

國立交通大學土木工程研究所
Institute of Civil Engineering National Chiao Tung University

碩士論文

應用經驗正交函數分析海岸地形變化特性之研究

Application of empirical orthogonal function to
bathymetric variation



指導教授：張憲國博士

研究生：高振傑

中華民國九十七年七月

應用經驗正交函數分析海岸地形變化特性之研究

研究生：高振傑

指導教授：張憲國 博士

國立交通大學土木工程研究所

摘要

本文利用民國 87 年 9 月至民國 96 年 10 月的新竹港南實測之地形水深資料，討論自頭前溪出海口以北 2 公里至客雅溪出海口以南 1 公里之地形水深，應用經驗正交函數(Empirical orthogonal function)對地形水深資料進行運算。本文以三種形式進行分析：(1)-5 m、-10 m、-15 m 等深線(2)沿新竹港南海岸的沿岸取 17 條剖面線(3)應用二維模式的方式，並利用上述三種 EOF 運算之結果，討論新竹港南之地形變遷。

本文應用 EOF 計算地形資料的研究結果，得知新竹港南沿岸地形變異量的主要位置分別在(1)新竹漁港外廓(2)新竹漁港北側防砂堤至頭前溪及鳳山溪口(3)頭前溪出海口(4)港南海岸沿岸區域，並且由 EOF 第三個模態的結果顯示頭前溪出海口在夏季、冬季呈現正值、負值顛倒的情形，此外第三個模態在夏季所呈現的變化較冬季為大。

Application of Empirical orthogonal function to bathymetric variation

Author : Zhen-Jie Gao

Advisor : Dr. Hsien-Kuo Chang

Institute of Civil Engineering National Chiao Tung University

ABSTRACT

Through measured bathymetric data at Kangnan coast from 1998 to 2007 the empirical orthogonal function is used to investigate the bathymetric variations in this paper. One-dimension EOF is first applied to iso-depth contours, -5, -10 and -15m, for studying the variation of each contour. Then One-dimension EOF is applied to chosen seventeen profile for investigating the depth variation in the on-offshore direction. Finally two-dimensional EOF is used to investigate the whole plain performance of bathymetric variations.

The present result shows that large bathymetric variations occur at some locations, (1) the fish port peripherally, (2) northern beaches near north breakwater, (3) estuary of the Touchien river and (4) nearshore at Kangnan coast. The third mode of EOF for data in summer and winter is in opposite signs for the region of estuary of the Touchien river. Negative third mode of EOF is obtained at the Kangnan coast for the summer data, but small third mode of EOF is found for the winter data.

誌謝

逝水如斯，從考上研究所至今已經兩年，在這充滿種種回憶與收穫的兩年之中，首先我要感謝我的恩師張憲國老師的悉心教導與鼓勵，讓我瞭解研究生的意義與目的，以及論文的口試委員林炤圭教授、吳永照教授、以及莊文傑博士在論文初稿方面的批評與指教使本篇論文能夠順利完成。

感謝研究室的學長們，當我在失去方向或是有不懂的地方的時候，可以指導我走上正確的道路與解答我的迷惑。感謝研究室的同學們，因為有妳們的幫忙與陪伴，使我在寫論文的時候有一起努力的目標。最後在謝謝研究室的學弟們，因為有妳們幫忙跑公文及分擔雜事，使本篇論文能夠如期完成。

最後在謝謝我的父母，感謝妳們提供的環境與適時的鼓勵，讓我能夠順利完成我的學業與理想，另外要感謝我的女友在這兩年間的包容與關懷，讓我能夠完成我的學業，對於妳們的關懷與付出，在此我由衷的謝謝你們，因為有妳們才有這篇論文。



目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	xi
第一章 緒論.....	1
1-1 研究動機與目的.....	1
1-2 文獻回顧.....	3
1-3 文章架構.....	5
第二章 EOF 方法簡介.....	7
2-1 一維經驗正交函數法.....	7
2-2 二維經驗正交函數法.....	9
第三章 等深線的一維 EOF 分析.....	11
3-1 新竹港南地形資料簡介.....	11
3-2 等深線之選擇.....	13
3-3 空間 EOF 的前三個模態特性.....	16
3-4 時間 EOF 的前二個模態特性.....	20
第四章 剖面線的一維 EOF 分析.....	29

4-1 剖面線的選擇	29
4-2 EOF 的前三個模態特性.....	32
第五章 二維 EOF 分析	49
5-1 合併資料之分析	49
5-2 夏、冬季資料之分析	50
5-3 小結	52
第六章 結論.....	56
參考文獻.....	57
附錄一 等深線	60
附錄二 剖面線	62



圖目錄

圖 1-1	歷年海岸線變遷圖	2
圖 2-1	經驗特徵函數座標示意圖	7
圖 3-1	新竹港南海岸平面位置圖	12
圖 3-2	地形分區位置圖	15
圖 3-3	新竹港南旋轉平移位置圖	16
圖 3-4	5M 等深線的空間 EOF 前三個模態	22
圖 3-5	10M 等深線的空間 EOF 前三個模態	23
圖 3-6	15M 等深線的空間 EOF 前三個模態	24
圖 3-7	等深線 5M 的夏季、冬季空間 EOF 前三個模態	25
圖 3-8	等深線 10M 的夏季、冬季空間 EOF 前三個模態	26
圖 3-9	等深線 15M 的夏季、冬季空間 EOF 前三個模態	27
圖 3-10	等深線 5M 的時間 EOF 的前三個模態	28
圖 3-11	等深線 10M 的時間 EOF 的前三個模態	28
圖 3-12	等深線 15M 的時間 EOF 的前三個模態	28
圖 4-1	剖面線 EOF 變化特性分析	32
圖 4-2	剖面線 04 的空間 EOF 的前三個模態	37
圖 4-3	夏季、冬季剖面線 04 的空間 EOF 的前三個模態	37
圖 4-4	剖面線 05 的空間 EOF 的前三個模態	38
圖 4-5	夏季、冬季剖面線 05 的空間 EOF 的前三個模態	38

圖 4-6	剖面線 06 的空間 EOF 的前三個模態.....	39
圖 4-7	夏季、冬季剖面線 06 的空間 EOF 的前三個模.....	39
圖 4-8	剖面線 07 的空間 EOF 的前三個模態.....	40
圖 4-9	夏季、冬季剖面線 07 的空間 EOF 的前三個模態	40
圖 4-10	剖面線 10 的空間 EOF 的前三個模態	41
圖 4-11	夏季、冬季剖面線 10 的空間 EOF 的前三個模態	41
圖 4-12	剖面線 13 的空間 EOF 的前三個模態	42
圖 4-13	夏季、冬季剖面線 13 的空間 EOF 的前三個模態	42
圖 4-14	剖面線 14 的空間 EOF 的前三個模態	43
圖 4-15	夏季、冬季剖面線 14 的空間 EOF 的前三個模態	43
圖 4-16	剖面線 15 的空間 EOF 的前三個模態	44
圖 4-17	夏季、冬季剖面線 15 的空間 EOF 的前三個模態	44
圖 4-18	剖面線 04 的時間 EOF 的前三個模態	45
圖 4-19	剖面線 05 的時間 EOF 的前三個模態	45
圖 4-20	剖面線 06 的時間 EOF 的前三個模態	46
圖 4-21	剖面線 07 的時間 EOF 的前三個模態	46
圖 4-22	剖面線 10 的時間 EOF 的前三個模態	47
圖 4-23	剖面線 13 的時間 EOF 的前三個模態	47
圖 4-24	剖面線 14 的時間 EOF 的前三個模態	48

圖 4-25 剖面線 15 的時間 EOF 的前三個模態.....	48
圖 5-1 二維 EOF 的第一個模態.....	53
圖 5-2 二維 EOF 的第二個模態.....	53
圖 5-3 二維 EOF 的第三個模態.....	53
圖 5-4 夏季二維 EOF 的第一個模態.....	54
圖 5-5 冬季二維 EOF 的第一個模態.....	54
圖 5-6 夏季二維 EOF 的第二個模態.....	54
圖 5-7 冬季二維 EOF 的第二個模態.....	55
圖 5-8 夏季二維 EOF 的第三個模態.....	55
圖 5-9 冬季二維 EOF 的第三個模態.....	55
附圖 1-1 新竹港南 5M 等深線.....	60
附圖 1-2 新竹港南 10M 等深線.....	60
附圖 1-3 新竹港南 15M 等深線.....	61
附圖 2-1 新竹港南歷年實測地形第一條剖面線.....	62
附圖 2-2 新竹港南歷年實測地形第二條剖面線.....	62
附圖 2-3 新竹港南歷年實測地形第三條剖面線.....	63
附圖 2-4 新竹港南歷年實測地形第四條剖面線.....	63
附圖 2-5 新竹港南歷年實測地形第五條剖面線.....	64
附圖 2-6 新竹港南歷年實測地形第六條剖面線.....	64

附圖 2-7	新竹港南歷年實測地形第七條剖面線.....	65
附圖 2-8	新竹港南歷年實測地形第八條剖面線.....	65
附圖 2-9	新竹港南歷年實測地形第九條剖面線.....	66
附圖 2-10	新竹港南歷年實測地形第十條剖面線.....	66
附圖 2-11	新竹港南歷年實測地形第十一條剖面線.....	67
附圖 2-12	新竹港南歷年實測地形第十二條剖面線.....	67
附圖 2-14	新竹港南歷年實測地形第十四條剖面線.....	68
附圖 2-15	新竹港南歷年實測地形第十五條剖面線.....	69
附圖 2-16	新竹港南歷年實測地形第十六條剖面線.....	69
附圖 2-17	新竹港南歷年實測地形第十七條剖面線.....	70
附圖 2-18	剖面線 01 的空間 EOF 的前三個模態.....	70
附圖 2-19	夏季、冬季剖面線 01 的空間 EOF 的前三個模態.....	71
附圖 2-20	剖面線 02 的空間 EOF 的前三個模態.....	71
附圖 2-21	夏季、冬季剖面線 02 的空間 EOF 的前三個模態.....	72
附圖 2-22	剖面線 03 的空間 EOF 的前三個模態.....	72
附圖 2-23	夏季、冬季剖面線 03 的空間 EOF 的前三個模態.....	73
附圖 2-24	剖面線 08 的空間 EOF 的前三個模態.....	73
附圖 2-25	夏季、冬季剖面線 08 的空間 EOF 的前三個模態.....	74
附圖 2-26	剖面線 09 的空間 EOF 的前三個模態.....	74

附圖 2-27	夏季、冬季剖面線 09 的空間 EOF 的前三個模態	75
附圖 2-28	剖面線 11 的空間 EOF 的前三個模態	75
附圖 2-29	夏季、冬季剖面線 11 的空間 EOF 的前三個模態	76
附圖 2-30	剖面線 12 的空間 EOF 的前三個模態	76
附圖 2-31	夏季、冬季剖面線 12 的空間 EOF 的前三個模態	77
附圖 2-32	剖面線 16 的空間 EOF 的前三個模態	77
附圖 2-33	夏季、冬季剖面線 16 的空間 EOF 的前三個模態	78
附圖 2-34	剖面線 17 的空間 EOF 前三個模態	78
附圖 2-35	夏季、冬季剖面線 17 的空間 EOF 的前三個模態	79
附圖 2-36	剖面線 01 的時間 EOF 的前三個模態	79
附圖 2-37	剖面線 02 的時間 EOF 的前三個模態	80
附圖 2-38	剖面線 03 的時間 EOF 的前三個模態	80
附圖 2-39	剖面線 08 的時間 EOF 的前三個模態	81
附圖 2-40	剖面線 09 的時間 EOF 的前三個模態	81
附圖 2-41	剖面線 11 的時間 EOF 的前三個模態	82
附圖 2-42	剖面線 12 的時間 EOF 的前三個模態	82
附圖 2-43	剖面線 16 的時間 EOF 的前三個模態	83
附圖 2-44	剖面線 17 的時間 EOF 的前三個模態	83

表目錄

表 3-1 計畫區各單位歷年觀測水深概況表.....	13
表 3-2 漂沙臨界移動水深.....	14
表 3-3 不分季、夏季、冬季的等深線的空間的前三個模態之 EOF 的特徵值比值(%).....	17
表 4-1 不分季、夏季、冬季的剖面線的空間的前三個模態的 EOF 之特徵值比值(%).....	30
表 5-1 不分季、夏季、冬季的二維 EOF 的前三個模態的.....	
特徵值比值(%).....	49



第一章 緒論

1-1 研究動機與目的

在民國 67 年尚未興建新竹漁港之前，港南海岸仍有廣大的沙灘，然在新竹漁港興建後，灘線持續往內縮，造成港南海岸嚴重的侵蝕，由圖中可知，圖 1-1 為透過歷年航照圖所擷取的灘線變化。由前人研究的結果，探究其主要原因為新竹港南海岸因漁港北側防砂堤攔阻頭前溪及鳳山溪口的漂砂，且近岸為沙灘地形易受潮流及颱風波浪侵蝕使灘線向內陸移動，而成為近年來港南海岸侵蝕情形日益惡化的主要原因。

以往學者在探討港南海岸沿岸地形變化時，大多藉由漂砂量的變化情形來探究海岸地形的變遷方式與型態，因而研究的方法多是使用與波浪有關的公式或採用地形資料來分析。如劉(2006)以收集海岸地形資料以及運用分區計算的方式，將港南沿岸地形分為 20 格區塊，並依新竹港南沿岸位置取 17 條剖面線，藉以分析港南海岸沿岸地形各區的漂砂變化情形，今假設我們需要了解海岸地形的平均位置及變異量的特徵，可以使用比較簡易的運算方法，也就是本研究所使用的經驗正交特徵函數法(Empirical eigenfunction method)，運算其第一個模態與第二個模態，便可以清楚得知其海岸地形平均水深位置及變異量的特徵。

經驗正交特徵函數法屬系統數學模式之一環，由實測的海灘地形資料應用統計方法，解析海灘地形的變化特性，將海灘斷面看成由若干的變化型態 (variation modes)所組成，而每一種變化型態代表某一變化成分的變動性質，解析各種變化型態，將有助於對海灘地形變化之瞭解，本文利用經驗正交函數(EOF)的特性分析自 87 年 9 月至 96 年 10 月的新竹港南海域地形資料來探討港南沿岸地形變化特徵，未來對於在港南海岸工程上的建設亦或是地形研究上提供另一種可行的方案。

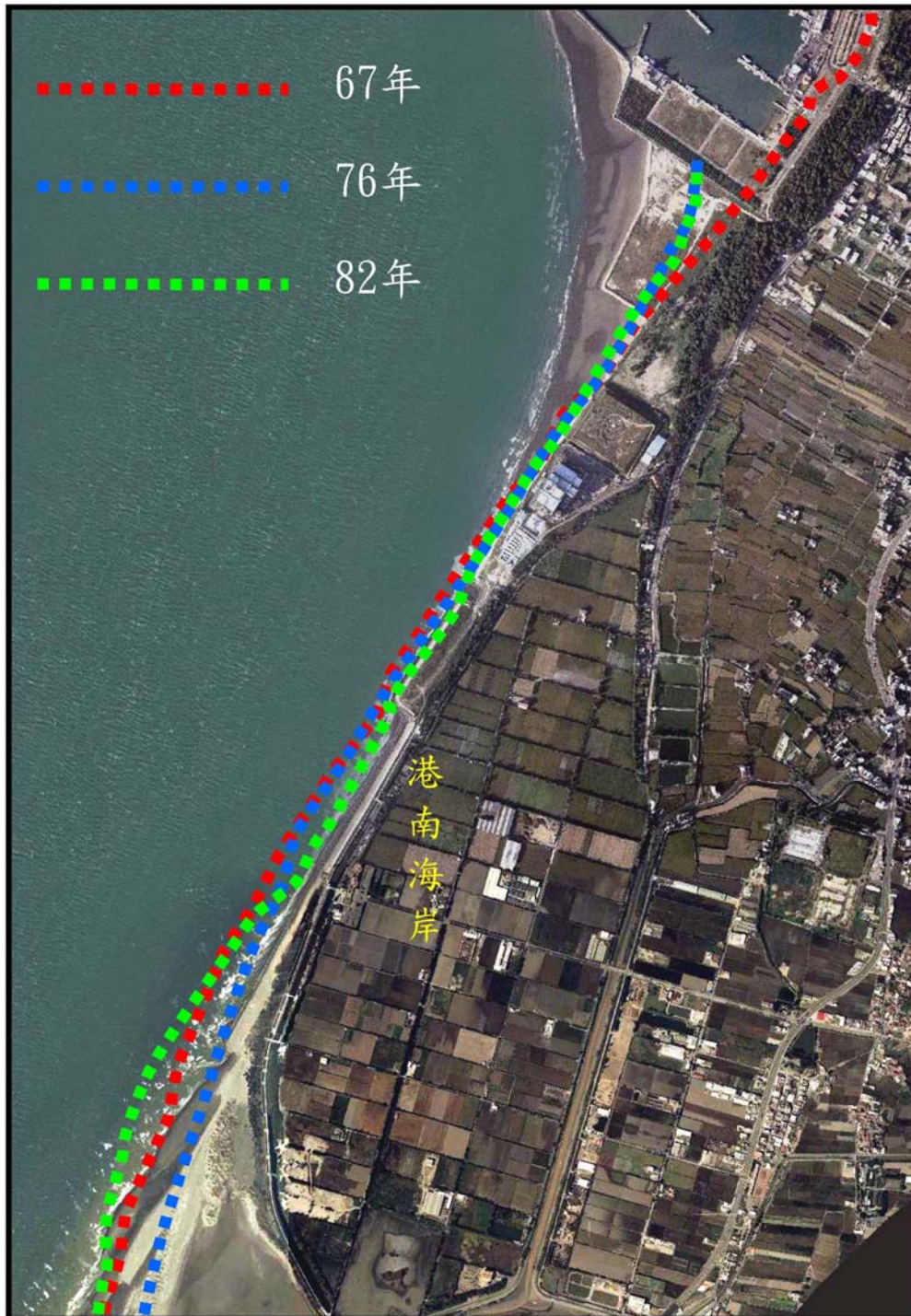


圖 1-1 歷年海岸線變遷圖

1-2 文獻回顧

對於應用 EOF 分析地形變化研究如下：Zbigniew (1992) 應用 Dean's function($y = A * X^{\frac{2}{3}}$)的迴歸分析方法與 EOF 的特徵函數法來分析比較海灘剖面變化，在運用二個模式分析比較下，發現 EOF 較能夠明確表現出海灘變化特徵。許等人 (1993) 利用新的二維 EOF 去預測海岸的灘線變化，發現當採用資料數據大於 13 筆時，應用 EOF 的分析結果趨於穩定，且應用 EOF 所預測海岸地形變化結果與利用馬可夫過程和線性迴歸預測的結果相似。Bird(1996)應用 EOF 分析每年一次的海灘實測資料，提出應用時間平均的經驗正交函數(EOF)第一個模態 (依特徵根的大到小排列)可以代表海岸水深的平均位置，而從第一個模態到第三個模態約可以代表海岸 90%的變化；應用空間平均的特徵函數發現第一個模態為常數，第二及第三模態可能可以觀察出海洋震盪或是其他自然訊息。Horikawa (1998)提到應用 EOF 的第一模態可以代表海岸線的平均變化，假設海岸的漂砂沉積對海岸變化影響較小的情況下，第一模態的特徵函數幾乎與時間是成比例的，並以 20 小時的沿岸地形變化作為模擬例子，發現用第一模態當作時間常數去預測海灘變化的結果非常趨近於用實測數據所描繪的沿岸地形。

對於應用 EOF 分析大氣變化研究如下：Allan 等人(2002) 應用 EOF 分析衛星的海平面溫度資料，包含應用 EOF 觀測太平洋海面的月平均溫度變化，建立在標準相關分析和最大自相關分析 (MAFs)的基礎上，應用直角轉換以及多變量轉換偵測法(MAD)，發現它能表現聖嬰現象與南方震盪的溫度異常結果。Jiayi 等人(2002) 應用 EOF 分析衛星觀測北太平洋風場資料，包含以每年為週期指出第一個模態表現出亞洲東部的季風特性，第二個模態表現出春-秋震盪的特性，在移除每年的週期訊號之後，應用 EOF 的時間模式發現時間週期的訊號顯示與延遲半年的南方震盪有相關性，應用 EOF 空間模式則發現他的訊號與聖嬰現象有相關性。蕭 (2002) 利用經驗正交函數分析各類雙颱風的主要天氣形式，認為經驗正交函數 (EOF) 分析能提供大尺度綜觀環境分析的參考依據。黃與羅(2005)應用 EOF 分析 WRF 模

式在輸出於單一時間點上，大尺度流場垂直分佈之特徵向量，求得代表性駛流場，並配合風場的系集採樣深層平均 (DLM) 除去颱風渦旋去求取其不對稱量交互驗證，探討颱風路徑預報誤差因素以及做可能之外延預報，且 WRF 模式在颱風路徑預報上的誤差分析得知 U、V 方向駛流風場的貢獻量，並且明確的得知兩向量隨預報時間改變在空間風場的變化趨勢以及特徵向量的分佈。曾與嚴(2007)應用 EOF 分析東亞地區(5°N - 60°N ; 90°E - 160°E)、Nino 地區(10°S - 5°N ; 160°E - 80°W) 的降水與海平面溫度的第一個模態與第二個模態，確實可以更了解 ENSO 事件時，東亞地區環流場的變化，分析東亞地區原始降水場時發現十年降水資料的 EOF 第二模態圖與代表十年降水資料的變異量圖非常相似。

關於 EOF 分析土壤方面研究如下：Jawson 等人(2007)應用 EOF 分析土壤中沙子與泥土的比例與水分分佈的相關性，發現土壤中的溼度分佈與沙子相關性較高與泥的相關性較低。

關於 EOF 分析波浪方面研究如下：陳與吳(2007)模擬 2005 年 5 月期間在恆春海脊的東、西兩側的三維流場、溫度、斜壓流速分佈，應用 EOF 分析模擬模式所計算出來的斜壓流速資料，發現在恆春海脊東側(121.25°E , 21°N)位置上有三個模態產生，在西側僅有一個模態，推測內波是由此三個模態組合而成。

對於分析港南海岸地形變化方面研究如下：唐等(1992)以衛星資料分析港南海岸發現新竹漁港南側防波堤以南 2~3 公里無明顯侵蝕現象，北側防波堤以北與北突堤間有嚴重淤積。台灣漁業及海洋技術顧問社(2006)提出新竹鄰近海域主要漂砂源為頭前溪河川輸砂在波浪與潮汐作用下被帶往南岸下游方向，而北側受到砂源減少之故，頭前溪北側海岸則有侵蝕現象發生，而新竹漁港南岸水深較深處則有淤積產生。經濟部水利署第二河川局(2006)提出新竹漁港北側防砂堤以北呈現淤積情況，新竹漁港南側防砂堤以南至垃圾掩埋場區域由侵蝕轉為淤積，港南海岸以南則長期呈現侵蝕情況。台灣世曦工程顧問公司(2007)提出以 2007 年 7 月份測量成果與歷年比較分析可知，新竹漁港北側防砂堤以北除頭前溪與鳳山溪口受出海口沖刷導致局部侵

蝕外，無論遠岸區或近岸區皆呈現淤積且為遞增的趨勢。新竹漁港南側防砂堤以南，因受漁港港口主要淤積區向南擴展影響，淤積趨勢持續增加。垃圾掩埋場以南因上游沙源無法充足供應，導致近岸地區侵蝕現象有增加的趨勢，且隨著距漁港越遠越嚴重，而遠岸區則仍呈現侵淤互現之情形。Liou 等(2008)以(1)利用衛星影像觀測海岸線變遷、(2)以平面模式表現水深變化、(3)觀察潮汐變化對海岸底床的影響，推論人工構造物對於港南海岸的嚴重侵蝕有相當程度的影響，並且建議以離岸潛堤的淤沙方法，減緩港南海岸沿岸區域的侵蝕程度。

1-3 文章架構

本文利用經驗正交函數(EOF)的計算結果，探討新竹港南海岸沿岸地形變化，並分別討論冬季、夏季及不分季對海岸地形變化的影響，並依照五個章節以沿岸方向、向離岸方向及二維模式所呈現的圖形，來分別探討新竹港南在各種形式上所呈現的地形變化特性。

第一章是前言，主要是說明本文研究動機、目的與研究方法及文獻回顧。

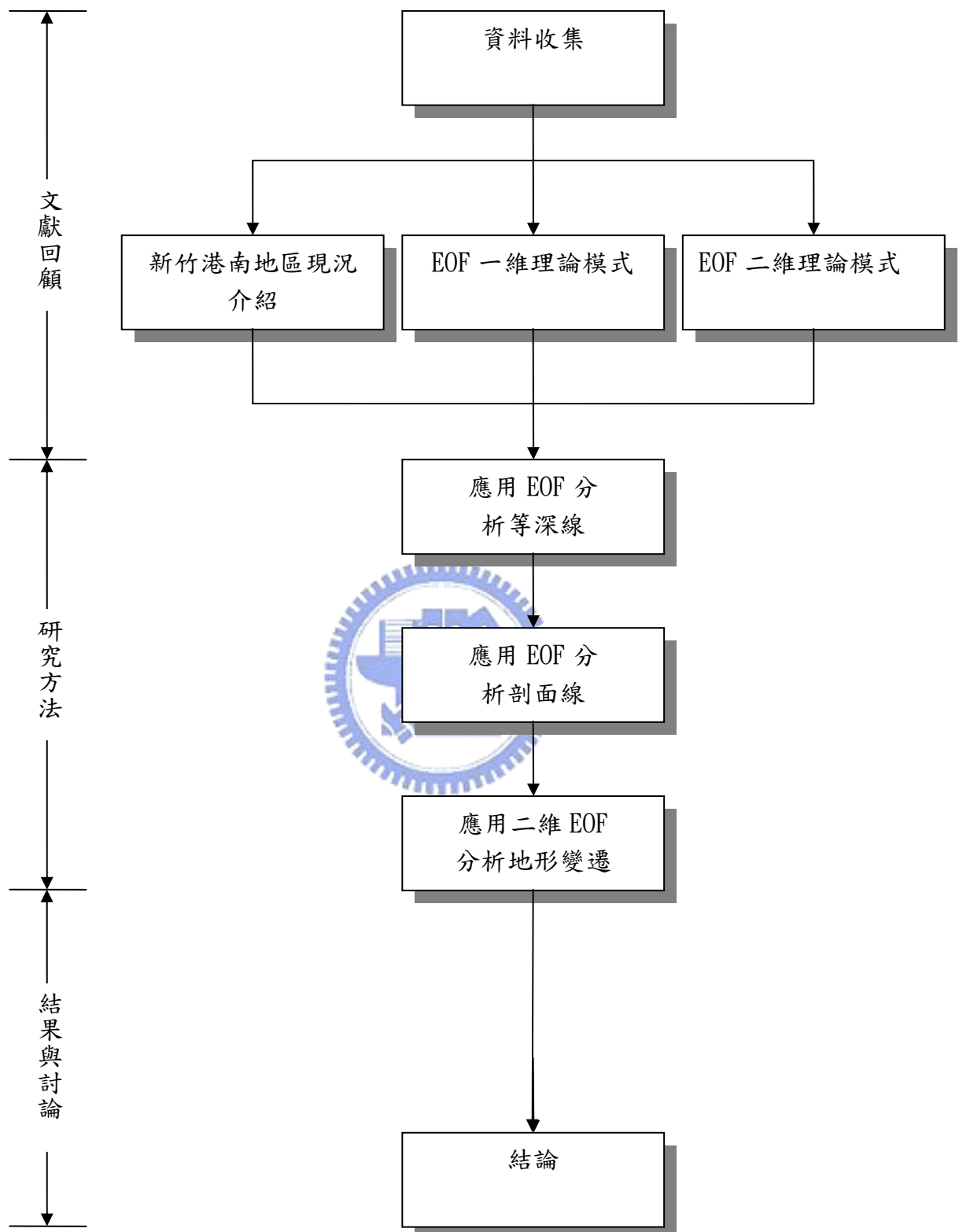
第二章介紹經驗正交函數(EOF)原理以及其分析方法。

第三章簡介港南海岸地理位置以及資料來源，並依等深線-5 m、-10 m、-15 m，分別以冬季、夏季及不分季的形式，歸類分析 87 年 9 月至 96 年 10 月的三條等水深線變化，並用 EOF 第一個模式到第三個模式的計算結果，分別說明等深線在冬季、夏季及不分季的變化。

第四章從頭前溪及鳳山溪口以北二公里至客雅溪口以南一公里的範圍內，依向離岸方向取 17 條剖面線，以冬季、夏季及不分季的形式，分區分析自 87 年 9 月至 96 年 10 月在新竹港南沿岸的 17 條剖面線變化，並用 EOF 的第一個模式到第三個模式的計算結果，分別說明剖面線在冬季、夏季及不分季的變化。

第五章應用二維 EOF 的模式以冬季、夏季及不分季的形式，分別分析自 87 年 9 月至 96 年 10 月的新竹港南沿岸地形變遷

第六章則是利用前文所得的結果作個總結。



第二章 EOF 方法簡介

2-1 一維經驗正交函數法

一般海岸漂沙方向包括向、離岸及沿岸漂沙兩種，在某一時刻下，海灘地形之實測數據為向、離漂砂及沿岸漂砂兩者綜合作用的結果，假定海灘地形，可用沿岸(long-shore)特徵函數及向、離岸(cross-shore)特徵函數來描述其變化，其式如下：

$$[\mathbf{x}(h,t)]_{mn} = \mathbf{e}_{mk}(x)\mathbf{e}_{nk}^T(t) \quad (2-1)$$

$$[\mathbf{y}(h,t)]_{mn} = \mathbf{e}_{mk}(y)\mathbf{e}_{nk}^T(t) \quad (2-2)$$

式中 x 為向、離岸方向座標； y 為沿岸方向座標； t 為時間； $\mathbf{e}_{mk}(x)$ 為單位向、離岸空間特徵函數； $\mathbf{e}_{mk}(y)$ 為單位沿岸空間特徵函數； $\mathbf{e}_{nk}(t)$ 為時間特徵函數，而 $\mathbf{e}_{nk}^T(t)$ 為 $\mathbf{e}_{nk}(t)$ 的轉置矩陣(transpose)上式中之下標 mn 、 mk 、 nk 分別為各矩陣的列數與行數。其座標情況如圖 2-1 所示，圖中 $\mathbf{y}(h,t)$ 代表在 N 次時間沿岸 m_2 個點之離灘線基準線之距離； $\mathbf{x}(h,t)$ 代表在 N 次時間向、離岸 m_1 個點之剖面線距海平面之距離。

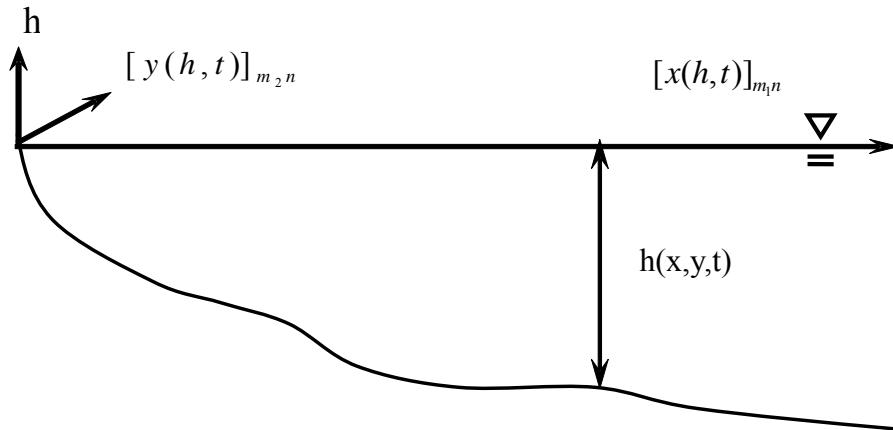


圖 2-1 經驗特徵函數座標示意圖

欲求得上述 $[\mathbf{x}(h,t)]_{mn}$ 矩陣與 $[\mathbf{y}(h,t)]_{mn}$ 矩陣的特徵值與特徵向量，先將上述矩陣 $[\mathbf{x}(h,t)]_{mn}$ 與 $[\mathbf{y}(h,t)]_{mn}$ 各自乘上其轉置矩陣(transpose)後，得一個對稱的方形矩陣(symmetric square matrix)，分別為：

$$\mathbf{A} = [\mathbf{x}(h,t)]_{mm} [\mathbf{x}(h,t)]_{mm}^T = [\mathbf{a}_{ij}]_{mm} \quad (2-3)$$

$$\mathbf{B} = [\mathbf{y}(h,t)]_{mm} [\mathbf{y}(h,t)]_{mm}^T = [\mathbf{b}_{ij}]_{mm} \quad (2-4)$$

而 \mathbf{A} 跟 \mathbf{B} 方陣的特徵向量與特徵值需滿足特徵方程式：

$$\mathbf{A}\mathbf{e}_m^i(x) = \lambda_i \mathbf{e}_m^i(x) \quad (2-5)$$

$$\mathbf{B}\mathbf{e}_m^i(y) = \lambda_i \mathbf{e}_m^i(y) \quad (2-6)$$

其中 λ_i 為特徵值， \mathbf{e}_m^i 為單位特徵向量，由矩陣方程式 \mathbf{A} 之轉換可求得 m 個特徵值及其對應之單位正交向、離岸空間特徵函數；矩陣方程式 \mathbf{B} 之轉換亦可求得 m 個特徵值及其對應之單位正交沿岸空間特徵函數。若將特徵值 λ_i 按大到小順序排列，即 $1 > 2 > \dots > m$ ，則第一個特徵值所對應的第一組特徵向量就稱為特徵經驗函數的第一個模態 (mode)。

因為 \mathbf{A} 及 \mathbf{B} 為對稱性矩陣，所以其特徵向量為 Hermitian 矩陣，因此 $\mathbf{e}_m^i(x)$ 與 $\mathbf{e}_m^j(y)$ 皆滿足克朗尼克函數 (Kronecker delta)，即稱二者為正交特徵向量：

$$\mathbf{e}_m^i(x) [\mathbf{e}_m^j(x)]^T = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \quad (2-7)$$

$$\mathbf{e}_m^i(y) [\mathbf{e}_m^j(y)]^T = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \quad (2-8)$$

EOF 的特徵值大小決定其特徵值其重要性(權重)，一般如下式代表其特徵值重要性 $\lambda_k / \sum_{i=1}^m \lambda_i \times 100\%$ ，上式中的 λ_k 代表由大到小之第 k 個特徵值，分母則是其特徵值總和。

EOF 的第一個模態之空間特徵向量與時間上之平均值比值相近，而其他空間特徵向量模態之和則代表偏離平均值之大小，當原本變數減去其時間的平均值則可以明顯表示這些偏移量，今以(2-1)式中離岸剖面線的位置為例子，將剖面線的位置減去時間平均位置，即可得偏差量 $\tilde{\mathbf{x}}(h,t)$ ，再將此偏差量以特徵向量矩陣形式表示之，即為：

$$[\mathbf{x}(h,t) - \mathbf{x}(h)]_{mn} = [\tilde{\mathbf{x}}(x,t)]_{mn} = \tilde{\mathbf{e}}_{mk}(x) \tilde{\mathbf{e}}_{nk}^T(t) \quad (2-9)$$

將式(2-9)重複上述求特徵向量及特徵值的方式，可以獲得減去平均時間剖面線位置的特徵值，則此特徵值即代表剖面線位置的偏差權重。而其所對應的特徵值，將其依大到小所排列的第一特徵向量之趨勢，代表剖面線位置之變異量。

