

國立交通大學

土木工程研究所

碩士論文

水流流經植被區域之阻力研究

Study on Flow Resistance through Vegetated Area

研究生：劉誠達

指導教授：葉克家 教授

中華民國九十七年七月

水流流經植被區域之阻力研究

Study on Flow Resistance through Vegetated Area

研究生：劉誠達

Student : Cheng-Ta Liu

指導教授：葉克家

Advisor : Keh-Chia Yeh

國立交通大學

土木工程學系



Submitted to Institute of Civil Engineering
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Civil Engineering
July 2008
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年七月

水流流經植被區域之阻力研究

研究生:劉誠達

指導教授:葉克家

國立交通大學土木工程研究所

摘要

水流流經植被渠道時，植被阻力分成浸沒式和非浸沒式二種。本研究著重在植被為浸沒式之情況，採用之植被模型為圓柱狀，改變植被橫向及縱向間距進行實驗，並探討不同流量對於內部流場所產被之阻力、流速變化、阻力係數與植被糙度變化之影響。

由於水流受到植株擾動，其流場變化瞬息萬變，若使用單點之量測法量測，對於植被渠道流場之流速變化缺乏整體、有效的了解。因此本研究利用非侵入式彩色質點影像測速法(color particle image velocimetry, CPIV)，進行植被渠道流場之垂直二維流場量測，CPIV法係以 Argon 雷射為光源，利用多彩聲光調變器(PCAO)將雷射光源區分為藍、綠相間隔光源，射至旋轉八面鏡後形成光頁，並由彩色攝影機(CCD)擷取植生流場之流場影像，進行質問窗(interrogation window) 設定與影像分析，以獲得流場流速向量分佈，並利用流經植被前後之流速及水位變化，計算植被之阻力；除 CPIV，並使用陳式自製移動平台(陳宥達,2008)，此平台連接至拉力計，當水流流經此平台，受到平台上植被影響而拖曳，此時拉壓力計讀得數值即為植被阻力。

經實驗結果，利用 CPIV 法得到流經植被區域前後之流速與水位，並計算得到植被阻力；並與陳氏自製阻力量測技術(陳宥達,2008)測得之植被阻力相比較進行驗證，可明顯得知植被阻力受到水深和流速影響，而阻力係數與相對植被密度比有上升之趨勢；達西威斯巴哈摩擦因子與相對植被密度比有大幅度上升之趨勢；曼寧值亦是如此。在植被排列方面，除了植被橫向間距對於達西威斯巴哈摩擦因子與曼寧值有很大之影響，植被縱向間距亦能影響之，縱向間距越小，植被之糙度越大。

關鍵詞：植被、彩色影像質點測速法、植被阻力

Study on Flow Resistance through Vegetated Area

Student: Cheng-Ta Liu

Advisor: Keh-Chia Yeh

Institute of Civil Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

There are two types of the resistances of the vegetation: submerged and unsumberged. This study focuses on the submerged type to investigate the influence of different vegetated density on the vegetation resistance, the variation of velocity, and the variation of drag coefficient, Darcy-Weisbach factor, and Manning's n . The cylinder is used as the model plant. This study changes the effects of lateral spacing and longitudinal spacing, discussing the different of the flow rate.

Because the flow is affected by the vegetation, the flow field changes rapidly. If the traditional single-point measurement at a time is adopted in the experiment, the variation of the velocity field in the vegetated channel cannot be obtained completely and effectively. Hence, this study adopts non-intrusive color particle image velocimety (CPIV) to measure the vertical 2-D flow field in the vegetated channel. The CPIV method uses Argun laser as the light source, the PCAOM separates the light into blue and green lights and they form a light sheet after emitting on a rotating eight-side mirror, the CCD takes the instantaneous images of vegetated-channel flow field, and then obtains the velocity field through the set-up of interrogation window and image analysis Except the CPIV, the study makes a moving platform (Yo-Ta Chen, 2008) that is connected force gauge, act as water and flow through this platform, vegetation it influences to be dilatory, force gauge read value (N) at the platform. The result is exported by the computer, examine the resistance of the vegetation directly.

After measuring the vegetated-channel flow field with the CPIV method, the vegetation resistance can be calculated and be compared with the value of the measured (Yo-Ta Chen, 2008). The results demonstrate that flow resistance is greatly influenced by both depth and velocity but that the effects are opposite in sign. The drag coefficient increases in only a slightly nonlinear fashion with the relative density ratio (total vegetation stomatal area/bed cross sectional area), but Darcy-Weisbach factor increases in a highly nonlinear manner with increasing the relative density ratio, so does Manning,s n . Expect there are effects of the lateral spacing of the vegetation, the longitudinal spacing of the vegetation can also influence it. The less longitudinal spacing is, the bigger roughness of the vegetation is.

Keywords: vegetation, CPIV, vegetation resistance

誌 謝

本文承蒙恩師 葉教授克家兩年來悉心指導與諄諄教誨，得以順利完成學業。就讀研究所兩年期間，恩師對於做事方法與態度、分析問題、獨立解決問題能力之培養、邏輯思考的訓練、論文寫作的技巧等，用心指導讓學生受益良多。並於日常生活中，受到許多關心與照顧，僅此獻上最誠摯之謝忱。

研究所期間，非常感謝博士班楊昇學學長頃囊相授、盡心盡力的指導，也感謝仲達、宥達、峰志、環宇、力偉學長、秀容學姊及曉萍學姐不僅在課業的提攜也在生活中幫忙與鼓勵，最要好的研究室同學仁凱、思廷、佑民、冠顯、俊哲、仙蕓、鏡如及水利、海洋組全體同學因為有你們研究生活才會如此豐富，以及感謝學弟妹們的幫忙與參與，這兩年因為認識了你們而研究生活更加豐富、快樂。

最重要感謝的是含辛茹苦、撫育我成長的父母與家人，由於你們的扶持與栽培，使我有往前邁進的動力，即使我遇到困難你們還是永遠在我後面位我加油打氣，這份榮耀是屬於你們的。

謹將本文獻給關心我的家人師長、朋友，以及所有的同學們。

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VII
符號說明表.....	XII
第一章 導論.....	1
1-1 研究動機.....	1
1-2 研究目的.....	1
1-3 文獻回顧.....	2
1-3-1 質點影像測速法.....	2
1-3-2 植被渠道相關研究.....	4
1-4 研究方法.....	8
1-5 本文組織.....	9
第二章 CPIV法影像處理流程與陳氏自製阻力量測技術原理.....	10
2-1 CPIV法影像處理流程 (楊, 2002).....	10
2-1-1 數位影像擷取.....	10
2-1-2 程式運算分析.....	10
2-2 自製阻力測量技術原理.....	20
第三章 試驗之儀器佈置.....	21
3-1 CPIV儀器設備.....	21
3-1-1 光學設備系統.....	21
3-1-2 訊號控制系統.....	22
3-1-3 影像系統.....	22
3-2 CPIV實驗程序.....	23
3-3 自製阻力測量技術系統.....	24
3-4 自製阻力測量技術實驗程序.....	24
3-5 試驗渠槽.....	25
第四章 試驗結果分析.....	26
4-1 植被阻力係數之因次分析.....	26
4-2 陳氏自製阻力量測技術結果案例分析.....	27
4-3 CPIV結果案例分析.....	29
4-3-1 不同縱斷面之速度與阻力量測評估.....	29
4-3-2 CPIV阻力分析及驗證.....	29
4-3-3 CPIV之阻力係數(C_d)分析.....	32

4-3-4 CPIV之達西威斯巴哈摩擦因子分析.....	32
4-3-5 CPIV之相對曼寧值 ($\frac{n}{n_b}$) 分析.....	33
第五章 結論與建議.....	35
5-2 建議.....	36
參考文獻	37



表目錄

表 4-1	實驗案例表	39
表 4-2	各案例之影像擷取視窗大小	39
表 4-3	各縱斷面之計算阻力	40
表 4-4	CPIV底床與滑動平台底床剪力所導致之阻抗力	40
表 4-5	各案例實驗結果	41
表 4-6	各案例實驗結果之誤差比較	42
表 4-7	各案例實驗結果之分析	43



圖目錄

圖 2-1	影像擷取示意圖	44
圖 2-2	藍、綠影像亮度分佈示意圖	44
圖 2-3	imb、img比對的方式	45
圖 2-4	將綠色點位移(m,n)後與藍色點重疊(matching)的情況	45
圖 2-5	互相關計算所得之C(m,n)分佈示意圖	45
圖 2-6	互相關函數之最大值特寫之放大圖	46
圖 2-7	不一致流速向量圖(右下角虛線框處)	46
圖 2-8	去除不一致流速向量圖(右下角虛線框處)	46
圖 2-9	經過補圖後之流速向量圖(右下角虛線框處)	47
圖 2-10	RMS誤差之示意圖	47
圖 2-11	偏差誤差之示意圖	47
圖 2-12	已知位移量 8 畫素之計算結果	48
圖 2-13	阻力測量示意圖	48
圖 2-14	阻力對應時間之變化圖	48
圖 3-1	CPIV儀器架設示意圖	49
圖 3-2	阻力測量示意圖	49
圖 3-3	Agtron雷射	50
圖 3-4	PCAOM所分出來之藍光及綠光示意圖	50
圖 3-5	多彩聲光調變器 (PCAOM)	51
圖 3-6	旋轉八面鏡	51
圖 3-7	PCI-6601 訊號控制卡	52
圖 3-8	自製降壓電路版	52
圖 3-9	移動平台	53
圖 3-10	LUTRON拉壓力計	53
圖 3-11	實驗水槽	54
圖 4-1	植被橫向及縱向間距 2.5 公分示意圖	55
圖 4-2	植被橫向及縱向間距 1.25 公分示意圖	55
圖 4-3	植物橫向間距與阻力比較圖l=2.5cm Q=0.006cms	56
圖 4-4	植物橫向間距與阻力比較圖l=2.5cm Q=0.007cms	56
圖 4-5	植物橫向間距與阻力比較圖l=1.25cm Q=0.006cms	56
圖 4-6	植物橫向間距與阻力比較圖l=1.25cm Q=0.007cms	57
圖 4-7	植被縱向間距與阻力比較圖Q=0.006cms	57
圖 4-8	植被縱向間距與阻力比較圖Q=0.007cms	57
圖 4-9	縱斷面之量測位置	58
圖 4-10	光頁側視圖	58
圖 4-11	各縱斷面位置A區流速與水深之關係圖(距離植被 5.17cm)	58

圖 4-12	各縱斷面位置A區流速與水深之關係圖(距離植被 0.18cm).....	59
圖 4-13	各縱斷面位置B區流速與水深之關係圖(距離植被 5.38cm).....	59
圖 4-14	各縱斷面位置B區流速與水深之關係圖(距離植被 8.49cm).....	59
圖 4-15	案例 1 位置A區之擷取影像圖	60
圖 4-16	案例 1 位置A區之速度向量分布圖	60
圖 4-17	案例 1 位置A區之流線圖	60
圖 4-18	案例 1 位置A區之渦度場圖	61
圖 4-19	案例 1 位置B區之擷取影像圖.....	61
圖 4-20	案例 1 位置B區之速度向量分布圖.....	61
圖 4-21	案例 1 位置B區之流線圖.....	62
圖 4-22	案例 1 位置B區之渦度場圖.....	62
圖 4-23	案例 1 位置A區距植被 5.66cm及 0.19cm之速度比較圖.....	62
圖 4-24	案例 1 位置B區距植被 3.26cm及 6.09cm之速度比較圖.....	63
圖 4-25	案例 2 位置A區之擷取影像圖	63
圖 4-26	案例 2 位置A區之速度向量分布圖	63
圖 4-27	案例 2 位置A區之流線圖	64
圖 4-28	案例 2 位置A區之渦度場圖	64
圖 4-29	案例 2 位置B區之擷取影像圖.....	64
圖 4-30	案例 2 位置B區之速度向量分布圖.....	65
圖 4-31	案例 2 位置B區之流線圖.....	65
圖 4-32	案例 2 位置B區之渦度場圖.....	65
圖 4-33	案例 2 位置A區距植被 6.25cm及 0.22cm之速度比較圖.....	66
圖 4-34	案例 2 位置B區距植被 4.09cm及 7.76cm之速度比較圖.....	66
圖 4-35	案例 3 位置A區之擷取影像圖	66
圖 4-36	案例 3 位置A區之速度向量分布圖	67
圖 4-37	案例 3 位置A區之流線圖	67
圖 4-38	案例 3 位置A區之渦度場圖	67
圖 4-39	案例 3 位置B區之擷取影像.....	68
圖 4-40	案例 3 位置B區之速度向量分布圖.....	68
圖 4-41	案例 3 位置B區之流線圖.....	68
圖 4-42	案例 3 位置B區之渦度場圖.....	69
圖 4-43	案例 3 位置A區距植被 5.95cm及 0.21cm之速度比較圖.....	69
圖 4-44	案例 3 位置B區距植被 3.06cm及 5.70cm之速度比較圖.....	69
圖 4-45	案例 4 位置A區之擷取影像	70
圖 4-46	案例 4 位置A區之速度向量分布圖	70
圖 4-47	案例 4 位置A區之流線圖	70
圖 4-48	案例 4 位置A區之渦度場圖	71
圖 4-49	案例 4 位置B區之擷取影像.....	71

圖 4-50	案例 4 位置B區之速度向量分布圖.....	71
圖 4-51	案例 4 位置B區之流線圖.....	72
圖 4-52	案例 4 位置B區之渦度場圖.....	72
圖 4-53	案例 4 位置A區距植被 6.15cm及 0.22cm之速度比較圖.....	72
圖 4-54	案例 4 位置B區距植被 4.59cm及 8.17cm之速度比較圖.....	73
圖 4-55	案例 5 位置A區之擷取影像.....	73
圖 4-56	案例 5 位置A區之速度向量分布圖.....	73
圖 4-57	案例 5 位置A區之流線圖.....	74
圖 4-58	案例 5 位置A區之渦度場圖.....	74
圖 4-59	案例 5 位置B區之擷取影像.....	74
圖 4-60	案例 5 位置B區之速度向量分布圖.....	75
圖 4-61	案例 5 位置B區之流線圖.....	75
圖 4-62	案例 5 位置B區之渦度場圖.....	75
圖 4-63	案例 5 位置A區距植被 5.67cm及 0.20cm之速度比較圖.....	76
圖 4-64	案例 5 位置B區距植被 2.57cm及 5.59cm之速度比較圖.....	76
圖 4-65	案例 6 位置A區之擷取影像圖.....	76
圖 4-66	案例 6 位置A區之速度向量分布圖.....	77
圖 4-67	案例 6 位置A區之流線圖.....	77
圖 4-68	案例 6 位置A區之渦度場圖.....	77
圖 4-69	案例 6 位置B區之擷取影像.....	78
圖 4-70	案例 6 位置B區之速度向量分布圖.....	78
圖 4-71	案例 6 位置B區之流線圖.....	78
圖 4-72	案例 6 位置B區之渦度場圖.....	79
圖 4-73	案例 6 位置A區距植被 6.25cm及 0.22cm之速度比較圖.....	79
圖 4-74	案例 6 位置B區距植被 4.09cm及 7.76cm之速度比較圖.....	79
圖 4-75	案例 7 位置A區之擷取影像圖.....	80
圖 4-76	案例 7 位置A區之速度向量分布圖.....	80
圖 4-77	案例 7 位置A區之流線圖.....	80
圖 4-78	案例 7 位置A區之渦度場圖.....	81
圖 4-79	案例 7 位置B區之擷取影像.....	81
圖 4-80	案例 7 位置B區之速度向量分布圖.....	81
圖 4-81	案例 7 位置B區之流線圖.....	82
圖 4-82	案例 7 位置B區之渦度場圖.....	82
圖 4-83	案例 7 位置A區距植被 5.56cm及 0.21cm之速度比較圖.....	82
圖 4-84	案例 7 位置B區距植被 3.77cm及 6.88cm之速度比較圖.....	83
圖 4-85	案例 8 位置A區之擷取影像圖.....	83
圖 4-86	案例 8 位置A區之速度向量分布圖.....	83
圖 4-87	案例 8 位置A區之流線圖.....	84

圖 4-88	案例 8 位置A區之渦度場圖	84
圖 4-89	案例 8 位置B區之擷取影像圖.....	84
圖 4-90	案例 8 位置B區之速度向量分布圖.....	85
圖 4-91	案例 8 位置B區之流線圖.....	85
圖 4-92	案例 8 位置B區之渦度場圖.....	85
圖 4-93	案例 8 位置A區距植被 6.05cm及 0.21cm之速度比較圖.....	86
圖 4-94	案例 8 位置B區距植被 4.77cm及 7.88cm之速度比較圖.....	86
圖 4-95	案例 9 位置A區之擷取影像圖	86
圖 4-96	案例 9 位置A區之速度向量分布圖	87
圖 4-97	案例 9 位置A區之流線圖	87
圖 4-98	案例 9 位置A區之渦度場圖	87
圖 4-99	案例 9 位置B區之擷取影像.....	88
圖 4-100	案例 9 位置B區之速度向量分布圖.....	88
圖 4-101	案例 9 位置B區之流線圖.....	88
圖 4-102	案例 9 位置B區之渦度場圖.....	89
圖 4-103	案例 9 位置A區距植被 5.81cm及 0.20cm之速度比較圖.....	89
圖 4-104	案例 9 位置B區距植被 3.77cm及 6.98cm之速度比較圖.....	89
圖 4-105	案例 10 位置A區之擷取影像	90
圖 4-106	案例 10 位置A區之速度向量分布圖	90
圖 4-107	案例 10 位置A區之流線圖	90
圖 4-108	案例 10 位置A區之渦度場圖	91
圖 4-109	案例 10 位置B區之擷取影像.....	91
圖 4-110	案例 10 位置B區之速度向量分布圖.....	91
圖 4-111	案例 10 位置B區之流線圖.....	92
圖 4-112	案例 10 位置B區之渦度場圖.....	92
圖 4-113	案例 10 位置A區距植被 6.3cm及 0.22cm之速度比較圖.....	92
圖 4-114	案例 10 位置B區距植被 3.88cm及 7.28cm之速度比較圖.....	93
圖 4-115	案例 11 位置A區之擷取影像圖.....	93
圖 4-116	案例 11 位置A區之速度向量分布圖.....	93
圖 4-117	案例 11 位置A區之流線圖.....	94
圖 4-118	案例 11 位置A區之渦度場圖.....	94
圖 4-119	案例 11 位置B區之擷取影像圖	94
圖 4-120	案例 11 位置B區之速度向量分布	95
圖 4-121	案例 11 位置B區之流線圖.....	95
圖 4-122	案例 11 位置B區之渦度場圖.....	95
圖 4-123	案例 11 位置A區距植被 5.37cm及 0.22cm之速度比較圖.....	96
圖 4-124	案例 11 位置B區距植被 3.37cm及 6.83cm之速度比較圖.....	96
圖 4-125	案例 12 位置A區之擷取影像圖	96

圖 4-126	案例 12 位置A區之速度向量分布圖	97
圖 4-127	案例 12 位置A區之流線圖	97
圖 4-128	案例 12 位置A區之渦度場圖	97
圖 4-129	案例 12 位置B區之擷取影像.....	98
圖 4-130	案例 12 位置B區之速度向量分布圖.....	98
圖 4-131	案例 12 位置B區之流線圖.....	98
圖 4-132	案例 12 位置B區之渦度場圖.....	99
圖 4-133	案例 12 位置A區距植被 5.81cm及 0.20cm之速度比較圖.....	99
圖 4-134	案例 12 位置B區距植被 3.97cm及 7.23cm之速度比較圖	99
圖 4-135	達西威斯巴哈摩擦因子(f)與相對植被密度比(A/a)之關係圖	100
圖 4-136	達西威斯巴哈摩擦因子(f)與植被橫向間距比(r/y)之關係圖	100
圖 4-137	達西威斯巴哈摩擦因子(f)與植被縱向間距比(l/y)之關係圖	100
圖 4-138	達西威斯巴哈摩擦因子(f)與雷諾數(Re)之關係圖	101
圖 4-139	達西威斯巴哈摩擦因子(f)與福祿數(Fr)之關係圖	101
圖 4-140	相對曼寧值(n/n _b)與相對植被密度比(A/a)之關係圖.....	101
圖 4-141	相對曼寧值(n/n _b)與植被橫向間距比(r/y)之關係圖	102
圖 4-142	相對曼寧值(n/n _b)與植被縱向間距比(l/y)之關係圖	102
圖 4-143	相對曼寧值(n/n _b)與植被雷諾數(Re)之關係圖	102
圖 4-144	相對曼寧值(n/n _b)與福祿數(Fr)之關係圖.....	103
圖 4-145	儀器檢定圖	103

符號說明表

a	:	水流通水斷面 (m^2)
a_b	:	植被底床面積 (m^2)
A	:	植被斷面積 (m^2)
B	:	底床寬度 (m)
C_d	:	阻力係數
C	:	蔡西係數
dx	:	A 區至 B 區之距離 (m)
dy/dx	:	水深隨位置之變化量
dv/dx	:	流速隨位置之變化量 ($1/s$)
f	:	達西威斯巴哈摩擦因子
F_d	:	植被形狀對流體之阻力 (N)
F_s	:	植被底床對流體之阻力 (N)
Fr	:	福祿數
g	:	重力加速度 (m/s^2)
l	:	植被之縱向間距 (m)
n	:	考慮植被之曼寧值
n_b	:	未考慮植被之曼寧值
r	:	植被之橫向間距 (m)
R	:	水力半徑 (m)
Re	:	雷諾數
S_0	:	底床坡降
v	:	為垂線上各位置之速度 (m/s)
V_*	:	剪力速度 (m/s)
\bar{V}_1	:	A 區靠近植被之平均流速 (m/s)
\bar{V}_2	:	B 區靠近植被之平均流速 (m/s)
\bar{V}	:	平均速度 (m/s)
β	:	動量較正係數
y_1	:	為流經植被前之水深 (m)
y_2	:	為流經植被後之最低水深 (m)
y	:	水流深度 (m)
τ_w	:	底床剪應力 ($kg/m \cdot s^2$)
γ	:	流體比重 ($kg/m^2 s^2$)
ρ	:	水密度 (kg/m^3)

第一章 導論

1-1 研究動機

政府有關機關興建之水土保持工程，包括防砂壩、野溪治理、道路護坡、蝕溝控制、安全排水、堤防、護岸、崩塌地處理工程及環境保育等工程，其工程構造物仍以施工快速、強度高之混凝土工法居多，此種工法雖符合社會需求，卻讓植物無適當的生長空間，致使當地景觀及棲地生態遭到破壞。若能於工程週邊導入適地適生之植物材料，除可恢復植被覆蓋，亦可達到美化景觀、改善氣候及提供野生動物棲地之效果。

目前台灣河川之河槽兩側高灘地種植植株，而這些植株在洪水來臨時，不僅會減少通水面積及阻滯洪水流速，而且會影響水流之進行。對於此情況多以密度(植被覆蓋率)來定義粗糙係數 n 值；但除此之外，對水流阻力的影響亦包括植物之種類、高度、倒伏狀況及排列方式。

關於植生水理分析相關之研究，對於影響阻力之因素頗為複雜，致使阻力之計算頗為困難。而傳統量測植被阻力係用於相關曼寧值(Manning n)之參數，如水深及流速，而近期之研究亦使用無因次參數達西威斯巴哈摩擦因子(Darcy-Weisbach friction factor)來評估植被阻力，因此本研究應用陳氏自製阻力量測技術，直接量測出植被之整體阻力；而除陳氏自製阻力量測技術，亦採用彩色質點影像測速法(CPIV)，應用於植生渠道全域流場變化之觀測，此為非侵入式之量測技術，可以準確計算流場速度向量，進行流場研究，亦可計算水流通過植被表面之相關阻力係數，並與陳氏自製阻力量測值做一驗證。因此，本研究以分析植被之排列對於植被阻力之影響，以提供阻力係數估算之參考。

1-2 研究目的

植被阻力之研究分為兩種，一為浸沒式植被，水流流經較矮小之植被，如水草；二為非浸沒式植被，水流流經較高之植被，如樹木。本研

究注重在植被為浸沒式植被時之情況，藉由 CPIV 法量測技術及自製阻力測量技術(陳宥達，2008)於實驗室內進行水流通過植被阻力之試驗。本研究採用之植被模型為圓柱狀，改變植植被橫向及縱向間距之差異性來進行實驗，並探討不同流量對於內部流場所產被之阻力、流速變化、渦度分佈、阻力係數(C_d)、達西威斯巴哈摩擦因子(f)、曼寧值(n)變化之影響。

1-3 文獻回顧

1-3-1 質點影像測速法

一、非入侵式流速量測技術發展

定量影像(quantitative image)測速法為一普遍之光學量測技術對於流場之觀測更為容易，且為一非入侵式技術，而在近二十年快速發展，對於流場不停地變化，流體為非穩定自由液面，定量影像測速法對於觀察流場有很好的貢獻。定量影像測速法所要觀察的有流場速度、流場渦度、雷諾應力、紊流消散。定量影像測速法類型主要分為三種，一種為流體中放入不連續的質點；另一為放入連續質點(染料之類)；最後一種為未加入任何物質，而第二種以及第三種為觀察流場密度或是溫度之變化，來分析整體流場之速度。

定量影像測速法有四種基本操作方法，全像攝影、立體影像(多相機)、單一相機之景深、光束通過流場。定量影像測速法也有許多方法，PSV (particle streak velocimetry)、LSV (laser speckle velocimetry)、PIV (particle image velocimetry)和 PTV (particle tracking velocimetry)。除了上述的方法，尚有其他方法可以去觀察，因最近幾年電腦技術發展快速，過去影像攝影技術和今日者已不可相比。

對於定量影像測速法中之 PIV 法，通常對於實驗真實流場之整體流況有較好的觀察性，PIV 在近二十年以來被注重。PIV 主要是依賴影像處理 (image processing, IP)和圖形辨識(pattern recognition, PR)兩項過程，而一般

QI 技術的實驗步驟先是在流場中灑入不連續的晶體(玻璃砂)，接著將二維的光面打入流場，取得流場內影像，再利用 IP&PR 演算法計算出限定時間內晶體的位移量。所有的 QI 測量過程分為兩個基本要素，一為實驗的硬體問題，包括照明、灑晶體和影像紀錄；另一為應用 IP&PR 得到位移量或其他資料。於第一個要素中，為使影像能夠清晰並且讓電腦能夠更正確判斷出質點的分佈，對於影像存取需藉用於新的規格，例如在找尋流場中的運動需借用 MPEG 規格的檔案，可壓縮聲音影像，並也可快速存取轉換成 PIV 可判斷之影像圖，除了 MPEG 規格，另有 DVD(MPEG2)格式，可存取更長時間、圖片及高解析度。

當擷取這些影像，利用初時刻和時間間距內擷取的影像，進行交互相關函數分析，以呈現更精確之影像。大部分交互相關分析定義觀察區域大小 $N=2^n$ ， N 被充分利用計算通過快速傅立葉轉換(FFT)頻域의交互相關函數。PIV 原理中，常使用觀察區域之自動或交互相關去找出平均位移，此過程演算法依賴著交互協方差函數，而協方差一般普遍使用快速傅立葉轉換來計算。

二、影像分析演算發展

而於影像分析方面，以質問窗為基礎的互相關演算方法(cross-correlation algorithm)被廣泛地使用在 PIV 的計算方面，亦針對相關函數法之演算加以修正，如 Keane and Adrian (1990)、Adrian (1991)、Willert and Gharib (1991)、Heckmann et al. (1994)、Westerweel et al. (1996)、Gui and Seiner (2002)，且利用時序性單一曝光之兩張影像，於同位置，利用相同的質問窗演算位移量 (displacement)，相關函數法如下式所示：

$$\Phi(m, n) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N g_1(i, j) \cdot g_2(i + m, j + n) \quad (1-1)$$

其中， $\Phi(m, n)$ 為相關函數之摺合積分； $g_1(i, j)$ 與 $g_2(i, j)$ 為時序性影像灰白色之亮度值分佈；質問窗大小為 $M \times N$ (pixels)； i 及 j 為兩張影像比對之

初始位置； m 及 n 為 i 方向及 j 方向之位移量，而計算 $\Phi(m, n)$ 係使用快速傅立葉轉換(FFT)演算法節省運算時間。

而在 CPIV 法分析上係藉由彩色質點影像之訊號區分為兩組不同顏色之訊號，如藍、綠亮度分佈值之影像訊號，亦採用互相關函數法進行分析，得到質問窗 (interrogation windows) 內質點之位移量 (Willert and Gharib 1991)，其方程式如下：

$$\Phi_{ij}(m, n) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [imb(i, j)] \cdot [img(i-m, j-n)] \quad (1-2)$$

其中， imb 及 img 分別為藍色及綠色亮度分佈值之影像訊號； $\Phi_{ij}(m, n)$ 為互相關函數值，其最大值为質點之最可能位移量； i 及 j 為兩張影像比對之初始位置， $M \times N$ 為質問窗大小(單位：pixel)， m 及 n 為 imb 及 img 橫軸及縱軸之位移量，因此 $(i-m, j-n)$ 為 img 與 imb 相配(matching)的位置。

三、誤差分析

1. Noguera (1997) 針對量測錯誤的數值或因演算錯誤而產生不合理的速度向量值，進而研究如何判斷數值資料的正確性，並對不合理之向量加以修正。
2. Huang (1997) 研究 PIV 影像計算的誤差，而歸納出二個主要計算誤差為方均根誤差(root-mean-square)及偏移誤差(bias error)，並將此二誤差做量化探討。

1-3-2 植被渠道相關研究

Petryk 及 Bosmajian (1975)分析水深小於或等於植被高時的曼寧 n 值，應用曼寧公式與動量守恆條件導出下列公式：

$$n = n_b \sqrt{1 + \frac{C_d \sum A_i}{2gAL} \left(\frac{1.49}{n_b}\right)^2 R^{4/3}} \quad (1-3)$$

並定義植被密度為 $\frac{C_d \sum A_i}{AL}$ 。

上式中， n_b :床面既有之曼寧係數； C_d :阻力係數； A_i :單株植物之流線方向面積(m^2)； A :水流縱斷面面積(m^2)； L :渠道長度(m)； R :水力半徑(m)。

Kouwen (1997) 進行曼寧值實驗研究，對於可彎曲植被之曼寧值為 0.06~0.24；而不可彎曲植被之曼寧值為 0.01~0.22。而可彎曲植被密度係因植被之葉、枝幹及樹枝所影響，因此不可彎曲植被為植被阻力之主要因素，水深對於曼寧值有很大之影響。

Wu (1999) 利用鬃毛進行植生底床研究，分別研究植生浮出水面和完全浸沒於水面下之阻力係數變化，發現雷諾數與阻力係數呈現線性關係，並從實驗中得出隨著水深變化的阻力係數公式，利用底床坡度、植生高度和植生特徵值 (k)，可計算出不同水深之粗糙係數。

非浸沒式植被:

$$\frac{C'_{D2}}{C'_{D1}} = \frac{a^2}{m^{4/3}} = \left(\frac{V_1 D_1}{V_2 D_2} \right)^k = \left(\frac{a}{m^{5/3}} \right)^k \quad (1-6)$$

$$a = m^\alpha, \alpha = \frac{4-5k}{6-3k} \quad 0.8 < k < 2 \quad (1-7)$$

浸沒式植被:

$$\frac{C'_{D2}}{C'_{D1}} = \frac{a^2}{m^{1/3}} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k = \left(\frac{a}{m^{2/3}} \right)^k \quad (1-8)$$

$$a = m^\beta, \beta = \frac{1-2k}{6-3k} \quad 0.5 < k < 2 \quad (1-9)$$

Juha (2002)使用莎草(sedges)、有葉及無葉柳樹枝(willows)進行實驗佈置，發現相同數目植被之佈置並不會影響到摩擦因子。並獲得 Darcy-Weisbach 公式之摩擦係數(f)與雷諾數(Re)、流速、水深、相對粗糙度之間的關係。從 350 組實驗中擷取 15 組數據下來。摩擦係數隨著雷諾數增大而變小。除了無葉柳枝植被外，摩擦係數幾乎和雷諾數無較大之相關性，而當雷諾數或流速最小時，摩擦係數會有最大值。然而雷諾數並不足以闡述阻力，所以使用不同類型的植被。加上柳枝葉子的植被，相對於

無植被之摩擦係數會高於 2~3 倍。

Stone (2002) 利用雷達波非接觸式流速量測計測量實驗中水流之流速剖面，且將圓柱型植被交錯排列，研究成果理論值與實驗值相比與驗證後，形狀阻力公式亦可應用於圓柱型植被，且定義流速為流經植被間之平均流速，阻力係受水深、植被長度、植株直徑、植被排列之影響。

Wilson (2003) 利用 ADV (acoustic doppler velocimetry，聲波都卜勒測速計) 研究不同植被中動能轉換帶來的影響。研究中發現有葉植被中的流速不到無葉植被流速的一半，且無葉植被會發生較大量之紊流，當相對深度 $(z/h) > 1.9$ ， z 為植物未彎曲高， h 為水深，水面上的紊流分布就不受到植被類型之影響。相對深度 $(z/h) > 2.4$ ，紊流應力曲線會收斂至類似的深度，為 60~70% 之總水深深度，紊流結構亦不受到有葉植被影響。當浸沒面(水面)上升，有葉植被之紊流流向相對於無葉植被，較不受到干擾。且葉子越密，更可以降低內部紊流之混合，且將最大之紊流應力轉移到植被最上層。考慮到莖節密度的影響，有葉植被相對於無葉其平均流速下降。對於沖刷和侵蝕，大尺寸之有葉植被可給予更好的保護作用。

Armanini (2004) 利用一自製阻力量測儀器，將水流流經植株所得到的數值傳輸至電腦，再利用形狀阻力公式 $(F_d = \frac{1}{2} \rho C_D A V^2)$ 判斷形狀阻力係數、平均流速及縱斷面積之關係。經過實驗結果分析，對於未完全浸沒於水中之植物，阻力與平均流速之平方呈現近乎線性上升趨勢，此株植物固定於水槽底床，如此較易於分析阻力係數 (C_D)，並假設阻力係數近乎一常數，而由植被雷諾係數趨勢緩慢減少；而完全浸沒水中之植物，阻力與平均流速呈現近乎線性上升趨勢，對於典型之植被而言，阻力面積與植被彎曲後的變化有很大之關係。

