

第一章 緒論

第一節、計畫緣起

依據地質學者的研究，澎湖群島有大規模的玄武岩以及其他火成岩出露，具有相當豐富的火山地質景觀，有別於臺灣本島的地質作用，並能展現出火山作用的地質意義(經濟部地調所，2014)，澎湖的火山活動肇因於白堊紀末期，隨著古太平洋板塊的隱沒停止，澎湖地區位處的板塊邊界從「擠壓隱沒」轉變為「穩定張裂」，又受軟流圈對流作用，大規模岩漿入侵造成地殼與岩石圈向上穹起、向兩側拉張變薄，出現一系列斷層，提供岩漿上湧的機會，而產生火山活動(莊文星，1988；楊小青，1989；鍾孫霖，1991；李寄嶠，1994；曹恕中等人，1999；陳文山和楊小青，2013)。火山活動過程中所形成的玄武岩，不論是地函岩漿沿著地殼張裂過程中所產生的斷層裂隙上升到地表噴發的裂隙式噴發(曹恕中等人，1999)或是中心式噴發的玄武岩地質景觀(Song et al., 1994)，都因未受上新世以來台灣弧陸碰撞影響而造成岩體變形(Chung et al., 1994; Teng, 1990)，再加上火山活動後的海陸侵蝕營力，使澎湖群島出露豐富的火山地質景觀，特別是多樣性的玄武岩節理、岩脈、火山口等，這些地質景觀反映了當初中中新世-晚中新世時火山活動的特徵與過程，且玄武岩層間或島嶼頂部的沉積岩與紅土，亦說明了穿插在火山活動中或火山活動後的古環境變化與區域環境差異。

在火山活動結束後，澎湖群島經歷了長時間的海水位變化與地殼的垂直變動，形成目前的方山地形。而自全新世以來，海岸地區長期處於海水面與大地構造安定的狀態（陳于高，1993; Chen and Liu, 1996），在當代的旺盛的海水作用下，不只隱含(出露)許多極端

海洋事件的地質紀錄(Lu et al., 2019)，也發育出罕見、且特殊的海岸地形景觀，其中岩石濱台地形相當寬闊，寬度可達數公里，且濱台地形種類多元(Lu et al., 2012)。不僅濱台地形獨特，此地形且也與當地人的活動（文化）有密切關係，發展出東亞數量與密度最高的石滬文化。

總結來說，多樣性的火山地質和海岸地形景觀，以及長時間的人地互動下所演育出的島嶼文化景觀，構成了澎湖地景最大的價值與魅力。

本計畫的推動與執行，對於本縣的地景保育業務有其重要性與迫切性，原因如以下三點：

一、文資法規定應定期調查、追蹤縣內特殊地景

文資法第 79 條即規定「主管機關應定期普查或接受個人、團體提報具自然地景、自然紀念物價值者之內容及範圍，並依法定程序審查後，列冊追蹤。」。第 80 條亦更詳細規定「主管機關應建立自然地景、自然紀念物之調查、研究、保存、維護之完整個案資料。主管機關應對自然紀念物辦理有關教育、保存等紀念計畫。」，因此，本縣應系統性、分年度針對縣轄區域範圍，進行特殊地景的全面調查與研究，作為主管機關列冊追蹤的依據。

二、近期澎湖縣的自然地景研究有諸多重大發現

自然地景的保育價值是建立在科學性的調查上，也就是說，透過科學研究瞭解地景的科學意義、價值與獨特性後，再依據其景點特性施予適切的經營管理。

雖然，澎湖島嶼數量眾多，且部分島嶼地形崎嶇陡峭，地面調查不易，但是這幾年有許多國內外的地質、地球物理和地形學者都

投入澎湖自然地景的研究工作，也有許多重大發現，這些發現均可做為未來特殊地景的登錄標的，以下列舉幾項這幾年本地較重要的研究成果：

(一) 首次發現澎湖海岸出露海嘯事件之地質紀錄，這對於南中國海與台灣區域具有相當重要的災害意義 (Lu et al., 2019)。

(二) 地球物理學者透過震測首次發現澎湖地下入侵火成岩體與地體構造(Chen et al., 2016)。

(三) 第二版的澎湖地質圖幅出版，對於當地的地質現象、構造與地史演育有更深入的認識(顏一勤與李寄嶠，2017)。

(四) 鳥嶼地景照片刊登於重要國際期刊(Lithos)的封面，增加澎湖地景在國際研究的能見度。

三、前一次的地景調查已逾 10 年，應檢討地景狀態與必要性

澎湖縣最近一次較具系統性的地景調查工作，是林務局在 2009 年所委託進行的，至今已近 10 年。過去地景調查的成果並無法涵蓋上述較新的研究成果外，也因為長久以來本縣未實施地景監測或重新調查檢討，這樣將會無法得知過去所登錄的地景點是否已產生變化？甚至地景的良好狀態 (Favourable Condition Status, FCS) 是否已經下降？是否需要剔除於名單外，或是需要加入新的特殊地景點，抑或珍貴的地景點已被破壞，需投入較積極的保育手段，似乎皆無從而知，這是相當急迫且須重視的課題。

基於以上原因，本計畫在今年度預計以馬公市(包含桶盤、虎井、四角嶼等外島)做為特殊地景調查的範圍，藉由科學性、系統性的地景資源調查，建立特殊地景之個案資料，這些個案資料未來將可做為實施地景保育之候選名單，如採用自然地景、自然紀念物或地質公園等法律工具，亦可成為本縣中小學、公眾進行教育推廣的野外教學場域，藉此強化本縣的地景多樣性與保育價值、效益。

第二節、工作項目

依據本計畫之履約標的規定，應包含以下工作事項：

一、馬公市特殊地景之野外調查：

以馬公市(包含桶盤、虎井、四角嶼等外島)做為特殊地景調查的範圍，並計畫至少調查 10 處以上之特殊地景點(包含火山口或岩脈)，並建置地景登錄表。

二、特殊地景之監測與三維建模：

由上述調查或它地重要的特殊地景點中挑選 2 處重要地景點，進行高精度的地景監測，建置公分級測量精度的數位圖資，圖資包含正射影像與數值地表模型。

三、開發虛擬實境(VR)系統：

本計畫需開發一套澎湖島嶼地景的虛擬實境(VR)系統，挑選一個在澎湖地質公園核心區中具有壯觀玄武岩地景和豐富生態之島嶼，建置一套虛擬實境的簡易導覽系統。

四、創意「建置澎湖縣澎湖縣數位地景資料庫」

本計畫的重點工作事項為地景調查與精密監測，監測成果為高精度、全面性的 2D 與 3D 島嶼圖資，此工作成果除了提供管理者經營建議以外，亦可用來做為環境教育推廣之用，讓更多民眾能在免付費的線上平台獲取本研究的調查成果、環境知識。

第三節 研究區

澎湖群島除了花嶼為形成於 6500 萬年前的安山岩質火山岩外，其餘島嶼主要由距今 1700 萬至 800 萬年前的玄武岩，及玄武岩熔岩流所夾的沉積岩或紅土的互層所構成。由於這些島嶼位於穩定歐亞大陸板塊被動邊緣，未受上新世以來台灣弧陸碰撞影響而造成岩體變形，因此保有豐富的火山地質景觀，特別是多樣性的玄武岩節理構造，反映了當初火山活動的特徵與過程，且玄武岩層間或島與頂部的沉積岩與紅土，亦說明了穿插在火山活動中或火山活動後的古環境變化與區域環境差異。以更大的空間尺度而言，這樣的火山地質景觀代表了自中生代晚期以來，印度與歐亞大陸板塊碰撞、太平洋板塊向西北隱沒所造成弧後擴張作用的大地構造活動歷史，同時澎湖的火山活動恰好是位於當時大陸東南沿海拉張作用的中心區域，係為區域火山活動歷史的重要一環，並且在火山活動結束後，經歷了長時間的海水位變化與地殼的垂直變動，形成目前的方山地形。

根據目前的研究，澎湖群島的地層單元可分為五個：(1)花嶼火山雜岩；(2)澎湖層；(3)小門嶼層；(4)湖西層；(5)現代海濱堆積層；中新世的澎湖層則是構成澎湖群島的主要地層，此地層由 2-4 層玄武岩層所構成，玄武岩層間夾有紅土層、疏鬆的沉積岩層，這些間夾岩層除反映火山活動時間的間斷外，亦反映當時後所穿插的陸地風化或海水侵蝕、堆積的事件，本研究的調查範圍(馬公市及其週邊島嶼)之地質環境大致如此。

故本文預計以火山地質景觀調查為主軸，收集澎湖群島的地質、地形、環境考古等相關研究文獻，再到野外進行景點現況調查，調查過程中採用的地景登錄表格進行景點登錄，首年以馬公市及其週邊島嶼為調查對象。

第二章 文獻回顧

地景保育的價值是建立在科學性的資源調查，也就是說經過調查瞭解此地景的形成與自然作用力後，在考量景點內容的獨特性、代表性或重要性，決定景點是否為特殊地景，為使特殊地景之挑選更具有完整性，本章將藉由回顧過去澎湖與台灣地景登錄之準則與成果，俾使本研究更具完整性。

第一節 過去地景登錄成果

過去地景登錄調查相關文獻有二，一為由林務局邀請專家學者針對臺灣北中南東四區調查登錄之特殊地質、地形保育景點進行分級、評鑑的工作，而澎湖縣歸納於南區，二為中央地質調查所之地質遺跡地質敏感區劃定計畫書，本計畫書蒐集上述兩個過去的調查成果，並製作地圖(圖 1)與整理相關文獻資料於下：

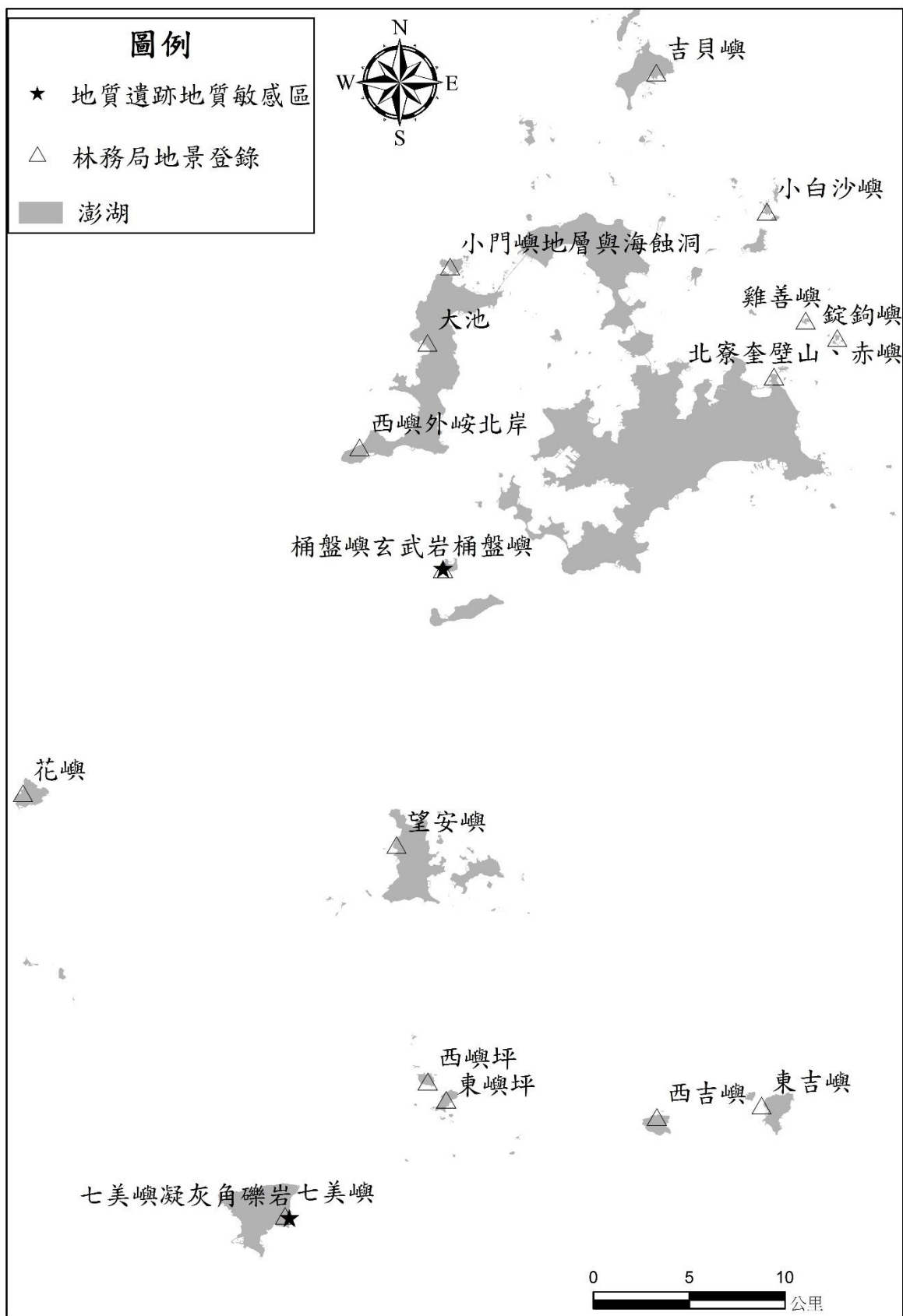


圖 1 林務局 2009 年地景登錄成果與地質敏感區分布圖

(本計畫自行繪製，資料來源:林務局，2009；經濟部地調所，2014)

(一) 林務局地景登錄

農委會自 1994 年 7 月 1 日起即擬訂「地景保育統籌計畫」，由台大地理系王鑫教授主持，同時由 11 位學者、專家組成「地景保育小組」，針對調查登錄之特殊地質、地形保育景點進行分級、評鑑的工作，於 2009 年由台大地理系林俊全教授邀請台大地質系陳文山教授、台大地理系李建堂教授、高雄師範大學地理系齊士崢教授及東華大學自然資源與環境學系劉瑩三教授，分別進行北、中、南、東四區的地景點進行重新的調查、登錄及評鑑，總共登錄了 341 個地景點。

澎湖縣在此次登錄成果中共有 16 處景點，登錄成果除了描述景點特徵以外，專家學者更發展出評鑑指標作為分類依據，依據景點之重要性將此 16 處地景區分為國家級、省級以及縣級，王鑫(1996)列出不同級別的指標，作為評鑑臺灣特殊地質地地形之標準(表 1)，本文又重新整理林務局登錄之成果於(表 2)。

表 1、臺灣特殊地質、地形現象登錄景點的分級標準

◎ 國家級

- ☐ 可以為一個大區域甚至全球地史演化過程中，某一項重大地史事件或演化階段眾要證據的地質、地形現象。
- ☐ 具有國際或國內大區域地層(構造)對比意義的典型剖面、化石及產地。
- ☐ 具有國際或國內典型地學意義的地質、地形景觀現象

◎ 省級

- ☐ 能為區域地質歷史演化階段提供重要地質證據的地質、地形現象。
- ☐ 有區域地層(構造)對比意義的典型剖面、化石及產地。
- ☐ 在地學分區及分類上，具有代表性或較高歷史、文化、旅遊價值的地質、地形景觀

◎ 縣級

- ☐ 在本縣的範圍內具有科學研究價值的典型剖面、化石及產地
- ☐ 在小區域內具有特色的地質、地形景觀或現象。

資料來源：王鑫，1996

(二) 地質遺跡地質敏感區劃定計畫書

臺灣位處板塊接觸帶，地質條件較為破碎，於夏秋兩季又常有風災侵襲，地質災害屢見不鮮，故民國 99 年 11 月 16 日立法院三讀通過「地質法」，並於 100 年 12 月 1 日開始施行，地質法第 5 條規定「中央主管機關應將具有特殊地質景觀、地質環境或有發生地質災害之虞之地區，公告為地質敏感區」，並訂定「地質敏感區劃定變更及廢止辦法」。

澎湖群島之地質活動所產生的玄武岩亦有別於臺灣本島之地質作用，故經濟部中央地質調查所(2014)提出桶盤嶼與七美嶼出露的火山地質景觀具有獨特性與科學研究的價值，為避免破壞這些特殊的地質遺跡，依據地質法第 5 條第 1 項與地質敏感區劃定變更及廢止辦法第 3 條規定，劃定為地質遺跡地質敏感區，此外地質敏感區之劃設亦排除其他法規劃設之保育區，如：南方四島國家公園、2 處自然保留區(共含 7 座島嶼)以及 2 處野生動物保護區。

1. 桶盤嶼玄武岩

依據地質敏感區劃定變更及廢止辦法第 3 條：「地質遺跡指在地球演化過程中，各種地質作用之產物。地質遺跡分布區域具有下列情形之一，並經中央主管機關劃定者為地質遺跡地質敏感區。一、有特殊地質意義。二、有教學或科學研究價值。三、有觀賞價值。四、有獨特性或稀有性。

澎湖群島之多數島嶼地景皆以玄武岩之熔岩流冷卻後，經長期的海蝕作用後所構成，而桶盤嶼海岸出露的玄武岩為澎湖群島最具規模的柱狀節理玄武岩，垂直地表的玄武岩岩柱直徑達 1-2 公尺，出露完整、連續且延伸範圍廣；又其地層層序為兩層玄武岩中間夾一層沉積岩，此剖面顯示了澎湖玄武岩熔岩流分為兩次噴發，兩次噴發期中間海水面曾經上升，故形成了砂岩與泥岩等沉積岩，而後海水面又再

度下降，沉積岩的頂部受到風化形成古土壤，桶盤嶼地區的地質特性說明海水面升降以及兩次玄武岩熔岩流噴發，為研究澎湖群島地史的重要剖面，故綜合上述可得知桶盤嶼之劃，其柱狀節理玄武岩符合了獨特性或稀有性，地層剖面則符合有教學或科學研究價值(經濟部中央地質調查所，2014)。

本地質遺跡地質敏感區的劃定是以桶盤嶼內地質特性明顯與出露最具規模、完整且連續的柱狀節理玄武岩區域為劃定範圍(圖 2)，可看出範圍在西部與南部的海岸與海蝕平台。

2. 七美嶼凝灰角礫岩

七美嶼由玄武岩、凝灰角礫岩與沉積岩構成，地層屬澎湖層，島的東岸主要出露凝灰角礫岩，為澎湖群島內最具規模者，本地質敏感區的範圍自七美嶼東南海岸的牛母坪至下巷地區(圖 3)，地質上有許多重要可觀察到的露頭，於牛母坪地區有兩個較重要之地景，一為北側的海崖玄武岩和其下的凝灰岩形成類向斜構造與侵入岩脈，二為於海蝕平台上具有臺灣形狀的凝灰角礫岩，當地人俗稱為小臺灣；由牛母坪再往南的分岔仔地區可看見海蝕柱地形，其玄武岩具有明顯的柱狀節理，高度約 35 公尺；龍埕地區有兩個較為重要的地景，一為在海崖出露的凝灰角礫岩，層理明顯，上層凝灰角礫岩向下滑落，可能是沉積當時或稍後發生重力滑移 (gravity slide) 所造成 (陳培源與張郇生，1995)，形成類似不整合接觸，二為龍埕海蝕平臺出露的褶皺，褶皺傾末角度很小，並可同時觀察到入侵呈垂直的岩脈構造，海蝕平台上亦可見海成壺穴沿著斷層與節理垂直之弱面發育；最後大獅和下巷海岸的玄武岩為傾斜與放射狀(經濟部中央地質調查所，2014)，大獅海岸的玄武岩因長期受海浪侵蝕，從人們的觀看角度似乎為蹲踞在海岸邊的獅子，故得其名。

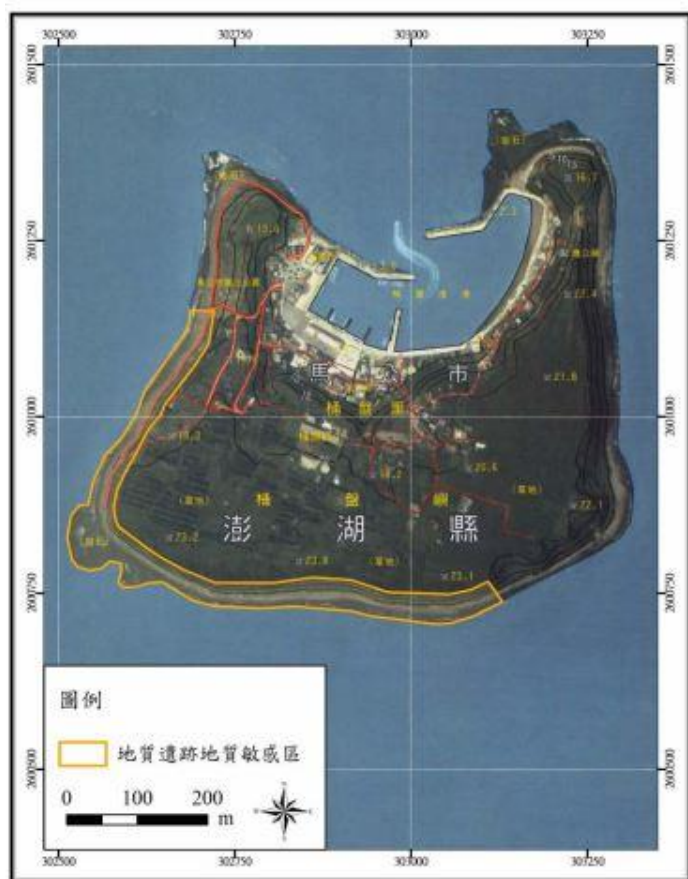


圖 2 桶盤嶼玄武岩地質遺跡地質敏感區範圍
(資料來源：地質遺跡地質敏感區劃定計畫書)



圖 3 七美嶼凝灰角礫岩地質遺跡地質敏感區範圍(資料來源：地質遺跡地質敏感區劃定計畫書)

表 2 過去地景登錄研究成果

編號	地景名稱	行政區	登錄主管機關	地景簡述	資料來源
1	澎湖群島桶盤嶼柱狀玄武岩	澎湖縣馬公市	林務局	- 桶盤嶼的岩層主要是由兩層矽質玄武岩、中間夾雜沈積岩所構成的，這樣的地層分布特徵，顯示距今 15-14 百萬年前的早期火山噴發後，本地區曾經沈入水中，因而堆積了一層沈積層，然後再間隔大約 4 百萬年後發生後期火山活動，構成方山頂面的矽質玄武岩 - 桶盤嶼海岸的侵蝕地形非常豐富，形成了發達的海蝕平台，還有因現代海岸侵蝕作用造成的差異侵蝕小地形，例如氣孔柱、小規模石筍群（蕈狀岩）、和發達的壺穴群。	台灣地景保育網
2	澎湖群島北寮奎壁山、赤嶼	澎湖縣湖西鄉	林務局	- 北寮奎壁山、赤嶼地區為以矽質玄武岩構成的島嶼。距今約一千萬年，矽質、基性玄武岩岩漿再度由岩脈、岩漿通道流出，形成奎壁山、赤嶼、番仔石（基性玄武岩含有大量捕獲岩）。其地景可代表澎湖群島的生成，具有科學研究的高度價值。 - 赤嶼與奎壁山間的海蝕平臺，正好是火山碎屑岩及火山灰層與頂部玄武岩層之交接面，由於侵蝕作用的結果恰好掀掉上層的玄武岩，而在海蝕臺上露出供應上層玄武岩熔岩流的岩脈，並因為上層的玄武岩蓋層，比下層碎屑鹽較耐侵蝕，由於差異侵蝕造成蕈狀岩(陳培源、張郇生，1995)。 - 在海蝕平臺上可發現數條呈放射狀分布岩脈，由海蝕平臺延伸至山壁，因此奎壁山可能是一噴發中心；赤嶼週為三條岩脈呈放射狀分布，量測其走向分別為 N70E、EW、N45W，可能指向噴發中	台灣地景保育網

				心赤嶼(曹恕中等人，1999)。	
3	雞善嶼柱狀玄武岩島嶼	澎湖縣湖西鄉	林務局	- 雞善嶼地質年代約一千二百二十萬年，由於激烈的海蝕作用而分割成大、小兩島。大雞善嶼周圍有海蝕溝、海蝕洞數處，不僅具有特殊的地質景觀，島嶼上也數種燕鷗的棲息地；小雞善嶼四週均為筆直的柱狀玄武岩，岩柱節理清晰，狀似「管風琴」，十分雄偉壯觀。 - 大小雞善嶼的玄武岩之所以如此壯觀，歸咎於本島僅出露一厚約 10~15 公尺的鹼性玄武岩層，岩性單一，加上鹼性玄武岩具有節理分明且柱徑小的特徵，而形成雞善嶼統一性極高的地景特性。	台灣地景保育網
4	錠鉤嶼柱狀玄武岩島嶼	澎湖縣湖西鄉	林務局	- 錠鉤嶼由四個獨立的岩礁相連而成，因此素有「小桂林」的稱號。 - 全島之玄武岩緻密，岩石中常含有橄欖岩團塊，流出地表的熔岩因所處的空間位置不同，冷卻後形成各種不同方向的柱狀節理，其景觀壯麗，故被列入澎湖玄武岩自然保留區內，由澎湖縣政府管轄。 - 本島較為特殊的地質景觀為不同方向的柱狀玄武岩節理構造，有直立式、彎曲狀與平躺狀的，反映當時岩漿噴出冷卻的位置差異。 - 錠鉤嶼地勢起伏，海蝕地景成群發育，海蝕柱間有類似於「一線天」的奇景，岩礁間的海蝕溝甚至可通行小舟，為本島較為獨特的地景體驗。	台灣地景保育網
5	小白沙嶼柱狀玄武岩島嶼	澎湖縣白沙鄉	林務局	- 地質上，本島玄武岩產狀主要可分為上部的柱狀玄武岩與下部的多孔狀與板狀玄武岩，岩性以鹼性玄武岩為主體，內含超基性團塊，主要由橄欖石、斜輝石等礦物組成，根據鉀-氬定年所測定的資料顯示，本島形成的地質年代約為 1300 萬年前。 - 小白沙嶼南部柱狀節理發達，特別是東南部出露高約 5 公尺的玄武岩柱狀節理	台灣地景保育網

				景觀，其構造呈彎曲狀，依據柱狀節理構造與當初岩漿冷凝收縮接觸面之關係，此柱狀節理構造可能為一火山頸遺跡，指示此地為當時在地層中侵入的岩漿匯聚並上引位置。後經侵蝕作用而出露。附近有一直徑約 10 公尺的半圓形放射狀解理，形似火山口。 3. 島嶼地形略成一方山地形，最高處約為 24 公尺，島嶼四周多為陡峭海崖，退潮後會在東北側露出大範圍的濱台地形，濱台寬度呈北寬南窄的分布趨勢。	
6	澎湖群島吉貝嶼玄武岩方山與海積地形	澎湖縣白沙鄉	林務局	1. 吉貝之地質環境為矽質與鹼性玄武岩所構成，其形成過程為距今 15-14 個百萬年以前，當時澎湖地區是以噴發矽質玄武岩為主，矽質玄武岩並構成整個群島的主體，其後海水面曾經相對下降，使得矽質玄武岩頂部開始受到風化侵蝕並有紅土層出現 2. 地形上，全島的地勢東高西低，島嶼東半部是較高的玄武岩台地，西半部有大片的砂灘。遠望頂部平坦的方山和大片的砂灘、沙嘴，是吉貝嶼地形上的兩大特色。	台灣地景保育網
7	澎湖大池	澎湖縣西嶼鄉	林務局	1. 從海崖組成物質顯示，此處至少有兩次火山噴發，在兩次噴發的間隔，出露地表的玄武岩受高溫潮濕氣候風化作用而發育成紅土，同時低窪地區或濱海沼澤生機盎然，淺海有泥沙堆積，可能形成泥炭和炭質泥岩。其後火山再度噴發，玄武岩流再覆蓋其上。 2. 濱台的形成主要是由施力（波浪能量）和抗力（岩石抗力）的交互作用下而形成。	台灣地景保育網
8	澎湖西嶼外岬北岸	澎湖縣西嶼鄉	林務局	1. 外岬北岸可看見許多玄武岩流與碎屑性沉積岩交間成層的海崖，此族的岩層大約可看到兩層玄武岩與兩層沉積岩。出露在地面較高位置的上層熔岩多是緻密質玄武岩而有明顯柱狀節理；下部熔	台灣地景保育網

				岩，尤其在海面附近出露者，多呈半風化而有多量氣孔之玄武岩。而沉積層的組成以海灣內部和淺海沉積的物質為主。 2. 平均高度大約 40 公尺的海崖上，看到許多海崖崩塌，使崖底堆積著崖錐。但在濱海處卻是由圓度（roundness）較高的礫石，組成的礫石灘海岸。	
9	澎湖群島小門嶼玄武岩地層與海蝕洞	澎湖縣西嶼鄉	林務局	1. 小門嶼位在澎湖群島西嶼北端，與西嶼之間有寬約 200 公尺的狹窄水道相隔。地勢北高南低，東、西、北三側是侵蝕型海岸，最高處在西北部海崖，高度約 30m。小門嶼在空間規模與人口規模上均屬六個地質公園景觀點之最小者，以其鯨魚洞為著名景點。 2. 地質方面，小門嶼層之岩性主要為有孔蟲殼砂混合石英砂，經鈣質膠結而成之概質砂岩，其底部之鈣質砂岩中夾有鐵質石英砂之小圓礫，顯示本層與鐵質石英砂岩之間可能具有沉積間斷，本層最厚約 5-8 公尺，常見於地形面頂部，並較具規模出露於小門嶼西北高地(顏一勤、李寄嶠，2017)，本層中層發現陸棲貝類化石與哺乳類化石(小門嶼產 <i>Cervus</i> sp.)，因此年代定為更新世(林朝榮，1957)。此地景說明了澎湖群島在更新世時期曾經歷過高海水位時期，海水漫淹過小門嶼而形成此地層，為當地解說氣候變遷的良好教學素材。	台灣地景保育網
10	澎湖花嶼	澎湖縣望安鄉	林務局	1. 澎湖花嶼是澎湖群島中最古老的島嶼。 2. 本島岩相複雜，分布最廣的岩性為斑狀安山岩，交雜多樣性岩脈與擄獲岩，岩體無層次、破碎且雜亂，風化程度高，其地質景觀迥異於其他以玄武岩柱狀節理聞名的澎湖群島。 3. 花嶼形成年代久遠，相對接受地表風化的程度亦高，加上島上岩相複雜，因此造成可觀察到各種風化現象，如球狀風	台灣地景保育網

				化、風化紋、蜂窩岩等，其地形景觀相當特殊，罕見	
11	澎湖東嶼坪	澎湖縣望安鄉	林務局	- 地質上，本島的上部玄武岩是澎湖火山活動末期所形成，距今 8 百萬年前，地層組成由下部至上部分別為火山集塊岩、富含化石的層狀及頁狀砂岩(厚度達 20 公尺)與鹼性玄武岩。其中厚層沉積岩的出露代表著本島曾經一度沉溺於海水中，沉積成岩。 - 東嶼坪南北兩陸塊柱狀節理發達，北岸有數條岩脈蜿蜒分布，甚至互相截切成垂直狀，而其岩脈有如高聳岩壁，突出於由凝灰岩所構成的岩石濱台上，且延伸至內陸海崖，相當奇特。 - 在東北海岸則有兩平行岩脈，貫穿至內陸。而在東北方的金龍塔海崖，其岩層下部為凝灰岩層，上部則為弧形的板狀節理，其節理構造相當罕見。 - 島嶼南岸因位屬波浪的陰影區，而形成大規模沙灘，灘面長度可達 500 公尺，在島嶼西側亦有一小處沙灘。	台灣地景保育網
12	澎湖西嶼坪	澎湖縣望安鄉	林務局	- 地質上，西嶼坪嶼的地層分為三層，底層為沉積岩，中層為具柱狀節理的玄武岩，上層為再積的火山碎屑岩。沉積岩出露於南側崖壁的下部，被厚 10 幾至 30 公尺的熔岩覆蓋，之後火山碎屑岩再堆積在熔岩之上。其噴發時間約 1100 萬年前，與鄰近島嶼構成頂部的玄武岩熔岩年代相似(陳文山等人，2013)。 - 西嶼坪嶼屬於方山地形，島中央為平坦的熔岩平臺，海拔高度 30~42 公尺，中間有一淺溝，稱為西溝。平台頂面地型略為朝北傾斜，南側平臺高度降至約海拔 25 公尺。 - 海岸皆為陡峭的海崖地形，特別是西岸玄武岩的柱狀節理明顯，氣勢相當磅礴，島嶼東岸亦為由玄武岩所構成的海崖，其柱狀節理則不較西岸明顯，多呈	台灣地景保育網

				不規則狀，崖底則有因海崖後退，岩體崩落所形成的崖錐堆積，僅東南側瀨子尾一帶，才有稍寬敞的沙灘(陳文山等人，2013)。	
13	澎湖東吉嶼	澎湖縣望安鄉	林務局	1. 東吉嶼的下部基盤主要為火山凝灰碎屑岩或集塊岩組成，上部則為柱狀節理發達的玄武岩，局部地區如南部虎頭山夾雜含生物碎屑之砂岩、泥質砂岩等沉積岩。 2. 東吉嶼地質與西吉嶼等其他島嶼略有不同，除了廣泛分布的玄武岩熔岩之外，還有微輝長岩的侵入岩體。出露的岩層有四層，下層是再積的火山碎屑岩，之上為沉積岩，第三層才是後層的玄武岩熔岩，之後被微輝長岩侵入 (陳文山等人，2013)。 3. 東吉嶼為一典型方山地形，島嶼中部地勢低窪，將本島分為南北兩方山，方山頂部高度在 20-30 公尺間，最高處為北方的尖礁山，標高 47 公尺。海岸地區主要以海崖與濱台地形為主，沙灘零星分布於島嶼西側和西南側(台灣地景保育網，2019)	台灣地景保育網
14	澎湖西吉嶼	澎湖縣望安鄉	林務局	1. 西吉嶼僅露出一層玄武岩熔岩，但至少要有兩期的岩漿活動，噴發時間與東吉嶼相同，早期約 1200 萬年前，後期約 1000 萬年前。從崖壁出露的熔岩剖面可看出，熔岩厚度北側較厚，南側較薄，因此地形出現北高南低。 2. 地形上，西吉嶼為一平坦的方山地形，地勢由北向南緩降，島嶼北方的煙屯山標高 23 公尺，是本島最高點。北側海岸地形屬於侵蝕型的礁岩海岸。 3. 岩石濱台的分布，在島嶼的北側與東北側濱台狹窄，海岸多為臨海陡崖的型態，近岸水深陡降，反倒是島嶼東南側的濱台寬度可達 300 公尺以上，如此分布與島嶼地勢緩降的趨勢顯示原始地形	台灣地景保育網

				可能對當地的濱台發育具有影響 4. 南側淺海中生長茂盛的珊瑚礁，暴風作用之下，在南側海岸堆積長達 800 公尺由珊瑚碎塊構成的礫石海灘（陳文山等人，2013）。	
15	澎湖群島望安嶼玄武岩景觀	澎湖縣望安鄉	林務局	1. 根據定年資料，望安嶼可能出露了澎湖地區最古老的玄武岩層，其時代大約是 17-15 百萬年前之間，包括出露於天台山含有矽質玄武岩捕獲岩的粗粒玄武岩（微輝長岩）。 2. 天台山的海崖、海蝕平台上還有數股岩漿構成的岩脈，因為交界處並無燒烤痕跡，顯示它們是在尚未冷凝的狀況下相互穿透，形成非常特殊的景觀。 3. 望安島主要的地形景觀是包括海崖、海蝕平台、海蝕溝、海蝕洞和海岸奇岩怪石，以及在天台山南方的山腳下一直延伸至東安村的沙灘地形（目前已規劃為綠蠵龜產卵棲地的保護區），綠蠵龜每年 4—8 月在望安島南邊與西南邊海岸砂灘產卵。	台灣地景保育網
16	澎湖群島七美嶼玄武岩景觀	澎湖縣七美鄉	林務局	1. 七美嶼的地質複雜，尤其出露在島的北側和東側的海岸，由下到上呈現明顯的沈積層序：凝灰質火山碎屑岩→淺海沈積層→玄武岩→泥質沈積層的層序，局部還可見大小不同的岩脈侵入沉積岩層或層狀的火山角礫岩中有沉積岩層。 2. 根據定年資料顯示，七美嶼的玄武岩大約形成於距今 10 百萬年前，火山活動停止後，受海水侵蝕和堆積的作用，形成今日島上可見的複雜柱狀節理的玄武岩、層狀火山角礫岩、沉積層構成的高大海崖，以及海蝕柱、海蝕平台、豆腐岩、壺穴、貝殼沙灘等地形景觀。	台灣地景保育網
17	桶盤嶼玄武岩	澎湖縣馬公市	中央地質調查所	1. 桶盤嶼海岸出露的玄武岩為澎湖群島最具規模的柱狀節理玄武岩，垂直地表的玄武岩岩柱直徑達 1-2 公尺，出露完整、連續且延伸範圍廣。	地質遺跡 地質敏感區劃定計畫書

