

地工技術

工程地質研討會專欄

馬祖～閩江口外的珍珠－與會報導

王泰典*

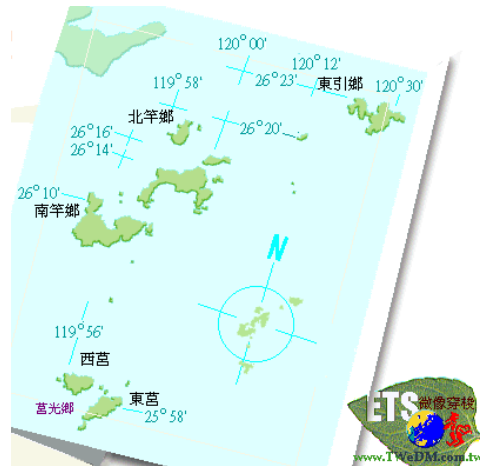
**春雨、夏芒、北風凜；石屋、碉堡、戰地情；
冷泉、醇酒、人微醺；碧海、藍天、燕鷗鳴。**

這是2003年連江縣陳雪生縣長形容馬祖的一段話，短短數語，卻貼切而傳神。馬祖，這一個熟悉卻又遙遠的名字，成了第十五次地工技術工程地質研討會探訪的主角。在國立台灣科技大學林宏達教授的領軍以及國立台灣大學林銘郎副教授的策劃下，包括財團法人地工技術研究發展基金會(以下簡稱地工技術基金會)董事長鍾毓東伉儷和地工界各路好漢一行37人，2006年6月21日一大早7點鐘即在台北松山機場集合等候班機，準備展開為期三天的造訪，沒想到亢奮的心情隨即遭班機資訊看版的跑馬燈給澆熄，南竿機場因濃霧而能見度不佳，影響了航機的起降，原定08:10起飛的班機在延誤30分鐘後宣布取消。心裡正盤算著這三天該如何如何時，竟傳來領隊和策劃決定排隊後補機位，37人就這樣兵分二路分飛南竿、北竿機場，再搭交通船到南竿福澳港碰頭，終於在下午兩點半左右再度會合，並見到了本次活動的解說－前連江縣政府建設局局長，馬祖野鳥學會理事長張壽華先生。濃霧這麼一折騰，離島生活交通的不確定性，深深地在腦海裏烙了一道痕兒。

一、閩江口的烽火珍珠－地形與地景

馬祖位於台灣海峽西北方，東距基隆約144km，西與福建閩江口僅一水之隔，最近處約20km(如圖一)。馬祖是由36座島嶼所組成，主要包括南竿、北竿、東莒、西莒、東引、亮島、高登、大坵、小坵以及許多無人島嶼，形成東西窄、南北狹長之地域，陸域面積2,952公頃，海域面積22,100公頃。人口不多，現有住民約9千人，主要分佈於南竿、北竿、莒光及東引等四個鄉的

行政區中。最大的南竿島僅約10.43km²，面積相當於台北市的1/32。而東引為台澎金馬疆域的最北端，居戰略要衝地位。



圖一 馬祖主要島嶼地理位置(取自農委會林務局及連江縣政府網路資料，2006)

馬祖列島早期多是相連的，也和中國大陸相連，約在一萬年前全球最後一次冰河期結束，氣候普遍性變暖，海水面從低於現在的海水面約110、120m逐漸上升，大約在六千多年前到了現在的位置，並使馬祖列島和大陸分離。在海水的波浪、潮汐與海流的沖擊之下，塑造出岩岸為主的景觀和岬、灣相間的海岸地形，海蝕洞、海崖、海拱、顯礁、海蝕凹壁與海岸礁岩等自然景觀隨處

*台北科技大學材料及資源工程系

可見(圖二至圖四)，亦有許多殘留的火成岩體解壓形成的柱狀節理和解壓節理(圖五與圖六)。

除了有陡峭的海崖外，崖頂表面起伏的丘陵

中，有些具有平緩台地的地形。長期受到海水的作用和氣候的影響，不但塑造出不同的地貌，在迎風面和背風面生長的植物也迥然不同。



圖二 西引島海蝕洞、海蝕門(左)與崩塌後地景(右)

