

中斷面法及平均斷面法應用於流量測定之比較

Comparison Study on Mid-Section and Mean-Section Methods for Measuring Flow in Canals and Rivers

財團法人農業工程研究中心

國立臺東大學公共與文化事務學系

副研究員

助理研究員

助理研究員

副教授

陳豐文

林修德

江慶星

蔡西銘

Feng-Wen Chen

Hsiu-Te Lin

Cing-Sing Jiang

Shi-Ming Tsai

摘 要

流量測定過程包含通水面積參數測定及流速觀測，中斷面法及平均斷面法為流量測定常用的斷面切割方法，其影響流速觀測點及水深的估測位置的選定，由於平均斷面法與中斷面法之基本假設不同，以平均斷面法採用多個小梯形斷面的假設方式較適合描述河川不規則的渠底條件，而平底渠道則無差異性。本研究為評估兩種方法測定流量之差異，各選定 5 處定型渠道及天然河道進行觀測試驗，結果顯示兩種方法獲得之流量差異性小；最適宜的測定方式為河道兩側斷面採用中斷面法，而其他斷面則採用平均斷面法的方式，可確保流量測定準確性及縮短測定時間。

關鍵詞：流量測定，中斷面法，平均斷面法，量測誤差

Abstract

Process of flow measurement includes parameters of cross-section area and velocity observation. The mid-section and mean-section methods are the most commonly applied for dividing cross-section of river. Because these two methods are based on different hypotheses, and the method selection will affect the location for measuring flow velocity and water depth. Whereas irregular bottom of rivers are suitable described by the mean-section method, which of the method is divided as multiple small trapezoidal. Contrary, which one is selected is no matter in shaped channel (ex: irrigation canal). Five shaped channels and five sites of natural rivers are adopted to evaluate the variation between these two methods by experiments. The results show that only a slight difference between them. A combined method is the mid-section method used to measure flow in two subsections near sides of rivers, and the mean-section method is used for the other subsections at the same time. The combined method is recommended by the authors which it is suitable for measuring flow in natural rivers and shaped canals to maintain the accuracy and shorten the measurement time.

Keywords: Flow measurement, Mid-section method, Mean-section method, Measurement error.

一、前言

國內外對於河川或渠道流量資料的取得，除了定型渠道適合以固定式量水構造物觀測水深等資訊以查表方式間接獲得流量外，天然河川仍需仰賴人工進行流量測定，一般流量測定主要觀測兩項重要參數：流速及斷面因子，並利用水連續方程式即可換算流量，由於斷面因子的量測較無技術性及困難性，因此過去許多研究及技術發展都朝向流速觀測的改良，以提升流速觀測的準確性；然而流速測定過程需決定通水斷面劃分為子斷面，再決定採用中斷面或平均斷面法進行觀測，這一步驟通常由觀測者自行決定，因此，本研究特進行現場試驗以比較上述兩種量測方法，評估兩者之差異，並進一步提出通水斷面採用中斷面法而其餘斷面採用平均斷面法之方式以修正應用平均斷面法時兩側岸邊流速為零影響該子斷面平均流速偏低的結果。

二、材料與方法

2-1 流量測定原理

利用人力進行河川及一般性渠道之流量測定於國內外已行之有年，迄今仍是國內河川流量資料取得的主要方式；流量測定的原理及流程，本研究節錄陳豐文等(2012a)的說明如下：河川流量之基本定義即是單位時間(t)內通過的水體積(W_v)，稱之為流量(Q)；基於水連續方程式，通過某一橫斷面之河川流量即可依據(1)式或以(2)式獲得。由於河川斷面屬於不規則形，並無特定型態，因此將通水橫斷面劃分為 n 個小斷面，依(2)式概念推估各小斷面之流量 q_i ，上述概念可以(3)式及(4)式表達；並進一步採用中斷面法(Mid-Section method)或平均斷面法(Mean-Section method)量測各子斷面之水深、水面寬、流速後，依(3)式即可累加為總流量。

$$Q = \int_A v dA \dots\dots\dots(1)$$

$$Q = V_{av} \cdot A \dots\dots\dots(2)$$

$$Q = a_1 v_1 + a_2 v_2 + a_3 v_3 \dots + a_n v_n \dots\dots\dots(3)$$

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n \dots\dots\dots(4)$$

式中： A 是河川量測面之通水橫斷面積， v 是水流區橫斷面任一點之流速， V_{av} 是通水橫斷面的平均流速， n 為通水斷面積分割數量， a_i 是第 i 小斷面的面積， v_i 是第 i 小斷面的流速。

2-2 中斷面法及平均斷面法原理

中斷面法(Mid-Section method)及平均斷面法(Mean-Section method)均為河川通水橫斷面劃分為小斷面後之流速及斷面參數之觀測方式，由於兩者僅需擇一方式量測即可，以下茲將中斷面法及平均斷面法的原理及特性說明如下：

一、中斷面法：係假定河川通水斷面由多個不同矩形子斷面組成(如圖 1)，各子斷面寬度如圖 1 之 b_1 、 b_2 、 b_3 ...；水深及流速量測處為各子斷面之中心點，因此各子斷面之平均流速表示如(5)式，對應的子斷面積如(6)式，進一步依(3)式即可累加為總流量。中斷面法雖有簡便之優點但準確性相對較低。

