

委託機關：中央氣象局

計畫名稱：台灣附近海域波浪預報模式研究（波浪部份）

金額：新台幣玖拾貳萬貳仟元整

時間：民國 73 年 9 月 1 日至民國 74 年 8 月 30 日

計畫主持人：所長 梁 乃 匡

研究人員：研 究 員：陳 陽 益

副 研 究 員：張 瀚 達

簡 仲 璟

蘇 青 和

助理研究員：曾 相 茂

助 理：江 中 權

目 錄

一、前 言.....	1
二、資料蒐集.....	3
三、季風預報模式.....	29
四、颱風預報模式.....	39
五、颱風受陸地影響的修正.....	91
六、討論與結論.....	94
七、誌 謝.....	94
八、參考文獻.....	95

一、前言

人類在海洋從事航行、漁撈及施工等活動時，以受波浪的影響最爲嚴重。因此若能夠預先知道海上的波浪狀況，則必將對人類在海洋的活動有莫大的幫助；反之，如果在海上航行或進行探測等工作而不能預知海面的波浪狀況，則必會心生「天有不測風雲」的恐懼，因此波浪的預報對任何一個海權國家都十分的重要。

從事波浪的預報首先要有可靠的海面風場資料，因此本計畫分成兩個子計畫，有關海面上風場資料的收集整理分析等工作，由中央氣象局負責；而本所則負責建立由風場推算浪場的電腦程式，經由兩計畫間的密切配合，逐步完成以實際應用於海浪預報工作。

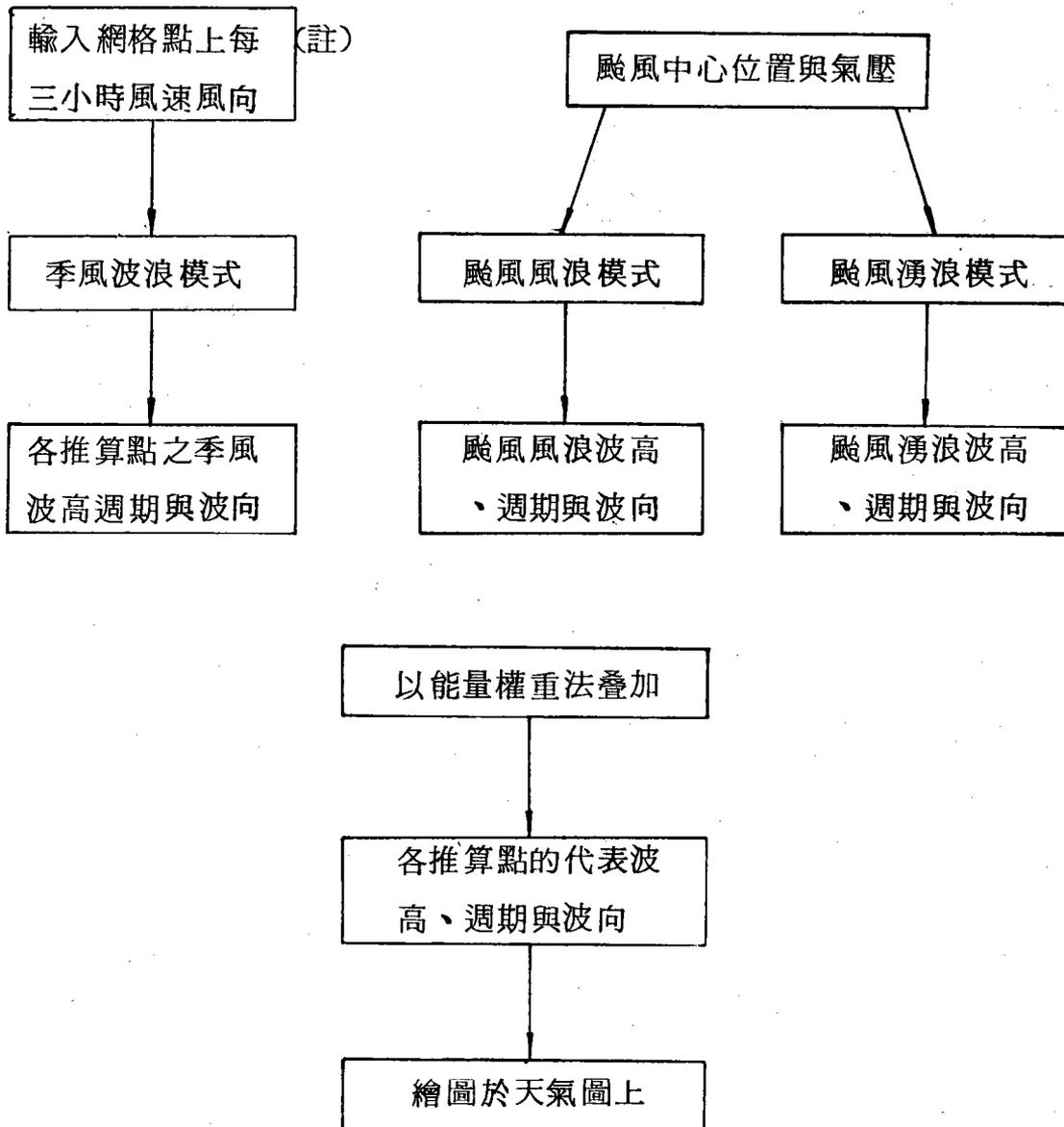
由於浪乃因風而生，所以風的區分也直接影響到風浪預報的分類。在臺灣的風季主要分成冬季東北季風期及夏季颱風期，風浪的預報模式也大致分爲上述二類。

波浪的推算主要分爲兩類：代表波法與波譜法。前者較簡單實用，後者理論架構較完美。因爲波浪的生成過程十分複雜，而海面風的資料很難獲得，所以兩種方法都需要經驗常數，推算結果孰優、孰劣，並無定論。由於波譜法可以求得波譜，計算量比較龐大，而在氣象預報作業上只要代表波就足夠了，因此本計畫採用代表波法。一般季風波浪的代表波推算用SMB法，但在使用SMB法時不易決定吹風域長度且含有人爲主觀因素，另外對受限制海域（如臺灣海峽）而言，預報波高偏大，而梁乃匡提出的面積風域法經在臺灣使用效果良好，尤其適合於邊際海域的形狀不規則地區，因此本計畫用面積風域法來預報季風波浪。

颱風波浪的預報方法，有湯麟武的移動風域數值推算法、井島武士的追蹤法及Bretschneider的經驗參數法。前二者的計算量皆十分龐大，而且應用後之計算值與實測值比較發現最大波高到達時間與實際上常有出入，而颱風來臨前後的波高也相差懸殊，惟最大波高值與實測值頗爲接近，因此用來作工程上的決定設計波可行，而若用作氣象上之波浪預報則不合適。Bretschneider的方法在試用後發現其並未考慮湧浪的成份，梁乃匡乃予以修正，加入颱風湧

浪成份後，經試用發現結果良好，而且本法計算量不大，適合氣象預報之用，所以本計畫用此方法預報颱風波浪。

本計畫波浪預報流程圖如下：



註：凡在颱風 10 R 半徑內之網格點的風速風向歸零以免與颱風資料重複，R 為颱風最大風速半徑。

輸入風的資料方式有二：1. 在固定的網格點上輸入每三小時一次的海面上十公尺的平均風速風向，2. 颱風中心位置與氣壓。颱風波浪尚需考慮因陸地的遮蔽及颱風風場在陸地上之影響修正。

二、資料蒐集

原始資料包括風資料，波浪資料，水深地形資料及選用的推算和驗證資料。

1、風資料

風是造成波浪主因，因此，在探討波浪時必先了解風之特性，而風速、風向、吹風延時及吹風域大小是分析風特性之重要項目。

一般海面的風主要分爲兩類：季風與颱風。季風的風速與風向比較均勻穩定，一年內它又分爲三期：冬季季節風期（約在每年11月下旬至3月上旬），主要爲東北季風；夏季季節風期（約在每年5月下旬至9月下旬），主要爲西南季風；及冬夏交替期（約在每年3月下旬至5月上旬和10月上旬至11月上旬），本期氣象型態很多、變化快、週期短、型式雖多，但強度都不大，持續時間也短。

颱風是太平洋的熱帶性低氣壓旋，在北半球爲移動性的反時針旋轉氣流，颱風主要在夏季發生，而七月及八月兩月是出現颱風頻率最高的月份。

1.1 風資料之蒐集

季風資料用於季風波浪推算——面積風域法，故以能代表海面上風資料的測站爲主，另外加上不受地形地物影響的近岸資料，經選擇性的收集後，季風資料如表 2.1-1 所示。

颱風資料由中央氣象局提供近 34 年來（1949—1982）之颱風路徑及其相關氣壓資料。歷年發生之颱風名稱及時間如表 2.1-2 所示。颱風的路徑及相關氣壓資料，選二個颱風爲例，如表 2.1-3（例一）及 2.1-4（例二）。

1.2 風資料相關分析

全面收集台灣四周（海面和近岸）長期風之資料甚爲困難，尤其海面上之風資料收集更是不易，因此我們選定幾個較具代表性且有長期風資料的測站做參考點，而在其他不易設測站之地點做短期的記錄，在二者間求其相關大小及時間延遲。假設二者有良好的相關，我們則可建立二者之時間轉換函數（time response function），而以長期測站的風資料，推算有短期記錄之測站的

風特性。

1.2.1 風資料相關分析理論

令測站A及測站B之風速資料時序分別為 $X(t)$ ， $Y(t)$ ， $t = 0, 1, 2, 3, \dots$ 若時序 $X(t)$ ， $Y(t)$ 皆為定常，零平均值，則自變異函數(auto-covariance function)及互變異函數(cross-covariance function)分別為

$$C_{xx}(\tau) = E [X(t) \cdot X(t + \tau)] \dots\dots\dots (2.1)$$

$$C_{yy}(\tau) = E [Y(t) \cdot Y(t + \tau)] \dots\dots\dots (2.2)$$

$$C_{xy}(\tau) = E [X(t) \cdot Y(t + \tau)] \dots\dots\dots (2.3)$$

其中 $E []$ 表期望值

τ 為時間延遲(time lag)

自相關函數(auto-correlation function) 和互相關函數(cross-correlation function)

分別為： $R_{xx}(\tau) = C_{xx}(\tau) / C_{xx}(0) \dots\dots\dots (2.4)$

$$R_{yy}(\tau) = C_{yy}(\tau) / C_{yy}(0) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$R_{xy}(\tau) = C_{xy}(\tau) / C_{xy}(0) \dots\dots\dots (2.6)$$

自相關函數為偶函數

$$R_{xx}(-\tau) = R_{xx}(\tau) \dots\dots\dots (2.7)$$

$$R_{yy}(-\tau) = R_{yy}(\tau) \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\text{且 } |R_{xx}(\tau)| \leq 1, |R_{yy}(\tau)| \leq 1 \dots\dots\dots (2.9)$$

$R_{xx}(\tau)$ 表示資料時序 $X(t)$ 在任二點時間延遲為 τ 之相關大小，其值愈大，表示相關性愈大。

互相關函數 $R_{xy}(\tau)$ ，表示資料時序 $X(t)$ 與時序 $Y(t)$ 在任何二點之時間延遲為 τ (X 領先 Y)之相關大小。若取相關值最大所對應之時間延遲以最小平方法可求得二測站之時間轉換函數。

1.2.2 季風資料相關分析結果

在面積風域法中，推算冬季季風所形成的波浪需要東海、黃海海上的風資料。但此區域之海上風資料甚少，故以相關分析的方法求取此區域中選擇有短期風資料的六測點(經緯度如表2.1-5)和有長期風資料的彭佳嶼間的相關。若有良好的相關，即可以彭佳嶼的資料經轉換函數替代此六測點的風資料。

表 2.1-1 風速風向測站名稱及時間表

測 站 名 稱	時 間	提 供 單 位
東 吉 島	1965/01/01-1983/12/13	中央氣象局
花 蓮	"	"
蘭 嶼	"	"
彭 佳 嶼	"	"
澎 湖	"	"
新 港	"	"
台 東	"	"
大 武	"	"
台 中 港	1974/01/01-1975/03/31	中 港 局
觀 音	1981/12/01-1982/09/30	港 研 所
東 沙	1979/01/01/-1983/12/31	海軍氣象中心
南 沙	1979/01/01-1983/12/31	海軍氣象中心
大 鵬 灣	1979/01/01-1984/12/31	高 港 局

表 2.1 - 2 歷年颱風名稱及時間表 (續)

年	颱風名稱	發生時間
1949	IRVA	06.28.00-06.29.12
	NELLY	09.13.06-09.15.00
1950	OSSIA	10.01.00-10.04.00
	CLARA	11.09.12-11.11.18
1951	MAGGIE	08.11.18-08.15.00
	PAT	09.25.00-09.28.12
	RUTH	10.12.06-10.14.00
1952	GILDA	07.16.00-07.19.00
	DINAH	07.20.18-07.22.18
	HARRIET	07.28.18-07.29.12
	MARY	07.31.18-08.02.16
	BESS	11.13.00-11.14.00
	DELLA	11.25.00-11.27.00
1953	JUDY	05.05.00-05.06.06
	KIT	07.03.00-07.04.00
	NINA	08.16.00-08.17.00
	PHYLLIS	08.20.00-08.20.18
	RITA	08.31.00-09.01.12
	CAYIA	11.17.18-11.20.00
1954	IDA	08.28.00-08.29.00
	PAMELA	11.04.00-11.07.00
	RUBY	11.08.12-11.10.06
1955	IRIS	08.22.18-08.23.12
1956	THELMA	04.22.12-04.24.00
	WANDA	07.31.00-08.01.18
	DINAH	09.02.00-09.04.06
	FREDA	09.14.06-09.18.00
	GILDA	09.21.00-09.23.12
1957	CARMAN	09.09.06-09.14.18
	GLORIA	09.24.12-09.25.12
1958	WINNIE	07.14.00-07.16.00
	GRACE	09.02.00-09.04.00

歷年颱風名稱及時間表 (續)

年	颱風名稱	發生時間
1959	BILLIE	07.14.18-07.16.00
	IRIS	08.22.00-08.23.00
	JOAN	08.29.00-08.30.12
	LOUISE	09.03.00-09.04.12
	BABS	10.08.00-10.09.18
	FREDA	11.17.18-11.19.06
1960	MARY	06.09.12-06.10.06
	SHIRLEY	07.30.12-08.01.18
	TRIX	08.07.06-08.08.18
	AGNES	08.13.12-08.15.00
	ELAINE	08.21.18-08.24.10
1961	BETTY	05.25.18-05.27.06
	DORIS	06.30.00-07.02.12
	ELSIE	07.13.00-07.14.12
	JUNE	08.06.00-08.09.00
	LORNA	08.24.00-08.26.00
	PAMELA	09.11.06-09.12.12
	SALLY	09.27.12-09.28.12
1962	IRIS	06.28.00-06.29.12
	KATE	07.21.12-07.23.06
	OPAL	08.04.06-08.06.06
	AMY	09.03.18-09.06.00
	DINAH	10.01.18-10.03.06
1963	WENDY	07.15.00-07.17.00
	FAYE	09.04.00-09.05.18
	GLORIA	09.09.00-09.13.06
1964	BETTY	07.03.06-07.05.06
	DORIS	07.14.00-07.15.18
	IDA	08.07.12-08.08.12
	SALLY	09.09.00-09.09.20
	TILDA	09.14.00-09.15.12
1965	DINAH	06.17.18-06.19.06
	HARRIET	07.25.06-07.26.18
1966	JUDY	05.30.00-05.31.00
	TESS	08.13.06-08.17.00
	ALICE	09.02.12-09.03.06
	CORA	09.05.00-09.07.00

歷年颱風名稱及時間表 ((續))

年	颱風名稱	發生時間
1967	ANITA	06.29.00-06.30.00
	CLARA	07.10.00-07.12.00
	NORA	08.29.00-08.30.00
	GILDA	11.16.00-11.18.12
1968	NADINE	07.27.18-07.29.00
	WENDY	09.04.00-09.07.06
	ELAINE	09.29.12-09.30.18
1969	VILA	07.27.00-07.28.00
	BETTY	08.07.12-08.08.12
	ELSIE	09.26.00-09.27.06
	FLOSSIE	10.01.00-10.05.00
1970	OLGA	07.02.00-07.03.12
	WILDA	08.11.00-08.13.06
	FRAN	09.06.00-09.08.00
1971	LUCY	07.20.00-07.21.12
	NADINE	07.24.12-07.26.06
	AGNES	09.17.00-09.19.06
	BESS	09.21.12-09.23.06
1972	BETTY	08.12.06-08.18.06
1973	WILDA	07.02.00-07.04.00
	JOAN	08.19.06-08.20.18
	NORA	10.07.12-10.10.06
1974	JEAN	07.18.00-07.19.18
	LUCY	08.09.12-08.11.06
	WENDY	09.26.00-09.29.00
	BESS	10.10.00-10.12.06
1975	NINA	08.02.00-08.03.18
	BETTY	09.21.06-09.23.12
	ELSIE	10.11.12-10.13.12
1976	OLGA	05.25.02-05.27.02
	RUBY	06.29.02-06.30.20
	BILLIE	08.09.02-08.11.08

歷年颱風名稱及時間表 (續)

年	颱風名稱	發生時間
1977	THELMA	07.21.08-07.26.08
	VERA	07.29.08-08.02.02
	AMY	08.17.08-08.25.08
1978	OLIVE	04.24.18-04.26.00
	ROSE	06.23.08-06.25.02
	DELLA	08.11.14-08.13.20
	JRA	10.09.08-10.15.14
1979	GORDON	07.26.14-07.30.08
	HOPE	07.31.12-08.01.18
	IRVING	08.09.08-08.17.20
	JUDY	08.17.02-08.26.20
1980	IDA	07.07.08-07.11.20
	KIM	07.22.02-07.27.14
	NORRIS	08.24.08-08.29.20
	PERCY	09.17.06-09.18.18
	BETTY	10.29.08-11.08.02
1981	IKE	06.09.00-06.14.12
	JUNE	06.17.00-16.22.12
	MAURY	07.17.12-07.20.00
	AGNES	08.26.00-09.02.18
	CLARA	09.15.06-09.21.18
	IRMA	11.19.00-11.25.18
1982	ANDY	07.27.18-07.29.18
	CECIL	08.06.00-08.10.06
	DOT	08.13.06-08.15.12

表 2.1 - 3 颱風路徑及相關氣壓資料表 (例一)

颱風名稱：貝蒂				
發生時間：1980/10/29 ~ 1980/11/08				
月日時	經度	緯度	中心氣壓(毫巴)	移速(節)
102908	154.9	8.3	998.0	35.0
102914	154.1	8.9	998.0	35.0
102920	153.2	9.6	998.0	40.0
103002	152.0	10.2	998.0	50.0
103008	151.5	10.6	994.0	50.0
103014	149.3	11.8	994.0	60.0
103020	147.5	12.4	991.0	60.0
103102	145.7	12.8	981.0	60.0
103108	143.5	13.3	981.0	70.0
103114	140.7	13.5	981.0	80.0
103120	139.6	13.7	981.0	85.0
110102	137.5	13.9	959.0	85.0
110108	136.2	14.0	959.0	90.0
110114	134.6	14.2	960.0	90.0
110120	132.5	14.7	960.0	90.0
110202	131.8	14.8	960.0	85.0
110208	130.4	14.9	960.0	85.0
110214	130.3	14.9	960.0	100.0
110220	129.5	14.8	956.0	100.0
110302	128.5	14.5	959.0	105.0
110308	127.8	14.4	959.0	110.0
110314	127.7	14.4	948.0	110.0
110320	126.6	14.4	942.0	115.0
110402	126.0	14.6	942.0	115.0
110408	124.9	14.7	926.0	115.0
110414	123.7	15.1	928.0	120.0
110420	123.6	15.1	928.0	120.0
110502	121.9	16.5	928.0	100.0
110508	121.2	17.3	928.0	65.0
110514	120.9	17.8	970.0	40.0
110520	120.7	17.8	987.0	45.0
110602	120.9	19.6	988.0	45.0
110608	121.0	19.8	988.0	45.0
110614	121.3	20.4	990.0	40.0
110620	121.8	21.1	990.0	35.0
110702	123.4	22.3	995.0	35.0
110708	125.1	23.5	995.0	35.0
110714	126.3	24.6	995.0	35.0
110720	128.5	25.3	995.0	35.0
110802	131.5	26.5	998.0	30.0

表 2.1 - 4 颱風路徑及相關氣壓資料表 (例二)

颱風名稱：艾達				
發生時間：1980 / 07 / 07 ~ 1980 / 07 / 11				
月 日 時	經 度	緯 度	中心氣壓 (毫巴)	移 速 (節)
070708	136.5	14.5	998.0	20.0
070714	135.4	15.7	994.0	20.0
070720	133.7	16.5	994.0	20.0
070802	131.9	17.1	990.0	23.0
070808	130.2	17.7	990.0	23.0
070814	128.6	18.2	990.0	25.0
070820	127.1	18.7	983.0	28.0
070902	125.8	18.9	983.0	28.0
070908	124.5	19.3	983.0	30.0
070914	123.2	19.8	983.0	30.0
070920	122.2	20.2	983.0	30.0
071002	121.4	20.6	983.0	30.0
071008	120.6	20.9	988.0	28.0
071014	119.4	21.5	988.0	28.0
071020	118.6	21.9	988.0	28.0
071102	118.0	22.1	990.0	25.0
071108	117.6	22.2	990.0	25.0
071114	117.2	22.5	992.0	25.0
071120	116.8	23.2	985.0	25.0

表 2.1-5 海面風向風速表

時間 (1981)年	位置	經度	緯度	經度	緯度	經度	緯度	經度	緯度	經度	緯度	經度	緯度
		125	35	125	33	125	31	125	29	125	27	125	25
月日時	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風速
11 27 00	10	11.6	20	11.0	20	16.6	20	17.1	20	18.5	20	20.2	
06	10	7.9	20	15.8	30	16.6	10	11.9	10	11.9	20	11.3	
12	10	11.6	10	15.5	10	15.2	10	11.0	20	10.2	20	9.4	
18	10	8.5	10	8.8	10	18.0	10	18.0	20	11.0	20	14.6	
11 28 00	10	6.0	20	6.6	10	10.5	20	14.1	20	10.2	20	8.0	
06	20	8.0	20	7.7	20	8.8	20	10.2	20	10.7	20	13.2	
12	30	6.0	30	7.1	40	6.6	40	6.6	40	7.1	50	7.7	
18	20	9.6	20	6.3	20	6.3	30	10.5	50	8.5	50	9.4	
11 29 00	50	12.4	40	9.6	40	9.6	40	7.1	50	12.4	80	15.2	
06	30	12.4	30	10.2	40	9.6	50	8.2	50	8.2	50	9.6	
12	60	8.2	60	8.2	60	9.1	40	9.6	50	10.5	70	7.7	
18	60	6.3	60	8.2	60	9.1	40	9.6	40	8.2	70	11.9	
11 30 00	340	13.8	40	12.4	40	6.3	30	7.7	40	18.6	70	15.2	
06	10	11.9	20	7.1	30	7.1	40	8.0	60	7.1	60	6.3	
12	360	7.4	20	7.7	30	9.1	20	10.5	20	11.0	40	10.8	
18	360	15.2	20	13.8	20	13.8	30	12.4	30	12.4	30	6.9	
12 01 00	10	7.4	10	8.0	20	9.6	20	11.0	20	11.0	20	12.4	
06	360	15.2	360	15.2	360	16.6	360	17.4	20	13.3	20	10.5	
12	360	15.2	360	15.7	360	15.7	360	15.2	10	12.4	10	9.6	
18	10	17.9	360	15.2	360	16.6	10	11.0	10	12.4	20	12.4	

* 風向 (N = 360 , E = 90) 風速 (M / S)

表2.1-5 海面風向風速表

位置 時間 (1981)年	經度	緯度	經度	緯度	經度	緯度	經度	緯度	經度	緯度	經度	緯度
	125	35	125	33	125	31	125	29	125	27	125	25
月日時	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速
12 02 00	10	9.1	360	13.3	360	16.6	10	11.0	10	11.0	80	9.6
06	360	8.0	360	8.5	360	9.6	20	11.0	30	13.0	30	10.8
12	10	6.0	30	10.2	30	11.6	30	14.6	30	15.2	30	9.6
18	20	7.9	20	15.8	20	16.6	40	9.6	40	9.6	40	11.0

* 風向 (N = 360 , E = 90) 風風速 (M / S)

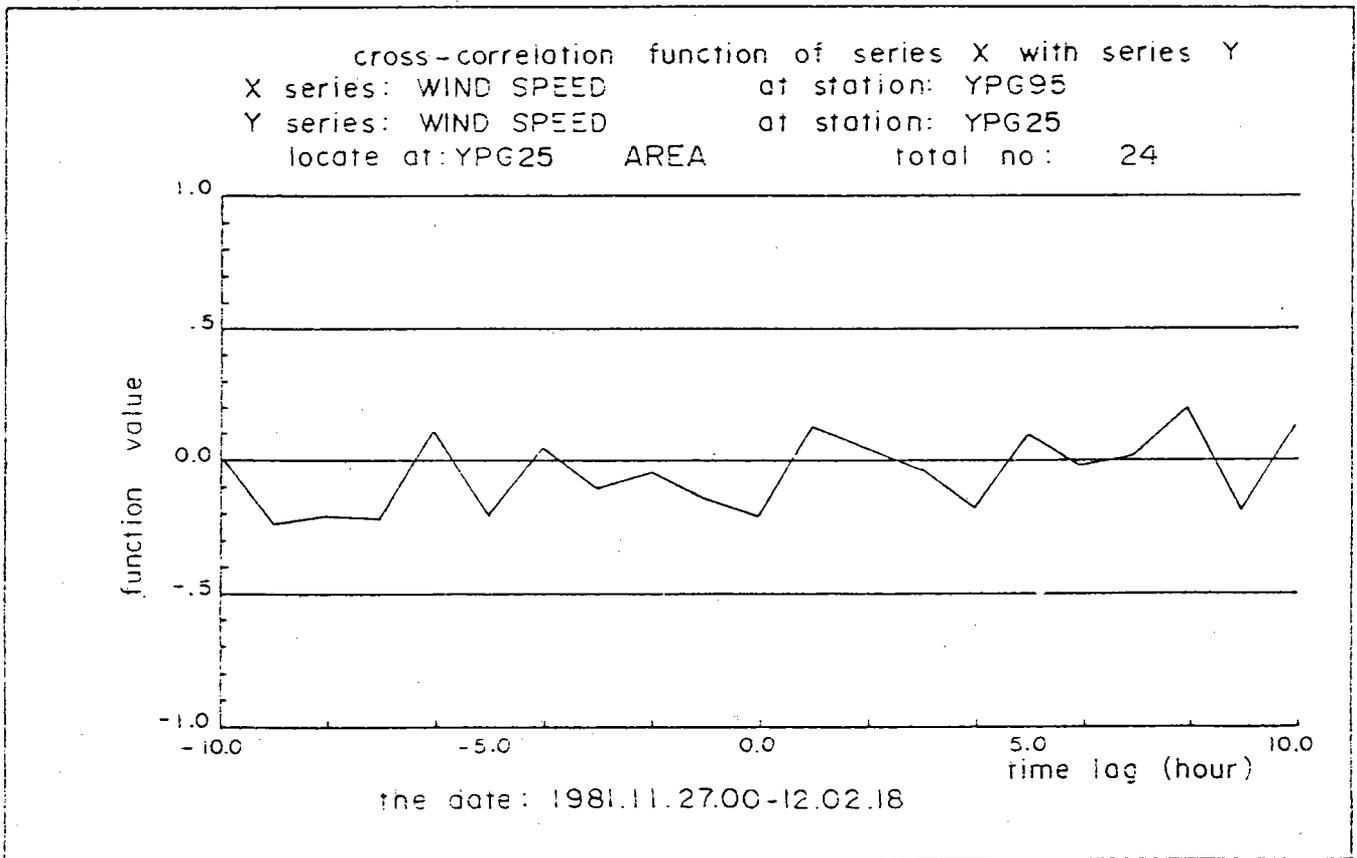
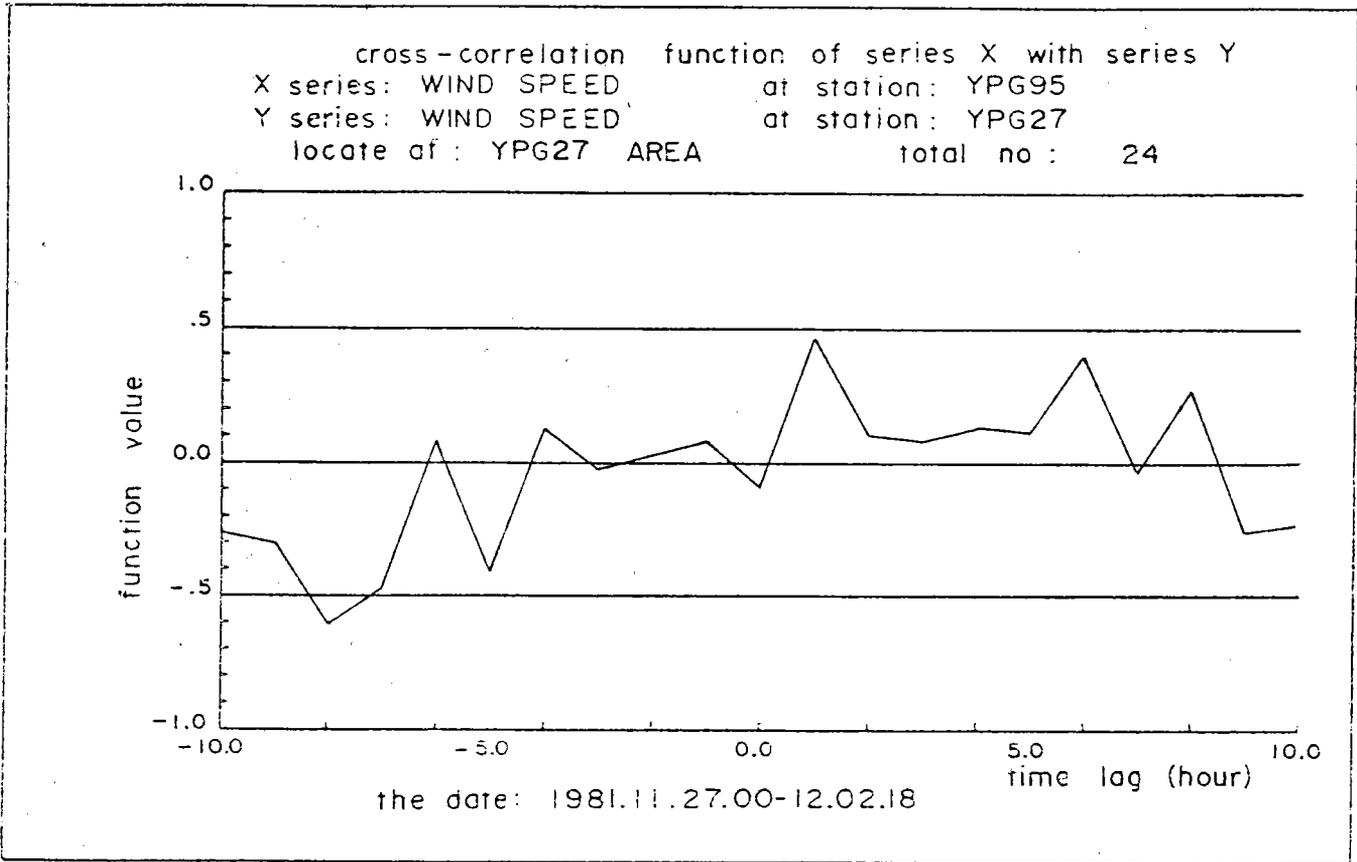


