

海軍綜觀海浪預報作業報告

曲宗瑁

海軍氣象中心

一、前言

綜觀海浪預報主要是以綜觀資料為主，計算資料為副，經分析後，比照預報天氣系統及浪湧傳播觀念，以推測未來海面狀況。本文是以皮恩傑三氏之波譜及統計法預測海浪及歷來作業經驗為基礎，扼要介紹如何作深水浪之綜觀預測。

二、綜觀海浪分析

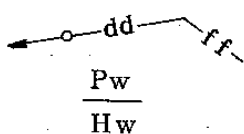
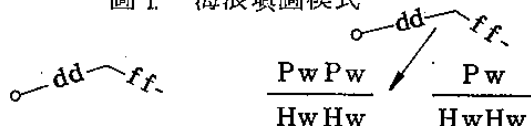
(一)、填圖：

1 海浪圖投影及比例尺，儘可能選用天氣圖相同者，便於量度。

2 用陸上地面氣象電碼，填繪海岸、島嶼之風信。用船舶氣象電碼，填繪海洋之風浪湧資料。

3 填圖模式，如圖 1。

圖 1 海浪填圖模式



如上(1)、(2)、(3)、各模式之風信填繪，除(3)在測站將風向桿向前延畫一矢外，其它皆與天氣圖之填繪相同。PwPw 為浪之週期秒數，Pw 為湧之週期秒數，分號下HwHw 一為浪高，另一為湧高之呎或公尺數，dwdw 為湧之來向。

4. 估算資料，缺少資料處，或為校正比較測報資料時，用氣壓場計算地轉風，間接求海浪資料。作法如次：

(1)、正確修正與海浪圖同一基礎時間之 3 毫巴間隔等壓綫天氣圖。並將高壓低壓及鋒等轉繪於海浪圖上。

(2)、用地轉風尺，如圖 2，根據相關點所在緯度、等壓綫間距查地轉風速，並經以下之訂正。

A、等壓綫曲率訂正地轉風

(A)、緩和彎曲至直綫形等壓綫—不需訂正。

(B)、大反氣旋曲率（曲率半徑小於 16 個緯度）—地轉風速照原值加 10 %。

(C)、大氣旋曲率（曲率半徑小於 16 個緯度）—地轉風速照原值減 10 %。

B、氣團穩定訂正地轉風。A 項訂正之地轉風速，再經海水溫度 Ts 與空氣溫度 Ta 差訂正（因無當時資料，可用同月、旬氣候資料）。

(A)、 $T_s - T_a \leq 0^\circ F$ ，應用 A 項訂正值 60 %。

(B)、 $T_s - T_a > 0$ 至 $10^\circ F$ ，應用 A 項訂正值 65 %。

(C)、 $T_s - T_a > 10$ 至 $20^\circ F$ ，應用 A 項訂正值 75 %。

(D)、 $T_s - T_a > 20^\circ F$ ，應用 A 項訂正值 90 %。

(3)、決定歷程（受風區、成浪區）。選定恒定風向風速之矩形區域，以海岸綫、鋒、等壓綫方向與間距有顯著改變部份等為界限，如圖 3。當等壓綫曲率太大時，可選幾個歷程，如圖 3 B。以上係假定氣壓系統完全在靜止狀態，事實，氣壓系統常是在移動中。此種情況，可將歷程簡約為三種範式：歷程垂直於風系移動；歷程向下風移動；歷程向上風移動。如圖 4 A，歷程垂直於風場內風向移動，選用 6 小時間隔連續天氣圖，畫定前（實綫 AB 矩形）後（虛綫 CD 矩形）期之歷程，AC 段已逾時，波浪減弱，BD 段尚屬初始建立期，波能較二歷程重疊 CB 段為弱，故 CB 段為最佳歷程選擇。圖 4 B，歷程向下風移動，波浪通過全期歷程，只要鋒後的風力歷時能維持充分時間，則新歷程 BD 段波能足可升達全程之水準，故 CD 段為最佳歷程選擇。圖 4 C，歷程向上風移動，波浪向下風區移動，故老歷程 AC 段的波能較新歷程 BC 段的波能為

強，因此，老歷程A B仍為後期最佳計算用歷程之選擇。

(4)、決定歷時(風力、波浪持續時間)：

A、用地面6小時間隔連續天氣圖，藉內插法約計同一風信之歷時。

B、逐漸增強或減弱之風速，風向恒定時，用平均風速於全期求歷時。

C、初期風速有變化，後期維持恒定，用後者求全期之歷時。

D、風速急遽增強，但風向甚少變化，把風速分為幾個等級，用歷時累積波譜逐步換算為同一風速之歷時。

E、波浪移進下風的成浪區，用顯著浪高公式

$$H_{1/3} = 2.83 \sqrt{E} \text{ 呎}$$

先求波能E，次在歷時累積波譜上換算為新風速的等效歷時，再將新風速歷時加起，即為該成浪區新風速的全部歷時。

(5)、決定波能E。經訂正後的淨值地轉風速，據其歷程及歷時求波能E及波頻等，若合於充分發展海面，直接自充分發展海面風浪級別表，如表1，查得有關數據。否則，須自歷時累積波譜，如圖5，歷程累積波譜，如圖6，查波能E，以上二譜中何者之E最小，即予採用，在海浪圖上直可採用相應之顯著浪高及波浪週期，若為更詳確需要，可藉有關簡單公式計算求得，本文從略。

(二)、分析：

1. 以3呎或1公尺為等浪高綫間隔，據每一測報點之最大波高(浪或湧)用內插及外延法分析。等浪高綫以陸地為終端。任二條等浪高綫不得交叉運行。等浪高綫不受鋒之限制，得自由越過與近鄰的同浪高點相連，但已知鋒常是成浪區的界限，故分析時應注意資料的正確性。每一條綫應平滑運行。浪高數值標於綫之兩端，如太長不利辨認，則在綫段適當處增加標示。等浪高綫之一側為較高浪區，另一側為較低浪區。某處海面浪高高於或低於其處最後一條等浪高綫時，於其處標以>若干或<若干以資識別。高浪區、低浪區與天氣系統配合看，就可辨認前者是成浪區？後者是減浪區？凡數處測報浪(湧)向近似一致時，在適當代表處標繪較重長矢，代表該海面波組的運動方向。波組運動方向相異90度以上時，於二者間連繪句點綫，表示不連續區。

2. 繪畢，再與天氣圖的氣壓場形勢比較，檢查成浪區、減浪區是否與風場一致，否則，是測報訛誤？抑是計算訛誤？後者常因忽略估計別處移進的湧致算小，或過估風力致算大。通常只要顧及到前後作業的連續，24至48小時海浪預報，藉此分析圖作基礎，以天氣學觀念推延，就可作好下列預報。

三、預報

(一)、將與海浪預報同時間地面天氣預報圖上的高壓、低壓、鋒等系統轉繪於海浪預報圖上。

(二)、據天氣預報圖氣壓場，照前述方法先計算各成浪區地轉風，次求海浪資料，並將結果照計算資料填圖模式填入海浪預報圖。

(三)、據現在天氣圖及海浪圖推算預測點可能出現之湧。

1. 決定風信歷程(成浪區)，除遵循前述決定歷程規則外，尚應注意歷程內風向與下風緣中點至預測點連綫之夾角須 ≤ 60 度，如圖7。並確定歷程長度湮數F，寬度湮數Ws。