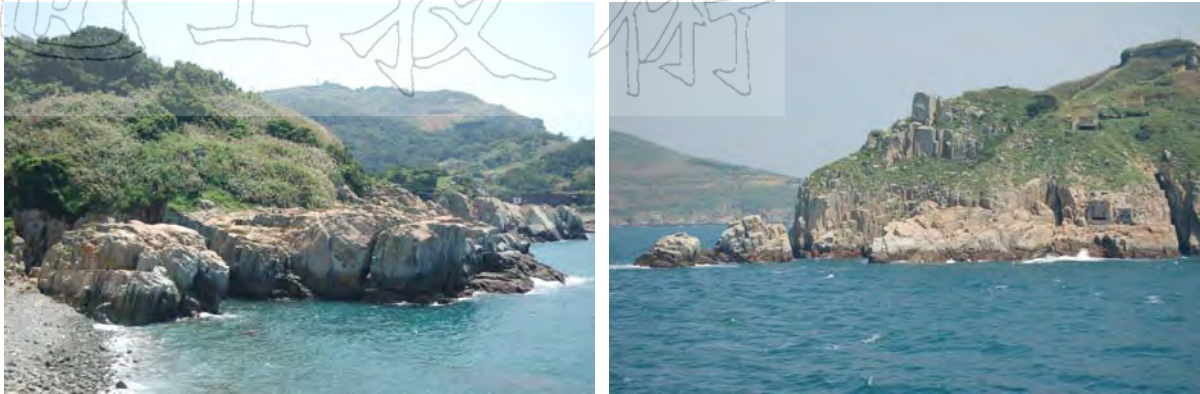


圖三 東引島安東坑道觀景台外海岸地形(右圖鄭富書教授攝)



圖四 東引島天王澳據點遠眺一線天(左)與一線天奇景(右)

地工技術



圖五 火成岩的柱狀節理與解壓節理



圖六 解壓節理和花崗岩風化剖面

二、生態景觀

就生態氣候的觀點而言，馬祖屬於低矮的森林形相。年平均降雨量約在1,060mm，平均風速在6.0m/sec以下，再配合地形與盛行的東北風和西南風，原始的植物群落可分為迎風面的灌木叢林與背風面的矮喬木林兩大類，也提供了海島地區鳥類最佳的棲地。但受到明清時期先民的開墾及戰地時期國軍建造人造林的影響，導致原始優勢的植物種類日漸遭到破壞，目前僅有某些地區仍維持著馬祖最珍貴的灌木林或灌木叢原本風貌(交通部觀光局馬祖國家風景區管理處網站，2006)。

2.1 馬祖的植被

馬祖包含四鄉五島及其鄰近小島，各島迎風的坡面或海岸山坡處，季節性強風影響較大，植

被多呈灌叢狀；而地處西南方上又鄰背風坡處，強風的吹襲較少，因此森林也較茂密高大；馬祖列島上受機械性風化現象的影響比化學性風化現象為大，風浪的侵蝕加上火成岩地質特性，使得土化育程度相對較差，不利於一般植物的生長及森林演替，所以部分區域仍維持早期的草生地狀態。

馬祖地區的植被大致上可以區分為五類：(1)人工林，由於樹林在明、清時期曾遭大量砍伐，造成多數坡地變成芒草坡，直到戰地時期，國軍進駐後為了遮蔭、掩蔽與水土保持，才大量的植樹造林，主要以相思樹、銀合歡、黑松、苦楝、烏柏、樟樹、木麻竿與琉球松為主；(2)殘留的片狀天然植物，經過數百年的開發，馬祖只殘留小範圍的片狀天然植群，種類包括了小喬大的流蘇，灌木的唐杜鵑、臺灣野茉莉、小果薇、橢圓葉木薑子、南華南蛇藤、雪梨、雀梅藤、濱柃木、

山竿槿、牛乳榕、灰木、天然朴、紫珠灌叢、榔榆林等；(3)具有暖溫帶特色的海岸峭北灌叢，高緯度加上冬天冷酷海風的吹襲與修剪，一般而言馬祖植株生長得較矮小且分枝多，例如石斑木、日本衛矛、有刺灌叢、濱柃木、榔榆等，均是馬祖海崖峭北天然景緻的代表作；(4)海岸山坡草生地，植物物種分佈地區相異再加上各種環境給予的干擾與壓力不同，使得馬祖的草生地各有其獨特的特色，在迎風的坡面及開闊海岸山坡上，即可見到紅花石蒜、狗娃花、石竹、原生百合、韓國草、海芙蓉、日本鼠麴草、芒草、兔兒菜、野菰、小葉山螞蝗等不同特色的草生地；(5)沙灘生態景觀，馬祖只有部分地區可以看到沙灘生態景觀，生長在沙灘的植物包括濱刺麥、馬鞍藤、蔓荊、裂葉月見草、濱旋花、濱剪刀股、濱防風、小海米和多種的豆科伏地小灌木等，不但美化了沙灘的景觀，也具有定沙作用，是保護沙灘的重要關鍵。