圖 2.1-1

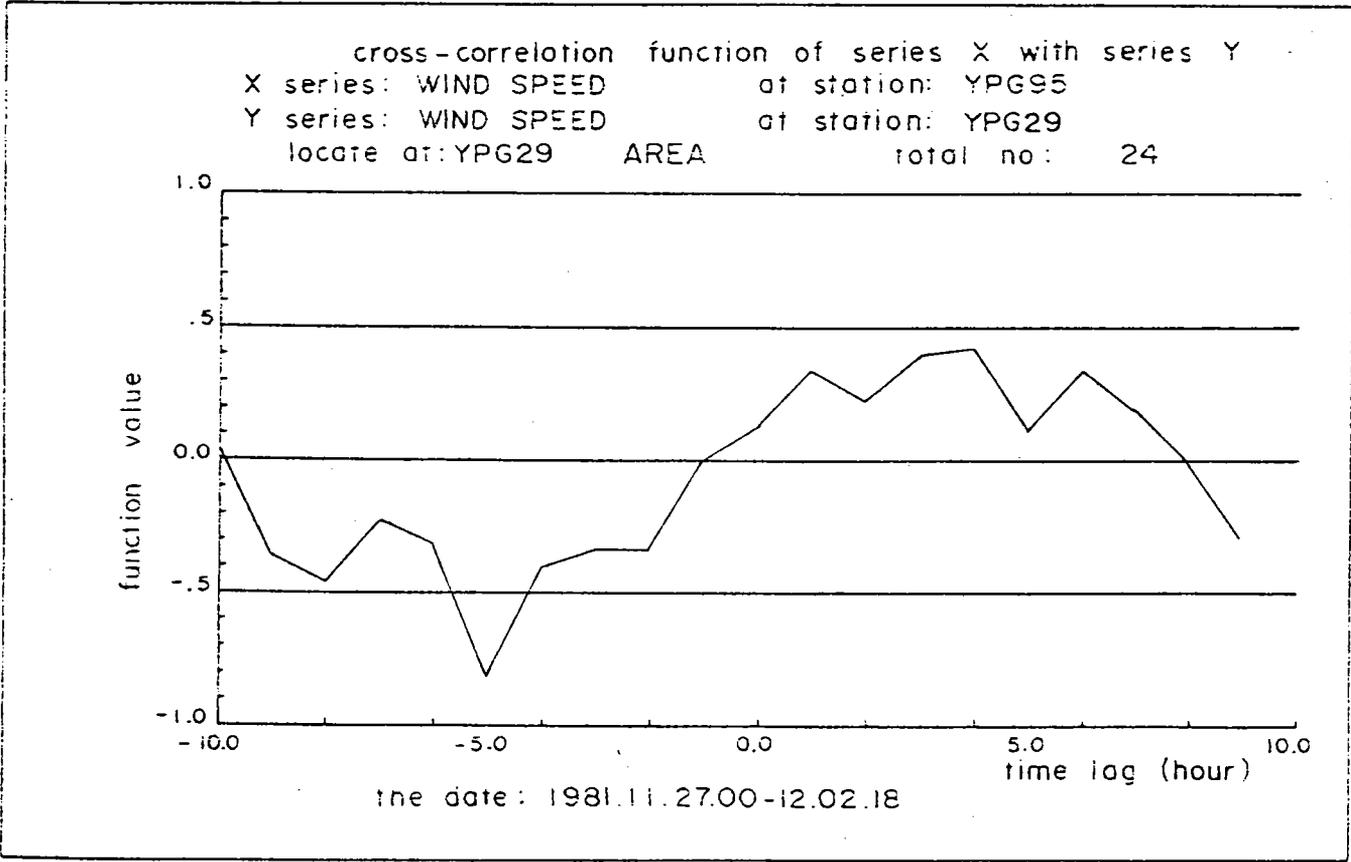
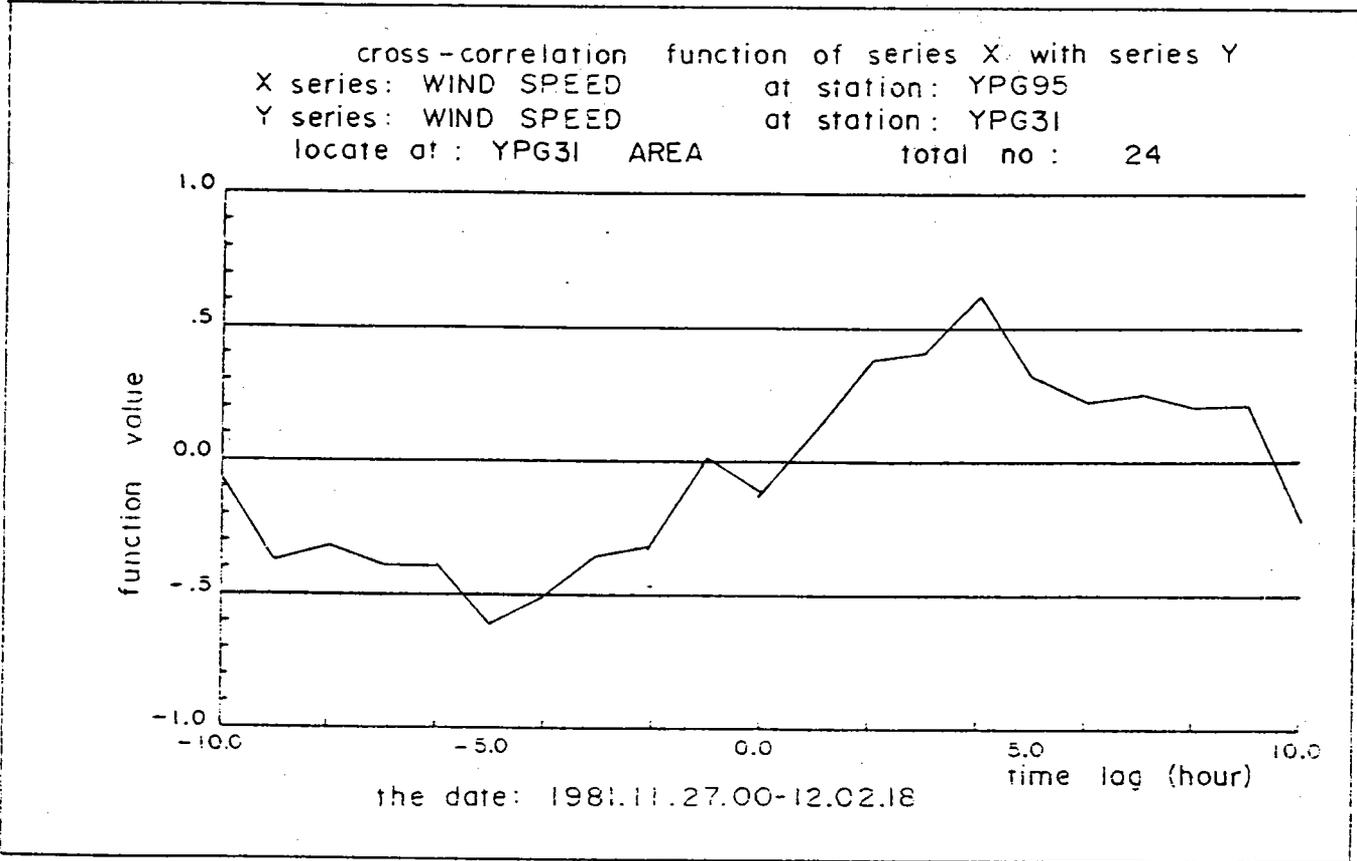


圖 2.1-2
- 15 -

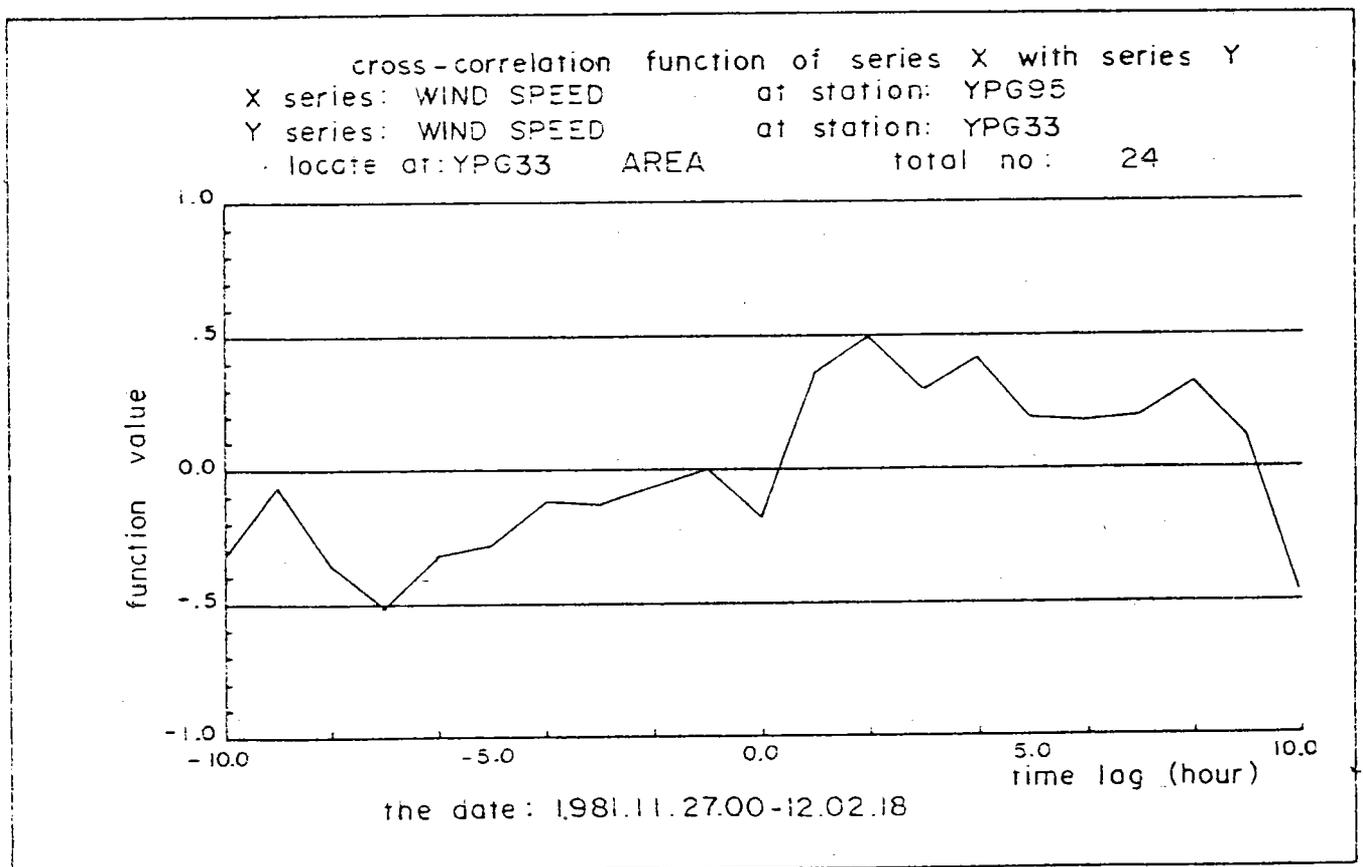
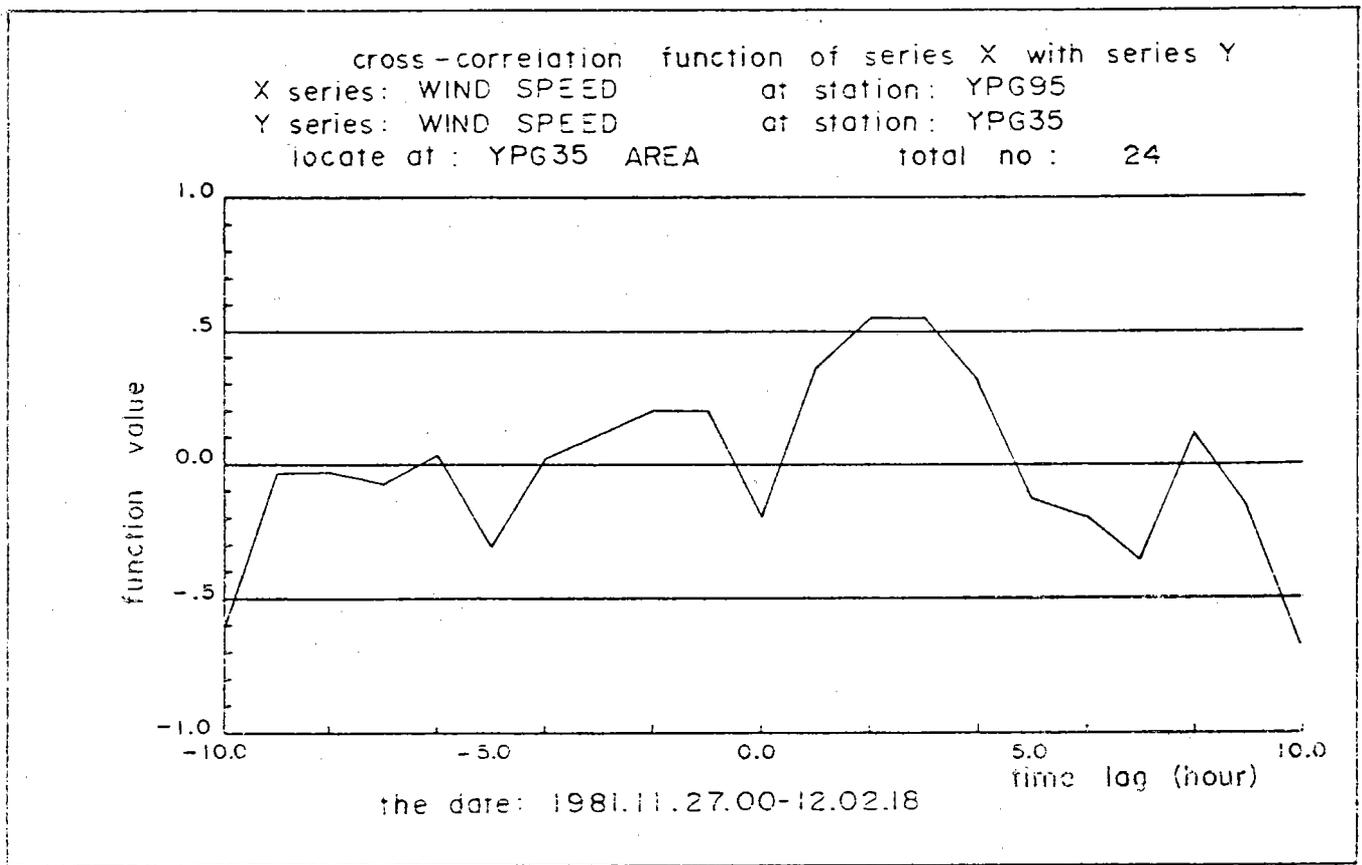
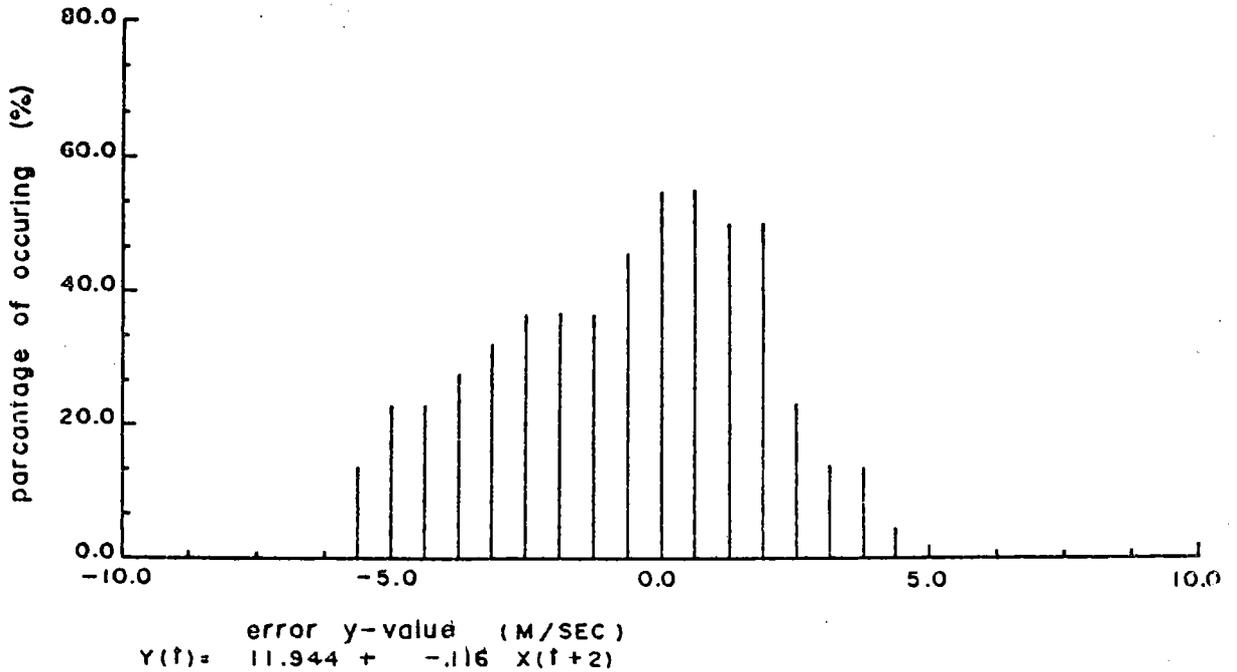


圖 2. 1-3

error distribution of least-square

location : YPG95 AREA
 duration : 1981.11.27.00-12.02.18
 mean : -.00
 minimum : -5.04
 variance : 10.99

station : YPG95 and YPG33
 total no : 24
 abs mean : 2.98
 maximum : 4.44
 name : WIND SPEED



error distribution of least-square

location : YPG95 AREA
 duration : 1981.11.27.00-12.02.18
 mean : .00
 minimum : -7.66
 variance : 11.60

station : YPG95 and YPG33
 total no : 24
 abs mean : 2.95
 maximum : 4.72
 name : WIND SPEED

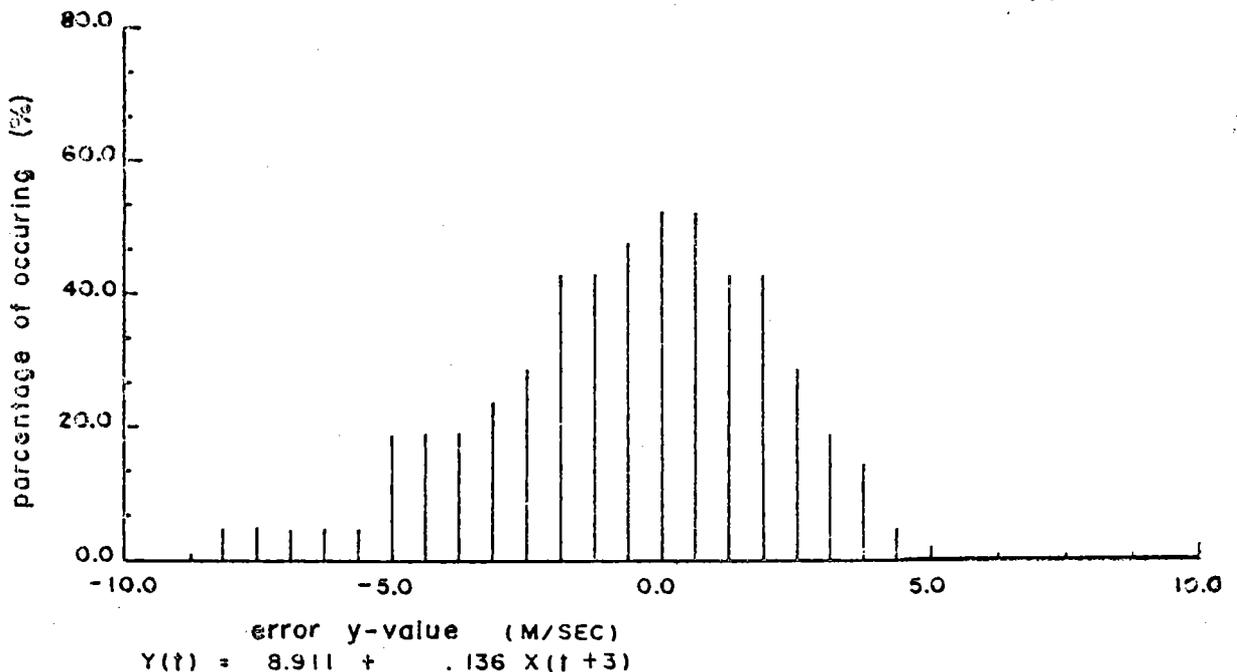


圖 2.1-4

高氣壓中心在華北，並向東移出海時，彭佳嶼和上述六測點受同一氣團影響，多吹北或東北風，此時彭佳嶼和各測點之風速應有較好之相關，故在地面天氣圖上經選擇後取用 1981 年 11 月 27 日至 12 月 2 日，高壓南下並東移出海的六天時間，並請中央氣象局提供此六天期間的地轉風資料。地轉風速由海水溫差，等壓線曲率半徑大小經查海面風速推定圖表（參考海岸工程規劃設計一農復會特刊二號）。轉換為海面風速，海面風向和等壓線之夾角在台灣北部約為 25° ，地轉風向經天氣圖上之等壓線修正為海面風向。此六測點的海面風速風向資料如表 2.1-5 所示。彭佳嶼的風資料為實測資料。

彭佳嶼和各測點間求得的風速相關如圖 2.1-1 ~ 圖 2.1-3 所示。誤差分佈如圖 2.1-4。各圖上的相關最大者僅 0.52，相關性皆不佳，故於面積風域法中不擬採用此法。各圖上測點的代號彭佳嶼為 YPG 95，另六測點分別以緯度區分為 YPG 25，YPG 27，YPG 29，YPG 31，YPG 33，YPG 35。

2、波浪資料

波浪資料用於面積風域法求取係數及波浪推算驗證之用。資料蒐集以代表東部海域的新港、西部海域的台中港、北部海域的野柳資料為主，以及花蓮、蘇澳、興達港等地的短期資料。波浪資料的測站名稱及時間如表 2.2-1。

3、水深資料

台灣四周之水深、底質、地形及等深線變化之資料均得之於海軍、海洋測量局所出版之海圖。

水深資料用於颱風波浪之推算，將收集的海圖上的水深資料，標點於颱風推算海域圖的網格點上，以區分深水波、淺水波之區域，便利推算波浪淺化影響之用。

4、推算及驗證資料

面積風域法的推算及驗證資料有

1. 新港的波浪資料及其夏季相關連的蘭嶼，冬季相關連的彭佳嶼風資料。如表 2.4-1 ~ 2.4-2 所示。

2. 台中港的風浪資料及其夏季相關連的東吉島，冬季相關連的彭佳嶼風資料。
如表 2.4-3 ~ 2.4-4 所示。
3. 野柳的波浪資料及其冬季相關連的彭佳嶼風資料。如表 2.4-5 所示。
4. 觀音的波浪資料及其冬季相關連的彭佳嶼風資料，夏季相關連的東吉島風資料。如表 2.4-6 ~ 2.4-7 所示。

表 2.2-1 波浪測站名稱及時間表

測 站 名 稱	時 間	提 供 單 位
新 港	1980/06/01-1982/08/31	中央氣象局
台 中 港	1974/01/01-1975/03/31	港 研 所
野 柳	1980/09/03-1981/07/09	中 油
蘇 澳	1984/07/26-1984/10/24	港 研 所
花 蓮	1984/06/21-1984/09/28	"
興 達 港	1984/06/21-1985/04/16	"
觀 音	1981/12/01-1982/09/30	"
鼻 頭 角	1980/10/10-1984/12/31	中央氣象局
東 吉	1981/07/03-1982/09/30	"
蘭 嶼	1980/11/01-1982/08/31	"
大 鵬 灣	1979/01/01-1984/12/31	高 港 局

表 2.4 - 1 新港冬季測試資料表

波浪資料(1980/12/3 - 1980/12/7)			風速風向資料(1980/11/30 - 1980/12/7)			
新 港			彭 佳 嶼			
時 間	波高(米)	週期(秒)	風向風速	風向風速		
80120302	1.46	7.2	4 013	5 057		
80120305	1.48	7.5	1 030	4 050		
80120308	1.53	7.6	1 025	1 070		
80120311	1.68	7.4	1 037	1 060		
80120314	1.47	7.5	2 065	2 095		
80120317	1.50	8.2	2 103	2 077		
80120320	1.36	7.5	3 103	2 083		
80120323	1.48	8.0	3 102	2 108		
80120402	1.27	7.7	2 070	2 095		
80120405	1.15	7.7	1 103	2 088		
80120408	1.21	7.9	2 100	2 060		
80120411	1.31	7.2	3 078	1 073		
80120414	1.45	7.0	2 040	2 070		
80120417	1.68	7.2	4 025	2 055		
80120420	1.63	7.3	6 027	1 057		
80120423	1.49	7.9	3 010	2 090		
80120502	1.68	8.0	15 033	2 107		
80120505	1.62	7.7	14 057	2 103		
80120508	1.30	9.0	14 072			
80120511	1.59	7.9	15 088			
80120514	1.66	7.9	1 090			
80120517	1.58	7.6	2 113			
80120520	1.34	7.5	2 105			
80120523	1.60	7.7	2 103			
80120602	1.59	7.5	3 093			
80120605	1.55	7.6	3 087			
80120608	1.59	7.5	3 060			
80120611	1.58	7.4	5 062			
80120614	1.87	7.6	4 063			
80120617	1.80	7.3	4 080			
80120620	1.94	7.7	3 077			
80120623	1.96	7.5	4 070			
80120702	1.89	7.7	3 093			
80120705	2.02	7.9	3 090			
80120708	2.05	8.0	3 125			
80120711	1.98	8.2	3 113			
80120714	1.93	7.9	3 113			
80120717	1.74	7.8	3 108			
80120720	1.35	7.5	3 118			
80120723	1.77	8.4	3 083			
			3 067			
			4 067			
			4 035			
			4 032			
			3 050			
			3 037			

* 風向 1 ~ 16 (N = 16 , E = 4 ,) 風速 (公分)

表 2.4 - 2 新港夏季測試資料表

波浪資料(1980/6/1-1980/6/4)			風速風向資料(1980/5/28-1980/6/4)		
新 港			蘭	嶼	
時 間	波高(米)	週期(秒)	風向風速	風向風速	
80060102	0.47	7.0	9 035	0	
80060105	0.45	7.0	9 037	0	
80060108	0.50	6.9	9 057	4 040	
80060111	0.54	6.6	10 073	2 087	
80060114	0.64	6.0	10 088	2 070	
80060117	0.75	4.9	11 077	2 070	
80060120	0.87	4.4	10 077	2 055	
80060123	0.63	5.0	2 080	2 100	
80060202	0.69	5.0	10 073	2 123	
80060205	0.69	5.3	10 097	2 100	
80060208	0.66	5.9	10 093	2 073	
80060211	0.63	5.8	11 117		
80060214	0.54	6.6	12 122		
80060217	0.60	5.4	12 133		
80060220	0.66	5.2	12 120		
80060223	0.55	6.3	12 093		
80060302	0.58	6.4	12 058		
80060305	0.97	6.4	12 065		
80060308	0.69	6.6	12 063		
80060311	0.68	6.3	10 058		
80060314	0.63	6.2	10 072		
80060317	0.75	6.5	10 110		
80060320	0.80	5.7	10 087		
80060323	0.69	6.6	10 080		
80060402	0.70	7.5	9 087		
80060405	0.79	6.6	8 093		
80060408	0.78	6.8	9 093		
80060411	0.63	6.3	9 092		
80060414	0.65	6.4	10 110		
80060417	0.75	6.2	10 112		
80060420	0.67	6.2	10 112		
80060423	0.62	6.5	10 120		
			10 102		
			10 117		
			11 082		
			11 110		
			11 123		
			11 140		
			11 145		
			12 013		
			2 175		
			5 045		
			5 067		
			5 040		
			5 043		

* 風向 1 ~ 16 (N = 16 , E = 4 ,) 風速 (公分)

表 2.4 - 3 台中港冬季測試資料表

波浪資料 (1981/12/1 - 1981/12/4)			風速風向資料 (1981/11/28 - 1981/12/4)			
台 中 港			台 中 港		彭 佳 嶼	
時 間	波高(米)	週期(秒)	風向風速	風向風速	風向風速	風向風速
81120102	3.21	7.39	2 130	2 060	1 093	3 088
81120105	3.19	7.77	2 140	2 040	16 140	3 090
81120108	3.90	7.90	2 120	2 010	1 132	3 090
81120111	3.35	7.48	1 150	2 030	2 107	2 103
81120114	3.23	7.43	2 130	1 030	2 107	2 107
81120117	3.37	7.21	2 090	1 120	2 125	3 118
81120120	3.25	7.48	2 080	1 130	2 110	4 102
81120123	3.25	7.55	2 030	1 060	3 123	5 125
81120202	3.16	7.39	2 040	2 020	3 103	5 018
81120205	3.20	7.21	2 040	7 030	2 113	5 087
81120208	2.91	7.24	2 050		2 073	
81120211	2.60	7.05	1 110		3 087	
81120214	2.86	7.14	1 140		2 092	
81120217	3.07	7.08	2 120		2 113	
81120220	2.32	6.88	2 060		3 133	
81120223	2.55	7.14	2 070		3 100	
81120302	2.42	7.69	2 090		2 140	
81120305	2.43	7.01	2 110		2 127	
81120308	2.63	6.66	2 110		1 103	
81120311	2.46	7.24	2 120		2 093	
81120314	2.32	7.44	2 120		1 122	
81120317	1.94	6.89	2 150		1 117	
81120320	1.77	7.18	2 120		1 160	
81120323	1.79	7.11	2 130		1 130	
81120402	1.74	6.96	2 150		1 157	
81120405	2.28	6.35	2 140		1 152	
81120408	2.37	6.33	2 150		1 167	
81120411	2.09	6.90	2 160		16 155	
81120414	1.71	6.78	2 160		1 135	
81120417	1.45	6.83	2 170		1 133	
81120420	1.64	6.90	2 160		1 125	
81120423	1.69	6.99	2 190		1 118	
			2 160		1 102	
			2 130		1 133	
			2 160		1 108	
			2 200		1 140	
			2 180		1 123	
			2 160		2 100	
			2 120		2 108	
			2 090		2 100	
			2 090		3 110	
			2 080		3 103	
			2 080		3 117	
			1 140		3 107	
			1 130		3 113	
			2 090		3 083	

