

暴潮分析與預警系統技術發展 期末報告

計畫主持人：楊文昌 研究員

計畫團隊：廖建明 副研究員

賴堅戊 助理研究員

吳季莊 佐理研究員

國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心

中華民國 103 年 1 月

目錄

一、緒論.....	1
二、潮汐調和分析.....	3
三、暴潮分析.....	6
四、結論.....	24
參考文獻.....	25

一、緒論

暴潮(storm surge) 為多種原因匯集，使得正常潮起潮落的海洋現象，發生突然性的水位異常堆高的現象。暴潮並非潮汐，而是因為海平面水位上升有如漲潮，故稱為暴潮。暴潮現象主要是由颱風引起，颱風中心的低氣壓會使海平面升高，颱風往陸地推移的過程中，會將海浪吹往陸地方向，如遇上大潮和滿潮，則可能加重災情。

台灣位於太平洋西側，位於北半球颱風熱門路徑上，一年平均有四個颱風侵襲，根據氣象局統計的路線圖，大致可分為九種路線，如圖 1-1 所示。每當颱風產生，除了大量雨水可能造成洪氾災害外，沿海地區也可能因暴潮的侵襲而使民眾生命財產安全造成威脅。因此，本計畫之主要目的為研究颱風暴潮與潮汐間的各種關係與暴潮引發之機制，以期達到預測暴潮之目的，提供權責單位在颱風期間能夠做為暴潮警報發布之依據。

為達到此目的，本研究將以三個步驟進行暴潮預報研究。

1. 潮汐資料之收集與分析 – 以台灣實測潮位站之潮汐資料與調和分析之預報潮資料進行比對，找出颱風期間暴潮發生時之水位變化特性。

2. 數值模式建構 – 建立暴潮數值模式，經過測試後，以實際潮汐資料投入模式運算。
3. 展示平台建立 – 建立資料展示平台，以圖片與動畫展示暴潮模式執行結果。

本年度以潮汐資料之收集與分析作為主要研究目的。

潮汐主要是由行星運行的引力所引致，也稱作天文潮，經過長年研究，已經可以透過調和分析進行精準的預測。由於天文潮呈現週期性變化，經由天文潮計算而得的預報潮僅能提供理想狀態的潮汐水位，無法預測颱風來臨或其他自然現象發生時的真實狀況。當颱風過境時，真實測站所紀錄下的水位高度，時常會和預測資料有所差異，稱為水位異常值或是潮位偏差 (ΔH)。

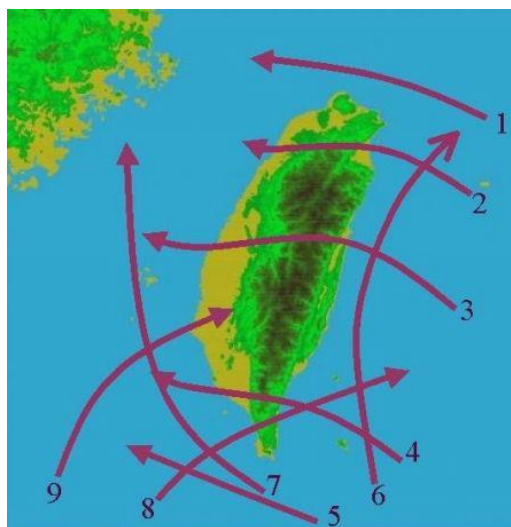


圖 1-1、台灣颱風路線分類圖。(中央氣象局，2004)

二、潮汐調和分析

由於天文潮呈現週期性變化，理論上可藉由調和分析來解析各分潮的加權係數，並利用數值與同化的方法可模擬潮汐的變化，進而可精準達到預測的功效。

調和分析係以牛頓所提出的平衡潮(equilibrium tide)理論為基礎，進行潮汐推算的一種方法。假設某地任一時間的潮汐水位 $Y(t)$ 為各分潮潮高 $y_i(t)$ 之總合，其數學式可表示如下

$$Y(t) = H_0 + \sum_{i=1}^M y_i(t) = H_0 + \sum_{i=1}^M f_i H_i \cos(\omega_i t + (V_0 + u)_i - k_i) \quad (2-1)$$

其中， Y 為潮汐高度， H_0 為觀測資料期間之平均海水面， y_i 為各分潮潮高， t 為時間， M 為分潮個數， ω 為各分潮角速度， $(V_0 + u)_i$ 為各分潮平衡引數(Equilibrium Argument)， k_i 為各分潮相位角(phase angle)。

在計算過程中，假設平均海水面為大地水準面，故 H_0 設為 0，利用三角函數關係可轉換如下：

$$Y(t) = a_0 + \sum_{i=1}^M (a_i \cos \omega_i t - b_i \sin \omega_i t) \quad (2-2)$$

式中， a_i 、 b_i 為分潮之調和分量，其數學式可表示如下：

$$a_0 = H_0$$

$$a_i = f_i \cdot H_i \cdot \cos[(V_0 + u)_i - k_i]$$

$$b_i = f_i \cdot H_i \cdot \sin[(V_0 + u)_i - k_i]$$

利用前述之數學式，將長期觀測到的水位資料代入，即可解算得到各分潮之加權係數。而在得知各分潮之加權係數，即可藉由潮汐關係式而得到潮汐高度 $Y(t)$ 。以塭港潮汐水位資料為例，並利用各分潮的相關參數值如表 2-1 所列，經利用調和分析法來解析，即可得到各分潮的相關係數，然而利用潮汐關係式即可推算潮汐的時間系列變化，如圖 2-1 所式。

表 2-1、天文潮各分潮之特性參數值

項次	分潮	頻率(coh)	振幅(m)	相位(°)
1.	Z0	0.000000	0.330700	0.00
2	SA	0.000114	0.060400	220.33
3	SSA	0.000228	0.044500	283.11
4	MSM	0.001310	0.014500	14.19
5	MM	0.001512	0.007200	197.93
6	MSF	0.002822	0.023900	107.92
7	MF	0.003050	0.019900	306.81
8	ALP1	0.034397	0.002500	131.34
9	2Q1	0.035706	0.001500	29.15
10	SIG1	0.035909	0.012400	128.11
11	Q1	0.037219	0.036200	93.96
12	RHO1	0.037421	0.011800	65.74
13	O1	0.038731	0.191800	106.09
14	TAU1	0.038959	0.003100	247.33
15	BET1	0.040040	0.002600	129.36
16	NO1	0.040269	0.013500	95.48
17	CHI1	0.040471	0.008200	124.06
18	PI1	0.041439	0.007900	244.02
19	P1	0.041553	0.063000	131.41
20	S1	0.041667	0.010500	218.73
21	K1	0.041781	0.207600	130.56
22	PSI1	0.041895	0.006400	318.76
23	PHI1	0.042009	0.006900	175.81
24	THE1	0.043091	0.003700	131.36
25	J1	0.043293	0.011900	167.02
26	SO1	0.044603	0.007100	33.55
27	OO1	0.044831	0.004000	167.24
28	UPS1	0.046343	0.005200	282.65
29	OQ2	0.075975	0.005800	317.97
30	EPS2	0.076177	0.001700	238.15
31	2N2	0.077487	0.012500	285.13
32	MU2	0.077689	0.006800	303.54
33	N2	0.078999	0.054600	298.06
34	NU2	0.079202	0.006600	295.34
35	H1	0.080397	0.003100	179.92
37	H2	0.080625	0.010800	224.59
38	MKS2	0.080740	0.005200	350.60
39	LDA2	0.081821	0.001400	284.73
40	L2	0.082024	0.009000	314.61