2. 確定風暴或波浪在歷程內之歷時小時數Ds或Dw。

3. 由以上二項決定成浪區是由於何種風暴型所產生，以決定採用那種濾波式。常用濾波式有四種，如表2。據有關濾波式，可求得下風區或風息後成浪區內預測點未來何時將出現的波頻，與累積波譜配用，就可確定將出現的波能E。

4. 量度預測點至歷程下風緣中點之距離湮數Ro，若預測點在歷程內，則量度至上風緣中點之距離。

5. 決定預測時間小時數tob。

6. 量度歷程兩側延綫與下風緣兩端至預測點連綫之夾角 θ_3 及 θ_4 ，左側是 θ_3 ，右側是 θ_4 ，角度由側綫向連綫量度，反時針向為負角，順時針向為正角，如圖8。

7. 由角度擴展因數圖，如圖9，查兩角之相應百分數，再求兩百分數之差數As。

8. 由頻率擴散圖，如圖10，求出現在預測點之最高最低波頻f。

9. 以最高最低波頻及歷程內風速為已知數，在累積譜上查各相應之波能E，再求兩E之差 ΔE ，如無角度擴展影響，此 ΔE 即是將出現在預測點之波能。

10. 兩 E 之差 ΔE 乘兩百分數之差 A_s ，即得最終出現在預測點之波能 E 。

11. 用此 E 與原風速在累積波譜上可查得在預測點出現的波頻或週期秒數，以及顯著浪高次數。

12. 用此 E 在波高表，如表 3 中可查得各種浪高值。

13. 將顯著浪高及週期填入預報圖的預測點。

(四)、分析。等浪高綫分析可照前述作法完成，最後即得海浪預報圖。

四、海浪預報所需基本資料與作業程序

(一)、資料：

1. 過去 6 小時間隔之連續天氣圖及實際資料。

2. 當時海浪分析圖。

3. 天氣預報圖。

4. 地轉風尺。

5. 累積波譜。

6. 頻率擴散圖。

7. 角度擴展因數圖。

8. 波高表。

9. 充分發展海面風浪級別表。

10. 濾波公式表。

(二)、程序：

1. 分析天氣圖。

2. 分析海浪圖。

3. 決定風暴類型及需用濾波式，並估算該濾波式所需之觀測數據。

4. 估算 θ_1 及 θ_2 。

5. 估算角度擴展因數。

6. 求各段觀測時間出現之頻帶，並求相對之週期。

7. 求觀測或預測點出現之 ΔE (即低頻 E 減高頻 E 之差)。

8. ΔE 乘角度擴展因數，得預測點之波能 E 。

9. 由波高表查 E 相應之顯著浪高。

10. 由原風速及 E 在累積波譜上查相應之週期。

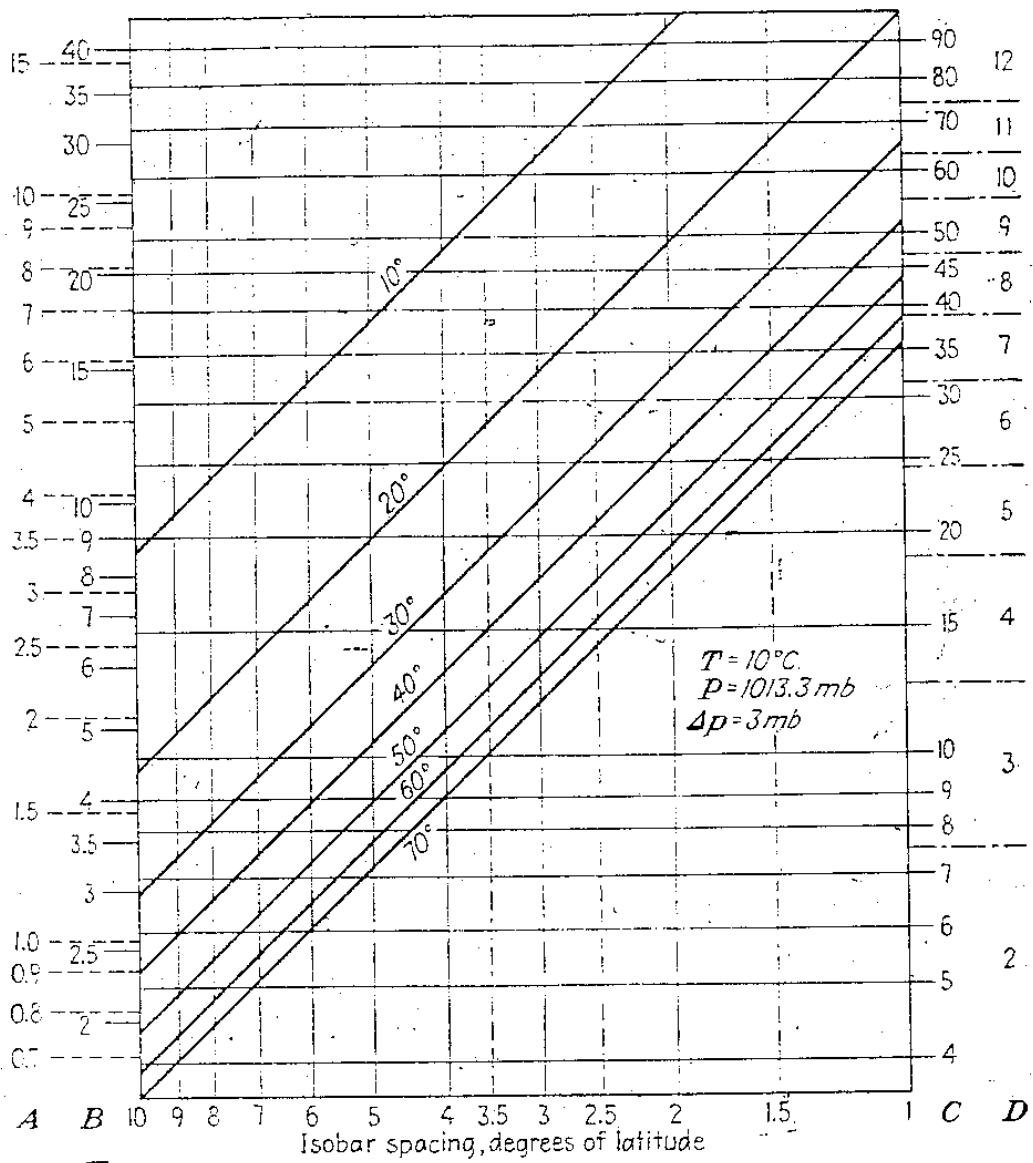
11. 將顯著浪高及其週期填入海浪圖。

12. 分析海浪預報圖。

五、結 論

綜觀海浪預報因基本資料主要為綜觀實際情況分析，故只要具有天氣分析與預報之基礎，即不難從經驗中很快歷練熟諳，尤以短期預報為然。但若步步仰仗計算，不免查表繁複。倘能把握主要風暴或風場及預測點，亦可執簡馭繁，且可避免冗繁計算，易致訛誤之弊。總之，綜觀海浪預報，至今尚不失為一經濟捷便佳徑，尤其與間接計算資料配合使用，更能顯得適當可用。

