

以影像分析技術導入水土保持結構物巡檢

邵品翔(1) 蕭宇伸(2)

摘 要

本研究以智慧型手機獲取影像，透過自製程式計算並標示影像中可能為裂縫之位置，以客觀角度呈現水土保持構造物損壞程度，以降低人為因素造成的評估誤差。研究中採用三種影像分析方法進行裂縫判釋，分別為卷積法、灰階值總量法與灰階值梯度法，三種方法皆為影像分析常見之方法。影像資料選用道路和混凝土擋土牆等常見構造物。結果顯示，論成果完整性以灰階值總量法最佳，若以計算效率作為考量，灰階值梯度法較佳。本研究提出之裂縫偵測方法，期望能降低人為巡檢構造物可能產生(關鍵詞：裂縫、卷積法、灰階值總量法、灰階值梯度法)之判釋誤差，以提升整體水土保持結構物巡檢效率與準確性。

(關鍵詞：SBAS-InSAR、GNSS、垂直地表位移、雲林)

Introducing Image Analysis Technology for Soil and Water Conservation Structure Inspection.

Pin-Hsiang Shao (1) Yu-Shen Hsiao (2)

ABSTRACT

This study uses smartphones to capture images, and through self-developed program, calculates and marks possible crack locations in the images, presenting the extent of damage to soil and water conservation structures from an objective perspective, thereby reducing assessment errors caused by human factors. Three image analysis methods are employed in the study: convolution, grayscale value summation, and grayscale value gradient. All three methods are common approaches in image analysis. Common structures such as roads and concrete retaining walls are selected for the image data. The results show that grayscale value summation provides the best results in terms of accuracy, while grayscale value gradient is more efficient in terms of computation. The crack detection method proposed in this study aims to reduce interpretational errors that may arise from manual inspections of structures, thereby enhancing the overall efficiency and accuracy of inspections for soil and water conservation structures.

(**Key word** : Cracks, Convolution method, Total gray value method, Gray value gradient method.)

(1) 國立中興大學水土保持學系 碩士

(2) 國立中興大學水土保持學系 副教授 (通訊作者 e-mail : yshsiao@nchu.edu.tw)

一、前言

近年來在全球暖化作用下，氣候變遷逐年加劇，強降雨或其他極端氣候事件之發生更為頻繁，完善的水土保持工程作業顯得格外重要。在水土保持工程進行過程中，需要不定期監督檢查施工品質，直至完工。施工期間、竣工後或日後自主檢查之作業方法，國內是由工程作業人員實地勘察設施狀況，根據表單內容填寫設施相關資訊，完成作業流程。為了確保設施功效，定期維護與管理有其必要性，而裂縫一般為設施損毀程度之重要指標，作業人員可透過觀測裂縫而評估設施健康狀況並填寫表單紀錄情況，然而裂縫損壞程度評估主觀性較高，有時會因人而異。若能以影像紀錄並導入影像分析技術協助裂縫損壞評估，應能提升正確性。

影像分析技術應用於結構物損壞偵測，近年來國內外都有相關之研究，例如 Fujita et al.(2006)透過影像平滑化，將影像過濾後能去除影像中混凝土裂縫的陰影或混凝土本身之色差等雜訊，再搭配濾波器和門檻值設定可分離裂縫與影像背景，達到裂縫偵測之目的；李穎亮(2012)設定罩窗半徑搭配中值濾波器以消除影像雜訊，並提取裂縫特徵、影像訓練和測試，以達到自動化裂縫偵測，降低檢測人員於檢測過程承擔的環境風險；沈恆光(2013)透過鋼橋樑鏽蝕之影像和影像處理技術，偵測影像中之鏽蝕狀況、並依照鏽蝕顏色之深淺分類之三步驟，以判釋鋼橋樑之鏽蝕程度；Zhang et al. (2014)藉由分割影像中含有裂縫之區域並進行提取，此研究可有效偵測裂縫並移除誤判為裂縫之影像資訊，以達到自動偵測地鐵隧道裂縫之目的；薛智聖(2015)蒐集

道路破壞相關影像，搭配尺度不便特徵轉換處理技術(Scale Invariant Feature Transform, SIFT)以判釋坑洞規模，並和實際量測之數據進行比較；張家豪(2016)使用高斯濾波器和邊緣偵測技術以獲取水門混凝土影像之裂縫，以作為裂縫偵測之方法；蕭凱文等(2018)透過設定罩窗半徑並計算其內點位之灰階值，使影像裂縫灰階值降低，以提升裂縫和背景之間的對比度；Mohan and Poobal (2018)蒐集裂縫自動偵測相關的前人研究文獻並整理偵測流程，以分析其處理目標、準確度和影像處理技術方法等項目；Dung and Anh (2019)運用卷積神經網路以判釋混凝土裂縫影像之區位，並作為裂縫檢測和評估之方法。

前人研究文獻得知，影像分析技術應用於構造物相關檢測已實行多年，然而絕大部分方法，需透過大量的影像訓練和驗證，處理過程過於繁複，研究過程之影像蒐集、程式之編撰等前置處理作業，需投入不少時間和精力。本研究著重於以設施巡檢為目的進行影像裂縫偵測之研究和分析，強調影像處理技術之簡單化，藉由自製程式，以手機拍照取得之影像點位灰階值套入程式計算篩選出影像為裂縫之位置。本研究之計算方法可快速獲取裂縫偵測成果，提供工程人員檢測水土保持結構物之重要參考。

