

目錄

壹、前言.....	1
貳、調查方法.....	3
參、調查區域簡介.....	4
一、自然環境.....	4
二、歷史人文.....	5
(一) 史前時期.....	5
(二) 歷史時期.....	6
肆、陸域文化資產.....	8
伍、水下文化資產.....	19
陸、陸域調查結果.....	29
柒、水下探測資料研析.....	31
捌、文化資產評估與建議.....	33
參考書目.....	34
圖版.....	36

圖目錄

圖 1	計畫位置圖.....	1
圖 2	輸電線路分布圖.....	2
圖 3	輸電線路套疊《台灣堡圖》.....	5
圖 4	計畫區域內經指定有形文化資產分布圖.....	18
圖 5	鹿港鎮內經指定之有形文化資產.....	18
圖 6	計畫區域內考古遺址分布圖.....	19
圖 7	海撈文物分布圖.....	28
圖 8	海撈動物化石位置圖.....	28

表目錄

表 一	計畫區域內經指定有形文化資產.....	8
表 二	計畫區域內考古遺址.....	12
表 三	水下文化資產（沉船）.....	20
表 四	計畫地點周圍海域相關歷史沉船資料表.....	23
表 五	18 號風場水下探測結果.....	31
表 六	19 號風場水下探測結果.....	32

壹、前言

本報告主要為「海龍離岸風力發電計畫環境影響評估工作（區塊18、19）」，內容包括文獻蒐集與田野調查。調查評估範圍包括海域水下考古文獻資料蒐集，以及陸纜輸電線所經路線及其周圍500公尺，調查項目以《文化資產保存法》第三條第一項：古蹟、歷史建築、紀念建築、聚落建築群、考古遺址、史蹟、文化景觀、古物、自然地景等九項；及《水下文化資產保存法》第三條第一項：（一）場址、結構物、建築物、器物及人類遺骸，並包括其周遭之考古脈絡及自然脈絡；（二）船舶、航空器及其他載具，及該載具之相關組件或裝載物，並包括其周遭之考古脈絡及自然脈絡；（三）具有史前意義之物件。

本調查目的在評估陸域與海域現有或可能存在之文化資產受工程施作影響的程度，同時提出減輕策略供相關單位參酌。風場場址位於濁水溪出海口西側，面積約220平方公里，距離岸邊則約46公里（圖1）。

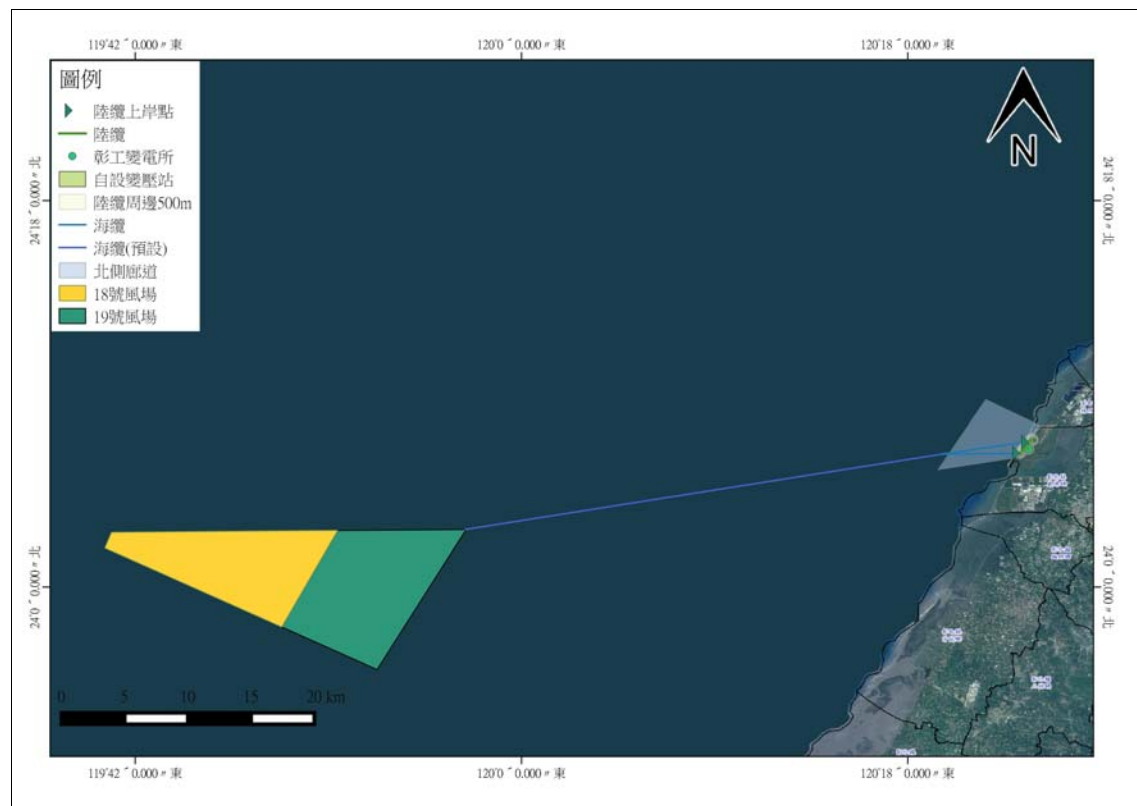


圖 1 計畫位置圖

輸電線路跨越彰化縣線西鄉與鹿港鎮，纜線上岸點有三處，分別位於彰濱工業區的線西區與崙尾區。北端纜線上岸後，向東沿著彰濱西二路續接彰濱西五路；另一條纜線同樣於上岸後向東延伸，走永安北路接慶安南一路；南端纜線則於上岸後沿著崙尾區海堤，向東北延伸，接到第二條纜線（圖2）。

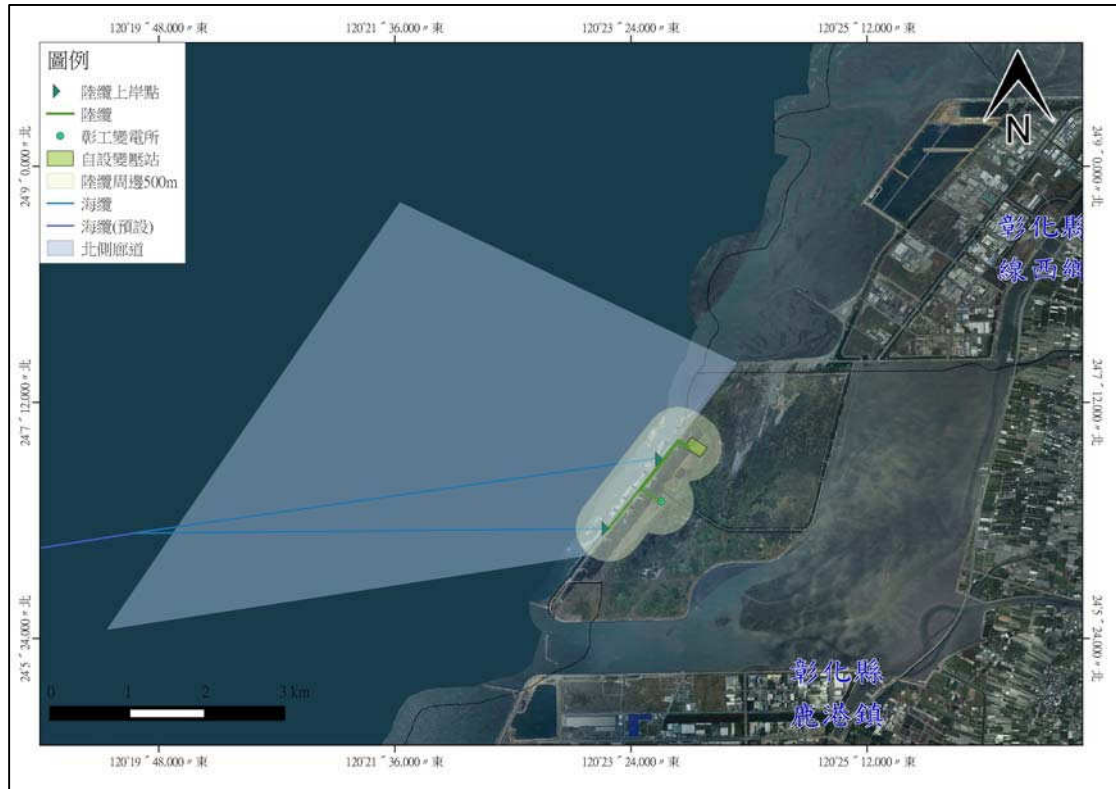


圖 2 輸電線路分布圖

貳、調查方法

調查工作區分為文獻蒐集與田野調查兩部分，陸域部分涵蓋前後兩項，而海域部分則就文獻蒐集與海域探測資料研析為主。最後根據調查結果進行報告撰寫與評估分析。茲將本案工作內容與步驟說明如下：

一、文獻蒐集

首先進行文獻資料的蒐集與整理，目的在對調查範圍內的歷史、地理、人文以及既有之文化資產項目有初步的認識和瞭解；同時，以文獻資料為基礎，規劃田野調查方式，並依實際情況作必要之調配，以利日後的調查工作。

二、田野調查

待室內工作（文獻資料的整理與閱讀）告一段落，依所擬定的調查方式，進行實際的田野調查。由於本計畫調查範圍涵蓋陸域與海域，故在陸域調查部分採徒步方法進行，檢視地層剖面與土壤堆積中是否有暴露之文化層與考古遺物或現象，如有發現則依實際情況輔以人工鑽探（auger）方式，初步探明地層堆積狀況以及文化層可能埋藏之深度。海域方面主要利用海洋探測儀器對調查區域進行探測，並根據探測結果進行分析。

參、調查區域簡介

一、自然環境

本計畫風場位於濁水溪出海口西側，面積約460平方公里，距岸邊約48公里。輸電線路跨越彰化西部二個鄉鎮：線西鄉與鹿港鎮，其中纜線上岸點分別位於彰濱工業區的線西區與崙尾區。

線西鄉屬彰化線西側臨海鄉鎮之一，北接伸港鄉，南臨鹿港鎮，東與和美鎮彼鄰。彰化縣陸域地形可分為彰化隆起海岸平原、濁水溪沖積平原以及八卦台地，線西鄉則屬海岸隆起平原，地勢低平（林俊全 1997）。境內相關水系自北而南包括：北部烏溪（俗稱大肚溪）、番雅溝、以及洋仔厝排水。其中較大流域面積者當屬烏溪，流經山地、丘陵、平原至伸港出海，溪水夾帶礫石、板岩、砂岩、砂頁岩等順流而下，濁水溪出海口的沖積扇以礫、砂、淤泥及填土組成的世屬海相沉積層，覆蓋於彰化隆起海岸平原之上（林俊全 1997：56）。

計畫所在區域屬亞熱帶季風型氣候，每年10月至翌年3月，東北季風盛行，4至9月為西南季風，從鹿港與麥寮兩氣象站所得資料顯示，近40年當地平均風向為北北東風，平均風速在每秒5.1~6.2公尺，顯示調查區域受東北季風影響甚鉅（林俊全 1997：17）。線西鄉西臨台灣海峽，海流主要受黑潮與寒流影響，沿岸流主要受季風與潮汐影響，冬季沿岸流流向以東北向西南流動為主，表面流速約每秒0.4公尺，底層流速約為每秒0.5~0.7公尺，由於夏季季風較弱，故沿岸流不顯著，方向由南向北流動，底層流速甚小，約每秒0.1公尺（林俊全 1997：138）；沿岸流主要受潮汐、風所影響，近年研究顯示調查區域周圍海域冬季平均流速在0.1~0.19公尺。此外，臺灣西部海岸因地形受潮汐影響甚鉅，西部各地高、低潮位的潮差也因地理區位與地形而有所不同。位居彰雲嘉海岸地區的芳苑海岸，每日均有兩次高潮及兩次低潮，每升降一次的平均週期為12小時25分，為正規雙日潮；大潮平均潮差在4.3公尺以上，小潮潮差約在2.1公尺左右，（林俊全 1997：69、137）。鹿港鎮位居台灣西部海岸，屬泥質海岸，海岸堆積迅速，沿海形成廣大海埔地，尤其鹿港、王公、芳苑一帶海埔地寬達4-5公里。

從1904年《台灣堡圖》可知，本計畫纜線所在區域於日治時期仍為海埔地，至1980年代方開發成為今日之工業區（圖3）。

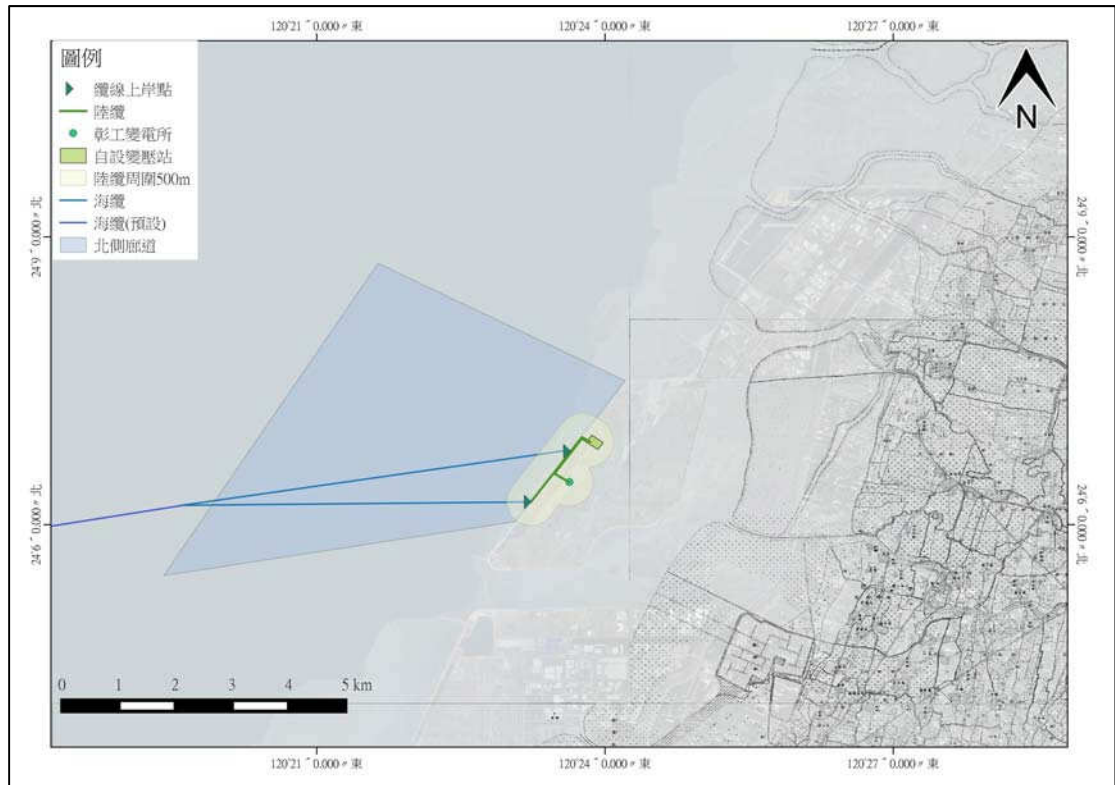


圖 3 輸電線路套疊《台灣堡圖》

二、歷史人文

(一) 史前時期

今日，彰化地區考古遺址數量比起數十年前已增加不少(郭素秋 2008、2009、2011)，同時，學者也根據新的調查與發掘資料修正或填補彰化地區史前文化層序以及內涵，但不同學者間仍存有差異，但大致可劃分為新石器時代早期大埤坑文化、新石器時代中期牛罵頭文化（細繩紋紅陶）、新石器時代晚期營埔文化、與金屬器時代番仔園文化，各文化內涵簡述如下：

1. 大埤坑文化：屬新石器時代早期階段，遺物包括陶器、打製石斧、石鏃、石鏃、網墜、凹石等，從遺址位置與出土遺物性質而言，應屬適應海洋、河口與河湖等自然環境的一種文化。
2. 牛罵頭文化：年代距今約 4500 至 3500 年前，陶器顏色以橙紅或紅褐色並帶有細繩紋紋飾為特色，陶器型式有罐、鉢、豆、三足器、多聯杯等；石器則有斧、鋤、網墜、石刀、箭鏃等。

3. 營埔文化：分布在中部大肚溪與濁水溪中下游一帶的河邊階地和丘陵地區，遺物以灰黑陶罐、鉢為主，其他部位有蓋、圈足，紋飾繁複，石器種類多樣。
4. 番仔園文化：分布在中部海岸一帶，陶器以灰黑色陶罐、瓶、鉢為主，紋飾有方格紋、刺點紋、魚骨紋、波浪紋、屈折紋等；石器則有打製石鋤、石刀、馬鞍形石刀、凹石等，另亦發現玻璃與瑪瑙珠等，墓葬以俯身直肢葬為主（劉益昌 1996，臧振華等 1995，何傳坤 2000、2001）。

（二）歷史時期

線西鄉位於番雅溝出海口南岸，下見口、頂見口、寓埔、塹仔、溝內、十五張犁等地開發於雍正末年與乾隆年間，由晉江縣人莊允權、柯文捷等拓墾。清代隸屬諸羅縣，不同時期分別隸屬彰化縣、半線堡轄域、以及半線西堡屬域。分治後改隸屬彰化縣，日治初期明治 43 年（1909）劃為台中廳彰化支廳下見口區線西堡館域。台灣光復後，改線西鄉，民國 39 年 7 月 1 日劃分線西、新港（改為伸港）兩鄉。同年 10 月 21 日縣市行政區調整，改隸彰化縣，稱為彰化縣線西鄉。居民多初由福建省泉州一帶遷移來墾，以農為業，從事開拓墾荒逐漸形成聚落，居民黃姓多數，次為林、陳、謝（洪敏麟 1999：275-276）。

鹿港以前別名「鹿仔港」，初見於康熙 34 年的《台灣府志》中，由來有三：一為往昔此處麋鹿成群，以輸出鹿角、鹿茸、鹿皮等物產而得名；二為鹿港作為中部稻米總輸出港，古時按照米倉外型而有不同稱呼，圓者稱「稟」，方者為「鹿」，而鹿港此區的米倉皆為方形，故稱之；最後則因早期河口港的形狀似鹿而得名。在漢人入墾前，鹿港一帶原為巴布薩平埔族馬芝遴社的活動場域；直到明鄭時期，鹿港成為漢人移墾台灣中部的港口，以漁業、貿易和軍事起家。到了康熙末年，鹿港已發展為重要的貿易商港兼漁港；至乾隆十年左右，鹿港成為中部米穀集散地，街肆大舉擴張；乾隆 49 年正式開港，往返於中國大陸的蚶江，發展為台灣第二大的都市，正式開港至道光末年此一期間為鹿港最繁榮時期，而有「一府二鹿三艋舺」之美譽。然而作為附屬於鹿港溪的河港，泥沙的淤積和深水線的轉移，使港口位置不斷發生變化，鹿港溪三次氾濫成災¹，港口日漸淤積，海埔新生地的出現使鹿港遠離海濱，影響鹿港作為港口的貿易功能，且到了日治時期，

¹ 首次淤積於康熙 56 年；嘉慶中葉港門遭泥沙所阻，港路變窄，改由「王功港」出入；道光年間淤積更甚，再改由「番仔挖」出入；咸豐年間於鹿港西邊二里處新設「沖西港」代替；光緒 26 年，濁水溪大紅沖毀沖西港，乃於洋仔厝溪下游開闢「福隆港」，位於鹿港西北方 6 公里遠處（洪敏麟 1999：248-249）。

對大陸各港貿易管制，重要道路幹線（如縱貫鐵路、公路）皆遠離鹿港鎮，使原先鹿港的腹地改以基隆、高雄為出入口，更加速了此區的衰微，衰退成一地方性小港，光復後民國 34~35 年間，雖一度恢復與大陸的貿易，卻因國共內戰而中斷，鹿港徹底喪失了河口港的機能。即使曾藉番仔挖、王功、沖西、福隆等港援為外港以維持港務，然隨著各處泥沙淤積漸多，腹地範圍縮小，貿易對象（主要為大陸）減少，鹿港終究卸下了重要商港的身分，成為一地方性的街鎮（洪敏麟 1999：245-251）。

肆、陸域文化資產

計畫所屬行政區鹿港鎮及鄰近的線西鄉境內，共有27處經指定與登錄的有形文化資產，一處位於線西鄉，其餘26處皆位於鹿港鎮（表一）。另有22項無形文化資產，1項登錄於線西鄉，其餘21項登錄於鹿港鎮（表二）。考古遺址方面，線西鄉6處，鹿港鎮17處，共計23處考古遺址（表三）。

一、登錄、指定之有形文化資產

目前彰化縣鹿港鎮與線西鄉境內，共有共有27處經指定與登錄的有形文化資產，一處位於線西鄉，其餘26處皆位於鹿港鎮，列舉於表一。

表一 計畫行政區內經指定有形文化資產

類別	代表圖示	資產名稱	地理區域	種類	級別	公告文號
古蹟		鹿港新祖宮	彰化縣 鹿港鎮	寺廟	縣(市) 定古蹟	府授文資字第 10002395361 號
		鹿港金門館	彰化縣 鹿港鎮	寺廟	縣(市) 定古蹟	89 彰府民宗字第 202916 號
		鹿港鳳山寺	彰化縣 鹿港鎮	寺廟	縣(市) 定古蹟	89 彰府民宗字第 202916 號
		鹿港丁家古厝	彰化縣 鹿港鎮	宅第	縣(市) 定古蹟	89 彰府民宗字第 202916 號

	鹿港日茂行	彰化縣 鹿港鎮	宅第	縣(市) 定古蹟	89 彰府民文字第 132763 號
	鹿港南靖宮	彰化縣 鹿港鎮	寺廟	縣(市) 定古蹟	89 彰府民文字第 132763 號
	鹿港公會堂	彰化縣 鹿港鎮	其他	縣(市) 定古蹟	89 彰府民文字第 132763 號
	鹿港隘門	彰化縣 鹿港鎮	關塞	縣(市) 定古蹟	89 彰府民文字第 132763 號
	鹿港天后宮	彰化縣 鹿港鎮	寺廟	縣(市) 定古蹟	74 臺內民字第 357272 號
	鹿港文武廟	彰化縣 鹿港鎮	寺廟	縣(市) 定古蹟	74 臺內民字第 357272 號
	鹿港地藏王 廟	彰化縣 鹿港鎮	寺廟	縣(市) 定古蹟	74 臺內民字第 357272 號
	鹿港城隍廟	彰化縣 鹿港鎮	寺廟	縣(市) 定古蹟	74 臺內民字第 357272 號

		鹿港三山國王廟	彰化縣 鹿港鎮	寺廟	縣(市) 定古蹟	74 臺內民字第 357272 號
		鹿港興安宮	彰化縣 鹿港鎮	寺廟	縣(市) 定古蹟	74 臺內民字第 357272 號
		鹿港龍山寺	彰化縣 鹿港鎮	寺廟	國定古 蹟	72 臺內民字第 202452 號
歷史 建築		鹿港鶴樓別墅	彰化縣 鹿港鎮	宅第	無	府授文資字第 0990000234C 號
		鹿港施進益古厝	彰化縣 鹿港鎮	宅第	無	府授文資字第 0980001965 號
		鹿港蔡氏宗祠	彰化縣 鹿港鎮	祠堂	無	府授文資字第 0970000579A 號
		鹿港敬義園紀念碑	彰化縣 鹿港鎮	碑碣	無	府授文資字第 0960001615G 號
		鹿港玉珍齋	彰化縣 鹿港鎮	其他	無	府授文資字第 0950002911C 號

		鹿港意和行	彰化縣 鹿港鎮	其他	無	府授文資字第 0950002911D 號
		鹿港友鹿軒	彰化縣 鹿港鎮	其他	無	府授文資字第 0950002911E 號
		原海埔厝警察官吏派出所	彰化縣 鹿港鎮	衙署	無	府授文資字第 09400020681 號
		鹿港街長宿舍	彰化縣 鹿港鎮	其他	無	府授文資字第 09100062413 號
		鹿港元昌行	彰化縣 鹿港鎮	其他	無	90 彰府文資字第 0209025 號
		鹿港十宜樓	彰化縣 鹿港鎮	其他	無	90 彰府文資字第 0209025 號
文化景觀		線西蛤蜊兵營	彰化縣 線西鄉	軍事設施		府授文資字第 0970000554G 號

(資料整理自文化資產局網站，2016/10/17查詢)

二、登錄、指定之無形文化資產

計畫所屬行政區鹿港鎮及鄰近的線西鄉境內，目前登錄的無形文化資產，共計 22 項，其中線西鄉 1 項、鹿港鎮 21 項；就內容來看，傳統工藝 13 項、保存技術與保存者 1 項、民俗 1 項、傳統表演藝術 7 項，列舉如下。

表二 計畫行政區內經登錄之無形文化資產

類別	代表圖示	資產名稱	保存者/ 地點	地理 區域	種類	級別	公告文號
傳統工藝		製鼓	黃呈豐	彰化縣 線西鄉	其他 -製 鼓	傳統工藝	府授文演字第 1030445819A
傳統工藝		中國結	進德街 11 號	彰化縣 鹿港鎮	其他 -中 國結	傳統工藝	府授文演字第 1020319658C
傳統工藝		立體繡	四維路 20 號	彰化縣 鹿港鎮	刺繡	傳統工藝	府授文演字第 1020319658B
傳統工藝		金雕	中山路 185 號	彰化縣 鹿港鎮	金工	傳統工藝	府授文演字第 1020319658
傳統工藝		錫工藝	陳萬能	彰化縣 鹿港鎮	金工	重要傳統 工藝	會授資籌三字 第 10030064432 號

傳統工藝		錫工藝		彰化縣 鹿港鎮	其他 -錫 工藝	傳統工藝	府授文演字第 0980252497 號
傳統工藝		傳統木雕	埔頭街 28 號	彰化縣 鹿港鎮	木作	傳統工藝	府授文演字第 1020319658D
傳統工藝		傳統木雕	施鎮洋	彰化縣 鹿港鎮	木作	重要傳統 工藝	會授資籌三字 第 10030064432 號
傳統工藝		傳統木雕		彰化縣 鹿港鎮	木作	傳統工藝	府授文演字第 0980252498 號
傳統工藝		粧佛	施至輝	彰化縣 鹿港鎮	木作	重要傳統 工藝	會授資籌三字 第 10030064432 號
傳統工藝		粧佛	吳清波	彰化縣 鹿港鎮	木作	傳統工藝	府授文演字第 0980252499 號、第 0980252500 號

傳統工藝		粧佛		彰化縣 鹿港鎮	木作	傳統工藝	府授文演字第 0980252499 號、第 0980252500 號
傳統工藝		燈籠彩繪	吳敦厚	彰化縣 鹿港鎮	彩繪	傳統工藝	府授文演字第 0980252501 號
保存技術及保存者		鑿花技術	李秉圭	彰化縣 鹿港鎮		保存技術 及保存者	文資局傳字第 10120170902 號
民俗		鹿港魯班 公宴	彰化縣 鹿港鎮 朝陽鹿 港協會	彰化縣 鹿港鎮	信仰	民俗	府授文演字第 0970000561C
傳統表演藝術		南管音樂	郭應護	彰化縣 鹿港鎮	音樂	傳統表演 藝術	府授文戲字第 1030280386B
傳統表演藝術		南管音樂	黃承祧	彰化縣 鹿港鎮	音樂	傳統表演 藝術	府授文戲字第 1030280386B

傳統表演藝術		北管音樂	許淵登	彰化縣 鹿港鎮	音樂	傳統表演 藝術	府授文戲字第 10102701282 號
傳統表演藝術		玉琴軒北 管樂團		彰化縣 鹿港鎮	音樂	傳統表演 藝術	府授文戲字第 10102701282 號
傳統表演藝術		鹿港遏雲 齋南管樂 團		彰化縣 鹿港鎮	音樂	傳統表演 藝術	府授文戲字第 0990000240B
傳統表演藝術		鹿港聚英 社南管曲 藝		彰化縣 鹿港鎮	音樂	傳統表演 藝術	府授文戲字第 0960001620 B 號
傳統表演藝術		鹿港雅正 齋南管曲 藝		彰化縣 鹿港鎮	音樂	傳統表演 藝術	府授文戲字第 0960001620 A 號

(資料整理自文化資產局網站，2017/10/5查詢)

三、疑似文化資產——考古遺址

考古遺址方面，根據過去調查資料，線西鄉發現 6 處考古遺址，鹿港鎮則有 17 處考古遺址，共計 23 處考古遺址；年代涵蓋金石並用時代之番仔園文化晚期，以及清代中晚期、日治至光復初期等近現代遺留。

表三 計畫區域內考古遺址

鄉鎮	遺址名稱	文化內涵	遺跡、遺物
線西鄉	八卦寮崙	番仔園／清或日治時期遺留	陶器、硬陶、船板遺跡、貝塚、近代灰磚遺跡
	頂見口 I	清代中晚期	青花瓷
	頂見口 II	清代中晚期／日治至光復初期	青花瓷、日治瓷碗與墓葬
	頂犁	清代中晚期	青花瓷、硬陶
	下犁	清代中晚期／日治時期	青花瓷、瓷器、素燒與上釉硬陶
	口厝	清代中晚期／日治至光復初期	乾隆墓葬、青花瓷、素燒與上釉硬陶
鹿港鎮	崎溝子 I	番仔園晚期／清代中晚葉遺留／日治至光復初期遺留	灰黑至灰褐夾砂陶、橙紅色陶罐、青花瓷、瓷器、素燒硬陶
	崎溝子 II	番仔園晚期	灰黑至灰褐夾砂陶、橙紅色陶罐、鐵片
	崎溝子 III	番仔園晚期／清代中晚葉遺留／日治至光復初期遺留	灰黑至灰褐夾砂陶、橙紅色陶罐、青花瓷、瓷器、素燒硬陶
	頂番婆	番仔園／清代中晚期遺留／日治至光復初期	橙色與灰褐夾砂陶、青花瓷、素燒與上釉硬陶、日治黑瓦、瓷器
	溝墘 I (歷史時期)	清代中晚葉遺留／日治至光復初期遺留	青花瓷、清代紅磚、瓷器
	溝墘 II (歷史時期)	清代中晚葉遺留	青花瓷
	溝尾 I	番仔園晚期／日治至光復初	灰黑至灰褐夾砂陶、橙紅

		期遺留	色陶罐、瓷器
	溝尾 II	番仔園晚期／清代中晚葉遺留	灰黑至灰褐夾砂陶、橙紅色陶罐、青花瓷
	學子	番仔園晚期／清代中晚葉遺留／日治至光復初期遺留	灰黑至灰褐夾砂陶、橙紅色陶罐、青花瓷、道光墓葬、瓷器、素燒與上釉硬陶
	謝厝	番仔園晚期／清代中晚葉遺留／日治至光復初期遺留	灰黑至灰褐夾砂陶、橙紅色陶罐、青花瓷、墓葬、瓷器、素燒與上釉硬陶、清代紅磚、清代與日治銅錢
	竹園內 I (歷史時期)	清代中晚葉遺留	青花瓷、素燒與上釉硬陶
	竹園內 II (歷史時期)	日治至光復初期遺留	瓷器、素燒與上釉硬陶、紅磚、紅瓦、灰瓦
	鹿港·竹園仔 (歷史時期)	清代中晚葉遺留／日治至光復初期遺留	青花瓷、瓷器、素燒硬陶
	埔腳 (歷史時期)	清代中晚葉遺留／日治至光復初期遺留	青花瓷、素燒與上釉硬陶
	石碑腳崙	番仔園／日治時期	紅與灰褐素面夾砂陶、日治青花瓷碗
	脫褲庄 (歷史時期)	清代中晚葉遺留／日治至光復初期遺留	青花瓷、素燒與上釉硬陶
	草厝	番仔園晚期／清代中晚葉遺留／日治至光復初期遺留	灰黑至灰褐夾砂陶、橙紅色陶罐、青花瓷、瓷器、素燒與上釉硬陶、紅磚

(資料整理自郭素秋《彰化縣遺址普查計畫》第一至第三期)

上述有形與無形文化資產及考古遺址均不在本計畫陸纜及相關輸電設施位置上，且相距甚遠(圖4-6)。

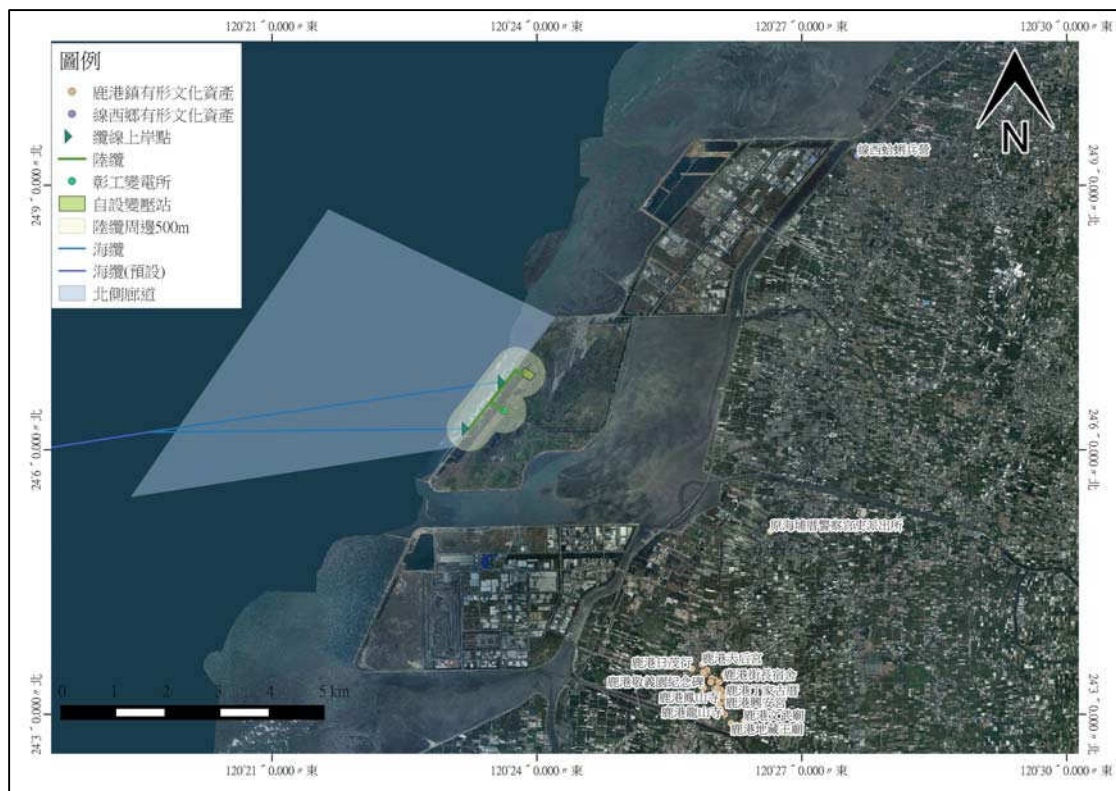


圖 4 計畫區域內經指定有形文化資產分布圖

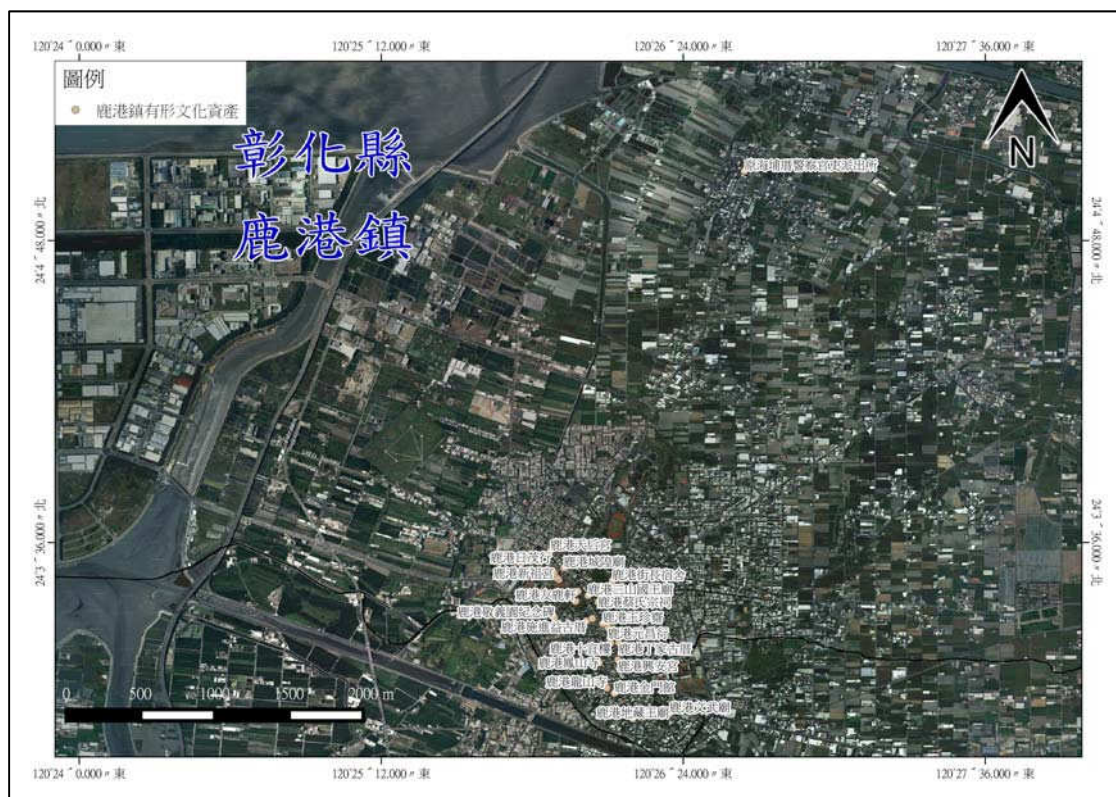
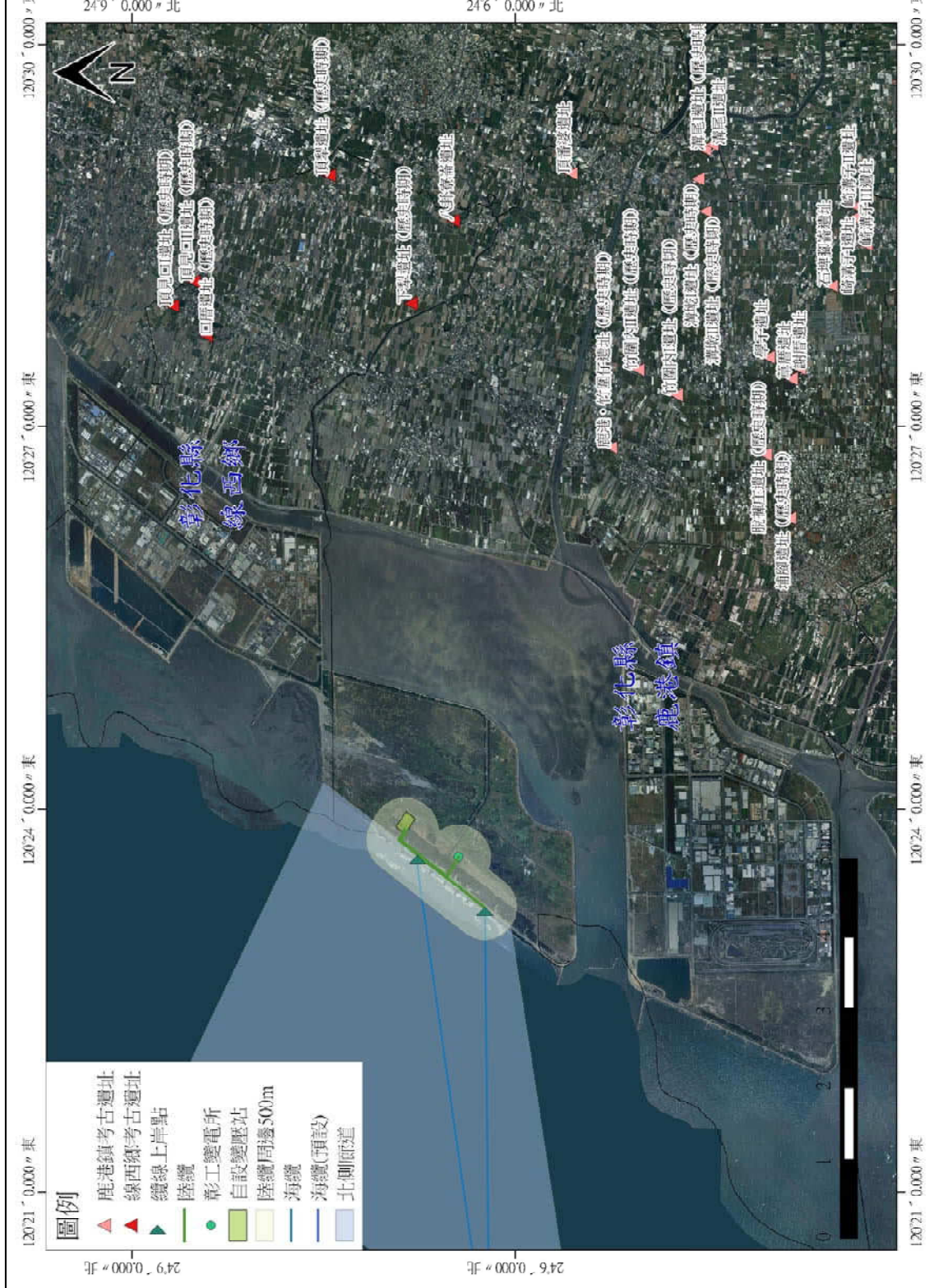


圖 5 鹿港鎮內經指定之有形文化資產



根據水下文化資產保存法第3條定義：

「一、水下文化資產：指以全部或一部且週期性或連續性位於水下，具有歷史、文化、考古、藝術或科學等價值，並與人類生活有關之下列資產：

- (一) 場址、結構物、建築物、器物及人類遺骸，並包括其周遭之考古脈絡及自然脈絡。
- (二) 船舶、航空器及其他載具，及該載具之相關組件或裝載物，並包括其周遭之考古脈絡及自然脈絡。

(三) 具有史前意義之物件。」

2013年至今，水下文化資產經列冊追蹤者有四處沉船，包括空殼嶼清代木船、英輪S.S. Bokhara、廣丙艦（Kohei）與山藤丸（SantengMaru），四處沉船均位於澎湖水域。相關資料如下（表1）（文化部文化資產局 2013：53-55）：

表二 水下文化資產（沉船）

編號	名稱	相關位置	沉沒（所屬）年代
1	空殼嶼清代木船	澎湖北方海域	（清中、晚期）
2	英輪 S.S. Bokhara	澎湖南方海域	1892年
3	廣丙艦（Kohei）	澎湖北方海域	1895年
4	山藤丸 （SantengMaru）	澎湖本島東南方海域	1942年

1. 空殼嶼清代木船

澎北空殼嶼海域西南方海域在古代航海時期是極為險峻的區域，推測該木船可能從大陸閩南地區往返臺澎時觸礁沉沒。2009年6月於該海域發現有大量的磚瓦、彩瓷碗、青花碗、杯、青花盤及木質船體遺跡，根據紋飾推論為清代中、晚期木質貿易船，可作為該時期貿易航線研究之驗證。

2. 英輪S.S. Bokhara

2009年11月於姑婆嶼發現。英國S.S. Bokhara商輪為鐵行輪船公司（P. and O. Co.）大型舊輪船，在1892年載運郵件從上海開出，預定經香港開往歐洲（載有到上海參賽的板球隊員），於10月11日遭遇颱風而觸礁沉沒，148人中只有23人生還，當時國際媒體有巨幅報導，之後英國捐款興建燈塔，並在姑婆嶼興建紀念碑。Bokhara沉船的發現除可驗證當時的歷史事件外，並可從相關遺物瞭解當時的貿易情形及生活用品等器物。

3. 廣丙艦（Kohei）

2010年6月於將軍嶼蠔曝淺礁發現。廣丙艦為清光緒年間由福州馬尾造船廠造艦，屬清廣東水師巡洋艦。1894年甲午戰爭鴨綠江海戰失利，在威海衛投降，被編入日本艦隊，並曾參與日本接收臺、澎任務。日本臺灣總督府檔案記載1895年前往搜查隱匿澎湖群島的敗兵巨魁林廷程，觸礁沉沒，船上160人，除37人下

落不明，餘皆獲救。在澎湖及日本廣島均立有紀念碑，可為清末時期歷史及戰爭事件之研究佐證。

4. 山藤丸 (SantengMaru)

2010年5月於六呎礁發現。為日本第二次世界大戰時期之運輸船，1942年被美軍潛艇艦載魚雷擊中而沉沒。

另於本計畫調查執行期間，「將軍一號」雖經過調查、發掘，但尚未列冊追蹤（黃永川 1996、1997、1999）。以上經過列冊或尚未列冊之沉船均位於澎湖海域，均不在本計畫海域。

此外，根據文獻資料顯示（湯熙勇 2009），計畫位置附近海域曾紀錄多筆沉船紀錄，但由於文獻資料中關於沉船地點的描述過於簡略，無法明確瞭解該沉船地點與本計畫風場場址之關聯性。以下分別就13筆沉船資料描述如下（表2）：

1. 明代No.18：二林位於舊濁水溪下游地區，彰化平原西南部。康熙年間已有漢人入墾，至乾隆末年已成市街。至乾隆中葉均以三林港(今芳苑鄉永興村)為外港，因港口淤積及風沙為慮，至道光初期改以番仔挖(今芳苑鄉芳苑、芳榮、芳中、仁愛、信義等村)為外港。目前二林市街距海岸超過1公里。原始資料描述為：「…這夜，戎克船Hollandia號遇見那其他4艘海盜船，乃追趕其中一艘，一直追到二林前面，並使2艘最小的擱淺沉沒。」（江樹生譯註 2002《熱蘭遮城日誌（第二冊）》，頁224）
2. 明代No.36：此筆資料沉船地點描述為「濁水溪往上游方向」，由於記錄文字過於簡單，另從描述中可推估與計畫區域相對位置甚遠。另原始資料記載為「擱淺」，並未記錄有任何船隻沉沒。（江樹生譯註 2002《熱蘭遮城日誌（第二冊）》，頁306-309）
3. 清代No.12：沉船地點描述為「鹿仔港海面附近青崑身外海」，鹿仔港即為今之鹿港，位於調查區域北方約8.5公里處。
4. 清代No.109：沉船地點描述為「彰化屬新打港」，湯氏報告記錄為彰化伸港地區，伸港鄉有新港一地，新港為今大同、什股、海尾、全興等村，西距台灣海峽2.3公里，新港地名因新建港口故名之。另「新盤港」，所指為光緒末年番仔挖岸外沙灘，因泥沙淤積甚大，岸外沙灘寬達2公里（今已寬達約5公里），巨型帆船停泊1.9公里處稱之。倘若文獻中之新打港即為「新盤港」，則此筆沉船資料與調查區域即有較密切關係。

5. 清代No.110：沉船地點描述為「大突（突）?溪擱淺」，大突位於今之溪湖鎮，舊濁水溪北岸，為昔日洪安雅族社域。距離調查區域1公里以上。
6. 清代No.111：與（4）同。
7. 清代No.112：與（4）同。
8. 清代No.129：沉船地點描述為「彰化縣屬麥子寮外海」，即為麥寮外海，其位於濁水溪南側，距調查區域1公里以上。
9. 代No.147：沉船地點描述為「漂流至彰化三林港大突頭地方」，應指今永興村外之海岸區域，三林港為昔日二林之外港，該區域位處舊濁水溪下游地區，受河水氾濫與改道甚大。距離調查區域1公里以上。
10. 清代No.223：沉船地點描述為「鹿港（Lu-chiang/Lokiang）鎮附近淺灘」，鹿港距離計畫區域東北方約8.5公里。
11. 清代No.238：沉船地點描述為「王功礁附近」，王功昔稱「王宮」，位於調查區域西南邊約4.5公里處。
12. 清代No.309：沉船地點描述為「漂流至彰化外海」文字描述過於簡單空泛，無從判斷。
13. 清代No.336：沉船地點描述為「鹿港（Lokiang）附近擱淺」，鹿港距離調查區域東北方約8.5公里。

表三 計畫地點周圍海域相關歷史沉船資料表

沈船 年代	湯熙勇報告 頁數/編號	沉船 編號	國籍	船隻性質	載運 貨物	載運 人員	航線	沉船 地點	沉沒時間	沉沒 原因	損失 /打撈	生存 /死亡
明代	p.303 No.18			海盜船				二林附近	1643.12.23	戰爭		
明代	p.305/No.36			海盜船/戎克 船				濁水溪往上游方向	1644.7.8~9	戰爭		海盜 25-30 人 死亡，其 餘逃走
清代	p.310 / No.12	臺灣水師協 標左營定字 十七號	清國	水師船		兵 18 人	安平—	鹿仔港海面附近 青崑身外海		遭風 衝汕	軍械沉 失	全數獲救
清代	p.317/No.109	臺灣水師協 標中營平字 六號	清國	水師船/哨船		水兵 46 人	鹿仔港— 北洋	彰化屬新打港外海	嘉慶 20 (1815) 年 6 月 26 日	遭風	軍械、藥 鉛、鈴記 和委牌 等沉失	水兵 5 人 失蹤
清代	p.317/No.110	臺灣水師協 標中營平字 十一號	清國	水師船/哨船		水兵 41 人	鹿仔港— 北洋	大哭(突?)溪擱淺	嘉慶 20 (1815) 年 6 月 26 日	遭風		全數獲救

沈船 年代	湯熙勇報告 頁數/編號	沉船 編號	國籍	船隻性質	載運 貨物	載運 人員	航線	沉船 地點	沉沒時間	沉沒 原因	損失 /打撈	生存 /死亡
清代	p.317/No.111	臺灣水師協 標中營方字 二號	清國	水師船/哨船		水兵 34 人	鹿仔港— 北洋	彰化屬新打港外海	嘉慶 20 (1815) 年 6 月 26 日	遭風	撈獲大 砲 3 門	水兵 1 人死亡
清代	p.318/No.112	臺灣水師協 標左營方字 五號	清國	水師船/哨船		水兵 39 人	鹿仔港— 北洋	彰化屬新打港外海	嘉慶 20 (1815) 年 6 月 26 日	遭風	軍械沉 失	水兵 9 人失蹤
清代	p.319/No.129	廈門提標右 營集字七號	清國	水師船/哨船			安平至鹿 港	彰化縣屬麥子寮外海	道光 13 (1833) 年 10 月 23 日	遭風	軍械沉 失	1 人失蹤
清代	p.320/No.147		朝鮮		馬匹	30 人	羅州長沙 島至？	漂流至彰化三林港大 突頭地方	雍正 7 (1729) 年 9 月 12 日	遭風		全數獲 救，雍正 8 年 1 月 15 日送 至廈門

沈船 年代	湯熙勇報告 頁數/編號	沉船 編號	國籍	船隻性質	載運 貨物	載運 人員	航線	沉船 地點	沉沒時間	沉沒 原因	損失 /打撈	生存 /死亡
清代	p.326/No.223	Bata (Beta) 號	英國	三桅帆船				臺灣西岸鹿港 (Lu-chiang/Lokiang) 鎮附近淺灘	光緒 10 (1884) 年 8 月初一日	觸礁	船隻遭 原住民 搶劫 和破壞	船員由英 國砲艇 Fly號 送往打狗
清代	p.331/No.283	畝傍號	日本	汽船	船員三 次郎等 14 人			王公礁附近	光緒 12 (1886) 年	遭風		送返長崎
清代	p.333/No.309	天德丸	日本		船員三 次郎等 14 人			漂流至臺灣彰化	嘉慶 15 (1810) 年 3 月			全數獲 救，船員 14 人於 1811 年1 月由乍浦 送返長崎
清代	p.336/No.339	Nicolino	德國	斯庫納縱帆 船 (schooner)				鹿港 (Lokiang) 附近 擱淺	光緒 11 (1885) 年 7-8 月間			

除史籍沈船外，台灣周圍海域尚存在一些具史前意義或考古價值的遺物（圖 7-8），但這些遺物資訊多來自於報章媒體之採訪，或其他非以考古學研究為目的發現，不過，這類資料或訊息亦可提供本計畫重要之參考資料；相關資料（簡榮聰 1994）描述如下：

1. 雲林縣三條崙漁民吳文晉（78 歲）：在北港溪、虎尾溪、東石沿海常撈到古物，碗盤、碟、甕、壺皆有。此二溪流入海附近落差大，形成深坑，處處漩渦，漁民謂之「同交堀」、「深堀」。其深堀中必有古沈船不少，在此海域漁蝦也常撈到古陶瓷器物。
2. 雲林縣台子村漁民林木通先生描述（四十多歲）：舊金湖港萬善祠前，原是清代笨港外港，此處附近住家尚有榨糖用的石輪與輾布石，可見舊金湖港昔時繁榮景況，在此處附近雲嘉沿海一代也曾撈到古陶瓷器物。
3. 嘉義縣東石鄉吳文正、吳叔承父子：以前外傘頂洲常可撿到古錢幣及破損陶瓷器物等。現外傘頂洲已漸沒入水中，「同交堀」也較淺。距東石海岸一帶約 20-40 公尺外，自古即堆積許多蚵貝，形成蚵貝層。蝦類尤其「九蝦仔」喜歡棲息於此，在這一帶的古沉船器物，不易埋入沙土中，容易為網蝦的漁民拖入網中，但因器物長黏附於蚵貝層上，網一拖動，器物硬被拔離蚵貝層而斷裂破損。
4. 台灣省漁會理事陳茂三表示，早在二十幾年前就曾經在台南縣青山港外海撈獲古錢幣，這些錢幣夾帶大團泥沙出土，所屬年代自明萬曆到清康熙、道光，乃至日本明治、大正時代都有。而附近漁民亦曾撈得明、清的古甕、香爐或殘缺的陶瓷和牛角化石，因此他相信台海確實有沈船的存在。
5. 雲林縣四湖鄉廣溝村漁民黃連排老先生（訪問時已 87 歲）：在日據時期早就有漁民撈到文物，只不過們有人去注意它，加上海撈陶瓷等常附有蚵貝，又欠光澤不起眼，漁民大多撈到後又拋回海中。
6. 雲林蚵寮人林德財老先生（二年前訪問時為 80 歲）：當其在二十年前，常在外傘頂洲與雲嘉沿海撈到陶瓷器物，只撈取網中魚蝦，古物又拋入海中。
7. 吳文正、吳叔承父子（嘉義縣東石鄉人）：民國七十六年曾撈到一只青綠色大碗（宋代龍泉青瓷？）直徑約有八吋以上，本來取回給鴿子孵蛋用，但因胎厚，認為不易破，經四五次故意敲打試驗，結果被敲破。現代骨董販仔所說的陶甕浮碇，我們還認為是海葬者的「骨灰罐」都不敢取回。
8. 雲林縣水林鄉陳老卻先生（現年 82 歲，骨董界老前輩，已退休）：他常深入雲嘉南漁村收購海撈器物。

9. 鹿場骨董商鄭先生（四湖鄉民德國小紀主任雅伯先生訪問鹿場鎮老先生所言）：向漁民收購海撈物種類繁多陶瓷。
10. 雲林縣虎尾鎮骨董商吳添貴先生：向漁民收購海撈物種類繁多浮碇、古砲、船碇都有。
11. 台灣省漁會理事陳茂三：漁民在安平、網仔寮、青山、布袋等地區出海拖網，經常遭遇類似船桅和其他不明物體戳破漁網，網上又黏附著船體慣有的瀝青油和拆卸下部分船體。
12. 1994 至 1996 年間，國立自然科學博物館邀請中國科學院古脊椎動物與古人類研究所的科技人員赴臺合作研究館藏中，撈自澎湖海溝近 500 件哺乳動物化石標本以及與其相關的古地理環境問題。為了進一步瞭解化石打撈海上作業及確認化石地點，國立自然科學博物館研究小組於 1995 年 5 月承租拖網船前往澎湖海溝。經過 2 天的作業，由衛星導航系統在北緯 23°16'至 23°23'，東經 119°55'至 119°56'範圍之內，撈獲了古菱齒象胸椎 1 件、德氏水牛頭骨 1 件、角幹 1 件及四不像鹿犄角 3 件。1998 年底，福建泉州石獅沿海漁民在北緯 23°23'~ 25°00'、東經 119°20'的海域內也撈出古菱齒象、熊、野馬、四不像鹿、水牛等 10 多種哺乳動物化石。在數千件標本中，研究人員找到了一件古人類肱骨化石、一件骨器及一件帶有人工刻痕的動物下顎骨。年代測定顯示這個動物群的時代大致在距今 40,000~10,000 年之間（資料引自國立自然科學博物館，檢索日期 20171005）。
13. 台南安平南方一帶的鯤鯓沙土中，口徑 4 公分，前膛滑膛，青銅質地，火炮剖面亦呈八角形（陸泰龍 2009）。
14. 澎湖烈嶼北方海域曾發現一艘木質沉船與三門古砲（中央日報 1984.1.12）。
15. 雲林湖口鄉台子村漁民於台子港外撈獲一青花鳳鳥瓷碗（中國時報 1999.10.13）。
16. 外傘頂洲南方一海溼，水深 72-75 公尺處曾有漁民撈獲一長約三公尺的疑似動物骨骼（中央日報 1996.2.17）。

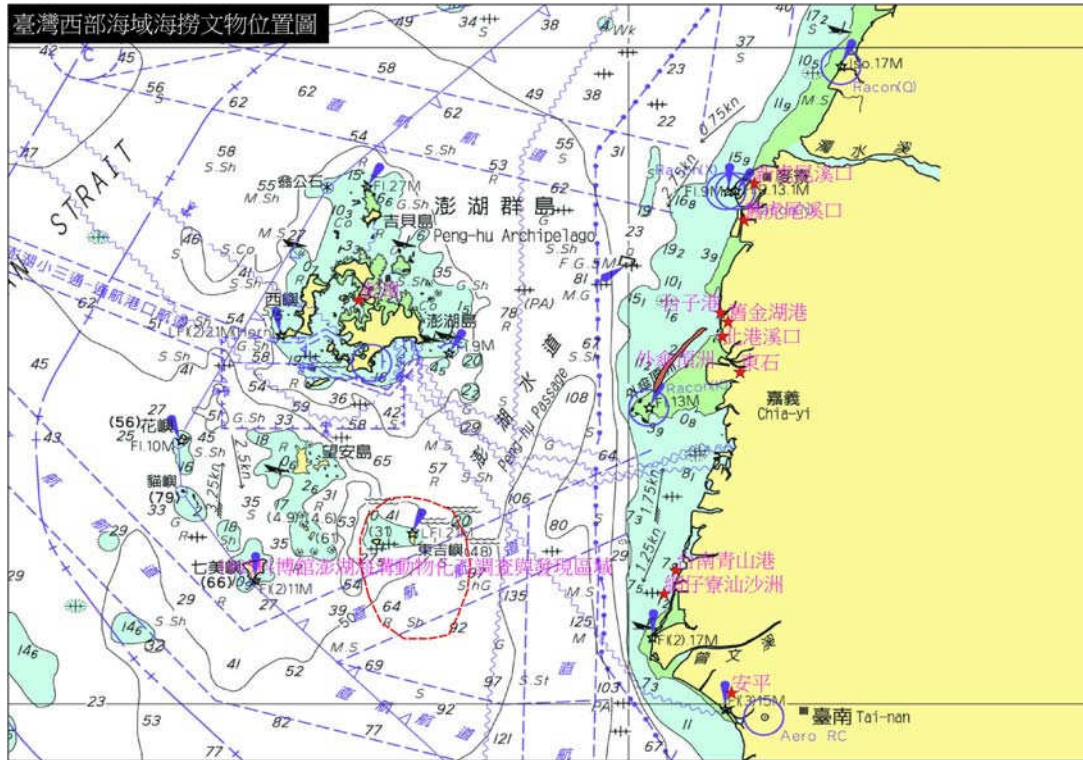


圖 7 海撈文物分布圖

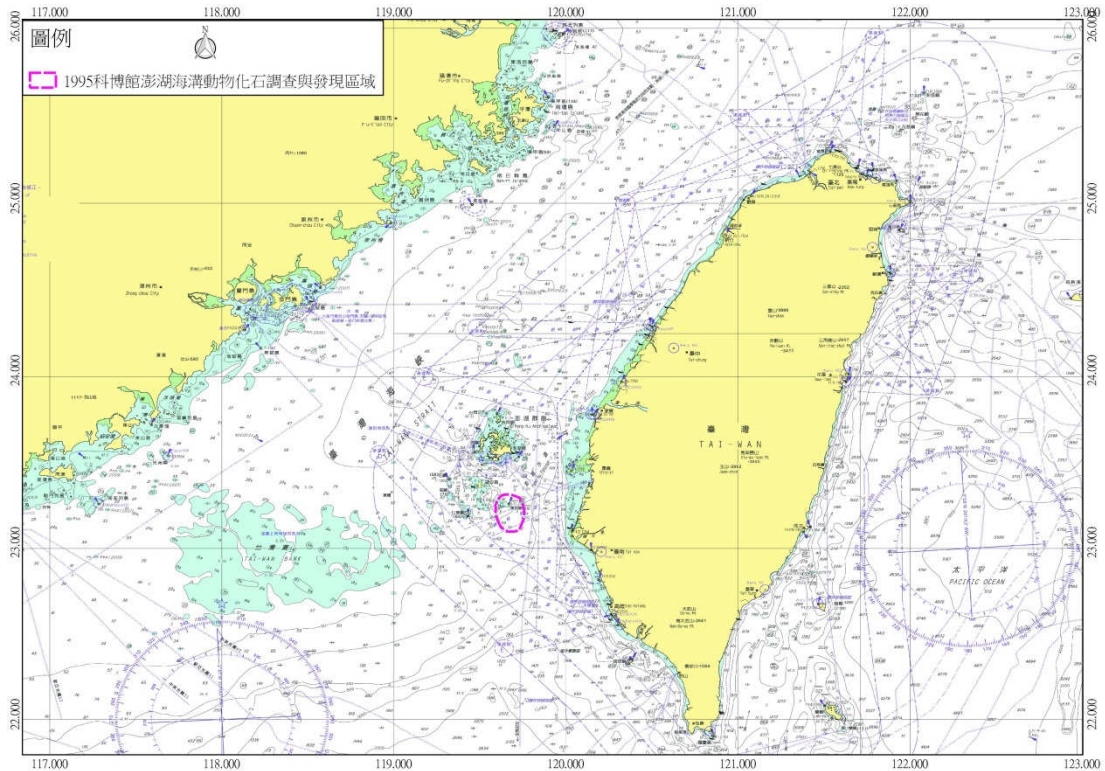


圖 8 海撈動物化石位置圖

陸、陸域調查結果

陸域部分於 105 年 10 月 9 日進行調查，調查範圍包括海纜上岸點及陸纜沿線及周圍地區。本案海纜上岸點共有三處：自北而南分別位於彰濱西二路最西端海堤處與崙尾區西北角、吉安西路轉角處，以及崙尾區西南角。此三處上岸點接緊鄰海堤，堤外堆置大量消波塊，地貌以道路、尚未開發建設的閒置空地為主，地表除既有道路外，多為覆蓋石塊或雜草的海埔新生地，調查時未發現任何考古遺物。陸纜與海纜相互搭配，因此亦分為三段路線，最北者連接海纜後，向東偏南沿工業區內道路連接彰濱西二路、彰濱東五路至慶安路止，中段者則沿崙尾區北側安西路向東，經慶安南一路至慶安路止。最南邊陸纜連接崙尾區西南側上岸海纜後，沿海堤西側的安西路向東北與中段陸纜相接。陸纜位置及鄰近區域，係位於彰濱工業區內，陸纜沿線除既有道路與廠房建築外，多為閒置空地，地表多為石塊或植被覆蓋。調查時並未發現任何考古遺物。

補充調查於 106 年 10 月 24 日進行，沿變更後陸纜與陸上設施周圍 500m 區域進行調查。纜線預計分為兩處上岸點，皆位於彰濱工業區崙尾區西側海堤，上岸後預計沿海堤鋪設陸纜，並往東南分別鋪設 150 公尺與 300 公尺的纜線，銜接升降壓站與彰工變電所，升降壓站預定區域長約 250 公尺、寬約 160 公尺，面積約 4 萬平方公尺。調查當時於兩處上岸點之間，見一擱淺鐵殼船的拆船工程，海堤道路旁亦堆放許多船板、機械等卸船構件。

調查區域位處彰濱工業區，為過去填海造地而成，目前陸上已矗立多座風機運轉，區域內地貌大致平坦，目前除風機、電塔等設施外，多為荒地，地表覆滿雜草、灌木叢、防風林等濱海植被，裸露的地表則遍布砂土與填地所用的大小礫石及現代回填物，區域內多處路面也因地基下陷而呈現凹坑或低窪的情形。

路基以海堤與堤邊道路較高，堤邊道路東側以排水溝與工業區主要土地區塊做分隔，工業區地表與海堤之間的路面高差約 1-2 公尺，觀察排水溝旁與道路旁的土堤，可明顯看出此處為現代回填土構成之地層，不見任何具有歷史或考古特徵之遺留，考量當地地理環境的形成過程，並綜合現場調查的結果，判斷此處發現考古遺留的可能性較低。同時，在調查區域內，因工業區用地與當地居民主要活動區域相距甚遠，此處平時僅見工程維護單位與少數釣客進出，於調查區域亦無發現任何祠廟或其他疑似文化資產。

整體而言，本計畫陸上纜線與陸上設施預定區塊周圍地區，為過去填海造地

而成的回填土層，地形大致平坦，調查區域內多為荒地並覆蓋濱海植被，地表為沙土與大小礫石等現代回填物構成，於調查途中不見具有歷史或考古價值之遺留或疑似文化資產。

柒、水下探測資料研析

水下探測部分由環球測繪有限公司負責進行，施測項目包括側掃聲納、磁力儀、地層剖面儀、單/多音束測深儀等。探測結果顯示風場所在海域海床上具有 13 處聲納目標物(sonar contact)，4 處磁力異常質反應。其中聲納目標物分佈在水深 40-54 公尺的水域，目標物尺寸大小不一，探測報告描述推測以礫石或廢棄物為主，但在未獲得更多目標物影像資料，或進行水下驗證前，尚難斷定聲納目標物為何物及其價值。

表 四 18 號風場水下探測結果

聲納目標物					
Contact Number	Latitude Longitude	Easting Northing	Water Depth (m)	Dimensions (m)	Description
SITE18-PR-SC001	24° 1.001' N 119° 50.295' E	131811.5 E 2657358.2 N	40	5 x 3 x nmh	Debris
磁力異常點					
Contact Number	Latitude Longitude	Easting Northing	Water Depth (m)	Anomaly (nT)	Description
SITE18-PR-MC001	24° 1.995' N 119° 40.619' E	115421.3 E 2659338.1 N	56	66.2	Unknown Object
SITE18-PR-MC002	24° 1.939' N 119° 40.592' E	115373.4 E 2659234.6 N	56	266.9	Unknown Object
SITE18-PR-MC003	24° 0.900' N 119° 40.086' E	114497.8 E 2657326.2 N	63	25.1	Unknown Object
SITE18-PR-MC004	23° 59.931' N 119° 42.141' E	117965.4 E 2655503.1 N	55	24.7	Unknown Object

表 五 19 號風場水下探測結果

聲納目標物					
Contact Number	Latitude Longitude	Easting Northing	Water Depth (m)	Dimensions (m)	Description
SITE19-PR-SC001	24° 0.784' N 119° 51.329' E	133562.2 E 2656944.1 N	41	6 x 4 x nmh	Debris
SITE19-PR-SC002	24° 2.230' N 119° 53.888' E	137921.3 E 2659578.3 N	40	6 x 3 x < 2	Possible Boulder
SITE19-PR-SC003	23° 57.242' N 119° 52.647' E	135745.1 E 2650386.2 N	51	5 x 4 x nmh	Debris
SITE19-PR-SC004	23° 59.173' N 119° 53.789' E	137709.0 E 2653937.0 N	52	6 x 4 x nmh	Debris
SITE19-PR-SC005	23° 58.099' N 119° 53.356' E	136959.1 E 2651959.0 N	49	9 x 4 x nmh	Unknown Object
SITE19-PR-SC006	23° 59.263' N 119° 53.978' E	138031.5 E 2654099.7 N	50	5 x 2 x nmh	Debris
SITE19-PR-SC007	23° 58.787' N 119° 53.739' E	137619.8 E 2653223.6 N	52	10 x 4 x nmh	Unknown Object
SITE19-PR-SC008	23° 58.632' N 119° 53.880' E	137855.6 E 2652936.4 N	52	5 x 2 x nmh	Debris
SITE19-PR-SC009	24° 0.116' N 119° 54.710' E	139284.7 E 2655665.2 N	50	8 x 4 x nmh	Unknown Object
SITE19-PR-SC010	23° 59.935' N 119° 54.631' E	139149.4 E 2655332.0 N	54	6 x 4 x nmh	Debris
SITE19-PR-SC011	23° 58.217' N 119° 53.776' E	137673.8 E 2652170.9 N	51	8 x 5 x nmh	Unknown Object
SITE19-PR-SC012	23° 59.222' N 119° 54.707' E	139266.9 E 2654015.4 N	47	16 x 9 x nmh	Unknown Object

捌、文化資產評估與建議

陸域田野調查結果顯示，並未在海纜上岸點與陸纜沿線及周圍地區發現具有文化歷史價值之建築或考古遺址、遺留等，並與現有的文化資產及當地居民主要活動場域相距甚遠。綜合評估陸纜對文化資產未有直接影響。

在海域探測部分，探測結果顯示風場所在海域海床上具有 13 處聲納目標物 (sonar contact)，4 處磁力異常質反應。其中聲納目標物分佈在水深 40-54 公尺的水域，目標物尺寸大小不一，探測報告描述推測以礫石或廢棄物為主，但在未獲得更多目標物影像資料，或進行水下驗證前，尚難斷定聲納目標物為何物及其價值。今日水下文化資產種類繁多，但發現者大多以沉船及其搭載之貨物為主，今日台灣西部沿海地形多因沉積作用而浮覆，且早期沉船多屬木造，因此，如有沉船，亦可能遭沉積物掩埋或破損散落而不易發現。但鑑於風場所在之鄰近海域自古以來即為船舶的航行要道，風場東側的鹿港亦為 18-19 世紀對外通商的重要口岸，且偶聞有漁民作業時撈獲陶瓷器等文物，因此，仍須注意沉船存在的潛在性與可能性。

本計畫調查結果顯示，並未在計畫範圍陸域及海域發現明顯且具文化歷史價值之文化資產，但為避免施工期間有所發現，建議應恪遵文化資產保存法第 57 條、水下文化資產保存法第 13 條相關辦法辦理，以避免對於文化資產造成不必要的破壞。

參考書目

江樹生譯註

- 2000 《熱蘭遮城日誌（第二冊）》。臺南市：臺南市政府。

何傳坤

- 2000 〈彰化地區史前文化〉，《彰化文獻》1：5-28。
2001 〈淺談彰化地區史前文化〉，《國立自然科學博物館簡訊 159》

林俊全

- 1997 《芳苑鄉志—地理篇》。彰化縣芳苑鄉公所。財團法人海洋台灣文教基金會

洪敏麟

- 1999 《臺灣舊地名之沿革》，第二冊下。台灣省文獻委員會。

湯熙勇

- 2009 《台灣附近海域水下文化遺產歷史研究計畫》，行政院文化建設委員會文化資產總管理處籌備處。

郭素秋

- 2008 《彰化縣遺址普查計畫第一期—彰化市、福興鄉、花壇鄉、芬園鄉、員林鎮》。彰化縣文化局委託，中華民國國家公園學會執行。彰化市：彰化縣文化局。
2009 《彰化縣遺址普查計畫第二期—二水鄉、田中鎮、田尾鄉、北斗鎮、溪州鄉、溪湖鎮、埤頭鄉、埔鹽鄉、二林鎮、竹塘鄉》。彰化縣文化局委託，中華民國國家公園學會執行。彰化市：彰化縣文化局。
2011 《彰化縣遺址普查計畫第三期—和美鎮、埔心鄉、線西鄉、伸港鎮、大村鄉、永靖鄉、芳苑鄉、大城鄉、社頭鄉、秀水鄉、鹿港鎮》。彰化縣文化局委託，中華民國國家公園學會執行。彰化市：彰化縣文化局。

臧振華等（臧振華、陳仲玉、劉益昌、李德仁、朱正宜、蔡世中）

- 1995 《台閩地區考古遺址 彰化縣、雲林縣、嘉義縣、嘉義市》。內政部委託，中央研究院歷史語言研究所執行。

劉益昌

- 1996 《臺灣的史前文化與遺址》。臺灣省文獻委員會、臺灣史蹟源流研究會。

簡榮聰

- 1994 《台灣海撈文物》。台灣文獻館。

陸泰龍

- 2009 〈國立歷史博物館青銅古炮考〉，《歷史文物》194：44-50。

圖版

 <p>2016/10/9 下午 02:55:22 (+8.0 hrs) Dir=SW Lat=24.14245 Lon=120.42438 Alt=26ft MSL WGS 1984</p>	 <p>2016/10/9 下午 02:57:20 (+8.0 hrs) Dir=ENE Lat=24.13721 Lon=120.43224 Alt=21ft MSL WGS 1984</p>		
圖版 1	海纜北邊上岸點地貌現況	圖版 2	北端陸纜沿線現況
 <p>2016/10/9 下午 02:58:15 (+8.0 hrs) Dir=SE Lat=24.13345 Lon=120.43713 Alt=28ft MSL WGS 1984</p>	 <p>2016/10/9 下午 03:32:42 (+8.0 hrs) Dir=W Lat=24.12449 Lon=120.40325 Alt=33ft MSL WGS 1984</p>		
圖版 3	北端陸纜沿線現況	圖版 4	安西路西北端海纜上岸點現況
 <p>2016/10/9 下午 03:32:04 (+8.0 hrs) Dir=SSW Lat=24.12466 Lon=120.40341 Alt=48ft MSL WGS 1984</p>	 <p>2016/10/9 下午 03:30:56 (+8.0 hrs) Dir=SSW Lat=24.12517 Lon=120.409 Alt=52ft MSL WGS 1984</p>		
圖版 5	安西路西北端海纜上岸點現況	圖版 6	安西路西北端海纜上岸點周圍現況

 <p>2016/10/9 下午 02:59:34 (+8.0 hrs) Dir=S Lat=24.12548 Lon=120.43493 Alt=20ft MSL WGS 1984</p>	 <p>2016/10/9 下午 03:52:23 (+8.0 hrs) Dir=NNW Lat=24.09405 Lon=120.37985 Alt=56ft MSL WGS 1984</p>
<p>圖版 7 陸纜慶安南一路與慶安路交會處現況</p>	<p>圖版 8 安西路西南端海纜上岸點地貌現況</p>
 <p>2016/10/9 下午 03:52:30 (+8.0 hrs) Dir=NW Lat=24.09406 Lon=120.37983 Alt=61ft MSL WGS 1984</p>	 <p>2016/10/9 下午 03:52:48 (+8.0 hrs) Dir=SSE Lat=24.09402 Lon=120.37983 Alt=77ft MSL WGS 1984</p>
<p>圖版 9 安西路西南端海纜上岸點海堤現況</p>	<p>圖版 10 安西路西南端海纜上岸點現況</p>
 <p>2016/10/9 下午 03:47:11 (+8.0 hrs) Dir=S Lat=24.09691 Lon=120.38167 Alt=78ft MSL WGS 1984</p>	 <p>2016/10/9 下午 03:48:03 (+8.0 hrs) Dir=SSW Lat=24.0943 Lon=120.37992 Alt=90ft MSL WGS 1984</p>
<p>圖版 11 安西路西南端海纜上岸點周圍地貌現況</p>	<p>圖版 12 安西路西南端海纜上岸點地貌現況</p>

 <p>2016/10/9 下午 03:40:32 (+8.0 hrs) Dir=NNW Lat=24.10717 Lon=120.38963 Alt=46ft MSL WGS 1984</p>	 <p>2016/10/9 下午 03:41:32 (+8.0 hrs) Dir=SSE Lat=24.10644 Lon=120.38921 Alt=51ft MSL WGS 1984</p>
<p>圖版 13 安西路西側陸纜周圍地貌現況</p>	<p>圖版 14 安西路西側陸纜周圍地貌現況</p>
 <p>2016/10/9 下午 03:41:22 (+8.0 hrs) Dir=NNE Lat=24.10645 Lon=120.38921 Alt=44ft MSL WGS 1984</p>	 <p>2016/10/9 下午 03:33:32 (+8.0 hrs) Dir=NE Lat=24.12027 Lon=120.39996 Alt=41ft MSL WGS 1984</p>
<p>圖版 15 安西路西側陸纜周圍地貌現況</p>	<p>圖版 16 安西路西側陸纜周圍地貌現況</p>
 <p>2016/10/9 下午 03:52:15 (+8.0 hrs) Dir=ENE Lat=24.09405 Lon=120.37987 Alt=53ft MSL WGS 1984</p>	 <p>2016/10/9 下午 03:40:07 (+8.0 hrs) Dir=E Lat=24.10717 Lon=120.38963 Alt=54ft MSL WGS 1984</p>
<p>圖版 17 安西路西側陸纜周圍地貌現況</p>	<p>圖版 18 安西路西側陸纜周圍地貌現況</p>

	
<p>圖版 19</p> <p>北側纜線上岸點周邊地貌，為地表覆蓋防風植被的回填土區</p>	<p>圖版 20</p> <p>調查區域北側地貌</p>
	
<p>圖版 21</p> <p>升降壓站預定區塊地貌，可見排水溝與前方工業區用地做分隔</p>	<p>圖版 22</p> <p>升降壓站預定區塊周邊地貌</p>
	
<p>圖版 23</p> <p>陸纜預定往彰工變電所之鋪設路徑，地表為回填沙土與礫石</p>	<p>圖版 24</p> <p>陸纜預定往彰工變電所之鋪設路徑，地表覆蓋雜草與灌木叢</p>


	
<p>圖版 25</p> <p>陸上設施彰工變電所預定 區域周邊地貌，除電塔與電 線桿外均為荒草地</p>	<p>圖版 26</p> <p>調查沿途所見之拆船工程</p>
	
<p>圖版 27</p> <p>堤邊道路與工業區用地之 間路面高差約 1 至 2 公尺</p>	<p>圖版 28</p> <p>南側纜線上岸點海堤周圍地 貌，調查範圍內已有多座風 機運轉中</p>

類別 項目	發現 地點	內容描述 (包含現場看到和訪視詢問)	活動期間	活動照片
護安宮	彰化縣 線西鄉	恭奉主神為五府千歲，一般小型廟宇，當日無管理員在，現場無活動	—	 
頂庄 正安宮	彰化縣 線西鄉	恭奉主神為土地公，一般小型廟宇，當日無管理員在，現場無活動	—	 
頂庄 順安廟	彰化縣 線西鄉	1. 遶境活動：詢問現場民眾，本廟無舉行遶境活動的習俗	—	  
		2. 廟慶活動 (1) 活動內容：恭奉主神為大將爺，聖誕日為農曆7月24日，廣場會有布袋戲表演 (2) 中元普渡：每年農曆7月15日舉行普渡法會	(1) 農曆7月24日 (2) 農曆7月15日	
		3. 作醮活動(建醮活動) (1) 活動內容：無		
口厝 溫安宮	彰化縣 線西鄉	1. 遶境活動： (1) 繞境路線：以庄內為範圍，由溫安宮出發，繞經各境內五營的儀式，也就是安放	通常於每年農曆三月(清明節前)，擲筊擇日一天完成	

		<p>神兵駐守村莊之東南西北中各地，保佑各境平安。</p> <p>(2) 繞境活動：通常會有陣頭、舞獅等活動。</p>		
		<p>2. 廟慶活動</p> <p>(1) 活動內容：主要慶典為溫府千歲聖誕，即農曆 8 月 12 日，廣場會誦經祈福、並布袋戲、歌仔戲及康樂隊表演</p> <p>(2) 中元普渡：固定於農曆 7 月 19 日辦理普渡法會</p>	<p>(1) 溫府千歲聖誕：農曆 8 月 12 日</p> <p>(2) 中元法會：農曆 7 月 19 日</p>	 
		<p>3. 作醮活動(建醮活動)</p> <p>(1) 活動內容：無</p>	<p>—</p>	
<p>見興宮</p>	<p>彰化縣線西鄉</p>	<p>1. 遠境活動：</p> <p>(1) 繞境路線：以線西鄉為範圍，由見興宮出發，繞經各境內舉行釘五營頭儀式，也就是安放五營神兵駐防東南西北中各角頭，由各營元帥領兵鎮守押煞，防止邪魔惡煞侵入，保佑境內平安。</p> <p>(2) 繞境活動：通常會有陣頭、舞獅、南北管、鼓陣等活動，看當年經費。</p>	<p>通常於每年農曆三月十二日前，擲筊擇日一天完成</p>	 
		<p>2. 廟慶活動</p> <p>(1) 活動內容：主要慶典為李府王爺聖誕，即農曆 4 月 26 日，會有布袋戲、歌仔戲及康樂隊表演</p> <p>(2) 另一主要慶典為玄天上帝聖誕，即農曆 9</p>	<p>(1) 李府王爺聖誕：農曆 4 月 26 日</p> <p>(2) 玄天上帝聖誕：農曆 9 月 3 日</p>	

		<p>月 3 日，會有歌仔戲、布袋戲等慶祝活動</p> <p>3. 作醮活動(建醮活動) (1) 活動內容：無</p>	—	 
河南衍派	彰化縣鹿港鎮南勢庄	<p>1. 特性：鄉村老街巷發現一些門匾。例如「太原衍派」、「河南衍派」，中原的地名出現在閩南的門楣上。</p> <p>2. 保存價值：衍派是姓氏的發源或淵源、支脈，是中原文化傳統在閩南的延伸，亦是閩南人對自己祖脈源流的探索和追尋。</p> <p>3. 保存方式：門匾、族譜</p>	彰化縣鹿港鎮南勢巷 59 號	
保安宮	彰化縣鹿港鎮	<p>恭奉主神為廣澤尊王，當日無管理員或香客，現場無活動</p>	—	
北頭忠義廟	彰化縣鹿港鎮	<p>恭奉主神為協天大帝，當日無管理員或香客，現場無活動</p>	—	

				
開台南泉宮	彰化縣鹿港鎮	恭奉主神為普庵祖師，當日無管理員或香客，現場無活動	—	 
地藏王廟	彰化縣鹿港鎮	1. 遶境活動：本廟無舉行遶境活動的習俗。	—	  
		2. 廟慶活動 (1) 活動內容：恭奉主神為地藏王菩薩，聖誕日為農曆7月30日。	農曆7月30日	
		3. 普渡活動(中元普渡) (1) 活動內容：每年農曆七月普渡會於福鹿河濱公園辦理祭水靈儀式，藉以引導孤魂水靈上岸前來享用供品、接受超渡，為期3天。在中秋節過後祭拜廟埕孤魂，散魂，讓亡魂飽餐一頓後，由菩薩收去修行，各歸本位。	農曆七月，為期3天	

龍山寺	彰化縣 鹿港鎮	<p>1. 遶境活動：迎龍王尊神</p> <p>(1) 繞境路線：自龍山寺起駕後，經中山路至天后宮，迎同司管水域安全的天后宮「水仙尊王」</p> <p>(2) 繞境活動：有舞龍及陣頭藝術表演，並舉行「龍王祭典，開光點睛」儀式</p>	<p>端午節前一個月，每年農曆五月端午龍舟下水前</p>	  
		<p>2. 廟慶活動</p> <p>(1) 活動內容：恭奉主神為觀世音菩薩，聖誕日為農曆2月19日。為慶祝菩薩聖誕，每年農曆2月12日至2月18日舉行為期7天的佛七法會。</p> <p>(2) 迎龍王尊神：端午節前一個月會舉行迎龍王尊神的活動，至龍舟比賽場地辦理龍舟開光點睛儀式。</p> <p>(3) 為已登錄的無形文化資產「鹿港聚英社南管曲藝」集會練習地點。</p>	<p>農曆2月12日至2月19日</p>	
		<p>3. 作醮活動(建醮活動)</p> <p>(1) 活動內容：無</p>		
春仔花	彰化縣 鹿港鎮	<p>1. 保存價值：春仔花又稱纏花，結合剪紙、編織與刺繡的傳統工藝，許美惠老師是鹿港少數會春仔花的老師。春仔花別於新娘頭上，以石榴花的造型，象徵多子多孫，而阿嬤花則以鹿跟龜的造型，象徵長命百歲。</p>	—	
		<p>2. 保存方式：以改革創新的方式，設計新圖案並開發新用途，除了傳統髮簪也運用至別針跟筆套，吸引</p>	—	

年輕人，目前許美惠老師的兒子也會設計並製作春仔花。假日會於桂花巷藝術村教課，平日會於社區大學教課，觀光客可體驗最簡單的小草圖案，時間約 40 分鐘。



附 錄 九

海域水質模擬評估資料

施工期間海域水質數值模式說明 及模擬結果分析

施工期間海域水質數值模式說明及結果分析

壹、施工期間懸浮固體逸出量計算

海龍(編號 19)離岸風力發電計畫(以下簡稱本計畫)預定於彰化外海地區離岸設置風機，施工過程中可能影響海域水質之海事工程共分為風機基礎設置與海底電纜埋設工程兩大部分：

一、基樁設置工程

本計畫綜合分析計畫海域的水深變化範圍、地質、海象、環境影響因子和可能選用的風力機組等，可能採用之基礎型式包含重力式 (gravity)、單樁式 (monopile) 及套筒式 (jacket pile) 等，施工方式除重力式外將其基樁將採用打擊式或鑽掘式打入海床，此兩種施工方式對於水體僅有些微擾動；此外，安裝重力式海底基礎之前要先整平海床，一般而言重力式海底基礎分成兩種，一種採用漂浮的方式，用拖船將基礎運至場址然後沉入預定位置，另一種則是在基礎於岸上或近岸製造完成後，用起重船或特製駁船運至場址後起吊至預定位置。各式之基礎為避免基腳因潮汐與波浪之掏刷，故基腳處恐需進行保護工設置，主要方式係以抽除基腳附近土砂，再投入不同級配之礫石分層埋設以置換之，此工程對於水體懸浮固體之影響僅在於抽砂與投入礫石時會產生些微擾動，一般而言浚挖及拋石速率約在 100 立方公尺/小時以內，此影響應較施作打樁時大，故以此進行評估。

