無人載具高解析影像及點雲於山區河川表層粒徑分析之可行性研究

109年技研小組專題討論分享

長榮大學土地管理與開發系 曾志民教授

109 / 8 / 25

簡報綱要

- ✓ 計畫背景說明
- ✓ 計畫目標
- ✓ 研究方法與流程
- ✓ 成果說明
  - 河床表層粒徑現場調查
  - 無人載具UAV航拍
  - 粒徑影像判釋
  - 點雲糙度特性粒徑分析
- ✓ 結論與建議
- ✓ 109年度計畫階段成果

計畫背景

- 對於山區集水區之降雨逕流分析、泥砂運移分析及土砂收支分析等相關數值模擬工作，**廣域河床表面之曼寧n值**為重要基本地文因子，對於模擬成果之合理性與正確性影響甚鉅。
- 此外**曼寧n值為一重要時空變量**，由於颱洪事件造成之河道變化、防砂構造物之興建、土地利用之改變等皆會造成曼寧n值有所變化。因此，除需廣域獲得不同河段之曼寧n值外，定期針對上述環境因素改變後之曼寧n值檢討有其必要性。
- 目前河床粒徑資訊之調查仍依賴**局部河段開挖**進行篩分析，或進行**現地表層粒徑調查**，惟受限於人力及時間成本，現地調查分析仍僅限於部分局部河段，分析成果資訊無法有足夠之空間及時間頻率代表性。

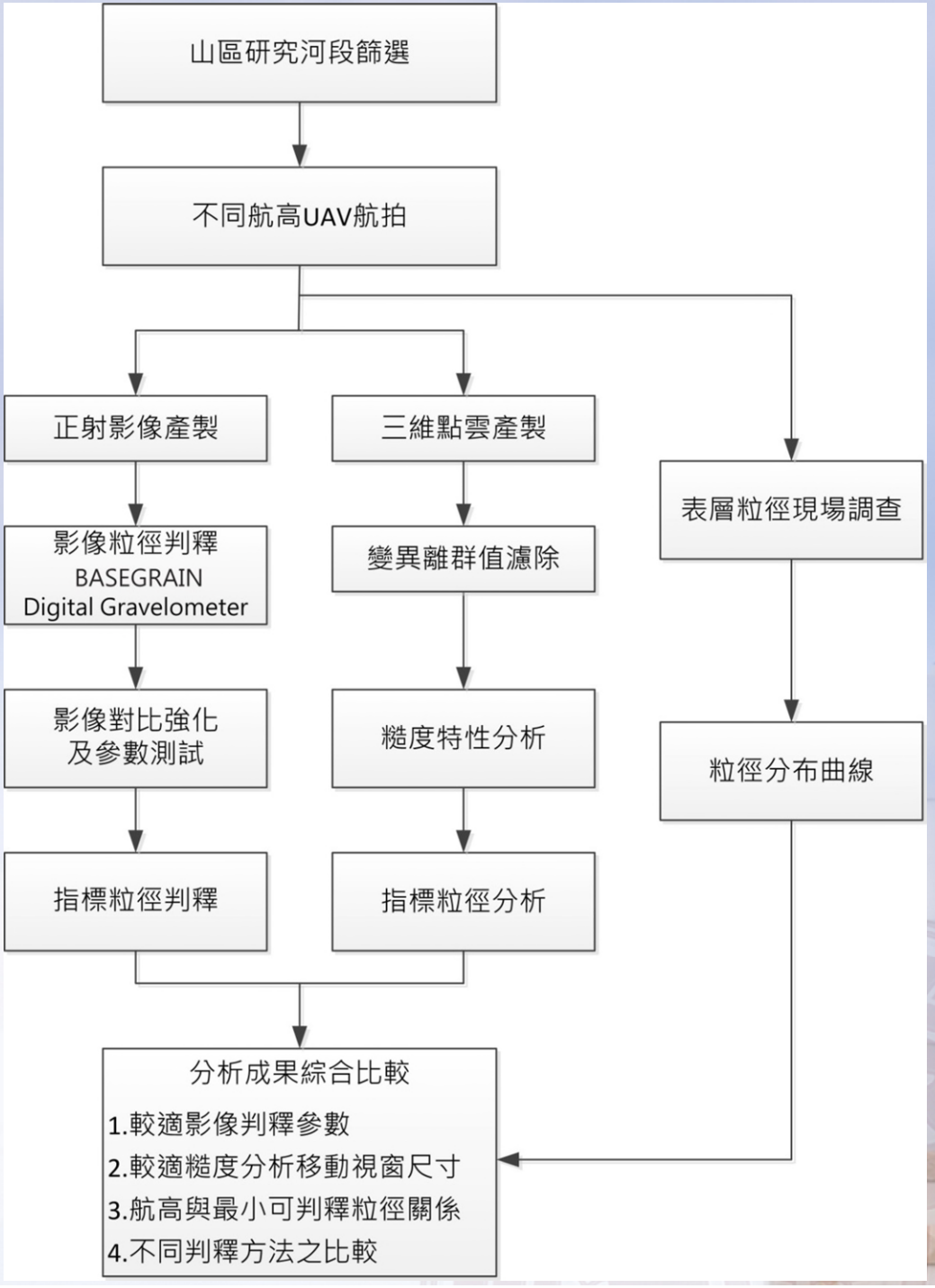
計畫背景(續)

- 目前已有相關研究利用河床**現地拍攝表層粒徑相片**進行影像判釋獲得河床粒徑資訊，惟此種作法**仍無法有效克服作業時間效率**問題。
- 近年無人載具UAV航拍可利用航拍影像產置高階析正射影像，也可進一步產製三維密點雲。以**航高50公尺**為例，目前已可產製**約1~2公分等級高解析正射影像**及同尺度高精度數值地形，以及**超過500點/平方公尺之高密度三維密點雲**，可有效兼顧高空間解析度及高作業時間效率之優勢。
- 本計畫利用無人載具UAV以不同航高進行航拍，產製高解析度**正射影像**及**三維密點雲**，分別利用**影像判釋**以及利用**點雲糙度**特性推估指標粒徑，期以作為後續實務應用之參考。

計畫目標

- 進行研究區域山區河段之**表層粒徑現場調查**分析，以作為影像判釋分析及點雲糙度特性分析成果驗證比較之依據。
- 利用無人載具UAV於研究區域以不同航高進行航拍，進一步產製高解析度**正射影像**及**三維密點雲**，建立河床粒徑基本資料庫。
- 利用顆粒影像分析軟體進行UAV產製影像之河床材料判釋分析，探討影像判釋**較適參數**及**可判釋最小粒徑**。
- 針對UAV產製三維密點雲進行表層顆粒糙度特性分析，探討**最適糙度分析移動視窗尺寸**並進而推估河床表層指標粒徑。

研究流程


山區研究河段篩選
不同航高UAV航拍
正射影像產製
三維點雲產製
表層粒徑現場調查
影像粒徑判釋
BASEGRAIN
Digital Gravelometer
變異離群值濾除
影像對比強化
及參數測試
糙度特性分析
粒徑分布曲線
指標粒徑判釋
指標粒徑分析
分析成果綜合比較
1.較適影像判釋參數
2.較適糙度分析移動視窗尺寸
3.航高與最小可判釋粒徑關係
4.不同判釋方法之比較

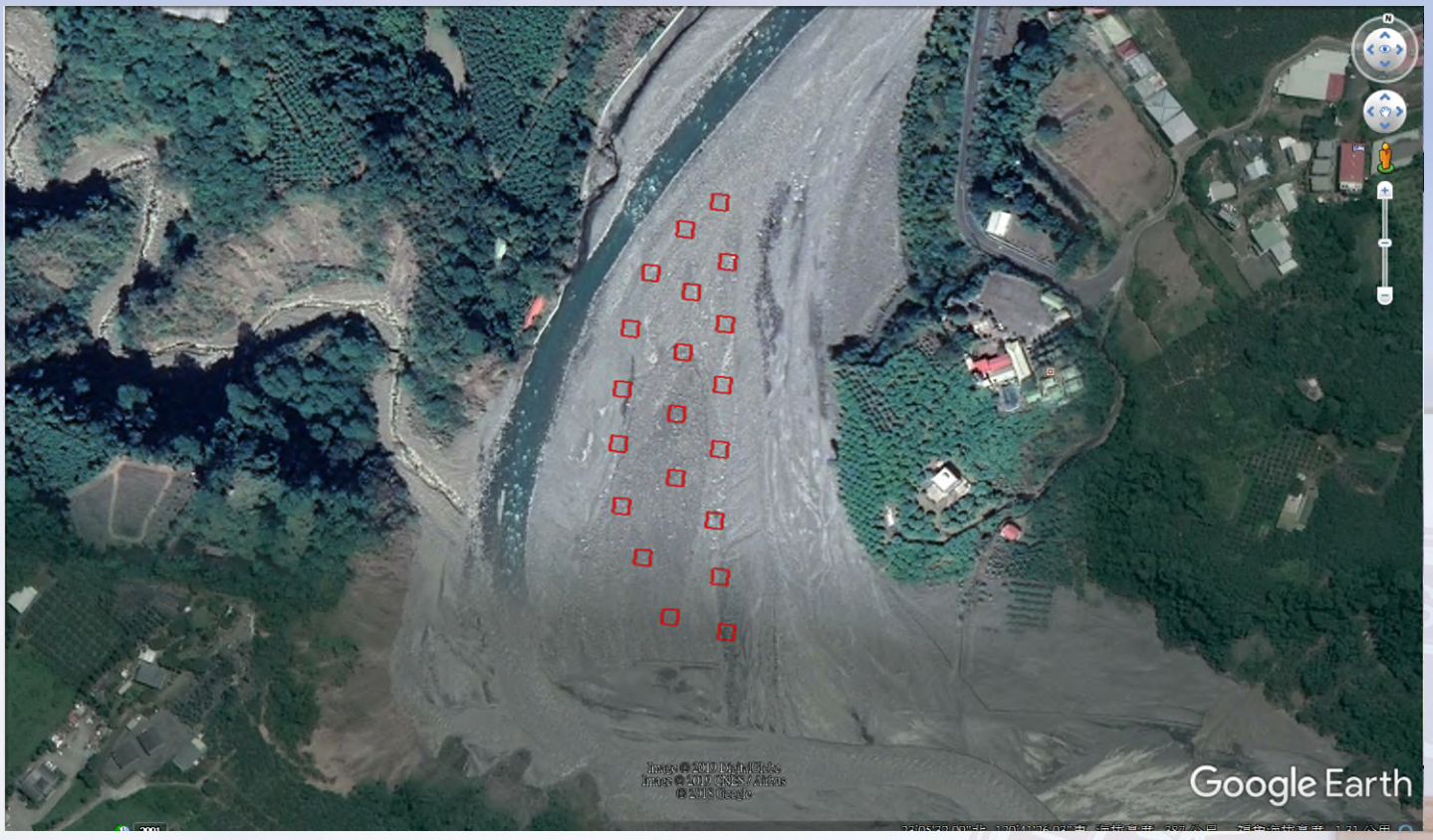
研究河段篩選

選取原則為河床顆粒材料以卵礫石為主，材料粒徑約介於 n x (10 ~ 100) mm，儘量選取級配優良區位，亦即河床表面較均佈不同尺寸之卵礫石材料，以利探討顆粒判釋分析之限制條件。



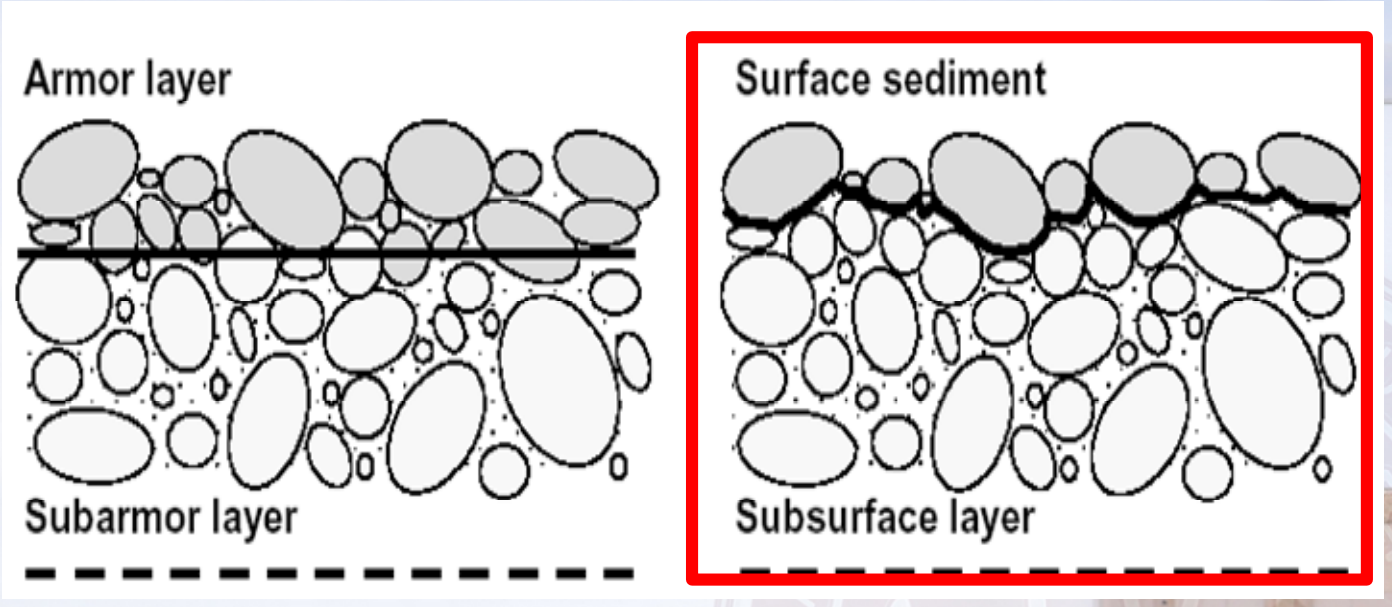
調查樣區規劃

總共規劃 20 個調查樣區，每個樣區約 12m x 12m。



河床表層粒徑現場調查方法

河床質採樣調查目前尚無一般性之調查方法準則，依據水利規劃試驗所「河床質調查方法之比較研究」(2006)，眾多調查方法中一般較傾向採用標準方法(standard method)，如Bunte and Abt (2001)提及Wolman (1954)之100顆粒網格式卵石採樣方法(pebble counts)常被當成是表面顆粒採樣之標準方法。



河床表層粒徑現場調查方法(續)

若以表面採樣之各種作業方式考量，**網格式卵石採樣**具備之**涵蓋面積廣**、**適用大型卵礫石**及**調查速度快**等特性，應是山區河川進行表面調查較佳之選擇。

