

摘要

早期都市河川整治以截彎取直及渠底三面光混凝土化等工程手段為主。台中市第十三期都市重劃計畫中，原先預計將舊南屯溪填平開發，但因舊南屯溪為台中市區少數仍留存之天然河道，又因在開發中發現麻糍埔考古遺址，使舊南屯溪被列為台中市文化景觀保留對象。本研究探討舊南屯溪其水質條件可以維繫其區域生態豐富之水文要件。

由台中盆地地下水位分布之各觀測井水位資料所得知，台中盆地北側的大甲溪及東側的烏溪為主要補注源，地下水流往盆地中心地勢低處匯流。本研究區域位於烏日-霧峰連線一帶之地下水流出區。因地下水出滲後補充地表水，其水量增加有稀釋河川污染濃度之功能，使得舊南屯溪下游水質較上游良好，故於舊南屯溪各區段及南屯溪排水，運用多功能水質檢測儀進行水質測試，以得知各河段水質優劣變化。本研究於舊南屯溪先以微型壓力計測得河床地表與地下水之水頭差，測得該區為地下水出滲區，並於該區進行滲流儀試驗，測得地下水出滲量，並利用 Dracy 公式求得河床水力傳導度 K 值，進一步瞭解此區域地下水出滲情況。

本研究利用地下水出滲量之量測結果，討論對水質之影響，而後進一步觀測陸域及水域生態，綜合描述地下水出滲補注自然河道對舊南屯溪及下游南屯溪排水之水質及生態效益，以此為例證實天然河道保留下來之重要性。所量測之數據，可作為未來都會空間可利用方式之重要參考依據。

關鍵字：舊南屯溪、滲流儀、微型壓力計、地下水出滲、水質。

目錄

摘要	I
目錄	II
表目錄	IV
圖目錄	V
第一章 緒論	1
1-1 研究緣起	1
1-2 研究動機與目的	1
第二章 文獻回顧	2
2-1 Darcy 公式	2
2-2 土壤間之水力傳導度	2
2-3 伏流水層之出滲機制	3
2-4 水質測定項目	4
2-4-1 水質測定	4
2-4-2 氫離子濃度(pH 值)	5
2-4-3 溶氧量	5
2-4-4 導電度	5
2-7 生物整合指標(IBM)	6
2-8 研究區域人文簡述	6
2-8-1 研究區域人文歷史	6
2-8-2 研究區域考古文化	7
2-9 湧泉	7
第三章 研究區域及研究方法	8
3-1 都市開發重劃	8
3-2 研究區域環境介紹	10
3-2-1 研究區域介紹	11
3-2-2 地下水位	11
3-3 現地實驗流程	15

3-3-1 微型壓力計試驗	16
3-3-2 滲流儀試驗.....	16
3-3-3 水質檢測.....	17
第四章 試驗結果與分析	20
4-1 微型壓力計實驗成果	20
4-2 滲流儀試驗及推算河床水力傳導度 K 值	21
4-3 推估舊南屯溪地下水補注河川總量.....	22
4-4 水質檢測成果與分析	23
4-4-1 水質檢測.....	23
4-4-2 地下水水質比較	24
4-5 生物概況	27
第五章 結論與建議.....	28
5-1 結論	28
5-2 建議	29
第六章 參考文獻.....	30

表目錄

表 3-1 鎮平國小觀測站地下水水質觀測表	14
表 3-2 試驗地點編號	19
表 4-1 微型壓力計試驗結果一覽表	20
表 4-2 滲流儀量測之出滲總表	21
表 4-3 第一次水質數據(2018/9/5).....	23
表 4-4 第二次水質數據(2018/11/15).....	24
表 4-5 第三次水質數據(2018/11/21).....	24
表 4-6 水質檢測氨氮	25

圖目錄

圖 2-1 伏流水層的三種滲透過程示意圖.....	4
圖 3-1 1985 年地形圖.....	9
圖 3-2 台中市第八期重劃區範圍.....	9
圖 3-3 污水及雨水下水道管線圖.....	9
圖 3-4 台中市第十三期重劃區範圍保留之遺址.....	10
圖 3-5 台中盆地地下水層平均水位分布圖.....	12
圖 3-6 本研究區域鄰近地下水位觀測站位置圖.....	13
圖 3-7 本研究區域周圍地下水觀測站歷年資料統整圖.....	13
圖 3-8 2015 年地下水月平均水位圖.....	14
圖 3-9 實驗流程圖.....	15
圖 3-10 滲流儀試驗裝置側視圖.....	17
圖 3-11 試驗區域點位示意圖.....	19
圖 4-1 半圓形渠道示意圖.....	22
圖 4-2 地表水與地下水水質之比較圖(導電度).....	25
圖 4-3 地表水與地下水水質之比較圖(溶氧量).....	26
圖 4-4 地表水與地下水水質之比較圖(酸鹼值).....	26
圖 4-5 鎮平國小地下水水質(氨氮)低於未污染標準.....	26
圖 4-6 水陸域生態現況.....	27

第一章 緒論

1-1 研究緣起

早期都市重劃區河川整治的觀念僅依照排水功能的考量而以截彎取直為主，南屯溪以渠底混凝土化進行河川整治，因早期認為混凝土構造物較為堅固，造成現今許多三面光的河道，使得地下水及地表水的交換功能受阻。而在台中市第十三期都市重劃計畫中，永順路與永春東二路間的舊南屯溪是台中市少數保留下來的自然河道，河川對其水質及生態皆有重要影響。

天然河道可以提供地下水補給、水質稀釋、生態棲息地以及人類親水遊憩等功能。地下水出入滲之現象屬於天然河道中重要的水資源交換之一環，藉由河川水補注地下水，使得地下水資源得以補充與儲存。而地下水出滲機制，可以使得河川水質達到稀釋之功能以及水溫的穩定，進而提供良好生物棲地，促使環境生態之多樣性。本研究想藉由瞭解舊南屯溪被保留的水文價值，以及使得對附近生態、水質環境都有所保護，進而提供政府作為未來都市規劃與開發之參考依據。

1-2 研究動機與目的

台中市第十三期都市重劃計畫中，原先預計將舊南屯溪填平重劃開路，然因舊南屯溪為台中市少數仍保留之天然河道。本研究欲以不同於以往的層面，探討舊南屯溪被保留之價值。沿途觀察舊南屯溪上游至下游，發現陸域生態下游較上游豐富，且於現地觀察時，發現附近陸域生態及植被良好，然而我們觀察到水域魚類趨近單一物種、河道上游有污染源之排放，使水流散發臭味，故本研究欲探討此河段上游至下游水質之變化。

許少華等人(2015)、紀培能(2011) 研究指出筏子溪地下水補注河川邊界約在福安橋的附近，證明永安橋往下游的福安橋，因有地下水補注的稀釋作用，導致下游東海橋水質有明顯的改善。由此論點得知地下水出入滲對水質有明顯之影響，本研究欲探討舊南屯溪是否為地下水湧出之河段，使得舊南屯溪上游至下游陸域生態有良好之趨勢。本研究的重點為舊南屯溪為地下水出滲區對於水質與附近水陸域生態交互影響之關係。

第二章 文獻回顧

2-1 Darcy 公式

Darcy(1856)研究經過可滲透砂層的水流，以水力學原理建立地下水流動機制，稱為達西定率(Darcys law)。流經飽和土壤的流率為土壤特性與單位距離水頭差之函數，可表示為

$$V = \frac{Q}{A} = -K \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (2-1)$$

(2-1)式中， Q 為通過砂柱之流量； A 為砂柱之截面積； K 為水力傳導度(hydraulic conductivity)； Δh 為砂柱頭尾兩點間之水頭差； ΔL 為兩點間之流徑長度；(2-1)式中負號表示水流是由水頭較高處往水頭較低的方向流動。

水流於砂柱內起始流動的點位定為點位 1，流至砂柱尾端定為點位 2，在利用 Bernoulli 方程式

$$\Delta h = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 - \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (2-2)$$

(2-2)式中，因土壤內水流速度非常小，故為水頭 $(\frac{V^2}{2g})$ 可予以忽略，故可以將(2-2)式結合(2-1)式，表示為

$$V = -K \frac{dh}{dl} = -K \frac{d}{dl} \left(z + \frac{p}{\gamma_w} \right) \quad (2-3)$$

(2-3)式中， z 與 $\frac{p}{\gamma_w}$ 分別代表位置水頭與壓力水頭； γ_w 為水的單位體積重。 K 表示為水力傳導度。

將水力梯度結合滲流速率一起使用時，使用 Darcy 定律計算土壤的水力傳導率 K ：

$$K = -\frac{Q}{A} \times \frac{dl}{dh} = -\frac{q}{i} \quad (2-4)$$

(2-4)式中， Q 為滲流流量， A 為滲流流量的橫截面積， dl/dh 為水力梯度之倒數， q 為單位平均出滲量(cm/hr)， i 為水力梯度。

2-2 土壤間之水力傳導度

土壤之水力傳導係數受許多因素的控制：液體的黏滯性(viscosity)、孔徑分布、孔隙比以及礦物顆粒的粗糙度。砂土顆粒粗，孔隙大，吸水速度快，水分容易流動、不易保持水分；黏土顆粒細，

孔隙小，吸水慢排水慢，一旦水進入土壤，濕度保持能力強。

不同土壤間水力傳導度 K （水力傳導度單位常以 cm/sec 或 m/day 來表示）的變化很大。非飽和性土壤之水力傳導值比較低，但會隨飽和度的增加而快速上升(黃安斌，2010)。