二、研究方法

本研究透過智慧型手機獲取研究資料影像，經由線上轉檔網站變更影像格式後，再透過自製程式(以 Fortran 語法撰寫)開發卷積、灰階值總量法、灰階值梯度法等三種影像分析計算方法，再搭配門檻值設定，篩選並輸出影像中可能為裂縫之位置。最後藉由通用製

圖軟體 GMT(Generic Mapping Tools)(Wessel et al., 2019)繪製各方法之計算成果。以下針對三個方法分別說明。

2.1 卷積法

捲積法為影像分析常用之方法，透過設定卷積核(Kernel)規模與數值大小設定，再與影像灰階值相乘可改寫並重新定義灰階值，以達到影像資訊之平滑化、細部增強及邊緣偵測等目的。因本研究以偵測構造物表面裂縫為目的，故使用索伯算子(Sobel Operator)作為邊緣偵測卷積核，此卷積核可分成水平和垂直方向，如下式(1)和(2)(柯界均，2013)：

$$hx = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$hy = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

上式中， hx 為水平方向之邊緣偵測遮罩； hy 為垂直方向之邊緣偵測遮罩。若將原始影像灰階值矩陣分別與 hx 與 hy 相乘，可分別得到 X 與 Y 方向的新灰階值矩陣，如下所示。

$$Gx = H * hx \quad (3)$$

$$Gy = H * hy \quad (4)$$

上式中 H 為原始影像灰階值矩陣； Gx 和

Gy 分別為 X 與 Y 方向的新灰階值矩陣。最後將 Gx 和 Gy 兩者結合便可得最終影像灰階值矩陣 G ，如下所示。

$$G = \sqrt{Gx^2 + Gy^2} \quad (5)$$

2.2 灰階值總量法

於影像處理技術中，一般原始影像為 RGB 彩色影像，但若採用 RGB 值作為電腦計算數值，其資料量較龐大，運算過程會花費過多時間，故將 RGB 值轉為灰階值作為運算數值可讓計算更有效率(呂景羣(2014)，Saravanan(2010))。本研究透過智慧型手機獲取影像後，經由轉檔網站轉換格式為 8 位元的灰階值影像，灰階值範圍介於 0 至 255，若點位灰階值較低接近 0，表示該點色值偏向黑色，反之則呈現白色。此外，灰階值依據現場拍攝環境、結構物本身色值等條件影響呈現不同數值，以圖 1(a)為例，左圖為柏油道路影像，其含有垂直與水平方向之裂縫，因裂縫色值呈現偏向黑色(如圖右下之九宮格之紅色數值)，非裂縫區域則呈現偏向灰色之色值(如圖右上之九宮格黑色數值)。由於裂縫灰階值與周遭環境有明顯落差，透過設定門檻值即可篩選並標示影像裂縫位置，此為灰階值總量法之計算方式。

2.3 灰階值梯度法

灰階值總量法獲取影像過程會受當下拍攝環境(如日照強弱)因素干擾，裂縫區域灰階值容易因上述條件影響而改變。以圖 1(b)為例，左圖為大樓磁磚影像，可分為日照強烈之

上半部與受限於水管阻礙而產生陰影區域之下半部，兩區塊之灰階值因上述條件影響而有一定落差，以圖 1(b)上及下紅色方格為例，將兩者展開可看出上方紅色方格無論磁磚或，灰階值數值皆較下方紅色方格來的大，且磁磚與灰階值差值也以上方紅色方格差距較大，門檻值設定便需將兩者情形納入考量，以便完整輸出點位，如此將降低效率。本研究提出灰階值梯度法，因灰階值的梯度值不容易隨拍攝環境因素干擾而有所變動，此方法期望能降低因設施色值或環境因素導致裂縫難以呈現之干擾，以提高成果之準確性。將灰階值影像計算梯度的研究過去也有，例如 Shia et al.(2002)提出使用灰階值影像的梯度變化，可提升判釋手寫數字之準確性，Duh et al.(2005)透過梯度法將灰階值影像轉為特徵草圖以標示圖像物品外圍特

徵，經由電腦程式判釋該物體後，發出相對應頻率之聲音，以便視障者解讀何種物體在身前。本研究灰階值梯度法採用計算方法根據 John and Pierre(1991)提出的四鄰域法，將計算點的上、下、左及右共計四點代入計算公式，獲取計算點位梯度值，計算公式如下式：

$$S = \sqrt{\frac{(dn_L - dn_R) + (dn_U - dn_D)^2}{2 \times D}}$$

(6)