* 風向 1 ~ 16 (N = 16 , E = 4 ,) 風速 (公分)

表 2.4 - 4 台中港夏季測試資料表

波浪資料(1974/8/8 - 1974/8/9)			風速風向資料(1974/8/5 - 1974/8/9)			
台 中 港			台 中 港		東 吉 島	
時 間	波高(米)	週期(秒)	風向風速	風向風速	風向風速	風向風速
74080802	0.59	5.7	15 40		2010	
74080805	0.49	5.6	1 23		2015	
74080808	0.40	5.8	2 43		2040	
74080811	0.43	4.9	16 57		16047	
74080814	0.64	5.3	15 50		14043	
74080817	0.38	6.2	16 43		14052	
74080820	0.56	6.2	16 30		14027	
74080823	0.72	6.0	15 25		14012	
74080902	0.70	5.9	4 13		16032	
74080905	0.53	5.5	16 37		16053	
74080908	0.47	5.9	15 30		16060	
74080911	0.50	5.3	16 47		16052	
74080914	0.51	5.1	16 50		15042	
74080917	0.54	5.1	16 53		14037	
74080920	0.45	5.4	16 27		14035	
74080923	0.41	5.7	16 15		14022	
			7 20		16050	
			6 20		16040	
			6 23		15032	
			14 30		14047	
			15 73		14028	
			16 57		15030	
			8 20		15020	
			7 40		15013	
			7 30		16052	
			4 30		16050	
			2 17		16042	
			15 40		14030	
			11 33		16020	
			10 43		14025	
			8 50		16043	
			6 20		2017	
			7 40		16027	
			7 17		10008	
			1 17		9013	
			16 43		11025	
			15 47		11037	
			4 33		11012	
			2 17		16027	
			7 22		16038	

* 風向 1~16 (N=16 , E=4 ,) 風速(公分)

表 2.4 - 5 野柳冬季測試資料表

波浪資料(1980/11/5-1980/11/7)			風速風向資料(1980/11/2-1980/11/7)		
野		柳	彭佳嶼		
時	間	波高(米)	週期(秒)	風向風速	風向風速
80110502		1.35	7.98	1 108	5 132
80110505		1.28	7.40	1 117	2 063
80110508		1.23	6.61	1 125	16 118
80110511		1.34	6.47	1 105	16 157
80110514		1.65	6.26	1 108	1 145
80110517		1.72	6.38	1 097	16 102
80110520		1.84	6.51	1 107	16 113
80110523		2.14	7.50	1 085	1 112
80110602		2.05	7.40	2 119	1 115
80110605		1.92	7.04	3 092	
80110608		1.81	6.92	3 092	
80110611		1.82	7.02	3 132	
80110614		1.82	7.08	3 103	
80110617		1.75	7.35	3 097	
80110620		1.47	7.67	3 105	
80110623		1.37	7.93	4 062	
80110702		1.39	7.78	4 058	
80110705		1.59	6.92	4 087	
80110708		2.86	7.30	5 085	
80110711		3.05	7.65	5 102	
80110714		2.29	7.63	5 070	
80110717		2.23	7.87	4 098	
80110720		2.39	8.70	4 100	
80110723		2.95	9.07	5 072	
				4 078	
				3 063	
				3 077	
				3 117	
				2 128	
				3 123	
				3 132	
				3 135	
				3 118	
				3 147	
				3 138	
				4 118	
				4 145	
				4 073	
				5 073	

* 風向 1 ~ 16 (N = 16 , E = 4 ,) 風速 (公分)

表 2.4 - 6 觀音夏季測試資料表

波浪資料 (1982/7/23 - 1982/7/25)			風速風向資料 (1982/7/20 - 1982/7/25)	
觀 音		東 吉 島		
時 間	波高(米)	週期(秒)	風向風速	風向風速
82072302	0.06	5.0	0	12 060
82072305	0.08	5.1	0	12 062
82072308	0.15	5.2	0	12 037
82072311	0.64	5.5	2 038	13 038
82072314	0.97	5.9	15 018	12 050
82072317	1.10	5.4	16 015	12 043
82072320	0.94	5.7	2 023	12 050
82072323	0.83	5.6	3 022	12 047
82072402	0.58	6.0	9 030	11 043
82072405	0.77	6.2	11 040	
82072408	0.65	6.2	10 047	
82072411	0.73	6.0	10 050	
82072414	0.72	6.3	10 042	
82072417	0.69	6.0	12 033	
82072420	0.70	5.7	12 022	
82072423	0.67	5.7	10 022	
82072502	0.76	6.1	10 057	
82072505	0.81	6.3	12 040	
82072508	0.92	6.2	12 037	
82072511	0.97	5.9	13 037	
82072514	0.69	6.3	13 035	
82072517	1.02	6.4	13 032	
82072520	0.86	5.7	11 025	
82072523	0.60	5.9	11 055	
			11 052	
			12 040	
			12 040	
			12 050	
			12 050	
			12 042	
			11 030	
			11 050	
			12 058	
			12 043	
			12 038	
			12 053	
			12 050	
			12 047	
			12 073	

* 風向 1 ~ 16 (N = 16 , E = 4.....) 風速 (公分)

表 2.4 - 7 觀音冬季測試資料表

波浪資料 (1982/1/26 - 1982/1/30)			風速風向資料 (1982/1/23 - 1982/1/30)	
觀 音			彭 佳 嶼	
時 間	波高(米)	週期(秒)	風向風速	風向風速
82012602	1.15	8.1	3 072	1 110
82012605	1.55	7.9	4 097	1 107
82012608	1.13	7.3	4 103	1 128
82012611	0.87	7.6	6 073	1 110
82012614	1.32	8.2	6 107	1 102
82012617	1.34	8.0	7 050	1 102
82012620	1.64	7.0	7 102	1 100
82012623	1.18	7.4	7 080	1 095
82012702	1.10	7.9	7 082	1 102
82012705	1.31	7.1	7 062	1 115
82012708	1.05	7.3	6 028	1 117
82012711	0.92	7.5	8 037	2 103
82012714	0.98	7.7	12 013	2 082
82012717	0.24	16.1	5 015	1 097
82012720	1.14	6.8	7 033	1 087
82012723	1.14	7.4	7 037	2 095
82012802	1.23	7.9	16 065	3 098
82012805	1.77	7.7	2 090	2 097
82012808	1.40	7.7	2 070	3 082
82012811	1.54	8.0	2 055	3 063
82012814	1.72	8.6	2 100	3 062
82012817	1.39	8.4	2 103	4 068
82012820	1.25	9.7	2 103	3 065
82012823	1.88	8.1	2 113	3 083
82012902	1.45	11.5	2 112	3 077
82012905	0.67	14.8	1 067	
82012908	1.56	9.2	2 078	
82012911	1.53	8.3	1 095	
82012914	1.54	8.8	1 117	
82012917	1.57	8.6	1 088	
82012920	1.41	9.5	1 067	
82012923	1.59	8.2	1 063	
82013002	1.23	8.9	1 090	
82013005	1.35	9.4	1 093	
82013008	1.40	7.9	1 092	
82013011	1.44	7.4	1 097	
82013014	0.96	8.7	1 087	
82013017	1.04	8.2	2 087	
82013020	1.18	7.6	1 103	
82013023	0.84	7.6		

* 風向 1 ~ 16 (N = 16 , E = 4 ,) 風速 (公分)

三、季風波浪預報模式

1、面積風域法

由於現有的波浪力學理論僅限於二度空間，海上的波浪乃是以各種不同方向、相位角、頻率與振幅的二次度空間正弦波的重疊來模擬，此種模擬對在海上某一測點而言應十分相近，惟對大範圍的波浪推算問題時則有偏差，例如前述SMB假定波向與風向一致，如果風向並非正對著測站而來，應無向著測站的湧浪成份，而事實相反。在較新的波浪數值推算法中已考慮到此點，但其整個計算過程頗為繁複，正確性亦尚未被肯定，主要原因是波浪數值推算公式中的源函數並非容易界定。為較SMB法進一步描繪波浪生成的形象。而又不失其簡便與正確性，認定有效風域面積（含風速風向）為影響波高的主要因子，至於複雜的風波能量授受關係，則不予深入探討，只將其揉合在一個經驗常數中，作者曾提出一個新風波生成的觀念，稱為元素波模式（梁乃匡，1973）。元素波模式的基本假設是將整個風域分割成許多元素風域，每一元素風域視為獨立之波浪生成中心，由此元素風域所得之波能以圓形波向外傳遞，假定此圓形波在順風方向之波高為1，則根據試驗在 β 夾角方向為 $\cos \beta$ （圖3-1），當 $\beta > 90^\circ$ 則為零，而觀測點的波能為抵達該點各元素風域波能之和，如圖3-1所示，定常狀態下，在觀測點通過單位波峰寬度單位時間之波能為

$$W L (r , \beta) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \beta \frac{1}{r} Q L \dots\dots\dots (3.1)$$

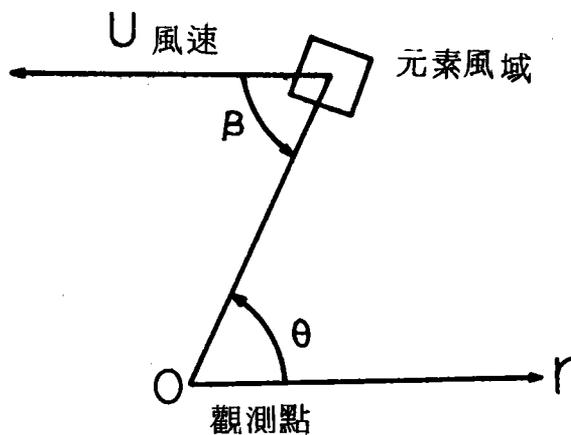


圖 3 - 1 元素波模式座標系統

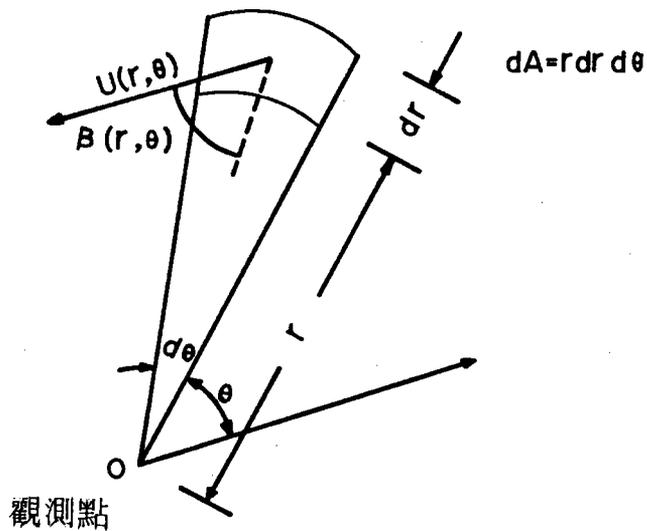


圖 3 . 2 元素風域座標系統

其中 $Q L$ 為在元素風域單位時間由風所獲得的能量。

根據 Jeffreys , Sverdrup & Munk 等人的波浪生成理論，將座標軸固定在元素風域上，而不跟著波速走（如此可以把問題簡化，因為其一元素波為圓形波，其二波浪的週期也不是一個，如果要跟著波浪走，應當選擇那一個方向與速率呢？）可以得到 $Q L$ 如下式：

$$Q L = \xi U^2 \Delta A \dots\dots\dots (3.2)$$

其中 ΔA 是元素風域的面積， U 是元素風域海面上 10 米高 10 分鐘平均風速，並假定全部元素風域一致， ξ 是風波能量授受係數，因為元素風域大小與波長相比要大得很多， ξ 取平均值對某一元素風域而言應為一定值，如圖 3 . 2 所示，採用極座標系統，則觀測點的波功率，如下式：

$$E \cdot G = \int \frac{2}{\pi} \xi (r , \theta) U^2 (r , \theta) \cdot \cos^2 [\beta (r , \theta)] \cdot \frac{1}{r} d A$$

$$= \frac{2}{\pi} \int_r \int_{\theta} \xi(r, \theta) U^2(r, \theta) \cos^2[\beta(r, \theta)] dr d\theta \dots\dots\dots (3.3)$$

其中 E 為單位海平面平均波能與波高 $H^{1/3}$ 之平方成正比，G 為觀測點的代表群波速度與 $T^{1/3}$ 成正比等於

$$\frac{g T^{1/3}}{4 \pi}$$

dr, dθ 改為 Δr, Δθ, 則上式化簡為

$$H^{1/3}{}^2 = \frac{8}{g T^{1/3}} \sum_r \sum_{\theta} \xi(r, \theta) U^2(r, \theta) \cos^2[\beta(r, \theta)] \Delta r \Delta \theta \dots\dots\dots (3.4)$$

由於距離遠的元素風域的波能在傳播過程中必有能量之減衰，此一減衰項，相當於給與距離觀測點不同距離的元素波能一權重函數。根據理論波能依指數減衰原則，再依據 Bretschneider 100% 完全成熟風浪之無因次風域長度如下：

$$\frac{g r_{\max}}{U^2} = 600,000$$

$$r_{\max} = \frac{600,000}{g} U^2 = \frac{600}{g} U^2 \text{ (公里)} \dots\dots\dots (3.5)$$

r_{\max} 為完全成熟風浪的風域長度

假定完全成熟波浪最遠處的元素波能到達觀測點時為原來的

$$\frac{1}{100}, \text{ 則}$$

$$e^{-\alpha r_{\max}} = \frac{1}{100}$$

$$\alpha r_{\max} = 4.605$$

代入上式

$$\alpha \approx \frac{0.08}{U^2} \dots\dots\dots (3.6)$$

則 (3 - 4) 式改爲

$$H^{1/3}{}^2 = \frac{8}{g T^{1/3}} \sum_r \sum_\theta \xi (r , \theta) U^2 (r , \theta) \cos^2 [\beta (r , \theta)] \exp \left\{ - \frac{0.08}{U^2 (r , \theta)} r \right\} \Delta r \Delta \theta \dots\dots\dots (3.7)$$

代表週期 $T^{1/3}$ 一般變化幅度較小，可由實測資料以下列無因次變數求得經驗公式：

$$\frac{g T^{1/3}}{2 \pi \bar{U}} = F_1 \left(\frac{g t_d}{\bar{U}} \right) \dots\dots\dots (3.8)$$

或

$$\frac{g T^{1/3}}{2 \pi \bar{U}} = F_2 \left(\frac{g F}{\bar{U}^2} \right) \dots\dots\dots (3.9)$$

其中 \bar{U} 爲有效風域之平均風速， t_d 爲吹風延時， F 爲有效最大風域長度，一般用吹風延時較爲方便。

風波能量授受係數 ξ 值，理論上與海面狀況有關，海面波高大則 ξ 值也大，但本模式認定的元素風域之波浪已在半成熟狀態，也就是其主要波浪成份之波速接近風速，根據 Jeffreys 的遮蔽效應理論，波速超過風速的波浪不能從風獲得能量，（而事實上也無法求得各元素風域之 ξ 值，但可由數個不同風速均勻風域的資料得到 ξ 值與風速的關係來），如此則 3 - 7 式化爲：

$$H^{1/3}{}^2 = \frac{8 \bar{\xi}}{g T^{1/3}} \sum_r \sum_\theta U^2 (r , \theta) \cos^2 [\beta (r , \theta)] e \left[- \frac{0.08 r}{U^2 (r , \theta)} \right] \Delta r \Delta \theta \dots\dots (3.10)$$

另外一個重要的問題是決定有效的風域，也就是決定 r 、 θ 的積分上下限。如上所述本法認定的元素風域是半成熟狀態者，主要波浪成份之波速與風速接近，根據 Jonswap 報告 (1973) 指出波浪吸收風能以主要波浪的頻率附近，高頻率部份或經由碎波而能量消失，或併入較低頻率部份，因此元素波波能的傳遞速度以波速為風速的波浪的波能傳遞速度代表，即 $0.5U$ 。由於海面風域風速資料來自每天六小時一張的天氣圖，而每張天氣圖的風速也不一定相同，因此如果採用元素波能傳遞速度等於風速的一半，則有效風域有重疊或間隙存在，本法容許此現象之存在。

本法對各成份波之間的非線性干擾並不作分析，但此一問題並未忽略，因為在式 3 - 10. 中，將各元素風域傳到觀測點的功率加起來，至於能量在頻率上如何分配不加以了解，此問題由求 $T^{1/3}$ 的經驗公式來控制。如果是波譜，本方法認為風浪將自行調整出一個一般的通式，如 Pierson - Moskowitz 波譜、Jonswap 波譜等是。本法並未考慮海底的影響，因此在運用本法時最好在屬於深海波的區域，如要引用到淺海，再加以計算，或者如果測站屬於擬似深海者，則將此一因素根據實測資料揉合在 $\bar{\xi}$ 值與求 $T^{1/3}$ 公式中。

2、網格式風場

以往風場是採用分段式，如圖 3 - 4，推算點須預先設定。但爾後風場如用網格式則推算點可為任意位置，而計算方式稍有改變。對每一個網格式點有其風速、風向如圖 3 - 5，如果 A 區域表有效風場，即波能直接傳至推算點的所有區域，則位於此區域的每一網格式點，當作一元素風域，依 (3.10) 式計算其波能。總和所有位於有效區內網格式點的波能，而求出常數值 ξ ，及 C_1 ， C_2 ， C_3 ， C_4 。分段式風場由於對風場的描述較不清楚，推算結果可能較不理想。而網格式，因為對風場劃分得較詳細，資料掌握得較確實，推算結果應較理想。網格式間距減小，可提高推算結果的準確度，但須較多的電腦計算時間。網格式風場有兩個理由較分段式風場為佳，1. 網格式對風場分割較精細，推算結果應較符合，且網格式間距的大小可調整，而可得不同準確度下的推算結果。2. 由於推算點的位置可任意設定，故可得台灣四周海域詳細的網格式波高分佈及某些特定點的波高。

但網格式風場有兩點較分段式不便，1. 網格式上的風速，風向資料收集分析不易。2. 因風資料較多所以電腦運作時間較長。

3、經驗常數的決定，及推算與實測比較

由於面積風域法主要觀點為考慮風與浪之間的能量授受，因此我們藉著一段實測季風資料及對應的實測波浪資料，來決定能量授受關係，即經驗常數 $\bar{\xi}$

。另外，決定推算週期公式：

$$\frac{gT_{1/3}}{2\pi\bar{U}} = C_2 \left(\frac{g \cdot TDUR}{\bar{U}} \right) C_1$$

$$\frac{gT_{1/3}}{2\pi\bar{U}} = C_4 \left(\frac{g \cdot F}{\bar{U}^2} \right) C_3$$

中的 C_1 ， C_2 ， C_3 ， C_4 值，其中 \bar{U} 為有效風域平均風速，TDUR為吹風延時，F為有效風域最長距離。通常經驗常數受各站地點，風域界定及季節的影響而稍有差異。

以面積風域法推算季風波浪之前，此經驗常數必須先求得，然後再以此常數反推算出季風波浪。推算結果與實測比較如表3.1，3.2。目前由於缺網格式風場資料，故只以分段式風場推算。待獲得網格式風場資料，即可做兩種風場劃分方式的推算結果比較。

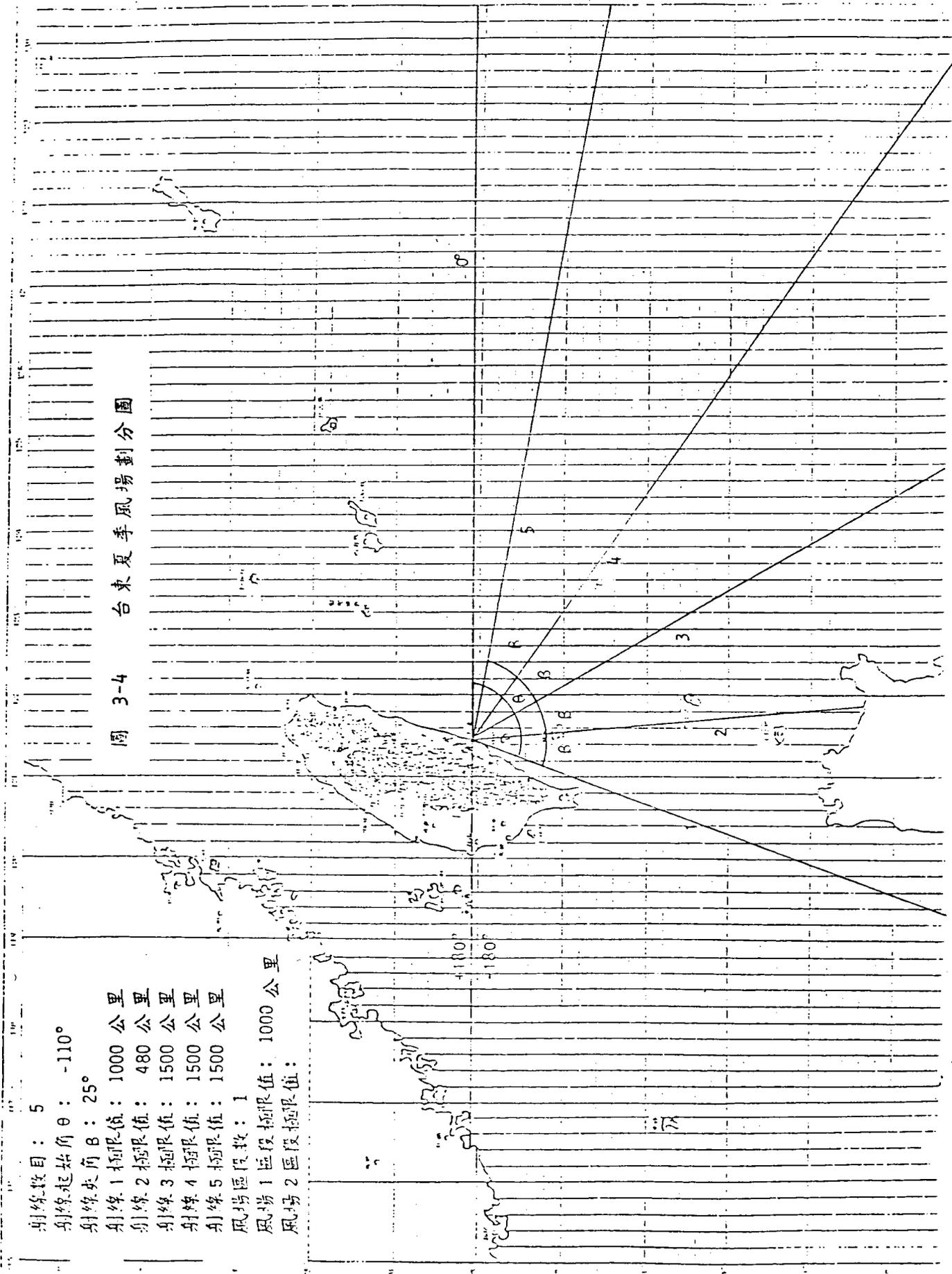


圖 3-4 台東夏季風場劃分圖

射線數目： 5
 射線起始角 θ ： -110°
 射線夾角 β ： 25°
 射線 1 極限值： 1000 公里
 射線 2 極限值： 480 公里
 射線 3 極限值： 1500 公里
 射線 4 極限值： 1500 公里
 射線 5 極限值： 1500 公里
 風場區段數： 1
 風場 1 區段極限值： 1000 公里
 風場 2 區段極限值：

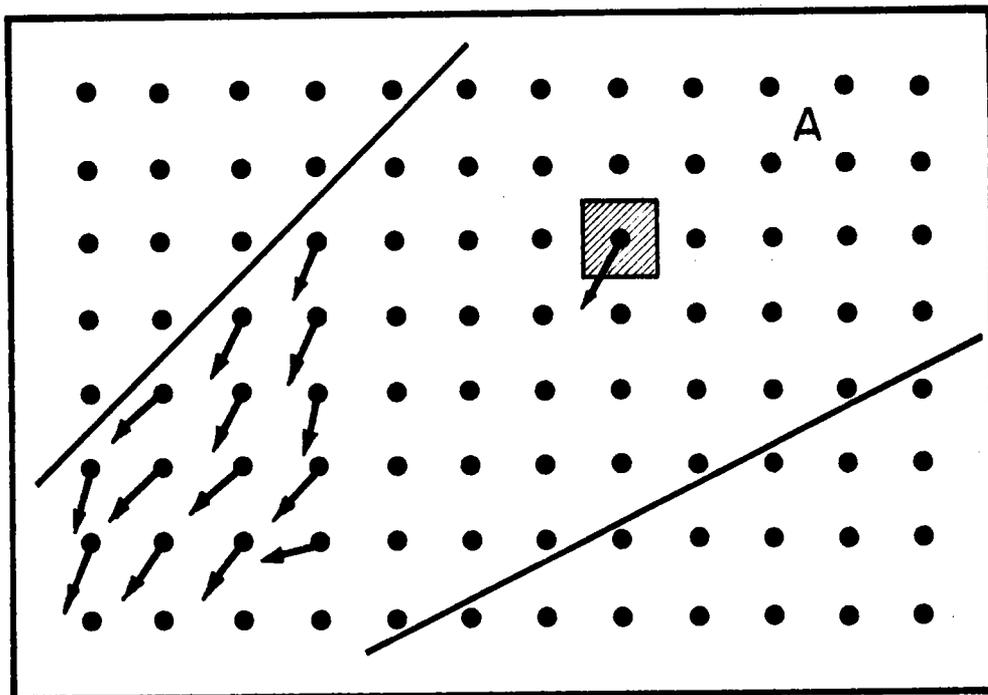


圖 3.5 網格點式風場圖

表 3.1 面積風域法推算與實測比較 (夏季)

測站：台東新港

比較期間：1980/6/1 ~ 1980/6/4

月	日	時	實 測 值		推 算 值	
			波高(公尺)	週 期(秒)	波高(公尺)	週 期(秒)
5	1	2	0.47	7.0	0.7	9.3
6	1	5	0.45	7.0	0.7	9.3
6	1	8	0.50	6.9	0.7	9.4
6	1	11	0.54	6.6	0.7	9.4
5	1	14	0.64	6.0	0.5	8.6
6	1	17	0.75	4.9	0.5	8.7
5	1	20	0.97	4.4	0.4	8.7
6	1	23	0.63	5.0	0.4	8.7
6	2	2	0.69	5.0	0.4	9.0
6	2	5	0.69	5.3	0.4	9.2
6	2	8	0.66	5.9	0.4	9.4
6	2	11	0.63	5.3	0.5	9.3
6	2	14	0.54	6.6	0.5	9.4
6	2	17	0.60	5.4	0.5	9.7
6	2	20	0.66	5.2	0.6	10.1
6	2	23	0.55	6.3	0.7	10.5
6	3	2	0.58	6.4	0.7	10.4
6	3	5	0.97	6.4	0.9	11.3
6	3	8	0.69	6.6	0.8	11.5
6	3	11	0.68	6.3	0.8	11.5
6	3	14	0.63	6.2	0.8	11.8
6	3	17	0.75	6.5	0.8	11.9
6	3	20	0.80	5.7	0.9	12.0
6	3	23	0.69	6.6	0.7	12.3
6	4	2	0.70	7.5	0.7	12.3
6	4	5	0.79	6.6	0.8	12.0
6	4	8	0.78	6.8	0.7	11.5
5	4	11	0.63	6.3	0.6	10.3
5	4	14	0.65	6.4	0.4	7.5
5	4	17	0.75	6.2	0.5	7.3
6	4	20	0.67	6.2	0.6	8.2
6	4	23	0.62	6.5	0.6	8.4

表 3.2 面積風域法推算與實測比較 (冬季)

測站：台東新港

比較期間：1980/12/3 ~ 1980/12/7

月	日	時	實 測 值		推 算 值	
			波高(公尺)	週 期(秒)	波高(公尺)	週 期(秒)
12	3	2	1.46	7.2	1.4	8.4
12	3	5	1.48	7.5	1.4	8.4
12	3	8	1.53	7.6	1.4	8.4
12	3	11	1.68	7.4	1.4	8.4
12	3	14	1.47	7.5	1.3	8.3
12	3	17	1.50	8.2	1.3	8.2
12	3	20	1.36	7.5	1.3	8.1
12	3	23	1.48	8.0	1.3	8.1
12	4	2	1.27	7.7	1.3	8.1
12	4	5	1.15	7.7	1.4	8.2
12	4	8	1.21	7.9	1.4	8.2
12	4	11	1.31	7.2	1.5	8.5
12	4	14	1.45	7.0	1.5	8.3
12	4	17	1.68	7.2	1.7	9.1
12	4	20	1.63	7.3	1.7	9.2
12	4	23	1.49	7.9	1.8	9.4
12	5	2	1.68	8.0	1.8	9.3
12	5	5	1.62	7.7	1.7	9.3
12	5	8	1.30	9.0	1.6	9.2
12	5	11	1.59	7.9	1.7	9.1
12	5	14	1.66	7.9	1.6	9.0
12	5	17	1.58	7.6	1.6	8.8
12	5	20	1.34	7.5	1.6	8.7
12	5	23	1.60	7.7	1.5	8.6
12	6	2	1.59	7.5	1.5	8.5
12	6	5	1.55	7.8	1.4	8.4
12	6	8	1.59	7.5	1.3	8.1
12	6	11	1.58	7.4	1.4	8.2
12	6	14	1.37	7.6	1.4	8.1
12	6	17	1.80	7.3	1.3	7.9
12	6	20	1.94	7.7	1.3	7.9
12	6	23	1.96	7.5	1.2	7.4
12	7	2	1.89	7.7	1.4	7.5
12	7	5	2.02	7.9	1.3	7.4
12	7	8	2.05	8.0	1.3	7.4
12	7	11	1.98	8.2	1.3	7.4
12	7	14	1.93	7.9	1.3	7.3
12	7	17	1.74	7.8	1.3	7.3
12	7	20	1.35	7.5	1.3	7.3
12	7	23	1.77	8.4	1.4	7.5

四、颶風波浪預報模式

本研究的颶風波浪推算法有四，分別概述於下：

1、湯麟武法

湯麟武鑑於Wilson之方法，只能推算深海風浪，不能直接算出海岸波浪狀況，故綜合淺海中之風浪關係，海底摩擦之影響，湧浪之推算法，以及碎波後波浪計算法，直接從氣象資料，推算移動風域中海岸前任何水深地點之波浪狀況，並可用電子計算機迅速計算。其原理及方法如下，本節之H，T均為指示波高及週期，單位均用公制。

