

國立交通大學  
土木工程學系碩士班  
碩士論文

河床質粒徑於河川縱、橫向之變化-以頭前溪與鳳山  
溪為例

The Variations of Grain Size Distribution of Gravel-Bed  
River Material in Longitudinal and Transverse  
Directions-The Toucian River and Fengshan River as  
Examples

研究生：陳柏翰  
指導教授：廖志中 博士

中華民國九十六年七月

河床質粒徑於河川縱、橫向之變化-以頭前溪與鳳山溪為例  
The Variations of Grain Size Distribution of Gravel-Bed River  
Material in Longitudinal and Transverse Directions-The Toucian River  
and Fengshan River as Examples

研究生：陳柏翰

Student: Bo-Han Chen

指導教授：廖志中 博士

Advisor: Dr. Jyh Jong Liao

國立交通大學  
土木工程學系碩士班  
碩士論文



A Thesis  
Submitted to Department of Civil Engineering  
College of Engineering  
National Chiao Tung University  
In Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master  
in  
Civil Engineering

July 2007  
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年七月

# 河床質粒徑於河川縱、橫向之變化-以頭前溪與鳳山溪為例

學生：陳柏翰

指導教授：廖志中 博士

國立交通大學土木工程學系碩士班

## 摘要

河床質顆粒分布狀況為河川水理分析及整治之重要影響因子之一，其中以礫石質河床材料分布狀況最為複雜，其分布狀況具有空間上之不均質性，故欲獲得合理分析與整治效果，應先了解河床質粒徑分佈於河川縱、橫向之變化。

本研究以傅志偉(2005)提出之河床質調查規劃建議，以鳳山溪為例進行調查工作，規劃 39 組網格法與 16 組體積法，主要研究河床質縱、橫及垂直向分布情況，並將結果與鍾政良(2006)於頭前溪之作之調查結果比對，並討論各試驗取樣數量之合理性。另外本研究亦加入拍照法進行調查工作，以影像處理方式將結果與網格法結果比較，討論拍照法之適用性。

研究結果顯示河床質粒徑變化於縱向以及橫向確實有一明顯趨勢，但須對相同沉積環境的相同位置加以比較才能使變化趨勢突顯，如沙洲前端或邊灘靠近河道處，並發現沙洲之顆粒分布狀況極為明顯，沙洲兩側靠河道處顆粒明顯較粗，故沙洲上取樣位置對結果有相當大之影響，故建議於橫向趨勢調查上應將沙洲與邊灘分開研究。體積法結果發現以同一斷面之體積法分層結果可了解此斷面之沉積行為與洪水事件之影響範圍。而拍照法初步結果建議可以 4-12 組照片進行調查，並可與網格法結果比對。

**關鍵字：**河床質、網格法、體積法、拍照法、變化趨勢

# The Variations of Grain Size Distribution of Gravel-Bed River Material in Longitudinal and Transverse Directions-The Toucian River and Fengshan River as Examples

Student : Bo-Han Chen

Advisor: Dr. Jyh-Jong Liao

Department of Civil Engineering

National Chiao Tung University

## Abstract

Information on bed-material particle size is needed for a variety of purposes, which include computations of flow hydraulics, bedload transport rates transport capacity and flow competence to analyze, and predicting stream behavior and stream processes. Due to abrasion, sorting, weathering, landform types, and geological conditions, the grain size distribution along a river is non-uniform. In order to determine the grain size distribution efficiently and reasonably, the variation of the distribution in the longitudinal and transverse direction of a river needs to be understood.

The river classification system propose by Fu(2005) was adopted in this thesis. The Fengshan River was selected as an example. Based on the classification system,the river was divided into 3 substreams and 39 sets of grid sampling and 16 sets of volumetric sampling were conducted. The study aims to study the variations of gravel-bed river material in longitudinal,transverse and vertical directions. The results was also compared with the results of the Toucian River studied by Zhong(2006). The study also applied sampling method to investigate river bed material for comparing with grid sampling.

Base on the sampling results, the grain size distribution of gravel-bed river material has shown obvious trend in longitudinal and transverse directions. The study also found that the grain size distribution at the riffle is different with at the bar for a river. To investigate the variation of grain size distribution in the tranverse direction, the data analysis for the bar should be separated with the bar. Based on volumetric-sampling results along a transverse direction, the past flood events and sedimentation process could be inferred. The results of photo-sampling method show that 4-12sets of photo sampling are enough for obtaining the grain size distribution at a sampling site and the trend of the cure of grain size distribution is the same asthat of grid-sampling method.

**Key words** : river-bed material 、 grid sampling 、 volumetric sampling 、 photo sampling 、 river morphology

## 誌謝

轉眼間兩年的碩士生活即將過去，想起這兩年真的有苦有樂，碩士生活比大學生活還充實。

在此首先一定要感謝我的指導老師廖志中教授，在這兩年內給了我很多論文上的指導，使我受益良多，另外也要感謝潘以文教授的指導，在每次的 meeting 都給了我很多寶貴的意見，非常感謝兩位教授的指導。

另外也要感謝各位口試委員撥冗蒞臨我的口試，並且給我很多指導與建議，田永銘教授、陳昭旭教授、董家均教授與劉智超學長，非常感謝你們。

再來就是感謝我的父母在背後默默的一直支持我，他們是我精神上最大的支柱，另外也感謝我的兩位姐姐對我的關心，還有我可愛的外甥女帶給我家裡很多樂趣。接著要感謝鍾政良學長，他教給了我很多關於河床質方面的知識，使我慢慢進入狀況，另外要感謝跟我們這屆的每位同學，candy、小驤、鄒哥、阿諾、小bird、文欽、姚奕全、小白、小雞、史考堤、价民、阿山哥、叮噹、范范、胖妞、王董還有阿華學長，因為有你們使我的碩士生活更為精采，大家一起打球的日子真的相當快樂，當然一起打三國殺人也很過癮。還要感謝幫我做實驗的學弟，文凱、智仁、永奇、聰吉，在我需要幫助的時候給了我很多的協助，真的太感謝你們了。

最後要感謝陪我快六年的女朋友，不管在我快樂還是心情不好的時候，妳總是陪在我身邊，對我的脾氣也總是不斷的包容，真的很感謝妳一直陪伴著我，有機會我一定會陪妳去日本玩的。因為有大家的支持和陪伴，使我的這兩年過得相當精采，真的非常感謝大家，希望大家畢業後可以事事一帆風順。

# 目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
第一章、緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
第二章、文獻回顧.....	3
2.1 河相分類.....	3
2.1.1 河川型態.....	3
2.1.2 河川分類系統.....	4
2.2 礫石河床質特徵.....	10
2.2.1 縱向變異性.....	10
2.2.2 橫向變異性.....	13
2.2.3 垂直向變異性.....	18
2.3 取樣方法.....	20
2.3.1 表面法.....	21
2.3.2 體積法.....	27
2.3.3 表面法與體積法.....	34
2.3.4 調查規劃.....	38
2.4 取樣數量與誤差.....	39
2.4.1 網格法.....	40
2.4.2 體積法.....	42
2.5 淘選度(sorting).....	44
2.6 河相與沉積.....	47
第三章、研究方法.....	50
3.1 概述.....	50
3.2 試驗位置選取.....	53
3.2.1 縱向位置選取.....	53
3.2.2 橫向位置選取.....	56
3.3 試驗方法.....	59
3.3.1 網格法(Pebble counts).....	59
3.3.2 網格法細料修正方法.....	61
3.3.3 細料收集方式.....	64
3.3.4 網格法試驗設備與流程.....	65
3.3.5 體積法試驗設備與流程.....	66
3.3.6 照相法試驗設備與流程.....	68

第四章、試驗規劃與試驗結果 .....	74
4.1 試驗位置規劃 .....	74
4.1.1 河相分類 .....	74
4.1.2 試驗位置規劃.....	79
4.1.3 試驗編號 .....	79
4.1.4 各橫斷面狀況.....	80
4.2 網格法試驗結果 .....	84
4.2.1 試驗數據 .....	84
4.2.2 粒徑分布曲線.....	87
4.3 體積法試驗結果 .....	94
4.3.1 試驗數據 .....	94
4.3.2 粒徑分布曲線.....	98
4.4 照相法試驗結果 .....	101
4.4.1 試驗數據 .....	101
4.4.2 粒徑分布曲線.....	106
第五章、結果討論.....	109
5.1 縱向結果.....	109
5.2 橫向結果.....	116
5.3 垂直向結果.....	119
5.4 體積法結果.....	125
5.5 拍照法結果.....	129
5.6 數量討論.....	132
5.6.1 網格法 .....	132
5.6.2 體積法 .....	133
5.6.3 拍照法 .....	137
5.7 調查方法討論 .....	141
第六章、結論與建議.....	143
6.1 結論.....	143
6.2 建議.....	144
參考文獻 .....	146
附錄.....	149



## 圖目錄

圖 2-1 Rosgen 第一階段河川分類圖 .....	6
圖 2-2 蜿蜒度比示意圖 .....	6
圖 2-3 深槽比與寬深比示意圖 .....	7
圖 2-4 各河相深槽比、寬深比、蜿蜒度比與坡度之關係 .....	7
圖 2-5 Rosgen 第二階段河川分類圖 .....	8
圖 2-6 影響縱向變化因素 .....	11
圖 2-7 網格法 $D_{50}$ 與河口距之關係 .....	12
圖 2-8 網格法 $D_{50}$ 平均後與河口距及人工構造物關係 .....	12
圖 2-9 不同沉積環境與河床質平均粒徑關係圖 .....	13
圖 2-10 橫斷面與河床質平均粒徑關係圖 .....	14
圖 2-11 頭前溪交織狀斷面橫向變化 .....	16
圖 2-12 頭前溪辮狀斷面橫向變化 .....	17
圖 2-13 礫石河床垂直向分布型態 .....	19
圖 2-14 礫石河床材料粒徑分布圖 .....	20
圖 2-15 體積法與表面法表底層示意圖 .....	21
圖 2-16 開口樣板 .....	22
圖 2-17 取樣繩 .....	22
圖 2-18 網格法示意圖 .....	23
圖 2-19 方形網框示意圖 .....	24
圖 2-20 黏板取樣示意圖 .....	25
圖 2-21 現場拍照方式 .....	26
圖 2-22 影像處理程序 .....	26
圖 2-23 以 b 軸換算重量於實際量測重量之關係 .....	27
圖 2-24 體積法不分層取樣最小取樣深度與最大粒徑關係圖 .....	29
圖 2-25 各種表層深度建議示意圖 .....	30
圖 2-26 頭前溪體積法粒徑分布曲線 .....	30
圖 2-27 頭前溪體積法粒徑分布曲線 .....	31
圖 2-28 直接抓取試取樣法 .....	32
圖 2-29 水桶取樣法 .....	33
圖 2-30 冰凍管取樣法 .....	34
圖 2-31 三種不同尺寸方塊模擬的沉積環境 .....	35
圖 2-32 表面法與體積法不同試驗方式之比對 .....	36
圖 2-33 頭前溪網格法修正方法與體積法結果比較 .....	37

圖 2-34 頭前溪網格法修正方法與體積法結果比較.....	37
圖 2-35 不同調查規劃與隨機取樣方式.....	39
圖 2-36 步伐取樣與取樣繩取樣比較.....	41
圖 2-37 不同操作者誤差與樣品誤差關係.....	42
圖 2-38 體積法取樣重量與最大粒徑關係圖.....	43
圖 2-39 相同 $D_{50}$ 粒徑下不同淘選度示意圖.....	45
圖 2-40 相同 $D_{50}$ 下三種不同淘選度的粒徑分部曲線.....	46
圖 2-41 頭前溪網格法淘選度縱向分析.....	47
圖 2-42 河床顆粒變化趨勢示意圖.....	48
圖 3-1 研究流程圖.....	52
圖 3-2 各試驗結果討論流程圖.....	53
圖 3-3 河川分類流程圖.....	54
圖 3-4 橫向位置選取流程圖.....	57
圖 3-5 垂直向位置選取流程圖.....	60
圖 3-6 網格法取樣繩.....	60
圖 3-7 開口樣板.....	61
圖 3-8 細料修正示意圖.....	62
圖 3-9 長度比例修正示意圖.....	63
圖 3-10 網格法細料採集方式示意圖.....	64
圖 3-11 網格法試驗流程圖.....	66
圖 3-12 體積法試驗流程圖.....	68
圖 3-13 河床質粒徑關係.....	70
圖 3-14 影像分析處理.....	70
圖 3-15 拍照法框架.....	71
圖 3-16 拍照點示意圖.....	72
圖 3-17 拍照法流程圖.....	73
圖 3-18 影像分析過程圖.....	73
圖 4-1 鳳山溪流域地質概況.....	75
圖 4-2 鳳山溪四階分段示意圖.....	78
圖 4-3 橫斷面一現場照片與體積法施做位置.....	81
圖 4-4 橫斷面二現場照片與體積法施做位置.....	81
圖 4-5 橫斷面三現場照片與體積法施做位置.....	82
圖 4-6 橫斷面四現場照片與體積法施做位置.....	82
圖 4-7 橫斷面五現場照片與體積法施做位置.....	83
圖 4-8 橫斷面六現場照片與體積法施做位置.....	83

圖 4-9 橫斷面七現場照片與體積法施做位置 .....	84
圖 4-10 鳳山溪網格法 95FS_02DaB_G001 粒徑分布曲線 .....	86
圖 4-11 鳳山溪網格法各河相粒徑分布曲線 .....	88
圖 4-12 頭前溪網格法各河相粒徑分布曲線 .....	88
圖 4-13 鳳山溪河床表面細料因風力因素造成表面粗粒化現象 .....	89
圖 4-14 鳳山溪網格法 012 施作地點照片 .....	90
圖 4-15 鳳山溪網格法 020 施作地點照片 .....	90
圖 4-16 鳳山溪網格法 021 施作地點照片 .....	90
圖 4-17 鳳山溪網格法各修正方法與體積法護甲層粒徑分布曲線 .....	92
圖 4-18 頭前溪網格法各修正方法與體積法護甲層粒徑分布曲線 .....	93
圖 4-19 鳳山溪體積法 95FS_02DaB_V001 各分層粒徑分布曲線 .....	96
圖 4-20 鳳山溪體積法 95FS_02DaB_V012 試坑 .....	97
圖 4-21 鳳山溪體積法 95FS_03DR_V015 試坑 .....	97
圖 4-22 鳳山溪體積法 95FS_02DaR_V010 試坑 .....	98
圖 4-23 鳳山溪體積法 95FS_03DR_V013 試坑 .....	98
圖 4-24 鳳山溪體積法護甲層粒徑分布曲線 .....	100
圖 4-25 頭前溪體積法護甲層粒徑分布曲線 .....	100
圖 4-26 拍照法施做位置圖 .....	102
圖 4-27 影像分析過程圖 .....	103
圖 4-28 兩種分析方式之結果 .....	104
圖 4-29 拍照法中河床顆粒組成最粗與最細之照片 .....	106
圖 4-30 拍照法兩種分析方式與網格法粒徑分布曲線比較 .....	107
圖 4-31 結合拍照法全部結果與網格法粒徑分布曲線比較 .....	108
圖 5-1 鳳山溪網格法 $D_{50}$ 與 $D_{84}$ 縱向結果 .....	110
圖 5-2 頭前溪網格法 $D_{50}$ 與 $D_{84}$ 縱向結果 .....	111
圖 5-3 鳳山溪靠近主河道邊灘之網格法 $D_{84}$ 縱向結果 .....	112
圖 5-4 攔河堰 .....	113
圖 5-5 頭前溪靠近主河道邊灘之網格法 $D_{84}$ 縱向結果 .....	113
圖 5-6 沙洲前端堆積較粗顆粒 .....	114
圖 5-7 鳳山溪沙洲前端網格法 $D_{84}$ 縱向趨勢 .....	114
圖 5-8 鳳山溪縱向分布趨勢與人工構造物關係 .....	115
圖 5-9 斷面七右岸邊灘網格法試驗處 .....	115
圖 5-10 鳳山溪斷面一各粒徑分布趨勢 .....	117
圖 5-11 鳳山溪斷面六各粒徑分布趨勢 .....	118
圖 5-12 鳳山溪橫斷面粒徑變化趨勢與深槽距關係 .....	119
圖 5-13 鳳山溪斷面一體積法各分層 $D_{50}$ 粒徑變化趨勢 .....	120

圖 5-14 鳳山溪斷面二體積法各分層 $D_{50}$ 粒徑變化趨勢 .....	120
圖 5-15 鳳山溪斷面三體積法各分層 $D_{50}$ 粒徑變化趨勢 .....	121
圖 5-16 鳳山溪斷面四體積法各分層 $D_{50}$ 粒徑變化趨勢 .....	122
圖 5-17 鳳山溪斷面五體積法各分層 $D_{50}$ 粒徑變化趨勢 .....	123
圖 5-18 鳳山溪斷面六體積法各分層 $D_{50}$ 粒徑變化趨勢 .....	123
圖 5-19 鳳山溪斷面七體積法各分層 $D_{50}$ 粒徑變化趨勢 .....	124
圖 5-20 河床結構型態.....	126
圖 5-21 第一類河床結構型態粒徑分布曲線與各粒徑百分比圖.....	127
圖 5-22 第二類河床結構型態粒徑分布曲線與各粒徑百分比圖.....	128
圖 5-23 第三類河床結構型態粒徑分布曲線與各粒徑百分比圖.....	129
圖 5-24 調查區域 section 2 與 section 3 示意圖 .....	131
圖 5-25 三組拍照法結果與網格法比較 .....	131
圖 5-26 最大粒徑與取樣深度關係圖 .....	137
圖 5-27 不同拍照組數與網格法粒徑分布曲線 1(45、23 與 12 組).....	139
圖 5-28 不同拍照組數與網格法粒徑分布曲線 2(6、4 與 2 組).....	140



## 表目錄

表 2-1 Rosgen 河川分類階層表.....	9
表 2-2 四階分類表 .....	10
表 2-3 河床質分類 .....	27
表 2-4 三種不同方塊之尺寸、重量、個數與表面出現個數.....	35
表 2-5 表面取樣與體積法互相比對，其中 $n_{surf}$ 為表面上出現個數...36	
表 2-6 淘選度分級表 .....	45
表 3-1 河川分類表 .....	56
表 3-2 河川型態與採樣位置建議表 .....	58
表 4-1 鳳山溪四階分段表 .....	76
表 4-2 鳳山溪網格法 95FS_02DaB_G001 現場紀錄表 .....	85
表 4-3 鳳山溪網格法結果整理.....	86
表 4-4 各細料修正方法得到之細料比例 .....	89
表 4-5 鳳山溪體積法 95FS_02DaB_V001 現場紀錄表 .....	95
表 4-6 鳳山溪體積法結果 .....	96
表 4-7 拍照法影像分析數據 .....	105
表 5-1 頭前溪與鳳山溪體積法細料含量表.....	125
表 5-2 最細拍照組數結果與網格法之誤差.....	130
表 5-3 三組拍照法結果與網格法比較 .....	132
表 5-4 頭前溪與鳳山溪網格法誤差計算 .....	133
表 5-5 頭前溪與鳳山溪體積法取樣重量合理性統計表 .....	135
表 5-6 鳳山溪體積法最大粒徑與所需取樣深度表 .....	137
表 5-7 不同拍照組數與網格法結果 .....	141

# 第一章、緒論

## 1.1 研究動機

河床質調查為水理演算及輸砂研究之重要工作之一，天然河川以礫石河床之河床質分布狀況最為複雜，由於礫石顆粒粒徑範圍分布極廣，又因風化、淘選及磨蝕作用與地形和地質狀況的差異，使河床質產生縱向、橫向與垂直向的不均質分布。因此，河床質調查應考慮其於縱向、橫向與垂直向的不均質分布，進行有系統的調查。

另外由於台灣地處板塊交接處，地質活動頻繁，導致台灣河川型態多為短而陡的狀況，加上降雨季節集中，河川大部分時間僅為深槽有水的狀況，此與國外平緩穩定的河川差異甚大，故台灣的河床質調查更需要建立一套適合的調查系統。

目前台灣河床質調查，尚未建立一有系統的調查方式。傅志偉(2005)建議使用效率較佳及經濟的網格法、提出考慮多樣河川變異性的調查位置評選方法，且對調查時間與頻率做出討論，已達改善河床質調查方法，的初步成效。而鍾政良(2006)利用上述方式進行頭前溪河床質調查，亦得到相當成效，但研究結果顯示頭前溪河床質的粒徑變化於縱向、橫向及垂直向線性變化關係不明顯。本研究欲將結果配合現場沉積環境情況進行分析，期望能得到更明顯之河床空間上變化趨勢。

本研究延續鍾政良(2006)提出的調查位置評選方法與網格法粒徑分布細粒料修正方法，並試著提出更符合的細料修正方式，對取樣方法、取樣數量與不同取樣位置的結果做進一步討論。並依照鍾政良(2006)頭前溪的成果與本次研究河川—鳳山溪的成果做比較，以驗證此方法是否適用於不同河川。

本研究嘗試使用影像處理方式進行河床質調查，期望能以更有效率的方式進行河床質調查工作，改變目前仍以現場調查工作為主之調查方式，減少現場調查工作之時間與人力，以室內影像分析工作為主之調查方式。

## 1.2 研究目的

依研究動機內容所述，將本研究目標列出如下：

- (1) 依據河川分段的結果規劃網格法與體積法試驗，並依據結果與頭前溪研究成果相互比較，以驗證此研究方法對不同河川之適用性。
- (2) 根據調查結果，說明河床質橫向變化與河相、地形之關係，以及縱向變化與河川分段之關係。
- (3) 提出較適用的網格法細粒料修正方法，依據修正結果，討論修正方法的適用性。
- (4) 使用拍照方式進行河床質調查，並與網格法結果相互比對以評估其適用性。



## 第二章、文獻回顧

河床質調查為評估河床底床對水流阻抗能力、顆粒初始運動門檻以及沉滓傳輸之重要工作。若是為了了解底床對水流的阻抗能力或顆粒初始運動門檻，則僅需調查表面材料，若要調查沉滓傳輸，則須將河床質分為表層與底層以了解是否有表層粗粒化現象。

河川依底床進行分類，可分為砂質床、礫石床與岩床三類。傅志偉(2005)及鍾政良(2006)的研究結果顯示頭前溪礫石河床，其河床質在縱、橫及垂直向分布不均，且有極高的變異性。本研究針對礫石質河床進行研究，故本章僅對於礫石河床特性相關的文獻加以回顧，包括河相分類、礫石河床質特徵、取樣方法與取樣數量及誤差等。

### 2.1 河相分類

不同之河相存在不同之沉積環境，因此不同河相之河床會有不同的河床質分布狀況，故河床質調查應與河相互相搭配規劃，如此才能獲得具代表性之結果。

#### 2.1.1 河川型態

一般河川可大致分為四種型態：直線型河川(straight)、蜿蜒型河川(meandering)、辮狀河川(braided)與交織狀河川四種類型，以下將四種類型河川作一概述。

##### 1. 直線型河川(straight)

此類型河川邊界大多為束制良好材料構成，為抗沖蝕性良好之河段，故多發生於山區，此類型河川橫斷面以深潭與洪泛平原或淺灘與洪泛平原構成。

##### 2. 蜿蜒型河川(meandering)

Fisk(1944)研究發現蜿蜒型河川為直線型河川漸變形成，其地貌特徵與直線型相似，多以淺灘與深潭交錯出現，在平面常於彎道處出現深潭，在連接槽出現淺灘地形。彎道之橫斷面型態以深槽與洪泛平原組成，連接槽橫斷面以淺灘與洪泛平原組成。

### 3· 辨狀河川(braided)

Leopold and Wolman(1957)發現此類河川平面由寬帶與頸帶組成，寬帶因堤岸沖刷產生豐富泥沙，由沙洲、邊灘、洪泛平原與局部深槽組成；頸帶為河道匯流束縮處，斷面由深槽與洪泛平原組成。

### 4· 交織狀河川

交織狀河川平面型態由江心島嶼與曲折度高之渠道構成，江心島嶼與洪泛平原等高或略高於洪泛平原，渠道特徵類似蜿蜒型河川。另Thorne(1997)提出交織狀河川與辨狀河川不同的地方為沙洲與底床坡度，辨狀河川沙洲高程略低於洪泛平原，且無植生，且底床坡度為辨狀河川>蜿蜒型河川>交織狀河川。

## 2.1.2河川分類系統

目前主要河川分類以Rosgen(1994)提出之分類系統較為完整，其以平面型態、縱向變化以及橫斷面因素進行分類考量，分類步驟分為四個階段。

階段一以河川平面型態特徵進行初步分類，主要透過航照判讀河谷地形與水流特徵在平面上之表現，再透過縱向剖面、橫斷面與平面特徵進行分類，如圖2-1。

階段二再以河川蜿蜒度比(圖2-2)、深槽比、寬深比以及底床坡度(圖2-3)進行進一步分類，各河相之特徵如圖2-4，之後再依底床顆粒粒徑細分為1~6類，階段一與階段二分類如與圖2-5。

階段三為探討河川穩定狀態，針對各種河川情況，如水岸植生、沉積型態、蜿蜒型態、束制特徵、魚類活動指標等，進一步描述既存情況對渠道反應之影響。

階段四以直接或間接量測沉滓載、堤岸侵蝕率、沉積與沖刷過程、水利幾何等資訊，建立河槽穩定之理論分析。各階段分類目的與分析所需資訊如表2-1。



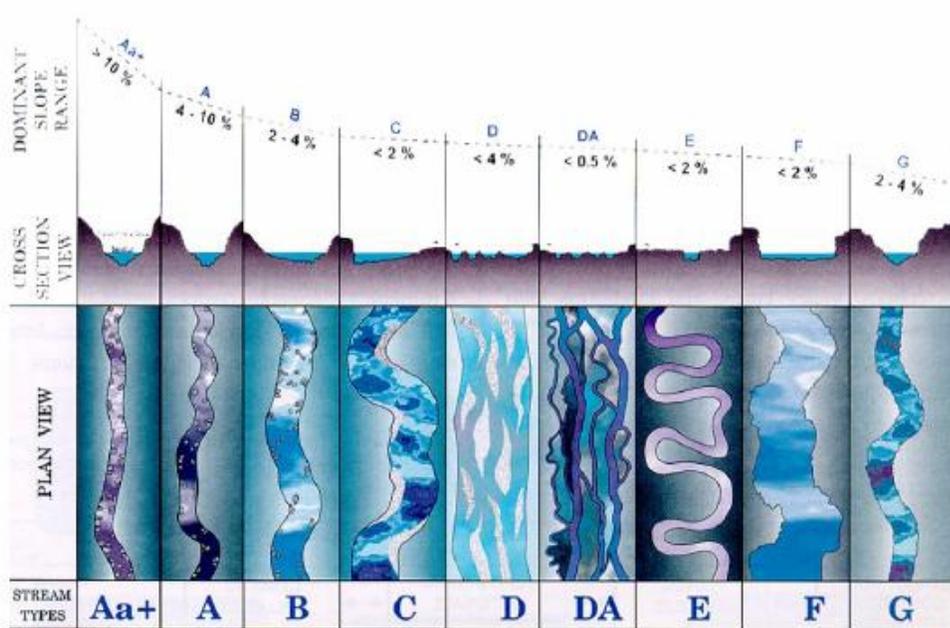


圖 2-1 Rosgen 第一階段河川分類圖 (Rosgen, 1994)

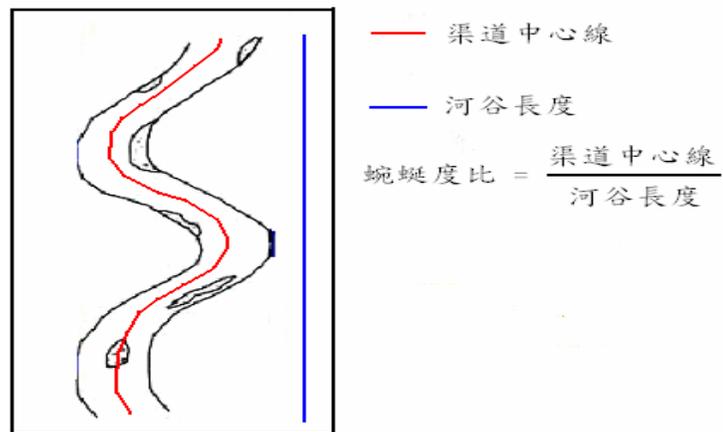
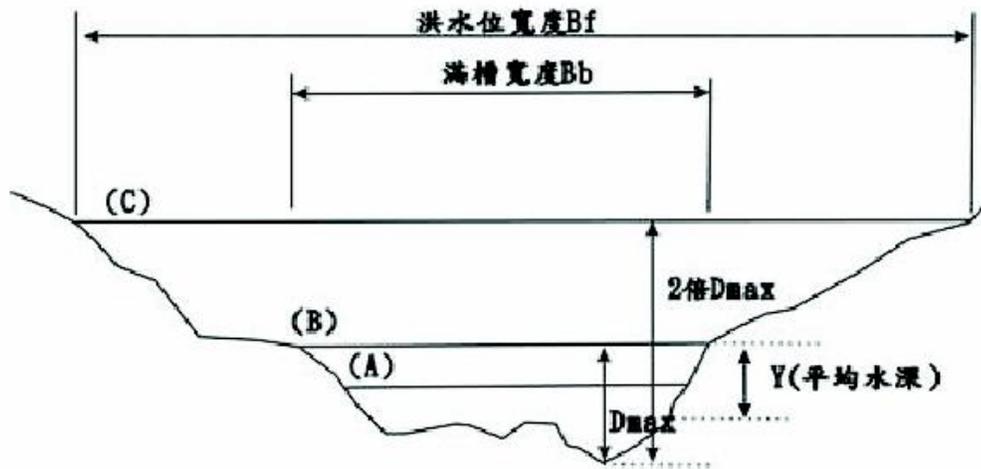


圖 2-2 蜿蜒度比示意圖



(A)常態水位面 (B)滿槽水位面 (C)洪水水位面  
 深槽比： $Bf/Bb$  寬深比： $Bb/Y$   
 註：洪水寬度之定義為滿槽水位下最大水深之兩倍高程對應之寬度

圖 2-3 深槽比與寬深比示意圖(傅志偉，2005)

Dominant Bed Material	A	B	C	D	DA	E	F	G
1 RFDRCK								
2 BOULDER								
3 COBBLE								
4 GRAVEL								
5 SAND								
6 SLT/CLAY								
ENTRH.	<1.4	1.4-2.2	>2.2	N/A	>2.2	>2.2	<1.4	<1.4
SIN.	<1.2	>1.2	>1.4	<1.1	1.1-1.6	>1.5	>1.4	>1.2
W/D	<12	>12	>12	>40	<40	<12	<12	<12
SLOPE	.04-.099	.02-.039	<.02	<.04	<.005	<.02	<.02	.02-.039

圖 2-4 各河相深槽比、寬深比、蜿蜒度比與坡度之關係(Bunte and Abt, 2001，改繪自 Rosgen, 1996)

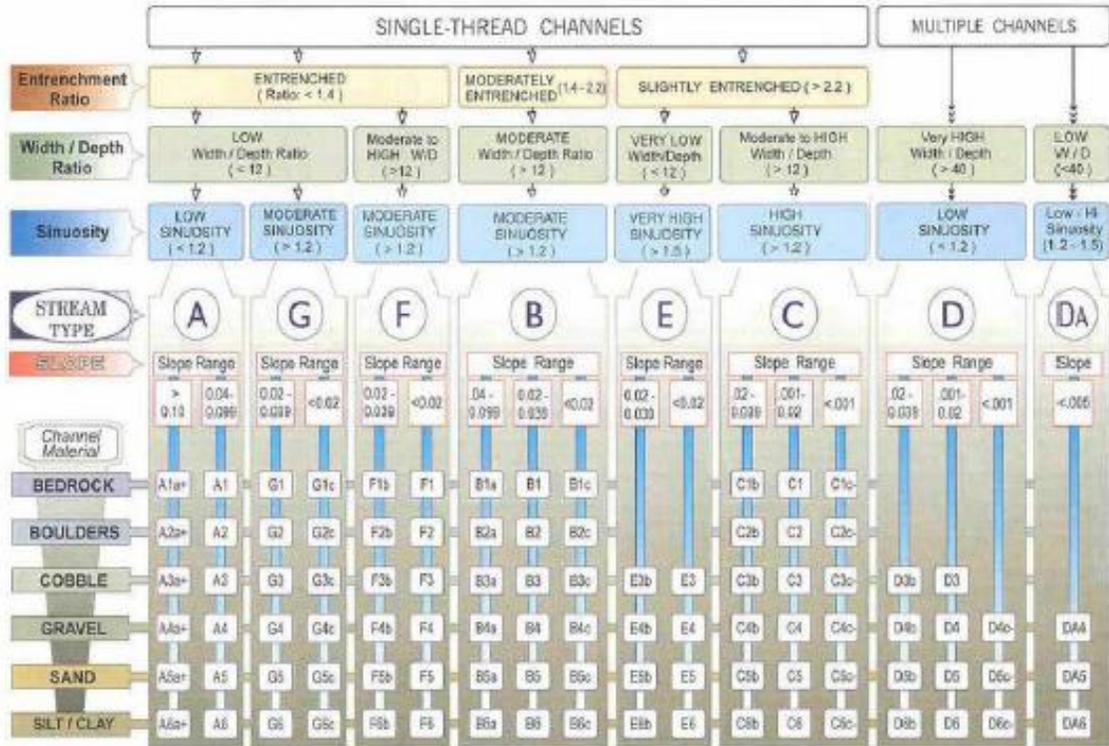


圖 2-5 Rosgen 第二階段河川分類圖 (Rosgen, 1994)



表 2-1 Rosgen 河川分類階層表(傅志偉，2005，修改自 Rosgen,1994)

階層	階層目的	分析所需資訊	成果
Level I	河相平面特徵 (Broad morphological characterization)	地形、岩性、土壤、氣候、沉積歷史、河谷型態、河川縱向型態與河川之大體樣式	藉由遙測或是以建立之地形圖、地質圖等資訊結合河川坡度概略說明河川型態分類
Level II	河相描述(河川類別)(Morphological description)	渠道樣式、深槽比、寬深比、蜿蜒度比、河床材料與坡度	此階層透過坡降、河川材料、規模與量測得到之圖樣描述河川樣式，提供較階層 I 深入之說明
Level III	河川狀態	水岸植生、沉積型態、蜿蜒型態、束制特徵、魚類活動指標、河制、河川尺度範疇、岩屑事件、河川穩定指標與堤岸可侵蝕性	以河川狀態進一步描述既存情況對渠道反應之影響提供特有資訊之預測方法學(如：河川堤岸之侵蝕計算)
Level IV	驗證	直接或間接量測沉滓載、堤岸侵蝕率、沉積與沖刷過程、水利幾何、相關生物資訊(如：水中昆蟲或是堤岸植生變遷等)	提供特定區域河川演變過程資訊，評估預測方法理論，提供特定斷面之沉滓、水利與生物資訊，以及評估變動河床效能與衝擊評估

而林承坤(1992)提出以河川邊界組成作為第一級河川分類準則，第二級分類以河川型態作區分，第三級以穩定性作為分類。與 Rosgen(1994)之分類方法不同的地方是加入了河川邊界條件的考量，根據河川邊界材料特性可將河川分為沖積、半沖積與非沖積河床。

而傅志偉(2005)認為針對河床質調查規劃上，Rosgen(1994)提出之分類

方式過於複雜，而林承坤(1992)提出之分類方式太過於定性，因此傅志偉(2005)結合兩者分類方式之優點提出另一分類方式，以地質的觀點結合河相建立河床質採樣位置評選系統，分為四個階層。

階層一以林承坤(1992)的建議以河道邊界狀態評估河川可沖積程度。

階層二以 Rosgen(1994)分類方式之階段一分類。

階層三以分支流交匯處分類，一般支流坡降均較主流陡峭，因此於分支流交匯處常形成沙洲。

階層四為紀錄流域之重要地質事件。

其分類評選表如表 2-2。

表 2-2 四階分類表(修改自鍾政良，2006)

階層	分類準則	建議工具	備註
一	依據地質條件區分為沖積段、半沖積段與非沖積段	1/50000 地質圖、航空照片	林承坤(1992)
二	依據底床坡降、橫段面型態與平面型態進行河川細部分類	渠道測量資料、航空照片	Rosgen(1994)
三	分支流匯流點	航空照片	
四	地質事件(構造、地質材料軟硬分類)	1/50000 地質圖	

## 2.2 礫石河床質特徵

### 2.2.1 縱向變異性

河床質縱向變化為以下幾種因素所造成：磨耗(abrasion)、淘選(sorting)、風化(weathering)、地質歷史(geomorphic history)、支流匯入(tributary

input)、山坡與河道結合(hillslope-channel coupling)等。Rice and Church(1998)提出磨耗與淘選對河床質沿縱向變化的影響最大。除了自然的因素之外，Nicola Surian(2002)亦提出人工構造物(barrage)亦會對河床質縱向變異性產生影響，Surian(2002)認為在人工結構物下游 1~2 公里處之河床質會受到影響，並且在此處之河床質會有粗粒化現象，即人工構造物下游之河床質粒徑會比上游粒徑粗(圖 2-6)，此因素影響了一般河床質向下游變細(downstream fining)的關係。

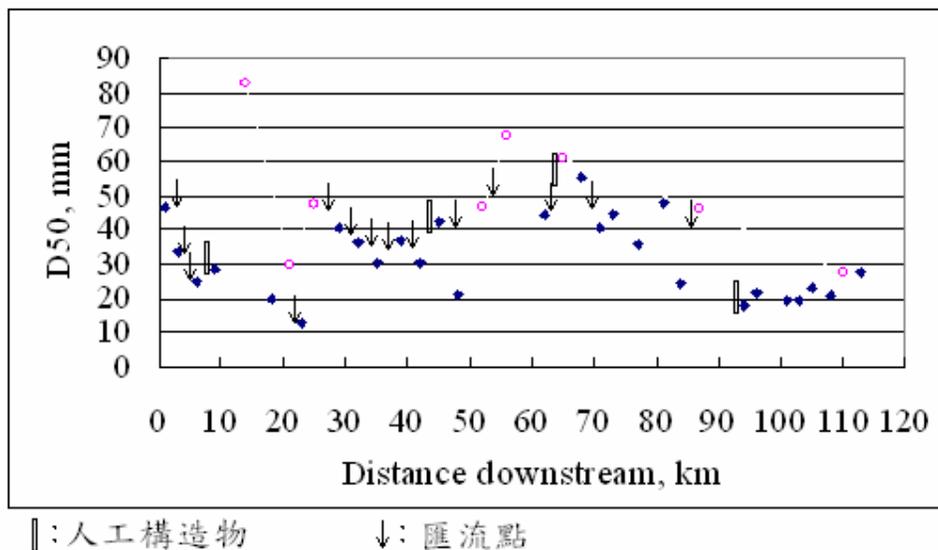


圖 2-6 影響縱向變化因素(改繪自 Surian, 2002)

雖然顆粒中值粒徑隨往下游距離增加而逐漸變小之趨勢是可確定的。但同一橫向斷面不同沈積環境之河床顆粒同樣存在差異，且加上跨河構造物與支流點的影響使得河床縱向趨勢上更為混亂。因此應於相同沈積環境下進行取樣，方可得到河床質縱向變異性合理較。

鍾政良(2006)以網格法進行頭前溪調查，調查結果顯示河床質縱向的變化，有向下游逐漸變小的趨勢，但資料過於分散，表示在同一橫斷面的確亦存在很大的變異性(圖 2-7)。而在加入人工構造物並且將每個橫斷面的粒

徑中值平均後，發現向下游變細的趨勢較為明顯，且  $D_{50}$  有下降後突然上升的狀況出現，此現象多數與人工構造物有關(圖 2-8)。經由現場勘查，發現這兩段都有護床工，產生上游沉積下游沖刷的現象，因此造成  $D_{50}$  在這兩段的上下游有明顯的改變。由此的確可發現人工構造物對河床質縱向變化有著極大的影響。

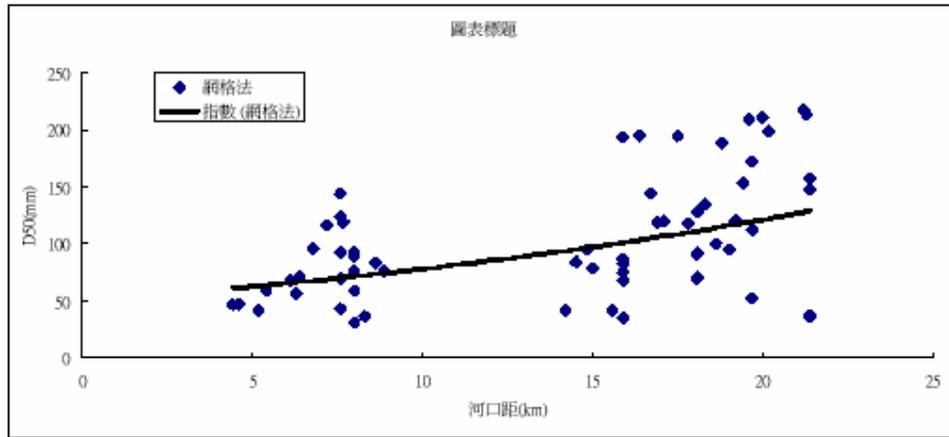


圖 2-7 網格法  $D_{50}$  與河口距之關係(鍾政良，2006)

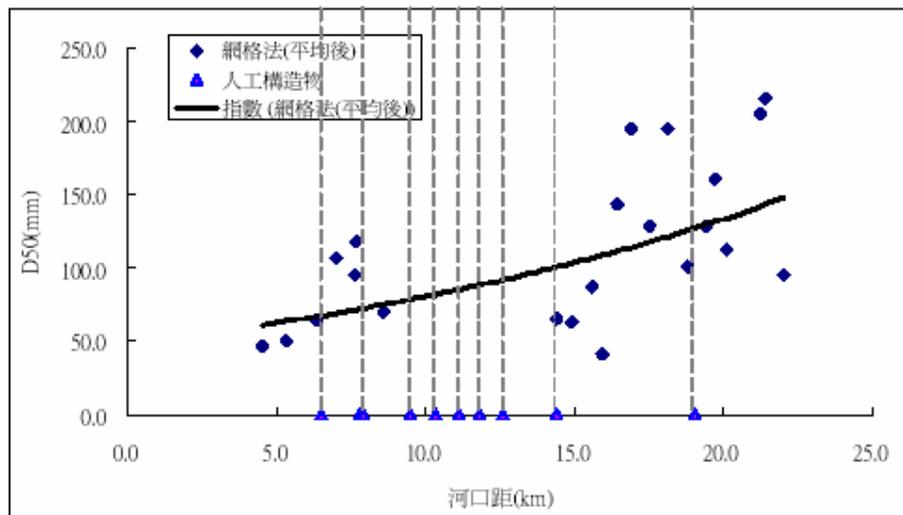


圖 2-8 網格法  $D_{50}$  平均後與河口距及人工構造物關係(鍾政良，2006)

河床質縱向粒徑變化除了受沉積環境影響亦受到人工構造物的阻礙而產生改變。因此欲了解河床質縱向變化特性除了不同的沉積環境因素外亦需要考慮人工構造物產生的影響。

## 2.2.2 橫向變異性

河床質分布在橫向上亦存在變異性，即使在相同河相但不同的沉積環境依然會產生不同的粒徑分布情況。Mosley and Tindale(1985)在紐西蘭 Ashley River 其中一瓣狀河段進行河床質採樣調查(圖 2-9)，發現在不同沉積環境所得到的結果也有差異，其中以交替沙洲(Diagonal bar)河床質最粗，故不同沉積環境不僅造成河床質縱向上的變異性，亦對河床質分佈在橫向上產生不均質性(圖 2-10)。

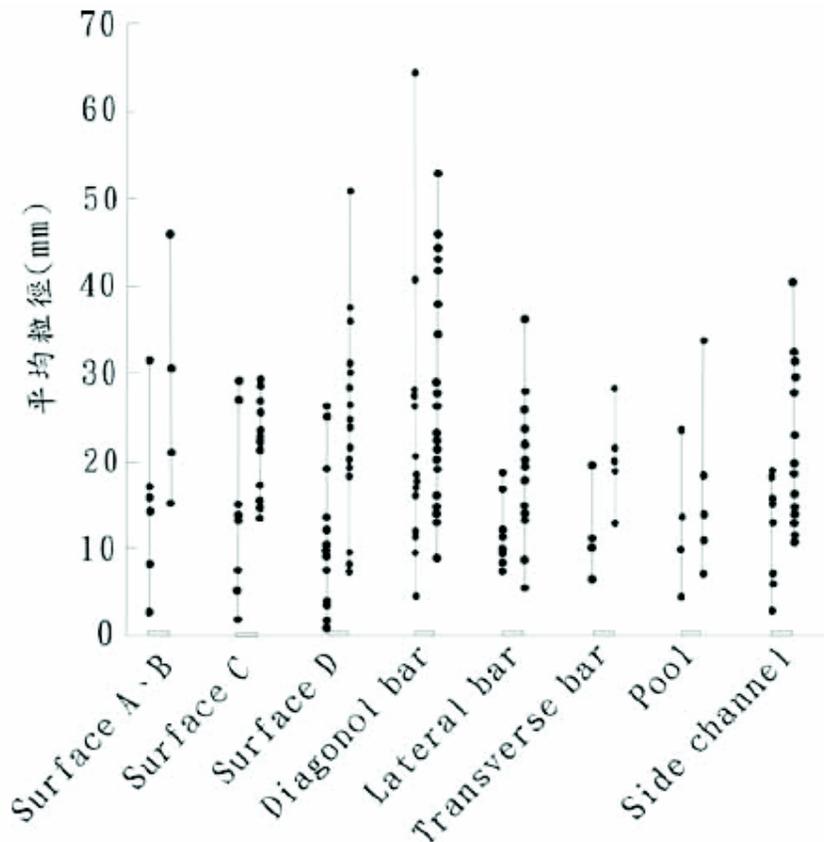


圖 2-9 不同沉積環境與河床質平均粒徑關係圖，其中同一沉積環境中左側為體積法結果，右側為網格法結果(傅志偉，2005，改繪自 Mosley and Tindale,1985)

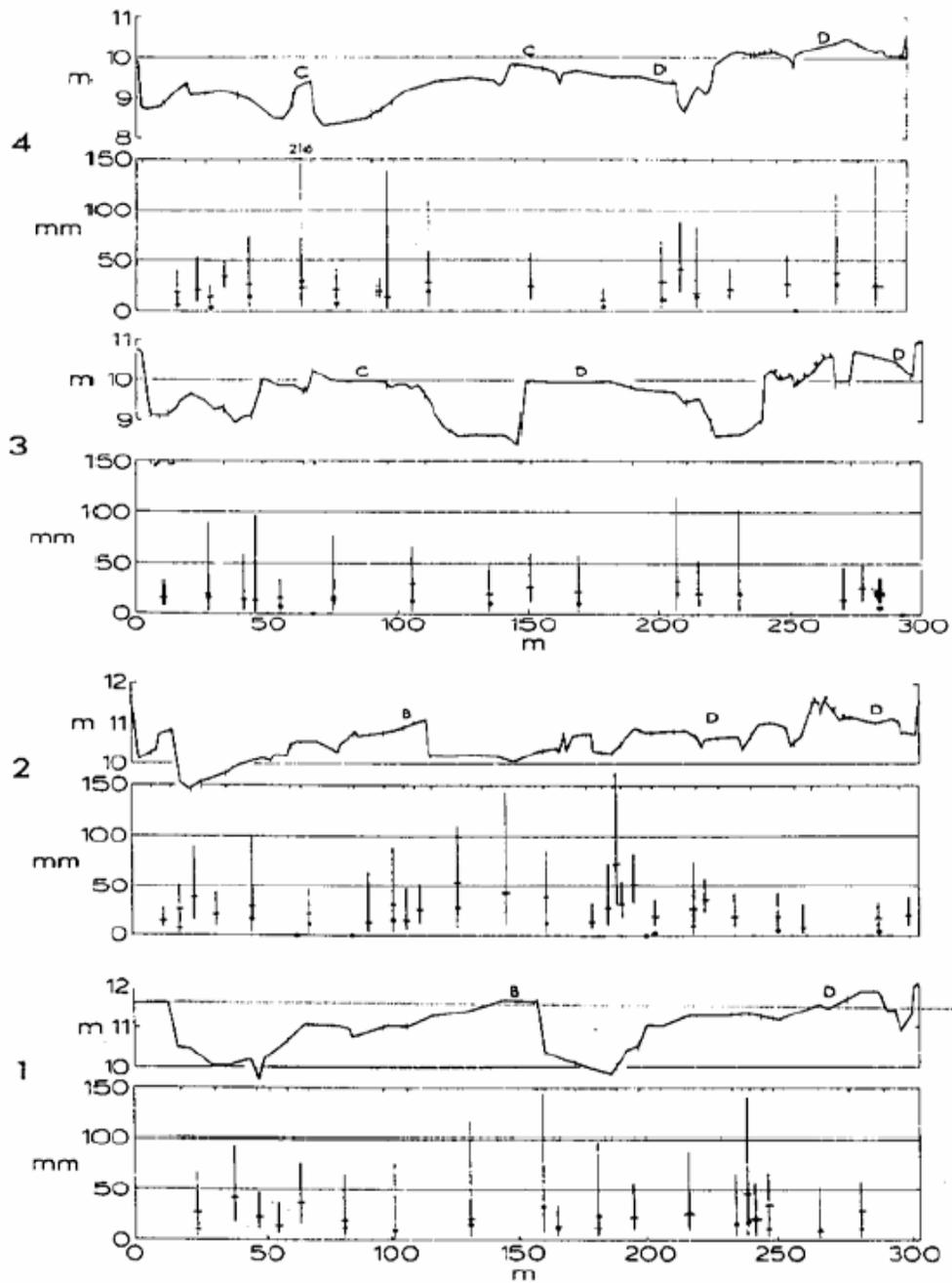


圖 2-10 橫斷面與河床質平均粒徑關係圖(Mosley and Tindale,1985)

河川淘選作用不僅影響河床質縱向的變化，亦是影響橫向變異性之因素，河川底床地形與流量之組合決定了水流覆蓋面積之大小，當水量越大所能覆蓋的面積亦越大，此時斷面產生的淘選作用區域也跟著增加，但產生全斷面河床質顆粒變化的洪水事件並不是經常發生，同一斷面在不同洪

水事件中產生淘選作用的區域亦不同，因此產生了河床質分布在橫向上的變異性。

鍾政良(2006)於頭前溪的研究發現在交織狀與蜿蜒狀河相之連接槽中，河床質橫向的分布狀況有隨著距離深槽越遠顆粒越小的趨勢存在(圖 2-11)，且沙洲的粒徑參數皆比邊灘小，但在瓣狀河相的橫向資料顯示河床直粒徑分布趨勢與深槽距離無明顯關係，且變化較劇烈(圖 2-12)。



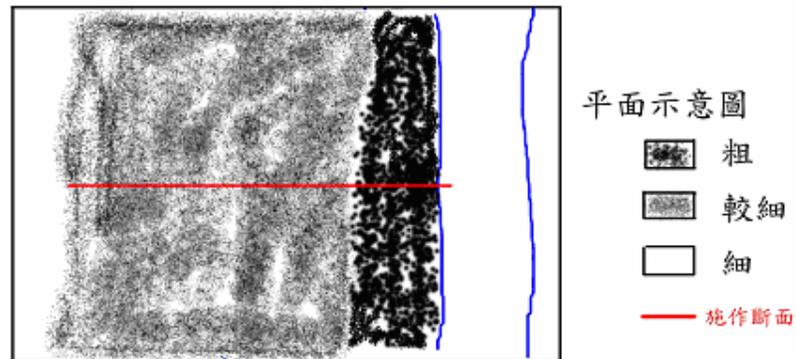
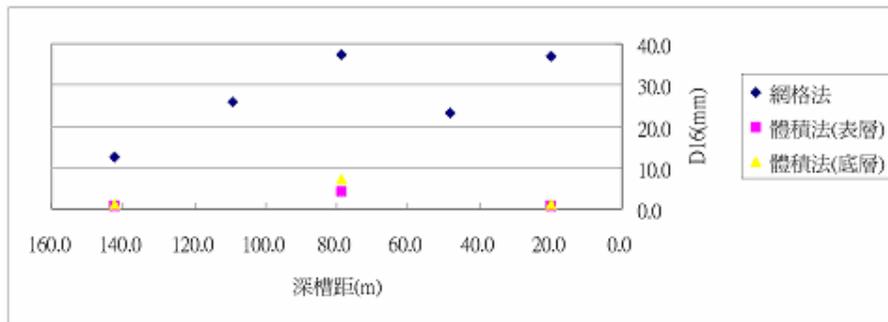
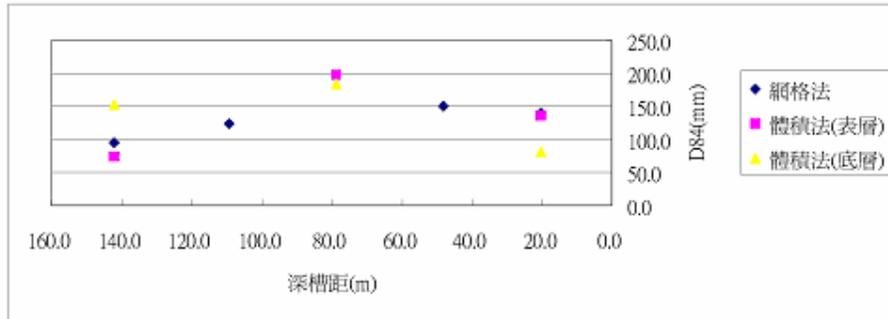
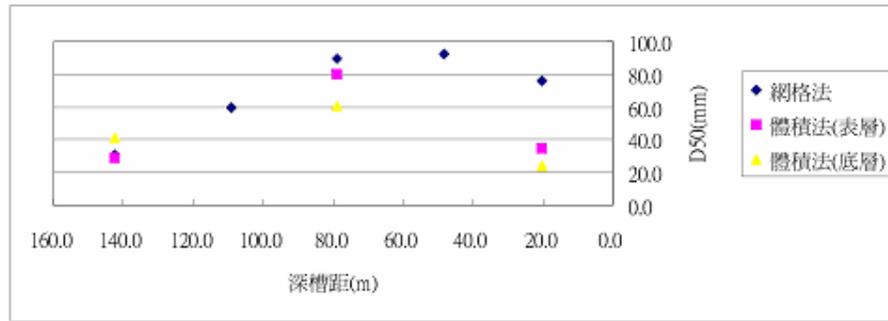


圖 2-11 頭前溪交織狀断面横向變化(鍾政良，2006)

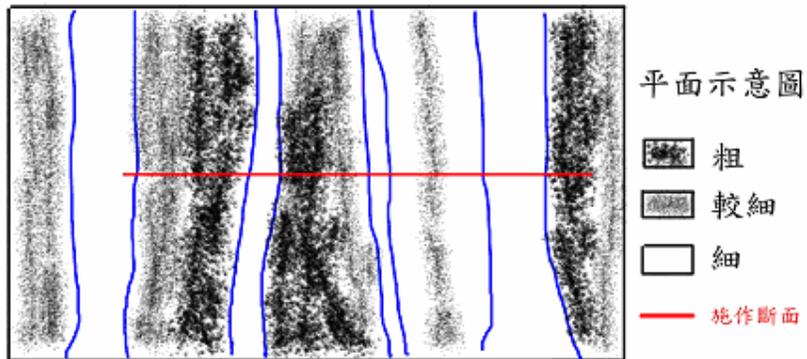
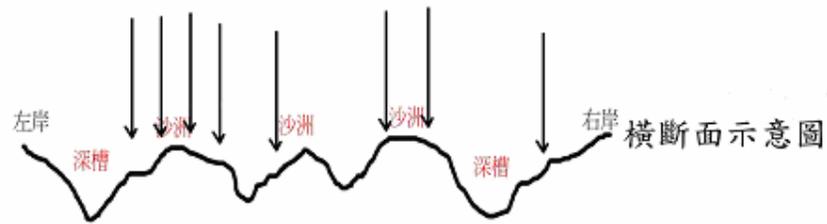
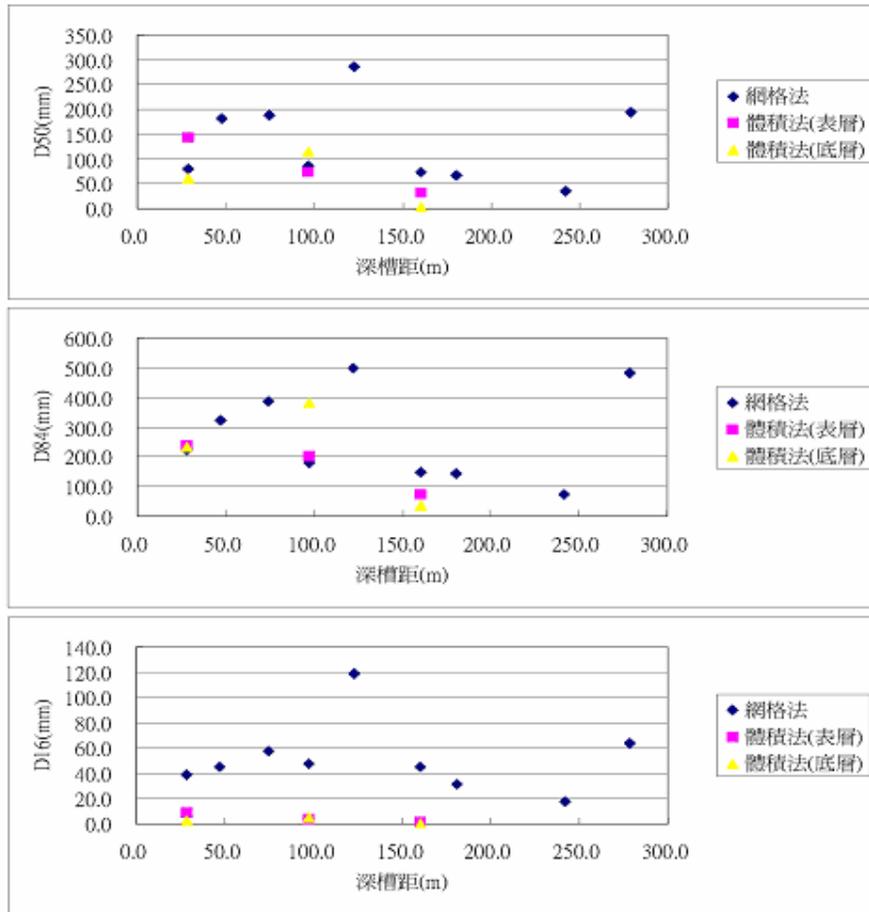


圖 2-12 頭前溪辨狀断面横向變化(鍾政良, 2006)

然而要如何取樣才能得到橫向的代表性還是一待解決的問題，雖然 Mosley and Tindale(1985)有對數量提出說明，但僅對辮狀河相加以研究，且在同一斷面不同沉積環境間該如何得到代表性的取樣亦無具體說明。

在同一斷面該如何決定一具有代表性的取樣位置為河床質調查研究上的重要課題，不同沉積環境產生橫向上的變異性，該如何將其中的差異關係找出對於以後調查工作上的規劃將會更為有效率。

### 2.2.3 垂直向變異性

礫石河床形成的沉積情況可分三種：粗細顆粒一同沉積、粗顆粒先沉積後細顆粒再填充其間孔隙以及經由均勻傳輸使同等大小的顆粒沉積，因有不同沉積的可能性存在，使得河床質在垂直向的分布狀況存在變異性質。Church et al.(1987)將礫石河床的垂直向組成情況分成四種型態(圖 2-13)，圖中右側為各分層之粒徑分布曲線圖。當細顆粒含量不足時導致粗顆粒可互相接觸稱為接觸接合(圖 2-13a)，而當細顆粒含量超過 20~30%時，粗顆粒間被細顆粒分離，使得粗顆粒間無法互相接觸，此種情況稱為基質接合(圖 2-13d)，此兩種狀況為礫石質河床之兩種典型例子，其底層粒徑分布組成如圖 2-14，其中接觸接合之分布狀況顯示由礫石及砂組成雙峰之顆粒分布，基質接合情況則未有接觸接合之雙峰狀況。

另外當河床質在均勻傳輸情況下沉積，較粗之顆粒因可運動性低而停留在表面，細顆粒則被帶走而形成表層(或護甲層，armor layer)粗粒化現象(圖 2-13b)，而圖 2-13c 之情況與圖 2-13b 相反，圖 2-13c 為在低能水流下細顆粒開始沉積於表層，而其粒徑分布曲線於上下層狀況亦相反。

表層粗粒化的原因除了河床質在均勻傳輸情況下粗顆粒集中沉積在表面的情況，Church et al.(1987)還認為表層細顆粒被風力淘選帶走及表層由互

制性良好的粗顆粒組成情況下也有可能造成表層粗粒化現象，惟在此類情況下理論上表底層是在同一環境下沉積，故表底層的粗顆粒分布狀況應與底層類似。另外由於主深槽經常處於均勻傳輸情況下，故容易產生圖 2-13b 情形，而沙洲或邊灘則因長期處在低能水流或因風力因素而會將表面細顆粒帶走產生如圖 2-13a 情況。