				2. 又其地層層序為兩層玄武岩中間夾一層沉積岩，此剖面顯示了澎湖玄武岩熔岩流分為兩次噴發，兩次噴發期中間海水面曾經上升，故形成了沙岩與泥岩等沉積岩，而後海水面又再度下降，沉積岩的頂部受到風化形成古土壤桶盤嶼地區的地質特性說明海水面升降以及兩次玄武岩熔岩流噴發，為研究澎湖群島地史的重要剖面，符合有教學或科學研究價值 3. 桶盤嶼西部與南部的海崖與海蝕平臺為地質敏感區劃定範圍。	
18	七美嶼凝灰角礫岩	澎湖縣七美鄉	中央地質調查所	1. 七美嶼由玄武岩、凝灰角礫岩與沉積岩構成，地層屬澎湖層，島的東岸主要出露凝灰角礫岩，為澎湖群島內最具規模者。 2. 地質敏感區的範圍自七美嶼東南海岸的牛母坪至下巷地區。 3. 地質上有許多重要可觀察到的露頭，牛母坪地區有凝灰岩形成類向斜構造與侵入岩脈，以及於海蝕平台上具有臺灣形狀的凝灰角礫岩；分岔仔地區可看見海蝕柱地形，其玄武岩具有明顯的柱狀節理，高度約 35 公尺；龍埕地區有兩個較為重要的地景，一為在海崖出露的凝灰角礫岩，層理明顯，上層凝灰角礫岩向下滑落，可能是沉積當時或稍後發生重力滑移（gravity slide）所造成（陳培源與張卯生，1995），形成類似不整合接觸，二為龍埕海蝕平臺出露的褶皺；最後大獅和下巷海岸的玄武岩為傾斜與放射狀	地質遺跡 地質敏感區劃定計畫書

第二節、特殊地景登錄類準則

透過自然地景資源的調查，可以探究地景變化背後所代表的科學義涵，了解自然地景是內、外營力在不同的時空尺度下作用而成，並藉此重現地球的歷史，因此地景的選址就成為本研究重要的課題，故本文希望透過回顧國內、外對於自然地景的分類方式以及登錄準則，建立一套適合澎湖縣的自然地景登錄架構。

為使本研究地景選址工作具有代表性與正確表達其科學意義，故本文參考李光中(2011)回顧各國對於自然地景登錄之基準，以作為本研究之參考借鏡：

一、世界自然遺產

登錄世界遺產，須由簽署《世界遺產公約》的締約國提出，經聯合國教科文組織（UNESCO）轄下之「世界遺產委員會」討論，凡符合傑出普世價值、真實性(Authenticity)、完整性(Integrity)標準，並具備適切經營管理法規體制的實體資產，才有機會獲選列入世界遺產名錄(文化資產局，2019)。

我國雖非公約締約國，但是對照自然地景登錄之四項標準，並以澎湖縣的玄武岩自然保留區為例，雞善嶼、小白沙嶼以及錠鉤嶼都具有壯闊的玄武岩柱狀節理，符合標準的第七項：包含極致的自然現象，或具有特殊自然美景與美學重要性的地區(VII)，與第八項：是地球歷史重要階段的顯著代表範例，包括生命紀錄，地貌發育重要進行中的地質作用，或重要的地形、地文現象(VIII)，故玄武岩自然保留區已被列入世界文化遺產之潛力點，然而除了玄武岩自然保留區以外，本縣應有更多值得納入潛力點之地景，待本研究調查，並論述其科學價值。

二、英國的景點登錄：SSSIs與RIGS

英國為相當重視地質、地形保育之國家，其保育工作已有超過百年歷史，最早於 1977 年由地質保育檢討計畫 GCR (Geological Conservation Review) 積極的進行地景保育工作，此計畫之目標是將英國國內較為重要的地質及地形，並具有科學研究意義的地景點編列成冊(Ellis,2008)，因此在談論地景登錄與保育時，英國的研究方法就成為可供參考的重要方向。

英國的地景保育工作大致可分為二級：國家級與地方級，國家級是由英國自然署於 1977-1990 年所實施的地質保育檢討計畫 GCR 針對具有特殊科學意義的景點(Sites of Special Scientific Interests,SSSIs)作為地景登錄之基準，其基準有三項：

- 1.具有國際地質重要性的景點。
- 2.具有科學重要性之特殊現象景點。
- 3.具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解英國地質史所必備者。

然而傳統地地景登錄方式有一些缺失，最顯而易見的是這些登錄為國家級之景點固然有其重要的科學價值，但是一般民眾每日所及之地方性景點卻不受重視，為改善此缺失，英國保育單位自 1999 年起積極推動「區域性重要地質及地形景點計畫」(Regionally Important Geological and geomorphological Sites, RIGS)，鼓勵地方保育社團調查、登錄地方上重要地景，出版刊物，並與各式教育與文化活動結合，試圖喚起一般大眾的認識以及重視(何立德，2009)，其登錄基準如下：

- 1.具有終身學習的教育價值之景點。
- 2.具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點。
- 3.具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點。
- 4.具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點。

(三) 臺灣地景保育景點登錄與評鑑計畫

行政院農委會自民國 83 年起實施「地景保育統籌計畫」，當時由地質保育組的委員們商定並提出適用於臺灣地景保育景點登錄之評鑑類別，共分為 8 類(表 4)，每一類有其適用的準則，並以此決定最後景點，最後根據委員們的評鑑結果討論出適用於台灣的地景保育景點登錄計畫，並將景點登錄分三等級標準：國家級、省級、縣市级(表 1)。

(四) 臺灣自然地景保育景點登錄標準芻議

李光中(2011)綜合分析世界自然遺產、英國之SSSIs與RIGS以及王鑫(1996,2000)臺灣地景保育景點登錄與評鑑計畫後建議，應按照我國文化資產保存法之規定，按照主管機關之差異將之分為國家與地方兩級，而各級之登錄基準又按照英國之標準修改：

1. 國家級

- (1)具有國際地質重要性的景點
- (2)具有科學重要性之特殊現象景點
- (3)具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解台灣地質史所必備者

2. 地方級

- (1)具有終身學習的教育價值之景點
- (2)具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點
- (3)具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點
- (4)具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點

表 3 自然地景之登錄等級

	UNESCO 世界自然遺產	英國 SSSIs與RIGS	臺灣地景保育景點登 錄計畫(王鑫，1996)	臺灣自然地景保育 景點登錄標準芻議 (李光中，2011)
登 錄 基 準	1. 自然基準 a. 包含極致的自然現象，或具有特殊自然美景與美學重要性的地區。 b. 是地球歷史重要階段的顯著代表範例，包括生命紀錄，地貌發育重要進行中的地質作用，或重要的地形、地文現象。 c. 對於陸域、淡水、海岸與海洋生態系和動植物族群的演化發展而言，足以代表重要且進行中的生態和生物作用。 d. 就生物多樣性現地保育而言，包含最重要且最有意義的自然棲地，特別是那些在科學或保育上具有顯著全球價值但面臨威脅之物種的棲地 2. 完整性 3. 保護和經營管理	1. 國家級SSSIs a. 具有國際地質重要性的景點。 b. 具有科學重要性之特殊現象景點。 c. 具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解英國地質史所必備者。 2. 地方級 RIGS a. 具有終身學習的教育價值之景點。 b. 具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點。 c. 具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點。 d. 具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點。	1. 國家級 a. 可以為一個大區域甚至全球地史演化過程中，某一項重大地史事件或演化階段重要證據的地質、地形現象。 b. 具有國際或國內大區域地層(構造)對比意義的典型剖面、化石及產地。 c. 具有國際或國內典型地學意義的地質、地形景觀現象 2. 省級 a. 能為區域地質歷史演化階段提供重要地質證據的地質、地形現象。 b. 有區域地層(構造)對比意義的典型剖面、化石及產地。 c. 在地學分區及分類上，具有代表性或較高歷史、文化、旅遊價值的地質、地形景觀 3. 地方級 a. 在本縣的範圍內具有科學研究價值的典型剖面、化石及產地 b. 在小區域內具有特色的地質、地形景觀或現象。	1. 國家級 a. 具有國際地質重要性的景點 b. 具有科學重要性之特殊現象景點 c. 具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解台灣地質史所必備者 2. 地方級 a. 具有終身學習的教育價值之景點 b. 具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點 c. 具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點 d. 具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點

第三節、特殊地景登錄類別

自然地景的分類方式可以有以下兩種架構，第一種是按照自然地景之主題分類，此種分類方式利於專家學者在評估地景登錄時作為登錄之準則，第二種的分類方式則是按照地景保育之經營管理類型來分類，也就是透過此分類方式能針對不同的地景類型，進行不同的保育手段，本研究則預計在執行地景登錄時，能兼具上述兩類分類方式之優點，故進行以下回顧。

一、地景登錄之主題式分類

本計畫回顧國內外對於自然地景的三項分類方式：

1. 世界自然遺產

聯合國教科文組織於 1972 年提出列入世界遺產的標準，任何遺產皆需滿足兩個條件，第一是具備傑出普世性價值（Outstanding Universal Value，簡稱OUV），且至少擁有一項《世界遺產公約執行作業指南》（Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention）定義的十項標準之一，其中符合自然遺產的登錄標準有以下四個準則(文化資產局，2019)：

- (1) 包含極致的自然現象，或具有特殊自然美景與美學重要性
的地區。(VII)
- (2) 是地球歷史重要階段的顯著代表範例，包括生命紀錄，地貌
發育重要進行中的地質作用，或重要的地形、地文現象。(VIII)
- (3) 對於陸域、淡水、海岸與海洋生態系和動植物族群的演化發
展而言，足以代表重要且進行中的生態和生物作用。(IX)
- (4) 就生物多樣性現地保育而言，包含最重要且最有意義的自然
棲地，特別是那些在科學或保育上具有顯著全球價值但面臨
威脅之物種的棲地。(X)

基於上述標準，Dingwall et al.(2005)提出 13 項地質主題區，作為

地質類自然遺產的參考架構，不但可協助會員國申報的依據分析，更能進一步協助世界遺產委員會及其顧問辨認、評估。

13 項主題內容如下：

- (1) 板塊構造現象(tectonic and structural features)
- (2) 火山和火山系(volcanoes/volcanic systems)
- (3) 山脈系統(mountain systems)
- (4) 地層位址(stratigraphic sites)
- (5) 化石位址(fossil sites)
- (6) 河流、湖泊和河口三角洲系統(fluvial,lacustrine and deltaic systems)
- (7) 洞穴和喀斯特系統(caves and karst systems)
- (8) 海岸系統(coastal systems)
- (9) 珊瑚礁、環礁和海洋島嶼(reefs,atolls and oceanic islands)
- (10) 冰川和冰帽(glaciers and ice caps)
- (11) 冰期(Ice Ages)
- (12) 乾燥和半乾燥沙漠系統(arid and semi-arid desert systems)
- (13) 殞石撞擊(meteorite impact)。

2. 臺灣的地形景觀分類系統(王鑫，1980)

在臺灣的地形景觀一書把臺灣的主要地形分為 13 類：海岸地形、河流地形、火山地形、平原地形、台地地形、盆地地形、高山地形、風成地形、泥火山地形、泥岩惡地地形、火炎山地形、隆起珊瑚礁地形、島嶼地形。

3. 臺灣地景保育景點登錄與評鑑計劃之分類系統(王鑫，1996)

行政院農委會自民國 83 年起實施「地景保育統籌計畫」，當時由

王鑫(1996)提出適用於臺灣地景保育景點登錄之評鑑類別，共分為 8 類(表 4)，每一類又有各自的選取準則，並依相對重要性排列。

4. 臺灣自然地景保育景點登錄標準芻議(李光中，2011)

李光中(2011)以聯合國教科文組織之分類作為主要架構，並參考臺灣的重要分類系統，將之區分為 12 類：板塊構造現象、火山地景、高山地景、重要地層或化石位址、河流、湖泊或河口三角洲地景、隆起珊瑚礁和洞穴地景、海岸地景、珊瑚礁、環礁和海洋島嶼、冰河遺跡、火災山地景、泥岩惡地、泥火山地景、地質災害遺跡。綜合上述四種分類架構(表 5)，行政院農業委員會於 2009 年對於臺灣地景進行再次登錄調查，便以李光中於 2011 年提出之架構作為依據，故本文在本次調查中亦將以此架構作為調查依據。

表 4 地景保育景點內容、分類選取準則及其相對重要性

分類項目	選取準則
地層	a1.國際性（對比）標準地層剖面或台灣的代表性地層 a2.區域性標準地層剖面 a3.已有深入研究及完整資料之地層剖面且有重要意義者 a4.露頭出露良好，可供教學實習之地點
化石	b1.台灣特有或稀有之化石 b2.有重大意義之指準化石 b3.保存狀況良好可供教學實習之地點 b4.具特殊地質作用證據之化石
構造	c1.國內外研究已確立的典型構造現象 c2.保存狀況良好可供教學實習之地點 c3.具有全球比對性質之露頭，且具重要學術研究價值者 c4.具有區域對比性質之露頭，且具重要學術研究價值者 c5.具區域性地質作用之證據者
礦物	d1.有全球性稀有礦物出露之地點 d2.有台灣地區稀有礦物出露之地點 d3.有區域性特殊礦物出露之地點，及晶形完美礦物之露頭 d4.保存狀況良好可供教學實習之地點 d5.具區域性特殊重要性之經濟礦物及其開採遺跡
岩石	e1.台灣地區稀有岩石露頭 e2.保存狀況良好可供教學實習之地點 e3.能作為區域地質演化之證據，且具有高度學術研究價值者 e4.具觀賞價值之岩石露頭
地形	f1.罕見特殊之地形景觀 f2.可作為過去地質（及地形）作用的證據，且具有高度學術研究價值者 f3.保存狀況良好可供教學實習之地點 f4.具觀賞價值之特殊地形
文化地景	g1.古代人類活動的重要遺址 g2.古代土地利用景觀，具有特殊意義者 g3.古代人類工程設施遺跡，具有地質（及地形）意義及研究價值者 g4.現代重要之文化地景
地質災害 遺跡	h1.重要地質作用（地震、火山等）所造成的遺跡（或遺址），且具特殊意義者 h2.地質災害所造成的遺跡，具科學研究意義者 h3.地質災害所造成的遺跡，具教學意義者

資料來源:王鑫，1996

表 5 自然地景的主題類別

	UNESCO 地質類世界自然遺產	臺灣地形景觀分類系統(王鑫，1980)	臺灣地景保育景點登錄計畫(王鑫，1996)	臺灣自然地景保育景點登錄標準芻議(李光中，2011)
主題類別	1. 板塊構造現象 2. 火山和火山系 3. 山脈系 4. 地層位址 5. 化石位址 6. 河流、湖泊和河口三角洲系統 7. 洞穴和喀斯特系統 8. 海岸系統 9. 珊瑚礁、環礁和海洋島嶼 10. 冰川和冰帽 11. 冰期 12. 乾燥和半乾燥沙漠系統 13. 殞石撞擊	1. 海岸地形 2. 河流地形 3. 火山地形 4. 平原地形 5. 台地地形 6. 盆地地形 7. 高山地形 8. 風成地形 9. 泥火山地 10. 泥岩惡地地形 11. 火炎山地形 12. 隆起珊瑚礁地形 13. 島嶼地形	1. 地層 2. 化石 3. 構造 4. 礦物 5. 岩石 6. 地形 7. 文化地景 8. 地質災害遺跡	1. 板塊構造現象 2. 火山地景 3. 高山地景 4. 重要地層或化石位址 5. 河流、湖泊或河口三角洲地景 6. 隆起珊瑚礁和洞穴地景 7. 海岸地景 8. 珊瑚礁、環礁和海洋島嶼 9. 冰河遺跡 10. 火炎山地景 11. 泥岩惡地、泥火山地景 12. 地質災害遺跡

資料來源:李光中，2011

二、地景保育之景點分類

1. 景點分類與經營管理原則

何立德、呂政豪(2019)提出島嶼型地景保護區之經營管理指南，其中引述了英國自然署(English Nature)於 2004 年提出的地景保育景點分類系統，其中地景保育系統將地景分為三類：

A. 出露型(exposure, E)地景：

在地表下分布較廣的現象，若是將其地表物質(土壤、沉積物或岩石)移除，不會造成景點之破壞，反之因露出較新鮮的岩石或地質現象，反而能更清楚地觀察；故其管理目標在於維持可接受的出露狀況。

B. 完整型(integrity, I) 地景：

包含了短時間內不易產生變動的靜態地形景觀，例如：女王頭、燭台石等，以及容易受環境與作用力在短時間內發生變動的動態型景點，如：沙灘、沙洲、沙尾等，最後則是成因與環境較為特殊的地下洞穴及受溶蝕作用形成的喀斯特地形；其管理目標重於保育地景的形成機制，故應減少人為干擾地形系統。

C. 分布範圍有限型(finite, F) 地景：

此類景點因分布範圍有限，再加上因保育對象遭受移除而造成地景價值受損，並且沒有可替代之物；故在管理上，只允許負責任的科學研究使用，並且在移除景點內容需執行管制措施。

因上述之地景分類系統僅能依據景點的本質作出大方向性的經營管理目標，又英國自然署於 2006 年再度依據地景所在之環境提出

一套管理分類系統，並將上述 3 類擴充為 16 類管理類型(表 6)，每一種管理類型面臨了不同的潛在威脅，故亦因採取不同之管理原則。

表 6 地景保育景點類型與所在環境

景點類型	景點所在環境	代碼
出露型 (exposure, E)	1. 運作中的採石場與礦坑 Active quarries and pits	EA
	2. 廢棄的採石場與礦坑 Disused quarries and pits	ED
	3. 海崖與前灘 Coastal cliffs and foreshore	EC
	4. 河流與河岸剖面 River and stream sections	EW
	5. 內陸露頭 Inland outcrops	EO
	6. 地底礦坑與隧道的剖面 Exposure underground mines and tunnels	EU
	7. 具延伸性的埋藏物 Extensive buried interest	EB
	8. 公路、鐵路與渠道開挖面 Road, rail and canal cuttings	ER
完整型 (integrity, I)	9. 靜態的地形景點 Static (fossil) geomorphological	IS
	10. 動態地形作用景點 Active process geomorphological	IA
	11. 洞穴 Caves	IC
	12. 喀斯特地景 Karst	IK
分布範圍有限型 (finite, F)	13. 分布範圍有限的礦物、化石或其他地質現象 Finite mineral, fossil or other geological	FM
	14. 礦渣堆 Mine dumps	FD
	15. 分布範圍有限的地下礦坑與隧道 Finite underground mines and tunnels	FU
	16. 分布範圍有限的埋藏物 Finite buried interest	FB

資料來源:Prosser et al., 2006；何立德、呂政豪，2019

第四節 小結

綜合上述之登錄基準而言，由李光中(2011)提出登錄準則揉合了國內外登錄基準之優點，與過去國內已採用之基準相比下有三個優點：

1. 符合現今文資法規範的分級標準：國家級、地方級
2. 符合行政區劃分：剔除省級
3. 於地方級的景點更強調多樣性的地景價值與大眾參與

承上述優點，本研究欲採用此調查的基本架構，再予以小幅度之修改。

至於地景的分類敘述方式，本文回顧了兩大類敘述方式：地景登錄式主題分類、景點保育分類，於地景調查時採用分類為主題分類法，尤其是李光中(2011)提出的分類法，更能為一般社會大眾日常可感受之地形景觀，分類也更為詳細，並輔以景點保育分類，透過此分類法找出調查之景點的潛在環境危機以及因應的保育對策。

第三章 調查方法

第一節 馬公市特殊地景之挑選

行政院農業委員會於 2009 年起將過去所登錄的 320 個景點作全盤再調查，此次計畫之調查方法有別於 1995 年之調查類別與基準，如表 7 所述，我們可發現 2009 年調查的分類敘述方式更能為一般社會大眾日常可感受之地形景觀，分類也更為詳細，若欲以本縣的自然地景適用的話，2009 年之分類方式是更為恰當的；若以登錄基準來比較，2009 年的登錄基準更貼合於至今國內的行政區劃分，以及符合文資法的分級標準，故本研究將採用 2009 年所登錄之類別與基準作為再調查的基本架構，再予以小幅度之修改。

表 7 臺灣地景保育計畫登錄類別與基準之比較

	臺灣地景保育景點登錄計畫 (王鑫，1996)	臺灣地景保育計畫的推動 (林務局，2009)
自然地景類別	1. 地層 2. 化石 3. 構造 4. 礦物 5. 岩石 6. 地形 7. 文化地景 8. 地質災害遺跡	1. 板塊構造現象 2. 火山地景 3. 高山地景 4. 重要地層或化石位址 5. 河流、湖泊或河口三角洲地景 6. 隆起珊瑚礁和洞穴地景 7. 海岸地景 8. 珊瑚礁、環礁和海洋島嶼 9. 冰河遺跡 10. 火炎山地景 11. 泥岩惡地、泥火山地景 12. 地質災害遺跡
自然地景登錄基準	1. 國家級 a. 可以為一個大區域甚至全球地史演化過程中，某一項重大地史事件或演化階段重要證據的地質、地形現象。	1. 國家級 a. 具有國際地質重要性的景點 b. 具有科學重要性之特殊現象景點 c. 具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解台灣地質史所必備者

	b.具有國際或國內大區域地層(構造)對比意義的典型剖面、化石及產地。 c.具有國際或國內典型地學意義的地質、地形景觀現象 2. 省級 a.能為區域地質歷史演化階段提供重要地質證據的地質、地形現象。 b.有區域地層(構造)對比意義的典型剖面、化石及產地。 c.在地學分區及分類上，具有代表性或較高歷史、文化、旅遊價值的地質、地形景觀 3. 地方級 a.在本縣的範圍內具有科學研究價值的典型剖面、化石及產地 b.在小區域內具有特色的地質、地形景觀或現象。	2. 地方級 a.具有終身學習的教育價值之景點 b.具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點 c.具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點 d.具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點
--	--	--

故本計畫以上述之登錄類別與基準作為基本架構，以馬公市(包含桶盤、虎井、四角嶼等外島)做為特殊地景調查的範圍，並且重新設計了適宜澎湖縣之地景登錄表(表 8)，現地調查則運用近年來快速發展的無人飛行系統(UAS)與經率定的數位相機，在高重疊率的航線規劃下從空中對地拍攝，調查的量化指標如下所述：

1. 至少調查 10 處以上之特殊地景點(包含火山口或岩脈)，並建置地景登錄表，表格內包含個別地景點的基礎調查資料(調查時間、空間範圍、經緯度座標、景點等級、所處地層等)
2. 景點特殊性或成因描述、調查建議
3. 每個景點至少都有現地照片 3-5 張。

表 8 地景登錄表

位置資料	編號：	
地名：	記錄者：	
行政區： ☐ 馬公市 ☐ 湖西鄉 ☐ 西嶼鄉 ☐ 白沙鄉 ☐ 望安鄉 ☐ 七美鄉	調查日期：	
經緯度座標：		
TW97 座標：		

地質地形概況

地質區： ☐ 西部麓山帶 ☐ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 海岸山脈 ☐ 海岸平原區 ☐ 澎湖火成岩區 ☐ 大屯基隆火成岩區	
地形區： ☐ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高山(2100m) ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☐ 離島	
地層：	岩性（岩石）：
礦物：	化石：
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☐ 斷層 ☐ 其他_____	

地景描述：

--

經營管理資料

景點方圓大小：	長：	寬：
高：	深：	面積：
管理單位：		
保育狀況： ☐ 非常好 ☐ 很好 ☐ 普通 ☐ 差 ☐ 極差 ☐ 其他 _____		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☐ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他 _____		
非地質方面的重要內容： ☐ 特有物種 _____ ☐ 特殊生態 _____ ☐ 重要文化資產 _____ ☐ 其他 _____		
到達路線： ☐ 公車 ☐ 自用車 ☐ 步行 ☐ 其他 _____		

台灣自然地景的主題類別（最主要的一項）

☐ 板塊構造現象	☐ 火山地景	☐ 高山地景
☐ 重要地層或化石位址	☐ 河流、湖泊和河口三角洲地景	☐ 隆起珊瑚礁、洞穴地景
☐ 海岸地景	☐ 珊瑚礁、環礁和海洋島嶼	☐ 冰河遺跡
☐ 火災山地景(礫岩惡地)	☐ 泥岩惡地、泥火山地景	☐ 地質災害遺跡

價值認定

--

☐ 地質多樣性（科學）	☐ 生物多樣性（生態）	☐ 景觀美質（遊憩）
☐ 環境功能（防災）	☐ 永續土地利用（經濟）	☐ 歷史和文化（社會）

登錄等級

1. 國家級

- ☐具有國際地質重要性的景點
- ☐具有科學重要性之特殊現象景點
- ☐具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解台灣地質史所必備者

2. 地方級

- ☐具有終身學習的教育價值之景點
- ☐具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點
- ☐具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點
- ☐具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點

文獻、資料

--

範圍區 1/5000 像片基本圖

--

地質圖

--

衛星影像圖

--

航照圖

--

現場照片（以全景、中景、近景）

--

其他

--

第二節 特殊地景之監測與三維建模

無論是過去由行政院農委會所主導的地景登錄計畫，或是其他與澎湖縣地景登錄有關之研究，已有其豐碩之調查成果，然而過去的地景登錄計畫中較少見到以無人飛行系統(UAS)作為輔助之調查工具，其好處在於：一、能藉此飛行載具全面挑選、發掘過去不被認為是重要之特殊地景，二、此影像資料之建立亦有助於基礎地形和環境資料建置，也可作為日後此重要自然地景變化的比對基準計畫。

故本計畫預計於上述調查或它地重要的特殊地景點中挑選 2 處重要地景點，進行高精度的地景監測，地景之挑選原則有三：

1. 具有科學意義或美學價值之特殊地景
2. 潛含地質災害之地景
3. 易受自然營力或人為干擾影響之地景

在上述三原則指導下，本研究進行了初步的野外調查，並在馬公市的眾多潛力地景中，初步篩選了三個符合條件的地質景點，一、桶盤嶼南側柱狀節理群，二、虎井嶼西山活動地滑，三、西衛熔岩池，並於正式調查研究中擇訂其中兩處地景作為監測對象。

本節之監測成果最終目標為建置公分級測量精度的數位圖資，圖資包含正射影像與數值地表模型，為俾利於將來監測比對之基準以及具有一定的測繪水準，本計畫將根據內政部所頒定之「一千分之一數值航測地形圖測製作業規定」進行測量。

一、內政部「一千分之一數值航測地形圖測製作業規定」

(一) 攝影方式

航測須採垂直連續攝影，攝影軸傾斜角小於 8 度，航偏角小於 10 度。航線間相鄰影像重疊率(左右重疊)為 30%，航線內相鄰影像重疊

率(前後重疊) 數位式攝影機為 80%，實際影像重疊率不得低於以上規定之重疊率 10%。數位攝影機之地面像素解析度 (GSD) 需小於或等於 10 公分。航線方向以南北或東西為原則，可視地形狀況斟酌決定，航線設計必須確保涵蓋整個測區範圍。

(二) 航標佈設

航測控制點之分布與佈設原則，應適合空中三角區域平差之要求，原則如下：

- 1.採用衛星定位測量 (Global Positioning System; GPS) 輔助空中三角測量時，則可在測區四角各布設 1 組 (2 個) 全控制點，並於測區首尾 (航線端處) 布設橫貫測區 (正交航線方向) 之高程控制鍊，除測區左右側邊外，鍊上之高程控制點應位於航線重疊區內。

- 2.若採用GPS及慣性測量元件 (Inertial Measurement Unit ; IMU) 直接地理定位(direct geo-referencing)時，得省略高程控制鍊布設，僅於測區四角各布設 1 組 (2 個) 全控制點，惟檢核點部分仍需比照前項規定辦理。另外必須注意控制點高程為正高系統，而直接定位為幾何高者，必須使用內政部公告之大地起伏模式進行轉換，使空中三角測量之結果最終為正高系統。

- 3.空標設置地點之上空，對天頂四周應有 40 度以上之透空度，且需視空標點位之地面情形，選用耐久及與地面顏色足夠反差之材料，使其在影像上易於辨認量測。空標中心應與控制點位中心一致，最大偏心值不得大於 2 公分。

(三) 誤差評估

正射影像位於平坦地且表面無高差位移之明顯地物點，其位置中誤差應小於 50 公分，最大誤差應小於 2 公尺。數值正射影像以彩色影像表示，並需進行無接縫鑲嵌 (mosaic) 及 調整全區影像之色調、

亮度一致，整張正射影像的色調應均勻，其明亮度(intensity, brightness)的直方圖分布在 5~250 之範圍(全反射之地物不計入範圍)，影像的接邊處色調需一致，不應有人眼可辨識之邊緣線。數值地形模型的高程中誤差之允許值，以 $\delta = a + b + c \cdot k$ 之線性公式訂定之。其中 a 為常數，b 為地表坡度分級參數，c 為植被覆蓋密度分級係數，k 為植被平均高度。一般而言，a=0.3 公尺。作業規範中訂定 $a = 0.3\text{m}$ ，而 b、c 值，如附表所列，峭壁、斷崖、峽谷處不列入精度等級。

二、本計畫實施方法

圖資的地元解析度與均方根誤差需在 10 公分以內，座標系統為橫麥卡托二度分帶(TWD97，中央經線為 119)，高度基準為海拔高(正高)，俾利未來實施地景監測使用。此外，需針對所挑選的地景點建置高解析度的實景三維數位模型，三維模型的紋理貼圖顏色需具均勻性與真實性，且能流暢檢視模型，以做為環教推廣、地景監測維護與政府開放資料的重要資料。

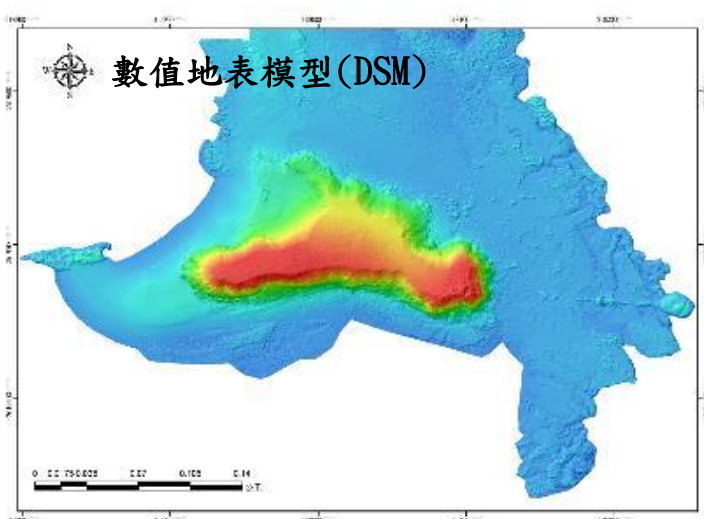
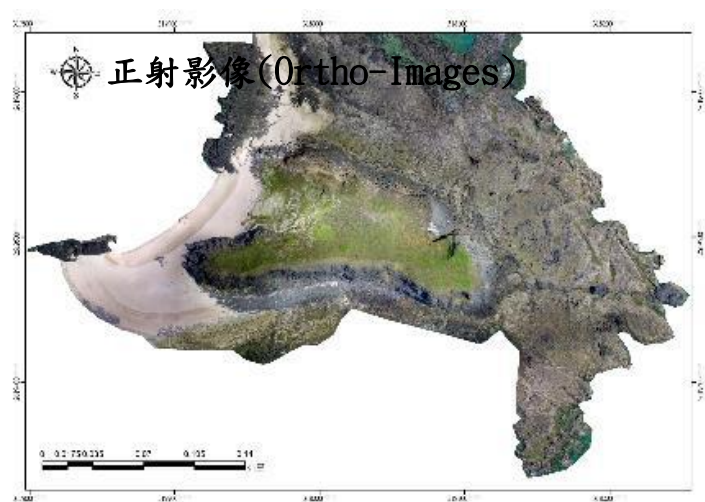
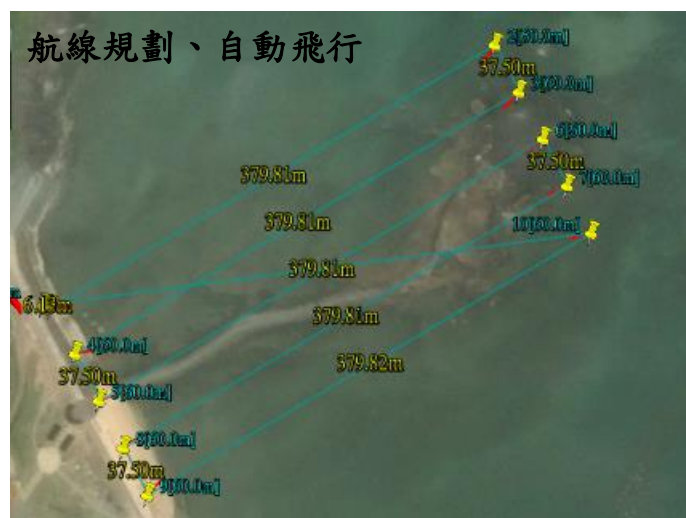


圖 4 運用航空攝影測量的相關成果圖資範例圖



圖 5 運用測繪級GPS建立陸域精密測量網



圖 6 GPS測量網規劃位置(紅色圖釘)

第三節 研究流程

綜合上述兩節之問題意識與研究方法可知本研究之目的在於重新調查澎湖縣自然地景並登錄，在研究工作開始前先以文獻回顧作為起始架構，並從整理的文獻中發現過去的地景調查多以島為單位難凸顯地景點之特色與價值，年代久遠未包含最新的研究成果，地景現況不明，且調查範圍受限於海岸線附近。

故本研究預計先以制定適宜用於澎湖縣的登錄基準與調查表，表格內容必須涵蓋地景現況、目前面臨之威脅、既有保存、維護措施，並於 109 年開始先對馬公市與其週邊島嶼進行野外調查與登錄，為了展現研究成果，讓一般民眾能取得相關的地景資訊，亦作為環境教育之用，所以預計運用現有線上圖台建構開放資料庫，以利典藏管理與教育推廣；此外，針對澎湖縣內較為重要的地景實施精密監測，並建置高解析度實景三維模型，並將此實景模型整合入開放資料庫，提供公眾使用，加乘教育推廣之效益，最後每隔 5 年檢討所登錄自然地景的保育價值，並以圖 7 呈現之：