(一)計算原理

依風、浪、水深間的關係為(湯麟武，1968)

$$\frac{gH}{U^2} = 0.26 \tanh \left\{ 0.578 \left(\frac{gd}{U^2} \right)^{\frac{3}{4}} \right\} \tanh \left\{ \frac{0.01 (gx/U^2)^{1/2}}{\tanh \left[0.578 (gd/U^2) \right]^{3/4}} \right\} \dots\dots\dots (2.1.1)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = 1.40 \tanh \left\{ 0.520 \left(\frac{gd}{U^2} \right)^{\frac{3}{8}} \right\} \tanh \left\{ \frac{0.0436 (gx/U^2)^{1/3}}{\tanh \left[0.520 (gd/U^2) \right]^{3/8}} \right\} \dots\dots\dots (2.1.2)$$

H為指示波高 $H_{1/3}$ ，T為指示波週期 $T_{(H_{1/3})}$ ，U為風速，d為水深，g為重力加速度。

當風浪進入淺水區後，按數值積分之原理， Δx 距離中，風速可作為常數，水深亦可作為常數時，波高可由下式求得為：

$$H_{n+1} = H_n + \left(\frac{dH}{dx} \right)_n \Delta x \dots\dots\dots (2.1.3)$$

式中之下標n表示第n推算點之推算量。上式中之 $\left(\frac{dH}{dx} \right)$ 須由(2.1.1)

式之應用求之，但淺海中之群速度G與深海中者不同，故無法直接計算G或T；群速度與風速之比為：

$$\frac{G}{U} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right] \frac{gT}{2\pi U} \tanh(kd) \dots (2.1.4)$$

$$k = \frac{2\pi}{L}, \quad L \text{ 爲水深 } d \text{ 處之波長}$$

G 必須改爲 $f(x, U, d)$ 之形式，始可進行計算，今先令

$$S = \frac{2\pi d}{L_0} = \frac{2\pi d}{L} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right), \quad L_0 \text{ 爲深海處之波長}$$

令 $y = \frac{2\pi d}{L}$, $S = y \tanh y$ (4.1.5)

故 y 爲 S 之函數，因此 $\frac{G}{U}$ 爲 S 及 $\frac{gT}{2\pi U}$ 即 $c/U = \beta$ 之函數，又因

$$S = \frac{2\pi d}{L} = \frac{gd}{U^2} \left/ \left(\frac{gT}{2\pi U}\right)^2 \right. \dots\dots\dots (4.1.6)$$

以 (4.1.2) 式代入

$$S = \left(\frac{gd}{U^2}\right) \left\{ 1.40 \tanh\left[0.520\left(\frac{gd}{U^2}\right)^{\frac{3}{8}}\right] \tanh\left[\frac{0.0436\left(\frac{gx}{U^2}\right)^{\frac{1}{3}}}{\tan\left\{0.520\left(\frac{gd}{U^2}\right)^{\frac{3}{8}}\right\}}\right] \right\}^{-2}$$

..... (4.1.7)

則 S 爲 x, U, d 之函數，(4.1.6) 式可改爲：

$$\frac{gT}{2\pi U} = \sqrt{\frac{gd}{U^2}} / S$$

由 (4.1.5) 式 $\tanh(kd) = S/y$

均代入 (4.1.4)，則

$$Z = \frac{G}{U} \frac{1}{\sqrt{\frac{gd}{U^2}}} = \frac{S - S^2 + y^2}{2y\sqrt{S}} \dots\dots\dots (4.1.8)$$

方程式左邊爲 $\frac{G}{\sqrt{gd}}$ ，爲群速度與長波波速之比，以 Z 代表，則 Z 爲

S 之函數。波浪爲深水波時， $S \geq \pi$ ， $y = S$ ， $Z = \frac{1}{2}\sqrt{S}$ ，水深甚淺時

， $\tan y \doteq y$ ， $S = y^2$ ， $Z = 1 - \frac{S}{2} \doteq 1$ 。波浪爲長波時 $G = \sqrt{gd}$ ，

$Z = 1$ ，故 Z 可作為指示波浪性質之數字， $d = \frac{L_0}{2}$ ，即 $S = \pi$ 為深水波

及淺水波之界限，即 $Z = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} = 0.2821$ 則

$$\left. \begin{array}{ll} Z < 0.2821 & \text{波浪為深水波} \\ 0.2821 \leq Z < 1 & \text{波浪為淺水波} \\ Z = 1 & \text{波浪為淺灘波} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4.1.9)$$

(4.1.9) 為波浪性質判別式。

(4.1.8) 式無法用理論解出，近似式為：

$$\begin{aligned} Z &= 1 - a_1 S - a_2 S^2 - \dots - a_6 S^6 \quad \dots\dots\dots (4.1.10) \\ a_1 &= 0.4536, \quad a_2 = 0.0931, \quad a_3 = -0.2745 \\ a_4 &= 0.17033, \quad a_5 = -0.04760, \quad a_6 = 0.005067 \end{aligned}$$

S 亦為 Z 之函數，近似式為：

$$S = b_1 (1-Z) + b_2 (1-Z)^2 + \dots + b_7 (1-Z)^7 \quad \dots\dots\dots (4.1.11)$$

$$\begin{aligned} b_1 &= 2.464857, \quad b_2 = -7.35305, \quad b_3 = 52.74583 \\ b_4 &= -162.2, \quad b_5 = 275.83, \quad b_6 = -247.2, \quad b_7 = 101.190476 \end{aligned}$$

如已知 S ，即可算出 Z ，則波浪之群速度， $Z = Z \sqrt{gd}$ ，故求淺水波之週期及群速度時，可先求 S ，因此在淺海波計算中，已知 n 點之波高 H_n ，群速度 G_n ， n 點在風域圖上之位置為 x_n ， t_n ，該處風速為 U_n ，水深 d_n ，則 $n+1$ 點之波浪，可計算如下：

$$H_{n+1} = H_n + \left(\frac{dH}{dx} \right)_n \Delta x \quad \dots\dots\dots (4.1.12)$$

由(4.1.1)式

$$\left(\frac{dH}{dx} \right)_n = \frac{3.846 \times 10^{-4} \left(0.26\alpha + \frac{gH_n}{U_n^2} \right) \left(0.26\alpha - \frac{gH_n}{U_n^2} \right)}{\alpha^3 \left[\ln \left(0.26\alpha + \frac{gH_n}{U_n^2} \right) - \ln \left(0.26\alpha - \frac{gH_n}{U_n^2} \right) \right]} \quad \dots\dots\dots (4.1.13)$$

$$\alpha = \tanh \left[0.578 \left(\frac{gd_n}{U_n^2} \right)^{\frac{3}{4}} \right]$$

已知 G_n ， d_n ，可計算 Z_n ，由(4.1.11)式計算 S_n 後由下式求 S_{n+1}

$$S_{n+1} = S_n + \left(\frac{dS}{dx}\right)_n \Delta x \dots\dots\dots (4.1.14)$$

由(4.1.7)求得

$$\left(\frac{dS}{dx}\right)_n = -\frac{1.578 \times 10^{-4} g S_n (1.40\mu + \nu)(1.40\mu - \nu)}{U_n^2 \nu \mu^4 [\ln(1.40\mu + \nu) - \ln(1.40\mu - \nu)]^2} \dots\dots\dots (4.1.15)$$

$$\mu = \tanh \left[0.520 \left(\frac{gd_n}{U_n^2}\right)^{\frac{3}{8}} \right], \nu = \sqrt{\frac{1}{S_n} \left(\frac{gd_n}{U_n^2}\right)}$$

S_{n+1} 求出後，因在 Δx 區域內，水深均假定為 d_n ，故由(4.1.6)式

$$T_{n+1} = 2\pi \sqrt{\frac{d_n}{g S_{n+1}}} \dots\dots\dots (4.1.16)$$

再以 S_{n+1} 代入(4.1.10)式求 Z_{n+1} ，則 G_{n+1} 為：

$$G_{n+1} = Z_{n+1} \sqrt{gd_n} \dots\dots\dots (4.1.17)$$

Δx ， Δt 之計算，須先決定 Δx 及 Δt 之最大值，即在 $(\Delta x)_{\max}$ 之 1 段距離內，海面風速可作為常數，在 $(\Delta t)_{\max}$ 之 1 段時間內，風速可認為無變化，在颱風中 20 分鐘以上風向風速必有變化，故在 $(\Delta t)_{\max}$ 決不能超過 20 min 即 1200 sec，海面在 5 km 之範圍內，如不考慮水深影響時，風速可作為常數，因此 $(\Delta x)_{\max}$ 應為 5 km = 5000 m 以下，

已知 G_n ，如 $G_n \geq \frac{(\Delta x)_{\max}}{(\Delta t)_{\max}}$ 時，則 Δx 用 $(\Delta x)_{\max}$ ， $\Delta t = \frac{(\Delta x)_{\max}}{G_n}$

，如 $G_n < \frac{(\Delta x)_{\max}}{(\Delta t)_{\max}}$ 時，用 $\Delta x = G_n (\Delta t)_{\max}$ 。故 Δx ， Δt 由下式

算定：

$$\left. \begin{aligned} G_n \geq \frac{(\Delta x)_{\max}}{(\Delta t)_{\max}} \text{ 時 } \Delta x &= (\Delta x)_{\max}, \Delta t = \frac{(\Delta x)_{\max}}{G_n} \\ G_n < \frac{(\Delta x)_{\max}}{(\Delta t)_{\max}} \text{ 時 } \Delta x &= (\Delta t)_{\max} \cdot G_n, \Delta t = (\Delta t)_{\max} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1.18)$$

須注意 Δx 之區間內水深須視作常數而計算，故如海底比降較陡時，

$(\Delta x)_{\max}$ 須甚小，例如海底比降為 $s = 1 / 100$ 時 $(\Delta x)_{\max}$ 如定為 1000 m， d_n 與 d_{n+1} 即須相差 10 m 之多，故必要時 $(\Delta x)_{\max}$ 須小至 100 m 左右， $(\Delta t)_{\max}$ 亦應相對減少。

$n + 1$ 點之波浪求出後，可用同樣方法求 $n + 2$ 點之波浪，因自該點起之 Δx 區間，均以水深 d_{n+1} 計算，故以前算出之 S_{n+1} ， Z_{n+1} 均不用，重新以 $\frac{G_{n+1}}{\sqrt{gd_{n+1}}}$ 作為 Z_{n+1} ，再計算 S_{n+1} 。

波浪變成湧浪狀態時，在深海中為：

$$0.26 \leq \frac{gH}{U^2} \dots\dots\dots (4.1.19)$$

$$0.7 \leq \frac{G}{U} \dots\dots\dots (4.1.20)$$

在淺海中

$$0.26 \tanh \left[0.578 \left(\frac{gd}{U^2} \right)^{\frac{3}{4}} \right] \leq \frac{gH}{U^2}$$

即 $0.26 \alpha \leq \frac{gH}{U^2} \dots\dots\dots (4.1.21)$

$$1.40 \tanh \left[0.520 \left(\frac{gd}{U^2} \right)^{\frac{3}{8}} \right] \leq \sqrt{\frac{1}{S} \left(\frac{gd}{U^2} \right)}$$

即 $1.40 \mu \leq \nu \dots\dots\dots (4.1.22)$

如計算中遇此種情況，即波浪已變為湧浪，須由下式計算其波高

$$\frac{H_D}{H_F} = \left[\cos \left\{ 0.66 \left(\frac{F}{H_F} \right)^{0.05} \left(\frac{D}{F} \right)^{0.25} \tanh \left[3.0 \left(\frac{D}{F} \right)^{0.30} \right] \right\} \right]^{-1} \dots\dots\dots (4.1.23)$$

式中 H_F 與 H_D 各為甫脫出風域時與脫離風域後波浪再推前 D 距離時之波高。 F 與 D 各為風域長度及脫離風域之距離。

至於其週期之計算為：

$$\frac{T_D}{T_F} = \sqrt{\cosh \left\{ 1.74 \left(\frac{2\pi F}{gT_F^2} \right)^{-0.05} \left(\frac{D}{F} \right)^{0.20} \tanh \left[1.02 \left(\frac{2\pi F}{gT_F^2} \right)^{-0.04} \left(\frac{D}{F} \right)^{0.32} \right] \right\}} \dots\dots\dots (4.1.24)$$

式中 T_D 與 T_F 各為 H_D 與 H_F 之對應週期。

因此由上述知，不論波浪為深水波或淺水波，風浪或湧浪，均可用數值計算。

(二)風速計算式之決定

已知計算颱風之中心氣壓 p_c ，進行路徑及速度 V ，求各吹風距離線上之風速計算公式之具體步驟如下：

(1)各地測候所報告之氣壓 P 及發生時間與颱風中心之距離 R ，求出壓力分佈式 $P = P_c + a \exp[-R_0/R]$ 中之常數 a 及 R_0 （最大風速處距中心低氣壓之距離）。

(2)以 a ， R_0 代入傾度風計算公式， ϕ 為颱風所經過處之緯度平均值。

(3)以計算點前方水深約 15m 處作為原點，如計算較深處之波浪時，即以計算點為原點，以吹風距離線為 x 軸，與之垂直之線為 y 軸，決定 $t = 0$ 之時刻，該時刻之颱風中心位置為 $x = a'$ ， $y = b'$ ，則任何時間、地點之吹風距離線上風速，均可由下式求出為：

$$U(x, t) = 0.6 \left\{ -\frac{1}{R} \left[\sin \alpha (x - C_1 t + C_2) + \cos \alpha (C_3 t + C_4) + \frac{C_1}{(V_g')_{\max}} \right] V_g' \right. \\ \left. R = \left[(x - C_1 t + C_2)^2 + (C_3 t + C_4)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right. \\ \left. \dots\dots\dots (4.1.25) \right.$$

$$V_g' = \left[\frac{aR_0}{\rho'R} \exp\left(-\frac{R_0}{R}\right) + R^2 \Omega^2 \sin^2 \phi \right]^{\frac{1}{2}} - R \Omega \sin \phi \\ \dots\dots\dots (4.1.26)$$

式中 $C_1 = V_x$ ， $C_2 = -a'$ ， $C_3 = -V_y$ ， $C_4 = -b'$ ，均為因吹風距離線而異之數字， $\sin \alpha$ ， $\cos \alpha$ ， $\sin \phi$ ， Ω （地球自轉角速率）， ρ' （空氣密度），均為常數，如颱風中之中心氣壓不變時， a ， R_0 ， $(V_g')_{\max}$ 亦為不變之常數。 α 在北緯 25° 以南為 35° ，在北緯 25° 以北為 30° ， $(V_g')_{\max}$ 為 $R = R_0$ 時之值， V_x ， V_y 各為颱風移動速度之 x 與 y 分量。

颱風中心氣壓有變化，或路徑非直線，則將時間分段，每段時間之 $U(x, t)$ 中常數 C_1 ， C_2 ， C_3 ， C_4 ， $C_a = a$ ， $C_{R_0} = R_0$ ， $C_{V_g} = (V_g')_{\max}$

先行算出，且於各方向吹風距離線上與各段時間之變化上列表之。

(三)計算起點之決定

用此方法可不用風域圖，故開始計算之點 (x_0, t_0) 須用計算方法，如決定 $U = U_0$ 之點開始計算則其對應起始點 (x_0, t_0) 由下列方程式求出：

$$\left. \begin{aligned}
 U_0 &= 0.6 \left\{ \frac{1}{R} \left[\sin \alpha (x_0 - C_1 t_0 + C_2) + \cos \alpha (C_3 t_0 + C_4) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \frac{C_1}{(V_g')_{\max}} \right] \right\} V_g' \\
 R &= \left[(x_0 - C_1 t_0 + C_2)^2 + (C_3 t_0 + C_4)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\
 V'_{g0} &= \left[\frac{aR_0}{\rho' R} \exp\left(-\frac{R_0}{R}\right) + R^2 \Omega^2 \sin^2 \phi \right]^{\frac{1}{2}} - R \Omega \sin \phi
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1.27)$$

但(4.1.27)式無法由解析方法解出，故須用近似解法，將此式變形為：

$$-0.6 \left\{ \frac{\textcircled{H}}{R} - \frac{C_1}{(V_g')_{\max}} \right\} V_g' = U_0 \dots\dots\dots (4.1.28)$$

$$\textcircled{H} = \sin \alpha (x_0 - C_1 t_0 + C_2) + \cos \alpha (C_3 t_0 + C_4) \dots\dots\dots (4.1.29)$$

(4.1.28)式為R與 \textcircled{H} 之函數，可代入數值後計算 \textcircled{H} ， R^2 繪成圖表如圖4.1-1。

$R = 100 \text{ km} \sim R = 500 \text{ km}$ 處之曲線，可用 \textcircled{H} 之2次方程式代表，則

$$\textcircled{H}^2 + C'_1 \textcircled{H} + C'_2 R^2 + C'_3 = 0 \dots\dots\dots (4.1.30)$$

\textcircled{H}^2, R^2 為 x_0, t_0 之2次函數， \textcircled{H} 為 x_0, t_0 之1次函數，則(4.1.30)式為 x_0, t_0 之2次方程式，其解為：

$$x_0 = C_6 t_0 + C_7 \pm \sqrt{C_8 t_0^2 + C_9 t_0 + C_{10}} \dots\dots\dots (4.1.31)$$

已知 t_0 即可求出 x_0 ，每1吹風距離線必須求1次，路徑有變動時亦須另求1次，將(4.1.31)式繪成圖表，如圖4.1-2。

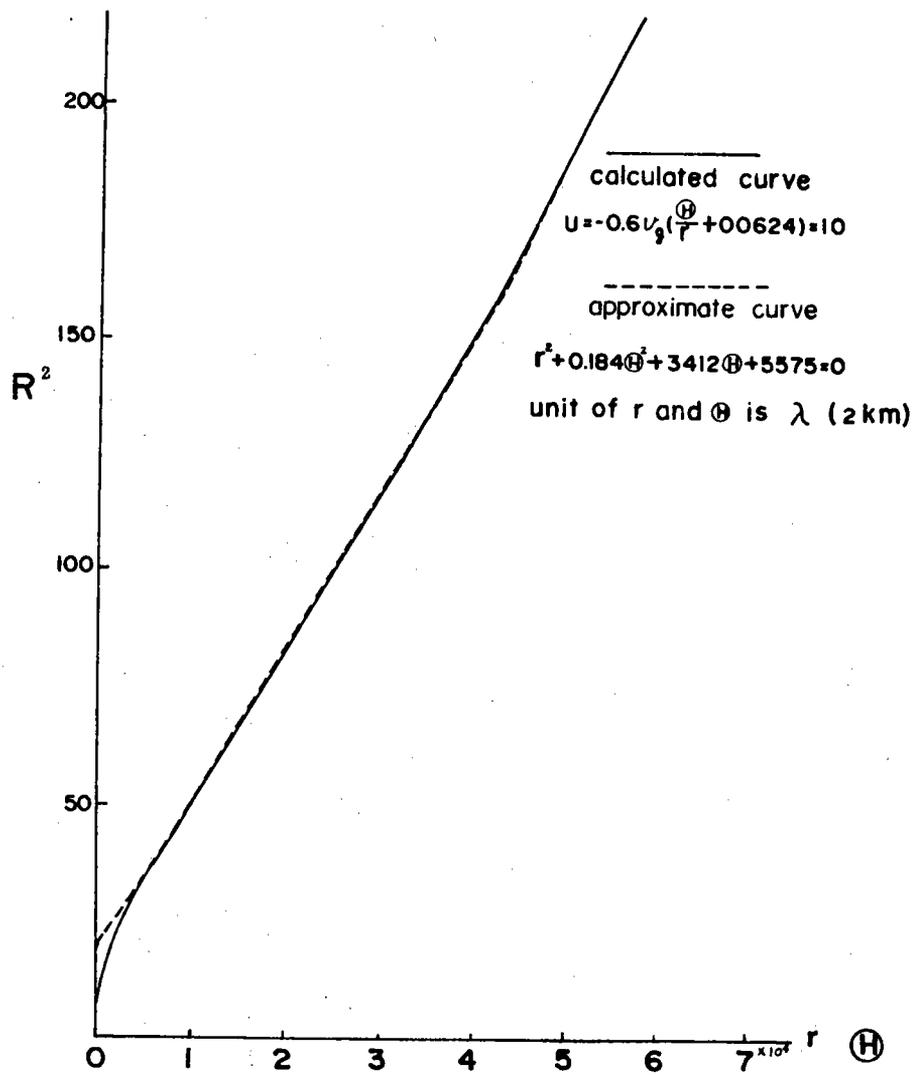


圖 4.1 - 1 R^2 與 λ 關係圖

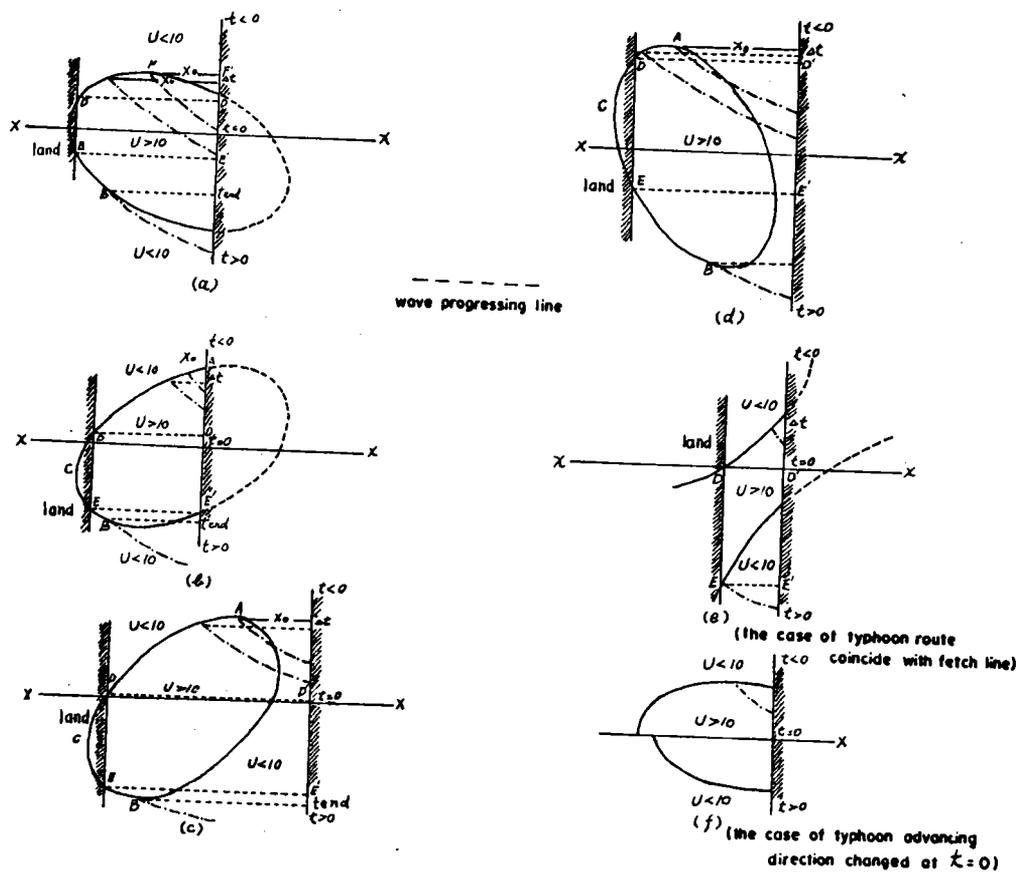


圖 4.1 - 2 波浪進行曲線起點

圖中橢圓及雙曲線，為 x_0 , t_0 之關係曲線，(e)圖為颱風中心沿吹風距離線直線進行且通過計算點之狀況，除此之外，均為橢圓，(f)圖為颱風進行方向在 $t = 0$ 時有變化之狀況，由此種圖，可決定開始計算之時間，如圖上之A點，以後每隔1個 Δt ，決定1個 t_0 ，用(4.1.31)式算出 x_0 ，作為波浪進行曲線之起點，但如算出之 x_0 大於對岸距離F如圖中DE之時，即令 $x_0 = F$ ，(4.1.31)式中之正負號，由圖4.1-2即可決定，在該圖中吹風距離線在 x 之負號部，故用負號。

計算時用之公式為：

$$\left. \begin{aligned}
 t_{\text{begin}} &= C_5 \\
 t_0 &= C_5 + n\Delta t \quad (n = 1, 2, 3, 4 \dots) \\
 x_0 &= C_6 t_0 + C_7 - \sqrt{C_8 t_0^2 + C_9 t_0 + C_{10}}
 \end{aligned} \right\} (4.1.32)$$

如 $x_0 > C_{11}$ $C_{11} = F$

令 $x_0 = C_{11}$

$t_0 = C_5 + n\Delta t$ 如大於 t_{end} 時，波浪進行曲線在風域之外，不必計算，即該方向之波浪已計算完畢，可換 1 方向再始計算。

(四) 水深計算式

任何地點時間 (x, t) 處之水深，須用近似公式表示，該處之潮汐，假設為正弦曲線，則水深計算公式 $d(x, t)$ 為：

$$d(x, t) = d_m(x) + h \sin\left(\frac{2\pi t}{\tau} + \varepsilon\right) \dots (4.1.33)$$

$d_m(x)$ 為平均水位時之近似公式，可分段表示，例如

$$x > C_{11} : d \rightarrow \infty$$

$$C_{11} < x < C_{12} : d_m(x) = C_{14}x^3 + C_{15}x^2 + C_{16}x + C_{17}$$

$$C_{12} < x < C_{13} : d_m(x) = C_{18}x^3 + C_{19}x^2 + C_{20}x + C_{21}$$

必要時尚可再分段。

h 為潮汐振幅， τ 為潮汐週期， ε 為位相。

已知 (x, t) ，則 d 可算出。

(五) 起點開始之波浪

起點開始之波浪，週期必小，故可不必考慮其水深，作為深水波計算，其順序如下：

(1) U_0 雖已決定，但起點之推算公式〔26〕為近似公式，又因 x_0 如大於 F 時，須令 $x_0 = F$ ，故 U_0 須重算，故

$$U_0 = U_0(x_0, t_0) \text{ [以 } x_0, t_0 \text{ 代入 (4.1.25)(4.1.26) 式]} \dots (4.1.34)$$

(2) 已知 $(\Delta t)_{max}$ ，求 Δx

$$\Delta x = f_1[U_0, (\Delta t)_{max}] \dots (4.1.35)$$

$$\text{即 } \Delta x = \left(\frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.0436\right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{gU_0} [(\Delta t)_{max}]^{\frac{3}{2}}$$

(3) 求 H

$$H = f_2(U_0, \Delta t) \dots (4.1.36)$$

$$\text{即 } H = \frac{0.26U_0^2}{g} \left[0.01 \left(\frac{g\Delta x}{U_0^2}\right)^{\frac{1}{2}}\right]$$

(4)求G

$$G = f_3(U_0, \Delta x) \dots\dots\dots (4.1.37)$$

$$\text{即 } G = 0.70 U_0 \left[0.0436 \left(\frac{g \Delta x}{U_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

(5)求T

$$T = f_4(G) = \frac{2\pi G}{g} \dots\dots\dots (4.1.38)$$

$$g = 9.81 \text{ m/sec}^2$$

由以上計算，第1點，即 $n = 1$ 時之波浪狀況已算出。

(六)湧浪狀況之計算

計算中遭遇 (4.1.19) 至 (4.1.22) 各式之情況時，即表示波浪已變為湧浪，須用 (4.1.23) 與 (4.1.24) 式計算，但 (4.1.19) 與 (4.1.20) 式，(4.1.21) 與 (4.1.22) 式之情況其發生之時間，略有不同，此為近似公式矛盾之處，在計算湧浪時，必須有到達變為湧浪為止之吹風距離 F ，減衰距離 D ，風域終端之波高 H_F ，週期 T_F ，始可計算，因前述波高與週期變為湧浪之時期略有誤差，故 F 分為波高與週期之對應量 F_H 及 F_T ， D 亦分為 D_H 及 D_T 須分別決定之，湧浪推算之步驟如下：

(1)準備事項

由起始點開始，每次計算，均須列出 F_H, F_T, D_H, D_T 及 H_F, T_F 以備下1點如遇 (4.1.19) 至 (4.1.22) 等式情況時可用 (4.1.23) (4.1.24) 式計算，因此如該點之波浪，完全以風浪算出者， F_H, F_T 在延長中故

$$[F_H]_{n+1} = [F_H]_n + \Delta x \dots\dots\dots (4.1.39)$$

$$[F_T]_{n+1} = [F_T]_n + \Delta x \dots\dots\dots (4.1.40)$$

此時無減衰距離，故

$$[D_H]_{n+1} = [D_H]_n = 0 \dots\dots\dots (4.1.41)$$

$$[D_T]_{n+1} = [D_T]_n = 0 \dots\dots\dots (4.1.42)$$

如下1點變為湧浪時，則

$$H_F = H_{n+1} \dots\dots\dots (4.1.43)$$

$$T_F = T_{n+1} \dots\dots\dots (4.1.44)$$

第 1 點之波浪，為根據風浪公式算出者，故

$$\left. \begin{aligned} [F_H] = [F_T]_1 = \Delta x, [D_H]_1 = [D_T]_1 = 0 \\ H_F = H_1, T_F = T_1 \end{aligned} \right\} (4.1.45)$$

