

現地驗證工作成果報告

一、計畫內容

本計畫旨在釐清鹽寮與福隆地區沙灘寬度與厚度是否發生變化，並進一步掌握其空間與時間上的演變趨勢。為達成此目的，計畫首先建置一套具備地圖操作、量測與圖層比對等功能的沙灘現地驗證平台，透過實地教學協助當地居民了解平台操作方式，使其能夠自主進行沙灘平面距離與面積量測，提升在地參與與監測能力。同時，計畫亦申請取得內政部公告之數值地形模型資料，涵蓋 92、96、102 與 111 年四個時期，並包含 DEM 與 DSM 兩類地形資訊。

經由跨年度資料比對，分析沙灘厚度的侵淤變遷情形，以輔助判釋自然環境與人為工程對海岸地形可能造成的影響。整體研究整合居民參與、平台操作與官方資料比對，期能建立一套科學且具參與性的沙灘變遷觀測機制。

二、研究資料蒐集

本研究所使用之地形資料皆向內政部申請取得(如表 1)，涵蓋 92 年、96 年、102 年及 111 年四個年度，資料格式皆為 GeoTIFF 格式 (.tif)，並包含 DSM 與 DEM 類型。所採用之平面坐標系統為 TWD97，高程系統則為 TWVD2001，解析度方面，92 年、102 年與 111 年資料具備 1 公尺解析度，96 年資料為 2 公尺。上述資料具備一致之坐標與高程基準，可進行橫跨不同時期的地形厚度變化分析，作為沙灘侵淤趨勢判釋與地形變遷監測之依據。

表 1 資料蒐集統整表

項目	資料年度	資料來源	資料格式	平面坐標系統	高程系統	原始解析度
1	92年	內政部	DSM,DEM (.tif)	TWD97	TWVD2001	1m
2	96年	內政部	DEM (.tif)	TWD97	TWVD2001	2m
3	102年	內政部	DSM,DEM (.tif)	TWD97	TWVD2001	1m
4	111年	內政部	DSM,DEM (.tif)	TWD97	TWVD2001	1m

三、 研究方法

3.1 航照影像處理與分析

正射影像是將受地形與傾斜影響而變形的連續航照影像(圖 1)，依據 DSM 與相機參數進行幾何校正，使其每一像素都精確對應至地面上的實際位置。此過程稱為正射校正 (Orthorectification)。在校正過程中，會根據影像中每一像素的視角與高度 (由 DSM 提供)，計算其在地面上的正確投影位置，消除由於地形起伏與相機傾斜導致的徑向變形與比例失真。完成正射校正後的影像，擁有地圖的幾何特性，可直接用於空間分析、圖資疊合與精確量測。若進一步結合地面控制點與影像處理，還能生成具備高幾何與色彩品質的正射影像圖(Orthomosaic)。



圖 1 連續航照影像圖

DSM 是利用航空攝影獲得的重疊影像對，透過空中三角測量（Aerial Triangulation, AT）與立體影像匹配（stereo matching）技術(圖 2)，計算出每一個像素對應的地面三維坐標。首先，空中三角測量會結合影像內部參數（相機校正資料）與外部參數（飛行位置與姿態），利用重疊區域中的共通像點進行同名點匹配，來求解每張影像的準確攝影位置與姿態資訊。接著，透過立體像對進行視差分析，套用光束法束平差等方法，推估地面點的高程值，並生成包含建物、植被等在內的表面高程模型，即為 DSM。此過程可自動化處理，也可輔以人工修正，以提高密度與精度，高程精度可達 $\pm 25\text{cm} \sim \pm 50\text{cm}$ （在地形平坦且控制點充足區域）。

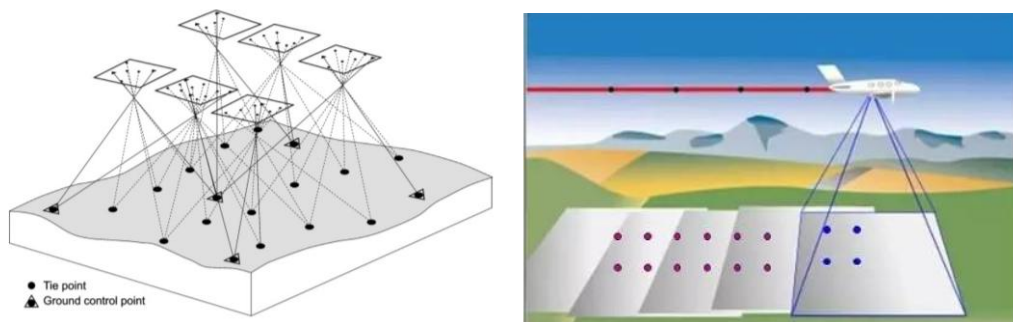


圖 2 空中三角測量技術

3.2 斷面分析

為分析福隆與鹽寮地區沙灘的歷史變遷情形，本研究蒐集並比對該區域不同比時期的數值地形資料，藉以觀察地形變化與沙灘侵淤。研究所使用之資料來源皆為政府公開資訊，以確保分析結果的公正與客觀性。其中，透過內政部國土測繪中心建置之數值高程模型（DEM，1~2 公尺解析度）進行長期變遷趨勢分析，並輔以該中心建置之空載光達數值地表模型（DSM，1 公尺解析度）進行高精度的短期地形變化偵測。藉由整合多時期 DEM 與 DSM 資料，並在關鍵區域量測斷面線(圖 3)。可有效掌握福隆、鹽寮沙灘之堆積與侵蝕狀況。