馬祖位於台灣的西北方、中國大陸的東方以及日本的西南方，這樣特殊的地理位置，使得馬祖的植物承接了來自北方、南方及東方、西方的植物物種，不僅是植物種源的中繼站，更因海島隔離形勢使其同時擁有當地獨特風格的植物物種。

2.2 野鳥的樂園

由於地處遷移性候鳥南來北返路線的中繼站，因此每年秋季，馬祖地區便有成千上萬的鳥類由中國東北、韓國、日本及西伯利亞來此度冬或過境，春季候鳥北返，又是另一波高潮。依據連江縣農改場與中華民國野鳥學會自1996年起進行為期2年的調查果顯示，馬祖地區的鳥類有19目42科234種，其中留鳥20種佔8.6%，冬候鳥54種佔23%，夏候鳥14種佔6%，過境鳥146種佔62.4%，顯示遷移性的候鳥是其主要的種類。

為數眾多的夏候鳥燕鷗，每年4月會從赤道附近來到馬祖各無人島礁上繁衍，最具特色，賞燕鷗也成為春夏之際馬祖旅遊的重要戲碼。本次活動解說張壽華先生對賞鳥獨具心得，深知燕鷗習性，他提到雖然燕鷗每年3月即陸續來到馬祖，4月就已接近到齊，但若在這段期間遭到打擾，極可能立刻離去再也不回頭，因此賞燕鷗最好在5月之後，這時燕鷗已經把蛋生下來，就算受

到打擾也會稍稍忍耐，直到8月才陸續離去。本次活動也安排到東引安東坑道觀景台觀賞燕鷗，海天一色任遊遨翔，難怪吸引眾多的賞鳥人士慕名而來。

更值得一提的是，鳥類攝影師梁皆得於2000年6月到馬祖無人島礁燕鷗保護區拍攝，在兩千多隻，四百多個鳥巢中，發覺至少有8隻的燕鷗有所差異，經聯絡中央研究院劉小如博士並赴實地觀察，同時致函國際鳥盟及燕鷗研究專家詢問，這種在嘴部前端有一處小黑塊，身型較小的不同的燕鷗，竟是全世界認為極度瀕絕，甚或已滅絕的黑嘴端鳳頭燕鷗，此一發現引起國際注目，英國BBC電視台更進行了專題報導，馬祖列島一躍成為國際燕鷗保育焦點。

黑嘴端鳳頭燕鷗體長約40cm，嘴黃色但尖為黑色，因而得名。黑嘴端鳳頭燕鷗棲息於港灣、河口、島嶼附近，單獨或成對飛行，以魚蝦為食，繁殖期間約在每年6月到8月。首次發現命名於1863年，截至目前為止，只有五筆資料，可說是世界上燕鷗鳥類數量最少的一種，具有「神話中的鳥」之稱(圖七)。

由於馬祖的島嶼生態、棲息之海鳥及特殊地理景觀彌足珍貴，行政院2000年將東引鄉之雙子礁，北竿鄉之三連嶼、中島、鐵尖島、白廟、進嶼，南竿鄉之劉泉礁，莒光鄉之蛇山等八座島嶼，面積共約七十二公頃之範圍劃設為「馬祖列島燕鷗保護區」(參圖一)，以保護利用這些島嶼作繁殖地區的白眉燕鷗、紅燕鷗、蒼燕鷗、鳳頭燕鷗、黑尾鷗、岩鷺、叉尾雨燕等七種鳥類。