2-3 伏流水層之出滲機制

地下水出滲主要受到壓力水頭差、伏流水層滲透、土壤孔隙與吸力作用等，其主要以壓力水頭差與伏流水層滲透所影響，如(2-2)式之柏努利方程式描述，忽略地下水速度水頭，並將河川流速影響減至最低靠近河床，當河川總水頭低於地下水總水頭時，地下水將會出滲補注河川。

伏流水層中的物理、化學和生物條件使得通過伏流水層的水具有特定的滲透機制(Vervier et al.,1992)，大部分伏流水層中具有三種滲透機制(如圖 2-1 所示)，往往同時發生或先後發生。伏流水層的作用過程對地表逕流水影響的模式取決於控制伏流水層分布的物理因子、通過伏流水層的流量及發生在內的生物地球化學過程之間的相互作用(袁興中、羅固源，2003；金光球、李凌，2008)。

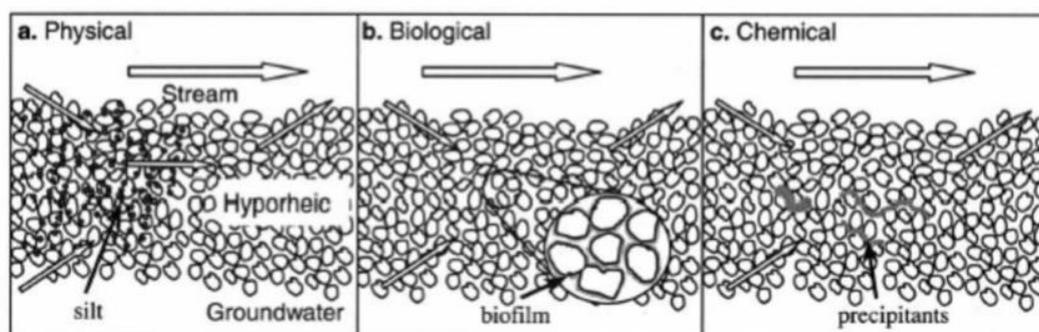
伏流水層的物理滲透機制最為明顯，(如圖 2-1 a) 所示，當水進入或流過伏流水層時，沉積物阻止泥和細顆粒物質的流動(Vervier et al., 1992)。伏流水層的邊界亦會因地表逕流和地下水交換的體積與深度的變化而處於被動狀態，在豐水期時，以地表逕流進入伏流水層為主；在枯水期時，以地下水進入伏流水層為主。

其次是生物滲透機制，(如圖 2-1 b)所示，生物滲透機制類似於污水處理廠的過濾器(Ward et al., 1998)。溶解在地表逕流或地下水中的營養物質被附著於沉積物上的生物膜吸收或轉化(Boulton et al., 1999；Triska et al., 1993)。生物滲透的效率與微生物活性有關，近地表的無脊椎動物主要依賴生物膜營養物質才能進入食物鏈(Marmonier et al., 1995)。由於伏流水層中以生物膜為介質的生物吸收能去除水中的污染物質，並影響著營養元素及污染物的生物地球化學循環。

第三種為化學滲透機制，(如圖 2-1 c) 所示，化學滲透機制主要

受伏流水層中化學機制的控制，而且化學條件的變化會導致溶解的金屬元素和礦物質發生沉澱(Harvey and Fuller, 1998)。因為上湧及下滲的水溫、pH 值、導電度、溶氧量和硝酸鹽存在著一定的差異，因此不同的水流混合後會發生一定的化學作用(Franken et al., 2001)，可以通過混合模式分析溶質遷移的動力學過程(Battin et al., 2003)。此外，伏流水層內物理化學和生物學梯度的存在，伏流水層的生物地球化學過程影響著地表逕流的水質。影響伏流水層內化學作用過程主要有兩個條件(Edwards, 1998)：

- (1) 進入伏流水層的水量較多、停留時間夠長。
- (2) 當水通過伏流水層時，化學反應(變化)的速率較高。



資料來源：Hancock，2002

圖 2-1 伏流水層的三種滲透過程示意圖

許少華等人(2015)於研究中提到，筏子溪上游與中游的烏橋至永安橋，屬中度至嚴重污染，但到下游的東海橋至鐵路橋，其 RPI(river pollution index)數值卻降低為輕度至中度污染，推測下游出滲的地下水將水質污染加以稀釋。紀培能(2011) 研究指出筏子溪地下水補注邊界約在福安橋的附近。證明永安橋之後的福安橋，因有地下水補注的稀釋作用，導致下游東海橋水質有明顯的改善。

2-4 水質測定項目

2-4-1 水質測定

水質實驗的測定是使用攜帶式多功能水質檢測儀器，本儀器可依需進行的測定項目更換探頭，例如，pH 探頭、溶氧量探頭及導電度

探頭。進而方便快速地進行測定，得出各待測定水體之數值。

2-4-2 氫離子濃度(pH 值)

1887 年 Arrhenius 發表了離子化理論，此理論指出酸解離而產生氫離子的物質，而鹼則可生成氫氧根離子。在水溶液中，強酸，強鹼是呈高度解離，而弱酸弱鹼則解離程度很小。pH 值指溶解於水中氫離子濃度倒數的對數值，表示溶液酸鹼程度，也可以表示氫離子活性。

pH 值的範圍為 0 至 14，其中 pH 7 為中性。pH 值低於 7 的物質為酸性物質；pH 值高於 7 的物質為鹼性物質。

地球上天然水的 pH 值範圍在 6.5 到 9.0 之間，取決於周圍的土壤和植被、季節性變化以及氣候，每天陽光照射的時長也會產生影響。人類活動對水源產生進一步影響，歸咎於各種各樣的工業污染物。

多數水生動物和植物都已適應在特定 pH 值的水中生存，任何細微的變化都會給它們帶來滅頂之災。pH 值在 4 以下或 10 以上，會導致大部分魚類死亡，在 pH 值低於 3 或高於 11 的環境中生存的動物寥寥無幾。pH 值是水質檢測中的一項指標，其數值高低會對生態造成影響。

2-4-3 溶氧量

氧氣的溶解度會隨著溫度之不同而變化。溶氧對溫度之變化很敏感，故在測溶氧時，也要一併測出正確的溫度，並加以校正。

在污水中，溶氧是決定生物分解是由好氧性微生物或厭養性微生物進行的重要因素，水若受到有機物質污染，則水中微生物在分解有機物時會消耗水中的溶氧，造成水中溶氧降低甚至缺氧。

2-4-4 導電度

導電度是量測水樣導電能力之強弱。導電度的大小與水中解離之離子含量之多寡以及溫度有關。導電度愈高，表示水中電解質含量較多。一般物質在水中解離產生電流，陽離子跑向陰極，陰離子跑向陽極，大多數的無機酸、鹼以及鹽類均是很好的導電體，但是某些有機分子如蔗糖及苯在水中不易解離，導電度相當小。

在環境監測上，水之導電度常被用來評估水體是否遭受污染的指標，用途相當廣泛。灌溉水品質之等級，導電度為重要評估標準之一。王忠翔(2013)發現導電度對於水中生態可能有所影響，但環保署僅訂

定溉排水之導電度標準，建議環保署應該要訂定工業廢水排入河川之導電度標準值。

行政院農業委員會於「灌溉用水水質標準」中提出導電度(EC)之限值為 750 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ，25°C，在環境監測上，常被用來評估水體是否遭受污染的指標。

2-7 生物整合指標(IBM)

環境雖然可以透過各種物理化學監測來反應其密度、濃度、酸鹼度...等情況，但生態系統卻無法僅由少數的物理化學監測數據來表示，但有些生物由於長期演化的結果，僅能適應某些特定的環境，反而能成為象徵某種生態環境的指標，因此生物指標(biotic indicator)是監測環境狀態之工具。

環保署生物指標，指出河川中有許多可用肉眼看見的大小生物，這些水中生物對水質喜好各有不同，因此，牠們便成了判斷河水污染程度的一項重要依據。

然而，台灣由於歷史地理分布之差異頗大，往往各河系間魚種組成各有其特色，且台灣之淡水魚即可分成北、中、南、東四地理區，各區之代表或常見魚種有所不同(邵廣昭等，1992)，所以不容易選用相同的評分準則，來建立所有河川共同適用的通則，但是可以依地區或流域分別建立適用的標準。其次有關容忍性不同的魚類也是一大課題，如，台灣鏟頰魚喜愛高溶氧、清澈較低溫的水域，而吳郭魚及寬額鱧則能在低溶氧、高污染的環境下生存(張明雄等，1999)。所幸，環保署已將低容忍性與耐污性的魚類，做一個適度的分類，研究者可依此做為參考的依據。

2-8 研究區域人文簡述

2-8-1 研究區域人文歷史

舊南屯溪畔有著史前麻糍埔遺址，麻糍埔地名由來為此區域附近因地底下冒湧出來的泉水形成大魚池埔，及周邊稻田土質黏性高，腳踩田土像踏到麻糍，因此稱之為麻糍埔。

麻糍埔遺址，共涵蓋了牛罵頭文化、營埔文化及番仔園文化的 3 個文化層，代表著遺址文化堆積內涵之特殊性及豐富性。過去人類找尋有河水的地方生活，因此河流與考古遺址有著密切的關係，更能反

映出人類利用溪水生活之意義。

如今舊南屯溪溪畔有許多的文化資產，散落著先民溯河而上的拓墾痕跡。而舊南屯溪於 2014 年 1 月 23 日被台中市文化資產列為文化景觀，顯現了歷史痕跡都與河流相關。