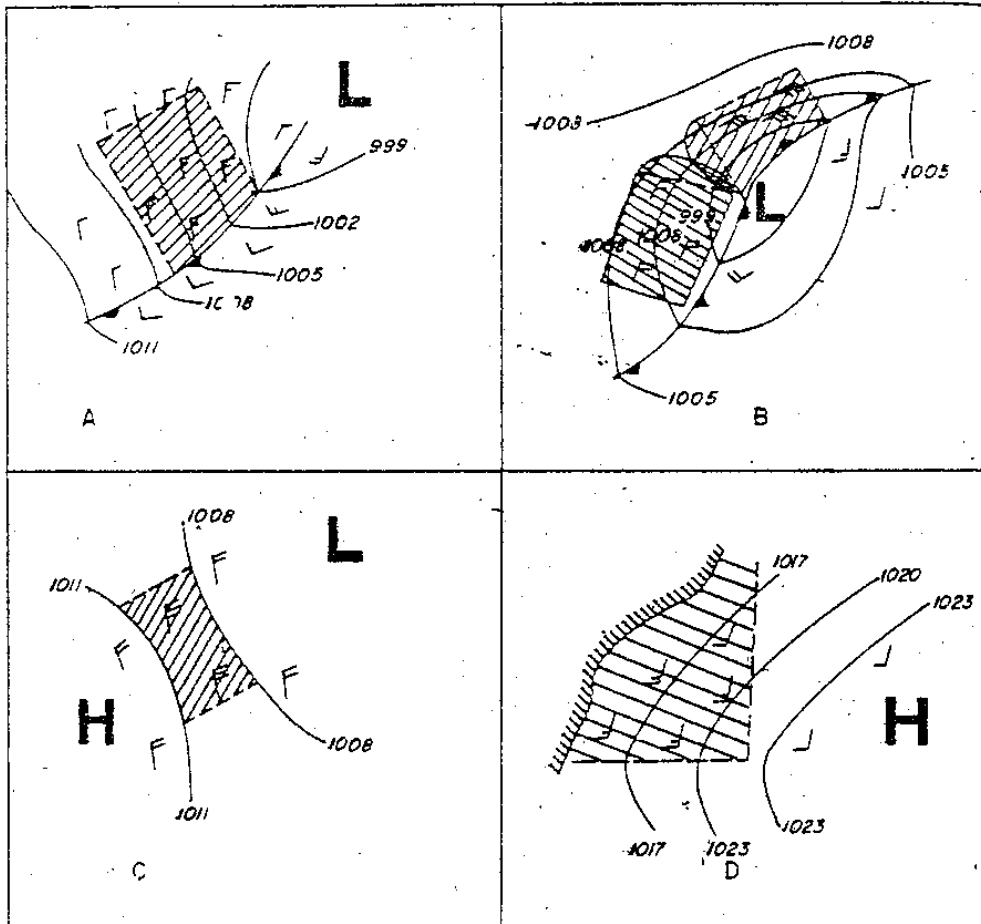
以上謹以淺陋工作見解，提出報告，尚祈諸位先生不吝匡正。



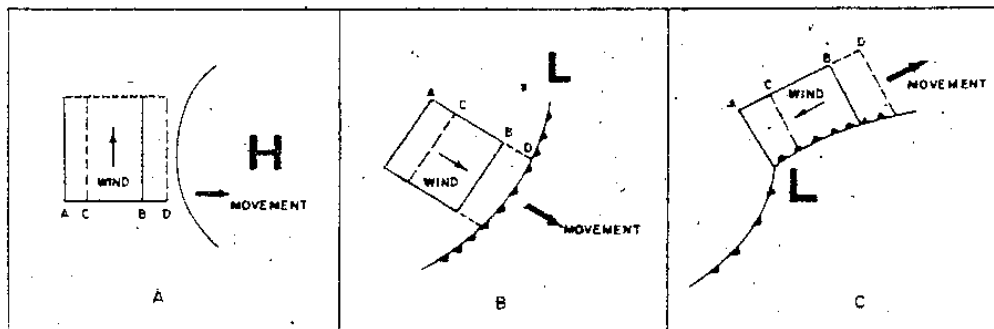
2.

- A. wind speed in degrees latitude per 12 hr
- B. wind speed, mps
- C. wind speed, mph
- D. Beaufort number

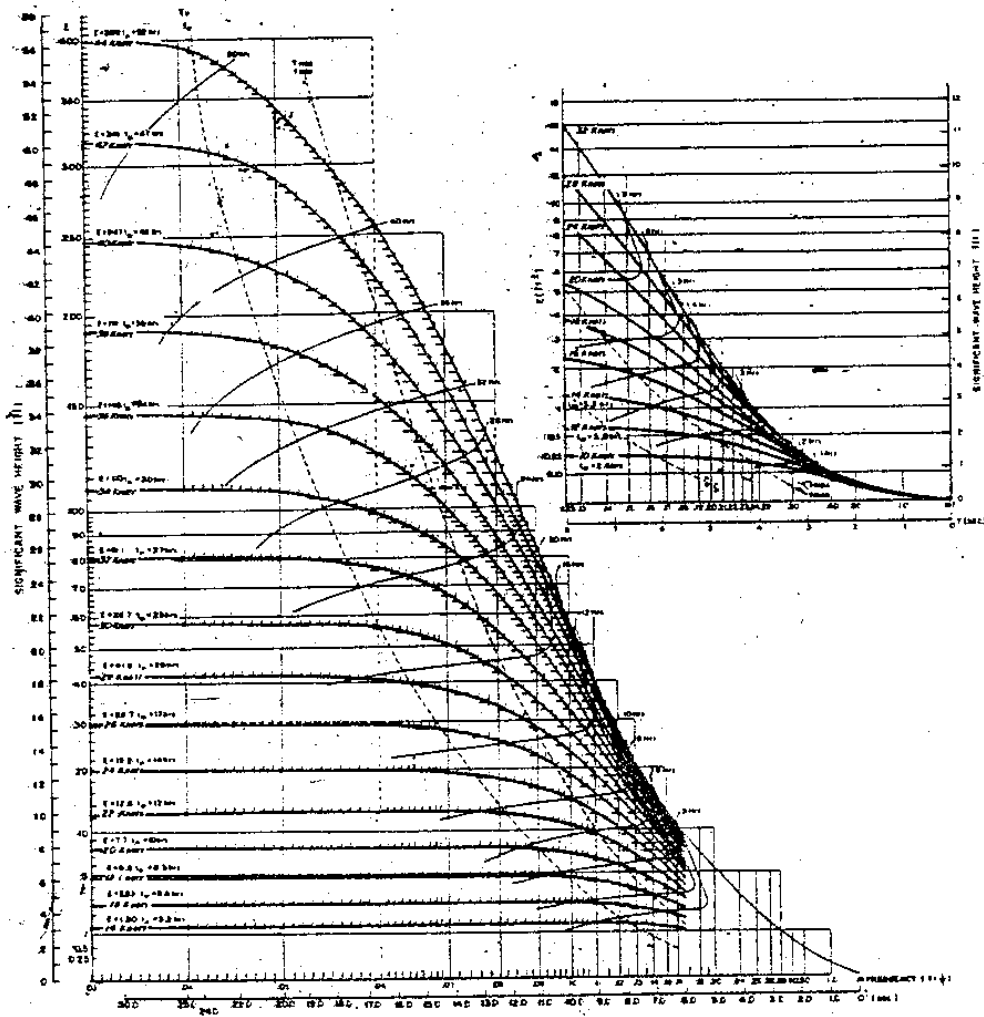
Geostrophic wind scale for sea-level, 3-mb isobars. (After University of Chicago.)