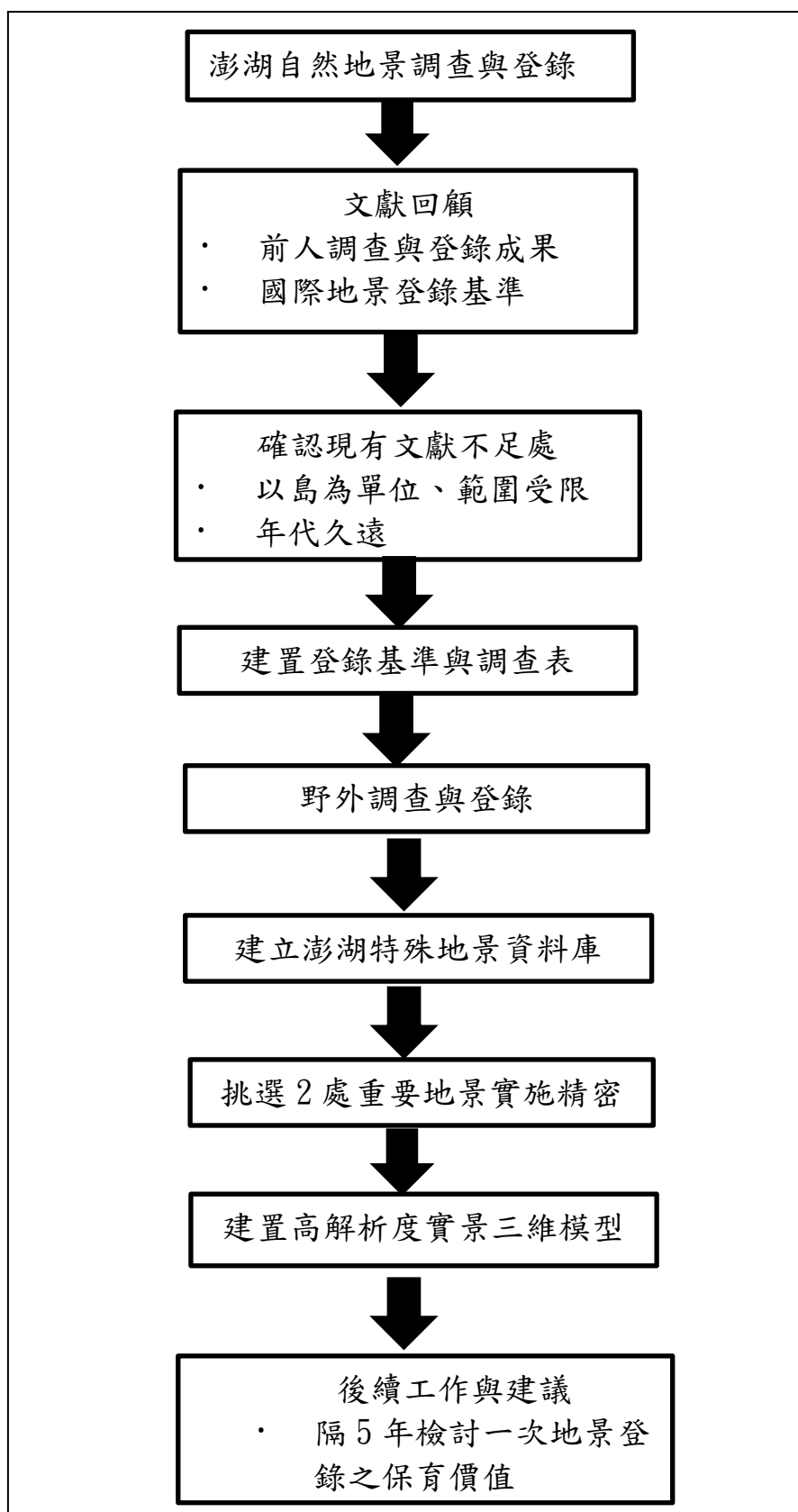


圖 7 研究流程圖

第四節 開發虛擬實境(VR)系統

澎湖壯觀的自然地景是極具潛力的觀光資源和活教材，本計畫將結合新穎的虛擬實境(Virtual Reality, VR)技術，建置一擬真的 3D 地景實境與互動式體驗，讓民眾能在「身歷其境」的遊戲中，瞭解澎湖地景的價值和重要性，進而埋下地景保育和推廣的種子。

行政院農委會於民 81 年 3 月 12 日，將位於東海海域的小白沙嶼、雞善嶼、錠鉤嶼等三個島嶼，依文化資產保存法指定公告為「澎湖玄武岩自然保留區」，而此保留區亦是行政院文化建設委員會評選出的具備登錄世界遺產條件的世界遺產潛力點，頗能代表澎湖以玄武岩作為主要地質地形景觀之意向，亦為**澎湖海洋地質公園核心區**。

此三島皆具備了由玄武岩所形成特殊地質景觀，特別是其中的雞善嶼，此島最壯觀的地景莫過於由數萬根垂直柱狀節理的玄武岩，其玄武岩節理筆直、稜角分明，狀似管風琴，為一天然的地景解說教室，本島的玄武岩之所以如此壯觀，歸咎於本島僅出露一厚約 10~15 公尺的鹼性玄武岩層，岩性單一，加上鹼性玄武岩具有節理分明且柱徑小的特徵，而形成雞善嶼統一性極高的地景特性，再加上附近海洋資源相當豐富，有數量頗多的海鳥在此棲息繁殖，形成極特殊的自然景觀，若能透過 VR 技術之導入，讓一般民眾也能以寓教於樂的方式來認識自己家鄉的地質環境、海洋生態，故本計畫將以「**雞善嶼**」作為 VR 呈現內容之首選。

為了讓使用者能體驗雞善嶼玄武岩的美學價值及瞭解此地景的科學性成因，VR 內容時間長度規劃預計於 5-10 分鐘，規劃重點如下列事項呈現：

1. 建置雞善嶼全島三維立體模型作為場景模式：

為了使用者彷彿置身於保留區內，故以高精度雞善嶼之 3D 建模作為虛擬實境系統背景。

2. 360 度自由觀景模式並配合景點解說：

以互動式系統為核心，讓使用者自由選擇觀景解說點來認識雞善嶼，意即當使用者穿戴特殊顯示裝置 (VR 眼鏡) 進入後，可以藉由控制器在這個虛擬的環境下穿梭或互動，並與自然保留區進行互動式探索，無論是島上各處的海蝕溝，甚至是小鷄善嶼壯觀的管風琴柱狀節理都能一窺全貌。

3. 佐以生態式互動：

雞善嶼除了地質景觀本身具有高度可看性以外，夏季時亦為重要的燕鷗棲地，故預計於 VR 中融入燕鷗群飛之景，以及配合燕鷗的叫聲，讓使用者訪若真置身於保留區中。

4. VR 內容呈現以聽覺和視覺作為主要感官體驗：

雞善嶼最具特色之處為壯觀柱狀玄武岩以及重要的燕鷗棲地，據此希望 VR 之感官體驗即以最重要的視覺搭配聽覺感官為呈現方式。

5. 配合現場真人導覽員的解說：

在 VR 的呈現上，使用者可自由選擇各個觀景點，每當使用者停駐於選擇的某一觀景點時，導覽員會以事先準備好的導覽腳本為使用者解說。

綜合以上特點，預期能透過此部 VR 將過去科學研究所得知的知識成果，轉化為導覽解說中的科普材料，讓更多人能理解環境教育的重要與可貴，作為環境教育推廣的極佳素材。



圖 8 虛擬實境模擬圖：本系統可讓使用者彷彿置身於保留區內，將可為本縣的保育宣導創造十足的話題性（本圖為合成圖）

第五節 創意部分：建置澎湖縣數位地景資料庫

綜合上述，本計畫的重點工作事項為地景調查與精密監測，監測成果為高精度、全面性的 2D 與 3D 島嶼圖資，以及利用地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)來協助管理者瞭解不同時期保留區的劣化問題、熱區與趨勢，上述工作成果除了提供管理者經營建議以外，亦可用來做為環境教育推廣之用，讓更多民眾能在免付費的線上平台獲取本研究的調查成果、環境知識。

本計畫預計以內政部所建置之地理資訊圖資雲服務平台（簡稱 TGOS 平台）作為上傳資料之平台，在此協作平台中有開放一個地圖協作平台，使用者端可以輸入景點簡介、上傳景點圖片以及透過屬性資料輸入方式，輸入相關影音資源網址，並且可授權開放地圖協作功能，讓更多使用者能一起進入此地景主題進行景點的編輯與建置(圖 9)，能在此平台上進行知識的交換，也喚起使用者對於地景保育的重視；對於一般使用者而言，只要透過平台的搜尋功能就能看到本計畫所建置之點位資料、地景描述與解說，在此容易上手操作的平台分享本計畫的發現，實收地景推廣之效。

此外，本計畫若能於調查研究的過程中有所新發現，便會將研究調查中所發現之資料彙整，並將之投稿於相關期刊或研討會議，能將本計畫所得知相關知識作為學術貢獻。



圖 9 TGOS 地圖協作平台首頁與主題

欄位名稱	資料類型	必填	功能
經度	小數	☒	
緯度	小數	☒	
景點編號	整數	☐	刪除
景點特徵描述	字串	☐	刪除
外部影音資源	網址	☐	刪除
圖片	圖片	☐	刪除
	字串	☐	確定

圖 10 後台登入編輯各點位資料，並藉由屬性表登錄
瀏覽

第四章 期末成果

第一節 特殊地景調查成果

本計畫在今年度以馬公市(包含桶盤、虎井、四角嶼等外島)做為特殊地景調查的範圍，至少需調查登錄十處地景點，並建立特殊地景之個案資料。截至期末報告階段，本計畫已初步完成十處地景點的調查工作，本計畫將這十處地景點整理如下表，後續分述其各地景之調查成果，並將地景登錄表資料置於附錄中。

表 8 本計畫地景調查景點

編號	名稱	類型	分級	地質年代	地景保育類型
1	觀音亭澎湖層與全新世海洋事件剖面	火山地景、海岸地景	地方級	中新世~全新世	出露型
2	西衛大石鼻西側熔岩池構造	火山地景、海岸地景	地方級	中新世	出露型
3	西衛大石鼻東側熔岩池構造	火山地景、海岸地景	地方級	中新世	出露型
4	鎖港古海嘯層	地質災害遺跡、海岸地景	國家級	全新世	出露型
5	五德熔岩池構造	火山地景、海岸地景	地方級	中新世	出露型
6	蒔裡攀爬沙丘	海岸地景	地方級	全新世	完整型
7	乳仔尖山熔岩池構造	火山地景、海岸地景	地方級	中新世	出露型
8	桶盤嶼熔岩池構造(蓮花座)	火山地景、海岸地景	地方級	中新世	出露型
9	桶盤嶼柱狀節理玄武岩	地質災害遺跡、火山地景	國家級	中新世	出露型
10	虎井古地滑與梯田群	地質災害遺跡	地方級	更新世~全新世	出露型

一、觀音亭澎湖層與全新世海洋事件剖面

觀音亭剖面可觀察到相當豐富的地質現象(圖 10)，這些地質現象濃縮了主要的澎湖地質發育史，且穿插了全新世的海水面上升與海洋堆積事件，可觀察到的岩性構造相當豐富，地景的多樣性也高，所涵蓋的地質時間從中新世到近代的全新世，再加上鄰近市區，易達性相當高，非常適合作為地方級地球科學戶外教學或是地質旅遊推動的地景點。這個地質剖面約延續近 700 公尺長，過去因受軍事管制無法作有效的調查，但隨著金龍頭營區的開放，現在可從金龍頭營區旁與澎湖灣行旅中間的小路，延著土坡往下走至潮間帶，適合觀賞的時間為下午退潮時。

此景點可觀察到典型的澎湖層，主要由兩層玄武岩流和沉積岩、風化土壤面互層所構成(見圖 111)，下層的玄武岩流為矽質玄武岩為主體，呈多孔狀且可觀察到氣孔柱，上層玄武岩流以黝黑且含有橄欖石擄獲體的鹼性玄武岩為主，兩層玄武岩流可用薄層沉積岩或是風化土壤面加以區分，風化土壤面呈紅色，土壤剖面越往下部殘餘玄武岩碎塊及洋蔥風化構造的比例越多，且土壤經紅土化作用呈紅棕色，由此可知，此層係為玄武岩經高溫濕環境風化作用下的產物。在兩層玄武岩流之間有一不整合面(unconformity)，代表兩次的玄武岩流噴發應間隔一段足夠長的時間，方能有土壤化的過程，且受到侵蝕作用形成一個侵蝕面，後來才被上部熔岩所覆蓋。較為特別的地質現象是，從土坡下至潮間帶後往西走約 120 公尺，可以看一個類似於枕狀熔岩(Pillow lava)的地質現象(見圖 12)，這個露頭相當典型。此露頭可觀察到上層的黃棕色-黑色的岩體覆蓋於不整合面之上，黑色的玄武岩體，內部呈放射狀構造且周圍有豐富杏仁狀氣孔，代表當時是在急速冷卻收縮的狀態，黃-棕色岩體則為橙玄玻璃(Palagonite)，橙玄玻璃為火山玻璃遇熱液蝕變後所形成的產物(Gill, 2010；Schmincke, 2004)，它的形成可能因當時高溫炙熱的玄

玄武岩漿流入水層或飽含水的岩層，引發液態水迅速轉變成氣態的水合作用(hydration)，而產生較劇烈的噴發活動，並且造成岩體邊緣急速冷卻成玻璃質，經蝕變後形成的橙玄玻璃，這類的橙玄玻璃通常容易被黏土礦物所取代，如方沸石或皂石，或經風化作用將皂石蒙脫石化(黃品儒，2006)。再加上黑色玄武岩體多成圓形或流體狀，這些現象顯示當時上部熔岩應該是流進一個淺水的凹地內，當岩漿進入淺水後發生水合作用，因而形成橙玄玻璃化的枕狀玻璃碎屑岩體(Palagonitized pillow-hyaloclastice breccia)，而後來再流進凹地的熔岩可能因覆蓋在先前的熔岩體上，而非水裡，所以橙玄玻璃化的現象不明顯，而形成較為典型的玄武岩體。這個露頭是過去前人未曾報導過，而它所代表的地質現象和科學意義與同為中新世美國哥倫比亞河峽谷的經典地質剖面相當雷同(Schmincke, 2004)。此外，在枕狀岩體的下方可發現淘選度差、呈角礫(angular)至半角礫狀(subangular)的碎屑岩，堆積於凹地底部。

在上述剖面的東側約 20 公尺處，可見海崖坡底有一海相堆積層(見圖 13)，高約海拔 2 公尺，厚達 1~1.5 公尺，主要以圓礫狀至半圓礫狀的玄武岩夾雜珊瑚、貝殼等海洋生物碎屑所構成，呈顆粒支持且淘選度差。從其海拔高度和沉積相判斷，可能是全新世高海水位所遺留下的地質遺跡，依據 Chen and Liu(1996)在澎湖地區的海濱堆積物之碳十四年資料顯示，澎湖地區的海水面在 4700 年前約比現在海水面高出 2.4 公尺，隨後逐漸降低到目前海水位高度。除此之外，在本次的調查也發現全新世的沉積層中夾有代表極端海洋事件的地質紀錄。

由此可知，觀音亭涵蓋了從中新世至全新世的地景故事，地景多樣性相當高，且多為過去前人未報導過的地景現象，這些現象亦相當具有代表性，可以用以述說澎湖地景演育的過程與科學義涵，值得未來投入更多的調查能量，比如定年分析、岩礦實驗、地景

(質)圖繪製等，並讓這裡的地景素材能夠轉變成科普教材與戶外教學的良好場域。

二、西衛大石鼻西側熔岩池構造

西衛大石鼻西側海岸濱台上可發現成同心圓構造之繩狀熔岩流(圖 14)，主要形成於鹼性玄武岩體，受海水侵蝕後而出露，此為火山活動形成的原生構造，主要特徵為有一同心圓和放射狀構造的玄武岩，直徑約 15 公尺，呈平坦狀，這樣的節理構造顯示岩漿由中心向四周擴散，很可能是岩漿由地下通道上升在噴發口處形成熔岩池，而後來之岩漿向上湧升推動熔岩向四周移動所形成之繩狀熔岩流構造；同心圓中意可見數小條放射狀岩脈(圖 15)，應是殘餘岩漿侵入早期熔岩冷卻形成之裂隙。依據先前地質學者的鉀氬定年年代顯示，此地形成年代約為 1200 萬年前(李寄嶠，1994)。

此特殊地景鄰近馬公市區，易達性高，在海崖與岩石濱台上尚有許多地質景觀，如大石鼻突起山丘的鹼性玄武岩體富含深色晶體的地函擄獲岩(圖 16)，而非澎湖常見的橄欖石，較為罕見。此外，在周邊海岸有廣大的海岸濱台地形，寬達數公里，濱台臨海邊緣分布多口大型石滬，可體現早期人群與環境互動下的地理景觀。

三、西衛大石鼻東側熔岩池構造

此地景點澎湖地區相當典型的熔岩池構造，同心圓與放射狀的節理構造相當明顯，從空拍圖觀之具對稱之美(見圖 17)，它位於西衛大石鼻東側的潮間帶上，地勢稍較周圍潮間帶高，可從綠洲旅店民宿北側的土路向東走約 400 公尺，有一突起的穹丘地形即為此地景點，適合觀賞時間為退潮時，由於沿途為濕滑的潮間帶，需留意安全性問題。

不像大石鼻西側為近圓形熔岩構造，東側的熔岩池接近橢圓形，長軸可達近 20 公尺，似由一大一小同心圓構造所形成，熔岩池也呈現中心突起的穹丘地形，這應受岩性差異侵蝕所造成。同心圓中可見明顯的放射狀節理與岩脈，其岩脈的數量和長度更勝西側熔岩池構造，最長可達近 200 公尺(見圖 18)，這應是殘餘岩漿侵入早期熔岩冷卻形成的裂隙，這也顯示此一同心圓熔岩池可能位於火山口內。而此圓形熔岩構造的熔岩流代表的是當時岩漿由地下通道上升，在火山口內部形成熔岩池，而後來的岩漿向上湧升推動熔岩像四周移動，而形成同心圓的構造，就如同水池中的漣漪般，一圈一圈像外擴散。在泥火山地區，如高雄燕巢的烏山頂泥火山自然保留區，也會在泥火山噴泥口中因泥漿湧升，造成泥漿泡泡破裂而形成相似的同心圓構造。

由於此地景點位於潮間帶上(見圖 19)，每天遭受波浪與潮水的風化侵蝕，再加上因為突起的地形，當地居民可能擔心漲潮時船隻撞上此礁石，而在中心處插上旗杆作為標示用。因此，目前此景點遭受較大的威脅壓力，為避免此特殊地景受到自然或人為的侵蝕、破壞，建議實施高精度的地景測繪，透過數位化方式盡早保存此特殊景點。

四、鎖港古海嘯層

鎖港古海嘯層為本年度(108 年)最新的研究發現(Lu et al., 2019)，這是首次於澎湖群島發現古海嘯的地質記錄，且可能在澎湖曾經發生過三次的海嘯事件，從定年年代指出，海嘯事件可能發生於 4~6 世紀、11~12 世紀和 15~16 世紀間。此研究將有助於瞭解古海嘯事件對於南中國海周邊國家的影響程度、災害規模和風險。

主要的證據來自於許多海岸階地出露海源「事件層」的地質紀錄。這些事件層的沉積相特徵為由成層且粗顆粒組成的海源沉積物

堆疊於陸源沈積層之上，或堆疊於已土壤化的沈積層上，此海源沈積層可視為在相對較長時間穩定陸地環境中，突然發生來自海洋的異常事件，也就是異常的風暴浪與海嘯造成的沈積層。研究者再透過 AMS 碳十四定年、澎湖當地潮位波浪的統計資料、濱台地形對波浪的消耗和全新世海水面來判斷該事件層為海嘯的可能性，其中如事件層超過海拔 4 公尺，為海嘯的機率相當高。

鎖港古海嘯層位於澎湖本島南側海岸，為一面向東南方海灣，沉積層的側向延續佳，可超過 70 公尺。沉積層堆積在由黃色沉積岩所構成的高位階地之上(圖 20)，階地崖約 3 公尺高。崖腳堆積的現代海濱物質以圓型到亞圓形的玄武岩礫石為主，偶而有崩落的黃色沉積岩。基岩構成的階地崖向東逐漸增高，造成沉積層逐漸變薄而尖滅。海岸的濱台寬度約 150 公尺，濱台面為一近水平濱台，濱台外緣陡降入海。

沉積層總厚度約 2.2 公尺，沈積層最下部是灰色至淺黑色玄武岩礫石層，厚約 1.5 公尺，淘選度差，呈顆粒支持，礫石多呈次圓形，最大粒徑可超過 30 公分，研判為早期的海灘礫石。礫石層為厚約 70 公分深棕色細粒土壤層，上方為含玄武岩小圓礫和貝殼、珊瑚碎屑，或有孔蟲團塊的細粒沙土層，此海相沉積層呈基質支持、淘選度差、含細粒玄武岩礫石且底部有挖填構造，故研判此海相沉積層應為一高能量的「海洋事件 (ME2)」(圖 21)，在此層上覆約 10 公分的土壤層，在土壤上又出現約 10 公分的海洋事件層(ME1)，並上覆土壤。本剖面共採集 4 個樣本進行碳十四定年，其中 ME2 分別採集有孔蟲團塊與細粒沙土進行定年分析，兩者年代相當接近，分別為 AD 1030-1230 與 AD 1040-1220；上覆土壤層年代為 AD 1280-1325，最上層土壤年代則為現代(Post AD 1950)。

此剖面夾在土壤層裡的兩層海洋事件層經 e-GNSS 測量其高程

分別為 4.7 公尺和 5.2 公尺，因此為海嘯的可能性相當高，特別是下層的海洋事件層的年代相當接近 AD1076 年的廣州海嘯，從其他研究者已指出，此次海嘯曾影響西沙群島和廣州等處(Sun et al.,2013; Yang et al.,2018)。這將有助於瞭解此次古海嘯事件對於南中國海周邊國家的影響程度和災害規模。由於此露頭具有重要的科學意義，且可作為國際性(南中國海)的地質記錄，為避免遭受破壞與未來可作為公眾教育推廣的野外場域，建議應對這些古海嘯地層進行較積極的保育措施。

五、五德火山熔岩池構造

此地景點是澎湖地區規模較大的熔岩池構造(見圖 22)，它位於五德北側的潮間帶上，地勢稍較周圍潮間帶高，可從人魚之丘西側土路向潮間帶走約 100 公尺即可到達此地景點，適合觀賞時間為退潮時，由於沿途會經過濕滑的潮間帶，需留意安全性問題。

五德熔岩池構造形狀接近圓形，其規模較其他地區大，直徑可達近 40 公尺，同心圓中可見明顯的放射狀節理與岩脈造(見圖 23)，這應是殘餘岩漿侵入早期熔岩冷卻形成的裂隙，這也顯示此一同心圓熔岩池可能位於火山口內。而此圓形熔岩構造的熔岩流代表的是當時岩漿由地下通道上升，在火山口內部形成熔岩池，而後來的岩漿像上湧升推動熔岩像四周移動，而形成同心圓的構造，就如同水池中的漣漪般，一圈一圈像外擴散。

六、蒔裡攀爬沙丘

蒔裡攀爬沙丘為澎湖少數兩個活動沙丘，另一個位於北海的土地公嶼，不易抵達，而蒔理沙丘為本縣最大的沙丘(見圖 24)，從近期研究發現沙丘-沙灘系統的動態演育具有環境變遷、海水面升降甚

至是構造抬升沉陷的環境意義。此外，蒔裡沙丘附近的沙灘過去常為綠蠵龜產卵之棲地，亦具有重要生態之價值(見圖 25)。蒔裡沙丘位於蒔裡貝殼館往西走約 500 公尺即可到達，適合觀賞、拍照的時間為下午退潮時。

依據地形分類，蒔理沙丘屬於攀爬沙丘(climbing dune)，與台灣墾丁的風吹沙屬於同一種沙丘類型，均是沙灘沙受風吹拂，讓風成沉積物堆積於邊坡坡腳，並向上坡攀爬、堆積，如沙源豐沛再加上足夠風力，沙子會攀爬至崖頂，而形成崖頂砂丘(cliff-top dune)，如風吹砂在東北季風的強力吹拂下，沙子即攀越至崖頂，而在蒔裡則未形成崖頂砂丘。一般而言，攀爬砂丘的形成需具備三個條件，一為足夠的砂源；二為邊坡坡度需超過 8° 但低於 60° ，三為足夠的風力條件或邊坡面臨迎風側(Chojnacki et al.,2010; Chojnacki et al.,2014)。基本上，蒔裡砂丘滿足前兩項條件，然而它卻是位於東北季風的背風側，風力條件不佳卻可形成沙丘，可能與區域的微氣候(風場)有關，以及沙丘位於海灣的轉彎處，就像是一個畚箕一樣的地形，有利積累沙子和形成特定風場。Pye and Tsoar (1990)也提及攀爬砂丘通常會形成於鐘型邊坡(bell-shaped)的狹窄處，這樣子的邊坡會產生漏斗效應讓風力攜帶沙子向上攀爬的能力可較強。

根據近期的研究發現，攀爬沙丘的動態演育反應了風場、沙子材料、乾燥氣候、特定地形和積累空間，這些因素的交互作用。Ho et al., (2017)就從墾丁風吹沙的調查希望瞭解全新世環境變遷對於臺灣海岸沙丘演育之影響，試圖瞭解構造運動、氣候變遷與海水面變動，對於風成沉積物的來源、搬運與堆積有何影響，以及這些沉積物的時空變動對於海岸沙丘地形的發育有何影響。其研究成果主要確認了臺灣全新世海岸沙丘的堆積發育時期，大多在古氣候涼/冷期，這與東亞季風勢力強弱所造成的冬季風力變化有密切關係。而澎湖地區與台灣不同的是，在全新世以來就位處在一個構造穩定的

狀態，其沙丘發育的影響因素為何？值得進一步的探討。

七、乳仔尖山熔岩池構造

在蒔裡乳仔尖山西南側的潮間帶上(見圖 26)，分佈數個大小不一的圓形熔岩構造，且在岩石濱台上分佈著蕈狀岩和壺穴地形，具有多樣性的特殊地景。此區的抵達方式可從 201 縣道往風櫃方向，經過蒔裡國小後約 300 公尺的北側小徑往北走到底即可到達，由於沿路無明顯標示，建議依據本報告書後的地景登錄表裡的座標或地圖較易抵達，適合觀賞、拍照的時間為下午退潮時。

從本次調查發現，乳仔尖山南側潮間帶分佈數個大小不一的同心圓構造之熔岩流(見圖 27)，較大的熔岩池靠近乳仔尖山，這些圓形構造的熔岩池均具有明顯的同心圓，只是規模大小不一。此圓形熔岩構造的熔岩流代表的是當時岩漿由地下通道上升，在火山口內部形成熔岩池，而後來的岩漿像上湧升推動熔岩像四周移動，而形成同心圓的構造，就如同水池中的漣漪般，一圈一圈像外擴散。

在此區的岩石濱台上可觀察到，在濱台上不但有殘留的蕈狀岩，而且有壺穴之發育(見圖 28)。壺穴之發育是因為斷頭的玄武岩塊體，在凹槽內來回滾動，逐漸向下侵蝕出壺穴。有些壺穴的產生是由於風化的結果，使洋蔥狀球體先行脫落，形成凹槽，有利壺穴之發育。

八、桶盤嶼西南側柱狀玄武岩

桶盤嶼海岸出露連續性佳且巨大的柱狀節理玄武岩(圖 29)，延續長度可達數百公尺，延續範圍廣，為澎湖群島具獨特性與代表性之地質景觀，且其出露的地層層序為瞭解澎湖群島地史演化的重要剖面。又活躍的塊體崩塌作用，及其海岸地形的組成(岩石濱台-崖

錐-海崖)為研究海岸地形演育與崩塌機制的良好科學研究和教學場域。

桶盤嶼具有發達柱狀節理玄武岩，其中又以西南海崖的出露性最佳，岩柱長可超過 10 公尺，節理面寬達 1~2 公尺，西南海岸的懸崖高可達 25 公尺，相當雄偉壯觀，為本縣最具代表性的地質景觀，玄武岩岩性以矽質玄武岩為主，多呈直立狀，這顯示當時岩漿噴發後，可能流動至較為平坦的原始地形面後，冷卻收縮形成直立狀的多角形垂直柱狀節理。

本島的地層及年代特性與小門嶼非常相似，主要由一層至兩層玄武岩及淺水堆積的沉積岩所構造(圖 30)，岩層層序的最底部為矽質玄武岩，底部玄武岩層的頂部有球狀風化的現象，玄武岩之上則依序為塊狀泥岩、砂頁互層和古紅土層，接著再覆蓋後期噴發的玄武岩層，這樣的層序顯示本島至少曾歷經兩次熔岩噴發的火山活動，在火山活動之間曾因海進作用而形成沉積岩，岩層中有許多沉積構造如交錯層、波痕與水道挖填構造等，上覆的古紅土層則指示海進後的海退，讓沉積岩暴露於空氣中而逐漸發育成土壤，最後才又再發生火山活動，岩漿溢流堆疊於沉積岩之上，冷凝形成巨大雄偉的柱狀節理玄武岩層，玄武岩層底部與下部地層接觸的地方有明顯的氣孔形成，岩體內部也有垂直發育的氣孔柱。依據鉀氬定年的年代顯示，下層玄武岩的年代為 1,470 萬年前，上層玄武岩約 1,080 萬年前 (Juang and Chen, 1992)，相差約 3 個百萬年。除了在科學上的價值外，上層玄武岩經風化後所形成造型獨特的奇岩怪石，亦具有賞景的美學價值。

本島的玄武岩崩塌作用活躍，特別是西南海岸，應與此區上層玄武岩厚度較大有關，此區鄰近當時熔岩的溢流口(蓮花座)，且本島的上層玄武岩與下伏沉積岩的接觸面由北向南逐漸降低，因而形

成厚層的玄武岩層，再加上底部為鬆軟的沉積岩，在強降雨後易發生崩塌作用，在本年度(108 年)的調查中，在 8 月一場連續多日的強降雨後時即發生玄武岩柱體的崩塌(圖 31)，並壓毀下方的步道，在得知此消息後，本計畫團隊隔日即前往現地進行調查與紀錄。因其活躍的崩塌作用，應實施邊坡的地景監測，以瞭解崩塌作用發生的頻率、規模、好發之處與觸發因子和閾值，另一方面，考量此處地景屬於「出露性」景點，管理目標在於維持可接受的出露狀況，才不會造成景點之破壞，然而後續管理單位擬在海側堆疊塊石消波以保護臨海步道，此舉將破壞自然地景演化的機制，受保護的穩定邊坡將逐漸發育植生覆蓋此「出露性」景點，一如本島南側海岸因崖底塊石步道的興建後，發育良好的植生大大降低景點之價值，可見圖 32，故建議無須採取塊石消波，僅須修繕步道，並在強降雨後一周，視監測狀況封閉或開放步道。

九、桶盤嶼熔岩池構造(蓮花座)

桶盤嶼最著名的地質景觀，除了雄偉壯觀的柱狀玄武岩外，莫過於蓮花座(圖 32)，蓮花座是火山活動形成的原生構造，主要特徵為有一同心圓和放射狀構造的玄武岩，直徑約 30 公尺，呈穹狀突起，中央突出的小丘直徑約 5 公尺。當地人稱為「蓮花座」。主要位於桶盤嶼的西南側的岩石濱台上，在退潮時方才出露。

桶盤嶼的蓮花座主要形成於下層的砂質玄武岩層，受海水侵蝕後而出露，如此同心圓構造之熔岩流，顯示岩漿由中心向四周擴散，很可能是岩漿由地下通道上升在噴發口處形成熔岩池，而後來之岩漿向上湧升推動熔岩向四周移動所形成之似繩狀熔岩流構造(圖 33)。

此區海岸濱台除了蓮花座外，受現代海岸侵蝕作用所形成的地形景觀相當豐富，這應都是在最近數千年或更短時間，海水面穩定

之後才發育出的，有的是在下層矽質玄武岩基盤侵蝕出的，如蓮花座，有的則是在侵蝕基盤先堆積崩積岩塊，受珊瑚等石灰質膠結後，在侵蝕而成的微地形景觀，如濱台上被膠結的玄武岩礫石受風化和海水侵蝕而脫落並遺留洞穴，或再被後期侵蝕而擴大形成壺穴群；以及在濱台上可見如雨後春筍般的小規模蕈狀岩群，這樣的地景成因可能是矽質玄武岩中的氣孔柱受化學沉澱作用於孔隙中充填了鈣質沉澱物，而使氣孔柱更具抗蝕力，在差異侵蝕下，而形成如雨後春筍般突出的小規模蕈狀岩群。此外，崩落於濱台上的玄武岩節理橫切面上，常可見蜂窩岩，當地人稱之為「貓公石」，其孔洞集中多成圓形發育於柱狀斷面中央，因此貓公石的發育可能與玄武岩的氣孔分布有關，再由侵蝕作用擴大氣孔所導致。

十、虎井古地滑與梯田群

連綿不斷的虎井梯田群，是台灣相當罕見的島嶼梯田地景(圖34)，這樣的農田景觀可能與當地的崩塌作用有關，而形成澎湖較為少見且寬廣的海岸階地，或許這也與「虎井」地名的由來有密切關係，可謂是人與環境互動下的特殊地景點。梯田群位於虎井東山的北側海岸階地上，從碼頭延著海岸水泥公路向東走約1公里即可到達，這裡的梯田群延著海岸階地修築綿延近2公里，相當具規模，適合觀賞的時間為上午，由於東山受軍事管制，僅能從海岸攀爬到至高點觀賞，需留意不穩定的土石。

虎井的梯田群僅分布於東山北側的海岸階地上，島嶼其他區域的海岸地形多為垂直、高聳之海崖，無梯田的分布。虎井東山北側出現澎湖相當少見的海岸階地，且連續性佳，但澎湖自全新世以來，澎湖的海岸堆積只受到海平面的變化，並沒有受到地殼隆升的影響(陳于高，1993)，且至6000年前以後海平面趨於穩定，故此地的海階發育應與台灣東部海階受構造抬升控制的成因

不同，可能是受到當地局部地質作用所造成，而非區域性的影響因素。

從野外觀察可發現，此區邊坡的地形特徵為上坡凹、下坡凸為主的坡型，坡頂為劇場型崩崖(amphitheater-shaped scarp)、上坡坡面散布玄武岩岩塊和滑動中的岩體(圖 35)，下邊坡為波狀階地。整體的地形組合與弧型地滑的地形相當類似。野外的細部現象是在上坡頂部有出現對稱的裂隙，而在下坡底部則有傾斜狀、和邊坡分離的柱狀節理玄武岩體(圖 36)，這暗示著此區的邊坡應曾發生過慢速、旋滑的塊體運動，才讓原本處於上坡頂部的直立狀柱狀節理，轉變成傾斜狀，再加上虎井嶼的岩性組成為二至三層玄武岩間夾厚膠結不良的沉積岩，且崖高超過 50 公尺，讓此地具備發生地滑的條件。除此之外，目前主崩崖高差超過殘存的主崩塌塊體，暗示本區過去可能曾發生相當大規模的地層滑動，甚至部分崩積體恐已滑入海中，這些現象與其他地區的古地滑案例的地形現象和證據極為相似，如高雄的西壽山、葡萄牙 Pico 島等地(Costa et al.,2015; Jen et al., 2017)。

也就是說，虎井東山的海岸階地的成因，可能與古地滑有關，才會形成寬廣、坡度和緩的海岸階地。早期當地居民利用這樣的地形修築梯田，種植供應生活所需的農作物。而根據林寶安教授在當地的訪談得知：

虎井竟然有梯田？！這想必令人意外。做為耕地，必須解決沒有水源可供灌溉的困難。受訪的虎井里長說，大家通常會在每五、六座梯田開鑿一處共用的水井。但是這類就地開鑿的儲水性水井，由於並不穩固，每到雨季期間尤其脆弱；里長受訪時便憶起半個多世紀前，其親叔公曾在雨季過後入水井，竟然遭到水井崩塌而致溺斃的意外。(林寶安，2019)

甚至「虎井」的地名由來有一說法是，當地居民為避免孩童進入水井發生憾事，而杜撰水井裡有老虎會吃人，嚇唬小孩不要進入，因而得名。其實如從自然地景的角度解釋，梯田的水井之所以容易倒塌，可能是因為水井修築在崩積層中，而崩積層係由疏鬆、不穩定的土石所構成，降雨後容易發生倒塌之問題。也就是說，「虎井」的地名由來和罕見的島嶼梯田，均可能都與當地的古地滑有密切的關係。這是一個過去未曾被論述過的島嶼地景故事，這樣的自然地景也隱含著與當地人群與環境互動下的文化義涵。

第二節 特殊地景之監測與三維建模

本計畫預計於上述地景調查景點中挑選 2 處重要地景點，進行高精度的地景監測，監測的手段以高精度的航空攝影測量為主，施測程序可見圖 24，其監測地景之挑選原則有三：

1. 具有科學意義或美學價值之特殊地景
2. 潛含地質災害之地景
3. 易受自然營力或人為干擾影響之地景

在上述三原則指導下，本研究在馬公市的眾多潛力地景中，篩選了兩個符合條件的地質景點，一、桶盤嶼南側柱狀玄武岩，二、西衛大石鼻東側圓形構造熔岩，並於期末階段已完成兩處的精密地景監測

值得一提的是，雖然桶盤嶼南側柱狀玄武岩主要分布於島嶼的西南側，但為了瞭解全島的玄武岩崩塌狀況，本計畫不僅針對島嶼西南側海岸崩塌較活躍的玄武岩體進行監測外，更將航測範圍擴大至全島，也希望對崩塌原因和區域有更全面的認識，並且也可將航測成果作為地質公園經營管理或教育推廣之用。