黃于軒 (2005) 應用彩色質點影像測速法 (CPIV 法) 對植生渠道流場進行量測，以圓柱狀之聚稀系樹脂為植生模型，改變不同植生排列密度、

上游入流量以探討植生密度對流速剖面與曼寧 n 值之影響。其結果發現，植生特徵體積比越小時，速度增加率也越小；而植生特徵體積比越大時，曼寧 n 值也越大。其關係式為：

$$n = 0.004e^{19.89m'} \quad (1-10)$$

其中，n 為曼寧值； m' 為特徵體積比，定義為單位水體積中含有植株體積之比值，為一無因次量。

Carollo (2005)於筆直的實驗渠道中，利用卡衛法(Kouwen's method)分析可彎曲浸沒植被之阻力，並從實驗中校正了半對數流體阻力方程式中的係數，最後應用 π 定理和不完全相似條件，利用實驗數據配合卡衛法產生之流體阻力定律，植被阻力隨著植被密度而增加。低密度植被(<50stems/dm²)阻力定律之摩擦因子可由剪力雷諾數、植被比例、植被彎曲角度所影響。高密度植被，阻力定律則會考慮到無因次參數 $\frac{u^* h_s}{\nu}$ 的影響。

Jason (2005)利用禾類(bluegrass)、蜈蚣草(centipede)、結縷草(zoysia grass)等不同植被進行流場實驗，探討低流量之曼寧值(n)與雷諾參數(VR)之相關曲線圖，並與史提爾瓦特(Stillwater)之曲線圖相比較，此三種植被之曼寧值對於雷諾參數之變化極大；因此於寬廣河道，最常使用之糙度為曼寧值(n)。

林宣汝 (2006)應用彩色質點影像測速法 (CPIV 法) 對植生渠道流場進行量測，以兩種不同底床模型進行試驗，分別為光滑平板及水草莫絲，比較兩不同底床渠道，植生渠道因底床受到植生影響，通水斷面束縮進而影響流速變化與曼寧 n 值之差異。此外，根據試驗結果可明顯看出植生渠道因受植生阻力影響，而能量損失率變大，尤其當流量增加或者水深降低時，能量損失率也隨之變大，其底床平板渠道之能量損失平均為 9.81%，植生渠道之能量損失平均為 11.81%，因此，在低莖植生表面之研究中，植生表面不僅會造成水流於近植生表面之流場之改變，亦有消能之功效，

對於渠道的穩定有相當之幫助。

Musleh 和 Cruise (2006)利用不彎曲圓柱植被作為植被模型，在非浸沒式植生流場研究流經植被後之水頭損失，其結果為水深及流速對水流阻力有很大之影響，摩擦因子隨著水深只有微小非線性增加，但隨著增加速度而呈現非線性之下降趨勢。

綜合上述研究，可知以往對寬廣河道之阻力研究，多探討達西威斯巴哈摩擦因子和曼寧值之相關糙數，因此本研究亦著重此兩糙度之分析，利用非侵入式彩色質點影像測速法(CPIV 法)來進行渠道試驗，分析浸沒式植被流場之流速和水位變化，進而探討其植被之阻力係數(C_d)、達西威斯巴哈摩擦因子(f)與曼寧值(n)與植被排列之關係，而計算之阻力值應用 Musleh & Cruise (2006)所推導之阻力公式，並與陳氏自製阻力量測技術(陳宥達，2008)之實際量測值進行比較與驗證。

1-4 研究方法

在本研究中，研究方法主要分為兩個部分，第一部份為 CPIV 試驗及影像分析部分，第二部分為自製阻力測量部分。

第一部分 (CPIV 試驗)：雷射光源係由 Argon 之氬氖雷射為藍 (488 nm)、綠 (514 nm) 混合光，雷射光路徑中加入二凸透鏡將光源聚光，使雷射光源不致衰退，經聚光後，直射至多彩聲光調變器(polychromatic acousto-optic modulator, PCAOM)，藉由不同之電壓將藍綠混合光給於區分藍光及綠光後，再射至旋轉八面鏡形成雷射光頁。流體影像擷取部分則由 DuncanTech MS300 型之 CCD 攝影機擷取通過雷射光頁下之質點，質點曝光數可經由快門 (1/5 至 1/4000 秒) 所決定。在渠道佈置部分，於長 10 公尺、高 0.5 公尺及寬 0.4 公尺之試驗水槽後段 50 公分區域設置植被，並改變不同入流量及植被排列，進行水流渠道植被阻力之研究。再利用影像轉檔程式及影像分析與計算程式，將攝影機所擷取之影像進行演算分析並做

一完整之結果分析。

第二部分（自製阻力測量部分）：將移動平台置入水槽段後段，並與水槽前段同高，移動平台連接拉壓力計，此拉壓力計將與電腦同步，並顯示每秒之數值，將資料換成趨勢圖，並讀出穩定段之阻力值。在渠道佈置部分，於長 10 公尺及寬 0.4 公尺之試驗水槽後段設置植被移動平台（長 0.15 公尺、寬 0.37 公尺、厚度 0.005 公尺），並改變不同入流量及植被排列，進行水流渠道植被阻力之研究。

1-5 本文組織

本研究採用彩色質點影像測速法（CPIV 法）與陳氏自製阻力測量技術（陳宥達，2008），應用於渠道中植被密度對阻力之觀測。全文共分為五章，茲簡述章節內容如下：

第一章為本文之研究動機、研究目的，並簡述實驗研究方法以及本研究組織架構。相關文獻之回顧，對於 CPIV 法與陳氏自製阻力測量技術（陳宥達，2008）及植生流場相關研究做一整理探討。

第二章為 CPIV 法影像處理流程與陳氏自製阻力量測技術之原理說明。

第三章為 CPIV 試驗之儀器佈置（光學設備系統、訊號控制系統、影像系統、試驗渠槽、試驗模型）與自製阻力測量之儀器佈置（移動平台、拉力計、試驗渠槽、試驗模型）。

第四章為流場穩定試驗之結果分析，驗證取像位置為已發展區域。不同植被底床渠道排列試驗之結果分析，並歸納不同植被排列下之阻力係數（ C_d ）、達西威斯巴哈摩擦因子（ f ）、曼寧值（ n ）與植被排列之間的關係。

第五章為結論及建議，歸納本研究所得之結果，並提出建議未來可研究之方向。

第二章

CPIV 法影像處理流程與陳氏自製阻力量測技術 原理

2-1 CPIV 法影像處理流程 (楊, 2002)

2-1-1 數位影像擷取

彩色質點影像測速法(CPIV)之影像擷取是由多彩聲光調變器(PCAO)搭配旋轉八面鏡及同步訊號控制器之功能，將 ARGON 雷射之混合光束個別區分為藍色光束及綠色光束，並在旋轉八面鏡下形成一藍、綠間隔之光頁，再利用彩色攝影機(CCD)之電子快門進行重複曝光，並擷取數位影像，如圖 2-1。

2-1-2 程式運算分析

原始影像經程式初步前處理後，影像數位訊號已成為實數格式，如圖 2-2 中，接著進行質問窗之設定，將影像劃分為數個小區塊 (small pattern)，這些小區塊稱為質問窗 (interrogating window)，並以質問窗為影像計算處理之基準，將質問窗劃分設定完畢後，則進入位移程式計算部分，其所應用理論如下：

一、互相關函數法 (cross correlation)

依照影像訊號亮度值及設定質問窗大小進行影像分析，其步驟如下：

1. 由圖 2-3 所示之 *imb* 藍色影像訊號值為基礎，設定質問窗大小並且決定其形心位置點。
2. 由圖 2-3 所示之 *img* 綠色影像訊號值為影像訊號值位移 與 *imb* 進行比對，並決定其影像質點之位移量，如圖 2-4 所示。位移量係利用互相關函數法摺積計算之，其最大值視為最有可能之位移量 (m, n)，此位移量即代表該質問窗之平均位移量，如圖 2-5 所示。

分離之互相關函數 (discrete cross correlation function) 計算，其定義為：

$$C_{ij}(m,n) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [imb(i,j)] \cdot [img(i-m, j-n)]$$

其中為了將計算速率加快，將子視窗之寬度設定成 $N=2^n$ ， n 為整數，其畫素值亦是如此，此充分利用 2 的次方計算分離之互相關函數，為快速傅立葉轉換 (fast Fourier transform, FFT)，因此，將計算時間縮短，更為方便，其定義為：

$$C_{ij}(m,n) = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [imb(i,j)] \cdot [img(i-m, j-n)] \quad (2-1)$$

$C_{ij}(m,n)$ 為摺合積分值，其最大值作為判定 m 與 n 位移量； imb 及 img 分別為藍、綠影像之亮度分佈值； i 及 j 為兩張影像比對之初始位置， m 及 n 為 imb 及 img 橫軸及縱軸之位移量，因此 $(i-m, j-n)$ 為 img 與 imb 相配 (matching) 的位置。

二、影像演算法-常態化互相關係數法 (NCC 法)

對於兩個子視窗所計算之互相關函數值，相對於直接測量之影像，其計算之最大值為相當重要之參數，其互相關函數最大值與其餘值之比值，可避開影像失真之困擾，為了計算其相關程度，將此相關值予常態化。於常態化互相關係數法 (normalized cross correlation coefficient, NCC 法) 中，直接設定質問窗大小與可比對之最大範圍，不受 2 的指數影響、質點密度分佈可設定有效質點數作為質問窗內之代表訊號。並可針對計算所得之相關程度 (介於 0 與 1 之間) 進行決定，並取相關係數值之最大值，做為質問窗之位移量，其分析方程式如下：

$$\overline{C}_{ij}(m,n) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [imb(i,j) - \overline{imb}] [img(i-m, j-n) - \overline{img}]}{\sqrt{\sigma_1(i,j) \sigma_2(i,j)}} \quad (2-2)$$

$$\sigma_1 = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [imb(i, j) - \overline{imb}]^2 \quad (2-3)$$

$$\sigma_2 = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [img(i-m, j-n) - \overline{img}]^2 \quad (2-4)$$

$$\overline{imb} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N imb(i, j) \quad (2-5)$$

$$\overline{img} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N img(i-m, j-n) \quad (2-6)$$

其中， \overline{imb} 為 imb 影像畫素之平均值， \overline{img} 為 img 影像畫素之平均值； m 與 n 為質問窗內之位移量； M 及 N 分別為質問窗在 i 方向及 j 方向大小。

質問窗內之數位影像訊號經由 NCC 法計算得出質問窗之平均位移量，再利用 $\overline{C}_{ij}(m, n)$ 判定質問窗內之相關程度是否可代表該質問窗之位移量，當 $\overline{C}_{ij}(m, n)$ 趨近於 1，其質點之位移有高度相關於該視窗中，可判定為此質問窗內之位移量為有效平均位移量；反之，則趨近於 0。

三、子畫素之修正

由於在互相關函數計算時以整數畫素做運算，當質點位於兩個整數畫素間 $(i, i+1)$ ，質點在位移判斷上會有 ± 0.5 個畫素位移誤差值，將移動之位移 (m, n) 分解如下：

$$m = m_0 + \varepsilon_m, \quad n = n_0 + \varepsilon_n$$

$$-0.5 < \varepsilon_m < 0.5, \quad -0.5 < \varepsilon_n < 0.5$$

上式中之 m_0 、 n_0 為整數位移量， ε_m 、 ε_n 為 ± 0.5 個畫素之誤差，為了降低位移誤差值，利用子畫素修正方法，增加計算之準確性，精確的算出位移量。修正方法有很多種，如高斯曲線子畫素修正法(Gaussian curve-fitting)、拋物線子畫素修正法(parabolic curve-fitting)、形心子畫素修正法(centroid method)等方法來降低位移誤差值，各修正法之說明如下，圖 2-6 為參考範

例。

1. 形心子畫素修正法 (centroid method)

此方法忽略了當 C_0 小於 C_{-1} 或 C_{+1} 時之情況。

$$\varepsilon_c = \frac{C_{+1} - C_{-1}}{C_{+1} + C_0 + C_{-1}} \quad (2-7)$$

2. 高斯曲線子畫素修正法 (Gaussian curve-fitting)

$$\varepsilon_G = \frac{\ln C_{-1} - \ln C_{+1}}{2(\ln C_{-1} - 2 \ln C_0 + \ln C_{+1})} \quad (2-8)$$

以上修正方法中，以高斯曲線子畫素修正法使用較為普遍，由於從影像分析中所得之質點強度分佈較接近高斯分佈，因此，根據兩張影像之質點分佈，經由高斯曲線修正計算後之結果亦為高斯分佈。所以在子畫素修正法中利用高斯修正法較為合理。

其差分演算法是利用鄰近之質點窗所得之相關係數值作為差分修正，演算式如下：

$$x = x_0 + \frac{\log \bar{C}(x_0 - 1, y_0) - \log \bar{C}(x_0 + 1, y_0)}{2 \left[\log \bar{C}(x_0 - 1, y_0) + \log \bar{C}(x_0 + 1, y_0) - 2 \log \bar{C}(x_0, y_0) \right]} \quad (2-9)$$

$$y = y_0 + \frac{\log \bar{C}(x_0, y_0 - 1) - \log \bar{C}(x_0, y_0 + 1)}{2 \left[\log \bar{C}(x_0, y_0 - 1) + \log \bar{C}(x_0, y_0 + 1) - 2 \log \bar{C}(x_0, y_0) \right]} \quad (2-10)$$

其中， x_0 與 y_0 為質點窗峰值所得之整數位移， x 與 y 為子畫素修正後之位移， $\bar{C}(m, n)$ 為數位相關計算所得之高斯分佈值。

四、不一致資料去除與資料補遺

經高斯曲線子畫素修正法進行分析後，在影像計算過程中，質點與質點的比對過程，有時會發生誤判，而產生不一致向量之結果，如圖 2-7 所示，因此須將這些不一致之速度向量值去除，如圖 2-8 所示，並且將去除後之位置增補資料。以下就資料判別、去除方法與修補步驟分別說明：

Keane 和 Adrian 以敏感度 D_0 為判別基準，其 D_0 定義為第一張影像之峰值與第二張影像峰值之比值(the detectability as the ratio of the peak value of the first correlation peak to the second)，並建議 $D_0 > 1.2 \sim 1.5$ 為合理範圍，此範圍以上之向量位移為有效向量，此敏感度之基準亦用在雜訊比過濾(singal-to-noise ratio,snr)。Westerweel 對於整體向量之統計發展出三種方法，如總體平均過濾(global mean filter)、局部平均過濾(local mean filter)及局部中央過濾(local median filter)。

1. 總體平均過濾(global mean filter)

在 PIV 計算之結果中，會發現在整體之流場會有些較不一致之向量，大多數之結果原因均是由 C_{-1} 或是 C_{+1} 所影響，由公式(2-9)，當 C_{-1} 或是 C_{+1} 值趨近於 0 時，會造成計算上出現偏移較大之向量，因此，對於計算出該點速度 $v(i, j)$ ，利用其子視窗之算出其平均速度 $\bar{v} = \frac{1}{N} \sum_{\gamma,s} v_{\gamma,s}$ ，接著應用統計學上之變異數理論，計算出變異數 $\sigma_v^2 + \sigma_\epsilon^2$ (σ_v^2 : 實際速度場之變異數； σ_ϵ^2 : 誤差之變異數)。如此，便可能有選擇個別可允許之變異數，將對應過大變異數之向量去除。

2. 局部平均過濾(local mean filter)

於整體流場中，鎖定單一向量，且比照周圍八個向量，此種方法乃移除過大之向量來過濾，計算方式如下：

$$\bar{v}_{i,j} = \frac{1}{N_M} \sum_{k,l \in M} (v_{i+k,j+l} - v_{i,j}) \quad (2-11)$$

計算範圍為 3×3 網格($N_M=8$)，當該向量相較於周圍之向量為較不一樣(例如兩倍大)，可以發現此區域可能至少有一組向量為可移除，而對於過濾之基準則用此方法修正之。

3. 局部中央過濾(local median filter)

利用局部中間值替代平均向量值，依序將 $2n+1$ 個值由小至大排列，其中間值為第 n 個所代表之值，將此數值當作該資料之平均向量值，而虛構之向量將被分類至該區域之兩端，依此基準判斷向量之可移除性，此優點是當向量為較不一致時，利用自訂之範圍，更能將之移除。

經以上過濾後，將不一致速度向量資料去除，而此時被去除速度向量的地方為空白，因此須將所去除之向量值予以修補，利用數值差分運算於周邊有效之向量值修補空白處之向量；若影像中同一空白區域處未超過設定值，則予以差分補圖，反之則不加修補，如圖 2-9 所示。

2-1-3 影像計算之誤差

影像計算之誤差約可分為以下三大類型：一、質問窗內質點的脫離或配對錯誤；二、隨機誤差 (random error) 或方均根誤差 (root-mean-square)；三、系統誤差 (systematic error) 或偏移誤差 (bias error)。茲說明如下：

一、質問窗內質點的脫離或配對錯誤：

造成位移量的誤差，係因 imb 藍色影像訊號質問窗較小，而 img 綠色影像訊質問窗與 imb 藍色影像訊號質問窗比對過程中可能因質點位移較大或離開量測位置，而產生這些誤差之可能為流速過快、速度梯度過大、三維流場的變化使質點離開觀測位置。

二、隨機誤差或方均根誤差：

隨機誤差係由隨機性之因素所造成，誤差來源可能由於質點的比重與分佈密度、流體三維運動劇烈、速度梯度或剪力場較大、擷取影像之背景雜訊影響等因素，為了降低所造成之誤差，因此增加實驗量測次數。此類誤差亦稱為精確誤差 (precision error)，其分散程度的大小則取決於測量值之標準差 (standard deviation) 或 RMS 誤差，如圖 2-10 所示。其公式如下：

$$d_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad (2-12)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d_i - d_m)^2} \quad (2-13)$$

其中， d_i 為質問窗之位移量， d_m 為質問窗之位移平均值，RMS 誤差 (σ) 為質問窗位移量與平均值位移差之平方總和。

三、系統誤差或偏移誤差：

系統誤差來自於一些已知因素，如外在環境因素（溫度、電壓或 CCD 影像擷取、儲存傳輸過程）、人為操作不熟悉或設計原理有失誤造成系統偏差，此類誤差不含有隨機分佈之誤差，其偏差量有一致性，此類偏差可經由修正方法降低其誤差量，因此系統誤差亦稱為偏移誤差（bias error）。而於影像分析計算過程中，偏移誤差與互相關函數法之峰度值鎖定（peak-locking）有關，主要係因質問窗計算所得之峰度值（最有可能之位移值）與質問窗內之真實位移值無法完全的吻合。其定義偏移誤差（ d_b ）可利用已知之真實位移值（ d_a ），如位移 0 畫素（zero particle image displacement）或位移大於 1 畫素，與質問窗內計算所得之平均值（ d_m ）之差，如圖 2-11 所示，其公式如下：

$$d_b = d_m - d_a \quad (2-14)$$

本研究利用十組影像，其位移量為已知之 8 畫素進行模擬 (Liang et al. 2002)，此外亦進行隨機誤差分析，以確定影像分析方法適用於流場分析，其模擬影像大小為 400*298 畫素、質問窗為 32*32 畫素，分別利用高斯子畫素修正法，計算結果如圖 2-12 所示，為位移 8 畫素之計算結果。並測試十張不同影像，其統計分析結果在 x 方向之方均根（ σ ）平均為 0.0578、平均偏差量（ d_b ）約為 0.025。

由圖 2-12 結果顯示，計算偏差值接近於整數畫素位置上，且偏移誤差相對於隨機誤差相差一個級數 (order)，因此，於計算誤差上主要誤差量來自於隨機誤差，且偏差量對計算誤差影響不大。

2-1-4 CPIV 影像計算之阻力原理

Musleh & Cruise (2006) 針對非浸沒式之可彎曲植被進行研究，對於植被而言，對於水流有很大之阻力影響，而邊界剪應力之影響相對於形狀植被阻力，可被忽略之，本研究應用 Musleh & Cruise (2006) 之文章內所推導之阻力公式，計算阻力係數、達西威斯巴哈摩擦因子、曼寧值，茲介紹如下：

植被整體阻力： $F_G = F_d + F_s$

上式中， F_d 為植被形狀對流體之抵抗力， F_s 為植被底床對流體之抵抗力。

而 F_s 公式如下：

$$F_s = \tau_w B dx ; \tau_w = \gamma R S_0$$

上式中， τ_w :底床剪應力； B :底床寬度； dx :A 區與 B 區之距離； R :水力半徑； γ :流體比重； S_0 :底床坡降。

經計算後之 F_s 相較於 F_d 過於微小，因此本研究著重於植被之形狀阻力，並將底床造成之阻力扣除。

其形狀阻力公式如下所示：

$$F_d = C_d \frac{1}{2} \rho \bar{V}^2 A \quad (2-15)$$

上式中 F_d :形狀阻力(N)； C_d :阻力係數； ρ :水密度(kg/m³)； \bar{V} :平均流速(m/s)； A :植被斷面積(m²)，亦為植株於水流方向之投影面積。

Petryk (1975) 為了說明水力模型所產生之阻力，與平均底床剪應力進

行轉換，公式如下：

$$\tau_0 = \frac{F_d}{a_b} = C_d \frac{1}{2} \rho \bar{V}^2 \left(\frac{A}{a_b} \right) \quad (2-16)$$

上式中， a_b :植被底床面積(m²)，為 A 區距離 B 區之底床面積，如圖 4-10 所示。

接著應用達西理論之摩擦公式 (Darcy friction factor):

$$f = 8 \frac{V_*^2}{\bar{V}^2} \quad (V_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}) \quad (2-17)$$

上式中， f :達西威斯巴哈摩擦因子； V_* :剪力速度。

將剪力速度之公式代入(2-16):

$$f = \frac{8\tau_0}{\rho \bar{V}^2} \quad (2-18)$$

接著將(4-2)代入(4-3)，得到公式如下：

$$f = \frac{8 \left[C_d \frac{1}{2} \rho \bar{V}^2 \left(\frac{A}{a_b} \right) \right]}{\rho \bar{V}^2}$$



經過化簡:

$$f = 4C_d \left(\frac{A}{a_b} \right) \quad (2-19)$$

蔡西係數(Chezy C) 與達西係數(Darcy f)之關係如下:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{f}} \quad (2-20)$$

蔡西係數與曼寧值之關係如下:

$$C = \left(\frac{1}{n} \right) R^{1/6} \quad (2-21)$$

接著結合(2-20)與(2-21)之關係:

$$n = \sqrt{f} \sqrt{\frac{R^{1/3}}{8g}} \quad (2-22)$$

而一般應用於河道之剪應力公式如下:

$$\tau_0 = \gamma y S_f \quad (2-23)$$

$$S_f = S_0 - \frac{dy}{dx} - \frac{\bar{V}}{g} \frac{d\bar{v}}{dx}$$

因本研究之流速剖線為非均勻流，因此對流速乘以動量較正係數 β 。

$$\beta = \frac{\int_0^y v^2 dA}{\bar{V}^2 A} = \frac{\sum v^2 \Delta A}{\bar{V}^2 A}$$

上式中， v :為垂線上各位置之速度， \bar{V} :平均流速。

結合(2-16)與(2-23)，最後得其阻力係數(C_d)之公式:

$$C_d = \frac{2\gamma R \left(S_0 - \frac{dy}{dx} - \frac{\bar{V}}{g} \frac{d\bar{v}}{dx} \right)}{(A/a_b)\rho\bar{V}^2} \quad (2-24)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_2 - y_1}{dx}$$

$$\frac{d\bar{v}}{dx} = \frac{\beta_2 \bar{V}_2 - \beta_1 \bar{V}_1}{dx}$$

$$\bar{V} = \frac{\beta_2 \bar{V}_2 + \beta_1 \bar{V}_1}{2}$$

上式中， S_0 :底床坡降； $\frac{dy}{dx}$:水深隨位置之變化量； $\frac{d\bar{v}}{dx}$:流速隨位置之變化量(1/s)； g :重力加速度(m/s^2)； dx :A區與B區之距離(m)； \bar{V}_1 :A區靠近植被之平均流速(m/s)； \bar{V}_2 :B區靠近植被之平均流速(m/s)， y_1 為流經植被前之水深(m)； y_2 為流經植被後之最低水深(m)，如圖 4-10 所示。

由上述公式(2-15)與(2-24)，再利用 CPIV 法得到之水位變化與流速變化，便可計算出整體植被阻力(F_d)。

2-2 自製阻力測量技術原理

本文為了量測植被阻力，應用陳宥達自製阻力測量技術(2008)，此量測技術係由一滑動平台，利用細線連接至拉壓力計，為了讓渠道底床與滑動平台之高度同高，將渠道底床前段部份加高，如此水流流經此植被平台，將大部分水流作用於平台的植被上，並不完全作用於滑動平板之橫向面，如圖 2-13。

當水流流經此平台時，水流作用於平板上植被之阻力(F_d)會由壓拉力計顯示出來，此拉壓力計可連接於電腦，將讀取之數據每秒輸出於電腦圖表上，由於水流一開始作用於植被上的力並不是穩定的，需待水槽渠道水流穩定，此時讀取之數據才是此方法得到之阻力值，待阻力值穩定後關閉水槽馬達，阻力會緩緩歸零，如圖 2-14。



第三章 試驗之儀器佈置

CPIV 試驗儀器及模型材料可分為光學設備系統、訊號控制系統、影像系統、試驗渠槽、試驗模型、顯影質點六部分如圖 3-1 所示。自製阻力測量技術(陳宥達, 2008)系統可分為移動平台、拉壓力計、試驗渠槽與試驗模型等四部份, 如圖 3-2 所示。

3-1 CPIV 儀器設備

3-1-1 光學設備系統

本試驗之光學設備系統包括 ARGON 雷射、聚光凸透鏡、多彩聲光調變器 (PCAOM) 及旋轉八面鏡四個部分, 茲說明如下:

1. ARGON 雷射: 如圖 3-3 所示, 雷射光源為 7 瓦之氬氖雷射, ARGON 雷射混合光束, 經由反射鏡及凸透鏡將雷射光束射至多彩聲光調變器 (PCAOM), 可分離為藍色光束及綠色光束, 如圖 3-4 所示, 其綠光為 1.4 瓦 (波長為 514nm), 藍光則為 1.3 瓦 (波長為 418nm), 再經由旋轉八面鏡, 形成一藍一綠間隔之光頁。
2. 聚光凸透鏡: 由於雷射光束經由反射鏡及光束路徑之影響而減弱了雷射光強度, 因此, 利用兩片聚光凸透鏡, 將雷射光束聚集後射至多彩聲光調變器 (PCAOM) 切光, 使雷射光束不至於減弱。
3. 多彩聲光調變器 (PCAOM): 如圖 3-5 所示, PCAOM (Polychromatic acousto-optic modulator), 其應用二氧化碲 (TeO_2) 之材料製成, 隨著外在電壓之變化而改變晶體的排列方式, 使特定波長之光束通過, 主要將 ARGON 雷射分為藍光及綠光, 且輸入此元件之電壓必須小於 5.0V, 如此才能達到實驗所需之切換藍、綠光束功能。
4. 旋轉八面鏡: 如圖 3-6 所示, 由八面鏡之變速控制器驅動, 其馬達採用磁浮式, 轉速頻率相當穩定, 並配合光頁之頻率調整快慢, 其轉速可由內部及外部控制, 內部控制主要是固定轉速進行試驗, 而外部控制為訊

號產生器控制，配合同步訊號控制器一起操作使用，以達到同步功能。

3-1-2 訊號控制系統

訊號控制系統部份由同步訊號控制器及示波器兩種儀器配合，其功能主要控制 PCAOM 切換藍綠光的頻率，切換頻率是否合適是決定結果優劣的關鍵，儀器茲說明如下：

1. 訊號控制器：此部分為利用 NI (National Instruments) 公司所製之 PCI-6601 訊號控制卡如圖 3-7，控制 PCAOM 之切換頻率，此卡安裝於 PC 上，可穩定送出四道頻率，訊號可分為進入及輸出，進入之部分由控制卡透過軟體產生一穩定之訊號，再將此訊號送至 PCAOM 切換藍綠光束，但由於 PCAOM 可以承受之電壓為 5.0V，而由 PCI-6601 所產生之訊號為 5.8V，因此必須再透過自製的電路板降壓如圖 3-8，方可達到合適的訊號。
2. 示波器：其功能主要顯示由訊號產生器所輸出至同步訊號控制器內部訊號之穩定性，包括了波形穩定性、脈衝電壓（類比訊號）之穩定性、頻譜顯示及週期之監視功能，以確定訊號在同步處理中。

3-1-3 影像系統

此系統主要由數位攝影機(3-CCD, 3-chip charge coupled device)及影像擷取卡兩部分所組成，茲說明如下：

1. 數位攝影機：此試驗使用 DuncanTech MS300 數位攝影機，為藍、綠、紅三顏色之固態感光面，各有 1392(H)×1040(V)個畫素，各畫素有 0-255 之亮度值。攝影機備有電子快門，可調整影像之曝光時間，另外也含其他影像之功能鍵。
2. 影像擷取卡：利用影像擷取卡可將攝影機擷取之影像即時顯示於電腦螢幕上，但此卡本身不具備任何記憶體，因此須配合電腦上之記憶體。另外影像可記錄於電腦之硬碟儲存空間。

3-2 CPIV 實驗程序

CPIV 實驗程序分為四大部分，第一部份為試驗模型之佈置，第二部份為雷射光之啟動及雷射光束之路徑設置，第三部份為操作同步訊號控制器，使訊號能穩定輸出，並控制 PCAOM 切換光束，第四部份為操控數位攝影機 CCD 並擷取影像，茲說明如下：

一、試驗模型之佈置

1. 將試驗底床模型放入試驗渠槽內，上游處放置一整流模型，並調整底床坡度為 0.003。
2. 將水注入試驗渠槽中，入流量分別控制為 0.006cms、0.007cms，開啟抽水馬達控制流量。
3. 將顯影質點顆粒混合水注入循環水槽內，質點於雷射光頁下顯現出光點。

二、雷射光之啟動及雷射光束之路徑設置

1. 先將雷射冷卻水開啟，使雷射冷卻水水壓能穩定流量進入，將雷射開啟。等待雷射光輸出約 1 分鐘後，先將雷射功率微調增加至 1 瓦以適合調整雷射光束路徑。
2. 利用三個反射鏡及兩個凸透鏡將雷射光束導引至試驗斷面並聚光射至多彩聲光調變器 (PCAOM)，於 PCAOM 處將光束分為藍、綠兩光，再射至旋轉八面鏡於水中橫切面形成藍綠相間之光頁。
3. 在調控 PCAOM 方面，微調分光過程中會出現零階 (zero order) 及一階 (first order) 光束，如圖 3-4，微調時雷射光強度依然為 1 瓦，並選用強度較強的一階光束作為試驗所需要之光束。
4. 旋轉八面鏡之轉速控制部分，電流轉至 40 毫安培，利用粗調及微調將八面鏡調至試驗時所需之轉數，所需之轉數為切換頻率之 1/8 倍，以達到與同步訊號控制器同步之效果。

三、同步訊號控制器之調控

由 PCI-6601 卡調控同步訊號，此卡可穩定送出四道頻率，在此只使用中間兩控制鈕操控 PCAOM 儀器之藍、綠光切換，其切換頻率之部分由電腦內之軟體控制並輸出至控制卡中。如本實驗訊號輸送頻率為 500Hz，即完成一次藍、綠切換時間差為 1/1000 秒。

四、影像之擷取

利用 CCD 攝影機擷取經過雷射光頁下之質點影像，取像位置於植被前 A 區及植被出水口後最低水位 B 區，如圖 4-10 所示。所擷取之影像為 1392*1040 畫素之彩色數位影像，攝影機電子快門速度為 1/125(m/sec)。

3-3 自製阻力測量技術系統

自製阻力測量技術系統(陳宥達，2008)可分為移動平台、拉壓力計兩部份：

1. 移動平台：係由一壓克力平板寬 37cm 長 15cm 厚 0.5cm，於平板兩側加上移動滑輪，於水槽兩邊側壁加上軌道，以利平板更能順利滑動，並將平板連接至拉壓力計，如圖 3-9。
2. 拉壓力計：拉壓力計為一 LUTRON 公司所製作，有克(g)、牛頓(N)與盎司(oz)三種單位，並有峰值鎖定之功能，可測量拉力及壓力如圖 3-10。

3-4 自製阻力測量技術實驗程序

自製阻力測量技術實驗程序分為四大部分，第一部份為試驗模型之佈置架設，第二部份為拉壓力計之連接設定，第三部份為開啟電腦連與拉壓力計同步，第四部份操作水槽流量由電腦輸出資料，茲說明如下：

一、試驗模型之佈置

將試驗滑動平台置入於試驗渠槽後段，於平台上佈置植被，平台調整與水槽前段之底床同高，並調整底床坡度為 0.003。

二、拉力計之連接設定

將平台用細線連接至拉壓力計，並將此線固定於拉壓力計之受力端，

且開起電源，將單位調至牛頓(N)。

三、開啟電腦連與拉力計同步

將電腦開啟並啟動拉壓力計對應之軟體，將初始值歸零。

四、操作水槽流量由電腦輸出資料

將水注入試驗渠槽中，入流量分別控制為 0.006cms、0.007cms，開啟抽水馬達控制流量，調整轉速，等待至拉壓力計之讀數穩定，方可將馬達轉速調整歸零。

3-5 試驗渠槽

循環水槽長 10 公尺、寬 0.4 公尺、高 0.5 公尺，渠槽底床面採用黑色壓克力板以利流場可視化實驗之進行，如圖 3-11 所示。另外於試驗渠槽雷射光照射另一面以黑色壁報紙覆蓋為背景，其目的為了加強 CPIV 法擷取影像畫面對比度及阻截雷射光散射。