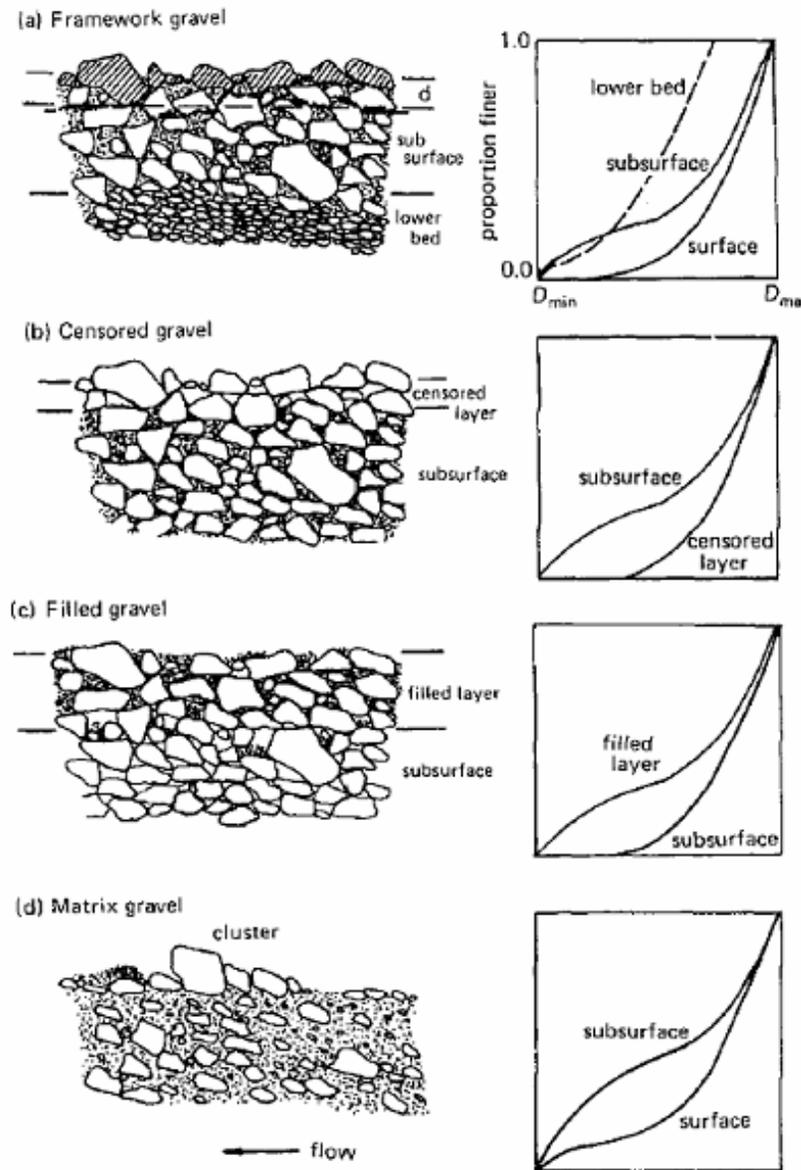


圖 2-13 礫石河床垂直向分布型態(Church et al., 1987)

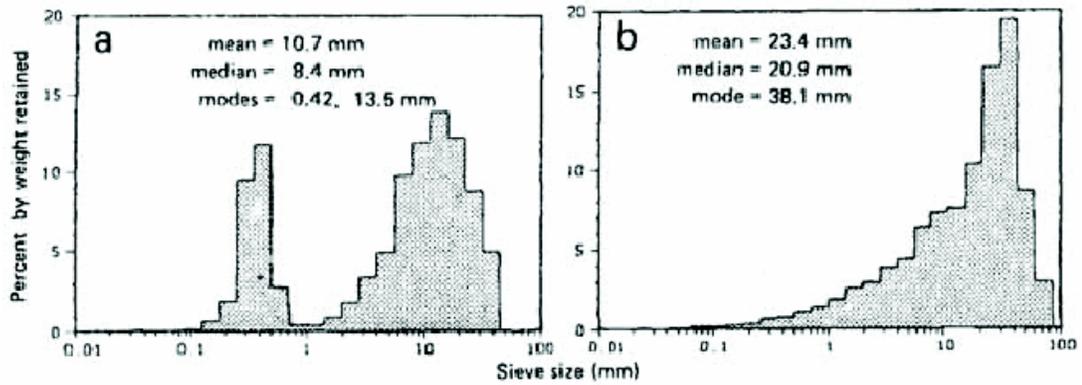


圖 2-14 礫石河床材料粒徑分布圖(a)接觸接合(b)基質接合(Church et al., 1987)

故若調查目的是在於研究底床材料對水流阻抗能力或是初始運動狀態等，則調查表層材料即可，若調查目的為研究沉澱傳輸時則除了表層的調查外還需調查底層的狀況，但若能以表面的調查方法進而推估底層的河床質分布狀況，則調查工作不僅能節省更多時間並且更具經濟效益。

鍾政良(2006)於頭前溪所做的體積法試坑中發現大約挖至 70cm 即可獲得試坑處的代表性粒徑範圍，而本研究將針對此現象加以驗證，並針對垂直向粒徑分布趨勢進行探討。

### 2.3 取樣方法

一般河床質調查方法可分為兩類：表面取樣法(surface sampling)與體積取樣法(volumetric sampling)。表面法所涵蓋的範圍僅侷限於底床表面部分，而體積法涵蓋的範圍可分為兩個部分，分別為表層(或稱護甲層，armor layer)與底層(subarmor layer)，表面法的表層與體積法的表層亦有所差別(圖 2-15)，其中表面法所定義的表層即為底床上露的河床質，而體積法所謂的表層為表面最大顆粒插入的深度。

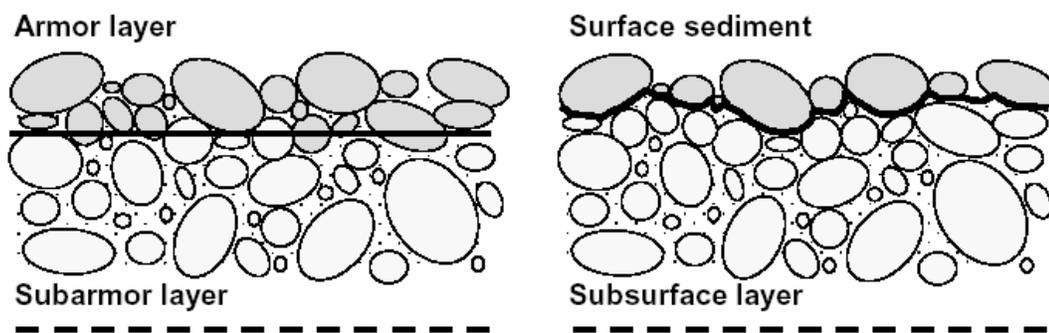


圖 2-15 體積法與表面法表底層示意圖，左圖為體積法分層，右圖為表面法分層(Bunte and Abt, 2001)

### 2.3.1 表面法

表面法可分為三種調查方法：卵石取樣法(pebble counts，或一般稱為網格法)、方形網框法(grid counts)與面積法(areal samples)三種，以下將對此三中方法分別說明。

#### 1. 卵石取樣法(pebble counts)

以等間距取樣，並且每條取樣線皆等間距且相互平行，因施做方式類似以一網格設置取樣點故亦稱為網格法，並將取樣之河床質以開口樣板(圖 2-16)量取粒徑大小，此法可涵蓋的範圍一般約在  $100\text{m}^2$ ，可分為兩種施做方式：步伐取樣與取樣繩取樣。

步伐取樣是操作者以一定步伐間距下以腳尖下的樣品為取樣目標，並在取樣時為了確保為隨機取樣，操作者不可以眼睛去判斷取樣目標，以手指碰觸到的樣品為準，但此法會因操作者不同而有著操作者之間的誤差。

取樣繩取樣是施做處拉一條取樣取樣繩，取樣繩上等間距做上記號，操作者時取記號下的樣品，當一條測線做完後再以等間距平移當做下一條測線，此方法可以統一取樣的標準，可改善操作者之間所產生的誤差。傅志偉(2005)與鍾政良(2006)於頭前溪施做的表面調查採用此方法，每一測線

拾取 16 個樣品，並且為了避免重複取樣，取樣繩上記號必須相距 1~2 倍現場最大粒徑之 B 軸，故測線上每個記號設定相距 1m(圖 2-17)，並為了統一操作過程，統一由左岸往右岸施作(圖 2-18)。



圖 2-16 開口樣板(傅志偉，2005)



圖 2-17 取樣繩(傅志偉，2005)

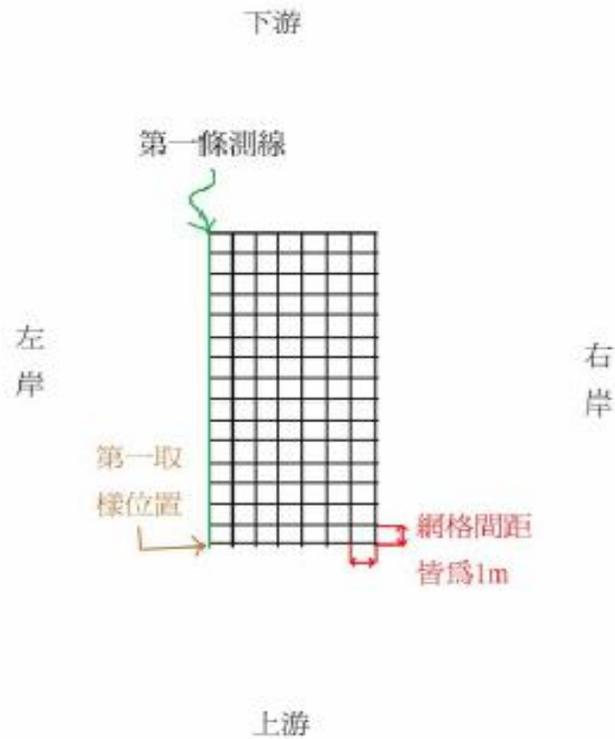


圖 2-18 網格法示意圖(鍾政良，2006)

## 2. 方形網框法(grid sampling)

此法概念上與網格法類似，是以一方形網框(圖 2-19)為調查範圍，通常大小約為  $1\sim 10\text{m}^2$ ，在方框內設置好網格，以網格交點下的樣品為取樣目標，取樣的方法一般有兩種：直接取樣與拍照取樣。

當此法是以直接取樣方法來取得樣品時，則此法其實是與網格法意義相同。而拍照取樣是在欲取樣區域上，垂直表面拍攝照片，再將方框放在照片上進行影像處理量測，但此法取受到調查的範圍大小以及拍照的解析度影響甚大，雖然拍照可節省野外試驗的時間，但僅能以照片上河床質露出表面的情況來推測大小，精確度亦有待驗證。

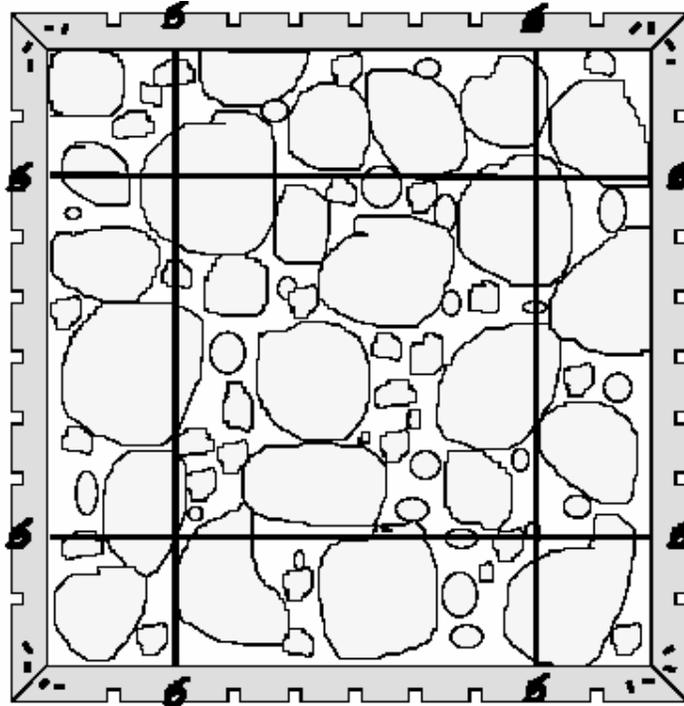


圖 2-19 方形網框示意圖(Bunte and Abt, 2001)

### 3 · 面積法(areal sampling)

面積法是以一定範圍區域內將表面所有樣品皆取樣，一般適用範圍約為  $0.1\sim 1\text{m}^2$ 。取樣方法可分為：直接取樣(manual picking, lifting, scraping)、黏板取樣(adhesives)與非破壞取樣(non-destructive method)三種。

直接取樣方法一般適用在粗礫石河床(coarse gravel bed)，先將欲取樣範圍以方框標示出來，再將方框內所有表面的河床質取出，由於小顆粒可能會被較大的顆粒所隱藏，並且在大顆粒取出後很難判斷哪些是屬於表層的顆粒，故在取樣順序上是以小顆粒優先取樣。Lane and Carlson(1953)建議以噴漆(spray paint)將表層顆粒做上記號以分辨表層與底層顆粒，而 Church et al.(1987)發現噴漆有可能會從表層滲入底層，而無法明確的將表底層分界。

黏板取樣是將黏性材料如膠水、樹脂、黏土或臘等黏性物質沾在板子上，在要取樣的表面將顆粒黏取取樣，一般此方法適用在顆粒大小介於砂

與粗礫石間的河床，此法會受到黏性材料類別、黏性材料的量、取樣時下壓的力量及黏版本身軟硬度而影響取樣品質(圖 2-20)，圖 2-20a 表示黏板過硬且黏性物質厚度不足，而未能將表層樣品取樣。圖 2-20b 表示雖然黏板能接觸到大部分樣品，但黏性物質厚度仍不足。圖 2-20c 表示黏性物質過硬，無法黏取較底下的樣品，圖 2-20e 表示在取樣時，下壓的力量過大，使得取到底層的樣品。圖 2-20d 為正確的取樣情況，僅取得表層材料。

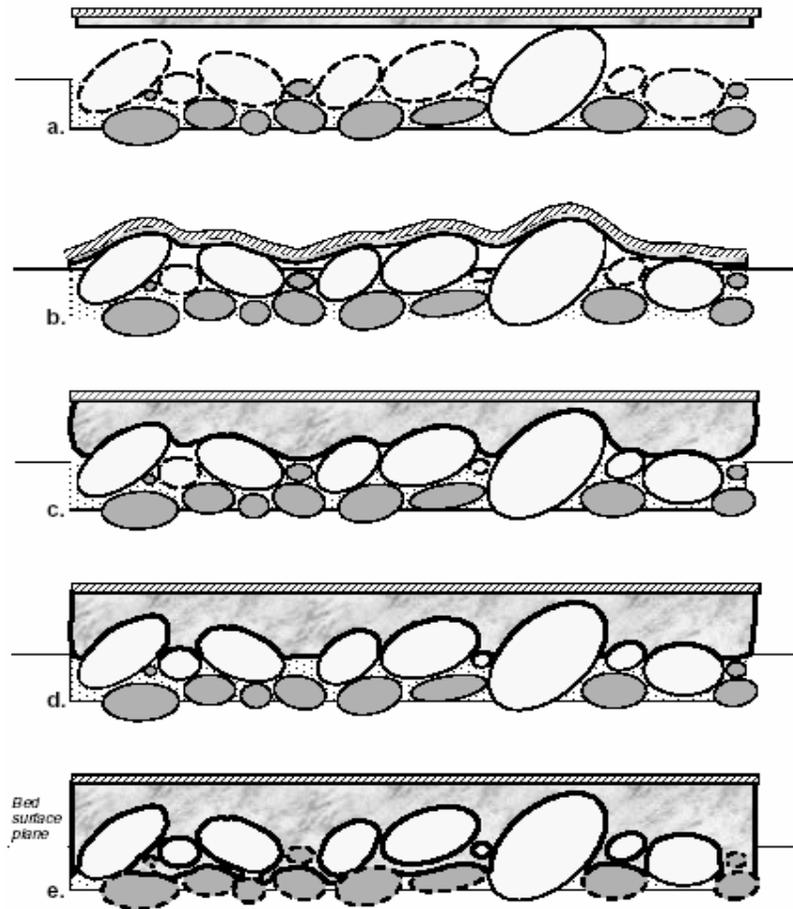


圖 2-20 黏板取樣示意圖，其中白色顆粒表示表層顆粒，灰色表示底層顆粒，粗實線表示被取樣顆粒，虛線表示未被取樣或錯誤取樣(Bunte and Abt, 2001)

非破壞取樣則是將取樣範圍拍攝照片(圖 2-21)，之後再一一量取照片上的所有樣品粒徑大小，此法與方形網框中的拍照取樣方法雷同，惟方形網

框僅量取網格交點下的樣品。而在分析上有許多影像處理的軟體可以使用，主要皆是先將照片數位化後將照片轉換為灰階(圖 2-22a)，之後經由程式顆粒分析處理(圖 2-22b)或自行再加以處理以分開顆粒(圖 2-22d)。

由於照片僅能以平面方式呈現，故若欲將其轉換為體積方式分析需假設河床顆粒 b 軸與重量關係來估計重量(圖 2-23)(Church et al., 1987)



圖 2-21 現場拍照方式(Graham et al., 2005)

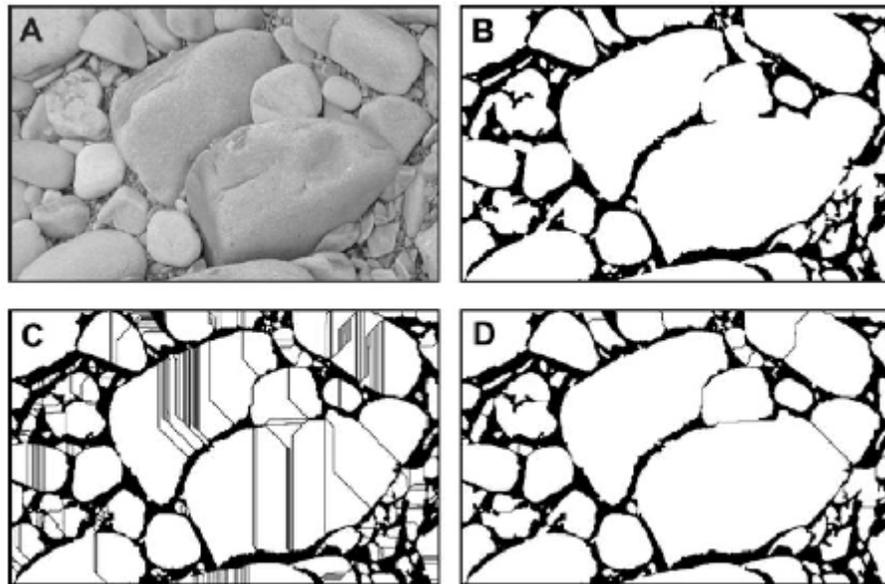


圖 2-22 影像處理程序(Graham et al., 2005)

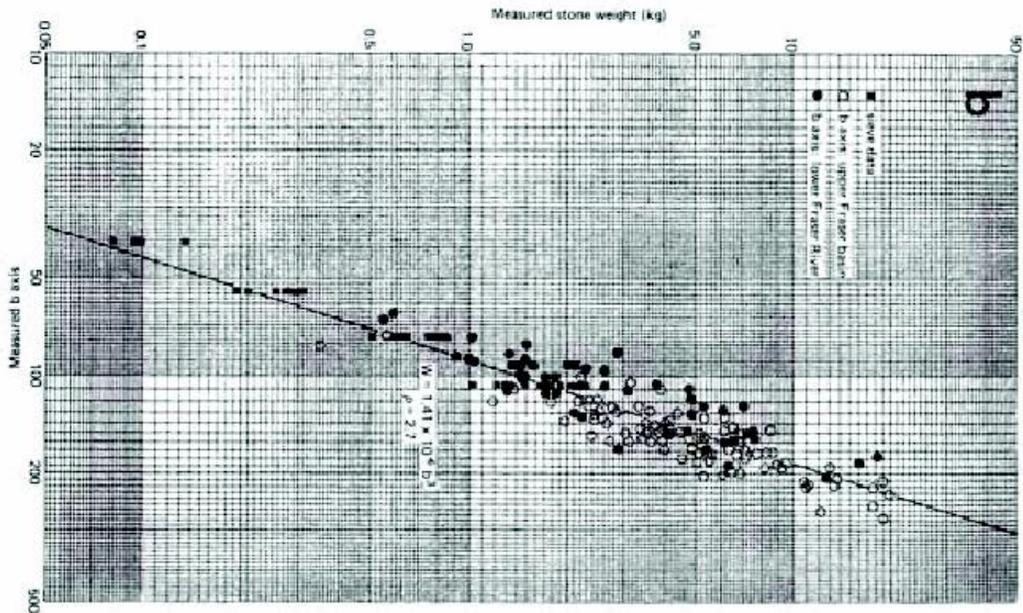


圖 2-23 以 b 軸換算重量於實際量測重量之關係(Church et al., 1987)

### 2.3.2 體積法

一般體積法取樣可分為兩種情況，分別為分層取樣以及不分層取樣，在不分層取樣情況下該取多少深度為一重要議題，而取樣的深度通常取決於現場河床質粒徑大小範圍(表 2-3)，當深度太小時若有一大顆粒，則其重量將會占總樣品重量之大部分，故會控制整個取樣結果的精確度，若深度太深則會浪費太多人力以及時間，降低效率。

表 2-3 河床質分類(Bunte and Abt, 2001)

Stream type	Range of median bed-material particle size (mm)
Sand-bed stream	0.063 - 2
Gravel-bed stream	2 - 64
Cobble-bed stream	64 - 256
Boulder-bed stream	256 - 4096

Diplas and Fripp(1992)建議河床質粒徑在卵石(cobble)範圍時，不分層取樣的最小取樣深度應該為現場最大粒徑的兩倍：

$$d_{Smin}=2D_{max} \quad (式 2-1)$$

其中

$d_{Smin}$ ：最小取樣深度(cm)

$D_{max}$ ：現場最大粒徑(mm)

另外為了避免大顆粒控制整體粒徑分布曲線的情況，Diplas and Fripp(1991, 1992)提出可以最大的兩個篩的尺寸的最小公倍數來決定，例如最大之兩個尺寸為 11.3mm 與 8mm，則最小取樣深度為 88mm，依此方法將每種組合的最小取樣深度算出並且將結果回歸，可得：

$$d_{Smin}=0.48D_{max}^{2.10} \quad (式 2-2)$$

但此式不適用於河床質粒徑在粗礫石與卵石河床質以上的範圍，因最小取樣深度會劇烈的上升，故為了改善此問題，而將取樣深度過大時做適當的折減，並在粒徑較小處作增加，並將所得的結果作回歸，可得：

$$d_{Smin}=0.71D_{max}^{0.78} \quad (式 2-3)$$

以上三個式子的關係圖如圖 2-24。

在一般的礫石河床幾乎會存在表層粗粒化現象，故不分層取樣的情況並不適用，一般皆需要將體積法取樣作分層，分層的界線該如何界定目前並無一較確切的結論，能有許多不同決定並表層深度的建議，以下將會對體積法分層取樣做說明。

### 表層(護甲層)

分層取樣中首先要先將表層定出，表層深度的定義有許多學者提出不同的建議：

- 1.表面最大粒徑的 C 軸為表層深度(Ettema, 1984)
- 2.最大粒徑的 B 軸為表層深度(Diplas, 1992)

- 3.兩倍表面 D90 粒徑為表層深度(Simons and Semturk, 1992)
- 4.最大粒徑以 45° 插入的深度為表層深度
- 5.大顆粒出現之最多頻率之粒徑以 45° 插入的深度為表層深度(Winema National Forest, 1998)

以上各種建議之示意圖如圖 2-25，其中最後兩種建議是將河床質假設為橢圓球體，且是以 45° 插入表面，其插入的部分占總體積的 80%，傅志偉(2005)與鍾政良(2006)皆以最後一種方法(即  $D_{90}$ )來界定表層深度，並在頭前溪體積法的結果中發現確實大部分皆有表層粗粒化現象存在，圖 2-26 為傅志偉(2005)在頭前溪體積法試驗中的結果，圖 2-27 為鍾政良(2006)在頭前溪體積法試驗之結果。

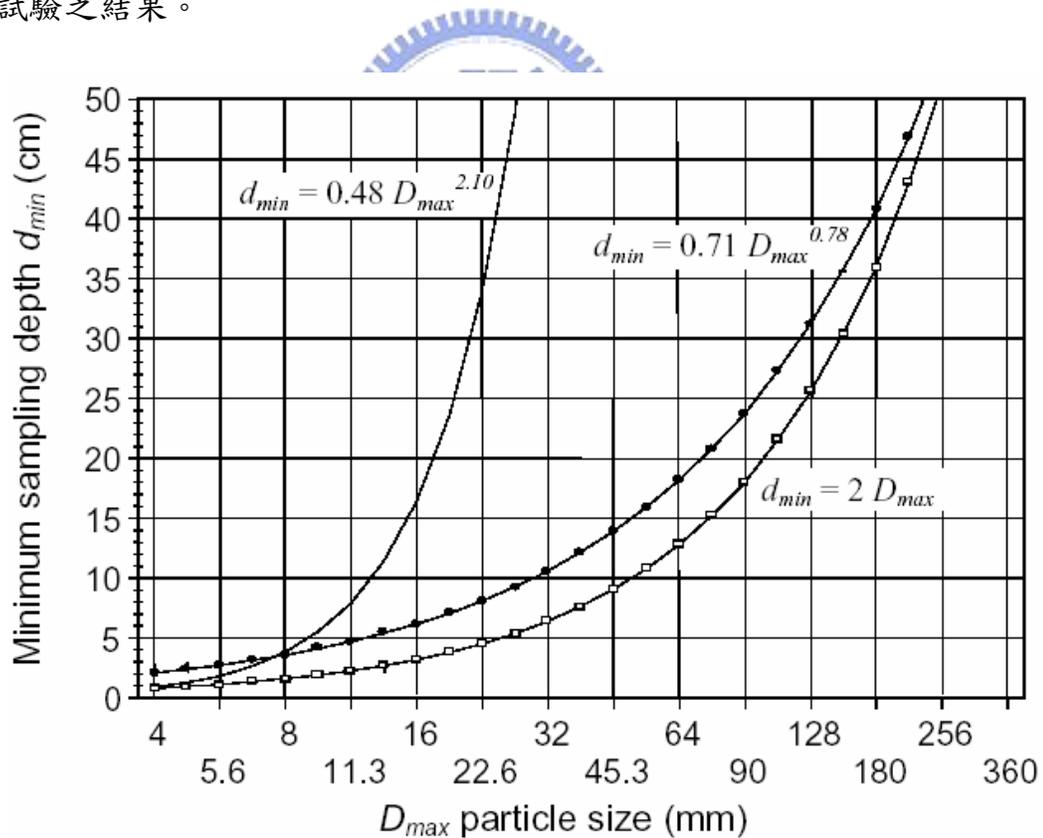


圖 2-24 體積法不分層取樣最小取樣深度與最大粒徑關係圖(Bunte and Abt, 2001)

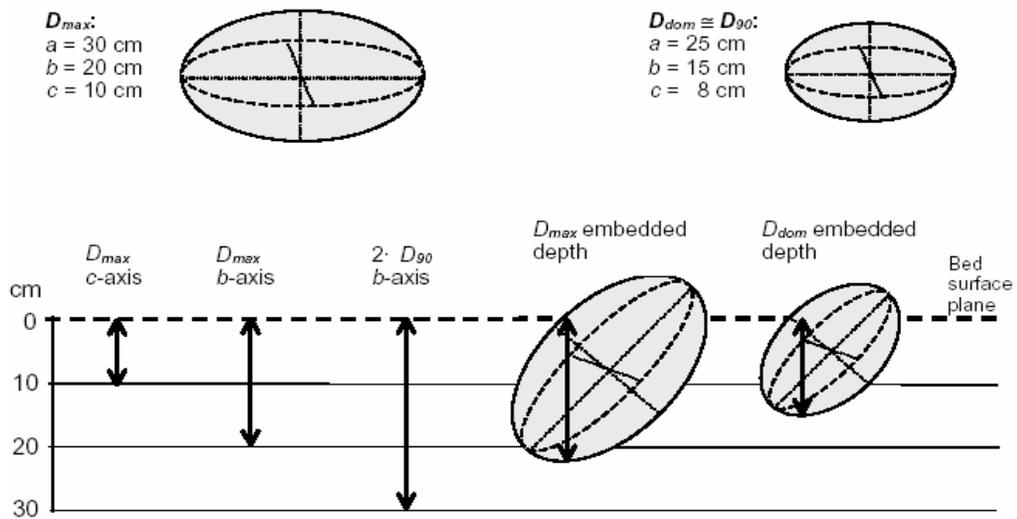


圖 2-25 各種表層深度建議示意圖(Bunte and Abt, 2001)

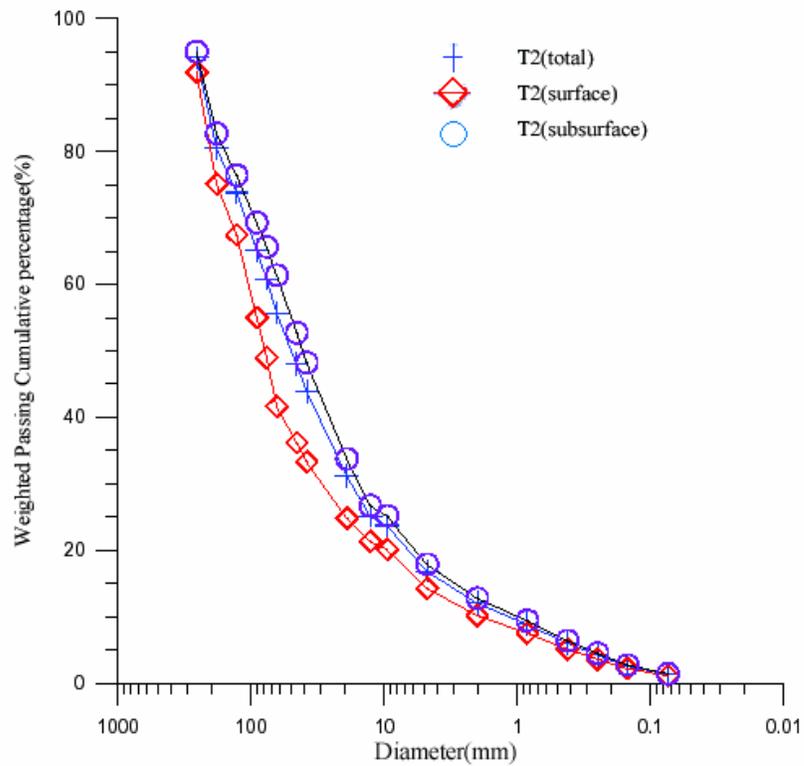


圖 2-26 頭前溪體積法粒徑分布曲線(傅志偉, 2005)

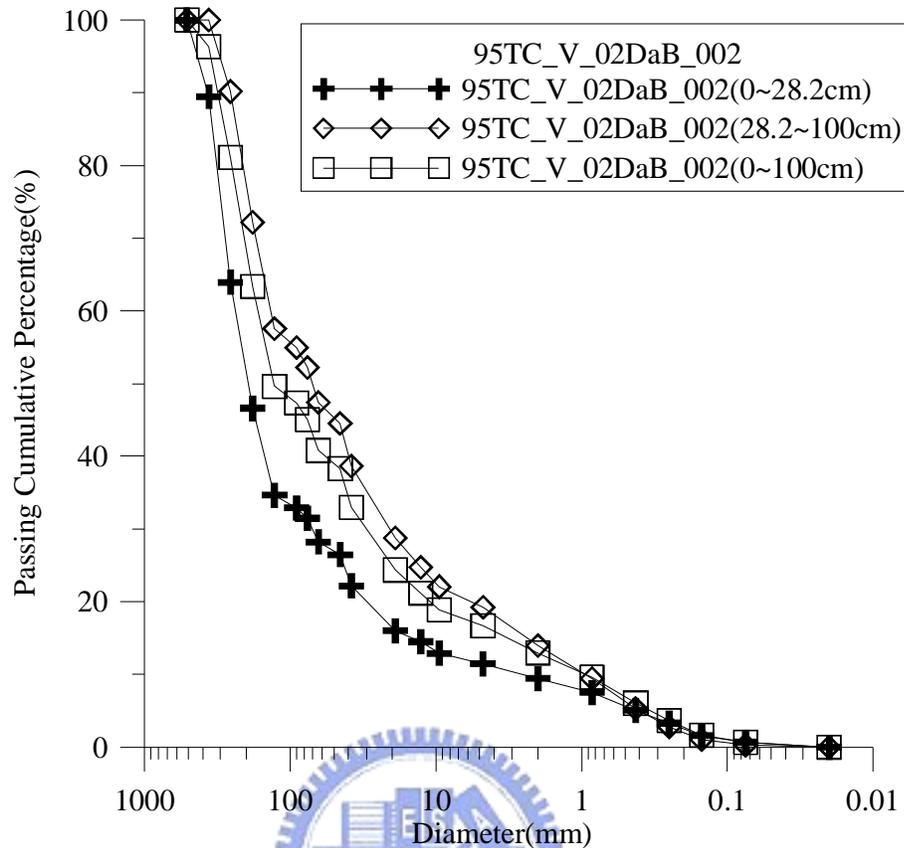


圖 2-27 頭前溪體積法粒徑分布曲線(鍾政良，2006)

台灣省水利局(1982)建議體積法取樣分表層取樣與篩分析法，建議於現地取 60\*60\*100 公分試坑，但現行體積法取樣大多以一立方公尺試坑的方式施作，現場取樣先施作現場篩分析與開口樣板量測並秤重，並將通過 3/8" 篩之細料帶回實驗室施作室內篩分析試驗。

鍾政良(2006)於頭前溪施作之體積法皆為在乾燥處進行，並無在河道中施作，主要因為在河道中取樣無法施作現地篩分析試驗，且施做亦較為困難，以下對水下施作之取樣方式進行一簡單介紹。

一般水面下取樣有下列幾種方式：

1. 直接抓取式：此方式包含以鏟子、撈網(圖 2-28a)與閉合試取樣桶(Glysson, 1988)(圖 2-28b)等方式，此類方式較適合用於砂石和細礫石河床材料。

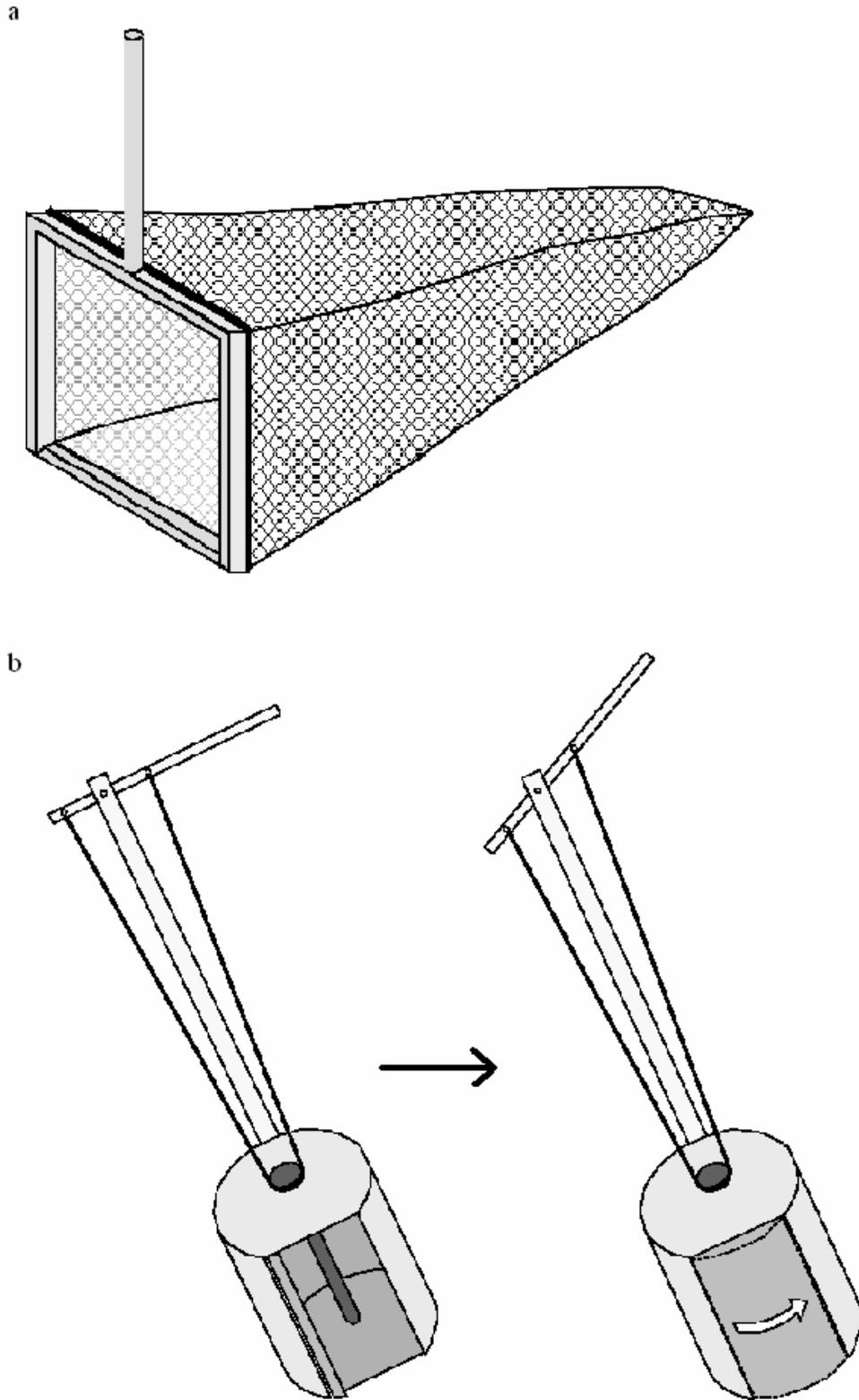


圖 2-28 直接抓取試取樣法(Bunte and Abt, 2001)

2·水桶取樣法(barrel sampler)：此法主要以鋸齒型水桶取樣法(cookie-cutter sampler)(Klingeman and Emmrtt, 1982)為主，此取樣法可適用於礫石質河床，此法主要以鋸齒型開口之水桶插入河床，之後可於水桶內進行取樣(圖 2-29)。



圖 2-29 水桶取樣法(Bunte and Abt, 2001)

3·冰凍管取樣(freeze-core sampler)：此法最早是 Walcott(1973)提出(圖 2-30)，是以一空心管子貫入河床下約 20cm，並灌入冷凍劑，如液態二氧化碳或液態氮，之後再將樣品取出解凍進行分析，一般冰凍管徑約 0.1~0.15m，此取樣方式可將所有顆粒一起冰凍取出，並可觀測到河床沉積之分層狀況。

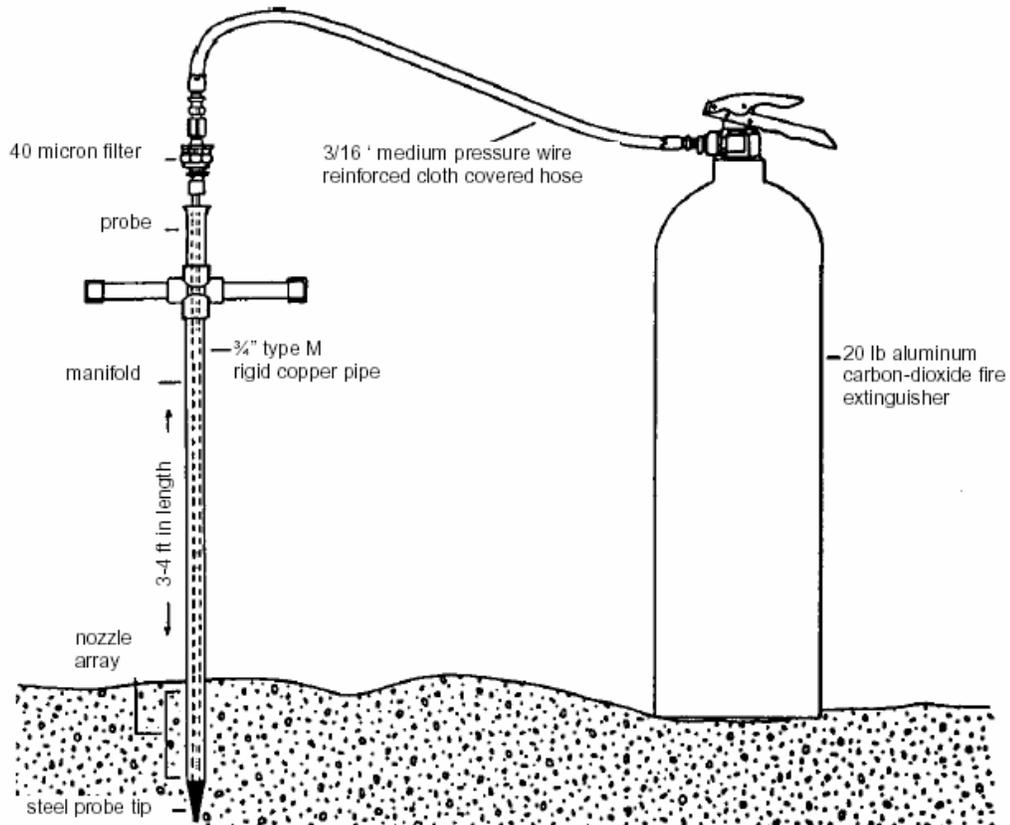


圖 2-30 冰凍管取樣法(Bunte and Abt, 2001，改繪自 NCASI, 1986)

### 2.3.3 表面法與體積法

Kellerhals and Bray(1971)利用三種不同大小的方塊(表 2-4)來模擬河床質沉積(圖 2-31)，其中方塊與分塊間互相接觸，故假設在一無孔隙的情況下沉積。並設三種尺寸的方塊的總體積是相等的，且其比重皆為 1，故可將體積與重量作直接換算，並將表面取樣結果以重量頻率及出現平率分別與體積取樣結果之重量頻率及出現頻率作比對(表 2-5)，發現當體積法以重量方式與網格法以出現次數方式之試驗結果是一致的，並將每種試驗結果關係繪出(圖 2-32)。

由此可發現在表面法中以網格法出現次數取樣與體積法重量頻率方式取樣可得較一致的結果，但因網格法中過小的顆粒無法以人為方式判斷，

Wolman 認為可辨識的最小顆粒尺寸為 2~4mm，但其建議以 8mm 為界限。故一般網格法收集的樣品僅到 8mm，但體積法取樣卻可包含到 8mm 以下之樣品，該如何調整作修正才能確實使網格法與體積法作一直接轉換比較亦需討論。

表 2-4 三種不同方塊之尺寸、重量、個數與表面出現個數(Kellerhals and Bray, 1971)

Particle	Linear Size D	Weight W	Total No. In Sample Volume	Total No. In Sample Surface
	1	1	4608	192
	2	8	576	48
	4	64	72	12

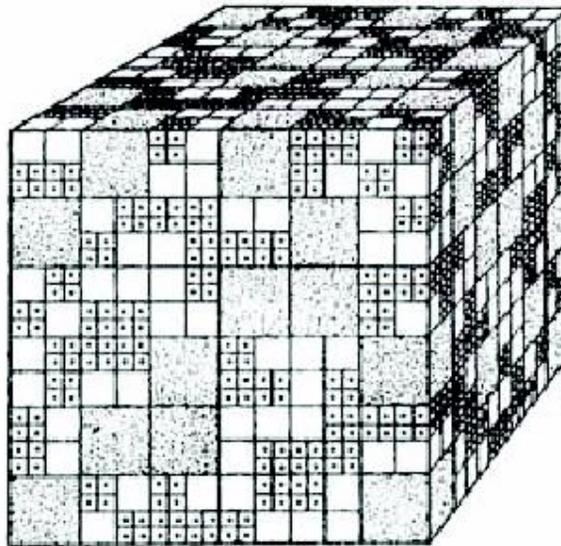


圖 2-31 三種不同尺寸方塊模擬的沉積環境(Kellerhals and Bray, 1971)

表 2-5 表面取樣與體積法互相比對，其中  $n_{surf}$  為表面上出現個數(Bunte and Abt, 2001，改繪自 Kellerhals and Bray, 1971)

$D$	$A=D^2$	(vol.-by-number)		vol.-by-weight		$n_{surf}$	area-by-weight		grid-by-weight	
		$V=D^3$	$n$	$n \cdot V$	%		$n_{surf} \cdot V$	%	$n_{surf} \cdot A \cdot V$	%
1	1	1	4608	4608	33.3	192	192	14.3	192	1.4
2	4	8	576	4608	33.3	48	384	28.6	1536	11.0
4	16	64	72	4608	33.3	12	768	57.1	12288	87.7
$\Sigma$			5256	13824	100.0	252	1344	100.0	14016	100.0

$D$	$A=D^2$	$V=D^3$	$n$	vol.-by-weight		area-by-number		grid-by-number	
				$n \cdot V$	%	$n_{surf}$	%	$n_{surf} \cdot A$	%
1	1	1	4608	4608	33.3	192	76.2	192	33.3
2	4	8	576	4608	33.3	48	19.0	192	33.3
4	16	64	72	4608	33.3	12	4.8	192	33.3
$\Sigma$			5256	13824	100.0	252	100.0	576	100.0

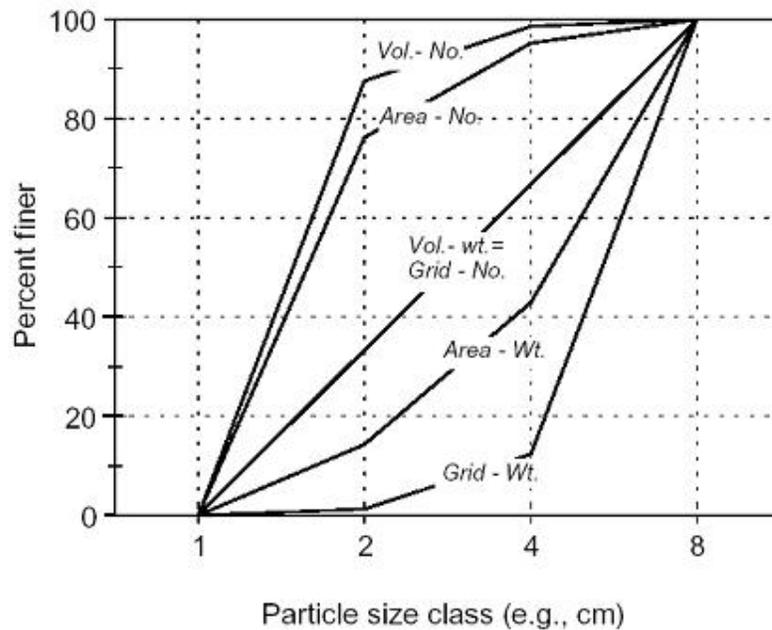


圖 2-32 表面法與體積法不同試驗方式之比對(Bunte and Abt, 2001，改繪自 Kellerhals and Bray, 1971)

傅志偉(2005)與鍾政良(2006)於頭前溪施作之試驗中，以兩種修正方法試圖使網格法與體積法之粒徑分部曲線可以直接比對，修正方法分別為：細料長度修正方法與拾取數量修正方法，但兩種修正方法與體積法之結果

仍然存在差異(圖 2-33)、(圖 2-34)。圖 2-33 中傅志偉於修正方法中並無加入細料之粒徑分布曲線，僅將原始之網格法進行細料比例修正。

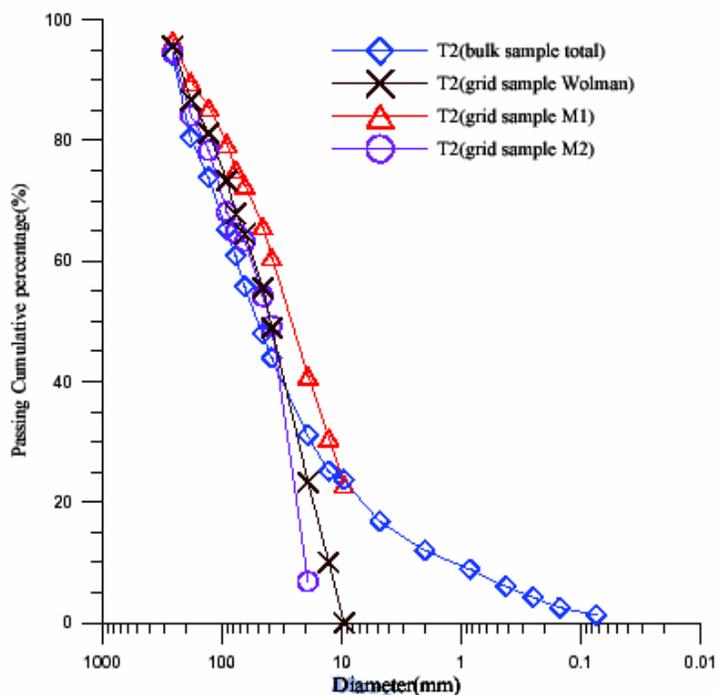


圖 2-33 頭前溪網格法修正方法與體積法結果比較(傅志偉，2005)

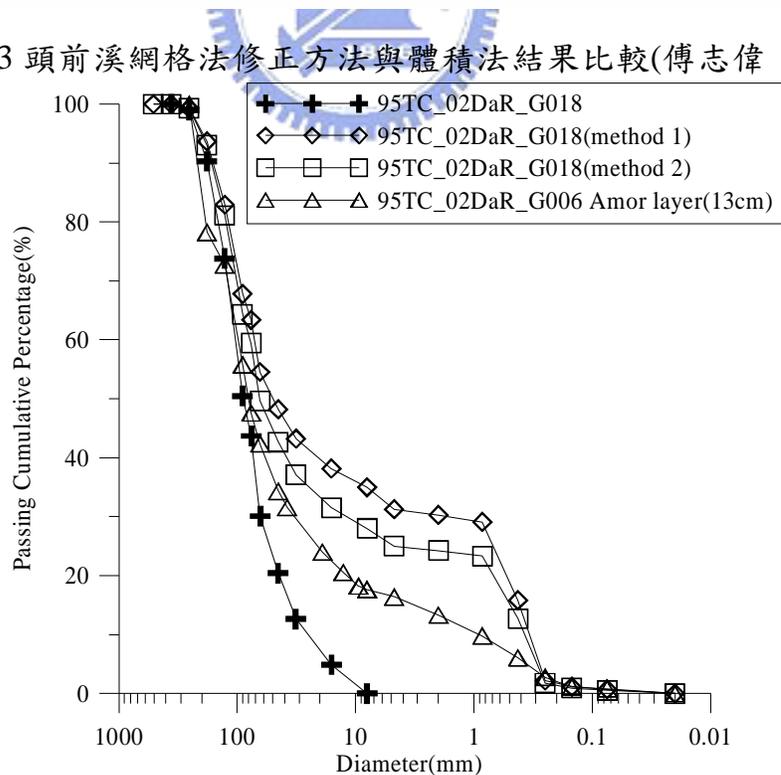


圖 2-34 頭前溪網格法修正方法與體積法結果比較(改繪自鍾政良，2006)

### 2.3.4 調查規劃

Mosley and Tindale(1985)發現不同的調查規劃在同樣的研究區域所得到的結果會有所不同，不同的調查需求亦需要不同的調查規劃，以下將說明三種調查方式。

1. 不分類取樣(unstratified sampling)
2. 分類取樣(stratified sampling)
3. 特定取樣(spatially focused sampling)

不分類取樣是包括調查整個區域範圍進行取樣，且不分沉積環境，如沙洲或邊灘等，此種取樣規劃可以得到該調查區域的平均河床顆粒粒徑大小。分類取樣則是在調查區域中依不同的沉積環境個別分開進行取樣，此法可以了解不同沉積環境下河床顆粒粒徑之差異。特定取樣則是特別集中在某個感興趣的特定小範圍內進行調查，如水利結構物附近。

統計分析的假設取樣是隨機的方式，故在取樣的隨機方式上亦有所不同。

1. 完全隨機(complete random)
2. 網格(systematic grid)
3. 重疊網格(overlapping grid systems)
4. 網格單位隨機(random within systematic cells)

Bunte and Abt(2001)考慮分類與不分類調查規劃與不同的取樣方法提出礫石河床河床質調查建議，如圖 2-35。圖 2-35a、b、c、d 中說明各種調查方式在不分層取樣規劃下之情況，所謂不分層取樣即在調查範圍內以不區分沉積環境方式調查。圖 2-35a 為不分層取樣規劃下利用完全隨機方式取樣示意圖，圖 2-35b 表示在調查範圍內以隨機方式開始設置網格進行調查，

圖 2-35c 則是以多次的網格進行調查，每次網格皆以上次網格為準向旁邊平移一段距離，且各網隔間交互重疊，圖 2-35d 則為在各網格內之區域進行隨機取樣。同理圖 2-35e、f、g、h 中下列之四個圖即為在分層取樣規劃下以不同的調查方式進行取樣之示意圖，上述調查規劃亦可適用於各種調查方式，如網格法或體積法。

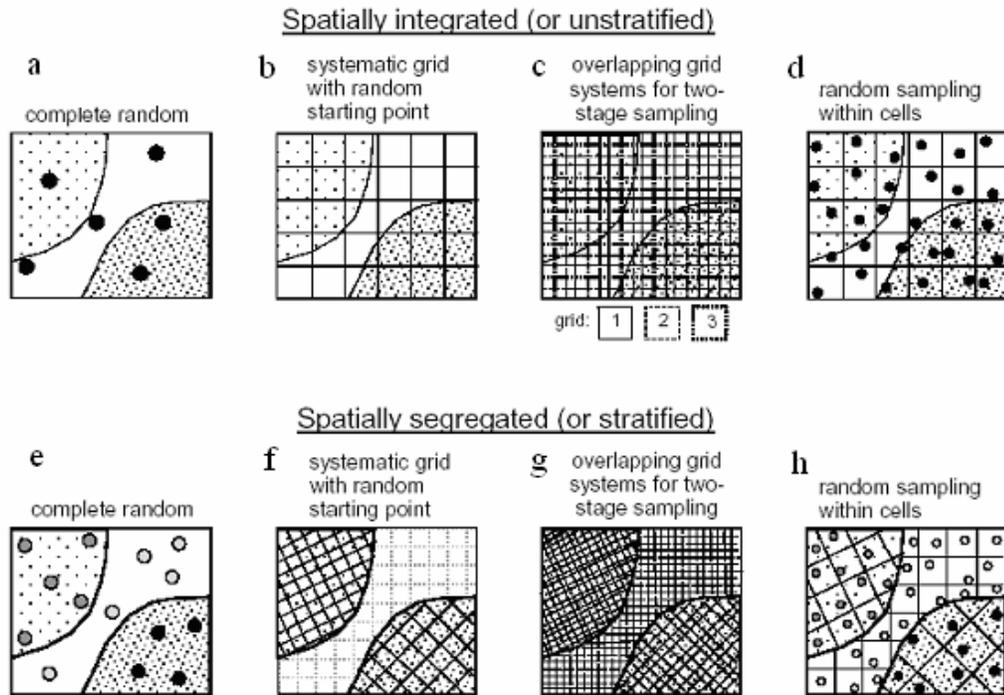


圖 2-35 不同調查規劃與隨機取樣方式(Bunte and Abt, 2001)

## 2.4 取樣數量與誤差

網格法需要多少取樣數量才足夠？體積法取樣需多少重量？以統計觀念上取樣數量越多精確度與代表性越高，但當數量提高則河床質調查的現場工作時間也會跟著提高。雖然理論上提高了精確度，但實際上卻反而使調查工作時行上更困難，故要有多少取樣數量或重量能使結果有代表性且對現場調查上亦可實行，此問題在河床質調查工作規劃中必須先定出來。

## 2.4.1 網格法

Wolman(1954)建議樣品數量在 100 以下則不會產生明顯的操作者誤差。Hey and Thorne(1983)研究中亦支持了此建議，且指出網格法結果主要受到兩種因素影響，分別為操作者誤差(operator error)以及樣品誤差(sampling error)。他們認為操作者誤差無法藉由增加取樣數量來改善操作者誤差，主要是因為試驗的程序無統一的規範。他們利用方形網框、取樣繩以及步伐取樣三種方式來做試驗，其中以步伐取樣的結果誤差最大，而利用方形網框或取樣繩可有效改善操作者所產生的誤差。且在步伐取樣時，操作者容易選取易於拾取的樣品，故在顆粒較細的河床時會得到較粗的粒徑曲線，反之在顆粒較粗的河床時則容易得到較細的粒徑曲線(圖 2-36)。圖 2-36 中可發現在現場顆粒  $D_{50}$  約在小於 100mm 時步伐取樣所得到的特定粒徑皆粗於取樣繩取樣結果，而現場  $D_{50}$  大於 100mm 時步伐取樣得到的  $D_{50}$  和  $D_{84}$  則較取樣繩結果細。由此可發現在取樣方法上須有一致的取樣準則，除了可以固定每次試驗的標準並可以避免不同操作者而產生不同結果的誤差。

另外為了檢定網格法的誤差，本研究將使用 Gossett 於 1908 年所提出之 t 分配(student-t distribution)進行檢核，t 分配之使用時機為當母體為常態分布，但僅知道樣本標準差時，用來檢定樣本平均數與母體平均數之差異，並將於第五章中加以討論。

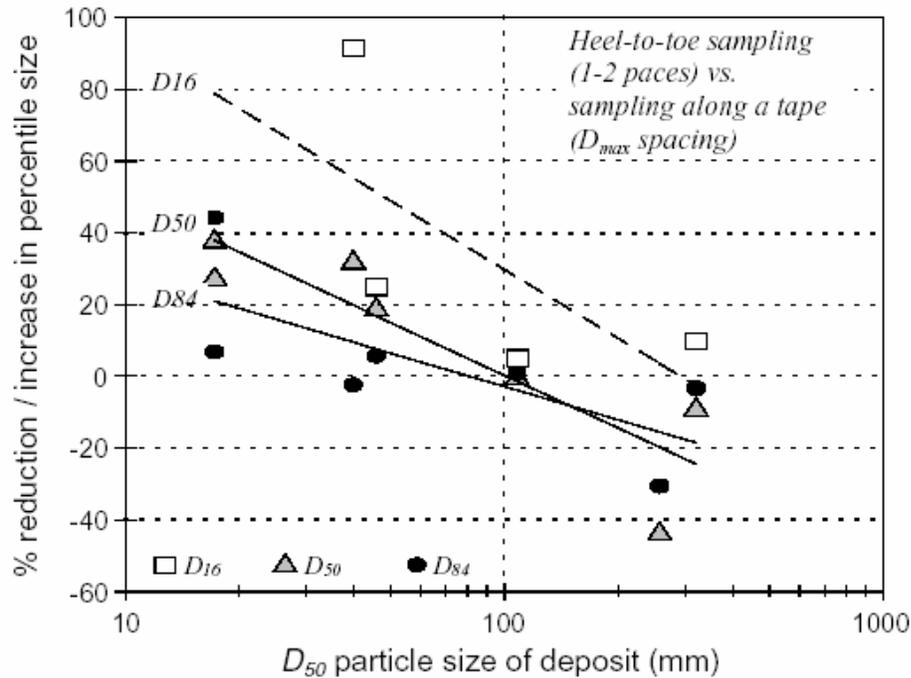


圖 2-36 步伐取樣與取樣繩取樣比較(Bunte and Abt, 2001)

樣品誤差又可再分成樣品平均值(sample mean)與代表粒徑(percentile value)兩種情況討論。Hey and Thorne(1983)的研究結果顯示在 95%信心指數(confidence level)下，當所要求樣品平均值誤差分別為 5%、10%以及 15%情況下所需的樣品數量分別為 790、207 與 97，而在代表粒徑中其結果顯示在 95%信心指數下要求  $D_{84}$  粒徑誤差在 $\pm 2\text{mm}$  與 $\pm 5\text{mm}$  時所需之取樣數量為 587 與 94。

Hey and Thorne(1983)研究中並發現在樣品數量小於 100 時，因不同操作者而產生的誤差可以忽略，當樣品數量超過 100 時，此種誤差會漸漸明顯(圖 2-37)，此結果亦支持 Wolman(1954)提出之建議。因此在企圖藉由提高樣品數量增加精度前必須先建立一有效消除或改善操作者誤差之取樣方法。鍾政良(2006)沿用 Wolman(1954)提出之建議，網格法時取數量以 100 左右為基準進行試驗。

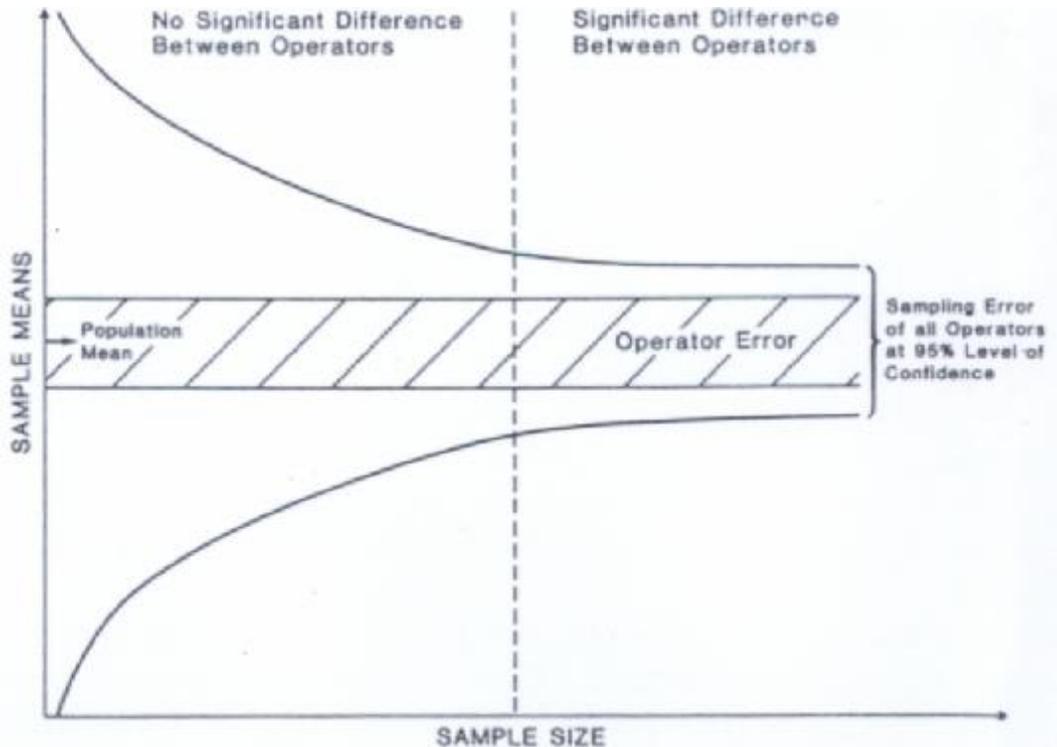


圖 2-37 不同操作者誤差與樣品誤差關係(Hey and Thorne, 1983)