二、平均斷面法：乃將橫斷面視為多個梯形子斷面組成(如圖 2)，各子斷面平均流速為兩相鄰垂線平均流速之平均值，如(7)式，各子斷面之面積如(8)式，亦依(3)式即可累加為總流量。平均斷面法具高精確度之優點，早期電腦應用不發達時具手續繁複之缺點，但現今電腦計算工具應用普遍，例如應用 Excel 即可迅速計算平均斷面法之流量，克服計算繁瑣之問題。

三、平均斷面法及中斷面法兼用方式：通水斷面兩側流速通常為零，應用平均斷面法時，兩側子斷面因計算公式導致平均流速低估之虞，因此本研究提出簡易的修正方式，即通水斷面切割為多數量之子斷面後，以平均斷面法測定，但兩岸子斷面採用中斷面法以避免將岸邊零流速值套用至平均斷面法公式時造成之平均斷面流速值偏低，其餘計算方式不變。

$$v_{\text{mid}} = v_{\text{av},i} = v_i \dots\dots\dots(5)$$

$$a_{\text{mid}} = a_i = b_i \cdot d_i \dots\dots\dots(6)$$

$$v_{\text{mean}} = v_{\text{av},i} = \frac{v_i + v_{i+1}}{2} \dots\dots\dots(7)$$

$$a_{\text{mean}} = a_i = \frac{(d_i + d_{i+1}) \cdot b_i}{2} \dots\dots\dots(8)$$

式中： v_{mid} 是中斷面法的子斷面平均流速， v_{mean} 是平均斷面法的子斷面平均流速， a_{mid} 是中斷面法的子斷面積， a_{mean} 是平均斷面法的子斷面積。

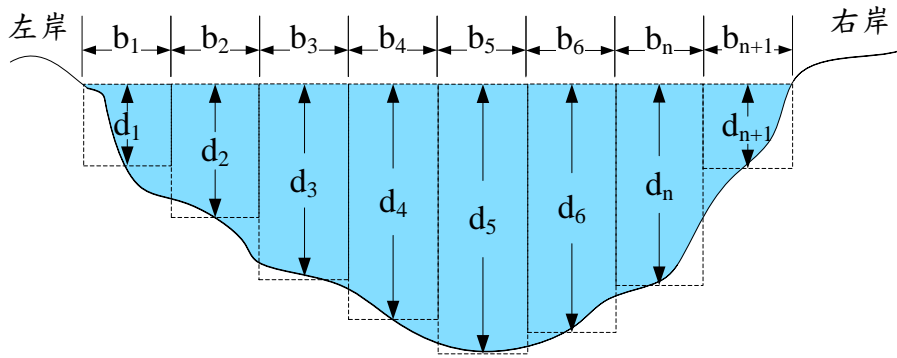


圖 1 中斷面法示意圖

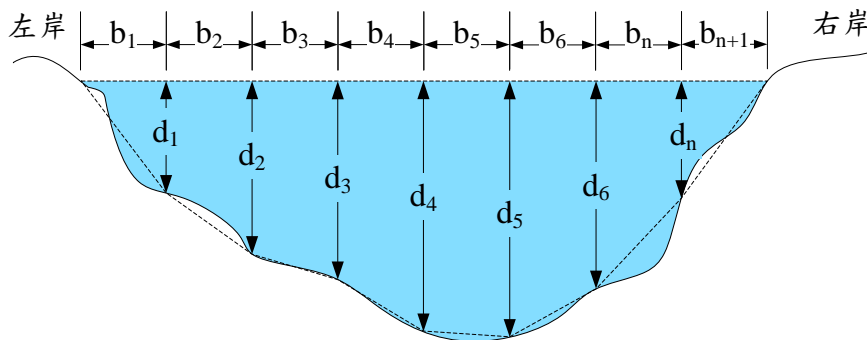


圖 2 平均斷面法示意圖

2-3 流速及斷面參數觀測

一、流速觀測

流速觀測主要以獲得各子斷面的垂向平均流速為主，垂向流速平均值的取得方式，包含可用點流速觀測、表面流速觀測、垂向流速剖面直接觀測等 3 種，點流速觀測為過去迄今應用最廣泛的方法，其中以機械式流速儀為主要設備，包含豎軸式流速儀 (Horizontal-axis current meter) 與水平軸式流速儀 (Vertical-axis current meter)；應用最為廣泛的豎軸式流速儀為普萊氏 (Price Type AA meter) 流速儀 (USBR, 2001)，但上述設備需要應用一點法、二點法或三點法進行觀測，較為耗時耗力，因此本文採用兩種新型流速觀測儀器。

第一種設備為聲波都卜勒剖面流速儀 (Acoustic Doppler Profiler, ADP)，如圖 3 所示。ADP 則可量測一垂直線上之多點流速，可直接量測流速剖面；亦即垂線平均流速直接觀測則可透過 ADP 直接觀測獲得，觀測過程，ADP 可於垂向水深的不同節點處發射聲波並直接平均計算為平均垂向流速；近年已逐漸應用於流速觀測，例如王傳益等 (1998) 於濁水河流域及烏河流域使用 ADP 進行流量觀測，其結果顯示 ADP 之穩定性與精度均十分優越，與傳統之機械式流速儀進行比較，其誤差範圍均在 10% 以內；ADP 亦廣泛應用於定型渠道流量觀測之用，並獲得極佳的成果 (陳豐文等, 2008a; 陳豐文等, 2008b)；