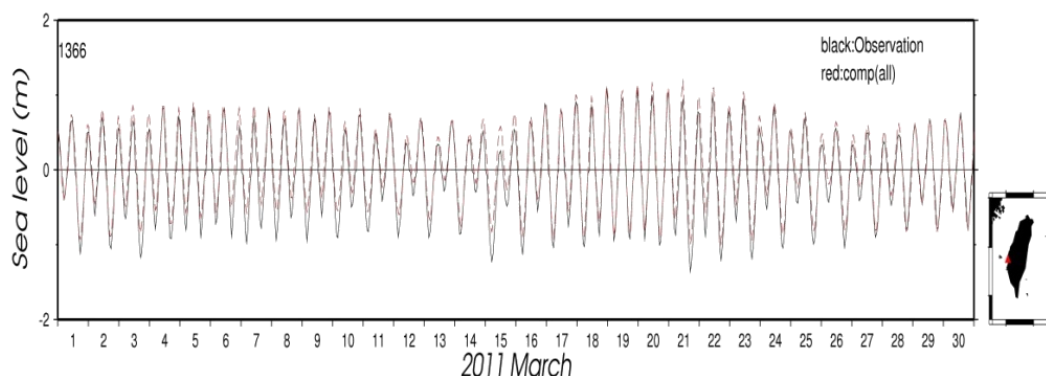


圖 2-1、利用調和分析法解析合成塹港之潮汐水位

三、暴潮分析

3-1 資料蒐集與初步分析

經由氣象局的颱風資料庫，我們整理了 2009 年至 2012 年所發布颱風警報的颱風事件，歸納出每一年颱風侵襲台灣的時間、颱風強度與潮位狀況等資訊，如表 3-1 所示：

表 3-1、2009 年至 2012 年颱風侵台資料

2009 年侵台颱風資料(6/18-10/13)					
颱風名稱	日期	暴風圈接近台灣	近台規模	接近區域	潮汐
芭瑪	9/28-10/13	10/4-10-6	中-輕	台灣西南	大潮
莫拉克	8/3-8/11	8/7-8/9	中-輕	台灣東側-西側	大潮
莫拉菲	7/15-7/19	7/17-7/18	輕	台灣南側	小潮
蓮花	6/18-6/22	6/20-6/22	輕	台灣西側	小潮
2010 年侵台颱風資料(8/27-10/23)					
颱風名稱	日期	暴風圈接近台灣	近台規模	接近區域	潮汐
來羅克	8/27-9/2	8/30-9/2	輕	台灣西南	大潮
南修	8/29-8/31	8/29-8/31	輕	台灣北部	
莫蘭蒂	9/7-9/10	9/7-9/10	輕	台灣東-南-西	大潮
凡那比	9/15-9/20	9/18-9/20	中	台灣東側-西側	小潮
梅姬	10/13-10/23	10/21-23	中	台灣西側	大潮

2011 年侵台颱風資料(5/6-8/31)					
颱風名稱	日期	暴風圈接近台灣	近台規模	接近區域	潮汐
艾利	5/6-5/11	5/10	輕	台灣東部	
桑達	5/20-5/29	5/27-5/28	強-中	台灣東部	
米雷	6/21-6/27	6/24-6/25	輕	台灣東北	小潮
梅花	7/28-8/8	NAN	中	台灣東北	小潮
南瑪都	8/22-8/31	8/28-8/31	中-輕	台灣東南-西	大潮
2012 年侵台颱風資料(6/17-9/30)					
颱風名稱	日期	暴風圈接近台灣	近台規模	接近區域	
傑拉華	9/20-9/30	9/27-9/28	強-中	台灣東部	
天秤	8/18-8/30	8/21-8/29	中-輕	台灣南部-西南-東部	
泰利	6/17-6/20	6/20	輕	台灣西部	
蘇拉	7/27-8/3	7/30-8/2	中	台灣東北-北部	
啟德	8/13-8/18	NAN	輕	台灣南部	
海葵	8/2-8/9	8/7-8/8	中	台灣北部	
杜蘇芮	6/26-6/30	6/28-6/29	輕	台灣南部海岸	

表 3-1 中，颱風日期為氣象局發布警報至解除警報之時段，暴風圈接近台灣的判定為氣象局定義之颱風影響範圍網格開始覆蓋到台灣本島的期間，近台規模為颱風接近台灣時的強度，接近區域為颱風最初登陸台灣的地方。2012 年無潮位資料係因資料收集期間，氣象局潮位觀測資料僅提供至 2012 年 3 月，故無 2012 年颱風侵襲時(6 月至 9 月)之潮位觀測資料。

透過上表，我們以花蓮港為代表，將 2009 至 2011 年颱風侵襲台灣時的潮汐觀測資料繪製成圖，如圖 3-1 至 3-3 所示。選擇花蓮港做為代表，係因花蓮港潮位站位於台灣東部，2009 至 2011 年的颱風路徑大多為自台灣東部登陸，故花蓮港可視為

最早受到颱風影響之潮位站，其潮位資料亦未受到地形影響，為最能呈現颱風期間水位異常變化之測站。但因資料空缺數量太多，在圖 3-1 至 3-3 的資料展示中，均可看到資料中斷的情況(如圖 3-1 與 3-4 紅框處)，故在後續的調和分析上並未採用。

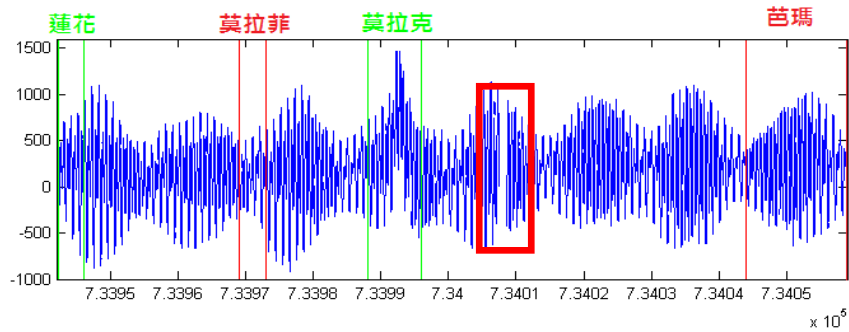


圖 3-1、2009 年颱風期間潮汐水位圖

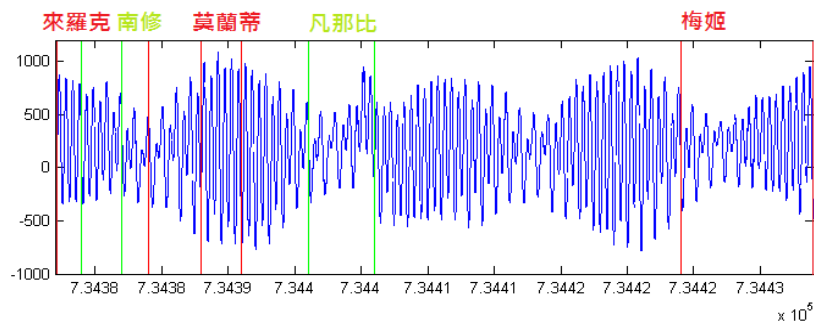


圖 3-2、2010 年颱風期間潮汐水位圖

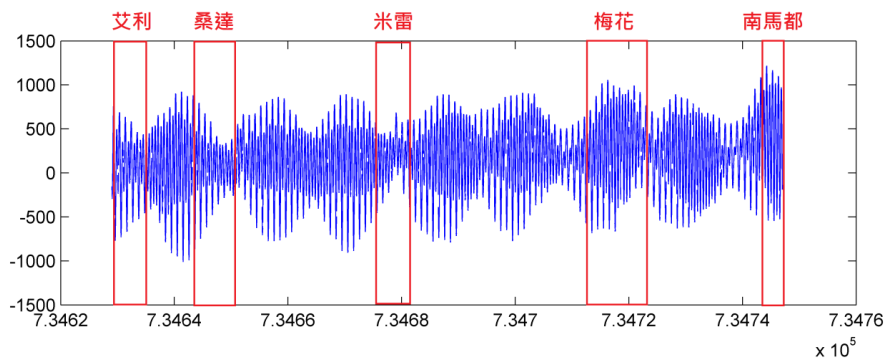


圖 3-3、2011 年颱風期間潮汐水位圖

經由圖 3-1 至 3-3，可初步分析出 2009 年至 2011 年較為明顯的暴潮現象，分別為 2009 年莫拉克颱風 (圖 3-4)與 2010 年的凡那比颱風(圖 3-5)。