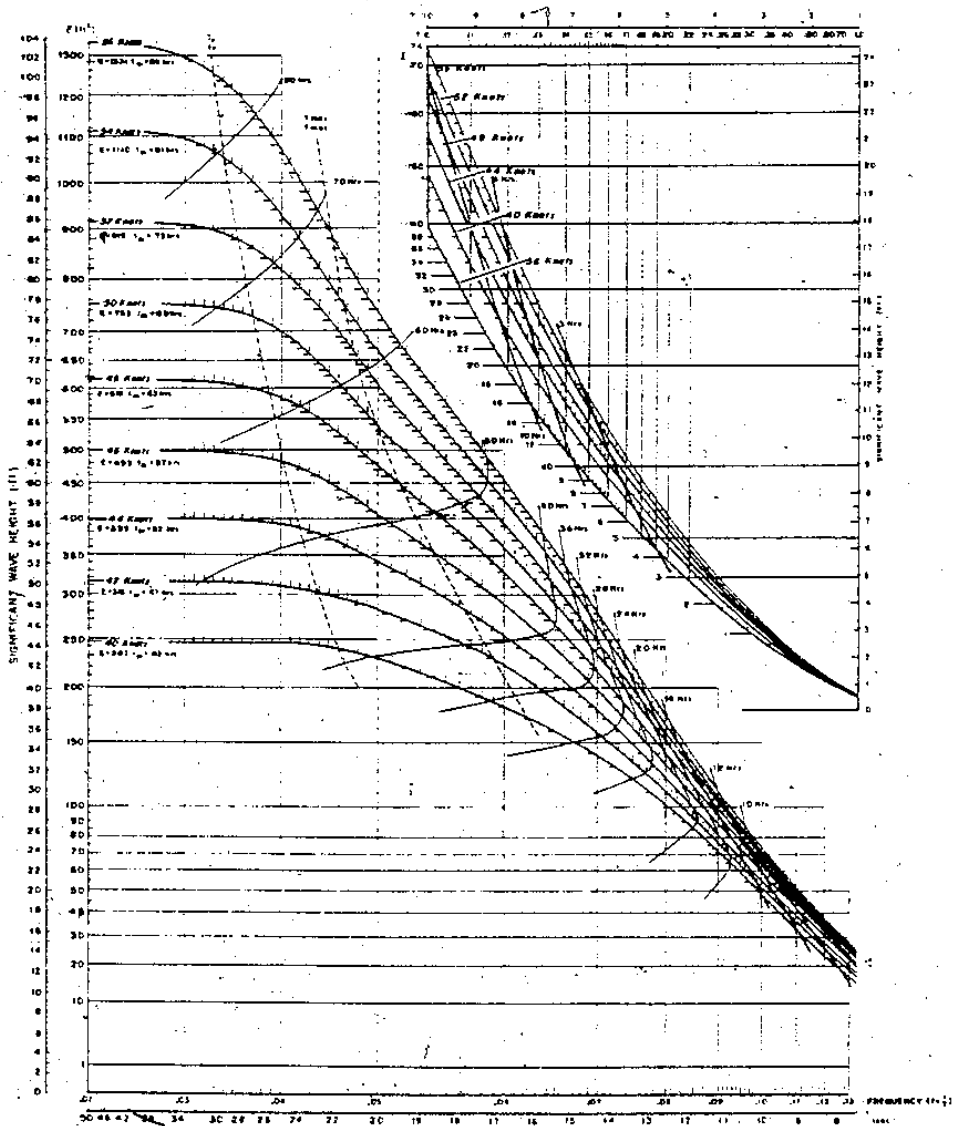
3. Typical fetch locations.



4. Fetch movement.



5 (1) Duration graph. Distorted co-cumulative spectra for wind speeds from 10 to 44 knots as a function of the duration.



5

(2) Duration graph. Distorted co-cumulative spectra for wind speeds from 36 to 56 knots as a function of the duration.

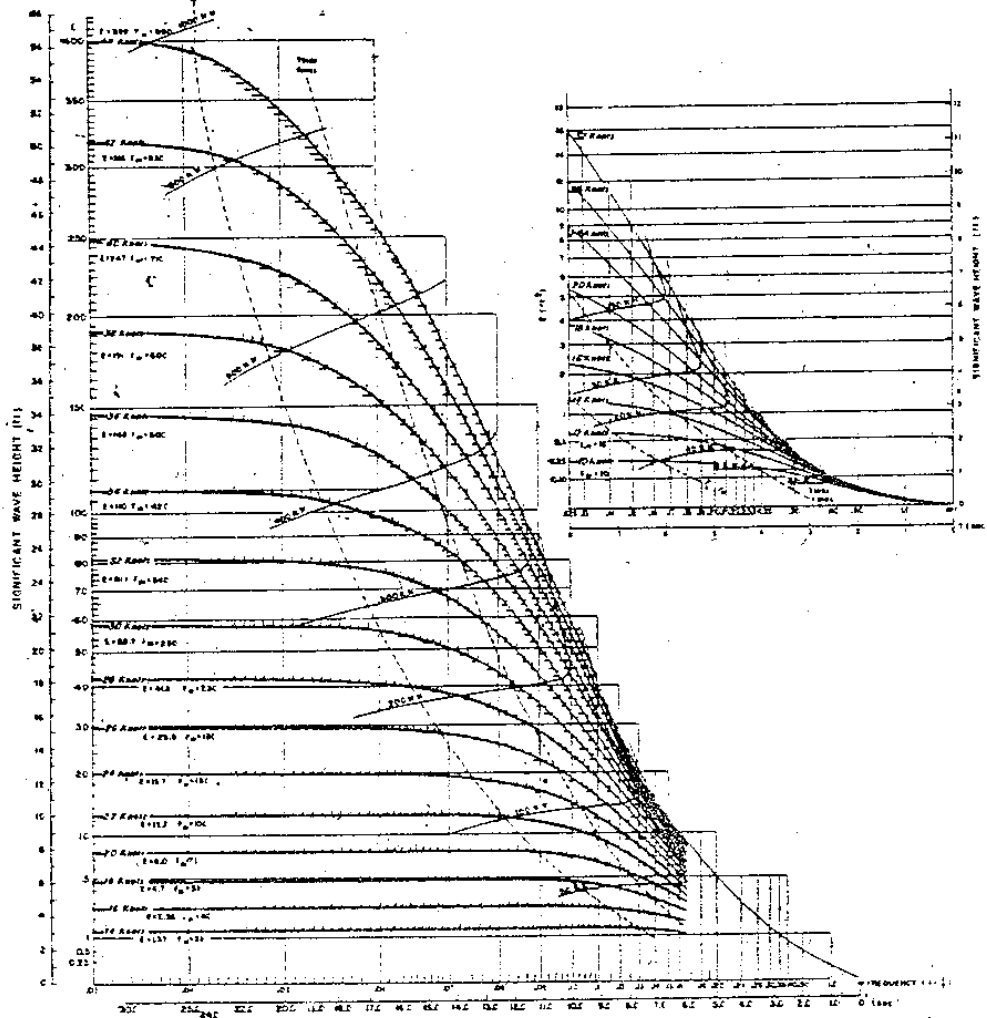
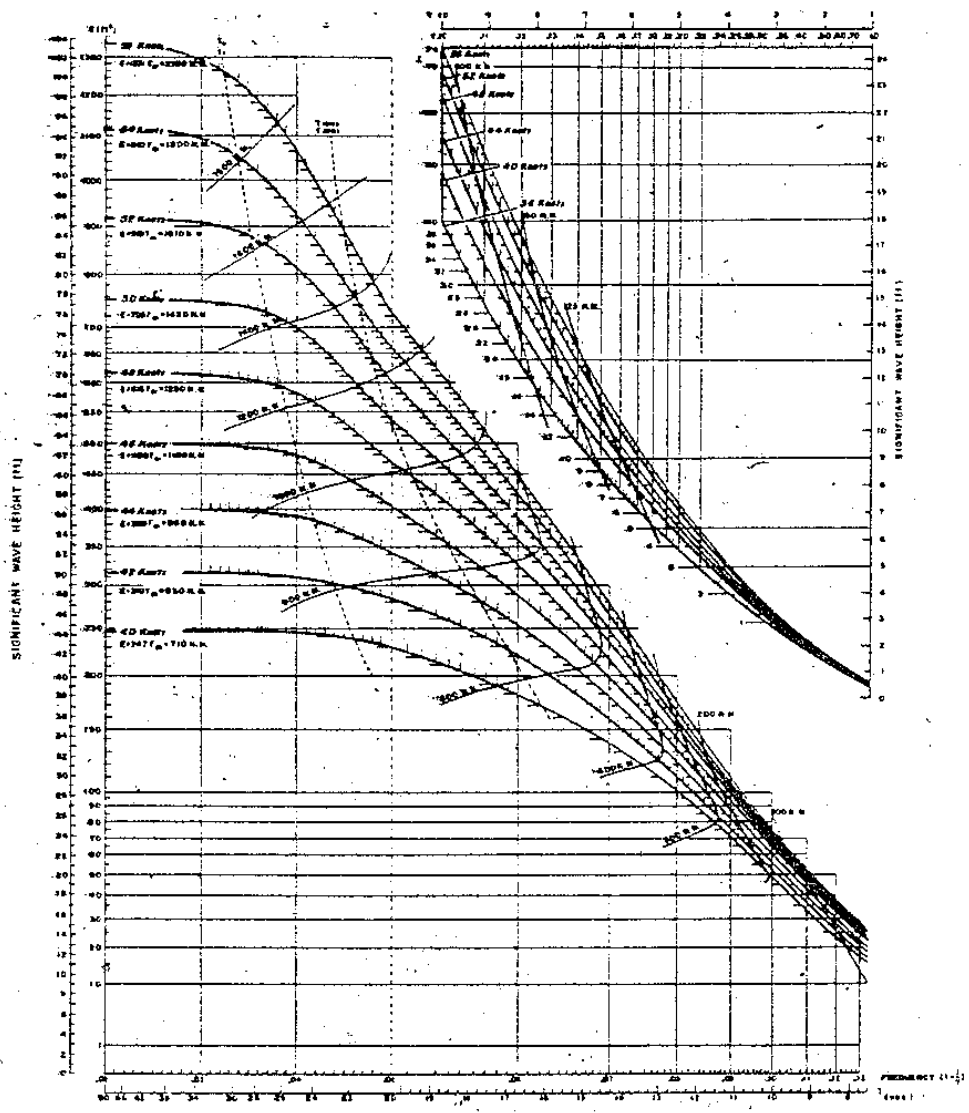