2-8-2 研究區域考古文化

人民常逐水而居，所以文明伴著河流而生，也孕育文明的發展。科博館考古團隊，在舊南屯溪周圍，發現了珍貴的史前文明。麻糍埔遺址目前發現的遺物文化，有三千多年前的牛罵頭文化遺物，兩千多年的營埔文化遺物，還有一千多年前的番子園文化遺物(屈慧麗，2013)。

2-9 湧泉

湧泉是指水由下向上冒出，不作高噴，稱為湧泉。水利署指出湧泉坑是地下水從地表流出而使地面產生凹坑的現象，常見於水陸交界的水岸線淺水處，推測是由於地下水頭壓力所造成的地下水湧升，使底床沖積層的細顆粒發生流體化，而湧水沖刷帶出細顆粒在其出口周圍沈積形成湧泉坑。湧泉乾淨的水源能隨時注入濕地，提供乾淨的水源供給生物生存，有助於淡水域生物多樣性，具有更新河水或周遭生態環境之影響的功能。

邱郁文(2013)提到湧泉濕地的成因，指水源自然地從地底至地表，也就是含水層(aquifer)裸露於地面層之處。通常在順向坡、斷層線的山腳下，以及火山碎屑岩和安山岩層層相疊的火山山腳，都有出現湧泉的可能。

黃育珍等(2012)於研究指出卓蘭層之岩性以砂岩及砂頁岩互層為主，岩層位態呈 N10~60E/20~30S，因此在東南向坡面皆形成順向坡，當卓蘭層坡面上的雨水入滲後，可能沿著岩層的傾斜方向，將入滲地下水導至順向坡的坡腳滲出，一般順向坡坡腳都在坡面的底部或溪谷的右岸。

第三章 研究區域及研究方法

3-1 都市開發重劃

台中市於 1965 年辦理第一期市地重劃區計畫，截至目前為止已有十五個以上的重劃區規劃，而本研究舊南屯溪之原始河道位於第八期及第十三期重劃區內，配合重劃區之規劃河道有所改變或保留。

1. 第八期重劃區

舊南屯溪於 1985 年之河道地圖仍為自然蜿蜒(如圖 3-1 所示)，然而台中市政府於 1989 年公告第八期重劃區計畫書(如圖 3-2 所示)，重劃區範圍坐落於南屯區豐安段、豐樂段、田心段大部分及南屯段一小部分，另外包含南區半平厝一小部分。此重劃區為配合都市人口成長、建地需求、地籍零亂等因素而進行重劃，南屯溪橫互其間使用地無法充分有效建築使用。因而對舊南屯溪進行整治，使其上游被截彎取直，但下游河段尚不在重劃區範圍內，因此於永春東二路與永順路交叉口建置地下箱涵引水至現今舊南屯溪，使其有水源補給供應附近農田灌溉使用。第八期都市重劃區附近區域民生生活污水，由此區域污水下水道接管(如圖 3-3 所示)，而雨水下水道直接匯入現今舊南屯溪。



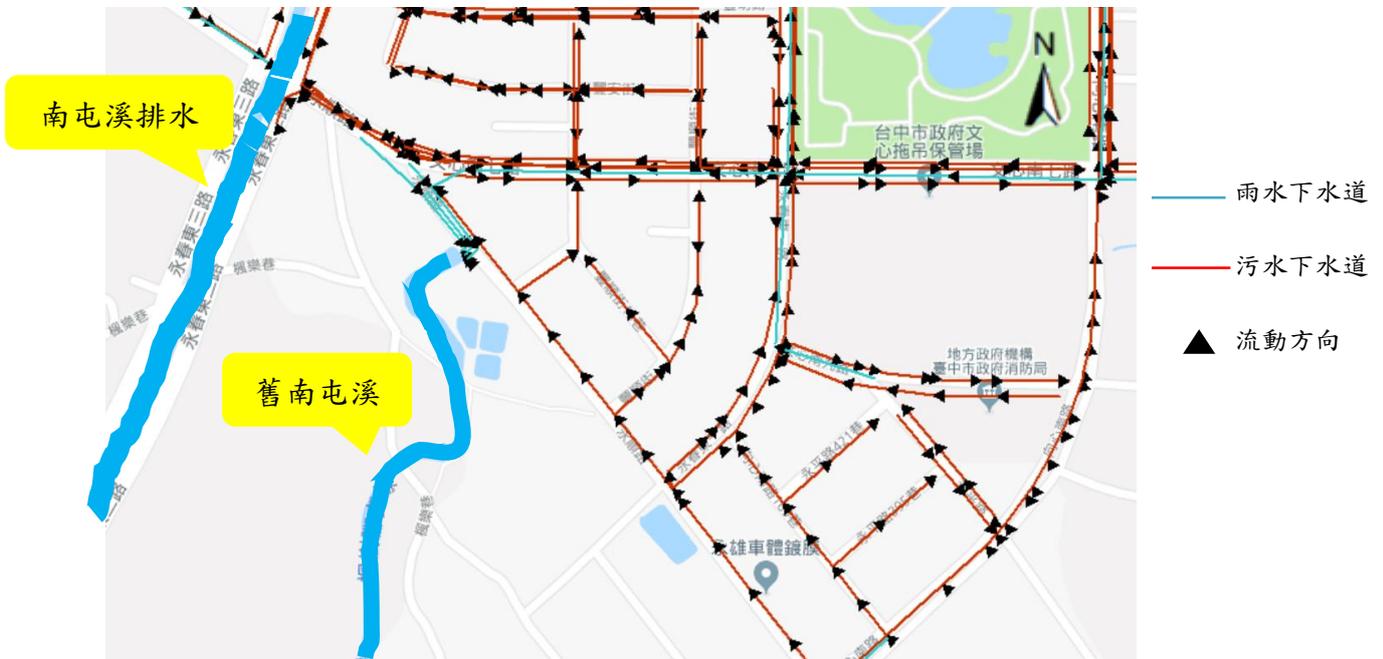
資料來源:台灣百年歷史地圖

圖 3-1 1985 年地形圖



資料來源:Google Map 及本研究繪製

圖 3-2 台中市第八期重劃區範圍



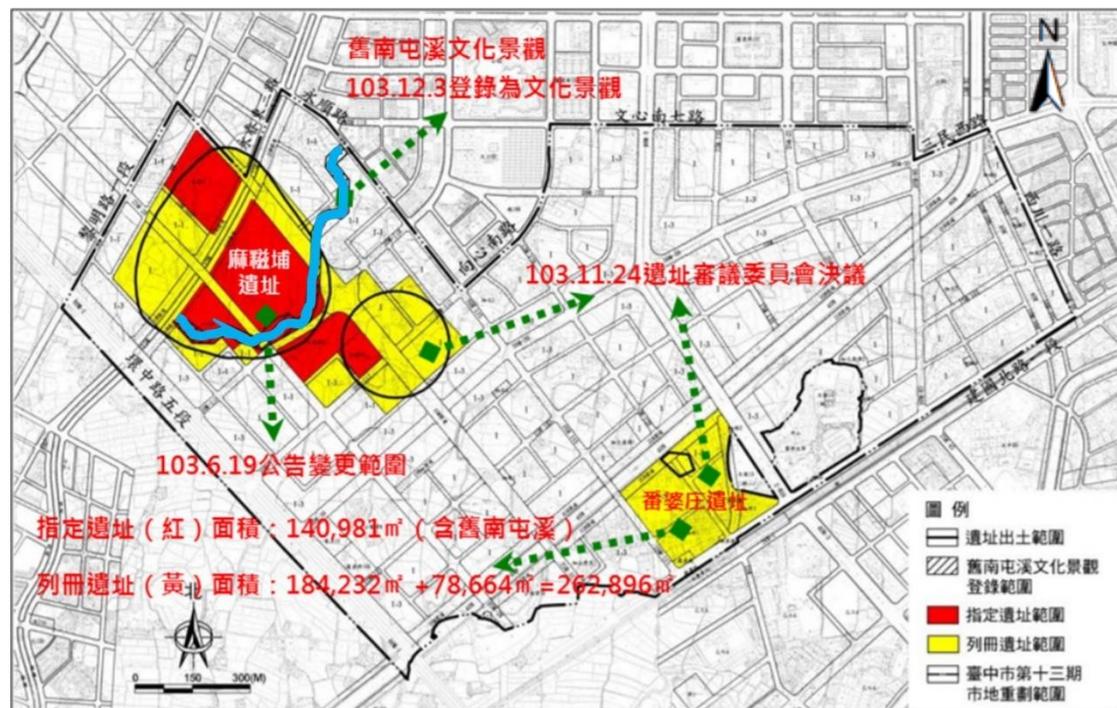
資料來源:內政部營建署下水道圖資整合資訊系統

圖 3-3 污水及雨水下水道管線圖

2. 第十三期重劃區

台中市政府於 2007 年提出第十三期重劃區計畫書(如錯誤! 找不到參照來源。所示), 此次重劃區涵蓋第六期及第七期重劃區, 第十三期重劃區範圍東至西川一路, 西至環中路, 南至建國北路, 北至文心南七路。此重劃區為促進都市發展, 開闢公共設施, 提高土地利用。然而於重劃區開發執行其間, 遇有麻糍埔遺址、舊南屯溪文化景觀及番婆庄遺址(2013 年訂定), 而導致民間文史 NGO 團體的陳情反對。

