

# 應用地面式光達技術於防砂壩淤砂量估算與監測

## —以里仁溪整治二期鋼製自由框防砂壩為例

吳孟姍<sup>[1]\*</sup> 胡子威<sup>[1]</sup> 黃振全<sup>[2]</sup> 洪政義<sup>[2]</sup> 陳富明<sup>[2]</sup>

程碧輝<sup>[3]</sup> 郭展榮<sup>[1]</sup>

**摘要** 位於屏東縣牡丹鄉的牡丹水庫，年平均土砂淤積量約 20 萬立方公尺，為有效防阻大量土砂下移，減少水庫淤積量，同時降低溪床坡度，本工程於水庫上游右岸支流里仁溪建造鋼製自由框的透過性壩，此設計乃防災與生態維持並重之野溪治理新工法。

本工程於防砂壩上、下游採用全波形地面式雷射掃描儀進行地形測量，其即時全波形分析（Online Full Waveform）技術於植生覆蓋區可獲得多重回波，紀錄地表點機率遠高於非全波形光達，有助於取得高精度數值高程模型（DEM）。本工程於 2016 年 4 月辦理汛期前測量，並依據下游第一期防砂壩淤砂坡度推估本工程淤砂容積；於 2016 年 8 月辦理颱風後測量，計算實際淤砂坡度及淤砂量，藉由光達監測量化本工程防砂效益。

**關鍵詞：**光達、三維地面式雷射掃描儀、即時全波形分析、鋼製自由框防砂壩、淤砂量

## Terrestrial LiDAR Techniques Applied to Sediment Volume Estimation and Monitor -A Case of Open type steel dam at Liren Creek

Meng-Shan Wu<sup>[1]\*</sup> Tzu-Wei Hu<sup>[1]</sup> Chen-Chuan Huang<sup>[2]</sup> Cheng-Yi Hung<sup>[2]</sup>  
Fu-ming Chen<sup>[2]</sup> Bi wei Chen<sup>[3]</sup> Chan-Jung Kuo<sup>[1]</sup>

**ABSTRACT** Open type steel structure dam located at Liren Creek in Pingtung is built to sand control and prevent deposits within Mudan reservoir accretion. This study applied the terrestrial LiDAR techniques to carry out topography survey in April and August, 2016, after typhoon. The 3D terrestrial laser scanner with online full waveform we adopt record multiple target, is contribute to deal with object classification. LiDAR survey produce 3D point cloud and digital elevation model (DEM) with 0.5M resolution to estimate the capacity of steel dam and analyze sediment volume changes after pouring rain or typhoon. Engineering profit evaluation of open type steel structure dam based on LiDAR data.

**Key Words :** LiDAR (Light Detection And Ranging) , 3D Terrestrial Laser Scanner, Online Full Waveform, Open type steel structure dam, Sediment Volume

[ 1 ] 峰騰測繪股份有限公司

Fantasy Survey Co., Ltd., Kaohsiung 813, Taiwan

[ 2 ] 行政院農委會水土保持局臺南分局

Tainan Branch, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan

[ 3 ] 剴盛工程顧問有限公司

Kai-Sheing Engineering Consultants Co.,LTD.

\* Corresponding Author. E-mail: jallyjuice.survey@gmail.com.tw

## 一、前言

位於屏東縣牡丹鄉的牡丹水庫，年平均土砂淤積量約 20 萬立方公尺，為有效防阻大量土砂下移，減少水庫淤積量，同時降低溪床坡度，本工程在國內首開先例設計建造鋼製自由框的透過性壩，此種設計的特點為組裝、拆解簡易，可迅速調整或拆除構造物，降低對環境的衝擊，另外多孔性的橫向構造物設施，可過濾細微懸浮物質，淨化水質，還給水庫清澈的水質環境。此設計乃防災與生態維持並重之野溪治理新工法。