第四章 試驗結果分析

本章將自製阻力測量技術所測得之植被阻力與 CPIV 試驗所得之流場速度經過計算後之植被阻力，將兩者之結果作一分析討論。

4-1 植被阻力係數之因次分析

為決定影響植被阻力係數之相關物理參數，本研究將影響植被阻力係數因子分為三類，分別為流體性質、水力特性與幾何特性。流體性質包括 ρ :流體密度、 μ :流體動力黏滯係數；水力特性包括 v :水流流速， y :水流深度， a :水流通水面積、 g :重力加速度；幾何特性包括 r :植被橫向間距， l :植被縱向間距， h :植被高度， d :圓柱植被直徑寬度， b :渠道寬度， A :植被通水面積， S :底床坡度。彙整上述影響因子後可將與阻力係數(C_d)、達西-威斯巴哈摩擦因子、曼寧值相關的因子整理如為

$$C_d, f, \frac{n}{n_b} = \phi(r, l, h, d, b, a, A, S, \rho, \mu, g, v, y) \quad (4-1)$$

選取 ρ 、 v 、 y 為基本變量，經因次分析之無因次式如下表示：

$$C_d = \phi\left(\frac{r}{y}, \frac{l}{y}, \frac{h}{y}, \frac{d}{y}, S, \frac{1}{Re}, \frac{1}{Fr}\right) \quad (4-2)$$

其中 $\frac{r}{y}$:植被橫向間距與水深之比值， $\frac{l}{y}$:植被縱向間距與水深之比值， $\frac{h}{y}$:植被高度與水深之比值， $\frac{d}{y}$:圓柱植被直徑寬度與水深之比值， S :底床坡度， $\frac{1}{Re}$:雷諾數之倒數， $\frac{1}{Fr}$:福祿數之倒數。

對於達西-威斯巴哈摩擦因子(f)之考量因子亦與阻力係數(C_d)一樣，與達西-威斯巴哈摩擦因子(f)有關物理量之表示式相同，亦選取 ρ 、 v 、 y 為基本變量，經因次分析之無因次式如下表示：

$$f = \phi\left(\frac{r}{y}, \frac{l}{y}, \frac{h}{y}, \frac{d}{y}, S, \frac{1}{Re}, \frac{1}{Fr}\right) \quad (4-3)$$

而曼寧值(n)之考量因子亦是如此，選取 ρ 、 v 、 y 為基本變量，經過因

次分析之無因次式如下表示：

$$\frac{n}{n_b} = \phi\left(\frac{r}{y}, \frac{l}{y}, \frac{h}{y}, \frac{d}{y}, S, \frac{1}{Re}, \frac{1}{Fr}\right) \quad (4-4)$$

上式中 n_b ：不考量植被之曼寧值(係用曼寧公式 $V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$ 計算之)。

因本研究之底床坡度及圓柱植被直徑為定值，故不考慮其變化之影響；而本研究經因次分析結果所得到之植被高度與水深之比值(h/y)與相對植被密度比(A/a ， A :植被通水斷面積， a :水流通水斷面積)物理意義相當，因此本研究將變數(h/y)由高度比轉換為面積比，並且將實驗計算結果與因次分析之無因次積($\frac{r}{y}, \frac{l}{y}, \frac{A}{a}, \frac{1}{Re}, \frac{1}{Fr}$)做一分析比較。為測試 C_d 、 f 及 $\frac{n}{n_b}$ 與各無因次參數的相關性，本研究利用 $\ln(C_d, f, \frac{n}{n_b}) = C_0 + \sum_{i=1} C_i \ln(D_i)$ 關係式進行迴歸分析，其中 C_0 為常數； D_i 表無因次參數； C_i 為 D_i 之迴歸係數。

經由因次分析結果，本研究以兩種不同方式進行試驗，分別為 CPIV 法及自製阻力測量技術。實驗案例共 12 組，除了改變植被之縱向間距，也改變植被之橫向間距，並設計兩種流量，考慮流量及水位等變化對植被之阻力影響，實驗案例如表 4-1 所示，而 CPIV 法中各案例之影像擷取大小如表 4-2 所示。

4-2 陳氏自製阻力量測技術結果案例分析

於實驗之前，需檢定此儀器之適用性，將勾式吊台懸掛在拉壓力計上，測得之重量約 106 克重。將 50 克重之砝碼置於勾式吊台上，測得資料為 156 克重；將 100 克重之砝碼置於勾式吊台上，測得資料為 206 克重，由此確定儀器之準確性，接著進行實驗，如圖 4-145 所示。

此部分試驗在於改變其植被橫向以及縱向間距，並利用不同流量，量測植被對於水流所產生之阻力大小，對於植被縱向間距之改變如圖 4-1、圖 4-2，而量測結果如表 4-5，並且對於無植被之滑動平台進行量測，考量到整個移動平台(0.15m*0.4m)之剪力阻抗，因其量測數值過於微小，介於

0~0.01(N)之間，因此使用剪力公式計算其平台底床所造成之抵抗力，如表 4-4，並將所量測到之數值扣除底床抵抗力，得到植被阻力值，其量測結果說明如下：

1. 變化植被橫向間距且縱向間距(l)固定為 2.5 公分

植被之橫向間距依序 2.1 公分、2.5 公分、3.2 公分漸增，植株數目由 57 株減少至 36 株，且植被之縱向間距固定為 2.5 公分，並測試兩種不同流量(0.006cms、0.007cms)，量測到之阻力值如圖 4-3、圖 4-4，由圖可知，隨著植被橫向間距越大，其植被整體之阻力越小。

2. 變化植被橫向間距且縱向間距(l)固定為 1.25 公分

植被之橫向間距依序 2.1 公分、2.6 公分、3.2 公分漸增，且植被之縱向間距縮短為 1.25 公分，並測試兩種不同流量(0.006cms、0.007cms)，量測到之阻力值如圖 4-5、圖 4-6，由圖可知，其植被橫向間距越大，其植被整體之阻力越小。

3. 變化植被縱向間距且橫向間距固定

植被之橫向間距依序 2.1 公分、2.6 公分、3.2 公分漸增，且比較植被之縱向間變化對於植被阻力之影響，並測試兩種不同流量(0.006cms、0.007cms)，量測到之阻力值如圖 4-7、圖 4-8，由圖可之，當植被縱向間距變小時，其植被整體阻力亦隨著變大。

對於植被之量測有更直接之方法，本研究針對植被阻力係用自製阻力量測技術(陳,2008)，量測不同植被橫向以及縱向間距之阻力，經由實驗，於相同之植株數目，當縱向間距縮短 50%時，植被整體阻力最大可增加 14%；當植被橫向間距縮短 21%，阻力最大可增加 24%；當植被橫向間距縮短 34%，阻力最大可增加 91%。因此橫向間距對於植被整體阻力是較有影響力。

4-3 CPIV 結果案例分析

4-3-1 不同縱斷面之速度與阻力量測評估

流經植被之流速流場瞬息變化，只量測單一斷面無法代表整體之植被阻力，因此本研究量以案例 11 為觀測對象，在相同之實驗條件下，將雷射光打在不同之縱斷面上，如圖 4-9、圖 4-10，探討流經植被前之流域 A 區與流經植被後最低水位 B 區之流速變化情形，並計算出其各量測斷面之植被阻力。

本研究實驗渠道佈置為半模型佈置，因此採用靠近植被區域之中心(距邊壁 16.8cm)往外邊壁量測，經影像分析及時均化計算結果，量測縱斷面 1、縱斷面 2、縱斷面 3 與縱斷面 4 之量測於 A 區之速度變化如圖 4-11 與圖 4-12，B 區之速度變化如圖 4-13 與圖 4-14，利用此二區之速度變化與水位變化，計算不同量測斷面之植被阻力，如表 4-3，由於縱斷面 2 與縱斷面 4 為植被與植被之間區域，沒有受到植被阻擾，因此流速相較於縱斷面 1、縱斷面 3，流速變化較小，因此與陳氏自製阻力量測技術所測得之阻力相差甚遠，而縱斷面 1 與縱斷面 3 所計算之阻力亦與陳氏自製阻力量測技術之值相差不大。

由上述分析可知，速度變化大之縱斷面 1 與縱斷面 3 所計算之植被阻力，對於陳氏自製阻力量測技術所測得之阻力較為接近。為了擷取清晰之影像，本研究其他案例之量測縱斷面皆以植被本身之縱斷面為量測斷面，擷取 A 區及 B 區之影像進行分析，來探討不同植被排列下，植被阻力係數、達西威斯巴哈摩擦因子、曼寧值之變化。

4-3-2 CPIV 阻力分析及驗證

為了驗證 CPIV 法應用於植被阻力之準確性與適用性，本研究與陳氏自製阻力量測技術(陳，2008)之結果作比較，並以相同案例為對照組，來驗證 CPIV 法應用於阻力之適用性。

應用 CPIV 法所測得之流速場，利用流經植被前後之速度差與水位差異來計算阻力，其阻力公式如下：

$$F_d = C_d \frac{1}{2} \rho \bar{V}^2 A$$

$$C_d = \frac{2\gamma R \left(S_0 - \frac{dy}{dx} - \frac{\bar{V}}{g} \frac{d\bar{v}}{dx} \right)}{(A/a_b) \rho \bar{V}^2}$$

由上述公式，而本研究之植被底床考量面積(a_b)隨著區域植被排列而變化，並計算所造成之抵床阻力(F_s)，如表 4-4，配合 CPIV 所測得之水深變化與流速變化，可計算出植被阻力(F_d)，並將底床阻力扣除，經由同樣十二組案例進行分析，改變植被縱向、橫向間距及流量，因近植被處之流場瞬息變化，不能單只利用一張影像去評斷整個流場流況，因此，本研究進行時均化(time average)平均 20 約張影像，計算出 A 區及 B 區之流速分布、流線以及渦度場分布，其渦度場定義為 $2\omega = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$ 。

以案例 1 為例，說明 A 區與 B 區之分析結果，此案例植被之橫向間距 0.21cm，縱向間距 2.5cm，植被高度 3cm，植被總根數 57 根，上游入流量 0.006cms，水深 4.5cm。

1. 位置 A 區實驗結果

取像大小 5.83cm*4.34cm、藍綠光切換頻率 1000Hz，利用 CCD 擷取流場數位影像，如圖 4-15 所示，經由影像分析及時均化計算結果，其速度向量如圖 4-16；流場之流線圖如圖 4-17，由流線圖可看出，近底床部分由於受到底床與植被雙重干擾，所呈現出不穩定之流況，而上半部水流，受到植被阻礙，造成下游之通水斷面束縮，以致於水流被迫往上流動，造成水流流線有上揚之現象。圖 4-18 為渦度場之分布圖，可看出渦度較強的地方發生在水面以及底床，進而將距植被 5.66cm 及 0.19cm 處之水深與速度

關係圖擷取出來分析，如圖 4-23 所示，可看出近底床處由於受到底床影響，造成速度有減慢之現象，且以植被高度(3cm)為分界點，而離植被越近，植被高度(3cm)以下之水流速度減慢現象越明顯，造成植被高度以上之速度變快，可見是受到植被阻礙所影響。

2. 位置 B 區實驗結果

此處為下游出流區，因水流剛流出植被區域，有較大之紊流產生於近植被區域，因此選取出流口後之最低水位區域進行分析，將紊流之現象降低到最低，此區之取像大小 3.0cm*2.0cm，數位影像原圖如圖 4-19，由圖 4-20、圖 4-21 可看出，水流剛通過植被區域，由於受到植被影響，流線有呈現下沉之趨勢。下游水位與上游水位差距 2.2cm，水位落差甚大，靠近植被區有較大之渦度發生，如圖 4-22 所示，因此此區域之流速分布變化較大，將距植被 3.26cm 及 6.09cm 處之水深與速度關係圖擷取出來分析，由於流場上部之流量較大，大量水流以射流方式進入 B 區域上部，因此流場上部之流速較大，而下部流速受到上部水流之影響，整體速度剖線呈現近乎 S 曲線形狀，如圖 4-24。於 B 區之前會有一堰流現象產生，係原因為水流流經植被後，由於下層大部份流量受到植被阻擾，致使上層之流量較大，導致大部分水流由上層往植被出流口流動，而在 B 區之福祿數均大於 1，為超臨界流，且水流有下沉之趨勢，而遇到底床阻力，因此在 B 區後段為亞臨界流，因水流的紊動、渦流而產生水躍。

其餘案例相關結果展示如圖 4-25~圖 4-134，分析後之結果如表 4-4，因陳氏自製阻力量測技術為直接測得之阻力值，較接近真值，故將 CPIV 計算結果之阻力值數據與陳氏自製阻力量測技術(陳宥達，2008)之阻力值相比較，誤差為 7%，而由明渠水力學中之阻力公式($F = \rho Q(\overline{V}_2 - \overline{V}_1)$)，計算結果與陳氏自製阻力量測技術量測之阻力值比較，其誤差值 15%相對較大，如表 4-6 所示。因此本研究利用 CPIV 法所測得之速度與水位應用於

Musleh & Cruise 推導之阻力公式所計算之阻力值，較為精確且符合實際現況，其他相關計算值如表 4-7 所示。

4-3-3 CPIV 之阻力係數(C_d)分析

將阻力係數(C_d)對於各無因次項做比較，利用上述之回歸式分析，分析結果於表 4-7，由表中分析結果之數據，福祿數和雷諾數對於阻力係數之相關性極高，係因本研究是採用明渠流之試驗，因此福祿數會對於阻力係數有較高的敏感度，但經由實驗分析，福祿數之相關性非常地低；而阻力係數對於相對植被密度比(A/a)之變化較平緩；對於植被橫向間距之變化為(r/y)、縱向間距之變化為(l/y)以及雷諾數(Re)，將上列變化項與阻力係數(C_d)各作分析，發現變化均微小。

由於阻力係數對於各無因次項均變化不大，此一阻力係數為一定值，代表本研究之植被之特徵形狀阻力係數，因此本研究之圓柱型阻力係數約為 1.17。

4-3-4 CPIV 之達西威斯巴哈摩擦因子分析

對於達西威斯巴哈摩擦因子(f)於各無因次項作一個別分析，達西威斯巴哈摩擦因子(f)與相對植被密度比(A/a)之相關性頗高，如圖 4-135 所示；而探討其植被橫向間距比(r/y)，當變化越大時，達西威斯巴哈摩擦因子也越大，如圖 4-136 所示；探討其植被縱向間距比(l/y)，當植被縱向間距越小時，越能影響達西威斯巴哈摩擦因子之變化，但變化過於微小，如圖 4-137 所示。達西威斯巴哈摩擦因子受雷諾數之影響甚小，如圖 4-138 所示；福祿數越大，達西威斯巴哈摩擦因子有下降之趨勢，如圖 4-139 所示。

就整體之分析而言，分析達西威斯巴哈摩擦因子(f)對於福祿數和雷諾數有較大之影響，當福祿數越大，對應之達西威斯巴哈摩擦因子(f)就越低；而相對植被密度比(A/a)，對達西威斯巴哈摩擦因子造成影響，達西威斯巴哈摩擦因子(f)越大；而對於植被橫向間距比(r/y)，當橫向間距(r)縮短

21%，而達西威斯巴哈摩擦因子(f)最大會增加 29%，當橫向間距(r)縮短 34%，而達西威斯巴哈摩擦因子(f)最大會增加 61%；植被縱向間距比(l/y)，當縱向間距(l)縮短 50%，達西威斯巴哈摩擦因子(f)會上升 9%，因此植被橫向間距比(r/y)對於達西威斯巴哈摩擦因子之變化較為敏感，本研究改變植被之橫向以及縱向間距變化，其關係式如下：

$$\ln(f) = 1.07 + 0.776 \ln\left(\frac{A}{a}\right) + 0.049 \ln\left(\frac{r}{y}\right) + 0.0126 \ln\left(\frac{l}{y}\right) \quad (4-5)$$

$$(Fr=0.48\sim 0.61, Re=13,932\sim 18,860)$$

4-3-5 CPIV 之相對曼寧值 $\left(\frac{n}{n_b}\right)$ 分析

大部分計算曼寧值(n)係用水深來計算之，本研究從相對植被密度比進行研究，而曼寧值(n)與水深有近乎線性之關係，利用 (2-22)式計算之曼寧值(n)，加以無因次化，並與相對植被密度比(A/a)作比較，其關係亦呈現線性之趨勢，如圖 4-140；探討植被橫向間距比(r/y)，變化亦很大，如圖 4-141；探討植被縱向間距比(l/y)，因其變化項目不存在於公式之中，發現縱向間距(l)之變化極微小，如圖 4-142 所示。經本研究計算後，曼寧值介於 0.047~0.061 間，因水流近乎被植被所阻礙，與相對植被密度比(A/a)有很大之關係，本研究利用 Musleh & Cruise 推導之阻力公式，得到相對植被密度比(A/a)與相對曼寧值 $\left(\frac{n}{n_b}\right)$ 之關係。

就整體之分析而言，分析相對曼寧值 $\left(\frac{n}{n_b}\right)$ 對於各無因次項，其相對曼寧值對於相對植被密度比(A/a)變化較大，當相對植被密度比越大，則相對曼寧值越大；而對於植被橫向間距比(r/y)而言，當橫向間距(r)縮短 21%時，則曼寧值會增加 21%，而當橫向間距(r)縮短 34%時，則曼寧值會增加 14%；而就植被縱向間距比(l/y)之變化，當水深不變時，縱向間距(l)縮短 50%，曼寧值下降 5%。經由上述之分析，本研究改變植被之橫向以及縱向間距變化之關係式如下：

$$\ln\left(\frac{n}{n_b}\right) = 1.16 + 0.031 \ln\left(\frac{A}{a}\right) - 0.322 \ln\left(\frac{r}{y}\right) + 0.022 \ln\left(\frac{l}{y}\right) \quad (4-6)$$

(Fr=0.48~0.61 , Re=13,932~18,860)



第五章 結論與建議

本研究應用彩色質點影像測速法(CPIV 法)與陳氏自製阻力量測技術(陳宥達,2008)進行植被阻力之量測，將植被佈置採三排平行排列，植被縱向間距有 1.25cm 及 2.5cm，植被橫向間距有 2.1cm、2.5cm、3.2cm，及兩種流量 0.006cm 及 0.007cms，以探討不同之排列下對於植被阻力、阻力係數、達西威斯巴哈摩擦因子、曼寧值之影響，並討論流經植被前 A 區及流經植被後最低水位 B 區之水流、流速及渦度之變化。

5-1 結論

1. 本研究應用陳氏自製阻力量測技術(陳,2008)，量測不同植被橫向以及縱向間距之阻力，在相同之植株數目下，當縱向間距縮短 50%時，植被整體阻力最大可增加 14%；當植被橫向間距縮短 21%(植株數目 45 根)時，亦即增加植株數目，使得植被整體阻力最大可增加 24%；當植被橫向間距縮短 34%(植株數目 57 根)時，則植被整體阻力最大可增加 91%。
2. 於位置 A 區之流場，此區域為流經植被之前段區域，其速度剖面以植被高為界，下半部受植被阻力影響有流速減緩之趨勢，進而造成植被之上方流速加快以維持一定通水量，且受到植被阻礙，下游之通水斷面束縮，以致於水流被迫往上流動，整體流線有往上揚之現象，渦度較強的地方發生於水面及近底床處。
3. 於位置 B 區之流場，此區接續在植被出流後之最低水位區域，水位均小於植被高，而整體流速明顯較快，水流從植被區域以射流方式流入本區，靠近植被區域之流速，近水面處之流速較快，而較遠之流速則速度較不受到植被影響；渦度較大處產生在近水面處。且於 B 區之前會有一堰流現象產生，其原因為水流流經植被後，由於下層大部份流量受到植被阻擾，使得上層之流量較大，導致大部分水流由上層往植被出口

流動，而在 B 區之福祿數均大於 1，為超臨界流，且水流有下沉之趨勢，而遇到底床阻力，在 B 區後段產生水躍。

4. 對於 Musleh & Cruise 推導阻力公式，經由量測位置可得知，將光頁打在植被上，量測速度及水位變化並計算阻力值，較接近陳氏自製阻力量測值，因此 Musleh & Cruise 推導阻力公式之適用性以植被縱斷面上之速度變化為主。
5. 經由實驗結果，阻力係數(C_d)對於各無因次項參數，如相對植被密度比(A/a)、橫向間距與水深比(r/y)、縱向間距與水深比(l/y)、福祿數(Fr)及雷諾數(Re)之變化均甚微小，因此本研究之形狀阻力係數趨近於 1.17。
6. 本研究經由實驗以及 Musleh 和 Cruise 推導之公式計算出達西威斯巴哈摩擦因子(f)與曼寧值(n)，在選用之無因次項中，除了福祿數及雷諾數，發現對於相對植被密度比(A/a)和橫向間距與水深比(r/y)之變化較為敏感，而縱向間距與水深比(l/y)之變化雖不大，但略有明顯上升之趨勢。因此，除了植被橫向間距變化可以影響糙度係數，植被縱向間距亦可影響之。且迴歸出兩組公式(4-5)、(4-6)，其使用範圍 $Fr=0.48\sim 0.61$ ， $Re=13,932\sim 18,860$ 。

5-2 建議

1. 本研究之案例於設計植被阻力，均為浸沒式之植被阻力，將來可研究非浸沒式之植被阻力，並比較兩者間之差異性。
2. 本研究所選用之植被材料為聚乙烯樹脂，為圓柱體，且未考慮植被之彎曲性，將來可模擬真實植物之莖幹，選擇真實之植株，以得到更真實之植被阻力。
3. 植被流場之流動為三維流況，而本研究 CPIV 法為二維量測法，故對整體流向及流況變化無法量測到，建議未來可發展三維測量技術，同步對主流及側向流況量測，以計算出更接近真值之植被阻力。

參考文獻

1. Bennett, S. J. (2001), "Using simulated emergent vegetation to alter stream flow direction within a straight experimental channel." *Geomorphology* (2002), 44, 115-126.
2. Carollo, F.G., Ferro V., and Termini D. (2005), "Flow resistance law in channels with flexible submerged vegetation." *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 131(7), 554-564.
3. Carollo, F.G., Ferro, V., and Termini, D. (2002), "Flow velocity measurements in vegetated channels." *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 128(7), 664-673.
4. Fincham, A.M., and Spedding, G.R. (1997), "Low cost high resolution DPIV for measurement of turbulent fluid flow." *Experiments in Fluids*, 23, 449-462.
5. Huang, H., Dabiri, D., and Gharib, M. (1997), "On error of digital particle image velocimetry." *Meas. Sci. Technol.*, 8, 1427-1440.
6. Juha, J. (2002), "Flow resistance of flexible and stiff vegetation: a flume study with natural plants." *J. Hydrology, ASCE*, 269, 44-45.
7. Jason, T. (2005), "Hydraulic resistance in grass swales designed for small flow conveyance." *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 131(1), 65-68.
8. Kouwen, N., and Unny, T.E. (1973), "Flexible roughness in open channels." *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 128(1), 713-728.
9. Klaassen, G.J., and Zwaard, J.J. (1973), "Roughness coefficients of vegetated flood plains." *Journal of Hydraulic Research*, July, 43-63.
10. Kouwen, N. (1997), "Nonrigid, nonsubmerged, vegetative roughness on floodplains." *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 123(1), 51-57.
11. Kouwen, N., and Fathi-Moghadam, N. (2000), "Friction factors for coniferous trees along rivers." *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 126(10), 732-740.
12. Musleh, F.A., and Cruise, J.F., (2006), "Functional relationships of resistance in wide flood plains with rigid unsubmerged vegetation." *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 132(2), 163-170.
13. Nogueira, J., Lecuona, A., and Rodriguez, P.A. (1997), "Data validation, false vectors correction and derived magnitudes calculation on PIV data." *Meas. Science and Technology*, 8, 1493-1501.
14. Petryk, A.M. (1975), "Analysis of flow through vegetation." *J. Hydraul. Div., ASCE*, 101(7), 871-884.
15. Stone, B.M., and Shen, H.T. (2002), "Hydraulic resistance of flow in Channels with cylindrical roughness." *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 128,

500-506.

16. Wu, F.C., Shen, H.W., and Chou, Y.J. (1999), "Variation of roughness coefficients for unsubmerged and submerged vegetation." J. Hydraul. Eng., ASCE, 125(9), 934-942.
17. Yen, B.C. (2002), "Open channel flow resistance." J. Hydraul. Eng., ASCE, 128, 20-39.
18. 游新福、黃宏斌 (2002), "植生渠道阻力係數之研究", 台灣水利, 第四十卷, 第四期, 50-59。
19. 黃明興 (2003), "植生倒伏對水流阻力影響之研究", 國立台灣大學農業工程研究所碩士論文。
20. 楊昇學(2002), "彩色質點影像測速法於瞬間潰壩流場之試驗研究", 國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
21. 黃于軒(2005), "彩色質點影像測速法於植生渠道流場之試驗研究", 國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
22. 林宣汝(2006), "彩色質點影像測速法於浸沒植生渠道流場之試驗研究", 國立交通大學土木工程研究所碩士論文。



表 4-1 實驗案例表

實驗案例	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
流量 Q(cms)	0.006	0.007	0.006	0.007	0.006	0.007	0.006	0.007	0.006	0.007	0.006	0.007
橫向間距 r(cm)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.5	2.5	2.5	2.5	3.2	3.2	3.2	3.2
縱向間距 l(cm)	2.5	2.5	1.25	1.25	2.5	2.5	1.25	1.25	2.5	2.5	1.25	1.25
植物總根數(株)	57	57	57	57	45	45	45	45	36	36	36	36
上游水位(cm)	4.5	4.9	4.5	4.9	4.3	4.5	4.2	4.5	4.3	4.6	4.2	4.5
上游平均流速(m/s)	0.366	0.369	0.32	0.372	0.324	0.372	0.337	0.373	0.346	0.41	0.358	0.399
雷諾數 Re	16470	18081	14400	18228	13932	16740	14154	16785	14878	18860	15036	17955
福祿數 Fr	0.5511	0.53249	0.48187	0.53682	0.49911	0.56017	0.52528	0.56168	0.53300	0.61064	0.558014	0.60083

表 4-2 各案例之影像擷取視窗大小

實驗案例	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A 區 (cm×cm)	5.83×4.34	6.41×3.89	6.12×4.52	6.31×4.94	5.82×4.31	6.31×4.52	5.73×4.24	6.22×4.51	5.72×4.32	6.451×4.63	5.51×4.22	5.95×4.52
B 區 (cm×cm)	3.0×2.0	3.92×2.73	2.81×2.11	3.82×2.73	3.22×2.52	3.23×2.51	3.32×2.41	3.31×2.62	3.42×2.71	3.61×2.752	3.34×2.55	3.45×2.63

表 4-3 各縱斷面之計算阻力

縱斷面	B (m)	y1 (m)	y2 (m)	v1_mean (m/s)	v2_mean (m/s)	β_1	β_2	dx (m)	dy/dx (m/m)	dv/dx (1/s)	Cd	Fd(N) (計算)	Fd(N) (實驗)	Fd(N) (Open C.)	Fr1(上游)	Re(上游)
1	0.4	0.042	0.026	0.368	0.443	1.078662	1.203684	0.16	-0.1	0.469	1.562	0.406	0.428	0.45	0.574	15456
2	0.4	0.042	0.026	0.421	0.465	1.002774	1.271419	0.16	-0.1	0.275	1.017	0.309	0.428	0.264	0.656	17682
3	0.4	0.042	0.026	0.357	0.439	1.133569	1.213586	0.16	-0.1	0.513	1.590	0.420	0.428	0.492	0.556	14994
4	0.4	0.042	0.026	0.416	0.459	1.002046	1.280369	0.16	-0.1	0.269	1.033	0.308	0.428	0.258	0.648	17472

表 4-4 CPIV 底床與滑動平台底床剪力所導致之阻力

	R(m)	S	a_b(m ²) 植被考慮區域 CPIV	Fs(N)計算	a_b(m ²) 滑動平台	Fs(N)滑動平台
1	0.035	0.003	0.0424	0.044	0.056	0.058
2	0.035	0.003	0.0448	0.047	0.056	0.058
3	0.037	0.003	0.0432	0.047	0.056	0.060
4	0.039	0.003	0.044	0.051	0.056	0.064
5	0.035	0.003	0.0572	0.060	0.056	0.058
6	0.037	0.003	0.062	0.067	0.056	0.060
7	0.035	0.003	0.0608	0.062	0.056	0.057
8	0.037	0.003	0.0628	0.068	0.056	0.060
9	0.035	0.003	0.072	0.075	0.056	0.058
10	0.037	0.003	0.076	0.084	0.056	0.061
11	0.035	0.003	0.064	0.065	0.056	0.057
12	0.037	0.003	0.07	0.076	0.056	0.060

表 4-5 各案例實驗結果

案例	植被橫向 間距 r (cm)	植被縱向 間距 l (cm)	入流量 Q (m ³ /s)	上游水深 y1 (cm)	下游水深 y2 (cm)	A 區平均 流速 v1_mean (m/s)	B 區平均 流速 v2_mean (m/s)	dx (m)	$\beta 1$	$\beta 2$	阻力係數 Cd	Fd(N) (形狀阻 力公式)	Fd(N) (陳 2008)	Fd(N) (Open channel)
1	2.1	2.5	0.006	4.5	2.1	0.366	0.516	0.106	1.062	1.237	1.024	0.821	0.717	0.96
2	2.1	2.5	0.007	4.9	2.8	0.369	0.507	0.112	1.075	1.254	1.132	0.867	0.826	0.966
3	2.1	1.25	0.006	4.5	2.3	0.32	0.511	0.108	1.084	1.261	1.004	0.781	0.807	1.14
4	2.1	1.25	0.007	4.9	2.8	0.372	0.538	0.11	1.172	1.307	1.063	0.997	0.879	1.162
5	2.5	2.5	0.006	4.3	2.5	0.324	0.396	0.143	1.037	1.233	1.454	0.487	0.498	0.432
6	2.5	2.5	0.007	4.5	3	0.372	0.445	0.155	1.038	1.342	1.083	0.542	0.526	0.511
7	2.5	1.25	0.006	4.2	2.5	0.337	0.42	0.152	1.069	1.320	1.143	0.491	0.533	0.498
8	2.5	1.25	0.007	4.5	2.8	0.373	0.462	0.157	1.032	1.231	1.221	0.554	0.570	0.623
9	3.2	2.5	0.006	4.3	2.8	0.346	0.407	0.18	1.038	1.254	1.369	0.394	0.375	0.366
10	3.2	2.5	0.007	4.6	2.9	0.41	0.465	0.19	1.023	1.272	1.045	0.377	0.452	0.385
11	3.2	1.25	0.006	4.2	2.6	0.358	0.429	0.16	1.036	1.269	1.300	0.439	0.428	0.426
12	3.2	1.25	0.007	4.5	2.7	0.399	0.471	0.175	1.014	1.257	1.184	0.447	0.470	0.504

表 4-6 各案例實驗結果之誤差比較

案例	Fd(N) (形狀阻力公式)	Fd(N) (Open channel)	Fd(N) (陳 2008)	誤差百分比 (CPIV & 陳)	誤差百分比 (Open & 陳)
1	0.821	0.96	0.717	0.145	0.339
2	0.867	0.966	0.826	0.050	0.169
3	0.781	1.14	0.807	0.032	0.413
4	0.997	1.162	0.879	0.134	0.322
5	0.487	0.432	0.498	0.022	0.133
6	0.542	0.511	0.526	0.030	0.029
7	0.491	0.498	0.533	0.079	0.066
8	0.554	0.623	0.57	0.028	0.093
9	0.394	0.366	0.375	0.051	0.024
10	0.377	0.385	0.452	0.166	0.148
11	0.439	0.426	0.428	0.026	0.005
12	0.447	0.504	0.47	0.049	0.072
			平均值	0.068	0.151

表 4-7 各案例實驗結果之分析

案例	植被橫向 間距 r(cm)	植被縱向 間距 l(cm)	入流量 Q(cms)	上游水深 y1(cm)	下游水深 y2(cm)	上游平均 流速 v1 (m/s)	下游平均 流速 v2 (m/s)	$\beta 1$	$\beta 2$	相對植被 密度比 A/a	橫向間距與 水深比 r/y	縱向間距與 水深比 l/y	Drag coefficient (Cd)	Darcy friction factor (f)	Manning coefficient (n)	不考慮植被 之曼寧值(nb)	相對曼寧值 (n/nb)	Fr2
1	2.1	2.5	0.006	4.5	2.1	0.366	0.516	1.062	1.237	0.232	0.488	0.581	1.024	0.817	0.059	0.015	3.853	1.43
2	2.1	2.5	0.007	4.9	2.8	0.369	0.507	1.075	1.254	0.232	0.488	0.581	1.132	0.904	0.062	0.015	4.132	1.40
3	2.1	1.25	0.006	4.5	2.3	0.32	0.511	1.084	1.261	0.222	0.467	0.278	1.004	0.801	0.058	0.017	3.339	1.354
4	2.1	1.25	0.007	4.9	2.8	0.372	0.538	1.172	1.307	0.204	0.429	0.255	1.063	0.848	0.061	0.015	4.173	1.449
5	2.5	2.5	0.006	4.3	2.5	0.324	0.396	1.037	1.233	0.183	0.581	0.581	1.454	0.916	0.062	0.018	3.525	0.916
6	2.5	2.5	0.007	4.5	3	0.372	0.445	1.038	1.342	0.175	0.556	0.556	1.083	0.682	0.054	0.016	3.433	1.183
7	2.5	1.25	0.006	4.2	2.5	0.337	0.42	1.069	1.32	0.188	0.595	0.298	1.143	0.72	0.055	0.016	3.384	1.119
8	2.5	1.25	0.007	4.5	2.8	0.373	0.462	1.032	1.231	0.175	0.556	0.278	1.221	0.769	0.057	0.016	3.633	1.105
9	3.2	2.5	0.006	4.3	2.8	0.346	0.407	1.038	1.254	0.147	0.744	0.581	1.369	0.69	0.054	0.016	3.271	0.974
10	3.2	2.5	0.007	4.6	2.9	0.41	0.465	1.023	1.272	0.137	0.696	0.543	1.045	0.526	0.047	0.015	3.246	1.109
11	3.2	1.25	0.006	4.2	2.5	0.358	0.429	1.036	1.269	0.15	0.762	0.298	1.3	0.655	0.052	0.016	3.321	1.078
12	3.2	1.25	0.007	4.5	2.7	0.399	0.471	1.014	1.257	0.14	0.711	0.278	1.184	0.597	0.05	0.015	3.361	1.150