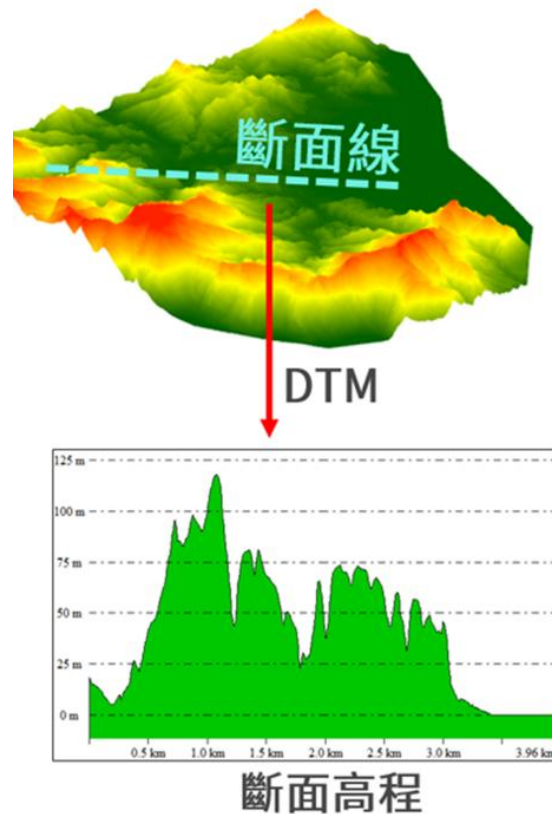


圖 3 斷面量測數值地形

3.3 地形變化分析

DoD (Difference of DSMs) 是利用不同時間所取得的兩個 DSM (數值表面模型), 直接進行像素對應的高程差值計算(圖 4)。將同一區域的後期 DSM 減去前期 DSM, 得到的結果即為地表在此期間內的高程變化量。若差值為正, 表示地表增高 (如土石堆積、植被生長或建物增建); 若為負, 則表示地表降低 (如侵蝕、開挖或植被消失)。此方法廣泛應用於河道變遷、山崩滑動、災後地形重建與工程體變形監測等場域。為確保計算準確性, 兩期 DSM 必須進行地理對位, 並且具有相近的空間解析度與垂直精度, 以避免誤差被誤判為實際地形變化。

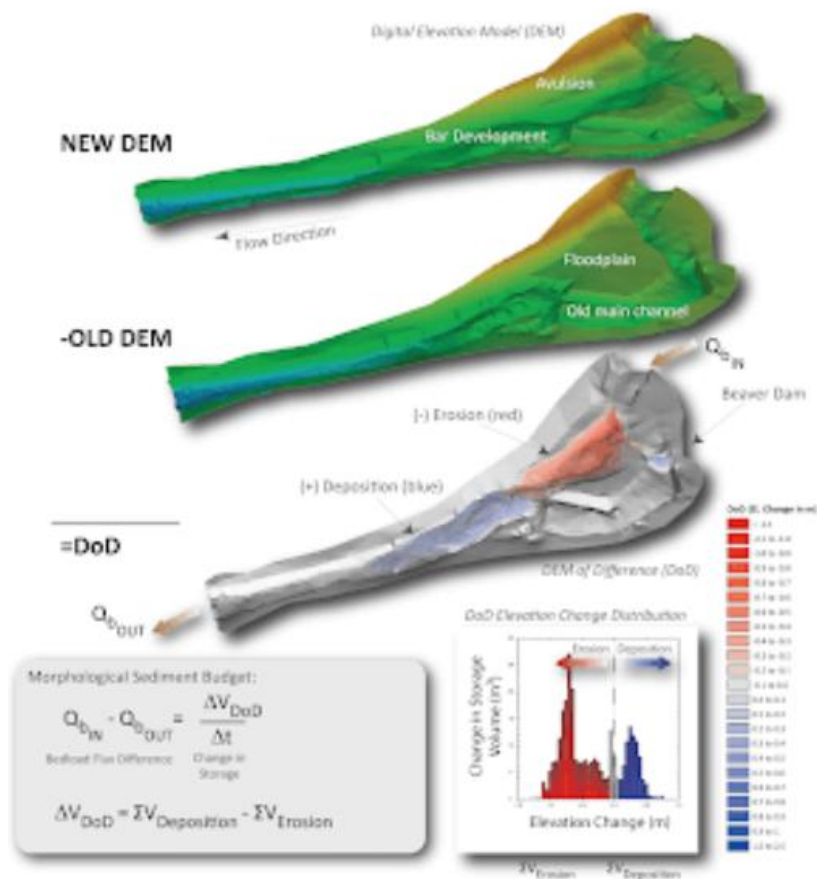


圖 4 Difference of DSMs 技術

四、研究成果

4.1 航照影像沙灘寬度比對

依據 82 年與 86 年航照影像(圖 5 與圖 6)，並以 46 年農林署保安林實際植生分布為基準，套繪分析至 0 米岸線，可發現鹽寮沙灘於 86 年相較 82 年保安林植生寬度減少約 5 公尺，但沙灘寬度則擴增約 17 公尺，顯示沙源堆積使沙灘外擴，而植生則略為退縮。龍門沙灘部分，沙灘變化幅度不大，保安林帶穩定，無明顯植生消長現象；至於東興宮前區域，因影像曝光過度導致判釋困難，故未納入比較分析。相關成果如表 2 所示。