一、建置桶盤嶼陸域精密 GPS 測量網

為建立長期且精密的地景監測，本計畫使用全測站、高精度 Trimble R6 GPS 與 VRS-RTK 於桶盤嶼全島進行精密測量，測量方法則是在此島佈設固定點，固定點佈設的原則為在幾何和垂直高程均勻分布、且考量測量平差網型的幾何特性，以及現地的狀況。考量以上因素，本計畫總共在桶盤嶼佈設 19 個航標點(表 10)，詳細點位資訊可見附錄，其中有 6 個點位為檢核點，用來檢核座標後的模型精度，點位編號分別為 3、5、7、11、14、17、19，其航標點均以

電鑽鑽洞、黃色墊片與測量釘架設(見圖 37~39)，平均分布在島的四週，其航標點的分佈與測量網型可見圖 40。

本計畫所規劃的測量點可分為控制點和檢核點，可做為長期監測的參考點，意即未來桶盤嶼若有發生特殊、重大的災變事件，如崩塌事件，就可立即採用這些航標點進行全區的測繪，並與今年度相關成果圖資進行對比，以瞭解災害影響的空間範圍與影響程度。航空測量點的功能在於將本計畫產製的高精度高解析度的正射影像與數值地形模型進行空間定位(georeferencing)和評估其精度。

二、建置桶盤嶼全島精密 3D 地形和正射影像

為進行本島重要地景之長期監測，以瞭解地景現況與長期變化趨勢，因應人為因素、災變事件或極端氣候對重要自然地景與棲地環境帶來的威脅，本計畫擬建置高精度的 3D 立體地形模型和正射影像為全島保存基礎地形和環境資料。

本計畫於今年的 9 月 8 日以四軸旋翼機酬載非量測型數位相機，進行全島的空中攝影測量，航線規劃時航線方向以南北向為原則，相鄰航線左右重疊率約 70%，航線內的影像前後重疊率約為 85%；總共拍攝 1901 張航空照片，其他航拍資訊，如像機拍攝位置與影像重疊率等成果可見表 11 與圖 41~42。為確保航拍圖資的精確度，本計畫進行檢核，確保地面控制點的精度能達到最高，而控制點的均方根誤差(RMSE)能控制在 3 公分以內，檢核點的均方根誤差亦能控制在 10 公分。

本計畫所建置的空間圖資，其地元解析度可達 2.51 公分(圖 43、44)，屬於超高解析度，未來將可做為相關空間資料套疊的底圖，作為自然地景經營管理，或是做為防災的功能。

除此之外，為了建置高解析度全島 3D 擬真模型，本計劃另透過無人飛行載具的航線規劃進行垂直攝影與傾斜攝影，再透過計算

機視覺與幾何計算演算法的空中三角運算的基礎之下，可由高階析度影像進行三維資訊重建。

特別值得一提的是，本計畫採用獨特的三維網格優化演算法，以確保 3D 網格點的最佳位置，相較其他基於景深融合演算法的 3D 建模方案，本計畫能獲得更精細的細節和更銳利的邊緣及較少的錯誤。也就是說，本計畫所採用的攝影測量法將可顯著提升幾何精度，在重建桶盤嶼全島的 3D 網格模型後，再拼貼同相片解析度的高品質的紋理材質貼圖，紋理貼圖即使在不同的曝光條件下，仍可透過自動色彩補償算法，讓全島顏色維持均勻性。全島嶼的 3D 建模成果可見圖 45~46，這樣的成果未來將可做為 GIS 的圖資、崩塌偵測變遷的比較基礎，更是科普教育最好的互動材料，透過未來與島嶼資源材料的結合，如地景等，將可視覺化的讓一般民眾瞭解地質公園的經營管理，以及本島的保育價值，也可消彌地質公園易達性，環境教育不易推動的困境。

三、建置西衛大石鼻熔岩池構造的三維模型

從前述馬公市的地景調查可發現，西衛大石鼻的熔岩池構造相當具有代表性，然而不論是東側或者是西側均位於潮間帶上，可能會受到自然與人為壓力而侵蝕破壞，因此，本計畫選擇這兩處地景點實施精密測繪，希望透過高解析度的三維重建技術，來進行這兩個特殊地景的數位保存。由於考量於潮間帶佈設控制點恐造成環境的破壞，且也不易保存其控制點位，因此，我們採用 PPK(Post Processed Kinematic)數值航測的方式進行精密測繪和三維重建，PPK 技術近期已被許多研究證實即使不佈設控制點的狀態下，其測量精度仍可達到公分級的水準，其西衛大石鼻兩處熔岩池的三維重建的成果可見圖 47~48。

第三節 虛擬實境系統開發

一、腳本設計

本計畫結合新穎的虛擬實境(Virtual Reality, VR)技術，選擇澎湖海洋地質公園核心區的雞善嶼做為互動場景，並建置一擬真的 3D 地景實境與互動式體驗，讓民眾能在「身歷其境」的遊戲中，瞭解澎湖地景的價值和重要性，進而埋下地景保育和推廣的種子。

雞善嶼除了地質景觀本身具有高度美學的價值外，夏季時亦為重要的燕鷗棲地，為了讓遊戲系統較具嚴謹性，本計畫透過文獻的蒐集，以瞭解本島燕鷗的種類、棲地的位置等(鄭謙遜，2006)，如圖 37，並透過現地調查瞭解島嶼的環境狀態，規劃於 VR 系統中融入燕鷗群飛之景，以及配合燕鷗的叫聲，讓使用者訪若真置身於核心區中。

而本系統的腳本設計，配合現場真人導覽員的解說，在系統中設置 11 個觀景點，圖 49 為所規劃之觀景點位置與高度，透過導覽人員的引導，讓使用者可以進入不同觀景點聆聽解說人員的介紹，並且預留 5-10 分鐘，讓使用者可自由選擇觀景點，探索本島壯觀的自然地景和豐富的生態資源。以下為本 VR 系統的腳本設計。

歡迎來到雞善嶼虛擬實境體驗遊戲系統，在這個遊戲中，你將看到有澎湖巨人堤之稱的雞善嶼，這座島由數十萬根的玄武岩所組成，玄武岩有高有低，彷彿是要引導你進入島嶼的自然階梯，除了壯觀的玄武岩外，本島還曾經有神話之鳥-黑嘴端鳳頭燕鷗蒞臨本島，你想知道這個島為什麼可成為澎湖縣海洋地質公園的核心區嗎？他到底有多麼的壯觀與特別，就請你來一同來體驗。

首先，請你打開畫面下方的地圖區，在這個地圖上有 11 個景點，你可以任意地選擇要去的位置，我們就先選擇 5 號點吧，在 5

號點這個位置，我們現在是從 30 公尺的高空來觀看整個雞善嶼，在比較靠近我們的是小雞善嶼，離我們較遠的則是大雞善嶼，在退潮時，你可以看到有一條連島礫石灘，仿如摩西分海一樣，連接這兩個島嶼。接著，請你選擇 2 號點，這個點位我們是站在海面上來觀看這個島最精彩的風景，你往小雞善嶼看，你可看到這個島全由直挺挺的玄武岩所組成，玄武岩有五角形和六角形，你可猜猜看這個島是由多少根玄武岩所組成，答案是大約由 15 萬根玄武岩，很壯觀吧！而且你看這個玄武岩有高有低，就像階梯一樣，引導入進來這個島，你也可以往前走兩步，更靠近的來看看這個島，因為這個地景可以媲美離我們數萬公里的世界遺產巨人堤(Giant's Causeway)！

接著，在請你來到 11 號點，在這裡你可以看到上千隻燕鷗在此飛翔，這些燕鷗是夏季時這個島的貴客，你知道這些燕鷗為什麼要選擇夏季時來到這個島嗎？答案是因為他們要來到這個島進行生產，所以你可以說，這個島是很好的燕鷗產房，那為什麼這些燕鷗要千里迢迢每年回到這島產卵呢？原因是，這個島附近是丁香魚魚場，夏季時上千隻候鳥來此地產卵，漁場則提供食物來源，春來秋去，甚至有神話之鳥稱號的黑嘴端鳳頭燕鷗，也在 105 年到訪這個島喔，這鳥種數量極少，全球不超過 50 隻，一度消失人類視野長達 60 年，世界各國列為瀕臨絕種的「極危」鳥種，所以有神話之鳥的稱號，你可仔細找找看，是否有神話之鳥飛過你的身邊嗎？

最後，你可選擇其他的景點，自行探索這個島精采的玄武岩地景和豐富的生態，我想經過這個體驗，你應該可以瞭解為甚麼雞善嶼會是澎湖海洋地質公園的核心區了吧！之後我們要好好保護這個老天爺賜給我們的珍貴資產喔。

二、島嶼實景模型編修

為了讓使用者彷彿置身於雞善嶼內，故將以高精度雞善嶼之 3D 建模作為虛擬實境系統背景，然而當三角網格和貼圖紋理的解析度過高時，可能會造成系統無法運算，因此需進行降網格解析度和編修的工作，但一方面又須顧及解析度降低後失真問題，因此，在期中報告的階段，本計劃團隊已完成島嶼實景模型的編修工作，相關成果如圖 51、52 所示，後續將以此模型和腳本設計進行虛擬系統的開發工作。

第四節 建置澎湖縣數位地景資料庫

本計畫執行至此，已調查並重新撰述了馬公市較為重要的十處地景，也於十處地景中挑選了兩處作為地景監測的重要工作事項，並取得了高精度、全面性的 2D 與 3D 島嶼圖資，故本節呈現了如何利用地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)來展現本計畫豐富、精湛的調查與監測成果，其成果除了提供管理者經營建議以外，亦可用來做為環境教育推廣之用，讓更多民眾能在免付費的線上平台獲取本研究的調查成果、環境知識。

林務局已於 2010 年起建置台灣地景保育登錄景點檢索網頁，其中亦有澎湖縣的八處地景登錄點，其登錄點之介面呈現將位置圖與地景敘述等資料分開，請見圖 53，且八個景點之分布採用 Google 內勘地圖，較不易閱讀，故本計畫欲以內政部所建置之地理資訊圖資雲服務平台（簡稱 TGOS 平台）作為上傳資料之平台，在此協作平台中改善了上述網頁之缺點，以地圖作為檢索介面核心，讓閱讀者能自由地在地圖上滑動檢索景點，而對於編撰者而言，為一開放地圖協作平台，編撰者端可以輸入景點簡介、上傳景點圖片以及透過屬性資料輸入方式，輸入相關影音資源網址，並且可授權開放地圖協作功能，讓更多使用者能一起進入此地景主題進行景點的編輯與建置，以下分別呈現此圖台之管理操作功能、介面呈現與計畫建置成果。

一、 TGOS 平台介面呈現

此平台供民眾自由上傳任何欲創作的主题，任何民眾都能成為主题地圖創作者，因此在平台首頁可看見各個不同有趣之主题(圖 54)，若欲尋找本計畫創作之主题地圖，可於搜尋列打上「澎湖縣特殊地景調查」，今年度計畫則先以馬公市地景作為登錄主题，進入頁面後即可見到本主题產製之縮圖，左下角為申請協作功能(圖 55)，

可讓有興趣意願的一般民眾加入共筆，推廣環境教育之用。

二、 操作功能

此平台介面簡潔，易於操作者上手，可自行定義要輸入之欄位，由於本計畫設定平台內容應為科普性質強，故輸入欄位應為一般民眾好理解之內容，如圖 56 所見，目前設定欄位為：

1. 圖徽編號：系統自行定義
2. 景點名稱
3. 行政區：景點所位於之行政區，今年度以馬公市為建置主題。
4. 地層
5. 地景描述：呈現重點，內容應簡單易明瞭。
6. 外部影音資源：目前設定可連結之影片網路平台，如：三維建模影片。
7. 經緯度

其餘功能如圖 57 所示，右側為管理者管理工作列，可於右側管理想要呈現之欄位或新增點資料，左側則為一般使用者(網頁閱讀者)使用之介面，包含地圖縮放、定位，以及左上角可套用不同地圖，此為系統內建之圖層，目前設定輔助圖層有 1/5000 相片基本圖、正射影像(圖 58)、村里界、鄉鎮界等，並可調整透明度。

三、 計畫建置成果

最後呈現本計畫建置之部分景點，景點描述、相片都為本計畫實地調查與拍攝，今年度則以馬公市作為初步建置範圍，由於此平台利於操作，若能利用平台分享，使此計畫的科普效益加乘，故未來建議可將此平台網址轉換成 QR-Code，讓調查成果能展現、分享。

表 9 桶盤嶼測量成果表

點名	測量方法	X	Y	Z	大地起伏	正高	測量 時間	水平 精度 (m)	垂直 精度 (m)	PDOP
1	e-GNSS	302669.948	2600771.111	22.019	18.277	3.7420	36s	0.016	0.038	4.5
2	e-GNSS	302571.696	2600841.521	22.054	18.272	3.7820	2m06s	0.015	0.043	6.0
3	e-GNSS	302563.446	2600865.961	22.267	18.271	3.9960	5m30s	0.016	0.056	8.9
4	全測站	302572.328	2600877.260	26.423	18.271	8.1520				
5	全測站	302592.316	2600934.381	26.905	18.271	8.9340				
6	全測站	302607.876	2600947.619	33.296	18.271	15.025				
7	e-GNSS	302618.402	2600955.127	36.197	18.272	17.925	2m45s	0.009	0.014	2.4
8	e-GNSS	302591.527	2600944.039	22.329	18.271	4.0580	3m04s	0.012	0.020	67.0
9	e-GNSS	302659.166	2601017.836	36.460	18.272	18.188	3m05s	0.017	0.019	3.3
10	全測站	302633.271	2601016.845	22.030	18.271	3.7590				
11	e-GNSS	302659.451	2601075.225	18.813	18.271	0.5420	2m14s	0.010	0.017	8.9
12	e-GNSS	302677.783	2601092.261	19.835	18.271	1.5640	2m05s	0.009	0.014	2.2
13	e-GNSS	302794.569	2601324.492	21.020	18.271	2.7490	3m05s	0.010	0.013	2.8
14	e-GNSS	302905.102	2600973.447	37.010	18.283	18.727	3m	0.013	0.026	96.3
15	e-GNSS	303002.460	2600868.755	38.236	18.288	19.948	1m05s	0.011	0.025	7.5
16	e-GNSS	303132.347	2601312.334	20.276	18.285	1.9910	46s	0.009	0.012	10.7
17	e-GNSS	303156.976	2601191.989	20.148	18.288	1.8600	29s	0.013	0.018	5.10
18	e-GNSS	303234.253	2600805.836	20.889	18.299	2.5900	3m13s	0.012	0.030	4.3
19	e-GNSS	303138.543	2600757.300	21.560	18.296	3.2640	31s	0.012	0.033	11.8

表 10 空中攝影測量資訊

相片數量	1901	還原姿態照片量	1751
航高(m)	50	連結點數量	260658
地元解析度(cm/pix)	2.51	重新投影誤差(pix)	0.42
覆蓋範圍(km ²)	1.61	密集點雲數量	191,528,621

表 11 內政部頒部航測標準與本計畫航拍規格之比較

	內政部作業規範	本計畫航拍作法
攝影方式	垂直連續射影，攝影傾斜軸 小於 8 度航偏角小於 10 度	垂直連續射影，攝影傾斜軸 小於 8 度航偏角小於 10 度
影像左右重疊率	30%	70%
影像前後重疊率	80%	85%
地元解析度	≤10 公分	2.51 公分
檢核點數量	最少 5 個	6 個
高程均方根誤差	$\delta = a + b + c \cdot k$ 之線性公式訂定之。a 為常數，b 為地表坡度分級參數，c 為植被覆蓋密度分級，k 為植被高度。一般而言，a=0.3 公尺。	4 公分



圖 11 觀音亭涵蓋了從中新世至全新世的地景故事，地景多樣性相當高，未來將可作為戶外教學的良好場域。



圖 12 觀音亭海岸可觀察到相當豐富的地質現象，特別是相當典型的橙玄玻璃化的枕狀玻璃碎屑岩體(Palagonitized pillow-hyaloclastice breccia)，這個現象顯示當時上部熔岩應該是流進一個淺水的凹地內，當岩漿進入淺水後發生水合作用，這個露頭可媲美與同為中新世美國哥倫比亞河峽谷的經典剖面



圖 13 黑色玄武岩體的內部呈放射狀構造且周圍有豐富杏仁狀氣孔，顯示當時是在急速冷卻收縮的狀態，黃棕色岩體則為橙玄玻璃(Palagonite)，此係為火山玻璃遇熱液蝕變後所形成的產物



圖 14 觀音亭海崖坡底有一海相堆積層，主要以圓礫狀至半圓礫狀的玄武岩夾雜珊瑚、貝殼等海洋生物碎屑所構成，呈顆粒支持且淘選度差，從其海拔高度和沉積相判斷，可能是全新世高海水位所遺留下的地質遺跡



圖 15 西衛大石鼻西側的圓形構造熔岩(人站立處)



圖 16 圓形熔岩池中可見放射狀的岩脈，穿插其中，這應是殘餘岩漿侵入早期熔岩冷卻形成的裂隙，也顯示此一同心圓熔岩池可能位於火口內



圖 17 西衛大石鼻的小山丘上可見深色礦物組成的擄獲岩



圖 18 西衛大石鼻東側熔岩池是澎湖地區相當典型的熔岩池構造，同心圓與放射狀的節理構造相當明顯，從空拍圖觀之具對稱之美，此地景代表的是當時岩漿由地下通道上升，在火山口內部形成熔岩池，而後來的岩漿向上湧升推動熔岩向四周移動，熔岩冷凝後形成同心圓的構造，就如同水池中的漣漪般，一圈一圈像外擴散。



圖 19 熔岩池呈現中心突起的穹丘地形，同心圓構造中可見明顯的放射狀節理與岩脈，其岩脈的數量和長度更勝西側熔岩池，最長達近 200 公尺，這也顯示此一同心圓熔岩池可能位於火山口內



圖 20 此地景點位於西衛大石鼻東側的潮間帶上，受到自然與人為壓力威脅較大，宜採取精密測繪保存此難得的特殊地景



圖 21 鎖港古海嘯沉積層堆積於中新世沉積岩基盤(黃色岩石)上



圖 22 古海嘯沉積層的產狀，其中 marine event 為海洋事件，下層的海洋事件的 AMS 碳 14 定年結果顯示，接近 AD1076 廣州海嘯事件



圖 23 五德火山熔岩池構造是澎湖縣內規模較大的圓形熔岩池構造，直徑可達近 40 公尺(照片站立者約略是熔岩池的中心處)



圖 24 在五德熔岩池構造中可見數條岩脈穿插其中，這應是殘餘岩漿侵入早期熔岩冷卻形成的裂隙，也顯示此一同心圓熔岩池可能位於火口內



圖 25 蒔裡攀爬沙丘為澎湖少數的活動沙丘，其為本縣規模最大，近期研究發現沙丘-沙灘系統的動態演育具有環境變遷、海水面升降甚至是構造抬升沉陷的環境意義



圖 26 蒔裡沙丘附近的沙灘多年來均有綠蠵龜母龜上岸產卵，讓此地景點更具生態保育之價值。



圖 27 乳仔尖山的南側岩石濱台上，分佈數個大小不一的圓形熔岩構造，且可見大量的蕈狀岩和壺穴地形，具有多樣性的特殊地景



圖 28 從空拍圖可看見數個大小不一的圓形熔岩構造



圖 29 乳仔尖山的岩石濱台上可觀察到，大量殘餘的蕈狀岩，而且有壺穴之發育。其壺穴之發育是因為斷頭的玄武岩塊體，在凹槽內來回滾動，逐漸向下侵蝕出壺穴



圖 30 桶盤嶼西南側柱狀玄武岩



圖 31 沉積岩中有許多沉積構造，如交錯層、挖填構造和生痕化石，指示為淺海的沉積環境



圖 32 8 月一場強降雨後發生的崩塌，紅色框為崩塌的範圍



圖 33 從不同時期的空拍圖可明顯發現，因海岸塊石步道的修築，破壞自然地景演化的機制，如桶盤嶼南側的海岸，過去以壯觀、綿延不斷的玄武岩聞名，但因崖底塊石步道的興建後，受保護的穩定邊坡逐漸發育植被，覆蓋此「出露性」景點，發育良好的植被大大降低地景之價值，長久下來對於島嶼的發展極為不利。透過定期實施地景監測，方可得知重要地景的良好狀態是否發生改變



圖 34 桶盤嶼圓形熔岩構造，當地人稱為蓮花座



圖 35 西南側上層玄武岩厚度大，加上波浪侵蝕與降雨，造成易崩塌的基因與誘因



圖 36 虎井梯田群是台灣相當罕見的島嶼梯田地景，主要開闢於寬廣且坡度和緩的海岸階地上



圖 37 海岸階地的坡腳可見與邊坡分離的柱狀節理玄武岩體，這暗示著此區的邊坡應曾發生過慢速、旋滑的塊體運動，才讓原本處於上邊坡的直立狀柱狀節理，轉變成傾斜狀



圖 38 梯田的上邊坡可見尚在活動中玄武岩體

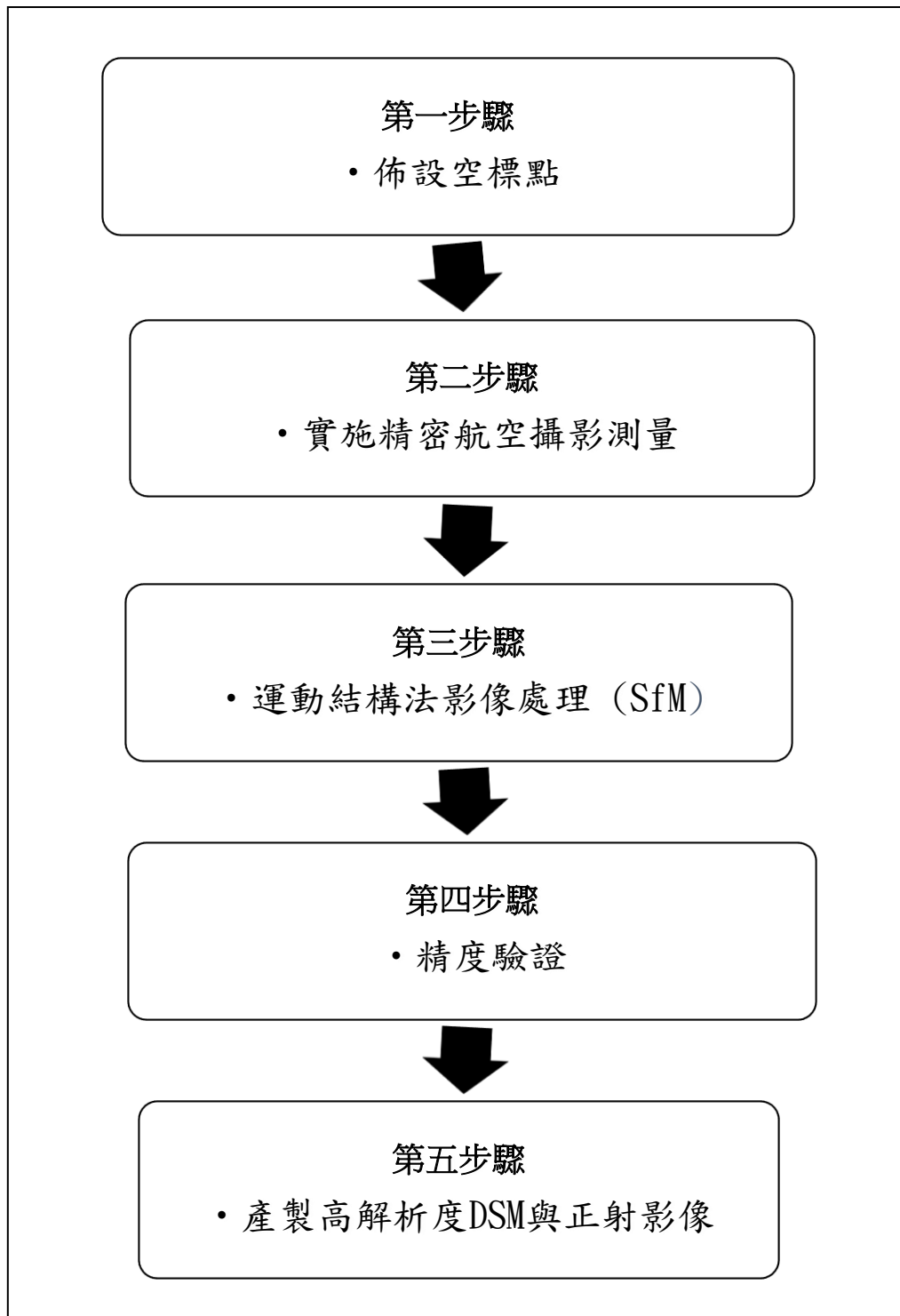


圖 39 航空攝影測量實施流程圖



圖 40 佈設航點點事前準備工作



圖 41 將 GPS 架設於航標點進行量測



圖 42 控制點(黃色點)和檢核點位(紅色點)分佈

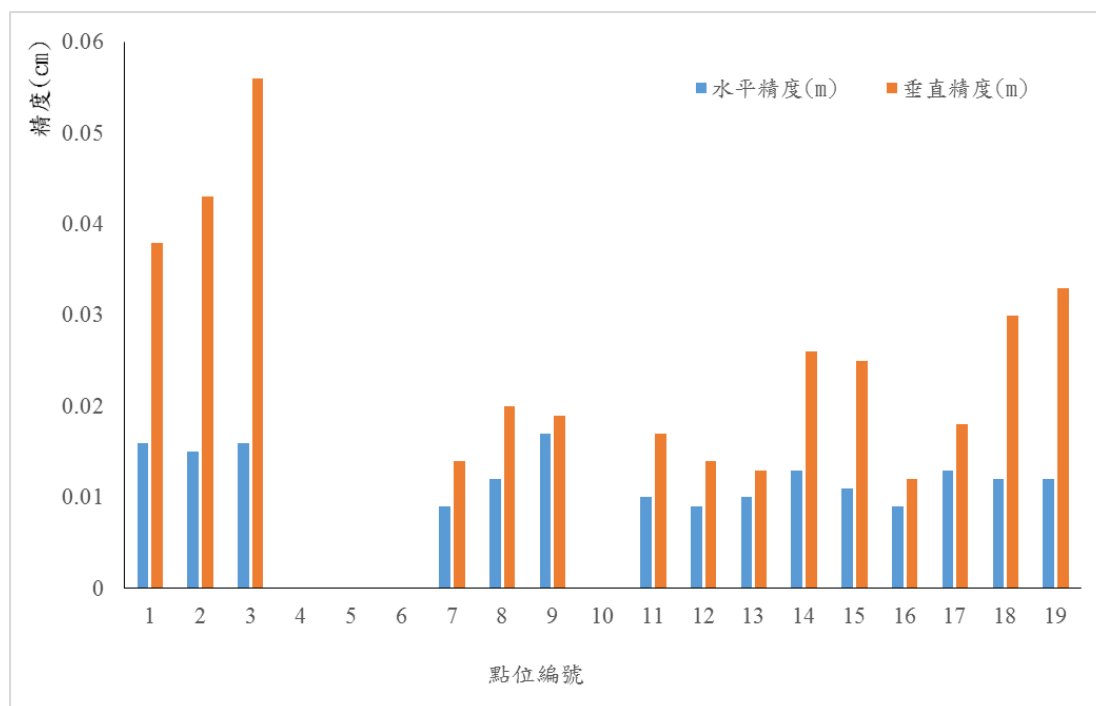


圖 43 各點位水平與垂直誤差



圖 44 無人機飛行路線(黃色點為空中攝影站位置)

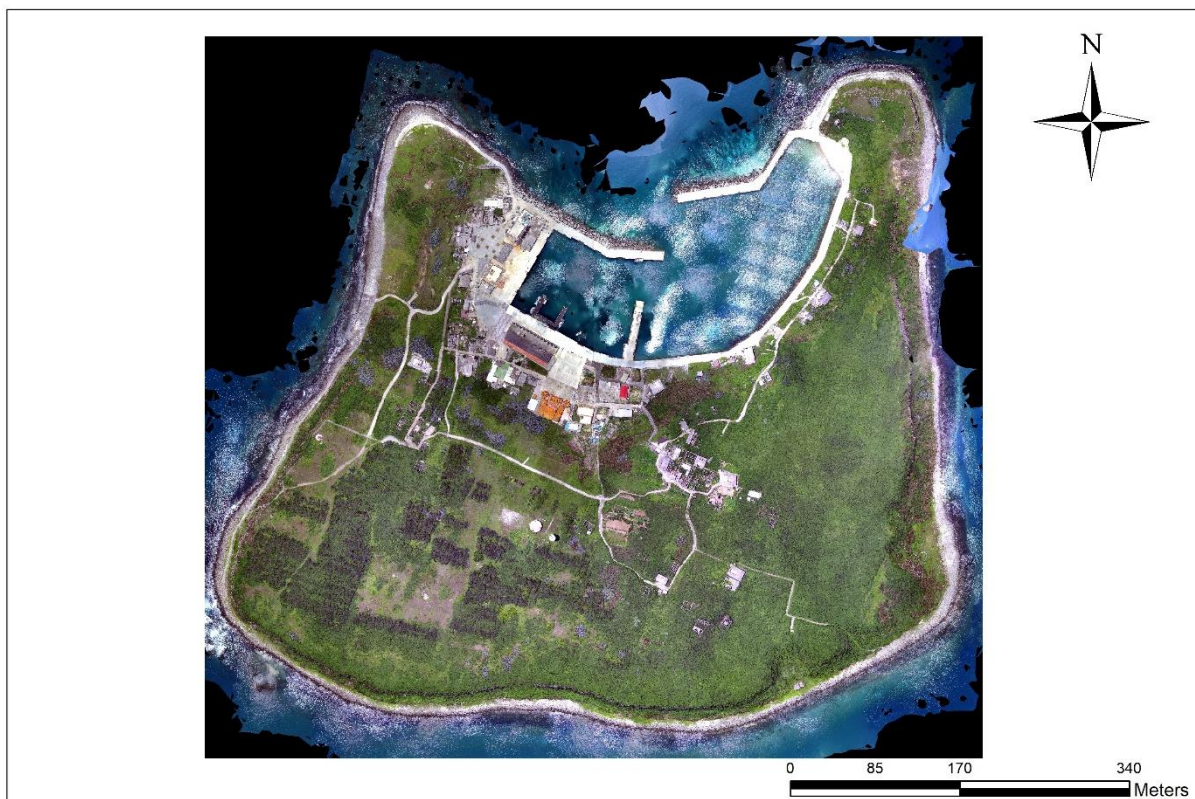


圖 45 桶盤嶼高精度正射影像(地元解析度 2.51 公分)

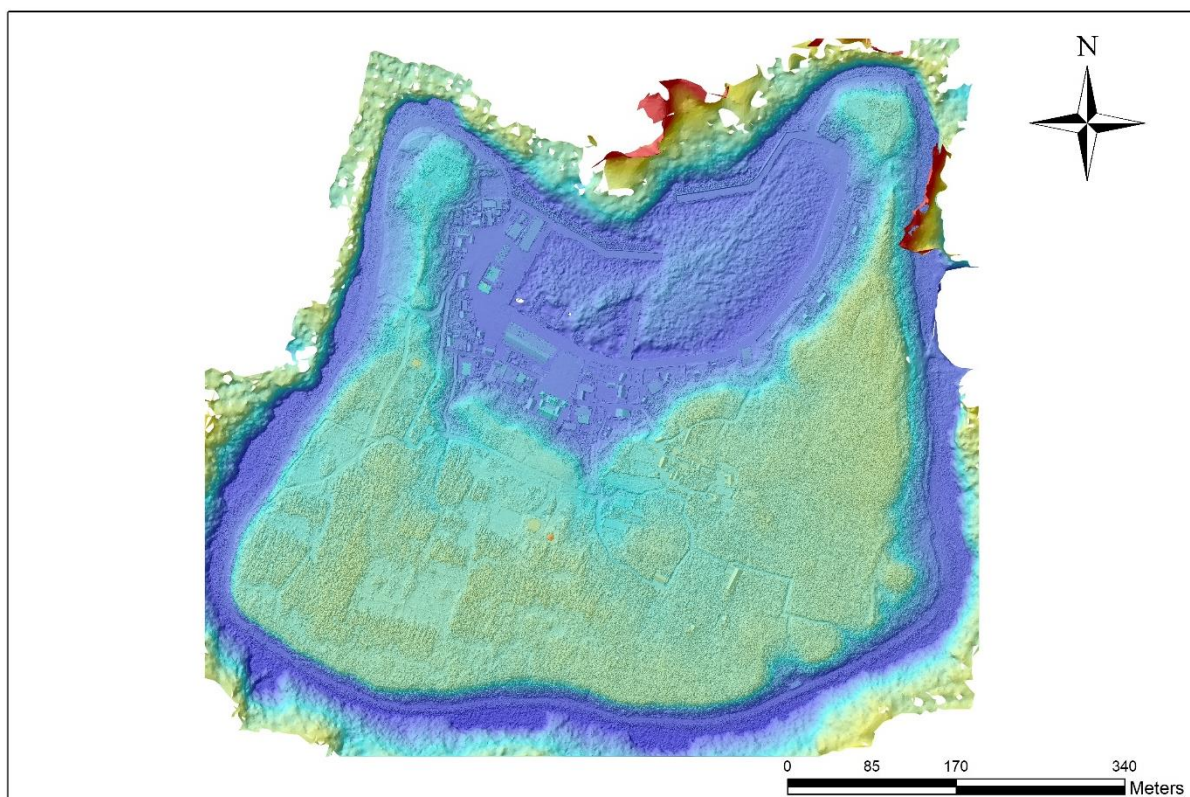


圖 46 桶盤嶼數值地表模型(地元解析度 2.51 公分)



圖 47 桶盤嶼 3D 建模成果(西南側海岸)



圖 48 桶盤嶼 3D 建模成果(南側海岸)

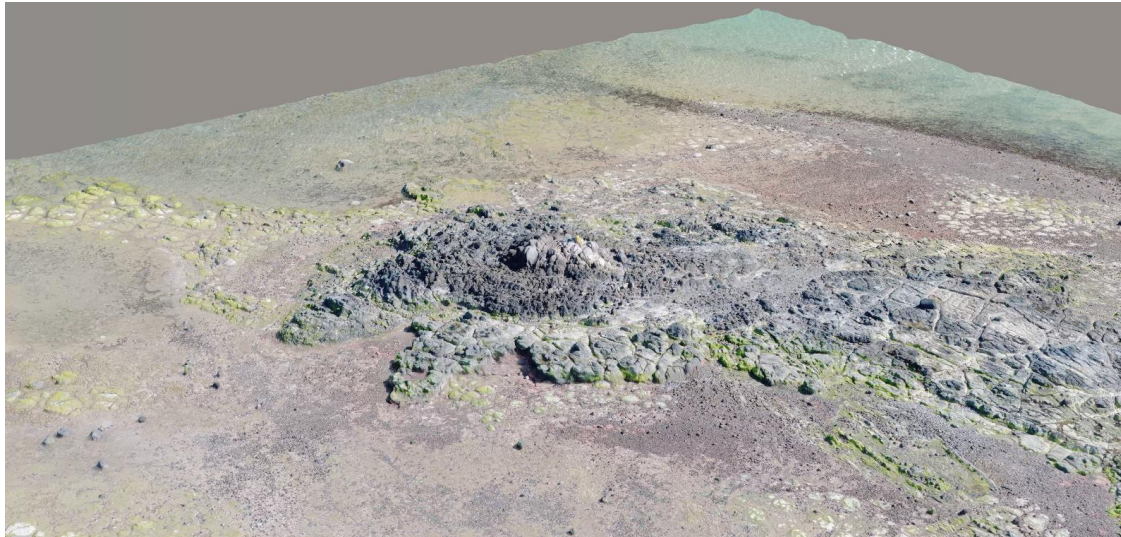


圖 49 西衛大石鼻東側熔岩池構造的 3D 建模成果



圖 50 西衛大石鼻西側熔岩池構造的 3D 建模成果



圖 51 雞善嶼虛擬實境系統觀景點規劃

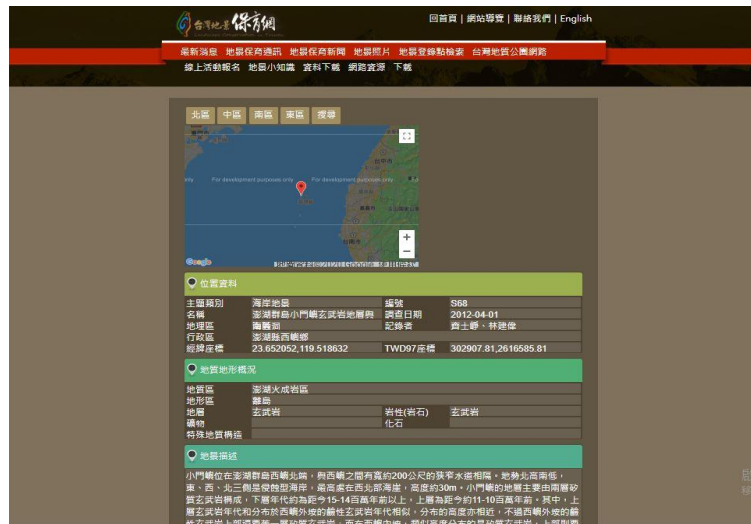


圖 55 台灣地景保育網之澎湖景點登錄(資料來源：地景保育網)