如第 n 點之波浪週期，變為湧浪，波高仍以風浪算出者，則第 n + 1 點波浪計算時

$$[F_H] = [F_H]_n + \Delta x \dots\dots\dots (4.1.46)$$

$$[F_T] = [F_T]_n \text{ 以後不增加 } \dots\dots\dots (4.1.47)$$

減衰距離為

$$[D_H]_{n+1} = [D_H]_n = 0 \dots\dots\dots (4.1.48)$$

$$[D_T]_{n+1} = [D_T]_n + \Delta x \dots\dots\dots (4.1.49)$$

風域終端之波高及週期為

$$H_F = H_{n+1} \dots\dots\dots (4.1.50)$$

$$T_F = [T_F]_n \text{ 以後不變 } \dots\dots\dots (4.1.51)$$

如第 n 點之波浪，波高或週期均已變為湧浪，或 U_n 已小於 (4.1.27) 式之 U_0 ，不考慮 (4.1.19) 至 (4.1.22) 式之計算，即以湧浪計算時

$$[F]_{n+1} = [F_H]_n \text{ 不增加 } \dots\dots\dots (4.1.52)$$

$$[F_T]_{n+1} = [F_T]_n \text{ 不增加 } \dots\dots\dots (4.1.53)$$

$$[D_H]_{n+1} = [D_H]_n + \Delta x \dots\dots\dots (4.1.54)$$

$$[D_T]_{n+1} = [D_T]_n + \Delta x \dots\dots\dots (4.1.55)$$

$$[H_F] = [H_F]_n \dots\dots\dots (4.1.56)$$

$$[T_F] = [T_F]_n \dots\dots\dots (4.1.57)$$

(2) 深水波湧浪

凡 U 小於 (4.1.27) 式之 U_0 時，一律以湧浪計算。

凡不小於 (4.1.27) 式之 U_0 時

如符合 (4.1.19) 式之條件，

$$\frac{H_{n+1}}{[H_F]_n} = \left\{ \cosh \left\{ 0.66 \left(\frac{[F_H]_n}{H_F} \right)^{0.05} \left(\frac{[D_H]_n + \Delta x}{[F_H]_n} \right) \tanh \left[3.0 \left(\frac{[D_H]_n + \Delta x}{F} \right)^{0.3} \right] \right\} \right\}^{0-1}$$

$$= f_{21} (H_F, F_H, D_H, \Delta x) \dots\dots\dots (4.1.58)$$

如符合 (4.1.20) 式之條件

$$\frac{T_{n+1}}{[T_F]_n} = \sqrt{\cosh \left\{ 1.74 \left(\frac{2\pi [F_T]_n}{g T_F^2} \right)^{-0.05} \left(\frac{[D_T]_n + \Delta x}{[F_T]_n} \right)^{0.20} \right.}$$

$$\left. \tanh \left[1.02 \left(\frac{2\pi [F_T]_n}{g T_F^2} \right)^{-0.04} \times \sqrt{\left(\frac{[D_T]_n + \Delta x}{[F_T]_n} \right)^{0.32}} \right] \right\}}$$

$$= f_{15} (T_F, F_T, D_T, \Delta x) \dots\dots\dots (4.1.59)$$

(3) 淺水波之湧浪

U 小於 (4.1.27) 式之 U_0 ，或符合 (4.1.22) 式之條件時， T_{n+1} 用 (4.1.59) 式求得。

U 不小於 (4.1.27) 式之 U_0 ，符合 (4.1.21) 式之條件但不符合 (4.1.19) 式之條件時，用深海波計算其波高之加增，但減去海底之摩擦損失。

$$\text{即 } H_{n+1} = \left\{ \cosh \left[0.66 \left(\frac{[F_H]_n}{H_n} \right)^{0.06} \left(\frac{\Delta x}{[F_H]_n} \right)^{0.25} \tanh \left\{ 3.0 \left(\frac{\Delta x}{[F_H]_n} \right)^{0.30} \right\} \right] \right\}^{-1}$$

$$H_n + \frac{3.846 \times 10^{-4} (0.26 + gH_n/U_n^2) (0.26 - gH_n/U_n^2)}{\ln(0.26 + gH_n/U_n^2) - \ln(0.26 - gH_n/U_n^2)} \Delta x$$

$$- \left(1 - \frac{1}{f \Phi H_n \Delta x + 1} \right) H_n$$

$$= f_{14} (H, U, F_H, G, T, Z, S, \Delta x)$$

$$\dots\dots\dots (4.1.60)$$

根據 (4.1.8) 式

$$y = \frac{2\pi d}{L} = Z \sqrt{S} + \sqrt{Z^2 S - S + S^2} \dots\dots\dots (4.1.61)$$

代入海底摩擦關係式得 Φ 爲

$$\Phi = \frac{16\pi^2}{3g} \frac{1}{G_n T_n^3} \left[\sinh(Z\sqrt{S} + \sqrt{Z^2 S - S + S^2}) \right]^{-3}$$

..... (4.1.62)

如 U 小於(4.1.27)式之 U_0 ，或符合(4.1.19)式之條件時

$$H_{n+1} = \left\{ \cosh \left[0.66 \left(\frac{[F_H]_n}{H_F} \right)^{0.06} \left(\frac{[D_H]_n + \Delta x}{[F_H]_n} \right)^{0.25} \right. \right. \\ \left. \left. \tanh \left\{ 3.0 \left(\frac{[D_H]_n + \Delta x}{[F_H]_n} \right)^{0.30} \right\} \right] \right\}^{-1} H_F \\ - \left(1 - \frac{1}{f\Phi H_n \Delta x + 1} \right) H_n \\ = f_{22} (H_F, F_H, D_H, H, G, Z, S, T, \Delta x)$$

..... (4.1.63)

(4.1.60)與(4.1.63)式中之 f 爲摩擦係數，通常可採用 Bretschneider 所假設之 $f = 0.01$ 。

(七)計算程序

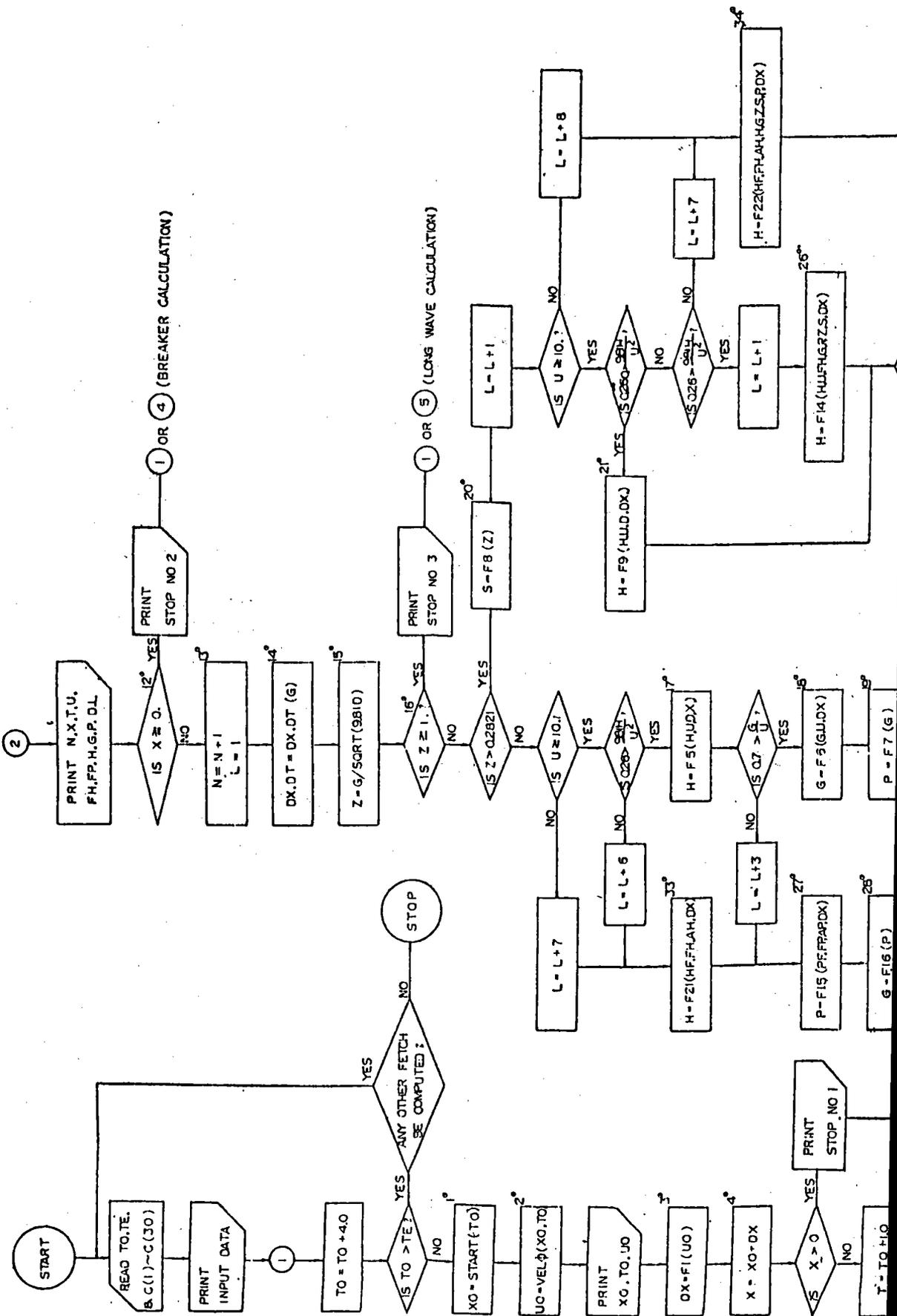
以上之計算，用電子計算機計算時，其流程圖(Flow chart)如流程圖(Flow chart-1, 2)。

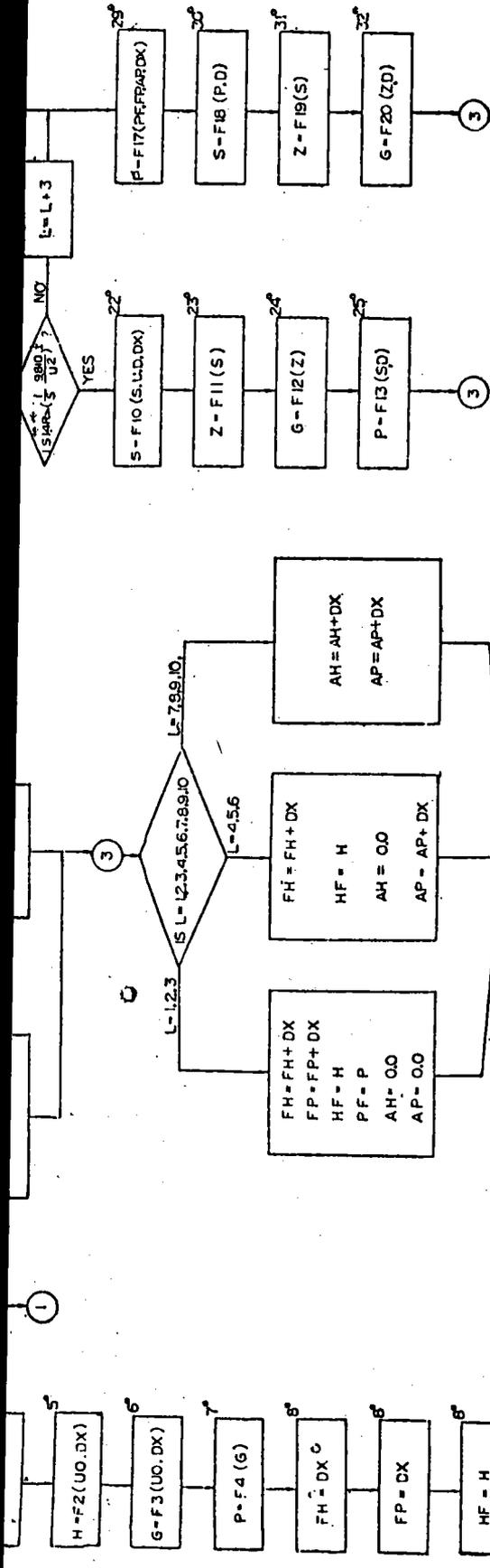
今就以此圖說明計算程序，圖中週期改爲 P 以免與時間 T 混淆，減衰距離改爲 A (Attenuation)，以免與水深 D 混淆。

在計算之前，先決定風速，水深，計算開始點位置公式之常數，每1吹風距離線約有30個左右，並決定 t_{begin} 及 t_{end} ，每4個時間單位定1波浪進行曲線之起點，即 t_0 。(此流程圖上時間單位爲15min，即每1hr取1 t_0 爲波浪進行曲線之起點，實際使用時可視情況而更改)，此流程圖中，(4.1.27)式之 U_0 定爲10m/sec，必要時可減少，但不能小於6.6m/sec，如 t_0 大於 t_{end} 時，該吹風距離線上之波浪進行曲線均已計算完畢，可換1吹風距離線重行開始，以下就圖中1°，2°……各項逐一解說。

①爲起點之波浪計算，即自 (x_0, t_0) 即波浪進行曲線之起點，推算 $n+1$ 點之波浪， $x=0$ 之點水深爲15m左右，如波浪推算位置在此

FLOW CHART-1





* $Q = \text{TANH} \left(0.578 \left(\frac{0.81D}{U^2} \right)^{0.7} \right)$

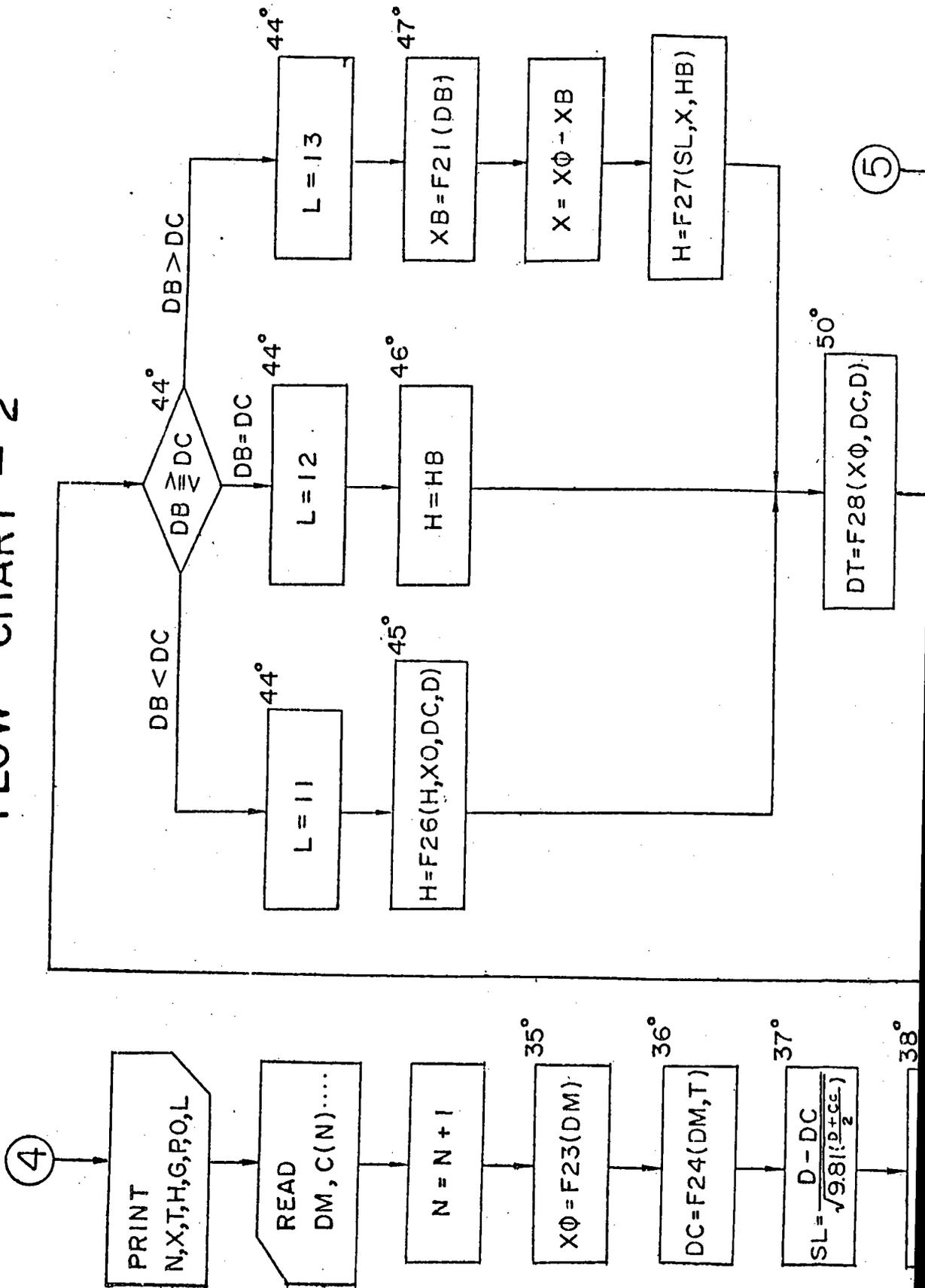
$$= \frac{\text{EXP} \left(0.578 \left(\frac{0.81D}{U^2} \right)^{0.7} \right) - \text{EXP} \left(-0.578 \left(\frac{0.81D}{U^2} \right)^{0.7} \right)}{\text{EXP} \left(0.578 \left(\frac{0.81D}{U^2} \right)^{0.7} \right) + \text{EXP} \left(-0.578 \left(\frac{0.81D}{U^2} \right)^{0.7} \right)}$$

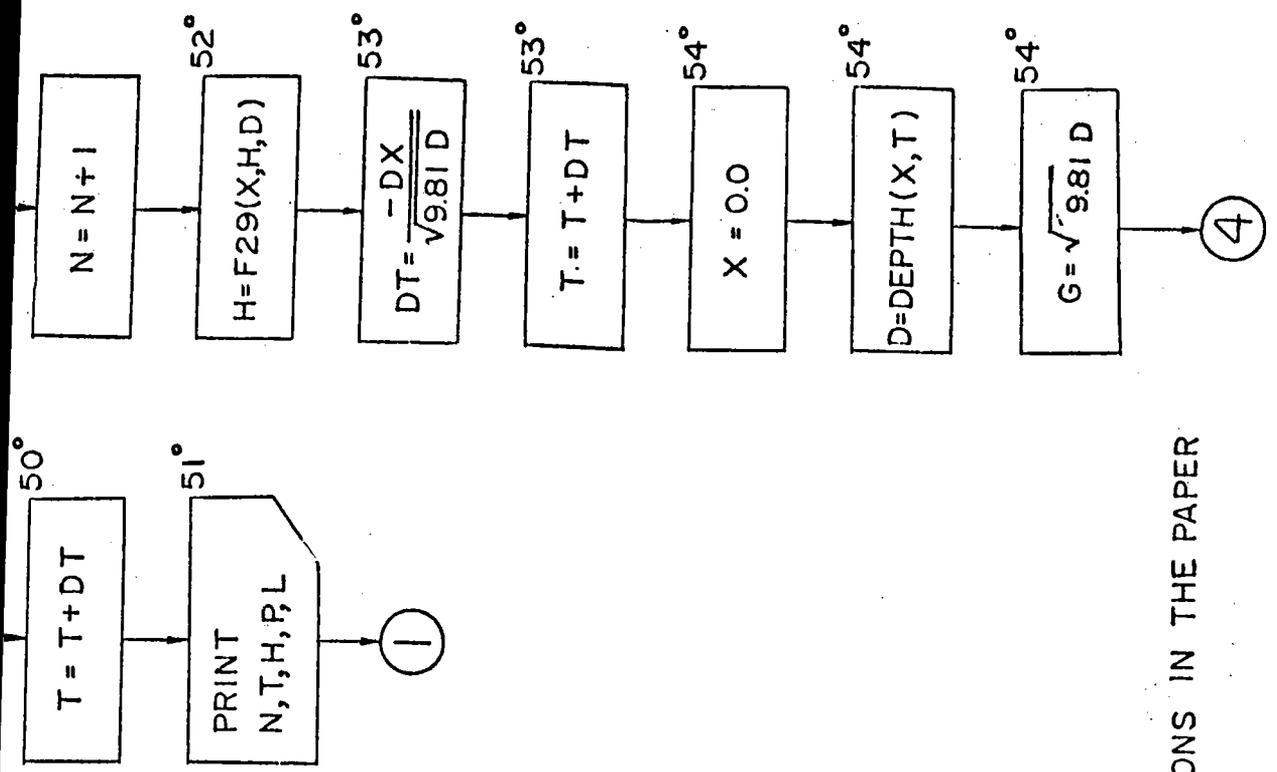
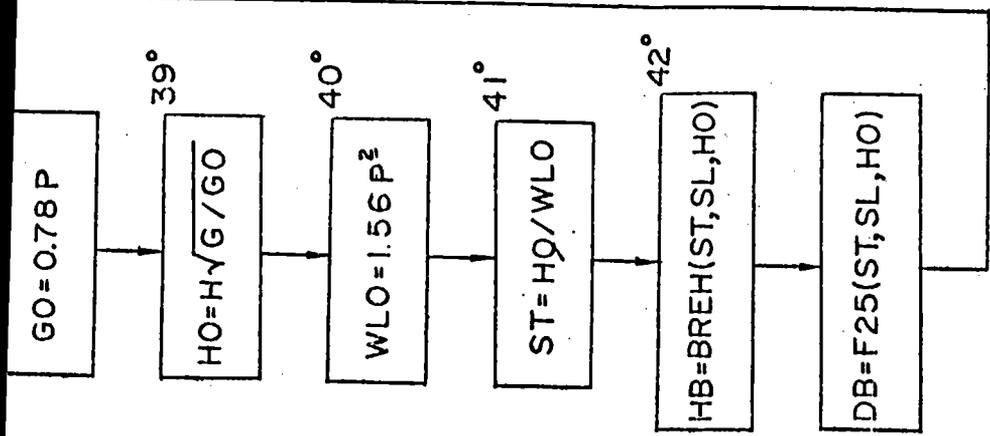
** $R = \text{TANH} \left(0.52 \left(\frac{0.81D}{U^2} \right)^{0.7} \right)$

$$= \frac{\text{EXP} \left(0.52 \left(\frac{0.81D}{U^2} \right)^{0.7} \right) - \text{EXP} \left(-0.52 \left(\frac{0.81D}{U^2} \right)^{0.7} \right)}{\text{EXP} \left(0.52 \left(\frac{0.81D}{U^2} \right)^{0.7} \right) + \text{EXP} \left(-0.52 \left(\frac{0.81D}{U^2} \right)^{0.7} \right)}$$

0: ZERO
 Φ: CHARACTER
 π: NUMBER OF EXPLANATION IN THE PAPER

FLOW CHART - 2





Φ : CHARACTER
 η : NUMBER OF EXPLANATIONS IN THE PAPER

點向岸方向，另須計算碎波及碎波後之波浪，另行解說，如計算大型港灣之港口附近波浪，即可將推算位置定為 $x = 0$ 點，此流程圖上吹風距離線為 x 軸之負部，有必要時（如計算臺灣東海岸波浪）當然可將吹風距離線定在 x 軸之正部。

- 1° 由 t_0 求 x_0 ，用 (4.1.32) 式。
 - 2° 由 (x_0, t_0) 計算 U_0 ，用 (4.1.34) 式。
 - 3° 計算 Δx 用 (4.1.35) 式， $(\Delta t)_{\max}$ 為 1 單位（即 15 min），故 $t_1 = t_0 + 1$ （實際計算時須注意單位換算）。
 - 4° 求 $x_1 = x_0 + \Delta x$ ，如 $x_1 \geq 0$ ，即已在 $x = 0$ 點之向岸方向，並記入“Stop No. 1”以說明此情況。
 - 5° 求 $n = 1$ 點之 H ，用 (4.1.36) 式。
 - 6° 求 $n = 1$ 點之 G ，用 (4.1.37) 式。
 - 7° 求 $n = 1$ 點之週期，用 (4.1.38) 式。
 - 8° 準備湧浪推算資料，用 (4.1.45) 式。
 - 9° N 為計算點之次序， L 為表示計算性質之數字， $L = 1$ 為深水風浪計算。
 - 10° 已知 x_1, t_1 ，求 $n = 1$ 點風速之 U ，用 (4.1.25) 及 (4.1.26) 式。
 - 11° 已知 x, t ，求 $n = 1$ 點之水深，用 (4.1.33) 式。
- ② 為至 n 點至 $n + 1$ 點之計算，已知 n 點之位置 x ，時間 t ，風速 U ，水深 d ，週期 $T(P)$ ，波高 H ，及有關湧浪之推算資料 $F_H, F_T(F_P)$ ， $D_H(A_H)$ ， $D_T(A_P)$ ， $H_F, T_F(P_F)$ ，不論為風浪或湧浪，均可計算。
- 12° 先查核此點有否超過 $x = 0$ ，如已超過，轉入碎波計算部份即④，或表示波浪進行曲線已終了，轉至①，另換 t_0 ，記入“Stop No. 2”說明此情況。
 - 13° 先令為 $L = 1$ ，以後按情況增加 L 之數字， $L = 1$ 表示深海風浪計算。
 - 14° 用 (4.1.18) 決定 Δx ，及 Δt 。
 - 15° 計算 $Z = G / \sqrt{gd}$ ，以判別波浪之性質。

- 16° 按〔7〕式，除非 $S = 0$ ， Z 決不能等於 1，亦無大於 1 之可能，但在 $n-1$ 點至 n 點之計算中，按〔14〕式，

$$G_n = Z_n \sqrt{gd_{n-1}}$$

因 Δx 間之水深，以 d_{n-1} 作為常數計算，上式之 Z_n 在此須重新計算，故有等於 1 或略大於 1 之可能。如有此現象，則已變為長波性之淺灘波，須轉至⑤，或即停止後另由①開始，記入“Stop No. 3”以註明此現象，如 $Z < 0.2821$ 時，為深水波， $Z \geq 0.2821$ 時，為淺水波，分別計算。

- 17° 深水風浪之波高計算，與 Wilson 之數值計算法同，即

$$H_{n+1} = f_5(H, U, \Delta x) = H_n + \left(\frac{dH}{dx}\right)_n \Delta x$$

$$\left(\frac{dH}{dx}\right)_n = \frac{3.846 \times 10^{-4} (0.26 + \frac{gH_n}{U_n^2}) (0.26 - \frac{gH_n}{U_n^2})}{\ln(0.26 + \frac{gH_n}{U_n^2}) - \ln(0.26 - \frac{gH_n}{U_n^2})}$$

- 18° 深水風浪之群速度計算，與 Wilson 之方法同，

$$G_{n+1} = f_6(G, U, \Delta x) = G_n + \left(\frac{dG}{dx}\right)_n \Delta x$$

$$\left(\frac{dG}{dx}\right)_n = \frac{1.578 \times 10^{-4} g (0.7 + \frac{G_n}{U_n}) (0.7 - \frac{G_n}{U_n})}{U_n [\ln(0.7 + \frac{G_n}{U_n}) - \ln(0.7 - \frac{G_n}{U_n})]^2}$$

- 19° 已知深水波群速度求週期之公式， $P = f_7(G)$ 與 (4.1.38) 式同。

- 20° 如為淺水波，先求 S ， $S = f_8(Z)$ 即 (4.1.11) 式，同時 L 加 1， $L = 2$ 表示淺海風浪之計算。

- 21° 淺海風浪之波高計算， $H_{n+1} = f_9(H, U, d, \Delta x)$ 即為 (4.1.12) (4.1.13) 式。

- 22° 淺海風浪中計算群速度，及週期之前，先計算 S ， $S_{n+1} = f_{10}(S, U, d, \Delta x)$ 為 (4.1.14) (4.1.15) 式。

- 23° 由 S 計算 Z ， $Z = f_{11}(S)$ 即 (4.1.10)。

24° 由Z計算G， $G = f_{12}(Z, d)$ 即(4.1.17)式。

25° $T(P) = f_{13}(S, D)$ 即(4.1.16)式。

26° $0.26 \tanh \left[0.578 \left(\frac{gd}{U^2} \right)^{\frac{3}{4}} \right] \leq \frac{gH}{U^2}$ ，但 $0.26 > \frac{gH}{U^2}$ ，仍為淺

水風浪，L由原數2加1， $L = 3$ 為此種情況之淺水風浪計算，

$H_{n+1} = f_{14}(H, U, F_H, G, T, Z, S, \Delta x)$ 為(4.1.60

)(4.1.62)式。

27° 深水波週期先變為湧浪之週期計算，用(4.1.59)式，此時L為原數加3，原數加1，故 $L = 4$ ，即深水波部份湧浪計算。

28° $G = f_{16}(P)$ 即 $G = gT / 4\pi$ 。

29° 淺水波週期先變為湧浪之計算，L為原數2或3再加3，即 $L = 5, 6$ 為淺水波部份湧浪之計算， f_{17} 即 f_{15} 為(4.1.59)。

30° 已知T，即可由

$$S = f_{18}(T, \alpha) = \frac{4\pi d}{gT^2} \text{ 計算 } S。$$

31° 已知S求Z， $Z = f_{19}(S)$ 即 $f_{11}(S)$ 即(4.1.10)式。

32° $G = f_{20}(Z, d)$ 即 $G = f_{12}(Z, d)$ 即(4.1.17)式。

33° 深水波完全成湧浪之情況，即 $0.26 \leq gH/U^2$ ， $0.7 \leq G/U$ ，U雖仍大於(4.1.27)式之 U_0 ，但波浪已不能由風接受能量，此時L為原數加6，原數為1，故 $L = 7$ ，為深水波湧浪計算，如U小於(4.1.27)式之 U_0 ，則即使 $0.26 > gH/U^2$ ， $0.7 > G/U$ ，亦為湧浪，L為原數1加7即 $L = 8$ 為波浪仍可加大，但無風供給其能量，故為湧浪之計算，此2種情況，波高均用(4.1.58)式計算，週期均用(4.1.59)式計算。

34° 淺海波中， $0.26 \leq gH/U^2$ ， $1.40 \tanh \left[0.520 \left(\frac{gd}{U^2} \right)^{\frac{3}{8}} \right]$

$\leq \sqrt{\frac{1}{S} \left(\frac{gd}{U^2} \right)}$ 時，為完全湧浪，L為原數加7，原數為2，L

$= 9$ 為淺海波湧浪計算，如風速U小於[21]式之 U_0 時，不考慮

任何條件即為湧浪， L 為原數 2 加 8， $L = 10$ 為淺水中無風供給能量之湧浪，其波高均用 (4.1.63) 式計算，週期均用 (4.1.59) 式計算。

③為以上計算完畢後，按其性質，即 $L = 1, 2, 3$ 為風浪，故有關湧浪之資料，按 (4.1.39)~(4.1.44) 式準備， $L = 4, 5, 6$ 為部份湧浪，按 (4.1.46)~(4.1.51) 式準備湧浪資料， $L = 7, 8, 9, 10$ 為完全湧浪，按 (4.1.52)~(4.1.57) 式準備湧浪計算資料，然後計算 $x_{n+1} = x_n + \Delta x$ ， $t_{n+1} = t_n + \Delta t$ ，已知 (x, t) 即可由 (4.1.25) (4.1.26) 式計算 U ，(4.1.33) 式計算 d ，轉回②再計算次 1 點之波浪，以上重複執行之。

2. 井島武士法

井島武士之颱風風浪追跡法，其推算原理仍依據Wilson之移動風域法而將之直接變化為數值計算而成的，如上述之湯麟武法者；只不過兩者間的差異在於，湯麟武方法是沿著取定的吹風距離線來推算，而井島者是直接由移動風暴區內之風速分佈（即考慮區內各點之吹風情況）來推算，其計算過程如下（參照圖4.2-1之流程圖）。

(一)輸入計算範圍內之點座標 (x, y) 及其對應之水深 $d(x, y)$ 。設以東方向為 x 軸，北方向為 y 軸，東經 E° 度，北緯 N° 度為座標原點時，則在東經 E° 度，北緯 N° 度之點的座標 (x, y) 為

$$\left. \begin{aligned} x &= (E^\circ - E_0^\circ) \times 111.324 \times 10^3 \cos(E_0^\circ) \\ y &= (N^\circ - N_0^\circ) \times 111.0 \times 10^3 \end{aligned} \right\} \text{單位公尺計}$$

(x, y) 點之對應水深由海圖求出（若恰非正好在座標 (x, y) 點處，由前後或左右內差法行之，惟大於70 m深則視為深海200米行之）。選定計算之特定颱風及其路徑，求出此特定颱風前進在每一點時之中心氣壓差 Δp (mb)，最大風速處距中心之距離 r (m)，及其前進速度 V (km/hr 或 m/sec)（由路徑長對移行時間之平均），以上 $\Delta p, r, v$ 可由颱風路徑及天氣圖找出。

(二)準備計算颱風影響範圍內之各點處的氣壓 P (mb)，風速 \vec{U} （包括風向），（低於6 m/sec則免）及該點處的風浪（包括波高 H (m)，週期 T (秒)，波向（度），通常波向與風向視為相同）。