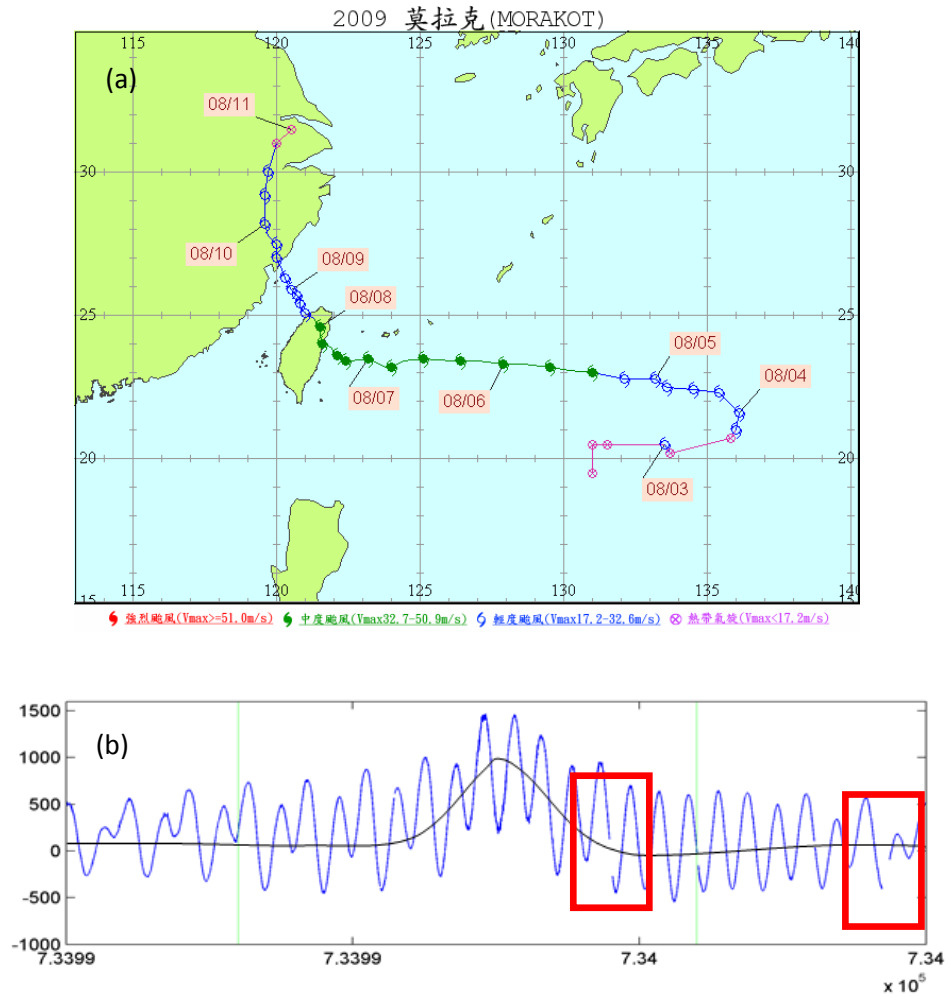


圖 3-4、2009 年莫拉克颱風路徑與潮位圖，圖(b)中紅框框起處為資料缺漏時段。

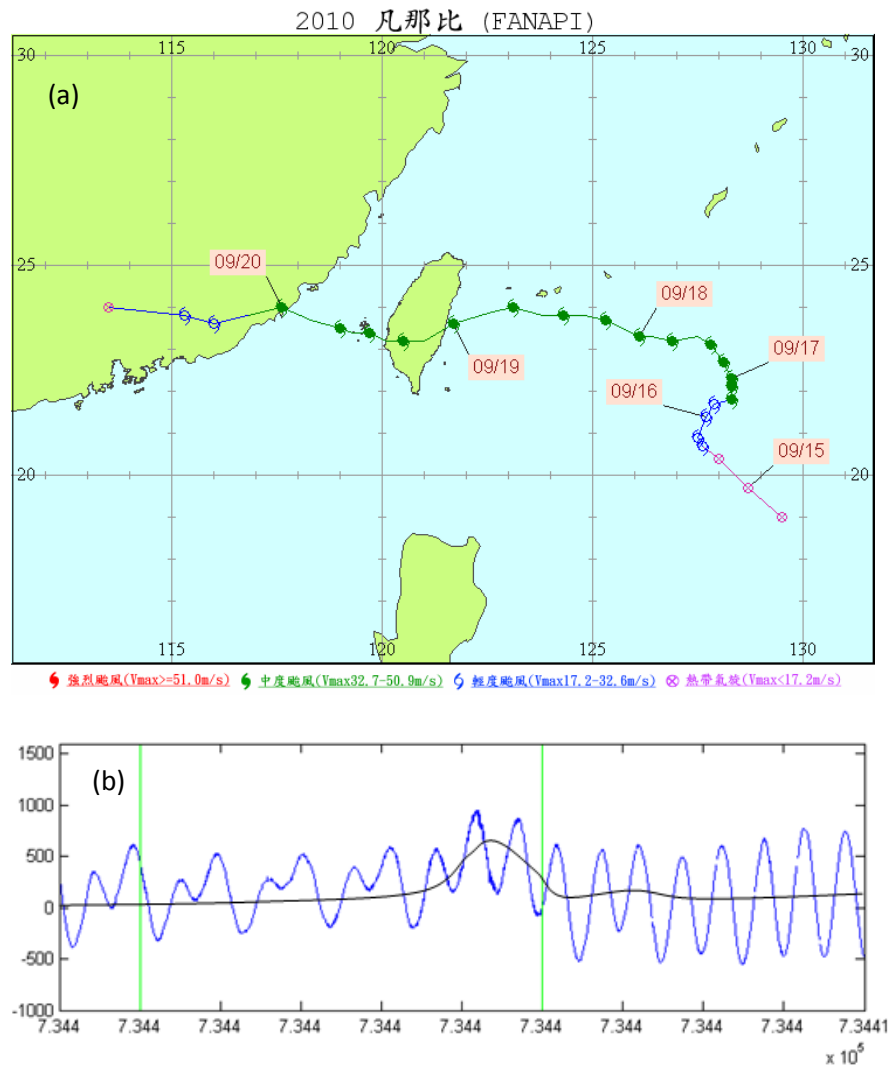


圖 3-5、2010 年凡那比颱風路徑與潮位圖

圖 3-4、3-5 中，圖(a)為氣象局公布之颱風路徑圖，圖(b)為颱風期間之潮位變化圖，兩條綠色線段所框住之範圍為颱風侵襲的時段，黑色線段為潮汐水位變化趨勢線。

在潮汐沒有外力影響水位變化的情況下，潮汐水位變化趨勢線應為數值為 0 的水平線，但在颱風來臨期間，水位出現異常抬升，故水位變化趨勢線會有向上擺動之現象。由圖 3-4、

3-5 可見，莫拉克颱風與凡那比颱風侵台期間(綠色線段框起處)，潮汐水位均有明顯異常抬升，但因兩者的暴潮特徵明顯，國內已經有學者針對該現象進行詳細研究(郭、2011，李、2011)，故在接下來的調和分析法，以 2011 年侵台的颱風為主要研究對象。

開始分析暴潮資料前，我們針對收集到之氣象局潮位站資料進行了資料產出率之統計，如表 3-2 所示。之後，選出資料產出率在 80% 以上，並且擁有 2011 年潮位資料之測站進行調和分析。

