

# 工程地質研討會

## 水與火的交融～澎湖群島的地質與人文饗宴 與會報導

朱晃葵\* 黃士庭\*\*

### 一、活動行程與考察內容

1991年9月26~28日地工技術舉辦的澎湖玄武岩研討會，為地工技術首次造訪澎湖群島，時隔28年後，地質地景變化的如此緩慢，與會的人員皆與前次不同，許多同行新人們皆對於地質與工程之互動充滿疑惑，亦渴望在過程中經由前輩們的指點而得到更多的啟發；澎湖群島因為板塊運動效應造成地殼產生裂隙，高壓、高熱的岩漿從裂隙中溢流噴出，而熾熱的熔岩流在海水與空氣的冷凝作用下，逐漸冷卻凝固，另經數次的地盤沈降升浮後，而形成澎湖群島特殊的地形，由於熔岩流在冷卻過程的營力、均質程度等主客觀因素影響，凝固的玄武岩自然生成多邊型的柱狀節理和板狀節理等自然奇景。其中又以南海遊憩系統的桶盤嶼巍峨高聳玄武岩石柱群最具代表性；東北海的雞善嶼、錠鉤嶼和小白沙嶼等三座島嶼玄武岩景觀則已列為玄武岩自然保留區。

本次研討會由中央大學應用地質研究所董家鈞教授以及顏一勤應用地質技師率隊，假2019年5月2~4日三日行程參訪澎湖群島，並定調為水與火的交融～地質與人文饗

宴(澎湖天后宮、花火節煙火、傳統古宅等人文饗宴，亦為本次行程，於本文無摘錄)。

### 二、玄武岩與水庫

行程首發即來到經典的大菓葉岩壁，是位於西嶼鄉大菓葉漁港的西北側，大菓葉岩壁原是一採石場，在開採過程中相關單位發現此地景實屬罕見，便下令禁止開採作業，經典景緻才得以保留至今。此處的鹼性玄武岩具有壯觀的柱狀節理及板狀節理，整體的垂直剖面具有相當完整的土壤發育剖面(洪，1992)將大菓葉岩壁依其風化程度共分為0~6級，是一處相當適合解說土壤發育過程的自然教室。

除了地質外，此行亦加入了工程地質之案例，尤以水資源有限的澎湖，地區總出水量約3萬噸，馬公系統(含澎南及湖西)係由成功、興仁、東衛水庫配合成功淨水場、馬公深井、湖西深井、成功海淡廠及烏坎海淡廠、提供馬公地區使用，另外白沙、西嶼、望安及七美等離島地區則由西安、小池、七美、烏溝水塘配合區域淨水場提供離島地區使用。本次活動特別探訪了曾深受滲漏問題

表一 工程地質研討會：水與火的交融-澎湖群島行程表

日期	地點	考察與討論重點
5/2 (四)	集合出發(澎湖機場)	-
	停駐點 1：大菓葉玄武岩	柱狀玄武岩與風化作用景觀
	停駐點 2：小池水庫	小池角水庫漏水問題討論
	停駐點 3：小門地質館、鯨魚洞	小門嶼層標準露頭-海蝕作用的地質景觀
	工程地質座談與澎湖花火節	-
5/3 (五)	停駐點 4：桶盤嶼	柱狀玄武岩
	停駐點 5：虎井嶼	不同期的熔岩分層
	停駐點 6：風櫃洞	柱狀節理海蝕洞
5/4 (六)	停駐點 7：姑婆嶼	姑婆嶼層標準露頭點
	停駐點 8：員貝嶼	東海地質景觀巡航
	活動結束(澎湖機場)	-