陳豐文等，2008c)。

第二種設備為雷達波流速儀，雷達測速儀可依其發射波之頻率分為微波雷達與無線電波雷達等二種。而流速觀測用之雷達測速儀多為微波雷達，李明靜(2003)、許盈松(2006)、朱木壽(2010)··等均分別使用不同波段長度之微波雷達觀測河川流速，其結論均對河川高流量觀測有正面之評價；惟本方法僅可測得河川表面之流速，於精度方面易受環境(風速、降雨干擾)之影響為其缺點。本研究採用雷達波流速儀作為非接觸式流速觀測的設備，本研究使用之設備為美國 Stalker 公司生產之手持式雷達波流速儀(SRV)，具有體積小、重量輕、便於攜帶等特點，俗稱雷達測速槍，無須固定於橋面，因手持式的特性，可因應洪峰前後造成流路改變，便於直接前往水流處觀測。該設備之雷達波屬於連續波雷達，因此操作時會即時傳回表面流速值，並直接平均觀測時間內之平均表面流速值，表面流速穩定者，則數值變動幅度小，當表面流況複雜時，流速即時變化幅度大，因此需持續觀測較長時間或重複觀測以維持準確性，SRV 儀器如圖 3 所示。由於 SRV 為點觀測的方式，但同時具備非接觸式觀測的特性，非接觸式流速觀測即為觀測表面流速，因此需再建立表面流速與垂向平均流速之關係式，本研究引用陳豐文等(2012b)以線性迴歸建立 SRV 之表面流速與垂向平均流速之關係式，如(9)式。

$$V_{(av,s)} = 0.8852 V_{(st,s)} + 0.0066 ; R^2 = 0.9143 \dots\dots\dots(9)$$

式中： $V_{(av,s)}$ 是縱斷面之平均流速修正值， $V_{(st,s)}$ 是經表面流速。



A. 聲波都卜勒剖面流速儀(ADP)



B. 雷達波流速儀(SRV)

圖 3 本研究採用流速儀設備一覽

二、斷面參數之測定

由於同一測站之流量變化反應於流速及斷面因子，因此斷面參數亦是流量測定的重點之一，斷面因子包含水面寬度及水深等，水面寬度測定較為容易，水深測定部分：淺水流時可應用測深桿直接涉水觀測水深、水流湍急需以橋面施測時則輔以測深錘施測，依不同流速可施放不同重量之測深錘。

2-4 研究區域概述

本研究為比較中斷面法及平均斷面法對於流量測定之差異，分別於定型渠道及天然河川進行流量測定的試驗，定型渠道部分選定 5 處試驗渠道，分別為台中農田水利會南幹線、景山溪矩形渠段、下埤幹線、下埤幹線浮圳支線、下埤幹線中央支線等 5 處；天然河川則分別選定筏子溪的集泉橋測站、貓羅溪的南崗測站、北港溪的福興測站、大安溪的象鼻測站、水里溪的中山測站；天然河川測站的位置分布如圖 4 所示。

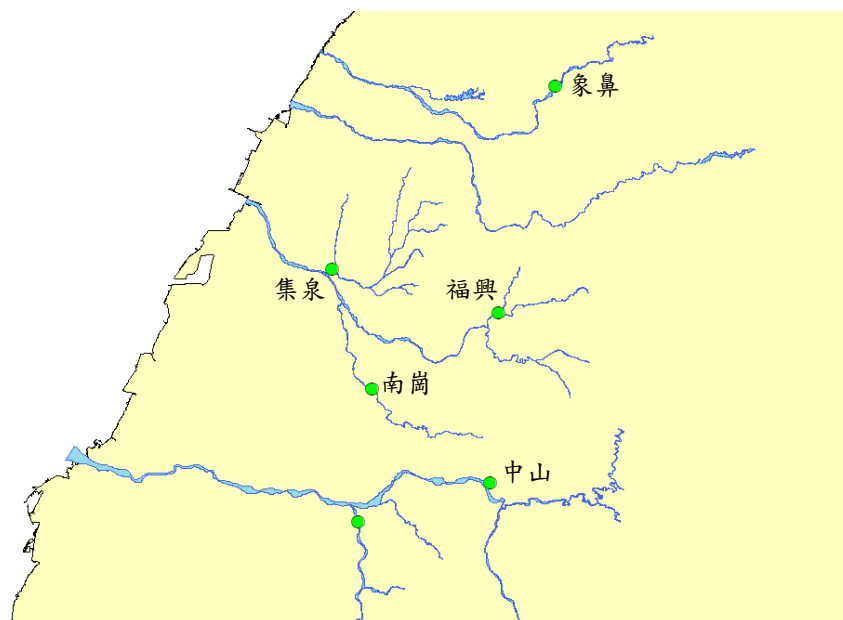


圖 4 本研究採用天然河川測站位置一覽

三、結果與討論

3-1 定型渠道試驗結果

本研究於台中農田水利會南幹線、景山溪矩形渠段、下埤幹線、下埤幹線浮圳支線、下埤幹線中央支線等 5 處進行定型渠道之流量測定試驗，除了南幹線重複觀測 9 次外，其餘均觀測 4 次，採用流速儀設備為聲波都卜勒剖面流速儀(ADP)；茲將各次試驗之斷面切割數量、斷面平均流速、通水面積、流量之結果彙整如表 1，並進一步將平均斷面法、中斷面法、平均斷面及中斷面兼用法，採用兩種方法流量比較圖，如圖 5 所示。各測站結果顯示中斷面的流速無明顯高或低於平均斷面法的趨勢，兩種方法的平均流速值相近，通水面積部分，中斷面法則明顯高於平均斷面法，顯示中斷面法直接採用于斷面中間點之水深向兩側邊界畫等水深的方式，子斷面為均為矩形狀，較不合理；反之，平均斷面法乃量測子斷面兩側水深，並假設這兩點間之渠底高程變化為線性分布，因此子斷面為梯形狀。流量的比較結果顯示，中斷面法約 72% 的試驗數據高於平均斷面法，僅 28% 數據低於平均斷面法，以平均斷面法為基準計算之誤差率，中斷面法流量高於平均斷面法時之高估誤差率約 0.01~14.14%，高於平均斷面法時之低估誤差率約 0.19~6.34%；由表 1 顯示當通水面積兩水岸邊的流速為零時，平均斷面及中斷面兼用法能修正兩岸零

