

高雄港洲際二期港內靜穩度分析之初探

林達遠¹ 羅冠顯¹ 許義宏¹ 李俊穎² 賴志炫³

¹交通部運輸研究所運輸技術研究中心副研究員

²交通部運輸研究所運輸技術研究中心研究員

³臺灣港務股份有限公司副工程師

摘要

本研究於臺灣各主要商港建置港內靜穩度觀測系統，109 年在臺北港完成觀測系統檢核作業，112 年針對高雄港洲際二期進行靜穩度分析工作。分析結果顯示，112 年 6 月 1 日 0 時至 6 月 2 日 12 時，因受瑪娃颱風外圍環流影響，高雄港港內外波高偏大，而在 6 月 2 日 13 時至 6 月 10 日 23 時，港外波高約在 0.6~1.2m，各港內靜穩度測站波高均小於 0.2m，造成此現象可能原因係 6 月 1 日 0 時至 6 月 2 日 12 時外海主要風（波）向為北北西，高雄港二港口外海離岸防波堤無法提供有效遮蔽，造成港內波高偏大，導致發生不靜穩現象。8 月 3 日至 8 月 9 日卡努颱風期間，港外最大波高達 3.93m，港內靜穩度測站波高小於 0.5m，研判係因卡努颱風外圍環流所形成主要風（波）向為西北，外海離岸防波堤能有效阻絕波浪入射，因此港內仍處於相對靜穩狀態。

一、前言

為瞭解國內各主要商港之港內靜穩度，交通部運輸研究所(以下簡稱本所)於 109 年起陸續於花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港、臺中港、布袋港及高雄港等商港建置港內靜穩度測站，共計 16 站，各測站基本資料如表 1 所示。

由於亞太地區經濟持續發展，貨櫃運送需求不斷增加，為提升高雄港之國際競爭力，以滿足未來高雄港貨櫃運輸需求，行政院於 93 年間核定同意推動洲際貨櫃中心第一期工程計畫(以下簡稱洲際一期)，100 年 3 月間核定高雄港洲際貨櫃中心第二期工程計畫(以下簡稱洲際二期)，洲際一期現已全數完工，洲際二期於 112 年 5 月正式啟用第七貨櫃中心 S5 至 S3B 碼頭。為瞭解高雄港洲際二期之港內靜穩度，本所分別於 110 年 5 月及 112 年 6 月於洲際二期 S5、S3 及 S13 等碼頭建置港內靜穩度測站，並搭配二港口外海之 AWAC 進行港內靜穩度分析，期能協助港埠單位增強港埠營運管理效能。

二、資料檢核

為確認港內靜穩度測站觀測資料之正確性，本所於臺北港北 2 碼頭佈放超音波式表面波高波向與剖面海流儀 AWAC (Acoustic Wave and Current profiler) 與港內靜穩度測站 TPHP01 進行

表 1 各主要商港港內靜穩測站基本資料表

港區	測站編號	測站位置	測站座標	
			緯度	經度
花蓮港	HLHS01	9 號碼頭	24°0'02.5'	121°38'14.6"
花蓮港	HLHS02	17 號碼頭	23°59'19.8"	121°38'03.8"
花蓮港	HLHS03	25 號碼頭	23°58'26.0"	121°37'36.4"
蘇澳港	SAHS01	8 號碼頭	24°35'23.0"	121°52'02.0"
基隆港	KLHS01	東 7 碼頭	25°8'21.8"	121°45'02.8"
基隆港	KLHS02	東 12A 碼頭	25°8'36.0"	121°45'29.0"
基隆港	KLHS03	西 27 碼頭	25°9'03.4"	121°44'44.0"
臺北港	TPHS01	北 2 碼頭	25°9'55.4"	121°23'36.6"
臺北港	TPHS03	南 9 碼頭	25°8'46.0"	121°21'46.1"
臺中港	TCHS01	19 號碼頭	24°15'44.2"	120°31'09.5"
臺中港	TCHS02	南迴船池旁	24°14'37.0"	120°29'14.0"
布袋港	BDHS01	東 3 碼頭	23°22'42.3"	120°8'17.9"
高雄港	KHHS01	洲際二期 S5 碼頭	22°31'42.1"	120°19'21.9"
高雄港	KHHS02	8 號碼頭	22°36'52.3"	120°17'08.4"
高雄港	KHHS03	洲際二期 S3 碼頭	22°32'12.8"	120°18'51.9"
高雄港	KHHS04	洲際二期 S13 碼頭	22°32'07.1"	120°18'27.4"

比對檢核，探討二者之相關性及差異性，以瞭解港內靜穩度測站之特性，比對檢核時間為 109 年 5 月 26 日至 8 月 1 日及 8 月 4 日至 11 月 2 日等期間，圖 1 為臺北港港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 佈放位置示意圖。

2.1 檢核時間 109 年 5 月 26 日至 8 月 1 日

圖 2 及圖 3 分別為港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 之示性波高(以下簡稱波高)及平均週期(以下簡稱週期)時序列圖，其中藍線為 TPHS01 觀測資料，橘線為 AWAC 觀測資料，由圖中可看出，兩種觀測設備所觀測之最大波高約在 0.83 公尺，波高變化的趨勢兩者變化一致，週期約在 3~6 秒間變化，TPHS01 所觀測之週期比 AWAC 所觀測之週期略小；圖 4 及圖 5 分別為港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 之波高及週期散佈圖，波高比對結果相關係數為 0.9646、均方根誤差為 4.93 公分，波浪週期比對結果相關係數為 0.8431、均方根誤差為 0.48 秒。