## 2.4.2 體積法

一般計算體積法需要的取樣重量皆以最大粒徑來評估，主要是為了避免整體粒徑曲線被大顆粒所控制而失去代表性，故需依照最大粒徑來調整所需要的取樣重量。但所謂最大粒徑並不一定是現場最大顆粒的粒徑，需要視研究目的去選擇所需要的最大粒徑定義。在研究河川底床傳輸能力時，一般將最大粒徑定義為  $D_{90}$  之粒徑。而以往許多學者提出不同的體積法取樣重量公式，依照不同大小之最大粒徑對應所需具有代表性之最小取樣重量，而 Church et al.(1987)將這些不同計算方式的結果作回歸(圖 2-38 中黑色曲線)，其最小取樣重量之公式：

$$m=2.87 \cdot D_{\max}^{-44.8} \quad (\text{式 2-4})$$

其中：

$m$ =最小取樣重量(kg)

$D_{max}$ =最大粒徑(mm)

其中虛線上的數字表示一個最大粒徑之樣品佔整體重量之百分比。由圖 2-38 可發現當最大粒徑尺寸越大，其所佔整體重量的百分比亦跟著提高，依照現場最大粒徑顆粒之重量去決定整體之取樣重量，不同尺寸之現場最大粒徑所佔整體重量的百分比不是以同一個標準去計算，主要是考慮到整體取樣的可行性，若依照同一個標準去計算取樣重量，則當最大粒徑越大所需的取樣重量會急遽增加，反而無法實行。例如當最大顆粒粒徑為 45mm 時，最小取樣重量須達到 84.35kg，此時最大顆粒大約佔全部樣品重量 0.15%，如此取樣即可合乎取樣標準。

而依照此取樣重量標準，可針對鍾政良(2006)於頭前溪施作之體積法與本研究於鳳山溪施作之體積法進行取樣重量討論。

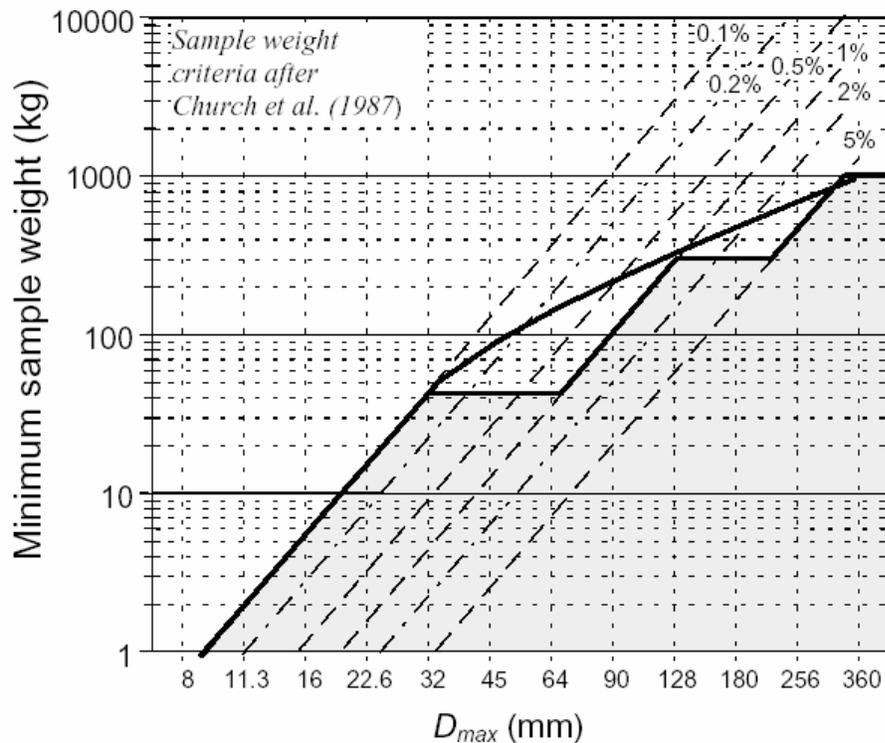


圖 2-38 體積法取樣重量與最大粒徑關係圖(Bunte and Abt, 2001，改繪自 Church et al., 1987)

## 2.5 淘選度(sorting)

淘選度為河床質顆粒堆積組成之一評估參數，其意義類似級配觀念，當河川處於均勻傳輸情況下，相同粒徑範圍之顆粒一同沉積，此時河床皆為粒徑相似之顆粒堆積組成，此時狀況下稱為良好之淘選度，情況與不良及配相似，而若河床上顆粒分布極度不均質，則稱為不良之淘選度。

河床質顆粒分布粒徑曲線在以  $f$  單位的表示下大約是呈現常態分布，為了評估河床的淘選度，Inman (1952) 提出一類似標準差觀念的淘選度公式：

$$s_I = \left| \frac{f_{84} - f_{16}}{2} \right| \quad (\text{式 2-5})$$

其中

$s_I$  = 淘選度(sorting coefficient) by Inman

$f_{84}$  = 在  $f$  單位下顆粒通過百分比為 84% 之粒徑

$f_{16}$  = 在  $f$  單位下顆粒通過百分比為 16% 之粒徑

Folk and Ward (1957) 認為此評估方式僅利用兩個粒徑來判定河川淘選度似乎不太客觀，因為在同樣的兩種粒徑還是可以有很多種不同的粒徑分布情況，Folk and Ward (1957) 提出另一個公式：

$$s_{F\&W} = \frac{f_{84} - f_{16}}{4} + \frac{f_{95} - f_5}{6.6} \quad (\text{式 2-6})$$

其中

$s_{F\&W}$  = 淘選度(sorting coefficient) by Folk and Ward

$f_{95}$  = 在  $f$  單位下顆粒通過百分比為 95% 之粒徑

$f_5$  = 在  $f$  單位下顆粒通過百分比為 5% 之粒徑

此法增加了評估淘選度時所選定的範圍，Folk and Ward (1957) 將河川淘選度分成七種等級，如表 2-6，圖 2-39 為在相同  $D_{50}$  粒徑下不同淘選度示意圖。

表 2-6 淘選度分級表(Folk and Ward , 1957)

Sorting Coefficient	Characterization
> 4	extremely poor
2 - 4	very poor
1 - 2	poor
0.71 - 1	moderate
0.50 - 0.71	moderately well
0.35 - 0.5	well
< 0.35	very well

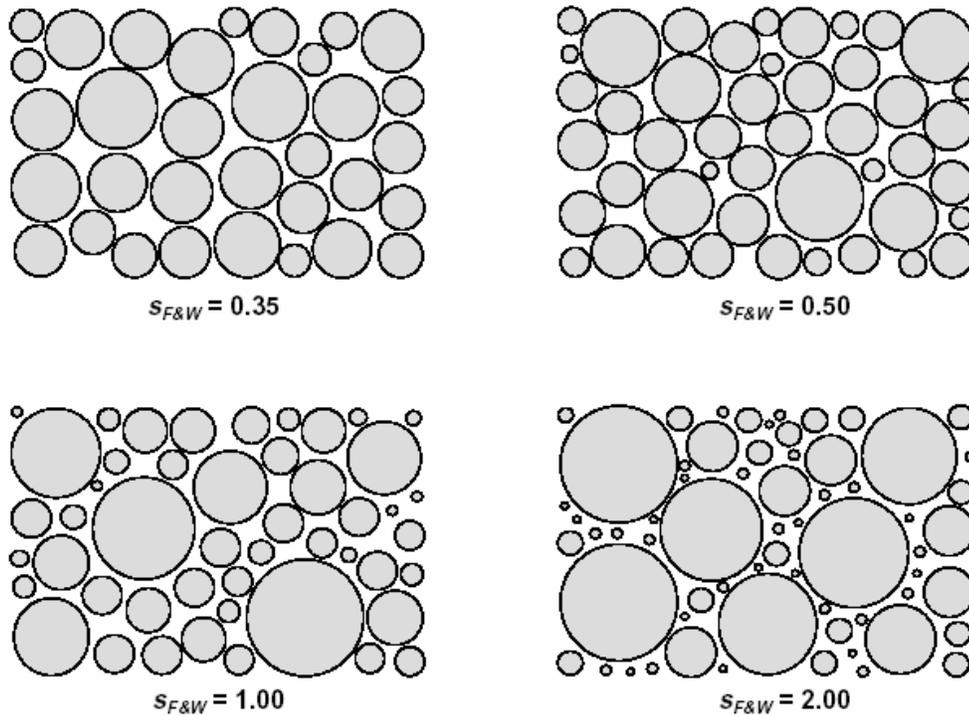


圖 2-39 相同  $D_{50}$  粒徑下不同淘選度示意圖(Bunte and Abt, 2001，改繪自 Pettijohn et al., 1972，)

一般河川淘選度約介於 0.5~2 之間，圖 2-40 展示在同一個  $D_{50}$  粒徑下三個不同淘選度( $S_1=0.5$ 、1.1、1.5)的粒徑分布狀況，圖 2-40 中之  $\sigma$  即淘選度

$S_I$ ，而由 Inman(1952)提出之淘選度公式可發現，其意義與標準差觀念類似，在  $D_{50}$  左右各一個標準差(或淘選度)範圍內約佔全部樣品 66% 百分比，故圖 2-40 中每條粒徑分部曲線下  $D_{84}$  和  $D_{16}$  的距離即視為兩個標準差。

鍾政良(2006)於頭前溪施作的結果利用 Inman(1952)提出之淘選度計算公式分析，結果如圖 2-41，由圖 2-41 可發現淘選度範圍約略在 1~3 之間，屬於淘選度不佳的範圍，鍾政良(2006)認為可能為頭前溪上游所帶下的土石材料沉積速度快導致河床顆粒只在有限的淘選狀況下進行沉積。

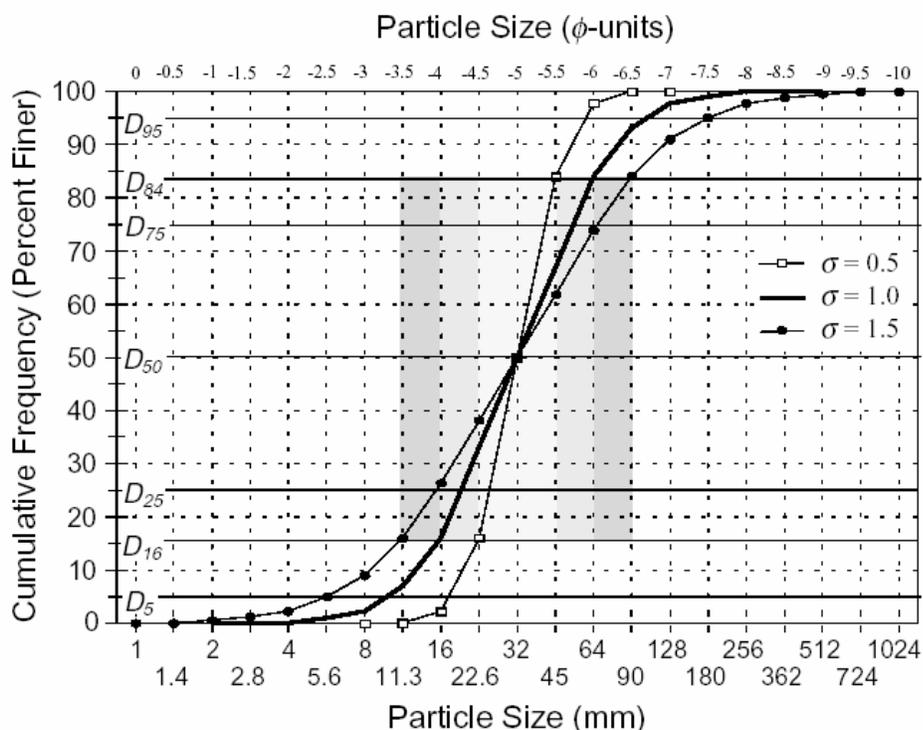


圖 2-40 相同  $D_{50}$  下三種不同淘選度的粒徑分部曲線(Bunte and Abt, 2001)

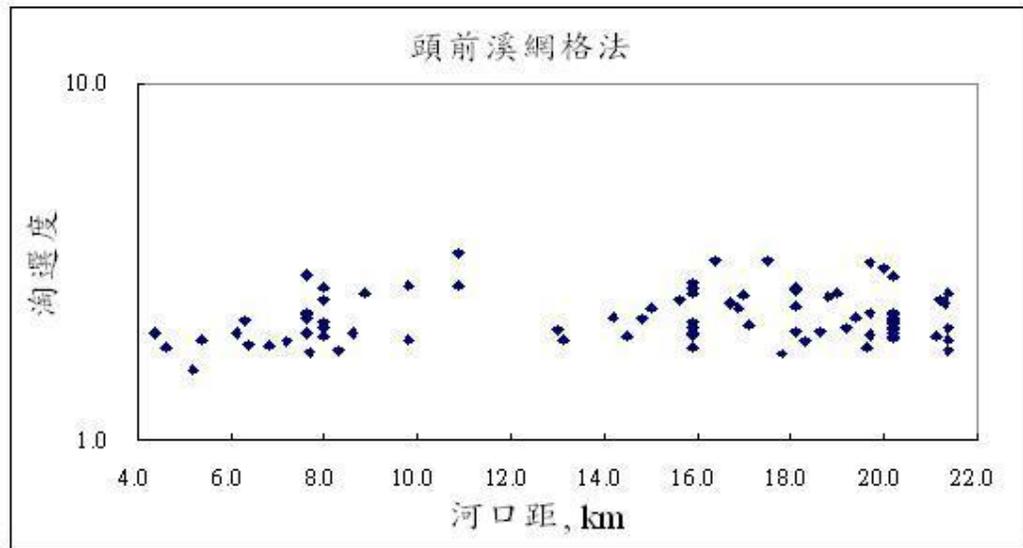


圖 2-41 頭前溪網格法淘選度縱向分析(鍾正良，2006)

## 2.6 河相與沉積

一般要研究河床質空間上的變異時，必須了解河床材料的沉積行為，不同的沉積環境會有不同的沉積機制，如邊灘、沙洲、深槽等，因此河床顆粒的變化會與河相息息相關。顆粒與沉積環境變化關係，一般較為了解的有向沙洲下游細粒化(downbar fining)、遠離河道細粒化(landward fining)以及邊灘與深槽粒徑的變化關係(Bunte and Abt, 2001)，如圖 2-42。圖 2-42 為蜿蜒、直線與辮狀河相中河床顆粒變化示意圖。其中可發現在蜿蜒狀河相中粗顆粒容易堆積在邊灘前端，直線河相中粗顆粒則會堆積在邊灘外側，而在辮狀河相中粗顆粒則堆積在沙洲前端以及邊灘週邊。

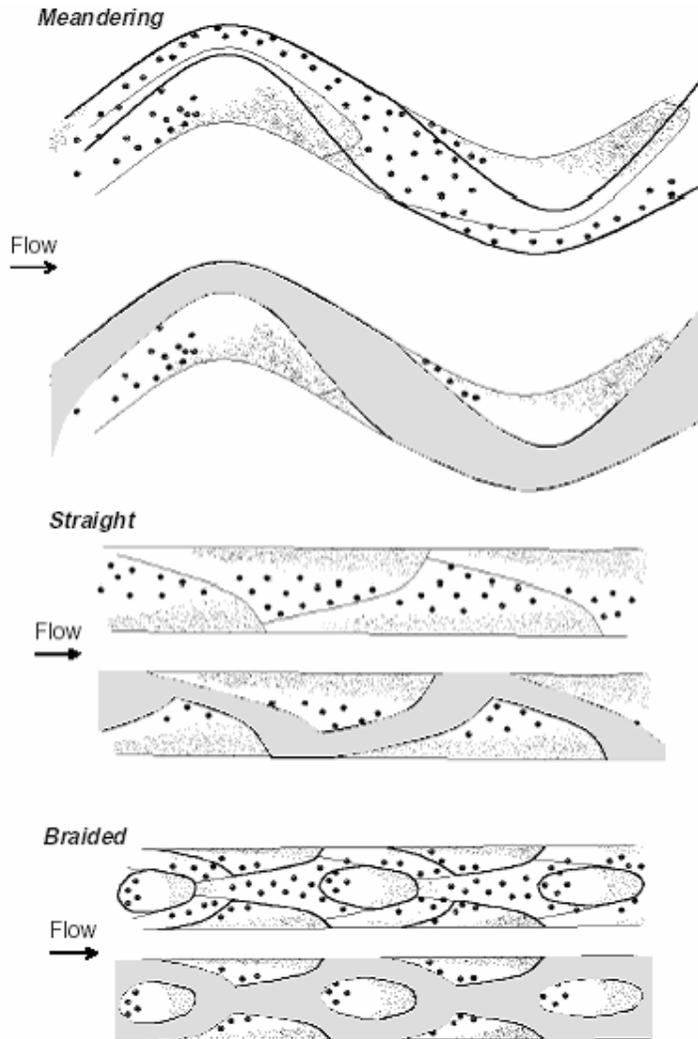


圖 2-42 河床顆粒變化趨勢示意圖(Bunte and Abt, 2001，改繪自 Whiting, 1996)

在高流量(high flow)時，深槽中因水流產生的剪力較邊灘高，導致深槽中除了較粗的顆粒外皆會被沖刷(scour)帶走，使得深槽產生較粗顆粒的沉積(lag deposit)。若此情形為此河流中普遍的機制，那深槽就可能為顆粒最粗的地方。Keller(1971)研究發現在礫石河床中邊灘通常是出現最粗顆粒的地方，其原因為在低流量(low flow)時，因坡度較陡且水流深度較淺的關係，邊灘的流速較深槽高，當流量增加到接近滿槽流(bankfull)時，深槽中水的流速與剪力提高之速度比邊灘快，此時深槽中的大顆粒會開始被帶走，並

可能在流速較低的邊灘開始沉積，當流量開始慢慢降低時，此時深槽中的流速依然較邊灘高，而邊灘此時的流速已經無法將大顆粒帶走，故造成邊灘產生較粗的顆粒沉積，而此時邊灘的細顆粒亦被低流速的水流帶走，之後當水流繼續減小時，細顆粒開始沉積在深槽中，造成邊灘較深槽顆粒粗的情況。故從以上的原因，邊灘與深槽的粒徑似乎並不存在一固定的相對關係，需了解當地的沉積情況才能加以確定。



## 第三章、研究方法

### 3.1 概述

欲調查河川河床質的變化情況需要有完整的調查規劃，河床質因為有空間上的變化故試驗的規劃上亦須依照此種變異情況進行規劃。傅志偉(2005)提出一有系統的規劃方式，除了將河川進行河相分類外，於體積法亦有提出表底層分層取樣方式，並使用網格法調查河床表面顆粒的變化狀況。鍾政良(2006)於頭前溪的詳細調查中以利用傅志偉(2005)提出的調查方式進行調查，且在試驗規劃上於沉積環境變化豐富的斷面上進行行細調查，以了解河床顆粒在橫向上的變化情況，並在試驗方法中於網格法加入了細料的修正方式，且於體積法中加入了更多分層，進而能了解河床顆粒於垂直向的變化情況。而本次研究除了沿用傅志偉(2005)與鍾政良(2006)的試驗方法外，亦加入了拍照方法與網格法結果之比較。

本研究針對河床顆粒空間的變異性，說明鳳山溪試驗位置的規劃選取，橫向詳細調查選定七個適合施作並且具有較豐富沉積環境的橫斷面進行試驗，以得到較為完整的橫斷面資訊。縱向方面則是除了七個詳細調查斷面外再依照河相分類的結果將河川依河相分段，並在各河相中選取適合施作且具代表性的位置施作網格法。且此次調查工作除了驗證鍾政良(2006)於頭前溪得到的調查結果外，主要重點為了解沉積環境與河床質分布狀況之關係。沿用傅志偉(2005)之試驗方式進行網格法試驗並依照鍾政良(2006)所提出的細料修正方式進行試驗，並互相比較結果，而體積法則是沿用鍾政良(2006)提出的分層方式進行試驗。另外施作一組拍照試驗，以一組網格法範圍內拍攝多組照片，利用影像處理方式將結果與網格法結果作比對，以評估拍照方式的適用性。

本研究除了討論試驗結果與河相或當地環境的關係外，亦利用鍾政良(2006)於頭前溪所得到的結果與本研究試驗河川－鳳山溪作比較。

本章節將針對試驗位置選取與試驗方法兩部分進行說明，研究的流程圖如圖 3-1。其中結果討論部分，網格法結果將以各方向變異性分別分析討論，分為橫向與縱向，另以各細料修正方式結果與體積法護甲層之粒徑分布曲線作比較。體積法部分則以試坑各分層資料進行探討。而拍照法主要以影像分析成果與網格法比對，提出適合之調查方式，各試驗討論流程圖如圖 3-2。



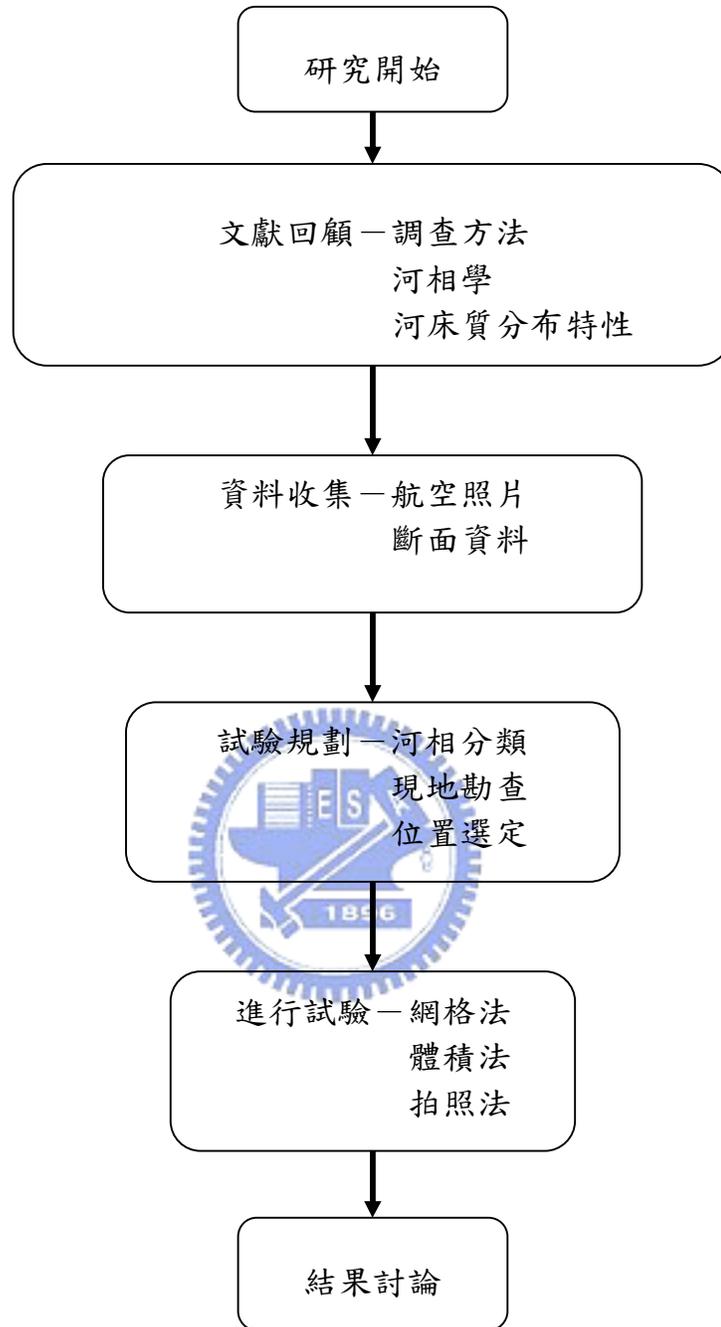


圖 3-1 研究流程圖

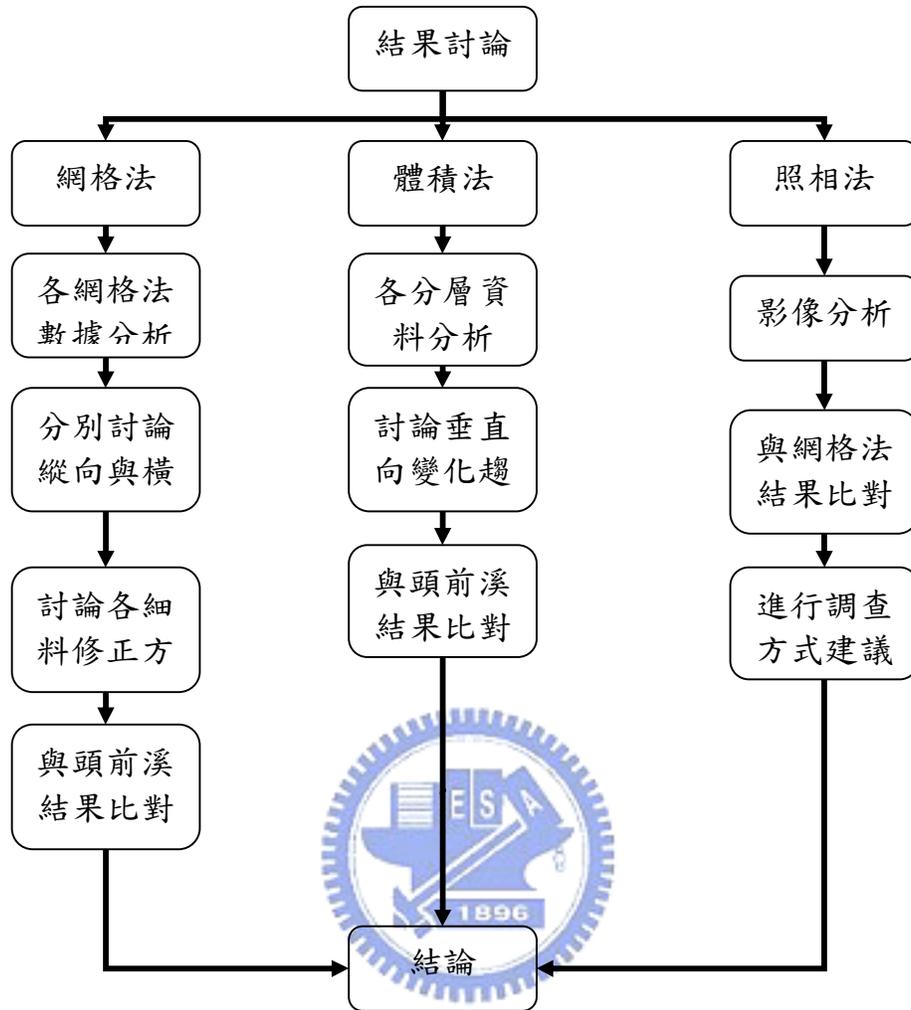


圖 3-2 各試驗結果討論流程圖

## 3.2 試驗位置選取

### 3.2.1 縱向位置選取

在縱向位置選取上是依照傅志偉(2005)提出的河川分類方式，以地質條件、河相分類、分之流點以及地質現象分類，用來作為縱向試驗位置的選擇依據，分類流程如圖 3-3。

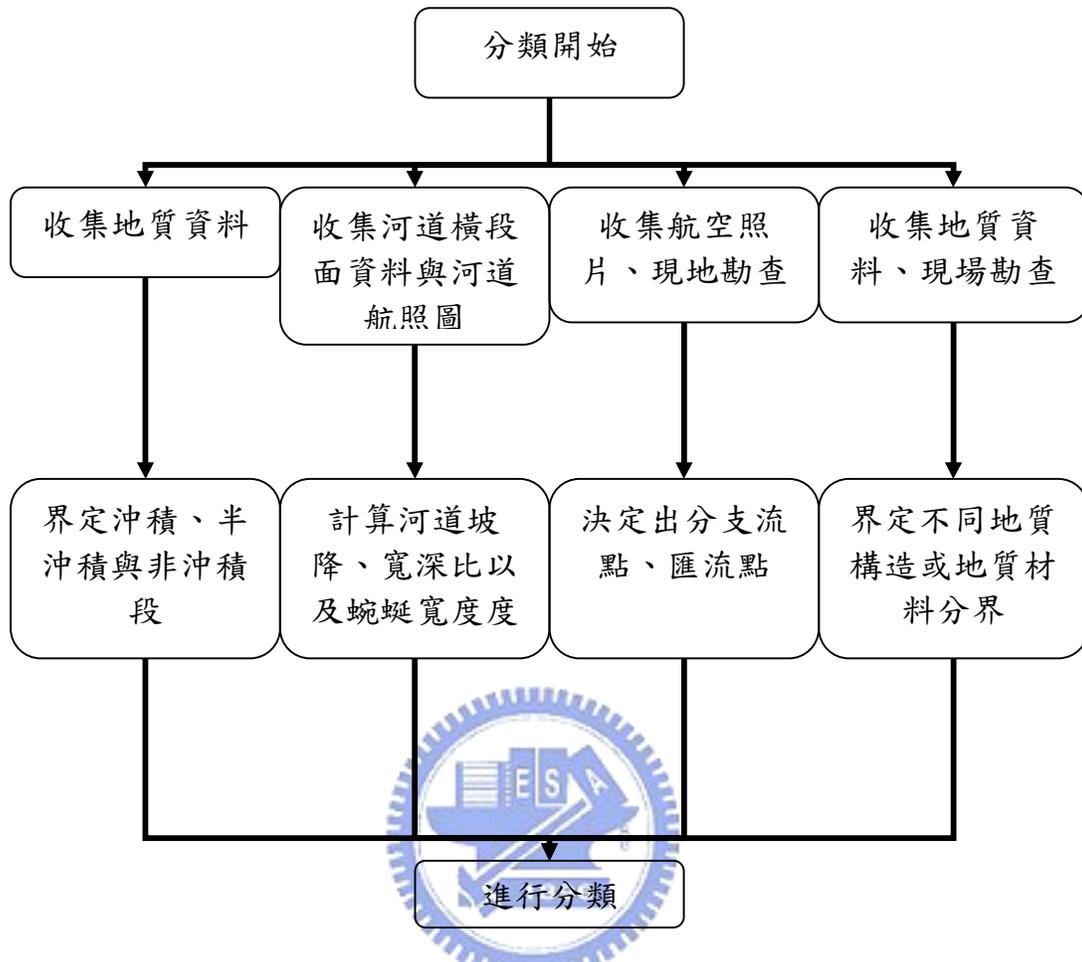


圖 3-3 河川分類流程圖

其中第一階段的分類是依據林承坤(1992)提出的建議，利用河道邊界邊界材料界定河道可沖積程度，沖積段發生在全新世地層，半沖積段出現在全新世與更新世交錯出現地層，而非沖積段則出現在因構造作用臺升之新興山區。

第二階段則是以 Rosgen(1994)河川分類中的第一階段分類方式，以河川坡度、橫斷面型態以及河川平面型態進行一系列分類。分類流程如下，詳細內容如表 3-1

1. 以河川底床坡度分類，以 4% 為分界，底床坡度大於 4% 的河川多為邊界不易被沖刷侵蝕的材料，底床坡度小於 4% 的河床則可發展成多種不同型

態，可再依以下的步驟進行細分。

2·利用寬深比繼續細分底床坡度小於 4% 的河川型態，利用寬深比來判斷斷面的型態，當河川兩旁具有制束較良好的邊界條件下，則河川底床容易向下刷深，反之當底床為制束較為良好的材料，則河川斷面型態容易發展成向兩旁侵蝕。

3·利用河川蜿蜒寬度比來判斷區域地成材料的可變動性，僅在底床坡度介於 0.5~2% 的河川需進行此步驟繼續細分河相類型，而其他範圍坡降河川可於前兩步驟決定河相類型。

4·依據以上步驟進結果進行分類，分為 Aa+、A、B、C、D、E、F、G、Da 九種類型，其中 Aa+、A 兩種型態屬於直線或接近直線狀之河相，由於具有制束良好的邊界，故河川平面上不會有太多變化，此類型態河相多出現在山區。B、C、E、F、G 則是屬於蜿蜒型態河相，由於不同的邊界條件而產生不同的平面與斷面型態。D 為瓣狀河相，底床型態為沖刷與沉積構成。Da 為交織狀河相，底床最大特徵為江心洲。

第三階段為界定出分支流段，由於支流坡度較主流坡度大，故通常在分支流點常會因堆積作用出現沙洲。

第四階段則是確定地質現象，如斷層或流域地質材料(沙質河床或卵粒石質河床)分界。

河川分段後，於欲調查之區域內進行場場勘查，並依照預先規劃之試驗數量挑選適合之橫斷面規劃試驗點。

表 3-1 河川分類表(修改自鍾政良，2006)

步驟(1)		步驟(2)		步驟(3)	步驟(4)		
底床坡度 (%)		渠道橫斷面描述	寬深比	蜿蜒度比	分類	底床型態描述	
>4 %	>10%	具束制邊界，呈現向下刷深之深窄型斷面。		1.0~1.1	Aa+	急陡坡之直線型河川	垂直落差與向下掏刷
	4~10%	具束制邊界，呈現向下刷深之深窄型斷面。		1.0~1.2	A	直線型河川	小瀑布與階梯狀
<4 %	<4%	高寬深比，流路複雜。	>40	<1.1	D	瓣狀型河川	沖刷與沖積
	2~4%	具可發展之邊界	>12	>1.2	B	低度曲折河川	淺灘、急湍與彎道刷深
		具有低寬深比但底床刷深特性較明顯	<12	>1.2	G	蜿蜒型河川	深潭與淺灘交替
	<2%	邊界可塑性高，且河谷地形平坦，形成寬而淺之河川斷面。	>12	>1.4	C	蜿蜒型河川	
		廣泛且易侵蝕之洪泛平原，使發展成窄深且彎曲度高之河川型態。	<12	>1.5	E	曲折蜿蜒型河川	深潭與淺灘交替
		具有寬淺渠道斷面，但兩側邊界束制良好，向下刷深情況較為明顯。	>12	>1.4	F	蜿蜒型河川	深潭與淺灘交替
<0.5%	受江心洲影響呈高寬深比之多流線系統。		1.1~1.6	DA	交織狀河川	深潭與淺灘交替	

### 3.2.2 橫向位置選取

河床質在橫向變化上因為不同的沉積環境而會有不同的粒徑變化趨

勢，由於河道的水位與地勢高低的變化，河床質受到水流的影響範圍亦會有所不同，為了調查河床質粒徑變化受水流的影響關係，在試驗上必須於河川枯水期間進行。且為了了解河床顆粒在橫向方面的變化情況必須選取斷面進行多組試驗，故於選擇斷面上必須選取適合施作的斷面，且盡量選取沉積環境較為豐富的地點進行試驗，依照斷面適合施作的部分進行試驗位置分配。流程圖如圖 3-4。而試驗位置的選取上依照鍾政良(2006)提出的建議(表 3-2)進行選取，此試驗位置建議亦適合於體積法試驗點之位置選取，惟體積法試驗位置選取上需避免靠近河道之位置或地勢較低處，防止於挖掘深度內出現水之情況。

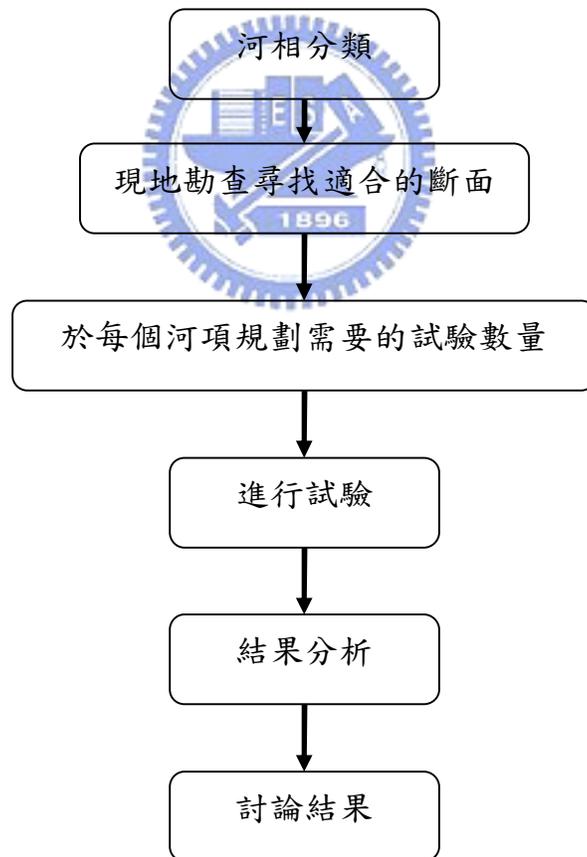


圖 3-4 橫向位置選取流程圖

表 3-2 河川型態與採樣位置建議表(傅志偉，2005)

河川類別		型態描述	採樣點對策
沖積段	A、B	沖積段發生完全直線型渠道機率微小，因此出現在沖積河段之地形起伏較緩和。山區底床亦垂直向起伏變化為主，地勢低緩區域則以急湍為主要形貌。	於淺灘或點洲處進行採樣。
半沖積段		砂、卵石邊灘附聚兩岸。	
沖積段	C、E F、G	蜿蜒型，呈單流線系統，每一彎道波長約為河寬之 $4\pi$ 倍，並會因堅硬點（如黏土材料聚集）等存在使曲率變大，並使河道局部束縮刷深。均具淺灘深潭交替河相，C、E類具有寬廣河谷，有點狀邊灘，較為穩定；F、G類出現於峽谷地形，具高度不穩定。	於淺灘（或近河道之邊岸）與彎道點洲採樣。
半沖積段		基岩與砂礫層組成凸岸。	
沖積段	D	平面型態由寬廣帶狀與緊縮點組成，進化過程為河川材料淤積與沖刷之結果。具縱向、橫向邊灘與刷深深槽。泥沙豐富，具高堆移質與深槽、堤岸沖蝕作用。	於沙洲群與河漫灘上進行採樣。
半沖積段			
沖積段	DA	有瓣狀系統進化而來，渠道中有大型小島區隔流路。	於島嶼上進行採樣，但須選擇高程低於洪泛平原之位置進行。
半沖積段		基岩礁石、砂卵石組成江心洲。	

### 3.2.2 體積法位置選取

河床質調查依照試驗目的的不同而有不同的試驗方式，若是為了了解河床的粗糙度或是顆粒初始運動則僅需調查表面的顆粒分布狀況，若是要了解河川輸砂程度或是護甲層的厚度則需要收集到某特定深度內的河床顆粒方能進行比較。試驗位置的選取上依照橫向斷面上選取的網格法位置上

分配試驗點，為了了解不同沉積環境上的垂直變化情況盡量在不同的沉積環境上分配試驗點，且由於需挖掘一定深度，故試驗點的位置盡量避免靠近河道，其選取位置流程圖如圖 3-5。

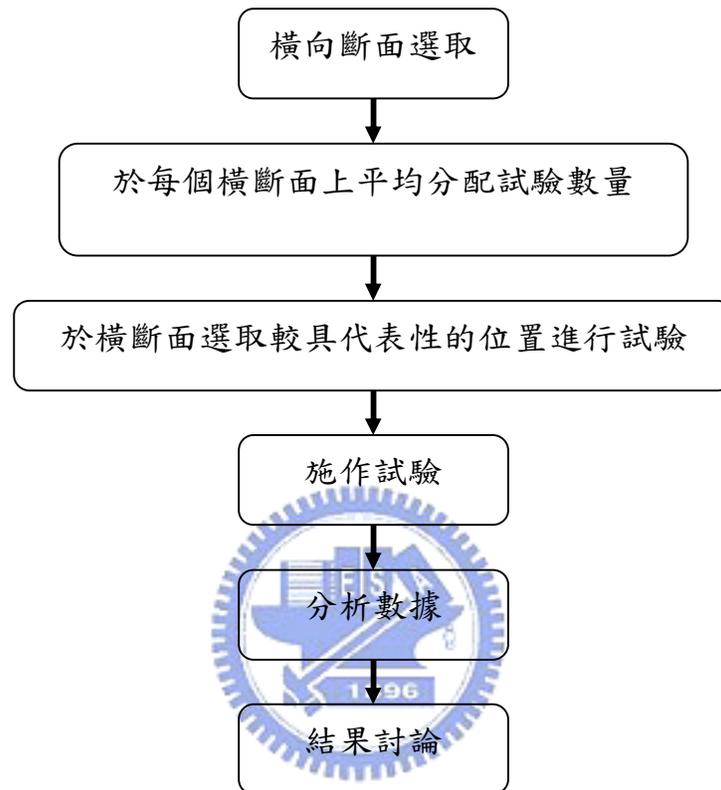


圖 3-5 垂直向位置選取流程圖

### 3.3 試驗方法

#### 3.3.1 網格法(Pebble counts)

本研究使用的表面取樣方法與鍾政良(2006)於頭前溪進行的調查方式相同。利用取樣繩拉測線，在取樣繩上固定距離標上記號並拾取記號下的樣品，取樣繩盡量使用韌性較高的材料以避免取樣繩變形影響試驗標準，本實驗使用尼龍材質的取樣繩，並於取樣繩上每隔一公尺標上記號(圖 3-6)。



圖 3-6 網格法取樣繩

現場施作時於選定的地點拉測線，以鍾政良(2006)提出的規範固定一律由左岸往右岸方向依序拉測線、由上游往下游方向拾取，每條測線拾取完後將測線平移，且每條測線間相距一公尺，如此繼續拾取直至拾取數量達到 Wolman(1954)建議的數量(100 個)後將該測線拾取完即可，網格法示意圖如圖 2-18。

於拾取樣品時拾取標記正下方的樣品，並以開口樣板(圖 3-7)量測樣品尺寸，並依照 Wolman(1954)提出的方法僅拾取 8mm 以上的樣品，小於 8mm 的樣品則不拾取並予以記錄，而在記錄時必須依照測線順序記錄拾取順序與位置。而開口樣板的尺寸大小依序為 256mm、181mm、128mm、90.5mm、76.2mm、64mm、45.3mm、32mm、16mm 與 8mm，而當現場樣品 B 軸超過開口樣板時則以捲尺量測，而大小依序為 256mm 乘以  $\sqrt{2}$  倍(362mm、512mm...以此類推)。

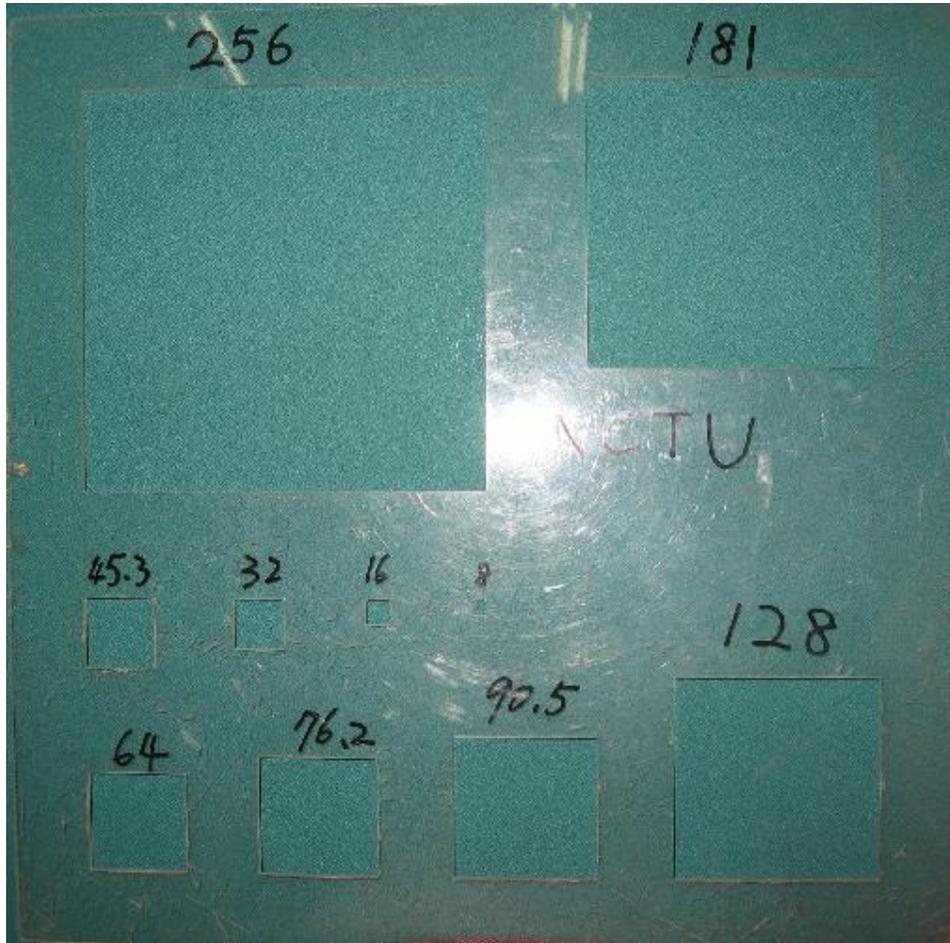


圖 3-7 開口樣板

### 3.3.2 網格法細料修正方法

由於網格法僅拾取 8mm 以上之樣品，對於小於 8mm 之粒徑曲線無法獲得，故使用不同的修正方法試圖將網格法所忽略的細料部分補上，以期獲得完整的河床質粒徑分布曲線。本次實驗除了依照鍾政良(2006)提出之兩種修正方法外(長度比例修正方法與拾取比例修正方法)，另外加入一種新的修正方式(護甲層細料比例修正)，以比較修正後之成果。

因粒徑小於 8mm 以下時無法有效的拾取量測粒徑大小，故將細料帶回實驗室施作室內篩分析，利用細料所佔比(P%)，將細料之粒徑分布曲線(Fi%)依此比例與未修正之原始粒徑曲線相接，以得到完整粒徑範圍內之粒粒徑

分佈曲線，修正示意圖如圖 3-8。

修正方式：

修正後各篩號留篩比例 =

原始粗粒徑各篩號留篩比例  $C_i\% \times (1 - P\%)$

+

原始細粒料各篩號留篩比例  $F_i\% \times P\%$

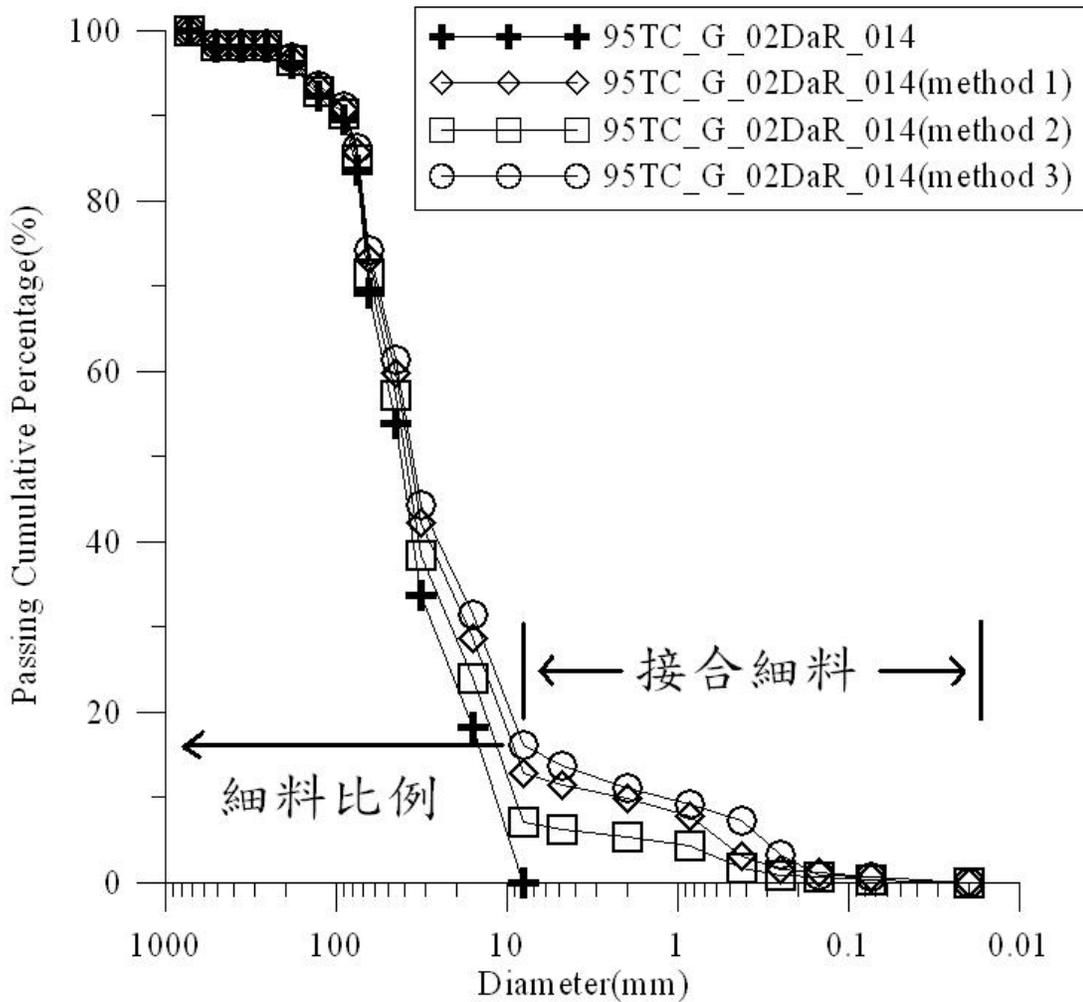


圖 3-8 細料修正示意圖(改繪自鍾政良，2006)

### 1. 修正方法一(長度比例修正方法)

此修正方法為鍾政良(2006)在頭前溪施作網格法使用之修正方式，在現地施作網格法時於第 1 條、第 5 條及最後一條測線分別量測細粒料佔側線

底下長度，示意圖如圖 3-9，並除以測線總長度得到細粒料長度比例，將三條測線所得結果平均後，估算細粒料所佔比例 P%，如式 3-1。

$$P\% = \frac{(\sum L_{1f} + \sum L_{5f} + \sum L_{lastf})}{3L} \quad (\text{式 3-1})$$

其中  $L_{1f}$  為第一條測線上各段細料長度(cm)

$L_{5f}$  為第五條測線上各段細料長度(cm)

$L_{lastf}$  為最後一條測線上各段細料長度(cm)

$L$  為每條測線長度(cm)

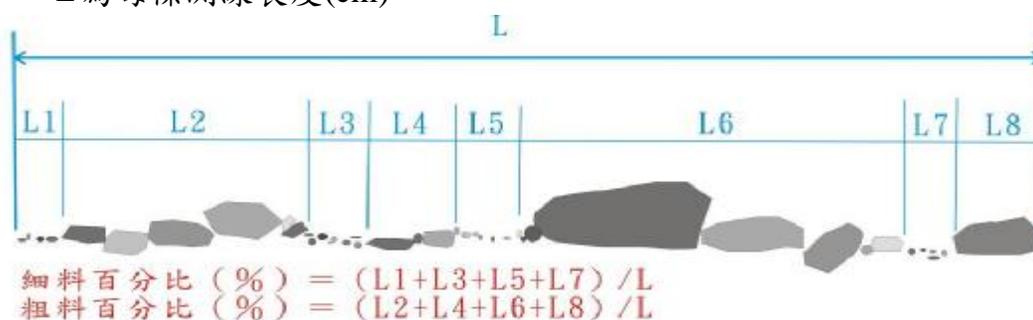


圖 3-9 長度比例修正示意圖(傅志偉，2005)

## 2. 修正方法二(拾取比例修正方法)

此修正法亦為鍾政良(2006)於頭前溪網格法使用之另一種修正方式，計算網格法中未拾取(8mm 以下)點之數量，再除以試驗中全部的施測格點數量，以此作為細粒料所佔比例 P%，如式 3-2。

$$P\% = \frac{N_{notpicked}}{N_{totalpicked}} \times 100\% \quad (\text{式 3-2})$$

其中  $N_{notpicked}$  為未拾取個數

$N_{totalpicked}$  為總拾取個數

## 3. 修正方法三(護甲層細料比例修正方法)

此修正方式為本次試驗加入之新修正方式，此法修正方式與修正方法一相同，但此法的細料含料是以體積法護甲層中細料重量所佔比例來作為

網格法的細料修正，將體積法護甲層所帶回的細料施作室內篩分係試驗再將其粒徑分佈曲線依照細料所佔比例做修正。

### 3.3.3 細料收集方式

#### 1. 修正方法一、二細料收集方式

由於現場網格法無法拾取 8mm 以下之細料，而修正方法一與修正方法二中需要此範圍下的顆粒組成狀況，故需於現場另外收集部分細料帶回室內實驗室作篩分析試驗，才能得到完整粒徑分部曲線，以下說明現場收集細料之方式。

於現場以小鏟子(寬度約 8cm)收集第五條測線下小顆粒材料(目視判斷粒徑於 8mm 之細粒料區段)，取樣寬度以鏟的寬度(寬度約 8cm)為準，鏟取約 5cm 以上深度表面顆粒，將細料帶回實驗室作室內篩分析，實施作方法示意圖如圖 3-10。

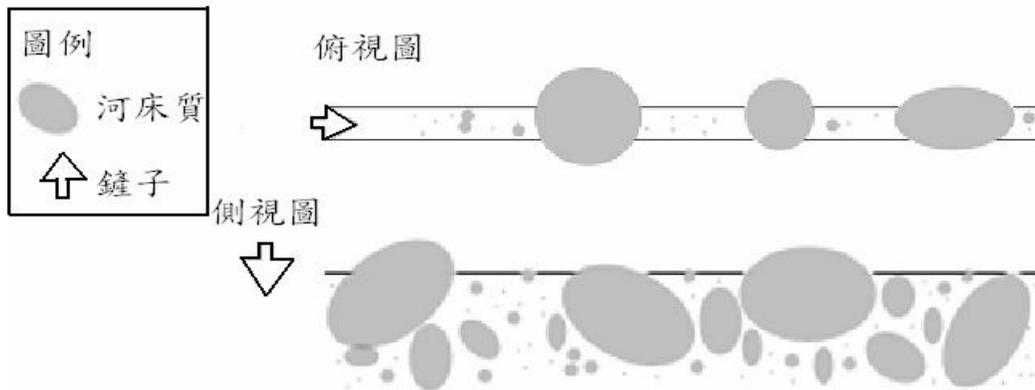


圖 3-10 網格法細料採集方式示意圖(鍾政良，2006)

#### 2. 修正方法三細料收集方式

因方法三為體積法護甲層細料含量比例來做修正，故需在施作網格法的範圍內施作體積法才能以此法做修正，其細料採集方式以體積法現地篩分析，再將通過最小號篩的細料收集十公斤帶回實驗室施作室內篩分析試

驗，體積法細料收集方式於後面章節部分加以說明。

### 3.3.4 網格法試驗設備與流程

試驗設備及試驗流程說明如下：

試驗設備：

- 1· 取樣繩
- 2· 開口樣板
- 3· 捲尺
- 4· 鏟子
- 5· 相機
- 6· GPS
- 7· 篩分析工具：ASTM#4、#10、#20、#40、#60、#100、#200  
、底盤與搖篩機
- 8· 記錄工具：筆、記錄紙與記錄板

試驗流程說明如下，流程圖如圖 3-11。

- 1· 選定試驗區域
- 2· 於試驗區域範圍內之左岸方線拉第一條測線
- 3· 以捲尺量測取樣繩下細料所佔長度並記錄
- 4· 依序拾取取樣繩標記正下方之樣品並以開口樣板量測大小並記錄
- 5· 拾取完一測線下之樣品後往右岸方向將取樣繩平移一公尺並繼續  
取樣
- 6· 於第五條與最後一條測線施作前重複步驟 3
- 7· 第五條測線施作完後於測線下均勻收集細料並帶回實驗室進行篩分析試  
驗，並於測線中點記錄座標

8 · 重複步驟 4~5 直到取樣數量達到預定取樣標準為止

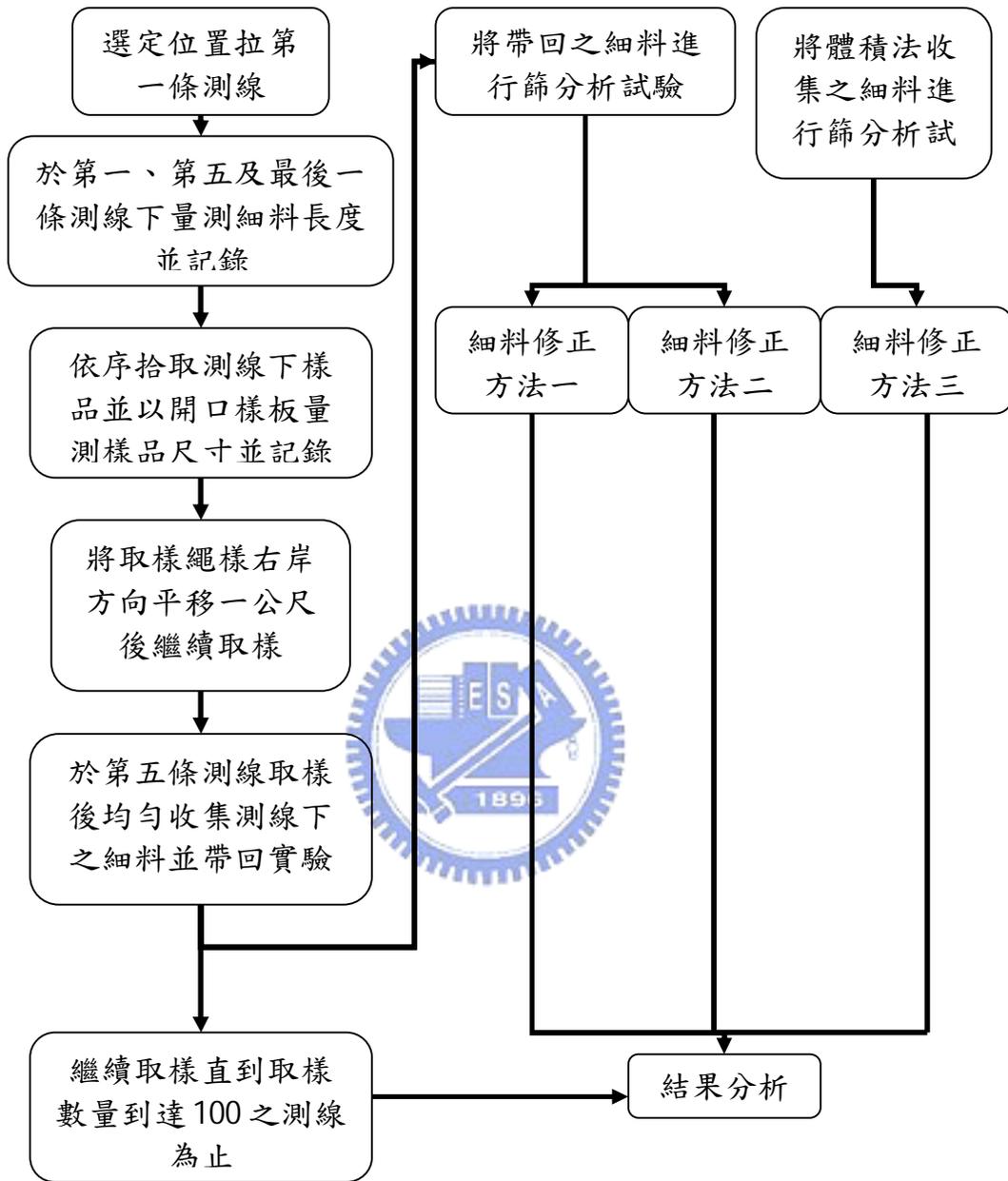


圖 3-11 網格法試驗流程圖

### 3.3.5 體積法試驗設備與流程

本研究體積法調查主要是驗證鍾政良(2006)於頭前溪施作體積法所得到的成果是否與鳳山溪結果相同，並了解鳳山溪河床粒徑分布情形，依照鍾政良(2006)建議的分層方法了解河床垂直向的變化關係，故於體積法的施

作過程仍然依照其於頭前溪施作的方式進行試驗。於施作體積法前先在該區域施作一組網格法，並以此網格法得到的  $D_{90}$  粒徑大小作為體積法的護甲層深度，而後於 25cm、50cm、75cm 以及 100cm 處進行分層工作，體積法試驗設備與施作流程說明如下：

試驗設備：

1. 篩分析工具：現地篩分析( $ASTM 1\frac{1}{2}''$ 、 $\frac{3}{4}''$ 、 $\frac{1}{2}''$ 與 $\frac{3}{8}''$ )與室內篩分析( $ASTM\#4$ 、 $\#10$ 、 $\#20$ 、 $\#40$ 、 $\#60$ 、 $\#100$ 、 $\#200$ 、底盤與搖篩機)
2. 100kg 彈簧秤
3. 開口樣板
4. 捲尺
5. 相機
6. GPS
7. 挖掘工具：砂鈹、畚箕與麻布袋
8. 記錄工具：筆、記錄紙與記錄板



試驗流程說明如下，流程圖如圖 3-12。

1. 選定一表面細料所佔面積與網格法相近之區域
2. 標定座標並於試驗區域上拍照
3. 以人工方式進行護甲層取樣
4. 將取得的樣品進行現地篩分析並予以秤重記錄
5. 粒徑大於 $1\frac{1}{2}''$ 篩之樣品以開口樣板量測粒徑大小進行分類
6. 通過 $\frac{3}{8}''$ 篩之細料取 10kg 帶回實驗室進行篩分析試驗
7. 依序於深度 25cm、50cm 與 75cm 重複步驟 4~5