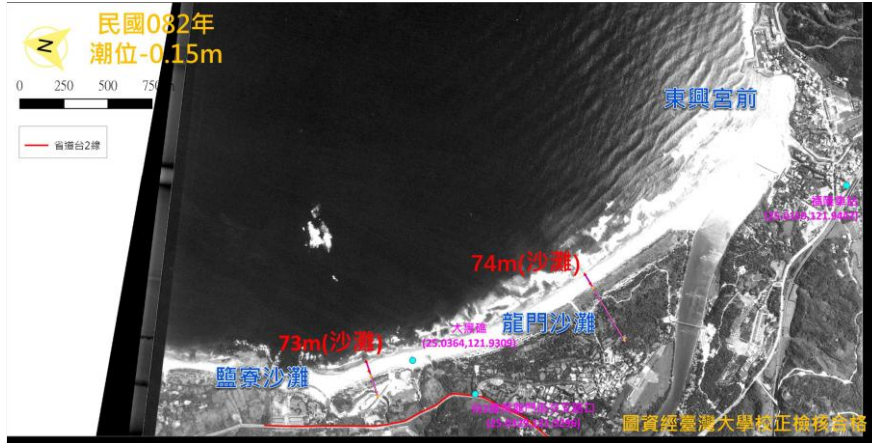


圖 5 82 年正射影像

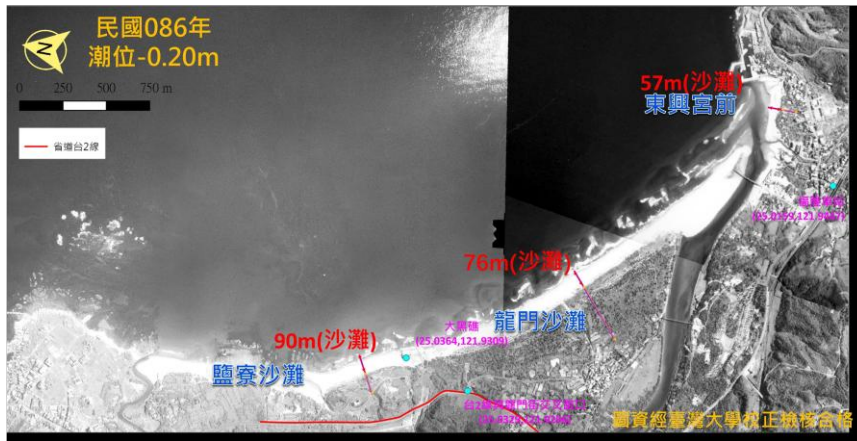


圖 6 86 年正射影像

表 2 82~86 年寬度變化成果表

區域	年	保安林植生 (m)	平坦沙灘寬 (m)
鹽寮沙灘 (1053保安林)	82	136	73
	86	131	90
龍門沙灘 (1004保安林)	82	370	74
	86	370	76
東興宮前 (1054保安林)	82	航空影像曝光無法判讀	
	86	106	57

以 46 年農林署保安林實際植生位置為基準，如圖 6 及圖 7 套繪至 86 年與 92 年影像進行比對可得鹽寮沙灘於 92 年相較 86 年，保安林植生寬度增加約 14 公尺，但沙灘寬度明顯減少約 20 公尺，顯示沙源流失現象。龍門沙灘沙岸變化仍不明顯，保安林維持穩定。東興宮前則出現顯著成長，保安林植生寬度增加約 30 公尺，沙灘也擴增約 15 公尺，推測與地形回填或當地沉積環境改善有關。相關成果如表 3 所示。