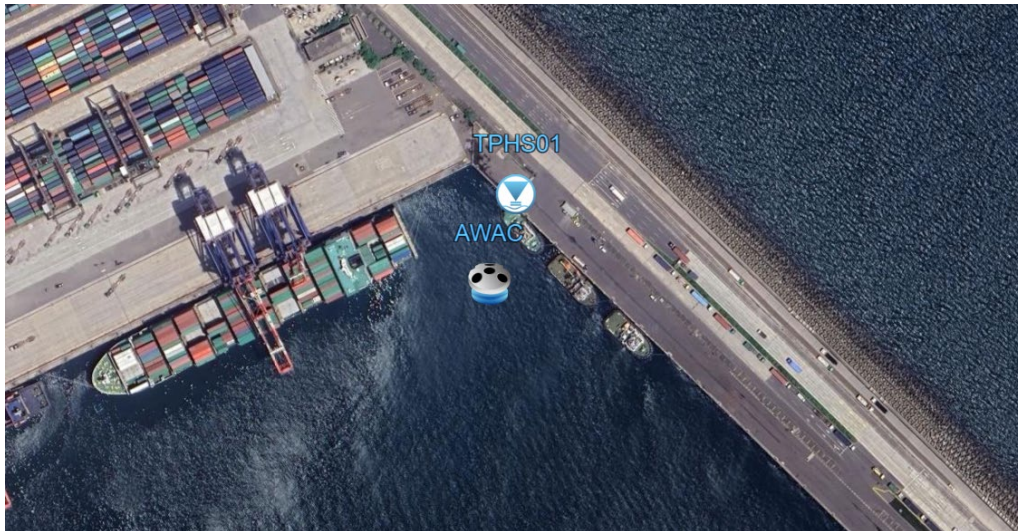


圖 1 臺北港港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 佈放位置示意圖

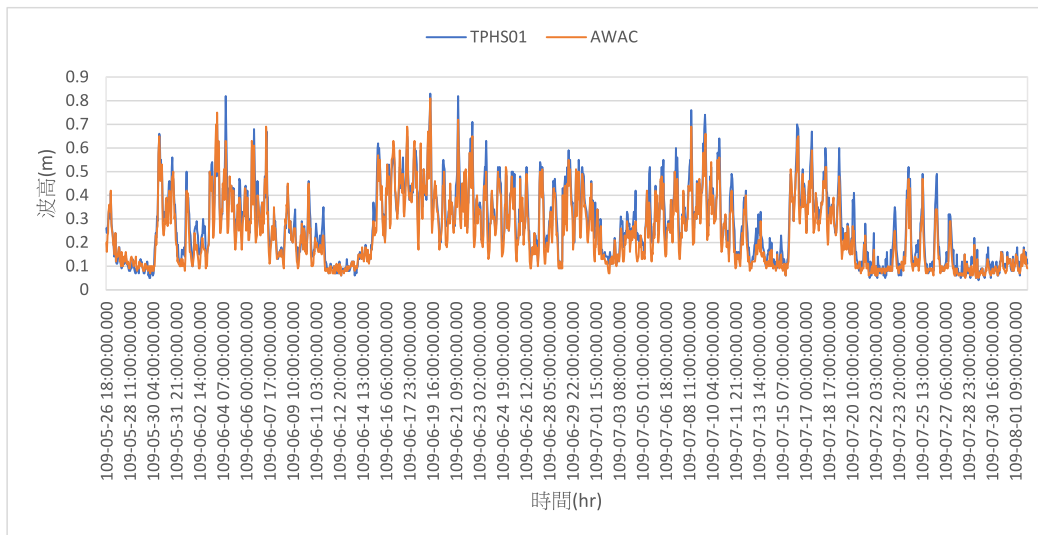


圖 2 臺北港港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 之示性波高時序列圖

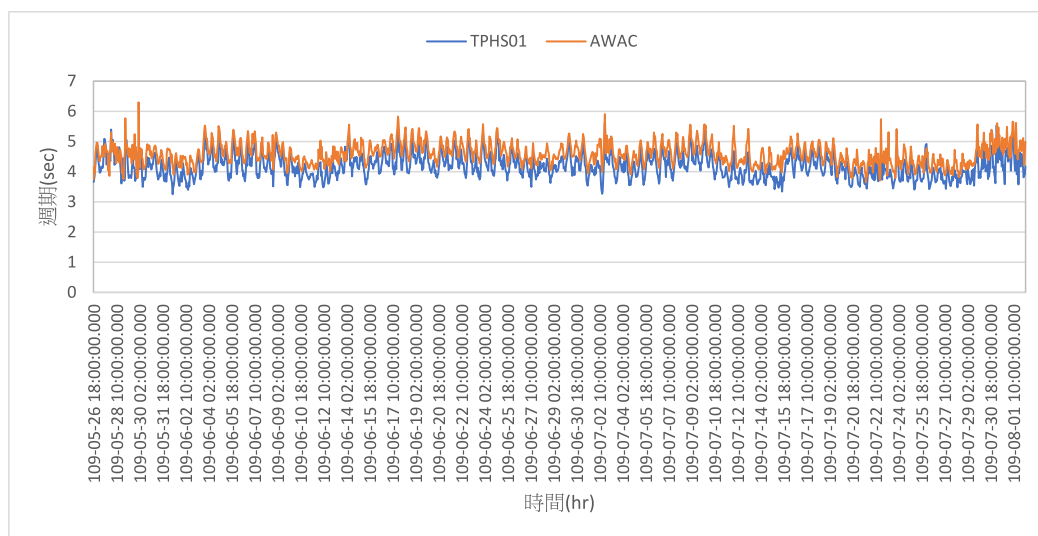


圖 3 臺北港港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 之平均週期時序列圖

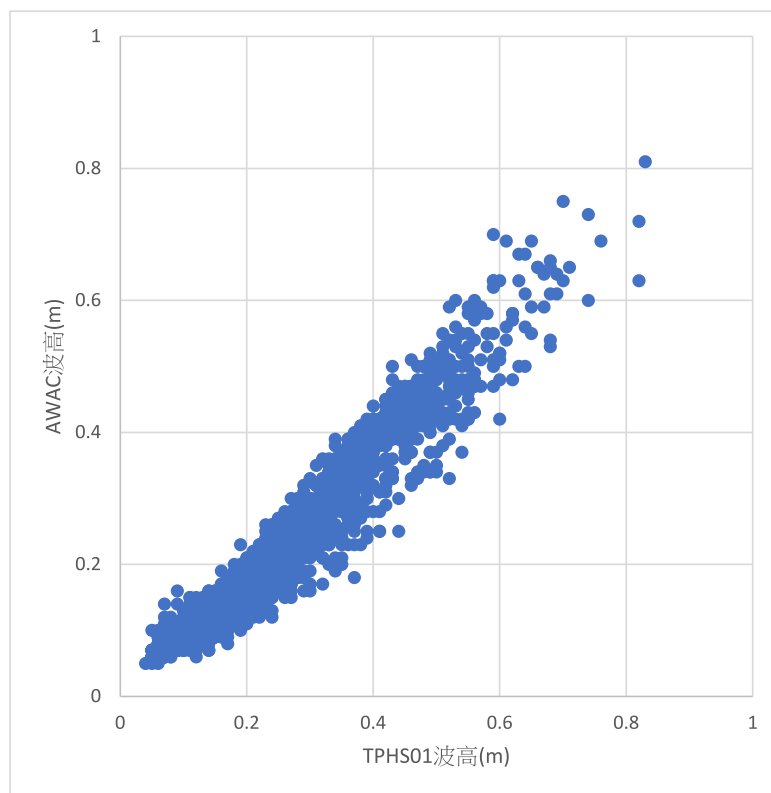


圖 4 臺北港港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 之示性波高散佈圖

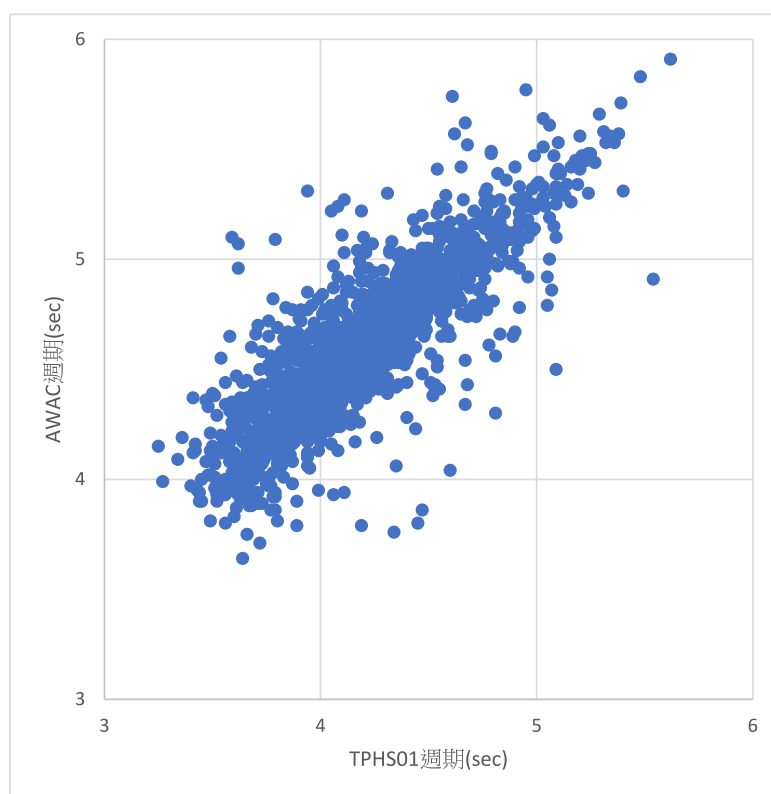


圖 5 臺北港港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 之平均週期散佈圖

2.2 檢核時間 109 年 8 月 4 日至 11 月 2 日

圖 6 及圖 7 分別為港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 之波高及週期時序列圖，其中藍線為 TPHS01 觀測資料，橘線為 AWAC 觀測資料，由圖中可看出，兩種觀測設備所觀測之最大波高約在 0.61 公尺，波高變化的趨勢兩者變化一致，週期約在 3~8 秒間變化，TPHS01 所觀測之週期比 AWAC 所觀測之週期略小；圖 8 及圖 9 分別為港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 之波高及週期散佈圖，波高比對結果相關係數為 0.9697、均方根誤差為 2.44 公分，波浪週期比對結果相關係數為 0.8746、均方根誤差為 0.36 秒。

