敏感區概述如 3.5 節。而 5.1 節初步評估中，已納入地下水補注地質敏感區為優先挑選原則。另外，手冊現階段將著重於河槽補注方向撰擬，故未將其他區域納入探討。</p>
<p>(三)手冊內容規劃過程中所提到的水質、水量、水權、生態衝擊、環境衝擊等等，除了將所有法規列進來外，在每個執行過程中會使用到的法規需要做為使用者的參考。</p>	<p>感謝委員意見，各階段應遵行法規如 5.4 節、6.3 節、7.5 節、8.4 節及 10.3 節所述。</p>

<p>(四)維運管理應考量長期的效益，故於規劃階段就考量進去而不是在完成後才做監測管理。</p>	<p>感謝委員意見，規劃階段目的在於釐清場址於水文地質、環境因素及實施執行所需考量之具體課題，故建議進行現地勘查及相關試驗，並於設施設置時再進行監測，監測項目如 7.4 節所述。</p>
<p>(五)操作及監測數據，是管理層面重要的參考，目前手冊內容多為地下水相關進流、出流、水位變化等監測數據，建議增加近地表的大氣水文觀測，如降雨、蒸發量等。</p>	<p>感謝委員意見，監測項目已修正如 7.4 節所述。</p>
<p>四、邱委員永嘉</p>	
<p>(一)手冊的使用位階要定義清楚。</p>	<p>感謝委員意見，手冊定位是供給各河川分署第一線人員以及有需要執行地下水補注作業的公家機關做為使用參考。</p>
<p>(二) Check List 除了針對所採用的補注方案，應該也要有針對所需要的數據資料進行相關的Check List 擬定。</p>	<p>感謝委員意見，本手冊以河槽補注進行撰擬，所需監測數據包含降雨量、蒸發量、進、出流量、補注池水位、地下水水位、氫氧同位素及地電阻等，已於 8.2 節設施操作監測中條列並說明。於 5.1 節中有各階段需蒐集之資料檢核表。</p>
<p>(三) 手冊內規劃與評估應為重要環節，是否應有建議需要有地質模型、水文地質模型、水質跟化學模型等等去幫助後續進行評估的作業，這些模型就需要新的資料蒐集(新的現地試驗資料)進行設</p>	<p>感謝委員意見，針對場址優選(5.3 節)，現場勘查及試驗項目得依據補注設施地點之水文地質資料完整性，根據個別場址需求可執行項目現地勘查、地電阻探測、入滲</p>

置，再由大尺度模型探討縮小到小尺度的模型，這部分模型的解析度亦需於手冊內進行相關的建議。	試驗、抽水試驗以及模場試驗等。相關數值模式建置補充於河槽補注設施設計章節中。
(四)水源的來源，需考量水量、水質、水權皆需要在手冊內多進行著墨。	感謝委員意見，有關補注水源取得及處理如 4.3 節、4.4 節及 5.4 節所述。
(五)相關的法規部分，需要再納入土壤與地下水相關法規。	感謝委員意見，相關法規已納入詳如 5.4 節、6.3 節、7.5 節、8.4 節及 10.3 節所述。
五、丁委員澈士(書面意見)	
(一) P.6第17行，「...拘限含水層自然補注率甚低，往往可忽略不計。因此，於拘限含水層之地下水通常可視為不可再生」。此要看台灣地下水分區區位於何？如於台灣幾個地下水豐富地下水區(如屏東平原、濁水溪沖積扇)的深層受壓水層，其地下水係受沖積扇之扇頂補注涵養，該含水層並非可視為不可再生。若就水文循環原理，若更深層地下水有出流入海或人為抽取，其考慮地下水梯度差，以地下水非儲量而是流量的觀念，仍是可補充，是可再生的。	感謝委員意見，報告文敘已進行修正如 3.2 節。
(二) P.11，表3-1之第六行補注量似應改為補注效率較妥；另該行中之地表入滲補注方法之補注量(效率)為 1,000~20,000m ³ /ha/day，根據屏東大潮州地下水人工補注湖之實際營運成果，最大已超過20,000 m ³ /ha/day，故建議範圍	感謝委員意見，已修正相關文敘及數據於手冊修正版表 4-1。