舊南屯溪有高度景觀及人文意義, 代表先民當年溯溪至台中開墾之歷史意義, 溪畔旁的副掛溝反映人民利用掛溝引水至農田灌溉的生活應用, 對南屯地區的發展具有歷史、文化上之意義與價值; 再者舊南屯溪有優美的綠帶, 展現舊南屯溪的自然生態與歷史古蹟, 而溪畔有史前麻糍埔遺址, 反映過去人類利用此溪水生活之意義。因而進行計畫變更, 將舊南屯溪登錄為台中市文化景觀, 保存文化資產及營造文化資產景觀環境, 使本研究自然河段得以保存(如圖 3-4 所示)。



資料來源:台中市政府地政局, 2016

圖 3-4 台中市第十三期重劃區範圍保留之遺址

3-2 研究區域環境介紹

3-2-1 研究區域介紹

舊南屯溪又名楓樹腳支線，舊南屯溪下游匯入南屯溪排水，南屯溪排水匯流入土庫溪，土庫溪後與大里溪匯流，終與烏溪匯流。烏溪流域範圍東以中央山脈為界，北鄰大甲河流域，西毗台灣峽，南至濁水河流域，其主要水系可劃分為北港溪、南港溪、筏子溪、大里溪、貓羅溪及烏溪主流。

3-2-2 地下水位

經濟部水利署於台中市地下水區設置地下水觀測站井，包含觀測井井號、設置位置等基本資訊，除了解全區地下水觀測井分布外，可配合各觀測井水位資料，進一步得知區域地下水文情勢。

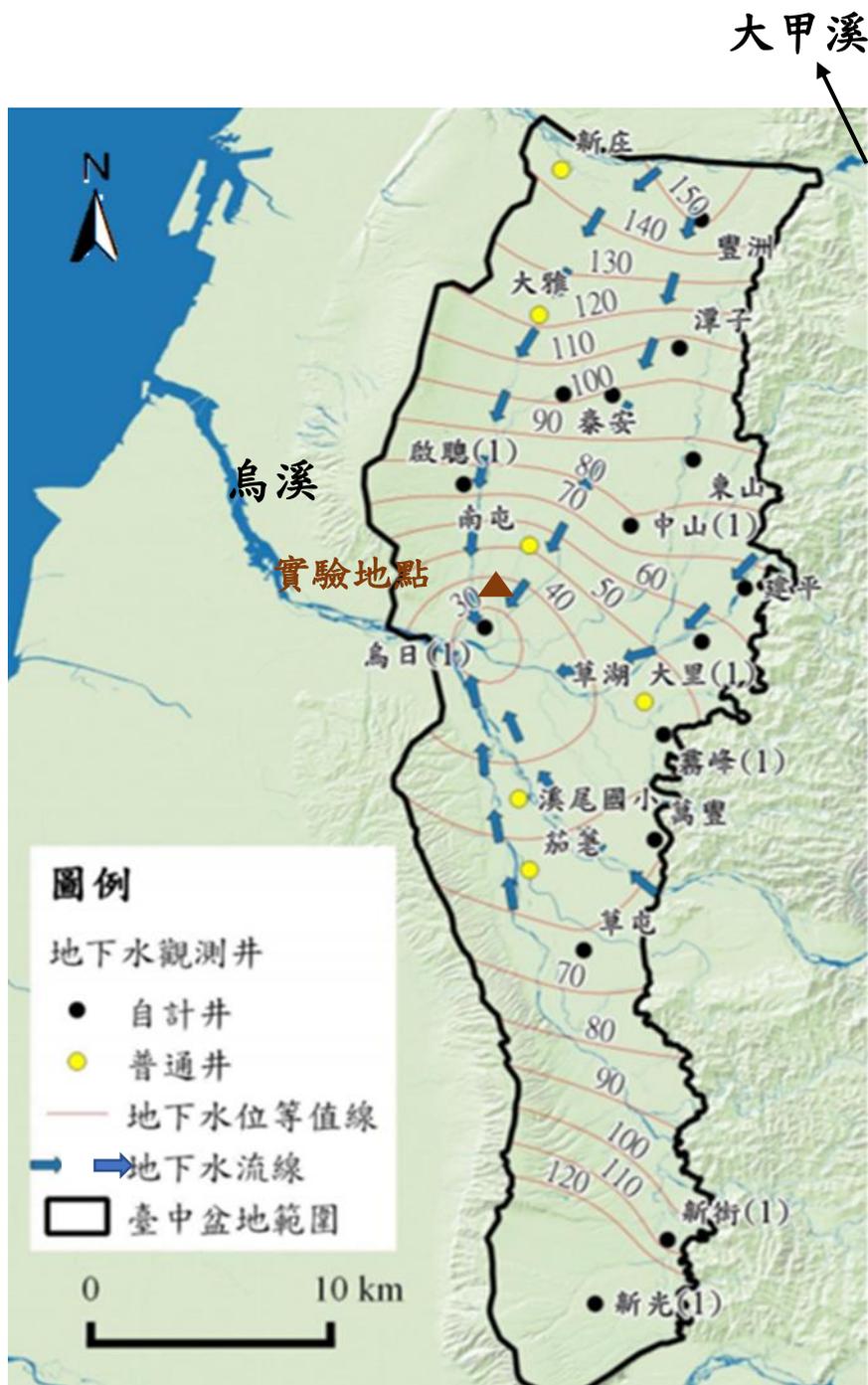
由各觀測井水位資料得台中盆地地下水位分布情形(如圖 3-5 所示)，顯示出地下水流網中的主要補注源與流動方向，主要補注源流為台中盆地北側邊界的大甲溪，東側由山區流入盆地的烏溪，東側丘陵區的溪流為次要補注源，由高處山區往低處盆地流動。地下水流往盆地中心地勢低處匯流，於烏日-霧峰連線一帶可能為地下水流出區。

本研究區域鄰近之地下水觀測井(詳圖 3-6 所示)有南屯觀測站、烏日(1)觀測站、烏日(2)觀測站。本研究區域位於南屯及烏日觀測站之間，因此藉由水文年報之統計資料，了解本研究區域鄰近觀測站的年平均地下水水位之關係(詳圖 3-7 所示)。

本研究區域內因西元 2005 年之前的水文年報，未有烏日(1)觀測站及烏日(2)觀測站之觀測值，故取近 10 年之數據做地下水水位之參考依據。

從 2015 年地下水月平均水位圖(如圖 3-8 所示)，可瞭解此區域地下水之水位於豐水季時水位相對較高，枯水季時水位相對較低。

本研究區域鄰近之地下水水質觀測站有鎮平國小地下水水質觀測站。鎮平國小地下水水質觀測站位於本研究區域西南方位置。藉由行政院環境保護署全國環境水質監測資訊網之地下水水質監測資料(如表 3-1 所示)，使本研究瞭解地下水本身水質情形，並與地下水匯入河川後之水質進行比較，將於後續章節說明。