由前述結果可知，在波高方面，港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 所觀測結果變化趨勢相近，相關係數高達 0.96，屬高度相關，在週期方面港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 所觀測結果變化趨勢亦相近，相關係數為 0.8431 及 0.8746，亦屬高度相關，惟港內靜穩度測站 TPHS01 所觀測之週期比 AWAC 所觀測之週期略小，造成此現象可能原因為港內靜穩度測站須建置於碼頭岸壁，易量測到碼頭岸壁之反射波所致。

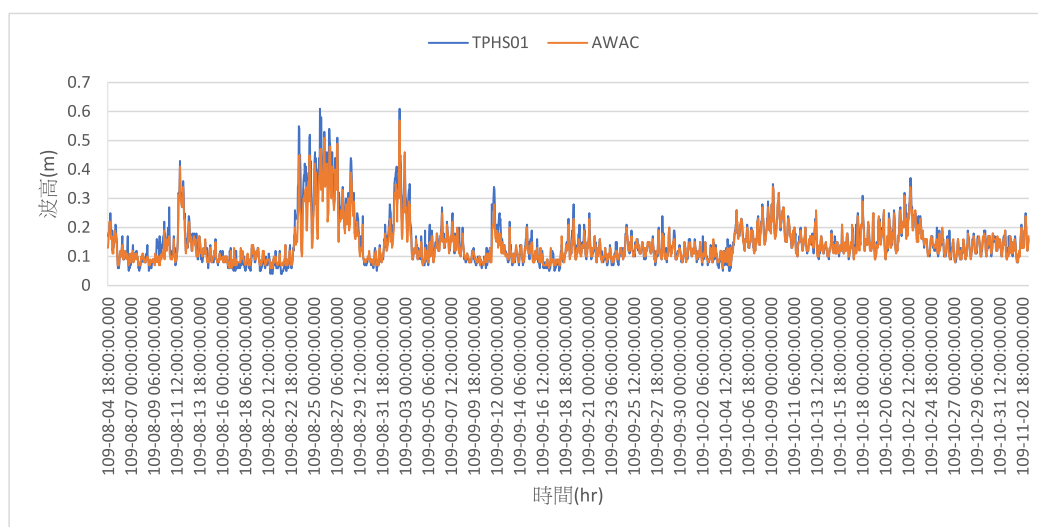


圖 6 臺北港港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 之示性波高時序列圖

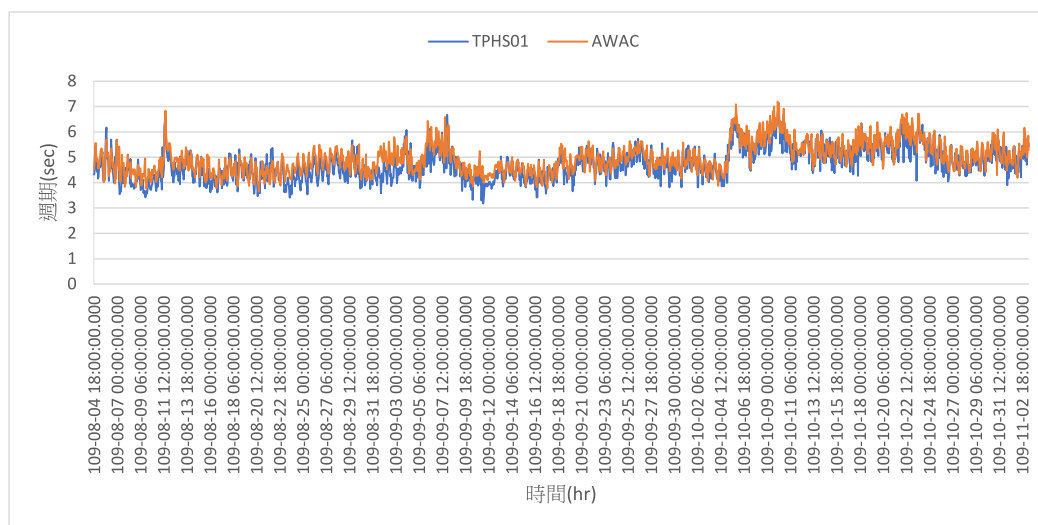


圖 7 臺北港港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 之平均週期時序列圖

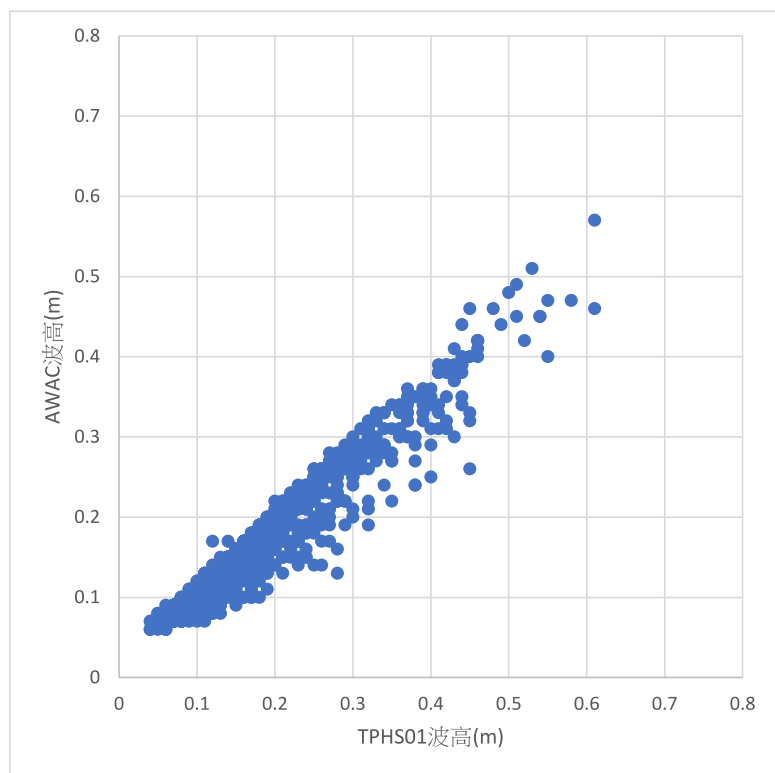


圖 8 臺北港港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 之示性波高散佈圖

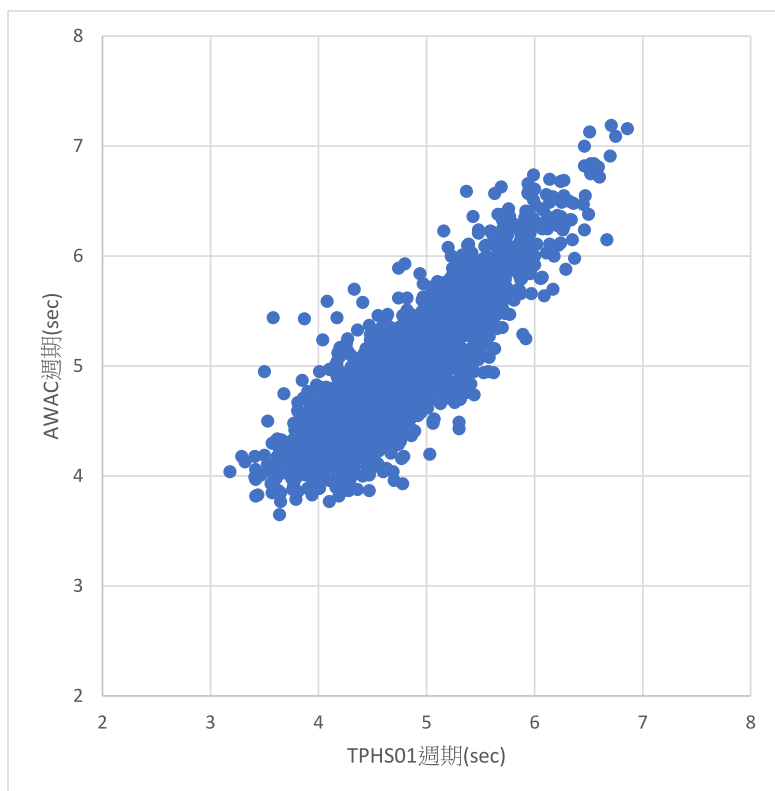


圖 9 臺北港港內靜穩度測站 TPHS01 與 AWAC 之平均週期散佈圖

三、資料分析

圖 10 為高雄港二港口(含洲際二期)各海氣象觀測站位置示意圖。表 2 為高雄港洲際二期港內靜穩度各測站之 112 年 6 月至 8 月間逐月觀測資料有效記錄統計表，由表 2 可知，港內靜穩度測站穩定性極高，各站逐月蒐集率皆達 99%以上。

