

河床質粒徑分布之數位影像光篩分析

Analysis of Bed Material Grain Size Distribution Using Digital Photosieving

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
研究助理

陳嘉欣

Chia-Hsin Chen

國立台灣大學
生物環境系統工程學研究所
碩士生

邵允銓

Yun-Chuan Shao

國立成功大學
測量及空間資訊學系
助理教授

王驥魁

Chi-Kuei Wang

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
特聘教授

吳富春*

Fu-Chun Wu

摘要

河床質係由不同大小及形狀之泥砂與礫石顆粒所組成，對河床糙度、形貌與河川棲地型態有極大之影響。傳統之河床質粒徑分布調查方式費時耗力，近年來數位科技長足進步，使用數位相機拍照採樣並結合光篩軟體進行影像處理與粒徑分析，不但可增進調查工作之效率與便利性，更可大幅減少耗費之人力與成本。

本研究對目前唯一一套針對河床質粒徑分析之光篩軟體做一完整介紹與參數檢定，並利用八種不同粒徑組合與乾濕狀況進行結果驗證。研究結果顯示使用光篩軟體進行粒徑分析具有高度可行性，本研究對後續使用光篩軟體分析河床質粒徑分布亦提供具體之建議。

關鍵詞：河床質，粒徑分布，數位影像，光篩分析。

ABSTRACT

Bed material is composed of sands and gravels with different sizes and shapes, and affects the bed roughness, topography, and habitat morphology. Traditional methods for analyzing the bed material grain size distribution are labor intensive and time consuming. Recent advancement in digital technology makes it possible to sample the bed material with digital cameras and quantify the grain size distribution with image processing and analysis software; thus significantly improves the sampling efficiency and lowers the costs. In this work we first introduce the only available photo-sieving software that is specifically designed for bed material grain size analysis, and perform parameters calibration. Eight combinations of uniform and mixed-size grains with dry and wet

*通訊作者，國立台灣大學生物環境系統工程學系特聘教授，10617 台北市大安區羅斯福路 4 段 1 號，fcwu@ntu.edu.tw

conditions are used to test and verify the software. The results clearly indicate the feasibility of the photo-sieving software for the grain size analysis. Some practical suggestions are also proposed for future applications of the software.

Keywords: Bed material, Grain size distribution, Digital images, Photo-sieving.

一、前言

河床質(Bed material)係由不同大小及形狀之泥砂與礫石顆粒所組成，對河床糙度、形貌與河川棲地型態有極大之影響。河床質粒徑分布資料可供河川水理、輸砂及河床形貌變遷模擬與分析使用，傳統調查方式在有限範圍採樣點進行現地採樣，將樣本取回實驗室經由過篩分析計算各種粒徑所佔百分比，過程費時耗力。近年來數位相機設備與影像處理分析技術有長足之進步，若能善用這些現代科技產品將可增進現地採樣及粒徑分析之效率與便利性，所耗費之人力與成本亦可大幅減少。河床質粒徑分布傳統採樣分析方式與使用數位影像分析方式之比較如表 1 所示。

本研究利用數位影像光篩分析(Digital photo-sieving)河床質粒徑分布，檢定各項參數並針對各種不同粒徑組合與乾濕狀況進行驗證，研究結果可供後續使用光篩分析河床質粒徑分布之參考與依據。以下針對光篩分析軟體進行簡介。

二、光篩分析軟體簡介

本研究使用 Digital Gravelometer 1.0 版為目前市面上唯一針對河床質粒徑分布之光篩分析軟體(網址 www.sedimetrics.com)，為英國羅浮堡大學(Loughborough University)地理系之 Graham 等人(2005a,b)所研發，其特色如下：

- 數位相機拍攝方式可進行大面積多點採樣，資料收集方便迅速。
- 數位影像處理與辨識模組化，可快速進行影像處理與分析，利用簡單參數設定增進影像辨識之精確性，無需額外編寫程式，減少影像處理繁複過程。
- 粒徑分布利用內設程式計算，並可直接輸出各種統計結果與圖表。

河床質粒徑分布光篩分析流程如圖 1 所示，各步驟簡述如下：

1. 步驟一：河床質影像拍攝

採樣點河床質影像拍攝時以內徑 0.5m×0.5m 之外框為範圍(如圖 2 所示)，利用腳架使數位相機盡量與拍攝面保持垂直，減少影像四角之畸變，拍攝時注意避免使用閃光燈或因光源造成之

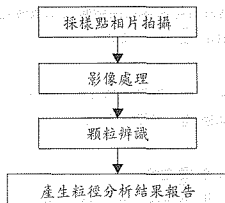


圖 1 河床質粒徑分布光篩分析流程

表 1 河床質粒徑分布採樣及分析方式比較

採樣分析方式	數位相機結合光篩分析軟體	傳統採樣分析方式
採樣方法	利用數位相機拍攝取樣範圍之顆粒影像，無需破壞原有河床表面結構。	需將樣本取回實驗室過篩量測粒徑，造成河川環境之破壞。
耗費人力	可進行大範圍、多點取樣，較不受人力與成本限制。	多點採樣需耗費大量人力與時間。
結果輸出	內建粒徑分布計算功能，並可直接輸出報表或直方圖。	需人工計算粒徑分布、繪製圖表或另編採算程式。

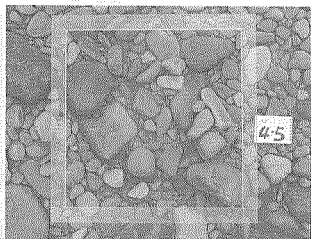


圖 2 河床質影像現地拍攝

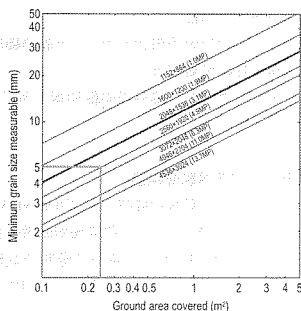


圖 3 光篩分析可辨識粒徑與數位相機像元值之關係 (Graham *et al.*, 2005b)

陰影。光篩分析可辨識之最小粒徑與數位相機像元值有密切關連，其關係如圖 3 所示。

2. 步驟二：影像處理

利用一般影像處理軟體(如 PhotoImaget 或 PhotoShop)對河床質影像做自動對比及大顆粒圈選之前處理，可改善拍攝時光線不良或水分潮濕造成的表面不均勻現象，提高影像辨識度。

3. 步驟三：顆粒辨識

開啓光篩分析軟體，載入前處理過之河床質影像進行四角定位(如圖 4 所示)，並輸入分析範圍邊長大小，以爲後續幾何校正及轉換尺度之依據。

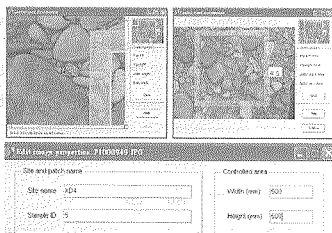


圖 4 影像定位與幾何校正

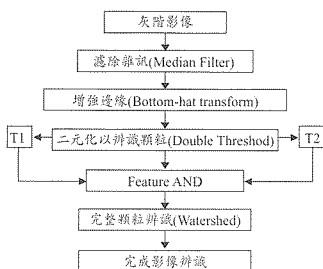


圖 5 光篩分析影像處理流程

光篩分析軟體內設影像處理流程如圖 5 所示，各影像處理之方法原理可參考軟體研發者發表文獻(Graham *et al.*, 2005a)，以下針對影像分析步驟進行說明：