三、戰地風貌

傳統的馬祖建築承襲閩東的風俗民情，並融入了受海圍繞依山勢而建的變化，具有封火山牆、耳門、小窗以及木造構造等特色。封火山牆係廟宇側牆的一種建築型式，屋頂部位造型跨張，用色鮮豔，據說有防止火勢蔓延的作用(圖八)。耳門及小窗係因以前海盜猖獗，造屋時會將小窗開在面海側，二樓以上建築並開扇耳門，以便觀察海象及海上狀況，並防止海盜進入。木造構造則是早期居民的建築習性，多以福州杉做為隔間牆、樑柱、階梯及二樓地板，多數不上漆，呈現十分的樸拙質感。



圖七 黑嘴端鳳頭燕鷗(上)與飛行中的燕鷗英姿(下)
(上圖取自黑嘴端鳳頭燕鷗生態發表暨
研討會手冊，張壽華先生攝)



圖八 馬祖建築特色之一：封火山牆



自政府遷台至1992年的戰地政務管制時期，馬祖的建築有十分重大的變化。因應軍事需求所建造的構工，例如與海相連的地下坑道如北海坑道，可以在坑道內行船運補，安東坑道可以容納整個連隊百餘人的地下生活起居及軍事任務，還有遍佈海邊的據點、碉堡、砲陣地以及各式各樣的制高觀景點、訓練場所與軍醫院等，實在是鬼斧神工，嘆為觀止。在台灣著名的「八八坑道」馬祖高粱酒系列，即藏酒於一座200m長的戰車坑道。八八坑道因蔣公八十八歲誕辰時修建完成而得名，內部始終維持攝氏18°C的清涼溫度，馬祖酒廠物營盡其用，將坑道搖身一變而成窖藏老酒與高粱酒的寶庫，裡面冬暖夏涼，夏季還因溼氣重，坑道內不時滴滴答答的滴著小水滴，伴隨一旁窖藏多年的老酒甕，別有一番風情(圖九至圖十三)。

自1992年解除戰地政務後，馬祖開始推動各項發展計畫，並有顯著的成效。例如津沙聚落的頹圯舊屋換上了新裝，成了人文咖啡館與石厝民宿，海邊的碉堡成了便利屋，供遊客如廁更衣；因住民出走遺留大片空屋的芹壁聚落，透過縣政府有計畫的整修後，一座座回復原貌，屹立在臨海的陡峭山坡上，陽光、海景、石頭屋，畫面猶如地中海之美景，難以筆墨形容(圖十四)。

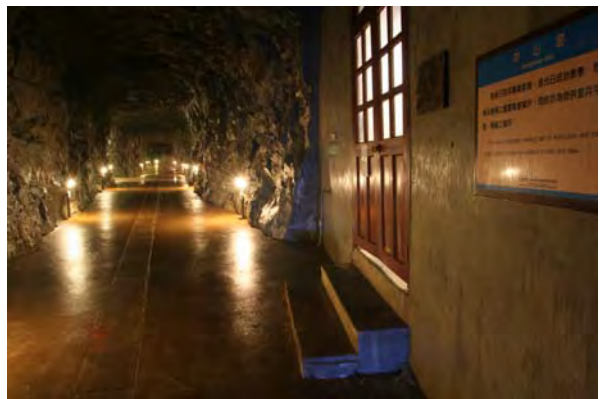
此外，連江縣政府更與馬祖防衛指揮部合作，特別設計了一套專屬「軍事」原味的戰地之旅，將軍事體驗與旅遊活動合而為一，內容包括蛙人操舟、240巨砲操演以及軍情館參觀等，除增加觀光資源外，同時讓民眾瞭解國防的重要與官兵的辛勞。這種民、政、軍共同打拼的局面，不僅拓展獨特性之觀光視野，也提供別具一格之旅遊體驗及思考。



圖九 南竿島北海坑道，水道寬10m，高18m，全長640m，漲潮水位8m，退潮水位4m，可供百餘艘登陸小艇使用



圖十 東引島北海坑道一景(左)及與會人士留影(右)(朱育正先生攝)



圖十一 東引島安東坑道入口坡道以30°下降約250m(左)，坑道內可容納整個連隊於地下生活及進行軍事防禦(右)(左圖朱育正先生攝)



圖十二 南竿島鐵堡(左)及其內的機槍室(右)



圖十三 八八坑道入口(左)及與會人士品嚐東湧陳年高粱(右)

地工技術



圖十四 美侖美奐的津沙聚落(左)與芹壁聚落(右) (朱育正先生攝)