8 · 於深度 100cm 時重複步驟 4~6

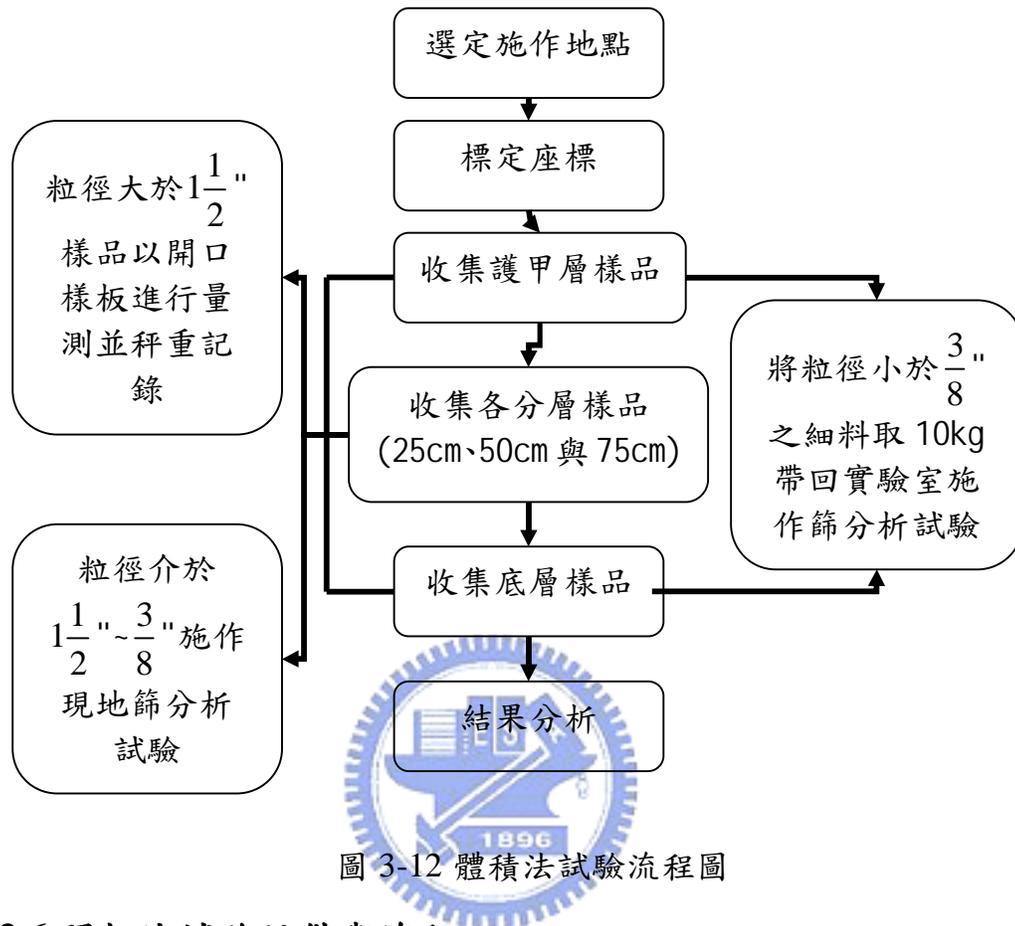


圖 3-12 體積法試驗流程圖

### 3.3.6 照相法試驗設備與流程

本次研究另以照相法進行表層河床質調查，並以拍照所得到的結果與網格法相互比較。本次研究於原本規劃之 39 組網格法外另選定三處不同地點施作網格法，並於此三處網格法範圍內施作拍照法，並比較此兩種試驗方式之結果，試驗地點分為斷面一施作一組(以 section 1 為編號)與斷面六施做兩組(section 2 與 section 3)。

利用拍照方式可收集到遠比網格法所收集到的樣品數量還更多，但因拍照方式僅能由照片進行分析，故在分析上需要加入假設條件。由於僅能以照片方式進行顆粒分析，而網格法之結果可與以重量頻率方式之取樣結果直接轉換，為故了與網格法之結果作比較需將照片上取樣的顆粒轉換為

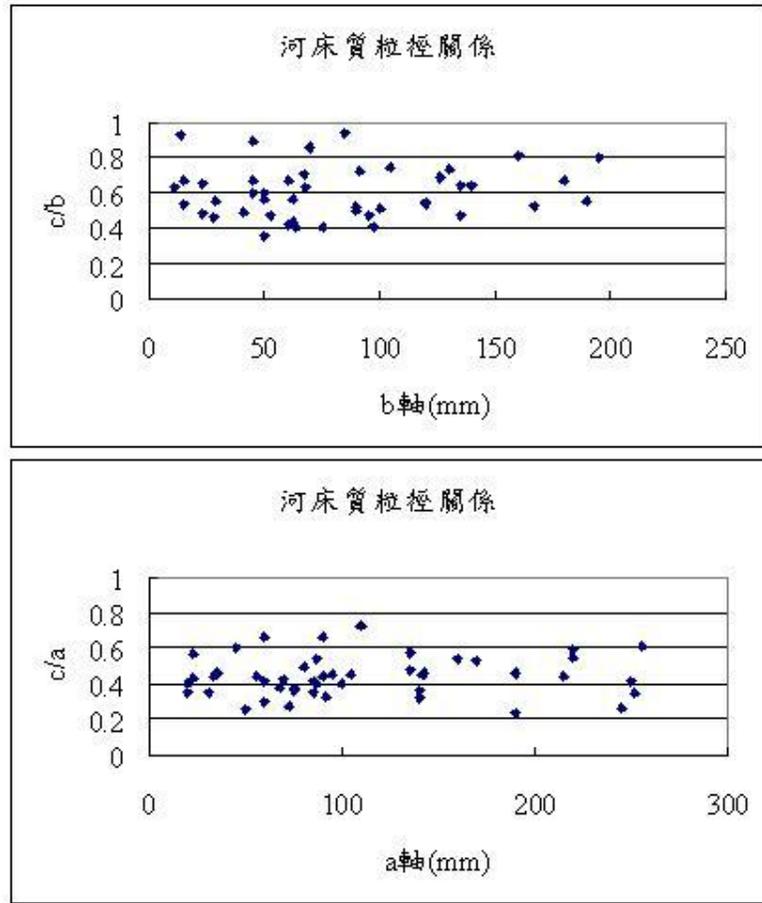
重量方式進行分析，此處假設現地樣品之單位重皆相同，且假設現場河床顆粒為橢圓球體，而樣品體積計算方面使用兩種假設：

1· 假設 c 軸並計算體積：到現地量取河床顆粒之 a、b 與 c 軸並統計其關係以進行假設

2· 以 B 軸計算體積：直接以 b 軸進行體積換算

其中經過現地實際量測河床顆粒粒徑，結果如圖 3-13，其中發現 c 軸與 a 軸關係較為明顯，且結果約集中在  $c/a=0.4$  附近，故以此結果進行體積轉換依據。

另外在影像處理方面，本研究利用 image tool 影像處理程式進行分析，分析上是將顏色由黑到白分成 256 個階層，以色層進行分析，此軟體可以將得到之樣品進行面積、長軸與短軸等分析，另外在分析上由於現地河床顆粒並非同一種顏色，故在分析上無法完整的將每個顆例進行區分(圖 3-14a)，而將各顆粒輪廓以黑色線描上後，再經過分析結果如圖 3-14b，發現可以更清楚區分開樣品。



1896  
圖 3-13 河床質粒徑關係

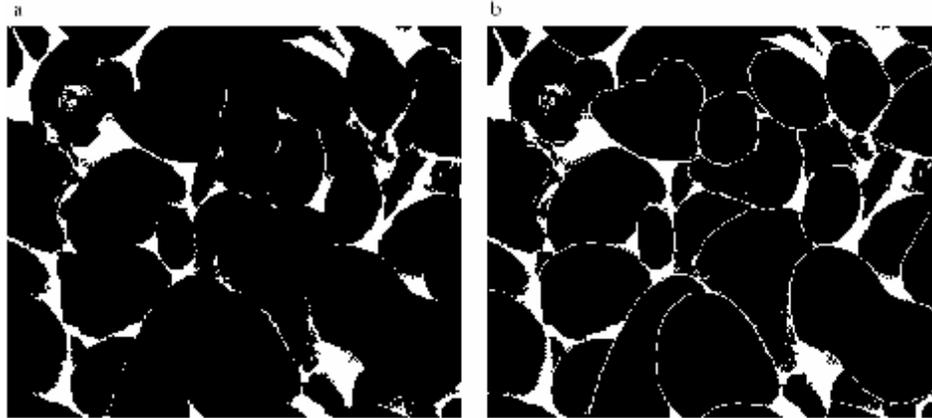


圖 3-14 影像分析處理

本研究為了於網格法之格網中施作，故每張拍攝範圍設定在  $1\text{m}^2$ ，且為了固定拍攝範圍需將向機架設於框架上(圖 3-15)並於一組網格法施作範圍內進行多組拍照試驗，期望以近乎收集全網格法範圍內樣品的方式將結果

與網格法互相比較，施作點如圖 3-16，試驗設備與施作流程如下：

試驗設備：

- 1· 相機
- 2· 拍攝框架
- 3· 水平氣泡儀



圖 3-15 拍照法框架

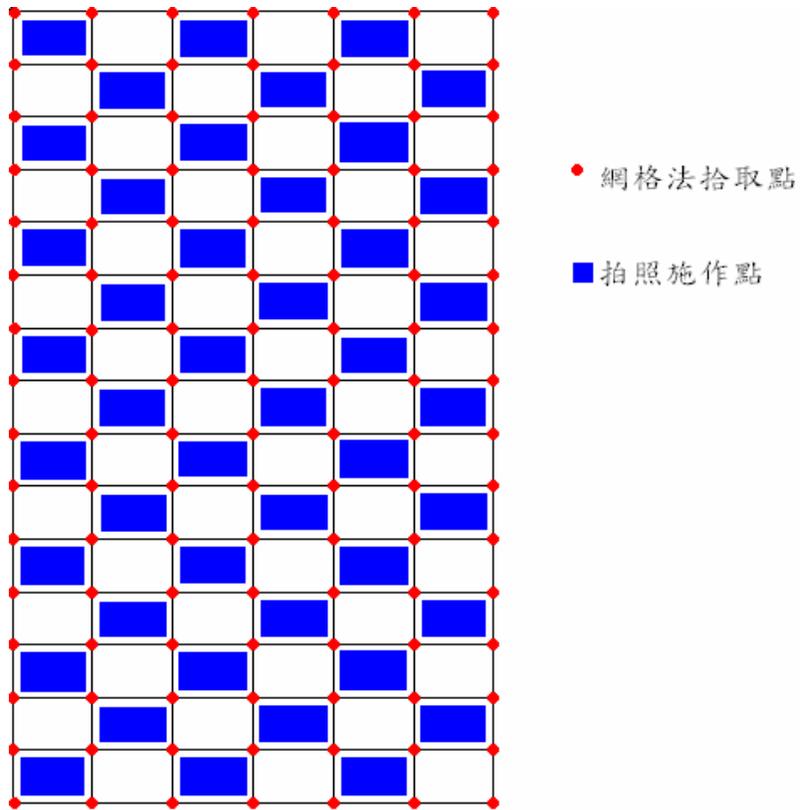


圖 3-16 拍照點示意圖

試驗流程說明如下，流程圖如圖 3-17

1. 選定施作地點
2. 架設拍攝框架
3. 於網格法施作之網格內放置框架
4. 以水平氣泡將框架定平
5. 進行拍攝
6. 進行下一個拍攝點並重複步驟 3~5

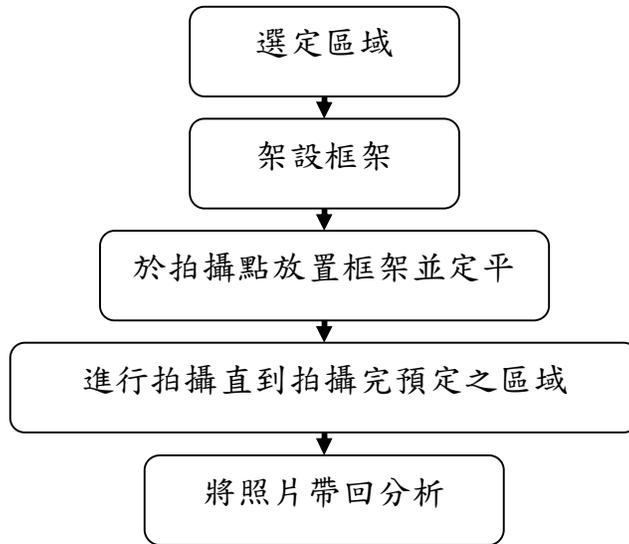


圖 3-17 拍照法流程圖

而影像分析過程說明如下：

1. 將照片轉換為灰階(圖 3-18a)
2. 進行色層調整
3. 由程式尋找樣品(圖 3-18b)
4. 由程式進行樣品分析(長短軸)
5. 利用長短軸進行體積轉換計算
6. 繪製粒徑分布曲線

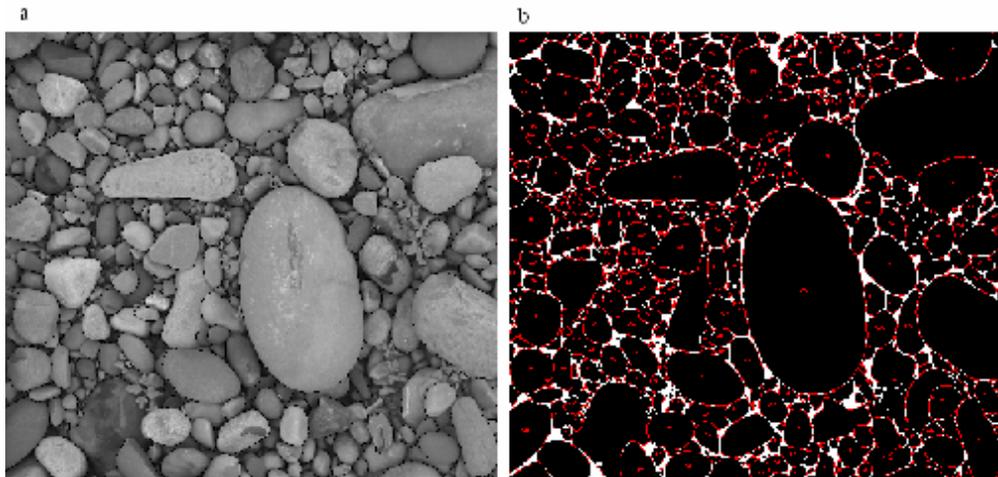


圖 3-18 影像分析過程圖

## 第四章、試驗規劃與試驗結果

### 4.1 試驗位置規劃

本次研究針對鳳山溪進行河床質調查試驗，依據鍾政良(2006)於頭前溪經驗於試驗前進行河相分類與試驗位置規劃，以下將針對分類結果進行說明。

#### 4.1.1 河相分類

根據傅志偉(2005)提出的河相分類方法進行分類，首先依照鳳山溪流域範圍之地質圖(圖 4-1)來判定河川可沖積程度，沖積段一般發生在全新世地層，半沖積出現在全新世與更新世交錯出現之地層，而非沖積段則出現在因構造抬升運動之新興山區。而鳳山溪流域內全新世現代沖積層分布於新竹平原與湖口台地東隅，而更新世之台地堆積層雖分布於湖口台地西部及南部、新竹平原、新竹與竹東之間，但分布即為散亂，而上新更新世之頭嵙山層分布於湖口台地東隅，上新世之卓蘭層僅分布於流域東南側，由於本研究河段僅為砂-礫石分界至霄裡溪匯流點，故本研究區域範圍內將其分類為沖積段，其中沖積段分類代碼為 TA。

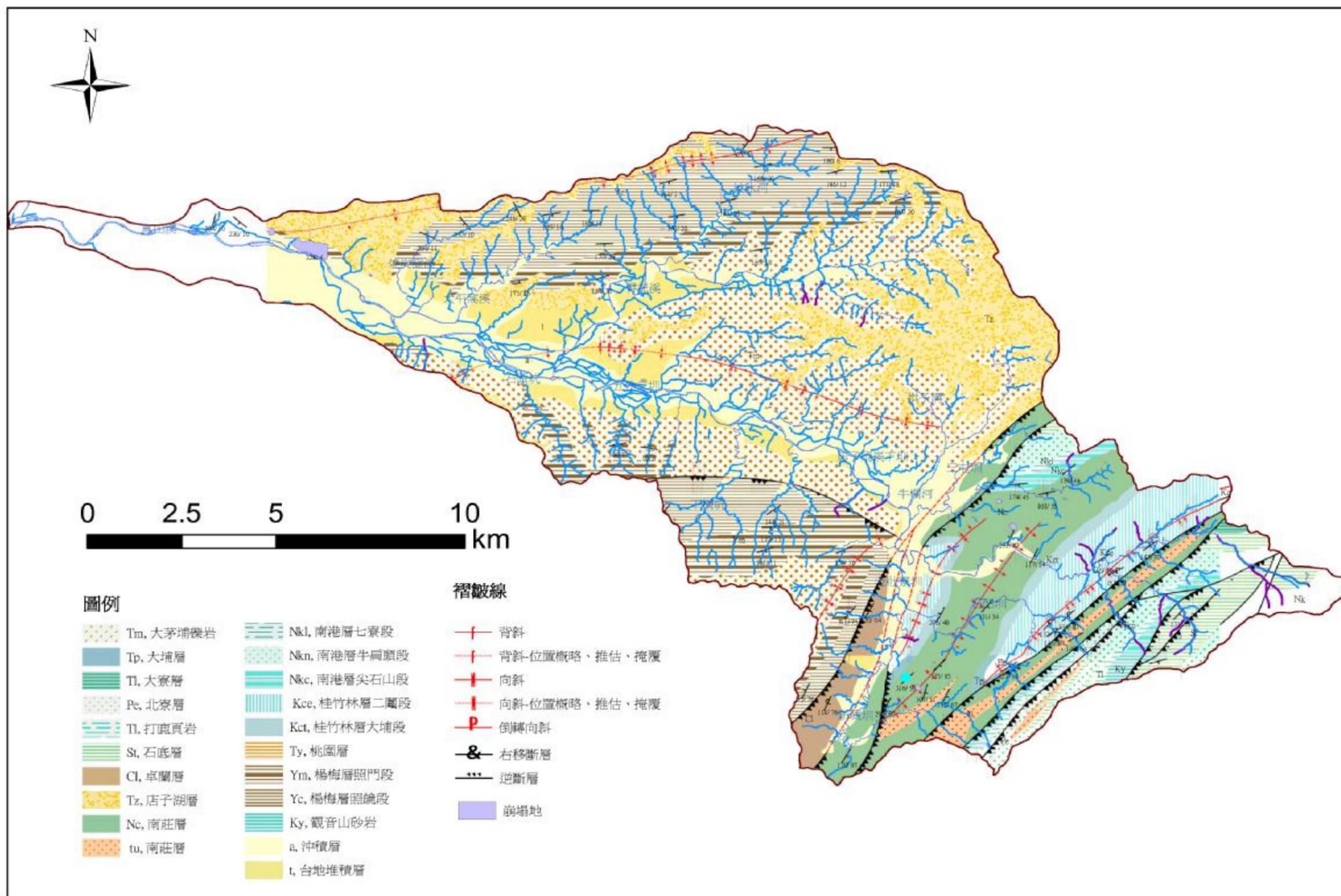


圖 4-1 鳳山河流域地質概況(經濟部水規所，2006)

而第二階段分類則以河床坡度、蜿蜒度比與寬深比進行河相分類，利用河道斷面資料以及河川航照進行分析，本研究流域內可大致分為瓣狀與交織狀兩種河相，約以褒忠大橋為分界，其中瓣狀河相代碼以 D 表示，交織狀河相代碼以 Da 表示。

第三階段進行確定分支流位置，本研究流域範圍為霄裡溪匯入鳳山溪處至出海口，本段代號代碼以 P01 表示。

第四階段以地質現象分段，本研究流域範圍內之地質現象為出海口(G0)，砂-礫石河床分界(G1)，頭嵙山層分界(G2)。

並依照鳳山溪治理規劃檢討報告(2003)中河道斷面資料進行分類，結果如表 4-1。其中 G01 即表示此區域為出海口至砂-礫石河床分界，同理 G12 表示位於砂-礫石河床分界至頭嵙山層分界。

表 4-1 鳳山溪四階段分段表

河段	段面編號	累距(km)	一階	二階	三階	四階
1	1	0.10	TA	Da	P01	G01
	2	0.55	TA	Da	P01	G01
	3	1.04	TA	Da	P01	G01
	4	1.53	TA	Da	P01	G01
	5	1.96	TA	Da	P01	G01
	6	2.60	TA	Da	P01	G01
2	7	3.23	TA	Da	P01	G12
	8	3.66	TA	Da	P01	G12
	9	4.02	TA	Da	P01	G12
	10	4.46	TA	Da	P01	G12
	11	4.96	TA	Da	P01	G12
	12	5.44	TA	Da	P01	G12
	13	5.92	TA	Da	P01	G12
	14	6.4	TA	Da	P01	G12
	15	7.01	TA	Da	P01	G12

	16	7.53	TA	Da	P01	G12
	17	8.05	TA	Da	P01	G12
	18	8.63	TA	Da	P01	G12
	19	9.11	TA	Da	P01	G12
	20	9.59	TA	Da	P01	G12
	21	10.17	TA	Da	P01	G12
	22	10.85	TA	Da	P01	G12
3	23	11.23	TA	D	P01	G12
	24	11.83	TA	D	P01	G12
	25	12.33	TA	D	P01	G12
	26	12.77	TA	D	P01	G12
	27	13.25	TA	D	P01	G12
	28	13.69	TA	D	P01	G12
	29	14.17	TA	D	P01	G12
	30	14.85	TA	D	P01	G12
	31	15.43	TA	D	P01	G12
	32	15.98	TA	D	P01	G12
	33	16.60	TA	D	P01	G12

由上表發現本研究流域範圍內有四個分界點，分別為：

1. 出海口
2. 砂-礫石河床分界
3. 交織狀與瓣狀河相分界
4. 支流點

故由此四個分界點可將本研究區域分為三段，分別為：

1. 出海口至砂-礫石分界點
2. 砂-礫石分界點至河相分界點(交織狀與瓣狀分界)
3. 河相分界點至分支流點

分段示意圖如圖 4-2。

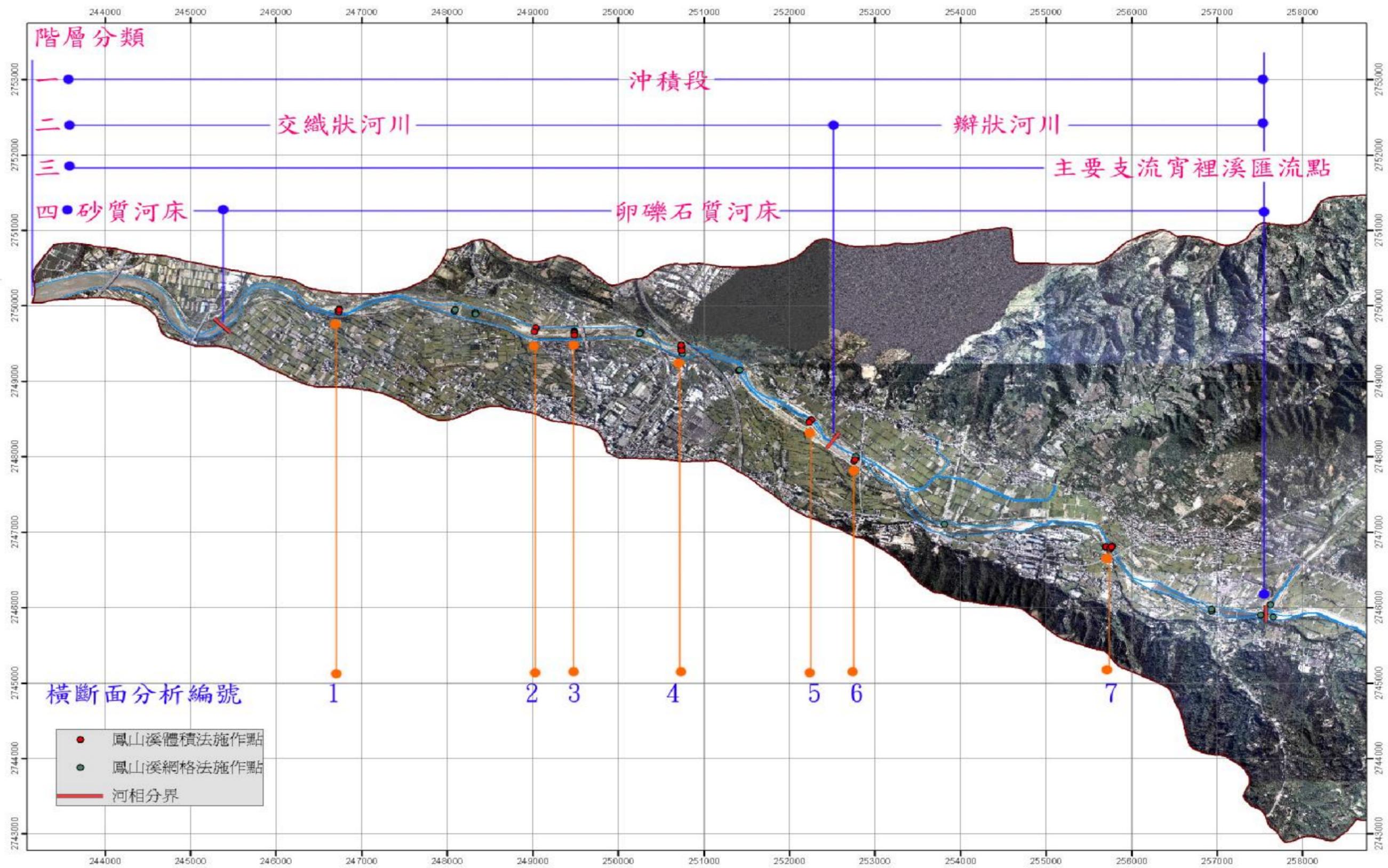


圖 4-2 鳳山溪四階分段示意圖(經濟部水規所，2006)

### 4.1.2 試驗位置規劃

本研究依照河相分類結果以及實地勘查後於橫向規劃方面規劃七處詳細調查橫斷面，其中交織狀河段規劃五組橫斷面，而辮狀河相則有兩組橫斷面，各橫斷面上皆依橫斷面情況布置多組網格法並分配二至三組體積法。而縱向調查方面則選擇較具代表性和較為穩定的地點施作網格法，本研究試驗規劃上共施作 39 組網格法與 16 組體積法，其中網格法部分主要為用來討論河床質在縱向以及橫向方面變化，而體積法則主要用來討論垂直向方面變化趨勢，並且將網格法與體積法互相比較，且體積法位置規劃上盡量分配在不同沉積環境上，以了解各沉積環境河床質堆積之情況。以下就各河段分類以及試驗點規劃做說明：

分段一：出海口至砂-礫石分界(下游為砂質河床，上游為礫石質河床)，由於本研究僅針對變異性複雜之礫石河床質做調查，故於砂質河床部分不規劃試驗點。

分段二：砂-礫石分界至河相分界(下游為交織狀河相，上游為辮狀河相)，此河相分界處約在褒忠大橋下游附近，此分段內河相皆屬於交織狀河相，於此分段內依據適合施作試驗之斷面進行分配試驗點，此分段共佈置五組詳細橫斷面調查試驗，並於其他地點佈置縱向網格法調查點。

分段三：河相分界點至分支流點(霄裡溪匯入本流域處)，此河段河相為辮狀河相，由於此分段內之河道寬度較小，且可進行試驗之沙洲或邊灘不多，故於此分段內僅佈置兩組詳細橫斷面調查試驗，並於其他地點佈置縱向網格法調查點，且於匯流點上佈置三組網格法(霄裡溪與鳳山溪邊灘各一組以及匯流點之沙洲一組)。

### 4.1.3 試驗編號

本次研究所使用之編號方式與鍾政良(2006)於頭前溪試驗時所採用之編號方式相同，以年份、河川、試驗方式、河相、沉積環境、分段與試驗組數流水號進行編號，以「95FS\_02DaB\_G\_001」為例，95FS 表示為 95 年度鳳山溪(FS)之調查，02DaB 表示試驗位置為第二段河相為交織狀(Da)之沙洲上(B)，G 表示網格法(V 為體積法)，001 表示網格法之流水號，流水號由下游往上游、左岸往右岸開施編號。

各試驗編號規劃與各試驗座標如附錄一。

其中「95FS\_02Da\_G022」、「95FS\_03D\_G030-3」與「95FS\_03D\_G031」因位於水流較淺之河道下，無法拉取樣繩取樣，故於此三處以步伐取樣代替網格法，而 95FS\_03DR\_G030-1~4 為全斷面網格法取樣，其中橫跨邊灘、淺水區與沙洲。

#### 4.1.4 各橫斷面狀況

以下針對各橫斷面狀況進行說明：

斷面一：

此斷面位於砂-礫石分界處上游約 1 公里左右之沙洲(圖 4-3)，此處分類屬於交織狀河相，此沙洲地勢稍微往主河道傾斜但不明顯，於水位較高時沙洲大部分被水淹沒，僅右邊地勢較高處可不被淹沒，依現場植生可以發現此現象。此處斷面規劃進行四組網格法與兩組體積法，圖上標示之編號為體積法施做位置，箭頭表示水流方向。





圖 4-3 橫斷面一現場照片與體積法施做位置

斷面二：

此斷面位於鳳山溪橋下游約 500 公尺處，此處河相分類為交織狀河相，河道兩岸皆有人工堤岸，且右岸遠離河道處因長期未受河道影響，已有茂密之植生且有部分已種植農作物。此斷面中間有一狹長之沙洲，且沙洲與邊灘皆高於河道面約 1.5 公尺，故判斷為過去洪水而造成。此斷面規劃施作四組網格法以及三組體積法，斷面如圖 4-4。



圖 4-4 橫斷面二現場照片與體積法施做位置

斷面三：

此斷面位於鳳山溪橋下，屬於交織狀河相，此處右岸靠河堤地區地勢較低，水位上升時右岸會有部分被淹沒，此斷面中有一狹長沙洲，與斷面二之沙洲為同一沙洲，此斷面規劃施作五組網格法與兩組體積法，斷面如圖 4-5。



圖 4-5 橫斷面三現場照片與體積法施做位置

斷面四：

此斷面位於鐵路橋與中山高之間，屬於交織狀河相，此處河道環境複雜，除了跨河構造物外，河道左岸有堤防與人工渠道，右岸亦有人工渠道，斷面中有一沙洲，沙洲左側之河道高程較右側之河道高，沙洲上亦已有植生，故判斷此沙洲亦為洪水過後形成，此斷面規劃施作五組網格法(包含一組步伐取樣)與三組體積法，斷面如圖 4-6。



圖 4-6 橫斷面四現場照片與體積法施做位置

斷面五：

此斷面位於義民橋與褒忠大橋間，屬於交織狀河相，河道兩旁皆有堤防，且左岸邊灘皆有茂密植生，僅右岸堤防下有一片大沙洲，且由於此沙洲位於河道蜿蜒處，故可發現沙洲在河道沖積處顆粒明顯較粗，此沙洲地勢平坦，且沙洲上無明顯植生，可推估於水位較高時可能會被河水淹沒，此斷面規劃施作三組網格法與兩組體積法，斷面如圖 4-7。



圖 4-7 橫斷面五現場照片與體積法施做位置

斷面六：

此斷面位於褒忠大橋下，屬於辨狀河相，地勢較低且河道明顯變小，左岸靠近邊灘處地勢較高，但於水位升高時亦會淹沒形成河道(圖 4-8 中虛線處)，由現場植生狀況亦可發現此現象，此處進行由左岸邊灘開始連續施作網格法至右邊之主河道，此處試驗規劃一組全斷面網格法與兩組體積法，斷面如圖 4-8。



圖 4-8 橫斷面六現場照片與體積法施做位置

斷面七：

此斷面位於新埔大橋下，屬於辨狀河相，河道左右兩邊之邊灘皆有明顯植生，且右岸亦有高灘地形成，顯示河道情況穩定，斷面中有一沙洲，沙洲右邊地勢較高，於枯水期時右側河道不明顯，此處規劃施作三組網格

法與兩組體積法，斷面如圖 4-9。



圖 4-9 橫斷面七現場照片與體積法施做位置

## 4.2 網格法試驗結果

### 4.2.1 試驗數據

本研究驗於鳳山溪共規劃 39 組網格法，每組網格法均加入鍾政良(2006)使用之細料修正方法一與細料修正方法二，另外於施作範圍內有施作體積法之網格法則又加入細料修正方法三，以下將對網格法數據處理作一說明。以網格法編號 95FS\_02DaB\_G001 為例將現場試驗數據列出(表 4-2)，表中紀錄各測線標記下拾取之樣品粒徑、細料長度以及各粒徑顆粒出現之次數。並依照細料修正方法一可知細料含量為 $(0+21+17.5)/4500=0.86\%$ 、修正方法二細料含量則為 0，並以現場帶回之細料進行篩分析試驗得到細料之比例。而細料修正方法三則以體積法編號 95FS\_02DaB\_V001 之護甲層細料含量(11.45%)與細料比例進行修正，將未修正與各修正方法得到之粒徑分步曲線畫出如圖 4-10，並將各特定粒徑如  $D_{16}$ 、 $D_{50}$  與  $D_{84}$  算出，如此將各網格法之結果依序計算並整理如表 4-3，各試驗數據如附錄二。由表 4-3 可發現以細料修正方法一、二與未修正方法得到之結果並無太大差異，主要原因為鳳山溪河床表面幾乎無細料覆蓋，故以細料修正方法一、二所得到之細料比例相當低。

表 4-2 鳳山溪網格法 95FS\_02DaB\_G001 現場紀錄表

施 作 位 置			編 號									95FS_02DaB_G001		日 期		2006/09/20	
測線 位置	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	座標	X	246811			
													Y	2749936			
1	90.5	128	90.5	128	64	128	128					細顆粒所佔長度					
2	45.3	32	90.5	8	16	32	45.3					第一次	0cm				
3	45.3	32	76.2	76.2	32	16	32					第二次	21cm				
4	76.2	76.2	8	64	45.3	32	32					第三次	17.5cm				
5	128	8	32	128	90.5	45.3	32					小 計					
6	45.3	64	90.5	76.2	32	32	16					512	362	256	181	128	
7	90.5	16	90.5	45.3	90.5	45.3	32								2	22	
8	45.3	32	64	90.5	90.5	90.5	90.5										
9	128	128	32	45.3	128	32	32					90.5	76.2	64	45.3	32	
10	64	45.3	181	64	128	90.5	64					15	9	10	19	24	
11	128	32	90.5	64	128	45.3	45.3										
12	128	128	45.3	16	128	128	32					16	8				
13	32	16	128	45.3	76.2	76.2	64					7	4				
14	32	181	64	128	45.3	45.3	8										
15	32	128	16	45.3	128	128	32										
16	128	76.2	32	76.2	90.5	32	45.3										

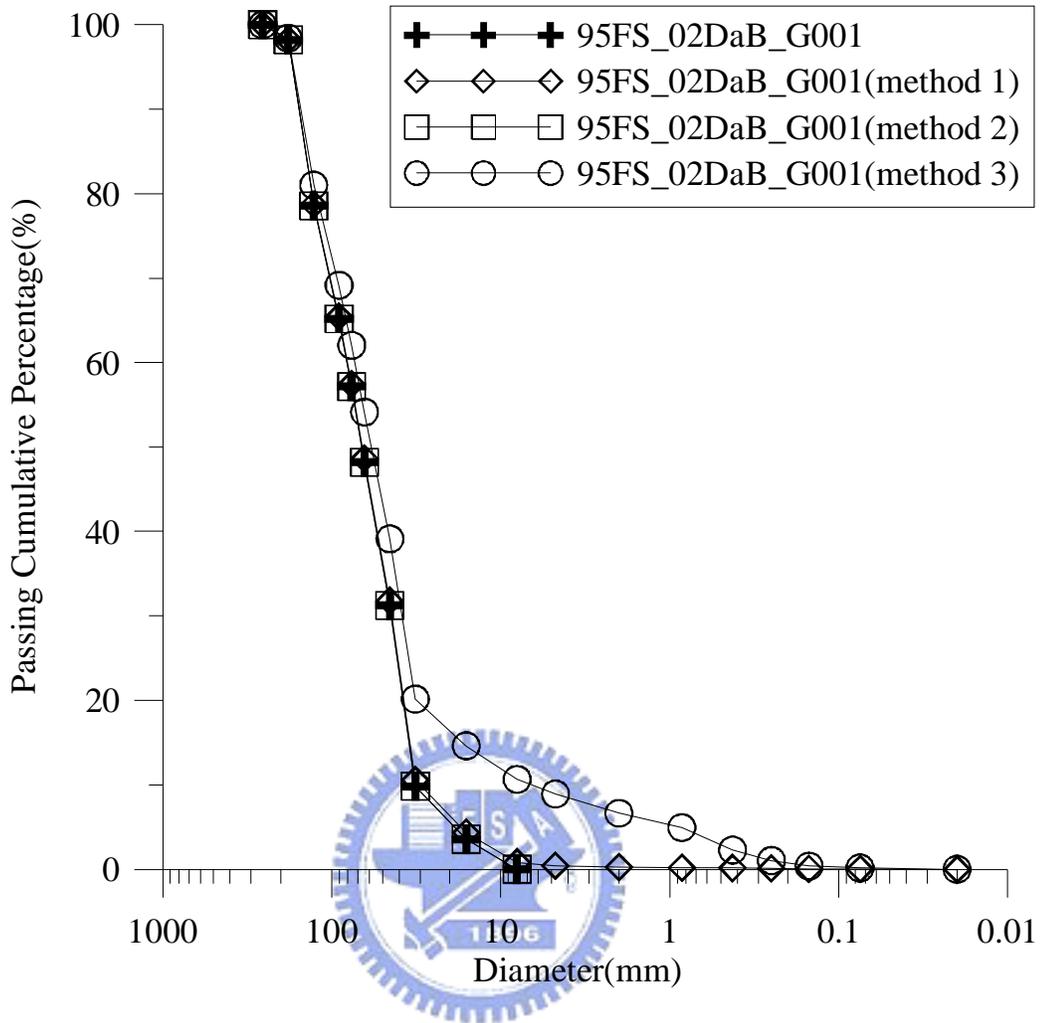


圖 4-10 鳳山溪網格法 95FS\_02DaB\_G001 粒徑分布曲線

表 4-3 鳳山溪網格法結果整理

	D <sub>50</sub> (mm)							
	未修正		修正方法一		修正方法二		修正方法三	
	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
Da	90.26	36.67	85.16	34.10	85.76	33.61	62.43	19.92
D	83.49	30.18	83.24	29.00	83.39	29.13	66.23	26.06
全部	88.16	34.57	84.61	32.38	85.09	32.05	63.38	20.73

其中步伐取樣細料修正方面，由於試驗地點位於水位較低之河道中，此部分之試驗無法進行細料收集，故無細料修正資料，而細料修正方法三部分，由於僅在網格法範圍中亦施作體積法始能進行修正，故僅有 16 組網

格法能進行方法三之修正。

#### 4.2.2 粒徑分布曲線

利用粒徑分布曲線可以更容易了解河床質分布之狀況，本研究於鳳山溪進行 39 組網格法試驗，網格法粒徑分布曲線如圖 4-11，其中黑色曲線表示於交織狀河相之網格法，紅色曲線表示瓣狀河相之網格法，各網格法之  $D_{50}$  粒徑介於 20.59~167.17mm 之間，且可發現瓣狀河相之粒徑分布曲線較交織狀河相集中。

圖 4-12 為鍾政良(2006)於頭前溪施作之網格法結果，圖 4-12 中發現瓣狀河相粒徑分布曲線極為散亂，與鳳山溪所得之結果不同，而蜿蜒狀河相分布較為集中。



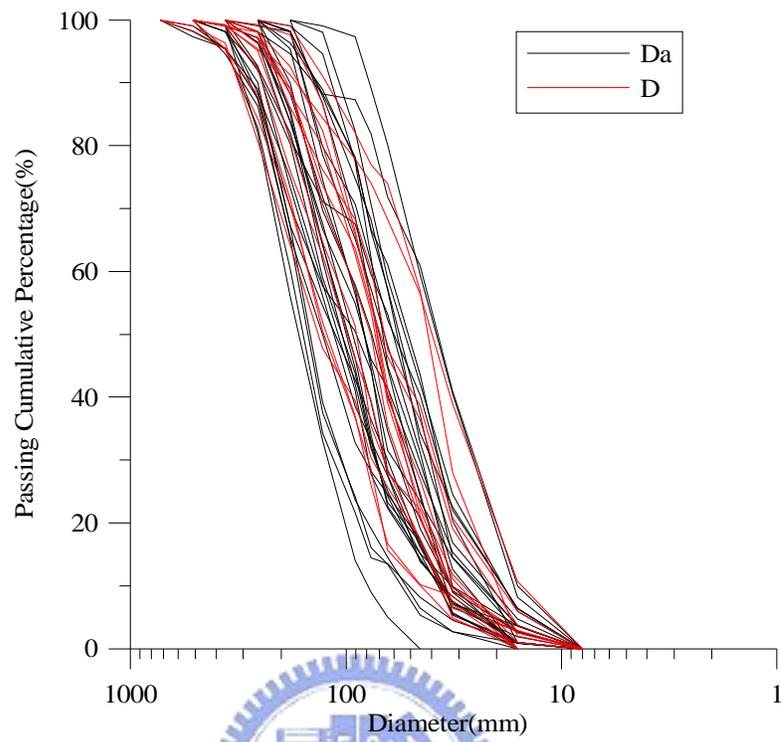


圖 4-11 鳳山溪網格法各河相粒徑分布曲線

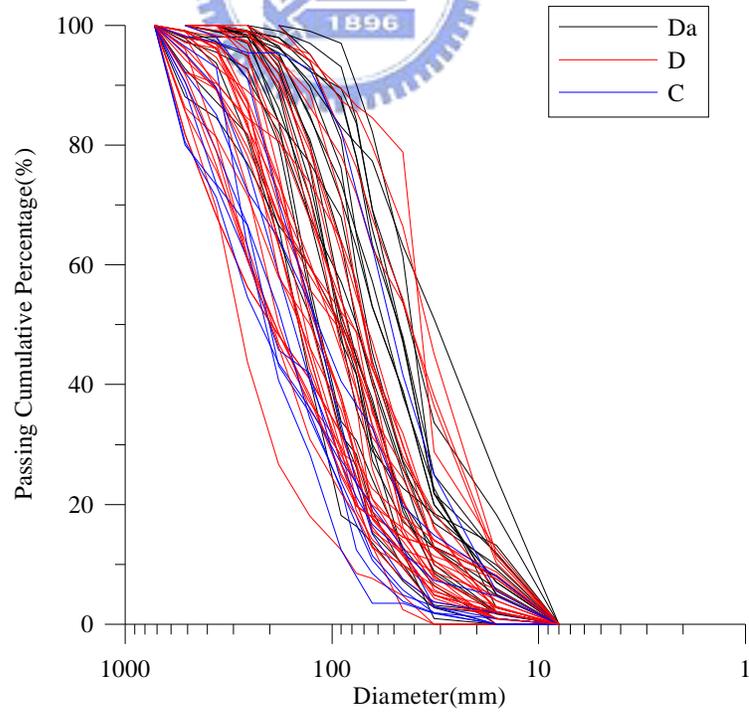


圖 4-12 頭前溪網格法各河相粒徑分布曲線(改繪自鍾政良，2006)

而細料修正方面，將各細料修正方法得到之細料比例整理如表 4-4，由資料顯示修正方法一、二之修正細料比例大部分皆小於 5%，主要原因判斷可能為鳳山溪河床表面細料為風力因素被帶走，造成表面幾乎無細顆粒情況，使得進行細料比例修正時幾乎量測不到細料，如圖 4-13。而其中方法一與方法二細料比例超過 15% 之網格法中，依據現場環境(圖 4-14、圖 4-15、圖 4-16)可以發現屬於地勢較高地點，且周圍皆有植生表示近期內未受到河道影響，判斷原因為細料受風力搬運過程中被周圍植生阻擋而覆蓋在河床表面。

表 4-4 各細料修正方法得到之細料比例

	各細料比例組數					組數
	<5%	5~10%	10~15%	15~20%	>20%	
方法一	31	2	3	2	1	39
方法二	31	5	2	1	0	39
方法三	0	3		6	0	16



圖 4-13 鳳山溪河床表面細料因風力因素造成表面粗粒化現象



圖 4-14 鳳山溪網格法 012 施作地點照片



圖 4-15 鳳山溪網格法 020 施作地點照片



圖 4-16 鳳山溪網格法 021 施作地點照片

細料修正主要是彌補網格法所缺少的細粒料部分，將其結果與體積法護甲層粒徑分布曲線做比較，由於鳳山溪河床表面細料大部分皆被外力因素帶走，故修正方法一、二對結果並無太大變化，但大部分之網格法與體積法粒徑分布曲線於粗顆粒部分結果類似，如圖 4-17，圖中可發現修正方法三之曲線與體積法最相近，主要原因是因方法一與方法二無法正確由表面狀況估計護甲層之細料比例。



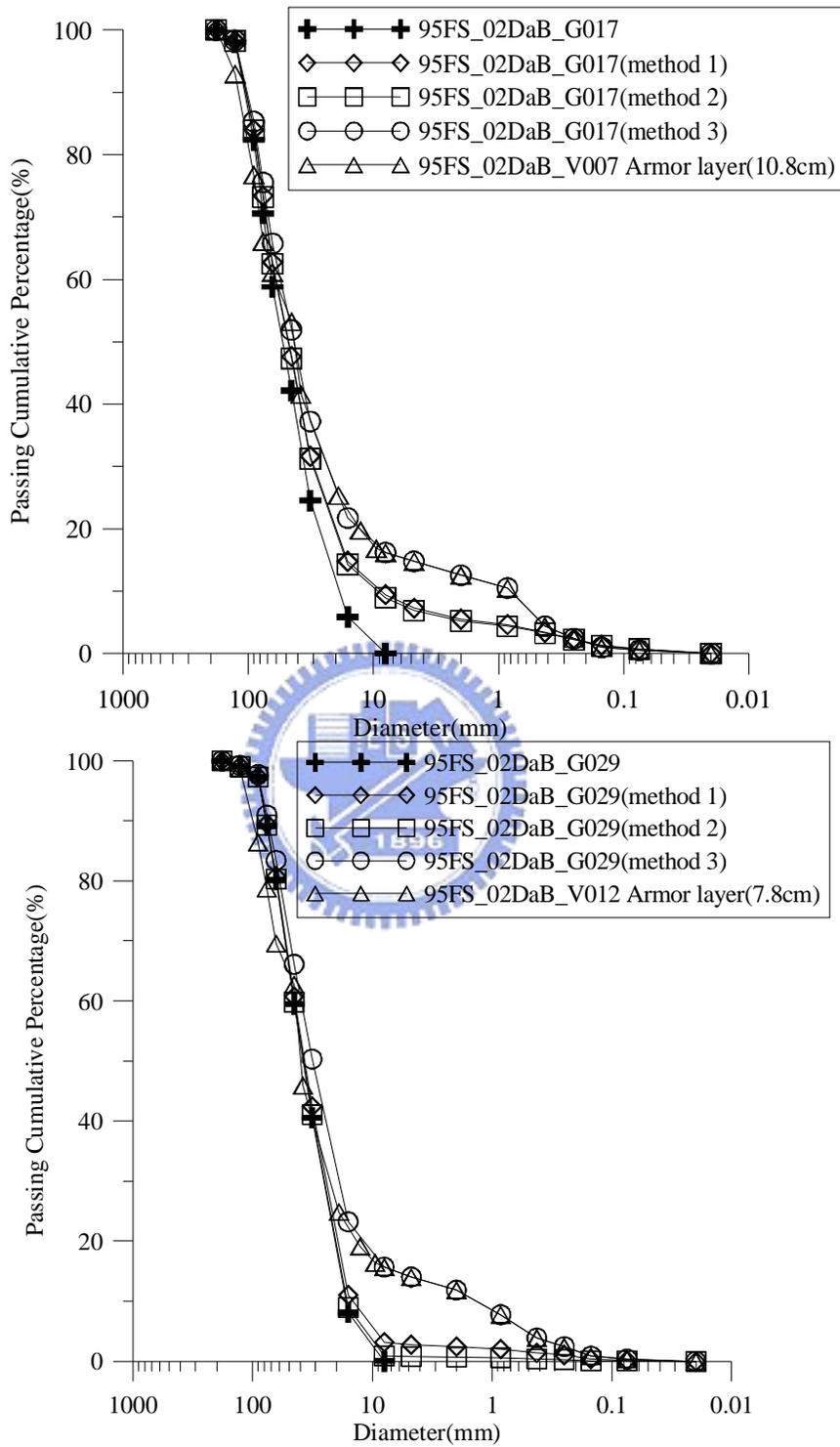


圖 4-17 鳳山溪網格法各修正方法與體積法護甲層粒徑分布曲線(以網格法 017 與 029 為例)

而鍾政良(2006)於頭前溪施作之試驗亦有此現象，利用其試驗資料進行細料修正，如圖 4-18，如同鳳山溪試驗結果，以修正方法三之曲線與護甲層之結果最為相近。

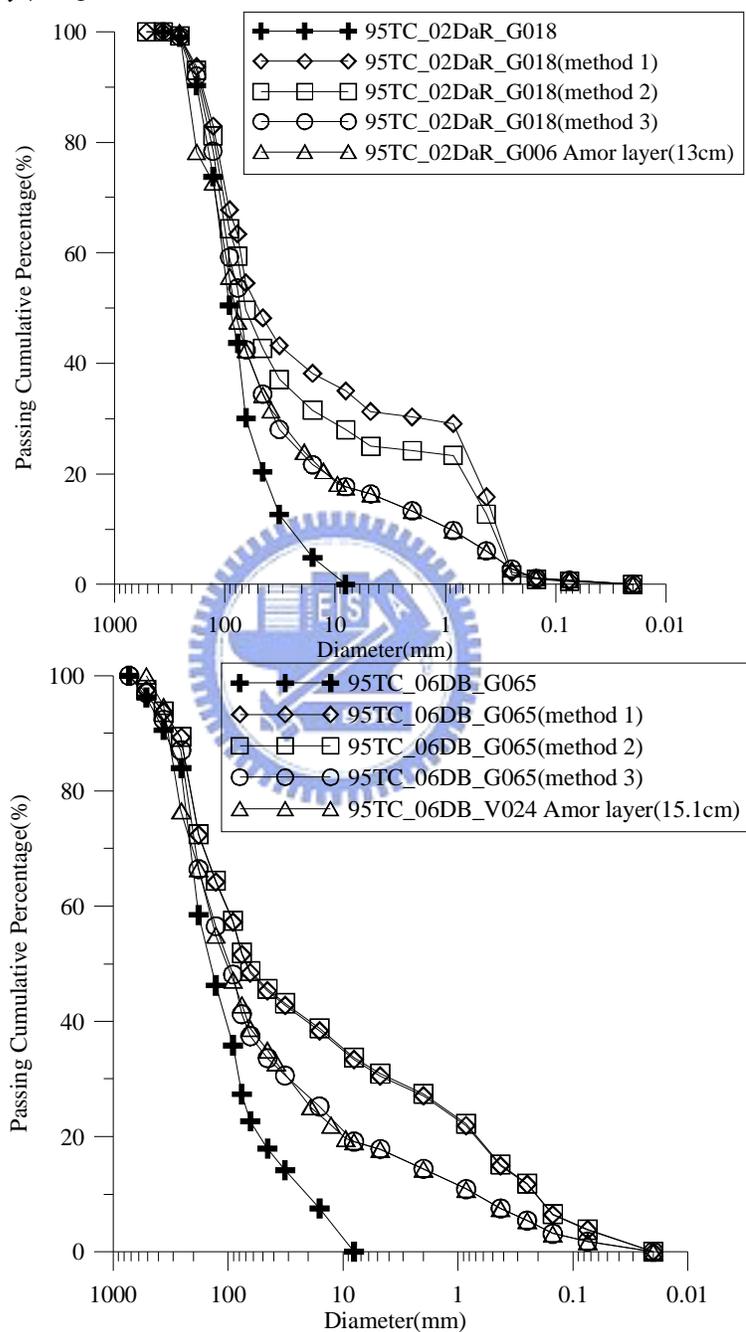


圖 4-18 頭前溪網格法各修正方法與體積法護甲層粒徑分布曲線(以網格法 018 與 065 為例)(改繪自鍾政良，2006)

## 4.3 體積法試驗結果

### 4.3.1 試驗數據

本次試驗於鳳山溪共規劃 16 組體積法，並於護甲層深度與各分層(25、50、75 與 100cm)進行篩分析試驗，若護甲層深度為各分層深度之 $\pm 5\text{cm}$ 時，則該分層不進行篩分析試驗，例如護甲層深度為 20cm，則於 25cm 深度不進行分層篩分析試驗。

此處以本研究於鳳山溪施作之體積法編號 95FS\_02DaB\_V001 進行說明，表 4-5 為體積法 95FS\_02DaB\_V001 現場紀錄之試驗數據，此體積法為搭配網格法 95FS\_02DaB\_G001 進行施作，故護甲層深度以網格法 95FS\_02DaB\_G001 之  $D_{90}$  粒徑為依據。將各分層深度內之樣品分別過篩或以開口樣板分類並秤重，並將護甲層與最底層之細料各帶回 10kg 進行試內篩分析試驗，將各分層結果算出並繪出粒徑分布曲線，如圖 4-19。如此將各體積法結果算出並繪出粒徑分布曲線，將其結果整理如表 4-6，各體積法數據如附錄三，其中底層表示由護甲層以下至深度 100cm，由表 4-6 中可發現護甲層顆粒皆明顯較底層顆粒粗，且交織狀河相底層粒徑之標準差較小，而變狀河相之標準差相當大，主要原因為在體積法 95FS\_03DR\_V015 與 95FS\_03DB\_V016 分別在底層與護甲層各有挖到相當大之顆粒，導致粒徑明顯變粗。另外 95FS\_03DR\_V015 號試坑在 50cm 以下有水出現，故僅取樣至深度 50cm。

表 4-5 鳳山溪體積法 95FS\_02DaB\_V001 現場紀錄表

坑	號	95FS_02DaB_V001	表 層	15.9cm	日	期	2006/09/22			
現地篩分析結果	表 層	25cm	25cm	25cm	25cm	試坑體積(m <sup>3</sup> )	1			
顆粒大小(mm)	重量(Kg)	重量(Kg)	重量(Kg)	重量(Kg)	重量(Kg)	GPS 座標				
512						x	246865	y	2749922	
362						備註				
256										
181	67				17					
128	57	12	26	18	11.5					
90.5	73	20	51	33	10					
76	55	8	18	5	11					
64	83	21	41	30.5	14					
45.3	51	17	44	25	16					
38.1 (1 1/2")	67	22	42.5	43	10					
19 (3/4")	68	28	51	58	15					
12.7 (1/2")	17	11	16	18	5					
9.5 (3/8")	11	8	10	9	2					
9.5 (3/8") 以下	72	42	102	146	90					

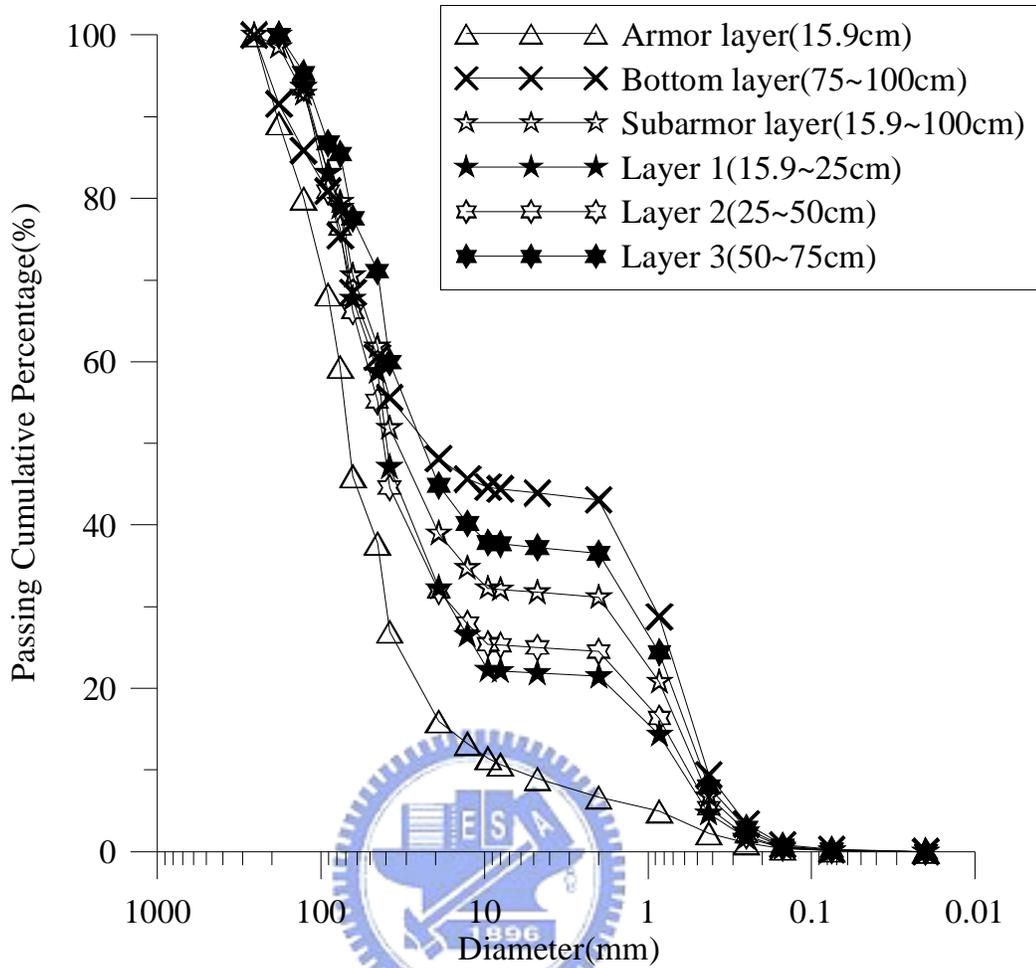


圖 4-19 鳳山溪體積法 95FS\_02DaB\_V001 各分層粒徑分布曲線

表 4-6 鳳山溪體積法結果

	D50			
	護甲層		底層	
	平均	標準差	平均	標準差
Da	77.84	31.03	47.04	14.50
D	77.59	65.48	68.07	74.91
全部	77.77	39.54	52.29	36.94

本次 16 組體積法試驗中樣品顆粒最小的試坑為第五橫斷面之 012 號試坑(圖 4-20)，樣品顆粒最大的為第七橫斷面之 015 號試坑(圖 4-21)，主要因此試坑中有挖掘到 b 軸大於 512mm 之礫石造成，而第四橫斷面之 010 號試坑於最後一層(75~100cm)細料明顯增加，但於試坑中無發現明顯之分界(圖

4-22)，而橫斷面六之 013 試坑細料含量最多(圖 4-23)，



圖 4-20 鳳山溪體積法 95FS\_02DaB\_V012 試坑



圖 4-21 鳳山溪體積法 95FS\_03DR\_V015 試坑



圖 4-22 鳳山溪體積法 95FS\_02DaR\_V010 試坑



圖 4-23 鳳山溪體積法 95FS\_03DR\_V013 試坑

### 4.3.2 粒徑分布曲線

本研究鳳山溪 16 組體積法護甲層粒徑曲線如圖 4-24，圖中可發現交織狀較瓣狀河相之樣品顆粒粗，僅一組瓣狀河相之曲線較為不同，此為第 016 號體積法，僅因此試坑於護甲層中挖掘到一 b 軸大於 362mm 之礫石，故將整體粒徑曲線粗粒化，由此亦可發現於體積法中若有出現大礫石可能對整

體粒徑分布曲線造成極大影響。本次 16 組體積法試驗中，護甲層之  $D_{50}$  範圍介於 38.79~175.51mm 之間，而底層(護甲層至 100cm)之  $D_{50}$  介於 13.46~75.53mm，可發現鳳山溪河床確實有明顯表層粗粒化現象。

而以鍾政良(2006)於頭前溪所施作的 24 組體積法結果，將各體積法護甲層粒徑分布曲線繪出，如圖 4-25，亦可發現已交織狀河相之河床顆粒組成較粗，而蜿蜒狀河相顆粒組成較細。



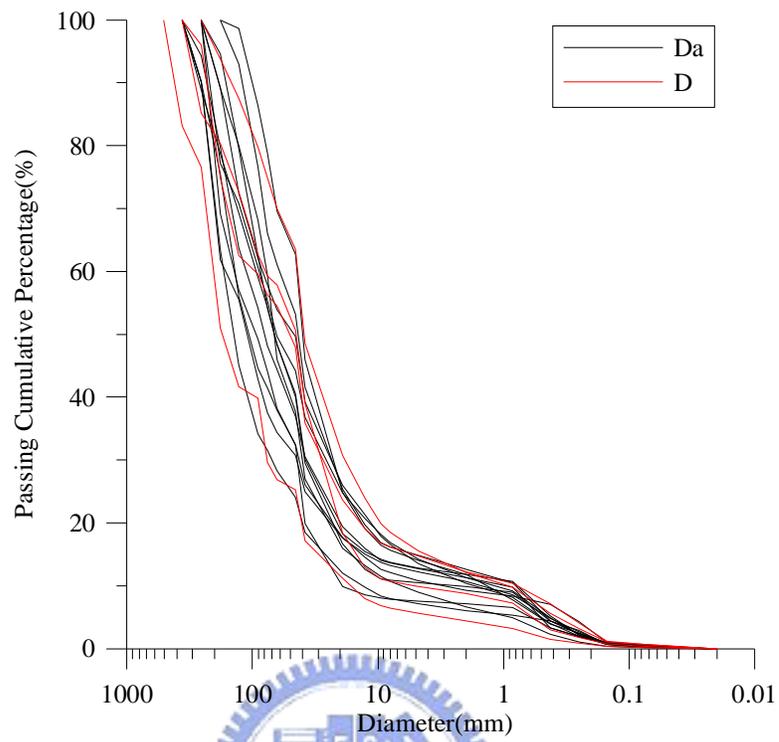


圖 4-24 鳳山溪體積法護甲層粒徑分布曲線

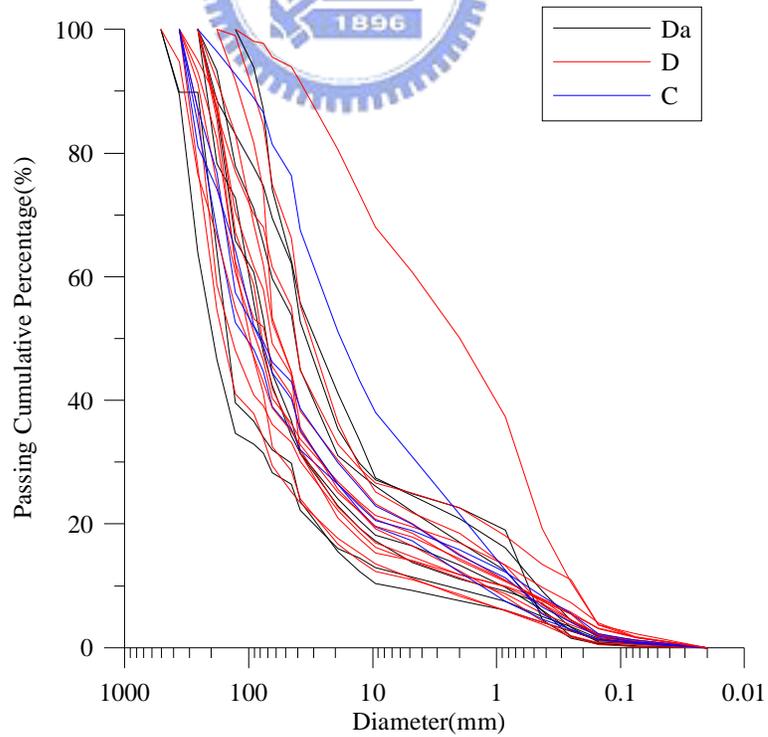


圖 4-25 頭前溪體積法護甲層粒徑分布曲線(改繪自鍾政良，2006)