二、海底電纜溝渠浚挖工程

海纜埋設工程之施作國內外均有許多工程經驗，於較淺水深處(50 公尺內)埋設相關海纜一般而言可使用怪手台船或抓斗式台船進行浚挖作業以埋設相海纜，或可考慮採用附加高壓沖水式之鋤式埋設機具為主要施工方式，以開挖、海纜佈放及回填一併進行之施工方式。近岸邊上岸處範圍管溝開挖可使用挖溝機台船開挖。而為避免影響近岸處水質，於近岸端之風機施作時將採用污染防止膜或防濁幕，將揚起之懸浮物質圍束於施工範圍以避免擴散。

評估海纜施工時對海域影響，為保守估計以對海域水質影

響較大之高壓沖水式之鋤式埋設機具進行評估，此種工法係先將纜線鋪設於海床，再利用高壓沖水使海床處沖刷出一溝渠讓海纜自然埋入，在藉由潮流及波浪作用讓溝渠自然回填。因此對海域水質之影響應在於高壓沖水之沖刷溝渠階段，至於其沖刷速率則受到海床地質不同及機具形式、出力等而有所差異，經初步探討，當海床表土為黏土地層時，高壓沖水之推進速率約 50~100 公尺/小時，可浚挖寬度約 0.5~1 公尺、深度約 0.5~1.5 公尺，因此保守估計最大之沖刷速率約 150 立方公尺/小時；當海床表土為砂土地層時，高壓沖水之推進速率約 100~150 公尺/小時，可浚挖寬度約 1~2 公尺、深度約 0.5~1.5 公尺，最大沖刷速率約 450 立方公尺/小時。

貳、懸浮固體沉降原理說明

水中固體顆粒的沉降依固體顆粒在沉降過程中相互間的作用，假設沉降為單顆粒的沉降型態，又稱為自由沉降(Free settling)。此種型態的沉降作用係指水中單一顆粒的自由沉降行為，各固體顆粒間單獨沉降，沒有膠凝作用，例如砂礫的沉澱就可視為是一種單顆粒沉降。

單一顆粒間的沉澱時其沉澱主要是靠重力所產生的驅動力(FI, Impelling force)，為重力扣除浮力的結果：

$$FI = (\rho_s - \rho)gV$$

其中 ρ_s 為固體顆粒的密度

ρ 為液體密度

g 為重力加速度

V 為固體體積

另外，顆粒在流體中運動時會受到流體的影響而產生拖曳力(FD, Drag force)，是顆粒沉降時的阻力：

其中

C_d 為拖曳係數

A_c 為顆粒在運動方向之投影面積

ρ 為液體密度

V_s 為顆粒沉降速度

當驅動力與拖曳力相等時則顆粒會以等速度沉降，即

$$(\rho_s - \rho)gV = C_d A_c \rho \frac{V_s^2}{2}$$

$$\text{此時最終沉降速度 } V_s = \sqrt{\frac{2g}{C_d} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) \frac{V}{A_c}}$$

假設顆粒為圓球狀，其直徑為 d ，則其體積為 $V = \frac{\pi d^3}{6}$ ，而其

面積為 $A_c = \frac{\pi d^2}{4}$ 。此時

$$\frac{V}{A_c} = \frac{2d}{3}$$

因此最終沉降速度 $V_s = \sqrt{\frac{4g}{3C_d} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) d}$ 或

最終沉降速度 $V_s = \sqrt{\frac{4g}{3C_d} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) d}$ ， S_s 為顆粒比重

又拖曳係數 C_d 為 $C_D = \frac{24\nu}{V_s d}$

此時最終沉降速度 $V_s = \sqrt{\frac{4g}{3} \left(\frac{V_s d}{24\nu} \right) (S_s - 1) d}$

兩邊平方移項整理後 $V_s = \frac{g}{18\nu} (S_s - 1) d^2$

此式即為 Stoke' s law，由該定律即可求得單顆粒沉降的最終沉降速度。

為了解機組基礎及海底電纜施工期間對海域水質之影響，因此進行海域水質數值模擬分析。水質擴散模式係研究污染物質受海流及水體擴散作用影響，可了解大範圍海域承受水體水質污染物累積效應，此探討現象因尺度(scale)及作用機制，因其計算範圍較大，時間大約在數小時到數天之間，距離則介於數百公尺到數公里之間。

本計畫在此運用 WQM 模式(二維有限元素法之水理、水質模式)進行，進行模擬時，需先設定污染源輸入值，也就是施工區假設之懸浮固體逸出量的比例大小必須決定。前述海纜埋設作業時，以高壓沖水方式沖刷初管溝，將產生懸浮固體顆粒在海水中隨海潮流運動，其中，假設顆粒為球體，根據 Stokes' s Law 定理得知，由於顆粒粒徑大小不同，較大粒徑之懸浮固體在逸出後 100~200 公尺之內即已沉降至海底面，次大粒徑之懸浮固體可漂至 500~1,000 公尺遠，較小粒徑者，則可漂至 2 公里或 2 公里以外。另外，懸浮顆粒沉降的速度受海流大小影響很大，假設水流情況如附圖 1

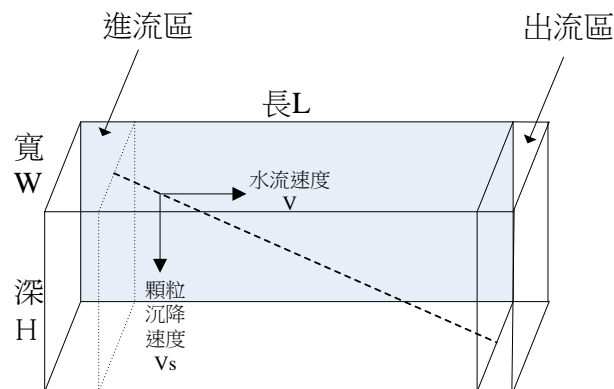
所示，其高度為 H ，進流水流量為 Q ，顆粒沉降速度為 V_s ，則其傳送時間之計算如式-1：

$$T=H/V \quad \text{式-1}$$

T ：傳送時間 (秒)

H ：區域長度或深度(公尺)

V ：流速 (平方公尺/秒)

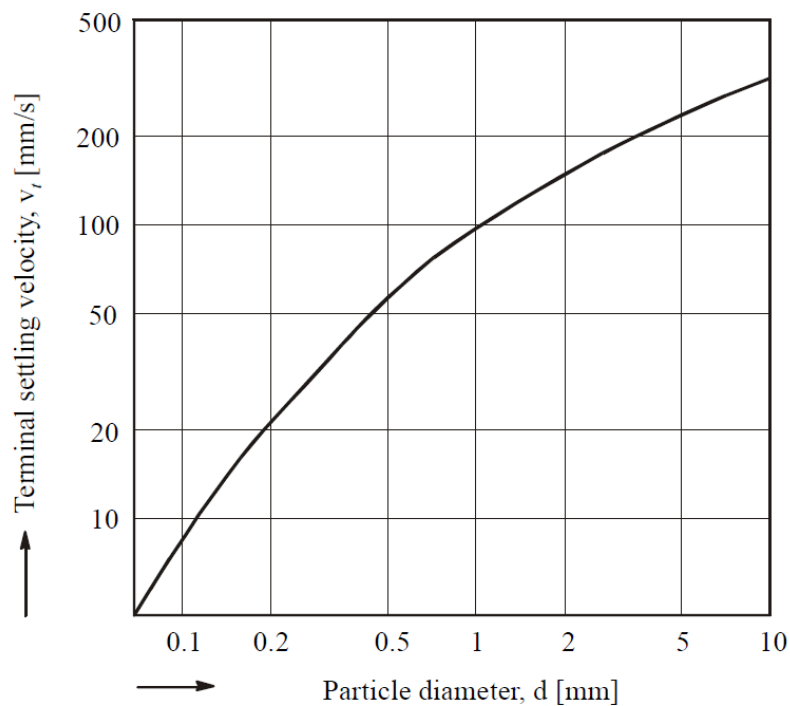


附圖 1 顆粒沉降示意圖

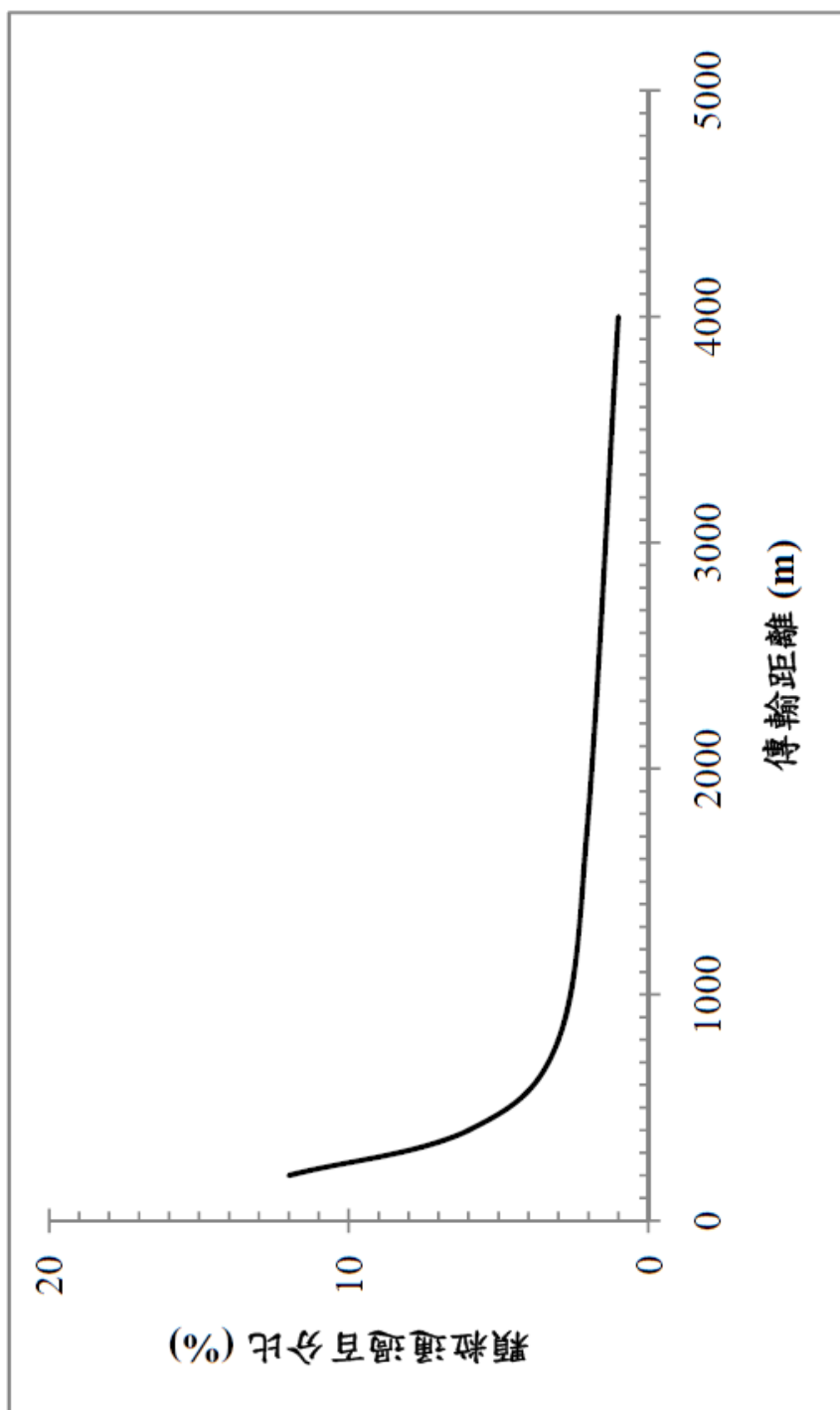
以距施工區 200 公尺為例，當海流大小為 25 公分/秒時，顆粒由浚泥區至 200 公尺處水平傳送時間為 $200 \times 100 \div 25 = 800$ (秒)，垂直方向可使顆粒在 200 公尺內沉降至海底面的最小沉降速度大小約為 $6 \times 100 \div 800 = 0.75$ 公分/秒，其中 6 公尺為估計的垂直方向(水深)沉降距離(與施工地點水深及浚泥機具有關)。再依粒徑大小與沉降速度之關係曲線(如附圖 2)中可找到顆粒的粒徑大小為 0.075 公厘。也就是說，粒徑大於 0.075 公厘的懸浮固體在 200 公尺、500 公尺、1,000 公尺、2,000 公尺及 4,000 公尺等距離之最小沉降速度及粒徑大小。根據土壤分析所得到之粒徑分布曲線再找出本地區附近底泥粒徑小於其數值的百分比，劃出通過粒徑大小百分比與浚泥區大小距離的關係曲線如附圖 3 所示，由圖上可找出任何距離處，尚懸浮在海水中之固體佔逸出量的百分比。再依顆粒之粒徑大小與沉降速度之關係，可推測任何距離處，尚懸浮在海水中之固體佔逸出量的百分比。

浚泥區逸出量的估算與鋪設海纜石沖刷海床之速率、固體顆粒大小及機具的種類方式等都有密切的關係。在適當的施工規劃情況下初步保守估計施工時之逸出量為沖刷速率的 20%。模擬所採用

的懸浮固體污染源輸入值即為浚泥速率乘以浚泥逸出量(20%)，再乘以未沉降百分比。未沉降百分比係指浚泥逸出量中，粒徑分佈中屬於較輕者在沉降至海底前而受海流帶動會影響欲評估點之分佈量。舉例說明若模擬選用距施工區 100 公尺為例，參考桃園附近海岸海底砂質粒徑其百分比應低於 20%，海纜施工沖刷海床表土影響就是根據此估計百分比率來作數值模擬。以現有資料而言本計畫區大至屬於砂質地層，依前述分析其沖刷速率約為 $450 \text{ m}^3/\text{hr}$ ，總逸出量其速率大致為 $450 \times 20\% \times 20\% = 18 \text{ m}^3/\text{hr}$ ，以此可保守作為懸浮固體逸出且於海域運行擴散量之評估依據。



附圖 2 顆粒大小與沉降速度關係曲線



附圖 3 顆粒傳送距離與未沉降顆粒所佔百分比關係曲線

參、模式理論說明

本模式為EOT開發出來的水理水質數值模式（WQM），是目前最完善之水理和水質模式之一。它能有效而合理地模擬河川、港灣及海洋的水理和水質特性。尤其具有模擬水中重金屬濃度的能力，本模式所可以模擬之水質參數有20種之多，包括水質參數濃度、藻類、生化需氧量、溶氧量、化學需氧量、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、氨氮、有機氮、磷酸鹽、酚類、總油脂、大腸菌、懸浮固體及重金屬(銅、鉛、鎘、鋅、鉻、汞)等。在求解的過程中，並把各水質參數間有關之相互作用、沉澱與生長等因素考慮進去。此模式曾應用於美國多處並通過台灣海域數十項環境影響評估海域水質方面評估審查，亦曾通過數項離岸風電計畫(海洋離岸風電計畫、台電彰化第一期離岸風電計畫等)之施工期間海域水質模擬環評工作，並執行環保署“西南海域水質涵容能力研究”(1996)，及提供技術轉移之用。

水質擴散是探討排放水長期排放下，於周圍氣象及海洋條件下，熱擴散受潮流、海流擴散傳輸影響而分析在大範圍水域內所累積之水質增量，影響的範圍較大，介於數百公尺到數公里之間，時間大約在數天至數週之間。

模式主要在模擬不同污染源之排放所造成排放於河川與海域所具不同之水質參數隨時間的變化，所以為一Transient模式，而非Steady-state模式，所模擬之水質參數的濃度有可能會因長期連續的排放，而產生整個模擬河川與海域背景濃度的增加。

WQM模式是以有限元素法解流體力學方程式、對流-擴散方程式及能量方程式，這些方程式導自質量、動量和能量守恆定律。此模式先解出流體之流速和水位，然後再代入擴散方程式及能量方程式，以解出水質、水溫等參數的特性。因此模擬過程中一般皆分成兩個主要階段：水理模擬，及水質模擬。

一、水理模式

- 模式假設
 - 海水密度為一定值；
 - 假設水中壓力是靜水壓；

- 速度分量於垂直方向的分布係數均勻且不隨時間變化；
- 垂直方向速度所產生的剪應力可忽略；
- 考慮重力及柯氏力；
- 忽略內應力；
- 底部摩擦剪力 τ_b 以下式表示：
- $gn^2 |V| / H^{4/3}$
- 風在水面上所造成之剪應力 Ψ 以下式表示：
- $C_d \rho a |V_w| V_w / \rho$

● 模式控制方程式

在水理模擬中，水體內水流之物理現象一般可以連續方程式及運動方程式來表示之：

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Hu}{\partial x} + \frac{\partial Hv}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} - fv + \frac{\tau_x^b}{H} - \frac{\Psi_x}{H} - \frac{1}{H} \left[\frac{\partial}{\partial x} (H \epsilon_x \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (H \epsilon_x \frac{\partial u}{\partial y}) \right] = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + fu + \frac{\tau_y^b}{H} - \frac{\Psi_y}{H} - \frac{1}{H} \left[\frac{\partial}{\partial x} (H \epsilon_y \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (H \epsilon_y \frac{\partial v}{\partial y}) \right] = 0$$

所有變數皆是指水深方向之平均量。其中u及v為速度在x與y方向之量，t為時間，H為水位，f為與地球自轉有關之參數(Coriolis係數)， η 為平均水位上之水面高程， τ_x^b 與 τ_y^b 為底部摩擦剪應力， Ψ_x 及 Ψ_y 為風在水面上所造成x與y方向剪應力， ϵ_x 與 ϵ_y 為流體之渦流黏滯係數。

本模式以Galerkin's有限元素法求解上述兩方程式，利用標準之Galerkin's方法，以形狀函數代入各變數，再利用分部積分法，而得最後求解之代數方程組。

在時間積分上，利用修改之Leapfrog方法，並利用質量疊加技巧(Mass

Lumping)。水理模擬之結果可得到流速u與v及水位H，此結果將作為水質模式之輸入條件。

- 模式參數

- 時間間距參數

$$\Delta t \leq \sqrt{\frac{A}{gh}}$$

- 底床摩擦係數 (n)

- 河川：0.05 — 0.2

- 海洋：0.02 — 0.04 (在此採 0.03)

- 渦流黏滯係數

$$\varepsilon_x = 0.01$$

$$\varepsilon_y = 0.01$$

二、水質模式

- 模式控制方程式

水中污染物之傳輸現象可以對流—擴散方程式來表示：

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + V \times \nabla Q - \frac{1}{H} \nabla \times (HK_c \times \nabla Q) + S_c + G_c = 0$$

其中Q代表各水質參數之濃度， K_c 為物質的擴散係數， S_c 為污染物排放率或沈澱率， G_c 為與各水質參數間有關之相互作用項。

水質模式仍以Galerkin's有限元素法求解對流擴散方程式，並利用分部積分法，而得最後求解之代數方程組。

- 模式參數

- 時間間距參數：

$$Dx = Cx \sqrt{2A} \sqrt{gH}$$

$$Dy = Cy \sqrt{2A} \sqrt{gH}$$

■ 流體擴散係數 D_x 及 D_y

C_x, C_y 為介於 0.002~0.005 之間的無因次係數（在此採 0.002）， A 為有限元素面積， H 為有限元素節點水深

三、邊界條件

利用WQM做水理演算時，可以用潮位或海流為其邊界條件。對於有風力作用及河川流入之海域，風力的大小及河川流量亦為其必要之邊界條件。對於開放式海域而言，由於演算區域內之開口邊界與海相連接，因而此三個開口邊界乃成為演算時必需輸入之邊界條件。在此三個開口邊界通常是以潮位資料做為其邊界條件，而且至少需有上下兩邊界之潮位資料，其間之邊界條件則可以線性內插方式求取。但如果海域之水深變化劇烈時，位於此三個開口邊界之潮汐水位的內插則必需謹慎小心處理。

目前我們根據 $\eta = \eta_0(h_0/h)^{1/4}$ 之關係而內插其間之潮汐水位，其中 η 為潮汐水位， h 為相對應之水深。此關係乃是根據潮波能量與潮波波速之乘積為定值之假設下所導得之潮位與水深之關係。以上所述者為大型區域所使用之邊界條件，而小型區域之邊界條件，如果缺乏當地之潮位或海流資料時，則可藉著大型區域之水理模擬完成後，將小型區域開口邊界之相對應（或鄰近）位置之潮汐水位的時間變化貯存下來，以當做小型區域演算所需之邊界條件。

利用WQM做水質演算時，一般有下列三種邊界條件：

(一)在已知固定濃度地點：

$$Q = Q_c$$

(二)在固體邊界或海域開口邊界：

$$HK^c \frac{\partial Q}{\partial n} = 0$$

(三)在排放地點(如河川、海洋放流管之排放邊界):

$$HK^c \frac{\partial Q}{\partial n} = Q_a$$

Q_c 為某地點水體中水質參數之固定濃度， n 為固體邊界或海域開口邊界垂直方向之單位向量， Q_a 為污染源排放地點之濃度排放率。(1)

型之邊界條件是在海域某地點之濃度值不變之情況下使用，(2)型之邊界條件是假設海域中固體邊界或開口邊界地點之濃度梯度為零，(3)型之邊界條件是已知污染源排放地點之濃度排放率時使用。

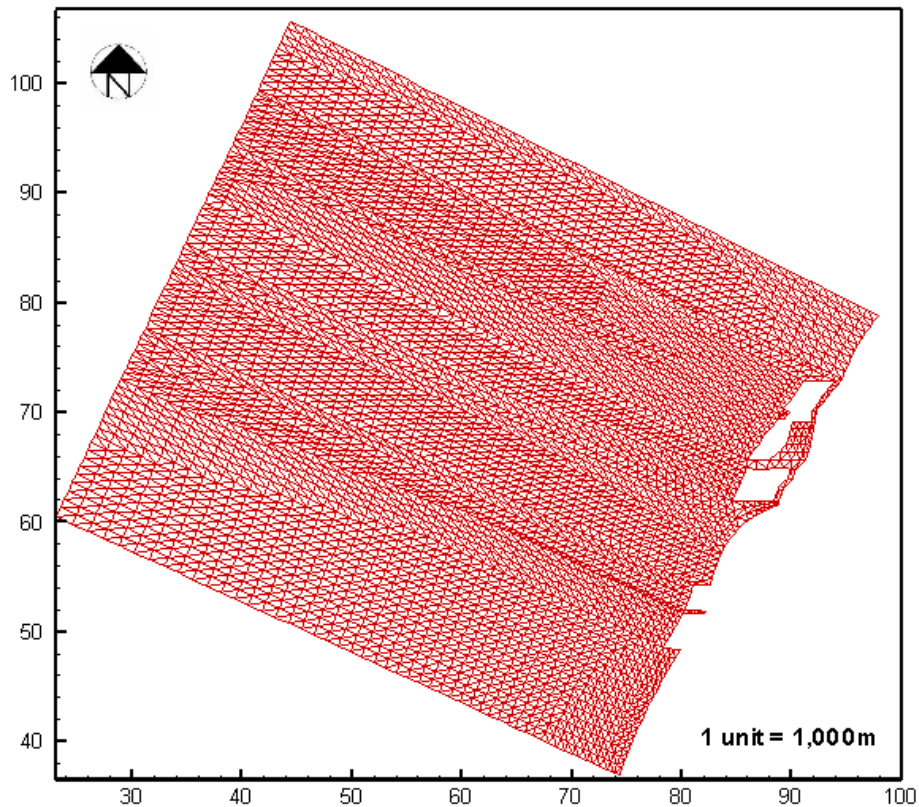
在進行水質模擬時，如果演算時間很長，則排放之污染物濃度可能將會影響到海域的開口邊界，在此情形下，第二種零通量的邊界條件即需加以修正。一般有二種改善方法，第一種是將演算邊界再放大，使得排放物之影響在模擬的時間尺度內不能達到此邊界；另一種方式則可以利用長期累積模式，預先求解該污染源長期排放後，在該邊界之穩定濃度，然後以此穩定濃度為海域開口處之邊界值，以避免與邊界條件為零通量的假設相矛盾。

四、網格建立

求解過程係利用有限元素法來解二維流體力學方程式、擴散方程式和能量方程式，所採用的形狀函數為線形三角形。網格之建立取決於邊界條件之情況，若計畫區附近有潮位資料，則可建立一單獨網格，若無適當潮位資料，則需建立大小各一之網格以供運用。大網格之邊界亦需潮位資料，其計算結果可供小網格作為邊界條件之用。本計畫建立計算區域有限元素網格，涵蓋之範圍約有40公里寬及50公里長，模式建立網格相關參數如附表1，附圖4為所建立之有限元素網格圖。

附表1 模擬範圍網格參數設定

座標系統	大地座標--67座標
網格尺度	格點數(Node)：3,958 網格數(Element)：7,604 $\Delta \approx 100 \sim 300\text{m}$
模擬範圍	北：台中港南側 南：彰化縣及雲林縣交界處北側 東：內陸 西：約-40~-60m水深外海



附圖4 模擬有限元素網格圖

五、模式驗證

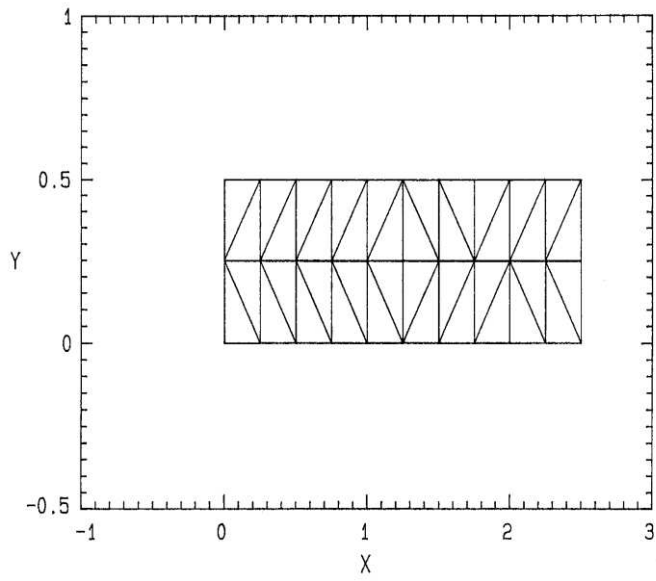
水質模式驗證工作本身即是相當困難，無法進行水工實驗比對。尤其針對複雜的海流，因為影響海流的因素相當多，例如風力、恆流及其他因素等，要利用模式模擬複雜的海流環境而得到相同的流場是很困難的，因此演算結果與實測值在合理誤差範圍內即可接受。

本計畫所使用的擴散水質參數濃度及水質模式，在海岸地區傳導現象的研究中，已被證明是很好的工具（Lee, et al., 1985）。此外，模式亦有其他相關之驗證，附圖5為本模式作解析解驗證時的網格及模擬濃度之計算值與解析解的比較。

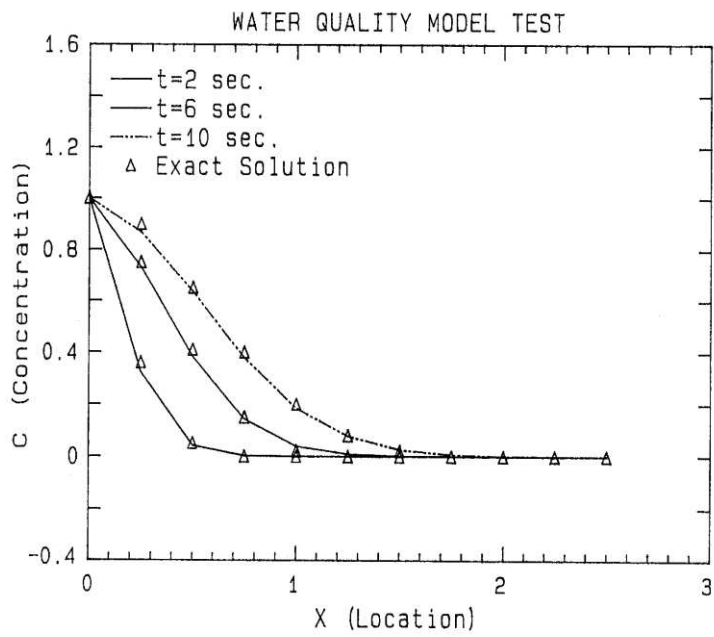
在流況驗證方面，計畫區域鄰近有彰化海域流況歷時實測資料可供比

對，進行水理演算驗證。附圖6及附圖7分別為流速大小及方向歷時比較圖。由附圖6及附圖7可知，模擬結果流速大小、方向等與實測資料有相同之趨勢，可進一步確認模式之合理性。

在水質參數校正及驗證方面，此一模式曾在美國Fox River-Green Bay System中針對水質模擬經過充份現場實測資料驗證以及參數檢定工作(如圖8)，模擬結果水質歷時變化情形與實測資料變化趨勢相當(包含DO、BOD及水溫)，並經美國及台灣環保署(「西南海域涵容能力分析」計畫，並提供技術轉移)審查通過，而於本計畫中參數採用較保守進行計算，以使模擬結果具有安全餘裕，進一步確保模式之合理性及保守性。

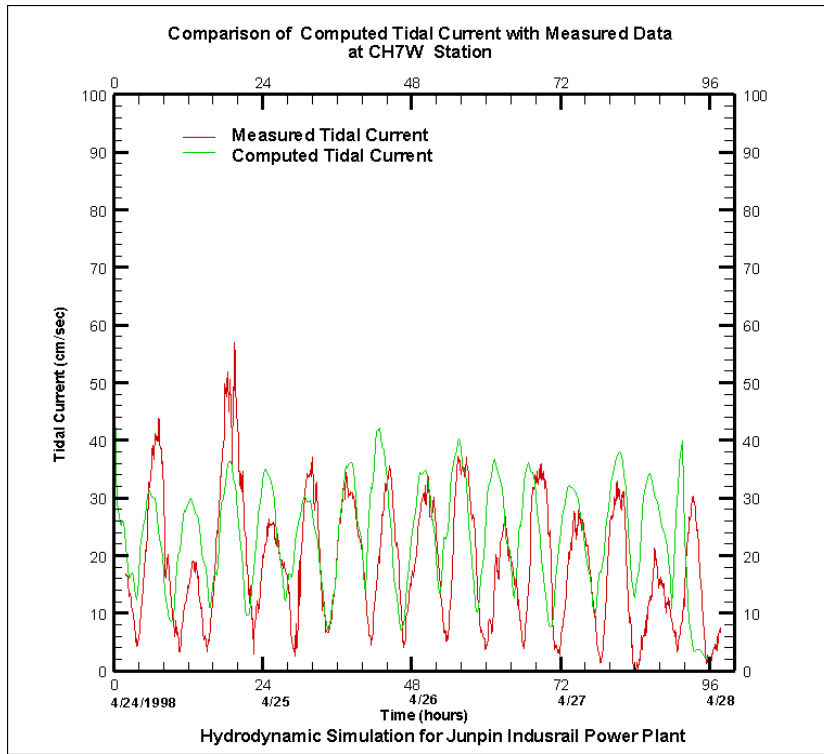


The Mesh Grid for Water Quality Testing

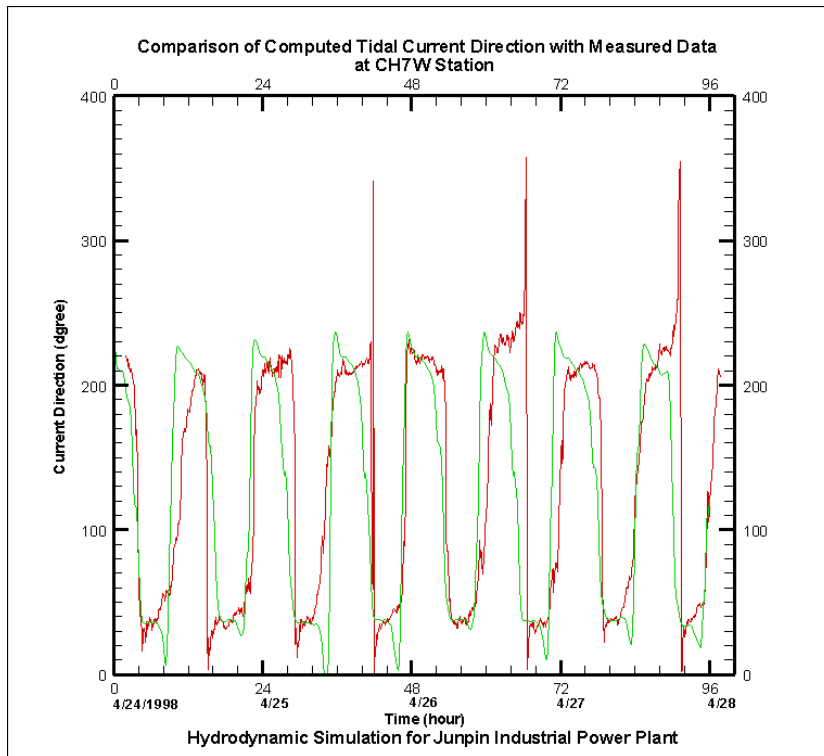


Concentration vs. Location

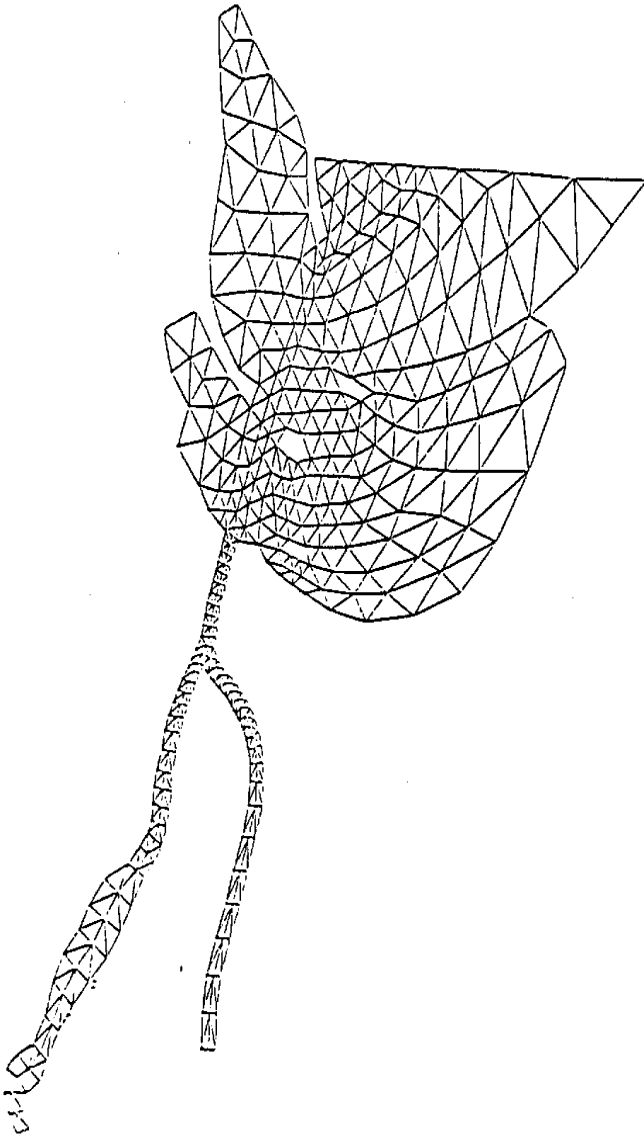
附圖 5 WQM 模式模擬結果與解析解之比較



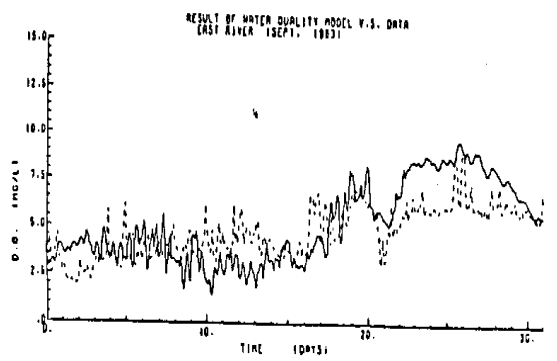
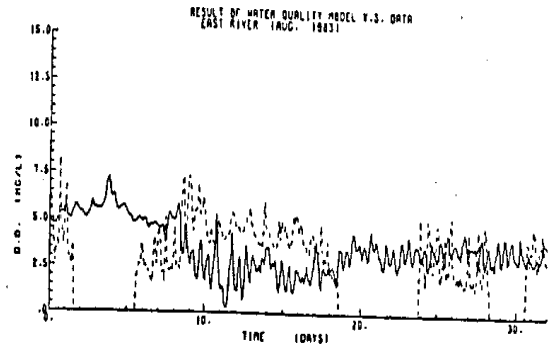
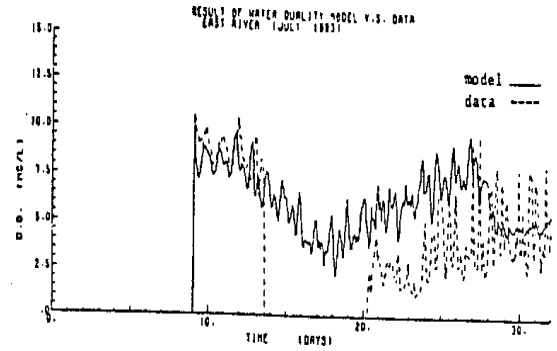
附圖 6 彰化海域模擬流速大小與實測資料（1998.04）歷時比較圖



附圖 7 彰化海域模擬流速方向與實測資料（1998.04）歷時比較圖



The Finite Element Grid System Used in the Hydrodynamic and Water Quality Model in Green Bay, Wisconsin.



Comparison of DO results by water quality model with field data at East River.

附圖 8 WQM 模式在美國 Fox River - Green Bay 所作與水質實測資料之比較

肆、海域水質模擬結果分析

為掌握海域水質之影響，進行水質模擬數值模式分析。模式計算係先行計算水位、水流等水理模擬，再根據水理結果，模擬各水質參數在海域中擴散、傳遞情形。所輸入邊界水位為一時間序列，故可涵蓋漲、退潮對水質參數傳輸之影響效應，另外本模擬所顯示結果均為長時間之演算，起始條件設定由0時開始排放，並以連續施工期間計算，以14天為演算時間基準，在此狀況下海域水質濃度已達平衡之情形。而前述所謂達平衡之情形，係指海域在經長期連續施工下，整體計算域其懸浮固體參數濃度大致已不再劇烈變化，而僅隨漲、退潮等潮位不同情況而略微變化之情形。

計算排放後污染物於海域中擴散情形，主要輸入條件除水理計算所得之網格各節點水位及流速外，需給予欲計算之水質參數起始濃度，因此參考前述施工時可能產生之懸浮固體逸出之速率資料作為起始輸入值。本計畫針對懸浮固體進行連續增量後之分佈模擬分析，由模擬結果可知，長期施工達到大致穩定平衡後，水質僅隨漲、退潮改變而有小幅度變化，而在低潮時因海水位較低通常有較大增量之情形，亦即屬於較差之環境條件。

經了解施工所產生懸附固體逸出量後，再以數值模擬計算後可評估海纜施工時懸浮固體對附近海域影響的濃度增量影響。由於海纜施工範圍由岸邊至機組位置約均有施作，而近岸(水深小於-5m)處施作將以防濁幕避免懸浮固體逸出以降低對近岸之水質影響，而水深較深處施工時懸浮固體影響也較小，因此模擬時係針對海纜上岸處水深約-5m處進行模擬評估；本計畫海纜上岸處有4處，將分別進行施工時懸浮固體增量評估。另基礎施工則以最近岸邊之機組進行施工時懸浮固體增量評估。

附表2及附圖9~附圖18為海纜模擬點1處(北側)、海纜模擬點2處(中側)、海纜模擬點3處(南側)、海纜模擬點4處(最南側)施工(水深5公尺處)及基礎施工(最近岸邊之機組)之懸浮固體於低潮位與高潮位時之濃度增量分佈。

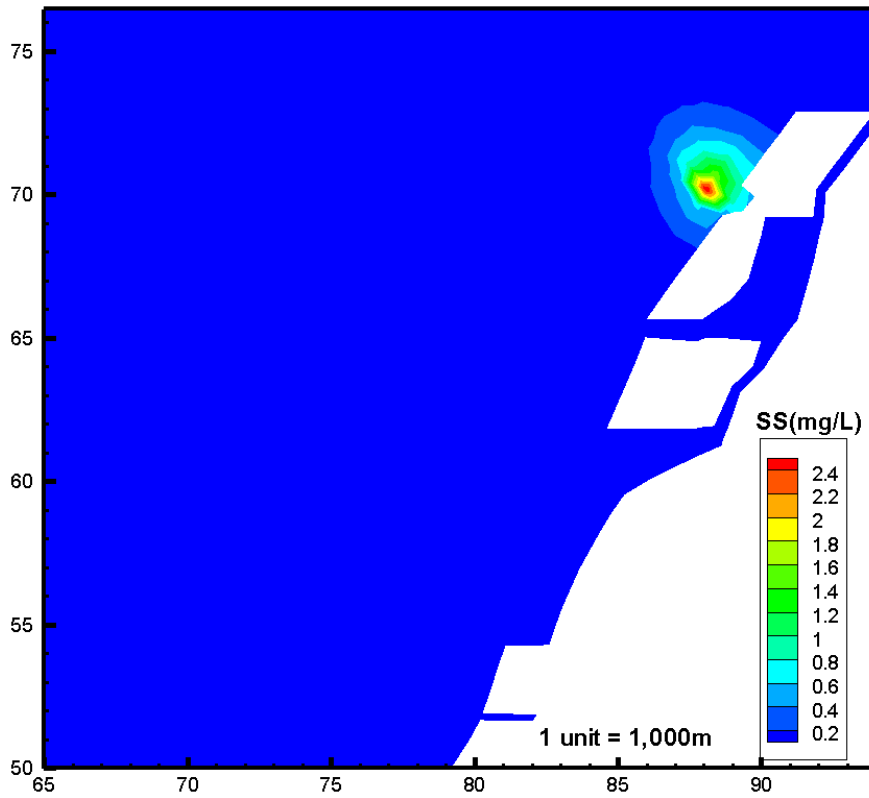
由模擬結果可知，基本上懸浮固體濃度擴散削減甚快，海纜模擬點1處施工時場區附近範圍(約200公尺處)經海流等帶動擴散稀釋後懸浮固體濃度增量即迅速降為約2.4mg/L，距施工區500公尺處於低潮位時濃度增量僅約2.2mg/L，距

施工區1,000m處其濃度增量僅約1.8mg/L，而至近岸邊處則其濃度增量則約為0.4~0.6mg/L；海纜模擬點2處時距200公尺處懸浮固體濃度增量已降為約2.2mg/L，距施工區500公尺處增量僅約2.0mg/L，距施工區1,000m處則約1.6mg/L，近岸邊處介於0.2~0.4 mg/L；海纜模擬點3處時距200公尺處懸浮固體濃度增量已降為約2.4mg/L，距施工區500公尺處增量僅約2.0mg/L，距施工區1,000m處則約1.6 mg/L，近岸邊處介於0.2~0.4 mg/L；海纜模擬點4處時距200公尺處懸浮固體濃度增量已降為約2.6mg/L，距施工區500公尺處增量僅約2.2mg/L，距施工區1,000m處則約1.8 mg/L，近岸邊處介於0.2~0.3 mg/L；機組基礎施工時因水深較深，距200公尺處懸浮固體濃度增量已降為約0.38mg/l，距施工區500公尺處增量僅約0.35mg/l，距施工區1,000m處則約0.25mg/l，而基礎位置距岸邊已達約40~50公里，對陸域岸邊已無影響。由模擬結果可知，在施工期間所造成之懸浮固體經一日二回潮之流況往來帶動下，可於短距離內迅速擴散，將不對海域造成太大影響。

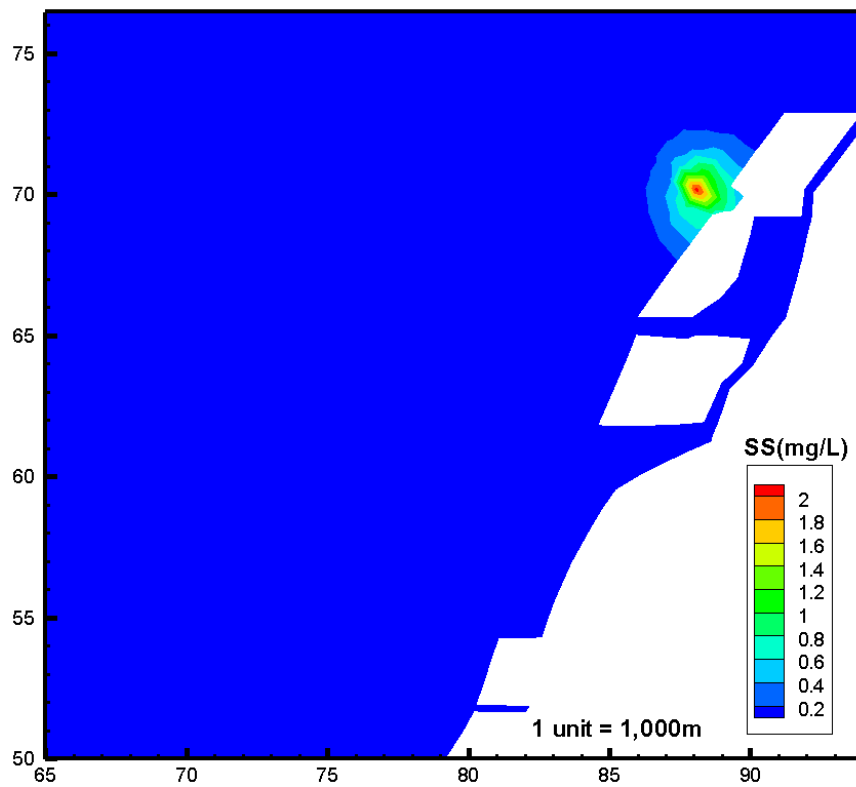
綜合而言，基礎施工及海纜鋪設僅屬施工期間之臨時性行為，因此對附近海域之影響應屬於局部性且暫時的，且依據施工條件進行數值模擬顯示其影響之程度亦屬輕微。而為進一步避免影響近岸處水質，於近岸端之海纜鋪設及基礎施作時亦將考量採用污染防止膜或防濁幕，將揚起之懸浮物質圍束於施工範圍以避免擴散。

附表5 懸浮固體距施工處200m、500m、1,000m及近岸邊處濃度增量說明

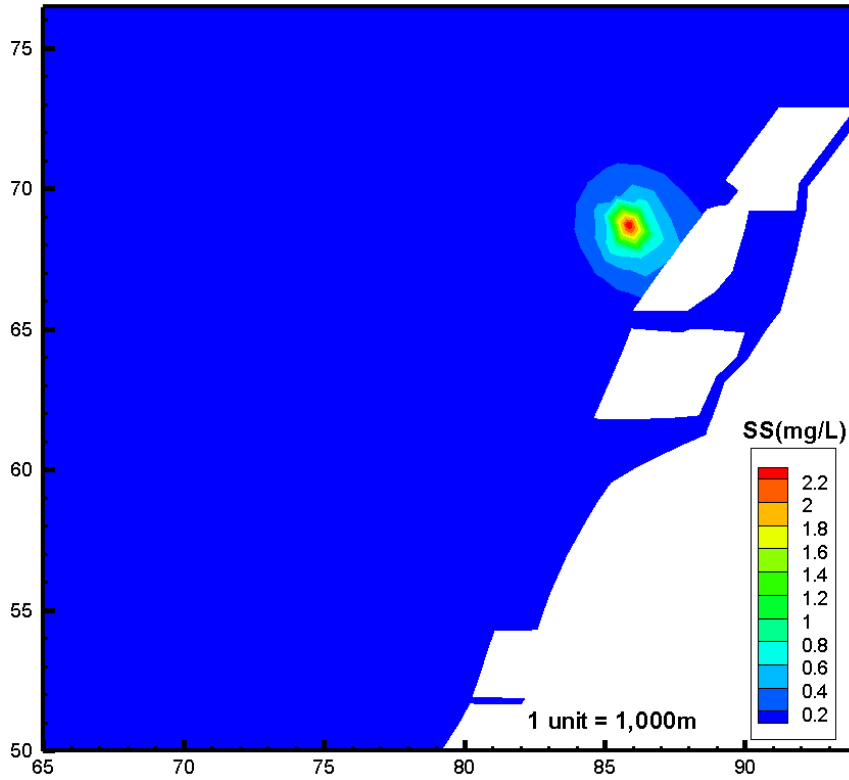
懸浮固體(SS) 濃度增量 (單位:mg/l)		距施工處 200m 濃度增量	距施工處 500m 濃度增量	距施工處 1,000m 濃度增量	近岸邊處 濃度增量
海纜模擬 點1處施 工時對水 質影響	低潮位時 模擬結果	2.4	2.2	1.8	0.4~0.6
	高潮位時 模擬結果	2.0	1.6	1.4	0.4~0.6
海纜模擬 點2處施 工時對水 質影響	低潮位時 模擬結果	2.2	2.0	1.6	0.2~0.4
	高潮位時 模擬結果	1.8	1.6	1.4	0.2~0.4
海纜模擬 點3處施 工時對水 質影響	低潮位時 模擬結果	2.4	2.0	1.6	0.2~0.4
	高潮位時 模擬結果	2.0	1.6	1.4	0.2~0.4
海纜模擬 點4處施 工時對水 質影響	低潮位時 模擬結果	2.6	2.2	1.8	0.2~0.3
	高潮位時 模擬結果	2.2	1.8	1.6	0.2~0.3
基礎 施工 時對 水質 影響	低潮位時 模擬結果	0.38	0.35	0.25	無影響
	高潮位時 模擬結果	0.37	0.33	0.23	無影響



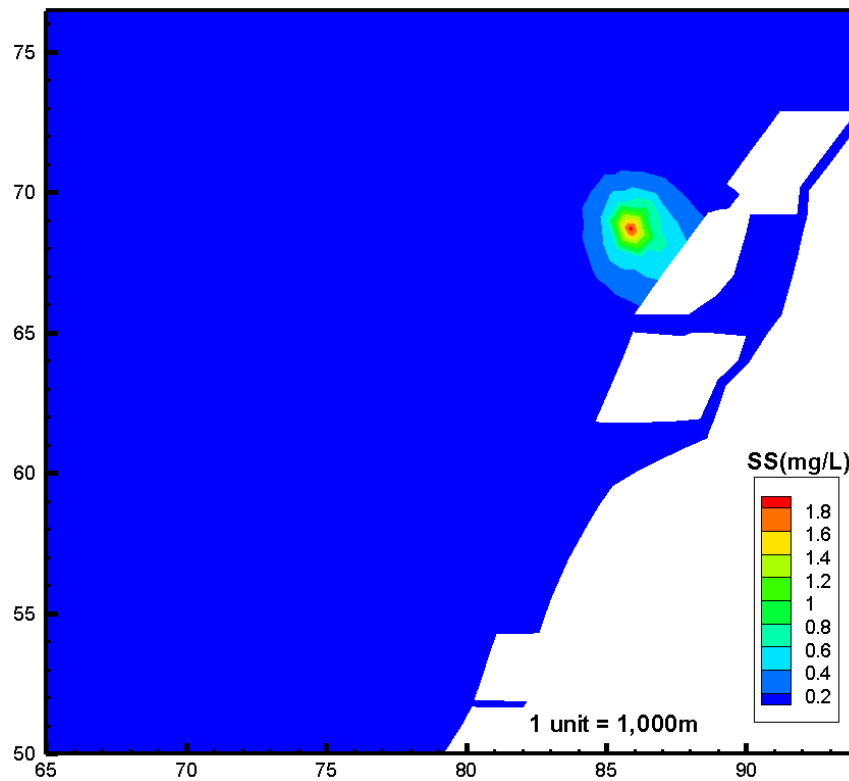
附圖9 海纜模擬點1處施工時懸浮固體濃度增量模擬結果分佈圖(低潮位時)



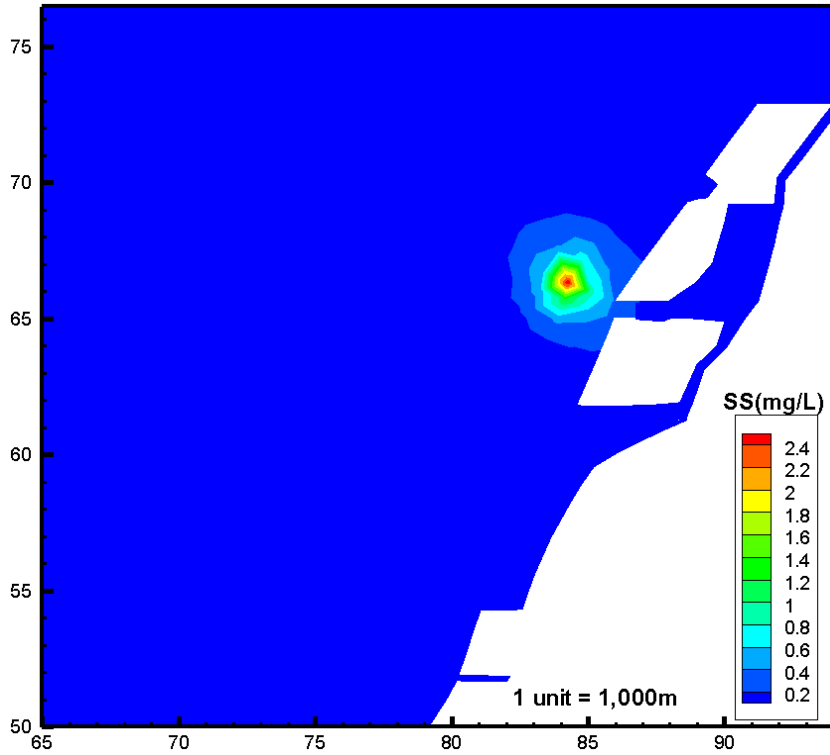
附圖10 海纜模擬點1處施工時懸浮固體濃度增量模擬結果分佈圖(高潮位時)



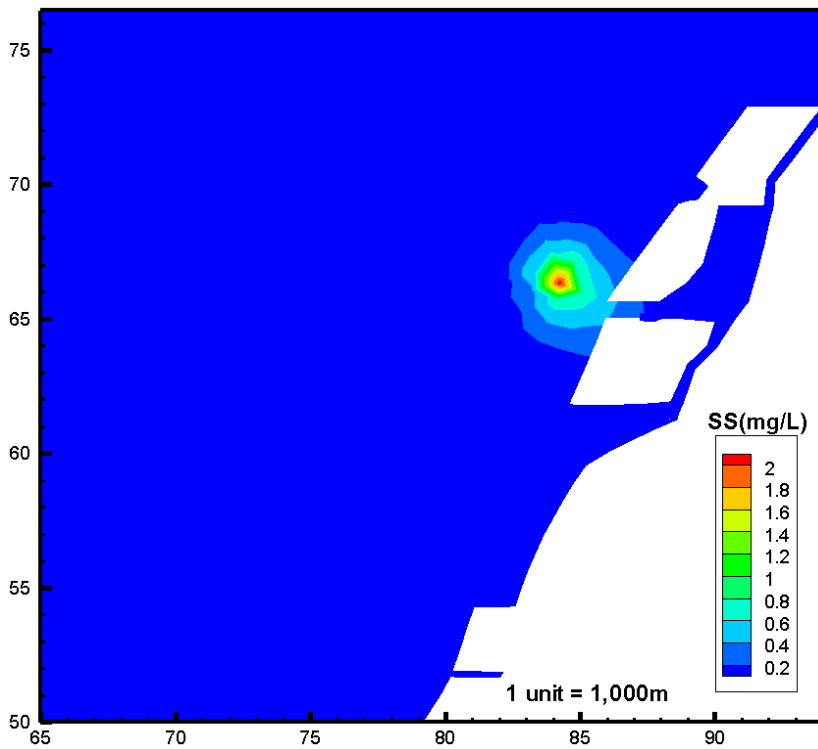
附圖11 海纜模擬點2處施工時懸浮固體濃度增量模擬結果分佈圖(低潮位時)



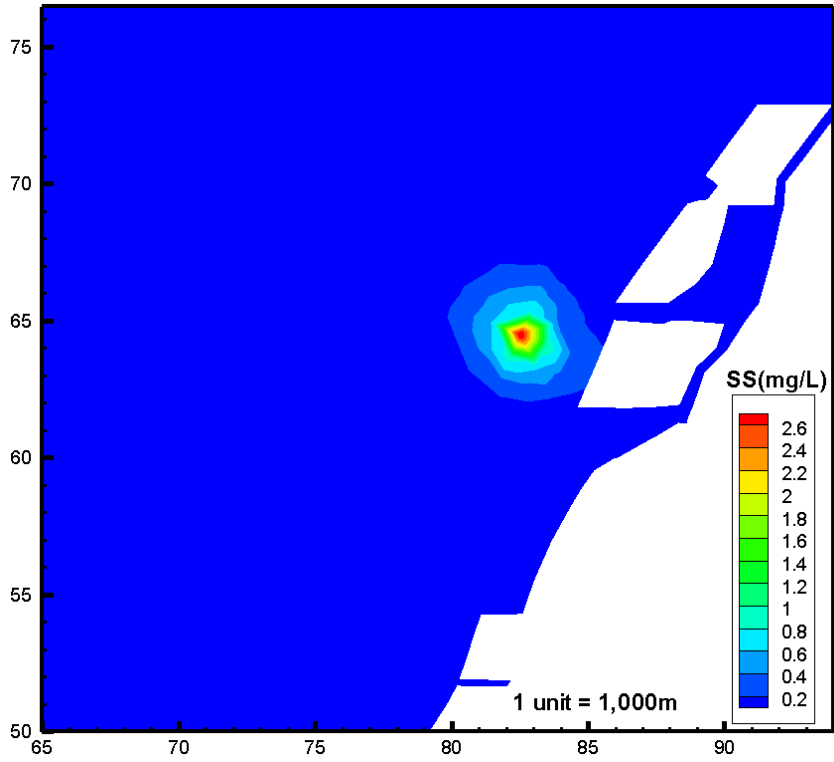
附圖12 海纜模擬點2處施工時懸浮固體濃度增量模擬結果分佈圖(高潮位時)



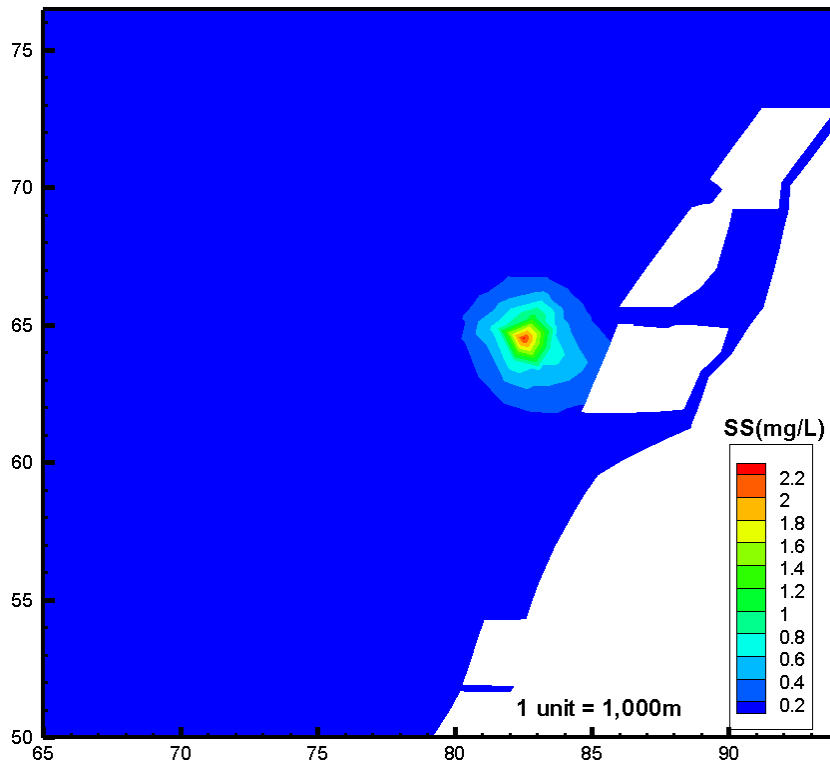
附圖13 海纜模擬點3處施工時懸浮固體濃度增量模擬結果分佈圖(低潮位時)



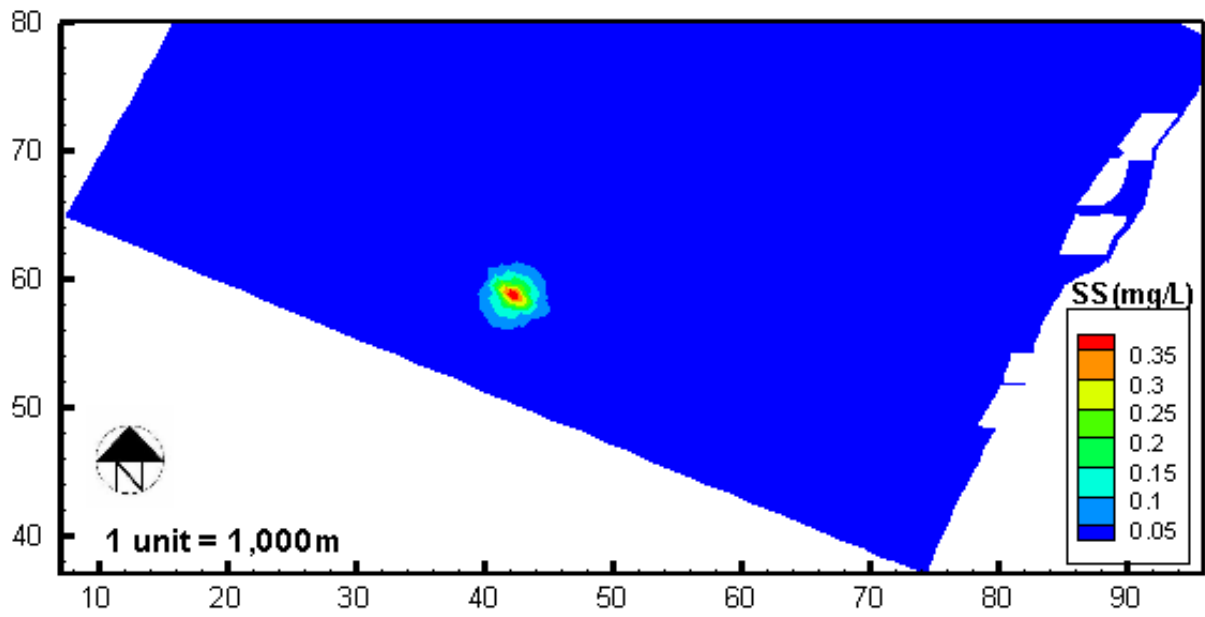
附圖14 海纜模擬點3處施工時懸浮固體濃度增量模擬結果分佈圖(高潮位時)



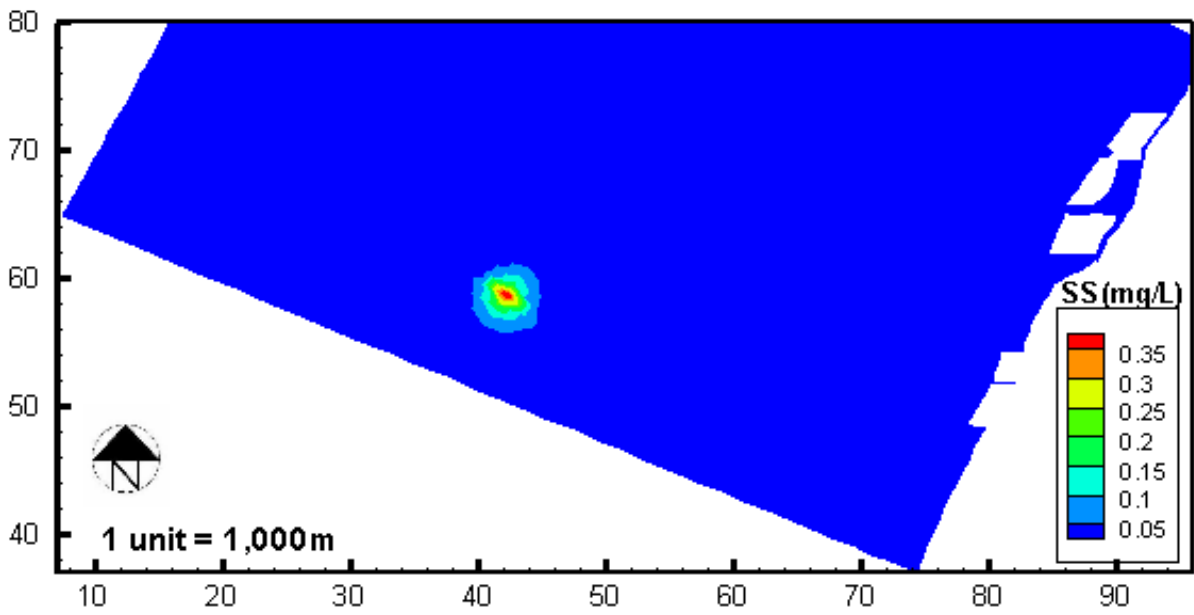
附圖15 海纜模擬點4處施工時懸浮固體濃度增量模擬結果分佈圖(低潮位時)



附圖16 海纜模擬點4處施工時懸浮固體濃度增量模擬結果分佈圖(高潮位時)



附圖17 基礎施工時懸浮固體濃度增量模擬結果分佈圖(低潮位時)



附圖18 基礎施工時懸浮固體濃度增量模擬結果分佈圖(高潮位時)

海龍風力發電計畫施工階段海域水質 (SS) 累積效應影響評估

一、基礎施工

(一) 海鼎 3 號+海龍 2 號計畫最近兩部機組同時施工方案

基礎施工包含浚挖整地、打樁及拋石及保護工等工作，打樁時僅對水體及底床有些許擾動，因此評估時係以浚挖及拋石為分析依據。本方案假設未來海鼎 3 號計畫靠近航道最南側之機組與海龍 2 號計畫靠近航道最北側之機組同時進行基礎施工之情境（如圖 1 所示）

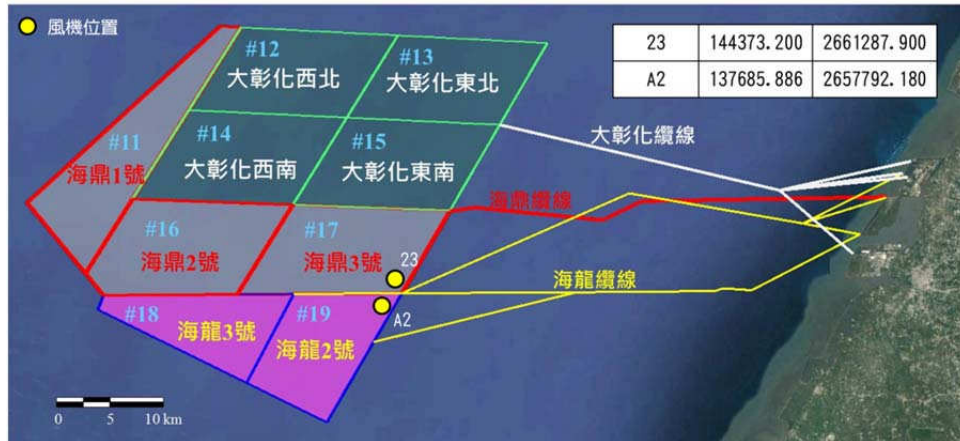


圖 1 海鼎 3 號計畫與海龍 2 號計畫靠近航道相鄰最近之機組配置方案示意圖

在海鼎 3 號及海龍 2 號靠近航道較近之機組基礎施工時，對海域水質懸浮固體(SS)增量影響如圖 2 所示，可知此情境下，其影響距施工位置約 200m 處 SS 增量均約 0.3~0.4mg/L，並無加乘效應，至距施工位置約 500m 處方有加乘影響，但增量僅約 0.1 mg/L。此 2 計畫機組離岸均約 40 公里，水深亦在-40m 左右，因此即使鄰近風機同時施工對海域水質影響仍是非常輕微的。

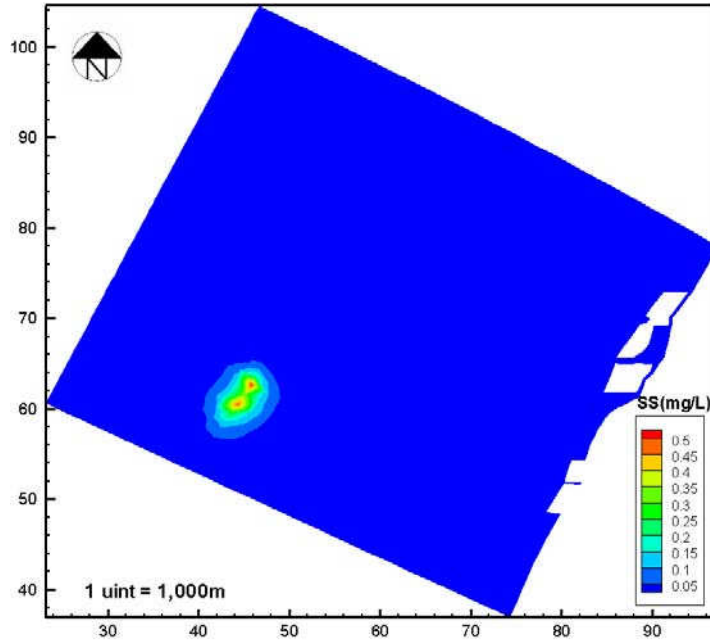


圖 2 海鼎 3 號+海龍 2 號同時施工 海域水質 SS 增量影響分布圖(低潮位時)

(二) 大彰化東南+海鼎 3 號+海龍 2 號計畫靠近航道風場中央 3 部機組同時施工方案

本方案假設未來大彰化東南計畫靠近航道位於中間之機組、海鼎三號計畫靠近航道位於中間之機組及海龍 2 號靠近航道位於中間之機組共 3 部同時進行基礎施工之情境方案，如圖 3 所示。

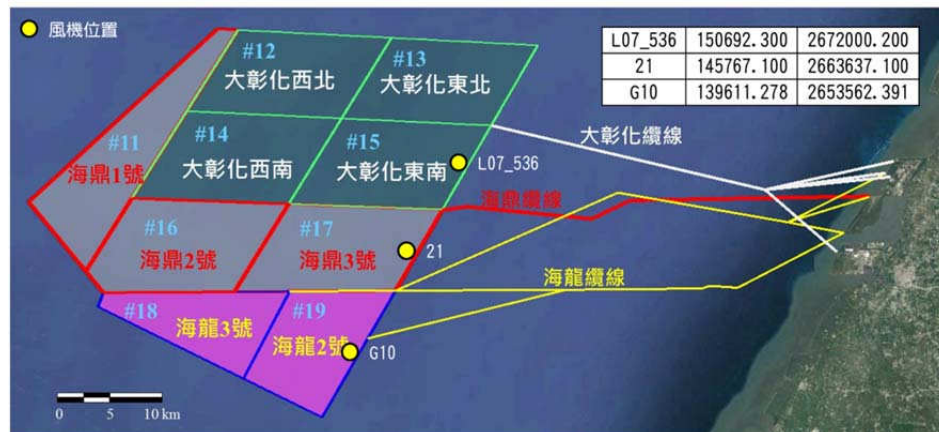


圖 3 大彰化東南計畫、海鼎 3 號計畫及海龍 2 號計畫靠近航道位於中側之機組配置方案示意圖

在大彰化東南計畫、海鼎 3 號計畫及海龍 2 號計畫共 3 個計畫之機組基礎同時施工時，對海域水質懸浮固體(SS)增量影響如圖 4 所示，可知此情境下，其影響距施工位置約 200m 處 SS 增量均約 0.2~0.4mg/L，並無加乘效應，且相距約 8~10km，同時施工彼此間已無影響。此 3 計畫機組離岸均約 40 公里，水深亦在-40m 左右，因此即使鄰近風機

同時施工對海域水質影響仍是非常輕微的。

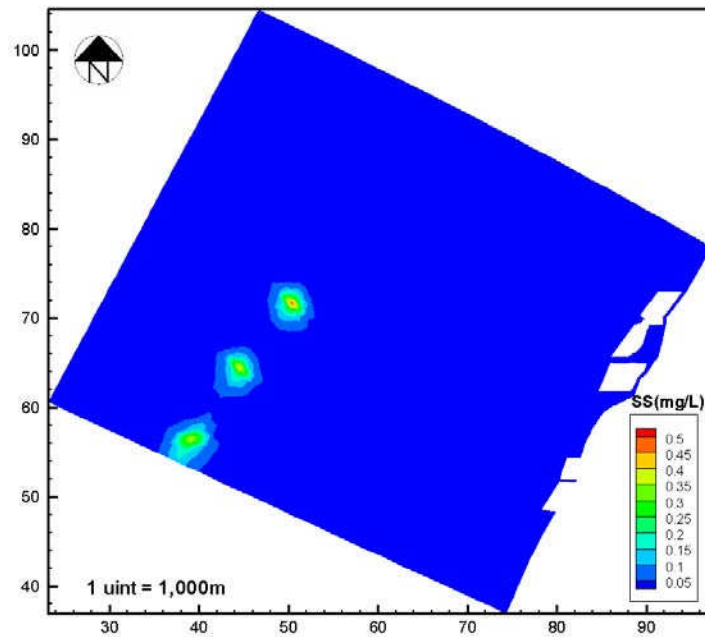


圖 4 大彰化東南+海鼎 3 號+海龍 2 號計畫同時施工海域水質 SS 增量影響分布圖 (低潮位時)

二、海纜段施工

有關 3 家開發商針對海纜段施工對於海域水質 SS 增量累積效應之影響，本次評估將針對未來可能使用共同廊道上岸之彰濱工業區進行 2 條海纜施工（即不同開發商同時進行海纜施作之情境）進行影響評估，如圖 5 所示。

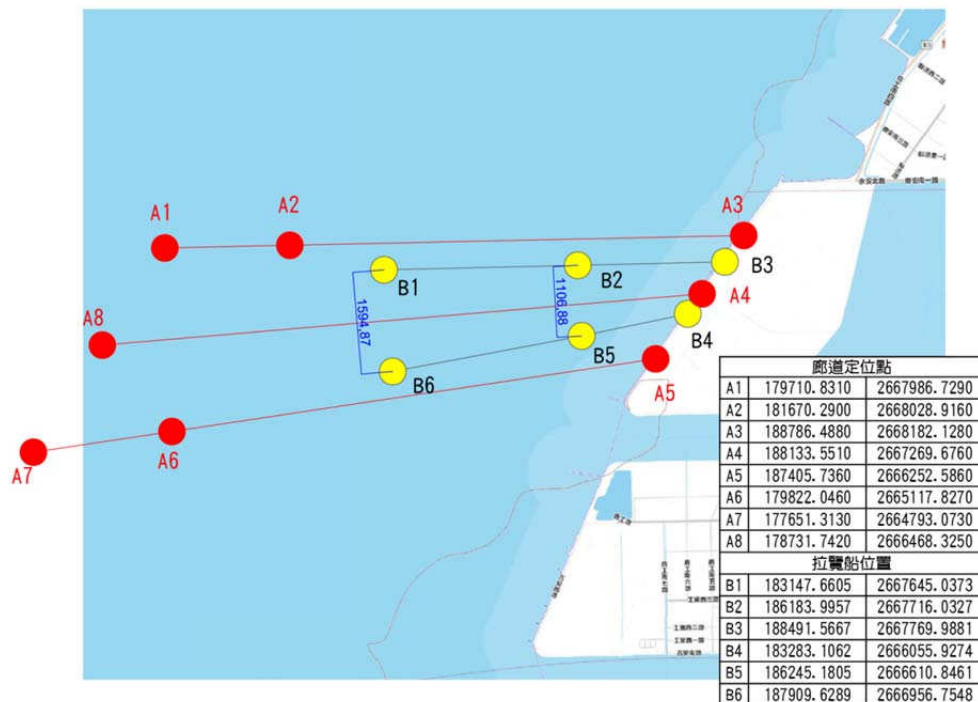


圖 5 共同廊道內拉纜船舶進行海纜施做海域水質施工定位點示意圖

由圖 7 所示研擬在近岸段離岸約 2 公里的範圍內 (B2 及 B5) 相距約 1.1 公里處及近岸段離岸約 5 公里的範圍內 (B1 及 B6) 相距約 1.6 公里處，兩種不同方案進行同時海纜施做之方案情境，分別說明如下：

(一) 近岸段離岸約 2 公里以內相距約 1.1 公里處兩條海纜同時施作方案

近岸海纜施工主要係以犁埋式為主，其方式係以高壓水刀將海床沖刷出一溝渠，然後佈設海纜，由於海床以砂質為主，因此一段時間即可自然回填。施作時依據其沖刷速率及寬度、深度進行評估。在近岸段離岸約 2 公里以內兩條海纜同時施作，對海域水質懸浮固體(SS)增量影響如圖 6 所示，可知此情境下，其影響距施工位置約 200m 處 SS 增量均約 2.0~2.2mg/L，並無加乘效應，至距施工位置約 500~1000m 處方有加乘影響，但增量僅約 0.4~0.5 mg/L，此增量均在海域水質懸浮固體濃度變動範圍，而潮間帶將使用防濁幕將工區揚起之懸浮固體圍束不使擴散，因此即使 2 條海纜同時施工對海域水質影響仍是有限的。

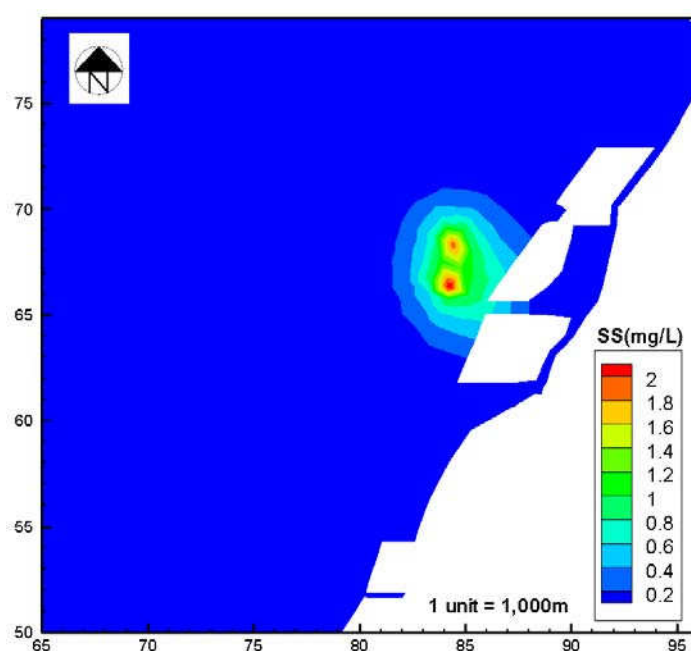


圖 6 近岸段離岸約 2 公里兩條海纜同時施作 SS 增量影響分布圖(低潮位時)

(二) 近岸段離岸約 5 公里相距約 1.6 公里處兩條海纜同時施作

在此情境下，兩條海纜同時施做對海域水質懸浮固體(SS)增量影響如圖 7 所示，可知此情境下，其影響距施工位置約 200m 處 SS 增量均約 1.2~1.4mg/L，並無加乘效應，至距施工位置約 500~1000m 處方有加乘影響，但增量僅約 0.4~0.5mg/L，這些增量均在海域水質懸浮固體濃度變動範圍，而潮間帶將使用防濁幕將工區揚起之懸浮固體圍束不使擴散，因此即使 2 條海纜同時施工對海域水質影響仍是有限的。

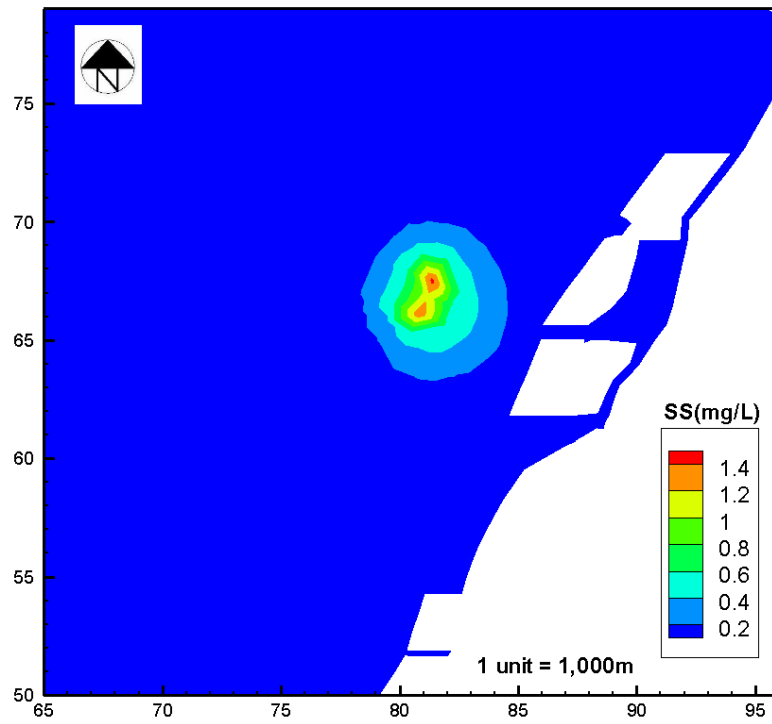


圖 7 近岸段離岸約 5 公里兩條海纜同時施作 SS 增量影響分布圖(低潮位時)

附 錄 十

水下噪音模擬評估資料



彰化(#19)外海設置離岸風力發電廠
發電計畫之水下噪音監測
(期末報告)

執行單位：洋聲股份有限公司

目錄

I.	量測	1
	一、量測目的	1
	二、量測項目	2
	三、水下噪音分析	5
	四、水下噪音量測結論	19
II.	模擬	20
	五、水下噪音及風力發電機施工模擬	21
	六、運轉噪音聲場之單頻模擬	28
III.	減輕對策與施工監測建議	32

計畫經理：朱益羣 0931814363

計畫執行：蔡孟汎 0913785938

I. 量測

一、 量測目的

本計畫將針對彰化外海離岸風力發電計畫之預定場址進行水下噪音量測，風力場址如圖 1 所示為彰化外海，藉由水下聲學儀器取得當地水下背景噪音之特性，並同時進行水下施工及運轉噪音之模擬，據此評估未來離岸風力發電機組施工及營運可能之噪音影響範圍。

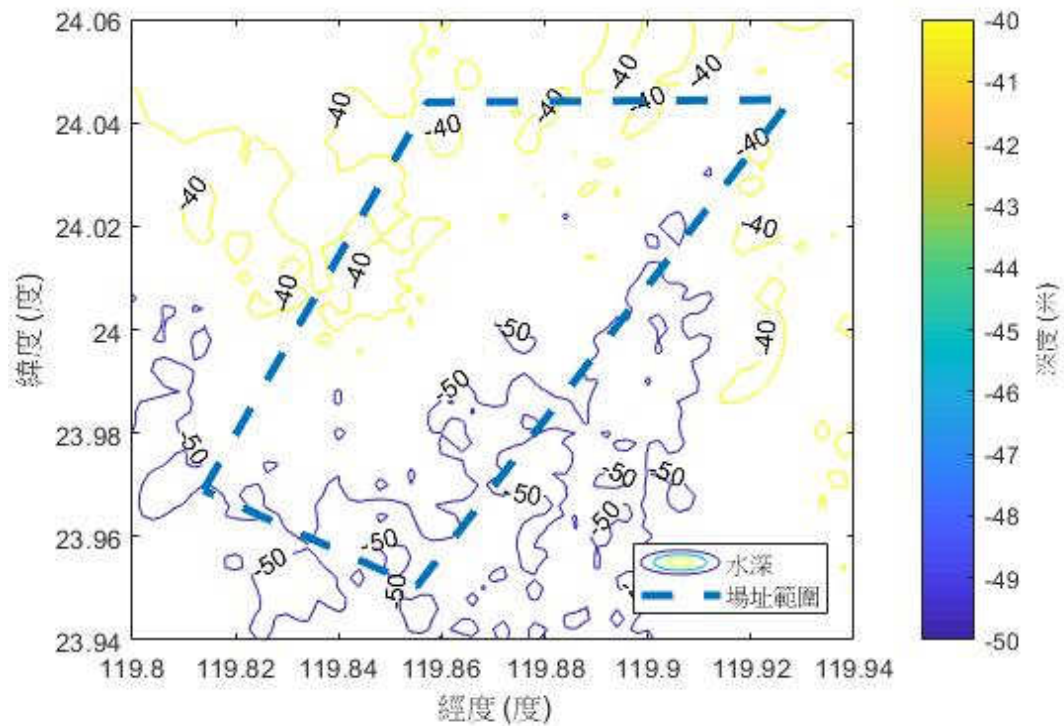


圖 1 離岸風機預定位置

二、 量測項目

1. 水下背景噪音量測

由於台灣西岸為鯨豚類之迴游路線之一，而近年來世界各地（包含台灣）也不時發生鯨豚擱淺的事件，而其發生的原因可能為水下的聲響，如船舶、打樁等噪音，因此離岸風力發電的興建過程有可能影響此地鯨豚類之生態。本次量測於民國 105 年 07 月份佈放水下聲學紀錄器於風場及附近海域共 4 個點位，在開發前進行水下聲學量測，量測至少涵蓋乾滿潮前後各半小時，以測得本海域之水下背景噪音特性及水下噪音位準，量測位置如圖 2 所示，測站相關資訊如表 1，噪音分析以時頻譜及頻寬為 1 Hz 以及 1/3 八音度頻帶的頻譜分析為主。

