

馬祖地區潮汐及潮流特性分析之初探

林達遠¹ 羅冠顯¹ 廖慶堂²

¹交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

²交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員

摘要

本研究由馬祖地區潮位及海流觀測資料，進行馬祖地區各港海域之潮位與特性分析。潮位特性分析結果顯示，馬祖南竿福澳港平均潮差約為 4.370 公尺，平均潮位為-0.192 公尺，平均高潮位為 1.969 公尺，平均低潮位為-2.400 公尺，潮位以 M2、MKS2、S2、K1 及 O1 等 5 種分潮為主要構成，其中 M2 分潮佔比最大。在海流流速方面，各島平均流速以北竿白沙港最大，為 34.8 cm/sec，其餘各島平均流速約小於半節(25.7cm/sec)，流速分布以小於 25cm/sec 佔比最大，在流向方面，除了東引中柱港海域以 E~S 方向最多外，其餘各島皆以 S~W 方向佔比最大，經調和分析可得，除北竿白沙港以 S2 分潮略大於 M2 外，其餘各島潮流 M2 分潮皆明顯大於其他分潮。

一、前言

馬祖列島特殊的環境與位置，四鄉五島間長期以來均需仰賴船運補充民生物資，航行貨運因此成為地區發展的重要依靠，鑑於船舶活動日益頻繁影響列島周邊航運安全，故密集的航線上，亟需掌握周邊海域之海氣象監測資料，始能增加港區航行之安全，為利馬祖地區港灣工程及營運安全維護之各項需求，交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)先後於南竿(福澳港)、北竿(白沙港)、西莒(青帆港)、東莒(猛澳港)及東引(中柱港)執行海氣象調查工作，量測風、波、潮、流、能見度等，以做為進出港航運安全管理及未來港埠整建擴充之參考。本研究欲分析南竿(福澳港)潮汐及南竿(福澳港)、北竿(白沙港)、東莒(猛澳港)及東引(中柱港)潮流之各主要分潮組成，進行馬祖地區之潮汐潮流特性探討。

二、現場觀測

2.1 觀測儀器

本研究潮位資料係採用美國 Campbell 公司之壓力式潮位計進行觀測作業，觀測頻率以 6 分鐘紀錄 1 筆水位資料，透過無線傳輸系統，將水位資料即時回傳至港研中心海氣象資料庫，圖 1 為壓力式潮位計 CS456 示意圖及圖 2 為現場測站儀器系統架構圖(潮位計、風速計及能見度計)。

海流觀測係採底碇式觀測，觀測儀器採用挪威 Nortek 公司所生產音波式表面波高波向與剖面海流儀 AWAC (Acoustic Wave and Current profiler)，取樣頻率為 1Hz，每小時前 10 分鐘連續量測 600 秒，再將總和平均代表其每一間距層之海流剖面流速及流向等資料，本研究使用最上層流速資料進行分析，圖 3 為海流儀 AWAC 示意圖及圖 4 為現場測站儀器系統架構圖(AWAC)。



圖 1 壓力式潮位計 CS456 示意

圖片來源：CS451/CS456 Submersible Pressure Transducer Instruction Manual (2017/10)。

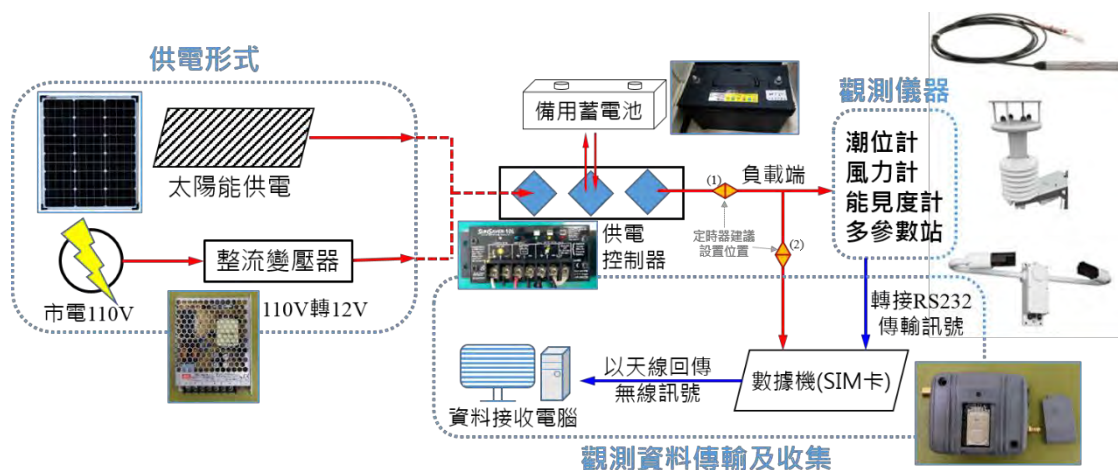


圖 2 現場測站儀器系統架構圖(潮位計、風速計及能見度計)