## 4.4 照相法試驗結果

### 4.4.1 試驗數據

本研究先選定一組密集施做位置(section 1, 圖 4-26), 施作區域盡量避開植生區域, 以減少對分析上之影響, 拍照點之示意圖如圖 3-16。以下將

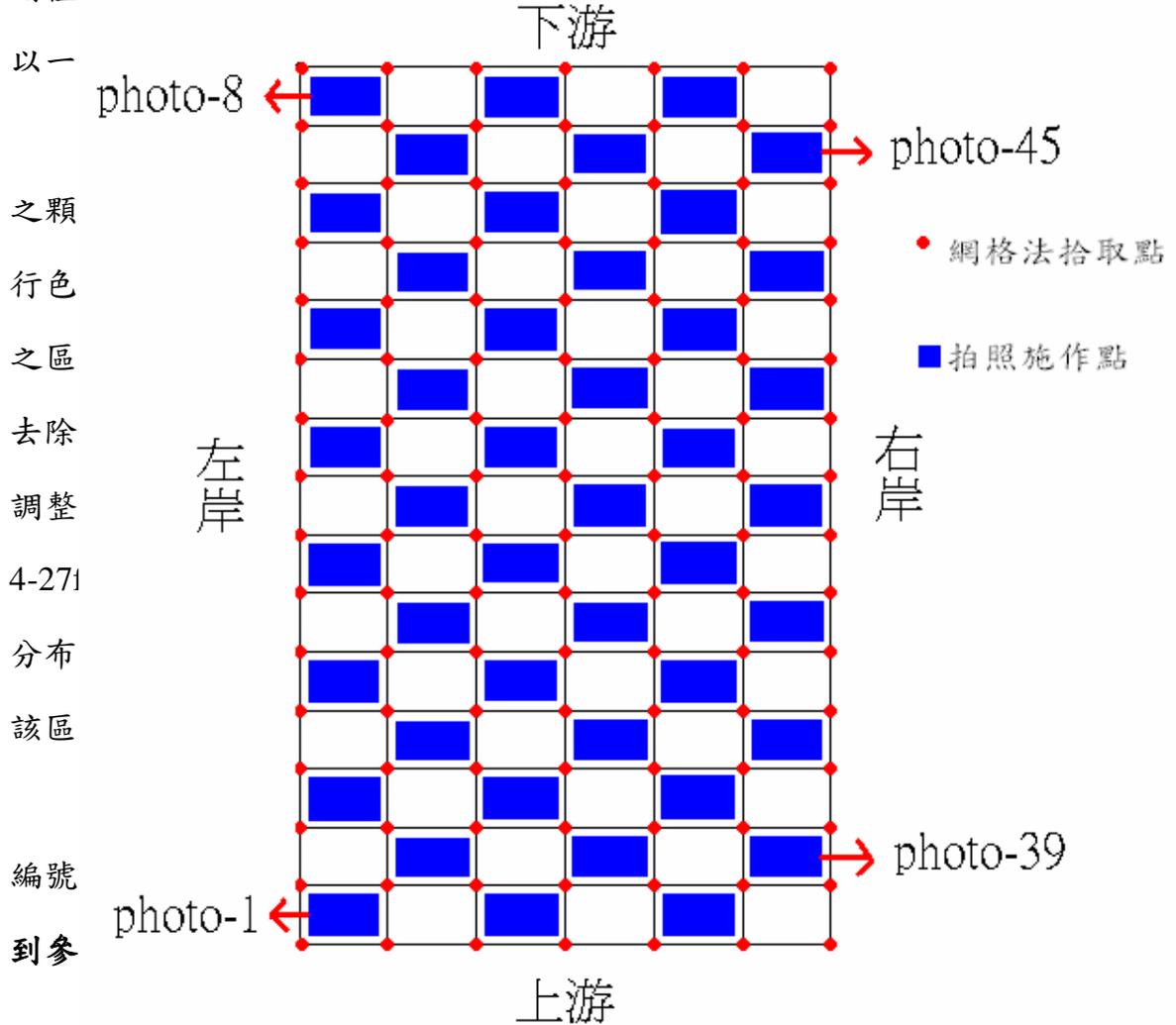


圖 4-29 密集拍照區域編號說明示意圖

表 4-7 為網格法範圍內施作密集拍照之影相分析結果, 其中包括該網格法  $D_{50}$ 、兩種體積計算方式之  $D_{50}$  以及細料比例, 其中細料計算方面是以各照片中未被分析之部分, 以面積比例當成細料計算, 影像分析之數據如附錄四。而此組試驗範圍中顆粒組成最粗與最細之照片分別為 photo-9 與

photo-33，如圖 4-30。

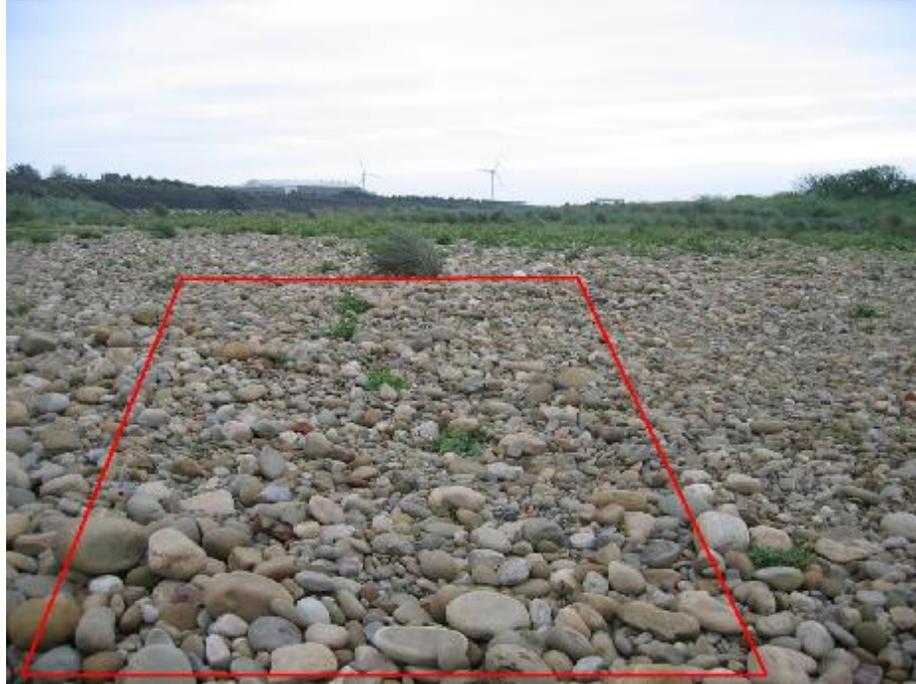


圖 4-26 拍照法施做位置圖



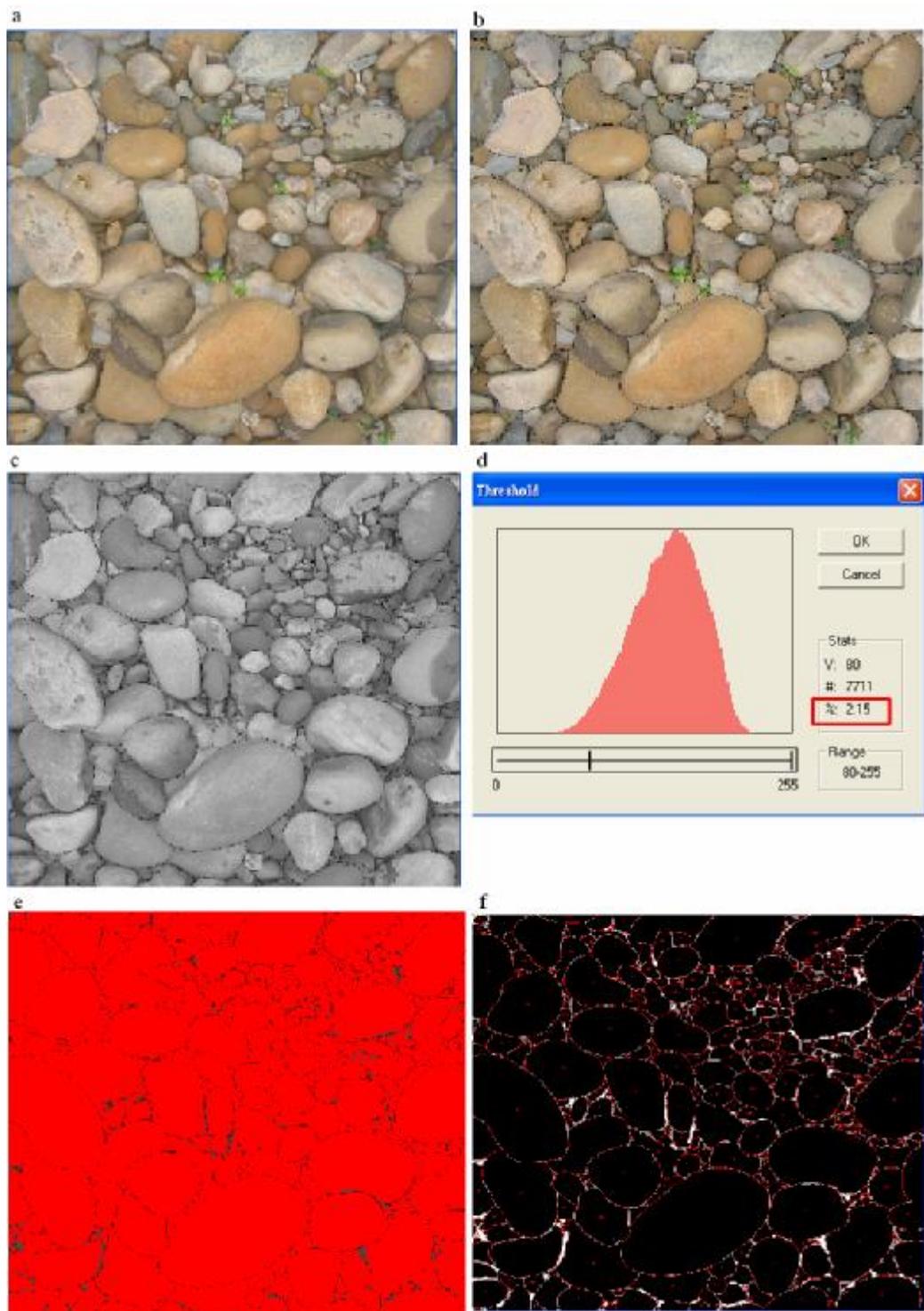


圖 4-27 影像分析過程圖

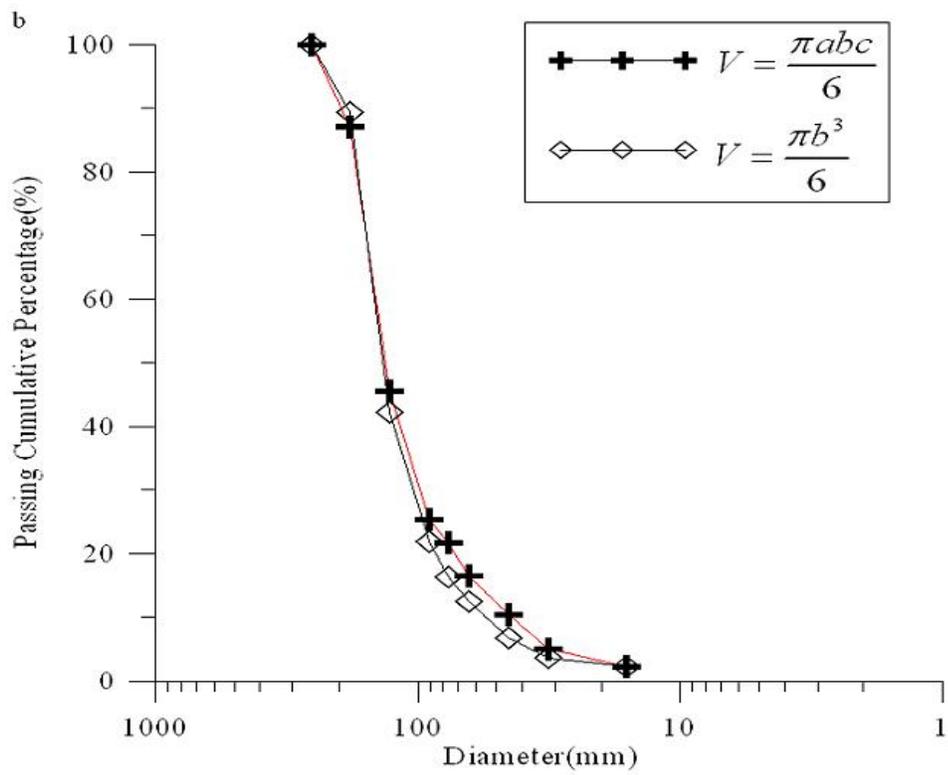
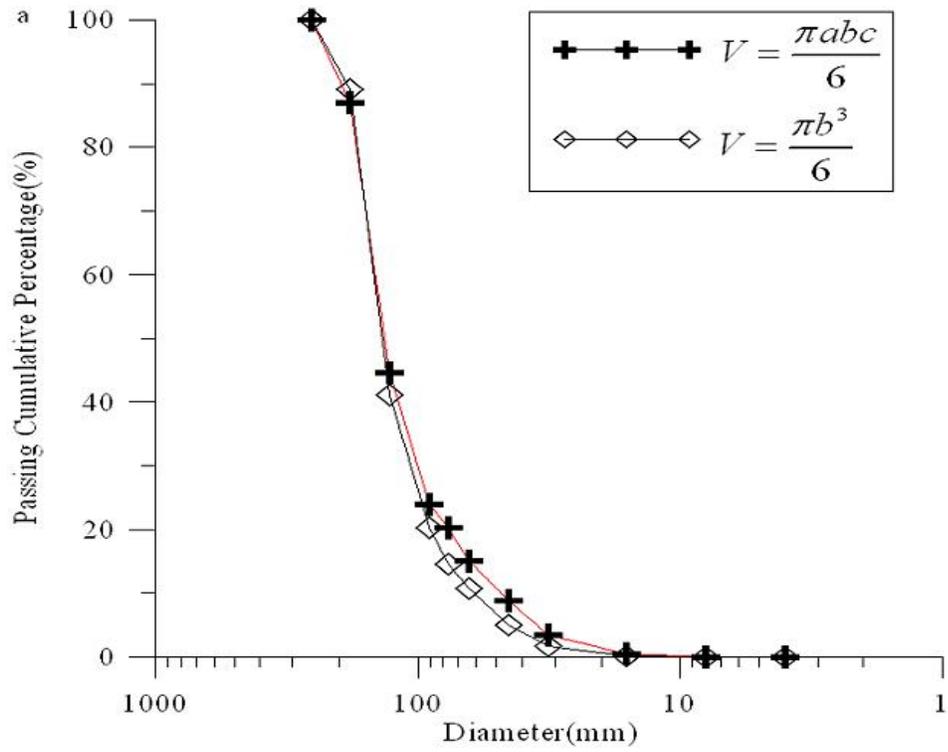


圖4-28 兩種分析方式之結果(a)原始粒徑分布曲線(b)細料修正後粒徑分布曲線)

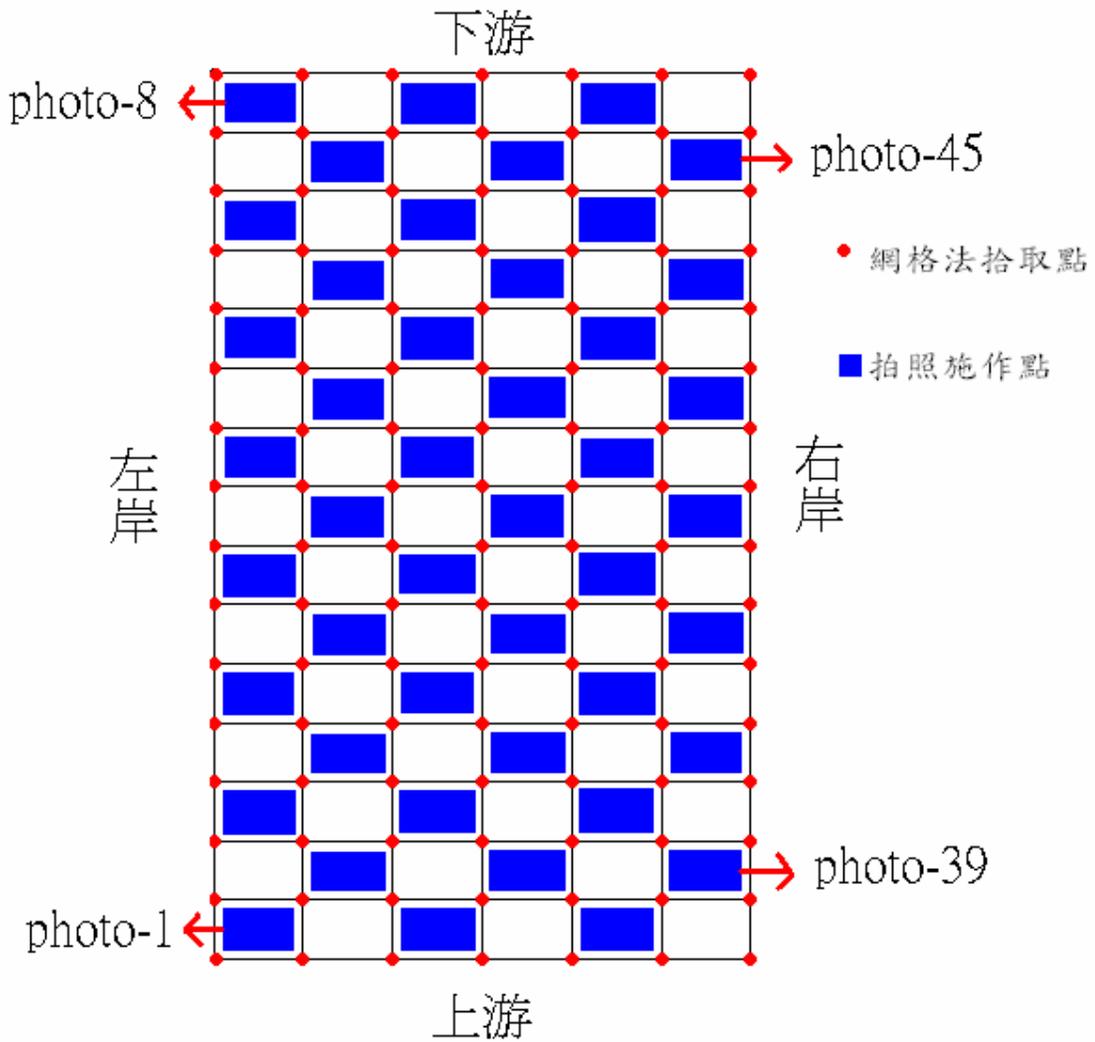


圖 4-29 密集拍照區域編號說明示意圖

表 4-7 拍照法影像分析數據

網格法	D <sub>50</sub> (mm)		細料比例(%)	
	71.63		方法一	方法二
			0.11	0.89
分析方式	$V = \frac{pabc}{6}$	$V = \frac{pb^3}{6}$		
平均	88.11	94.51	8.34	
標準差	15.76	15.86	2.84	

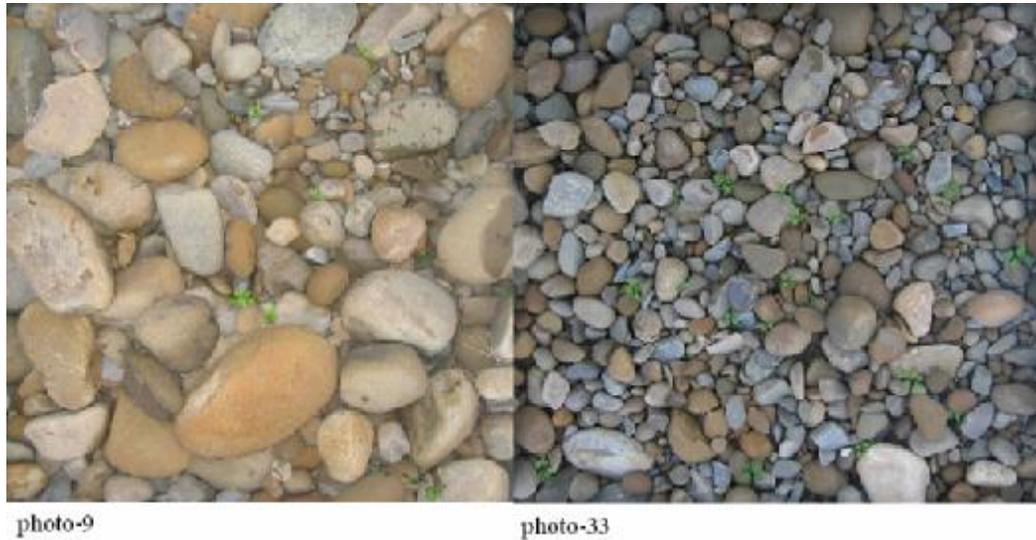


圖 4-30 拍照法中河床顆粒組成最粗與最細之照片

#### 4.4.2 粒徑分布曲線

圖 4-31 為拍照法兩種未經過細料修正分析方式結果與網格法未修正粒徑分布曲線比較，由圖 4-31 可發現兩種分析方式得到之結果並無明顯差異，圖 4-32 為將各影像結合成一張影像分析之結果與網格法結果比較，圖 4-32 中發現由影像處理得到之粒徑分布曲線趨勢與網格法之結果相似，但影像處理結果顯示較網格法之粒徑分布曲線粗。

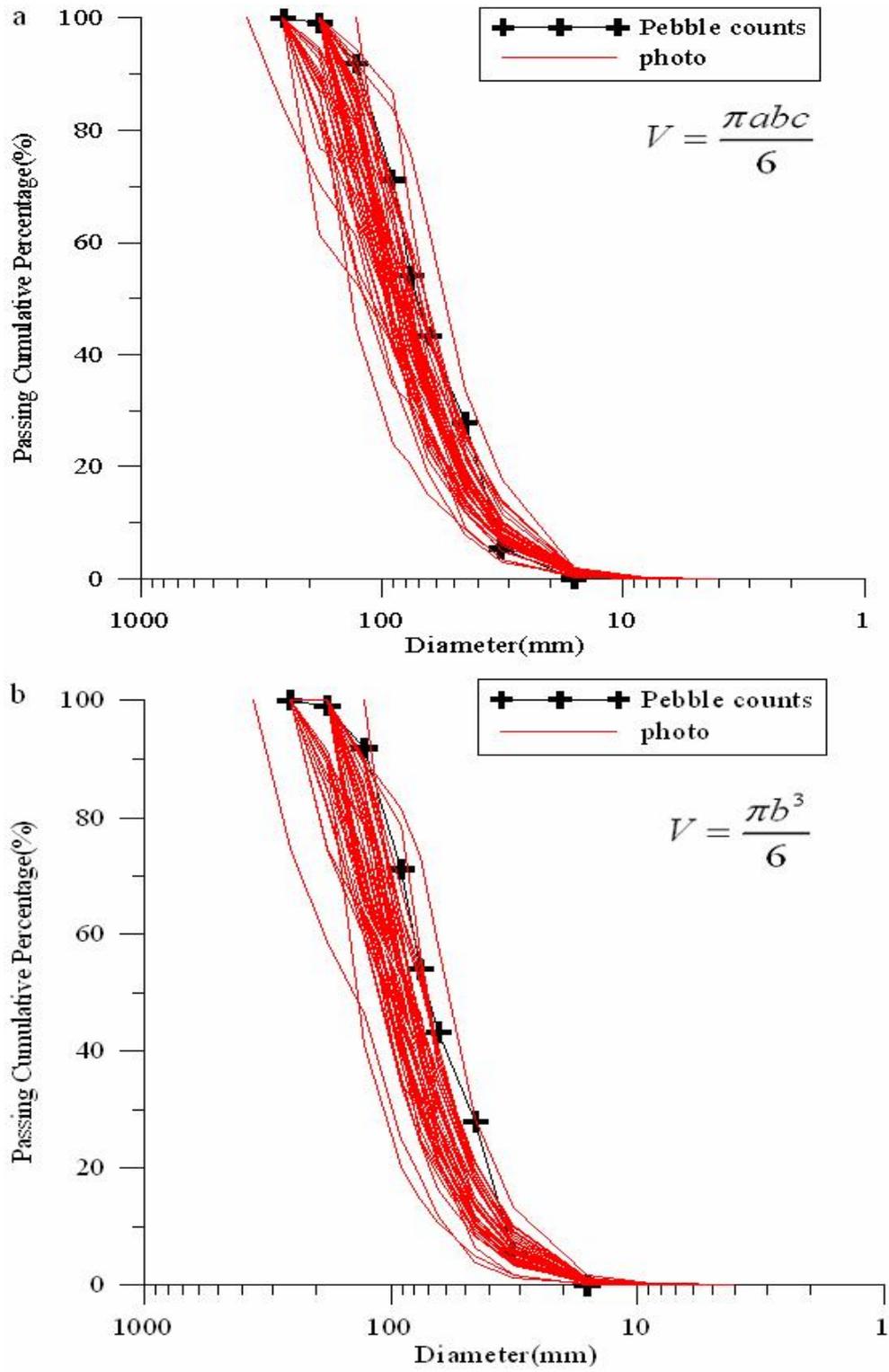


圖 4-31 拍照法兩種分析方式與網格法粒徑分布曲線比較

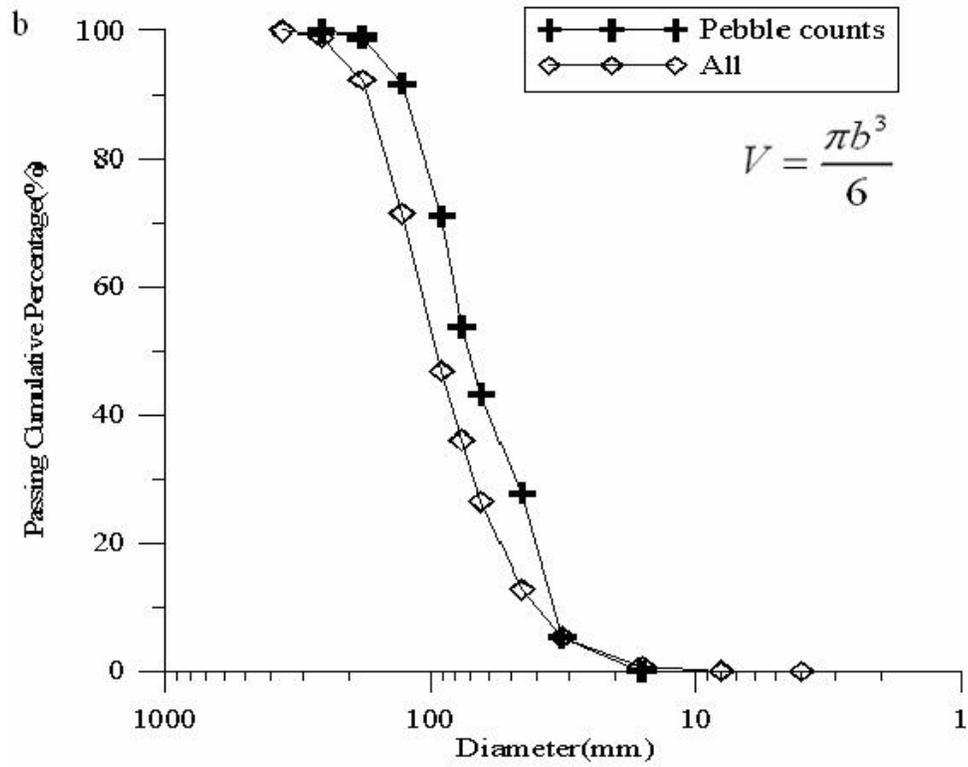
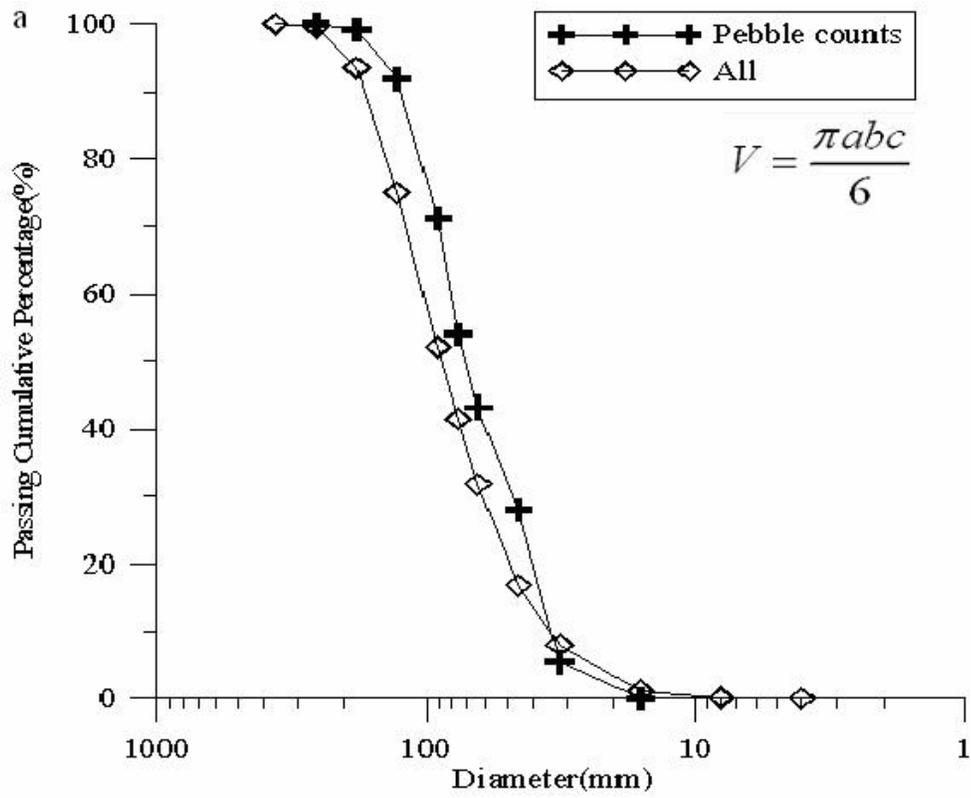


圖 4-32 結合拍照法全部結果與網格法粒徑分布曲線比較

## 第五章、結果討論

由於礫石河床質在空間上具有極度不均質性，故對於試驗結果無法單獨討論，必須分別以空間各方向進行討論，本章節將對於本研究於鳳山溪所作之調查結果分別以縱、橫以及垂直向結果分別進行討論，並與鍾政良(2006)於頭前溪之結果比較。

### 5.1 縱向結果

由於河床質經過搬運、磨耗或風化等因素，整體在縱向上會呈現粒徑向下游變細的趨勢，但由於現地狀況除了受到沉積環境影響外，跨河構造物亦有可能對此變化趨勢產生影響，加上同一橫斷面亦有存在變異情況，故在整合縱向上之調查結果亦須考慮到以上因素。

圖 5-1 為鳳山溪網格法  $D_{50}$ 、 $D_{84}$  與河口距之關係，圖中可發現無論將結果依河相分類或不分類皆無明顯變化趨勢，主要原因即各橫斷面之河床質分布情況存有變異性，若不加以區分則無法得到有代表性之結果，圖 5-2 為頭前溪之結果，亦發現有同樣情況。且縱向粒徑變化趨勢亦代表著河川搬運能力，以較大之代表粒徑進行分析則更能具有代表性，另外縱向分析上需要考慮到橫向變異性因素影響，故在縱向分析上選取施作點為靠近河道之邊灘進行分析。結果如圖 5-3，圖 5-3a 中以圓圈標記之點為施作位置在一攔河堰下游(圖 5-4)，現場河床質顆粒組成明顯變粗，此結果與 Nicola Surian(2001)所發現之結果相同，圖 5-3b 則為將該攔河堰下游之點去除後得到之結果，可發現整體縱向變化趨勢更為明顯，圖 5-5 為頭前溪以同樣方式進行分析，亦可得到更明顯之變化趨勢。

另外由圖 5-3 與圖 5-5 之結果亦可發現不同河相對於河床質縱向分布趨勢並無存在明顯影響，主要原因可推斷為縱向變化趨勢主要是由於河川搬

運能力所控制，故河相於縱向之影響並不明顯。不同河相僅在河床平面型態上展現不同沉積環境，而不同沉積環境之河床質分布情況亦會有所不同，如沙洲與邊灘之河床質分布情況即存在差異，此情況對河床質橫向變化趨勢上存在影響。而不同沉積環境之河床質調查結果不應放在一起分析，河床橫向上之分布情況將於下節進一步討論。

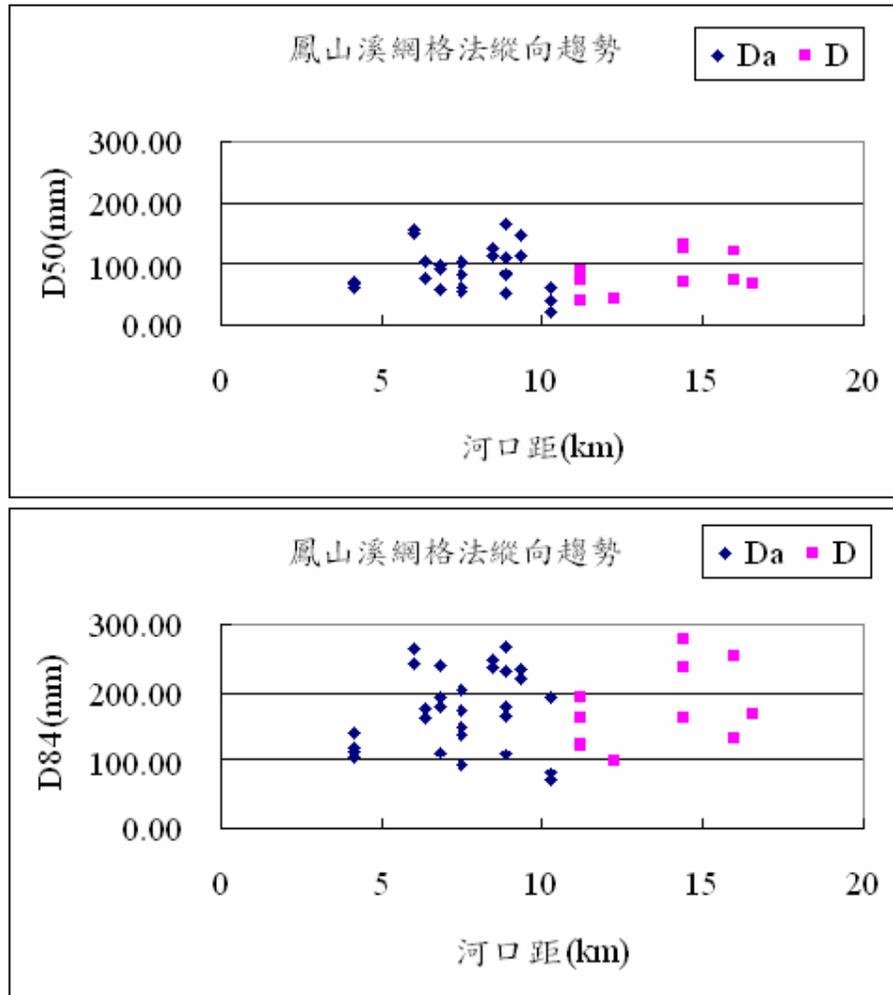


圖 5-1 鳳山溪網格法  $D_{50}$  與  $D_{84}$  縱向結果

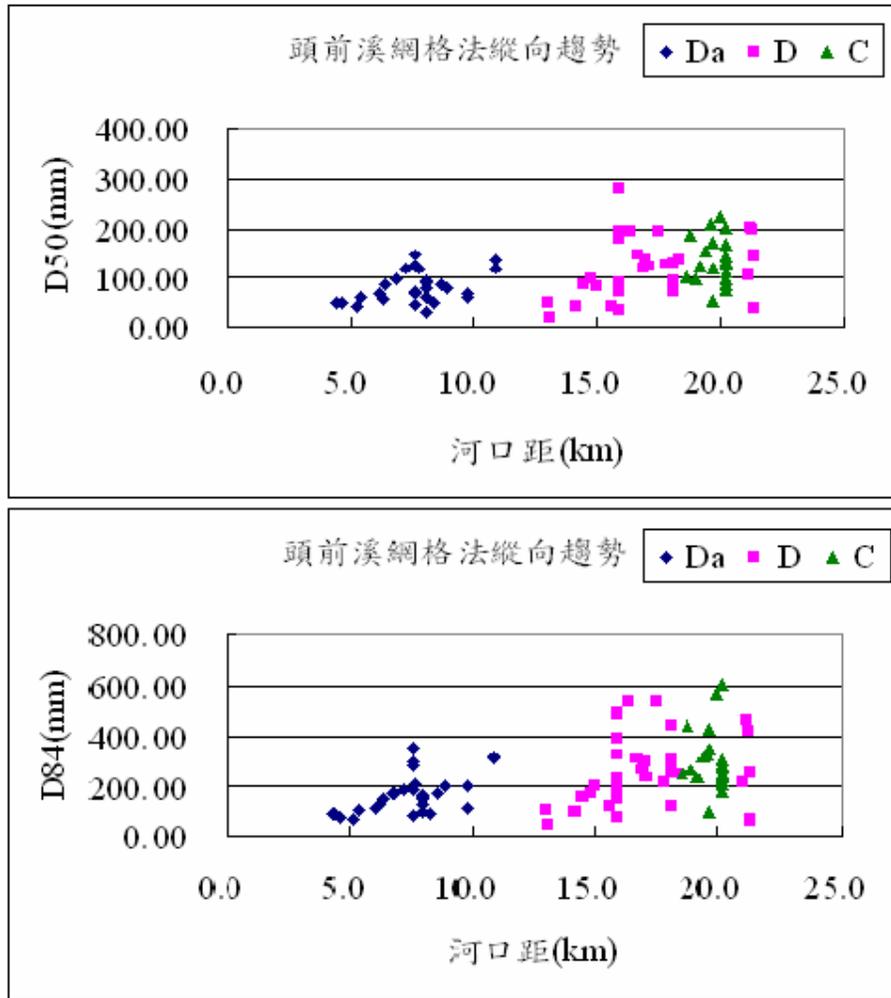


圖 5-2 頭前溪網格法  $D_{50}$  與  $D_{84}$  縱向結果

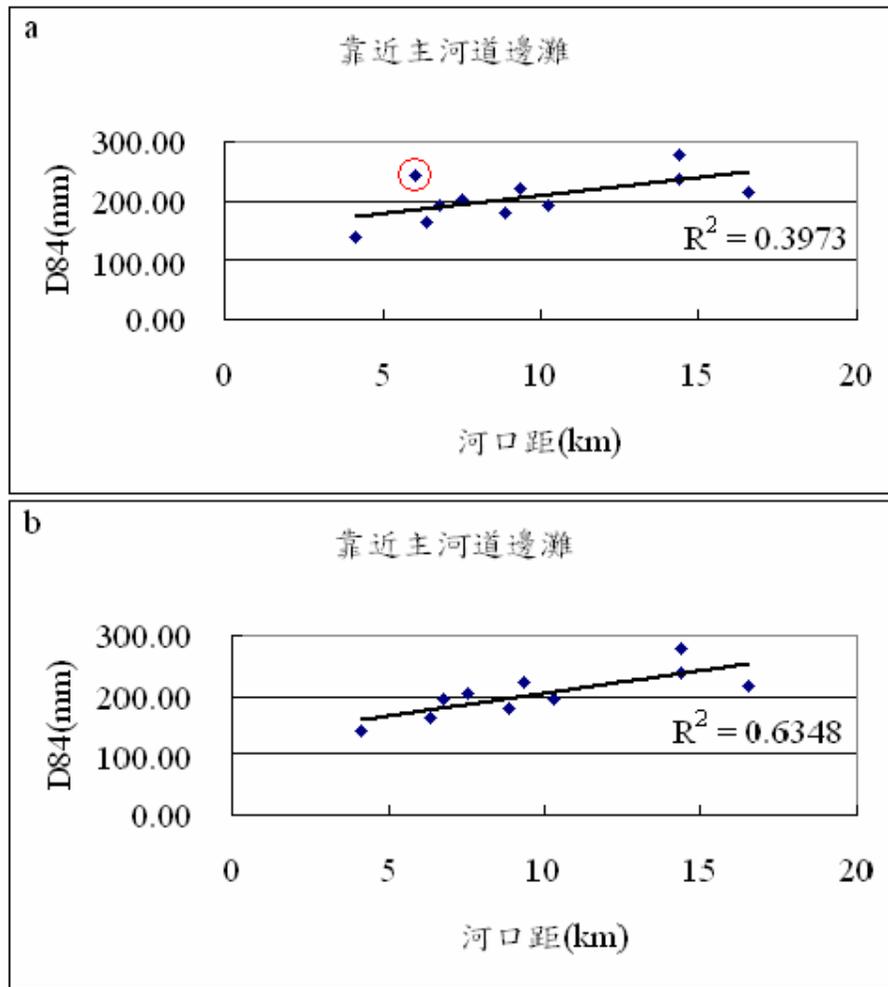


圖 5-3 鳳山溪靠近主河道邊灘之網格法  $D_{84}$  縱向結果



圖 5-4 攔河堰

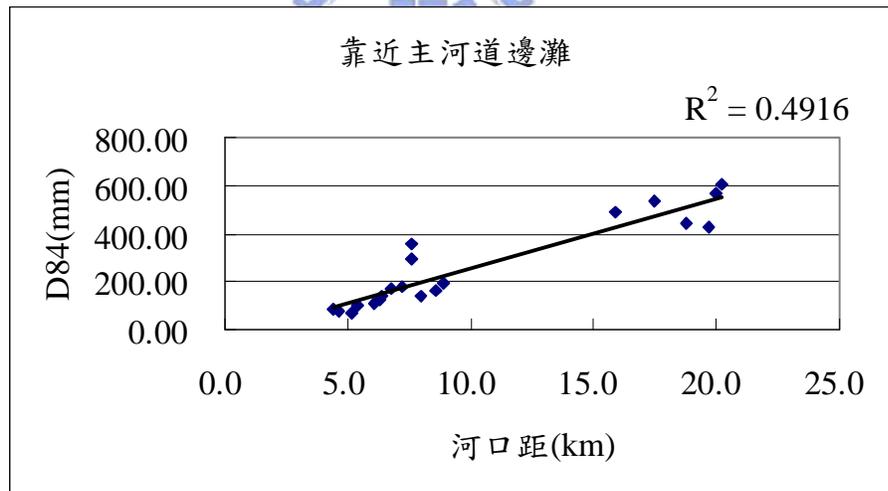


圖 5-5 頭前溪靠近主河道邊灘之網格法  $D_{84}$  縱向結果

另外除了以邊灘了解粒徑在縱向之變化趨勢外，沙洲亦可用來分析，但仍需了解沙洲上之沉積情況，一般沙洲粒徑變化趨勢亦有向沙洲尾端變細之情況，且沙洲前端通常會有堆積較粗之顆粒(圖 5-6)，由前面之結果發現若欲了解縱向變化趨勢，則以較大之特定粒徑來分析會較具代表性，故

由此可以沙洲前端之點來作為分析之依據，圖 5-7 為於鳳山溪另外施作之網格法，施作點皆位於沙洲之前端，但由於可施作之沙洲數量有限，故資料點不多，但仍可明顯看出趨勢。



圖 5-6 沙洲前端堆積較粗顆粒

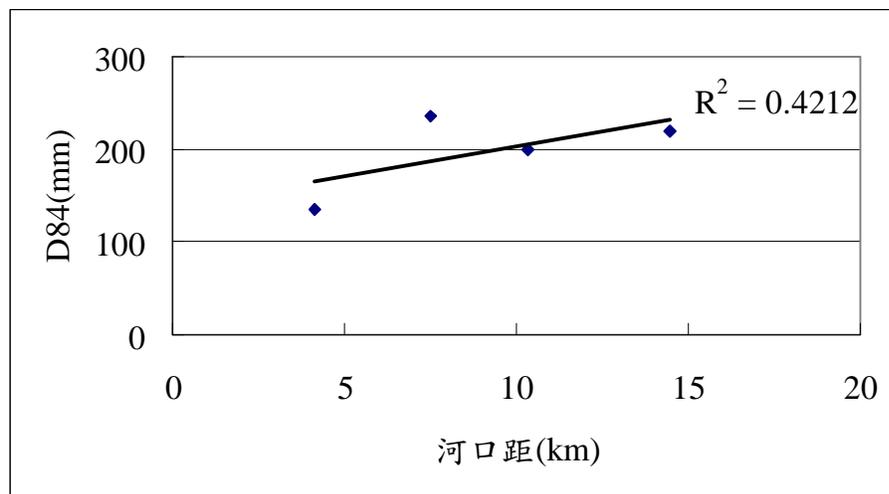


圖 5-7 鳳山溪沙洲前端網格法  $D_{84}$  縱向趨勢

另外若加入人工構造物之因素，並觀察縱向分布趨勢可加以了解人工

構造物對河床質分布之影響情況，圖 5-8 為鳳山溪河床質縱向結果與鳳山溪人工構造物之關係，以現場觀察僅攔河堰下游處有明顯顆粒變粗情況，其他區域之河床質則無明顯變化，而以圖 5-8 可發現除了攔河堰下游處之點外，於新埔大橋下游處亦有一個資料點有較明顯變化(圖 5-8 右邊圈起處)，此處位於橫斷面七右岸之邊灘(圖 5-9)，於枯水其右側河道會消失，且此處邊灘高程約略與河道相同，故研判此處於水位升高時極容易受到河道影響，以致河床顆粒分布情況較為不同。

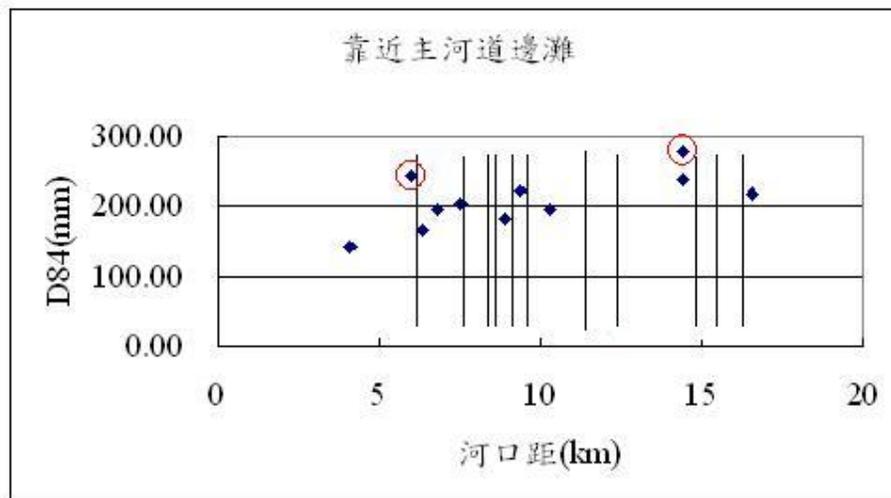


圖 5-8 鳳山溪縱向分布趨勢與人工構造物關係



圖 5-9 斷面七右岸邊灘網格法試驗處

## 5.2 橫向結果

橫向分布趨勢除了受到不同沉積環境之影響外，河道位置與數量亦會影響變化趨勢，故若於單河道且同一種沉積環境狀況下，可預期能得到明顯結果，但若斷面有著不同沉積環境且為多河道之情形時，在分析上除了需要區別不同沉積環境，亦需了解主要是受到哪個河道影響才能進行橫向上之分析。而根據鍾政良(2006)頭前溪試驗結果亦有相同情況，在多河道斷面下粒徑橫向變化趨勢呈現無規則性分布，而若在單一方向(左岸或右岸)，且同一沉積環境下，其粒徑變化趨勢則較為明顯。

本研究於鳳山溪共規劃七組詳細調查橫斷面，為各橫斷面之分布情況如附錄五，其中以網格法與體積法護甲層之  $D_{16}$ 、 $D_{50}$  與  $D_{84}$  進行分析，配合現地各橫斷面示意圖進行比較。其中可發現在同一沉積環境下，且無跨越河道時，其橫向粒徑變化趨勢皆較明顯向遠離河道逐漸變細，如圖 5-10，若斷面存在明顯多河道，則在橫向的趨勢上則較無規則，如圖 5-11。

另外根據現場勘查後發現沙洲之粒徑變化較為明顯，沙洲前端與靠河道處之顆粒明顯較中間區域粗(如圖 5-6)，故沙洲本身及存在一變化劇烈之橫向變化趨勢，因此在調查橫向河床質粒徑趨勢時，若將沙洲加入一同分析時，會使結果更為複雜。

將各橫斷面有明顯趨勢之資料點進行回歸，並以此回歸線推估深槽粒徑後，以各點粒徑/深槽粒徑與深槽距離的關係繪出其關係圖如圖 5-12，可發現粒徑隨深槽距離增加確有一明顯衰減趨勢。

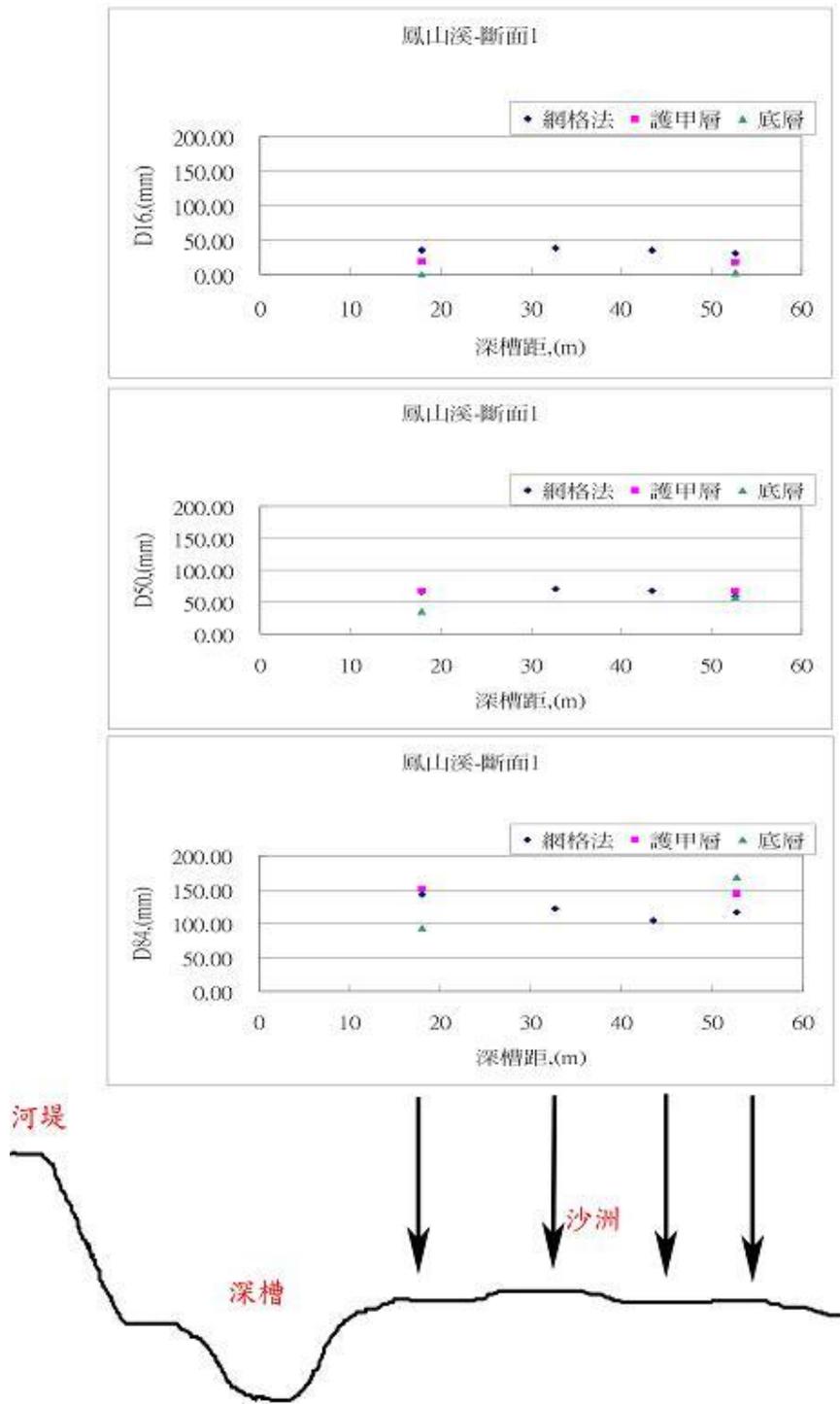


圖 5-10 鳳山溪断面一各粒徑分布趨勢

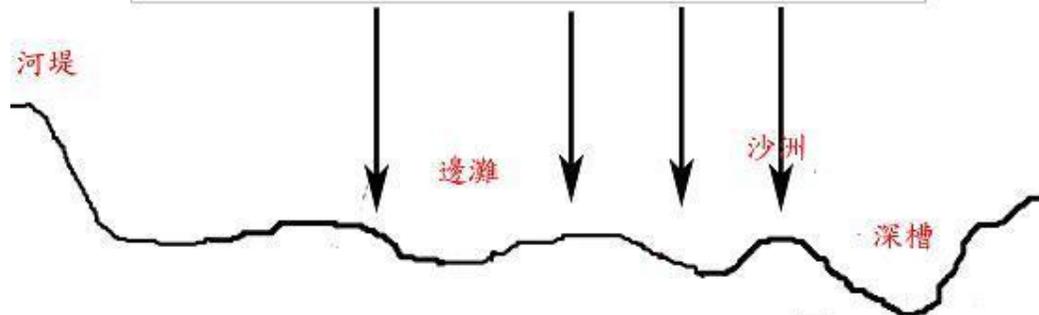
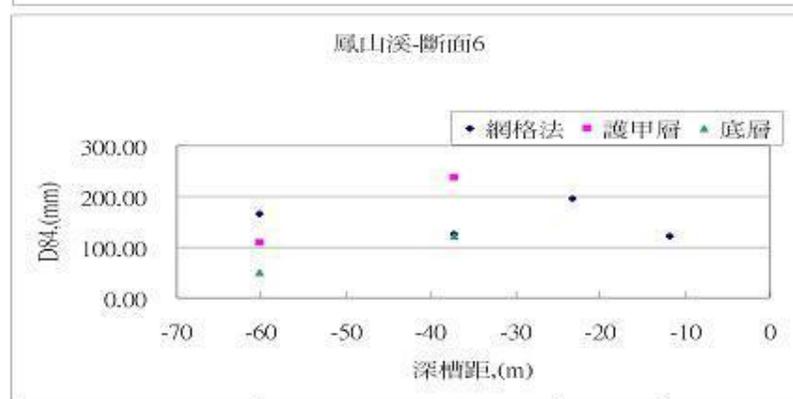
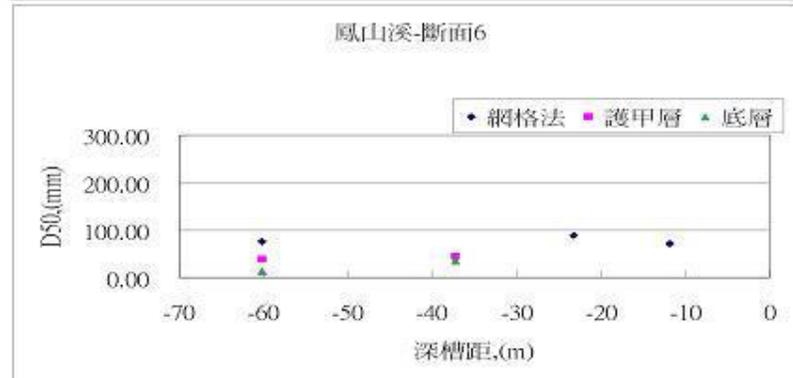
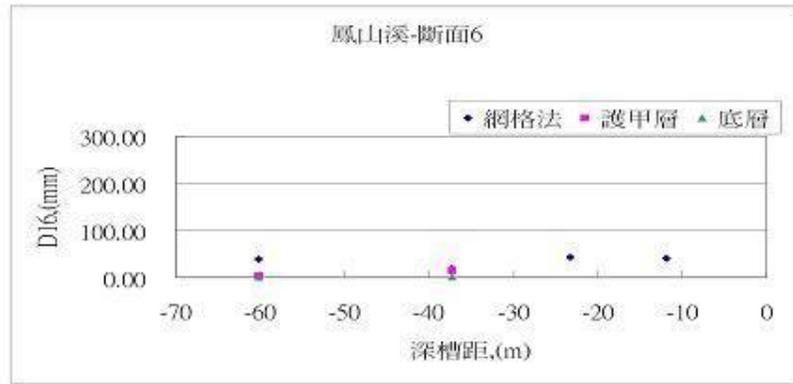


圖 5-11 鳳山溪断面六各粒徑分布趨勢

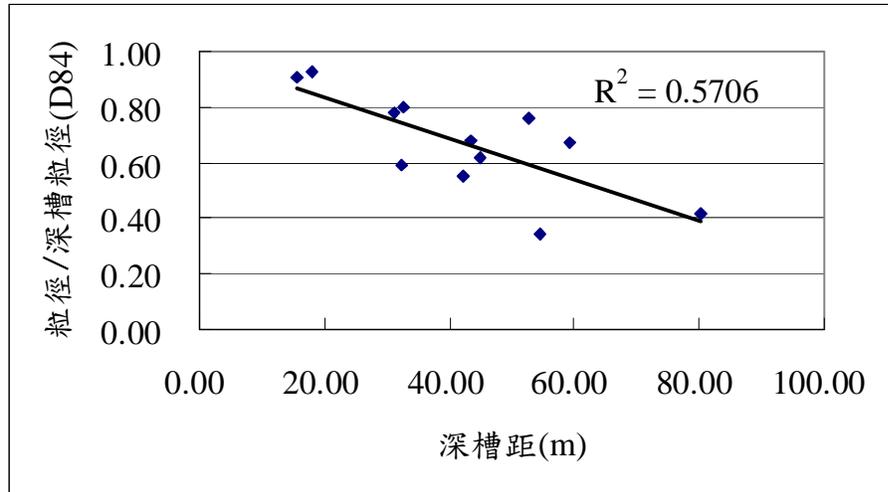


圖 5-12 鳳山溪橫斷面粒徑變化趨勢與深槽距關係

### 5.3 垂直向結果

垂直向分析即體積法結果分析，本研究依據鍾政良(2006)提出之分層方式進行體積法取樣，目的是為了了解河床質在垂直向之粒徑變化趨勢，並可透過垂直向的粒徑變化了解河床沉積過程。

本研究在鳳山溪共規劃 16 組體積法，並分配在七組橫斷面中，以下將各體積法分層粒徑之  $D_{50}$  變化趨勢與現場照片做比較，並討論其結果

斷面一：

圖 5-13 為鳳山溪斷面一之體積法垂直向  $D_{50}$  分布趨勢與位置關係圖，可發現此斷面垂直向變化趨勢大致相同，表示此斷面河床質沉積過程可能皆同時受到同一洪水事件改變，且在 50~75cm 處可能受到一較大之洪水影響，故顆粒變化趨勢較為明顯。

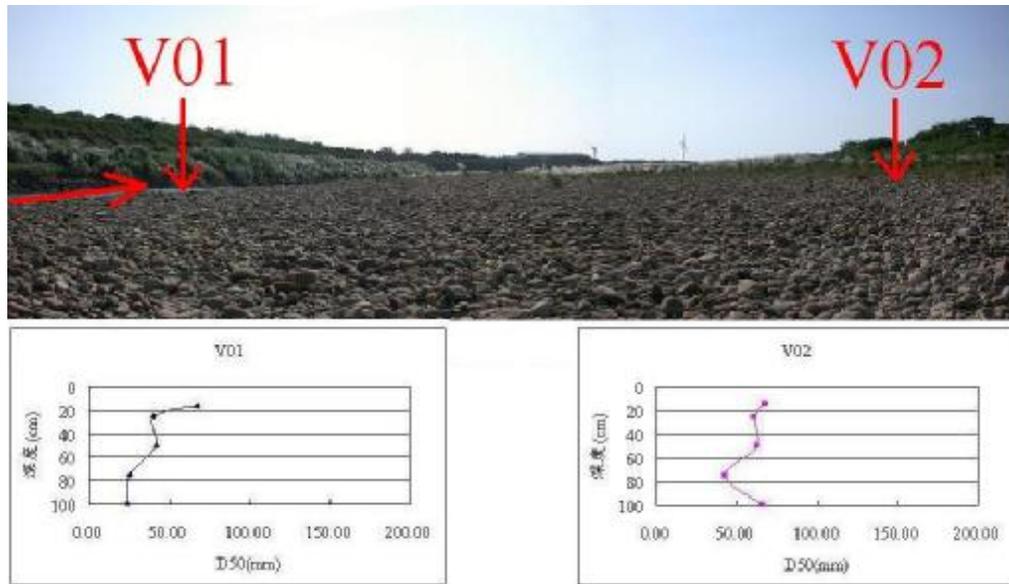


圖 5-13 鳳山溪斷面一體積法各分層  $D_{50}$  粒徑變化趨勢

斷面二：

圖 5-14 為第二斷面各體積法位置與垂直向  $D_{50}$  分布趨勢圖，由此斷面三個體積法變化趨勢可明顯看出，沙洲上之變化趨勢與邊灘之變化趨勢不同，且邊灘之兩組體積法變化趨勢約略相同，另外此三組體積法在 50~75cm 處皆產生顆粒粒徑明顯變粗，故可研判可能有受到同一洪水事件造成此變化。