調查方法	網格式卵石採樣 (Pebble counts)	方型網格採樣 (Grid smapling)	面積採樣 (Areal sampling)
施做方式	1.步伐測距採樣	.網框採樣	1.人工撿拾(配合噴漆)
			2.採樣黏著版(Adhesive)
	2.採樣繩測距採樣	.照相採樣	3.照相採樣
採樣方式	等距離增加方式，採集預定數量的顆粒	採集網框所有格點下的樣品	採集所有設定面積下的樣品
採樣面積	相對大範圍，可至 100m^2	相對小範圍，約 1~10m^2	限制於小區域下，約 0.1~1m^2
樣品大小	適用礫石與大卵石，不適用於砂	適用礫石，不適用砂	適用砂至中小礫石，不適用粗礫石及大卵石
工作時間	現場調查時間長，不需實驗室時間	網框採樣現場調查時間長，不需實驗室時間	現場調查時間與實驗室時間均需要
		照相採樣現場時間短，實驗室時間長	
資料比較與後續應用	資料可直接與方形網格採樣及體積法採樣進行比較與合併運用	資料可直接與網格式卵石採樣及體積法採樣進行比較與合併運用	資料無法直接與網格式卵石採樣、方形網格採樣、及體積法採樣進行比較與合併運用

河床表層粒徑現場調查方法(續)

調查斷面規劃：流向縱長每 1m 規劃一處調查斷面，沿調查斷面每 1 m 採拾一次礫石量測。



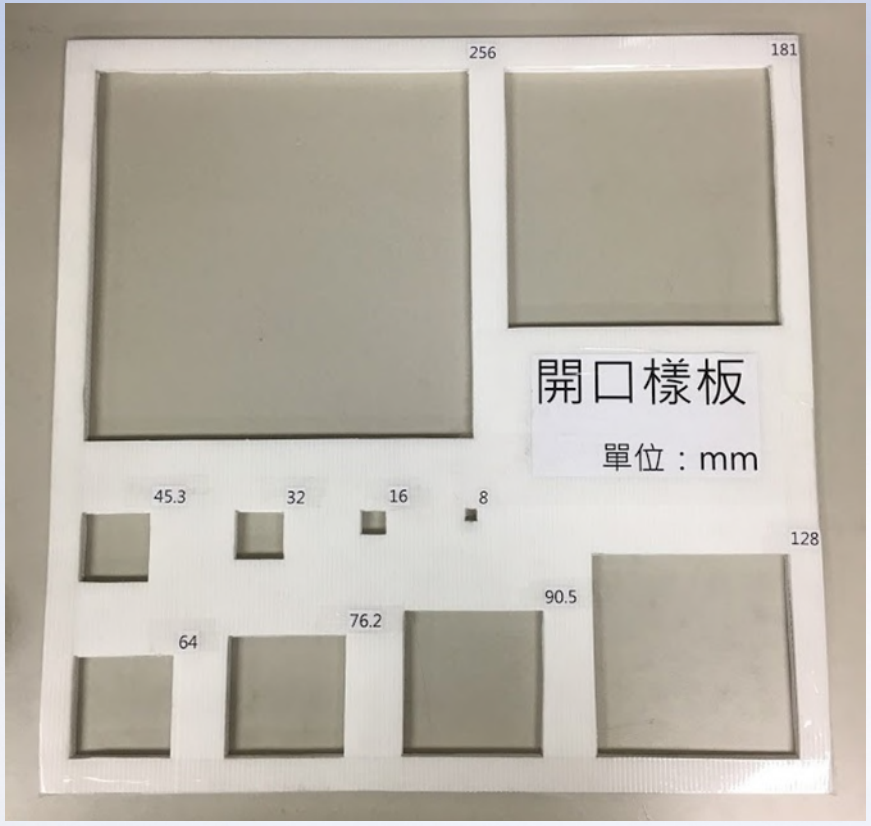


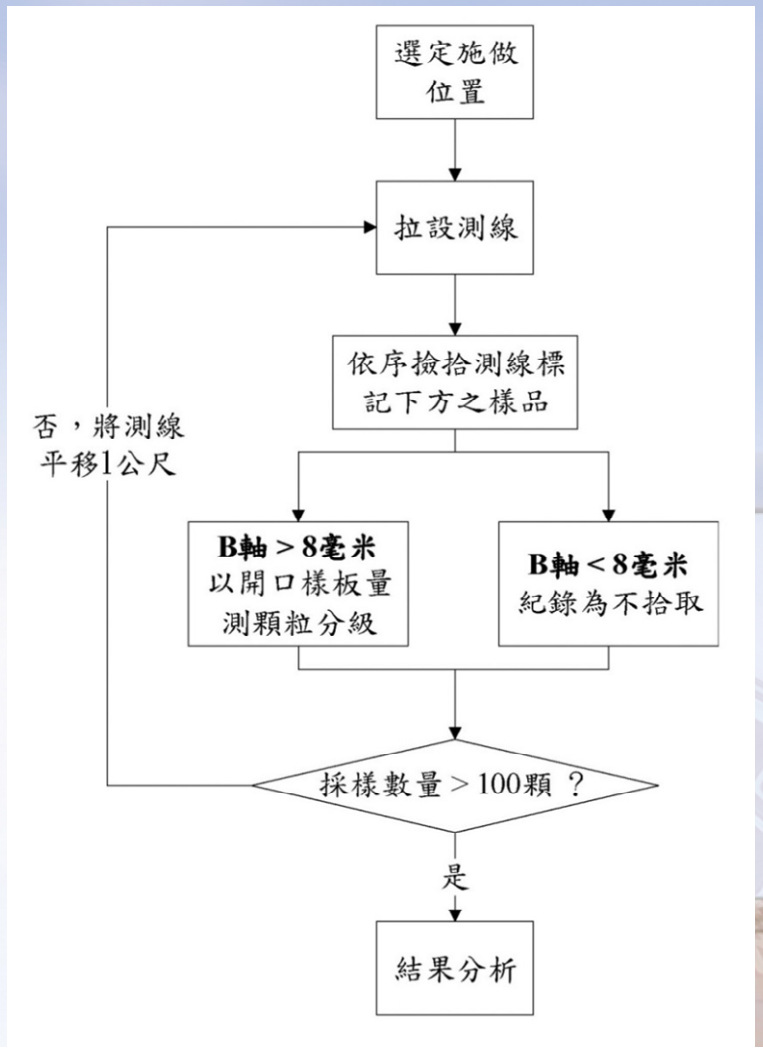
現場採樣記錄表

施作位置	高雄市寶來區建山里 荖濃溪河床砂洲 偏左岸					斷面編號					日期			天候	
斷面測點	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	標繩端點	R	X		
1													Y		
2												L	X		
3													Y		
4											施作位置描述				
5															
6															
7															
8															
9											小計				
10											512	362	256	181	128
11															
12															
13											90.5	76.2	64	45.3	32
14															
15															
16											16	8	未拾取		
17															
18															
19											調查單位				
20											調查人員				

河床表層粒徑現場調查方法(續)

採樣粒徑範圍介於8 mm ~ 256 mm (約10″)利用開口樣版量測，總共標定**10種粒徑尺寸**，現場中值粒徑超過 256 mm之巨礫則採用 B 軸人工量測方式加以記錄。





河床表層粒徑現場調查方法(續)

水土保持技術規範第三十七條所述河床質調查方法之表面粒徑調查分析方法：

1. 每 500 m 至少取一處為調查之主斷面，再於主斷面上、下游每間距 10 m，另取 2 個副斷面，合計共 5 個斷面。
2. 每一個斷面以等間隔(或整數距離)之測點，量測在該測點上之泥砂粒徑，每一個斷面以不少於 5 個測點，測點之間隔不得超過 5 m。
3. 每一測點量測 10 cm以上之粒徑，依統計資料繪製粒徑分佈曲線。

河床表層粒徑現場調查成果

粒徑分級 (mm)	樣區										累積過篩百分比 (%)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
512					100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
362			100.00	100.00	98.63	99.03	96.30	96.84	93.81	98.08	
256	100.00	100.00	98.90	96.39	98.63	93.20	87.04	96.84	83.19	86.54	
181	93.62	96.59	89.01	93.98	95.89	88.35	72.22	86.32	60.18	59.62	
128	82.98	76.14	76.92	74.70	87.67	83.50	64.81	78.95	34.51	42.31	
90.5	77.66	64.77	68.13	61.45	79.45	75.73	51.85	67.37	23.89	32.69	
76.2	74.47	63.64	47.25	60.24	65.75	65.05	42.59	58.95	18.58	26.92	
64	57.45	40.91	28.57	48.19	43.84	49.51	25.93	33.68	7.08	15.38	
45.3	38.30	20.45	13.19	28.92	26.03	31.07	14.81	17.89	2.65	7.69	
32	19.15	2.27	5.49	10.84	10.96	16.50	11.11	10.53	0.88	1.92	
16	3.19	0.00	0.00	2.41	5.48	2.91	5.56	3.16	0.00	1.92	
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

粒徑分級 (mm)	樣區										累積過篩百分比 (%)
	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
512	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
362	86.67	89.76	95.83	82.93	91.09	98.26	93.57	88.75	98.68	100.00	
256	71.43	78.74	75.00	67.48	74.26	88.70	87.86	73.75	93.42	99.36	
181	58.10	70.87	58.33	57.72	59.41	74.78	85.00	61.25	89.47	98.73	
128	38.10	59.84	43.75	52.03	51.49	57.39	79.29	51.25	80.26	96.82	
90.5	27.62	54.33	29.17	47.15	49.50	44.35	72.14	46.25	57.89	96.18	
76.2	17.14	46.46	25.00	43.90	45.54	30.43	62.86	41.88	47.37	94.27	
64	6.67	32.28	18.75	37.40	44.55	12.17	44.29	31.88	23.68	89.17	
45.3	5.71	29.13	12.50	36.59	40.59	2.61	28.57	26.25	11.84	71.97	
32	2.86	17.32	8.33	19.51	23.76	1.74	24.29	16.88	1.32	48.41	
16	0.95	10.24	2.08	11.38	18.81	0.87	16.43	8.13	0.00	37.58	
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

河床表層粒徑現場調查成果

依據粒徑級配及顆粒尺寸特性針對20處調查樣區分類，其中均勻係數(Coefficient of uniformity)定義如下：

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

C_u 介於1 ~ 4時為均勻土壤(Uniform soil)

C_u 介於5 ~ 8時為級配好之土壤(Graded soil)

C_u 大於或等於9為級配良好之土壤(Well-graded soil)

依據AASHTO及USCS之卵石(Cobble)及礫石(Gravel)區分標準(3 inch, 76.2mm)，將同樣屬於均勻土壤之樣區進一步分為均勻粗顆粒(Uniform coarse soil)及均勻細顆粒(Uniform fine soil)兩類。

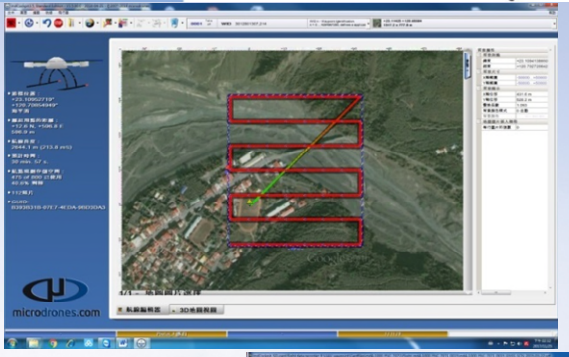
- 均勻細顆粒(7區)：A、B、C、D、F、H、T
- 均勻粗顆粒(7區)：E、G、I、J、K、P、S
- 級配好(3區)：L、M、Q
- 級配良好(3區)：N、O、R

無人載具UAV航拍











飛航高度：25、50、100、200 m等四種高度

正射影像及三維密點雲產製成果



航高 25m, GSD: 0.81cm



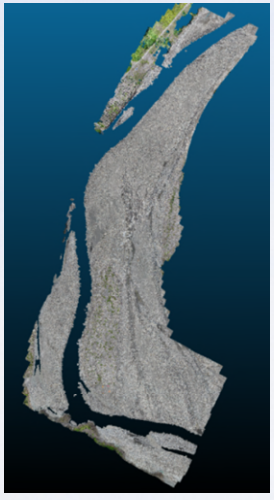
航高 50m, GSD: 1.62cm



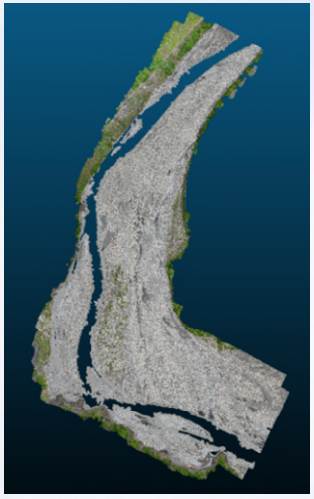
航高 100m, GSD: 2.92cm



航高 200m, GSD: 5.53cm



2,217 pts/m^2



605 pts/m^2



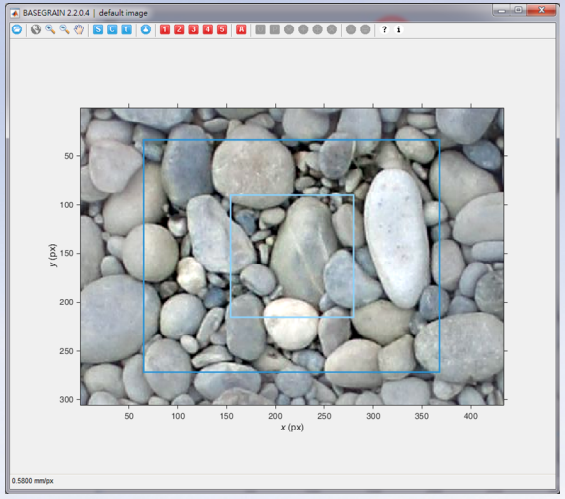
270 pts/m^2

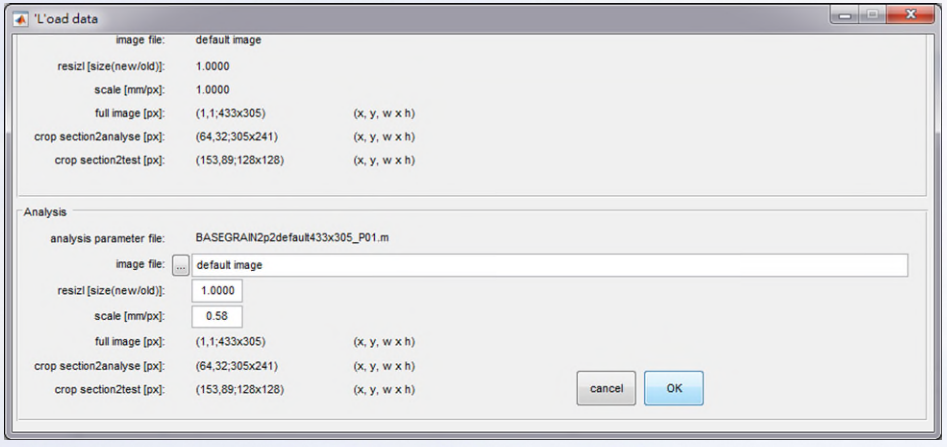


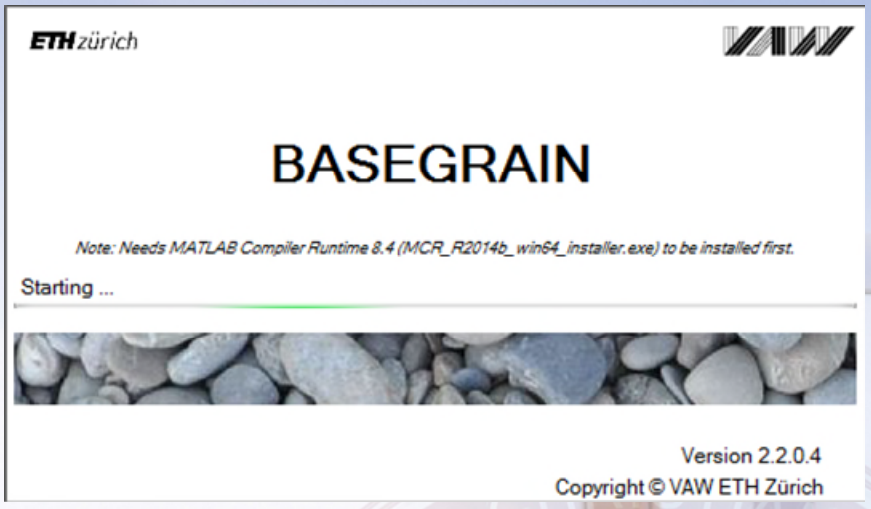
80 pts/m^2

影像粒徑判釋_BASEGRAIN

BASEGRAIN為瑞士蘇黎世聯邦理工學院(ETH Zurich)水利水文及冰河研究室於2012年發表之免付費影像判釋軟體，係以MATLAB為基礎建立之物件導向式分析工具。