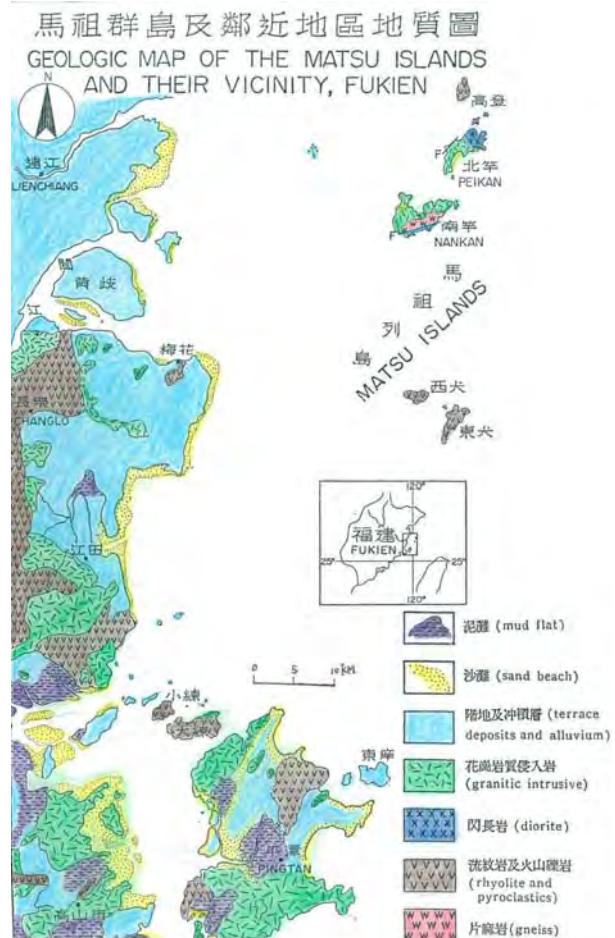
四、地質概況與相關研討

依據陳培源(1974)的研究，福建地區及其沿海島嶼之花崗質基性岩均生成於中生代之燕山運動期火山活動，此活動造成廣厚之酸性火成岩及少量中性火山岩之噴發，爾後又因受大地構造應力作用再形成褶皺、斷裂與變質，同時引起殘餘岩漿之侵入及熱水變質作用，因此馬祖列島與福建沿海其他島嶼的岩性以花崗岩及二次侵入岩為主，占各島總面積之70%，而流紋岩與火山角礫岩則占其餘之30%。

燕山運動為發生在侏羅紀到白堊紀，普遍影響中國東南部的構造運動，在時間上分為早晚兩期。以中國東南而言，燕山早期的岩漿侵入活動較為廣泛，佔所有侵入體的一半以上。中生代燕山運動也造成金門花崗片麻岩與砂質片岩之基盤，伴隨花崗岩的侵入，其後尚有偉晶岩、玢岩、煌斑岩等岩脈，基盤岩石上覆蓋著流紋岩。晚至中新世時則有玄武岩之溢流。因此，馬祖與金門之花崗岩類皆屬燕山運動之產物。

馬祖列島之岩性分佈，依陳培源(1974)之地質圖，包括片麻岩、流紋岩、閃長岩、花崗岩(含基性岩脈)、第四紀沉積物(階地、沖積層、沙灘、泥灘)等，如圖十五及圖十六所示。東西引目前國內尚缺乏地質圖，根據現地調查結果，出露之岩石岩性以閃長岩為主。

