

國立交通大學  
土木工程學系碩士班  
碩士論文

河床質調查位置與數量的合理性探討  
The Feasibility Study for Determining the Locations  
and Numbers of Gravel Bed Material Sampling

研究生：鍾政良

指導教授：廖志中 博士

中華民國九十五年七月

河床質調查位置與數量的合理性探討

The Feasibility Study for Determining the Locations  
and Numbers of Gravel Bed Material Sampling

研究生：鍾政良

Student: Zheng Liang Zhong

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 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年七月

## 河床質調查位置與數量的合理性探討

學生：鍾政良

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

水利工程進行河川整治，探討水理以及輸砂問題時，河床質的組成是重要影響因子之一。河床質因受多項變異性的影響，調查需依據河相、地質、地形等將河川加以分類，並考慮河川的縱向、橫向以及垂直向之變異性，挑選出具有代表性的取樣位置。

本論文採用傅志偉(2005)提出的河床質調查位置評選方法，以頭前溪為例，為取得合理且具代表性的河床質，進行河床質的調查。主要研究目的在於，觀察河床粒徑於縱斷面、橫斷面的變化情形，提出頭前溪河床質調查的合理調查位置與數量的建議。並探討網格法於台灣河床質調查的適用性及提出網格法細粒料的修正方法，以提升網格法河床質調查的合理性。

研究成果顯示，當調查目的僅需要表層河床質資料時，網格法比起體積法，可經濟且有效率的獲得河床質縱向以及橫向的變化關係。網格法細粒料修正方法，適用於無細料覆蓋之邊灘與無植生沙洲，並可取代體積法表層資料，當施做區域無表面粗粒化現象時，可取代體積法表、底層資料。網格法交織河相與蜿蜒河相的連接槽河段，粒徑於橫向的變化趨勢明顯，亦即粒徑隨著深槽距的增加而減少。河床質中值粒徑縱向變化呈現隨河口距增加而變小，然而受人工構造物影響嚴重。交織河相與蜿蜒河相，建議取樣位置為連接槽邊灘，縱向距離每500公尺佈下1~2組試驗點。辮狀河相，建議調查位置為寬帶沙洲，每一沙洲均佈下取樣點，單一沙洲設置2~3組網格法。若遇到人工構造物，需於構造物上下游增加施作點。

**關鍵字：**河床質、網格法、河相、評選系統

The Feasibility Study for Determining the Locations  
And Numbers of Gravel Bed Material Sampling

Student : Zheng- Liang Zhong

Advisor: Dr. Jyh-Jong Liao

Department of Civil Engineering  
National Chiao Tung University

**Abstract**

Bed material is one of important influence factors when concerning about the flow resistance, particle initial movement and sediment transport. In general, grid sampling is more economy and efficient than volumetric sampling. Due to the grain size distribution of bed material is strongly affected by river morphology, riverbed material, and river geology, it is necessary to divide a river into several sub-streams by a river classification system before deciding sampling sites.

The river classification system proposed by C.W. Fu (2005) was adopted in the thesis. The study aims to study the feasibility of sampling locations and sampling numbers and to present adjusted methods of Grain size distribution curve obtained from grid sampling. The Toucian River was selected as an example. Based on the classification system, the river is divided into 6 sub-streams and 24 sets of volumetric sampling and 66 sets of grid sampling were conducted.

Based on the sampling results, the facts reflect that the grain size distribution curve obtained from grid sampling adjusted by the armor fines methods are smooth and reasonable and the method is suitable for the site with non-covered riffle and no plant bar. For the sampling locations and numbers, the results show that in Meandering and Anastomosed river, bed material is finer as the distance between main streamway shorter, 1~2 sampling sites on the riffle of crossing were recommended; in Braided river, 2~3 sampling sites on each bar were suggested.

**Key words : bed material 、 grid sampling 、 river morphology  
、 select system**

## 誌謝

兩年研究生生活過去了，想當年因為考上交大研究所而無比興奮的我，如今已經要脫離學生身分成為社會新鮮人，不禁讓我感嘆時光飛逝。

首先，感謝我的指導教授廖老師。當年您爽快的收我為你的學生，真是讓我驚訝不已，不斷給予我磨練的機會，讓我這兩年成長不少。在此也感謝潘老師，在研究遇到瓶頸時總是能提出問題的癥結點，讓我見識到學者的風範。此外，也感謝胡爺，讓我一進研究所就可以見識到權威地質師的厲害。明萬學長、志謙學長以及志偉學長，這兩年來從你們身上也學到了許多東西，也讓你們幫了我不少忙，真是萬分感激。

同門兼室友玉麟，這兩年的互相扶持，讓個性迥異的我們成為了好友。阿華的造謠功力，讓我大開眼界。賴哥的龜毛，也讓我感到佩服。你們都在我需要幫忙的時候伸出援手，真的萬分感謝。大地組的同學們，這兩年的歲月，有苦有樂，很高興與你們共同度過。此外，感謝大學同學兼室友的多奇跟佩穎，陪我度過那段頹喪的日子。還有晉豪與旌哥，一起過了段愉快的日子。

學弟柏翰，我最後的衝刺真是多虧了你，希望繼續加油，順利完成學業。更要感謝小鼎學弟，你陪我度過了那段乏味的時光，增添我研究的樂趣。其它潘廖們的學弟，也辛苦你們了。

最後，感謝我的父母與兄弟，你們永遠是我最後的靠山。

# 目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
致謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vii
表目錄.....	x
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 論文內容.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
2.1 礫石河床質特徵.....	3
2.1.1 縱向變異性.....	4
2.1.2 橫向變異性.....	5
2.1.3 垂直向變異性.....	8
2.2 河床質調查方法.....	11
2.2.1 取樣方法.....	12
2.2.2 不同調查方法的結果差異性與關係.....	14
2.2.3 粒徑分佈試驗與重量估計方法.....	17
2.3 網格法取樣數量.....	19



2.4	調查數量、時間、頻率.....	21
2.5	河相學與河川分類.....	22
2.5.1	河相定義.....	22
2.5.2	既有河川分類系統.....	23
2.6	綜合討論.....	29
第三章	研究方法.....	31
3.1	概述.....	31
3.2	取樣位置評選.....	32
3.2.1	縱向位置評選.....	32
3.2.2	橫向位置評選.....	34
3.2.3	垂直向變異性.....	36
3.3	取樣與樣品處理方式.....	38
3.3.1	網格法採樣與分析.....	38
3.3.2	網格法細顆粒修正方法.....	40
3.3.3	體積法採樣與分析.....	43
3.3.4	樣品處理方法.....	45
3.4	最低調查數量研究.....	46
第四章	試驗規劃與試驗結果.....	47
4.1	試驗位置規劃.....	47
4.1.1	河川分類.....	47
4.1.2	取樣位置選取.....	49

4.2	網格法試驗成果.....	61
4.3	體積法試驗成果.....	65
第五章	網格法細粒料修正及網格法與體積法結果比較.....	74
5.1	網格法修正方法.....	74
5.2	網格法與體積法的結果比較.....	80
第六章	調查位置與數量的合理性.....	84
6.1	縱向與橫向變異性討論.....	84
6.1.1	橫向變異性討論.....	84
6.1.2	縱向變異性討論.....	93
6.2	調查位置與數量的合理性討論.....	96
6.2.1	調查位置評選.....	97
6.2.2	試驗數量評估.....	99
6.3	河床質調查流程.....	99
第七章	結論與建議.....	102
7.1	結論.....	102
7.2	建議.....	105
	參考文獻.....	106





## 圖目錄

圖2.1 不同沈積環境與河床質平均粒徑關係圖(傅志偉, 2005, 改繪自 Mosley and Tindale, 1985).....	6
圖2.2 河床質粒徑於橫向之分佈情形(Mosley and Tindale, 1985).....	7
圖2.3 沖積河礫石河床典型型態(Church et. Al, 1987) .....	9
圖2.4 模擬狀況表層深度評估(Bunte and Abt, 2001).....	11
圖2.5 網格法與體積法不同深度樣品試驗結果比較圖(傅志偉, 2005, 改繪自 Leopold, 1970) .....	15
圖2.6 體積篩分析法(左)與網格法(右)的取樣對象(Bunte and Abt, 2001) ....	16
圖2.7 開口樣版示意圖(Bunte and Abt, 2001).....	17
圖2.8 顆粒B 軸與顆粒重量之關係圖(Leopold, 1970).....	18
圖2.9 拾取數量與誤差關係(Fripp and Diplas, 1993).....	20
圖2.10 相同D50下三種不同掏選度的粒徑分佈曲線(Bunte and Abt, 2001). 21	
圖2.11 以蜿蜒寬度比定義河川分類(Rosgen, 1994).....	24
圖2.12 階層二分類流程圖(Rosgen, 1994).....	24
圖3.1 研究流程.....	32
圖3.2 評選分類系統流程圖(傅志偉, 2005).....	33
圖3.3 礫石河床橫向變異性研究流程.....	36
圖3.4 體積法深度分層研究流程.....	38
圖3.5 取樣繩照片 .....	38
圖3.6 網格法示意圖.....	39

圖3.7 開口樣板照片 .....	40
圖3.8 網格法細粒料取樣示意圖 .....	42
圖3.9 網格法取樣流程圖 .....	43
圖3.10 體積法施作流程圖 .....	45
圖4.1 頭前溪流流域河床質調查規劃圖 .....	55
圖4.2 斷面1 航空照片 .....	56
圖4.3 斷面1 現場照片(上游往下游拍攝) .....	56
圖4.4 斷面2 航空照片 .....	57
圖4.5 斷面2 現場照片(下游往上游拍攝) .....	58
圖4.6 斷面3 航空照片 .....	58
圖4.7 斷面3 現場照片(下游往上游拍攝) .....	58
圖4.8 斷面4 航空照片 .....	59
圖4.9 斷面4 現場照片(上游往下游拍攝) .....	59
圖4.10 斷面5 航空照片 .....	60
圖4.11 斷面5 現場照片 (由上游往下游拍攝) .....	60
圖4.12 斷面6 航空照片 .....	60
圖4.13 斷面6 現場照片 (由下游往上游拍攝) .....	60
圖4.14 頭前溪網格法中值粒徑縱向分佈 .....	64
圖4.15 頭前溪網格法掏選度縱向分佈 .....	65
圖4.16 頭前溪體積法表底層中值粒徑縱向分佈 .....	69
圖4.17 頭前溪體積法表底層掏選度縱向分佈 .....	69

圖5.1 表面無沉積細砂的邊灘.....	77
圖5.2 無植生沙洲.....	78
圖5.3 表面有大範圍細粒料覆蓋區域.....	79
圖5.4 網格法修正類型B的典型粒徑曲線.....	79
圖5.5 95TC_V_05CR_021現場狀況.....	81
圖6.1 斷面1大雨後現場照片(上游往下游拍攝).....	86
圖6.2 斷面1 資料彙整.....	87
圖6.3 斷面2 資料彙整.....	88
圖6.4 斷面3 資料彙整.....	89
圖6.5 斷面4 資料彙整.....	90
圖6.6 斷面5 資料彙整.....	91
圖6.7 斷面6 資料彙整.....	92
圖6.8 網格法D50平均後與河口距之關係圖(加入人工構造物).....	95
圖6.9 河床質調查流程圖.....	101



## 表目錄

表1.1 河床分類—依粒徑大小(Bunte and Abt, 2001).....	3
表2.1 表層深度評估方法.....	10
表2.2 不同採樣方法間之權重係數(修改自Kellerhals and Bray, 1971).....	16
表2.3 河川分類階層表(傅志偉, 2005, 修改自Rosgen,1994).....	25
表2.4 各類河川特徵對照表(傅志偉, 2005, 改寫自Rosgen, 1994).....	26
表2.5 採樣位置評選階層表(傅志偉, 2005).....	29
表3.1 河川分類表.....	35
表3.2 河川型態與採樣位置建議表.....	37
表4.1 頭前溪四階層分類表.....	48
表4.2 河相較穩定地形.....	50
表4.3 網格法調查規劃說明.....	51
表4.4 體積法調查規劃說明.....	53
表4.5 網格法與體積法對照表.....	54
表4.6 網格法施作結果.....	61
表4.7 頭前溪網格法粒徑分佈曲線特性討論表.....	63
表4.8 頭前溪體積法施做成果彙整表.....	66
表4.9 頭前溪體積法粒徑分佈曲線特性討論表.....	67
表4.10 體積法施作結果分類.....	71
表4.11 各橫斷面體積法D50垂直向之變化.....	72
表5.1 兩種網格法修正方式細粒料含量的差異.....	74

表5.2 兩種細料修正比例分佈.....	75
表5.3 網格法細粒料修正綜合比較.....	76
表5.4 網格法細粒料修正分類結果.....	77
表6.1 網格法D50於縱向平均結果.....	94
表6.2 頭前溪人工構造物列表.....	94
表6.3 網格法縱向分段比較表.....	96



# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機

水利工程進行河川整治，探討水理以及輸沙問題時，河床質的組成是重要影響因子之一，更因關切問題的不同，使得河床質需有表層與底層的分別討論。天然河川河床中，以礫石河床粒徑分佈最為廣泛，且因風化、掏選作用加上地形、地質條件的差異，具有縱向、橫向與垂直向的非均質分佈。由上述可知，河川整治的對象若為礫石河床，勢必需要進行考慮眾多因素的河床質調查。

目前台灣河床質調查，尚未有系統的考慮取樣位置、數量以及方法，致使調查結果無法反應整條河川的粒徑分佈。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。

本次研究採用傅志偉(2005)提出的調查位置評選方法，進行河床質的調查規劃，將對取樣方法、取樣數量與不同取樣位置的結果做進一步討論。針對網格法忽略細粒料，造成缺少細粒料的粒徑分佈，因此嘗試提出細顆粒的修正方法，檢驗修正後的合理性，提出修正適用條件。依據河川分段進行河床質調查，針對河床質隨橫向與縱向的變化，說明地形、河相的影響。最後，依據整體的施作結果，依照不同河相分段的施作結果，提出取樣位置與取樣數量的建議。

## 1.2 研究目的

本研究目標如下所列：

(1)依據河川分段的結果規劃網格法試驗，驗證調查位置評選方法的實用性，並依據結果建議河床質調查的位置與數量。

(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。

## 1.3 論文內容

本論文共分七個章節。第一章為緒論，說明研究動機與目的；第二章為文獻回顧，針對本次研究主題進行文獻回顧；第三章為研究方法，內容包括研究流程與方法；第四章為本次試驗規劃以及試驗結果；第五章分別討論網格法細粒料修正方法以及網格法與體積法的比較；第六章依據試驗結果討論調查位置及數量的合理性。第七章為本次研究後的結論並提出後續建議。

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 礫石河床質特徵

由於氣候環境、地形變化與地質條件等因素不同，而存在著不同型態的河川。依照顆粒粒徑大小，可將河床種類分為砂質 (Sand bed)、砂礫 (Gravel bed)、卵石 (Cobble bed) 以及巨礫 (Boulder bed) 四類。砂質河床的中值粒徑小於2mm，砂礫河床的中值粒徑範圍為2-64 mm，卵石河床的中值粒徑範圍為64-256mm，巨礫河床的中值粒徑大於256mm。各類型河床粒徑範圍如表1.1所示。

表 1.1 河床分類—依粒徑大小 (Bunte and Abt, 2001)

河床類型	中值粒徑範圍 (mm)
砂質河床	0.063 - 2
砂礫河床	2 - 64
卵石河床	64 - 256
巨礫河床	256 - 4096

礫石河床通常包含部份的砂，在山區含砂量可能少於10%，其他區域最多含砂量可達50%。此外，在山區礫石河床也可能會出現巨礫大小的顆粒。由於受到磨耗(abrasion)、掏選(sorting)、風化(weathering)等影響，礫石河床質的粒徑範圍大，顆粒分佈的空間亦不均質。本研究所提的礫石河床是包含上述的砂礫河床以及卵石河床，中值粒徑範圍為 2-256 mm。



礫石河床與砂質、巨礫河床的差別除了中值粒徑的大小之外，也跟河相（morphology）以及流域地形（topographic）相關。砂質河床通常坡度較緩，多位於溪谷以及平原。而巨礫河床的坡度較為陡峭，一般都出現在山區。而礫石河床則在兩種河床之間出現。關於河川的分類，將以Rosgen（1994）所提出的分類法於2.5節詳細說明。

本節河床質特徵僅針對礫石河床之縱向變異性、橫向變異性、垂直向變異性以及平面分佈不確定性等加以回顧。

### 2.1.1 縱向變異性

河床顆粒粒徑一般為越往下游顆粒越細，然而每條河川的縱向變化並不一致。Bunte and Abt(2001)認為造成河床顆粒縱向變化主要的成因可歸類為三種，分別為河床坡降、支流匯入以及顆粒磨耗與破損。改變河川坡降的可能因素為地層抬升以及人工構造物的存在。河川坡降的遞減將造成河川所能傳輸的顆粒大小下降。圓木的阻塞以及人工構造物會改變局部區域的坡降，造成上游端顆粒淤積，下游端沖刷。另外，由於河川支流與主流的顆粒傳輸能力不同，因此在匯流附近，將有複雜的顆粒變化，此處沉積顆粒的變化與整體河川的變化趨勢將有所不同。

Rice and Church(1997)提出磨耗與掏選對河床質沿縱向變化的影響最大。針對磨耗與掏選的作用，Schumm(1973)認為是水流速度與顆粒大小交互影響所造成的，其描述如下：在河川流速到達某定值時，某種粒徑大小之顆粒便開始運動。但運動顆粒的週遭存在著無法運動的較大顆粒，因此運動顆粒將受到阻擋而停止並造成較大顆粒的磨損。較大顆粒持續磨耗到一定程度後，同樣流速條件又足以使顆粒運動。另外，顆粒

運動過程中亦會產生破損或破裂，使得顆粒變得更小。運動顆粒由於流速與坡度因素，於河川下游再度沉積，另一次的磨耗作用再次發生。

綜合以上討論，河床顆粒隨下游距離增加而減小的趨勢是確定的，但每條河川的條件並不相同，因此有其不確定性。然而，可確定的是在局部坡度改變處以及支流匯流處，將會改變河床顆粒的縱向變化趨勢。

### 2.1.2 橫向變異性

河床質磨耗與掏選行為端看水流速度而定，水流速度為顆粒大小的控制因素之一，然而橫向斷面上不同地形受到水流影響的狀況並非一致，導致河床質在橫斷面並非均勻分佈。

Mosley and Tindale(1985)於紐西蘭Ashley River之辮狀河段，沿著七個橫斷面，收集153組樣本，141組使用Wolman法，12組因施作地方有水而使用固定步距拾取，並於施作區域隨機挑選86處施作體積法，每組體積法收集30公斤的樣品。規劃施作前，先依航照判釋以及植被生長，依照沉積年代由年輕至老，將施作區域分為A、B、C、D四種區域。實際於這四種區域以及交替沙洲、側向沙洲、橫向沙洲、深潭與近水堤岸等取樣分析後，由圖2.1可發現體積篩分析(左)與網格法(右)的施做結果，而不同沉積環境皆存在著差異，可發現交替沙洲的顆粒最粗。橫斷面不同地形的取樣結果，則如圖2.2所示，不同地形的沉積顆粒並不相同，造成河床質橫向呈現不均質分佈。

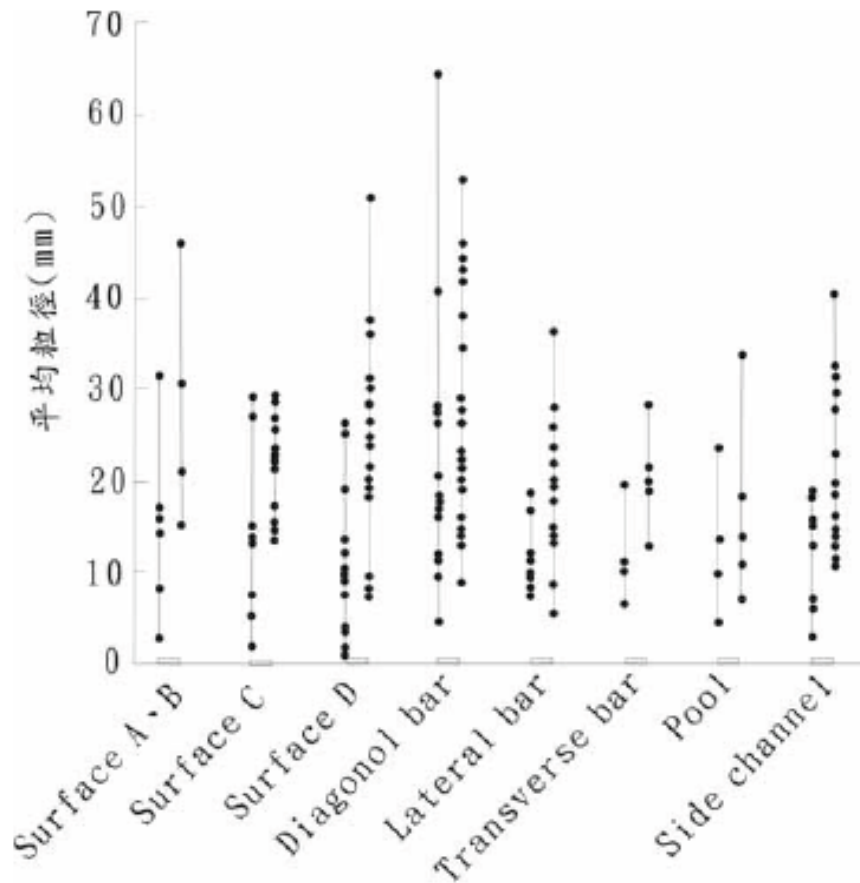


圖 2.1 不同沈積環境與河床質平均粒徑關係圖 (傅志偉, 2005, 改繪自 Mosley and Tindale, 1985)

Haschenburger and Wilcock (2003) 將磁石置於礫石河床，觀察其運動狀況，發現同一區域內存在三種顆粒傳輸狀態，分別是完全不運動、部分運動與完全運動（顆粒運動的定義為顆粒位移超過1公尺），各狀態涵蓋範圍隨流量變化而改變。當流量漸漸提高時，完全運動區域會由主深槽往兩岸擴大；部分運動區域除了變為完全運動狀態，涵蓋區域亦往兩岸擴大；完全不運動涵蓋區域則相對減少。滿槽流量(bank-full discharge)發生時，完全運動區域將完全取代部份運動區域。

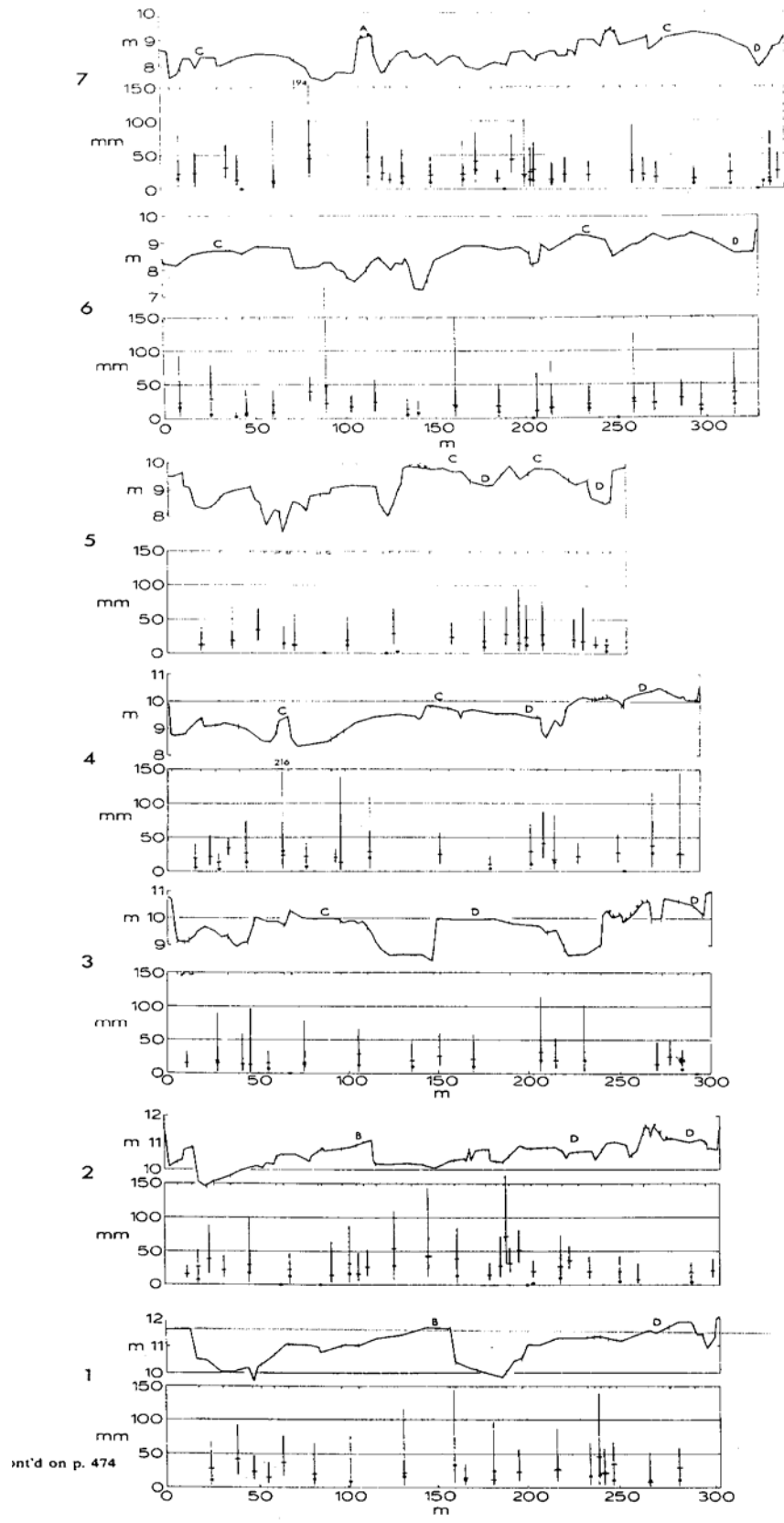


圖 2.2 河床質粒徑於橫向之分佈情形(Mosley and Tindale, 1985)

由上述可知，顆粒傳輸狀態與河水流量有相關。深槽常年處在完全運動區域，堆積顆粒最為粗糙。同一橫斷面上的邊灘、沙洲等地貌，依據流量的變化，顆粒傳輸在完全運動與部份運動兩種狀態下變換並不固定。此現象造成不同地貌堆積顆粒的大小分佈不均，也說明橫斷面的沉積環境並非一致。台灣河川流量因地形、氣候條件，隨時間變化劇烈，河床顆粒傳輸狀態時常改變，造成河床質於橫向存在變異性。

因顆粒傳輸狀態不一致，造成河床質橫向的變異性，若能取得橫斷面上，不同沉積環境的河床質關係，便可由斷面上任一沉積環境的河床質參數推估整個斷面的河床質狀況，大大提高調查工作的效率。首先需要克服的問題是單一沉積環境的調查需求數量，在確定各類沉積環境的河床質參數後，才可進一步的作不同沉積環境的河床質參數比對。

### 2.1.3 垂直向變異性

礫石河床因沉積條件不同，造成粗細顆粒沉積狀況不一，Church et al.(1987)將礫石河床垂直向分成四個典型沉積型態，如圖2.3，其中a與b為典型礫石河床狀況。a為接觸接合(Framework gravel)：粗顆粒相互接觸保持穩定，其間空隙由細粒料填充。d為基質接合(Censored gravel)：當細粒料含量超過30%，粗顆粒不相互接觸。

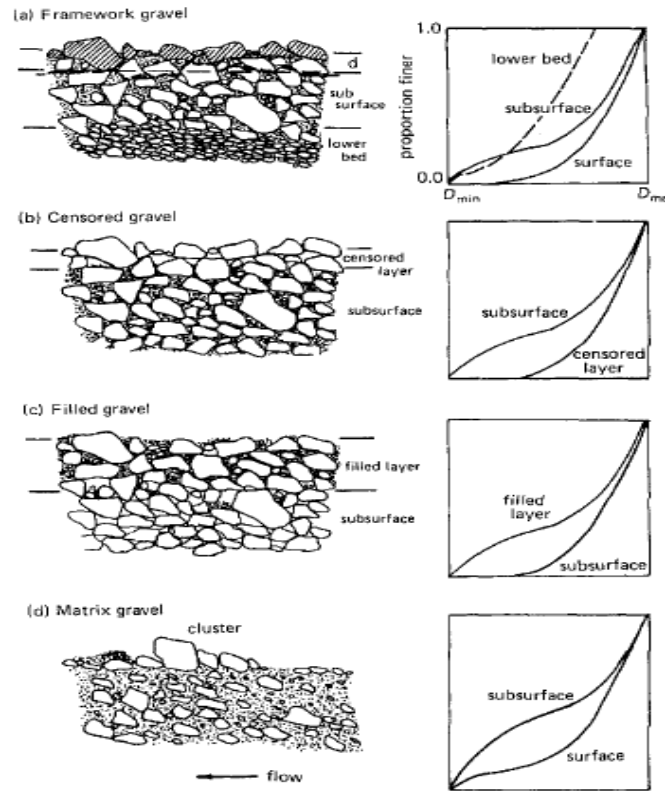


圖 2.3 沖積河礫石河床典型型態(Church et. Al, 1987)

表層粗粒化為造成表、底層粒徑分佈差異最主要的原因。當表層粗粒化現象發生，表層顆粒代表粒徑將明顯粗於底層代表粒徑。Shih and Komar(1990)研究顯示，若產生表層粗粒化，表底層的主要差異在於細粒料的含量多寡。

表層粗粒化的成因，Church et al.(1987)歸納如下：

- (1)表層細顆粒因風力掏選而減少；
- (2)顆粒堆積於低能水流區域，僅細顆粒被流水帶走；
- (3)表層顆粒互制良好，顆粒運動行為受到牽制，而細粒料的運動行為為不受影響；
- (4)河床材料在平衡傳輸（equilibrium transport）條件下，較粗顆粒