若欲求解時間的單位特徵向量，則須由式(2-5)所得 k 個之空間特徵向量矩陣 $\mathbf{e}_{mk}(x)$ 來做運算，因為 $\mathbf{e}_{mk}(x)$ 為 Hermitian 矩陣，所以 $\mathbf{e}_{mk}^T = \mathbf{e}_{mk}^{-1}$ (見 Kreyszig and Kreyszig, 2000)，經過簡易的矩陣運算則可得時間的特徵向量，如式(2-10)：

$$\mathbf{e}_{nk}(t) = [x(h,t)]_{mn}^T \mathbf{e}_{mk}(x) \quad (2-10)$$

因為 $[x(h,t)]_{mn}^T$ 為實際地形資料會有單位，則式(2-10)的時間特徵向量並非單位特徵向量，為表示成單位特徵向量則將式(2-10)正常化(normalized)，表示其值在正、負 1 之間，若選擇每個特徵向量的元素的均方根為無因次化單位，則時間的單位特徵值表示為：

$$\mathbf{e}_{nk}^*(t) = \mathbf{e}_{nk}(t) / a_k \quad (2-11)$$

其中

$$a_k = \left[\sum_{i=1}^n \mathbf{e}_{ik}^2(t) \right]^{1/2} \quad (2-12)$$

2-2 二維經驗正交函數法

若需同時考慮向、離岸及沿岸漂沙在這兩種方向的變化特性，以便完整地描述海灘地形變化特性，則需要建立二維模式之經驗正交函數，若將某一時刻之平面二維水深以 $[\mathbf{h}(x,y,t)]_{mn}$ 表示，以向、離岸及沿岸特徵函數合併表示為二維經驗正交特徵向量矩陣，其形式如下：

$$[\mathbf{h}(x,y,t)]_{mn} = \mathbf{e}_{mk}(x,y) \mathbf{e}_{nk}^T \quad (2-13)$$

上式表示水深 h 在 n 個時間上，二維空間上有 $m = m_1 \times m_2$ 個網格

點的資料，其中沿岸有 m_1 個剖面、離岸有 m_2 個剖面，在不同時間點上 x 跟 y 方向的水深矩陣，再乘以其轉置矩陣，即可得一個方形矩陣為：

$$\mathbf{A} = [\mathbf{h}(x, y, t)]_{mm} [\mathbf{h}(x, y, t)]_{mm}^T = [\mathbf{a}_{ij}]_{mm} \quad (2-14)$$

由矩陣之運算，可求得矩陣 A 的 m 個特徵值，其分別對應向、離岸空間特徵向量矩陣 m_1 個；沿岸空間特徵向量矩陣 m_2 個。

如果要以二維經驗正交函數的方式突顯水深變化量，須將各點水深減去平均水深以求得水深之偏差量，

$$[\tilde{\mathbf{h}}(x, y, t)]_{mm} = [\mathbf{h}(x, y, t) - \bar{\mathbf{h}}(x, y)]_{mm} = \tilde{\mathbf{e}}_{mk}(x, y) \mathbf{e}_{nk}^T(t) \quad (2-15)$$

再依上述方法，由式(2-13)則可求得之特徵值及特徵向量，即可代表其二維模式水深變動偏差之權重。



第三章 等深線的一維EOF分析

3-1 新竹港南地形資料簡介

本文討論範圍自頭前溪出海口以北 2 公里至客雅溪出海口以南 1 公里，海岸蜿蜒長達約十公里，在此段海岸由北往南主要的結構物有新竹漁港、垃圾掩埋場、新竹焚化爐、港南海岸等，目前土地利用相關位置如圖 3-1 所示。

海岸侵蝕的類型可以歸納為以下幾類：(1)海崖侵蝕，(2)河川輸砂減少之海岸侵蝕，(3)受海岸結構物影響之海岸侵蝕，(4)地盤下陷，(5)地形阻隔，(6)海水面上升，(7)波浪與潮流作用。由李(2003)得知河川輸砂量減少、海岸結構物影響及波浪與潮流作用這三項是造成港南地區海岸侵蝕的主因，上述之中以新竹漁港影響港南地區最大，探究其原因主要為新竹漁港的興建就如同一座巨大的突堤，其所造成的影響如下所述：新竹漁港外廓防波堤攔阻新竹漁港北側頭前溪及鳳山溪之輸砂及沿岸漂砂活動，因此在新竹漁港南北防砂堤外側約 1.5 公里的海岸地形即向新竹漁港外廓有明顯外突現象，因而致使港南海岸日益侵蝕。由於漂砂現象之水理機制複雜，故於進行港南海岸保護規劃時應對計畫區鄰近歷年之地形變化詳予比較分析後，再進行改善規劃作業。

本文為探討新竹港南沿岸地形變遷因此蒐集港南地區之水深資料自 87 年 9 月至 96 年 10 月包含 7 個年份之資料，共計 9 次測量成果，並依照行政院農業委員會漁業署及經濟部水利署第二河川局等單位陸續於計畫區進行海岸地形水深調查工作的結果，監測時間如表 3-1 所示。

本文採用的監測時間為自 87 年至 96 年的地形資料，而測量範圍為自頭前溪出海口以北 2 公里至客雅溪出海口以南 1 公里，約 7.5 公里長之海岸地形水深圖，應用 EOF 計算可以明確得知其平均水深、變異量的特性，依此討論新竹港南沿岸的平均水深及其變異量的大小及分佈位置。



圖 3-1 新竹港南海岸平面位置圖

表 3-1 計畫區各單位歷年觀測水深概況表

單 位	調查時間	備 註
行政院農業委員會漁業署	87 年 09 月	測量範圍：頭前溪出海口以北 3 公里至客雅溪出海口，約 7.5 公里長之海岸
	88 年 08 月	
	90 年 02 月	
	90 年 08 月	
	91 年 03 月	
經濟部水利署第二河川局	90 年 04 月	測量範圍：頭前溪出海口以北 2 公里至客雅溪出海口以南 1 公里，約 7.5 公里長之海岸
	90 年 10 月	
	91 年 05 月	
	91 年 10 月	
	94 年 04 月	
	94 年 09 月	
	95 年 09 月	
	96 年 07 月	
	96 年 10 月	

3-2 等深線之選擇

新竹港南沿岸地形變遷的三個主要原因為(1)頭前溪及鳳山溪的輸砂量減少、(2)興建人工結構物、(3)波浪與潮流的作用，而港南海岸因為遭受嚴重侵蝕，故列為需要探討的位置之一。由上述各項因子對海岸所造成之影響，本文將新竹港南海岸分為六個區域分別探討其平均水深及變異量的特徵。

離岸方向之劃分依據，主要是依據漂沙臨界移動水深來劃分，計算漂沙臨界移動水深的公式為

$$\frac{H}{L_0} = \alpha \left[\frac{D}{L_0} \right]^n \sinh \kappa h_i \quad (3-1)$$

上式中， H 為波高， L_0 為深海波長， D 為底質之中值粒徑， κ 為波數($= 2\pi/L$)， h_i 為漂沙臨界移動水深， α 及 n 為係數，依據佐藤和田中(1962)實地觀測及模型實驗結果，對於表層移動形式採用 $n=1/3$ 、 $\alpha=1.35$ ，完全移動形式則採用 $n=1/3$ 、 $\alpha=2.4$ 。然而式(3-1)中存在著 3 個未知量，分別為波高 H 、波長 $L(\kappa=2\pi/L)$ 及漂沙臨界移動水深 h_i ，

上述中的三個未知量可由李(2003)的研究結果得知，先以新竹港南沿岸的冬季波高 2 公尺、週期 6 秒及夏季波高 1 公尺、週期 8 秒，代入式(3-1)中計算，而底質粒徑則是以平均中值粒徑 0.22 mm 代入，然後使用試誤法逐步推算出 h_i 值，其步驟為先給定一個水深，由線性消波分散關係(dispersion relation)計算週波數 κ (wave number)。由淺化係數(shoaling coefficient)計算出局部之波高 H 再由式(3-1)判斷等號左邊之值是否大於右邊之值，此時水深即為 h_i ，最後臨界漂沙移動水深的計算結果如表 3-2 所示：

表 3-2 漂沙臨界移動水深

	表層移動水深 (公尺)	完全移動水深 (公尺)
夏季	-6.36	-3.95
冬季	-14.48	-9.09

本文依據表 3-2 的結果，將 87 年 9 月至 96 年 10 月的地形水深實測資料以水深-5 m 線將各區分為近岸及遠岸兩區，而遠岸亦以-10 m 水深及-15 m 水深細分為兩區，以 EOF 所呈現的結果討論各分區的地形水深狀況，各分區詳圖如 3-2 所示。圖中的分區狀況由北到南依序分為頭前溪及鳳山溪口北側區域、新竹漁港北側區域、新竹漁港南側區域、垃圾掩埋場區域、港南海岸區域、港南海岸以南區域。

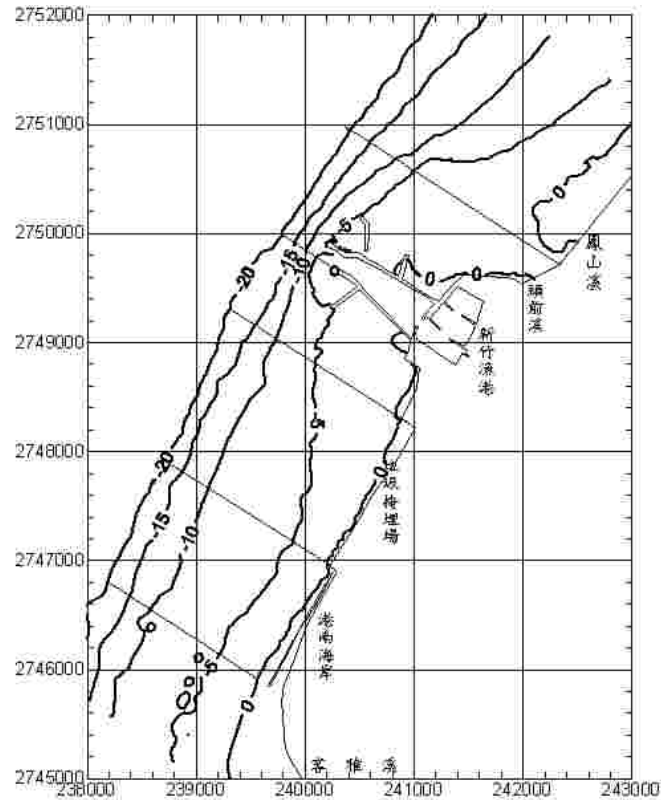


圖 3-2 地形分區位置圖

圖 3-2 為 67 二度分帶座標系統所畫之新竹港南等深線圖，而 67 分帶座標是以經緯度(N^0 、 E^0)分別代表座標 X 、 Y 軸表示海岸地形位置。新竹港南海岸線與緯度(座標 X 軸)夾角甚大，為使本文可以清楚說明港南海岸的地形變遷，因此以客雅溪口為旋轉原點，以順時針方向旋轉 55 度，使港南海岸線沿岸方向平行於 X 軸，向、離岸方向平行於 Y 軸之直角座標系統。此外二度分代座標所採用之刻度單位為公尺，為明確標示本文所分析的沿岸各點座標位置，將新竹港南海岸的客雅溪口為原點座標，平移新竹港南海岸線使其沿岸方向的座標為 -1500 m 至 5500 m 之間。在沿岸方向之各點位置分別為頭前溪及鳳山溪口(4100 m)、新竹漁港(2700 m 至 3800 m)、垃圾掩埋廠(1400m 至 2100 m)、港南海岸(-500 m 至 500 m)、客雅溪口(-1400 m)，如下圖 3-3 所示：

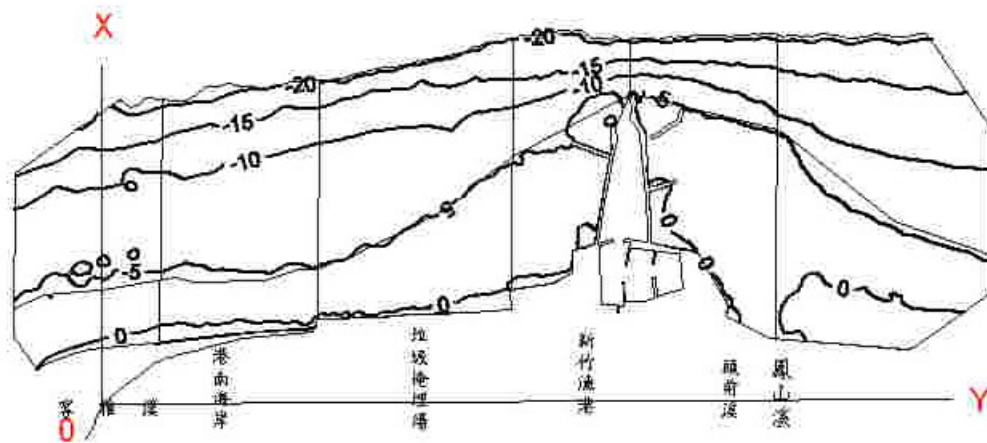


圖 3-3 新竹港南旋轉平移位置圖

3-3 空間EOF的前三個模態特性

利用 EOF 將海灘地形描述成各種不同的變化型態，每一個變化型態代表空間變化成分在不同時間的變化性質，若瞭解這些變化型態所代表的變化性質，有助於瞭解新竹港南地形的變化特性。本文根據 87 年 9 月至 96 年 10 月的實測資料，以上節所述代表漂沙特性之水深，選擇新竹港南附近海域區之 -5m、-10m、-15m 等深線，經由 EOF 計算後，繪製夏季、冬季及不分季的等深線，所得的沿岸空間特徵函數及時間特徵函數的三個型態結果，分別示於圖 3-4 至 3-12。

本文計算前三個模態之特徵值占前六個特徵值之比值為確保選擇足夠之模態來說明特徵向量的特性，當此特徵值比例大時，代表此模態之特性代表資料性高；反之，當此特徵值比例低時代表此模態之特性代表資料性低。表 3-3 為不分季、夏季、冬季的等深線的前三個模態的空間 EOF 之特徵值比值，由表中可知等深線的第一特徵值都高達 99.8% 以上，第二特徵值則為 0.005%~0.2% 之間，第三特徵值都低於 0.03%，由上述的結果可知，第一模態的特徵值比值高達 99.8%，代表其平均的特性佔其地形變化的九成以上，第二模態的特徵值比值為 0.005%~0.2% 之間，代表其變異量的特性佔其地形變化較小，第三模態的特徵值比值都低於 0.03%，代表第三模態的特性佔其地形變化

極小，由 EOF 所計算的等深線的前三個模態的比值總和已高達 99.9%，因此可以描述所選取的等深線的 99% 以上的變化特性。

表 3-3 不分季、夏季、冬季的等深線的空間的前三個模態之 EOF 的特徵值比值(%)

等深線	模態	不分季	夏季	冬季
5m	模態一	99.82	99.77	99.83
	模態二	0.13	0.19	0.12
	模態三	0.03	0.01	0.03
10m	模態一	99.94	99.94	99.95
	模態二	0.04	0.05	0.04
	模態三	0.004	0.004	0.004
15m	模態一	99.99	99.98	99.99
	模態二	0.007	0.01	0.005
	模態三	0.001	0.001	0.001

為了驗證 EOF 的前二個模態特性與統計的平均與變異量的特性是否相符，本文以 -5 m 等深線的水深矩陣， $[y(-5,t)]_{mn} = e_{mk}(y)e_{nk}^T(t)$ 所計算的空間 EOF 的前二個模態為例子，將原本 $e_{mk}(y)$ (單位特徵向量) 正常化(normalized)，使元素值在 ± 1 之間，為與實際值比較則需如上章所述再將其乘以每個特徵向量的元素的均方根(此為無因次化單位)，則空間的特徵值與實際之物理量相近。

圖 3-4 為 -5m 等深線的空間 EOF 前三個模態。圖中的實線為 EOF 之第一及第二個模態，而虛線為實際資料之平均值與變異數。圖中的沿岸第一空間特徵函數 $a_1 e_1(y)$ 代表整個區域內沿岸的平均變化特

質，比較圖中的 $a_1e_1(y)$ 與圖中的虛線(沿岸線平均值)可以發現，兩者具有相同的趨勢，由此可知 EOF 確能表現海灘地形統計分面的平均特性。圖中的沿岸空間特徵函數 $a_2e_2(y)$ 描述沿岸方向地形的變異量之變化，由圖中的沿岸第二空間特徵函數 $a_2e_2(y)$ 的趨勢與圖中的虛線(沿岸線變異量)可以發現，兩者趨勢亦相似。

圖 3-4 顯示之第一空間特徵函數 $a_1e_1(y)$ 可知，-5 m 等深線是在離岸 1000 m 至 2500 m 之間，在圖中凸起處為新竹漁港所在位置，探究其原因主要為新竹漁港攔截漂砂以致漂砂無法連續，造成等水深線沿著防波堤往外延伸，而不與海岸線平行。由圖中的第二空間特徵函數 $a_2e_2(y)$ 顯示，變異量自港南海岸至新竹漁港南側防砂堤漸趨平緩，而從新竹漁港北側防砂堤至頭前溪及鳳山溪口則為變異量最大的地方，探究其原因主要為頭前溪及鳳山溪口之輸砂量隨著颱風強弱有很大的差異，此外新竹漁港北側防波堤攔截漂砂以致無法傳到新竹漁港南側都是造成新竹漁港北側變異量較大的原因。由圖中的第三空間特徵函數 $e_3(y)$ 所呈現的分布情形可知，地形水深若有侵蝕、淤積變化出現時，如在新竹漁港南北兩側($x = 2500$ 至 4500 m)間的實測地型變化為淤積情況時， $e_3(y)$ 會有正值的數值反應出現。

圖 3-5 為-10 m 等深線的空間 EOF 前三個模態，由圖中的第一空間特徵函數 $e_1(y)$ 可知，-10 m 等深線在新竹漁港凸起處較-5 m 等深線更為平緩，顯示新竹漁港對其影響已較-5 m 等深線小。由圖中的第二空間特徵函數 $e_2(y)$ 顯示，-10 m 等深線的變異量較-5 m 等深線小很多，但其變異量的趨勢仍跟-5 m 等深線大致相同，探究其原因主要為在-5 m 等深線之內，可由前一節之漂砂計算得知，在約-5 m 水深之漂砂為全面漂砂之水深，而-10 m 水深為漂砂起動之水深，因此在-5 m 等深線處之漂沙比-10 m 處劇烈而造成此結果。由圖中的第三空間特徵函數 $e_3(y)$ 可知，模態三在 $x = 2500$ 至 4500 之間呈現正值，而此區地形在實測的地形變化中呈現淤積的情況。

圖 3-6 為-15 m 等深線的空間 EOF 前三個模態，由圖中的第一空間特徵函數 $e_1(y)$ 可知，-15 m 等深線在新竹漁港處已無明顯凸起，由此得知新竹漁港對-15 m 深線的影響較小。由圖中的第二空間特徵函

數 $e_2(y)$ 可知，-15 m 等深線的變異量位置主要分佈在新竹漁港南、北兩側，且變異量已較-5 m 及-10 m 的等深線明顯減少，探究其原因主要為-10 m 等深線內的漂沙活動可由前一節之漂砂計算得知，在約-10 m 水深之漂砂為冬季全面漂砂之水深，而-15 m 為漂砂起動之水深，因此在-5 m、-10 m 等深線處之漂沙比-15 m 處劇烈而造成此結果。由圖中的第三空間特徵函數可知， $e_3(y)$ 在 $x = 2500$ 至 4500 之間呈現正值，而此區地形在實測的地形變化中也同樣呈現淤積的情況。

圖 3-7 為-5 m 等深線的夏季、冬季空間 EOF 前三個模態。由圖 3-7 之夏季、冬季第一空間特徵函數 $e_1(y)$ 的 -5 m 等深線平均位置顯示，此區之水深線變化不大。由圖中的第二空間特徵函數 $e_2(y)$ 顯示，夏、冬季的變異量的主要位置都在新竹漁港南、北兩側，且夏季比冬季更大。由圖中的第三空間特徵函數可知， $e_3(y)$ 在(1)垃圾掩埋場、(2)新竹漁港北側防砂堤至鳳山溪及頭前溪口有正、負值互換的情形，在實測的地形變化中(1)垃圾掩埋場在 91 年之前地形呈現侵蝕之後為淤積地形，(2)新竹漁港北側防砂堤至鳳山溪及頭前溪口在 90 年之前為侵蝕地形，在 90 年之後為淤積地形。

圖 3-8 為-10 m 等深線的夏季、冬季空間 EOF 前三個模態。由圖 3-8 之夏季、冬季第一空間特徵函數 $e_1(y)$ 的-10 m 等深線平均位置顯示此區的水深線變化不大。由圖中的第二空間特徵函數 $e_2(y)$ 可知，夏、冬兩季的變異量的位置幾乎相同，且相差不大。由圖中的第三空間特徵函數可知， $e_3(y)$ 在(1)港南海岸南段至客雅溪口在夏季的正、負值較大、(2)垃圾掩埋場位置上夏季呈現正值而冬季卻相當平緩、(3)新竹漁港防砂堤北側至頭前溪及鳳山溪口依然可以發現在夏季、冬季為正、負值相反的情況，在實測的地形變化中(1)港南海岸南段至客雅溪口的地形持續呈現侵蝕的情形、(2)垃圾掩埋場在 94 年 09 月有淤積現象此外歷年皆呈現侵蝕地形、(3)新竹漁港防砂堤北側至頭前溪及鳳山溪口在 90 年 04 月有侵蝕現象此外歷年皆為淤積地形。

圖 3-9 為-15 m 等深線的夏季、冬季空間 EOF 前三個模態。由圖 3-9 之夏季、冬季第一空間特徵函數 $e_1(y)$ 的-15 m 等深線平均位置顯示，此區之水深線依然變化不大。由圖中的第二空間特徵函數 $e_2(y)$ 可

知，夏季及冬季的變異量的趨勢相同，然與-5 m 等深線及-10 m 等深線相比之下其變異量已經漸趨平緩。由圖中的第三空間特徵函數 $e_3(y)$ 可知，在(1)垃圾掩埋場 (2)新竹漁港南北兩側其夏季及冬季都呈現正、負值相反的情形，在實測的地形變化中(1)垃圾掩埋場的地形有侵淤互現的情況、(2)新竹漁港南北兩側的地形持續呈現淤積的情況。

由 Liou 等(2007)在新竹港南的分區侵、淤特性分析可知頭前溪至新竹漁港以北，因新竹漁港攔阻季節性之沿岸漂砂呈現淤積現象，新竹漁港以南至垃圾掩埋場，目前因漂沙越過新竹漁港，新竹漁港南側防砂堤已形成淤積現象，垃圾掩埋場的侵蝕則有減緩的趨勢；港南海岸目前因仍得不到沙源之補充而仍呈現侵蝕現象，尤以近岸較為嚴重。本文由 EOF 的第二空間特徵函數 $e_2(y)$ 計算-5 m、-10 m、-15 m 等深線的結果，可知在新竹港南沿岸變異量最大的區域為新竹漁港以北至頭前溪、鳳山溪口，而港南海岸沿岸次之，且變異量在三條等深線的比較下有離岸漸遠變異量越小的趨勢，此外夏季的變異量普遍較冬季為大，由上述可知，新竹港南的漂砂活動的主要位置在新竹漁港兩側及港南海岸沿岸區域，且夏天的漂砂活動比冬天更旺盛。由第三空間特徵函數 $e_3(y)$ 的結果，可知在地形有淤積情況時在 $e_3(y)$ 大部分有正值的反應出現。

3-4 時間 EOF 的前二個模態特性

圖 3-10 為等深線-5 m 在時間 EOF 的前三個模態。圖 3-10 之第一時間特徵函數 $e_1(t)$ 所代表的是各個時間點上-5 m 等深線在離岸方向的平均位置，圖 3-10 之第二時間特徵函數 $e_2(t)$ 所代表的是各個時間點上-5 m 等深線的變異量，圖 3-10 之第三時間特徵函數 $e_3(t)$ 的變化趨勢因無法明確的加以判斷其代表的意義，在此不加以任意的揣測。

圖 3-10 之第一時間特徵函數 $e_1(t)$ 顯示，-5 m 等深線的平均位置從 94 年 04 月開始有下降的趨勢。由圖中的第二時間特徵函數 $e_2(t)$ 顯示，-5 m 等深線的變異量自 90 年 04 月開始急劇下降直到 94 年 04 月趨勢才由下降轉為上升。

圖 3-11 為等深線-10m 在時間 EOF 的前三個模態。圖 3-11 之第一時間特徵函數 $e_1(t)$ 顯示，-10 m 等深線的平均位置從 94 年 04 月開始有略微下降的趨勢。由圖中的第二時間特徵函數 $e_2(t)$ 顯示，-10 m 等深線的變異量自 90 年 04 月開始下降直到 95 年 09 月趨勢才由下降轉為上升。

圖 3-12 為等深線 15m 在時間 EOF 的前三個模態。圖 3-12 之第一時間特徵函數 $e_1(t)$ 顯示，-15 m 等深線的平均位置變動不大。由圖中的第二時間特徵函數 $e_2(t)$ 顯示，-15 m 等深線的變異量從 90 年 10 月開始下降直到 94 年 04 月趨勢才由下降轉為上升。

由 Liou 等(2007)在新竹港南的分區侵、淤特性分析可知新竹漁港以北至鳳山溪及頭前溪口，地形呈現淤積現象，新竹漁港以南至垃圾掩埋場，地形由侵蝕轉為淤積，因此新竹漁港南側防砂堤區域已形成淤積現象，而垃圾掩埋場區仍為侵蝕，港南海岸長期皆呈現侵蝕，恐有繼續侵蝕之虞。本文由 EOF 第一時間特徵函數 $e_1(t)$ 的結果，可知-5 m、-10 m 等深線的平均位置從 94 年 04 月開始有略微下降的趨勢，由第二時間特徵函數 $e_2(t)$ 的結果，得知-5 m 等深線自 90 年 04 月開始急劇下降直到 94 年 04 月趨勢才由下降轉為上升，-10 m 等深線自 90 年 04 月開始下降直到 95 年 09 月趨勢才由下降轉為上升，-15 m 等深線從 90 年 10 月開始下降直到 94 年 04 月趨勢才由下降轉為上升，探究其原因主要為 94 年有三個強烈颱風：海棠、泰利、以及龍王，而 95 年有一個強烈颱風：艾維尼，颱風期間造成較強的流速，將沙源由近岸帶往遠岸堆積造成近岸侵蝕且變異量大增的現象。