表 3-2、氣象局潮位資料產出統計表

站號	站名	資料擷取時間	缺漏筆數	資料總筆數	資料產生率
110	淡水	1991/6/19-1995/10/17	49161	379370	87.04
1102	淡水	1999/6/28-2012/3/31	163155	1118520	85.41
120	麟山鼻	1999/2/26-2002/10/14	155252	318180	51.21
1306	臺北港	2007/12/7-2012/3/31	108683	378480	71.28
180	富基	1997/1/30-1997/6/26	0	35300	100.00
1801	富基	1998/12/30-1999/12/31	5	87820	99.99
111	竹圍	1992/10/1-2007/12/31	160886	1336800	87.96
1116	竹圍	2007/1/1-2012/3/31	25140	460080	94.54
131	彭佳嶼	1998/3/22-1998/5/15	939	12970	92.76
1315	彭佳嶼	2008/12/2-2012/3/31	78953	291700	72.93
1516	基隆	2006/8/1-2012/3/31	30948	496800	93.77
181	鼻頭	1998/12/31-1999/12/31	252	87570	99.71
1223	龍洞	1996/8/20-1997/6/19	0	72690	100.00
1226	龍洞	2001/5/10-2012/3/31	67463	954830	92.93
1821	福隆	2007/6/13-2012/3/31	36814	420790	91.25
113	外埔	2003/7/1-2012/3/31	122288	167280	26.90

123	梗枋	1996/5/1-2008/5/29	22575	1058580	97.87
1236	烏石	2006/1/14-2012/3/31	18808	544560	96.55
183	馬崗	1998/12/31-1999/12/31	8	87570	99.99
114	王功	1994/3/8-1998/5/31	69241	370880	81.33
124	蘇澳	1991/11/1-2005/10/20	366993	1224580	70.03
115	箔子寮	1995/4/1-2004/6/7	81944	805440	89.83
115a	箔子寮	1996/9/25-1997/1/3	44	23980	99.82
125	花蓮	1991/6/27-2003/9/1	427841	1067770	59.93
1256	花蓮	2003/12/1-2012/3/31	233617	728060	67.91
135	澎湖	1991/6/21-2007/11/30	128105	1441510	91.11
1356	澎湖	2007/11/24-2012/3/31	12199	381470	96.80
116	東石	1993/1/1-2004/8/21	55831	1020080	94.53
1162	東石	1999/3/11-2012/2/24	53646	1135900	95.28
1366	塭港	2003/1/1-2012/3/31	23566	810720	97.09
1176	將軍	2002/1/1-2012/3/31	43463	898320	95.16
127	成功	1993/3/1-2005/12/6	245614	1119350	78.06
118	東港	1998/3/11-2003/7/10	165141	467270	64.66
1186	東港	2003/12/10-2012/3/31	48468	728230	93.34
138	小琉球	1998/3/11-2001/7/3	108266	290420	62.72
1386	小琉球	2002/1/1-2012/3/31	36606	898320	95.93
119	後壁湖	1996/5/17-2007/11/30	128046	1011600	87.34
1196	後壁湖	2007/1/1-2012/3/31	36301	460080	92.11
139	蘭嶼	1992/7/23-2007/9/5	480120	1325270	63.77
1396	蘭嶼	2007/1/1-2012/3/31	80704	460080	82.46

經由表 3-2，選出潮汐資料涵蓋 2011 年全年的潮位站，如圖 3-11 所示，共有 17 個潮位站符合條件。再從這 17 個潮位中選出資料產出率高達 80% 以上之潮位站，經過挑選，共有 13 個符合條件的潮位站，分別為淡水、竹圍、基隆、龍洞、福隆、烏石、後壁湖、將軍、塭港、東石、蘭嶼、小琉球、澎湖等，而台北港因位於淡水河口，地理位置重要，雖資料

產出率僅達 71%，也將其納入。測站地理位置如圖 3-12 所示。

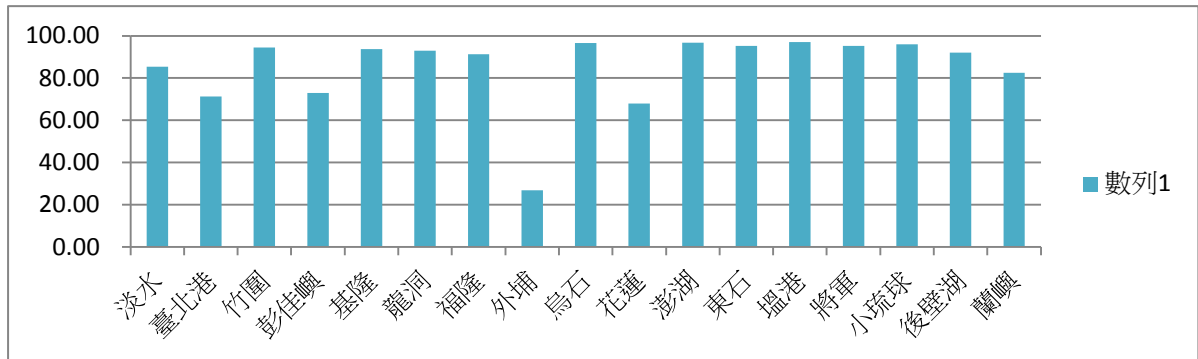


圖 3-11、2011 年潮位資料潮位站列表。

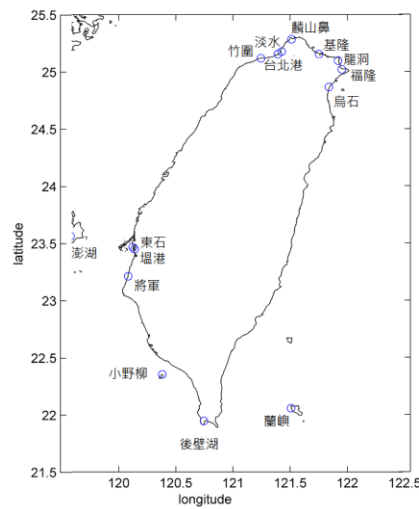


圖 3-12、暴潮分析選定潮位站之地理位置。

3-2 暴潮分析案例說明

經過調和分析的計算，可以得到天文潮的水位隨時間變化的資料，即是在理想狀況下(無颱風天災等環境因素影響)的潮汐水位。而當我們收集到潮位站的潮汐水位資料時，則會發現

潮汐水位的數值會因颱風、氣候或各種環境變數而產生變化，導致實際潮汐水位資料和天文潮水位資料會有若干差異。如圖 3-6 所示以竹圍港在 2011 年的資料為例，來比對實際觀測得到的潮汐資料與天文潮資料，圖中紅色線段為實際潮位站測得的水位高度，藍色線段為解析天文潮的水位高度，很明顯地兩者之間並沒有完全契合，紅色線(實際觀測水位)在某些時段會比藍色線(天文潮水位)還要高，表示我們利用調和分析所求得的天文潮(預報潮)會有低估實際潮位高度的情形發生，如圖 3-7 所示即為天文潮與實際觀測水位的差異。換言之，此亦即是水位異常值 ΔH ，在圖 3-7 中以 $\zeta(h)$ 表示之，其計算方式如下式所示：