流速應用平均斷面法低估流量之現象；但是通水面積兩水岸邊的流速不為零時(有流速)，平均斷面及中斷面兼用法則無改善效果；由定型渠道試驗結果顯示，於定型渠道測定流量時，先判斷兩岸是否為零流速，若為零流速條件時，建議採用平均斷面及中斷面兼用法，反之，則建議採用平均斷面法。

表 1 定型渠道測站流量測定結果一覽

| 測站別 | 試驗 No. | 斷面數 | 平均斷面法 | | | 中斷面法 | | | 平均斷面及中斷面兼用法 | | |
|------|--------|-----|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| | | | V_{mean} (m/s) | A_{mean} (m^2) | Q_{mean} (cms) | V_{mid} (m/s) | A_{mid} (m^2) | Q_{mid} (cms) | V_{av} (m/s) | A_{av} (m^2) | Q_{av} (cms) |
| 南幹線 | 1 | 8 | 0.162 | 0.198 | 0.032 | 0.163 | 0.269 | 0.044 | 0.171 | 0.205 | 0.035 |
| | 2 | 8 | 1.022 | 0.870 | 0.890 | 0.992 | 1.228 | 1.218 | 0.954 | 0.972 | 0.927 |
| | 3 | 8 | 1.316 | 1.174 | 1.545 | 1.382 | 1.611 | 2.226 | 1.290 | 1.275 | 1.645 |
| | 4 | 8 | 1.422 | 1.417 | 2.015 | 1.419 | 1.918 | 2.722 | 1.400 | 1.518 | 2.125 |
| | 5 | 10 | 0.471 | 0.465 | 0.219 | 0.474 | 0.657 | 0.311 | 0.461 | 0.494 | 0.228 |
| | 6 | 10 | 0.713 | 0.673 | 0.480 | 0.718 | 0.961 | 0.691 | 0.693 | 0.731 | 0.506 |
| | 7 | 10 | 0.931 | 0.828 | 0.771 | 0.931 | 1.191 | 1.109 | 0.915 | 0.912 | 0.834 |
| | 8 | 10 | 1.288 | 1.216 | 1.567 | 1.295 | 1.581 | 2.048 | 1.320 | 1.216 | 1.605 |
| | 9 | 10 | 1.372 | 1.280 | 1.757 | 1.384 | 1.665 | 2.304 | 1.405 | 1.280 | 1.799 |
| 景山溪 | 1 | 22 | 1.171 | 5.887 | 6.893 | 1.175 | 5.902 | 6.935 | 1.181 | 5.901 | 6.969 |
| | 2 | 16 | 0.168 | 0.549 | 0.092 | 0.174 | 0.548 | 0.095 | 0.158 | 0.544 | 0.086 |
| | 3 | 22 | 1.127 | 4.393 | 4.949 | 1.122 | 4.485 | 5.031 | 1.112 | 4.393 | 4.883 |
| | 4 | 22 | 0.965 | 3.653 | 3.526 | 0.948 | 3.730 | 3.538 | 0.961 | 3.653 | 3.510 |
| 下埤幹線 | 1 | 10 | 2.129 | 1.482 | 3.155 | 2.158 | 1.794 | 3.871 | 2.253 | 1.482 | 3.339 |
| | 2 | 10 | 1.716 | 1.140 | 1.956 | 1.777 | 1.380 | 2.452 | 1.716 | 1.140 | 1.956 |
| | 3 | 10 | 1.383 | 0.998 | 1.379 | 1.383 | 1.208 | 1.670 | 1.456 | 0.998 | 1.453 |
| | 4 | 10 | 0.747 | 0.399 | 0.298 | 0.761 | 0.483 | 0.367 | 0.787 | 0.399 | 0.314 |
| 浮圳支線 | 1 | 6 | 0.983 | 1.800 | 1.769 | 1.058 | 1.800 | 1.904 | 0.919 | 1.800 | 1.653 |
| | 2 | 6 | 0.903 | 1.008 | 0.910 | 0.978 | 1.008 | 0.986 | 0.929 | 1.008 | 0.936 |
| | 3 | 6 | 0.996 | 0.828 | 0.825 | 1.040 | 0.828 | 0.861 | 1.027 | 0.828 | 0.850 |
| | 4 | 6 | 0.614 | 0.324 | 0.199 | 0.668 | 0.324 | 0.216 | 0.654 | 0.324 | 0.212 |
| 中央支線 | 1 | 5 | 0.900 | 0.410 | 0.370 | 1.030 | 0.500 | 0.520 | 0.870 | 0.410 | 0.360 |
| | 2 | 5 | 1.420 | 0.510 | 0.720 | 1.330 | 0.620 | 0.820 | 1.290 | 0.510 | 0.650 |
| | 3 | 5 | 1.860 | 0.640 | 1.200 | 1.820 | 0.780 | 1.430 | 1.650 | 0.640 | 1.060 |
| | 4 | 5 | 2.100 | 0.760 | 1.600 | 2.030 | 0.920 | 1.880 | 1.970 | 0.760 | 1.500 |