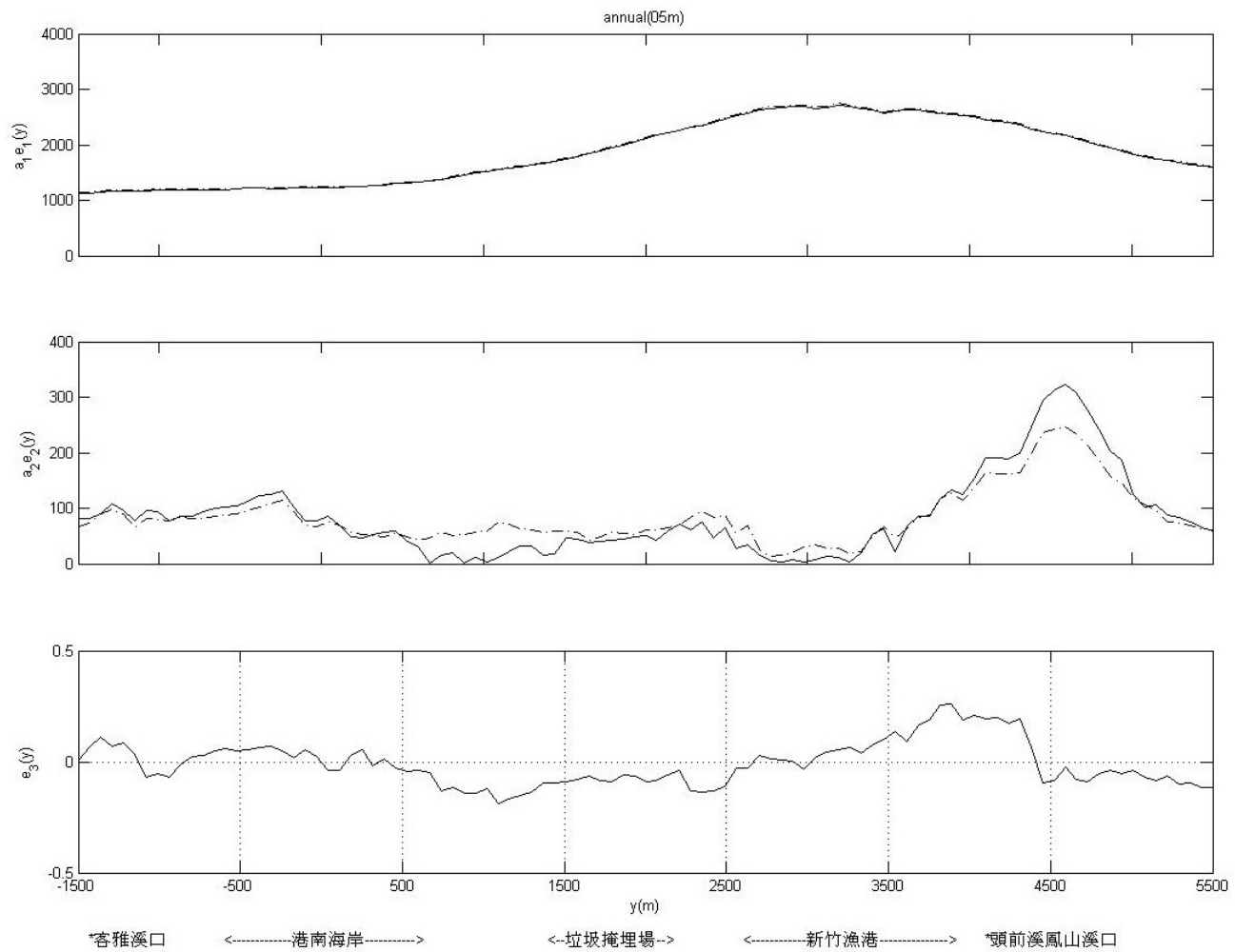


圖 3-4 5m 等深線的空間 EOF 前三個模態

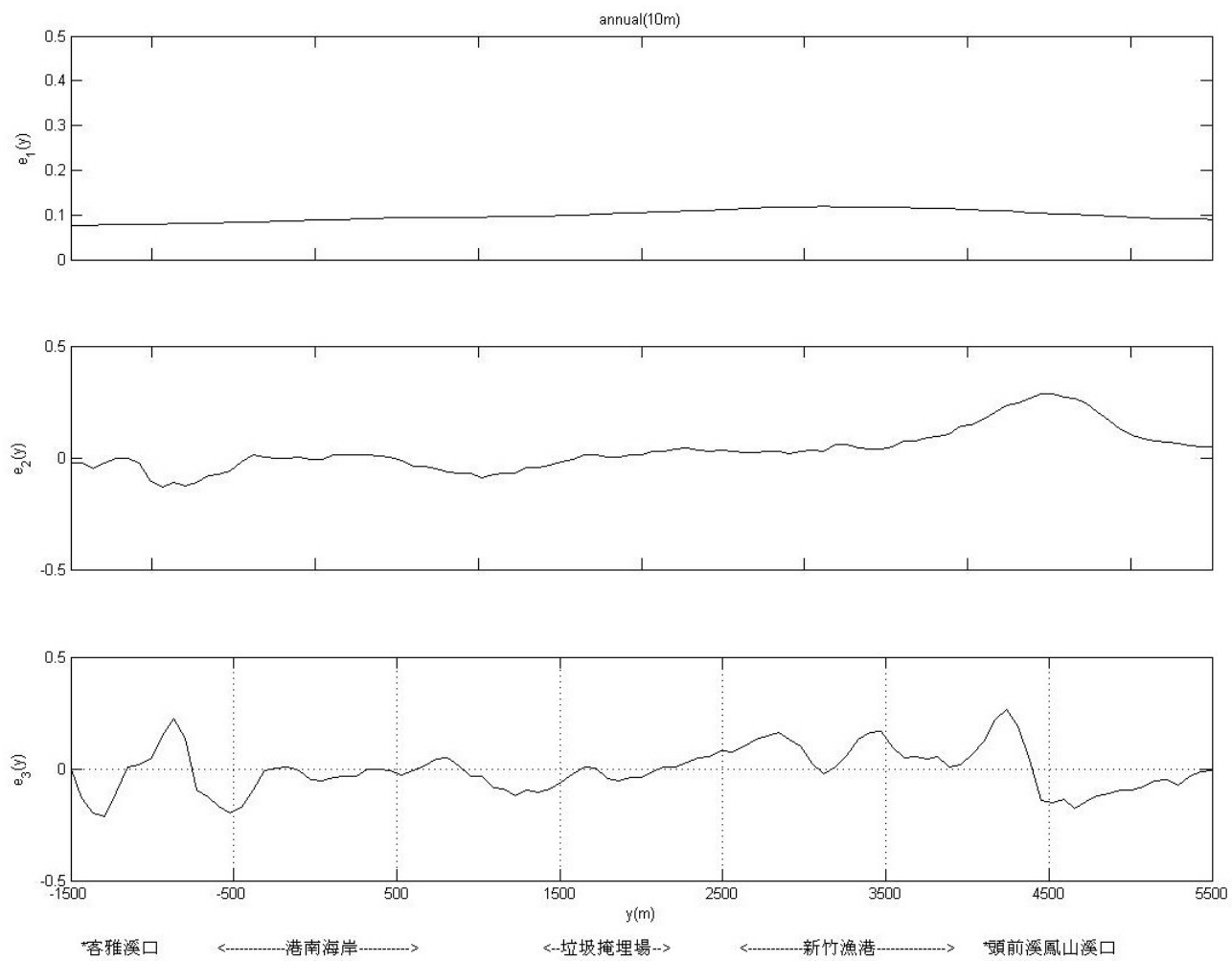


圖 3-5 10m 等深線的空間 EOF 前三個模態

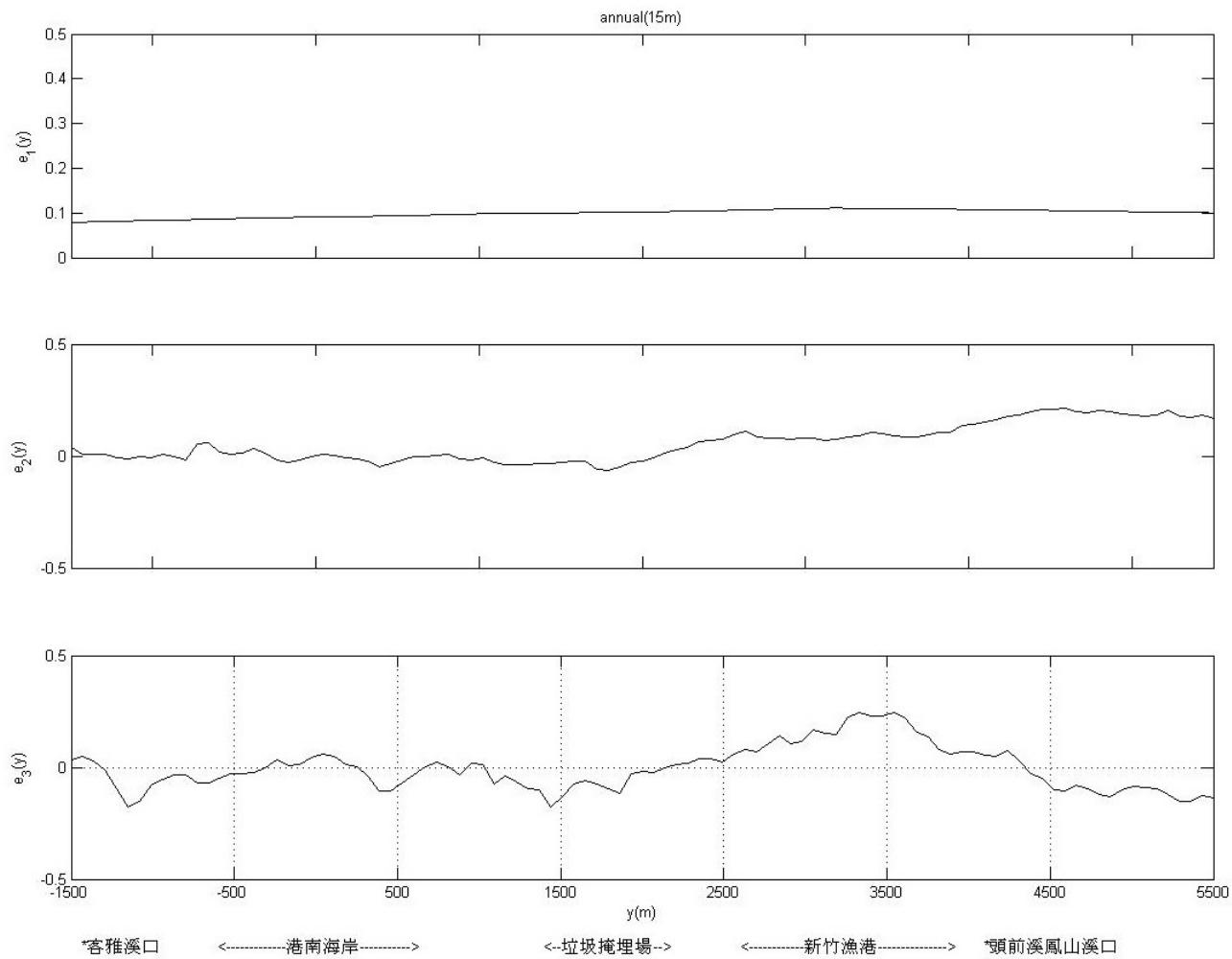


圖 3-6 15m 等深線的空間 EOF 前三個模態

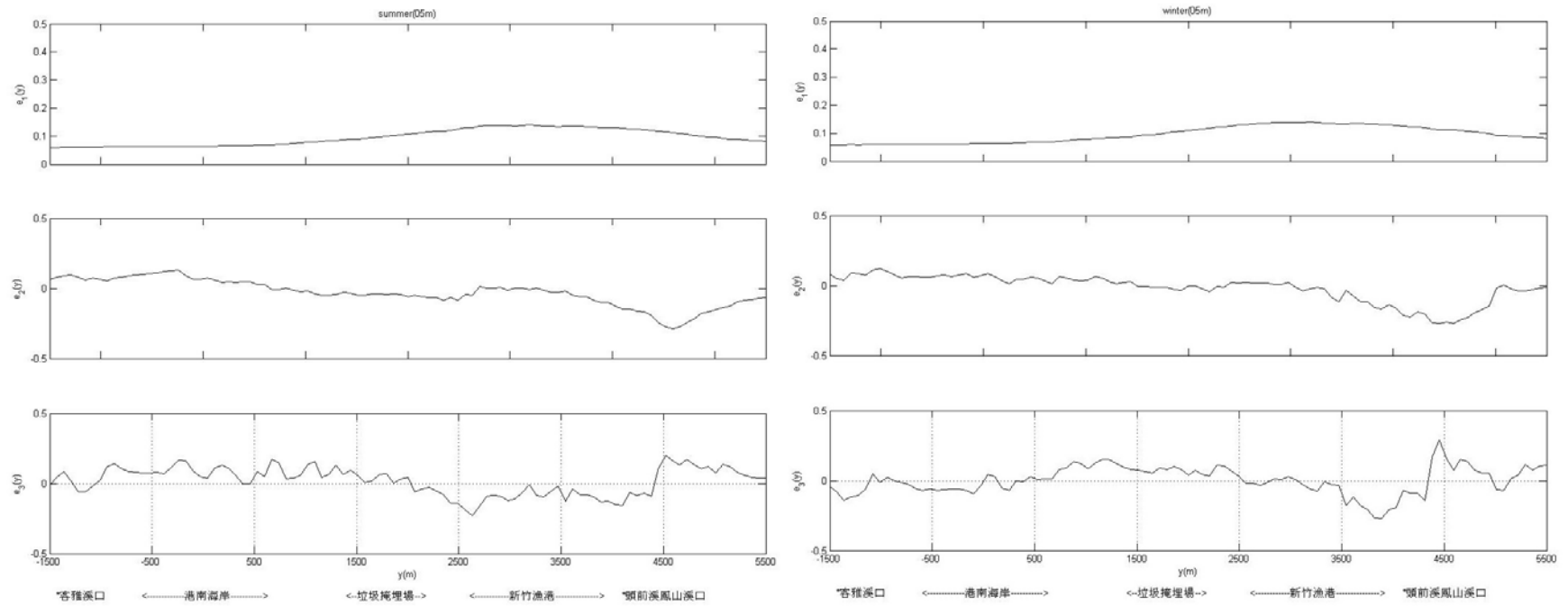


圖 3-7 等深線 5m 的夏季、冬季空間 EOF 前三個模態

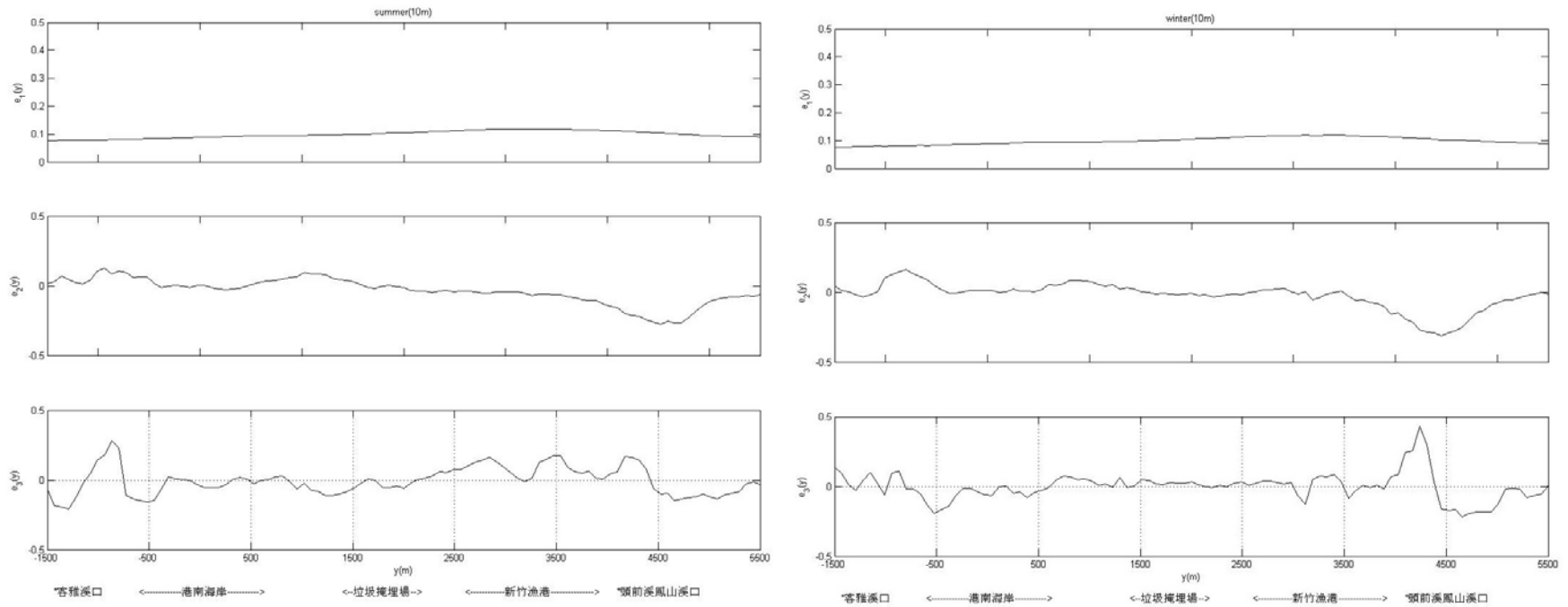


圖 3-8 等深線 10m 的夏季、冬季空間 EOF 前三個模態

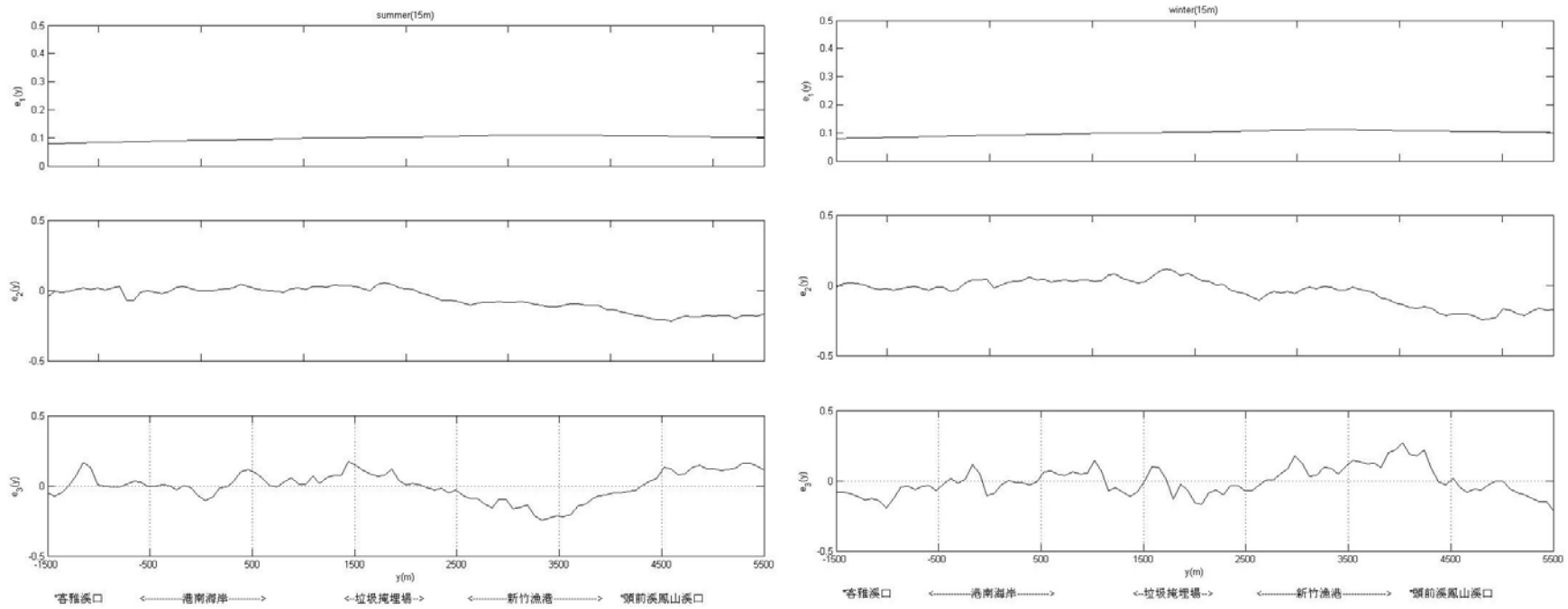


圖 3-9 等深線 15m 的夏季、冬季空間 EOF 前三個模態

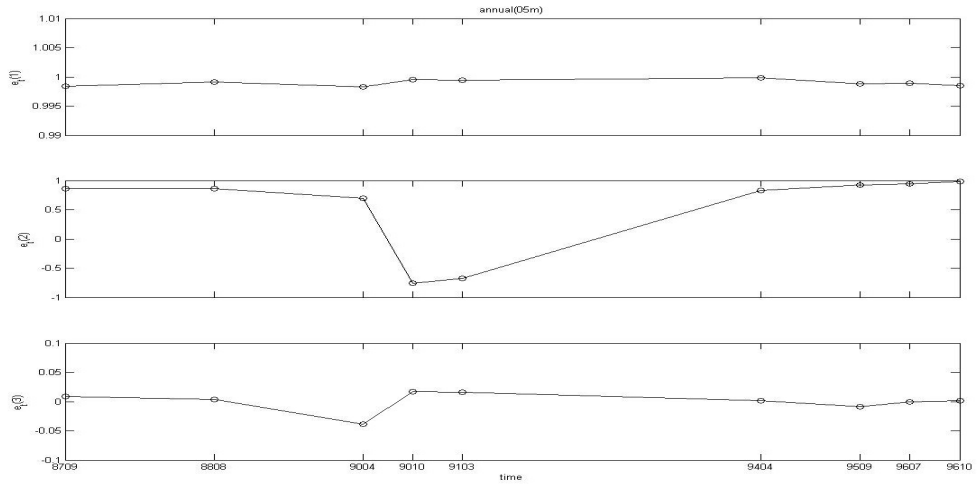


圖 3-10 等深線 5m 的時間 EOF 的前三個模態

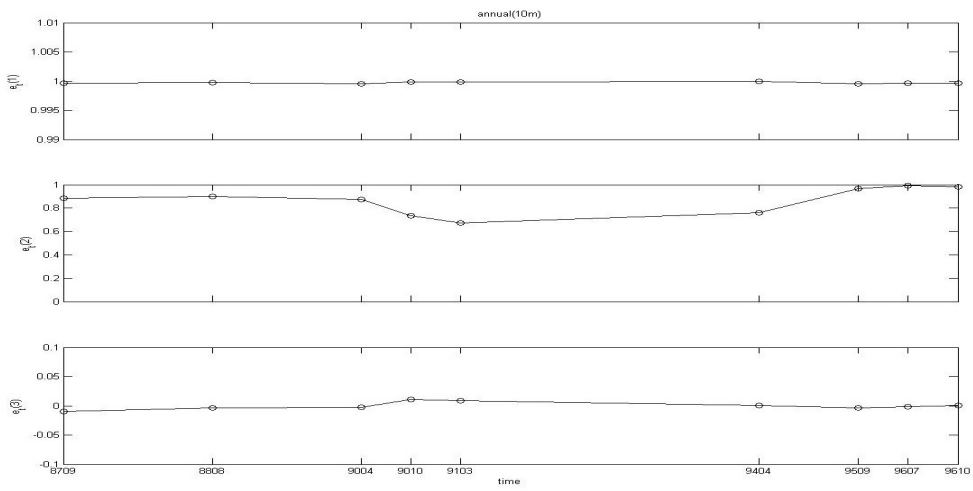


圖 3-11 等深線 10m 的時間 EOF 的前三個模態

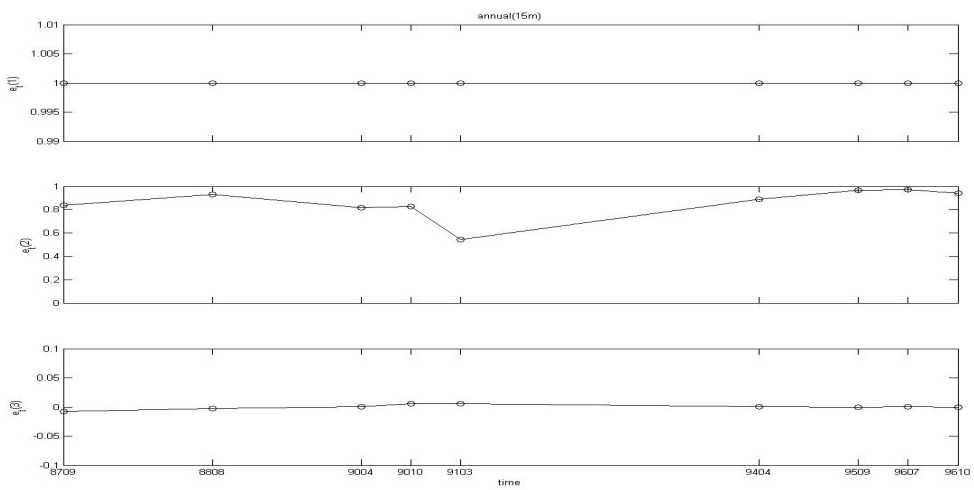


圖 3-12 等深線 15m 的時間 EOF 的前三個模態

第四章 剖面線的一維EOF分析

4-1 剖面線的選擇

為了更了解新竹港南地區海岸地形變化特性，遂根據第三章影響新竹港南沿岸地形變遷的三個主要原因為(1)頭前溪及鳳山溪的輸砂量減少，(2)興建人工結構物，(3)波浪與潮流的作用，而港南海岸因為受嚴重侵蝕之區域，因此將港南地區分為六區再將每一個區域各取三條剖面線，本文沿新竹港南海岸線作 17 條剖面線，其中剖面線分佈位置圖如圖 4-1 所示，經由 EOF 運算後，繪製冬季、夏季及不分季的剖面線之向離岸空間特徵函數及時間特徵函數的三個型態結果，分別示於圖 4-2 至圖 4-25。表 4-1 為不分季、夏季、冬季的剖面線的前三個模態的空間 EOF 之特徵值占前六個特徵值之比值，由表中可知剖面線的第一特徵值都高達 86%以上，第二特徵值則為 0.04%~10.3%之間，第三特徵值都低於 2.17%，由上述的結果可知，第一模態的特徵值比值高達 86%，代表其平均的特性佔其地形變化的八成以上，第二模態的特徵值比值為 0.04%~10.3%之間，代表其變異量的特性佔其地形變化較小，第三模態的特徵值比值都低於 2.17%，代表第三模態的特性佔其地形變化極小，由 EOF 所計算的剖面線的前三個模態的比值總和已高達 98%，因此可以描述所選取的剖面線的 98%以上的變化特性。

表 4-1 不分季、夏季、冬季的剖面線的空間的前三個模態的
EOF 之特徵值比值(%)

剖面線	模態	不分季	夏季	冬季
1	模態一	99.65	99.61	99.73
	模態二	0.13	0.22	0.16
	模態三	0.1	0.07	0.1
2	模態一	98.67	98.67	98.99
	模態二	0.85	0.96	0.68
	模態三	0.25	0.21	0.22
3	模態一	97.45	96.88	98.65
	模態二	1.67	2.43	0.91
	模態三	0.43	0.51	0.3
4	模態一	90.28	96.02	86.89
	模態二	5.83	2.15	10.3
	模態三	1.69	0.99	2.17
5	模態一	93.41	94.12	94.15
	模態二	5.23	4.88	4.78
	模態三	0.72	0.59	0.85
6	模態一	98.57	98.87	98.46
	模態二	0.77	0.49	1.08
	模態三	0.29	0.37	0.34
7	模態一	98.58	98.68	99.14
	模態二	0.66	0.7	0.43
	模態三	0.44	0.36	0.27
8	模態一	99.62	99.71	99.57
	模態二	0.23	0.13	0.35
	模態三	0.08	0.11	0.06
9	模態一	99.78	99.68	99.92
	模態二	0.13	0.2	0.04
	模態三	0.07	0.1	0.03
10	模態一	99.74	99.64	99.89
	模態二	0.17	0.26	0.08
	模態三	0.07	0.08	0.02

11	模態一	99.87	99.83	99.92
	模態二	0.08	0.11	0.05
	模態三	0.03	0.04	0.02
12	模態一	99.89	99.88	99.92
	模態二	0.05	0.06	0.06
	模態三	0.03	0.03	0.02
13	模態一	99.7	99.67	99.79
	模態二	0.23	0.28	0.13
	模態三	0.04	0.03	0.06
14	模態一	99.44	99.28	99.75
	模態二	0.49	0.64	0.2
	模態三	0.02	0.04	0.04
15	模態一	99.2	99.03	99.52
	模態二	0.65	0.83	0.36
	模態三	0.07	0.07	0.07
16	模態一	99.34	99.14	99.68
	模態二	0.49	0.65	0.26
	模態三	0.09	0.12	0.04
17	模態一	99.44	99.41	99.5
	模態二	0.41	0.44	0.41
	模態三	0.07	0.08	0.07

應用 EOF 分析等深線(-5 m、-10 m、-15 m)的變化，得知新竹港南區域其漂沙主要活動的位置在(1)頭前溪及鳳山溪口、(2)新竹漁港、(3)垃圾掩埋場、(4)港南海岸，因此本章將新竹港南海岸線沿岸分為四大區域：(1)新竹漁港北側區域包含剖面位置(1~6)、(2)新竹漁港南側區域包含剖面位置(7~9)、(3)垃圾掩埋場區域包含剖面位置(10~12)、(4)港南海岸區域包含剖面位置(13~17)，其分析結果敘述如下：

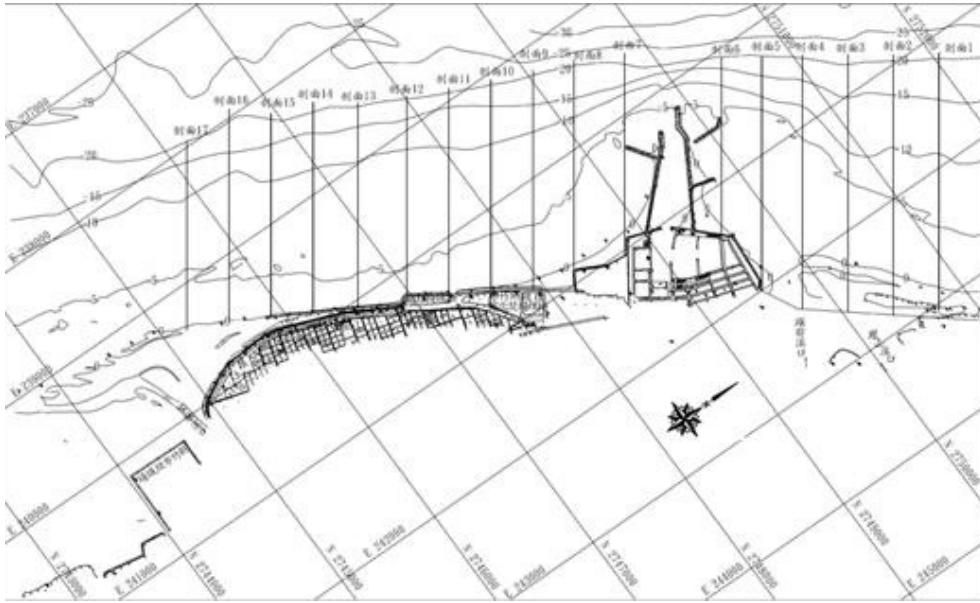


圖 4-1 剖面線 EOF 變化特性分析

4-2 EOF的前三個模態特性

(1)新竹漁港北側區域(剖面線 01~06)：

圖 4-2 至 4-7 為剖面 04~06 的空間 EOF 的前三個模態(剖面 01~03 的空間 EOF 的前三個模態可參考附圖 2-18 至 2-23)。由剖面 01~06 之第一空間特徵函數 $e_1(x)$ 可知，除了剖面 04 之外，其餘剖面在近岸地形皆有高於 0 m 的情況，而剖面 01~06 在離岸 0 m 至 1500 m 的床底坡度較為平緩，可知此區地形深受鳳山溪及頭前溪口輸砂所影響。剖面線 01~06 之第二空間特徵函數 $e_2(x)$ 顯示，新竹漁港北側區域的變異量分佈在離岸(1)500 m 之內、(2)1000 m 至 1500 m 之間，剖面 01~03 在夏季的變化量較冬季為大，剖面 04~06 則在冬季變化量明顯較夏季為大，由上述可知，剖面線 04~06 在冬季的變化量比夏季大，可知此區地形受冬季的東北季風影響漂砂方向所影響。由剖面線 04、05 之第三空間特徵函數 $e_3(x)$ 可知，接近頭前溪及鳳山溪口處有夏、冬季偏態相反的情形，由實測的地形變化可知此區地形因受到頭前溪及鳳山溪的輸砂影響因而呈現冬季、夏季侵淤互現的情形。剖面線 06 為位置最接近新竹漁港北側防砂堤的剖面線，由剖面線 06 之第一空間特徵函數 $e_1(x)$ 可知，在 1000 m 處有一明顯隆起，第二空間特徵函數的 $e_2(x)$ 得知，在 1000 m 處同樣有一明顯的變異量，而夏、冬季的第三

空間特徵函數 $e_3(x)$ 在此處呈現一正、負值互相顛倒的情況，探究其原因主要是新竹漁港北側防砂堤在此處形成淤積所致。

圖 4-18 至 4-20 為剖面 04~06 的時間 EOF 的前三個模態(剖面 01~03 的時間 EOF 的前三個模態可參考附圖 2-36 至 2-38)。由剖面 04~06 之第一時間特徵函數 $e_1(t)$ 顯示，此區的水深平均位置除了剖面 04 在 94 年 04 月開始有明顯的上升的趨勢之外，其餘從 87 年 9 月至 96 年 10 月皆為逐年下降。由剖面 04~06 之第二時間特徵函數 $e_2(t)$ 顯示，變異量從 94 年 04 月開始由下降轉為上升。

由 Liou 等(2007)在新竹港南的斷面侵、淤特性分析，可知由於頭前溪與鳳山溪出海口位於剖面線 01~06 之內，河川輸砂被波浪帶至遠岸沉積，因此離岸 1200 m 以後有明顯淤積現象。而剖面 06 為最接近新竹漁港北防波堤之剖面，在離岸 1000 m 處地形隆起者為新竹漁港北防砂堤之後，其地形有明顯淤積，此亦符合前述以水深-5 m 為分界之關係。本文由 EOF 第二空間特徵函數 $e_2(x)$ 得知，剖面 01~03 的變異量夏季比冬季大；剖面 04~06 的變異量冬季比夏季大，探究其原因主要是因為冬季的東北季風造成漂沙向南漂移所致。第二時間特徵函數 $e_2(t)$ 顯示，變異量從 94 年 04 月開始都有明顯上升的趨勢，探究其原因主要是因為 94 年有三個強烈颱風；95 年有一個強烈颱風造成頭前溪及鳳山溪的上游土石沖刷至下游導致下游漂砂量大增所致。

(2)新竹漁港南側區域(剖面線 07~09)：

圖 4-8 至 4-9 為剖面 07 的空間 EOF 的前三個模態(剖面 08~09 的空間 EOF 的前三個模態可參考附圖 2-25 至 2-27)。由剖面 07~09 之第一空間特徵函數 $e_1(x)$ 顯示，岸邊平均水深有高於 0 m 處的情形，探究其原因主要是沿岸防波堤在此淤積所致，剖面線 07~09 在離岸 1500 m 處的平均水深明顯地由深變淺，探究其原因主要是因為漁港南北兩側之水深地形均受到突堤效應影響所造成。由剖面 07~09 之第二空間特徵函數 $e_2(x)$ 顯示，剖面 07 的變異量主要分佈在離岸 1000 m 附近，剖面 08、09 的變異量主要分布在夏季，表示夏季地形變化較大、冬季變化較小。由剖面 07~09 之第三空間特徵函數 $e_3(x)$ 得知，在剖面 07 有較大的正、負值，其主要位置在近岸 200 m 至 300 m 以及離岸 1000

m 處，此外在夏、冬季這兩處有正、負值互換的情況，剖面 08 在近岸 0 m 處的夏季、冬季皆有一較大正值出現，探究其原因主要是岸邊防波堤所致。由剖面線 07 之第一空間特徵函數 $e_1(x)$ 可知，在離岸 1000m 處有一明顯隆起，第二空間特徵函數 $e_2(x)$ 可知，在 1000 m 處同樣有一較大的變異量，而夏、冬季的第三空間特徵函數 $e_3(x)$ 在此處呈現一正、負值互相顛倒的情況，探究其原因主要是新竹漁港南側防波堤在此處形成淤積所致。

圖 4-21 為剖面 07 的時間 EOF 的前三個模態(剖面 08~09 的時間 EOF 的前三個模態可參考附圖 2-39 至 2-40)。由剖面 07~09 之第一時間特徵函數 $e_1(t)$ 函數顯示，剖面 07 的總體平均在 94 年 04 月略為下降之外，其餘剖面總體平均變化不大。由剖面 07 之第二時間特徵函數 $e_2(t)$ 顯示，剖面 07 的總體變異量從 90 年 10 月開始有緩慢上升的趨勢直到 96 年 07 月開始趨勢由上升轉為下降但其變化甚小，由此可知此區地形變化不大。

(3) 垃圾掩埋場區域(剖面線 10~12)：

圖 4-10 至 4-11 為剖面 10 的空間 EOF 的前三個模態(剖面 11~12 的空間 EOF 的前三個模態可參考附圖 2-28 至 2-31)。由剖面 10~12 之第一空間特徵函數 $e_1(x)$ 顯示，剖面 10~12 在離岸 0 m 至 1500 m 的平均水深變化不大且坡度平緩，可知此區受新竹漁港的突堤效應的影響已經較小。由剖面 10~12 之第二空間特徵函數 $e_2(x)$ 顯示，剖面 10 的沿岸位置在夏季有一非常明顯的變異量產生但是冬季沒有，剖面 11~12 變異量較大的位置都是在離岸(1)0m 至 500 m 處、(2)1000 m 之後。剖面 10~12 之第三空間特徵函數 $e_3(x)$ 顯示，剖面 10 的沿岸區域在夏、冬季有正、負值相反的情形，此區地理位置在岸邊為新竹市焚化爐，推測其有可能是造成沿岸變化的主要原因。

圖 4-22 為剖面 10 的時間 EOF 的前三個模態(剖面 11~12 的時間 EOF 的前三個模態可參考附圖 2-41 至 2-42)。由剖面 10~12 之第一時間特徵函數 $e_1(t)$ 顯示，此區的總體平均變化極小。由剖面 10~12 之第二時間特徵函數 $e_2(t)$ 顯示，此區的總體變異量從 94 年 04 月開始都有明顯上升的趨勢，探究其原因可能是 94 年的三個強烈颱風、95 年的

一個強烈颱風對此區的漂沙造成擾動所致。

由 Liou 等(2007)在新竹港南的斷面侵、淤特性分析此區海岸可知：接近新竹漁港南防波堤之剖面 07、08 淤積現象較為明顯；比較各年斷面圖，可知剖面 09、10 僅有些微淤積量；剖面 11、12 各年斷面圖大致接近，變化不大。本文由 EOF 第一時間特徵函數 $e_1(t)$ 可知，新竹漁港南側至垃圾掩埋場區域的平均水深因為受到新竹漁港攔截頭前溪及鳳山溪的漂沙的影響而造成漂沙總體平均變化不大。由第二空間特徵函數 $e_2(x)$ 得知，剖面 06、07 的變異量大都在 1000 m 處，應該是由新竹漁港南、北兩側的防砂堤所造成，剖面 10 的近岸處其夏季有明顯的變異量，冬季則無。由第三空間特徵函數 $e_3(x)$ 得知，剖面 10 的近岸 0 m 處在冬季、夏季呈現正、負值相反的情形，在實際的地理位置此處為新竹市焚化爐，推論新竹市焚化爐可能對此區域的地形變化造成侵蝕或淤積的影響。

(4)港南海岸區域(剖面線 13~17)：

圖 4-12 至 4-17 為剖面 13~15 的空間 EOF 的前三個模態(剖面 16~17 的空間 EOF 的前三個模態可參考附圖 2-32 至 2-35)。由剖面 13~17 之第一空間特徵函數 $e_1(x)$ 顯示，離岸 0 m 至 1500 m 的平均水深可知底床坡度較為陡峭。由剖面 13~17 之第二空間特徵函數 $e_2(x)$ 顯示，剖面 13 在離岸 0 m 至 500 m 有明顯的變異量，剖面 14 在離岸 0m 至 1000 m 也有明顯的變異量，而剖面 15~17 其剖面線沿線皆有明顯的變異量。由上述可知，剖面 13~17 都以離岸 0 m 至 500 m 為變異量最大的地方，且夏季變異量明顯較冬季為大，由此得知，港南海灘的近岸地形變化較大，港南海灘以南至客雅溪口則是因為客雅溪口的漂沙作用及頭前溪、鳳山溪的漂沙越過新竹漁港導致其近岸、遠岸皆有旺盛的漂沙作用產生。由剖面 13~17 之第三空間特徵函數 $e_3(x)$ 顯示，剖面 13 在離岸 0m 至 500m 呈現不規則擾動，惟在離岸 500 m 處的夏、冬季皆有一較大的負值顯示之後趨於平緩，剖面 14 在離岸 0 m 至 800 m 呈現不規則擾動，惟在離岸 500 m 附近有較大的正、負值顯示，剖面 15-17 其剖面線沿線皆呈現不規則擾動，惟在離岸 1000 m 之後較為平緩，由實測的地形變化可知港南海岸與客雅溪口皆呈現長

期侵蝕的趨勢。

圖 4-23 至 4-25 為剖面 13~15 的時間 EOF 的前三個模態(剖面 16~17 的時間 EOF 的前三個模態可參考附圖 2-43 至 2-44)。由剖面 13~17 之第一時間特徵函數 $e_1(t)$ 顯示，剖面 13 的總體平均水深從 95 年 09 月開始有略微下降的趨勢，而剖面 14~17 的總體平均水深下降趨勢則較為明顯，可知此區長期呈現侵蝕的狀態。由剖面 13~17 第二時間特徵函數 $e_2(t)$ 顯示，剖面 13、14 的總體變異量從 90 年開始有逐年上升的趨勢，剖面 15~17 的總體變異量則從 94 年 04 月開始有明顯的上升，推斷為 94 年的三個強烈颱風、95 年的一個強烈颱風對此區的漂沙造成影響所致。

由 Liou 等(2007)在新竹港南的斷面侵、淤特性分析，可知此區海岸剖面明顯呈現近岸侵蝕現象，為典型侵蝕型海岸。在離岸 800 m 至 1400 m 內有嚴重侵蝕現象，對照地形水深可知水深-8 m 至-10 m 前大致呈現侵蝕狀態，因此，侵蝕區域範圍相當大。本文由 EOF 的第二空間特徵函數 $e_2(x)$ 可知，剖面 13 的變異量主要位置在 0 m 至 500 m、剖面 14 的變異量主要位置在 0 m 至 1000 m、剖面 15~17 則在 0 m 至 1500 m 都有明顯變異量產生，可知在港南海岸的近岸地形變化較大，而遠岸區域的地形變化則是因為頭前溪、鳳山溪的漂沙越過新竹漁港在此沉積所造成的影響。在港南海岸之後，因受到客雅溪口的河口輸砂作用及頭前溪、鳳山溪口越過新竹漁港的漂砂作用，其遠岸、近岸皆有旺盛的漂砂活動。由第一時間特徵函數 $e_1(t)$ 可知，剖面 13~17 的平均水深從 90 年開始有下降的趨勢，得知此區呈現逐年侵蝕的情況，與前人研究結果相符。由第二時間特徵函數 $e_2(t)$ 可知，94 年的三個強烈颱風、95 年的一個強烈颱風對客雅溪河口附近的漂砂有明顯的影響，在港南海灘區域則較不明顯，探究其原因主要是颱風將客雅溪的上游土石沖刷至下游，導致下游漂砂量大增所致。