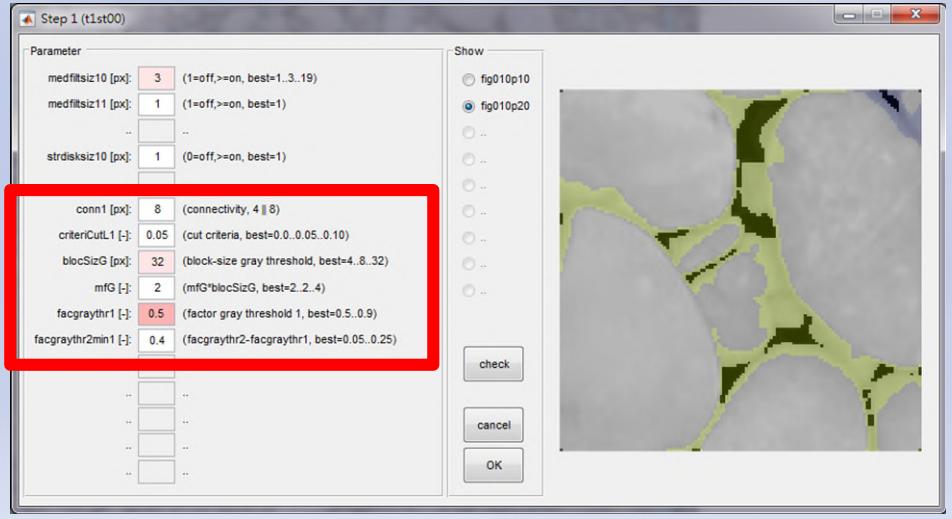




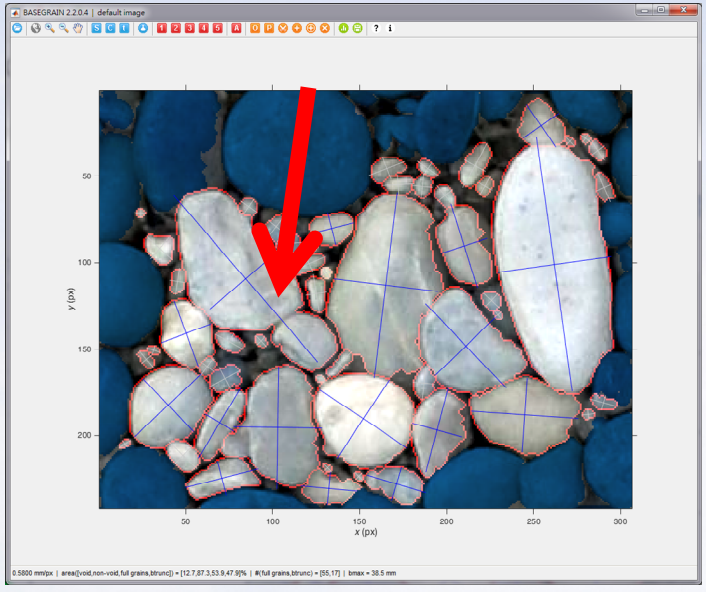
系統畫面

建立專案檔並載入影像資料

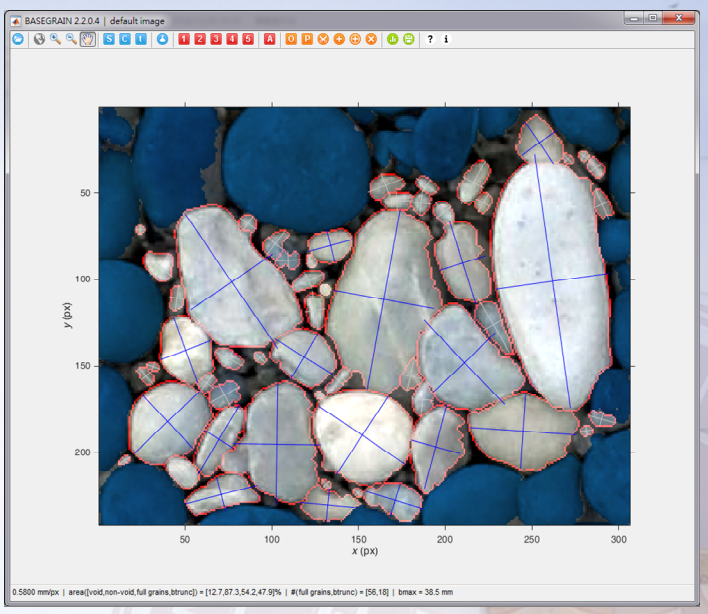
影像粒徑判釋_BASEGRAIN(續)



參數調整畫面



分割不足，顆粒區隔度不佳現象



較佳判釋成果

影像粒徑判釋_BASEGRAIN(續)

'E'xport data

Controls

control parameter file: BASEGRAIN2p2default433x305_P01.m

image file: default image

scale [mm/px]: 0.5800

save openTXT

Results2EXCEL

result file: BASEGRAIN2p2default433x305_P01.xlsx

save openXLSX

Results2MATLAB

result file: BASEGRAIN2p2default433x305_P01.mat

save openMAT

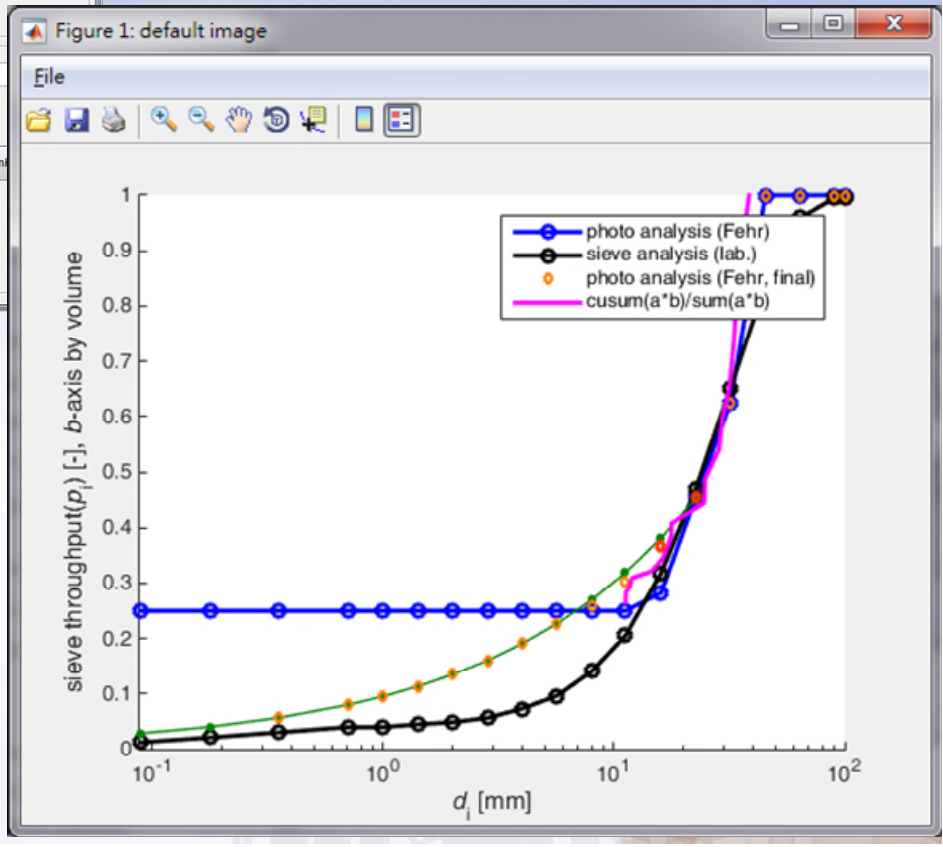
Results2GIS

result file: BASEGRAIN2p2default433x305_P01.shp

phi(WGS84) [°, ', "]:	47.00	24.00	36.00	phi(WGS84) [°]:	699999.76	checkWGS
lambda(WGS84) [°, ', "]:	8.00	30.00	20.00	lambda(WGS84) [°]:	099999.97	WGS2shp WGS2kml
h(WGS84) [m]:	500.00			h(WGS84) [m]:	600.05	
				Xy(CH1903) [m]:	699999.76	checkCH
				Yx(CH1903) [m]:	099999.97	
				h'(CH1903) [m ü.M.]:	0600.05	CH2shp