式中，S為經由公式計算獲取之點位梯度值； dn_L 、 dn_R 、 dn_U 、 dn_D 分別為計算點左、右、上、下相鄰點之灰階值；D為網格點間之距離。

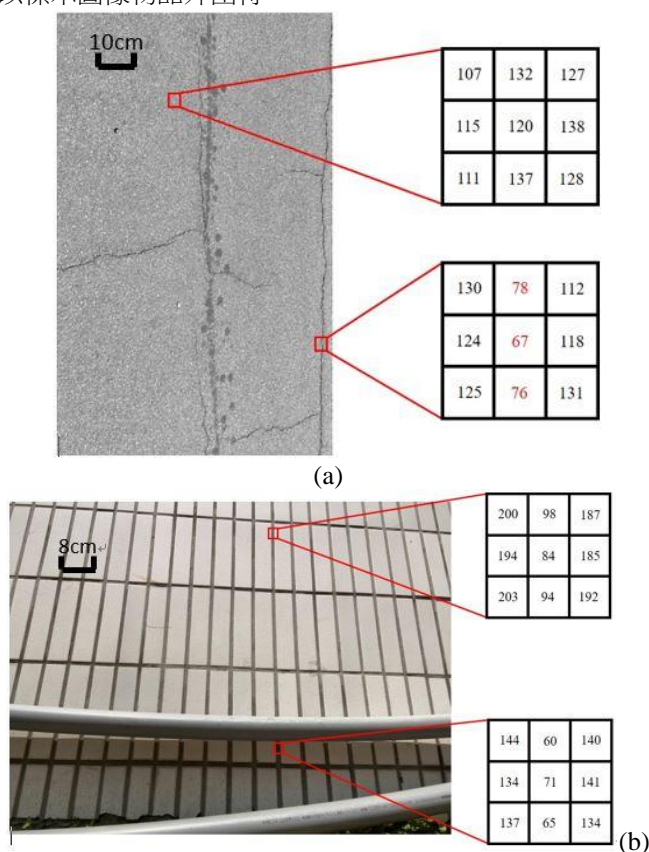


圖 1.方法示意圖。(a)灰階值總量法；(b) 灰階值梯度法。

Figure 1. Schematic diagram of the methods. (a) The total gray value method; (b) The gray value gradient method

三、研究流程、資料與設備

3.1 研究流程

本研究採用之研究設計與規劃流程如圖 2 所示。即透過自製程式(以 Fortran 語法撰寫)，搭配通用製圖軟體 GMT 計算和產圖，以判釋標記研究資料中屬於裂縫的點位，期望達到

監測之相關目的。研究資料選定不同構造物並以手機獲取其 RGB 影像資料，獲取的 RGB 影像將透過線上轉檔網站功能，轉為灰階值，以利程式之計算，接著以自製程式搭配門檻值，以卷積、灰階值總量法以及灰階值梯度法，分別偵測影像中裂縫位置並將其標出。最後探討程式於不同方法與不同影像資料之計算成果，並分析優劣與提出建議。

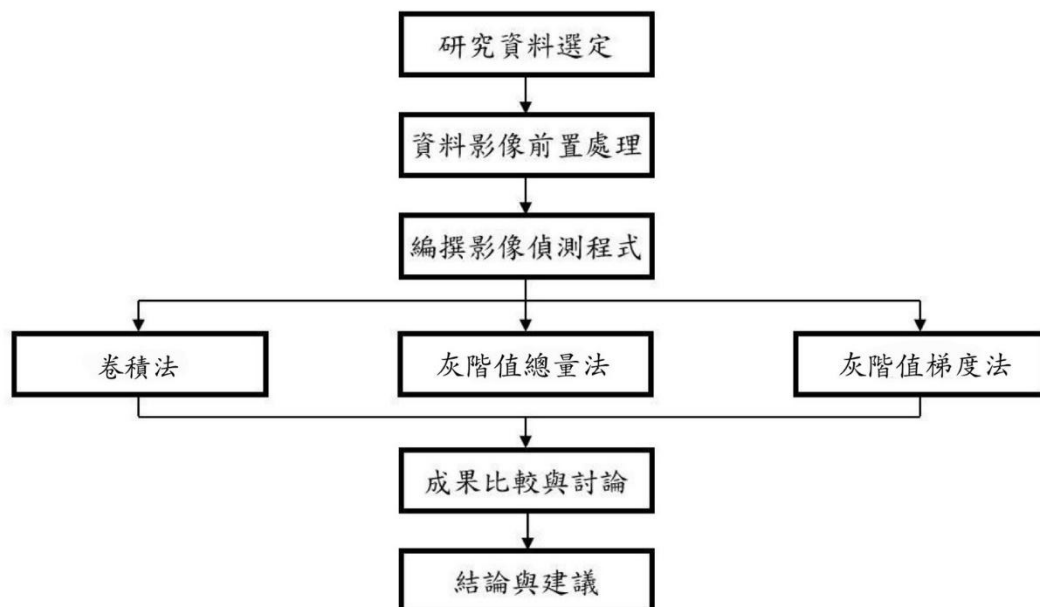


圖 2.研究流程圖。
Figure 2. Research flow chart.

3.2 研究資料

為了判釋不同研究資料對於程式的計算是否產生影響，本研究選取道路與混凝土擋土牆共計四區位之研究資料影像作為研究材料以比較其差異(圖 3)，道路為一般路面常見之柏油道路，選用裂縫線條較明顯之道路影像(圖 3(a))，作為程式判釋之研究資料。混凝土擋土牆為常用於邊坡穩定之水土保持設施，於施工期間若沒有定期巡查則表面會有許多

小坑洞稱作蜂窩，且長期受外力擠壓容易形成破壞面產生裂縫，設施強度大幅下降失去保護功能，故選用裂縫較大之混凝土擋土牆影像(圖 3(b)~(d))，作為程式計算資料。

本研究透過智慧型手機獲取研究資料影像，再透過線上轉檔網站將 RGB 影像檔案轉成程式可計算之 XYZ 檔案格式，XY 為影像之相對平面座標，Z 則是灰階值，灰階值範圍 0~255。

