

電波流速儀與旋葉式流速儀於清水流之流速觀測研究

黃宏斌^[1] 謝孟荃^[2]

摘 要 當野溪水深不大或颱風來臨水流湍急時，一般旋葉式流速儀也無法完全浸沒於水中或可能被湍急之水流帶走，採用非接觸式之電波流速儀便可以克服野外觀測之難題。

本研究利用渠槽試驗針對電波流速儀所測出之表面流速與旋葉式或電磁式流速儀所測得之水流點流速值進行分析，在 5.2~31.7cm 之水深；雷諾數為 10,000~195,000，得到電波流速儀觀測清水流況下筆直河川之修正係數，和平均流速與表面流速間之迴歸關係式。未來則可進行不同泥沙濃度含砂水流情況下表面流速與平均流速間之率定，使其更符合台灣山地河川流速觀測之特性。

關鍵詞：電波流速儀、旋葉式流速儀、表面流速、渠槽試驗。

Velocity Measurement by Radio Current Meter and Propeller Velometer in Clean Water

Hung-Pin Huang^[1] Meng-Chyung Shieh^[2]

ABSTRACT When the water depth is not deep enough or torrent occurs in a wild creek, a traditional propeller velometer can not put into the water body completely or could be carried away by torrent, selecting a radio current meter could conquer this problem in the field.

This study, associated with the flume experiment, used a radio current meter to measure surface velocity and a propeller velometer as well as an electromagnetic velometer to measure point velocity. Under the conditions of 5.2 to 31.7 cm of water depth, 10,000 to 195,000 of Reynolds Number, this study got the results of correction factor for the radio current meter in clean water as well as straight channel and regression equation of mean velocity and surface velocity. In the future, the relationship between surface velocity and mean velocity in different sediment concentration is going to be carried out to keep with the character of velocity measurement in mountainous creeks in Taiwan.

Key Words: Radio Current Meter, Propeller Velometer, surface velocity, flume experiment.

[1] 國立台灣大學生物環境系統工程學系教授兼水工試驗所特約研究員

Professor, Department of Bioenvironmental Systems Engineering and Hydrotech Research Institute, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, R. O. C.

[2] 國立台灣大學生物環境系統工程學系碩士(通訊作者)

Master, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, R. O. C. (Corresponding Author)

E-mail: r91622005@ntu.edu.tw

一、前言

山高坡陡、地質脆弱、河短流急，再加上雨量豐枯差異極大，形成台灣上游野溪含砂量大和豐枯水位差異大之特色，也使得相關水文資料之觀測、蒐集和調查工作格外地困難。一般天然河川流速之觀測，通常多是仰賴技術人員親赴河川現地，以流速儀直接量測河川流速。由於傳統流速儀乃利用水流衝擊葉片使之轉動，葉片轉動之速率與水流之速率間有一定之關係，故由葉片在單位時間內轉動之次數，即可計算出水流速度；然而，對於輸砂量大之上游野溪而言，葉片或感應器常會被水流中之泥砂或小石塊撞擊而損壞。為克服傳統量測上之困難，近年來利用非接觸式儀器量測流速之作法越來越多，由於非接觸式量測儀器主要是利用無線電波，如超音波(>20kHz)、微波(1~100GHz)或雷射波(=100THz)分析水面來回波頻譜以求得河川表面流速，因此，如何準確地換算成平均流速便成為非接觸式量測儀器是否能應用在現場之重要因素之一。

因此，在清水流之假設條件下，本研究藉由不同俯角和偏角之中等頻率電磁波流速儀在渠槽測出之表面流速與傳統流速儀測得之點流速進行率定分析，尋

找出其相對應之關係式，以探討非接觸式電波流速儀被使用在現場流速觀測之可行性。

二、儀器介紹

本研究使用之流速儀計有電波流速儀、旋葉式流速儀及電磁式流速儀三類，其中，電波流速儀屬於非接觸式儀器，兩部旋葉式流速儀及一部電磁式流速儀則屬於接觸式儀器。其特性分別敘述如下：

1. 電波流速儀 (J-763)

J-763 式電波流速儀是由日本 Yokogawa Weathac 公司生產，主要配件為一部流速儀感應器及一台流速儀訊號變換器(如圖 1、照片 1)。其設計適用於位置距離較遠之河道水面流速之偵測，而且使用時儀器本身不需與水面接觸。電波流速儀所用之電波頻率為 10.525GHz，可測得流速之範圍為 0.5 ~ 10m/s，量測距離可從 0 到 20 公尺，量測間隔可從 1 秒到 60 秒量測一次，儀器之俯角可從 20 度到 60 度，水平轉向偏角為 0 度到 20 度(如圖 2)。

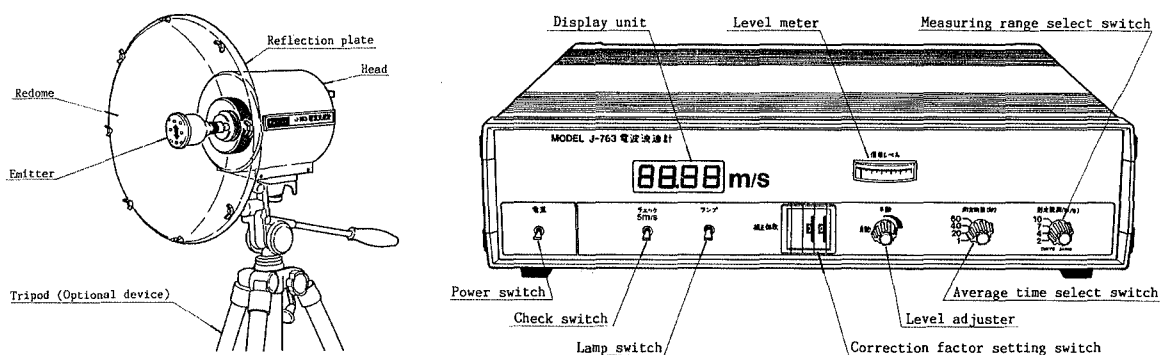
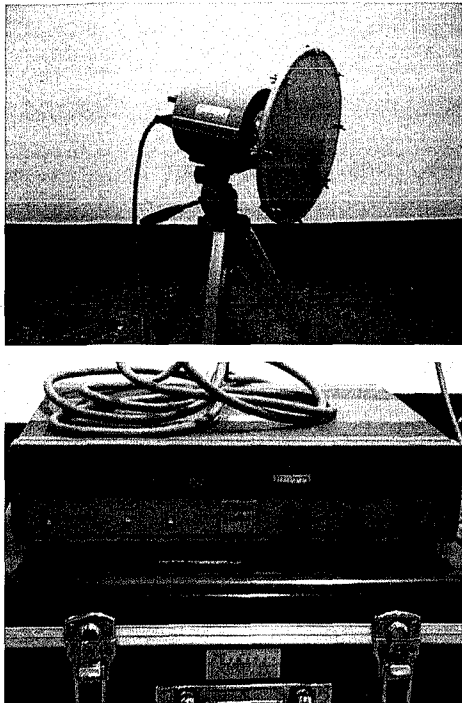


圖 1 J-763 式電波流速儀(取自日本 Yokogawa Weathac 公司型錄)

Fig.1 J-763 Radio Current Meter (from the catalog of Yokogawa Weathac Company)



照片 1 J-763 式電波流速儀

Pic.1 J-763 Radio Current Meter

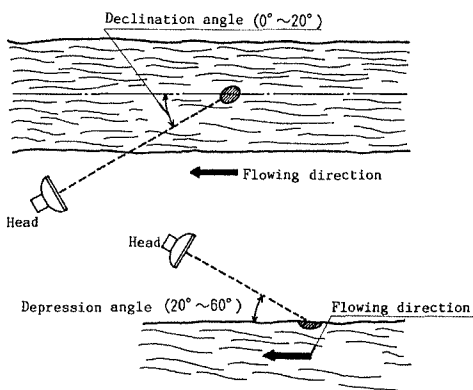


圖 2 電波流速儀量測限制範圍(取自日本 Yokogawa Weathac 公司型錄)

Fig.2 The measured range of radio current meter (from the catalog of Yokogawa Weathac Company)

2. 旋葉式流速儀

本研究所使用之旋葉式流速儀有兩種。第一種是由日本三映測量器株式會社生產，其構造如圖 3、照片

2 所示。旋葉式流速儀之葉片部分直徑為 10cm，適用於河川流速量測，使用時可以依流速快慢選擇葉片，每 5 回轉或每 10 回轉由電接發信高音聽筒發出聲響，測定轉動次數，使用者只要根據所測得轉動次數及時間，即可對應儀器出廠前已建立葉片轉動速率與流速之校正曲線關係式換算而得流速。