為掌握並量化本工程對於攔阻土砂直接進入水庫的功效，了解實際的淤砂坡度及淤砂量，採用光達（Light Detection And Ranging, LiDAR）技術獲取完整數值地形資料，能計算可容納之淤砂量，並藉由後續監測了解颱風或豪雨事件之後實際淤砂，作為工程效益評估參考。

## 二、研究區域概述

本工程鋼製自由框的透過性壩位（圖 1）於水庫上游里仁溪約 2.1 公里處（圖 2）。



圖 1 里仁溪整治二期鋼製自由框防砂壩



圖 2 里仁溪整治二期位置圖

## 三、調查與分析方法

本工程於 105 年 04 月 25 日採用地面式光達 (LIDAR) 測量, 取得里仁溪 1 號壩至 2 號壩及 2 號壩上游約 2.5 公里之 3D 點雲, 經處理可計算淤砂容積與坡度, 並於 105 年 8 月 25 日監測後續地形變化。方法與流程 (圖 3) 說明如下:

### 1. 控制測量

作為本區測量基準, 平面坐標基準採用二度分帶橫梅式投影 TWD97 (2010) 坐標系統。引用本測區起點佳洛峒橋旁內政部 101 年公告三等衛星控制點 TP31, 坐標如表 1。高程由 GNSS 定位系統解算之橢球高, 經由內政部 103 年 6 月 4 日台內地字第 1030178307 號公告最新臺灣地區大地起伏模型成果轉換至 TWVD2001 正高系統。

表 1 三等衛星控制點 TP31 坐標

點號	點名	二度分帶縱坐標	二度分帶橫坐標	橢球高	水準正高
TP31	茄芝路北	2450686.019	227282.223	175.31	152.444

於測區分布控制點, 以供光達掃描布設規標 (圖 4) 使用, 平面坐標以三等衛星控制點 TP31 為基準, 應用即時衛星動態定位 (RTK-GPS) 技術進行控制點觀測 (圖 5), 為控管 GPS 接收品質, 只接受公分級的原始觀測資料進行統計, 並剔除仰角小於 10 度的衛星訊號。控制點間高程以直接水準檢核其相對高差, 結果以  $<7\text{mm}/\sqrt{k}$  為檢核標準。

### 2. 光達測量 (圖 6)

光達以雷射光束從發射至返回接收的時間來計算光束發射點與物體間距離, 間接取得點坐標。地面光達施測時測站分布與掃描模式選擇, 考量現地地形、點雲接合方式、掃描儀至待測物距離、掃描對象重點等進行調整, 現地測量方式分述如下:

- (1) 測站分布: 本次光達測量於河道測站間距 100~150m, 於二號攔砂設施加密測站掃描。
- (2) 掃描測線間距: 點雲密度受測線間距影響, 可依成果需求調整掃描儀旋轉角度, 本測區設定測線間距主要為 0.04 度 (部分視現況調整為 0.06 度), 單一測站點密度距掃描儀中心會向外遞減, 點距與密度可參考表。而整體空間掃描為多測站疊合之成果, 故依本測量規劃, 密度約 80~100 點/平方公尺。

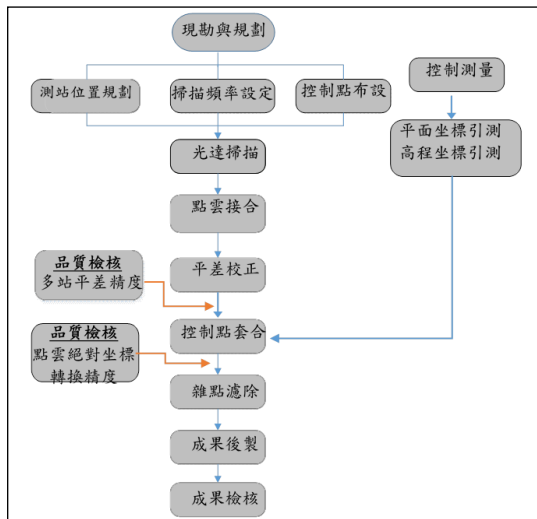


圖 3 地面光達作業流程



圖 4 於控制點布設反光規標



圖 5 即時衛星動態定位測量 (RTK-GPS)