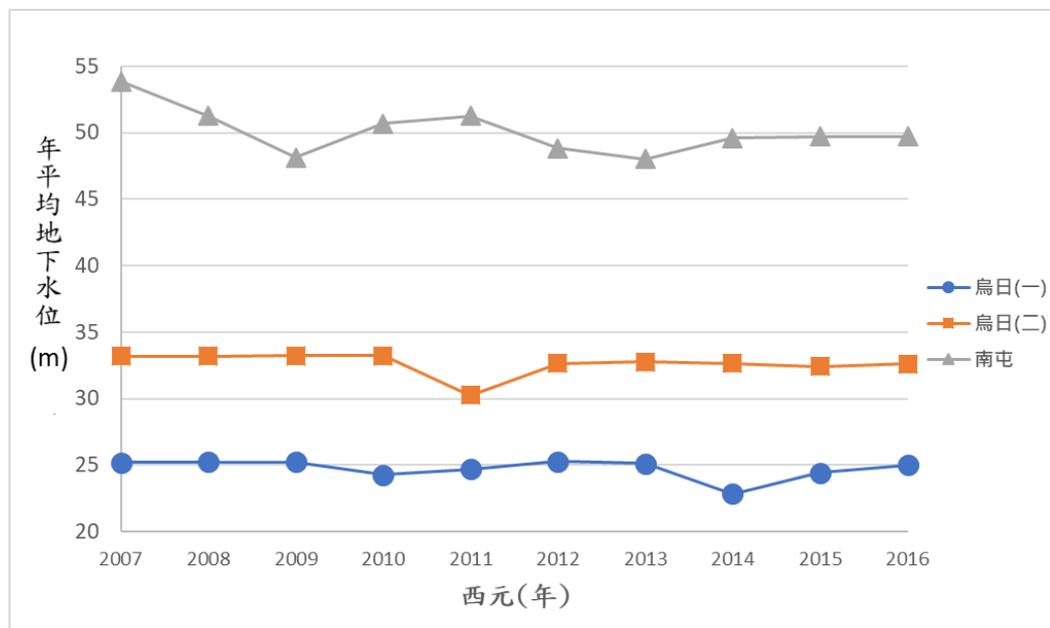
資料來源:水利署水文水資源管理供應系統

圖 3-5 台中盆地地下水層平均水位分布圖



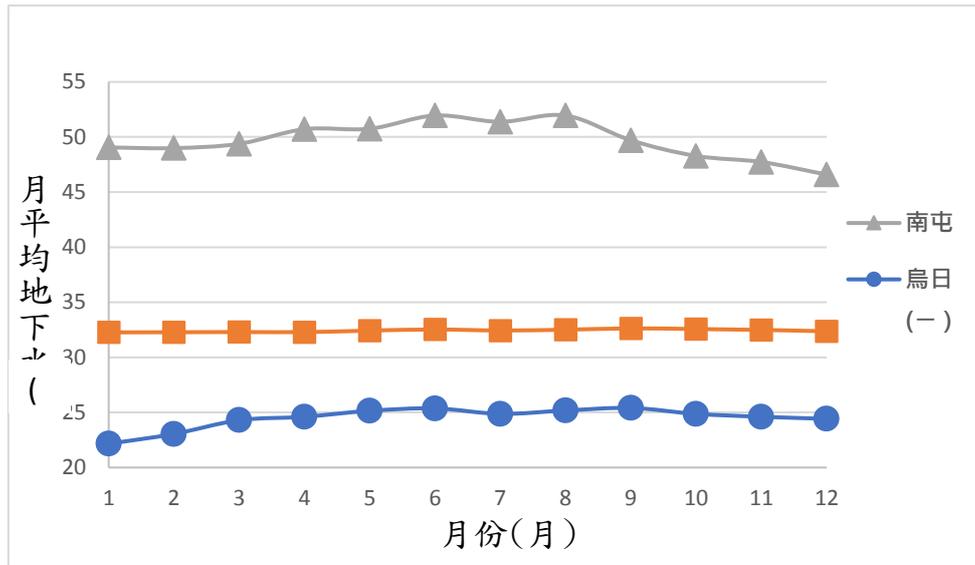
資料來源:水文年報地下水位

圖 3-6 本研究區域鄰近地下水位觀測站位置圖



資料來源:水文年報地下水位經本研究統整

圖 3-7 本研究區域周圍地下水觀測站歷年資料統整圖



資料來源:水文年報地下水位經本研究統整

圖 3-8 2015 年地下水月平均水位圖

表 3-1 鎮平國小觀測站地下水水質觀測表

測站:鎮平國小					
採樣日期	水溫 (°C)	導電度 (µs/cm)	酸鹼值 (pH)	溶氧量 (mg/l)	氨氮 (mg/l)
2017/10/18	28.5	812	6.9	0.8	0.4
2016/10/17	28.4	759	6.8	0.8	0.2
2015/10/16	28.7	759	6.7		0.32
2014/10/23	28.6	685	6.7		0.26
2013/10/16	28.2	618	6.9		0.15
2012/10/22	26.4	557	7.1		0.2
2011/10/20	27.8	632	7		0.1
2010/10/5	26.7	667	6.9		0.12
2009/10/14	27.3	725	6.9		0.12
2008/10/21	28.5	683	7.1		0.11
2007/11/13	26.9	584	7.3		0.14
2006/11/13	26.1	590	9		0.25
2005/11/7	26.6	573	9.2		0.22
2004/11/11	27	576	8.4		0.07
2003/11/10	26	804	8.5		0.25
2002/11/18	25	780	10.2		0.17
2000/11/22	23.8	1120	8.3		0.13

資料來源: 行政院環境保護署全國環境水質監測資訊網

3-3 現地實驗流程

依照試驗流程進行微型壓力計，測得河川水頭高與地下水頭高，進而判定出滲或入滲。若為出滲則施作滲流儀試驗，入滲則重新選擇研究地點。於出滲區域進行滲流儀試驗，測得地下水出滲量，並探討地下水與水質、生態之關係(如圖 3-9 所示)。

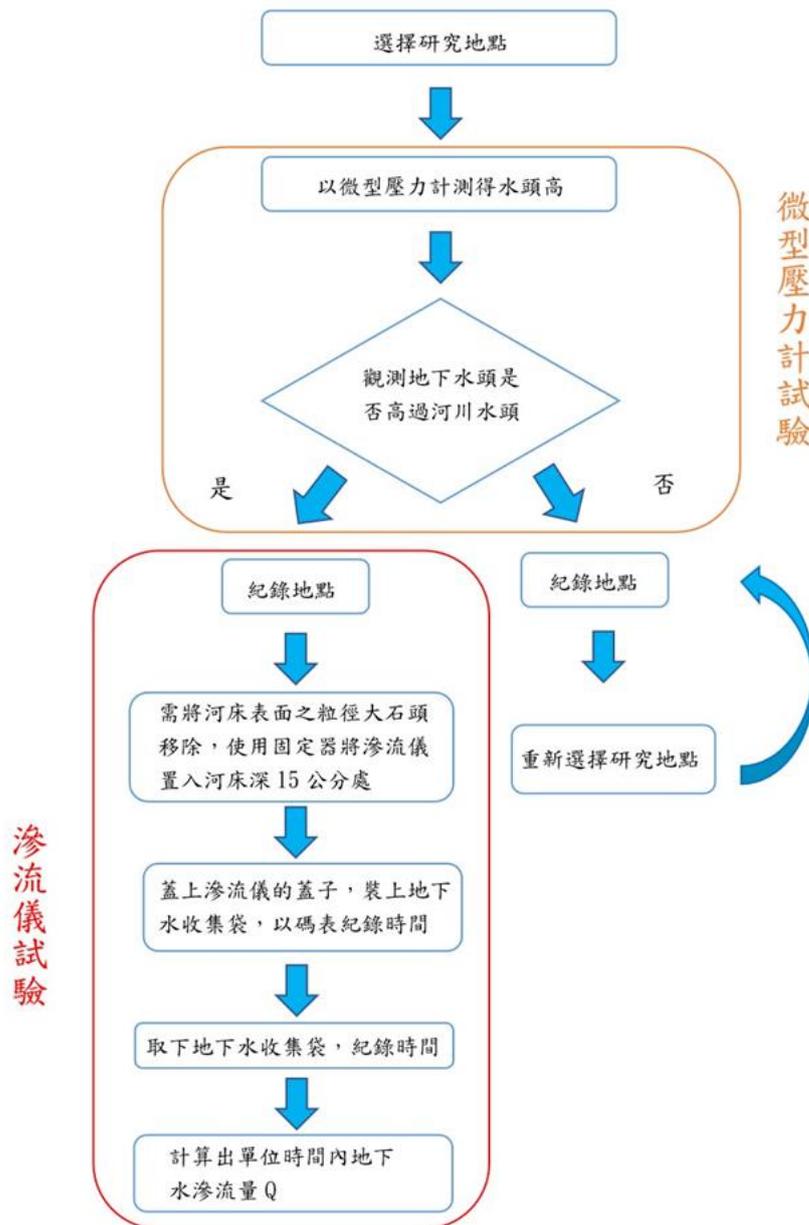


圖 3-9 實驗流程圖

3-3-1 微型壓力計試驗

微型壓力計是測量地表水和地下水之總水頭差的儀器。用水頭差可了解該區域之床底為入滲或湧出。地表水總水頭大於地下水總水頭，則為入滲，反之，地表水總水頭小於地下水總水頭，則為湧出。

操作微型壓力計實驗步驟，利用鎚子敲打金屬棒使探頭能進入河床下 15 公分處，利用手動式將管內空氣排出並使管內水位提升至滿管後，洩壓至標尺讀數。觀察出地下水總水頭和地表總水頭之水頭差並記錄之，並量測至少 10 筆之數據。

操作微型壓力計時，須注意當抽取的水含較多的細顆粒，抽的水為渾水(sediment-water)，較原水重，致試驗進行緩慢；亦須注意放置於河床的管子，注意管子方向與河水流向成平行，且開口與河川流向相同，以避免實驗誤差。

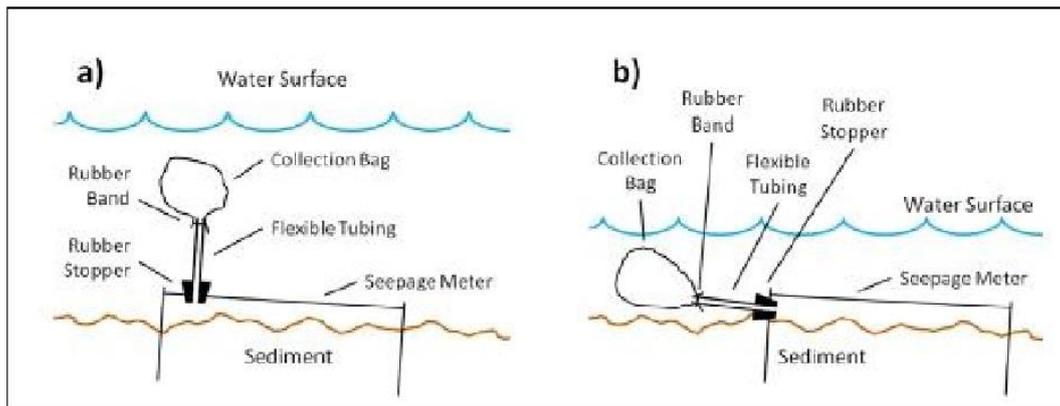
操作手動式泵時，注意水在管中之位置以及手動式泵的儲水杯，避免將水抽至泵中，導致儀器損壞。在抽取過程中，須將氣泡移除，提高讀數之精確程度。

3-3-2 滲流儀試驗

滲流儀是測量地表出滲流量之儀器，用於量測地下水與地表水體交換之區域，例如：湖泊、濕地或河川。藉由集水袋採集出滲之水並率定其滲流量。

試驗步驟：利用打環器將鐵環（直徑 56 公分）打入河床 15cm，以包圍欲測量位置，並隔離外界水域，在儀器上開一排氣閥，利用集水袋收集出滲之水並率定(如圖 3-10 所示)。忽略水的可壓縮性，當鐵環內控制體積不改變，地下水出滲，控制體積內便會將原本存在的水推至袋中。

實驗過程中須將收集滲流水的集水袋完全浸入水中，降低大氣壓力給塑膠袋的影響。而打環進行時，若因河床底下的石頭而無法向下，則以盡量不擾動河床之方式，移除底下的石塊。



資料來源: Martinez, Christopher J. (2013)