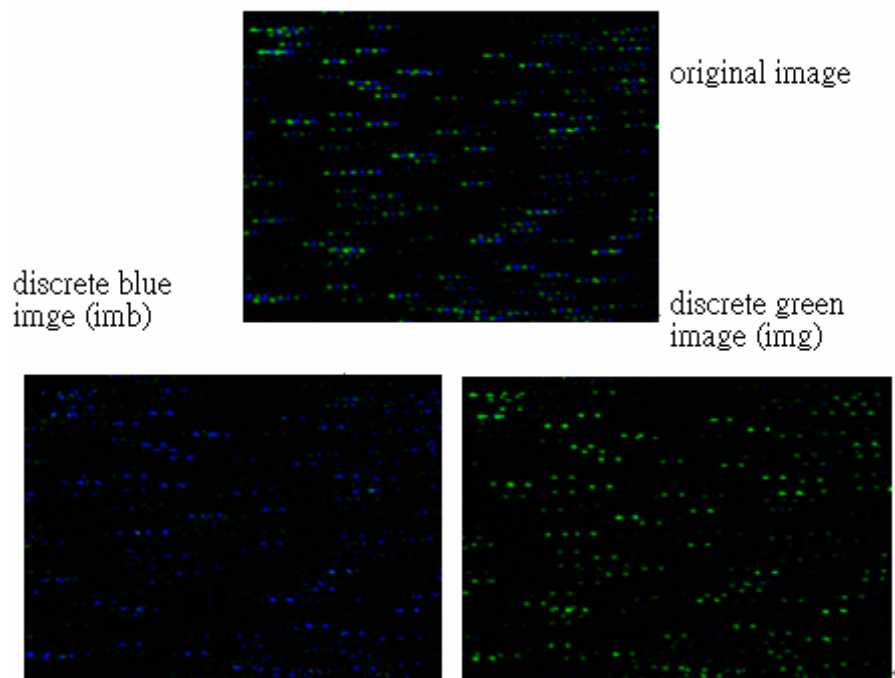


圖 2-1 上圖為原圖，左下為分離之藍色影像圖檔，
右下為綠色影像圖檔

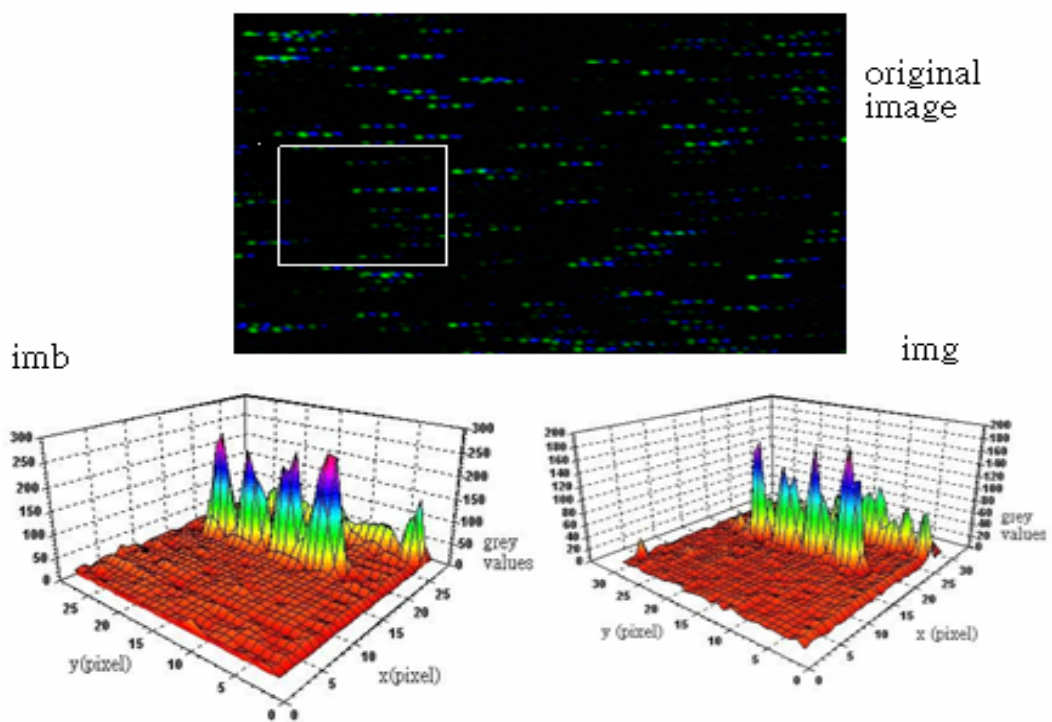


圖 2-2 藍、綠影像亮度分佈示意圖

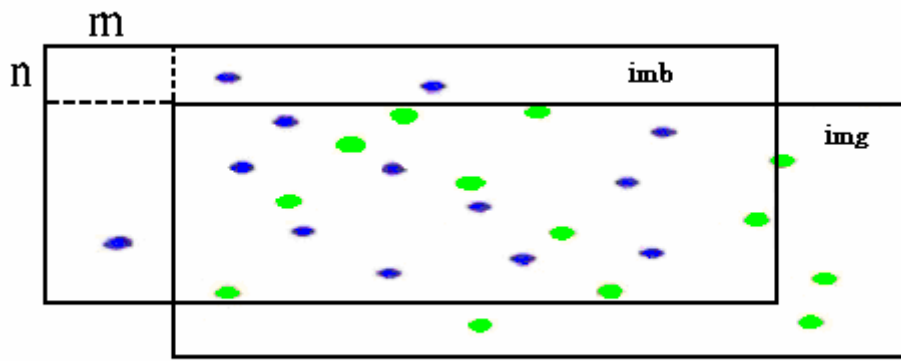


圖 2-3 imb、img 比對的方式

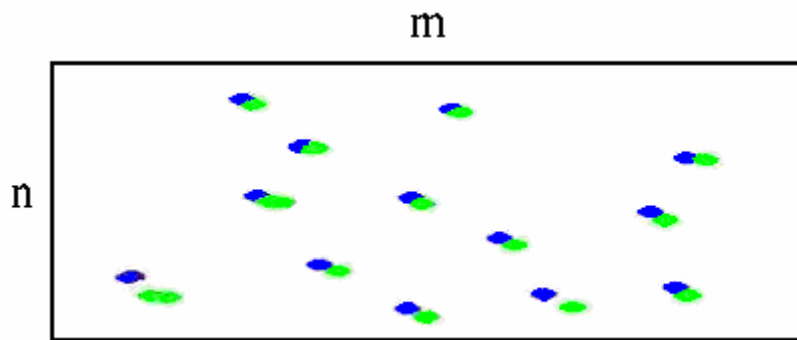


圖 2-4 將綠色點位移(m,n)後與藍色點重疊(matching)的情況

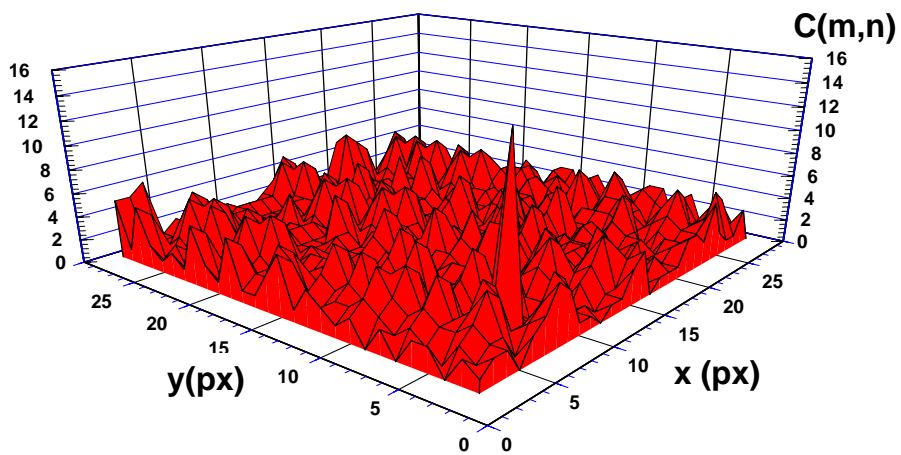


圖 2-5 互相關計算所得之 $C(m,n)$ 分佈示意圖

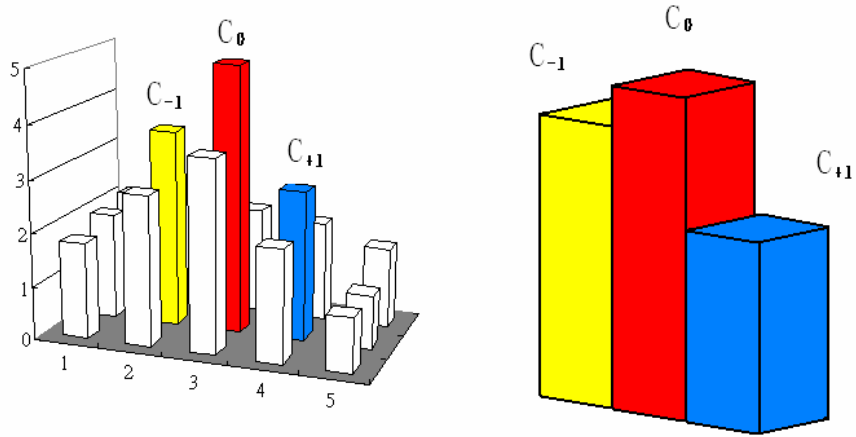


圖 2-6 互相關函數之最大值特寫之放大圖

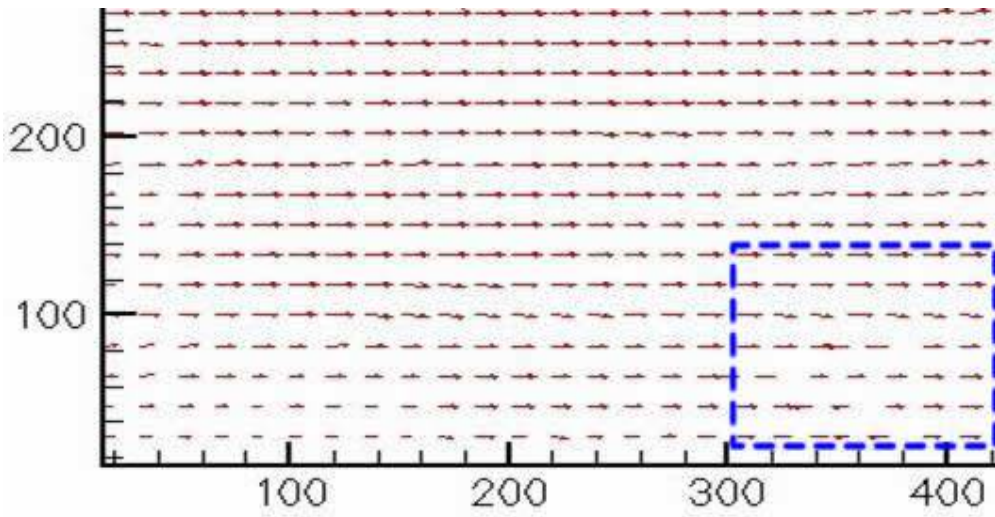


圖 2-7 不一致流速向量圖(右下角虛線框處)

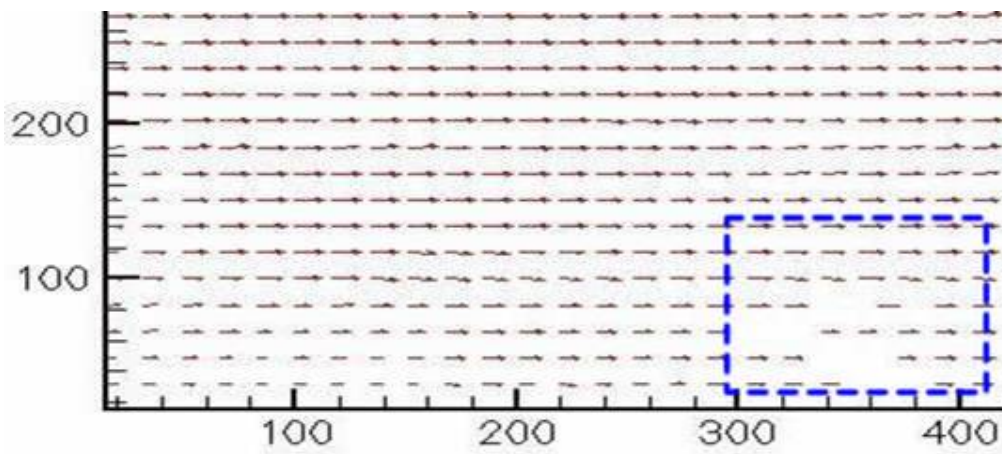


圖 2-8 去除不一致流速向量圖(右下角虛線框處)

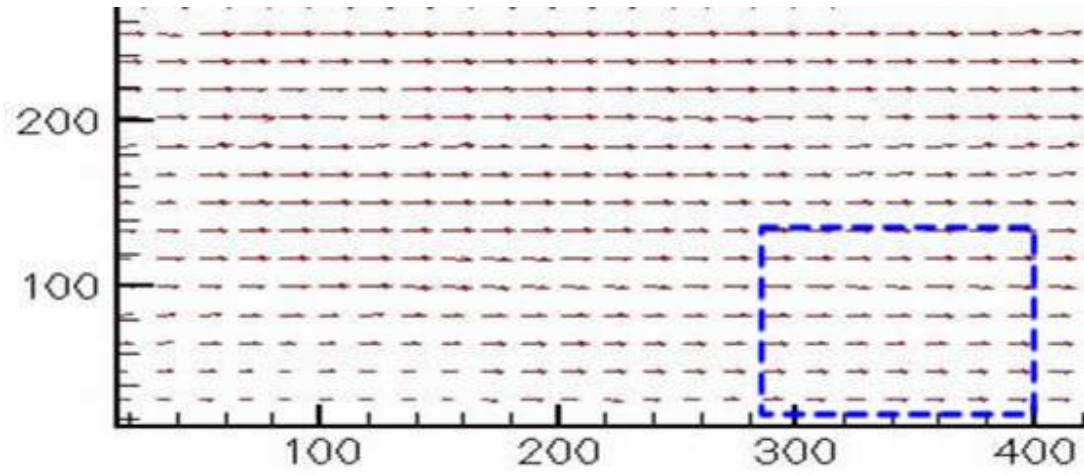


圖 2-9 經過補圖後之流速向量圖(右下角虛線框處)

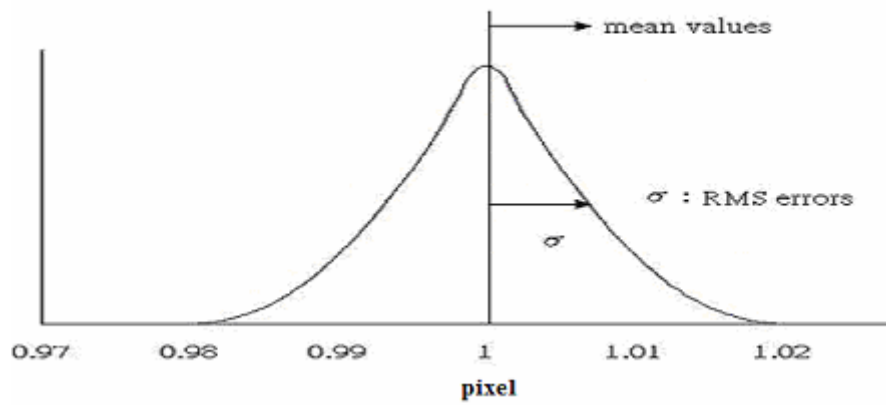


圖 2-10 RMS 誤差之示意圖

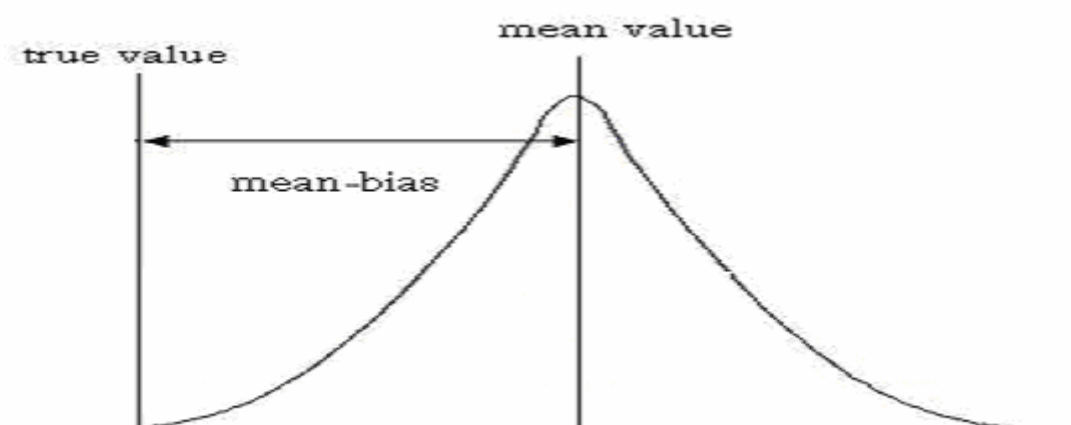


圖 2-11 偏差誤差之示意圖

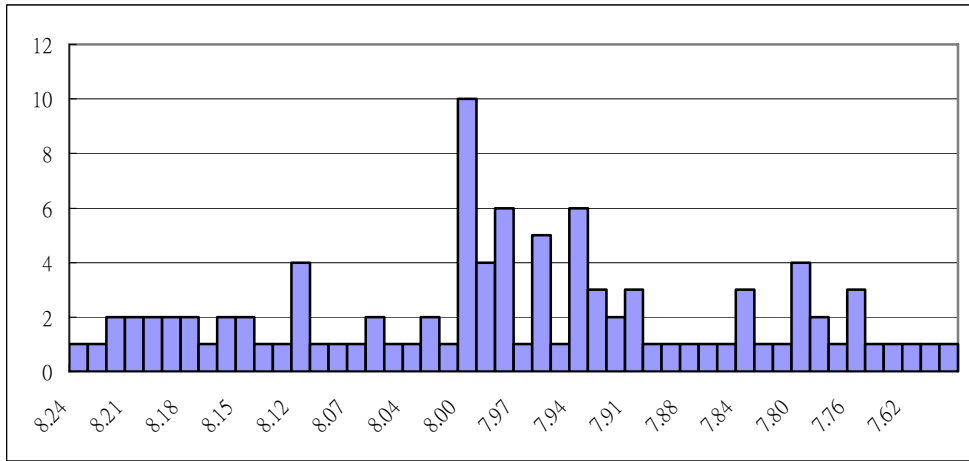


圖 2-12 已知位移量 8 畫素之計算結果

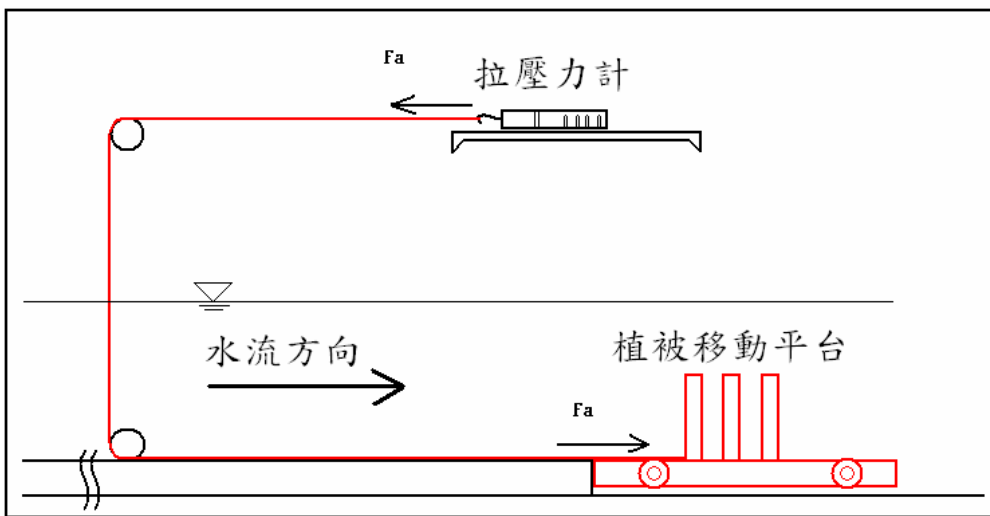


圖 2-13 阻力測量示意圖

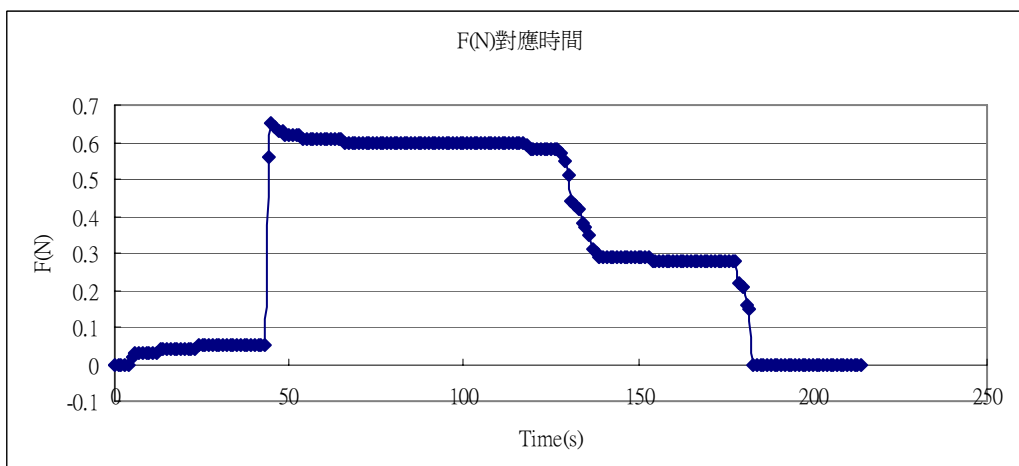


圖 2-14 阻力對應時間之變化圖

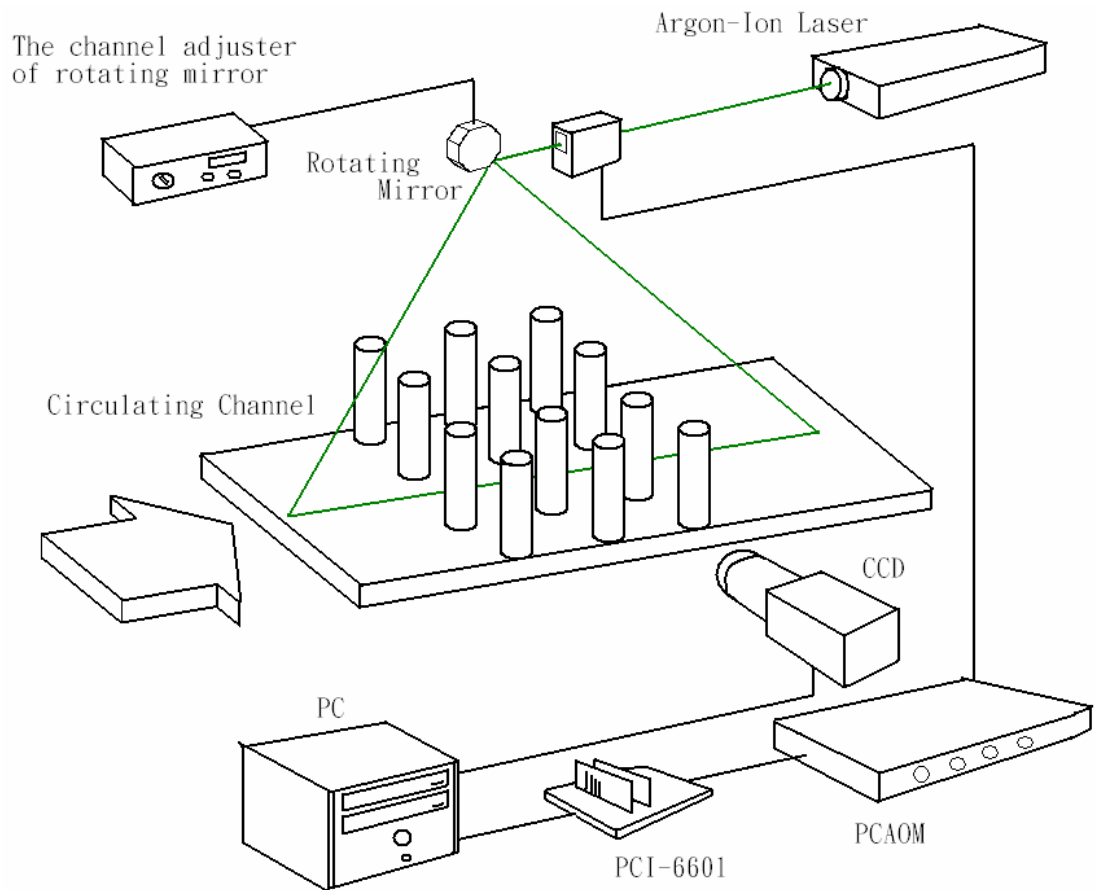


圖 3-1 CPIV 儀器架設示意圖

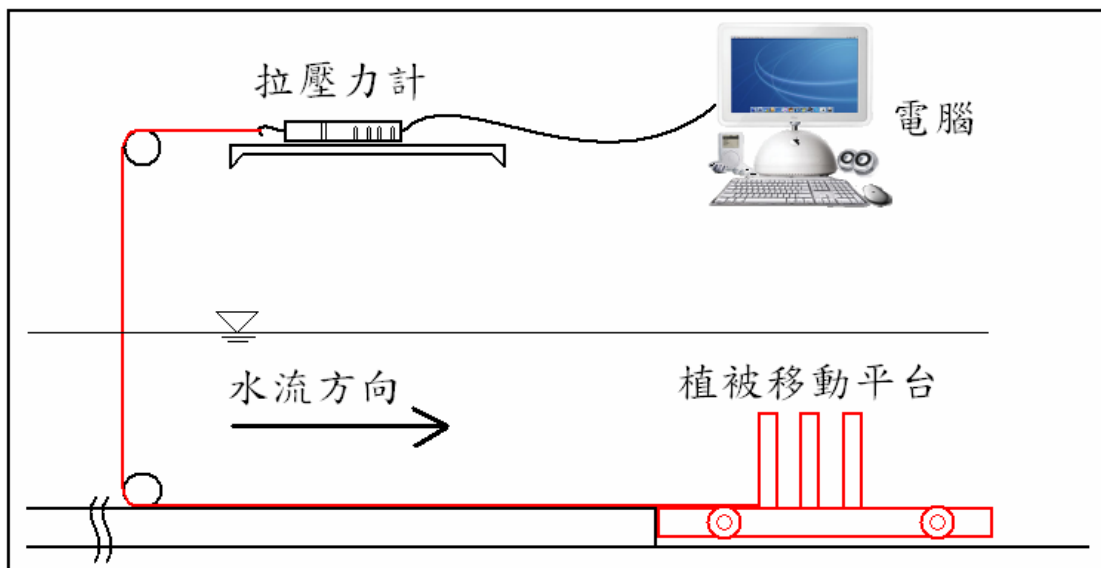


圖 3-2 阻力測量示意圖



圖 3-3 Agron 雷射

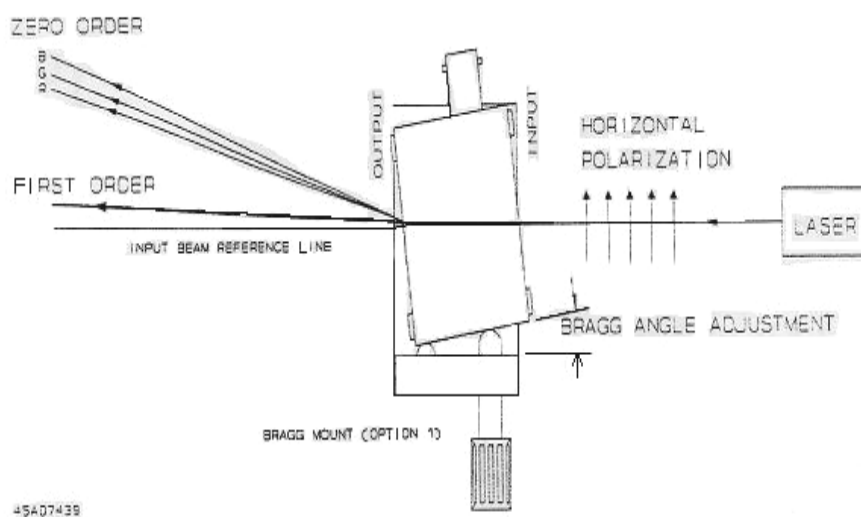


圖 3-4 PCAOM 所分出來之藍光及綠光示意圖

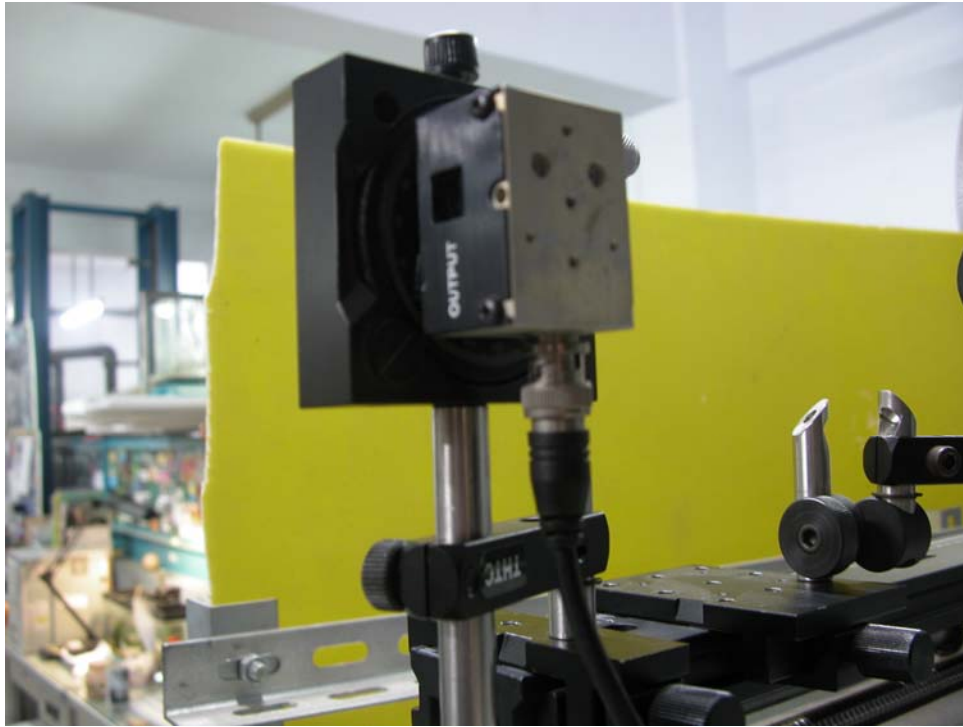


圖 3-5 多彩聲光調變器 (PCAOM)

