2014 年臺灣國際科學展覽會
優勝作品專輯

作品編號　170002

參展科別　地球與行星科學

作品名稱　滄海桑田-草漯砂丘沉積、侵蝕探討

得獎獎項　大會獎：四等獎

女性地質學家協會獎

就讀學校　國立內壢高級中學

指導教師　潘建熾、陳怡秀

作者姓名　林韋宏、詹雨儒、馬瑄璟

關鍵字　草漯砂丘、粒度、磁鐵礦

作者簡介

我叫林韋宏，來自國立內壢高級中學，個性非常的活潑外向，喜歡運動，高一的時候參加排球社，高二的時候是游泳社，因為很擅長游泳所以高二的時候就當了游泳社的教學組長，從小就對科學和數理方面很有興趣，碰到很多難以理解的東西就會有很想要繼續探究的衝動。而我未來想要當老師，因為自己對人對事都還蠻有耐心的，而且我也很喜歡教導別人，在教導別人的過程中讓我感到很滿足。

我叫詹雨儒。國中是管樂團的，上了高中想學些不同的，所以加入了柔道社，不管是音樂還是運動我都很喜歡。我喜歡多方面學習，不只可以拓展自己的視野，又能夠培養很多興趣，我覺得很不錯。未來我想從事醫療方面的工作，我要讀護理系，所以一直都有在增加自己的經驗，像是初級急救訓練，我也有在長庚養生村和學校保健室當志工，希望對未來都有幫助。

大家好，我是馬瑄璟。

我未來想去生物方面的科系，因為與一、二類大多數科系相比感覺比較不會那麼死板。但如果無緣的話，我的第二個選擇是商業設計系，塗鴉、繪畫自小就是我的最愛。

關於我的個性，活潑開朗應該還算貼切。因為如此，我常在一些莫名其妙的場合及情況認識不少朋友。不過我的記性很差，經常為了找東西而花掉不少時間。

至於興趣，如同上述所說的，我喜愛繪畫，所以參加漫研社以精進畫技。另外，我還加入了排球校隊，讓自己的高中生活體育與課業兼顧。

摘要

草漯砂丘位於臺灣西北部沿海，為風成砂丘。本研究選擇此區高度最高的沙丘，藉由長期砂丘地形監測、砂丘表層及垂直方向沉積物取樣進行粒度及磁鐵礦砂含量分析，試圖了解草漯砂丘沉積及侵蝕狀況。

監測砂丘自 2011 年 9 月中至 2012 年 1 月底間發現受風力侵蝕可達 3 公尺，侵蝕速率平均達 8 公分/天以上,2011 年 10 月 30 日此沙丘進行固砂工程前後砂丘外形、侵蝕速率發生明顯變化，足見固砂工程對砂丘環境影響。垂直採樣分析 9 管沉積物粒度及磁鐵礦砂含量，發現四個特殊層，繪製成立體層面圖，發現類似沙丘滑落面地形，且藉由粒度及磁鐵礦砂分析也間接證明沙丘滑落面沉積現象。最後利用沉積物各層粗顆粒、磁鐵礦砂含量與中央氣象局提供之日均風速進行對比，推測 9 管沉積物應為 2011 年 5 月至 9 月間堆積。

Abstract

Caota dune, located along the northwestern coast of Taiwan, is an aeolian dune. This study focuses on the tallest dune of the area to analyze the deposition and erosion of the dune, through long-term monitoring of dune topography, taking samples from the dune surface and vertical segments so as to understand the granularity and magnetic iron ore content.

The four-month monitoring from mid-September, 2011 to the end of January ,2012, showed a wind erosion up to 3 meters, by an average erosion rate of 8 cm or more per day. The dune's shape and erosion rate changed significantly before and after October 30, 2011, the day when sand-fixation work was performed. The change showed the impact of fixation work on the dune environment. Analysis of the sample of nine vertical sediment in terms of grain size and magnetic iron ore content, indicates four special layers , which are drawn into a stereoscopic dimension diagram. A decline-like dune surface topography was found and the analysis of grain size and magnetic iron ore also indirectly proved the phenomenon of dune surface decline deposition. Finally, the analysis of the sediment layers of coarse particles, the magnetic iron ore content, and the daily average wind speed comparison.The data of the daily average wind speed is provided by the Central Weather Bureau, helps reach the conclusion that the sediments should have been accumulated roughly from May to September, 2011.

一、　前言

(一)、研究動機

桃園縣觀音鄉位於台灣西北部沿海，小時候全家曾偶然來到此地遊覽，此區風勢強烈，長在乾旱沙地上的褐色矮草，透出頑強的生命力。沙丘上的沙是歷經多久的歲月才堆積出來的？堆積成的沙地又曾經歷過什麼樣的變化？引起我們的好奇。

參考過去研究資料可以發現，臺灣西北海岸因風浪侵蝕逐年後退(楊美萍，2004)。過去學者文獻研究以航照和地圖比對、現場觀察、實地測量和訪談，再加上採集標本定年等工作等，顯示淡水河口至頭前溪口海岸至少有四處嚴重後退的地段。颱風帶來的暴浪侵蝕沙丘崖腳，以及東北季風和颱風帶來的強風使沙丘沉積物由迎風側搬至背風側，都可能使沙丘內移，桃園縣大園鄉潮音至觀音鄉草漯在近 20 年來，已後退 100 公尺，可見季風等外營力已嚴重干擾海岸的沉積物(許民陽， 2007)。

高一上學期地球科學課本第二章曾提到沉積物與地球歷史(南一基礎地球科學)，地理課上課時也有提到桃園地區的沙丘以草漯沙丘群最為著名。依據 50 屆全國科展作品，研究觀音草漯海灘沉積物分布，發現粗顆粒貝殼砂分布位置與沙灘營力有相關性。延伸其想法，我們想利用長時間監測沙丘外型變化、表層沙丘粒度分布及沙丘垂直粒度分布及磁鐵礦砂含量變化與區域平均風速變化之相關性，藉此了解草漯沙丘變遷情況。

(二)、研究目的

1. 長期紀錄各點沙丘侵蝕位置高度變化及移動方式，進而推論出沙丘外型變化及移動方向和速率，並且討論風力以及其他因素對於沙丘移動速率的影響。

2. 取砂丘表層沉積物，進行沉積物粒度分布分析，藉此了解砂丘受風之營力作用區域分布及變化情況。

3. 藉由打管分析沉積物粒度垂直變化及磁鐵礦沙密度，了解影響草漯沙灘營力的變化情況以及風力變化強度變化趨勢。

(三)、研究設備及器材

1、室外採樣部分：

工作手套…1 副/人

封口袋…2 袋

PVC 塑膠空管(口徑 3 吋、1 公尺長)…12 支

油性筆…隻/人

鐵鎚…3 個

鋼筋…1 支

電鑽…1 支

保鮮膜…1 捆

報紙…10 張

封箱膠帶…數捆

2、室內分析工作：

皮尺…1 個

卡式爐…1 具

篩網(孔徑 0.25mm、0.125mm)… 2 個

電子秤…1 具

鬃毛刷…1 隻

秤量紙…1 疊

封口袋…10 袋

電動線鋸機…1 架

解剖顯微鏡…1 架

數位攝影機…1 台

3、數據分析：

電腦…1 部

軟體(EXCEL、PHOTOIMPACT)…各一套

二、　研究方法或過程

(一)、研究區域環境：

本研究採樣點選定桃園觀音鄉草漂村北部海岸線附近的草漂沙丘上，依據 GPS 定位為東經 121 度 7 分 50 秒、北緯 25 度 4 分 27 秒，高度約 19 公尺。採樣點附近環境，如圖 2-1 所示。採樣點往北看(A 方向)，可見砂丘緊接海灘；向東(B 方向)可見到一條小河，在雨季可見溪水，但大部分時間乾涸；向南(C 方向)可見工業區，工業區前分布許多小樹叢，且其間分布許多小池塘；向西(D 方向)可見砂丘上分布許多固砂用的人工草漂，也可發現部分草漂間，有植物分布其中(圖 2-1 E1)，可能代表此區固砂草漂工程成功。圖 2-1 E2 為採樣砂丘頂部情況，在表層採樣時(2011.9.15)可見坡頂平坦。E3 為採樣點西南方，砂丘滑落面。E4 為採樣點南方附近海防碉堡，可見砂丘堆積於它的週邊。

本實驗選取此區進行研究之主要原因為採樣區東方有一小河流經，東北風迎風面並無砂丘地形屏蔽，堆積砂源主要來自沙灘，堆積、侵蝕直接受風力影響，其他干擾因素較少，便於討論影響。

圖 2-1 採樣點周圍環境

(二)、採樣點選擇與採樣方式

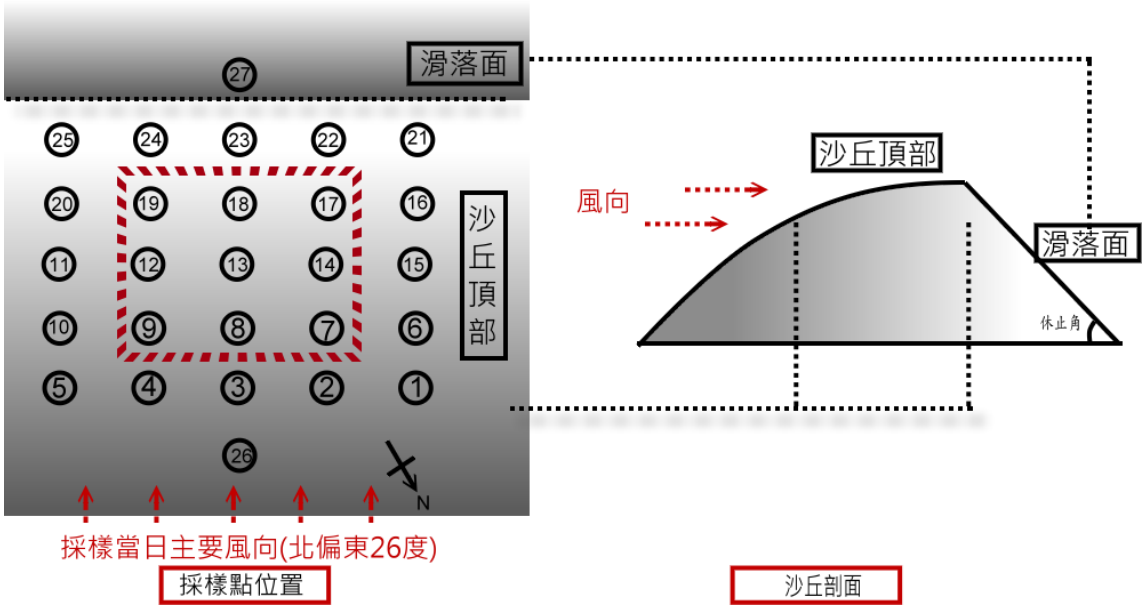


圖 2-2 砂丘採樣點位置示意圖

(左圖為平面位置、右圖為剖面圖，紅色虛線方框為地形監測及垂直打管取樣點位置)

本研究採樣位置主要位於砂丘頂部，選定時間為 9 月 17 日打管垂直取樣及監測，取此時間原因為此時為一年中砂丘堆積較高的時刻，此時打管垂直取樣可取出這一年中堆積之砂丘沉積物進行分析，可了解砂丘堆積之情況；而 9 月中之後東北季風漸強，砂丘侵蝕高度下降，在此時進行地形監測，可了解砂丘侵蝕情況，兼顧砂丘堆積及侵蝕之探討。各採樣點標號如圖 2-2，每採樣點間隔為 3 公尺，採樣方式包含砂丘外形監測、砂丘表層採樣及砂丘垂直採樣三部份，以下說明。

1. 砂丘外形監測：選定砂丘頂部 7、8、9、12、13、14、17、18、19 等 9 個點(圖 2-2 紅虛線內採樣點)，垂直將 PVC 管敲入沙丘中，在管上標示記號，不定期觀察各點砂丘高度變化狀況。開始打管時間為 2011 年 9 月 17 日，紀錄時間有 2011 年 9 月 22 日、10 月 6 日、10 月 22 日、10 月 31 日、11 月 30 日及 2012 年 1 月 26 日。

2. 砂丘表層採樣：選擇砂丘頂度附近 27 點(圖 2-2 中 27 點)，取表層 3 公分厚沉積物，進行粒度分析。表層採樣時間為 2011 年 9 月 15 日。

3. 砂丘沉積物垂直採樣：選定砂丘頂部 7、8、9、12、13、14、17、18、19 等 9 個點(圖 2-2 紅虛線內採樣點)，垂直將 PVC 管敲入沙丘中，利用鋼筋將沉積物抽出，帶回實驗室進行粒度及磁鐵礦砂含量分析。打管採樣時間為 2011 年 9 月 15 日，由於砂丘砂未完整固結，故灌水至 PVC 管中，於 9 月 22 日抽出沉積物。

(三)、相關知識與原理：

1. 風成砂丘的堆積

風長時期吹襲，沙粒常堆積成小山，稱為沙丘(圖 4-3)。一般而言，沙粒由沙丘底部被吹上沙丘頂部位置，沙丘頂部則風速快，常發生侵蝕。沙丘背風區沙粒下沉堆積、滑落，形成滑落面。

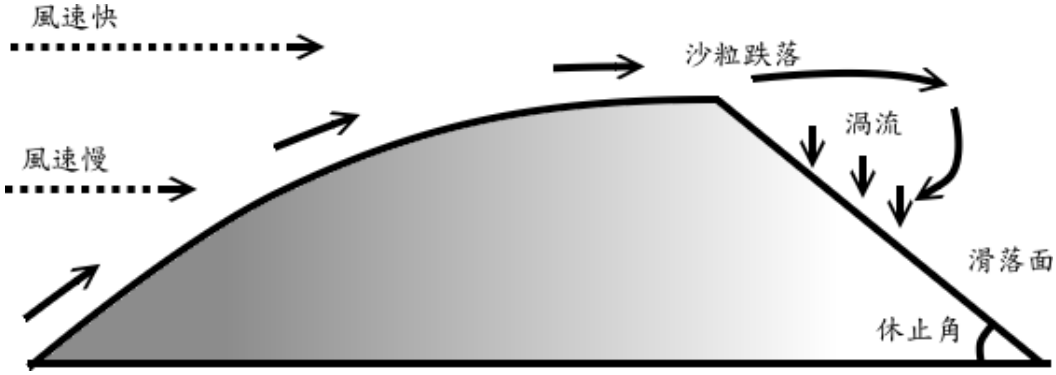


圖 2-3 沙丘縱剖面(錢憲和 地質學 568 頁)

2. 風速與沙粒徑相關性

依據研究報告(石再添 2001)指出，草漯海灘沉積物粒徑約 0.5mm 到 0.125mm 範圍間，這也是本實驗選擇使用粒徑 0.25mm、0.125mm 篩網進行粒度分析的原因。

觀察不同粒徑下之門檻值風速圖(圖 2-4，吳昌翰 2006)，可知要讓粒徑 0.125mm 到 0.5mm 的沉積物被風吹離地面門檻風速（沙粒開始移動的風速，見表 2-1）約 70 公分/秒以下均可達成。根據中央氣象局觀音測站每日平均風速自 2011

年 1 月 1 日至 2011 年 12 月 31 日資料分析(圖 2-5)，可發現 2011 年一年中有紀錄單日平均風速低於 50 公分/秒的天數僅 8 天，低於 100 公分/秒的天數僅 29 天，代表此區砂丘沉積物在此一年中均不斷搬運、移動。

分析觀音測站每月平均風速發現 2011 年風速較慢的月份分布在 4 至 8 月，風速較大月份分布在 1 月至 3 月及 9 月至 12 月，可能和本地區位於台灣西北部及季風風向、強弱有關。推測此區一年中侵蝕作用最強的季節應是秋冬兩季，春、夏季則侵蝕減弱，由於砂丘地形阻礙，可能造成風速降低，發生堆積。

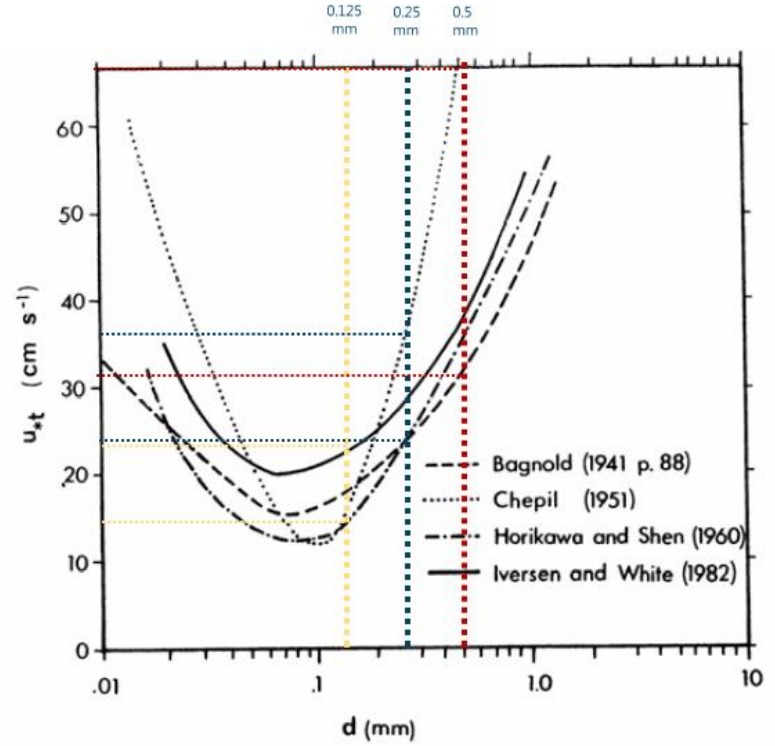


圖 2-4 不同粒徑下之門檻值風速(吳昌翰 2006)

表 2-1 0.125mm、0.25mm、0.5mm 三粒徑沉積物最大、最小門檻風速表

沉積物粒徑(mm)	最大門檻風速(公分/秒)	最小門檻風速(公分/秒)
0.125	25	15
0.25	37	25
0.5	70	31

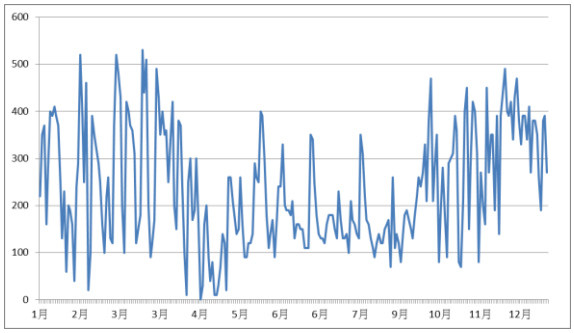


圖 2-5 2011 年逐日平均風速圖

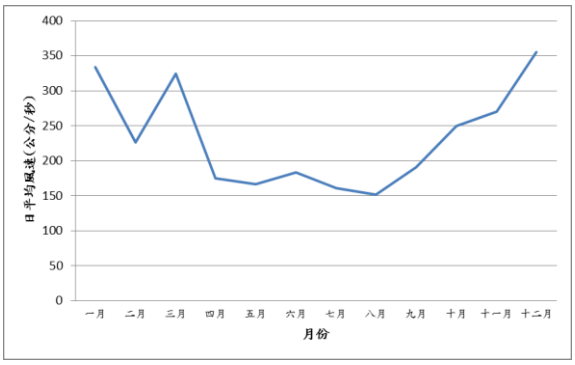


圖 2-6 2011 年逐月平均風速圖

(三)磁鐵礦的成因及其性質：

臺灣西部沿海鐵礦可能是西北部岩石經多次風化作用而形成(譚立平、魏稽生，民國 86 年)。觀音海岸沉積物中鐵礦砂主要來自臺灣北部火成岩區岩石風化生成。凡含鐵、鈷、鎳之礦物具有磁性，可被磁鐵吸附，故要分離沙丘砂中的磁鐵礦砂，可用磁鐵吸附。

沙丘沉積物中所含磁鐵礦砂(鈦、鐵氧化物)，由於密度較一般沙粒(矽鋁氧化物)大，在風力搬運、侵蝕過程中磁鐵礦有富集的情況發生。

三、　研究流程

(一)研究方向區分(詳見圖 2-7)：

1. 沙丘外形監測：選定天氣晴朗的秋天，至草漯沙丘觀察沙丘特徵，選定 9 觀測點，將 PVC 管編號，垂直打入沙丘，經過一段時間回沙丘記錄，用以監測沙丘侵蝕速率。

2. 沙丘表層沉積物粒度分析：將取回之表層樣本利用篩網分析沙丘表層沉積物粒度分布。

3. 沉積物垂直粒度及磁鐵礦砂含量分析：將垂直取出的砂丘沉積物分層取樣，用鐵鍋炒乾後，利用磁鐵吸附，做磁鐵礦砂含量分析。之後再進行過篩，進行粒度分析。

4. 顯微鏡下觀察分析：利用解剖顯微鏡及數位相機，拍攝各粒度沉積物

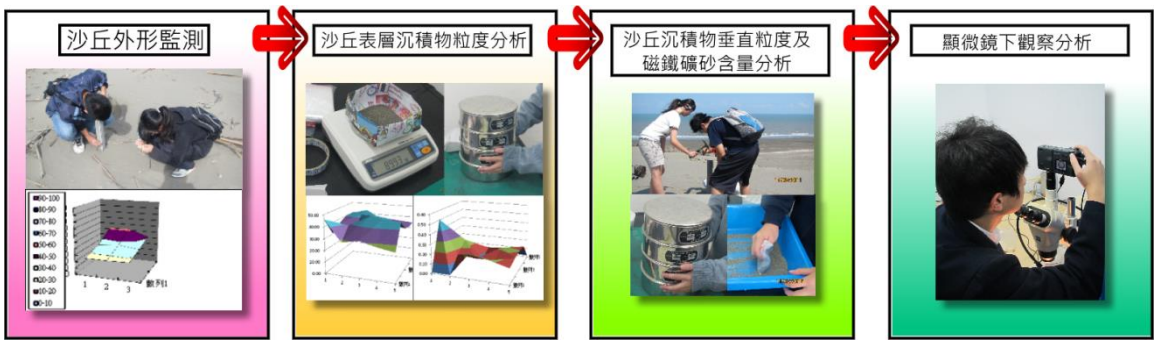


圖 2-7 研究方向示意圖

(二)砂丘外形監測(詳見圖 2-8)