因可運動性低而集中在表面。

主深槽因平衡傳輸發生頻率高，容易形成圖2.3(b)的沉積型態，當河川流速變緩細粒料開始於表層沉積，沉積型態會變為圖2.3(c)的情形。沙洲與邊灘可能長期受到低能水流與風力掏選作用，表面細粒料槽攜出而減少，底床沉積型態類似圖2.3(a)。2.3(d)為洪水退後，造成大量細料沉積的狀況。綜合上述，長期穩定的河川流域容易出現表層粗粒化的現象。

若表底層無明顯分界，於現場難以分辨。因此過去一般表層深度的認定分為兩種：

(1)裸露於河床表面最大顆粒( $D_{max}$ )底部所達深度

(2)河床表面出現頻率最高的粒徑( $D_{dom}$ )為表層深度

過去學者提出過許多表層深度的評估方法，整理於表2.1。若假設沉積環境的顆粒形狀皆為橢球型，全部顆粒以a軸與水平面夾 $45^\circ$ 的方式排列且顆粒80%的體積遭到埋沒，依照表2.1評估表層深度，模擬狀況如圖2.4所示。

表 2.1 表層深度評估方法

評估方式	提出學者(年份)
$D_{max}$ 的 C 軸	Ettema (1984)
$D_{max}$ 的 B 軸	Diplas (1992)
表面顆粒 $D_{90}$ 的 2 倍	Simons and Senturk (1992)
$D_{dom}$ 的埋沒深度	Winema National Forest (1998)
$D_{max}$ 的埋沒深度	

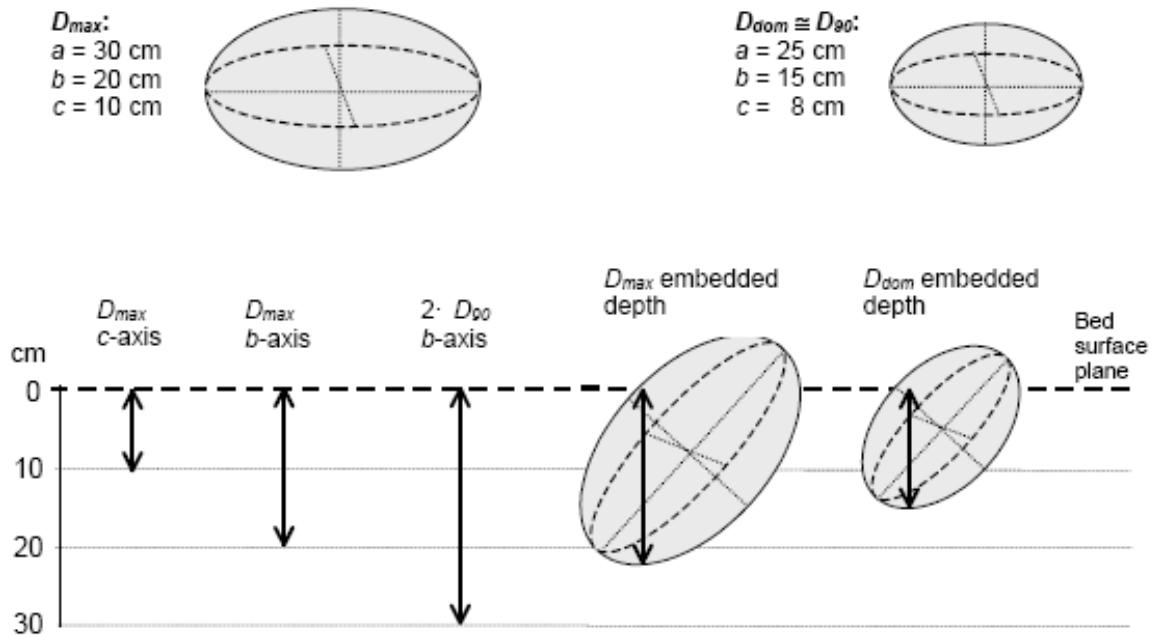


圖 2.4 模擬狀況表層深度評估(Bunte and Abt, 2001)

根據模擬結果，不同評估方法得到的表層深度皆不相同。然而實際顆粒的排列並非一致，造成真正的表層深度難以評估。

依照目的，只針對底床對水流阻抗能力、顆粒初始運動狀態等問題進行的河床質調查，僅需討論表層材料狀況，垂直向變異性影響並不大。但若要考慮沈澱傳輸的問題時，由於需要同時考慮表、底層的材料狀況，此時垂直向變異性的重要性就大大提高。若可由表層材料調查之結果推測底層材料特性，進而判斷表層粗粒化發生可能區域，則河床質調查取樣方法的選用可更加靈活，提高調查工作的效率。

## 2.2 河床質調查方法

因調查目的不同，河床質調查取樣應有表層與底層分別，需搭配不同之取樣方法。現行河床質調查的主要目的在決定粒徑分佈曲線，篩分



析為常使用方法。但礫石材料粒徑分佈廣泛，無法單純以現地篩分析決定粒徑分佈。因此，必須透過其他方法協助決定粒徑分佈結果。本節就取樣方法與樣品處理方法進行探討。

### 2.2.1 取樣方法

不同的取樣目的與現場狀況應使用不同取樣方法，各種不同的取樣方法各有其優劣處（Kellerhals and Bray, 1971；Church, et. al, 1987；Morris and Fan, 1998）。取樣方法可分為表層取樣與底層取樣兩大類。表層取樣主要有網格取樣(grid sampling)、面積取樣(area sampling)以及橫切取樣(transect sampling)三種方法，各種取樣方法又有許多不同的步驟與使用工具。底層取樣因空間限制故僅能以體積篩分析取樣(bulk sampling)進行，而體積篩分析又可分為僅針對表層顆粒取樣與不分表底層之取樣。

各式表面取樣方法中，網格法取樣可用取樣膠布、方形網框，或利用步伐間距建立網格；面積法取樣為將預定採樣面積範圍內所有之表面顆粒均收集分析；橫切法取樣則是在試驗範圍內拉一筆直之繩索或是鋼絲，並收集落於樣品線下方之所有樣品。橫切法僅包含一維空間，可預期施做結果的代表性不如另外兩種方法。面積法一般使用沾黏表面顆粒的取樣方式，不適合河床質粒徑較大的礫石河床。經過初步比較網格法適用性最佳，以下詳細介紹網格法的施作程序。

現今常使用之網格法大多是沿用Wolman(1954)提出方法加以改進。在預定調查範圍製作網格，收集並量測標記點下方顆粒尺寸。建立網格的方法可分為四種：

### (1)方型網框

建立一平方公尺大小之方形網框，框內設置縱橫向等距鋼絲，網格大小須大於現場最大顆粒，避免單一顆粒取樣兩次。將網框置於預定調查位置上方，選取網框交線下方石塊，但若石塊粒徑小於8mm時，則選取鄰近粒徑大於8mm之顆粒取代。於施作區域內，依照取樣數量要求，一般網框需緊靠擺設成矩形的取樣範圍。

### (2)設置採樣繩

將膠帶等距施作記號，放置於調查位置上方，選取記號點下方之顆粒。標記點下方石塊粒徑小於8mm時，則選取鄰近粒徑大於8mm之顆粒取代。每一測線完成後水平橫移取樣膠帶，直至取樣數量到達預定數目為止。

傅志偉(2005)於頭前溪施作網格法，選擇設置採樣膠帶來建立網格，並使用童軍繩取代取樣膠帶，在童軍繩每隔1m作上記號。於預定現場擺設取樣繩，選取每1m記號下之顆粒，並將測線平移1m後繼續取樣，直到取樣數量達到要求。有效顆粒標準，同時採取最小8mm與2mm兩種規則，結果發現兩種規則的取樣結果，並無明顯差異，原因為兩種尺寸於現場難以區別。

### (3)以步伐為單位進行採樣

由Leopold(1970)提出，於預定調查位置上，沿平行路徑以每兩小步或每一大步之間格為取樣單位，選取腳尖旁之石塊，取樣時為避免人工

誤差，僅憑手指觸覺隨機選取樣品，直至收集所需樣品數為止。有效樣品粒徑為2mm，若樣品顆粒小於2mm則應記錄<2mm，亦可將細顆粒取樣帶回實驗室進行室內試驗。

#### (4)拍攝照片進行影像分析

Bunte and Poesen(1993)，提出以50mm的鏡頭，24\*36mm的底片，以離地1.3m的垂直距離，向下拍攝0.35m<sup>2</sup>的施作區域，所得到的照片最小可分辨2mm的顆粒。雖然照相具有準備工作簡單、執行容易與可以保存資料等優點，但由於河床顆粒可能被細料覆蓋或因周遭地形遮蔽，使得於相片與實際情況有所差異，導致照片分析精度受限。

#### **2.2.2 不同調查方法的結果差異性與關係**

Leopold(1970)在施做表面取樣法之後，將收集到的樣品以篩分析重新分析，結果顯示二者並無法完全相符，但當取樣顆粒數量增加會使比對結果更加一致。Leopold另外於同一採樣位置進行表面取樣以及體積篩分析取樣法(分1 英吋、1~3 英吋及6 英吋三種取樣深度)。結果如圖2.5所示，表面採樣方法與體積取樣1英吋深之篩分析結果最為接近，但明顯表面取樣方法忽略了細粒料的粒徑分佈。

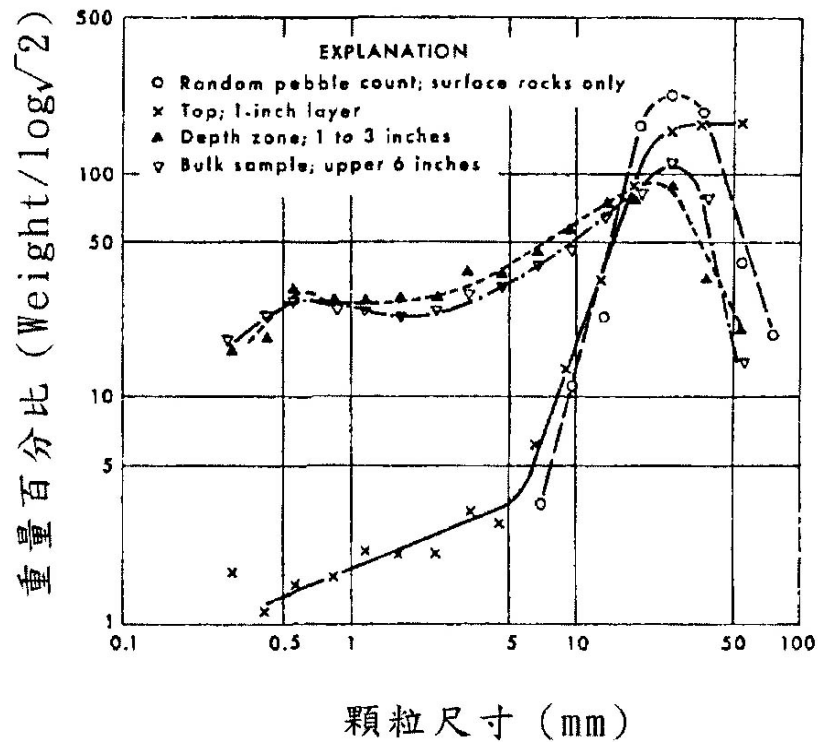


圖 2.5 網格法與體積法不同深度樣品試驗結果比較圖 (傅志偉, 2005, 改繪自 Leopold, 1970)

Kellerhals and Bray(1971)認為體積篩分析的取樣方法大多應用於砂質河床。若於礫石河床分別作表面與體積取樣，可能因粒徑分布廣泛，造成結果無法比對。建議應當透過權重係數轉換後，才可將結果互相比對。其嘗試以三種不同尺寸單元組成之立體方塊模擬顆粒沉積狀態，並於此模擬狀態同時進行傳統體積篩分析方法、網格法(分別以重量及出現次數為基礎)以及面積法(分別以重量及出現次數為基礎)。將結果分析得到各種方法間轉換的權重係數，如表2.2 所示，發現唯有以出現次數為基礎之網格採樣結果可直接與體積篩分析結果對比。

表 2.2 不同採樣方法間之權重係數(修改自 Kellerhals and Bray, 1971)

Conversion form	Conversion to				
	Sieve -by- weight	Grid -by- number	Grid -by- weight	Area -by- number	Area -by- weight
Sieve-by-weight	1	1	$D^3$	$1/D^2$	D
Grid-by-number	1	1	$D^3$	$1/D^2$	D
Grid-by-weight	$1/D^3$	$1/D^3$	1	$1/D^5$	
Area-by-number	$D^2$	$D^2$	$D^5$	1	$D^3$
Area-by-weight	$1/D$	$1/D$	$D^2$	$1/D^3$	$1/D$

D：顆粒幾何平均粒徑

實際施做網格法時，僅拾取表面顆粒做取樣分析，體積篩分析法則是將預定深度所有顆粒皆進行取樣，如圖2.6所示。由於取樣對象就不同，加上網格法忽略細粒料，造成兩者施做結果無良好比對結果。

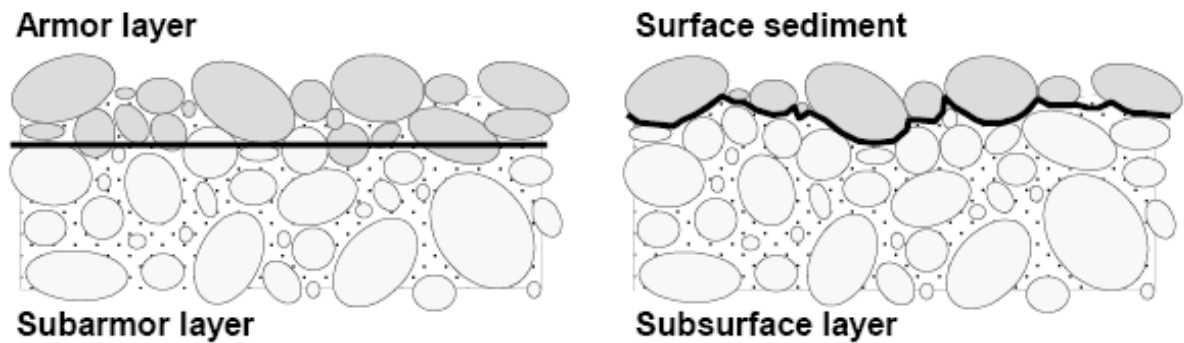


圖 2.6 體積篩分析法(左)與網格法(右)的取樣對象 (Bunte and Abt, 2001)

綜合以上討論，以出現次數為基礎之網格法除了有效率與經濟的優點，且在表層的取樣與體積法重量分析結果有良好的比對結果，礫石河床表層材料調查應可大量採用此取樣方法。但由於台灣河川明顯異於國外情況，河床質粒徑分佈廣泛，傅志偉(2005)於頭前溪流域，同時施作以出現次數為基礎之網格法與體積法，但發現兩種方法的結果並沒辦法完全符合，因此仍須考量是否修正施作方法。另外，由於網格法於效率

上明顯優於體積篩分析法，若能提出網格法的修正，使得網格法與體積篩分析法有良好的比對結果，並可提出適合以網格法取代體積篩分析法的適用情形。

### 2.2.3 粒徑分佈試驗與重量估計方法

任何河床質取樣方法，在現場取得樣品後，均需進行顆粒分級。顆粒粒徑分級一般以篩分析試驗決定，但礫石河床顆粒分佈廣泛，無法單純以單一方式進行分類。應該針對不同的粒徑分級，選取適當的分類方式。

目前決定顆粒粒徑分級的方法除使用標準篩進行篩分析試驗外，還可用尺、游標卡尺丈量顆粒B 軸或是以開口樣版量測B軸之軸長（gravelometer,圖2.7）進行分級。一般以篩分析試驗進行較為便利，但大型的顆粒因人力限制可選用上述其他方式分類。Hey and Thorne(1983)在研究網格法取樣誤差時指出，以開口樣版、尺或游標卡尺丈量顆粒B 軸，發現以開口樣版的分級結果與篩分析的結果比對性最佳。

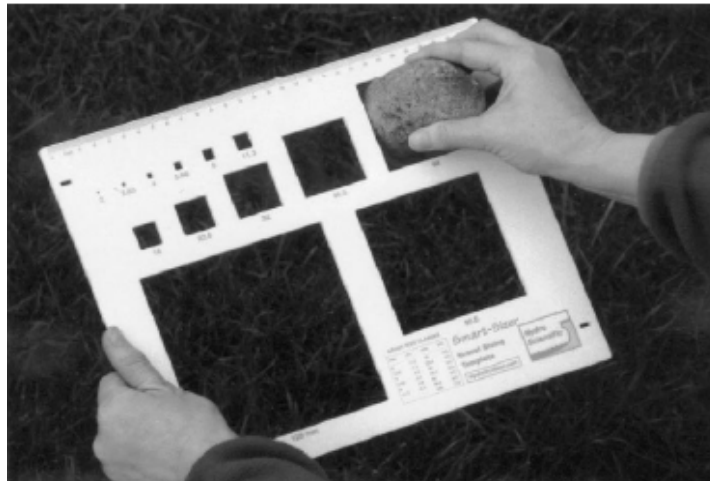


圖 2.7 開口樣版示意圖 (Bunte and Abt, 2001)

Leopold(1970)研究指出一般石塊比重差距不大(2.5~2.8之間)，推估比重對於顆粒重量估計影響不大，並且針對Green River 進行採樣，分析結果後發現顆粒B軸與顆粒重量之間存在線性關係（圖2.8）。因此可用顆粒數量取代重量作為顆粒的分級。

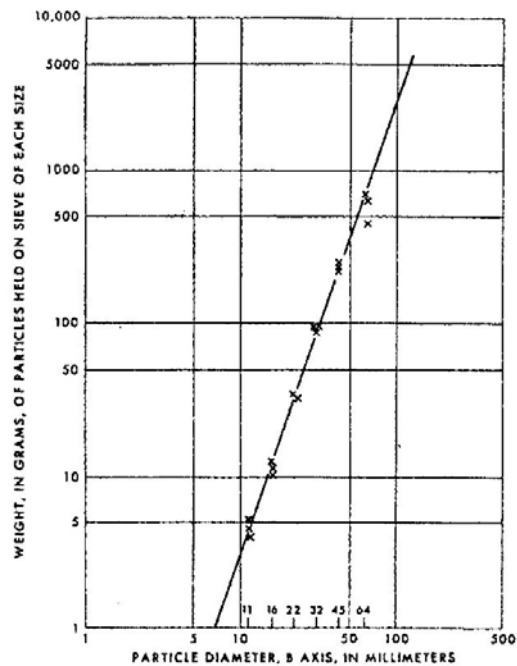


圖 2.8 顆粒 B 軸與顆粒重量之關係圖 (Leopold, 1970)

傅志偉(2005)提出的顆粒分級方法，將體積法樣品處理方法分為大顆粒尺寸標定、現地篩分析試驗與實驗室篩分析試驗三部分：

### (1)大顆粒尺寸標定

32mm以上的顆粒分級採用開口樣版量測，開口尺寸由大至小依序為256mm、181mm、128mm、90.5mm、76mm、64mm、45.3mm、32mm。現場將以最接近32mm的1 1/2" 號篩（38.1mm）作為現地篩分析與開口樣版量測分界。

## (2) 現地篩分析試驗

1 1/2" (38.1mm) 號篩以下顆粒與3/8" (9.5 mm) 號篩以上顆粒進行現地篩分析，現場採用號篩有1 1/2"、3/4"、1/2"、3/8" 四組。通過3/8" 號篩之細料取20kg 樣品，帶回進行實驗室篩分析試驗。

## (3) 實驗室篩分析試驗

實驗室篩分析試驗依據ASTM D421規定進行試驗。選用篩組計有#4、#10、#20、#40、#60、#100 與#200 篩。

## 2.3 網格法取樣數量

Hey and Thorn(1983) 利用網格法樣品數量與誤差間之關係，探討單一組別需求數量的問題，指出誤差來源主要有操作者誤差與樣品誤差兩種。操作者誤差為調查方法與工具的多樣化，以及施作程序無標準步驟所造成。Wolman(1954) 依據試驗結果建議樣品數少於100 較不會產生明顯之操作者誤差，且同一取樣人員於不同樣品區取樣誤差亦可忽略；Brush(1961) 則認為收集60 個樣品已足夠避免不同操作者造成的誤差。

Fripp and Diplas(1993)提出不同粒徑累積百分比在樣本數量與準確度的關係並不相同。圖2.9所示，X軸為樣本拾取的顆粒數，Y軸為粒徑分佈曲線的累積百分比，圖上的實線為真值，虛線為帶有誤差的試驗值。由圖可發現拾取數量增加誤差逐漸變小，但到達一定誤差後，即使增加拾取數量也很難降低誤差。由圖發現D<sub>50</sub>的誤差明顯比D<sub>90</sub>與D<sub>10</sub>的誤差要來的大，說明累積百分比不同誤差大小亦不同。另外，D<sub>90</sub>與D<sub>10</sub>由



於統計的關係，需要拾取200顆以上才可得知誤差大小。

對於河川底床粒徑採樣試驗所得的結果，主要是粒徑分佈曲線，其意義相當於統計上使用之累積分佈曲線(cumulative frequency)。對於粒徑分佈狀況亦常使用百分段(percentile)來進行表示，如粒徑分佈曲線上75%對應之粒徑尺寸D，表示此粒徑分佈有75%的粒徑重量其尺寸小於此對應尺寸，常採用百分段之方式註記為 $D_{75}$ 。任何一個百分段均可加以使用，但一般常用的百分段為 $D_{50}$ (中值粒徑)、 $D_{25}$ 及 $D_{75}$ (四分位數，quartiles)、 $D_{16}$ 及 $D_{84}$ 、以及 $D_5$ 及 $D_{95}$ 。在一個標準分佈(normal distribution)上， $D_{16}$ 至 $D_{84}$ 之範圍大約為包含中值之一個標準偏差(standard deviation)，而 $D_5$ 及 $D_{95}$ 可以反應分佈尾端的特性，其包含範圍大約為二個標準偏差。此外，掏選度(Sorting Coefficients)亦可反應粒徑曲線的型態，掏選度越大表示顆粒給配越佳，掏選度越小表示顆粒大小越類似。圖2.10，即是不同掏選度顯示出的粒徑曲線。本論文掏選度的計算公式採用式2.1。

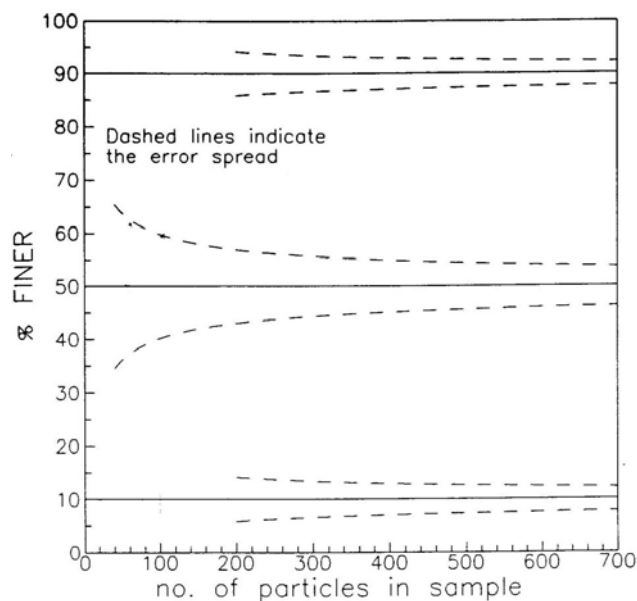


圖 2.9 拾取數量與誤差關係(Fripp and Diplas, 1993)

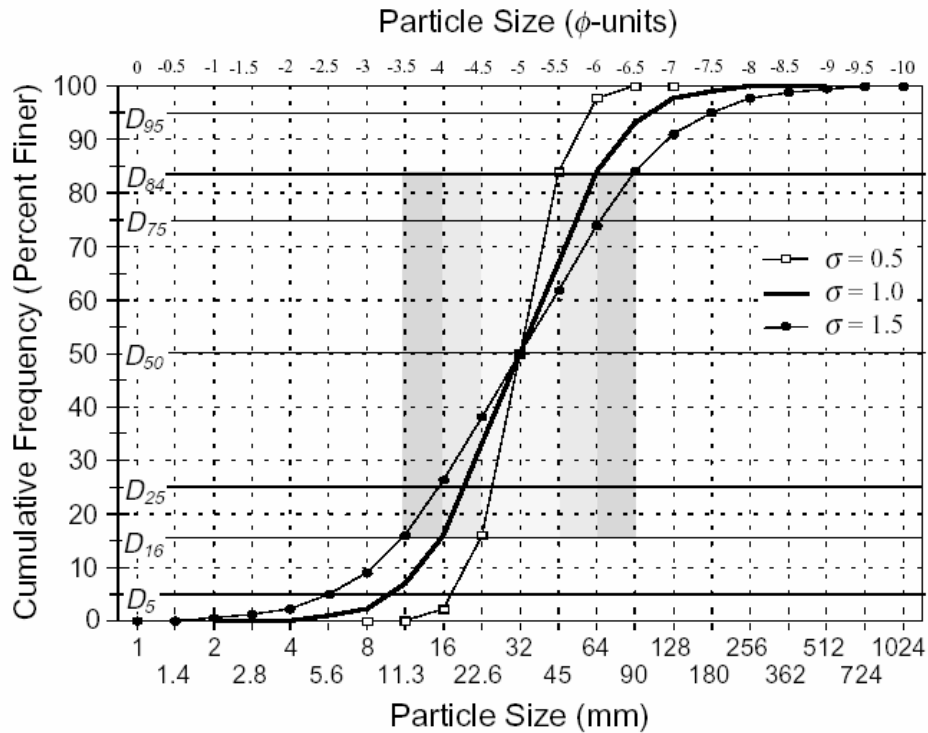


圖 2.10 相同  $D_{50}$  下三種不同掏選度的粒徑分佈曲線(Bunte and Abt, 2001)

$$S_I = \left| \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{2} \right| \dots\dots\dots(\text{公式2.1})$$

其中  $\phi_i = -3.3219 \log(D_i)$

## 2.4 調查數量、時間、頻率

單一河段需要多少取樣點才具有代表性，雖然過去學者也做過研究提出建議，但由於研究的河川型態並不相同，提出的數量需求差異甚大。然而，台灣河床質粒徑分佈極為廣泛，與國外研究的河床情形不同，取樣點的數量評估勢必更加複雜。最後，整條河川需要多少取樣數量，需先解決上述問題後，再針對取樣目的才能做出整體的規劃。

由於河床粒徑分佈於縱向與橫向的變異性與其河床型態、母岩、流

速等皆有相當大的相關性。因此對於同一時期一條河川的河床調查數量取決於調查目的及上述因素，亦即依照調查目的，並就河川依河相等加以分類在考慮其代表性位置加以規劃。

由於河床質分佈不均勻，因此調查區域應盡可能涵蓋所有區域，因此應選於最多河床區域曝露於水面之上的枯水期進行調查。傅志偉(2005)建議取樣時間可透過流域降雨特性推估河川枯水期，作為河床質調查時間之依據。

取樣頻率間距過大可能造成治理工程採用不正確資料而降低成效，調查間距過小河床質變化不大，造成資源浪費。傅志偉(2005)提出礫石河床顆粒變動程度與流量大小有關，應依據河水流量重現期距與調查精度需求評估調查頻率。

## 2.5 河相學與河川分類



河相可反應出河川區域的地質狀況、沉積特性、河川流量以及底床坡度(Morris and Fan,1998)。因此河床質調查應以河相特徵進行取樣位置的評選，方可進一步做各項變異性的探討，提高取樣結果的代表性。

### 2.5.1 河相定義

河相 (river morphology) 探討河川的形成內容包含河川長短、橫斷面形狀、縱剖面狀態以及平面樣式。河川的特徵是由侵蝕、風化與地質狀況的交互作用形成的，抵抗變形能力則是跟河道邊界地質與地形條件以及堤岸植被狀態等條件決定。

## 2.5.2 既有河川分類系統

河川型態分類首先由Leopold and Wolman (1957)提出直線型、蜿蜒型與辮狀型系統。直至1970年後，交織狀系統才被公認為應獨立於辮狀系統之外，至今河川典型類別可分為直線型、蜿蜒型、辮狀型與交織狀四類。

目前的河相分類以Rosgen(1994)建立的分類系統較為完整，同時考慮平面型態、縱向變化與橫斷面影響，其分類方法共分為四個階層，階層一對平面型態特徵進行初步分類；階層二對河川型態於平、縱與橫向做進一步分類；階層三探討河川穩定狀態，以縱橫向穩定指標評估河道穩定性；階層四進行實際量測建立河槽穩定之理論分析。每一階層之目的與資訊需求不同，各階層的目的、需求與成果如表2.3所示。

階層一將河川類型由蜿蜒寬度比分成A-G 大類，階層一分類如圖2.11所示，其中蜿蜒寬度比 =  $\frac{\text{帶寬}}{\text{滿槽寬}}$ 。在階層二中再以河川深槽比、寬深比與坡度進行細分，將斷面深槽比等參數計算完成後再以底床材料粒徑區分為1~6 等六小類，上述分類為依循流程進行，階層二分類步驟如圖2.12。其中階層二，河川分類與各類河川特徵對照如表2.4。