圖 3 海流儀 AWAC 示意圖

圖片來源：Nortek AS

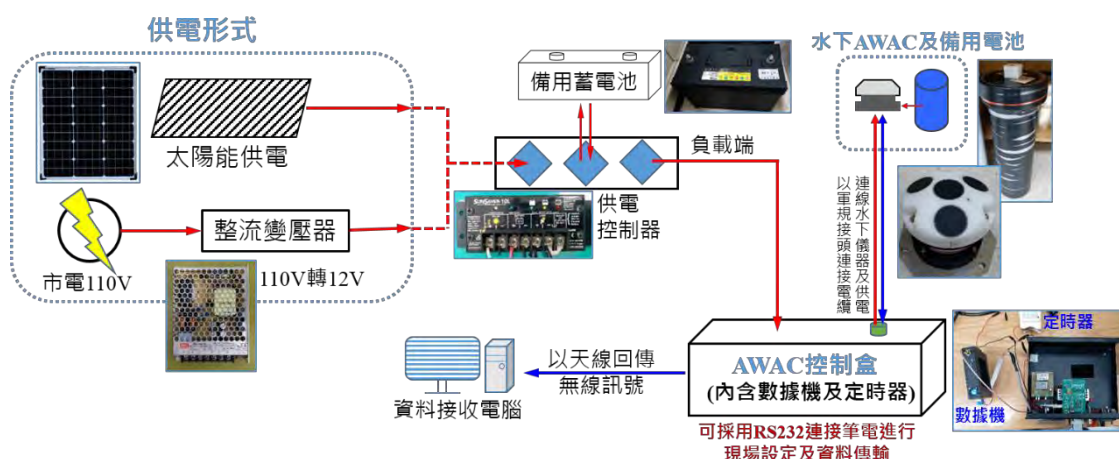


圖 4 現場測站儀器系統架構圖(AWAC)

2.2 觀測資料

表 1 為本研究所採用觀測資料之測站位置及監測期間說明。潮位資料監測期間為 2021 年 11 月至 2022 年 10 月間，觀測有效資料為 84,109 筆，蒐集率為 96.0%。海流資料監測期間為 2017 年全年，各島之有效資料筆數及蒐集率分別為南竿福澳港 8,670 筆(98.97%)、北竿白沙港 7,455 筆(85.1%)、東莒猛澳港 8,663 筆(98.89%)及東引中柱港 7,405 筆(84.53%)。

表 1 觀測資料說明

觀測項目	測站名稱	測站座標	監測期間	有效筆數	蒐集率(%)
潮位	南竿	26° 9'39.41"N, 119°56'35.98"E	2021/11/01~2022/10/31	84,109	96.0
海流	南竿	26° 9'52.50"N, 119°56'6.30" E	2017/01/01~2017/12/31	8,670	98.97
	北竿	26°12'17.10"N, 119°57'36.84" E	2017/01/01~2017/12/31	7,455	85.1
	東莒	25°57'37.01"N, 119°57'31.13" E	2017/01/01~2017/12/31	8,663	98.89
	東引	26°21'50.82"N, 120°28'45.24"E	2017/01/01~2017/12/31	7,405	84.53

三、特性分析

3.1 調和分析

調和分析 (Harmonic analysis) 常用於長時間水位觀測資料的分析或預報，其理論係以牛頓所提平衡潮(equilibrium tide)為基礎，將潮汐視為各週期的分潮之總和，各分潮之表示式如下：

$$y(t) = f \cdot H \cdot \cos(\omega t + (V_0 + u) - k) \quad (1)$$

其中 $y(t)$ 為分潮之潮高， f 為修正係數， H 為分潮振幅， ω 為分潮角速度， $(V_0 + u)$ 為平衡引數， k 為遲角 (phase lag)。假設某地任一時間之潮汐水位， $Y(t)$ 為各分潮潮高 $y(t)$ 之總和，則

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

其中 H_0 為平均海水面， M 為分潮個數。利用三角函數可轉換成

$$Y(t) = a_0 + \sum_{i=1}^M (a_i \cos \omega_i t + b_i \sin \omega_i t) \quad (3)$$