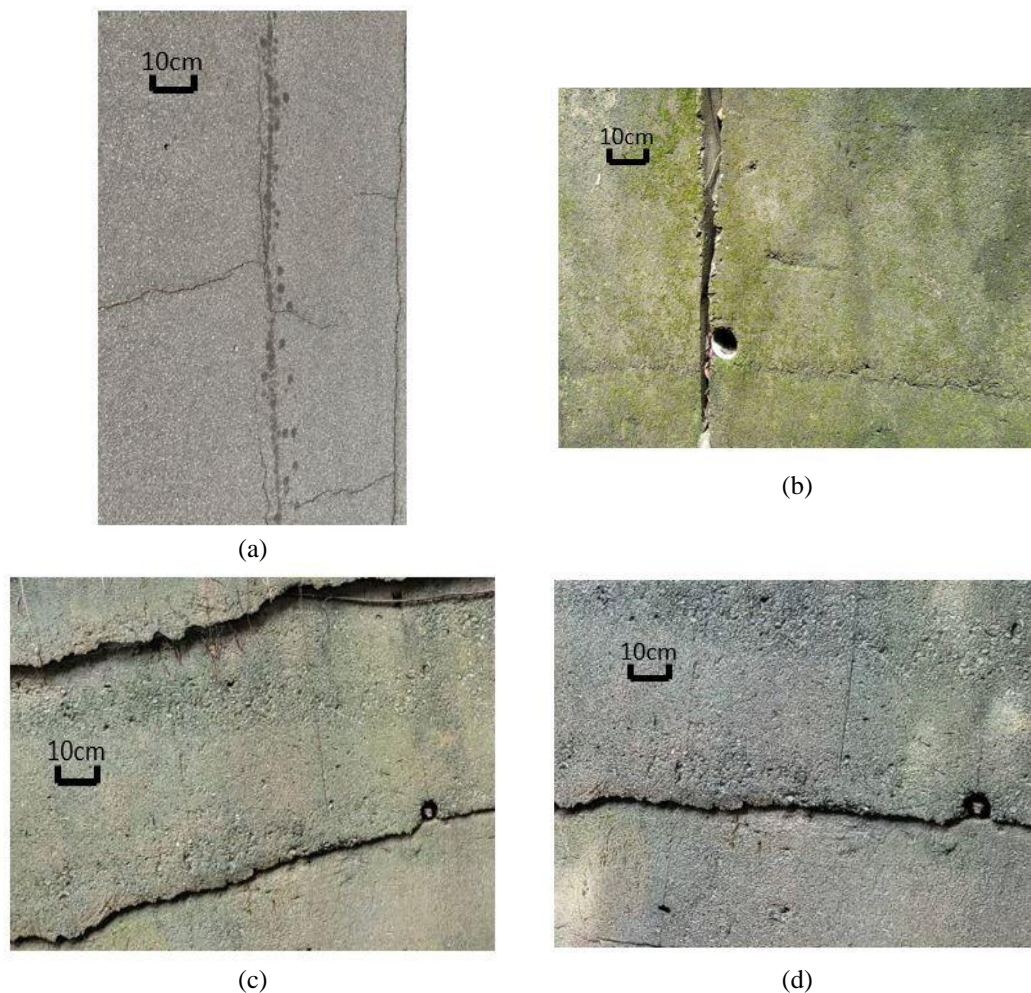


圖 3.研究影像。(a)區位 1；(b)區位 2；(c)區位 3；(d)區位 4。
Figure 3. Study Images. (a)Location 1, (b)Location 2, (c)Location 3, (d)Location 4.

四、門檻值測試

由於卷積計算影像點位灰階值沒有門檻值設定，故門檻值測試只針對灰階值總量法和灰階值梯度法，以下分別說明。

4.1 灰階值總量法

假設計算點灰階值為 dn ，設計共計六項門檻值($T1\sim T6$)以利程式計算，六項門檻值設計原理為：

$T1$ (搜尋網格半徑，單位：網格數)：以計算點為中心，僅計算搜尋網格半徑內所有點位灰階值。

$T2$ (單位：灰階值)：為 dn 與 $T1$ 內所有點位灰階值加總取平均的值 $dn2$ 之絕對值差門檻值，主要是推估裂縫於 $T1$ 內所佔比例。

$T3$ (單位：灰階值)：因周遭環境灰階值會比裂縫大，故設計為 $dn2$ 需大於特定之數值。

$T4$ (單位：灰階值)：由於因裂縫灰階值可能比周遭環境大，故設計為 dn 需小於特定之數值。

$T5$ (搜尋網格半徑，單位：網格數)：為了過濾影像雜訊避免降低成果準確性，先將輸出點位標示為 1，並設計另一單窗半徑 $T5$ ，計算輸出點位總數。

$T6$ (點位數量)：為於 $T5$ 內點位總數需大於特定之數值。影像雜訊點位位置相較於裂縫來的分散，因此透過上述條件設計適宜之 $T6$ ，達到過濾分散點位之目的。