註： V_{mean} 為平均斷面法之平均流速， A_{mean} 平均斷面法之通水面積， Q_{mean} 平均斷面法之流量； V_{mid} 為中斷面法之平均流速， A_{mid} 中斷面法之通水面積， Q_{mid} 中斷面法之流量； V_{av} 為平均斷面法之平均流速， A_{av} 平均斷面法之通水面積， Q_{av} 平均斷面法之流量。

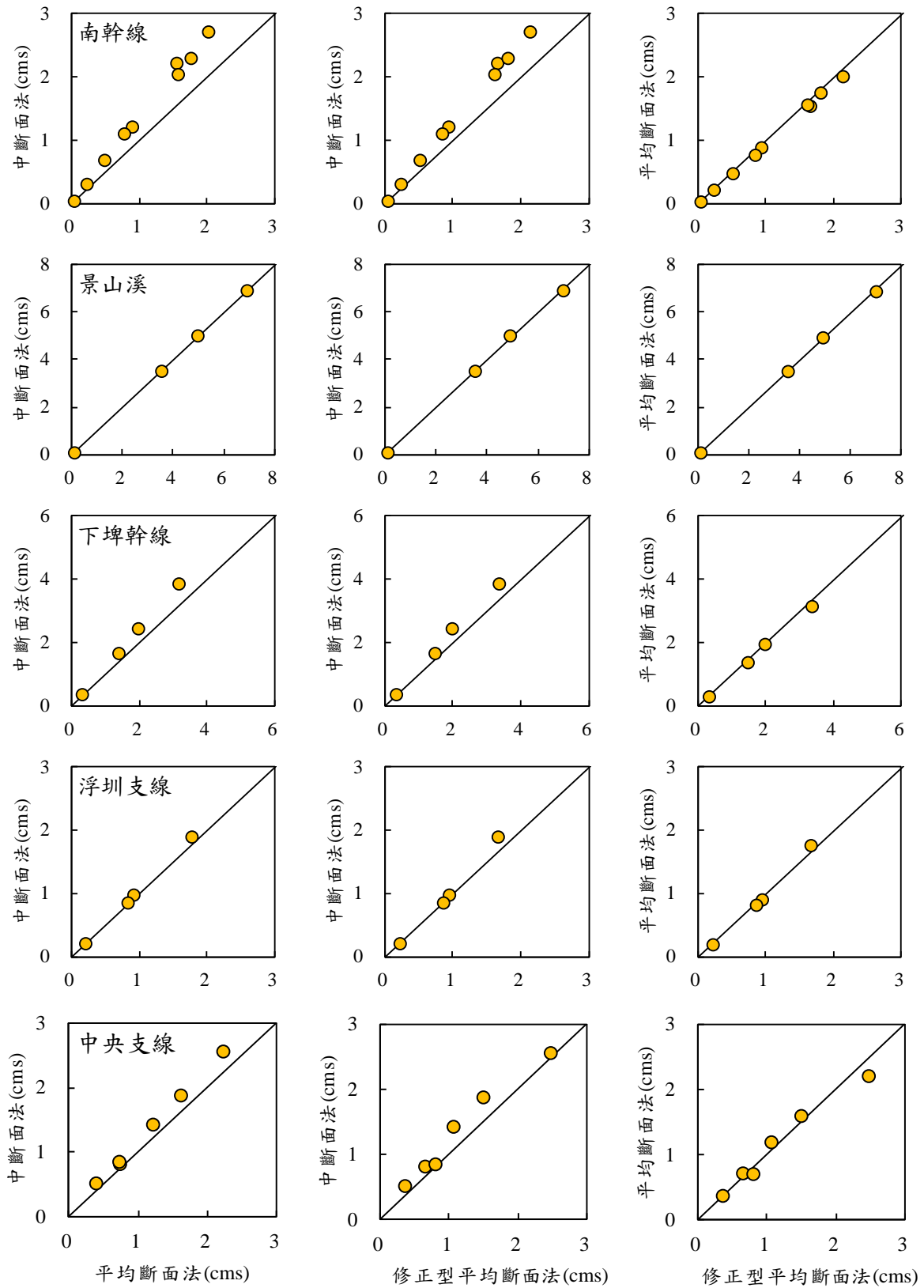


圖 5 定型渠道測站結果比較圖

3-2 天然河川試驗結果

3-1 節為定型渠道之成果討論，本節乃 5 處天然河川之流量測定成果及討論，5 處天然河川測站均重複觀測 10 次，採用之流速儀設備為雷達波流速儀(SRV)；茲將各次試驗之斷面切割數量、斷面平均流速、通水面積、流量之結果彙整如表 2 及表 3，並進一步將平均斷面法、中斷面法、平均斷面及中斷面兼用法，採用兩種方法流量比較圖，如圖 6 所示。各測站結果顯示中斷面的流速無明顯高或低於平均斷面法的趨勢，兩種方法的平均流速值相近，通水面積部分，中斷面法則明顯高於平均斷面法，其現象與定型渠道試驗成果相似。流量的比較結果顯示，中斷面法約 52% 的試驗數據高於平均斷面法，48% 數據低於平均斷面法，兩者發生機率近乎相同，以平均斷面法為基準計算之誤差率，中斷面法流量高於平均斷面法時之高估誤差率約 0.58~15.00%，高於平均斷面法時之低估誤差率約 0.07~27.27% (27.27% 為低流量之流況)；由表 2 及表 3 顯示當通水面積兩水岸邊的流速為零時，平均斷面及中斷面兼用法能修正兩岸零流速應用平均斷面法低估流量之現象；但是通水面積兩水岸邊的流速不為零時(有流速)，平均斷面及中斷面兼用法則無改善效果；由天然河川試驗結果顯示，於天然河川測定流量時，亦需先判斷兩岸是否為零流速，若為零流速條件時，建議採用平均斷面及中斷面兼用法，反之，則平均斷面法或中斷面法均可。