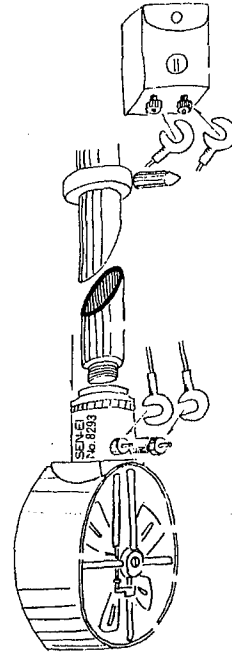
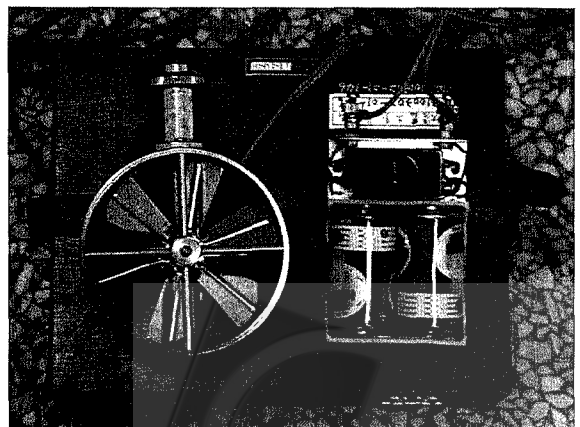


圖 3 旋葉式流速儀(取自日本三映測量器株式會社型錄)

Fig.3 Propeller Velometer (from the catalog of SEN-EI Company)



照片 2 旋葉式流速儀

Pic.2 Propeller Velometer

第二種是由美國 Global Water 公司生產之 PF101 式電子式旋葉流速儀，如圖 4、照片 3 所示。其流速儀之葉片直徑為 5.5cm，用來量測較小水深之點流速，流速儀之葉片轉動速率與流速之校正曲線關係式在出廠時已校正。量測方法為將流速儀放在水中維持數秒，直到得到一穩定之平均流速，其量測流速之範圍為 0~7.5m/s，流速直接顯示於流速儀上。

3. 電磁式流速儀

電磁式流速儀是由日本 ALEC ELECTRONICS 公司生產之 ACM-200P 式二維流速儀，主要配件為一部流速接收器及一支半徑 9.5mm 2-軸 EM 流速感測器，可以量測 x 軸、y 軸之點流速，量測範圍可從 0~2.5m/s，量測間隔有 0.05 秒量測一次、1 秒量測一次、5 秒量測一次三種，用於測量更小水深之流速，流速亦直接顯示在流速接收器上，如圖 5、照片 4 所示。

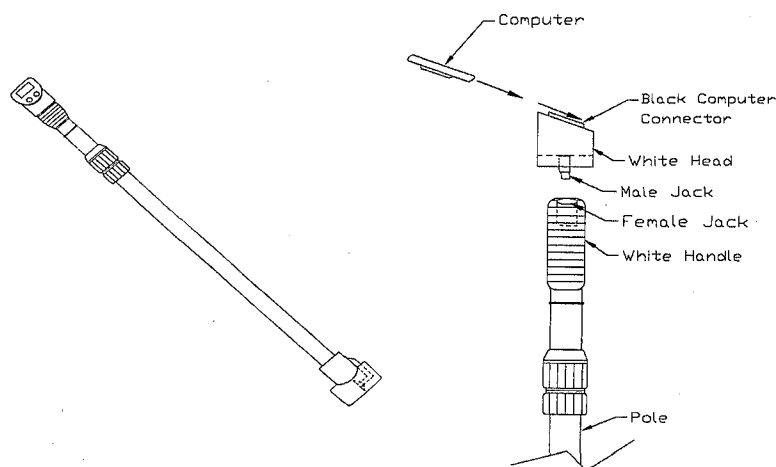
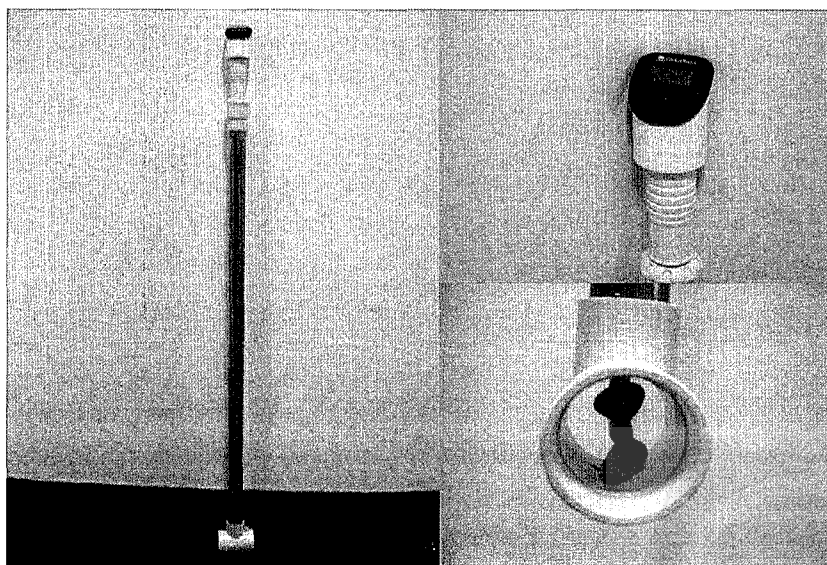


圖 4 PF101 式電子式旋葉流速儀(取自美國 Global Water 公司型錄)

Fig.4 PF101 Electronic Propeller Velometer (from the catalog of Global Water Company)



照片 3 PF101 式電子式旋葉流速儀

Pic.3 PF101 Electronic Propeller Velometer

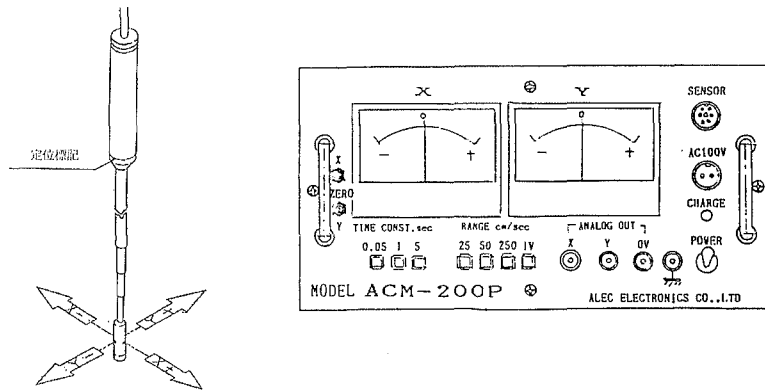
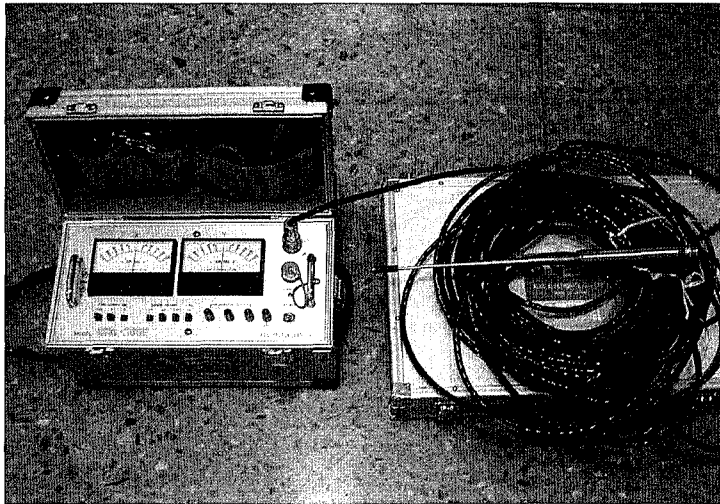


圖 5 ACM-200P 式二維流速儀(取自日本 ALEC ELECTRONICS 公司型錄)

Fig.5 ACM-200P Electromagnetic velometer (from the catalog of ALEC ELECTRONICS Company)



照片 4 ACM-200P 式二維流速儀

Pic.4 ACM-200P Electromagnetic velometer

這三類四種流速儀之特性因子列入表 1。

表 1 本研究使用之流速儀特性因子

Table 1 The characteristics of current meters in this study

種類		流速量測範圍(m/s)	說明
電波流速儀	J-763 式	0.5~10	電波頻率為 10.525GHz。俯角: 20 度~ 60 度; 水平轉向偏角: 0 度~20 度
旋葉式流速儀	日本三映	--	葉片直徑為 10cm
	PF101 式	0~7.5	葉片直徑為 5.5cm
電磁式流速儀	ACM-200P	0~2.5	一支半徑 9.5mm 2-軸 EM 流速感測器, 可用 於小水深處之量測

三、研究方法

本研究主要是利用非接觸式電波流速儀所量測到之渠槽表面流速與旋葉式流速儀或電磁式流速儀所量測到之點流速進行分析探討。首先，針對電波流速儀、旋葉式流速儀及電磁式流速儀之量測原理與渠槽試驗分別說明如下：