A. 濾除雜訊

影像中存在過多雜訊將降低影像辨識能力，光篩分析軟體爲除去圖檔中多餘雜點，利用影像處理之中值濾波(Median filter)將影像灰階值以一個 $m \times m$ 矩陣劃分，並對矩陣中像元灰階值排序，取其中值 M ，再以 M 值替代矩陣中心點的值，逐步移動矩陣以除去雜訊(Justsson, 1981; Nodes and Gallagher, 1982)，軟體預設值 $m = 3$ pixels。其優點爲可用於去除雜訊，但仍保持影像本身銳利度，但當影像雜訊超過 30% 的時候，雜訊濾除效果較差，而資料量變多時，其處理時間會大幅增加。

B. 增強邊緣

型態學(Morphology)有兩種主要的演算法，分別是閉合(Closing operator)與斷開(Opening operator)，主要是用影像的膨脹與收縮組合達到消除或填滿區塊的目的(Meyer, 1979; Jackway, 2000)。本軟體利用型態學中底帽轉換(Bottom-hat)原理，以半徑 s 之圓盤形結構元素(Structuring element)，將影像局部縫隙點加強而避免增加顆粒表面暗點，軟體預設值 $s = 15$ pixels。

C. 影像二元化

其原理為將影像中各像元之灰階值畫成直方圖，根據其分布選定門檻值 T (Threshold)，並對每一像元進行轉換，期能將背景與標的物體分開(Russ, 1999)。軟體之 T 值單位為百分比，並使用兩個門檻界定， $T1$ 為所有可能為縫隙像元灰階值之累積機率百分比(預設值 35%)，但可能包含部分顆粒本身暗點造成之雜訊； $T2$ 為影像中最暗，確定為縫隙的像元累積機率百分比(預設值 1%)。最後綜合 $T1$ 及 $T2$ 分類結果，將影像轉換為二元化(Binary)黑白影像。

D. 完整顆粒辨識

利用地形學上分水嶺(Watershed)之概念，將二元化影像每單一像元值設定為顆粒或非顆粒，再把每一顆粒與最近非顆粒之距離轉換為 EDM (Euclidean Distance Map)，EDM 可視為不同地形高低起伏之山脈、河川、盆地等景觀，將影像上局部最小值當成各不同流域盆地之最低點(如圖 6 所示)，然後模擬河水氾濫的情形，讓水從底部慢慢漲起，在兩個相鄰而各屬不同盆地即將會合時，使用一分水嶺線將兩個流域隔開，當水漲至整個地形上之最高點時，EDM 內所有

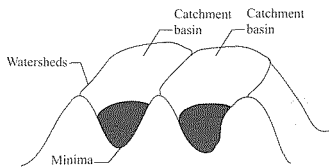


圖 6 分水嶺與局部最低點示意圖 (Vincent and Soille, 1991)

分水嶺線集合將形成許多等高線之封閉曲線，即完成完整顆粒辨識(Vincent and Soille, 1991; Soille, 2003)。為避免將顆粒過度分割，利用調整最小深度門檻值(Minima suppression) w ，將所有小於門檻值之深度忽略，軟體預設值 $w = 1$ 。

4. 步驟四：粒徑分布結果輸出

顆粒辨識與粒徑分布結果可輸出為網頁形式報表、粒徑分布曲線或 Excel 檔(如圖 7 所示)，供後續分析使用，其中粒徑大小為顆粒最長軸(b 軸)之長度。

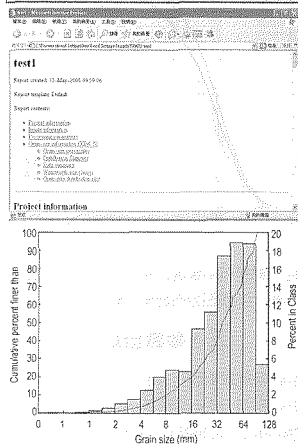
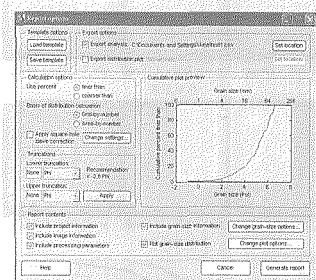


圖 7 光篩分析結果輸出界面與格式

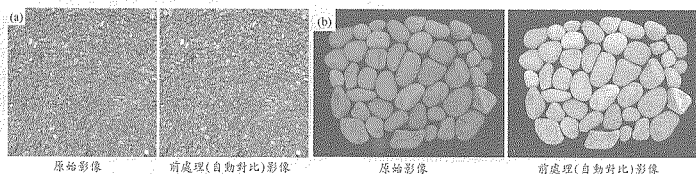


圖 8 兩種粒徑分布參數檢定實驗照片：(a)原始影像與經過自動對比處理之均勻細顆粒影像；(b)原始影像與經過自動對比處理之均勻粗顆粒影像

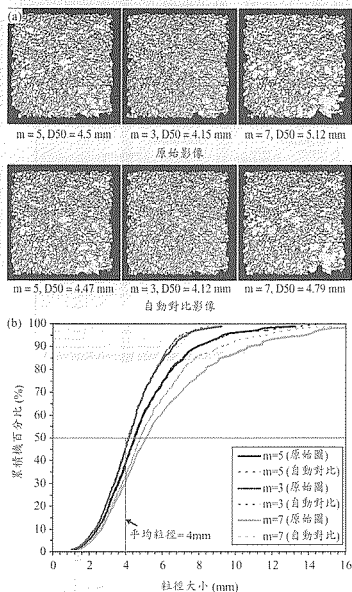


圖 9 均勻細顆粒中值濾波檢定：(a)顆粒辨識結果比較；(b)粒徑分布結果比較

三、參數檢定

本研究針對軟體可調整之各項參數，分別以兩種不同粒徑分布(如圖 8 所示)進行檢定與驗證。實驗(a)為均勻細顆粒，其粒徑範圍 3.36~4.76 mm，平均粒徑 = 4 mm；實驗(b)為均勻粗顆粒，