$$\Delta H = \text{實際觀測水位} - \text{天文潮水位} \quad (3-3)$$

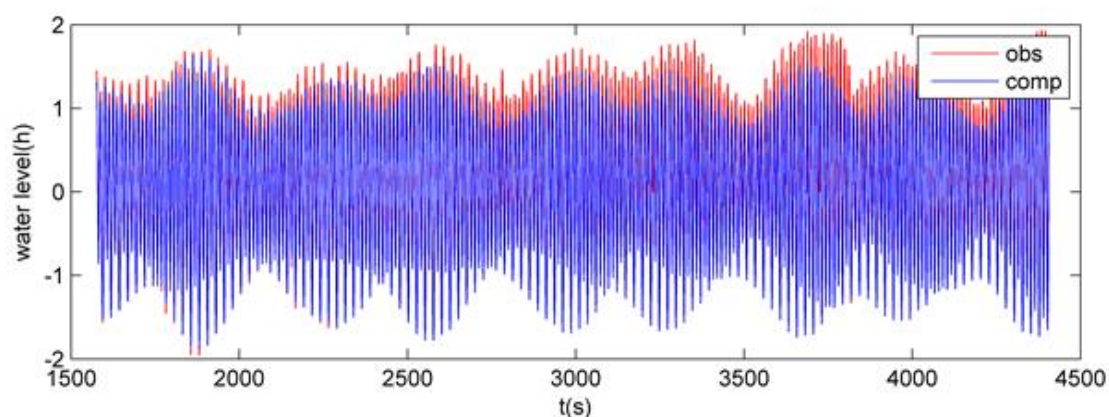


圖 3-6、合成天文潮與實際潮位之水位比對，紅色線為實際觀測水位，藍色線為預報潮水位。

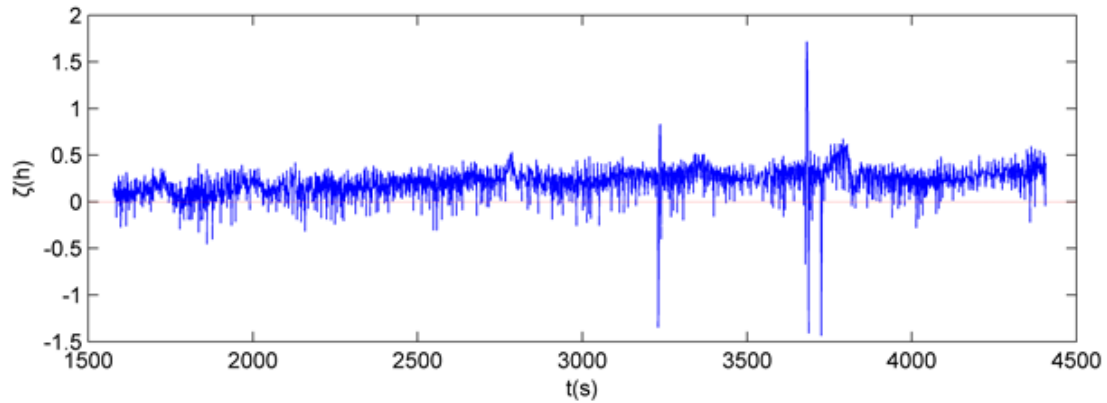


圖 3-7、合成天文潮與實際潮位分析之水位差異。

經過上式的計算，可得到該時間的水位差異 ΔH ，將該測站長時間的 ΔH_{avg} 做一個平均，即可得到該測站平均的水位差異，取用平均的時間越長， ΔH_{avg} 的值越準確。

在暴潮的分析上，係以暴潮強度(ΔS)來進行判別暴潮的發生程度。標準積分 $\Delta S = \text{暴潮偏差}(\Delta H - \Delta H_{avg}) / \text{標準差}$ 。暴潮偏差通常假設其分布為常態分布做為基準來判別暴潮是否發生，依照此假設，在常態分析上，其標準計分在-3~3之間的觀測站99.7%，在此範圍外即視為異常現象。故當 ΔS 大於3時，定義為暴潮， ΔS 大於2.5則為弱暴潮。

以塭港為例來進行暴潮分析，取用2011年八月份的水位觀測資料，如圖3-8中黑色線段所示。另外，利用調和分析計算所得出之合成天文潮資料如圖3-8中紅色線段所示。由圖中可看出有些時段這兩種水位資料間仍有些許差異存在。

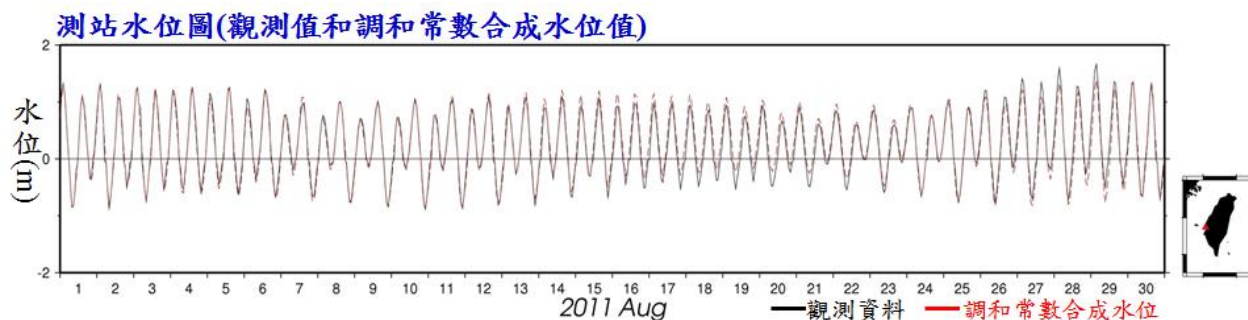


圖 3-8、塭港 2011 年八月份的合成天文潮水位與實際觀測資料水位比較圖，黑色線段為觀測資料，紅色線段為調和常數合成資料。

利用公式(3)將前述之水位差異 ΔH 計算出來，即可得到圖 3-9 所示之實際觀測水位與合成天文潮水位之差異。由圖中可看到在此案例中，最大的差異 0.4 公尺。

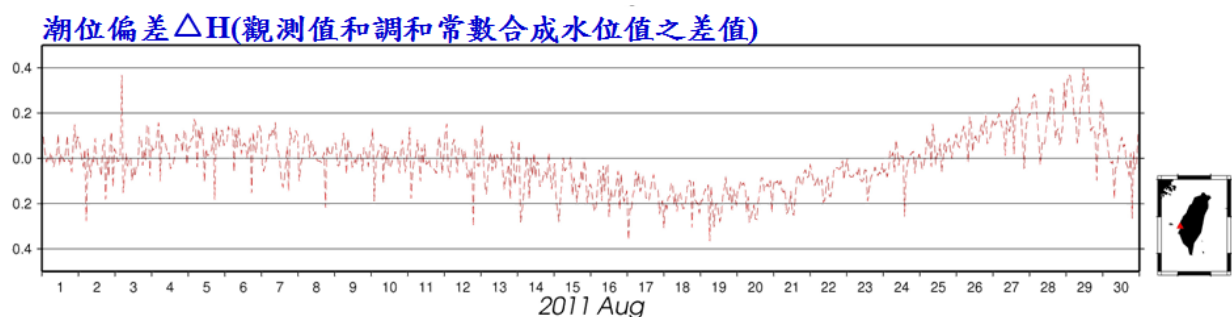


圖 3-9、塭港 2011 年八月份的水位差異 ΔH 。

暴潮強度之判別係由前述標準積分 ΔS 來界定，接著將計算所得水位差異 ΔH 代入計算求得 ΔS 值。然後，依暴潮強度的定義值標示於如圖 3-10 所示之 ΔS 時系列圖，即可依此判定線來標示出暴潮強度。圖 3-10 中藍色線為 ΔS 為 3 以上之暴潮，紅色線為 ΔS 為 2.5 以上之弱暴潮，而當水位差異值 ΔH 高於判定線，則可判斷有暴潮現象發生。

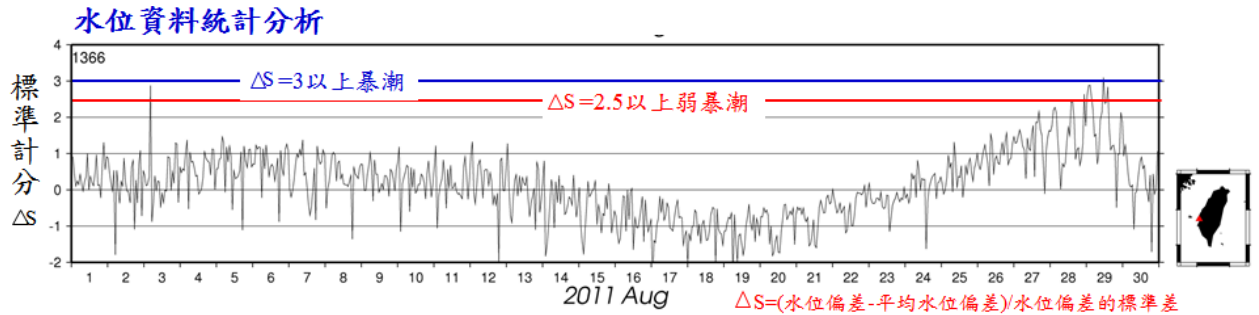


圖 3-10、塭港 2011 年八月份的暴潮判定示意圖。

分析結果由圖 3-10 可知，塭港在 2011 年 8 月 28 日至 29 日期間，曾有發生 ΔS 高達 3 的暴潮現象，經比對中央氣象局颱風資料，確認 2011 年 8 月 27 日至 31 日台灣的確遭受南馬都強烈颱風侵襲，故而引起塭港的水位紀錄呈現有暴潮發生之現象。