1. 將 PVC 管裁切約 1.3 公尺：將買來的 PVC 管(全長 4 公尺)裁切成三段，每段 1.3 公尺。

2. 選定採樣位置將 PVC 管敲入沙丘，管上標示表層位置：於沙丘頂部取九個採樣點，每一點間隔 5 步(約 3 公尺)，將 PVC 管垂直敲入沙丘，並在 PVC 管表層位置作上記號標示。

3. 在一段時間後量取各點高度變化量，並記錄：過一段時間後回到沙丘研究區，量取各點砂丘侵蝕的高度，得到沙丘的垂直高度變化量，並將數據紀錄下來。

4. 將 PVC 管敲回原先記號位置：記錄完畢將 PVC 敲回到達原來記號位置，以利下次繼續監測並記錄。

5. 將各時間記錄數據輸入 EXCEL 中：回到實驗室，將紙本記錄數據輸入 EXCEL 中。

6. 利用各點 EXCEL 數據，繪製成立體圖，進行分析：將上一步驟所得之數據以 EXCEL 繪製出立體圖，可看出沙丘外型變遷趨勢，並加以分析。

圖 2-8 砂丘外形監測細部流程

(三)砂丘表層沉積物粒度分析(詳見圖 2-9)

1. 選定沙丘表層採樣位置：於沙丘頂部取 25 個採樣點，每一點間隔 5 步(約 3 公尺)。

2. 在沙丘表層畫出 30 公分正方形：於步驟 1 的 25 個採樣點上，畫出 30 公分正方形。

3. 取表層沙裝袋帶回實驗室：將步驟 2 的正方形範圍內的表層沉積物(厚度 2 公分內)取至袋中，記錄其編號，帶回實驗室。

4. 將樣本秤重後記錄並過篩：利用電子秤秤量各袋沉積物重量，紀錄下來，並過篩。

5. 秤量各篩網中沉積物重量，並記錄：將各篩網內的沉積物取出，封口袋標示樣本編號及篩網粒徑，將過篩後各篩網沉積物秤量後裝入袋中，記錄沉積物重量，以利之後分析。

6. 利用 EXCEL 軟體繪製成粒度分布圖，進行分析：將步驟 5 所得之數據以 EXCEL 繪製出粒度分布圖，並加以分析。

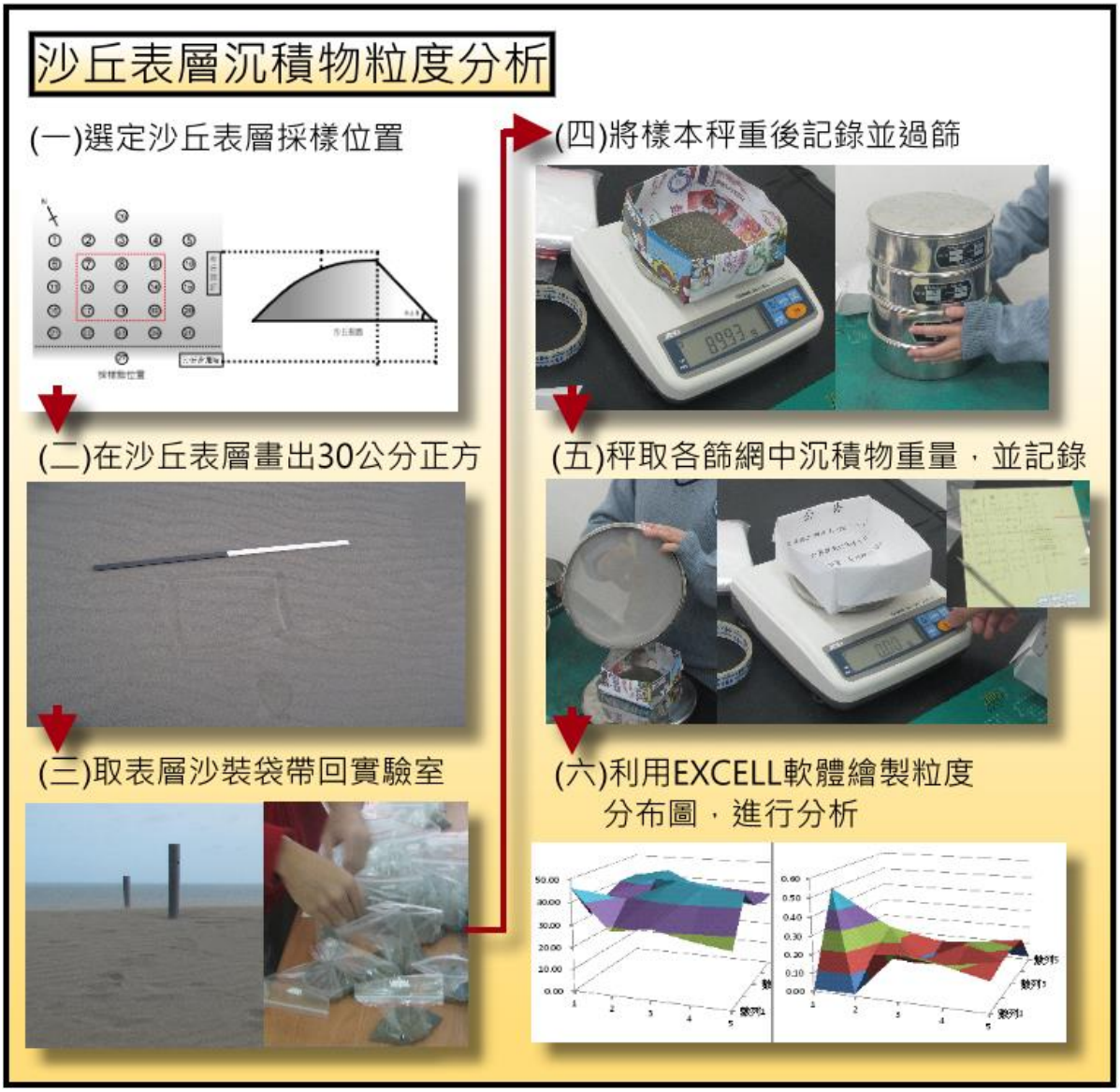


圖 2-9 砂丘表層沉積物粒度分析細部流程

(四)砂丘沉積物垂直粒度及磁鐵礦砂含量分析(詳見圖 2-10)

1. 在沙丘上選定位置，將 PVC 管垂直打入沙丘：於沙丘頂部取九個採樣點(詳見圖 2-2)，每一點間隔 5 步(約 3 公尺)，並將 PVC 管垂直打入。

2. 鋼筋穿過 PVC 管，抽出沉積物：將鋼筋穿過預先於 PVC 管鑽好的小孔，沉積物即可隨著 PVC 管一起被取出。

3. 將抽出的 PVC 管帶回實驗室：將取出的九個 PVC 管利用報紙壓實沉積物後，利用保鮮膜封口，並帶回實驗室。

4. 將 PVC 管切開後，以兩公分為單位分層並觀察：回到實驗室，將取回的 PVC 管以電鋸對半鋸開後，用直尺在沉積物上以兩公分為單位刻畫記號。

5. 將沉積物分層裝袋：將步驟 4 刻畫記號的沉積物一一分別裝袋，並加以編號。

6. 將樣本炒乾後，用磁鐵吸附磁鐵礦砂，並秤重、紀錄：將裝袋樣本一一用鐵鍋炒乾除去水分後，以磁鐵吸附磁鐵礦砂，秤重後記錄下來。

7. 沉積物過篩，分別量取各篩網沉積物重量，並記錄：利用粒徑 0.25mm 及 0.125mm 兩孔徑篩網過篩，並分別量取各篩網沉積物重量。

8. 利用 EXCEL 軟體，統計資料分析層位，並繪製圖形，進行分析：將上述步驟所得資料輸入 EXCEL 軟體做統計，繪製圖形並且加以分析。

圖 2-10 砂丘沉積物垂直粒度及磁鐵礦砂含量分析細部流程

(五)顯微鏡下觀察分析(詳見圖 2-11)：

1. 顯微鏡與數位相機連結：將數位相機架設於解剖顯微鏡上，以便拍攝沉積物在顯微鏡下畫面。

2. 選定拍攝沉積物樣本：將各管分層取樣樣本，區分為粗顆粒(粒徑大於 0.25mm)含量超過 40%；粗顆粒(粒徑大於 0.25mm)含量 30%至 40%；粗顆粒(粒徑大於 0.25mm)含量小於 20%，三個等級。並於各等級選取數個樣本進行顯微鏡下觀察。

3. 拍攝各粒度下沉積物：將選定沉積物樣本，區分為粗顆粒(粒徑大於 0.25mm)、中顆粒(粒徑介於 0.25-0.125mm 間)、細顆粒(粒徑小於 0.125mm)，分別放置顯微鏡下進行觀察，並由數位相機拍攝。

4. 拍攝畫面匯入電腦，進行沉積物比較：將沉積物顯微鏡下畫面，匯入電腦，分析內含物，進行比對分析。

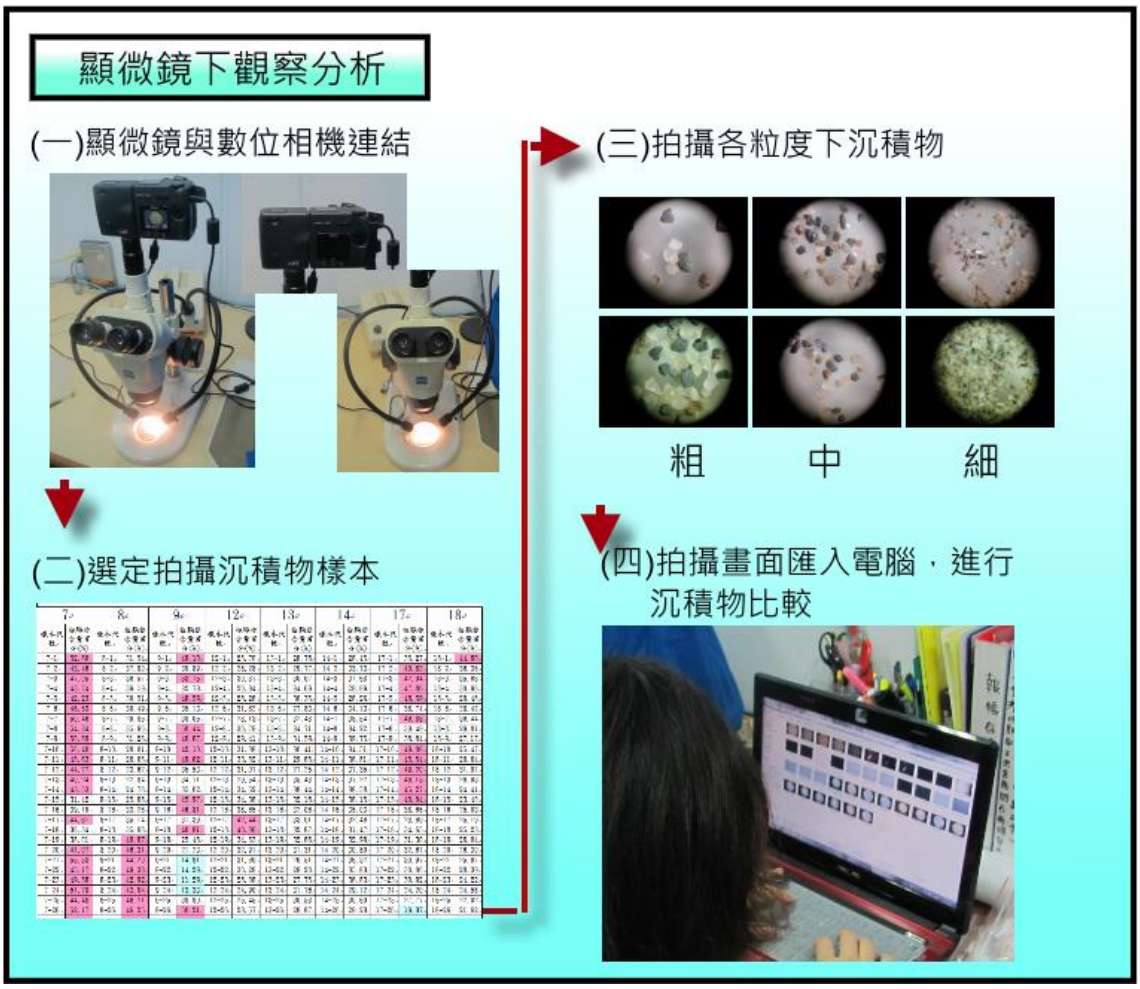


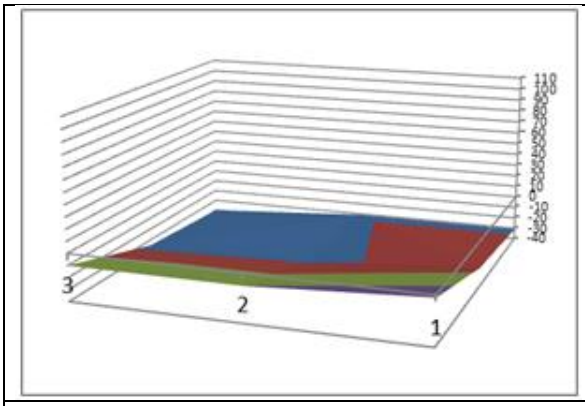
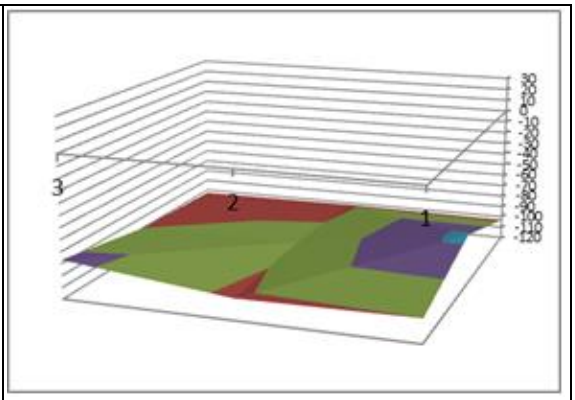
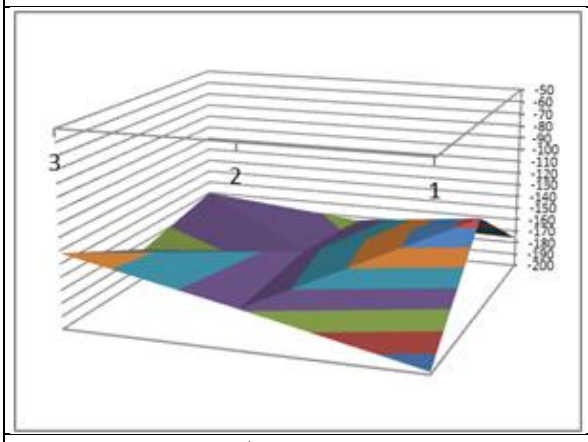
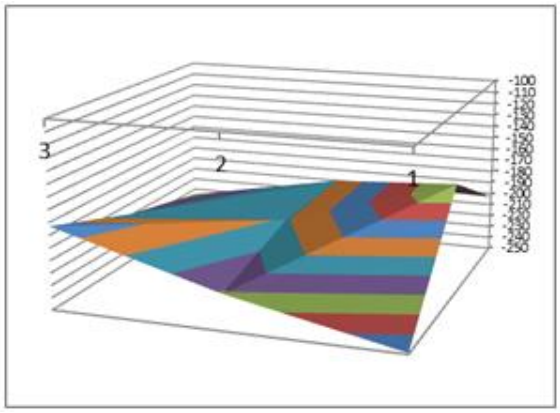
圖 2-11 顯微鏡下觀察分析細部流程

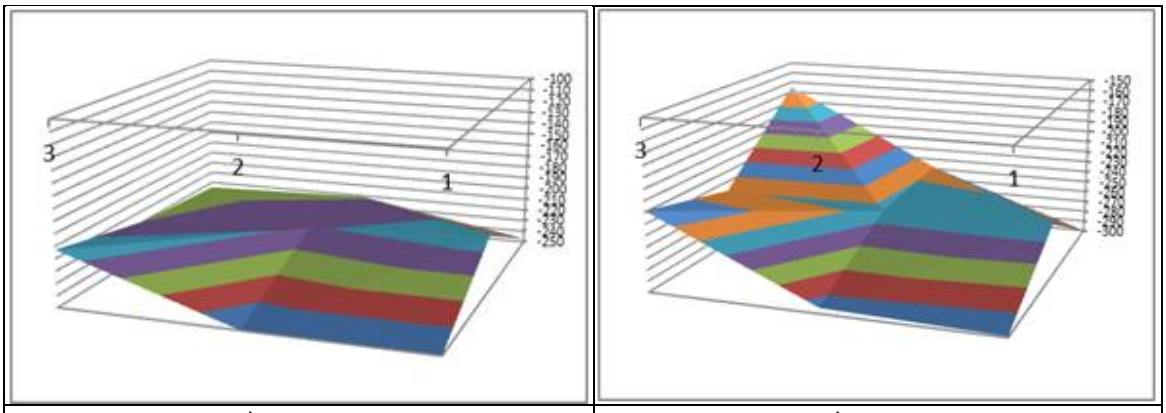
四、　研究結果與討論

(一)研究結果

1、沙丘外形監測：

本研究監測打管時間為 9 月 17 日(9 管)，並假設此時砂丘頂部為平坦的情況下，依據各觀測時間紀錄值(詳見附件一)，繪製成立體地形圖(各時間砂丘地形監測變化，如圖 3-1)。其中 10 月 31 日觀測紀錄時發現，砂丘頂部已做好草漯固砂工程，詢問當地工作人員，採樣研究區固砂工程完成時間為 10 月 30 日。

	
2011 年 9 月 22 日	2011 年 10 月 6 日
	
2011 年 10 月 20 日	2011 年 10 月 31 日



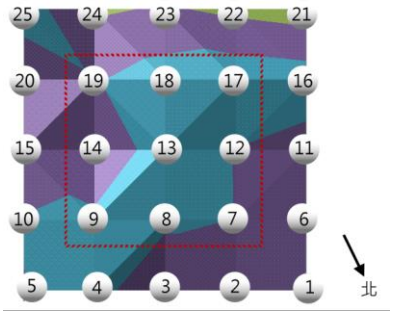
2011 年 11 月 30 日	2012 年 1 月 26 日

圖 3-1 砂丘地形監測變化圖(圖形前方為北偏東 26 度，圖形後方為南偏西 26 度)

由圖形可知研究區域砂丘頂部於 2011 年 9 月中旬後至隔年 1 月底砂丘大部分時間處於侵蝕狀態，由圖形變化大致可看出 9-10 月此砂丘侵蝕量較大的區域為西部(圖形右側，靠海一側)。11 月份南北侵蝕量增加，到 2012 年 1 月則東側(圖形左手邊)侵蝕量減少，西側則侵蝕量增加(圖形右手邊)。

2、沙丘表層沉積物粒度分布：

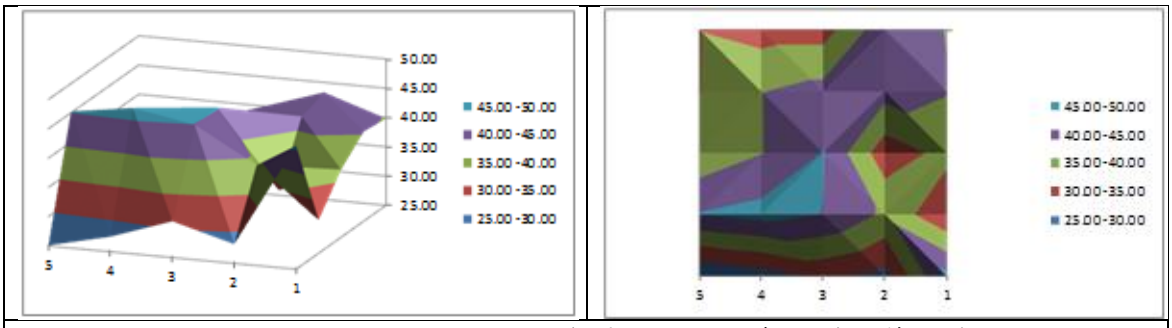
將沙丘頂部附近各採樣點表層沉積物進行過篩粒度分析，並計算出各粒度沉積物含量百分比後，將含量百分比數值輸入 EXCEL 表格中(表層各採樣點粒度分布，詳見附件二)，繪製成等值線圖及立體圖。其等值線圖與採樣點位置關係如圖 3-2 所示。



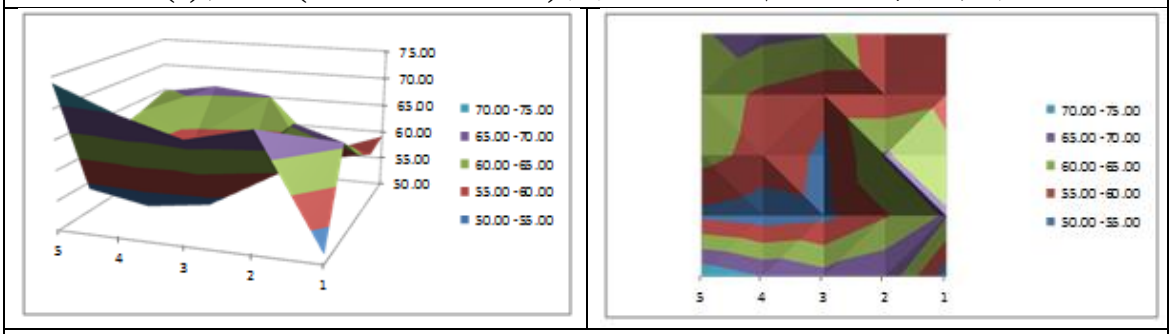
●紅虛線內為砂丘外形監測點位置

圖 3-2　採樣點與圖形位置關係圖

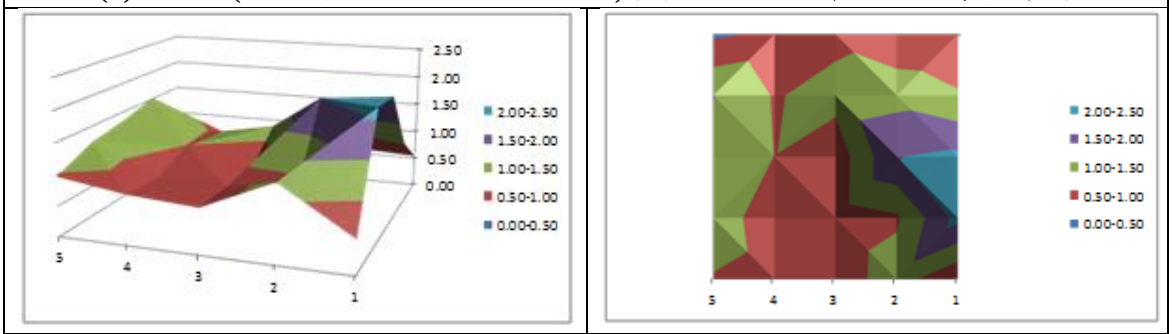
將沉積物中粗(粒徑大於 0.25mm)、中(粒徑介於 0.25mm-0.125mm)、細(粒徑介於 0.125mm-0.061mm)、極細顆粒(粒徑小於 0.061mm)含量百分比，繪製成含量分布立體圖及等值線圖，如圖 3-3 所示。