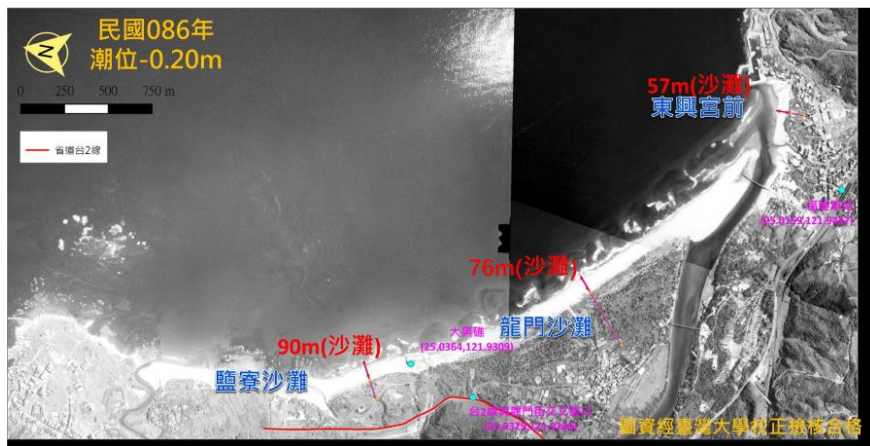


圖 6 86 年正射影像

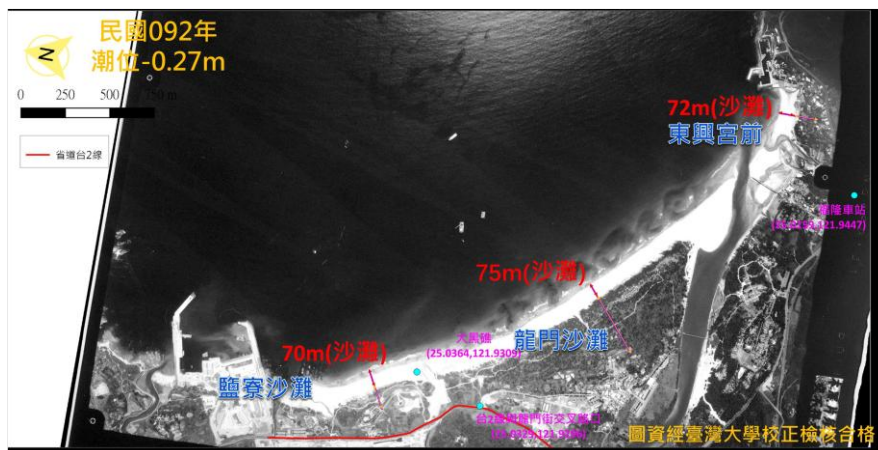


圖 7 92 年正射影像

表 3 82~86 年寬度變化成果表

區域	年	保安林植生 (m)	平坦沙灘寬 (m)
鹽寮沙灘 (1053保安林)	86	131	90
	92	145	70
龍門沙灘 (1004保安林)	86	370	76
	92	370	75
東興宮前 (1054保安林)	86	106	57
	92	136	72

以 46 年農林署保安林植生分布為基準，如圖 8 及圖 9 套繪至 92 年與 111 年影像進行比對可知：鹽寮沙灘沙灘寬度於 111 年較 92 年增加約 6 公尺，顯示局部沙源堆積回補情形。龍門沙灘受福容飯店工程影響，人工土方堆置增加約 30 公尺，但沙灘寬度減少達 32 公尺，推測受工程阻斷或改變沙流動方向所致。東興宮前地區則呈現保安林植生寬度增加約 8 公尺，但沙灘寬度大幅減少 45 公尺，顯示植生穩定擴展。相關成果如表 4 所示。