\*朱晃葵大地技師事務所 \*\*台灣世曦工程顧問股份有限公司

所苦的小池水庫，研討壩址地層與工程設施的互制關係；小池水庫位於澎湖縣西嶼鄉大池村東南方約 500 公尺，壩軸地質鑽探結果顯示岩盤位於現有地面下約 13~14 公尺以下，而且屬節理發達破碎之玄武岩，附近所出露之地層以中新世的澎湖層為主要岩層，岩性以柱狀節理發達之玄武岩為主，多為破碎狀，其上被黏土、砂及風化岩塊所組成的覆蓋層所覆蓋。另外於海濱地區則有現代堆積層分佈。現場一行人主要針對手冊摘錄之壩軸地質剖面圖進行研討，討論地層的延續性之於壩址滲漏問題的討論。小池水庫多年來一直都有蓄不滿的情形，經居民反映其下游的夢幻沙灘時常出現不知從何而來的潺潺流水，故推斷係因小池水庫之壩基座落在節理發達的玄武岩上，所儲蓄之水經底下玄武岩節理滲流，並自下方之沙灘流出，使其無法達到初始設計之蓄水量。利用不透水膜進行不透水處理後，壩底滲水之情形已顯著改善；然而其後卻發現，當蓄水超過某一高度後，大壩後方即發生嚴重滲水，推測係因水壩面版之混凝土與土石填方材料勁度差異過大，土石填方些微沈陷變形即導致面版間產生裂隙，當水面高度達到裂縫位置時，即發生漏水之情況，也有可能是水面高度高過裂隙之後，水頭差促使水壓增加，加速滲流之情形；另面版開裂後，混凝土面版下方

不透水膜的止滲與否，甚為關鍵；若不透水膜存在破洞，依填壩材料的特性，則有發生管湧之可能性存在，而在管湧之後可能導致壩體變形擴大，如此前述關於築壩完成多年後，因壓密作用再擴大面版變位之情形應可逐年趨緩之推論，需保守視之。

前往小門國小北側海崖時，下起陣雨，先在小門地質館內聆聽顏技師講解澎湖的地層精要，接著閱讀館內詳細的說明、欣賞澎湖地區各種景觀采風，同時躲一躲這陣突來的大雨。小門地質館內富有詳細的文字介紹以及圖片展示，設置有 1. 澎湖的地景區(澎湖地質年代表)；2. 小門地質區(小門嶼地層、小門嶼地質、小門嶼地形)；3. 澎湖地景區等豐富主題，配合顏一勤地質師的解說，大夥對與澎湖的地質狀況逐漸進入狀況；逛完小門地質館後，雨仍舊是稀哩嘩啦地下，然而儘管雨水下不完，



圖二 小池水庫(往上游側看)(江政恩攝)



圖一 大菓葉岩壁合照(江政恩攝)



依舊澆不熄與會人員們想親眼目睹小門嶼層標準剖面的熱情，眾人不畏風雨的靠至海岸邊；小門嶼層的鈣質砂岩，在澎湖出露最完整的地方就是在小門國小北側的海崖與西側平台上；此處除清楚呈現鈣質砂岩與其所覆蓋之姑婆嶼層的接觸關係外，因小門嶼層之鈣質砂岩底部發現含有鐵質石英砂岩岩塊，根據 Bowen's series 顯示，玄武岩組成礦物之生成環境與石英礦物之生成環境分處於序列上下兩端，兩者同時出現在一處實令人匪夷所思，雖然石英礦物之來源至今仍待釐清，但仍幾乎可以認定姑婆嶼層與小門嶼層間是存在一假整合事件的；走著走著來到小門嶼的另一個景點-鯨魚洞，藉由觀察此處的露頭、數處焦烤痕跡、荷重鑄型及火燄狀構造等等跡象，推論澎湖層之玄武岩應是在沉積過程中先後發生多起岩漿噴發事件，流動性高的玄武岩質岩漿漫流於當時的地表抑或是海床，並層層堆疊於其上，留下上述種種樣貌後再為後續的沉積層所覆蓋；除此之外，曾有鯨魚洞便是一火焰狀構造，經歷海浪差異侵蝕後所形成一說，若此說法屬實，則該構造之規模委實令人驚嘆！但真實與否，仍有待有緣人繼續研究了。在鯨魚洞看著種種景象流連忘返、討論熱烈，無奈天色漸暗、時候已該祀奉五臟廟，也為避免遭受眷屬們的責難，一行人才淋著細雨、緩緩走回巴士上，前往晚宴地點。

在晚宴進行前，亦進行首日回顧以及往後形成與告的研討說明會，最後在澎湖花火節的煙火中結束第一天的行程。

### 三、熔岩分層與海蝕洞

第二日行程首先來到桶盤嶼，環島步道上皆可看到塊塊分明的玄武岩堆疊成石柱羅列環繞，此處柱狀節理發達程度，堪稱澎湖之最，素有澎湖的「黃石公園」美譽，柱狀節理與板狀裂理原先都呈六角或五角形，但由於受到劇烈的風化和侵蝕作用，許多岩柱的稜角已呈現圓形狀，部分玄武岩柱頂端甚至已經風化成球狀；步道末端有看到一傾倒至步道上之石柱，同行中人超過半數為工程領域相關從業人員，一見此情此景便立即職業病發，這個步道