3-3 暴潮分析結果與討論

經過調和分析與實測潮汐資料比對後，得到 14 個潮位站的水位異常變化(ΔH)，圖 3-12 至圖 3-16 為 2011 年 5 個侵台颱風過境期間之水位異常變化(ΔH)與路徑對照圖。

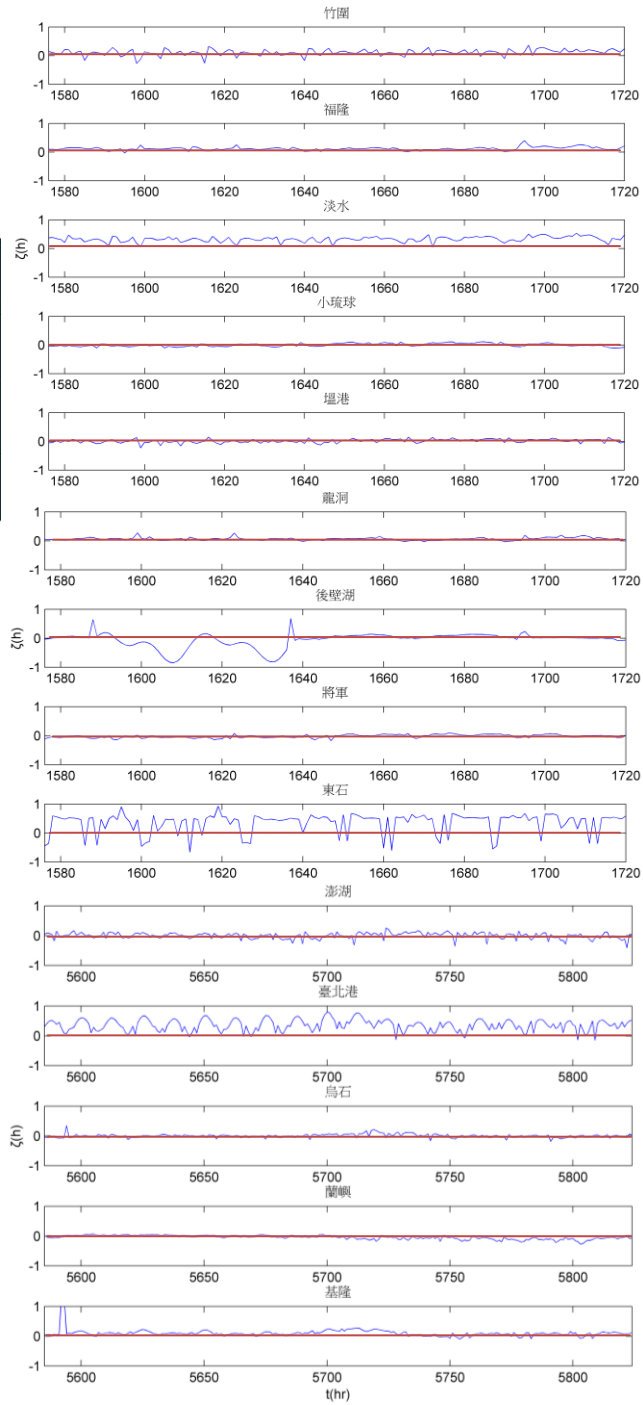
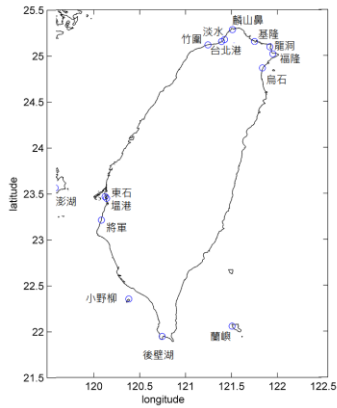
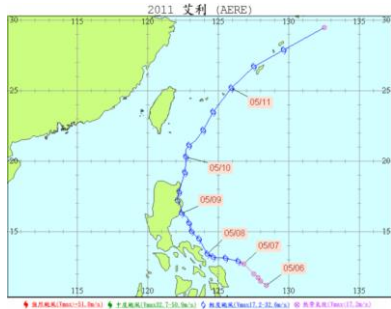


圖 3-12、艾利颱風侵台期間，台灣各潮位站之 ΔH 分析。

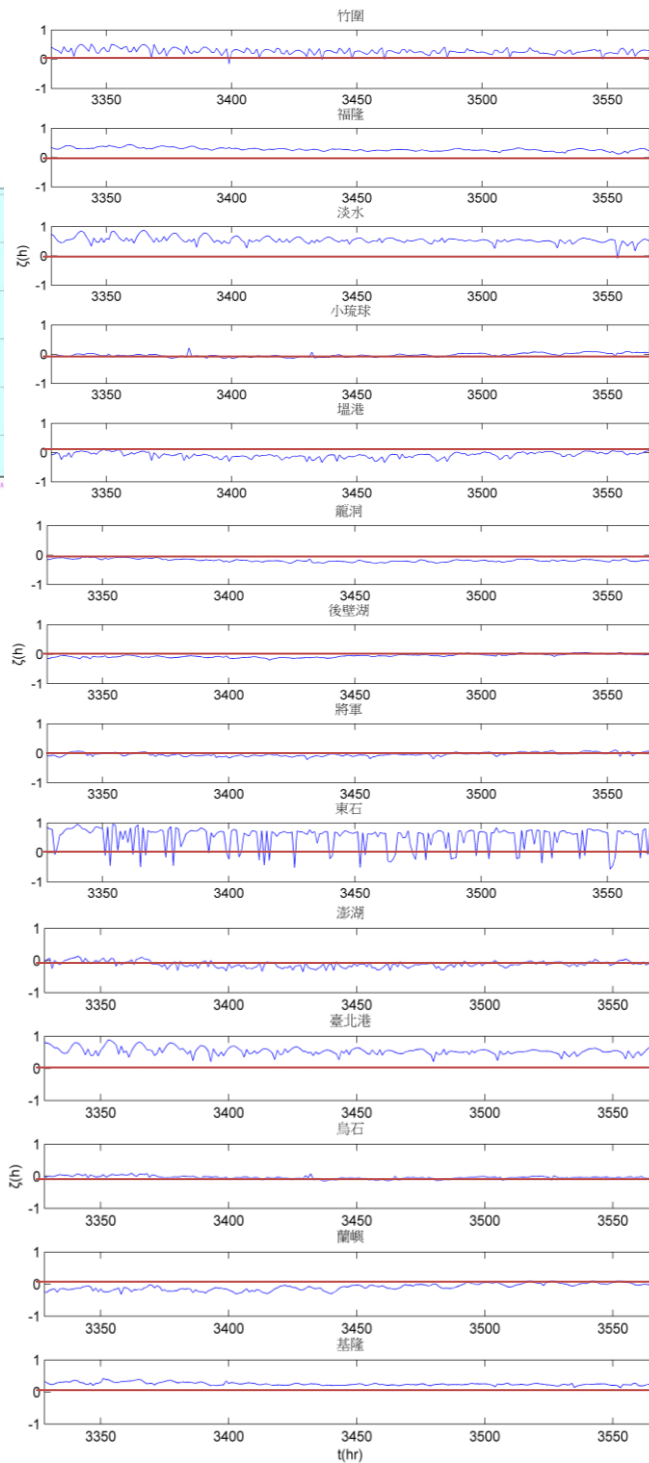
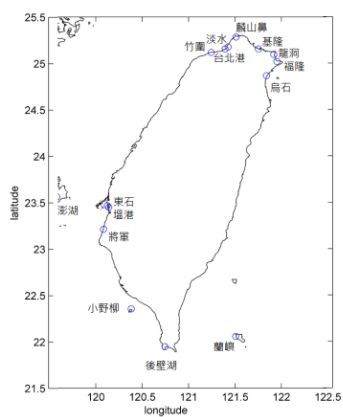