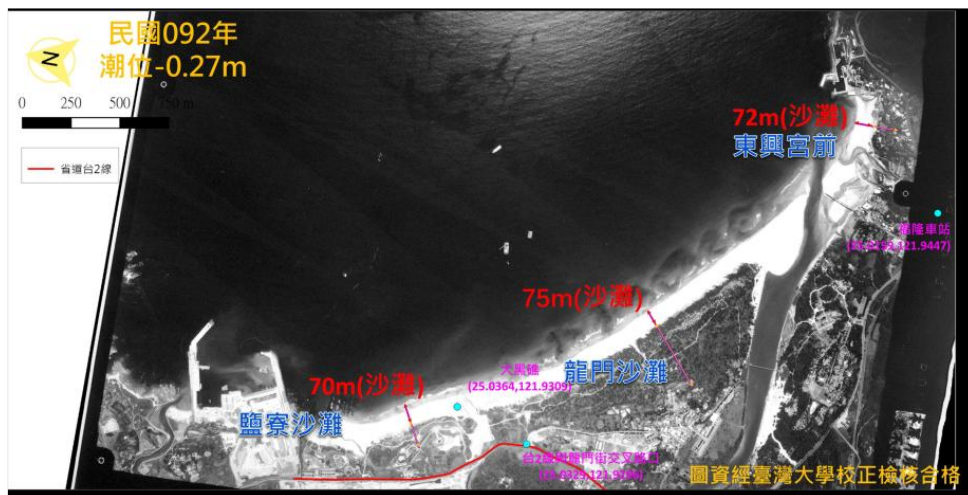


圖 8 92 年正射影像

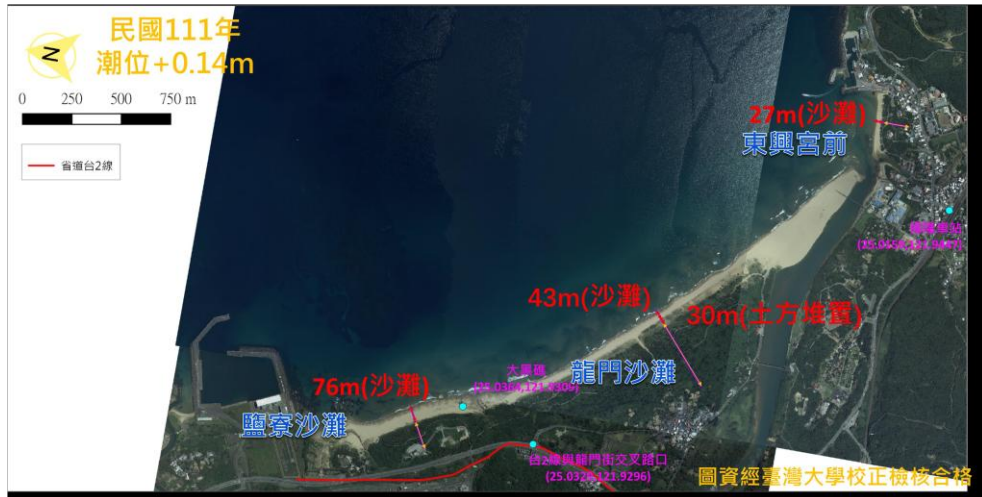


圖 9 111 年正射影像

表 4 92~111 年寬度變化成果表

區域	年	土方堆置/ 保安林植生 (m)	平坦沙灘 寬 (m)
鹽寮沙灘 (1053保安林)	92	145	70
	111	145	76
龍門沙灘 (1004保安林)	92	370	75
	111	30(土方)/ 370(保安林)	43
東興宮前 (1054保安林)	92	136	72
	111	144	27

4.2 內政部數值地形模型斷面變化分析

研究區域斷面分布如圖 10 所示。由歷年高程資料所建立的測線套疊結果可觀察出地形變化趨勢。透過跨年度資料整合，仍能有效辨識地形變化與沙堆堆積情形。初步判斷位於「1004_93 年迄今保安林界」附近的高程差異較大之區域，應為 102 年福容飯店進行人工土方堆置所造成的地形變異。以斷面 1 為例(圖 11)，選用 92 年 DEM 為基準，可以明顯觀察到在 102 年度此區域前緣有明顯堆高，顯示人工土堆區已成形。後續從 111 年度資料可見此堆積區有逐年向陸

側擴展的趨勢，研判應為自然營力（如風力與波浪）作用下，造成部分堆體崩塌與向內陸方向再堆積的結果。另從航照影像輔助觀察，該區沙灘植物已有穩定生長跡象，推測整體砂體總量變化不大，惟其空間分布略有調整。



圖 10 斷面分部圖

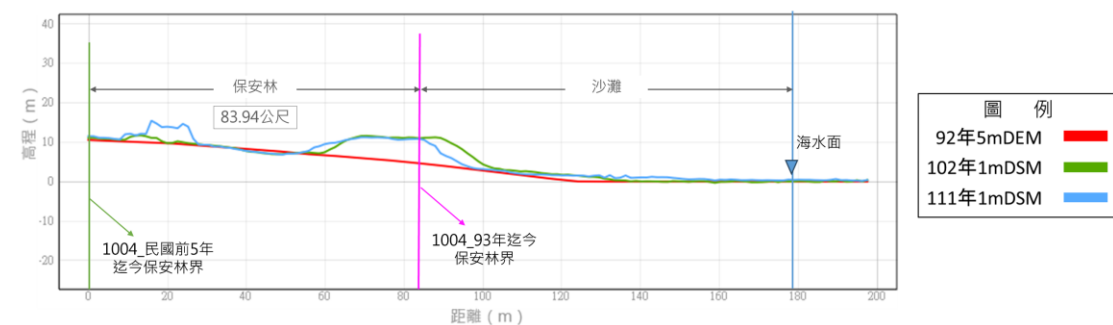


圖 11 斷面 1 分部圖

初步判斷，「1004_93 年迄今保安林界」前後之高程變化較大之區域，應為 102 年福容飯店進行人工土方堆置所形成的地形變化。由斷面 2 分析可進一步觀察(圖 12)，該人工土堆區在 111 年度的寬度明顯大於 102 年度，顯示堆體範

圍已有向外擴展的現象。另因保安林護育成效良好，植被逐漸穩定生長，因此 111 年度保安林範圍內的地形（包含植生與堆積土方）成果相較 102 年度呈現顯著加厚與堆積增加的情形，顯示此區域經歷了長期的自然堆積與植被演替過程。