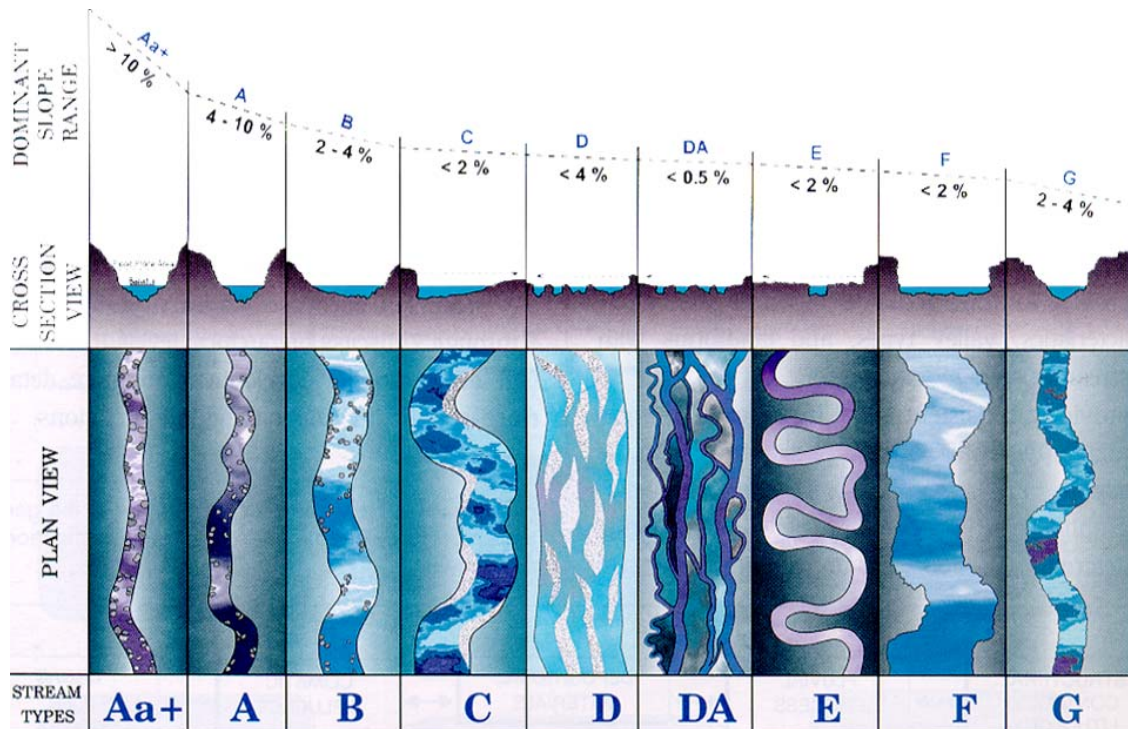


圖 2.11 以蜿蜒寬度比定義河川分類 (Rosgen, 1994)

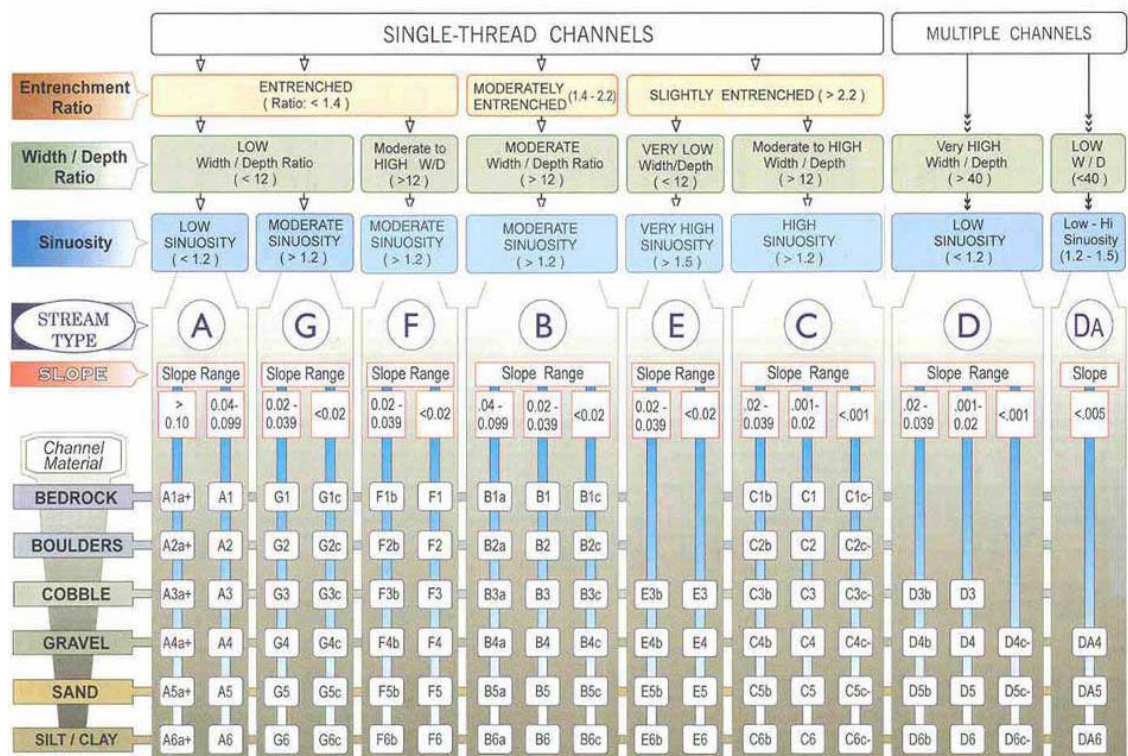


圖 2.12 階層二分類流程圖 (Rosgen, 1994)

表 2.3 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、沈積歷史、河谷型態、河川縱向型態、大體之河川樣式。	藉由遙測或是已建立之地形圖、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、槽深比、寬深比、曲折度、河床材料、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、沈積型態、蜿蜒型態、束制特徵、魚類活動指標、河制、河川尺寸範疇、岩屑事件、河川穩定指標、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 (例如：河川堤岸之侵蝕計算)。
Level IV	驗證	直接或間接量測沈澱載、堤岸侵蝕率、沈積與沖刷過程、水力幾何、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；提供特定斷面之沈澱、水力與生物資訊；以及評估變動河床效能與衝擊評估。

表 2.4 各類河川特徵對照表 (傅志偉, 2005, 改寫自 Rosgen, 1994)

河川型態	基本描述	深槽比	寬深比	蜿蜒度	坡度	地形與土壤特徵
Aa+	非常陡，深槽，土石運送之湍流河川	<1.4	<12	1.0~1.1	>0.1	1. 地形起伏非常明顯 2. 有沖蝕、岩床或沈澱特徵，有土石流淺勢 3. 深槽河川 4. 深沖刷坑造成垂直落差 5. 瀑布
A	似壕溝的、小瀑布的、階段/深潭河川具有高能輸送土石及沈積土壤，若渠道為岩盤或大礫石則非常穩定	<1.4	<12	1.0~1.2	0.04~0.10	1. 地形起伏明顯 2. 沖蝕或沈澱或岩床形式 3. 深槽且具有小瀑布段之河川 4. 綜合深池、階段/深潭之河相
B	1. 平緩的深槽，緩坡，以淺灘為主較少深潭之河川 2. 平面型態及縱剖面均非常穩定 3. 穩定深槽	1.4~2.2	>12	>1.2	0.02~0.039	1. 適度的地形起伏 2. 適度的侵蝕與寬深比 3. 窄且緩坡的溪谷 4. 以急流為主
C	1. 坡度小，蜿蜒，有點狀邊灘、淺灘/深潭，被廣大洪水平原沖積形成之渠道	>2.2	>12	>1.4	<0.02	1. 有洪泛平原，寬廣的溪谷，沖積土壤 2. 輕微地侵蝕且有範圍明確的蜿蜒渠道 3. 淺灘/深潭型態河相
D	1. 具有縱向及橫向邊灘之瓣狀渠道 2. 具有沖蝕的深槽且非常寬之渠道	N/A	>40	N/A	<0.04	1. 由於沖積層及陡的沖積扇形成寬廣河谷 2. 具有冰和堆積物特徵 3. 豐富的泥沙供應 4. 高堆移質及深槽沖蝕作用

河川型態	基本描述	深槽比	寬深比	蜿蜒度	坡度	地形與土壤特徵
DA	1.交叉狀，窄且深，有廣大穩定發展的洪水平原及濕地 2.非常平緩的地形起伏且蜿蜒度與寬深比變化不定 3.非常穩定之河岸	>2.2	不定的	不定的	<0.005	1.坡度低，細沖積扇形成寬廣河谷 2.具有廣大的濕地及洪水平原，細沈積物形成側向穩定的邊灘 3.極少河床質以沖瀉質為主
E	1.坡度小，蜿蜒的淺灘/深潭河川且低寬深比 2.非常穩定 3.高蜿蜒度	>2.2	<12	>1.5	<0.02	1.寬廣河谷 2.沖積層形成洪水平原 3.高蜿蜒度及穩定深槽 4.具有極低寬深比之淺灘/深潭河相
F	坡度低，高寬深比，侵蝕的蜿蜒淺灘/深潭渠道	<1.4	>12	>1.4	<0.02	1.高度風化物產生 2.緩坡且高寬深比 3.蜿蜒河川，因河岸高沖蝕率造成橫向不穩定 4.淺灘/深潭河相
G	在緩坡上，侵蝕成峽谷的階段/深潭且低寬深比	<1.4	<12	>1.2	0.02~0.0039	1.峽谷，階段/深潭河相，緩坡且低寬深比 2.窄河谷，或在沖積層或積礫層造成深的切割，及沖積扇或三角洲 3.因階段控制問題及河岸高沖蝕率造成不穩定



林承坤(1992)提出以河川邊界組成作為第一級河型分類之準則，第二級分類以河川型態作為分類，第三級分類則考慮穩定性。與Rosgen(1994)的河川分類最大的不同在於加入了河川邊界條件的考量。依據河道邊界材料特性，可將河床分為沖積河床、半沖積河床與非沖積河床三類。沖積河床邊界由全新世沖積物組成，河床材料豐富且運動性佳，造成河川型態多變複雜。半沖積河床邊界由更新世地層以及全新世地層共同組成，由於全新世地層一般覆蓋於更新世之上，造成河床邊界可動性較沖積河床低，一般出現在山區與平原之過渡帶或丘陵區與山間盆地地帶。非沖積河型邊界由岩盤組成，束制性良好使邊界可動性低，多發生在河川上游山區。

傅志偉(2005)認為若針對河床質調查位置評選而言，Rosgen 所建系統過於複雜，林承坤之方法又太過定性，因此應結合二者優點，從地質觀點結合河相分類建立河床質採樣位置評選系統。因此提出一套採樣位置評選階層，總共包括四種階層。第一階分類係以林承坤的建議以渠道邊界狀態率定河川可沖積程度，以平面地質圖區分沖積段、半沖積段與非沖積段。第二階係參考Rosgen(1994)分類系統中第一階段分類，透過縱向坡度變化、橫斷面與平面特徵分類。第三階為分支流交匯處，支流坡降均較主流陡峭，因此於分支流交匯處經常形成堆積並發展成沙洲。第四階分類記錄流域重要地質事件。採樣位置評選階層表如表2.5。

表 2.5 採樣位置評選階層表(傅志偉, 2005)

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	1/25000 地質圖、航空照片	林承坤(1992)
二	依據底床坡降、橫斷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、地質材料軟硬分界)	1/25000 地質圖	

## 2.6 綜合討論

礫石河床包含砂礫河床以及卵石河床，於上游段參雜巨礫，並常有夾帶細砂，因此包含的粒徑範圍相當廣闊。顆粒的磨耗、掏選、風化等行為，受到不同粒徑大小的顆粒影響，導致顆粒分佈的空間不均質。因此針對各項變異性，需要有應對的調查方式。

河床顆粒隨縱向顆粒會越來越細，影響的因素有底床的坡降、支流匯入以及顆粒的磨耗與破損。由於每條河川的條件不同，變化的趨勢皆不相同。因此針對河床縱向變化的趨勢做調查時，除了均勻散佈調查點之外，還需在底床坡度明顯改變處(例如地層抬升、人工構造物)以及支流匯入處的上下游設置調查點。

河川橫斷面的各種地形的顆粒傳輸狀態並不相同，乃是因為河川流量改變使得各種地形的顆粒傳輸狀態也跟著改變，造成河床質在河川橫斷面並不均質。過去研究雖對各種地形分別進行調查，但粒徑分布相當散亂，沒有得到地形間的相對關係，仍需進一步的調查。

礫石河床於垂直向的變異，主要考慮的就是表面粗粒化的現象。因此在進行體積法的取樣時，需要對表層深度進行評估，分層取樣區分表、底層的粒徑分布狀況。

在表面法的取樣方法中，評估適用性以及效率性之後，網格法的取樣膠帶為最佳取樣方法，並採用與篩分析最為類似的開口樣板的做現場分類。整理過去文獻，在考量樣品誤差與操作者誤差之後，單組試驗樣本數為100顆，以期能在 $D_{50}$ 達到10%以內的誤差。體積法試坑仍挖掘 $1\text{m}^3$ 大小，但事先施作網格法評估表層深度後，再進行仔細的分層。

河川的調查數量則以考慮河相、地質狀況以及匯流點的評估方式，以能分析各項河床變異性以及調查目的為主軸來規劃試驗點的位置。另外，施作調查位置盡可能涵蓋所有區域，因此應選於最多河床區域曝露於水面之上的枯水期進行調查。取樣頻率則依據河水流量重現期距與調查精度需求來評估，並免不必要的浪費或資料的誤判。

綜合以上結論，對於河床質調查考量因素眾多，調查規劃並非輕易就可擬定週詳，需要不斷的持續嘗試與改良。此研究長遠目標為統整出一套完整的河床質調查標準評選程序，可依據不同的目的，根據河川狀況與地質條件進行有效率的調查，得到具代表性的結果，提供河川的管理與相關應用。

## 第三章 研究方法

### 3.1 概述

完整的河床質調查需考慮採樣方法、位置、時間與數量等問題，方可得到理想成果。台灣中上游河床多為礫石河床，其變異性考量尤其重要，並需應調查對象不同選用不同的調查方法。傅志偉(2005)已提出較為完整的河床質調查方法，包括提出以河川分類結果作為調查位置的評選基礎、表層與底層的分開取樣，嘗試使用效率較佳的網格法，並進行調查時間與調查頻率的討論。本次研究將繼續沿用此河床質調查方法，包括採樣方法、取樣位置的評選，於頭前溪進行試驗。並加入網格法對細粒料的補足，體積法的分層處理。本研究以頭前溪為例進行規劃取樣分析與研究。

以下針對垂直向、橫向與縱向取樣位置的選取做說明。垂直向以體積法分層取樣，先以試驗場址的 $D_{90}$ 作為表層深度，再每25cm做分層。橫向取樣位置的選取，選定六個橫斷面，此六橫斷面有各河相較為豐富的地形，於斷面上不同地形上施作網格法，比較施做結果與地形的關係。縱向取樣位置的選取，以地質與河相特徵將河川進行分類後，作為評選基礎，挑選各分類河段較具代表性的地形，作為討論縱向變化的調查位置。試驗數量以各種河相代表性地形作為依據，每一個具代表性地形都佈下試驗點，依分析結果討論數量是否足夠。

本章就本文所採用之研究方法，取樣與樣品處理方法、取樣對象與位置評選以及取樣數量等三部分進一步說明，並對本次研究案例進行說明。研究流程如圖3.1 所示。

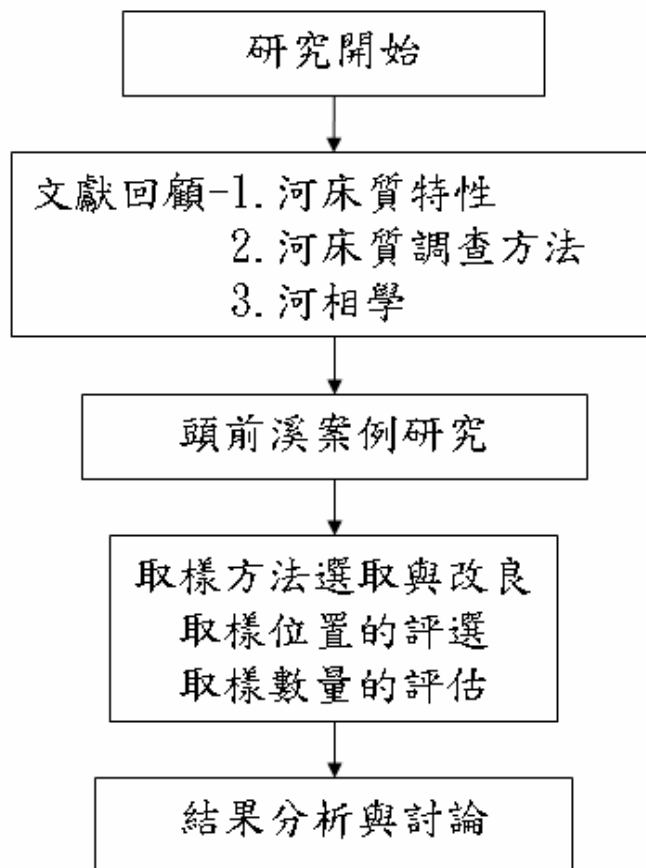


圖 3.1 研究流程

## 3.2 取樣位置評選

### 3.2.1 縱向位置評選

縱向採樣位置評選工作藉由地質、地形與河相等加以評估，共分成地層年代、河相分類、分支流點與地質現象等四階評估建立縱向採樣位置評選。各階分類準則如表2.5示，分類順序如圖3.2。

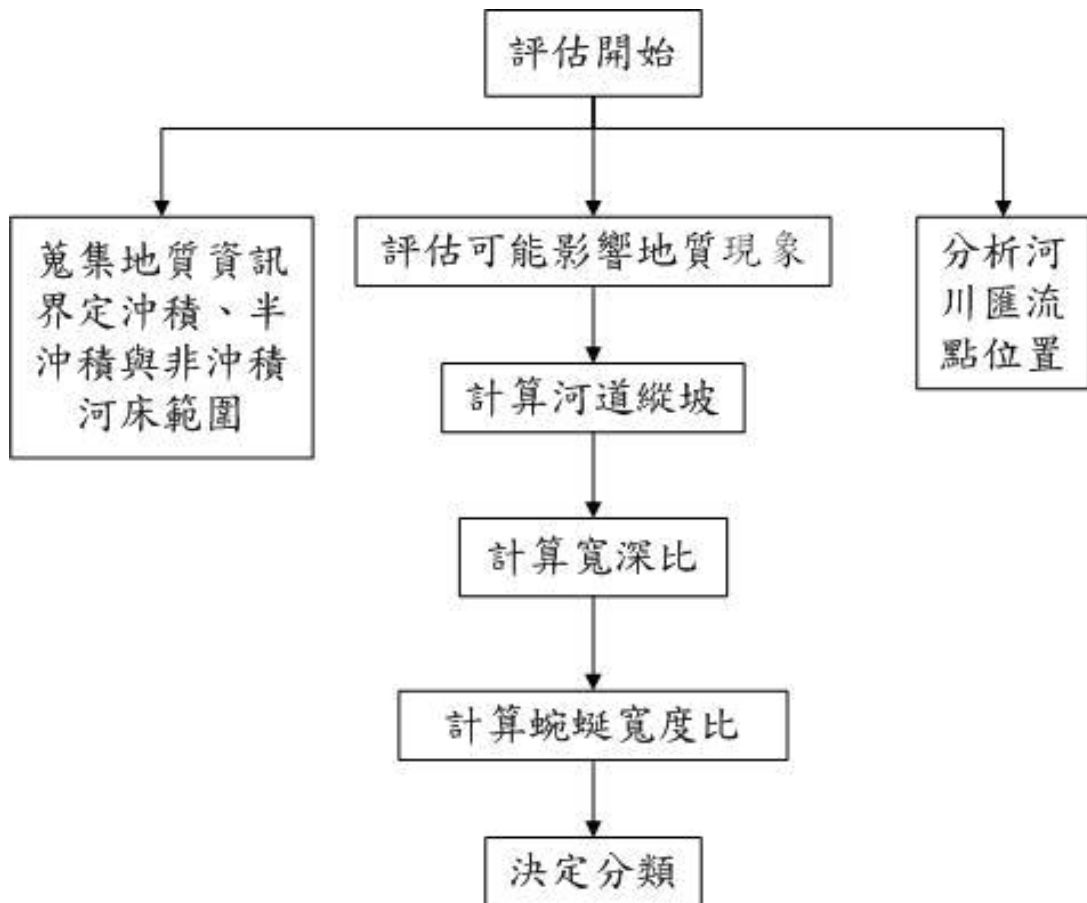


圖 3.2 評選分類系統流程圖 (傅志偉, 2005)

第一階分類係以林承坤 (1992) 的建議以渠道邊界狀態律定河川可沖積程度，以平面地質圖區分沖積段、半沖積段與非沖積段。沖積段發生於全新世地層，半沖積段出現在全新世與更新世地層交雜出現區域，非沖積段則出現在構造擡升運動新興之山區。

第二階係參考Rosgen (1996) 分類系統中第一階段分類，透過縱向坡度變化、橫斷面與平面特徵進一階分類，分類步驟詳表3.1。

步驟 (1) 先對底床縱向坡度進行分類，首先以4%為界，坡度大於4%多發生在邊界束制良好之邊界，小於4%邊界均有不同程度之可侵蝕性，隨後再各自進行細分。

步驟 (2) 以寬深比判斷堤岸與底床之可侵蝕性，堤岸束制良好之河段容易向下刷深，形成窄深形斷面，若堤岸可侵蝕性高，則容

易形成寬淺斷面。

步驟（3）以蜿蜒寬度比評估區域地層材料之可變動性，各分類坡降僅坡降介於0.5%~2%範圍需進行第三步驟評估，決定最終分類結果，其餘部分均可由前二步驟決定分類。

步驟（4）為依據前三步驟進行分類，可將河川分為Aa+、A、B、C、D、E、F、G、Da等九類。其中Aa+、A與B屬於順直型或接近順直之微彎河川，由於此類河川多發生於山區，使河床型態多為垂直落差之小瀑布與刷深之現象，沖積河段鮮少存在此類河川，若於可沖蝕邊界地帶形成此類河川，地床型態則以淺灘、急湍與深潭交錯出現之情形。B、C、E與F均為蜿蜒型河川，但由於邊界條件之差異使蜿蜒寬度比與橫斷面有些許差異，但均依循淺灘與深潭交互出現之平面型態準則。D類河川為辮狀系統，底床為由側向掏刷與底床堆積之沙洲群組成。Da為交織狀河川，底床最大特徵為江心洲，流路蜿蜒。

第三階為分支流交匯處，支流坡降均較主流陡峭，因此於分支流交匯處經常形成堆積並發展成沙洲。

第四階分類記錄流域重要地質現象，如構造（例如斷層），或是軟硬材料分界點等。

### 3.2.2 橫向位置評選

渠道橫斷面地形因堆積與沖刷形成高低不同，依高程變化可能存在高灘地、沙洲、灘與深槽等地貌。當河川水位變化，各地形與水面關係亦發生改變。底床位於水面下才顆粒才會因水力作用傳輸，使顆粒組成變粗，因此橫斷面河床質不均匀分佈可利用河川地形之不同選取橫向調查點。圖3.3為橫向變異性研究流程。

表 3.1 河川分類表

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	蜿蜒寬度比		分類		底床型態描述
				平均	範圍			
>4 %	>10%	具束制邊界，呈現向下刷深之深窄型斷面。				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。				A	直線型河川	小瀑布與階梯狀
<4 %	<4%	高寬深比，流路複雜。	>40			D	辮狀型河川	沖刷與沖積
	2~4%	具可發展之邊界	>12			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			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	11.4	4~20	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	24.2	20~40	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	5.3	2~10	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。				DA	交織狀河川	深潭與淺灘交替	

橫向評選將由礫石河床傳輸特性分析地形差異產生的河床質變化作為評選基礎，依表3.2建議之河相區域上進行採樣。



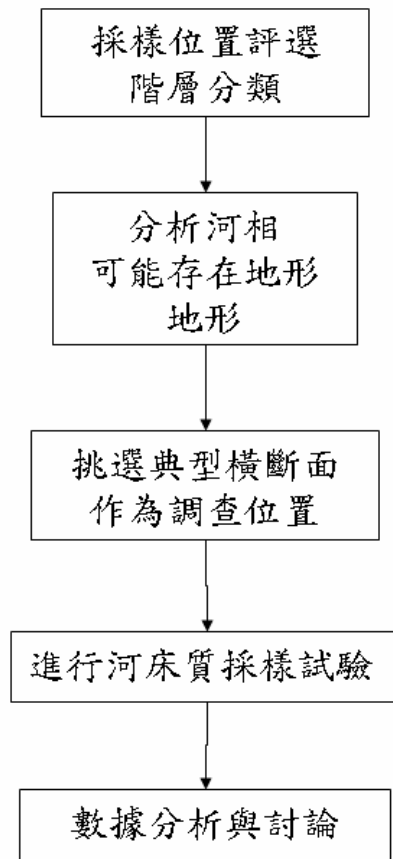


圖 3.3 礫石河床橫向變異性研究流程

### 3.2.3 垂直向變異性

依據調查目的不同，取樣深度要有所差異。討論底床糙度或是顆粒初始運動需針對表面顆粒進行調查，當目的涉及護甲層結構破壞或是輸砂量，則表層與底層樣品均需收集分析。此外深度除了表底層的分別外，試坑深度1m太深或太淺，需以更多的分層來比較。

首先選擇試驗位置，先由網格法施作結果得到現地 $D_{90}$  顆粒尺寸，再以體積法取樣 $D_{90}$ 一倍深度作為表層取樣，體積法此深度進行取樣後隨之進行顆粒分級試驗。若現場試驗時，發現表底層有明顯的分界，則以此界線深度作為表層深度並紀錄。表層樣品完成後，每25cm做唯一分層界線，取樣方式同表層，繼續進行底層樣品取樣至深度達1公尺為止。

圖3.4為體積法深度分層流程圖。

將上述表底層細料部分帶回實驗室完成顆粒分級試驗，彙整試驗結果後進行分析比較。

表 3.2 河川型態與採樣位置建議表

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	有辮狀系統進化而來，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。	

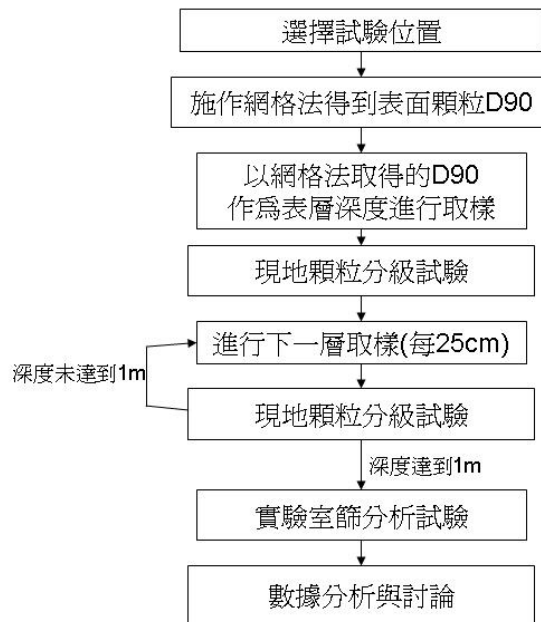


圖 3.4 體積法深度分層研究流程

### 3.3 取樣與樣品處理方式

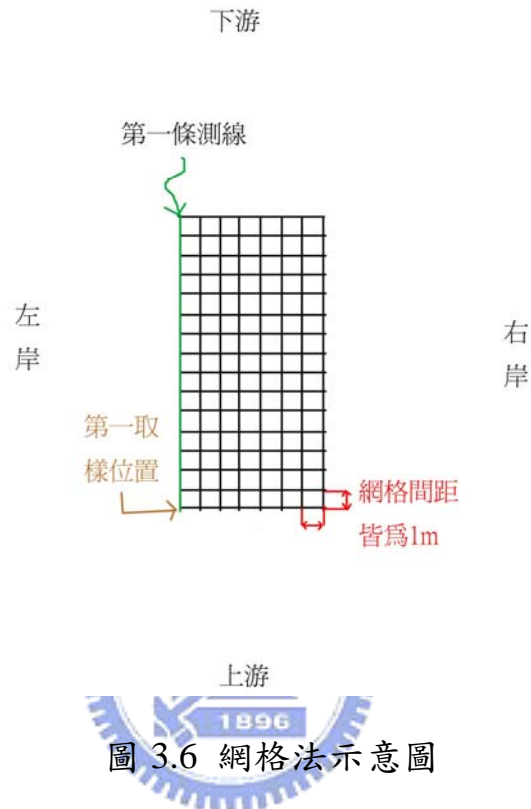
#### 3.3.1 網格法採樣與分析

本次試驗網格法以取樣繩進行取樣。取樣繩的材質需使用剛性較佳之材質，可降低伸縮性而避免操縱上的誤差。本次試驗以尼龍繩為取樣工具，於尼龍繩上每1公尺（依循國外施做慣例，以最大顆粒之B 軸粒徑兩倍長度作為取樣間格，約為1公尺）間格以紅色絕緣膠帶標記，取樣繩照片如圖3.5所示。



圖 3.5 取樣繩照片

進行現地取樣時，於預定施做地點拉設測線，選取標記點下方樣品並以開口樣版決定顆粒分級，取樣順序為上游向下游拾取。單一測線樣品取樣完成後，平移測線1公尺後繼續取樣，側線為左岸向右岸平移。網格法取樣示意圖如圖3.6所示。



取樣時，詳細紀錄樣品位置，包括樣品所在測線與拾取順序。有效樣本大小以Wolman法為標準，僅拾取8mm以上之顆粒，若取樣繩標記點下方之顆粒小於此標準，則不拾取此樣本，並紀錄未拾取點位置。單組網格法樣品收集數量依照Fripp and Diplas所提，達到100顆以上即可。

收集的樣品以開口樣板做粒徑大小的分類。開口樣板之粒徑分級依序有：256mm、181mm、128mm、90.5mm、76.2mm、64mm、45.3mm、32mm、16mm與8mm。由於實際現地有許多中值粒徑超過256mm之巨礫，故本次試驗將粒徑分級增加362mm以及512mm兩個級別，於現場使用鐵捲尺量測B軸長度進行分級。圖3.7為開口樣板的照片。



圖 3.7 開口樣板照片

### 3.3.2 網格法細顆粒修正方法

台灣河川河床質顆粒粒徑分佈較國外廣闊，而網格法取樣方式忽略了細粒料（8mm以下），使得網格法取樣結果將明顯大於體積法師作結果，影響結果的比對。故本試驗嘗試了兩種的細粒料修正法，目的為得到較完整的網格法施作結果。