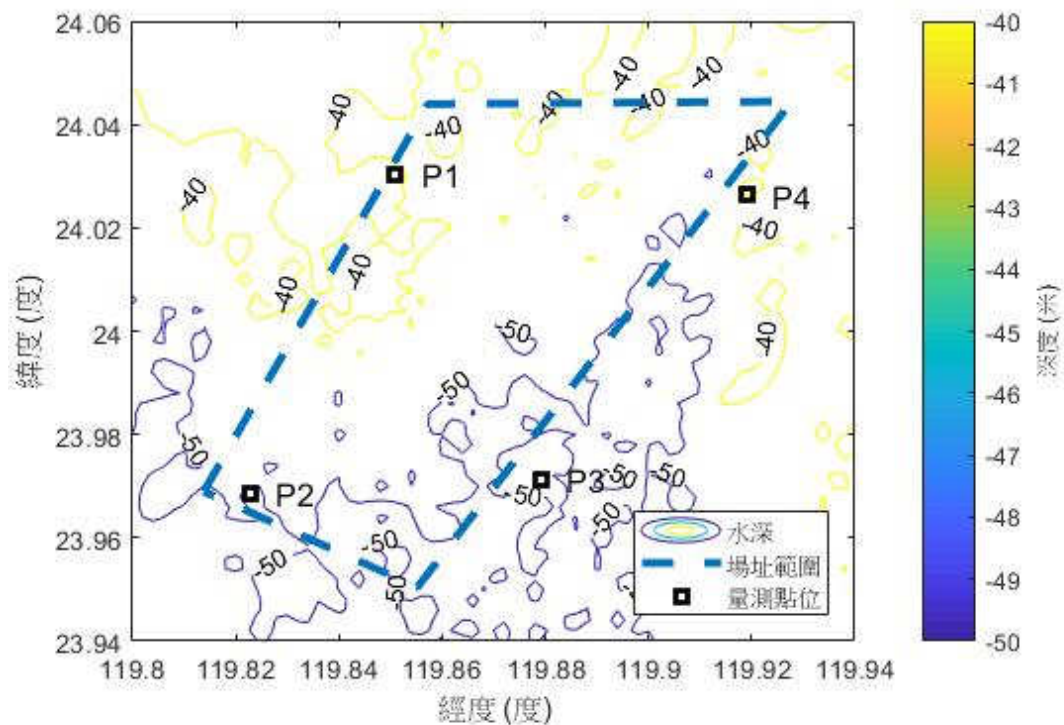


圖 2 水下噪音量測位置示意圖

表 1 量測點位之經緯度及水深

量測點位	經度	緯度	水深(公尺)
P1	119 度 51.05 分	24 度 1.821 分	34.8
P2	119 度 49.36 分	23 度 58.12 分	44.2
P3	119 度 52.75 分	23 度 58.28 分	51.3
P4	119 度 55.14 分	24 度 1.577 分	40.3

2. 量測儀器與佈置

本次水下背景噪音量測使用船載式聲學量測。使用儀器為 Wildlife Acoustics 之儀器 SM2M，其量測資料儲存於內建的儲存裝置，回收後再進行資料之擷取，規格如表 2，外觀如圖 3 所示，圖 4 為 SM2M 佈放示意圖。

表 2 SM2M 之型號與規格說明

名稱	規格	設定
儀器外部尺寸	直徑 16.5 公分，高 79.4 公分，約 9.5Kg	
電池組	4 號電池 x32 顆，每四顆一組。	
聲道	支援 1, 2 (channel)	單聲道
最高取樣頻率	96kHz	44.1kHz
資料儲存方式	記憶卡：8GB~128GBSDHC 或 512GBSDXC，16bit 儲存	記憶卡： 128GB SDXC x1
儀器紀錄週期	最多可 24 小時連續錄製 36 天 (2 channels、 取樣頻率為 9765.625 Hz)	每小時整點開始記錄，每次錄 製 59 分鐘，停止一分鐘切割檔 案
最大工作深度	150 m	
麥克風靈敏度	-165dB re 1 μ Pa	-165 dB re 1 μ Pa
增益	+0 dB 至+12 dB	+0 dB
檔案格式	Wav 檔，依照設定每一筆為 59 分。	



圖 3 SM2M 儀器外觀與規格圖



圖 4 水下噪音量測儀器佈放示意圖

3. 資料分析

由於背景噪音需排除明確可辨識之噪音源(如船舶噪音，等...)，故現場取得之量測資料，利用 Matlab 進行快速傅立葉轉換 (Fast Fourier Transform, FFT)，先計算出以 1 Hz 為頻寬的聲壓位準後，利用各頻率下聲壓位準之常態分佈上下限值剔除不屬於該海域背景之噪音源，將篩選過的資料做平均以取得 1 Hz 頻寬的聲壓位準，再轉換為 1/3 八音度頻帶頻譜位準；另一方面，由於水下聲學所使用的參考聲壓值為 1 μ Pa，與空氣中所使用的參考聲壓值 20 μ Pa 有所不同，因此在相同的接收聲壓下，水中的聲壓位準（單位：dB re 1 μ Pa）會比空氣中得聲壓位準（單位：dB re 20 μ Pa）高出 26 dB，這是水下聲學相關研究所要特別注意的地方。再者，在水下聲學較常使用的頻寬為 1 Hz，不同於空氣中使用的八音度頻帶 (Octave Band) 或是 1/3 八音度頻帶 (One-third Octave Band)，由於八音度頻帶之位準是一個頻段內能量的總和，因此八音度頻帶的聲壓位準會高出水下聲學所使用的 1 Hz 頻寬高出許多。

本報告所使用之聲壓單位有兩種，分別為頻譜位準與 1/3 八音度頻帶位準。頻譜位準之頻寬為 1 Hz，而 1/3 八音度頻帶之頻寬係根據不同中心頻率而定。雖然水下聲學多使用 1-Hz 頻寬之頻譜位準，但是部分文獻以 1/3 八音度頻帶表示，為方便比較，因此增加 1/3 八音度頻帶之表示方法。1/3 八音度頻帶之中心頻率如表 3 所示，例如中心頻率為 25 Hz 之 1/3 八音度頻帶位準為 22 至 28 Hz 之能量總和；中心頻率為 50 Hz 之 1/3 八音度頻帶位準為 44 至 57 Hz 之能量總和。

表 3 1/3 八音度頻帶之中心頻率

Lower Band Limit(Hz)	22.4	35.5	44.7	70.8	89.1	112	141	178	224
Center Frequency(Hz)	25	40	50	80	100	125	160	200	250
Upper Band Limit(Hz)	28.2	44.7	56.2	89.1	112	141	178	224	282

三、 水下噪音分析

水下聲學之聲壓位準(SPL)一般依照 ANSI S1.1- 1994 為準，以下式表示， P_{ref} (參考聲壓)在水中為 $1 \mu\text{Pa}$ ，其單位為 dB re $1 \mu\text{Pa}$ 。通常有不同計算量，如 SPL_{pp} 代表聲音時序列(sound time series) 之聲壓峰至峰值(peak-to-peak Sound Pressure Level)， SPL_{rms} 代表頻譜上(spectral)聲壓帶寬能量 (root-mean-square Sound Pressure Level)，其帶寬(band width)可為 1 Hz，單位為 dB re $1 \mu\text{Pa}$, 1 Hz，如式 1。SEL (聲曝值，Sound Exposure Level)為聲壓值在一定時間之累積量，通常為一秒，單位為 dB re $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ s}$ ，如式 2。

$$SEL = 10 \log\left(\int_T \frac{p^2(t)}{P_{ref}^2} dt\right) \quad \text{式 1}$$

$$SPL_{rms} = 10 \log\left(\frac{1}{T} \int_T \frac{p^2(t)}{P_{ref}^2} dt\right) \quad \text{式 2}$$

本研究於民國 105 年 07 月進行量測，以下為 P1 至 P4 點位之乾滿潮水下噪音分析結果，表 4 為各量測點乾滿潮時間點，表 5 至表 12 為 P1 至 P4 點位之乾、滿潮 1/3 Octave 位準表，圖 5 至圖 28 為各點位之滿潮、乾潮時頻譜圖、1-Hz 頻譜位準圖以及 1/3 Octave 頻譜位準圖。由結果可發現，在乾、滿潮的噪音變化並不明顯。

表 4 P1~P4 點位之乾滿潮時間點

量測點	滿乾潮時間
P1	2016 年 07 月 26 日 09:35 乾潮 ~ 2016 年 07 月 26 日 15:49 滿潮
P2	2016 年 07 月 29 日 13:03 乾潮 ~ 2016 年 07 月 29 日 19:25 滿潮
P3	2016 年 07 月 29 日 00:17 乾潮 ~ 2016 年 07 月 30 日 07:16 滿潮
P4	2016 年 07 月 30 日 14:09 乾潮 ~ 2016 年 07 月 30 日 20:32 滿潮

表 5 P1 點位之滿潮 1/3 Octave 位準

中心頻率(Hz)	40	50	63	80	100	125	160	200	250
頻帶位準(dB)	96.1	98.4	96.5	97.4	101.3	95.3	88.2	84.7	82.6
中心頻率(Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
頻帶位準(dB)	83.4	84.2	84.9	84.6	85.6	83.6	80.0	83.2	77.8
中心頻率(Hz)	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
頻帶位準(dB)	77.3	76.7	76.7	78.0	78.3	75.4	75.1	75.9	77.4

表 6 P1 點位之乾潮 1/3 Octave 位準

中心頻率(Hz)	40	50	63	80	100	125	160	200	250
頻帶位準(dB)	96.4	92.9	93.5	92.3	91.3	88.6	86.4	80.7	77.6
中心頻率(Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
頻帶位準(dB)	78.7	79.4	80.5	80.4	80.5	79.2	80.4	81.2	74.6
中心頻率(Hz)	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
頻帶位準(dB)	72.6	77.4	83.4	88.5	89.3	84.4	76.0	76.0	77.5

表 7 P2 點位之滿潮 1/3 Octave 位準

中心頻率(Hz)	40	50	63	80	100	125	160	200	250
頻帶位準(dB)	97.0	96.0	96.3	94.9	91.9	88.8	90.4	84.6	85.3
中心頻率(Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
頻帶位準(dB)	85.6	86.0	86.3	89.9	91.7	91.2	95.5	97.1	92.1
中心頻率(Hz)	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
頻帶位準(dB)	87.0	82.4	79.4	78.3	78.2	79.4	80.3	81.3	83.4

表 8 P2 點位之乾潮 1/3 Octave 位準

中心頻率(Hz)	40	50	63	80	100	125	160	200	250
頻帶位準(dB)	106.1	102.5	99.5	99.9	96.5	91.8	90.2	85.9	85.6
中心頻率(Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
頻帶位準(dB)	88.2	91.1	86.4	88.9	91.9	90.3	92.7	91.2	80.0
中心頻率(Hz)	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
頻帶位準(dB)	78.2	79.3	78.2	77.6	77.9	78.2	78.7	79.9	82.3

表 9 P3 點位之滿潮 1/3 Octave 位準

中心頻率(Hz)	40	50	63	80	100	125	160	200	250
頻帶位準(dB)	100.1	99.6	98.9	98.4	99.3	91.1	88.4	88.2	87.2
中心頻率(Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
頻帶位準(dB)	88.2	89.8	90.8	90.5	90.6	90.4	87.6	88.9	85.0
中心頻率(Hz)	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
頻帶位準(dB)	83.1	82.7	82.5	80.5	79.8	78.5	78.0	78.2	79.6

表 10 P3 點位之乾潮 1/3 Octave 位準

中心頻率(Hz)	40	50	63	80	100	125	160	200	250
頻帶位準(dB)	102.0	103.3	102.4	96.9	92.2	89.1	86.3	83.4	82.9
中心頻率(Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
頻帶位準(dB)	83.3	87.3	89.0	89.1	91.6	93.3	95.1	97.8	92.3
中心頻率(Hz)	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
頻帶位準(dB)	87.6	87.7	86.5	83.0	80.8	79.4	79.1	79.6	81.2

表 11 P4 點位之滿潮 1/3 Octave 位準

中心頻率(Hz)	40	50	63	80	100	125	160	200	250
頻帶位準(dB)	106.1	104.7	103.8	103.8	99.1	94.0	93.4	89.5	89.3
中心頻率(Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
頻帶位準(dB)	88.6	91.0	91.4	91.2	92.5	92.6	90.1	93.0	88.8
中心頻率(Hz)	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
頻帶位準(dB)	87.3	85.9	83.8	82.9	82.3	80.7	79.6	79.2	80.1

表 12 P4 點位之乾潮 1/3 Octave 位準

中心頻率(Hz)	40	50	63	80	100	125	160	200	250
頻帶位準(dB)	104.5	102.7	105.5	106.2	100.6	95.4	91.6	88.6	86.0
中心頻率(Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
頻帶位準(dB)	86.1	86.6	86.9	89.3	87.4	87.4	87.4	88.9	85.3
中心頻率(Hz)	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
頻帶位準(dB)	83.9	83.3	82.4	82.3	82.2	81.2	80.2	79.7	80.6

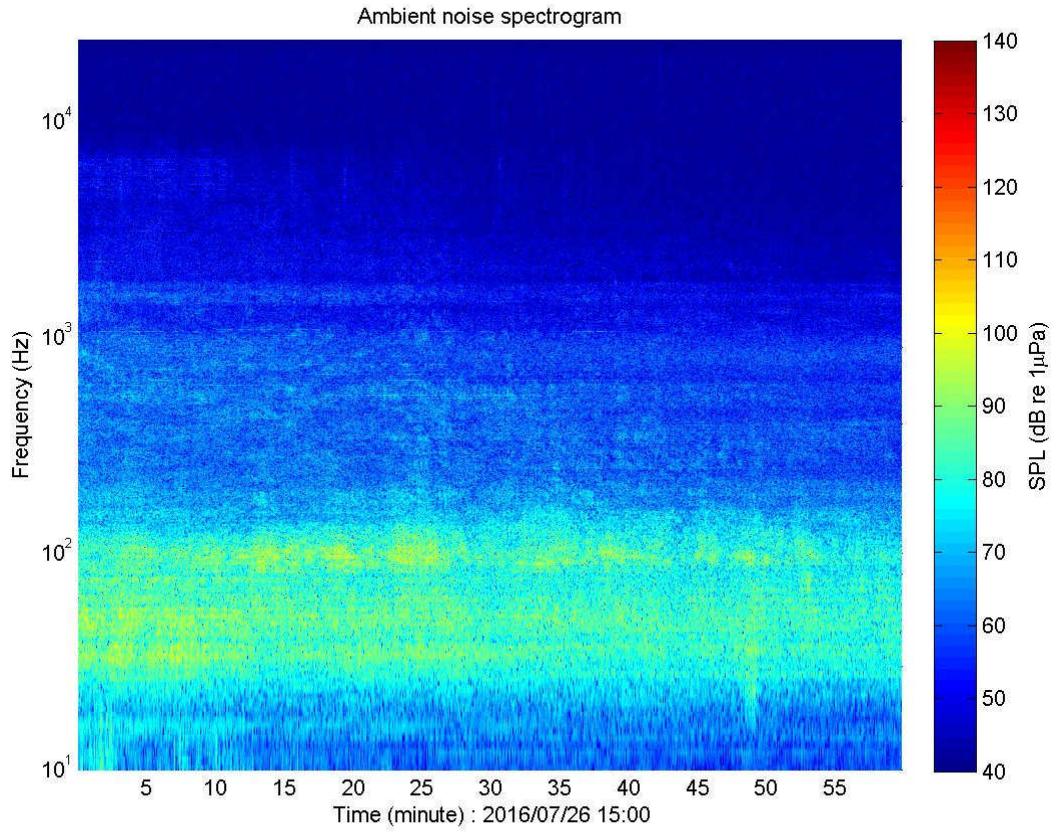


圖 5 P1 點位之滿潮時頻譜圖

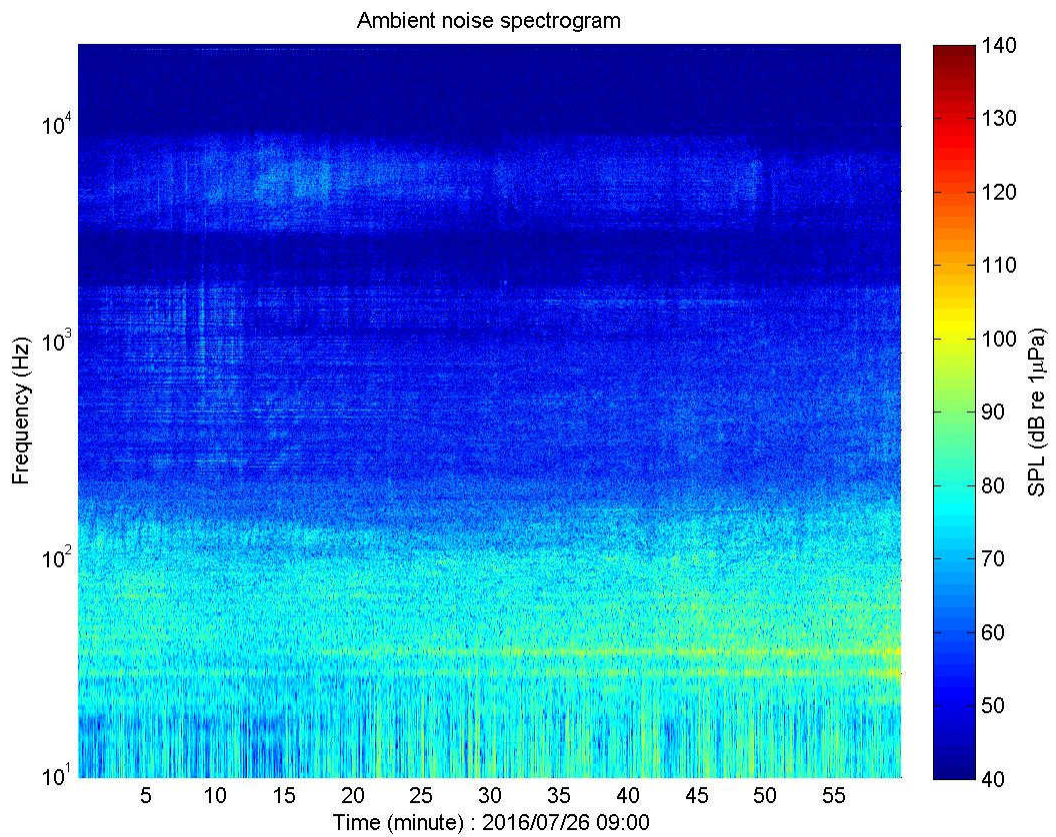


圖 6 P1 點位之乾潮時頻譜圖

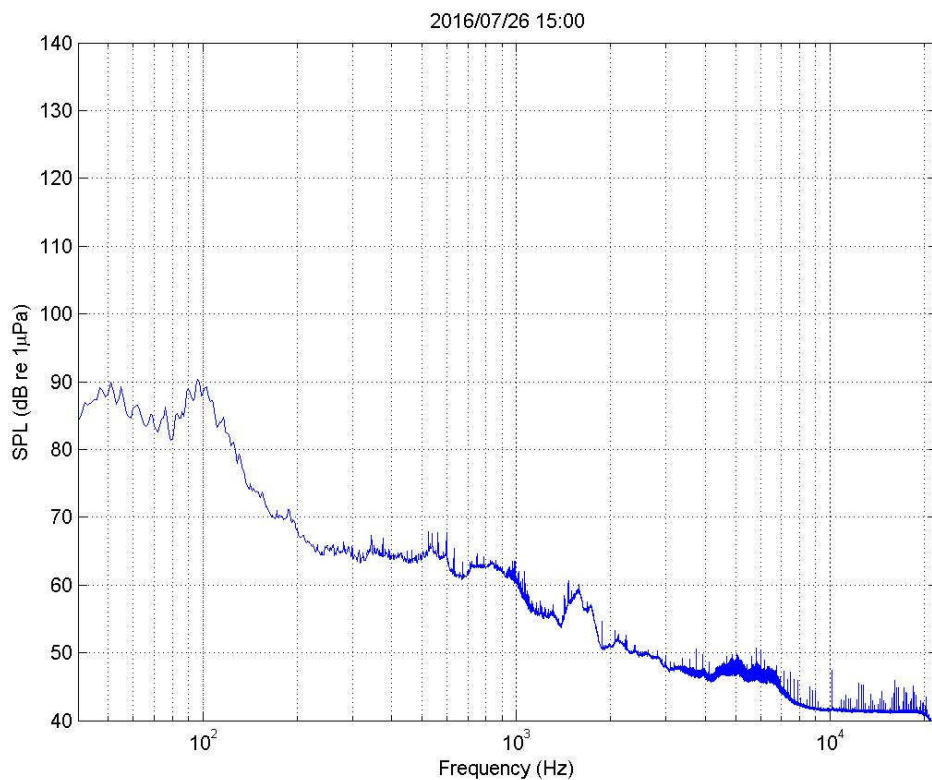


圖 7 P1 點位之滿潮 1-Hz 頻譜位準圖

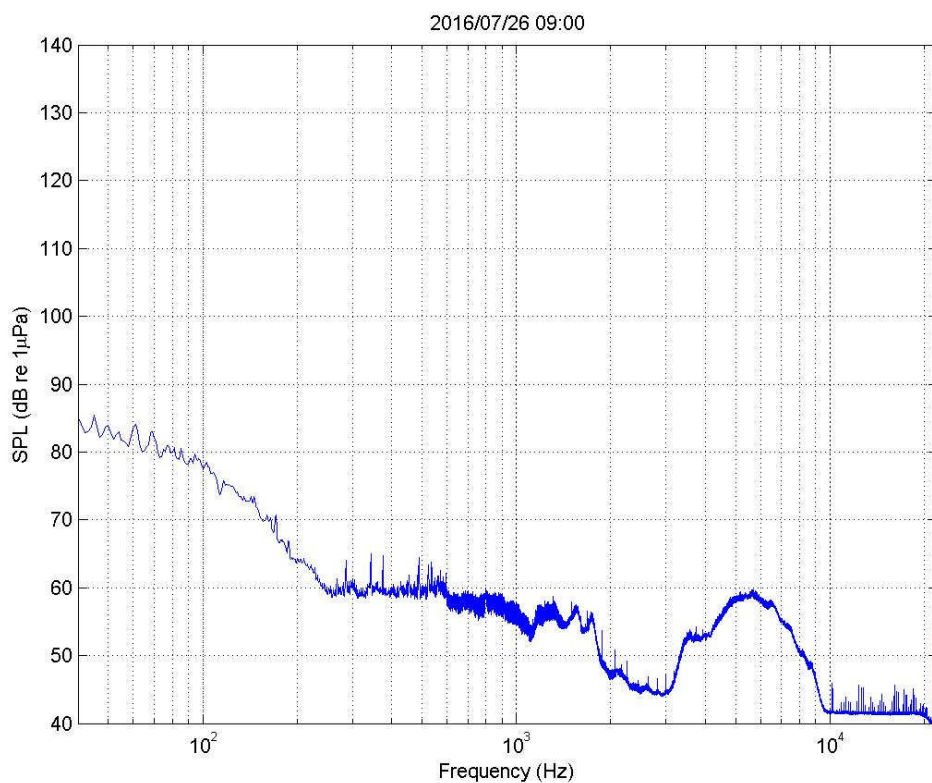


圖 8 P1 點位之乾潮 1-Hz 頻譜位準圖

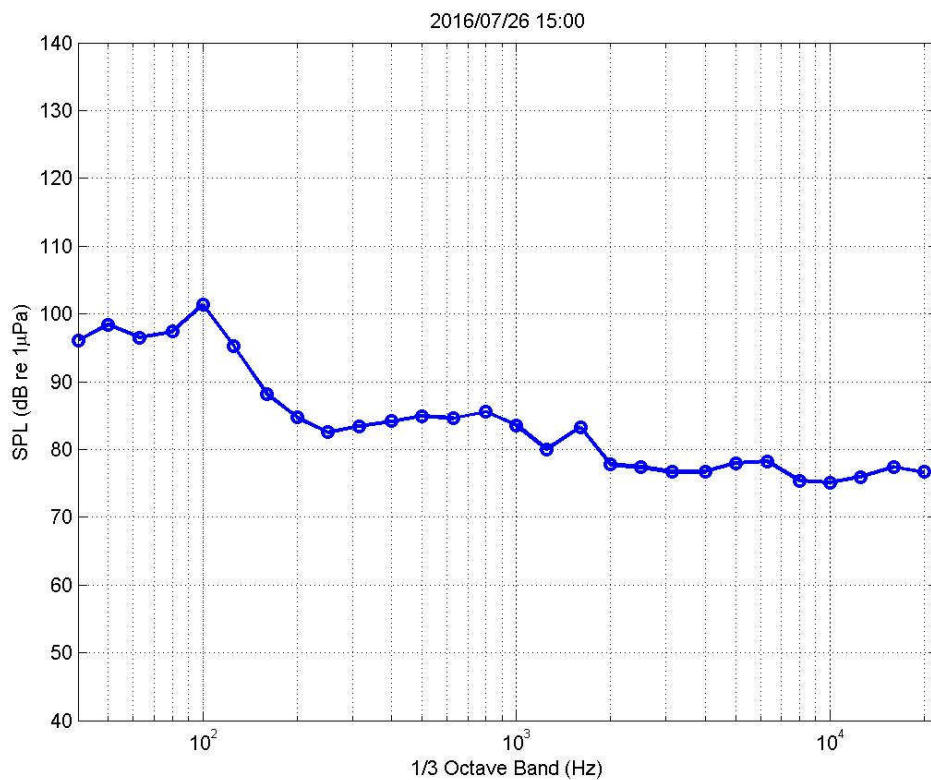


圖 9 P1 點位之滿潮 1/3 Octave 頻譜位準圖

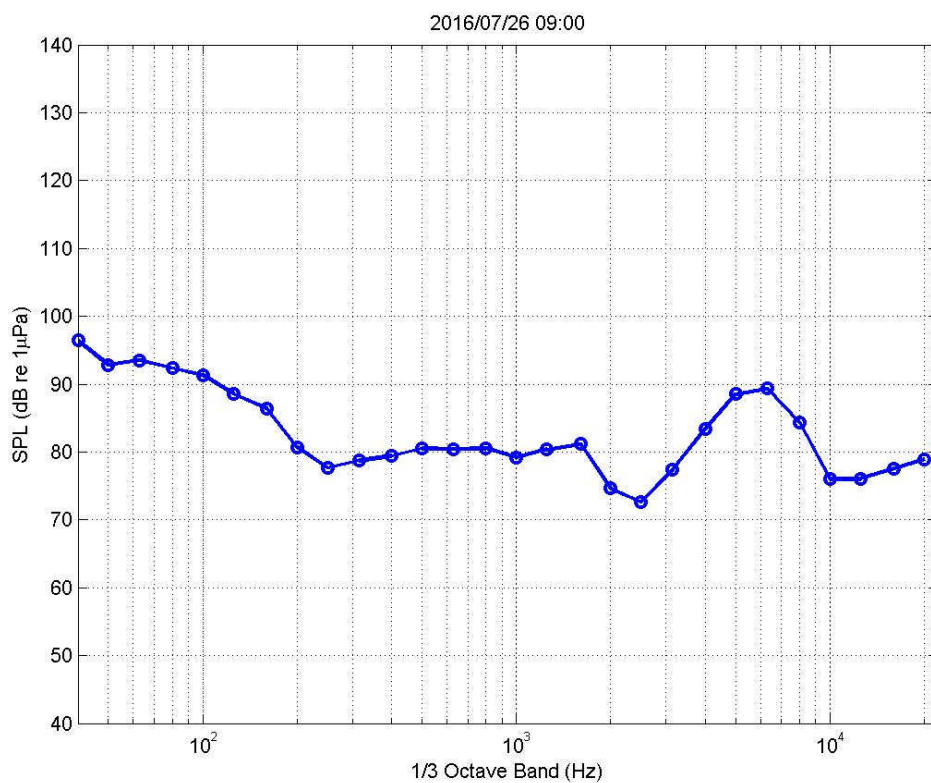


圖 10 P1 點位之乾潮 1/3 Octave 頻譜位準圖

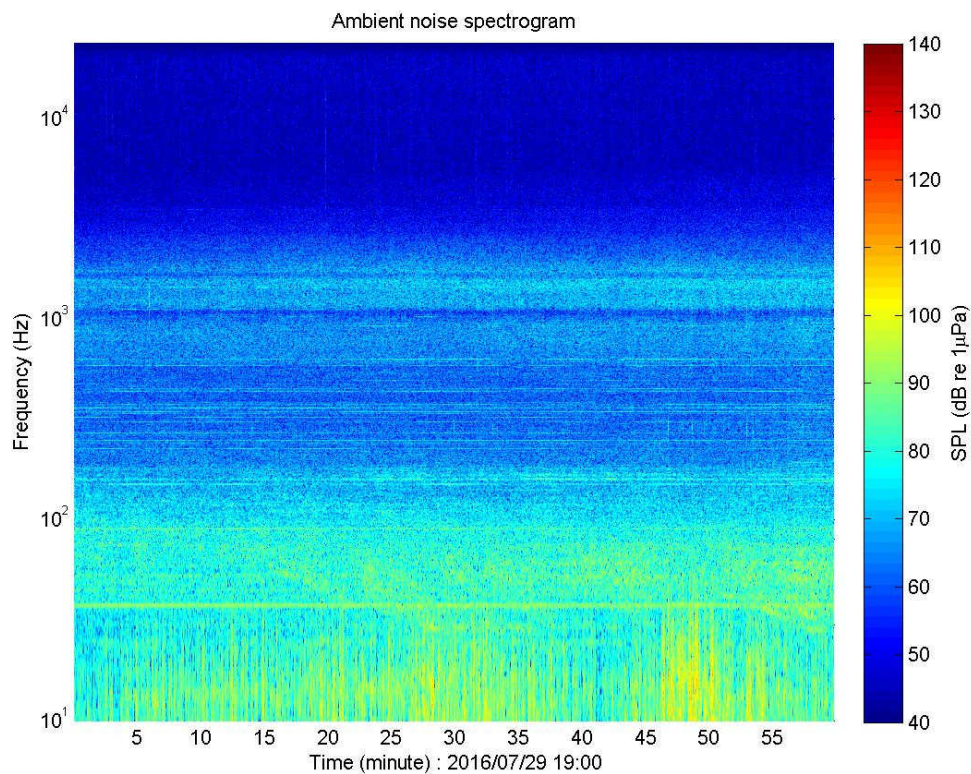


圖 11 P2 點位之滿潮時頻譜圖

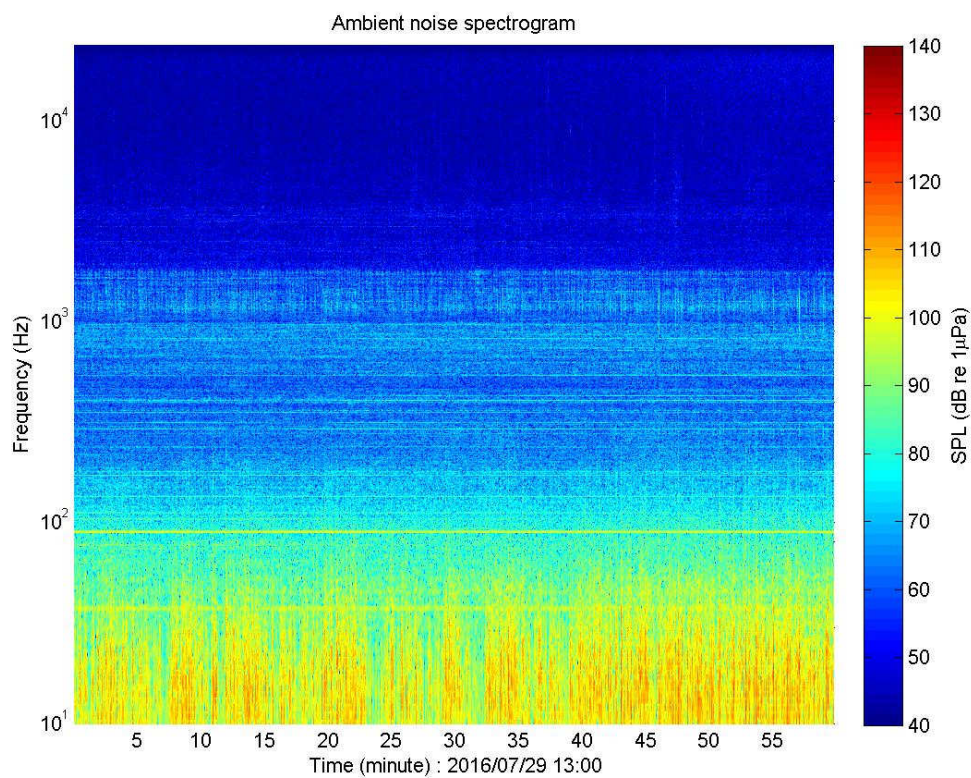


圖 12 P2 點位之乾潮時頻譜圖

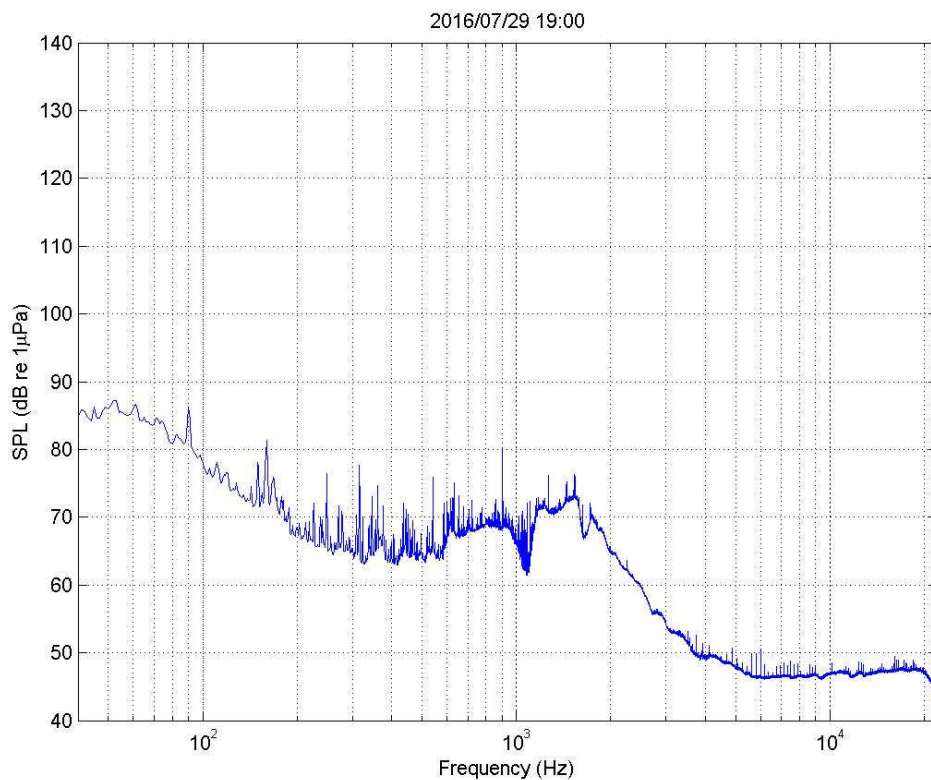


圖 13 P2 點位之滿潮 1-Hz 頻譜位準圖

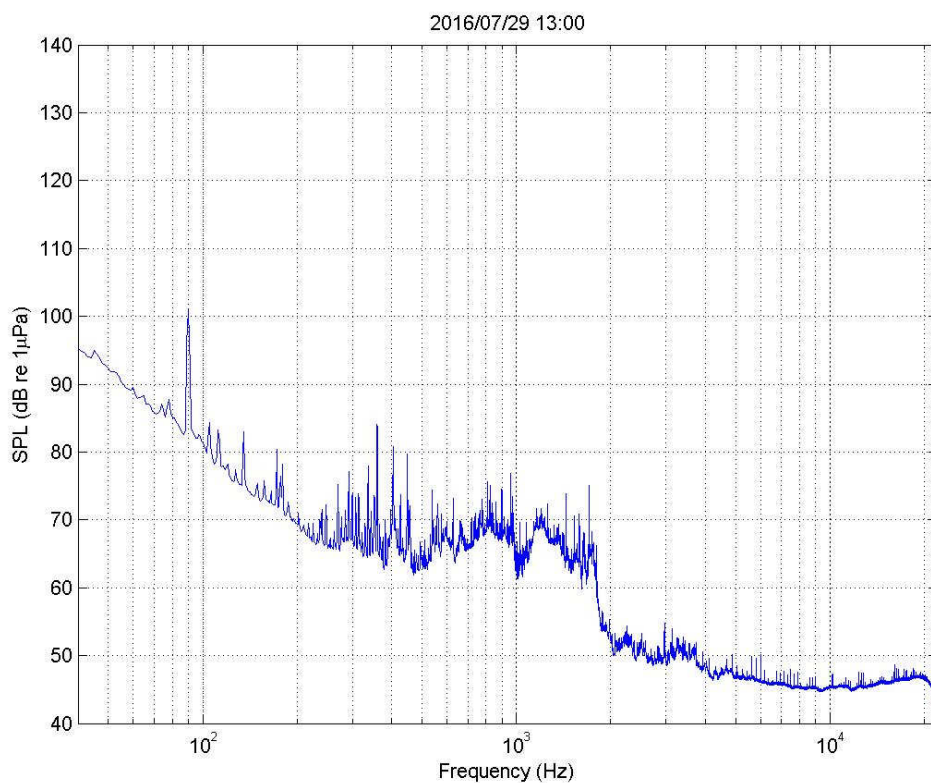


圖 14 P2 點位之乾潮 1-Hz 頻譜位準圖

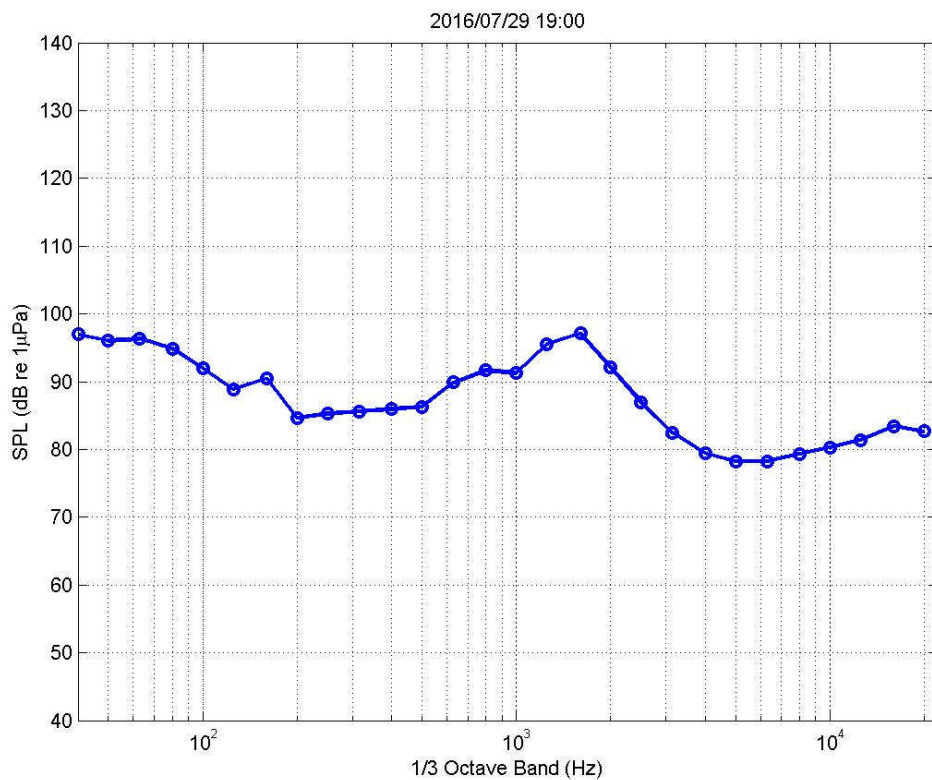


圖 15 P2 點位之滿潮 1/3 Octave 頻譜位準圖

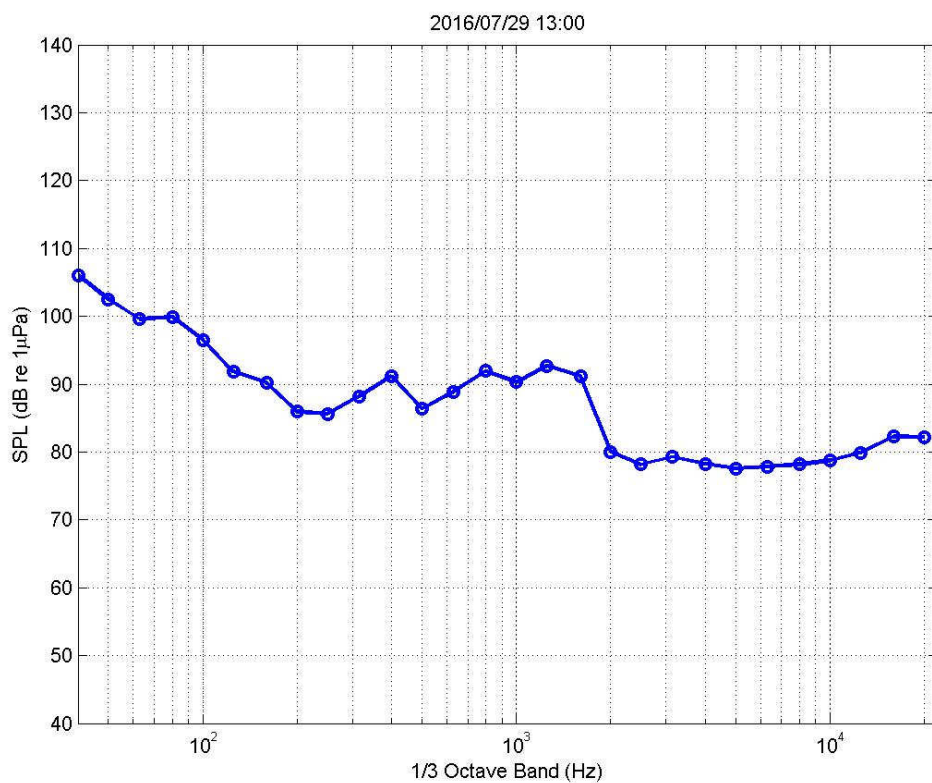


圖 16 P2 點位之乾潮 1/3 Octave 頻譜位準圖

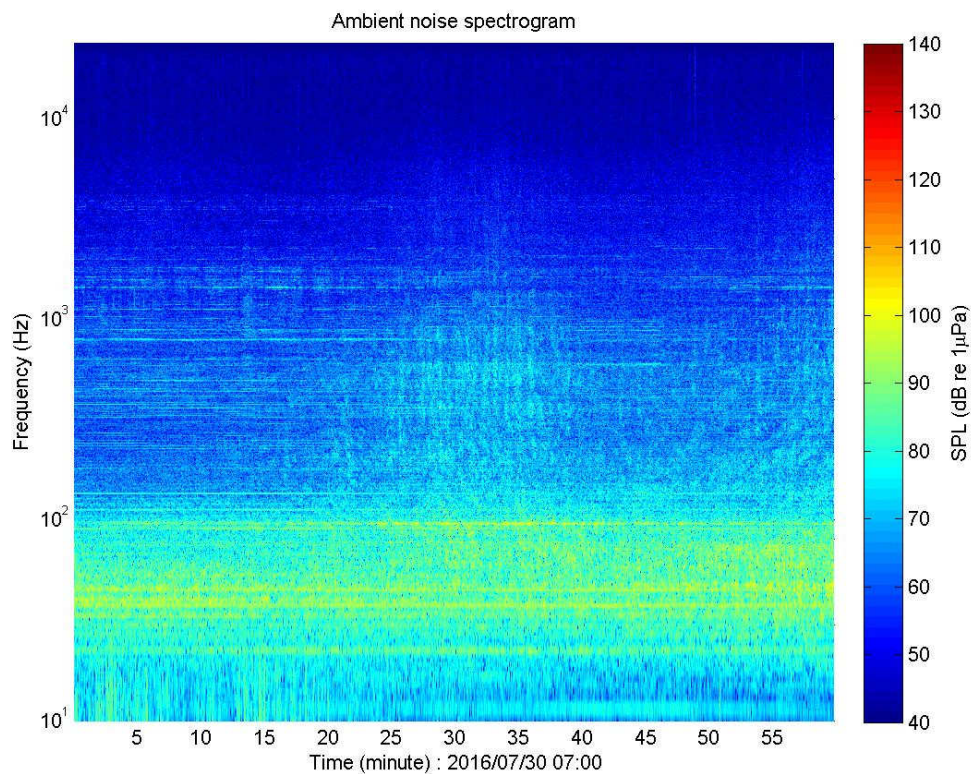


圖 17 P3 點位之滿潮時頻譜圖

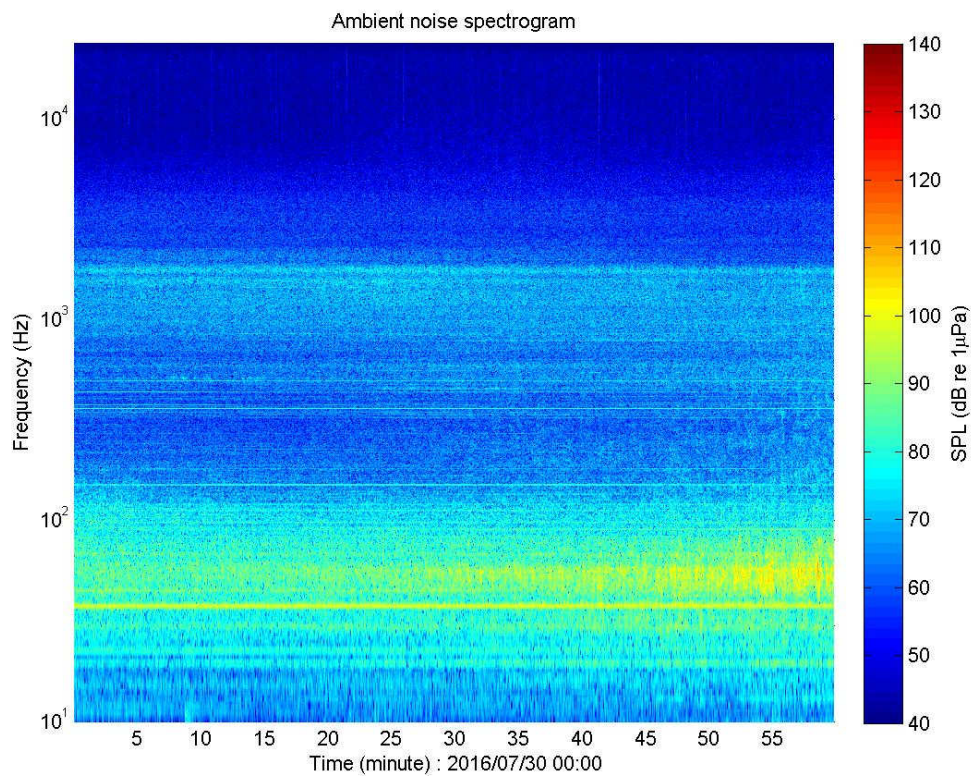


圖 18 P3 點位之乾潮時頻譜圖

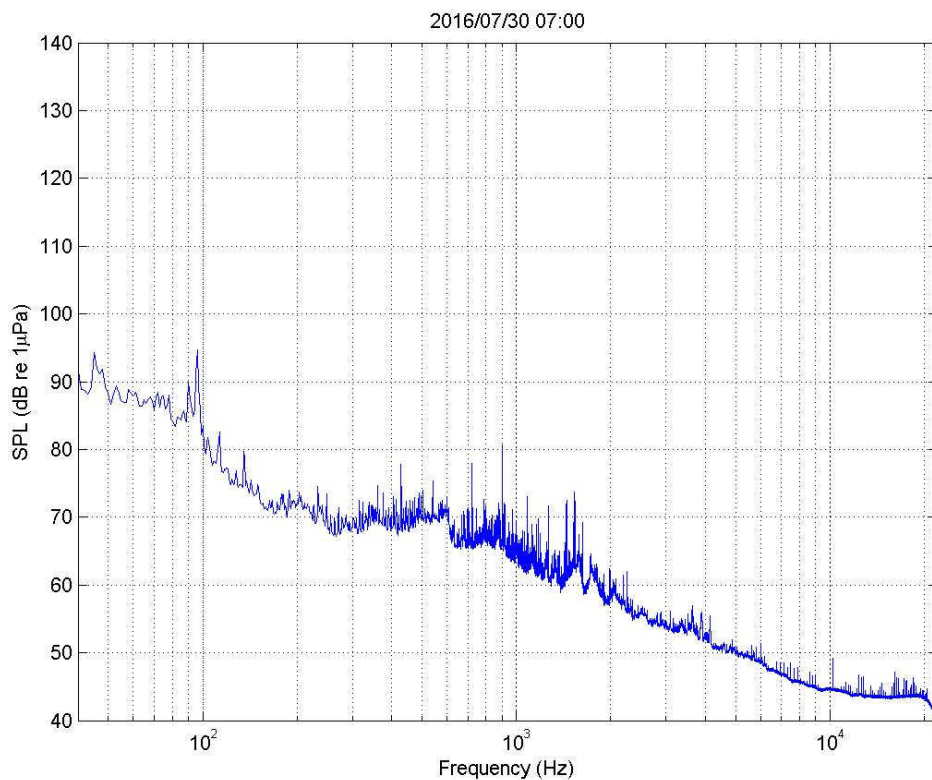


圖 19 P3 點位之滿潮 1-Hz 頻譜位準圖

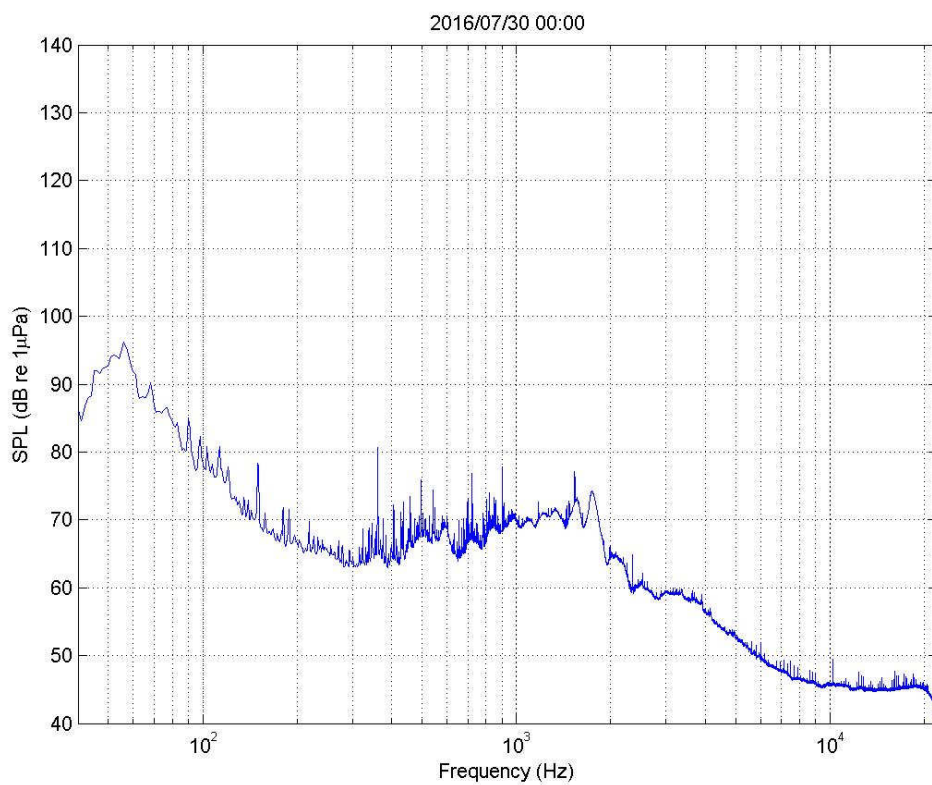


圖 20 P3 點位之乾潮 1-Hz 頻譜位準圖

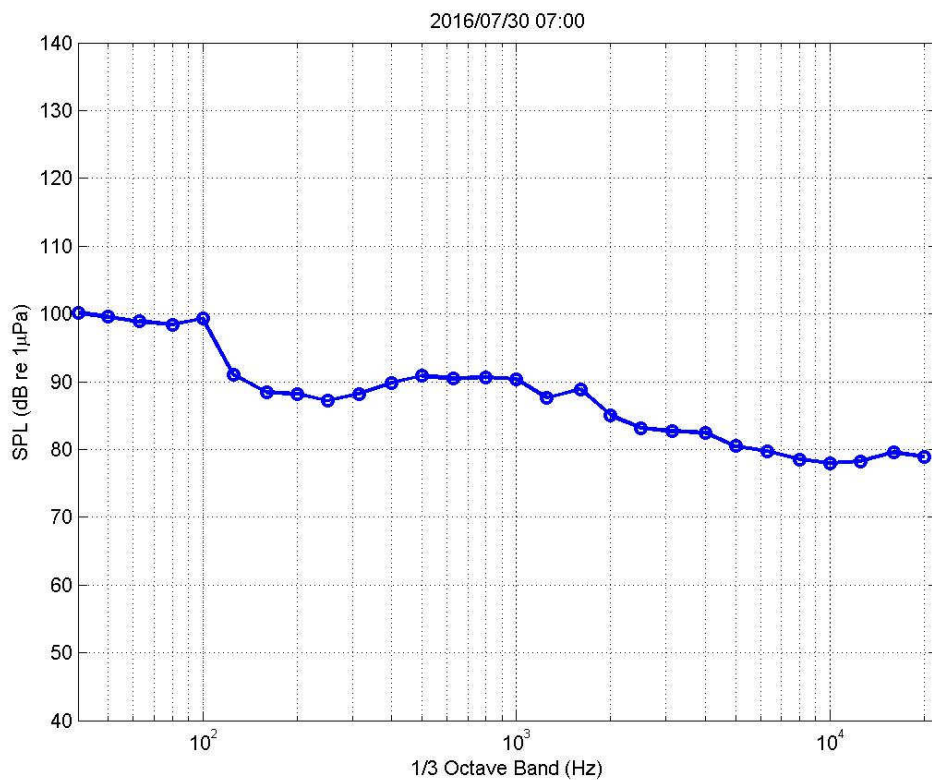


圖 21 P3 點位之滿潮 1/3 Octave 頻譜位準圖

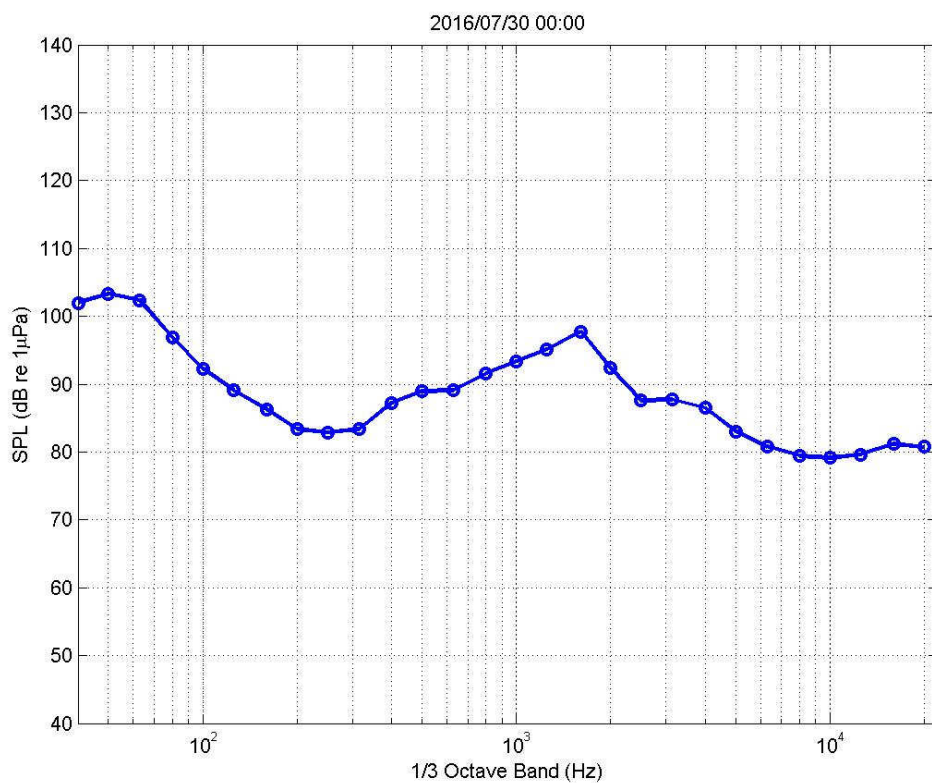


圖 22 P3 點位之乾潮 1/3 Octave 頻譜位準圖

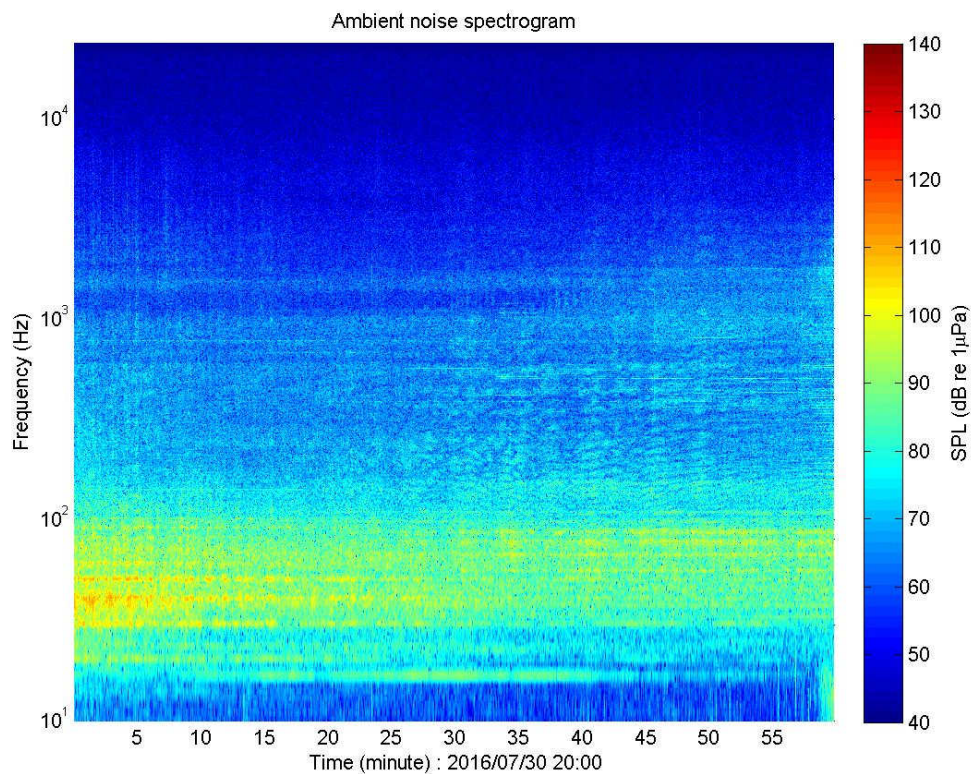


圖 23 P4 點位之滿潮時頻譜圖

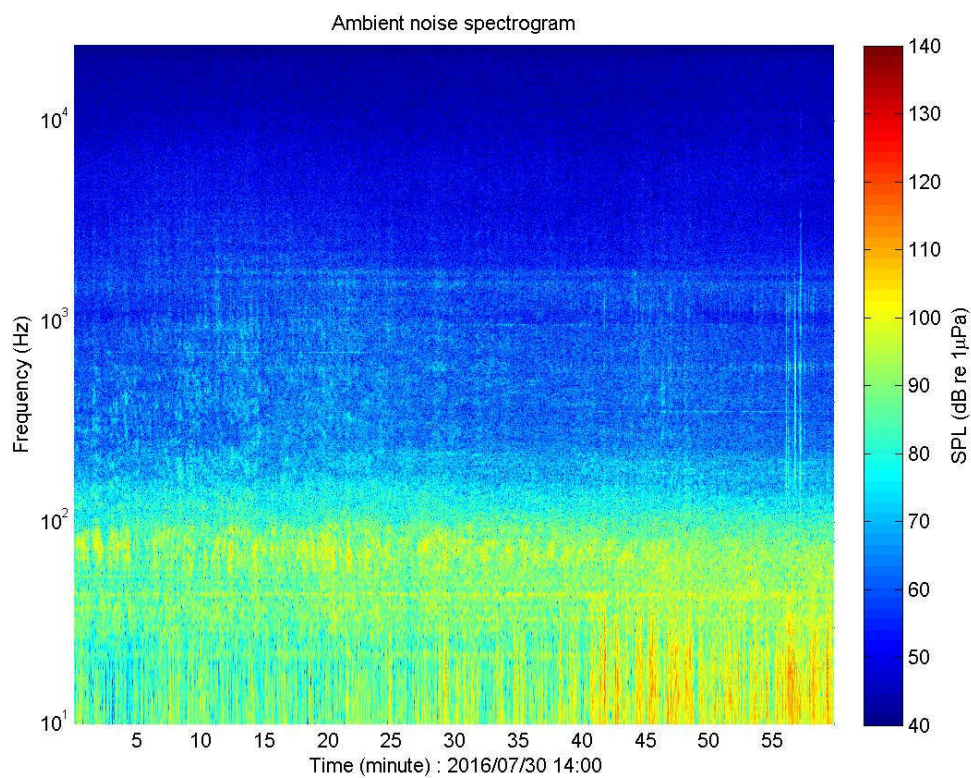


圖 24 P4 點位之乾潮時頻譜圖

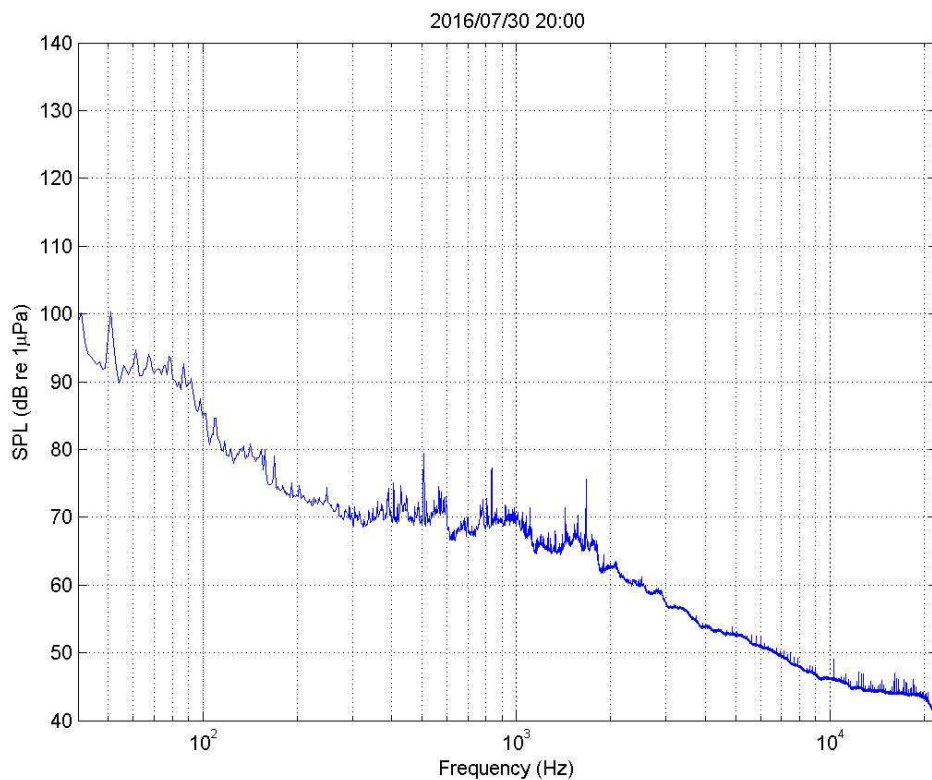


圖 25 P4 點位之滿潮 1-Hz 頻譜位準圖

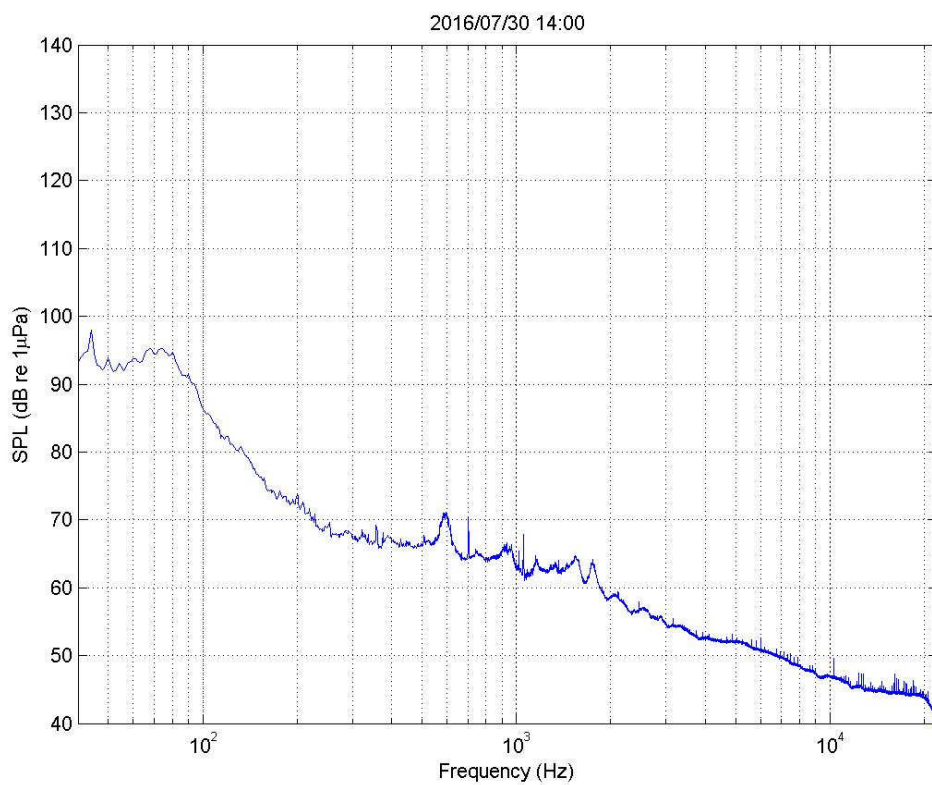


圖 26 P4 點位之乾潮 1-Hz 頻譜位準圖

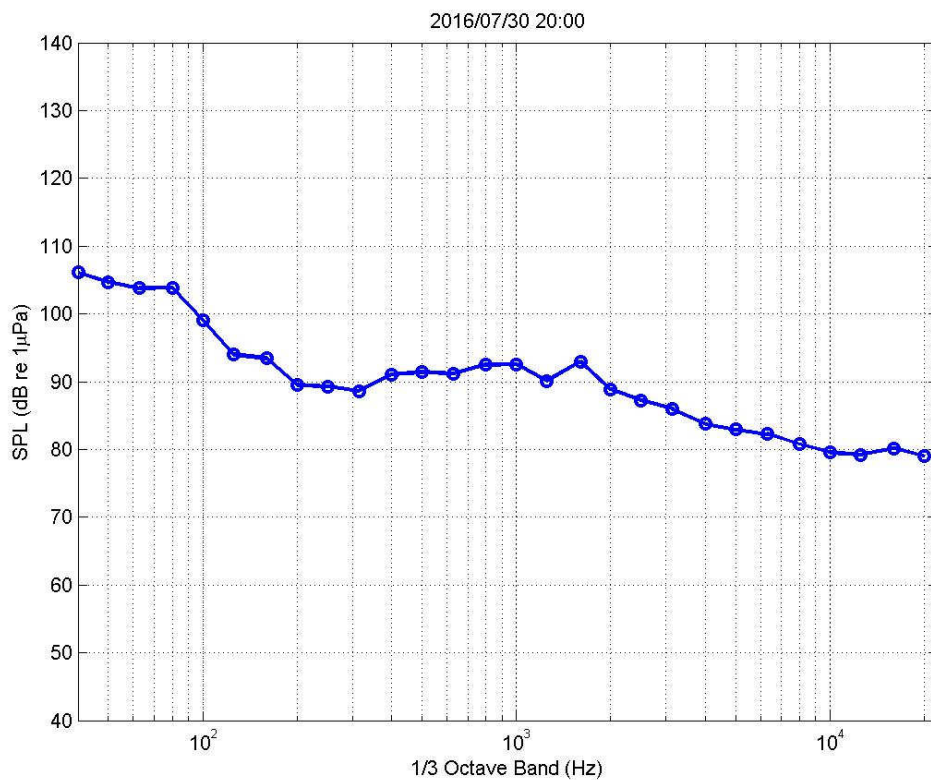


圖 27 P4 點位之滿潮 1/3 Octave 頻譜位準圖

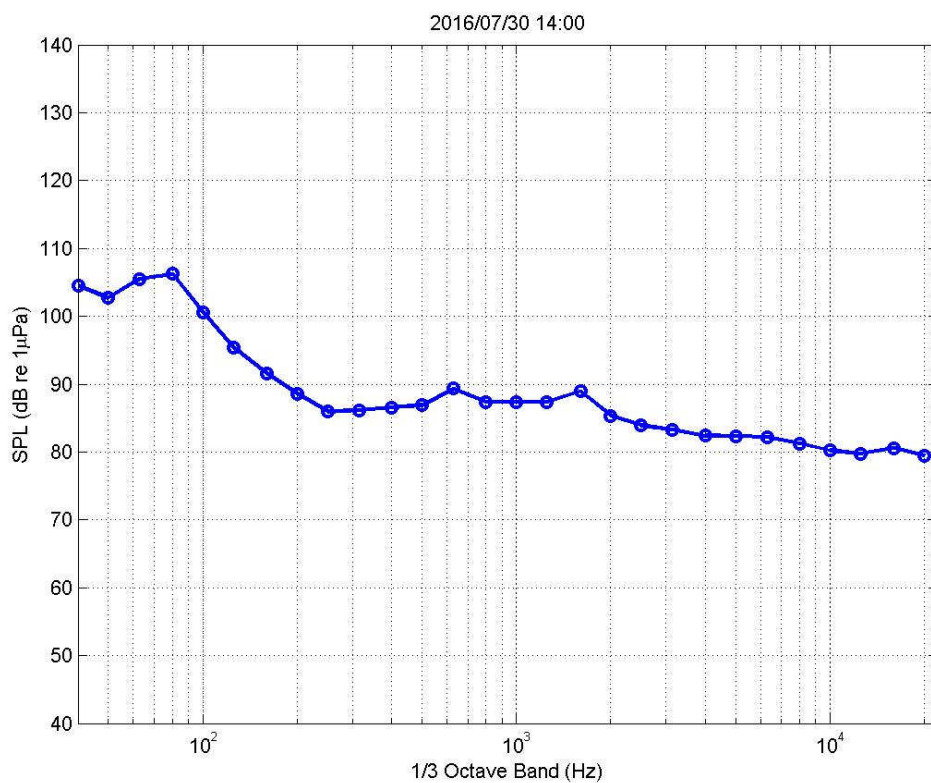


圖 28 P4 點位之乾潮 1/3 Octave 頻譜位準圖

四、水下噪音量測結論

本量測於民國 105 年 7 月進行，共取得 4 個點位之水下背景噪音資料，量測時間涵蓋乾滿潮前後各半小時，測得本海域水下背景噪音特性及水下噪音位準。

測點 P1 及 P2 乾潮時段，P1 點於 4k Hz~8k Hz 與 P2 點的 400Hz~2kHz 有部分生物噪音介於 50~70dB 之間，其測點 P1、P2 滿潮時段與 P3、P4 乾、滿時段量測 (1-Hz 頻譜位準)結果顯示，聲壓位準差異不大，則型態類似標準之深水區 Wenz Curve，以本次短時量測期間，並無明顯的船舶噪音影響，但在 P1、P2 點乾潮時段，紀錄到生物噪音，即表示在此風場量測點附近有魚類等生物棲息。

此次主要以潮汐乾、滿潮時段之背景噪音量測，但量測過程存可能出現持續性、間歇性或一次性等噪音源影響，而非當地海域背景噪音。因此，於風能潛力場海域，針對水下環境噪音進行長時間觀測實為必要，進而達到當地海域背景噪音調查之目的。

II. 模擬

五、水下噪音及風力發電機施工模擬

本計畫之風力發電機施工模擬點位如圖 29 所示，將針對風場預定地點之 4 處進行水下噪音及風力發電機施工模擬噪音評估，使用數值模式推估出該海域之聲場及傳播特性，以了解其施工噪音對海洋環境之影響。

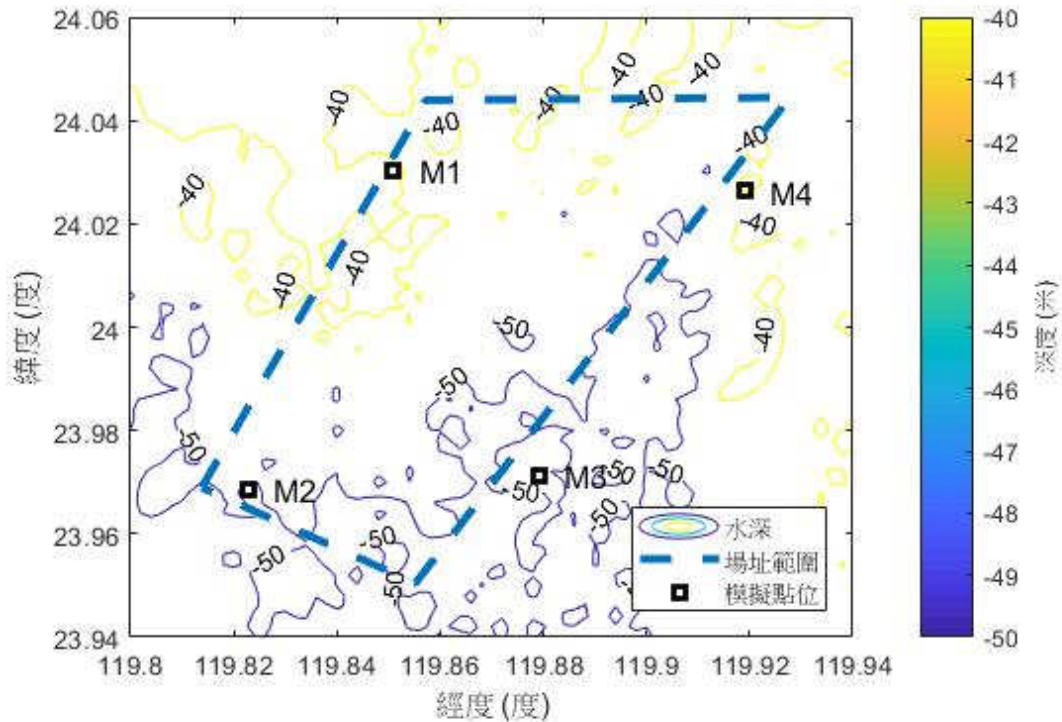


圖 29 風力發電機施工模擬點位示意圖

表 13 模擬點位經緯度以及水深

模擬點位	經度	緯度	水深(公尺)
M1	119 度 51.05 分	24 度 1.821 分	34.8
M2	119 度 49.36 分	23 度 58.12 分	44.2
M3	119 度 52.75 分	23 度 58.28 分	51.3
M4	119 度 55.14 分	24 度 1.577 分	40.3

1. 施工噪音源模擬

目前台灣由在2016年9月於苗栗竹南離岸示範風場已完成基礎打樁工程，並於在距離打樁點750 m與3000 m進行打樁噪音量測，由圖30所示距離750 m量測結果表示，打樁噪音之聲壓位準為170dB re 1 μ Pa (rms)，以及距離打樁位置3000 m量測所得之聲壓位準為為155~160dB re 1 μ Pa (rms)，如圖31所示。再經打樁點位與量測距離推估聲源強度，則得知打樁噪音聲源約為210~219 dB。[12]

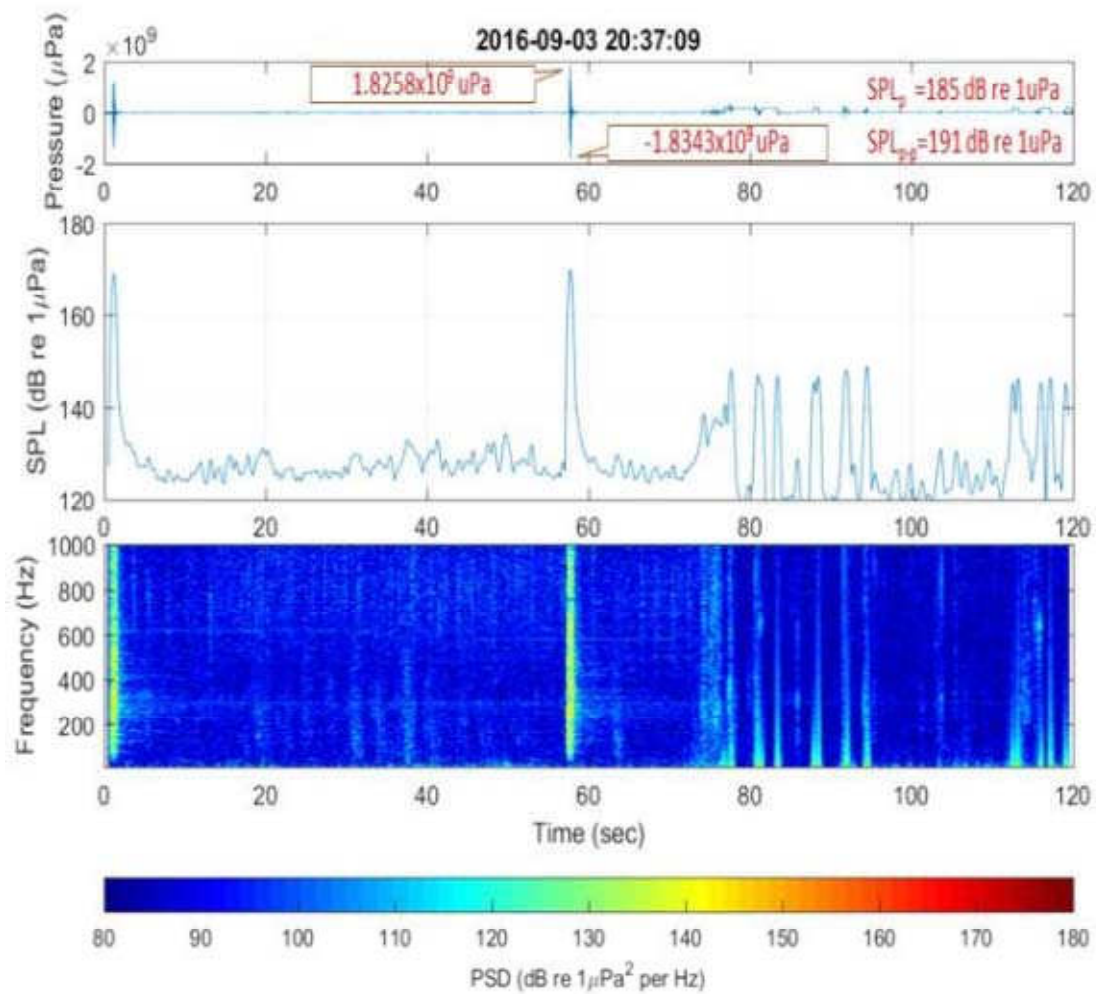


圖 30 距打樁點 750 m 之量測結果

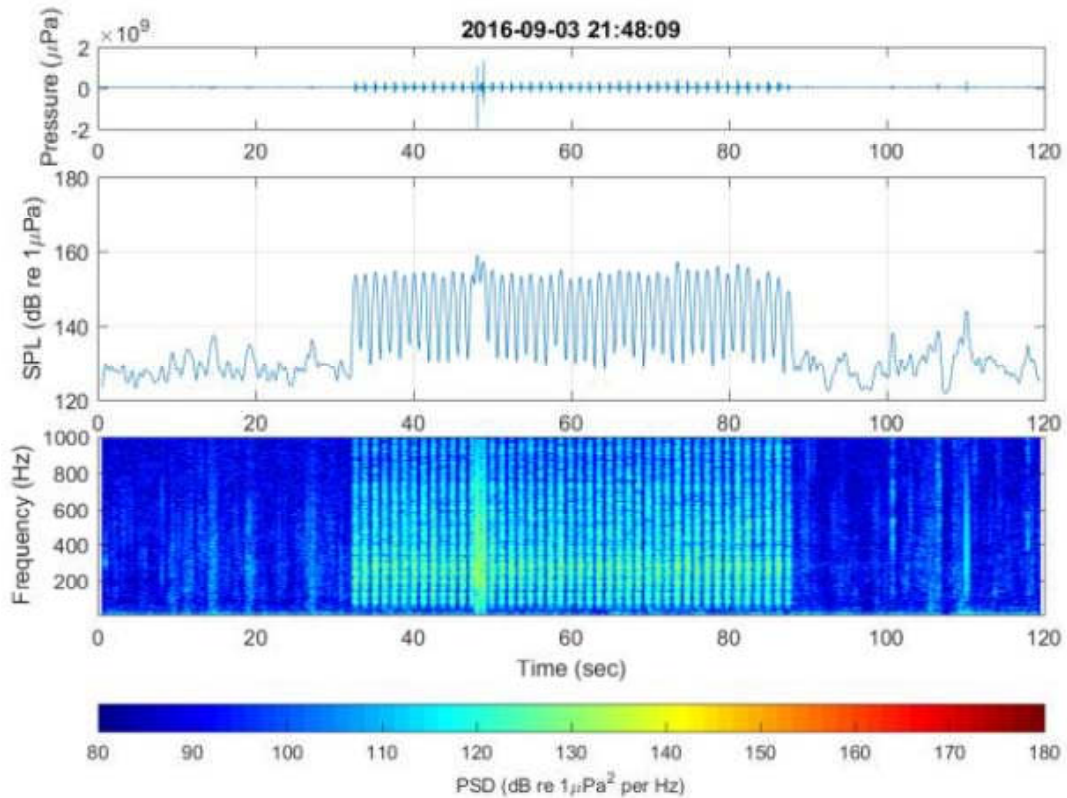


圖 31 距打樁點 3000 m 之量測結果

目前計畫風場預計採用 6~9.5MW 之風機，但其 6MW 基本尺寸與基礎形式與 7 MW 之風機相同，施工方式預定為套管式(Jacket)[1]，參閱表 14，3.6MW~7MW 之機組訊號強度上峰對峰(peak to peak)約 180~230dB re 1 μ Pa，計算聲源強度時，主要依據德國風場 Alpha Ventas 所實際測量之資料[2]，圖 32 近距離聲源訊號時序列實測值及頻譜強度，圖 32 (b)為 1/3 octave band 頻譜強度，經換算後可得 1Hz 頻譜強度，參考右上方紅色線條。由於高頻噪音在水中隨著距離衰減迅速，傳播距離超過 10 公里外，高頻貢獻度遠小於低頻，參考圖 30 (b)，計算頻率上選擇以低頻噪音做模擬範圍 80 Hz - 400Hz[3]，特別考慮之因素為低頻噪音穿透力強，傳播距離較遠，若聲源強度過大，可能對海洋生物造成傷害。由於模擬聲源訊號經驗證後在時域與頻率之特徵均近似於參考圖 33 資料所提供之資訊，參考圖 33 右上方藍色線條，後續以此聲源訊號進行海下傳播模擬，訊號強度上以峰對峰(peak to peak)236dB re 1 μ Pa 為初始聲源訊號強度[4]，參閱圖 32，以及聲曝值(SEL)聲源強度 210 dB re 1 μ Pa².s @ 1 m。

表 14 各施工方式之聲源

	Sub-structure Type	Turbine (MW)	Water Depth (公尺)	soil Type	individual Length (公尺)	Approximate Number of Blows		Approx. (dB)	Hammer Energy (kJ)
						Plugged	Unplugged		
MIN	MONOPILE	3.6	20	B1	42	-	4360	240~270	550~800
MAX	MONOPILE	5	30	B1	52	-	Refusal at 40 公尺		
MIN	JACKET	3.6	20	B1	34	3994	4074	180~230	108~206
MAX	JACKET	7	50	C3	46	5851	3410		
MIN	KEYSTONE	3.6	20	B1	35	4571	3779		
MAX	KEYSTONE	7	50	B2	-	-	-		
MIN	TRIPOD	3.6	20	B1	31	Refusal at 28 公尺	2541		
MAX	TRIPOD	5	40	B2	40	Refusal at 25 公尺	3352		

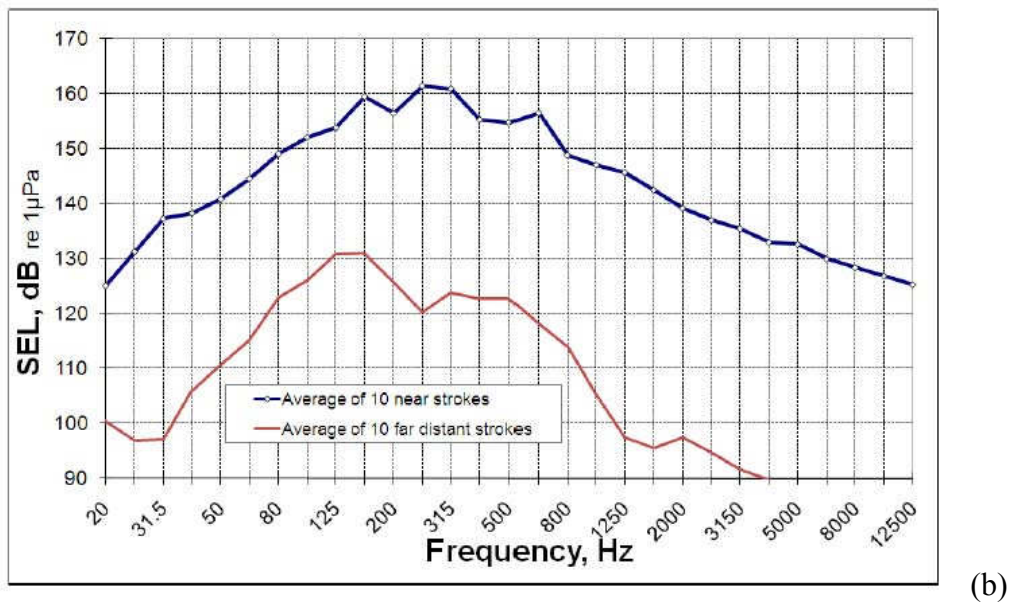
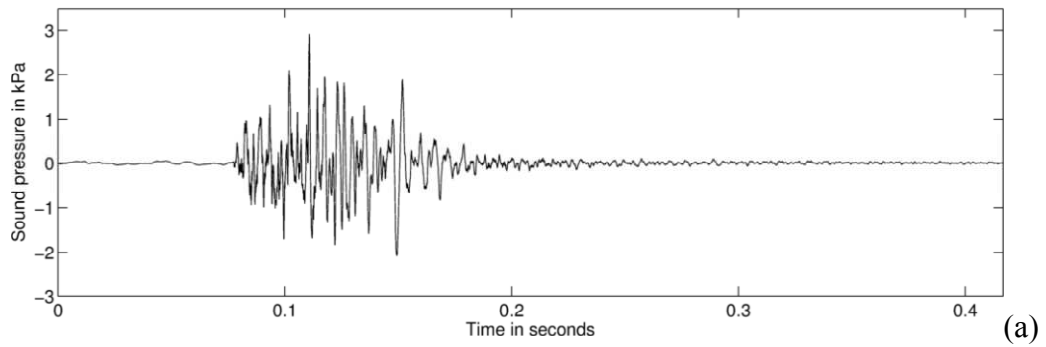


圖 32 (a)德國 Alpha Ventus 聲源訊號時序列之實測值；(b)聲源之 1/3 octave band 頻譜強度，藍線為近場 1 公里處量測值，紅線為遠場 10 公里外量測值，將量測值作平均 10 秒之結果 [2]