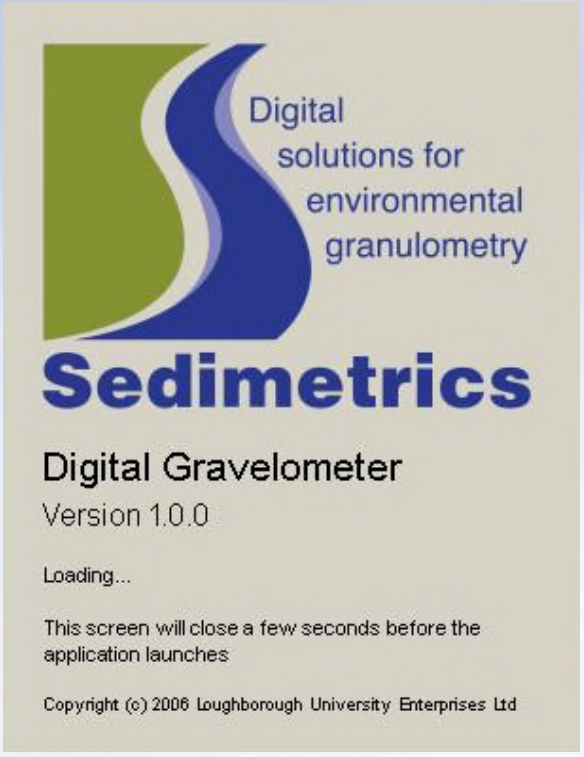
文字成果輸出

圖檔成果輸出

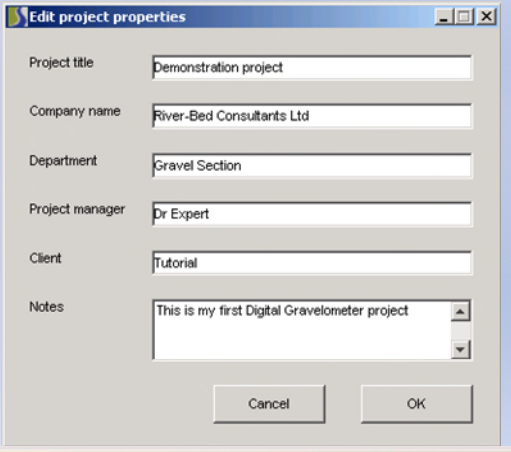


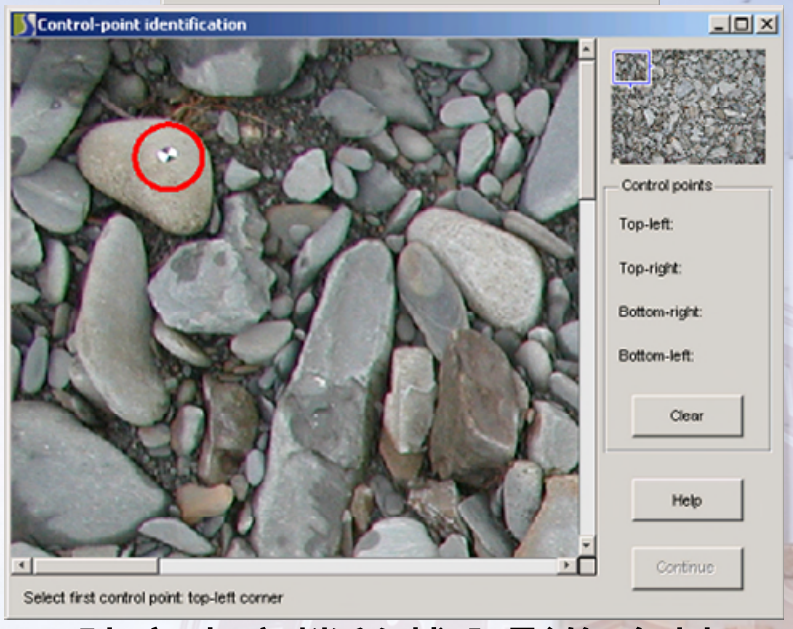
影像粒徑判釋_Digital Gravelometer

Digital Gravelometer 係由英國拉夫堡大學地理系於2005年發表之免付費影像判釋軟體。



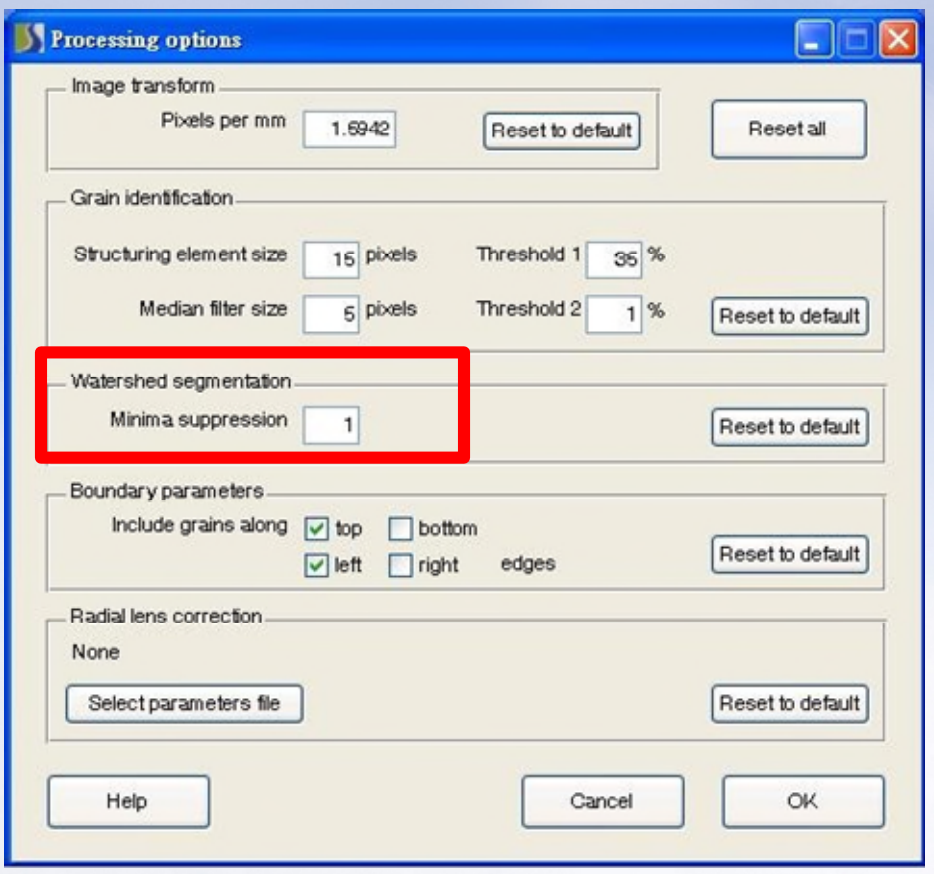
系統畫面





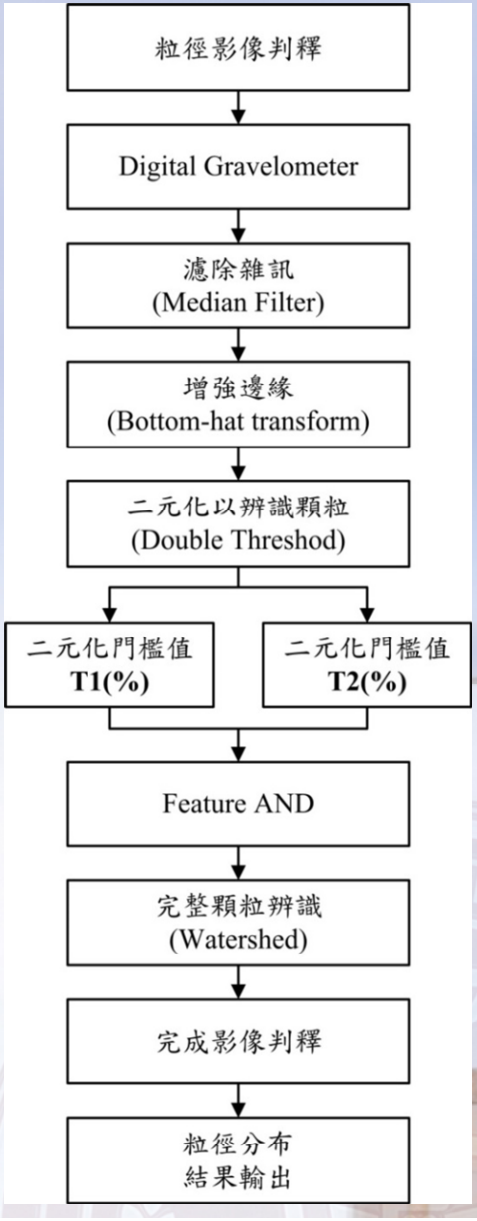
建立專案檔並載入影像資料

影像粒徑判釋_Digital Gravelometer(續)

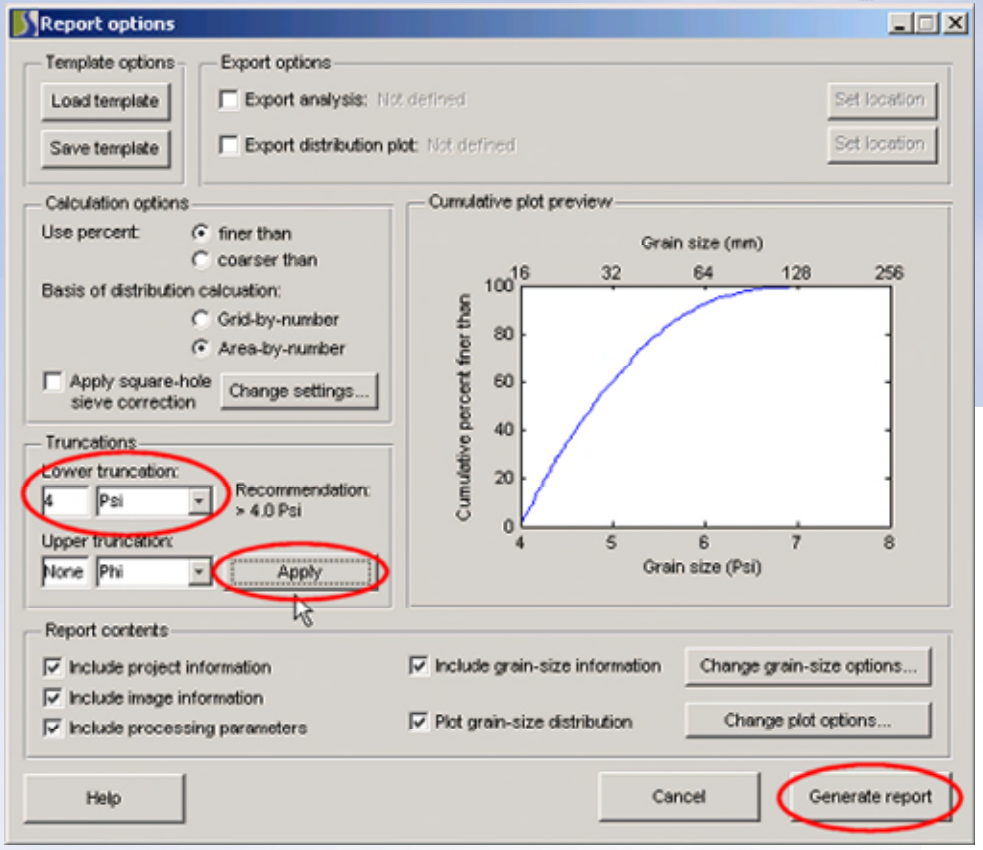


參數調整

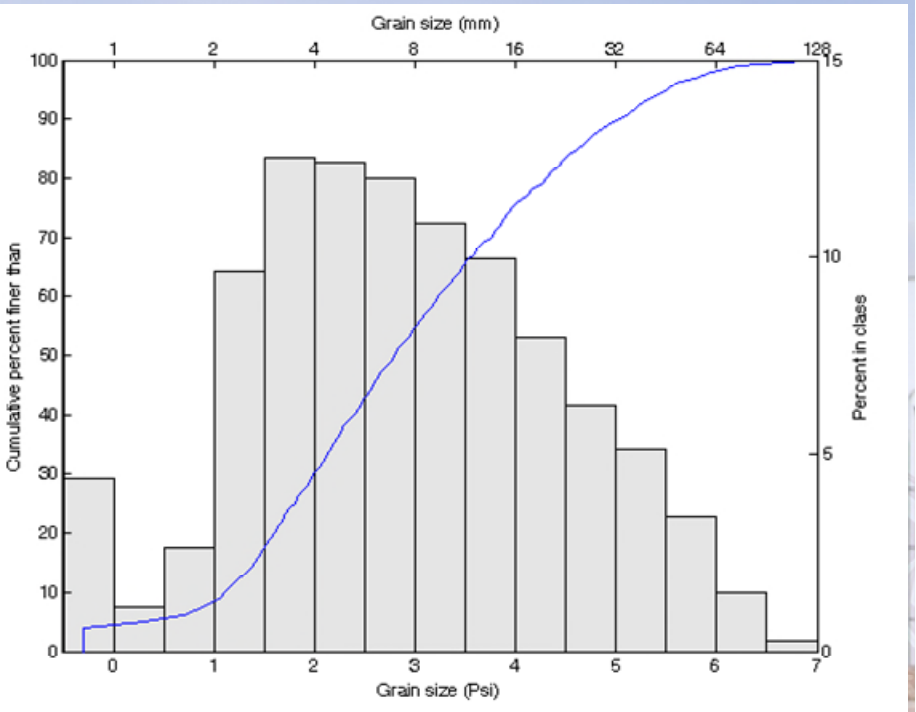
判釋成果範例



影像粒徑判釋_Digital Gravelometer(續)



成果輸出

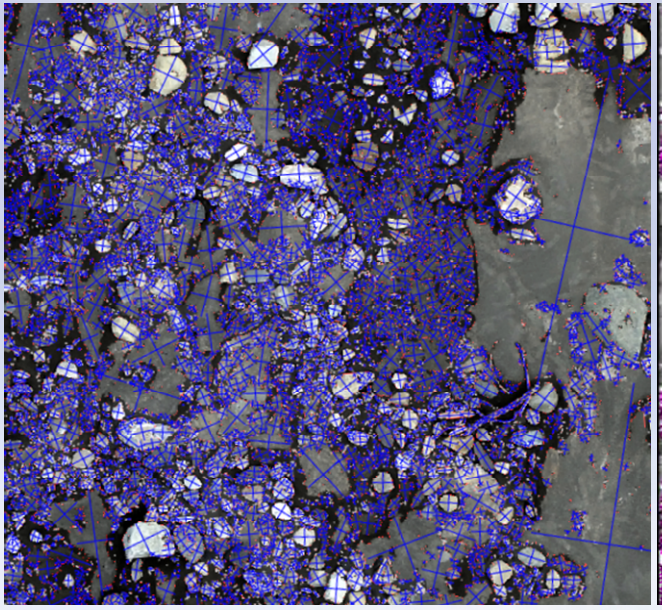


圖形輸出範例

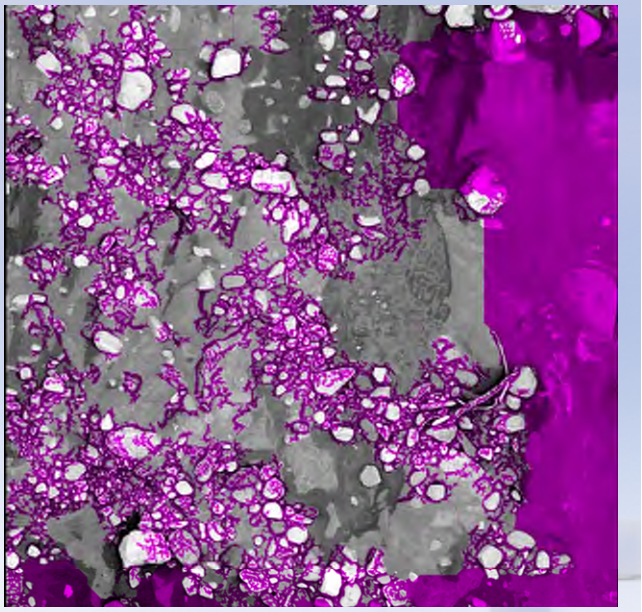
不同影像判釋軟體之比較



原始樣區(卵礫石、沙洲、水潭)



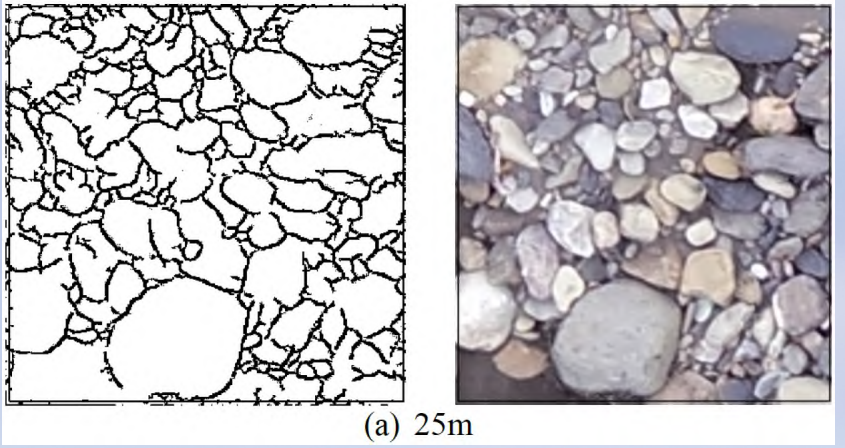
BASEGRAIN



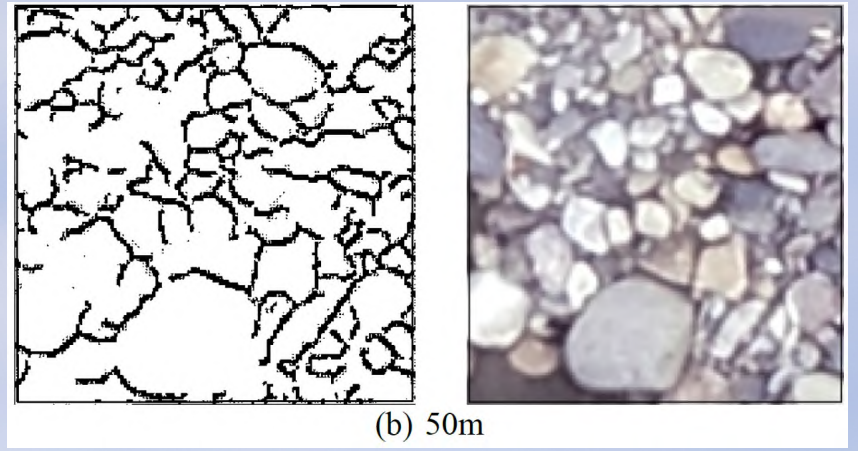
Digital Gravelometer

兩套軟體之比較結果顯示 Digital Gravelometer 比 BASEGRAIN 有更佳的影像自動判釋能力與可信賴度。因此，本計畫以Digital Gravelometer 軟體進行所有調查樣區之粒徑影像判釋分析。