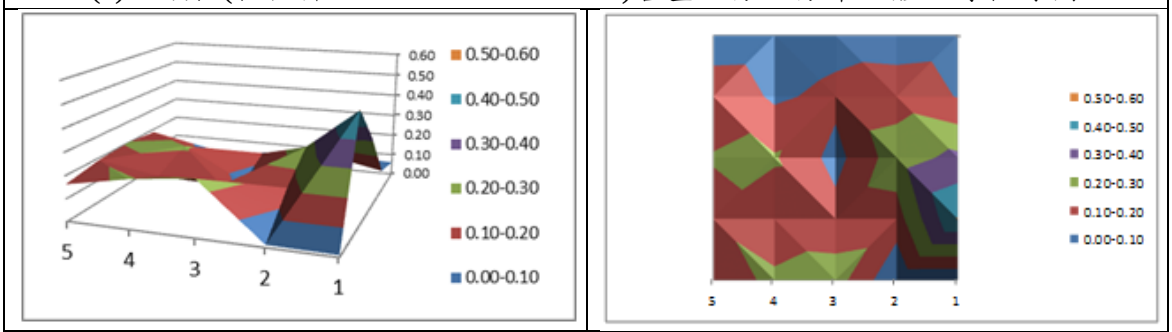
(a)粗顆粒(粒徑大於 0.25mm)含量百分比分布立體及等值線圖



(b)中顆粒(粒徑介於 0.25mm-0.125mm)含量百分比分布立體及等值線圖



(c)細顆粒(粒徑介於 0.125mm-0.061mm)含量百分比分布立體及等值線圖



(d)極細顆粒(粒徑小於 0.061mm)含量百分比分布立體及等值線圖

圖 3-3 各粒徑砂丘沉積物顆粒百分含量分布立體圖及等值線圖

由粒度分布圖形有以下發現：

(1)、粗顆粒分布：粗顆粒含量最多的位置在採樣點 8、9，最少點在採樣點 2、4、5。

(2)、中顆粒分布：中顆粒含量最多的位置在採樣點 4、5，最少點在採樣點 8、9。

(3)、細顆粒分布：細顆粒含量最多的位置在採樣點 6、11、12，最少點在採樣點 1、3、25。

(4)、特細顆粒分布：特細顆粒含量最多的位置在採樣點 6，最少點在採樣點 1、2、24、25。

●註：以下關於沉積物粒徑討論均以粗顆粒、中顆粒、細顆粒、極細顆粒四等級描述。各別代表粒徑 0.25mm 以上、0.25mm-0.125mm、0.125mm-0.061mm、0.061mm 以下四等級。

3、沙丘沉積物垂直粒度及磁鐵礦砂含量分析：

本研究採 9 管垂直分析粒度及磁鐵礦砂，以兩個篩網過篩後秤取各別篩網中沉積物重量，並計算含量百分比，其中粗顆粒為粒徑大於 0.25mm(60mesh)；中顆粒為粒徑介於 0.25mm(60mesh)到 0.125mm(120mesh)；細顆粒為粒徑 0.125mm(120mesh)以下。以下均以粗、中、細顆粒名稱進行粒度討論。

(1)、各管沉積物粗、細顆粒及磁鐵礦砂含量：

①粗顆粒含量百分比：粗顆粒含量百分比隨深度變化圖，如圖 5-4。可發現含量百分由 6%-60%不等，粗顆粒含量多區域分布 7、8、9 管。粗顆粒含量較少區域，分布 18、19 管較深區域。

②細顆粒含量百分比：細顆粒含量百分比隨深度變化圖，如圖 5-5。可發現含量百分由 0.4%-3%不等，細顆粒含量多區域分布 12、13、14 管上層。細顆粒含量較少區域，分布 7、8 管。

③磁鐵礦含量百分比：磁鐵礦含量百分比隨深度變化圖，如圖 5-6。可發現含量百分由 0.14%-1.1%不等，磁鐵礦含量多區域分布 12 管上層。

圖 3-4 粗顆粒沉積物含量百分比垂直分布圖

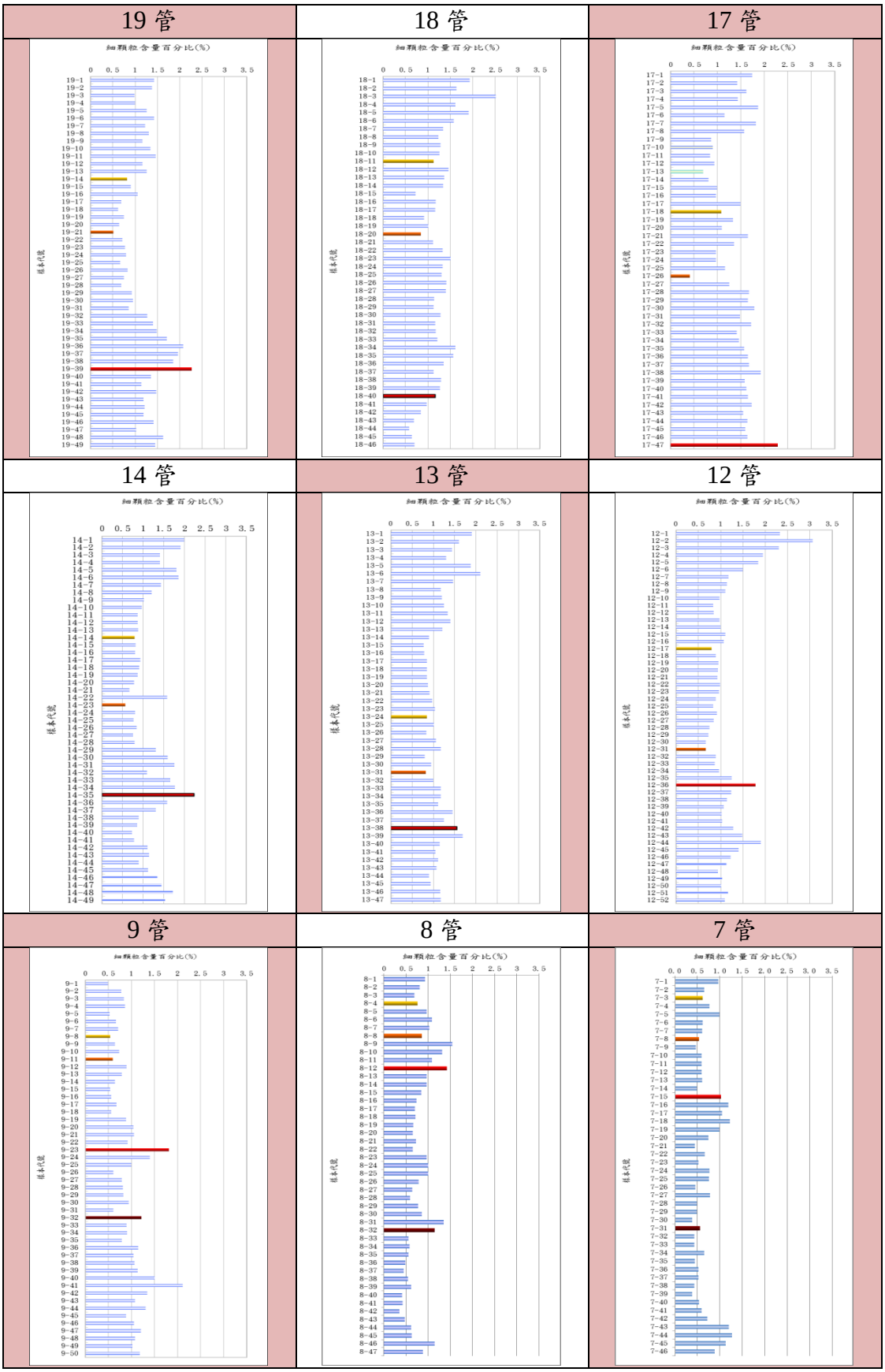


圖 3-5 細顆粒沉積物含量百分比垂直分布圖

圖 3-6 沉積物中磁鐵礦含量百分比垂直分布圖

4、顯微鏡下觀察分析：

(1)、垂直分層沉積物粒度分布：

表 3-1 為垂直九管沉積物粗顆粒(粒徑大於 0.25mm)重量百分比，將粗科粒重量百分比超過 40%的加粉紅色網底，低於 20%的樣本加藍色網底。

①粗顆粒含量超過 40%沉積物分布位置：可發現迎風面的第 7 管、第 8 管、第 9 管，沙丘迎風面區域粗顆粒含量明顯較其他幾管高，以第 7 管最多 46 個樣本中有 35 個樣本粗顆粒含量達 40%；而第 8 管粗顆粒含量較高沉積物，分布於下層(深度 36 公分以上)；第 9 管則分布於上層(深度 36 公分以內)；部分則零星出現在第 14 管、17 管、18 管、19 管。

②粗顆粒含量 20%以下沉積物分布位置：粗顆粒含量 20%以下沉積物主要出現在第 14 管、17 管、18 管、19 管底層(深度超過 50 公分)；並零星出現在第 9 管、12 管、13 管。

表 3-1 各管沉積物粗顆粒

第 7 管		第 8 管		第 9 管		第 12 管		第 13 管		第 14 管		第 17 管		第 18 管		第 19 管	
樣本代號	粗顆粒含量百分(%)	樣本代號	粗顆粒含量百分(%)	樣本代號	粗顆粒含量百分(%)	樣本代號	粗顆粒含量百分(%)	樣本代號	粗顆粒含量百分(%)	樣本代號	粗顆粒含量百分(%)	樣本代號	粗顆粒含量百分(%)	樣本代號	粗顆粒含量百分(%)	樣本代號	粗顆粒含量百分(%)
7-1	52.80	8-1	31.54	9-1	49.10	12-1	25.70	13-1	28.78	14-1	28.45	17-1	35.27	18-1	44.80	19-1	29.22
7-2	43.46	8-2	37.80	9-2	39.89	12-2	28.28	13-2	29.77	14-2	33.73	17-2	40.82	18-2	36.36	19-2	30.08
7-3	47.05	8-3	36.57	9-3	53.15	12-3	30.87	13-3	30.97	14-3	31.68	17-3	42.04	18-3	35.68	19-3	34.87
7-4	43.74	8-4	39.19	9-4	32.73	12-4	20.34	13-4	34.69	14-4	29.99	17-4	47.86	18-4	30.98	19-4	38.26
7-5	42.23	8-5	30.51	9-5	48.59	12-5	28.28	13-5	30.35	14-5	28.26	17-5	48.59	18-5	29.48	19-5	34.15
7-6	46.53	8-6	30.49	9-6	35.13	12-6	31.82	13-6	27.83	14-6	34.13	17-6	38.74	18-6	28.42	19-6	29.58
7-7	50.46	8-7	29.85	9-7	38.05	12-7	28.13	13-7	32.48	14-7	38.54	17-7	46.88	18-7	36.44	19-7	38.23
7-8	54.34	8-8	35.90	9-8	50.44	12-8	30.79	13-8	34.71	14-8	34.22	17-8	33.49	18-8	29.81	19-8	29.49
7-9	50.89	8-9	31.26	9-9	40.67	12-9	29.41	13-9	34.59	14-9	39.75	17-9	38.84	18-9	27.17	19-9	30.39
7-10	50.40	8-10	28.01	9-10	42.10	12-10	31.88	13-10	30.41	14-10	34.51	17-10	49.08	18-10	25.47	19-10	32.06
7-11	45.63	8-11	26.05	9-11	49.02	12-11	33.52	13-11	29.65	14-11	36.81	17-11	45.54	18-11	29.64	19-11	32.87
7-12	44.77	8-12	23.62	9-12	35.53	12-12	31.07	13-12	27.25	14-12	37.35	17-12	49.20	18-12	31.97	19-12	32.09
7-13	40.24	8-13	22.84	9-13	34.71	12-13	29.54	13-13	35.48	14-13	37.22	17-13	46.15	18-13	26.93	19-13	32.83
7-14	43.53	8-14	24.78	9-14	35.02	12-14	34.62	13-14	38.44	14-14	38.58	17-14	45.27	18-14	24.41	19-14	47.35
7-15	31.42	8-15	25.68	9-15	45.97	12-15	34.36	13-15	32.18	14-15	36.15	17-15	40.04	18-15	23.40	19-15	38.46
7-16	39.19	8-16	33.26	9-16	46.81	12-16	38.65	13-16	32.06	14-16	35.03	17-16	38.66	18-16	25.03	19-16	29.16
7-17	44.81	8-17	35.14	9-17	31.39	12-17	42.44	13-17	33.01	14-17	32.46	17-17	28.69	18-17	25.19	19-17	37.55
7-18	38.34	8-18	35.08	9-18	40.91	12-18	40.86	13-18	32.87	14-18	31.47	17-18	34.65	18-18	25.23	19-18	42.76
7-19	38.01	8-19	40.67	9-19	25.46	12-19	34.63	13-19	32.66	14-19	32.99	17-19	31.30	18-19	26.04	19-19	41.75
7-20	41.07	8-20	46.31	9-20	21.23	12-20	32.91	13-20	31.31	14-20	30.80	17-20	32.67	18-20	26.30	19-20	39.59
7-21	55.53	8-21	44.20	9-21	14.81	12-21	31.69	13-21	29.51	14-21	36.32	17-21	30.97	18-21	25.97	19-21	47.33
7-22	45.17	8-22	49.33	9-22	14.29	12-22	30.28	13-22	29.20	14-22	35.83	17-22	30.00	18-22	28.39	19-22	36.71

7-23	49.58	8-23	42.92	9-23	11.29	12-23	28.08	13-23	27.75	14-23	36.83	17-23	30.92	18-23	24.22	19-23	37.47
7-24	51.78	8-24	43.94	9-24	13.33	12-24	24.90	13-24	31.76	14-24	29.12	17-24	24.20	18-24	24.58	19-24	29.48
7-25	44.48	8-25	46.21	9-25	38.80	12-25	25.45	13-25	30.58	14-25	30.60	17-25	27.77	18-25	22.02	19-25	27.00
7-26	52.17	8-26	46.25	9-26	50.21	12-26	23.57	13-26	28.87	14-26	29.23	17-26	19.37	18-26	21.62	19-26	23.84
7-27	47.70	8-27	48.09	9-27	52.47	12-27	26.75	13-27	23.65	14-27	25.80	17-27	16.47	18-27	17.71	19-27	22.11
7-28	53.71	8-28	55.18	9-28	42.56	12-28	29.22	13-28	23.89	14-28	22.06	17-28	10.69	18-28	19.56	19-28	21.74
7-29	57.41	8-29	51.78	9-29	34.32	12-29	29.25	13-29	31.55	14-29	18.97	17-29	16.19	18-29	15.42	19-29	17.08
7-30	59.97	8-30	46.94	9-30	27.63	12-30	33.93	13-30	27.07	14-30	20.47	17-30	18.08	18-30	13.13	19-30	21.43
7-31	52.80	8-31	38.75	9-31	28.43	12-31	33.62	13-31	32.43	14-31	16.24	17-31	18.55	18-31	11.18	19-31	18.26
7-32	59.76	8-32	30.92	9-32	14.99	12-32	35.36	13-32	28.27	14-32	12.97	17-32	16.21	18-32	11.94	19-32	21.34
7-33	58.47	8-33	40.49	9-33	27.27	12-33	28.89	13-33	28.45	14-33	10.92	17-33	22.78	18-33	11.51	19-33	18.56
7-34	52.84	8-34	39.18	9-34	33.91	12-34	26.43	13-34	21.22	14-34	9.93	17-34	22.91	18-34	9.74	19-34	15.14
7-35	58.10	8-35	39.62	9-35	28.74	12-35	24.88	13-35	20.76	14-35	14.09	17-35	17.93	18-35	9.13	19-35	13.77
7-36	50.50	8-36	47.08	9-36	24.26	12-36	17.63	13-36	17.55	14-36	35.35	17-36	16.99	18-36	9.93	19-36	8.79
7-37	54.14	8-37	48.98	9-37	25.37	12-37	26.12	13-37	19.07	14-37	41.39	17-37	15.56	18-37	10.44	19-37	7.33
7-38	47.56	8-38	44.03	9-38	27.57	12-38	27.62	13-38	14.93	14-38	41.29	17-38	14.58	18-38	8.40	19-38	9.04
7-39	44.46	8-39	42.10	9-39	22.08	12-39	30.73	13-39	21.17	14-39	41.67	17-39	20.02	18-39	6.77	19-39	10.59
7-40	35.67	8-40	51.94	9-40	27.74	12-40	29.88	13-40	31.28	14-40	44.38	17-40	20.03	18-40	9.18	19-40	27.65
7-41	35.01	8-41	53.05	9-41	12.12	12-41	30.73	13-41	38.52	14-41	42.02	17-41	18.38	18-41	12.88	19-41	25.12
7-42	30.51	8-42	54.21	9-42	20.89	12-42	27.46	13-42	30.30	14-42	30.65	17-42	18.13	18-42	25.45	19-42	28.44
7-43	25.69	8-43	49.00	9-43	28.77	12-43	25.84	13-43	31.80	14-43	27.62	17-43	19.72	18-43	38.00	19-43	30.22
7-44	30.03	8-44	44.62	9-44	27.66	12-44	23.37	13-44	38.25	14-44	38.60	17-44	20.21	18-44	48.18	19-44	27.66
7-45	33.07	8-45	49.84	9-45	33.88	12-45	23.59	13-45	37.20	14-45	26.94	17-45	18.58	18-45	41.74	19-45	24.63
7-46	36.21	8-46	36.49	9-46	35.03	12-46	28.82	13-46	28.48	14-46	15.41	17-46	15.61	18-46	34.17	19-46	19.30
		8-47	35.10	9-47	22.98	12-47	27.86	13-47	31.44	14-47	15.73	17-47	12.78			19-47	20.96
				9-48	38.11	12-48	31.33			14-48	12.30					19-48	19.65
				9-49	41.20	12-49	30.32			14-49	18.30					19-49	19.04
				9-50	41.37	12-50	29.46										
						12-51	27.37										
						12-52	31.63										

註 1：各管相對位置示意圖如下：●註 2：粗框線樣本為選定顯微鏡下觀察樣本

(2)、顯微鏡下觀測沉積物：

①選定觀察樣本：

選定樣本區分為粗顆粒沉積物含量 40%以上、30%-40%間、20%以下三組。選定樣本及粗顆粒含量分布如表 3-2。

表 3-2 顯微鏡下觀測樣本粗顆粒含量表

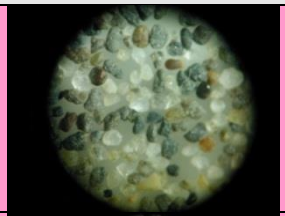
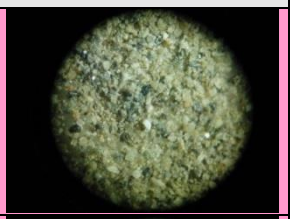
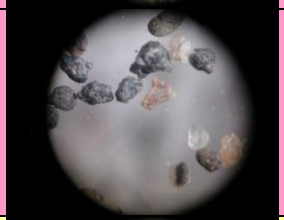
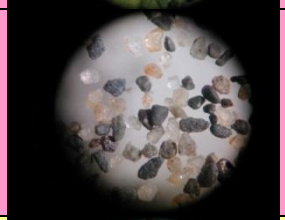
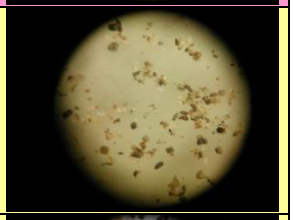
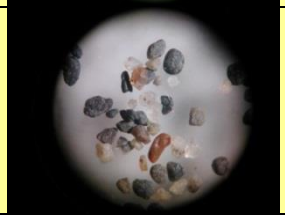
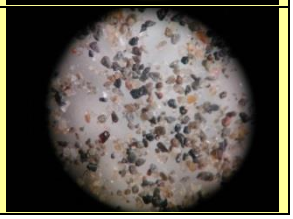
粗顆粒含量分布	40%以上	30%-40%間	20%以下
樣本編號	17-12、18-44	9-6、18-3	9-23、9-41、17-28、17-47

②顯微鏡下分別觀察粗、中、細沉積物：

分別在顯微鏡下觀測粗、中、細沉積物，結果如圖 3-7。可發現此區風成沙丘沉積物主要內含物為石英、頁岩碎屑、生物碎屑及一些不透明金屬礦物。比較粗顆粒含量不同樣本，可發現兩個差異性，以下說明：

●顯微鏡下細顆粒部分：可見粗顆粒較多的樣本，細碎顆粒較少，粗顆粒含量較少，細碎顆粒較多。符合營力大粗顆粒含量多，細顆粒含量少的原則。因風營力大時粗顆粒多，細顆粒易受風營力吹走，造成細碎屑也較少。