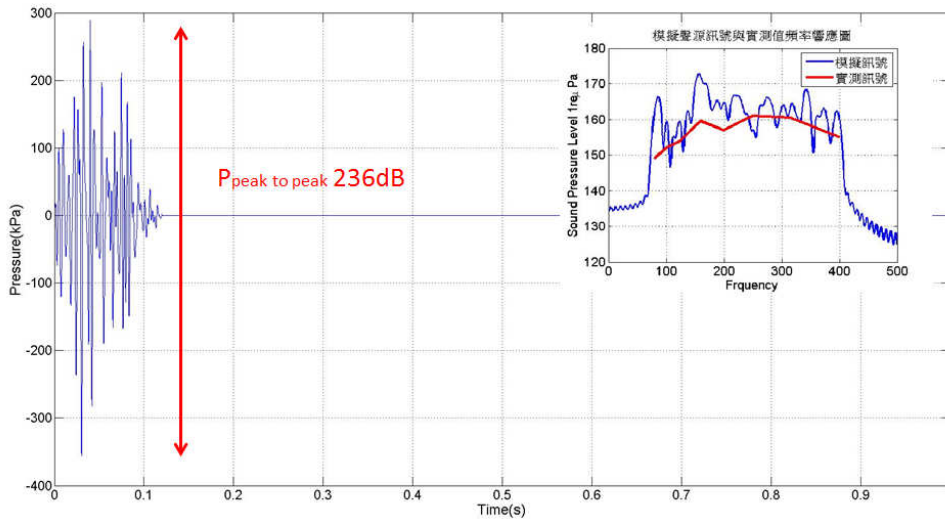


圖 33 模擬打樁時的時序列訊號(236dB)以及實測之 1/3 octave band 頻譜強度(紅色線條)經換算 1Hz 頻寬之模擬聲源頻譜強度(藍色線條)

2. 施工噪音聲場之寬頻模擬

施工噪音之音傳計算採用拋物線方程聲學模式 Range-dependent Acoustic Mode (RAM) 1.5 版[5]進行寬頻計算，計算 80 Hz 到 400 Hz 各頻率之聲場，並以傅立葉合成(Fourier Synthesis)之方式計算時序列聲場[6]，計算流程如圖 34 所示。

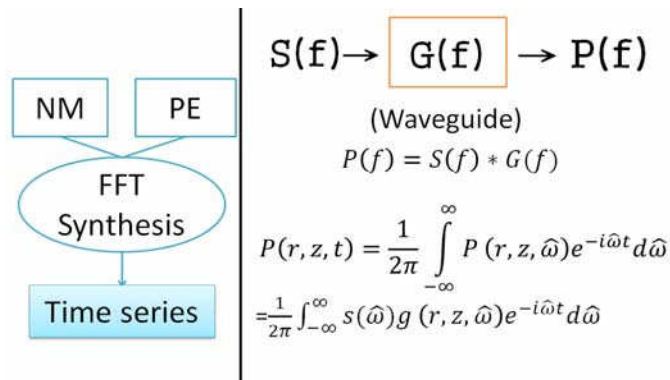


圖 34 寬頻計算流程示意圖

模擬時採用之環境資料庫，可分為水文、地形及底質三大項；在水文方面，採用 GDEM (Generalized Digital Environmental Model) 水文資料庫，適切描述風力發電施工環境之水文時空變化及分佈情形。在地形方面，將使用科技部海科中心之地形資料庫(taidp200m)，資料格點間距為 200 公尺；在底質方面，則結合表層

沉積物資料庫[7]及 Hamilton 經驗公式，提供聲學模式所需之底質參數。另外，為模擬實際海洋情況，聲線傳播至底床時的傳播損失，需製造一層人工吸收層，故再增加一層吸收係數為 $10 \text{ (dB}/\lambda)$ 的底質參數供聲學模式計算。

本模擬設定噪音源位於距離海面水深 5 米處，且接收深度位於距離海面水深 5 米處，以 30 度為間隔計算打樁噪音往各方向傳播之情形，共計算以打樁位置為中心點之 12 個方位角上 10 公里內之聲場，並採用計算網格水平距離 200(m) 以及採用垂直距離 1(m)，更加符合淺海區之聲場模擬。另外考慮到海洋物理性質是屬於大尺度變化，因此在水文採取單一剖面輸入，意即環境參數不隨距離變化。

3. 施工噪音模擬結果

經上述步驟計算後可獲得施工處周邊各方位角上之所接收到之打樁噪音為準(如圖 35 所示)，將各方向之噪音位準距離聲源 750 公尺處之聲壓值繪製於圖 36，並將各模擬點位之結果列於表 15。由模擬結果可知(圖 36 和圖 37)，各點位之打樁噪音除了 M2、M3 點位在 100 公尺衰減至 170 dB 之外，餘二點約在 100 公尺至 300 公尺內衰減至 170 dB，並在數公里內衰減至 160 dB。

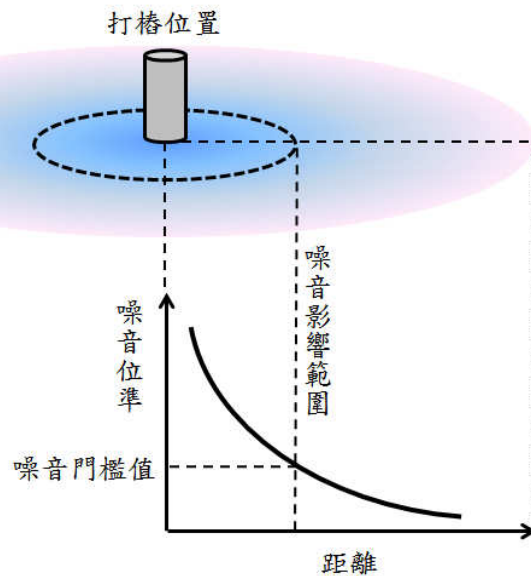


圖 35 打樁噪音位準隨距離的變化與噪音門檻值之關係圖

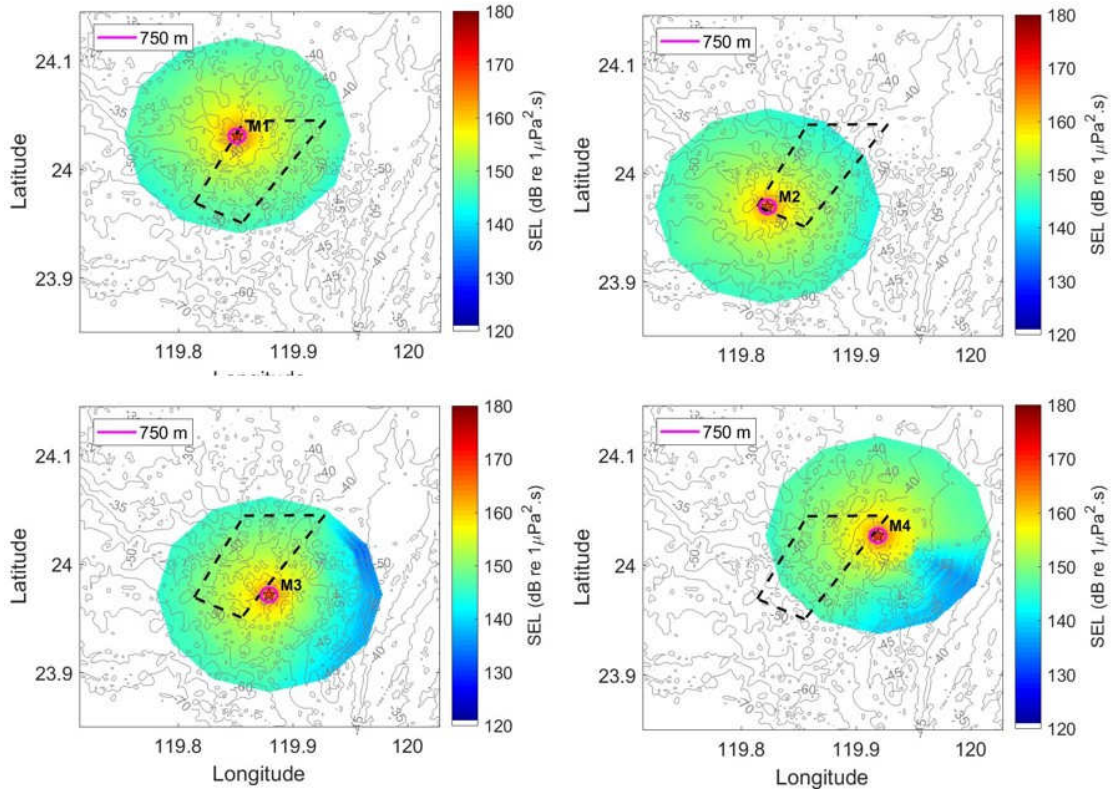


圖 36 M1~M4 點位打樁施工，聲源強度 SEL 210 dB 距離 750 公尺之聲壓分布

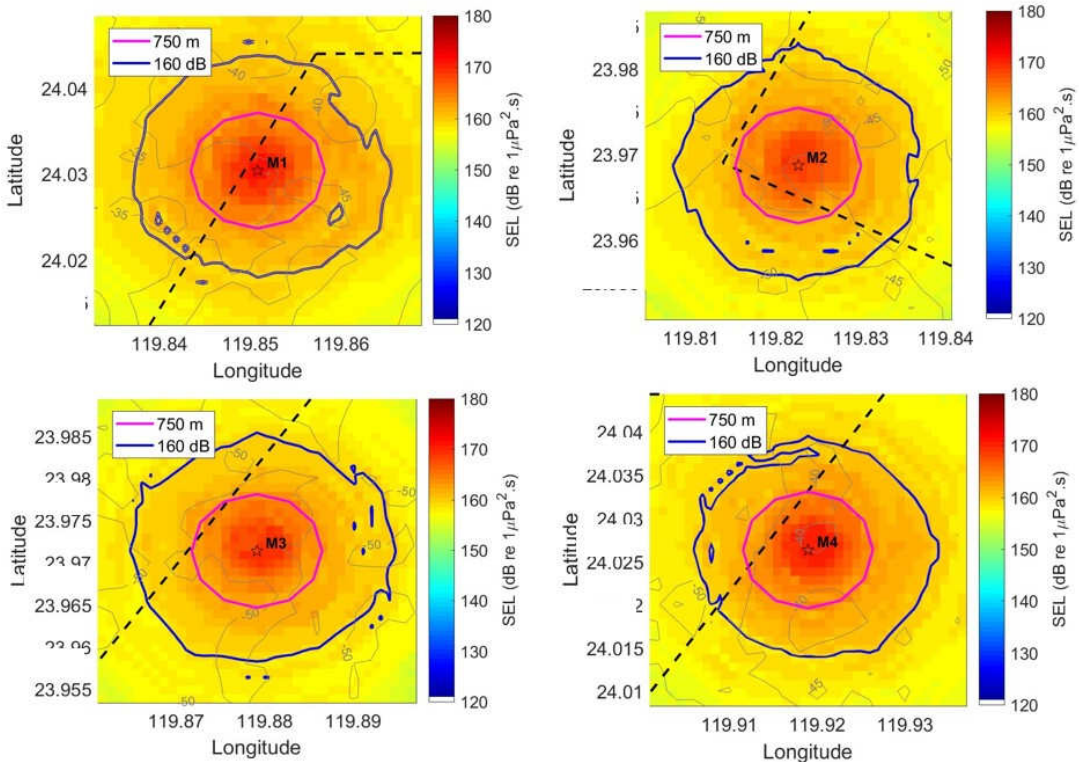


圖 37 M1~M4 點位打樁施工，聲源強度 SEL 210 dB 降至 SEL160 dB 門檻值及距離 750 公尺之聲壓分布

表 15 M1~M4 點位打樁施工，聲源強度 SEL 210 dB 降至 SEL160 dB 及 SEL170dB 門檻值之距離和距離聲源 750 公尺處聲壓值(*註：方位角 0° 表示正北方，90° 表示正東方，依此類推)(單位 m)

方位角	M1			M2			M3			M4		
	SEL	SEL	Distance	SEL	SEL	Distance	SEL	SEL	Distance	SEL	SEL	Distance
	160dB	170dB	750m	160dB	170dB	750m	160dB	170dB	750m	160dB	170dB	750m
0°	1500m	200m	164dB	1300m	100m	162dB	1200m	100m	163dB	1200m	100m	163dB
30°	1600m	200m	164dB	1200m	100m	163dB	1200m	100m	163dB	1400m	100m	163dB
60°	1300m	200m	162dB	1300m	100m	162dB	1200m	100m	162dB	1400m	200m	162dB
90°	1500m	200m	162dB	1300m	100m	162dB	1200m	100m	163dB	1500m	300m	163dB
120°	1100m	200m	162dB	1300m	100m	162dB	1300m	100m	162dB	1500m	300m	163dB
150°	1500m	200m	163dB	1200m	100m	162dB	1400m	100m	162dB	1500m	300m	164dB
180°	1400m	200m	163dB	1200m	100m	163dB	1300m	100m	163dB	1400m	300m	164dB
210°	1300m	300m	164dB	1100m	100m	163dB	1300m	100m	163dB	1400m	200m	163dB
240°	1300m	300m	164dB	1300m	100m	163dB	1300m	100m	162dB	1200m	200m	164dB
270°	1400m	200m	164dB	1200m	100m	163dB	1100m	100m	162dB	1100m	200m	163dB
300°	1500m	200m	163dB	1200m	100m	163dB	1200m	100m	163dB	1300m	300m	161dB
330°	1500m	200m	163dB	1300m	100m	163dB	1100m	100m	163dB	1200m	300m	162dB

由模擬結果可知，各點聲源均在 100 公尺至 300 公尺內衰減至 170 dB, 160 dB 警戒距離約 1.1 km 以上，以及由打樁點距離 750 公尺處之聲壓值介於 161~164 dB。

另以聲源強度 SEL 210 dB 經減噪措施(減 10 dB)距離 750 公尺處之聲壓分布繪製於圖 38 和圖 39，並將各模擬點位之結果列於表 16。由模擬結果顯示，經減噪措施後各點聲源往開放海域傳播之方位要衰減至 170 dB 之距離均在 100 公尺以內，衰減至 160 dB 之距離均在 300 公尺以內，以及由打樁點距離 750 公尺處之聲壓值介於 151~154 dB。

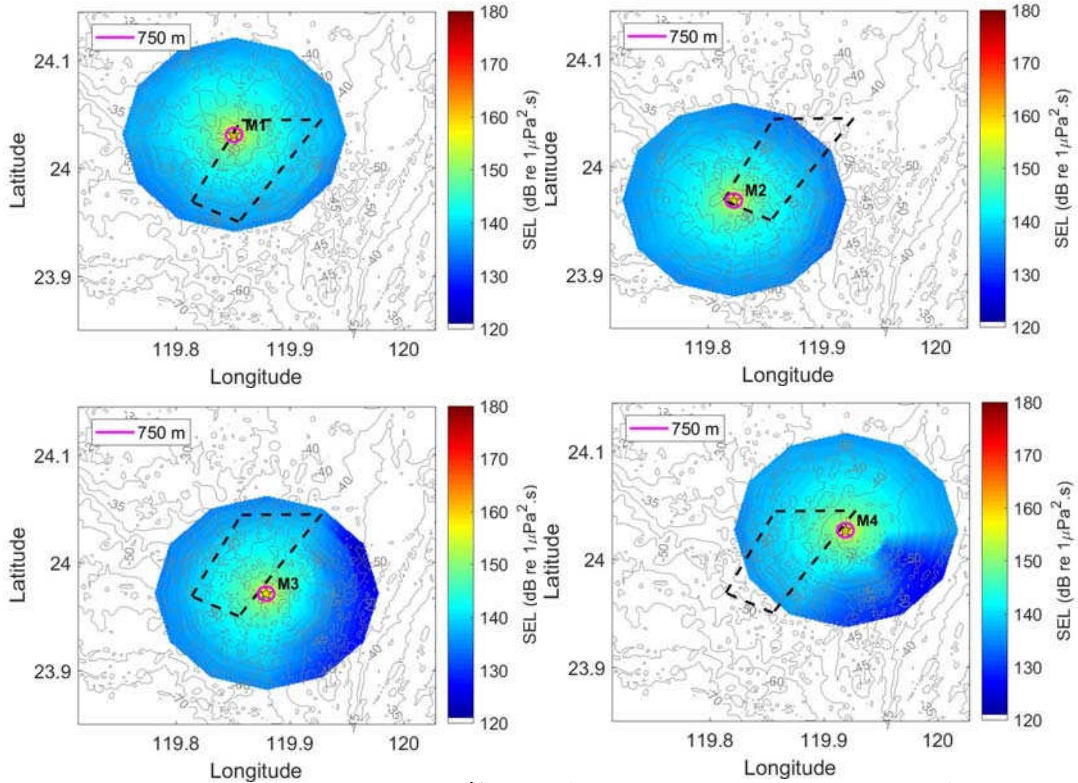


圖 38 M1~M4 點位打樁施工，聲源強度 SEL 210 dB 經減噪措施(減 10 dB)距離 750 公尺處之聲壓分布

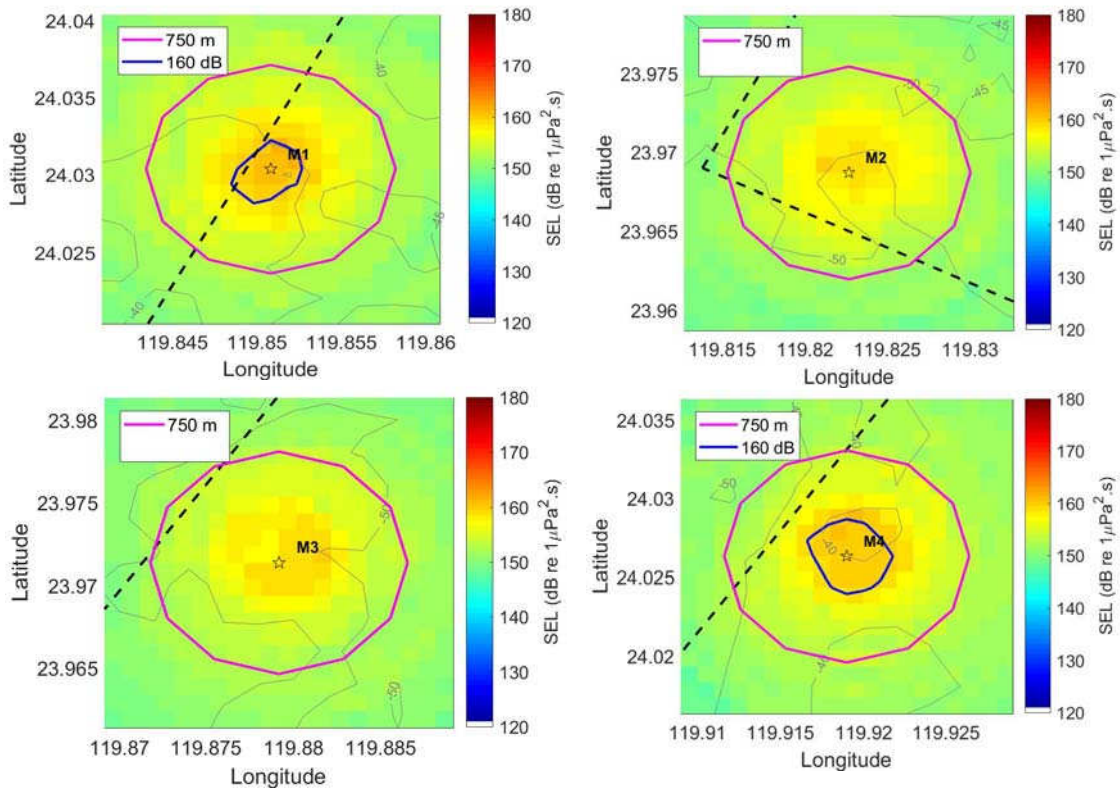


圖 39 M1~M4 點位打樁施工，聲源強度 SEL 210 dB 經減噪措施(減 10 dB)降至 SEL160 dB 門檻值及距離 750 公尺之聲壓分布

表 16 M1~M4 點位打樁施工，聲源強度 SEL 210 dB 經減噪措施(減 10 dB)降至 SEL170 dB 及 SEL160dB 門檻值之距離和距離聲源 750 公尺處聲壓值(*註：方位角 0⁰ 表示正北方，90⁰ 表示正東方，依此類推)(單位 m)

方位角	M1			M2			M3			M4		
	SEL	SEL	Distance	SEL	SEL	Distance	SEL	SEL	Distance	SEL	SEL	Distance
	160dB	170dB	750m	160dB	170dB	750m	160dB	170dB	750m	160dB	170dB	750m
0 ⁰	200m	100m	154dB	100m	100m	152dB	100m	100m	153dB	100m	100m	153dB
30 ⁰	200m	100m	154dB	100m	100m	153dB	100m	100m	153dB	100m	100m	153dB
60 ⁰	200m	100m	152dB	100m	100m	152dB	100m	100m	152dB	200m	100m	152dB
90 ⁰	200m	100m	152dB	100m	100m	152dB	100m	100m	153dB	300m	100m	153dB
120 ⁰	200m	100m	152dB	100m	100m	152dB	100m	100m	152dB	300m	100m	153dB
150 ⁰	200m	100m	153dB	100m	100m	152dB	100m	100m	152dB	300m	100m	154dB
180 ⁰	200m	100m	153dB	100m	100m	153dB	100m	100m	153dB	300m	100m	154dB
210 ⁰	300m	100m	154dB	100m	100m	153dB	100m	100m	153dB	200m	100m	153dB
240 ⁰	300m	100m	154dB	100m	100m	153dB	100m	100m	152dB	200m	100m	154dB
270 ⁰	200m	100m	154dB	100m	100m	153dB	100m	100m	152dB	200m	100m	153dB
300 ⁰	200m	100m	153dB	100m	100m	153dB	100m	100m	153dB	300m	100m	151dB
330 ⁰	200m	100m	153dB	100m	100m	153dB	100m	100m	153dB	300m	100m	152dB

六、運轉噪音聲場之單頻模擬

2. 運轉噪音聲源

根據以下資料[9]：SIEMENS 以 IEC 61400-11 規範針對 SIEMENS Haliade 150-6MW 離岸風力發電機於風速 8 m/s 時進行量測，其產生之聲功率位準(L_{WA} ，Sound Power Level)以表 17 Octave band 頻譜，以及表 18 One third Octave band 頻譜表示。表中 L_{WA} 為 A 加權值是將噪音訊號轉換成人耳聽到感受到的噪音量，因此必須對噪音儀器量測到不同頻率域的訊號，進行頻域加權。

在圖 38 及圖 39 中紅色線條為實際聲功率位準，經轉換發現最大噪音出現低頻段處，此噪音資料為風機運轉實葉片產生的風切噪音。然而水下運轉噪音不同，水下運轉噪音實則上是由風機振動經塔架往水中傳遞。因此參考“福海離岸風力發電計畫”之「壹、風力發電機振動噪音量測」[10]的資料作為運轉噪音源振動資料如圖 40。

透過圖 40 得知風力發電機運轉時，塔架結構在 Z 方向最大速度為 $u_{3.15\text{-Hz}} = 2.8 \times 10^{-4}$ m/s，但是其頻率低於聽力範圍(僅 3.15 Hz)，因此使用 125Hz 的速度 ($u_{125\text{-Hz}} = 1.7 \times 10^{-4}$ m/s)進行計算，並透過聲阻抗(acoustic impedance)計算可得聲源位準為

$$20 \log \frac{u_{125\text{-Hz}} \rho_0 c}{P_{\text{ref}}} = 20 \log \frac{1.7 \times 10^{-4} \times 1.48 \times 10^6}{1 \times 10^{-6}}$$

$$\cong 168 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa @1m}$$

然而，此風力發電機運轉時在水中的附加質量(added mass)約為空氣中的 3 倍，而流體阻尼(fluid damping)約為 5 倍，因此次風力機在水中所生的振動約減少為 1/15，也就是約為 24 dB 的下降，因此水中的風力發電機運轉聲源應修正至 ($SL_{125\text{Hz}}$)144 dB re 1 μ Pa @1m。

表 17 風速為 8 m/s， octave band 頻譜

中心頻率(Hz)	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
L _{WA} (dB)	76.1	88.8	97.4	102.3	103.9	102.5	98.3	91.6	82.6	71.1
A-weighting	-39.4	-26.2	-16.1	-3.2	0	1.2	1	-1.1	-4.3	-6.6
L _W	115.5	115	113.5	105.5	103.9	101.3	97.3	92.7	86.9	77.7

表 18 風速為 8 m/s， 1/3 octave band 頻譜

中心頻率(Hz)	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
L _{WA} (dB)	64.1	69.6	74.7	79.1	83.1	86.7	89.7	92.2	94.6	96.3
A-weighting	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9
L _W	108.8	109	109.3	109.3	109.3	109.2	108.8	108.3	108	107.2
中心頻率(Hz)	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
L _{WA} (dB)	97.6	98.5	99.1	99.3	99.1	98.6	97.8	96.6	95.1	93.3
A-weighting	-8.6	-6.6	-4.8	-3.2	-1.9	-0.8	0	0.6	1	1.2
L _W	106.2	105.1	103.9	102.5	101	99.4	97.8	96	94.1	92.1
中心頻率(Hz)	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000	20000
L _{WA} (dB)	91.3	89.0	86.2	83.5	80.4	76.9	73.5	69.8	65.6	61.6
A-weighting	1.3	1.2	1	0.5	-0.1	-1.1	-2.5	-4.3	-6.6	-9.3
L _W	90	87.8	85.2	83	80.5	78	76	74.1	72.2	70.9

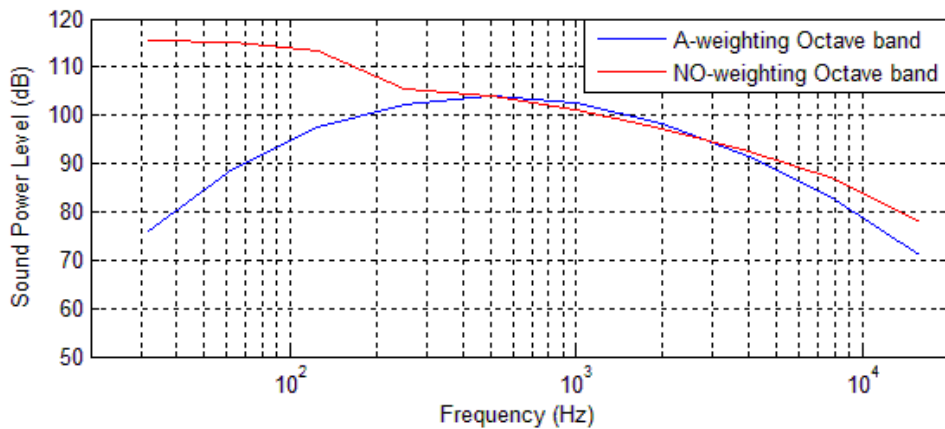


圖 38 實際值(紅色，LW)與 A 加權修正(藍色，LWA) 1/1 octave band 頻譜

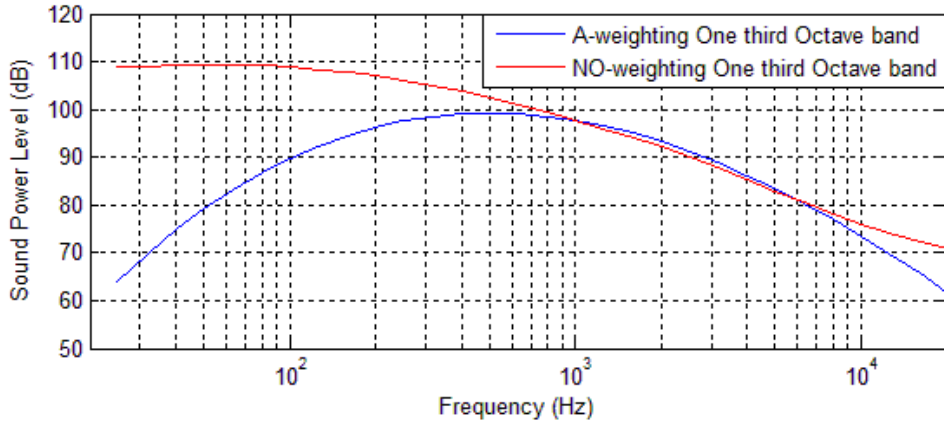


圖 39 實際值(紅色，LW)與 A 加權修正(藍色，LWA) 1/3 octave band 頻譜

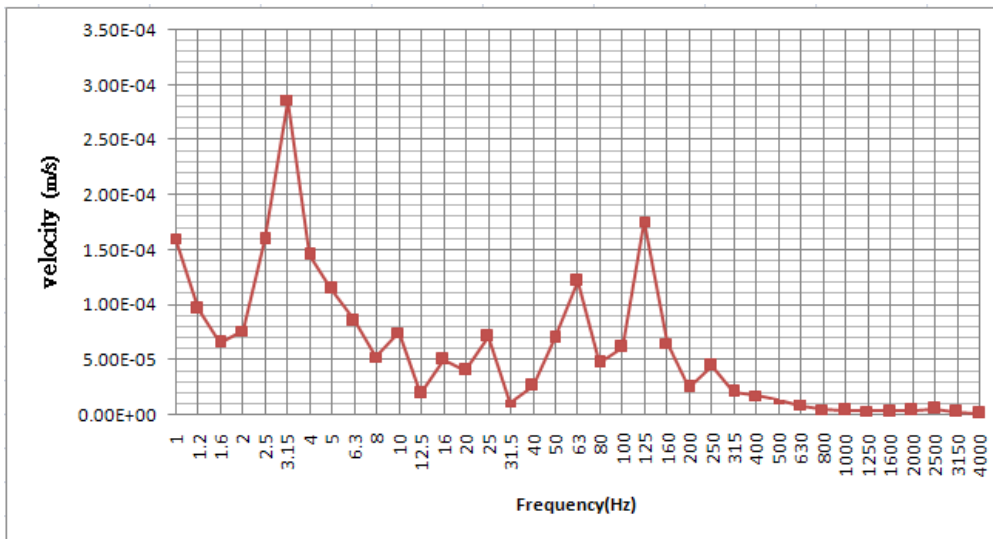


圖 40 參考“福海離岸風力發電計畫”之「壹、風力發電機振動噪音量測」之風力發電機 Z 方向速度頻譜[10]

3. 運轉噪音-單頻聲場模擬

在遠場條件下，以聲波方程式模擬聲音在海中的傳遞，其圓柱座標系之表示式如下[4]：

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \rho \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + k^2 p = 0 \quad (1)$$

其中 ρ 為海水密度， k 為波數， c 為聲速， ω 為頻率。
 拋物線方程式(parabolic equation, PE)，由(1)式可推得

$$\left(\frac{\partial}{\partial r} + ik_0(1+X)^{\frac{1}{2}}\right)\left(\frac{\partial}{\partial r} - ik_0(1+X)^{\frac{1}{2}}\right)p = 0 \quad (2)$$

$$X = k_0^{-2}\left(\rho \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} + k^2 - k_0^{-2}\right) \quad (3)$$

其中 $k = (1 + i\mu\beta \frac{\omega}{c_0})$ ， β 為衰減率， $\eta = (40\pi \log_{10} e)^{-1}$ ， $k_0 = \frac{\omega}{c_0}$

C_0 為參考聲速

而其向外傳遞之聲波方程式可標示如下：

$$\frac{\partial p}{\partial r} = ik_0(1+X)^{\frac{1}{2}}p \quad (4)$$

並由上式整理如下：

$$p(r + \Delta r, z) = \exp\left(ik\Delta r(1+X)^{\frac{1}{2}}\right)p(r, z) \quad (5)$$

M.D. Collins 所推導之 PE 程式中，利用一階有理函式進行簡化，可整理如下 [11]：

$$p(r + \Delta r, z) = \exp\left(ik\Delta r(1+X)^{\frac{1}{2}}\right) \frac{1 + \beta_{1,r}X}{1 + \beta_{1,r}X} p(r, z) \quad (6)$$

$$TL = 20 \log p(r + \Delta r, z) \quad (7)$$

而 RAM 就是以(7)為基礎所撰寫出來的，其優點為計算跨距大，此點意謂所需計算量與所需時間較少。透過以下式子(8)，即可得到單頻之聲壓強度

$$SPL \text{ (聲壓強度)} = SL \text{ (聲源強度)} - TL \text{ (音傳損耗)} \quad (8)$$

4. 運轉噪音-單頻聲場模擬結果

本計畫模擬 125Hz 之音傳結果，計算距離為 10 公里，網格計算水平距離為 100 m，網格計算垂直距離為 1m，接收深度及聲源深度皆 5 米。由運轉噪音之主要頻率運用式(8)即可計算在水下之聲壓位準。與上述之打樁噪音類似，均進行 12 方位之聲學計算，設定運轉噪音為 144dB，噪音門檻值為此頻率之噪音平

均值(如圖 35 所示)，因此將運轉噪音衰減 40dB 之距離繪製於圖 41，並將各方向之結果整理於表 19。

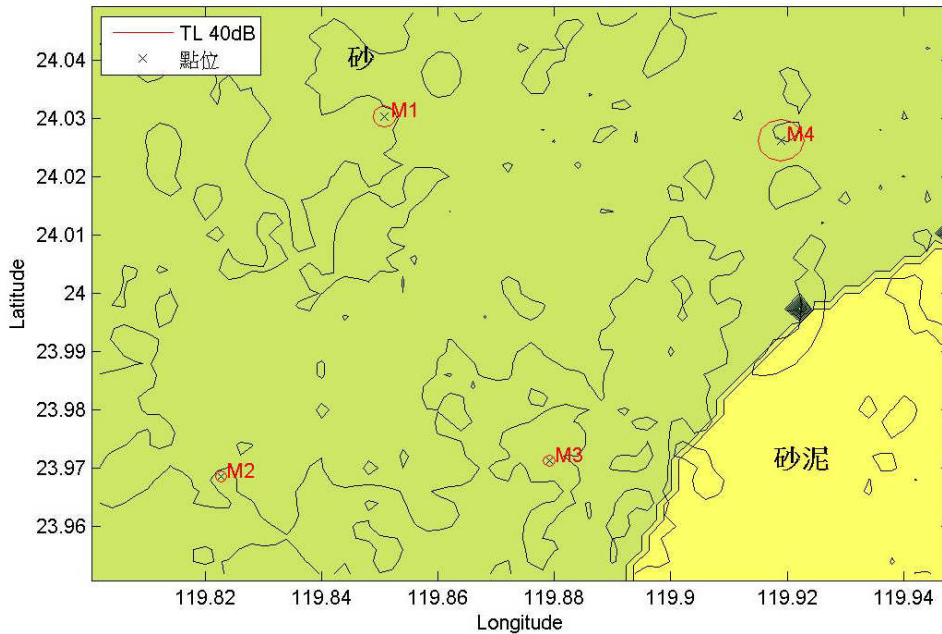


圖 41 M1~M4 點位 125Hz 頻段保守估計音傳損耗 40dB 之最大距離
表 19 各點位 125Hz 頻段保守估計音傳損耗 40dB 之最大距離(單位 m)

方位角	M1	M2	M3	M4
0	200	100	100	400
30	200	100	100	400
60	200	100	100	400
90	200	100	100	400
120	200	100	100	400
150	200	100	100	400
180	200	100	100	400
210	200	100	100	400
240	200	100	100	400
270	200	100	100	400
300	200	100	100	400
330	200	100	100	400

III. 減輕對策與施工監測建議

水下噪音調查之目的為評估未來離岸風力發電機組施工及營運可能之噪音影響範圍，並考量對中華白海豚族群棲地之影響，International Union for the Conservation of Nature (IUCN)在 2008 年將其列為瀕危族群，極易受到人為活動影響，因此開發行為對生態環境產生的影響不能忽視。

美國海洋大氣總署(U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)於 2016 年 7 月發表了人為噪音對海洋哺乳動物聽覺影響之技術指引，將海洋哺乳類之聽覺特性分成五類，如表 19，中華白海豚與瓶鼻海豚屬於中頻鯨豚 (middle frequency, MF)，江豚屬於高頻鯨豚(high frequency, HF)，提出對應物種聽覺加權函數，由圖 41 表示 LF、MF、HF 之鯨豚的聽覺加權函數圖形，並界定聽覺永久性傷害之噪音門檻，經加權後數值如表 20 所示。

表 19 Marine Mammal hearing groups (NOAA, 2016)

Hearing Group	Generalized Hearing Range*
Low-frequency (LF) cetaceans (baleen whales)	7 Hz to 35 kHz
Mid-frequency (MF) cetaceans (dolphins, toothed whales, beaked whales, bottlenose whales)	150 Hz to 160 kHz
High-frequency (HF) cetaceans (true porpoises, <i>Kogia</i> , river dolphins, cephalorhynchid, <i>Lagenorhynchus cruciger</i> & <i>L. australis</i>)	275 Hz to 160 kHz
Phocid pinnipeds (PW) (underwater) (true seals)	50 Hz to 86 kHz
Otariid pinnipeds (OW) (underwater) (sea lions and fur seals)	60 Hz to 39 kHz

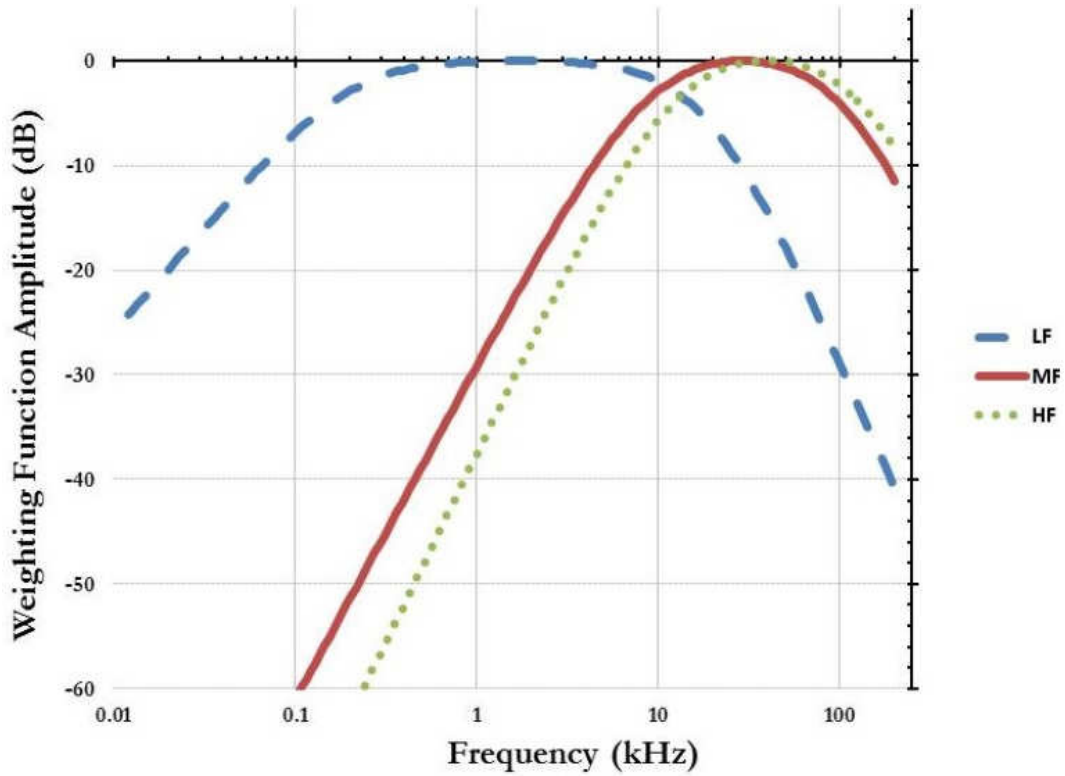


圖 43 Auditory weighting functions for low-frequency (LF), mid-frequency (MF), and high-frequency (HF) cetaceans (NOAA , 2016)

表 20 PTS onset acoustic thresholds (NOAA , 2016)

Hearing Group	PTS Onset Thresholds* (Received Level)	
	Impulsive	Non-impulsive
Low-Frequency (LF) Cetaceans	Cell 1 $L_{pk,flat}$: 219 dB $L_{E,LF,24h}$: 183 dB	Cell 2 $L_{E,LF,24h}$: 199 dB
Mid-Frequency (MF) Cetaceans	Cell 3 $L_{pk,flat}$: 230 dB $L_{E,MF,24h}$: 185 dB	Cell 4 $L_{E,MF,24h}$: 198 dB
High-Frequency (HF) Cetaceans	Cell 5 $L_{pk,flat}$: 202 dB $L_{E,HF,24h}$: 155 dB	Cell 6 $L_{E,HF,24h}$: 173 dB
Phocid Pinnipeds (PW) (Underwater)	Cell 7 $L_{pk,flat}$: 218 dB $L_{E,PW,24h}$: 185 dB	Cell 8 $L_{E,PW,24h}$: 201 dB
Otariid Pinnipeds (OW) (Underwater)	Cell 9 $L_{pk,flat}$: 232 dB $L_{E,OW,24h}$: 203 dB	Cell 10 $L_{E,OW,24h}$: 219 dB

離岸工程噪音對海洋哺乳類族群可能會產生驅離作用，未來離岸風場建設過程與完成後的營運噪音，仍需對棲地是否復育以及可能造成的影響進行持續觀察。打樁噪音監測與鯨豚保護方式，藉由施工噪音源中心設立安全警戒範圍，並參考國外水下噪音監測計畫與海洋哺乳類聽覺損傷門檻，以最大噪音容忍值規劃噪音警戒區。區內以被動式聲學即時監聽施工噪音，並在最大噪音峰值設立警戒告知，避免噪音量超標，警戒區外由鯨豚觀測人員日間監看，確認水面鯨豚動向，示意如圖 44。建議要點如下：

1. 施工前後之水下噪音長期量測

在於評估未來離岸風力發電機組施工及營運可能之噪音影響範圍，風場開發過程對生態環境產生的影響不容忽視，故在風場施工前需對風場進行為期一年四季的水下背景噪音紀錄，每季時間至少一個月，進而達到背景噪音調查之目的，並於施工後進行風場水下噪音管控，應持續量測至營運階段。

2. 施工階段之水下噪音監測

施工階段為風場水下噪音影響範圍最大時期，建議於施工現場四周架設儀器即時監測施工打樁噪音，在預定禁區周界之最大噪音量聲壓峰值不大於 190 ~ 220 dB re 1μPa。

3. 水下聲學資料輔助觀察鯨豚動向

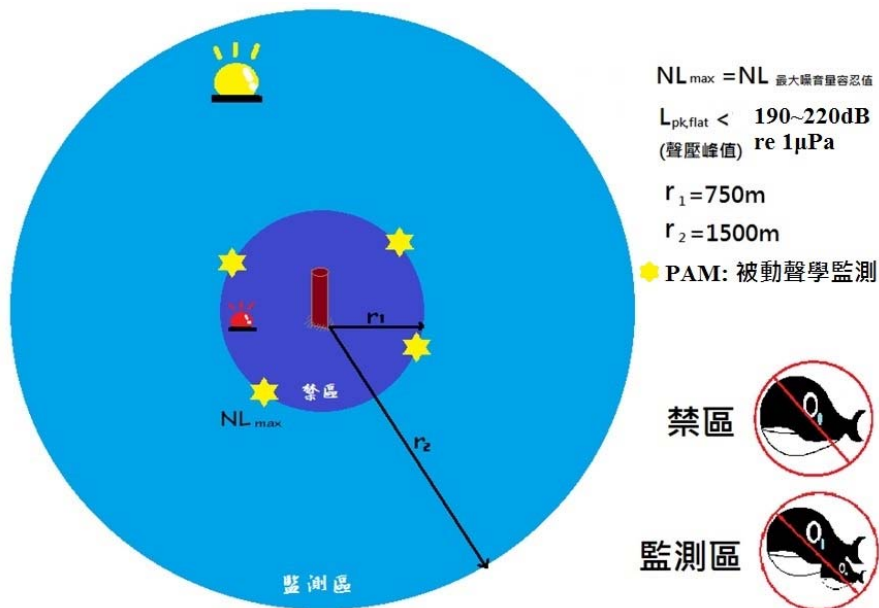


圖 44 施工期間水下噪音監測與鯨豚觀測作業示意圖

參考文獻

- [1]. ATKINS ,“Sound/Noise Disturbance Due To Installation of Piled Foundation Solutions– For Information only”.
- [2]. Joachim Gabriel, Andrea Lübben, and Thomas Neumann, “Long term hydro sound measurements at the Alpha Ventus offshore wind farm focussing on pile driving noise” Fourth International Meeting on Wind Turbine Noise,Rome Italy 12-14 April 2011
- [3]. Final report ,Schall alpha ventus, Rustemeier et al. 2012
- [4]. Jonathan Gordon, David Thompson, Douglas Gillespie, Mike Lonergan, Susannah Calderan, Ben Jaffey, Victoria Todd, “Assessment of the potential for acoustic deterrents to mitigate the impact on marine mammals of underwater noise arising from the construction of offshore windfarms ” , COWRIE DETER-01-2007,p4.
- [5]. Collins, M.D. “A split-step Padé solution for the parabolic equation method,” J. Acoust. Soc. Am. 93, 1993, pp.1736–1742
- [6]. Finn B.Jensen, WilliamA.Kuperman, MichaelB.Porter, Henrik Schmidt, “Computational Ocean Acoustics”,p611-p658
- [7]. 海測局，海洋環境沉積物分佈圖，93年11月版。
- [8]. 林勝豐、胡哲魁、顏志偉 「臺灣四週上層海域海流能量計算」，第三十二屆海洋工程研討會論文集，2010，第 803-807 頁。
- [9]. Standard Acoustic Emission,COPP SWT-4.0-120,Rev.2,SIEMENS
- [10]. 福海離岸風力發電計畫第一階段環境影響評估工作水下噪音振動調查、分析期末報告。計畫編號：14950.001.001.0001
- [11]. G. M. Wenz, “Acoustic Ambient Noise in the Ocean : Spectra and Sources“, J. Acoustic. Soc. Am.Vol. 34, No.12, pp. 1936-1956, 1962.
- [12]. 胡惟鈞、陳琪芳、周蓮香、吳誌豪、Shane Guan、魏瑞昌、陳乃菡、王煒傑、李沛沂、楊瑋誠，「離岸風力發電水下打樁噪音對中華白海豚棲地的影響」，2016 台灣風能學術研討會暨第二期國家能源計畫(NEP II)離岸風力及海洋能源主軸論文集，2016。

附 錄 十 一

電磁場模擬評估資料

「玉山海龍離岸風力發電計畫環境影響」 電磁場背景值測量報告書

委託單位：光宇工程顧問公司

執行單位：國立台灣科技大學 電機系

執行督導：吳啟瑞 教授

執行人員：戴愷宏、劉宇哲、王俊凱、林吉祥

中華民國一百零五年十一月

目錄

一、測量時間.....	2
二、測量地點.....	2
三、電磁場量測方法與步驟.....	2
四、測量路徑.....	3
五、磁場效應.....	5
六、量測結果.....	6
七、現場照片.....	46
八、量測數據.....	58
附錄.....	93

一、測量時間：一百零五年十一月四日星期五(非假日)

一百零五年十一月五日星期六(假日)

二、測量地點：地下電纜路徑之鄰近工廠、道路及變電廠。

三、電磁場量測方法與步驟

1. 依環保署「環境中（架空高壓線路、變電所、落地型變壓器）電場與磁場檢測方法」（參考附錄），並參考 IEC833 與 ANSI/IEEE644 測量準則，於選定之調查點，選擇平日(尖峰)與假日(離峰)各一日，使用 EMDEX-II 磁場記錄器每 3 秒自動測量紀錄一筆三軸(X-Y-Z)磁場值，各調查點取一長方形空間，於長方形各頂點與長方形兩條對角線的交點，合計五點，每點至少量測 3 分鐘，各調查點共量測 15 分鐘；再利用程式繪成分布圖及進行統計分析。EMDEX-II 磁場記錄器離地面 1 公尺，量測時並以數位相機拍攝量測過程。

2. 量測執行流程

- (1) 準備儀器。
- (2) 選定日期。
- (3) 整理工地測量路徑。
- (4) 分兩日測量。
- (5) 資料統計分析、製表、繪圖。

(6) 測量結果與環保署「非游離輻射環境建議值」比較。

3. 儀器設備

(1) EMDEX-II磁場記錄器。

(2) 筆記型電腦。

(3) 數位相機。

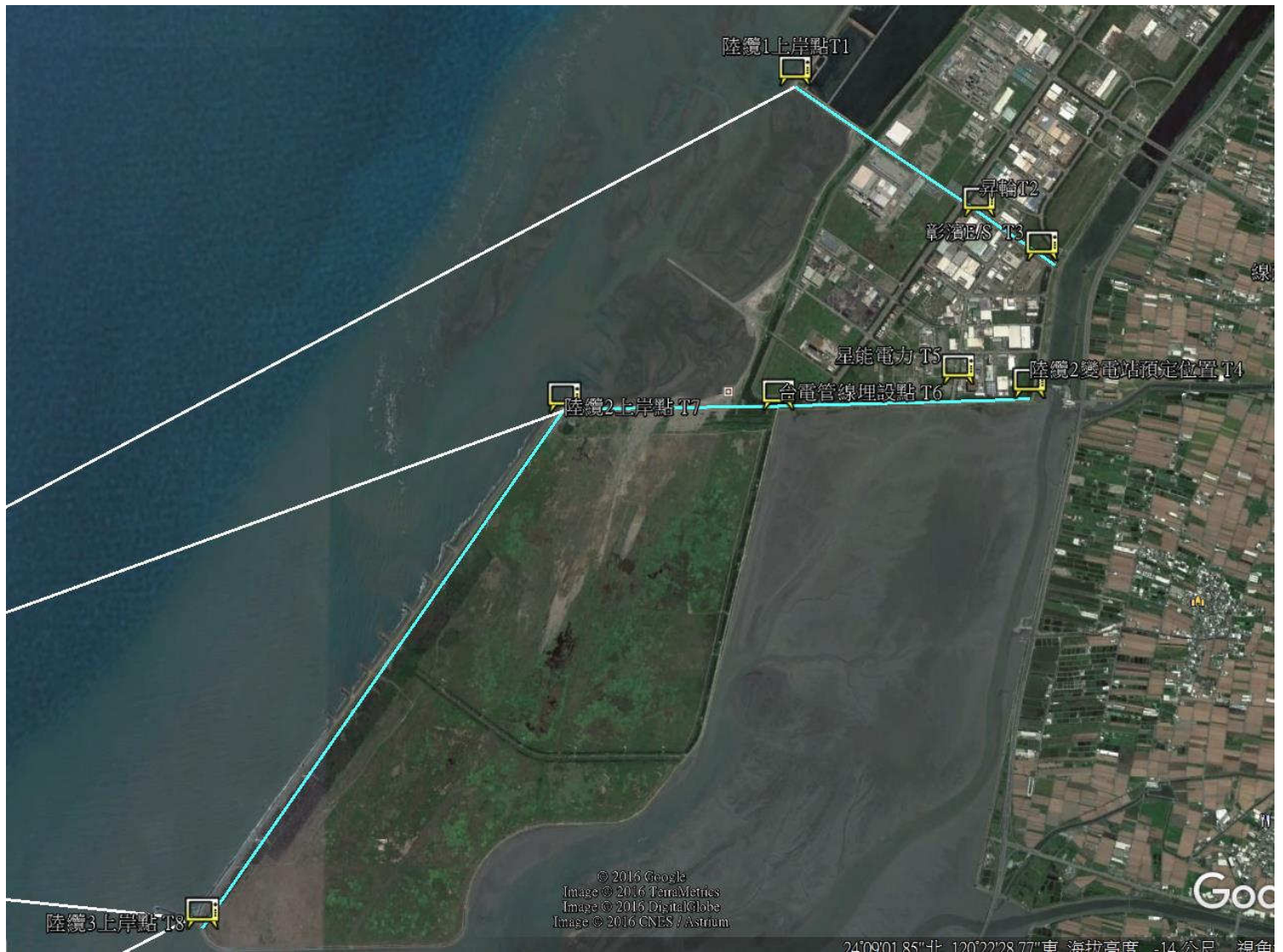
四、測量路徑：

量測地點和編號如表一與圖一所示，量測的順序為：

自T8→T7→T6→T5→T4→T3→T2→T1順序量測調查點

調查點	調查點編號
陸纜1上岸點	T1
昇輪	T2
彰濱ES	T3
陸纜2變電站預定位置	T4
星能電力	T5
台電管線埋設點	T6
陸纜2上岸點	T7
陸纜3上岸點	T8

表一 各調查點及其編號對照表



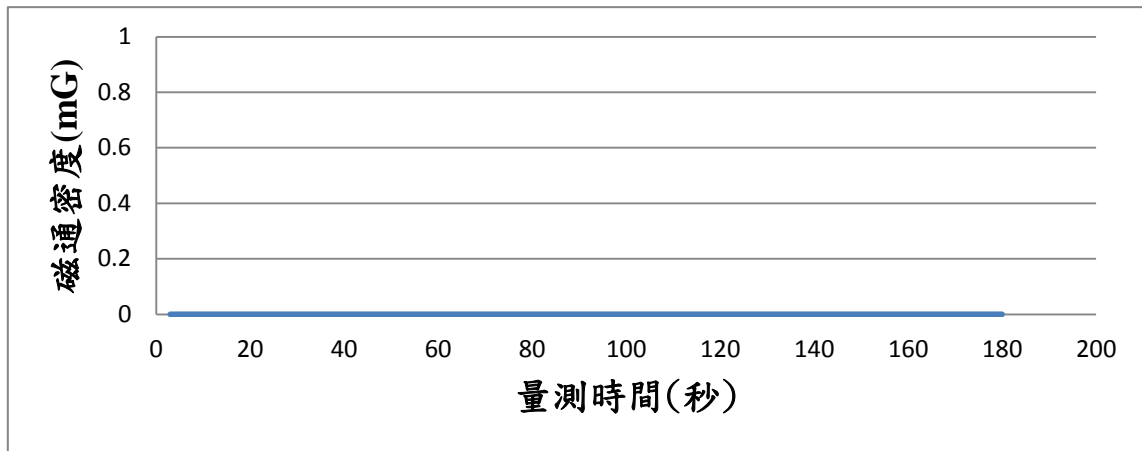
圖一 地下電纜路徑之鄰近工廠、道路及變電廠。

五、磁場效應

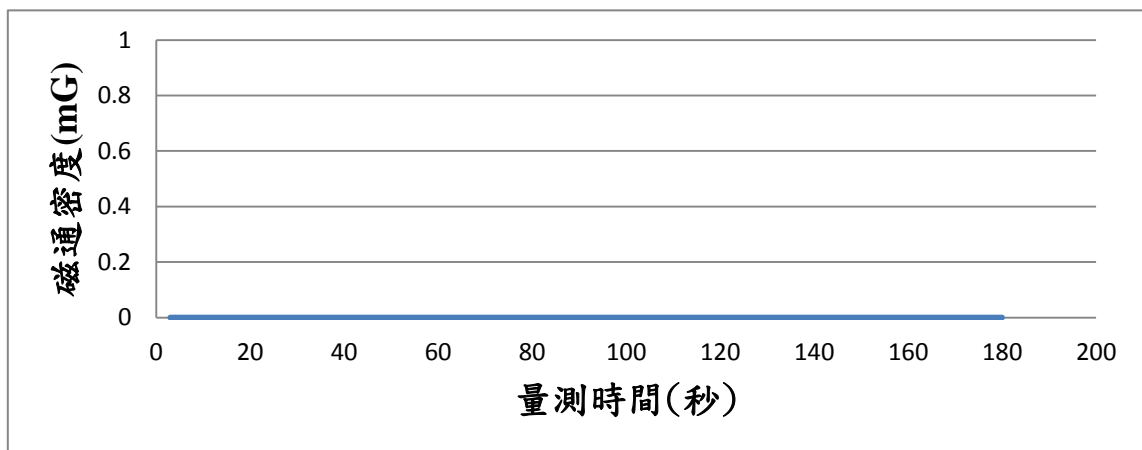
1. 部分流行病學研究報告以抽樣統計的方式歸納出：電力頻率磁場與人體癌症之關聯，目前尚無定論。
2. 國際輻射保護協會（IRPA）依據最新精準之醫學、科技與量測技術之研究結論反覆驗證後，已於 2010 年 12 月號的 Health Physics 公布其最新低頻(1Hz~100kHz)電磁場暴露限制建議值(Guidelines)，由 833 毫高斯放寬為 2000 毫高斯。
3. 環保署所公布的磁場之建議值為 833.3mG (60Hz)。
4. 長久以來國內外已進行無數研究，均無法獲得磁場影響人體健康的因果關係，尤其世界衛生組織(WHO)為期 12 年之磁場專案研究結果，強調依據國際非游離輻射防護委員會(ICNIRP)之暴露建議(833 毫高斯以下)保護已足夠，又世界衛生組織(WHO)於 2007 年 6 月發表之 322 號文件中載明「長期、低劑量極低頻磁場暴露可能引起健康效應的科學證據，不足以支持降低其暴露建議值」。

六、量測結果

T1-1 磁場測量結果



圖二、T1-1 假日之磁場分佈

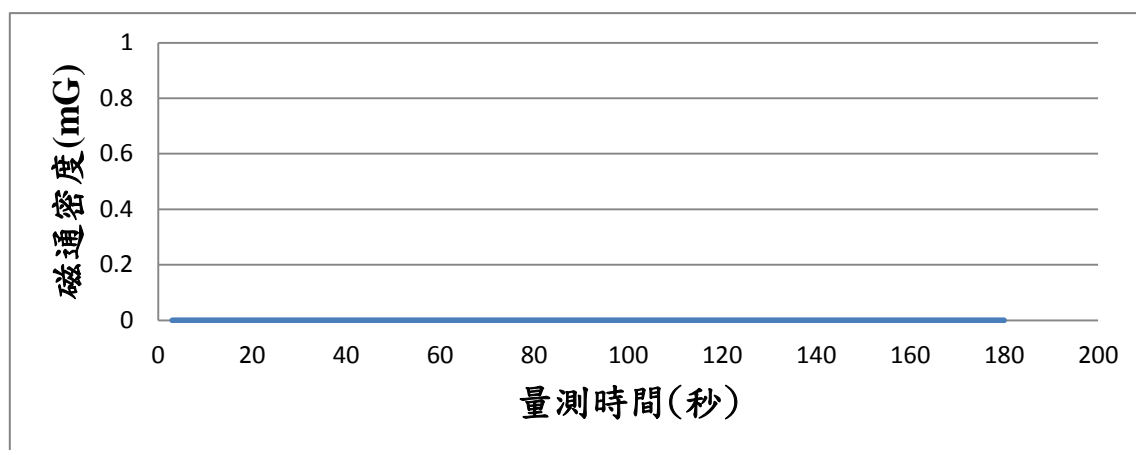


圖三、T1-1 非假日之磁場分佈

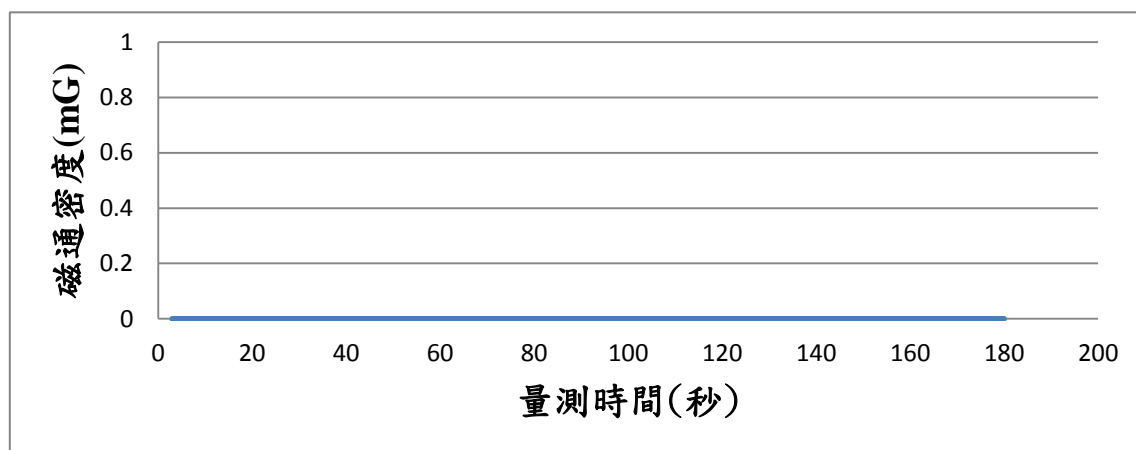
表二 T1-1 之磁場最大、最小及平均值

T1-1	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0	0	0	833
非假日	0	0	0	833

T1-2 磁場測量結果



圖四、T1-2 假日之磁場分佈

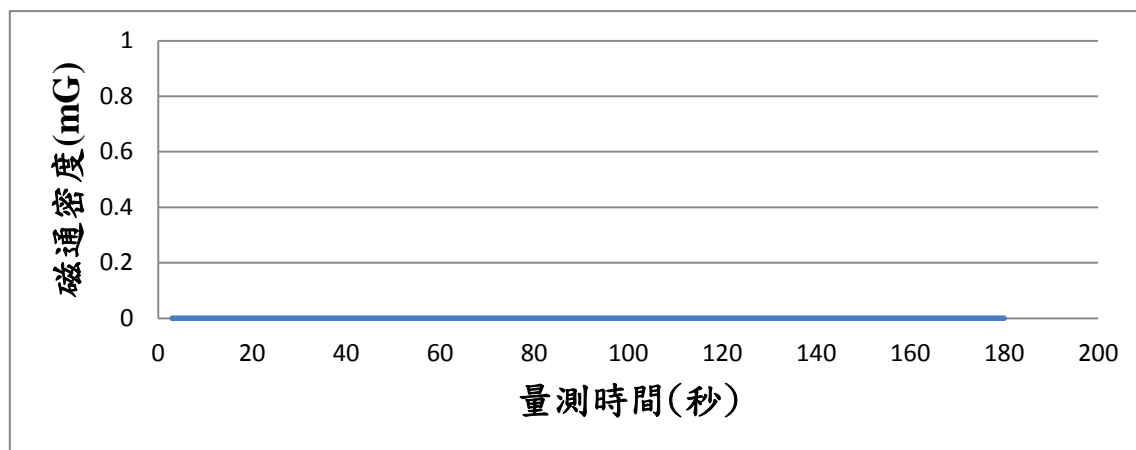


圖五、T1-2 非假日之磁場分佈

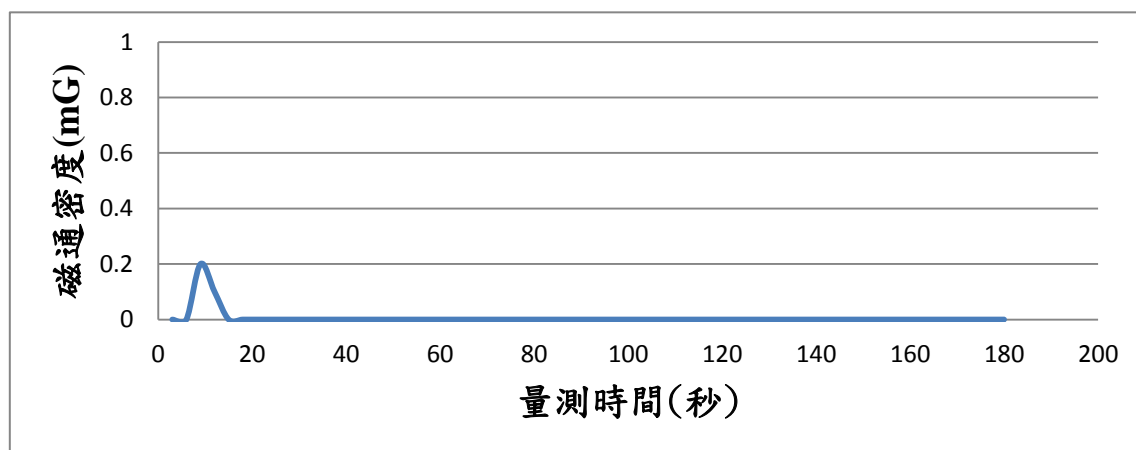
表三 T1-2 之磁場最大、最小及平均值

T1-2	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0	0	0	833
非假日	0	0	0	833

T1-3 磁場測量結果



圖六、T1-3 假日之磁場分佈

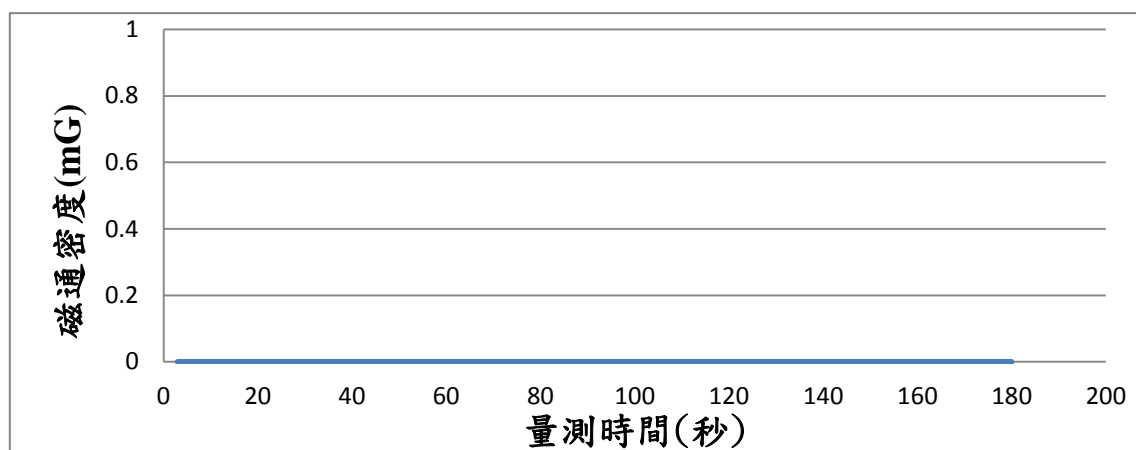


圖七、T1-3 非假日之磁場分佈

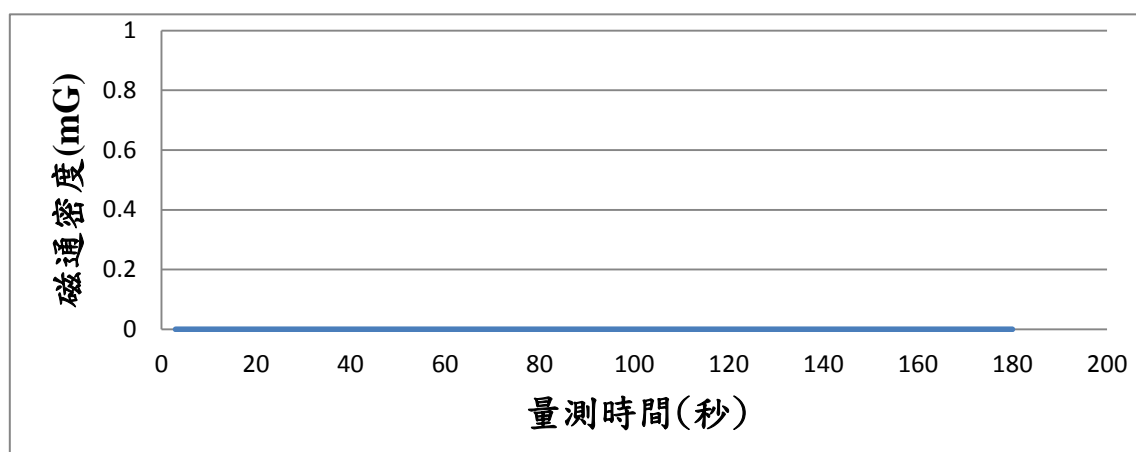
表四 T1-3 之磁場最大、最小及平均值

T1-3	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0	0	0	833
非假日	0.2	0	0.005	833

T1-4 磁場測量結果



圖八、T1-4 假日之磁場分佈

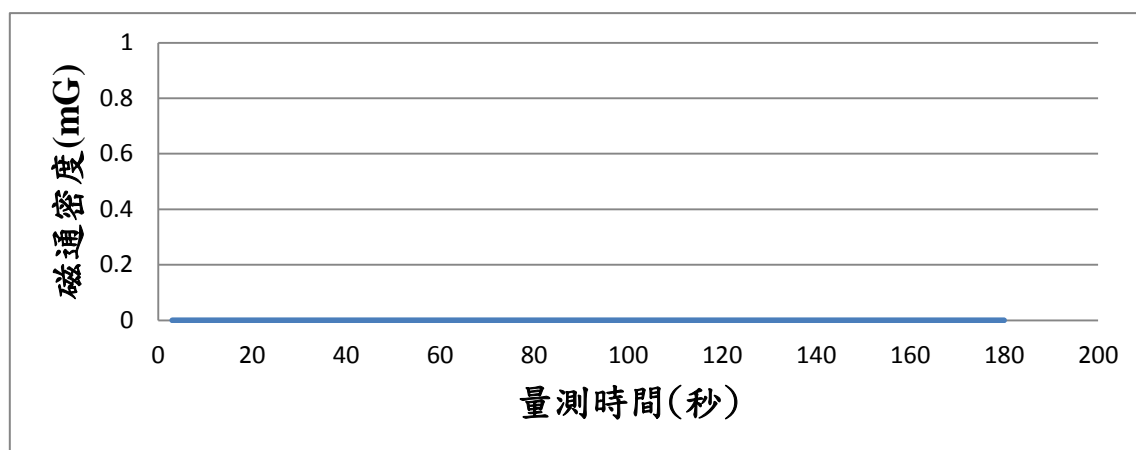


圖九、T1-4 非假日之磁場分佈

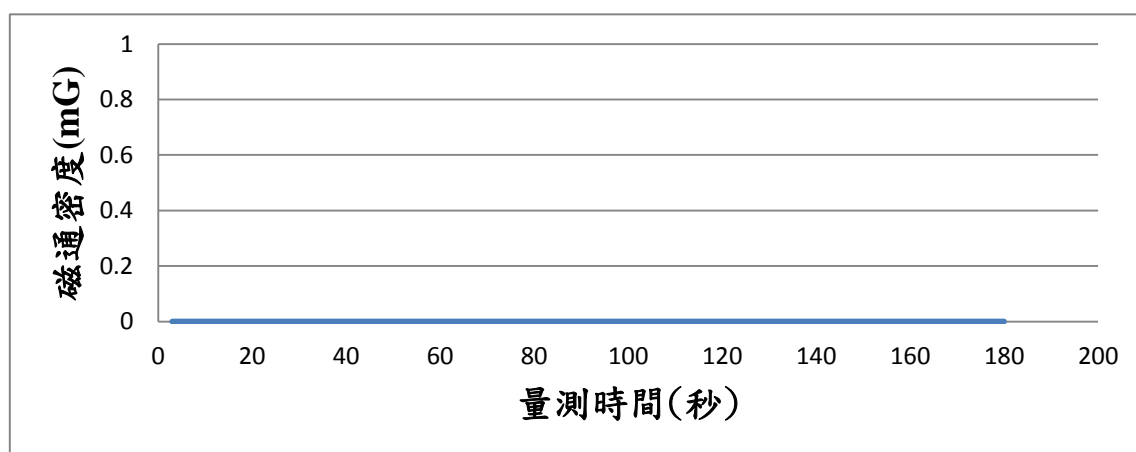
表五 T1-4 之磁場最大、最小及平均值

T1-4	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0	0	0	833
非假日	0	0	0	833

T1-5 磁場測量結果



圖十、T1-5 假日之磁場分佈

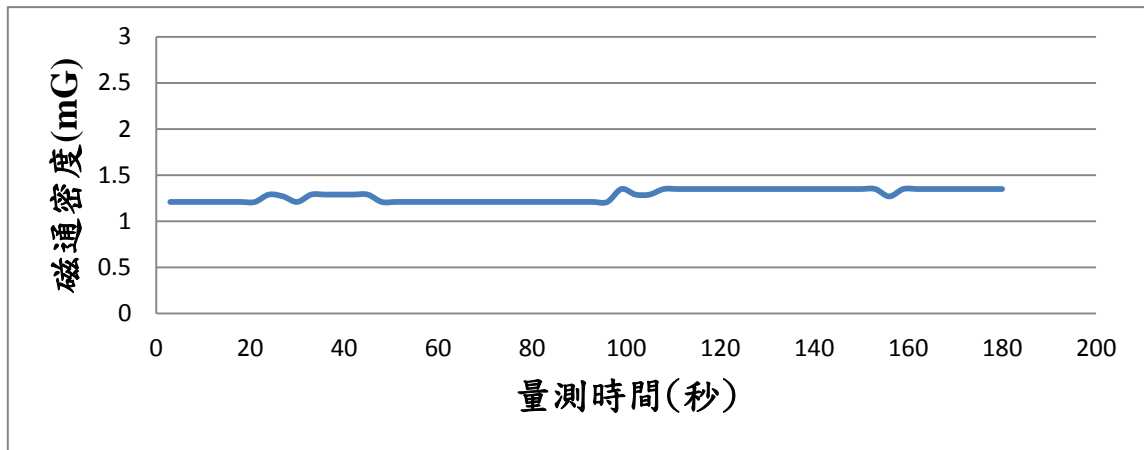


圖十一、T1-5 非假日之磁場分佈

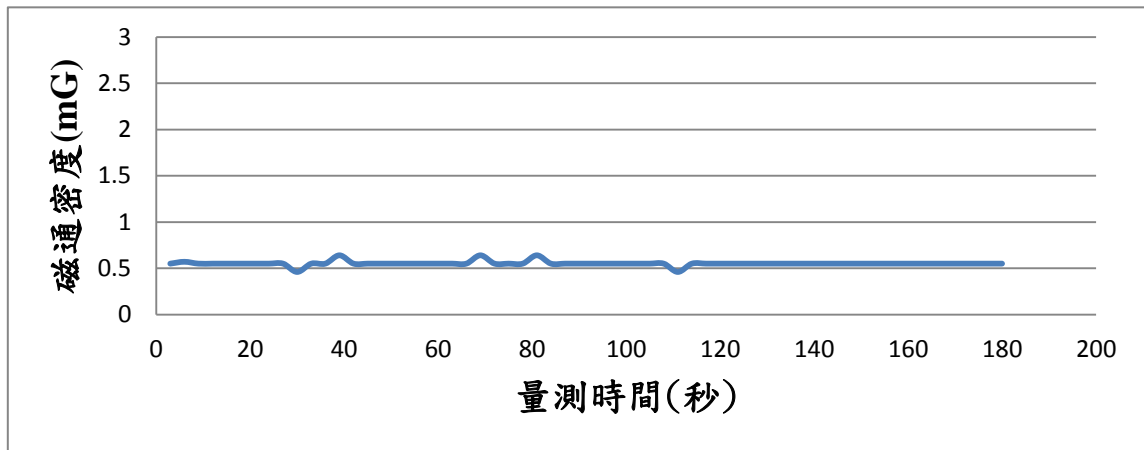
表六 T1-5 之磁場最大、最小及平均值

T1-5	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0	0	0	833
非假日	0	0	0	833

T2-1 磁場測量結果



圖十二、T2-1 假日之磁場分佈

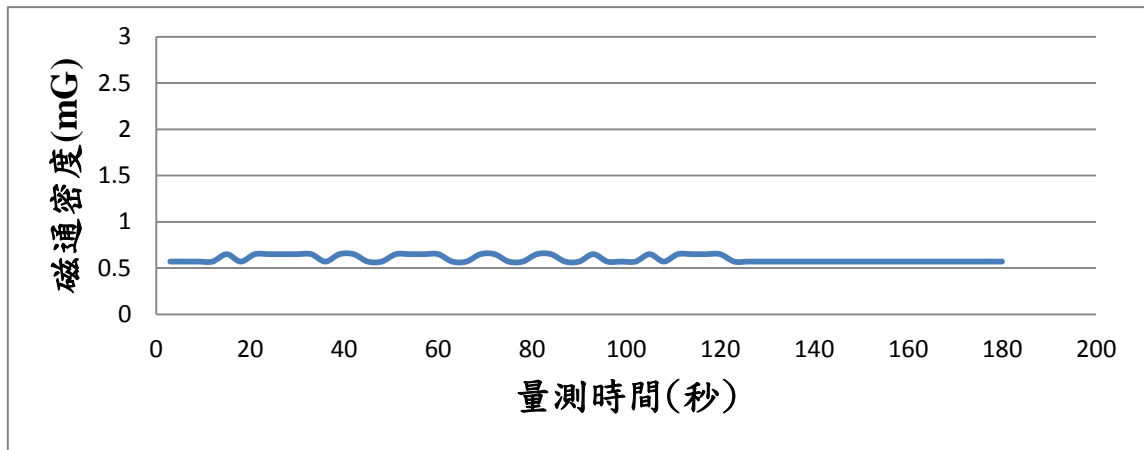


圖十三、T2-1 非假日之磁場分佈

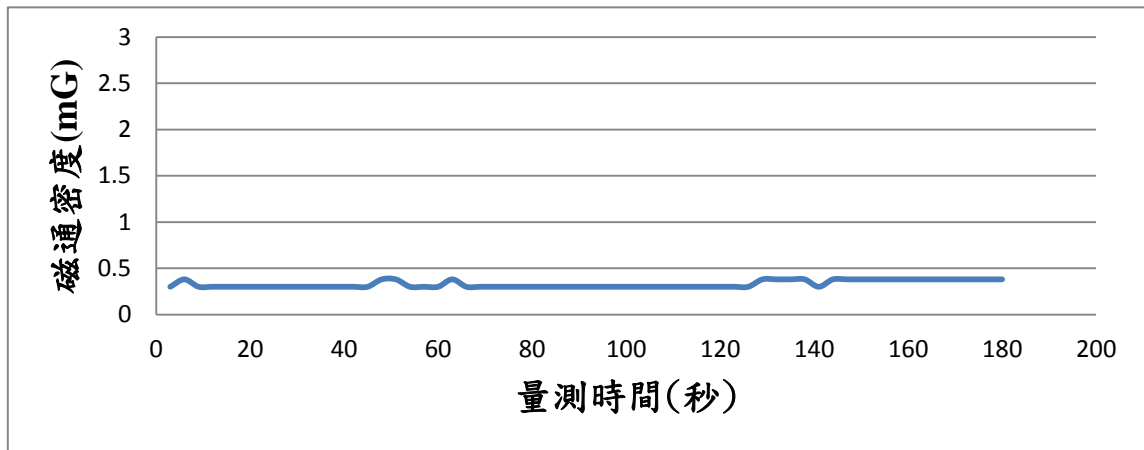
表七 T2-1 之磁場最大、最小及平均值

T2-1	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	1.35	1.21	1.281	833
非假日	0.64	0.46	0.551833	833

T2-2 磁場測量結果



圖十四、T2-2 假日之磁場分佈

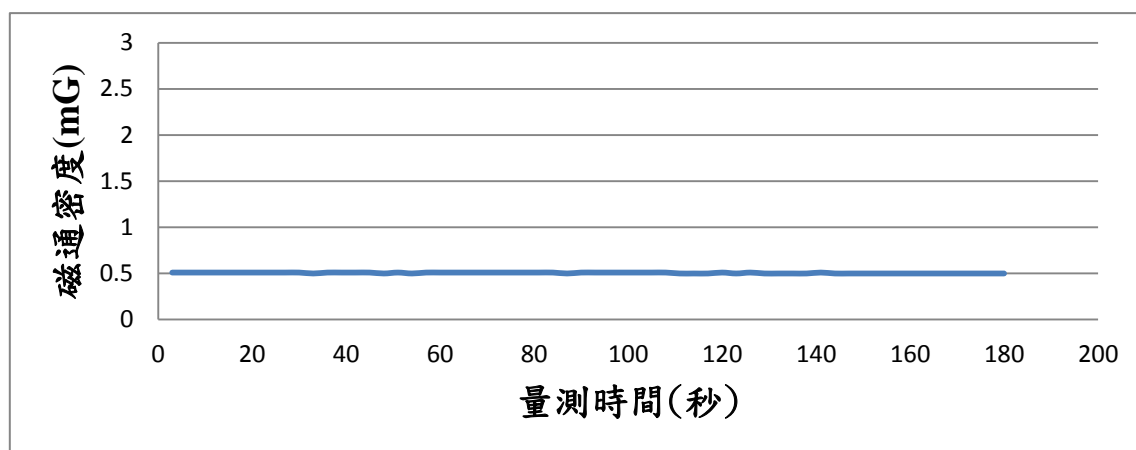


圖十五、T2-2 非假日之磁場分佈

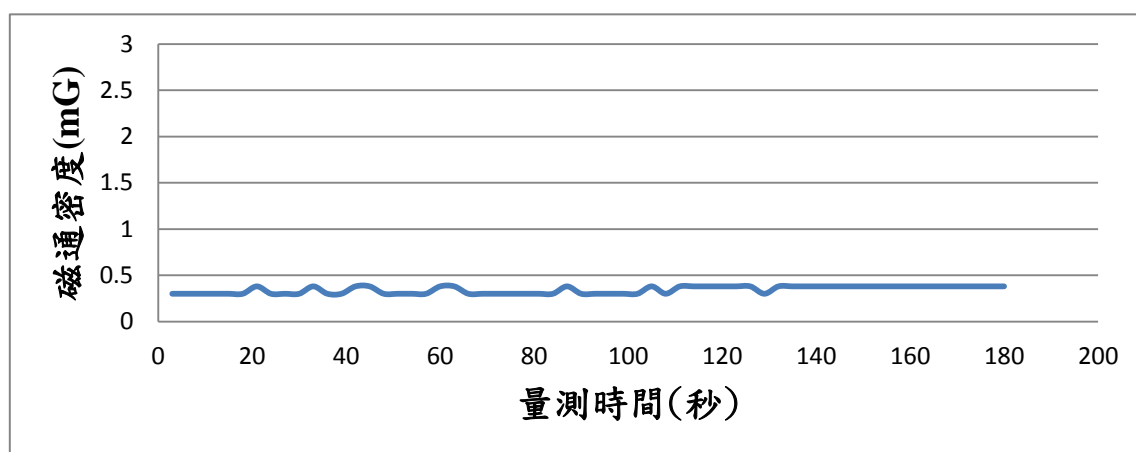
表八 T2-2 之磁場最大、最小及平均值

T2-2	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.65	0.57	0.599333	833
非假日	0.38	0.3	0.328	833

T2-3 磁場測量結果



圖十六、T2-3 假日之磁場分佈

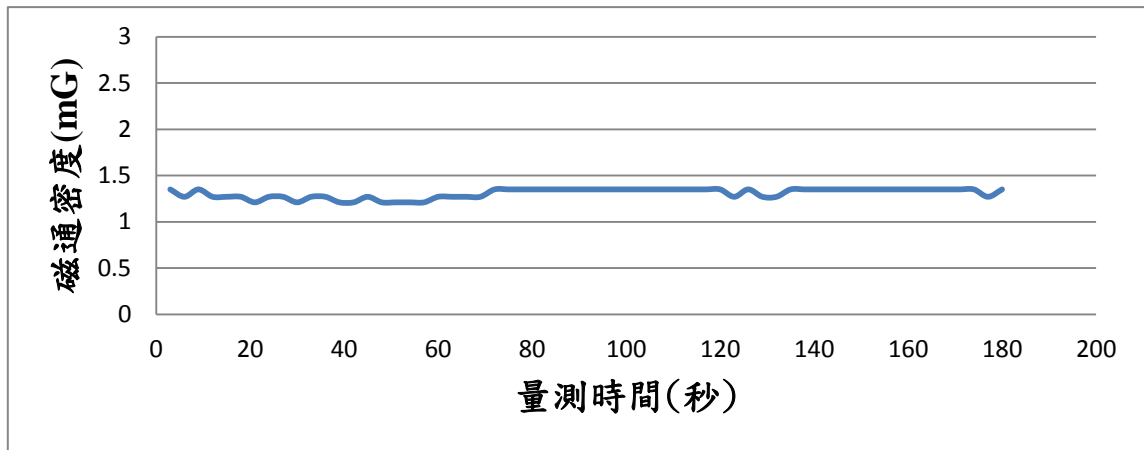


圖十七、T2-3 非假日之磁場分佈

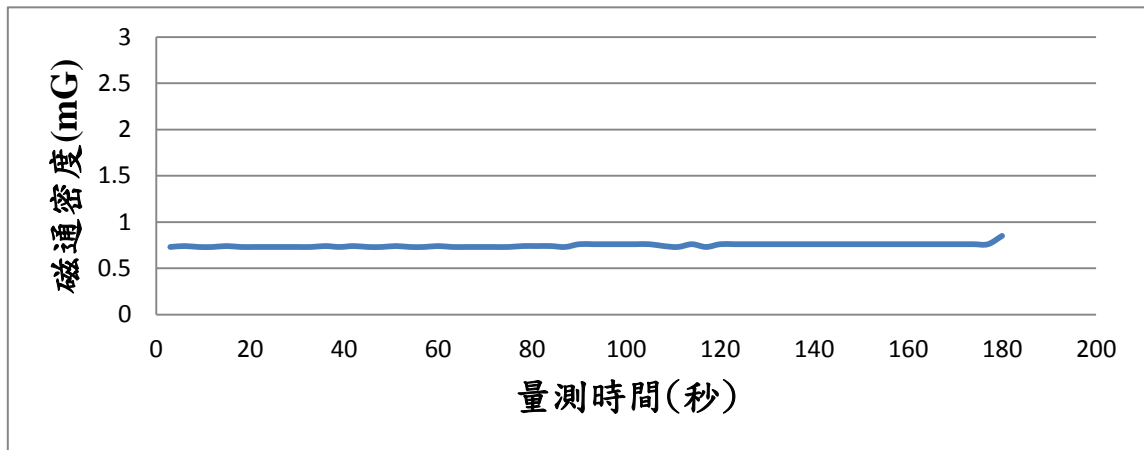
表九 T2-3 之磁場最大、最小及平均值

T2-3	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.51	0.5	0.505833	833
非假日	0.38	0.3	0.341333	833