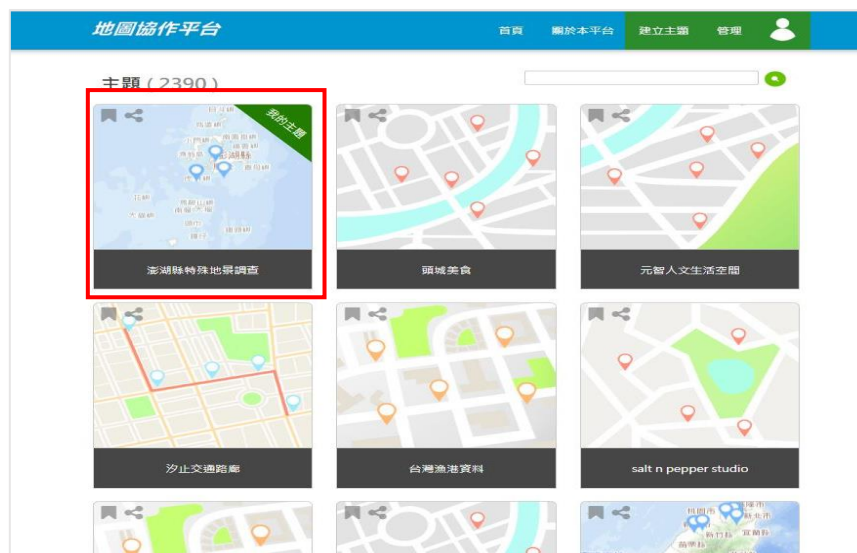


圖 56 內政部 TGOS 地圖協作平台首頁，紅框處為本計畫主題

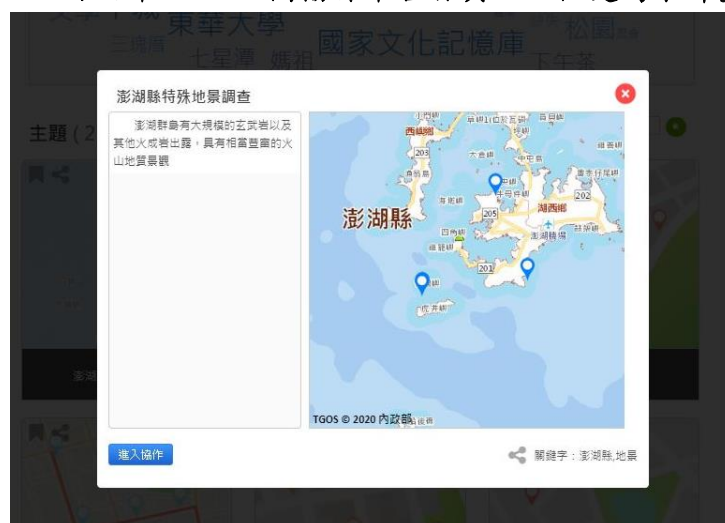


圖 57 本計畫建置之主題地圖縮圖，左下藍色按鈕可申請協作

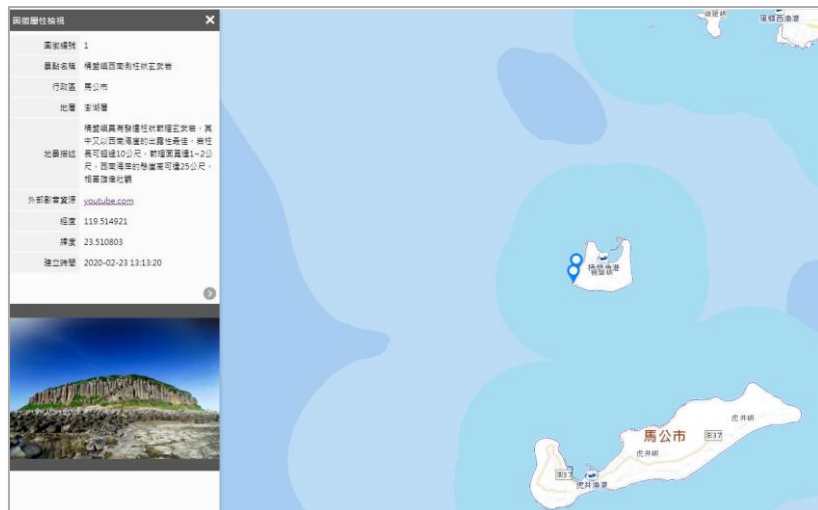


圖 58 地景描述欄位(以桶盤嶼為例)

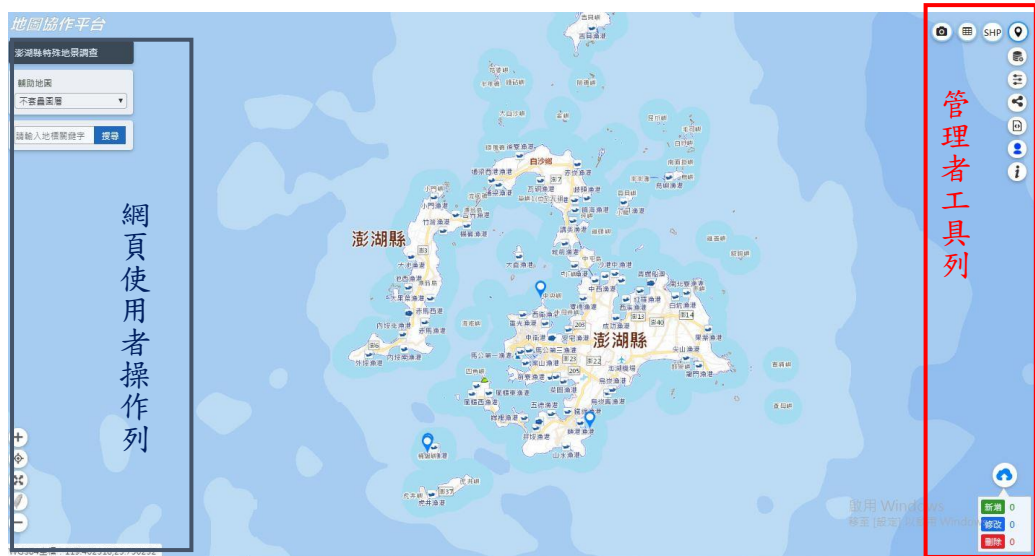


圖 59 地圖操作界面

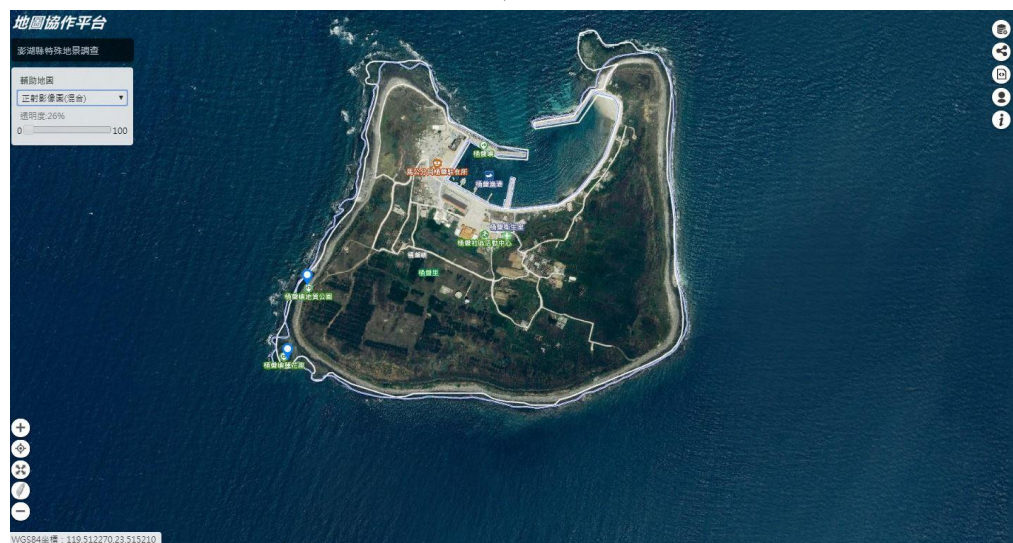


圖 60 套疊輔助圖層(正射影像)

第五章 結論

總結來說，透過本計畫的執行，可將具體成果與建議分為以下三點：

一、馬公市特殊地景之野外調查

本計畫完成馬公市 10 處的特殊地景調查，並將相關成果上傳內政部的 TGOS 平台，以便未來推廣本計畫之執行成果，這些地景個案資料未來將可做為實施法律性地景保育之候選名單，並成為本縣進行教育推廣的野外教學場域。

特別值得一提的是，在今年的調查發現馬公市區的觀音亭海岸擁有豐富的地質現象，這些地質現象可謂澎湖地質發育史的縮影，且穿插了近代海水面上升與海洋堆積事件，並且可觀察到相當典型的橙玄玻璃化的枕狀玻璃碎屑岩體，此露頭可媲美常在外文教科書出現的，美國哥倫比亞峽谷的枕狀熔岩露頭，且易達性高，具有發展成科普、環境教育推廣和地景旅遊之潛力。

此外，我們也將首次在澎湖發現的南中國海古海嘯地質記錄進行地景登錄，這個位於馬公市鎖港海岸的特殊點，具有國際性的地質價值與區域防災的意義。最後，我們也嘗試強化這些特殊地景背後所隱藏的故事和科學意義，如蒔裡攀爬沙丘、虎井梯田群、熔岩池構造等景點，希望藉此增進本縣的地景多樣性與保育價值。

二、特殊地景之監測與三維建模

考量馬公市各處地景點的價值、敏感性和易致災性等因素，本計畫選定了桶盤嶼玄武岩和西衛大石鼻熔岩池構造進行地景監測，從桶盤嶼的監測發現，其易崩塌性應受厚層玄武岩層和下伏鬆軟的沉積岩所影響，未來應仍會持續崩塌。然而，另一個發現則顯示澎湖最具代表性的自然地景-桶盤嶼柱狀節理玄武岩，它的出露性因植

生的覆蓋，而逐年下降，這將造成地景價值降低，甚至消失。其原因可能出自不當的海岸工程，介入了自然地景的演育。考量此處地景屬於「出露性」景點，管理目標在於維持可接受的出露狀況，才不會造成景點之破壞，然而後續管理單位擬在海側堆疊塊石消波以保護臨海步道，此舉將破壞自然地景演化的機制，受保護的穩定邊坡將逐漸發育植生覆蓋此「出露性」景點，一如本島南側海岸因崖底塊石步道的興建後，發育良好的植生大大降低景點之價值。

最後是本計畫所建置的虛擬實境系統，未來可透過相關的教育推廣活動，讓民眾能在「身歷其境」的體驗中，瞭解澎湖地景之美與其價值，進而埋下地景保育的種子。

參考文獻

一、中文

王鑫(1980) **臺灣的地形景觀**。臺北市:渡假出版社。

王鑫(1996) **地景保育景點評鑑及保育技術研究計畫**。行政院農業委員會委託台大地理系辦理。

李光中(2011) **臺灣自然地景保育景點登錄標準芻議**。載於臺灣大學地理學系，**地景保育論文集**(71-82 頁)。臺北：臺灣大學地理學系。

李寄嶠 (1994) **澎湖地區玄武岩類與福建地區基性脈岩之定年學與地球化學研究兼論中生代晚期以來中國東南地函之演化**，國立臺灣大學地質科學研究所博士論文。

宋聖榮(2003) **澎湖的火山故事**。澎湖研究第三屆學術研討會，澎湖縣。

呂政豪、齊士崢、顏君毅、游能悌、李寄嶠、林立虹、王珮玲、顏一勤、陳佳宏（2015）**澎湖群島古海嘯遺跡初探**。**中華民國地球物理學會與中華民國地質學會 104 年年會**，台北:文化大學。

呂政豪, 顏君毅, 游能悌, 齊士崢, 顏一勤, 陳佳宏（2019）**澎湖曾經發生過海嘯嗎？一個來自區域海岸沈積物的地質紀錄**。**澎湖研究第十九屆學術研討會**，台灣澎湖。

林寶安(2017) **做山：虎井東山的梯田－虎井二三事（二）**。檢自 <https://poanblog.wordpress.com> (2020/02/20)。

林長興(1991) **澎湖群島之地質與地形**。南投市：台灣省政府教育廳。

林長興(1997) **澎湖玄武岩地景保育解說手冊**。澎湖縣：澎湖縣政府。

林長興(2008) **澎湖桶盤嶼地質公園資源手冊**。澎湖縣馬公市：澎

湖縣政府。

林俊全(2015) **虎井桶盤觀光資源調查暨解說導覽系統與遊程規劃建**

置。交通部觀光局澎湖國家風景區管理處。澎湖縣：澎管處。

林俊全(2012) 臺灣地景保育計畫的推動。**臺灣林業**，**38(1)**，3-7。

何立德(2009) 地景多樣性與地景保育。**科學發展**，**439**，22-29。

陳文山、楊小青(2013)澎湖南方四島，高雄:海洋國家公園管理處。

陳于高(1993) **晚更新世以來南台灣地區海水面變化與新構造運動**。

國立台灣大學地質學研究所博士論文。

莊文星 (1988)。台灣新生代晚期火山岩之定地球化學研究。國立台

灣大學地質科學研究所博士論文。

黃品儒(2006) **澎湖講美玄武質岩體風化作用之礦物學研究**。國立成

功大學研究所碩士論文。

游能悌, 顏君毅, 呂政豪, 顏一勤 (2019) 千年以來南海的巨波浪

事件:澎湖海岸的地層記錄。2019 年 TGA 臺灣地球科學聯合術研討會-中華民國地質學會年會暨學術研討會，台灣台北。

曹恕中、宋聖榮、李寄嵎、謝凱旋(1999) **臺灣地質圖說明書：澎**

湖群島(第一版)。台北:經濟部中央地質調查所。

齊士崢(2005) **澎湖地區地質公園整體規劃與推動各景點基礎調查及**

先期規劃。澎湖縣：澎湖縣政府文化局。

楊小青 (1989)。澎湖群島花嶼之地球化學及核飛跡定年研究。國立

台灣大學地質科學研究碩士論文。

經濟部 (2014) **地質遺跡地質敏感區劃定計畫書**。經濟部，中央地

質調查所。

鄭謙遜 (2006) **澎湖雞善嶼燕鷗巢位選擇與繁殖生態學研究**。國立

中山大學生物科學系研究所碩士論文。

顏一勤、李寄嵎(2017) **五萬分之一臺灣地質圖幅暨說明書：澎湖群**

島(第二版)。台北:經濟部中央地質調查所。

鍾孫霖、陳正宏(1990) 由稀土元素地球化學探討臺灣西部鹼性玄武岩內所含斜輝石和角閃石偉晶的成因，*中國地質學會會刊*，33(3):177-204。

臺灣地景保育網頁，地景登錄點檢索(民國 101 年)。檢自

http://140.112.64.54/zh_tw/land_search (Jun,2019)

二、西文

Chojnacki, M., Moersch, J. E., Burr, D. M. (2010) *Climbing and falling dunes in Valles Marineris, Mars*. *Geophys Res Lett*, 37:l08201.

Chojnacki, M., Burr, D. M, Moersch, J. E. (2014) *Valles Marineris dune fields as compared with other martian populations: diversity of dune compositions, morphologies, and thermophysical properties*. *Icarus*, 230: 96–142.

Chung, S.L., Sun, S.S., Tu, K., Chen, C.H., Lee, C.Y. (1994) *Late Cenozoic basalts around Taiwan Straits, SE China: products of lithospheric extension resulting from India-Eurasia collision*. *Chem. Geol.*, 112:1-20.

Chen, Y.G., Liu, T.K. (1996) *Sea level changes in the last several Thousand years, Penghu islands, Taiwan Strait*. *Quaternary Res.*, 45: 254-262.

Chen, K.X., Chen, H. K, Brown D., Li, Q., Ye, Z., Liang, W.T., Wang, C.Y., Yao H. (2016) *Three-dimensional ambient noise tomography across the Taiwan Strait: the structure of a magma-poor rift margin*. *Tectonics*, 35:1782-1792.

Costa, A.C.G., Hildenbrand, A., Marques, F. O., Sibrant, A.L.R., Campos, A. S. (2015) *Catastrophic flank collapses and slumping in Pico Island during the last130 kyr (Pico-Faial ridge, Azores Triple Junction)*. *J. volcanol. geotherm. res.*, 302:3–46.

- Ellis, N. (2008) *A history of the Geological Conservation Review*. Special Publications, 300(1):123-135.
- Gill, R. (2010) *Igneous rocks and processes: a practical guide*. London: Wiley-Blackwell.
- Ho, L. D., Lüthgensb, C., Wonga, Y. C., Yen, J. Y., Chyi, S. J. (2017) *Late Holocene cliff-top dune evolution in the Hengchun Peninsula of Taiwan: Implications for palaeoenvironmental reconstruction*. J. Asian Earth Sci., 148:13-30.
- Lu, C.H., Chyi, S.J., Ho, L.D., Chang, P.Y. (2012) *The model for the development of shore platform in Penghu Islands*. J. Geogr., 64 :45-65.
- Lu, C.H., Chyi, S.J., Yen, J.I., Yu, N.T., Lee, J.Y.(2016). A Preliminary Study on the environment meanings of marine deposits in Penghu islands. **2016 Taiwan Geosciences Assembly**, Taiwan.
- Lu, C.H., Chyi, S.J., Yen, J.I., Yu, N.T., Lee, J.Y (2017). Tsunami sediments in the Penghu islands and their implications to the surrounding areas. **EGU2017**, Austria:Vienna.
- Lu, C.H., Yen, J.Y., Chyi, S.J. , Yu, N.T., Chen J.H. (2019) *Geological records of South China Sea tsunamis on Penghu Islands, Taiwan*, J. Asian Earth, 177: 263-274.
- Jen, C.H., Chen, J.H., Lei, H.F., Ho, L.D., Zhou, H.W., Lin, T.Y., Lu, C.H., Hsueh, M.Y., Chyi, S.J. (2017) *Recent movement of the Late Pleistocene Shoushan slump, southwestern Taiwan, based on landform surveys*. Quaternary International, 452:12-21.
- Juang, W. S., Chen, J. C.(1992) *Geochronology and geochemistry of Penghu basalts, Taiwan Strait and their tectonic significance*, Jour. Southeast Asian Earth Sci., 7(213):185-193.

- Prosser, C., Murphy, M., Larwood, J. (2006) *Geological conservation: a guide to good practice. English Nature.*
- Pye, K, Tsoar, H. (1990) *Aeolian sand and sand dunes.* London: Springer.
- Schminke, H. U. (2004) *Volcanism.* Berlin: Springer.
- Song, S.R., Tsao, S.J., Lee, C.Y., Lo, H.J. (1994) *Lithofacies and Evolution Of The Yentunshan Volcano, Penghu Archipelago. Science Reports of the National Taiwan University ACTA Geologica Taiwanica, 31.*
- Teng, L.S., (1990) *Geotectonic evolution of late Cenozoic arc-continent collision in Taiwan, Tectonophysics, 183:57-76.*

附錄一、「澎湖特殊地景調查監測計畫」期中審查會議意見回覆

委員意見	意見回覆
行政院農業委員會林務局 書面意見 期中報告書第 11 頁第 2 段末提及「7 處自然保留區」，恐易令讀者產生誤解，請確認是否應修正為「2 處自然保留區(共含 7 座島嶼)」	感謝委員指正，為避免誤解，我們依據此建議進行報告書的文字修正。
屏東林區管理處 書面意見 一、本案期中報告書無附期初報告審查意見之答覆情形，建議後續報告書(如期末報告)將各次審查意見與答覆作成附錄，附於本文之後。另並請增列參考文獻	謝謝委員指教，後續報告書將會把各次的審查意見與答覆做成附錄。此外，本報告書已增列參考文獻，請見 P. 79-82。
二、P. 52 管理單位擬在海測堆疊塊石，請府方考量是否會影響自然地景之樣貌。	感謝委員之建議。
三、桶盤嶼圓形熔岩構造依 P. 53 說明應該是在最近數千年或更短時間發育出來，研究單位可否建議縣府得用何種方法或測定方式測量出較精確地發育時間，以做為後續編輯環境教育相關出版品時利用。	此段的文本主要說明此區除了圓形熔岩構造為代表性的地質景觀外，還可以看到相當豐富的海岸地形景觀，而這些海岸地景開始發育的時間，主要根據陳于高(1993)的研究指出，澎湖地區的海水面大約是在 6000 年前才到達目前的水位高度，在更早之前，因末次最盛冰期的緣故，海水位比現在還低(最低可到-120 公尺)。因此，當海水面到目前高度時，才有能力侵蝕海崖

	或發生風化或侵蝕堆積的海水作用。也因此，本文認為此處的海岸地形景觀是在最近數千年或是更短時間才發育出來的。而圓形熔岩構造(蓮花座)則為中心世火山噴發時的原生構造，依據 Juang and Chen (1992) 鉀氬定年的年代顯示，此層玄武岩的形成年代為 1,470 萬年前，與海岸地景發育的時間截然不同。
四、錯別字或贅字請再修訂：P. 51 第一行「以以」、P. 53 倒數第七、八行「在」請改為「再」。	謝謝委員指正，本報告書已分別修改 P51、53 的贅字與錯別字
澎湖縣政府 期中審查意見 一、期末報告時，表列本年度 10 處特殊地景（含基本資料），以利後續監測追蹤。擇定 10 處特殊地景後，分別介紹時名稱可再做調整，並加強敘述形成原因推測以利環境教育科普推廣使用（科技日新月異，形成機制倘若有誤，日後再行滾動修改即可）；每處特殊地景最後，請介紹其地理位置、如何到達，及危險程度等。	後續將依據委員意見辦理，並會將每處地景完整撰寫其地景個案資料(含圖與照片)。
二、提供報告中虛擬實境影片 2-3 段、選擇清晰照片 5-10 張提供業務單位適時於農漁局粉絲專業推廣使用。	依據委員意見辦理。

三、請依林務局及屏東林管處書面 意見(後附)辦理。	依據委員意見辦理。
--------------------------------------	------------------

附錄二、「澎湖特殊地景調查監測計畫」期末審查會議意見回覆

委員意見	意見回覆
一、 林務局提供期末意見由本局評估後續規劃，屏東林管處書面意見(P. 49、74 有兩個圖10。P. 81、82 圖說的字體粗細、大小不同)，請廠商配合修改。	謝謝委員指教，已將後續圖片編號作修改，請參見 P. 74，P. 81-82 的圖說字體粗細、大小也已經修改完成。
二、 期末報告審核通過，請依委員意見及決議事項請於期末報告中酌修。	本案已依照審查委員之建議進行修改。

附錄三、 桶盤測量報告表



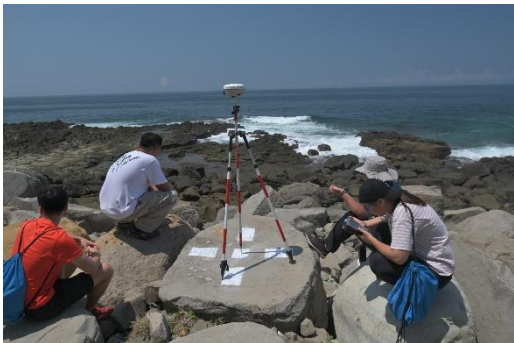
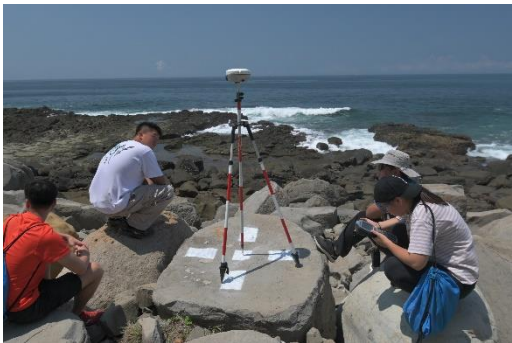
控制點(黃色)：1、2、4、6、8、9、10、12、13、15、16、18

檢核點(紅色)：3、5、7、11、14、17、19

測量日期:2019 年 9 月 8 日

點位編號	01		點位屬性	☒ 控制點(GCP) ☐ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點	
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	302669.948	2600771.111	22.019	18.277	3.7420
位置描述					
天線高(m)	1.5	量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)	0.016	垂直精度(m)	0.03		
測量時間	36 秒	PDOP	4.5		
備註	舊點名：01，				
現地照片					
					

點位編號	02		點位屬性	☒ 控制點(GCP) ☐ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點	
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	302571.696	2600841.521	22.054	18.272	3.7820
位置描述					
天線高(m)	1.5	量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)	0.015	垂直精度(m)	0.043		
測量時間	2 分 06 秒	PDOP	6.0		
備註	舊點名：02				
現地照片					

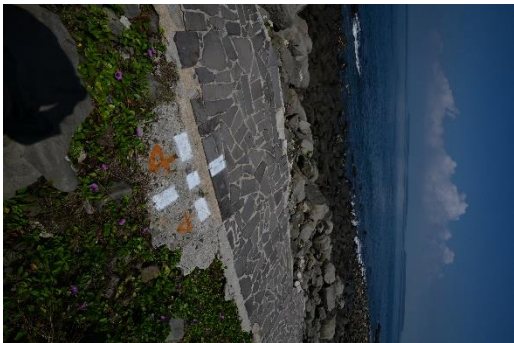
點位編號	03	點位屬性	☐ 控制點(GCP) ☒ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點		
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	302563.446	2600865.961	22.267	18.271	3.9960
位置描述					
天線高(m)	1.5	量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)	0.016	垂直精度(m)	0.056		
測量時間	5 分 30 秒	PDOP	8.9		
備註	舊點名：2-1				
現地照片					
					

點位編號	04		點位屬性	☒ 控制點(GCP) ☐ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點	
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	302572.328	2600877.260	26.423	18.271	8.1520
位置描述					
天線高(m)		量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)		垂直精度(m)			
測量時間		PDOP			
備註	採用全測站無稜鏡測量				
現地照片					

點位編號	05	點位屬性	☐ 控制點(GCP) ☒ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點		
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	302592.317	2600934.382	27.205	18.271	8.9340
位置描述					
天線高(m)		量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)		垂直精度(m)			
測量時間		PDOP			
備註	採用全測站無稜鏡測量				
現地照片					
					

點位編號	06	點位屬性	☒ 控制點(GCP) ☐ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點		
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	302607.876	2600947.619	33.296	18.271	15.025
位置描述					
天線高(m)		量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)		垂直精度(m)			
測量時間		PDOP			
備註	採用全測站無稜鏡測量				
現地照片					
					

點位編號	07	點位屬性	☐ 控制點(GCP) ☒ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點		
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	302618.402	2600955.127	36.197	18.272	17.925
位置描述					
天線高(m)	1.5	量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)	0.009	垂直精度(m)	0.014		
測量時間	2 分 45 秒	PDOP	2.4		
備註	舊點名：7-high				
現地照片					
					

點位編號	08	點位屬性	☒ 控制點(GCP) ☐ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點		
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	302591.527	2600944.039	22.329	18.271	4.0580
位置描述					
天線高(m)	1.5	量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)	0.012	垂直精度(m)	0.020		
測量時間	3 分 04 秒	PDOP	67.0		
備註	舊點名 4-1				
現地照片					
					

點位編號	09	點位屬性	☐ 控制點(GCP) ☒ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點		
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	302659.166	2601017.836	36.460	18.272	18.188
位置描述					
天線高(m)	1.5	量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)	0.017	垂直精度(m)	0.019		
測量時間	3 分 05 秒	PDOP	3.3		
備註	舊點名：08				
現地照片					
					

點位編號	10		點位屬性	☒ 控制點(GCP) ☐ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點	
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	302609.238	2600969.074	22.030	18.271	3.7590
位置描述					
天線高(m)		量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)		垂直精度(m)			
測量時間		PDOP			
備註	採用全測站無稜鏡測量				
現地照片					
					

點位編號	11	點位屬性	☐ 控制點(GCP) ☒ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點		
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	302659.451	2601075.225	18.813	18.271	0.5420
位置描述					
天線高(m)	1.5	量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)	0.010	垂直精度(m)	0.017		
測量時間	2 分 14 秒	PDOP	8.9		
備註	舊點名：07				
現地照片					
					

點位編號	12		點位屬性	☒ 控制點(GCP) ☐ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點	
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	302677.783	2601092.261	19.835	18.271	1.564
位置描述					
天線高(m)	1.5	量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)	0.009	垂直精度(m)	0.014		
測量時間	2 分 05 秒	PDOP	2.2		
備註	舊點名：7-2				
現地照片					
					

點位編號	13		點位屬性	☒ 控制點(GCP) ☐ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點	
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	302794.569	2601324.492	21.020	18.271	2.7490
位置描述					
天線高(m)	1.5	量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)	0.010	垂直精度(m)	0.013		
測量時間	3 分 05 秒	PDOP	2.8		
備註	舊點名：09				
現地照片					
					

點位編號	14		點位屬性	☐ 控制點(GCP) ☒ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點	
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	302905.102	2600973.447	37.010	18.283	18.727
位置描述					
天線高(m)	1.5	量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)	0.013	垂直精度(m)	0.026		
測量時間	3 分	PDOP	96.3		
備註	舊點名：11				
現地照片					
					

點位編號	15	點位屬性	☒ 控制點(GCP) ☐ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點		
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	303002.460	2600868.755	38.236	18.288	19.948
位置描述					
天線高(m)	1.5	量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)	0.011	垂直精度(m)	0.025		
測量時間	1 分 05 秒	PDOP	7.5		
備註	舊點名：15				
現地照片					
					

點位編號	16		點位屬性	☒ 控制點(GCP) ☐ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點	
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	303132.347	2601312.334	20.276	18.285	1.9910
位置描述					
天線高(m)	1.5	量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)	0.009	垂直精度(m)	0.012		
測量時間	46 秒	PDOP	10.7		
備註	舊點名：12				
現地照片					
					

點位編號	17		點位屬性	☐ 控制點(GCP) ☒ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點	
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	303156.976	2601191.989	20.148	18.288	1.8600
位置描述					
天線高(m)	1.5	量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)	0.013	垂直精度(m)	0.018		
測量時間	29 秒	PDOP	5.1		
備註	舊點名：14				
現地照片					
					

點位編號	18		點位屬性	☒ 控制點(GCP) ☐ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點	
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	303234.253	2600805.836	20.889	18.299	2.5900
位置描述					
天線高(m)	1.5	量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)	0.012	垂直精度(m)	0.030		
測量時間	3 分 13 秒	PDOP	4.3		
備註	舊點名：13				
現地照片					
					

點位編號	19	點位屬性	☐ 控制點(GCP) ☒ 檢核點(Check Point) ☐ 崩塌體監測點		
座標系統	☒ TWD97(119-澎) ☐ TWD97(121-台) ☐ WGS84 經緯度 ☐ 其他:				
座標	X(經度)	Y(緯度)	Z(橢球高)	大地起伏	Z(正高)
	303138.543	2600757.300	21.560	18.296	3.2640
位置描述					
天線高(m)	1.5	量測方式	☒ 地表面 ☐ 黑色尖端埋入(-10cm)		
水平精度(m)	0.012	垂直精度(m)	0.033		
測量時間	31 秒	PDOP	11.8		
備註	舊點名：14-1				
現地照片					
					

附錄四、地景登錄表

位置資料	編號：	01
地景名：觀音亭澎湖層與全新世海洋事件剖面	記錄者：	呂政豪
行政區： ☒ 馬公市 ☐ 湖西鄉 ☐ 西嶼鄉 ☐ 白沙鄉 ☐ 望安鄉 ☐ 七美鄉	調查日期：	2019.09.16
經緯度座標：119.557903,23.563651		
TW97 座標：102777.633,2607440.862		

地質地形概況

地質區： ☐ 海岸山脈 ☐ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 西部麓山帶 ☒ 海岸平原 ☐ 北部張裂帶	
地形區： ☐ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高山(2100m) ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☒ 離島	
地層：澎湖層	岩性(岩石)：矽質玄武岩、鹼性玄武岩
礦物：橄欖石、黏土礦物	化石：無
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☐ 斷層 ☐ 其他_____	

地景描述：

觀音亭剖面可觀察到相當豐富的地質現象(圖 10)，這些地質現象濃縮了主要的澎湖地質發育史，且穿插了全新世的海水面上升與海洋堆積事件，可觀察到的岩性構造相當豐富，地景的多樣性也高，所涵蓋的地質時間從中新世到近代的全新世，再加上鄰近市區，易達性相當高，非常適合作為地方級地球科學戶外教學或是地質旅遊推動的地景點。這個地質剖面約延續近 700 公尺長，過去因受軍事管制無法作有效的調查，但隨著金龍頭營區的開放，現在可從金龍頭營區旁與澎湖灣行旅中間的小路，延著土坡往下走至潮間帶，適合觀賞的時間為下午退潮時。

此景點可觀察到典型的澎湖層，主要由兩層玄武岩流和沉積岩、風化土壤面互層所構成(見圖 11)，下層的玄武岩流為矽質玄武岩為主體，呈多孔狀且可觀察到氣孔柱，上層玄武岩流以黝黑且含有橄欖石擄獲體的鹼性玄武岩為主，兩層玄武岩流可用薄層沉積岩或是風化土壤面加以區分，風化土壤面呈紅色，土壤剖面越往下部殘餘玄武岩碎塊及洋蔥風化構造的比例越多，且土壤經紅土化作用呈紅棕色，由此可知，此層係為玄武岩經高溫濕環境風化作用下的產物。在兩層玄武岩流之間有一不整合面(unconformity)，代表兩次的玄武岩流噴發應間隔一段足夠長的時間，方能有土壤化的過程，且受到侵蝕作用形成一個侵蝕面，後來才被上部熔岩所覆蓋。較為特別的地質現象是，從土坡下至潮間帶後往西走約 120 公尺，可以看一個類似於枕狀熔岩(Pillow lava)的地質現象(見圖 12)，這個露頭相當典型。此露頭可觀察到上層的黃棕色-黑色的岩體覆蓋於不整合面之上，黑色的玄武岩體，內部呈放射狀構造且周圍有豐富杏仁狀氣孔，代表當時是在急速冷卻

收縮的狀態，黃-棕色岩體則為橙玄玻璃(Palagonite)，橙玄玻璃為火山玻璃遇熱液蝕變後所形成的產物(Gill, 2010；Schmincke, 2004)，它的形成可能因當時高溫炙熱的玄武岩岩漿流入水層或飽含水的岩層，引發液態水迅速轉變成氣態的水合作用(hydration)，而產生較劇烈的噴發活動，並且造成岩體邊緣急速冷卻成玻璃質，經蝕變後形成的橙玄玻璃，這類的橙玄玻璃通常容易被黏土礦物所取代，如方沸石或皂石，或經風化作用將皂石蒙脫石化(黃品儒，2006)。再加上黑色玄武岩體多成圓形或流體狀，這些現象顯示當時上部熔岩應該是流進一個淺水的凹地內，當岩漿進入淺水後發生水合作用，因而形成橙玄玻璃化的枕狀玻璃碎屑岩體(Palagonitized pillow-hyaloclastice breccia)，而後來再流進凹地的熔岩可能因覆蓋在先前的熔岩體上，而非水裡，所以橙玄玻璃化的現象不明顯，而形成較為典型的玄武岩體。這個露頭是過去前人未曾報導過，而它所代表的地質現象和科學意義與同為中新世美國哥倫比亞河峽谷的經典地質剖面相當雷同(Schmincke, 2004)。此外，在枕狀岩體的下方可發現淘選度差、呈角礫(angular)至半角礫狀(subangular)的碎屑岩，堆積於凹地底部。