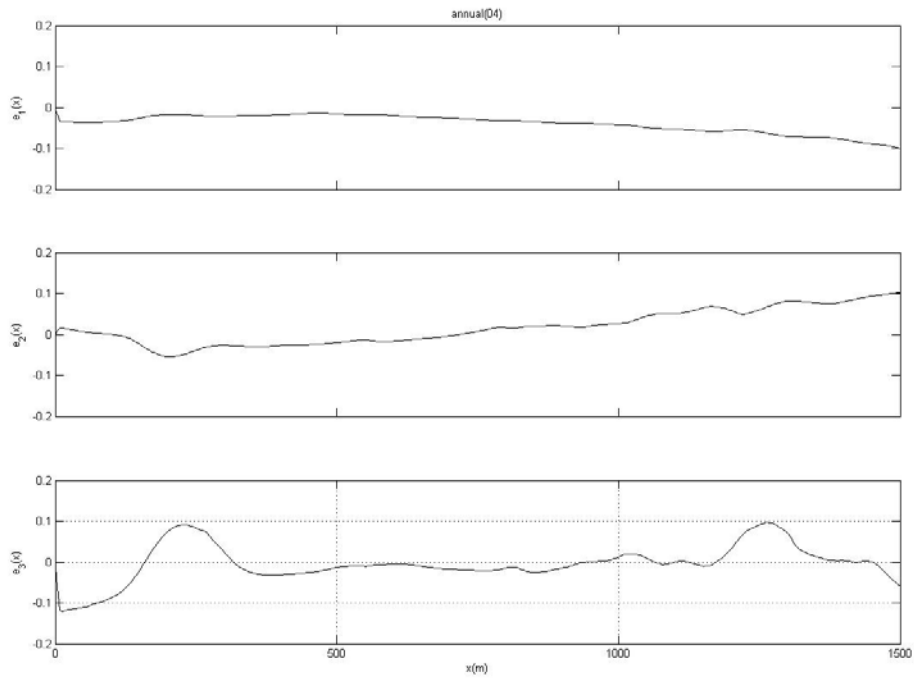


圖 4-2 剖面線 04 的空間 EOF 的前三個模態

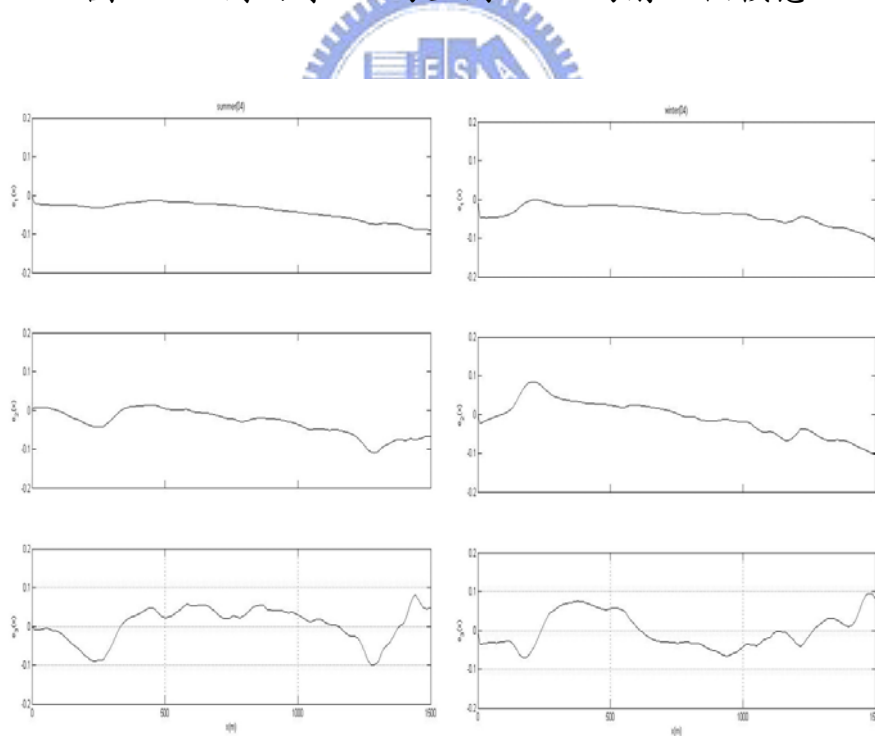


圖 4-3 夏季、冬季剖面線 04 的空間 EOF 的前三個模態

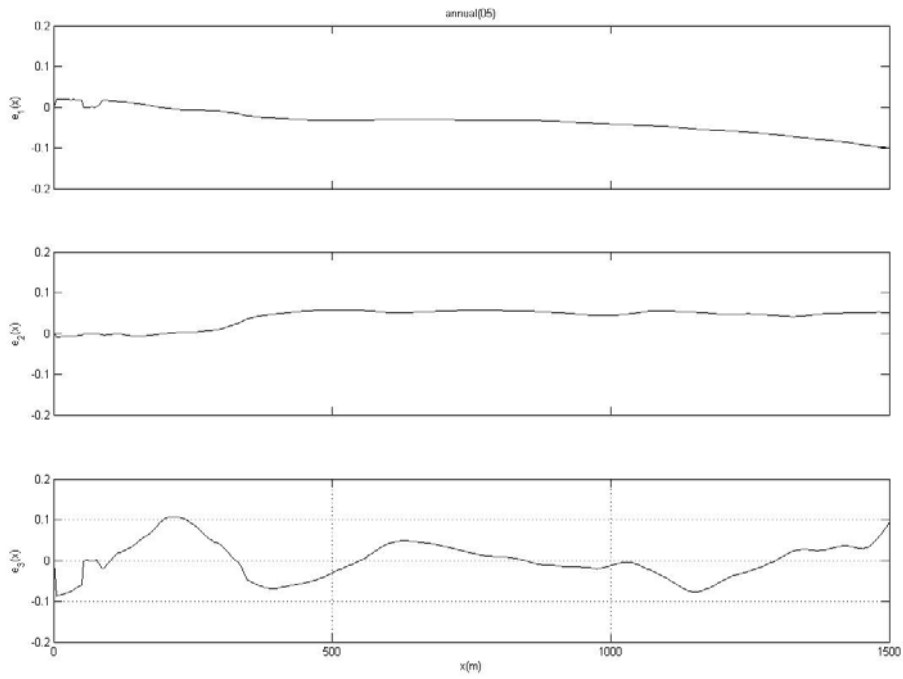


圖 4-4 剖面線 05 的空間 EOF 的前三個模態

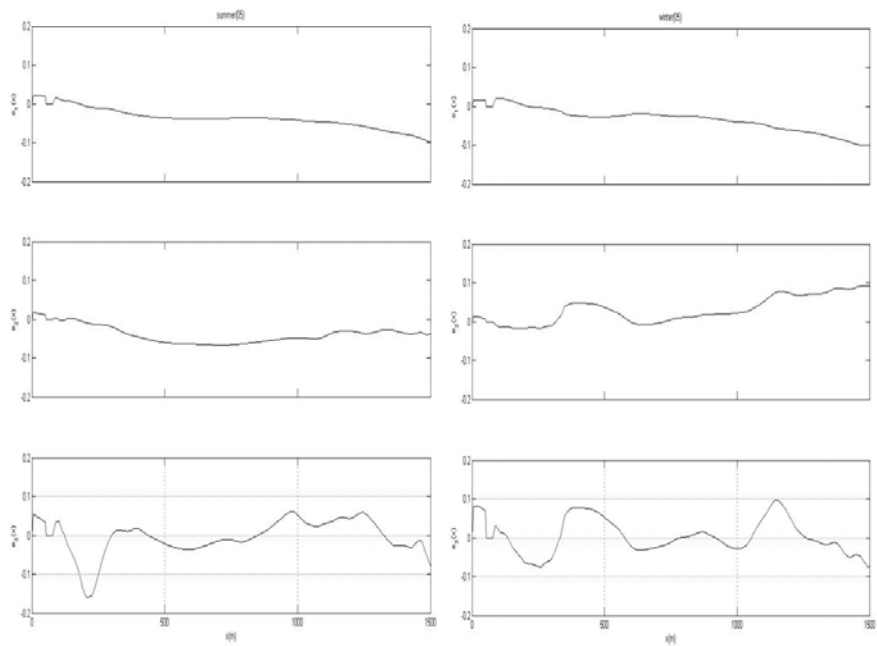


圖 4-5 夏季、冬季剖面線 05 的空間 EOF 的前三個模態

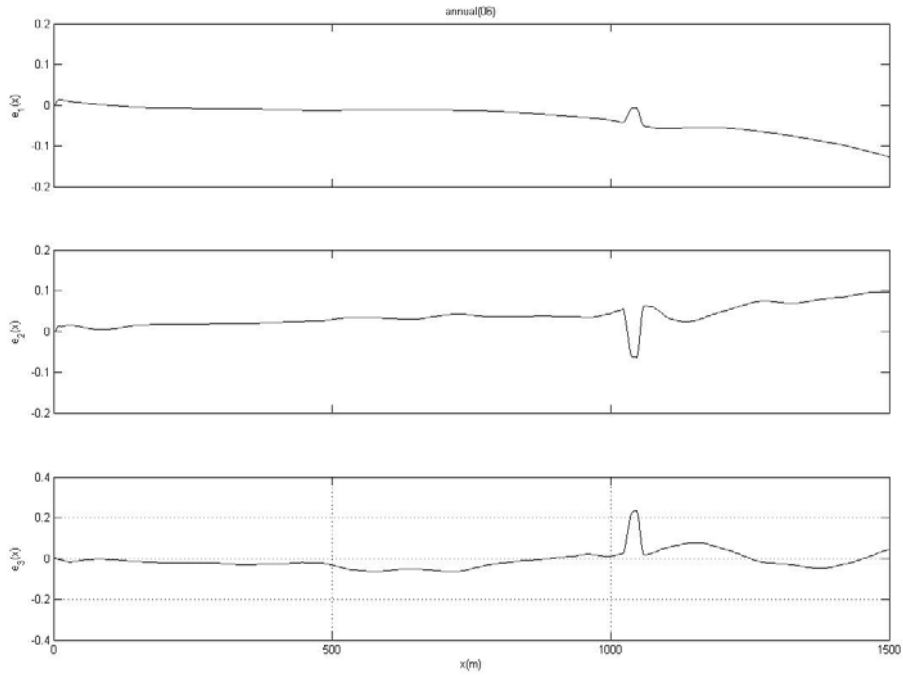


圖 4-6 剖面線 06 的空間 EOF 的前三個模態

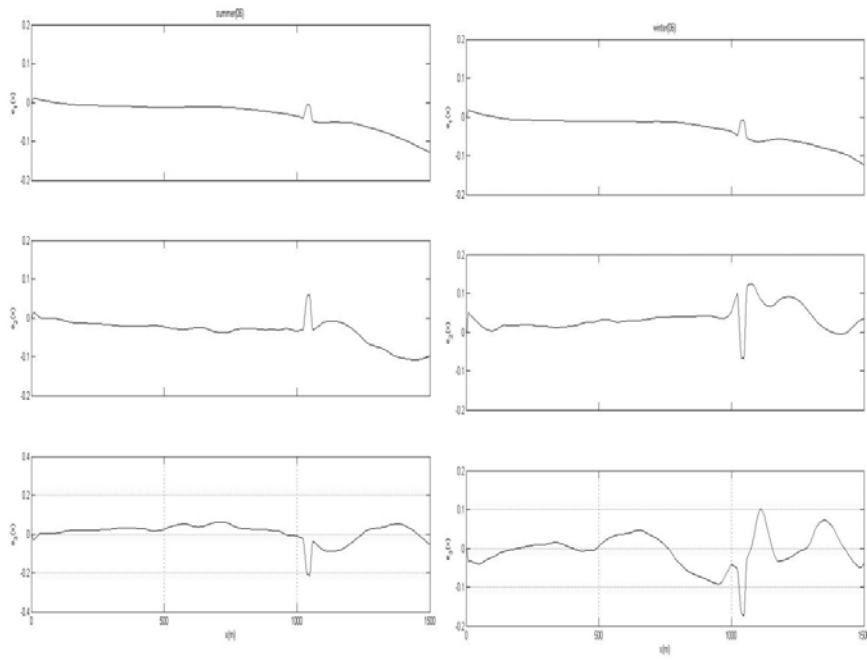


圖 4-7 夏季、冬季剖面線 06 的空間 EOF 的前三個模

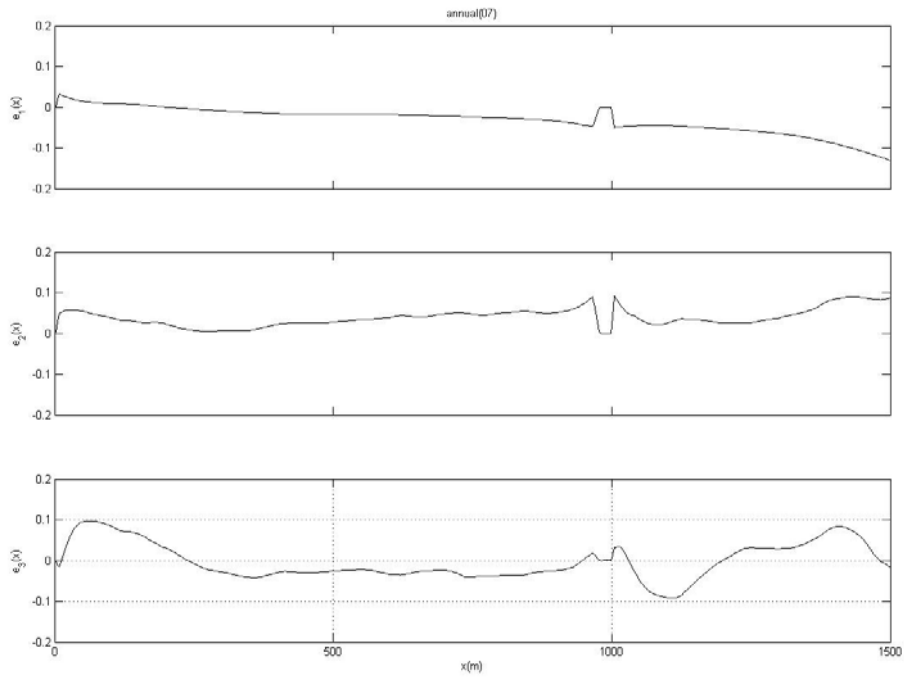


圖 4-8 剖面線 07 的空間 EOF 的前三個模態

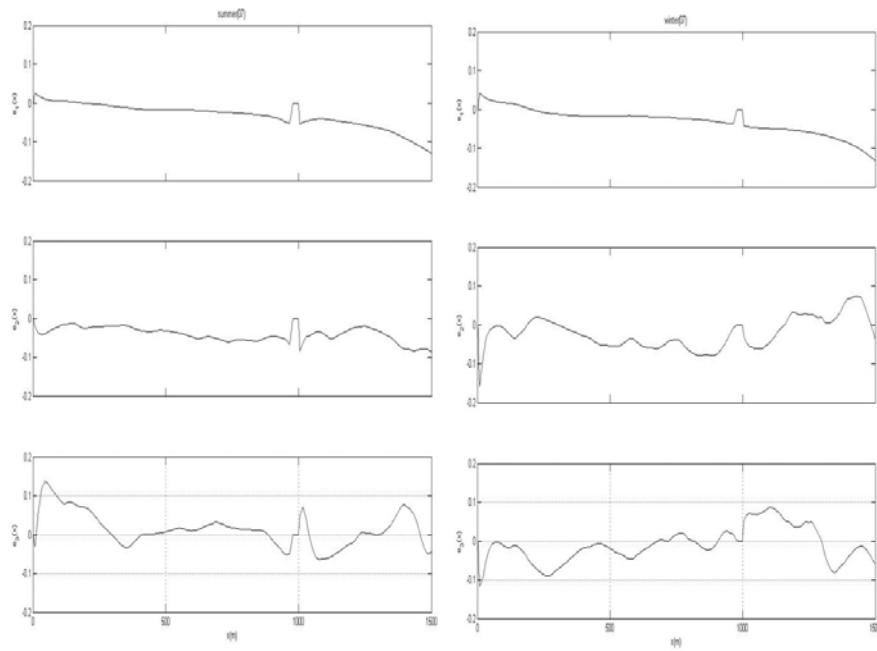


圖 4-9 夏季、冬季剖面線 07 的空間 EOF 的前三個模態

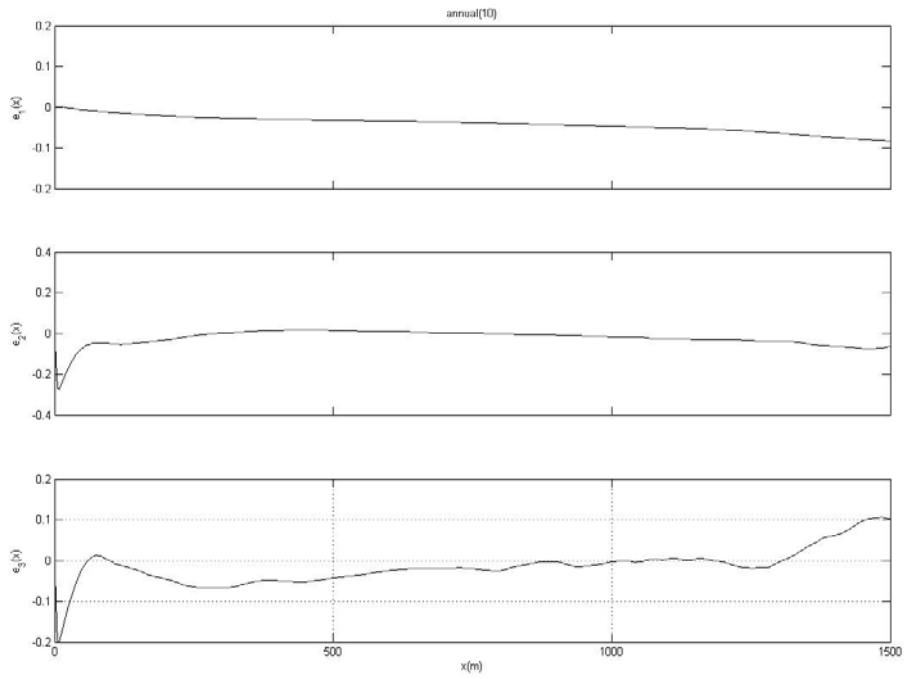


圖 4-10 剖面線 10 的空間 EOF 的前三個模態

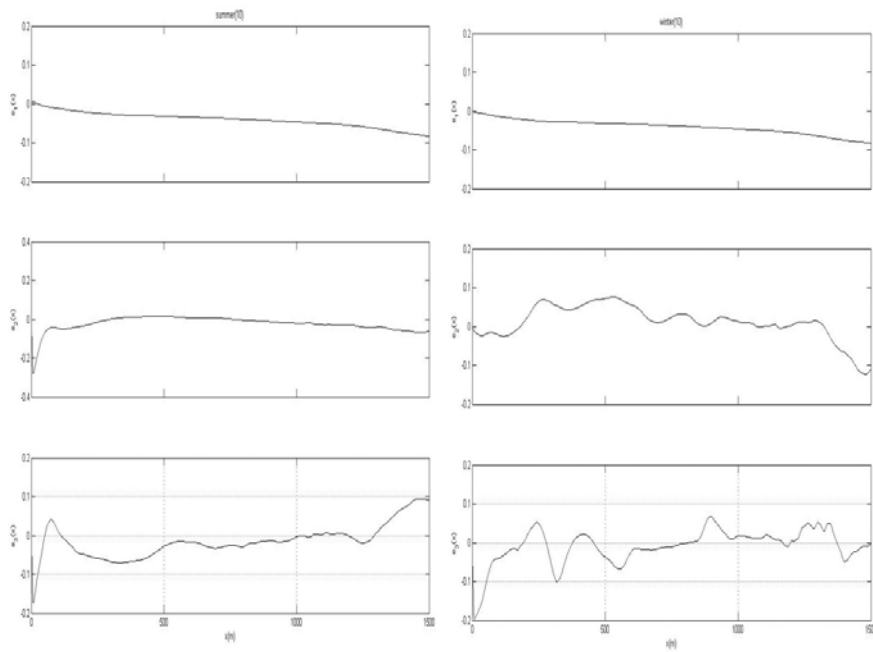


圖 4-11 夏季、冬季剖面線 10 的空間 EOF 的前三個模態

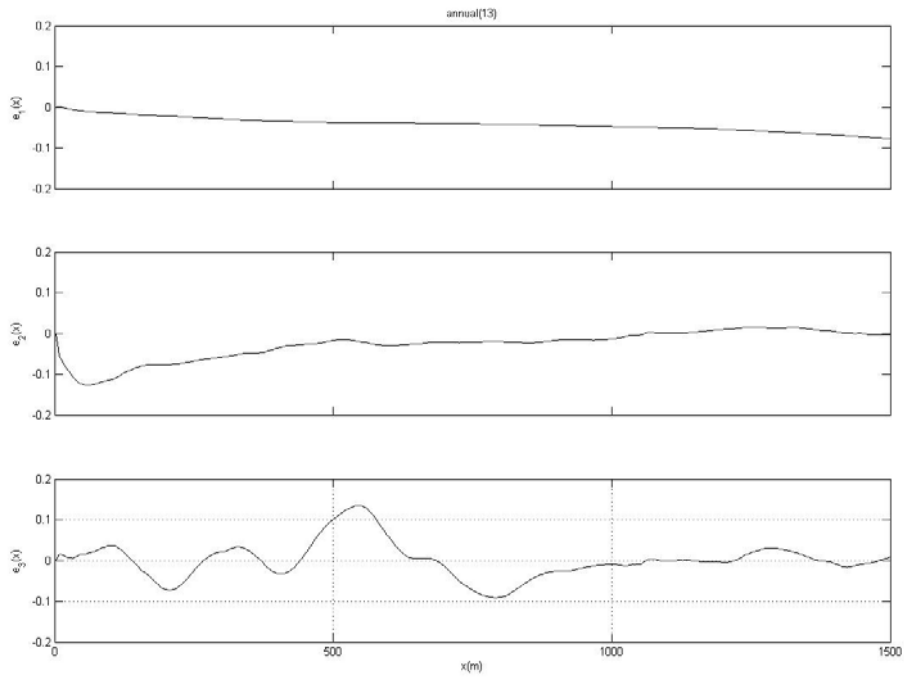


圖 4-12 剖面線 13 的空間 EOF 的前三個模態

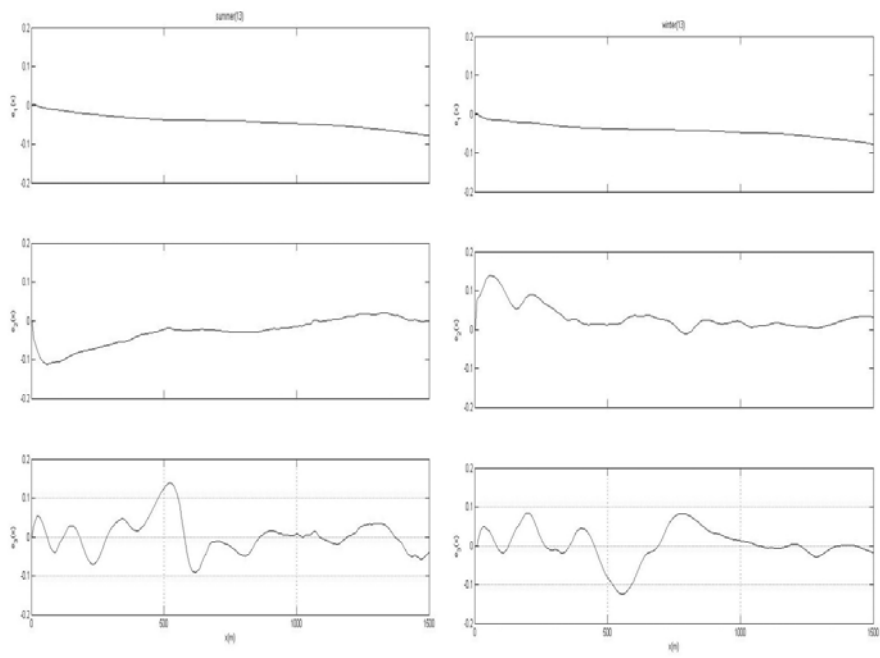


圖 4-13 夏季、冬季剖面線 13 的空間 EOF 的前三個模態

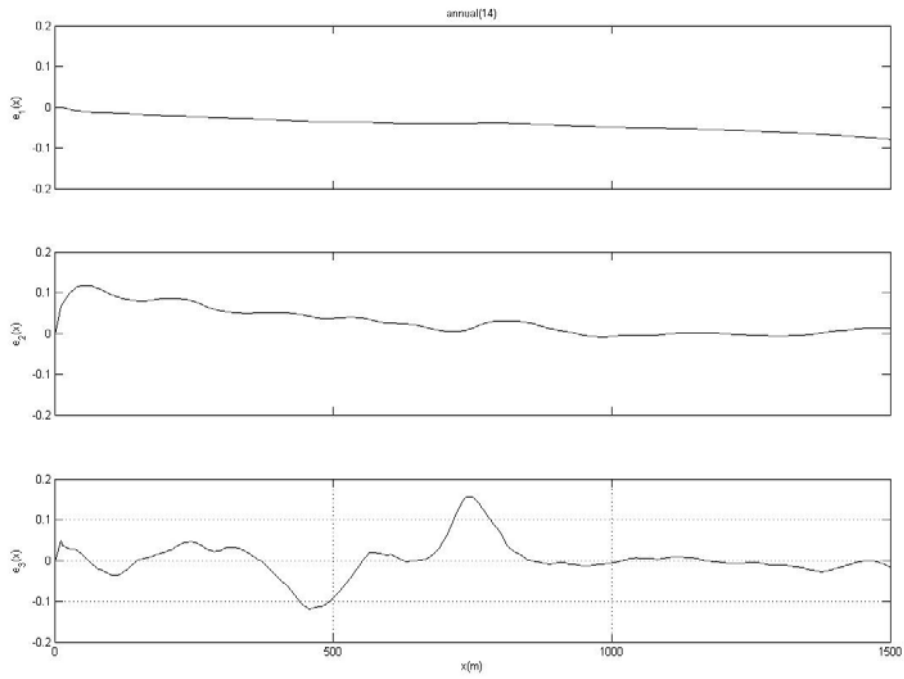


圖 4-14 剖面線 14 的空間 EOF 的前三個模態

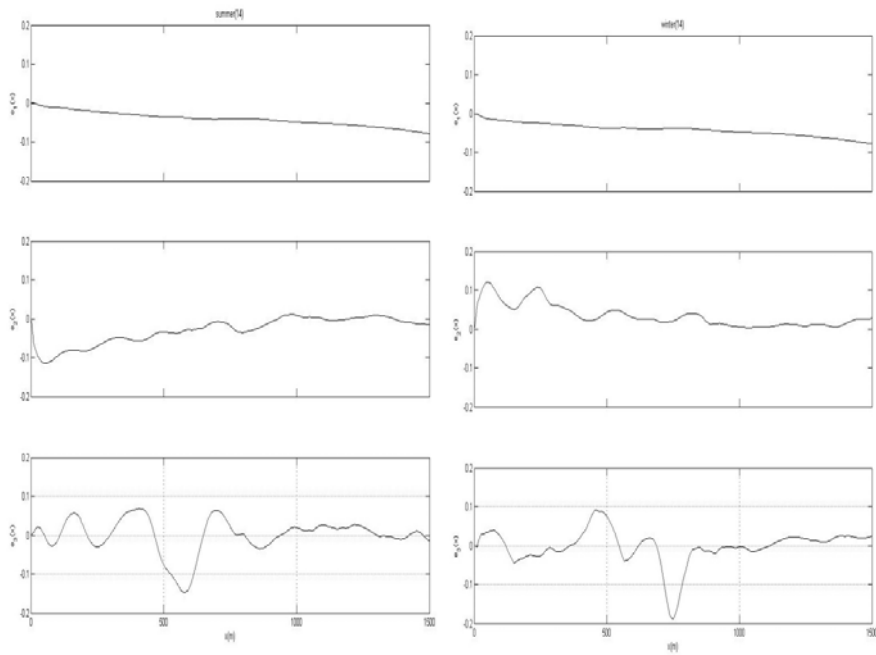


圖 4-15 夏季、冬季剖面線 14 的空間 EOF 的前三個模態

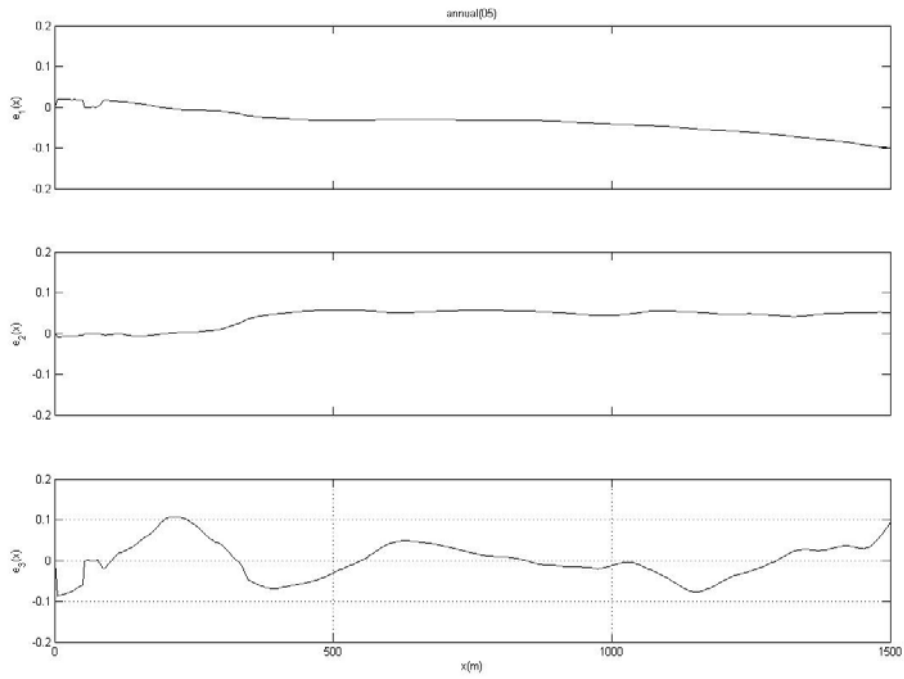


圖 4-16 剖面線 15 的空間 EOF 的前三個模態

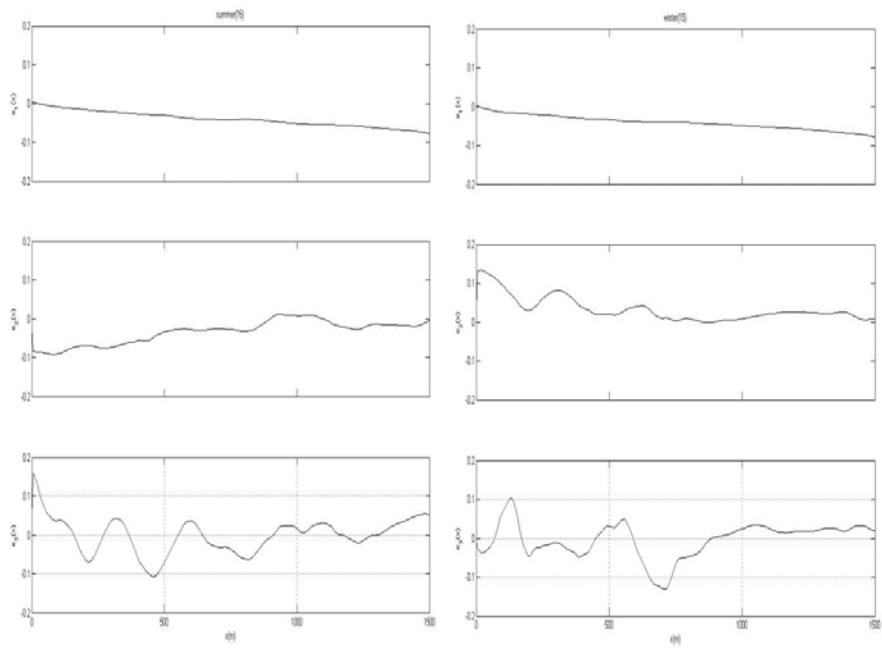


圖 4-17 夏季、冬季剖面線 15 的空間 EOF 的前三個模態

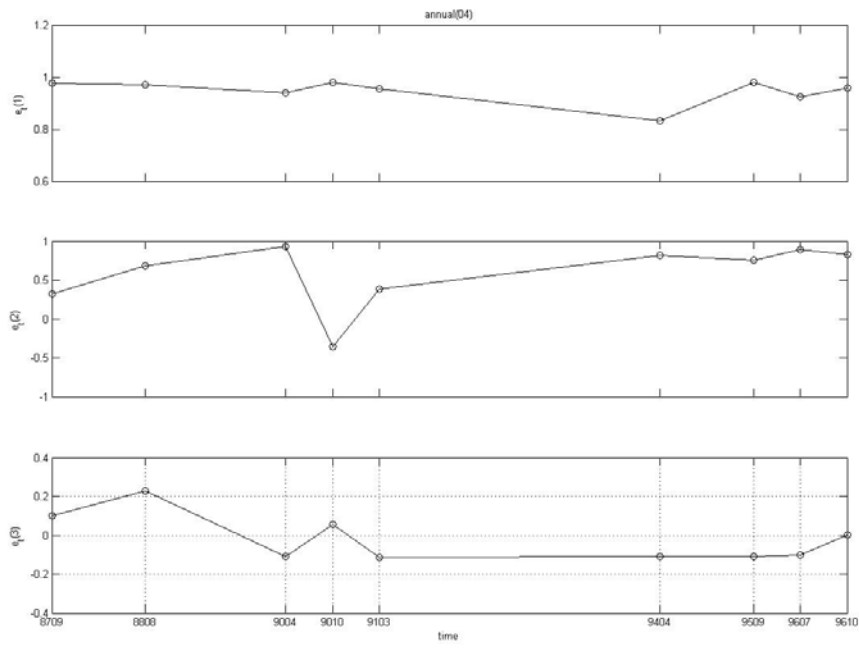


圖 4-18 剖面線 04 的時間 EOF 的前三個模態

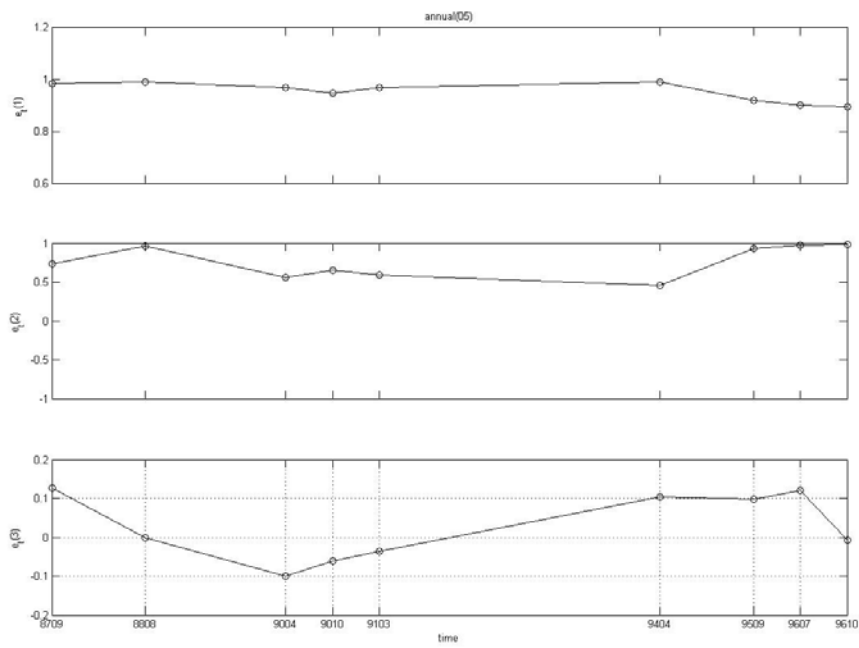


圖 4-19 剖面線 05 的時間 EOF 的前三個模態

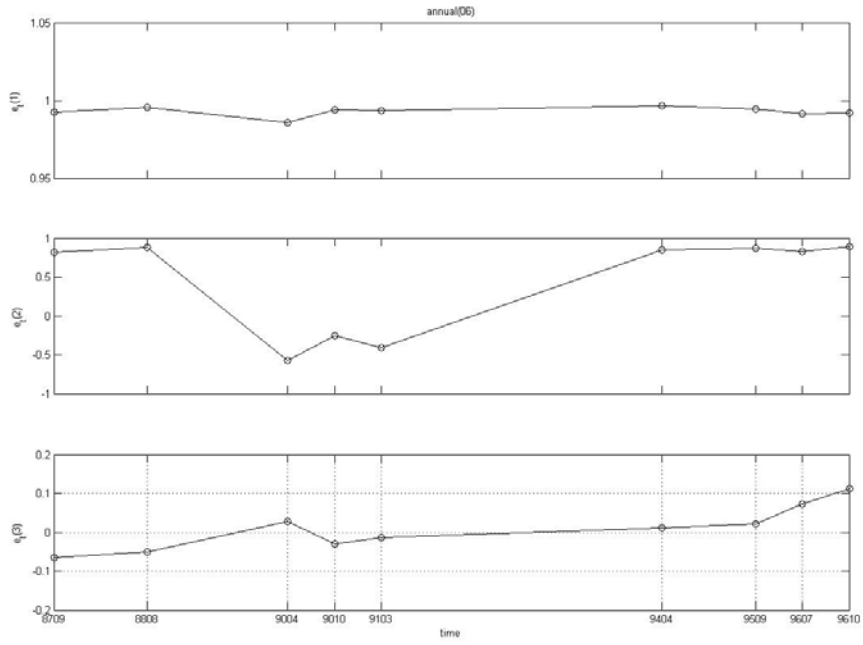


圖 4-20 剖面線 06 的時間 EOF 的前三個模態

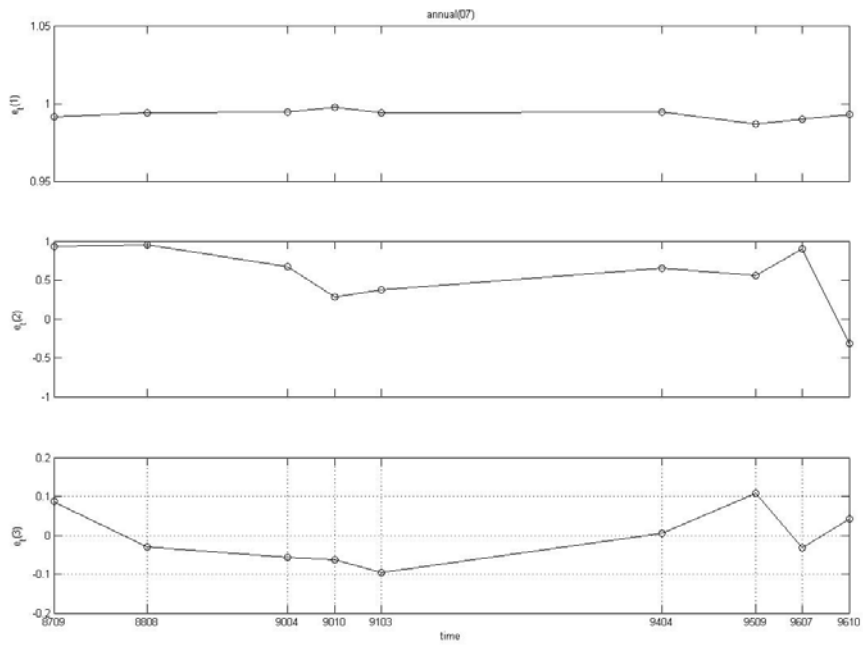


圖 4-21 剖面線 07 的時間 EOF 的前三個模態

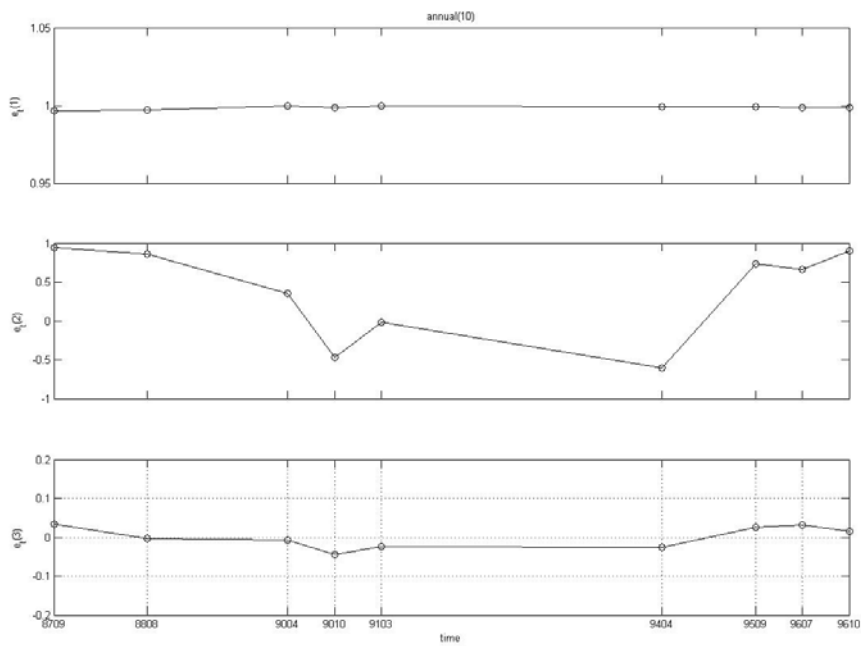


圖 4-22 剖面線 10 的時間 EOF 的前三個模態

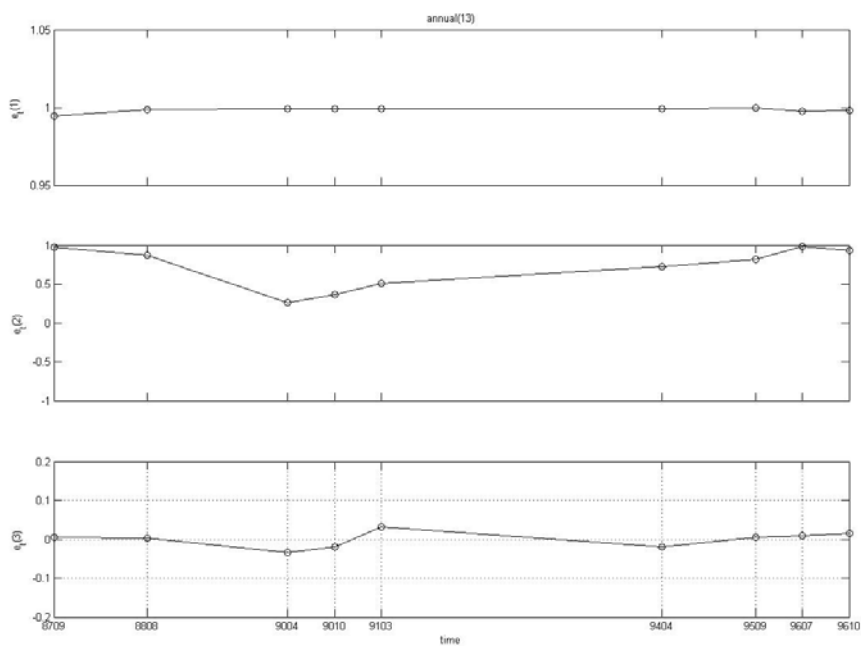


圖 4-23 剖面線 13 的時間 EOF 的前三個模態

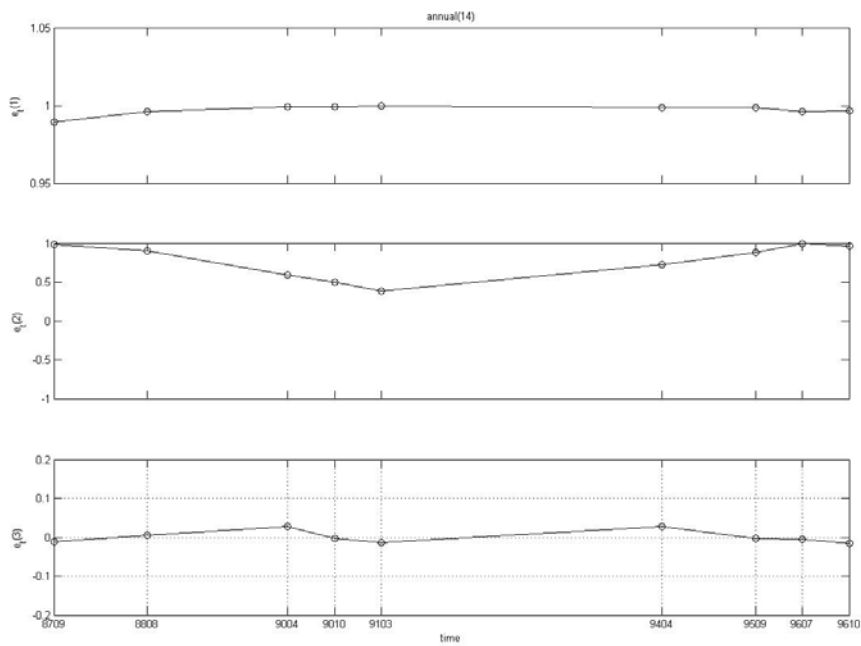


圖 4-24 剖面線 14 的時間 EOF 的前三個模態

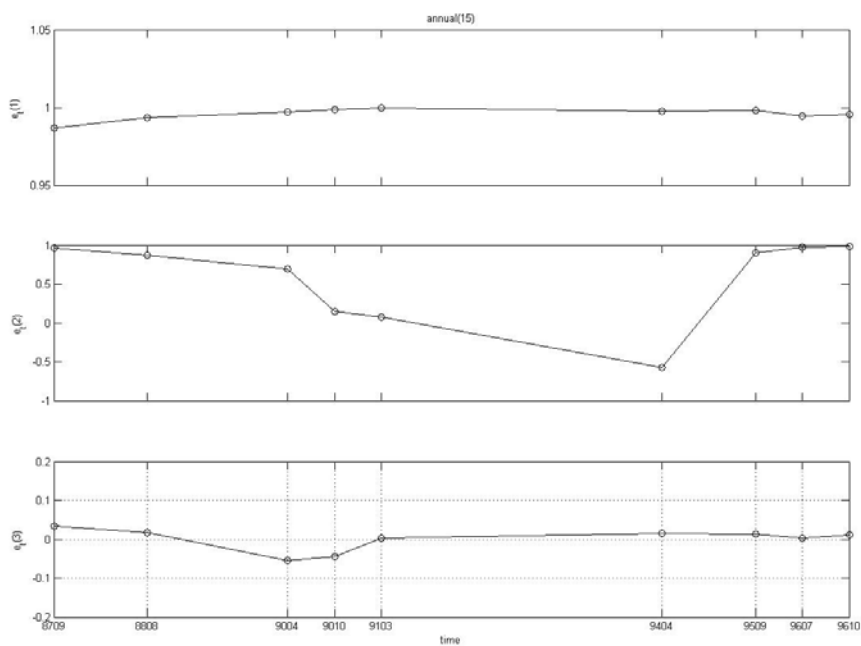


圖 4-25 剖面線 15 的時間 EOF 的前三個模態

第五章 二維 EOF 分析

從第三章應用一維 EOF 分析等深線的結果，得知-5m、-10 m、-15m 等深線在新竹港南沿岸的水深平均位置與變化量，由第四章應用一維 EOF 計算剖面線的結果，可知港南沿岸 17 條剖面線 0m 至 1500m 的向、離岸水深平均位置與變化量，但以上分析都是以本文所選定之線段分析，無法完全地描述整個新竹港南海岸的變化情形。本文為更全面了解新竹港南沿岸水深平均位置與變異量的特徵變化，因此應用二維 EOF 分析其水深變化。表 5-1 為不分季、夏季、冬季的二維模式的前三個模態的空間 EOF 之特徵值占前六個特徵值之比值，由表中可知剖面線的第一特徵值都高達 96% 以上，第二特徵值則為 0.5%~0.8% 之間，第三特徵值都低於 0.37%，由上述的結果可知，第一模態的特徵值比值高達 96%，代表其平均的特性佔其地形變化的九成以上，第二模態的特徵值比值為 0.5%~0.8% 之間，代表其變異量的特性佔其地形變化較小，第三模態的特徵值比值都低於 0.37%，代表第三模態的特性佔其地形變化極小，由 EOF 所計算的二維模式的前三個模態的比值總和已高達 97%，因此可以描述所選取的二維模式的 97% 以上的變化特性。

表 5-1 不分季、夏季、冬季的二維 EOF 的前三個模態的特徵值比值(%)

二維 EOF	不分季	夏季	冬季
模態一	96.83	98.91	99.25
模態二	0.75	0.84	0.58
模態三	0.37	0.13	0.04

5-1 合併資料之分析

圖 5-1 為二維 EOF 的第一個模態，由圖中顯示鳳山溪以北在 0m 至 -5m 的平均高程因受到鳳山溪及頭前溪口輸砂的影響造成床底坡度非常平緩。鳳山溪以南至垃圾掩埋廠圍堤南端之間的海域地形，主

要受新竹漁港防波堤影響，無論是漁港的南側或北側，距離漁港約 1.5 公里之水深地形均有明顯突堤效應，並以漁港呈近似對稱地形，以漁港航道地形水深坡度最大，逐漸向兩側變緩。垃圾掩埋廠南端至客雅溪口間海域地形，受新竹漁港防波堤影響較小，因此水深地形與海岸線近乎平行。

圖 5-2 為二維 EOF 的第二個模態，由圖中顯示新竹港南海岸變異量區域的主要位置在(1)頭前溪及鳳山溪口、(2)新竹漁港北側防砂堤所包含的區域、(3)新竹漁港外廓、(4)港南海岸沿岸地區。由上述可知，新竹港南的漂砂活動主要受頭前溪及鳳山溪的漂砂影響，而新竹漁港則是阻擋漂砂往南的主要屏障。港南近岸區域的變化主要因為砂質海岸易受波浪侵蝕，且原本應該受到頭前溪及鳳山溪漂砂補助的漂砂被新竹漁港的攔截失去砂源補充導致侵蝕情況日益嚴重。

圖 5-3 為二維 EOF 的第三個模態，由圖中顯示在模態三中有較大的正、負值的區域為(1)頭前溪及鳳山溪口及新竹漁港北側防砂堤、(2)新竹漁港外廓、(3)港南海岸沿岸地區。在實測的地形變化中(1)頭前溪及鳳山溪口及新竹漁港北側防砂堤、(2)新竹漁港外廓，歷年來地形大致都呈現淤積的趨勢，(3)港南海岸沿岸地區僅在 88 年有些微的淤積之外，歷年的地形皆呈現侵蝕的趨勢。

5-2 夏、冬季資料之分析

圖 5-4、5-5 分別代表夏、冬季二維 EOF 的第一個模態，由圖中顯示新竹港南海岸沿岸地形平均水深位置變化不大，惟在港南海岸水深-10 m 至-15 m 處的平均水深位置有些許變化。探究其原因主要是頭前溪及鳳山溪的漂砂受到東北季風的影響越過新竹漁港在此沉積所致。