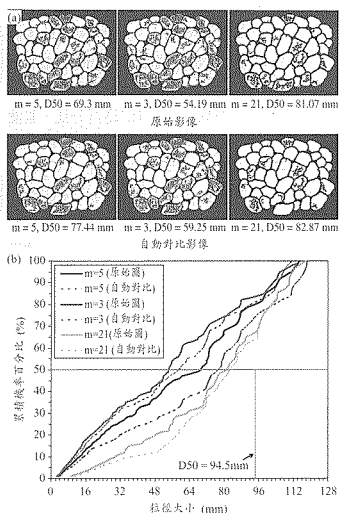


圖 10 均勻粗顆粒中值濾波檢定：(a)顆粒辨識結果比較；(b)粒徑分布結果比較

其粒徑範圍 64~119 mm， $D_{50} = 94.5 \text{ mm}$ ， $D_{84}/D_{16} = 1.5$ 。各項參數檢定結果敘述如後。

1. 中值濾波矩陣大小(m)

中值濾波矩陣大小 m 對粒徑分布分析結果之影響如圖 9 及圖 10 所示，由圖中可看出無論是細顆粒或粗顆粒影像，經過自動對比之前處理後，其顆粒辨識結果皆較原始影像為佳。圖 9 顯

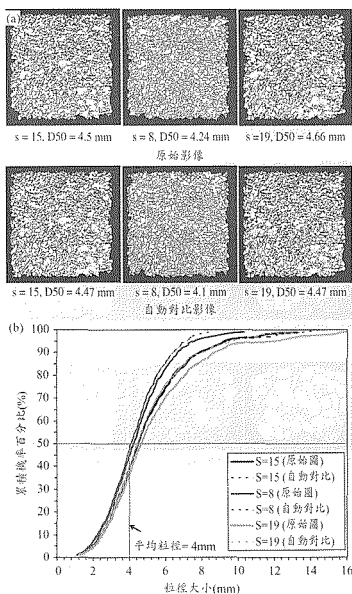


圖 11 均勻細顆粒底帽轉換結構元素大小檢定: (a) 顆粒辨識結果比較; (b) 粒徑分布結果比較

示均勻細顆粒之 $m = 3 \text{ pixels}$ 時，可降低邊緣模糊無法分割的問題，辨識結果較接近原始實驗配置(平均粒徑 = 4 mm); 而圖 10 顯示均勻粗顆粒之 m 值越大時，可濾除較多影像內雜訊，辨識結果越接近原始實驗配置，在 $m = 21 \text{ pixels}$ 時(約等於影像上 10 mm 大小)，已可濾除大部分之雜訊，但因計算之資料量大幅增加，電腦處理速度極度緩慢。檢定結果顯示當影像為細顆粒時，假使 m 值過大，將令邊緣模糊而造成部分細小顆粒被誤判為同一顆粒。當影像為粗顆粒時，較大之 m 值可有較佳結果，但須配合電腦運算能力挑選適當矩陣大小。

2. 底帽轉換結構元素大小(s)

底帽轉換結構元素大小 s 對粒徑分布分析結

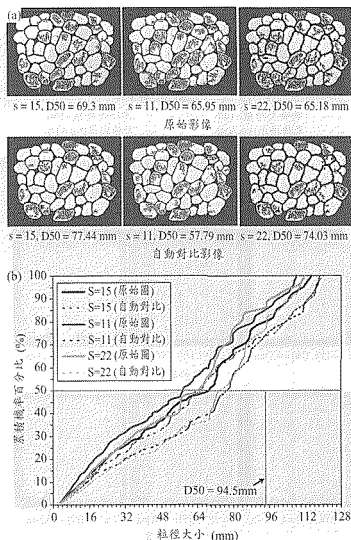


圖 12 均勻粗顆粒底帽轉換結構元素大小檢定: (a) 顆粒辨識結果比較; (b) 粒徑分布結果比較

果之影響如圖 11 及圖 12 所示，由圖 11 可看出在均勻細顆粒實驗中，使用預設值 $s = 15 \text{ pixels}$ 時，有部分顆粒無法分離辨識，當 $s = 8 \text{ pixels}$ 時(約等於影像上 1 mm 大小)，有較良好的辨識結果；圖 12 顯示 $s = 11 \text{ pixels}$ 時(約等於影像上 5 mm 大小)，部分顆粒表面被不當切割， $D50$ 也偏低，而當 s 增大為 22 pixels 時(約等於影像上 10 mm 大小)，雜訊增多、縫隙增大，辨識結果亦未較預設值結果為佳。由檢定結果得知， s 值需配合辨識顆粒本身與縫隙之大小，影像為細顆粒時， s 值約為影像中 1 mm 所佔之像元個數，當影像為粗顆粒時， s 值約為影像中 5~10 mm 所佔之像元個數。

3. 二元化門檻值(T1, T2)

兩組實驗影像之像元灰階直方圖如圖 13 所示，高峰灰階值乃確定為顆粒之像元灰階值，

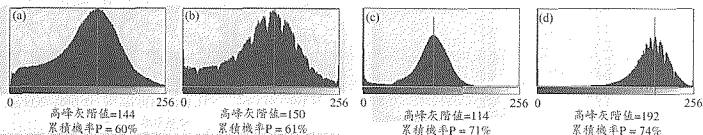


圖 13 影像灰階值分布直方圖：(a)均勻細顆粒原始影像；(b)均勻細顆粒自動對比影像；(c)均勻粗顆粒原始影像；(d)均勻粗顆粒自動對比影像

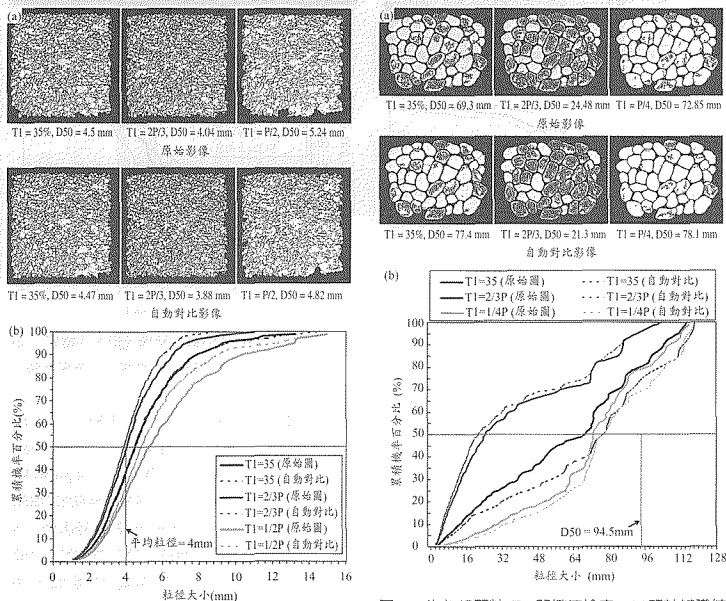


圖 14 均勻細顆粒 T1 門檻值檢定：(a)顆粒辨識結果比較；(b)粒徑分布比較

取其累積機率 P 之 $2/3$ 及 $1/2$ 倍為均勻細顆粒 T1 門檻檢定值，均勻粗顆粒則因背景為黑色，第一高峰灰階值為 0，因此取第二高峰灰階值累積機率 P 之 $2/3$ 及 $1/4$ 倍為 T1 門檻檢定值。檢定結果如圖 14、15 所示。圖中可看出 T1 為累積機率 P 之 $2/3$ 倍 (~40%) 時，對均勻細顆粒實驗有較好的