圖 3-13、桑達颱風侵台期間，台灣各潮位站之 ΔH 分析。

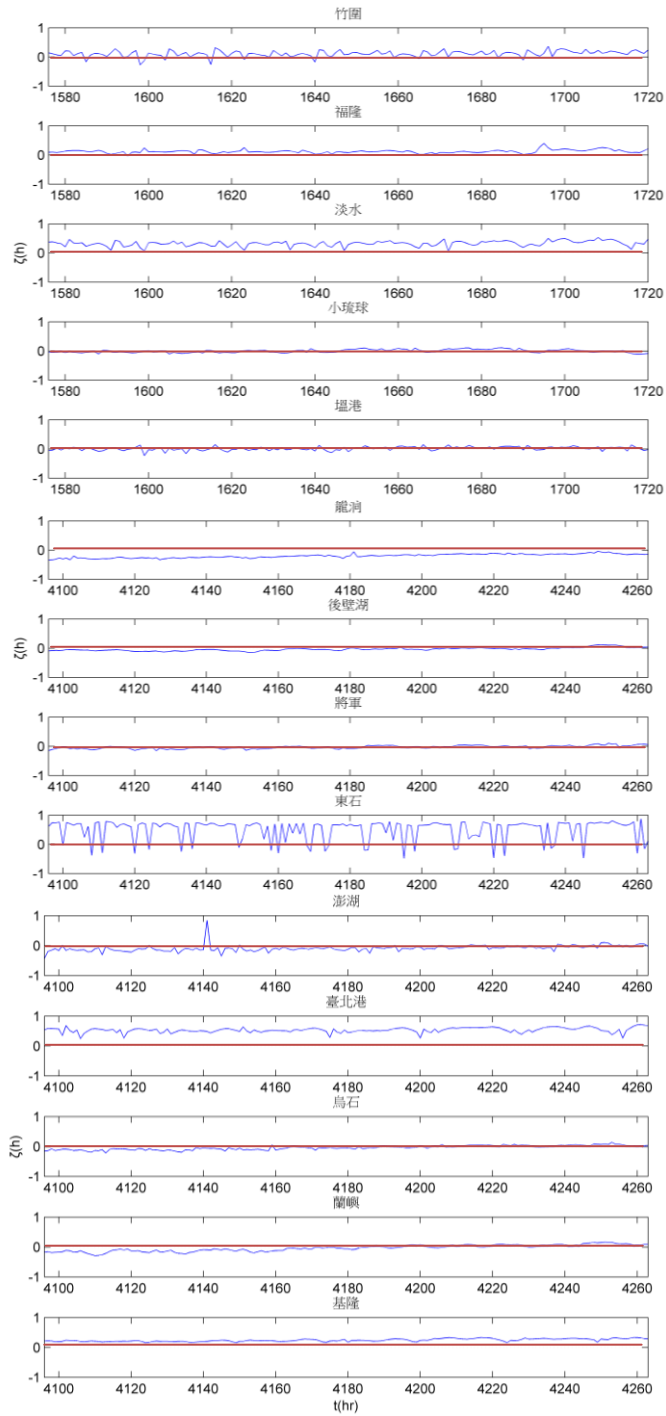
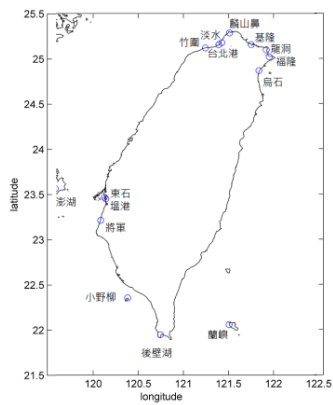


圖 3-14、米雷颱風侵台期間，台灣各潮位站之 ΔH 分析

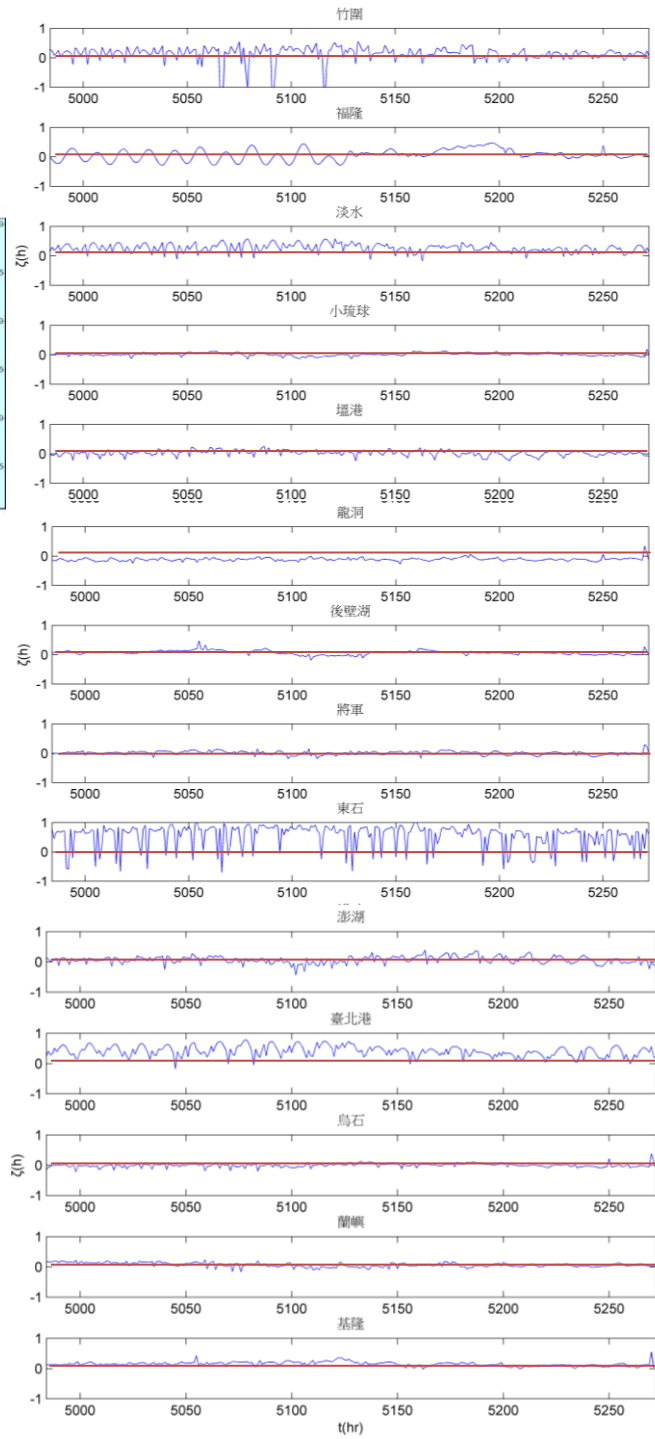
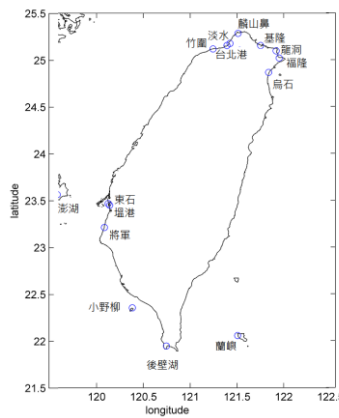
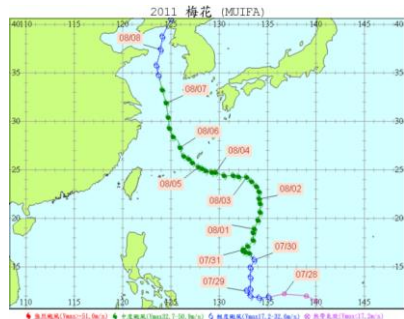