●顯微鏡下粗顆粒部分：粗顆粒含量較少的樣本，粗顆粒沉積物較常出現不規則形狀，如橢圓、角粒等。但粗顆粒含量較多的樣本，粗顆粒沉積物較為渾圓。至於原因為何需更多學理上的研究。

粗顆粒含量分布	樣本	粗顆粒 (粒徑大於 0.25mm)	中顆粒 (粒徑介於 0.25 至 0.125mm)	細顆粒 (粒徑小於 0.125mm)
40%以上	17-12			
	18-44			
30%-40%間	9-6			
	18-3			

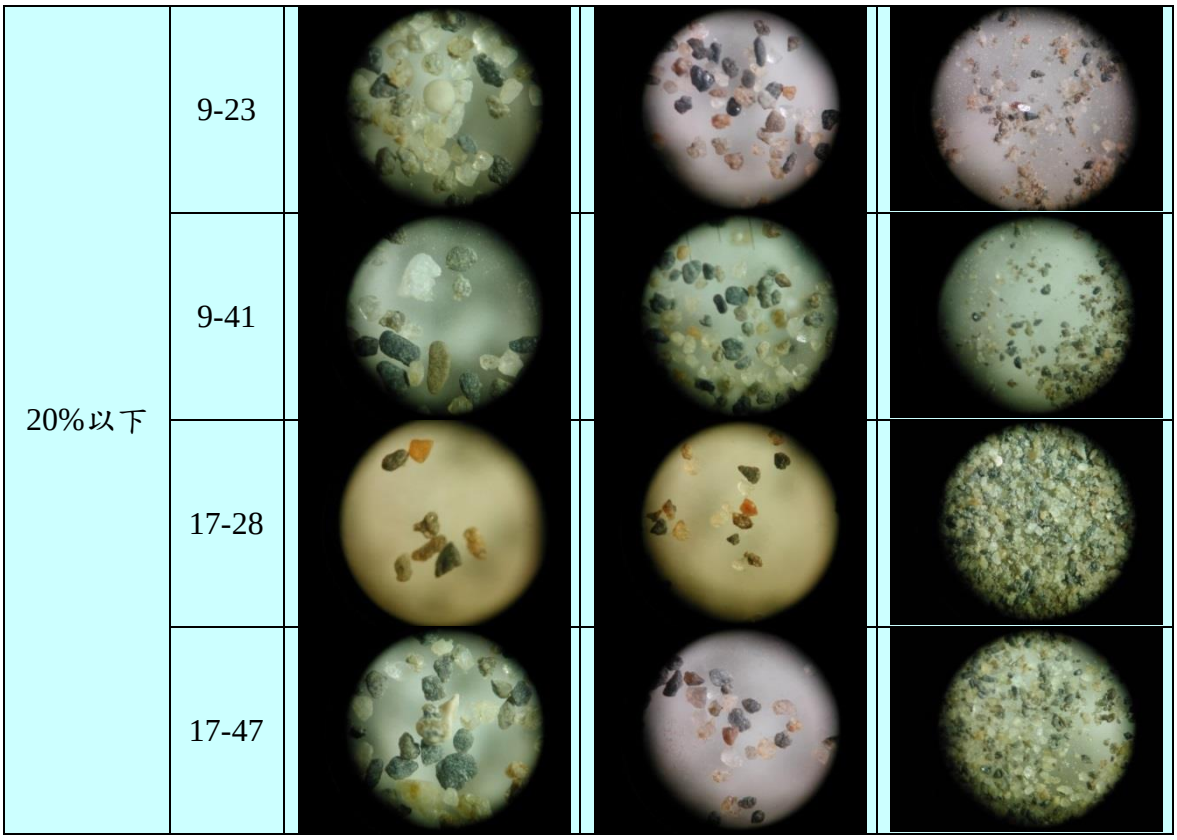
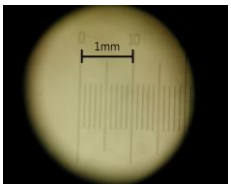


圖 3-7 不同粗顆粒含量沉積物顯微鏡下比較圖

●註：顯微鏡下比例尺。



(二)、討論

1、沙丘外形監測，推論沙丘侵蝕地形變化：

(1)、砂丘外形變化趨勢：

2011 年 9 月 17 日開始打管監測，由於此時砂丘頂部並不平整，實地觀察 2011 年 10 月 20 日砂丘頂部幾乎是平坦的，監測九點幾乎一樣高(圖 3-8)，故選定 2011 年 10 月 20 日設定此時地表深度為 0，分析各時期砂丘外形變化。

圖 3-8 2011 年 10 月 20 日採樣點砂丘頂部照片

且由於研究之砂丘在冬季初期有草漯固砂工程(採樣地點完成固砂工程為 10 月 30 日)，所以砂丘外形變化可分為固砂工程前及固砂工程後兩個時期討論以下說明。

(2)、固砂工程前砂丘外形變化：

固砂工程前以 10 月 20 日砂丘高度為 0 作基準，砂丘地形變化，如圖 3-9。

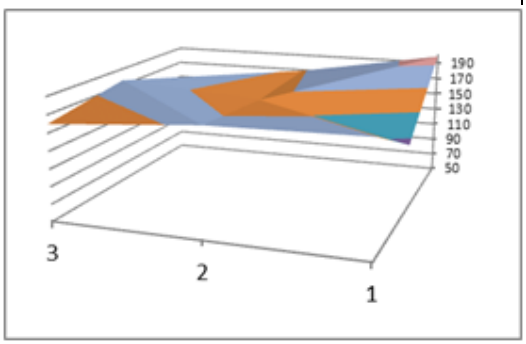
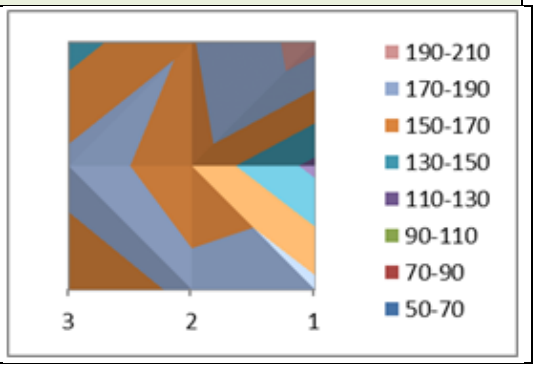
時間	立體圖	等高線圖*
9 月 17 日		

圖 3-9(a) 固砂工程前三個觀測時間砂丘外形立體及等高線圖

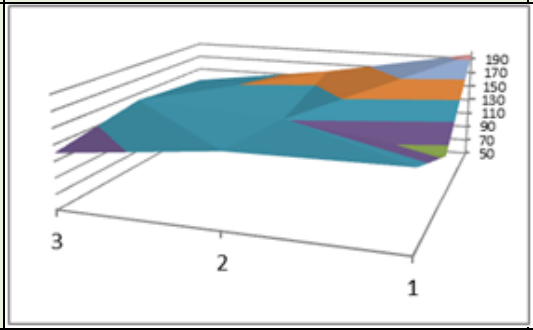
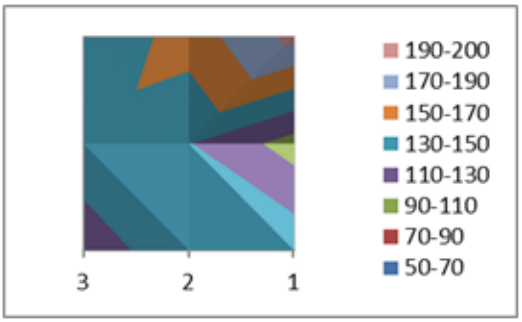
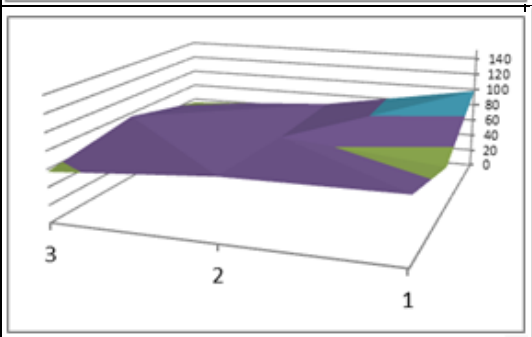
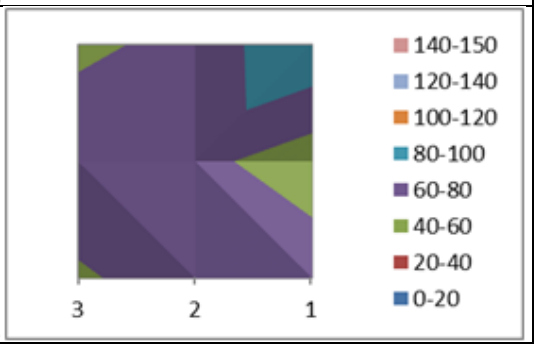
時間	立體圖	等高線圖*
9 月 22 日		
10 月 6 日		

圖 3-9(b) 固砂工程前三個觀測時間砂丘外形立體及等高線圖

(假設 10 月 20 日砂丘表層高度為 0；圖形前方為北偏東 26 度，
圖形後方為南偏西 26 度)

- 註：等值線中採樣點代表位置請下圖：

由圖 3-9 可見 9 月 17 日砂丘頂部地形有小區域起伏，起伏並不大，西南(等高線右上方，17 管位置)地勢較高，但西側出現凹陷地形(12 管位置)。到 9 月 22 日地形仍有區域起伏更大，西南部(第 17 管位置)仍屬高區。10 月 6 日趨勢相同，西南部(等高線右上方，17 管位置)相對其他各點地勢仍然較高。

依據中央氣象局觀音測站日平均風速及風向資料，9 月份吹東北風的天數占 73%、西北風占 7%；10 月份吹東北風天數占 100%。故砂丘主要受風方向應為東北部(即等高線圖之下方，7、8、9 管位置)，形成西南部(等高線右上，17 管位置)較東北部(等高線左下，9 管位置)地勢高。而西部凹陷地形可能與區域風場與砂丘

地形有關，形成原因因目前資料不足，在進行沉積物垂直粒度分析後，進行討論。由故砂工程前三監測地形外形一致，可知當沒有地形、工程影響的情況下，原始砂丘外形。

(3)、固砂工程後砂丘外形變化：

固砂工程後以 10 月 20 日砂丘高度為 0 作基準，砂丘地形變化，如圖 3-10。

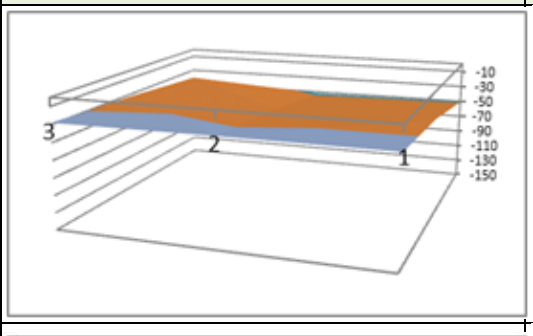
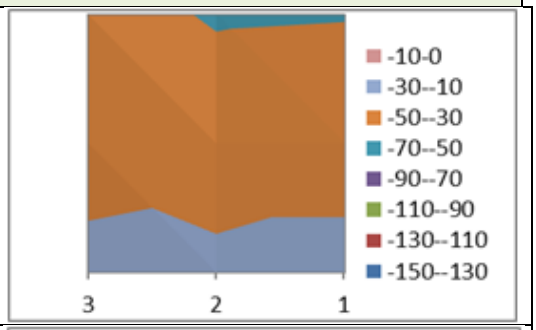
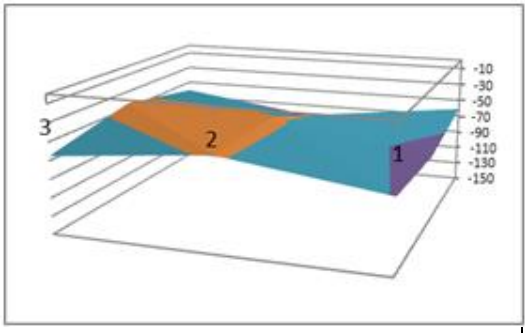
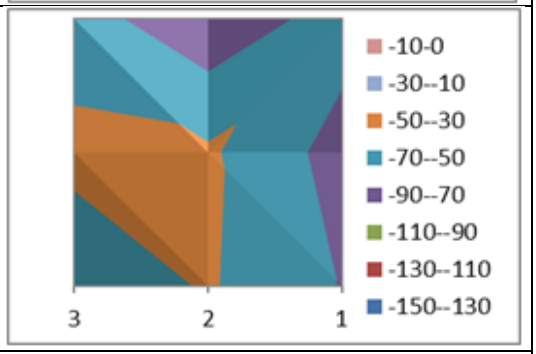
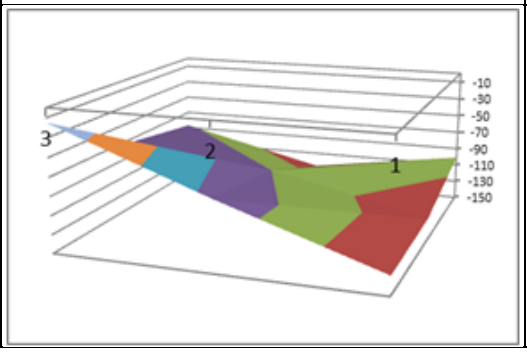
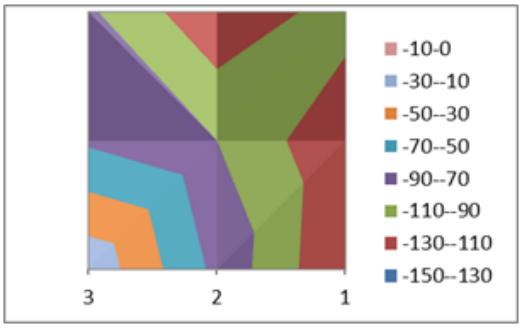
時間	立體圖	等高線圖
10 月 31 日		
11 月 30 日		
1 月 26 日		

圖 3-10 固砂工程後三個觀測時間砂丘外形立體及等高線圖

- 註：等值線中採樣點代表位置請下圖：

由圖可發現 10 月 31 日砂丘頂部地勢平坦，但可見北方(等高線下方，7、8、9 管)地勢逐漸增高。之後雖砂丘侵蝕作用持續，但東部、東北部(圖形左側，9、14、19 管)區域地勢逐漸明顯相對增高，西部(圖形右側，7、12、17 管)侵蝕量高於東部(圖形左側，9、14、19 管)。明顯和固砂工程前地形不同，可見故砂工程對砂丘營力變化的確有影響。

依據中央氣象局觀音測站日平均風速及風向資料，11 月份吹東北風的天數占 74%，其餘為東南風占 26%；12 月份吹東北風天數占 97%，僅有一天吹西南風。風向變化條件與 9 月、10 月相近，為何主要地形高區由西部(右側，7、12、17 管)改為東部(左側，9、14、19 管)，可能與固砂工程有關。

且在 1 月 26 日實地觀測可發現，第 9 管位置凸起形成砂丘(圖 6-4)，與本監測地形結果相符，甚至覆蓋過固砂工程，可見固砂工程之效果。

圖 3-11 2012 年 1 月 26 日觀察堆積出之砂丘

(4)、砂丘頂部各觀測點侵蝕速率：

砂丘頂部九管各時期侵蝕深度及平均速率，如附錄三。將各觀測點在各時期繪製成等值圖，如圖 3-12。

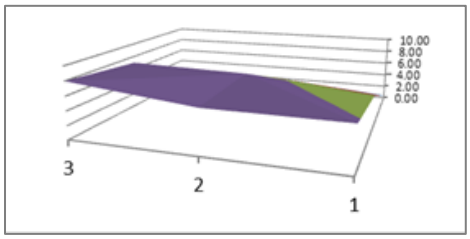
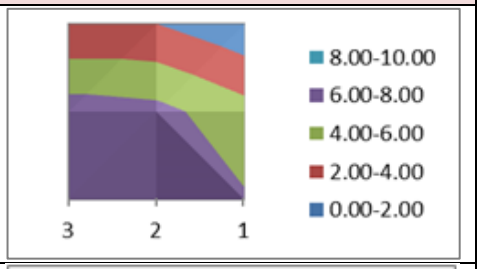
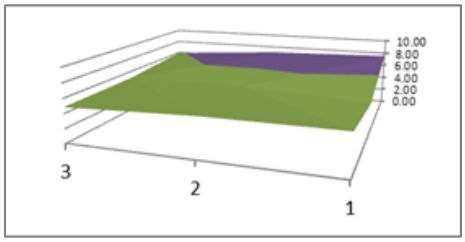
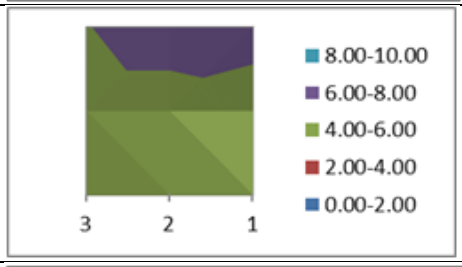
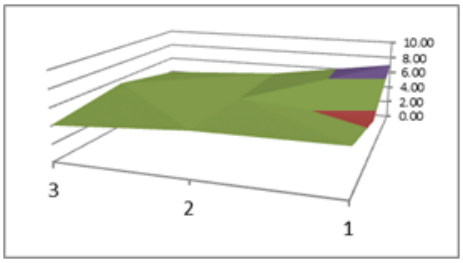
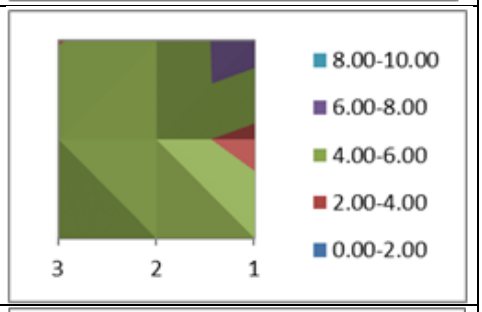
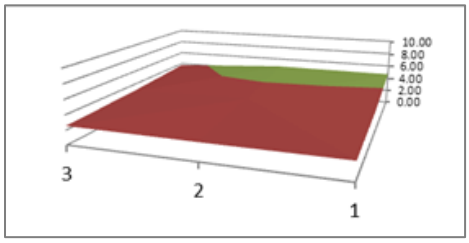
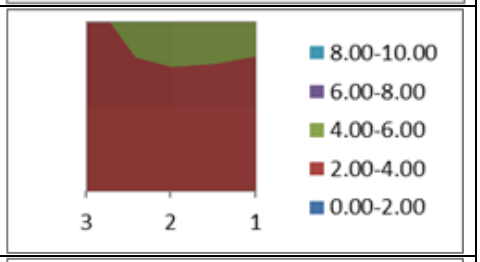
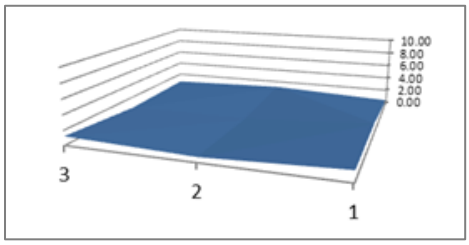
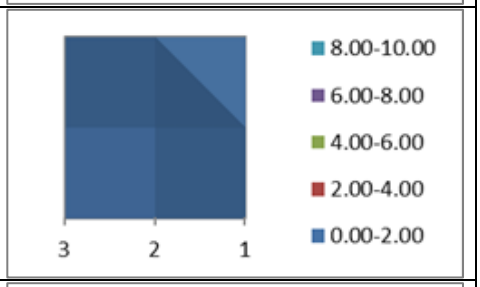
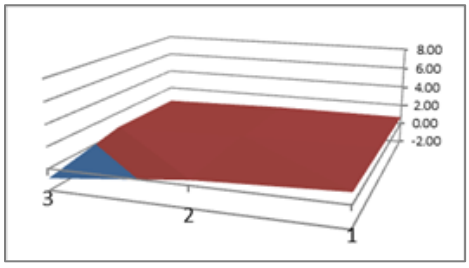
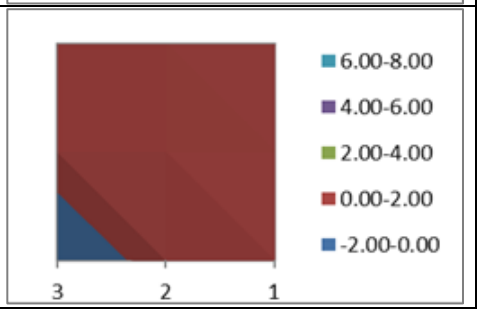
時間	侵蝕速率立體圖(公分/天)	侵蝕速率等值線圖(公分/天)
9.17-9.22		
9.22-10.6		
10.6-10.20		
10.20-10.31		
10.31-11.30		
11.30-1.26		

圖 3-12(a) 各時期觀測點侵蝕速率立體圖及等值線圖

- 註：等值線中採樣點代表位置請下圖：

①侵蝕速率隨時間變化原因探討(見圖 3-12)：

由圖 6-5 可發現 9 月及 10 月砂丘侵蝕速率最大，侵蝕速率主要分布在 2-6 公分/天。11 月及 12 月侵蝕速率明顯下降，侵蝕速率主要分布在 0-2 公分/天。

依據中央氣象局觀音測站日平均風速資料 8 月份平均風速為 151 公分/秒、9 月份平均風速為 191 分/秒、10 月份為 250 公分/秒、11 月份為 270 公分/秒、12 月份為 355 公分/秒。風速越大侵蝕速率應加大，但是由各時期侵蝕速率可發現，單日平均侵蝕量最大時期出現在 9 月到 10 月間，可達 6 公分/天以上。10 月底(10 月 20 日後)侵蝕速率明顯下降至 4-6 公分/天，12 月份間甚至出現堆積。推論其原因，可能與地形高度與固砂工程有關，論述如下：

●地形高度的影響：

由於 9 月中的砂丘高度較高，地面風受摩擦力影響較小，故砂丘頂部風速較大，到了 10 月中旬之後可見侵蝕速率逐漸減緩，此時仍在固砂工程施做前，可能因為侵蝕作用造成砂丘高度降低，地面摩擦力增加，風速減慢，造成侵蝕速率因此下降。