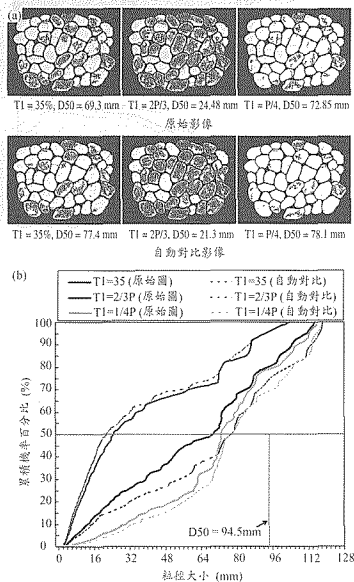


圖 15 均勻粗顆粒 T1 門檻值檢定：(a)顆粒辨識結果比較；(b)粒徑分布比較

辨識結果，均勻粗顆粒則會被切割過度。均勻粗顆粒實驗中 T1 為累積機率 P 之 $1/4$ 倍 (~18%) 時，辨識效果優於預設值結果。由檢定結果得知，以像元灰階值直方圖高峰之累積機率 P 判斷 T1 值，細顆粒應大於軟體預設值，其值約為 $2/3$ 倍高峰累積機率，以加大縫隙比例範圍；粗顆粒應

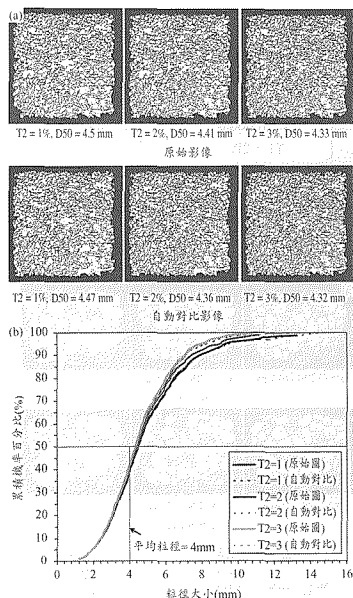


圖 16 均勻細顆粒 $T2$ 門檻值檢定：(a)顆粒辨識結果比較；(b)粒徑分布比較

小於軟體預設值，其值約為 $1/4$ 倍高峰累積機率，以避免表面之暗點或凹凸不平處被誤判為縫隙。

$T2$ 門檻值檢定結果如圖 16、17 所示，由圖中可看出 $T2$ 值為 3% 時雖然辨識效果較預設值結果為佳，但其實各檢定結果極為接近，可見 $T2$ 對均勻細顆粒辨識結果影響不大。而對均勻粗顆粒而言， $T2 > 1\%$ 之辨識效果皆不佳。由於一般影像內縫隙像元佔整張影像之比例並不高，檢定結果顯示 $T2$ 值可配合辨識結果做微幅調整或直接使用預設值。

4. 分水嶺最小深度門檻值(w)

分水嶺最小深度門檻值 w 對粒徑分布分析結果之影響如圖 18、19 所示，由圖中可看出在

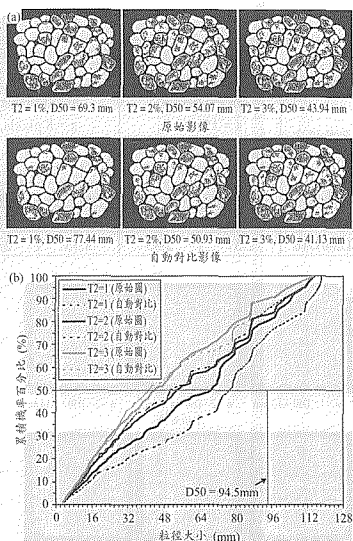


圖 17 均勻粗顆粒 $T2$ 門檻值檢定：(a)顆粒辨識結果比較；(b)粒徑分布比較

均勻細顆粒實驗中， $w > 1$ 之辨識結果皆不佳；而在均勻粗顆粒實驗中，當 $w = 1$ 時顆粒表面被許多細線分割，隨著 w 值增大至 15，其表面細線幾乎完全去除，辨識結果也最好。由檢定結果得知，細顆粒因所佔像元個數少， w 使用預設值 1 即有不錯效果，而粗顆粒因表面凹凸不平，容易誤判為多個盆地低點，造成過度分割，適當提高 w 值可改善此情形，提高辨識結果之準確度。

四、粒徑分析結果驗證

利用上述參數檢定結果，本研究進一步就表面乾燥與濕潤兩種情形，針對四種不同顆粒(均勻細顆粒、均勻粗顆粒、混合細顆粒、混合粗顆粒)進行粒徑分析結果驗證，分別說明如後。

1. 乾燥均勻細顆粒

乾燥均勻細顆粒驗證實驗影像及像元灰階

表 2 乾燥均勻細顆粒實驗驗證結果

實驗設置條件：粒徑 3.36~4.76 mm, Dmean = 4 mm								
驗證組別	預設值		Test1		Test2		Test3	
參數設定	m = 5 pixels, s = 15 pixels, T1 = 35%, T2 = 1%, w = 1		m = 3 pixels, s = 8 pixels, T1 = 2P/3, T2 = 1%, w = 1		m = 3 pixels, s = 8 pixels, T1 = 2P/3, T2 = 2%, w = 1		m = 3 pixels, s = 8 pixels, T1 = 2P/3, T2 = 2%, w = 2	
影像處理	原始影像	自動對比	原始影像	自動對比	原始影像	自動對比	原始影像	自動對比
D50 (mm)	4.50	4.47	3.64	3.56	3.63	3.56	3.87	3.80
D84/D16	2.57	2.55	2.53	2.56	2.52	2.56	2.31	2.36

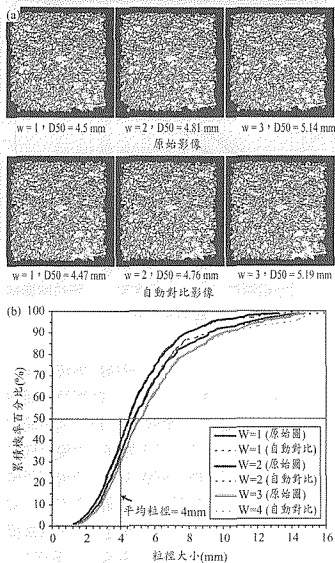


圖 18 均勻細顆粒最小深度門檻值檢定：(a)顆粒辨識結果比較；(b)粒徑分布比較

值分布直方圖如圖 8(a)與圖 13(a)、(b)所示，實驗設置條件與驗證結果分別如表 2 及圖 20 所示。結果顯示乾燥細顆粒以影像經自動對比處理，配合參數 $m = 3$ pixels, $s = 8$ pixels (1 mm), $T1 = 2/3$ 倍灰階值直方圖高峰累積機率， $T2 =$