圖 3-15、梅花颱風侵台期間，台灣各潮位站之 ΔH 分析

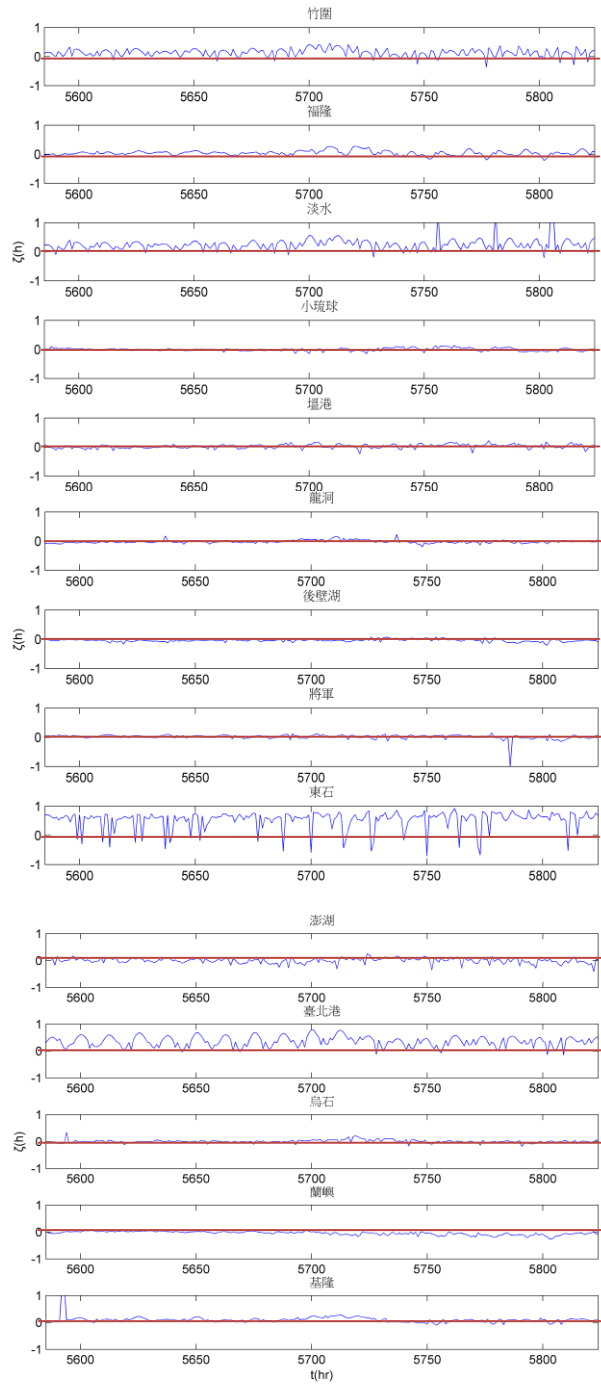
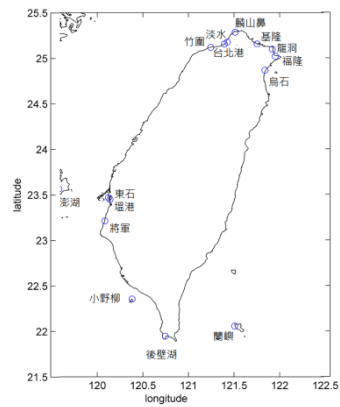
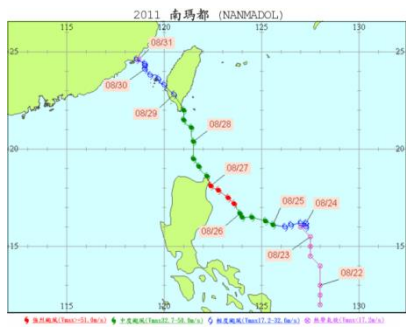


圖 3-16、南瑪都颱風侵台期間，台灣各潮位站之 ΔH 分析

根據圖 3-12-3-16，可將 2011 年侵襲台灣的五個颱風對台灣的影響進行進一步分析。艾利颱風路徑為自台灣東南海域順著台灣東岸往北移動(6 號路徑)，距離台灣較遠，強度為輕颱，因此無明顯暴潮現象發生。

桑達颱風在靠近台灣的過程中由中級颱風轉為強烈颱風，再轉為中級颱風，路徑為自台灣東南海域順著台灣東岸往北移動(6 號路徑)，由於颱風逆時鐘旋轉的特性，導致影響台灣的主要颱風風向為由北往南吹拂之北風。因此推測後壁湖的水位受到由北往南的暴風吹襲，造成海流往南移動，以致於颱風侵襲期間的水位異常變化反而有略為低於基準線的趨勢。相對於北部的基隆測站，則因面向颱風暴風吹拂方向，故水位有抬升現象。但因颱風實際影響台灣時已經逐漸減弱(由強颱轉為中颱)，因此較無明顯暴潮現象發生。

米雷颱風路徑為自台灣東南海域順著台灣東岸往北移動(6 號路徑)，距離台灣較遠，強度為輕颱，因此無明顯暴潮現象發生。

梅花颱風的路徑為自台灣東南海域順著台灣東岸往北移動(6 號路徑)，距離台灣較遠，僅有 8 月 5-6 日較為接近台灣北部，接近時強度為中颱，期接近時間對應基隆潮位站水位

時間序列圖 5700-5750 之間，可見水位異常變化有明顯抬升，可能有暴潮現象產生。

南瑪都颱風為 2011 年發布警報之颱風中，唯一登陸台灣之颱風，路徑為自台灣東南海域潮稀北移動(4 號路徑)，颱風發展期間距離台灣較遠，雖然強度一度達到強颱等級，但在登陸台灣之前就已減弱至輕颱等級。但因台風生成時間長(8/22-31)，因此到達台灣時仍然造成影響。竹圍、福隆、基隆、龍洞、烏石、塭港、小琉球等測站，均可看到水位異常抬升之現象，判斷有暴潮現象發生。

四、結論

本研究之分析方法可解析天文潮之各分潮之調和分量，亦即各分潮之相關加權係數，進而可推算合成天文潮水位。並且利用合成天文潮與實際觀測水位間的水位異常值，可計算暴潮強度之標準積分值，進而依此來判定暴潮強度。本方法經過多次驗證，均獲得良好結果，具有極高之可信度，可在往後的研究過程中，提供有效的分析技術參考依據。

但在本報告中的暴潮分析結果並未看出明顯暴潮現象，工作團隊質疑其原因應是在進行調和分析的過程中，使用之分潮的分量數量不夠，以至於天文潮之解析程度不足，無法有效濾

除實測潮汐資料受天文運動影響產生之潮汐慣性起伏曲線，導致水位異常值的變化不明顯，因此仍需要進行調整，後續將再進行更詳細之分析。

參考文獻

1. 郭裕農，2011，”應用 Hilbert-Huang Transform 分析颱風暴潮之研究”，交通部高雄港務局研究成果報告
2. 李芳君、許榮中，2011，“斜向颱風巨浪作用下海岸緩衝帶寬度的預估”，第 33 屆海洋工程研討會論文集
3. 邱銘達、高家俊、馮智源、江俊儒，2006，”颱風暴潮數值推算準確度提升之研究”，第 28 屆海洋工程研討會論文集
4. 張國棟、邱啟敏、張國強、董東璟、陳惠玲，”台灣暴潮與颱風的迴歸分析”台灣海洋工程學會
5. 張永欣，2008，”考慮氣壓變化的暴潮偏差分析”，國立交通大學土木工程研究所，碩士論文
6. Eastcoast, 2001, “A Tidal Constituent Database for Western North Atlantic, Gulf of Mexico, and Caribbean Sea”