1. 量測原理

(1) 電波流速儀 (J-763)

電波流速儀主要是利用無線電波具有直線傳送之特性，當電波遇到水流介質時，便會產生部分反射、部分折射之現象。因此，當介質移動時，從固定之量測點上，便可以接收到由介質表面所反射回來之電波，再據以計算介質流動之表面流速。

如圖 6 所示，無線電波遇到不規則平面介質時會產生不同方向之反射，其中，只有 B 點之反射波能夠傳回讓感應器完成接收動作。因此，可以利用這些反射波之都卜勒效應計算出水流表面流速。

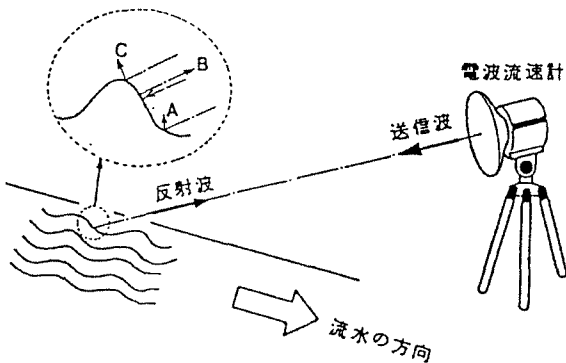


圖 6 電波流速儀量測原理(一) (取自日本 Yokogawa Weathac 公司型錄)

Fig.6 The measured principle of Radio Current Meter (1) (from the catalog of Yokogawa Weathac Company)

移動介質之反射波和其發射波間之頻率絕對差值，稱為都卜勒效應。當感應器靜止不動時，水面波和感應器間會形成 θ 之夾角(如圖 7 所示)。因此，河川表面流速 V 和頻率差 f_d 之間之關係式，可用下列公式表示：

$$f_d = |f_1 - f_0| = 2 f_0 \cdot \frac{V}{C} \cdot \cos \theta \quad (1)$$

f_d ：都卜勒頻率(Hz)

f_1 ：接收之頻率(Hz)

f_0 ：發射之頻率(Hz)

V ：河川表面流速(m/s)

C ：電波運動速率 (3×10^8 m/sec)

θ ：發射電波或反射電波與水面之夾角

上式也可改寫為：

$$V = \frac{C \cdot f_d}{2 f_0 \cdot \cos \theta} \quad (2)$$

當 f_0 及 θ 固定時，利用流速儀感應器量測出 f_d 值，流速儀內部透過(2)式分析計算，河川表面流速便在流速儀訊號變換器上顯示出來。

(2) 旋葉式流速儀

旋葉式流速儀之基本原理為利用水流衝擊驅動葉片旋轉，當水流流速大時則葉片轉動快，反之則否。由單位時間之轉動次數，依據下列公式可轉換為流速值：

$$V = a + bN \quad (3)$$

V ：流速 (m/sec)

N ：轉動次數 (轉數/sec)

a 、 b ：常數，每部流速儀皆可於檢定河槽內檢定該兩常數之大小。

其中， a 表示為流速儀克服其機械摩擦所需之初速。

本研究所使用之旋葉式流速儀其所建立葉片轉動速率與流速之校正曲線關係式為：

$$V = 0.005 + 0.120 N \quad (4)$$

(3) 電磁式流速儀

電磁式流速儀之觀測基本原理為 EM 流速感測器是以法拉第電磁感應定律為基礎，其方程式表示如下：

$$E = \int V \cdot B \cdot dl \quad (5)$$

V ：水流之速度(m/s)

B ：磁場之強度(A/m)

l ：與電極列之距離(m)

當傳導物質在磁場中移動時，在導體電極列間產生之電流等比於其速度以及磁場強度之乘積。

因此，當要量測水流中 x 、 y 方向之流速時，則由感測線圈產生之磁通量會在圖 8 之電極 1 和 3 以及電極 2 和 4 之間之移動介質產生電流，分別可以測出 x 方向、 y 方向之流速。

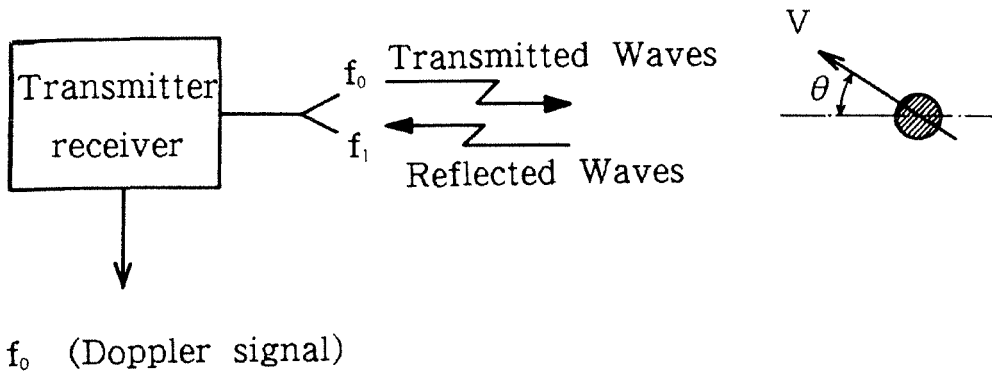


圖 7 電波流速儀量測原理(二) (取自日本 Yokogawa Weathac 公司型錄)

Fig.7 The measured principle of Radio Current Meter (2) (from the catalog of YokogawaWeathac Company)

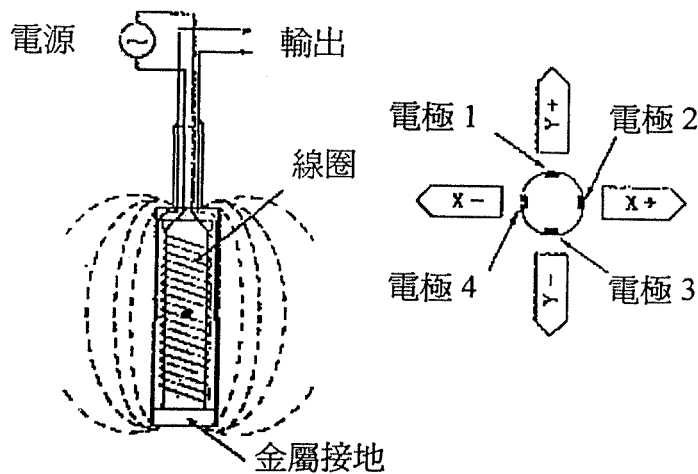


圖 8 電磁式流速儀量測原理(取自日本 ALEC ELECTRONICS 公司型錄)

Fig.8 The measured principle of Electromagnetic velometer (from the catalog of ALEC ELECTRONICS Company)