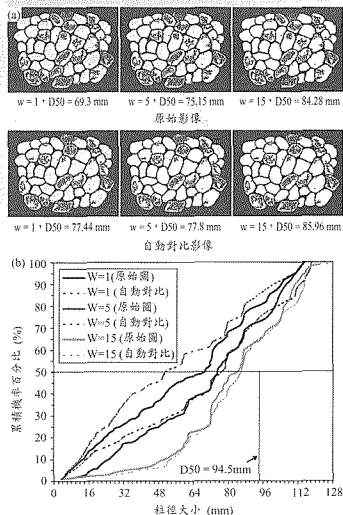


圖 19 均勻粗顆粒最小深度門檻值檢定：(a)顆粒辨識結果比較；(b)粒徑分布比較

2%, $w = 2$ 可得到較佳之辨識結果。

2. 乾燥均勻粗顆粒

乾燥均勻粗顆粒驗證實驗影像及像元灰階值分布直方圖如圖 8(b)與圖 13(c)、(d)所示，實驗設置條件與驗證結果分別如表 3 及圖 21 所示。結果顯示乾燥均勻粗顆粒以影像經自動對比處

表 3 乾燥均勻粗顆粒實驗驗證結果

實驗設置條件：粒徑 64~119 mm, D50 = 94.5 mm, D84/D16 = 1.46								
驗證組別	預設值		Test1		Test2		Test3	
參數設定	m = 5 pixels, s = 15 pixels, T1 = 35%, T2 = 1%, w = 1		m = 21 pixels, s = 22 pixels, T1 = P/4, T2 = 1%, w = 15		m = 21 pixels, s = 11 pixels, T1 = P/4, T2 = 1%, w = 15		m = 21 pixels, s = 11 pixels, T1 = P/4, T2 = 1%, w = 20	
影像處理	原始影像	自動對比	原始影像	自動對比	原始影像	自動對比	原始影像	自動對比
D50 (mm)	69.30	77.44	90.64	89.87	88.84	95.60	92.11	95.60
D84/D16	5.90	5.75	1.52	1.52	1.59	1.53	1.51	1.53

表 4 乾燥混合細顆粒實驗驗證結果

實驗設置條件：粒徑 2~25.4 mm, D50 = 12.3 mm, D84/D16 = 3.31								
驗證組別	預設值			Test1			Test2	
參數設定	m = 5 pixels, s = 15 pixels, T1 = 35%, T2 = 1%, w = 1			m = 3 pixels, s = 7 pixels, T1 = 35%, T2 = 1%, w = 1			m = 3 pixels, s = 7 pixels, T1 = 35%, T2 = 2%, w = 2	
影像處理	原始影像	自動對比	人工調整	原始影像	自動對比	人工調整	原始影像	自動對比
D50 (mm)	11.94	12.02	11.81	10.86	11.34	11.1	12.24	12.38
D84/D16	3	3.15	3.2	3.62	3.59	3.75	3.27	3.31

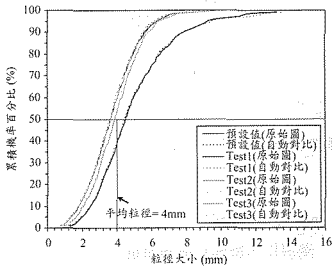


圖 20 乾燥均勻細顆粒實驗驗證結果

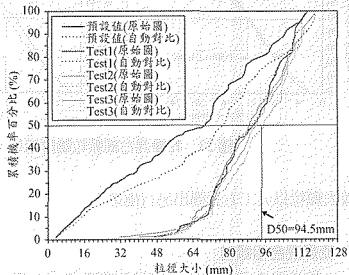


圖 21 乾燥均勻粗顆粒實驗驗證結果

理，配合參數 $m = 21$ pixels, $s = 11$ pixels (5 mm), $T1=1/4$ 倍灰階直方圖高峰累積機率, $T2 = 1\%$, $w = 15$ 可得到較佳之辨識結果，自動對比影像在 $w = 15$ 時已可消除所有過度分割細線，故 Test2 與 Test3 之自動對比辨識結果完全相同。

3. 乾燥混合細顆粒

乾燥混合細顆粒驗證實驗影像及像元灰階值分布直方圖如圖 22 所示，其中人工調整方式為影像經自動對比後將表面明顯凹凸不平或邊

緣不明顯之顆粒圈選出並利用影像處理軟體將其模糊化所得結果。實驗設置條件與驗證結果分別如表 4 及圖 23 所示，結果顯示粒徑分布曲線於 D80 以上皆有較實際粒徑分布為大之趨勢，使用人工調整影像可略微改善此情況。其中以 Test2 ($m = 3$ pixels, $s = 7$ pixels, $T1 = 35\%$, $T2 = 2\%$, $w = 2$) 所得之 D50 與 D84/D16 結果與實際粒徑分布計算結果較為接近，但兩種不同影像前處理方式對結果影響不大，建議處理時以原始影像及預設參數值所得結果為參考，再將不易辨識之

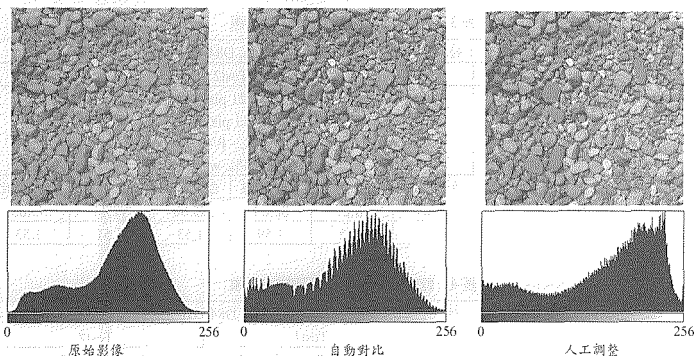


圖 22 乾燥混合細顆粒實驗驗證影像及像元灰階值分布直方圖

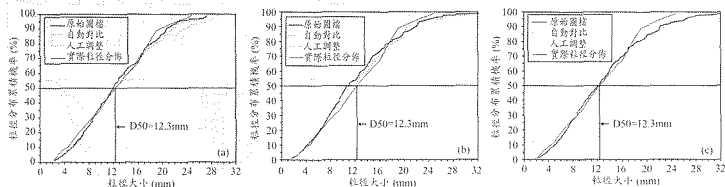


圖 23 乾燥混合細顆粒驗證結果：(a)參數預設值；(b)Test1；(c)Test2

較大顆粒以人工方式圈出另行處理。

4. 乾燥混合粗顆粒

乾燥混合粗顆粒驗證實驗影像及像元灰階值分布直方圖如圖 24 所示，其中人工調整方式為將影像中大顆粒圈選出來，給予邊界並分別填入灰色及白色，最後進行自動對比調整。乾燥混合粗顆粒實驗設置條件與驗證結果分別如表 5 及圖 25 所示。結果顯示以人工方式將大顆粒圈選出可大幅改善影像辨識結果，兩種不同影像前處理方式所得結果差異性不大，但以人工圈選大顆粒後填入白色較佳。整體以 Test2 ($m = 9$ pixels, $s = 8$ pixels, $T1 = 1/3$ 倍直方圖高峰累積機率, $T2 = 2\%$, $w = 3$) 所得之 D50 與 D84/D16 結果與實際粒徑分布計算結果較為接近。