(三)選定計算之特定颱風，其在本題中開始計算點上之時間，取 $t = 0$ 時之初期值，如波高、週期等皆為零。

(1)於此步驟先計算 $t = 0$ 時，颱風影響範圍內之各點處的風速，其值為：
（如在 $P(x, y)$ 點處）

$$\text{大小 } |\vec{U}| = C_1 F(r) \sqrt{1 + M^2 + 2M \cos(\theta + \alpha)}$$

$$C_1 = 0.6, \alpha = 30^\circ \sim 35^\circ \dots\dots\dots (4.2.1)$$

方向（與 x 軸夾角 β ）為

$$\beta = \pi - \phi + \psi \dots\dots\dots (4.2.2)$$

參照圖 4.2-2

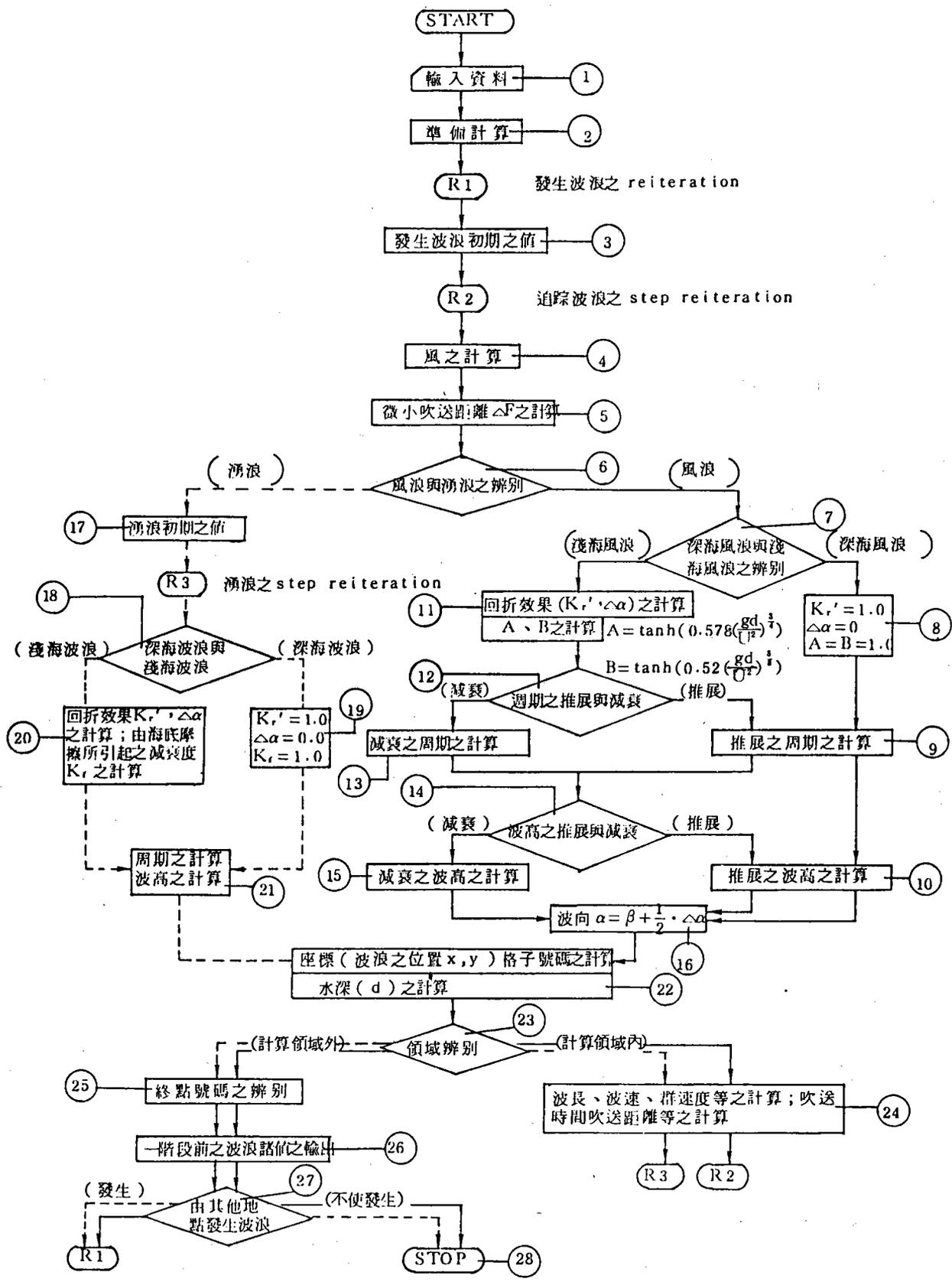


圖 2.2-1 非島嶼風浪推算流程圖

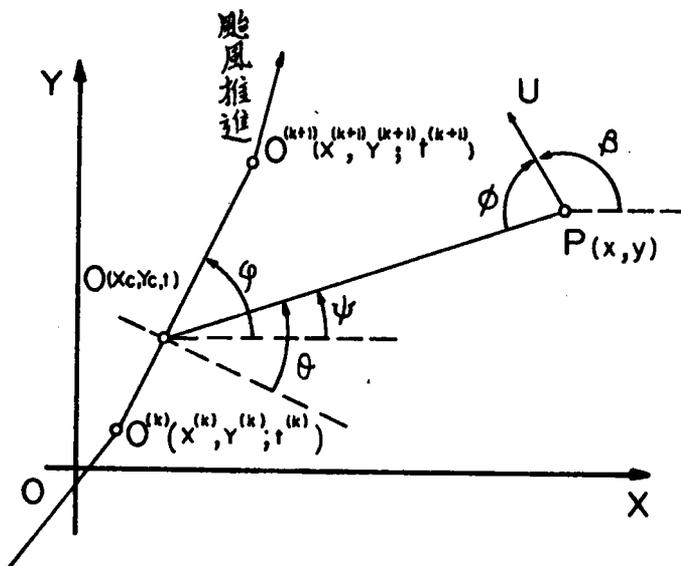


圖 4.2-2

(4.2.1), (4.2.2) 式中之各變數如下：

$$F(r) = \sqrt{\frac{10.2}{102.0} \times \frac{\Delta p}{p_a} \cdot \frac{r_0}{r} \cdot e^{-r_0/r} + \left(\frac{f}{2} r\right)^2} - \frac{f}{2} r \text{ (m/sec)}$$

r ：為計算點（即 p 點）離颱風中心 o 點之距離，即

$r = \overline{op}$ 長，此值之計算如下：

先求於第 k 時間階段（即第 k 次推算）時，颱風進行速度 $V^{(k)}$ 及其前進方向 $\varphi^{(k)}$ （與 x 軸角度），如圖 4.2-2

$$V^{(k)} = \frac{\sqrt{(X_c^{(k+1)} - X_c^{(k)})^2 + (Y_c^{(k+1)} - Y_c^{(k)})^2}}{\Delta T} \text{ (m/sec)}$$

..... (4.2.3)

(4.2.3) 式中 $(X_c^{(k)}, Y_c^{(k)})$ 係為於時間階段 k 時之颱風中心位置，在東經 $E_c^{(k)}$ 度，北緯 $N_c^{(k)}$ 度時，換算成 x, y 座標之點，即

$$X_c^{(k)} = (E_c^{(k)^\circ} - E_0^\circ) \times 111.324 \times 10^3 \times \cos(N_c^{(k)^\circ})$$

$$Y_c^{(k)} = (N_c^{(k)^\circ} - N_0^\circ) \times 111.0 \times 10^3$$

以公尺計 (4.2.4)

(4.2.3) 式中之 ΔT 由颱風路徑時間過程讀出。

$$\varphi^{(k)} = \tan^{-1} \left(\frac{Y_c^{(k+1)} - Y_c^{(k)}}{X_c^{(k+1)} - X_c^{(k)}} \right) \dots\dots\dots (4.2.5)$$

又(4.2.1)式中之第 k 階段的 M 值 $M^{(k)}$ 為

$$\left. \begin{aligned} M^{(k)} &= V^{(k)} / F(r_o^{(k+\frac{1}{2})}) \\ r_o^{(k+\frac{1}{2})} &= \{ r_o^{(k)} + r_o^{(k+1)} \} / 2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2.6)$$

綜合上述，可見下表先把必要輸入的及必要計算的先求出。

如下表資料輸入及預備計算已完成，則於時間 t ($t^{(k)} < t < t^{(k+1)}$) 時之颱風中心位置 (X_c, Y_c) 為

$$\left. \begin{aligned} X_c &= X_c^{(k)} + V^{(k)} \cdot (t - t^{(k)}) \times \cos \varphi^{(k)} \\ Y_c &= Y_c^{(k)} + V^{(k)} \cdot (t - t^{(k)}) \times \sin \varphi^{(k)} \end{aligned} \right\} \text{公尺計} \dots\dots\dots (4.2.7)$$

〔※當然開始計算點 $t = 0$ 時之颱風中心位置為 ($X_c^{(0)}, Y_c^{(0)}$)

因此，可求得 $\overline{op} = r$ 之距離為

$$r = \overline{op} = \sqrt{(x - X_c^{(0)})^2 + (y - Y_c^{(0)})^2} \dots\dots\dots (4.2.8)$$

時間階段		$t^{(1)}$	$t^{(k)}$	$t^{(k+1)}$	time
		i	k		
輸入資料	中心位置	$(n^{(1)}, e^{(1)})$	$(n^{(k)}, e^{(k)})$	$(n^{(k+1)}, e^{(k+1)})$	
	Δp	$\Delta p^{(1)}$	$\Delta p^{(k)}$	$\Delta p^{(k+1)}$	
	γ_o	$\gamma_o^{(1)}$	$\gamma_o^{(k)}$	$\gamma_o^{(k+1)}$	
預備計算	中心位置	$(X_c^{(1)}, Y_c^{(1)})$	$(X_c^{(k)}, Y_c^{(k)})$	$(X_c^{(k+1)}, Y_c^{(k+1)})$	
	進行速度			$V^{(k)}$	
	進行方向			$\varphi^{(k)}$	
	M			$M^{(k)}$	

今對於風之計算所剩的有 ψ, θ, ϕ 等值，其計算如下：

圖 4.2-2 ψ 為 \overline{op} 與 x 軸之夾角，為

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{y - Y_c}{x - X_c} \right) \dots\dots\dots (4.2.9)$$

又設 θ 爲 \overline{OP} 與 $\overline{O^{(k)}O^{(k+1)}}$ 之垂直方向所夾之角，則用 ψ 及颱風進行方向 φ ，可求得爲

$$\theta = \frac{\pi}{2} + \psi - \varphi \quad \dots\dots\dots (4.2.10)$$

因此 θ 值，P 點之風向與 \overline{OP} 所成之角中可依下式計算

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\cos \alpha + M \cos \theta}{\sin \alpha - M \sin \theta} \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.11)$$

故風向與 x 軸所成之夾角 β 爲(4.2.2)式所示，可求得之。

因此根據上述步驟，已知於任意時間之颱風中心位置 (X_c, Y_c) ， ΔP ， r_c 及 M 等時，則於任意時間任意點(波浪之計算點) $P(x, y)$ 之風向及風速可求出。

(2)接著由上述計算所得之在 $t = 0$ 時由颱風影響範圍內之吹風所發生之波浪初期值(即第 $k = 0$ 階段所生之風浪)。其計算如下：

先計算微小吹風距離 ΔF 爲

$$\Delta F = \left(\frac{2}{3} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \{ (0.0274)^3 \cdot g U \cdot \tau^3 \}^{\frac{1}{2}}$$

$$g \text{ 重力加速度, } \tau = 30 \text{ min (取秒)} \quad \dots\dots\dots (4.2.12)$$

由此求得影響範圍內各點之波浪值(即剛開始時之風浪條件)爲

$$H = \frac{0.3}{g} A \cdot U^2 \left[1 - \left\{ 1 + \frac{0.004}{A} \left(\frac{g \Delta F}{U^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right\}^{-2} \right] \quad \dots\dots\dots (4.2.13)$$

$$T = \frac{2\pi}{g} \times 1.37 \times B \times U \cdot \left[1 - \left\{ 1 + \frac{0.008}{B} \left(\frac{g \Delta F}{U^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right\}^{-5} \right] \quad \dots\dots\dots (4.2.14)$$

$$A = \tanh \left[0.573 \times \left(\frac{g d}{U^2} \right)^{\frac{3}{4}} \right]$$

$$B = \tanh \left[\left(\frac{g d}{U^2} \right)^{\frac{3}{8}} \times 0.52 \right]$$

d 爲水深，此步驟計算所得之波浪爲深海波浪，其波長 L ，波速 C ，波群速度 G 值各爲

$$L = \frac{g T^2}{2\pi}, \quad C = \frac{g T}{2\pi}, \quad G = \frac{g T}{4\pi} \quad \dots\dots\dots (4.2.15)$$

(四) 風之計算

時間 $t = t$ (即 $t = 0$ 以後) 之風的計算, 採用 (4.2.1) 式行之。

(五) 微小吹送距離 ΔF 之計算

設單位距離 λ , 單位時間 τ 為

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= 10 \text{ 公里 (以公尺計)} \\ \tau &= 30 \text{ min (以秒計)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2.16)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{若 } G \geq \lambda / \tau \text{ 時, 取 } \Delta F &= \lambda \\ G < \lambda / \tau \text{ 時, 取 } \Delta F &= Cg \times \tau \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2.17)$$

(六) 風浪與湧浪之辨別:

參見圖4.2-3所示, 先來說明風浪向前推進的情形, 茲如圖4.2-3所示, 就 a 點產生之風浪向前推進之情形加以檢討。圖4.2-3(a)係將海域以間隔 ΔS 之格子覆蓋時之平面圖, ΔS 值為以緯度、經度均每隔 0.1度為其長。圖4.2-3(b)係將三次元風域圖以單位距離 λ , 單位時間 τ 之格子線分割者, 圖4.2-3(b)係表示 4.2.17 式之關係可由 Wave propagation-line (波浪前進路線) 之每一階段的坡度 (gradient) 及 λ / τ 之大小來決定 ΔF 究竟應取 λ 或 $G \times \tau$ 。

今假定, 由 a 點出發之風浪, 受 a 點之風速 U_a 向風向 β_a 之方向推進 ΔF_a , 而於 b 點處波高變成 H_b , 週期變成 T_b 。設 b 點之座標為 (x_b, y_b) , 風速、風向及水深各為 U_b, β_b, d_b 。

此時由 b 點向 β_b 之方向, 而距 b 點 ΔF_b 之點 C 之波高 H_c 及週期 T_c 可由下法求得

到達 b 點之前向 β_a 之方向推進之風浪, 到達 b 點之後轉向 β_b 之方向推進, 此時向 β_b 之方向推進之風浪, 其波高 H_b' 可由下式求得為

$$H_b' = H_b \cdot \cos(\beta_a - \beta_b) \dots\dots\dots (4.2.18)$$

週期之值與波向之變化無關, 保持為 T_b 。

此時, 由下式來辨別究應〔按風浪計算〕抑或按〔湧浪計算〕, 即滿足

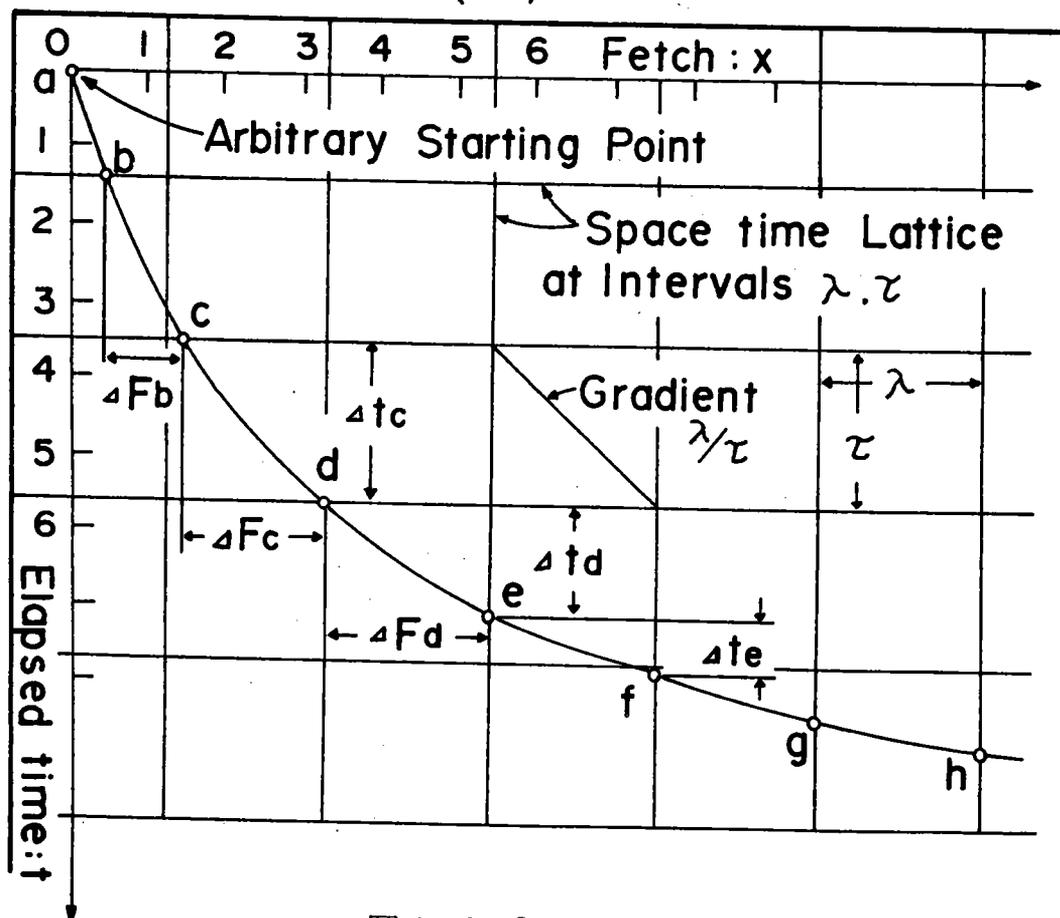
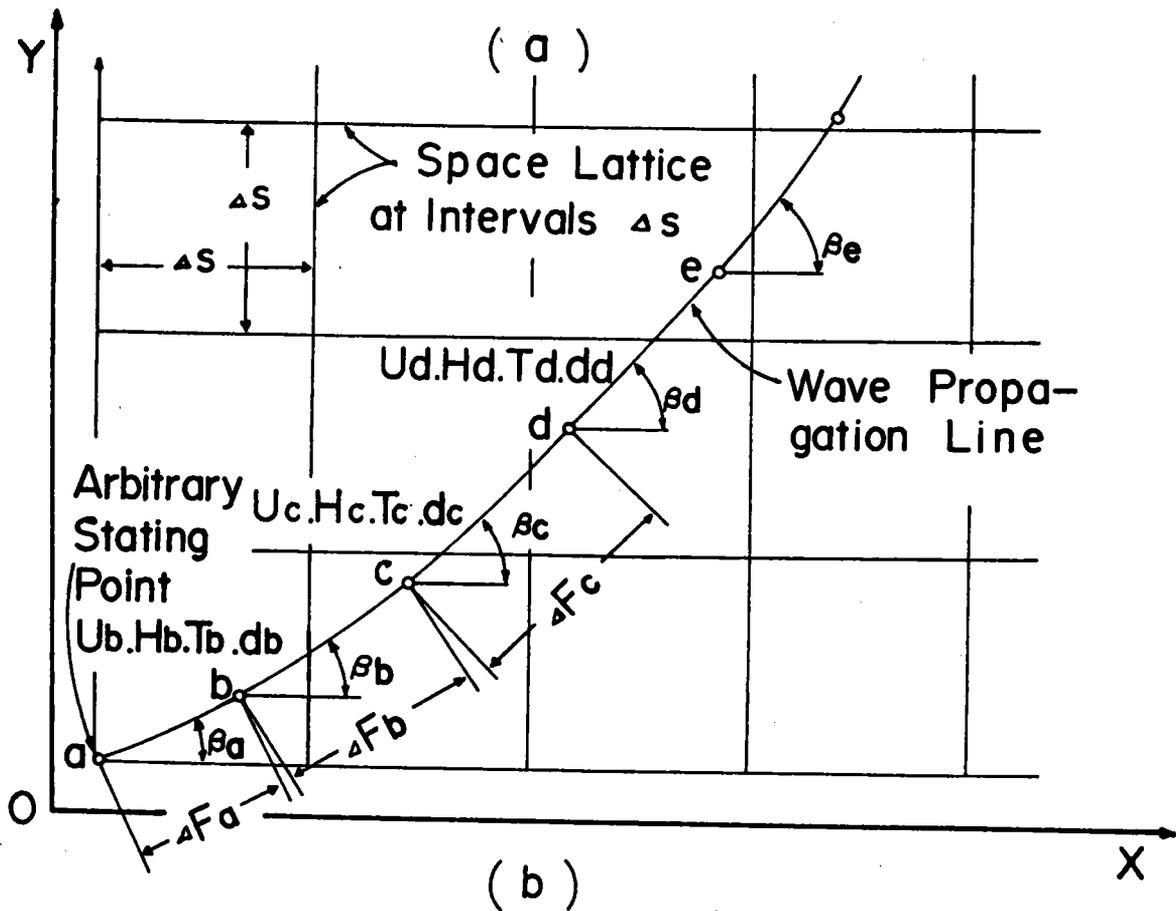


圖 4.2-3

$$\left. \begin{aligned} 1 - \frac{1}{1.37} (g T_b / 2 \pi U_b) > 0 \\ 1 - \frac{1}{0.30} (g H_b' / U_b^2) > 0 \\ |\theta_b| = |\beta_b - \beta_a| < 60^\circ \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2.19)$$

之三式時（即同時滿足(4.2.18)式之三式）時，則以風浪計算之，否則以湧浪計算之。

(七) 如已屬風浪計算，則再需辨別係屬深海風浪或屬淺海風浪，即以下式來辨別，當滿足

$$\frac{2 \pi d_b}{L_o b} = \frac{4 \pi^2 d_b}{g T_b^2} \geq \pi \dots\dots\dots (4.2.20)$$

時，則為深海風浪，否則係屬淺海風浪。

(八) 如已確屬深海風浪，則其因波浪前進路線曲折而致波高變化率 K_r' 值及前進方向變化角度 $\Delta \alpha$ 之值，可得為

$$\left. \begin{aligned} K_r' = 1.0 \\ \Delta \alpha = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2.21)$$

同時 A、B 值為

$$A = B = 1 \dots\dots\dots (4.2.22)$$

(九) 深海風浪前進時之週期推展計算可行之如下：

在此，先假定 b 點之風浪係由波高及波群速度均為零之狀態（即位在遠方之平靜海面）受一定風速 U_b 而推展之結果，則變成波高 H_b' ，週期 T_b 。所需之吹送距離 F_{Hb} ， F_{Tb} （稱為相當吹送距離），先予以計算如下式

$$\begin{aligned} F_{Tb} = \frac{U_b^2}{g} \cdot \frac{B^3}{(0.008)^3} \\ \cdot \left\{ \left[1 - \frac{1}{1.37 B} \left(\frac{g T_b}{2 \pi U_b} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} - 1 \right\}^3 \\ \dots\dots\dots (4.2.23) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{Hb} = \frac{U_b^2}{g} \cdot \left(\frac{A}{0.004} \right)^2 \\ \cdot \left\{ \left[1 - \frac{1}{0.3 A} \left(\frac{g H_b'}{U_b^2} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} - 1 \right\}^2 \dots (4.2.24) \end{aligned}$$

設C點之風浪之週期及波高，係以此相當吹送距離(F_{Hb} , F_{Tb})，再加上微小吹送距離 ΔF_b 。(必需由(4.2.5) 式中決定之)者，則可得波浪達到C點時之推展週期 T_c 。為

$$T_c = \frac{2\pi}{g} \times 1.37 B \times U_b \times \left\{ 1 - \left[1 + \frac{0.008}{B} \left(\frac{g(F_{Tb} + \Delta F_b)}{U_b^2} \right)^{\frac{1}{3}} \right]^{-5} \right\} \dots\dots\dots (4.2.25)$$

(+)推展波高之計算

依(+)中計算所得之 F_{Hb} ，可求得深海風浪之推展至C點時的推展波高為：

$$H_c = \frac{0.3}{g} \cdot A \cdot U_b^2 \cdot \left\{ 1 - \left[1 + \frac{0.004}{A} \left(\frac{g(F_{Hb} + \Delta F_b)}{U_b^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{-2} \right\} \dots\dots\dots (4.2.26)$$

深海波長 $L = \frac{gT}{2\pi}$ ，波速 $C = \frac{L}{T}$ ，波群速度 $G = \frac{1}{2}C$ ，因此，C點風浪之波群速度 G_c ，波速 C_c ，波長 L_c ，將可被計算於(4.2.24)式中述之，但需注意者，若

$$\frac{H_c}{L_c} > 0.142 \tanh(k_c d_c), \quad k_c = \frac{2\pi}{L_c} \text{ 時}$$

則取 $H_c = L_c \times 0.142 \tanh(k_c d_c)$ 行之

(+)由(4.2.7) 式辨別得係屬淺海風浪時，則應計算回折效果(K_r' , $\Delta\alpha$)之值及A、B之值，然計算 K_r' ， $\Delta\alpha$ 之前須先求出在水深d處之波浪的波長，此值計算如下：

令 $(k_0 d) = \frac{2\pi d}{L_0} = \frac{4\pi^2 d}{gT^2}$ (此時 $k_0 d < \pi$ ，依(4.2.7)式之限制) $\dots\dots\dots (4.2.27)$

$$(k d) = \frac{2\pi d}{L} = \sqrt{\sum_{r=1}^{10} a_r \cdot (k_0 d)^r}$$

$$k = \frac{2\pi}{L}, \quad k_0 = \frac{2\pi}{L_0}$$

L, L_0 各為淺海與深海條件時之波長 (4.2.28)

此處 $a_1 = 1.0, a_2 = \frac{1}{3}, a_3 = \frac{4}{45}, a_4 = \frac{16}{945}$

$$a_5 = 0.11287478 \times 10^{-2}$$

$$a_6 = -0.68408957 \times 10^{-3}$$

$$a_7 = -0.32536008 \times 10^{-3}$$

$$a_8 = -0.61743469 \times 10^{-4}$$

$$a_9 = 0.65013813 \times 10^{-5}$$

$$a_{10} = 0.86386653 \times 10^{-5}$$

因此，求得此時在 d 水深處之淺海風浪的波長 L 等於

$$L = \frac{2\pi d}{k d}, \quad \text{波速 } C = \frac{L}{T}, \quad \text{波群速度 } G = n \times c$$

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \dots\dots\dots (4.2.29)$$

接著計算因淺海所引起的波浪推進路線曲折而致的波高及波向變化，即求 K_r' 與 $\Delta\alpha$ 之值。

茲就於 A 點 (x, y) 之週期 T 之風浪向 α 之方向推進 ΔF 時，因曲折效果所引起之波向變化 $\Delta\alpha$ 及波高變化率 K_r' 之求法示之如下：

如圖 (4.2.4) 所示，於 A 點之波向方向取 S 軸，與其垂直方向取 r 軸，設 C_A 為 A 點之波速，則 $\Delta\alpha$ 為

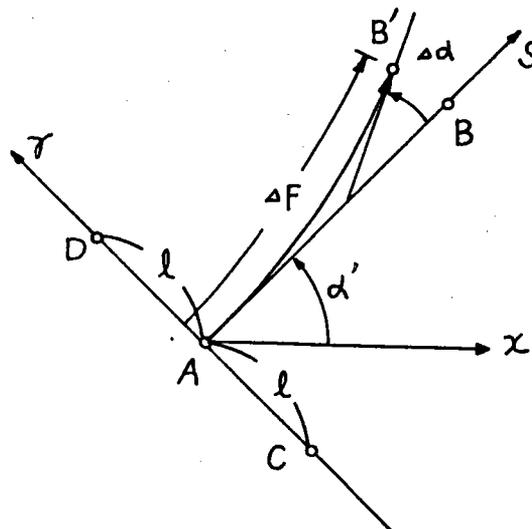


圖 4.2-4

$$\Delta\alpha = -\frac{1}{C_A} \frac{C_D - C_C}{2\ell} \Delta F \quad \dots\dots\dots (4.2.30)$$

此處 C_D , C_C 各為 D 點與 C 點之波速, ℓ 為 \overline{DA} 與 \overline{AC} 線段之長。故知 A、D、C 各點處之波長週期時, 則其對應波速亦可知, 因此 $\Delta\alpha$ 即可求得, 因 A、D、C 各點之座標為

$$A = (x, y)$$

$$D : \begin{cases} x_D = x - \ell \sin \alpha \\ y_D = y + \ell \cos \alpha \end{cases} \quad C : \begin{cases} x_C = x + \ell \sin \alpha \\ y_C = y - \ell \cos \alpha \end{cases}$$

..... (4.2.31)

故由水深圖可求得 A、D、C 各點之水深 (通常取 $\ell = \Delta F$) 但在靠近海岸處, 即水深 70 m 以下時 (< 70 m), 取 $\ell = \frac{1}{n} \Delta F$, $n = 2, 3, \dots$ 後, 再應用 (4.2.27)~(4.2.29) 式求得波速, 因此 $\Delta\alpha$ 可求得。其次, 設風浪推進 ΔF 之後, 波向因曲折而變化 $\Delta\alpha$ 時之波高變化率為 K_r' , 若 A 點之風浪進行方向與等水深線之垂直線所夾之角為 δ 時, 則 K_r' 為

$$K_r' = \sqrt{\frac{\cos \delta}{\cos (\delta + \Delta\alpha)}} \quad \dots\dots\dots (4.2.32)$$

依 (4.2.32) 式知, 如求得 δ 值時, 則 K_r' 即可求出; 今述 δ 值之求法。考慮圖 4.2-5, A 點之座標及水深可於風浪之追蹤計算過程來求得, C, D 點之座標及水深亦可按上述方法求得, 此時 G 點之座標為:

$$\left. \begin{aligned} x_G &= x + \overline{AG} \cdot \cos \alpha = x + \sqrt{3} \cdot \ell \cdot \cos \alpha \\ y_G &= y + \overline{AG} \cdot \sin \alpha = y + \sqrt{3} \cdot \ell \cdot \sin \alpha \end{aligned} \right\} \dots (4.2.33)$$

座標已知, 則由水深圖可求出水深。茲由 C、D、G 點向水底設置與水面成垂直之線, 設其與水底之交點各為 C', D', G' ; D', G' 之連接線與水面之交點為 E, C', G' 之連接線與水面之交點為 F, 如圖(4.2-5)

, 則在 E 及 F 點之座標各為:

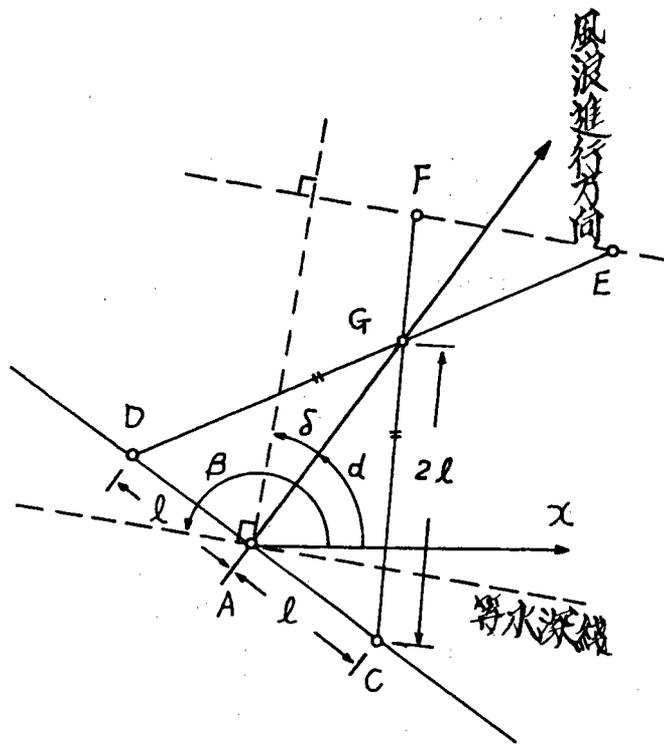


圖 4.2-5

$$\left. \begin{aligned} x_E &= x_G + \overline{GE} \cdot \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{6}\right) \\ y_E &= y_G + \overline{GE} \cdot \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{6}\right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2.34)$$

$$\left. \begin{aligned} x_F &= x_G + \overline{GF} \cdot \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) \\ y_F &= y_G + \overline{GF} \cdot \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2.35)$$

設 D、C、G 各點之水深為 d_D, d_C, d_G ，則 \overline{GE} 及 \overline{GF} 為

當 $d_D > d_G$ 時

$$\left. \begin{aligned} \overline{GE} &= 2l \cdot d_G / (d_D - d_G) \\ \overline{GF} &= 2l \cdot d_G / (d_C - d_G) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2.36)$$

當 $d_D > d_G$ 時：

$$\left. \begin{aligned} \overline{GE} &= -2l \cdot d_D / (d_D - d_G) \\ \overline{GF} &= -2l \cdot d_C / (d_C - d_G) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2.37)$$

故 \overline{EF} (亦即等水深淺) 與 x 軸所成之夾角 r 為

$$r = \tan^{-1} \left(\frac{y_F - y_E}{x_F - x_E} \right) \dots\dots\dots (4.2.38)$$

得 δ 爲

$$\delta = \alpha - r + \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots (4.2.39)$$

因此，由 (4.2.32) 式可求得當時當地的 K_r'

$$\left. \begin{aligned} \text{又當 } d_D = d_G \text{ 時, } \delta = 0 \\ d_D = d_G \text{ 時, } \delta = \frac{2}{3}\pi \\ d_C = d_G \text{ 時, } \delta = \frac{1}{3}\pi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2.40)$$

$\triangle DCG$ 最好取爲如圖 (4.2-5) 所示的正三角形，至於 ℓ 在靠近海岸處儘量取小些。

最後 A、B 值各爲

$$\left. \begin{aligned} A = \tanh \left[0.573 \times \left(\frac{g d}{U^2} \right)^{3/4} \right] \\ B = \tanh \left[0.52 \times \left(\frac{g d}{U^2} \right)^{3/8} \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2.41)$$

(三) 週期之推展與減衰

若滿足下式即

$$\left. \begin{aligned} 0.3 A \leq g H_b' / U_b^2 < 0.3 \\ 1.37 B \leq g T_b / 2 \pi U_b < 1.37 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2.42)$$

時爲減衰風浪。若不滿足 (4.2.42) 式時，則爲推展風浪，其推展週期之計算依 (b) 之步驟行之。須注意若 $G_b \geq \sqrt{g d_b}$ 時則認碎波而終止計算。

(四) 波浪由 b 點推進至 C 點 (在淺海條件中) 時，發生減衰情況，其至 C 點的週期減少量可依下述計算。

先放置下二式：

$$F_T = \frac{U^2}{g} \left\{ \frac{1}{0.008} \left[\frac{1}{\left(1 - \frac{1}{0.685} \cdot g T / 4 \pi U \right)^{1/5}} - 1 \right] \right\}^3 \dots\dots\dots (4.2.43)$$

$$T = \frac{4 \times 0.685 \times \pi}{g} \cdot U \times \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + 0.008 \left(\frac{g (F_T + \Delta F)}{U^2} \right)^{\frac{1}{3}} \right]^5} \right\} \dots\dots\dots (4.2.44)$$

上二式中以 U_b 代入 U 所得之週期為 T_1 ，以 U_b' 代入 U 所得之週期為 T_2 ，則有

$$T_c = T_b + T_1 - T_2 \dots\dots\dots (4.2.45)$$

上式中 T_b, T_c 各為 b 點與 c 點處之風浪週期，至於 U_b' 值，可依下式求得，即

$$\frac{g T_b}{2 \pi U_b'} = 1.37 \tan b \left\{ 0.52 \times \left(\frac{g d}{U_b'^2} \right)^{\frac{3}{8}} \right\} \dots (4.2.46)$$

上式可由牛頓近似法解之，即設第 n 次近似值為 $U_b'^{(n)}$ ，則第 $n + 1$ 次近似修正值 $\Delta U^{(n+1)}$ 為

$$\Delta U^{(n+1)} = \frac{T_b - \frac{4 \pi}{g} \times 0.685 \times B_n \times U_b'^{(n)}}{\frac{3}{4} \times 0.52 \times \frac{4 \pi}{g} \times 0.685 \times \left(\frac{g d}{U_b'^{(n)2} \right)^{\frac{3}{8}} (B_n^2 - 1) + \frac{4 \pi}{g} \times 0.685 \times B_n} \dots\dots\dots (4.2.47)$$

式中，

$$B_n = \tanh \left\{ 0.52 \left(\frac{g d}{U_b'^{(n)2} \right)^{\frac{3}{8}} \right\} \dots\dots\dots (4.2.48)$$

故有

$$U_b'^{(n+1)} = U_b'^{(n)} + \Delta U^{(n+1)} \dots\dots\dots (4.2.49)$$

計算 $\Delta U^{(n+1)}$ 到 0.1 m/sec 以內即可。

(四) 波高之推展與減衰：

若滿足(三)中之 (4.2.42) 式，則屬減衰風浪，否則為推展風浪，此時其推展波高之計算依(三)中之步驟計算之，然最後之波高值為 $H_c = K_r' \cdot H_0$ 。

(五) 若為減衰風浪，則其減衰波高可依下述計算之。

先放置下二式

$$F_{H1} = \frac{U_b^2}{g} \cdot \frac{1}{(0.004)^2} \left\{ \left[1 - \frac{1}{0.3} \left(\frac{g H_b'}{U_b^2} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} - 1 \right\}^2 \dots\dots\dots (4.2.50)$$

$$H_1 = \frac{0.3}{g} \cdot U_b^2 \cdot \left\{ 1 - \left[1 + 0.004 \left(\frac{g (F_{H1} + \Delta F_b)}{U_b^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{-2} \right\} \dots\dots\dots (4.2.51)$$

對於計算 H_2 時，將上二式中 U_b 以 U_b' 代替即可。此 U_b' 之求法如下：

$$\frac{g H_b'}{U_b'^2} = 0.3 \tanh \left\{ 0.578 \left(\frac{g d}{U_b'^2} \right)^{\frac{3}{4}} \right\} \dots (4.2.52)$$

如同(4.2.46)式、(4.2.52)式之解可由牛頓近似法行之。即設 U_b' 之第 n 次近似值為 $U_b'^{(n)}$ ，則

$$A^{(n)} = \tanh \left\{ 0.578 \left(\frac{g d}{U_b'^{(n)2} \right)^{\frac{3}{4}} \right\} \dots\dots\dots (4.2.53)$$

$\Delta U^{(n+1)}$

$$= \frac{H_b' - \frac{0.3}{g} \cdot U_b'^{(n)} \cdot A^{(n)}}{\frac{3 \times 0.578 \times 0.3}{2g} \cdot U_b'^{(n)} \cdot \left(\frac{g d}{U_b'^{(n)2} \right)^{\frac{3}{4}} \cdot (A^{(n)2} - 1) + 2 \frac{0.3}{g} U_b'^{(n)} \cdot A^{(n)}} \dots\dots\dots (4.2.54)$$

故 $U_b'^{(n+1)} = U_b'^{(n)} + \Delta U^{(n+1)} \dots\dots\dots (4.2.55)$

$\Delta U^{(n+1)}$ 亦計算至0.1 m/sec以內為止

由此可求得由b點之波浪推進至C點時，因減衰而得的波高為

$$H_c = H_b' + H_1 - H_2 \dots\dots\dots (4.2.56)$$

最後考慮 λ 因波浪前進路曲折而致C點的最後波高值為

$$H_c = H_r' \cdot H_c \dots\dots\dots (4.2.57)$$

至此，依(七)至(五)得由起點處之波浪推進至下一點處的波浪，其受風之變化，地形之變化而得之週期、波高、波向皆已求得。

(六)方向角度之輸入

$$\alpha = \beta + \frac{1}{2} \alpha \dots\dots\dots (4.2.58)$$

β 為此階段推進起點處之風向， $\Delta \alpha$ 為因曲折而致波向的變化角度。

(㉔)湧浪初期之值，（注意湧浪之進行方向已與風向風速無關了），依(㉖)之判別式得；變成湧浪時，其波高、波向、週期值之輸入。

(㉕)淺海波浪與深海波浪之判別

由週期T代入(4.2.20)式中，即滿足

$$\frac{4\pi^2 d}{g T^2} \geq \pi \quad \text{時}$$

為深海波浪，否則為淺海波浪。

(㉖)深海波浪時，其前進路徑方向不變，且不受海底摩擦之影響，故得：

$$\left. \begin{array}{l} \text{因曲折而致波高之變化率 } K_r' = 1.0 \\ \text{因曲折而致前進方向變化角 } \Delta\alpha = 0 \\ \text{受海底摩擦而致波高變化率 } K_r = 1.0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4.2.59)$$

(㉗)波浪為淺海條件時，其對應的 K_r' ， $\Delta\alpha$ ， K_r 之計算， K_r' ， $\Delta\alpha$ 之計算依(㉔)中之步驟所述。

至於 K_r 為

$$K_r = \left[1 + \frac{64}{3} \frac{\pi^3}{g^2} \cdot \frac{f \cdot H_b^{(n)} \cdot K_s^2 \cdot \Delta D^{(n)}}{T_b^{(n)4} \cdot \sinh(kd)} \right]^{-1}$$

$f = 0.01 \sim 0.02 \quad \dots\dots\dots (4.2.60)$

$$K_s = \sqrt{\frac{1}{2n} \frac{C_0}{C}}, \quad C_0 = \frac{gT}{2\pi}$$

C為欲推算之波長，由(4.2.27)～(4.2.29)式求得 } ... (4.2.61)

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \quad d \text{ 為推算點水深}$$

(㉘)波高、週期之計算

$$H_b^{(n)'} = K_r \cdot K_s' \cdot K_r' \cdot H_b^{(n)} \quad \dots\dots\dots (4.2.62)$$

K_s' 係n階段與(n-1)階段之淺水度係數 $K_s^{(n)}$ ， $K_s^{(n-1)}$ 之比，

$$\text{即 } K_s' = K_s^{(n)} / K_s^{(n-1)} \quad \dots\dots\dots (4.2.63)$$

當然 $K_s^{(n)}$ 即為 K_s 之第n次推算階值者（即到達第n點處者）

$H_b^{(n)}$ ， $T_b^{(n)}$ 皆為第n次推算階段之湧浪波高（不受地形影響）與週期， $H_b^{(n)'}$ 為受地形影響所得之最後在第n次推算階段（即到達第n點時）之波高。

至於變成湧浪而於第 n 階段之湧浪之計算式如下，茲假設 H_F ， T_F 為風浪與風域端（即變成湧浪之點）之波高與週期， F 為於風浪之計算時之各階段的 ΔF 之總和，故若假設風浪之計算今共有 m 階段時，則 F 為

$$F = \sum_{i=1}^m \Delta F_i \quad \dots\dots\dots (4.2.64)$$

而若湧浪推算之每一階距離取 ΔD （即為其減衰距離）時，湧浪於第 n 階段之推算，其減衰距離 $D^{(n)}$ 為

$$D^{(n)} = \sum_{i=1}^n \Delta D_i \quad \dots\dots\dots (4.2.65)$$

因此得知，於第 n 階段之波高（不考慮受地形淺化之影響）值 $H_D^{(n)}$ ，週期 $T_D^{(n)}$ 各為

$$H_D^{(n)} = H_F \times \left\{ \cosh \left[0.66 \left(\frac{F}{H_F} \right)^{0.06} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta D_i}{F} \right)^{0.25} \right. \right. \\ \left. \left. \cdot \tanh \left\{ 3.0 \times \left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta D_i}{F} \right)^{0.3} \right\} \right] \right\}^{-1} \\ \dots\dots\dots (4.2.66)$$

$$T_D^{(n)} = T_F \times \left\{ \cosh \left[1.74 \left(\frac{2\pi F}{g T_F^2} \right)^{-0.05} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta D_i}{F} \right)^{0.2} \right. \right. \\ \left. \left. \cdot \tanh \left\{ 1.02 \left(\frac{2\pi F}{g T_F^2} \right)^{-0.04} \times \left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta D_i}{F} \right)^{0.32} \right\} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \\ \dots\dots\dots (4.2.67)$$

故得最後之波高為 (4.2.62) 式，週期為 $T_D^{(n)}$

又對於湧浪推進至減衰距離 $D^{(n)} = \sum_{i=1}^n \Delta D_i$ 所需之時間 $t_d^{(n)}$ 可為下式計算之，即

$$t_d^{(n)} = \frac{D^{(n)}}{G^{(n)}} = \frac{4\pi D^{(n)}}{g T_D^{(n)}} \quad \dots\dots\dots (4.2.68)$$

(三)座標 (波浪之位置 x, y) , 格子號碼之計算, 及水深 (d) 之計算:

當波浪由前一點推進至下一點; 其座標 (x, y) , 及所在之格子號碼與對應位置之水深計算如下:

假設波浪是由 b 點推進 ΔF_b 之距離而到 C 點, 則其座標 x_c, y_c 為

$$\left. \begin{aligned} x_c &= x_b + \Delta F_b \cos (\beta_b + \Delta \alpha / 2) \\ y_c &= y_b + \Delta F_b \sin (\beta_b + \Delta \alpha / 2) \end{aligned} \right\} \dots\dots (4.2.69)$$

至於 (x_c, y_c) 所在之格子號碼, 其計算如下:

於計算區域, 東經及北緯每一度均分為 10 等分而設置間隔 0.1 度之格子。故格子之間隔為 1 時, 在 y 軸之方向均為 11.1 公里長, 而於 x 軸之方向則因緯度而異。今設座標原點之格子號碼為 0, 而於 x 方向之號碼以 m 表示, y 軸方向之號碼以 n 表示時, 則 (x_c, y_c) 所在之格子, 其 m, n 為

$$\left. \begin{aligned} m &= \text{Fix} \left\{ 10 x / \left[111.324 \times 10^3 \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \times \cos (N_0^\circ + y_c / 111.324 \times 10^3) \right] \right\} \\ n &= \text{Fix} \left\{ 10 y / (111.0 \times 10^3) \right\} \end{aligned} \right\} (4.2.70)$$

$\text{Fix} \{ \}$ 係表示將 $\{ \}$ 內之數字捨去小數點以下部分而予以整數化之意。

反之, 已知 m, n 值, 則 x_c, y_c 可由下式求得

$$\left. \begin{aligned} x_c &= \left\{ 111.324 \times 10^3 \right. \\ &\quad \left. \times \cos (N_0^\circ + y_c / 111.0 \times 10^3) / 10 \right\} \times m \\ y_c &= (111.0 \times 10^3 / 10) \times n \end{aligned} \right\} (4.2.71)$$

至於 (x_c, y_c) 點之對應的水深之計算如下:

先將水深資料 (即深度) 標示在計算海域內所設之格子的交點上。則在格子內之 (x_c, y_c) 對應的水深 d 以距離反比的權重平均法求出之。

如圖 (4.2.6) 所示

$$\left. \begin{aligned} m \leq x_c / \Delta s_x < m + 1 \\ n \leq y_c / \Delta s_y < n + 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2.72)$$

此處 $\Delta s_x, \Delta s_y$ 各為

$$\left. \begin{aligned} \Delta s_x &= x_c / \{ 0.1 \times 111.324 \times 10^3 \\ &\quad \times \cos (N_0^\circ + y_c / 111.0 \times 10^3) \} \\ \Delta s_y &= y_c / (0.1 \times 111.0 \times 10^3) \end{aligned} \right\} \dots (4.2.73)$$

皆以公尺計。

故所欲求之水深 d ，先求得 (x_c, y_c) 至各格子點的距離為

$$r_{i,y} = \sqrt{(x_c - x_{i,j})^2 + (y_c - y_{i,j})^2} \dots\dots (4.2.74)$$

$(i = m, m+1, j = n, n+1)$

則 d 為

$$d = \frac{(d_{m,n} / r_{m,n}) + (d_{m+1,n} / r_{m+1,n})}{1 / r_{m,n} + 1 / r_{m+1,n} + 1 / r_{m+1,n+1}} + \frac{(d_{m+1,n+1} / r_{m+1,n+1}) + (d_{m,n+1} / r_{m,n+1})}{1 / r_{m,n+1}} \dots\dots (4.2.75)$$

如圖(4.2-6)所示：

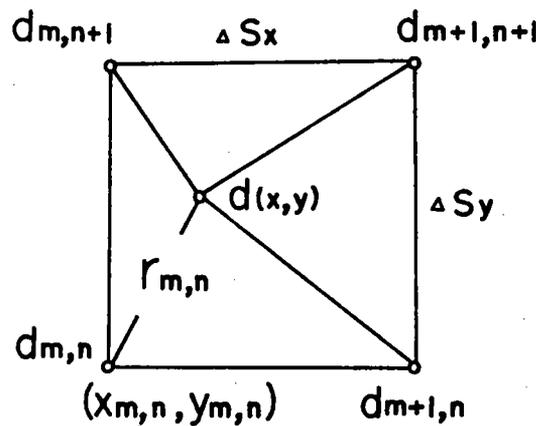


圖 4 . 2 - 6

(國)領域之判別

由推算點向台灣島劃出可包括整個島之二條射線，若波向線落在此二條射線所包圍之範圍內，則取之，否則，為超出計算領域範圍而略去。通常此二條射線之夾角可稍大些。

(國)若落在計算之領域範圍，則其波長 L ，波速 C ，波群速度 G ，及吹送時間與吹送距離等之計算為

L 由 (4.2.27) 式~(4.2.29) 式求得

C亦同

G亦同

吹送時間 Δt_b (此時以由 b 點推進至 c 點的特例說明) :

當為風浪時, 則

$$\Delta t_b = 2 \Delta F_b / (G_b + G_c) \dots\dots\dots (4.2.76)$$

G_b, G_c 為 b 點與 c 點之群速度

當為湧浪時, 以(4.2.68)式計算之:

對於推進(即吹送)距離, 則取 ΔF_b , 惟 ΔF_b 需受到(4.2.16)式與(4.2.17)式之限制。

以上若已推算至 n 階段時, 則將各階段的推進時間, 與推進距離總加之。即得此一波浪至第 n 階段的推算點的總吹送時間與總吹送距離。

接著湧浪跑入 R_3 , 風浪跑入 R_2 。

(甲)若已超出計算範圍之領域, 則標出其終點號碼。

(乙)隨後, 一階段前之波浪諸值輸出。

(丙)再計算其他地點發生之波浪。

3. Bretschneider 經驗參數法

在一定風速風向下 Bretschneider 提出最新代表波預報方程式如下：

$$gH/U^2 = A_1 \tanh [B_1 (gF/U^2)^{m_1}] \dots\dots\dots (4.3.1)$$

$$C/U = gT / 2\pi U = A_2 \tanh [B_2 (gF/U^2)^{m_2}] \dots\dots\dots (4.3.2)$$

其中 $A_1 = 0.283$ $A_2 = 1.2$
 $B_1 = 0.0125$ $B_2 = 0.077$
 $m_1 = 0.42$ $m_2 = 0.25$

H, T : 代表波之波高及週期 (即上節之 $H_{1/3}$ 與 $T_{1/3}$)

F : 吹風距離

C : 波速

U : 10 公尺高 10 分鐘平均風速

由 (4 . 3 . 1) 及 (4 . 3 . 2) 式消去 gF/U^2 得：

$$T/U = 0.4 \tanh [1.07 (\tan^{-1} \frac{40H}{U^2})^{0.6}] \dots\dots\dots (4.3.3)$$

在高風速下由 (4 - 3 - 3) 式所得之週期，通常比實測值高出 10%，因此改用 Miles 根據北大西洋所測波譜分析結果：

$$f_0^{-1} / U = 0.4 \tanh [\ln \{ (1 + \frac{40H}{U^2}) / (1 - \frac{40H}{U^2}) \}^{0.5}]^{0.6} \dots\dots\dots (4.3.4)$$

$$T = \sqrt{\frac{4}{5} f_0^{-1}}$$

其中 f_0^{-1} 為最大波能週期(秒)， U 為風速(節)。

Meyers 提出靜止颱風的風場模式，Bretschneider 將此模式以無因次形式表示之，如下：

$$\frac{U_r}{U_R} = -\frac{1}{2} \frac{fR}{U_R} \cdot \frac{r}{R} + \sqrt{\left(1 + \frac{fR}{U_R}\right) \frac{R}{r} e^{(1 - R/r)} + \left(\frac{1}{2} \frac{fR}{U_R} \frac{r}{R}\right)^2} \dots\dots\dots (4.3.5)$$

U_r ， U_R 為距颱風中心 r 及 R 處之風速(節)

R 為最大風速半徑(浬)

此風場模式是基於氣壓場成指數關係之假設，即

$$P_r = P_0 + (P_N - P_0) \exp\left(-\frac{R}{r}\right) \dots\dots\dots (4.3.6)$$

其中 P_r ：距中心 r 處的氣壓

P_N ：正常氣壓 = 29.92 吋汞柱高

颱風最大風速可由下式求出

$$U_R = k \sqrt{\Delta p} - 0.5 fR \text{ (節)} \dots\dots\dots (4.3.7)$$

其中 $\Delta p = P_N - P_0$ 。(吋汞柱高)

k 及 f 值由表 5 - 1 可查出。

U_R 換算成 10 公尺高 10 分鐘平均風速為

$$U_{RS} = 0.865 U_R \dots\dots\dots (4.3.8)$$

當颱風由靜止狀態開始移動時，風速分量增加

$$\Delta U = \frac{1}{2} V_F \cos(\theta + \beta) \dots\dots\dots (4.3.9)$$

其中 θ ：等壓線切線與颱風移動方向的夾角

β ：風向與等壓線切線夾角，均為 25°

則颱風最大風速半徑 R 處之海面風速為

$$U_{RS}^* = U_{RS} + \Delta U \dots\dots\dots (4.3.10)$$

Bretschneider 以美國 51 個颱風實測資料得出波高推算公式如下：

$$H_R = K' \sqrt{R \Delta P} \dots\dots\dots (4.3.11)$$

其中 H_R : 距中心 R 處波高

K' : 為 $\frac{fR}{U_R}$ 之函數，如表 4 - 3 - 2

颱風風場中任一點之波高 H_r 可由圖 4 . 3 - 1 求得。

當颱風以 V_F 速度移動時，波高將變成

$$\left. \begin{aligned} H_R^* &= H_R \left(1 + \frac{\Delta U}{U_{RS}} \right)^2 \\ H_r^* &= H_r \left(1 + \frac{\Delta U}{U_{rs}} \right)^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.3.12)$$

(4 - 3 - 12) 式的限制條件為

$$V_F \leq V_c$$

其中 V_c 為臨界移動速度， $V_c = 1.515 T_c$

表 4 - 3 - 1 k 及 f 值與緯度之關係

緯度 ϕ	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40.0
f	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34
k	67	67	67	66	66	66	66	65	64

表 4 - 3 - 2 k' 與 fR/U_R 之關係

fR/U_R	k'	fR/U_R	k'	fR/U_R	k'
0	7.50	.085	5.20	0.24	3.85
.005	7.25	.090	5.13	0.25	3.80
.010	7.05	.095	5.06	0.26	3.75
.015	6.85	.100	5.00	0.27	3.70
.020	6.70	.110	4.88	0.28	3.65
.025	6.55	.120	4.76	0.29	3.60
.030	6.40	.130	4.66	0.30	3.55
.035	6.25	.140	4.57	0.31	3.50
.040	6.10	.150	4.50	0.32	3.45
.045	5.95	.160	4.42	0.33	3.40
.050	5.80	.170	4.34	0.34	3.35
.055	5.70	.180	4.28	0.35	3.30
.060	5.60	.190	4.18	0.36	3.26
.065	5.49	.200	4.10	0.37	3.23
.070	5.42	.210	4.03	0.38	3.20
.075	5.34	.220	3.97	0.39	3.17
.080	5.27	.230	3.91	0.40	3.15

$$T_c = T_R \left(1 - \frac{1.515 \alpha_1 T_R}{U_{RS}} \right)^{-1} \dots\dots\dots (4.3.13)$$

$$\alpha_1 \doteq 0.5$$

其中 T_R 為 R 處的 T_s

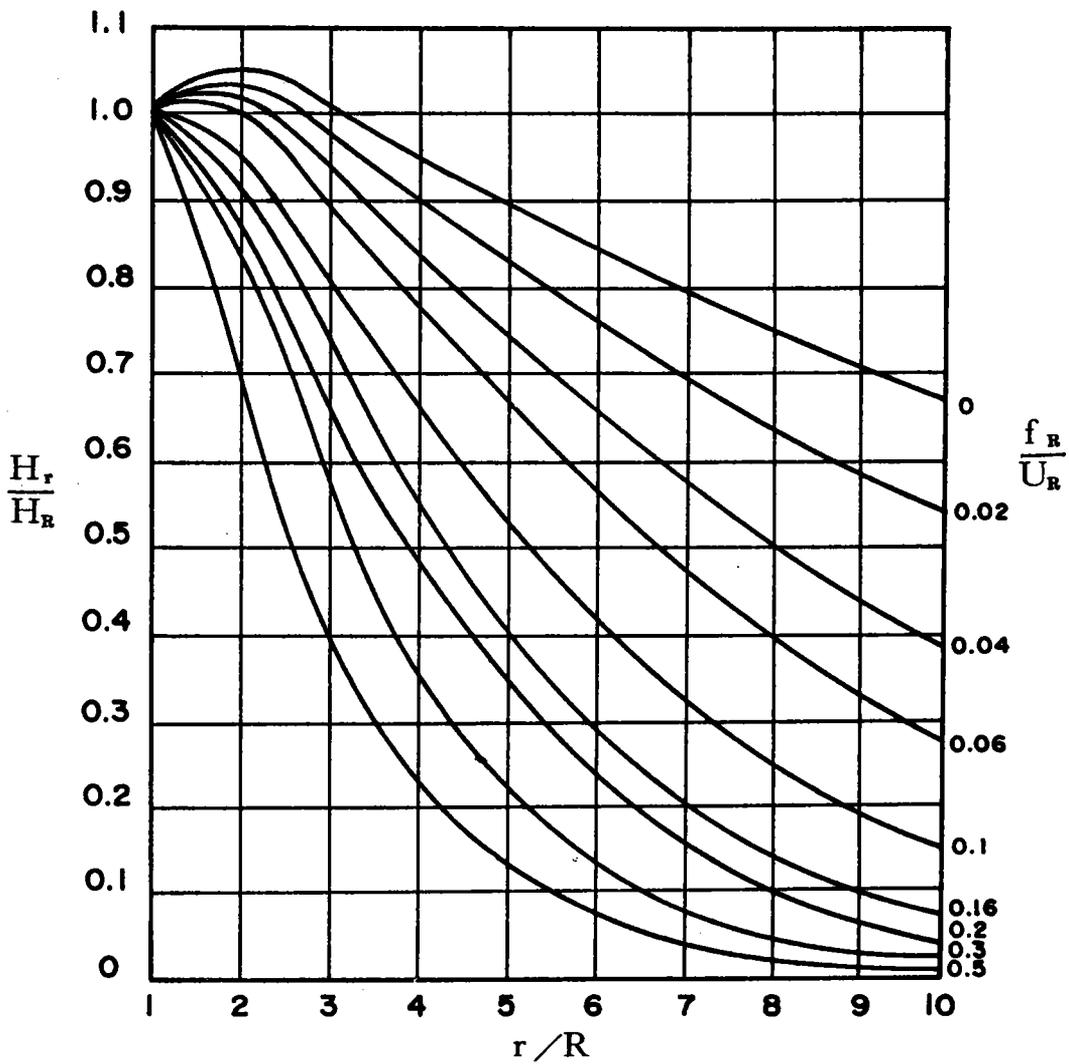


圖 4.3-1 颶風中波高的分佈 H_r / H_R 與 $(f_R / U_R , r / R)$ 的關係

4. 實用法

Bretschneider (1976) 提出的颱風波浪推算法是一個簡易實用的方法，梁乃匡及林文宗曾用來推算薇拉颱風在基隆港附近的波浪，結果最大波高與實測值相當接近 (梁乃匡、林文宗，1978) 梁乃匡又用 Bretschneider 方法推算艾達颱風在南灣造成的波浪，結果是實測較推算幾乎大了一倍，其差別是薇拉颱風直接通過測站，而艾達颱風的中心與測站有一段距離，雖然艾達颱風的強度並不大，而波高却達 6.56 米，從艾達的路徑與測站間的關係可以判斷出波高相差如此懸殊的原因在 Bretschneider 方法未考慮颱風在尚未接近測站前所造成的湧浪能量延後並與風浪同時抵達的效果，而在推算薇拉颱風時之所以效果比較好的原因是颱風通過測站，湧浪所佔的成份較小之故，因此為改良 Bretschneider 的方法，即除 Bretschneider 方法求出之風浪外，再加上梁乃匡的颱風湧浪，波高以能量相加原理求出修正值，週期以能量權重法求出，如下式：

$$T_{1/3} = \frac{H_s^2 T_s + H_w^2 T_w}{H_s^2 + H_w^2} \dots\dots\dots (4.4.1)$$

其中 T_s , H_s : 湧浪週期、波高

T_w , H_w : 風浪週期、波高

颱風湧浪推算法簡述如下：

梁乃匡用 Bretschneider 的方法計算颱風中心附近的波浪，將颱風當作點波源及依照面積風域法的觀念，颱風湧浪波高應與颱風暴風中心面積開方及颱風中心的波高 H_R^* 成正比與颱風中心距觀測點的距離開方成反比，而颱風暴風中心面積與颱風中心最大風速半徑 R 之平方成正比，因此颱風湧浪波高 (單位為米) 如下式：

$$H_{1/3} = CH_R^* \frac{R}{\sqrt{DD}} (\text{米}) \dots\dots\dots (4.4.2)$$

其中 C 為經驗常數， H_R^* 為由 Bretschneider 方法計算出的颱風中心之波高，單位為呎， R 為颱風中心最大風速半徑，單位為哩， DD 為颱風中心與觀測站間的距離，單位為哩。