●固砂工程影響：

10 月 30 日砂丘頂部固砂工程完成，儘管此區域平均風速仍然增強，但其後的侵蝕速率明顯下降，甚至出現堆積情況，由此可證明故砂工程確實達到效果。

●小區域地形影響：

故砂工程前區域地形凹陷處出現在 12 管位置(圖右中位置)，造成侵蝕速度較慢，故 9 月 17 日至 9 月 22 日及 10 月 6 日到 10 月 20 日間，可見圖形右側侵蝕速率較左側低的現象，可能與小區域地形有關。

②侵蝕速率的空間、時間變化(見圖 3-12)：

由圖可知 9 月 17 日至 9 月 22 日期間侵蝕區主要為砂丘東北側區域(等值圖左下方，第 9 管位置)，但是 9 月 22 日後到 10 月底，侵蝕區轉移至砂丘西側及西南(等值圖右上方，17 管位置)。推論可能和地形有關，依據監測資料圖 6-2，9 月 17 日、9 月 22 日、10 月 6 日地形可見西南側(圖形右後方)地勢較高，易受侵蝕，可能因此砂丘侵蝕速率較快。固砂工程完工(10 月 30 日)後侵蝕速率在各觀測點均下降至 2 公分/天以下，甚至發生堆積狀況，代表固砂工程產生效果。

(5)、由侵蝕地形監測，推斷侵蝕時沙丘地形變化：

由各時期侵蝕速率(圖 3-12)及各時期侵蝕地形(圖 3-9、圖 3-10)，以 10 月 20 日為水平面，推斷沙丘各時期外形剖面變化，如圖 3-13。可知砂丘在東北季風來臨初期侵蝕以迎風面侵蝕速率較大，9 月 22 日至 10 月 20 日風向後方侵蝕加劇，到 10 月 20 日砂丘頂部趨於平坦。而後侵蝕速率減慢，更因固砂工程侵蝕速率驟減，於隔年 1 月 26 日甚至出現堆積情況。

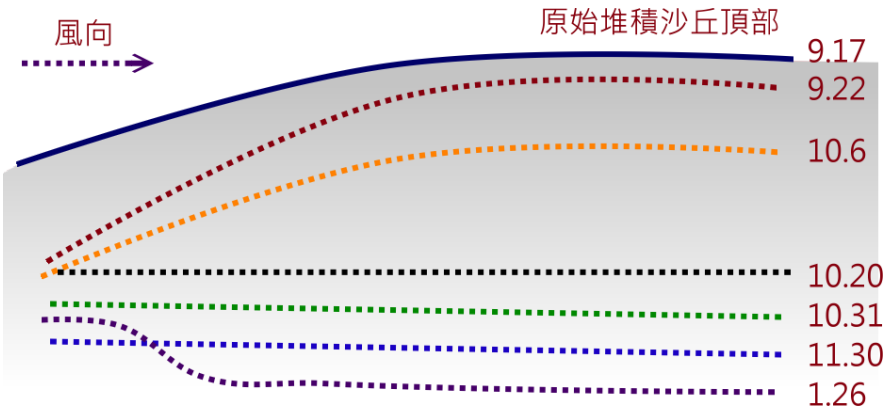


圖 3-13 沙丘侵蝕地形演變示意圖

2、砂丘表層粗細顆粒沉積物粒度分布探討，推論營力變化：

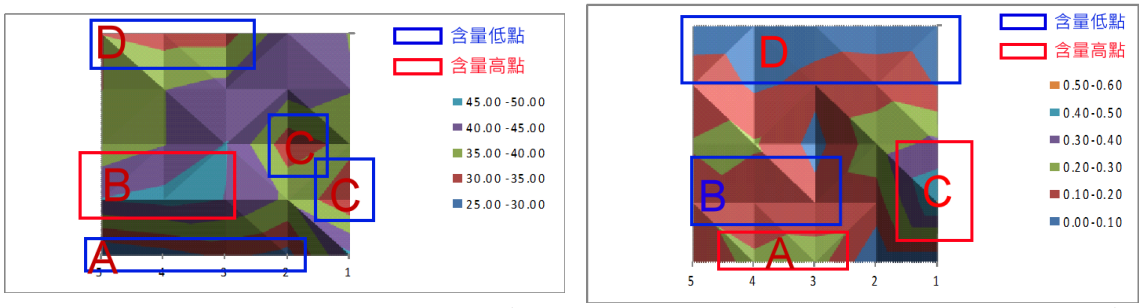
依據表層粗顆粒及極細顆粒沉積物含量分布等值線圖，圖 3-3(a)、(d)作比對，製成圖 3-14，可將表層粒度區分為圖中 A、B、C、D 區進行分析，A 區為迎風區、D 區為背風區。分析如下：

(1)沉積風速判定：依據沉積物粒度，分布大致可推測沉積時風速，區分為三種狀況：

①.粗顆粒含量相對高、細顆粒含量相對低：風速大且穩定。

②.粗顆粒含量相對低、細顆粒含量相對高：風速小且穩定。

③.粗顆粒含量相對低、細顆粒含量相對低：顆粒集中中顆粒，粗、細顆粒均少。無法單純由顆粒分布，了解風速大小。



(a)粗顆粒(粒徑大於 0.25mm)含量百分分布　(b)極細顆粒(粒徑小於 0.061mm)含量百分分布

圖 3-14 砂丘表層粗、特細沉積物含量分布等值線圖

(2)、砂丘表層各區沉積物粒度分布判斷風速大小：

依據表層粗顆粒及極細顆粒沉積物含量分布等值線圖(圖 3-14)，可見 A 區粗顆粒少、細顆粒多，代表風小且穩定；B 區粗顆粒多、細顆粒少，代表風大且穩定；C 區粗顆粒少、細顆粒多，代表風小且穩定；D 區粗細顆粒均少，顆粒集中中顆粒，無法直接判斷風場變化。

(3)、推測砂丘頂部風場情況：

C 區風速小，可能與地形因素有關，如圖 3-9，最接近表層採樣時間 9 月 17 日地形(採樣時間 9 月 15 日)，可發現 C 區位於地形凹陷處，可能因地面摩擦因素造成造成風速較低，細顆粒沉積物相對較多。而 A、B、D 三區情況推測，如圖 3-15。其中採樣 D 區接近滑落面，推斷風吹沉積物由沙丘頂部順風向後掉入滑落面，猜測 D 區沉積物為滑落面堆積造成。

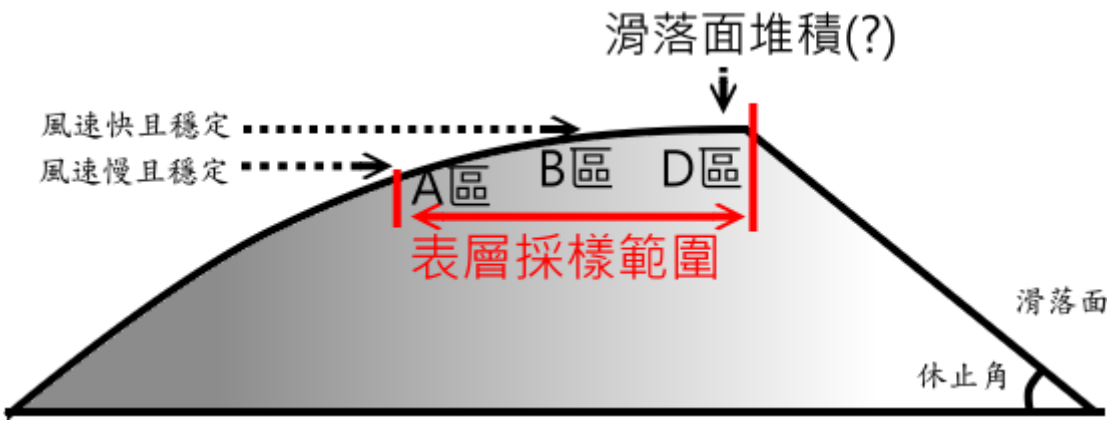


圖 3-15 砂丘表層風速分布推測圖

(4)、砂丘滑落面的沉積物：

2011 年 9 月 15 日採樣滑落面沉積物(表層採樣樣本 27)，粒度與表層採樣 27 個樣本平均作比較，如表 3-3。可發現滑落面沉積物中顆粒含量多，粗、細顆粒含量均少，中顆粒含量特多，且含量與平均值差異均超過一個標準差，與圖 3-14D 區特性相似，故 D 區可能為砂丘滑落面的沉積物。

表 3-3 砂丘滑落面沉積物與表層沉積物粒度分布百分比較表

	粗顆粒百分比	中顆粒百分比	細顆粒百分比	特細顆粒百分比
滑落面沉積物(樣本 27)	21.42%	77.60%	0.76%	0.02%
表層沉積物平均	37.06%	61.28%	1.05%	0.14%
表層沉積物粒度分布標準差	6.70%	6.47%	0.47%	0.11%

3、沙丘沉積物垂直粒度及磁鐵礦砂含量分析：

(1)、利用粒度及磁鐵礦含量區分特殊層位：

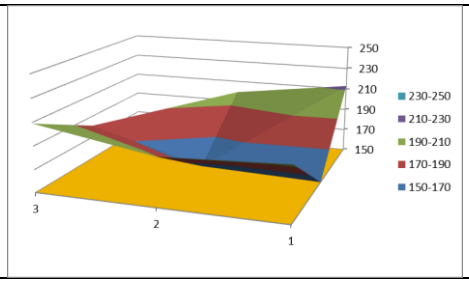
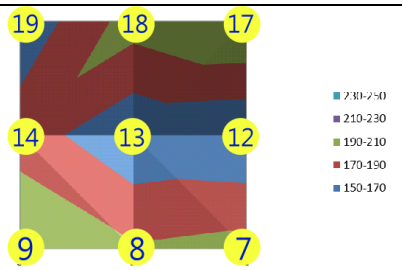
利用沉積物粗、細顆粒及磁鐵礦砂含量變化趨勢，可找出數個特殊沉積層，特徵如表 3-4。並將特殊層位置標示在圖 3-4、圖 3-5、圖 3-6 中。

表 3-4 特殊層特點說明表

層	特點	完全符合管	代表顏色
第一層	粗顆粒含量相對多、細顆粒含量相對少、磁鐵礦砂含量少。代表風速大且穩定。	除 19、14 管磁鐵礦砂含量不符外，其它符合。	
第二層	粗顆粒含量相對多、細顆粒含量相對少、磁鐵礦砂含量少。代表風速大且穩定。	17 管細顆粒及磁鐵礦砂含量不符，其它符合。	
第三層	粗顆粒含量相對少、細顆粒含量相對多、磁鐵礦砂含量多。代表風速小且穩定。	除 7、8、9 管磁鐵礦砂含量不符外，其它符合。	
第四層	粗顆粒含量相對少、細顆粒含量相對多、磁鐵礦砂含量多。代表風速小且穩定。	僅 7、8、9 管有此層，均符合特點。	

(2)、垂直粒度分層變化分析：

若以 2011 年 10 月 20 日砂丘為水平面基準，將垂直粒度分析特殊層面深度，繪製成立體層面圖，如圖 3-16 所示，發現如下：

層面	立體層面圖	等深線圖
第一層 (黃色層)		

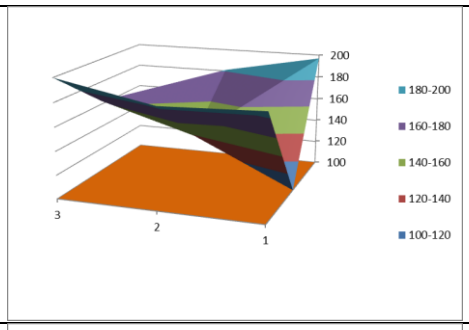
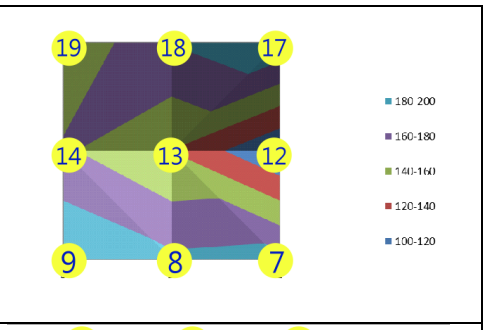
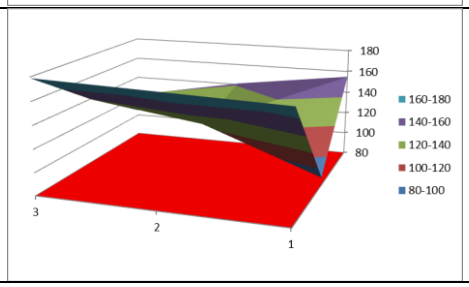
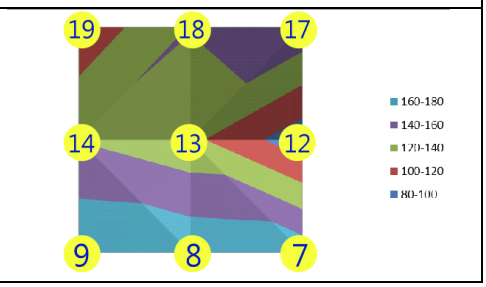
<table>
<tr><td>第二層
(橘色層)</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>第三層
(紅色層)</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
</table>

圖 3-16 特殊層位立體及等深線圖

①沉積時地形變化：

●推測此區平衡時沙丘外形：

由圖 6-9 發現此區在三個沉積層面 17 管、9 管位置各有一個相對高點，而中間 12 管、13 管處，有明顯凹陷地形可能為砂丘滑落面。依據先前砂丘地形監測研究也可發現，在固砂工程前砂丘地形，也有在 17 管位置高起，在 12 管、13 管位置凹陷的現象，可能代表砂丘平衡外形就是如此。

●侵蝕與沉積時沙丘地形變化：

沉積地層與侵蝕時砂丘地形不同之處有二，一是 9 管堆積時地形較高聳，二是 12、13、14 管凹陷地形，明顯較侵蝕時地形凹陷更明顯，可能代表著砂丘最先堆積的位置在 9 管位置。此現象與 2012 年 1 月 26 日測量砂丘地形變化類似，9 管位置堆積出大砂丘現象一致(見圖 3-11)，而後方 12 管、13 管、14 管位置可能為在此時位於砂丘滑落面。

②砂丘堆積層位變化：

砂丘沉積物堆積程序為由下向上堆積，故堆積層形成為紅色層、橘色層、黃色層，如圖 3-16。可發現堆積的初期，沙丘沉積物堆積於迎風面(第 7、8、9 管位置)，由於背風後段(第 17 管位置)有一高起地形，故中央形成凹陷，隨時間滑落面逐漸填滿，中央凹陷處逐漸趨於平坦，故推測滑落面堆積後移而地形趨於平坦，如圖 3-17。

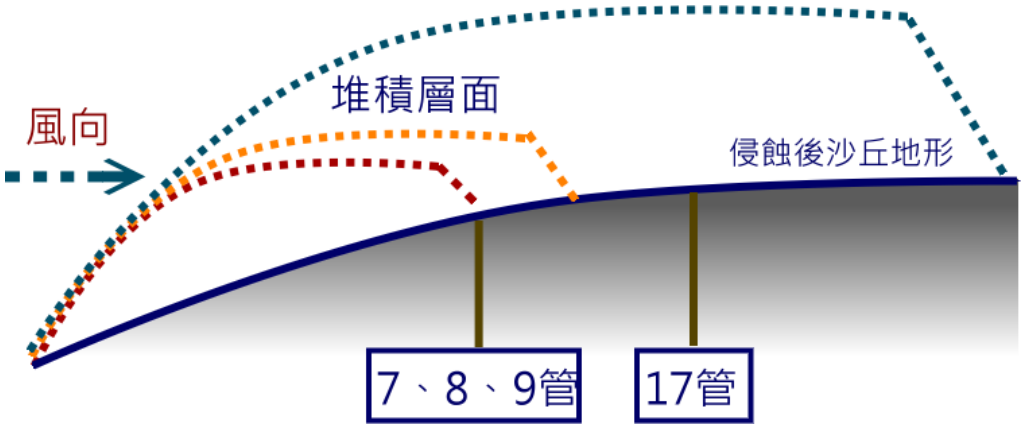


圖 3-17 沙丘沉積地形演變示意圖

4、垂直取樣沉積物粗細顆粒相關係數分析：

(1)、相關係數等值圖繪製：

將垂直取樣 9 管的沉積物，以 2 公分為厚度單位，取出沉積物進行過篩分析後，可求得各樣本粗、中、細顆粒含量百分。將粗、細顆粒含量百分比，以各管作單位，作相關係數對比(註)，並依據相對位置繪製成等值圖，如圖 3-18。

●註：相關係數

相關係數主要用於判斷兩者內容之間的關係。例如，可以檢測某一區域的平均氣溫與所使用的空調設備之間的相關性。

相關係數的絕對值不超過 1。當兩個變數的線性關係增強時，相關係數趨於 1 或-1。當一個變數增加而另一變數也增加時，相關係數大於 0，為正相關。當一個變數的增加而另一變數減少時，相關係數小於 0，為負相關。

(2)、粗、細顆粒間相關係數高低代表意義：

一般而言，粗、細顆粒含量受營力大小影響，當風速大且穩定時，粗顆粒多、細顆粒少；風速小且穩定時，細顆粒多、粗顆粒少，為負相關性，且相關係數絕對值高。但是當風速強弱變化大，或淘選度低時，相關係數絕對值偏低。

由圖 3-18 發現，18 管沉積物粗、細顆粒間相關係數絕對值偏低，代表 18 管及周邊淘選度低。由於滑落面為重力滑落造成，淘選度低，可能代表 18 管週邊應為滑落面沉積物。

19 管	18 管	17 管
-0.68	-0.02	-0.48
14 管	13 管	12 管
-0.53	-0.36	-0.40
9 管	8 管	7 管
-0.72	-0.69	-0.69

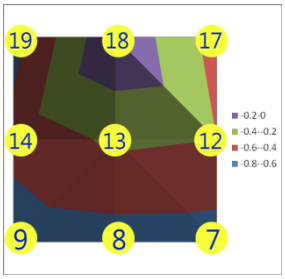


圖 3-18 各管垂直沉積物粗、細顆粒間相關係數值圖

●註：表格中白底為低度相關，淺藍底為中度負相關，藍底為高度負相關。

(3)、磁鐵礦砂與沉積物顆粒間相關係數分析：

將垂直取樣 9 管的沉積物，以 2 公分為厚度單位，取出沉積物進行過篩分析後，可求得各樣本粗、中、細顆粒含量百分；又經磁鐵吸引磁鐵礦，計算出磁鐵礦含量百分。將粗、中、細顆粒含量百分比對磁鐵礦砂含量，以各管作單位，作相關係數對比，各管相關係數值，如表 3-5。發現如下：

表 3-5 各管垂直沉積物粗、中、細顆粒與磁鐵礦砂含量相關係數值表

粗顆粒與磁鐵礦砂			中顆粒與磁鐵礦砂			細顆粒與磁鐵礦砂		
19 管	18 管	17 管	19 管	18 管	17 管	19 管	18 管	17 管
0.07	0.45	0.21	-0.09	-0.47	-0.21	0.43	0.72	0.11
14 管	13 管	12 管	14 管	13 管	12 管	14 管	13 管	12 管
-0.09	0.13	-0.17	0.05	-0.18	0.08	0.73	0.77	0.87
9 管	8 管	7 管	9 管	8 管	7 管	9 管	8 管	7 管
-0.39	0.13	0.16	0.38	-0.14	-0.18	0.43	0.33	0.18

●註：相關係數依據其相關性分為值大於 0 的正相關、小於 0 的負相關，相關性高低則區分為 0<相關係數絕對值<0.3 為低度相關，0.3<相關係數絕對值<0.7 為中度相關，0.7<相關係數絕對值<1 為高度相關(維基百科)。將上表相關性加入底色分析，黃色代表中度正相關、紅色代表高度正相關、淺藍色代表中度負相關、無底色代表低度相關。

①各管粗、中、細顆粒與磁鐵礦砂含量相關係數值：由表 3-5 可發現粗顆粒在 18 管位置，磁鐵礦含量與粗顆粒含量達中度正相關，代表粗顆粒含量越多，磁鐵礦含量越多；在第 9 管達中度負相關，代表粗顆粒越多，磁鐵礦含量越少，而中顆粒含量狀況正好相反。細顆粒沉積物，磁鐵礦含量與粗顆粒含量除第 7 管及 17 管外均達中度正相關以上，其中 12 管、13 管、14 管、18 管更達高度相關，代表細顆粒沉積物越多與磁鐵礦砂沉積也越多。

②細顆粒沉積物含量與磁鐵礦砂含量正相關：當風吹砂丘時，細顆粒沉積物易受風攜帶至砂丘後方滑落面堆積而較粗顆粒則不易被帶走，而留在砂丘頂部，如圖 3-19 所示。而此區磁鐵礦砂顆粒存在細顆粒沉積物中較多，如圖 3-20，反光度大為磁鐵礦。故當砂丘滑落面堆積細顆粒沉積物時，磁鐵礦砂也隨之沉積在滑落面，造成磁鐵礦砂與細顆粒含量正相關。且 12、13、14、18 管，沉積物更達高度正相關，代表為滑落面堆積產物，與此結果與特殊層面分析、粗細顆粒含量相關係數分析結果相符合。

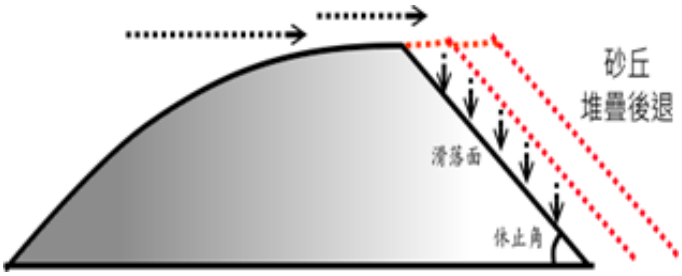


圖 3-19 砂丘頂部及滑落面堆積示意圖

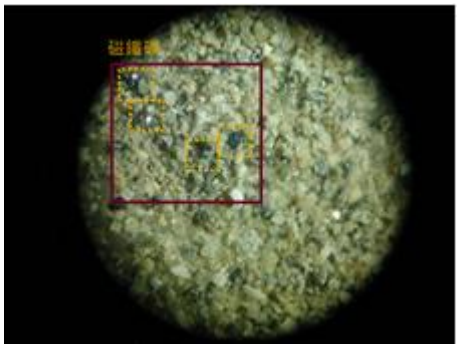


圖 3-20 顯微鏡下細顆粒沉積物
(樣本 17-12 細顆粒)