表 2 高雄港洲際二期各測站之逐月觀測資料蒐集率統計表

測站編號	觀測時間	實測資料數	應測資料數	蒐集率(%)
KHHS01	112/06	2160	2160	100.0
	112/07	2229	2232	99.9
	112/08	2232	2232	100.0
KHHS03	112/06	2159	2160	100.0
	112/07	2232	2232	100.0
	112/08	2232	2232	100.0
KHHS04	112/06	2158	2160	99.9
	112/07	2232	2232	100.0
	112/08	2232	2232	100.0

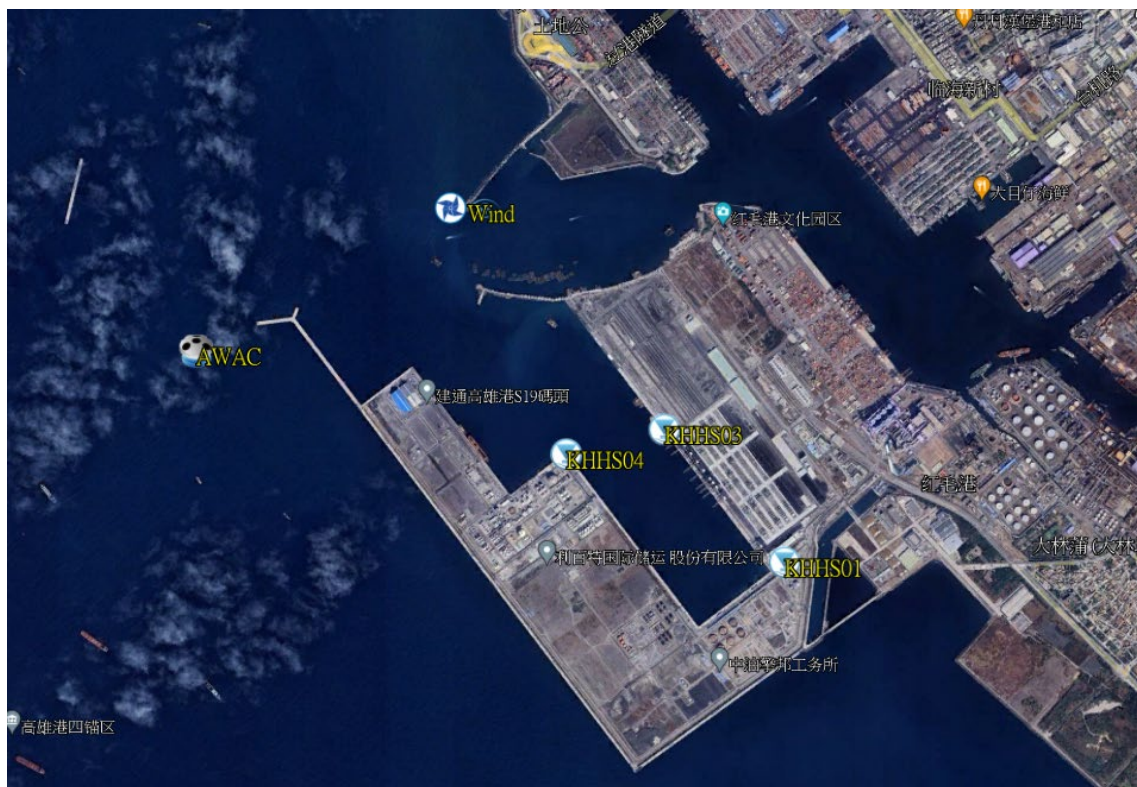


圖 10 高雄港二港口(含洲際二期)各海氣象觀測站位置示意圖

3.1 統計分析

表 3 為高雄港洲際二期港內靜穩度各測站之逐月示性波高(以下簡稱波高)及平均週期(以下簡稱週期)統計分析表。由表中可知，KHHS01 測站，平均波高介於 0.08~0.12 公尺，最大波高為 0.55 公尺，發生時間為 112 年 7 月 28 日，主要原因係受杜蘇芮颱風影響所致，平均週期則介於 4.33~5.19 秒；KHHS03 測站，平均波高介於 0.12~0.18 公尺，最大波高為 0.82 公尺，發生時間為 112 年 6 月 1 日，主要原因係受瑪娃颱風外圍環流影響所致，平均週期則介於 4.84~4.98 秒；KHHS04 測站，平均波高介於 0.13~0.19 公尺，最大波高為 1.09 公尺，發生時間為 112 年 6 月 1 日，主要原因係受瑪娃颱風外圍環流影響所致，平均週期則介於 4.83~5.08 秒。

表 4~6 分別為 KHHS01 測站、KHHS03 測站及 KHHS04 測站之波高、週期季聯合機率分布表(觀測時間：112/6/1~112/8/31)，由表中可看出，KHHS01 測站以波高為 0.05~0.1 公尺且週期 4~5 秒之波浪成分居多，KHHS03 測站為波高 0.05~0.1 公尺、週期 4~5 秒為主，而 KHHS04 測站為波高 0.1~0.15 公尺、週期 4~5 秒為主。

綜上所述，高雄港洲際二期港內靜穩度各測站所量測之波高隨著港口向港內遞減，而最大波高均發生於颱風襲臺或行經颱風周邊海域期間，後續將針對此現象進行港內靜穩度分析作業，以釐清在何種條件下對高雄港洲際二期港內靜穩度會有較大影響。

表 3 高雄港洲際二期各測站之逐月示性波高及平均週期統計分析表

測站編號	觀測時間	示性波高(公尺)			平均週期(秒)		
		平均	最小	最大	平均	最小	最大
KHHS01	2023/06	0.08	0.03	0.47	4.33	2.82	9.06
	2023/07	0.12	0.03	0.55	5.19	2.73	10.38
	2023/08	0.11	0.04	0.45	4.54	2.82	10.10
KHHS03	2023/06	0.12	0.02	0.82	4.84	3.37	6.42
	2023/07	0.14	0.04	0.41	4.98	2.98	8.12
	2023/08	0.18	0.06	0.61	4.94	3.14	7.53
KHHS04	2023/06	0.13	0.05	1.09	4.83	3.23	7.29
	2023/07	0.16	0.04	0.51	5.08	2.95	8.66
	2023/08	0.19	0.07	0.83	5.01	3.24	8.66

表 4 KHHS01 測站示性波高、平均週期季聯合機率分布表

		示性波高(公尺)											sum
		0~0.05	0.05~0.1	0.1~0.15	0.15~0.2	0.2~0.25	0.25~0.3	0.3~0.35	0.35~0.4	0.4~0.45	0.45~0.5	>=0.5	
平均週期(秒)	<1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1~2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2~3	0	0.6	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7
	3~4	3.4	23.7	3.5	1.4	0.8	0.5	0.3	0.1	0.2	0	0	34.1
	4~5	3.6	27.6	6.7	1.6	0.8	0.6	0.2	0	0	0	0	41.0
	>=5	0.1	4.5	6.8	5.7	3.4	1.8	0.9	0.7	0.2	0.1	0	24.2
	sum	7.2	56.3	17.1	8.7	5.0	2.9	1.4	0.9	0.4	0.1	0	