5. 潮濕均勻細顆粒

潮濕均勻細顆粒驗證實驗影像及像元灰階值分布直方圖如圖 26 所示，其中清晰濾鏡為影像經自動對比後加上影像處理軟體 PhotoImpact 之清晰化選項，實驗設置條件與驗證結果分別如表 6 及圖 27 所示。驗證結果顯示因水分造成細顆粒黏合，使用參數預設值時大部分顆粒無法分離辨識，辨識結果與實際粒徑分布差距甚遠，使用清晰濾鏡結果有所改善，但整體均勻度 (D84/D16) 皆較乾燥顆粒為差。其中以 Test2 ($m = 3$ pixels, $s = 6$ pixels, $T1 = 3/4$ 倍灰階值直方圖高峰累積機率, $T2 = 2\%$, $w = 2$) 所得之 D50 與實際平均粒徑結果較為接近。

表 5 乾燥混合粗顆粒實驗驗證結果

實驗設置條件: 粒徑 15.9~90 mm, D50 = 31.44 mm, D84/D16 = 3.63									
驗證組別	預設值			Test1			Test2		
參數設定	m = 5 pixels, s = 15 pixels, T1 = 35%, T2 = 1%, w = 1			m = 9 pixels, s = 8 pixels, T1 = 35%, T2 = 1%, w = 1			m = 9 pixels, s = 8 pixels, T1 = P/3, T2 = 2%, w = 3		
影像處理	原始影像	人工調整(灰)	人工調整(白)	原始影像	人工調整(灰)	人工調整(白)	原始影像	人工調整(灰)	人工調整(白)
D50 (mm)	29.38	40.44	49.31	39.92	31.32	31.67	36.39	30.91	31.12
D84/D16	6.58	8.63	9.05	4.38	4.51	4.43	4.23	4.27	4.03

表 6 潮濕均勻細顆粒實驗驗證結果

實驗設置條件: 粒徑 3.36~4.76 mm, Dmean = 4 mm									
驗證組別	預設值			Test1			Test2		
參數設定	m = 5 pixels, s = 15 pixels, T1 = 35%, T2 = 1%, w = 1			m = 3 pixels, s = 6 pixels, T1 = 2P/3, T2 = 2%, w = 1			m = 3 pixels, s = 6 pixels, T1 = 3P/4, T2 = 2%, w = 2		
影像處理	原始影像	自動對比	清晰濾鏡	原始影像	自動對比	清晰濾鏡	原始影像	自動對比	清晰濾鏡
D50 (mm)	5.84	6.07	5.60	4.30	4.03	3.97	4.22	4.08	4.01
D84/D16	3.64	4.16	3.24	2.63	2.55	2.50	2.57	2.43	2.41

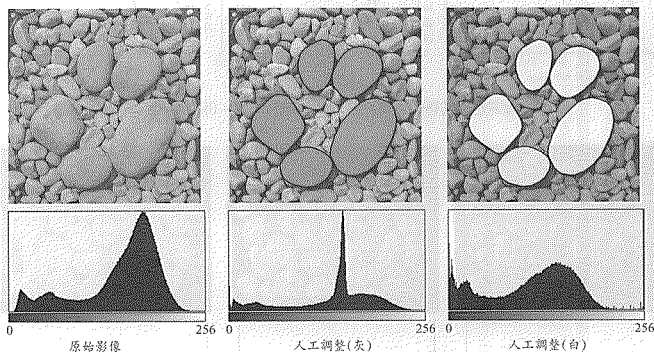


圖 24 乾燥混合粗顆粒實驗驗證影像及像元灰階值分布直方圖

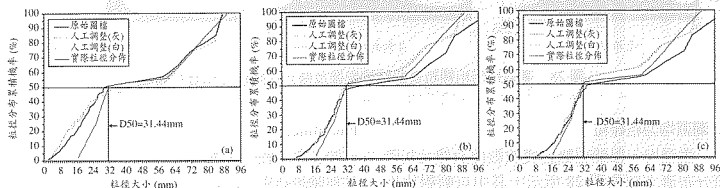


圖 25 乾燥混合粗顆粒驗證結果: (a)參數預設值: (b)Test1: (c)Test2

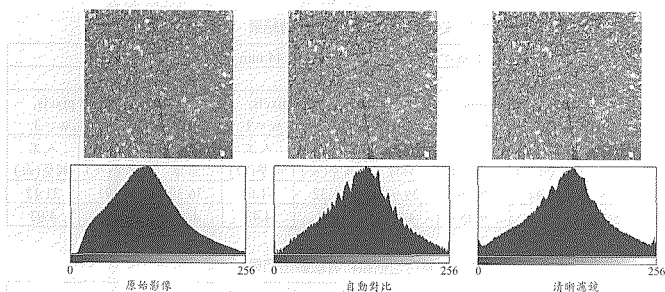


圖 26 潮濕均勻細顆粒實驗驗證影像及像元灰階值分布直方圖

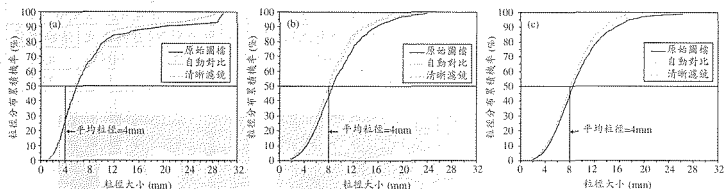


圖 27 潮濕均勻細顆粒驗證結果：(a)參數預設值：(b)Test1：(c)Test2

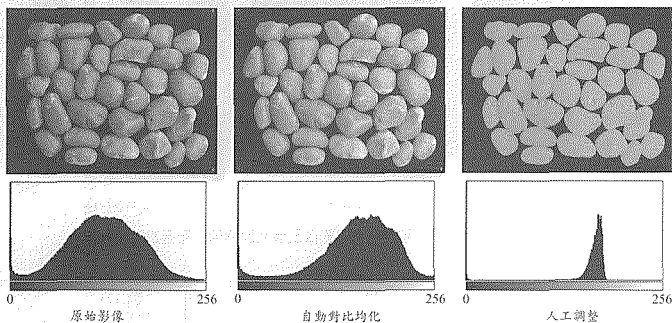


圖 28 潮濕均勻粗顆粒實驗驗證影像及像元灰階值分布直方圖

6. 潮濕均勻粗顆粒

潮濕均勻粗顆粒驗證實驗影像及像元灰階值分布直方圖如圖 28 所示，其中自動對比均化為影像經自動對比後加上影像處理軟體

PhotoImpact 之均化選項，人工調整乃以人工方式將各單一顆粒圈選並給予模糊化。實驗設置條件與驗證結果分別如表 7 及圖 29 所示。驗證結果顯示潮濕均勻粗顆粒影像經人工調整後結果