5、風營力與沙丘侵蝕、沉積的影響

(1)、磁鐵礦砂含量與風營力的相關性：

依據前人研究草漯砂丘沉積物中磁鐵礦含量最高品位可達 2%(譚立平、魏稽生，1997)，但本研究 9 管分析磁鐵礦砂含量均不及 1%，明顯磁鐵礦砂偏少，推論可能和沉積物來源有關。

因為依據沙丘侵蝕地形監測結果，2011 年 9 月中至 2012 年 1 月底(詳見附錄一)，沙丘頂部 9 管侵蝕深度均超過 175 公分。本次研究 9 管垂直打管採樣深度 92 公分到 104 公分，均不及此深度侵蝕深度。假設此地沙丘每年冬季侵蝕深度不變，則本研究垂直取樣樣本，應均為 2011 年堆積生成。

以此為基礎，冬季侵蝕、夏季堆積的模式，可能為沉積物沉積時吹偏南風(夏季季風)堆積。因為此區堆積之磁鐵礦，主要來自北方風化火成岩，依據此觀點判斷此 9 管堆積沉積物，應大部份為吹南風時堆積，故磁鐵礦砂明顯較少。其中有些樣本磁鐵礦砂明顯特多，可能為短期偏北風或侵蝕作用造成。

本次採管時間為 2011 年 9 月 15 日，對比 2011 年中央氣象局日平均風速、風向資料，發現 9 月中以前觀音測站風向(如表 3-6)，6、7、8 月此區所吹風向主要為偏南風，但其中穿插部分吹北風日子，且這三個月是此區一年中平均風速最低的時間，可能造成堆積。若為冬季強大風力侵蝕作用下，磁鐵礦

砂應有富集，磁鐵礦砂含量應較多且變化大。故依據磁鐵礦砂含量分布結果，推測這 9 管沉積物應為春夏季堆積為主。

表 3-6 2011 年日平均風向比例表

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
偏北風	100%	89%	90%	78%	79%	30%
偏南風	0%	11%	10%	22%	21%	70%
月份	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
偏北風	32%	40%	80%	100%	74%	97%
偏南風	68%	60%	20%	0%	26%	3%

(2)、粗顆粒沉積物含量與風速變化對比：

本次垂直取樣 9 管沉積物進行分析若均為 2011 年初冬季侵蝕後堆積生成。將 2011 年風速、風向與垂直打管粗顆粒沉積物含量及磁鐵礦砂含量進行比對，應可找到其相關性。所以先將風向、風速與粗顆粒含量含量進行比對。發現風速與粗顆粒含量有相關性，故將特殊層沉積物粗顆粒與風速大小進行連結，如圖 3-21。並在速圖上用顏色區分風向，並將粗顆粒特殊層位置，複製於磁鐵礦砂含量樣本位置進行比對，如圖 3-22。發現如下：

①粗顆粒含量變化與日均風速變化趨勢相近：

粗顆粒含量的多寡與風速有關，一般而言，風速越大時，細顆粒易被吹走，粗顆粒含量則越多。依據圖 3-21 對比結果，可發現沙丘迎風面 7、8、9 管沉積物粗顆粒含量變化趨勢和 2011 年日均風速具明顯相關性，而 12、13、14、17、18、19 管相關性雖較不明顯，但經比對依然具部分相關。可見此本研究打管 92 公分至 104 公分深沉積物，推測應在 2011 年 5 至 9 月間沉積。且由各管堆積厚度判斷，迎風面 7、8、9 管堆積速度明顯較 12、13、14、17、18、19 管堆積速度慢。

②磁鐵礦砂含量變化與日均風向具相關性：

將粗顆粒沉積物與風速對比特殊層位置複製到磁鐵礦含量與風速對比圖中，

如圖 3-22。可發現當長時間吹北風(風速圖土黃色)後，磁鐵礦砂含量有增加趨勢。而長期吹南風(風速圖亮藍色)後，磁鐵礦砂含量有減少趨勢，常出現在迎風面的第 9、8、7 管，此鐵礦砂含量變化較後方幾管變化大，可能代表風力變化大。而在 12、13、14、17、18 管可發現磁鐵礦含量變化小，可能位於風力作用後段，沉積物混合情況較佳。且接近表層磁鐵礦砂較多現象，可能與九月後吹北風時間較長有關。

③推測沉積速度：

以紅色特殊層做為基準，若紅色層為 6 月中堆積，打管取樣時間為 9 月中，約 3 個月期間，迎風面三管(7、8、9 管)堆積深度 24 到 46 公分不等；中三管(12、13、14 管)堆積深度 60 到 76 公分不等；後三管(17、18、19 管)堆積深度 80 到 94 公分不等。6-9 月間堆積以後三管較多，平均每月堆積深度 26.7 公分/月至 31.3 公分/月。

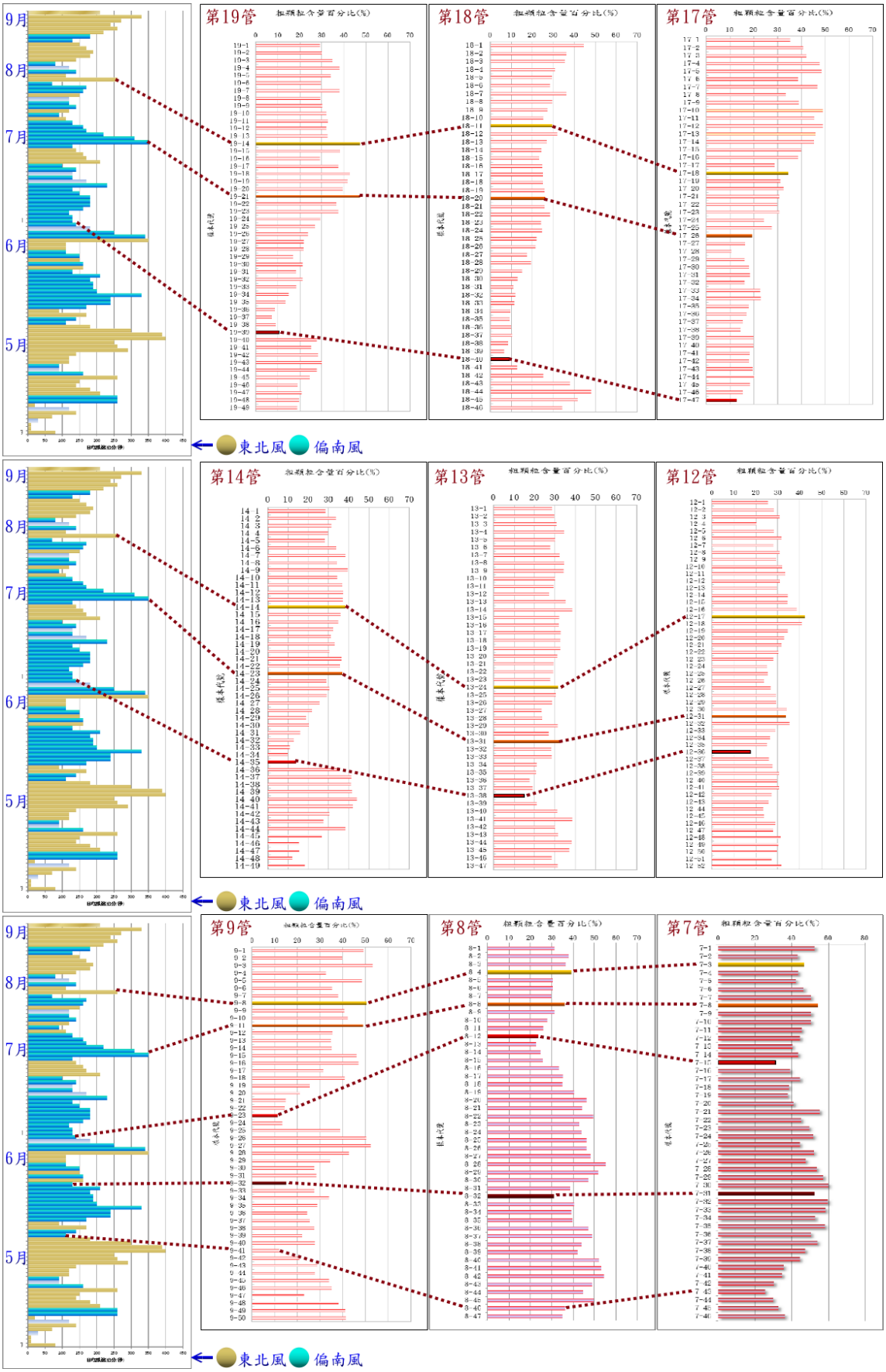


圖 3-21 2011 年日均風速與粗顆粒含量對比圖

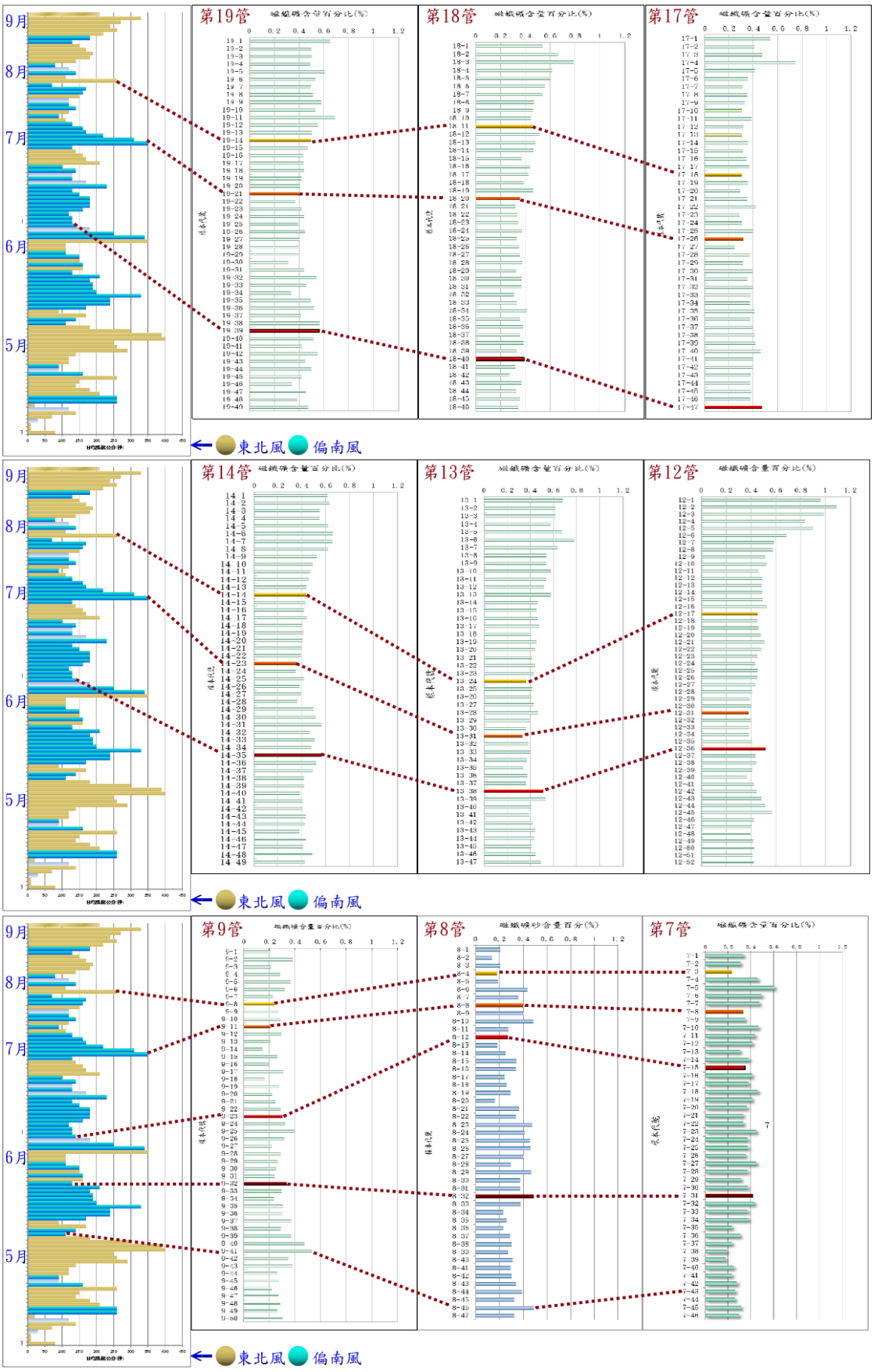


圖 3-22 2011 年日均風速與磁鐵礦砂含量對比圖

五、 結論與應用

(一) 在 2011 年 9 月 15 日至隔年 1 月 26 日間監測砂丘地形，發現侵蝕最大為深度為 306 公分，最小為 175 公分。各點侵蝕量 10 月 20 日前砂丘侵蝕速度最快，平均約 6-8 公分/天，而後減慢至平均 2 公分/天。10 月 31 日固砂工程完工後，侵蝕速度降至 0-2 公分/天，侵蝕速率可能與砂丘高度及固砂工程有關。而固砂工程前侵蝕作用主要在砂丘頂部東側，固砂工程後侵蝕作用則轉移致砂丘頂部西側，可看出固砂工程對砂丘環境發生影響。

(二) 由砂丘表層採樣 27 個樣本粒度分析可發現，砂丘迎風前緣風速慢，到達砂丘頂部地形平坦區風速最大，而平坦區後方砂丘沉積物多為滑落面堆積，具有粗、細顆粒含量均少的特性。

(三) 由垂直打管粒度分析，可發現三個明顯層面，繪製成立體層面圖比較，可見沉積當時地形，中部凹陷，兩角高起，且由層面外形變化有凹陷處逐漸被填平的趨勢。藉由粗細顆粒間相關係數討論發現凹陷區域沉積物淘選度低，且發現磁鐵礦砂與細顆粒沉積物含量相關性高，間接證明凹陷處應為砂丘滑落面堆積而成。

(四) (四)、砂丘頂部垂直取樣分析，分析對比兩管沉積物中磁鐵礦砂含量及粗細顆粒含量，可發現 4 個特殊沉積層，並利用粗顆粒沉積物含量與風速對比，大致可推測此兩管沉積物沉積時間約為 2011 年 5 月至 9 月間。

(五) 本研究藉由砂丘地形監測推知砂丘侵蝕情況，藉由表層沉積物粒度分析及垂直打管取樣沉積物分析，了解砂丘堆積狀況。由於砂丘變遷為無時無刻發生，未來應作長時間監測並結合天氣因素進行討論，才能確實追蹤砂丘變遷情況。

六、　未來展望與建議

(一)、環境對生命的影響：

在 2011 年 10 月 20 日砂丘外形監測觀察，將 PVC 管抽出時發現管內有許多白蟻及金龜子，本以為砂丘環境惡劣，不可能有生物出現，如圖 5-1。想不到生命竟如此強韌，只要有庇護的地方，生命都能發展。也足見環境對生物的影響。

圖 5-1　管中的白蟻與金龜子

(二)、未來努力方向：

1、沉積物垂直粒度及磁鐵礦砂含量分析進行區域及年際間對比：

沙丘沉積物垂直粒度及磁鐵礦砂含量分析目前僅做 2011 年取樣分析，若要清楚了解沉積環境變化，應於分年取樣及採集不同區域沙丘進行比對分析，如此才能了解沙丘沉積在年際、區域間的異同變化。

2、持續監測砂丘變化：

本研究僅針對近一年砂丘侵蝕、堆積變化之探討，若要近一步了解草漯砂丘之變化情況，需長時間觀測，故監測工作需持續進行。

3、測量儀器及方法的精進：

本次測量砂丘採樣點間距離及方向測量，使用捲尺及傾斜儀，因測量距離時風大，捲尺測量誤差大，傾斜儀測向也有誤差問題，造成觀測點間不能確實成直線。未來可能可以用雷射光定位較為準確。

4、檢視各粒度沉積物內含物：

若要知道沉積物來源，必須檢視沉積物中的內含物，若其中貝殼砂較多代表沉積物來自海邊，可能為北風帶來。若矽砂較多，代表來自陸地，可能來自內陸，可能為南風帶來。也許觀察各類沉積物比例，可以大致了解風向。這也是未來可以努力的方向。

七、 參考文獻

石再添 (2001)。地形(30-31 頁) 國立臺灣師範大學地理學系

吳昌翰 (2006) 台中港海岸飛砂量推估之研究(7-10 頁) 國立中興大學水土保持學系碩士論文

譚立平、魏稽生 (1997)。臺灣金屬經濟礦物 第一卷(173-175 頁)。臺北市：中央地質調查所。

何春蓀 (1993)。普通地質學(三版五刷) 第十三章(298-309 頁)。臺北市：五南出版社

許民陽、張智原(2007) 臺灣西北海岸後退之研究-淡水河口至頭前溪口段(第 9 頁第一段、第 13 頁)。臺北市：中國地理學會會刊

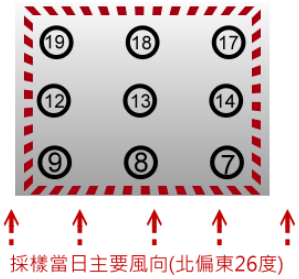
楊美萍，2004，桃園縣海岸地形變遷之研究。(3-19 頁)國立臺灣大學地理環境資源研究所碩士論文，未出版，台北市。

http://140.112.64.84/research/paper2004/P90228011/index.htm#_Toc62974948

附錄一：監測砂丘各時間侵蝕深度值

	第 19 管		第 18 管		第 17 管	
侵蝕時間	侵蝕量(公分)	累積侵蝕量(公分)	侵蝕量(公分)	累積侵蝕量(公分)	侵蝕量(公分)	累積侵蝕量(公分)
9.17-9.22	10	0	10	0	2	0
9.22-10.6	77	-10	92	-10	98	-2
10.6-10.20	55	-87	67	-102	98	-100
10.20-10.31	41	-142	52	-169	51	-198
10.31-11.30	20	-183	33	-221	10	-249
11.30-1.26	26	-203	41	-254	40	-259
總侵蝕量		-229		-295		-299
	第 14 管		第 13 管		第 12 管	
侵蝕時間	侵蝕量(公分)	累積侵蝕量(公分)	侵蝕量(公分)	累積侵蝕量(公分)	侵蝕量(公分)	累積侵蝕量(公分)
9.17-9.22	35	0	33	0	24	0
9.22-10.6	65	-35	65	-33	53	-24
10.6-10.20	76	-100	66	-98	48	-77
10.20-10.31	33	-176	37	-164	34	-125
10.31-11.30	11	-209	10	-201	44	-159
11.30-1.26	29	-220	43	-211	49	-203
總侵蝕量		-249		-254		-252
	第 9 管		第 8 管		第 7 管	
侵蝕時間	侵蝕量(公分)	累積侵蝕量(公分)	侵蝕量(公分)	累積侵蝕量(公分)	侵蝕量(公分)	累積侵蝕量(公分)
9.17-9.22	40	0	31	0	31	0
9.22-10.6	63	-40	71	-31	72	-31
10.6-10.20	57	-103	71	-102	73	-103
10.20-10.31	28	-160	27	-173	27	-176
10.31-11.30	37	-188	21	-200	44	-203
11.30-1.26	-50	-225	27	-221	59	-247
總侵蝕量		-175		-248		-306

● 註：採樣點位置示意圖



附錄二：表層各採樣點粒度分布表

表層採樣編號	總重(g)	粗*顆粒含量(g)	粗顆粒含量百分	中顆粒含量(g)	中顆粒含量百分	細顆粒含量(g)	細顆粒含量百分	特細顆粒含量(g)	特細顆粒含量百分	誤差*(g)	誤差百分
1	102.81	47.37	46.08	53.01	51.56	0.56	0.54	0.01	0.01	1.86	1.8
2	84.66	23.96	28.30	58.73	69.37	1.05	1.24	0.01	0.01	0.91	1.1
3	133	41.48	31.19	88.98	66.90	0.98	0.74	0.33	0.25	1.23	0.9
4	134.57	37.11	27.58	94.04	69.88	1.09	0.81	0.29	0.22	2.04	1.5
5	171.97	43.18	25.11	127.34	74.05	1.67	0.97	0.28	0.16	-0.5	-0.3
6	170.09	52.18	30.68	111.78	65.72	3.68	2.16	0.86	0.51	1.59	0.9
7	160.7	62.77	39.06	95.58	59.48	1.49	0.93	0.25	0.16	0.61	0.4
8	168.3	75.62	44.93	89.92	53.43	1.21	0.72	0.23	0.14	1.32	0.8
9	171.55	80.31	46.81	89.18	51.98	1.28	0.75	0.25	0.15	0.53	0.3
10	172.91	78.2	45.23	93.14	53.87	2.14	1.24	0.33	0.19	-0.9	-0.5
11	172.5	63.04	36.54	105.4	61.10	3.61	2.09	0.56	0.32	-0.11	-0.1
12	171	54.81	32.05	112	65.50	3.4	1.99	0.44	0.26	0.35	0.2
13	182.23	82.32	45.17	98.33	53.96	1.26	0.69	0.12	0.07	0.2	0.1
14	185.5	73.77	39.77	108.13	58.29	1.84	0.99	0.39	0.21	1.37	0.7
15	188.42	68.6	36.41	116.26	61.70	2.55	1.35	0.38	0.20	0.63	0.3
16	176.48	71.12	40.30	103.1	58.42	1.87	1.06	0.17	0.10	0.22	0.1
17	163.3	68.46	41.92	92.05	56.37	2.14	1.31	0.25	0.15	0.4	0.2
18	164.31	68.49	41.68	92.85	56.51	1.92	1.17	0.21	0.13	0.84	0.5
19	181.69	72.35	39.82	107.1	58.95	1.75	0.96	0.15	0.08	0.34	0.2
20	184	64.17	34.88	115.8	62.93	2.79	1.52	0.34	0.18	0.9	0.5
21	164.43	65.48	39.82	97.19	59.11	0.89	0.54	0.1	0.06	0.77	0.5
22	159.15	68.91	43.30	87.9	55.23	0.95	0.60	0.08	0.05	1.31	0.8
23	186.86	61.32	32.82	121.98	65.28	1.62	0.87	0.11	0.06	1.83	1.0
24	172.08	56.51	32.84	114.28	66.41	1.04	0.60	0.04	0.02	0.21	0.1
25	175.47	61.06	34.80	113.56	64.72	0.72	0.41	0.03	0.02	0.1	0.1
26	181.08	76.18	42.07	102.05	56.36	2.36	1.30	0.32	0.18	0.17	0.1
27	188.71	40.42	21.42	146.43	77.60	1.44	0.76	0.04	0.02	0.38	0.2