#### (1) 長度比例修正(方法一)



於施作網格法的第一條、第五條以及最後一條（拾取樣本達到100以上的測線）測線，分別量測細粒料佔測線底下的長度，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。計算方式如4.1式與4.2式。

$$\frac{(L1 + L2 + L3)}{3} = \bar{L} \dots\dots\dots(4.1式)$$

$$\frac{\bar{L}}{L} = P_1 \dots\dots\dots(4.2式)$$

其中 L1=第一條測線下細粒料所佔長度(cm)

L2=第一條測線下細粒料所佔長度(cm)

L3=最後一條測線下細粒料所佔長度(cm)

$\bar{L}$  = 三條測線細粒料所佔長度的平均(cm)

L = 測線長度(cm)

$P_1$  = 長度比例修正的細粒料比例

## (2) 拾取比例修正(方法二)

將單組網格法未拾取(8mm以下)之標記點數量，除以全部的施測標記數量，以此作為細粒料所佔比例。計算方式如式4.3。

$$\frac{X}{N \times O} = P_2 \dots\dots\dots(4.3 \text{ 式})$$

其中 X = 未拾取數量

N = 此組網格法拉取測線數量

O = 單一測線標記點數量

$P_2$  = 拾取比例修正的細粒料比例

依照以上兩種方式評估出細粒料所佔比例後，由於需要細粒料的粒徑分佈狀況，因此還需要取回細粒料做室內的篩分析試驗，細粒料的取樣方步驟依序如下：

1. 由目視判斷第五條測線下顆粒粒徑小於8mm之細粒料區段。
2. 以鏟子收集此區段的表面細粒料。
3. 取樣寬度為鏟子的寬度(8cm)，深度僅取表面顆粒(<5cm)。
4. 將收集的細料帶回實驗室作室內篩分析。

篩分析結果作為細粒料部分的粒徑分佈。最後，將細粒料的粒徑分佈，依照上述兩種方法所得之細顆粒比例，分別加入原始網格法的結果，即是包括細粒料的完整粒徑分佈曲線。圖3.8為細粒料取樣的示意圖。圖3.9為網格法取樣步驟流程。

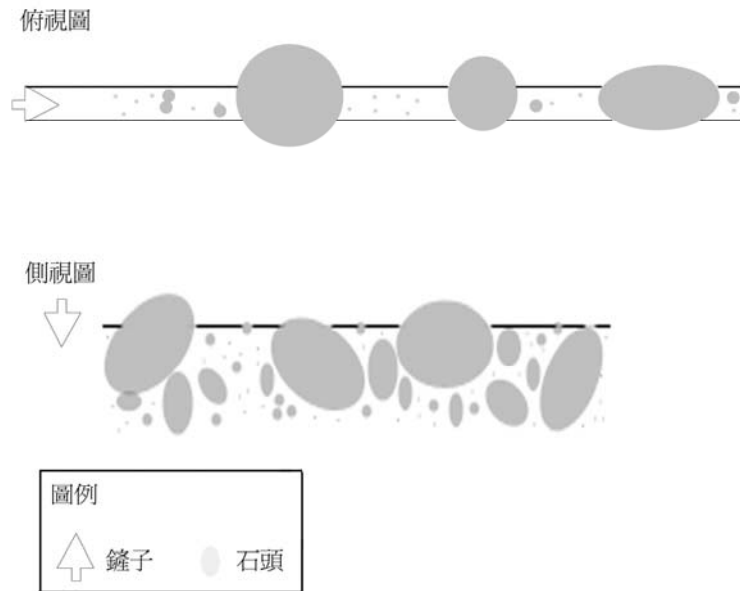


圖 3.8 網格法細粒料取樣示意圖

試驗所需設備以及取樣試驗程序說明如下：

### 設備



(1) 取樣繩

(2) 開口樣板

(3) 鐵捲尺

(4) 挖鏟與麻袋

(5) 相機

(6) GPS

(7) 篩分析工具：美國標準號篩#4、#10、#20、#40、#60、#100、#200、底盤及搖篩機。

### 取樣與試驗程序

(1) 選定取樣位置

(2) 決定採樣間距並於現地進行取樣

- (3)由採取範圍其中一邊界開始拉設取樣繩
- (4)以皮尺量測細粒料(8mm以下)所佔測線的長度
- (5)收集預定取樣間距標記下方顆粒
- (6)以開口樣板標定顆粒所屬分級並紀錄之。
- (7)同一測線取樣完成後，等間距平移取樣繩進行下一列取樣。
- (8)於第五條測線下，均勻收集細粒料帶回
- (9)於第五條與最後一條測線，重複步驟(4)
- (10)重複步驟(5)~(7)直到樣品數量符合預定數量為止

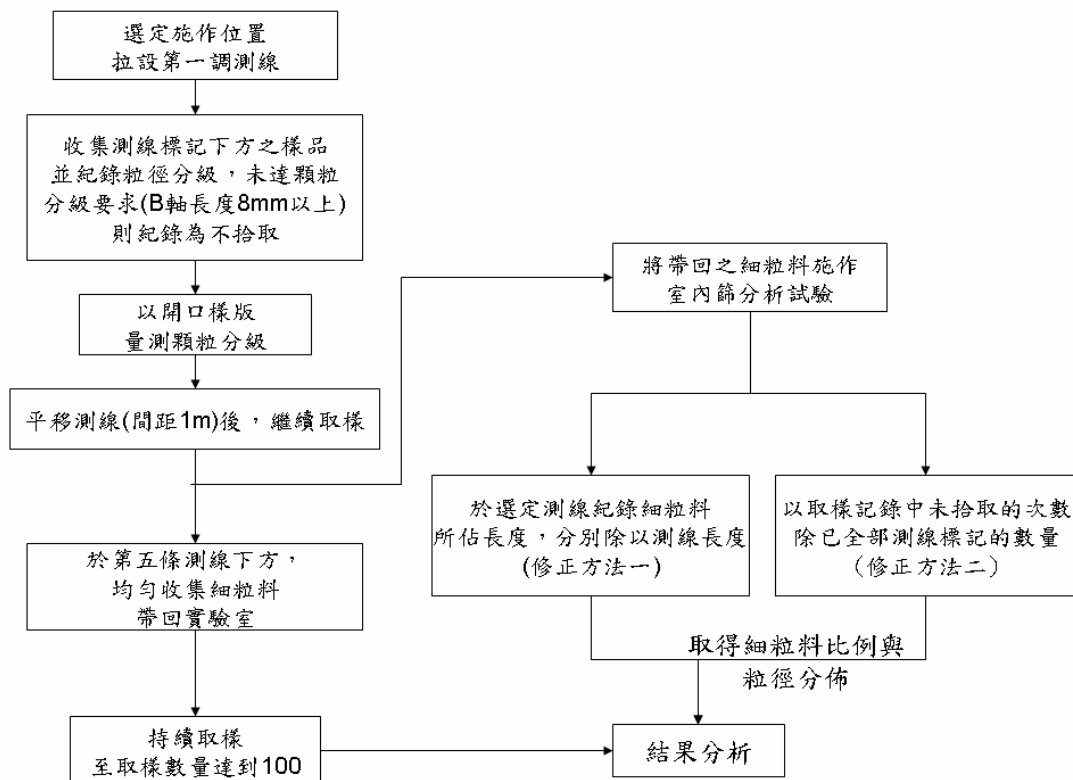


圖 3.9 網格法取樣流程圖

### 3.3.3 體積法採樣與分析

本次施行體積法的重點在於表層是否粗粒化的研究以及表層與網格法施作結果的比對，因此取樣時分表層與底層進行。部份表層深度依照傅志偉(2005)的研究採用15cm。其他部份施作體積法前，於該區域先施



作網格法，再依網格法結果的 $D_{90}$ 一倍深度作為表層深度。圖3.10為體積法施作流程。

茲將體積法取樣與試驗所需設備、取樣與試驗程序說明如後：

### 設備

(1)篩分析工具：美國標準號篩1 1/2"、3/4"、1/2"、3/8"、#4、#10、#20、#40、#60、#100、#200、底盤及搖篩機。

(2)重量標定工具：100kg 彈簧秤。

(3)粒徑量測工具：開口樣版、鐵捲尺。

(4)相機

(5)GPS

(6)其他：砂鈹、畚箕、麻布袋等等。



### 取樣與試驗程序

(1)選定取樣位置。

(2)現場進行放樣並量測座標。

(3)以人工進行表層顆粒取樣。

(4)以1 1/2"、3/4"、1/2"、3/8" 號篩進行現地篩分析試驗。

(5)停留於1 1/2" 號篩樣品續以開口樣版標定分級。

(6)量測各級顆粒重量。

(7)將通過3/8" 號篩樣品取10kg 樣品進行實驗室篩分析試驗。

(8)進行底層樣品取樣。

(9)重複步驟(4)至(7)。

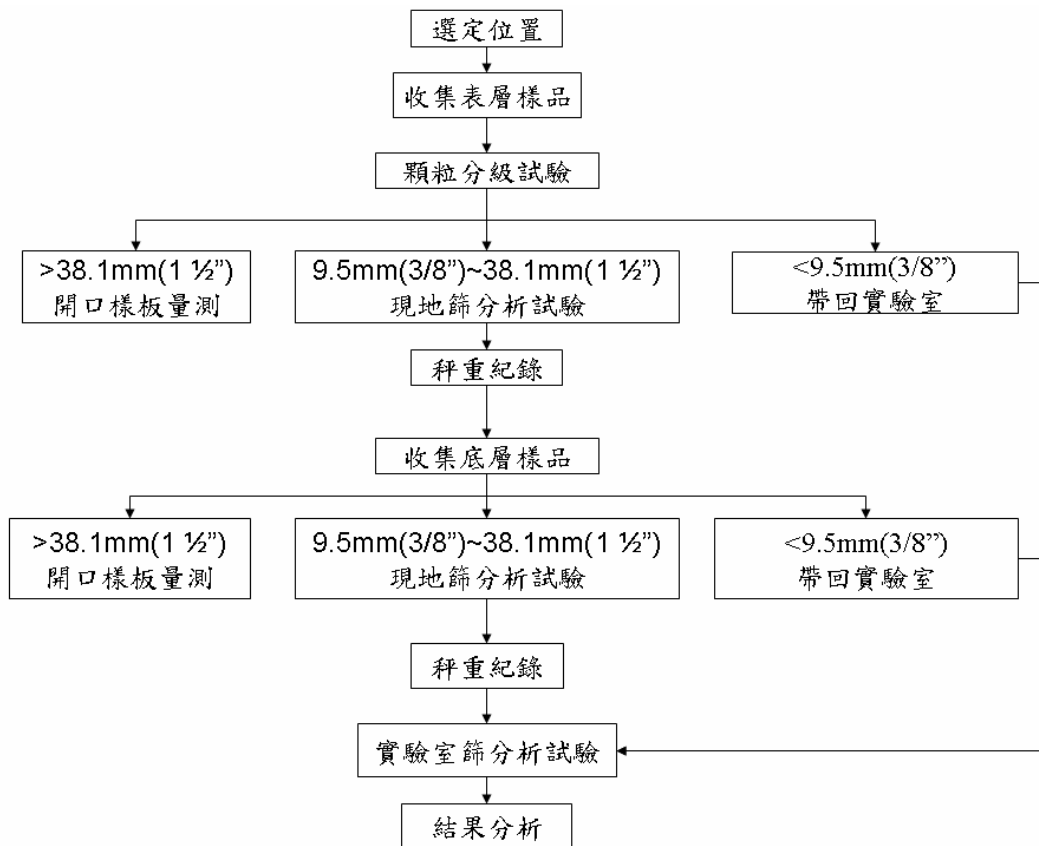


圖 3.10 體積法施作流程圖

### 3.3.4 樣品處理方法

網格法及體積篩分析法取樣後，皆需要決定粒徑分佈。因顆粒分級的不同，本次試驗將決定粒徑分佈的工作分為大顆粒尺寸標定、現地篩分析試驗與實驗室篩分析試驗三部分，茲將各項工作說明如後：

#### (1) 大顆粒尺寸標定

B軸超過32mm以上的顆粒，本試驗採用開口樣版分級，開口尺寸由大而下依序為256mm、181mm、128mm、90.5mm、76mm、64mm、45.3mm、32mm。另增加362mm及512mm粒徑分級，由於顆粒過大搬運不易，故採用以鐵捲尺量測B軸的方式做粒徑分類。

#### (2) 現地篩分析試驗

本試驗現地篩分析預計採用號篩有1 1/2"、3/4" 與1/2"、3/8" 四組，分別記錄停留篩號的顆粒重量。通過3/8" 號篩之細料取10kg 樣品進行實驗室篩分析試驗，詳細規定如後述第3 點。

### (3) 實驗室篩分析試驗

實驗室篩分析試驗依據ASTM D421規定進行試驗。選用篩組計有#4、#10、#20、#40、#60、#100 與#200 篩。

## 3.4 最低調查數量研究

試驗數量之評估基礎為河川依據河相等因素進行縱向分段之總分段數，每一縱向分段為一個採樣調查單位，河段內之河床值粒徑分佈特性趨勢相近，調查上僅需規劃1~2處之詳細橫向調查，橫向調查點數視河道寬度、河相地形特徵(高灘、邊灘、深槽、沙洲等)變化程度而定，另外於該河段內視調查精度佈置沿縱向的少數單一採樣點即可，縱向採樣點佈置目的在於確認該縱向分段內之粒徑變化程度，由詳細橫向調查所得變化範圍應能涵蓋此縱向變化。縱向分段之總分段數應依據每一次調查成果作檢核，適度調整縱向分段數目及分段點位置，以確保每一次的調查都能充分掌握河川變化不息的特性。根據上述各項考量選取之取樣結果，討論調查位置與分析結果之關係，進行各種沉積環境與不同地形的調查數量評估。

## 第四章 試驗規劃與試驗結果

### 4.1 試驗位置規劃

本次研究以頭前溪為例子，進行河床質調查位置評選，規劃試驗位置與數量，以下將一一說明規劃步驟。

#### 4.1.1 河川分類

規劃第一步驟，須先將頭前溪依照表2.4的位置評選階層進行分類。傅志偉(2005)已依照此評選法對頭前溪各個段面進行分類，分類明細如表3.2，詳細分類說明下：

階層一為沖積層河床分類，頭前溪流域全新世現代沖積層及更新世頭嵙山層與階地堆積層分界位置約位於中正大橋附近，此為沖積河床與半沖積河床分界；另半沖積河床與非沖積河床分界處位於更新世頭嵙山層與上新世卓蘭層交替處，約略以竹東斷層為界。全沖積層代碼為TA，半沖積層代碼為HA。

階層二為細部河相分類，考慮河川縱坡、寬深比與蜿蜒寬度比等因子進行分類。本流部分以交織狀與辮狀系統為主，僅竹林大橋上游方向局部區域為蜿蜒系統河川之間。交織狀河相代碼為Da，辮狀河相代碼為D，蜿蜒狀河相代碼為C。

階層三分類依據為匯流點，本流部分由油羅溪與上坪溪匯流進入頭前溪本流處到出海口，代碼為P01。

階層四以地質事件為分段依據。頭前溪流域由下游至上游重要地質事件依序有砂質河床與礫石河床變化處（代碼G1）、新城斷層（代碼G2）、頭嵙山層與卓蘭層分界（代碼G3）以及卓蘭層與年代較早地層之

分界（代碼G4）。代碼G12表示此斷面介於G1與G2之間，G0代表出海  
口，以此類推。

因此頭前溪本流經分類後，共有七個分段點，由下游至上游分別  
為：

- 1.砂質河床與礫石河床分界；
- 2.辮狀河相與交織狀河相分界；
- 3.全沖積河床與半沖積河床分界；
- 4.蜿蜒河相與辮狀河相分界；
- 5.辮狀河床與蜿蜒狀河床分界；
- 6.頭嵛山層與卓蘭層分界；
- 7.支流匯流點。

由這些分界點將頭前溪本流分為六段。

表 4.1 頭前溪四階層分類表

河段	斷面	累距(km)	一階分類	二階分類	三階分類	四階分類
1	1	0	TA	Da	P01	G01
	2	0.67	TA	Da	P01	G01
	3	1.25	TA	Da	P01	G01
	4	1.97	TA	Da	P01	G01
2	5	2.6	TA	Da	P01	G12
	6	3.09	TA	Da	P01	G12
	7	3.78	TA	Da	P01	G12
	8	4.2	TA	Da	P01	G12
	9	4.76	TA	Da	P01	G12
	10	5.27	TA	Da	P01	G12
	11	5.45	TA	Da	P01	G12
	12	5.91	TA	Da	P01	G12
	13	6.1	TA	Da	P01	G12
	14	6.45	TA	Da	P01	G12
	15	6.9	TA	Da	P01	G12
	16	7.27	TA	Da	P01	G12
	17	7.62	TA	Da	P01	G12

河段	斷面	累距(km)	一階分類	二階分類	三階分類	四階分類
	18	8.02	TA	Da	P01	G12
	19	8.69	TA	Da	P01	G12
	20	9.25	TA	Da	P01	G12
	21	9.72	TA	Da	P01	G12
	22	10.11	TA	Da	P01	G12
	23	10.48	TA	Da	P01	G12
	24	10.84	TA	Da	P01	G12
3	25	11.2	HA	D	P01	G12
	26	11.77	HA	D	P01	G12
	27	12.32	HA	D	P01	G12
	28	12.74	HA	D	P01	G12
	29	12.97	HA	D	P01	G12
	30	13.54	HA	D	P01	G12
4	31	13.99	HA	D	P01	G23
	32	14.52	HA	D	P01	G24
	33	14.83	HA	D	P01	G25
	34	15.5	HA	D	P01	G26
	35	15.9	HA	D	P01	G27
	36	16.53	HA	D	P01	G28
	37	16.81	HA	D	P01	G29
	38	17.09	HA	D	P01	G30
	39	17.46	HA	D	P01	G31
	40	17.77	HA	D	P01	G32
	41	18.07	HA	D	P01	G33
	42	18.3	HA	D	P01	G34
	43	18.5	HA	D	P01	G35
5	44	19.1	HA	D	P01	G36
	45	19.69	HA	C	P01	G37
	46	20.52	HA	C	P01	G38
6	47	21.25	HA	D	P01	G39
	48	21.76	HA	D	P01	G40
	49	22.39	HA	D	P01	G41

#### 4.1.2 取樣位置選取

本次研究依頭前溪分類結果，在各類河相挑選不同沉積環境設置取樣點，並挑選六處橫斷面，在斷面上不同地形做較密集的取樣。而縱向

的調查以各河相較穩定地形施作調查，各河相較穩定地形如表4.2所示。  
總計66組網格法，24組體積法。

表 4.2 河相較穩定地形

河相	較穩定地形
蜿蜒狀河相	連接槽的邊灘
辮狀河相	寬帶的沙洲
交織狀河相	江心島嶼或連接槽的邊灘

取樣方法以網格法為主，作為河床質與縱向、橫向的變異性討論，體積法則是用於與網格法的比對，因此體積法的位置選取為考慮不同地形並搭配網格法的施作位置。為了避開人為因素以及地質構造影響，所以避開隆恩堰附近河段與新城斷層附近河段。本次研究總共規劃66組網格法與24組體積法，規劃總圖如圖4.1所示。詳細狀況如下：

縱向河段1：出海口至分段點1（砂質與礫石質河床分界），本段為砂質河床，所以未規劃試驗。

縱向河段2：分段點1至分段點2（下游：交織狀、上游：辮狀河相分界），河段均屬交織狀河相。由分段點1往上游至高速公路橋河段，佈置二處詳細調查橫斷面(斷面1、斷面2)，其他則則在縱向上佈置以網格法為主的單點調查；由高速公路橋往上游至分段點2之間受人工構造物影響嚴重，故無規劃施作點。

縱向河段3：分段點2至分段點3（新城斷層通過），屬辮狀河道，本河段受斷層影響嚴重，河道下切岩盤裸露，故無規劃施作點。

縱向河段4：分段點3至分段點4（下游：辮狀、上游：蜿蜒狀河相分界），本河段屬辮狀河相區域，沖積狀況大致良好，在國道3號上、下游之大型沙洲各規劃一處詳細調查橫斷面(斷面3、斷面4)，其餘則在縱向上合適場址佈設網格法為主的單點調查。竹林大橋下游處之連接槽地

形受固床工影響明顯，部分區域岩盤出露，亦規劃3組網格法進行調查，觀察其粒徑變化狀況。

縱向河段5：分段點4至分段點5（下游：蜿蜒狀、上游：瓣狀河相分界），本河段屬蜿蜒狀河相區域，河段長度短，僅規劃一處詳細調查橫斷面(斷面5)，其餘則以縱向分佈之網格法為主。

縱向河段6：分段點5至分段點6（下游：交織狀、上游：瓣狀河相分界），本河段屬瓣狀河相區域，沖積狀況大致良好，河段長度短，且接近匯流口，床質粒徑變化大，僅規劃一處橫斷面調查(斷面6)。

較長的編碼使施作點編號有更多的資訊。以一組編碼為例，共有四項編碼。「95TC\_G\_02DaR\_001」，第一組編碼為年份以及河川名稱，為民國95年頭前溪。第二項編碼為試驗方法(G為網格法，V為體積法)。第三項編碼為試驗河段編號(01~06)、河相類型(Da為交織狀，D為瓣狀，C為蜿蜒狀)以及地形特徵(B為沙洲、R為邊灘)。第四項編碼為組數流水號，順序由下游往上游、左岸至右岸。表4.3與表4.4列出網格法與體積法規劃組數的詳細說明，表4.5為網格法與體積法的對照表。

表 4.3 網格法調查規劃說明

調查編號	調查位置	調查原因
95TC_G_02DaR_001	交織狀河相之邊灘	第 2 河段縱向變異性調查
95TC_G_02DaR_002	交織狀河相之邊灘	第 2 河段縱向變異性調查
95TC_G_02DaR_003	交織狀河相之邊灘	第 2 河段縱向變異性調查
95TC_G_02DaR_004	交織狀河相之邊灘	第 2 河段縱向變異性調查
95TC_G_02DaR_005	交織狀河相之邊灘	第 2 河段縱向變異性調查
95TC_G_02DaR_006	交織狀河相之邊灘	第 2 河段縱向變異性調查
95TC_G_02DaR_007	交織狀河相之邊灘	第 2 河段縱向變異性調查
95TC_G_02DaB_008	交織狀河相之沙洲	第 2 河段縱向變異性調查
95TC_G_02DaR_009	交織狀河相之邊灘	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_02DaR_010	交織狀河相之邊灘	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_02DaR_011	交織狀河相之邊灘	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_02DaB_012	交織狀河相之沙洲	第 2 河段橫向變異性細部調查



調查編號	調查位置	調查原因
95TC_G_02DaR_013	交織狀河相之邊灘	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_02DaR_014	交織狀河相之邊灘	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_02DaR_015	交織狀河相之邊灘	第 2 河段縱向變異性調查
95TC_G_02DaR_016	交織狀河相之邊灘	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_02DaR_017	交織狀河相之邊灘	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_02DaR_018	交織狀河相之邊灘	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_02DaR_019	交織狀河相之邊灘	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_02DaR_020	交織狀河相之邊灘	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_02DaR_021	交織狀河相之邊灘	第 2 河段縱向變異性調查
95TC_G_02DaR_022	交織狀河相之邊灘	第 2 河段縱向變異性調查
95TC_G_02DaR_023	交織狀河相之邊灘	第 2 河段縱向變異性調查
95TC_G_04DB_024	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段縱向變異性調查
95TC_G_04DB_025	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段縱向變異性調查
95TC_G_04DB_026	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段縱向變異性調查
95TC_G_04DB_027	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段縱向變異性調查
95TC_G_04DB_028	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DB_029	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DB_030	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DB_031	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DB_032	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DB_033	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DB_034	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DB_035	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DB_036	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DR_037	辮狀河相之邊灘	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DR_038	辮狀河相之邊灘	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DB_039	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段縱向變異性調查
95TC_G_04DB_040	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段縱向變異性調查
95TC_G_04DB_041	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段縱向變異性調查
95TC_G_04DR_042	辮狀河相之邊灘	第 4 河段縱向變異性調查
95TC_G_04DB_043	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段縱向變異性調查
95TC_G_04DB_044	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DB_045	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DB_046	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DB_047	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DB_048	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_04DB_049	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段縱向變異性調查
95TC_G_05CR_050	蜿蜒狀河相之邊灘	第 5 河段縱向變異性調查

調查編號	調查位置	調查原因
95TC_G_05CR_051	蜿蜒狀河相之邊灘	第 5 河段縱向變異性調查
95TC_G_05CR_052	蜿蜒狀河相之邊灘	第 5 河段縱向變異性調查
95TC_G_05CR_053	蜿蜒狀河相之邊灘	第 5 河段縱向變異性調查
95TC_G_05CR_054	蜿蜒狀河相之邊灘	第 5 河段縱向變異性調查
95TC_G_05CR_055	蜿蜒狀河相之邊灘	第 5 河段縱向變異性調查
95TC_G_05CB_056	蜿蜒狀河相之沙洲	第 5 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_05CR_057	蜿蜒狀河相之邊灘	第 5 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_05CR_058	蜿蜒狀河相之邊灘	第 5 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_05CR_059	蜿蜒狀河相之邊灘	第 5 河段縱向變異性調查
95TC_G_05CR_060	蜿蜒狀河相之邊灘	第 5 河段縱向變異性調查
95TC_G_06DB_061	辮狀河相之寬帶沙洲	第 6 河段縱向變異性調查
95TC_G_06DB_062	辮狀河相之寬帶沙洲	第 6 河段縱向變異性調查
95TC_G_06DB_063	辮狀河相之寬帶沙洲	第 6 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_06DB_064	辮狀河相之寬帶沙洲	第 6 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_06DR_065	辮狀河相之邊灘	第 6 河段橫向變異性細部調查
95TC_G_06DR_066	辮狀河相之邊灘	第 6 河段橫向變異性細部調查

表 4.4 體積法調查規劃說明

調查編號	調查位置	調查原因
95TC_V_02DaR_001	交織狀河相之邊灘	第 2 河段縱向變異性調查
95TC_V_02DaR_002	交織狀河相之邊灘	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_V_02DaB_003	交織狀河相之沙洲	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_V_02DaR_004	交織狀河相之邊灘	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_V_02DaR_005	交織狀河相之邊灘	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_V_02DaR_006	交織狀河相之邊灘	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_V_02DaR_007	交織狀河相之邊灘	第 2 河段橫向變異性細部調查
95TC_V_04DB_008	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段縱向變異性調查
95TC_V_04DB_009	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段縱向變異性調查
95TC_V_04DB_010	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_V_04DB_011	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_V_04DB_012	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_V_04DB_013	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段縱向變異性調查
95TC_V_04DB_014	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段縱向變異性調查
95TC_V_04DB_015	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_V_04DB_016	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_V_04DB_017	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段橫向變異性細部調查
95TC_V_04DB_018	辮狀河相之寬帶沙洲	第 4 河段縱向變異性調查

調查編號	調查位置	調查原因
95TC_V_05CR_019	蜿蜒狀河相之邊灘	第 5 河段橫向變異性細部調查
95TC_V_05CR_020	蜿蜒狀河相之邊灘	第 5 河段橫向變異性細部調查
95TC_V_05CR_021	蜿蜒狀河相之邊灘	第 5 河段縱向變異性調查
95TC_V_05CR_022	蜿蜒狀河相之邊灘	第 5 河段縱向變異性調查
95TC_V_06DB_023	辮狀河相之寬帶沙洲	第 6 河段橫向變異性細部調查
95TC_V_06DR_024	辮狀河相之邊灘	第 6 河段橫向變異性細部調查

表 4.5 網格法與體積法對照表

體積法編號	對照的網格法編號
95TC_V_02DaR_001	95TC_G_02DaR_006
95TC_V_02DaR_002	95TC_G_02DaR_010
95TC_V_02DaB_003	95TC_G_02DaB_012
95TC_V_02DaR_004	95TC_G_02DaR_014
95TC_V_02DaR_005	95TC_G_02DaR_016
95TC_V_02DaR_006	95TC_G_02DaR_018
95TC_V_02DaR_007	95TC_G_02DaR_020
95TC_V_04DB_008	95TC_G_04DB_025
95TC_V_04DB_009	95TC_G_04DB_027
95TC_V_04DB_010	95TC_G_04DB_029
95TC_V_04DB_011	95TC_G_04DB_032
95TC_V_04DB_012	95TC_G_04DB_034
95TC_V_04DB_013	95TC_G_04DB_041
95TC_V_04DB_014	95TC_G_04DB_043
95TC_V_04DB_015	95TC_G_04DB_044
95TC_V_04DB_016	95TC_G_04DB_046
95TC_V_04DB_017	95TC_G_04DB_048
95TC_V_04DB_018	95TC_G_04DB_049
95TC_V_05CR_019	95TC_G_05CR_057
95TC_V_05CR_020	95TC_G_05CR_058
95TC_V_05CR_021	95TC_G_05CR_059
95TC_V_05CR_022	95TC_G_05CR_060
95TC_V_06DB_023	95TC_G_06DB_064
95TC_V_06DR_024	95TC_G_06DR_065