圖 3-10 滲流儀試驗裝置側視圖

試驗儀器可量測出固定時間下收集河床面滲出之水量，其延時大約十分鐘至二十分鐘，因須地下水流出之速率，故藉由公式 $V=Q/A$ ，計算出鐵環單位面積後，即可算出滲流量之水流 Darcy 流速 V 。式中 Q 為流量，即為集水袋中單位時間所蒐集之水量(m^3/s)，而 A 為鐵環內徑之面積(m^2)。

3-3-3 水質檢測

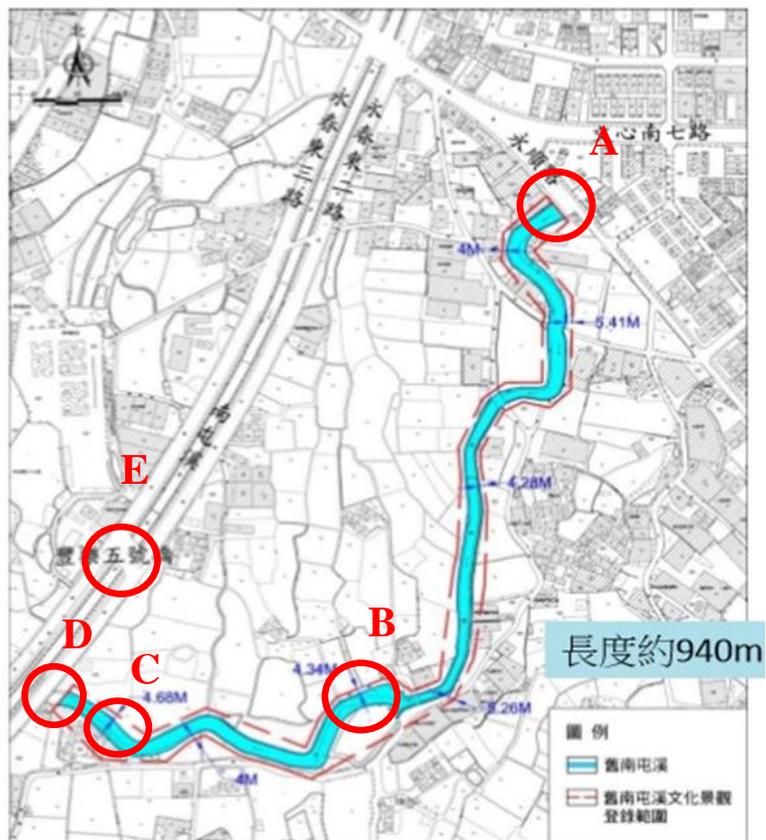
本研究水質樣點選取，選定上、中、下游等 3 處做水體檢測，分別為河段上游、河段中游(實驗點)、河段下游(與南屯溪排水混合點)，藉由河段上游、河段中游(實驗點)樣點可了解舊南屯溪本身水體水質變化情形，河段下游(與南屯溪排水混合點)則可檢測舊南屯溪匯入南屯溪排水後水質之變化，而在本研究期間，為了更進一步了解主支流水質變化情形，另增設兩處樣點河段下游(未與南屯溪排水混合點)和南屯溪排水，可更完善檢測得知本研究支流舊南屯溪上、中、下游水質變化，亦可得知主流南屯溪排水受支流舊南屯溪匯入前後水質變化之情形，以下水質樣點名稱由代號表示，(如圖 3-11 以及

表 3-2 所示)。

本實驗使用攜帶式多功能水質檢測儀器進行水質檢測，將儀器探頭放入各水樣體中輕輕攪動，待儀器上數值不再跳動時便可記錄其數據，再將探置入清水中清洗後擦乾放入下一水樣體中測定，當一項水質數據測定完後即可更換探頭進行下一個水質數據的測定。

表 3-2 試驗地點編號

編號	點位說明	簡稱
A	實驗河段上游(舊南屯溪)	實上
B	實驗河段中游(滲流儀實驗點位)	實驗
C	實驗河段下游 1(未與南屯溪排水匯合點)	實下未匯
D	實驗河段下游 2(與南屯溪排水匯合點)	實下匯入點
E	南屯溪排水(與南屯溪排水匯合點上游)	南屯溪排水



資料來源: 台中市政府都市發展局網站

圖 3-11 試驗區域點位示意圖

第四章 試驗結果與分析

本研究區域因上游及下游，地形、水理及安全考量因素，故選定舊南屯溪中游水深適中，水流平緩處，進行微型壓力計、滲流儀、水質試驗。並依據試驗紀錄的數據，分析地下水出入滲關係及水質與地下水。

4-1 微型壓力計實驗成果

利用微型壓力計，測量地表水與地下水之水頭差，以判斷此點為出滲或入滲，本實驗水頭差統一由河川總水頭減去地下水總水頭，當水頭差為正值，即為入滲；反之，即為出滲。

由表 4-1 所示，推測地下水頭差會隨時間不同有所變化，因前兩次試驗時間較為相近，但第三次試驗時間相隔較遠，使數據有所落差，但整體來說此區域屬於地下水湧出段。

圖 3-7 為本研究試驗地區周圍觀測站，烏日(1)觀測站與南屯觀測站之數據所得年平均地下水位 (25m~55m 之間)，由此數據可知本研究地區具有地下水水頭高於地表水水頭，屬於地下水出滲區，印證本研究微型壓力計試驗結果。

表 4-1 微型壓力計試驗結果一覽表

次數	第一次試驗(cm)	第二次試驗(cm)	第三次試驗(cm)
1	-12.7	-18.1	-2.8
2	-9	-18.2	-4.2
3	-8.9	-11.9	-2.6
4	-10.8	-17.1	-4.2
5	-24.5	-8.9	-4.5
6	-19.4	-18.3	-2
7	-19.9	-21	-7.5
8	-21.7	-22.3	-2.4
9	-18.7	-21.7	-2
10	-21.2	-22.3	-4.7
平均值	-16.68 (出滲)	-17.98 (出滲)	-3.69 (出滲)

4-2 滲流儀試驗及推算河床水力傳導度 K 值

由表 4-2 可看出，經過三次滲流儀試驗發現出滲量皆有變化。推測地下水流至河川的出滲量，因河床石塊密度不一及土壤空隙大小不同，導致每次試驗測得數據有所不同。

滲流儀實驗與水頭差量測所得到的數據，利用達西公式可以求得試驗之 K 值，K 值介於 1.02 至 5.638 (cm/hr)之間。

表 4-2 滲流儀量測之出滲總表

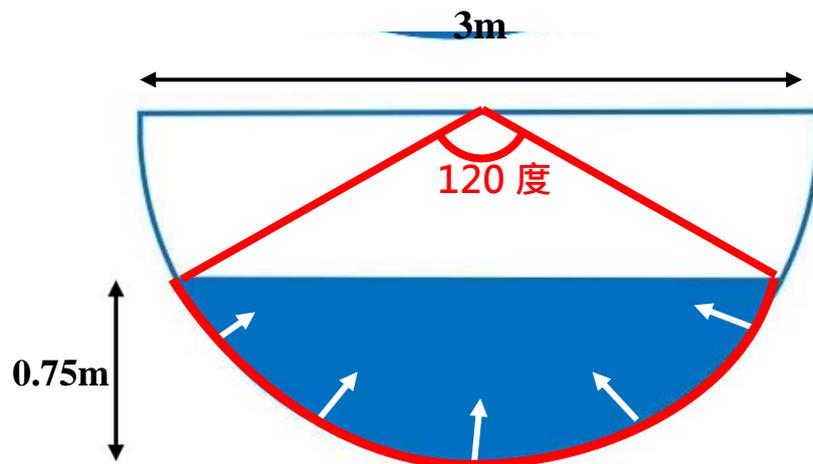
次數	平均出滲量 q(cm/hr)	平均水頭差 (cm)	水力梯度	水力傳導度 K 值(cm/hr)
第一次試驗	1.134	-16.68	-1.112	1.020
第二次試驗	1.524	-17.50	-1.167	1.306
第三次試驗	1.387	-3.69	-0.246	5.638

由表 4-2 看出，前兩次試驗水力傳導度 K 值為 1.02 及 1.306 (cm/hr)較相近。推測此研究區域土壤之水力傳導度較相似，但第三次試驗之水力傳導度 K 值卻與前兩次試驗差距甚大，但平均出滲量卻是一致的，推測為滲流儀打入深度未達指定標準(15 公分)，影響試驗所量測之數據，進而使水力傳導度 K 值產生誤差。

4-3 推估舊南屯溪地下水補注河川總量

本研究因水流湍急及河床高低落差大，故只選舊南屯溪中游處做滲流儀試驗，得出此地點地下水平均出滲量。並假設水面寬及水深等參數，經由計算求得全河段推測之地下水總補注量。

由表 4-2 的三次平均出滲量，再將其取平均值，取得實驗河段的總平均出滲量。河段全長為 940 m，而本研究假設半圓形渠道(如圖 4-1 所示)，水面寬為 2.6 m，水深 0.75 m，求得潤濕周界為 3.14 m，乘上總河段長 940 m，得出總河段地下水出滲總面積為 2950 m²。再將其值乘上地下水總平均出滲量，推估出此河段一小時地下水補注量為 39.8 m³/hr、一天地下水補注量為 955 m³/day、一年地下水補注量為 348,575 m³/year，推估地下水補注量占全流量的 2.78% (相關計算如附錄三及附錄四所示)。