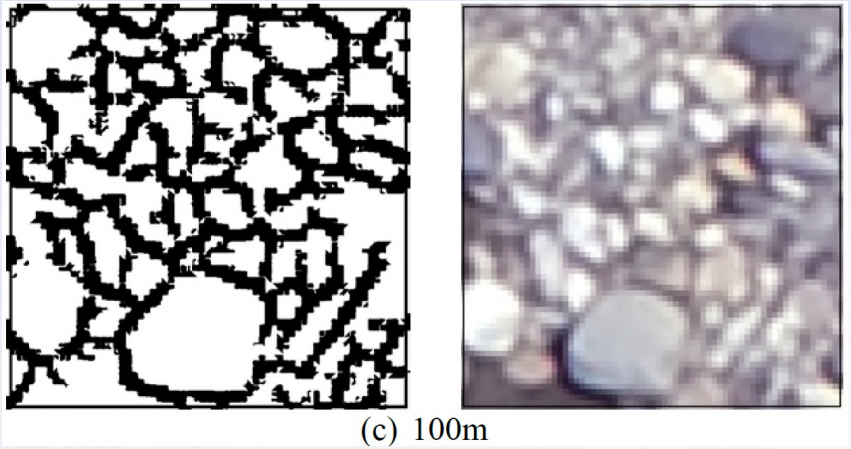
不同航高影像之最小可判釋粒徑



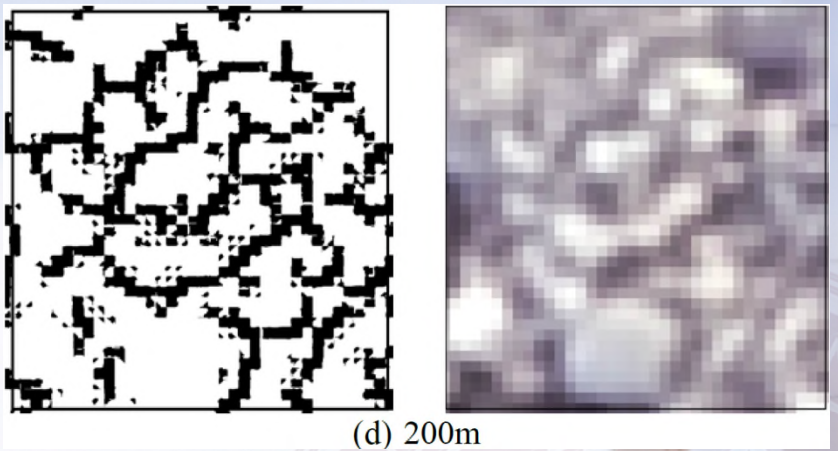
最小可判釋粒徑約為 3 公分(GSD:0.81cm)



最小可判釋粒徑約為 8 公分(GSD:1.62cm)



最小可判釋粒徑約為 15 公分(GSD:2.92cm)

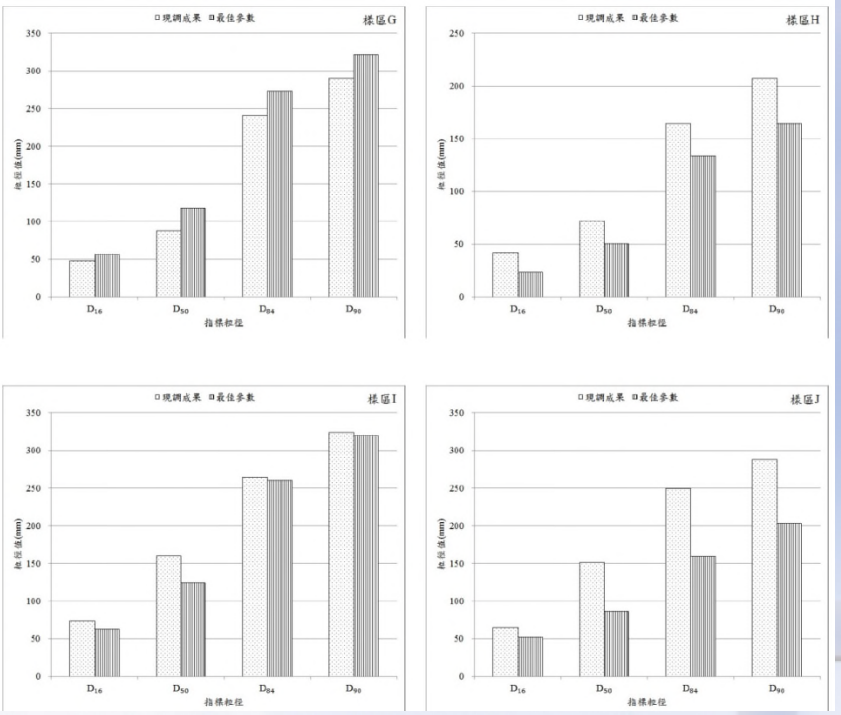


最小可判釋粒徑約為 28 公分(GSD:5.53cm)

本計畫航高範圍(25m ~ 200m)內，最小判釋粒徑大致為影像解析度之3 ~ 5倍

Digital Gravelometer 最佳影像參數檢定

本計畫以航高25公尺為對象，透過影像判釋成果與現場調查成果之**4種指標粒徑(D_{16}, D_{50}, D_{84}, D_{90})比較**來檢定各土壤特性分群裡之最佳一致性參數。4個土壤特性分群中除均勻細顆粒群外，其他3群類別皆可以採用同一組最佳參數。



粒徑分群	最佳參數群
Uniform fine	m=5 pixels，s=15 pixels，T1=35%，T2=1%，w=1
Uniform coarse	m=9 pixels，s=8 pixels，T1=35%，T2=2%，w=3
Graded	
Well-graded	

整體影像判釋成果說明_25m

分類	樣區	效率係數 CE	D16 (mm)			D50 (mm)			D84 (mm)			D90 (mm)		
			現調	影像	誤差百分比 (%)	現調	影像	誤差百分比 (%)	現調	影像	誤差百分比 (%)	現調	影像	誤差百分比 (%)
Uniform fine	A	0.97	29	21	-25.77	57	53	-6.30	133	117	-11.74	163	156	-4.58
	B	0.86	42	36	-14.68	69	64	-6.74	148	165	11.41	164	198	21.02
	C	0.94	49	33	-32.03	78	57	-26.44	159	147	-7.49	189	190	0.80
	D	0.95	36	36	0.78	66	62	-5.64	154	150	-2.63	170	194	13.80
	F	0.93	31	33	4.13	64	61	-5.79	134	134	0.43	207	171	-17.32
	H	0.80	42	23	-44.75	72	50	-30.34	164	134	-18.71	207	164	-20.85
	T	0.89	11	14	23.77	33	41	23.66	58	64	10.21	66	76	15.18
Uniform coarse	E	0.87	52	52	1.05	80	90	12.44	157	183	16.07	202	235	16.44
	G	0.93	47	57	19.78	88	118	34.15	241	273	13.27	290	322	11.07
	I	0.96	73	62	-14.92	160	125	-22.12	264	260	-1.51	324	320	-1.23
	J	0.35	65	51	-20.36	152	87	-42.84	249	159	-36.03	288	202	-29.64
	K	0.90	75	63	-15.26	160	130	-18.37	343	284	-17.30	400	347	-13.22
	P	0.82	67	63	-5.82	107	124	16.37	231	271	17.35	270	326	20.64
	S	0.82	52	53	1.93	80	92	14.95	150	178	19.27	191	226	18.24
Graded	L	0.93	29	60	106.03	83	151	82.72	307	320	4.38	365	364	-0.30
	M	0.83	56	41	-26.28	151	118	-21.48	302	238	-21.00	332	277	-16.76
	Q	0.81	16	48	202.64	68	112	65.90	172	246	43.23	296	309	4.63
Well-graded	N	0.84	25	51	102.19	112	126	11.78	371	278	-25.20	424	331	-22.03
	O	0.91	15	72	386.37	100	163	63.02	317	314	-1.07	355	358	0.94
	R	0.94	30	73	140.21	119	171	43.88	328	345	4.93	379	398	5.13

航高25m時，誤差率較大之樣區主要分布於級配較佳之Graded及Well-graded兩類，且現場調查之粒徑值大抵介於1～4公分，約略在最小可判釋粒徑值附近。

整體影像判釋成果說明_50m

分類	樣區	效率係數 CE	D16 (mm)			D50 (mm)			D84 (mm)			D90 (mm)		
			現調	影像	誤差百分比 (%)	現調	影像	誤差百分比 (%)	現調	影像	誤差百分比 (%)	現調	影像	誤差百分比 (%)
Uniform fine	A	0.98	29	38	30.48	57	61	7.95	133	137	2.65	163	175	7.64
	B	0.93	42	38	-10.09	69	71	3.46	148	166	11.81	164	185	12.90
	C	0.89	49	17	-65.56	78	59	-23.97	159	155	-2.73	189	190	0.62
	D	0.88	36	35	-2.56	66	84	27.33	154	169	9.96	170	202	18.97
	F	0.91	31	40	26.33	64	64	-0.75	134	130	-2.84	207	167	-19.37
	H	0.84	42	48	14.95	72	88	22.83	164	197	19.58	207	245	18.37
	T	0.49	11	19	69.53	33	45	38.23	58	72	23.08	66	89	35.46
Uniform coarse	E	0.74	52	46	-11.40	80	109	36.02	157	182	15.84	202	250	23.59
	G	0.85	47	68	44.26	88	128	46.05	241	278	15.48	290	341	17.46
	I	0.83	73	103	40.85	160	184	14.95	264	310	17.33	324	375	15.88
	J	0.81	65	47	-27.58	152	115	-23.91	249	203	-18.45	288	242	-16.01
	K	0.97	75	79	6.11	160	156	-2.02	343	317	-7.76	400	359	-10.23
	P	0.87	67	86	29.68	107	152	42.41	231	255	10.38	270	296	9.28
	S	0.77	[illegible]						150	186	24.73	191	213	11.67
Graded	L	0.85	29	90	210.46	83	173	109.92	307	330	7.52	365	370	1.11
	M	0.94	56	67	20.70	151	132	-12.62	302	253	-16.06	332	314	-5.59
	Q	0.51	16	73	363.28	68	139	104.81	172	282	64.15	296	341	15.19
Well-graded	N	0.88	25	72	187.34	112	144	28.50	371	300	-19.29	424	352	-17.01
	O	0.87	15	88	494.03	100	170	70.61	317	323	1.87	355	380	6.92
	R	0.87	30	100	229.86	119	195	64.17	328	344	4.69	379	396	4.47

航高50m時，隨著最小可判釋粒徑加大，因此各樣區之判釋誤差率也略為加大。

整體影像判釋成果說明_100m

分類	樣區	效率係數 CE	D16 (mm)			D50 (mm)			D84 (mm)			D90 (mm)		
			現調	影像	誤差百分比 (%)	現調	影像	誤差百分比 (%)	現調	影像	誤差百分比 (%)	現調	影像	誤差百分比 (%)
Uniform fine	A	0.92	29	17	-40.14	57	68	20.54	133	150	12.65	163	183	11.99
	B	0.87	[illegible]						148	164	10.62	164	189	15.59
	C	0.88	49	33	-31.53	78	54	-30.92	159	178	12.08	189	206	9.40
	D	0.64	36	24	-33.19	66	40	-38.85	154	195	26.74	170	216	26.96
	F	0.85	31	22	-31.27	64	84	30.06	134	178	32.99	207	223	8.06
	H	0.71	42	22	-47.94	72	120	67.39	164	191	15.98	207	349	68.48
	T	0.38	11	16	38.15	33	57	72.65	58	76	30.32	66	82	24.04
Uniform coarse	E	0.40	52	11	-77.99	80	104	30.19	157	209	32.77	202	264	30.47
	G	0.61	47	99	109.41	88	163	86.22	241	305	26.73	290	351	20.98
	I	0.69	73	136	84.53	160	203	26.62	264	330	24.93	324	362	11.64
	J	0.80	65	15	-76.61	152	95	-37.02	249	249	0.11	288	308	7.09
	K	0.93	75	129	72.36	160	202	26.29	343	348	1.20	400	400	0.09
	P	-0.28	67	128	92.04	107	202	89.21	231	336	45.79	270	382	41.35
	S	0.33	52	18	-64.60	80	81	1.54	150	209	39.77	191	250	30.99
Graded	L	0.53	29	135	364.97	83	228	175.87	307	361	17.83	365	417	14.17
	M	0.88	56	112	100.33	151	186	23.71	302	326	7.91	332	366	10.16
	Q	0.54	16	83	428.45	68	149	120.49	172	269	56.46	296	321	8.55
Well-graded	N	0.84	25	104	313.74	112	189	67.97	371	325	-12.55	424	365	-13.91
	O	0.40	15	152	923.60	100	242	142.00	317	385	21.47	355	433	21.90
	R	0.81	30	124	307.89	119	204	71.55	328	334	1.57	379	369	-2.44