*註 1：粗顆粒為粒徑大於 0.25mm(60mesh)；

中顆粒為粒徑介於 0.25mm(60mesh)到 0.125mm(120mesh)；

細顆粒為粒徑介於 0.125mm(120mesh)到 0.061mm(250mesh)；

特細顆粒為粒徑小於 0.061mm(250mesh)。

*註 2：誤差值=總重-粗顆粒重-中顆粒重-細顆粒重-特細顆粒重

附錄三：砂丘地形監測各管各時期侵蝕量

	第 19 管		第 18 管		第 17 管	
侵蝕時間	侵蝕深度(公分)	侵蝕速率(公分/天)	侵蝕深度(公分)	侵蝕速率(公分/天)	侵蝕深度(公分)	侵蝕速率(公分/天)
9.17-9.22	10	2.00	10	2.00	2	0.40
9.22-10.6	77	5.92	92	7.08	98	7.54
10.6-10.20	55	3.93	67	4.79	98	7.00
10.20-10.31	41	3.73	52	4.73	51	4.64
10.31-11.30	20	0.67	33	1.10	10	0.33
11.30-1.26	26	0.46	41	0.72	40	0.70
總侵蝕量	229	1.73	295	2.23	299	2.27
	第 14 管		第 13 管		第 12 管	
侵蝕時間	侵蝕深度(公分)	侵蝕速率(公分/天)	侵蝕深度(公分)	侵蝕速率(公分/天)	侵蝕深度(公分)	侵蝕速率(公分/天)
9.17-9.22	35	7.00	33	6.60	24	4.80
9.22-10.6	65	5.00	65	5.00	53	4.08
10.6-10.20	76	5.43	66	4.71	48	3.43
10.20-10.31	33	3.00	37	3.36	34	3.09
10.31-11.30	11	0.37	10	0.33	44	1.47
11.30-1.26	29	0.51	43	0.75	49	0.86
總侵蝕量	249	1.89	254	1.92	252	1.91
	第 9 管		第 8 管		第 7 管	
侵蝕時間	侵蝕深度(公分)	侵蝕速率(公分/天)	侵蝕深度(公分)	侵蝕速率(公分/天)	侵蝕深度(公分)	侵蝕速率(公分/天)
9.17-9.22	40	8.00	31	6.20	31	6.20
9.22-10.6	63	4.85	71	5.46	72	5.54
10.6-10.20	57	4.07	71	5.07	73	5.21
10.20-10.31	28	2.55	27	2.45	27	2.45
10.31-11.30	37	1.23	21	0.70	44	1.47
11.30-1.26	-50	-0.88	27	0.47	59	1.04
總侵蝕量	175	1.33	248	1.88	306	2.32

● 註：採樣點位置示意圖

附錄四：各管粗(粒徑大於 0.25mm)、細顆粒(粒徑於 0.25mm)及磁鐵礦砂重量百分表

第 7 管 各粒度含量分布表

樣本代號	粗*顆粒重量(g)	粗*顆粒含量百分(%)	中顆粒重量(g)	中顆粒含量百分(%)	細顆粒重量(g)	細顆粒含量百分(%)	總重(g)	誤差百分比(%)
7-1	70.72	52.80	61.76	46.11	1.31	0.98	133.95	0.12
7-2	48.68	43.46	62.47	55.77	0.74	0.66	112.01	0.11
7-3	57.85	47.05	64.28	52.28	0.76	0.62	122.96	0.06
7-4	51.69	43.74	65.37	55.31	0.92	0.78	118.18	0.17
7-5	51.81	42.23	69.60	56.73	1.22	0.99	122.68	0.04
7-6	59.32	46.53	64.74	50.78	0.80	0.63	127.48	2.06
7-7	65.38	50.46	63.22	48.79	0.79	0.61	129.57	0.14
7-8	67.49	54.34	55.90	45.01	0.68	0.55	124.20	0.10
7-9	69.67	50.89	66.34	48.46	0.64	0.47	136.91	0.19
7-10	60.17	50.40	58.34	48.87	0.72	0.60	119.38	0.13
7-11	49.81	45.63	58.40	53.49	0.66	0.60	109.17	0.27
7-12	57.14	44.77	69.70	54.61	0.76	0.60	127.64	0.03
7-13	60.23	40.24	88.55	59.16	0.91	0.61	149.67	-0.01
7-14	59.90	43.53	76.80	55.81	0.68	0.49	137.61	0.17
7-15	41.08	31.42	89.13	68.17	1.35	1.03	130.74	-0.63
7-16	48.33	39.19	73.35	59.48	1.48	1.20	123.31	0.12
7-17	51.61	44.81	62.34	54.12	1.21	1.05	115.18	0.02
7-18	51.07	38.34	80.28	60.26	1.64	1.23	133.22	0.17
7-19	34.30	38.01	52.53	58.22	0.90	1.00	90.23	2.77
7-20	61.77	41.07	87.39	58.10	1.13	0.75	150.41	0.08
7-21	73.14	55.53	57.90	43.96	0.59	0.45	131.72	0.07
7-22	57.44	45.17	68.64	53.98	0.85	0.67	127.15	0.17
7-23	76.21	49.58	76.14	49.53	0.82	0.53	153.71	0.35
7-24	57.21	51.78	52.49	47.51	0.85	0.77	110.48	-0.06
7-25	52.08	44.48	64.05	54.70	0.89	0.76	117.09	0.06
7-26	60.46	52.17	54.84	47.32	0.53	0.46	115.88	0.04
7-27	75.85	47.70	85.67	53.88	1.25	0.79	159.01	-2.36
7-28	63.60	53.71	54.06	45.65	0.59	0.50	118.41	0.14
7-29	63.98	57.41	46.85	42.04	0.55	0.49	111.45	0.06
7-30	64.37	59.97	42.38	39.48	0.42	0.39	107.34	0.16
7-31	73.35	52.80	64.49	46.42	0.78	0.56	138.93	0.22
7-32	60.71	59.76	40.27	39.64	0.44	0.43	101.59	0.17
7-33	59.60	58.47	41.75	40.96	0.44	0.43	101.94	0.15
7-34	70.87	52.84	62.16	46.35	0.89	0.66	134.11	0.14
7-35	61.07	58.10	43.31	41.20	0.47	0.45	105.11	0.25
7-36	66.26	50.50	64.17	48.90	0.70	0.53	131.22	0.07
7-37	54.91	54.14	45.89	45.24	0.54	0.53	101.43	0.09
7-38	61.61	47.56	67.26	51.92	0.57	0.44	129.55	0.08
7-39	40.32	44.46	50.01	55.14	0.35	0.39	90.69	0.01
7-40	27.42	35.67	49.06	63.82	0.42	0.55	76.87	-0.04
7-41	45.76	35.01	83.98	64.25	0.78	0.60	130.71	0.15
7-42	33.82	30.51	76.20	68.74	0.81	0.73	110.86	0.03
7-43	24.58	25.69	70.29	73.47	1.16	1.21	95.67	-0.38
7-44	28.62	30.03	64.76	67.96	1.22	1.28	95.29	0.72
7-45	40.24	33.07	79.79	65.57	1.38	1.13	121.68	0.22
7-46	40.16	36.21	69.83	62.97	0.99	0.89	110.90	-0.07

第 8 管 各粒度含量分布表

樣本代號	粗顆粒重量(g)	粗顆粒含量百分(%)	中顆粒重量(g)	中顆粒含量百分(%)	細顆粒重量(g)	細顆粒含量百分(%)	總重(g)	誤差百分比(%)
8-1	22.98	31.54	48.62	66.73	0.68	0.93	72.86	0.80
8-2	30.21	37.80	48.79	61.05	0.65	0.81	79.92	0.34
8-3	26.65	36.57	45.70	62.71	0.50	0.69	72.87	0.03
8-4	28.32	39.19	43.33	59.96	0.55	0.76	72.26	0.08
8-5	22.22	30.51	50.24	68.98	0.70	0.96	72.83	-0.45
8-6	27.06	30.49	60.85	68.56	0.96	1.08	88.76	-0.12
8-7	35.19	29.85	81.46	69.09	1.21	1.03	117.90	0.03
8-8	35.19	35.90	61.22	62.46	0.84	0.86	98.02	0.79
8-9	31.77	31.26	68.27	67.18	1.57	1.54	101.63	0.02
8-10	28.72	28.01	72.41	70.62	1.35	1.32	102.54	0.06
8-11	32.26	26.05	90.03	72.70	1.34	1.08	123.84	0.17
8-12	31.22	23.62	99.01	74.89	1.88	1.42	132.20	0.07
8-13	23.56	22.84	78.51	76.11	1.00	0.97	103.16	0.09
8-14	29.38	24.78	87.89	74.14	1.15	0.97	118.55	0.11
8-15	34.32	25.68	98.19	73.46	1.13	0.85	133.67	0.02
8-16	33.31	33.26	66.10	66.01	0.74	0.74	100.14	-0.01
8-17	45.47	35.14	83.23	64.31	0.90	0.70	129.41	-0.15
8-18	42.76	35.08	78.15	64.12	0.87	0.71	121.88	0.08
8-19	44.35	40.67	64.28	58.95	0.73	0.67	109.04	-0.29
8-20	51.56	46.31	58.83	52.84	0.73	0.66	111.33	0.19
8-21	52.21	44.20	64.88	54.93	0.86	0.73	118.12	0.14
8-22	63.30	49.33	64.06	49.93	0.84	0.65	128.31	0.09
8-23	53.07	42.92	69.39	56.12	1.19	0.96	123.65	0.00
8-24	60.28	43.94	75.40	54.96	1.38	1.01	137.18	0.09
8-25	57.87	46.21	66.05	52.74	1.25	1.00	125.23	0.05
8-26	51.68	46.25	59.11	52.89	0.88	0.79	111.75	0.07
8-27	60.28	48.09	64.22	51.23	0.80	0.64	125.36	0.05
8-28	60.07	55.18	47.96	44.06	0.64	0.59	108.86	0.17
8-29	69.34	51.78	63.28	47.25	1.03	0.77	133.92	0.20
8-30	61.03	46.94	67.83	52.16	1.12	0.86	130.03	0.04
8-31	39.73	38.75	61.07	59.57	1.39	1.36	102.52	0.32
8-32	44.43	30.92	97.50	67.86	1.64	1.14	143.68	0.08
8-33	43.37	40.49	63.03	58.85	0.60	0.56	107.10	0.09
8-34	48.64	39.18	74.39	59.93	0.72	0.58	124.13	0.31
8-35	51.04	39.62	76.73	59.56	0.71	0.55	128.82	0.26
8-36	64.50	47.08	71.55	52.23	0.67	0.49	136.99	0.20
8-37	62.64	48.98	63.81	49.90	0.57	0.45	127.88	0.67
8-38	45.97	44.03	57.62	55.19	0.57	0.55	104.41	0.24
8-39	57.31	42.10	77.15	56.67	0.84	0.62	136.14	0.62
8-40	59.85	51.94	55.17	47.88	0.47	0.41	115.22	-0.23
8-41	63.12	53.05	55.20	46.39	0.51	0.43	118.98	0.13
8-42	56.55	54.21	47.58	45.61	0.37	0.35	104.31	-0.18
8-43	57.52	49.00	58.18	49.57	0.55	0.47	117.38	0.96
8-44	79.62	44.62	97.40	54.58	1.10	0.62	178.45	0.18
8-45	47.05	49.84	46.32	49.07	0.59	0.63	94.40	0.47
8-46	51.09	36.49	87.09	62.19	1.60	1.14	140.03	0.18
8-47	37.72	35.10	68.23	63.49	0.94	0.87	107.47	0.54

第 9 管 各粒度含量分布表

編號	粗顆粒重量(g)	粗顆粒含量百分比(%)	中顆粒重量(g)	中顆粒含量百分比(%)	細顆粒重量(g)	細顆粒含量百分比(%)	總重(g)	誤差百分比(%)
9-1	23.49	49.10	24.14	50.45	0.24	0.50	47.84	-0.06
9-2	24.98	39.89	36.78	58.73	0.49	0.78	62.62	0.59
9-3	44.77	53.15	38.77	46.03	0.71	0.84	84.22	-0.03
9-4	25.24	32.73	50.7	65.75	0.67	0.86	77.1	0.63
9-5	64.66	48.59	66.96	50.32	0.71	0.53	133.05	0.54
9-6	41.4	35.13	75.64	64.19	0.79	0.67	117.83	5.28
9-7	40.2	38.05	64.28	60.84	0.76	0.71	105.64	0.37
9-8	46.36	50.44	44.63	48.56	0.5	0.54	91.9	0.44
9-9	54.62	40.67	78.02	58.10	0.87	0.64	134.28	0.57
9-10	50.61	42.10	68.54	57.02	0.88	0.73	120.2	0.14
9-11	51.86	49.02	52.97	50.07	0.63	0.59	105.78	0.30
9-12	38.54	35.53	68.7	63.34	0.98	0.90	108.46	0.22
9-13	39.92	34.71	73.66	64.05	0.92	0.80	115	0.43
9-14	36.21	35.02	66.14	63.97	0.67	0.64	103.39	0.35
9-15	57.51	45.97	66.24	52.94	0.68	0.54	125.1	0.53
9-16	51.87	46.81	58.17	52.50	0.63	0.56	110.79	0.10
9-17	40.52	31.39	87.14	67.51	0.88	0.68	129.06	0.40
9-18	50.45	40.91	71.94	58.34	0.69	0.55	123.3	0.17
9-19	30.18	25.46	85.89	72.46	1.05	0.88	118.52	1.18
9-20	27.47	21.23	100.13	77.39	1.36	1.05	129.38	0.32
9-21	15.33	14.81	86.65	83.74	1.1	1.06	103.47	0.37
9-22	18.23	14.29	107.92	84.64	1.18	0.92	127.5	0.13
9-23	13.91	11.29	106.69	86.61	2.24	1.81	123.18	0.27
9-24	13.13	13.33	83.89	85.18	1.38	1.40	98.48	0.08
9-25	51.81	38.80	80.08	59.97	1.34	1.00	133.52	0.21
9-26	71.66	50.21	69.36	48.60	0.87	0.60	142.7	0.56
9-27	61.74	52.47	54.87	46.63	0.93	0.79	117.66	0.10
9-28	45.57	42.56	60.42	56.43	0.88	0.82	107.06	0.17
9-29	40.06	34.32	75.4	64.60	0.97	0.83	116.71	0.23
9-30	40.35	27.63	103.66	71	1.38	0.94	146	0.41
9-31	29.75	28.43	73.85	70.58	0.64	0.61	104.63	0.37
9-32	16.54	14.99	92.43	83.80	1.34	1.21	110.29	-0.01
9-33	33.3	27.27	87.3	71.51	1.1	0.90	122.07	0.30
9-34	40.59	33.91	77.64	64.86	1.09	0.91	119.69	0.30
9-35	40.81	28.74	99.56	70.12	1.13	0.79	141.98	0.33
9-36	24.84	24.26	75.72	73.96	1.18	1.15	102.37	0.61
9-37	27.96	25.37	80.86	73.38	1.15	1.04	110.18	0.19
9-38	31.49	27.57	81.19	71.10	1.22	1.06	114.19	0.25
9-39	26.24	22.08	91.14	76.72	1.35	1.13	118.79	0.05
9-40	27.89	27.74	70.97	70.59	1.51	1.50	100.53	0.15
9-41	16.08	12.12	113.09	85.26	2.81	2.11	132.64	0.49
9-42	24.67	20.89	91.29	77.31	1.59	1.34	118.07	0.44
9-43	28.88	28.77	69.92	69.66	1.09	1.08	100.37	0.47
9-44	32.68	27.66	83.58	70.74	1.55	1.31	118.14	0.27
9-45	36.02	33.88	68.78	64.70	0.94	0.88	106.3	0.52
9-46	37.11	35.03	67.73	63.95	1.12	1.05	105.91	-0.04
9-47	24.65	22.98	80.46	75.01	1.3	1.21	107.26	0.79
9-48	42.35	38.11	67.07	60.36	1.2	1.08	111.1	0.43
9-49	44.18	41.20	61.55	57.41	1.1	1.02	107.21	0.35
9-50	24.73	41.37	33.78	56.51	0.71	1.18	59.77	0.92

第 12 管 各粒度含量分布表

編號	粗顆粒重量(g)	粗顆粒含量百分比(%)	中顆粒重量(g)	中顆粒含量百分比(%)	細顆粒重量(g)	細顆粒含量百分比(%)	總重(g)	誤差百分比(%)
12-1	9.25	25.70	26.06	72.41	0.84	2.33	35.99	-0.44
12-2	18.92	28.28	45.61	68.18	2.05	3.06	66.9	0.48
12-3	30.27	30.87	65.05	66.33	2.26	2.30	98.07	0.50
12-4	21.9	20.34	82.7	76.79	2.1	1.95	107.69	0.92
12-5	23.1	28.28	56.81	69.54	1.51	1.85	81.69	0.33
12-6	54.81	31.82	114.38	66.41	2.58	1.50	172.24	0.27
12-7	26.3	28.13	65.57	70.14	1.1	1.18	93.48	0.55
12-8	38.47	30.79	84.72	67.81	1.43	1.14	124.93	0.25
12-9	36.47	29.41	85.81	69.20	1.37	1.10	124.01	0.29
12-10	37.3	31.88	78.09	66.75	1.14	0.97	116.99	0.39
12-11	39.51	33.52	76.94	65.27	0.98	0.83	117.88	0.38
12-12	32.11	31.07	70.04	67.77	0.88	0.85	103.35	0.31
12-13	37.39	29.54	87.61	69.21	1.24	0.98	126.58	0.27
12-14	41.95	34.62	77.31	63.80	1.22	1.01	121.17	0.57
12-15	44.9	34.36	84.08	64.35	1.45	1.11	130.67	0.18
12-16	47.85	38.65	74.42	60.11	1.33	1.07	123.8	0.16
12-17	49.45	42.44	65.95	56.60	0.93	0.80	116.51	0.15
12-18	44.07	40.86	62.52	57.97	0.96	0.89	107.85	0.28
12-19	41.84	34.63	76.96	63.70	1.15	0.95	120.81	0.71
12-20	45.88	32.91	91.9	65.92	1.32	0.95	139.42	0.23
12-21	38.72	31.69	81.75	66.91	1.14	0.93	122.17	0.46
12-22	31.92	30.28	72.16	68.46	1.05	1.00	105.4	0.26
12-23	36.68	28.08	92.22	70.60	1.26	0.96	130.63	0.36
12-24	28.6	24.90	85.25	74.21	1.03	0.90	114.87	-0.01
12-25	32.99	25.45	95.1	73.36	1.08	0.83	129.63	0.35
12-26	22.89	23.57	73.06	75.23	0.89	0.92	97.12	0.29
12-27	33.28	26.75	89.69	72.10	1.06	0.85	124.39	0.29
12-28	33.37	29.22	79.78	69.85	0.86	0.75	114.22	0.18
12-29	35.94	29.25	85.57	69.65	0.89	0.72	122.86	0.37
12-30	33.8	33.93	64.98	65.23	0.67	0.67	99.62	0.17
12-31	43.93	33.62	85.58	65.49	0.88	0.67	130.68	0.22
12-32	38.7	35.36	69.56	63.55	0.98	0.90	109.45	0.19
12-33	34.2	28.89	82.69	69.86	1.03	0.87	118.37	0.38
12-34	32.82	26.43	90.24	72.67	1.2	0.97	124.17	-0.07
12-35	26.01	24.88	78.08	74.69	1.31	1.25	104.54	-0.82
12-36	22.96	17.63	104.54	80.28	2.32	1.78	130.22	0.31
12-37	30.87	26.12	85.56	72.39	1.46	1.24	118.19	0.25
12-38	32.71	27.62	84.04	70.96	1.35	1.14	118.44	0.29
12-39	32.9	30.73	72.82	68.02	1.15	1.07	107.05	0.17
12-40	34.04	29.88	78.57	68.97	1.17	1.03	113.92	0.12
12-41	39.09	30.73	86.4	67.93	1.32	1.04	127.19	0.30
12-42	29.99	27.46	77.67	71.12	1.4	1.28	109.21	0.14
12-43	30.23	25.84	84.69	72.40	1.74	1.49	116.97	0.27
12-44	30.79	23.37	98.08	74.44	2.51	1.90	131.76	0.29
12-45	28.79	23.59	91.53	74.99	1.72	1.41	122.06	0.02
12-46	33.99	28.82	82.24	69.74	1.45	1.23	117.93	0.21
12-47	30.75	27.86	78.23	70.87	1.25	1.13	110.38	0.14
12-48	41.67	31.33	89.86	67.57	1.26	0.95	132.99	0.15
12-49	31.09	30.32	70.19	68.46	1.06	1.03	102.53	0.19
12-50	28.16	29.46	66.36	69.43	0.97	1.01	95.58	0.09
12-51	38.6	27.37	100.33	71.15	1.64	1.16	141.01	0.31
12-52	33.57	31.63	71.39	67.25	1.17	1.10	106.15	0.02