2. 渠槽試驗

(1) 試驗渠槽

本研究之試驗渠槽位於台大安康水工模式試驗場，為一循環式鋼架試驗渠槽，主要配備如圖 9 及照片 5 所示，渠槽之相關尺度資料如下：

(a)渠槽：包含試驗段、頭水箱、尾水箱和沉砂池

等四部分，試驗段長 10 公尺，寬 60 公分，高 80 公分。

(b)流量：由步進馬達控制，最大單寬流量為 0.24cms/m。

(c)坡度範圍：由步進馬達控制，坡度最大可達 20 % (精度 1 公釐)。

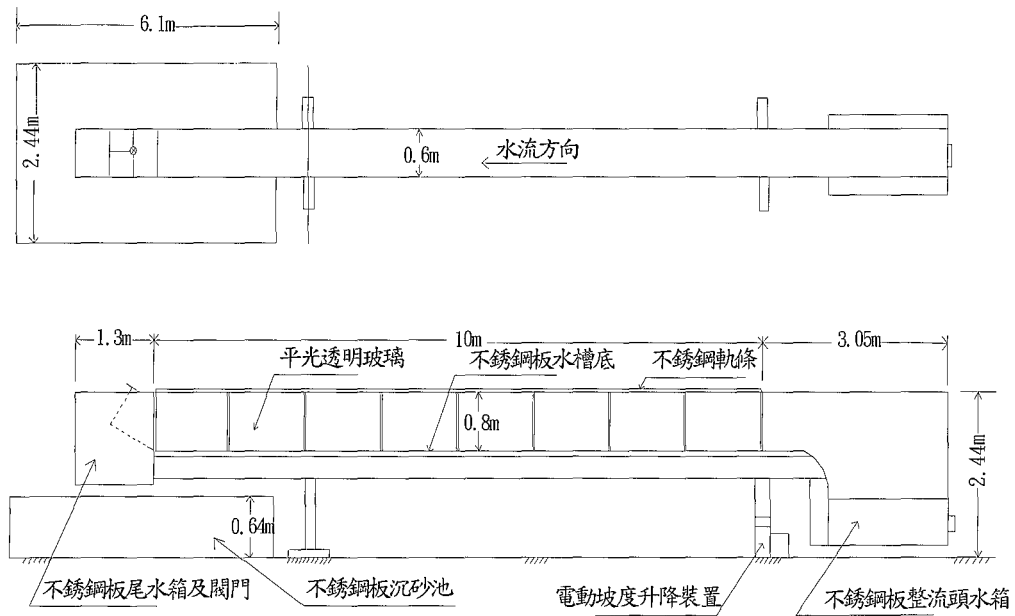
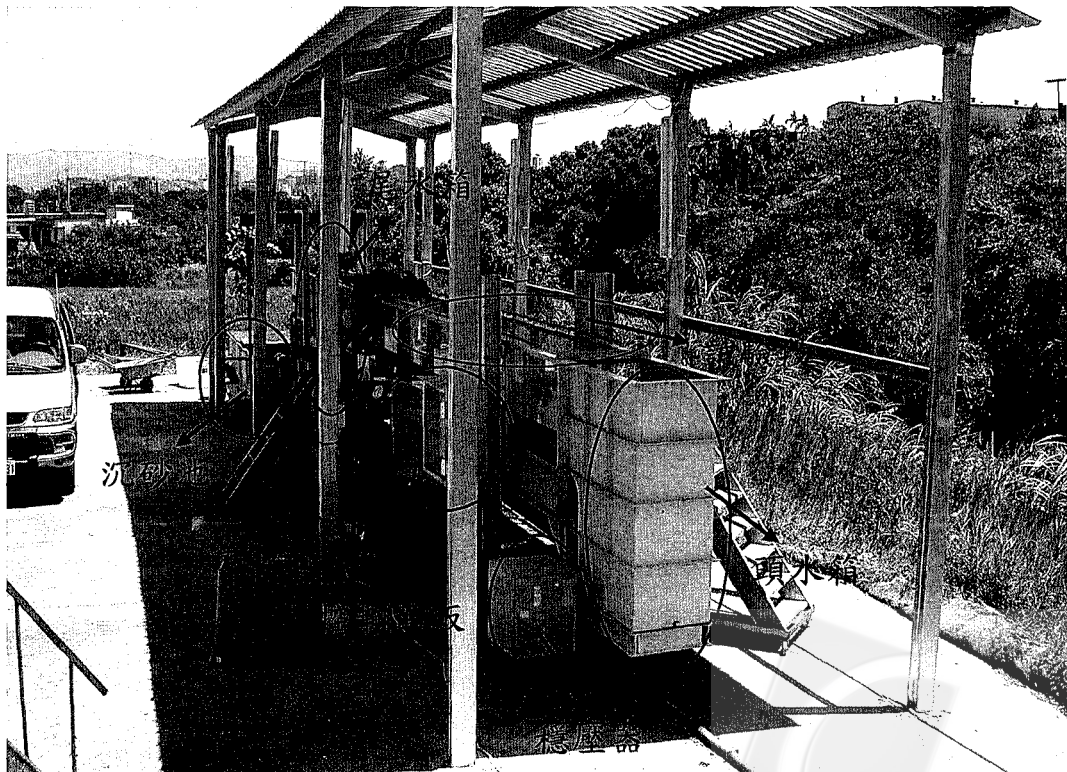


圖 9 渠槽示意圖

Fig.9 Illustration of the flume



照片 5 試驗渠槽

Pic.5 The flume

(2) 試驗步驟

本研究使用電波流速儀量測表面流速及旋葉式流速儀和電磁式流速儀測量水流之點流速。旋葉式流速儀之葉片直徑有 10cm、及 5.5cm 兩種，量測時可以依不同之水深而選取適合之儀器，若水深更低時則採用電磁式流速儀，因其可以用來量測距渠底 1cm 處之流速。由於本研究量測之水深在 5.2~31.7cm 之間，雷諾數則為 10,000~195,000，屬於淺水深之紊流範圍，故採用一點法，亦即測水面下 0.5h 水深處之流速，作為該剖面之平均流速值。

因此本研究乃選取不同流量，依序在渠槽 250cm、500cm、750cm 處量測表面流速及點流速，其步驟如下：

- (a) 渠槽調整為坡度 0° 。
- (b) 設定試驗流量、啟動抽水馬達並待流量穩定後，將電波流速儀架設在試驗渠槽上方，除將

修正係數歸零外，並調整儀器俯角與偏角並固定之，選擇電波流速儀量測間隔為每 20 秒記錄一筆資料，依序在渠槽 250cm、500cm、750cm 處各量測 10 筆表面流速平均之。

- (c) 改變電波流速儀之俯角與偏角，重複(b)步驟。

- (d) 量測表面流速完後，再使用旋葉式流速儀或電磁式流速儀在渠槽 250cm、500cm、750cm 處量測點流速，若採用旋葉式流速儀時，則利用葉片每 10 回轉由電接發信高音聽筒發出聲響測定，紀錄發出 10 聲響之時間，根據旋葉式流速儀出廠前所建立之校正曲線關係式計算水面下 0.5h 水深處之點流速並平均之；若採用電磁式流速儀，則選擇量測間隔每 5 秒記錄一筆資料，量測 10 筆水面下 0.5h 水深處之點流速並平均之。

- (e) 改變不同流量，重複(b)、(c)、(d)步驟。

- (f) 渠槽試驗流程如圖 10 所示。

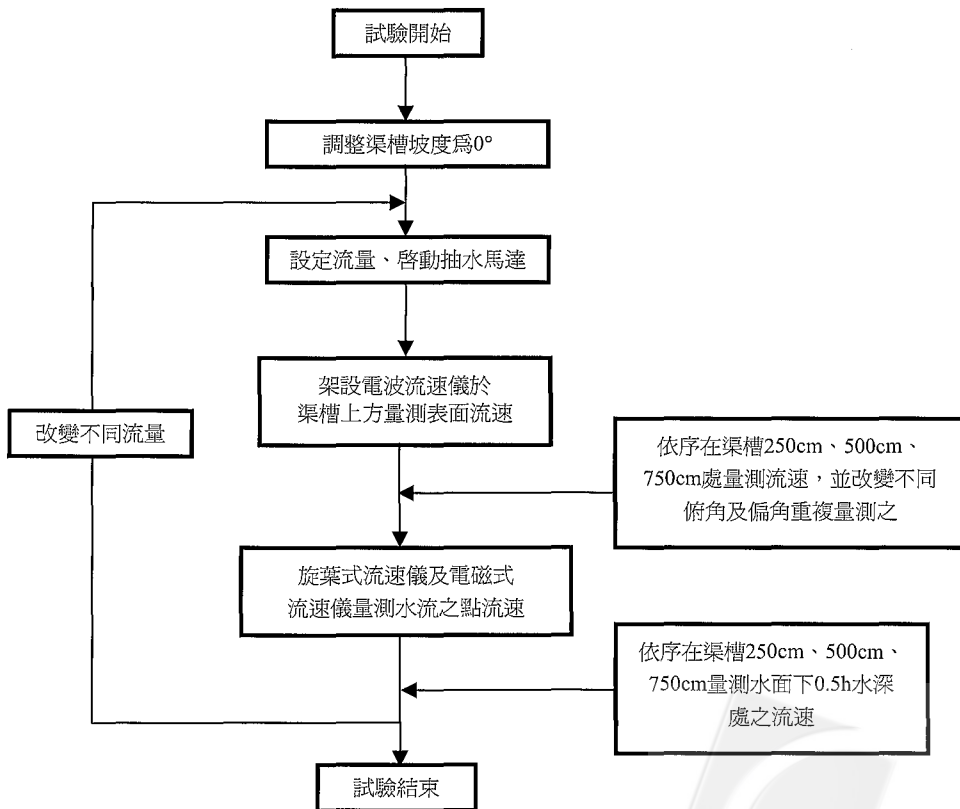


圖 10 渠槽試驗流程圖

Fig.10 Flow chart of the flume experiment

四、結果與討論

1. 電波流速儀之修正係數

由渠槽試驗過程中發現，當同一流量下，電波流速儀改變俯角($20^\circ \sim 60^\circ$)及水平轉向偏角($0^\circ \sim 20^\circ$)量測表面流速時，發現流速儀訊號變換器上會顯示不同之流速值，顯示包含俯角和水平轉向偏角改變之修正係數之必要性。而且，型錄上也註記了偏角和俯角之修正係數公式和相關之修正係數表。其中，修正係數公式如：

$$C = \frac{1}{\cos \alpha \cdot \cos \beta} \quad (6)$$

C ：修正係數

α ：俯角($20^\circ \sim 60^\circ$)

β ：偏角($0^\circ \sim 20^\circ$)