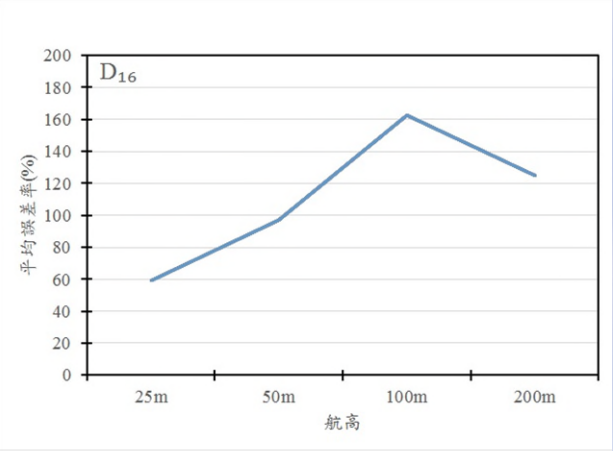
航高100m時，多數D_{16}及D_{50}之誤差率大於30%。

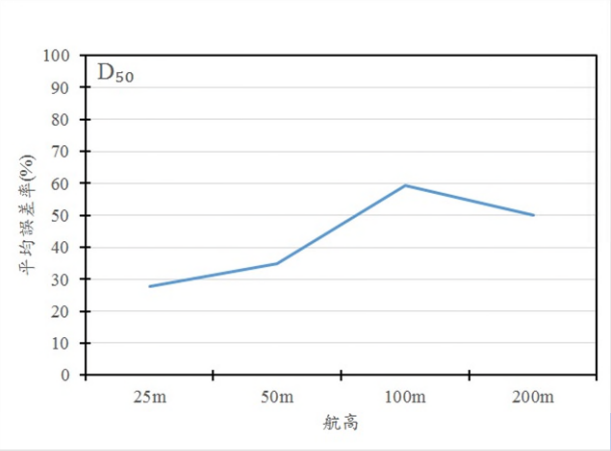
整體影像判釋成果說明_200m

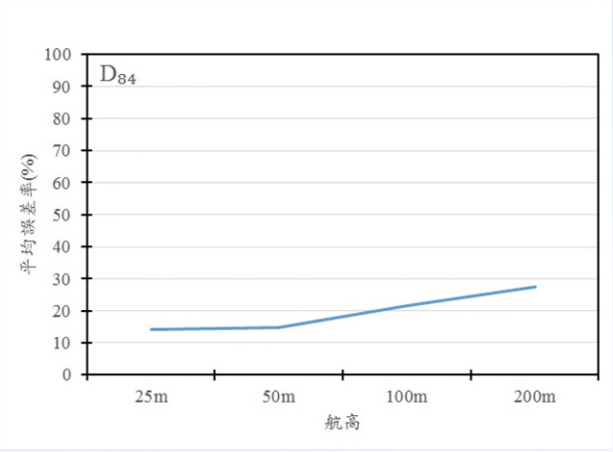
分類	樣區	效率係數 CE	D16 (mm)			D50 (mm)			D84 (mm)			D90 (mm)		
			現調	影像	誤差百分比 (%)	現調	影像	誤差百分比 (%)	現調	影像	誤差百分比 (%)	現調	影像	誤差百分比 (%)
Uniform fine	A	0.88	29	35	20.37	57	51	-9.84	133	139	4.24	163	200	22.53
	B	0.72	42	23	-45.06	69	86	24.27	148	179	20.84	164	201	22.89
	C	0.72	49	18	-62.87	78	46	-41.27	159	125	-21.55	189	212	12.20
	D	0.85	36	24	-33.04	66	96	46.19	154	148	-3.94	170	198	16.61
	F	0.91	31	38	21.01	64	58	-9.40	134	168	25.85	207	223	8.08
	H	0.75	42	52	23.36	72	104	44.93	164	199	20.89	207	253	22.17
	T	0.07	11	23	101.74	33	49	49.84	58	77	32.49	66	97	47.32
Uniform coarse	E	0.47	52	10	-79.82	80	56	-30.81	157	206	31.03	202	256	26.81
	G	0.54	47	48	2.24	88	59	-33.15	241	149	-38.15	290	191	-34.03
	I	0.33	73	49	-32.98	160	110	-31.03	264	177	-32.96	324	204	-36.89
	J	0.29	65	19	-69.98	152	56	-63.36	249	319	28.25	288	360	25.03
	K	0.78	75	142	89.60	160	249	56.34	343	385	12.15	400	433	8.32
	P	0.50	67	95	43.39	107	153	43.05	231	298	29.28	270	352	30.21
	S	0.47	52	64	23.95	80	78	-2.70	150	207	38.41	191	245	28.52
Graded	L	0.67	29	125	329.96	83	211	155.68	307	340	10.74	365	379	3.75
	M	1.00	56	60	7.26	151	158	4.71	302	290	-3.83	332	337	1.33
	Q	-1.50	16	146	824.85	68	248	265.62	172	387	125.43	296	434	46.73
Well-graded	N	0.82	25	111	341.95	112	199	76.82	371	325	-12.42	424	361	-14.88
	O	0.70	15	54	262.60	100	101	1.33	317	210	-33.68	355	246	-30.76
	R	0.82	30	57	86.36	119	134	12.64	328	246	-24.97	379	293	-22.52

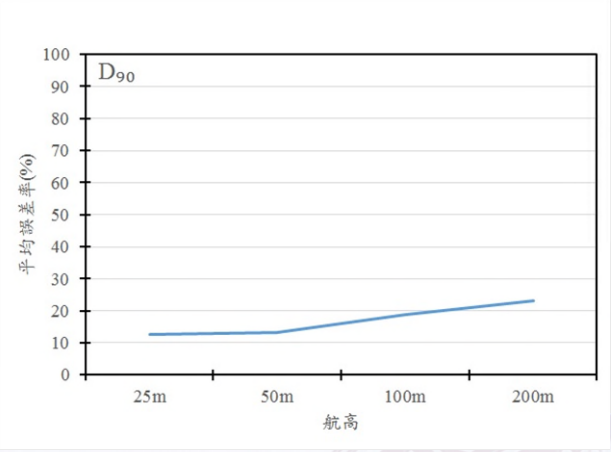
航高200m時，大致呈現與航高100m類似之誤差率分布。

不同航高之判釋誤差率變化







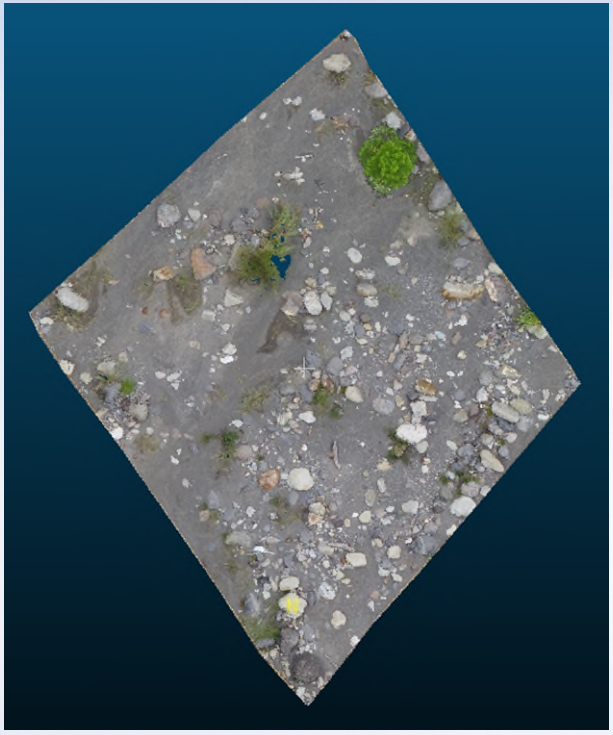


各指標粒徑之平均**判釋誤差率皆隨航高增加而加大**，其中 D_{16}及D_{50}之平均判釋誤差率從航高100公尺到200公尺雖略有下降，但因誤差率仍屬偏高之範圍。

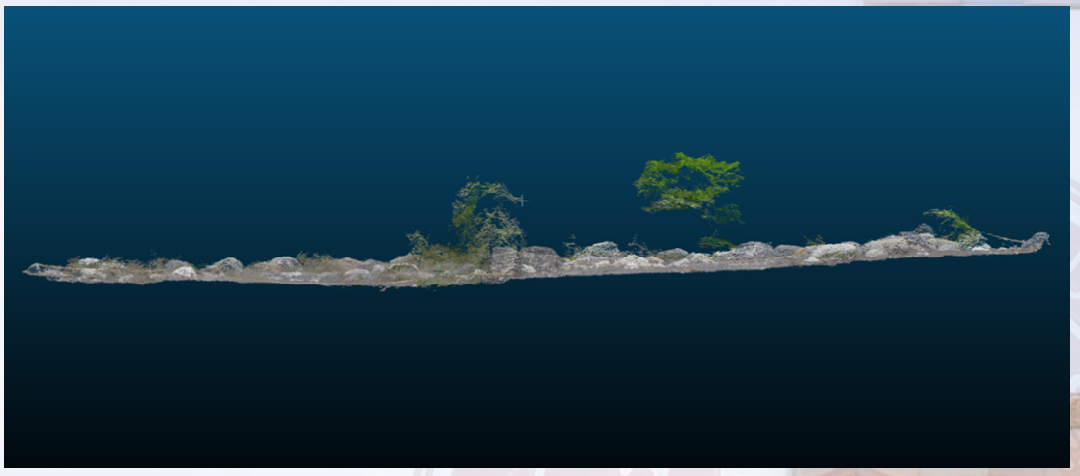
點雲糙度特性分析指標粒徑

點雲資料前處理：

原始點雲在進行糙度分析之前需先將點雲之**離群值**(outlier values)及**植生範圍**之點雲濾除，離群值可透過設定河床表層點雲高度之合理分布範圍加以濾除，至於植生範圍之點雲資料，本計畫利用**綠度指數**(Greeness)作為初步篩選植生覆蓋區域之依據。

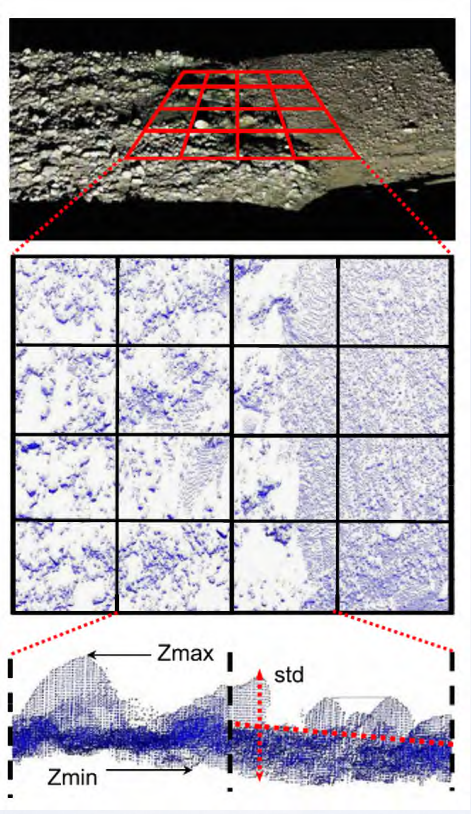


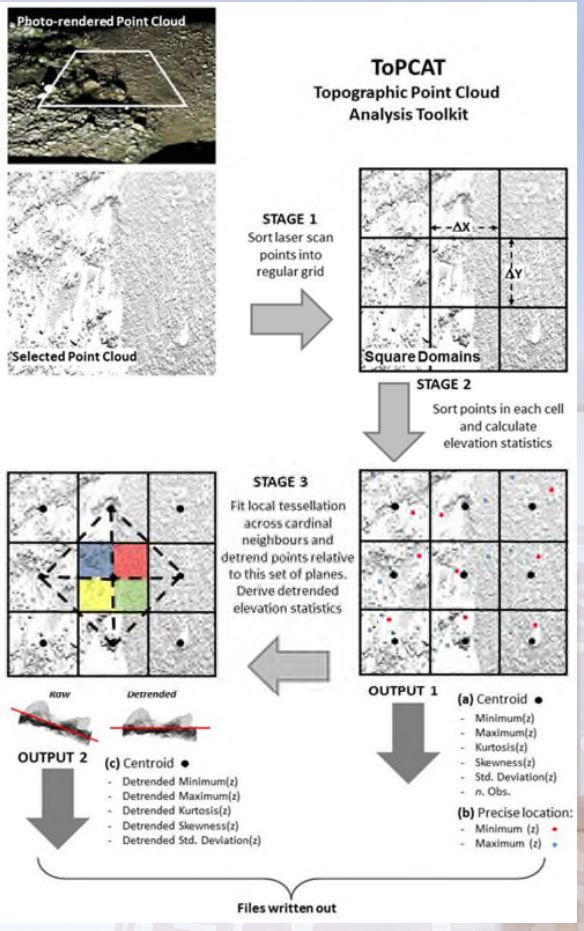
$$\text{Greeness} = \frac{G - R}{G + R}$$



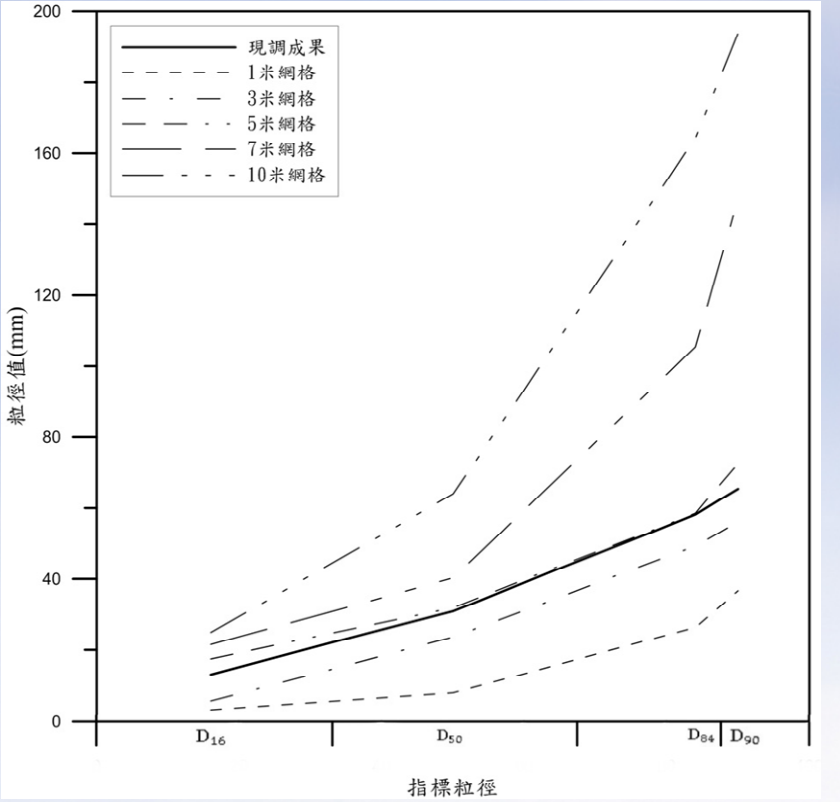
點雲糙度特性分析指標粒徑

點雲之糙度特性係指在一特定尺寸網格區域內之點雲高程偏差σ_z。然而當點雲分布於**非平坦河床**時，**標準偏差可能受到地形坡度影響而未能合適反映河床糙度特性**，因此在分析過程需去除地形坡度趨勢之影響(detrend)。