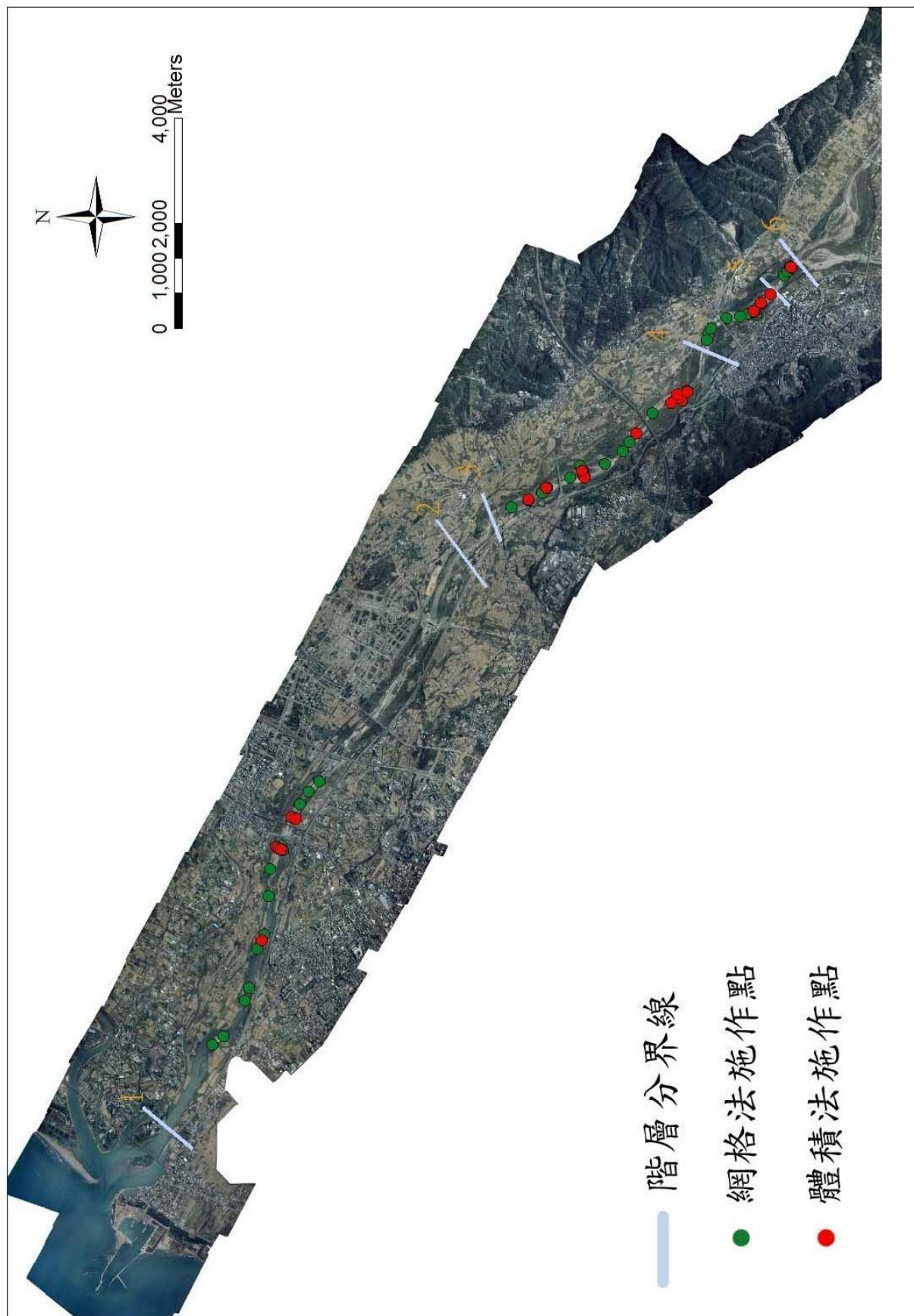


圖 4.1 頭前溪流流域河床質調查規劃圖

以下針對調查密集的橫斷面施作河段，由下游往上游的順序做現場概況的描述：

### 斷面 1：

此橫斷面位於頭前溪橋下游，邊界地層為全新世沖積層，河相分類為交織河相。由於左岸坡度較右岸平緩，當流量提升時，左岸會因河水漫流而淹沒，現場植生狀況可做為判斷依據。河川中央有一江心洲，與右岸相隔的河道窄且淺，河流水位一旦提升，可能受到嚴重沖刷，為不穩定的小型沙洲。圖4.2為航空照片，圖4.3為現場照片。

此斷面網格法預計在左右兩岸各施作兩組，沙洲中央亦施作一組。另於左右岸離河道較遠處的網格法位置與沙洲中央各施作一組體積篩分析法。

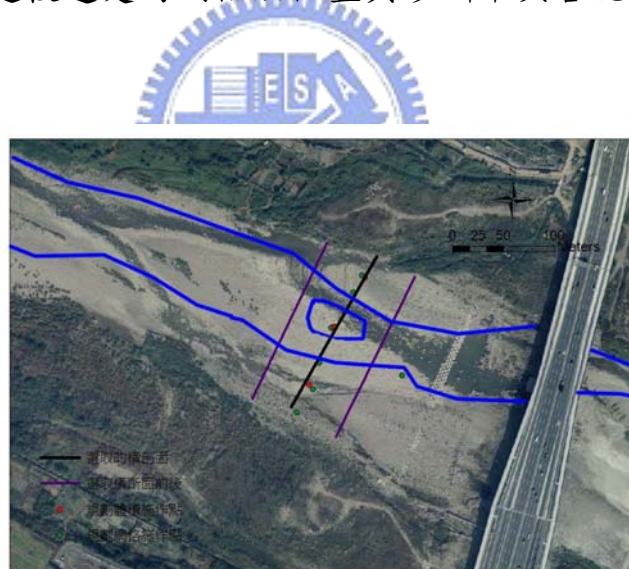


圖 4.2 斷面 1 航空照片



圖 4.3 斷面 1 現場照片(上游往下游拍攝)

## 斷面 2：

斷面位於縱貫鐵路上游，邊界條件與河相分類與交織河相橫斷面I相同。主河道偏向右岸，造成左岸為一地勢平緩的寬廣邊灘，右岸推測因沖刷嚴重而構築堤防。左岸遠邊灘有許多植物生長，表面堆積不少細砂。圖4.4為航空照片，圖4.5為現場照片。

本斷面施作地點集中於左岸，由距離河道10公尺內施作一組網格法，並往左岸每相隔20~40公尺的間距再施作4組網格法。體積篩分析法分別施作於由左至右的第一、第三與第五組網格法施作的區域。

## 斷面 3：

斷面位於中正大橋與國道3號之間，位於辮狀河相的寬帶沙洲區，河面寬大且流路複雜。斷面上有3個沙洲，表面狀況皆不相同，為一沉積狀況相當複雜的斷面。圖4.6為航空照片，圖4.7為現場照片。

本斷面施作地點遍佈三個沙洲以及右岸的邊灘。體積法分別施作於由左至右的第一、第五與第七組網格法施作的區域。



圖 4.4 斷面 2 航空照片



圖 4.5 斷面 2 現場照片(下游往上游拍攝)



圖 4.6 斷面 3 航空照片



圖 4.7 斷面 3 現場照片(下游往上游拍攝)

#### 斷面 4：

斷面位於國道三號上游，寬大河道上有一廣大沙洲。與航空照片相比，現場流路明顯由右河道變成了左河道，可由右邊灘植生狀況進一步確定。此外，原本沙洲並無植生覆蓋，但現場沙洲植生相當豐富，顯示此處沉積狀況已較以往不同。圖4.8為航空照片，圖4.9為現場照片。

網格法規劃於沙洲橫斷面上施作五組，自沙洲左岸開始，橫向距離每相隔20~40公尺即施作一組。體積篩分析法分別施作於由第一、第三

與第五組網格法施作的區域。

### 断面 5：

断面位於竹林大橋上游，為蜿蜒狀河段。位於連接槽，左岸與右岸之間有一沙洲，沙洲並無植生，判斷為新沉積沙洲。圖4.10為航空照片，圖4.11為現場照片。

網格法規劃於沙洲上施作一組，邊灘在施作兩組。體積篩法分別施作於邊灘的兩組網格法範圍內。



圖 4.8 断面 4 航空照片



圖 4.9 断面 4 現場照片(上游往下游拍攝)

### 断面 6：

此段面位於断面5更上游處，接近上坪溪與油羅溪匯流點，為辮狀河段。河道中間有一沙洲，表面細砂含量高，而右岸邊灘礫石遍布，兩者粒徑分佈狀況明顯有差距。圖4.12為航空照片，圖4.13為現場照片。



網格法規劃於沙洲與右岸邊灘上各施作兩組。體積篩法分別於沙洲與邊灘各施作一坑。



圖 4.10 斷面 5 航空照片



圖 4.11 斷面 5 現場照片 (由上游往下游拍攝)

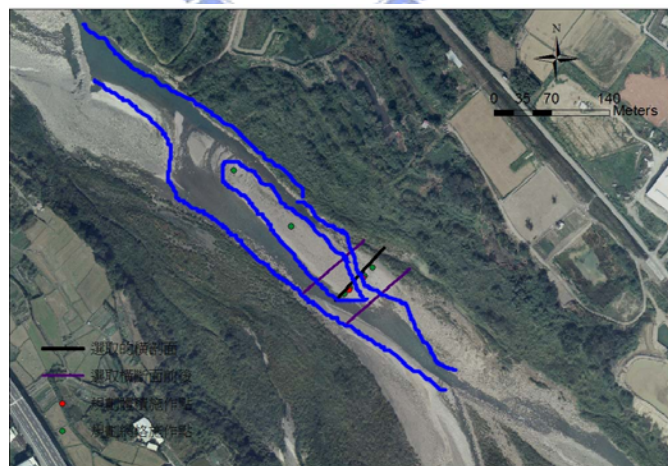


圖 4.12 斷面 6 航空照片



圖 4.13 斷面 6 現場照片 (由下游往上游拍攝)

## 4.2 網格法試驗成果

### (一) 試驗結果

頭前溪網格法採樣工作共計有66組，每一組均一併執行細料修正方法一(細料長度佔測線比例)、細料修正方法二(細料佔撿拾顆粒比例)，以下表4.6將頭前溪網格法採樣成果列出，包含分段點、河口距、以及原始試驗資料之 $D_{16}$ 、 $D_{50}$ 、 $D_{84}$ 、以及三種細料修正方法之細料比例、修正後之 $D_{50}$ 等。

表 4.6 網格法施作結果

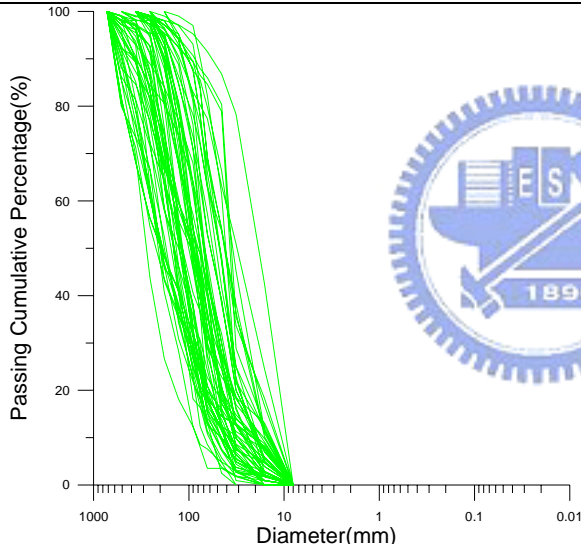
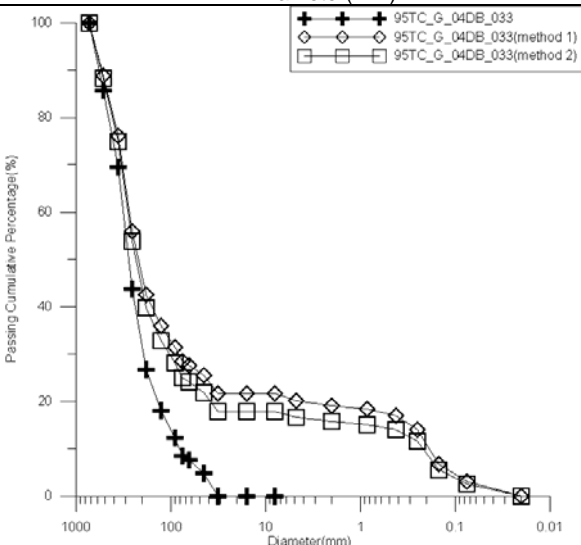

河段	試驗編號	河口距 (km)	$D_{16}$	$D_{50}$	$D_{84}$	修正 1 細料含量 (%)	$D_{50}$	修正 2 細料含量 (%)	$D_{50}$
2	95TC_G_02DaR_001	4.4	21.3	47.6	85.3	15.3	41.2	18.8	39.8
	95TC_G_02DaR_002	4.6	22.7	47.4	76.1	34.4	33.0	29.9	35.6
	95TC_G_02DaR_003	5.2	26.5	41.5	66.8	31.1	33.9	21.1	37.0
	95TC_G_02DaR_004	5.4	27.1	60.0	99.2	27.6	39.6	21.9	43.2
	95TC_G_02DaR_005	6.1	28.2	68.1	112.1	25.6	51.0	14.1	50.0
	95TC_G_02DaR_006	6.3	26.6	56.9	126.1	0.7	56.5	1.8	56.0
	95TC_G_02DaR_007	6.4	40.9	83.9	142.2	9.0	77.1	8.6	77.4
	95TC_G_02DaR_008	6.8	49.5	95.6	168.8	9.8	83.7	15.6	75.3
	95TC_G_02DaR_009	7.2	50.4	117.3	181.7	22.2	93.6	3.1	114.6
	95TC_G_02DaR_010	7.6	58.2	125.0	280.7	35.2	69.0	25.8	92.5
	95TC_G_02DaR_011	7.6	74.6	146.9	298.4	16.4	126.9	14.1	129.9
	95TC_G_02DaR_012	7.6	34.9	70.1	181.0	11.2	63.7	10.7	64.0
	95TC_G_02DaR_013	7.6	41.9	67.1	353.5	28.5	66.3	33.5	59.4
	95TC_G_02DaR_014	7.6	15.0	42.8	77.1	12.8	37.9	7.0	40.3
	95TC_G_02DaR_015	7.7	64.8	119.8	203.7	1.8	118.2	0.9	119.0
	95TC_G_02DaR_016	8.0	13.2	31.4	95.4	60.0	0.6	65.0	0.5
	95TC_G_02DaR_017	8.0	27.1	60.0	125.3	40.0	27.9	31.0	37.3
	95TC_G_02DaR_018	8.0	37.8	89.5	160.8	35.0	50.5	28.0	64.4
	95TC_G_02DaR_019	8.0	24.6	92.8	152.4	50.0	8.0	45.0	13.5
	95TC_G_02DaR_020	8.0	37.3	76.2	142.5	17.0	63.7	22.0	58.9
	95TC_G_02DaR_021	8.3	26.4	48.3	84.8	22.5	39.2	10.7	43.7
	95TC_G_02DaR_022	8.6	41.2	83.4	166.5	19.1	62.8	18.8	63.0
	95TC_G_02DaR_023	8.9	29.8	76.2	196.6	12.9	66.1	14.3	64.8
4	95TC_G_04DB_024	14.2	19.6	42.1	96.2	60.0	4.4	7.8	39.0
	95TC_G_04DB_025	14.5	40.2	84.8	153.4	32.8	51.1	37.0	45.0

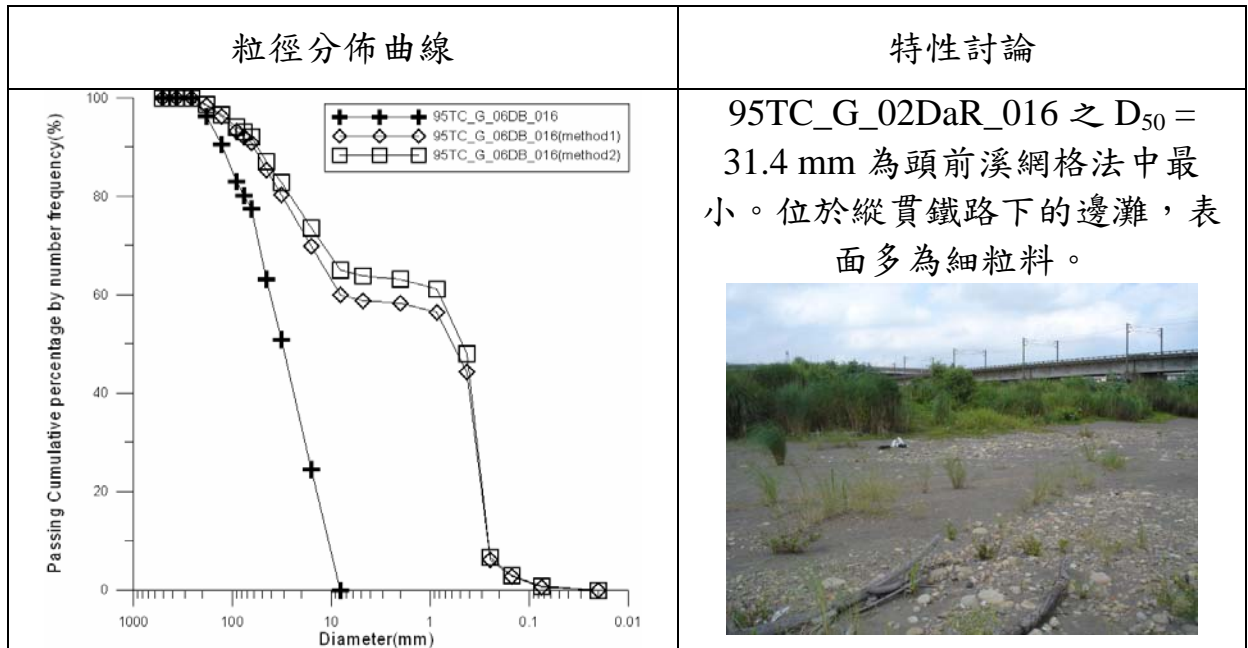
河段	試驗編號	河口距 (km)	D <sub>16</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>84</sub>	修正 1 細料含量 (%)	D <sub>50</sub>	修正 2 細料含量 (%)	D <sub>50</sub>
	95TC_G_04DB_026	14.8	34.7	96.3	164.8	8.9	88.5	10.2	86.9
	95TC_G_04DB_027	15.0	35.3	79.8	197.2	15.0	69.4	13.3	70.5
	95TC_G_04DB_028	15.6	19.0	42.2	117.2	12.1	36.2	14.1	35.1
	95TC_G_04DB_029	15.9	32.0	81.0	225.9	47.9	18.5	47.9	18.5
	95TC_G_04DB_030	15.9	45.2	181.0	326.9	61.4	0.4	65.1	0.4
	95TC_G_04DB_031	15.9	58.3	189.7	390.4	39.6	62.2	47.4	32.0
	95TC_G_04DB_032	15.9	46.3	87.3	181.0	23.8	65.7	21.9	67.7
	95TC_G_04DB_033	15.9	114.3	281.5	496.1	21.7	222.3	17.9	235.2
	95TC_G_04DB_034	15.9	45.1	74.5	151.0	38.0	47.7	18.0	62.6
	95TC_G_04DB_035	15.9	31.6	68.6	144.5	24.1	49.9	18.8	54.7
	95TC_G_04DB_036	15.9	18.1	35.0	72.9	8.9	32.0	7.1	32.6
	95TC_G_04DR_037	15.9	63.4	195.6	488.0	16.8	143.7	13.3	157.9
	95TC_G_04DB_038	16.4	52.8	197.7	536.0	7.6	164.1	14.1	134.6
	95TC_G_04DB_039	16.7	53.4	146.9	312.3	27.7	96.4	27.9	95.9
	95TC_G_04DB_040	16.9	47.8	120.3	265.1	23.5	86.8	27.1	81.9
	95TC_G_04DB_041	17.1	53.2	121.8	235.6	22.5	86.1	27.1	79.4
	95TC_G_04DR_042	17.5	52.8	197.7	536.0	7.6	164.1	14.1	134.6
	95TC_G_04DB_043	17.8	68.8	126.4	212.4	24.5	95.5	4.7	121.8
	95TC_G_04DB_044	18.1	51.1	90.5	287.3	6.0	86.2	7.1	85.3
	95TC_G_04DB_045	18.1	34.6	69.7	247.0	53.0	0.5	62.1	0.4
	95TC_G_04DB_046	18.1	42.4	92.6	303.9	52.0	1.7	46.4	24.0
	95TC_G_04DB_047	18.1	64.4	128.0	442.4	35.0	72.4	42.1	54.7
	95TC_G_04DB_048	18.1	28.7	70.5	117.9	17.0	60.0	16.4	60.5
	95TC_G_04DB_049	18.3	68.8	136.5	247.4	10.1	124.0	10.4	123.6
	95TC_G_05CR_050	18.6	59.3	101.5	244.0	14.0	84.3	10.9	87.6
	95TC_G_05CR_051	18.8	68.8	189.7	440.8	1.5	184.9	4.5	79.8
	95TC_G_05CR_052	19.0	39.6	95.9	261.1	31.0	55.5	20.2	58.2
5	95TC_G_05CR_053	19.2	54.2	120.9	229.9	18.1	100.7	20.3	97.6
	95TC_G_05CR_054	19.4	65.3	155.9	316.9	42.8	57.9	33.8	79.8
	95TC_G_05CR_055	19.6	99.0	212.5	330.6	27.7	138.7	21.5	162.1
	95TC_G_05CB_056	19.7	24.6	52.6	96.4	15.8	44.5	15.6	44.6
	95TC_G_05CR_057	19.7	81.1	174.0	427.0	29.9	109.5	27.1	118.6
	95TC_G_05CR_058	19.7	35.1	117.9	352.5	38.0	44.2	29.9	58.2
	95TC_G_05CR_059	20.0	61.3	224.8	567.8	21.4	130.0	25.0	116.8
	95TC_G_05CR_060	20.2	72.4	202.1	602.0	41.0	71.0	34.4	90.5
	95TC_G_06DB_061	21.2	74.8	202.9	462.1	39.7	77.1	36.3	88.1
6	95TC_G_06DB_062	21.3	71.3	199.8	419.9	36.1	90.1	31.3	113.0
	95TC_G_06DB_063	21.4	15.6	36.3	57.3	28.5	27.4	25.7	29.6
	95TC_G_06DB_064	21.4	19.4	37.6	62.0	26.1	32.9	18.8	34.6
	95TC_G_06DB_065	21.4	38.5	144.3	256.6	33.3	70.1	33.8	68.9
	95TC_G_06DB_066	21.4	58.3	143.3	246.1	6.9	132.9	9.8	128.0

## (二)粒徑分佈曲線

由粒徑分佈曲線之形狀可以觀察河床質沉積特性，表4.7為全部網格法以及中值粒徑最大與最小組別的粒徑分佈圖。表中的第一張圖為所有頭前溪網格法之粒徑分佈曲線，可發現整體曲線趨勢相近，且 $D_{50}$ 以上重程度相當高，僅少數曲線較為偏差，推測為採樣地點受到複雜沈積環境下之小區域效應所影響。第二、三張圖分別為本次施作中值粒徑最大與最小的組別，兩組差距達到250mm，顯示河床粒徑分佈廣泛。

表 4.7 頭前溪網格法粒徑分佈曲線特性討論表

粒徑分佈曲線	特性討論
	<p>圖為所有 66 組之表面法粒徑分佈曲線，趨勢相當集中，因未對 8mm 以下細粒料採樣，曲線均較接近單一級配類型。本次試驗成果中原始試驗資料之 <math>D_{50}</math> 大多介於 30~220mm 之間，</p>
	<p>95TC_G_04DB_033 之 <math>D_{50} = 281.5 \text{ mm}</math> 為頭前溪網格法中最大，相片中可見相當多大型卵石。</p> 



### (三) 中值粒徑與掏選度分佈

圖4.14為網格法中值粒徑與河口距的關係，中值粒徑沿縱向下游細化的趨勢明顯。圖中可發現中值粒徑隨河口距的變化有分段變化的情形，應是河相不同所造成，將於後面章節討論。

圖4.15為所有網格法的掏選度，發現上游掏選度僅略高於下游，表示上下游河流掏選狀況差異不大。推測頭前溪由上游帶下的土石材料沈積速度相當快，河床顆粒僅在有限掏選的狀況下進行沈積。

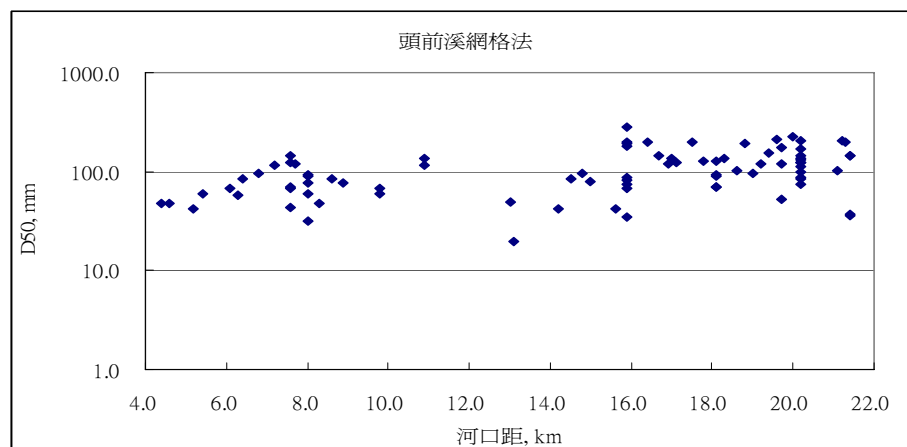


圖 4.14 頭前溪網格法中值粒徑縱向分佈

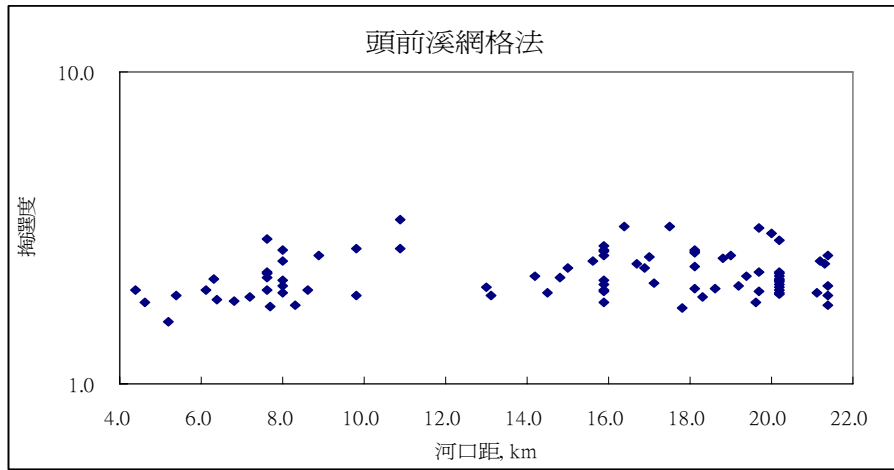


圖 4.15 頭前溪網格法淘選度縱向分佈

### 4.3 體積法試驗成果

#### (一) 試驗結果

頭前溪體積法採樣試驗共計有24組，在分層採樣工作的部分，001、004、007、008、009、012、014、018、021等9孔均以15cm為護甲層深度，15~100cm視為底層，全孔僅分2層作採樣分析；頭前溪其餘19孔體積法採樣試驗，為能更充分掌握底床粒徑在垂直方向之變化特性，採樣時將每一孔至少等分為4層(第一層為護甲層，以下固定於每25cm為一層)進行，若由同一位置網格法施做結果(網格法於體積法之前施做)得到之 $D_{90}$ 粒徑，與等分4層深度比較之下，其深度差異(5cm以上)足以再區分一層，則全孔計有5層之分層取樣。

茲將頭前溪採樣成果摘要資訊整理如表4.8所示，包含分段點、河口距、以及表層、底層、不分層之 $D_{16}$ 、 $D_{50}$ 、 $D_{84}$ 等。本次試驗成果中表層之 $D_{50}$ 介於30~200mm之間(僅2組<30mm，2組>200mm)；底層之 $D_{50}$ 介於25~100mm之間(僅2組<30mm，1組>100mm)；不分層之 $D_{50}$ 介於25~100mm之間(僅2組<30mm，1組>200mm)。

## (二)粒徑分佈曲線

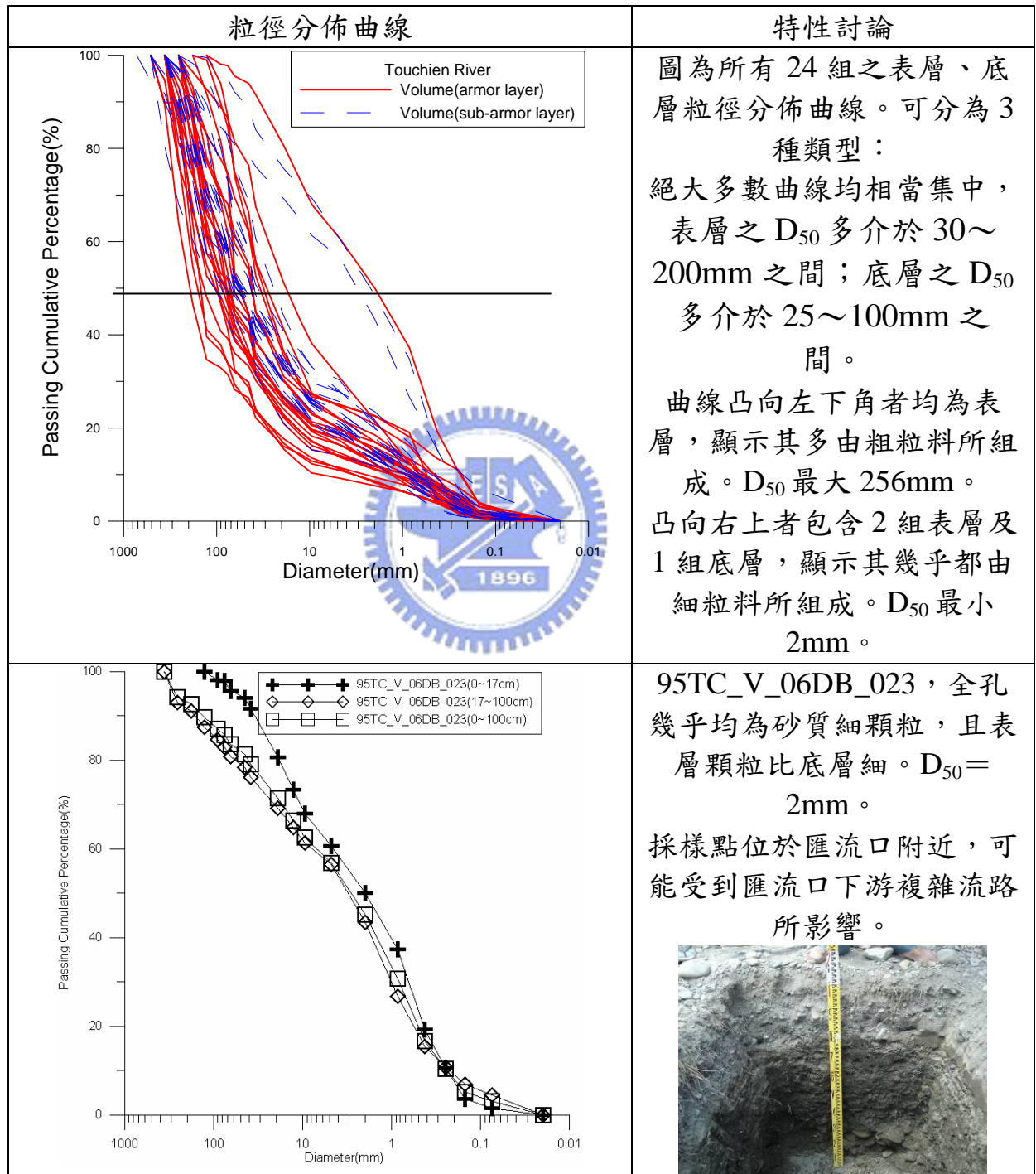
由粒徑分佈曲線之形狀可以觀察河床質沈積時的特性，表4.9列出體積法表層、底層之粒徑分佈曲線，並挑出具代表性的坑號列於表4.9做討論。與網格法相比，體積法的粒徑分佈曲線較為散亂，但整體趨勢也大致相同。曲線大多凸向左下角，表層曲線更為明顯，顯示粒徑組成多為大顆粒。少數曲線較為偏差，推測同為採樣地點受到複雜沈積環境下之小區域效應所影響。第二、三張圖同為匯流點施作結果，施作位置近但結果差異甚大，顯示河川匯流處河床變異性較大。第四張圖為體積法唯一明顯有表底層分界的坑。