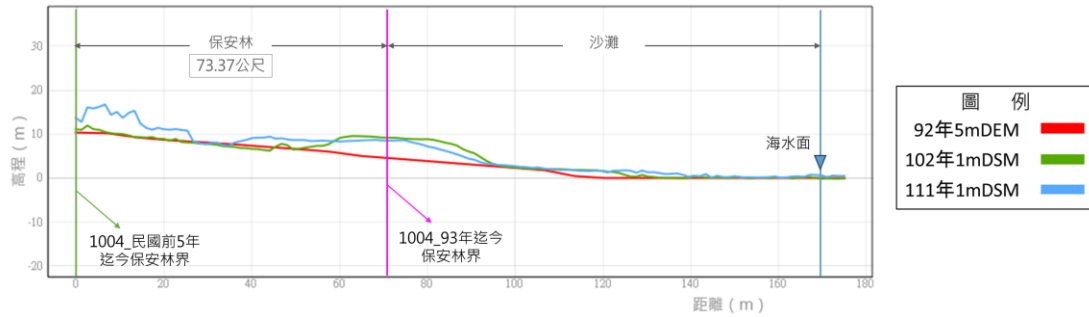


圖 12 断面 2 分部圖

初步判斷，「1004_93 年迄今保安林界」前後之高程變化較大之區域，應為 97 年及 100 年台 2 線與自行車專用道新闢工程期間所進行之人工土方堆置所致。由断面 3 分析可見(圖 13)，111 年度該人工堆置區的寬度已明顯大於 102 年度，顯示堆體有持續擴展的趨勢。另因保安林護育措施逐步發揮成效，區內植被生長趨於穩定，導致 111 年度保安林範圍內的 DSM（涵蓋植生與堆積土方）呈現明顯增厚與堆積增加的現象，反映出長期自然營力與人工干預共同作用下的地形演變過程。

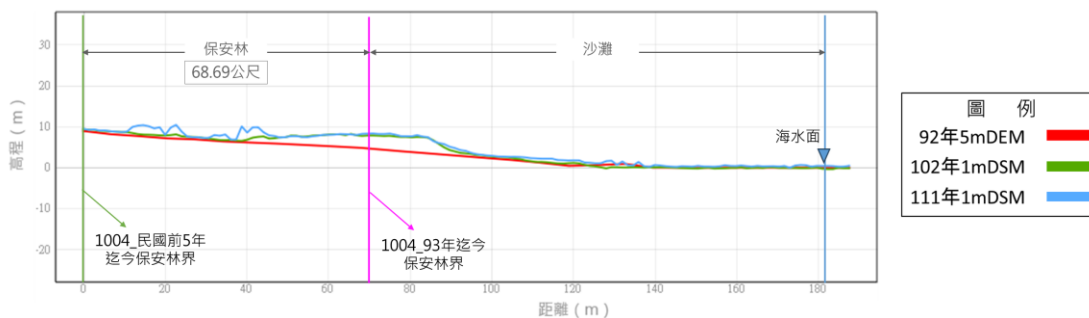


圖 13 断面 3 分部圖

圖 14 呈現福隆沿海路徑 A 至 D 的多時期地形剖面變化。92 年断面高程（紅線）整體高程最低，顯示早期尚未堆置土方；102 年断面高程（綠線）在 B~C 區段出現明顯高程抬升，對應為人工土方堆置；111 年断面高程（藍線）

高程進一步擴大，顯示堆置區向陸側擴張，且在 C~D 區段可見穩定的植生與堆積加厚，顯示自然營力與保安林護育作用明顯，整體堆積趨勢由東往西遞增。

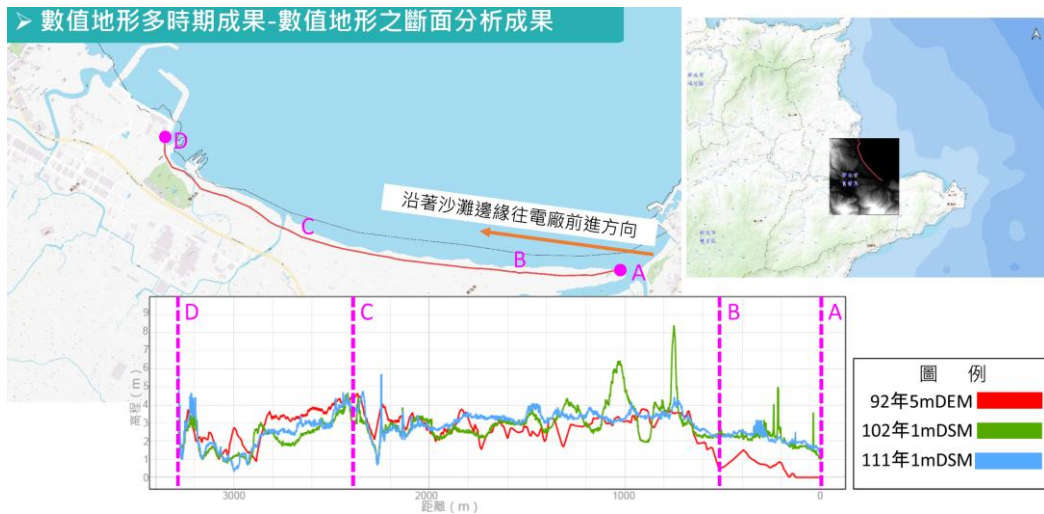


圖 14 沙灘橫斷面比較圖

4.3 內政部數值地形模型侵淤變化分析

內政部提供之數值地形模型 (DTM) 資料僅涵蓋 92、96、102 及 111 年四個年度，透過相互比對這些時期的地形資料，可建立海岸地形厚度變化的侵淤趨勢圖(圖 15)。從比對結果可觀察出沙灘在各年度間存在明顯的變化情形，部分區域呈現淤積，部分則出現侵蝕，顯示沙灘厚度變遷具雙向性。整體而言，歷年沙灘厚度變化呈現侵蝕與堆積並存的現象，反映自然營力與人為因素共同作用下的地形演變過程。