式中

$$a_0 = H_0$$

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

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

同樣地，潮流的調和分析與潮汐調和分析方法相同，只需將潮流分解為東西或南北流速分量進行分析。

3.2 潮位特性分析

本研究以監測期間之平均水位做為平均潮位基準，並利用內政部 107 年所公告之離島一等水準點，再進行潮位觀測資料作統計分析可得，馬祖南竿福澳港平均潮差約為 4.370 公尺，平均潮位為-0.192 公尺，平均高潮位為 1.969 公尺，平均低潮位為-2.400 公尺，大潮平均高潮位 2.391 公尺，大潮平均低潮位為-2.793 公尺，表 2 為監測期間南竿福澳港潮位觀測統計表。另將潮位觀測資料進行調和分析可求得各分潮之振幅與遲角，表 3 為監測期間南竿福澳港潮汐各主要分潮參數表，由表中可知，以 M2、MKS2、S2、K1 及 O1 等五種分潮為主要構成，其中 M2 分潮佔比最大，主要決定潮汐變化趨勢，其振幅為 1.13 公尺。

表 2 南竿福澳港潮位觀測統計表(2021/11/01~2022/10/31)單位：m

分析項目	潮位統計值 (m)
最高高潮位(HHWL)	3.314
大潮平均高潮位(HWOST)	2.391
平均高潮位(MHWL)	1.969
平均潮位(MWL)	-0.192
平均低潮位(MLWL)	-2.400
大潮平均低潮位(LWOST)	-2.793
最低低潮位(LLWL)	-4.147
平均潮差(MR)	4.370
大潮平均潮差(STR)	5.184
最大潮差(MTR)	6.509

表 3 南竿福澳港潮汐各主要分潮參數表(2021/11/01~2022/10/31)

序別	分潮	角頻率(°/hr)	振幅(m)	遲角(deg)
1	M2	28.9841042	1.1308308	192.1915392
2	MKS2	29.0662415	0.4989683	87.6063927
3	S2	30.0000000	0.3694043	228.7690641
4	K1	15.0410686	0.2946245	195.1688377
5	O1	13.9430356	0.2282276	138.2500504
6	N2	28.4397295	0.1980913	176.3796006
7	K2	30.0821373	0.1538516	168.0720658
8	NU2	28.5125832	0.0982799	215.3737143
9	L2	29.528479	0.0982016	187.8181065
10	LDA2	29.4556253	0.0853538	267.8506798
11	P1	14.9589314	0.0740401	201.2418089
12	2N2	27.8953548	0.0738247	125.1512135
13	MU2	27.9682085	0.0702825	325.4040855
14	PHI1	15.1232059	0.0627384	93.1888129
15	SSA	0.0821373	0.0600798	55.1536834

3.3 潮流特性分析

本研究分別針對南竿福澳港、北竿白沙港、東莒猛澳港及東引中柱港等 4 港海域進行潮流特性分析，以下將針對各港域進行說明。

3.3.1 南竿福澳港

根據海流觀測資料作統計分析，南竿福澳港海域在流速方面全期平均流速為 21.0 cm/sec，流速小於 25 cm/sec 約佔 67.7%，介於 25~50cm/sec 約佔 28.2%，大於 50cm/sec 約佔 4.1%；在流向方面，全期流向主要以 S~W 方向最多，約佔 41.1%，其餘 N~E 方向約佔 23.1%，E~S 方向約佔 19.4%，W~N 方向最小約佔 16.4%。圖 5 為南竿福澳港海域海流觀測玫瑰圖。

表 4 為南竿福澳港海域潮流各主要分潮參數表，其中 M2 分潮 之 E 方向振幅為 5.17 cm/s，遲角為 35.07°，N 方向振幅為 1.74 cm/s，遲角為 29.33°，K1 分潮 之 E 方向振幅為 1.81cm/s，遲角為 331.34°，N 方向振幅為 1.82 cm/s，遲角為 201.84°，S2 分潮 之 E 方向振幅為 2.21 cm/s，遲角為 47.76°，N 方向振幅為 0.88 cm/s，遲角為 155.85°，O1 分潮 之 E 方向振幅為 0.27cm/s，遲角為 109.08°，N 方向振幅為 0.62 cm/s，遲角為 51.99°，由表中可看出 M2 為最大主要分潮，圖 6 為南竿福澳港海域各主要分潮潮流橢圓圖。