圖 6 (1) Fetch graph. Distorted co-cumulative spectra for wind speeds from 10 to 44 knots as a function of the fetch.



D 6 (2) Fetch graph. Distorted co-cumulative spectra for wind speeds from 36 to 56 knots as a function of the fetch.

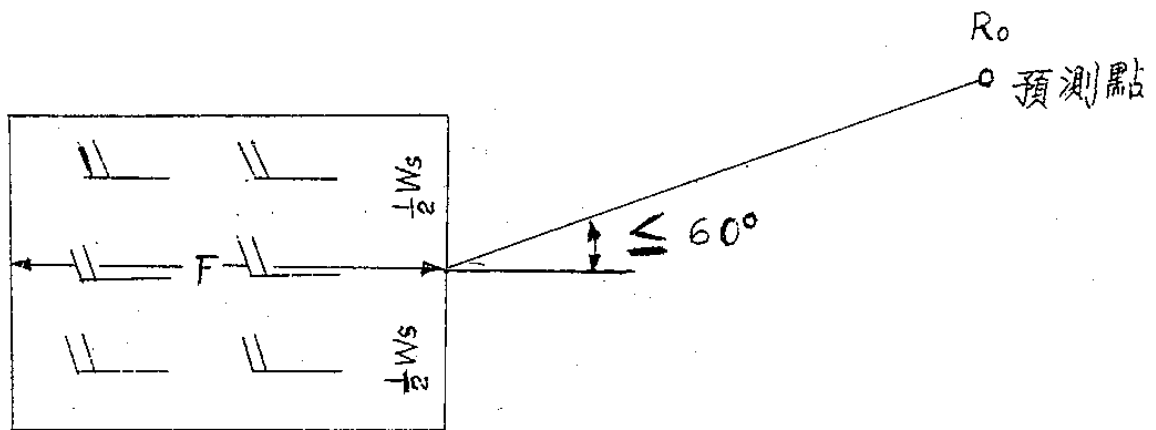


圖 7. 歷程內風向與預測點之關係。

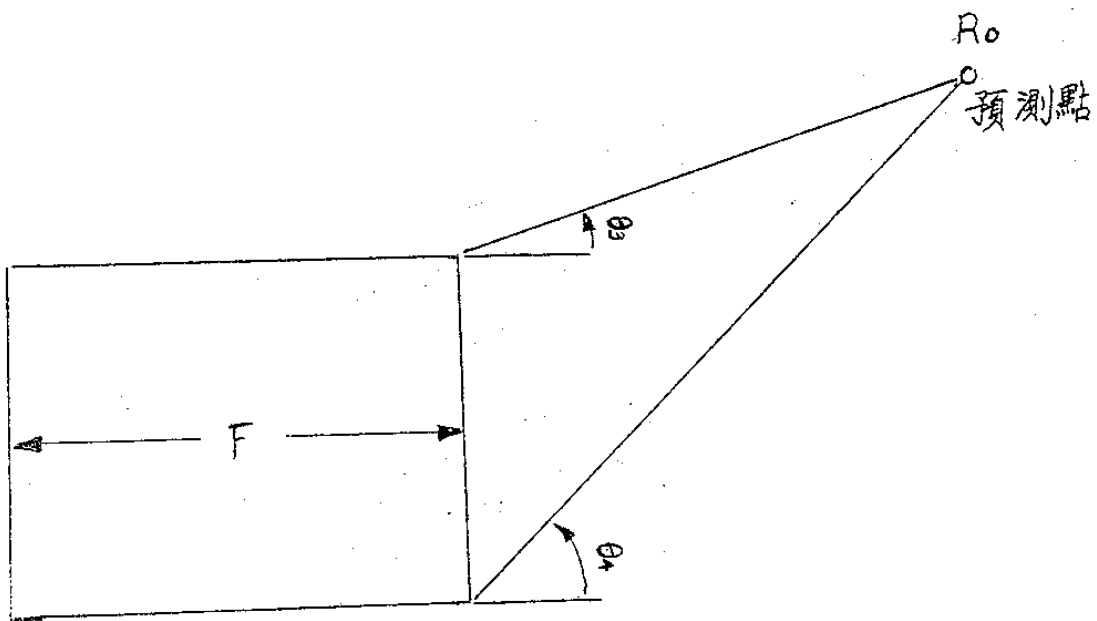
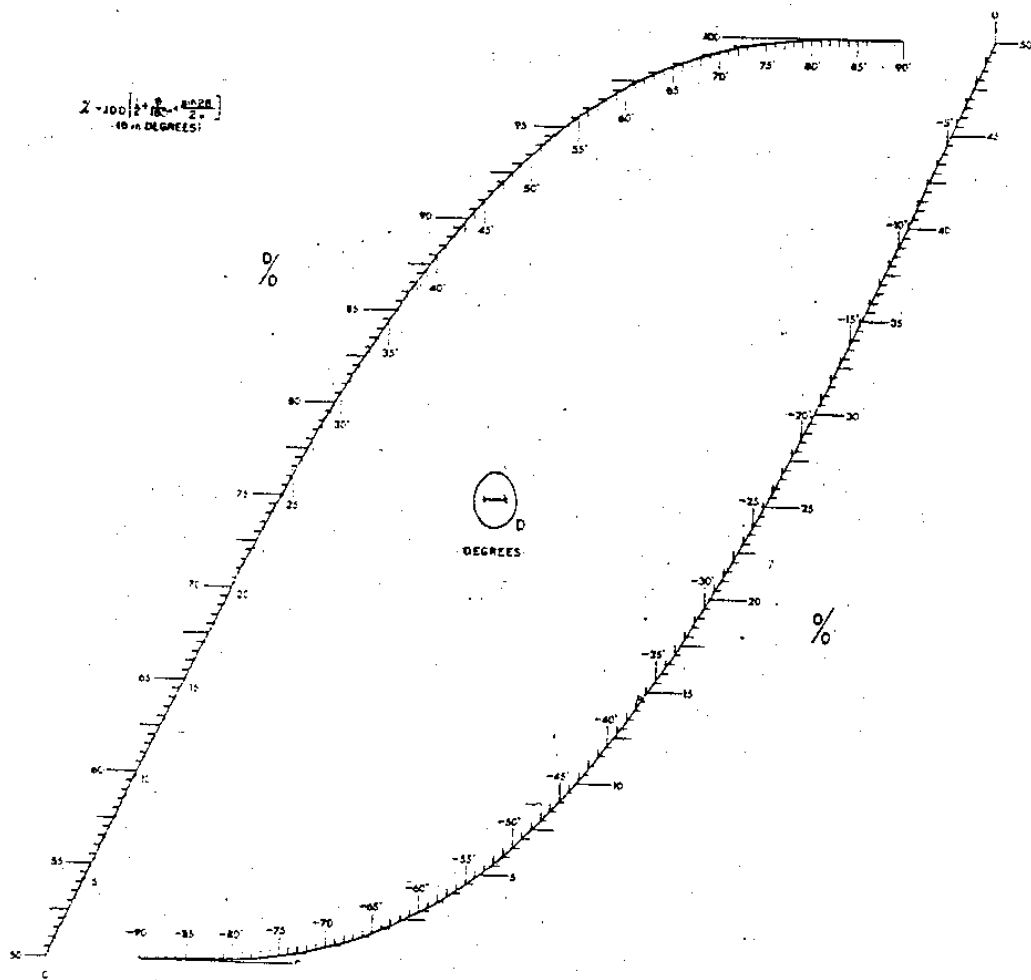
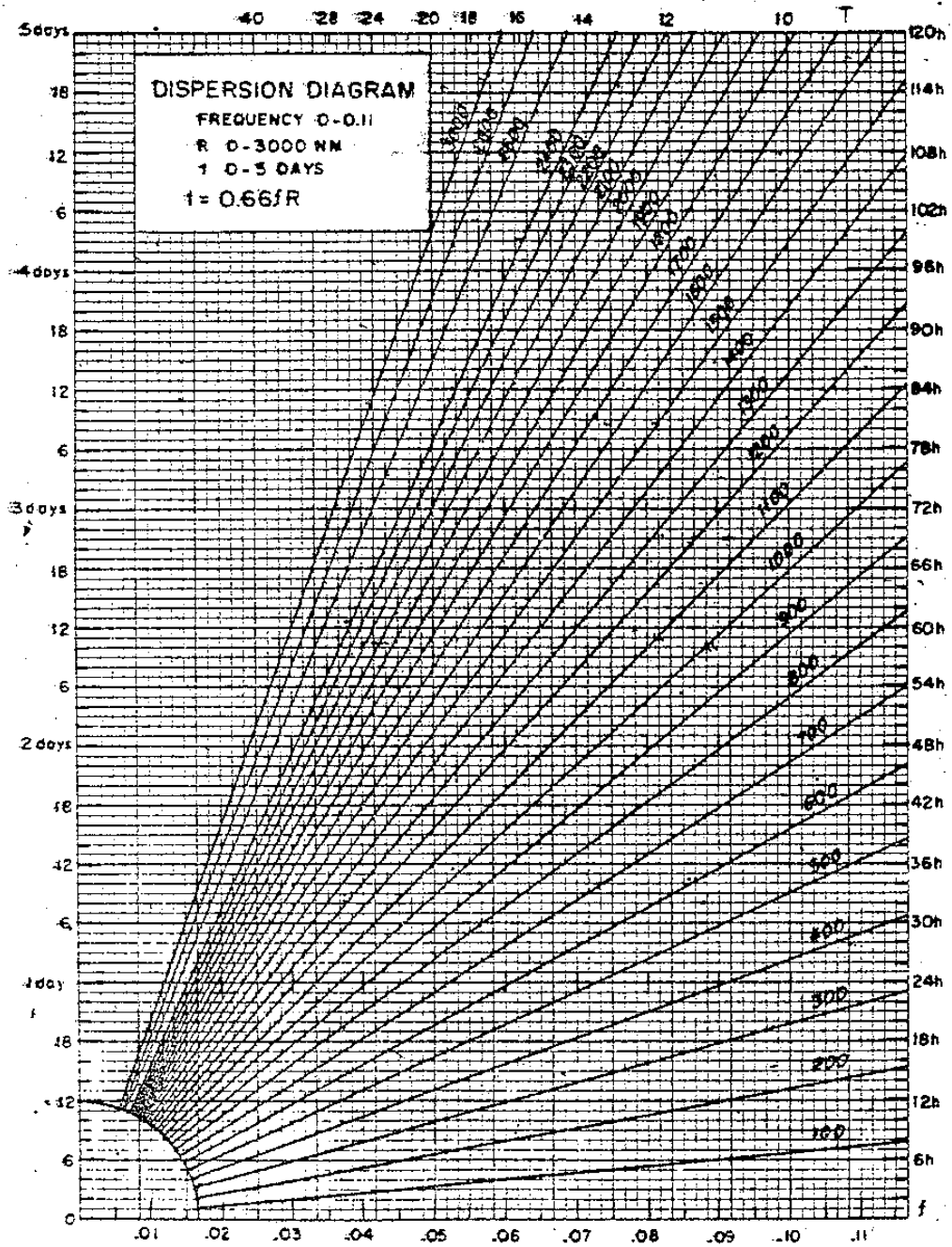