在灰階值總量法計算中，本研究皆採用上述六項門檻值作為程式之判釋條件。

4.2 灰階值梯度法

假設 ds 為計算點坡度值，將其代入自製程式並利用 4 個門檻值($U1\sim U4$)之判斷以獲取最佳成果，這四項門檻值之原理為：

$U1$ (搜尋網格半徑，單位：網格數)：推估裂縫寬度設計適宜之點位單窗半徑大小，設計理念與方法二之 $T1$ 相同。

$U2$ (灰階值)：為 ds 與 $U1$ 內所有點位梯度值加總取平均的值 $ds2$ 之絕對值差門檻值。推估裂縫於 $U1$ 內所佔比例，設計理念與方法二之 $T2$ 相同。

$U3$ (搜尋網格半徑，單位：網格數)：為根據前兩項門檻值計算所獲取輸出點位而設計之單窗半徑大小，達到過濾影像雜訊之目的，設計理念與方法二之 $T5$ 相同。

$U4$ (點位數量)：為於 $U3$ 內點位總數需大於特定之數值，設計理念與 $T6$ 相同。

在灰階值梯度法計算中，本研究皆採用上述四項門檻值作為程式之判釋條件。

五、研究成果

5.1 門檻值設定

各研究區位灰階值影像和梯度影像如圖 4 所示，而灰階值總量法和灰階值梯度法門檻值於不同研究區位設定如表 1 所示，表 1 中之門檻值是經過不斷測試後，各區位之最佳門檻設定值。由於灰階值影像於 4 個區位皆不相同，故灰階值總量法門檻值需隨區位而有所調整，各四個區位的門檻值 $T1\sim T6$ 差異極大，而在灰階值梯度門檻值方面，因灰階值梯度影像不易隨拍攝環境因素干擾而有所變動，故所有門檻值($U1\sim U4$)經測試後，在四個研究區位的最佳設定值均一致， $U1\sim U4$ 均為 8、5、5、12。

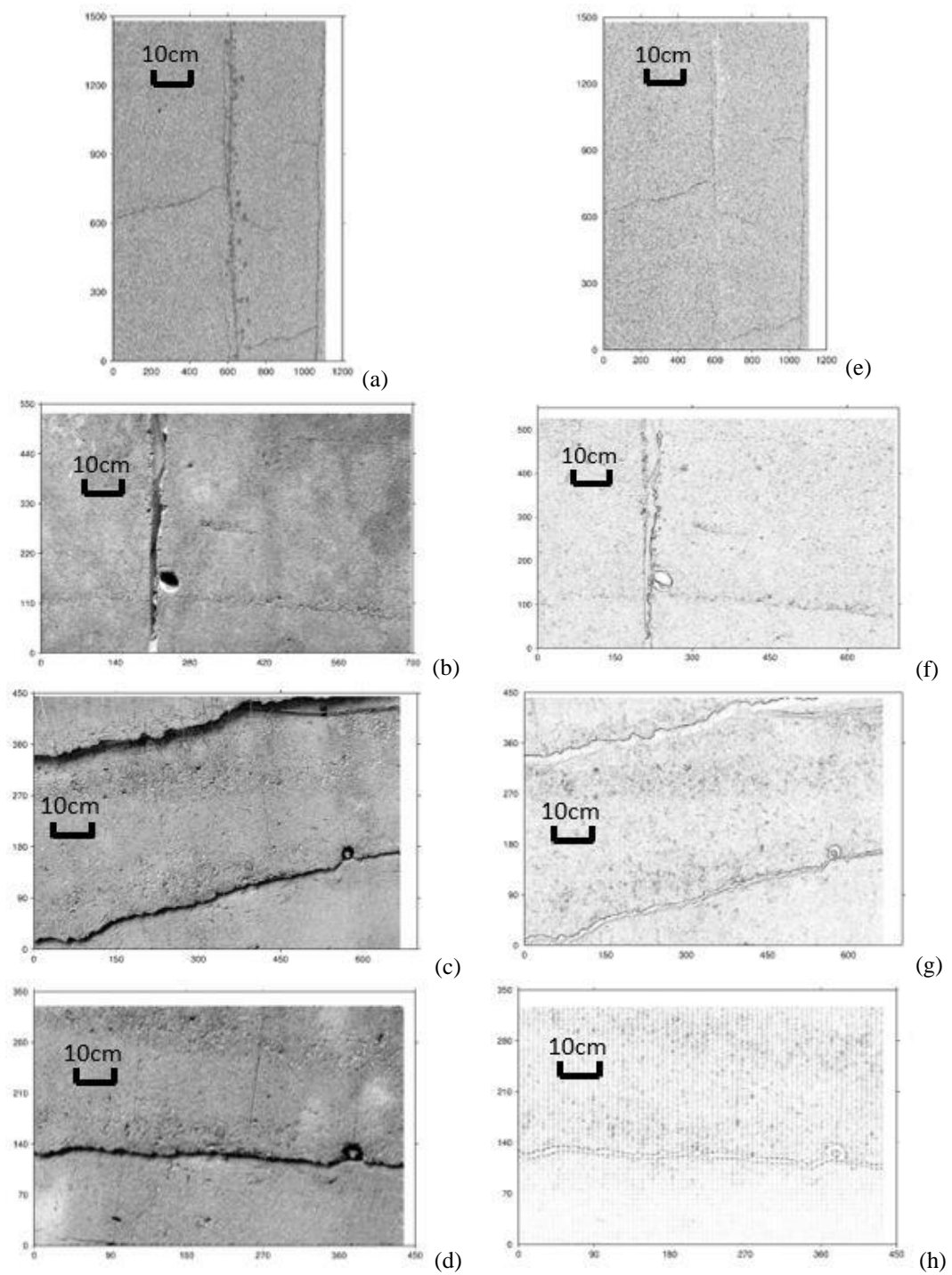


圖 4.灰階影像和梯度影像。(a)~(d)為區位 1~4 之灰階影像；(e)~(h)為區位 1~4 之梯度影像。

Figure 4. Grayscale and gradient images. (a)~(d) are the grayscale images of the locations 1~4 ;

表 1. 灰階值總量法和灰階值梯度法門檻值設定

Table 1 The threshold settings of the total gray value method and the gray value gradient method.