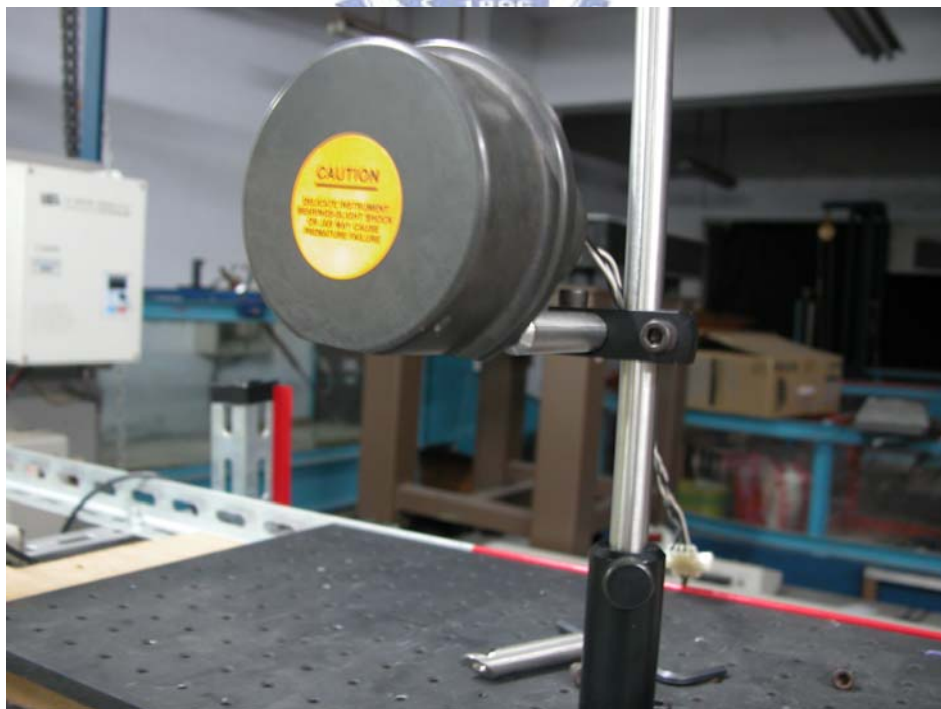


圖 3-6 旋轉八面鏡

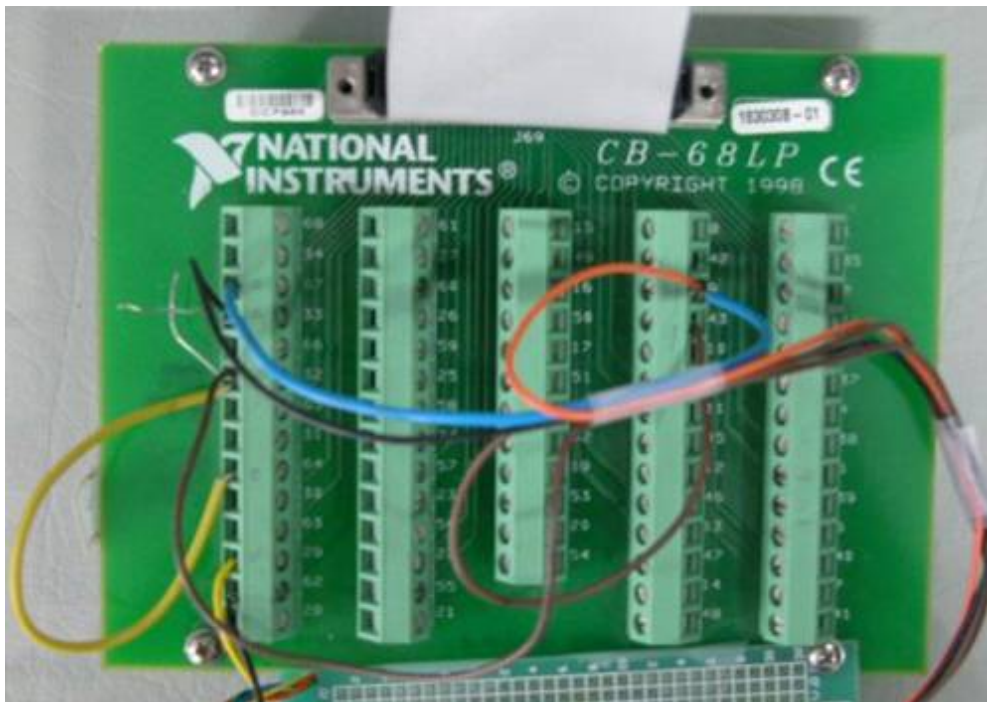


圖 3-7 PCI-6601 訊號控制卡

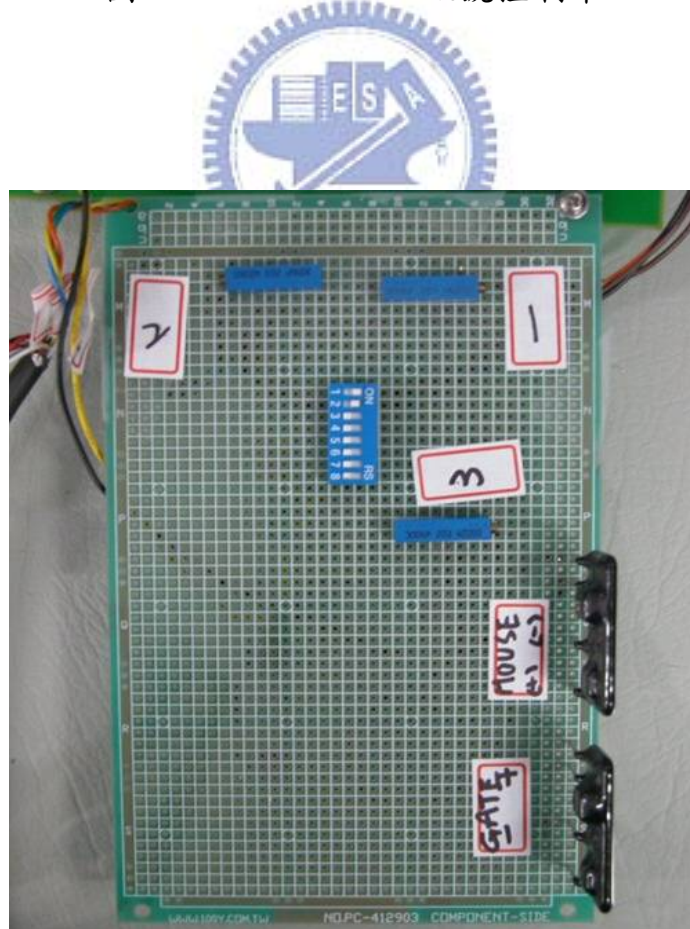


圖 3-8 自製降壓電路版

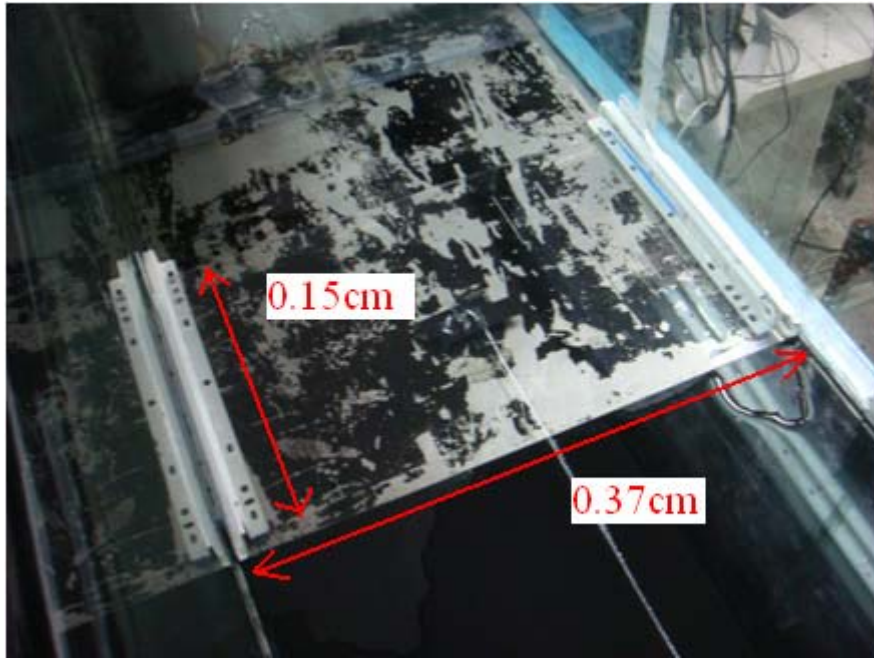


圖 3-9 移動平台



圖 3-10 LUTRON 拉壓力計



圖 3-11 實驗水槽



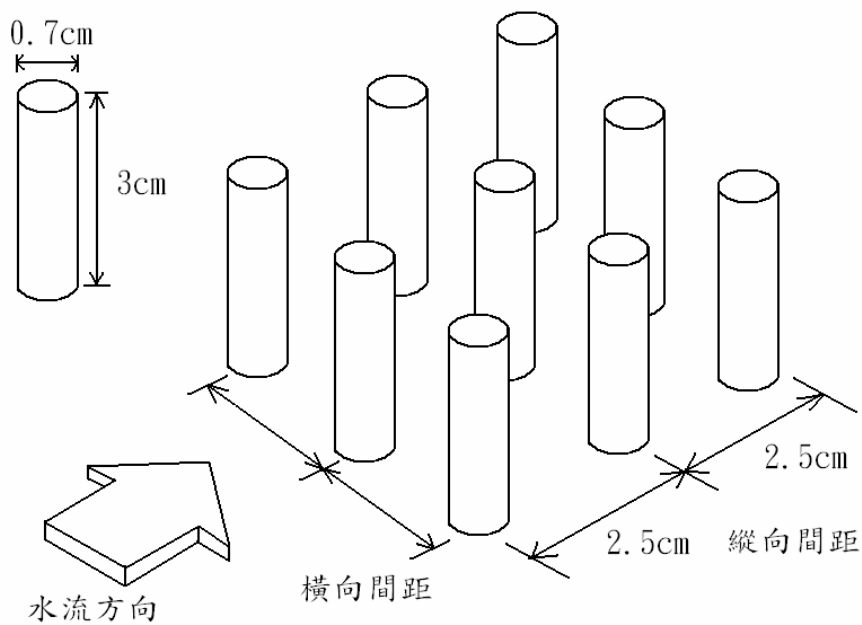


圖 4-1 植被橫向及縱向間距 2.5 公分示意圖

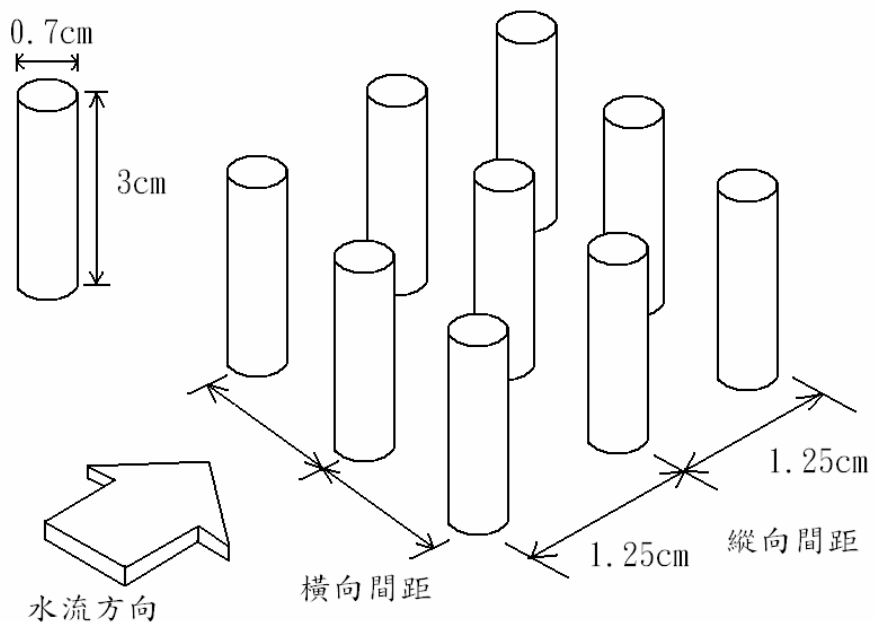


圖 4-2 植被橫向及縱向間距 1.25 公分示意圖

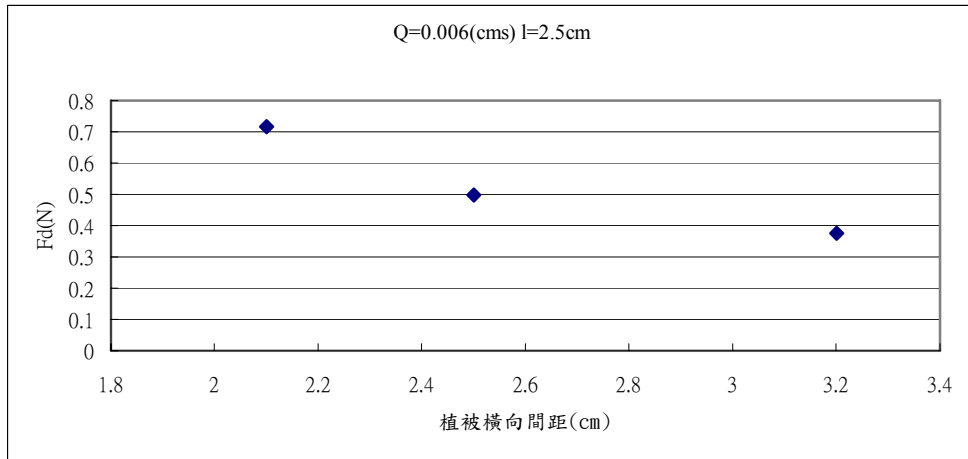


圖 4-3 植物橫向間距與阻力比較圖 $l=2.5\text{cm}$ $Q=0.006\text{cms}$

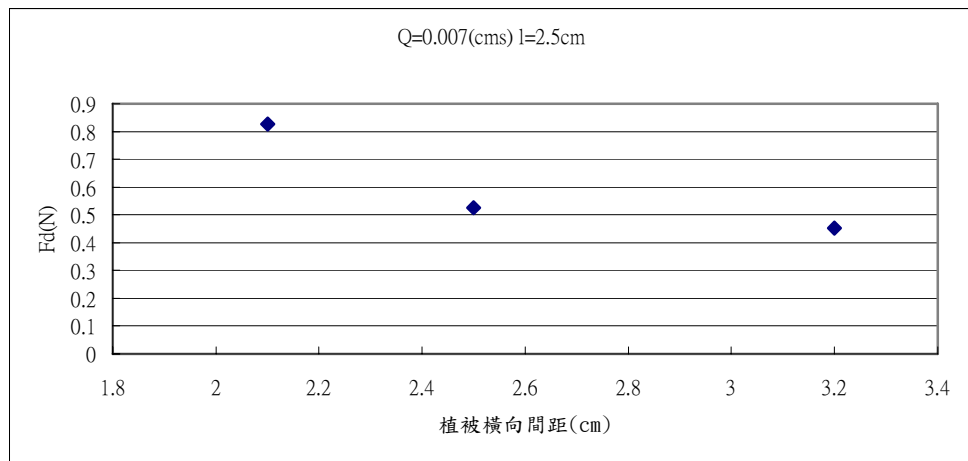


圖 4-4 植物橫向間距與阻力比較圖 $l=2.5\text{cm}$ $Q=0.007\text{cms}$

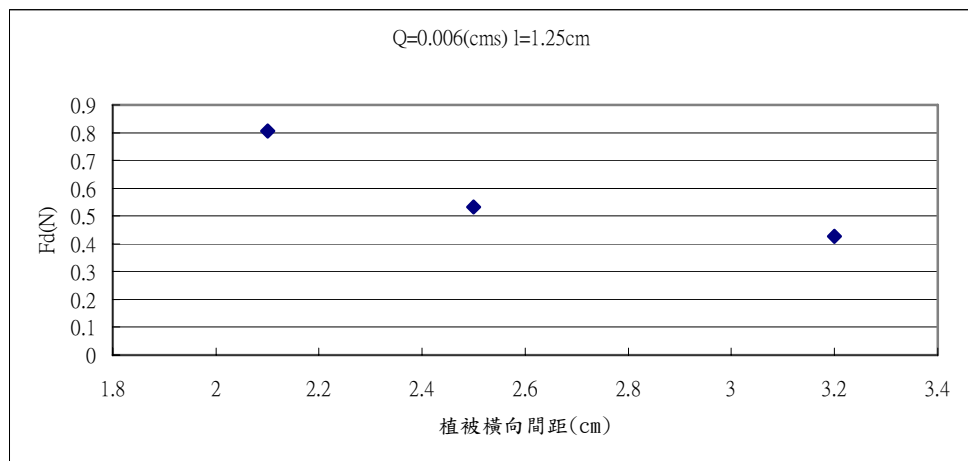


圖 4-5 植物橫向間距與阻力比較圖 $l=1.25\text{cm}$ $Q=0.006\text{cms}$

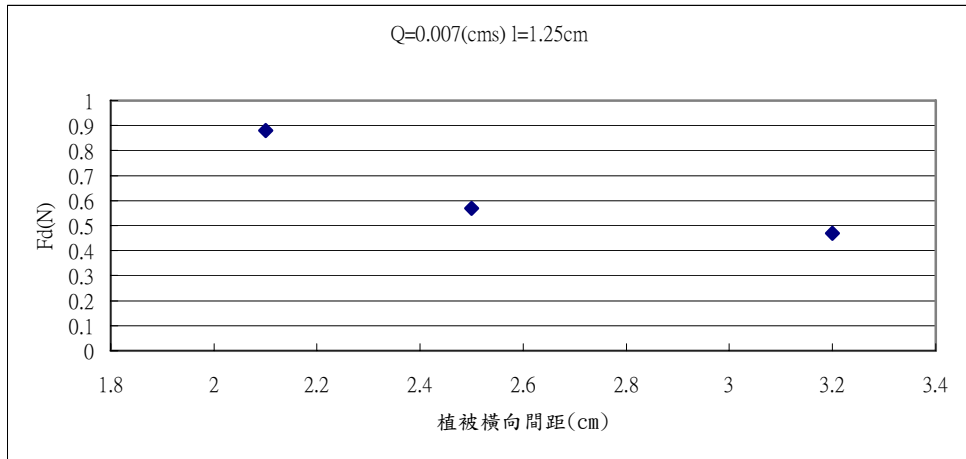


圖 4-6 植物橫向間距與阻力比較圖 $l=1.25\text{cm}$ $Q=0.007\text{cms}$

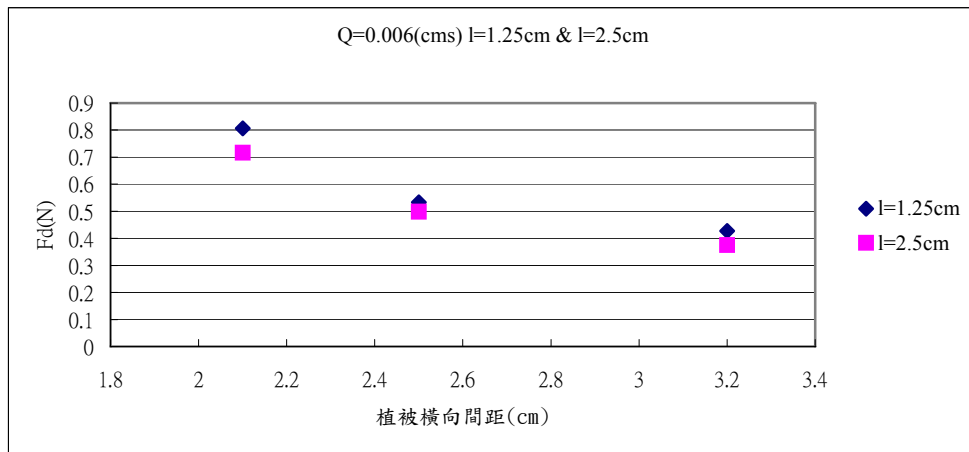


圖 4-7 植被縱向間距與阻力比較圖 $Q=0.006\text{cms}$

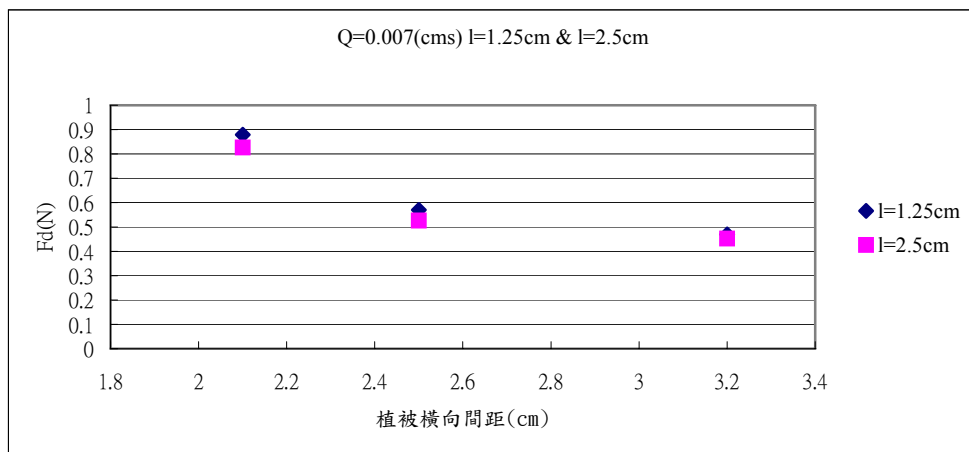


圖 4-8 植被縱向間距與阻力比較圖 $Q=0.007\text{cms}$

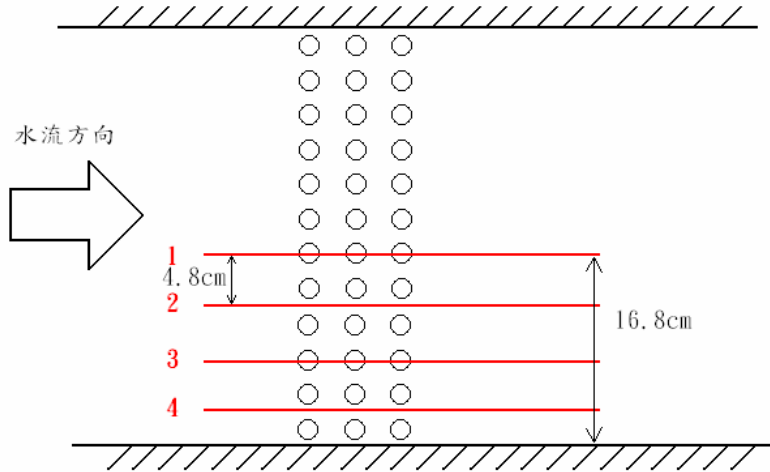


圖 4-9 縱斷面之量測位置

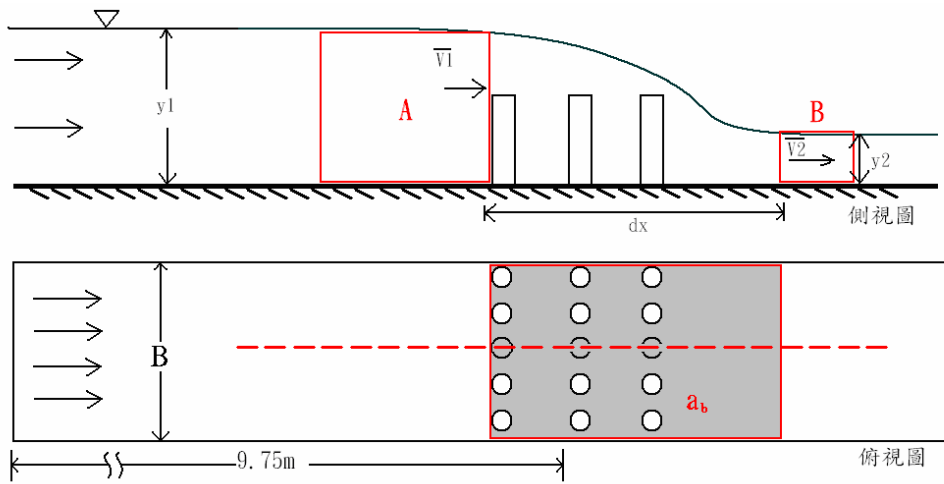


圖 4-10 光頁側視圖

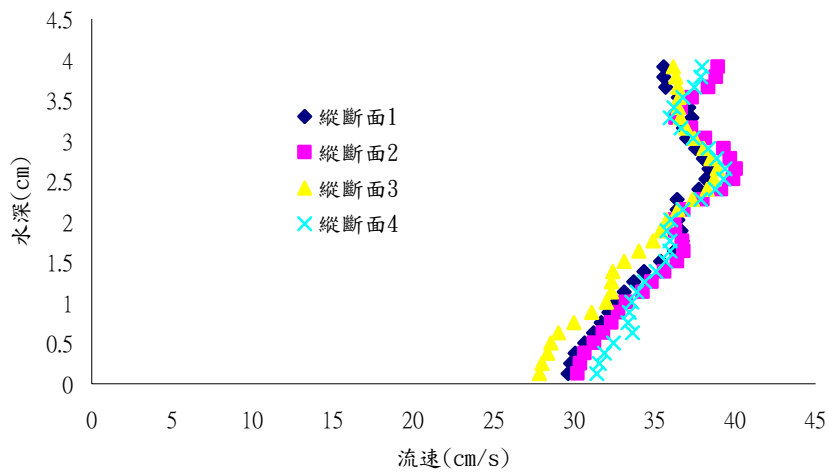


圖 4-11 各縱斷面位置 A 區流速與水深之關係圖(距離植被 5.17cm)

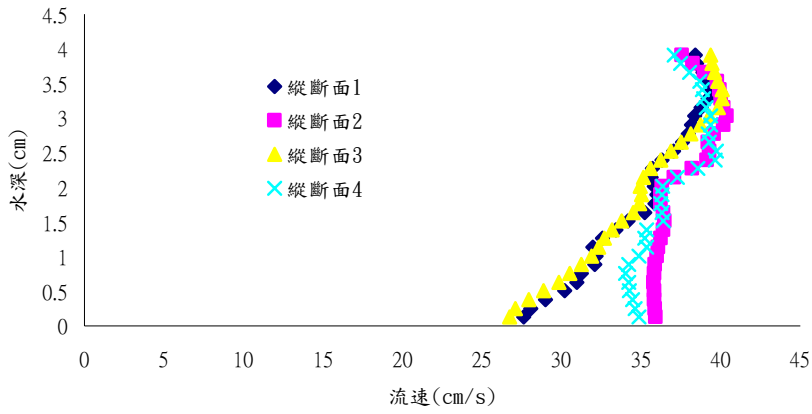


圖 4-12 各縱斷面位置 A 區流速與水深之關係圖(距離植被 0.18cm)

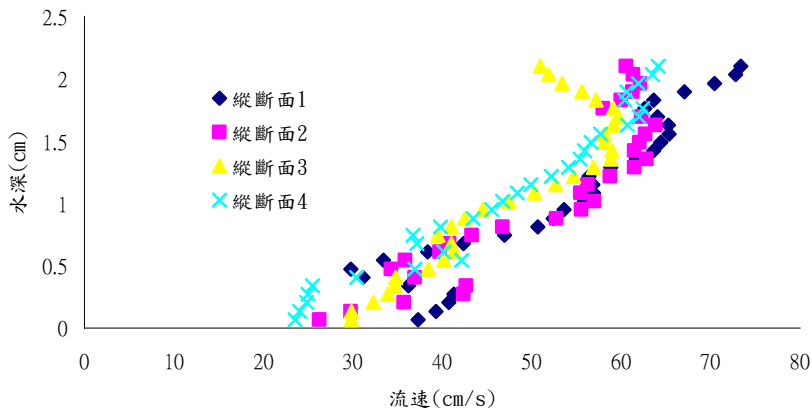


圖 4-13 各縱斷面位置 B 區流速與水深之關係圖(距離植被 5.38cm)

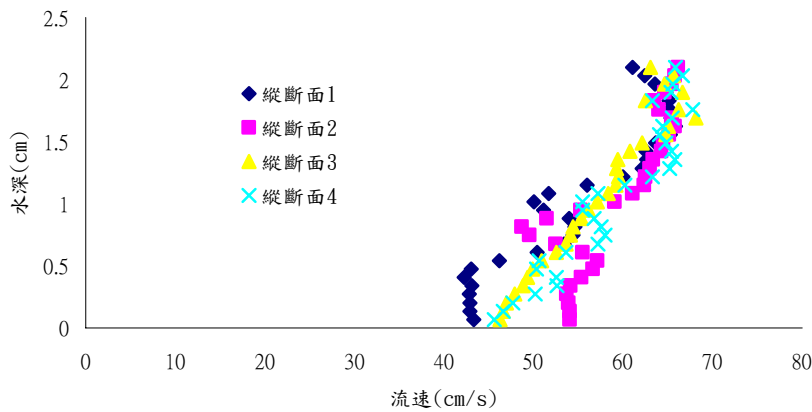


圖 4-14 各縱斷面位置 B 區流速與水深之關係圖(距離植被 8.49cm)