表 5 KHHS03 測站示性波高、平均週期季聯合機率分布表

		示性波高(公尺)											sum
		0~ 0.05	0.05~ 0.1	0.1~ 0.15	0.15~ 0.2	0.2~ 0.25	0.25~ 0.3	0.3~ 0.35	0.35~ 0.4	0.4~ 0.45	0.45~ 0.5	>= 0.5	
平均週期 (秒)	<1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1~2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2~3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3~4	0.2	4.3	2.7	1.1	0.4	0.3	0.1	0.1	0	0	0	9.1
	4~5	1.6	22.5	14.4	4.8	1.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0.4	0.7	48.4
	>=5	0.5	5.1	11.7	12.2	6.8	3.8	1.6	0.3	0.2	0.1	0.2	42.5
	sum	2.3	31.9	28.8	18.1	8.9	4.7	2.1	0.9	0.7	0.5	0.9	

表 6 KHHS04 測站示性波高、平均週期季聯合機率分布表

		示性波高(公尺)											sum
		0~ 0.05	0.05~ 0.1	0.1~ 0.15	0.15~ 0.2	0.2~ 0.25	0.25~ 0.3	0.3~ 0.35	0.35~ 0.4	0.4~ 0.45	0.45~ 0.5	>= 0.5	
平均週期 (秒)	<1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1~2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2~3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3~4	0	4.6	2.7	1.3	0.3	0.2	0.2	0	0	0	0	9.4
	4~5	0.3	16.7	20.4	5.0	2.0	0.5	0.7	0.6	0.4	0.3	0.8	47.7
	>=5	0	3.0	12.1	11.2	7.6	4.8	2.5	1.2	0.3	0.1	0.1	42.8
	sum	0.3	24.4	35.2	17.4	9.9	5.5	3.4	1.9	0.7	0.4	0.9	

3.2 靜穩度分析

圖 11~13 分別為高雄港二港口北防波堤 112 年 6 月~8 月之風力時序列圖(藍線為風速、橘點為風向)，由圖中可知，在觀測期間，風速超過 7 級風之發生時間點均為颱風襲臺或行經颱風周邊海域期間，分別為瑪娃颱風 6 月 1 日 9 時(風速為 17.35m/sec、風向為 331°)、杜蘇芮颱風 7 月 28 日 2 時(風速為 24.5m/sec、風向為 154°)及卡努颱風 8 月 4 日 9 時(風速為 17.82m/sec、風向為 264°)；圖 14~16 分別為高雄港二港口北防波堤風力與外海 AWAC 波高 6 月~8 月之時序列圖(藍線為風速、橘線為波高)，對應上述風速超過 7 級風時間點之波高分別為 6 月 1 日 9 時波高 1.57m、7 月 28 日 2 時波高 8.72m 及 8 月 4 日 9 時波高 3.93m，另波高超過 2m 之時間點為 6 月 13 日 18 時波高 2.57m(對應風速為 7.66m/sec、風向為 219°)、7 月 18 日 10 時波高 3.19m(對應風速為 1.84m/sec、風向為 166°)及 8 月 31 日 1 時波高 4.98m(對應風速為 12.57m/sec、風向為 141°)。圖 17~19 分別為瑪娃颱風、杜蘇芮颱風及卡努颱風之颱風路徑圖，考量高雄港洲際二期港型因素，港嘴開口面向西北方，茲選擇瑪娃颱風 6 月 1 日及卡努颱風 8 月 4 日襲台期間進行港內靜穩度分析。

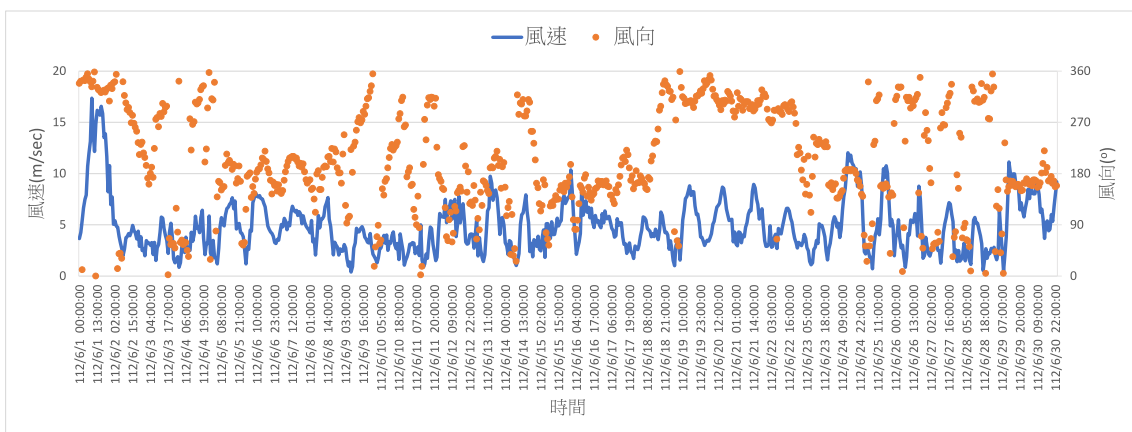


圖 11 高雄港二港口北防波堤風力之時序列圖(觀測時間：112 年 6 月)

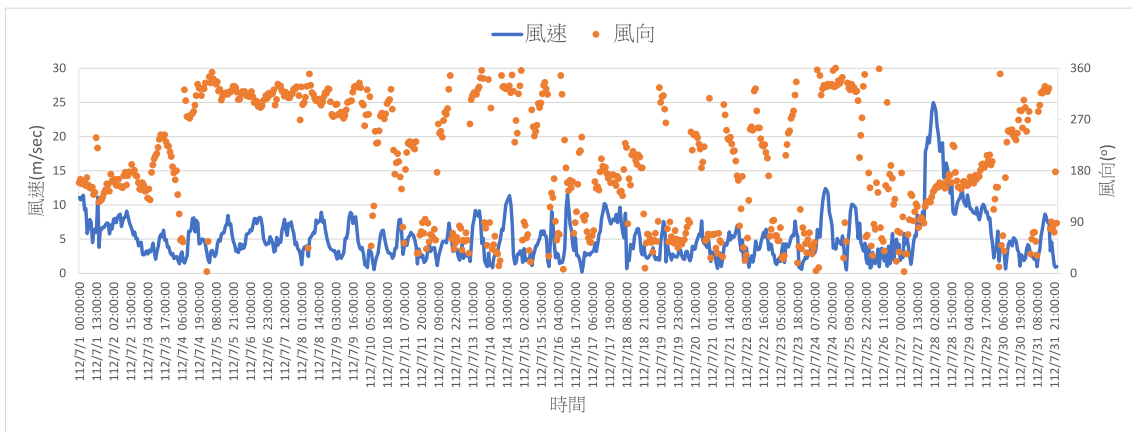


圖 12 高雄港二港口北防波堤風力之時序列圖(觀測時間：112 年 7 月)

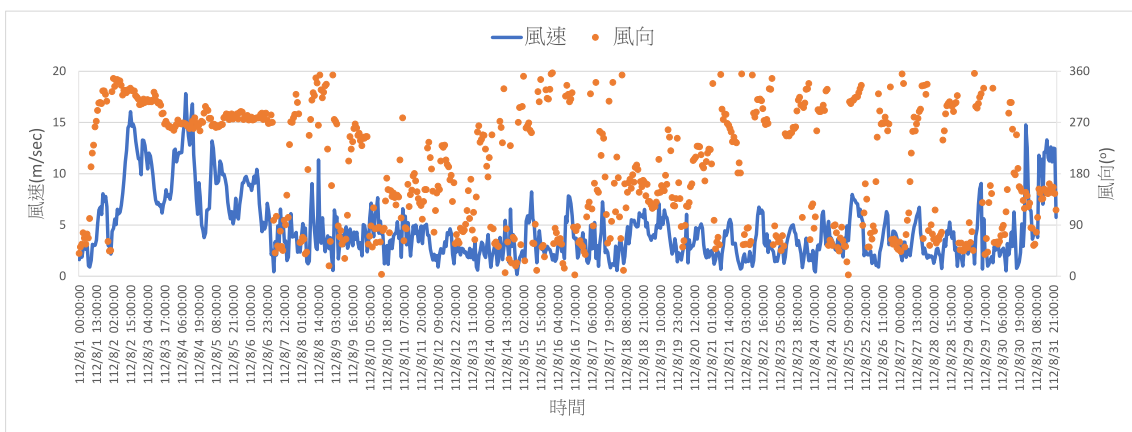


圖 13 高雄港二港口北防波堤風力之時序列圖(觀測時間：112 年 8 月)