表 4.8 頭前溪體積法施做成果彙整表

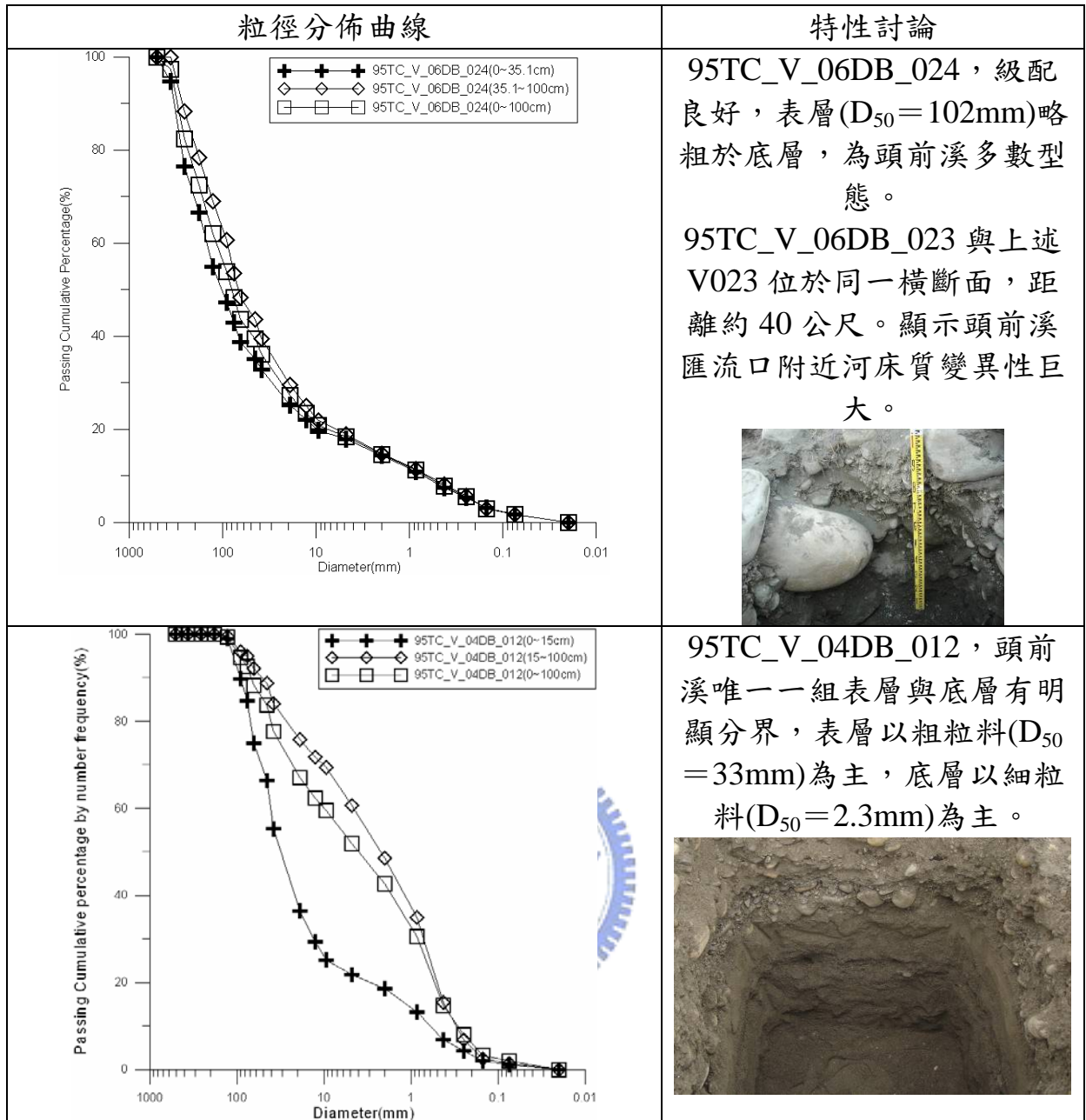
河段	調查編號	河口距	表層深	表層(mm)			底層(mm)			全部(mm)		
		km	cm	D <sub>16</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>84</sub>	D <sub>16</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>84</sub>	D <sub>16</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>84</sub>
2	95TC_V_02DaB_001	6.3	15.0	1.7	42.2	148.9	2.7	58.9	138.0	2.3	52.1	142.8
	95TC_V_02DaB_002	7.6	28.2	18.9	195.7	339.3	3.1	70.6	230.2	2.4	129.5	275.9
	95TC_V_02DaB_003	7.6	21.0	20.2	150.6	239.0	3.4	57.3	213.0	4.8	81.4	224.1
	95TC_V_02DaB_004	7.6	15.0	7.8	71.8	173.9	2.1	56.2	256.0	2.9	62.3	256.0
	95TC_V_02DaR_005	8.0	6.0	0.8	30.6	73.4	1.4	43.2	155.3	1.1	42.5	152.0
	95TC_V_02DaR_006	8.0	13.0	4.4	80.4	200.7	1.6	61.4	184.0	1.6	64.8	187.5
	95TC_V_02DaR_007	8.0	15.0	0.8	35.2	137.7	1.1	25.8	81.4	0.8	28.9	89.4
4	95TC_V_04DB_008	14.5	15.0	2.5	56.9	99.5	0.8	39.5	106.0	1.1	42.0	104.4
	95TC_V_04DB_009	14.8	15.0	4.5	58.0	134.1	1.4	40.3	132.9	1.6	41.8	133.1
	95TC_V_04DB_010	15.9	20.7	9.0	137.7	247.9	2.2	52.5	235.4	2.5	68.7	241.7
	95TC_V_04DB_011	15.9	22.0	3.2	72.6	192.7	3.8	107.6	388.9	3.5	92.8	333.0
	95TC_V_04DB_012	15.9	15.0	1.5	32.7	75.4	0.4	2.3	38.1	0.5	4.2	46.6
	95TC_V_04DB_013	17.1	27.6	7.5	78.1	169.2	3.5	80.2	275.3	4.0	78.7	236.7
	95TC_V_04DB_014	17.8	15.0	0.7	41.7	166.9	2.4	62.6	183.8	1.6	53.9	180.7
	95TC_V_04DB_015	18.1	36.1	14.6	162.8	286.1	1.7	54.2	197.0	3.5	81.2	243.8
	95TC_V_04DB_016	18.1	25.3	1.7	87.5	222.6	3.1	89.6	264.6	2.3	88.9	247.0
	95TC_V_04DB_017	18.1	12.6	17.3	98.6	177.7	2.5	43.0	160.0	2.6	53.2	164.4
	95TC_V_05CB_018	18.3	15.0	10.5	65.2	170.8	3.3	27.5	138.9	3.1	37.5	166.3
5	95TC_V_05CR_019	19.7	50.0	4.1	105.6	252.4	1.5	36.7	167.7	2.3	70.1	228.7
	95TC_V_05CR_020	19.7	46.0	2.2	82.0	232.8	3.3	50.8	201.3	2.9	68.5	219.9
	95TC_V_05CR_021	20.0	15.0	1.3	18.1	70.2	2.0	39.8	117.1	1.9	36.8	112.1

河段	調查編號	河口距	表層深	表層(mm)			底層(mm)			全部(mm)		
		km	cm	D <sub>16</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>84</sub>	D <sub>16</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>84</sub>	D <sub>16</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>84</sub>
	95TC_V_05CR_022	20.2	50.0	2.6	79.1	272.2	2.6	55.5	232.0	2.6	68.0	250.0
6	95TC_V_06DB_023	21.4	17.0	0.4	2.0	25.0	0.5	3.4	85.5	0.4	3.1	66.6
	95TC_V_06DB_024	21.4	35.1	3.3	104.2	299.6	2.8	67.9	223.6	3.0	80.6	267.2

表 4.9 頭前溪體積法粒徑分佈曲線特性討論表







### (三)中值粒徑與掏選度分佈

圖4.16為頭前溪體積法表底層中值粒徑與河口距的關係圖，表層與網格法結果近似，中值粒徑沿縱向下游細化的趨勢明顯，底層則因跳動過大無明顯趨勢。表示表層材料可明顯反映出底床水流阻抗能力。

圖4.17為頭前溪體積法掏選度與河口距的關係圖，與網格法相比，不管是表層或底層掏選度均相當大，應是網格法忽略細粒料的原因。掏選度與河口距無明顯關係，應是頭前溪由上游帶下的土石材料沈積速

度相當快，河床顆粒僅在有限掏選的狀況下進行沈積。而表層之掏選狀況較底層好，主要是受到沈積後較小流量之掏選搬運作用的影響。

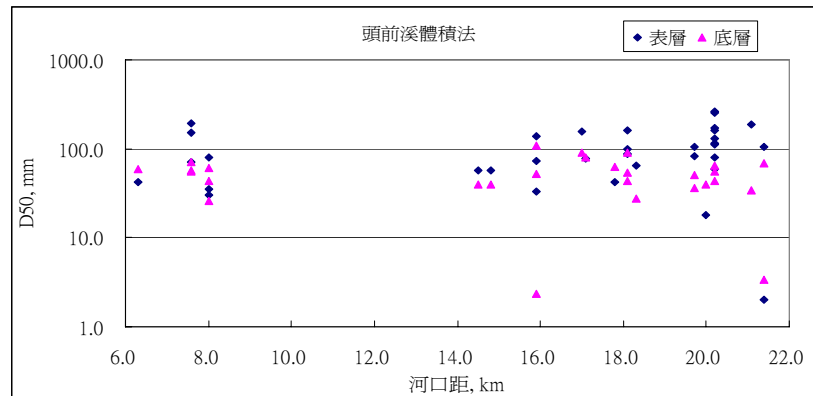


圖 4.16 頭前溪體積法表底層中值粒徑縱向分佈

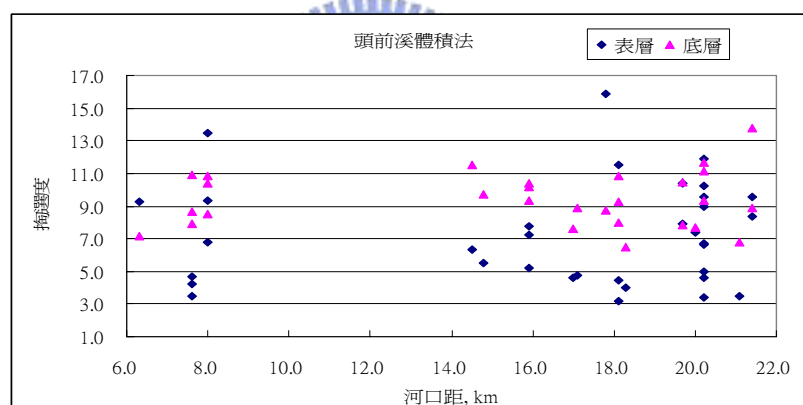


圖 4.17 頭前溪體積法表底層淘選度縱向分佈

#### (四)表底層的差異

本次施做的體積篩分析，皆有區分表、底層分別取樣，且有將部份試坑的底層每25cm再分一層。表層深度部分參考傅志偉(2005)於頭前溪的取樣結果所得之表面顆粒 $D_{90}$ 之B軸粒徑，15公分做為表層深度，其他部分則依照本次網格法於施做區域所得之 $D_{90}$ 決定。

以下先依表、底層比對的分類結果整理如表4.10，並進行分類討

論。表中的粒徑分佈圖，+代表表層的粒徑分佈曲線，◇代表底層的粒徑分佈曲線，□則是代表整坑的粒徑分佈曲線。

分類的步驟為依照表底層 $D_{50}$ 的差異與細料含量差異，先將表底層結果相近與粗細差距大分開後，再根據表底層 $D_{50}$ 的差異，分類為表層粗於底層以及表層細於底層兩種狀況。因此分類共有三類說明如下：

類型VA，表底層 $D_{50}$ 差距小於20mm，且細料含量差異 $<10\%$ 。此類型表底層結果相近，無表層粗粒化現象。共有11組。因此，此類型挖掘的試坑，僅需挖掘表層，即可得到表底層的資料，可同時滿足分析水理與疏砂的調查需求。

類型VB，此類型表層 $D_{50}$ 均大於底層20mm以上，且表層細料含量皆低於底層，有表層粗粒化的現象發生。共有11組。觀察這些試坑所在位置，部分位於長期不受流水影響的沙洲，部分位在低能水流會流經的邊灘，這些區域如同第二章文獻回顧所討論，為發生表面粗粒化的可能區域。而第三試坑，位於一不穩定沙洲，推測表層粗粒化的原因可能是最近洪水造成的新堆積層，成因較不相同。然而類似條件的施做地點，並非都有表面粗粒化的現象發生。

類型VC，此類型表層 $D_{50}$ 小於底層，表層細料含量也高於底層。共有2組。此類型較為少見，應是挖掘位置的表面有細料覆蓋所造成。

## (2)底層分層

本次研究部份試坑在分出表層深度後，每25cm會在分層取樣，目的是要了解體積法挖到1m深度的必要性。以下表4.11將依照詳細調查斷面的順序，列出各坑 $D_{50}$ 隨深度的變化。

由表4.11可以發現，大部分的試坑在尚未達到1m的深度，中值粒徑

就已經趨於穩定，甚至有的試坑在深度50cm以下就已經沒什麼變化了，這些試坑不需挖掘1m深就可以獲得完整的試坑粒徑資訊。因此體積法的深度可依照施做地點的狀況做調整。挖掘深度的決定，可先於施做地點挖掘一試坑後，依據此試坑的結果來決定，並視其餘試坑狀況做調整。

表 4.10 體積法施作結果分類

類型	VA	VB	VC
組數	11	11	2
粒徑分佈曲線			
VA：表底層相近		VB：表層粗於底層	
<p style="text-align: center;">95TC_V_04DB_013</p>		<p style="text-align: center;">95TC_V_02DaR_002</p>	
VC：表層細於底層			
<p style="text-align: center;">95TC_V_05CR_021</p>			

表 4.11 各橫斷面體積法  $D_{50}$  垂直向之變化

斷面	垂直向變化	說明
1	<p>Detailed description: This line graph plots the median particle size (<math>D_{50}</math>) in millimeters against depth in centimeters for two data series, 002 and 003. The x-axis represents <math>D_{50}</math> (mm) from 0 to 250, and the y-axis represents depth (cm) from 0 to 100. Series 002 (blue line with diamond markers) has points at approximately (10, 10), (200, 10), (150, 40), (60, 40), (150, 60), and (100, 90). Series 003 (magenta line with square markers) has points at approximately (10, 10), (100, 10), (50, 40), (100, 40), (50, 60), and (100, 90).</p>	<p>大約 至 60cm 得 完整粒徑 變化資訊</p>
2	<p>Detailed description: This line graph plots <math>D_{50}</math> (mm) against depth (cm) for series 005 and 006. The x-axis ranges from 0 to 100 mm, and the y-axis from 0 to 100 cm. Series 005 (blue line with diamond markers) has points at approximately (10, 10), (60, 10), (40, 40), (40, 60), (10, 90), and (10, 90). Series 006 (magenta line with square markers) has points at approximately (10, 10), (80, 10), (40, 40), (80, 40), (20, 60), and (20, 90).</p>	<p>大約 至 50cm 可 獲得完整 粒徑變化 資訊</p>
3	<p>Detailed description: This line graph plots <math>D_{50}</math> (mm) against depth (cm) for series 010 and 011. The x-axis ranges from 0 to 150 mm, and the y-axis from 0 to 100 cm. Series 010 (blue line with diamond markers) has points at approximately (10, 10), (100, 10), (40, 40), (40, 60), (10, 90), and (10, 90). Series 011 (magenta line with square markers) has points at approximately (10, 10), (100, 10), (50, 40), (100, 40), (50, 60), and (100, 90).</p>	<p>大約 至 50cm 可 獲得完整 粒徑變化 資訊</p>

斷面	垂直向變化	說明
4		<p>大約至 70cm 可獲得完整粒徑變化資訊</p>
5		<p>大約至 60cm 可獲得完整粒徑變化資訊</p>
6		<p>大約至 60cm 可獲得完整粒徑變化資訊</p>

# 第五章 網格法細粒料修正及網格法與體積

## 法結果比較

### 5.1 網格法修正方法

本次網格法採用 Wolman 法，由於忽略 8mm 以下細粒料部分，因此採用了兩種細粒料修正方法，嘗試補足缺少的細粒料資料。修正結果已於 4.1 節列出，本小節將針對修正後之結果，對照現場狀況討論修正結果的合理性。

依據兩種方法所得的細粒含量做差異的統計，如表 5.1 所示。共有 58 組比例差異在 10% 以內，有 7 組差異在 10~20%，僅有 1 組的差異達到 20% 以上。此結果顯示兩種修正方法，得到的結果差異不大，可以依照施作便利性做選擇，並有交互檢驗的效果。

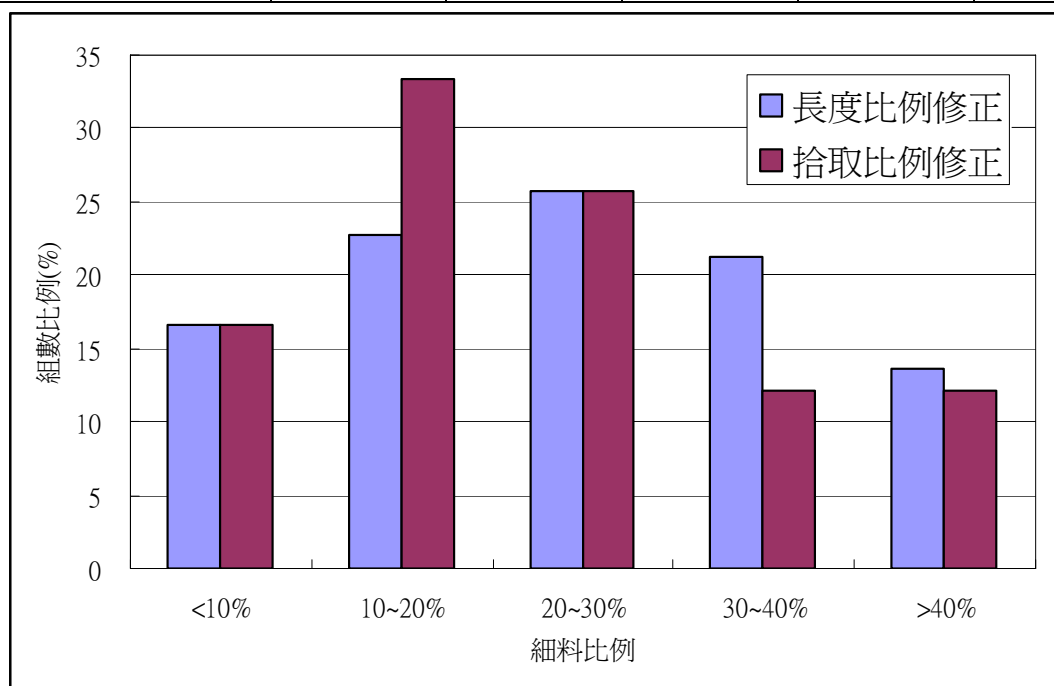
表 5.1 兩種網格法修正方式細粒料含量的差異

細料比例差異	0~10%	10~20%	20% 以上
組數	58 組	7 組	1 組
比例	88%	11%	1%

將兩種修正方法所得的細料含量，以 10% 的間隔為區間，整理出細料比例的分佈狀況，如表 5.2 所示。兩種修正方法所得的細料比例大多集中於 10~30% 之間，佔了 50% 以上。而比例 >40% 以上的組數比例約 15% 以下，當細料比例 >50% 時，則粒徑分佈參數中的  $D_{50}$  將落入砂的範圍，對施作的結果有相當大的影響。

表 5.2 兩種細料修正比例分佈

細料比例	<10%	10~20%	20~30%	30~40%	>40%
長度比例修正組數	11	15	17	14	9
組數比例(%)	17	23	26	21	14
拾取比例修正組數	11	22	17	8	8
組數比例(%)	17	33	26	12	12



將網格法細料修正前與細料修正後做比較後，整理出四種典型的結果，以下將分別說明，並將粒徑分布圖與組別整理如表5.3與表5.4：

GA：兩種細料含量差異<10%且細料含量<20%的狀況，細料修正前後的粒徑參數差異不大，僅 $D_{16}$ 與 $D_5$ 有所差異。

GB：兩種細料含量差異<10%且細料含量>20%的狀況，細料修正前後的粒徑參數差異甚大，特別是 $D_{50}$ 以下的參數。

GC：兩種細料含量差異>10%的狀況，兩種修正方法所得的粒徑參數有明顯差異， $D_{50}$ 以下的參數差異較大。

GD：兩種細料含量差異>20%。本次試驗僅出現一組這種狀況，研判應該為操作誤差造成。



表 5.3 網格法細粒料修正綜合比較

類型	GA	GB	GC	GD
組數	25	35	5	1
粒徑分佈曲線				
<p>GA：細料含量差異&lt;10%， 細料含量&lt;20%</p> <p style="text-align: center;"><b>G_02DaR_007</b> (M1=9% , M2=8.6%)</p>		<p>GB：細料含量差異&lt;10%， 細料含量&gt;20%</p> <p style="text-align: center;"><b>G_04DB_045</b> (M1=53% , M2=62.1%)</p>		
<p>GC：細料含量差異&gt;10%</p> <p style="text-align: center;"><b>G_02DaR_009</b> (M1=22.2% , M2=3.1%)</p>		<p>GD：細料含量差異&gt;20%， 細料含量比例&gt;50%</p> <p style="text-align: center;"><b>G_04DB_024</b> (M1=60% , M2=7.8%)</p>		

表 5.4 網格法細粒料修正分類結果

類型	網格法施作組別流水號
GA	01、06、07、08、11、12、14、15、22、23、26、27、28、36、37、38、42、44、48、49、50、51、53、56、66
GB	02、03、04、10、13、16、17、18、19、20、25、29、30、31、32、33、35、39、40、41、45、46、47、52、54、55、57、58、59、60、61、62、63、64、65
GC	05、09、21、34、43
GD	24

以下分別對表4.15的四種分類，進行修正合理性討論：

GA分類為兩種修正結果相近，且細料含量低。此種修正結果不但可反應出施作區域細料含量低，也可補足細粒料的粒徑曲線，為此次網格法嘗試修正中最佳結果。此類修正結果的施作點大多位於表面無沉積細砂的邊灘(圖5.1)以及較晚形成的無植生沙洲(圖5.2)。



圖 5.1 表面無沉積細砂的邊灘



圖 5.2 無植生沙洲

GB分類為兩種修正結果相近，但細料含量高。由於修正所得的細料含量高，導致修正前後粒徑參數差異大，尤其是 $D_{50}$ 以下的參數，若細料比例 $>40\%$ ，則 $D_{50}$ 將可能落入砂的粒徑範圍內，對礫石河床而言並不合理。觀察此類修正結果的施作地點，可以發現現場確實有大範圍的細粒料覆蓋表面(圖5.3)，而且大多僅為薄薄一層(大約5cm)。由此可知此類施作區域修正結果雖然較不合理，但依然可以忠實的反應出現場的表面狀況。

此外，觀察此類型修正結果的粒徑曲線(圖5.4)，可發現幾乎沒有8 mm~ 0.5 mm這個範圍的粒徑。針對此現象，原因說明如下：由於現場的細砂大多僅為薄層，推測此薄層形成原因可能為：植生造成的風積土，或是河川水位快速變化而造成邊灘僅有細粒料沉積。此兩種情形產生的細粒料粒徑偏小，導致粒徑分佈集中於0.5mm以下的顆粒。綜合以上討論，施作區域若有大範圍的細粒料覆蓋，並不適合使用網格法的細粒料修正。



圖 5.3 表面有大範圍細粒料覆蓋區域

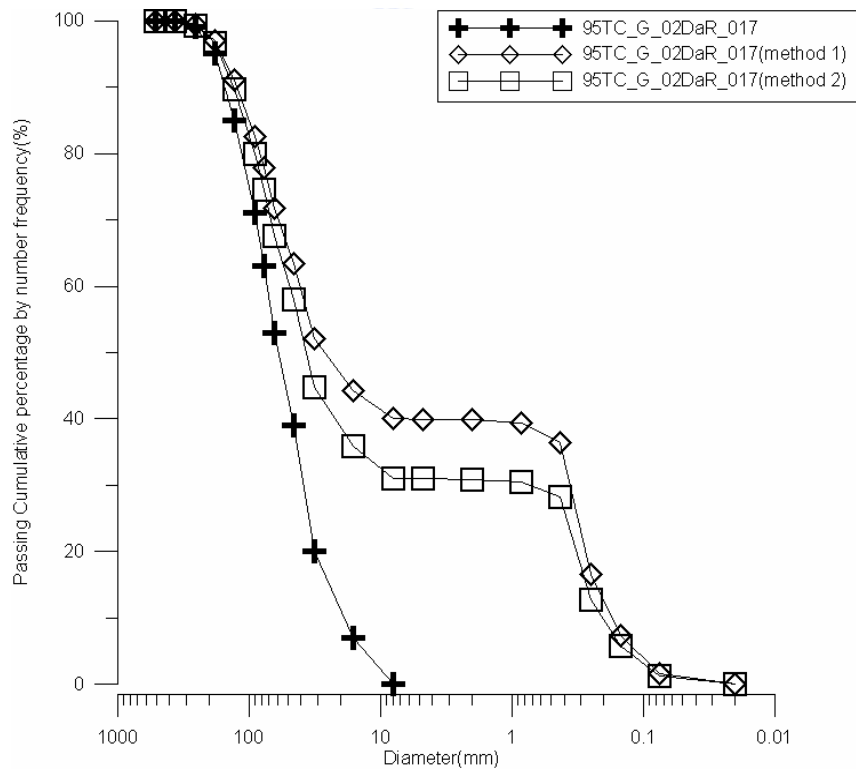


圖 5.4 網格法修正類型 B 的典型粒徑曲線

GC分類為兩種修正方法所得的細料含量差異 $>10\%$ ，因此修正所得到的結果有所差異。此種類型會使用結果上的困擾，必須再到現地或由照片判定哪一種修正結果較能代表現場的狀況。造成此類型的原因，與

修正的方法有關。由於長度比例修正法量取的細料長度，為第一條、第五條與完成施作時的這三條測線的長度比例進行平均，而拾取比例修正法則是採用整個施作區域的拾取比例，因此兩種方法所涵蓋的範圍並非完全相同。然而現場的細粒料分佈並不均勻，造成局部區域細料特別高或低，導致兩種修正方法所得的結果有所差異。因此為了避免兩種修正結果差異過大，於現場施作時，就需要注意細粒料的分佈，在進行細粒料修正的時候就需要避開。

GD分類不但兩種修正方法結果差異甚大，且某一修正結果的細粒料比例也 $>50\%$ 。判斷應是操作上的誤差造成。

總結上述四種修正結果的分類討論，類型GA最適合使用採用修正方法，類型GB則因表層的薄層細粒料覆蓋而不適合採用修正方法，類型GC與GD為修正步驟有所缺失造成的不良結果，所佔組數也較少。

## 5.2 網格法與體積法的結果比較

由於不同的調查需求，需要的河床質資料並不相同，若能針對調查需求選定適當的施作方法，可大大提高河床質調查效率。由於網格法與體積法的取樣範圍並不相同，因此以下將用不同方式進行兩種取樣方式的比對，以探討網格法是否可取代體積法。

依據前一小節體積法表底層結果分類，分別與網格法的施作結果進行比對，討論同一區域網格法與體積法的結果差異。網格法與梯基法表層結果的比較，依照體積法的VA、VB、VC分類及網格法修正與未修正分別比較如下：

## (1)網格法未經過修正

分類VA：體積法的表層資料與對照的網格法結果比對後，僅有四組粒徑參數 $D_{50}$ 兩者結果相近，體積法的流水號分別為01、05、06跟16。對照良好的這四組體積法取樣區域除了01以外，在網格法細粒料修正中，得到的細粒料含量都偏高(30%~60%)，然而體積法取得的表層細粒料比例只有20%左右，由此也可判定這三個區域的細粒料僅有薄層覆蓋。