表 2 天然渠道測站流量測定結果一覽(集泉、南崗測站)

| 測站別 | 試驗 No. | 斷面數 | 平均斷面法 | | | 中斷面法 | | | 平均斷面及中斷面兼用法 | | |
|-----|--------|-----|----------------------------|--|----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| | | | V _{mean} (m/s) | A _{mean} (m ²) | Q _{mean} (cms) | V _{mid} (m/s) | A _{mid} (m ²) | Q _{mid} (cms) | V _{av} (m/s) | A _{av} (m ²) | Q _{av} (cms) |
| 集泉 | 1 | 16 | 0.316 | 8.965 | 2.833 | 0.316 | 8.758 | 2.766 | 0.310 | 8.779 | 2.722 |
| | 2 | 18 | 0.400 | 10.058 | 4.027 | 0.387 | 10.218 | 3.950 | 0.387 | 10.090 | 3.908 |
| | 3 | 12 | 0.391 | 4.989 | 1.950 | 0.401 | 5.068 | 2.034 | 0.390 | 5.011 | 1.954 |
| | 4 | 18 | 0.452 | 6.956 | 3.143 | 0.477 | 6.882 | 3.284 | 0.427 | 6.892 | 2.945 |
| | 5 | 16 | 0.625 | 7.698 | 4.811 | 0.581 | 8.511 | 4.941 | 0.585 | 8.037 | 4.699 |
| | 6 | 16 | 0.810 | 12.116 | 9.818 | 0.792 | 12.520 | 9.910 | 0.799 | 12.653 | 10.109 |
| | 7 | 14 | 0.440 | 8.674 | 3.817 | 0.427 | 8.888 | 3.796 | 0.421 | 9.473 | 3.989 |
| | 8 | 12 | 0.167 | 4.233 | 0.708 | 0.182 | 4.685 | 0.853 | 0.173 | 4.670 | 0.807 |
| | 9 | 12 | 0.467 | 4.728 | 2.208 | 0.494 | 5.185 | 2.560 | 0.491 | 4.623 | 2.271 |
| | 10 | 14 | 0.465 | 7.859 | 3.656 | 0.468 | 8.045 | 3.765 | 0.452 | 7.785 | 3.522 |
| 南崗 | 1 | 12 | 0.100 | 14.110 | 1.350 | 0.110 | 13.350 | 1.400 | 0.110 | 13.970 | 1.530 |
| | 2 | 12 | 0.140 | 24.180 | 3.270 | 0.130 | 24.740 | 3.320 | 0.140 | 26.570 | 3.790 |
| | 3 | 12 | 0.180 | 25.670 | 4.650 | 0.180 | 26.630 | 4.850 | 0.160 | 28.360 | 4.650 |
| | 4 | 12 | 0.210 | 56.480 | 11.640 | 0.160 | 58.070 | 9.370 | 0.180 | 64.530 | 11.920 |
| | 5 | 12 | 0.130 | 9.720 | 1.290 | 0.130 | 12.120 | 1.580 | 0.120 | 12.900 | 1.610 |
| | 6 | 12 | 0.110 | 14.590 | 1.640 | 0.080 | 17.430 | 1.370 | 0.110 | 16.950 | 1.790 |
| | 7 | 16 | 0.080 | 11.420 | 0.950 | 0.090 | 12.340 | 1.070 | 0.080 | 12.560 | 1.050 |
| | 8 | 16 | 0.090 | 12.570 | 1.130 | 0.100 | 14.530 | 1.520 | 0.110 | 14.120 | 1.550 |
| | 9 | 16 | 0.110 | 13.010 | 1.390 | 0.110 | 12.940 | 1.440 | 0.120 | 13.260 | 1.530 |
| | 10 | 16 | 0.090 | 9.090 | 0.810 | 0.090 | 9.630 | 0.850 | 0.090 | 9.350 | 0.840 |

表3 天然渠道測站流量測定結果一覽(福興、象鼻、中山測站)