在上述剖面的東側約 20 公尺處，可見海崖坡底有一海相堆積層(見圖 13)，高約海拔 2 公尺，厚達 1~1.5 公尺，主要以圓礫狀至半圓礫狀的玄武岩夾雜珊瑚、貝殼等海洋生物碎屑所構成，呈顆粒支持且淘選度差。從其海拔高度和沉積相判斷，可能是全新世高海水位所遺留下的地質遺跡，依據 Chen and Liu(1996)在澎湖地區的海濱堆積物之碳十四年資料顯示，澎湖地區的海水面在 4700 年前約比現在海水面高出 2.4 公尺，隨後逐漸降低到目前海水位高度。除此之外，在本次的調查也發現全新世的沉積層中夾有代表極端海洋事件的地質紀錄。

由此可知，觀音亭涵蓋了從中新世至全新世的地景故事，地景多樣性相當高，且多為過去前人未報導過的地景現象，這些現象亦相當具有代表性，可以用以述說澎湖地景演育的過程與科學義涵，值得未來投入更多的調查能量，比如定年分析、岩礦實驗、地景(質)圖繪製等，並讓這裡的地景素材能夠轉變成科普教材與戶外教學的良好場域。

經營管理資料

景點方圓大小：	長：700 公尺	寬：
高：15 公尺	深：	面積：
管理單位：澎湖縣政府、國防部		
保育現況：部分邊坡因施作擋土牆而被覆蓋，隨著房舍的廢棄，擋土牆以無功能性，但其所被覆蓋的地景具有重要的科學意義與美學價值，實屬可惜。		
威脅景點之行為類型：■不當之遊憩規劃■開發建設 □遊憩衝擊 □人為破壞 □風化與侵蝕作用 □環境承載 □其他 _____		
非地質方面的重要內容：□特有物種 _____□特殊生態 _____ □重要文化資產 _____□其他 _____		

到達路線：☐公車 ☐自用車 ☒步行 ☒其他 從金龍頭營區旁與澎湖灣行旅中間的小路，延著土坡往下走至潮間帶

台灣自然地景的主題類別（最主要的一項）

- | | | |
|--|--|-------------------------------------|
| ☐ 板塊構造現象 | ☒ 火山地景 | ☐ 高山地景 |
| ☐ 重要地層或化石位址 | ☐ 河流、湖泊和河口三角洲地景 | ☐ 隆起珊瑚礁、洞穴地景 |
| ☒ 海岸地景 | ☐ 珊瑚礁、環礁和海洋島嶼 | ☐ 冰河遺跡 |
| ☐ 火災山地景(礫岩惡地) | ☐ 泥岩惡地、泥火山地景 | ☐ 地質災害遺跡 |

價值認定

- | | | |
|---|-------------------------------------|--|
| ☒ 地質多樣性（科學） | ☐ 生物多樣性（生態） | ☒ 景觀美質（遊憩） |
| ☒ 環境功能（防災） | ☐ 永續土地利用（經濟） | ☐ 歷史和文化（社會） |

登錄等級

3. 國家級

- ☐具有國際地質重要性的景點
- ☐具有科學重要性之特殊現象景點
- ☐具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解台灣地質史所必備者

4. 地方級

- ☒具有終身學習的教育價值之景點
- ☐具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點
- ☒具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點
- ☐具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點

文獻、資料

- Gill, R. (2010) *Igneous rocks and processes: a practical guide*. London: Wiley-Blackwell.
- Schminke, H. U. (2004) *Volcanism*. Berlin: Springer.
- Song et al., (1994) Lithofacies and Evolution of Maar in Yentunshan, Penghu Archipelago, Acta Geol. Taiwanica, 31:101-118.
- 陳于高(1993) **晚更新世以來南台灣地區海水面變化與新構造運動**。國立台灣大學地質學研究所博士論文。
- 曹恕中、宋聖榮、李寄嶠、謝凱旋(1999) **澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000**。台北縣：經濟部中央地質調查所。
- 顏一勤、李寄嶠(2017) **澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000 第二版**。新北市：經濟部中央地質調查所。
- 黃品儒(2006) **澎湖講美玄武質岩體風化作用之礦物學研究**。國立成功大學研究所碩士論文。
- 李寄嶠(1994) **澎湖地區玄武岩類與福建地區基性脈岩之定年學與地球化學兼論中生代晚期以來中國東南地函之演化**。國立台灣大學地質學研究所博士論文。

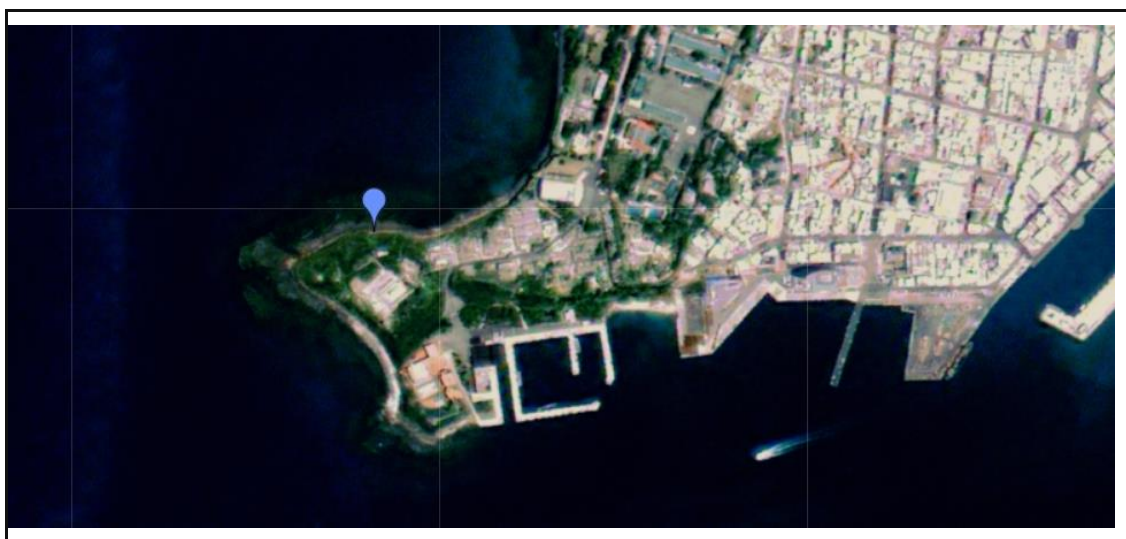
範圍區 1/25000 地形圖



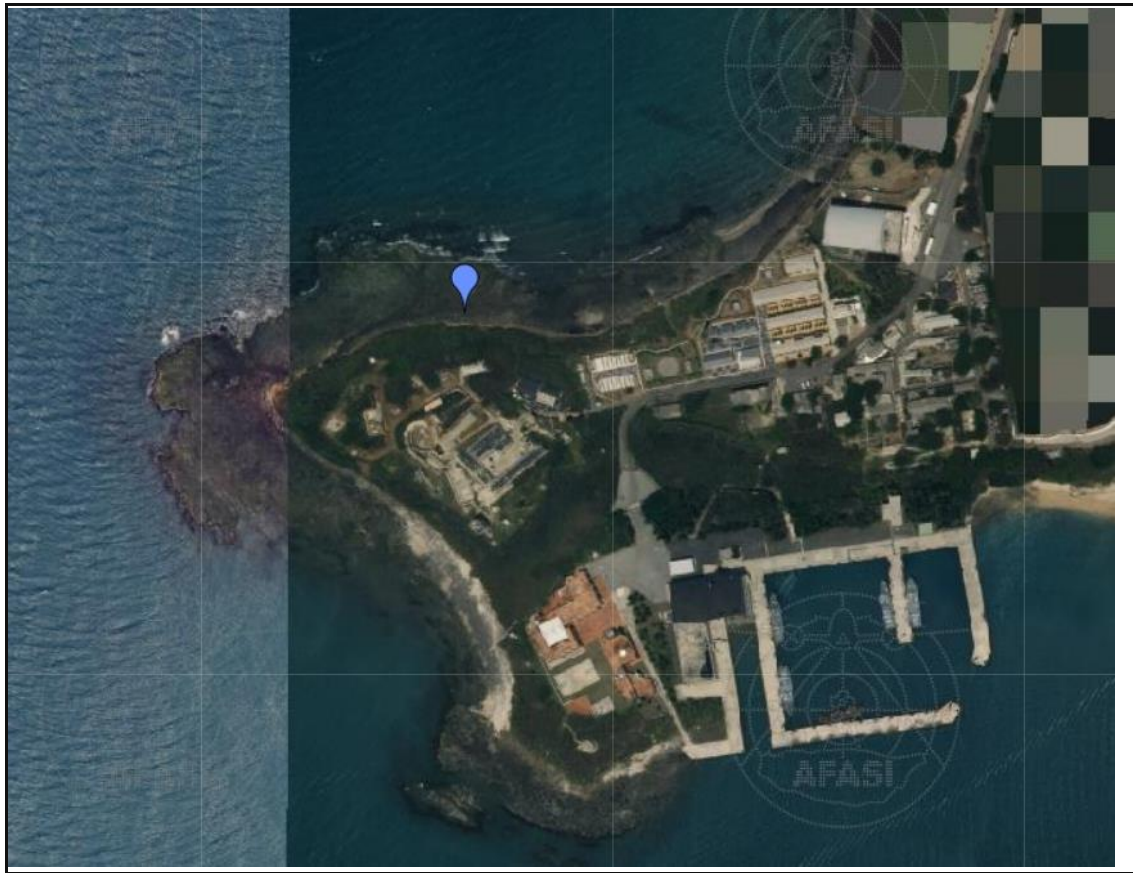
地質圖



衛星影像圖



航照圖



現場照片（以全景、中景、近景）



圖 10 觀音亭涵蓋了從中新世至全新世的地景故事，地景多樣性相當高，未來將可作為戶外教學的良好場域。



圖 11 觀音亭海岸可觀察到相當豐富的地質現象，特別是相當典型的橙玄玻璃化的枕狀玻璃塊碎屑岩體(Palagonitized pillow-hyaloclastice breccia)，這個現象顯示當時上部熔岩應該是流進一個淺水的凹地內，當岩漿進入淺水後發生水合作用，這個露頭可媲美與同為中新世美國哥倫比亞河峽谷的經典剖面



圖 12 黑色玄武岩體的內部呈放射狀構造且周圍有豐富杏仁狀氣孔，顯示當時是在急速冷卻收縮的狀態，黃棕色岩體則為橙玄玻璃(Palagonite)，此係為火山玻璃遇熱液蝕變後所形成的產物



圖 13 觀音亭海崖坡底有一海相堆積層，主要以圓礫狀至半圓礫狀的玄武岩夾雜珊瑚、貝殼等海洋生物碎屑所構成，呈顆粒支持且淘選度差，從其海拔高度和沉積相判斷，可能是全新世高海水位所遺留下的地質遺跡

其他

無

位置資料	編號：	02
地景名：西衛大石鼻西側熔岩池構造	記錄者：	呂政豪
行政區： ☒ 馬公市 ☐ 湖西鄉 ☐ 西嶼鄉 ☐ 白沙鄉 ☐ 望安鄉 ☐ 七美鄉	調查日期：	2019.09.22
經緯度座標：119.58187,23.59375		
TW97 座標：105257.762,2610750.334		

地質地形概況

地質區： ☐ 海岸山脈 ☐ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 西部麓山帶 ☒ 海岸平原 ☐ 北部張裂帶
地形區： ☐ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高山(2100m) ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☒ 離島

地層：澎湖層	岩性（岩石）：鹼性玄武岩
礦物：無	化石：無
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☐ 斷層 ☐ 其他_____	

地景描述：

西衛大石鼻西側海岸濱台上可發現城同心圓構造之繩狀熔岩流(圖 14)，主要形成於鹼性玄武岩體，受海水侵蝕後而出露，此為火山活動形成的原生構造，主要特徵為有一同心圓和放射狀構造的玄武岩，直徑約 15 公尺，呈平坦狀，這樣的節理構造顯示岩漿由中心向四周擴散，很可能是岩漿由地下通道上升在噴發口處形成熔岩池，而後來之岩漿向上湧升推動熔岩向四周移動所形成之繩狀熔岩流構造；同心圓中意可見數小條放射狀岩脈(圖 15)，應是殘餘岩漿侵入早期熔岩冷卻形成之裂隙。依據先前地質學者的鉀氬定年年代顯示，此地形成年代約為 1200 萬年前(李寄嶠，1994)。

此特殊地景鄰近馬公市區，易達性高，在海崖與岩石濱台上尚有許多地質景觀，如大石鼻突起山丘的鹼性玄武岩體富含深色晶體的地函擄獲岩(圖 16)，而非澎湖常見的橄欖石，較為罕見。此外，在周邊海岸有廣大的海岸濱台地形，寬達數公里，濱台臨海邊緣分布多口大型石滬，可體現早期人群與環境互動下的地理景觀。

經營管理資料

景點方圓大小：直徑約 15 公尺	長：	寬：
高：	深：	面積：
管理單位：澎湖縣政府、私人土地		
保育現況：海漂垃圾多，景點位於潮間帶，易受風化侵蝕作用之威脅		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☒ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他 _____		
非地質方面的重要內容： ☐ 特有物種 _____ ☐ 特殊生態 _____ ☐ 重要文化資產 _____ ☐ 其他 _____		
到達路線： ☐ 公車 ☒ 自用車 ☒ 步行 ☐ 其他 _____		

台灣自然地景的主題類別（最主要的一項）

☐ 板塊構造現象	☒ 火山地景	☐ 高山地景
☐ 重要地層或化石位址	☐ 河流、湖泊和河口三角洲地景	☐ 隆起珊瑚礁、洞穴地景
☒ 海岸地景	☐ 珊瑚礁、環礁和海洋島嶼	☐ 冰河遺跡
☐ 火炎山地景(礫岩惡地)	☐ 泥岩惡地、泥火山地景	☐ 地質災害遺跡

價值認定

☒ 地質多樣性（科學）	☐ 生物多樣性（生態）	☒ 景觀美質（遊憩）
☐ 環境功能（防災）	☐ 永續土地利用（經濟）	☐ 歷史和文化（社會）

登錄等級

5. 國家級

- ☐ 具有國際地質重要性的景點
- ☐ 具有科學重要性之特殊現象景點
- ☐ 具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解台灣地質史所必備者

6. 地方級

- ☐ 具有終身學習的教育價值之景點
- ☐ 具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點
- ☐ 具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點
- ☒ 具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點

文獻、資料

Schminke, H. U. (2004) Volcanism. Berlin: Springer.

李寄嶠(1994) 澎湖地區玄武岩類與福建地區基性脈岩之定年學與地球化學兼論中生代晚期以來中國東南地函之演化。國立台灣大學地質學研究所博士論文。

林長興(1991) 澎湖群島之地質與地形。南投市：台灣省政府教育廳

林長興(1997) 澎湖玄武岩地景保育解說手冊。澎湖縣：澎湖縣政府。P120-122

齊士崢(2005) 澎湖地區地質公園整體規劃與推動各景點基礎調查及先期規劃。澎湖縣：澎湖縣政府文化局。

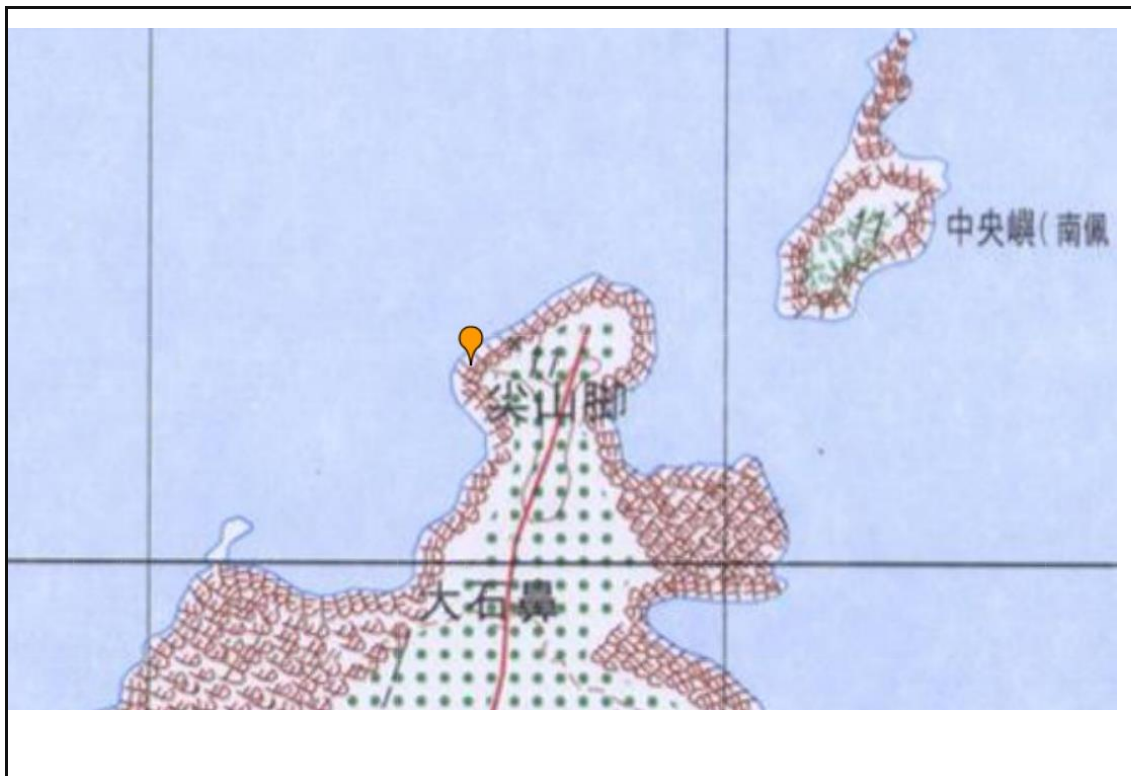
曹恕中、宋聖榮、李寄嶠、謝凱旋(1999) 澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000。台北縣：經濟部中央地質調查所。

經濟部(2014) 地質遺跡地質敏感區劃定計畫書。新北市：經濟部中央地質調查所。

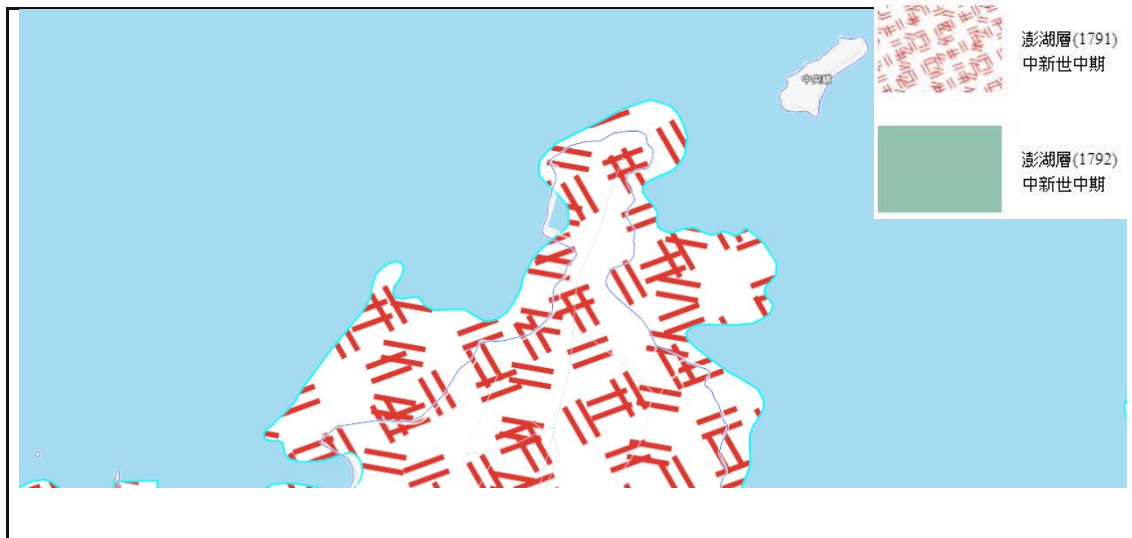
顏一勤、李寄嶠(2017) 澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000 第二版。新北市：經濟部中央地質調查所。

宋聖榮(2003) 澎湖的火山故事。澎湖研究第三屆學術研討會，澎湖縣。

範圍區 1/25000 地形圖



地質圖



衛星影像圖



航照圖



現場照片（以全景、中景、近景）



圖 14 西衛大石鼻西側的圓形構造熔岩(人站立處)



圖 15 圓形熔岩池中可見放射狀的岩脈，穿插其中，這應是殘餘岩漿侵入早期熔岩冷卻形成的裂隙，也顯示此一同心圓熔岩池可能位於火口內



圖 16 西衛大石鼻的小山丘上可見深色礦物組成的擄獲岩

其他

--

位置資料	編號：	03
地景名：西衛大石鼻東側熔岩池構造	記錄者：	呂政豪
行政區：■馬公市 □湖西鄉 □西嶼鄉 □白沙鄉 □望安鄉 □七美鄉	調查日期：	2019.09.22
經緯度座標：119.586773,23.590592		

TW97 座標：105754.805,2610395.59

地質地形概況

地質區：☐海岸山脈 ☐脊樑山脈 ☐雪山山脈 ☐西部麓山帶 ☒海岸平原
☐北部張裂帶

地形區：☐山地 ☐丘陵 ☐高山(2100m) ☐台地 ☐盆地 ☐平原 ☐海岸 ☒離島

地層：澎湖層

岩性（岩石）：玄武岩

礦物：無

化石：無

特殊地質構造：☐褶皺 ☐斷層 ☐其他_____

地景描述：

此地景點澎湖地區相當典型的熔岩池構造，同心圓與放射狀的節理構造相當明顯，從空拍圖觀之具對稱之美(見圖 17)，它位於西衛大石鼻東側的潮間帶上，地勢稍較周圍潮間帶高，可從綠洲旅店民宿北側的土路向東走約 400 公尺，有一突起的穹丘地形即為此地景點，適合觀賞時間為退潮時，由於沿途為濕滑的潮間帶，需留意安全性問題。

不像大石鼻西側為近圓形熔岩構造，東側的熔岩池接近橢圓形，長軸可達近 20 公尺，似由一大一小同心圓構造所形成，熔岩池也呈現中心突起的穹丘地形，這應受岩性差異侵蝕所造成。同心圓中可見明顯的放射狀節理與岩脈，其岩脈的數量和長度更勝西側熔岩池構造，最長可達近 200 公尺(見圖 18)，這應是殘餘岩漿侵入早期熔岩冷卻形成的裂隙，這也顯示此一同心圓熔岩池可能位於火山口內。而此圓形熔岩構造的熔岩流代表的是當時岩漿由地下通道上升，在火山口內部形成熔岩池，而後來的岩漿向上湧升推動熔岩像四周移動，而形成同心圓的構造，就如同水池中的漣漪般，一圈一圈向外擴散。在泥火山地區，如高雄燕巢的烏山頂泥火山自然保留區，也會在泥火山噴泥口中因泥漿湧升，造成泥漿泡泡破裂而形成相似的同心圓構造。

由於此地景點位於潮間帶上(見圖 19)，每天遭受波浪與潮水的風化侵蝕，再加上因為突起的地形，當地居民可能擔心漲潮時船隻撞上此礁石，而在中心處插上旗杆作為標示用。因此，目前此景點遭受較大的威脅壓力，為避免此特殊地景受到自然或人為的侵蝕、破壞，建議實施高精度的地景測繪，透過數位化方式盡早保存此特殊景點。

經營管理資料

景點方圓大小：長軸近 20 公尺	長：	寬：
高：	深：	面積：
管理單位：澎湖縣政府		
保育現況：海漂垃圾多，景點位於潮間帶，易受風化侵蝕作用之威脅		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☒ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他_____		

非地質方面的重要內容：☐特有物種 _____☐特殊生態 _____
☐重要文化資產 _____☐其他 _____

到達路線：☐公車 ☒自用車 ☒步行 ☐其他 _____

台灣自然地景的主題類別（最主要的一項）

☐板塊構造現象 ☒火山地景 ☐高山地景
☐重要地層或化石位址 ☐河流、湖泊和河口三角洲地景 ☐隆起珊瑚礁、洞穴地景
☒海岸地景 ☐珊瑚礁、環礁和海洋島嶼 ☐冰河遺跡
☐火炎山地景(礫岩惡地) ☐泥岩惡地、泥火山地景 ☐地質災害遺跡

價值認定

☒地質多樣性（科學） ☐生物多樣性（生態） ☒景觀美質（遊憩）
☒環境功能（防災） ☐永續土地利用（經濟） ☐歷史和文化（社會）

登錄等級

7. 國家級

- ☐具有國際地質重要性的景點
- ☐具有科學重要性之特殊現象景點
- ☐具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解台灣地質史所必備者

8. 地方級

- ☐具有終身學習的教育價值之景點
- ☒具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點
- ☐具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點
- ☒具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點

文獻、資料

Schminke, H. U. (2004) Volcanism. Berlin: Springer.

李寄嶠(1994) 澎湖地區玄武岩類與福建地區基性脈岩之定年學與地球化學兼論中生代晚期以來中國東南地函之演化。國立台灣大學地質學研究所博士論文。

林長興(1991) 澎湖群島之地質與地形。南投市：台灣省政府教育廳

林長興(1997) 澎湖玄武岩地景保育解說手冊。澎湖縣：澎湖縣政府。P120-122

齊士崢(2005) 澎湖地區地質公園整體規劃與推動各景點基礎調查及先期規劃。澎湖縣：澎湖縣政府文化局。

曹恕中、宋聖榮、李寄嶠、謝凱旋(1999) 澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000。台北縣：經濟部中央地質調查所。

經濟部(2014) 地質遺跡地質敏感區劃定計畫書。新北市：經濟部中央地質調查所。

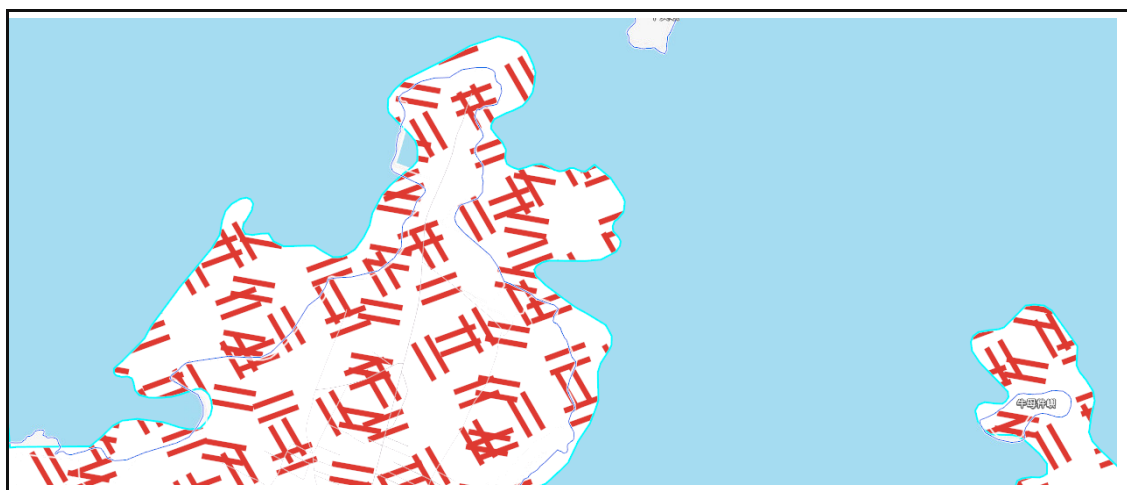
顏一勤、李寄嶠(2017) 澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000 第二版。新北市：經濟部中央地質調查所。

宋聖榮(2003) 澎湖的火山故事。澎湖研究第三屆學術研討會，澎湖縣。

範圍區 1/25000 地形圖



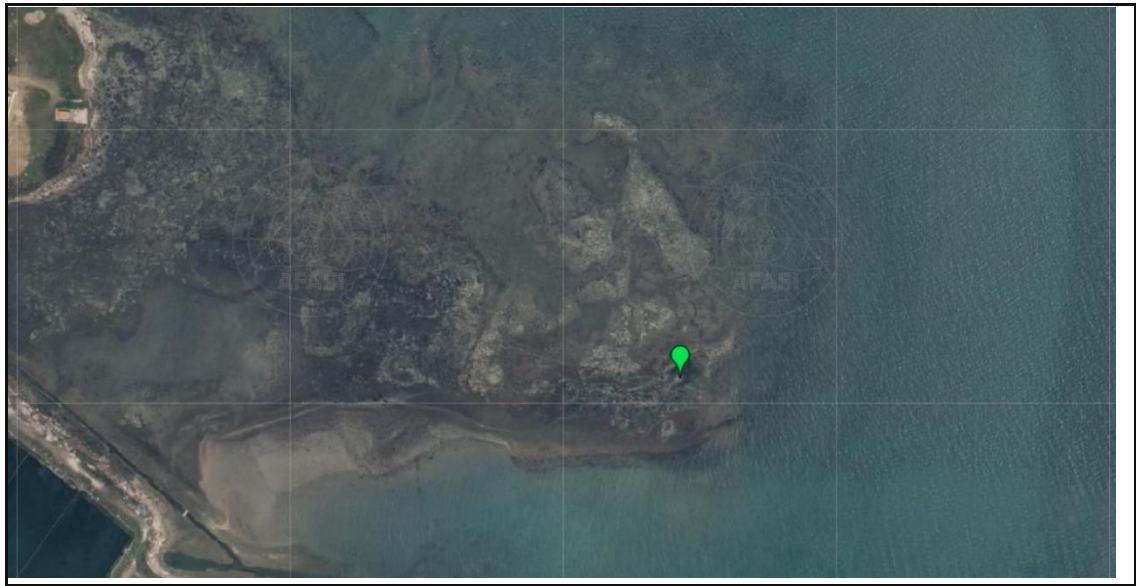
地質圖



衛星影像圖



航照圖



現場照片（以全景、中景、近景）



圖 17 西衛大石鼻東側熔岩池是澎湖地區相當典型的熔岩池構造，同心圓與放射狀的節理構造相當明顯，從空拍圖觀之具對稱之美，此地景代表的是當時岩漿由地下通道上升，在火山口內部形成熔岩池，而後來的岩漿向上湧升推動熔岩向四周移動，熔岩冷凝後形成同心圓的構造，就如同水池中的漣漪般，一圈一圈像外擴散。



圖 18 熔岩池呈現中心突起的穹丘地形，同心圓構造中可見明顯的放射狀節理與岩脈，其岩脈的數量和長度更勝西側熔岩池，最長達近 200 公尺，這也顯示此一同心圓熔岩池可能位於火山口內



圖 19 此地景點位於西衛大石鼻東側的潮間帶上，受到自然與人為壓力威脅較大，宜採取精密測繪保存此難得的特殊地景

其他

--

位置資料	編號：	04
地景名：鎖港古海嘯層	記錄者：	呂政豪
行政區： ☒ 馬公市 ☐ 湖西鄉 ☐ 西嶼鄉 ☐ 白沙鄉 ☐ 望安鄉 ☐ 七美鄉	調查日期：	2019.05.22
經緯度座標：119.611107,23.522636		
TW97 座標：108165.927,2602844.259		

地質地形概況

地質區： ☐ 海岸山脈 ☐ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 西部麓山帶 ☒ 海岸平原 ☐ 北部張裂帶	
地形區： ☐ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高山(2100m) ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☒ 離島	
地層：澎湖層	岩性（岩石）：玄武岩、砂岩
礦物：無	化石：無
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☐ 斷層 ☐ 其他_____	

地景描述：

鎖港古海嘯層為本年度(108 年)最新的研究發現(Lu et al., 2019)，這是首次於澎湖群島發現古海嘯的地質記錄，且可能在澎湖曾經發生過三次的海嘯事件，從定年年代指出，海嘯事件可能發生於 4~6 世紀、11~12 世紀和 15~16 世紀間。此研究將有助於瞭解古海嘯事件對於南中國海周邊國家的影響程度、災害規模和風險。

主要的證據來自於許多海岸階地出露海源「事件層」的地質紀錄。這些事件層的沉積相特徵為由成層且粗顆粒組成的海源沉積物堆疊於陸源沉積層之上，或

堆疊於已土壤化的沈積層上，此海源沈積層可視為在相對較長時間穩定陸地環境中，突然發生來自海洋的異常事件，也就是異常的風暴浪與海嘯造成的沈積層。研究者再透過 AMS 碳十四定年、澎湖當地潮位波浪的統計資料、濱台地形對波浪的消耗和全新世海水面來判斷該事件層為海嘯的可能性，其中如事件層超過海拔 4 公尺，為海嘯的機率相當高。

鎖港古海嘯層位於澎湖本島南側海岸，為一面向東南方海灣，沉積層的側向延續佳，可超過 70 公尺。沉積層堆積在由黃色沉積岩所構成的高位階地之上(圖 20)，階地崖約 3 公尺高。崖腳堆積的現代海濱物質以圓型到亞圓形的玄武岩礫石為主，偶而有崩落的黃色沉積岩。基岩構成的階地崖向東逐漸增高，造成沉積層逐漸變薄而尖滅。海岸的濱台寬度約 150 公尺，濱台面為一近水平濱台，濱台外緣陡降入海。

沉積層總厚度約 2.2 公尺，沈積層最下部是灰色至淺黑色玄武岩礫石層，厚約 1.5 公尺，淘選度差，呈顆粒支持，礫石多呈次圓形，最大粒徑可超過 30 公分，研判為早期的海灘礫石。礫石層為厚約 70 公分深棕色細粒土壤層，上方為含玄武岩小圓礫和貝殼、珊瑚碎屑，或有孔蟲團塊的細粒沙土層，此海相沉積層呈基質支持、淘選度差、含細粒玄武岩礫石且底部有挖填構造，故研判此海相沉積層應為一高能量的「海洋事件 (ME2)」(圖 21)，在此層上覆約 10 公分的土壤層，在土壤上又出現約 10 公分的海洋事件層(ME1)，並上覆土壤。本剖面共採集 4 個樣本進行碳十四定年，其中 ME2 分別採集有孔蟲團塊與細粒沙土進行定年分析，兩者年代相當接近，分別為 AD 1030-1230 與 AD 1040-1220；上覆土壤層年代為 AD 1280-1325，最上層土壤年代則為現代(Post AD 1950)。

此剖面夾在土壤層裡的兩層海洋事件層經 e-GNSS 測量其高程分別為 4.7 公尺和 5.2 公尺，因此為海嘯的可能性相當高，特別是下層的海洋事件層的年代相當接近 AD1076 年的廣州海嘯，從其他研究者已指出，此次海嘯曾影響西沙群島和廣州等處(Sun et al.,2013; Yang et al.,2018)。這將有助於瞭解此次古海嘯事件對於南中國海周邊國家的影響程度和災害規模。由於此露頭具有重要的科學意義，且可作為國際性(南中國海)的地質記錄，為避免遭受破壞與未來可作為公眾教育推廣的野外場域，建議應對這些古海嘯地層進行較積極的保育措施。

經營管理資料

景點方圓大小：	長： 800 公尺	寬：
高：	深：	面積：
管理單位：澎湖縣政府		
保育現況：_		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☒ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☒ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他 _____		
非地質方面的重要內容： ☐ 特有物種 _____ ☐ 特殊生態 _____ ☐ 重要文化資產 _____ ☐ 其他 _____		

到達路線：☐公車 ☐自用車 ☒步行 ☒其他 _____

台灣自然地景的主題類別（最主要的一項）

- | | | |
|--|--|-------------------------------------|
| ☐ 板塊構造現象 | ☒ 火山地景 | ☐ 高山地景 |
| ☐ 重要地層或化石位址 | ☐ 河流、湖泊和河口三角洲地景 | ☐ 隆起珊瑚礁、洞穴地景 |
| ☒ 海岸地景 | ☐ 珊瑚礁、環礁和海洋島嶼 | ☐ 冰河遺跡 |
| ☐ 火炎山地景(礫岩惡地) | ☐ 泥岩惡地、泥火山地景 | ☐ 地質災害遺跡 |

價值認定

- | | | |
|---|-------------------------------------|--|
| ☒ 地質多樣性（科學） | ☐ 生物多樣性（生態） | ☒ 景觀美質（遊憩） |
| ☒ 環境功能（防災） | ☐ 永續土地利用（經濟） | ☐ 歷史和文化（社會） |