表 7 潮濕均勻粗顆粒實驗驗證結果

實驗設置條件：粒徑 64~119 mm, D50 = 94.5 mm, D84/D16 = 1.46									
驗證組別	預設值			Test1			Test2		
參數設定	m = 5 pixels, s = 15 pixels, T1 = 35%, T2 = 1%, w = 1			m = 11 pixels, s = 11 pixels, T1 = P/4, T2 = 1%, w = 1			m = 11 pixels, s = 11 pixels, T1 = P/4, T2 = 1%, w = 11		
影像處理	原始 影像	自動對比 均化	人工 調整	原始 影像	自動對比 均化	人工 調整	原始 影像	自動對比 均化	人工 調整
D50 (mm)	49.43	77.42	77.46	87.47	93.14	94.53	93.06	94.84	94.39
D84/D16	5.89	4	2.71	2.02	1.47	1.46	1.48	1.41	1.45

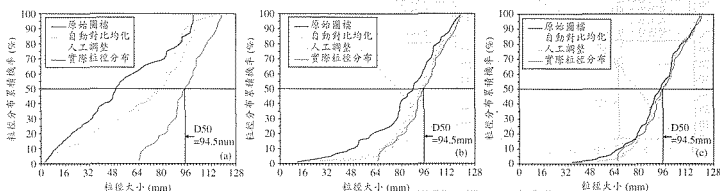


圖 29 潮濕均勻粗顆粒驗證結果：(a)參數預設值；(b)Test1；(c)Test2

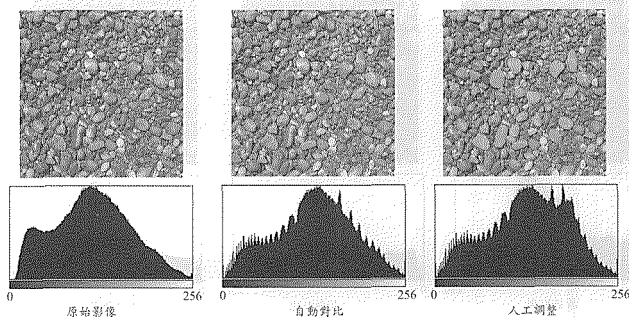


圖 30 潮濕混合細顆粒實驗驗證影像及像元灰階值分布直方圖

較佳，但與自動對比均化結果差距不大。以 Test2 ($m = 11$ pixels, $s = 11$ pixels, $T1 = 1/4$ 倍灰階值直方圖高峰累積機率, $T2 = 1\%$, $w = 11$) 所得結果最佳，但無論使用何種影像預處理方式皆與實際粒徑分布結果非常接近。由驗證結果可知，使用影像處理軟體內建之自動對比與均化對影像做預處理後，若能配合適當之參數，即可得到極佳之結果。

7. 潮濕混合細顆粒

潮濕混合細顆粒驗證實驗影像及像元灰階值分布直方圖如圖 30 所示，其中人工調整方式為影像經自動對比後將表面明顯凹凸不平或邊緣不明顯之顆粒圈選出並利用影像處理軟體將其模糊化，實驗設置條件與驗證結果分別如表 8 及圖 31 所示。結果顯示無論是潮濕或乾燥之混合細顆粒，其最佳化參數大致相同，以 Test1 ($m =$

表 8 潮濕混合細顆粒實驗驗證結果

實驗設置條件：粒徑 2~25.4 mm, D50 = 12.3 mm, D84/D16 = 3.31									
驗證組別	預設值			Test1			Test2		
參數設定	m = 5 pixels, s = 15 pixels, T1 = 35%, T2 = 1%, w = 1			m = 3 pixels, s = 7 pixels, T1 = 35%, T2 = 1%, w = 1			m = 3 pixels, s = 7 pixels, T1 = 35%, T2 = 2%, w = 1		
影像處理	原始影像	自動對比	人工調整	原始影像	自動對比	人工調整	原始影像	自動對比	人工調整
D50 (mm)	12.87	13.05	12.60	13.07	13.00	12.24	12.52	12.61	11.84
D84/D16	3.42	3.13	3.38	3.81	3.53	3.61	3.81	3.55	3.72

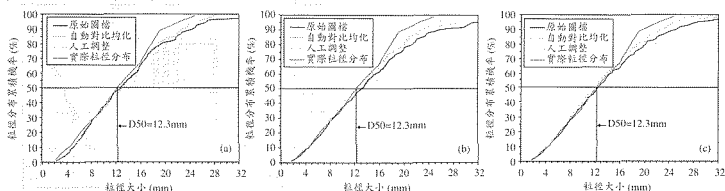


圖 31 潮濕混合細顆粒驗證結果：(a)參數預設值；(b)Test1；(c)Test2

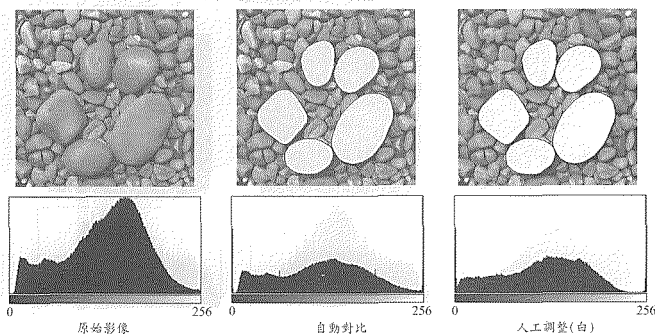


圖 32 潮濕混合粗顆粒實驗驗證影像及像元灰階值分布直方圖

3 pixels, $s = 7$ pixels, $T1 = 35\%$, $T2 = 1\%$, $w = 1$) 所得之結果最佳，不同前處理方式所得結果差異性不大。由驗證結果可知，將部分表面不光滑之顆粒經人工處理後，利用預設參數值即可得到不錯之結果。

3. 潮濕混合粗顆粒實驗驗證結果

8. 潮濕混合粗顆粒

潮濕混合粗顆粒驗證實驗影像及像元灰階

值分布直方圖如圖 32 所示，其中自動對比除圈選出大顆粒外，同時使用自動對比調整，而人工調整則是另將背景不平滑或表面反差過大之中小顆粒圈選出後降低對比與均化。實驗設置條件與驗證結果分別如表九及圖 33 所示。驗證結果顯示潮濕混合粗顆粒影像經人工調整後結果較佳，然因影像像元灰階值分布直方圖與乾燥混合粗顆粒大不相同，最佳化參數亦不相同，以 Test2