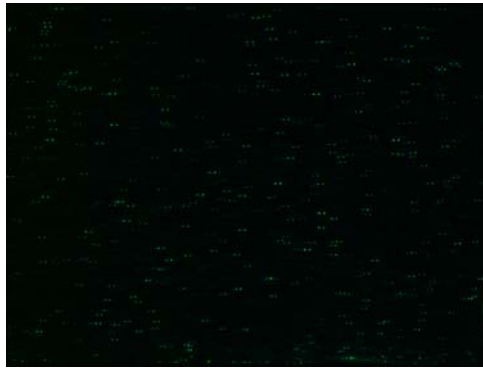


圖 4-15 案例 1 位置 A 區之擷取影像圖

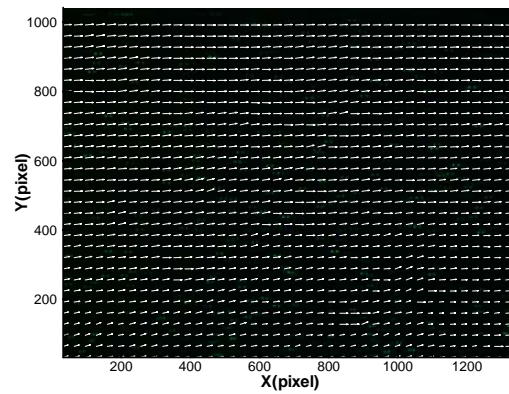


圖 4-16 案例 1 位置 A 區之速度向量分布圖

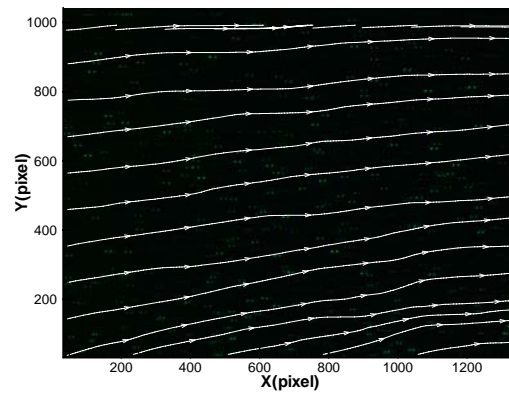


圖 4-17 案例 1 位置 A 區之流線圖

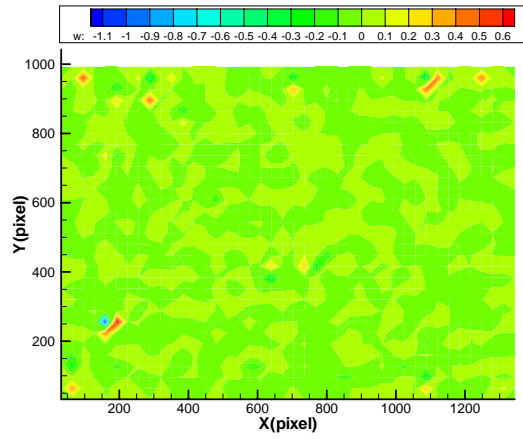


圖 4-18 案例 1 位置 A 區之渦度場圖

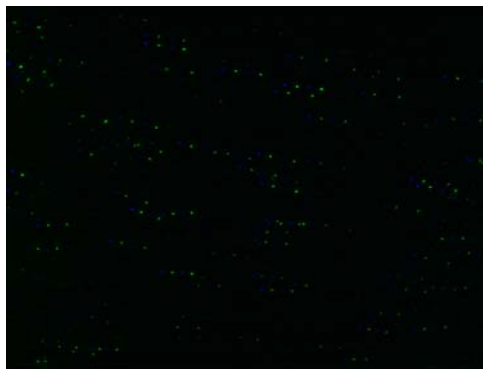


圖 4-19 案例 1 位置 B 區之擷取影像圖

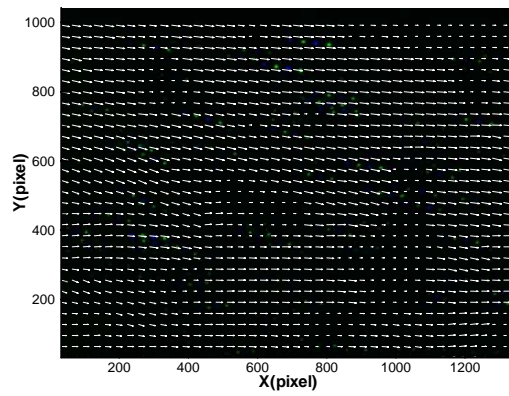


圖 4-20 案例 1 位置 B 區之速度向量分布圖

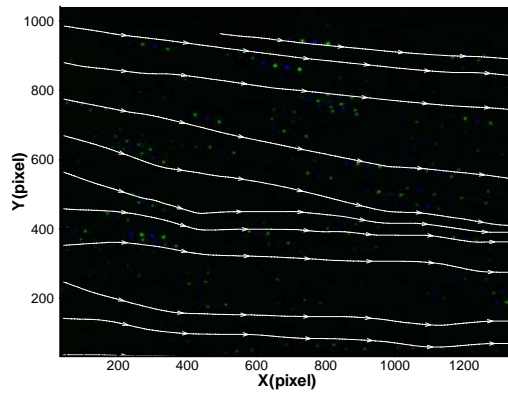


圖 4-21 案例 1 位置 B 區之流線圖

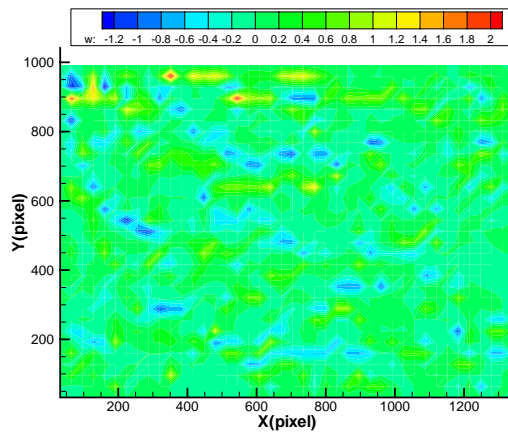


圖 4-22 案例 1 位置 B 區之渦度場圖

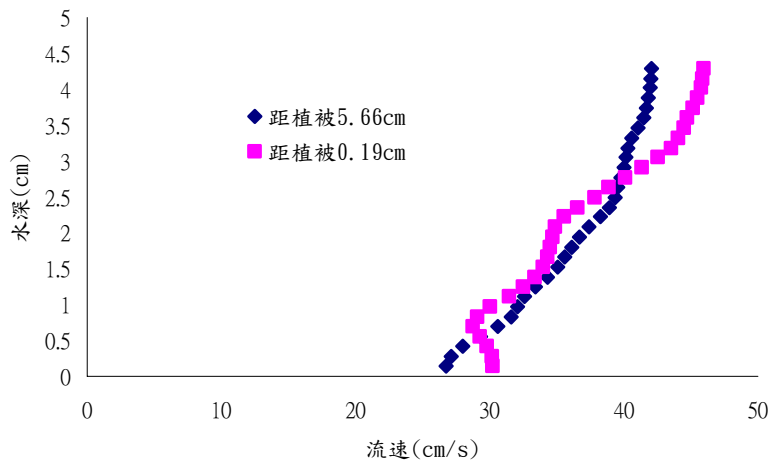


圖 4-23 案例 1 位置 A 區距植被 5.66cm 及 0.19cm 之速度比較圖

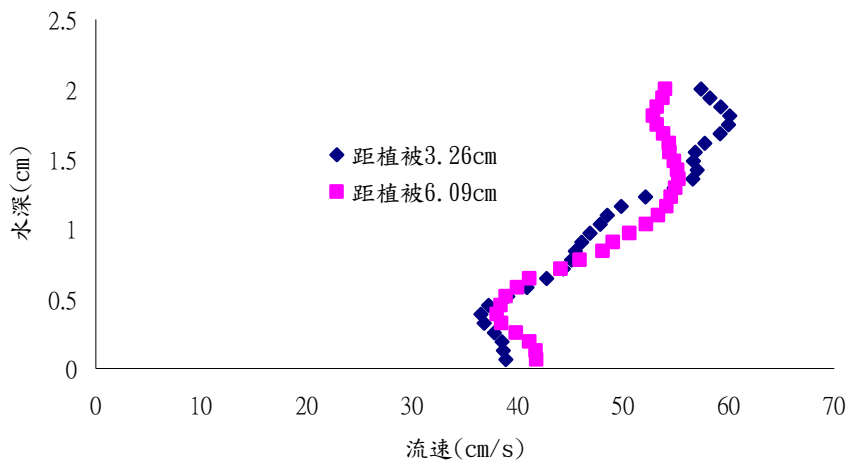


圖 4-24 案例 1 位置 B 區距植被 3.26cm 及 6.09cm 之速度比較圖



圖 4-25 案例 2 位置 A 區之擷取影像圖

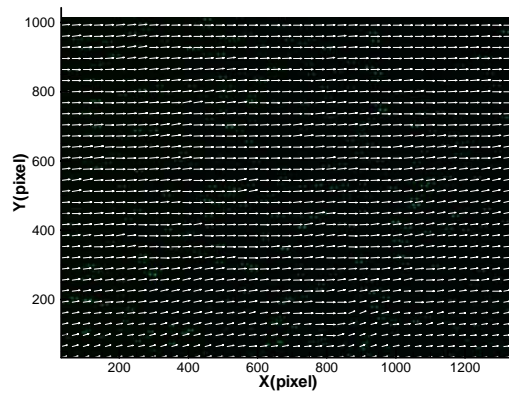


圖 4-26 案例 2 位置 A 區之速度向量分布圖

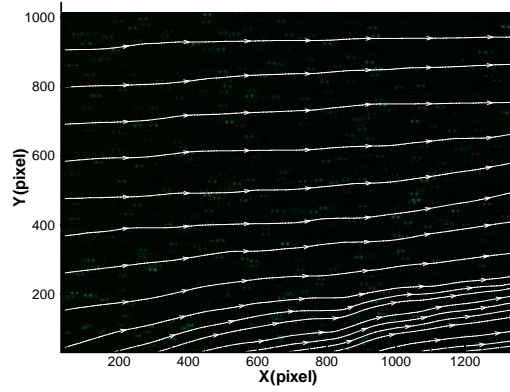


圖 4-27 案例 2 位置 A 區之流線圖

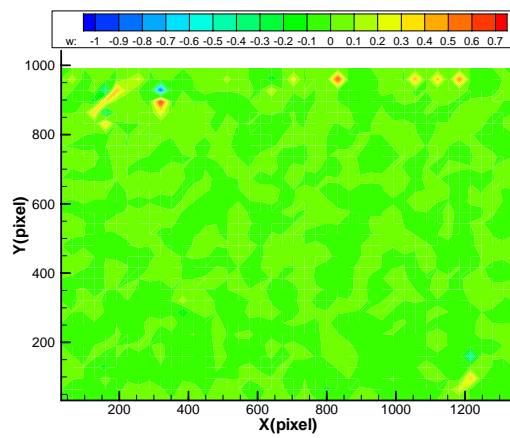


圖 4-28 案例 2 位置 A 區之渦度場圖

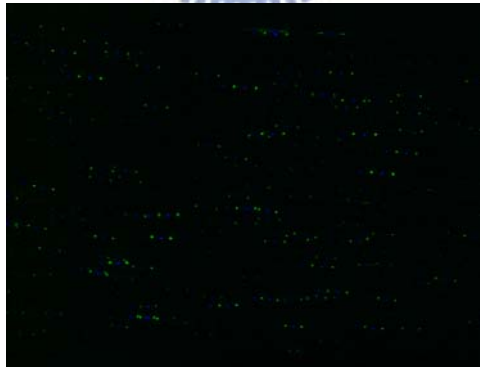


圖 4-29 案例 2 位置 B 區之擷取影像圖

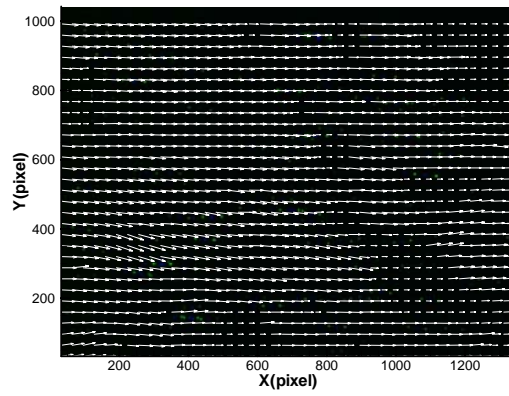


圖 4-30 案例 2 位置 B 區之速度向量分布圖

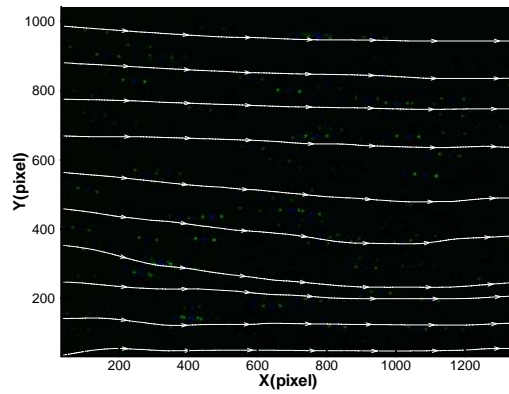


圖 4-31 案例 2 位置 B 區之流線圖

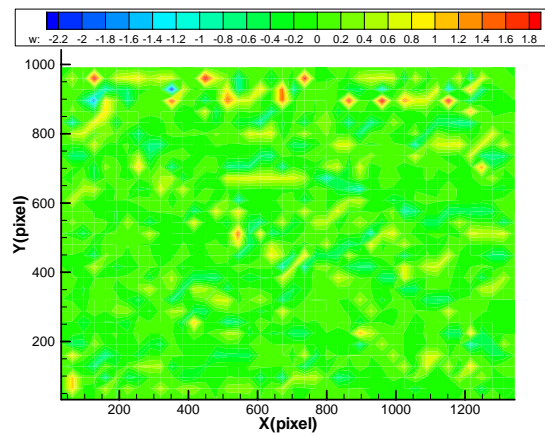


圖 4-32 案例 2 位置 B 區之渦度場圖

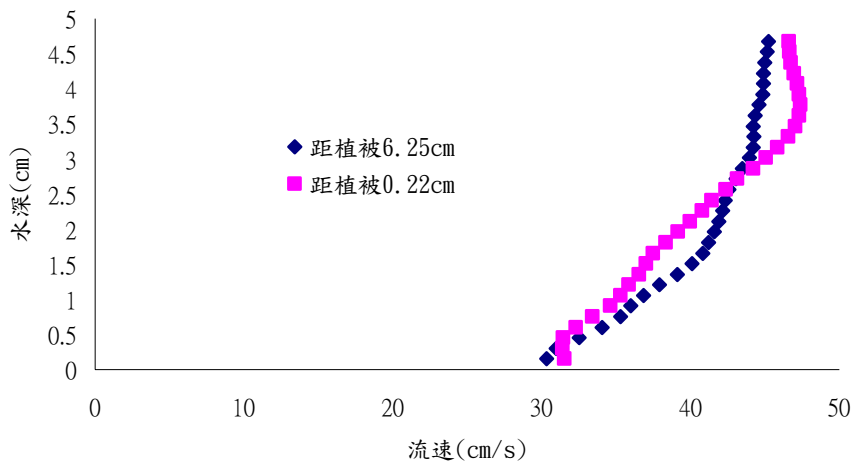


圖 4-33 案例 2 位置 A 區距植被 6.25cm 及 0.22cm 之速度比較圖

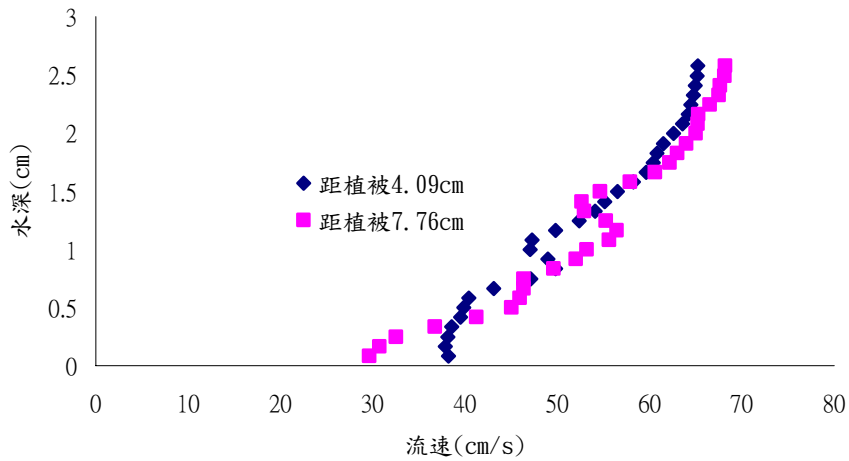


圖 4-34 案例 2 位置 B 區距植被 4.09cm 及 7.76cm 之速度比較圖



圖 4-35 案例 3 位置 A 區之擷取影像圖

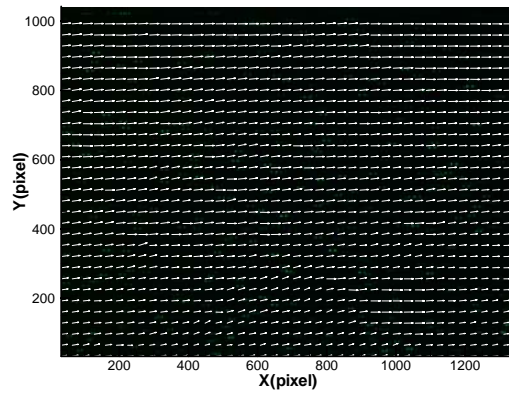


圖 4-36 案例 3 位置 A 區之速度向量分布圖

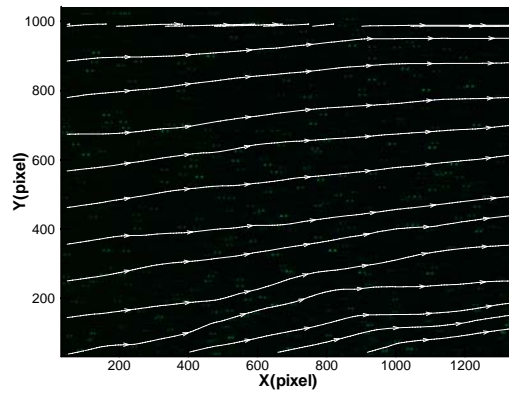


圖 4-37 案例 3 位置 A 區之流線圖

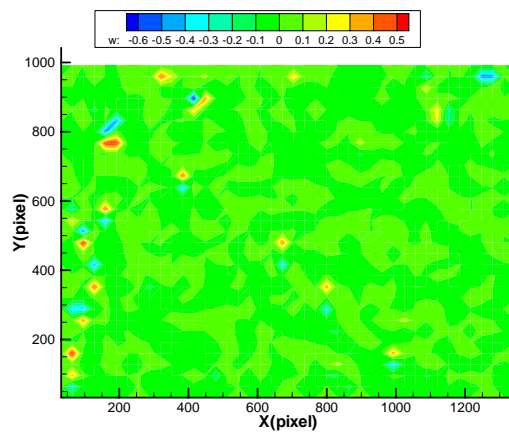


圖 4-38 案例 3 位置 A 區之渦度場圖

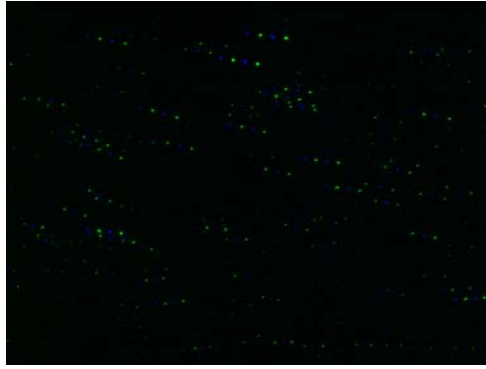


圖 4-39 案例 3 位置 B 區之擷取影像

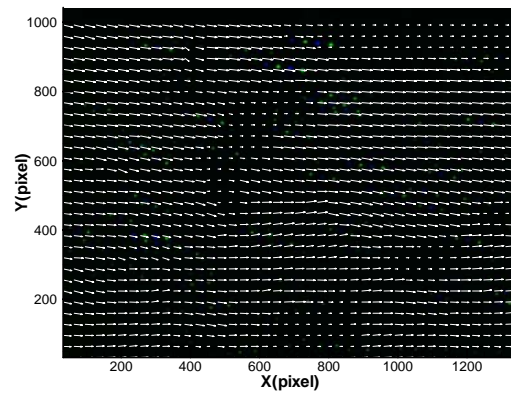


圖 4-40 案例 3 位置 B 區之速度向量分布圖

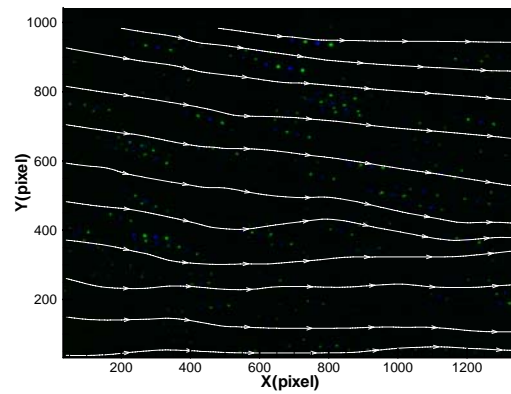


圖 4-41 案例 3 位置 B 區之流線圖

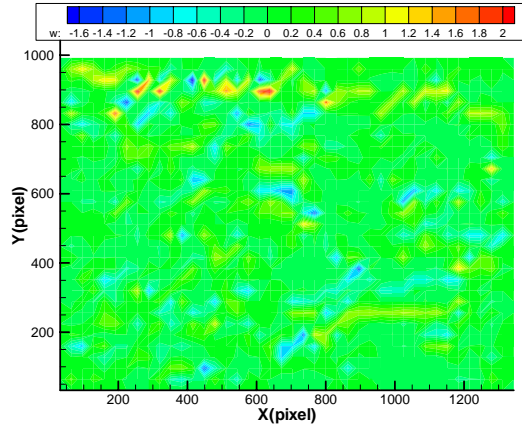


圖 4-42 案例 3 位置 B 區之渦度場圖

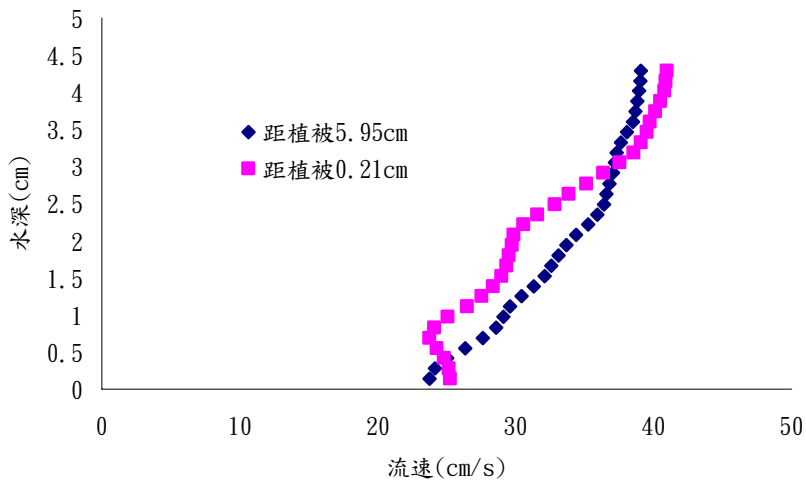


圖 4-43 案例 3 位置 A 區距植被 5.95cm 及 0.21cm 之速度比較圖

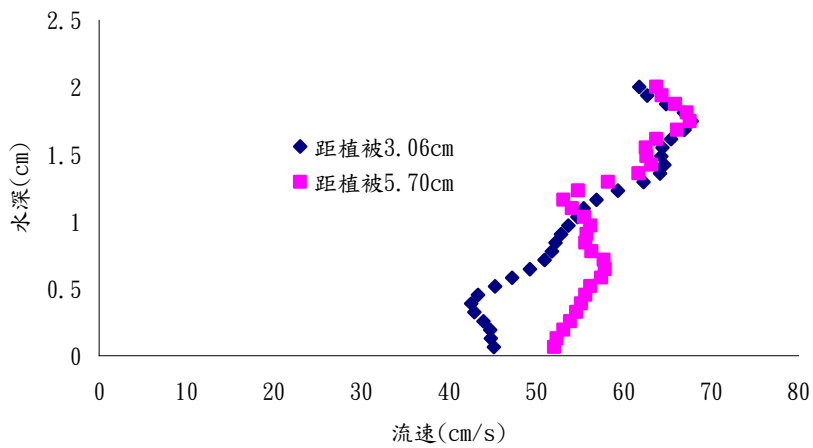


圖 4-44 案例 3 位置 B 區距植被 3.06cm 及 5.70cm 之速度比較圖

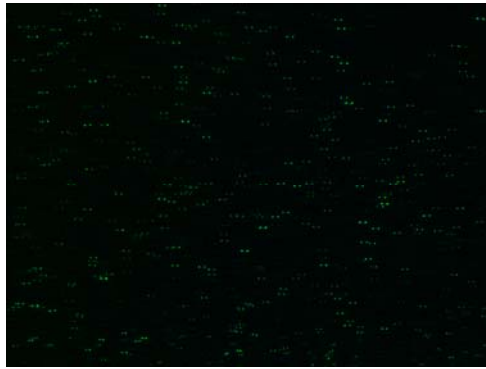


圖 4-45 案例 4 位置 A 區之擷取影像

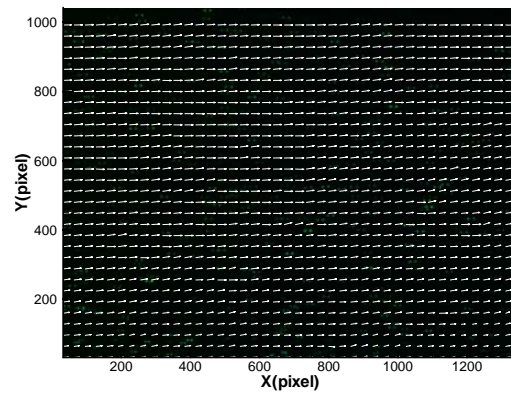


圖 4-46 案例 4 位置 A 區之速度向量分布圖

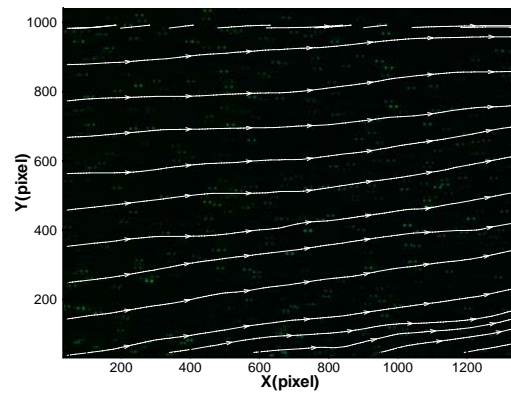


圖 4-47 案例 4 位置 A 區之流線圖

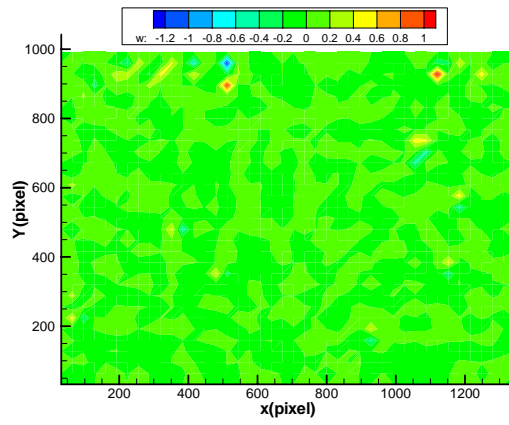


圖 4-48 案例 4 位置 A 區之渦度場圖

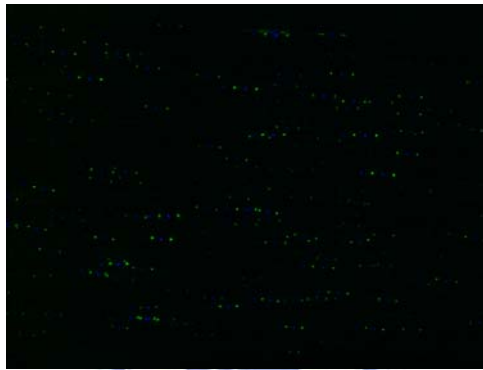


圖 4-49 案例 4 位置 B 區之擷取影像

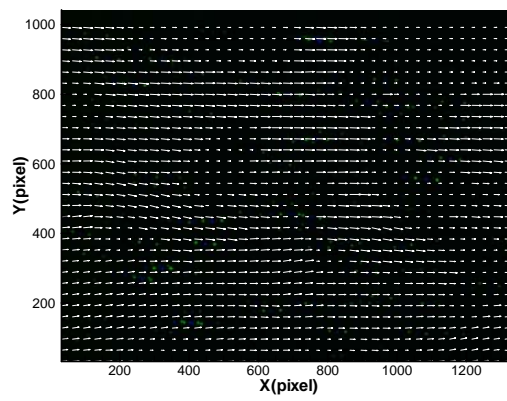


圖 4-50 案例 4 位置 B 區之速度向量分布圖

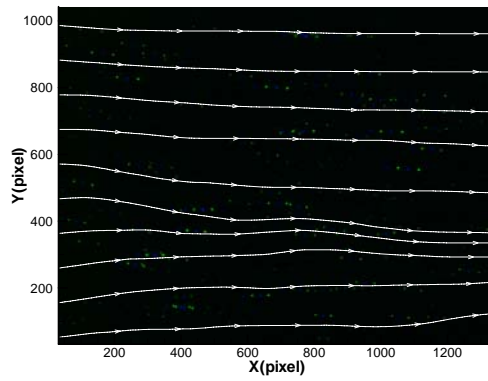


圖 4-51 案例 4 位置 B 區之流線圖

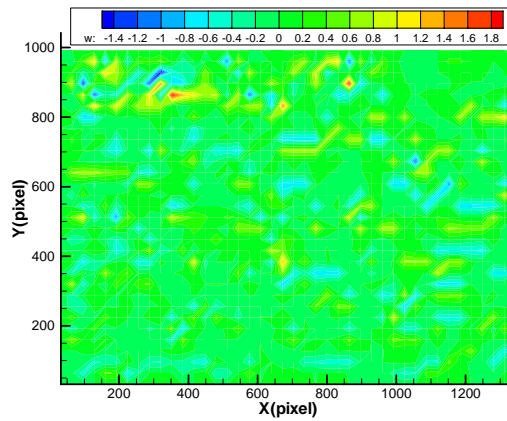


圖 4-52 案例 4 位置 B 區之渦度場圖

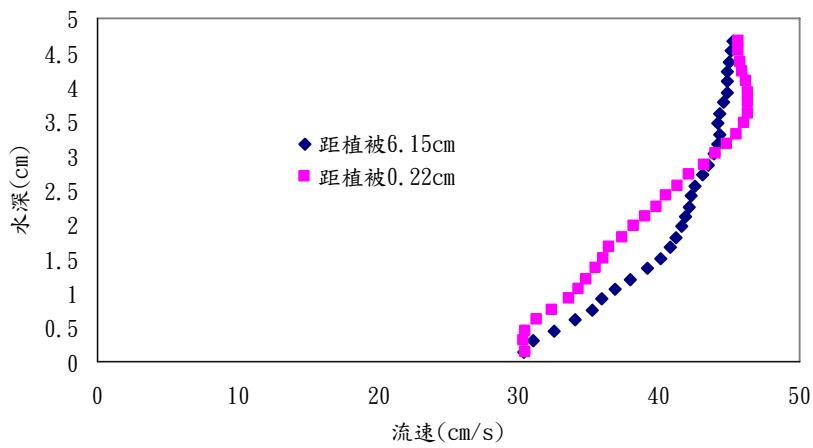


圖 4-53 案例 4 位置 A 區距植被 6.15cm 及 0.22cm 之速度比較圖

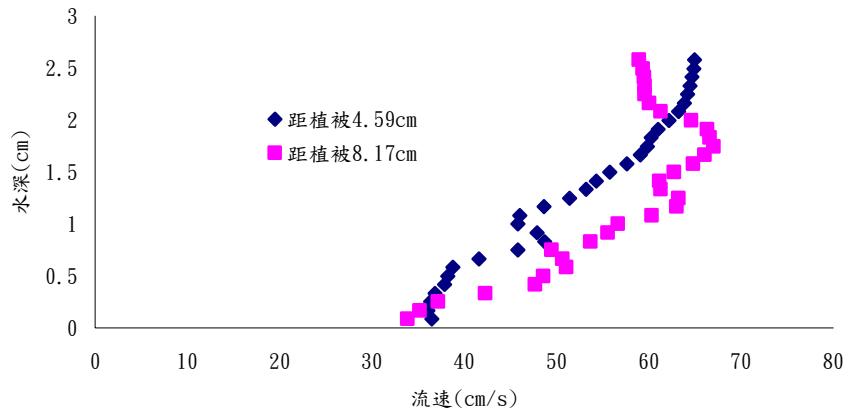


圖 4-54 案例 4 位置 B 區距植被 4.59cm 及 8.17cm 之速度比較圖



圖 4-55 案例 5 位置 A 區之擷取影像

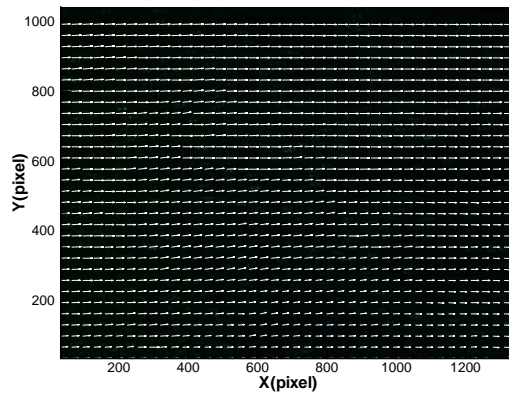


圖 4-56 案例 5 位置 A 區之速度向量分布圖

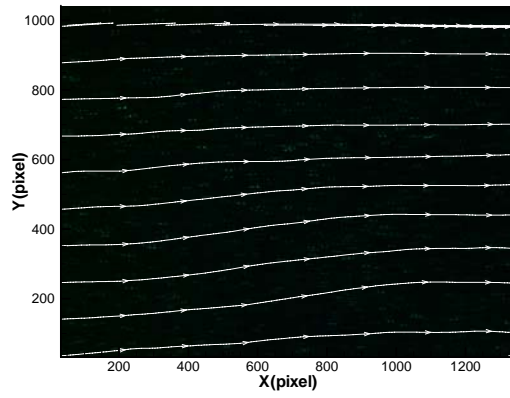


圖 4-57 案例 5 位置 A 區之流線圖

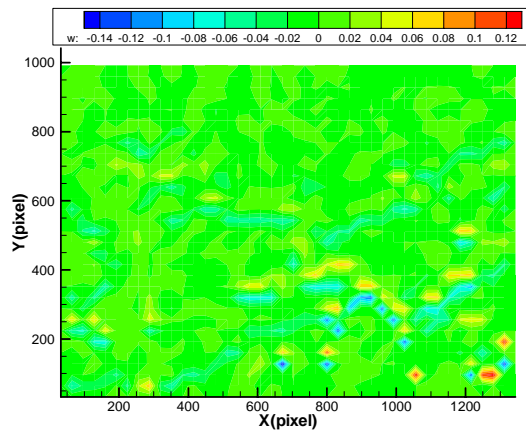


圖 4-58 案例 5 位置 A 區之渦度場圖

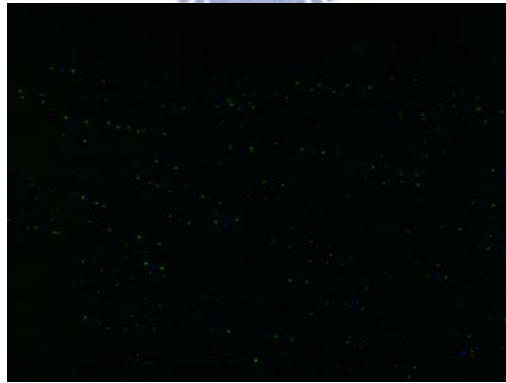