圖 5-6 為夏季二維 EOF 的第二個模態，由圖中顯示夏季變異量較大的位置在(1)新竹漁港外廓、(2)新竹漁港北側防砂堤以北至頭前溪及鳳山溪口之間、(3)頭前溪及鳳山溪出海口、(4)港南海岸沿岸區域，圖 5-7 為冬季二維 EOF 的第二模態，由圖中顯示冬季變異量較大的位置在(1)靠近新竹漁港北側防砂堤的一小塊區域、(2)新竹漁港北側防砂堤以北至頭前溪及鳳山溪口之間、(3)頭前溪及鳳山溪出海

口、(4)港南海岸沿岸區域。由圖 5-6、5-7 比較夏、冬季變異量位置，得知夏季新竹漁港南側防砂堤有變異量產生冬季則無，夏季新竹漁港外廓變異量範圍比冬季大，港南海岸沿岸區域夏季變異量範圍較冬季稍大，由上述可知新竹港南區域的漂沙活動在位置與變化量上夏季比冬季旺盛許多。

圖 5-8、5-9 分別代表夏、冬季二維 EOF 的第三個模態。圖 5-8 為夏季二維 EOF 的第三個模態，由圖中顯示夏季新竹漁港的第三個模態有較大的正、負值的主要位置在(1)新竹漁港外廓、(2)新竹漁港北側防波堤以北至頭前溪及鳳山溪口之間、(3)頭前溪及鳳山溪出海口、(4)港南海岸沿岸及近岸區域，圖 5-9 為冬季二維 EOF 的第三個模態，由圖中顯示冬季新竹漁港的第三個模態有較大的正、負值的主要位置在(1)新竹漁港北側防砂堤至頭前溪及鳳山溪口之間、(2)頭前溪及鳳山溪出海口以及(3)港南海岸近岸呈現零星散佈的區域。由圖 5-8、5-9 比較夏、冬季的第三個模態差異，得知夏季的正、負值明顯較冬季大，夏季正、負值較大的區域其範圍也比冬季大，頭前溪及鳳山溪出海口在夏、冬季呈現正負值相反的情況，而港南海岸的近岸區域在夏季、冬季都有負值顯示，但在夏季的負值明顯比冬季為大，由實測的地形變化可知(1)新竹漁港南側防砂堤至北側防砂堤區域大致上都呈現淤積的情況、(2)頭前溪及鳳山溪出海口的地形變化則在夏季呈現淤積而冬季呈現侵蝕的情況、(3)港南海岸的近岸區域則在夏季呈現侵蝕而冬季有侵蝕減緩的情況。

Liou 等(2007)以民國 87 年 9 月之新竹港南的地形水深圖為基準年，所繪製 88 年 8 月、90 年 10 月、91 年 10 月、94 年 9 月及 95 年 9 月測量之地形水深資料，可知 87 年 9 月至 95 年 9 月的新竹於港港口及其東北方的淤積區域有向新竹漁港以南擴展之趨勢，原於頭前溪以北已均為淤積，僅於頭前溪口處仍有侵蝕之現象，而主要侵蝕區域港南海岸附近海域，侵蝕程度已減緩。本文由二維 EOF 的第一個模態得知，新竹港南沿岸的平均水深地形主要受新竹漁港防波堤影響，並以漁港呈近似對稱地形，以漁港航道地形水深坡度為最大，逐漸向兩側變緩。港南海岸的遠岸平均水深則是受到冬季的漂砂越過新竹漁港在此沉積因而產生變化。由二維 EOF 的第二個模態得知，新竹港

南沿岸變異量的主要位置都在新竹漁港周圍以及港南海岸的沿岸區域顯示影響新竹港南的地形變化，主要受到新竹漁港攔截漂砂所影響，而港南海岸因其地形及位置關係造成其侵蝕情況有日益嚴重的趨勢。由二維 EOF 的第三個模態得知，新竹港南的第三個模態在夏季的正、負值與區域範圍都比冬季大，探究其原因可能是夏季的侵蝕、淤積作用都比冬季來的旺盛所造成的結果。

5-3 小結

依據往昔學者的研究結果，可知造成新竹港南沿岸地形變化的漂砂來源為頭前溪及鳳山溪，夏天時因颱風造成土石沖刷導致下游輸砂較冬天為多，而冬天時沒有颱風帶來上游、中游土石沖刷，造成下游區缺乏砂源補充，此外受東北季風影響使其河口漂砂向南邊漂移，影響漂砂運動的主要結構物為新竹漁港，其攔截漂砂的主要區域為新竹漁港北側防砂堤、新竹漁港外廓，形成大量淤積，新竹漁港南側防砂堤以南直至港南海岸，原本應受鳳山溪及頭前溪口漂砂補充砂源，因受新竹漁港阻擋造成砂源補充困難，港南海岸夏季因颱風所造成嚴重侵蝕，惟因冬季因東北季風而有漂砂補助減緩侵蝕狀況。

本文應用 EOF 計算新竹港南的等水深線、剖面線以及二維模式，得知夏季海域地形變化較冬季海域地形變化大而且其主要位置在(1)頭前溪、鳳山溪口至(2)新竹漁港外廓以及(3)港南海岸沿岸地區，且夏季、冬季發生變異量的位置並不完全相同。由上述可知，夏季、冬季因氣候上的不同對新竹港南的海域地形的變化也會有所改變。

由第三章、第四章及本章的第三個模態所得到的結果，得知第三個模態在夏季、冬季的頭前溪及鳳山溪口其數據明顯呈現正、負相反的情況，在港南海岸沿岸及近岸區域呈現夏季為負值，冬季趨近於零的情況，可知當地形呈現侵蝕、淤積不同的變化時，第三個模態會有正、負值的變化出現。



圖 5-1 二維 EOF 的第一個模態

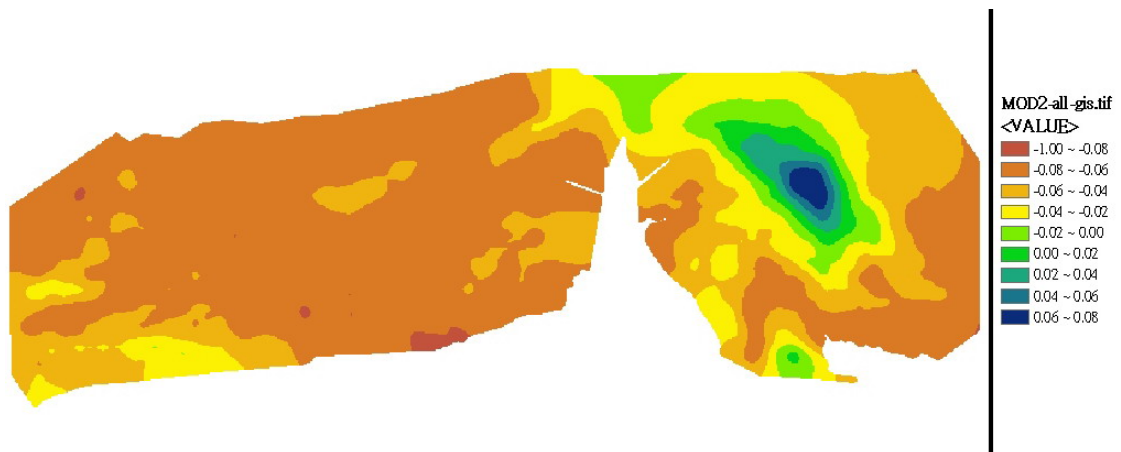


圖 5-2 二維 EOF 的第二個模態

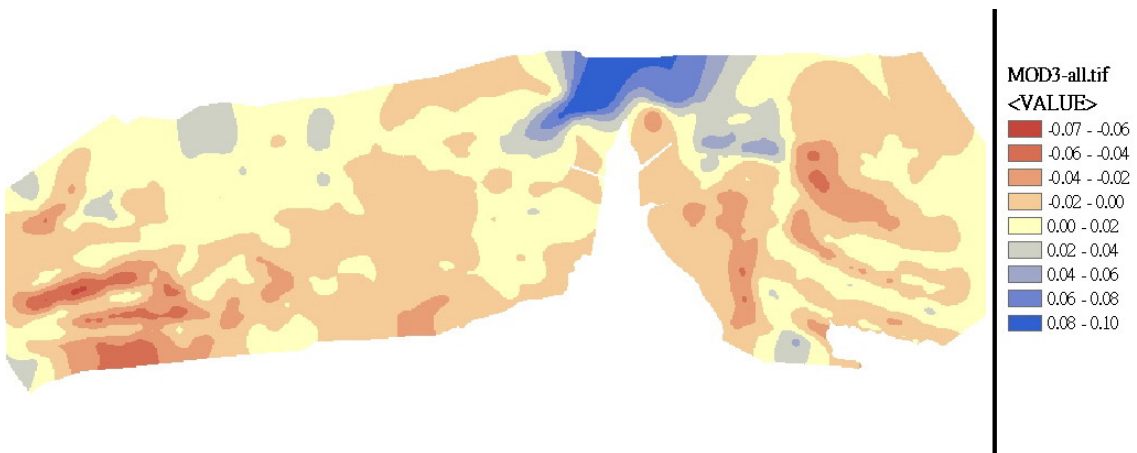


圖 5-3 二維 EOF 的第三個模態

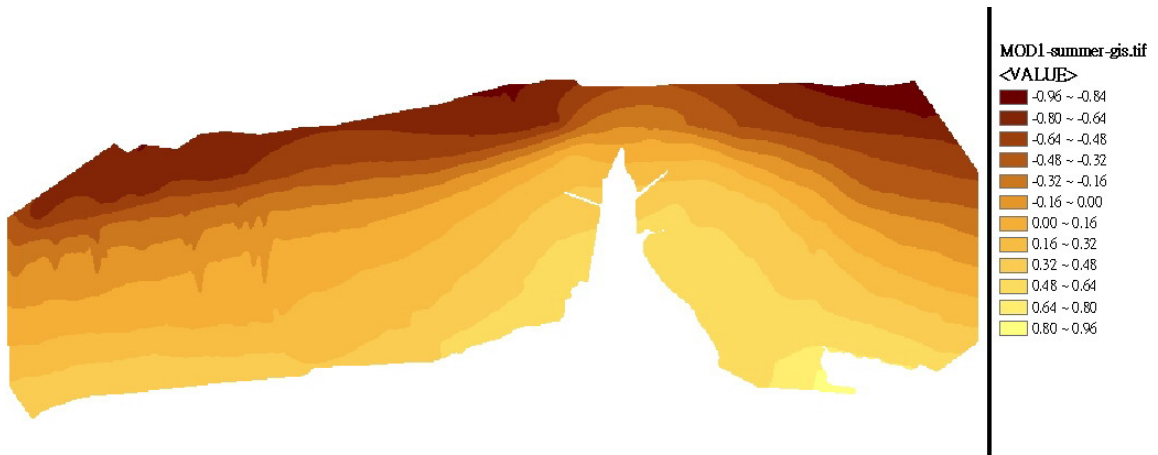


圖 5-4 夏季二維 EOF 的第一個模態

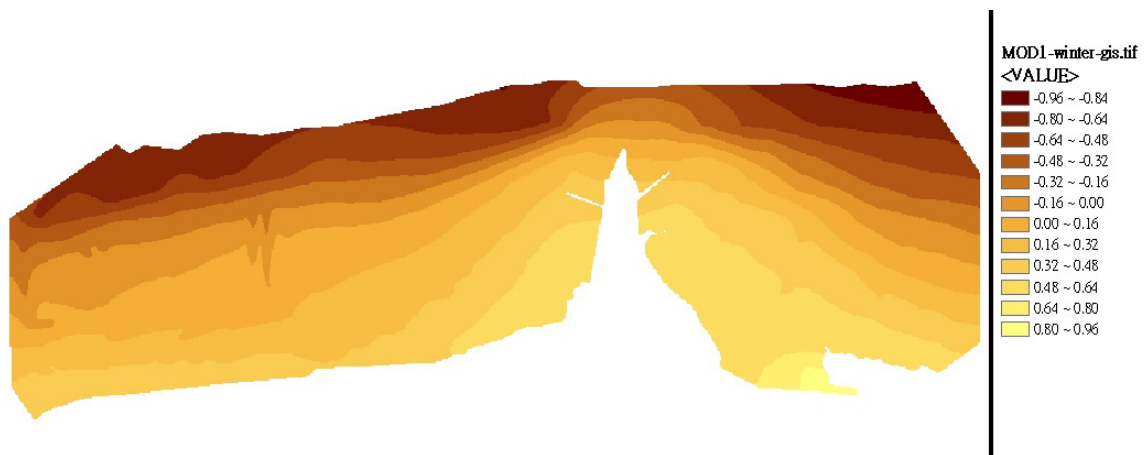


圖 5-5 冬季二維 EOF 的第一個模態

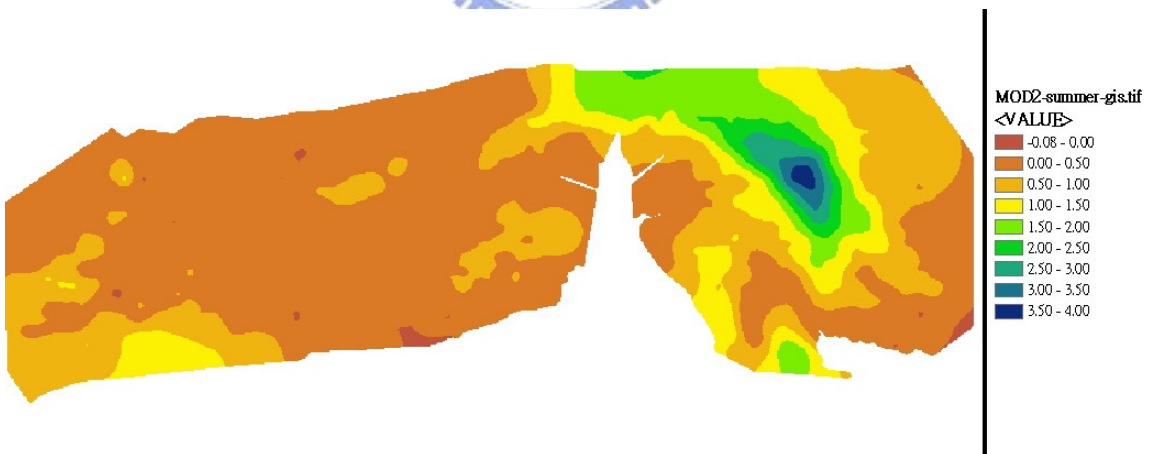


圖 5-6 夏季二維 EOF 的第二個模態

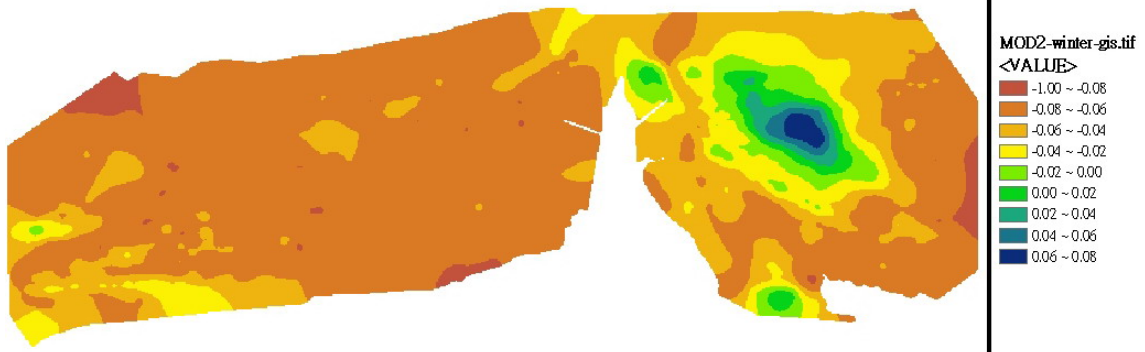


圖 5-7 冬季二維 EOF 的第二個模態

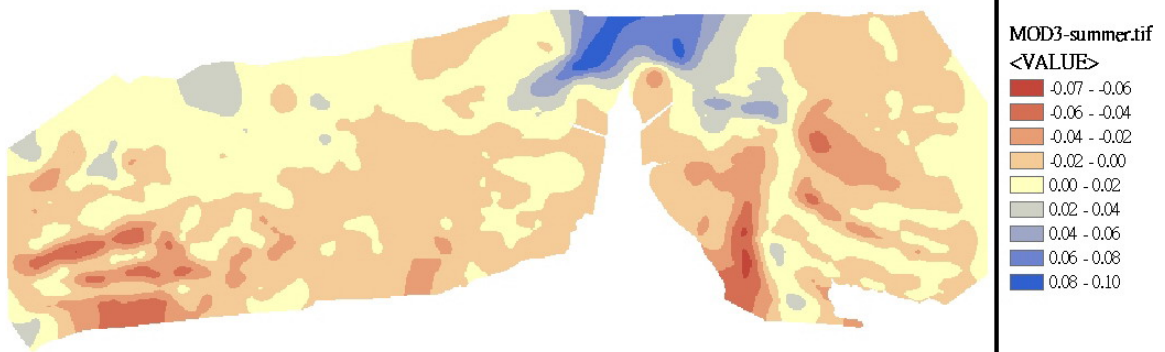


圖 5-8 夏季二維 EOF 的第三個模態

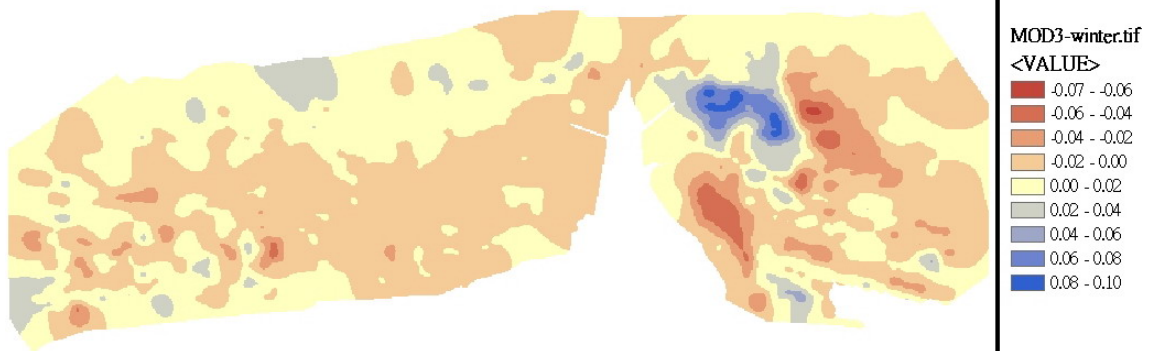


圖 5-9 冬季二維 EOF 的第三個模態

第六章 結論

本研究的目的是利用經驗正交特徵函數(EOF)計算新竹港南海岸實測資料，以了解新竹港南沿岸地形變遷。本文利用 87 年 9 月至 96 年 10 月共 9 筆實測資料，以 EOF 運算其等深線不分季、夏季、冬季，剖面線不分季、夏季、冬季，二維模式不分季、夏季、冬季的方式，探討 EOF 運算結果並分析新竹港南海岸的沿岸地形變遷。經由本文的研究結果得知，應用 EOF 分析港南海岸地形變遷的確可以讓人容易並且清楚得知新竹港南地形變化。

依據往昔學者的研究結果，可知新竹港南沿岸地形變化的主要原因為(1)頭前溪及鳳山溪口為河口地帶，夏季因颱風造成土石沖刷導致下游輸砂較冬季為多，而冬季沒有颱風帶來上游、中游土石沖刷，造成下游區域缺乏砂源補充，此外近年來盜採砂石嚴重導致河口大量減少、(2)受東北季風影響使河口漂砂往南邊漂移使得新竹漁港北側防砂堤、新竹漁港外廓因攔截漂砂因而形成大量淤積、(3)新竹漁港南側防砂堤以南直至港南海岸，原本應受鳳山溪及頭前溪口漂砂補充砂源，但因受新竹漁港阻擋造成砂源補充困難，另外港南海岸因屬砂質地形易受波浪侵蝕，導致港南海岸沿岸侵蝕嚴重。

本文研究結果為應用 EOF 運算等深線(-5m、-10m、-15m)、剖面線(17 條)、二維模式的分析結果，得知新竹港南沿岸地形的變異量的主要位置在(1)新竹漁港外廓、(2)新竹漁港北側防砂堤至頭前溪及鳳山溪口、(3)頭前溪、鳳山溪出海口、(4)港南海岸沿岸區域，且比較夏季、冬季的變異量可知，兩季的變異量位置並不完全相同，夏季變異量普遍較冬季大，由 EOF 的第三個模態的計算結果得知，在夏、冬季的頭前溪及鳳山溪出海口，其值為正、負相反的情況，在港南海岸區域在夏季呈現為負值，冬季為趨近於零的情況。

基於上述及前人研究結果得知，應用 EOF 分析新竹港南沿岸實測資料，確實能了解新竹港南地形變遷所在的位置，且在夏季、冬季地形呈現侵蝕、淤積互換情形時，模態三有正、負值顛倒的情況，惟其並不能準確表現出侵蝕、淤積的變化情形，是為美中不足之處。