表 9 潮濕混合粗顆粒實驗驗證結果

實驗設置條件：粒徑 15.9~90 mm, D50 = 31.44 mm, D84/D16 = 3.63									
驗證組別	預設值			Test1			Test2		
參數設定	m = 5 pixels, s = 15 pixels, T1 = 35%, T2 = 1%, w = 1			m = 9 pixels, s = 7 pixels, T1 = P/2, T2 = 2%, w = 3			m = 11 pixels, s = 7 pixels, T1 = P/3, T2 = 2%, w = 3		
影像處理	原始影像	自動對比	人工調整	原始影像	自動對比	人工調整	原始影像	自動對比	人工調整
D50 (mm)	38.14	44.31	51.87	48.84	31.38	31.84	36.39	30.91	34.84
D84/D16	6.63	8.81	7.72	4.30	5.37	4.73	4.23	4.27	4.17

表 10 八組驗證實驗之最佳化參數

驗證組別	參數項目 影像預處理方式	中值濾流 矩陣大小 m (pixels)	底帽轉換結構 元素大小 s (pixels or mm)	二元化門檻值 T1 (%)	二元化 門檻值 T2 (%)	分水嶺最小 深度門檻值 w
1.乾燥均勻細顆粒	自動對比	3	8 (1 mm)	2/3 倍直方圖高峰 累積機率	2	2
2.乾燥均勻粗顆粒	自動對比	21	11 (5 mm)	1/4 倍直方圖高峰 累積機率	1	15
3.乾燥混合細顆粒	自動對比後將表面明顯 凹凸不平或邊緣不明顯 之顆粒圈選出，利用影 像處理軟體將其模糊化	3	7 (2 mm)	35	2	2
4.乾燥混合粗顆粒	將大顆粒圈選出，給予 邊界並填入白色後自動 對比	9	8 (2 mm)	1/3 倍直方圖高峰 累積機率	2	3
5.潮濕均勻細顆粒	自動對比 + 清晰濾鏡	3	6 (1 mm)	3/4 倍直方圖高峰 累積機率	2	2
6.潮濕均勻粗顆粒	將各單一顆粒圈選並將 其模糊化	11	11 (5 mm)	1/4 倍直方圖高峰 累積機率	1	11
7.潮濕混合細顆粒	自動對比後將表面明顯 凹凸不平或邊緣不明顯 之顆粒圈選出，利用影 像處理軟體將其模糊化	3	7 (1 mm)	35	1	1
8.潮濕混合粗顆粒	將大顆粒圈選出，給予 邊界並填入白色，背景 不平滑或表面反差過大 之中小顆粒則圈選後降 低對比與均化	11	7 (2 mm)	1/3 倍直方圖高峰 累積機率	2	3

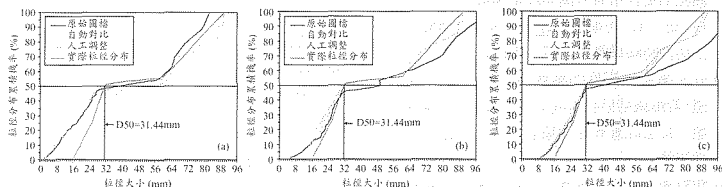


圖 33 潮濕混合粗顆粒實驗結果：(a)參數預設值；(b)Test1；(c)Test2

($m = 11$ pixels, $s = 7$ pixels, $T1 = 1/3$ 倍直方圖高峰累積機率, $T2 = 2\%$, $w = 3$) 所得之結果最佳。由驗證結果可知, 潮濕混合粗顆粒影像之預處理除人工選取大顆粒外, 其餘較不平滑之中小顆粒若亦能做適當之處理, 將可提高影像辨識效果。

五、結論與建議

使用數位相機拍照採樣並結合光篩軟體進行影像處理與分析已成為未來調查河床質粒徑分布之最新趨勢, 不但可增進調查工作之效率與便利性, 所耗費之人力與成本亦可大幅減少。本研究對目前唯一一套針對河床質粒徑分析之光篩軟體做一完整介紹與參數檢定, 並利用八種不同粒徑組合與乾濕狀況進行分析結果驗證, 八組驗證實驗之最佳化影像預處理方式與參數整理如表 10 所示。研究結果顯示使用光篩軟體進行粒徑分析具有高度可行性, 下列建議可供後續使用光篩軟體分析河床質粒徑分布之參考依據:

- (1) 針對河床質顆粒影像進行簡單自動對比與大顆粒圈選等預處理, 可提高顆粒辨識度與粒徑分析結果之準確性。
- (2) 各項參數值應針對不同粒徑組合做適當調整, 本研究結果可為初步參考。
- (3) 中值濾波矩陣大小(m)與底帽轉換結構元素大小(s), 須依據粒徑大小調整, 一般而言細顆粒之 m 值與 s 值偏小, 粗顆粒則應調大 m 值與 s 值。
- (4) $T1$ 門檻值可用影像像素灰階值直方圖高峰之累積機率做為調整之依據, 細顆粒之 $T1$ 值可採用直方圖高峰累積機率之 $2/3$ 或 $3/4$ 倍, 粗顆粒則可採用直方圖高峰累積機率之 $1/3$ 或 $1/4$ 倍; $T2$ 可使用預設值, 或在辨識顆粒無法切割時略微調整, 以加大縫隙比例。
- (5) 分水嶺最小深度門檻值(w)一般可使用預設值, 若辨識結果有過度切割之情形則可調大 w 值, 以去除顆粒中因陰影或紋路所造成之不當縫隙。
- (6) 顆粒表面有水分或潮濕, 將影響顆粒辨識準確度, 尤以細顆粒最為嚴重, 應盡量避免。

六、謝 誌

本研究為國科會補助多年期整合型計畫「多功能河川環境流量設計: 水文、地貌、生態健康與監測技術研究」(NSC 96-2628-E-002-136-MY3) 之部分成果。

參考文獻

1. Graham, D.J., Reid, I. and Rice, S.P., 2005a, Automated sizing of coarse grained sediments: Image-processing procedures, *Mathematical Geology*, 37(1):1-28.
2. Graham, D.J., Rice, S.P. and Reid, I., 2005b, A transferable method for the automated grain sizing of river gravels, *Water Resources Research*, 41: W07020.
3. Jackway, P.T., 2000, Improved morphological top-hat, *Electr. Lett.*, 36(14): 1194-1195.
4. Justusson, B.I., 1981, Median filtering: statistical properties, in *Two-Dimensional Digital Signal Processing II*, T. S. Huang, ed., Springer-Verlag, New York.
5. Nodes, T., and Gallagher, N., 1982, Median filters: some modifications and their properties, *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, ASSP-30, 739-746.
6. Meyer, F., 1979, *Cytologie Quantitative et Morphologie Mathématique*, unpublished doctoral dissertation, Ecole des Mines, Paris.
7. Russ, J.C., 1999, *The image processing handbook*, 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, Florida.
8. Soille, P., 2003, *Morphological image analysis: Principles and applications*, 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin.
9. Vincent, L., and Soille, P., 1991, Watersheds in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13: 583-597.

收稿日期: 民國 97 年 5 月 27 日

修正日期: 民國 97 年 7 月 9 日

接受日期: 民國 97 年 7 月 9 日