宜改為1,000~100,000 m ³ /ha/day。	
(三) P.20, 3.7抽取回用。補注至淺層非拘限含水層，補注之水源將可以自然流動方式於下游河川流出。因此，建議可於中游河川開採伏流水(如大潮州補注湖於上游補注，林邊溪中游開發伏流水案例)。	感謝委員意見，本手冊現階段是供給各河川分署第一線人員以及有需要執行地下水補注作業的公家機關做為使用參考，故未將後續開發回用納入報告中。
(四) P.28，表4-1地下水補注管理方法可行性評估資料需求資料類別，應增加水文地質參數項目。	感謝委員意見，因報告調整該表格已刪除。
(五) P.60, 5.3詳細規劃：確定地下水補注管理方案場址，建議應於部分補注方法確定後實施場址的模場試驗，例如屏東昌隆ASR 場址即為補注與回用模場，屏東大潮州補注湖於規劃階段亦曾挖掘一30m 長×30m 寬×3m深之 試驗補注池，實行補注試驗，這些試驗皆能取得後續相關補注場址實場開發的關鍵數據。	感謝委員意見，針對場址優選(5.3節)，現場勘查及試驗項目得依據補注設施地點之水文地質資料完整性，根據個別場址需求可執行項目現地勘查、地電阻探測、入滲試驗、抽水試驗以及模場試驗等。
(六) 本”地下水補注管理技術參考手冊”資料大多引用國外之文獻或數據（美國與澳洲居多）；聯合國教科文組織（UNESCO）、國際水文地質家協會（IAH）及國際地下水補注論壇（ISMAR）出版甚多，也可補充；另國內目前已有數場之地下水補注實場資料，建議多加參考評估，並納入。	感謝委員意見，本手冊以河槽補注為主，其河槽地下水補注設施案例說明如第11章節所述。
(七) 有關「地表水」「地面水」之內文敘述，建議請統一用水利法規範之專有名詞「地面水」。	感謝委員意見，報告文敘已修正為地面水。

六、黃委員智昭(書面意見)	
(一) 表4-2應用於地下水補注管理方案常見之地表球物理探測方法中，建議增列地電阻影像剖面法(RIP)以探測含水層分布。	感謝委員意見，針對場址優選(5.3節)，現場勘查及試驗項目得依據補注設施地點之水文地質資料完整性，根據個別場址需求可執行項目現地勘查、地電阻探測、入滲試驗、抽水試驗以及模場試驗等。
(二) 請補充說明場址水文地質特性評估標準之可用儲蓄空間之緩衝區空間大小如何推估。	感謝委員意見，根據美國地下水補注管理參考手冊(ASCE, 2020)，說明緩衝區體積設計取決於諸多因素，常以目標儲蓄總量之百分比予以表示，通常介於0%至50%之間，因本報告撰擬修正，原章節已刪除。
(三) 非飽和層補注井及飽和層補注井之井徑、井管材質、濾水管長度及濾料之要求條件為何，請補充說明。	感謝委員意見，因報告撰擬以河槽補注為主，故非飽和層補注井及飽和層補注井補注已刪除。
(四) 針對如砂岩等固結含水層，補注井直接利用井管下方裸孔進行補注，如需加壓是否易造成坍孔之疑慮，而降低補注之功能，請再考量。	感謝委員意見，因報告撰擬以河槽補注為主，故補注井相關內容不納入探討。
(五) 非拘限含水層可供儲蓄之厚度，以地下水位離地表3m至5m，此含水層地質材料如為細砂或粉砂，是否會引起土壤液化，請再進一步探討。	感謝委員意見，手冊5.2節細部評估中，評估補注場址適宜性(表5-1)之評估標準已有納入地下水溢淹(土壤液化)細項進行評估。
七、張委員良正(書面意見)	
(一) 本計畫對地下水補注有一個整體有系統的說明，包括從補注目的以及各種	感謝委員肯定。