圖 8. 擴展角 θ_3 及 θ_4 。

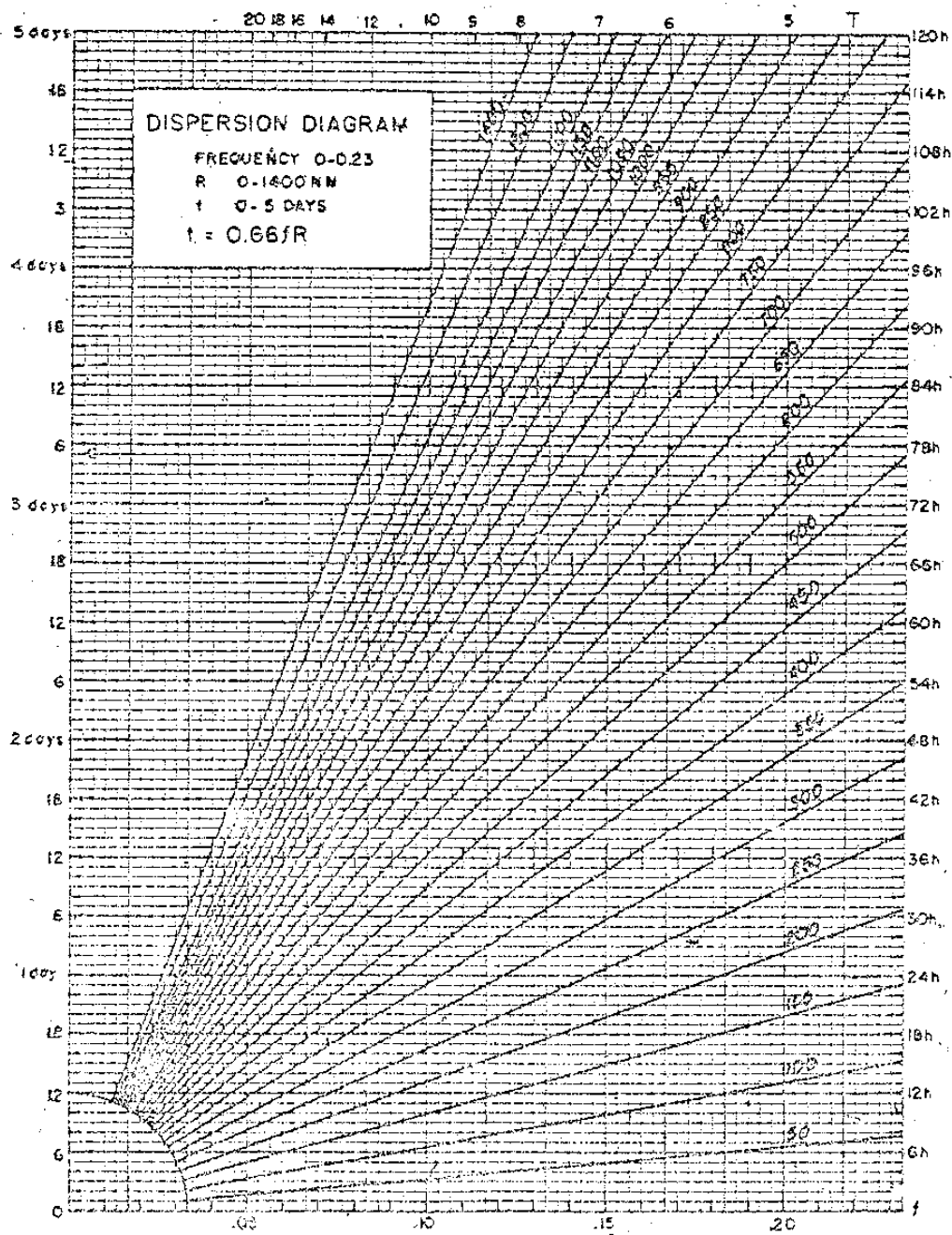


9.

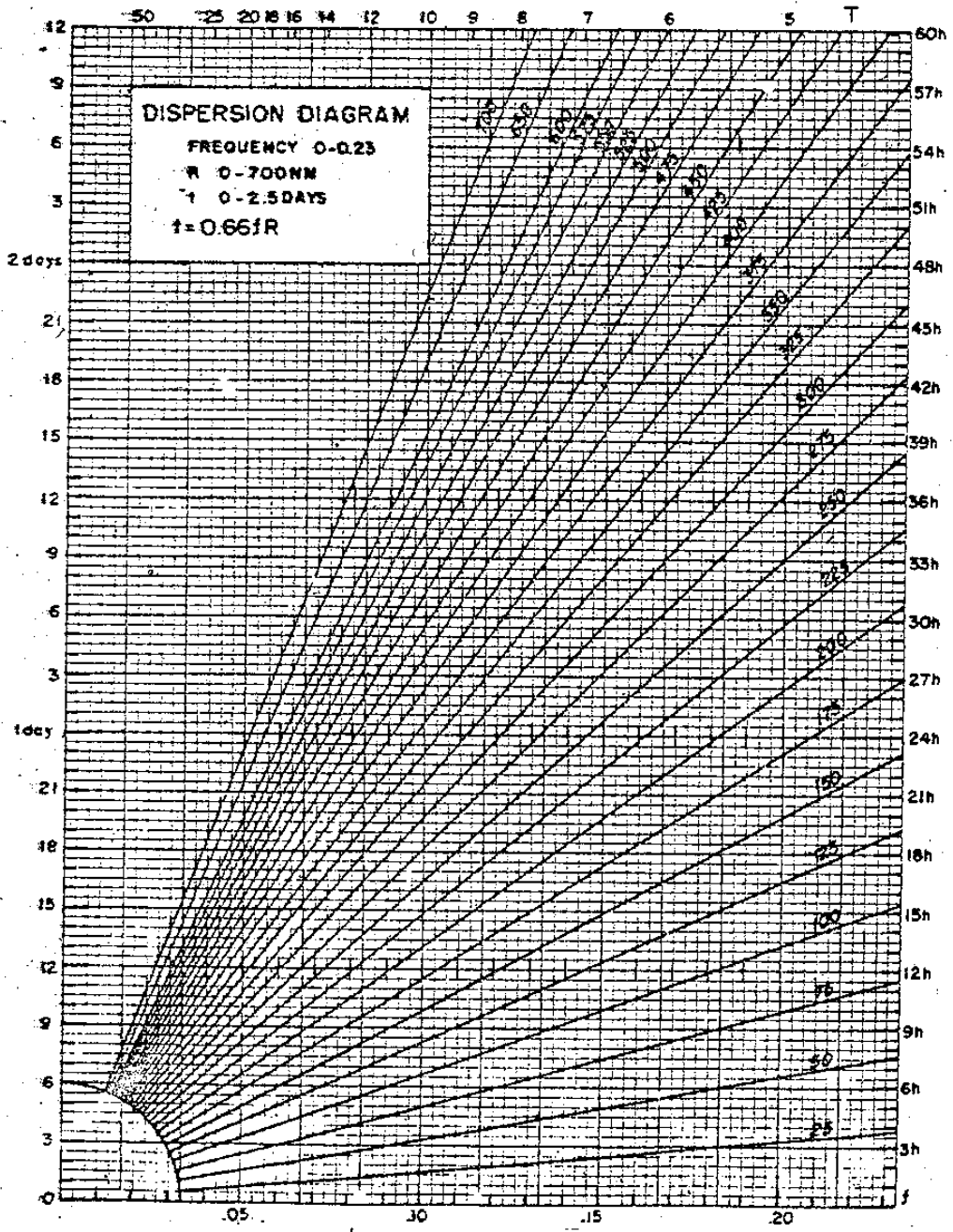
Angular spreading factor.