圖 4-59 案例 5 位置 B 區之擷取影像

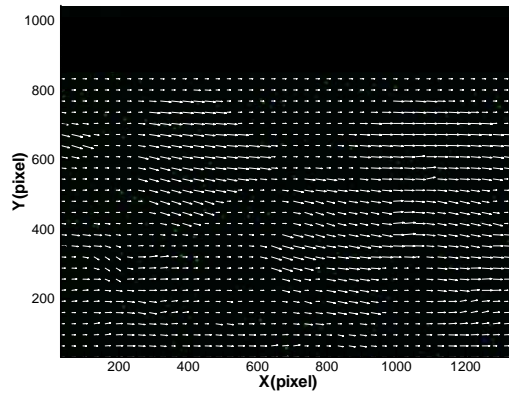


圖 4-60 案例 5 位置 B 區之速度向量分布圖

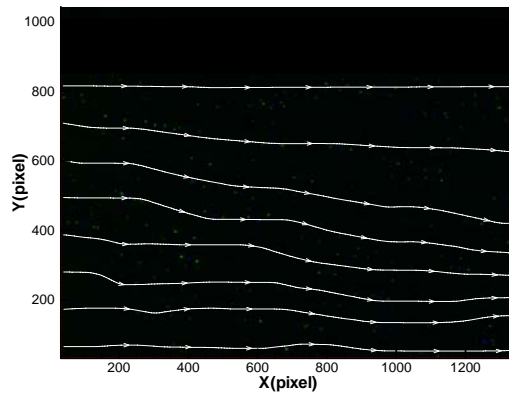


圖 4-61 案例 5 位置 B 區之流線圖

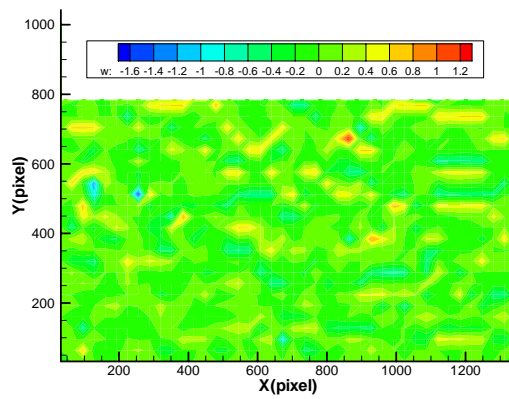


圖 4-62 案例 5 位置 B 區之渦度場圖

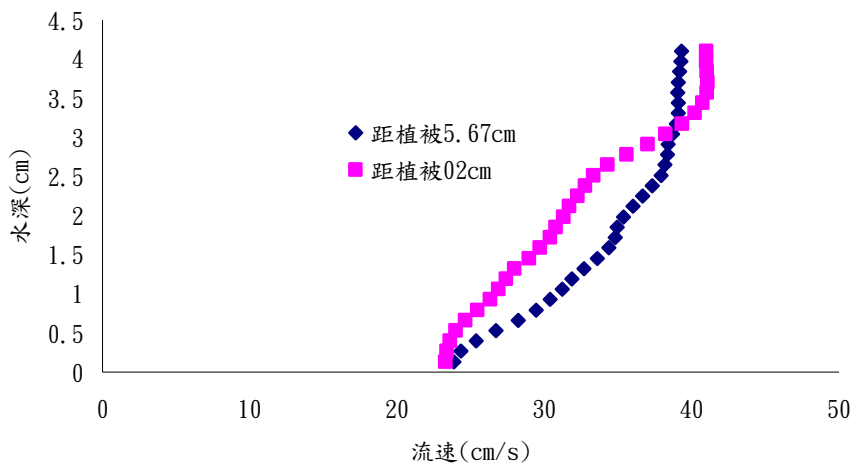


圖 4-63 案例 5 位置 A 區距植被 5.67cm 及 0.20cm 之速度比較圖

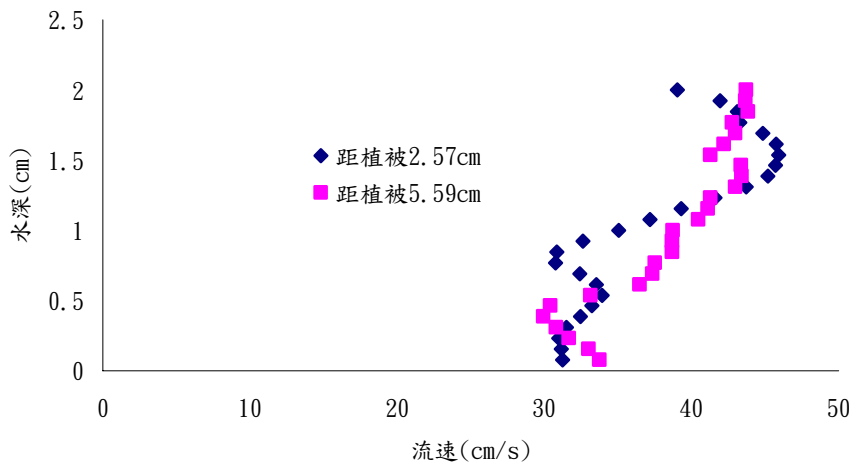


圖 4-64 案例 5 位置 B 區距植被 2.57cm 及 5.59cm 之速度比較圖

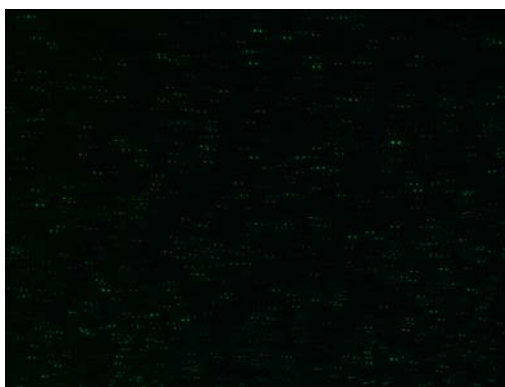


圖 4-65 案例 6 位置 A 區之擷取影像圖

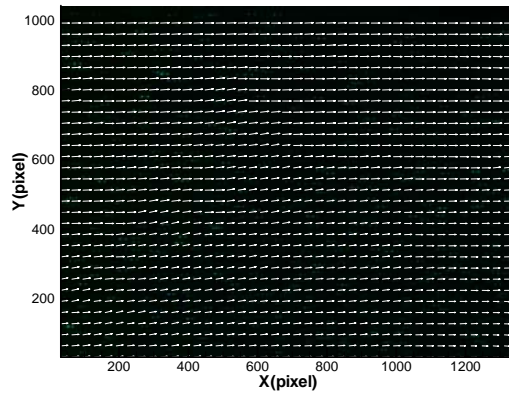


圖 4-66 案例 6 位置 A 區之速度向量分布圖

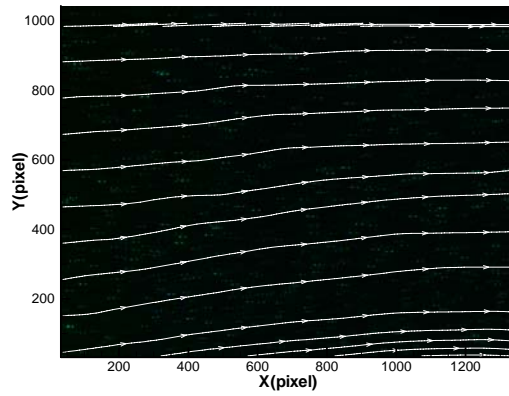


圖 4-67 案例 6 位置 A 區之流線圖

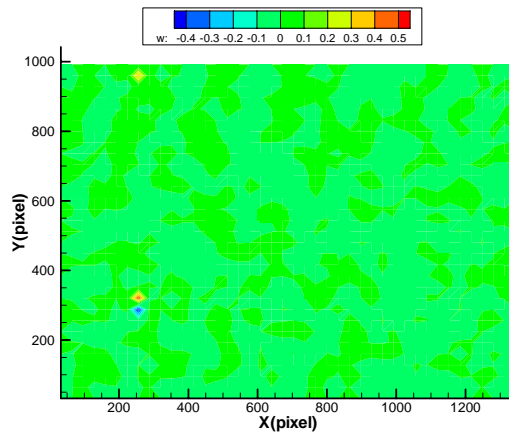


圖 4-68 案例 6 位置 A 區之渦度場圖

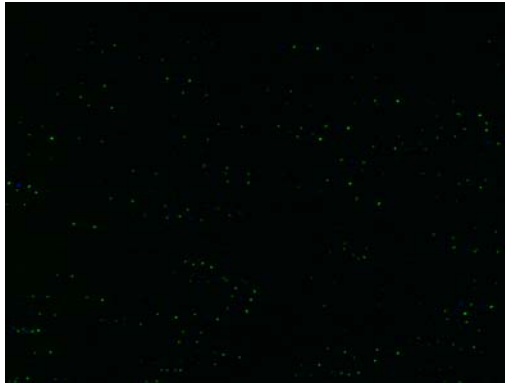


圖 4-69 案例 6 位置 B 區之擷取影像

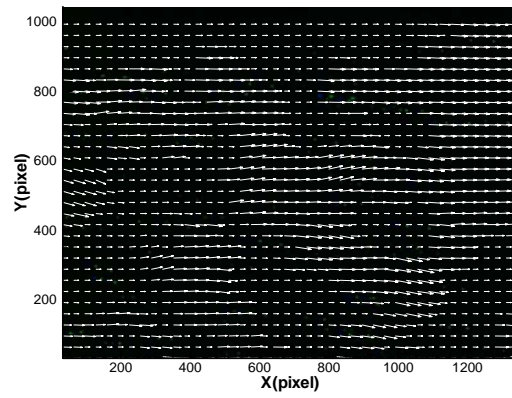


圖 4-70 案例 6 位置 B 區之速度向量分布圖

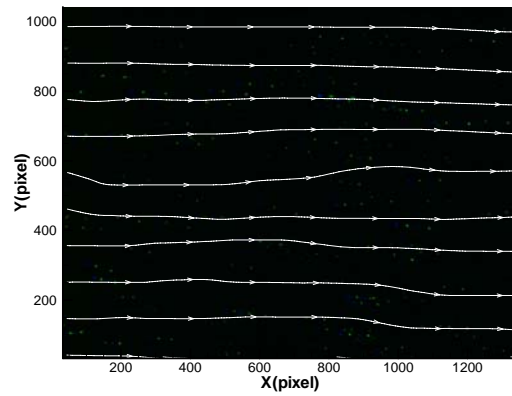


圖 4-71 案例 6 位置 B 區之流線圖

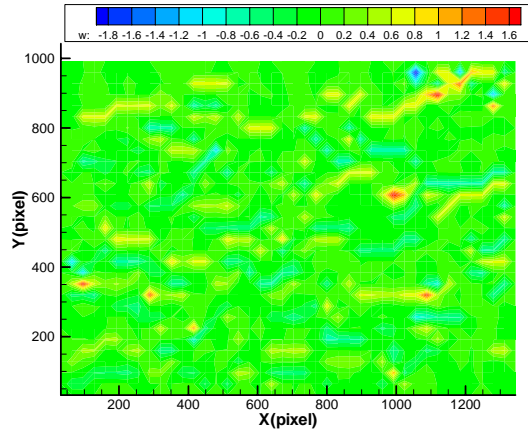


圖 4-72 案例 6 位置 B 區之渦度場圖

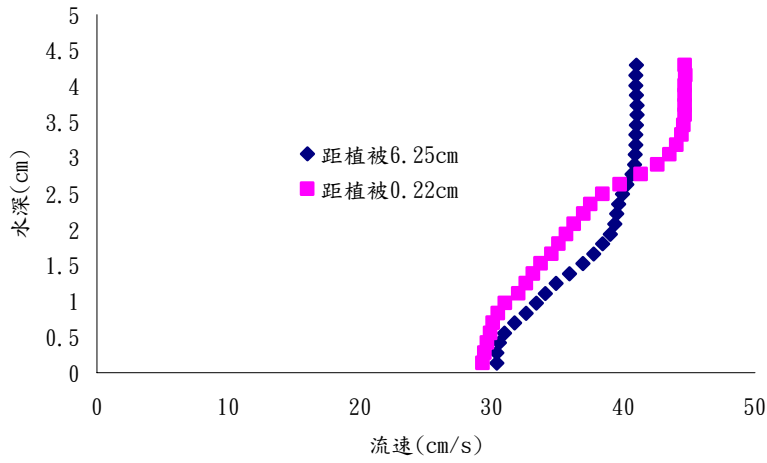


圖 4-73 案例 6 位置 A 區距植被 6.25cm 及 0.22cm 之速度比較圖

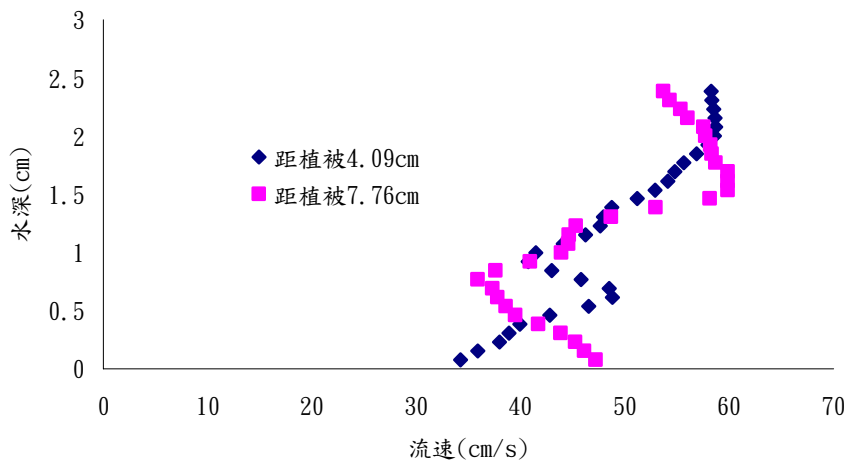


圖 4-74 案例 6 位置 B 區距植被 4.09cm 及 7.76cm 之速度比較圖

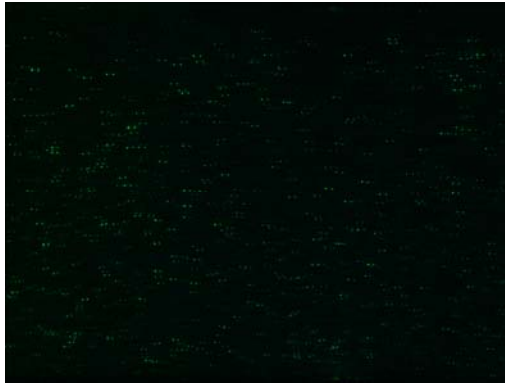


圖 4-75 案例 7 位置 A 區之擷取影像圖

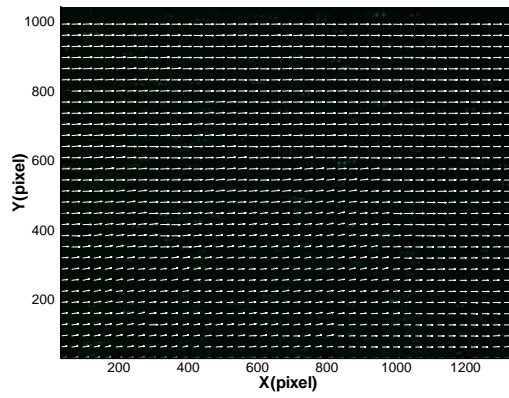


圖 4-76 案例 7 位置 A 區之速度向量分布圖

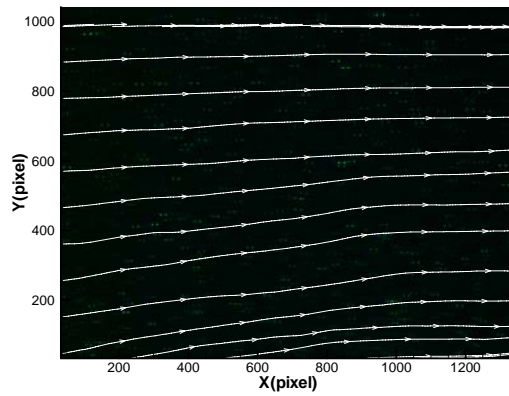


圖 4-77 案例 7 位置 A 區之流線圖

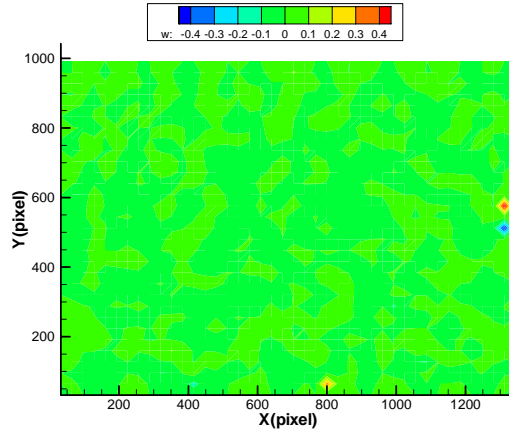


圖 4-78 案例 7 位置 A 區之渦度場圖



圖 4-79 案例 7 位置 B 區之擷取影像

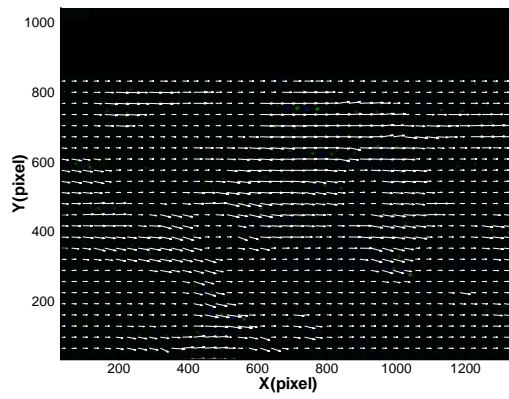


圖 4-80 案例 7 位置 B 區之速度向量分布圖

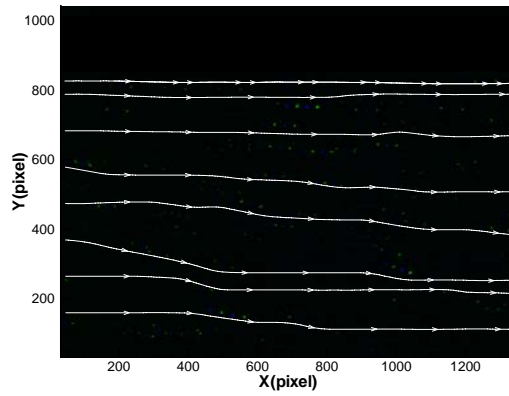


圖 4-81 案例 7 位置 B 區之流線圖

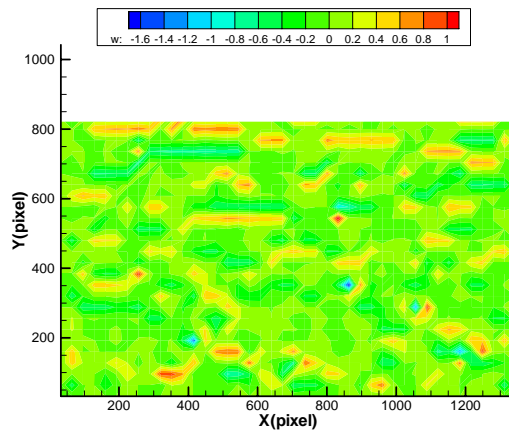


圖 4-82 案例 7 位置 B 區之渦度場圖

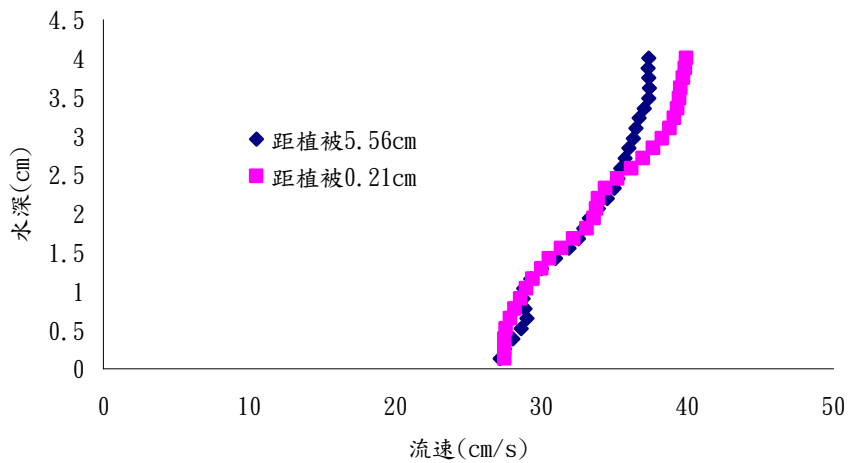


圖 4-83 案例 7 位置 A 區距植被 5.56cm 及 0.21cm 之速度比較圖

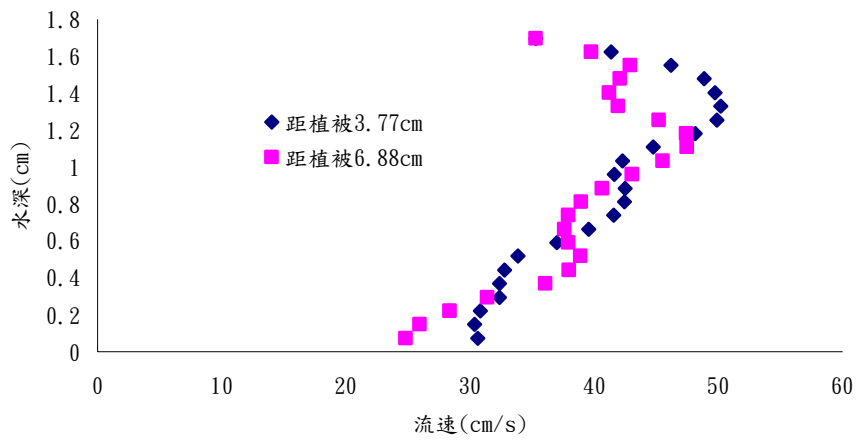


圖 4-84 案例 7 位置 B 區距植被 3.77cm 及 6.88cm 之速度比較圖

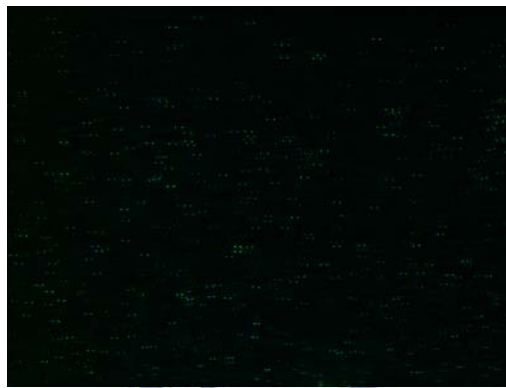


圖 4-85 案例 8 位置 A 區之擷取影像圖

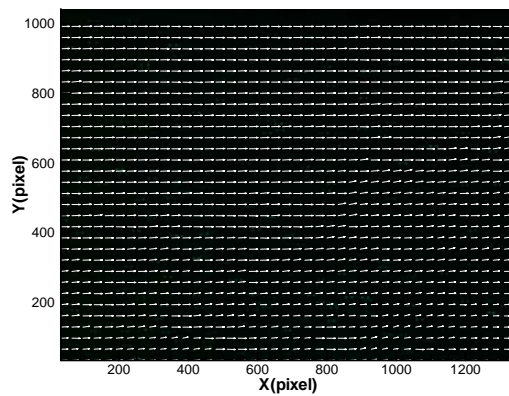


圖 4-86 案例 8 位置 A 區之速度向量分布圖

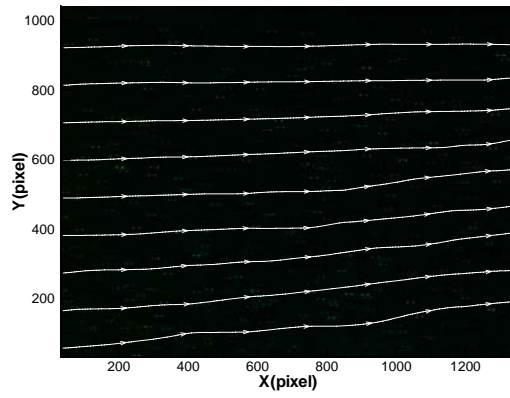


圖 4-87 案例 8 位置 A 區之流線圖

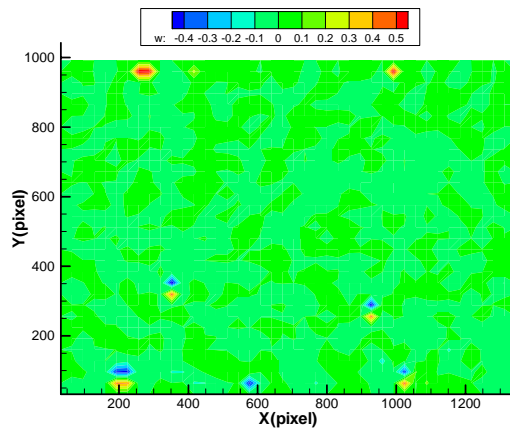


圖 4-88 案例 8 位置 A 區之渦度場圖

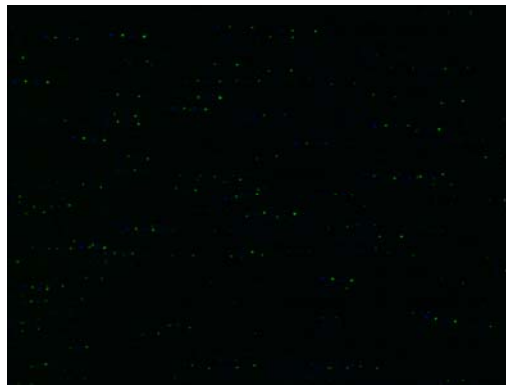


圖 4-89 案例 8 位置 B 區之擷取影像圖

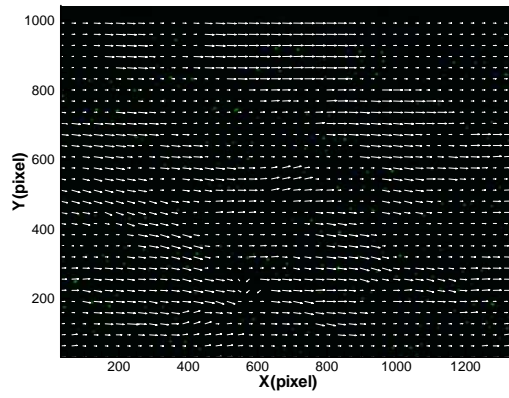


圖 4-90 案例 8 位置 B 區之速度向量分布圖

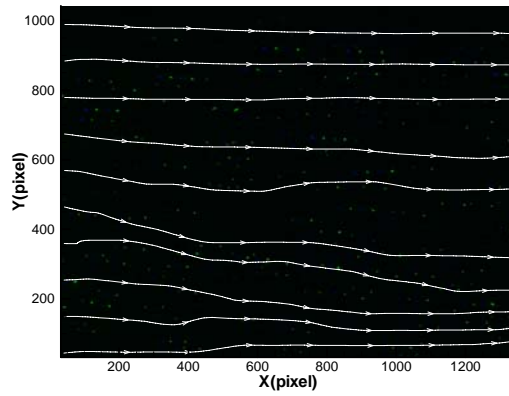


圖 4-91 案例 8 位置 B 區之流線圖

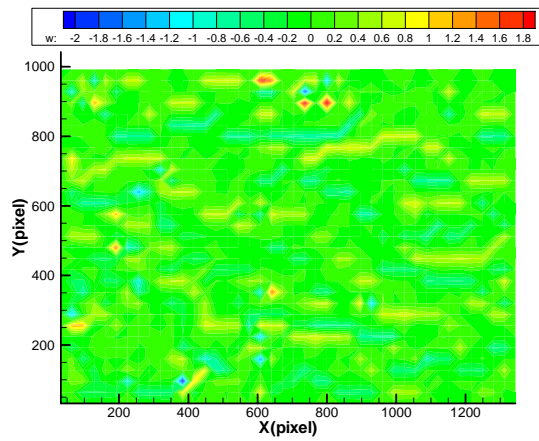


圖 4-92 案例 8 位置 B 區之渦度場圖

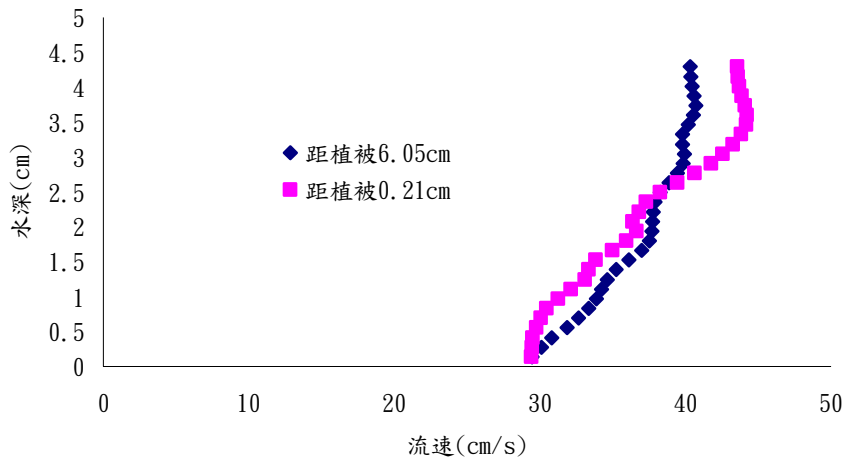


圖 4-93 案例 8 位置 A 區距植被 6.05cm 及 0.21cm 之速度比較圖

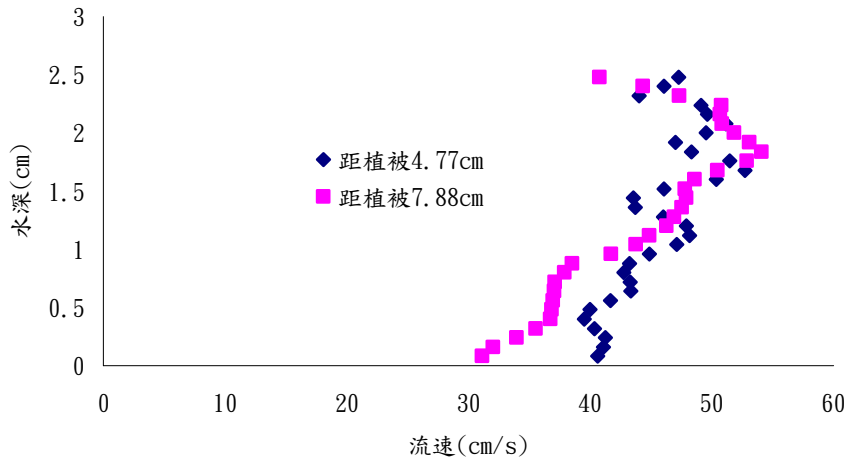


圖 4-94 案例 8 位置 B 區距植被 4.77cm 及 7.88cm 之速度比較圖



圖 4-95 案例 9 位置 A 區之擷取影像圖

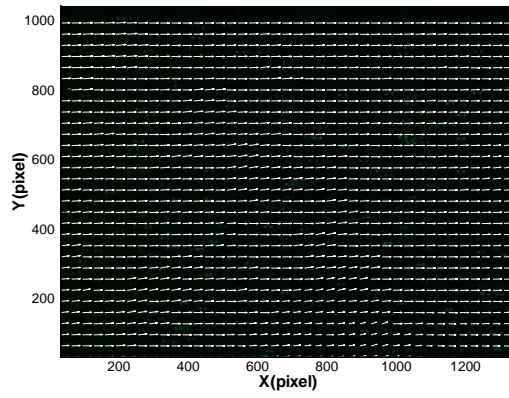


圖 4-96 案例 9 位置 A 區之速度向量分布圖

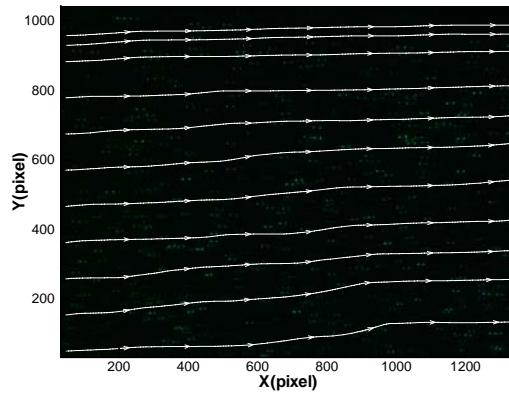


圖 4-97 案例 9 位置 A 區之流線圖

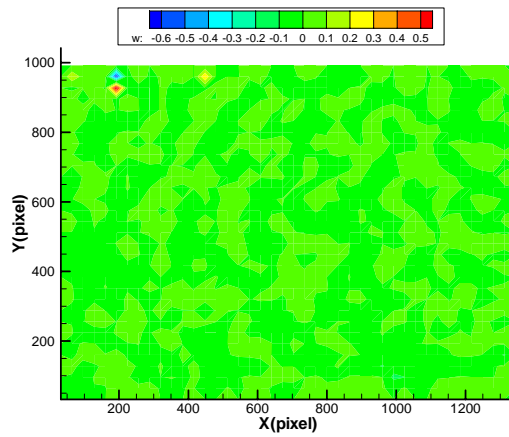


圖 4-98 案例 9 位置 A 區之渦度場圖

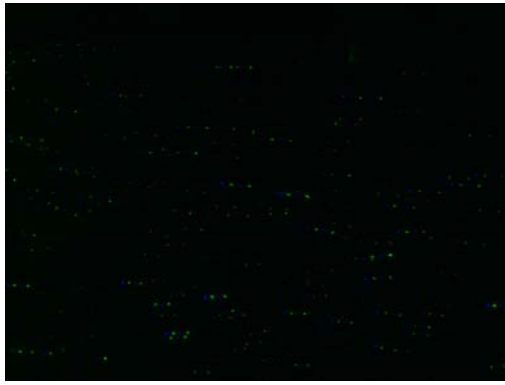


圖 4-99 案例 9 位置 B 區之擷取影像

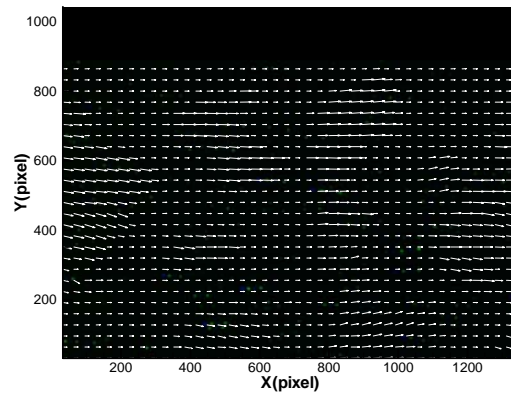


圖 4-100 案例 9 位置 B 區之速度向量分布圖

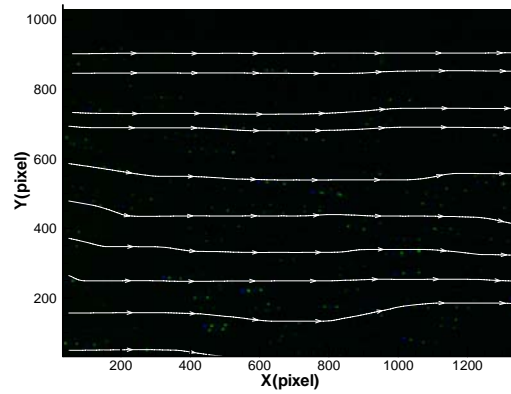


圖 4-101 案例 9 位置 B 區之流線圖

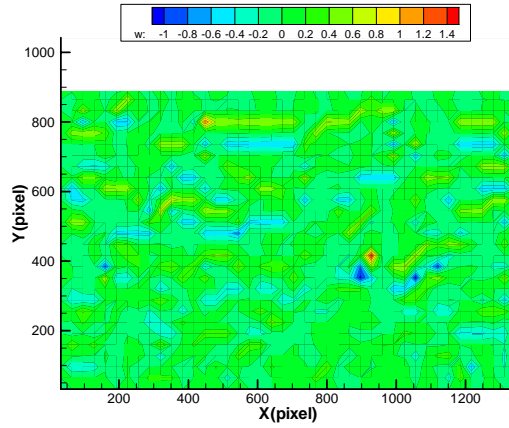


圖 4-102 案例 9 位置 B 區之渦度場圖

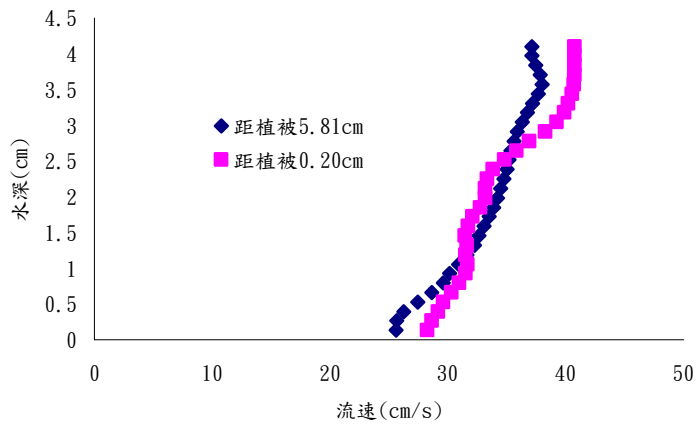