由式(6)知，偏角或俯角越大，修正係數越大。此一趨勢也可自表 2 之修正係數表中清楚展現。有趣的是，表 2 之修正係數沒有 1.0；也沒有大於 2.0 之修正係數值。雖然如此，配合式(6)知，當偏角和俯角都是 0° 時，也就是修正係數為 1.0 之情況，電波流速儀

並未給定修正值，其原因為電波流速儀之觀測乃由上方往下方發射無線電波並接收回傳訊號以計算當時水流流速，若俯角為 0° 時，則電波發射處將會在水平之無窮遠處，並不符合一般實際流速量測之應用。

為瞭解偏角和俯角大小對速度觀測值之影響，本研究先將觀測器上之修正係數數值鈕歸零，接著，在同一流量下，改變不同之俯角和偏角，再就所測得之速度讀數加以分析。因此，先設定電波流速儀偏角為 0° ，再改變不同俯角如 20° 、 30° 、 40° 、 50° 、 60° ，其觀測結果可繪如圖 11；然後，將電波流速儀俯角固定在 20° ，再改變不同偏角如 10° 、 15° 、 20° ，其結果如圖 12 所示。從圖 11 和圖 12 所展現之 112 組有效數據知，俯角對觀測速度值之影響差異會因為速度變大而變大。而同一速度時，俯角越大所呈現之觀測數值會越小，亦即修正係數需要增大。偏角對觀測值之影響和俯角類似，雖然圖 12 之曲線看起來比圖 11 之曲線密集，這是因為偏角太大會造成觀測上訊號之耗弱，不易得到較準確之觀測值，因此偏角之試驗集中在小角度變化範圍，自表 2 知，同一角度數值下，偏角之修正係數仍較俯角來的大，表示同一角度下，圖 12 之曲線密集程度將會較圖 11 寬鬆。

表 2 偏角俯角之修正係數表(取自日本 Yokogawa Weathac 公司型錄)

Table 2 Correction Coefficient of the declination and depression angles (from the catalog of Yokogawa Weathac Company)

修正係數		偏角								
		0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
俯角	20°	1.06	1.07	1.08	1.10	1.13	1.17	1.23	1.30	1.39
	25°	1.10	1.11	1.12	1.14	1.17	1.22	1.27	1.35	1.44
	30°	1.15	1.16	1.17	1.20	1.23	1.27	1.33	1.41	1.51
	35°	1.22	1.23	1.24	1.26	1.30	1.35	1.41	1.49	1.59
	40°	1.31	1.31	1.33	1.35	1.39	1.44	1.51	1.59	1.70
	45°	1.41	1.42	1.44	1.46	1.50	1.56	1.63	1.73	1.85
	50°	1.56	1.56	1.58	1.61	1.66	1.72	1.80	1.90	—
	55°	1.74	1.75	1.77	1.80	1.86	1.92	—	—	—
	60°	1.99	—	—	—	—	—	—	—	—

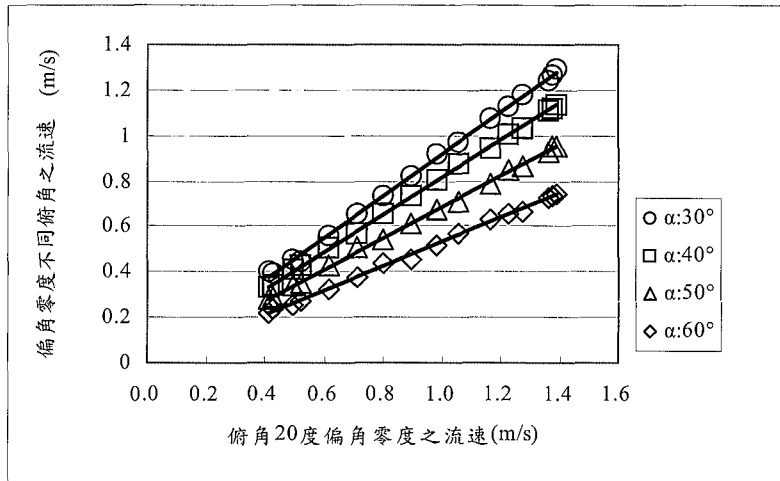


圖 11 改變俯角之表面流速關係圖

Fig.11 Variation of surface velocity that changed different depression angles

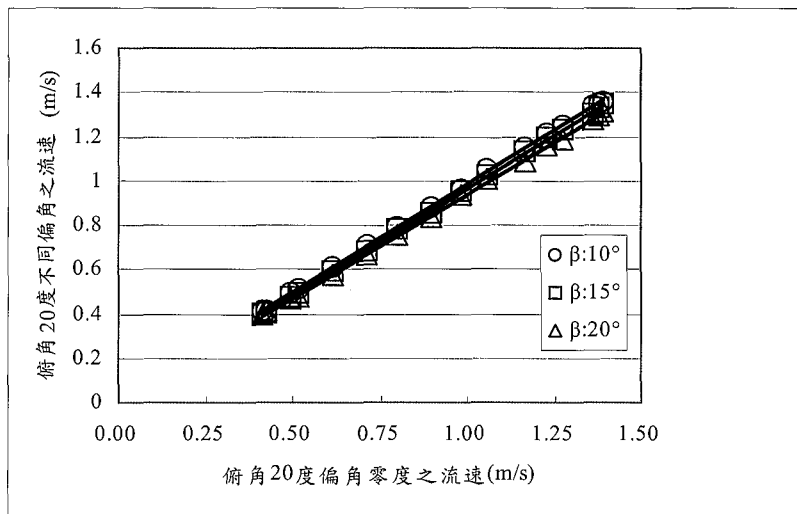


圖 12 改變偏角之表面流速關係圖

Fig.12 Variation of surface velocity that changed different declination angles

由圖 11、12 知，改變不同俯角或偏角量測時，其俯角或偏角角度愈大，其所量測之數據愈小，亦即修正係數值會較大。

在偏角零度之情況下，如果取不同俯角對俯角 20 度流速比值時，會發現同樣俯角情況下之速度比值非常相近，其標準偏差僅分布在 0.009 至 0.021 之範圍內；同樣地，在偏角零度時，同樣偏角情況下之速度比值更相近，其標準偏差分布在 0.009 至 0.012 之間。將此兩類分析數據繪如圖 13 和圖 14，同時可求

得迴歸式如下：

$$y_1 = 1.0686 \cos \alpha - 0.0031 \quad (7)$$

$$R^2 = 1$$

其中， y_1 為不同俯角對俯角 20 度流速比值，和

$$y_2 = 0.9961 \cos \beta + 0.0051 \quad (8)$$

$$R^2 = 0.992$$

其中， y_2 為不同偏角對偏角 0 度流速比值。

表 3 不同俯角對俯角 20 度流速比值平均值與其標準偏差

Table 3 The average and standard deviation of the ratio of different depression angles with 20° depression angle

	30°	40°	50°	60°
平均值	0.922513	0.814973	0.68419	0.531142
標準偏差	0.020626	0.009252	0.011186	0.011423

表 4 不同偏角對偏角 0 度流速比值平均值與其標準偏差

Table 4 The average and standard deviation of the ratio of different declination angles with 0° declination angle

	10°	15°	20°
平均值	0.987385	0.964938	0.942064
標準偏差	0.00872	0.009462	0.01213

由式(6)知，修正係數與 $\cos \alpha \cos \beta$ 乘積成反比，因此，如果針對觀測流速對偏角零度俯角 20 度流速比值和 $\cos \alpha \cos \beta$ 作迴歸分析時，可得到下式：

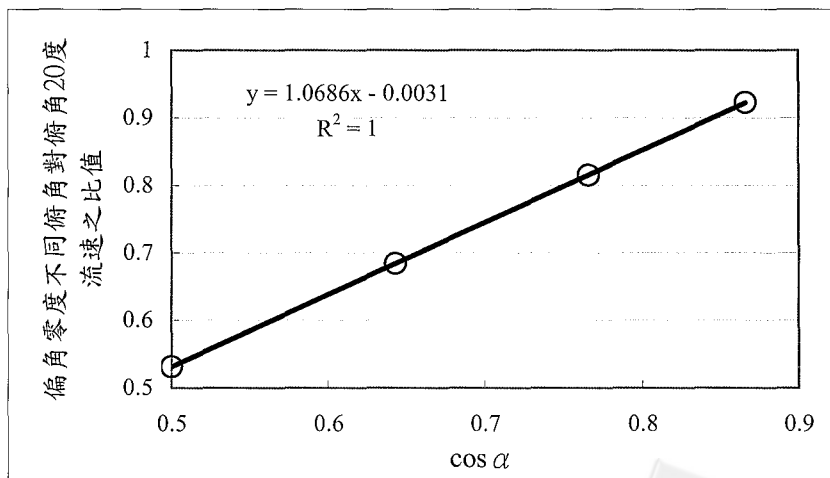
$$y_3 = 1.066(\cos \alpha \cos \beta)^{1.005} \quad (9)$$

$$R^2 = 0.9949$$

其中， y_3 為不同偏角不同俯角對偏角 0 度俯角 20 度流速比值。

接著，式(9)可修正為針對偏角 0 度、俯角 0 度之修正係數為

$$C = \frac{1}{1.0017(\cos \alpha \cdot \cos \beta)^{1.005}} \quad (10)$$

圖 13 偏角零度不同俯角對俯角 20 度流速比值對 $\cos \alpha$ 之相關圖Fig.13 The relationship between $\cos \alpha$ and the ratio of different depression angles with 20° depression angle under the 0° declination angle