規劃及設計技術等之彙整，值得肯定。	
(二) 本手冊雖然名為"地下所有水補注管理技術參考手冊"，但其中內容包含了地下水補注及回收利用，事實上已超出了單純地下水補注的範疇，進入了水資源利用的層次，此可發揮更大的補注效益，值得肯定。	感謝委員肯定，本手冊已修正以河槽補注進行說明。
(三) 手冊第三頁，圖2-1之水文循環圖，重點在地表水部分，建議可修考改加強地下水部分的描述，如入滲、補注、未拘限含水層、拘限含水層等。	感謝委員意見，有關地下水補注相關介紹已在第4章地下水補注管理概念中詳細介紹。
(四) 表2-1之依據為何?部分地區如嘉南平原是否有明確區域分布的4層仍有待討論，建議可以含水層分層特性的描述而不要分層數量的方式表示，以免產生爭議。	感謝委員意見，表3-1已進行修正為水文地質架構特性。
(五) 第6頁中之 "拘限含水層之地下水通常可視為不可再生(nonrenewable)" 是否太強烈，此暗示拘限含水層將不適宜任何形式之利用。	感謝委員意見，報告文敘已進行修正如3.2節所述。
(六) 圖3-1、圖3-2中並未包含河畔區水或伏流水，圖3-2有河畔取水無伏流水，河畔取水與伏流水是否相同?在本手冊中如何定位應予說明。	感謝委員意見，本手冊內容均以拘限含水層與非拘限含水層進行說明地下水補注相關內容，並無獨立說明非拘限含水層中的伏流水特性。
(七) Page 10-11中說明 "引取天然地面水體再以人工方式進行地下水補注，且無涉及混合水污染防治法所定之廢(污)	感謝委員意見，目前國內法規。水污染防治法第32條內容：「廢(污)水不得注入於地下水體或排放於

水，則不適用水污染防治法"，在此情況下補注水質的規範為何？	土壤。但廢(污)水經處理至合於土壤處理標準及依第十八條所定之辦法，經直轄市、縣(市)主管機關審查核准，發給許可證並報經中央主管機關核備者，得排放於土壤。」以及環境部於 107 年 12 月 22 日公告修正「禁止注入地下水體之有害健康物質種類、限值」，因應水污染防治法已全面禁止廢(污)水注入地下水體。
(八) 由表3-1及圖3-2，是否顯示地表補注為非飽和層補注之一種？砂樁補注是哪一種？是否亦應為一種可能案？	感謝委員意見，地表補注為非飽和層補注，砂樁依據設置深度，可為非飽和層或飽和層補注。
(九) 第20頁中含水層可出水空間受到抽水井取水深度限制，惟抽水井取水深度乃是人為而非天然條件，作為可儲水空間之限制是否恰當？	感謝委員意見，報告文敘已修正 4 如 4.6 節所述。
(十)第20頁中含水層空間為何為會與防洪空間產生競合？	感謝委員意見，報告文敘已修正為含水層可儲水空間常受到水位上下限及水質狀況有所限制，推動地下水補注管理方案時，含水層儲蓄空間應詳予評估定義其使用目的，而不應與其他用途所需儲蓄空間出現競合。
(十一)第20頁中提到，"國外部分地區採用地下水補注換取地下水抽離取權力方式進行管理"，此觀念非常重要，此為台灣地區以地下水進行水資源豐枯調配之	感謝委員建議，該文敘已於 4.6 節重點標示。