圖 6 光達測量

表 單一測站點距與密度表

掃描旋轉角度	待測物距離 (m)	50	100	150	200	300
0.04	點距 (cm)	3.5	7.0	10.5	14.0	20.9
	密度 (pts/m)	820	205	91	51	22
0.06	點距 (cm)	5.2	10.5	15.7	20.9	31.4
	密度 (pts/m)	364	91	40	22	10

### 3. 光達多站平差 (Multi Station Adjustment) 與控制坐標套合

- (1) 點雲接合：各測站之點雲資料接合方式包括反光標共軛點 (Tiepoint) 對應接合、特徵點接合、地形擬合等。
- (2) 多站平差 (Multi Station Adjustment)：各站點雲法向量計算，以迴圈收斂計算方式，進行多站平差校正，可使接合誤差最小。平差計算所求得多站接合標準差值，可作為相對精度之指標。2016 年 4 月光達點雲相對誤差分布在 0.1cm~1.9cm (圖 7)。
- (3) 絕對坐標 (TWD97) 套合轉換誤差  
 由 RTK-GNSS 及水準測量檢核，測定控制點坐標。作為坐標轉換依據，2016 年 4 月光達點雲絕對坐標標準差為 6.4cm (圖 8)。

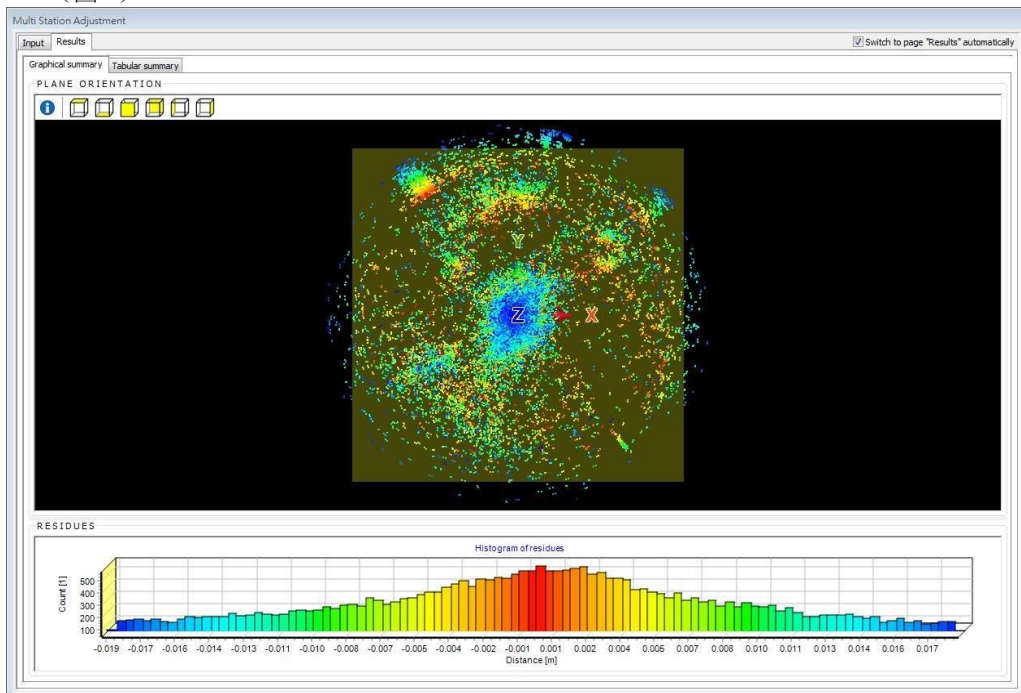


圖 7 光達多站平差誤差分布圖

Corresponding tiepoints:		3	Avg. radial deviation [m]:	0.0268													
Standard deviation [m]:		0.0614	Avg. theta deviation [m]:	0.0372													
			Avg. phi deviation [m]:	0.0027													
Name	Link	Ref.	RefType	Size	X	Y	Z	Height	$\sigma_X$	$\sigma_Y$	$\sigma_Z$	mean X	mean Y	mean Z	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
160408_pos005_114812_mon_Reflector_0_1	MD02_common	1	RIEGL Flat 5 cm	0.00	63.611	-22.367	179.287	-0.217	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.217	0.068	-0.022	0.002
160408_pos104_112127_mon_Reflector_0_1	MD01_common	1	RIEGL Flat 5 cm	0.00	27.177	-78.920	183.440	-0.217	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.217	0.009	0.011	-0.001
160408_pos116_153007_mon_Reflector_0_1		1	RIEGL Flat 5 cm	0.00	96.347	67.543	179.545	-0.217	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	n.v.	n.v.	n.v.
160408_pos118_161907_mon_Reflector_0_1		1	RIEGL Flat 5 cm	0.00	-100.036	335.479	183.490	-0.217	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.217	n.v.	n.v.	n.v.