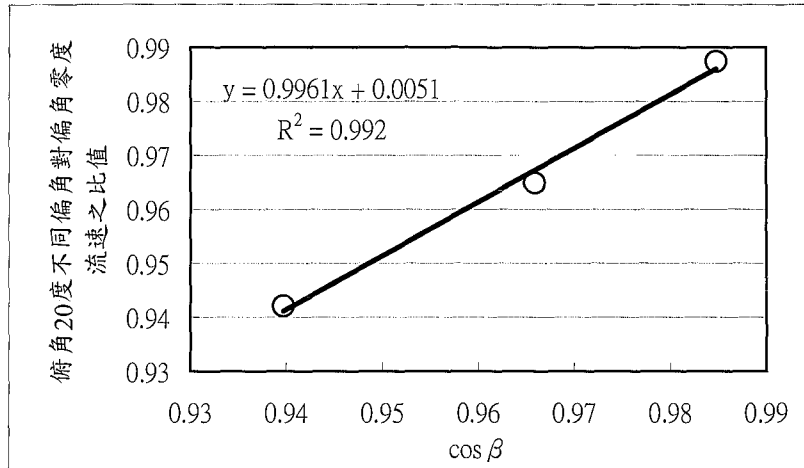


圖 14 俯角 20 度不同偏角對偏角零度流速比值對 $\cos\beta$ 之相關圖

Fig.14 The relationship between $\cos\beta$ and the ratio of different declination angles with 0° declination angle under the 20° depression angle

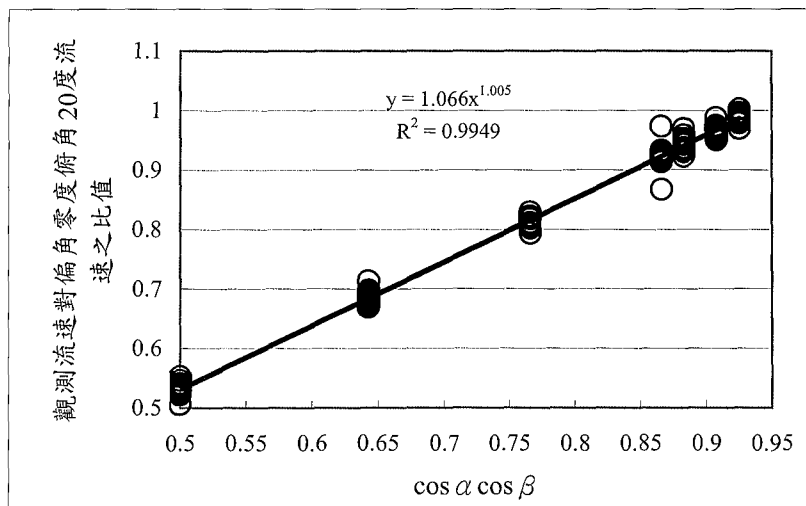


圖 15 觀測流速對偏角零度俯角 20 度流速比值對 $\cos\alpha\cos\beta$ 之相關圖

Fig.15 The relationship between $\cos\alpha\cos\beta$ and the ratio of the observed velocity with 0° declination angle and 20° depression angle

2. 渠槽試驗之水流流況

流動水流之運動狀態及行為基本上受到粘滯力及慣性力之大小所支配，而由此兩作用力比值所建立之無因次參數稱為雷諾數(Reynolds number)，明渠水流之雷諾數可以表示為下式：

$$R_e = \frac{\text{慣性力}}{\text{粘滯力}} = \frac{\rho V R}{\mu}$$

R_e ：雷諾數

ρ ：水質量密度(kg/m^3)

V ：平均流速(m/s)

R ：水力半徑(m)

μ ：動力粘滯係數($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)

當雷諾數較小時，表示粘滯力之影響遠大於慣性力，此時之流動狀態稱為層流(Laminar flow)，其流

速剖面分佈呈現拋物線狀；相反地，當雷諾數較大時，表示慣性力之影響遠大於粘滯力，該流動狀態稱為紊流(Turbulent flow)，其流速剖面分佈除最接近渠底部份區域外，幾乎與均勻流之流速剖面一樣，水體同一剖面之各點流速幾近相同。

對於明渠水流而言，當 $Re < 500$ ，水流屬於層流流況； $Re > 500$ ，則水流屬於紊流流況。而本研究所

量測之流速約為 1.0 m/s 、水深最大約 30 cm ， 20°C 水之動力粘滯係數 $\mu = 1.002 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ 、水之質量密度約為 1000 kg/m^3 ，雷諾數遠超過 500 臨界值，其水流狀態均屬於紊流，因此，本研究之試驗範圍屬於紊流型態，不同水深剖面流速均可視為一固定值，同一剖面水深之流速大小一樣(如表 5)。

表 5 渠槽試驗所測得之水流流況資料

Table 5 The measured Flow conditions by flume experiment

距起點位置(cm)	水深(cm)	測點流速(m/s)	水力半徑(m)	雷諾數	水流狀態
500	31.7	1.272	0.154	195000	紊流
500	31.1	1.254	0.153	191000	紊流
500	30.6	1.240	0.151	187000	紊流
500	30.3	1.233	0.151	185000	紊流
500	29.8	1.220	0.149	182000	紊流
500	29.4	1.212	0.148	179000	紊流
500	28.5	1.191	0.146	173000	紊流
500	28.0	1.184	0.145	171000	紊流
500	27.7	1.172	0.144	168000	紊流
500	27.2	1.167	0.143	166000	紊流
500	26.9	1.155	0.142	163000	紊流
500	26.3	1.133	0.140	158000	紊流
500	25.7	1.108	0.138	153000	紊流
500	25.1	1.081	0.137	147000	紊流
500	24.5	1.043	0.135	140000	紊流
500	24.2	1.014	0.134	135000	紊流
500	23.8	0.996	0.133	132000	紊流
500	23.4	0.974	0.131	128000	紊流
500	23.0	0.958	0.130	124000	紊流
500	22.6	0.933	0.129	120000	紊流
500	22.1	0.917	0.127	116000	紊流
500	21.7	0.890	0.126	112000	紊流
500	21.2	0.856	0.124	106000	紊流
500	20.9	0.840	0.123	103000	紊流
500	20.5	0.829	0.122	101000	紊流
500	20.1	0.816	0.120	98000	紊流
500	19.7	0.803	0.119	95000	紊流

距起點位置(cm)	水深(cm)	測點流速(m/s)	水力半徑(m)	雷諾數	水流狀態
500	19.3	0.792	0.117	93000	紊流
500	18.5	0.747	0.114	85000	紊流
500	18.2	0.724	0.113	82000	紊流
500	17.9	0.699	0.112	78000	紊流
500	17.4	0.671	0.110	74000	紊流
500	17.0	0.646	0.109	70000	紊流
500	16.7	0.632	0.107	68000	紊流
500	16.1	0.617	0.105	64000	紊流
500	15.6	0.601	0.103	61000	紊流
500	15.2	0.590	0.101	59000	紊流
500	14.8	0.580	0.099	57000	紊流
500	14.6	0.573	0.098	56000	紊流
500	14.1	0.557	0.096	53000	紊流
500	13.7	0.541	0.094	51000	紊流
500	13.3	0.519	0.092	48000	紊流
500	12.5	0.484	0.088	43000	紊流
500	12.0	0.467	0.086	40000	紊流
500	11.6	0.449	0.084	37000	紊流
500	11.1	0.437	0.081	35000	紊流
500	10.8	0.419	0.079	33000	紊流
500	10.2	0.394	0.076	30000	紊流
500	10.1	0.391	0.076	29000	紊流
500	9.9	0.385	0.074	29000	紊流
500	9.4	0.367	0.072	26000	紊流
500	9.1	0.361	0.070	25000	紊流
500	8.7	0.342	0.067	23000	紊流
500	8.5	0.338	0.066	22000	紊流
500	8.0	0.325	0.063	20000	紊流
500	7.6	0.312	0.061	19000	紊流
500	7.5	0.307	0.060	18000	紊流
500	7.1	0.276	0.057	16000	紊流
500	6.6	0.251	0.054	14000	紊流
500	5.2	0.222	0.044	10000	紊流