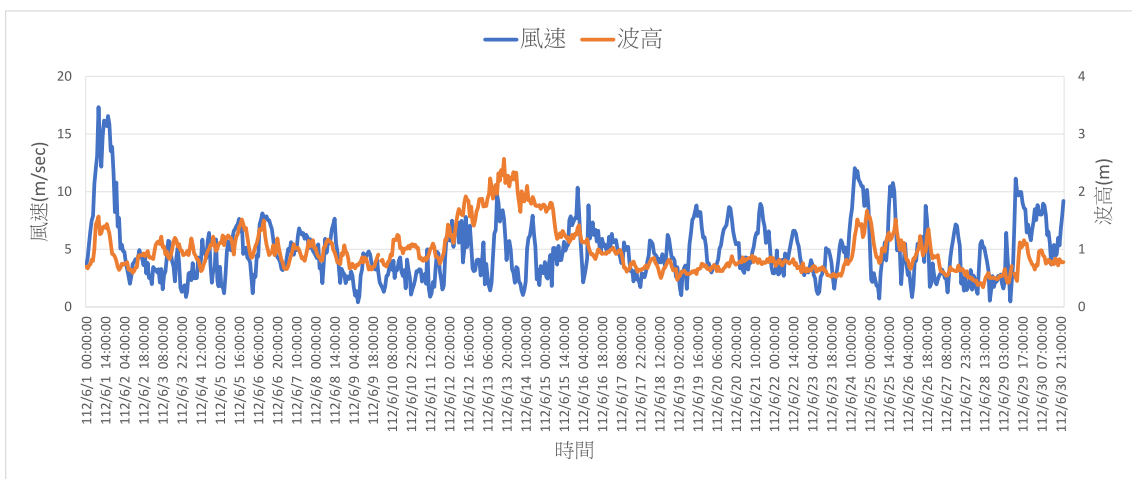


圖 14 高雄港二港口風力及示性波高之時序列圖(觀測時間：112 年 6 月)

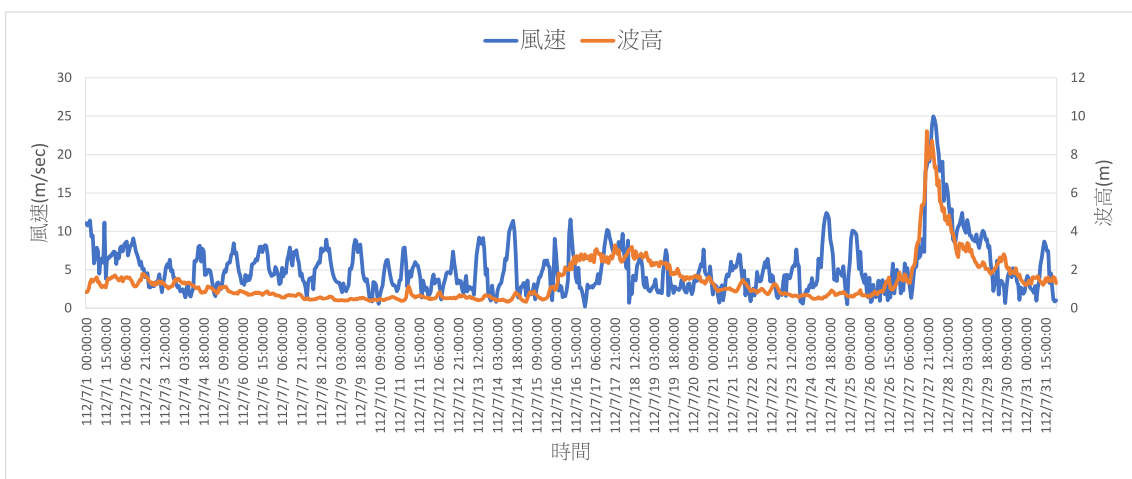


圖 15 高雄港二港口風力及示性波高之時序列圖(觀測時間：112 年 7 月)

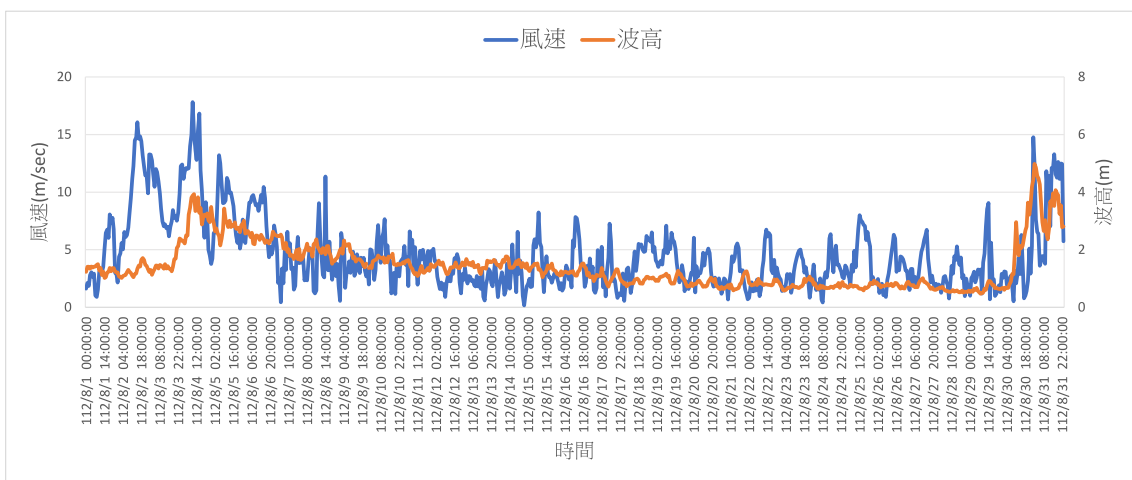


圖 16 高雄港二港口風力及示性波高之時序列圖(觀測時間：112 年 8 月)