10 (1)



10-(2)



10 (3)

充分發展海面風浪級別表

風		浪										
		浪 以 高						浪 以 高				
明	蒲福風級	風速限域(節)	風速(節)	平均	顯著	%最高平均	顯著週期(秒)	最高週期(秒)	平均週期(秒)	平均浪長(呎)	最大浪長(呎)	最小浪程(呎)
平靜	0	0-1	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—
風	1	1-3	2	0.05	0.08	0.10	UP TO 1.2	0.7	0.5	10 IN	5	18 MIN
風	2	4-6	5	0.18	0.29	0.37	0.4-2.8	2.0	1.4	6.7 FT	8	39 MIN
風	3	7-10	8.5	0.6	1.0	1.2	0.8-5.0	3.4	2.4	20	9.8	1.7 HR
			10	0.9	1.4	1.8	1-6	4.0	2.9	28	10	2.4
風	4	11-16	12	1.4	2.2	2.8	1-7	4.8	3.4	40	18	3.8
			13.5	1.8	2.9	3.7	1.4-7.6	5.4	3.9	52	24	4.8
			14	2.0	3.2	4.1	1.5-7.8	5.7	4.0	55	28	5.2
			16	2.8	4.5	5.7	2.0-8.8	6.5	4.6	71	40	6.6
風	5	17-21	18	3.8	6.1	7.7	2.5-10	7.3	5.1	90	55	8.3
			19	4.3	6.9	8.7	2.8-10.6	7.7	5.4	99	65	9.2
			20	4.9	7.9	10.0	3.0-11.1	8.1	5.7	111	75	10.0
風	6	22-27	22	6.3	10.0	12.7	3.4-12.2	8.9	6.3	135	100	12.0
			24	7.8	12.4	15.8	3.7-13.5	9.7	6.9	160	130	14.0
			24.5	8.2	13.0	17.0	3.8-14.0	10.0	7.1	164	140	15.0
			26	9.5	15.2	19.3	4.0-14.5	10.5	7.4	188	180	17.0
風	7	28-33	28	11.4	18.3	23.0	4.5-15.5	11.4	8.0	218	230	20.0
			30	13.6	22.0	28.0	4.7-16.7	12.1	8.6	251	280	23
			30.5	14.0	23	29	4.8-17.0	12.4	8.7	258	290	24
			32	16.0	26	33	5.0-17.5	12.9	9.1	285	340	27
			34	18.6	29	38	5.5-18.5	13.7	9.7	322	420	30
風	8	34-40	36	21.0	34	44	5.8-19.0	14.5	10.3	361	500	34
			37	23	37	47	6.0-20.5	14.9	10.5	376	530	37
			38	24	39	50	6.0-21.0	15.3	10.9	402	600	38
			40	28	45	56	9-22	16.2	11.4	446	710	42
			42	32	50	64	7-23	17.0	12.0	491	830	47
風	9	41-47	44	35	56	72	7-24	17.7	12.6	539	960	52
			46	39	63	80	7-25	18.6	13.1	589	1100	57
			48	44	70	89	8-26	19.4	13.7	642	1250	63
風	10	48-55	50	49	78	99	8-27	20.2	14.3	696	1420	69
			51.5	52	83	106	8-28.2	20.8	14.7	736	1560	73
			52	53	85	109	8-29	21.0	14.8	753	1600	75
			54	59	94	120	8-30	21.8	15.4	812	1800	81
			56	65	103	131	9-31	22.6	16.0	873	2100	88
風	11	56-63	59.5	73	116	148	10-32	24	17.0	985	2500	101
風	12	>64	>64	>80	>128	>164	10-(35)	(26)	(18)	~	~	~

* 暴風以上海面所需歷時及歷程等項須達此為非充分發展。

此值應界於蒲福風速限域中間值。

海面混亂浪擊吹離氣水混合。

表 2. Summary of Filters

Storm type	Observed quantities	Formulas for filters	Calculated quantities
Line-source	t_{ob} (time measured in hours after waves start from storm)	$t_{ob} - D_w = (0.66R_o)f_1$	f_1
	D_w (duration of the waves at the source)	$t_{ob} = (0.66R_o)f_2$	f_2
FILTER I	R_o (distance from storm to point of observation)		
	θ_3 (angle to forecast point)		θ_4
	θ_4 (angle to forecast point)		θ_3
Stationary storm with a fetch	t_{ob} (as above)	$t_{ob} - D_o = 0.66(R_o + F)f_5$	f_5
	D_o (duration of storm)	$t_{ob} = 0.66R_o f_2$	f_2
FILTER II	R_o (as above)		
	F (length of storm)		θ_4
	θ_3 (as above)		
	θ_4 (as above)		θ_3
A storm moving to leeward	t_{ob} (time measured in hours after winds cease in storm, waves start then)	$t_{ob} = 0.66(R_o + F)f_6$	f_6
FILTER III (velocity of fetch equals velocity of winds in the fetch.)	$R_o, F, \theta_3, \theta_4$ (as above)	$t_{ob} = 0.66 R_o f_2$	f_2
			θ_4
			θ_3
Waves in the fetch	t_{ob} (time measured in hours after winds cease over the fetch)	$t_{ob} = 0.66 F_o f_7$	f_7
FILTER IV	F_o (distance from point of observation to windward edge of fetch)		$(f_7 = \infty)$
			$(\theta_4 = +90^\circ)$
			$(\theta_3 = -90^\circ)$

表3.

Range of E for Typical Height Values

Range of E	\sqrt{E}	E	Av. Ht.	Sig. Ht.	Av. 1/10 Ht.
.008-.06	.18	.03	.32	.5	.65
.06-.19	.35	.12	.62	1.0	1.26
.19-.38	.53	.28	.94	1.5	1.91
.38-.64	.71	.50	1.26	2.0	2.56
.64-.94	.88	.77	1.56	2.5	3.17
.94-1.54	1.06	1.12	1.88	3	3.82
1.54-2.53	1.41	1.99	2.50	4	5.08
2.53-3.76	1.77	3.13	3.13	5	6.37
3.76-5.29	2.12	4.49	3.75	6	7.63
5.29-7.02	2.47	6.10	4.37	7	8.89
7.02-9.00	2.83	8.01	5.01	8	10.2
9.00-11.3	3.18	10.1	5.63	9	11.4
11.3-15.1	3.53	12.5	6.25	10	12.7
15.1-21.1	4.24	18.0	7.50	12	15.3
21.1-28.1	4.95	24.5	8.76	14	17.8
28.1-36.1	5.65	31.9	10.1	16	20.3
36.1-45.0	6.36	40.4	11.3	18	22.9
45.0-60.4	7.08	50.1	12.5	20	25.5
60.4-84.5	8.48	71.9	15.0	24	30.5
84.5-112	9.89	97.8	17.8	28	35.6
112-144	11.3	128	20.0	32	40.7
144-180	12.7	161	22.5	36	45.7
180-225	14.1	199	25.0	40	50.8
225-282	15.9	253	28.1	45	57.2
282-346	17.7	313	31.3	50	63.7
346-412	19.4	376	34.3	55	69.8
412-488	21.2	449	38.8	60	76.3
488-571	23.0	529	40.7	65	82.8
571-702	24.7	610	43.7	70	88.9
702-900	28.3	801	50.1	80	102
900-1,129	31.8	1,010	56.3	90	114
1,129-1,376	35.3	1,250	62.5	100	127