4-4 水質檢測成果與分析

4-4-1 水質檢測

利用攜帶式多功能水質檢測儀器，檢測各河段的溶氧量、酸鹼值及導電度(由表 4-3~表 4-5 所示)，可得知各河段的污染高低。

由表 4-3、表 4-4 及表 4-5 針對各取水點水質進行評估分析。三次檢測的 pH 值為 7.34~7.88，皆在中性範圍之內，屬正常水流 pH 值範圍；導電度為 408~428($\mu\text{s}/\text{cm}$)，無超過灌溉用水水質標準(750 $\mu\text{s}/\text{cm}$)，對於農業灌溉用水並無明顯影響；溶氧量在各河段檢測數值中，變化幅度差異較大，因此對溶氧量深入討論。

分析各點對應之污染程度。A 點(實上)水質在三次量測中由中度污染轉變為輕度污染，推測因量測時間不同，有無污染源排放是使其水質改變的因素；B 點(實驗)水質變化較小，多為輕度污染，推斷有地下水的補注稀釋上游排放之污染，水質較為穩定；C 點(實下未匯)位於本研究河段最尾端，水質數據接近無污染，推測由河段上游所排放之污染流至此點時，已受稀釋作用影響，水質較乾淨、穩定；D 點(實下匯入點)所量測之水質為輕度污染，在 C 點時水質近乎無污染，推測與南屯溪排水匯合，使得水質受影響進而轉變為輕度污染；E 點(南屯溪排水)之水質為中度污染。

本研究河段從上游至下游(未匯)水質，由中度污染轉至近似無污染，推測本研究河段因地下水湧出達稀釋作用，使得河川水質變為良好，本研究進而量測南屯溪排水水質，得知其為中度污染，然而在與舊南屯溪匯流後期水質轉為輕度污染，由此可看出舊南屯溪的匯流有助於南屯溪排水水質改善。

表 4-3 第一次水質數據(2018/9/5)

項目 點位	溶氧量 (mg/l)	溫度(°C)	酸鹼值(pH)	導電度 ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
A(實上)	4.14	27.1	7.38	408
B(實驗)	6.70	28.5	7.54	412
D(實下匯入 點)	4.98	27.1	7.50	408

表 4-4 第二次水質數據(2018/11/15)

點位 \ 項目	溶氧量 (mg/l)	溫度(°C)	酸鹼值(pH)	導電度 (μ s/cm)
A(實上)	5.12	26.0	7.49	416
B(實驗)	4.94	24.9	7.45	419
C(實下未匯)	6.60	25.5	7.89	427
D(實下匯入 點)	4.61	25.8	7.55	416
E(南屯溪排 水)	2.95	25.2	7.34	420

表 4-5 第三次水質數據(2018/11/21)

點位 \ 項目	溶氧量 (mg/l)	溫度(°C)	酸鹼值(pH)	導電度 (μ s/cm)
A(實上)	6.5	26.6	7.51	418
B(實驗)	5.32	26.1	7.88	421
C(實下未匯)	5.04	26.6	7.55	413
D(實下匯入 點)	4.94	26.6	7.56	422
E(南屯溪排 水)	4.08	25.9	7.46	428

4-4-2 地下水水質比較

鎮平國小地下水水質觀測站與舊南屯溪各區段水質檢測之比較(如圖 4-2、圖 4-3 及圖 4-4 所示)，可看出導電度在地表逕流相對於地下水比較低，因雨水導電度較低會稀釋地表逕流中的導電度，而地下水因經過地下底質，底質礦物含較高的帶電離子，所以導電度於地下水中比地表逕流還高。pH 值在地表逕流相對於地下水比較低，因地表逕流水中溶氧量比較高，多數生物生活在地表逕流較多，進行呼吸作用會較旺盛，水中二氧化碳濃度會增加，導致 pH 值於地表逕流

比地下水較低。溶氧量在地表逕流相對於地下水比較高，因地表逕流易接觸空氣，又地下水接觸空氣較少，生活在底質下的生物進行呼吸作用或硝化作用時亦會消耗氧氣，造成溶氧量於地下水中比地表逕流較低之狀況，但在地下水補注地表水時，因地下水流入地表水挾帶離子，使空氣中氧氣進入水中產生反應，增加溶氧量。

因上述三種指標無法詳細表達出地下水水質優劣之標準，氨氮(NH₄)存在於許多工業廢水中，不利水生物(特別是魚類)，故選用氨氮進一步描述地下水之水質(如圖 4-5 所示)，由表 3-1 所示鎮平國小地下水水質觀測站氨氮之數值，比較分析，可看出本研究河段地下水氨氮數值皆在 0.5mg/L 以下，對應環保署河川汙染指數，本區可證實地下水本身水質屬未(稍)受污染，藉由地下水湧出地表時使水質達淨化作用，同時利於水中生物生存，而更進一步觀察本研究區域生物概況。

表 4-6 水質檢測氨氮

項目水質	未(稍)受污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
氨氮 mg/L	0.5 以下	0.5-0.99	1-3	3 以上

資料來源:行政院環保署全國環境水質監測資訊網

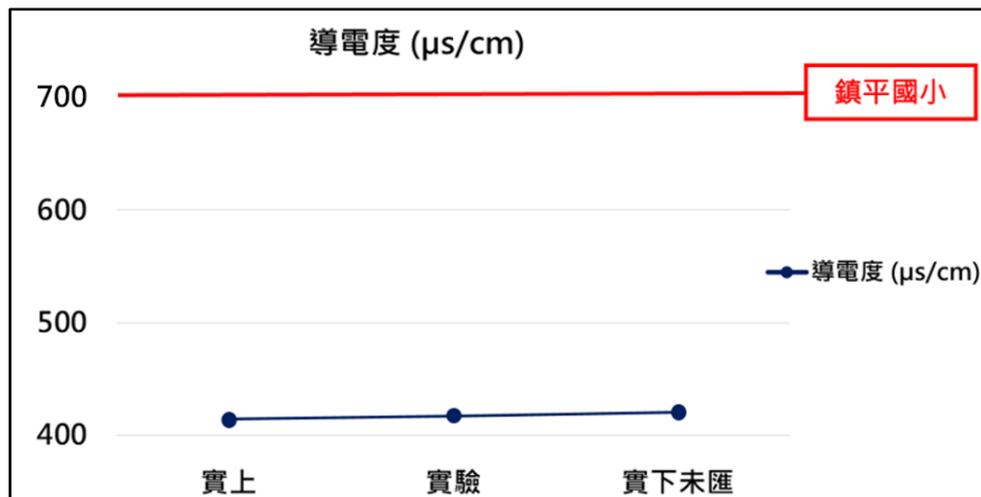


圖 4-2 地表水與地下水水質之比較圖(導電度)

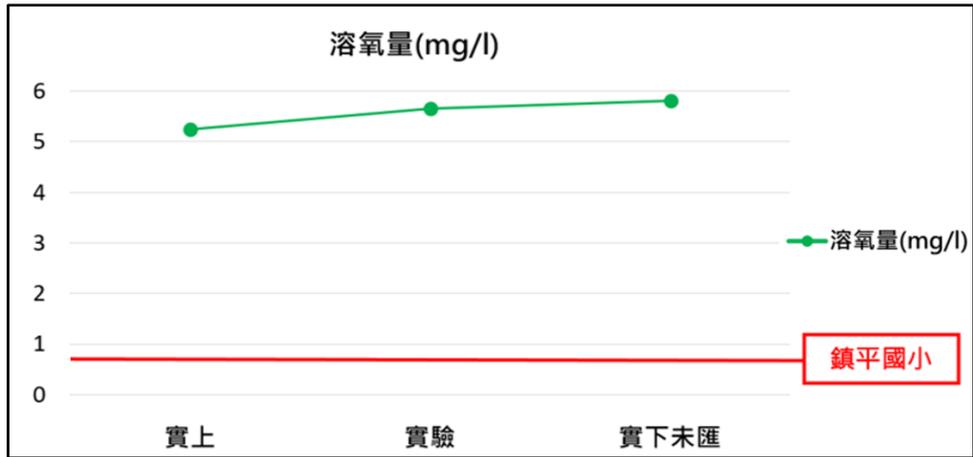


圖 4-3 地表水與地下水水質之比較圖(溶氧量)

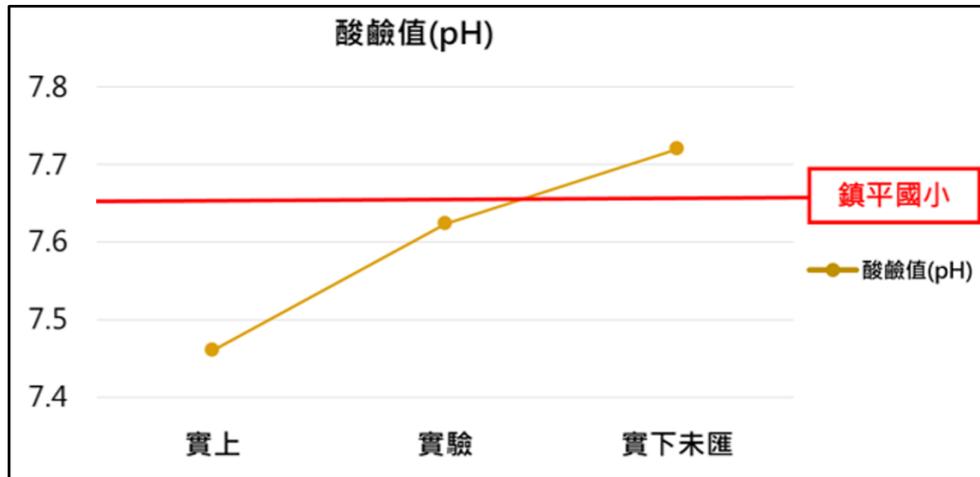


圖 4-4 地表水與地下水水質之比較圖(酸鹼值)