T2-4 磁場測量結果



圖十八、T2-4 假日之磁場分佈

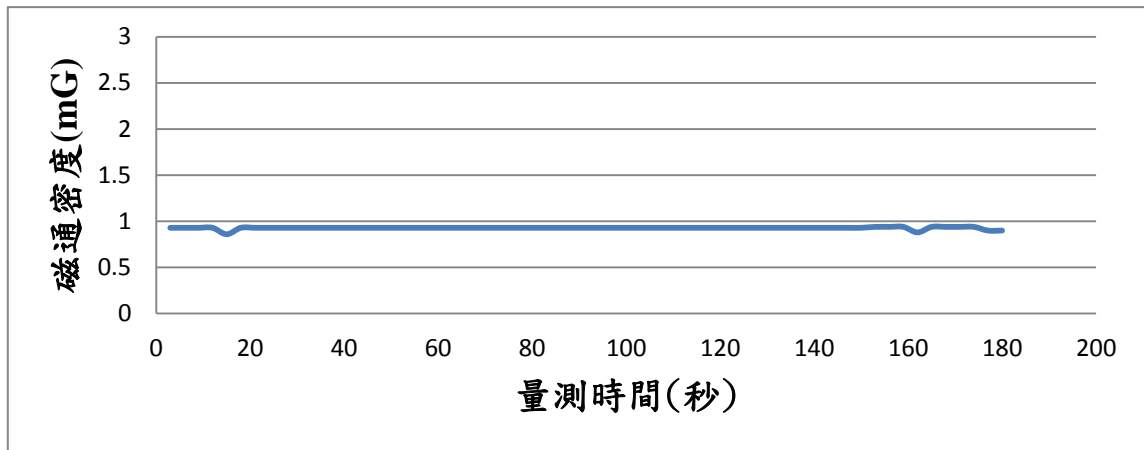


圖十九、T2-4 非假日之磁場分佈

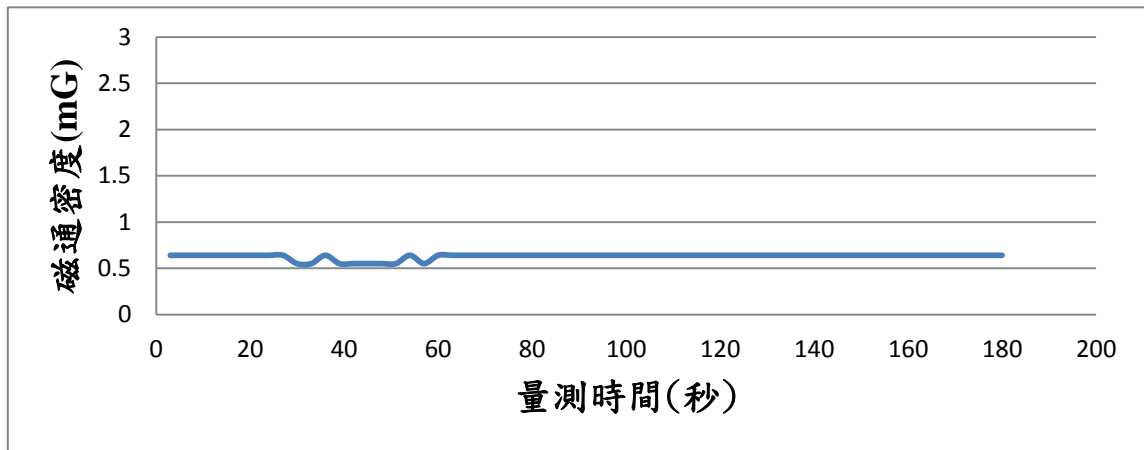
表十 T2-4 之磁場最大、最小及平均值

T2-4	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	1.35	1.21	1.308667	833
非假日	0.85	0.73	0.747167	833

T2-5 磁場測量結果



圖二十、T2-5 假日之磁場分佈

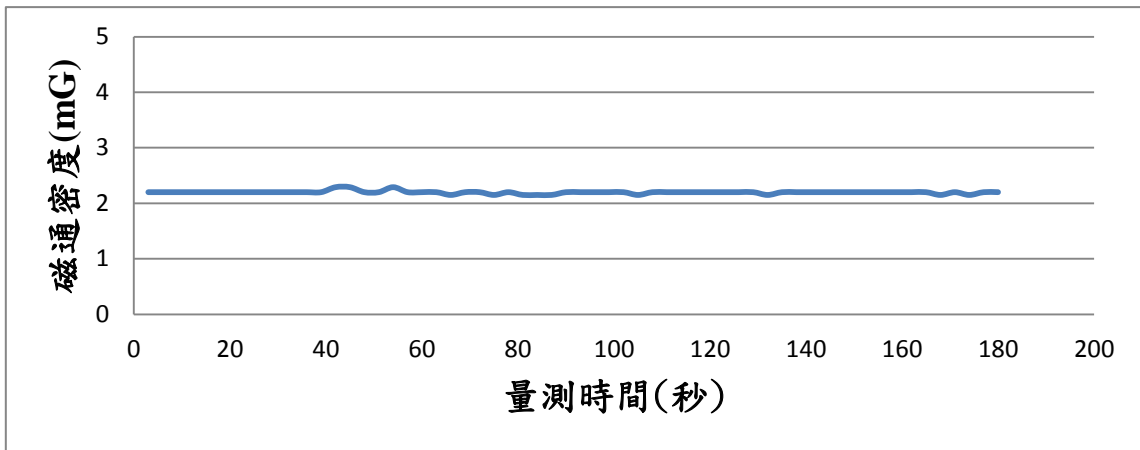


圖二十一、T2-5 非假日之磁場分佈

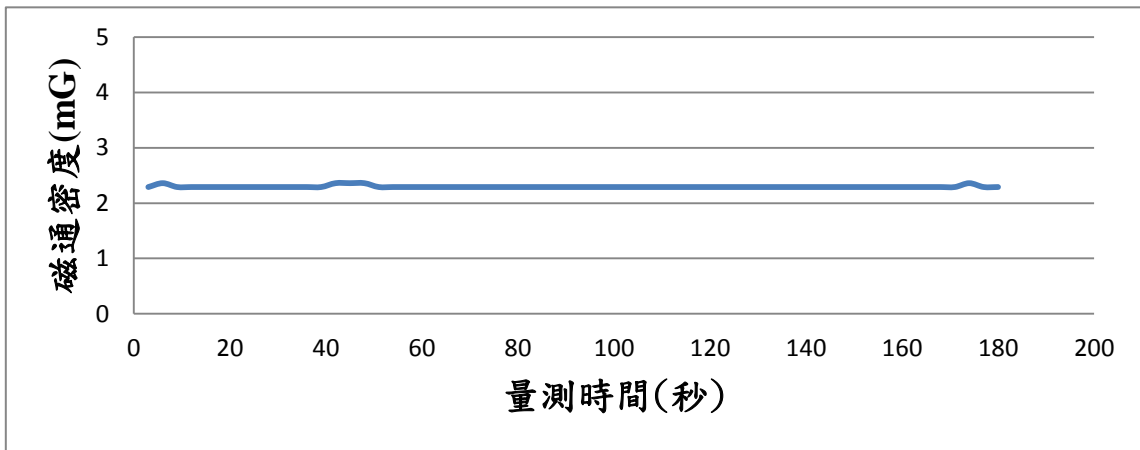
表十一 T2-5 之磁場最大、最小及平均值

T2-5	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.94	0.86	0.928167	833
非假日	0.64	0.55	0.628	833

T3-1 磁場測量結果



圖二十二、T3-1 假日之磁場分佈

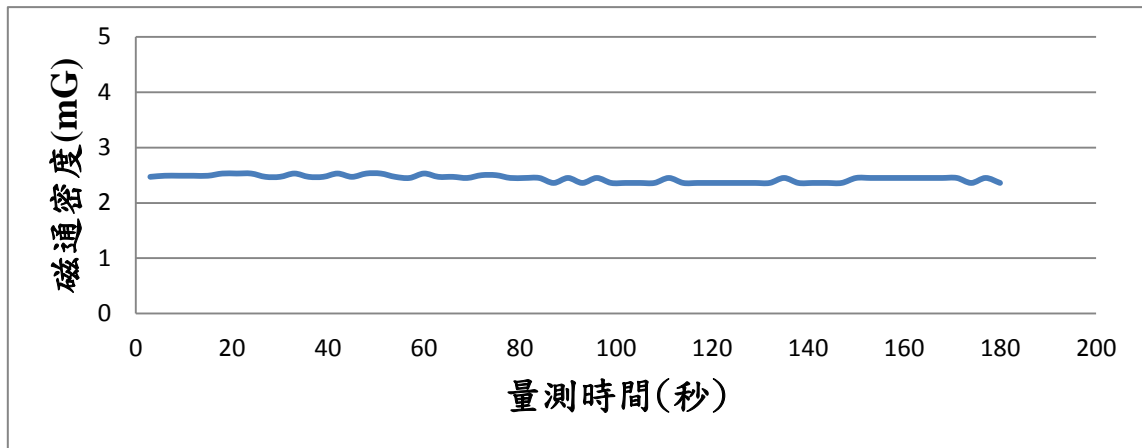


圖二十三、T3-1 非假日之磁場分佈

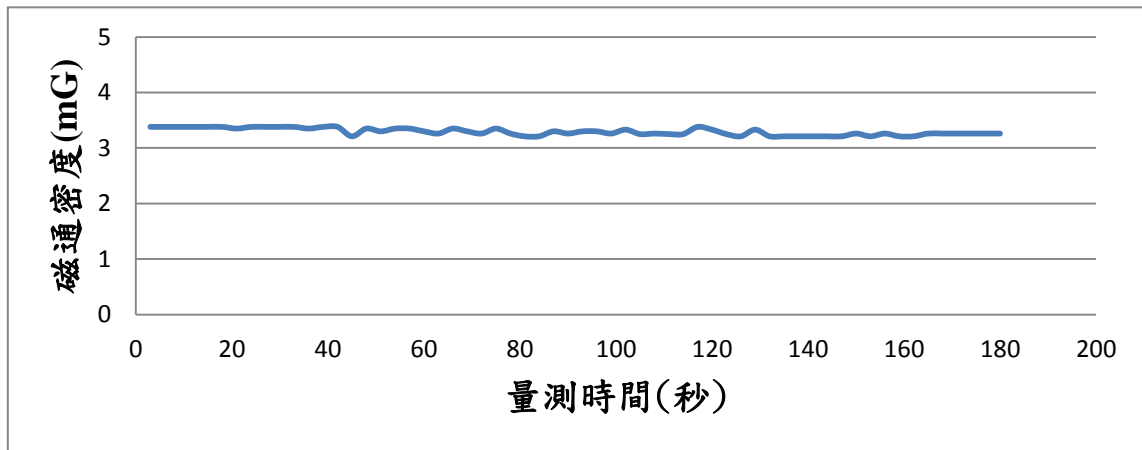
表十二 T3-1 之磁場最大、最小及平均值

T3-1	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	2.29	2.15	2.197	833
非假日	2.36	2.29	2.295833	833

T3-2 磁場測量結果



圖二十四、T3-2 假日之磁場分佈

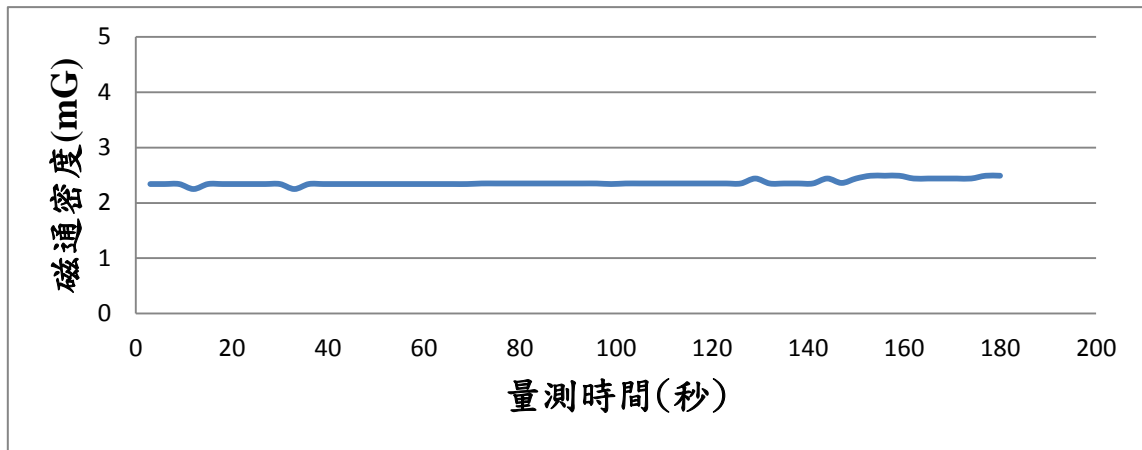


圖二十五、T3-2 非假日之磁場分佈

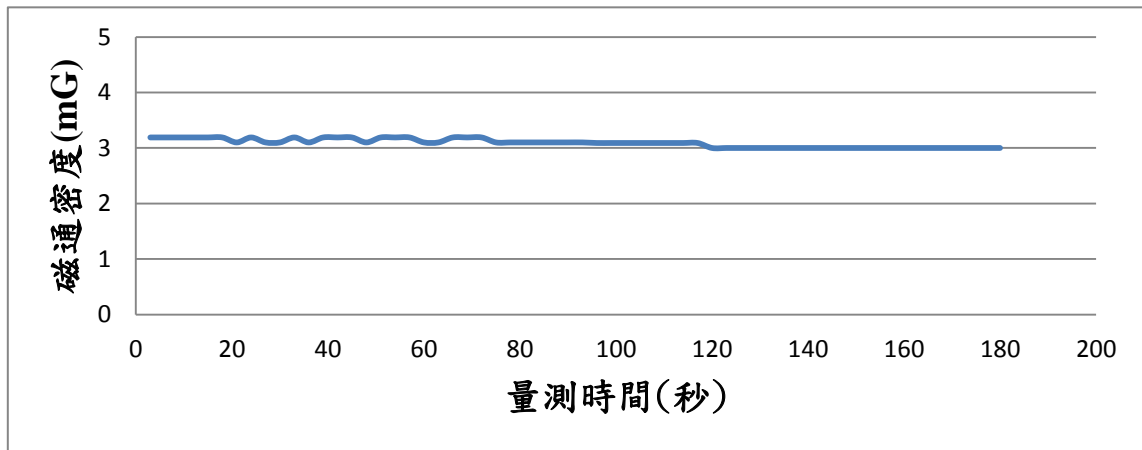
表十三 T3-2 之磁場最大、最小及平均值

T3-2	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	2.53	2.36	2.4395	833
非假日	3.38	3.21	3.2925	833

T3-3 磁場測量結果



圖二十六、T3-3 假日之磁場分佈

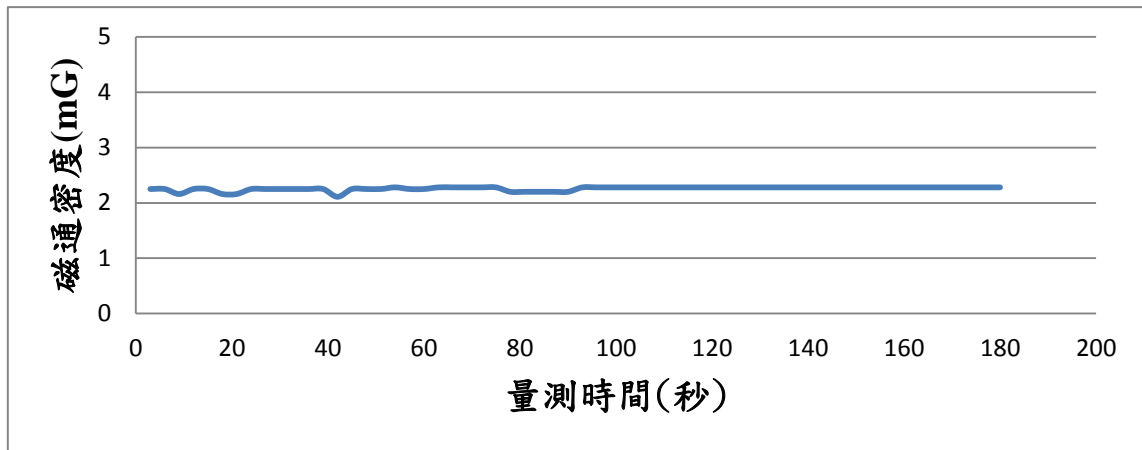


圖二十七、T3-3 非假日之磁場分佈

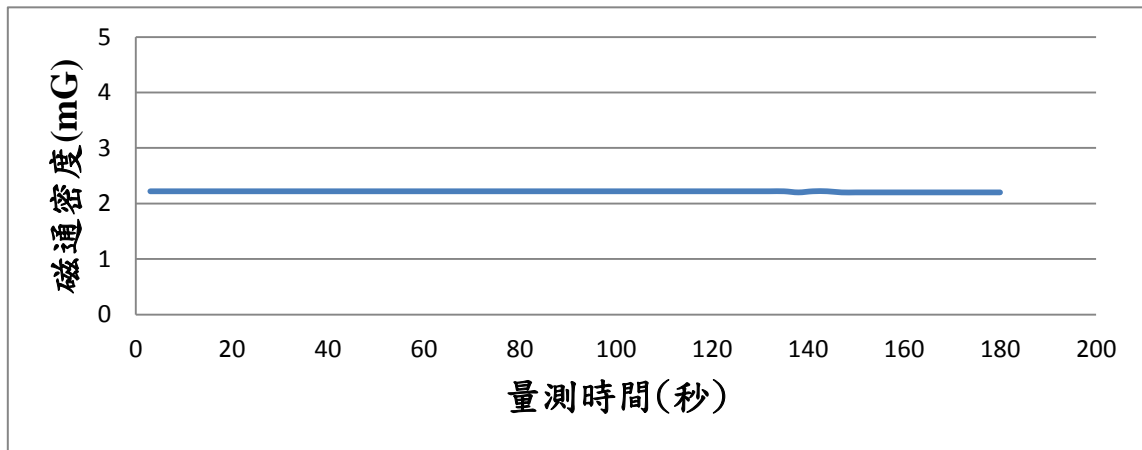
表十四 T3-3 之磁場最大、最小及平均值

T3-3	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	2.49	2.25	2.366833	833
非假日	3.19	3	3.089167	833

T3-4 磁場測量結果



圖二十八、T3-4 假日之磁場分佈

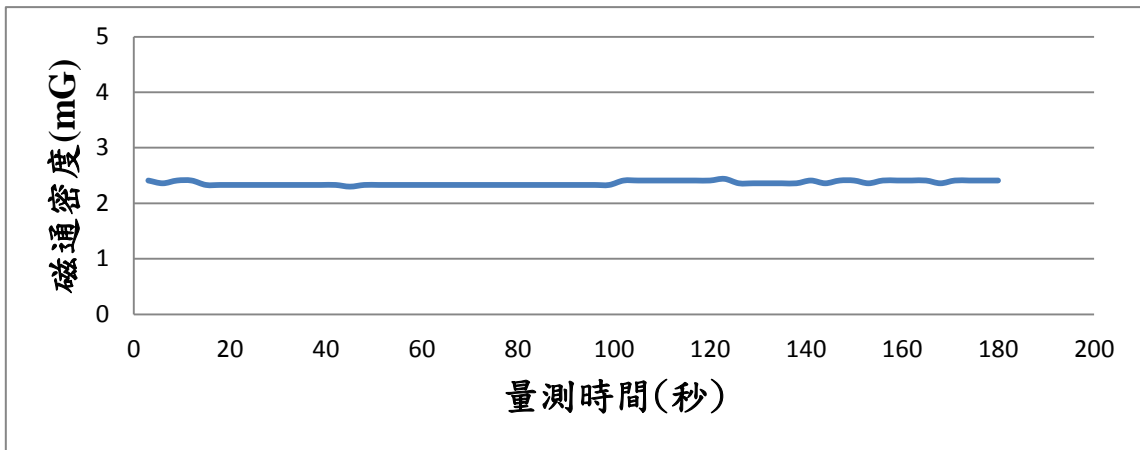


圖二十九、T3-4 非假日之磁場分佈

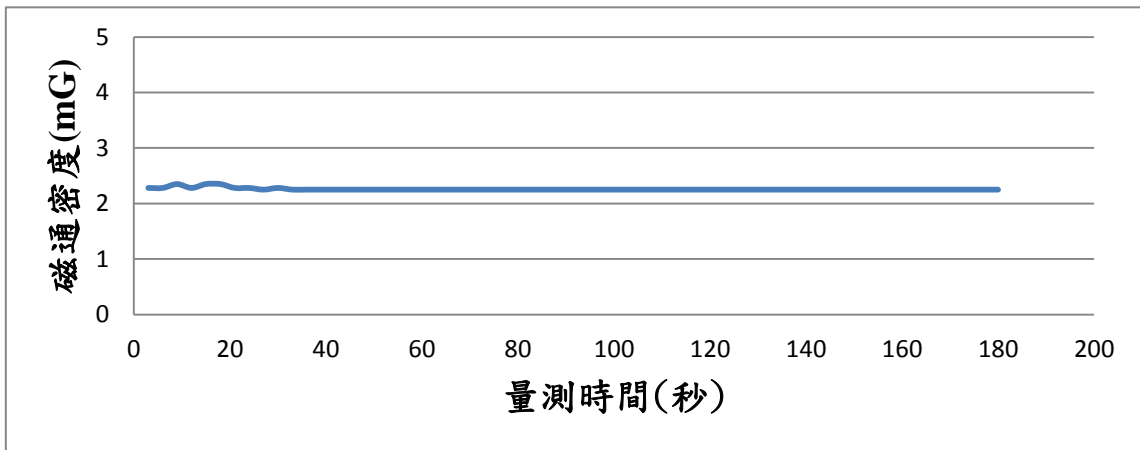
表十五 T3-4 之磁場最大、最小及平均值

T3-4	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	2.28	2.11	2.257	833
非假日	2.22	2.2	2.215667	833

T3-5 磁場測量結果



圖三十、T3-5 假日之磁場分佈

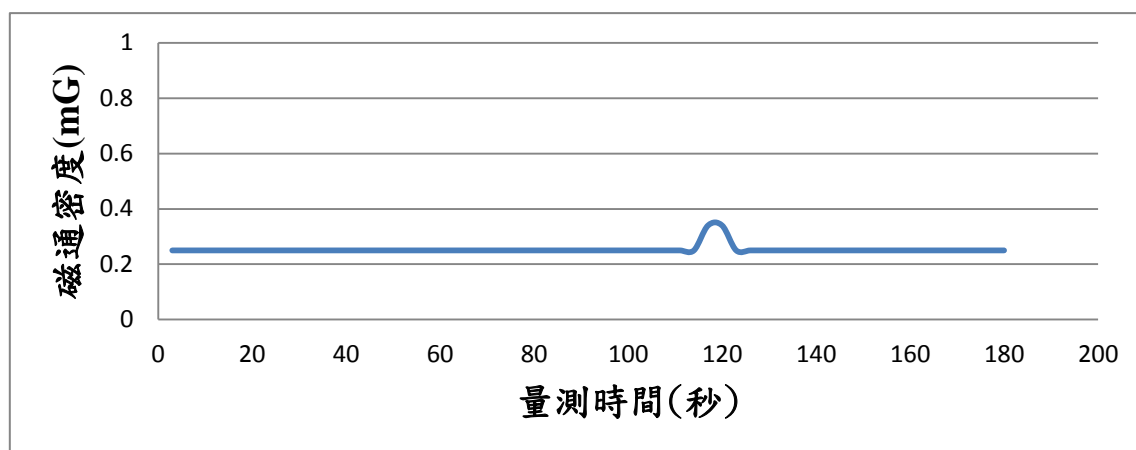


圖三十一、T3-5 非假日之磁場分佈

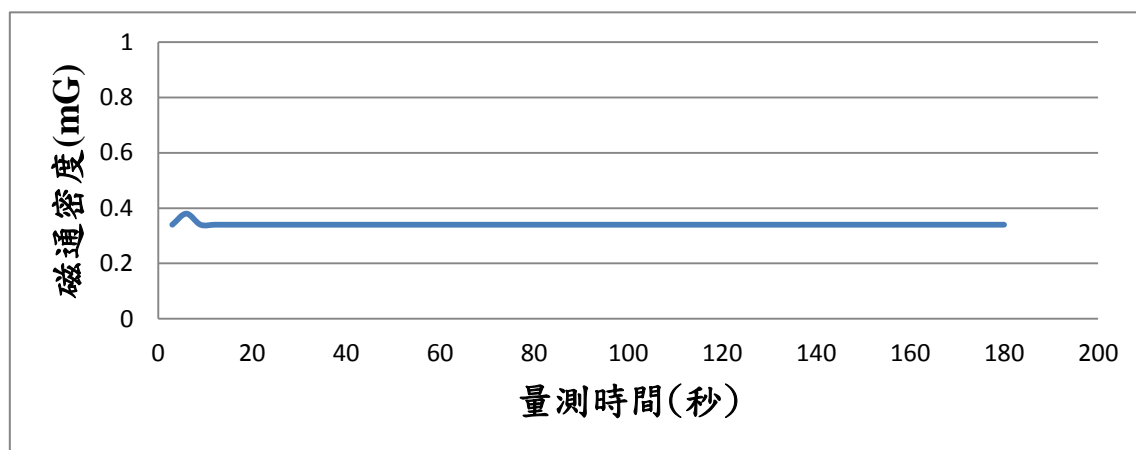
表十六 T3-5 之磁場最大、最小及平均值

T3-5	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	2.44	2.3	2.363833	833
非假日	2.35	2.25	2.258	833

T4-1 磁場測量結果



圖三十二、T4-1 假日之磁場分佈

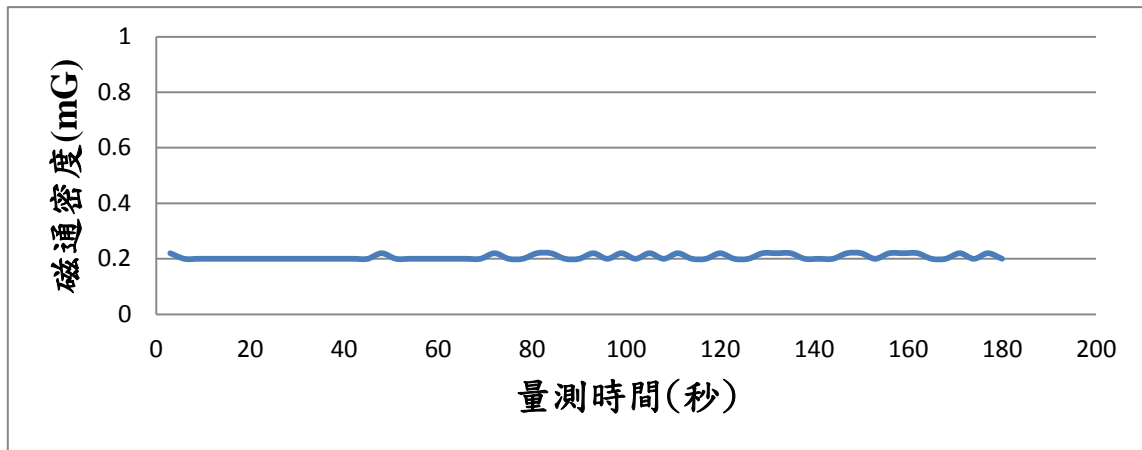


圖三十三、T4-1 非假日之磁場分佈

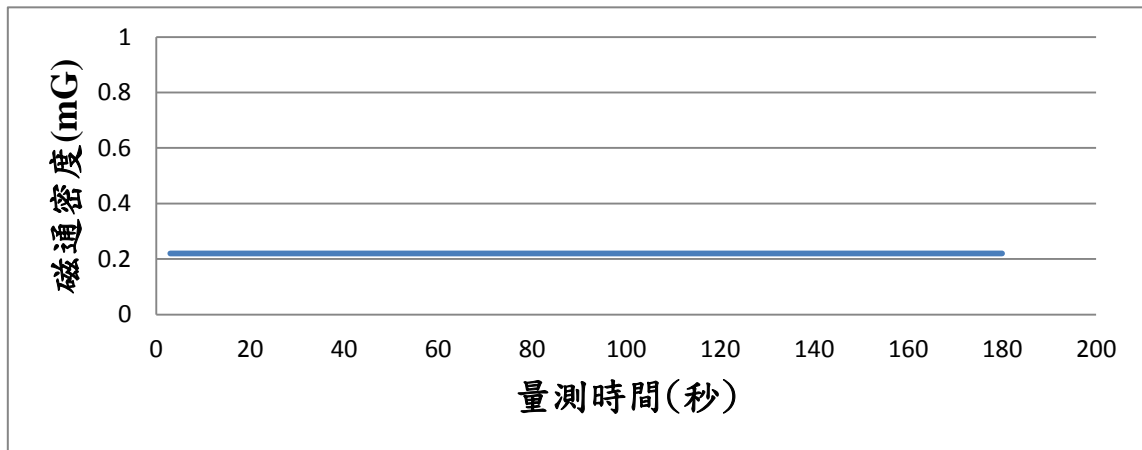
表十七 T4-1 之磁場最大、最小及平均值

T4-1	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.34	0.25	0.253	833
非假日	0.38	0.34	0.340667	833

T4-2 磁場測量結果



圖三十四、T4-2 假日之磁場分佈

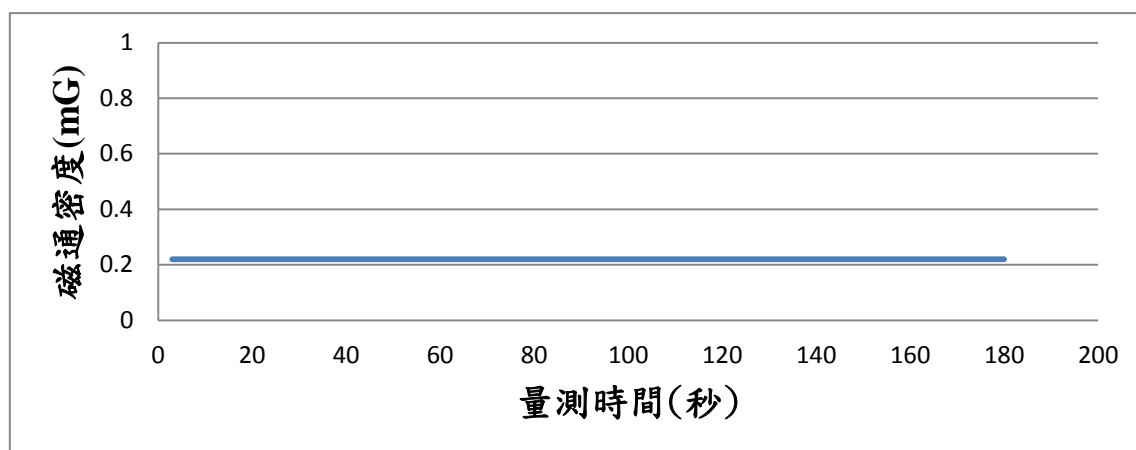


圖三十五、T4-2 非假日之磁場分佈

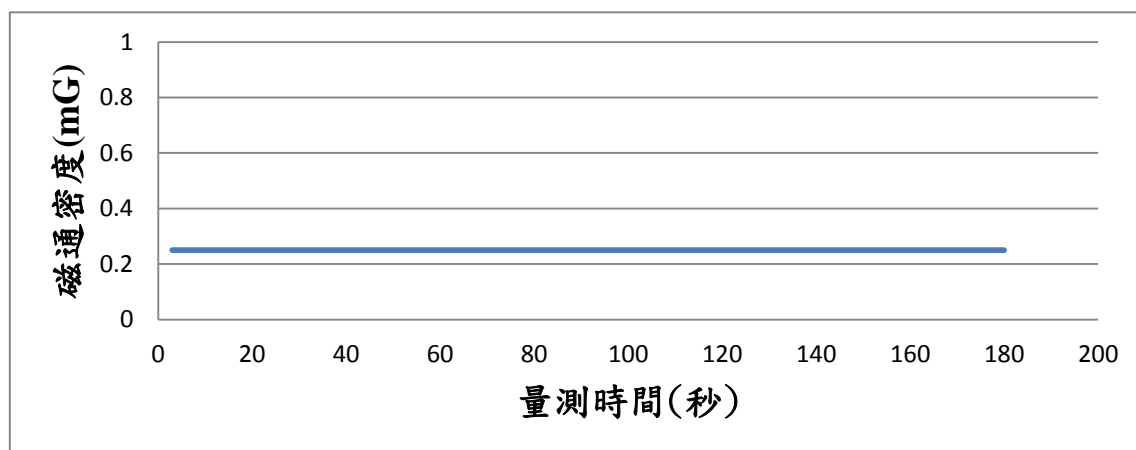
表十八 T4-2 之磁場最大、最小及平均值

T4-2	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.22	0.2	0.206667	833
非假日	0.22	0.22	0.22	833

T4-3 磁場測量結果



圖三十六、T4-3 假日之磁場分佈

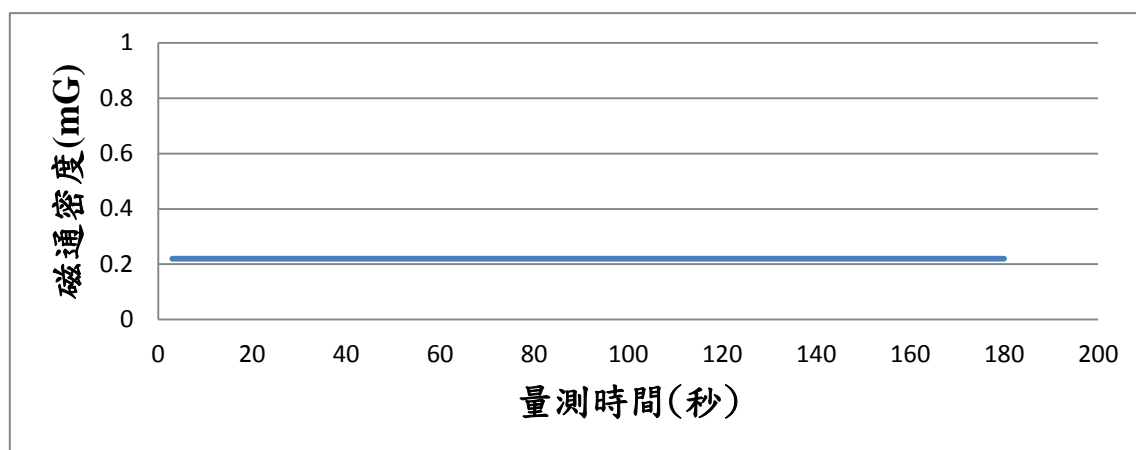


圖三十七、T4-3 非假日之磁場分佈

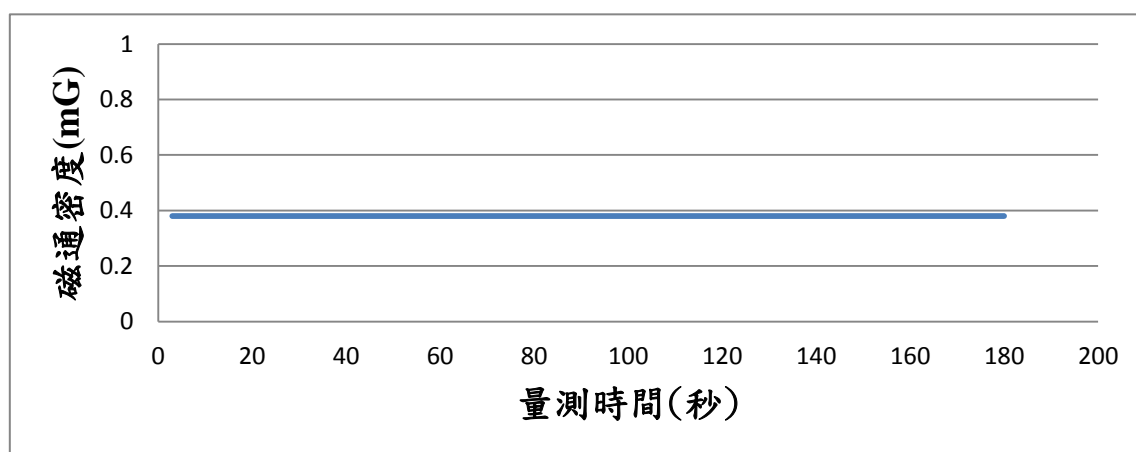
表十九 T4-3 之磁場最大、最小及平均值

T4-3	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.22	0.22	0.22	833
非假日	0.25	0.25	0.25	833

T4-4 磁場測量結果



圖三十八、T4-4 假日之磁場分佈

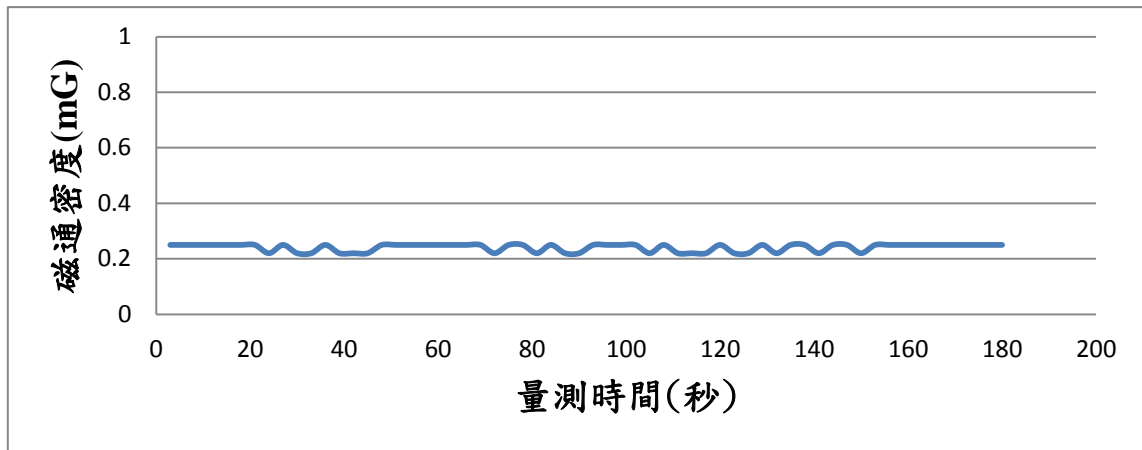


圖三十九、T4-4 非假日之磁場分佈

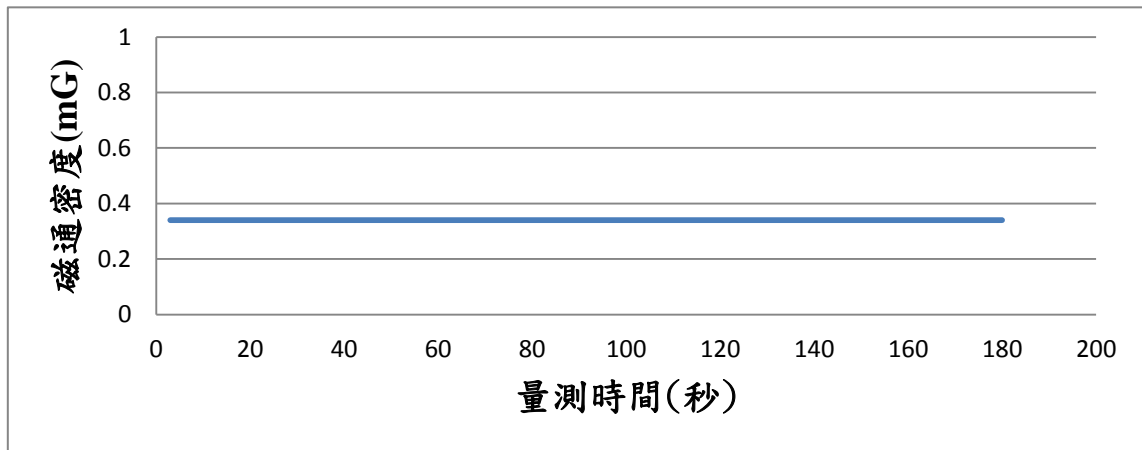
表二十 T4-4 之磁場最大、最小及平均值

T4-4	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.22	0.22	0.22	833
非假日	0.38	0.38	0.38	833

T4-5 磁場測量結果



圖四十、T4-5 假日之磁場分佈

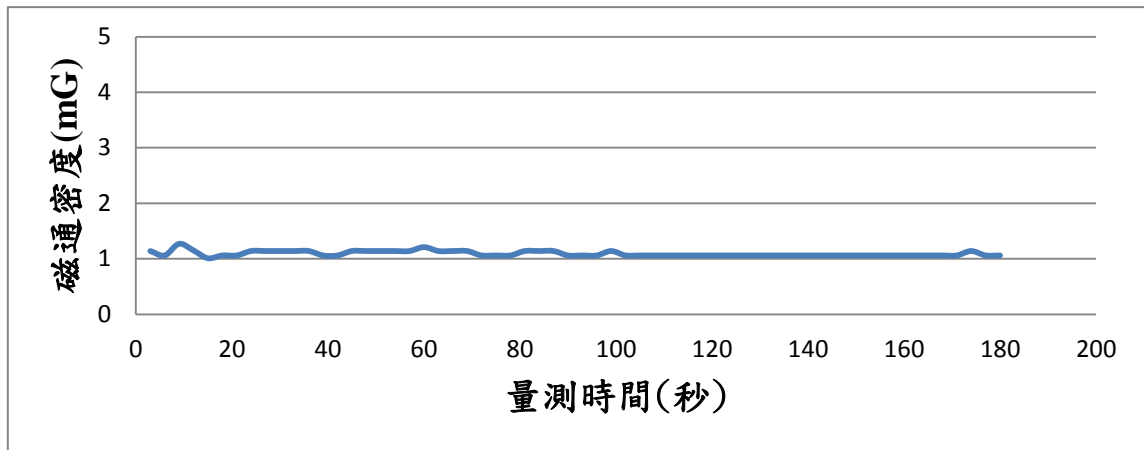


圖四十一、T4-5 非假日之磁場分佈

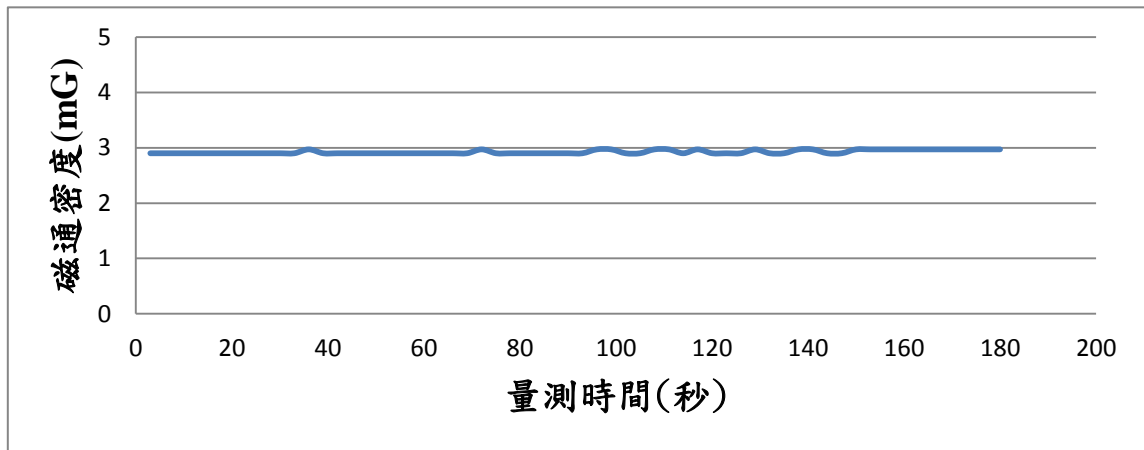
表二十一 T4-5 之磁場最大、最小及平均值

T4-5	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.25	0.22	0.2405	833
非假日	0.34	0.34	0.34	833

T5-1 磁場測量結果



圖四十二、T5-1 假日之磁場分佈

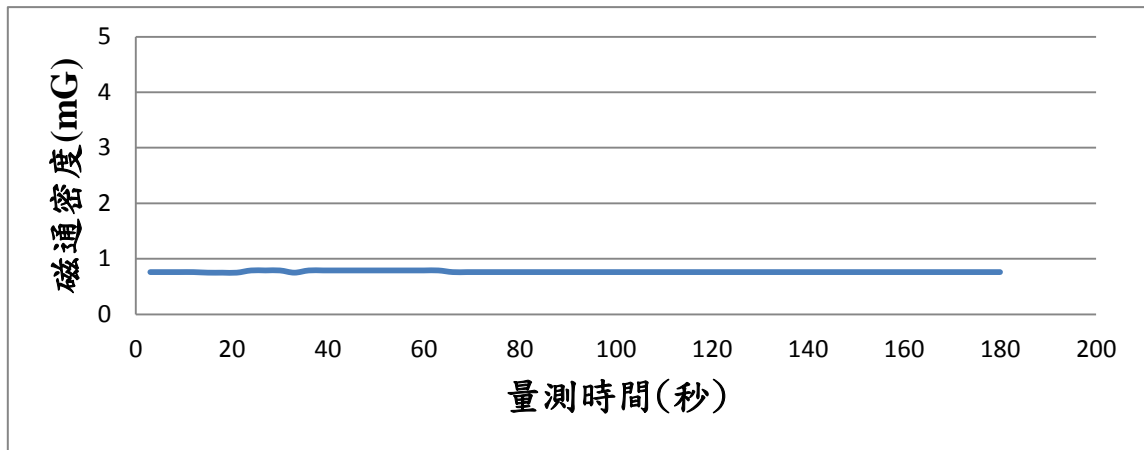


圖四十三、T5-1 非假日之磁場分佈

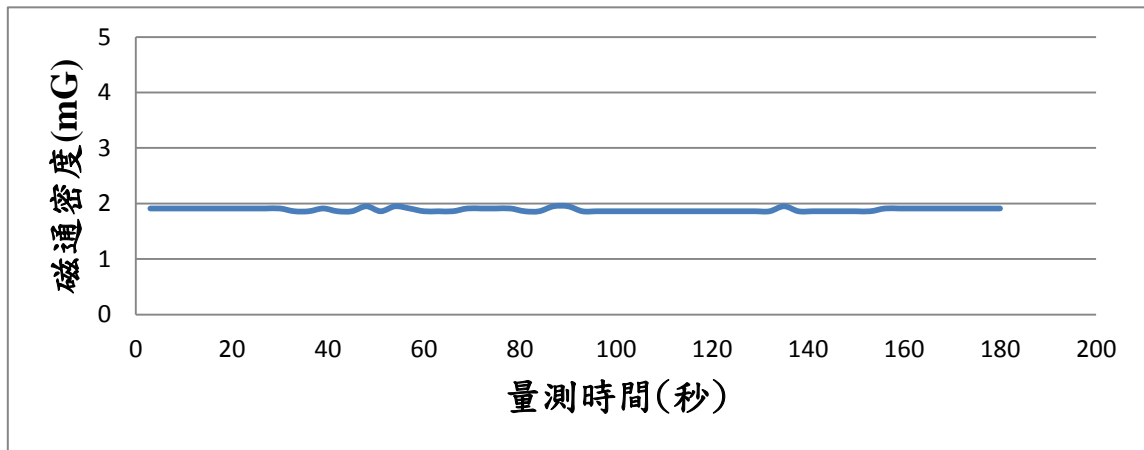
表二十二 T5-1 之磁場最大、最小及平均值

T5-1	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	1.27	1.01	1.092	833
非假日	2.97	2.9	2.9245	833

T5-2 磁場測量結果



圖四十四、T5-2 假日之磁場分佈

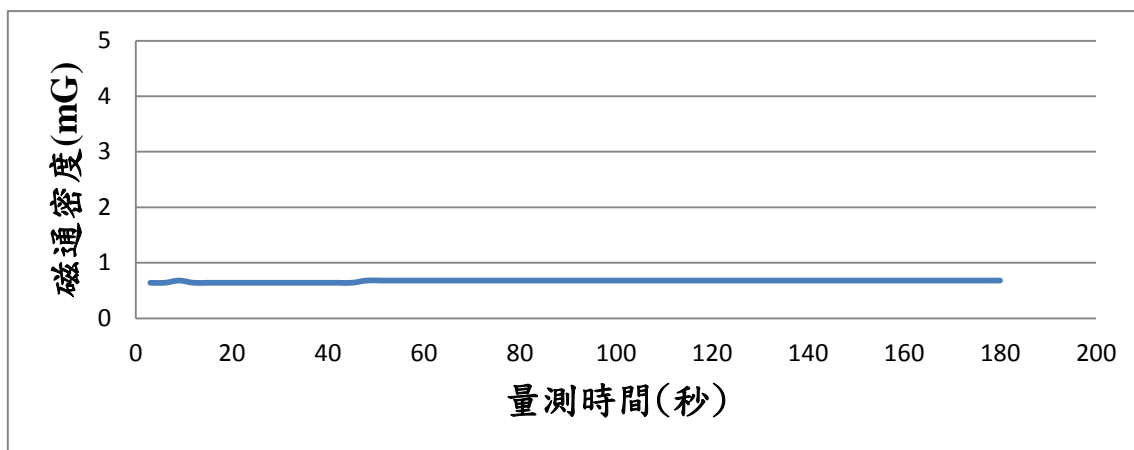


圖四十五、T5-2 非假日之磁場分佈

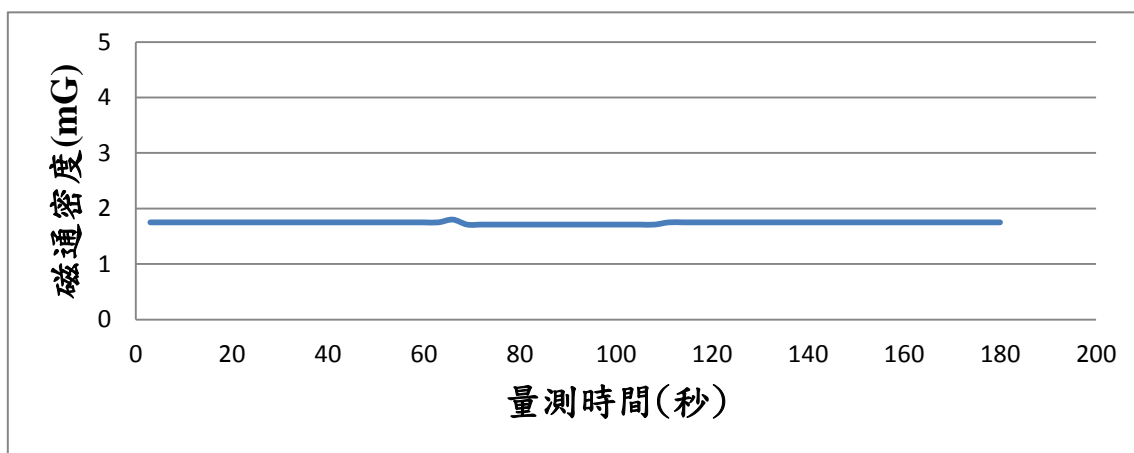
表二十三 T5-2 之磁場最大、最小及平均值

T5-2	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.79	0.75	0.765833	833
非假日	1.95	1.86	1.888333	833

T5-3 磁場測量結果



圖四十六、T5-3 假日之磁場分佈

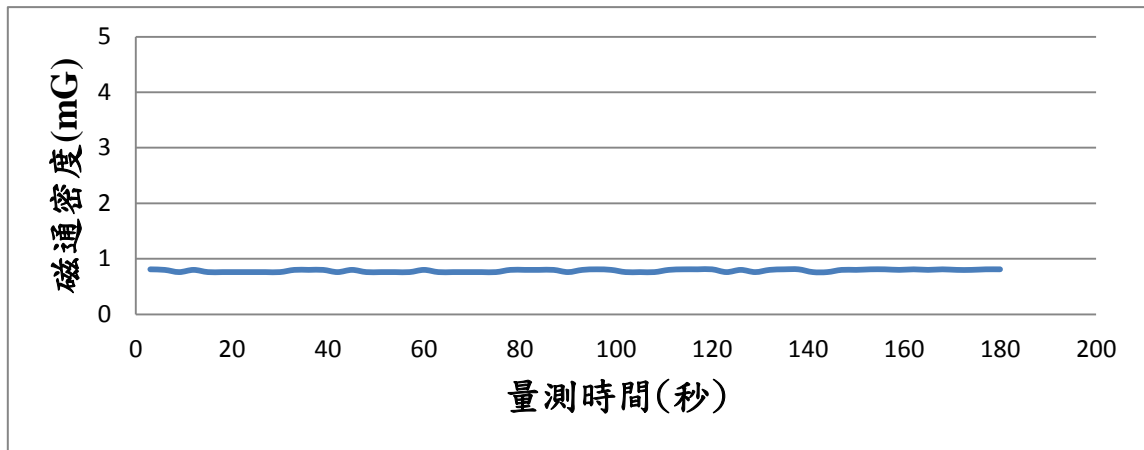


圖四十七、T5-3 非假日之磁場分佈

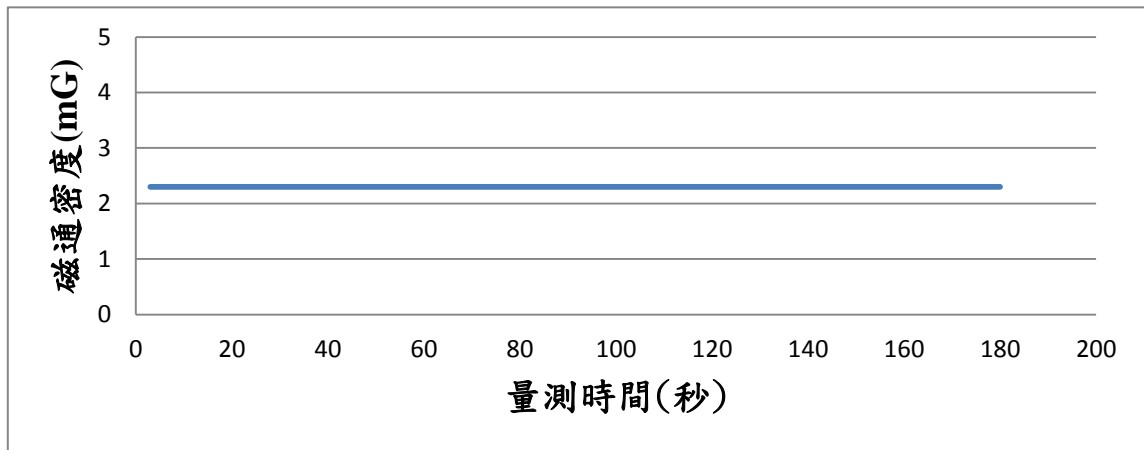
表二十四 T5-3 之磁場最大、最小及平均值

T5-3	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.68	0.64	0.670667	833
非假日	1.8	1.71	1.7415	833

T5-4 磁場測量結果



圖四十八、T5-4 假日之磁場分佈

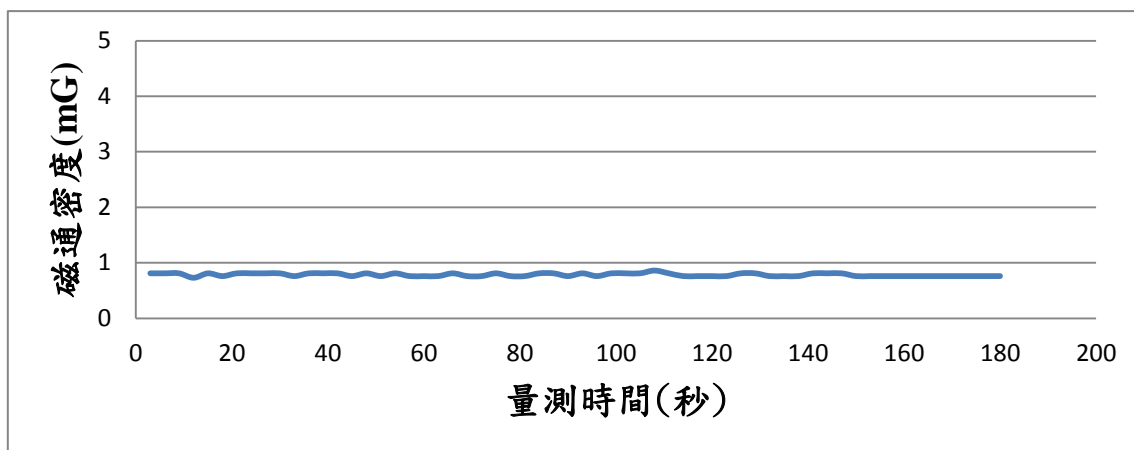


圖四十九、T5-4 非假日之磁場分佈

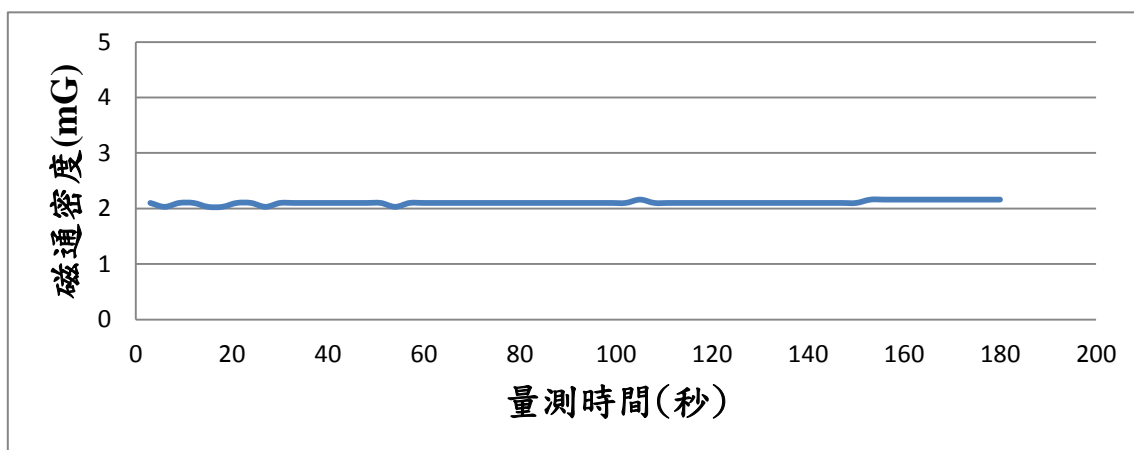
表二十五 T5-4 之磁場最大、最小及平均值

T5-4	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.81	0.76	0.7855	833
非假日	2.3	2.3	2.3	833

T5-5 磁場測量結果



圖五十、T5-5 假日之磁場分佈

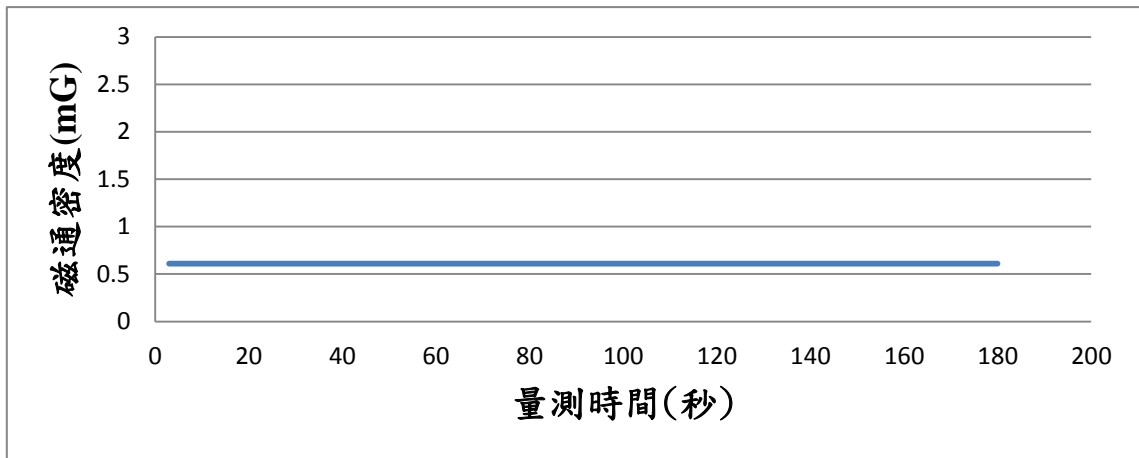


圖五十一、T5-5 非假日之磁場分佈

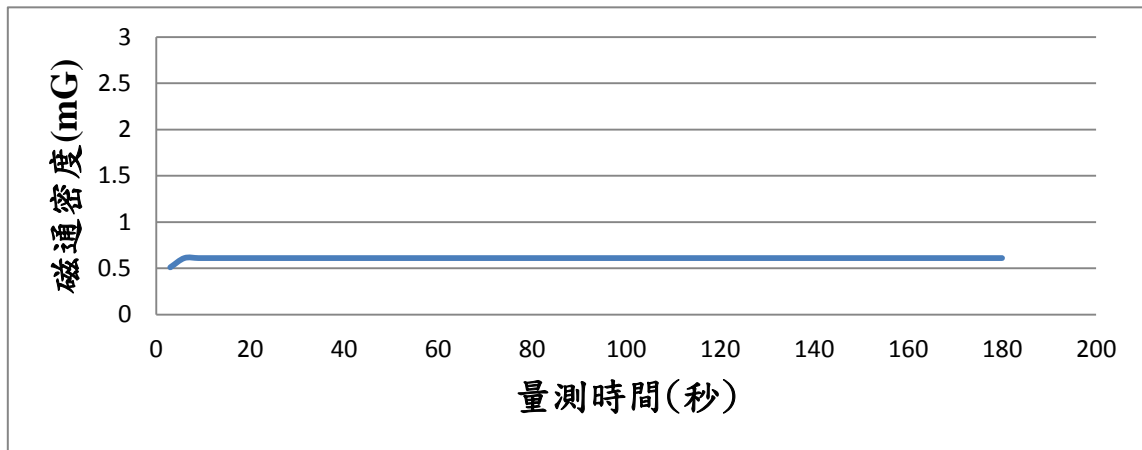
表二十六 T5-5 之磁場最大、最小及平均值

T5-5	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.86	0.73	0.783667	833
非假日	2.16	2.03	2.105167	833

T6-1 磁場測量結果



圖五十二、T6-1 假日之磁場分佈

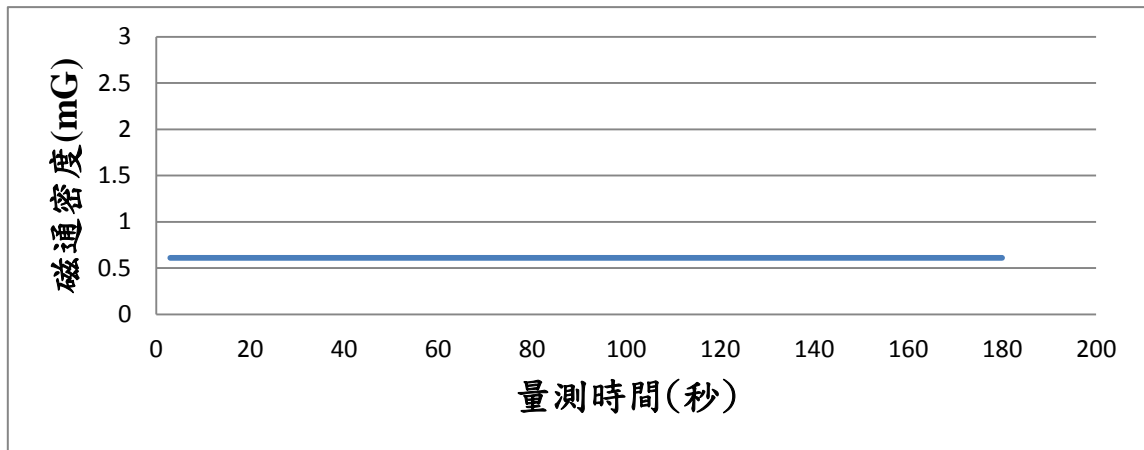


圖五十三、T6-1 非假日之磁場分佈

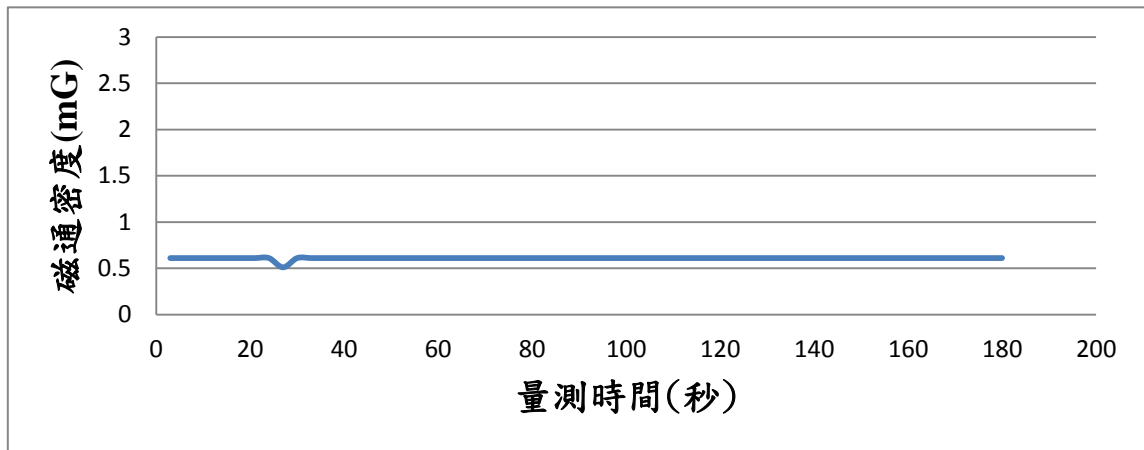
表二十七 T6-1 之磁場最大、最小及平均值

T6-1	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.61	0.61	0.61	833
非假日	0.61	0.51	0.608333	833

T6-2 磁場測量結果



圖五十四、T6-2 假日之磁場分佈

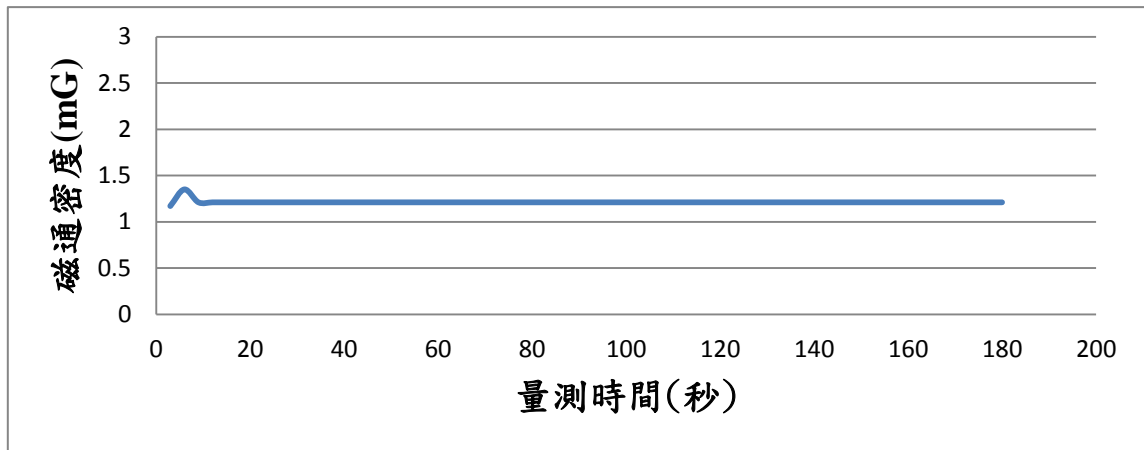


圖五十五、T6-2 非假日之磁場分佈

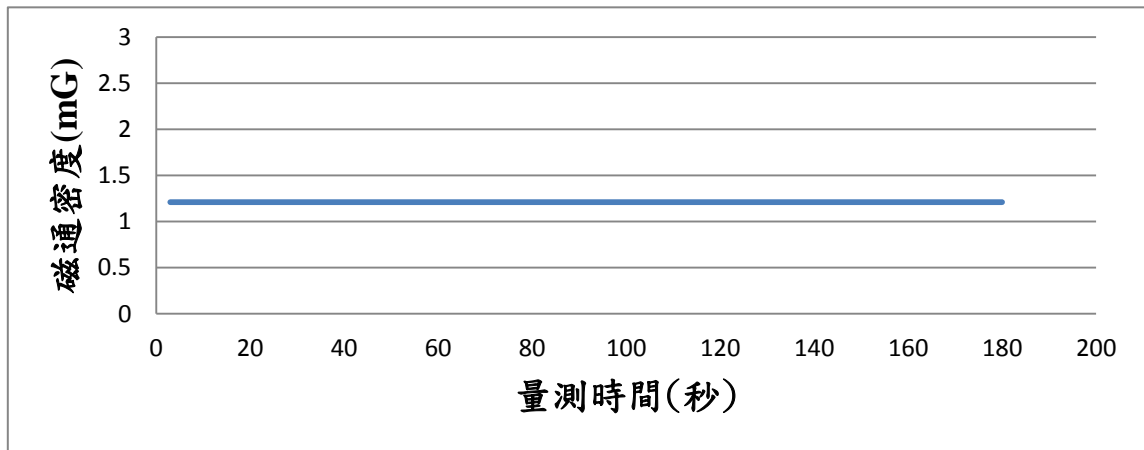
表二十八 T6-2 之磁場最大、最小及平均值

T6-2	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.61	0.61	0.61	833
非假日	0.61	0.51	0.608333	833

T6-3 磁場測量結果



圖五十六、T6-3 假日之磁場分佈

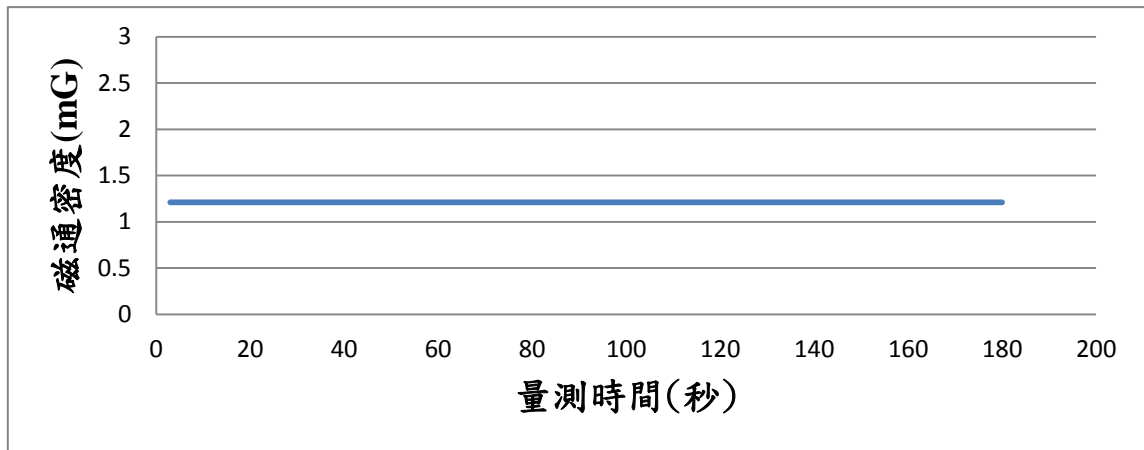


圖五十七、T6-3 非假日之磁場分佈

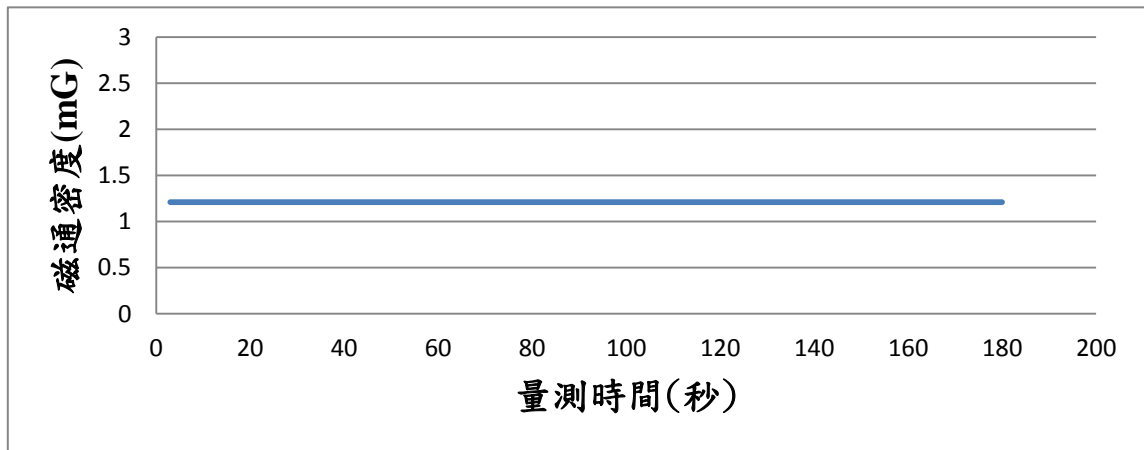
表二十九 T6-3 之磁場最大、最小及平均值

T6-3	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	1.35	1.17	1.211667	833
非假日	1.21	1.21	1.21	833

T6-4 磁場測量結果



圖五十八、T6-4 假日之磁場分佈

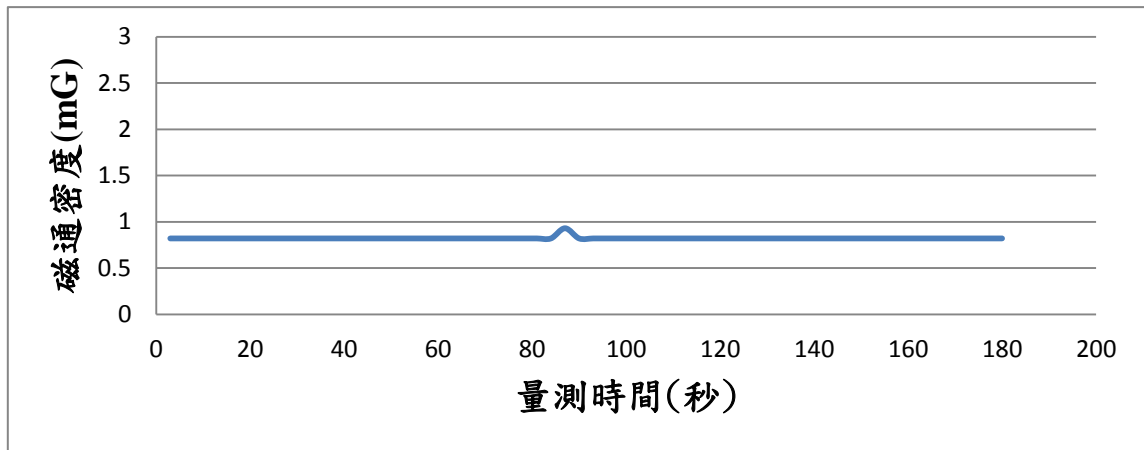


圖五十九、T6-4 非假日之磁場分佈

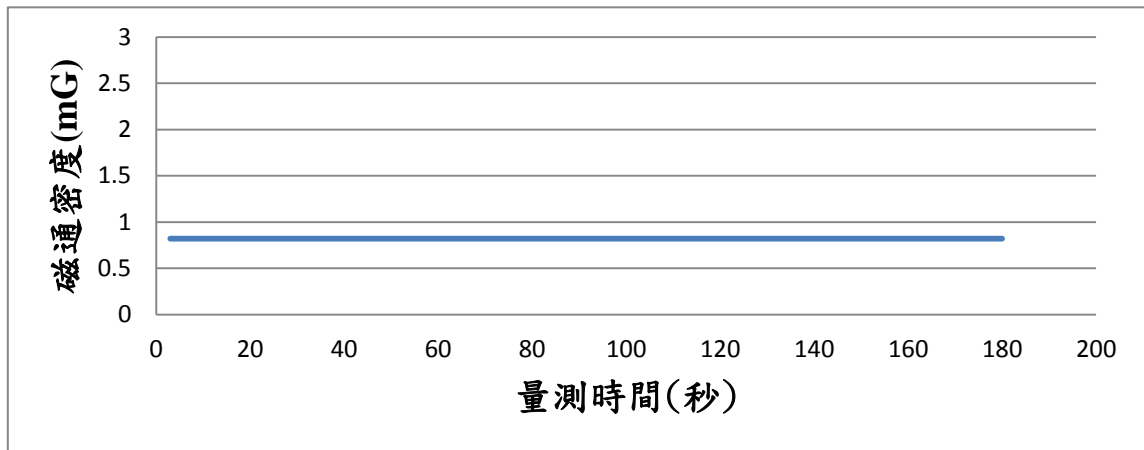
表三十 T6-4 之磁場最大、最小及平均值

T6-4	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	1.21	1.21	1.21	833
非假日	1.21	1.21	1.21	833

T6-5 磁場測量結果



圖六十、T6-5 假日之磁場分佈

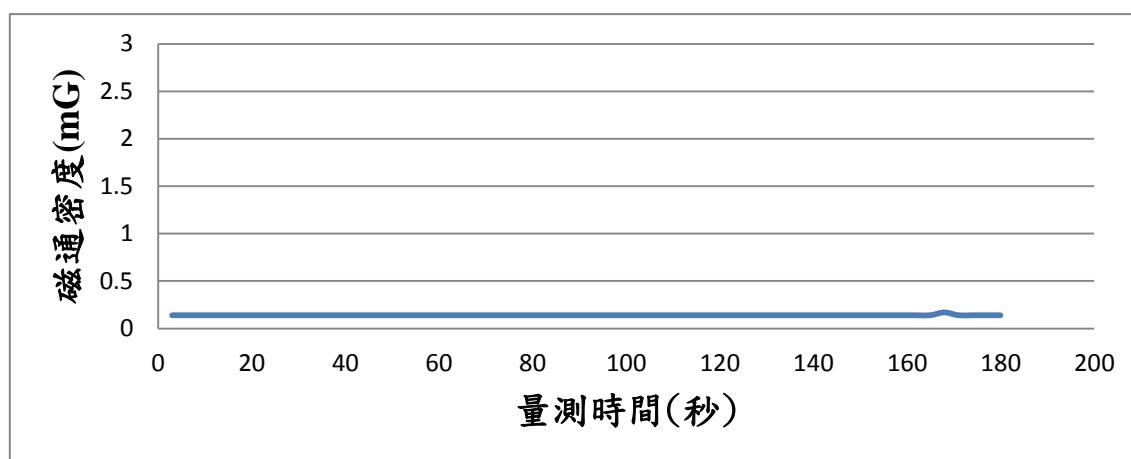


圖六十一、T6-5 非假日之磁場分佈

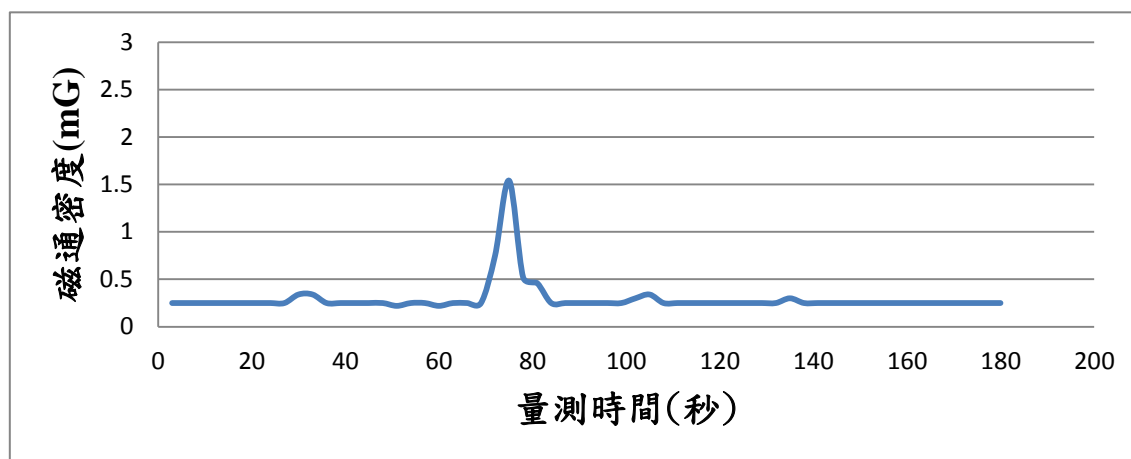
表三十一 T6-5 之磁場最大、最小及平均值

T6-5	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.93	0.82	0.821833	833
非假日	0.82	0.82	0.82	833

T7-1 磁場測量結果



圖六十二、T7-1 假日之磁場分佈

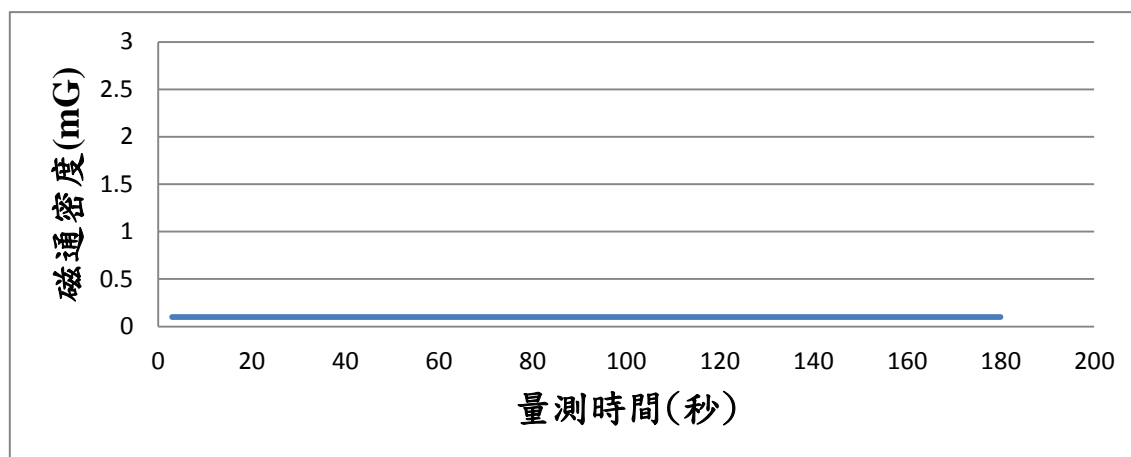


圖六十三、T7-1 非假日之磁場分佈

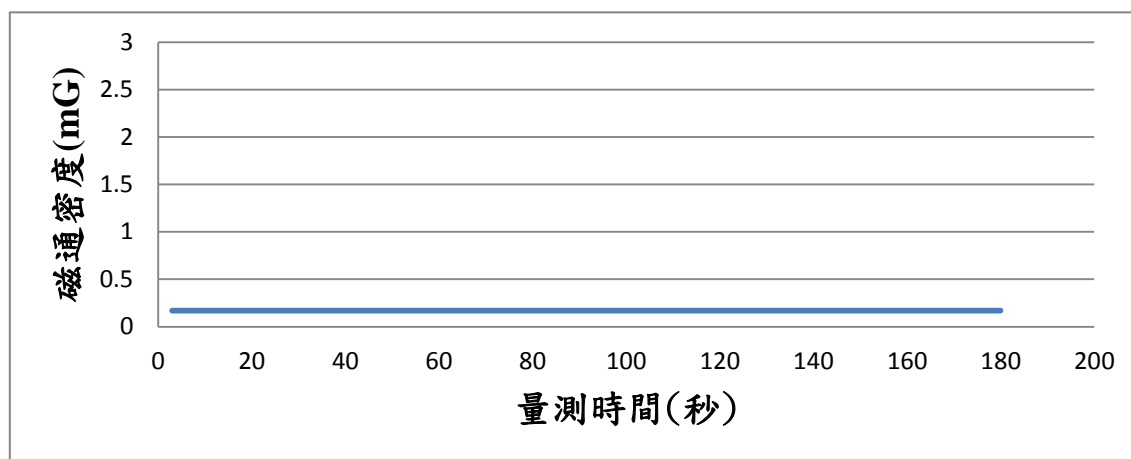
表三十二 T7-1 之磁場最大、最小及平均值

T7-1	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.17	0.14	0.1405	833
非假日	1.54	0.22	0.293	833

T7-2 磁場測量結果



圖六十四、T7-2 假日之磁場分佈

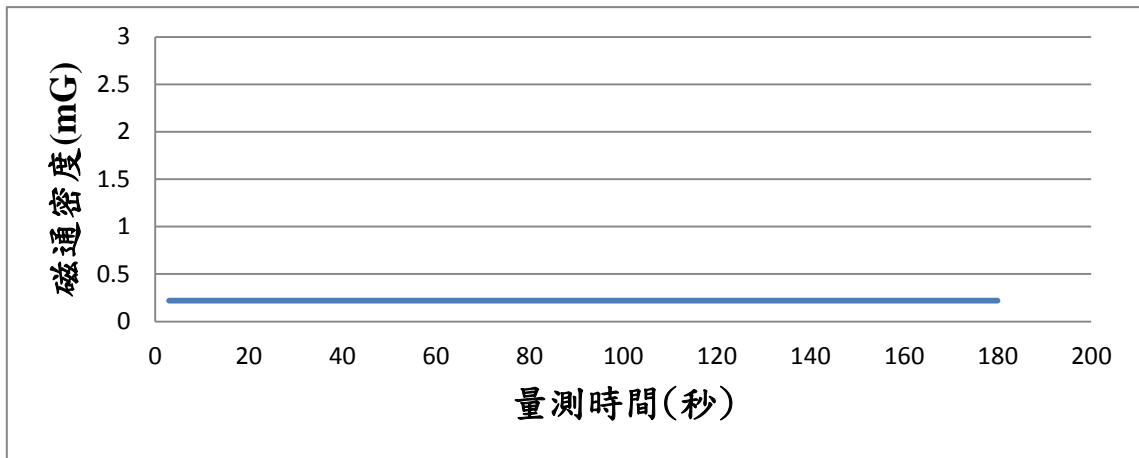


圖六十五、T7-2 非假日之磁場分佈

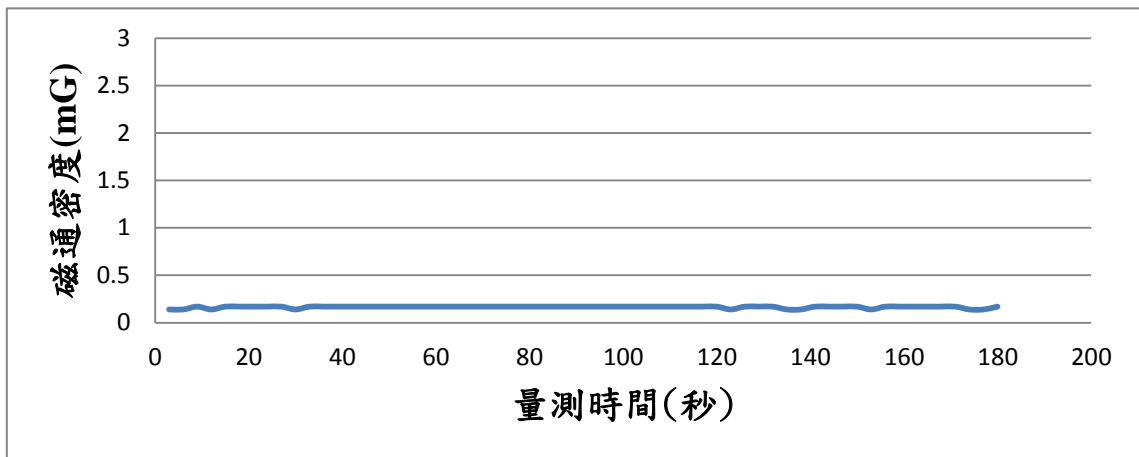
表三十三 T7-2 之磁場最大、最小及平均值

T7-2	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.1	0.1	0.1	833
非假日	0.17	0.17	0.17	833