參考文獻

1. 唐存勇、梁乃框、歐陽餘慶、林斐然、林曉武 (1992)「新竹南寮附近海岸侵蝕與堆積問題初步研究」，第46-48頁、第87-91頁。
2. 李國川(2003)「新竹海岸變化特性及其風速相關性之研究」，交通大學土木工程系研究所碩士論文。
3. 經濟部水利署第二河川局(2005)「新竹港南海岸環境保護及營造計畫規劃」，第4-1~4-6頁。
4. 羅璋盛(2005)「WRF模式在颱風路徑預報應用與EOF分析誤差因素」，中央大學大氣科學研究所碩士論文。
5. 經濟部水利署第二河川局(2006)「新竹港南海岸生態工法之研擬(2)-人工養灘對底棲生物之影響」，第1-1~1-5頁、第5-1~5-43頁。
6. 台灣漁業及海洋技術顧問社 (2006)「新竹港南海岸侵蝕調查與防治研究計畫(第一年)」，第2-31~2-57頁、第4-1~4-31頁。
7. 經濟部工業局(2007)「台南科技工業區開發工程出口保護工海岸地形監測計畫」，第47-50頁。
8. 嚴偉新(2007)「東亞地區降水年際變化之研究」，中央大學大氣科學研究所碩士論文。
9. 吳瑞中(2007)「潮汐引至呂宋海峽內波之數值模擬研究」，中山大學海洋物理研究所碩士論文。
10. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2007)「新竹港南海岸生態工法之研擬(3/4)-人工養灘對底棲生物之影響」，第5-1~6-18頁。
11. Alvera-azcarate, A., A. Barth, Z. B. Bouallegue, M. Rixen and J. M. Beckers (2007)“Forecast verification of a 3D model of the Mediterranean Sea. the use of discrete wavelet transforms and EOFs in the skill assessment of spatial forecasts” *Journal of Marine Systems*, Vol. 65, (1-4), pp. 460-483.
12. Bird, E.C.F. (1996) *Beach management*, John Wiley.
13. Biau, G., E. Zorita, H. V. Storch and H. Wackernagel (1998)

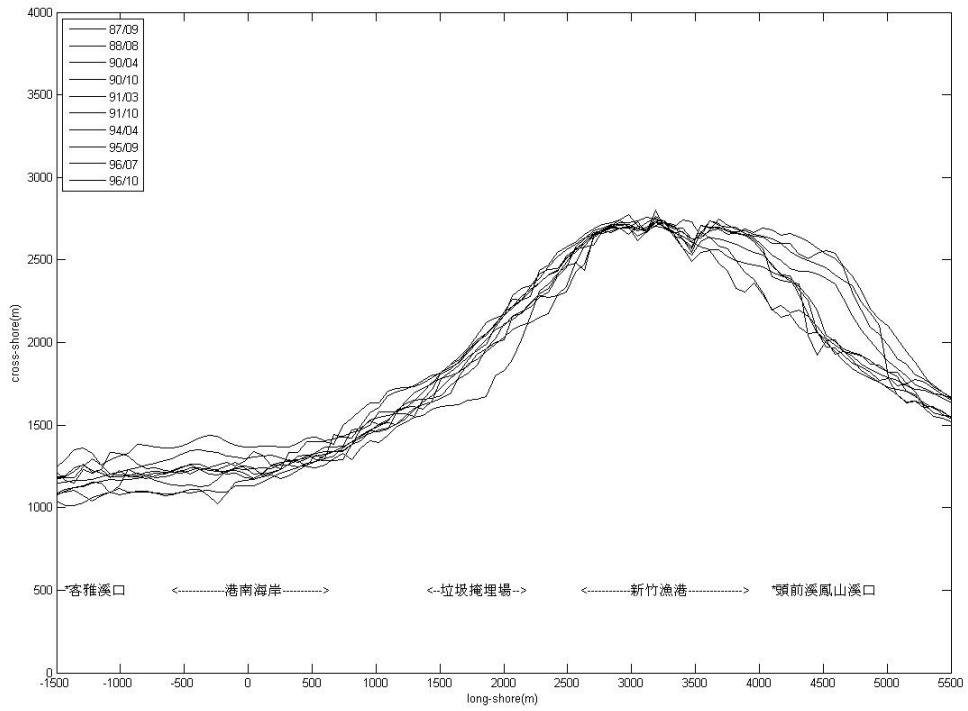
- “Estimation of precipitation by kriging in the EOF space of the sea level pressure field” *Journal of Climate*, Vol. 12, (4), pp. 1070-1085.
- 14.Cheng, X., G. Nitsche and J. M. Wallace (1994) “Robustness of low-frequency circulation patterns derived from EOF and rotated EOF analyses” *Journal of Climate*, Vol. 8, Issue. 6, pp. 1709-1713.
- 15.Hsu, T.W., S. H. Ou and S. K. Wang (1994) “On the prediction of beach changes by a new 2-D empirical eigenfunction model ” *Coastal Engineering*, Vol. 23, pp. 255-270.
- 16.Horikawa, K. *Nearshore dynamics and coastal processes : theory measurement, and predictive models*, University of Tokyo Press.
- 17.Jawson, S. D. and J. D. Niemann (2007) “Spatial patterns from EOF analysis of soil moisture at a large scale and their dependence on soil, land-use, and topographic properties” *Advances in Water Resources*, Vol. 30, pp. 366-381.
- 18.Kim, K. Y. and Q. Wu (1999) “A comparison study of EOF techniques: analysis of nonstationary data with periodic statistics” *Journal of climate*, Vol. 12, Issue. 1, pp. 185-199.
- 19.Kreyszig, H. and E. Kreyszig (2000) *Advanced engineering mathematics*, 8th Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- 20.Liou, J.C., H. K. Chang, W. W. Chen and S. R. Liaw (2008) “Beach erosion and preventive countermeasure at Kangnan coast, Taiwan,” *Journal of Coastal Research in press*.
- 21.Nielsen, A. A., K. Comrades’ and O. B. Andersen (2002) “A change oriented extension of EOF analysis applied to the 1996-1997 AVHRR sea surface temperature data” *Physics and Chemistry of the Earth* 27, p. 1379-1386.
- 22.Pan, J., X. H. Yan, Q. Zheng, W. T. Liu and V.V. Klemas (2007) “Interpretation of scatterometer ocean surface wind vector EOFs over the northwestern pacific” *Remote sensing of environment*, Vol. 84, pp.

53-68.

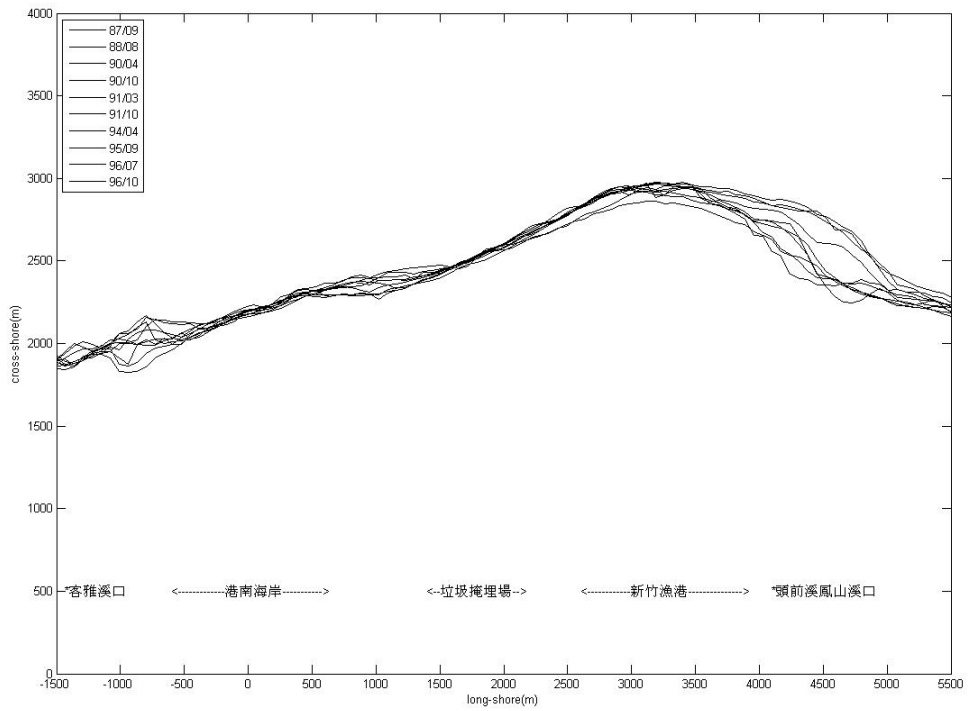
23. Tangang, F. T., B. Tang, A. H. Monahan and W. W. Hsieh (1998) “Forecasting ENSO events: a neural network–extended EOF approach” *Journal of climate*, Vol. 11, Issue. 1, pp.29-41.
24. Wallace, J. M., P. R. Lee and J. Estberg (1993) “Representation of the equatorial stratospheric quasi-biennial oscillation in EOF phase space” *Journal of Atmospheric Science*, Vol. 50, Issue. 12, pp. 1751-1762.