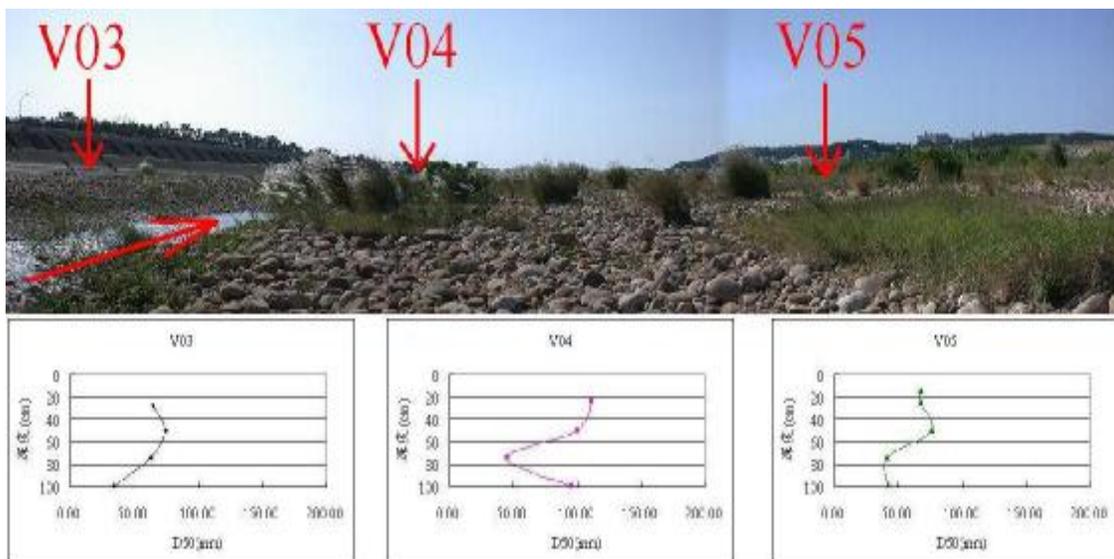


圖 5-14 鳳山溪斷面二體積法各分層  $D_{50}$  粒徑變化趨勢

斷面三：

圖 5-15 為斷面三之情況，由粒徑分布趨勢可發現靠近河道處之試坑粒變化趨勢較為劇烈，且在 50~100cm 處兩個試坑之變化趨勢相似，故可判斷當時可能受同一洪水事件影響。而在 0~50cm 處遠離河道處之試坑則無明顯變化，可推估此深度內並無法生影響全斷面之洪水事件。

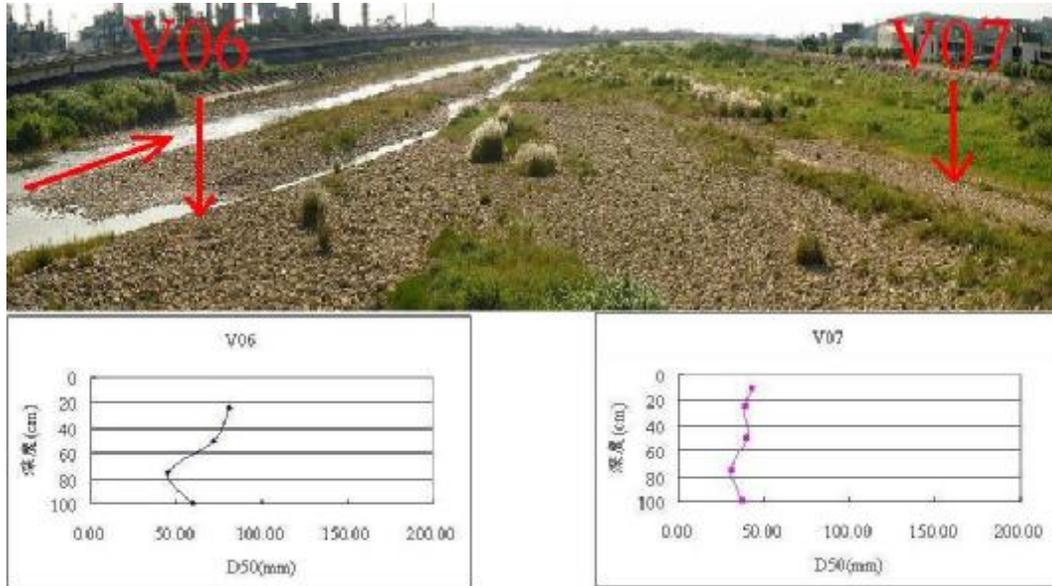


圖 5-15 鳳山溪斷面三體積法各分層 D<sub>50</sub> 粒徑變化趨勢

斷面四：

圖 5-16 為斷面四各體積法情況，此斷面情況較為複雜，介於中山高與鐵路橋之間，斷面左邊設有堤防另外斷面左右方皆有人工渠道，且在中山高下方亦有護床工，推估此斷面分布趨勢因受人工構造物影響，導致分布趨勢極為混亂。但可發現於 0~50cm 處三組試坑變化趨勢皆有變粗情況，可判斷可能受到同一洪水事件影響。另外體積法編號 10 號試坑在 75~100cm 處由於細料明顯增加，故此處粒徑明顯下降，由現場觀察可發現此處地勢較高，研判可能 75cm 以下處以前為高灘地或長期未受河道所影響，故細顆粒慢慢堆積所造成。

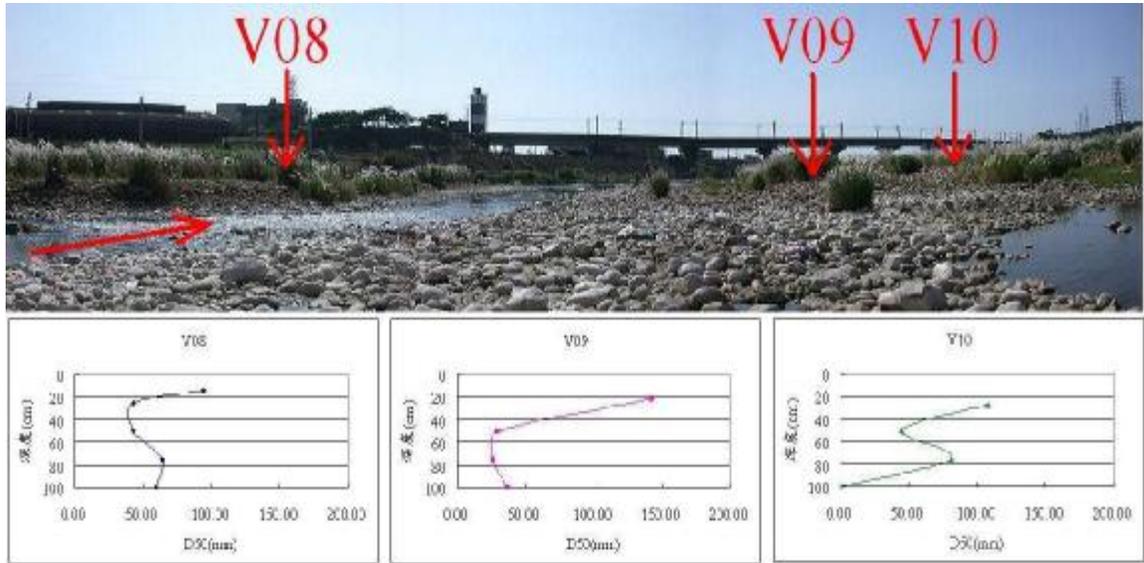


圖 5-16 鳳山溪斷面四體積法各分層  $D_{50}$  粒徑變化趨勢

斷面五：

此斷面資料如圖 5-17 所示，由體積法數據可發現編號 11 之體積法垂直並無太大趨勢，而編號 12 之體積法有比較明顯變化趨勢，依照現場環境判斷，編號 12 試坑相當靠近右邊河道，此河道雖然在枯水期水位相當低，可涉水到達此沙洲，但在大雨過後水位有明顯上升，再由本次體積法資料顯示此試坑位置粒徑確實有變化趨勢，故可推斷試受到右邊河道影響所致，而編號 11 之試坑由於位於靠近沙洲中間處，地勢較兩側高，且由各分層粒徑變化趨勢發現無明顯變化，推斷在此深度範圍內未受到洪水影響，故屬於較穩定之狀態。

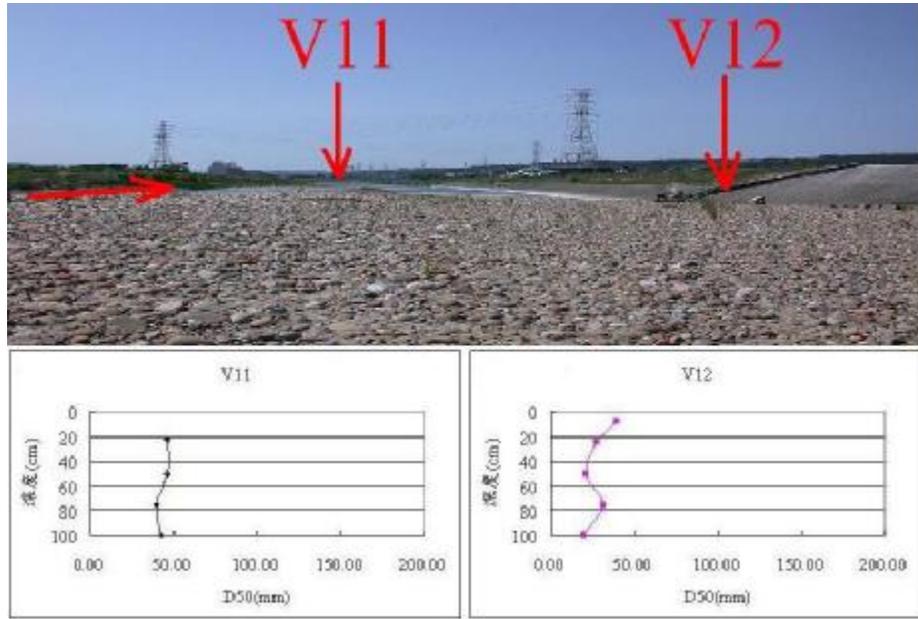


圖 5-17 鳳山溪斷面五體積法各分層  $D_{50}$  粒徑變化趨勢

斷面六：

圖 5-18 為此斷面資料，可發現兩試坑於 0~50cm 處變化趨勢相同，可推估皆受到同一洪水事件影響，雖然編號 13 之試坑離河道有斷相當大之距離，且於枯水期期間僅編號 14 試坑右邊河道有水，但在大雨過後於圖中虛線處則會出現另一河道，故兩試坑在 50~100cm 處變化趨勢不盡相同之原因，判斷為各受不同河道影響所致。

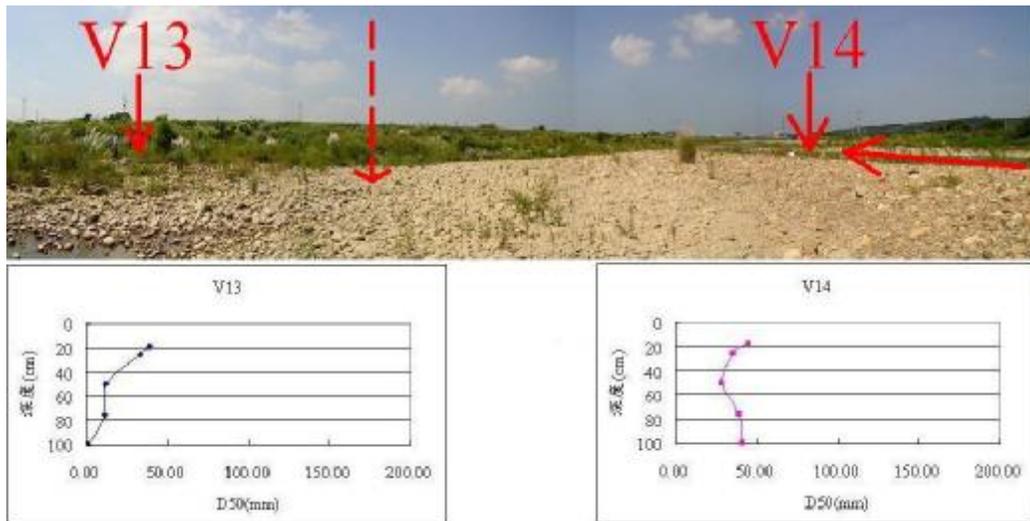


圖 5-18 鳳山溪斷面六體積法各分層  $D_{50}$  粒徑變化趨勢

斷面七：

斷面七如圖 5-19 所示，由於編號 15 之體積法於深度 50cm 以下出現水，無法再繼續進行試坑之挖掘，故試驗僅進行至 50cm 處，且由於兩試坑皆有挖到較大之河床質，故粒徑變化趨勢顯得較為劇烈。由於此斷面僅一組完整體積法資料，故無法進行比較粒徑變化趨勢。

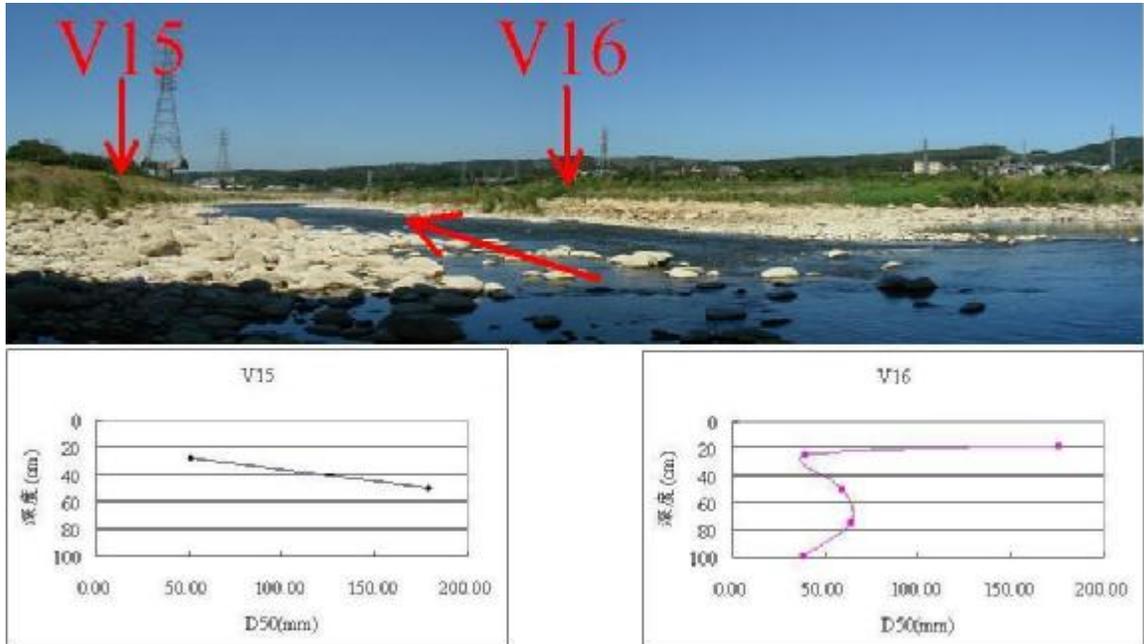


圖 5-19 鳳山溪斷面七體積法各分層  $D_{50}$  粒徑變化趨勢

而依照鍾政良(2006)於頭前溪施作之體積法垂直向粒徑分布趨勢，其認為體積法大約挖掘至 70cm 左右即可得到完整粒徑變化資訊，但由本研究之體積法結果發現並無此現象，主要因素為體積法僅施作至一米之深度，故於分層 75~100cm 為一固定趨勢，但此並不能代表一米以下深度之粒徑亦為此趨勢之延伸，且同一斷面可能受到不同洪水事件影響，故亦無法由預挖試坑之結果訂定挖掘深度。因此依照鍾政良(2006)頭前溪結果與本研究之結果，由體積法之結果預測河床質垂直向分布趨勢目前還無法得到一明確成果。

## 5.4 體積法結果

依照 Church et al.(1987)提出之河床質垂直向四種型態(圖 2-13)來討論頭前溪與鳳山溪河床結構型態，由鍾政良(2006)頭前溪與本研究鳳山溪施作之體積法結果中發現，細料含量如表 5-1 所示，可發現頭前溪與鳳山溪護甲層細料含量皆較底層細料含量低，且鳳山溪護甲層細料含量明顯偏低，判斷可能河川處於穩定狀態，細顆粒被風力或低能水流帶走所致。

表 5-1 頭前溪與鳳山溪體積法細料含量表

細料含量(%)	護甲層			底層		
	<20	20~30	>30	<20	20~30	>30
頭前溪組數	12	10	2	0	19	5
鳳山溪組數	16	0	0	2	10	4

而 Church et al.(1987)提出當細顆粒含量超過 20~30%時，河床結構屬於基質接觸型態，而依照現場體積法試坑發現河床結構介於圖 2-13b 與圖 2-13d 之結構型態(圖 5-20)，而以粒徑分布曲線型態判斷，發現粒徑曲線分布型態分為三類，第一類與 Church et al.(1987)提出基質接合之分布型態相似(圖 5-21a、b、c 左圖)，粒徑分布曲線於 9.5mm 處出現折點，而第二類型態為粒徑分布曲線較為平滑且無明顯折點(圖 5-22a、b、c 左圖)，第三類型態為河床架構大部分為砂質組成(圖 5-23 a、b 左圖)。

而以各粒徑所佔百分比結果來看，第一類型態(圖 5-22a、b、c 右圖)於 19mm 與 0.43mm 處明顯佔有較高之重量百分比，但與 Church et al.(1987)提出之雙峰分布情況不盡相同。而第二類型態(圖 5-22a、b、c 左圖)發現細顆粒部分所佔百分比皆較低，主要由大顆粒組成。第三類型態則屬於大部

分為砂質顆粒組成，此種型態於鍾政良(2006)頭前溪與本研究鳳山溪之體積法試驗中僅有兩組試坑有此現象。雖然現場觀察發現河床結構介於圖 2-13b 與圖 2-13d 之結構型態，但第一類型態粒徑分布曲線與圖 2-13d 相似但與圖 2-13b 較為不同，主要原因為圖 2-13b 之上層取樣僅包含粗顆粒，並無細顆粒部分，故粒徑分布曲線無細粒料部分，此與護甲層情況不同，以致無法比較。而圖 2-13d 之結構型態細料較現場情況多，且現場表面粗顆粒分布情況較密集，故現場河床結構型態分類上屬於介於圖 2-13b 與圖 2-13d 之結構型態。各體積法之分析結果如附錄六。



圖 5-20 河床結構型態

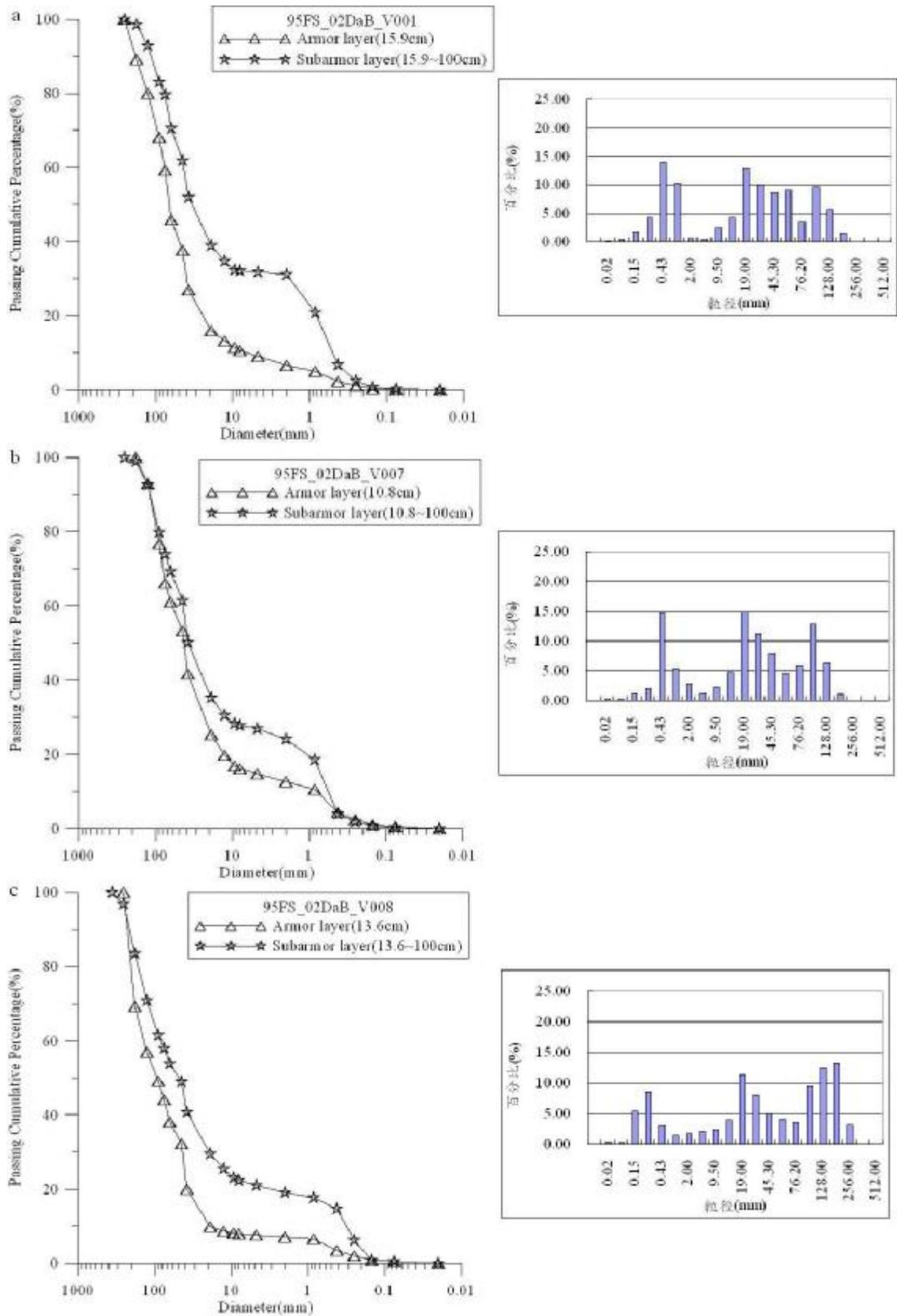


圖 5-21 第一類河床結構型態粒徑分布曲線與各粒徑百分比圖

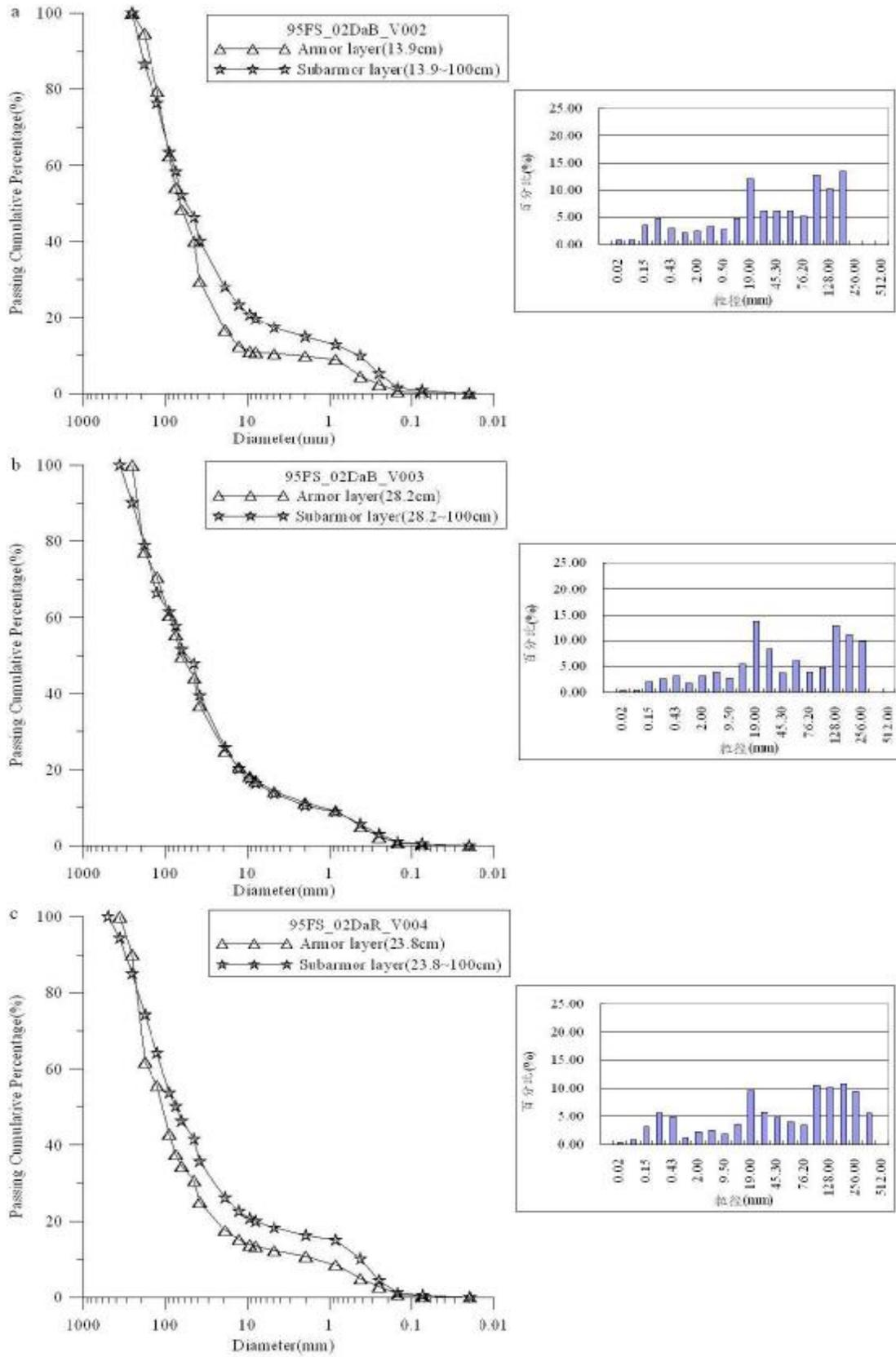


圖 5-22 第二類河床結構型態粒徑分布曲線與各粒徑百分比圖

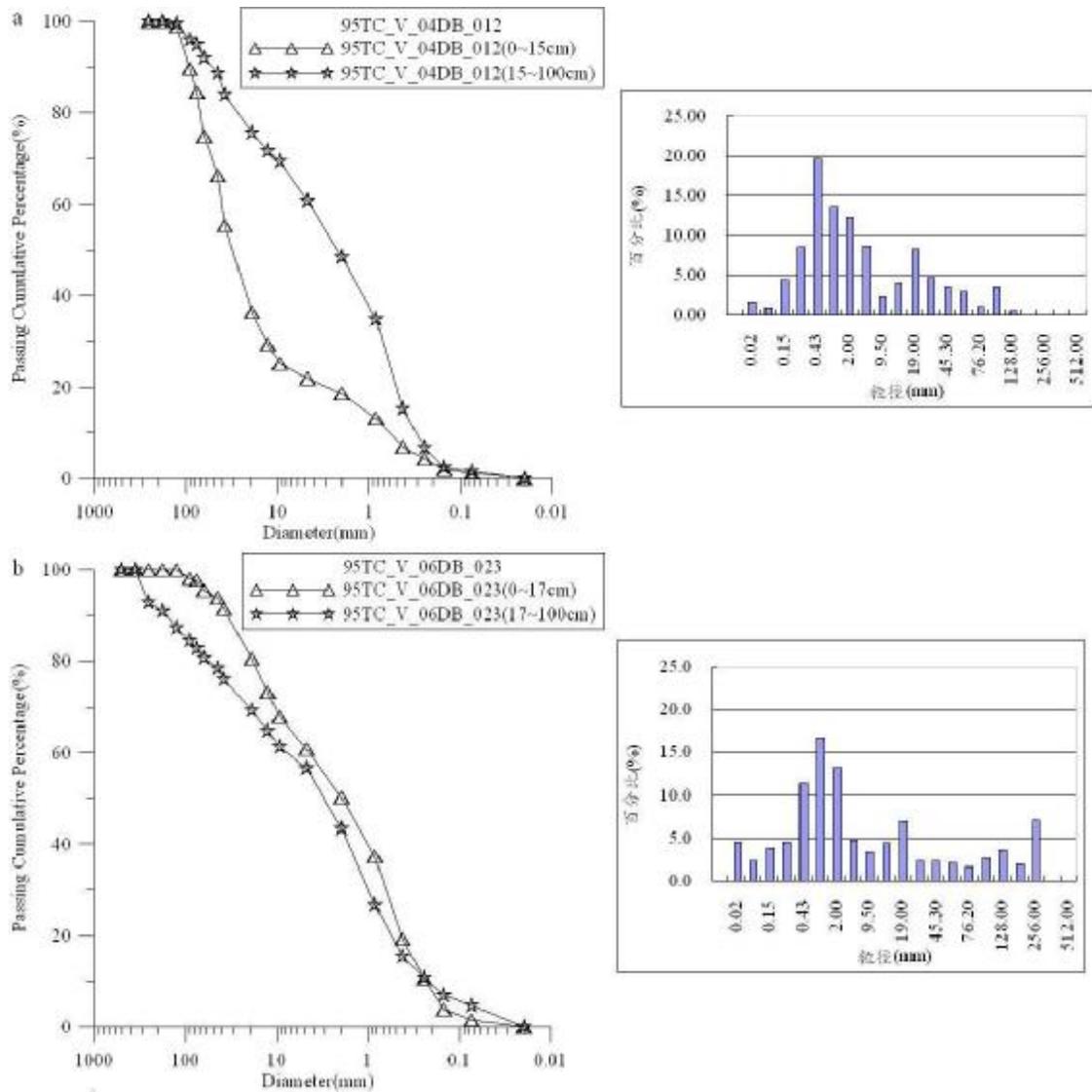


圖 5-23 第三類河床結構型態粒徑分布曲線與各粒徑百分比圖

## 5.5 拍照法結果

由密集施作之拍照法(section 1)結果發現網格法之結果較偏向拍照法結果中較細之粒徑分布曲線，造成此現象原因可能為拍照法之範圍為  $1\text{m}^2$ ，故若在此範圍內有較大之顆粒，其重量會佔較大之百分比，故結果會較網格法粗。為了探討拍照法與網格法之結果比對，以密集拍照之結果進行分析，分別以最細一組 (photo-33)、最細兩組 (photo-33 與 photo-39) 以及最細三組 (photo-33、photo-39 與 photo-36) 之結果與網格法比對，結果如表 5-2。

表中可發現以兩組拍照組數可大幅縮小與網格法之誤差，由此結果於密集拍照之試驗外不同地點進行兩組試驗(section 2 與 section 3)，調查區域如圖 5-24，此兩組試驗是以欲施作網格法範圍內挑選最細之區域進行拍攝，此兩組各拍兩張最細之區域進行比較，其結果如圖 5-25 與表 5-3。表 5-3 可發現以兩張照片之結果與網格法結果比較可得到較一致之誤差值，三組試驗結果與網格法誤差約為 16%，由此可初步認為以兩組最細區域拍照法之  $D_{50}$  結果 $\pm 16\%$ 內可視為網格法  $D_{50}$  之範圍。

表 5-2 最細拍照組數結果與網格法之誤差

網格法 $D_{50}(\text{mm})$					
71.63					
最細一組		最細兩組		最細三組	
$D_{50}(\text{mm})$	與網格法 誤差	$D_{50}(\text{mm})$	與網格法 誤差	$D_{50}(\text{mm})$	與網格法 誤差
55.85	28%	60.75	18%	62.94	15%

section 2



section 3

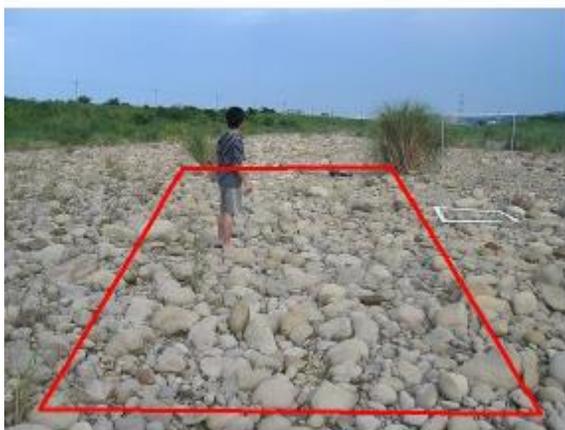


圖 5-24 調查區域 section 2 與 section 3 示意圖

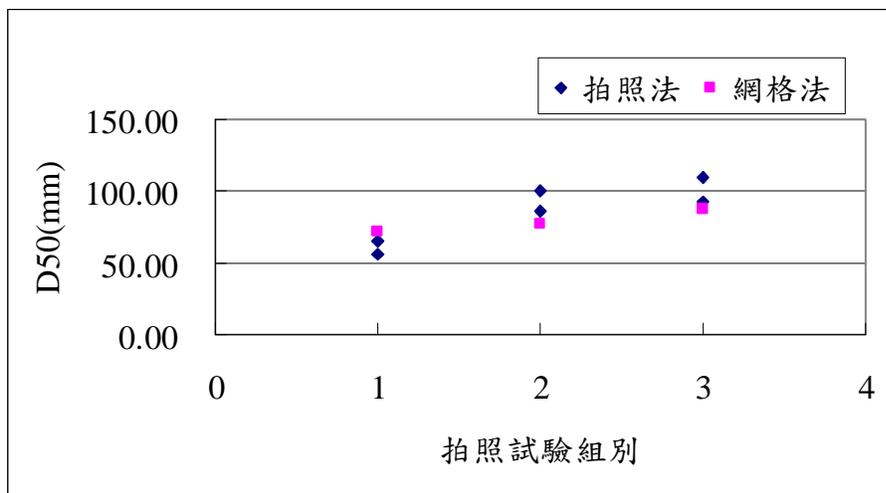


圖 5-25 三組拍照法結果與網格法比較

表 5-3 三組拍照法結果與網格法比較

拍照法組別	網格法 D <sub>50</sub> (mm)	最細一組		最細兩組	
		D <sub>50</sub> (mm)	與網格法 誤差	D <sub>50</sub> (mm)	與網格法 誤差
Section 1	71.63	55.85	28%	60.75	18%
Section 2	76.99	85.95	10%	92.87	17%
Section 3	87.25	92.70	6%	100.98	14%

## 5.6 數量討論

### 5.6.1 網格法

本研究於鳳山溪施作之網格法與鍾政良(2006)於頭前溪施作之網格法取樣數量皆以 100 個為基準，以下將對網格法取樣之數量作討論。

通常統計上用來檢核數量與誤差之公式 Gossett 於 1908 年所提出之 t 分配，公式如下：

$$n = \left( \frac{tS}{e} \right)^2 \quad (式 5-1)$$

其中：

n=取樣數量

t=student's t(統計學上之一參數)

σ=標準差

e=誤差

此公式可針對不同樣品數或不同誤差標準進行誤差或樣品需求數之計算，不同之樣品數目會對應不同之 t 參數，當樣品數目越大此時之 t 分布型態(student-t distribution)與常態分布(normal distribution)越相近。

以鍾政良(2006)於頭前溪施作之網格法資料與本研究於鳳山溪施作之

網格法進行誤差計算，結果如表 5-4 所示，由結果發現頭前溪與鳳山溪之網格法  $D_{50}$  誤差大部分集中在  $\pm 0.15 \sim 0.25 f$  之間。經計算頭前溪之  $D_{50}$  平均值為 109.05mm 誤差平均值為 15.34% 而鳳山溪之  $D_{50}$  平均為 88.16mm 誤差為 13.62%，故由頭前溪與鳳山溪網格法之結果，以網格法進行之調查工作誤差值約在 15%。

表 5-4 頭前溪與鳳山溪網格法誤差計算

$D_{50}$ 誤差( $\pm f$ )	<0.15	0.15~0.2	0.2~0.25	>0.25
	組數			
頭前溪	2	22	23	19
鳳山溪	3	26	10	3

### 5.6.2 體積法

依照 Church et al.(1987)提出之取樣重量標準(圖 2-34)檢核本研究於鳳山溪與鍾政良(2006)於頭前溪所施作之體積法取樣重量。

表 5-5 為頭前溪與鳳山溪體積法取樣重量統計結果，依照 Church et al.(1987) 提出之取樣重量標準來評估後僅鳳山溪一組體積法取樣重量不足，該組體積法為編號 15 之體積法，由於挖掘到 50cm 處試坑內即出現水，故停止取樣，導致取樣重量不足。而其他 39 組體積法取樣重量皆超過最小之取樣重量標準，故於頭前溪與鳳山溪體積法試驗之取樣數量合理性評估為合乎標準。



表 5-5 頭前溪與鳳山溪體積法取樣重量合理性統計表

	頭前溪	鳳山溪
最大粒徑(mm)(最小 取樣重量, kg)	合乎標準組數-全部 組數	合乎標準組數-全部 組數
512(1424.64)	1-1	0-1
362(994.14)	7-7	3-3
256(689.92)	10-10	6-6
181(474.67)	5-5	5-5
128(322.56)	1-1	1-1
合計	24-24	15-16

另外以鳳山溪各體積法之最大粒徑對應 Church et al.(1987)提出之取樣重量關係並以此取要重量與試坑總重量換算所需之取樣深度，以鳳山溪體積法編號 V01 為例，試坑最大粒徑為 160mm，以式 2-4 計算取樣重量為  $m=2.87*160-44.8=414.4\text{kg}$ ，而 V01 試坑之全部取樣重量為 1797kg，故以此比例進行所需取樣深度換算為  $414.4/1797=0.2306\text{m}=23.06\text{cm}$ ，將各體積法以上述方式計算結果如



表 5-6，並將結果繪製如圖 5-26，可發現最大粒徑與所需取樣深度大致有一線性趨勢存在，並可由圖中可發現最大取樣深度約至 75cm 左右，此結果與鍾政良(2006)以頭前溪體積法結果得到之結論略為相同，惟鍾政良(2006)所提之方式較為定性，而本研究以鳳山溪結果進行定量整理並與鍾政良(2006)結果互相搭配，此結果可作為往後體積法試驗取樣深度之參考標準。



表 5-6 鳳山溪體積法最大粒徑與所需取樣深度表

體積法流水號	Dmax(mm)	所需重量 (kg)	試坑取樣重量 (kg)	所需取樣深度 (cm)
V01	160	414.4	1797	23.06
V02	280	758.8	1879	40.38
V03	490	1361.5	1891	72.00
V04	400	1103.2	2089	52.81
V05	340	931	1715	54.29
V06	390	1074.5	2318	46.35
V07	220	586.6	1783	32.90
V08	460	1275.4	1904	66.99
V09	400	1103.2	1786	61.77
V10	420	1160.6	1875	61.90
V11	320	873.6	1816	48.11
V12	160	414.4	1732	23.93
V13	280	758.8	1686	45.01
V14	370	1017.1	1833	55.49
V16	370	1017.1	1858	54.74

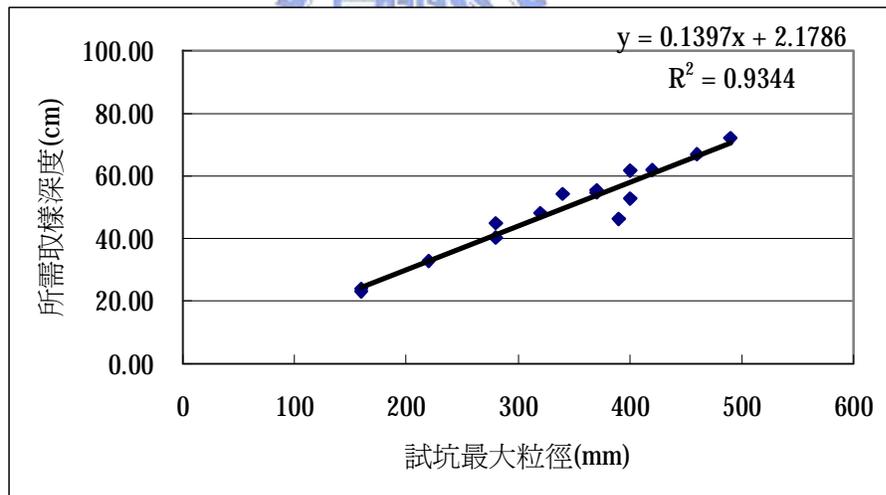


圖 5-26 最大粒徑與取樣深度關係圖

### 5.6.3 拍照法

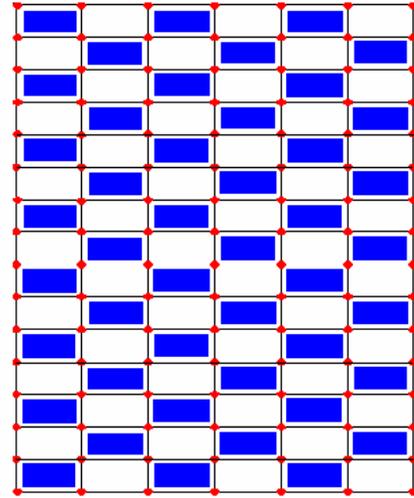
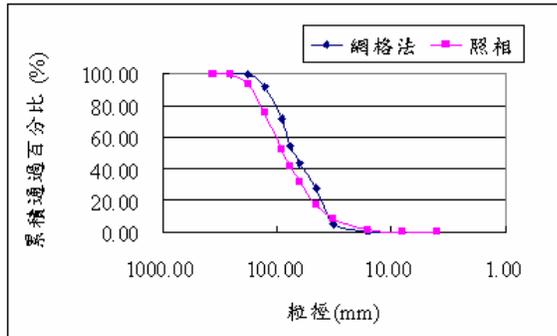
本研究施作密集拍照之試驗，為了了解所需之拍照數量，故將不同拍照數量之結果與網格法結果互相比較。各拍照結果與拍照位置示意圖如圖 5-27 與圖 5-28，其數據整理如表 5-7，表中可發現拍照數量分別為 2 組與 4

組之結果與網格法最相近。由於目前照片之影像過程較花費時間，以整體調查效率而言，依照上述結果建議可以兩組照片進行現場河床質調查工作。

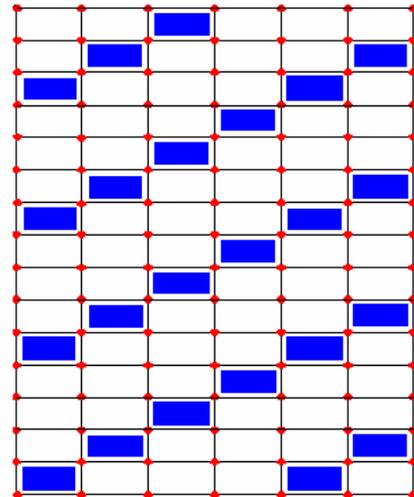
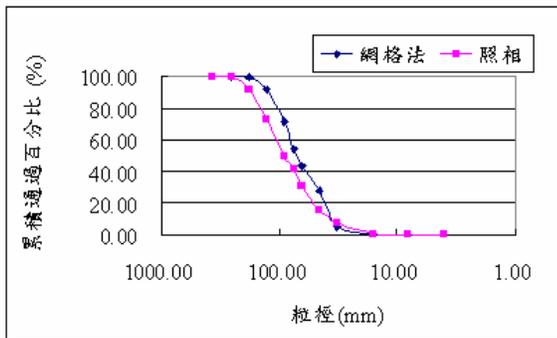
因為網格法與拍照法於顆粒重量計算方法不一，雖然整體粒徑曲線分佈趨勢一致，但如前段所述，後者皆比前者為粗。若僅考慮拍照法組數對平均粒徑的關係，表 5-7 顯示 4-12 組規則性的拍照則足以獲得代表取樣區的粒徑資料。



a



b



c

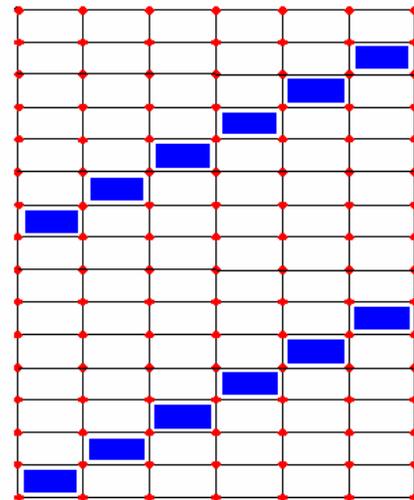
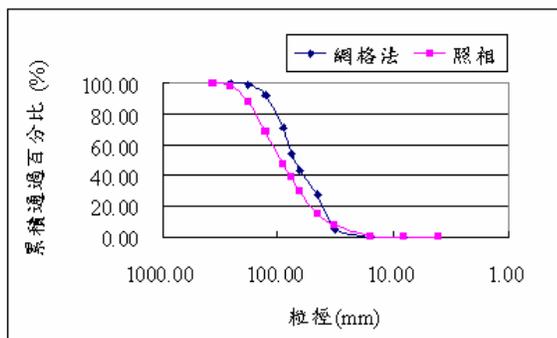
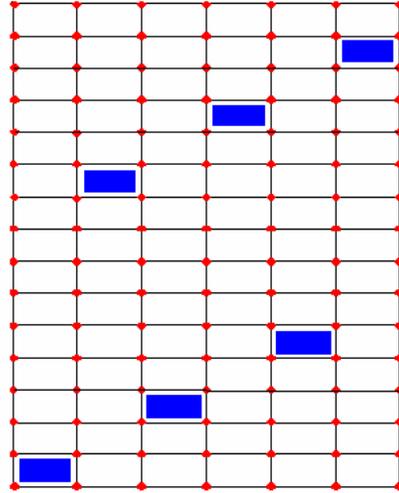
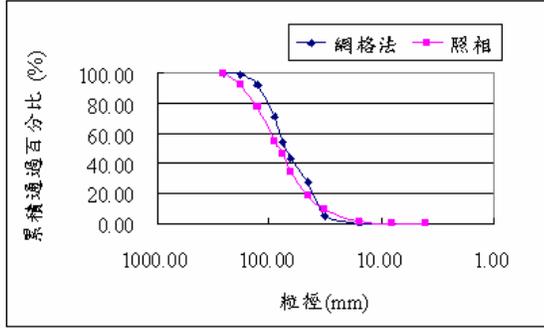
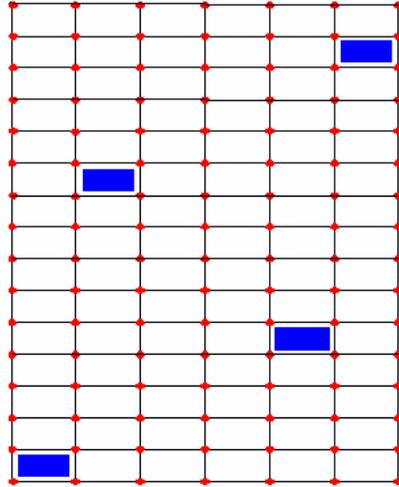
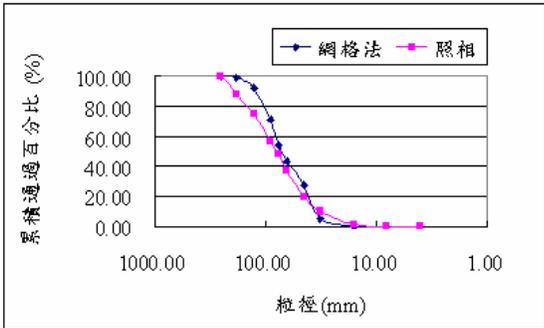


圖 5-27 不同拍照組數與網格法粒徑分布曲線 1(45、23 與 12 組)

d



e



f

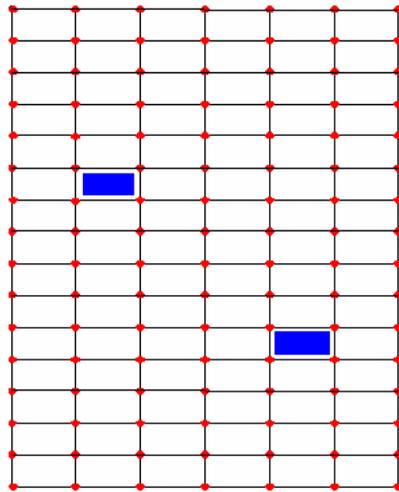
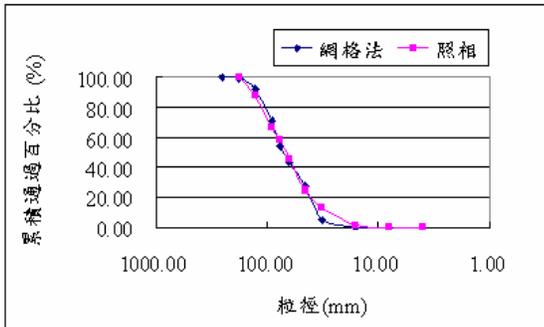


圖 5-28 不同拍照組數與網格法粒徑分布曲線 2(6、4 與 2 組)

表 5-7 不同拍照組數與網格法結果

	D <sub>16</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>84</sub> (mm)	與網格法 D <sub>50</sub> 誤差
網格法	38.26	71.63	113.72	
45 組	43.92	87.67	153.90	18.3%
23 組	45.14	90.55	159.62	20.9%
12 組	45.92	95.82	168.92	25.25%
6 組	41.54	82.39	150.95	13.06%
4 組	39.59	79.06	163.63	9.4%
2 組	35.07	68.06	121.02	5.23%

## 5.7 調查方法討論

### 5.7.1 網格法

以鍾政良(2006)於頭前溪施作之網格法與本研究於鳳山溪施作之網格法結果可發現，網格法於修正方法三（護甲層細料比例修正法）之結果確實與體積法護甲層結果相當相似，由此結果可確定網格法於粗顆粒(>8mm)部分之調查結果是具代表性的，若配合正確之細料比例則可用來估測河床護甲層之顆粒粒徑分布曲線，且現場網格法施作時間一組約為 30~40 分鐘，屬於相當快速之現場調查方式，但缺點為施作網格法需要 2~3 人進行，略為耗費人力。

### 5.7.2 體積法

由體積法之結果可得知該處河床之顆粒沉積過程，可了解洪水事件對顆粒變化所影響之程度，但缺點為試驗時間冗長，一般一組體積法試驗約需花費 2~3 小時，且至少需要 5 人進行，試驗效率上相當耗時且花費人力。

### 5.7.3 拍照法

由本研究進行之拍照法調查方式可發現拍照法結果與網格法結果差距約在 16% 左右，而拍照法在現場試驗上相當快速，若以 4-12 張照片結果取代網格法，一組拍照法現場試驗時間約在 15 分鐘左右，且若於該處需施作多組試驗，則拍照法之試驗效率會更為顯著，且拍照法視線現場所需人數僅需 1 人即可，快速現場調查且不需花費過多人力為拍照法之優點，但拍照法缺點為室內影像分析過程相當花費時間，一張照片約需 1~2 小時之處理時間，故於分析時間較為冗長為其缺點，但此部分亦有相當大之改進空間。



## 第六章、結論與建議

### 6.1 結論

為了探討河床質之變化趨勢，本研究於鳳山溪施做了 39 組網格法與 16 組體積法，並以鍾政良(2006)於頭前溪施作之結果進行分析，以下針對本研究所得之成果進行結論說明。

#### 1. 調查方法

- (1)由於網格法細料修正方式一、二之結果與體積法護甲層之結果仍然不盡理想，本次利用護甲層細料比例進行細料修正方式三，其結果發現與體積法護甲層之結果相當符合，說明網格法之調查方式確實可行，但細料比例修正部分由本研究顯示仍無得到較好之結果。
- (2)體積法結果除了可以了解河床之沉積情況外，還可知道河床顆粒組成架構。本研究發現頭前溪與鳳山溪河床結構型態較類似基質結合，但於表面之粗顆粒卻較基質結合型態多且密集。
- (3)拍照法於本研究加入之新方式，由結果發現網格法之結果較偏向該區域較細照片之影像處理結果，並發現由網格法區域內挑選兩處最細之地點拍攝後得到之  $D_{50}$  結果 $\pm 16\%$ 可預測網格法之  $D_{50}$ 。

#### 2. 空間變異性

- (1)縱向變化上，本研究發現欲調查河床質縱向之變化情況，應以同一沉積環境且相同區域進行調查，如沙洲前端或邊灘靠近河道區域。且本研究發現欲了解縱向變化趨勢應以較大之特定粒徑( $D_{84}$ )進行分析，因縱向之變化趨勢亦代表著河川對顆粒之搬運能力，故以較大顆粒之粒徑變化趨勢來探討縱向變化趨勢較為合理。
- (2)橫向變化趨勢上發現，當一斷面趨勢橫跨河道時，橫向變化趨勢會較

無規則性，但若朝河道某一方向進行調查且無橫跨其他河道時，其橫向變化趨勢較為穩定且有規則。另外本研究亦發現沙洲上之變化趨勢較為明顯，沙洲靠河道兩側顆粒明顯較粗，沙洲中間部分明顯較細，故沙洲上之調查位置影響結果甚大，因此認為於沙洲之調查結果應與邊灘結果分開。

- (3)垂直向變化由本研究發現，以橫斷面之體積法分層結果可以了解此斷面河床質沉積情況，並可以分層之變化趨勢了解此斷面所受之洪水事件之範圍，但以鍾政良(2006)與本研究施作之體積法結果尚無法歸納出適合挖掘深度，主要因為洪水事件影響之區域不一定為全斷面範圍，故無法由體積法結果推估更下層之粒徑變化趨勢。

### 3. 取樣數量

- (1)網格法之結果發現頭前溪網格法結果  $D_{50}$  平均為 109.05mm 誤差為 15.34% 而鳳山溪之  $D_{50}$  平均為 88.16mm 誤差為 13.62%，誤差平均約為 14.48%，此誤差值對於現場調查工作而言屬於可容忍之誤差範圍。
- (2)鍾政良(2006)頭前溪與本研究鳳山溪體積法之取樣重量符合 Church et al.(1987)提出之最小取樣重量標準，僅本研究一組體積法取樣重量不符合標準，因試坑於 50cm 以下出現水，故停止取樣，故以現行之體積法其取樣結果可具代表性。
- (3)本研究施作之拍照法結果發現，網格法與拍照法整體粒徑曲線分佈趨勢一致，後者皆比前者為粗。若僅考慮拍照法組數對平均粒徑的關係 4-12 組規則性的拍照則足以獲得代表取樣區的粒徑資料。

## 6.2 建議

以下針對本研究施作成果後認為尚有不足之處進行建議：

- (1)以修正方法三發現網格法之結果確實與體積法護甲層結果相當符合，但以修正方法三修正尚須搭配體積法，施行上較為困難，建議可提出新的表面細料比例調查方式，以增加網格法之適用性。
- (2)由於現行之體積法常因為水之關係使施做上有所阻礙，建議可提出亦適合在有水情況下施作之體積法試驗方式，如此可大幅增加體積法可施作之地區。
- (3)由於本研究加入之拍照法僅屬於初步結果，建議可以拍照法為主軸進行研究，針對拍照所需數量與拍照位置提出完整之拍照法規劃。



## 參考文獻

1. 林承坤，1992，「泥沙與河流地貌學」，南京大學出版社。
2. 馬秀蘭，吳德邦，2006，「統計學以 SPSS for Windows 為例」，第三版，新文京開發出版社。
3. 傅志偉，2005，「河床質調查的方法、位置與頻率-以頭前溪為例」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
4. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2003，「鳳山溪治理規劃檢討報告」。
5. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2006，「河床質調查方法之比較研究報告」。
6. 鍾正良，2006，「河床質調查位置與數量的合理性探討」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
7. Bunte, K. and Abt, S.R., 2001 “Sampling surface and subsurface particle-size distribution in wadable gravel- and cobble-bed stream for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring,” United States Department of Agriculture.
8. Church, M.A., Mclean, D.G. and Wolcott, J.F., 1987. “River bed gravels:sampling and analysis,” Sediment Transport in Gravel-bed Rivers, pp.43-78.
9. Diplas, P. and Fripp, J.B., 1991. “Bed material sampling: issues and answers,” In: Proceedings of the fifth Federal Interagency Sedimentation Conference, Las Vegas, Nev., Subcommittee on Water Data, pp.2.81-2.88.
10. Diplas, P. and Fripp, J.B., 1992. “Properties of various sediment sampling

- procedures,” *Journal of Hydraulic Engineering* 118(7), pp.955-970.
11. Fisk, H.N., 1994. “Geological investigation of the alluvial valley of the lower Mississippi river,” US Army Corps Eng., Mississippi River Commission, Vicksburg, Mississippi.
  12. Folk, R.L. and Ward, W.C., 1957. “Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters,” *Journal of Sedimentary Petrology*, v27(1), pp.3-26.
  13. Hey, R.D. and Thorn, C.R., 1983.” Accuracy of surface samples from gravel bed material,” *Proc. Am. Soc. Civ. Engrs. J. Hydraul. Eng.*, v1, 109, No.6, pp.842-851.
  14. Inman, D.L., 1952. “Measures for describing the size distribution of sediments,” *Journal of Sedimentary Petrology*, v22, pp.125-145
  15. Keller, E.A., 1971. “Areal sorting of bed-load material: the hypothesis of velocity reversal,” *Geological Society of America Bulletin*, v82, pp.753-756.
  16. Kellerhals, R. and Bray, D.I., 1971. “Sampling procedures for coarse fluvial sediments,” *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, v97, pp.1165-1180.
  17. Lane, E.W. and Carlson, E.J., 1953. “Some factors affecting the stability of canals constructed in coarse granular material,” *Proceedings of the 5<sup>th</sup> IAHR Congress*, pp.37-48.
  18. Leopold, L.B. and Wolman, M.G., 1957. “River channel pattern-braided, meandering and straight,” *United States Geological Survey, Professional Paper 282B*.

19. Mosley, M.P. and Tindale, D.S., 1985. "Sediment variability and bed material sampling in gravel-bed river," *Earth Surface Processes and Landforms*, v10, pp.465-482.
20. Rice, S. and Church, M., 1998. "Grain size along two gravel-bed rivers: statistical variation, spatial pattern and sedimentary links," *Earth Surface Processes and Landforms*, v23, pp.345-363.
21. Rosgen, D.L., 1994. "A classification of nature rivers," *Catena*, v22, pp.169-199.
22. Surian, N., 2002. "Downstream variation in grain size along an Alpine river: analysis of controls and processes," *Geomorphology* v43, pp.137-149.
23. Thorne, C.R., 1997. "Channel types and morphology classification," *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, pp.175-179.
24. Walkotten, W.J., 1973. "A freezing technique for sampling streambed gravel," *USDA Forest Service, Portland, Oregon, Research Note PNW-205*.
25. Wolman, M.G., 1954. "A method of sampling coarse river bed material," *Transactions of the American Geophysical Union*, v35, pp951-956.