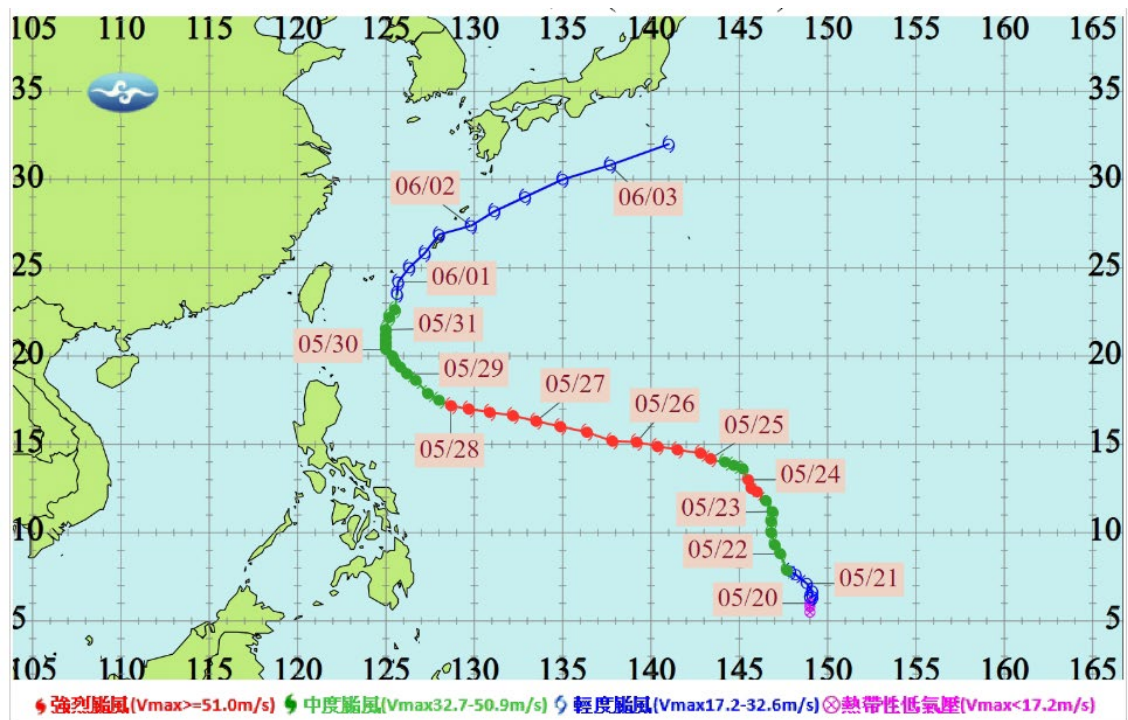


圖 17 112 年瑪娃颱風颱風路徑圖(資料來源：交通部中央氣象署)

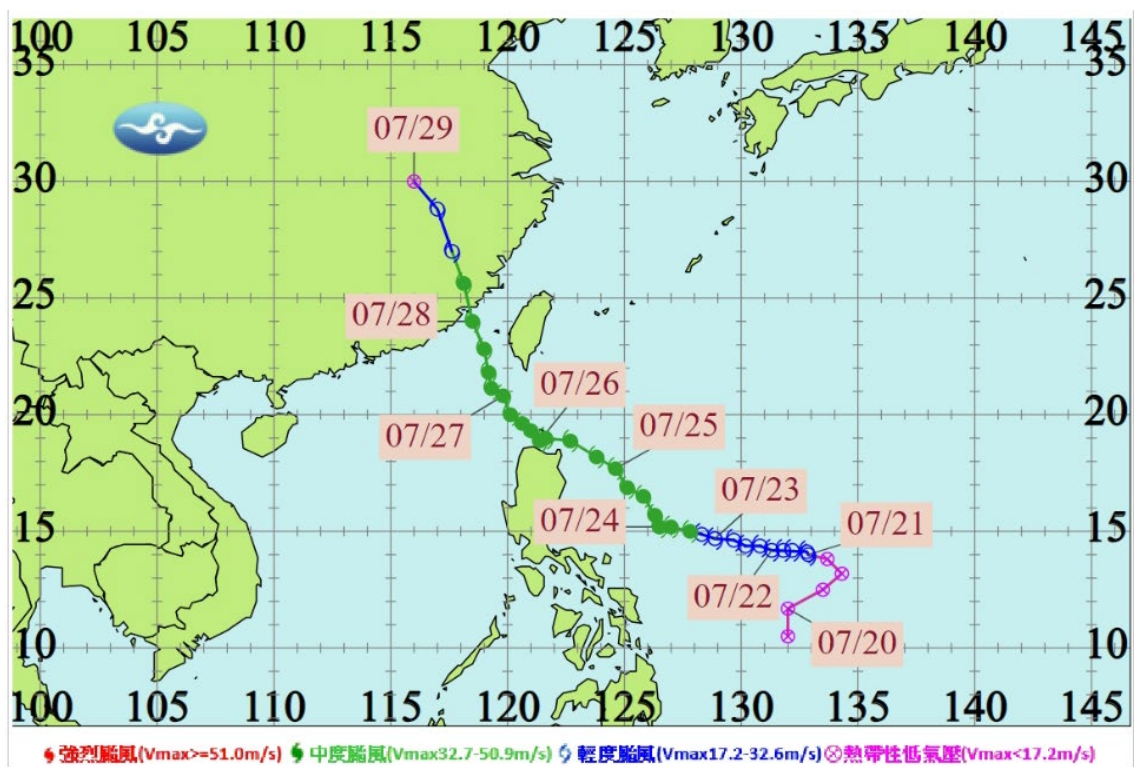


圖 18 112 年杜蘇芮颱風颱風路徑圖(資料來源：交通部中央氣象署)

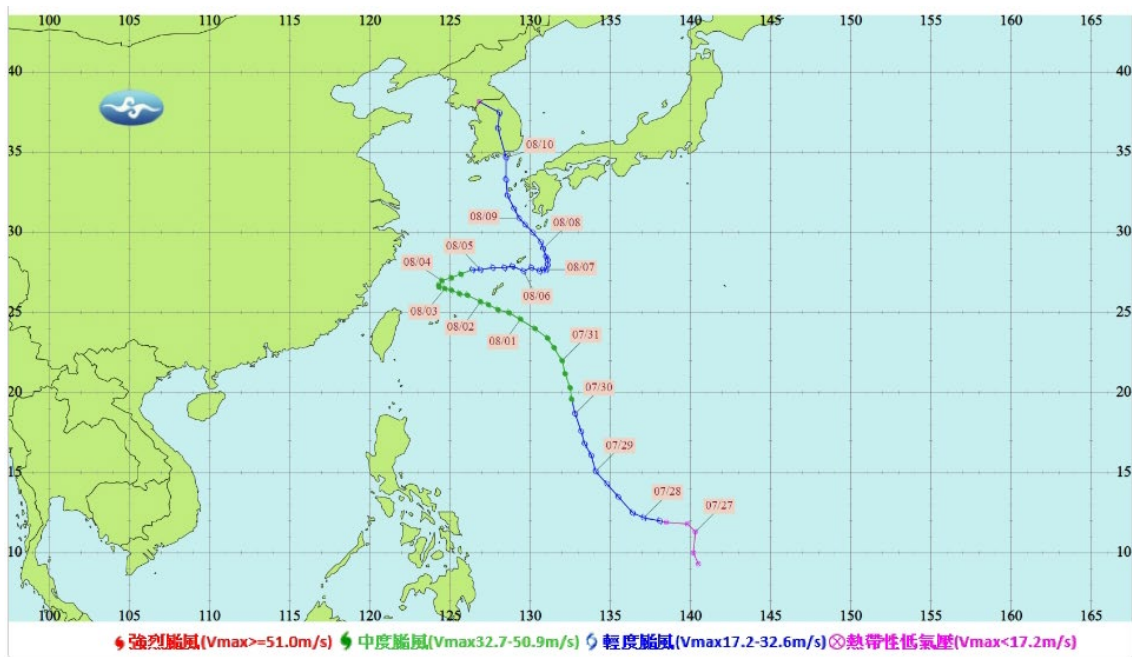


圖 19 112 年卡努颱風颱風路徑圖(資料來源：交通部中央氣象署)

為瞭解高雄港洲際二期各測站所在碼頭位置之靜穩度，本研究利用高雄港二港口外海 AWAC 之波浪觀測資料，與港內靜穩度測站所觀測波浪資料進行遮蔽係數(Kd)計算，計算式如式(1)所示。

$$Kd = \text{港內靜穩度測站波高} / \text{高雄港二港口外海 AWAC 波高} \quad (1)$$

圖 20 為高雄港二港口外海 AWAC 及各港內靜穩度測站之波高時序列圖，觀測時間 112 年 6 月 1 日 0 時至 6 月 10 日 23 時，其中藍色圓點為高雄港二港口外海 AWAC 波高、黃色米字為港內靜穩度測站 KHHS01 波高、灰色三角為港內靜穩度測站 KHHS03 波高及橘色菱形為港內靜穩度測站 KHHS04 波高。由圖中顯示，在 6 月 1 日 0 時至 6 月 2 日 12 時間，因受到瑪娃颱風外圍環流影響，港內外波高偏大，而在 6 月 2 日 13 時至 6 月 10 日 23 時間，港外波高約在 0.6~1.2m 間，各港內靜穩度測站波高均小於 0.2m，造成此現象可能原因係 6 月 1 日 0 時至 6 月 2 日 12 時間，外海主要風(波)向為北北西，高雄港二港口外海離岸防波堤無法有效遮蔽，茲造成港內波高偏大，導致發生不靜穩現象。表 7 為上述期間各港內靜穩度測站遮蔽係數表。