登錄等級

9. 國家級

- ☒具有國際地質重要性的景點
- ☒具有科學重要性之特殊現象景點
- ☐具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解台灣地質史所必備者

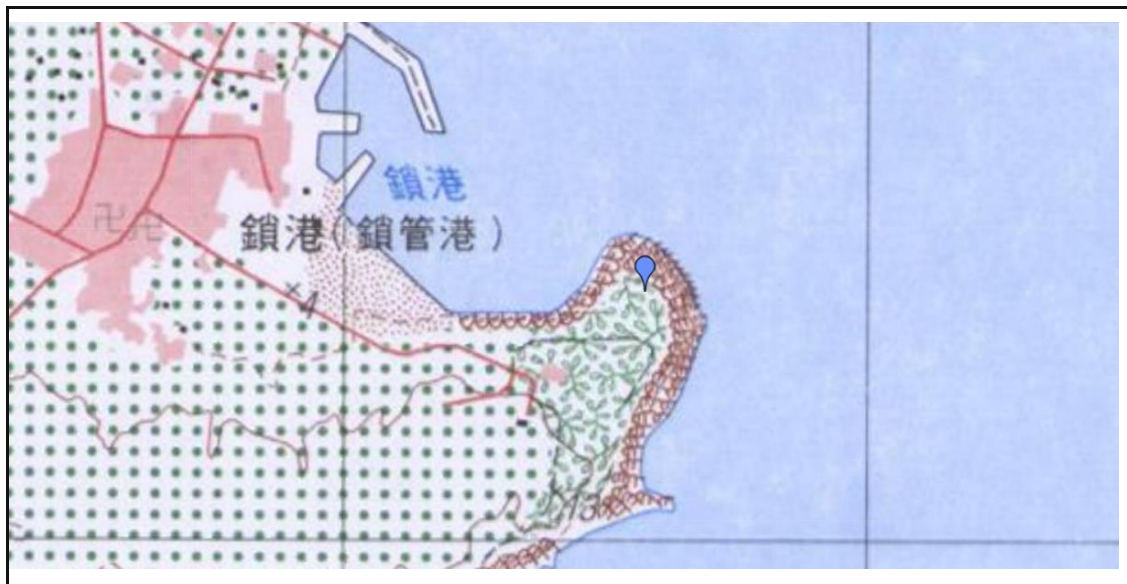
10. 地方級

- ☐具有終身學習的教育價值之景點
- ☐具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點
- ☐具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點
- ☐具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點

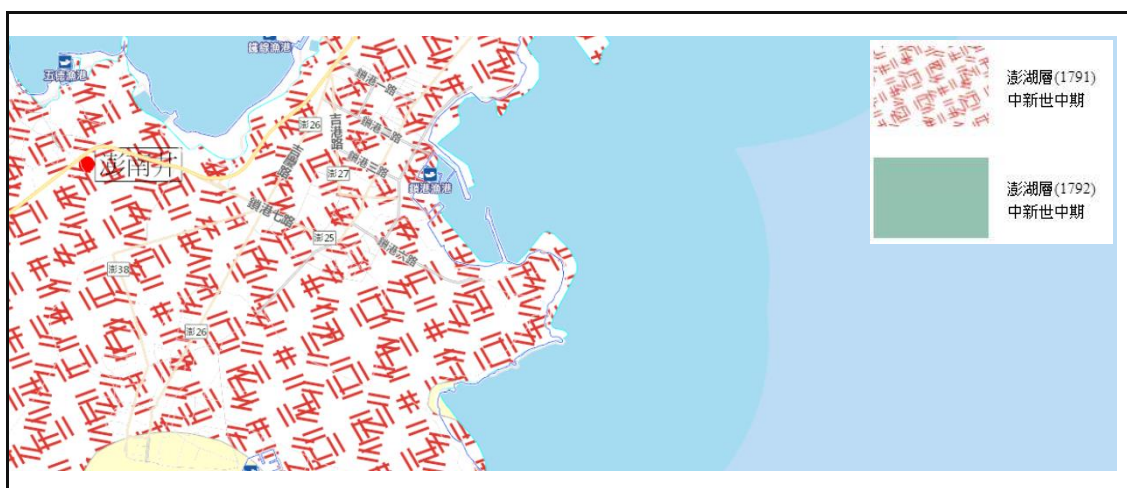
文獻、資料

- Lu, C.H., Chyi, S.J., Yen, J.I., Yu, N.T., Lee, J.Y. (2016) A Preliminary Study on the environment meanings of marine deposits in Penghu islands. **2016 Taiwan Geosciences Assembly**, Taiwan.
- Lu, C.H., Chyi, S.J., Yen, J.I., Yu, N.T., Lee, J.Y. (2017) Tsunami sediments in the Penghu islands and their implications to the surrounding areas. **EGU2017**, Austria : Vienna.
- Lu, C.H., Yen, J.I., Chyi, S.J., Yu, N.T., Chen, J.H. (2019) Geological records of South China Sea tsunamis on Penghu Islands, Taiwan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 177:263-274.
- 呂政豪、齊士崢、顏君毅、游能悌、李寄嶠、林立虹、王珮玲、顏一勤、陳佳宏（2015）澎湖群島古海嘯遺跡初探。**中華民國地球物理學會與中華民國地質學會 104 年年會**，台北:文化大學。
- 呂政豪、顏君毅、游能悌、齊士崢、顏一勤、陳佳宏（2019）澎湖曾經發生過海嘯嗎？一個來自區域海岸沈積物的地質紀錄。**澎湖研究第十九屆學術研討會**，台灣澎湖。
- 陳于高(1993) **晚更新世以來南台灣地區海水面變化與新構造運動**。國立台灣大學地質學研究所博士論文。
- 曹恕中、宋聖榮、李寄嶠、謝凱旋(1999) **澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000**。台北縣：經濟部中央地質調查所。
- 顏一勤、李寄嶠(2017) **澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000 第二版**。新北市：經濟部中央地質調查所。
- 游能悌、顏君毅、呂政豪、顏一勤（2019）。千年以來南海的巨波浪事件:澎湖海岸的地層記錄。**2019 年 TGA 臺灣地球科學聯合學術研討會-中華民國地質學會年會暨學術研討會**，台灣台北。

範圍區 1/25000 地形圖



地質圖



衛星影像圖



航照圖



現場照片（以全景、中景、近景）



圖 20 鎖港古海嘯沉積層堆積於中新世沉積岩基盤(黃色岩石)上



圖 21 古海嘯沉積層的產狀，其中 marine event 為海洋事件，下層的海洋事件的 AMS 碳 14 定年結果顯示，接近 AD1076 廣州海嘯事件

其他



位置資料		編號：	05
地景名：五德熔岩池構造		記錄者：	呂政豪
行政區： ☒ 馬公市 ☐ 湖西鄉 ☐ 西嶼鄉 ☐ 白沙鄉 ☐ 望安鄉 ☐ 七美鄉		調查日期：	2020.01.26
經緯度座標：119.59446,23.527425			
TW97 座標：106470.894,2603391.255			

地質地形概況

地質區： ☐ 海岸山脈 ☐ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 西部麓山帶 ☒ 海岸平原 ☐ 北部張裂帶	
地形區： ☐ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高山(2100m) ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☒ 離島	
地層：澎湖層	岩性（岩石）：矽質玄武岩、灘岩
礦物：無	化石：無
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☐ 斷層 ☐ 其他_____	

地景描述：

此地景點是澎湖地區規模較大的熔岩池構造(見圖 22)，它位於五德北側的潮間帶上，地勢稍較周圍潮間帶高，可從人魚之丘西側土路向潮間帶走約 100 公尺即可到達此地景點，適合觀賞時間為退潮時，由於沿途會經過濕滑的潮間帶，需留意安全性問題。

五德熔岩池構造形狀接近圓形，其規模較其他地區大，直徑可達近 40 公尺，同心圓中可見明顯的放射狀節理與岩脈造(見圖 23)，這應是殘餘岩漿侵入早期熔岩冷卻形成的裂隙，這也顯示此一同心圓熔岩池可能位於火山口內。而此圓形熔岩構造的熔岩流代表的是當時岩漿由地下通道上升，在火山口內部形成熔岩池，而後來的岩漿像上湧升推動熔岩像四周移動，而形成同心圓的構造，就如同水池中的漣漪般，一圈一圈像外擴散。

經營管理資料

景點方圓大小：直徑近 40 公尺	長：	寬：
高：	深：	面積：
管理單位：澎湖縣政府		
保育現況： <u>此地景點位於海岸地區易受風化侵蝕，且有零星的海漂垃圾</u>		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☒ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他_____		
非地質方面的重要內容： ☐ 特有物種 _____ ☐ 特殊生態 _____ ☐ 重要文化資產 _____ ☐ 其他 _____		
到達路線： ☐ 公車 ☐ 自用車 ☒ 步行 ☒ 其他 <u>從馬公搭船至桶盤嶼</u>		

台灣自然地景的主題類別（最主要的一項）

- | | | |
|--|--|-------------------------------------|
| ☐ 板塊構造現象 | ☒ 火山地景 | ☐ 高山地景 |
| ☐ 重要地層或化石位址 | ☐ 河流、湖泊和河口三角洲地景 | ☐ 隆起珊瑚礁、洞穴地景 |
| ☒ 海岸地景 | ☐ 珊瑚礁、環礁和海洋島嶼 | ☐ 冰河遺跡 |
| ☐ 火炎山地景(礫岩惡地) | ☐ 泥岩惡地、泥火山地景 | ☐ 地質災害遺跡 |

價值認定

- | | | |
|---|-------------------------------------|--|
| ☒ 地質多樣性(科學) | ☐ 生物多樣性(生態) | ☒ 景觀美質(遊憩) |
| ☐ 環境功能(防災) | ☐ 永續土地利用(經濟) | ☐ 歷史和文化(社會) |

登錄等級

11. 國家級

- ☐具有國際地質重要性的景點
- ☐具有科學重要性之特殊現象景點
- ☐具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解台灣地質史所必備者

12. 地方級

- ☐具有終身學習的教育價值之景點
- ☐具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點
- ☒具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點
- ☐具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點

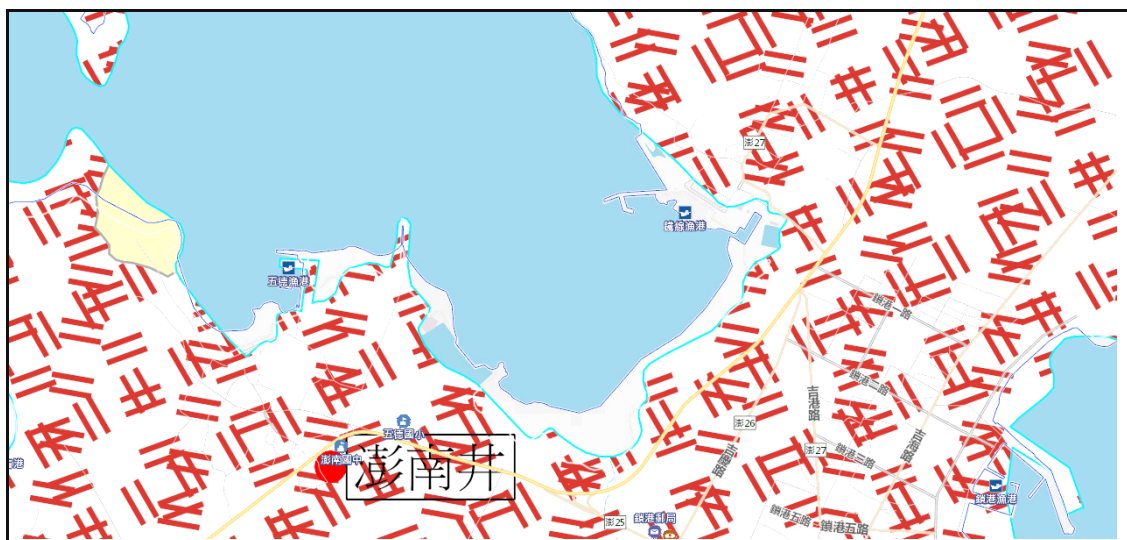
文獻、資料

- Schminke, H. U. (2004) Volcanism. Berlin: Springer.
- 李寄嶠(1994) 澎湖地區玄武岩類與福建地區基性脈岩之定年學與地球化學兼論中生代晚期以來中國東南地函之演化。國立台灣大學地質學研究所博士論文。
- 林長興(1991) 澎湖群島之地質與地形。南投市：台灣省政府教育廳
- 林長興(1997) 澎湖玄武岩地景保育解說手冊。澎湖縣：澎湖縣政府。P120-122
- 齊士崢(2005) 澎湖地區地質公園整體規劃與推動各景點基礎調查及先期規劃。澎湖縣：澎湖縣政府文化局。
- 曹恕中、宋聖榮、李寄嶠、謝凱旋(1999) 澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000。台北縣：經濟部中央地質調查所。
- 經濟部(2014) 地質遺跡地質敏感區劃定計畫書。新北市：經濟部中央地質調查所。
- 顏一勤、李寄嶠(2017) 澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000 第二版。新北市：經濟部中央地質調查所。
- 宋聖榮(2003) 澎湖的火山故事。澎湖研究第三屆學術研討會，澎湖縣。

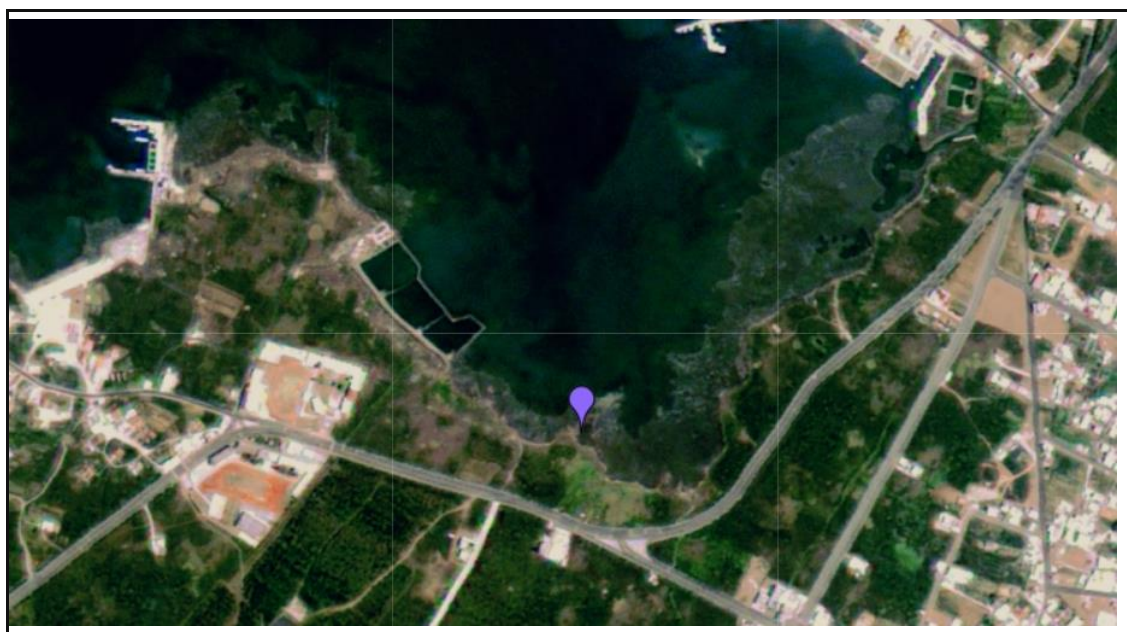
範圍區 1/25000 地形圖



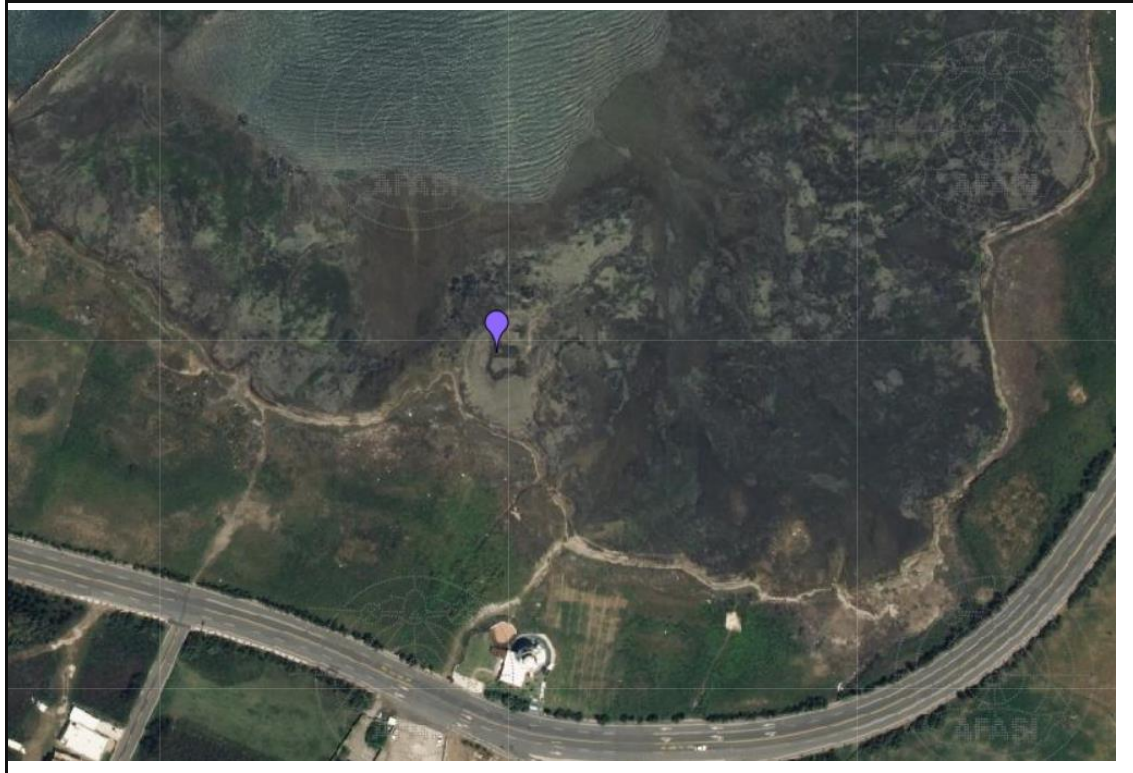
地質圖



衛星影像圖



航照圖



現場照片（以全景、中景、近景）



圖 22 五德火山熔岩池構造是澎湖縣內規模較大的圓形熔岩池構造，直徑可達近 40 公尺(照片站立者約略是熔岩池的中心處)



圖 23 在五德熔岩池構造中可見數條岩脈穿插其中，這應是殘餘岩漿侵入早期熔岩冷卻形成的裂隙，也顯示此一同心圓熔岩池可能位於火口內

其他



位置資料	編號：	06
地景名：蒔裡攀爬沙丘	記錄者：	呂政豪
行政區：■馬公市 □湖西鄉 □西嶼鄉 □白沙鄉 □望安鄉 □七美鄉	調查日期：	2019.10.17
經緯度座標：119.56487,23.526494		
TW97 座標：103447.801,2603318.045		

地質地形概況

地質區：□海岸山脈 □脊樑山脈 □雪山山脈 □西部麓山帶 ■海岸平原 □北部張裂帶	
地形區：□山地 □丘陵 □高山(2100m) □台地 □盆地 □平原 □海岸 ■離島	
地層：澎湖層	岩性（岩石）：玄武岩
礦物：無	化石：無
特殊地質構造：□褶皺 □斷層 □其他_____	

地景描述：

蒔裡攀爬沙丘為澎湖少數兩個活動沙丘，另一個位於北海的土地公嶼，不易抵達，而蒔理沙丘為本縣最大的沙丘(見圖 24)，從近期研究發現沙丘-沙灘系統的動態演育具有環境變遷、海水面升降甚至是構造抬升沉陷的環境意義。此外，蒔裡沙丘附近的沙灘過去常為綠蠵龜產卵之棲地，亦具有重要生態之價值(見圖 25)。蒔裡沙丘位於蒔裡貝殼館往西走約 500 公尺即可到達，適合觀賞、拍照的時間為下午退潮時。

依據地形分類，蒔理沙丘屬於攀爬沙丘(climbing dune)，與台灣墾丁的風吹沙屬於同一種沙丘類型，均是沙灘沙受風吹拂，讓風成沉積物堆積於邊坡坡腳，並向上坡攀爬、堆積，如沙源豐沛再加上足夠風力，沙子會攀爬至崖頂，而形成崖頂砂丘(cliff-top dune)，如風吹砂在東北季風的強力吹拂下，沙子即攀越至崖頂，而在蒔裡則未形成崖頂砂丘。一般而言，攀爬砂丘的形成需具備三個條件，一為足夠的砂源；二為邊坡坡度需超過 8°但低於 60°，三為足夠的風力條件或邊坡面臨迎風側(Chojnacki et al.,2010; Chojnacki et al.,2014)。基本上，蒔裡砂丘滿足前兩項條件，然而它卻是位於東北季風的背風側，風力條件不佳卻可形成沙丘，可能與區域的微氣候(風場)有關，以及沙丘位於海灣的轉彎處，就像是一個畚箕一樣的地形，有利積累沙子和形成特定風場。Pye and Tsoar (1990)也提及攀爬砂丘通常會形成於鐘型邊坡(bell-shaped)的狹窄處，這樣子的邊坡會產生漏斗效應讓風力攜帶沙子向上攀爬的能力可較強。

根據近期的研究發現，攀爬沙丘的動態演育反應了風場、沙子材料、乾燥氣候、特定地形和積累空間，這些因素的交互作用。Ho et al., (2017)就從墾丁風吹沙的調查希望瞭解全新世環境變遷對於臺灣海岸沙丘演育之影響，試圖瞭解構造運動、氣候變遷與海水面變動，對於風成沉積物的來源、搬運與堆積有何影響，

以及這些沉積物的時空變動對於海岸沙丘地形的發育有何影響。其研究成果主要確認了臺灣全新世海岸沙丘的堆積發育時期，大多在古氣候涼/冷期，這與東亞季風勢力強弱所造成的冬季風力變化有密切關係。而澎湖地區與台灣不同的是，在全新世以來就位處在一個構造穩定的狀態，其沙丘發育的影響因素為何？值得進一步的探討。

經營管理資料

景點方圓大小：	長： 80 公尺	寬：50 公尺
高： 15 公尺	深：	面積：
管理單位：澎湖縣政府、馬公市公所		
保育現況：		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☒ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他 _____		
非地質方面的重要內容： ☐ 特有物種 _____ ☐ 特殊生態 _____ ☐ 重要文化資產 _____ ☐ 其他 _____		
到達路線： ☐ 公車 ☒ 自用車 ☒ 步行 ☒ 其他 _蒔裡貝殼館往西走約 500 公尺即可到達		

台灣自然地景的主題類別（最主要的一項）

☐ 板塊構造現象	☐ 火山地景	☐ 高山地景
☐ 重要地層或化石位址	☐ 河流、湖泊和河口三角洲地景	☐ 隆起珊瑚礁、洞穴地景
☒ 海岸地景	☐ 珊瑚礁、環礁和海洋島嶼	☐ 冰河遺跡
☐ 火災山地景(礫岩惡地)	☐ 泥岩惡地、泥火山地景	☐ 地質災害遺跡

價值認定

☒ 地質多樣性（科學）	☐ 生物多樣性（生態）	☒ 景觀美質（遊憩）
☒ 環境功能（防災）	☐ 永續土地利用（經濟）	☐ 歷史和文化（社會）

登錄等級

13. 國家級 ☐具有國際地質重要性的景點 ☐具有科學重要性之特殊現象景點 ☐具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解台灣地質史所必備者 14. 地方級 ☐具有終身學習的教育價值之景點 ☐具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點 ☒具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點 ☒具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點

文獻、資料

Chojnacki, M., Moersch, J. E., Burr, D. M. (2010) Climbing and falling dunes in Valles Marineris, Mars. *Geophys Res Lett*, 37:l08201.

Chojnacki, M., Burr, D. M., Moersch, J. E. (2014) Valles Marineris dune fields as compared with other

martian populations: diversity of dune compositions, morphologies, and thermophysical properties. *Icarus*, 230:96–142.

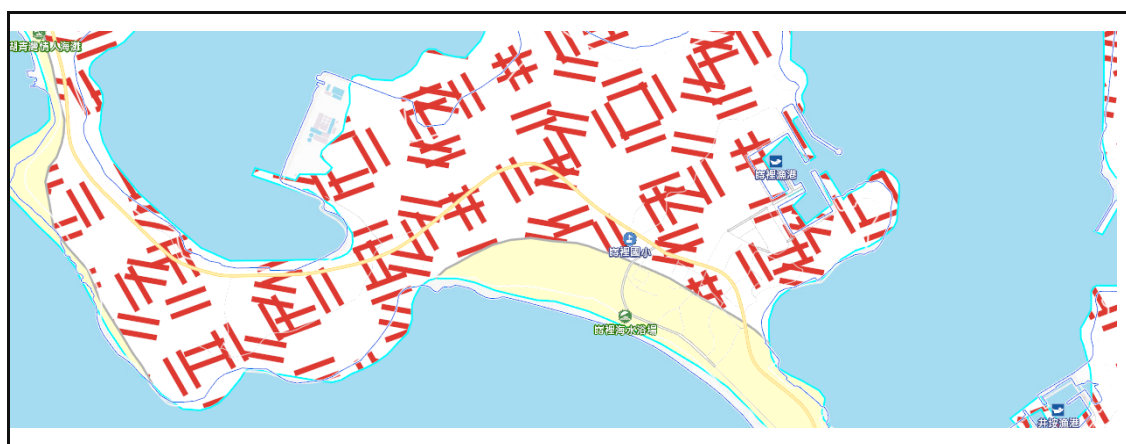
Ho, L. D., Lüthgensb, C., Wonga, Y. C., Yen, J. Y., Chyi, S. J. (2017) Late Holocene cliff-top dune evolution in the Hengchun Peninsula of Taiwan: Implications for palaeoenvironmental reconstruction. *J. Asian Earth Sci.*, 148:13-30.

Pye, K, Tsoar, H. (1990) *Aeolian sand and sand dunes*. London: Springer.

範圍區 1/25000 地形圖



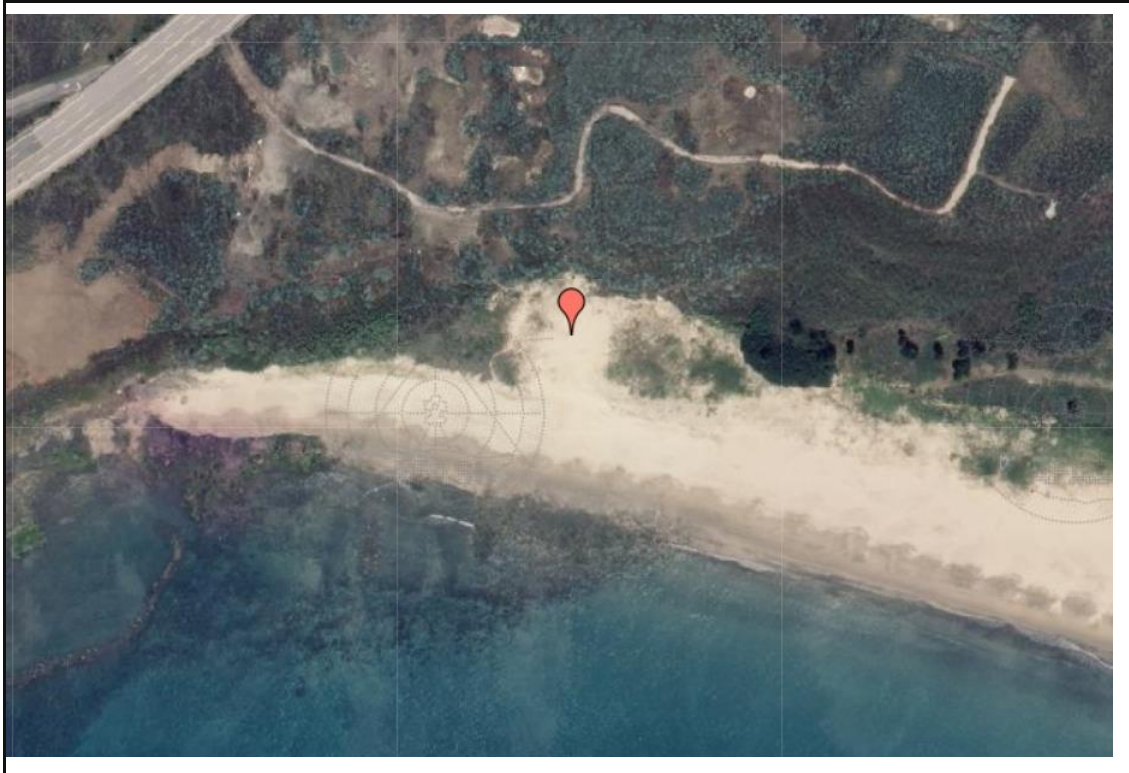
地質圖



衛星影像圖



航照圖



現場照片（以全景、中景、近景）



圖 24 蔴裡攀爬沙丘為澎湖少數的活動沙丘，其為本縣規模最大，近期研究發現沙丘-沙灘系統的動態演育具有環境變遷、海水面升降甚至是構造抬升沉陷的環境意義



圖 25 蔴裡沙丘附近的沙灘多年來均有綠蠵龜母龜上岸產卵，讓此地景點更具生態保育之價值

其他



位置資料	編號：	07
地景名：乳仔尖山熔岩池構造	記錄者：	呂政豪
行政區： ☒ 馬公市 ☐ 湖西鄉 ☐ 西嶼鄉 ☐ 白沙鄉 ☐ 望安鄉 ☐ 七美鄉	調查日期：	2019.10.17
經緯度座標：119.565694,23.531825		
TW97 座標：103537.86,2603907.688		

地質地形概況

地質區： ☐ 海岸山脈 ☐ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 西部麓山帶 ☒ 海岸平原 ☐ 北部張裂帶	
地形區： ☐ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高山(2100m) ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☒ 離島	
地層：澎湖層	岩性（岩石）：玄武岩
礦物：無	化石：無
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☐ 斷層 ☐ 其他_____	

地景描述：

在蒔裡乳仔尖山西南側的潮間帶上(見圖 26)，分佈數個大小不一的圓形熔岩構造，且在岩石濱台上分佈著蕈狀岩和壺穴地形，具有多樣性的特殊地景。此區的抵達方式可從 201 縣道往風櫃方向，經過蒔裡國小後約 300 公尺的北側小徑往北走到底即可到達，由於沿路無明顯標示，建議依據本報告書後的地景登錄表裡的座標或地圖較易抵達，適合觀賞、拍照的時間為下午退潮時。 從本次調查發現，乳仔尖山南側潮間帶分佈數個大小不一的同心圓構造之熔岩流(見圖 27)，較大的熔岩池靠近乳仔尖山，這些圓形構造的熔岩池均具有明顯的同心圓，只是規模大小不一。此圓形熔岩構造的熔岩流代表的是當時岩漿由地下通道上升，在火山口內部形成熔岩池，而後來的岩漿像上湧升推動熔岩像四周移動，而形成同心圓的構造，就如同水池中的漣漪般，一圈一圈像外擴散。 在此區的岩石濱台上可觀察到，在濱台上不但有殘留的蕈狀岩，而且有壺穴之發育(見圖 28)。壺穴之發育是因為斷頭的玄武岩塊體，在凹槽內來回滾動，逐漸向下侵蝕出壺穴。有些壺穴的產生是由於風化的結果，使洋蔥狀球體先行脫落，形成凹槽，有利壺穴之發育。
--

經營管理資料

景點方圓大小：	長： 900 公尺	寬：800 公尺
高：	深：	面積：
管理單位：澎湖縣政府		
保育現況： <u>此景點位於潮間帶地區，易受風化侵蝕影響</u>		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☒ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他 _____		

到達路線：□公車 ■自用車 ■步行 ■其他 _從 201 縣道往風櫃方向，經過蒔裡國小後約 300 公尺的北側小徑往北走到底即可到達_____

☐ 板塊構造現象	☒ 火山地景	☐ 高山地景
☐ 重要地層或化石位址	☐ 河流、湖泊和河口三角洲地景	☐ 隆起珊瑚礁、洞穴地景
☒ 海岸地景	☐ 珊瑚礁、環礁和海洋島嶼	☐ 冰河遺跡
☐ 火炎山地景(礫岩惡地)	☐ 泥岩惡地、泥火山地景	☐ 地質災害遺跡

☒地質多樣性（科學） ☐生物多樣性（生態） ☒景觀美質（遊憩）
☒環境功能（防災） ☐永續土地利用（經濟） ☐歷史和文化（社會）

- 具有國際地質重要性的景點
- 具有科學重要性之特殊現象景點
- 具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解台灣地質史所必備者

- 具有終身學習的教育價值之景點
- 具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點
- 具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點
- 具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點

Schminke, H. U. (2004) *Volcanism*. Berlin: Springer.