## 附錄一、

### 網格法與體積法調查說明與座標



網格法調查編號規劃

試驗編號	試驗位置描述	調查理由
95FS_02DaB_G001	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_G002	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_G003	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_G004	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaR_G005	交織狀河相邊灘	第二河段縱向調查
95FS_02DaR_G006	交織狀河相邊灘	第二河段縱向調查
95FS_02DaR_G007	交織狀河相邊灘	第二河段縱向調查
95FS_02DaR_G008	交織狀河相邊灘	第二河段縱向調查
95FS_02DaB_G009	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaR_G010	交織狀河相邊灘	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaR_G011	交織狀河相邊灘	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaR_G012	交織狀河相邊灘	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_G013	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_G014	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_G015	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_G016	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_G017	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_G018	交織狀河相沙洲	第二河段縱向調查
95FS_02DaB_G019	交織狀河相沙洲	第二河段縱向調查
95FS_02DaR_G020	交織狀河相邊灘	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_G021	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02Da_G022	交織狀河相	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaR_G023	交織狀河相邊灘	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaR_G024	交織狀河相邊灘	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaR_G025	交織狀河相邊灘	第二河段縱向調查
95FS_02DaR_G026	交織狀河相邊灘	第二河段縱向調查
95FS_02DaB_G027	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_G028	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_G029	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_03DR_G030-1	瓣狀河相邊灘	第三河段橫向詳細調查
95FS_03DR_G030-2	瓣狀河相邊灘	第三河段橫向詳細調查
95FS_03D_G030-3	瓣狀河相	第三河段橫向詳細調查
95FS_03DB_G030-4	瓣狀河相沙洲	第三河段橫向詳細調查

95FS_03D_G031	辮狀河相	第三河段縱向調查
95FS_03DR_G032	辮狀河相邊灘	第三河段橫向詳細調查
95FS_03DB_G033	辮狀河相沙洲	第三河段橫向詳細調查
95FS_03DR_G034	辮狀河相邊灘	第三河段橫向詳細調查
95FS_03DR_G035	辮狀河相邊灘	第三河段縱向調查
95FS_03DB_G036	辮狀河相沙洲	第三河段縱向調查
95FS_03DB_G037	辮狀河相沙洲	第三河段縱向調查
95FS_03DR_G038	辮狀河相邊灘	第三河段縱向調查
95FS_03DB_G039	辮狀河相沙洲	第三河段縱向調查

體積法調查編號規劃

試驗編號	試驗位置描述	調查理由
95FS_02DaB_V001	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_V002	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_V003	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaR_V004	交織狀河相邊灘	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaR_V005	交織狀河相邊灘	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_V006	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_V007	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_V008	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaR_V009	交織狀河相邊灘	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaR_V010	交織狀河相邊灘	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_V011	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_02DaB_V012	交織狀河相沙洲	第二河段橫向詳細調查
95FS_03DR_V013	辮狀河相邊灘	第三河段橫向詳細調查
95FS_03DB_V014	辮狀河相沙洲	第三河段橫向詳細調查
95FS_03DR_V015	辮狀河相邊灘	第三河段橫向詳細調查
95FS_03DB_V016	辮狀河相沙洲	第三河段橫向詳細調查

網格法調查編號座標(WTD97)

試驗編號	x	y
95FS_02DaB_G001	246861	2749936
95FS_02DaB_G002	246862	2749937
95FS_02DaB_G003	246860	2749949
95FS_02DaB_G004	246863	3749964
95FS_02DaR_G005	248087	2749963
95FS_02DaR_G006	248079	2749965
95FS_02DaR_G007	248351	2749904
95FS_02DaR_G008	248353	2749913
95FS_02DaB_G009	248954	2749624
95FS_02DaR_G010	248984	2749645
95FS_02DaR_G011	248966	2749654
95FS_02DaR_G012	248961	2749664
95FS_02DaB_G013	249504	2749646
95FS_02DaB_G014	249491	2749662
95FS_02DaB_G015	249497	2749666
95FS_02DaB_G016	249493	2749683
95FS_02DaB_G017	249486	2749696
95FS_02DaB_G018	250234	2749636
95FS_02DaB_G019	250246	2749659
95FS_02DaR_G020	250697	2749384
95FS_02DaB_G021	250661	2749403
95FS_02Da_G022	250620	2749422
95FS_02DaR_G023	250664	2749446
95FS_02DaR_G024	250634	2749454
95FS_02DaR_G025	251361	2749185
95FS_02DaR_G026	251368	2749190
95FS_02DaB_G027	252253	2748478
95FS_02DaB_G028	252263	2748483
95FS_02DaB_G029	252261	2748497
95FS_03DR_G030-1	252759	2747981
95FS_03DR_G030-2	252772	2748000
95FS_03D_G030-3	252773	2748027
95FS_03DB_G030-4	252788	2748040

95FS_03D_G031	253786	2747099
95FS_03DR_G032	255694	2746793
95FS_03DB_G033	255741	2746793
95FS_03DR_G034	255765	2746810
95FS_03DR_G035	256888	2745941
95FS_03DB_G036	256944	2745942
95FS_03DB_G037	257525	2745901
95FS_03DR_G038	257626	2746045
95FS_03DB_G039	257632	2745873

體積法調查編號座標(WTD97)

試驗編號	x	y
95FS_02DaB_V001	246865	2749922
95FS_02DaB_V002	246856	2749955
95FS_02DaB_V003	248949	2749621
95FS_02DaR_V004	248972	2749650
95FS_02DaR_V005	248975	2749662
95FS_02DaB_V006	249510	2749643
95FS_02DaB_V007	249489	2749693
95FS_02DaB_V008	250666	2749045
95FS_02DaR_V009	250646	2749449
95FS_02DaR_V010	250637	2749461
95FS_02DaB_V011	252253	2748478
95FS_02DaB_V012	252262	2748497
95FS_03DR_V013	252782	2747969
95FS_03DB_V014	252764	2748006
95FS_03DR_V015	255698	2746794
95FS_03DB_V016	255756	2746768

附錄二、  
網格法試驗數據



網格法試驗數據

	河口距 (km)	D <sub>16</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>84</sub> (mm)	淘選度 (S <sub>I</sub> )
95FS_02DaB_G001	4.11	35.83	66.44	142.65	1.00
95FS_02DaB_G002	4.11	38.20	70.10	122.53	0.84
95FS_02DaB_G003	4.11	34.63	67.53	104.79	0.80
95FS_02DaB_G004	4.11	30.92	58.61	116.96	0.96
95FS_02DaR_G005	6.00	75.87	151.94	244.24	0.84
95FS_02DaR_G006	6.00	79.35	159.98	265.39	0.87
95FS_02DaR_G007	6.36	48.90	105.68	178.63	0.93
95FS_02DaR_G008	6.36	39.25	75.65	165.49	1.04
95FS_02DaB_G009	6.80	34.34	89.48	241.16	1.41
95FS_02DaR_G010	6.80	47.54	98.39	194.91	1.02
95FS_02DaR_G011	6.80	45.03	93.31	182.07	1.01
95FS_02DaR_G012	6.80	32.85	57.20	112.32	0.89
95FS_02DaB_G013	7.52	46.86	105.94	204.54	1.06
95FS_02DaB_G014	7.52	44.20	100.73	176.76	1.00
95FS_02DaB_G015	7.52	25.83	60.40	140.08	1.22
95FS_02DaB_G016	7.52	41.19	82.16	151.97	0.94
95FS_02DaB_G017	7.52	24.69	54.10	94.44	0.97
95FS_02DaB_G018	8.49	44.77	113.58	238.50	1.21
95FS_02DaB_G019	8.49	43.61	128.00	247.52	1.25
95FS_02DaR_G020	8.90	39.78	82.33	167.46	1.04
95FS_02DaB_G021	8.90	28.40	52.19	111.50	0.99
95FS_02Da_G022	8.90	94.45	167.17	268.47	0.75
95FS_02DaR_G023	8.90	32.72	82.64	182.13	1.24
95FS_02DaR_G024	8.90	49.29	110.24	231.40	1.12
95FS_02DaR_G025	9.38	67.90	148.52	236.20	0.90
95FS_02DaR_G026	9.38	48.34	115.17	222.29	1.10
95FS_02DaB_G027	10.29	25.56	60.88	195.29	1.47
95FS_02DaB_G028	10.29	19.11	20.59	81.92	1.05
95FS_02DaB_G029	10.29	19.89	38.65	69.17	0.90
95FS_03DR_G030-1	11.20	40.00	76.58	166.21	1.03

95FS_03DR_G030-2	11.20	19.01	40.38	125.97	1.36
95FS_03D_G030-3	11.20	43.85	89.26	195.85	1.08
95FS_03DB_G030-4	11.20	40.48	71.46	122.98	0.80
95FS_03D_G031	12.28	24.62	42.09	98.83	1.00
95FS_03DR_G032	14.41	64.38	126.75	237.50	0.94
95FS_03DB_G033	14.41	28.80	69.42	163.54	1.25
95FS_03DR_G034	14.41	43.57	135.36	278.20	1.34
95FS_03DR_G035	16.00	62.08	123.31	254.60	1.02
95FS_03DB_G036	16.00	36.13	71.89	136.29	0.96
95FS_03DB_G037	16.55	26.84	66.35	169.55	1.33
95FS_03DR_G038		37.10	73.15	153.91	1.03
95FS_03DB_G039		38.79	99.32	217.88	1.24
修正方法一	細料含量(%)	D <sub>16</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>84</sub> (mm)	淘選度 (S <sub>I</sub> )
95FS_02DaB_G001	0.86	35.41	65.89	142.30	1.00
95FS_02DaB_G002	1.92	36.76	68.99	121.87	0.86
95FS_02DaB_G003	1.27	33.79	67.07	104.34	0.81
95FS_02DaB_G004	3.50	26.90	57.21	115.30	1.05
95FS_02DaR_G005	0.35	74.51	151.60	244.05	0.86
95FS_02DaR_G006	0.89	77.84	159.07	264.17	0.88
95FS_02DaR_G007	2.25	45.39	103.48	177.79	0.98
95FS_02DaR_G008	1.60	38.30	74.66	164.80	1.05
95FS_02DaB_G009	0.69	33.48	88.69	240.67	1.42
95FS_02DaR_G010	11.92	29.09	87.01	180.29	1.32
95FS_02DaR_G011	14.33	16.15	80.09	172.86	1.71
95FS_02DaR_G012	23.07	0.21	43.97	94.33	4.40
95FS_02DaB_G013	0.56	45.96	105.25	203.96	1.07
95FS_02DaB_G014	0.29	43.91	100.45	176.64	1.00
95FS_02DaB_G015	3.09	23.08	57.90	138.61	1.29
95FS_02DaB_G016	1.18	39.86	81.38	151.48	0.96
95FS_02DaB_G017	9.44	17.17	48.25	90.47	1.20
95FS_02DaB_G018	0.79	43.79	112.31	238.06	1.22
95FS_02DaB_G019	0.71	42.81	127.23	247.11	1.26
95FS_02DaR_G020	17.00	6.38	72.63	156.84	2.31

95FS_02DaB_G021	16.85	3.82	43.20	100.56	2.36
95FS_02Da_G022					
95FS_02DaR_G023	0.25	32.50	82.44	181.92	1.24
95FS_02DaR_G024	1.58	46.15	108.46	229.96	1.16
95FS_02DaR_G025	0.98	65.67	147.59	235.68	0.92
95FS_02DaR_G026	1.21	46.94	113.85	221.52	1.12
95FS_02DaB_G027	0.20	25.40	60.78	195.13	1.47
95FS_02DaB_G028	1.85	18.29	37.42	81.13	1.07
95FS_02DaB_G029	3.17	18.54	37.50	68.46	0.94
95FS_03DR_G030-1	3.61	36.28	74.79	164.49	1.09
95FS_03DR_G030-2	2.14	17.97	39.56	123.95	1.39
95FS_03D_G030-3					
95FS_03DB_G030-4	0.53	40.06	71.22	122.82	0.81
95FS_03D_G031					
95FS_03DR_G032	2.35	58.50	123.47	235.75	1.01
95FS_03DB_G033	1.38	27.58	68.38	162.77	1.28
95FS_03DR_G034	4.77	38.49	127.04	272.75	1.41
95FS_03DR_G035	2.27	56.45	120.37	252.59	1.08
95FS_03DB_G036	1.42	35.11	71.34	135.09	0.97
95FS_03DB_G037	12.10	13.97	54.75	157.76	1.75
95FS_03DR_G038	1.69	35.34	72.43	152.13	1.05
95FS_03DB_G039	5.81	33.28	92.25	213.35	1.34
修正方法二	細料含量(%)	D <sub>16</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>84</sub> (mm)	淘選度 (S <sub>t</sub> )
95FS_02DaB_G001	0.00	35.83	66.44	142.65	1.00
95FS_02DaB_G002	0.00	38.20	70.10	122.53	0.84
95FS_02DaB_G003	0.89	34.05	67.21	104.47	0.81
95FS_02DaB_G004	4.46	25.75	56.81	114.82	1.08
95FS_02DaR_G005	0.00	75.87	151.94	244.24	0.84
95FS_02DaR_G006	0.89	77.84	159.07	264.18	0.88
95FS_02DaR_G007	4.46	41.36	101.22	176.93	1.05
95FS_02DaR_G008	2.68	37.65	73.98	164.33	1.06
95FS_02DaB_G009	0.89	33.22	88.46	240.53	1.43
95FS_02DaR_G010	5.36	39.87	92.47	188.36	1.12

95FS_02DaR_G011	6.25	37.21	87.64	178.13	1.13
95FS_02DaR_G012	14.06	12.97	49.55	102.50	1.49
95FS_02DaB_G013	0.00	46.86	105.94	204.54	1.06
95FS_02DaB_G014	0.00	44.20	100.73	176.76	1.00
95FS_02DaB_G015	2.68	23.45	58.24	138.81	1.28
95FS_02DaB_G016	1.79	39.15	80.96	151.23	0.97
95FS_02DaB_G017	8.93	17.62	48.60	90.69	1.18
95FS_02DaB_G018	1.79	42.53	110.69	237.50	1.24
95FS_02DaB_G019	1.79	41.57	126.02	246.48	1.28
95FS_02DaR_G020	14.06	14.62	74.17	158.98	1.72
95FS_02DaB_G021	15.53	11.79	43.70	101.50	1.55
95FS_02Da_G022					
95FS_02DaR_G023	0.89	31.90	81.92	181.37	1.25
95FS_02DaR_G024	0.00	49.29	110.24	231.40	1.12
95FS_02DaR_G025	1.79	63.83	146.80	235.24	0.94
95FS_02DaR_G026	2.68	45.12	112.21	220.57	1.14
95FS_02DaB_G027	0.89	24.82	60.44	194.59	1.49
95FS_02DaB_G028	1.79	18.31	37.44	81.16	1.07
95FS_02DaB_G029	0.89	19.52	38.33	68.98	0.91
95FS_03DR_G030-1	2.73	37.21	75.19	164.92	1.07
95FS_03DR_G030-2	3.68	17.19	38.94	122.44	1.42
95FS_03D_G030-3					
95FS_03DB_G030-4	0.00	40.48	71.46	122.98	0.80
95FS_03D_G031					
95FS_03DR_G032	2.68	57.51	123.00	235.50	1.02
95FS_03DB_G033	1.79	27.21	68.06	162.54	1.29
95FS_03DR_G034	2.68	40.78	130.94	275.20	1.38
95FS_03DR_G035	3.57	53.10	118.63	251.40	1.12
95FS_03DB_G036	3.57	33.50	70.46	133.20	1.00
95FS_03DB_G037	9.82	16.98	57.77	160.23	1.62
95FS_03DR_G038	1.79	35.23	72.39	152.02	1.05
95FS_03DB_G039	7.14	31.82	90.50	212.24	1.37

修正方法三	細料含	D <sub>16</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>84</sub>	淘選度
-------	-----	-----------------	-----------------	-----------------	-----

	量(%)	(mm)	(mm)	(mm)	(S <sub>I</sub> )
95FS_02DaB_G001	11.45	20.01	58.84	137.06	1.39
95FS_02DaB_G004	11.07	17.14	53.81	111.25	1.35
95FS_02DaB_G009	18.16	6.91	71.13	225.60	2.51
95FS_02DaR_G010	13.71	23.50	85.64	179.17	1.47
95FS_02DaR_G012	14.16	13.10	49.49	102.42	1.48
95FS_02DaB_G013	14.03	19.73	88.14	187.66	1.62
95FS_02DaB_G017	16.84	7.56	43.58	88.56	1.77
95FS_02DaB_G021	8.06	22.35	47.53	106.77	1.13
95FS_02DaR_G023	8.38	22.44	74.80	177.14	1.49
95FS_02DaR_G024	12.61	17.39	94.29	218.47	1.83
95FS_02DaB_G027	17.92	7.40	50.10	177.93	2.29
95FS_02DaB_G029	16.44	8.63	31.81	64.91	1.46
95FS_03DR_G030-1	19.81	5.26	65.95	154.87	2.44
95FS_03DR_G030-2	11.11	12.27	35.65	114.41	1.61
95FS_03DR_G032	16.74	7.78	99.36	222.89	2.42
95FS_03DB_G033	6.81	22.44	63.97	159.53	1.41



附錄三、  
體積法試驗數據



體積法護甲層試驗數據

試驗編號	護甲 層深 度(cm)	細料 比例 (%)	D <sub>16</sub> (m)m	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>84</sub> (mm)	淘 選 度 (S <sub>I</sub> )
95FS_02DaB_V001	15.90	11.45	19.06	67.67	151.06	1.49
95FS_02DaB_V002	13.90	11.07	18.00	67.42	143.84	1.50
95FS_02DaB_V003	28.20	18.16	6.91	64.68	203.43	2.44
95FS_02DaR_V004	23.80	13.71	15.22	111.67	239.80	1.99
95FS_02DaR_V005	14.30	14.16	13.94	67.49	220.00	1.99
95FS_02DaB_V006	24.30	14.03	12.81	80.65	203.12	1.99
95FS_02DaB_V007	10.80	16.84	7.56	43.31	107.35	1.91
95FS_02DaB_V008	13.60	8.06	30.66	94.31	217.00	1.41
95FS_02DaR_V009	21.30	8.38	30.82	142.21	238.72	1.48
95FS_02DaR_V010	27.20	12.61	15.57	108.20	224.68	1.93
95FS_02DaB_V011	22.50	17.92	7.40	46.56	164.44	2.24
95FS_02DaB_V012	7.80	16.44	8.63	39.86	85.97	1.66
95FS_03DR_V013	18.80	19.81	5.26	38.79	110.95	2.20
95FS_03DB_V014	17.20	11.11	16.23	44.86	237.65	1.94
95FS_03DR_V015	28.40	16.74	7.78	51.19	213.51	2.39
95FS_03DB_V016	19.20	6.81	34.56	175.51	369.14	1.71

體積法底層試驗數據

試驗編號	底層深度 (cm)	細料 比例 (%)	D <sub>16</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>84</sub> (mm)	淘 選 度 (S <sub>I</sub> )
95FS_02DaB_V001	15.90~100	32.27	0.70	35.30	93.82	3.53
95FS_02DaB_V002	13.90~100	20.56	3.17	57.39	168.42	2.87
95FS_02DaB_V003	28.20~100	17.49	7.66	56.25	214.39	2.40
95FS_02DaR_V004	23.80~100	20.66	1.89	75.53	249.40	3.52
95FS_02DaR_V005	14.30~100	21.29	0.90	51.02	211.97	3.94
95FS_02DaB_V006	24.30~100	21.21	2.82	62.01	196.97	3.06
95FS_02DaB_V007	10.80~100	28.19	0.77	37.98	102.71	3.53

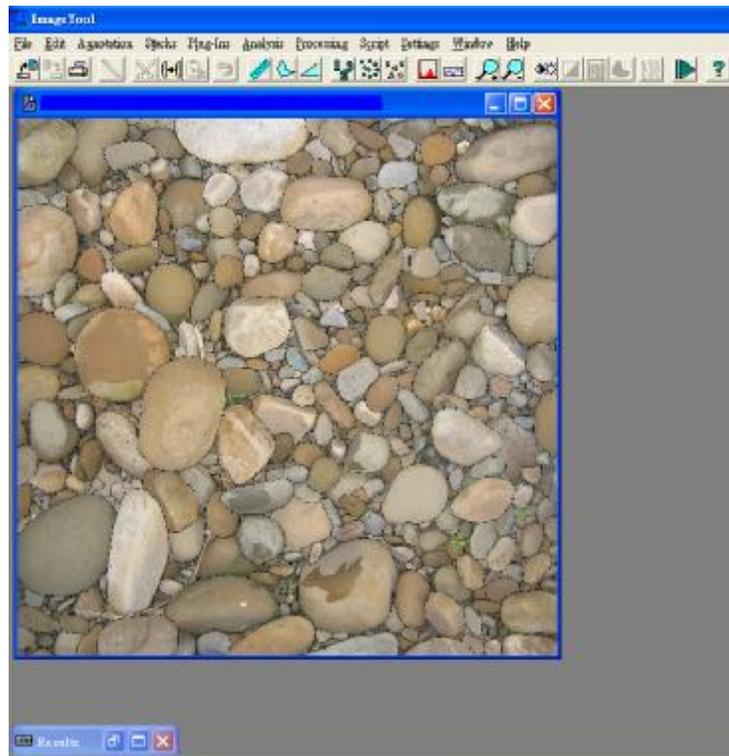
95FS_02DaB_V008	13.60~100	23.08	0.60	49.54	183.93	4.13
95FS_02DaR_V009	21.30~100	22.04	5.46	29.99	88.53	2.01
95FS_02DaR_V010	27.20~100	32.94	0.27	41.97	163.14	4.62
95FS_02DaB_V011	22.50~100	22.78	0.78	42.94	130.13	3.69
95FS_02DaB_V012	7.80~100	34.19	0.68	24.50	68.20	3.33
95FS_03DR_V013	18.80~100	45.31	0.36	13.46	50.86	3.58
95FS_03DB_V014	17.20~100	27.08	2.20	35.41	121.48	2.89
95FS_03DR_V015	28.40~50	9.07	20.85	51.19	563.77	2.38
95FS_03DB_V016	19.20~100	22.50	3.68	44.71	270.83	3.10



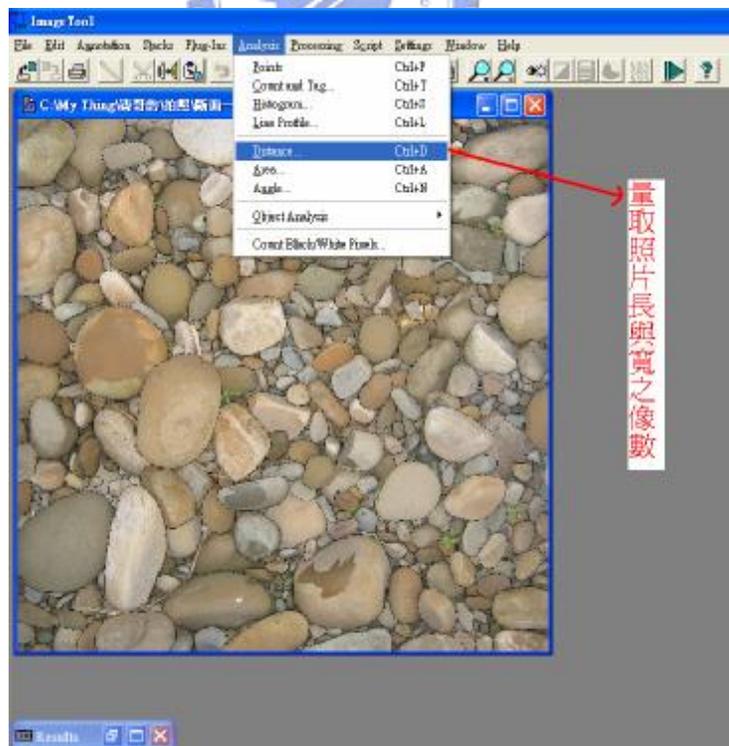
附錄四、  
拍照法影像處理流程



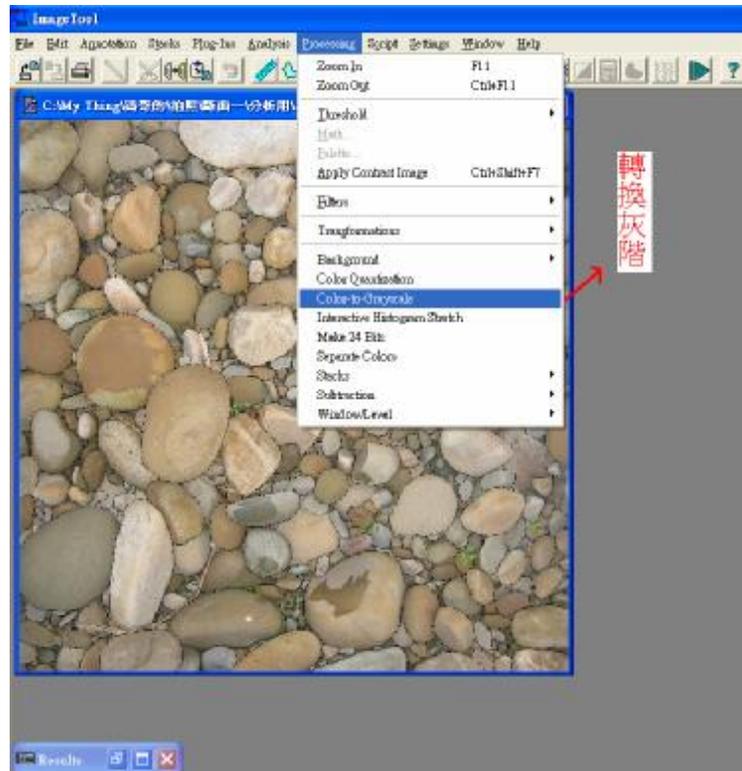
### 1. 開啟檔案



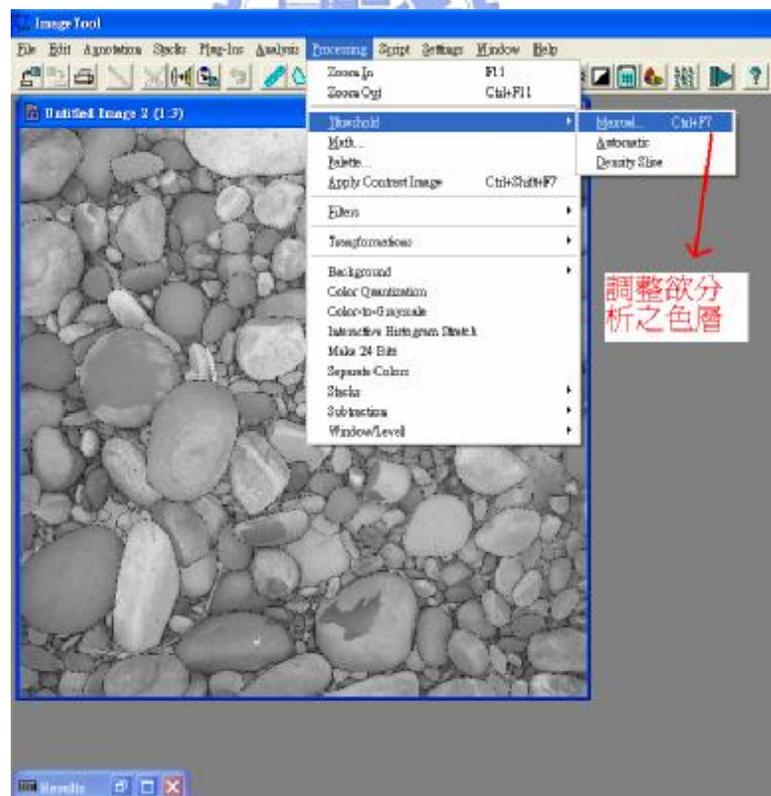
### 2. 量取相片長與寬之像數



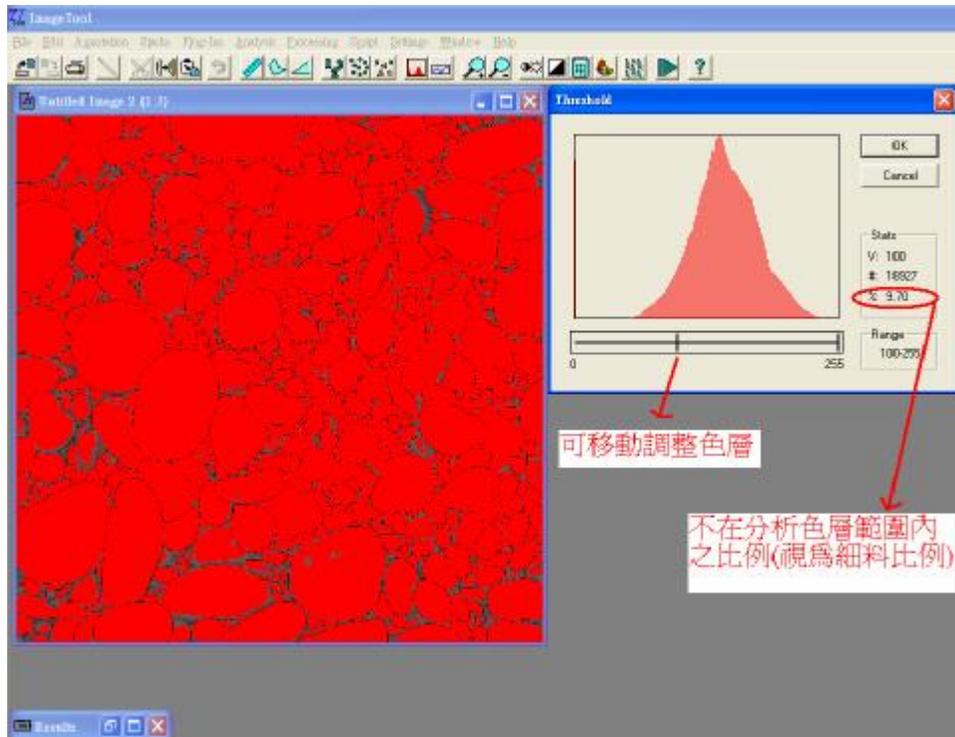
### 3. 將照片轉換為灰階



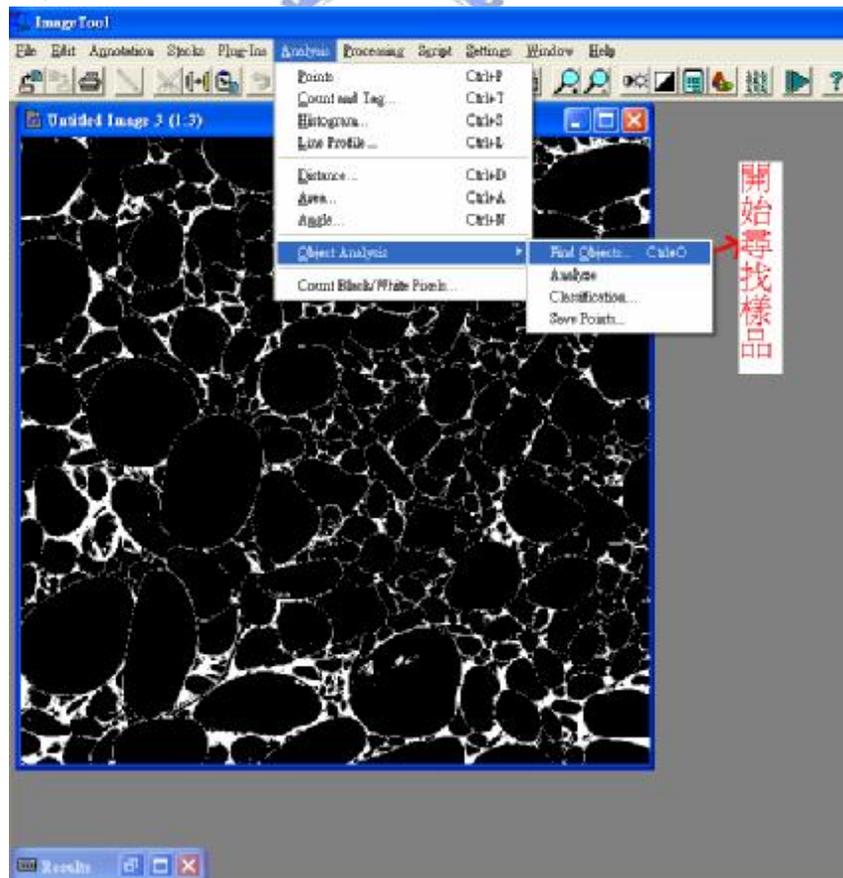
#### 4. 調整色層



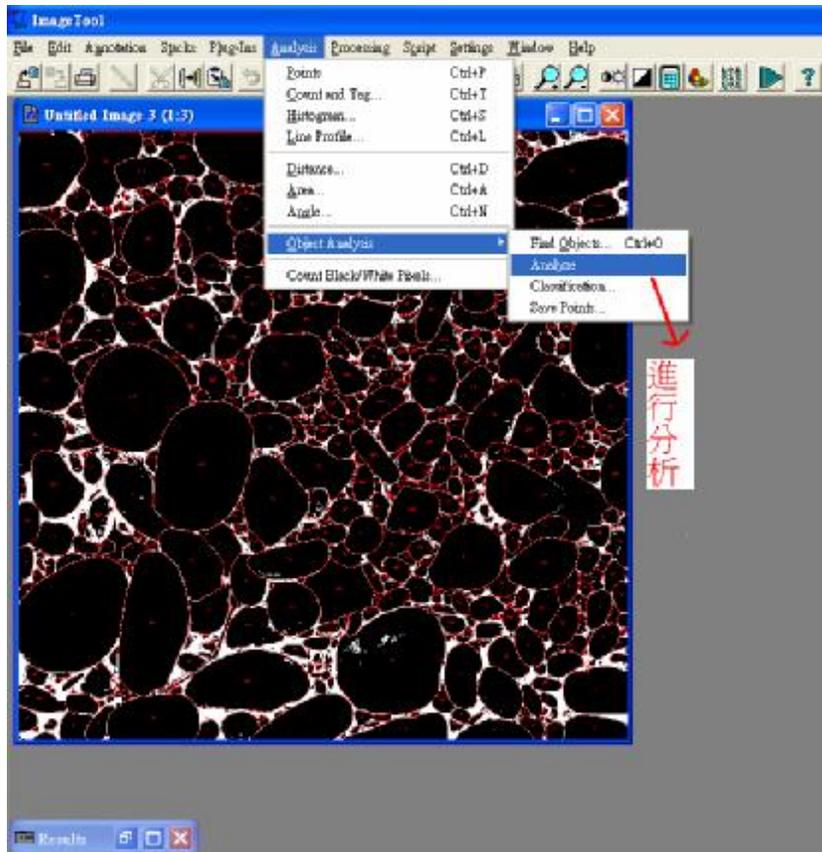
#### 5. 調整色層範圍並紀錄細料比例



## 6. 進行取樣



## 7. 進行分析



## 8 · 軟體分析資料

ImageTool - [Results]					
File Edit Annotation Stacks Plug-Ins Analysis Processing Script Settings Window Help					
[Icons]					
	Object	Area	Major Axis Length	Minor Axis Length	
Mean		3599.00	72.75	41.75	
Std. Dev.		7688.25	60.26	39.82	
1	#1	951.00	61.52	22.20	
2	#2	4679.00	100.80	84.40	
3	#3	3644.00	109.22	55.32	
4	#4	23902.00	235.95	119.05	
5	#5	2407.00	73.01	54.41	
6	#6	5649.00	97.86	75.50	
7	#7	20571.00	273.08	119.92	
8	#8	12308.00	269.67	71.45	
9	#9	7953.00	204.00	54.00	
10	#10	2406.00	78.64	38.95	
11	#11	304.00	66.65	15.65	
12	#12	1881.00	52.50	52.50	
13	#13	9206.00	171.84	65.52	
14	#14	121.00	14.42	10.00	
15	#15	316.00	29.68	13.04	
16	#16	2393.00	65.80	59.41	
17	#17	126.00	16.16	9.85	
18	#18	723.00	40.00	26.40	
19	#19	680.00	38.63	26.00	
20	#20	622.00	32.02	28.02	
21	#21	418.00	41.23	12.37	
22	#22	588.00	53.41	16.40	
23	#23	1256.00	47.38	37.34	
24	#24	1379.00	50.25	33.62	
25	#25	200.00	20.00	11.40	
26	#26	757.00	48.37	18.11	
27	#27	10949.00	145.01	100.72	
28	#28	413.00	27.51	22.14	
29	#29	575.00	40.05	27.02	
30	#30	212.00	28.30	8.60	

9 · 匯入 excel 進行分析

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	Object	Area	a	b	c	比例			a	b	c	v(cm <sup>3</sup> )		重量
2	#34	59741	307.8	277.8	123.12	1533	→ 相片長與寬之像數		200.78	181.21	80.31	1530.04		51
3	#276	55075	277.46	271.47	110.984	0.652316			180.99	177.08	72.40	1214.94		36
4	#70	63084	341.12	254.07	136.448				222.52	165.73	89.01	1718.70		25
5	#203	65356	343.17	235.09	137.268				223.86	153.35	89.54	1609.48		18
6	#325	27362	205.14	184.62	82.056				133.82	120.43	53.53	451.66		12
7	#513	27258	232.61	183.4	93.044				151.74	119.63	60.69	576.88		9
8	#402	37411	277.5	178.14	111	分析時	細料比例		181.02	116.20	72.41	797.48		7
9	#186	27001	231.78	169.58	92.712	115	16.59		151.19	110.62	60.48	529.61		6
10	#49	49712	368.41	168.58	147.364				240.32	109.97	96.13	1330.15		4
11	#344	25389	214.77	166.88	85.908		→ 以b軸為主以降幂方式排序		140.10	108.86	56.04	447.49		3
12	#149	25139	205.85	166.74	82.34				134.28	108.77	53.71	410.75		1
13	#193	39684	329.01	161.01	131.604				214.62	105.03	85.85	1013.22		
14	#117	17962	187.04	159.03	74.816				122.01	103.74	48.80	323.43		
15	#40	37325	317.76	158.38	127.104				207.28	103.31	82.91	929.67		1
16	#73	34393	264.49	156.92	105.796				172.53	102.36	69.01	638.16		
17	#510	37678	318.31	154.03	127.324				207.64	100.48	83.06	907.27		
18	#363	18997	213.7	150.42	85.48				139.40	98.12	55.76	399.34		
19	#461	16295	194.28	149.46	77.712				126.73	97.50	50.69	327.95		
20	#68	12183	174.32	148.82	69.728				113.71	97.06	45.48	262.90		
21	#315	18773	170.14	146.81	68.056		依照比例轉換後樣粒		110.98	95.77	44.39	247.06		
22	#458	17015	177.05	143.75	70.82				115.49	93.77	46.20	261.96		
23	#546	43581	387.24	136.44	154.896				252.60	89.00	101.04	1189.42		
24	#216	16864	175.41	135.86	70.164				114.42	88.62	45.77	243.01		
25	#301	17960	177.5	135.77	71				115.79	88.56	46.31	248.68		

## 10 · 進行樣品分類

Microsoft Excel - data

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 插入(I) 格式(O) 工具(T) 資料(D) 視窗(W) 說明(H) Adobe PDF(印) 輸入需要解答的問題

100% 新樣明誌 - 12 - B II

	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	a	b	c	v(cm <sup>3</sup> )	重量	百分比	累積百分比					
2	200.78	181.21	80.31	1530.04	512.00		0.00					
3	180.99	177.08	72.40	1214.94	362.00		0.00					
4	222.52	165.73	89.01	1718.70	256.00		0.00					
5	223.86	153.35	89.54	1609.48	181.50	1530.04	5.01	100				
6	133.82	120.43	53.53	451.66	128.00	4543.12	14.87	85.13				
7	151.74	119.63	60.69	576.88	90.50	9854.99	32.26	52.87				
8	181.02	116.20	72.41	797.48	76.20	6582.18	21.54	31.33				
9	151.19	110.62	60.48	529.61	64.00	1597.67	5.23	26.10				
10	240.32	109.97	96.13	1330.15	45.30	3699.23	11.98	14.12				
11	140.10	108.86	56.04	447.49	32.00	2340.27	7.66	6.46				
12	134.28	108.77	53.71	410.75	16.00	1648.50	5.40	1.07				
13	214.62	105.03	85.85	1013.22	8.00	281.79	0.92	0.14				
14	122.01	103.74	48.80	323.43	4.00	43.71	0.14	0.00				
15	207.28	103.31	82.91	929.67	all	30551.45						
16	172.53	102.36	69.01	638.16								
17	207.64	100.48	83.06	907.27								
18	139.40	98.12	55.76	399.34								
19	126.73	97.50	50.69	327.95								
20	113.71	97.08	45.48	262.90								
21	110.98	95.77	44.39	247.06								
22	115.49	93.77	46.20	261.96								
23	252.60	89.00	101.04	1189.42								
24	114.42	88.62	45.77	243.01								
25	115.79	88.56	46.31	248.68								

將各樣品體積依照b軸粒徑分類  
並加總且計算百分比與通過累積百分比

H:\all data\1\2\3\4\5\6\7\8\9\10\11\12\13\14\15\16\17\18\19\20\20\1

附錄五、  
拍照法試驗數據



拍照法影像分析數據

網格法	D <sub>50</sub> (mm)		細料比例(%)	
	71.63		方法一	方法二
			0.11	0.89
分析方式	$V = \frac{pabc}{6}$	$V = \frac{pb^3}{6}$		
photo-1	79.62	86.33	14.72	
photo-2	105.31	106.14	6.55	
photo-3	94.54	101.34	5.29	
photo-4	89.98	101.31	11.86	
photo-5	79.35	96.88	16.04	
photo-6	105.99	107.11	8.57	
photo-7	82.01	87.95	9.14	
photo-8	86.55	95.36	9.45	
photo-9	134.73	137.82	2.15	
photo-10	88.59	100.66	16.59	
photo-11	95.87	96.20	11.11	
photo-12	97.56	113.07	6.55	
photo-13	83.63	91.96	6.87	
photo-14	84.19	85.36	9.2	
photo-15	97.43	100.29	9.96	
photo-16	69.62	73.38	9.54	
photo-17	80.92	93.66	6.82	
photo-18	97.89	107.25	8.19	
photo-19	80.75	93.72	5.79	
photo-20	87.97	94.93	7.92	
photo-21	119.78	113.97	5.28	
photo-22	76.85	81.30	5.83	
photo-23	88.66	103.51	6.54	
photo-24	95.38	107.72	6.12	
photo-25	111.78	143.42	6.95	
photo-26	84.50	90.75	7.52	
photo-27	112.80	102.03	6.84	
photo-28	96.22	103.61	6.07	
photo-29	93.52	97.85	12.72	
photo-30	99.05	109.42	5.82	
photo-31	69.69	72.26	5.47	
photo-32	69.21	73.64	10.13	
photo-33	55.85	58.81	7.46	

photo-34	75.78	83.30	7.78
photo-35	85.14	89.62	7.97
photo-36	65.96	71.32	6.74
photo-37	88.98	101.18	10.55
photo-38	76.64	87.27	7.74
photo-39	65.65	74.49	8.82
photo-40	85.35	84.85	10.79
photo-41	80.71	88.23	6.98
photo-42	78.83	82.85	9.94
photo-43	74.57	82.91	8
photo-44	72.95	81.17	8.41
photo-45	118.49	96.67	6.57
平均	88.11	94.51	2.84
標準差	15.76	15.86	8.34

拍照法影像分析數據(section 2)

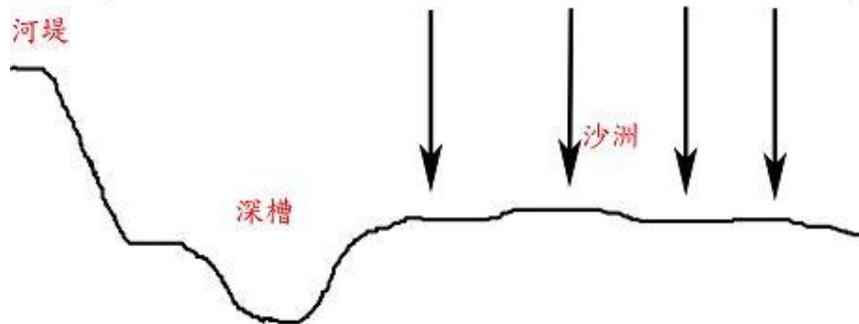
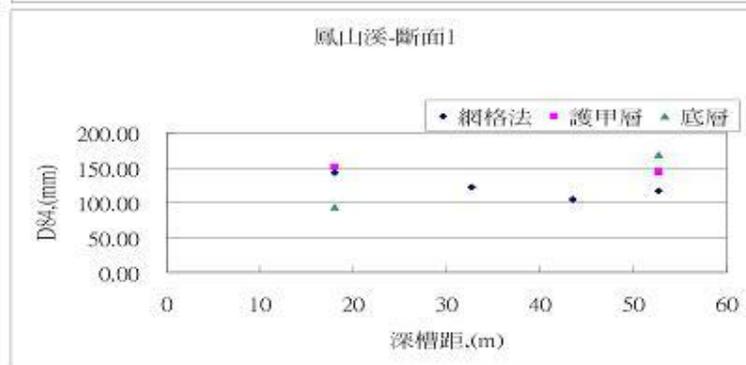
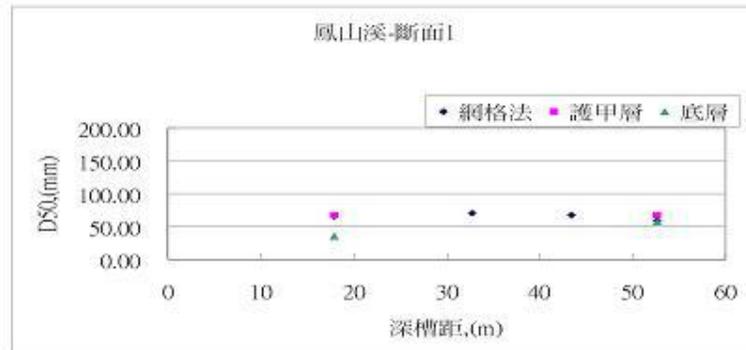
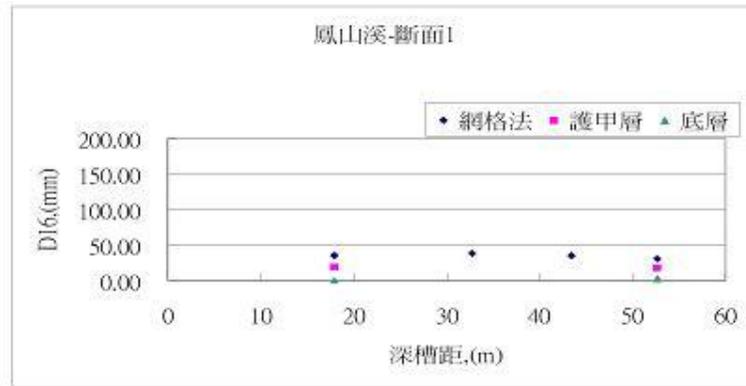
	D <sub>50</sub> (mm)		細料比例(%)	
網格法	76.99		方法一	方法二
			1.53	0.89
分析方式	$V = \frac{pabc}{6}$	$V = \frac{pb^3}{6}$		
photo-46	85.95	97.88	5.8	
photo-47	99.79	108.24	7.1	

拍照法影像分析數據(section 3)

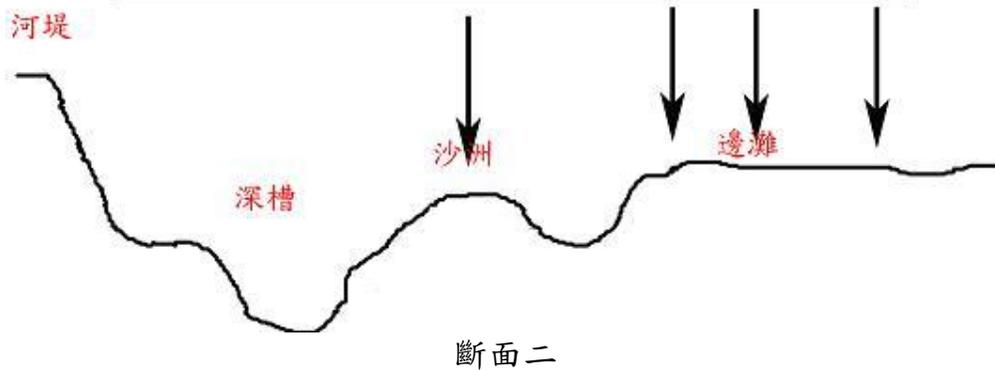
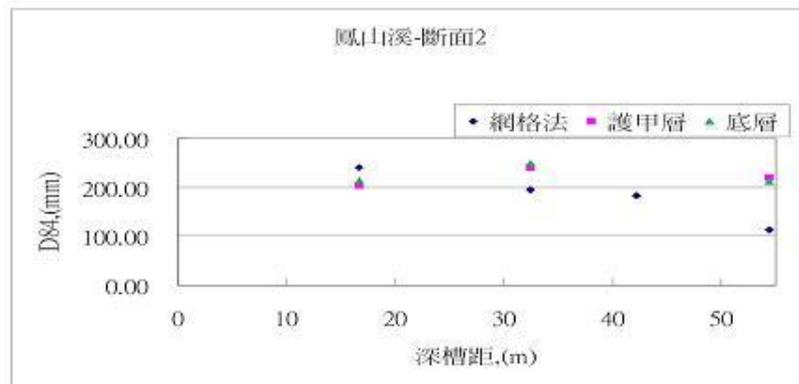
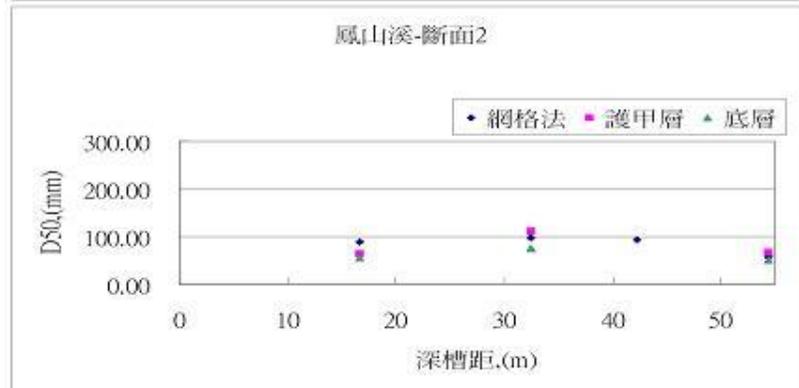
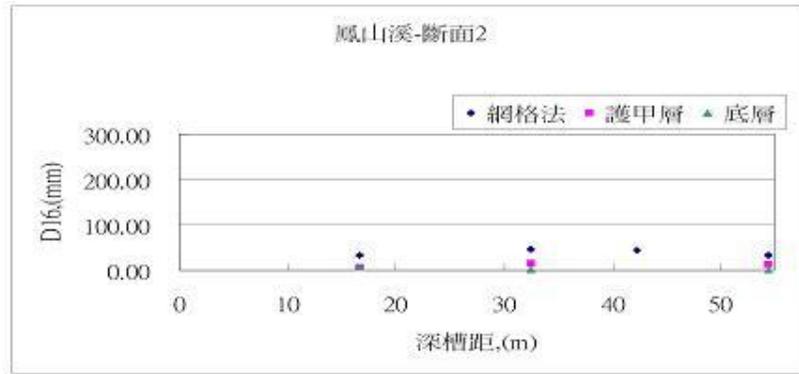
	D <sub>50</sub> (mm)		細料比例(%)	
網格法	87.25		方法一	方法二
			1.38	0.89
分析方式	$V = \frac{pabc}{6}$	$V = \frac{pb^3}{6}$		
photo-48	92.70	103.36	8.57	
photo-49	109.26	116.77	6.17	

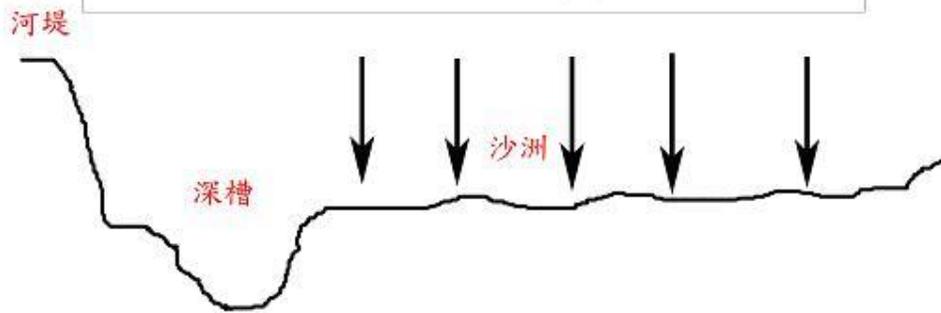
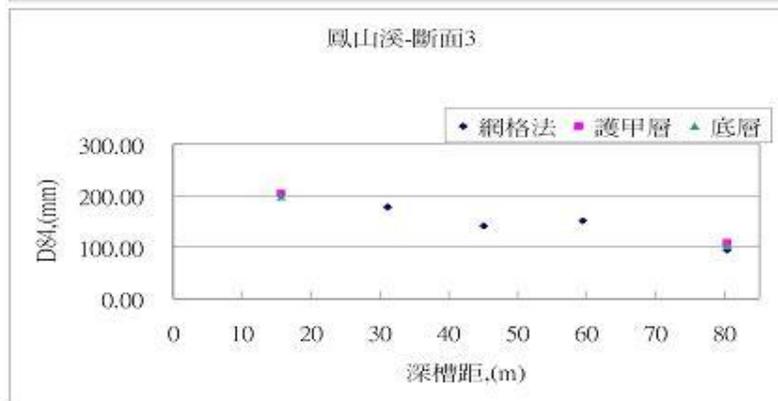
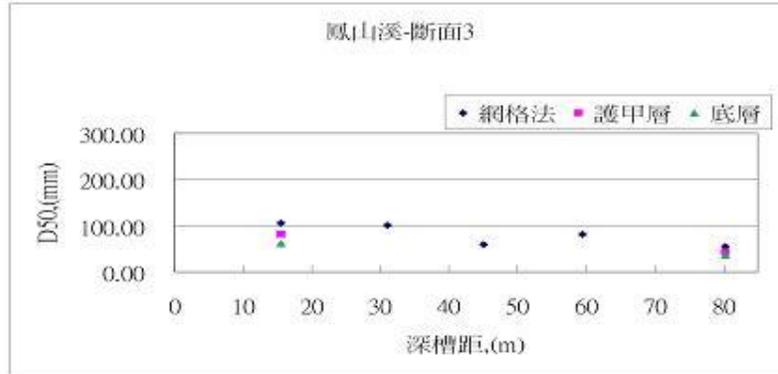
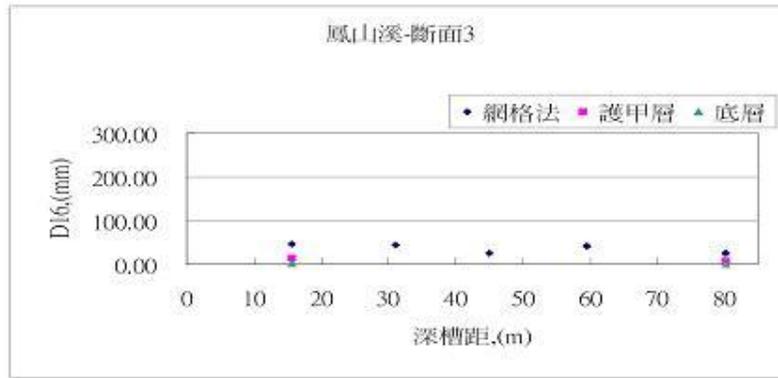
附錄六、  
各橫斷面  $D_{16}$ 、 $D_{50}$ 、 $D_{84}$  之橫向趨勢



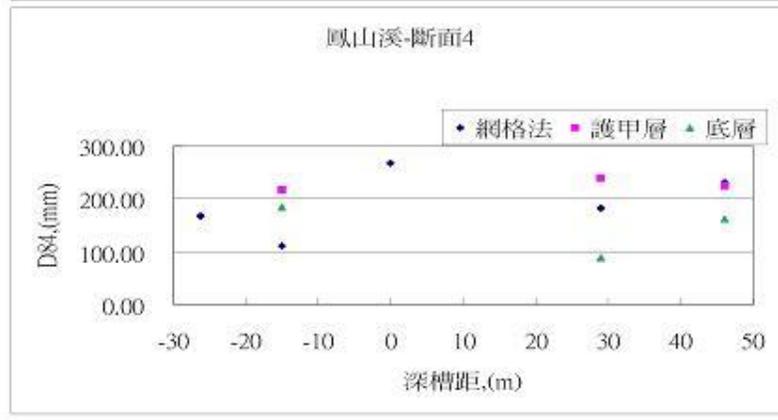
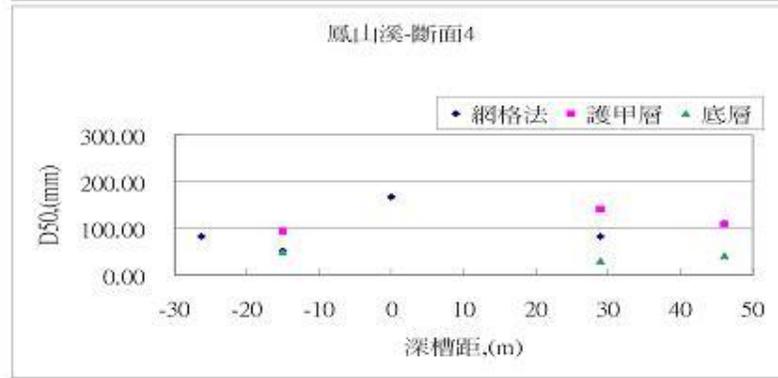
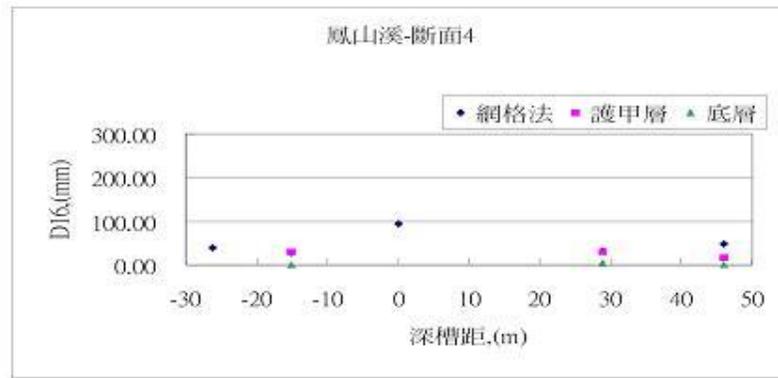


断面一

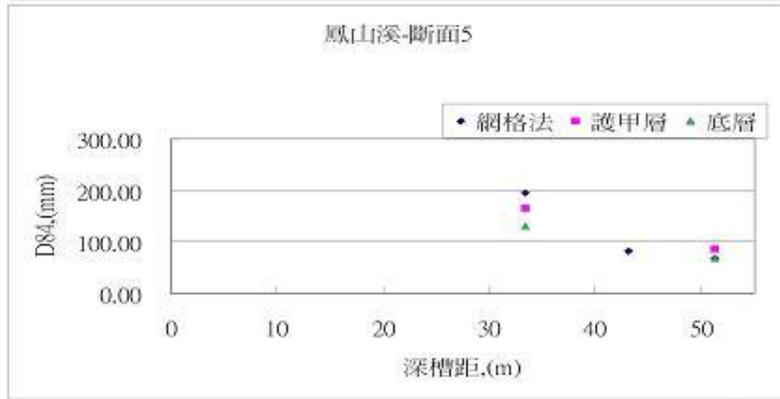
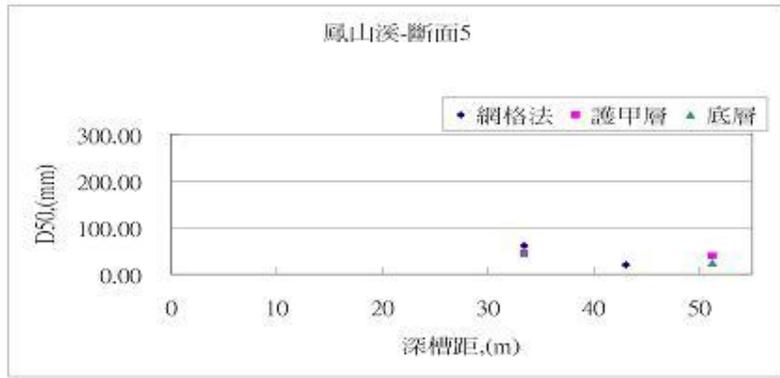
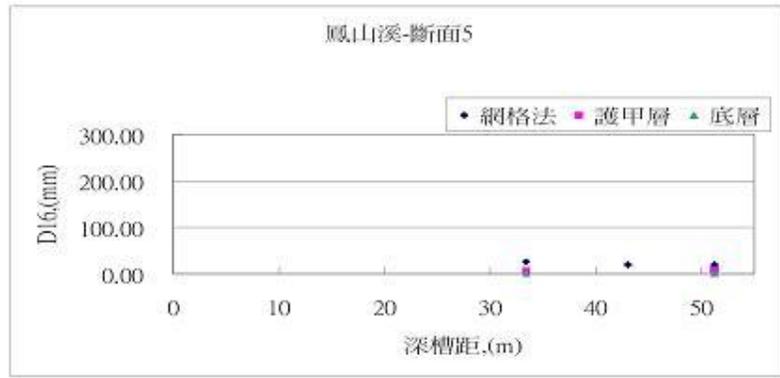


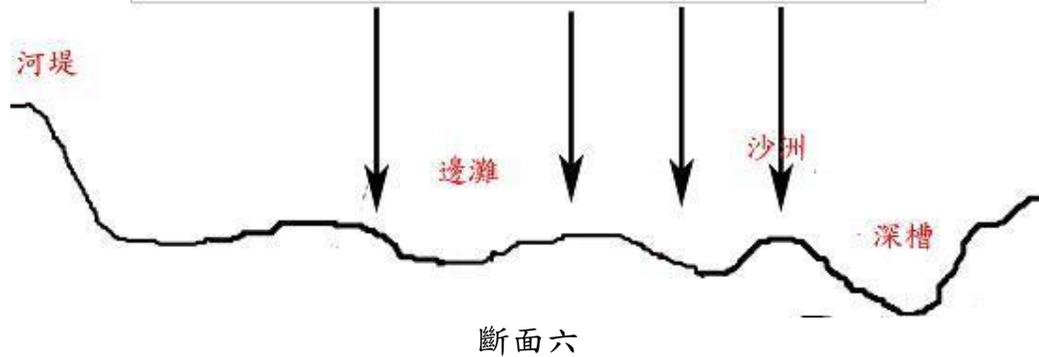
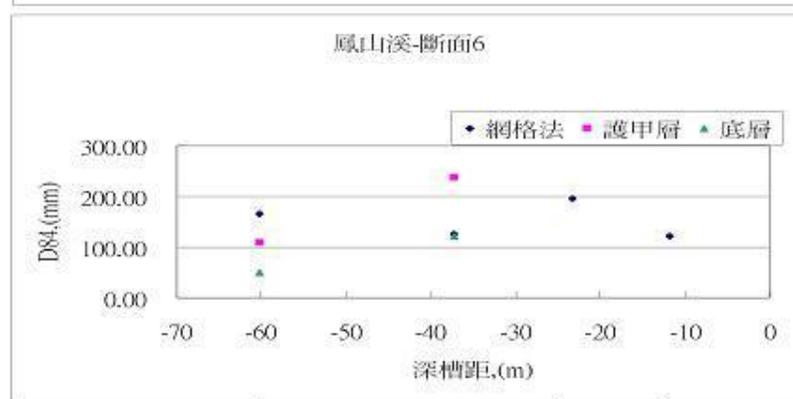
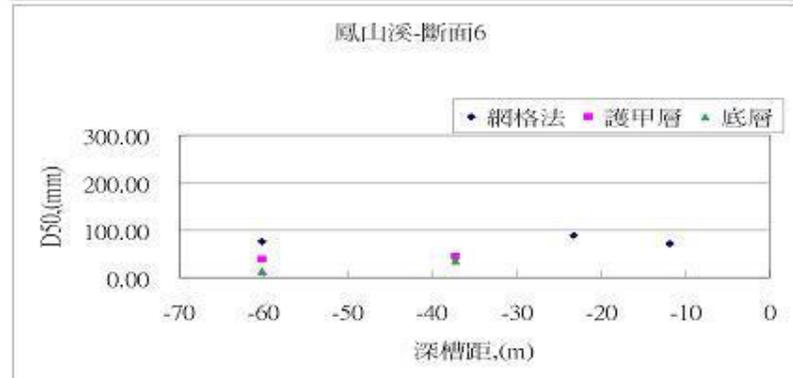
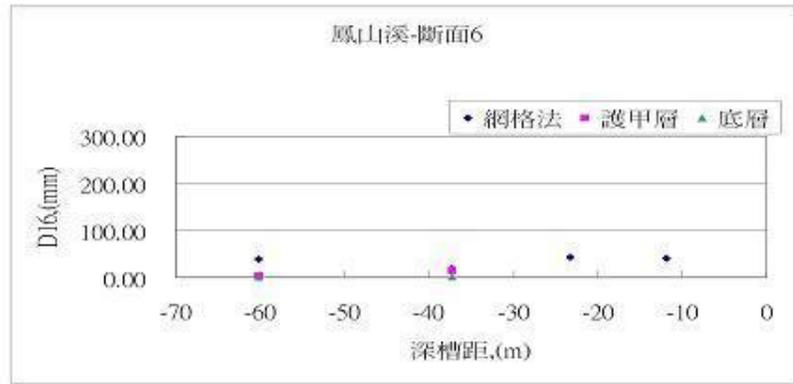