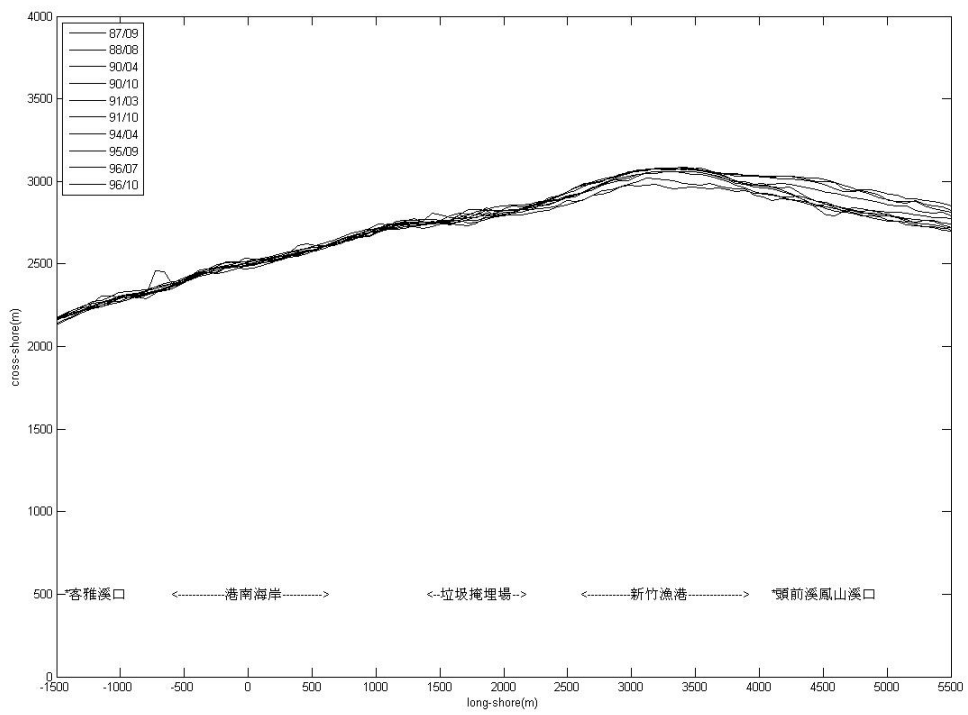
附錄一 等深線



附圖 1-1 新竹港南 5m 等深線



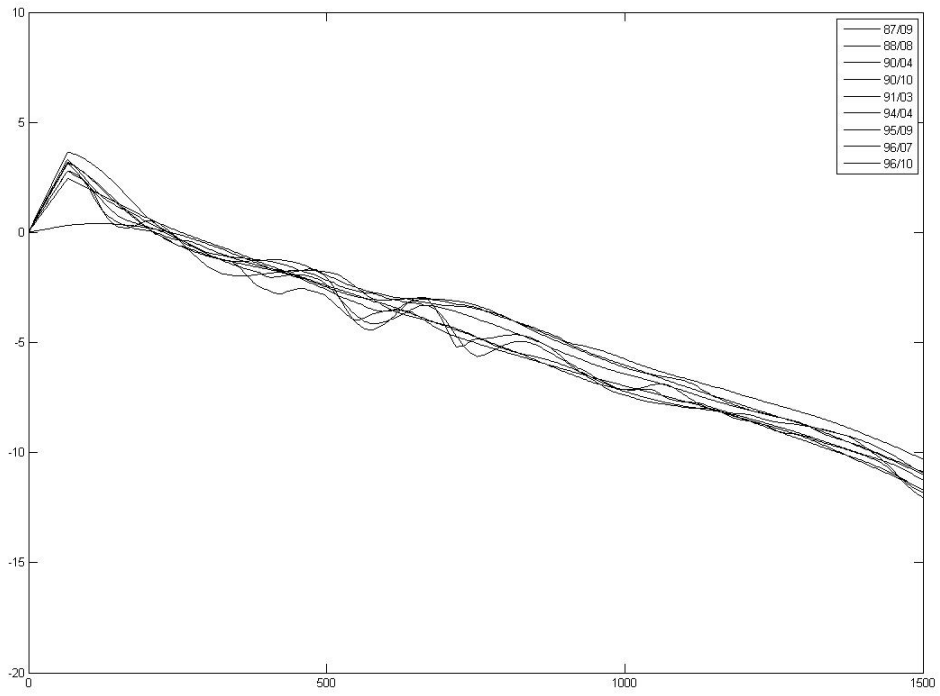
附圖 1-2 新竹港南 10m 等深線



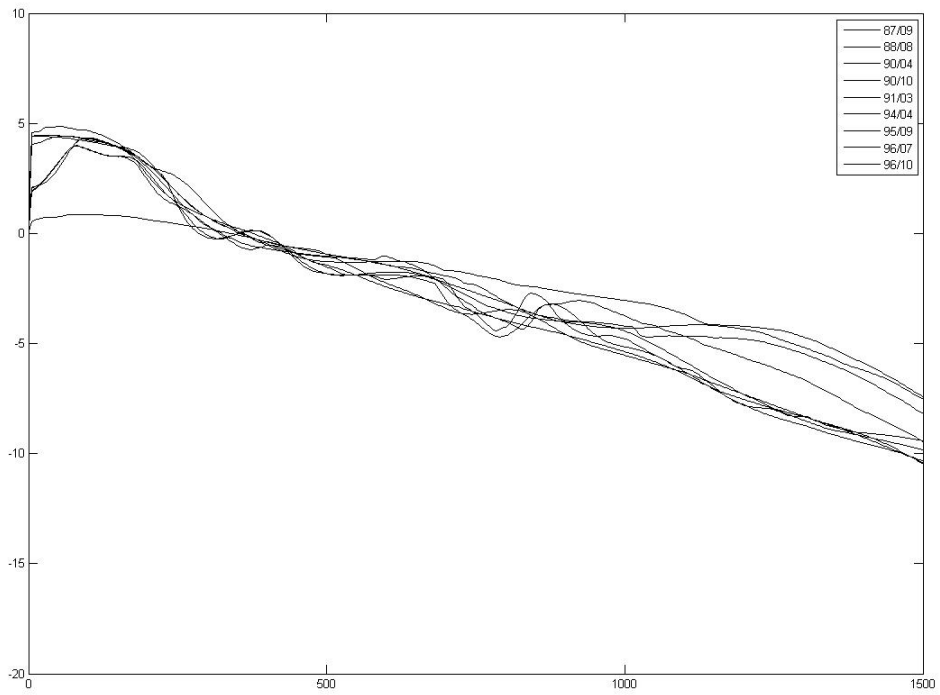
附圖 1-3 新竹港南 15m 等深線



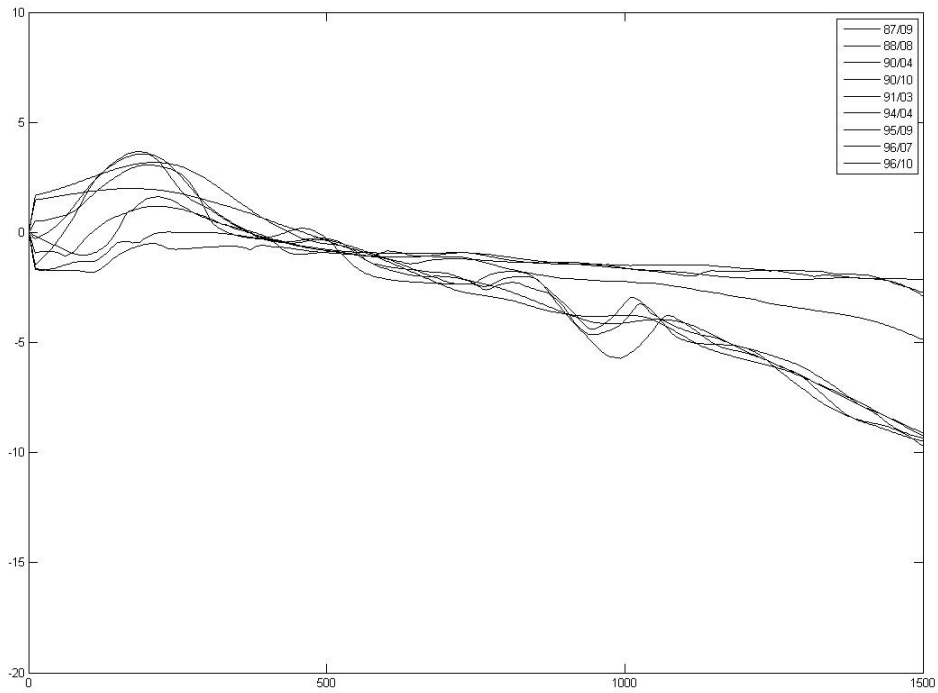
附錄二剖面線



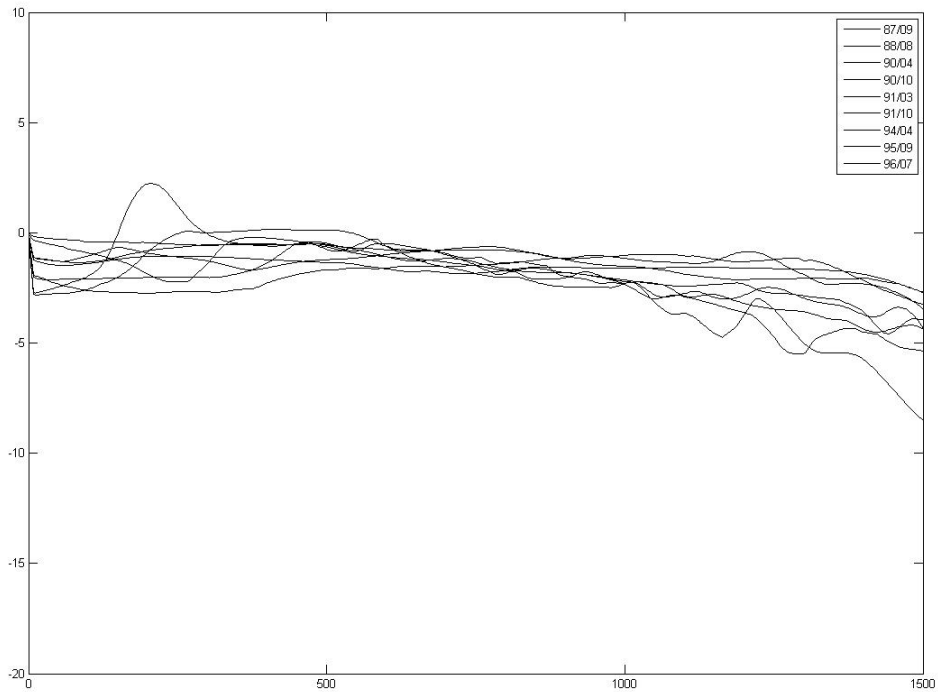
附圖 2-1 新竹港南歷年實測地形第一條剖面線



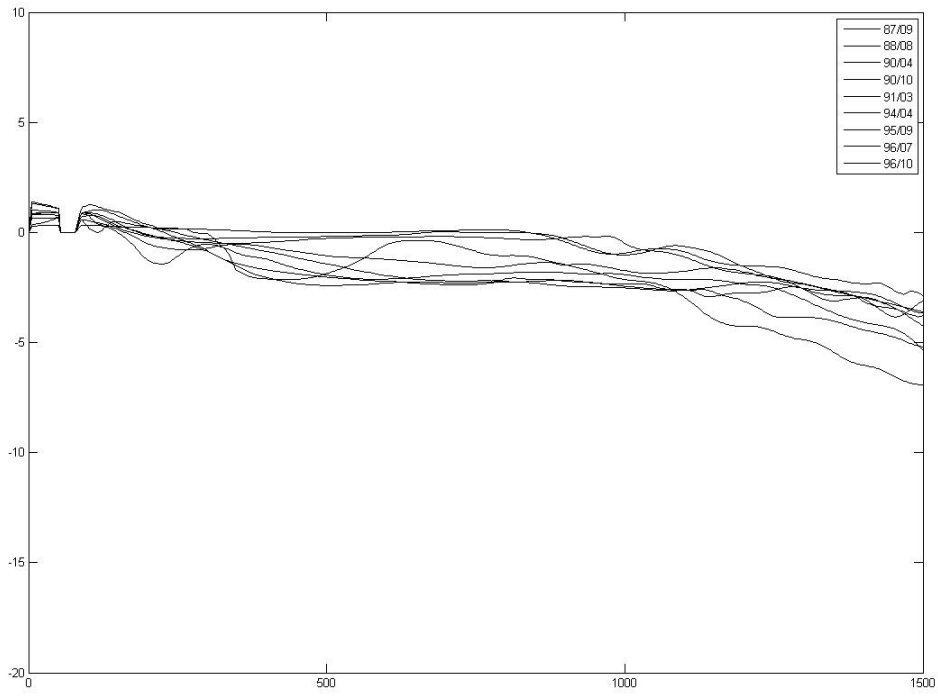
附圖 2-2 新竹港南歷年實測地形第二條剖面線



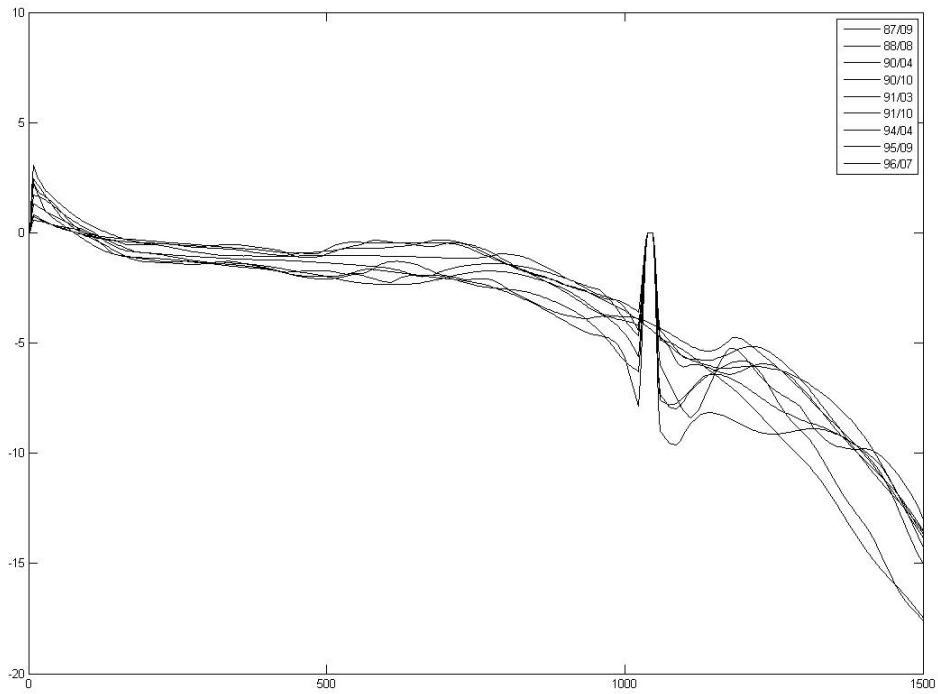
附圖 2-3 新竹港南歷年實測地形第三條剖面線



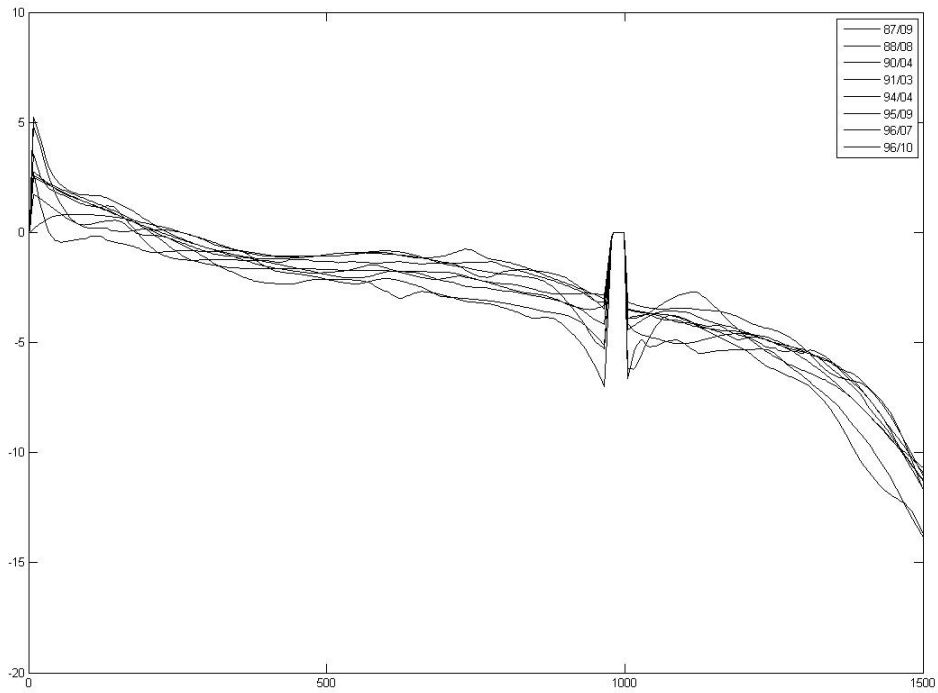
附圖 2-4 新竹港南歷年實測地形第四條剖面線



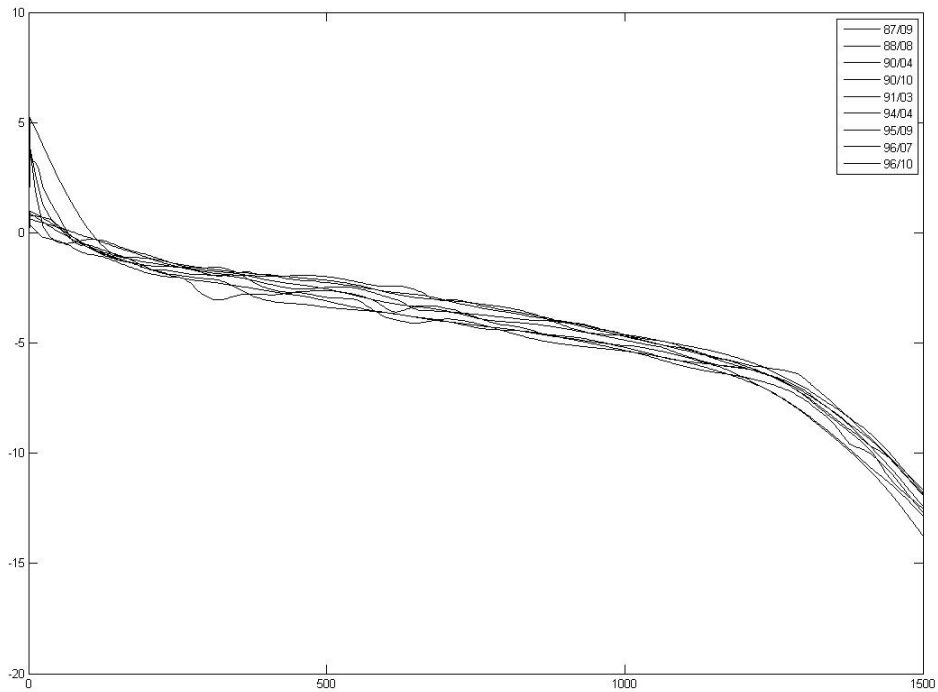
附圖 2-5 新竹港南歷年實測地形第五條剖面線



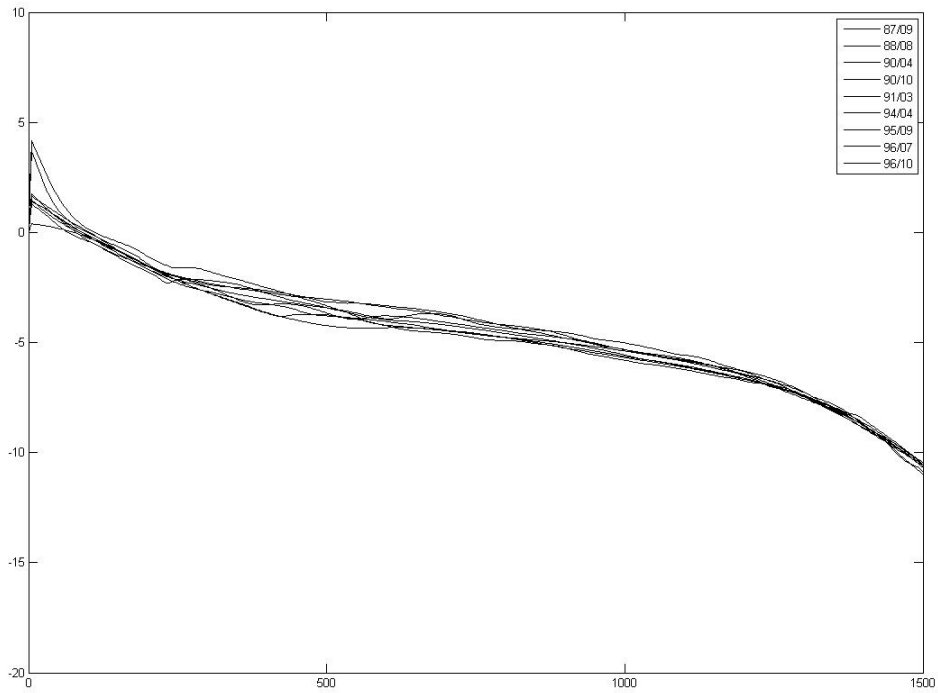
附圖 2-6 新竹港南歷年實測地形第六條剖面線



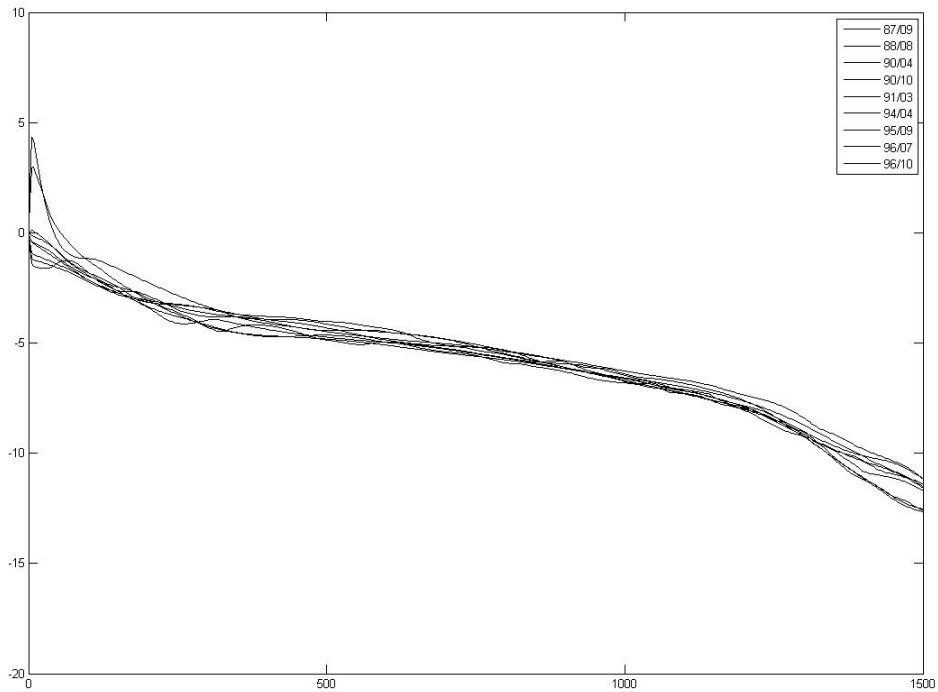
附圖 2-7 新竹港南歷年實測地形第七條剖面線



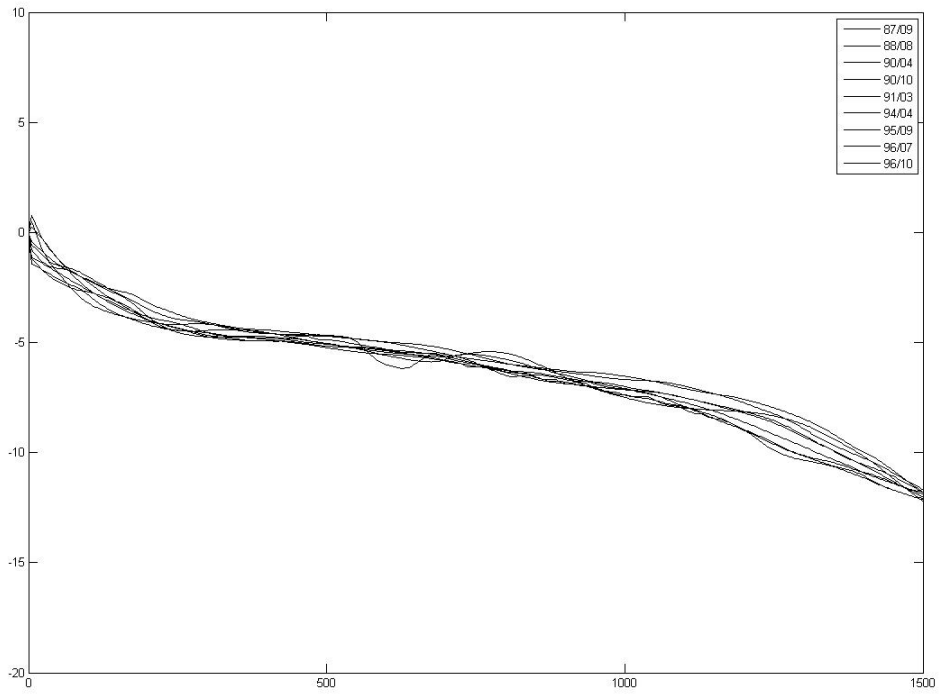
附圖 2-8 新竹港南歷年實測地形第八條剖面線



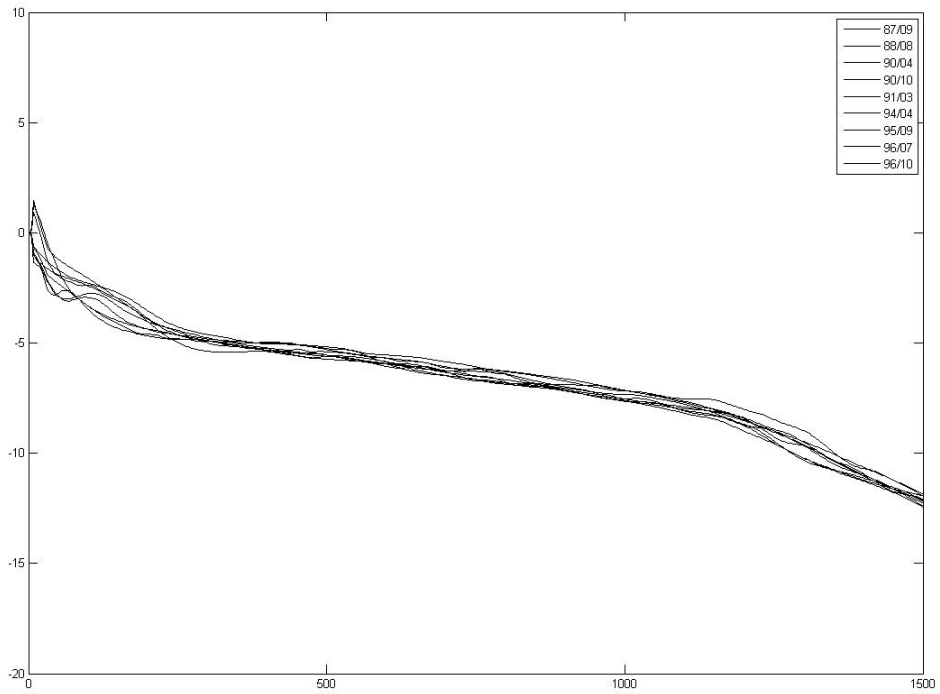
附圖 2-9 新竹港南歷年實測地形第九條剖面線



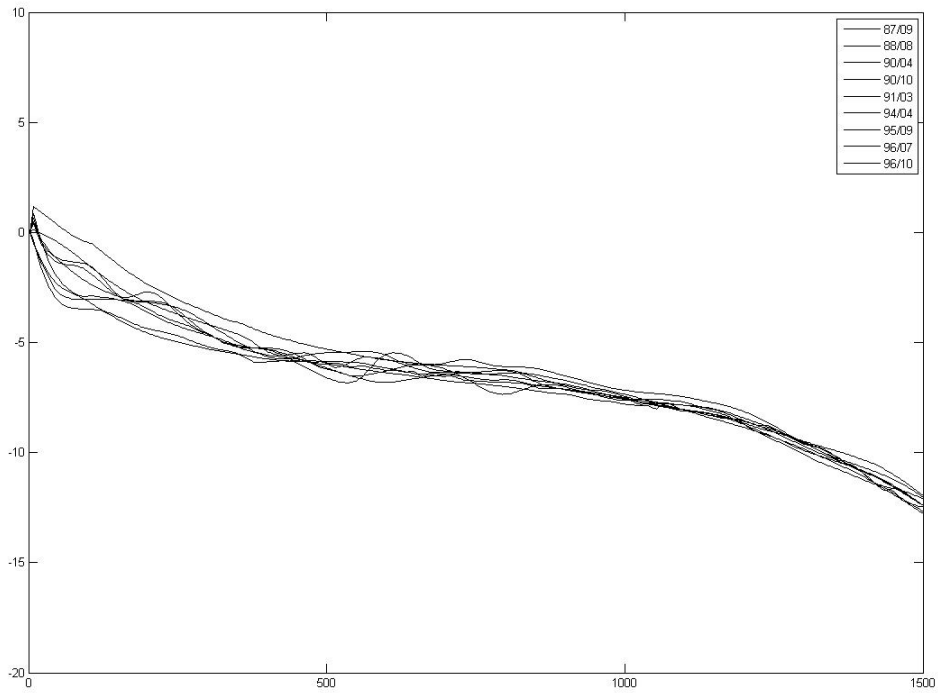
附圖 2-10 新竹港南歷年實測地形第十條剖面線



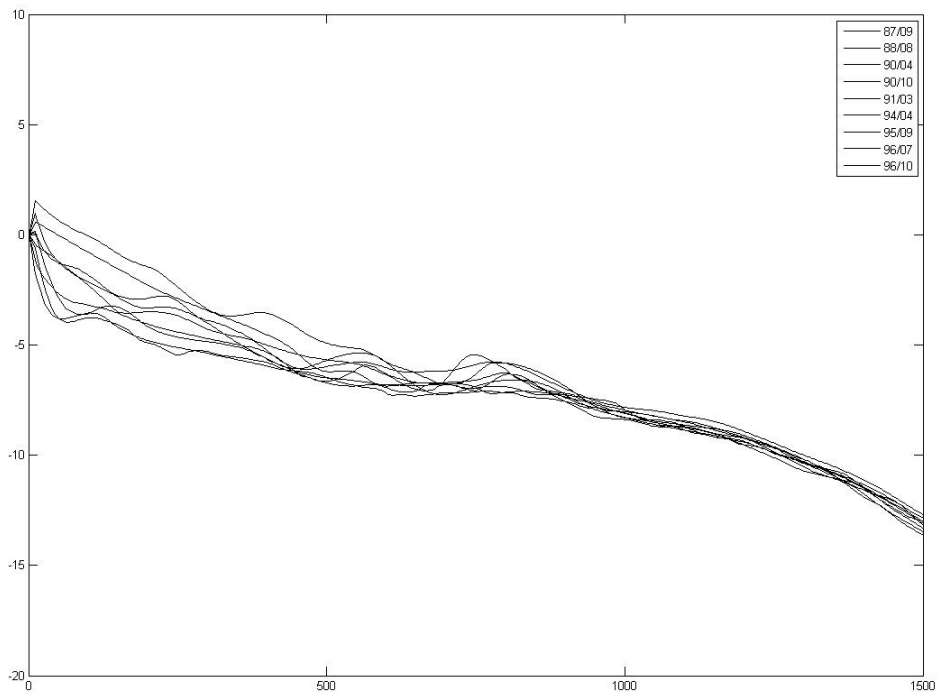
附圖 2-11 新竹港南歷年實測地形第十一條剖面線



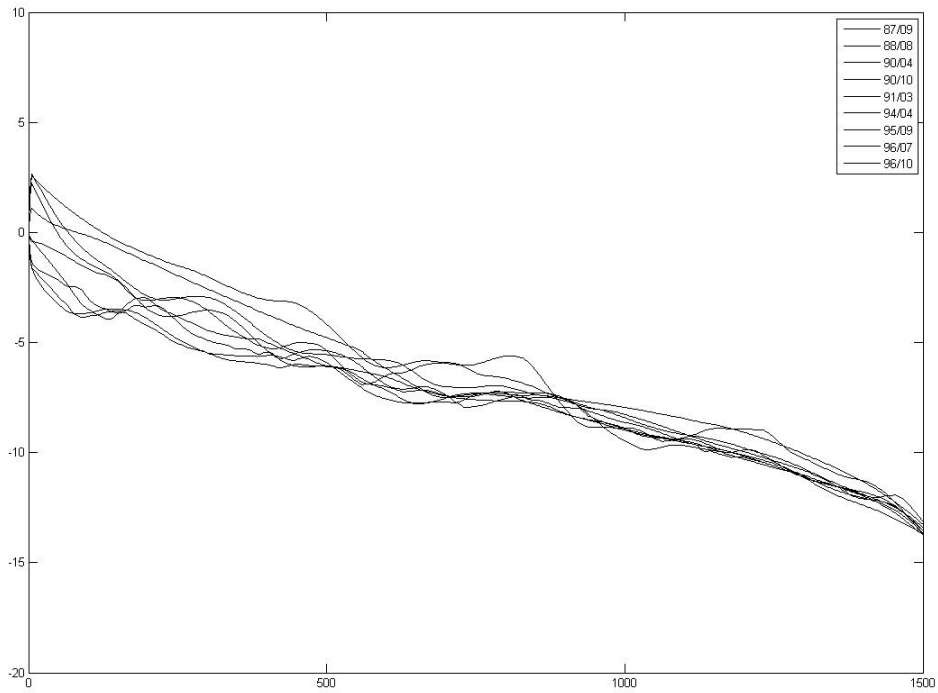
附圖 2-12 新竹港南歷年實測地形第十二條剖面線



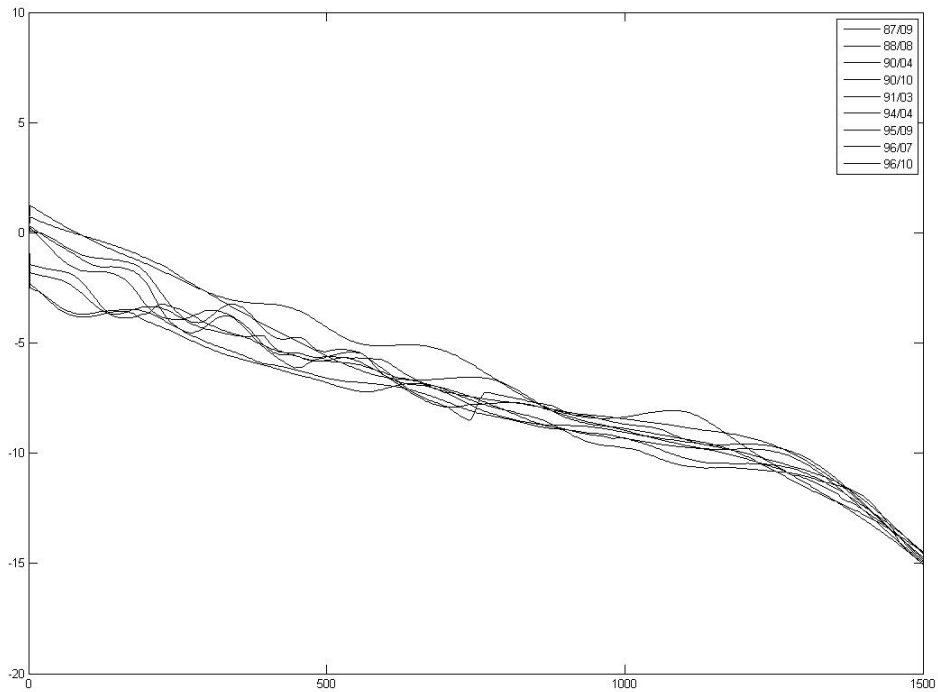
附圖 2-13 新竹港南歷年實測地形第十三條剖面線



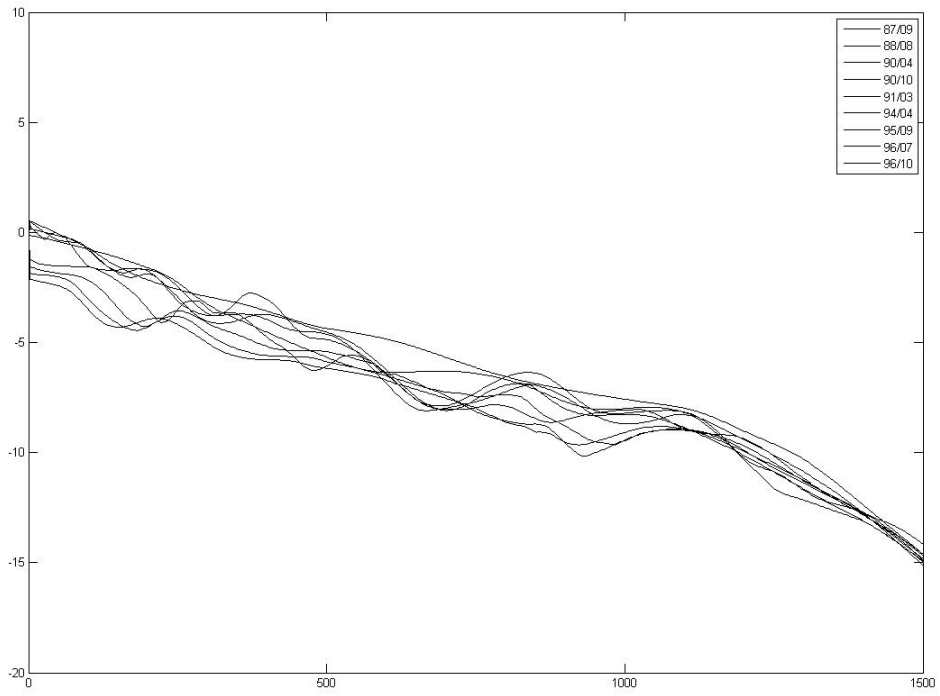
附圖 2-14 新竹港南歷年實測地形第十四條剖面線



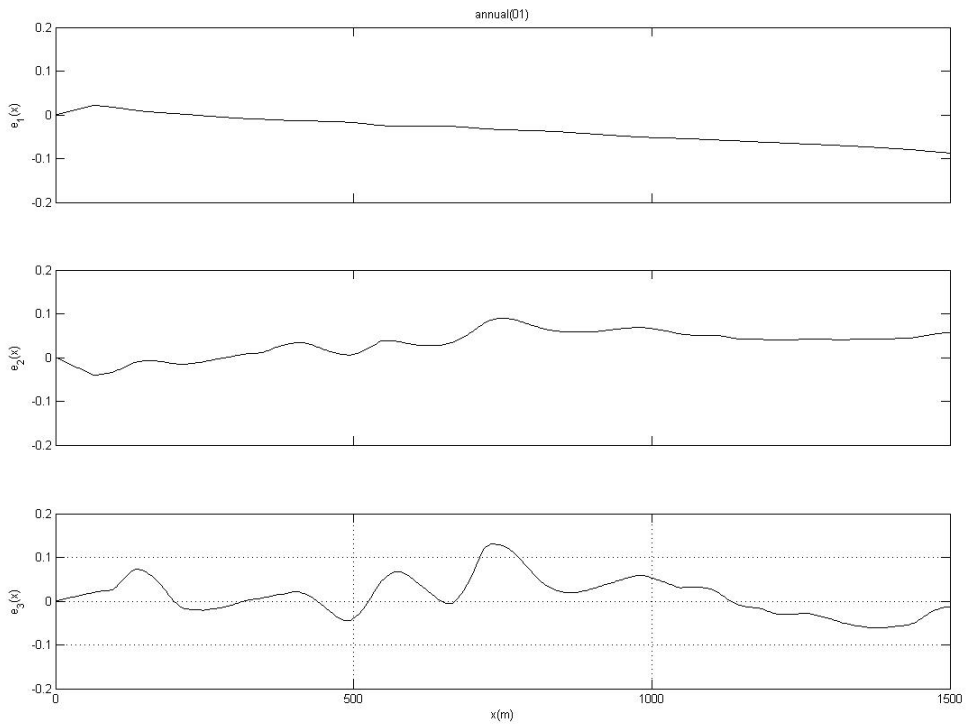
附圖 2-15 新竹港南歷年實測地形第十五條剖面線



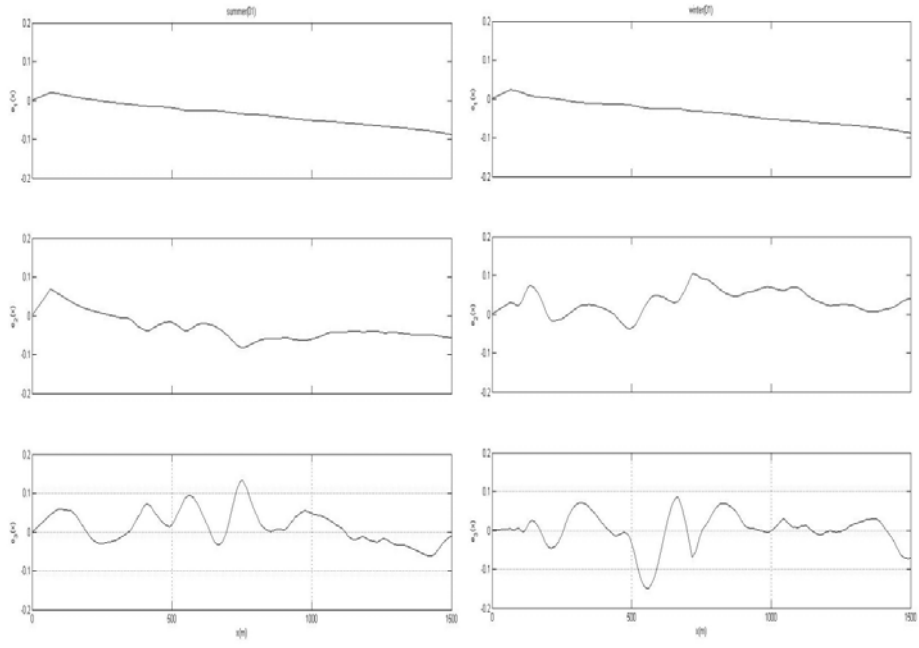
附圖 2-16 新竹港南歷年實測地形第十六條剖面線



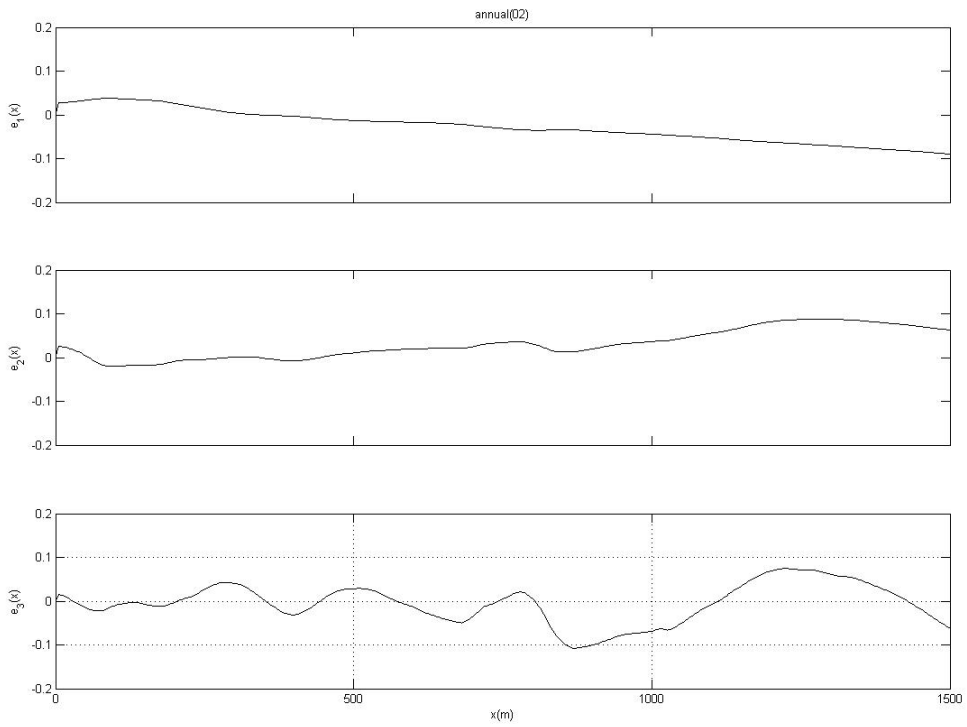
附圖 2-17 新竹港南歷年實測地形第十七條剖面線



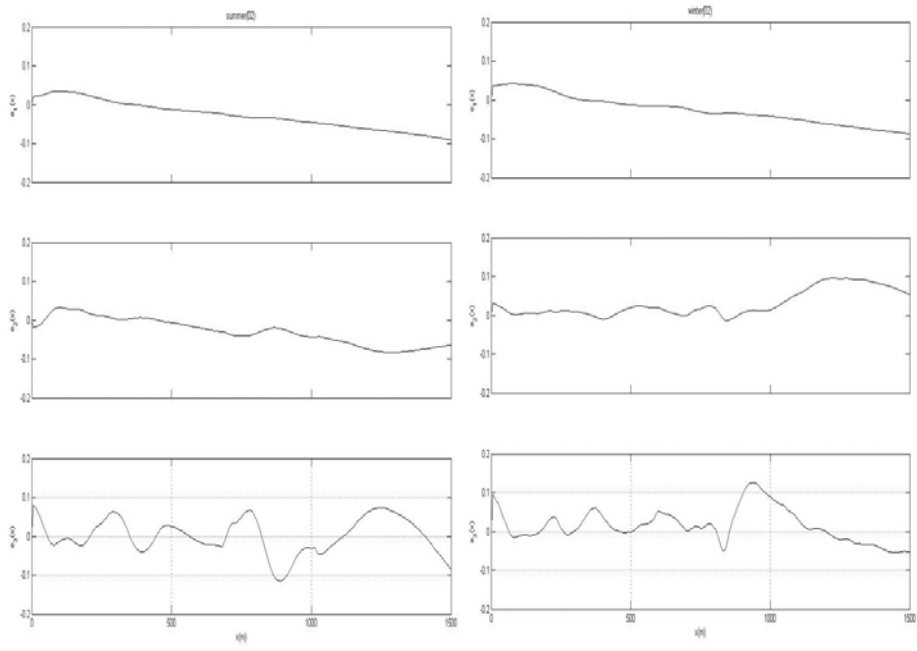
附圖 2-18 剖面線 01 的空間 EOF 的前三個模態



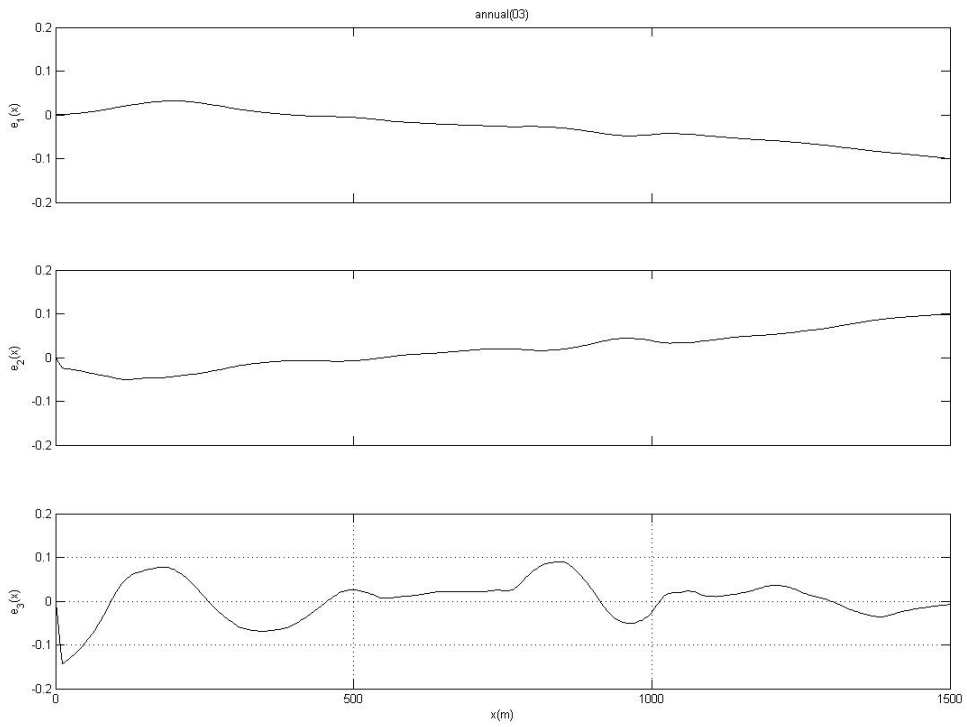
附圖 2-19 夏季、冬季剖面線 01 的空間 EOF 的前三個模態



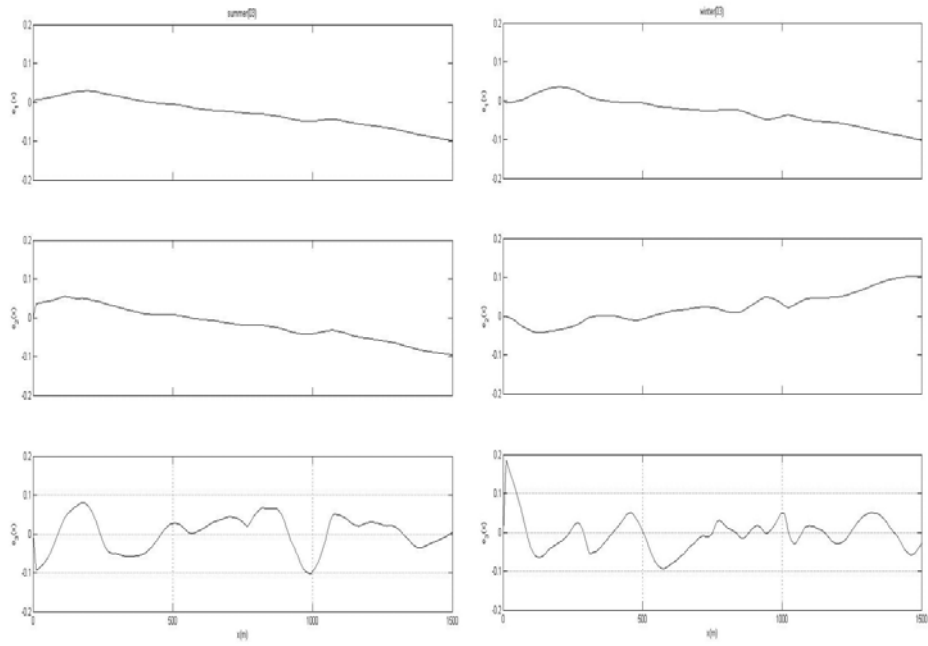
附圖 2-20 剖面線 02 的空間 EOF 的前三個模態