	區位 1	區位 2	區位 3	區位 4
灰階值總量法(T1、T2、T3、T4、T5、T6)	10、20、105、75、8、15	30、20、105、105、8、20	80、10、105、135、8、50	50、20、105、125、8、50
灰階值梯度法(U1、U2、U3、U4)	8、5、5、12	8、5、5、12	8、5、5、12	8、5、5、12

5.2 成果

區位 1 之卷積、灰階值總量法與灰階值梯度法成果如圖 5 所示，卷積法受影像雜訊干擾影響，成果不理想難以辨識裂縫區位(圖 5(a))，推測原因為影像未經正規化處理所導致。由於卷積在區位 1 裂縫偵測成果不佳，故其餘區位(區位 2~4)不採用卷積法計算。在灰階值總量法成果方面，此方法可準確標示裂縫與小坑洞之區位(圖 5(b))，與卷積法相比，亦無雜訊干擾。在灰階值梯度法成果方面，由圖 5(c)可發現部分非裂縫位置被標定為裂縫，此亦為影像雜訊干擾干擾，但仍能判釋大部分裂縫位置(圖 5(c))，不過成果表現稍差於灰階值總量法。

灰階值總量法與灰階值梯度法在區位 2~4(混凝土擋土牆)裂縫判釋成果如圖 6~8 所

示，由圖可發現灰階值總量法成果良好，可完整標示裂縫位置，亦能標示出結構物損毀或於施工期間未做好工程而產生表面小坑洞之狀況，甚至洩水孔亦能標示出，而灰階值梯度法大致能標示灰階值變化較劇烈之區域，故裂縫、表面小坑洞與洩水孔，但大多標示邊緣位置。整體而言，若以標示結構物裂縫或坑洞而言，灰階值總量法應優於灰階值梯度法，然而灰階值總量法的 6 個門檻設定值在不同拍照環境下均不一致，即使用者必須因應不同區位拍攝影像，而不斷調整門檻值，計算較無效率，而不同拍照環境可採用相同的 4 個門檻值，故雖然成果完整性以灰階值總量法表現較佳，但若考量計算效率，灰階值梯度法較為理想。