| 測站別 | 試驗 No. | 斷面數 | 平均斷面法 | | | 中斷面法 | | | 平均斷面及中斷面兼用法 | | |
|-----|-----------|-----|----------------------------|--|----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| | | | V _{mean} (m/s) | A _{mean} (m ²) | Q _{mean} (cms) | V _{mid} (m/s) | A _{mid} (m ²) | Q _{mid} (cms) | V _{av} (m/s) | A _{av} (m ²) | Q _{av} (cms) |
| 福興 | 1 | 12 | 0.740 | 14.520 | 10.790 | 0.760 | 13.690 | 10.470 | 0.740 | 13.760 | 10.190 |
| | 2 | 18 | 1.120 | 29.830 | 33.430 | 1.030 | 25.260 | 26.040 | 1.040 | 28.120 | 29.270 |
| | 3 | 12 | 0.480 | 10.550 | 5.120 | 0.460 | 11.290 | 5.160 | 0.460 | 10.530 | 4.790 |
| | 4 | 18 | 0.770 | 7.110 | 5.450 | 0.730 | 6.990 | 5.110 | 0.790 | 7.030 | 5.570 |
| | 5 | 24 | 1.220 | 18.950 | 23.020 | 1.310 | 18.300 | 24.040 | 1.220 | 19.130 | 23.390 |
| | 6 | 16 | 1.520 | 37.040 | 56.130 | 1.570 | 37.570 | 59.030 | 1.500 | 38.200 | 57.190 |
| | 7 | 12 | 0.430 | 7.800 | 3.360 | 0.420 | 8.470 | 3.530 | 0.410 | 8.210 | 3.400 |
| | 8 | 14 | 0.690 | 7.870 | 5.400 | 0.690 | 7.870 | 5.400 | 0.680 | 7.930 | 5.410 |
| | 9 | 14 | 0.570 | 8.270 | 4.670 | 0.600 | 8.650 | 5.190 | 0.570 | 8.770 | 4.980 |
| | 10 | 16 | 0.780 | 12.530 | 9.730 | 0.790 | 13.220 | 10.410 | 0.760 | 12.950 | 9.790 |
| 象鼻 | 1 | 20 | 0.852 | 20.322 | 17.316 | 0.842 | 20.626 | 17.367 | 0.841 | 20.261 | 17.042 |
| | 2 | 12 | 0.609 | 7.090 | 4.320 | 0.592 | 6.970 | 4.126 | 0.602 | 7.065 | 4.256 |
| | 3 | 12 | 0.568 | 7.899 | 4.490 | 0.583 | 7.827 | 4.563 | 0.558 | 7.992 | 4.460 |
| | 4 | 12 | 0.913 | 14.001 | 12.787 | 0.943 | 14.801 | 13.955 | 1.006 | 15.281 | 15.365 |
| | 5 | 14 | 0.741 | 37.473 | 27.769 | 0.677 | 36.200 | 24.523 | 0.746 | 36.819 | 27.465 |
| | 6 | 12 | 0.861 | 17.953 | 15.464 | 0.940 | 20.146 | 18.938 | 0.993 | 20.172 | 20.028 |
| | 7 | 12 | 1.372 | 47.422 | 65.042 | 1.337 | 48.003 | 64.179 | 1.415 | 44.969 | 63.611 |
| | 8 | 12 | 1.099 | 18.870 | 20.733 | 1.061 | 18.487 | 19.611 | 1.104 | 19.227 | 21.218 |
| | 9 | 12 | 0.898 | 12.153 | 10.912 | 0.843 | 13.866 | 11.685 | 0.887 | 12.759 | 11.318 |
| | 10 | 12 | 0.886 | 15.061 | 13.340 | 0.793 | 17.849 | 14.159 | 0.934 | 16.388 | 15.311 |
| 中山 | 1 | 26 | 1.200 | 56.290 | 67.770 | 1.130 | 57.620 | 65.280 | 1.180 | 56.840 | 67.200 |
| | 2 | 24 | 1.230 | 51.930 | 64.070 | 1.180 | 54.810 | 64.890 | 1.210 | 53.440 | 64.500 |
| | 3 | 20 | 0.710 | 19.780 | 14.080 | 0.720 | 19.850 | 14.250 | 0.720 | 19.990 | 14.480 |
| | 4 | 12 | 1.630 | 13.180 | 21.540 | 1.740 | 13.600 | 23.640 | 1.580 | 12.510 | 19.770 |
| | 5 | 20 | 2.150 | 37.570 | 80.950 | 2.100 | 37.780 | 79.290 | 2.020 | 40.300 | 81.480 |
| | 6 | 22 | 1.880 | 22.380 | 42.100 | 1.910 | 22.580 | 43.080 | 1.870 | 22.430 | 41.910 |
| | 7 | 22 | 1.860 | 23.550 | 43.710 | 1.810 | 24.090 | 43.540 | 1.830 | 23.840 | 43.550 |
| | 8 | 22 | 2.160 | 26.920 | 58.050 | 2.120 | 27.690 | 58.660 | 2.150 | 27.440 | 58.930 |
| | 9 | 24 | 1.190 | 24.280 | 28.800 | 1.190 | 24.790 | 29.480 | 1.220 | 23.360 | 28.610 |
| | 10 | 12 | 0.600 | 5.200 | 3.100 | 0.690 | 6.180 | 4.260 | 0.610 | 6.340 | 3.880 |