160419_pos003_132630_mon_Reflector_0_1		1	RIEGL Flat 5 cm	0.00	325.108	224.639	190.852	-0.217	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.217	n.v.	n.v.	n.v.
160419_pos006_140418_mon_Reflector_0_1		1	RIEGL Flat 5 cm	0.00	322.745	458.864	191.099	-0.217	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.217	n.v.	n.v.	n.v.
160419_pos009_154506_mon_Reflector_0_1		1	RIEGL Flat 5 cm	0.00	86.402	409.873	187.566	-0.217	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.217	n.v.	n.v.	n.v.
160419_pos010_160317_mon_Reflector_0_1		1	RIEGL Flat 5 cm	0.00	25.182	380.539	187.131	-0.217	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.217	n.v.	n.v.	n.v.
160420_pos016_112741_mon_Reflector_0_1		1	RIEGL Flat 5 cm	0.00	-515.768	-186.927	170.799	-0.217	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.217	n.v.	n.v.	n.v.
160518_pos001_122747_mon_Reflector_0_1	MD03_air	1	RIEGL Flat 5 cm	0.00	-198.988	13.294	174.930	-0.217	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.217	-0.077	0.011	-0.001

圖 8 點雲絕對坐標標準差

4. Riegl 掃瞄儀全波形回波即時分析 (Online Full Waveform) 與植被分離作業

Riegl 雷射掃瞄儀會紀錄不同物體反射之波形，待測物反射回波特性不同，可自動分類，便於分辨地表點 (圖 9)。相較於傳統測量，邊坡與植被叢生區多為人員不易到達、多為無法到達之位置，往往以極少數測點或臆測方式測製地表高程，產製之數值地形與現況失真。以光達 (LIDAR) 測量方式則能取得高密度測點，並快速將地表與植被點雲進行分類。

5. 0.5M 數值高程模型 (DEM) 製作

光達 (LIDAR) 點雲經分類處理後，取得地面點，將離散之點雲資料轉變為連續之網格式數值資料，稱為數值高程模型 (Digital elevation model, DEM)。使用最近鄰演算法 (Natural Neighbour, 將點雲資料內插為 0.5M 數值高程模型，並計算 3D 等高線 (圖 10)。

6. 可淤砂容積計算

以 2016 年 4 月之光達測量空庫地形為基礎，依里仁溪一期工程 (1 號壩) 完工後淤砂坡度為 0.6% 坡度，再由二期工程攔砂壩溢洪口頂往上游計算 0.6% 坡度，以估算因砂量。