圖 21 為高雄港二港口外海 AWAC 及各港內靜穩度測站之波高時序列圖，觀測時間 112 年 8 月 1 日 0 時至 8 月 10 日 23 時，其中藍色圓點為高雄港二港口外海 AWAC 波高、黃色米字為港內靜穩度測站 KHHS01 波高、灰色三角為港內靜穩度測站 KHHS03 波高及橘色菱形為港內靜穩度測站 KHHS04 波高。由圖中顯示，在 8 月 3 日 14 時至 8 月 9 日 21 時間，因受到卡努颱風外圍環流影響，港外最大波高達 3.93m，而在各港內靜穩度測站波高大多小於 0.5m，主要原因可能係卡努颱風外圍環流所形成主要風(波)向為西北，外海離岸防波堤能有效阻絕波浪入射，因此港內仍處於相對靜穩狀態。表 8 為上述期間各港內靜穩度測站遮蔽係數表。

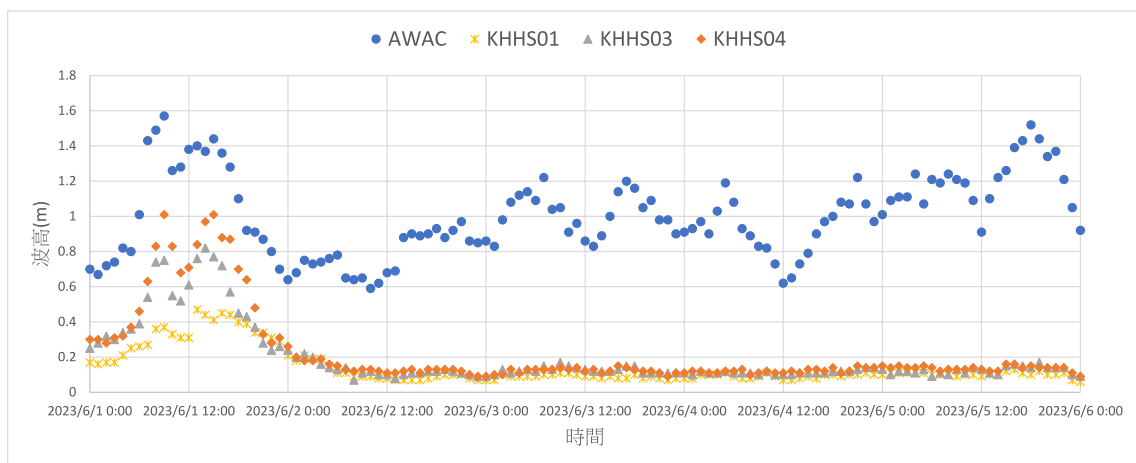


圖 20 高雄港二港口外海 AWAC 及各港內靜穩度測站之示性波高時序列圖
(觀測時間 112 年 6 月 1 日 0 時至 6 月 10 日 23 時)

表 7 港內靜穩度觀測站各測站之遮蔽係數表

測站編號	測站位置	遮蔽係數*	
		112/6/1 0:00 ~112/6/2 12:00	112/6/2 13:00 ~112/6/10 23:00
KHHS01	洲際二期 S5 碼頭	0.26	0.08
KHHS03	洲際二期 S3 碼頭	0.36	0.11
KHHS04	洲際二期 S13 碼頭	0.42	0.12

*表中遮蔽係數係觀測時間區段逐時計算遮蔽係數之平均值。

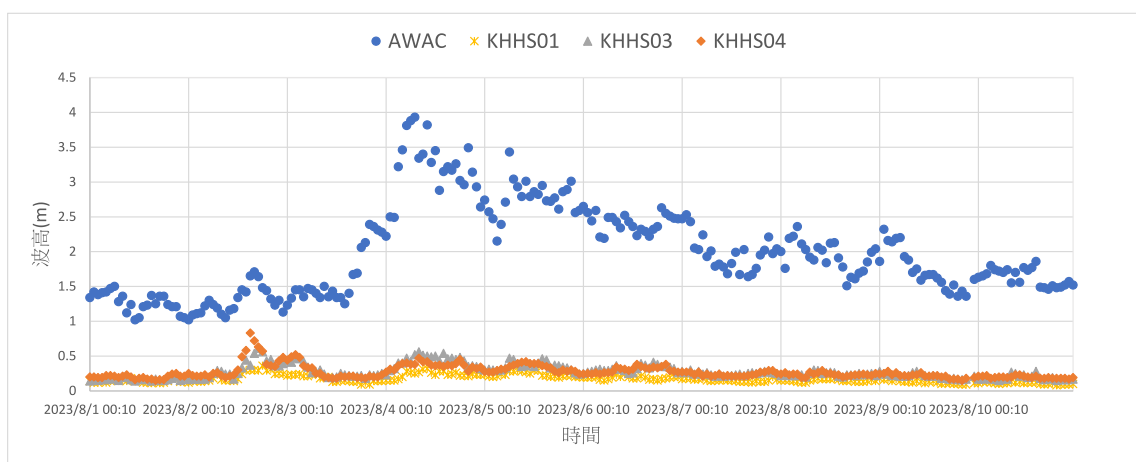


圖 21 高雄港二港口外海 AWAC 及各港內靜穩度測站之示性波高時序列圖
(觀測時間 112 年 8 月 1 日 0 時至 8 月 10 日 23 時)

表 8 港內靜穩度觀測站各測站之遮蔽係數表

測站編號	測站位置	遮蔽係數*
KHHS01	洲際二期 S5 碼頭	0.08
KHHS03	洲際二期 S3 碼頭	0.11
KHHS04	洲際二期 S13 碼頭	0.15

四、結論

本研究採用 112 年 6 月至 8 月之高雄港洲際二期港內靜穩度觀測資料，進行靜穩度分析工作。112 年 6 月 1 日 0 時至 6 月 2 日 12 時，高雄港二港口受瑪娃颱風外圍環流影響，港內外示性波高(以下簡稱波高)偏大，而在 6 月 2 日 13 時至 6 月 10 日 23 時，港外波高約在 0.6~1.2 m，各港內靜穩度測站波高均小於 0.2 m，造成此現象可能原因係 6 月 1 日 0 時至 6 月 2 日 12 時，外海主要風(波)向為北北西，高雄港二港口外海離岸防波堤無法有效遮蔽，茲造成港內波高偏大，導致發生不靜穩現象。8 月 3 日 14 時至 8 月 9 日 21 時，高雄港二港口受到卡努颱風外圍環流影響，港外最大波高達 3.93m，而各港內靜穩度測站波高多小於 0.5 m，主要原因可能係卡努颱風外圍環流所形成主要風(波)向為西北，外海離岸防波堤能有效阻絕波浪入射，因此港內仍處於相對靜穩狀態。綜上所述，建議可針對高雄港二港口外海離岸防波堤進行水工模型試驗或數值模擬，以釐清在何種風力或波浪條件下，可能會對高雄港洲際二期造成不靜穩現象。

參考文獻

1. 郭一羽、湯麟武、陳陽益、張憲國、蔡清標、許泰文等人 (2001)，海岸工程學，文山書局。
2. 許泰文 (2003)，近岸水動力學，中國土木水利工程學會。
3. 國立成功大學 (2021)，110 年港內波潮即時監測及調查，交通部運輸研究所。
4. 羅冠顯、李俊穎、林達遠、曹勝傑、陳子健、陳孟宏、柯拓宇 (2024)，商港波浪觀測及統計分析，交通部運輸研究所。