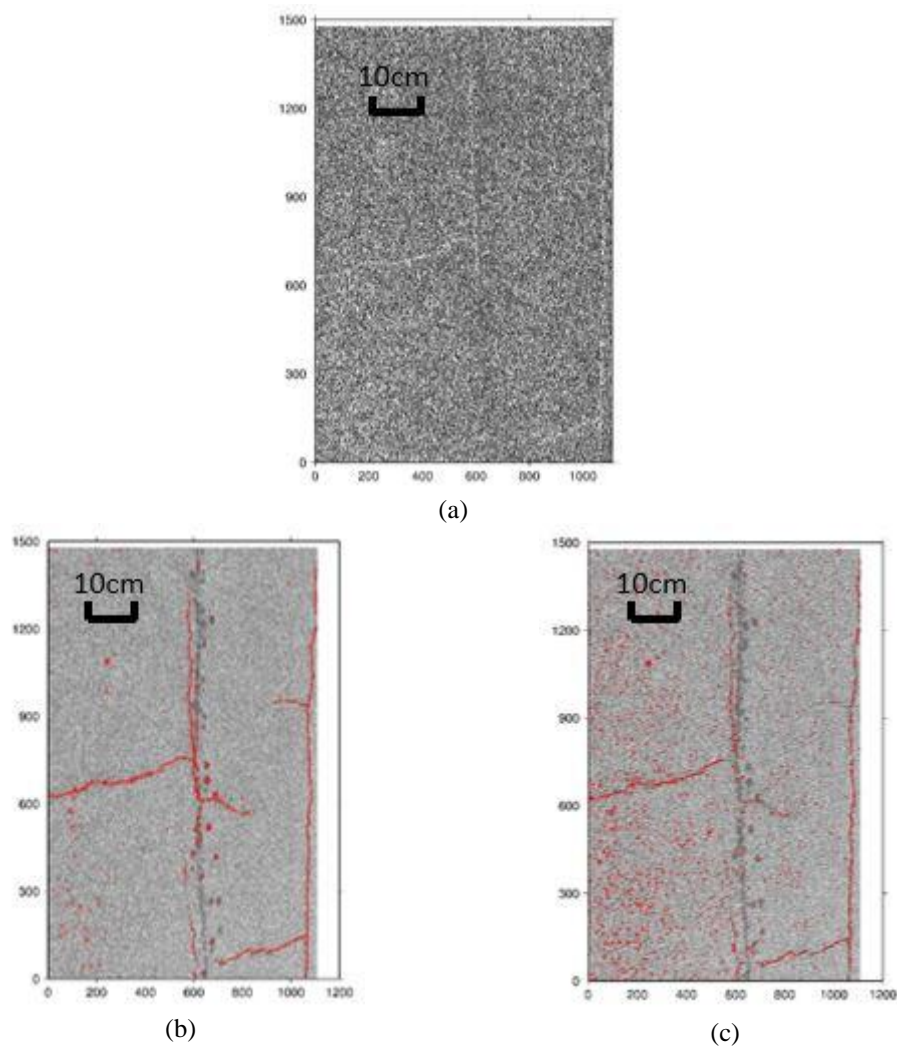


圖 5.區位 1 之結果。(a)卷積法；(b)灰階值總量法；(c) 灰階值梯度法。
Figure 5. The result of Location 1. (a) The convolution method; (b) The total gray value method; (c) The gray value gradient method.

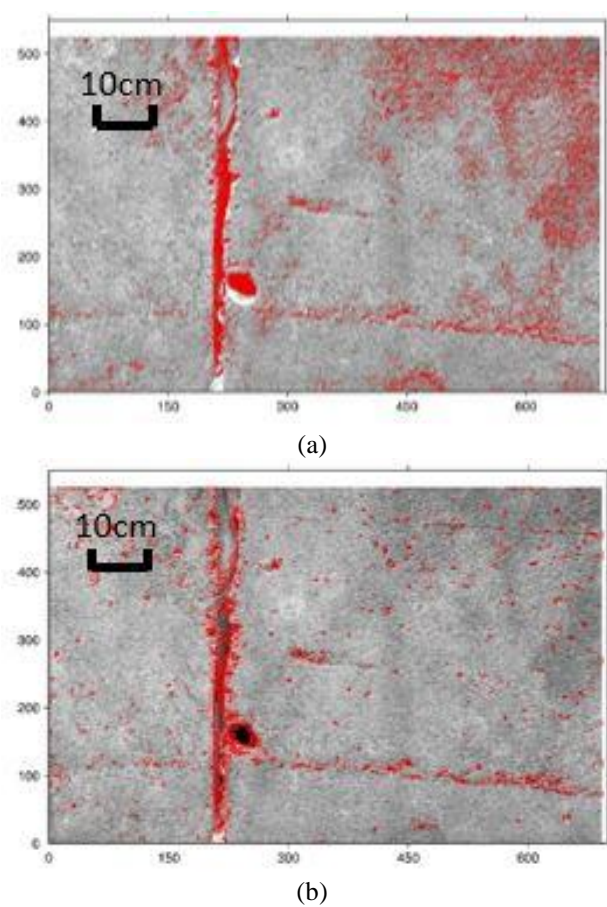
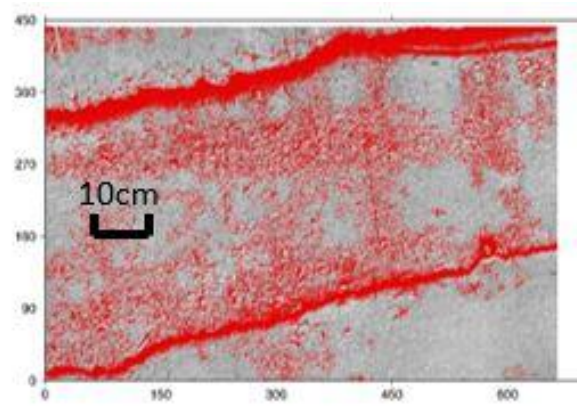
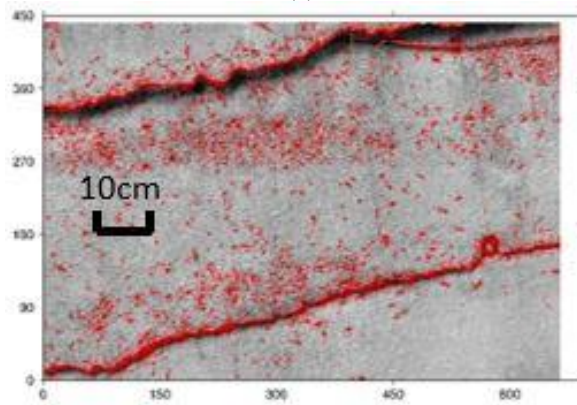


圖 6. 區位 2 之結果。(a) 灰階值總量法；(b) 灰階值梯度法。
Figure 6. The result of Location 2. (a) The total gray value method; (b) The gray value gradient method.



(a)



(b)

圖 7. 區位 3 之結果。(a) 灰階值總量法；(b) 灰階值梯度法。

Figure 7. The result of Location 3. (a) The total gray value method; (b) The gray value gradient method.