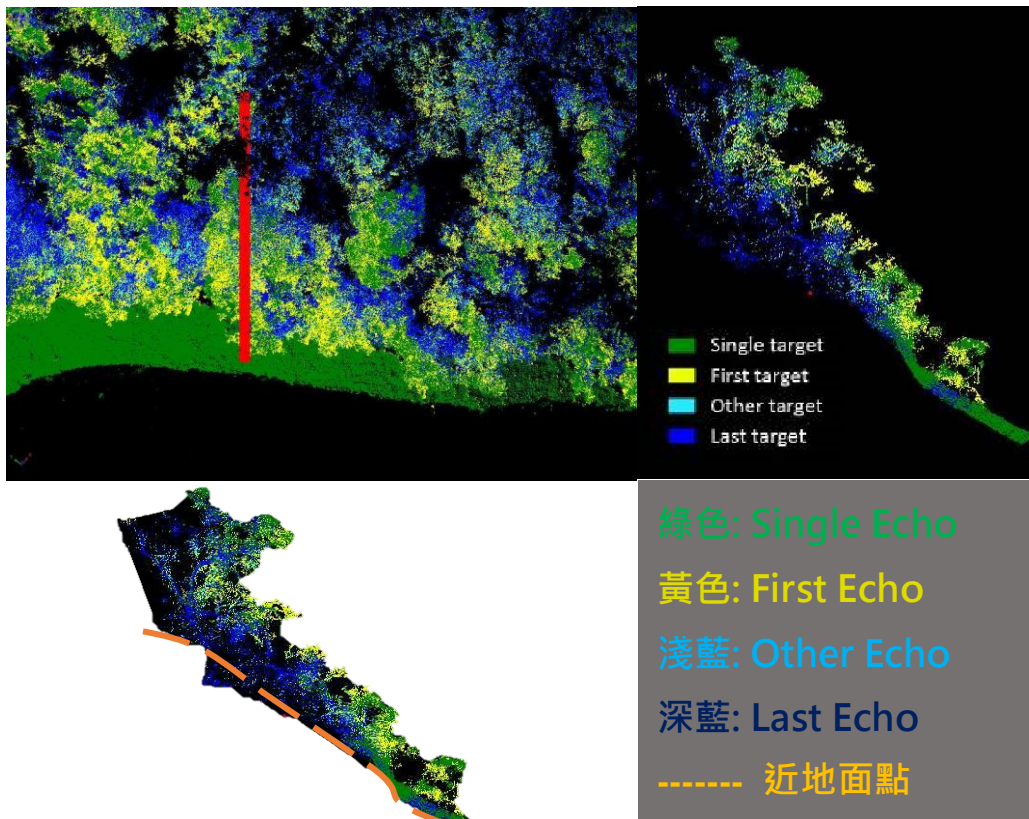


圖 9 Riegl 掃瞄儀全波形回波即時分析與植被分離

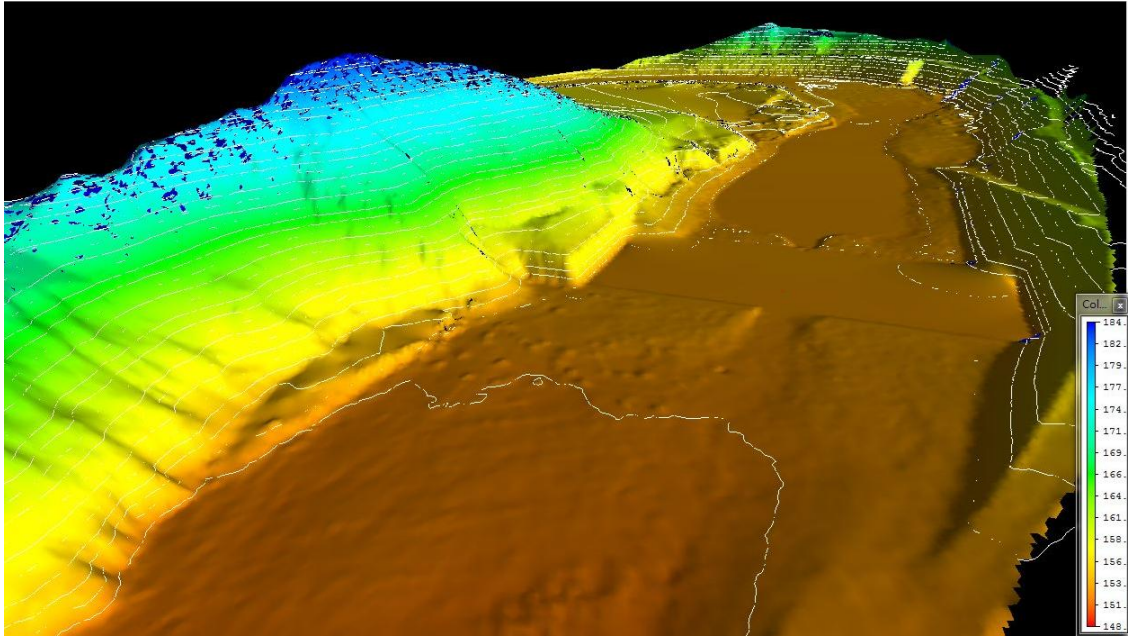


圖 10 數值高程模型 (0.5Mx0.5M 網格精度)

#### 7. 地形變化侵淤計算

由兩期測製之數值高程模型 (DEM)，經 GIS 分析套疊比對後可得高程變化圖，以呈現沖蝕量 (負值)、淤積量 (正值) 及其分布，由每個網格之正負值定義色彩呈現，大於 0 者 (即藍色)，表堆積量；小於 0 者 (即紅色)，表沖蝕量，並考量測量及數值地形模型產製等誤差，高程變化小於 0.05 公尺之網格設定為白色，該網格之變化量不計 (圖 11)。