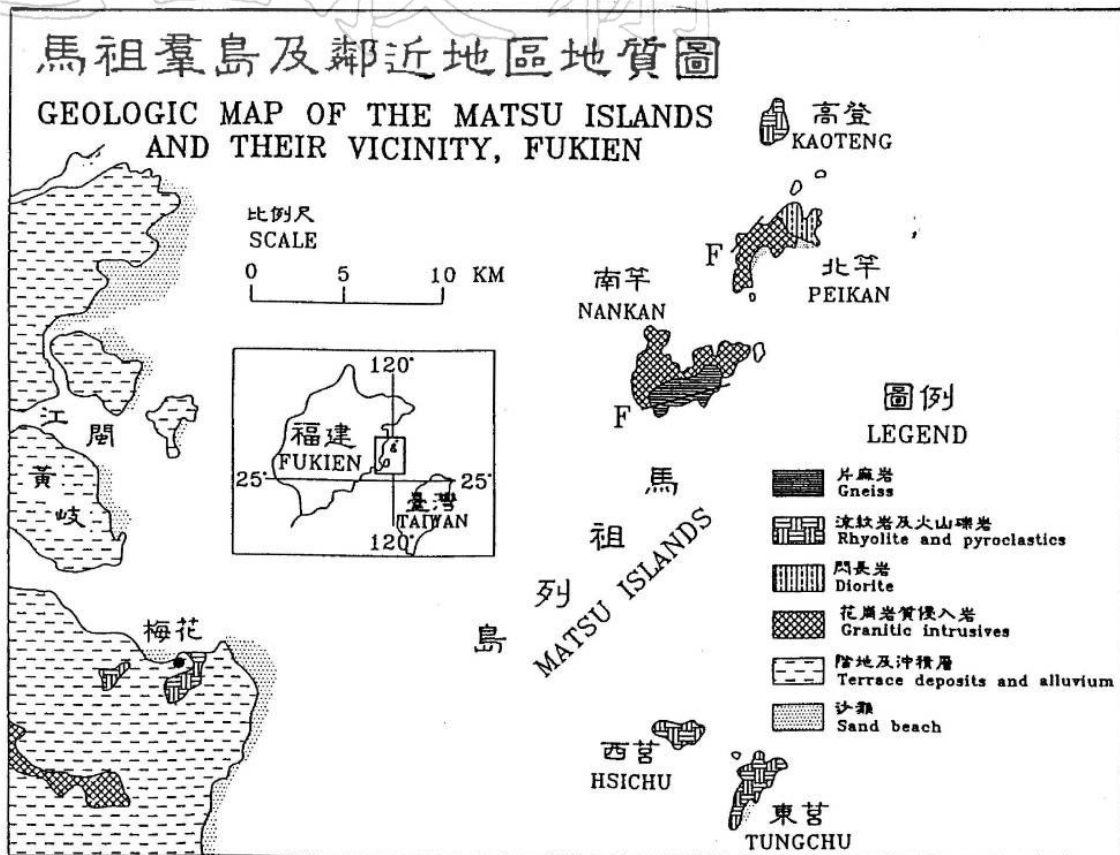
本次活動觀察到花崗岩、閃長岩、流紋岩及基性岩脈等露頭(圖十七至圖二十)，惟並未發現片麻岩。馬祖列島的工程地質特性目前僅及岩性分佈，構造、節理與地層分佈等尚缺乏系統性以及較詳細的調查，就工程地質觀點而言，仍屬一塊待調查的處女地。



圖十五 馬祖群島及鄰近地區地質圖(取自陳培源，1974)

五、工程建設與相關課題

馬祖地區近年來致力於地方建設與發展觀光，相關公共工程包括飲用水、供電、海路、陸路與空中交通等各種基礎建設積極推動中，主要包括已完工之南竿機場、北竿機場以及施工中之后沃水庫、垃圾掩埋場、珠山電廠與福澳碼頭等。



圖十六 馬祖群島及鄰近地區地質圖之二(取自陳培源, 1974)

南竿機場與北竿機場皆因馬祖海島丘陵地形高低差變化大的因素，機場跑道必須進行大規模土方工程，其中南竿機場跑道長1,580m，採挖填平衡方式設計，挖填土石方超過230萬 m^3 ，另外受限於南竿島南北向用地不足，跑道南北端採棧橋結構代替懸臂式擋土牆。北竿機場跑道長1,150m，則利用剷除鐵拳山及部份風山邊坡的土石碴鋪置於塘石間沙灘填築而成(圖二十一)。

后沃水庫係利用海灣圍堤興建水庫，以儲蓄南竿島內各集水區截水系統截取的雨水，與既有水庫聯合運轉供應公共用水，可提供每年約44.5萬噸的水量，解決島內缺水的問題。水庫附近出露的岩層以花崗岩為主，間夾侵入的煌斑岩脈。主壩為混凝土重力壩，高20m，長196m，壩基進行固結灌漿及隔幕灌漿，並開挖庫區花崗岩回填壩體，以增加庫容。由於主壩壩軸原位於海水淹沒的海灣中，因此採100年頻率暴潮位7.82m及波高5.52m設計，自主壩向海側再鋪築約70m寬的永久圍堤，除主壩防護作用之外，並配合植