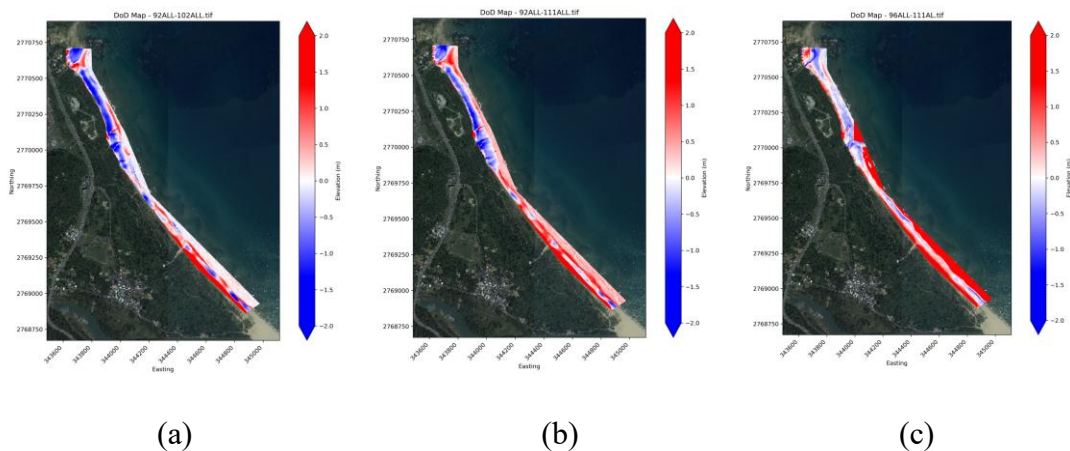


圖 15 (a) 92 年至 102 年 (b) 92 年至 111 年 (c) 96 年至 111 年

另依據中山大學與第三方臺大驗證團隊使用內政部公告之數值地形模型資料，針對石碇溪口至福隆漁港區段進行沙灘厚度變遷分析，結果顯示在不同時期之間，沙灘厚度呈現明顯的階段性變化，成果如圖 16 至圖 18。102 年相較於 92 年期間，正值碼頭施工階段，地貌變化較為不同，區域內同時出現侵蝕與淤積現象。進一步比對 111 年與 92 年的變化趨勢可發現，部分區域堆積持續擴大，部分區域則仍呈現侵蝕，反映長期自然與人為交互作用下的地形演變累積效果。至於近年的 111 年與 102 年比較結果，則顯示沙灘厚度變異趨緩，除局部區域仍有微幅變動外，整體地形趨於穩定，並無明顯沙體流失情形。綜合判斷，沙灘厚度雖受工程與自然因素影響，但整體變化幅度有限，地形狀態漸趨穩定。