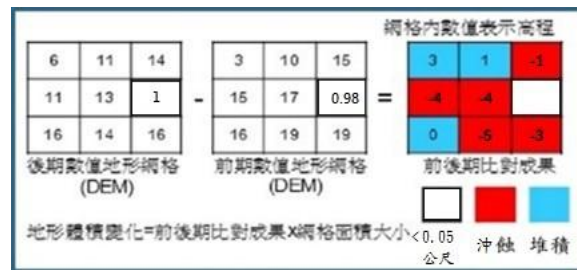


圖 11 高程 (侵淤) 變化圖之表示法

## 四、結果與討論

### 1. 3D 點雲成果：

本研究採用 Riegl VZ 系列三維雷射掃描儀，除可獲得高密度點雲 (80~100 點/平方公尺) 以外，掃描儀上方搭載一台 1200 萬畫素的 Nikon D700 相機。可於各站掃描時直接進行 360 度環景拍照，獲取各站現況照片資訊，並可由照片中每個像素的 RGB 值賦予每個測點資料 RGB 屬性成為真實色彩點雲，將本工程完工進行 3D 典藏 (圖 13)。相較於傳統測量方式，此方式在河道兩岸邊坡，能克服人工採點易達性低的困難；相較於空載光達，可取得高密度點雲，大幅提高數值高程模型之精度。