第 13 管 各粒度含量分布表

樣本代號	粗顆粒重量(g)	粗顆粒含量百分(%)	中顆粒重量(g)	中顆粒含量百分(%)	細顆粒重量(g)	細顆粒含量百分(%)	總重(g)	誤差百分比(%)
13-1	29.8	28.78	71.3	68.85	1.97	1.90	103.56	0.47
13-2	35.91	29.77	82.5	68.39	1.94	1.61	120.64	0.24
13-3	38.77	30.97	84.42	67.43	1.81	1.45	125.19	0.15
13-4	41.88	34.69	79.49	65.85	1.58	1.31	120.72	-1.85
13-5	34.06	30.35	75.8	67.53	2.11	1.88	112.24	0.24
13-6	24.72	27.83	62.25	70.09	1.87	2.11	88.82	-0.02
13-7	43.52	32.48	88.22	65.84	1.97	1.47	133.99	0.21
13-8	40.36	34.71	74.16	63.78	1.37	1.18	116.27	0.33
13-9	39.56	34.59	73.19	63.99	1.37	1.20	114.38	0.23
13-10	32.93	30.41	73.77	68.13	1.36	1.26	108.28	0.20
13-11	31.05	29.65	72.07	68.83	1.4	1.34	104.71	0.18
13-12	36.68	27.25	95.79	71.16	1.89	1.40	134.62	0.19
13-13	40.4	35.48	71.74	63.00	1.39	1.22	113.87	0.30
13-14	48.71	38.44	76.56	60.41	1.14	0.90	126.73	0.25
13-15	39.03	32.18	81.09	66.87	0.94	0.78	121.27	0.17
13-16	39.36	32.06	82.04	66.82	0.96	0.78	122.77	0.33
13-17	41.06	33.01	82.13	66.03	1.06	0.85	124.38	0.10
13-18	41.25	32.87	82.83	65.99	1.07	0.85	125.51	0.29
13-19	37.06	32.66	76.86	67.74	0.97	0.85	113.46	-1.26
13-20	39.51	31.31	87.25	69.15	1.11	0.88	126.17	-1.35
13-21	34.58	29.51	81.13	69.24	1.07	0.91	117.17	0.33
13-22	36.71	29.20	87.49	69.60	1.23	0.98	125.7	0.21
13-23	34.09	27.75	87.52	71.24	1.28	1.04	122.86	-0.02
13-24	40.17	31.76	84.5	66.82	1.08	0.85	126.46	0.56
13-25	34.44	30.58	83.47	74.12	1.14	1.01	112.62	-5.71
13-26	36.27	28.87	88.18	70.18	1.06	0.84	125.65	0.11
13-27	33.82	23.65	106.94	74.78	1.53	1.07	143	0.50
13-28	34.11	23.89	106.38	74.51	1.69	1.18	142.77	0.41
13-29	37.99	31.55	81.28	67.50	0.97	0.81	120.41	0.14
13-30	36.28	27.07	95.57	71.32	1.27	0.95	134.01	0.66
13-31	37.67	32.43	77.15	66.42	0.96	0.83	116.15	0.32
13-32	31.03	28.27	77.26	70.40	1.1	1.00	109.75	0.33
13-33	36.27	28.45	89.41	70.13	1.5	1.18	127.49	0.24
13-34	27.85	21.22	101.28	77.18	1.55	1.18	131.23	0.42
13-35	26.63	20.76	99.72	77.75	1.43	1.12	128.25	0.37
13-36	22.73	17.55	104.58	80.73	1.88	1.45	129.55	0.28
13-37	21.01	19.07	86.94	78.93	1.38	1.25	110.15	0.74
13-38	19.43	14.93	108.48	83.33	2.02	1.55	130.18	0.19
13-39	31.7	21.17	115.09	76.85	2.54	1.70	149.75	0.28
13-40	37.34	31.28	80.44	67.39	1.38	1.16	119.37	0.18
13-41	40.38	38.52	63.66	60.72	1.1	1.05	104.84	-0.29
13-42	41.04	30.30	92.2	68.07	1.51	1.11	135.44	0.51
13-43	34.3	31.80	71.97	66.73	1.16	1.08	107.85	0.39
13-44	43.03	38.25	68.16	60.59	1.02	0.91	112.5	0.26
13-45	39.54	37.20	65.51	61.64	1	0.94	106.28	0.22
13-46	26.62	28.48	65.54	70.11	1.09	1.17	93.48	0.25
13-47	36.74	31.44	78.41	67.11	1.37	1.17	116.84	0.27

第 14 管 各粒度含量分布表

樣本代號	粗顆粒重量(g)	粗顆粒含量百分(%)	中顆粒重量(g)	中顆粒含量百分(%)	細顆粒重量(g)	細顆粒含量百分(%)	總重(g)	誤差百分比(%)
14-1	17.44	28.45	42.45	69.26	1.22	1.99	61.29	0.29
14-2	31.8	33.73	60.4	64.06	1.79	1.90	94.28	0.31
14-3	36.05	31.68	75.76	66.57	1.6	1.41	113.81	0.35
14-4	28.78	29.99	65.52	68.26	1.35	1.41	95.98	0.34
14-5	28.48	28.26	70.19	69.64	1.81	1.80	100.79	0.31
14-6	49.12	34.13	91.56	63.62	2.67	1.86	143.91	0.39
14-7	53.08	38.54	82.54	59.93	1.96	1.42	137.73	0.11
14-8	42.88	34.22	80.43	64.20	1.5	1.20	125.29	0.38
14-9	55.57	39.75	82.51	59.02	1.41	1.01	139.79	0.21
14-10	40.71	34.51	75.84	64.29	1.13	0.96	117.97	0.25
14-11	40.74	36.81	68.76	62.12	0.95	0.86	110.69	0.22
14-12	42.12	37.35	69.56	61.68	0.97	0.86	112.77	0.11
14-13	52.8	37.22	87.77	61.87	1.25	0.88	141.87	0.04
14-14	41.43	38.58	64.89	60.42	0.84	0.78	107.39	0.21
14-15	41.9	36.15	72.81	62.82	0.94	0.81	115.91	0.22
14-16	45.73	35.03	83.48	63.94	1.04	0.80	130.55	0.23
14-17	37.27	32.46	76.31	66.45	1.07	0.93	114.83	0.16
14-18	37.67	31.47	80.7	67.41	1.08	0.90	119.72	0.23
14-19	42.65	32.99	85.41	66.07	1.11	0.86	129.28	0.09
14-20	44.5	30.80	98.73	68.33	1.13	0.78	144.5	0.10
14-21	46.61	36.32	80.89	63.03	0.85	0.66	128.34	-0.01
14-22	41.64	35.83	73.36	63.13	1.83	1.57	116.21	-0.53
14-23	51.94	36.83	87.63	62.14	0.8	0.57	141.01	0.45
14-24	34.31	29.12	82	69.59	0.94	0.80	117.84	0.50
14-25	34.25	30.60	76.74	68.57	0.86	0.77	111.92	0.06
14-26	36.37	29.23	86.79	69.74	1.05	0.84	124.44	0.18
14-27	34.63	25.80	98.34	73.28	1	0.75	134.2	0.17
14-28	26.38	22.06	92.05	76.98	0.95	0.79	119.57	0.16
14-29	25.94	18.97	108.45	79.32	1.78	1.30	136.73	0.41
14-30	25.68	20.47	97.82	77.97	2	1.59	125.46	-0.03
14-31	19.44	16.24	98.01	81.90	2.09	1.75	119.67	0.11
14-32	14.12	12.97	92.96	85.39	1.18	1.08	108.87	0.56
14-33	13.75	10.92	110.2	87.50	2.08	1.65	125.94	-0.07
14-34	12.15	9.93	107.73	88.04	2.16	1.77	122.36	0.26
14-35	18.26	14.09	108.11	83.43	2.89	2.23	129.58	0.25
14-36	44.71	35.35	79.55	62.89	1.99	1.57	126.49	0.19
14-37	54.5	41.39	75.48	57.33	1.72	1.31	131.67	-0.02
14-38	51.95	41.29	72.57	57.68	1.11	0.88	125.81	0.14
14-39	45.62	41.67	62.97	57.52	0.93	0.85	109.48	-0.04
14-40	64.35	44.38	79.71	54.97	1.05	0.72	145	-0.08
14-41	53.42	42.02	72.87	57.31	0.99	0.78	127.14	-0.11
14-42	33.11	30.65	73.71	68.23	1.19	1.10	108.03	0.02
14-43	33.73	27.62	86.82	71.09	1.39	1.14	122.12	0.15
14-44	56.06	38.60	87.7	60.39	1.29	0.89	145.23	0.12
14-45	34.22	26.94	91.14	71.76	1.41	1.11	127.01	0.19
14-46	15.58	15.41	84.08	83.17	1.36	1.35	101.1	0.08
14-47	18.96	15.73	99.83	82.84	1.73	1.44	120.51	-0.01
14-48	16.66	12.30	116.42	85.93	2.32	1.71	135.49	0.07
14-49	21.86	18.30	95.75	80.16	1.83	1.53	119.45	0.01

第 17 管 各粒度含量分布表

樣本代號	粗顆粒重量(g)	粗顆粒含量百分(%)	中顆粒重量(g)	中顆粒含量百分(%)	細顆粒重量(g)	細顆粒含量百分(%)	總重(g)	誤差百分比(%)
17-1	25.43	35.27	45.25	62.76	1.25	1.73	72.1	0.24
17-2	39.33	40.82	55.4	57.50	1.37	1.42	96.34	0.25
17-3	45.71	42.04	61.1	56.19	1.75	1.61	108.73	0.16
17-4	47.32	47.86	49.92	50.49	1.42	1.44	98.87	0.21
17-5	50.49	48.59	51.02	49.10	1.94	1.87	103.91	0.44
17-6	44.45	38.74	68.98	60.12	1.32	1.15	114.73	-0.02
17-7	40.33	46.88	43.75	50.86	1.56	1.81	86.02	0.44
17-8	34.49	33.49	66.63	64.70	1.61	1.56	102.98	0.24
17-9	41.42	38.84	64.14	60.15	0.92	0.86	106.64	0.15
17-10	60.3	49.08	61.21	49.82	1.1	0.90	122.86	0.20
17-11	54.22	45.54	63.56	53.38	1	0.84	119.06	0.24
17-12	56.87	49.20	57.31	49.58	1.07	0.93	115.59	0.29
17-13	53.85	46.15	61.9	53.05	0.81	0.69	116.68	0.10
17-14	57.96	45.27	68.66	53.63	1.03	0.80	128.02	0.29
17-15	50.43	40.04	74.09	58.82	1.24	0.98	125.96	0.16
17-16	39.47	38.66	61.38	60.12	0.99	0.97	102.1	0.25
17-17	38.09	28.69	92.17	69.42	1.97	1.48	132.77	0.41
17-18	39.99	34.65	74.14	64.24	1.24	1.07	115.41	0.03
17-19	43.27	31.30	92.77	67.10	1.84	1.33	138.26	0.27
17-20	34.92	32.67	70.14	65.62	1.16	1.09	106.89	0.63
17-21	35.45	30.97	77.02	67.29	1.89	1.65	114.46	0.09
17-22	40.69	30.00	92.86	68.47	1.83	1.35	135.63	0.18
17-23	35.84	30.92	78.74	67.93	1.12	0.97	115.91	0.18
17-24	26.82	24.20	72.84	65.72	1.07	0.97	110.83	9.11
17-25	29.21	27.77	74.55	70.87	1.22	1.16	105.2	0.21
17-26	18.59	19.37	76.81	80.03	0.39	0.41	95.98	0.20
17-27	19.62	16.47	97.71	82.02	1.49	1.25	119.13	0.26
17-28	13.87	10.69	113.23	87.30	2.16	1.67	129.7	0.34
17-29	18.34	16.19	92.95	82.08	1.86	1.64	113.25	0.09
17-30	20.21	18.08	89.31	79.90	1.99	1.78	111.78	0.24
17-31	18.74	18.55	80.54	79.74	1.49	1.48	101	0.23
17-32	18.74	16.21	94.59	81.84	1.98	1.71	115.58	0.23
17-33	26.99	22.78	89.58	75.62	1.67	1.41	118.46	0.19
17-34	26.94	22.91	88.78	75.50	1.71	1.45	117.59	0.14
17-35	20.99	17.93	94.01	80.29	1.84	1.57	117.09	0.21
17-36	19.98	16.99	95.46	81.17	1.94	1.65	117.6	0.19
17-37	17.7	15.56	93.98	82.62	1.9	1.67	113.75	0.15
17-38	18.63	14.58	106.52	83.34	2.45	1.92	127.81	0.16
17-39	24.49	20.02	95.62	78.17	1.93	1.58	122.33	0.24
17-40	21.48	20.03	83.87	78.22	1.73	1.61	107.22	0.13
17-41	21.89	18.38	94.89	79.69	1.96	1.65	119.07	0.28
17-42	23.06	18.13	101.83	80.05	2.19	1.72	127.21	0.10
17-43	26.59	19.72	106.07	78.66	2.09	1.55	134.84	0.07
17-44	23.83	20.21	91.91	77.95	1.93	1.64	117.91	0.20
17-45	21.19	18.58	91.07	79.86	1.81	1.59	114.03	-0.04
17-46	22.07	15.61	116.93	82.70	2.31	1.63	141.39	0.06
17-47	15.4	12.78	102.29	84.90	2.75	2.28	120.49	0.04

第 18 管 各粒度含量分布表

樣本代號	粗顆粒重量(g)	粗顆粒含量百分(%)	中顆粒重量(g)	中顆粒含量百分(%)	細顆粒重量(g)	細顆粒含量百分(%)	總重(g)	誤差百分比(%)
18-1	48.93	44.80	57.68	52.81	2.11	1.93	109.22	0.46
18-2	28.69	36.36	48.82	61.88	1.29	1.63	78.90	0.13
18-3	34.46	35.68	59.53	61.64	2.42	2.51	96.57	0.17
18-4	30.62	30.98	66.37	67.14	1.59	1.61	98.85	0.27
18-5	33.45	29.48	77.56	68.35	2.17	1.91	113.47	0.26
18-6	35.44	28.42	87.13	69.86	1.97	1.58	124.72	0.14
18-7	31.67	36.44	54.06	62.21	1.16	1.33	86.90	0.01
18-8	36.42	29.81	84.07	68.81	1.51	1.24	122.18	0.15
18-9	29.02	27.17	76.35	71.50	1.37	1.28	106.79	0.05
18-10	34.17	25.47	98.10	73.13	1.69	1.26	134.14	0.13
18-11	36.25	29.64	84.58	69.15	1.37	1.12	122.31	0.09
18-12	40.66	31.97	84.53	66.46	1.85	1.45	127.18	0.11
18-13	33.32	26.93	88.70	71.68	1.69	1.37	123.74	0.02
18-14	23.45	24.41	71.31	74.23	1.29	1.34	96.06	0.01
18-15	33.15	23.40	107.17	75.65	1.02	0.72	141.67	0.23
18-16	29.62	25.03	87.05	73.57	1.39	1.17	118.32	0.22
18-17	35.26	25.19	102.65	73.35	1.63	1.16	139.95	0.29
18-18	22.56	25.23	65.65	73.43	0.81	0.91	89.41	0.44
18-19	25.86	26.04	71.88	72.39	1.00	1.01	99.30	0.56
18-20	33.44	26.30	91.96	72.34	1.07	0.84	127.13	0.52
18-21	24.06	25.97	67.25	72.60	1.03	1.11	92.63	0.31
18-22	37.71	28.39	93.14	70.11	1.76	1.32	132.85	0.18
18-23	29.09	24.22	89.00	74.10	1.80	1.50	120.10	0.17
18-24	26.16	24.58	78.67	73.93	1.41	1.33	106.41	0.16
18-25	23.92	22.02	83.11	76.52	1.41	1.30	108.61	0.16
18-26	23.34	21.62	83.11	76.98	1.52	1.41	107.97	0.00
18-27	22.39	17.71	102.02	80.69	1.76	1.39	126.43	0.21
18-28	24.47	19.56	99.21	79.29	1.42	1.13	125.13	0.02
18-29	18.32	15.42	99.06	83.39	1.34	1.13	118.79	0.06
18-30	14.93	13.13	97.28	85.53	1.45	1.27	113.74	0.07
18-31	10.27	11.18	80.53	87.65	1.07	1.16	91.88	0.01
18-32	14.48	11.94	105.32	86.83	1.42	1.17	121.30	0.07
18-33	14.57	11.51	110.28	87.12	1.53	1.21	126.59	0.17
18-34	9.57	9.74	87.02	88.54	1.58	1.61	98.28	0.11
18-35	9.60	9.13	93.82	89.23	1.64	1.56	105.14	0.08
18-36	10.32	9.93	92.11	88.64	1.40	1.35	103.92	0.09
18-37	14.79	10.44	125.24	88.38	1.60	1.13	141.70	0.05
18-38	8.45	8.40	90.83	90.32	1.30	1.29	100.56	-0.02
18-39	8.17	6.77	110.80	91.86	1.53	1.27	120.62	0.10
18-40	11.03	9.18	107.48	89.48	1.40	1.17	120.11	0.17
18-41	15.74	12.88	105.29	86.13	1.19	0.97	122.24	0.02
18-42	25.83	25.45	74.67	73.57	0.85	0.84	101.50	0.15
18-43	37.34	38.00	60.01	61.07	0.67	0.68	98.27	0.25
18-44	60.01	48.18	63.74	51.18	0.72	0.58	124.55	0.06
18-45	28.84	41.74	39.87	57.71	0.44	0.64	69.09	-0.09
18-46	35.39	34.17	67.38	65.06	0.72	0.70	103.57	0.08

第 19 管 各粒度含量分布表

樣本代號	粗顆粒重量(g)	粗顆粒含量百分(%)	中顆粒重量(g)	中顆粒含量百分(%)	細顆粒重量(g)	細顆粒含量百分(%)	總重(g)	誤差百分比(%)
19-1	10.7	29.22	25.38	69.31	0.52	1.42	36.62	0.05
19-2	26.13	30.08	59.45	68.44	1.2	1.38	86.87	0.10
19-3	43.85	34.87	80.42	63.96	1.24	0.99	125.74	0.18
19-4	54.17	38.26	85.85	60.63	1.41	1.00	141.6	0.12
19-5	38.91	34.15	73.6	64.60	1.43	1.26	113.94	0.00
19-6	45.12	29.58	105.11	68.90	2.18	1.43	152.56	0.10
19-7	44.75	38.23	70.89	60.56	1.43	1.22	117.06	-0.01
19-8	39.28	29.49	92.12	69.15	1.74	1.31	133.22	0.06
19-9	34.3	30.39	77.19	68.38	1.32	1.17	112.88	0.06
19-10	41.23	32.06	85.39	66.39	1.72	1.34	128.62	0.22
19-11	35.45	32.87	70.74	65.59	1.57	1.46	107.85	0.08
19-12	45.54	32.09	94.51	66.59	1.65	1.16	141.93	0.16
19-13	34.78	32.83	69.81	65.90	1.33	1.26	105.93	0.01
19-14	58.5	47.35	63.94	51.75	1.01	0.82	123.56	0.09
19-15	41.28	38.46	69.42	64.69	0.97	0.90	107.32	-4.05
19-16	38.62	29.16	92.12	69.56	1.4	1.06	132.43	0.22
19-17	43.23	37.55	71.17	61.82	0.79	0.69	115.12	-0.06
19-18	50.8	42.76	67.12	56.49	0.73	0.61	118.81	0.13
19-19	46.17	41.75	63.45	57.38	0.83	0.75	110.58	0.12
19-20	53.76	39.59	81.11	59.74	0.87	0.64	135.78	0.03
19-21	63.76	47.33	70.14	52.07	0.69	0.51	134.7	0.08
19-22	43.46	36.71	74.11	62.59	0.85	0.72	118.4	-0.02
19-23	44.9	37.47	73.96	61.72	0.92	0.77	119.84	0.05
19-24	33.81	29.48	79.17	69.04	0.91	0.79	114.68	0.69
19-25	35.81	27.00	95.52	72.03	0.89	0.67	132.62	0.30
19-26	27.81	23.84	87.5	75.00	0.97	0.83	116.66	0.33
19-27	29.21	22.11	101.55	76.86	0.99	0.75	132.12	0.28
19-28	26.66	21.74	94.87	77.36	0.84	0.68	122.64	0.22
19-29	17.9	17.08	85.8	81.86	0.97	0.93	104.81	0.13
19-30	25.26	21.43	91.08	77.27	1.12	0.95	117.87	0.35
19-31	22.94	18.26	101.32	80.64	1.08	0.86	125.64	0.24
19-32	26.26	21.34	94.95	77.14	1.57	1.28	123.08	0.24
19-33	20.56	18.56	88.62	79.98	1.55	1.40	110.8	0.06
19-34	20.46	15.14	112.31	83.12	2.01	1.49	135.12	0.25
19-35	16.15	13.77	99.04	84.43	2.01	1.71	117.3	0.09
19-36	9.68	8.79	98	89.03	2.28	2.07	110.08	0.11
19-37	8.18	7.33	101.08	90.58	2.19	1.96	111.59	0.13
19-38	11.06	9.04	108.74	88.92	2.26	1.85	122.29	0.19
19-39	14.18	10.59	116.45	86.96	3.04	2.27	133.91	0.18
19-40	28.49	27.65	72.92	70.77	1.4	1.36	103.04	0.22
19-41	27.63	25.12	80.94	73.58	1.25	1.14	110	0.16
19-42	32.16	28.44	78.84	69.71	1.66	1.47	113.1	0.39
19-43	29.96	30.22	67.76	68.35	1.18	1.19	99.13	0.23
19-44	32.18	27.66	82.19	70.63	1.41	1.21	116.36	0.50
19-45	27.49	24.63	83.06	74.43	1.32	1.18	111.59	-0.25
19-46	17.08	19.30	70	79.10	1.25	1.41	88.5	0.19
19-47	26.67	20.96	99.13	77.90	1.3	1.02	127.25	0.12
19-48	16.21	19.65	64.79	78.55	1.34	1.62	82.48	0.17
19-49	20.3	19.04	84.34	79.10	1.55	1.45	106.63	0.41

評語

探討鄉土教材，值得讚賞。

建議釐清氣象資料，搜集台電風力資料，配合分析隨時間變化之沙丘改變情形。

沉積物中含不同礦物，不同礦物之密度各異，因此，風速對不同礦物之影響也不相同。需了解所提礦物之密度，輔助結果之解釋。