由於波浪速度分散的現象，湧浪週期必然大於風浪者，所以湧浪的週期如下式：

$$T_{1/3} = C' T_R \dots\dots\dots (4.4.3)$$

其中 C' 為經驗常數，恒大於 1， T_R 為颱風中心指向觀測點的波浪週期。

利用台電在南灣以壓力式自記波浪儀於民國 69 年所測得之颱風湧浪資料作分析，發現 C 值隨颱風中心進行的速度及位置影響很大，如颱風向著測站來有累積效應，則 C 值偏大，如颱風的位置使湧浪受鵝鑾鼻遮蔽則 C 值偏小，如颱風滯留或與測站保持一等距離，則 C 值約為 0.11。而 C'

值與 $\frac{DD \cdot T_R}{R \cdot U_{RS}^*}$ 有函數關係，其中 U_{RS}^* 為颱風最大風速半徑 R 處之海面

風速，但並非唯一的因子，可惜目前尚不清楚， C' 與 $\frac{DD \cdot T_R}{R \cdot U_{RS}^*}$ 之近似

關係式如下：

$$C' = 0.0021 \left(\frac{DD \cdot T_R}{R \cdot U_{RS}^*} \right)^2 + 0.0012 \left(\frac{DD \cdot T_R}{R \cdot U_{RS}^*} \right) + 1.21 \dots\dots\dots (4.4.4)$$

當颱風中心與觀測站的距離逐漸在改變，則湧浪傳抵觀測站的時間延時也一直在變，如果延時變小則有堆積的作用，使波高增大，如果延時逐漸變大則有消退的作用，使波高減小，此其一。如果同時有兩個以上颱風出現，或延時驟然變小（例如颱風突然增強，前進速度加快），則波浪有重疊現象，此其二。後者很簡單，直接依能量不減原則用波高平方和開方來代表重疊後的波高。前者，依能量通率的原則來探討：

通過一垂直波向斷面的單位時間波能為

$$\frac{1}{8} \rho g H^2 G$$

其中 G 為波群速度， H 為波高，設颱風滯留時，某段出現湧浪的期間為 t_d ，由於颱風的移動，此期間變成 t_d' ，通過某斷面的能量根據能量守恒，應當相等。

$$\int_0^{t_d} \frac{1}{8} \rho g H^2 \cdot C_g dt = \int_0^{t_d'} \frac{1}{8} \rho g H'^2 C_g' dt \quad \dots\dots\dots (4.4.5)$$

因為 $C_g = C_g'$

$$\text{所以 } \int_0^{t_d} H^2 dt = \int_0^{t_d'} H'^2 dt$$

假定 $\frac{H'}{H} = \lambda$ 為一常數，則

$$\int_0^{t_d} H^2 dt = \lambda^2 \int_0^{t_d'} H^2 dt$$

如果 H 隨時間變化不大，則

$$H^2 t_d = \lambda^2 t_d' H^2$$

$$\lambda = \left(\frac{t_d}{t_d'} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (4.4.6)$$

λ 即為波高之修正係數

5、各種颱風波浪推算法的比較

在第四章所述本計畫所採用的 4 種颱風推算模式各具特色，茲將各模式的推算變數，考慮因素，特別說明事項分述如后：

1. 1 井島武士法

- (1)井島武士法係由一個主程式及十個副程式組成。
- (2)須輸入的資料包括地形資料，颱風路徑，及氣壓資料。
- (3)本模式涵蓋的範圍以東經 118°，北緯 18° 為原點向東延伸 1050 公里，向北延伸 900 公里的一塊長方形區域。
- (4)颱風資料係每隔 6 小時一筆，本模式將其直線內插為每半小時一筆，並以此為推算週期(iteration period)。
- (5)初期的起始追蹤點係採用在七級風暴風半徑內的網格點為追蹤點。由於本所收集到的颱風資料缺乏七級風半徑，故參考Graham及Nunn的經驗公式求出 R 值。
- (6)代表推算點的位置是一半徑 10 公里的區域。
- (7)由於本省地形的遮蔽效應使得西海岸區域的推算點無法捕捉到東海岸的追蹤點為了彌補此一缺點至少要有一次的起始點在台灣海峽附近較佳。

1. 2 湯麟武法

- (1)不僅能推算深海波浪，亦因考慮海底摩擦之影響，加入湧浪因素，及碎波後波浪推算，因此能推算海岸前任何水深（淺水地區）之波浪。
- (2)影響推算點波浪大小之颱風重要參數包括，颱風路徑，中心氣壓，最大風速暴風半徑，颱風移動速度，颱風中心經緯度，及暴風半徑內氣壓場。本計畫最大風速半徑同樣參考 Graham 及 Nunn 的經驗公式。
- (3)颱風暴風半徑內氣壓場成指數關係

$$P_r = P_o + (P_N - P_o) \exp(-R/r)$$

P_r : 距中心 r 處氣壓

P_N : 正常氣壓

- (4)淺水地區之淺水效應，及受陸地遮蔽之影響應列入考慮。

1.3 Bretschneider 法

- (1)本模式係由 1 個主程式及 4 個副程式所組成。
- (2)須輸入的颱風資料包括，時間、颱風中心位置的經緯度、中心氣壓值、及推算點的經緯度值。
- (3)颱風資料係 6 小時 1 筆，本模式將其直線內插成 1 小時 1 筆，以避免颱風靠近推算點時會有漏失最大波高的可能。
- (4)最大暴風半徑，同樣統一參考 Graham 及 Nunn 的經驗公式來決定 R 值。
- (5)颱風的移動速度由颱風中心位置的變化除上時間間隔求得。
- (6)台灣西海岸的推算點，因受台灣陸地的影響，而產生遮蔽效果。因此在推算時須考慮到颱風路徑。
- (7)當推算點在 10 R 內才推算，是為風浪。在 10 R 外為湧浪由下法推算。

1.4 實用法

- (1)本模式係由 1 個主程式及 5 個副程式所組成。
- (2)須輸入的資料與 Bretschneider 法相同。資料時間間隔也是 1 小時。
- (3)10 R 外的湧浪由梁乃匡的颱風湧浪推算模式推算。
- (4)考慮湧浪的堆積、重疊、消退等效應將 Bretschneider 法推算出的風浪部份以能量疊加法加上湧浪修正之。
- (5)颱風在台灣東部時所產生的湧浪不可能傳達台灣西部的推算點，因此在修正時須考慮颱風的路徑。即湧浪傳遞路徑。
- (6)大部份湧浪未曾疊加到由 Bretschneider 所推算出的最大 $H_{1/3}$ 上，故由 Bretschneider 法推算 $H_{1/3}$ 最大波高與實用法大部份相同。

以上是各模式的推算方法說明。經本所 VAX-780 電腦運作結果發現同樣的颱風資料同一推算點，井島武士法、湯麟武法的運算時間，皆為 Bretschneider 及實用法的 30 倍之多，可見後兩者其運算時間上的快速便捷。四種模式推算 $H_{1/3}$ 波高的結果比較見圖 4.5-1, 4.5-2。由圖中可發現。Bretschneider 法，實用法及湯麟武法與實測值較吻合，當無湧浪疊加時，Bretschneider 法與實用法推算結果完全一致。綜合言之，實用法兼具快速、準確及包含湧浪等優點，是一良好的颱風波浪推算模式。

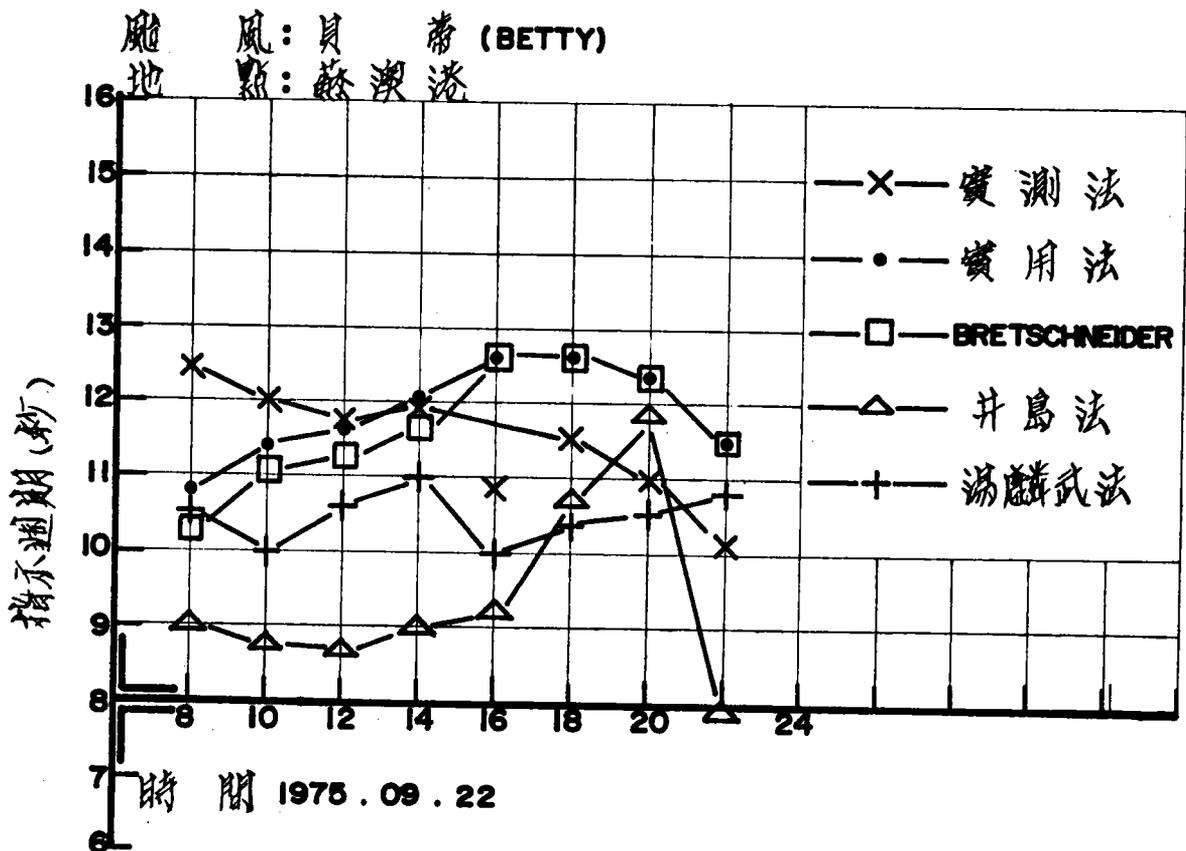
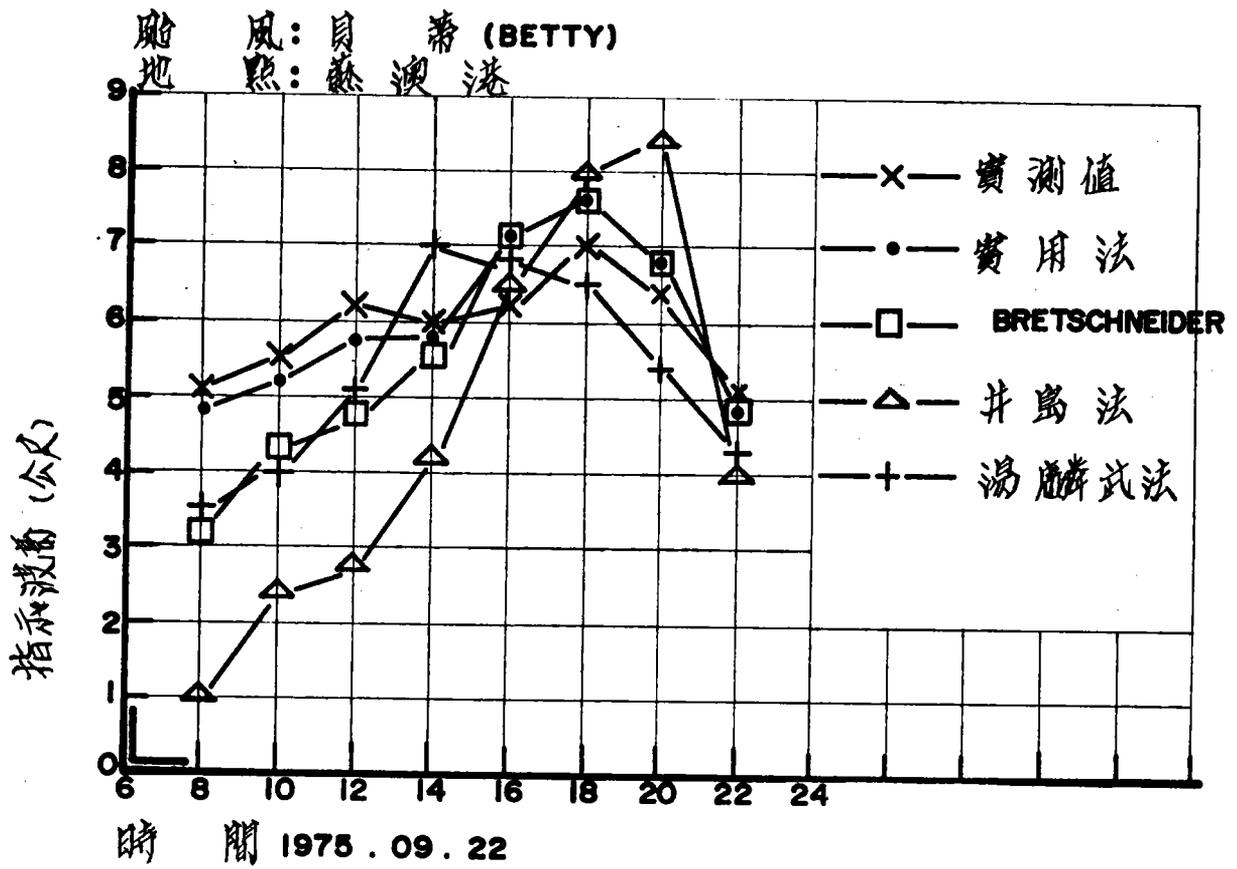


圖 4.5-1 各種模式推算與實測比較圖

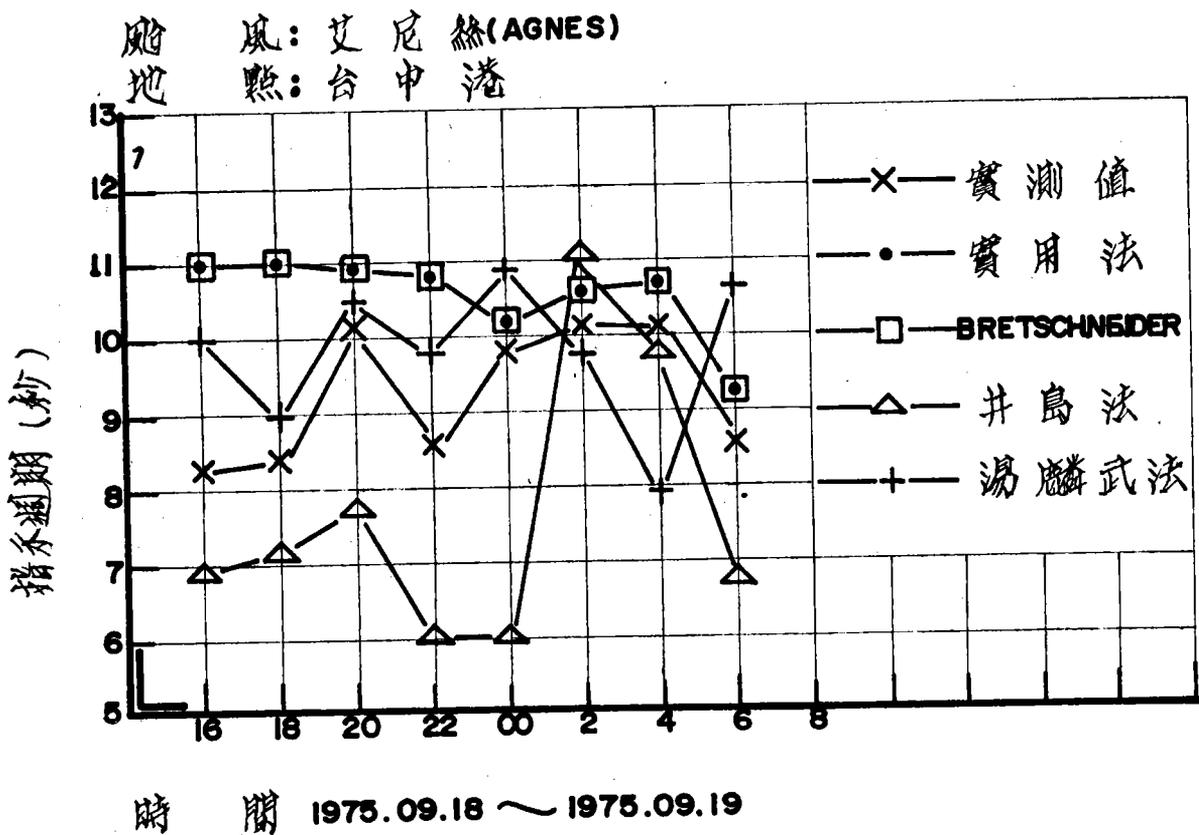
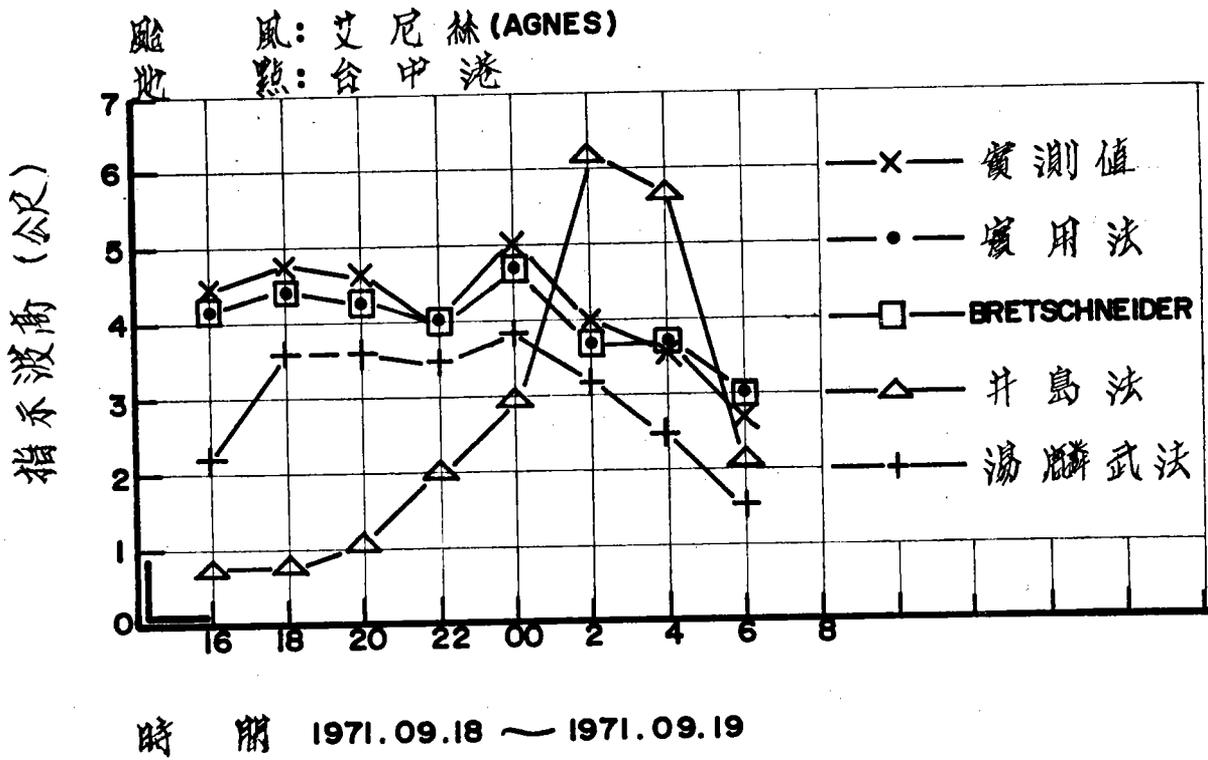


圖 4.5-2 各種模式推算與實測比較圖

五、颶風受陸地影響的修正

颶風受陸地的影響情況有三，1. 颶風風域（10R）受陸地遮蔽，而使風域內的波浪無法傳至推算點，2. 颶風部份風域在陸上，3. 二者皆有之情形。一般而言當颶風風域受陸地影響時，所引起的波浪會較未受影響者為小。但有些情況雖然颶風受陸地影響，却未必影響推算點波高。原因為風域內並非各點波浪皆可傳至推算點。如果對推算點本來就無影響的部份受陸地遮蔽或在陸地上，則不須修正。本文以考慮陸地影響後會傳至推算點的有效波能（ E_e ）比上忽略陸地時風域內所有會影響推算點之總波能（ E_t ），所得比值開方後稱為「能量遮蔽係數」，（ C_e ）。依此係數作為波高之修正係數。本方法是根據元素波模式的風波生成觀念（Liang, 1973），將颶風風域分割成許多元素風域，每一元素風域視為獨立之波浪生成中心。每一元素風域有其風速、風向，如圖 5.1。而以（5.1）式求出整個風域內之總波能（ E_t ）及以（5.2）式求出有效波能（ E_e ）

$$E_t = \iint_A U^2(r, \alpha) \cos^2[\theta(r, \alpha)] dA \quad -90^\circ < \theta < 90^\circ \quad (5.1)$$

$$E_e = \iint_{A^*} U^2(r, \alpha) \cos^2[\theta(r, \alpha)] dA^* \quad -90^\circ < \theta < 90^\circ \quad (5.2)$$

A ：忽略陸地時能影響推算點的風域面積。

其中 A^* ：考慮陸地時能影響推算點的風域面積。

R ：颶風最大風速半徑。

$U(r, \alpha)$ ：距颶風中心 r 處之風速

$\theta(r, \alpha)$ ：元素風域中心到推算點的連線與風向之夾角。

$U(r, \alpha)$ 可依（4.3-5）式求出，而得風域內風速分佈情形。風向則與偏向角（ β ）有關。因在地球上由壓力梯度與柯氏力作用引起之地衡風，其風向與等壓線相切，但因地表摩擦的影響，會使風速減慢，風向往颶風中心偏向。此偏向角度（ β ）本文取 25° 。取 E_e 與 E_t 的比值開方即得能量遮蔽係數 C_e 。如（5.3）式

$$C_e = \sqrt{\frac{E_e}{E_t}} \dots \dots \dots (5.3)$$

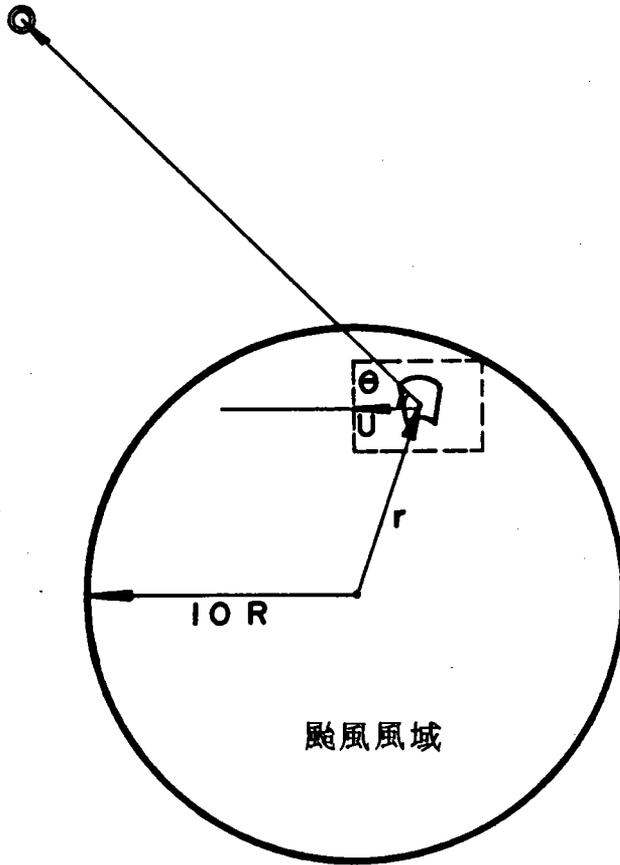
依此係數來修正颱風受陸地影響之波高如(5.4)式

$$H'_{1/3} = H_{1/3} \cdot C_0 \dots\dots\dots (5.4)$$

其中 $H_{1/3}$: 修正前波高(未考慮陸地)

$H'_{1/3}$: 修正後波高(考慮陸地)

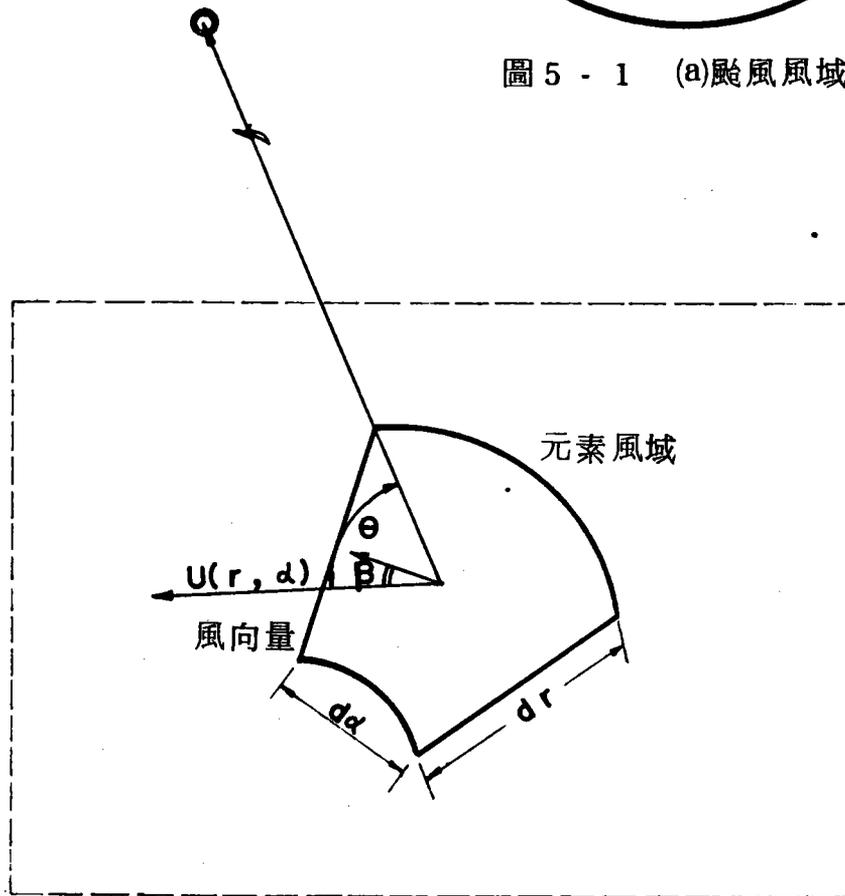
推算點



颱風風域

圖 5 - 1 (a) 颱風風域圖

推算點



元素風域

圖 5 - 1 (b) 颱風元素風域圖

六、討論與結論

季風波浪推算以台東新港實測波浪為例，用面積風域法推算波浪與實測值比較，冬季的結果比夏季為佳，夏季的週期推算值偏大。因為分析求常數及推算的風速資料僅蘭嶼一站而已，是否能代表整個海域的風場，十分值得懷疑，在如此不足的風場資料下，有這樣的推算結果，吾人可以相信本計畫所採用的面積風域法是合格的模式。由於面積風域法操作時不必人為判斷，且適合電腦操作，因此適合氣象預報作業。然而，面積風域法是半經驗法，需要一段正確的風場與波浪資料以求得經驗常數。更進一步，正確的風場預測是正確的波浪預測的基礎，下一年度將輸入由中央氣象局所提供的格點上風速資料，來完成臺灣附近海域波浪預報的模式。比較各種颱風波浪推算法，發現本計畫擬採用的實用法的結果最佳，而且本法的計算量很小，再加上受陸地遮蔽效應的修正，則將更臻完善。

七、致 謝

感謝中央氣象局提供風速與波浪資料，使本計畫順利進行；本所張喆音小姐協助整理資料，蔡金吉先生、陳正義先生繪圖，在此一併誌謝。

八、參考文獻

1. Tang, F.L.W. (1970), "Researches on the Calculation of Waves on Long Shoaling Beaches", J. of Civil and Hydraulic Engineering, National Cheng Kung University, Vol. I.
2. Bretschneider, C. L. (1979), "The Two-Direction Significant Wave Forecasting Model with Special Application to U.S. Weather Service Hurricane Wind Model", Conf. on Marine Science and Technology in the Pacific Area, R.O.C.
3. Liang, N.K. (1973), "Elementary Wave Model and the Definition of "Fetch Area" in Wave Prediction", ACTA Oceanographica Taiwanica, No. 3.
4. Tang, F.L.W., OU, S.H. and Juang, J.T. (1981), "Wave Forecasting and Wave Statistics in Taiwan Strait", Research Thesis No.4, Tainan Hydraulic Laboratory National Cheng Kung University.
5. 梁乃匡等 (1981) YAF區海象調查研究報告，台大海洋研究所專刊第 34 號。
6. Liang, N. K., Wang, J., Liou, C. Y., and Huang, P. (1981), "Current and Wave Measurement in the Vicinity of Hsien-Da-Kang and Tung-Kang", Special Publication No.28, Institute of Oceanography, National Taiwan University.
7. 梁乃匡、曾相茂及王胄 (1982) 南灣附近波浪觀測與分析，台大海洋研究所專刊第 38 號。
8. 湯麟武 (1971) 海岸工程規劃設計，農復會特刊第二號。
9. 廖學鎰 (1980) 日本之颱風預報評介，中華民國 69 年颱風預報討論會論文集編。
10. Liang, N.K., Tang, S.T. and Lee, B.J. (1976), "Application of Fetch Area Method in Monsoon Wave Hindcasting", Proceedings 15th Coastal Eng. Conf., Hawaii, July 1976.

11. 梁乃匡及簡仲環 (1983) 颱風波浪實用推算法，中國土木水利工程學會 72 年年會暨慶祝十週年紀念研討會論文集，p.277 ~ 293。
12. 梁乃匡 (1982) 颱風湧浪的預報方法，第六屆海洋工程研討會論文集，民國 71 年 9 月。
13. 梁乃匡及林文宗 (1978) 薇拉颱風波浪實測與推算比較，第二屆海洋工程研討會論文集。
14. 梁乃匡 (1984) 台灣四周波浪特性與推算模式，港灣技術研究所專刊第 14 號。
15. 井島武士 (1972) 台中港設計波浪計算報告書，日本港灣顧問公司。