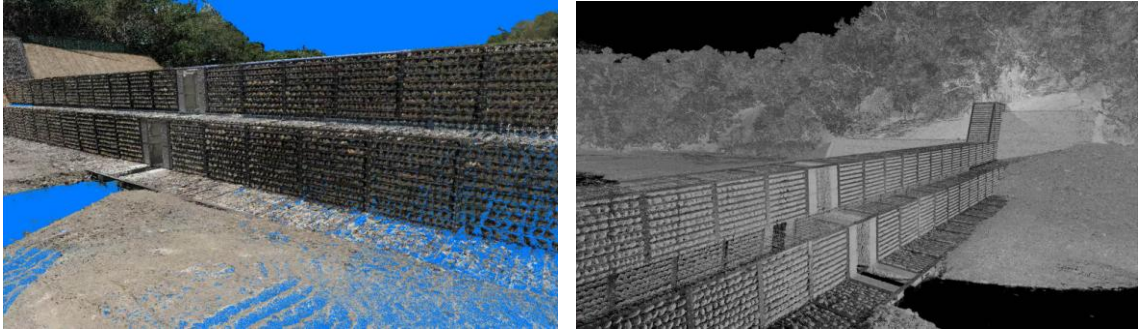


圖 13 光達 3D 點雲成果。左為真實色彩點雲呈現，右為點雲依反射強度值呈現。

2. 2016 年 4 月 25 日光達測量防砂壩空庫地形，淤砂容量推算結果：

依第一期工程（一號防砂壩）之淤砂坡度 0.6%，採用 2016 年 04 月光達測量產製之 0.5 公尺精度之數值高程模型計算本工程（二號防砂壩）自溢洪口頂淤砂容積以淤砂坡度 0.6% 計算，可得淤砂因砂量為 129000 立方公尺，如計算鬆方量後為 155,500m<sup>3</sup>，範圍如圖 14，可淤砂之範圍自溢洪口往上游約 1 公里。

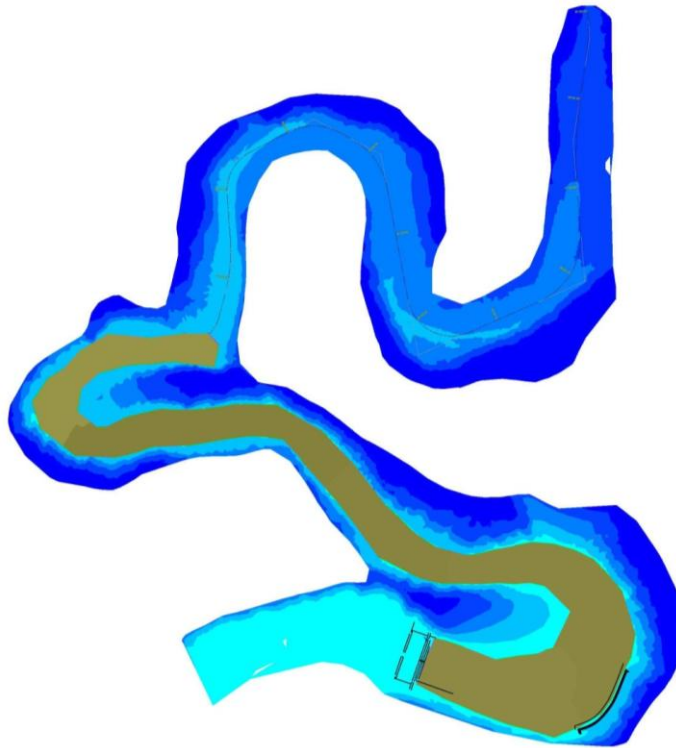


圖 14 以 0.6% 淤砂坡度估算之淤砂範圍

3. 2016 年 8 月份豪雨後實際淤砂量計算

本研究於 8 月份豪雨(>500mm)後，於 8 月 25、8 月 26 日進行第二期光達測量，因河道現場退水情況，本次監測範圍自溢洪口至二號壩上游 765 公尺。由第二期光達測繪數值高程模型，計算實際淤砂量及土砂沖淤變化結果如圖 15 所示，溪床淤積高度約 0.8~1 公尺不等，自溢洪口至二號壩上游 765 公尺實際淤砂量為 29047.87 立方公尺。

計算目前實際淤沙量與空庫計算之可淤沙量之比值為 0.19，故約有 80% 之淤沙容積，有待後續監測，更進一步評估本工程之使用年限與工程效益。

牡丹2號防砂壩上游溪床侵淤變化圖  
(105年4月25~8月25日)



圖 15 2016 年 8 月份豪雨後土砂變化

## 參考文獻

- [1] 行政院農業委員會水土保持局臺南分局(2010)，大梅溪等集水區整體治理調查規劃成果報告書。
- [2] 吳孟姍、陳國威、黃振全(2013)，地面式三維雷射掃瞄於野溪地形監測之應用--以屏東縣來社溪上游段為例，2013 年中華水土保持學會年會及學術研討會論文。
- [3] 程碧輝、黃振全、洪政義、陳富明(2016)，鋼製自由框壩應用於水庫集水區防砂之探討—以里仁溪整治二期為例，104 年度集水區保育成果發表會。