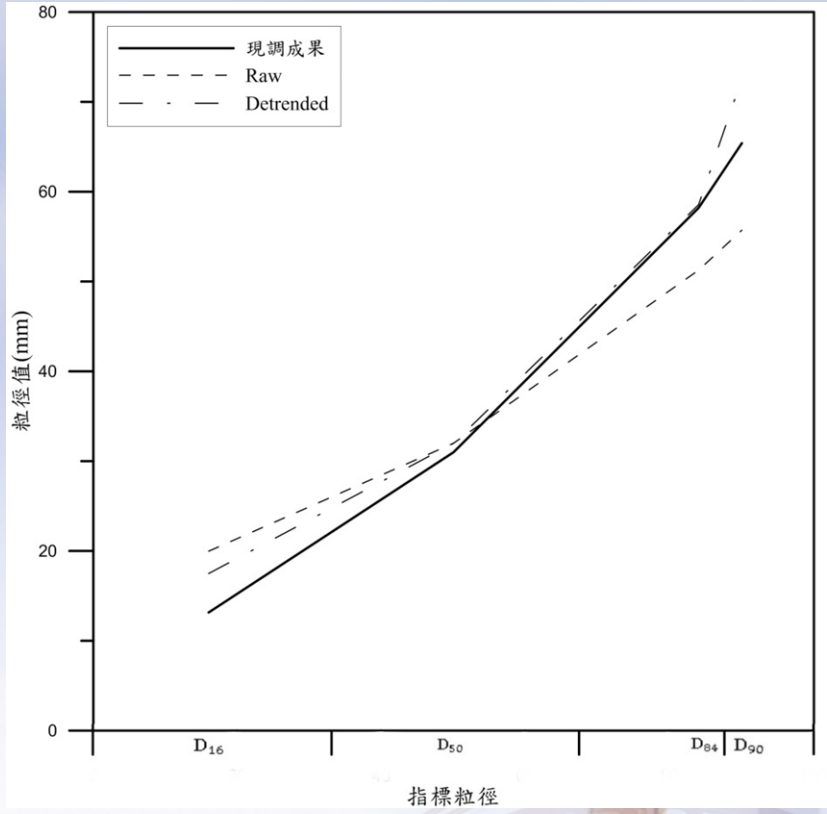




點雲糙度特性分析指標粒徑



不同移動網格視窗之分析比較



有無去除地形坡度趨勢之分析比較

測試分析結果顯示5公尺之移動視窗網格尺寸分析成果最接近現調結果，因此本計畫採用**5公尺網格**且**去除地形坡度趨勢**分析20個調查樣區。

整體點雲判釋成果說明_25m

分類	樣區	效率係數 CE	D16 (mm)			D50 (mm)			D84 (mm)			D90 (mm)		
			現調	點雲	誤差百分比 (%)	現調	點雲	誤差百分比 (%)	現調	點雲	誤差百分比 (%)	現調	點雲	誤差百分比 (%)
Uniform fine	A	0.92	29	34	17.79	57	52	-8.33	133	121	-8.88	163	136	-16.73
	B	0.86	42	25	-40.69	69	64	-7.08	148	164	10.72	164	194	18.36
	C	0.78	49	37	-24.11	78	65	-17.28	159	131	-17.46	189	146	-22.70
	D	0.64	36	40	11.45	66	68	3.30	154	105	-31.58	170	123	-27.76
	F	0.93	31	40	28.54	64	69	6.74	134	123	-8.02	207	175	-15.37
	H	0.64	42	80	90.77	72	128	78.08	164	205	24.78	207	223	7.53
	T	0.96	11	17	53.31	33	32	-2.73	58	59	0.31	66	73	10.02
Uniform coarse	E	0.93	52	47	-8.89	80	71	-11.52	157	141	-10.21	202	176	-13.12
	G	0.87	47	56	18.61	88	104	19.06	241	208	-13.64	290	228	-21.40
	I	0.98	73	75	2.01	160	164	2.51	264	264	0.06	324	294	-9.26
	J	0.98	65	70	8.11	152	168	10.85	249	265	6.49	288	283	-1.72
	K	0.69	75	74	-0.65	160	166	4.32	343	257	-25.08	400	281	-29.76
	P	0.92	67	64	-4.42	107	94	-11.96	231	203	-12.07	270	235	-12.94
	S	0.73	52	47	-8.48	80	130	62.82	150	138	-7.82	191	167	-12.44
Graded	L	0.95	29	31	8.00	83	91	10.10	307	284	-7.41	365	308	-15.68
	M	0.86	56	69	24.05	151	167	11.13	302	250	-17.32	332	269	-19.03
	Q	0.95	16	28	76.41	68	81	19.01	172	177	3.00	296	253	-14.39
Well-graded	N	0.69	25	27	5.82	112	129	15.02	371	251	-32.41	424	283	-33.21
	O	0.89	15	26	76.28	100	114	14.48	317	268	-15.61	355	278	-21.75
	R	0.88	30	38	24.65	119	142	19.70	328	265	-19.29	379	308	-18.70

就個別指標粒徑之誤差率來看，在屬於較小顆粒D_{16}之 方面，20個調查樣區有15個樣區誤差率小於30% ，在D_{50}, D_{84}, D_{90}較大粒徑方面，點雲分析之掌握程度頗佳。

兩種判釋分析方法之比較

分類	樣區	D_{16} (mm)		D_{50} (mm)		D_{84} (mm)		D_{90} (mm)	
		影像分析結果誤差(%)	點雲分析結果誤差(%)	影像分析結果誤差(%)	點雲分析結果誤差(%)	影像分析結果誤差(%)	點雲分析結果誤差(%)	影像分析結果誤差(%)	點雲分析結果誤差(%)
Uniform fine	A	-25.77	17.79	-6.30	-8.33	-11.74	-8.88	-4.58	-16.73
	B	-14.68	-40.69	-6.74	-7.08	11.41	10.72	21.02	18.36
	C	-32.03	-24.11	-26.44	-17.28	-7.49	-17.46	0.80	-22.70
	D	0.78	11.45	-5.64	3.30	-2.63	-31.58	13.80	-27.76
	F	4.13	28.54	-5.79	6.74	0.43	-8.02	-17.32	-15.37
	H	-44.75	90.77	-30.34	78.08	-18.71	24.78	-20.85	7.53
	T	23.77	53.31	23.66	-2.73	10.21	0.31	15.18	10.02
Uniform coarse	E	1.05	-8.89	12.44	-11.52	16.07	-10.21	16.44	-13.12
	G	19.78	18.61	34.15	19.06	13.27	-13.64	11.07	-21.40
	I	-14.92	2.01	-22.12	2.51	-1.51	0.06	-1.23	-9.26
	J	-20.36	8.11	-42.84	10.85	-36.03	6.49	-29.64	-1.72
	K	-15.26	-0.65	-18.37	4.32	-17.30	-25.08	-13.22	-29.76
	P	-5.82	-4.42	16.37	-11.96	17.35	-12.07	20.64	-12.94
	S	1.93	-8.48	14.95	62.82	19.27	-7.82	18.24	-12.44
Graded	L	106.03	8.00	82.72	10.10	4.38	-7.41	-0.30	-15.68
	M	-26.28	24.05	-21.48	11.13	-21.00	-17.32	-16.76	-19.03
	Q	202.64	76.41	65.90	19.01	43.23	3.00	4.63	-14.39
Well-graded	N	102.19	5.82	11.78	15.02	-25.20	-32.41	-22.03	-33.21
	O	386.37	76.28	63.02	14.48	-1.07	-15.61	0.94	-21.75
	R	140.21	24.65	43.88	19.70	4.93	-19.29	5.13	-18.70
誤差平均值(%)		59.44	26.65	27.75	16.80	14.16	13.61	12.69	17.09

D_{16}及D_{50}兩種較小顆粒指標粒徑，密點雲分析結果之平均誤差率大約只有影像分析結果的一半(D_{16}：影像59.44%，點雲26.65%； D_{50}：影像27.75%，點雲16.8%)，顯示密點雲在較小顆粒材料判釋上之優勢；至於D_{84}及D_{90}兩種較大粒徑，兩者有約略相近的判釋品質(D_{84}：影像14.16%，點雲13.61%； D_{90}：影像12.69%，點雲17.09%)

結論

1. 依據不同航高產製正射影像之粒徑區隔效果比較，在本計畫的航高範圍(25m ~ 200m)內，利用影像分析之**最小判釋粒徑大致為影像解析度之3 ~ 5倍**。
2. 依據航高25公尺各土壤特性分群裡之最佳一致性參數檢定成果，4個土壤特性分群中除均勻細顆粒群外，其他3群類別皆可以採用同一組最佳參數。
3. 判釋品質受到影像解析度影響甚鉅，**判釋誤差率較高**之粒徑區間**主要集中在最小可判釋粒徑值附近範圍**，且不同指標粒徑之平均判釋誤差率隨航高增加而加大。
4. 本研究利用航拍產製密點雲之糙度特性來推估指標粒徑，成果顯示利用**5公尺移動視窗**空間分析單元且**去除地形坡度趨勢影響**後之表層糙度，可分析出較佳品質之河床指標粒徑。

結論

5. 綜合影像判釋及密點雲糙度特性兩種分析方法比較可知，在航高25公尺的條件下，約介於**數公分範圍之中小粒徑尺寸**，**密點雲分析結果之平均誤差率大約只有影像分析結果的一半**，顯示密點雲在較小顆粒材料判釋上之優勢；至於**數十公分之較大粒徑範圍，兩者的判釋品質約略相近**。

建議

1. 本計畫對於現場河床表層粒徑調查之作業程序方法與規範係依照國際慣例並以優於水土保持技術規範之規定來進行，惟由於影像判釋或點雲判釋皆係以全區樣本進行分析，因此建議對於現場河床表層粒徑調查之測線縱向及橫向間距可採用比目前1公尺更小之採樣間距來進行現場調查，以便作為影像粒徑判釋分析及密點雲粒徑分析之檢定比較基準。
2. 影像粒徑分析之判釋正確性雖明顯受到不同航高產製影像解析度影響外，航拍時之環境光源條件是否能讓粒徑顆粒與周邊物體形成較明顯之色差對比亦為影像判釋品質之關鍵因素。建議後續可進一步探討不同之日照光源條件下，相同航高之無人機航拍產製影像的粒徑判釋品質比較。

建議

3. 利用密點雲分析河床表層粒徑之關鍵因素除不同航高產製密點雲之空間解析度外，對於**點雲雜訊**及**植生覆蓋**位置點雲之濾除亦為重點課題。建議後續可進一步**利用垂直向度解析度及植生穿透性更佳之無人機空載光達產製之密點雲**，探討應用於分析河床表層粒徑之可行性。

109年度工作方向

- 109年度之計畫工作重點，首先在現場表層粒徑之調查方面，進一步**縮小測線間距及採樣間距**，增加粒徑採樣顆粒數，以提升現場調查成果之代表性；在航拍產製影像方面，嘗試探討**不同日照光源條件**下航拍影像之粒徑判釋品質比較。在密點雲應用分析指標粒徑方面，則在既有影像產製點雲優異之水平密度條件下，進一步**結合垂直向度精度及植生穿透性更佳之無人機空載光達產製之密點雲**，期能進一步提升密點雲在河床表層粒徑判釋分析之能力。

109年度計畫目標

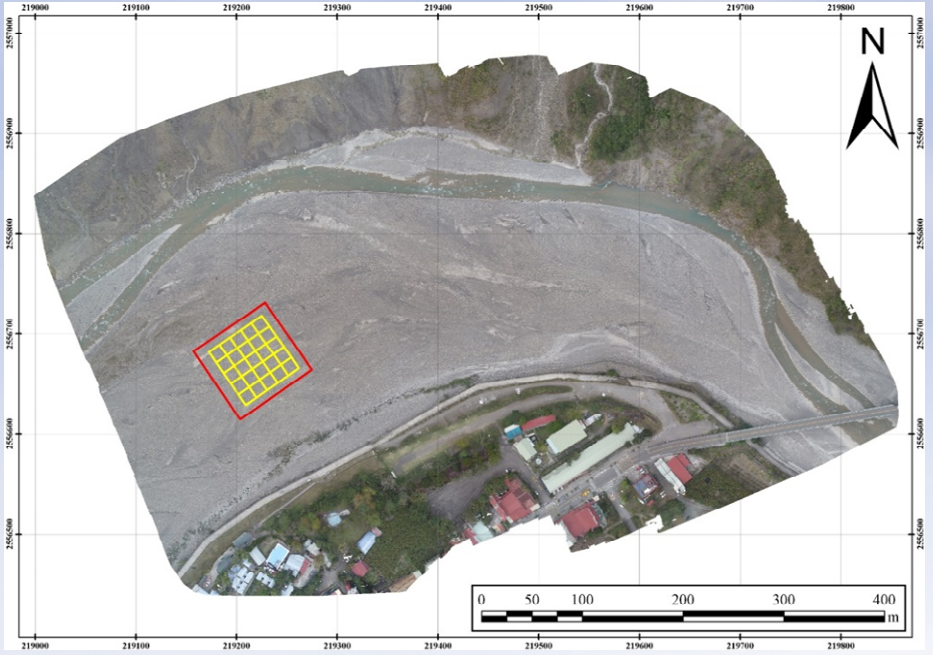
- 完成研究區域山區河段之表層粒徑**現場調查分析**，以作為影像粒徑判釋分析及密點雲粒徑分析之**驗證比較依據**。
- 利用顆粒影像分析軟體進行**不同日照角度UAV影像**之河床材料判釋分析，探討日照光線對影像判釋成果之影響。
- 結合具**水平密度優勢**之UAV**影像產製三維密點雲**，及**垂直精度優勢**之UAV**光達產製三維密點雲**進行河床指標粒徑分析。
- 結合本研究河床表層粒徑調查方法、影像粒徑判釋及密點雲粒徑分析方法，初步研擬**無人機在河床表層粒徑分析之作業手冊草案**。

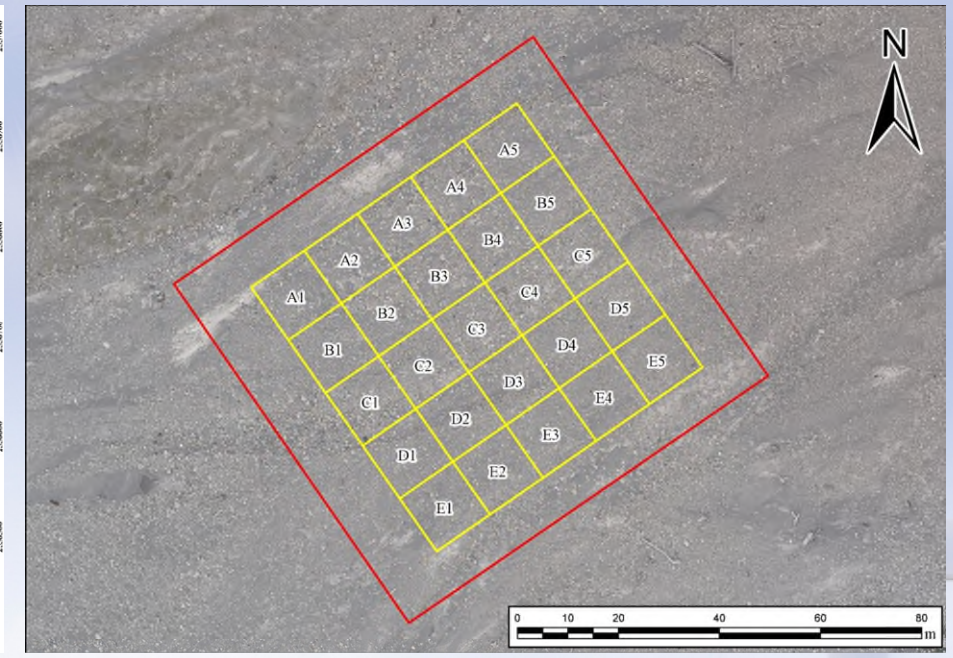
109年度工作架構


山區研究河段篩選
不同日照光源UAV航拍
表層粒徑現場調查
正射影像產製
三維點雲產製
調查樣區劃設定位
影像粒徑判釋
Digital Gravelometer
離群變異值濾除
粒徑顆粒彙整統計
影像對比強化
及參數測試
點雲統計特性分析
(影像點雲+光達點雲)
粒徑分布曲線
指標粒徑判釋
(D16, D50, D84, D90)
指標粒徑分析
(D16, D50, D84, D90)
指標粒徑
(D16, D50, D84, D90)
分析成果綜合比較
1.航拍光源對影像判釋之影響
2.較適統計分析移動視窗尺寸
3.影像點雲結合光達點雲之成效
4.不同判釋方法之比較
無人機在河床表層粒徑分析
之作業手冊草案初擬