T7-3 磁場測量結果



圖六十六、T7-3 假日之磁場分佈

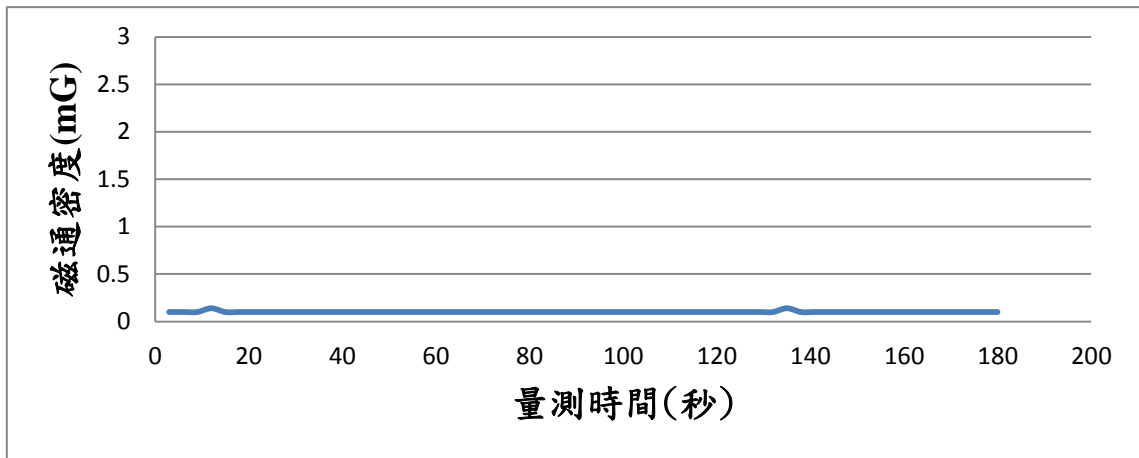


圖六十七、T7-3 非假日之磁場分佈

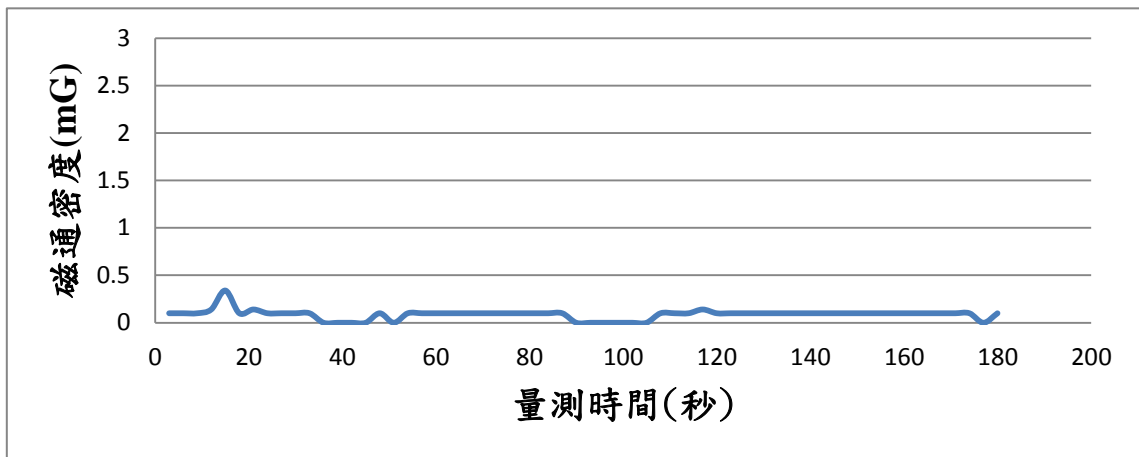
表三十四 T7-3 之磁場最大、最小及平均值

T7-3	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.22	0.22	0.22	833
非假日	0.17	0.14	0.165	833

T7-4 磁場測量結果



圖六十八、T7-4 假日之磁場分佈

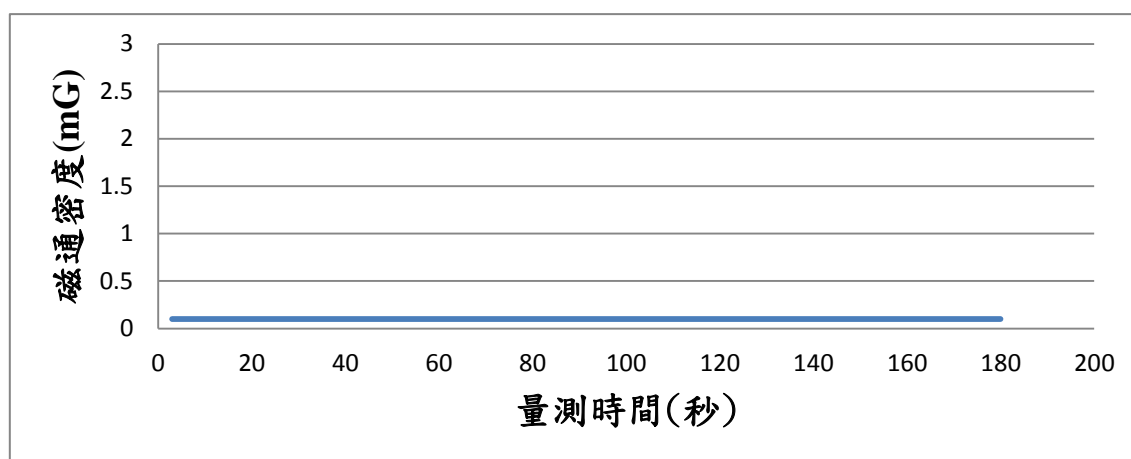


圖六十九、T7-4 非假日之磁場分佈

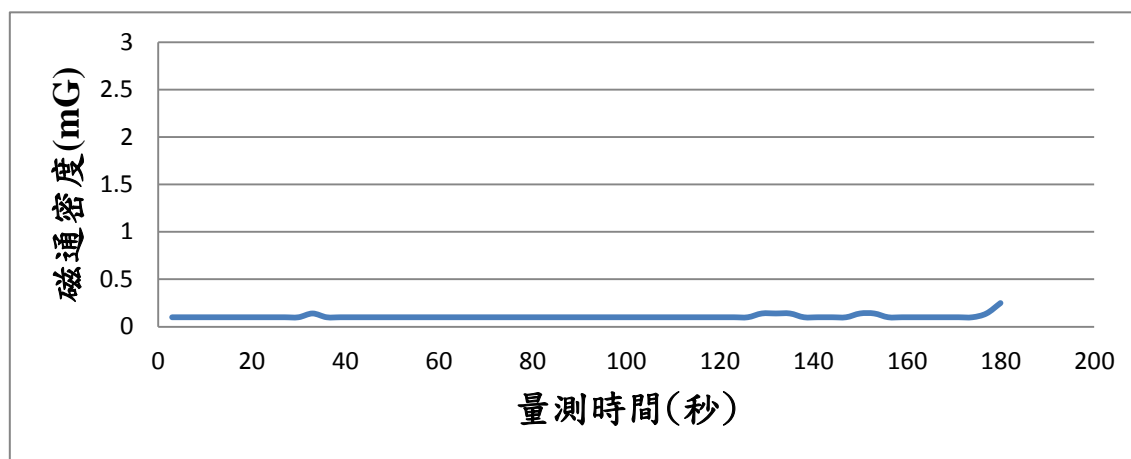
表三十五 T7-4 之磁場最大、最小及平均值

T7-4	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.14	0.1	0.101333	833
非假日	0.34	0	0.086	833

T7-5 磁場測量結果



圖七十、T7-5 假日之磁場分佈

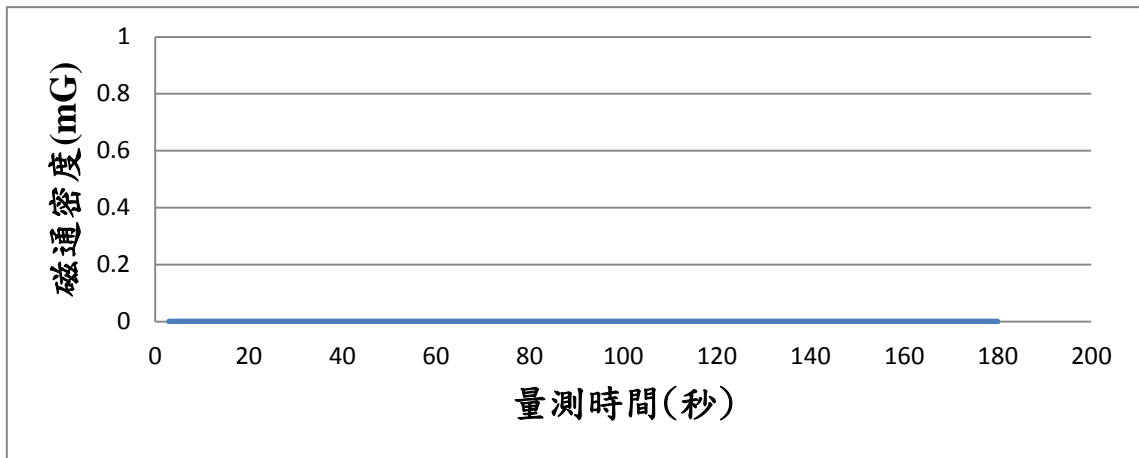


圖七十一、T7-5 非假日之磁場分佈

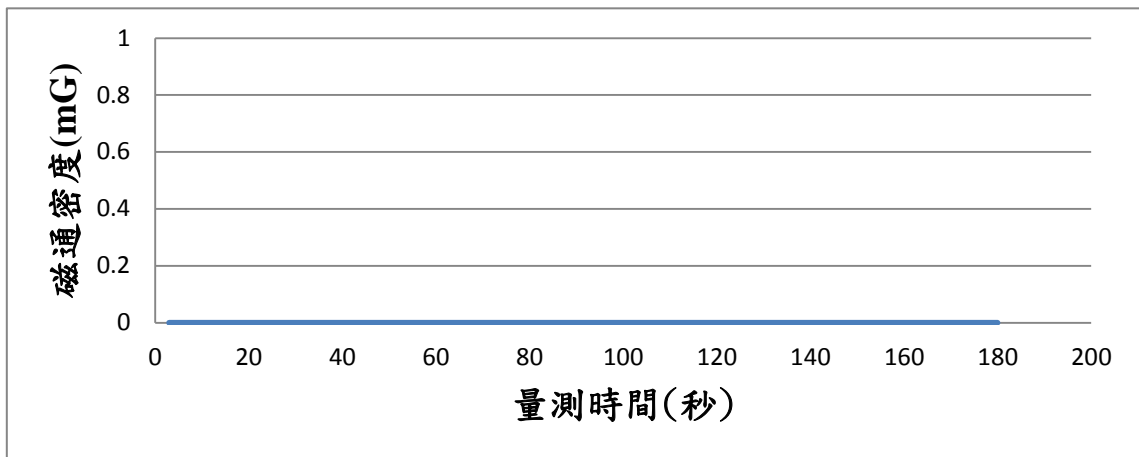
表三十六 T7-5 之磁場最大、最小及平均值

T7-5	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.1	0.1	0.1	833
非假日	0.25	0.1	0.107167	833

T8-1 磁場測量結果



圖七十二、T8-1 假日之磁場分佈

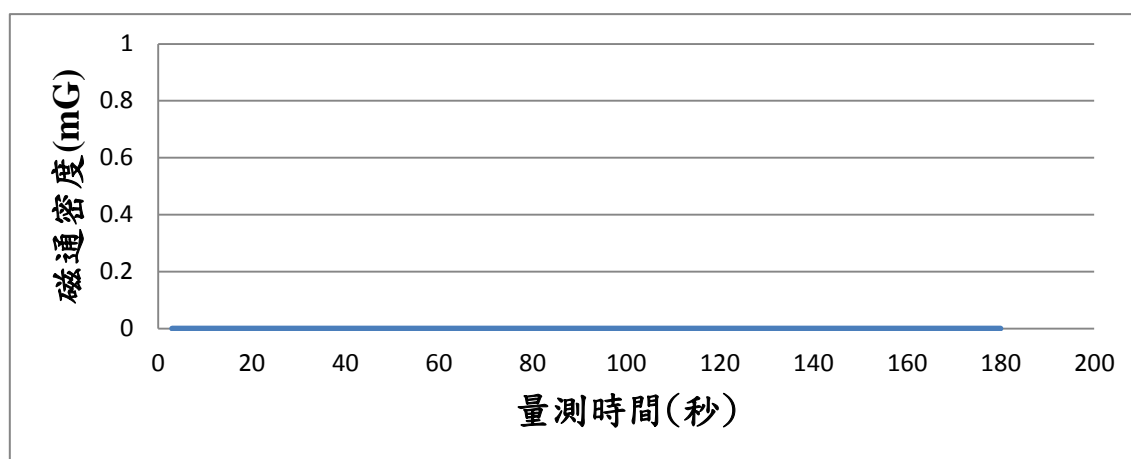


圖七十三、T8-1 非假日之磁場分佈

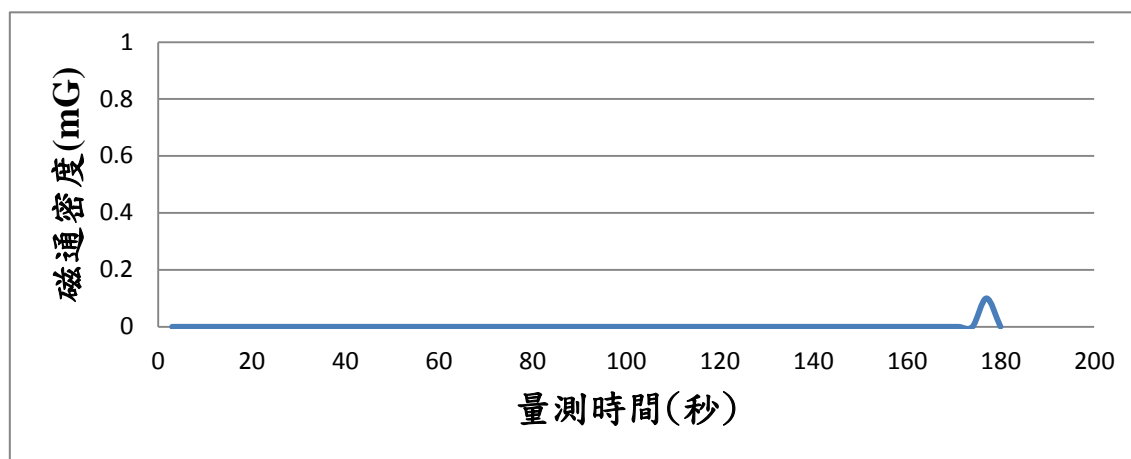
表三十七 T8-1 之磁場最大、最小及平均值

T8-1	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0	0	0	833
非假日	0	0	0	833

T8-2 磁場測量結果



圖七十四、T8-2 假日之磁場分佈

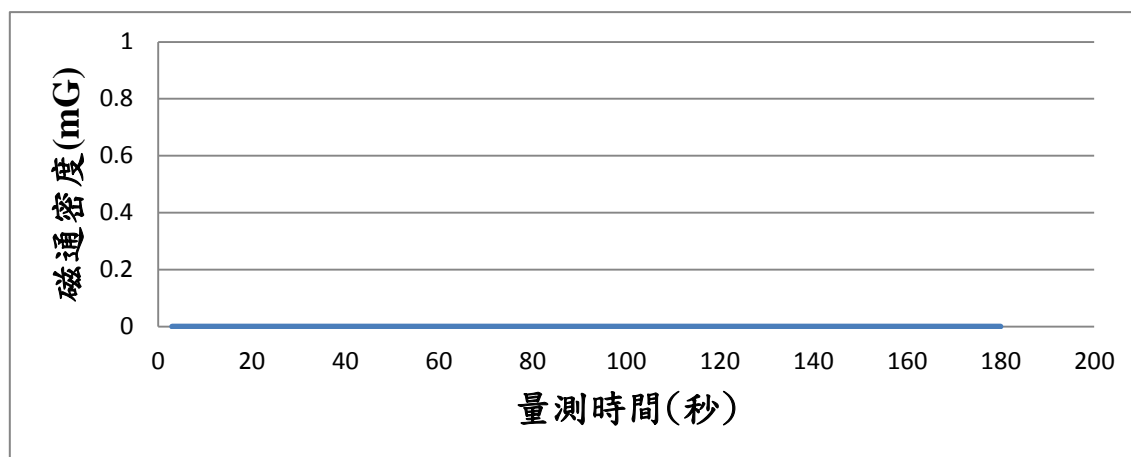


圖七十五、T8-2 非假日之磁場分佈

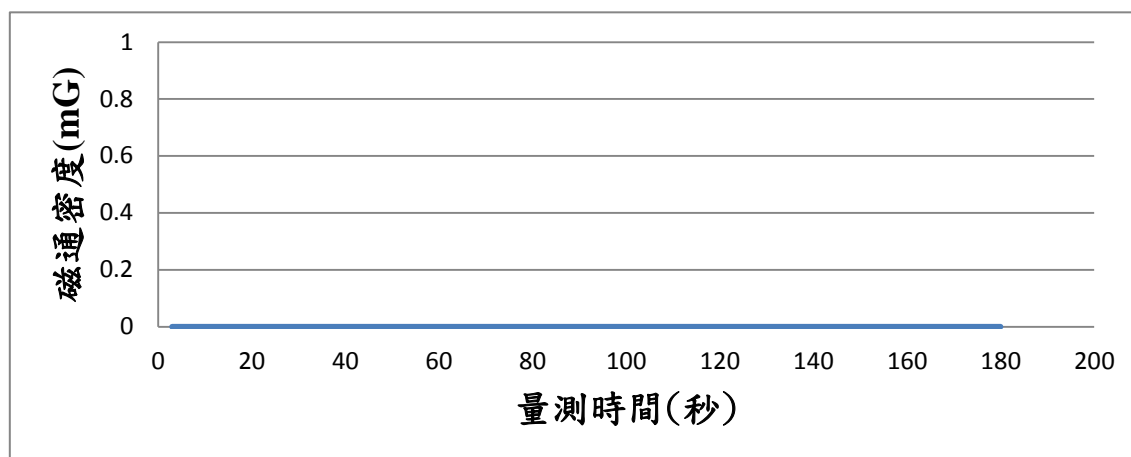
表三十八 T8-2 之磁場最大、最小及平均值

T8-2	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0	0	0	833
非假日	0.1	0	0.001667	833

T8-3 磁場測量結果



圖七十六、T8-3 假日之磁場分佈

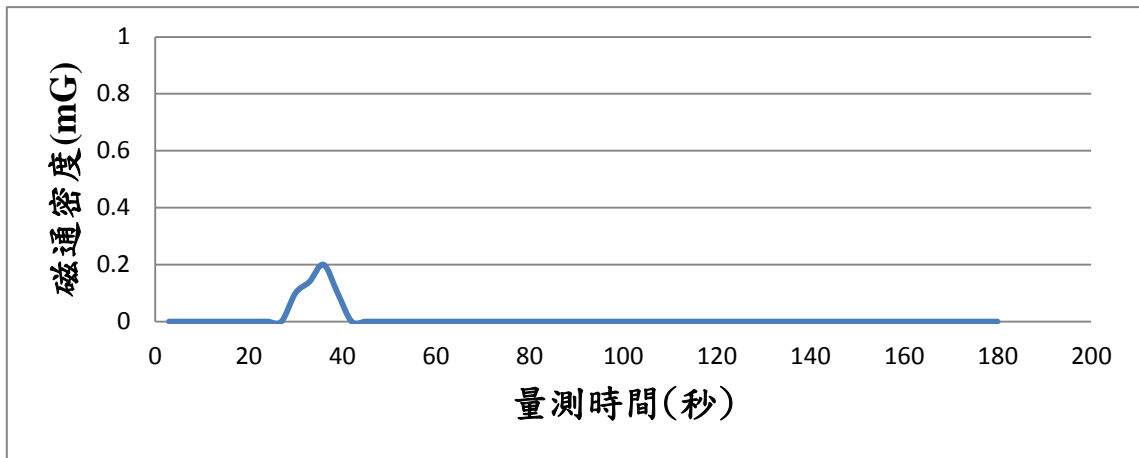


圖七十七、T8-3 非假日之磁場分佈

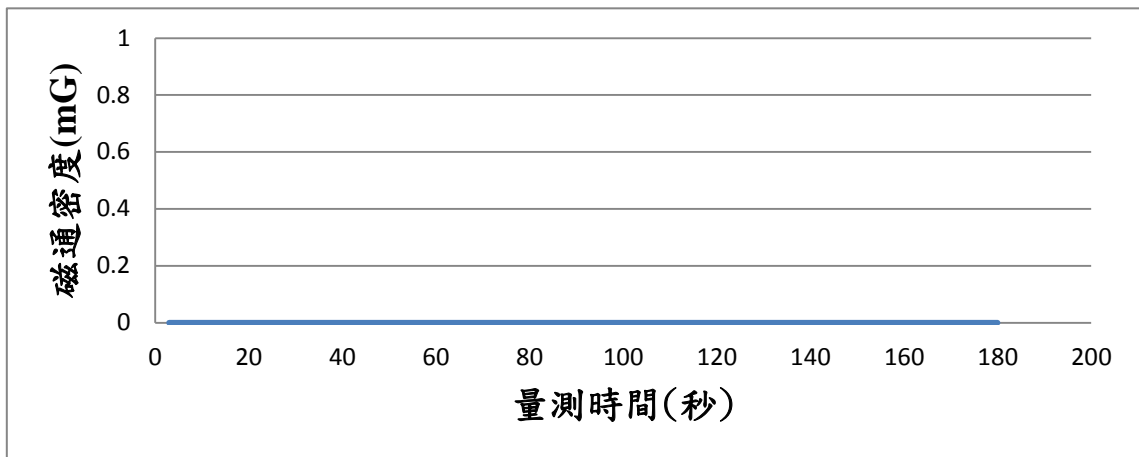
表三十九 T8-3 之磁場最大、最小及平均值

T8-3	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0	0	0	833
非假日	0	0	0	833

T8-4 磁場測量結果



圖七十八、T8-4 假日之磁場分佈

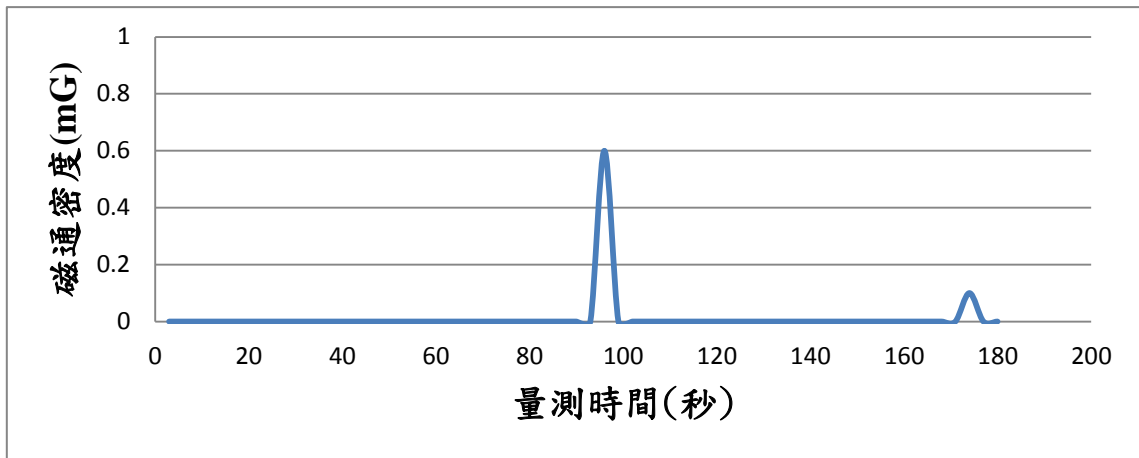


圖七十九、T8-4 非假日之磁場分佈

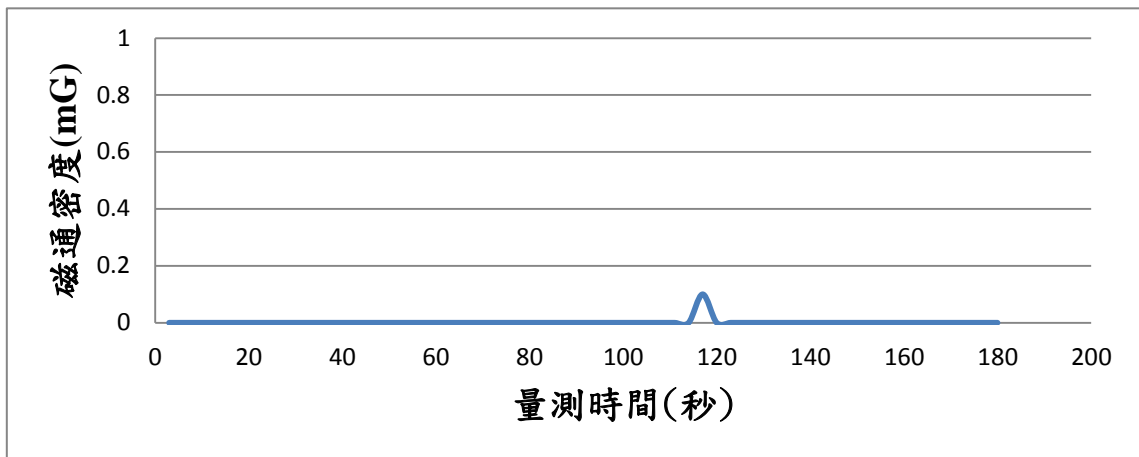
表四十 T8-4 之磁場最大、最小及平均值

T8-4	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.2	0	0.009	833
非假日	0	0	0	833

T8-5 磁場測量結果



圖八十、T8-5 假日之磁場分佈



圖八十一、T8-5 非假日之磁場分佈

表四十一 T8-5 之磁場最大、最小及平均值

T8-5	最大值 (mG)	最小值 (mG)	平均值 (mG)	環保署建議 值(mG)
假日	0.6	0	0.011667	833
非假日	0.1	0	0.001667	833

七、現場照片



照片一 T1 非假日的測量



照片二 T1 假日的測量



照片三 T2 非假日的測量



照片四 T2 假日的測量



照片五 T3 非假日的測量



照片六 T3 假日的測量



照片七 T4 非假日的測量



照片八 T4 假日的測量



照片九 T5 非假日的測量



照片十 T5 假日的測量



照片十一 T6 非假日的測量



照片十二 T6 假日的測量



照片十三 T7 非假日的測量



照片十四 T7 假日的測量



照片十五 T8 非假日的測量



照片十六 T8 假日的測量



照片十七 T1 量測點附近為空曠道路



照片十八 T2 量測點附近之變電箱



照片十九 T3 量測點旁為彰濱 ES 開關廠



照片二十 T4 量測點附近之路燈與變電箱



照片二十一 T5 量測點為興能電力前



照片二十二 T6 量測點附近有電力管線埋設



照片二十三 T7 量測點旁之變電箱



照片二十四 T8 量測點附近為空曠道路

八、量測數據

1. 磁場量測數據

說明：

Brd Reslt	time
三軸合成磁場密度值(mG)	時間(sec)

T1-1 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69

0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135
0	138
0	141

0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

T1-1 假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27

0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99

0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

T1-2 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18

0	21
0	24
0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129

0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

T1-2 假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51

0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162

0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114

0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

T1-3 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0.2	9
0.1	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81

T1-3 假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3

T1-4 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27
0	30
0	33

0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135
0	138
0	141
0	144

0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

T1-4 假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66

0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177

0	180
---	-----

T1-5 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96

0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

T1-5 假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18

0	21
0	24
0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129

0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

T2-1 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.55	3
0.57	6
0.55	9
0.55	12
0.55	15
0.55	18
0.55	21
0.55	24
0.55	27
0.46	30
0.55	33
0.55	36
0.64	39
0.55	42
0.55	45
0.55	48

0.55	51
0.55	54
0.55	57
0.55	60
0.55	63
0.55	66
0.64	69
0.55	72
0.55	75
0.55	78
0.64	81
0.55	84
0.55	87
0.55	90
0.55	93
0.55	96
0.55	99
0.55	102
0.55	105
0.55	108
0.46	111
0.55	114
0.55	117
0.55	120
0.55	123
0.55	126
0.55	129
0.55	132
0.55	135
0.55	138
0.55	141
0.55	144
0.55	147
0.55	150
0.55	153
0.55	156
0.55	159

0.55	162
0.55	165
0.55	168
0.55	171
0.55	174
0.55	177
0.55	180

T2-1 假日

Brd Reslt	time(sec)
1.21	3
1.21	6
1.21	9
1.21	12
1.21	15
1.21	18
1.21	21
1.29	24
1.27	27
1.21	30
1.29	33
1.29	36
1.29	39
1.29	42
1.29	45
1.21	48
1.21	51
1.21	54
1.21	57
1.21	60
1.21	63
1.21	66
1.21	69
1.21	72
1.21	75
1.21	78
1.21	81

1.21	84
1.21	87
1.21	90
1.21	93
1.21	96
1.35	99
1.29	102
1.29	105
1.35	108
1.35	111
1.35	114
1.35	117
1.35	120
1.35	123
1.35	126
1.35	129
1.35	132
1.35	135
1.35	138
1.35	141
1.35	144
1.35	147
1.35	150
1.35	153
1.27	156
1.35	159
1.35	162
1.35	165
1.35	168
1.35	171
1.35	174
1.35	177
1.35	180

T2-2 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.3	3
0.38	6
0.3	9
0.3	12
0.3	15
0.3	18
0.3	21
0.3	24
0.3	27
0.3	30
0.3	33
0.3	36
0.3	39
0.3	42
0.3	45
0.38	48
0.38	51
0.3	54
0.3	57
0.3	60
0.38	63
0.3	66
0.3	69
0.3	72
0.3	75
0.3	78
0.3	81
0.3	84
0.3	87
0.3	90
0.3	93
0.3	96
0.3	99
0.3	102
0.3	105
0.3	108

0.3	111
0.3	114
0.3	117
0.3	120
0.3	123
0.3	126
0.38	129
0.38	132
0.38	135
0.38	138
0.3	141
0.38	144
0.38	147
0.38	150
0.38	153
0.38	156
0.38	159
0.38	162
0.38	165
0.38	168
0.38	171
0.38	174
0.38	177
0.38	180

T2-2 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.57	3
0.57	6
0.57	9
0.57	12
0.65	15
0.57	18
0.65	21
0.65	24
0.65	27
0.65	30

0.65	33
0.57	36
0.65	39
0.65	42
0.57	45
0.57	48
0.65	51
0.65	54
0.65	57
0.65	60
0.57	63
0.57	66
0.65	69
0.65	72
0.57	75
0.57	78
0.65	81
0.65	84
0.57	87
0.57	90
0.65	93
0.57	96
0.57	99
0.57	102
0.65	105
0.57	108
0.65	111
0.65	114
0.65	117
0.65	120
0.57	123
0.57	126
0.57	129
0.57	132
0.57	135
0.57	138
0.57	141

0.57	144
0.57	147
0.57	150
0.57	153
0.57	156
0.57	159
0.57	162
0.57	165
0.57	168
0.57	171
0.57	174
0.57	177
0.57	180

T2-3 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.3	3
0.3	6
0.3	9
0.3	12
0.3	15
0.3	18
0.38	21
0.3	24
0.3	27
0.3	30
0.38	33
0.3	36
0.3	39
0.38	42
0.38	45
0.3	48
0.3	51
0.3	54
0.3	57
0.38	60

0.38	63
0.3	66
0.3	69
0.3	72
0.3	75
0.3	78
0.3	81
0.3	84
0.38	87
0.3	90
0.3	93
0.3	96
0.3	99
0.3	102
0.38	105
0.3	108
0.38	111
0.38	114
0.38	117
0.38	120
0.38	123
0.38	126
0.3	129
0.38	132
0.38	135
0.38	138
0.38	141
0.38	144
0.38	147
0.38	150
0.38	153
0.38	156
0.38	159
0.38	162
0.38	165
0.38	168
0.38	171

0.38	174
0.38	177
0.38	180

T2-3 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.51	3
0.51	6
0.51	9
0.51	12
0.51	15
0.51	18
0.51	21
0.51	24
0.51	27
0.51	30
0.5	33
0.51	36
0.51	39
0.51	42
0.51	45
0.5	48
0.51	51
0.5	54
0.51	57
0.51	60
0.51	63
0.51	66
0.51	69
0.51	72
0.51	75
0.51	78
0.51	81
0.51	84
0.5	87
0.51	90
0.51	93

0.51	96
0.51	99
0.51	102
0.51	105
0.51	108
0.5	111
0.5	114
0.5	117
0.51	120
0.5	123
0.51	126
0.5	129
0.5	132
0.5	135
0.5	138
0.51	141
0.5	144
0.5	147
0.5	150
0.5	153
0.5	156
0.5	159
0.5	162
0.5	165
0.5	168
0.5	171
0.5	174
0.5	177
0.5	180

T2-4 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.73	3
0.74	6
0.73	9
0.73	12

0.74	15
0.73	18
0.73	21
0.73	24
0.73	27
0.73	30
0.73	33
0.74	36
0.73	39
0.74	42
0.73	45
0.73	48
0.74	51
0.73	54
0.73	57
0.74	60
0.73	63
0.73	66
0.73	69
0.73	72
0.73	75
0.74	78
0.74	81
0.74	84
0.73	87
0.76	90
0.76	93
0.76	96
0.76	99
0.76	102
0.76	105
0.74	108
0.73	111
0.76	114
0.73	117
0.76	120
0.76	123

0.76	126
0.76	129
0.76	132
0.76	135
0.76	138
0.76	141
0.76	144
0.76	147
0.76	150
0.76	153
0.76	156
0.76	159
0.76	162
0.76	165
0.76	168
0.76	171
0.76	174
0.76	177
0.85	180

T2-4 假日

Brd Reslt	time(sec)
1.35	3
1.27	6
1.35	9
1.27	12
1.27	15
1.27	18
1.21	21
1.27	24
1.27	27
1.21	30
1.27	33
1.27	36
1.21	39
1.21	42
1.27	45

1.21	48
1.21	51
1.21	54
1.21	57
1.27	60
1.27	63
1.27	66
1.27	69
1.35	72
1.35	75
1.35	78
1.35	81
1.35	84
1.35	87
1.35	90
1.35	93
1.35	96
1.35	99
1.35	102
1.35	105
1.35	108
1.35	111
1.35	114
1.35	117
1.35	120
1.27	123
1.35	126
1.27	129
1.27	132
1.35	135
1.35	138
1.35	141
1.35	144
1.35	147
1.35	150
1.35	153
1.35	156

1.35	159
1.35	162
1.35	165
1.35	168
1.35	171
1.35	174
1.27	177
1.35	180

T2-5 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.64	3
0.64	6
0.64	9
0.64	12
0.64	15
0.64	18
0.64	21
0.64	24
0.64	27
0.55	30
0.55	33
0.64	36
0.55	39
0.55	42
0.55	45
0.55	48
0.55	51
0.64	54
0.55	57
0.64	60
0.64	63
0.64	66
0.64	69
0.64	72
0.64	75

0.64	78
0.64	81
0.64	84
0.64	87
0.64	90
0.64	93
0.64	96
0.64	99
0.64	102
0.64	105
0.64	108
0.64	111
0.64	114
0.64	117
0.64	120
0.64	123
0.64	126
0.64	129
0.64	132
0.64	135
0.64	138
0.64	141
0.64	144
0.64	147
0.64	150
0.64	153
0.64	156
0.64	159
0.64	162
0.64	165
0.64	168
0.64	171
0.64	174
0.64	177
0.64	180

T2-5 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.93	3
0.93	6
0.93	9
0.93	12
0.86	15
0.93	18
0.93	21
0.93	24
0.93	27
0.93	30
0.93	33
0.93	36
0.93	39
0.93	42
0.93	45
0.93	48
0.93	51
0.93	54
0.93	57
0.93	60
0.93	63
0.93	66
0.93	69
0.93	72
0.93	75
0.93	78
0.93	81
0.93	84
0.93	87
0.93	90
0.93	93
0.93	96
0.93	99
0.93	102
0.93	105
0.93	108

0.93	111
0.93	114
0.93	117
0.93	120
0.93	123
0.93	126
0.93	129
0.93	132
0.93	135
0.93	138
0.93	141
0.93	144
0.93	147
0.93	150
0.94	153
0.94	156
0.94	159
0.88	162
0.94	165
0.94	168
0.94	171
0.94	174
0.9	177
0.9	180

T3-1 非假日

Brd Reslt	time(sec)
2.29	3
2.36	6
2.29	9
2.29	12
2.29	15
2.29	18
2.29	21
2.29	24
2.29	27

2.29	30
2.29	33
2.29	36
2.29	39
2.36	42
2.36	45
2.36	48
2.29	51
2.29	54
2.29	57
2.29	60
2.29	63
2.29	66
2.29	69
2.29	72
2.29	75
2.29	78
2.29	81
2.29	84
2.29	87
2.29	90
2.29	93
2.29	96
2.29	99
2.29	102
2.29	105
2.29	108
2.29	111
2.29	114
2.29	117
2.29	120
2.29	123
2.29	126
2.29	129
2.29	132
2.29	135
2.29	138

2.29	141
2.29	144
2.29	147
2.29	150
2.29	153
2.29	156
2.29	159
2.29	162
2.29	165
2.29	168
2.29	171
2.36	174
2.29	177
2.29	180

T3-1 假日

Brd Reslt	time(sec)
2.2	3
2.2	6
2.2	9
2.2	12
2.2	15
2.2	18
2.2	21
2.2	24
2.2	27
2.2	30
2.2	33
2.2	36
2.2	39
2.29	42
2.29	45
2.2	48
2.2	51
2.29	54
2.2	57
2.2	60

2.2	63
2.15	66
2.2	69
2.2	72
2.15	75
2.2	78
2.15	81
2.15	84
2.15	87
2.2	90
2.2	93
2.2	96
2.2	99
2.2	102
2.15	105
2.2	108
2.2	111
2.2	114
2.2	117
2.2	120
2.2	123
2.2	126
2.2	129
2.15	132
2.2	135
2.2	138
2.2	141
2.2	144
2.2	147
2.2	150
2.2	153
2.2	156
2.2	159
2.2	162
2.2	165
2.15	168
2.2	171

2.15	174
2.2	177
2.2	180

T3-2 非假日

Brd Reslt	time(sec)
3.38	3
3.38	6
3.38	9
3.38	12
3.38	15
3.38	18
3.35	21
3.38	24
3.38	27
3.38	30
3.38	33
3.35	36
3.38	39
3.38	42
3.21	45
3.35	48
3.3	51
3.35	54
3.35	57
3.3	60
3.26	63
3.35	66
3.3	69
3.26	72
3.35	75
3.26	78
3.21	81
3.21	84
3.3	87

3.26	90
3.3	93
3.3	96
3.26	99
3.33	102
3.25	105
3.26	108
3.25	111
3.25	114
3.38	117
3.33	120
3.25	123
3.21	126
3.33	129
3.21	132
3.21	135
3.21	138
3.21	141
3.21	144
3.21	147
3.26	150
3.21	153
3.26	156
3.21	159
3.21	162
3.26	165
3.26	168
3.26	171
3.26	174
3.26	177
3.26	180

T3-2 假日

Brd Reslt	time(sec)
2.47	3
2.49	6
2.49	9

2.49	12
2.49	15
2.53	18
2.53	21
2.53	24
2.47	27
2.47	30
2.53	33
2.47	36
2.47	39
2.53	42
2.47	45
2.53	48
2.53	51
2.47	54
2.45	57
2.53	60
2.47	63
2.47	66
2.45	69
2.5	72
2.5	75
2.45	78
2.45	81
2.45	84
2.36	87
2.45	90
2.36	93
2.45	96
2.36	99
2.36	102
2.36	105
2.36	108
2.45	111
2.36	114
2.36	117
2.36	120

2.36	123
2.36	126
2.36	129
2.36	132
2.45	135
2.36	138
2.36	141
2.36	144
2.36	147
2.45	150
2.45	153
2.45	156
2.45	159
2.45	162
2.45	165
2.45	168
2.45	171
2.36	174
2.45	177
2.36	180

T3-3 非假日

Brd Reslt	time(sec)
3.19	3
3.19	6
3.19	9
3.19	12
3.19	15
3.19	18
3.1	21
3.19	24
3.1	27
3.1	30
3.19	33
3.1	36
3.19	39

3.19	42
3.19	45
3.1	48
3.19	51
3.19	54
3.19	57
3.1	60
3.1	63
3.19	66
3.19	69
3.19	72
3.1	75
3.1	78
3.1	81
3.1	84
3.1	87
3.1	90
3.1	93
3.09	96
3.09	99
3.09	102
3.09	105
3.09	108
3.09	111
3.09	114
3.09	117
3	120
3	123
3	126
3	129
3	132
3	135
3	138
3	141
3	144
3	147
3	150

3	153
3	156
3	159
3	162
3	165
3	168
3	171
3	174
3	177
3	180

T3-3 假日

Brd Reslt	time(sec)
2.34	3
2.34	6
2.34	9
2.25	12
2.34	15
2.34	18
2.34	21
2.34	24
2.34	27
2.34	30
2.25	33
2.34	36
2.34	39
2.34	42
2.34	45
2.34	48
2.34	51
2.34	54
2.34	57
2.34	60
2.34	63
2.34	66
2.34	69
2.35	72

2.35	75
2.35	78
2.35	81
2.35	84
2.35	87
2.35	90
2.35	93
2.35	96
2.34	99
2.35	102
2.35	105
2.35	108
2.35	111
2.35	114
2.35	117
2.35	120
2.35	123
2.35	126
2.44	129
2.35	132
2.35	135
2.35	138
2.35	141
2.44	144
2.36	147
2.44	150
2.49	153
2.49	156
2.49	159
2.44	162
2.44	165
2.44	168
2.44	171
2.44	174
2.49	177
2.49	180

T3-4 非假日

Brd Reslt	time(sec)
2.22	3
2.22	6
2.22	9
2.22	12
2.22	15
2.22	18
2.22	21
2.22	24
2.22	27
2.22	30
2.22	33
2.22	36
2.22	39
2.22	42
2.22	45
2.22	48
2.22	51
2.22	54
2.22	57
2.22	60
2.22	63
2.22	66
2.22	69
2.22	72
2.22	75
2.22	78
2.22	81
2.22	84
2.22	87
2.22	90
2.22	93
2.22	96
2.22	99
2.22	102

2.22	105
2.22	108
2.22	111
2.22	114
2.22	117
2.22	120
2.22	123
2.22	126
2.22	129
2.22	132
2.22	135
2.2	138
2.22	141
2.22	144
2.2	147
2.2	150
2.2	153
2.2	156
2.2	159
2.2	162
2.2	165
2.2	168
2.2	171
2.2	174
2.2	177
2.2	180

T3-4 假日

Brd Reslt	time(sec)
2.25	3
2.25	6
2.16	9
2.25	12
2.25	15
2.16	18
2.16	21
2.25	24

2.25	27
2.25	30
2.25	33
2.25	36
2.25	39
2.11	42
2.25	45
2.25	48
2.25	51
2.28	54
2.25	57
2.25	60
2.28	63
2.28	66
2.28	69
2.28	72
2.28	75
2.2	78
2.2	81
2.2	84
2.2	87
2.2	90
2.28	93
2.28	96
2.28	99
2.28	102
2.28	105
2.28	108
2.28	111
2.28	114
2.28	117
2.28	120
2.28	123
2.28	126
2.28	129
2.28	132
2.28	135

2.28	138
2.28	141
2.28	144
2.28	147
2.28	150
2.28	153
2.28	156
2.28	159
2.28	162
2.28	165
2.28	168
2.28	171
2.28	174
2.28	177
2.28	180

T3-5 非假日

Brd Reslt	time(sec)
2.28	3
2.28	6
2.35	9
2.28	12
2.35	15
2.35	18
2.28	21
2.28	24
2.25	27
2.28	30
2.25	33
2.25	36
2.25	39
2.25	42
2.25	45
2.25	48
2.25	51
2.25	54

2.25	57
2.25	60
2.25	63
2.25	66
2.25	69
2.25	72
2.25	75
2.25	78
2.25	81
2.25	84
2.25	87
2.25	90
2.25	93
2.25	96
2.25	99
2.25	102
2.25	105
2.25	108
2.25	111
2.25	114
2.25	117
2.25	120
2.25	123
2.25	126
2.25	129
2.25	132
2.25	135
2.25	138
2.25	141
2.25	144
2.25	147
2.25	150
2.25	153
2.25	156
2.25	159
2.25	162
2.25	165

2.25	168
2.25	171
2.25	174
2.25	177
2.25	180

T3-5 假日

Brd Reslt	time(sec)
2.41	3
2.36	6
2.41	9
2.41	12
2.33	15
2.33	18
2.33	21
2.33	24
2.33	27
2.33	30
2.33	33
2.33	36
2.33	39
2.33	42
2.3	45
2.33	48
2.33	51
2.33	54
2.33	57
2.33	60
2.33	63
2.33	66
2.33	69
2.33	72
2.33	75
2.33	78
2.33	81
2.33	84
2.33	87

2.33	90
2.33	93
2.33	96
2.33	99
2.41	102
2.41	105
2.41	108
2.41	111
2.41	114
2.41	117
2.41	120
2.44	123
2.36	126
2.36	129
2.36	132
2.36	135
2.36	138
2.41	141
2.36	144
2.41	147
2.41	150
2.36	153
2.41	156
2.41	159
2.41	162
2.41	165
2.36	168
2.41	171
2.41	174
2.41	177
2.41	180

T4-1 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.34	3
0.38	6

0.34	9
0.34	12
0.34	15
0.34	18
0.34	21
0.34	24
0.34	27
0.34	30
0.34	33
0.34	36
0.34	39
0.34	42
0.34	45
0.34	48
0.34	51
0.34	54
0.34	57
0.34	60
0.34	63
0.34	66
0.34	69
0.34	72
0.34	75
0.34	78
0.34	81
0.34	84
0.34	87
0.34	90
0.34	93
0.34	96
0.34	99
0.34	102
0.34	105
0.34	108
0.34	111
0.34	114
0.34	117

0.34	120
0.34	123
0.34	126
0.34	129
0.34	132
0.34	135
0.34	138
0.34	141
0.34	144
0.34	147
0.34	150
0.34	153
0.34	156
0.34	159
0.34	162
0.34	165
0.34	168
0.34	171
0.34	174
0.34	177
0.34	180

T4-1 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.25	3
0.25	6
0.25	9
0.25	12
0.25	15
0.25	18
0.25	21
0.25	24
0.25	27
0.25	30
0.25	33
0.25	36
0.25	39

0.25	42
0.25	45
0.25	48
0.25	51
0.25	54
0.25	57
0.25	60
0.25	63
0.25	66
0.25	69
0.25	72
0.25	75
0.25	78
0.25	81
0.25	84
0.25	87
0.25	90
0.25	93
0.25	96
0.25	99
0.25	102
0.25	105
0.25	108
0.25	111
0.25	114
0.34	117
0.34	120
0.25	123
0.25	126
0.25	129
0.25	132
0.25	135
0.25	138
0.25	141
0.25	144
0.25	147
0.25	150

0.25	153
0.25	156
0.25	159
0.25	162
0.25	165
0.25	168
0.25	171
0.25	174
0.25	177
0.25	180

T4-2 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.22	3
0.22	6
0.22	9
0.22	12
0.22	15
0.22	18
0.22	21
0.22	24
0.22	27
0.22	30
0.22	33
0.22	36
0.22	39
0.22	42
0.22	45
0.22	48
0.22	51
0.22	54
0.22	57
0.22	60
0.22	63
0.22	66

0.22	69
0.22	72
0.22	75
0.22	78
0.22	81
0.22	84
0.22	87
0.22	90
0.22	93
0.22	96
0.22	99
0.22	102
0.22	105
0.22	108
0.22	111
0.22	114
0.22	117
0.22	120
0.22	123
0.22	126
0.22	129
0.22	132
0.22	135
0.22	138
0.22	141
0.22	144
0.22	147
0.22	150
0.22	153
0.22	156
0.22	159
0.22	162
0.22	165
0.22	168
0.22	171
0.22	174
0.22	177

0.22	180
------	-----

T4-2 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.22	3
0.2	6
0.2	9
0.2	12
0.2	15
0.2	18
0.2	21
0.2	24
0.2	27
0.2	30
0.2	33
0.2	36
0.2	39
0.2	42
0.2	45
0.22	48
0.2	51
0.2	54
0.2	57
0.2	60
0.2	63
0.2	66
0.2	69
0.22	72
0.2	75
0.2	78
0.22	81
0.22	84
0.2	87
0.2	90
0.22	93
0.2	96
0.22	99

0.2	102
0.22	105
0.2	108
0.22	111
0.2	114
0.2	117
0.22	120
0.2	123
0.2	126
0.22	129
0.22	132
0.22	135
0.2	138
0.2	141
0.2	144
0.22	147
0.22	150
0.2	153
0.22	156
0.22	159
0.22	162
0.2	165
0.2	168
0.22	171
0.2	174
0.22	177
0.2	180

T4-3 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.25	3
0.25	6
0.25	9
0.25	12
0.25	15

0.25	18
0.25	21
0.25	24
0.25	27
0.25	30
0.25	33
0.25	36
0.25	39
0.25	42
0.25	45
0.25	48
0.25	51
0.25	54
0.25	57
0.25	60
0.25	63
0.25	66
0.25	69
0.25	72
0.25	75
0.25	78
0.25	81
0.25	84
0.25	87
0.25	90
0.25	93
0.25	96
0.25	99
0.25	102
0.25	105
0.25	108
0.25	111
0.25	114
0.25	117
0.25	120
0.25	123
0.25	126

0.25	129
0.25	132
0.25	135
0.25	138
0.25	141
0.25	144
0.25	147
0.25	150
0.25	153
0.25	156
0.25	159
0.25	162
0.25	165
0.25	168
0.25	171
0.25	174
0.25	177
0.25	180

T4-3 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.22	3
0.22	6
0.22	9
0.22	12
0.22	15
0.22	18
0.22	21
0.22	24
0.22	27
0.22	30
0.22	33
0.22	36
0.22	39
0.22	42
0.22	45
0.22	48

0.22	51
0.22	54
0.22	57
0.22	60
0.22	63
0.22	66
0.22	69
0.22	72
0.22	75
0.22	78
0.22	81
0.22	84
0.22	87
0.22	90
0.22	93
0.22	96
0.22	99
0.22	102
0.22	105
0.22	108
0.22	111
0.22	114
0.22	117
0.22	120
0.22	123
0.22	126
0.22	129
0.22	132
0.22	135
0.22	138
0.22	141
0.22	144
0.22	147
0.22	150
0.22	153
0.22	156
0.22	159

0.22	162
0.22	165
0.22	168
0.22	171
0.22	174
0.22	177
0.22	180

T4-4 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.38	3
0.38	6
0.38	9
0.38	12
0.38	15
0.38	18
0.38	21
0.38	24
0.38	27
0.38	30
0.38	33
0.38	36
0.38	39
0.38	42
0.38	45
0.38	48
0.38	51
0.38	54
0.38	57
0.38	60
0.38	63
0.38	66
0.38	69
0.38	72
0.38	75

0.38	78
0.38	81
0.38	84
0.38	87
0.38	90
0.38	93
0.38	96
0.38	99
0.38	102
0.38	105
0.38	108
0.38	111
0.38	114
0.38	117
0.38	120
0.38	123
0.38	126
0.38	129
0.38	132
0.38	135
0.38	138
0.38	141
0.38	144
0.38	147
0.38	150
0.38	153
0.38	156
0.38	159
0.38	162
0.38	165
0.38	168
0.38	171
0.38	174
0.38	177
0.38	180

T4-4 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.22	3
0.22	6
0.22	9
0.22	12
0.22	15
0.22	18
0.22	21
0.22	24
0.22	27
0.22	30
0.22	33
0.22	36
0.22	39
0.22	42
0.22	45
0.22	48
0.22	51
0.22	54
0.22	57
0.22	60
0.22	63
0.22	66
0.22	69
0.22	72
0.22	75
0.22	78
0.22	81
0.22	84
0.22	87
0.22	90
0.22	93
0.22	96
0.22	99
0.22	102
0.22	105
0.22	108

0.22	111
0.22	114
0.22	117
0.22	120
0.22	123
0.22	126
0.22	129
0.22	132
0.22	135
0.22	138
0.22	141
0.22	144
0.22	147
0.22	150
0.22	153
0.22	156
0.22	159
0.22	162
0.22	165
0.22	168
0.22	171
0.22	174
0.22	177
0.22	180

T4-5 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.34	3
0.34	6
0.34	9
0.34	12
0.34	15
0.34	18
0.34	21
0.34	24

0.34	27
0.34	30
0.34	33
0.34	36
0.34	39
0.34	42
0.34	45
0.34	48
0.34	51
0.34	54
0.34	57
0.34	60
0.34	63
0.34	66
0.34	69
0.34	72
0.34	75
0.34	78
0.34	81
0.34	84
0.34	87
0.34	90
0.34	93
0.34	96
0.34	99
0.34	102
0.34	105
0.34	108
0.34	111
0.34	114
0.34	117
0.34	120
0.34	123
0.34	126
0.34	129
0.34	132
0.34	135

0.34	138
0.34	141
0.34	144
0.34	147
0.34	150
0.34	153
0.34	156
0.34	159
0.34	162
0.34	165
0.34	168
0.34	171
0.34	174
0.34	177
0.34	180

T4-5 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.25	3
0.25	6
0.25	9
0.25	12
0.25	15
0.25	18
0.25	21
0.22	24
0.25	27
0.22	30
0.22	33
0.25	36
0.22	39
0.22	42
0.22	45
0.25	48
0.25	51
0.25	54
0.25	57

0.25	60
0.25	63
0.25	66
0.25	69
0.22	72
0.25	75
0.25	78
0.22	81
0.25	84
0.22	87
0.22	90
0.25	93
0.25	96
0.25	99
0.25	102
0.22	105
0.25	108
0.22	111
0.22	114
0.22	117
0.25	120
0.22	123
0.22	126
0.25	129
0.22	132
0.25	135
0.25	138
0.22	141
0.25	144
0.25	147
0.22	150
0.25	153
0.25	156
0.25	159
0.25	162
0.25	165
0.25	168

0.25	171
0.25	174
0.25	177
0.25	180

T5-1 非假日

Brd Reslt	time(sec)
2.9	3
2.9	6
2.9	9
2.9	12
2.9	15
2.9	18
2.9	21
2.9	24
2.9	27
2.9	30
2.9	33
2.97	36
2.9	39
2.9	42
2.9	45
2.9	48
2.9	51
2.9	54
2.9	57
2.9	60
2.9	63
2.9	66
2.9	69
2.97	72
2.9	75
2.9	78
2.9	81
2.9	84
2.9	87
2.9	90

2.9	93
2.97	96
2.97	99
2.9	102
2.9	105
2.97	108
2.97	111
2.9	114
2.97	117
2.9	120
2.9	123
2.9	126
2.97	129
2.9	132
2.9	135
2.97	138
2.97	141
2.9	144
2.9	147
2.97	150
2.97	153
2.97	156
2.97	159
2.97	162
2.97	165
2.97	168
2.97	171
2.97	174
2.97	177
2.97	180

T5-1 假日

Brd Reslt	time(sec)
1.14	3
1.06	6
1.27	9
1.15	12

1.01	15
1.06	18
1.06	21
1.14	24
1.14	27
1.14	30
1.14	33
1.14	36
1.06	39
1.06	42
1.14	45
1.14	48
1.14	51
1.14	54
1.14	57
1.21	60
1.14	63
1.14	66
1.14	69
1.06	72
1.06	75
1.06	78
1.14	81
1.14	84
1.14	87
1.06	90
1.06	93
1.06	96
1.14	99
1.06	102
1.06	105
1.06	108
1.06	111
1.06	114
1.06	117
1.06	120
1.06	123

1.06	126
1.06	129
1.06	132
1.06	135
1.06	138
1.06	141
1.06	144
1.06	147
1.06	150
1.06	153
1.06	156
1.06	159
1.06	162
1.06	165
1.06	168
1.06	171
1.14	174
1.06	177
1.06	180

T5-2 非假日

Brd Reslt	time(sec)
1.91	3
1.91	6
1.91	9
1.91	12
1.91	15
1.91	18
1.91	21
1.91	24
1.91	27
1.91	30
1.86	33
1.86	36
1.91	39

1.86	42
1.86	45
1.95	48
1.86	51
1.95	54
1.91	57
1.86	60
1.86	63
1.86	66
1.91	69
1.91	72
1.91	75
1.91	78
1.86	81
1.86	84
1.95	87
1.95	90
1.86	93
1.86	96
1.86	99
1.86	102
1.86	105
1.86	108
1.86	111
1.86	114
1.86	117
1.86	120
1.86	123
1.86	126
1.86	129
1.86	132
1.95	135
1.86	138
1.86	141
1.86	144
1.86	147
1.86	150

1.86	153
1.91	156
1.91	159
1.91	162
1.91	165
1.91	168
1.91	171
1.91	174
1.91	177
1.91	180

T5-2 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.76	3
0.76	6
0.76	9
0.76	12
0.75	15
0.75	18
0.75	21
0.79	24
0.79	27
0.79	30
0.75	33
0.79	36
0.79	39
0.79	42
0.79	45
0.79	48
0.79	51
0.79	54
0.79	57
0.79	60
0.79	63
0.76	66
0.76	69
0.76	72

0.76	75
0.76	78
0.76	81
0.76	84
0.76	87
0.76	90
0.76	93
0.76	96
0.76	99
0.76	102
0.76	105
0.76	108
0.76	111
0.76	114
0.76	117
0.76	120
0.76	123
0.76	126
0.76	129
0.76	132
0.76	135
0.76	138
0.76	141
0.76	144
0.76	147
0.76	150
0.76	153
0.76	156
0.76	159
0.76	162
0.76	165
0.76	168
0.76	171
0.76	174
0.76	177
0.76	180

T5-3 非假日

Brd Reslt	time(sec)
1.75	3
1.75	6
1.75	9
1.75	12
1.75	15
1.75	18
1.75	21
1.75	24
1.75	27
1.75	30
1.75	33
1.75	36
1.75	39
1.75	42
1.75	45
1.75	48
1.75	51
1.75	54
1.75	57
1.75	60
1.75	63
1.8	66
1.71	69
1.71	72
1.71	75
1.71	78
1.71	81
1.71	84
1.71	87
1.71	90
1.71	93
1.71	96

1.71	99
1.71	102
1.71	105
1.71	108
1.75	111
1.75	114
1.75	117
1.75	120
1.75	123
1.75	126
1.75	129
1.75	132
1.75	135
1.75	138
1.75	141
1.75	144
1.75	147
1.75	150
1.75	153
1.75	156
1.75	159
1.75	162
1.75	165
1.75	168
1.75	171
1.75	174
1.75	177
1.75	180

T5-3 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.64	3
0.64	6
0.68	9
0.64	12
0.64	15
0.64	18

0.64	21
0.64	24
0.64	27
0.64	30
0.64	33
0.64	36
0.64	39
0.64	42
0.64	45
0.68	48
0.68	51
0.68	54
0.68	57
0.68	60
0.68	63
0.68	66
0.68	69
0.68	72
0.68	75
0.68	78
0.68	81
0.68	84
0.68	87
0.68	90
0.68	93
0.68	96
0.68	99
0.68	102
0.68	105
0.68	108
0.68	111
0.68	114
0.68	117
0.68	120
0.68	123
0.68	126
0.68	129

0.68	132
0.68	135
0.68	138
0.68	141
0.68	144
0.68	147
0.68	150
0.68	153
0.68	156
0.68	159
0.68	162
0.68	165
0.68	168
0.68	171
0.68	174
0.68	177
0.68	180

T5-4 非假日

Brd Reslt	time(sec)
2.3	3
2.3	6
2.3	9
2.3	12
2.3	15
2.3	18
2.3	21
2.3	24
2.3	27
2.3	30
2.3	33
2.3	36
2.3	39
2.3	42
2.3	45

2.3	48
2.3	51
2.3	54
2.3	57
2.3	60
2.3	63
2.3	66
2.3	69
2.3	72
2.3	75
2.3	78
2.3	81
2.3	84
2.3	87
2.3	90
2.3	93
2.3	96
2.3	99
2.3	102
2.3	105
2.3	108
2.3	111
2.3	114
2.3	117
2.3	120
2.3	123
2.3	126
2.3	129
2.3	132
2.3	135
2.3	138
2.3	141
2.3	144
2.3	147
2.3	150
2.3	153
2.3	156

2.3	159
2.3	162
2.3	165
2.3	168
2.3	171
2.3	174
2.3	177
2.3	180

T5-4 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.81	3
0.8	6
0.76	9
0.8	12
0.76	15
0.76	18
0.76	21
0.76	24
0.76	27
0.76	30
0.8	33
0.8	36
0.8	39
0.76	42
0.8	45
0.76	48
0.76	51
0.76	54
0.76	57
0.8	60
0.76	63
0.76	66
0.76	69
0.76	72
0.76	75
0.8	78

0.8	81
0.8	84
0.8	87
0.76	90
0.8	93
0.81	96
0.8	99
0.76	102
0.76	105
0.76	108
0.8	111
0.81	114
0.81	117
0.81	120
0.76	123
0.8	126
0.76	129
0.8	132
0.81	135
0.81	138
0.76	141
0.76	144
0.8	147
0.8	150
0.81	153
0.81	156
0.8	159
0.81	162
0.8	165
0.81	168
0.8	171
0.8	174
0.81	177
0.81	180

T5-5 非假日

Brd Reslt	time(sec)
2.1	3
2.03	6
2.1	9
2.1	12
2.03	15
2.03	18
2.1	21
2.1	24
2.03	27
2.1	30
2.1	33
2.1	36
2.1	39
2.1	42
2.1	45
2.1	48
2.1	51
2.03	54
2.1	57
2.1	60
2.1	63
2.1	66
2.1	69
2.1	72
2.1	75
2.1	78
2.1	81
2.1	84
2.1	87
2.1	90
2.1	93
2.1	96
2.1	99
2.1	102

2.16	105
2.1	108
2.1	111
2.1	114
2.1	117
2.1	120
2.1	123
2.1	126
2.1	129
2.1	132
2.1	135
2.1	138
2.1	141
2.1	144
2.1	147
2.1	150
2.16	153
2.16	156
2.16	159
2.16	162
2.16	165
2.16	168
2.16	171
2.16	174
2.16	177
2.16	180

T5-5 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.81	3
0.81	6
0.81	9
0.73	12
0.81	15
0.76	18
0.81	21
0.81	24

0.81	27
0.81	30
0.76	33
0.81	36
0.81	39
0.81	42
0.76	45
0.81	48
0.76	51
0.81	54
0.76	57
0.76	60
0.76	63
0.81	66
0.76	69
0.76	72
0.81	75
0.76	78
0.76	81
0.81	84
0.81	87
0.76	90
0.81	93
0.76	96
0.81	99
0.81	102
0.81	105
0.86	108
0.81	111
0.76	114
0.76	117
0.76	120
0.76	123
0.81	126
0.81	129
0.76	132
0.76	135

0.76	138
0.81	141
0.81	144
0.81	147
0.76	150
0.76	153
0.76	156
0.76	159
0.76	162
0.76	165
0.76	168
0.76	171
0.76	174
0.76	177
0.76	180

T6-1 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.51	3
0.61	6
0.61	9
0.61	12
0.61	15
0.61	18
0.61	21
0.61	24
0.61	27
0.61	30
0.61	33
0.61	36
0.61	39
0.61	42
0.61	45
0.61	48
0.61	51

0.61	54
0.61	57
0.61	60
0.61	63
0.61	66
0.61	69
0.61	72
0.61	75
0.61	78
0.61	81
0.61	84
0.61	87
0.61	90
0.61	93
0.61	96
0.61	99
0.61	102
0.61	105
0.61	108
0.61	111
0.61	114
0.61	117
0.61	120
0.61	123
0.61	126
0.61	129
0.61	132
0.61	135
0.61	138
0.61	141
0.61	144
0.61	147
0.61	150
0.61	153
0.61	156
0.61	159
0.61	162

0.61	165
0.61	168
0.61	171
0.61	174
0.61	177
0.61	180

T6-1 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.61	3
0.61	6
0.61	9
0.61	12
0.61	15
0.61	18
0.61	21
0.61	24
0.61	27
0.61	30
0.61	33
0.61	36
0.61	39
0.61	42
0.61	45
0.61	48
0.61	51
0.61	54
0.61	57
0.61	60
0.61	63
0.61	66
0.61	69
0.61	72
0.61	75
0.61	78
0.61	81
0.61	84

0.61	87
0.61	90
0.61	93
0.61	96
0.61	99
0.61	102
0.61	105
0.61	108
0.61	111
0.61	114
0.61	117
0.61	120
0.61	123
0.61	126
0.61	129
0.61	132
0.61	135
0.61	138
0.61	141
0.61	144
0.61	147
0.61	150
0.61	153
0.61	156
0.61	159
0.61	162
0.61	165
0.61	168
0.61	171
0.61	174
0.61	177
0.61	180

T6-2 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.61	3
0.61	6
0.61	9
0.61	12
0.61	15
0.61	18
0.61	21
0.61	24
0.61	27
0.61	30
0.61	33
0.61	36
0.61	39
0.61	42
0.61	45
0.61	48
0.61	51
0.61	54
0.61	57
0.61	60
0.61	63
0.61	66
0.61	69
0.61	72
0.61	75
0.61	78
0.61	81
0.61	84
0.61	87
0.61	90
0.61	93
0.61	96
0.61	99
0.61	102
0.61	105
0.61	108
0.61	111

0.61	3
0.61	6
0.61	9
0.61	12
0.61	15
0.61	18
0.61	21
0.61	24
0.51	27
0.61	30
0.61	33
0.61	36
0.61	39
0.61	42
0.61	45
0.61	48
0.61	51
0.61	54
0.61	57
0.61	60
0.61	63
0.61	66
0.61	69
0.61	72
0.61	75
0.61	78
0.61	81
0.61	84
0.61	87
0.61	90
0.61	93
0.61	96
0.61	99
0.61	102
0.61	105
0.61	108
0.61	111

0.61	114
0.61	117
0.61	120
0.61	123
0.61	126
0.61	129
0.61	132
0.61	135
0.61	138
0.61	141
0.61	144
0.61	147
0.61	150
0.61	153
0.61	156
0.61	159
0.61	162
0.61	165
0.61	168
0.61	171
0.61	174
0.61	177
0.61	180

T6-2 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.61	3
0.61	6
0.61	9
0.61	12
0.61	15
0.61	18
0.61	21
0.61	24
0.61	27
0.61	30
0.61	33

0.61	36
0.61	39
0.61	42
0.61	45
0.61	48
0.61	51
0.61	54
0.61	57
0.61	60
0.61	63
0.61	66
0.61	69
0.61	72
0.61	75
0.61	78
0.61	81
0.61	84
0.61	87
0.61	90
0.61	93
0.61	96
0.61	99
0.61	102
0.61	105
0.61	108
0.61	111
0.61	114
0.61	117
0.61	120
0.61	123
0.61	126
0.61	129
0.61	132
0.61	135
0.61	138
0.61	141
0.61	144

0.61	147
0.61	150
0.61	153
0.61	156
0.61	159
0.61	162
0.61	165
0.61	168
0.61	171
0.61	174
0.61	177
0.61	180

T6-3 非假日

Brd Reslt	time(sec)
1.21	3
1.21	6
1.21	9
1.21	12
1.21	15
1.21	18
1.21	21
1.21	24
1.21	27
1.21	30
1.21	33
1.21	36
1.21	39
1.21	42
1.21	45
1.21	48
1.21	51
1.21	54
1.21	57
1.21	60

1.21	63
1.21	66
1.21	69
1.21	72
1.21	75
1.21	78
1.21	81
1.21	84
1.21	87
1.21	90
1.21	93
1.21	96
1.21	99
1.21	102
1.21	105
1.21	108
1.21	111
1.21	114
1.21	117
1.21	120
1.21	123
1.21	126
1.21	129
1.21	132
1.21	135
1.21	138
1.21	141
1.21	144
1.21	147
1.21	150
1.21	153
1.21	156
1.21	159
1.21	162
1.21	165
1.21	168
1.21	171

1.21	174
1.21	177
1.21	180

T6-3 假日

Brd Reslt	time(sec)
1.17	3
1.35	6
1.21	9
1.21	12
1.21	15
1.21	18
1.21	21
1.21	24
1.21	27
1.21	30
1.21	33
1.21	36
1.21	39
1.21	42
1.21	45
1.21	48
1.21	51
1.21	54
1.21	57
1.21	60
1.21	63
1.21	66
1.21	69
1.21	72
1.21	75
1.21	78
1.21	81
1.21	84
1.21	87
1.21	90
1.21	93

1.21	96
1.21	99
1.21	102
1.21	105
1.21	108
1.21	111
1.21	114
1.21	117
1.21	120
1.21	123
1.21	126
1.21	129
1.21	132
1.21	135
1.21	138
1.21	141
1.21	144
1.21	147
1.21	150
1.21	153
1.21	156
1.21	159
1.21	162
1.21	165
1.21	168
1.21	171
1.21	174
1.21	177
1.21	180

T6-4 非假日

Brd Reslt	time(sec)
1.21	3
1.21	6
1.21	9

1.21	12
1.21	15
1.21	18
1.21	21
1.21	24
1.21	27
1.21	30
1.21	33
1.21	36
1.21	39
1.21	42
1.21	45
1.21	48
1.21	51
1.21	54
1.21	57
1.21	60
1.21	63
1.21	66
1.21	69
1.21	72
1.21	75
1.21	78
1.21	81
1.21	84
1.21	87
1.21	90
1.21	93
1.21	96
1.21	99
1.21	102
1.21	105
1.21	108
1.21	111
1.21	114
1.21	117
1.21	120

1.21	123
1.21	126
1.21	129
1.21	132
1.21	135
1.21	138
1.21	141
1.21	144
1.21	147
1.21	150
1.21	153
1.21	156
1.21	159
1.21	162
1.21	165
1.21	168
1.21	171
1.21	174
1.21	177
1.21	180

T6-4 假日

Brd Reslt	time(sec)
1.21	3
1.21	6
1.21	9
1.21	12
1.21	15
1.21	18
1.21	21
1.21	24
1.21	27
1.21	30
1.21	33
1.21	36
1.21	39
1.21	42

1.21	45
1.21	48
1.21	51
1.21	54
1.21	57
1.21	60
1.21	63
1.21	66
1.21	69
1.21	72
1.21	75
1.21	78
1.21	81
1.21	84
1.21	87
1.21	90
1.21	93
1.21	96
1.21	99
1.21	102
1.21	105
1.21	108
1.21	111
1.21	114
1.21	117
1.21	120
1.21	123
1.21	126
1.21	129
1.21	132
1.21	135
1.21	138
1.21	141
1.21	144
1.21	147
1.21	150
1.21	153

1.21	156
1.21	159
1.21	162
1.21	165
1.21	168
1.21	171
1.21	174
1.21	177
1.21	180

T6-5 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.82	3
0.82	6
0.82	9
0.82	12
0.82	15
0.82	18
0.82	21
0.82	24
0.82	27
0.82	30
0.82	33
0.82	36
0.82	39
0.82	42
0.82	45
0.82	48
0.82	51
0.82	54
0.82	57
0.82	60
0.82	63
0.82	66
0.82	69

0.82	72
0.82	75
0.82	78
0.82	81
0.82	84
0.82	87
0.82	90
0.82	93
0.82	96
0.82	99
0.82	102
0.82	105
0.82	108
0.82	111
0.82	114
0.82	117
0.82	120
0.82	123
0.82	126
0.82	129
0.82	132
0.82	135
0.82	138
0.82	141
0.82	144
0.82	147
0.82	150
0.82	153
0.82	156
0.82	159
0.82	162
0.82	165
0.82	168
0.82	171
0.82	174
0.82	177
0.82	180

T6-5 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.82	3
0.82	6
0.82	9
0.82	12
0.82	15
0.82	18
0.82	21
0.82	24
0.82	27
0.82	30
0.82	33
0.82	36
0.82	39
0.82	42
0.82	45
0.82	48
0.82	51
0.82	54
0.82	57
0.82	60
0.82	63
0.82	66
0.82	69
0.82	72
0.82	75
0.82	78
0.82	81
0.82	84
0.93	87
0.82	90
0.82	93
0.82	96
0.82	99
0.82	102

0.82	105
0.82	108
0.82	111
0.82	114
0.82	117
0.82	120
0.82	123
0.82	126
0.82	129
0.82	132
0.82	135
0.82	138
0.82	141
0.82	144
0.82	147
0.82	150
0.82	153
0.82	156
0.82	159
0.82	162
0.82	165
0.82	168
0.82	171
0.82	174
0.82	177
0.82	180

T7-1 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.25	3
0.25	6
0.25	9
0.25	12
0.25	15
0.25	18

0.25	21
0.25	24
0.25	27
0.34	30
0.34	33
0.25	36
0.25	39
0.25	42
0.25	45
0.25	48
0.22	51
0.25	54
0.25	57
0.22	60
0.25	63
0.25	66
0.25	69
0.75	72
1.54	75
0.52	78
0.46	81
0.25	84
0.25	87
0.25	90
0.25	93
0.25	96
0.25	99
0.3	102
0.34	105
0.25	108
0.25	111
0.25	114
0.25	117
0.25	120
0.25	123
0.25	126
0.25	129

0.25	132
0.3	135
0.25	138
0.25	141
0.25	144
0.25	147
0.25	150
0.25	153
0.25	156
0.25	159
0.25	162
0.25	165
0.25	168
0.25	171
0.25	174
0.25	177
0.25	180

T7-1 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.14	3
0.14	6
0.14	9
0.14	12
0.14	15
0.14	18
0.14	21
0.14	24
0.14	27
0.14	30
0.14	33
0.14	36
0.14	39
0.14	42
0.14	45
0.14	48
0.14	51

0.14	54
0.14	57
0.14	60
0.14	63
0.14	66
0.14	69
0.14	72
0.14	75
0.14	78
0.14	81
0.14	84
0.14	87
0.14	90
0.14	93
0.14	96
0.14	99
0.14	102
0.14	105
0.14	108
0.14	111
0.14	114
0.14	117
0.14	120
0.14	123
0.14	126
0.14	129
0.14	132
0.14	135
0.14	138
0.14	141
0.14	144
0.14	147
0.14	150
0.14	153
0.14	156
0.14	159
0.14	162

0.14	165
0.17	168
0.14	171
0.14	174
0.14	177
0.14	180

0.17	81
0.17	84
0.17	87
0.17	90
0.17	93
0.17	96
0.17	99
0.17	102
0.17	105
0.17	108
0.17	111
0.17	114
0.17	117
0.17	120
0.17	123
0.17	126
0.17	129
0.17	132
0.17	135
0.17	138
0.17	141
0.17	144
0.17	147
0.17	150
0.17	153
0.17	156
0.17	159
0.17	162
0.17	165
0.17	168
0.17	171
0.17	174
0.17	177
0.17	180

0.1	3
0.1	6
0.1	9
0.1	12
0.1	15
0.1	18
0.1	21
0.1	24
0.1	27
0.1	30
0.1	33
0.1	36
0.1	39
0.1	42
0.1	45
0.1	48
0.1	51
0.1	54
0.1	57
0.1	60
0.1	63
0.1	66
0.1	69
0.1	72
0.1	75
0.1	78
0.1	81
0.1	84
0.1	87
0.1	90
0.1	93
0.1	96
0.1	99
0.1	102
0.1	105
0.1	108
0.1	111

0.1	114
0.1	117
0.1	120
0.1	123
0.1	126
0.1	129
0.1	132
0.1	135
0.1	138
0.1	141
0.1	144
0.1	147
0.1	150
0.1	153
0.1	156
0.1	159
0.1	162
0.1	165
0.1	168
0.1	171
0.1	174
0.1	177
0.1	180

T7-2 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.17	3
0.17	6
0.17	9
0.17	12
0.17	15
0.17	18
0.17	21
0.17	24
0.17	27
0.17	30
0.17	33
0.17	36
0.17	39
0.17	42
0.17	45
0.17	48
0.17	51
0.17	54
0.17	57
0.17	60
0.17	63
0.17	66
0.17	69
0.17	72
0.17	75
0.17	78

T7-2 假日

Brd Reslt	time(sec)
-----------	-----------

T7-3 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.14	3
0.14	6
0.17	9
0.14	12
0.17	15
0.17	18
0.17	21
0.17	24
0.17	27

0.14	30
0.17	33
0.17	36
0.17	39
0.17	42
0.17	45
0.17	48
0.17	51
0.17	54
0.17	57
0.17	60
0.17	63
0.17	66
0.17	69
0.17	72
0.17	75
0.17	78
0.17	81
0.17	84
0.17	87
0.17	90
0.17	93
0.17	96
0.17	99
0.17	102
0.17	105
0.17	108
0.17	111
0.17	114
0.17	117
0.17	120
0.14	123
0.17	126
0.17	129
0.17	132
0.14	135
0.14	138

0.17	141
0.17	144
0.17	147
0.17	150
0.14	153
0.17	156
0.17	159
0.17	162
0.17	165
0.17	168
0.17	171
0.14	174
0.14	177
0.17	180

T7-3 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.22	3
0.22	6
0.22	9
0.22	12
0.22	15
0.22	18
0.22	21
0.22	24
0.22	27
0.22	30
0.22	33
0.22	36
0.22	39
0.22	42
0.22	45
0.22	48
0.22	51
0.22	54
0.22	57
0.22	60

0.22	63
0.22	66
0.22	69
0.22	72
0.22	75
0.22	78
0.22	81
0.22	84
0.22	87
0.22	90
0.22	93
0.22	96
0.22	99
0.22	102
0.22	105
0.22	108
0.22	111
0.22	114
0.22	117
0.22	120
0.22	123
0.22	126
0.22	129
0.22	132
0.22	135
0.22	138
0.22	141
0.22	144
0.22	147
0.22	150
0.22	153
0.22	156
0.22	159
0.22	162
0.22	165
0.22	168
0.22	171

0.22	174
0.22	177
0.22	180

T7-4 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.1	3
0.1	6
0.1	9
0.14	12
0.34	15
0.1	18
0.14	21
0.1	24
0.1	27
0.1	30
0.1	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0.1	48
0	51
0.1	54
0.1	57
0.1	60
0.1	63
0.1	66
0.1	69
0.1	72
0.1	75
0.1	78
0.1	81
0.1	84
0.1	87

0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0.1	108
0.1	111
0.1	114
0.14	117
0.1	120
0.1	123
0.1	126
0.1	129
0.1	132
0.1	135
0.1	138
0.1	141
0.1	144
0.1	147
0.1	150
0.1	153
0.1	156
0.1	159
0.1	162
0.1	165
0.1	168
0.1	171
0.1	174
0	177
0.1	180

T7-4 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.1	3
0.1	6
0.1	9

0.14	12
0.1	15
0.1	18
0.1	21
0.1	24
0.1	27
0.1	30
0.1	33
0.1	36
0.1	39
0.1	42
0.1	45
0.1	48
0.1	51
0.1	54
0.1	57
0.1	60
0.1	63
0.1	66
0.1	69
0.1	72
0.1	75
0.1	78
0.1	81
0.1	84
0.1	87
0.1	90
0.1	93
0.1	99
0.1	102
0.1	105
0.1	108
0.1	111
0.1	114
0.1	117
0.1	120

0.1	123
0.1	126
0.1	129
0.1	132
0.14	135
0.1	138
0.1	141
0.1	144
0.1	147
0.1	150
0.1	153
0.1	156
0.1	159
0.1	162
0.1	165
0.1	168
0.1	171
0.1	174
0.1	177
0.1	180

T7-5 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0.1	3
0.1	6
0.1	9
0.1	12
0.1	15
0.1	18
0.1	21
0.1	24
0.1	27
0.1	30
0.14	33
0.1	36

0.1	39
0.1	42
0.1	45
0.1	48
0.1	51
0.1	54
0.1	57
0.1	60
0.1	63
0.1	66
0.1	69
0.1	72
0.1	75
0.1	78
0.1	81
0.1	84
0.1	87
0.1	90
0.1	93
0.1	96
0.1	99
0.1	102
0.1	105
0.1	108
0.1	111
0.1	114
0.1	117
0.1	120
0.1	123
0.1	126
0.14	129
0.14	132
0.14	135
0.1	138
0.1	141
0.1	144
0.1	147

0.14	150
0.14	153
0.1	156
0.1	159
0.1	162
0.1	165
0.1	168
0.1	171
0.1	174
0.14	177
0.25	180

T7-5 假日

Brd Reslt	time(sec)
0.1	3
0.1	6
0.1	9
0.1	12
0.1	15
0.1	18
0.1	21
0.1	24
0.1	27
0.1	30
0.1	33
0.1	36
0.1	39
0.1	42
0.1	45
0.1	48
0.1	51
0.1	54
0.1	57
0.1	60
0.1	63
0.1	66
0.1	69

0.1	72
0.1	75
0.1	78
0.1	81
0.1	84
0.1	87
0.1	90
0.1	93
0.1	96
0.1	99
0.1	102
0.1	105
0.1	108
0.1	111
0.1	114
0.1	117
0.1	120
0.1	123
0.1	126
0.1	129
0.1	132
0.1	135
0.1	138
0.1	141
0.1	144
0.1	147
0.1	150
0.1	153
0.1	156
0.1	159
0.1	162
0.1	165
0.1	168
0.1	171
0.1	174
0.1	177
0.1	180

T8-1 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96

0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

T8-1 假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18

0	21
0	24
0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129

0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

T8-2 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45

0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156

0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0.1	177
0	180

T8-2 假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78

0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

T8-3 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102

0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

T8-3 假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24

0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135

0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

T8-4 非假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51

0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162

0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

T8-4 假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27
0.1	30
0.14	33
0.2	36
0.1	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84

0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

T8-5 非假日

Brd Reslt	time(sec)
-----------	-----------

0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27
0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0	96
0	99
0	102
0	105
0	108

0	111
0	114
0.1	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135
0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0	174
0	177
0	180

T8-5 假日

Brd Reslt	time(sec)
0	3
0	6
0	9
0	12
0	15
0	18
0	21
0	24
0	27

0	30
0	33
0	36
0	39
0	42
0	45
0	48
0	51
0	54
0	57
0	60
0	63
0	66
0	69
0	72
0	75
0	78
0	81
0	84
0	87
0	90
0	93
0.6	96
0	99
0	102
0	105
0	108
0	111
0	114
0	117
0	120
0	123
0	126
0	129
0	132
0	135

0	138
0	141
0	144
0	147
0	150
0	153
0	156
0	159
0	162
0	165
0	168
0	171
0.1	174
0	177
0	180

附錄

一、環保署 101 年 11 月 30 日環署空字第 1010108068 號公告之「限制時變電場、磁場及電磁場曝露指引」

頻段	電場強度 (V/m)	磁場強度 (A/m)	磁通密度 (μT)
<1Hz	-	3.2×10^4	4×10^4
1-8Hz	10,000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$
8-25Hz	10,000	$4,000/f$	$5,000/f$
0.025-0.8KHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$
0.8-3KHz	$250/f$	5	6.25
3-150KHz	87	5	6.25
0.15-1MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$
1-10MHz	$87/\times f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$
10-400MHz	28	0.073	0.092
400-2000MHz	$1.375 \times f^{1/2}$	$0.0037 \times f^{1/2}$	$0.0046 \times f^{1/2}$
2-300GHz	61	0.16	0.20

註：f 代入 Hz, kHz, MHz, GHz 值

環保署公告之「限制時變電場、磁場及電磁場曝露指引」
(電力頻率磁場部分， $1 \mu\text{T} = 10\text{mG}$)

頻率(Hz)	磁通密度(mG)
60	833.3

二、環境中極低頻電場與磁檢測方法

中華民國 102 年 8 月 30 日環署檢字第 1020075191 號公告
自中華民國 102 年 10 月 15 日生效
NIEA P202.91C

一、方法概要

使用符合 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) Std 644 標準之自由導體型儀表，量測 60 赫茲 (Hz) 輸配電線路等附近任一定點及瞬間所產生的極低頻 (ELF) 電場與磁場的均方根場強。

二、適用範圍

本方法適用於 60 赫茲 (Hz) 架空輸配電線路附近空曠地區與鐵路、大眾捷運系統之場站周圍、候車亭、站台式變壓器、地下輸配電線路人、手孔等之周圍的電場與磁場環境量測。亦適用於沿建築物外側經過或由屋頂跨越等架空高壓線路、變電所、落地型變壓器等周圍的電場與磁場環境量測。量測儀表若具定時自動取樣與資料儲存功能時，本方法亦可作為定點場強監測之用。

三、干擾

- (一) 環境溫度與濕度會影響儀表準確度，必要時使用者可依量測時溫度與濕度對儀表讀值作適當的修正。
- (二) 地形地物對量測可行性與準確性可能造成影響。
- (三) 地面上的植物被覆會影響電場的強度；其影響程度視其水分含量與離感測器的距離而定。

四、儀器及設備

- (一) 電場量測儀器：須符合 IEEE Std 644 標準，具單一方向之電場感測，並以類比或數位輸出均方根值之自由導體型儀表 (Free-body meter)。
- (二) 磁場量測儀器：具可同時量測磁通量密度向量於三個正交軸向之分量及其合成值之三軸式等向性感測器，並以類比或數位方式顯示均方根值量測功能之感測器 (註 1)。
- (三) 電場量測儀器連接棒：具有絕緣功能。
- (四) 窄頻 (Narrowband) 量測或頻譜分析儀器 (選擇性)：具有分離個別頻率之場強成分窄頻量測或頻譜分析功能。

(五) 高電阻線或光纖：具抗電磁干擾，感測器與讀值顯示裝置之間之信號傳輸。

(六) 感測器支撐裝置或握把：具絕緣性、低漏電性之材質。

五、量測方法

(一) 每一空間量測點之最小取樣間隔應大於儀表所需之穩定時間，但以不超過 10 秒鐘為原則。

(二) 電場感測器與量測人員至少須維持 2.5 公尺以上之距離。

(三) 電場、磁場感應器量測角度（垂直、水平或傾斜）除依據原廠技術手冊之規定操作外，並應符合下列規範：

1. 線路跨越空曠地區之量測

(1) 除非地形有所限制，一般先量測橫向分布後再進行縱向分布之量測。

(2) 量測範圍為任一特定的跨距之間。

(3) 量測點離地面或地板高度以 1 公尺為原則，最高不超過 2 公尺。

(4) 橫向分布之量測，應於跨距之間任一特定的縱向距離處沿線路之左右兩側量測。

(5) 線路下方若為平坦的地面時，橫向分布可於導線離地面最近之跨距中點處進行。

(6) 最遠量測點離線路任一側迴路最外側導線之橫向距離須小於 30 公尺（註 2）。

(7) 縱向分布量測路徑與線路之橫向距離，以橫向分布所測得之最大場強發生的橫向距離為主，惟亦應考慮地形地物對量測可行性與準確性的可能影響。

(8) 線路較低時，和（或）線路下方及側向距離較近處，場強橫向分布變化較大，取樣間隔應小於 1 公尺，線路較高和（或）側向距離較遠處（註 3），取樣間隔亦須小於 2 公尺。

(9) 地面呈現顯著的高低起伏時，場強的橫向和（或）縱向分布亦會隨之改變，取樣間隔應隨地形調整（間隔 1~2 公尺）。

(10) 量測電場時，感測器與線路下方與非永久性物體（如車輛）的水平間隔應

大於該物體高度之 3 倍，與永久性物體（如各種建築物以及樹木等）之水平間隔應大於 1 公尺，與量測人員之水平間隔則應大於 2 公尺，且量測人員應處於場強較弱的一方（註 4）。

（11）量測磁場時，可以手持儀器進行量測。量測區域若存在有含導磁性物體（如各種鐵製品或結構）或大型的非導磁性金屬物體（如鋁製品）時，量測點距離該物體最大尺寸之 3 倍以上距離。

2. 線路跨越或鄰近建物之量測

（1）量測對象可與高壓線較靠近之室外屋頂樓版面（註 5）為主。磁場則需於室內與室外同時進行。

（2）量測期間建物電源應關閉，以避免受到建物本身用電所產生之電磁場影響。

（3）線路跨越建物時，應由最高樓層開始，依序往低樓層逐層進行量測。

（4）線路由建物外側通過時，應由與線路同高的樓層開始，依序（註 6）往其它樓層逐層進行量測。

（5）量測點離地面或樓版面之高度以 1 公尺為原則；最高不超過 2 公尺。建物內部所有物體皆視為永久性物體，量測點離牆壁以及永久性物體之間的水平間隔須大於 1 公尺。

（6）於室內量測時以個別建物使用者正常活動範圍為原原則，並依功能性單元區別例如：臥房、客廳、餐廳、廚房、陽台、辦公室、作業區等。

（7）線路若由建物外側通過且距離欲量測建物（外）牆與最接近線路直線 5 公尺以上者，量測點之選擇，先於個別單元找出一最大之長方形空間，取長方形的兩條對角線，每條線離長方形頂點 1 公尺處以及兩條對角線的交點，合計 5 點。建物外圍地面或屋頂地板空間的量測時亦同。

（8）線路若由建物外側通過但距離欲量測建物（外）牆與最接近線路直線 5 公尺以下者，或線路由建物上方跨越時（直線距離 5 公尺以內時），其取樣應增加。若室內地板鋪設格狀地板，且每格尺寸在 30 公分見方以上時，即可以每格的中心點為量測點；地板尺寸較小時則可每隔幾塊地板取一點，最小取樣間隔以 30 公

分為原則。若室內無現成地板可利用，最小取樣間隔亦以 30 公分為原則；屋頂地面和屋外靠線路較近處其取樣方式亦同。

3. 高壓鐵塔塔台周圍之量測

- (1) 於鐵塔塔台周界且一般民眾可正常活動的空間進行電磁場量測。
- (2) 所有測量點均以離地面及周界 1 公尺每隔 1 公尺進行之。

4. 變電所周圍電磁場之量測

- (1) 變電所周圍環境電磁場量測應於變電所外圍，一般民眾可正常活動的空間進行。
- (2) 變電所牆外若緊鄰人行道或人行步行的道路時，於離圍牆等距處，沿人行道或道路進行縱向場強進行量測。所有的測量點以離地面及牆面各 1 公尺，且沿線量測以能顯示出場強變化為原則，量測點靠近線路進出變電所之區域時，量測間隔應小於 1 公尺，量測點離進出變電所的路線較遠時，量測間隔（註 7）亦應小於 2 公尺。
- (3) 如變電所外牆緊鄰建築物，建築物內之場強量測方式依架空線路跨越或鄰近建物之規定。

5. 落地型（亭置式）變壓器周圍磁場之量測：落地型變壓器僅需量測磁場之空間分布。於離地 100 公分、130 公分、和 160 公分等三個高度處，沿與其安置之底座保持 50 公分水平間隔的長方形周邊，任一頂點開始，每隔 30 公分取一點，直至回到出發點止。變壓器之輸電線路須於水平距離 50 公分處從地面至 2 公尺每隔 30 公分量測。

6. 站台式變壓器（桿上電壓器）周圍電磁場之量測

- (1) 站台型變壓器（桿上電壓器）周圍磁場空間分布量測：於離地 1 公尺高度處，沿與其設置底座之投影面積保持 50 公分水平間隔的周邊，由任一頂點開始，每隔 30 公分取一點，直至回到出發點止（註 8）。
- (2) 量測變壓器側邊之輸（配）電線，則距其外側 50 公分處從地面至 2 公尺每隔 30 公分量測之。

7. 地下輸配電線路人、手孔周遭電磁場之量測

- (1) 於人、手孔上方距地面 1 公尺並於孔蓋中心點的高度進行量測。
- (2) 如地下有配置輸配電線分布，亦可於線路正上方距地面 1 公尺進行量測。
- (3) 人、手孔兩孔之間地下輸配電線，依據兩孔之間直線分布或線路配置圖，於地面距 1 公尺每隔 1 公尺量測之。

8. 鐵路、大眾捷運系統周圍電磁場之量測

(1) 鐵路、大眾捷運系統：

- A. 電場與磁場量測位置位於運輸系統兩側，取與運輸系統約同高（運輸系統軌道水平延伸線垂直向上 1 公尺）且距外側圍牆（如隔音牆吸音牆、圍籬等）1 公尺處進行量測。
- B. 若為高架系統時，應於軌道系統投影周界外 1 公尺處量測，或於民眾正常活動的室內空間進行量測。
- C. 量測時間至少須涵蓋運輸系統完整通過 1 班次。

(2) 鐵路、大眾捷運系統場站周圍、候車亭等之周圍（註 9）：

- A. 量測位置應於周圍外，一般民眾可正常活動的空間進行。
- B. 測量點以離地面及周圍（如牆面、門窗等）均 1 公尺為原則。
- C. 量測點數為繞行周圍一圈每隔 1 公尺的總數（註 10）。

六、 結果處理

（一）空間分布之量測結果可以數據表格或繪圖方式呈現。輔助性統計特性，如最小值、最大值、平均值、或中值的大小以及出現位置 / 範圍，可增加量測結果價值。

（二）量測報告應包括量測日期與時段、線路形態與線下地形地物繪製或照相、量測儀器廠牌型號序號、校正狀況等資訊。

（三）若以三個單一方向的電磁場感測功能進行量測，其結果應以下列方式計算與表示：

$$B_R = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$$

B_x, B_y, B_z ：電磁場三個正交軸分量的均方根值。

電場量測亦可以垂直分量（感應板垂直於電場方向）方向的強度表示。

七、品質管制

品質管制：若感測器結構形狀變形或受到損壞，或操作過程中儀器呈現不穩定狀態或每年，量測儀器應執行查核一次，其單位須可追溯至國家級實驗室。查核設定值至少有一數值須小於 10 毫高斯（milli Gauss），其允收範圍須小於設定（標準）值之 $\pm 10\%$ 。

八、量測相關條件註記

（略）

九、參考資料

（一） IEEE, IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines, IEEE Std 644-1994, New York, 1995.