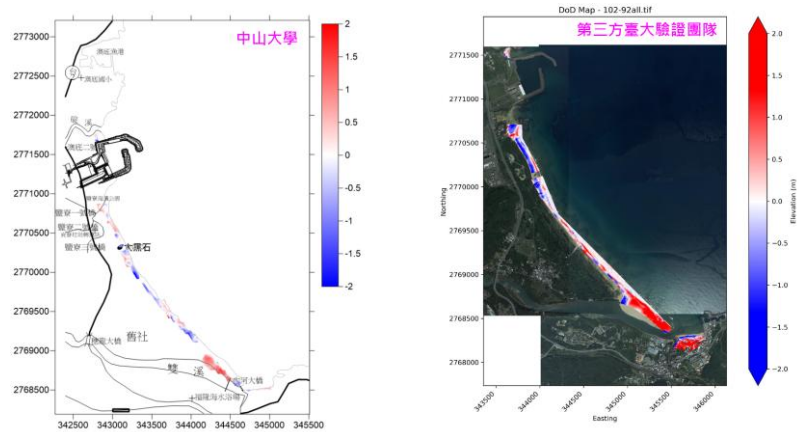


圖 16 92 至 102 年石碇溪口至福隆漁港侵淤成果

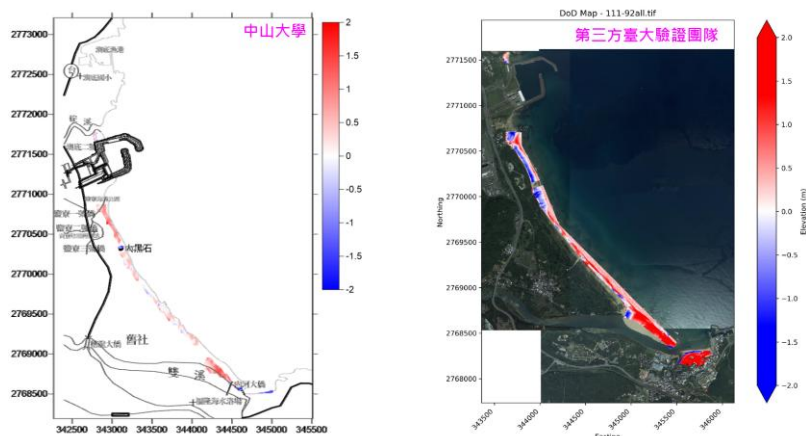


圖 17 92 至 111 年石碇溪口至福隆漁港侵淤成果

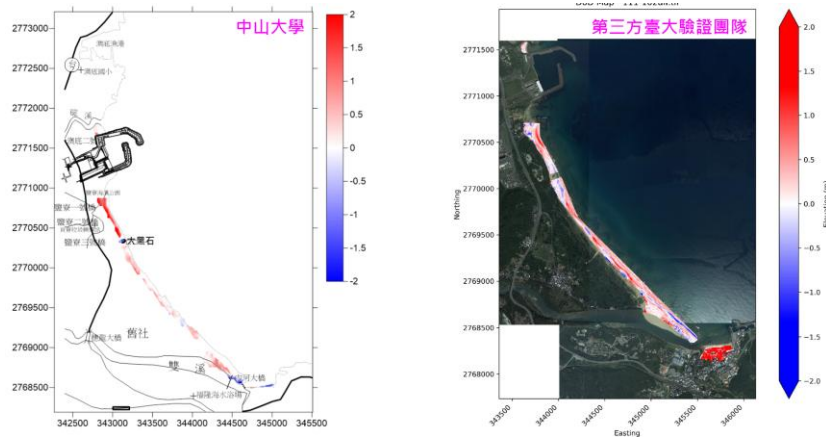


圖 18 102 至 111 年石碇溪口至福隆漁港侵淤成果

五、 歷史圖資整合展示平台

5.1 展示平台介面說明

為提升鹽寮、福隆沙灘現地調查與驗證工作的效率與精度，建立了一套整合地圖操作與量測分析功能的互動式沙灘現地驗證平台(<https://track.cytech.tw/>)，詳細操作步驟如圖 19 至圖 21。使用者可透過手機直接進入平台操作，進行地圖與多時期航照的自由縮放，以輔助判讀沙灘變遷與保安林植生位置。平台具備直線距離與面積量測功能，能透過點選起訖點取得沙灘寬度，或透過多點圈選方式計算範圍面積，便於分析植生分布與堆積範圍。同時，量測結果可進行編輯與刪除，讓使用者能針對不同時間點或區段進行重複比對與修正。平台亦支援歷史圖資與圖層切換，可選擇不同年度的航照與圖資資料，進行地形變化的視覺化比較。此外，整合 GPS 定位與路線記錄功能，使用者可於現地啟動定位記錄，自動保存踏查軌跡與各點坐標資訊，有助於後續進行沙灘變化路徑追蹤與分析。整體而言，此平台將量測工具與多時期圖資整合於單一操作介面中，提供即時且可量化的資料，作為沙灘寬度與厚度變遷評估的重要依據。



圖 19 平台主要功能介面



圖 20 GPS 路徑測量



圖 21 平台測量工具說明



圖 22 平台網址連結 (<https://track.cytech.tw/>)

5.2 平台現場說明與教學

為確保當地居民能夠自行操作沙灘現地驗證平台，經由臺大第三方驗證團隊製作操作教材簡報，並於現地實施教學說明。透過圖 23 及圖 24 可見，團隊實際帶領居民使用平台進行量測操作，說明如何判讀地圖、設定量測點位，並協助居民進行沙灘平面距離與面積的驗證。教學內容包含平台介面操作、GPS 定位記錄、歷史圖層切換等功能，並協助居民熟悉整體設備與操作流程。此教學過程不僅提升居民對沙灘變遷議題的認識與參與度，也有助於後續驗證資料的正確性與可信度，讓地方社群能夠共同參與監測與討論，達到公開透明與科學驗證並重的目的。



圖 23 現地教學與測量(視角 1)



圖 24 現地教學與測量(視角 2)

六、 結論與建議

本計畫透過多源資料整合與時序分析，針對福隆與鹽寮地區沙灘寬度與厚度的變化進行系統性探討。結果顯示，歷年來沙灘地形變化具雙向性特徵，部分區域呈現淤積，部分區域則有侵蝕情形，且變化程度與人為活動、自然營力密切相關。透過多時期航照影像判釋與數值地形模型以及地形分析 (DoD)，可辨識主要變遷區段，並進一步結合斷面剖面與厚度變化圖，掌握沙體之空間特徵與時間軌跡。為提升資料透明度與民眾參與度，本計畫同時建置沙灘現地驗證平台，並辦理現場教學活動，協助當地居民學習使用平台進行距離與面積量測、GPS 路徑記錄與歷史圖層比對，使社區能夠參與沙灘變遷的觀測與紀錄。整體成果有助於建立一套具備技術性與參與性的沙灘監測模式，提供後續海岸管理與灘地保育規劃的重要參考。

為提升沙灘變遷監測的精度與長期追蹤效益，建議後續可於關鍵區段設置固定之斷面樁位，作為持續觀測之基準點。並可結合高精度之全測站進行定期地形量測，透過穩定且具一致性的觀測方式，記錄多時期沙灘橫剖面變化，進一步確認侵蝕與淤積的空間分布與變化趨勢。此作法除可補強現有航測影像與數值地形資料的時間密度與精度不足之問題，亦有助於建立一套精細化、可量化之長期沙灘監測機制，作為未來沙灘保育與管理措施規劃的重要依據。