109年度計畫階段成果

現場表層粒徑調查





調查範圍為約65m x 65m之正方形範圍，測線縱向及橫向皆採用0.5公尺之採樣間距，總撿拾河床材料粒徑數約為16,900顆。在65m x 65m之正方形調查範圍進一步劃分25個13m x 13m之樣區網格，各樣區之撿拾粒徑數約為676顆，即使為1公尺之採樣間距，撿拾粒徑數亦有169顆，皆已遠大於Wolman (1954)建議之現場撿拾取樣值100顆。

109年度計畫階段成果

不同採樣間距(0.5m, 1m)之比較

特徵粒徑	D_{16} (mm)			D_{50} (mm)			D_{84} (mm)			D_{90} (mm)		
樣區	0.5m	1.0m	誤差(%)	0.5m	1.0m	誤差(%)	0.5m	1.0m	誤差(%)	0.5m	1.0m	誤差(%)
A1	13	13	-1.56	37	37	0.94	121	104	-14.28	163	137	-16.26
A2	15	14	-9.44	51	47	-7.51	171	153	-10.46	222	204	-7.99
A3	24	25	1.05	60	65	6.75	211	230	8.87	264	296	12.12
A4	23	21	-8.07	73	72	-0.44	176	172	-1.90	217	214	-1.32
A5	17	20	20.91	53	60	14.05	154	168	9.08	193	216	12.28
B1	33	33	0.45	79	76	-4.56	171	168	-1.61	207	202	-2.46
B2	23	20	-11.30	72	71	-1.13	217	229	5.32	284	313	10.47
B3	21	20	-4.40	67	67	-0.12	213	217	2.16	271	294	8.44
B4	26	26	2.22	71	66	-6.70	173	170	-2.09	224	221	-1.21
B5	25	23	-7.12	75	73	-2.64	159	162	1.80	200	205	2.34
C1	38	40	2.76	108	111	2.10	267	279	4.43	326	327	0.42
C2	33	33	-0.49	85	81	-4.19	226	232	2.36	286	289	0.96
C3	41	44	8.44	101	107	5.86	252	254	1.06	310	312	0.83
C4	48	46	-4.29	98	92	-6.47	236	237	0.32	282	288	2.32
C5	45	45	0.65	101	96	-4.35	230	220	-4.19	283	268	-5.10
D1	27	27	-1.24	82	82	0.13	212	216	1.47	250	254	1.64
D2	30	30	-0.41	88	89	0.62	207	211	1.96	246	250	1.77
D3	26	25	-2.46	77	74	-2.98	179	178	-0.14	241	237	-1.71
D4	29	28	-2.01	71	69	-2.16	158	152	-3.41	194	192	-0.65
D5	29	28	-5.13	67	68	1.09	145	142	-2.08	175	170	-2.46
E1	10	10	-0.58	39	38	-3.90	133	120	-9.69	172	158	-7.77
E2	10	10	1.48	32	34	4.69	146	138	-5.41	193	180	-6.92
E3	14	15	7.06	37	36	-3.45	112	119	6.36	164	179	9.37
E4	18	19	7.50	56	58	2.95	125	134	6.75	160	163	2.08
E5	22	22	-0.49	57	57	-0.77	121	124	1.79	162	167	3.24

25個調查樣區共**100個誤差值數值**，其中91個誤差值絕對值皆在10%以內，7個誤差值絕對值介於10% ~ 15%之間，**僅有2個誤差值絕對值介於15% ~ 20%之間**。因此依據Wolman (1954)建議之1公尺採樣間距，以及至少100顆採樣數目應該即足以獲得具現地代表性之調查成果。

109年度計畫階段成果

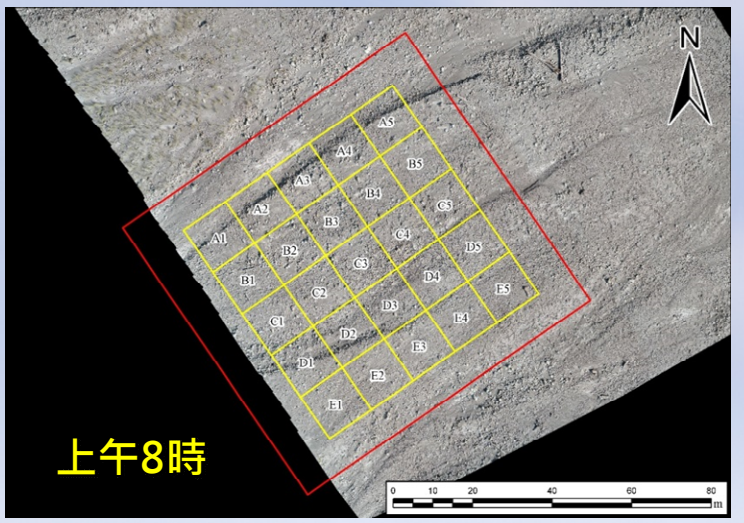
粒徑級配分類

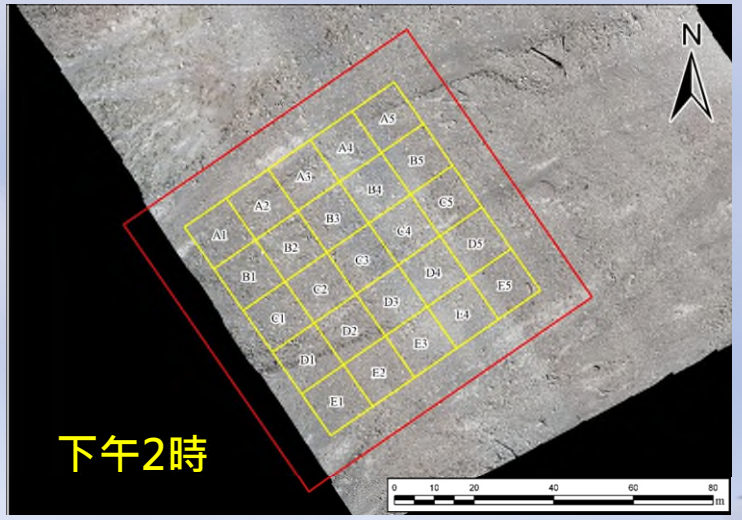
- **均勻細顆粒**(7區)：A1、A3、B4、D4、D5、E3、E5
- **均勻粗顆粒**(5區)：B1、C2、C3、C4、C5
- **級配好**(13區)：A2、A4、A5、B2、B3、B5、C1、D1、D2、D3、E1、E2、E4

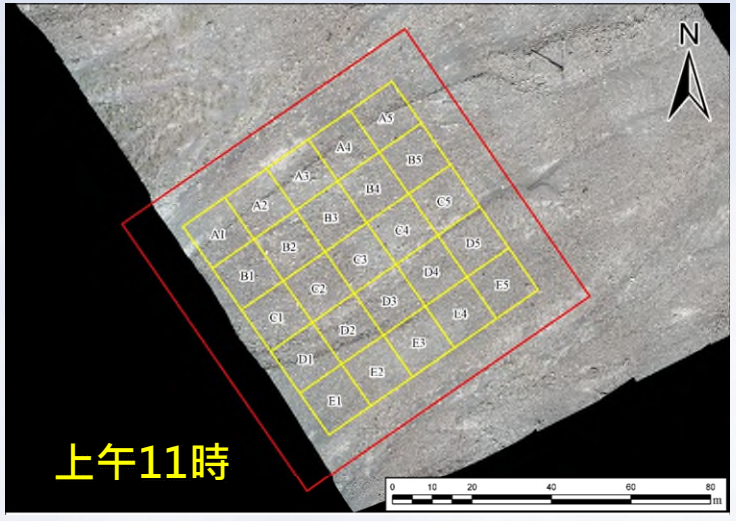
樣區	D_{60} (mm)	D_{50} (mm)	D_{30} (mm)	D_{10} (mm)	C_u	分群名稱
A1	49	37	22	10	4.96	Uniform fine
A2	73	51	26	12	6.35	Graded
A3	76	60	38	19	4.09	Uniform fine
A4	89	73	43	15	5.96	Graded
A5	72	53	32	12	6.28	Graded
B1	96	79	51	24	4.04	Uniform coarse
B2	89	72	42	15	5.82	Graded
B3	82	67	37	15	5.66	Graded
B4	86	71	42	19	4.61	Uniform fine
B5	90	75	50	15	5.88	Graded
C1	142	108	71	24	5.97	Graded
C2	108	85	53	23	4.64	Uniform coarse
C3	127	101	67	29	4.43	Uniform coarse
C4	127	98	70	36	3.55	Uniform coarse
C5	123	101	68	34	3.65	Uniform coarse
D1	103	82	47	18	5.77	Graded
D2	110	88	55	19	5.71	Graded
D3	89	77	44	17	5.19	Graded
D4	83	71	44	18	4.58	Uniform fine
D5	80	67	44	20	3.98	Uniform fine
E1	58	39	16	8	7.68	Graded
E2	48	32	14	8	5.95	Graded
E3	45	37	22	11	4.17	Uniform fine
E4	70	56	32	13	5.42	Graded
E5	70	57	36	17	4.16	Uniform fine

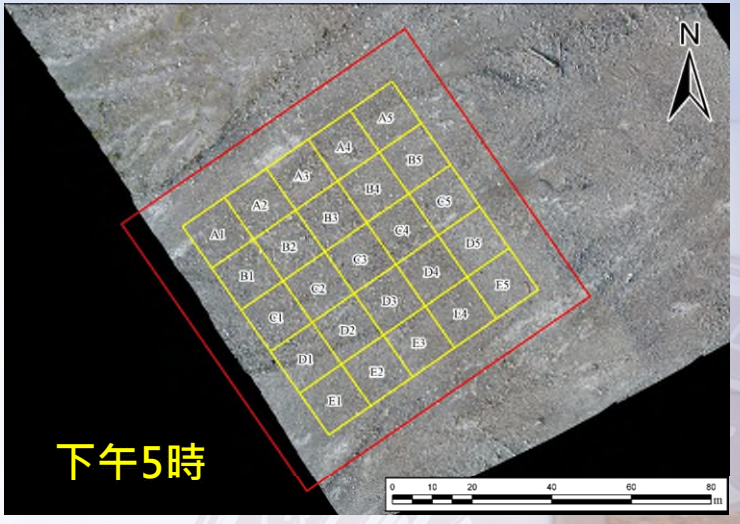
109年度計畫階段成果

無人機航拍正射影像成果







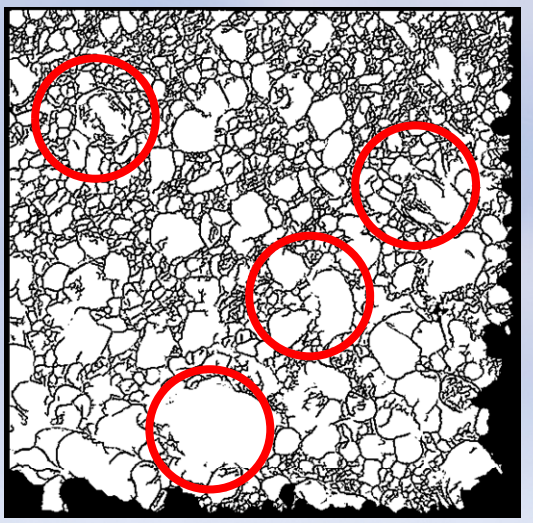


航拍規劃四種不同光源(8時、11時、14時、17時)，航高則規劃為25公尺，影像地面解析度(Ground Sample Distance, GSD)約為0.65公分。

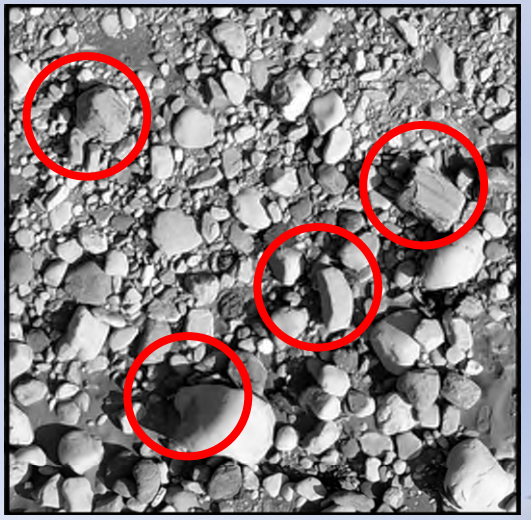
109年度計畫階段成果

不同光源之影像判釋比較

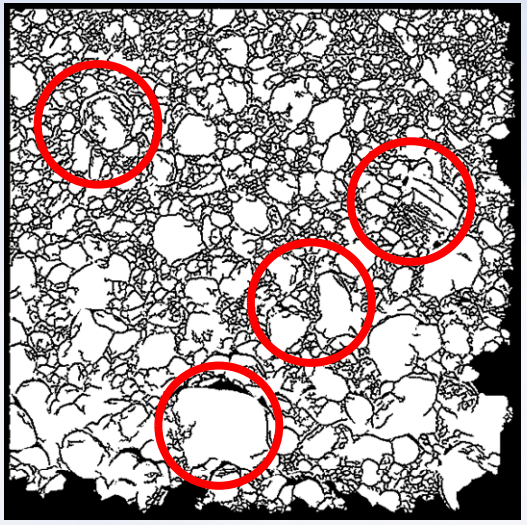
上午8時



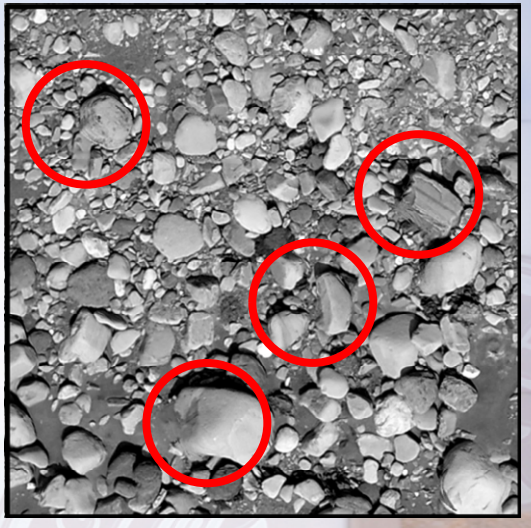
上午8時



上午11時



上午11時



陽光斜射時，大顆粒背陽側較大之陰影範圍對於顆粒本身判釋切割，以及位於陰影範圍之小顆粒判釋不利影響較大。

109年度計畫後續工作

- 另兩種光源(下午2時及下午5時)之指標粒徑影像判釋，以及**四種光源之綜合比較**分析。
- 影像點雲之指標粒徑分析，以及結合影像點雲及光達點雲之指標粒徑分析。
- 結合本研究河床表層粒徑調查方法、影像粒徑判釋及密點雲粒徑分析方法，初步研擬**無人機在河床表層粒徑分析之作業手冊草案**。

簡報完畢,敬請指教!