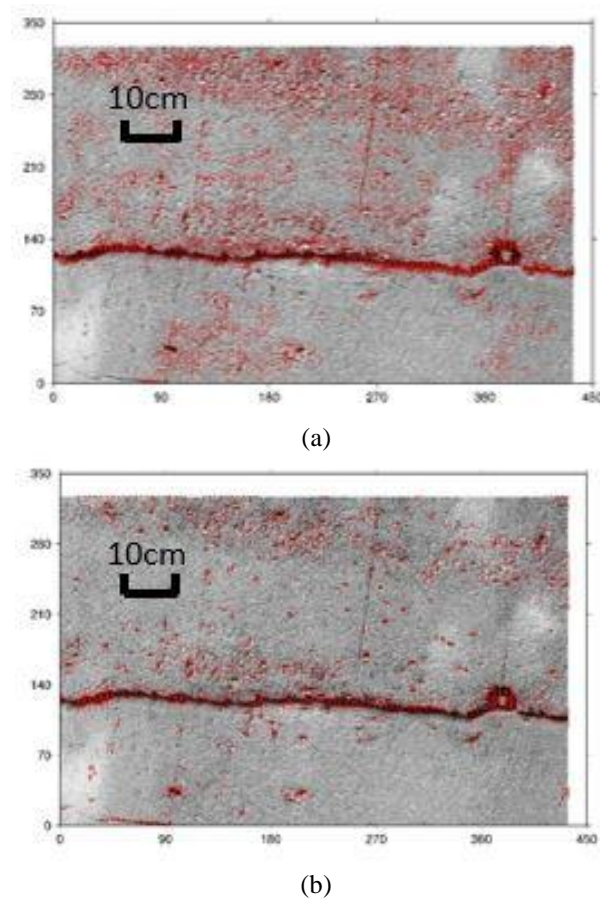


圖 8. 區位 4 之結果。(a)灰階值總量法；(b) 灰階值梯度法。
Figure 8. The result of Location 1. (a) The total gray value method; (b) The gray value gradient method.

六、結論與建議

本研究透過 Fortran 語法編撰單幅影像計算程式，並以 GMT 繪圖軟體產製結構物裂縫偵測成果。共計有 3 種影像分析方法以篩選出裂縫並將位置標示於影像中。研究資料選用道路、混凝土擋土牆等兩種水土保持工程經常使用之材質。道路選用計算方法包括卷積法、灰階值總量法與灰階值梯度法，計算成果以灰階值總量法較佳，最差為卷積法。混凝土擋土牆採用灰階值總量法與灰階值梯度法，成果以灰階值總量法較佳，裂縫、坑洞、洩水孔位置皆能清楚標示，然若探討門檻值設定

與花費時間，灰階值梯度法較有優勢，無須花時間測試最佳門檻值設定值，能快速獲取計算成果。本研究期望能降低人為巡檢構造物安全性可能產生之判釋誤差，以提升整體水土保持結構物巡檢效率與準確性。

在後續建議方面，本研究採用全色態灰階值(黑白影像)作為程式計算輸入值，目前並未考慮 RGB 彩色影像，後續將嘗試以 RGB 影像進行相關分析。除此之外，目前本文並無量化影像裂縫偵測之精度，後續將持續精進此研究。

參考文獻

- [1] 李穎亮(2012)，「影像處理技術於混凝土結構裂縫自動化偵測」，碩士論文，國立金門大學。
- [2] 沈恆光(2013)，「自動化影像辨識應用於鋼橋樑鏽蝕缺陷評估」，博士論文，國立臺灣大學。
- [3] 柯界均(2013)，「基於穩態小波轉換之雜訊影像邊緣偵測」，碩士論文，國立宜蘭大學。
- [4] 呂景羣(2014)，「應用影像辨識技術於橋梁裂縫之研究」，碩士論文，國立中央大學。
- [5] 張家豪(2016)，「分量影像應用於裂縫偵測之研究-以宜蘭縣水門為例」，碩士論文，國立宜蘭大學。
- [6] 薛智聖(2015)，「影像辨識技術建立鋪面破壞三維模型之研究－以坑洞破壞為例」，碩士論文，國立中央大學。
- [7] 蕭凱文、饒見有、王瑞麟(2018)，「利用多軸無人機影像萃取橋梁劣化區三維空間資訊」，航測級遙測學刊 23(3)，第 205-221 頁。
- [8] Duh, D.-D., Lu, C.-W., Wang, K.-H.(2005)，「讓視障者用聽覺建構圖像」，2005 年 NCS 全國計算機會議。
- [9] Dung, C. V., and Anh, L. D.(2019) Autonomous concrete crack detection using deep fully convolutional neural network. *Automation in Construction*, 99, 52-58
- [10] Fujita, Y., Mitani, Y., and Hamamoto, Y.(2006) A method for crack detection on a concrete structure. 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06), 3,901-904.
- [11] Mohan, A., and Poobal, S.(2018) Crack detection using image processing: A critical review and analysis. *Alexandria Engineering Journal*, 57(2), 787-798.
- [12] Shia, M., Fujisawa, Y., Wakabayashi, T., and Kimura, F.(2002) Handwritten numeral recognition using gradient and curvature of gray scale image. *Pattern Recognition*, 35(10), 2051-2059.
- [13] John, F and Pierre, L.(1991) Drainage networks from grid digital elevation models. *Water Resources Research*, 27(5), 709-717.
- [14] Saravanan, C.(2010) Color image to grayscale image conversion. 2010 Second International Conference on Computer Engineering and Applications, 2, 196-199.
- [15] Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H. F., & Tian, D. (2019). The Generic Mapping Tools version 6. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20, 5556–5564.
- [16] Zhang, W., Zhang, Z., Qi, D., and Liu, Y. (2014) Automatic crack detection and classification method for subway tunnel safety monitoring. *Sensors*, 14(10), 19307-19328.

112 年 10 月 11 日收稿

112 年 11 月 07 日修改

112 年 11 月 24 日接受