關鍵所在，應予強調。	
(十二)表4-1中第四列 "含水層儲蓄及回用"所應收集之部分資料，似在上一列"補注方法（地表入滲補注設施及地下補注設施)"中即應收集。	感謝委員意見，補注區篩選所需蒐集之資料如表 5-1 所示。
(十三)4.4 中之可行性評估對應至第五章應該到哪個階段？	感謝委員意見，原報告 4.4 評估可對應到細部規劃章節，本計畫修正後如 5.2 節所述。
(十四)圖5-1中，初期規劃作業中之各種評估標準，應該是有一致的標準，而非各個案子有各自的標準，所以是否應該為，檢視是否符合評估標準而非訂定評估標準。	感謝委員意見，因地下水補注目標不同，故因針對目標挑選出篩選原則。
(十五)Page 36之供水管理中為何會有增加防洪能力及維持配水系統壓力及流量兩項。	感謝委員意見，該管理目標為參考 Topper 文獻中所訂定之，本計畫以河槽補注進行撰擬，該章節以刪除。
(十六) Page 36中之 表4-1缺漏。	感謝委員意見，該章節以刪除。
(十七) 第37頁，含水層保育中之"減少因抽取地下水所增加之溫室氣體排放"之項目意義為何?另外法律要求及其他 等兩大項之子項目需補充。	感謝委員意見，該內容為參考文獻中所訂定之，本計畫以河槽補注進行撰擬，該章節以刪除。
(十八) 第42頁第一行含水層儲蓄量"需考量含水層側向流動速率及水位上限值"，儲蓄量為何要考量側向流動速率？水位上限值在計算儲蓄量中之含水層厚度時不是已經考慮了？	感謝委員意見，地下水補注管理方案規劃之儲蓄量除需考量最大可儲蓄水量外，尚需考量含水層側向流動速率，其因管理方面需要考量地下水補充的效能，本計畫以河槽補注進行撰擬，該章節

	以刪除。
八、水文技術組阮組長香蘭	
(一)今年度手冊可先聚焦於河槽補注部分，先利本署河川分署於河槽疏濬或清疏後進行簡易處理即可達促進補注、加強地下水保育之目的，河槽補注亦無涉水權及水質問題，較易推動執行。	感謝委員意見，本手冊內容已調整為河槽補注方向進行撰擬。
(二)既有或待建滯洪池、埤塘與湖庫(水利署自有)請亦就擬進行地下水補注需增設或規劃補注設施，納入下一階段手冊研擬重點。	遵照辦理。
(三)手冊背景資料應納入地下水補注敏感區(地礦中心)、地下水觀測站井水位與水質資料(水利署觀測站網)，俾予評估。	感謝委員意見，地質敏感區已納入報告 3.5 節，地下水觀測站井統計已納入 3.4. 節。
(四)計畫流程中，成效評估應於設施關閉之前及之後均需，請再修正相關流程及內文順序。	遵照辦理，報告內容已進行修正。
(五)地下水補注場域今年先著重於水利相關單位轄管場域，並請提供其他公私部門或自然人欲於地下水補注敏感區進行地下水水權申請時之主動介入、輔導進行地下水補注之機制；另請團隊協助研提水權制度改革方案，就同意於於豐水期進行地下水補注，交換核發枯水期抽取地下水水權之配套及法規建議。	感謝委員意見，相關改革方向會在蒐集相關資料後提出建議。
九、水文技術組吳明哲科長	
(一)手冊定位是供給各河川分署第一線	遵照辦理。

人員以及有需要執行地下水補注作業的公家機關做為使用參考。	
(二)手冊擬定將著重於河槽補注部分，但整體的方法論亦將納入並以濁水溪河槽補注做為案例。	感謝委員意見，本手冊將著重於河槽補注部分進行撰擬。
十、水文技術組李嘉文正工程司	
(一)手冊內容相關的SOP 以及所需蒐集的資料需再加強撰擬。	遵照辦理。
結論	
地下水補注管理技術參考手冊今年請先聚焦河槽補注工作撰寫，並以可提供各河川分署實際操作為導向，請亞磊團隊依委員所提意見修正手冊內容，並於113年8月30日前提送手冊修正版本，視手冊修正情形加開專家學者會議。	遵照辦理。

專業

創新

永續



經濟部水利署

臺北辦公室

地址：臺北市信義路三段41之3號9~12樓

總機：(02) 3707-3000

傳真：(02) 3707-3166

臺中辦公室

地址：臺中市黎明路二段501號

總機：(04) 2250-1250

傳真：(04) 2250-1628