圖三 小門嶼層標準剖面處(顏一勤攝)



圖四 荷重鑄型-火燄狀構造(黃士庭攝)



圖五 小門地質館導覽(江政恩攝)



圖六 座談會(江政恩攝)



安全嗎？適合開放給遊客參觀嗎？此事件的肇因為何？應該進行何種處置較為妥當呢？眾人立即進行現況調查，並歸納出原因有二：1. 該處節理發達，岩塊幾乎都已分開，受重力、解壓、熱脹冷縮或強風、豪雨、海浪、地震等外力影響後便極有可能紛紛滾落，甚至倒塌；2. 該處位於海濱可能遭受海浪侵襲，而觀察玄武石柱係佇立於砂岩、頁岩、砂頁互層組成之沉積岩地層上，可能便因海浪侵蝕作用而掏空，進而導致岩柱整體滑落。一陣紙上談兵之後，不論這是何原因所導致的，仍是得尊重管轄機關之決策，為保留當地最原始之風貌而不另進行修整，而隨時提醒來訪之遊客盡量遠離石柱，以免發生危險。此島嶼較可惜的是潮汐時間沒掌握好，未能看到桶盤嶼西南海岸海蝕平台有玄武岩熔漿湧出形成同心圓狀的「蓮花座」，令人十分扼腕。

接著來到澎湖群島第七大的虎井嶼，忽然間又遇到了陣雨，天涼吹風、細雨綿綿，剛好來到「來來鮮魚湯」，來碗道地的魚湯做為午餐吧！只見整碗魚湯料理豐盛、魚肚肥美，大快朵頤一番！至虎井嶼一遊時毋忘來此大飽口福；在吃飽喝足稍作休息後，我們來到虎井嶼西南側的海邊，除了感嘆遠方的熔岩台地如此平坦外，虎井嶼的西南側山壁可觀察到數次矽質玄武岩與鹼性玄武岩互層的樣貌；走在岩灘上也發現許多玄武岩塊上有特別的「氣孔柱」構造，經顏技師講解後才知道，有些岩面上，有局部密集的氣孔，若將之垂直剖開，則可見許多小氣孔排列成條狀；這些氣孔是岩漿內的空氣來不及逸出，岩漿已經凝固所留下的，彷彿海底世界裡氣泡一路延伸至海面一般，此景為我們帶來更多對岩漿世界的想像！

終於來到今日之壓軸行程-「風櫃聽濤」為澎湖知名的景點，風櫃里位於風櫃半島的尾端，澎湖當地人稱呼「風櫃尾」，聚落南岸的玄武岩柱狀節理受波浪侵蝕造成狹長的海蝕溝，海蝕溝的底端又被侵蝕成海蝕洞，再由海蝕洞順著節理縫隙形成一個通到地面的小孔，每遇南風漲潮時長浪順著海蝕溝灌入，海蝕洞內空氣受擠壓，海水由縫隙噴出，發出呼嘯聲，猶如鼓風爐的聲音一般。



圖七 桶盤嶼上解壓崩落的柱狀玄武岩(江政恩攝)



圖八 虎井嶼觀察不同期之玄武岩堆疊情形(江政恩攝)



圖九 玄武岩中的氣孔柱(黃士庭攝)



圖十 玄武岩受海浪侵蝕形成的風櫃洞(江政恩攝)



## 四、東海地質景觀

第三日海象趨於穩定，前往姑婆嶼，屬澎湖群島北海海域中的一個小島，島嶼西側海灣分布著近代的沙灘沉積物，島嶼東側則以岩岸與礫灘為主，島嶼東北角的潮間帶海蝕平台每年盛產紫菜，是目前島上最主要的經濟產物。

現地考察主要針對姑婆嶼層，主要由鐵質膠結成堅硬之鐵質石英砂岩所組成，石英砂為粗粒角礫狀，岩層中常見槽狀交錯層理及夾有泥塊，鐵質石英砂岩常因風化而成碎塊散布於玄武岩流或紅土面之頂部。姑婆嶼層在澎湖地區主要出露於姑婆嶼、西嶼後扈灣、小門嶼及花嶼西北角高地上等地。