圖 4-103 案例 9 位置 A 區距植被 5.81cm 及 0.20cm 之速度比較圖

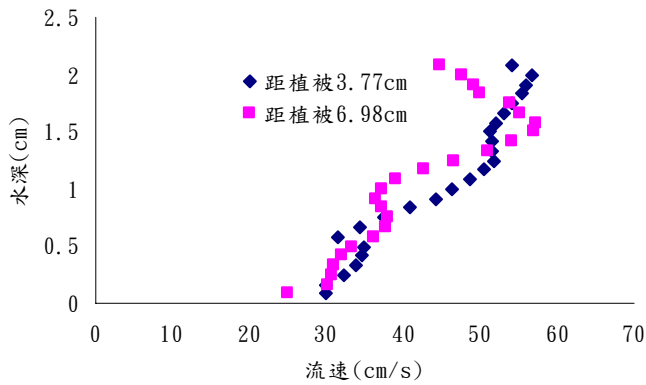


圖 4-104 案例 9 位置 B 區距植被 3.77cm 及 6.98cm 之速度比較圖



圖 4-105 案例 10 位置 A 區之擷取影像

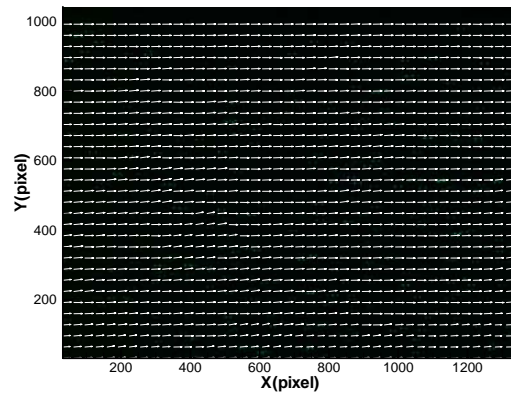


圖 4-106 案例 10 位置 A 區之速度向量分布圖

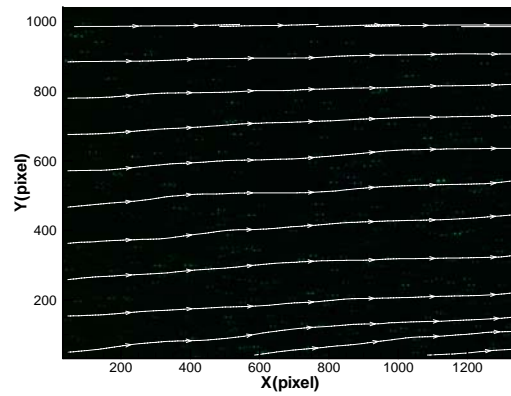


圖 4-107 案例 10 位置 A 區之流線圖

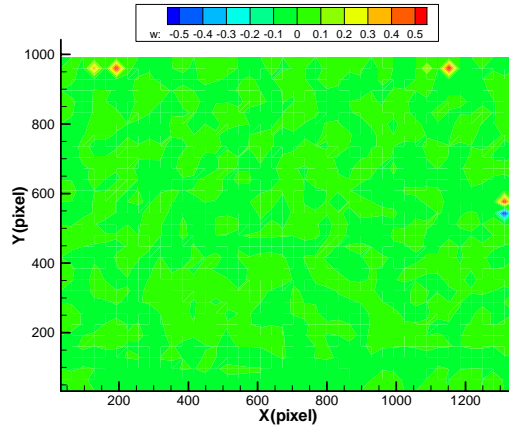


圖 4-108 案例 10 位置 A 區之渦度場圖



圖 4-109 案例 10 位置 B 區之擷取影像

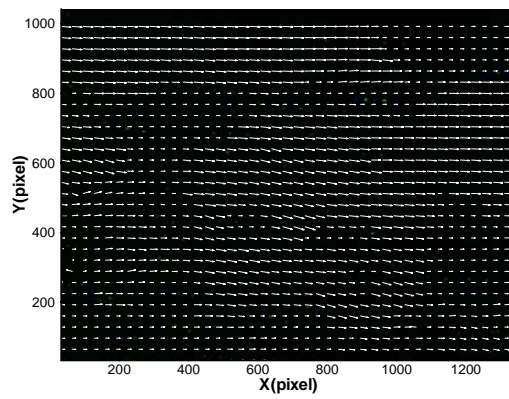


圖 4-110 案例 10 位置 B 區之速度向量分布圖

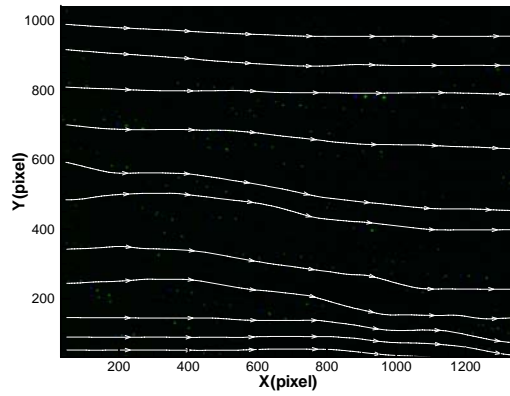


圖 4-111 案例 10 位置 B 區之流線圖

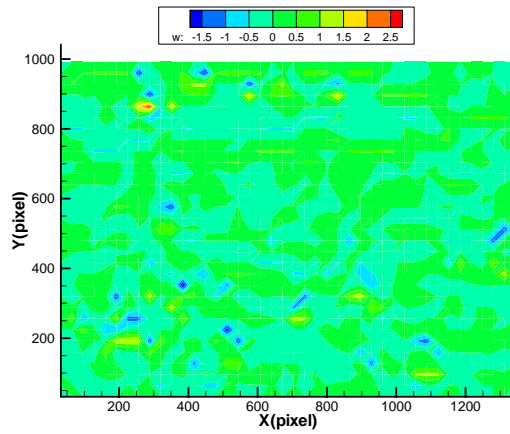


圖 4-112 案例 10 位置 B 區之渦度場圖

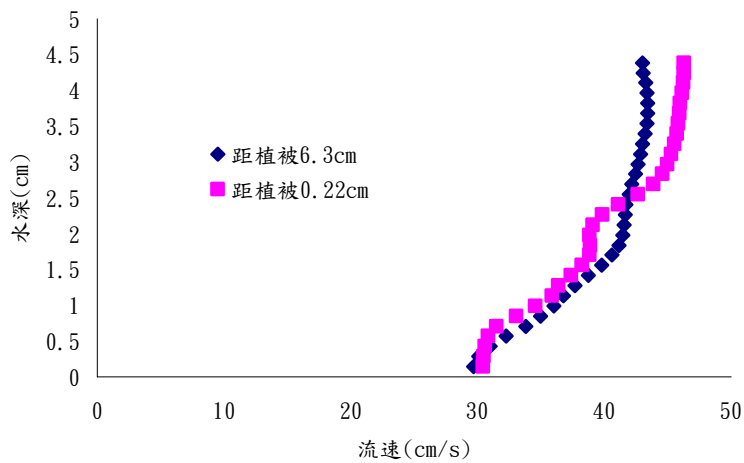


圖 4-113 案例 10 位置 A 區距植被 6.3cm 及 0.22cm 之速度比較圖

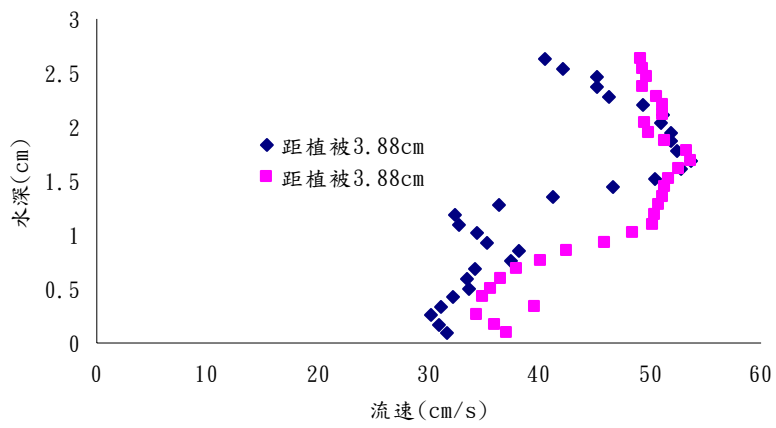


圖 4-114 案例 10 位置 B 區距植被 3.88cm 及 7.28cm 之速度比較圖

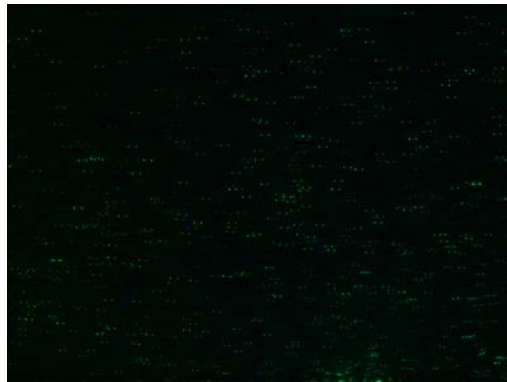


圖 4-115 案例 11 位置 A 區之擷取影像圖

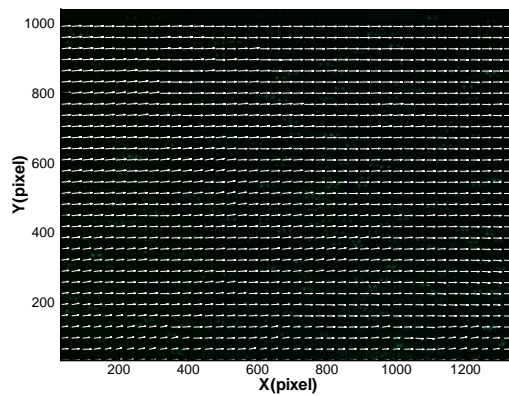


圖 4-116 案例 11 位置 A 區之速度向量分布圖

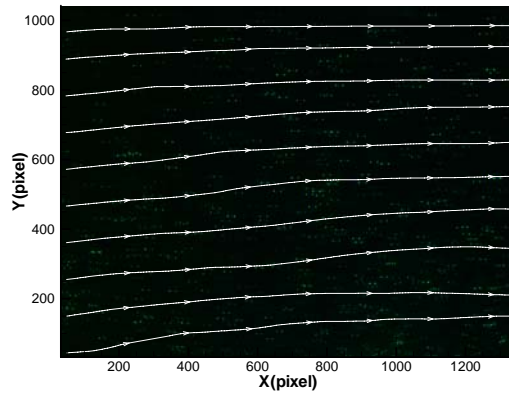


圖 4-117 案例 11 位置 A 區之流線圖

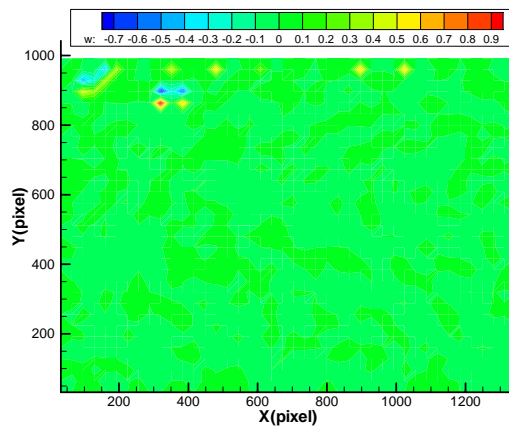


圖 4-118 案例 11 位置 A 區之渦度場圖

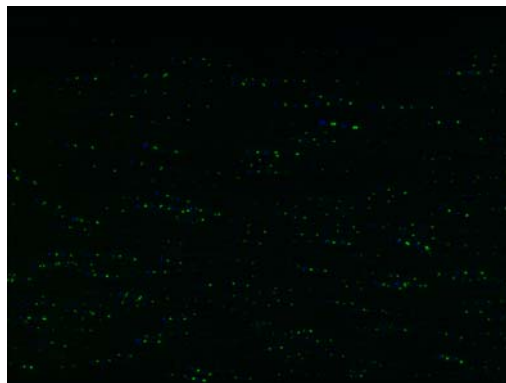


圖 4-119 案例 11 位置 B 區之擷取影像圖

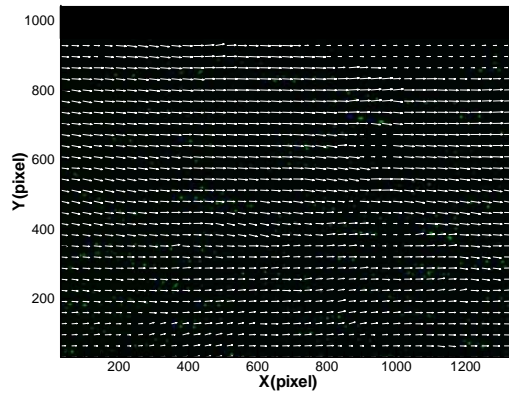


圖 4-120 案例 11 位置 B 區之速度向量分布

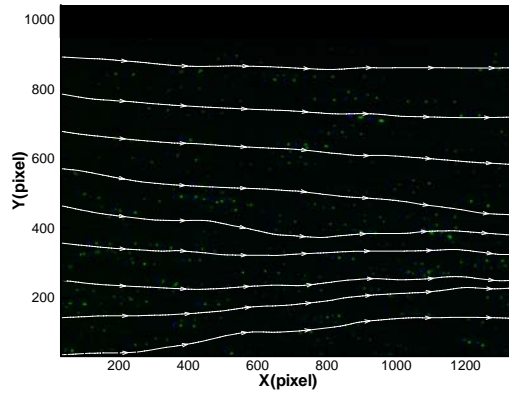


圖 4-121 案例 11 位置 B 區之流線圖

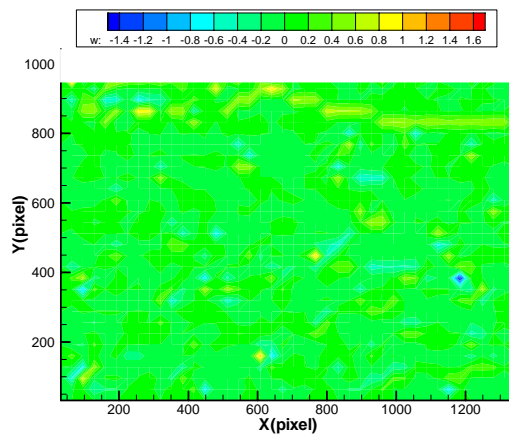


圖 4-122 案例 11 位置 B 區之渦度場圖

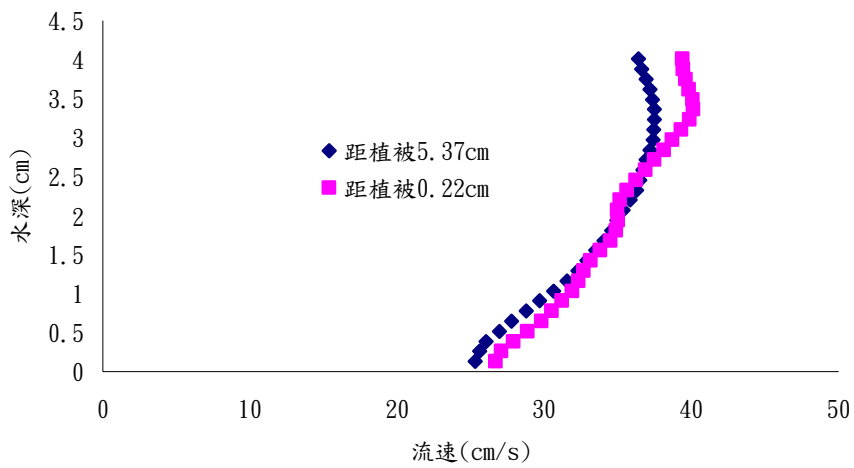


圖 4-123 案例 11 位置 A 區距植被 5.37cm 及 0.22cm 之速度比較圖

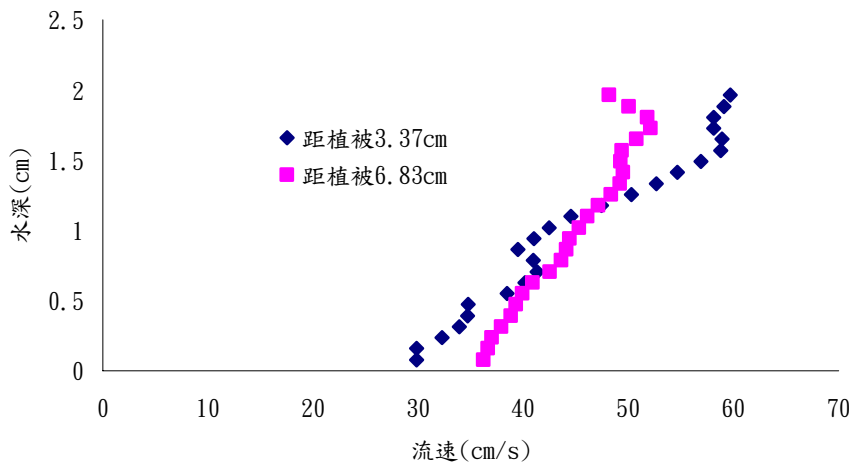


圖 4-124 案例 11 位置 B 區距植被 3.37cm 及 6.83cm 之速度比較圖

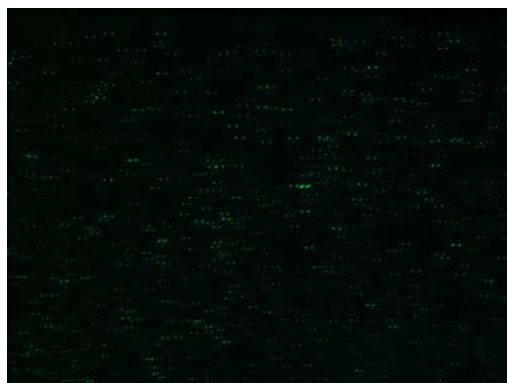


圖 4-125 案例 12 位置 A 區之擷取影像圖

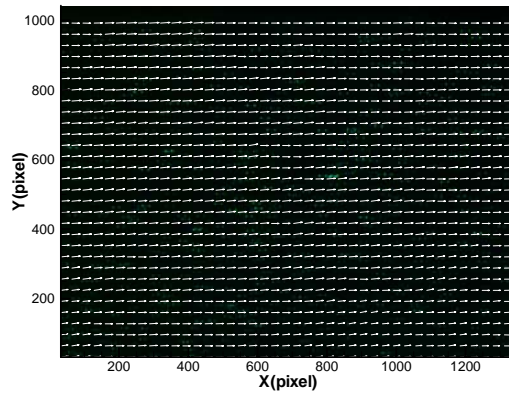


圖 4-126 案例 12 位置 A 區之速度向量分布圖

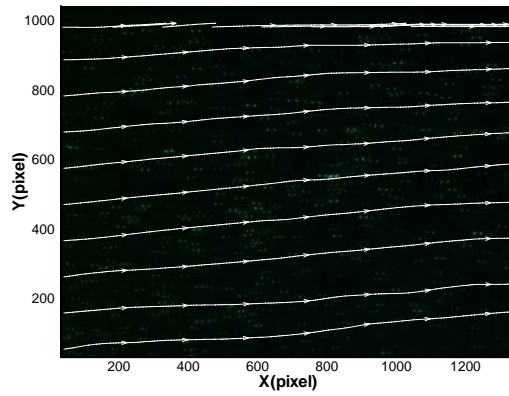


圖 4-127 案例 12 位置 A 區之流線圖

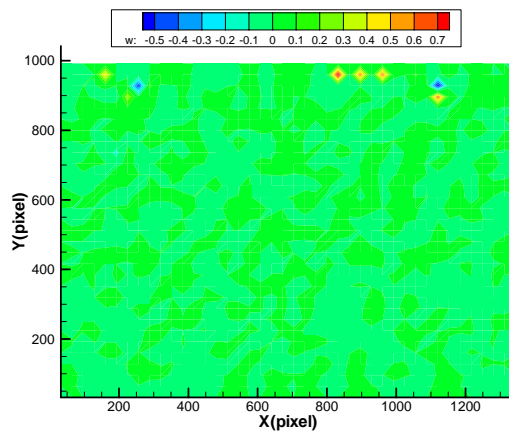


圖 4-128 案例 12 位置 A 區之渦度場圖

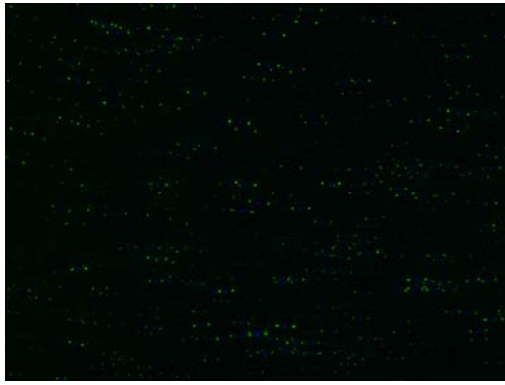


圖 4-129 案例 12 位置 B 區之擷取影像

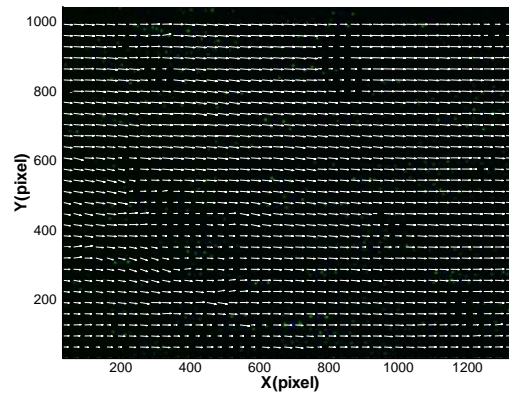


圖 4-130 案例 12 位置 B 區之速度向量分布圖

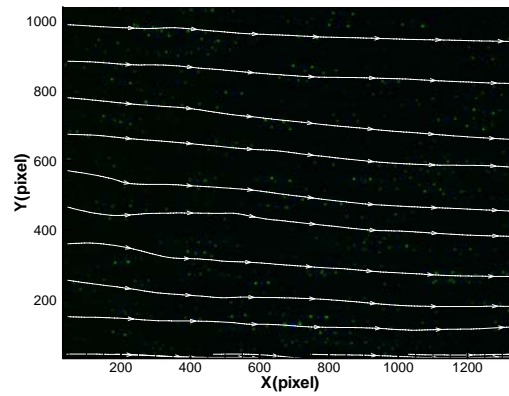


圖 4-131 案例 12 位置 B 區之流線圖

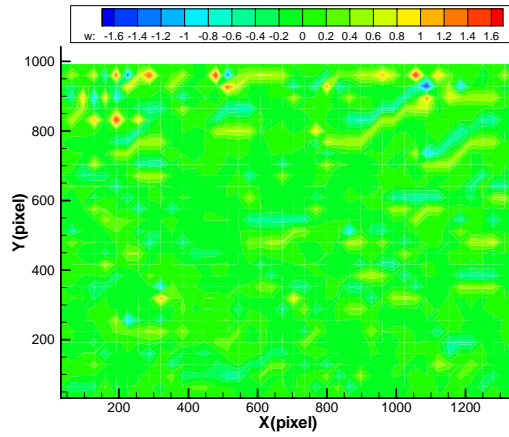


圖 4-132 案例 12 位置 B 區之渦度場圖

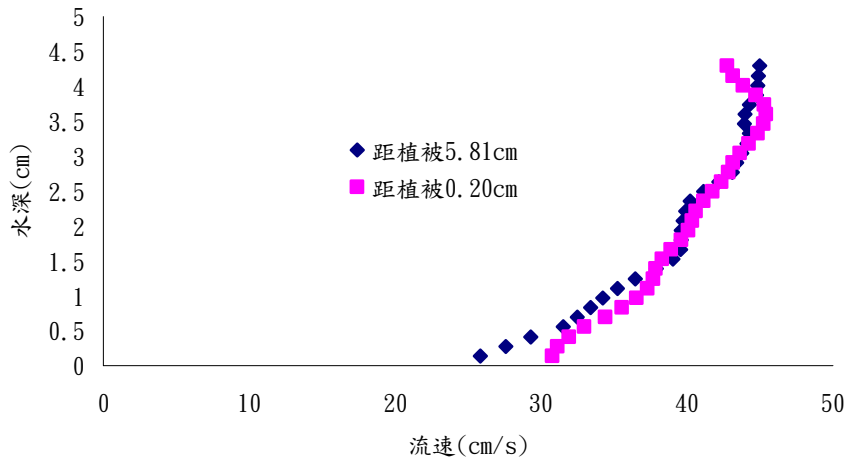


圖 4-133 案例 12 位置 A 區距植被 5.81cm 及 0.20cm 之速度比較圖

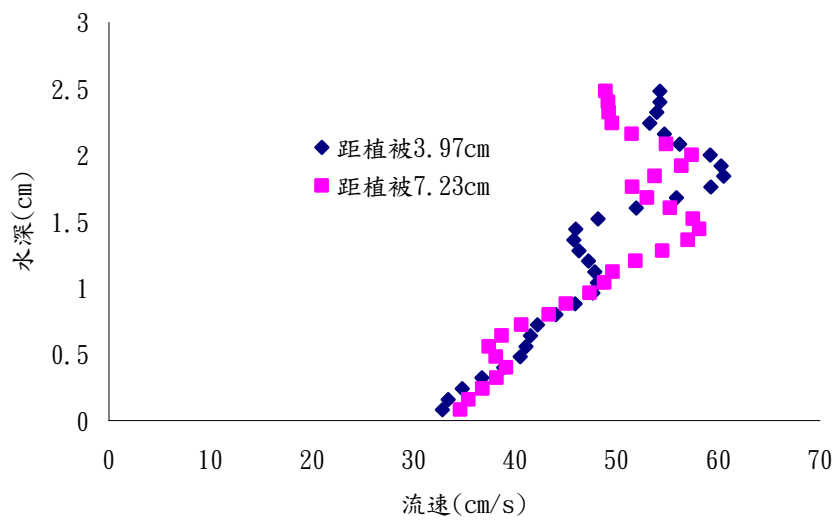


圖 4-134 案例 12 位置 B 區距植被 3.97cm 及 7.23cm 之速度比較圖

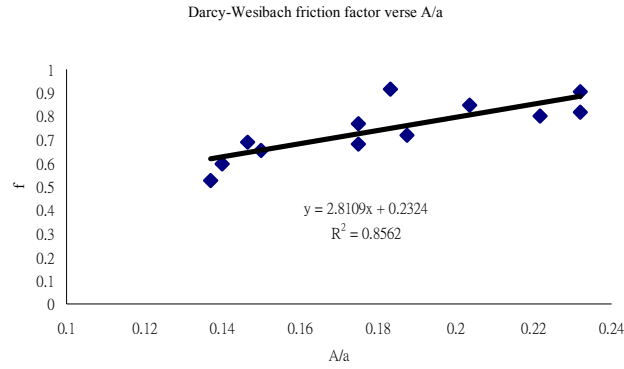


圖 4-135 達西威斯巴哈摩擦因子(f)與相對植被密度比(A/a)之關係圖

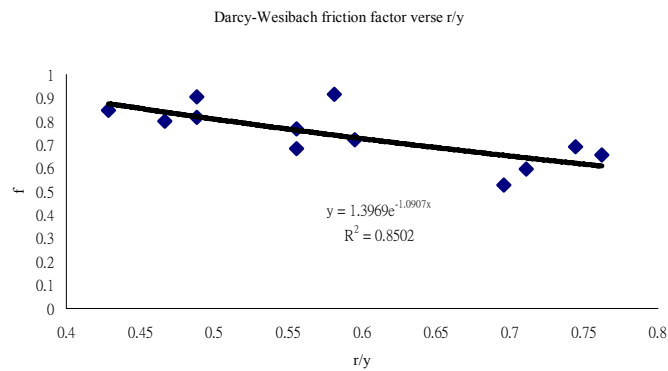


圖 4-136 達西威斯巴哈摩擦因子(f)與植被橫向間距比(r/y)之關係圖

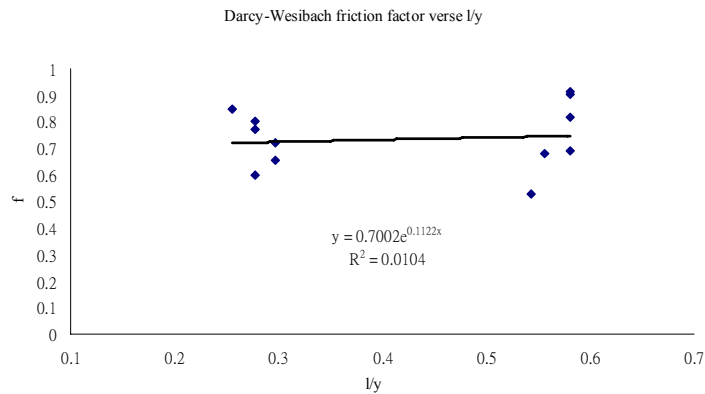


圖 4-137 達西威斯巴哈摩擦因子(f)與植被縱向間距比(l/y)之關係圖

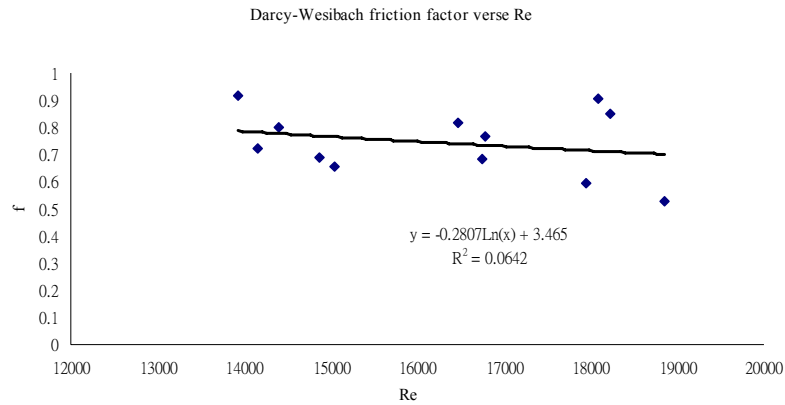


圖 4-138 達西威斯巴哈摩擦因子(f)與雷諾數(Re)之關係圖

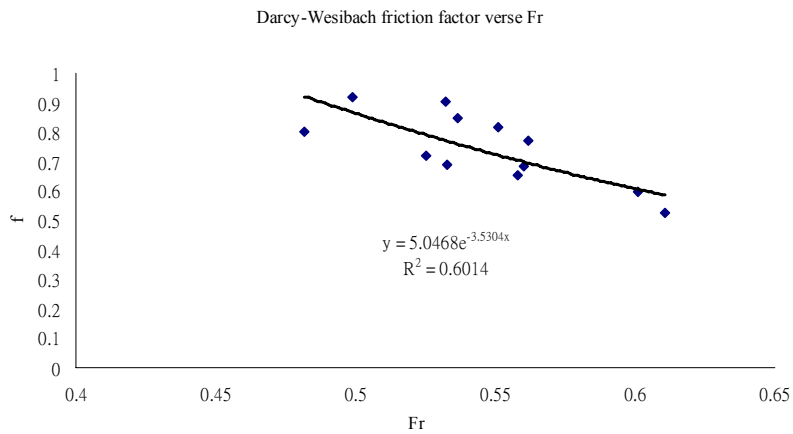


圖 4-139 達西威斯巴哈摩擦因子(f)與福祿數(Fr)之關係圖

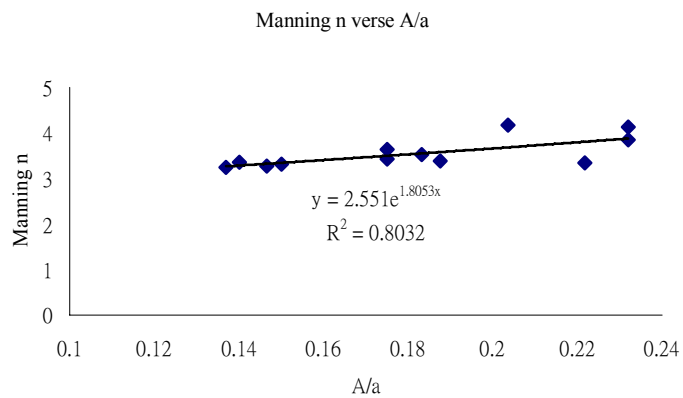


圖 4-140 相對曼寧值(n/n_b)與相對植被密度比(A/a)之關係圖

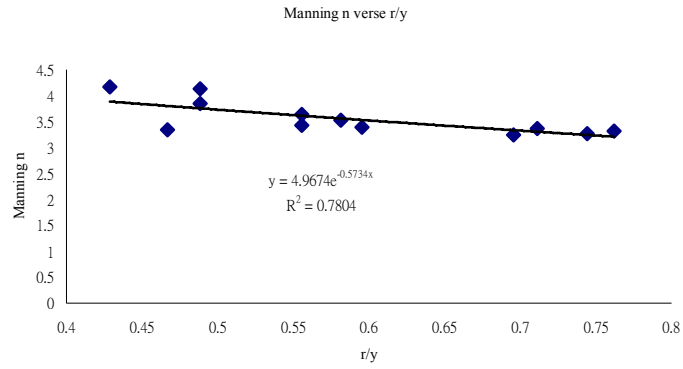


圖 4-141 相對曼寧值(n/n_b)與植被橫向間距比(r/y)之關係圖

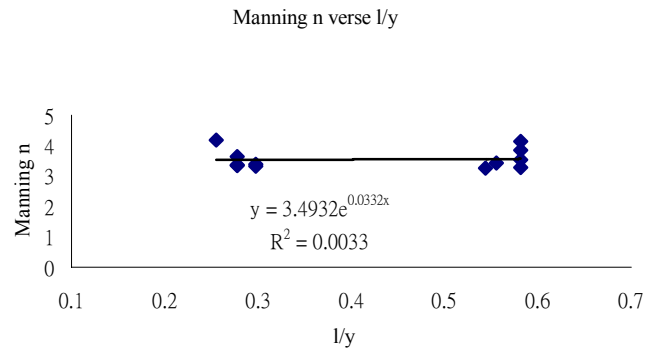


圖 4-142 相對曼寧值(n/n_b)與植被縱向間距比(l/y)之關係圖

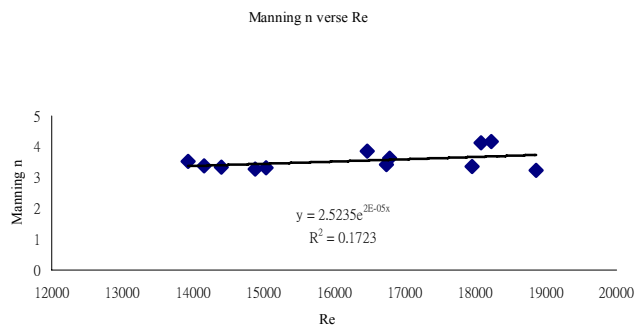


圖 4-143 相對曼寧值(n/n_b)與植被雷諾數(Re)之關係圖

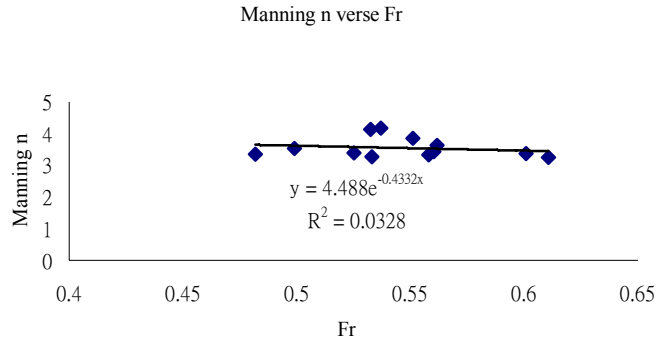


圖 4-144 相對曼寧值(n/n_b)與福祿數(Fr)之關係圖



圖 4-145 儀器檢定圖