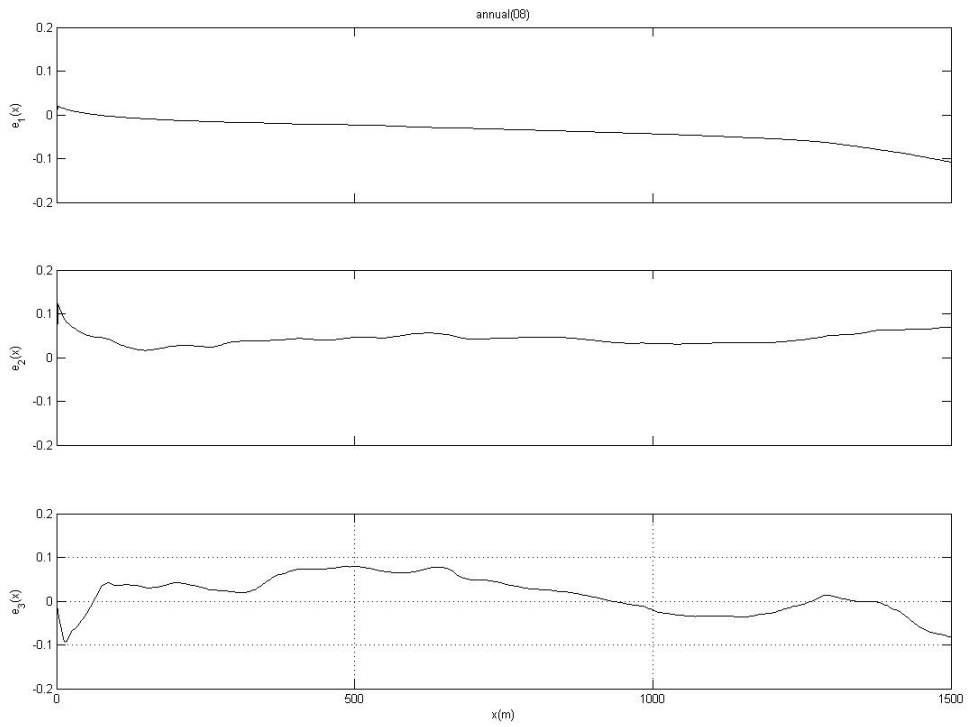
附圖 2-21 夏季、冬季剖面線 02 的空間 EOF 的前三個模態



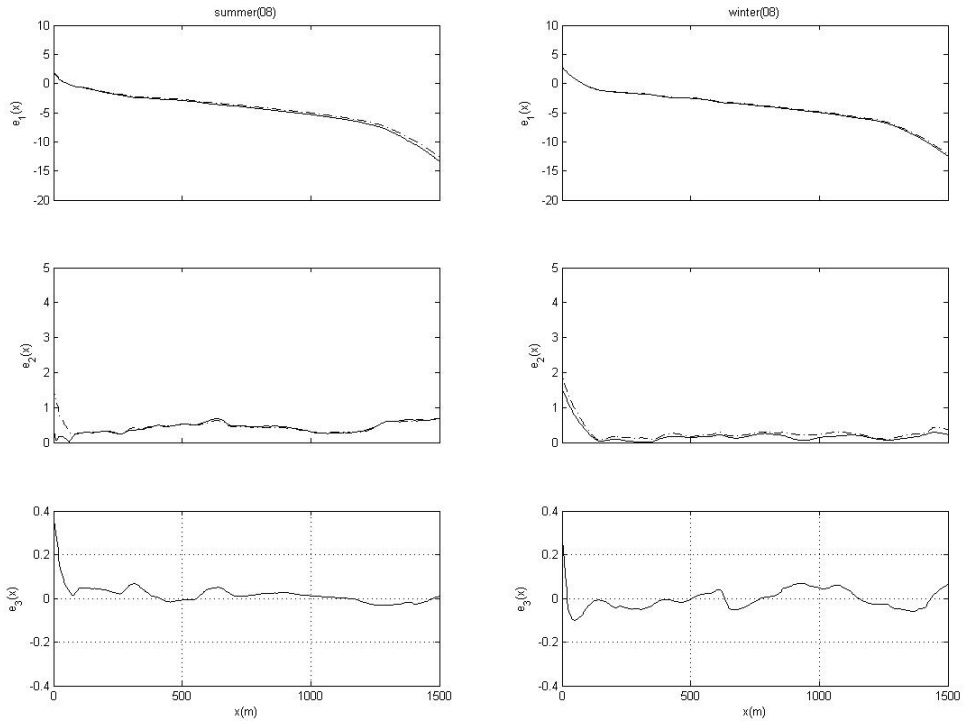
附圖 2-22 剖面線 03 的空間 EOF 的前三個模態



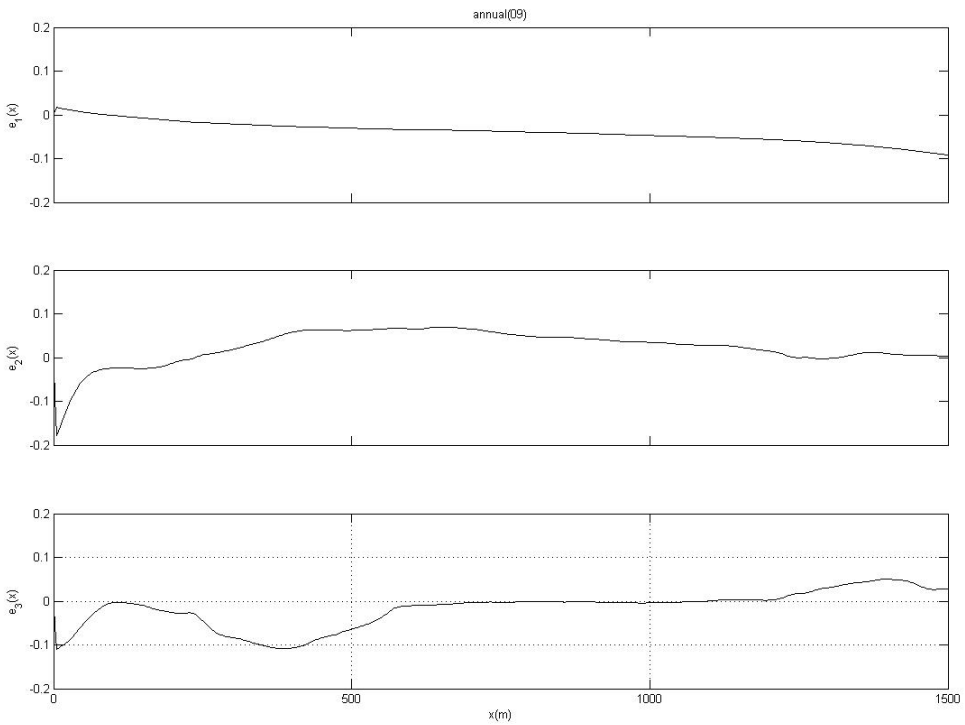
附圖 2-23 夏季、冬季剖面線 03 的空間 EOF 的前三個模態



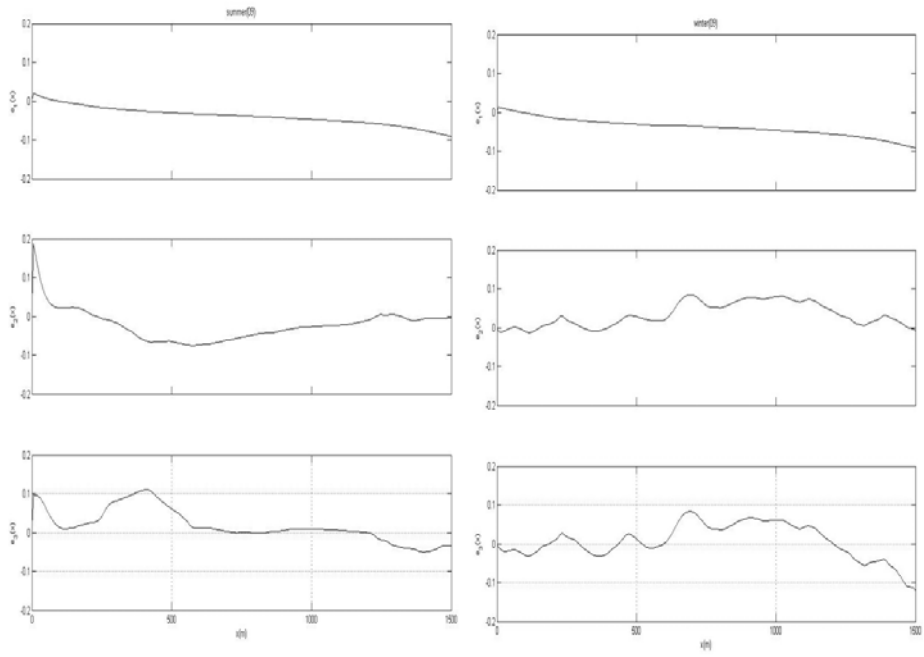
附圖 2-24 剖面線 08 的空間 EOF 的前三個模態



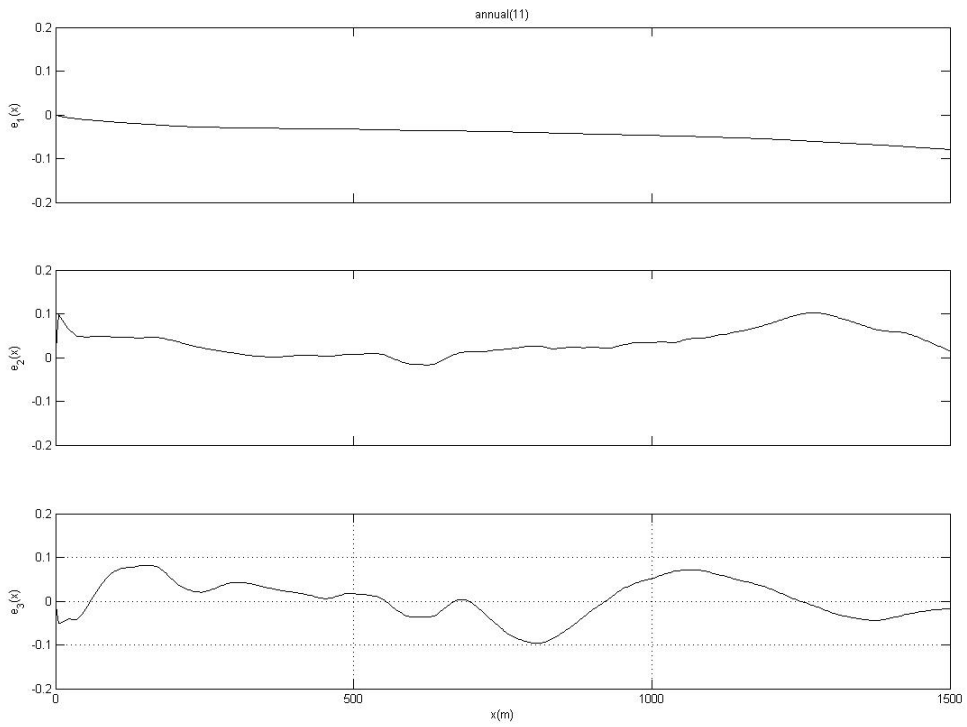
附圖 2-25 夏季、冬季剖面線 08 的空間 EOF 的前三個模態



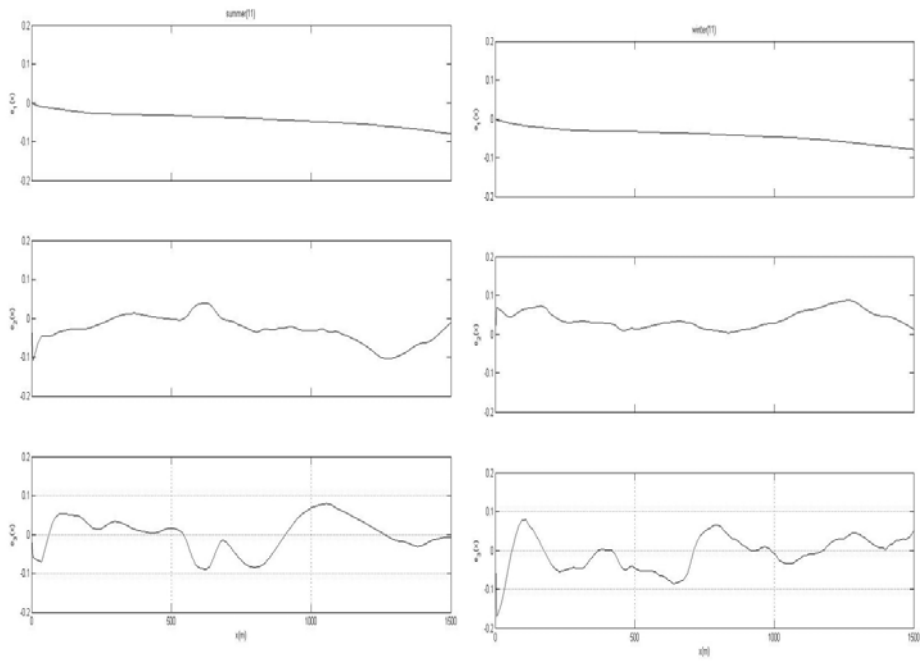
附圖 2-26 剖面線 09 的空間 EOF 的前三個模態



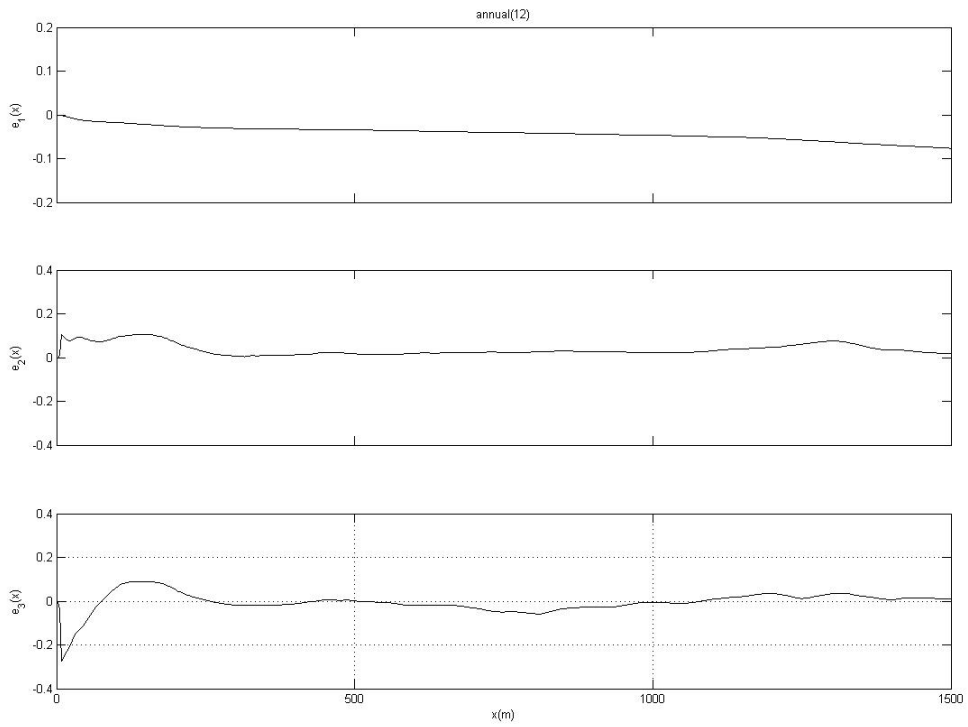
附圖 2-27 夏季、冬季剖面線 09 的空間 EOF 的前三個模態



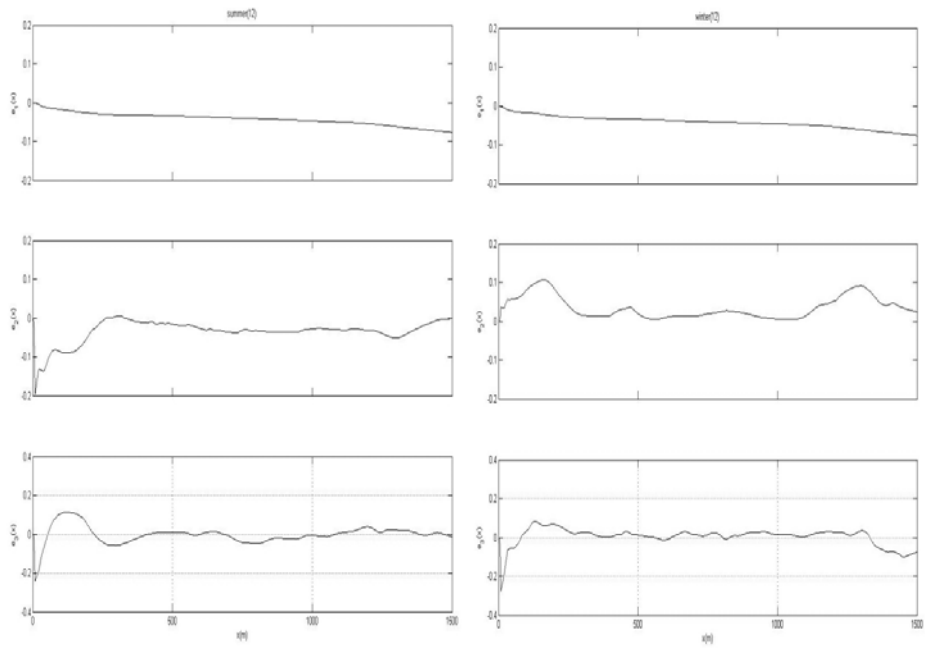
附圖 2-28 剖面線 11 的空間 EOF 的前三個模態



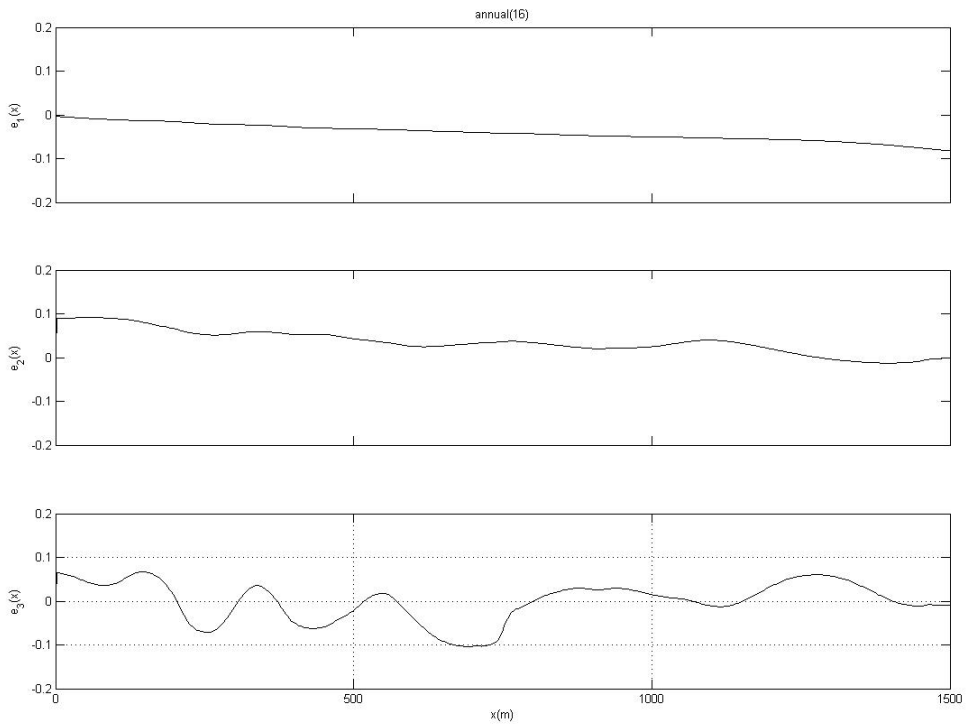
附圖 2-29 夏季、冬季剖面線 11 的空間 EOF 的前三個模態



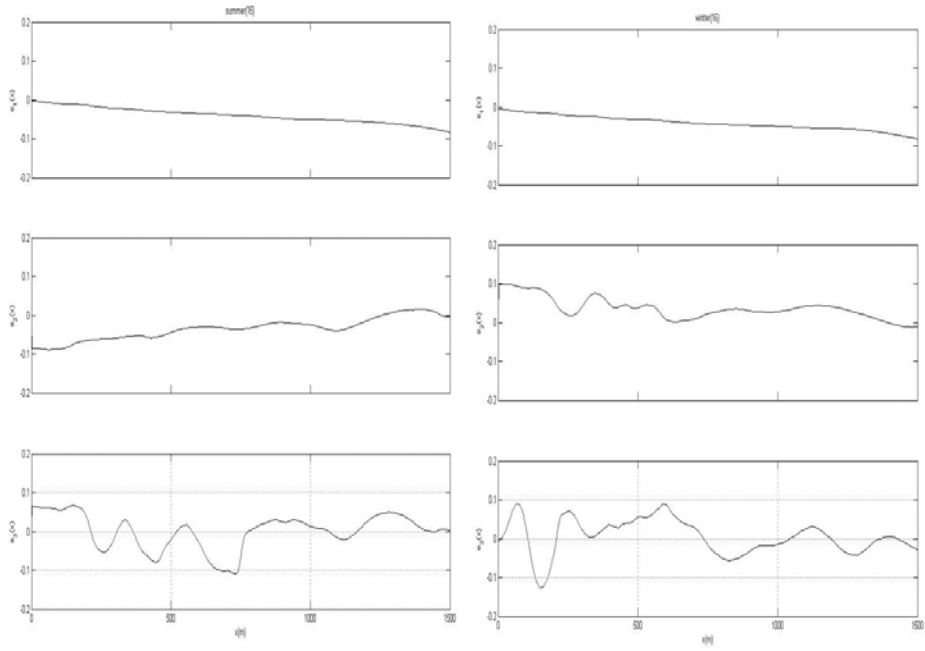
附圖 2-30 剖面線 12 的空間 EOF 的前三個模態



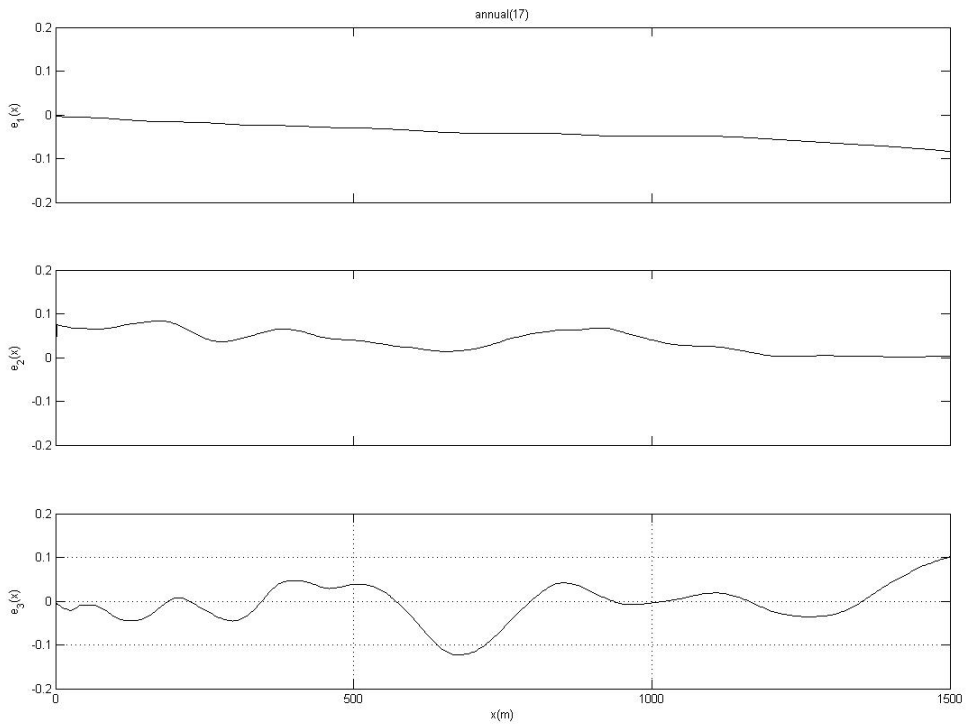
附圖 2-31 夏季、冬季剖面線 12 的空間 EOF 的前三個模態



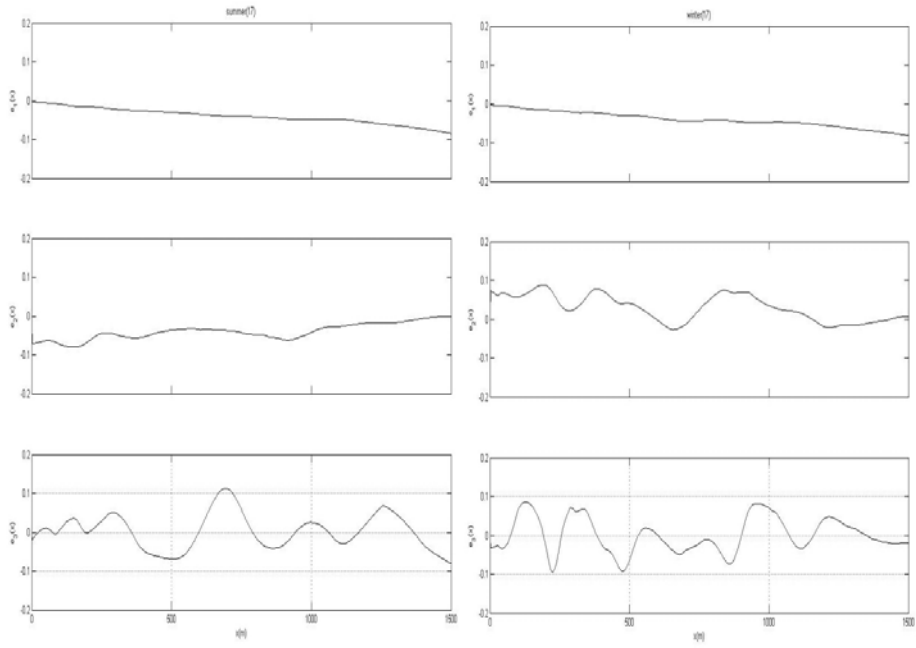
附圖 2-32 剖面線 16 的空間 EOF 的前三個模態



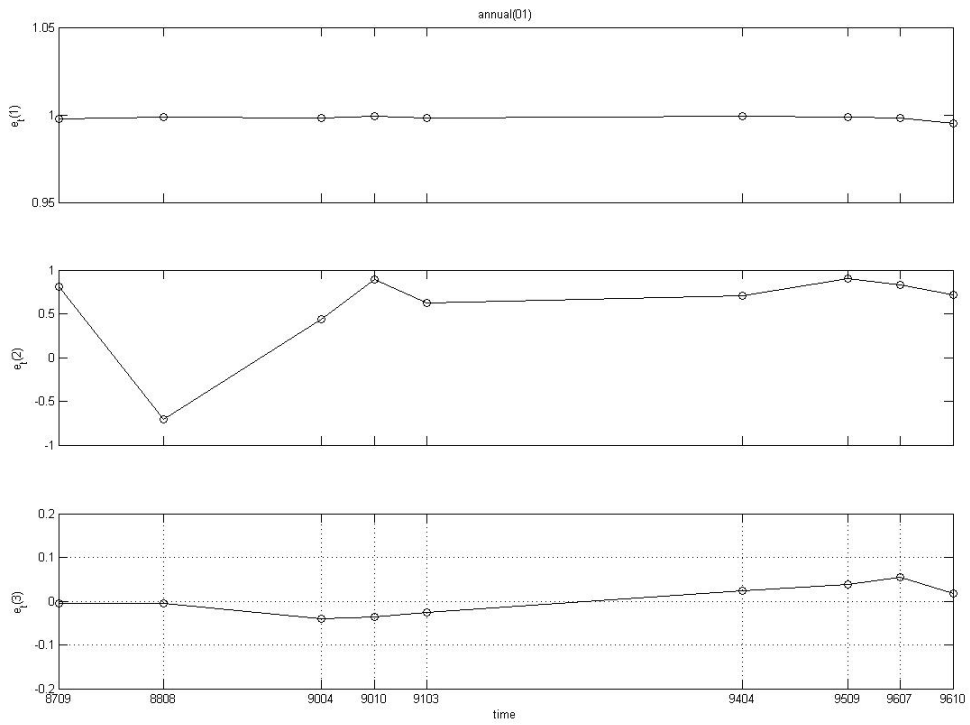
附圖 2-33 夏季、冬季剖面線 16 的空間 EOF 的前三個模態



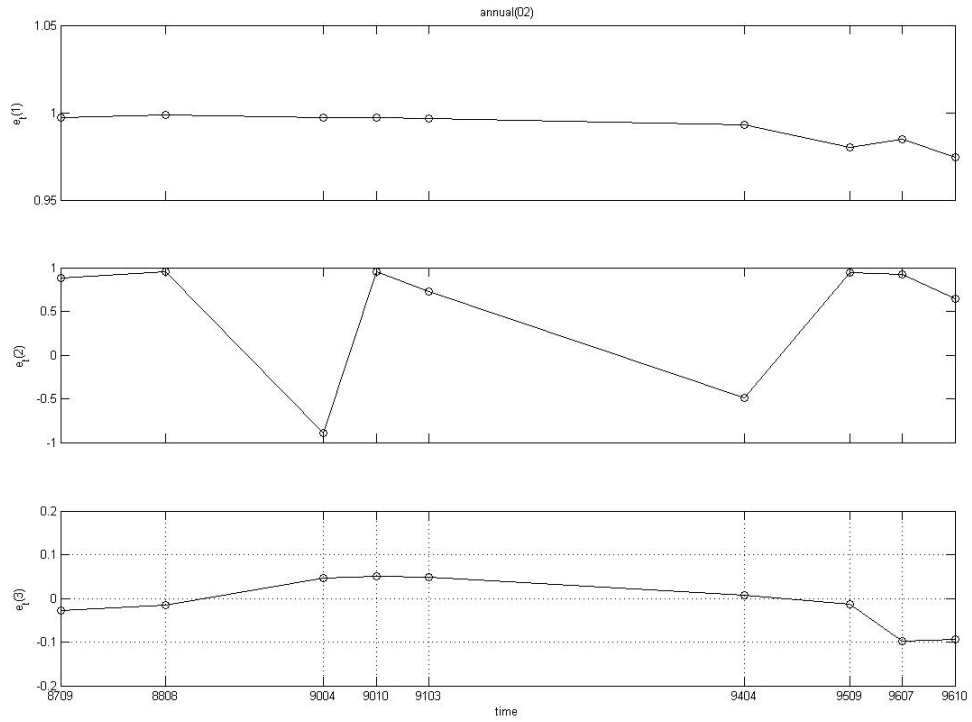
附圖 2-34 剖面線 17 的空間 EOF 前三個模態



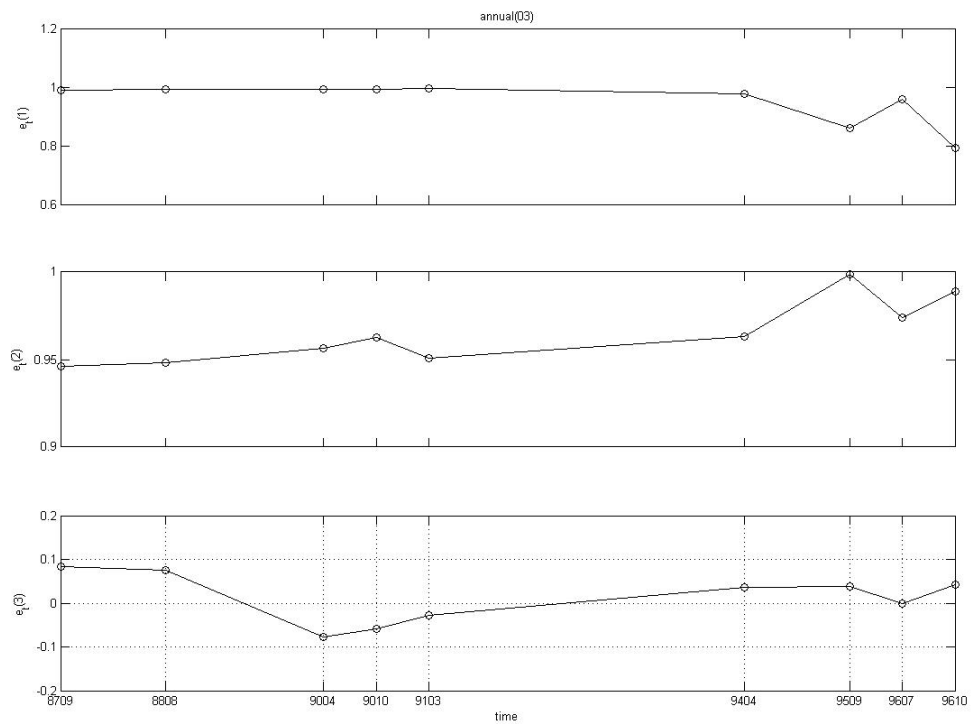
附圖 2-35 夏季、冬季剖面線 17 的空間 EOF 的前三個模態



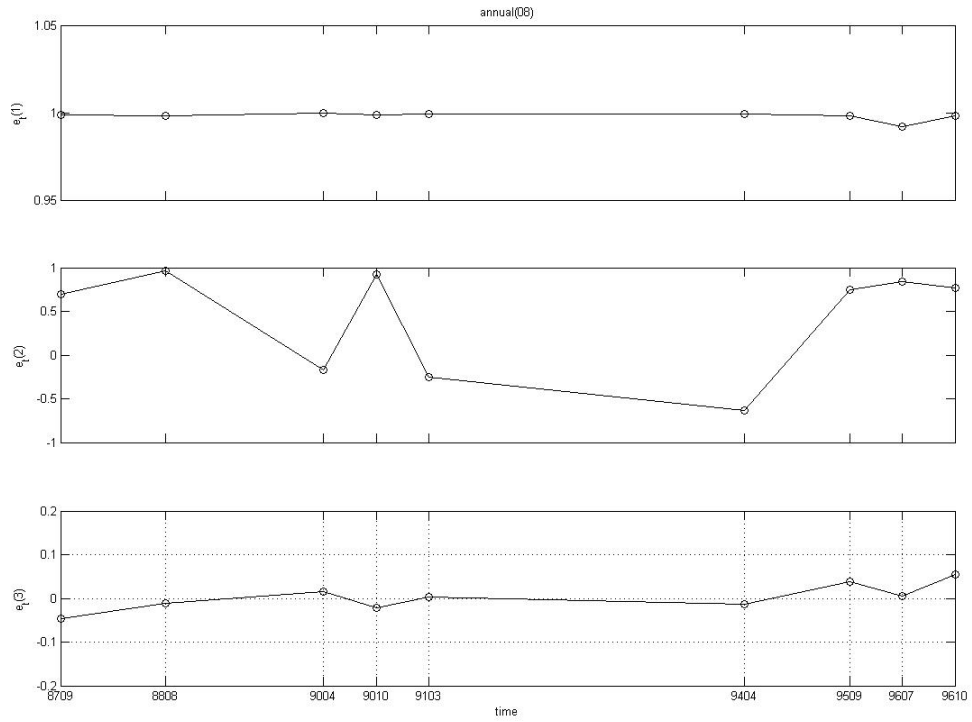
附圖 2-36 剖面線 01 的時間 EOF 的前三個模態



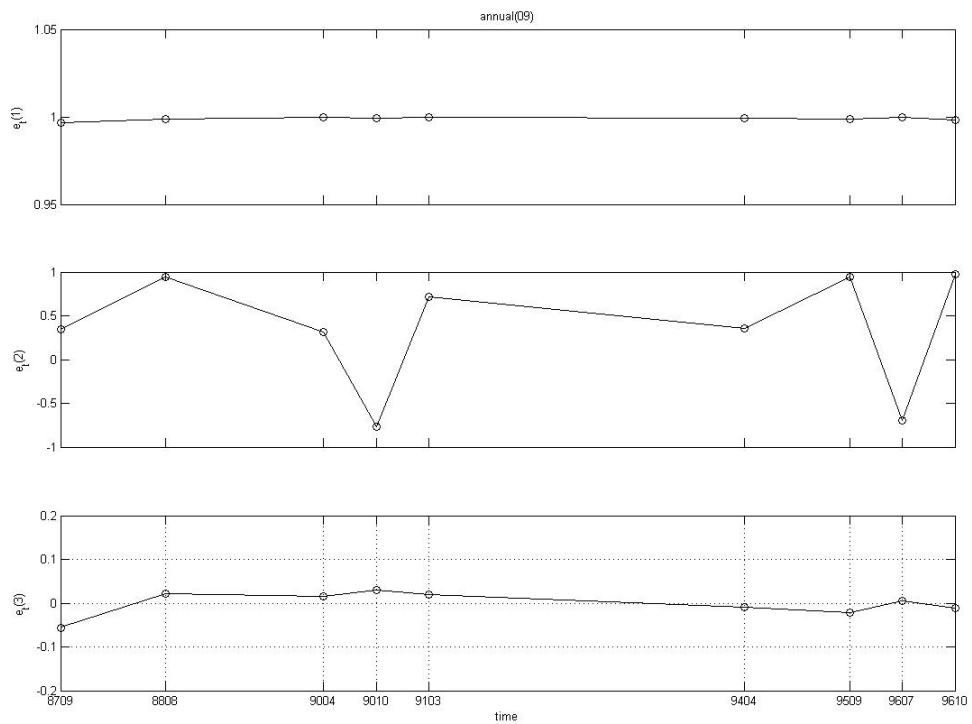
附圖 2-37 剖面線 02 的時間 EOF 的前三個模態



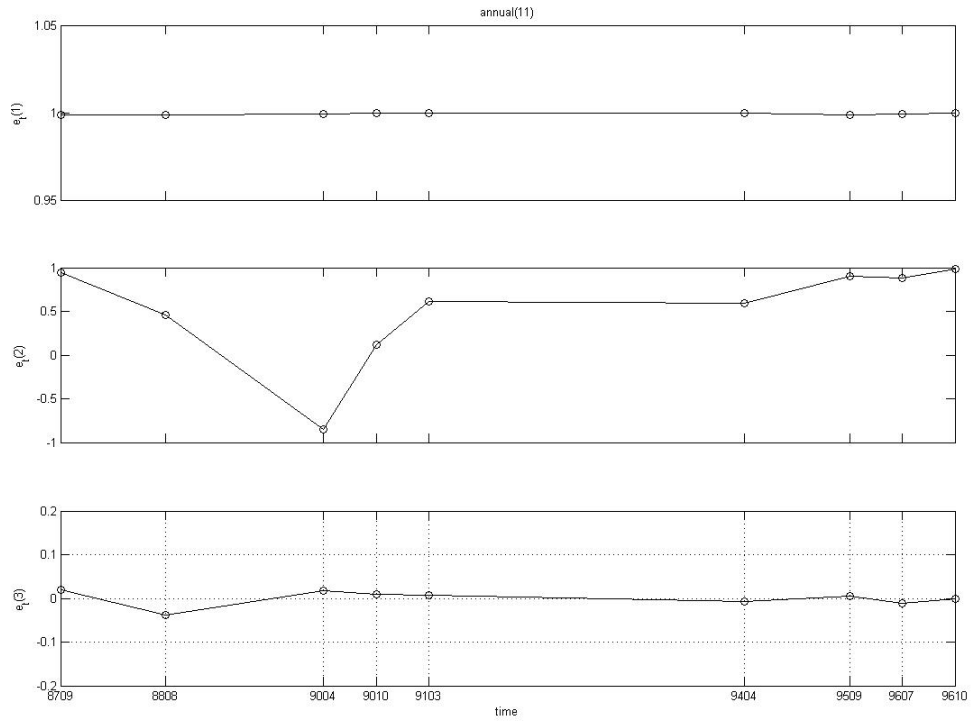
附圖 2-38 剖面線 03 的時間 EOF 的前三個模態



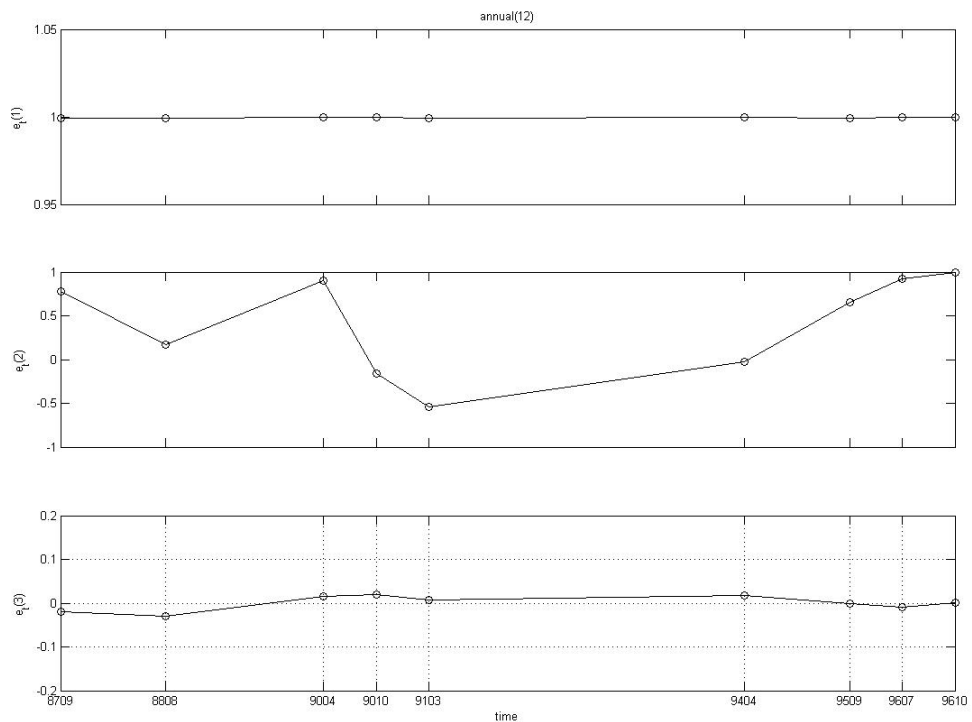
附圖 2-39 剖面線 08 的時間 EOF 的前三個模態



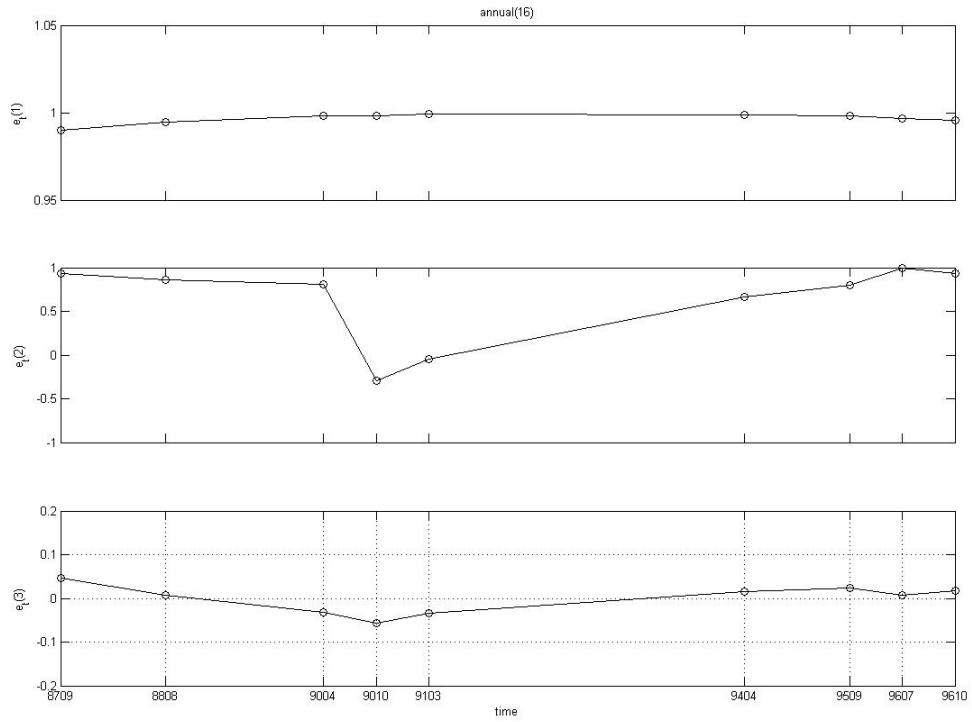
附圖 2-40 剖面線 09 的時間 EOF 的前三個模態



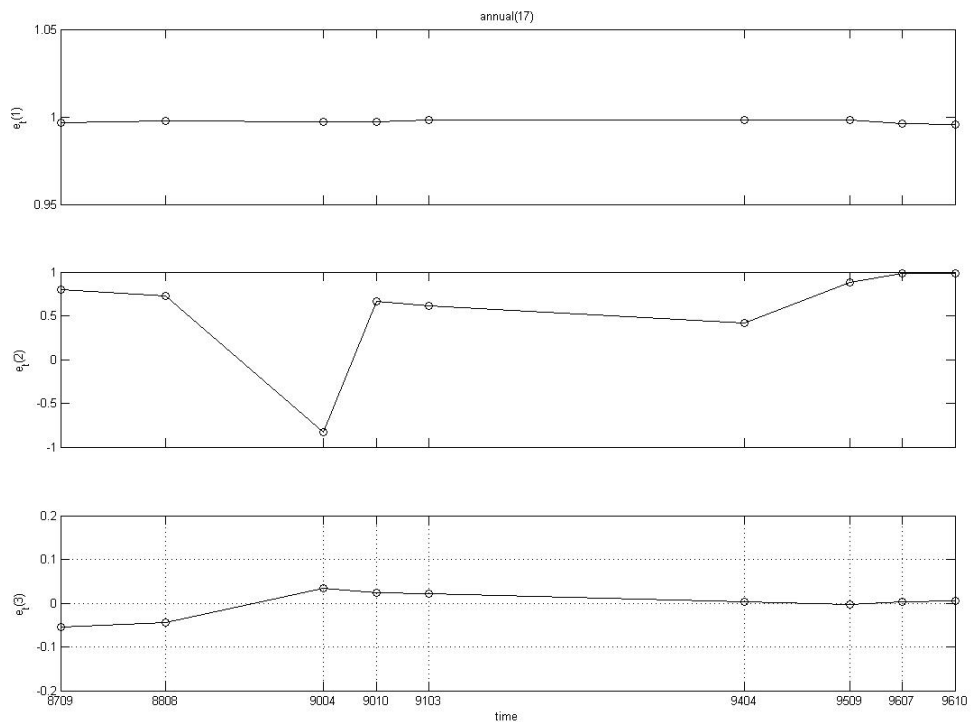
附圖 2-41 剖面線 11 的時間 EOF 的前三個模態



附圖 2-42 剖面線 12 的時間 EOF 的前三個模態



附圖 2-43 剖面線 16 的時間 EOF 的前三個模態



附圖 2-44 剖面線 17 的時間 EOF 的前三個模態