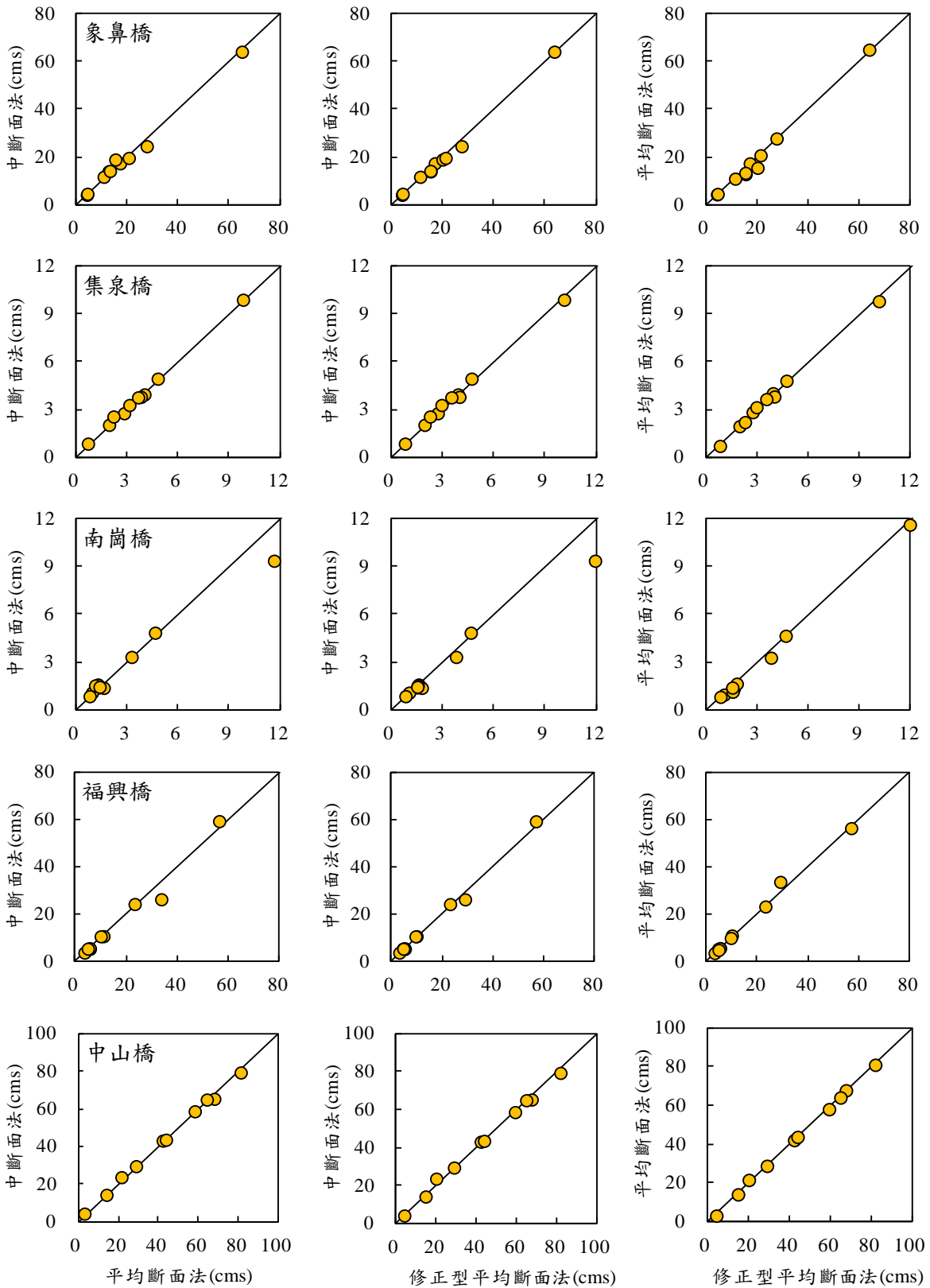


圖 6 本研究天然河川測站結果比較圖

四、結語

透過本研究於定型渠道及天然河川的流量測定試驗發現平均斷面法及中斷面法於定型渠道有明顯差異，建議採用平均斷面法或平均斷面及中斷面兼用法，以提高流量測定之準確性，經由上述三種方法的計算過程顯示平均斷面法手續繁複的問題可由電腦輔助計算獲得解決，三者計算所耗時間相等；天然河川的試驗成果則顯示中斷面法與平均斷面法的差異甚小，因此可由量測者於觀測時自行決定何種方法，惟河川通水斷面兩岸為零流速時建議採用平均斷面及中斷面兼用法，以提高流量測定時之準確性，冀望本文提出的試驗成果有助於解決同樣進行河川或定型渠道流量測定工作者的問題，以為參酌。

參考文獻

1. USBR, 2001, "Water Measurement Manual." 3rd Edition, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation.
2. 王傳益、盧昭堯、徐享崑、馮德榮、蘇志強，1998，「聲波杜卜勒流速儀於台灣河川流量」，中華水土保持學報，第 29 卷，第 1 期，pp. 23-32。
3. 朱木壽、黃煌輝、呂珍謀、宋長虹、蘇俊明，2010，「非接觸式量測系統於河川流量觀測之應用」，台灣水利，第 58 卷，第 3 期，pp. 26-33。
4. 李明靜，2003，「河川表面流速與流量非接觸式量測方法之發展與應用」，國立成功大學博士論文。
5. 許盈松、童琮志、周湘俊、張國強，2006，「微波雷達流速儀觀測特性研究」，臺灣水利，第 54 卷，第 3 期，pp. 82-91。
6. 陳豐文、陳麒升，2008a，「鯉魚潭水庫下游景山溪流量率定」，AERC-08-RR-14，農業工程研究中心研究報告。
7. 陳豐文、陳麒升，2008b，「山腳工作站苑裡圳流量率定」，AERC-08-RR-15，農業工程研究中心研究報告。
8. 陳豐文、陳麒升、黃鳳美，2008c，「西屯工作站廟前圳明渠段之最大通水量推估」，AERC-08-RR-21，農業工程研究中心研究報告。
9. 陳豐文、林修德、王希夫、蕭進裕、羅次群，2012a，「河川流量觀測常見問題及其對策」，101 年度農業工程研討會，臺中。
10. 陳豐文、林修德、陳麒升，2012b，「雷達測速原理應用於河川表面流速觀測之適用性分析」，101 年度農業工程研討會，臺中。