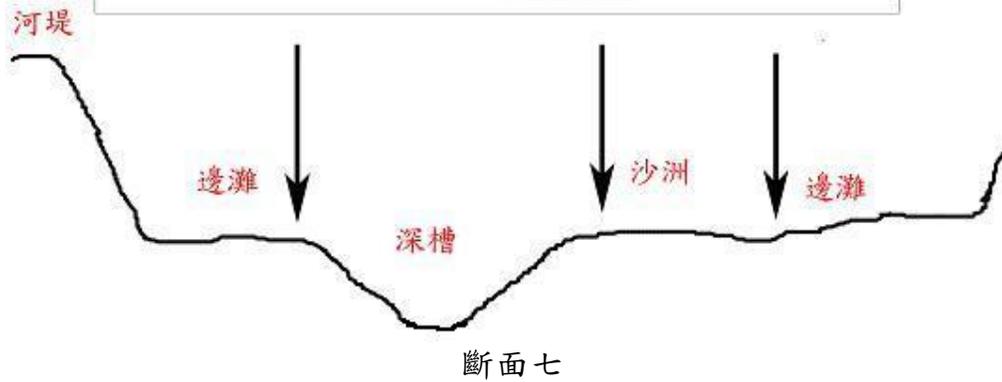
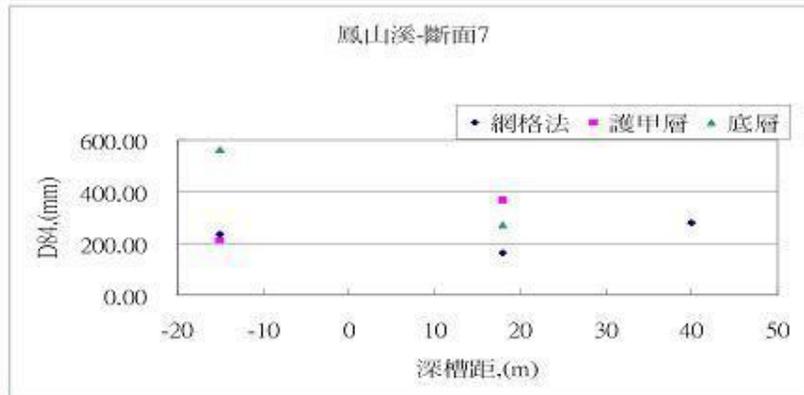
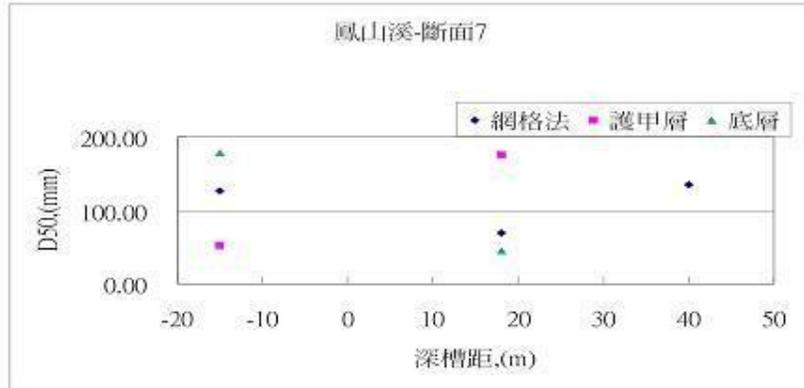
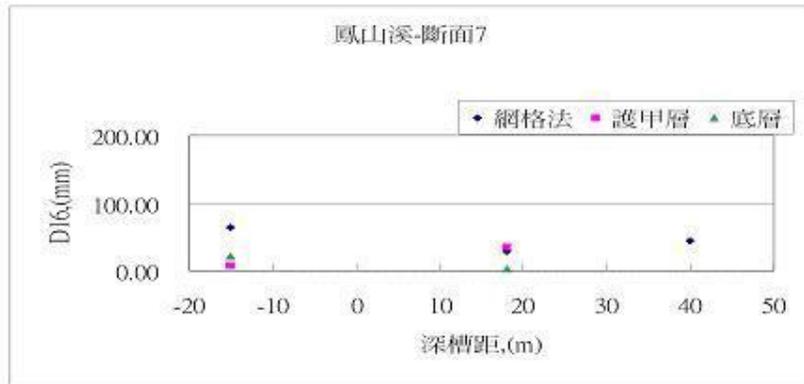
斷面三



斷面四



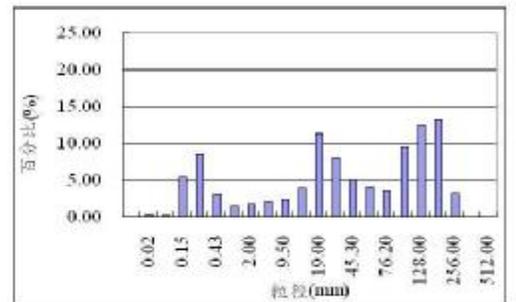
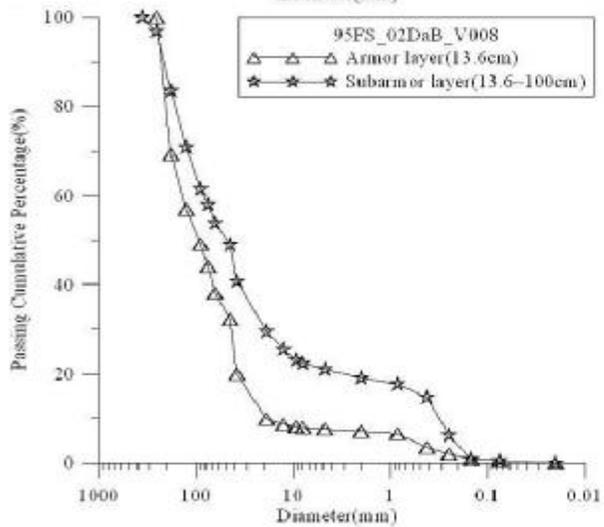
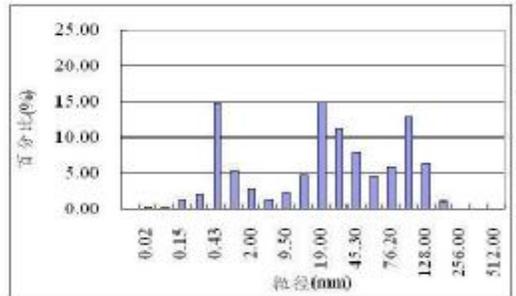
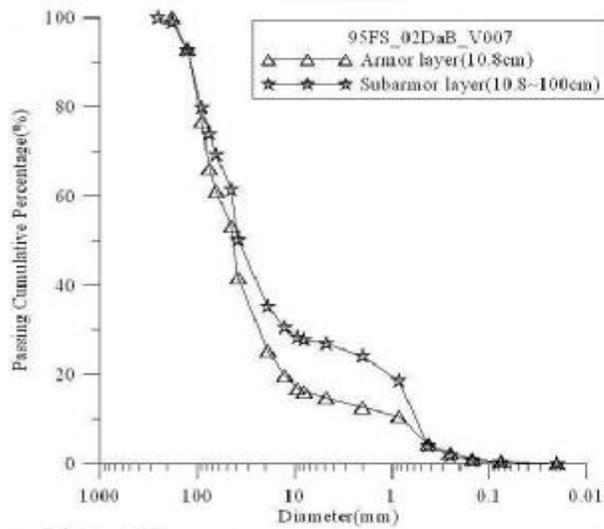
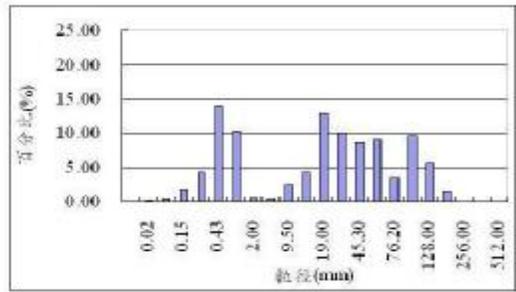
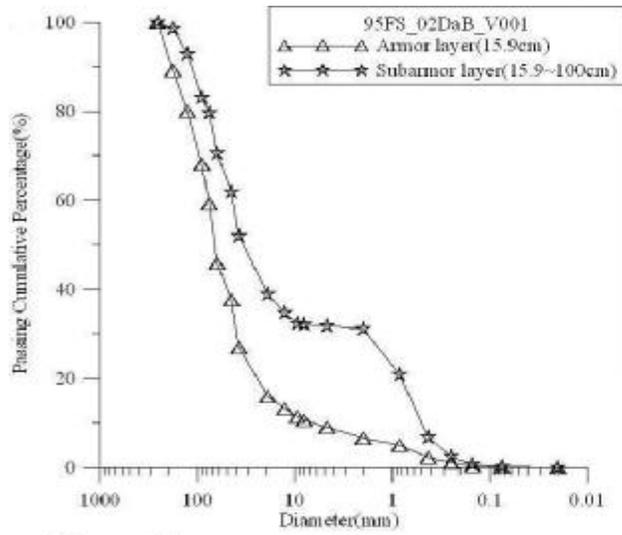


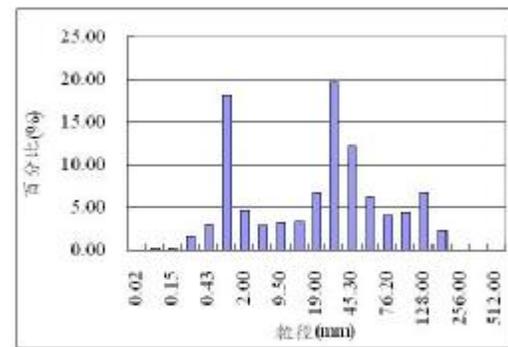
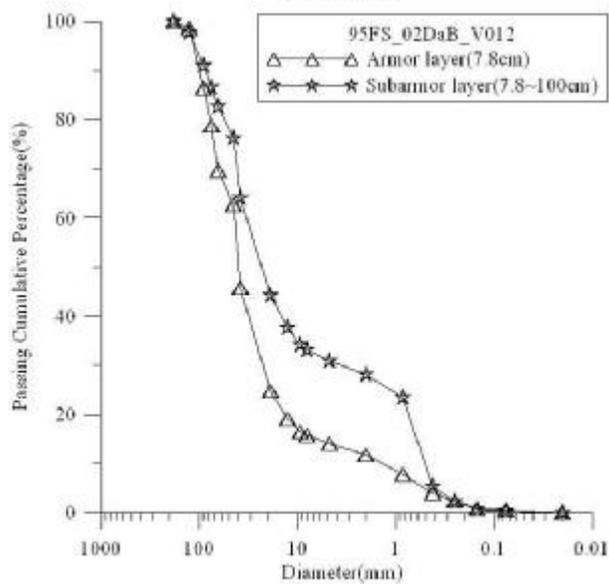
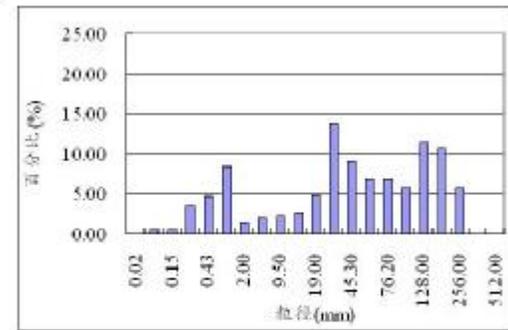
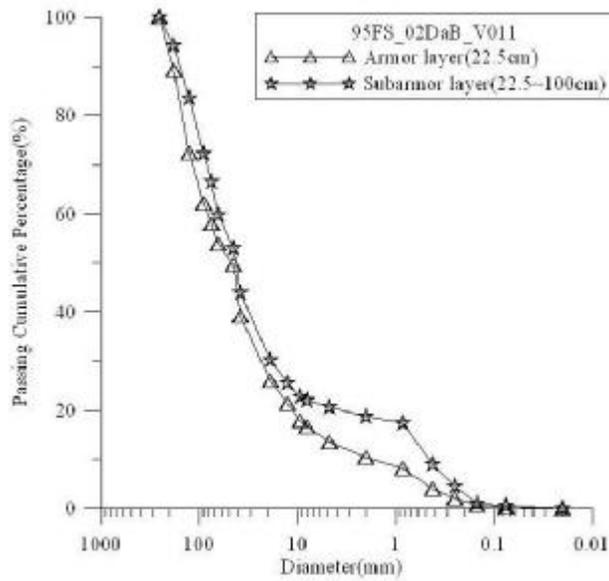
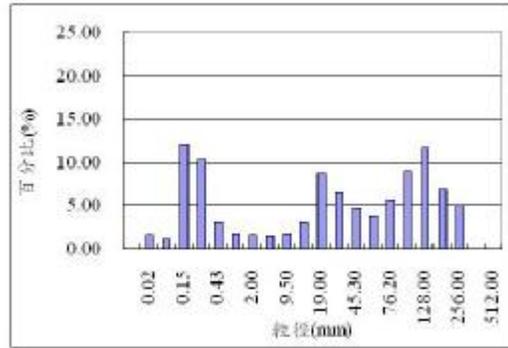
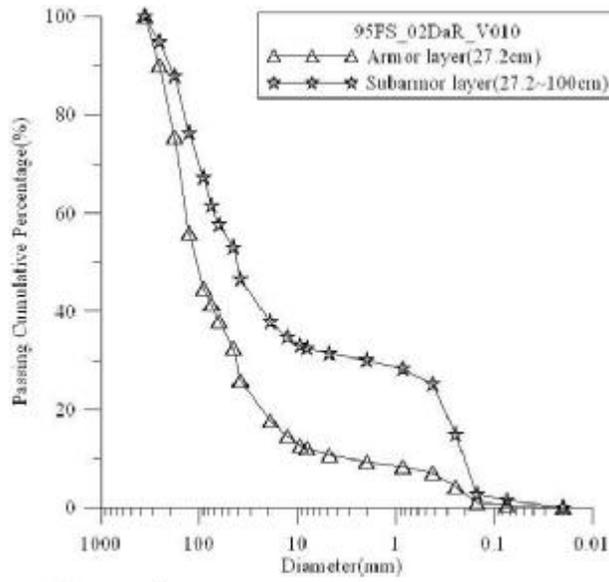


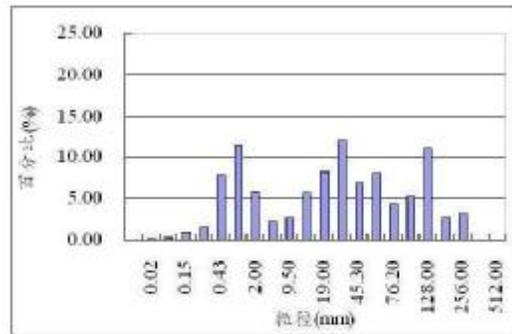
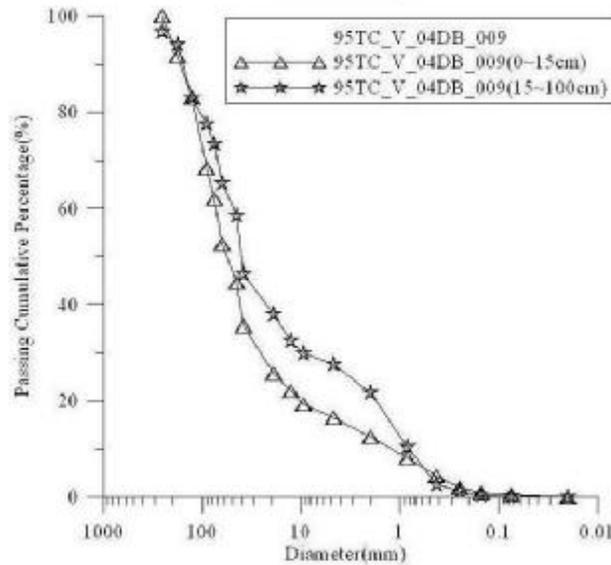
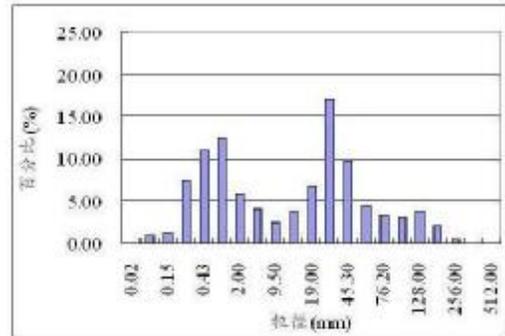
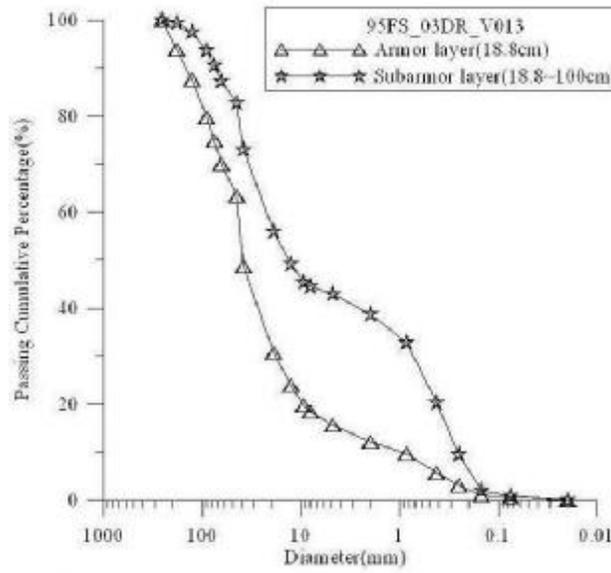
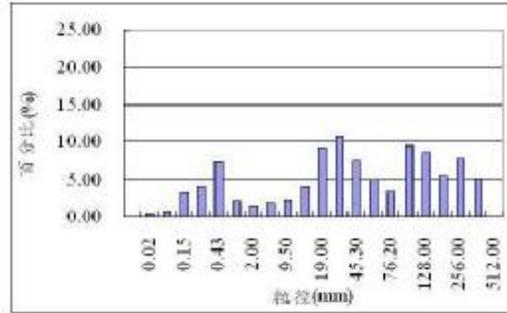
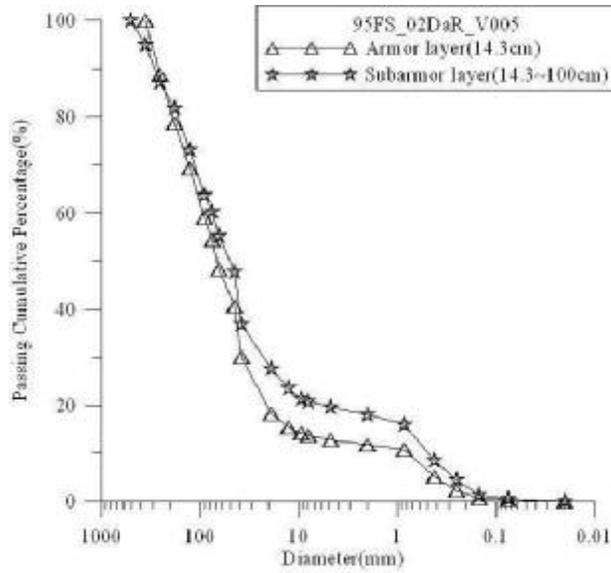
附錄七、  
頭前溪與鳳山溪各體積法結構型態

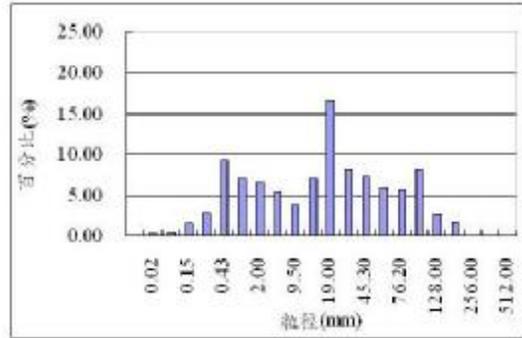
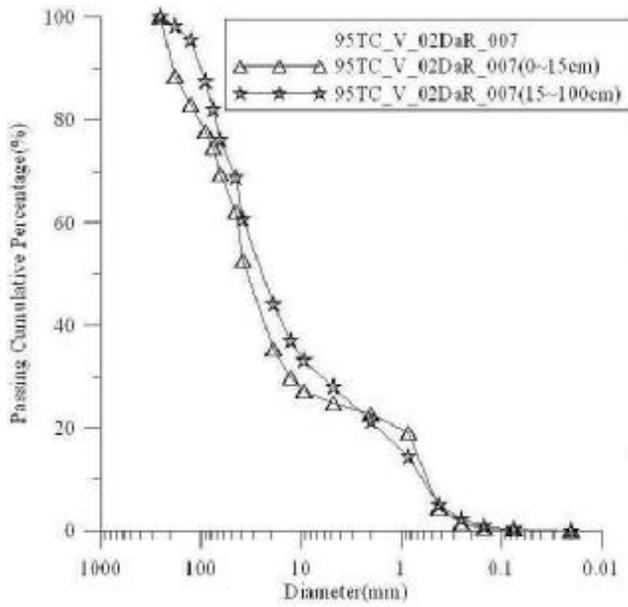


型態一

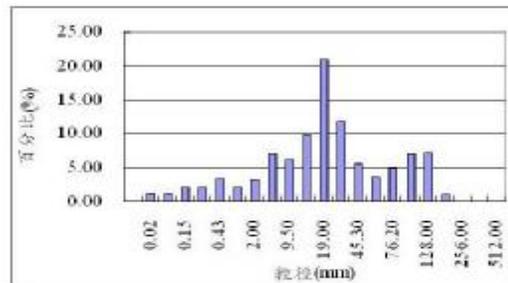
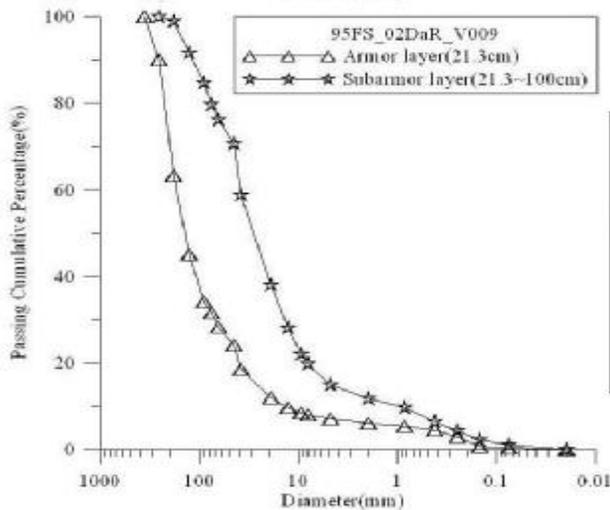
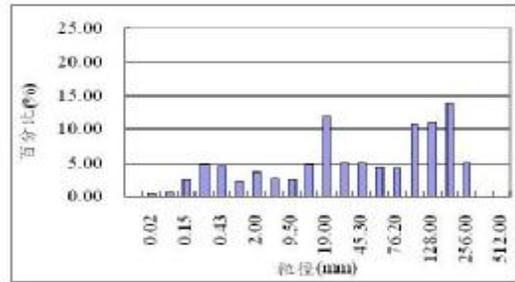
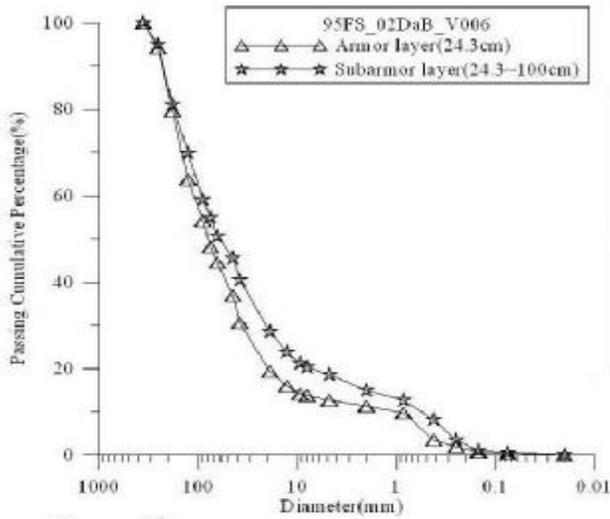


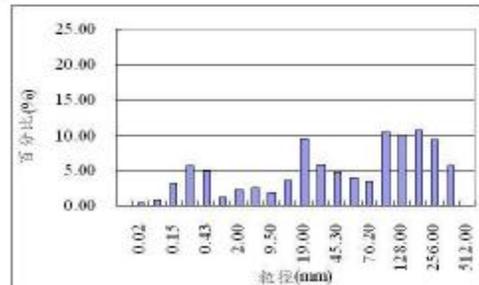
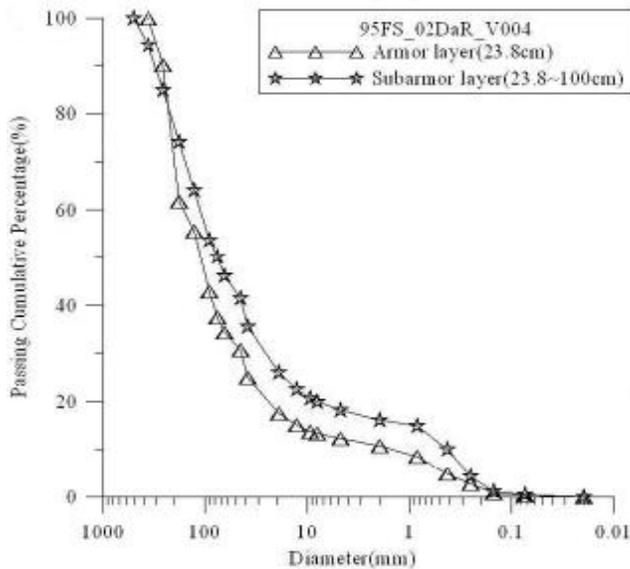
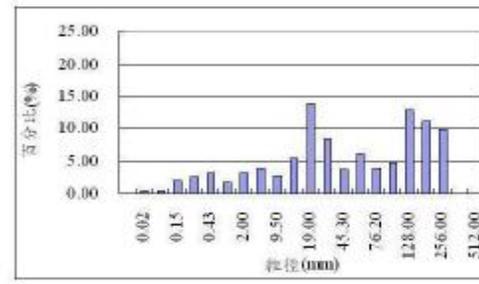
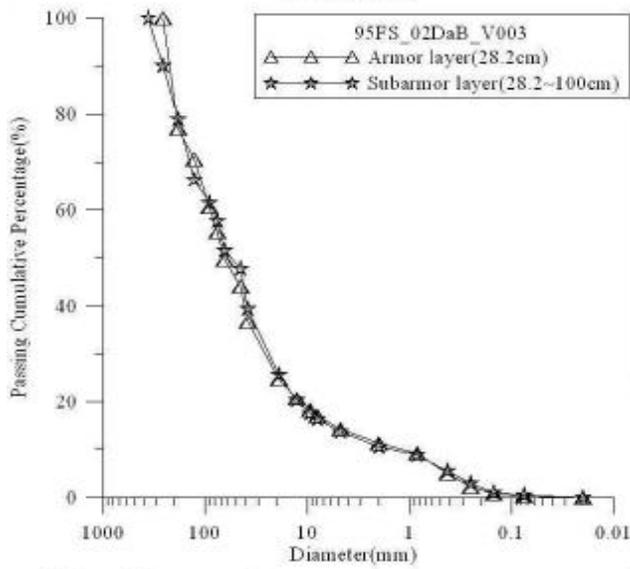
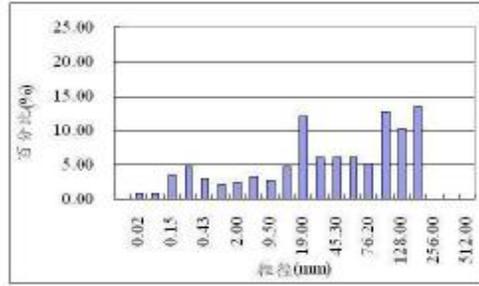
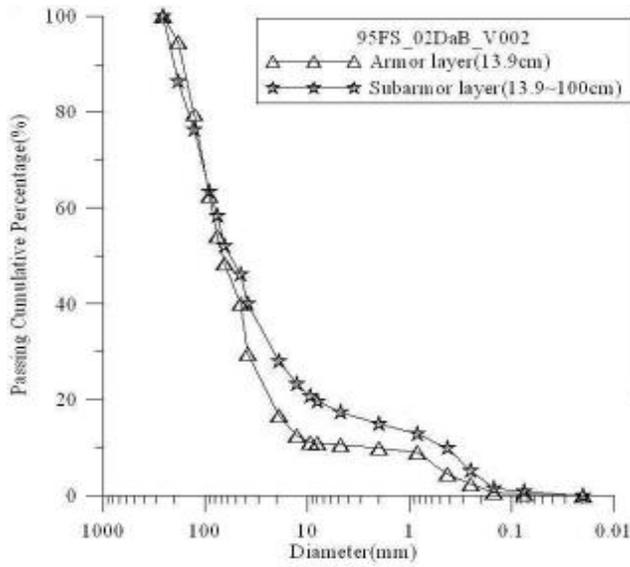


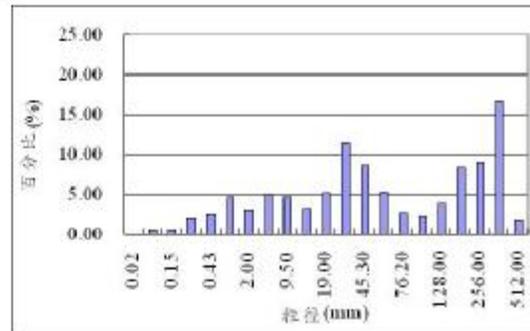
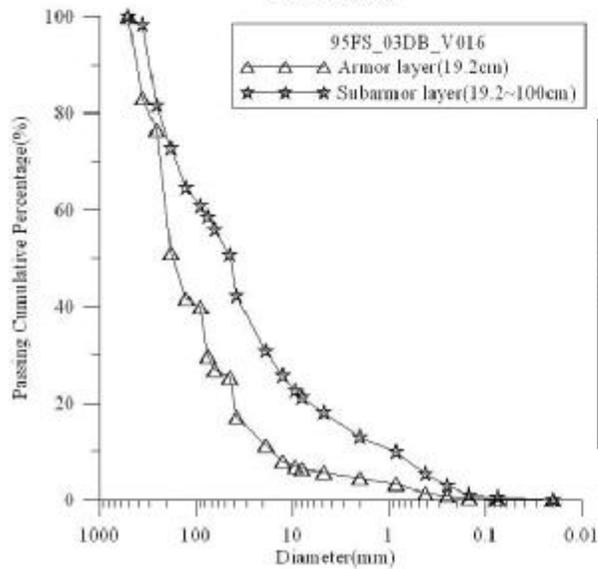
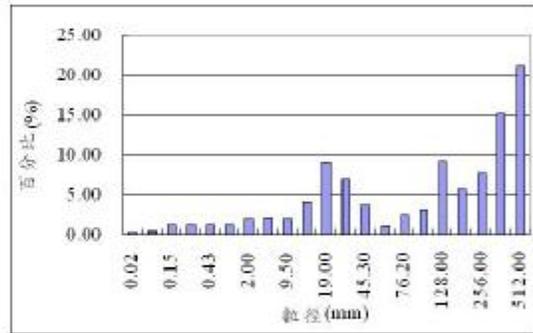
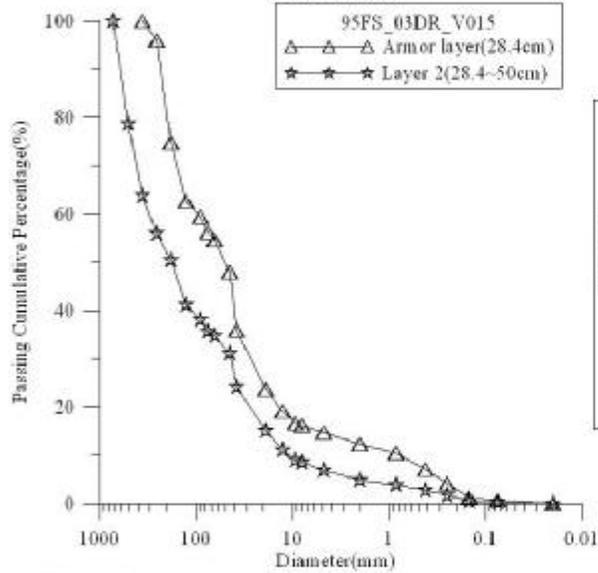
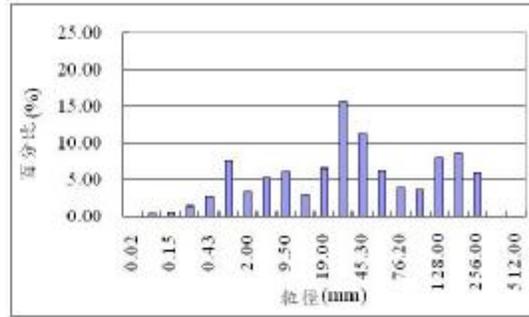
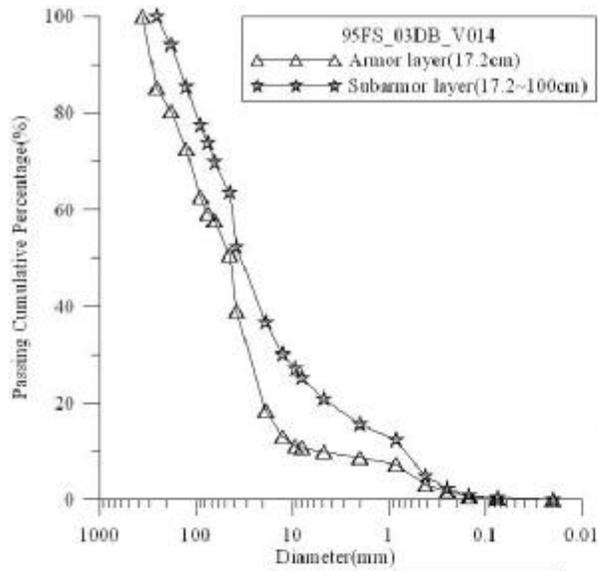


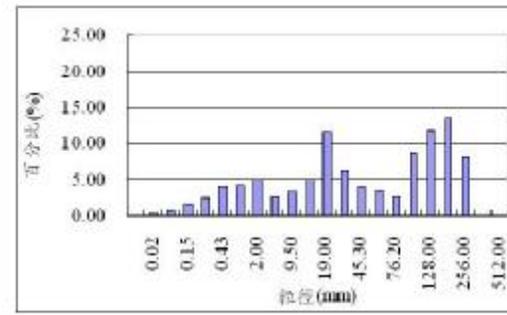
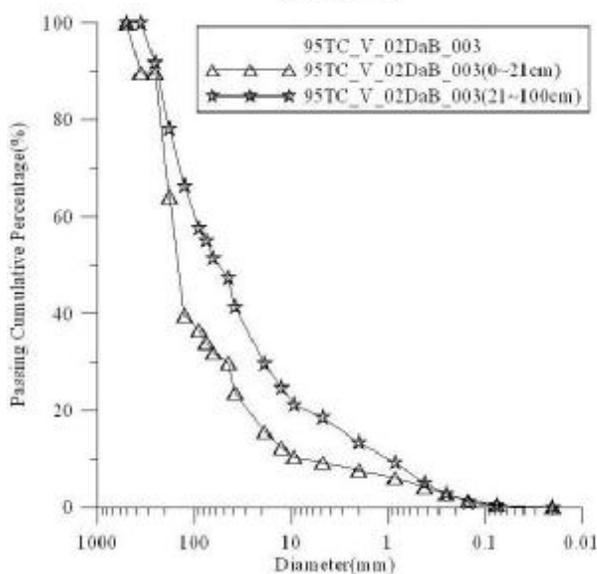
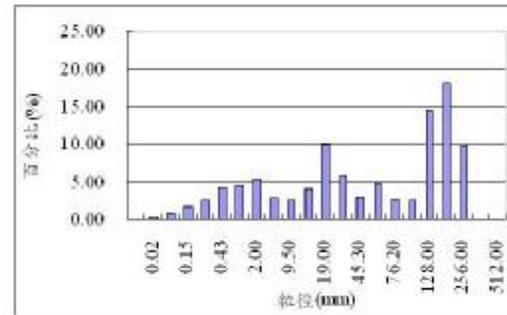
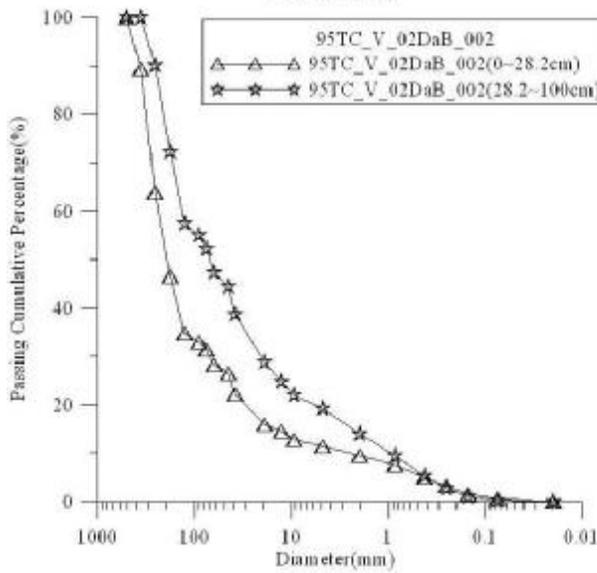
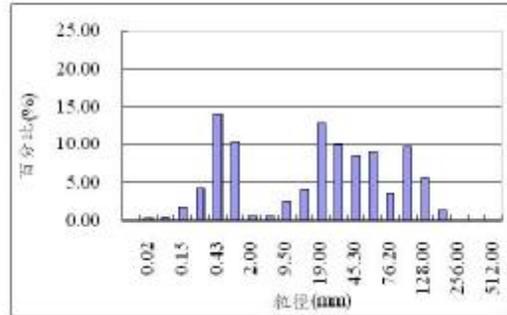
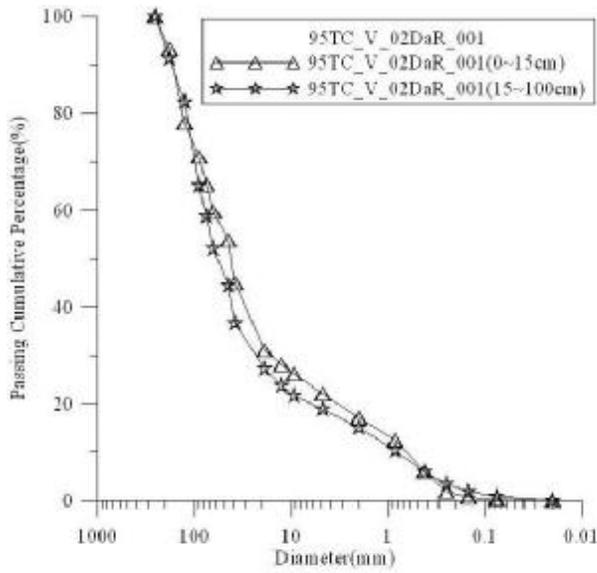


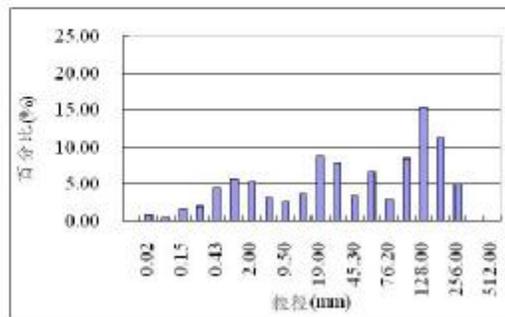
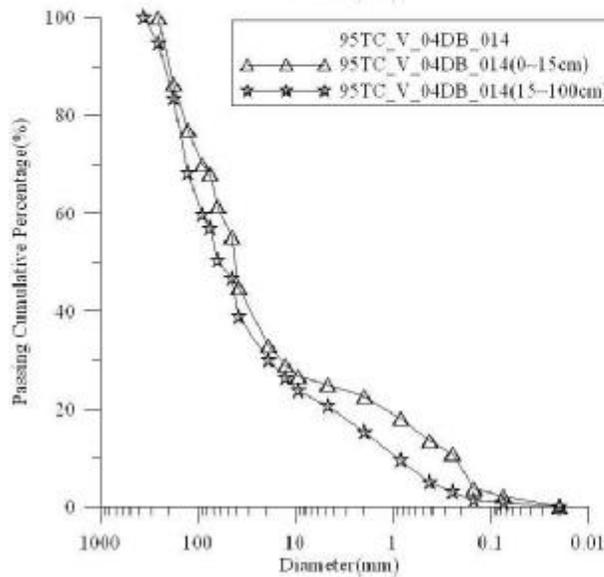
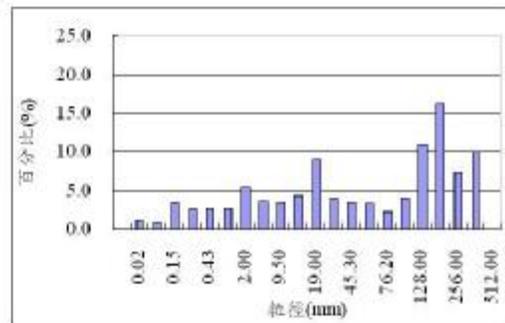
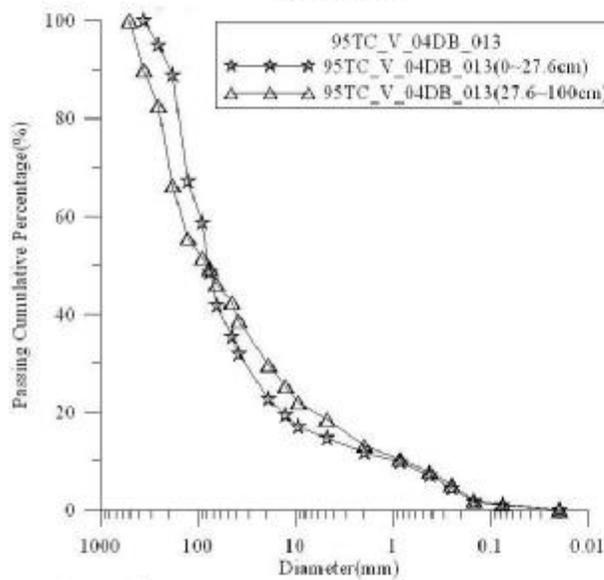
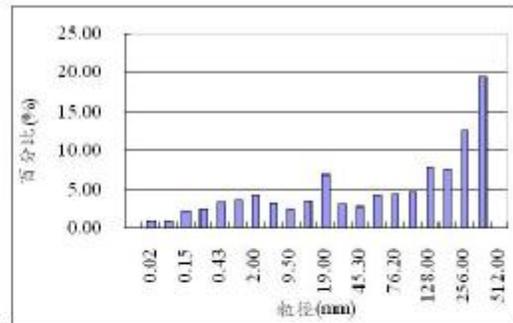
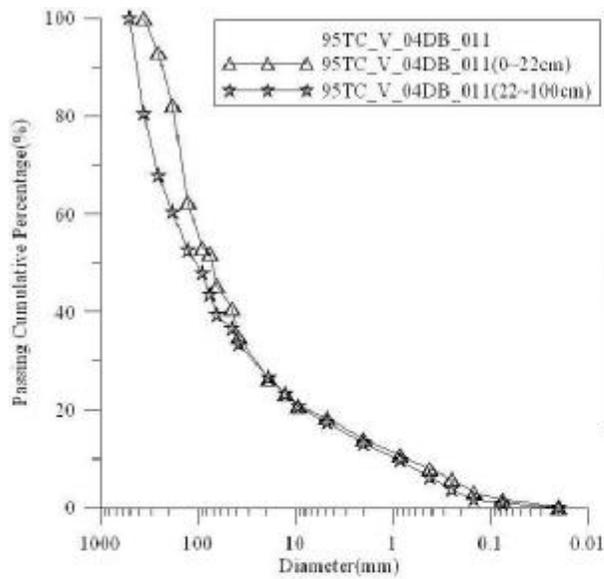
型態二

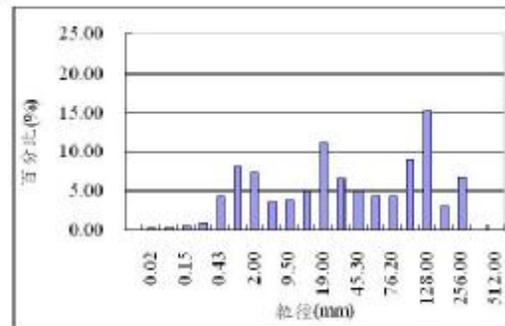
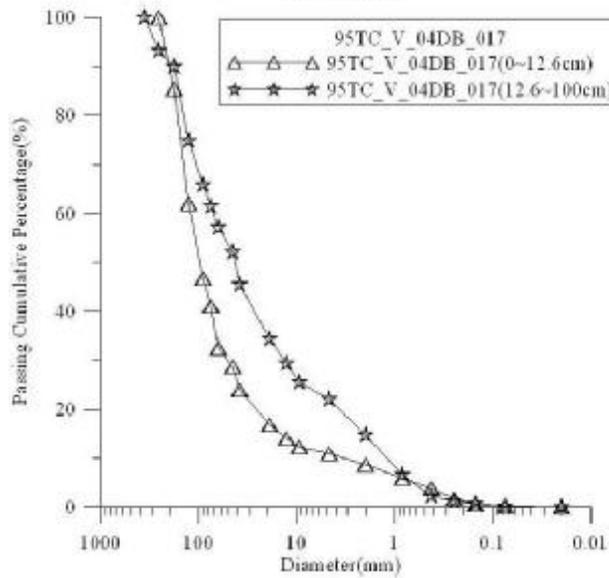
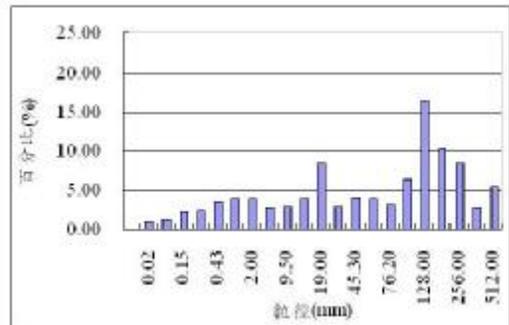
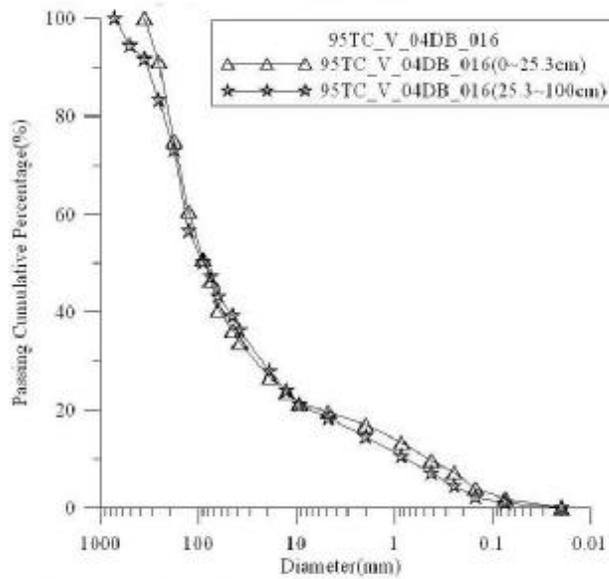
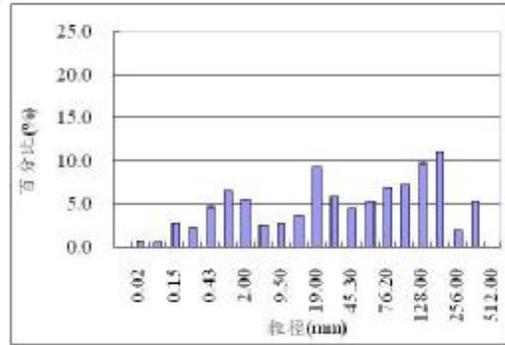
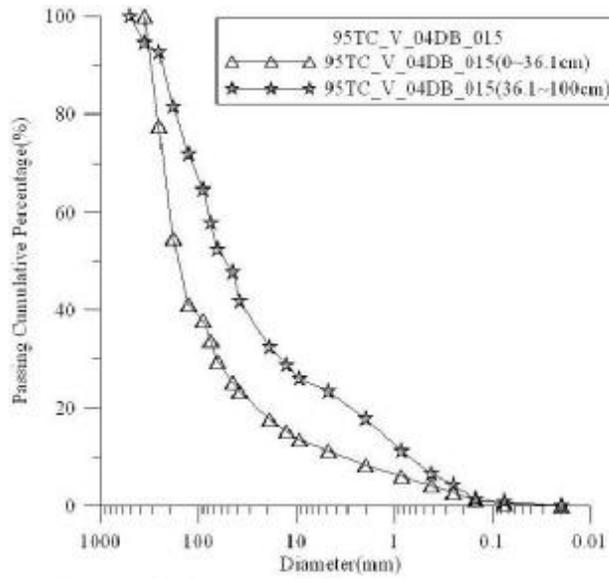


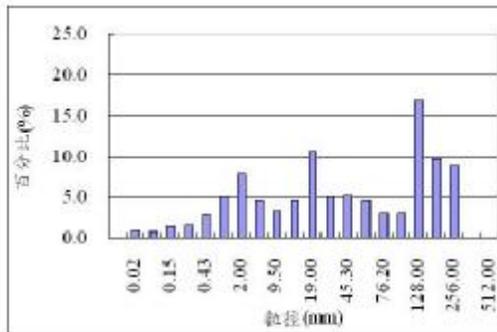
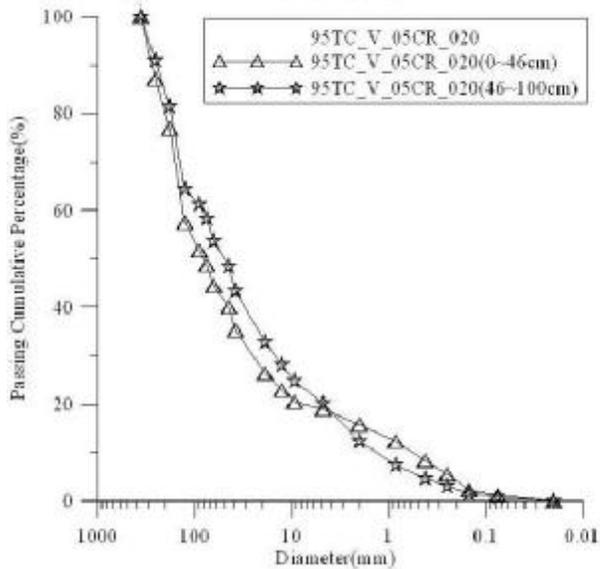
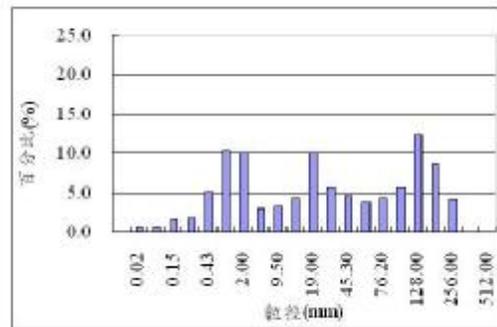
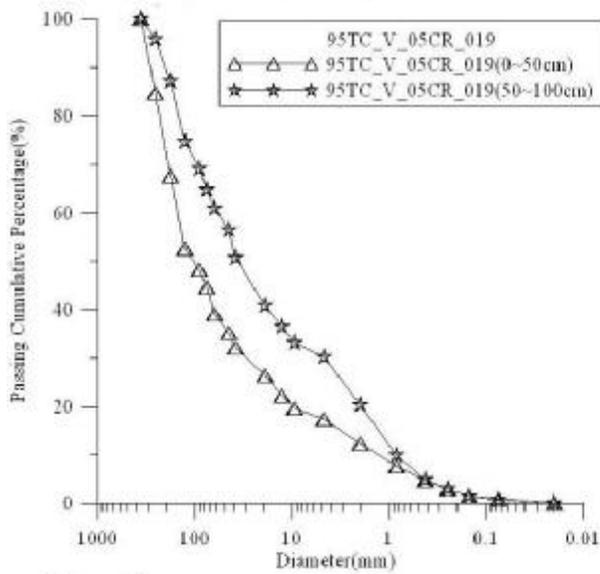
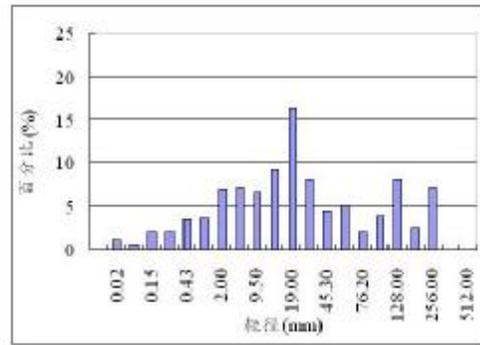
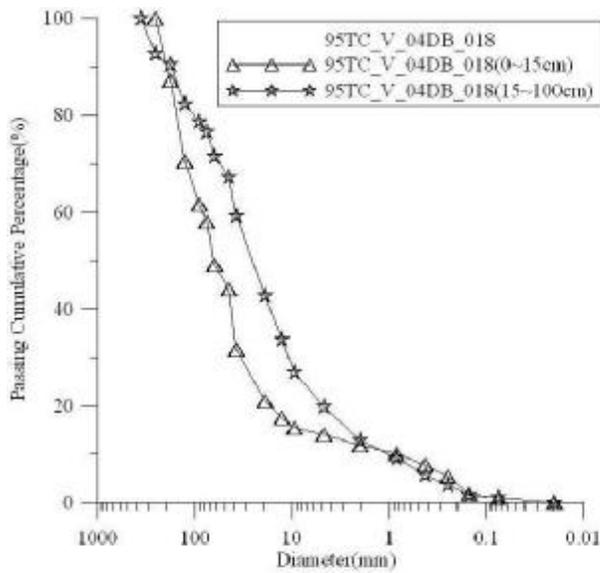


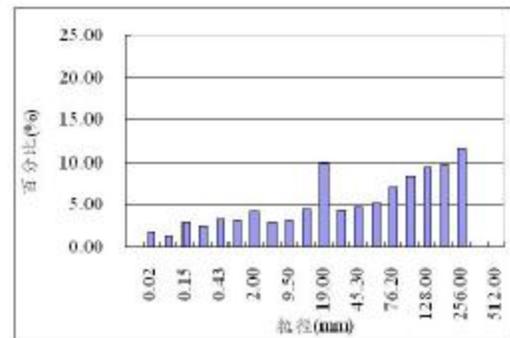
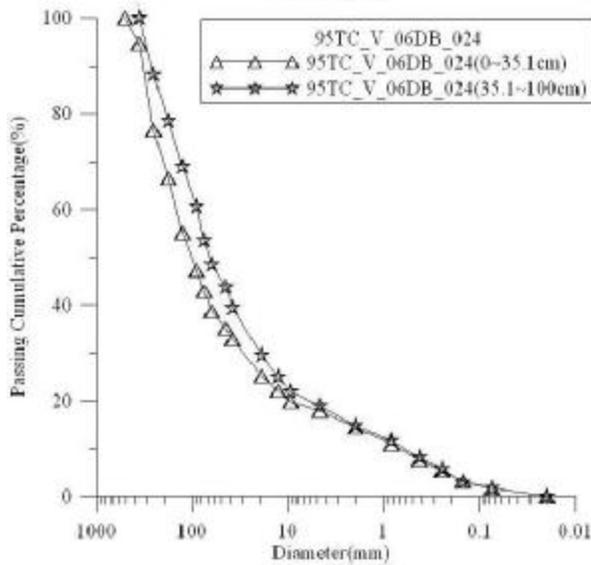
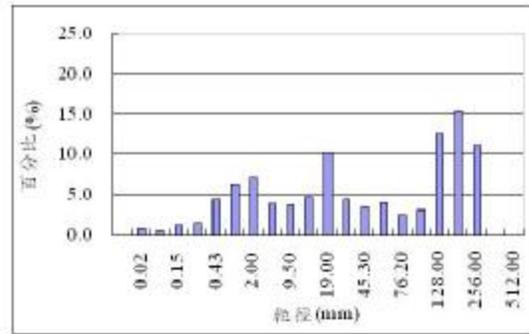
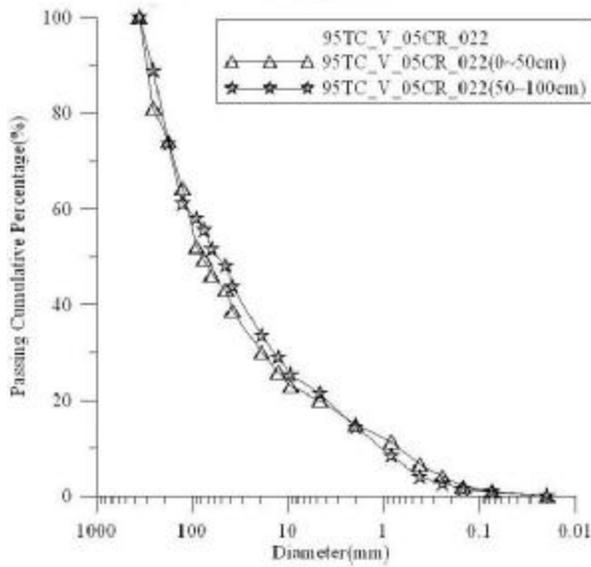
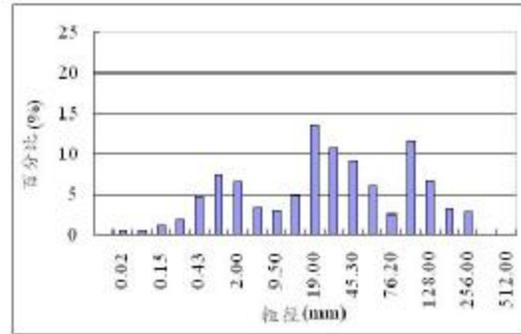
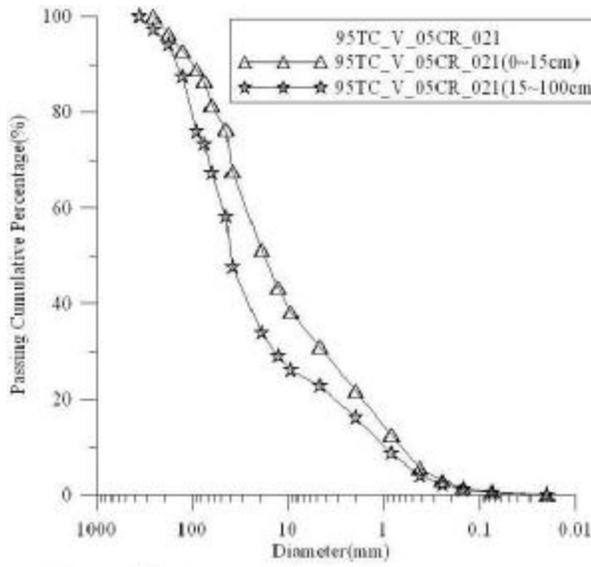


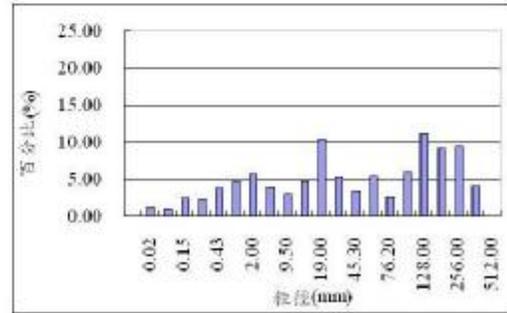
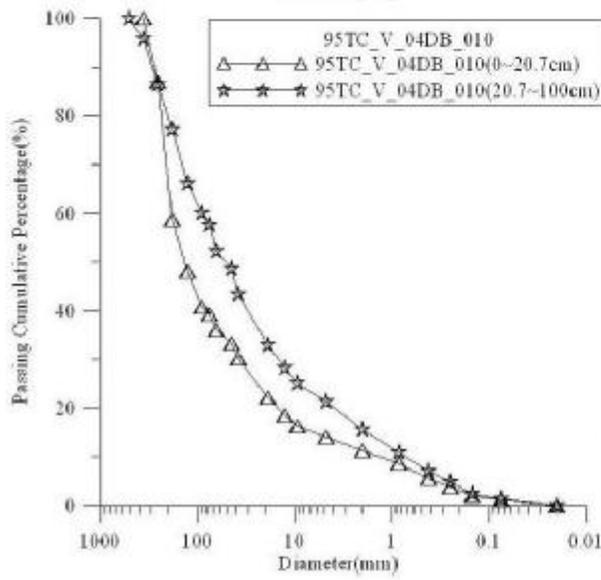
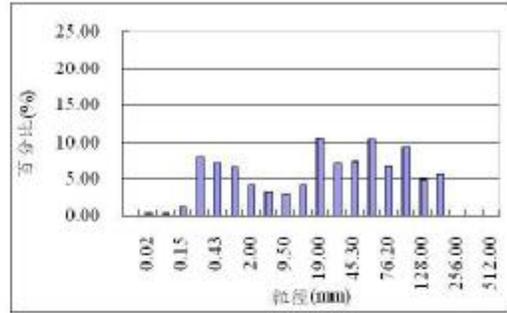
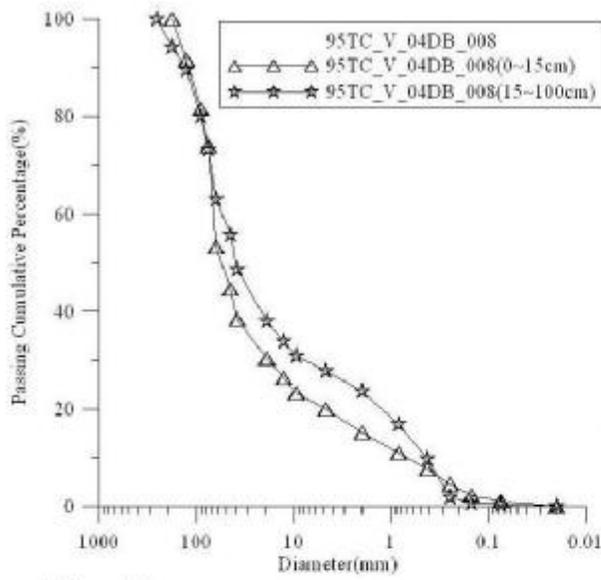












### 型態三