生綠化作為休閒遊憩空間(圖二十二)。

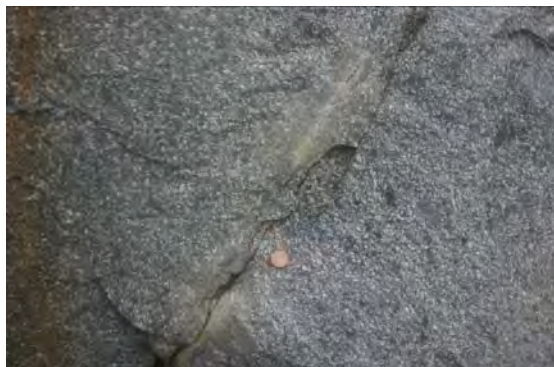
馬祖港福澳碼頭區擴建工程係為改善馬祖海上交通運輸而辦理，進行中的第一期工程項目主要包括準備工程、防波堤工程、碼頭及護岸工程、新生地填築工程及導航設施等。其中的防波堤工程全長760m，採拋石柔性堤體構築至海平面以上8.0m高程，再施作3.0m高的混凝土防波堤，塊石係就地取材，開挖山壁而得。碼頭工程採棧橋式碼頭，下部結構以鋼管樁支撐(圖二十三)。

離島地區工程規模雖不大，但其施工卻存在許多困難，諸如前述所提馬祖地區尚無全面而完整的地質圖可供工程設計的基本參考，常增加設計的困難度與誤差；或是因處邊陲地帶，交通不便、生活機能差等因素，造成人員、機具及施工材料調度困難，整體施工團隊皆曾遭遇相同問題—「赴馬祖工作意願不高」，不僅導致整體工程成本的上揚，業主、設計、監造與施工承商的風險，皆較遠高於國內相同規模的工程。

地工技術



圖十七 北竿島壁山附近花崗岩與板狀節理露頭(左)與近拍(右)(取自林銘郎等，2006)



圖十八 東引島中柱港碼頭附近閃長岩露頭(左)與近拍(右)(取自林銘郎等，2006)



圖十九 北竿島白沙港碼頭附近流紋岩與基性岩脈露頭(左)與近拍(右)(取自林銘郎等，2006)



圖二十 南竿島牛角嶺北側花崗岩與基性岩脈露頭(左)與近拍(右)(取自林銘郎等，2006)



圖二十一 施工中的南竿機場(左)及北竿機場現況(右) (左圖取自林銘郎等, 2006, 中華顧問工程司提供)



圖二十二 后沃水庫透視圖(左)及下游海灣(右) (左圖取自林銘郎等, 2006, 中興工程顧問公司提供)



圖二十三 馬祖港福澳碼頭施工一景(左)及與會人士討論防波堤工程施工困難(右)

六、結語

地工技術基金會舉辦的工程地質研討會活動，每年皆獲得熱烈的迴響，不但報名向隅者眾，與會成員時有意猶未盡的感覺。本次活動已邁入第十五屆，已是地工技術基金會的重軸戲，並成為國內各界人士技術研討交流的最佳平台。工程地質研討會不僅已成功將學習地質環境與工程技術等不同背景人士的思維接軌，更朝向融入生態、景觀及人文等面向邁進，提供更多元化的研討環境，讓我們期待下一次的再會。

參考文獻

- 林銘郎、張國楨、周坤賢、王景平(2006)，地工技術工程地質研討會(十五)：馬祖～閩江口外的珍珠野外手冊，財團法人地工技術研究發展基金會，台北。
- 陳培源(1974)，馬祖群島地質(附帶討論福建沿海之火成活動及地殼運動)，臺灣省地質調查所彙刊，第24號，第89-98頁。
- 馬祖資訊網(2006)，<http://www.matsu-web.idv.tw>。
- 連江縣政府網站(2006)，<http://www.matsu.gov.tw>。
- 交通部觀光局馬祖國家風景區管理處網站(2006)，<http://www.matzu-nsa.gov.tw>。
- 農委會林務局網站(2006)，自然資源與生態資料庫，<http://ngis.zo.ntu.edu.tw/wr/index.htm>。
- 交通部觀光局馬祖國家風景區管理處、台灣國際觀鳥協會(2006)，黑嘴端鳳頭燕鷗生態發表暨研討會手冊，馬祖。