陳(1992)所命名的小門嶼層包含下段的鐵質石英砂岩層及上段的鈣質砂岩層。顏與李(2017)測製第二版澎湖圖幅時，在小門嶼地區發現小門嶼層上段的鈣質砂岩層之底部含有下段鐵質石英砂岩的轉石，且鐵質石英砂岩中及其頂部具有風化土壤層，推測原小門嶼層中之兩岩層間應具假整合現象，且經調查後發現鐵質石英砂岩層序列以出露於姑婆嶼剖面最為完整，故將原小門嶼層中的鐵質石英砂岩層獨立劃分成新的地層單位，並命名為姑婆嶼層。

位於白沙島東側及湖西北側間的海域，散落著數個無人居住的島嶼，但卻孕育出了候鳥的棲息地。由於部分島嶼都是由單一層的玄武岩岩層所組成，因此在岩漿溢出後冷卻形成玄武岩時，受岩漿冷卻時的等溫線影響，形成了許多彎曲的柱狀玄武岩景觀。本次活動便是藉由陸上就近觀察及海上遠觀，來介紹員貝嶼沿岸的地質景觀，對玄武岩有進一步的認識。位於白沙島東方海域的員貝嶼，座落在岐頭碼頭與鳥嶼之間，因島嶼的外型像螺貝覆蓋於海面上而得名。員貝嶼主要由鹼性玄武岩所形成，因發達的柱狀節理，及海蝕作用的雕刻，發育出石筆、石硯、無字天書和石墨等地質景觀；在員貝嶼東北側海崖的柱狀玄武岩，因為柱體上窄下寬如同百褶裙一般，是員貝嶼著名地景。與會人員細細觀察六角柱狀玄武岩之產狀，經



圖十一 姑婆嶼層露頭的討論(江政恩攝)



圖十二 姑婆嶼島上鐵質石英砂岩層(顏一勤攝)



圖十三 與會人員在玄武岩前熱烈討論(王沛夫攝)



圖十四 員貝嶼百褶裙(江政恩攝)



講解得知原來六角形是結晶最穩定之型態，因此熔岩流才會收縮成如此形狀，而吾人也可藉由觀察等溫線所形成之節理樣貌推斷當時岩漿的流動方向，惟看到百褶裙之產狀，只能咋舌以對，不得不欽佩大自然造物之奇，另在該處發現臺灣少見之凝灰岩，亦讓人大開眼界。

## 後記

本次工程地質活動主要參訪澎湖群島上的經典地層與不同區位及產狀的玄武岩，其中感謝黎明工程顧問股份有限公司提供小池水庫改善歷程編撰手冊以及現地解說。

本次研討會最大的遺珠，就是遭遇海象較差的狀況，原定安排之雞善嶼、錠鉤嶼、七美島、西吉嶼、望安島等船程較遠之島嶼，在此行無緣親臨，聽顏一勤技師娓娓道來從小搭船生活的不便，更可體現「靠海吃飯」的離島情懷，只能期待未來第三度的探訪

澎湖，能造訪這些特色地質地景。

另經由這次旅途亦充分感受到地質與工程間的異同。身為工程地質人，總希望能夠見微知著、一葉知秋，期盼能以有限的壽命探索近乎無垠的宇宙；然而做為工程人，事事均須以人民之福祉做為考量。兩者乍看之下毫不相干，但工程乃是百年大計，工程師們所面對的挑戰絕對不是人類歷史中能統計得知的，這時候就需要地質師的協助了，地質師全面性的眼光能夠為各種可能的問題預先提出警告，儘早進行準備，因此渴望兩者間能夠進行更有效率的溝通，共同克服難關。

## 參考文獻

洪如江 (1992)，「澎湖玄武岩風化剖面」，*地工技術*，第37期，第125-130頁。

陳培源 (1992)「澎湖群島地層劃分與地質構造上一些問題的檢討」，*經濟部中央地質調查所彙刊*，第六號，第9-38頁。

顏一勤、李寄嶠 (2017)，「五萬分之一臺灣地質圖及說明書第75、76頁：澎湖群島」，經濟部中央地質調查所。



圖十五 虎井嶼合照(江政恩攝)