而04這一組體積法，表層 $D_{50}$ 則是較網格法來的粗。其餘的六組體積法，流水號07、08、09、13、14及23，表層 $D_{50}$ 則皆明顯細於網格法。

分類VB：體積法的表層資料與對照的網格法結果比對後，流水號02、03、10、15與17這五組，體積法表層 $D_{50}$ 粗於網格法，此五組施作區域的表面細料含量較低(15%以下)。而其餘六組，流水號12、18、19、20、22以及24，體積法表層 $D_{50}$ 則細於網格法。

分類VC：體積法的表層資料與對照的網格法結果比對後，流水號11表層 $D_{50}$ 與網格法相近，而流水號21的表層 $D_{50}$ 則明顯細於網格法。21號坑的施作位置不具代表性，為局部細料含量較高區域。現場照片如圖5.5。



圖 5.5 95TC\_V\_05CR\_021 現場狀況

由以上討論可知，僅有少數的網格法與體積法表層有良好的對照結果。多數的狀況下，體積法表層的 $D_{50}$ 均較網格法小，這是由於網格法施

作上忽略細粒料所造成的。而少數體積法表層 $D_{50}$ 較網格法大的組數，分類上都是屬於VB，表示在表面粗粒化發生時才有此種狀況的發生。

## (2)網格法修正後

以下依據網格法修正後的分類進行與體積法表層的比對：

GA類由於細粒料的比例較低，所以修正後對 $D_{50}$ 以上的粒徑參數影響並不大。而補足的 $D_{50}$ 以下的粒徑參數雖然仍有些許差距，但粒徑分佈曲線的趨勢是一致的。尤其體積法流水號09與18，由於網格法修正前 $D_{50}$ 是大於體積法表層的，經過修正後兩者的結果更為相近。

GB類由於細粒料的比例偏高，修正後粒徑參數變化甚大。比對過後，僅有體積法流水號08的比對結果較佳，修正後兩者粒徑參數與曲線都相當近似。另有少數幾組，體積法流水號11、13、19，網格法修正所得的細料比例與體積法表層的細料比例近似，其餘的組數網格法修正後都高估了細粒料的比例。而大部分的粒徑分佈曲線，都因為表面細粒料的分佈不均，導致比對的結果不佳。

GC與GD的修正結果明顯有問題，故並不與體積法做比對。

## (3)網格法與體積法比對結論

綜合上述體積法表層與網格法的比對結果，網格法的粒徑參數大多比體積法要粗，僅有少數組數比對結果良好。而網格法修正後為GA的類型時，確實有助於與體積法的比對。然而體積法本身也有許多不確定因素，由於體積法僅於一區域內挖掘一立方公尺的範圍，其對該區域的代表性仍須進一步確認。由體積法流水號21的狀況可知，體積法施做的地點對結果的影響甚大，尤其在河床質分佈相當不均勻的礫石河床。反

觀網格法施作範圍較大，且不易因為選取位置的差異而造成誤差。因此在河床質調查目的僅需要表層的資料時，網格法確實比體積法有著正確與快速的優點。因此，可在適合進行網格法細粒料修正的區域，用網格法來取代體積法進行調查，而網格法的結果僅能取代體積法表層的結果，若要進一步以網格法完整取代體積法(包括表層以及底層)，則需要在調查區域施做少量的體積法，無表面粗粒化現象的區域才可完整取代。





## 第六章 調查位置與數量的合理性

### 6.1 縱向與橫向變異性討論

#### 6.1.1 橫向變異性討論

本次規劃於頭前溪挑選了六個橫斷面進行較密集的取樣，乃是為了研究礫石河床質於橫向地形變化之關係的變異性，以下將分別討論：

##### 斷面 1

本斷面網格法與體積法施作結果彙整於圖6.2。圖中深槽距為各施作點距離深槽中心的大約位置，深槽距0的位置為深槽中心，深槽約位於斷面中間。由圖6.2的資料可以發現，距離深槽越近，粒徑參數會越大，細粒料也跟著減少，左右岸皆有此現象。由圖中可知，網格法中僅一施做點位於沙洲上，發現此施做點雖離深槽距離最近，但粒徑參數卻小於離深槽較遠的右邊灘，經過觀察此沙洲為近期沉積形成，與邊灘的沉積狀況並不相同。

由上述變化趨勢，推測兩岸遠邊灘由於地勢較高，加上離河道主流較遠，即使水位提升至此，水流速度也較主流緩慢，造成可運動顆粒粒徑較小，於是沉積顆粒較小。隨著靠近主槽，地勢也跟著降低，受主流影響頻繁，可運動顆粒粒徑提高，沉積顆粒跟著加大。左右邊灘由於有地勢地高差，故受河水影響程度並不一致。圖6.1為大雨後此斷面的現場狀況，可明顯看出河水向左右邊灘漫流的狀況，可做為上述推測的佐證。

## 断面 2

本断面网格法与体积法施作结果彙整於圖6.3。深槽則位於断面右岸。如同断面1，也有距離深槽越近顆粒越粗的現象。由於此断面皆施作於左邊灘，因此趨勢比断面1更加明顯。形成此趨勢的原因應如同断面1。

## 断面 3

本断面网格法与体积法施作结果彙整於圖6.4。由於此断面流路相當混亂，左右岸各有一條寬大的河道，單純以断面左岸的河道深槽距為0，發現粒徑參數變化相當劇烈，並且與深槽距無明顯關係。除了右邊灘的粒徑參數特別大以外，三個沙洲的粒徑參數也有相當的差異，看不出變化趨勢。但若進一步將資料分邊，左岸五組與左岸的深槽距以及右岸四組與右岸的深槽距，仍有距離深槽越近顆粒越粗的現象。

造成此断面粒徑變化劇烈的原因，應是複雜的河川流路導致。此断面大小河道相當複雜，不管是沙洲與邊灘，當水位改變，各個位置與地形將受到不同河道的影響，而各個河道的搬運與沉積行為並不相同，因此造成了断面上的粒徑參數變化劇烈且複雜。

## 断面 4

本断面网格法与体积法施作结果彙整於圖6.5。如同断面3，左右岸皆有一條河道，若僅定断面左岸的河道深槽距為0，粒徑參數與深槽距關係不明顯。但若左右河道同時考慮，則依然有距離深槽越近顆粒越粗的現象。本断面施作點集中於河道中央的寬大沙洲，雖然同樣受到粒徑參數變化較断面3小，可見單一沙洲的粒徑變化比多河道的不同沙洲要

來的小。

### 断面 5

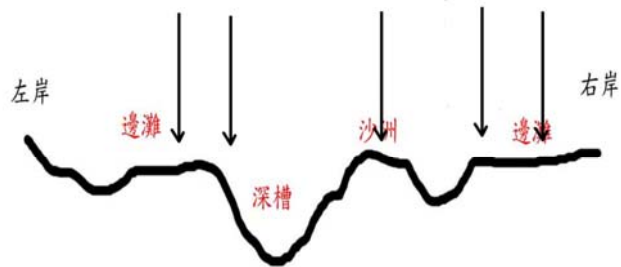
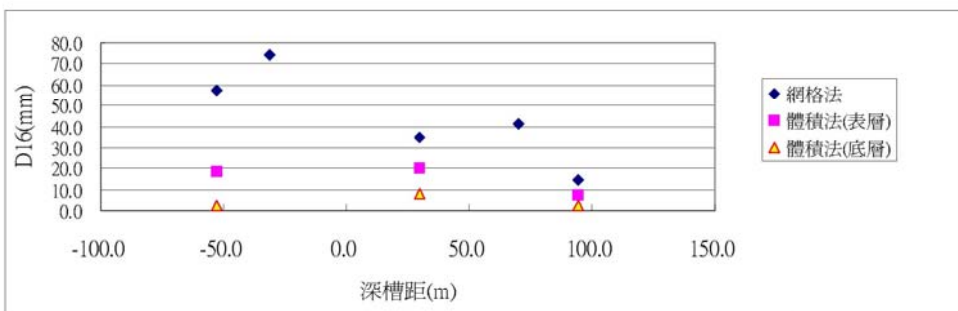
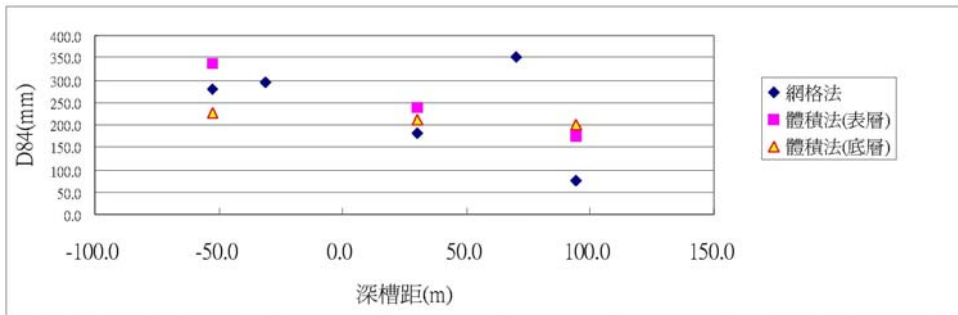
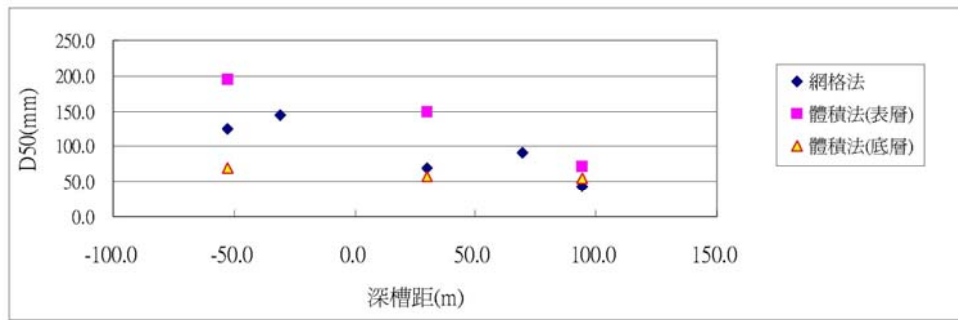
本断面网格法與體積法施作結果彙整於圖6.6。以左河道的深槽距為0。邊灘雖然施作組數僅有兩組，但依然符合如同断面1、2的趨勢，距離深槽越近、顆粒越粗的現象。此外，沙洲粒徑參數也同樣明顯低於邊灘。

### 断面 6

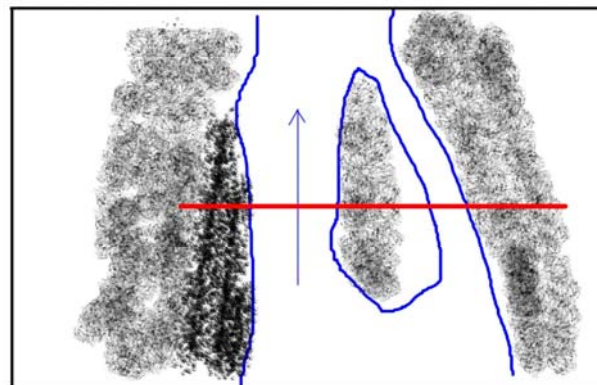
本断面网格法與體積法施作結果彙整於圖6.7。以左河道的深槽距為0。此断面粒徑變化大，並且與深槽距的關係與其他断面相反。推斷除了多河道造成的影響之外，此断面與匯流點十分接近，推測是經過河道變遷材料沈積時之深槽應位於對側之流路。



圖 6.1 断面 1 大雨後現場照片(上游往下游拍攝)



橫斷面示意圖



平面示意圖




-  粗
-  較細
-  細
-  施作断面

圖 6.2 断面 1 資料彙整

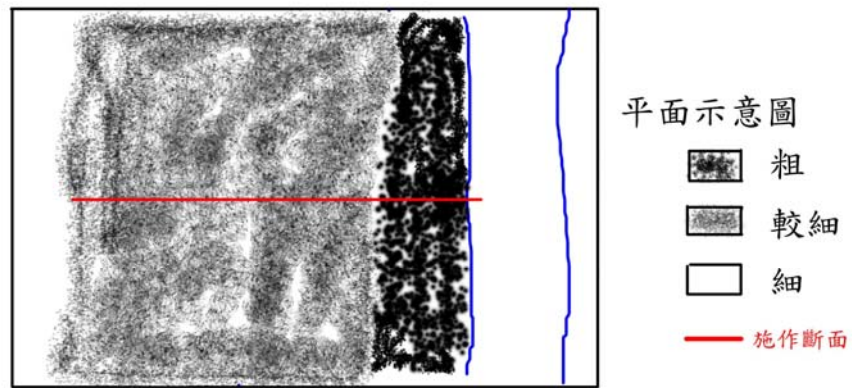
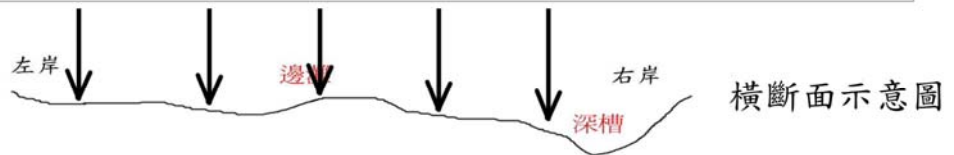
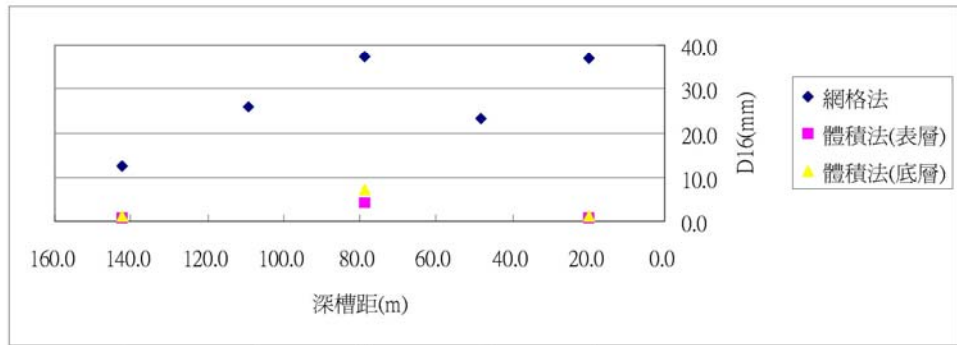
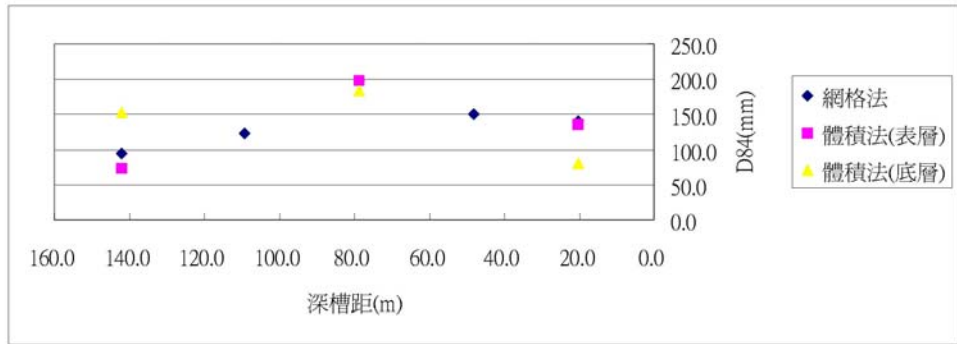
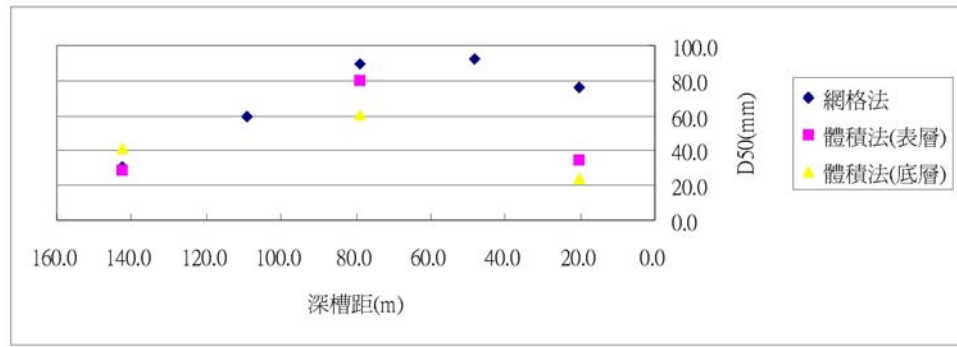


圖 6.3 断面 2 資料彙整

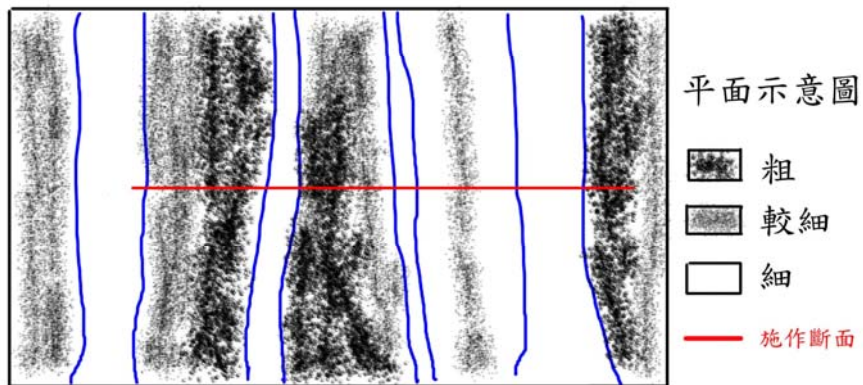
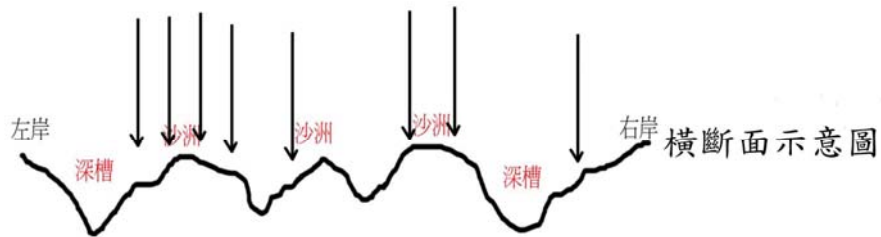
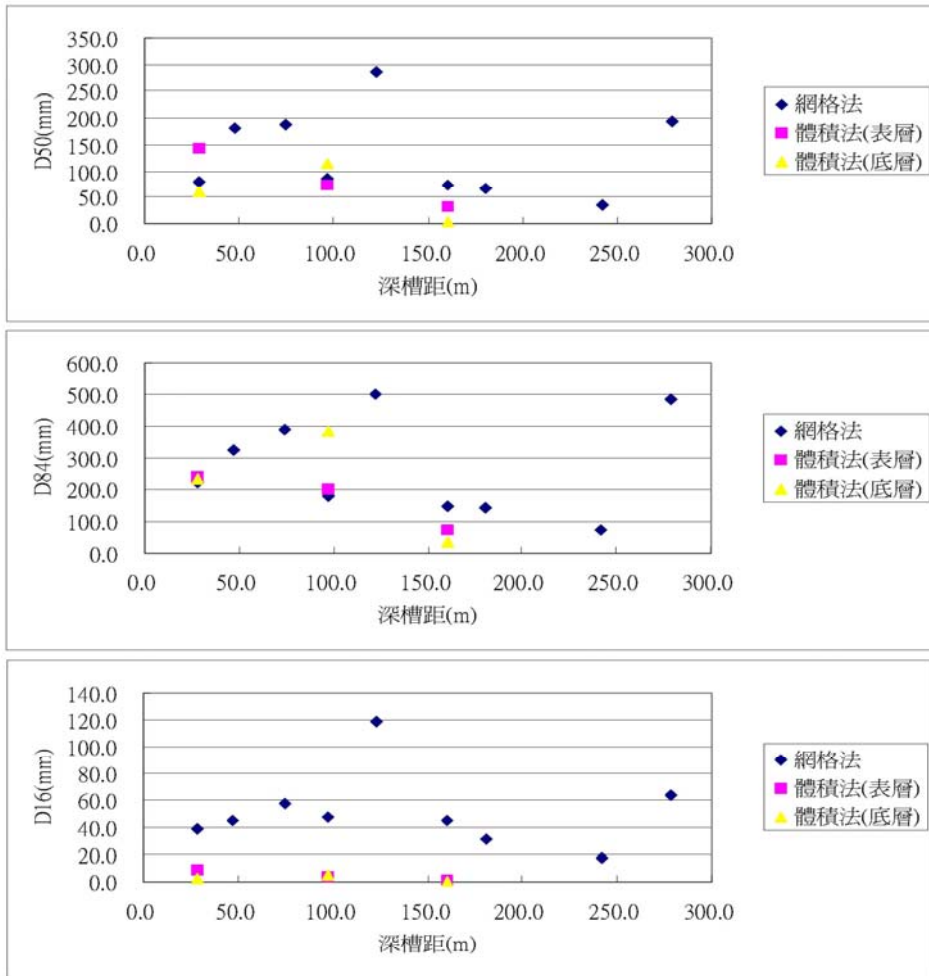


圖 6.4 断面 3 資料彙整

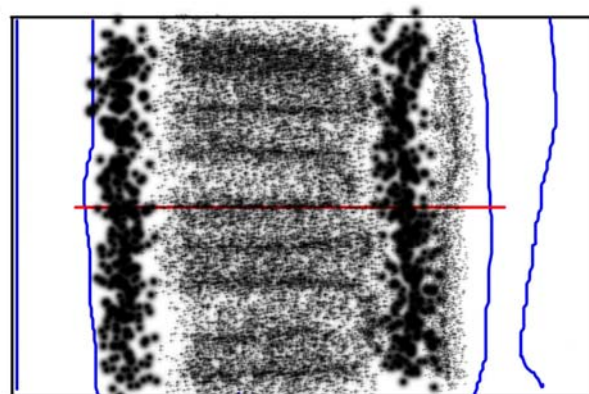
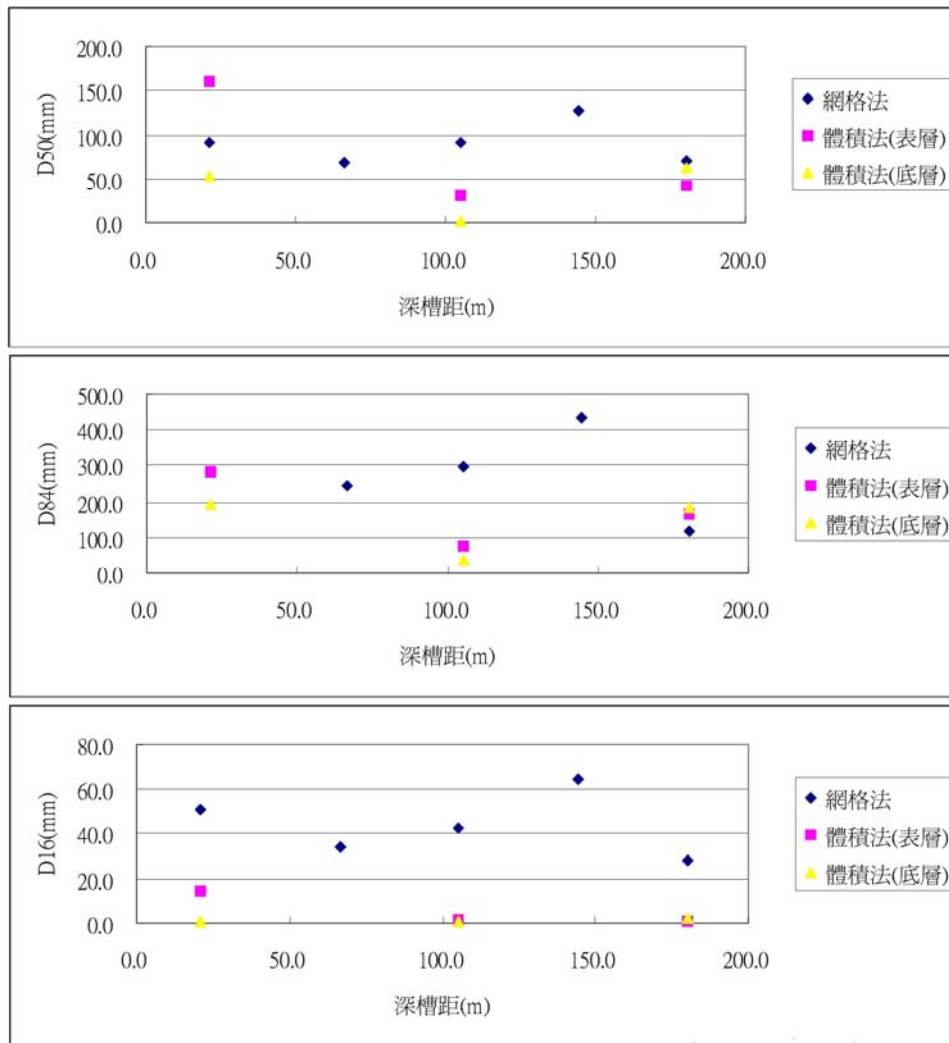


圖 6.5 斷面 4 資料彙整

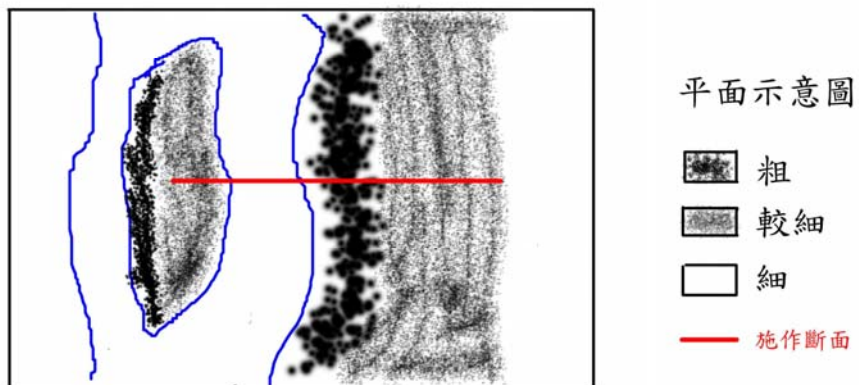
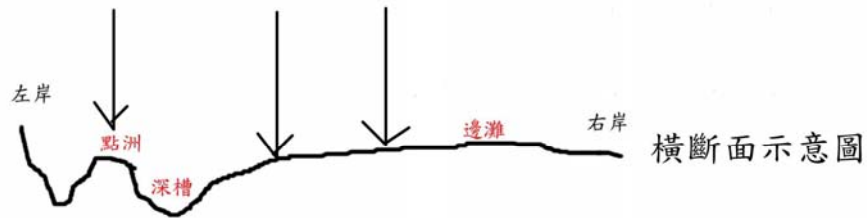
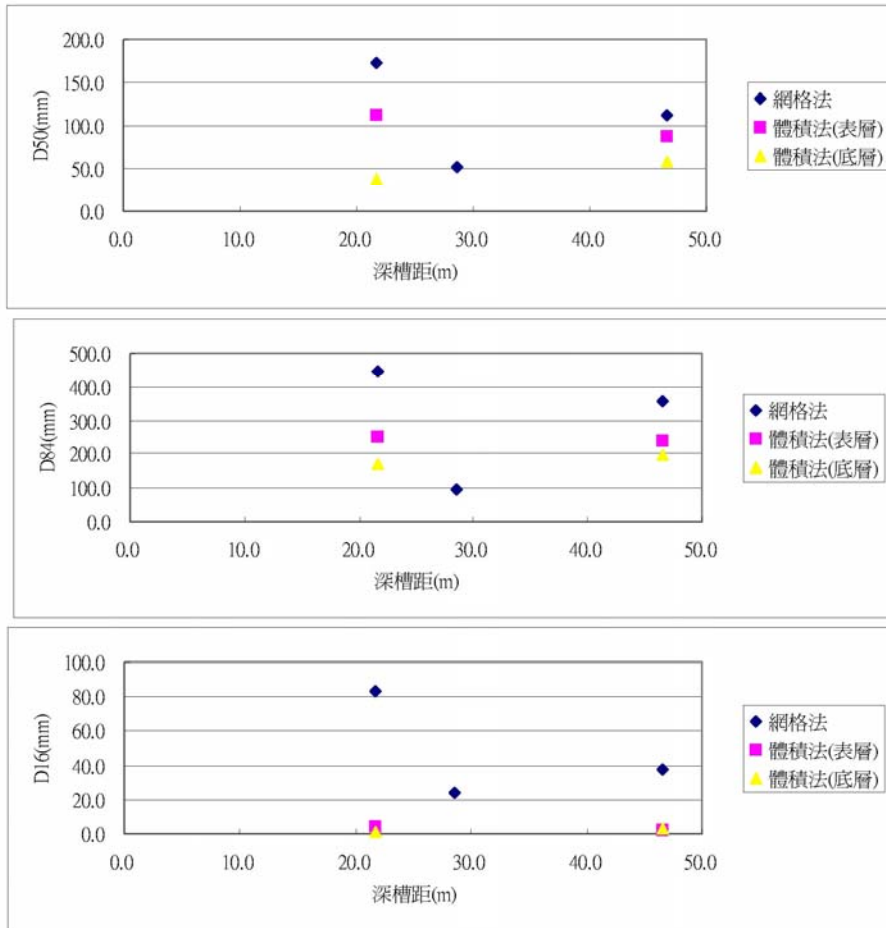