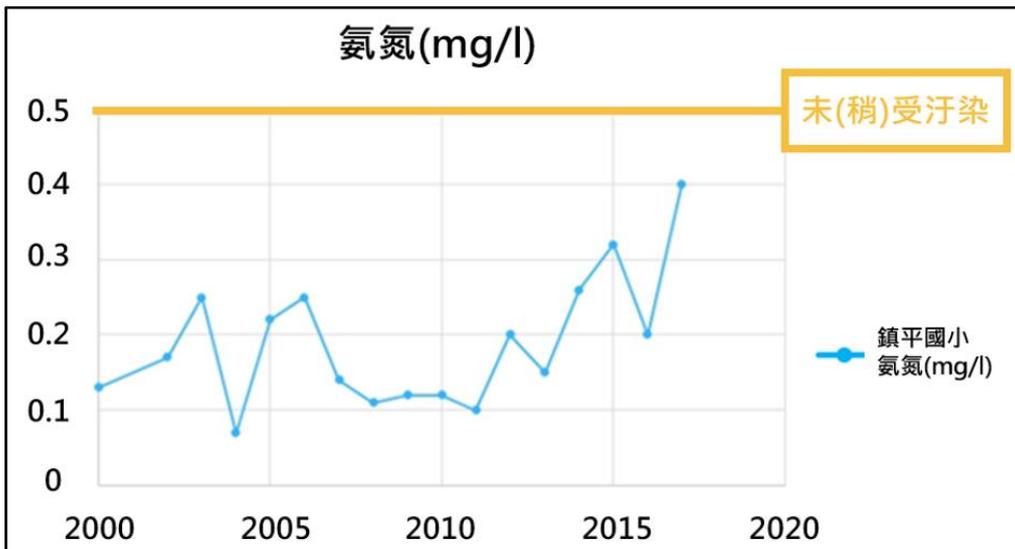


圖 4-5 鎮平國小地下水水質(氨氮)低於未污染標準

4-5 生物概況

本研究下游河段現場觀察到大量的白鷺鷥棲息，白鷺鷥一般多活動於湖沼岸邊、水田、河岸、沙灘、泥灘及沿海小溪流、成群出現，食物以各式魚蝦為主食，藉由食物鏈關係可推測本研究河段足以提供白鷺鷥食物來源。以現場觀察得知本研究河川中游(實驗點)具有不少魚類生存，進一步推測本研究全區河段有大量魚類生存，但是觀測到現場多為單一物種魚類生存(包含吳郭魚及鯉魚)。河道內趨於單一物種吳郭魚生存，由魚類指標來看，本研究河道為嚴重污染地區，然而水質檢測結果為輕度或無污染，推測雨水下水道管線混有第八期都市重劃區民生污水匯入此河段，使河川之水質短時間內呈現嚴重污染且混雜著些微惡臭狀態，造成其他敏感性魚類無法存活，且河川周圍散發著家庭污水及工業廢水的惡臭，而過一段時間之後因河川稀釋作用使水質恢復原來狀態。

綜合以上所述，本研究區域於污染未排放期間水質良好，提供白鷺鷥生存環境及植被茂盛、樹木成林，使生物得以生存棲息。



圖 4-6 水陸域生態現況

第五章 結論與建議

5-1 結論

本研究區域為台中市第十三期重劃區內已保留之自然河道，由內文提及台中盆地北側的大甲溪及東側的烏溪為主要地下水補注源，地下水流往盆地中心地勢低處匯流，於烏日-霧峰連線一帶可能為地下水流出區，而本研究區域位於此地下水流出區附近，可知地下水含量豐沛。

先使用微型壓力計量測點位之水頭差，依其結果可判斷該點地下水之入滲或湧出，實驗結果判定此河段乃地下水湧出段，再進行滲流儀試驗，測得出滲量介於 1.134cm/hr~1.387cm/hr，因地下水位會有起伏，每日湧出量不為定值，但仍可看出本研究區域為地下水補注地表水河段，且根據當地耆老所述早期在舊南屯溪河段有湧泉現象之發生。

研究區域內估計一天地下水補注量為 955 m³/day，有此數據可推測得研究河段內的地下水補注量，讓此河段水溫維持一定之溫度、河川流量穩定及水質達到稀釋作用，可對於未來都市重劃區休憩環境空間有優良之助益。

研究區域位於沖積層，而此沖積層主要由礫石、砂土及泥土所組成。所對應的土壤水力傳導度 K 值，介於 1.02~3.05(cm/hr)之間。本研究於舊南屯溪中游所求得水力傳導度 K 值，介於 1.02~1.306(cm/hr)之間，符合此研究區域河床土壤之組成。

地下水出滲對於河川水質影響明顯，舊南屯溪整體水質應為無污染至輕度污染，惟因有污染源排入，導致污染物流至的河段水質較差，但經舊南屯溪地下水湧出達稀釋作用後，使水質有些微變好之趨勢，與南屯溪排水匯流後，凸顯出自然河道改善水質之功能，於都市開發中有其保留之意義。

地下水湧出使水質改善，舊南屯溪生態應為良好，然而污染源的排放使水域生態趨近單一物種，由魚類指標來看，本研究河道仍為嚴重污染地區，然而水質檢測結果為輕度或無污染，推測因有污染源流入河川，使河川之水質短時間內呈現嚴重污染狀態，造成其他魚類無法存活，而過一段時間之後因河川稀釋作用使水質恢復原來狀態，但

整體來說，舊南屯溪下游因稀釋作用水質較為良好，使下游段陸域生物較為豐富。

提供政府未來都市規劃與開發之參考依據，可建立麻糍埔遺址教育園區，結合歷史文物河道演變顯現出過去人民利用溪水生活的意義；可在河道兩岸設置生態環境教育園區結合景觀餐廳，保留原始自然生態環境及提供民眾一個休閒遊憩的空間，讓民眾瞭解此河段保留之可貴性。

5-2 建議

1. 建議未來此河川進行更深入的污染源檢測，以提供未來相關研究之參考。
2. 本研究試驗時間較短，建議可進行長期之研究試驗，已提供更完整之數據。
3. 進行滲流儀試驗探討 K 值時，建議可加做現場的粒徑分析試驗，使可探討的面向更為齊全。
4. 工程師應嘗試攔截並淨化處理上游台中第八期重劃區的生活污水，並嘗試如何增加地下水的補注量以維繫此舊河段的水質乃至於生態。

第六章 參考文獻

1. 經濟部水利署水文資料查詢網站 <http://gweb.wra.gov.tw/wrhygis/>
2. 行政院環保署水質稀釋現地處理網站 <https://goo.gl/1c831S>
3. 行政院環境保護署水體水質資料庫 <http://alphapc.epa.gov.tw/cgi-bin>
4. 行政院環境保護署全國環境水質監測資訊網 <https://goo.gl/RPoJM2>
5. 水汙染管理 <https://goo.gl/jmWDpM>
6. Environment and Climate Change Canada <https://goo.gl/P9IpI3>
7. HACH 公司 HQD 系列 Portable Meters <https://goo.gl/iu8VnK>
8. 臺中市政府都市發展局(2015),「變更台中市都市計畫主要計畫(配合麻糍埔遺址及舊南屯溪文化景觀保存)」。
9. 臺中市政府地政局(1989),「臺中市第八期豐樂市地重劃計畫書」。
10. 臺中市政府地政局(2016),「臺中市第 13、14 期市地重劃及第 13 單元私辦重劃相關作業進度專案報告」。
11. 李光敦 (2002),「水文學」,五南出版社, P114-P124; P155-P158
12. 黃慶聲(2017),「南屯溪之歷史脈絡」,保存維護計劃工作坊。
13. 經濟部水利署(2014)。「地下水補注地質敏感區畫定計畫」。
14. 紀培能(2011),「淺層地下水補注卵礫石型陡坡溪流之季節性估算-以筏子溪為例」,逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士班碩士學位論文。
15. 屈慧麗(2013),「麻糍埔的前世今生」,國立自然科學博物館館訊,第 317 期。
16. 許少華、劉建榮、賴慶昌、潘俊宏、洪碧芳(2015),「卵礫石河川稀釋能力分析研究-以台中市筏子溪為例」,台灣水利,第 63 卷。
17. 朱達仁、施君翰、汪淑惠、張睿昇(2006),「溪流環境評估常使用的量化生態指標簡介」,台灣林業,32(2),30-39。
18. 莊順興(2014),「水質指標說明與應用」,朝陽科技大學環境工程與管理系,水質指標與查證作業實務講習班。
19. 鄭柏璋、林興宏、伍紹陽(2017),「利用滲流儀於筏子溪測得河床之滲漏水力梯度之探討」,逢甲大學水利工程與資源保育學系,

大專生論文。

- 20.陳柏穎、莊信宏、丘御辰(2017)，「埔里盆地地下水出滲入滲量測與分析」，逢甲大學水利工程與資源保育學系，大專生論文。
- 21.Darcy, H. (1856). “Les fontaines publiques de la ville de Dijon.”Paris: Dalmont.
- 22.Martinez, Christopher J. (2013). “Mini-piezometers for Measuring Groundwater to Surface Water Exchange.”
- 23.Martinez, Christopher J. (2013). “Seepage Meters for Measuring Groundwater–Surface Water Exchange.”