（二） IEC 60833, Measurement of power-frequency electric fields, 1987.

（三） BS EN 62110, Electric and magnetic field levels generated by AC power system-Measurement procedures with regard to public exposure, 2009.

（四） 行政院環境保護署，限制時變電場、磁場及電磁場曝露指引，中華民國 101 年。

註：

（1） 若所用儀表涵蓋一個或多個特定頻段時，於其任一涵蓋頻段內對強度相同，但頻率不同的場強的量測結果應在 ± 3 dB 之內；此一要求可由於感測器輸出端加裝合適的頻率響應修正電路達成。場源頻率成份若僅含一個高準位的基頻成份及幾個低準位的諧波成份時（如空曠地區的高壓輸電線路）在諧波貢獻不致使整體量測不確定度超過 $\pm 10\%$ 的條件下，仍可使用此類寬頻（Broadband）儀器。在場源頻率成份複雜且未明的環境中（如配電變壓器的低壓側及相關的接戶線附近），則不宜使用此類寬頻儀器。

（2） 但實際量測範圍可視線路下方地形地物及是否有民眾經常會於該區域活動等因素調整並註明於量測報告內。

（3） 橫向與縱向分布量測所需的取樣間隔與量測點數，以量測結果能描述場強分布的細節變化為原則。

（4） 儀表若需透過握把由量測人員握持時，即應評估握把與人體的漏電效應的影響。

（5） 係指線路下方或附近有建築物存在時，其室內與室外電磁場環境量測的問題。室

外部份除建物外圍的地面之外，亦可包括建物屋頂平坦且可活動的區域。

- (6) 線路所產生的場強應有下列趨勢：愈接近線路的地方，場強愈大。
- (7) 取樣間隔建議可視量測區域的實際地形地物狀況加以調整。如變電所外牆與一般民眾可正常活動的空間由天然障礙物(如未加封蓋的水溝)或綠地之類的地物隔開時，量測工作以於民眾活動的空間進行為原則。除量測點的離地高度仍以 1 公尺為原則之外，總共的水平取樣面積與取樣間隔則依量測區域的實際地形地物狀況，及量測結果能顯示出場強變化細節等原則選定。
- (8) 若陳情點位於室內須於室內一般生活正常活動範圍內量測。
- (9) 陳情人指定且一般生活正常活動範圍之地點量測。
- (10) 陳情人指定地點：所有量測目標物陳情人可指定地點進行量測，每一定點取 10 秒內的最大場強作為其量測結果，量測地點必須詳細繪圖及加註與四周明顯固定物（建物）之相關位置（距離）。

名詞定義：

- (一) 純量 (Scalar)：完全由大小（可為正或負）指定的量（如電流）。
- (二) 向量 (Vector)：具有特定方向與大小的量（如作用力與速度），其大小與方向可隨空間位置和 / 或時間改變。在任一三維右手正交座標系統中，向量可分解成三個正交方向的空間分量 (Spatial Components)。
- (三) 相量 (Phasor)：由隨時間以特定週期呈穩定弦波變化的量（如 60 赫茲交流電的電壓波形）的振幅 (Magnitude，指最大的瞬間值或峰值) 與起始時間相角 (Initial Time Phase) 所組成的複數純量。
- (四) 向量相量 (Vector phasor)：構成向量的個別分量皆以相同週期呈弦波變化時，亦即個別分量皆為相量，其於任一定點的合成向量的大小與方向的時間變化特性可由向量相量表示。特定頻率場源所產生的電場與磁場一般即以向量相量的方式表示。
- (五) 均方根值 (root-mean-square，或 rms，value)：呈週期性變化的時間波形瞬間值

的平方值於一個週期內的積分結果，除以週期，再取平方根後所獲致的結果。對穩定弦波變化的波形而言，其均方根值為峰值（或振幅）的 0.707 倍。

（六）合成值（Resultant Value）：一個向量相量的三個正交分量的大小的平方和之平方根值。在電磁場檢測中，場強大小以均方根值表示。

（七）電場強度（Electric field intensity/strength）：體積無窮小的單位正電荷所感受到的電性作用力，以向量 E 表示，公制單位為牛頓 / 庫侖或伏 / 公尺。電場由帶電物體產生，若場源具穩定弦波變化時，電場強度可由向量相量描述。

（八）磁通量密度（Magnetic flux density）：由通電的導體所產生的一個向量，以向量 B 表示，公制單位為特斯拉（Tesla 或 T）或韋伯 / 平方公尺（Wb/m²），可對運動中的電荷施加磁性作用力而改變其運動特性（1 mT = 10 mG，1T = 10000 G）。體積無窮小的單位正電荷於磁場中運動時所感受到的磁性作用力的大小，等於電荷量、運動速率、與磁通量密度在與電荷運動方向垂直方向的分量大小的乘積，而右手四指由電荷運動方向朝磁場方向轉動時，大姆指的指向即為作用力的方向。若場源具穩定弦波變化時，磁通量密度可由向量相量描述。

（九）跨距（Span）：兩相鄰之電塔或電桿構成一個跨距。線路沿跨距方向平行架設。

（十）跨距中點（Mid-Span）：跨距的中心點。於平坦地區，導線因其重量而下垂時，於跨距中點處離地面最近。

（十一）橫向分布（Lateral Profile）：任一跨距之間，離兩端任一電塔或電桿特定縱向距離處，線路左右兩側場強隨橫向空間距離的變化。

（十二）縱向分布（Longitudinal Profile）：任一跨距之間，離線路一定橫向空間距離時，場強沿線路架設方向的空間變化。

三、儀器有效日期檢驗



台灣電力公司綜合研究所

臺北市羅斯福路4段198號

客服電話：02-23601234 客服台電微波電話：92-80345

校正報告

委託單位：國立台灣科技大學

受託編號：05080732-1

委試品名：電磁場量測儀器

廠牌型式：ENERTECH/EMDEX II

試品序號：3023

附 記：1 μ T = 10 mG

報告編號：5N30642

校驗日期：105年8月26日

環境溫度：23.5 °C

相對濕度：40 %

試驗地點：綜合研究所公館所區

校正結果與說明

1. 校正結果

	器示值 (mG)	標準值 (mG)	誤差 (mG)
X軸	889.6	900.0	-10.4
	496.0	500.0	-4.0
	50.6	50.4	0.2
	9.8	9.9	-0.1
Y軸	880.0	900.0	-20.0
	489.6	500.0	-10.4
	50.0	50.4	-0.4
	9.6	9.9	-0.3
Z軸	880.0	900.0	-20.0
	489.6	500.0	-10.4
	50.0	50.4	-0.4
	9.7	9.9	-0.2

2. 校正說明

(1) 校正日期

本校正作業係於民國 105年8月18日 至民國 105年8月26日 期間執行。

(2) 校正方法

本校正之實施依據本實驗室「磁場計校正工作說明書」，將待校磁場計與標準磁通量密度進行比對量測。

(3) 器示值為送校磁場計之指示值，標準值為磁場線圈和電流經由計算所得之磁通量密度值，誤差為器示值與標準值之差值。誤差=器示值-標準值

(4) 追溯用標準器

本校正所使用之磁場線圈符合IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines (IEEE Std 644-1994) 規定。交流電流追溯至國家度量衡標準實驗室，追溯號碼為E150126A, E150127A, E150128A, E150129A, E150130A。

所長：



第1頁，共2頁

TPRI-W-MI001-D 版次：1

(5)不確定度

本校正系統不確定度評估依據「磁場計校正工作說明書」，標準磁通量密度不確定度在±0.8% 以內符合IEEE Std 644-1994規定。

(6)交流電流頻率為60Hz。

3.參考資料

(1)磁場計校正工作說明書，TPRI-W-MI-331，第1版，民國93年。

(2)IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines (IEEE Std 644-1994)。

校驗設備名稱：	儀器序號：	校驗日期：
ETS 6404	00029138	
DATRON 1281	19255-3	104年12月24日
MULTI-AMP EPOCH-10-E	95009-001/1	105年7月19日

以下空白



台灣電力公司綜合研究所

臺北市羅斯福路4段198號

客服電話：02-23601234 客服台電微波電話：92-80345

校正報告

委託單位：國立台灣科技大學

受託編號：05010844-1

委試品名：電磁場量測儀器

廠牌型式：ENERTECH/EMDEX II

試品序號：2193

附 記：1 $\mu T = 10 \text{ mG}$

報告編號：5N30070

校驗日期：105年2月5日

環境溫度：23.8 °C

相對濕度：52 %

試驗地點：綜合研究所公館所區

校正結果與說明

1. 校正結果

	器示值 (mG)	標準值 (mG)	誤差 (mG)
X軸	886.4	900.0	-13.6
	492.8	500.0	-7.2
	49.4	50.4	-1.0
	9.7	9.9	-0.2
Y軸	883.2	900.0	-16.8
	489.6	500.0	-10.4
	49.2	50.4	-1.2
	9.6	9.9	-0.3
Z軸	883.2	900.0	-16.8
	492.8	500.0	-7.2
	49.2	50.4	-1.2
	9.7	9.9	-0.2

2. 校正說明

(1) 校正日期

本校正作業係於民國 105年2月3日 至民國 105年2月5日 期間執行。

(2) 校正方法

本校正之實施依據本實驗室「磁場計校正工作說明書」，將待校磁場計與標準磁通量密度進行比對量測。

(3) 器示值為送校磁場計之指示值，標準值為磁場線圈和電流經由計算所得之磁通量密度值，誤差為器示值與標準值之差值。誤差=器示值-標準值

(4) 追溯用標準器

本校正所使用之磁場線圈符合IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines (IEEE Std 644-1994) 規定。交流電流追溯至國家度量衡標準實驗室，追溯號碼為E150126A，E150127A，E150128A，E150129A，E150130A。

所長：



第1頁，共2頁

TPRI-W-MI001-D 版次：1

(5)不確定度

本校正系統不確定度評估依據「磁場計校正工作說明書」，標準磁通量密度不確定度在±0.8% 以內符合IEEE Std 644-1994規定。

(6)交流電流頻率為60Hz。

3.參考資料

(1)磁場計校正工作說明書，TPRI-W-MI-331，第1版，民國93年。

(2)IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines (IEEE Std 644-1994)。

校驗設備名稱：	儀器序號：	校驗日期：
ETS 6404	00029138	
DATRON 1281	19255-3	104年12月24日
MULTI-AMP EPOCH-10-E	95009-001/1	104年7月17日

以下空白

儀器設備相關資料

1、名稱：EPRI – EMDEX II Meter

型號：ENERTECH Model EMDEX II S/N：3023

公司 ENERTECH Consultants

製造年份 June 23,1993

2、名稱：EPRI – EMDEX II Meter

型號：ENERTECH Model EMDEX II S/N：2193

公司 ENERTECH Consultants

製造年份 June 23,1993

「玉山海龍離岸風力發電計畫」 電磁場模擬計算書

委託單位：光宇工程顧問公司

執行單位：國立台灣科技大學 電機系

執行人員：戴愷宏、王俊凱

執行督導：吳啟瑞 教授

中華民國一零六年四月

目錄

第一章 緒論.....	2
第二章 電力頻率磁場的計算方法.....	3
2.1 相關電磁理論.....	3
2.2 有限元素法.....	8
2.3 磁場模擬軟體簡介.....	10
第三章 離岸風力發電陸纜線路.....	12
3.1 電磁場計算檢討地點.....	12
3.2 電力電纜三維空間配置模擬.....	12
第四章 計算結果.....	17
4.1 電磁場計算值.....	17
第五章 結語.....	2
附錄.....	3

第一章 緒論

本計算書依『電磁場測量及電磁場強度檢討計算書規範』如附錄一，對”玉山海龍離岸風力發電計畫”地下電纜預定埋設路徑之附近敏感點進行電磁場檢討計算，並預估路徑上電磁場值。

- (一) 計算路徑上各敏感點之電磁場值：以定點方式計算一次三軸合成電磁場值。
- (二) 計算三維空間電磁場源：完整包括水平與垂直走向之地下電纜。
- (三) 計算考量：計算時各方向地下電纜均有考慮，分別對地下電纜各相序排列方式進行運算。
- (四) 計算結果：均遠低於環保署 833.3mG 的管制標準(建議值)。

第二章敘述電力頻率磁場計算方法，從相關電磁場理論可推導，電力頻率場源所產生的磁場行為類似靜磁場。本檢討計算利用有限元素法套裝軟體，針對地下電纜三維空間之相序排列方式載流條件模擬演算。

在第三章敘述磁場計算條件，本計算書將該計劃電力電纜之三維空間配置儘量依據實際情形予以模擬。

第二章 電力頻率磁場的計算方法

2.1 相關電磁理論

對於電力頻率磁場，我們可以利用馬克斯威爾方程式 (Maxwell Equations) 做一些推導，以求得磁通密度 \vec{B} 與距離 R 的關係式。馬克斯威爾方程式在低頻時的微分表達形式為

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2-1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2-2)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (2-3)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2-4)$$

其中

\vec{E} : 電場強度 \vec{H} : 磁場強度

\vec{B} : 磁通密度 \vec{J} : 電流密度

\vec{D} : 電通密度 ρ : 電荷密度

如果只考慮在線圈加入電流源的作用，(2-2) 式右邊第二項的位移電流密度 (Displacement Current Density) 可假設為零。由於

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2-5)$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2-6)$$

其中 μ : 導磁係數, ε : 介電係數

又由於 \vec{B} 的螺旋性 ($\nabla \cdot \vec{B} = 0$), 即任何向量場其旋度之散度等於零

$$\nabla \cdot (\nabla \times \vec{A}) = 0 \quad (2-7)$$

由(2-4)式和(2-7)式可以設定

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A} = \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) \vec{a}_x + \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) \vec{a}_y + \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right) \vec{a}_z \quad (2-8)$$

其中向量場 \vec{A} 定義為向量磁位(Magnetic Vector Potential), \vec{A} 在三維空間的分量分別是 A_x , A_y 和 A_z 。

將(2-8)式代入法拉第定律的微分方程式, 即(2-1)式可得

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \vec{A}) \quad (2-9)$$

即

$$\nabla \times \left(\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) = 0 \quad (2-10)$$

可將(2-10)式的括弧內的兩向量表示成純量之梯度

$$\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = -\nabla V \quad (2-11)$$

其中 V 為純量電位(Scalar Electric Potential)。

將(2-11)式整理得

$$\vec{E} = -\nabla V - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (2-12)$$

將(2-5)式、(2-6)式、(2-8)式和(2-12)式代入(2-2)式，可得到

$$\nabla \times \nabla \times \vec{A} = \mu \vec{J} + \mu \varepsilon \frac{\partial}{\partial t} \left(-\nabla V - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) \quad (2-13)$$

又因向量積之演算關係式

$$\nabla \times \nabla \times \vec{A} = \nabla(\nabla \cdot \vec{A}) - \nabla^2 \vec{A} \quad (2-14)$$

其中

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (2-15)$$

由(2-13)式和(2-14)式兩式整理之後我們可得到

$$\nabla^2 \vec{A} - \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\mu \vec{J} + \nabla \left(\nabla \cdot \vec{A} + \mu \varepsilon \frac{\partial V}{\partial t} \right) \quad (2-16)$$

對時變電磁場而言，我們可以設定 \vec{A} 的散度符合勞倫茲條件(Lorentz condition)，並且滿足連續方程式，亦即

$$\nabla \cdot \vec{A} + \mu \varepsilon \frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad (2-17)$$

則 \vec{A} 的非齊次性波動方程式(non-homogeneous wave equations)為

$$\nabla^2 \vec{A} - \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\mu \vec{J} \quad (2-18)$$

(2-18)式其相量解為一個體積分

$$\vec{A}(R) = \frac{\mu}{4\pi} \int_{V'} \frac{\vec{J} \cdot e^{-j\beta R}}{R} dV' \quad (2-19)$$

其中 $\beta = \omega\sqrt{\mu\epsilon}$ ，稱為波數。當 \vec{A} 得到後，即可得到 \vec{B} 、 \vec{H} 。

接著討論赫茲雙極對空間產生的電磁場時，並假設電流與時間成弦量變化，即

$$i(t) = I \cos \omega t = \text{Re}[Ie^{j\omega t}] \quad (2-20)$$

$$\text{由於 } \vec{j} \cdot dV = \frac{1}{S}(S \cdot d\vec{l}) = I \cdot d\vec{l} \quad (2-21)$$

其中 S 為導線面積。

將(2-20)式及(2-21)式代入(2-19)式，並假設電流方向為 Z 軸方向，如圖 2-1 所示，可得

$$\vec{A}(R) = \vec{a}_z \frac{\mu dl}{4\pi} \left(\frac{e^{-j\beta R}}{R} \right) \quad (2-22)$$

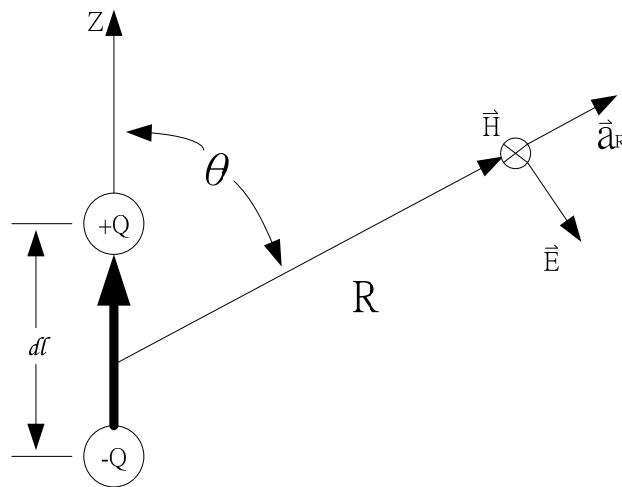


圖 2.1 赫茲雙極

$$\text{因磁場強度 } \vec{H} = \frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A} \quad (2-23)$$

故以球體座標來表示磁場強度時，將(2-22)式代入(2-23)式可得

$$\vec{H} = -\vec{a}_\phi \frac{Idl}{4\pi} \beta^2 \sin\theta \left[\frac{1}{j\beta R} + \frac{1}{(j\beta R)^2} \right] e^{-j\beta R} \quad (2-24)$$

(2-24)式即為赫茲雙極載有弦量電流所產生的磁場強度。

探討電力頻率(60Hz)及極低頻時，其電流場源附近產生的空間磁場，因波長 λ 長達五百萬公尺，所以有以下的關係式

$$\beta R = \frac{2\pi}{\lambda} R \ll 1 \quad (2-25)$$

所以(2-24)式的磁場強度可簡化為

$$\vec{H} = -\vec{a}_\phi \frac{Idl}{4\pi R^2} \sin\theta \quad (2-26)$$

(2-26)式即為電力頻率弦量電流所產生的近似磁場強度。

另外，由畢歐沙瓦定律(Biot savart's law)可知垂直載流迴路所引起的靜磁場為

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left(\frac{dl' \times \vec{a}_R}{R^2} \right) \quad (2-27)$$

因此由(2-26)式及(2-27)式可以發現時變場於電力頻率時與靜磁場對距離 R 的關係相同；也就是說極低頻場源所產生的磁場，對於欲討論空間的距離遠小於該頻率的波長時，其場量的行為類似靜磁場，並且其磁通密度與距離平方成反比，與電流源之大小成正比。

2.2 有限元素法

有限元素法(Finite Element Method：FEM)早在 1950 年代已經用來分析飛機等複雜結構體的強度與振動，這種方法是先把複雜的連續結構體分割成許多小區域(稱為元素)，再將各個等效離散化模型合為一體來分析的分法。這種方法需要用到高次元矩陣來運算，處理高次元矩陣的方式類似於差分法，目的在導出元素的所謂元素矩陣，在離散化的過程，可以利用最小能量原理(變分原理)所具有的特徵。近來在變壓器、電動機與發電機的設計，為了提高效率及可靠度，經由對二次元及三次元的磁場分佈計算做新的分析，再由磁場分佈即可瞭解其溫昇、應力及功率損耗的分佈情形。有限元素法可處理不同材質介面的磁場分佈及解析複雜的幾何圖形，使得它在設計過程中所佔有的地位大為提昇。

有限元素法又稱為能量法，因為在分佈參數系統裡求等效集總參數系統的迴路方程式之離散化過程，可採用最小能量原理。其最小能量原理如下。

迴路電流由零增加至 I 時，電阻消耗的功率為：

$$W_k = \sum_{i=1}^n \int_0^{I_k} R_i I dI = \frac{1}{2} \sum_{k,l} R_{kl} I_k I_l \quad (2-28)$$

由外部供給該迴路的電力： $P_k = \int_0^{I_k} V_k dI = V_k I_k$ ，因此定義系統的泛函數(Lagrangian Function) $\mathcal{L} \equiv W - P = \frac{1}{2} \sum_{k,l} R_{kl} I_k I_l - V_k I_k$ ，表示該迴路的總能量。

為了滿足能量守恆定理，因此迴路的總能量必須為零，可將 \mathcal{E} 對

I_k 做變分，使得迴路的總能量最小，則 $\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial I_k} = R_{kk} I_k - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n R_{ki} I_i - V_k = 0$ 。若

以矩陣表示則電阻所消耗的功率為 $W = \frac{1}{2} I^T R I$ ，而由外部供給的功率

為 $P = I^T V$ ，所以泛函數為 $\mathcal{E} = \frac{1}{2} I^T R I - I^T V$ ，依變分原理，則上式可表示

成 $\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial I^T} = R I - V = 0$ ，如此，系統的總能量之泛函數用變分原理構成方程

式的方法稱為能量法。

由於變分(Calculus of Variations)就是在求一個最佳函數，使整個式子的值最小，因此將變分原理應用在線性迴路的問題上，可將泛函數表示為

$$\mathcal{E} = \iint_s \frac{1}{2} \eta \left[\left(\frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy - \int_{\Gamma} I V d\Gamma \quad (2-29)$$

其中 η 為本質阻抗(Intrinsic Impedance)

對定義域 S 及邊界 Γ 作第一變分法，可得

$$\delta \mathcal{E} = \iint_s \eta \left[\frac{\partial V}{\partial x} \frac{\partial \delta V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \frac{\partial \delta V}{\partial y} \right] dx dy - \int_{\Gamma} I \delta V d\Gamma \quad (2-30)$$

$$= \int_{\Gamma} \left\{ \eta \left(\frac{\partial V}{\partial x} l + \frac{\partial V}{\partial y} m \right) - I \right\} \delta V d\Gamma - \iint_s \eta \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \delta V dx dy \quad (2-31)$$

其中 l 與 m 為 Γ 上向外所引出法線的方向餘弦。

對於任意的 δV ，其有關領域 S 的支配方程式為

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 0 \quad (2-32)$$

在邊界 Γ 上的支配方程式為

$$\eta \left(\frac{\partial V}{\partial x} l + \frac{\partial V}{\partial y} m \right) - I = 0, \Rightarrow \frac{\partial V}{\partial n} = \frac{I}{\eta} \quad (2-33)$$

其中 n 為法線方向。

同理，將變分原理應用在的磁場問題時，可將泛函數表示為

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2\mu} \iiint (\nabla \times \bar{A})^2 dv - \iiint \bar{J} \cdot \bar{A} dv \quad (2-34)$$

其中 \bar{J} 為電流密度， \bar{A} 為空間產生向量磁位分佈，且第一項為磁場能量，第二項表示由外部供應之電流所做的功。

2.3 磁場模擬軟體簡介

此計算書所採用之套裝軟體計算電磁場流程如圖 2.2 所示，乃使用有限元素法(FEM)分析各種電磁效應，此方法對於較為複雜的幾何圖形和非線性物質的電磁應用非常適用，一般 FEM 分析問題時，包括下列四個基本步驟：

1. 將所要解的區域分成數個次要的區塊或元素。
2. 求得每一元素的支配方程式。
3. 組合所有元素的支配方程式而得一組聯立方程式。
4. 對上述之聯立方程式求解，計算出來的磁通密度其單位為 Tesla，1 Tesla = 10^7 mG(磁通密度即我們一般所稱的磁場大小)。

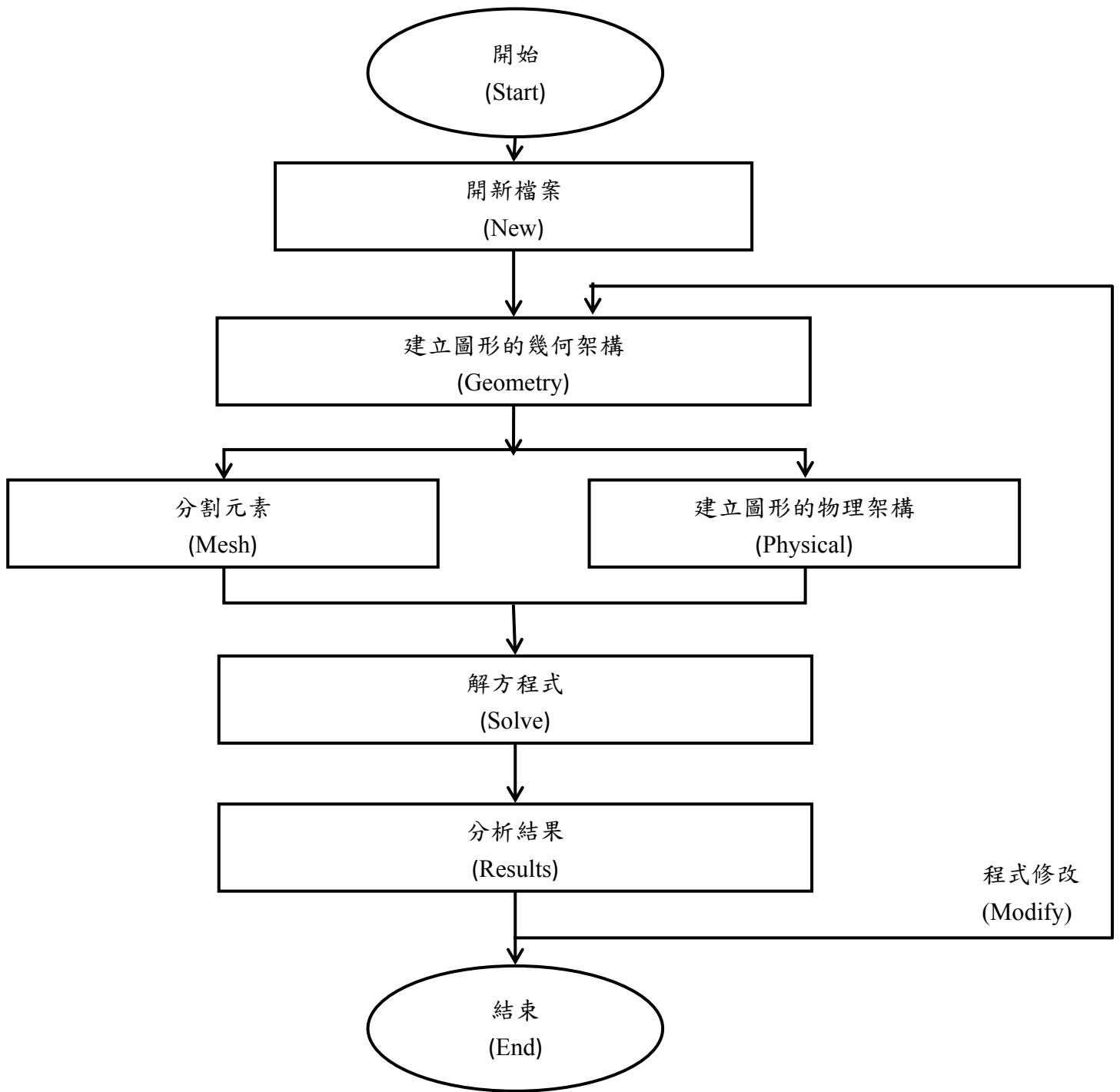


圖 2.2 電磁場計算之基本流程圖

第三章 離岸風力發電陸纜線路

-電磁場計算條件

3.1 電磁場計算檢討地點

本計畫針對兩個風場的三個陸纜路徑規劃方案，經過共構後，共 3 條路徑，取附近的敏感點，共八個調查點，分別進行模擬和計算。其各點位置如圖 3-2、表 3-1，八個調查點依序編號為 T1~T8。

3.2 電力電纜三維空間配置模擬

依據光宇公司提供，陸纜埋設深度(底層最深為 7.5m，上方可回填 2m)。模擬時，以三維空間模擬電磁場源，完整包括水平與垂直走向之 245kV 與 161kV 電力電纜。

在進行電磁場模擬時，需要有每回線正確的電流值。根據光宇公司所給資訊，本案輸出總發電量#18 號風場為 512MW、#19 號風場為 696MW，陸纜配置方面，245kV 採用 2 回線做計算，161kV 則採用 1 回線做計算，陸纜路徑分為 A、B、C 三種方案，其中 C 方案為 B 方案改由陸纜 2 上岸點(T7)上岸之方式連接。

由上岸點連接到自設變電站一律採用 245kV 傳輸，經過降壓後，以 161kV 傳輸至彰濱變電所。

#18 號風場，以 245kV 進行傳輸的每回線每相的電流為 603.272A，以 161kV 進行傳輸的每回線每相的電流為 1836.046A；

#19 號風場，以 245kV 進行傳輸的每回線每相的電流為 820.073A ；

以 161kV 進行傳輸的每回線每相的電流為 2495.874A

電流計算過程如下：

#18 號風場最大總輸出電量：512MW

$$\text{使用 245kV (2 回線)} : \frac{512M}{\sqrt{3} * 245k * 2} = 603.272 \text{ A}$$

$$\text{使用 161kV (1 回線)} : \frac{512M}{\sqrt{3} * 161k * 1} = 1836.046 \text{ A}$$

#19 號風場最大總輸出電量：696MW

$$\text{使用 245kV (2 回線)} : \frac{696M}{\sqrt{3} * 245k * 2} = 820.073 \text{ A}$$

$$\text{使用 161kV (1 回線)} : \frac{696M}{\sqrt{3} * 161k * 1} = 2495.874 \text{ A}$$

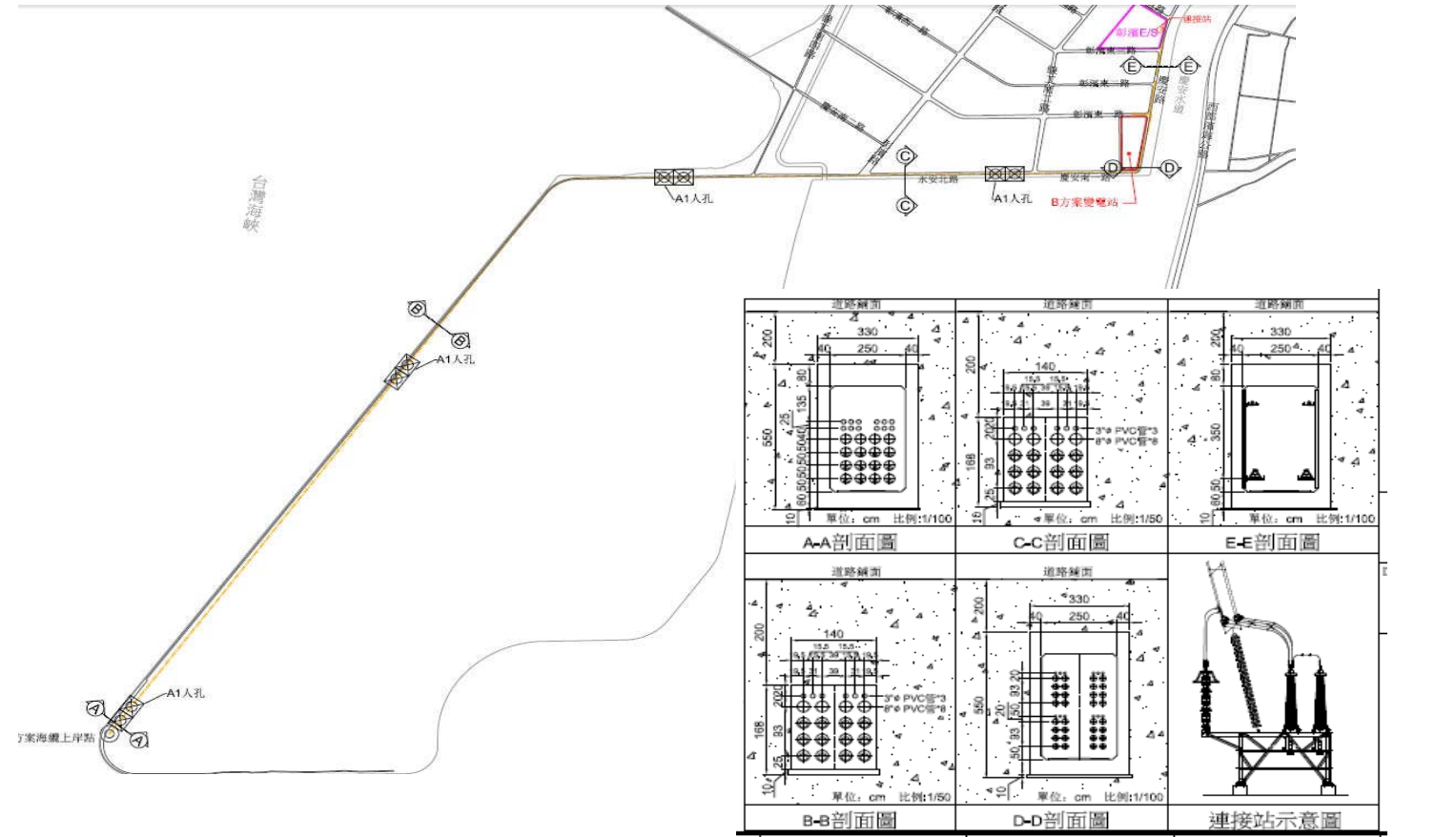
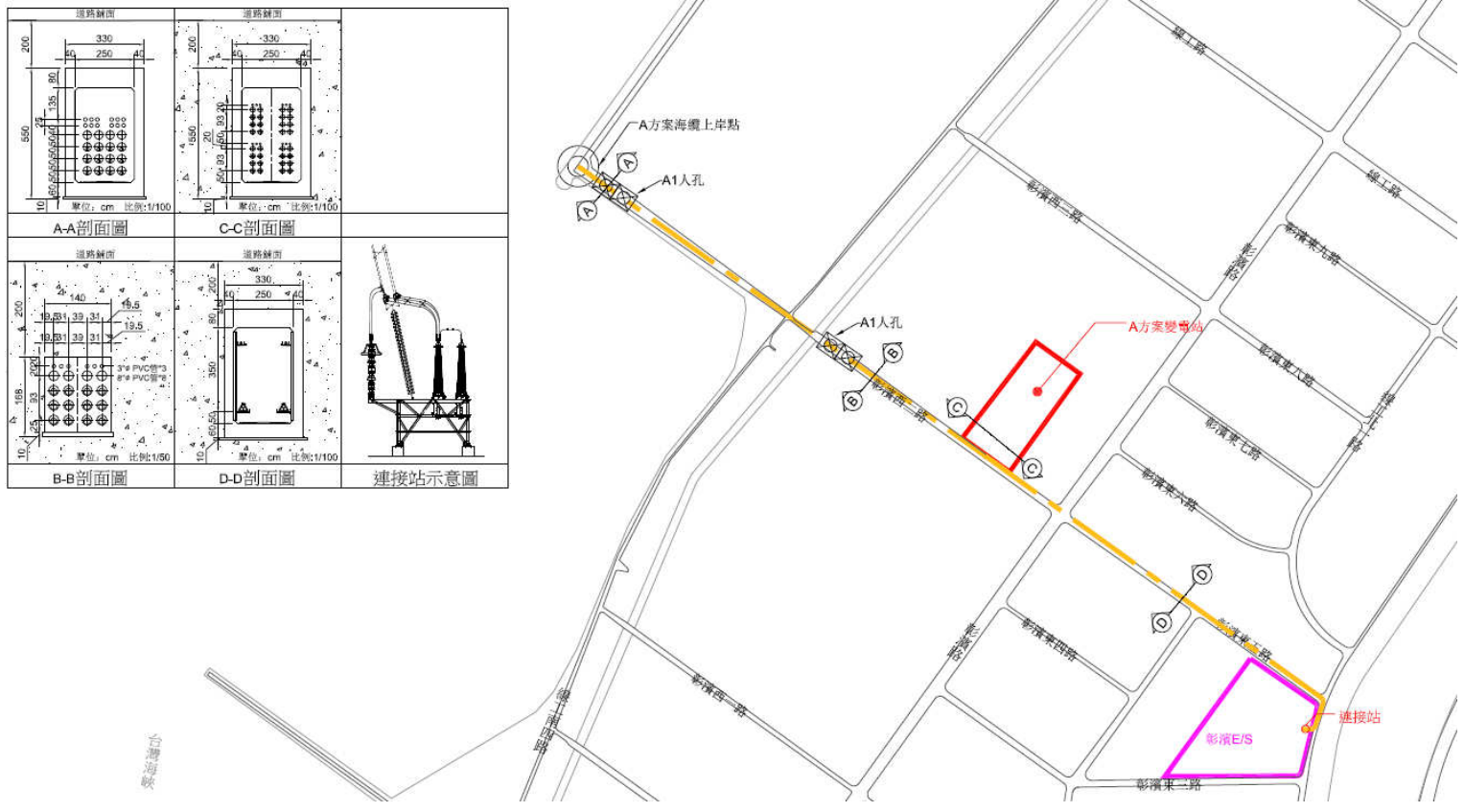
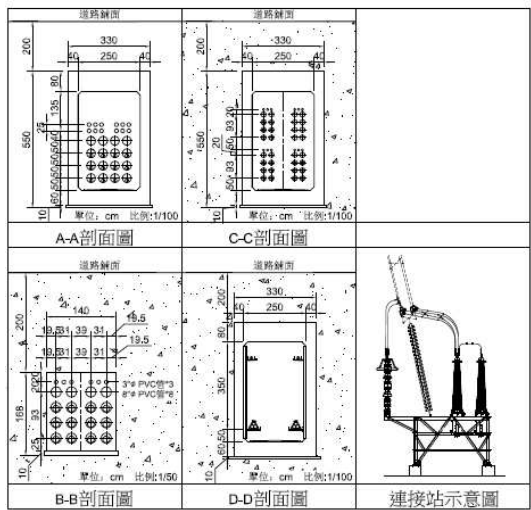


圖 3.1 陸纜各路段斷面圖

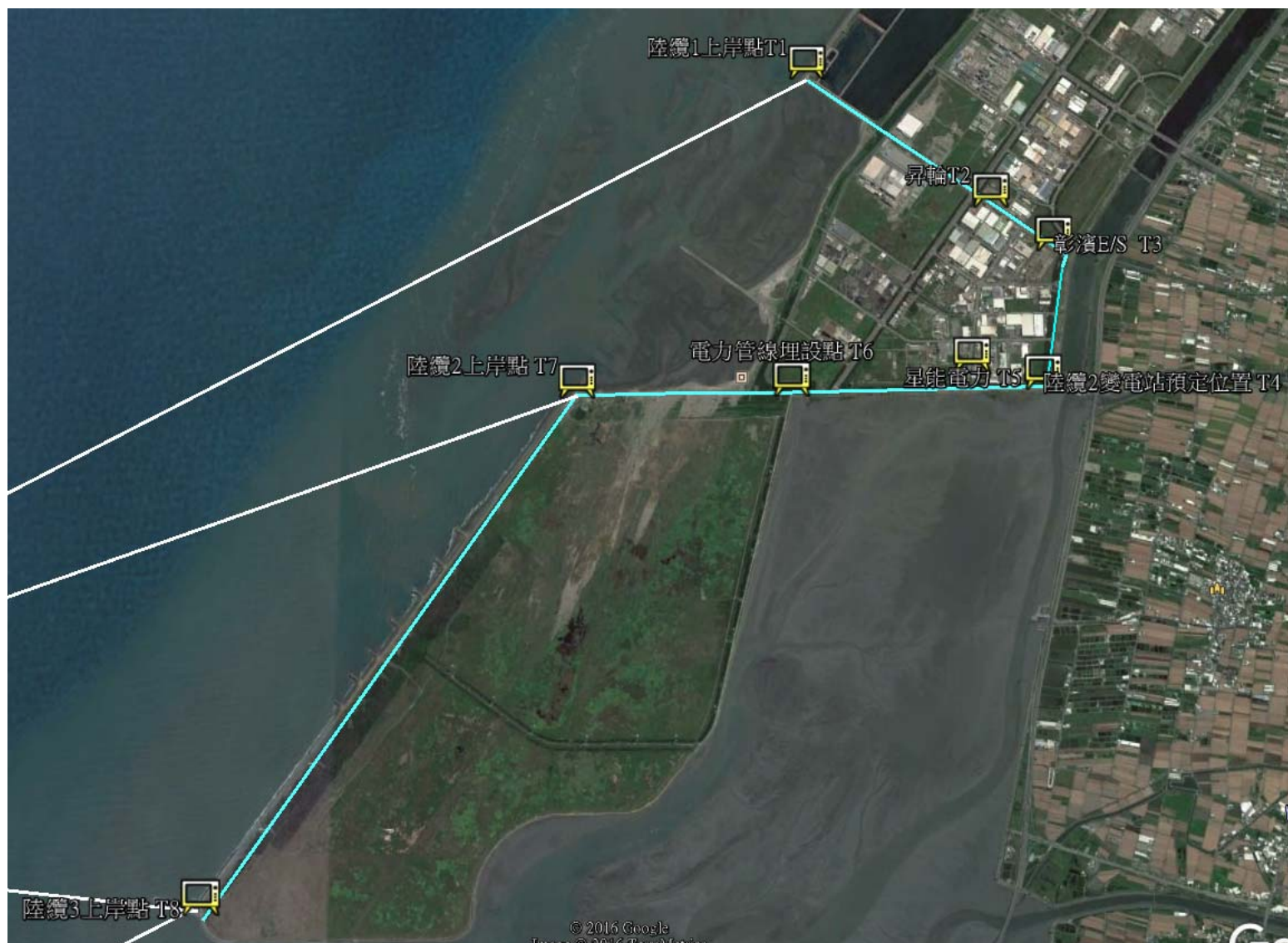


圖 3-2 離岸風力發電陸纜線路及各調查點位置

調查點	調查點編號
陸纜1上岸點	T1
昇輪	T2
彰濱E/S	T3
陸纜2變電站預定位置	T4
星能電力	T5
電力管線埋設點	T6
陸纜2上岸點	T7
陸纜3上岸點	T8

表 3-1 各點編號

第四章 計算結果

4.1 電磁場計算值

計算值為提供之條件下所產生的電磁場值；預估值為背景值及計算值的幾合平均值；背景最大平均值為取觀測點，分別於假日及非假日所測得之最大值相加取平均所得結果。

(1) #18 號風場-A 方案：

調查點編號	調查點	計算值(mG)	背景最大值(mG)		背景最大平均值(mG)	預估值(mG)
			假日	非假日		
T1	陸纜1上岸點	14.65	0.00	0.20	0.10	14.65
T2	昇輪	1.64	1.35	0.85	1.10	1.97
T3	彰濱E/S	0.98	2.53	3.38	2.96	3.11
T4	陸纜2變電站 預定位置	0.00	0.34	0.38	0.36	0.36
T5	星能電力	0.00	1.27	2.97	2.12	2.12
T6	電力管線埋設 點	0.00	1.35	1.21	1.28	1.28
T7	陸纜2上岸點	0.00	0.22	1.54	0.88	0.88
T8	陸纜3上岸點	0.00	0.60	0.10	0.35	0.35

(2) #18 號風場-B 方案：

調查點編號	調查點	計算值 (mG)	背景最大值(mG)		背景最大平 均值(mG)	預估值 (mG)
			假日	非假日		
T1	陸纜1上岸點	0.00	0.00	0.20	0.10	0.10
T2	昇輪	0.00	1.35	0.85	1.10	1.10
T3	彰濱E/S	0.02	2.53	3.38	2.96	2.96
T4	陸纜2變電站 預定位置	1.90	0.34	0.38	0.36	1.93
T5	星能電力	0.13	1.27	2.97	2.12	2.12
T6	電力管線埋設 點	0.73	1.35	1.21	1.28	1.48
T7	陸纜2上岸點	4.41	0.22	1.54	0.88	4.49
T8	陸纜3上岸點	1.06	0.60	0.10	0.35	1.12

(3) #18 號風場-C 方案：

調查點編號	調查點	計算值 (mG)	背景最大值(mG)		背景最大平 均值(mG)	預估值 (mG)
			假日	非假日		
T1	陸纜1上岸點	0.00	0.00	0.20	0.10	0.10
T2	昇輪	0.00	1.35	0.85	1.10	1.10
T3	彰濱E/S	0.02	2.53	3.38	2.96	2.96
T4	陸纜2變電站 預定位置	1.90	0.34	0.38	0.36	1.93
T5	星能電力	0.14	1.27	2.97	2.12	2.12
T6	電力管線埋設 點	0.69	1.35	1.21	1.28	1.46
T7	陸纜2上岸點	0.91	0.22	1.54	0.88	1.26
T8	陸纜3上岸點	0.00	0.60	0.10	0.35	0.35

(4) #19 號風場-A 方案：

調查點編號	調查點	計算值 (mG)	背景最大值(mG)		背景最大平 均值(mG)	預估值 (mG)
			假日	非假日		
T1	陸纜1上岸點	18.10	0.00	0.20	0.10	18.10
T2	昇輪	2.00	1.35	0.85	1.10	2.29
T3	彰濱E/S	1.22	2.53	3.38	2.96	3.20
T4	陸纜2變電站 預定位置	0.00	0.34	0.38	0.36	0.36
T5	星能電力	0.00	1.27	2.97	2.12	2.12
T6	電力管線埋設 點	0.00	1.35	1.21	1.28	1.28
T7	陸纜2上岸點	0.00	0.22	1.54	0.88	0.88
T8	陸纜3上岸點	0.00	0.60	0.10	0.35	0.35

(5) #19 號風場-B 方案：

調查點編號	調查點	計算值 (mG)	背景最大值(mG)		背景最大平 均值(mG)	預估值 (mG)
			假日	非假日		
T1	陸纜1上岸點	0.00	0.00	0.20	0.10	0.10
T2	昇輪	0.00	1.35	0.85	1.10	1.10
T3	彰濱E/S	0.02	2.53	3.38	2.96	2.96
T4	陸纜2變電站 預定位置	3.19	0.34	0.38	0.36	3.21
T5	星能電力	0.18	1.27	2.97	2.12	2.13
T6	電力管線埋設 點	1.03	1.35	1.21	1.28	1.65
T7	陸纜2上岸點	6.69	0.22	1.54	0.88	6.75
T8	陸纜3上岸點	1.37	0.60	0.10	0.35	1.42

(6) #19 號風場-C 方案：

調查點編號	調查點	計算值 (mG)	背景最大值(mG)		背景最大平 均值(mG)	預估值 (mG)
			假日	非假日		
T1	陸纜1上岸點	0.00	0.00	0.20	0.10	0.10
T2	昇輪	0.00	1.35	0.85	1.10	1.10
T3	彰濱E/S	0.02	2.53	3.38	2.96	2.96
T4	陸纜2變電站 預定位置	3.19	0.34	0.38	0.36	3.21
T5	星能電力	0.18	1.27	2.97	2.12	2.13
T6	電力管線埋設 點	0.97	1.35	1.21	1.28	1.61
T7	陸纜2上岸點	1.28	0.22	1.54	0.88	1.55
T8	陸纜3上岸點	0.00	0.60	0.10	0.35	0.35

第五章 結語

1. 本計算書利用有限元素法使用三維空間計算方法，考慮本案 245kV 以及 161kV 地下電纜空間配置，求出地下電纜之預定路徑對調查地點所造成的電磁場之影響程度。
2. 電磁場之重要因素為電流量，詳細的電纜電流計算過程如本計算書第 13 頁。
3. 電纜對各調查點造成的電磁影響加上實際量測時的背景值依然遠低於環保署 833.3mG 管制標準。
4. 電磁場值大小與導線與敏感點之間距離有很大的關係，敏感點距離導線較遠者，其值會明顯小與距離較近者。
5. 本報告測量儀器之有效位數為小數點後 2 位，模擬計算之電腦程式，可有較多的位數。為方便參考，會將所有數值的有效位數均取到小數點後 2 位。而小數點後 2 位以後值之影響，遠比參考位準值 833mG 小很多，可忽略不計。

附錄

環保署 101 年 11 月 30 日環署空字第 1010108068 號公告之「限制時變電場、磁場及電磁場曝露指引」

頻段	電場強度 (V/m)	磁場強度 (A/m)	磁通密度 (μT)
<1Hz	-	3.2×10^4	4×10^4
1-8Hz	10,000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$
8-25Hz	10,000	$4,000/f$	$5,000/f$
0.025-0.8KHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$
0.8-3KHz	$250/f$	5	6.25
3-150KHz	87	5	6.25
0.15-1MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$
1-10MHz	$87/\times f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$
10-400MHz	28	0.073	0.092
400-2000MHz	$1.375 \times f^{1/2}$	$0.0037 \times f^{1/2}$	$0.0046 \times f^{1/2}$
2-300GHz	61	0.16	0.20

註：f 代入 Hz, kHz, MHz, GHz 值

環保署公告之「限制時變電場、磁場及電磁場曝露指引」

(電力頻率磁場部分， $1\mu\text{T}=10\text{mG}$)

頻率(Hz)	磁通密度(mG)
60	833.3

附 錄 十 二

海象調查報告

玉山能源

105 年度

計畫名稱：SEDIMENT TRANSPORT AND SEABED VARIATION
ANALYSIS FOR THE DEVELOPMENT OF OFFSHORE
WIND FARMS IN THE CHANGHUA COASTAL AREAS

執行期間：自 105 年 07 月 01 日至 106 年 5 月 31 日止

期末報告(第 19 區)

委外單位：國立台灣海洋大學 海洋能源與政策研究中心

中華民國 105 年 10 月

1.

105 年度報告

保留

SEDIMENT TRANSPORT AND SEABED VARIATION
ANALYSIS FOR THE DEVELOPMENT OF OFFSHORE
WIND FARMS IN THE CHANGHUA COASTAL AREAS

保留

玉山能源

目錄

目錄.....	i
圖目錄.....	iii
表目錄.....	vii
第一章 前言.....	1
1.1 計畫緣起與目的.....	1
1.2 工作內容.....	4
1.3 工作項目.....	4
1.4 本文組織.....	5
第二章 資料蒐集與分析.....	7
2.1 海域地形資料.....	7
2.2 風速資料.....	7
2.3 波浪資料.....	8
2.4 潮汐資料.....	10
2.5 海潮流資料.....	10
2.6 河川輸砂.....	10
第三章 離岸風場波流場模擬.....	13
3.1 設計颱風暴潮之重現期分析.....	13
3.1.1 模型颱風之推算.....	13
3.1.2 極值統計理論.....	19
3.1.3 設計潮位推算結果.....	22
3.2 EEMSE 波場模式模擬.....	25
3.2.1 控制方程式.....	26
3.2.2 數值方法.....	30
3.2.3 離岸風場海域波場數值模擬分析.....	33

3.3 流場數值模式.....	47
3.3.1 流場控制方程式.....	48
3.3.2 數值方法.....	50
3.3.3 離岸風場流場數值模擬分析.....	54
3.4 海岸變遷模式.....	69
3.4.1 海岸變遷模式控制方程式.....	69
3.4.2 數值方法.....	73
3.4.3 離岸風場地形變遷數值模擬分析.....	75
第四章 離岸風場設置後基樁附近地形變動分析.....	79
4.1 三維數值模式-Splash3D.....	79
4.2 數值模擬條件及模型配置.....	80
4.3 19 區離岸風場之風機周圍沖刷評估.....	83
4.4 結果與討論.....	97
第五章 結論.....	99
5.1 結論.....	99
參考文獻.....	101
附錄-海象資料調查.....	105
A. 漂沙作業報告.....	105
B. 波潮流作業報告.....	110
B.1 工作項目.....	111
B.2 佈放位置.....	111
B.3 工作方法.....	112
B.4 使用儀器.....	112
B.5 作業照片.....	113

圖目錄

圖 1.1 離岸風機基礎淘蝕示意圖	2
圖 1.2 離岸風場海床淘蝕示意圖	2
圖 1.3 離岸式風力發電機基礎型式 Schaumann et al. (2004).....	3
圖 1.4 樁基礎受淘刷作用形成局部淘蝕示意圖 Sumer & Fredsøe (2002).....	3
圖 1.5 彰化離岸風場 (Formosa III) 第 18 及第 19 區區域示意圖	4
圖 3.1 歷史颱風路徑分類圖(圖片來源：中央氣象局颱風資料庫).....	14
圖 3.2 颱風風場座標系統圖	19
圖 3.3 彰化離岸風場海域最大暴潮偏差 Gumbel 及 Weibull 機率分佈比較圖	25
圖 3.4 波場模式網格示意圖	30
圖 3.5 波流場模式計算範圍及水深分佈示意圖	34
圖 3.6 設置前 50 年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE).....	36
圖 3.7 設置前 50 年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N)	37
圖 3.8 設置前冬季季風波浪場分佈圖(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE).....	38
圖 3.9 設置前夏季季風波浪場分佈圖(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W)	39
圖 3.10 設置後(6MW)50 年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE).....	40
圖 3.11 設置後(6MW)50 年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N)	41
圖 3.12 設置後(6MW)冬季季風波浪場分佈圖(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、 波向 NNE).....	42

圖 3.13 設置後(6MW)夏季季風波浪場分佈圖(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、 波向 W)	43
圖 3.14 設置後(8MW)50 年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE).....	44
圖 3.15 設置後(8MW)50 年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N).....	45
圖 3.16 設置後(8MW)冬季季風波浪場分佈圖(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、 波向 NNE).....	46
圖 3.17 設置後(8MW)夏季季風波浪場分佈圖(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、 波向 W)	47
圖 3.18 流場差分格網點示意圖	51
圖 3.19 設置前 50 年重現期颱風流場分佈圖(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、 波向 NNE).....	57
圖 3.20 設置前 50 年重現期颱風流場分佈圖(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、 波向 N).....	58
圖 3.21 設置前冬季季風流場分佈圖(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE)	59
圖 3.22 設置前夏季季風流場分佈圖(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W)	60
圖 3.23 設置後(6MW)50 年重現期颱風流場分佈圖(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE).....	61
圖 3.24 設置後(6MW)50 年重現期颱風流場分佈圖(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N).....	62
圖 3.25 設置後(6MW)冬季季風流場分佈圖(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、 波向 NNE).....	63
圖 3.26 設置後(6MW)夏季季風流場分佈圖(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波	

向 W).....	64
圖 3.27 設置後(8MW)50 年重現期颱風流場分佈圖(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE).....	65
圖 3.28 設置後(8MW)50 年重現期颱風流場分佈圖(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N).....	66
圖 3.29 設置後(8MW)冬季季風流場分佈圖(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE).....	67
圖 3.30 設置後(8MW)夏季季風流場分佈圖(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W).....	68
圖 3.31 海岸線變遷計算示意圖(Hanson and Kraus , 1989).....	71
圖 3.32 彰化離岸風場(第 19 區)設置前附近海域數值模擬地形 1 年侵淤變化圖	76
圖 3.33 彰化離岸風場(第 19 區)設置後(6MW)附近海域數值模擬地形 1 年侵淤變化圖	77
圖 3.34 彰化離岸風場(第 19 區)設置後(8MW)附近海域數值模擬地形 1 年侵淤變化圖	78
圖 4.1 未補樁之桁架式風機設置圖。圖中 OD 為外徑。(資料來源:玉山能源)...	81
圖 4.2 補樁之桁架式風機示意圖。圖中 OD 為外徑。(資料來源:玉山能源).....	82
圖 4.3 玉山能源離岸風場位置圖。圖中白框為離岸風場位置。編號為風場編號。.....	83
圖 4.4 考慮波浪及海流之模擬上視圖.....	84
圖 4.5 考慮波浪及海流之模擬側視圖.....	84
圖 4.6 19 區 30 m 水深地形沖刷圖。圖中色階為地形高程，單位 m。半透明平面為水面。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒.....	89
圖 4.7 19 區 30 m 水深地形沖刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位 m。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒.....	90
圖 4.8 19 區 50 m 水深地形沖刷圖。圖中色階為地形高程，單位 m。半透明平面	

為水面。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒	91
圖 4.9 19 區 50 m 水深地形沖刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位 m。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒	92
圖 4.10 19 區 30 m 水深補樁後地形沖刷圖。圖中色階為地形高程，單位 m。半透明平面為水面。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒	93
圖 4.11 19 區 30 m 水深補樁後地形沖刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位 m。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒	94
圖 4.12 19 區 50 m 水深補樁後地形沖刷圖。圖中色階為地形高程，單位 m。半透明平面為水面。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒	95
圖 4.13 19 區 50 m 水深補樁後地形沖刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位 m。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒	96
圖 A.1 器材準備出海	105
圖 A.2 捕砂器投放相對位置	107
圖 A.3 捕砂器投放作業一	107
圖 A.4 捕砂器投放作業二	108
圖 A.5 捕砂器投放作業三	108
圖 A.6 可疑大陸籍漁船一	109
圖 A.7 可疑大陸籍漁船二	110
圖 B.1 彰化附近海域調查區域範圍	111
圖 B.2 Aquadopp Profiler 海流剖面儀	113
圖 B.3 準備吊運相關設備至作業船隻	113
圖 B.4 混凝土塊預備投放	114
圖 B.5 潛水員預備下水作業	114

表目錄

表 1.1 離岸風場設置對海床地形變動之影響工作期程表.....	5
表 2.1 彰化鹿港氣象站之風速風向統計表(2015 年).....	7
表 2.2 台中梧棲氣象站之風速風向統計表(2015 年).....	8
表 2.3 各重現期之颱風波浪推算值統計表.....	9
表 2.4 季風波浪條件.....	9
表 2.5 彰化離岸風場(第 19 區)海域 50 年重現期距颱風波浪計算結果.....	9
表 2.6 雲林箔子寮潮位站潮位資料統計表(基隆中潮系統).....	10
表 3.1 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局).....	15
表 3.1(續 1) 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局).....	16
表 3.1(續 2) 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局).....	17
表 3.1(續 3) 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局).....	18
表 3.2 各極值分佈相關統計量之特性.....	21
表 3.3 計算樣本順位機率之 α 和 β	21
表 3.4 暴潮模式推算彰化離岸風場海域颱風期間最大暴潮偏差統計表.....	22
表 3.4(續 1) 暴潮模式推算彰化離岸風場海域颱風期間最大暴潮偏差統計表.....	23
表 3.4(續 2) 暴潮模式推算彰化離岸風場海域颱風期間最大暴潮偏差統計表.....	24
表 3.5 Gumbel 及 Weibull 分佈推算最大暴潮偏差極值統計分析結果.....	24
表 3.6 彰化離岸風場海域不同重現期距之颱風最大暴潮偏差計算結果.....	25
表 3.7 波浪模式計算條件與參數.....	34
表 3.8 流場與地形變遷模式計算條件與參數.....	55
表 4.1 19 區離岸風場五十年重現期颱風於各水深之波浪條件.....	80
表 A.1 捕沙器投放位置、深度及時間.....	106
表 B.1 彰化離岸風力發電廠計畫基地中心範圍座標表.....	111
表 B.2 Nortek Aquadopp profiler 型音波都卜勒式流速剖面儀規格表.....	112

第一章 前言

1.1 計畫緣起與目的

環境永續是目前世界各國努力推動的趨勢，而再生能源(renewable energy)則是環境永續推動的重要指標。民國 97 年行政院通過「永續能源政策綱領」，積極推動再生能源，並希冀透過推動「再生能源發展條例(草案)」，建立相關法源基礎，創造 650 萬瓩再生能源市場。同時配合「振興經濟擴大公共建設投資計畫」提高國內發展自主能源之誘因，創造相關產業發展的良好環境。依照此規劃，我國再生能源發電總量將在民國 114 年將達到總發電量的 14.9%。

依照民國 98 年全國能源會議總結報告，我國將以太陽能、生質能及風力發電為主要再生能源推動項目。然而根據台灣電力公司統計資料顯示，截至民國 98 年底，全台灣風力發電總量僅達 24.6 萬瓩，占總發電量的 0.64%。此一發電量距離經濟部能源局規劃之再生能源發電量目標仍有相當大的差異。台灣目前所有的風力發電量均來自於陸域風力發電場。然而我國地狹人稠，陸域風場開發日漸困難。台灣地區四面環海，風能充沛，加上海上風能較陸域穩定且具有更大之開發潛能(Kuo et al., 2008)，台灣地區十分適合發展海上風力發電。為提高風力發電能量，達成政府政策目標，行政院推出了六大新興產業政策，其中「風力發電」產業亦為六大新興產業之一，而離岸風力發電將是未來我國風能開發的趨勢。

離岸風場開發對海洋環境將造成影響，其中離岸風場支承結構基礎設置後，由於受流之作用，海床基礎附近之侵蝕可能造成海底地形變動，對鄰近海域環境及海岸地形是否造成影響需進一步探討。基此，本計畫針對選定之風場區位，根據所蒐集基本海象、氣象、地形及風場開發資訊等資料，以數值模式模擬風機排列條件下之離岸風場地形變遷，評估大規模風場開發可能造成之環境及海岸地形變遷之影響。

如圖 1.1 所示，離岸風力發電基礎長年處於波浪及海流作用之海域環境，波浪及海流除了將對支承結構產生側向作用力，亦會對基礎周圍海床土壤造成局部淘刷。對於採用樁基礎型式之離岸風機，樁週之局部淘刷深度一般建議為 1.5 倍樁徑 (DNV, 2004)，最大建議設計淘刷深度甚至達 2.5 倍樁徑(GL, 2005)。海床局部淘刷後將造成離岸風機基礎埋置深度減少及承载力降低。當大規模風場開發時，除了基礎周圍會產生局部淘蝕 SL，離岸風場地形亦可能產生全面淘蝕 SG (圖 1.2)。雖然基礎局部淘蝕可以利用防淘蝕工程穩定海床，但全面淘蝕將造成海底地形變動，影響鄰近海岸之侵蝕與堆積。因此大規模風場開發時，

除了需針對每作風機進行基礎防淘蝕工程，更須於風場開發前針對風場開發後之海底地形侵蝕與變遷進行評估，以提供環境影響評估具體分析成果。

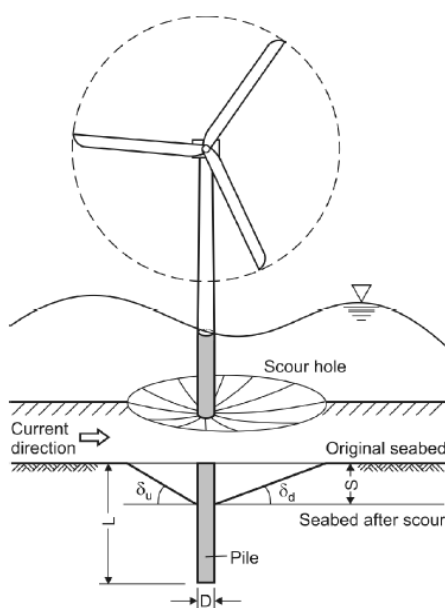


圖1.1 離岸風機基礎淘蝕示意圖

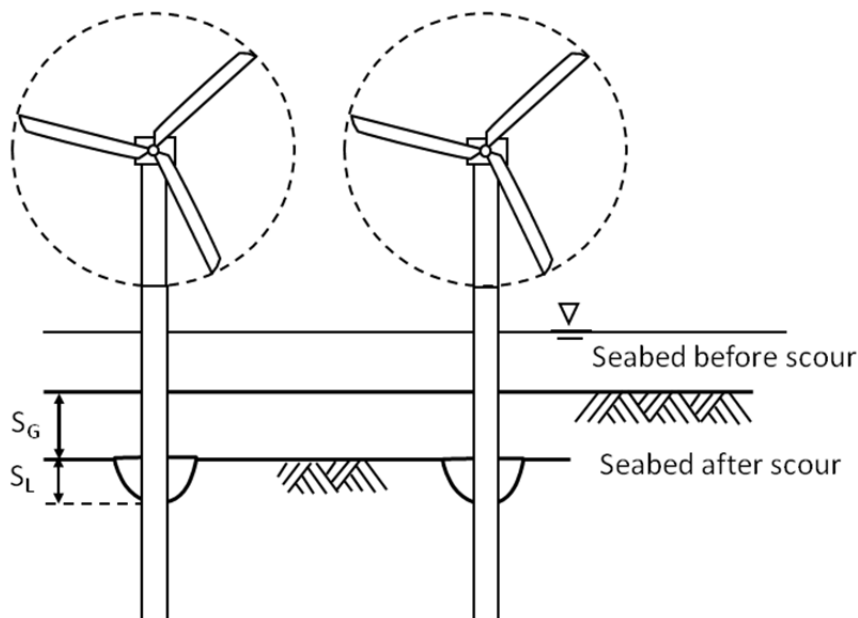


圖1.2 離岸風場海床淘蝕示意圖

環境影響評估為離岸風場開發前置作業中最關鍵之一環；其中，風場開發造成之海底地形變動除了將對生態環境造成影響，亦將造成海岸之長期地形變遷。圖 1.3 說明離岸風機支承基礎結構包括重力式基礎、單樁基礎及多樁基礎等。不論離岸風機採用何種基礎型式，海床土壤於波潮流之作用下，將會對鄰

近基礎之海床土壤造成局部淘蝕，圖 1.4 說明離岸風機支承結構和基礎在波潮流作用下，所衍生之底部邊界層(bed boundary layer)，馬蹄型渦流(Horseshoe vortex)以及基礎淘刷之情型，本次離岸風場風機之基礎型式擬選用圖 1.3 中(c)大口徑單樁型式與(e)塔架式基礎型式，進行研究與評估風場設置後海底地形變遷的影響。

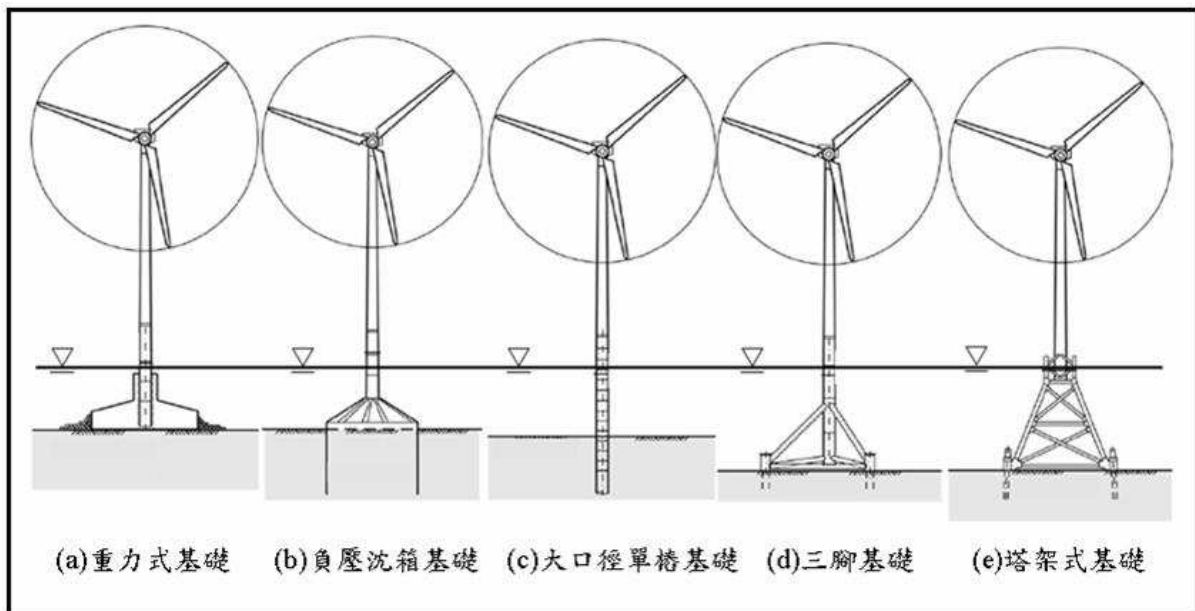


圖1.3 離岸式風力發電機基礎型式Schaumann et al. (2004)

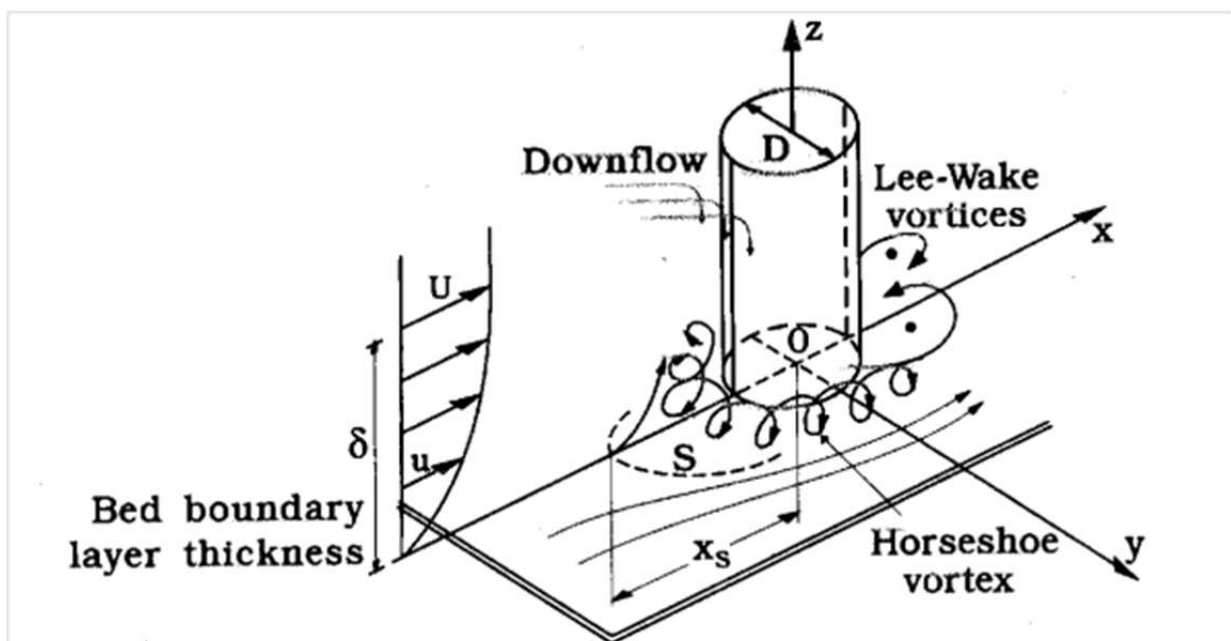


圖1.4 樁基礎受淘刷作用形成局部淘蝕示意圖Sumer & Fredsøe (2002)

表1.1 離岸風場設置對海床地形變動之影響工作期程表

工作項目	105 年 7-10 月
海象資料蒐集與分析	
離岸風場波場、流場計算	
離岸風場地形變動分析	

1.4 本文組織

本文共分五章，第一章為緒論闡述本計畫的緣起與目的、計畫的工作內容與計畫的工作進度；第二章為彰化離岸風場(第 19 區)外海基本海象資料蒐集與分析；第三章為離岸風場的波潮流模擬；第四章為離岸風場設置後地形變動分析；第五章為結論與建議；最後附錄部分描述海象資料調查過程。

第二章 資料蒐集與分析

進行彰化離岸風場(第 19 區)的波流場與地形變動分析之前，對於研究範圍內的相關環境背景資料的蒐集與分析，旨在進一步的瞭解該計畫研究區之海域特性之外，也可作為數值模式輸入模擬的依據。有關本研究計畫區域之環境背景資料整理詳述如下。

2.1 海域地形資料

本研究計畫主要觀測區域的地形水深檔與區域範圍與風場位置圖，南起濁水溪北側，北至彰濱工業區，外海至水深最深約 55 公尺處，其地理位置區位如圖 1.5 所示。

2.2 風速資料

根據彰化鹿港氣象站 2015 年的風向與風速觀測資料統計如表 2.1 所示，最大陣風發生於 8 月期間其風速達到 39.5 公尺/秒，平均風速則介於 2.3 公尺/秒~3.9 公尺/秒之間，最多風向以北北東及北風為主。另根據台中梧棲氣象站 2015 年的風向與風速觀測資料統計如表 2.2 所示，最大陣風發生於 8 月期間其風速達到 54.25 公尺/秒，平均風速則介於 3.4 公尺/秒~5.7 公尺/秒之間，最多風向以北風為主。由於本計畫風場位置距離海岸線約有 3 公里~7 公里，風速大體大於岸上測站測量數據。

表2.1 彰化鹿港氣象站之風速風向統計表(2015年)

統計參數	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
最大陣風 (m/sec)	18.4	17.3	15.9	16.2	11.2	13.1
平均風速 (m/sec)	3.7	3.3	3.1	2.8	2.3	2.6
最多風向	NNE	NNE	NNE	N	N	S
統計參數	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
最大陣風 (m/sec)	18.3	39.5	32.4	15.1	15.9	21.9
平均風速 (m/sec)	2.8	2.8	3.1	3.0	2.9	3.9
最多風向	NNE	SE	N	N	N	NNE

資料來源：中央氣象局網站

表2.2 台中梧棲氣象站之風速風向統計表(2015年)

統計參數	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
最大陣風 (m/sec)	24.5	25.4	22.9	23.5	15.1	15.1
平均風速 (m/sec)	5.5	4.7	4.3	4.5	3.4	3.8
最多風向	N	N	N	N	N	S
統計參數	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
最大陣風 (m/sec)	24.6	54.2	45.3	24.3	24.5	25.8
平均風速 (m/sec)	4.2	3.9	4.3	4.4	4.2	5.7
最多風向	N	SE	N	N	N	N

資料來源：中央氣象局網站

2.3 波浪資料

颱風波浪部分，由於颱風侵襲時，狂風大浪常將價格昂貴之波浪量測儀器沖失或損壞，因此，除非編列有足夠預算觀測計畫區附近海域之波浪狀況，且有完善設施保護，並記錄足夠通過該區之颱風波浪進行統計分析，否則，大抵以數值模擬方式推算颱風波浪。因此，為了解計畫區外海之颱風波浪狀況，特依井島武士及湯麟武博士之理論模擬推算颱風波浪。考量本計畫海岸地形變遷模擬範圍(第 19 區)外海水深達 57.75 公尺，以該區最深水位為中心，於南北、東西向各兩個經緯度範圍內，且颱風中心氣壓小於或等於 970mb 者，將民國 29 年~105 年侵台颱風中篩選出對計畫區影響較大之颱風進行颱風波浪推算，並將其各方向可能發生之最大示性波高以極端值分佈法推算各重現期之波高(如表 2.3 所示)。由表 2.3 可知，計畫區附近之外海颱風波浪以 N 向最大，W 向最小。以一般海岸、港灣結構物設計之 50 年迴歸期而言，N 向之示性波高約可達 10.70 公尺，其相對之週期為 13.74sec。至於冬季、夏季季風波浪條件，由於本計畫風場位置距離海岸線約有 3 公里~7 公里，水深介於 20 公尺~55 公尺間之海域，為瞭解季風波浪可能引致海岸地形變遷影響最大範圍，因此本計畫將以最大季風波浪條件作為海岸地形變遷模擬的輸入條件，採用台中港 2013~2015 年波浪資料，並過濾颱風波浪後，所求得之 50 年重現期最大季風波浪條件如表 2.4 所示。

另外，對於風機附近海床局部淘刷分析，考量風場位置水深則介於 20 公尺~55 公尺間，以 50 年重現期之颱風波浪(表 2.5)作為風機附近海床局部淘刷分析模式之輸入條件。

表2.3 各重現期之颱風波浪推算值統計表

方向 \ 重現期	250		200		100		50		25		20		10	
	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts
NNE	13.66	15.52	13.26	15.29	11.97	14.53	10.63	13.69	9.21	12.75	8.74	12.42	7.20	11.27
N	13.70	15.54	13.30	15.32	12.03	14.57	10.70	13.74	9.31	12.81	8.84	12.49	7.32	11.36
NNW	11.85	14.46	11.58	14.29	10.69	13.73	9.73	13.10	8.68	12.37	8.32	12.11	7.10	11.19
NW	10.54	13.64	10.29	13.47	9.48	12.93	8.61	12.32	7.65	11.62	7.32	11.36	6.21	10.47
WNW	10.82	13.81	10.48	13.60	9.41	12.88	8.29	12.09	7.12	11.20	6.72	10.89	5.44	9.80
W	9.30	12.81	9.00	12.60	8.05	11.91	7.05	11.15	6.00	10.29	5.65	9.98	4.51	8.92
WSW	10.55	13.64	10.10	13.35	8.72	12.40	7.34	11.38	5.96	10.26	5.52	9.87	4.14	8.55
SW	11.68	14.36	11.19	14.05	9.68	13.06	8.16	11.99	6.64	10.82	6.15	10.41	4.63	9.04
SSW	11.06	13.97	10.60	13.67	9.16	12.71	7.73	11.67	6.29	10.53	5.83	10.14	4.39	8.80
S	9.92	13.23	9.68	13.06	8.89	12.52	8.05	11.91	7.12	11.21	6.80	10.95	5.73	10.05
SSE	10.22	13.43	9.98	13.27	9.20	12.74	8.37	12.15	7.45	11.46	7.14	11.22	6.07	10.35
SE	9.57	13.00	9.36	12.85	8.67	12.37	7.93	11.82	7.11	11.20	6.83	10.98	5.88	10.19
ESE	9.12	12.68	8.92	12.54	8.27	12.08	7.57	11.56	6.81	10.96	6.54	10.74	5.66	9.99
E	9.45	12.91	9.24	12.77	8.56	12.29	7.83	11.75	7.02	11.13	6.74	10.91	5.81	10.12
ENE	10.00	13.28	9.77	13.13	9.05	12.63	8.26	12.07	7.41	11.43	7.11	11.20	6.12	10.39
NE	10.41	13.55	10.17	13.39	9.39	12.87	8.54	12.28	7.62	11.60	7.31	11.35	6.24	10.49

- 註：1.目標區推算點水深約為 57.75 公尺
 2.波高之單位為公尺；週期之單位為 sec
 3.本計畫彙整分析

表2.4 季風波浪條件

波浪條件	波高 Hs(m)	週期 Ts(sec)	波向
冬季季風波浪(10~3 月)	4.54	10.10	NNE
夏季季風波浪(4~9 月)	3.64	9.70	W

註：採用台中港 2013~2015 年波浪資料，本計畫彙整分析

表2.5 彰化離岸風場(第19區)海域 50年重現期距颱風波浪計算結果

風場區位	50年重現期颱風波浪波高 Hs(m)	50年重現期颱風波浪週期 Ts(sec)
第 19 區	10.70	13.74

註：本計畫彙整分析

2.4 潮汐資料

根據雲林箔子寮潮位測站統計資料如表 2.6 所示，蒐集資料時間從 2004 年到 2015 年。

表 2.6 雲林箔子寮潮位站潮位資料統計表(基隆中潮系統)

測站名稱及資料時間	雲林箔子寮
潮位名稱	2003~2015
最高高潮位 (H.H.W.L.)	+2.686
大潮平均高潮位 (H.W.O.S.T.)	+2.395
平均高潮位 (M.H.W.L.)	+1.675
平均潮位 (M.W.L.)	+0.46
平均低潮位 (M.L.W.L.)	-0.775
大潮平均低潮位 (L.W.O.S.T.)	-1.548
最低潮位 (L.L.W.L.)	-1.743
平均潮差 (M.R.)	2.45