李寄嵎(1994) **澎湖地區玄武岩類與福建地區基性脈岩之定年學與地球化學兼論中生代晚期以來中國東南地函之演化**。國立台灣大學地質學研究所博士論文。

林長興(1991) **澎湖群島之地質與地形**。南投市：台灣省政府教育廳

林長興(1997) **澎湖玄武岩地景保育解說手冊**。澎湖縣：澎湖縣政府。P120-122

齊士崢(2005) **澎湖地區地質公園整體規劃與推動各景點基礎調查及先期規劃**。澎湖縣：澎湖縣政府文化局。

曹恕中、宋聖榮、李寄嵎、謝凱旋(1999) **澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000**。台北縣：經濟部中央地質調查所。

經濟部(2014) **地質遺跡地質敏感區劃定計畫書**。新北市：經濟部中央地質調查所。

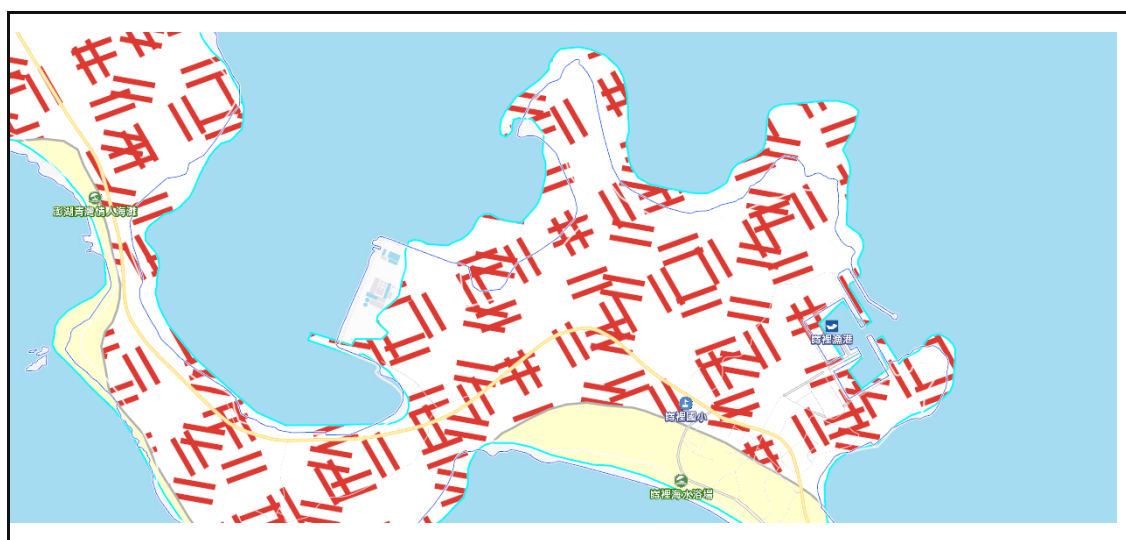
顏一勤、李寄嵎(2017) **澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000 第二版**。新北市：經濟部中央地質調查所。

宋聖榮(2003) **澎湖的火山故事**。澎湖研究第三屆學術研討會，澎湖縣。

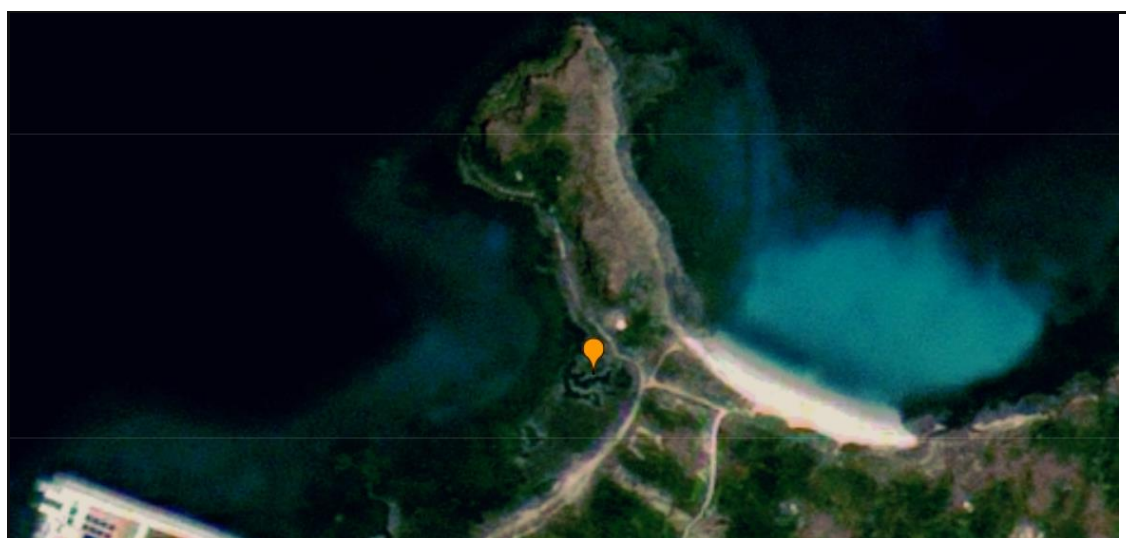
範圍區 1/25000 地形圖



地質圖



衛星影像圖



航照圖



現場照片（以全景、中景、近景）



圖 26 乳仔尖山的南側岩石濱台上，分佈數個大小不一的圓形熔岩構造，且可見大量的草狀岩和壺穴地形，具有多樣性的特殊地景



圖 27 從空拍圖可看見數個大小不一的圓形熔岩構造



圖 28 乳仔尖山的岩石濱台上可觀察到，大量殘餘的蕈狀岩，而且有壺穴之發育。其壺穴之發育是因為斷頭的玄武岩塊體，在凹槽內來回滾動，逐漸向下侵蝕出壺穴

其他

位置資料	編號：	08
地景名：桶盤嶼熔岩池構造(蓮花座)	記錄者：	呂政豪
行政區：■馬公市 □湖西鄉 □西嶼鄉 □白沙鄉 □望安鄉 □七美鄉	調查日期：	2019.09.13
經緯度座標：119.514549,23.509517		
TW97 座標：98288.9,2601489.873		

地質地形概況

地質區：□海岸山脈 □脊樑山脈 □雪山山脈 □西部麓山帶 ■海岸平原 □北部張裂帶	
地形區：□山地 □丘陵 □高山(2100m) □台地 □盆地 □平原 □海岸 ■離島	
地層：澎湖層	岩性（岩石）：玄武岩
礦物：無	化石：生痕化石
特殊地質構造：□褶皺 □斷層 □其他_____	

地景描述：

桶盤嶼最著名的地質景觀，除了雄偉壯觀的柱狀玄武岩外，莫過於蓮花座(圖 32)，蓮花座是火山活動形成的原生構造，主要特徵為有一同心圓和放射狀構造的玄武岩，直徑約 30 公尺，呈穹狀突起，中央突出的小丘直徑約 5 公尺。當地人稱為「蓮花座」。主要位於桶盤嶼的西南側的岩石濱台上，在退潮時方才出露。

桶盤嶼的蓮花座主要形成於下層的矽質玄武岩層，受海水侵蝕後而出露，如此同心圓構造之熔岩流，顯示岩漿由中心向四周擴散，很可能是岩漿由地下通道上升在噴發口處形成熔岩池，而後來之岩漿向上湧升推動熔岩向四周移動所形成

之似繩狀熔岩流構造(圖 33)。

此區海岸濱台除了蓮花座外，受現代海岸侵蝕作用所形成的地形景觀相當豐富，這應都是在最近數千年或更短時間，海水面穩定之後才發育出的，有的是在下層矽質玄武岩基盤侵蝕出的，如蓮花座，有的則是在侵蝕基盤先堆積崩積岩塊，受珊瑚等石灰質膠結後，在侵蝕而成的微地形景觀，如濱台上被膠結的玄武岩礫石受風化和海水侵蝕而脫落並遺留洞穴，或再被後期侵蝕而擴大形成壺穴群；以及在濱台上可見如雨後春筍般的小規模蕈狀岩群，這樣的地景成因可能是矽質玄武岩中的氣孔柱受化學沉澱作用於孔隙中充填了鈣質沉澱物，而使氣孔柱更具抗蝕力，在差異侵蝕下，而形成如雨後春筍般突出的小規模蕈狀岩群。此外，崩落於濱台上的玄武岩節理橫切面上，常可見蜂窩岩，當地人稱之為「貓公石」，其孔洞集中多成圓形發育於柱狀斷面中央，因此貓公石的發育可能與玄武岩的氣孔分布有關，再由侵蝕作用擴大氣孔所導致。

經營管理資料

景點方圓大小：直徑約 30 公尺	長：	寬：
高：	深：	面積：
管理單位：澎湖縣政府、交通部觀光局澎湖國家風景管理處		
保育現況：_		
威脅景點之行為類型：■不當之遊憩規劃 ■開發建設 □遊憩衝擊 □人為破壞 ■風化與侵蝕作用 □環境承載 □其他 _____		
非地質方面的重要內容：□特有物種 _____ □特殊生態 _____ □重要文化資產 _____ □其他 _____		
到達路線：□公車 □自用車 ■步行 ■其他 從馬公搭船至桶盤嶼		

台灣自然地景的主題類別（最主要的一項）

☐ 板塊構造現象	☒ 火山地景	☐ 高山地景
☐ 重要地層或化石位址	☐ 河流、湖泊和河口三角洲地景	☐ 隆起珊瑚礁、洞穴地景
☒ 海岸地景	☐ 珊瑚礁、環礁和海洋島嶼	☐ 冰河遺跡
☐ 火炎山地景(礫岩惡地)	☐ 泥岩惡地、泥火山地景	☐ 地質災害遺跡

價值認定

☒ 地質多樣性（科學）	☐ 生物多樣性（生態）	☒ 景觀美質（遊憩）
☒ 環境功能（防災）	☐ 永續土地利用（經濟）	☐ 歷史和文化（社會）

登錄等級

17. 國家級

- 具有國際地質重要性的景點
- 具有科學重要性之特殊現象景點
- 具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解台灣地質史所必備者

18. 地方級

- 具有終身學習的教育價值之景點
- 具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點
- 具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點
- 具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點

文獻、資料

Schminke, H. U. (2004) Volcanism. Berlin: Springer.

李寄嵎(1994) 澎湖地區玄武岩類與福建地區基性脈岩之定年學與地球化學兼論中生代晚期以來中國東南地函之演化。國立台灣大學地質學研究所博士論文。

林長興(1991) 澎湖群島之地質與地形。南投市：台灣省政府教育廳

林長興(1997) 澎湖玄武岩地景保育解說手冊。澎湖縣：澎湖縣政府。P120-122

齊士崢(2005) 澎湖地區地質公園整體規劃與推動各景點基礎調查及先期規劃。澎湖縣：澎湖縣政府文化局。

曹恕中、宋聖榮、李寄嵎、謝凱旋(1999) 澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000。台北縣：經濟部中央地質調查所。

經濟部(2014) 地質遺跡地質敏感區劃定計畫書。新北市：經濟部中央地質調查所。

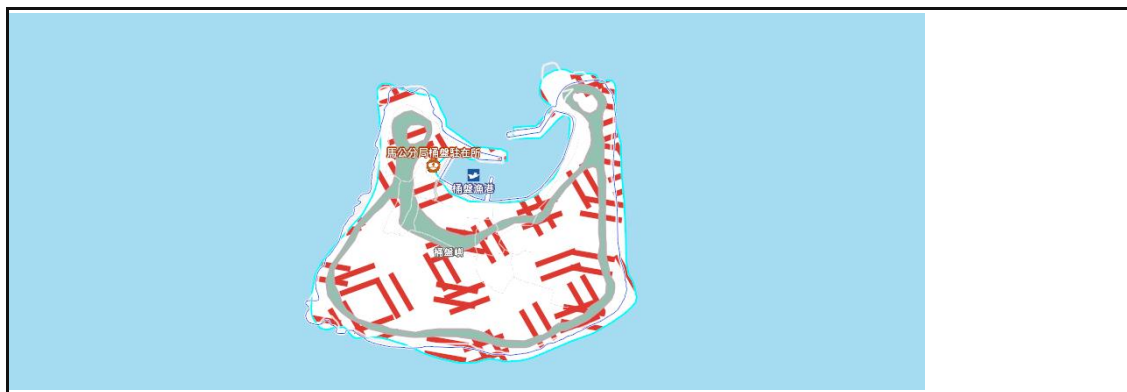
顏一勤、李寄嵎(2017) 澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000 第二版。新北市：經濟部中央地質調查所。

宋聖榮(2003) 澎湖的火山故事。澎湖研究第三屆學術研討會，澎湖縣。

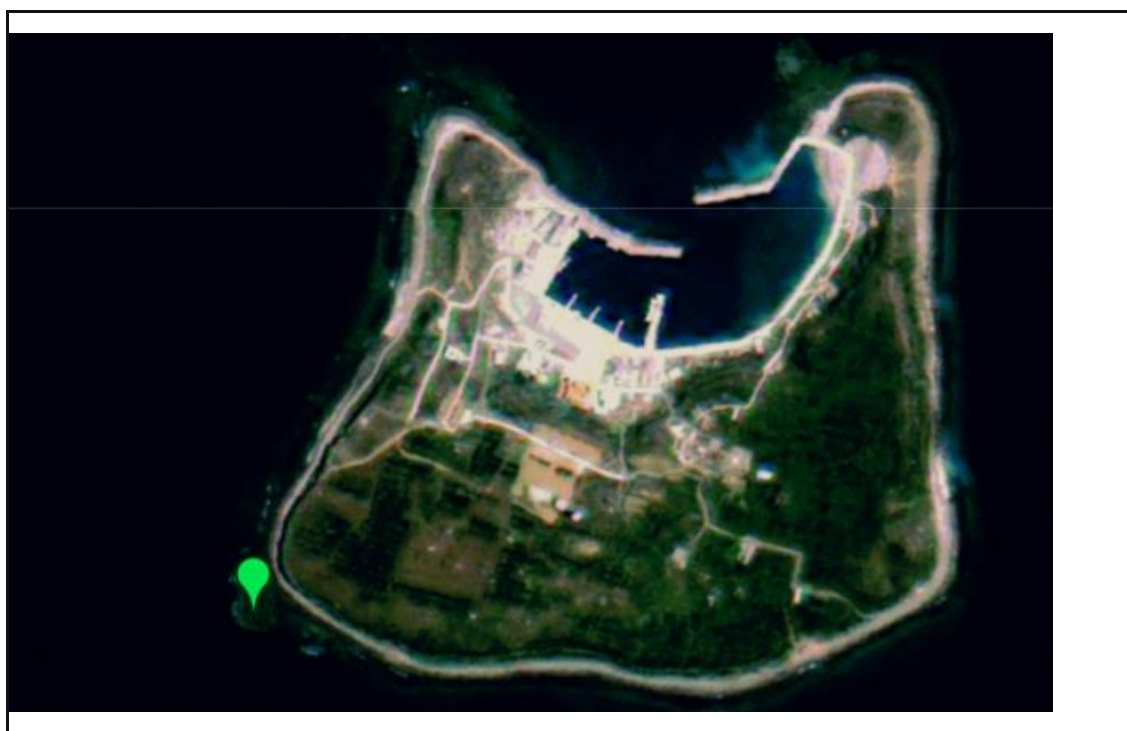
範圍區 1/25000 地形圖



地質圖



衛星影像圖



航照圖



現場照片（以全景、中景、近景）



圖 32 桶盤嶼圓形熔岩構造，當地人稱為蓮花座



圖 33 西南側上層玄武岩厚度大，加上波浪侵蝕與降雨，造成易崩塌的基因與誘因

其他

--

位置資料	編號：	09
地景名：桶盤嶼柱狀節理玄武岩	記錄者：	呂政豪
行政區： ☒ 馬公市 ☐ 湖西鄉 ☐ 西嶼鄉 ☐ 白沙鄉 ☐ 望安鄉 ☐ 七美鄉	調查日期：	2019.08.22
經緯度座標：119.514917, 23.510520		
TW97 座標：98327.639, 2601600.582		

地質地形概況

地質區： ☐ 海岸山脈 ☐ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 西部麓山帶 ☒ 海岸平原 ☐ 北部張裂帶	
地形區： ☐ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高山(2100m) ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☒ 離島	
地層：澎湖層	岩性（岩石）：矽質玄武岩
礦物：	化石：生痕化石
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☐ 斷層 ☐ 其他_____	

地景描述：

桶盤嶼海岸出露連續性佳且巨大的柱狀節理玄武岩(圖 29)，延續長度可達數百公尺，延續範圍廣，為澎湖群島具獨特性與代表性之地質景觀，且其出露的地層層序為瞭解澎湖群島地史演化的重要剖面。又活躍的塊體崩塌作用，及其海岸地形的組成(岩石濱台-崖錐-海崖)為研究海岸地形演育與崩塌機制的良好科學研究和教學場域。

桶盤嶼具有發達柱狀節理玄武岩，其中又以西南海崖的出露性最佳，岩柱長可超過 10 公尺，節理面寬達 1~2 公尺，西南海岸的懸崖高可達 25 公尺，相當雄偉壯觀，為本縣最具代表性的地質景觀，玄武岩岩性以矽質玄武岩為主，多呈直立狀，這顯示當時岩漿噴發後，可能流動至較為平坦的原始地形面後，冷卻收縮形成直立狀的多角形垂直柱狀節理。

本島的地層及年代特性與小門嶼非常相似，主要由一層至兩層玄武岩及淺水堆積的沉積岩所構造(圖 30)，岩層層序的最底部為矽質玄武岩，底部玄武岩層的頂部有球狀風化的現象，玄武岩之上則依序為塊狀泥岩、砂頁互層和古紅土層，接著再覆蓋後期噴發的玄武岩層，這樣的層序顯示本島至少曾歷經兩次熔岩噴發的火山活動，在火山活動之間曾因海進作用而形成沉積岩，岩層中有許多沉積構造如交錯層、波痕與水道挖填構造等，上覆的古紅土層則指示海進後的海退，讓沉積岩暴露於空氣中而逐漸發育成土壤，最後才又再發生火山活動，岩漿溢流堆疊於沉積岩之上，冷凝形成巨大雄偉的柱狀節理玄武岩層，玄武岩層底部與下部地層接觸的地方有明顯的氣孔形成，岩體內部也有垂直發育的氣孔柱。依據鉀氬定年的年代顯示，下層玄武岩的年代為 1,470 萬年前，上層玄武岩約 1,080 萬年前 (Juang and Chen, 1992)，相差約 3 個百萬年。除了在科學上的價值外，上層玄武岩經風化後所形成造型獨特的奇岩怪石，亦具有賞景的美學價值。

本島的玄武岩崩塌作用活躍，特別是西南海岸，應與此區上層玄武岩厚度較大有關，此區鄰近當時熔岩的溢流口(蓮花座)，且本島的上層玄武岩與下伏沉積岩的接觸面由北向南逐漸降低，因而形成厚層的玄武岩層，再加上底部為鬆軟的沉積岩，在強降雨後易發生崩塌作用，在本年度(108 年)的調查中，在 8 月一場連續多日的強降雨後時即發生玄武岩柱體的崩塌(圖 31)，並壓毀下方的步道，在得知此消息後，本計畫團隊隔日即前往現地進行調查與紀錄。因其活躍的崩塌作用，應實施邊坡的地景監測，以瞭解崩塌作用發生的頻率、規模、好發之處與觸發因子和閾值，另一方面，考量此處地景屬於「出露性」景點，管理目標在於維持可接受的出露狀況，才不會造成景點之破壞，然而後續管理單位擬在海側堆疊塊石消波以保護臨海步道，此舉將破壞自然地景演化的機制，受保護的穩定邊坡將逐漸發育植生覆蓋此「出露性」景點，一如本島南側海岸因崖底塊石步道的興建後，發育良好的植生大大降低景點之價值，可見圖 32，故建議無須採取塊石消波，僅須修繕步道，並在強降雨後一周，視監測狀況封閉或開放步道。

經營管理資料

景點方圓大小：	長：290 公尺	寬：
高：10 公尺	深：	面積：

管理單位：澎湖縣政府、交通部觀光局澎湖國家風景管理處
保育現況：崖底施作水泥和塊石步道，受保護的邊坡讓植生覆蓋玄武岩的出露，將會降低本景點的價值；另外澎管處在此設置注意落石的告示牌。
威脅景點之行為類型： ☒ 不當之遊憩規劃 ☒ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☐ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他 _____
非地質方面的重要內容： ☐ 特有物種 _____ ☐ 特殊生態 _____ ☐ 重要文化資產 _____ ☐ 其他 _____
到達路線： ☐ 公車 ☐ 自用車 ☒ 步行 ☒ 其他 <u>從馬公搭船至桶盤嶼</u>

台灣自然地景的主題類別（最主要的一項）

☐ 板塊構造現象	☒ 火山地景	☐ 高山地景
☐ 重要地層或化石位址	☐ 河流、湖泊和河口三角洲地景	☐ 隆起珊瑚礁、洞穴地景
☐ 海岸地景	☐ 珊瑚礁、環礁和海洋島嶼	☐ 冰河遺跡
☐ 火炎山地景(礫岩惡地)	☐ 泥岩惡地、泥火山地景	☐ 地質災害遺跡

價值認定

☒ 地質多樣性（科學）	☐ 生物多樣性（生態）	☒ 景觀美質（遊憩）
☒ 環境功能（防災）	☐ 永續土地利用（經濟）	☐ 歷史和文化（社會）

登錄等級

19. 國家級 ☐具有國際地質重要性的景點 ☐具有科學重要性之特殊現象景點 ☒具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解台灣地質史所必備者 20. 地方級 ☐具有終身學習的教育價值之景點 ☐具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點 ☒具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點 ☐具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點

文獻、資料

李寄嶠(1994) 澎湖地區玄武岩類與福建地區基性脈岩之定年學與地球化學兼論中生代晚期以來中國東南地函之演化。國立台灣大學地質學研究所博士論文。 林長興(1991) 澎湖群島之地質與地形。南投市：台灣省政府教育廳。 林長興(1997) 澎湖玄武岩地景保育解說手冊。澎湖縣：澎湖縣政府。P120-122 林俊全(2015) 虎井桶盤觀光資源調查暨解說導覽系統與遊程規劃建置。交通部觀光局澎湖國家風景區管理處。澎湖縣：澎管處。 齊士曄(2005) 澎湖地區地質公園整體規劃與推動各景點基礎調查及先期規劃。澎湖縣：澎湖縣政府文化局。 曹恕中、宋聖榮、李寄嶠、謝凱旋(1999) 澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書1/50,000。台北縣：經濟部中央地質調查所。
--

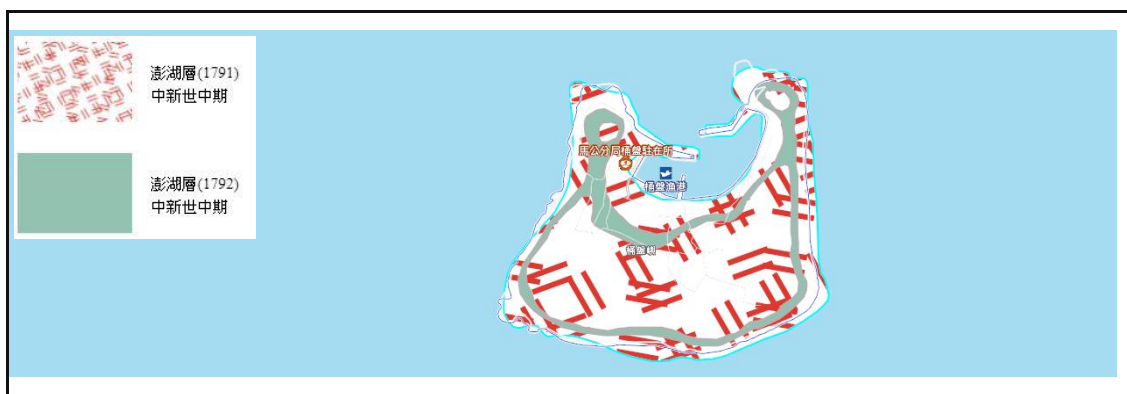
經濟部(2014) 地質遺跡地質敏感區劃定計畫書。新北市：經濟部中央地質調查所。

顏一勤、李寄嶠(2017) 澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000 第二版。新北市：經濟部中央地質調查所。

範圍區 1/25000 地形圖



地質圖



衛星影像圖



航照圖



現場照片（以全景、中景、近景）



圖 29 桶盤嶼西南側柱狀玄武岩



圖 30 沉積岩中有許多沉積構造，如交錯層、挖填構造和生痕化石，指示為淺海的沉積環境



圖 31 8 月一場強降雨後發生的崩塌，紅色框為崩塌的範圍



圖 32 從不同時期的空拍圖可明顯發現，因海岸塊石步道的修築，破壞自然地景演化的機制，如桶盤嶼南側的海岸，過去以壯觀、綿延不斷的玄武岩聞名，但因崖底塊石步道的興建後，受保護的穩定邊坡逐漸發育植被，覆蓋此「出露性」景點，發育良好的植被大大降低地景之價值，長久下來對於島嶼的發展極為不利。透過定期實施地景監測，方可得知重要地景的良好狀態是否發生改變

其他

--

位置資料	編號：	10
地景名：虎井古地滑與梯田群	記錄者：	呂政豪
行政區：■馬公市 □湖西鄉 □西嶼鄉 □白沙鄉 □望安鄉 □七美鄉	調查日期：	2019.09.15
經緯度座標：119.524823,23.492262		
TW97 座標：99318.73,2599567.801		

地質地形概況

地質區： ☐ 海岸山脈 ☐ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 西部麓山帶 ☒ 海岸平原 ☐ 北部張裂帶	
地形區： ☐ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高山(2100m) ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☒ 離島	
地層：澎湖層	岩性（岩石）：玄武岩
礦物：無	化石：生痕化石
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☐ 斷層 ☐ 其他_____	

地景描述:

連綿不斷的虎井梯田群，是台灣相當罕見的島嶼梯田地景(圖 34)，這樣的農田景觀可能與當地的崩塌作用有關，而形成澎湖較為少見且寬廣的海岸階地，或許這也與「虎井」地名的由來有密切關係，可謂是人與環境互動下的特殊地景點。梯田群位於虎井東山的北側海岸階地上，從碼頭延著海岸水泥公路向東走約 1 公里即可到達，這裡的梯田群延著海岸階地修築綿延近 2 公里，相當具規模，適合觀賞的時間為上午，由於東山受軍事管制，僅能從海岸攀爬到至高點觀賞，需留意不穩定的土石。

虎井的梯田群僅分布於東山北側的海岸階地上，島嶼其他區域的海岸地形多為垂直、高聳之海崖，無梯田的分布。虎井東山北側出現澎湖相當少見的海岸階地，且連續性佳，但澎湖自全新世以來，澎湖的海岸堆積只受到海平面的變化，並沒有受到地殼隆升的影響(陳于高，1993)，且至 6000 年前以後海平面趨於穩定，故此地的海階發育應與台灣東部海階受構造抬升控制的成因不同，可能是受到當地局部地質作用所造成，而非區域性的影響因素。

從野外觀察可發現，此區邊坡的地形特徵為上坡凹、下坡凸為主的坡型，坡頂為劇場型崩崖(amphitheater-shaped scarp)、上坡坡面散布玄武岩岩塊和滑動中的岩體(圖 35)，下邊坡為波狀階地。整體的地形組合與弧型地滑的地形相當類似。野外的細部現象是在上坡頂部有出現對稱的裂隙，而在下坡底部則有傾斜狀、和邊坡分離的柱狀節理玄武岩體(圖 36)，這暗示著此區的邊坡應曾發生過慢速、旋滑的塊體運動，才讓原本處於上坡頂部的直立狀柱狀節理，轉變成傾斜狀，再加上虎井嶼的岩性組成為二至三層玄武岩間夾厚膠結不良的沉積岩，且崖高超過 50 公尺，讓此地具備發生地滑的條件。除此之外，目前主崩崖高差超過殘存的主崩塌塊體，暗示本區過去可能曾發生相當大規模的地層滑動，甚至部分崩積體恐已滑入海中，這些現象與其他地區的古地滑案例的地形現象和證據極為相似，如高雄的西壽山、葡萄牙 Pico 島等地(Costa et al., 2015; Jen et al., 2017)。

也就是說，虎井東山的海岸階地的成因，可能與古地滑有關，才會形成寬廣、坡度和緩的海岸階地。早期當地居民利用這樣的地形修築梯田，種植供應生活所需的農作物。而根據林寶安教授在當地的訪談得知：

虎井竟然有梯田？！這想必令人意外。做為耕地，必須解決沒有水源可供灌溉的困難。受訪的虎井里長說，大家通常會在每五、六座梯田開鑿一處共用的水

井。但是這類就地開鑿的儲水性水井，由於並不穩固，每到雨季期間尤其脆弱；里長受訪時便憶起半個多世紀前，其親叔公曾在雨季過後入水井，竟然遭到水井崩塌而致溺斃的意外。（林寶安，2019）

甚至「虎井」的地名由來有一說法是，當地居民為避免孩童進入水井發生憾事，而杜撰水井裡有老虎會吃人，嚇唬小孩不要進入，因而得名。其實如從自然地景的角度解釋，梯田的水井之所以容易倒塌，可能是因為水井修築在崩積層中，而崩積層係由疏鬆、不穩定的土石所構成，降雨後容易發生倒塌之問題。也就是說，「虎井」的地名由來和罕見的島嶼梯田，均可能都與當地的古地滑有密切的關係。這是一個過去未曾被論述過的島嶼地景故事，這樣的自然地景也隱含著與當地人群與環境互動下的文化義涵。

經營管理資料

景點方圓大小：	長：	寬：
高：	深：	面積：
管理單位：澎湖縣政府、交通部觀光局澎湖國家風景管理處		
保育現況：_		
威脅景點之行為類型：■不當之遊憩規劃 ■開發建設 □遊憩衝擊 □人為破壞 □風化與侵蝕作用 □環境承載 □其他 _____		
非地質方面的重要內容：□特有物種 _____ □特殊生態 _____ □重要文化資產 _____ □其他 _____		
到達路線：□公車 □自用車 ■步行 ■其他 從馬公搭船至桶盤嶼		

台灣自然地景的主題類別（最主要的一項）

☐ 板塊構造現象	☒ 火山地景	☐ 高山地景
☐ 重要地層或化石位址	☐ 河流、湖泊和河口三角洲地景	☐ 隆起珊瑚礁、洞穴地景
☒ 海岸地景	☐ 珊瑚礁、環礁和海洋島嶼	☐ 冰河遺跡
☐ 火炎山地景(礫岩惡地)	☐ 泥岩惡地、泥火山地景	☐ 地質災害遺跡

價值認定

☒ 地質多樣性（科學）	☐ 生物多樣性（生態）	☒ 景觀美質（遊憩）
☒ 環境功能（防災）	☐ 永續土地利用（經濟）	☐ 歷史和文化（社會）

登錄等級

21. 國家級

- ☐具有國際地質重要性的景點
- ☐具有科學重要性之特殊現象景點
- ☐具有國家重要性之代表性地質現象、事件或作用，為瞭解台灣地質史所必備者

22. 地方級

- ☐具有終身學習的教育價值之景點
- ☐具有專業和業餘地球科學家的研究價值之景點
- ☒具有地球科學知識、事件或人類開發等歷史價值之景點
- ☐具有增進大眾欣賞自然地景的美學價值之景點

文獻、資料

Costa, A.C.G., Hildenbrand, A., Marques, F. O., Sibrant, A.L.R., Campos, A. S. (2015) Catastrophic flank collapses and slumping in Pico Island during the last 130 kyr (Pico-Faial ridge, Azores Triple Junction). *J. volcanol. geotherm. res.*, 302:3–46.

Gill, R. (2010) *Igneous rocks and processes: a practical guide*. London: Wiley-Blackwell.

Jen, C.H., Chen, J.H., Lei, H.F., Ho, L.D., Zhou, H.W., Lin, T.Y., Lu, C.H., Hsueh, M.Y., Chyi, S.J.

(2017) Recent movement of the Late Pleistocene Shoushan slump, southwestern Taiwan, based on landform surveys. *Quaternary International*, 452:12-21

李寄嶠(1994) 澎湖地區玄武岩類與福建地區基性脈岩之定年學與地球化學兼論中生代晚期以來中國東南地函之演化。國立台灣大學地質學研究所博士論文。

林長興(1991) 澎湖群島之地質與地形。南投市：台灣省政府教育廳。

林長興(1997) 澎湖玄武岩地景保育解說手冊。澎湖縣：澎湖縣政府。P120-122

林俊全(2015) 虎井桶盤觀光資源調查暨解說導覽系統與遊程規劃建置。交通部觀光局澎湖國家風景區管理處。澎湖縣：澎管處。

齊士崢(2005) 澎湖地區地質公園整體規劃與推動各景點基礎調查及先期規劃。澎湖縣：澎湖縣政府文化局。

曹恕中、宋聖榮、李寄嶠、謝凱旋(1999) 澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000。台北縣：經濟部中央地質調查所。

經濟部(2014) 地質遺跡地質敏感區劃定計畫書。新北市：經濟部中央地質調查所。

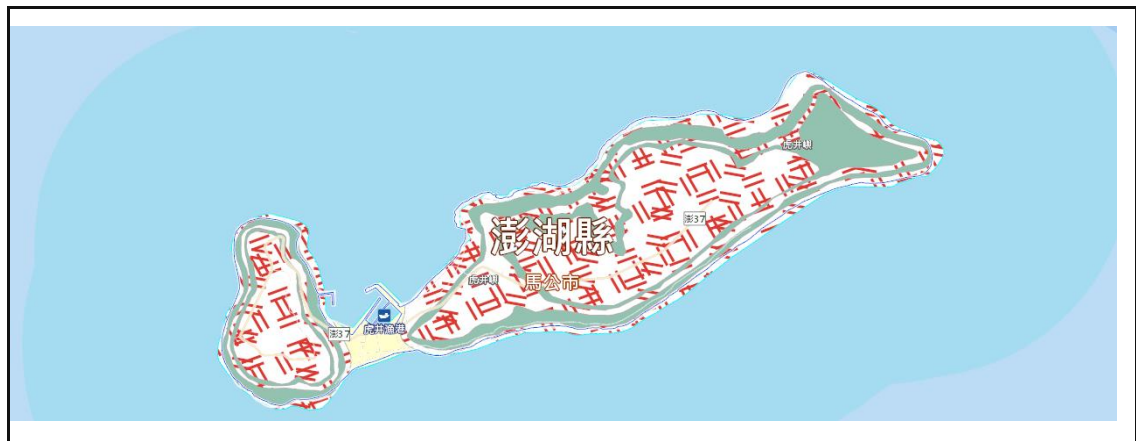
顏一勤、李寄嶠(2017) 澎湖群島臺灣地質圖幅及說明書 1/50,000 第二版。新北市：經濟部中央地質調查所。

林寶安(2017) 做山：虎井東山的梯田-虎井二三事（二）。檢自 <https://poanblog.wordpress.com> (2020/02/20)。

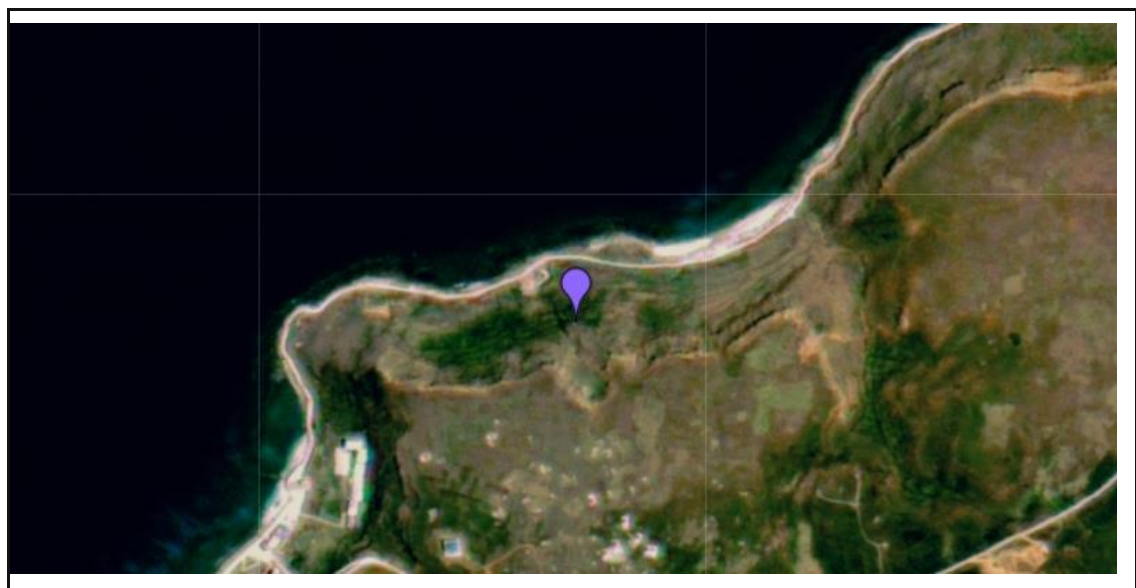
範圍區 1/25000 地形圖



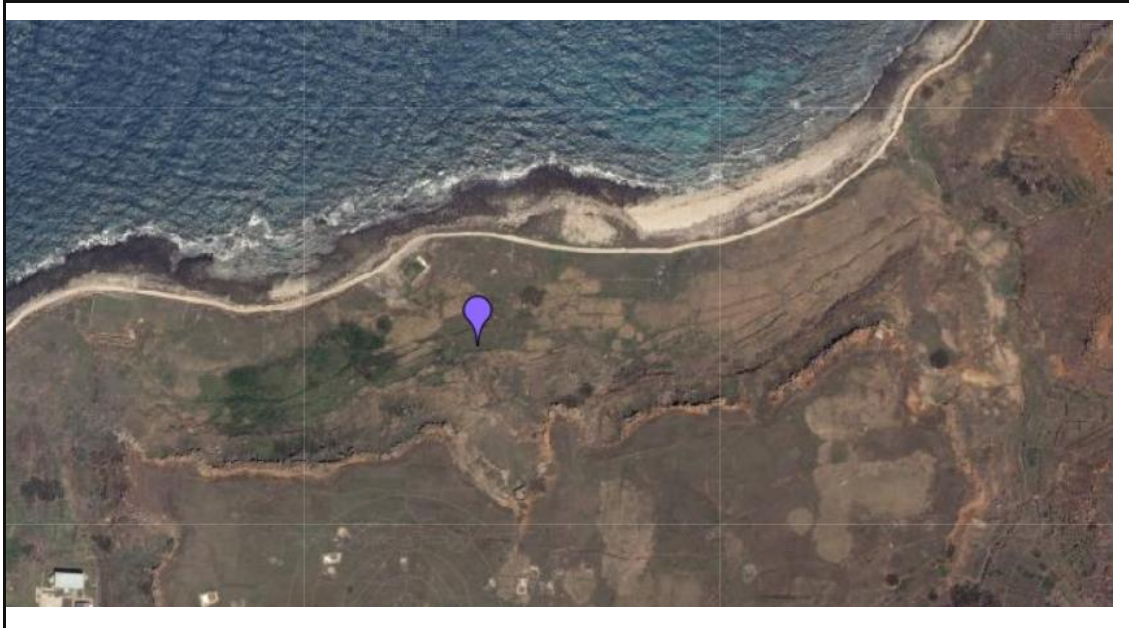
地質圖



衛星影像圖



航照圖



現場照片（以全景、中景、近景）



圖 34 虎井梯田群是台灣相當罕見的島嶼梯田地景，主要開闢於寬廣且坡度和緩的海岸階地上



圖 35 海岸階地的坡腳可見與邊坡分離的柱狀節理玄武岩體，這暗示著此區的邊坡應曾發生過慢速、旋滑的塊體運動，才讓原本處於上邊坡的直立狀柱狀節理，轉變成傾斜狀



圖 36 梯田的上邊坡可見尚在活動中玄武岩體