台灣上游野溪流況多呈現紊流狀態，理論上表面流速應等同於剖面點流速或平均流速，因此，本研究利用渠槽試驗率定筆直河段表面流速與平均流速之關係，未來只要到野外量測到表面流速時，即可以方便、快速換算得到該水流之平均流速。

3. 流速模式選定

在距渠槽起點 250cm、500cm、750cm 處分別利用電波流速儀量測表面流速與旋葉式流速儀或電磁式流速儀測量點流速，可以得到兩者之關係如圖 16、17、18 所示。

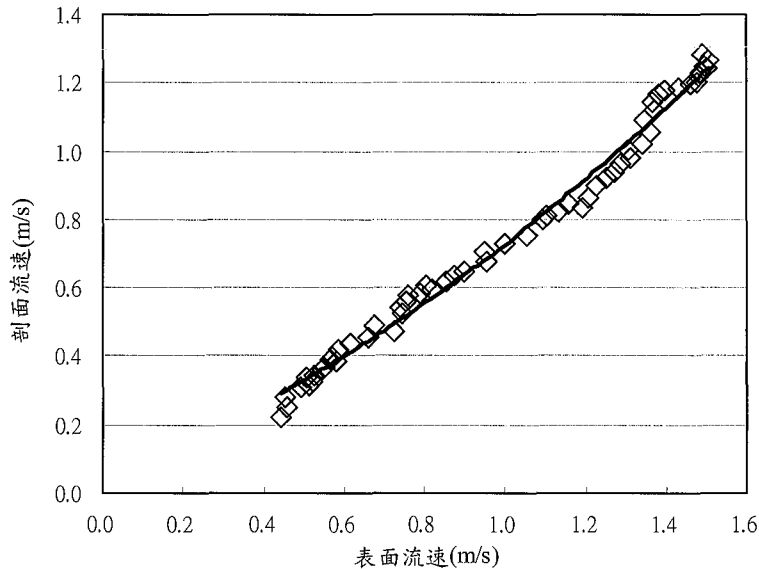


圖 16 距渠槽起點 250cm 處表面流速與點流速之關係圖

Fig.16 The relationship between surface velocity and point velocity in the 250 cm away from the beginning of the flume

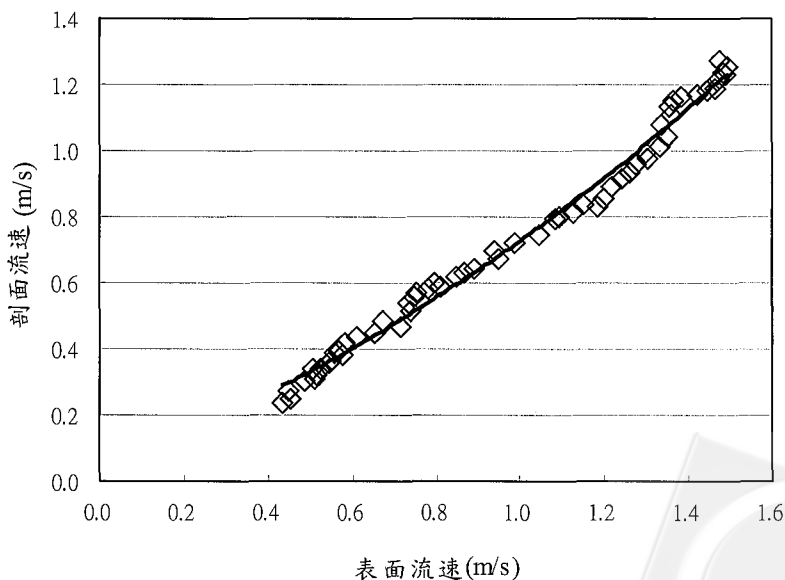


圖 17 距渠槽起點 500cm 處表面流速與點流速之關係圖

Fig. 17 The relationship between surface velocity and point velocity in the 500 cm away from the beginning of the flume

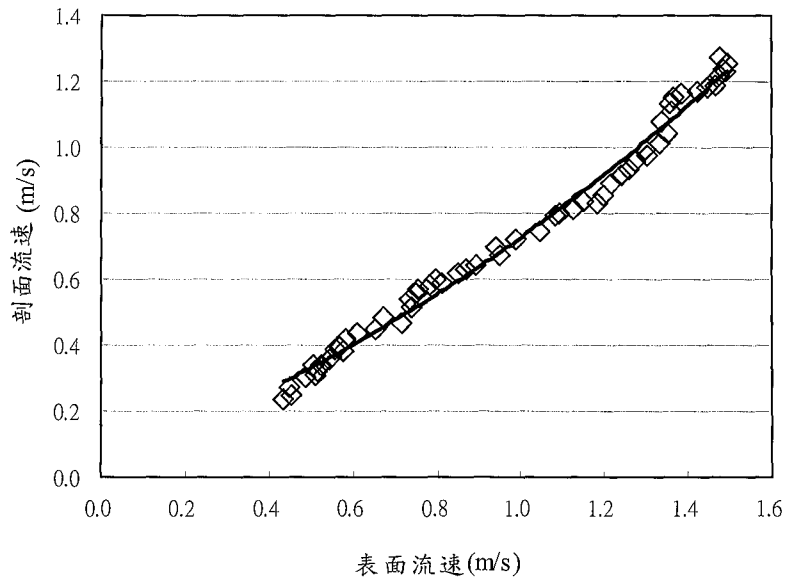


圖 18 距渠槽起點 750cm 處表面流速與點流速之關係圖

Fig.18 The relationship between surface velocity and point velocity in the 750 cm away from the beginning of the flume

由於同一流量下，距渠槽起點 250cm、500cm、750cm 處分別量測到之流速相近且其均有相同趨勢，因此，將電波流速儀所量測到之表面流速與旋葉式流速儀或電磁式流速儀所測量之點流速取其平均後進行迴歸分析，分析結果如圖 19 所示。

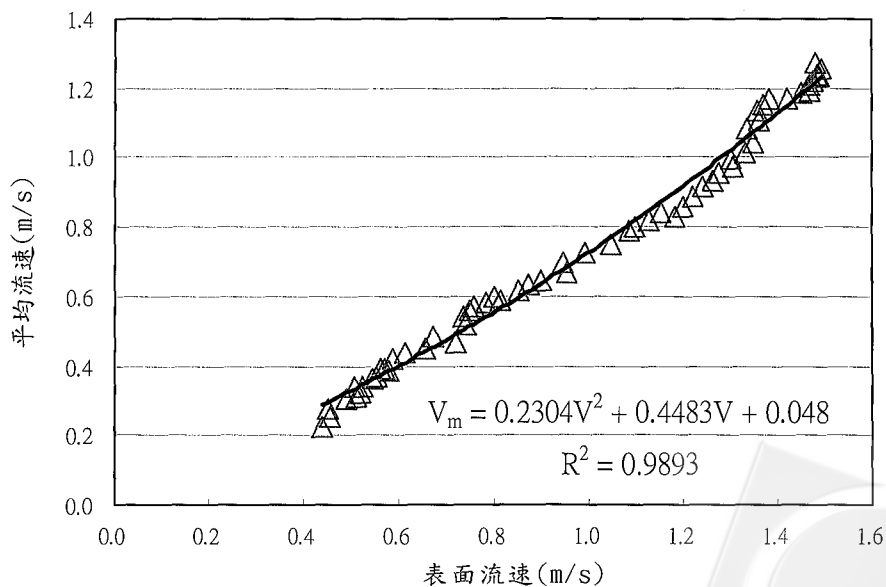


圖 19 表面流速與平均流速迴歸關係圖

Fig.19 The regression relationship between surface velocity and average velocity

將平均流速和表面流速(俯角 20 度、偏角 0 度)選用二次多項式迴歸，其相關係數高達 0.99。其關係式如式(11)所示。

$$V_m = 0.2304V^2 + 0.4483V + 0.048 \quad (11)$$

V_m : 剖面平均流速(m/s)

V : 俯角 20 度、偏角 0 度觀測表面流速(m/s)

本研究利用渠槽試驗所得之清水流況下表面流速與平均流速關係式，適用於上游野溪，可以藉由電波流速儀量測到表面流速後，直接且快速換算得知野溪之平均流速，配合野溪斷面資料，可計算求得野溪之流量；但對彎曲河道而言，水流經彎曲河道時會產生二次流，使得彎道處流速變化極為複雜，因此，本研究所率定出清水流況下表面流速與平均流速之關係式並不適用於野外之彎曲河道。