單位：公尺

資料來源：中央氣象局網站

2.5 海潮流資料

彰化海域的背景海流是沿著海岸線呈東北-西南走向，受東北季風影響。當東北方強時，背景海流為順風而下的西南流，當東北季風弱時，背景海流為逆風而上的東北流。背景海流的最大流速約為 0.2 m/s，大部份深度的背景流速均小於 0.2 m/s。在潮流部分，此海域是以半日潮流為主，全日潮流次之，半日與全日潮流橢圓之主軸也是平行於海岸線呈東北-西南走向，且橢圓率接近 1，潮流橢圓幾乎退化成直線，這代表此海域的潮流橢圓的主軸流速分量遠大於副軸流速分量。

2.6 河川輸砂

本計畫彰化離岸風場 (Formosa III) 第 19 區位於烏溪、濁水溪溪口之間外海。烏溪河流主流長度為 119.13 公里，流域面積為 2,025.6 平方公里，流域之年平均雨量為 2,087 公釐，河川年平均逕流量為 3,608.66 百萬立方公尺。依據台灣西部河川輸砂量經驗公式($Q_s/\rho_s = 0.009 A^{0.852}$, Q_s (百萬噸/年):年輸沙量, ρ_s (噸/m³):砂密度, A (m²):流域面積)推估，烏溪平均年輸砂量約為 76.46 萬立方公尺。本計畫根據總量分配，以颱風期間河口輸砂量 0.3451cms、平時河口輸砂量 0.0197cms，作為數值模擬之輸入條件。濁水溪河流主流長度為 186.6 公

里，流域面積為 3,156.9 平方公里，河川年平均逕流量為 5,197.13 百萬立方公尺。依據台灣西部河川輸砂量經驗公式推估，濁水溪平均年輸砂量約為 111.59 萬立方公尺。本計畫根據總量分配，以颱風期間河口輸砂量 0.5051cms、平時河口輸砂量 0.0287cms，作為數值模擬之輸入條件。

第三章 離岸風場波流場模擬

在台灣建立離岸風場的開發，就風機整體的承載受力方面面臨許多的問題與考驗，波浪影響的部分而言，除了常態性的波浪與潮流的影響之外，因季風與颱風引起較大波浪與暴潮所造成的影響也不容小覷。與波浪相關資料在第二章基本資料蒐集的部分已將本研究計畫的研究區域內之的波浪條件作了完整的統計調查與分析，提供了波流場模式模擬計算時所需要的基本輸入條件；至於颱風暴潮的部分，本研究利用暴潮與潮流模式模擬颱風引致之暴潮水位，經由數值計算的結果做為統計分析之數據基礎或資料庫，推算出不同重現期的颱風暴潮水位條件，提供工程設計上參考與依據，同時也作為波流場模式模擬之條件。

3.1 設計颱風暴潮之重現期分析

為了能完整描述颱風來襲之水位變化趨勢，本計畫利用數值模式推算颱風暴潮，進一步以統計方式獲得不同重現期水位，成果將作為海底床地形變動模擬分析之重要輸入參數。本計畫根據中央氣象局颱風資料庫資料，蒐集二十餘年之颱風紀錄進行迴歸分析。分析方法乃根據水利署計畫「花蓮海岸災害監測預警系統建置」建立之暴潮與潮流模式推估各颱風來襲時之最大潮位。模式所使用之風場採用修正之袁金渦動模式(Rankine-Vortex Model, RVM)模擬颱風風場，有關袁金渦動模式之介紹將於 3.1.1 節中敘述。透過模式計算所得之潮位，結合極值分析方式統計不同重現週期下各地區之颱風暴潮情形，極值分析之理論將於 3.1.2 節中說明。

3.1.1 模型颱風之推算

如圖 3.1 所示，根據中央氣象局統計(2008)，歷年來侵襲臺灣之颱風可分為 10 大類路徑，本計畫計算 1989 年到 2013 年侵襲台灣之所有颱風，並且進行初步分析，表 3.1 為中央氣象局所提供之颱風資料。

一般而言當颱風形成後，因其內部氣壓低導致環繞周圍的空氣由外邊的高壓處向低壓的氣旋中心流動，氣壓梯度差為主要的風場動力來源，因此在模擬颱風風場時必須掌握颱風當時大氣壓力之分佈及特性。本計畫預估波浪重現期之模擬風場採用 Holland(1980)修正之袁金渦動模式(Rankine-Vortex Model; 簡稱 RVM)模擬颱風風場。袁金渦動颱風風場模式內所考慮到的外力有壓力梯度力、離心力及地球自轉所導致的科氏力。



圖3.1 歷史颱風路徑分類圖(圖片來源：中央氣象局颱風資料庫)

在應用 RVM 之前，首先要考慮的是模型颱風壓力分佈的形式，本文所選用的壓力分佈為較符合實際情況之指數型式，其壓力剖面分佈依 Myers (1954) 之提議，表示為

$$P_r = P_0 + \Delta P_c e^{-r_0/r} \quad (1)$$

其中 P_r 為距颱風中心 r 處的壓力， P_0 為颱風中心氣壓， $\Delta P_c = P_\infty - P_0$ 為距颱風中心無限遠的氣壓 P_∞ 與颱風中心氣壓 P_0 的氣壓差， P_∞ 本計畫設定為 1 大氣壓(1013 mb)， r_0 為最大暴風半徑，在此採用 Graham 和 Nunn (1959) 之建議為

$$r_0 = 28.52 \tanh[0.0873(\phi - 28)] + 12.22 / \exp[(1013.3 - P_0) / 33.86] + 0.2V_f + 37.22 \quad (2)$$

式中 V_f 為颱風前進速度， ϕ 為緯度。由式(1)對距離作微分可以得到壓力梯度公式為

$$U_r^2 = \frac{1}{\rho_a} r \frac{dP_r}{dr} = \frac{1}{\rho_a} \Delta P \left(\frac{r_0}{r} \right) e^{-r_0/r} \quad (3)$$

其中 ρ_a 為大氣密度， U_r 為旋橫風速(cyclostrophic wind speed)，而旋衡風與梯度風 V_r (gradient wind speed) 之關係為(Holland, 1980)

$$V_r^2 + f r V_r = \frac{1}{\rho_a} r \frac{dP_r}{dr} \quad (4)$$

$$V_r^2 + f r V_r = U_r^2 \quad (5)$$

表3.1 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局)

年度	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度	近中心 最低氣壓 (mb)	近中心 最大風速 (m/s)
1989	莎拉	SARAH	09/08~09/13	強烈	952	28
1990	瑪麗安	MARIAN	05/18~05/19	中度	960	40
1990	歐菲莉	OFELIA	06/21~06/24	中度	968	38
1990	楊希	YANCY	08/17~08/20	中度	960	40
1990	亞伯	ABE	08/29~08/31	中度	955	45
1990	黛特	DOT	09/06~09/08	中度	960	38
1991	艾美	AMY	07/17~07/19	強烈	950	51
1991	愛麗	ELLIE	08/16~08/18	中度	965	38
1991	耐特	NAT	09/30~10/02	輕度	935	30
1991	耐特	NAT	09/22~09/24	強烈	945	51
1992	歐馬	OMAR	09/03~09/05	強烈	945	51
1992	寶莉	POLLY	08/27~08/31	輕度	975	23
1992	泰德	TED	09/20~09/23	輕度	985	30
1993	亞伯	ABE	09/10~09/14	中度	950	43
1994	提姆	TIM	07/09~07/11	強烈	945	53
1994	凱特琳	CAITLIN	08/03~08/04	輕度	987	25

表3.1(續1) 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局)

年度	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度	近中心 最低氣 壓(mb)	近中心最 大風速 (m/s)
1994	道格	DOUG	08/06~08/08	強烈	930	58
1994	弗雷特	FRED	08/19~08/21	強烈	935	55
1994	葛拉絲	GLADYS	08/31~09/01	中度	970	35
1994	席斯	SETH	10/07~10/11	強烈	925	51
1995	荻安娜	DEANNA	06/04~06/08	輕度	995	20
1995	蓋瑞	GARY	07/31~07/31	輕度	980	28
1995	肯特	KENT	08/27~08/31	中度	955	45
1995	賴恩	RYAN	09/20~09/23	中度	955	45
1996	凱姆	CAM	05/20~05/23	輕度	995	20
1996	葛樂禮	GLORIA	07/24~07/27	中度	965	35
1996	賀伯	HERB	07/29~08/01	強烈	920	53
1997	溫妮	WINNIE	08/16~08/19	強烈	905	55
1997	安珀	AMBER	08/27~08/30	中度	945	48
1998	妮蔻兒	NICHOLE	07/09~07/10	輕度	998	18
1998	奧托	OTTO	08/03~08/05	輕度	985	30
1998	楊妮	YANNI	09/27~09/29	輕度	975	30
1998	瑞伯	ZEB	10/13~10/17	強烈	920	55
1998	芭比絲	BABS	10/25~10/27	中度	950	43
1999	瑪姬	MAGGIE	06/04~06/06	中度	965	38
1999	丹恩	DAN	10/04~10/09	中度	968	38
2000	啟德	KAI-TAK	07/06~07/10	中度	965	35
2000	碧利斯	BILIS	08/21~08/23	強烈	930	53
2000	巴比倫	PRAPIROON	08/27~08/30	中度	965	33
2000	寶發	BOPHA	09/08~09/10	輕度	990	23
2000	象神	XANGSANE	10/30~11/01	中度	960	38
2001	西馬隆	CIMARON	05/11~05/13	輕度	990	23
2001	奇比	CHEBI	06/22~06/24	中度	965	35
2001	尤特	UTOR	07/03~07/05	中度	960	38
2001	潭美	TRAMI	07/10~07/11	輕度	995	20
2001	桃芝	TORAJI	07/28~07/31	中度	962	38

表3.1(續2) 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局)

年度	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度	近中心最低氣壓 (mb)	近中心最大風速 (m/s)
2001	納莉	NARI	09/08~09/10	中度	960	40
2001	納莉	NARI	09/13~09/19	中度	960	40
2001	利奇馬	LEKIMA	09/23~09/28	中度	965	35
2002	娜克莉	NAKRI	07/09~07/10	輕度	987	20
2002	辛樂克	SINLAKU	09/04~09/08	中度	950	43
2003	莫拉克	MORAKOT	08/02~08/04	輕度	990	23
2003	杜鵑	DUJUAN	08/31~09/02	中度	950	43
2003	米勒	MELOR	11/02~11/03	輕度	975	30
2004	敏督利	MINDULLE	06/28~07/03	中度	942	45
2004	艾利	AERE	08/23~08/26	中度	960	48
2004	海馬	HAIMA	09/11~09/13	輕度	998	18
2004	納坦	NOCK-TEN	10/23~10/26	中度	945	43
2004	南瑪都	NANMADOL	12/03~12/04	中度	940	45
2005	海棠	HAITANG	07/16~07/20	強烈	912	55
2005	馬莎	MATSA	08/03~08/06	中度	955	40
2005	泰利	TALIM	08/30~09/01	強烈	920	53
2005	龍王	LONGWANG	09/30~10/03	強烈	925	51
2006	珍珠	CHANCHU	05/16~05/18	中度	943	45
2006	碧利斯	BILIS	07/12~07/15	輕度	978	25
2006	凱米	KAEMI	07/23~07/26	中度	960	38
2006	寶發	BOPHA	08/07~08/09	輕度	985	25
2007	帕布	PABUK	08/06~08/08	輕度	980	28
2007	梧提	WUTIP	08/08~08/09	輕度	992	18
2007	聖帕	SEPAT	08/16~08/19	強烈	920	53
2007	韋帕	WIPHA	09/17~09/19	中度	935	48
2007	柯羅莎	KROSA	10/04~10/07	強烈	925	51
2008	卡玫基	KALMAEGI	07/16~07/18	中度	970	33
2008	鳳凰	FUNG-WONG	07/26~07/29	中度	948	43
2008	辛樂克	SINLAKU	09/11~09/16	強烈	925	51
2008	薔蜜	JANGMI	09/26~09/29	強烈	925	53

表3.1(續3) 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局)

年度	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度	近中心最低氣壓 (mb)	近中心最大風速 (m/s)
2009	莫拉克	MORAKOT	08/05~08/10	中度	965	40
2009	芭瑪	PAARMA	10/03~10/06	中度	945	43
2010	萊羅克	LIONROCK	08/31~09/02	輕度	990	23
2010	南修	NAMTHEUN	08/30~08/31	輕度	995	18
2010	莫蘭蒂	MERANTI	09/09~09/10	輕度	990	23
2010	凡那比	FANAPI	09/17~09/20	中度	940	45
2010	梅姬	MEGI	10/21~10/23	中度	935	48
2011	南瑪都	NANMADOL	08/27~08/31	強烈	920	53
2012	泰利	TALIM	06/19~06/21	輕度	985	25
2012	蘇拉	SAOLA	07/30~08/03	中度	960	38
2012	天秤	TEMBIN	08/21~08/28	中度	945	45
2013	蘇力	SOULIK	07/11~07/13	強烈	925	51
2013	西馬隆	CIMARON	07/17~07/18	輕度	998	18
2013	潭美	TRAMI	08/20~08/22	輕度	970	30
2013	康芮	KONG-REY	08/27~08/29	輕度	985	25
2013	天兔	USAGI	09/19~09/22	強烈	910	55
2013	菲特	FITOW	10/04~10/07	中度	960	38

$$V_r = -0.5 f r + \sqrt{(0.5 f r)^2 + U_r^2} \quad (6)$$

其中 V_r 為距颱風中心 r 處的梯度風速， $f = 2w \sin \phi$ 為科氏參數， w 為地球自轉角速度 ($w = 7.929 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$)。

因波浪模式中所需風速為海面上 10 公尺處的風速，故需將梯度風轉換成海面上 10 公尺處之風速 V_{rs} ，Powell (1980) 建議下式：

$$V_{rs} = 0.8 V_r \quad (7)$$

再考慮颱風的前進速度，則 V_{rs} 必須再修正為

$$V_{rs}^* = V_{rs} + 0.5 V_f \cos \theta_c \quad (8)$$

其中 V_{rs}^* 為行進中颱風距颱風中心 r 處的實際合成風速，至於合成風速與颱風前進移動速度之夾角計算如圖 3.2 所示。圖中各符號意義如下， O 為颱風中心點， G 為距颱風中心 r 處之位置， OM 為最大風速之徑向， α 為合成風速與等壓線之夾角，本文採用 Shea 和 Gray(1973)之建議為 25^0 ， β 為 V_{rs}^* 與 x 軸之交角， δ 為颱風前進速度與正 x 軸之夾角， γ 為 OG 與 x 軸之交角， θ_c 為測點合成風速 V_{rs}^* 與颱風移動速度 V_f 風向的夾角 ($\theta_c = 90 + \alpha - \delta + \gamma$)。

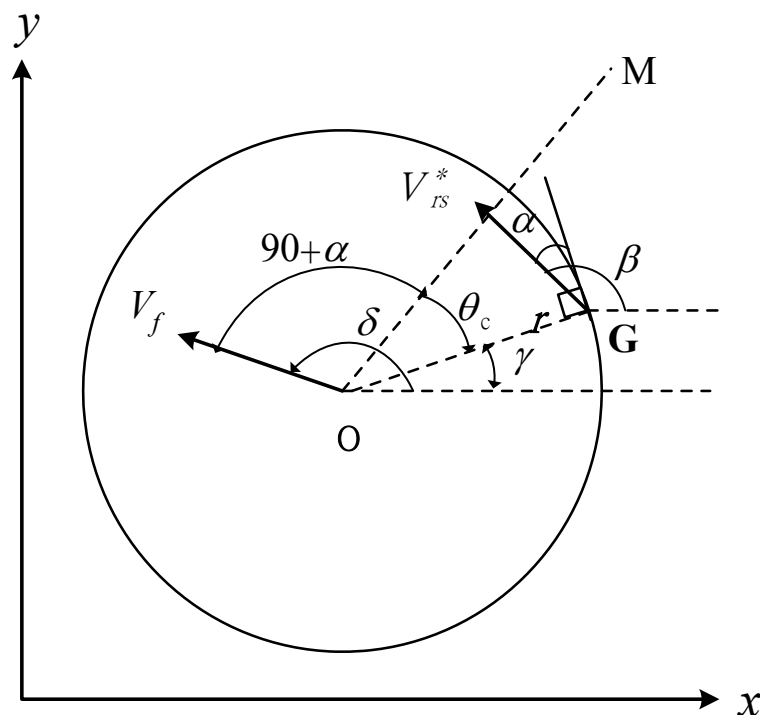


圖3.2 颱風風場座標系統圖

3.1.2 極值統計理論

暴潮的重現期(Return period)分析是指某極端暴潮值超過或等於某一門檻值後，下次再發生此一事件的時間長度。重現期與所發生機率 P (年)的關係如下列數學式所示：

$$T = 1/P \tag{9}$$

重現期分析為探討風險發生可能性的一項重要指標。本計畫透過長期資料搭配合適的重現期分析方法，決定出設計暴潮值，藉以作為決定設計水位之基礎。本計畫針對台灣彰化海域的暴潮特性進行檢討，確認當地海域暴潮之統計分佈特徵。

對海岸結構物設計而言，為確保結構物在使用年限內能發揮保護海岸之功能，減輕海岸災害，暴潮實測資料的長度要滿足統計特性方能分析代表性的成果。然實際上往往因現有記錄不足而無法達成。此時，需要藉由統計方法，利用有限長度的資料，去推估重現期之暴潮特性，此分析技巧稱為極值統計。工程上常利用極值統計方式推估各重現期距的暴潮特性，有關極值分佈方法眾多，以不同的極值函數所推估出來的重現期距結果亦不相同。

學理上共有六種常用機率分佈模式，即(1)兩參數對數常態分佈(two-parameter lognormal distribution, LN2)；(2)三參數對數常態分佈(three-parameter lognormal distribution, LN3)；(3)皮爾遜第三類分佈(Person type three distribution)；(4)對數皮爾遜第三類分佈(Log Person type three distribution)；(5)甘貝爾分佈(Gumbel distribution)；(6)韋伯分佈(Weibull distribution)。根據CEM(Coastal Engineering Manual, 2003)之建議，長期波浪和潮位極值適合之累積機率分佈函數為甘貝爾分佈(Gumbel)及韋伯(Weibull)分佈，因此本計畫以甘貝爾分佈及韋伯分佈進行潮位之統計，其推算方法簡述如下。

(1) Gumbel 分佈

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}}, -\infty < x < \infty \quad (10a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} e^{-\frac{x-B}{A}} e^{-\frac{x-B}{A}} \quad (10b)$$

(2) Weibull 分佈

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}, \quad B \leq x < \infty \quad (11a)$$

$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{x-B}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k} \quad (11b)$$

式中 x 為樣本變數， $f(x)$ 為機率密度函數 (probability density function)， $F(x)$ 為累積機率函數 (cumulative probability function)， A 、 B 為描述機率密度函數之參數，與樣本平均值(mean)有關，稱為位置參數(location parameter)，而 A 與變異數(variance)有關，稱為尺度參數(scale parameter)， k 值大小決定機率函數之分佈形狀。

這兩種分佈之眾數(mode)、平均值，及變異數分別示於表 3.2。利用所有(極值)數據求出樣本平均值和樣本變異數，再依表 3.2 中的關係，即可求出各種分佈參數。

表3.2 各極值分佈相關統計量之特性

分佈函數	眾數	平均值	變異數
Gumbel 分佈	B	$B + A\gamma$	$\pi A/\sqrt{6}$
Weibull 分佈	$B + A\left(1 - \frac{1}{k}\right)^{1/k}, k > 1$	$B + A\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$	$A\left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)\right]^{1/2}$

(註：為 Gamma 函數，為 Euler 數)

極值分佈函數決定後，極值分佈中相關參數如何推定，有各種不同的方法。一般極值分佈參數推定法，有力矩法(method of moment, MOM)，最小二乘法(least square method, LSM)，最大概似法(method of maximum likelihood, MLM)及加權機率力矩法(probability weighted moment method, PWM)等。其中最小二乘法為最常用之推定法。合田良實(1990)提出不同極端值分佈之排序，假設選取 N 個資料，並將 N 個資料依大小順序排列，再計算第 m 順位之值的累積機率 F_m ，其計算公式如下

$$F_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}, m = 1, 2, \dots, N \quad (12)$$

式中 α 和 β 分別為經驗參數。本年計畫中採用最小二乘法 (LSM) 在計算時，根據合田良實(1990)之建議 α 及 β 值在兩種不同分佈函數分別示於表 3.3。

表3.3 計算樣本順位機率之 α 和 β

分佈函數	α	β
Gumbel 分佈	0.44	0.12
Weibull 分佈	$0.20 + 0.27/\sqrt{k}$	$0.20 + 0.23/\sqrt{k}$

利用最小二乘法將排序為 m 之極端值(樣本值) x_m 與基準化變量 y_m 線性迴歸，表示如下

$$x_m = ay_m + b \quad (13)$$

式中 a 和 b 分別為直線迴歸之斜率及截距，而基準化變量 y_m 與機率 F_m 不同分佈而存在下列關係，即

$$\text{Gumbel 分佈： } y_m = -\ln(-\ln F_m) \quad (14)$$

$$\text{Weibull 分佈： } y_m = [-\ln(1-F_m)]^{1/k} \quad (15)$$

如以平均變量 Mean Square Error(MSE)來評估極端值分佈的適用性時，其表示為

$$MSE = E(y_i - y_p)^2 \quad (16)$$

其中 E 代表期望值， y_p 為利用式(13)求出樣本 y_m 大小排列的機率後，代入各極端值分佈所求出變數 y 的值。

3.1.3 設計潮位推算結果

為求得彰化離岸風場之設計潮位，本計畫利用 POM 潮位模式結合 FEM 潮流模式之暴潮推算模式計算侵襲台灣歷史颱風之最大暴潮偏差。颱風風場採用袁金渦動模式進行模型颱風之風場模擬。依照上述極端值統計理論，將模式計算之波高及潮位結果進行統計分析，從而找出不同重現期距之最大暴潮偏差。

首先使用暴潮模式直接計算每一個颱風在侵襲台灣時所造成的最大暴潮偏差，再將計算結果透過極值統計方法來求得不同重現期距之最大暴潮偏差。本計畫利用暴潮模式推算 1989 年至 2013 年所發生的 104 個颱風，於彰化離岸風場海域颱風期間最大暴潮偏差值如表 3.4 所示。將這段期間每一年間對彰化離岸風場海域所計算得到之最大暴潮偏差值，據此以 Gumbel 分佈與 Weibull 分佈迴歸彰化離岸風場海域的潮位，同時推算相關係數(COR)。由 Gumbel 分佈及 Weibull 分佈所計算的相關係數(COR)分別列於表 3.5，從表中之結果發現，彰化離岸風場海域最大暴潮偏差適合於 Weibull 分佈。海域最大暴潮偏差累積機率比較結果亦示於圖 3.3。根據表 3.5 列出之統計結果，所獲較適合之極值分佈，進而推算彰化離岸風場海域不同重現期(5 年、10 年、20 年、50 年)之最大暴潮偏差，如表 3.6 所示。

表3.4 暴潮模式推算彰化離岸風場海域颱風期間最大暴潮偏差統計表

年度	颱風 中文名稱	警報期間	最大潮位 (m)	年度	颱風 中文名稱	警報期間	最大潮位 (m)
1989	莎拉	09/08~09/13	0.46	1990	歐菲莉	06/21~06/24	0.37
1990	亞伯	08/29~08/31	0.07	1990	楊希	08/17~08/20	0.57

表3.4(續1) 暴潮模式推算彰化離岸風場海域颱風期間最大暴潮偏差統計表

年度	颱風 中文名稱	警報期間	最大潮位 (m)	年度	颱風 中文名稱	警報期間	最大潮位 (m)
1990	亞伯	08/29~08/31	0.13	2000	碧利斯	08/21~08/23	0.62
1990	黛特	09/06~09/08	0.37	2000	巴比倫	08/27~08/30	0.14
1991	艾美	07/17~07/19	0.16	2000	寶發	09/08~09/10	0.14
1991	愛麗	08/16~08/18	0.35	2000	象神	10/30~11/01	0.23
1991	耐特 1	09/22~09/24	0.13	2001	西馬隆	05/11~05/13	0.05
1991	耐特 2	09/30~10/02	0.15	2001	奇比	06/22~06/24	0.39
1992	歐馬	09/03~09/05	0.31	2001	尤特	07/03~07/05	0.06
1992	寶莉	08/27~08/31	0.39	2001	潭美	07/10~07/11	0.04
1992	泰德	09/20~09/23	0.29	2001	桃芝	07/28~07/31	0.47
1993	亞伯	09/10~09/14	0.12	2001	利奇馬	09/23~09/28	0.26
1994	提姆	07/09~07/11	0.66	2002	雷馬遜	07/02~07/04	0.12
1994	凱特琳	08/03~08/04	0.28	2002	娜克莉	07/09~07/10	0.36
1994	道格	08/06~08/08	0.50	2002	辛樂克	09/04~09/08	0.22
1994	弗雷特	08/19~08/21	0.27	2003	南卡	06/01~06/03	0.04
1994	葛拉絲	08/31~09/01	0.44	2003	蘇迪勒	06/16~06/18	0.12
1994	席斯	10/07~10/11	0.34	2003	莫拉克	08/02~08/04	0.16
1995	荻安娜	06/04~06/08	0.02	2003	梵高	08/19~08/20	0.09
1995	蓋瑞	07/31~07/31	0.24	2003	杜鵑	08/31~09/02	0.12
1995	肯特	08/27~08/31	0.12	2003	米勒	11/02~11/03	0.08
1995	賴恩	09/20~09/23	0.15	2004	康森	06/07~06/09	0.10
1996	凱姆	05/20~05/23	0.03	2004	敏督利	06/28~07/03	0.43
1996	葛樂禮	07/24~07/27	0.30	2004	艾利	08/23~08/26	0.58
1996	賀伯	07/29~08/01	0.81	2004	海馬	09/11~09/13	0.14
1997	溫妮	08/16~08/19	0.14	2004	納坦	10/23~10/26	0.50
1997	安珀	08/27~08/30	0.64	2004	南瑪都	12/03~12/04	0.05
1998	妮蔻兒	07/09~07/10	0.09	2005	海棠	07/16~07/20	0.88
1998	奧托	08/03~08/05	0.34	2005	馬莎	08/03~08/06	0.25
1998	楊妮	09/27~09/29	0.11	2005	珊瑚	08/11~08/13	0.15
1998	瑞伯	10/13~10/17	0.28	2005	泰利	08/30~09/01	0.79
1998	芭比絲	10/25~10/27	0.18	2005	卡努	09/09~09/11	0.19
1999	瑪姬	06/04~06/06	0.07	2005	丹瑞	09/21~09/23	0.03
1999	丹恩	10/04~10/09	0.26	2005	龍王	09/30~10/03	0.85
2000	啟德	07/06~07/10	0.26	2006	珍珠	05/16~05/18	0.30

表3.4(續2) 暴潮模式推算彰化離岸風場海域颱風期間最大暴潮偏差統計表

年度	颱風 中文名稱	警報期間	最大潮位 (m)	年度	颱風 中文名稱	警報期間	最大潮位 (m)
2006	艾維尼	07/07~07/09	0.08	2009	莫拉克	08/05~08/10	0.56
2006	碧利斯	07/12~07/15	0.51	2009	芭瑪	10/03~10/06	0.07
2006	凱米	07/23~07/26	0.25	2010	南修	08/30~08/31	0.14
2006	寶發	08/07~08/09	0.31	2010	萊羅克	08/31~09/02	0.22
2006	桑美	08/09~08/10	0.13	2010	莫蘭蒂	09/09~09/10	0.14
2007	帕布	08/06~08/08	0.11	2010	凡那比	09/17~09/20	0.56
2007	梧提	08/08~08/09	0.50	2010	梅姬	10/21~10/23	0.51
2007	聖帕	08/16~08/19	0.67	2011	南瑪都	08/27~08/31	0.16
2007	韋帕	09/17~09/19	0.43	2012	泰利	06/19~06/21	0.27
2007	柯羅莎	10/04~10/07	0.91	2012	蘇拉	07/30~08/03	0.53
2008	卡玫基	07/16~07/18	0.36	2012	天秤	08/21~08/28	0.22
2008	鳳凰	07/26~07/29	0.67	2013	蘇力	07/11~07/13	0.88
2008	如麗	08/19~08/21	0.06	2013	西馬隆	07/17~07/18	0.02
2008	辛樂克	09/11~09/16	0.75	2013	潭美	08/20~08/22	0.30
2008	哈格比	09/21~09/23	0.06	2013	康芮	08/27~08/29	0.24
2008	薔蜜	09/26~09/29	0.91	2013	天兔	09/19~09/22	0.15
2009	蓮花	06/19~06/22	0.22	2013	菲特	10/04~10/07	0.25

表3.5 Gumbel及Weibull分佈推算最大暴潮偏差極值統計分析結果

海域	分佈型式	相關係數(COR)
彰化	Gumbel 分佈	0.986743
	Weibull 分佈	0.992490(適合)

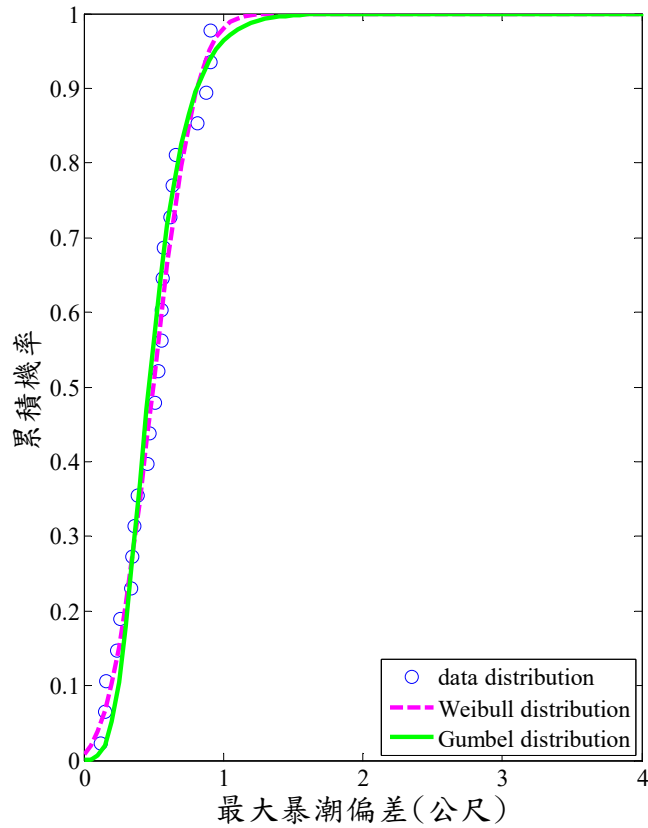


圖3.3 彰化離岸風場海域最大暴潮偏差Gumbel及Weibull機率分佈比較圖

表3.6 彰化離岸風場海域不同重現期距之颱風最大暴潮偏差計算結果

單位：公尺(m)

海域(經度，緯度)		颱風風浪重現期(年)			
		50	100	200	250
彰化 (120.276°，24.063°)	適合 Weibull 分佈	1.00	1.02	1.02	1.13

註：適用範圍建議為該位置沿海岸方向方圓 10 公里。

3.2 EEMSE 波場模式模擬

當外海波浪向近岸傳播時，波浪除因水深變化而產生折射、繞射及淺化效應外，當結構物存在時，波浪亦將因繞射及反射而產生變形，若能正確地描述近岸波場因折射、淺化、繞射及反射共同效應的波浪變化，即可為近岸工程之規劃設計提供良好之參考。本研究所選取的 EEMSE 波場模式，可模擬基本之波浪變形效應（淺化、折射、繞射、反射及碎波）外，亦可模擬出波浪非線性

淺化效應、底床摩擦效應、及透水介質效應；此外，對於大角度波浪入射問題亦能處理。

3.2.1 控制方程式

本文所選取的波浪模式，以 Suh 等人(1997)及許等人(2000)所推導含有底床非線性項之雙曲線型緩坡方程式為基礎，以及 Rojanakamthorn 等人(1989)提出考慮透水層效應之緩坡方程式概念所建立。方程式中所含之底床非線性項，包含有底床曲率項及底床斜率平方項之係數，亦針對波浪非線性作用，以及模擬透水性底床或透水潛堤之功能，分別加入波浪非線性淺化效應 (Tsai 等人, 2001)、底床摩擦效應(Dean 和 Dalrymple22, 1984)、及透水介質效應 (Rojanakamthorn 等人, 1989)。據此，本文所推導之延伸型緩坡方程式(extended mild-slope equation)如下：

$$-\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + \nabla \cdot (\alpha_p \nabla \Phi) + [\alpha_p k^2 (1 + if) - \omega^2] \Phi \dots\dots\dots(17)$$

$$+ [f_1(kh)g\nabla^2 h + f_2(kh)(\nabla h)^2 gk] \Phi = 0$$

式中

$$f_1(kh) = \frac{-4kh \cosh(kh) + \sinh(3kh) + \sinh(kh)}{8 \cosh^3(kh)[2kh + \sinh(2kh)]} \dots\dots\dots(18)$$

$$+ \frac{8(kh)^2 \sinh(kh)}{8 \cosh^3(kh)[2kh + \sinh(2kh)]} - \frac{kh \tanh(kh)}{2 \cosh^2(kh)}$$

$$f_2(kh) = \frac{\operatorname{sech}^2(kh)}{6[2kh + \sinh(2kh)]^3} \cdot \{8(kh)^4 + 16(kh)^3 \sinh(2kh)$$

$$- 9 \sinh^2(2kh) \cosh(2kh) \dots\dots\dots(19)$$

$$+ 12(kh)[1 + 2 \sinh^4(kh)][kh + \sinh(2kh)]\}$$

$$\alpha_p = \alpha_1 + n_0 (S + if_p) \alpha_2 \dots\dots\dots(20)$$

$$\alpha_1 = gh\beta_1^2 \left\{ \frac{\beta_2^2(1 - e^{-2kh})}{2kh} - \frac{\beta_3^2(1 - e^{2kh})}{2kh} - 2\beta_2\beta_3 \right\} \dots\dots\dots(21)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2} gh_p \beta_1^2 \left\{ 1 + \frac{\sinh(2kh_p)}{2kh_p} \right\} \dots\dots\dots(22)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \delta_p \cosh(kh)} \dots\dots\dots(23)$$

$$\beta_2 = n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \frac{1}{2} \delta_p e^{kh} \dots\dots\dots(24)$$

$$\beta_3 = \frac{1}{2} \delta_p e^{-kh} \dots\dots\dots(25)$$

$$\delta_p = n_0 \sinh(kh_p) - (S + if_p) \cosh(kh_p) \dots\dots\dots(26)$$

上列各式中， Φ 為波浪勢能函數， $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ 為水平方向梯度因子， (x, y) 為水平座標， t 為時間變量， $i = \sqrt{-1}$ ， k 為波浪週波速， ω 為波浪角頻率， g 為重力加速度， h 為透水層至水面之深度， h_p 為透水層厚度， f_1 及 f_2 為底床曲率及底床斜率平方項係數， f 為能量消散係數， n_0 為透水層孔隙率， $S = n_0 + (1 - n_0)C_M$ ， C_M 為虛擬質量係數， f_p 為透水介質之線性摩擦因子，需由下式計算

$$f_p = \frac{1}{\omega} \frac{\int_{\nabla} \int_0^T \left\{ \frac{n_0^2 \nu}{k_p} |\bar{u}_s|^2 + \frac{n_0^3 C_p}{\sqrt{k_p}} |\bar{u}_s|^3 \right\} dt d\nabla}{\int_{\nabla} \int_0^T n_0 |\bar{u}_s|^2 dt d\nabla} \dots\dots\dots(27)$$

式中， C_p 為透水層之紊流摩擦係數， k_p 為透水層之滲透係數，單位長度平方， ν 為流體運動黏滯性係數， \bar{u}_s 為透水層內部流體速度。至於波浪週波數 k 則滿足下列延散關係(dispersion relation)

$$\omega^2 = gk \frac{n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \delta_p \sinh(kh)}{n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \delta_p \cosh(kh)} \dots\dots\dots(28)$$

當底床無透水層存在時，即 $S = 1$ 、 $f_p = 0$ 、 $h_p = 0$ ，則係數 α_p 可簡化為 CC_g ，其中 C 為波速， C_g 為群波波速，則式(17)可簡化為傳統型態的緩坡方程式，式(28)可簡化為傳統之延散方程式。

至於能量消散係數 f 包含三部份，即 $f = f_d + f_b + f_s$ ， f_d 、 f_b 與 f_s 分別代表波浪碎波係數、底床摩擦係數及非線性淺化係數。對於波浪碎波之能量消散係數 f_d ，本計畫採用 Dally 等人(1985)之碎波公式：

$$f_d = \frac{K_2}{kh} \left(1 - \frac{K_1^2}{4(A/h)^2} \right) \dots\dots\dots(29)$$

其中， A 為波浪之振幅，係數 $K_1 = 0.4$ ， $K_2 = 0.15$ 。碎波指標 γ_b 則採用 Isobe(1987) 的建議：

$$\gamma_b = 0.53 - 0.3 \exp(-3\sqrt{h/L_0}) + 5 \tan^{3/2} \beta \exp[-45(\sqrt{h/L_0} - 0.1)^2] \dots\dots\dots(30)$$

其中 $\tan \beta$ 為海床坡度， L_0 為深海波長。

底床摩擦係數 f_b 根據 Dean 和 Dalrymple(1984)之紊流邊界層結果所得到之經驗公式。

$$f_b = \frac{4C_{wf}}{3\pi} \frac{A\omega^2}{gn} \frac{1}{\sinh^3 kh} \dots\dots\dots(31)$$

式中

$$n = \frac{C_g}{C} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \dots\dots\dots(32)$$

$$\begin{cases} C_{wf} = 0.025 (A_b/k_s)^{-0.75} & \text{for } A_b/k_s < 50 \\ \frac{1}{4\sqrt{C_{wf}}} + \ln \frac{1}{4\sqrt{C_{wf}}} = -0.35 + \frac{4}{3} \ln \frac{A_b}{k_s} & \text{for } A_b/k_s > 50 \end{cases} \dots\dots\dots(33)$$

$$A_b = \frac{A}{\sinh kh} \dots\dots\dots(34)$$

$$k_s = 2D_{90} \quad \text{or} \quad k_s = 2.5D_{50} \dots\dots\dots(35)$$

其中， D_{90} 與 D_{50} 分別為底床土壤 90% 與 50% 之均質粒徑。

至於波浪非線性淺化係數 f_s 則依據 Tsai 等人(2001)建議之關係式：

$$f_s = \begin{cases} 0 & \text{for } U_r \leq 30 \\ \frac{1}{kh} \left(-\frac{4}{7} + S_1 + S_2 \right) \tan \beta & \text{for } 30 \leq U_r \leq 50 \\ \frac{1}{kh} \left(-\frac{3\sqrt{U_r} - 10\sqrt{3}}{1.5\sqrt{U_r} - 2\sqrt{3}} + S_1 + S_2 \right) \tan \beta & \text{for } 50 \leq U_r \text{ 至碎波點} \end{cases} \dots\dots\dots(36)$$

其中

$$U_r = \frac{2gAT^2}{h^2} \dots\dots\dots(37)$$

$$S_1 = \frac{2n-1}{2n} \dots\dots\dots(38)$$

$$S_2 = \frac{k_0h - h^2(k^2 + k_0^2)}{4n^2 \sinh^2 kh} \dots\dots\dots(39)$$

式(17)之緩坡方程式，在處理邊界上較為繁複，因此依據 Mei(1983)之建議，將一緩慢時間變量引入緩坡方程式中，其變量為

$$\bar{t} = \varepsilon t \dots\dots\dots(40)$$

其中， \bar{t} 為緩慢時間變量， ε 為攝動參數(perturbation coefficient)，且 $\varepsilon \ll 1$ 。根據式(40)，則波浪勢能函數 Φ 可進一步寫成

$$\Phi(x, y, t) = \bar{\psi}(x, y, \bar{t})e^{-i \omega t} \dots\dots\dots(41)$$

式中 $\bar{\psi}$ 為加入攝動參數之流速勢。將式(41)帶入式(17)，並將二階為小量省略，只保留一皆以下各項，則可得一個新的時變性拋物線型緩坡方程式(time-dependent parabolic mid-slope equation)，如下式所示：

$$\begin{aligned} -2\omega i \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial t} = \nabla \cdot (\alpha_p \nabla \bar{\psi}) + \alpha_p k^2 (1 + if) \bar{\psi} \dots\dots\dots(42) \\ + [f_1(kh)g\nabla^2 h + f_2(kh)(\nabla h)^2 gk] \bar{\psi} \end{aligned}$$

上式能降低矩陣之維度，降低數值計算之時間。簡化為式(42)之控制方程式，引用 Radder(1979)之尺度因子，如式(43)所示：

$$\bar{\psi} = \frac{\phi}{\sqrt{\alpha_p}} \dots\dots\dots(43)$$

則式(42)可簡化為式(44)

$$-\frac{2i\omega}{\alpha_p} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla^2 \phi + k_c^2 \phi \dots\dots\dots(44)$$

其中

$$k_c^2 = k^2(1+if) - \frac{\nabla^2 \sqrt{\alpha_p}}{\sqrt{\alpha_p}} + \frac{[f_1 g \nabla^2 h + f_2 (\nabla h)^2 g k]}{\alpha_p} \dots\dots\dots(45)$$

式(44)稱為演進型緩坡方程式(Evolution Equation of Mild Slope Equation, EEMSE)，相較式(17)之雙曲線型緩坡方程式，能節省數值疊代之計算時間，適用於較大範圍的海域波場計算。

3.2.2 數值方法

1. 差分方程式

對於數值方法的選取，文中選取交替方向隱式法 (Alternating Direction Implicit Method)，簡稱 ADI 法求解式(44)。波場差分網格示意圖，如圖 3.4 所示。其控制方程式的數值差分式如下：

$$f_{p,q} \frac{\phi_{p,q}^{n+1/2} - \phi_{p,q}^n}{\frac{1}{2} \Delta t} i = \delta_x^2 \phi_{p,q}^{n+1/2} + \frac{1}{2} (k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^{n+1/2} + \delta_y^2 \phi_{p,q}^n + \frac{1}{2} (k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^n \dots\dots(46)$$

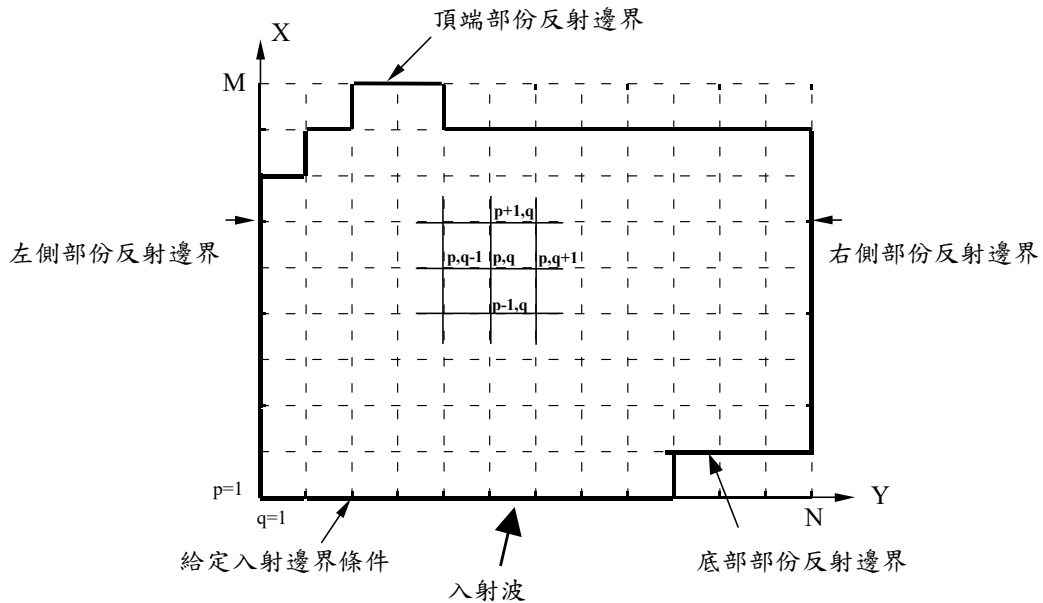


圖3.4 波場模式網格示意圖

$$f_{p,q} \frac{\phi_{p,q}^{n+1} - \phi_{p,q}^{n+1/2}}{\frac{1}{2} \Delta t} i = \delta_x^2 \phi_{p,q}^{n+1/2} + \frac{1}{2} (k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^{n+1/2} + \delta_y^2 \phi_{p,q}^{n+1} + \frac{1}{2} (k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^n \dots\dots(47)$$

$$f_{p,q} = -\frac{2\omega}{(\alpha_p)_{p,q}} \dots\dots\dots(48)$$

$$\delta_x^2 \phi_{p,q}^n = \frac{\phi_{p-1,q}^n - 2\phi_{p,q}^n + \phi_{p+1,q}^n}{\Delta x^2} \dots\dots\dots(49)$$

$$\delta_y^2 \phi_{p,q}^n = \frac{\phi_{p,q-1}^n - 2\phi_{p,q}^n + \phi_{p,q+1}^n}{\Delta y^2} \dots\dots\dots(50)$$

式(46)至式(50)中，下標 p 代表 x 軸方向第 p 個格點，下標 q 代表 y 軸方向第 q 個格點，上標 n 代表時間， Δt 代表差分時間段， Δx 、 Δy 分別為 x 、 y 軸之差分間距。

由於所選取的差分方法為隱式法，所以於計算上無顯式法求解時有著穩定度(stability)的問題。上述之數值方法經 Von Neumann's 穩定度分析，設

$$\phi_{p,q}^n = \xi^n e^{i\alpha p \Delta x} e^{i\beta q \Delta y} \dots\dots\dots(51)$$

分別代入式(46)及式(47)可得

$$\xi_1 = \frac{f_{p,q} i + [\frac{\Delta t}{4} (k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta y^2} \sin^2(\frac{\beta \Delta y}{2})]}{f_{p,q} i - [\frac{\Delta t}{4} (k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta x^2} \sin^2(\frac{\alpha \Delta y}{2})]} \dots\dots\dots(52)$$

$$\xi_2 = \frac{f_{p,q} i + [\frac{\Delta t}{4} (k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta x^2} \sin^2(\frac{\alpha \Delta y}{2})]}{f_{p,q} i - [\frac{\Delta t}{4} (k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta y^2} \sin^2(\frac{\beta \Delta y}{2})]} \dots\dots\dots(53)$$

式(52)及式(53)為擴大因子(amplification factor)

$$|\xi| = |\xi_1 \xi_2| = 1 \dots\dots\dots(54)$$

上式證明利用上述之數值方法去求解方程式可獲得穩定(unconditionally stable)的結果。

2. 邊界條件

對於波浪通過計算邊界所需給定的條件，於模式中則是採用幅射邊界(radiation boundary condition)來加以處理。其邊界條件可分為完全吸收、部分

吸收邊界條件及給定邊界條件。其邊界條件可分為完全吸收、部分吸收邊界條件及給定邊界條件。

(1) 吸收及部分吸收邊界條件(fully and partial absorption boundary condition)

對於波浪通過邊界時，所使用的邊界條件若無任何反射波浪產生，則此邊界將波浪完全吸收，此邊界條件為完全吸收邊界條件(fully absorbed boundary condition)。若於邊界上只吸收部份的波浪能量，則稱為部份吸收邊界(partial absorption boundary condition)，其數學式如下式

$$\frac{d\phi}{dt} = \alpha \frac{\partial\phi}{\partial t} + C \frac{\partial\phi}{\partial r} = 0, \text{ 在 } \partial B \dots\dots\dots(55)$$

上式中 α 為吸收係數(absorption coefficient)。假設 $\alpha = 1$ ，則波浪完全通過邊界；若 $\alpha = 0$ ，則於邊界上產生全反射；若 $0 < \alpha < 1$ ，則為部分吸收邊界，式中 α 值的決定，需依邊界上的物理特性加以決定。 r 為波浪的路徑，利用 $r = |r| = x \cos \theta' + y \sin \theta'$ 之關係， θ' 為波浪於邊界上的角度。則上式關係可進一步表示

$$\frac{\partial r}{\partial x} = \cos \theta', \quad \frac{\partial r}{\partial y} = \sin \theta' \dots\dots\dots(56)$$

代入式(56)可得 x 方向的邊界條件為

$$\frac{\partial\phi}{\partial x} \mp ik\phi \cos \theta' = 0, \text{ } \partial B_{x\pm} \dots\dots\dots(57)$$

由於在數值模式計算時，無法先得知波浪入射邊界的夾角 θ' ，故文中利用數值方式疊代求解，將邊界角度疊代至收斂，此一處理方式較能適用於大角度波浪入射之條件 (許等人，2000)。

(2) 給定邊界條件 (given boundary condition)

當波浪入射遇結構物所產生的反射波浪通過邊界時。於離岸邊界上包含有入射波波場及反射波波場。由於入射波場為已知，而反射波波場未知且為離岸方向，若波浪沿 方向正向入射及反射，其邊界條件可以下式表示：

$$\frac{\partial\phi}{\partial x} = ik(\phi_i - \phi_r) = \pm ik_x \phi + 2ik_{xi} \phi_i, \quad \partial B_{\pm} \dots\dots\dots(58)$$

式中 ϕ_i 表示為正 x 方向的入射波， ϕ_r 表示為負 x 方向的反射波。

(3) 收斂條件

對於本模式所採取的收斂條件為殘差小於 ϵ 時為其收斂條件。其殘差表示式如式(59)所示：

$$\epsilon = \frac{\sqrt{\sum_p \sum_q ABS(\phi_{p,q}^n - \phi_{p,q}^{n-1})^2}}{\sum_p \sum_q ABS(\phi_{p,q}^n)} \dots\dots\dots(59)$$

模式計算時，時間的變化(Δt)為疊代的參數指標，且此參數為影響其收斂速度的重要參數。 Δt 參數的型式如下：

$$\Delta t = N_c \frac{2\omega}{CC_g} \Delta x^2 \dots\dots\dots(60)$$

其中 N_c 為無因次參數，其值界於 $O(1) \sim O(10)$ 之間。

3.2.3 離岸風場海域波場數值模擬分析

本研究針對彰化離岸風場(第 19 區)風田設置前後，分別進行波場之數值模擬分析，由於模式使用正方形格網，分別計算四個不同波浪條件下波場的分佈，包含兩個 50 年重現期颱風波浪條件，以及冬季、夏季季風波浪條件，其計算範圍及水深分布如圖 3.5 所示。波場模式輸入之颱風波浪條件參考表 2.3 各重現期所推算之颱風波浪，選擇 50 年重現期 NNE 向與 N 向颱風波浪之波高週期，表 2.4 NNE 向與 W 向之冬季、夏季季風波浪之波高週期，表 3.7 為數值模式初步計算條件與參數設定，模擬彰化離岸風場海域波場變化。

1. 離岸風場設置前

圖 3.6 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示在颱風期間以波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE 為波浪入射條件時，模式計算所得彰化離岸風場(第 19 區)位置附近的波高介於 1~12 公尺之間。圖 3.7 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示於風場位置附近的波高則介於 2~12 公尺之間。圖 3.8 為冬季季風波浪(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示於風場位置附近的波高則介於 1.0~5 公尺之間。圖 3.9 為夏季季風波浪(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示於風場位置附近的波高則介於 1.5~5 公尺之間。

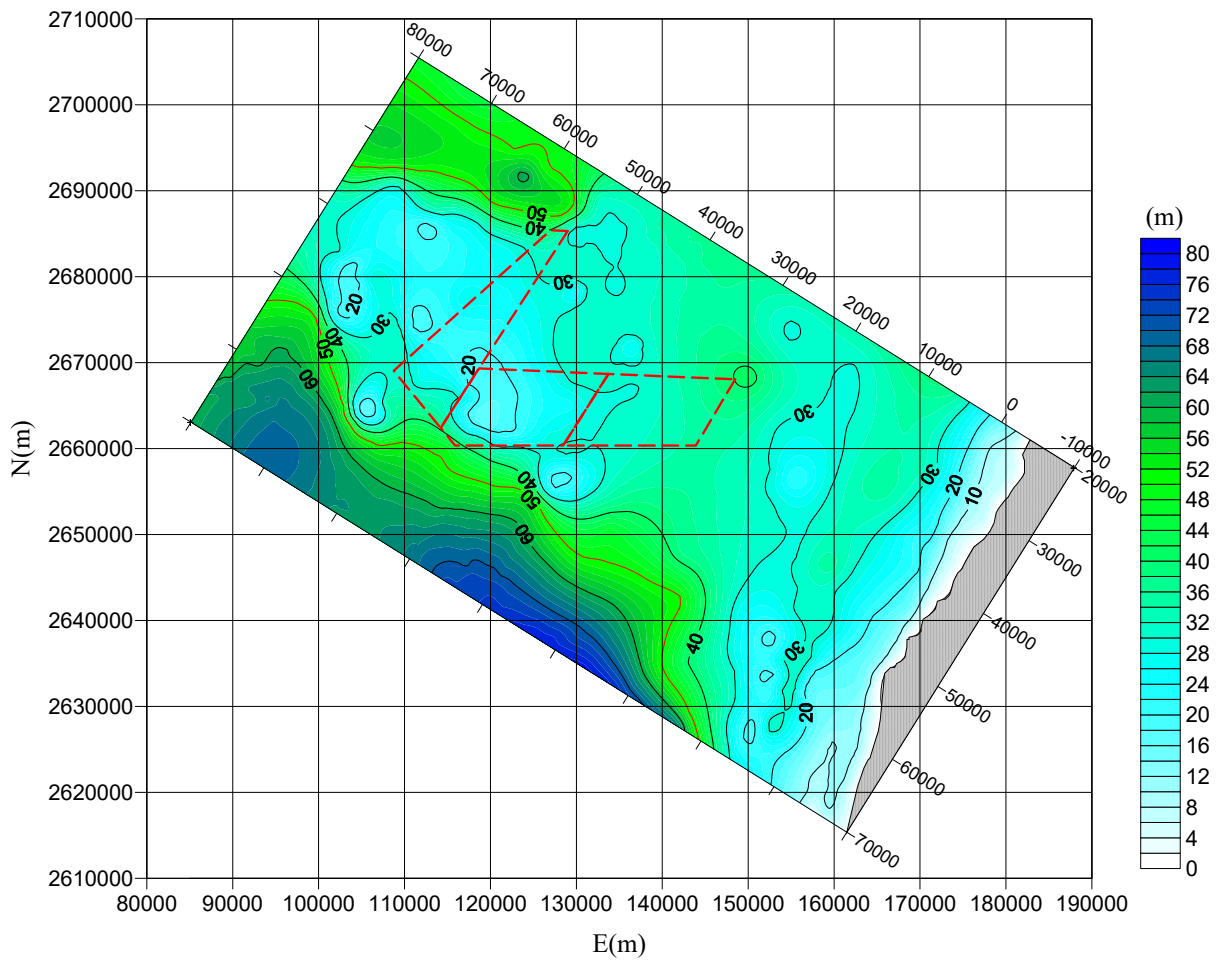


圖3.5 波流場模式計算範圍及水深分佈示意圖

表3.7 波浪模式計算條件與參數

波場模式波浪計算條件與參數			
輸入條件	外海波高(m)	週期(sec)	波向
颱風波浪	10.63	13.69	NNE
颱風波浪	10.70	13.74	N
冬季季風波浪	4.54	10.10	NNE
夏季季風波浪	3.64	9.70	W
碎波效應	有	底床摩擦效應	有
數值穩定參數 N_c	0.9	非線性淺化效應	有
收斂條件殘差 ε	0.0001	底質中值粒徑 D_{50}	0.21

2. 離岸風場設置後(6MW)

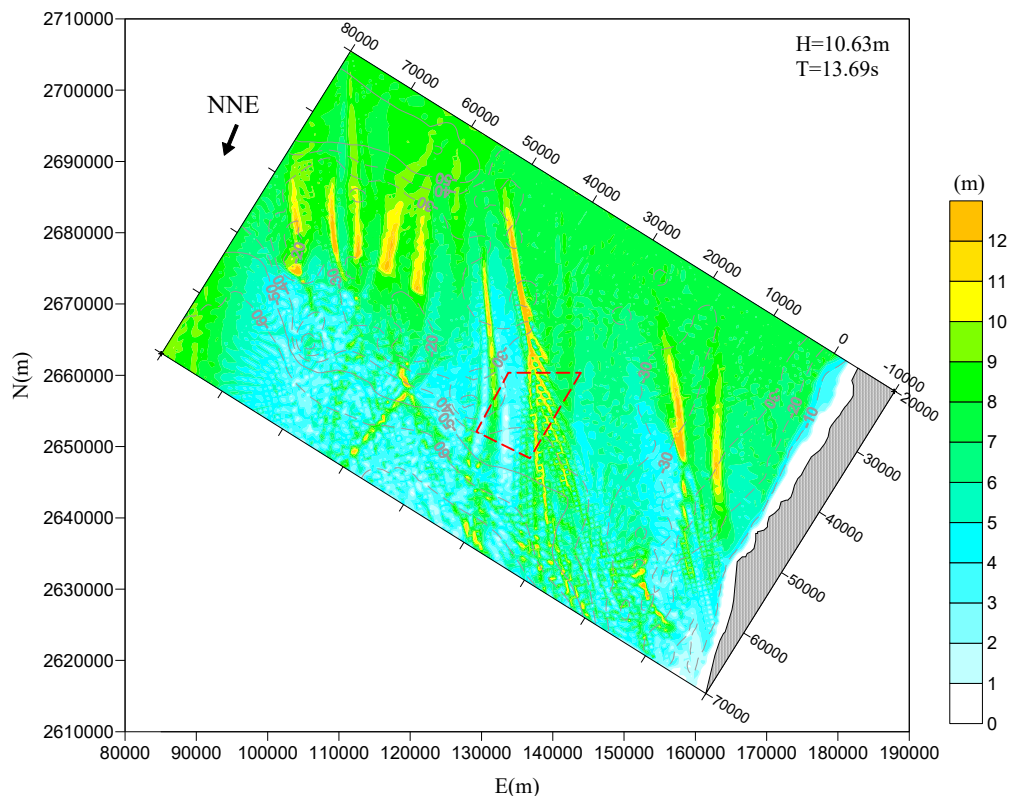
圖 3.10 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示在颱風期間以波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE 為波浪入射條件時，模式計算所得彰化離岸風場(第 19 區)位置附近的波高介於 1~12 公尺之間。圖 3.11 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示在風場位置附近的波高介於 2~12 公尺之間。圖 3.12 為冬季季風波浪(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示於風場位置附近的波高則介於 1.5~5 公尺之間。圖 3.13 為夏季季風波浪(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示於風場位置附近的波高則介於 2.5~5 公尺之間。

3. 離岸風場設置後(8MW)

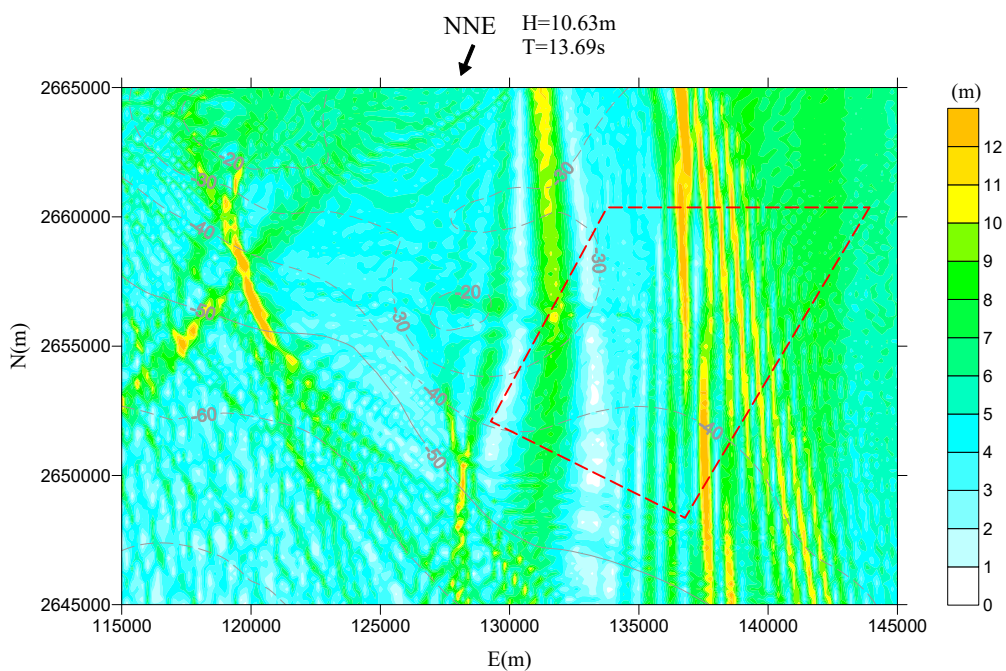
圖 3.14 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示在颱風期間以波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE 為波浪入射條件時，模式計算所得彰化離岸風場(第 19 區)位置附近的波高介於 1~12 公尺之間。圖 3.15 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示在風場位置附近的波高介於 2~12 公尺之間。圖 3.16 為冬季季風波浪(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示於風場位置附近的波高則介於 1.0~5 公尺之間。圖 3.17 為夏季季風波浪(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示於風場位置附近的波高則介於 2.5~5 公尺之間。

4. 綜合評估

在彰化離岸風場(第 19 區)的離岸風機設置未設置之前，風場附近海域 50 年迴歸期颱風波浪分佈約在 1~12 公尺之間，季風波浪分佈約在 1.0~5 公尺之間，當離岸風場設置之後，入射波浪碰撞到風機支承結構時發生折繞射效應，使得波高有略為下降的趨勢發生，而風機支承結構上游處則因反射效應波高略有增加，離岸風場內 50 年迴歸期颱風波浪分佈約為 1~12 公尺，季風波浪分佈約在 1.0~5 公尺之間。波浪經過離岸風場的影響後，位於風場下游處海域波高分佈有比未設置離岸風場之前略為降低；唯本案離岸風場距離海岸很遠，近岸海域之波高分佈並未因風場設置而有明顯的波高變化。

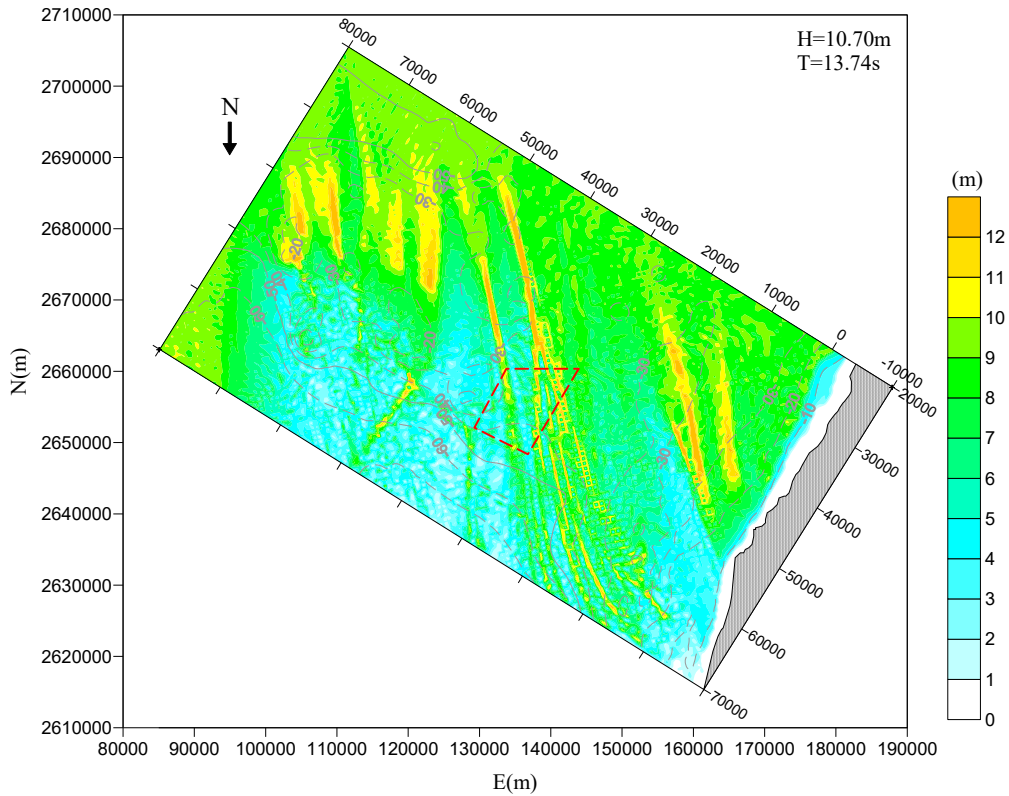


(a) 全域

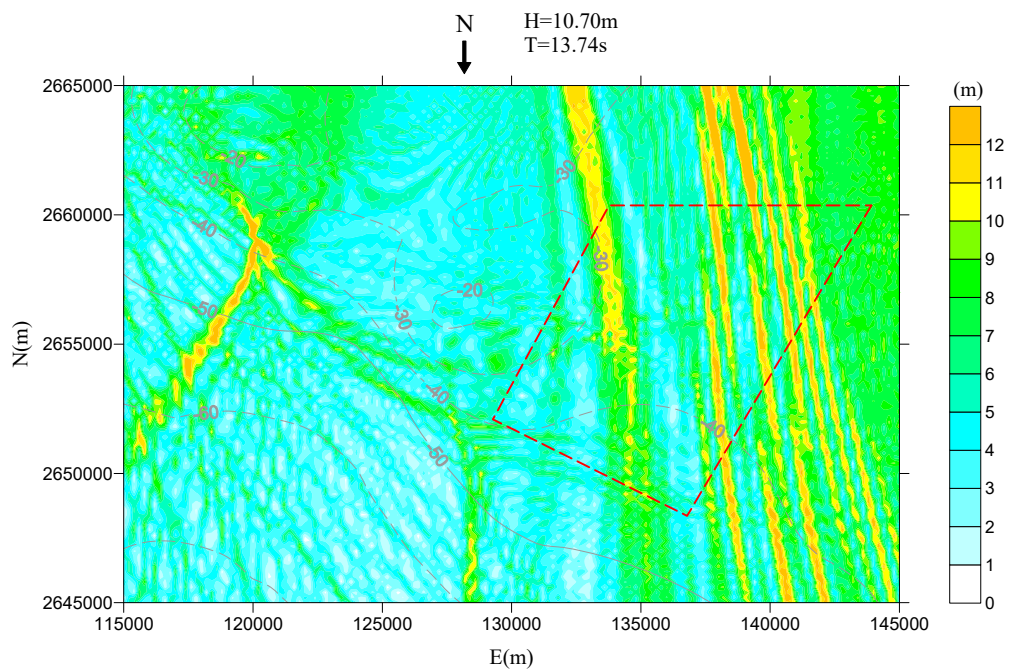


(b) 離岸風場區域

圖3.6 設置前50年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高10.63公尺、週期13.69秒、波向NNE)

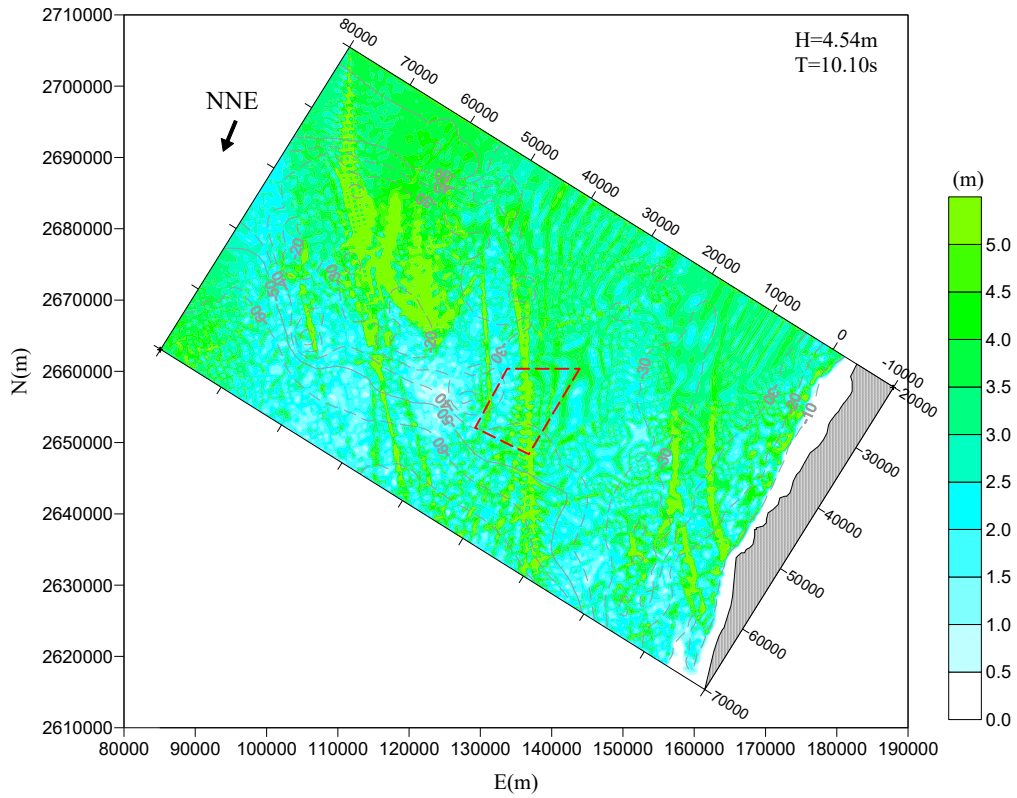


(a) 全域

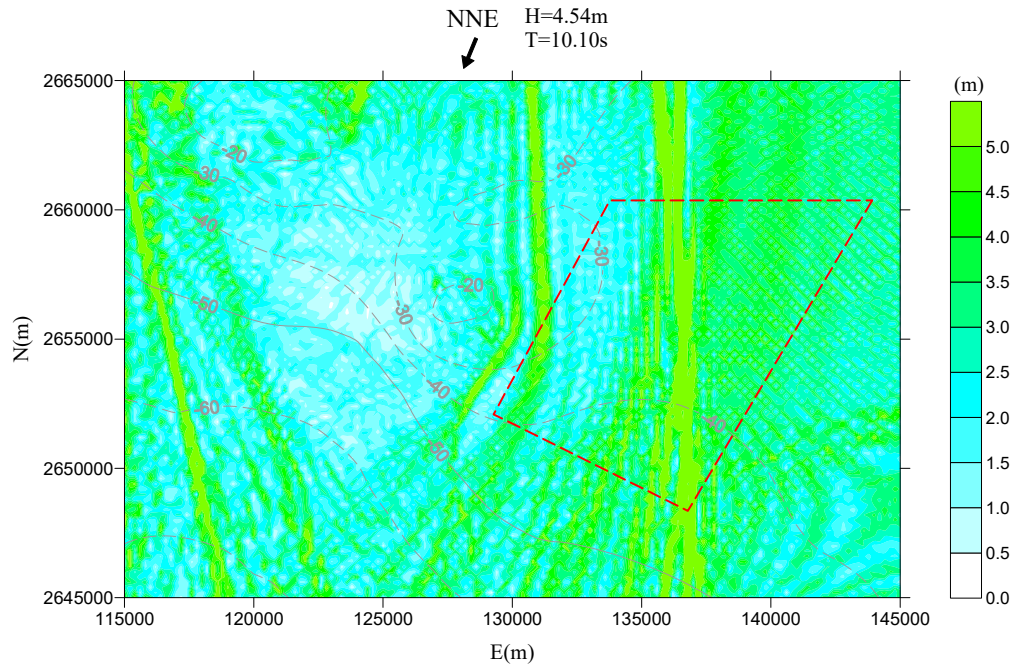


(b) 離岸風場區域

圖3.7 設置前50年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高10.70公尺、週期13.74秒、波向N)

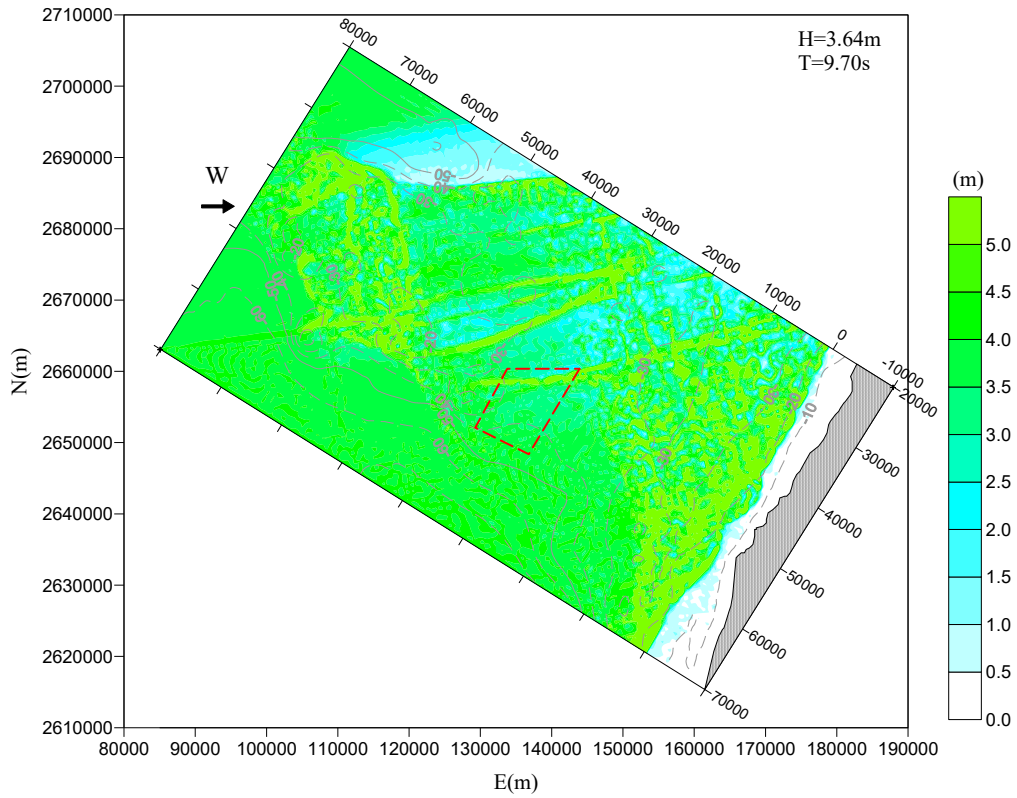


(a) 全域



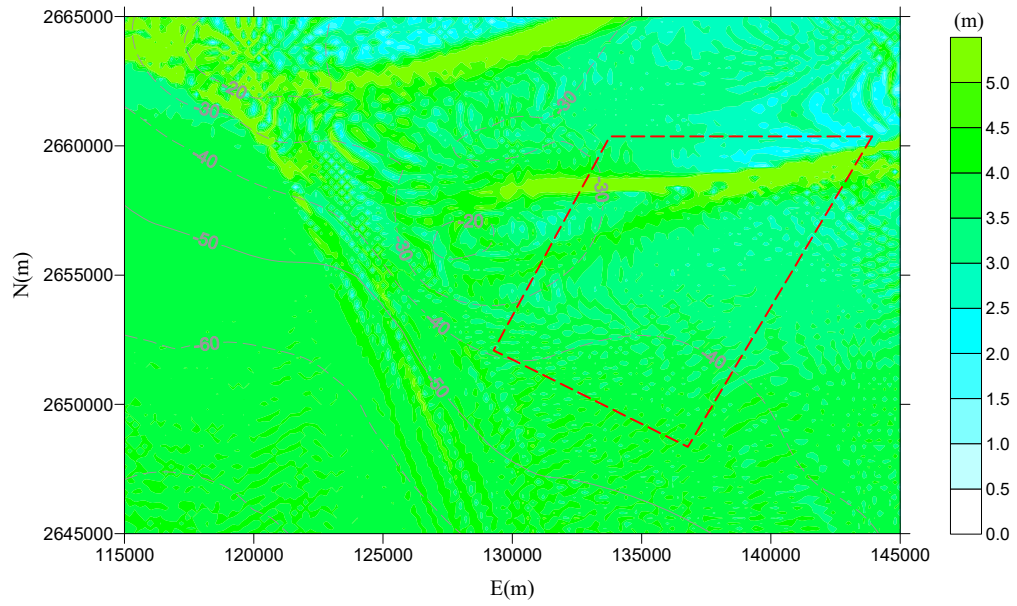
(b) 離岸風場區域

圖3.8 設置前冬季季風波浪場分佈圖(外海波高4.54公尺、週期10.10秒、波向NNE)



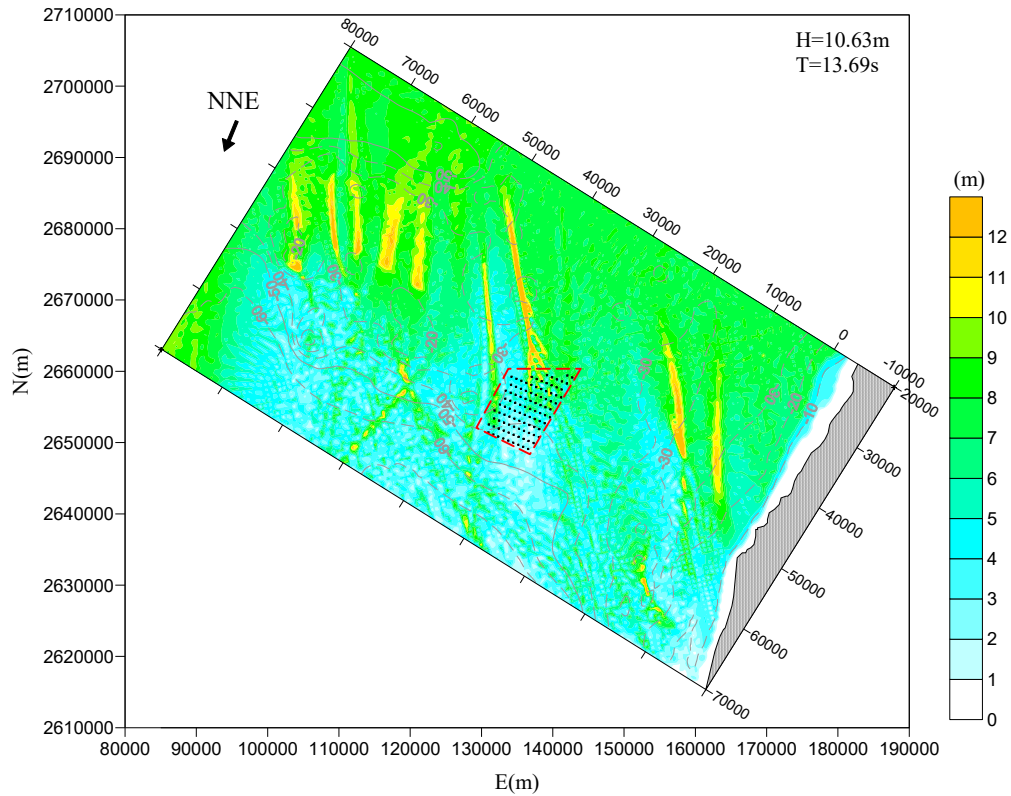
(a) 全域

W H=3.64m
→ T=9.7s

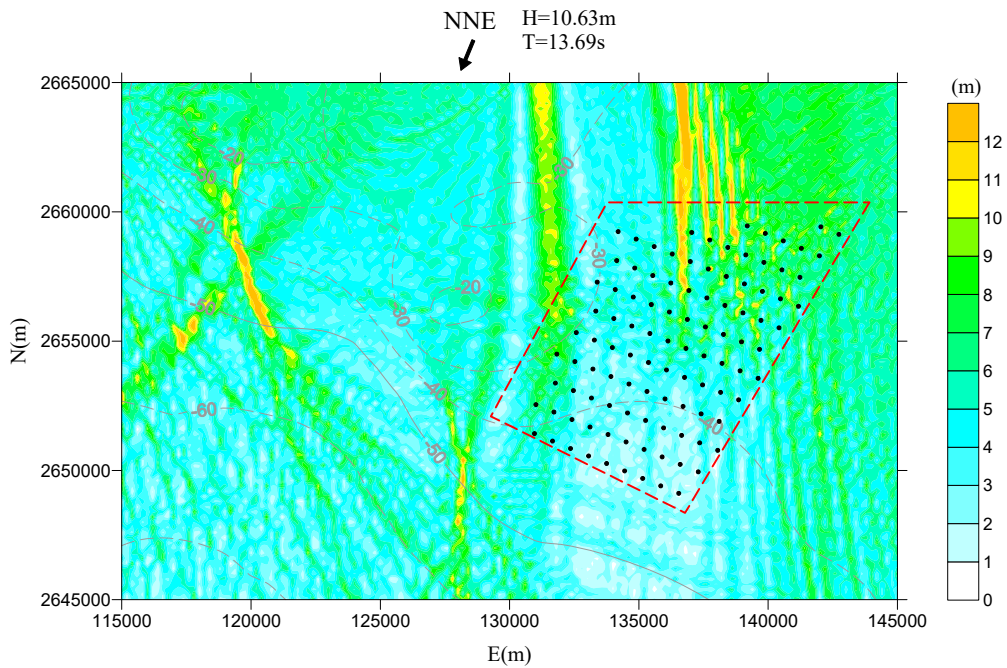


(b) 離岸風場區域

圖3.9 設置前夏季季風波浪場分佈圖(外海波高3.64公尺、週期9.70秒、波向W)

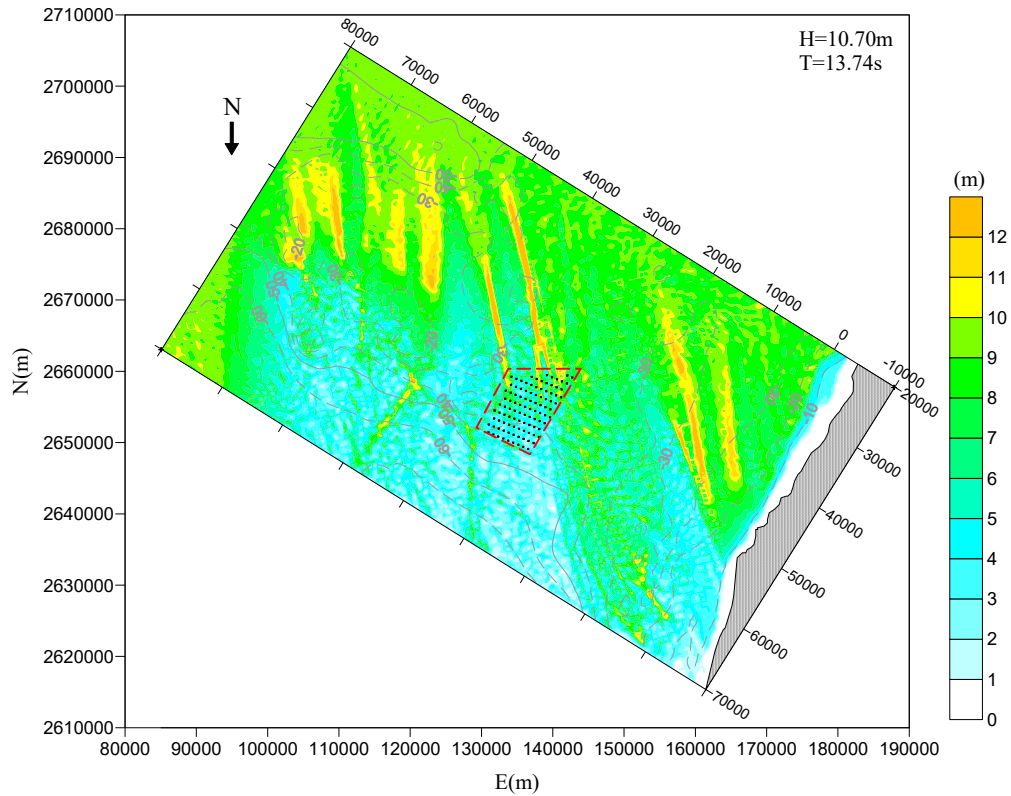


(a) 全域

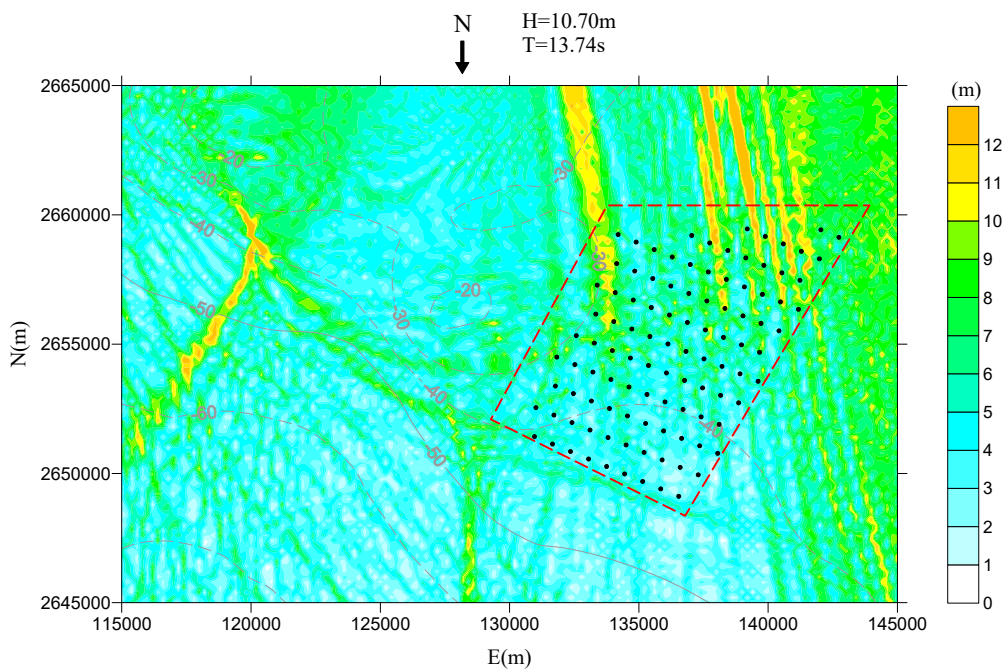


(b) 離岸風場區域

圖3.10 設置後(6MW)50年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高10.63公尺、週期13.69秒、波向NNE)



(a) 全域



(b) 離岸風場區域

圖3.11 設置後(6MW)50年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高10.70公尺、週期13.74秒、波向N)