圖 6.6 斷面 5 資料彙整



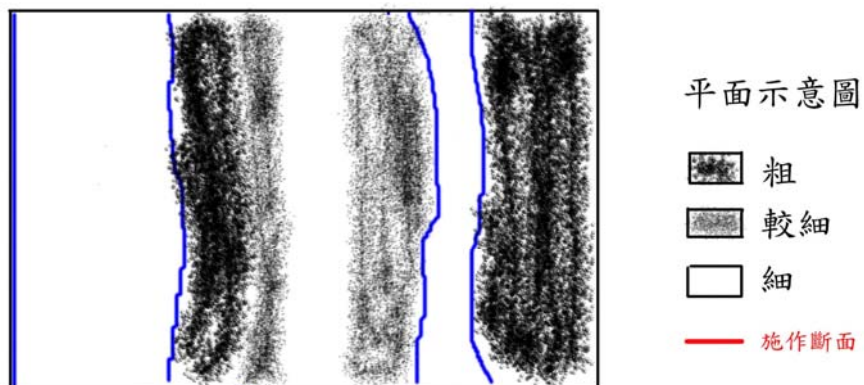
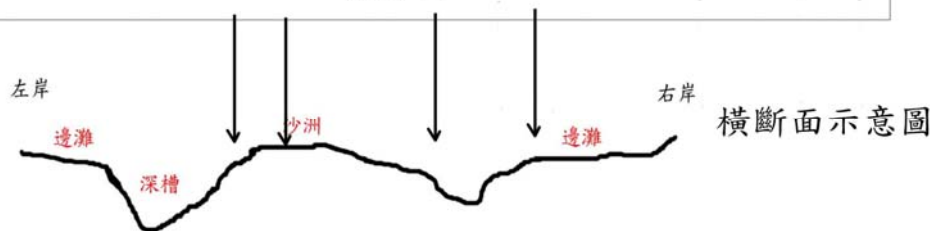
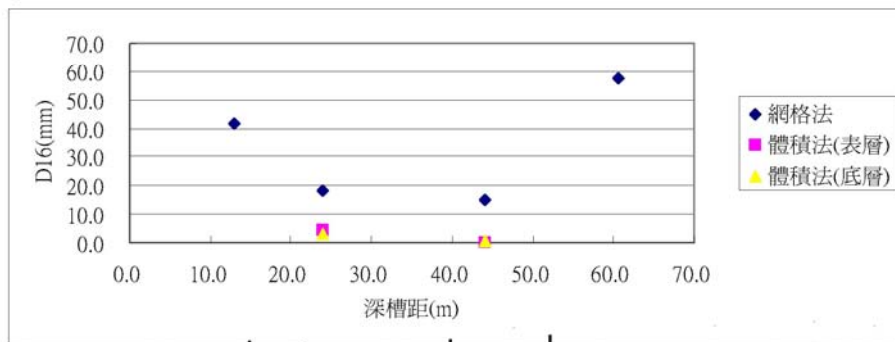
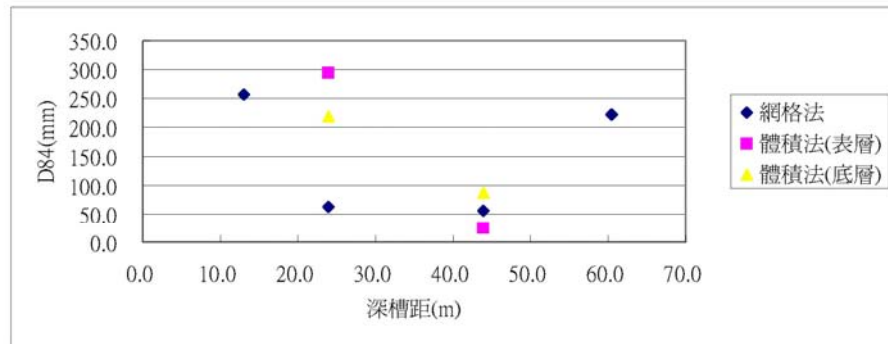
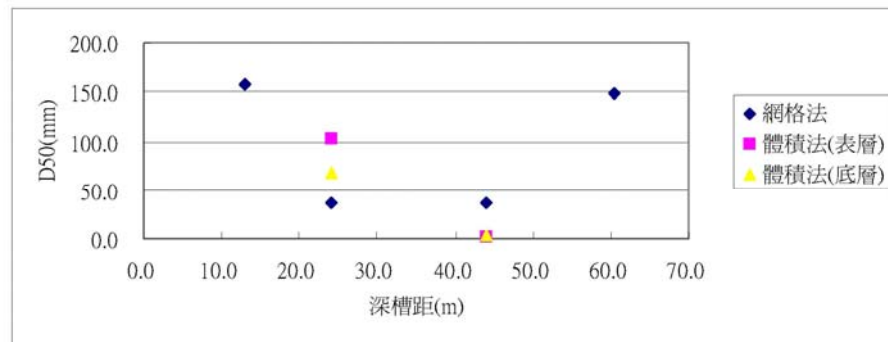


圖 6.7 断面 6 資料彙整

綜合以上所有斷面的討論，粒徑變化情形大致可分為兩類。第一類，除斷面六以外，皆有距離深槽越近顆粒越粗的趨勢。不同的是交織狀河相與蜿蜒狀河相的連接槽河段為單一河道，變化趨勢較為明顯，而辮狀河段由於是多河道，需要依照考慮施作點與河道的相對位置。建議可增加施作的組數，找出較明確的關係式，將有助於河床質調查的規劃。第二類，為斷面6，接近上坪溪與油羅溪的匯流點，與深槽距的關係與其他斷面相反，為特殊情形。

### 6.1.2 縱向變異性討論

本次試驗位置遍佈頭前溪主流，第四章已將網格法與體積法的粒徑參數、河口距與掏選度作一呈現。以下將分別以掏選度與中值粒徑的變化分別討論。

圖4.15與圖4.17顯示兩種取樣方法所得的掏選度與河口距無明顯關係。網格法的掏選度明顯低於體積法，應是網格法忽略細粒料的原因。而體積法底層的掏選度變化較表層大，顯示底層受到河水沖刷掏選之差異較底層大。

圖4.14與4.16顯示，雖然網格法 $D_{50}$ 確實有隨河口距的減少而下降，但整體來說跳動幅度相當大。由於規劃的施作點並沒有平均的散佈在河川縱向上，並且施做地形與深槽距並不一致，可能是造成 $D_{50}$ 跳動幅度過大的原因。

網格法取樣數量較多，因此將網格法的資料做適當的平均，將相近同地形以或同一斷面的資料點的中值粒徑平均後，整理於表6.1，並考慮人工構造物對河床質縱向變化的影響，將可能影響的人工構造物一並加入圖6.8中，可能影響的人工構造物列於表6.2。

表 6.1 網格法 D<sub>50</sub> 於縱向平均結果

網格法流水號	平均 D <sub>50</sub>	河口距(KM)
1 2	47.2	4.5
3 4	50.2	5.3
5 6 7	64.7	6.3
8 9	106.3	7.0
10 11 12 13 14	94.7	7.6
15	118.6	7.7
16 17 18 19 20	69.7	8.0
21 22 23	65.1	8.6
24 25	63.1	14.4
26 27	87.5	14.9
28	41.7	15.6
29~37	143.1	15.9
38	195.5	16.4
39 40 41	128.3	16.9
42	195.5	17.5
43~49	100.5	18.1
50 51 52	127.9	18.8
53 54 55	160.9	19.4
56 57 58	112.5	19.7
59 60	205.6	20.1
61 62	215.4	21.2
63 64 65 66	94.9	21.4

表 6.2 頭前溪人工構造物列表

人工構造物	河口距(KM)
溪州大橋	6.5
頭前溪橋	7.8
縱貫鐵路	7.9
中山高	9.5
經國橋	10.3
固床工	11.1
隆恩堰	11.8
高鐵	12.6
中正大橋	14.4
竹林大橋	19

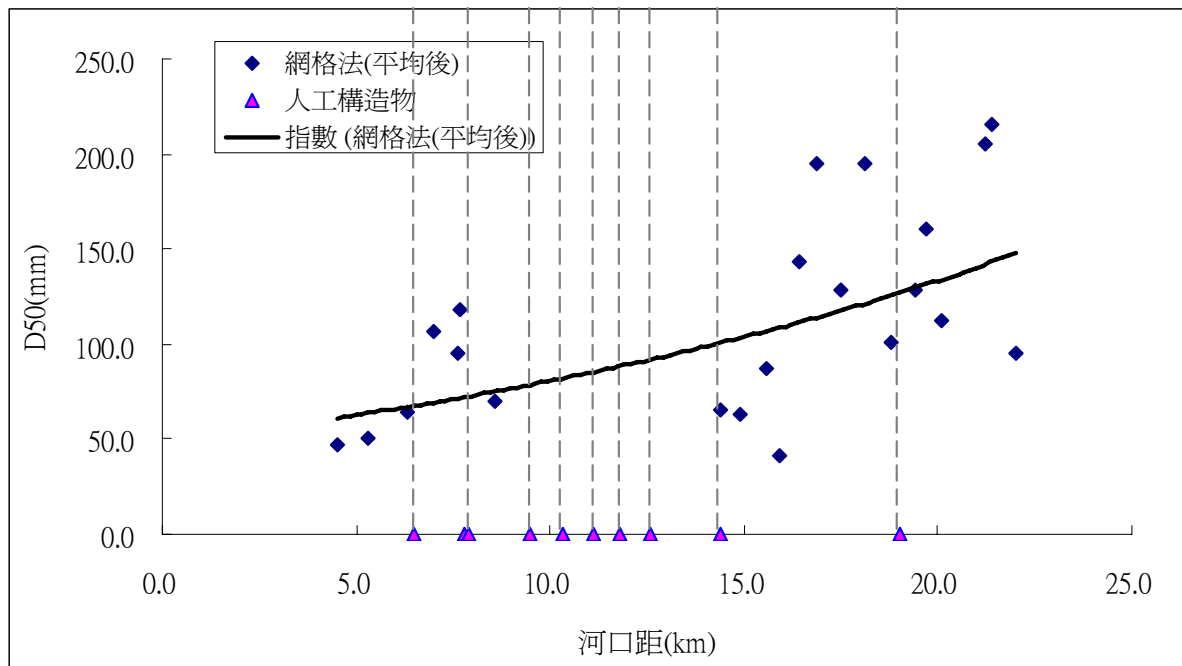


圖 6.8 網格法  $D_{50}$  平均後與河口距之關係圖(加入人工構造物)

圖6.8顯示出平均後 $D_{50}$ 隨河口距的減少而下降的趨勢較為明顯。觀察 $D_{50}$ 變化過程， $D_{50}$ 下降後突然上升的狀況，部分與人工構造物有關，特別是竹林大橋的上下游以及頭前溪橋與縱貫鐵路上下游這兩段。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。結果證明，局部的坡度變化，將影響中值粒徑隨河口距的變化趨勢。

表6.3再將網格法的 $D_{50}$ 依照河川分段分別整理。觀察粒徑分佈曲線，各河段內的粒徑變化均與河口距有各自的變化關係，可依據此關係均勻規劃施作點，即可有效率的獲得單一河段河床粒徑隨縱向變化的資料。僅第六河段有明顯兩種不同的分佈趨勢，應是支流匯流所造成的結果。

表 6.3 網格法縱向分段比較表

縱向		粒徑分佈曲線	D <sub>50</sub> 縱向變化
<b>第 2 河段</b>			
	D <sub>50</sub>		
平均	78.8		
標準差	31.2		
最大值	146.9		
最小值	31.4		
<b>第 4 河段</b>			
	D <sub>50</sub>		
平均	118.7		
標準差	57.6		
最大值	281.5		
最小值	35.0		
<b>第 5 河段</b>			
	D <sub>50</sub>		
平均	135.8		
標準差	47.6		
最大值	224.8		
最小值	52.6		
<b>第 6 河段</b>			
	D <sub>50</sub>		
平均	112.3		
標準差	72.4		
最大值	199.8		
最小值	36.3		

## 6.2 調查位置與數量的合理性討論

根據試驗結果的各項分析後，本節將針對調查位置與調查數量做分別討論。

## 6.2.1 調查位置評選

針對河床質之取樣位置的代表性，第二章的文獻回顧已經針對多位學者之研究進行摘錄說明，包含Mosley and Tindale(1985)研究指出不同沈積環境間河床質存在變異性，其中以交替沙洲河床材料顆粒最粗；Morris and Fan(1998)認為河床質橫向存在不均勻分佈，主要水流線沿線堆積顆粒較粗，造成河川中央底床顆粒會較近堤岸處底床床質為粗；及Haschenburger and Wilcock (2003)認為因渠道橫斷面存在地形起伏，促使全面運動之洪水事件並非經常性發生，低洪水事件僅造成主深槽部分床質變化，因此造成橫斷面上床質粒徑分佈差異。

本次研究採用傅志偉(2005)所提出之河床質調查策略中，對於採樣位置之評選建議以礫石河床傳輸特性分析地形差異產生的河床質變化作為評選基礎，依表3.2建議之河相區域上進行試驗。

試驗結果經由前面章節的分析討論後，可得到每一縱向分段之粒徑變化趨勢，橫斷面上的粒徑變化範圍與變化趨勢，說明此種位置評選方式用於分析河床質的縱向與橫向變異性是足夠的。

以下依據本次分段的試驗結果分析，對各河段的調查位置進行以下討論：

### 交織狀河段

第2河段屬於交織狀河相，建議的調查位置為江心島嶼以及連接槽邊灘。但由於本河段並沒有發現江心島嶼，因此集中施做在連接槽的邊灘。於橫向變化上，經由斷面1、2的結果發現，連接槽邊灘的粒徑變化與深槽距有明顯關係，因此即時在水位較高無法靠近深槽取樣的時候，仍可用遠邊灘兩組以上的施做結果大致推估斷面的平均粒徑大小，建議

單一連接槽需一次施作詳細的橫斷面調查。依試驗結果，單一連接槽邊灘於縱向變化上並不大，縱向距離相隔約500公尺佈置施作點便足夠。但若遇到人工構造物，則構造物上下游需額外增加施作點，觀察構造物對中值粒徑於縱向變化的影響。

### 辮狀河段

第4和第6河段屬於辮狀河相，建議的調查位置為寬帶沙洲。於橫向變化上，由斷面3、4的結果得知，由於河川流路較為複雜，同斷面上不同沙洲的粒徑變化相當大，但橫向上粒徑變化依然與深槽距有關係。於縱向變化上，粒徑的變化也較交織狀河段要大。建議調查點需佈置於各個大型沙洲上，並且於不同寬帶沙洲區進行一次詳細的橫斷面調查。同樣，若遇到人工構造物，則上下游需額外增加施作點。



### 蜿蜒河段

第5河段屬於蜿蜒河相，建議的調查位置為連接槽邊灘。於橫向變化上，由斷面5可知，邊灘粒徑雖大於沙洲，但兩者同樣與深槽距有明顯關係，單一斷面可用兩組以上的施做結果大致推估斷面的平均粒徑大小，建議單一連接槽需一次施作詳細的橫斷面調查。如同交織狀河相，單一連接槽於縱向上的粒徑變化並不大，建議如同交織狀河相的連接槽，縱向距離相隔約500公尺佈置施作點便足夠。另外，除了人工構造物前後需設置取樣點以外，由於蜿蜒河相的彎道也是產生粒徑變化的重要河段，因此彎道前後也應佈下取樣點。

## 6.2.2 試驗數量評估

試驗數量的評估，需同時考量縱向與橫向的變化，並考量調查經度的需求方能決定。由本次研究可知，縱向每一分段各有不同之中值粒徑沿下游細化之趨勢，因此視單一縱向分段為一個採樣調查單位。每一縱向河段內除了依照建議的調查位置規劃施作點外，應視調查精度調整佈置數量。而每一縱向河段上需規劃至少1~2處之詳細橫向調查，調查粒徑在橫向上的變化範圍。而橫向調查點數量則視現場河道寬度、河相地形特徵(高灘、邊灘、深槽、沙洲等)變化程度而定。

依據以上考量，試驗數量之總和可依據上述原則概略加以估算：

$$\text{總試驗數量} = \sum_{\text{縱向河段數目}} (\text{橫斷面數量} \times \text{每一橫斷面調查數量} + \text{每一縱向河段調查數量})$$

縱向分段之總分段數可依據每一次調查成果作檢核，適度調整縱向分段數目及分段點位置，橫斷面的詳細調查也可視需求增加或減少，以確保每一次的調查都能以經濟且有效率的方式充分掌握河川變化的特性。

## 6.3 河床質調查流程

總結上述調查位置與調查數量的討論，可將河床質調查流程統整如下，圖6.9為河床質調查流程圖：

### (1)調查目的與精度需求

進行調查之前，需先確定調查的目的，才可決定取樣的方式。若調查目的著重於探討水理計算之河道糙度資訊，則取樣方式可選用網格法搭配體積法僅挖掘護甲層的方式進行；若調查目的為提供輸砂計算等與深度相關之使用時，建議採兩階段河床質調查試驗，第一階段先行



施做網格法，提供試驗成果給第二階段體積法採樣試驗規劃使用，包括採樣地點選擇、護甲層深度決定、開挖深度等，以使每一組體積法試驗都能調查到最大的資訊量。

精度需求為試驗數量的評估重點之一。考量的項目有以下四點(1)適當的縱向河道分段；(2)每一縱向河道之粒徑變化趨勢；(3)橫斷面上的粒徑變化範圍；(4)橫斷面上的粒徑變化趨勢。

## (2)河川分類與縱向分段

調查位置與數量主要都由河川分類結果決定，因此規劃前須將河川依照表2.5進行分類。分類所需要搜集的資料有大斷面資料、地質圖、航照圖與地形圖等，分類後需搭配現地踏勘，以便了解最新的現場狀況，修正分類結果。



## (3)橫向調查配置與數量

確認調查目的後，依據精度需求與河川分類結果，並考量交通可行性，於各河段選取調查位置並挑選橫向調查斷面的位置。再依據精度需求以及調查經費，選定各種取樣方法的位置以及數量。

## (4)現地調查

進行現地調查時，試驗時間盡量縮短，單一區域最好於相近的時間取樣，避免試驗期間發生洪水事件，造成資料的不連貫。由於室內試驗繁多，因此最好能分現地組與室內組，以提高試驗的效率。

## (5)數據整理

試驗所得數據，需先整理出粒徑分佈曲線，進而計算出各項粒徑百分比參數以及掏選度，再搭配河口距以及深槽距繪製粒徑隨縱向、橫向變化的關係圖。最後依照試驗結果，進行試驗所需目的各項討論，獲得調查目的所需資訊。

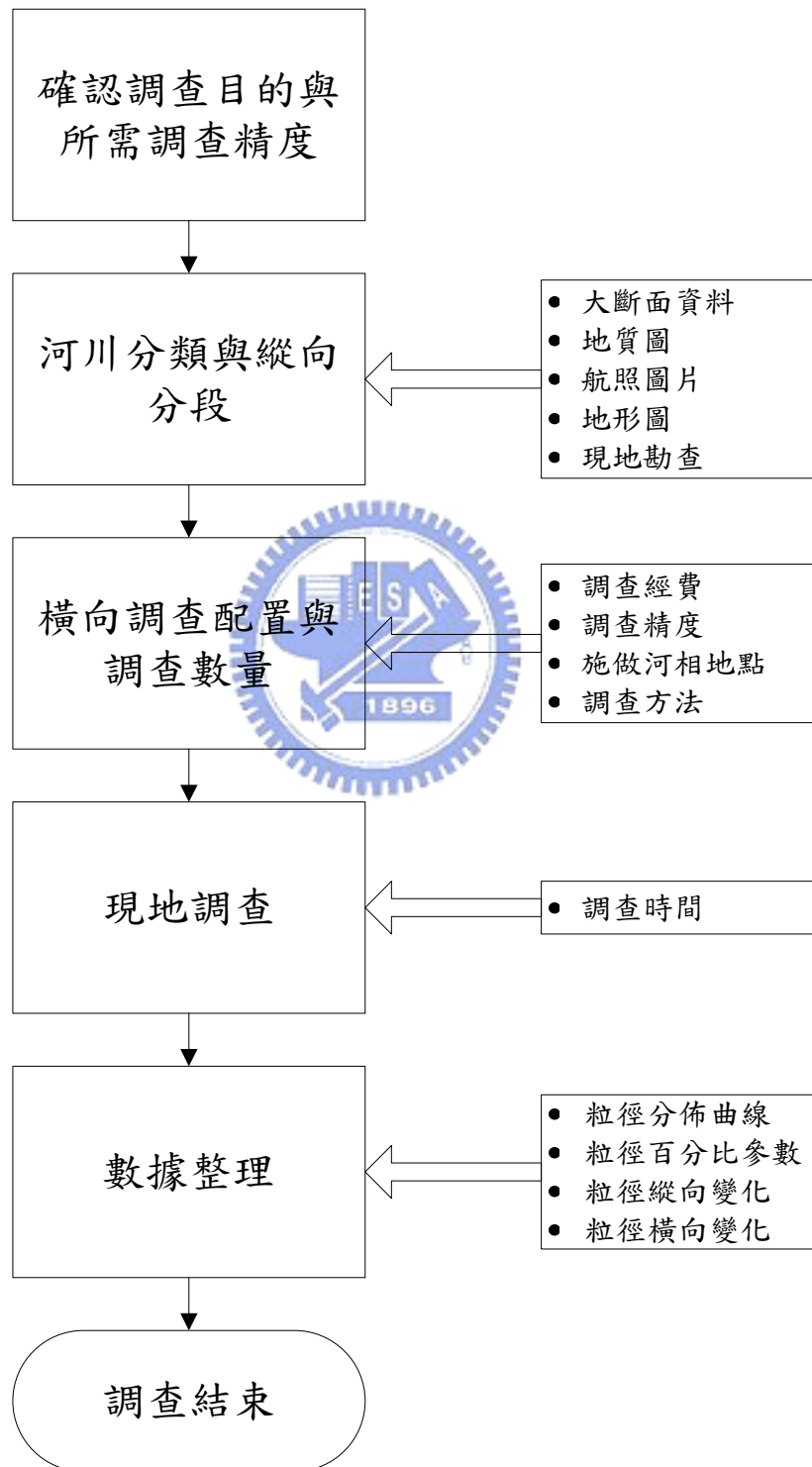


圖 6.9 河床質調查流程圖

# 第七章 結論與建議

## 7.1 結論

為探討河床質調查位置與數量的合理性，於頭前溪規劃多組網格法與體積法試驗，結果經分析與討論後，依照取樣方法、縱向橫向變異性與取樣數量與位置的順序，作出以下結論：

### 取樣方法


- (1) 本次網格法的施作結果，可以反應出河床質隨著縱向以及橫向的變化關係。因此在調查目的僅需要表層河床質資料時，網格法確實可以提供比體積法更加經濟又有效率的調查方式。
- (2) 本次提出的網格法細粒料修正方法，於表面細粒料含量 $<20\%$ 的施作位置，可以得到良好的修正結果，適用地形為無細粒料覆蓋之邊灘與無植生沙洲。若表面細粒料含量 $>20\%$ ，有可能是受到細料表面的薄層覆蓋，並不適合進行細粒料修正，或鏟除表層砂層後再進行，以免扭曲試驗結果。
- (3) 本次提出兩種方式估計表層細粒料的比例，所得細粒料比例可能達到 $20\%$ 以上的差距，原因為兩種修正方法涵蓋範圍不同所致，修正時需注意施作區域的粒徑分佈狀況，避開局部差異較大的區域。
- (4) 體積法表層與網格法的比對結果，網格法的粒徑參數大多比體積法要粗，有少數組數比對結果良好。網格法在適合的施作區域增加細粒料修正後，確實有助於與體積法的比對。

- (5) 本次研究將體積法的分層增加，發現大部分的試坑在未達到 1m 之前就已經可以得到試坑的粒徑大小範圍。因此試坑的挖掘深度可依照調查需求對挖掘深度作調整以增加效率。
- (6) 而體積法由於施作涵蓋範圍過小，本次取樣時便發現體積法施做的地點對結果的影響甚大，因此體積法本身仍有許多不確定性。因此認為施作範圍較大的網格法，在河床質表層的調查，會有比體積法更正確的結果。

### 縱向與橫向變異性

- (1) 在橫向變化上，各類河相的粒徑均有隨著深槽距的增加而減少的趨勢。若斷面非單一河道時，需分別考慮各河道影響的範圍。而本次匯流點附近的粒徑變化趨勢則隨著深槽距的減少而增加，顯示出匯流處沉積狀況較複雜與一般狀況不同。
- (2) 在縱向變化上，河床中值粒徑隨河口距增加下降的趨勢相當明顯，而整體掏選度卻無明顯變化，說明頭前溪土石材料沉積速度相當快，在主流差異不大。另外，人工構造物對於河床質中值粒徑的變化有明顯的影響。
- (3) 施作結果依照河川分段分別整理後，確實對研究河床質隨縱向與橫向的變化，有明顯的幫助。因此進行河床質調查規劃時，先進行河川分類工作可增進河床質調查之成效。

## 取樣位置與數量

- (1) 本研究採用傅志偉(2005)的河床質調查策略，在各河相分段內的建議位置上進行試驗，結果用於分析後河床質的縱向與橫向變異性是足夠的，說明此調查策略建議之調查位置為合理的。
- (2) 調查位置經過河川分類後，依照各河段之河相挑選不同的取樣位置。交織狀河相建議的調查位置為江心島嶼以及連接槽邊灘，在各個連接槽設置一橫向調查斷面；辮狀河相建議的調查位置為寬帶沙洲，在各個寬帶沙洲設置一橫向調查斷面；蜿蜒河相建議的調查位置為連接槽邊灘，在各個連接槽設置一橫向調查斷面，並於彎道上下游額外設置取樣點。於河川縱向均勻散佈取樣點，並於人工構造物上下游額外設置取樣點。
- (3) 試驗數量的評估，需同時考量縱向與橫向的變化，並考量調查經度的需求方能決定。每一縱向分段為一個採樣調查單位，視調查精度調整各分段內的佈置數量。而詳細橫向斷面調查，調查數量則視現場河道寬度、河相地形特徵(高灘、邊灘、深槽、沙洲等)變化程度而定。
- (4) 調查前確認目的與精度需求後，蒐集資料進行河川的分類，而後規劃調查的位置與數量。最後進行各項試驗，將試驗結果分析後獲得所需資訊，為一完整的河床質調查流程。

## 7.2 建議

本次試驗結果，經過分析討論後，對於本次研究的目標尚有不足，以下將針對需要改進與進一步驗證的部份提出建議：

- (1) 若要對橫斷面的河床質變化作進一步的分析，建議規劃可先依航照判釋後實地勘查，將地形依沉積狀況再作細分，依據區分出沉積狀況做詳細的調查。
- (2) 縱向變化的討論，僅有河相與河床質中值粒徑變化之關係，並沒有發現與沖積河床和地質事件之關係。若要進一步由地質觀點進行討論，建議取樣時紀錄河床質的岩性、礦物成分(顏色、形狀)等資料。
- (3) 本次研究提出的網格法細粒料修正方法，雖然部分結果有助於補足缺少的細粒料粒徑分佈，但使用上的限制條件較嚴格。可再嘗試提出新的修正方法，加強適用性。



## 參考文獻

1. 林承坤，「泥沙與河流地貌學」，南京大學出版社，1992。
2. 傅志偉，「河床質調查的方法、位置與頻率-以頭前溪為例」，交通大學，碩士論文，民國 94 年七月。
3. Brush, L.C., Drainage basins, channels and flow characteristics of selected streams in central Pennsylvania, Professional paper 282-F, U.S.Geological Survey, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1961.
4. Church, M.A., Mclean, D.G. and Wolcott, J.F., River bed gravel: sampling and analysis, Sediment Trasport in Gravel-bed River, pp.43-78, 1987.
5. Diplas, P. and J.B. Fripp, Properties of various sediment sampling procedures. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 118, No. 7, pp. 955-970, 1991.
6. Ettema, R., Sampling armor-layer sediments. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 110, No. 7, pp. 992-996, 1984.
7. Fripp, J.B. and Diplas, P., Surface sampling in gravel streams. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 119, No. 4, pp. 473-490, 1993.
8. Haschenburger, J.K. and Wilcock, P.R., Partial transport in a natural gravel bed channel, Water Resources Research, Vol. 39, No. 1, pp. ESG 4-1~4-9, 2003.
9. Hey, R.D. and Thorn, C.R., Accuracy of surface samples from gravel bed material, Proc. Am. Soc. Civ. Engrs. J. Hydraul. Eng., Vol. 109, No.6, pp. 842-851, 1983.

10. Hey, R.D. and Thorn, C.R., 1986, Stable channels with mobile gravel beds, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 112, pp. 671-689, 1986.
11. Kellerhals, R. and Bray, D.I., Sampling procedures for coarse fluvial sediments, Journal of the Hydraulics Division, Vol. 97, pp. 1165-1180, 1971.
12. Bunte, K. and Abt, S. R. , Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadable Gravel- and Cobble-Bed Stream for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics, and Streambed Monitoring, United States Department of Agriculture, 2001.
13. Leopold, L.B. and Wolman, M.G., River channel pattern-braided, meandering and straight, Professional Paper 282B, United States Geological Survey, 1957.
14. Leopold, L. B., An improved method for size distribution of stream bed gravel, Water Resources Research, Vol. 6, No.5, pp. 1357-1366, 1970.
15. Mosley, M.P. and Tindale, D.S., Sediment variability and bed material sampling in gravel-bed river, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 10, pp. 465-482, 1985.
16. Morris, G.L. and Fan J., Reservoir sedimentation handbook, pp. 8.1-8.41, 1998.
17. Rice, S. and Church, M., Grain size along two gravel-bed rivers: statistical variation, spatial pattern and sedimentary links, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 23, pp. 345-363, 1998.
18. Rosgen, D.L., A classification of nature rivers, Catena, Vol. 22, pp. 169-199, 1994.



19. Shih,S.M. and Komar, P.D., Differential bedload transport rates in a gravel-bed stream: a grain-size distribution approach, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 15, pp. 539-552, 1990.
20. Simons, D.B. and F. Sentürk, *Sediment Transport Technology. Water and Sediment Dynamics*. Water Resources Publications, LLC, pp. 897, 1992.
21. Wolman, M.G., A method of sampling coarse river bed material, *Transactions of the American Geophysical Union*, Vol. 35, No. 6, pp. 951-956, 1954.