4. 試驗誤差原因探討

在量測流速過程中，本研究發現幾個導致試驗誤

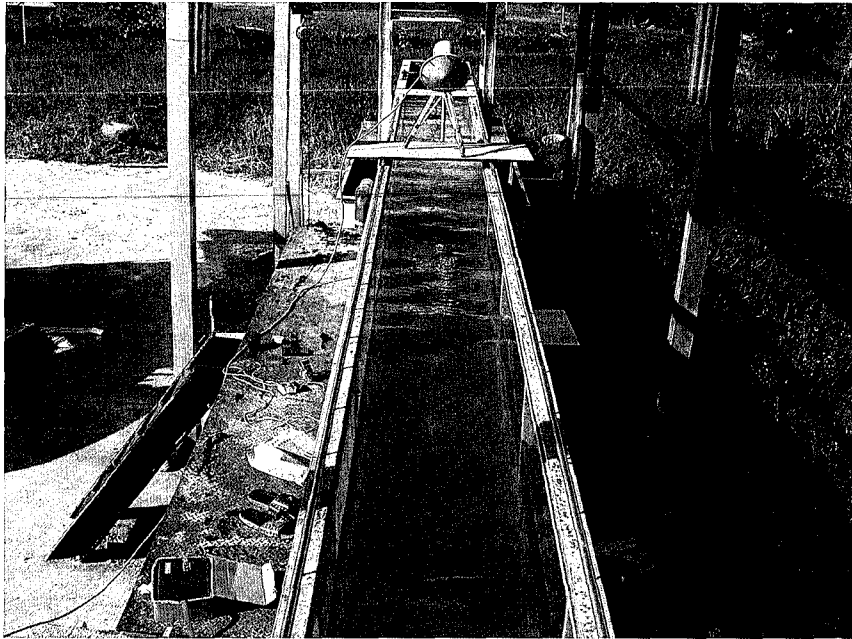
差原因：

- (1) 無線電波在遇到起伏不平之水面時，通常會反射至許多不同之方向，如圖 6 中之 A、C 點，這種現象會降低接收訊號之強度。因此，若流量太大，水面呈現如照片 6 之波浪狀時，利用電波流速儀量測所得之數據會因為水面波動之程度而產生大小不等之變動，會因為微弱之訊號強度影響數據量測之準確性。
- (2) 在量測流速時，風之吹拂常會造成如照片 7 所示之凌亂水面波，此時流速儀感應器會接收到許多雜訊，以致於難以得到正確之表面流速值，因此，必須將觀測期間延長，以降低雜訊之影響度。
- (3) 另外，在量測小流速之水流時，電波流速儀常常因為流速太小而使得流速儀感應器接收不到訊號(如照片 8)，這種情形亦必須將觀測期間延長，以增加有效之觀測數據數目。



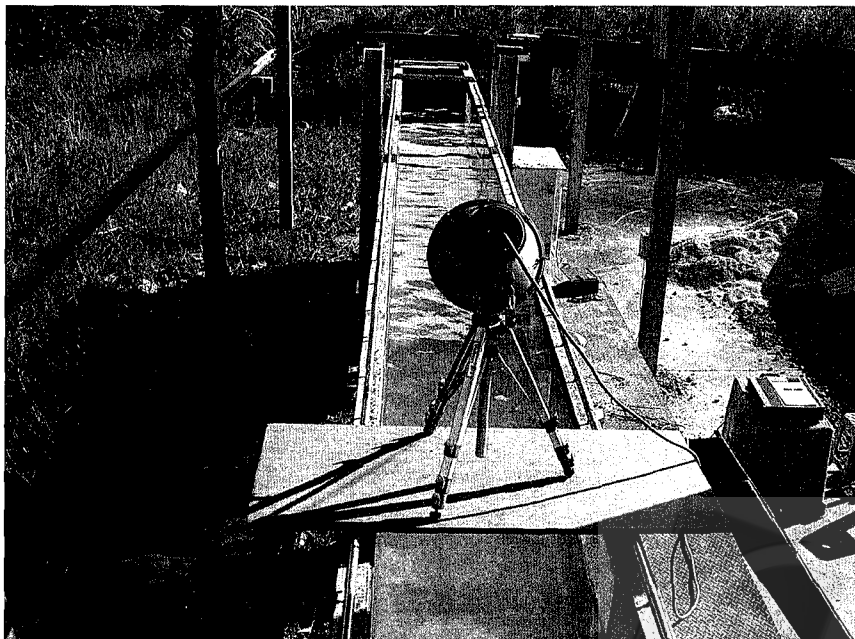
照片 6 高流速時水面波動嚴重

Pic.6 The violent water wave in the high flow velocity



照片 7 風之吹拂造成凌亂水面波

Pic.7 The blowing wind caused water surface disorderly



照片 8 低流速常導致訊號接收不易

Pic.8 Low flow velocity often caused messages to receive difficultly

五、結 論

本研究利用渠槽試驗針對電波流速儀所測出之表面流速與傳統旋葉式或電磁式流速儀所測得之水流點流速值進行分析，在 5.2~31.7cm 之水深；雷諾數為 10,000~195,000，屬於淺水深之紊流範圍下，得到下列主要結論：

1. 使用電波流速儀觀測明渠水流時，其偏角和俯角之修正係數為

$$C = \frac{1}{1.0017(\cos \alpha \cdot \cos \beta)^{1.005}}$$

其中， α ：俯角； β ：偏角。

2. 藉由迴歸分析得到平均流速與俯角 20 度、偏角 0 度觀測表面流速間之關係式如下：

$$V_m = 0.2304V^2 + 0.4483V + 0.048$$

其中， V_m ：平均流速(m/s)； V ：俯角 20 度、偏角 0 度觀測表面流速(m/s)。

3. 當野溪水深不大或颱洪來臨水流湍急時，採用多點法量測流速剖面是無法施行的，一般旋葉式流速儀也無法完全浸沒於水中或可能被湍急之水流帶走，採用非接觸式之電波流速儀便可以克服野外觀測之難題。
4. 台灣山區許多野溪之斷面狹小，河川兩岸邊壁亦不規則，可能會造成表面流速之紊亂而可能影響流速量測；另外，利用室內光滑平整之渠槽模擬斷面凹凸不平之野溪，兩種斷面粗糙程度及斷面平整程度皆不一，實有難以模擬之處。因此，在山地河川量測水流流速時，為了能使用平均流速與表面流速間之迴歸關係式直接且快速換算得知野溪之平均流速，應盡量避免在狹窄且邊壁效應干擾影響很大的斷面處進行量測，最好在筆直、寬廣的斷面下量測，並且選擇在河道中心點處量測，以期能降低粗糙程度、平整程度及邊坡對流況、流速之影響，使得利用非接觸式之電波流速儀更適用於台灣山地河川流速觀測。
5. 本研究選用渠槽試驗率定得到清水流況下筆直河川之表面流速與平均流速關係式。為使表面流速與平均流速關係式更能準確適用於推估台灣河川之流速，未來則可進行不同泥沙濃度含砂水流情況下表面流速與平均流速間之率定，以求得含砂水流之表面流速與剖面平均流速關係式，使其更符合台灣山地河川流速觀測之特性。

參考文獻

1. 水利局(1982)，「水文觀測實務講義」。
2. 三映測量器株式會社(1985)，「三映流速儀說明書」。
3. 王如意、易任(1979)，「應用水文學(上冊)」，茂昌圖書有限公司，pp.308~316。
4. 王如意、黃宏斌(1994)，「基隆河整治對河川影響及監測系統之評估(二)」，國立台灣大學水工試驗所。
5. 王勝豐(1995)，「底碇式都卜勒流剖儀與電磁式流速儀之量測比較」，三聯技術雜誌，40:38-44。
6. 毛壽彭(1969)，「流速儀之構造及應用」，國立台灣大學水工試驗所研究試驗報告第 25 號。
7. 李明靜、賴泉基(2000)，「由水面流速分佈推定河川斷面水深及流量之研究」，中國土木水利工程學刊，12(4):777~783。
8. 徐仕昇、顏志偉、吳孟齋(2002)，「水文觀測用旋杯式流速儀之校正」，量測資訊，88(11):18~24。
9. 劉家豪(2002)，「普萊氏流速儀量測不確定度評估」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，85p。
10. 經濟部水利署(2002)，「現有流速儀檢定系統初期改善計畫」，經濟部水利署。
11. 經濟部水資源局(2000)，「水文觀測網儀器檢校管理之建立」，經濟部水資源局。
12. 鄭恆志、陳逸群、潘建中、黃宏斌(1995)，「非接觸式儀器野外調查之可行性研究」，中華水土保持學報，26(1):43~48。
13. ALEC ELECTRONICS CO., LTD(1998)，「ACM-200P 使用手冊」。
14. Global Water(2003)，「FP101-FP201 Global Flow Probe user's manual」。
15. Yokogawa Weathac Corporation(1991)，「J-763 使用手冊」。

2004 年 6 月 27 日 收稿

2004 年 9 月 16 日 修正

2004 年 10 月 19 日 接受

(本文開放討論至 2005 年 9 月 30 日)