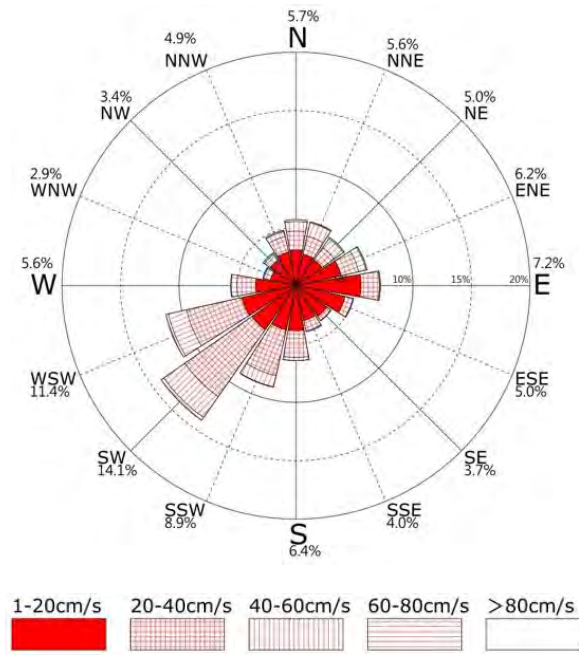


圖 5 南竿福澳港海域海流觀測玫瑰圖(2017/01/01~2017/12/31)

表 4 南竿福澳港海域潮流各主要分潮參數表(2017/01/01~2017/12/31)

分潮	E 方向		N 方向	
	振幅(cm/sec)	遲角(deg)	振幅(cm/sec)	遲角(deg)
M2	5.17	35.07	1.74	29.33
K1	1.81	331.34	1.82	201.84
S2	2.21	47.76	0.88	155.85
O1	0.27	109.08	0.62	51.99

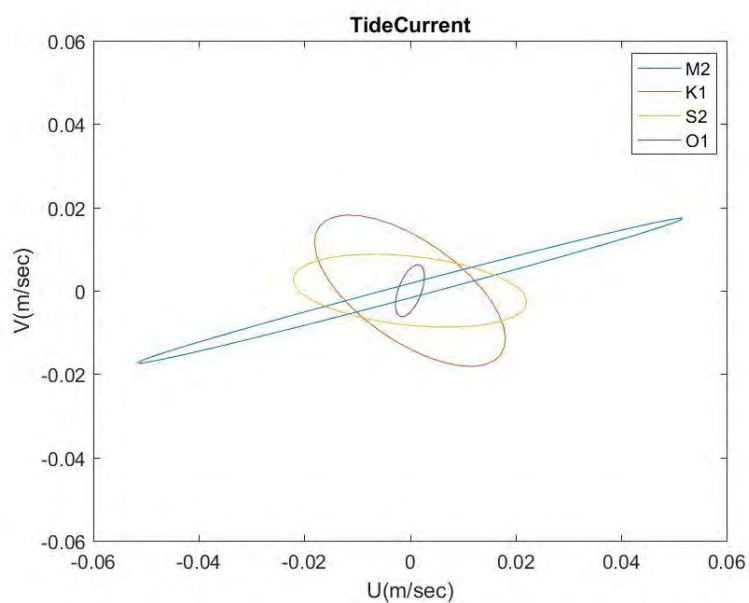


圖 6 南竿福澳港海域各主要分潮潮流橢圓圖(2017/01/01~2017/12/31)

3.3.2 北竿白沙港

圖 7 為北竿白沙港海域海流觀測玫瑰圖，北竿白沙港海域在流速方面全期平均流速為 34.8 cm/sec，流速小於 25 cm/sec 約佔 39.7%，介於 25~50cm/sec 約佔 34.9%，大於 50cm/sec 約佔 25.4%；在流向方面，全期流向主要以 S~W 方向最多，約佔 44.9%，其餘 N~E 方向約佔 16.7%，E~S 方向約佔 25.4%，W~N 方向則約佔 14.0%。

表 5 為北竿白沙港海域潮流各主要分潮參數表，圖 8 為北竿白沙港海域各主要分潮潮流橢圓圖，其中 M2 分潮 之 E 方向振幅為 1.62 cm/s，遲角為 134.39°，N 方向振幅為 5.65 cm/s，遲角為 172.55°，K1 分潮 之 E 方向振幅為 0.46cm/s，遲角為 127.86°，N 方向振幅為 2.13 cm/s，遲角為 14.94°，S2 分潮 之 E 方向振幅為 1.0cm/s，遲角為 108.61°，N 方向振幅為 6.19 cm/s，遲角為 148.16°，O1 分潮 之 E 方向振幅為 0.99cm/s，遲角為 301.52°，N 方向振幅為 2.07 cm/s，遲角為 18.89°，由圖表中可看出 S2 為最大主要分潮。

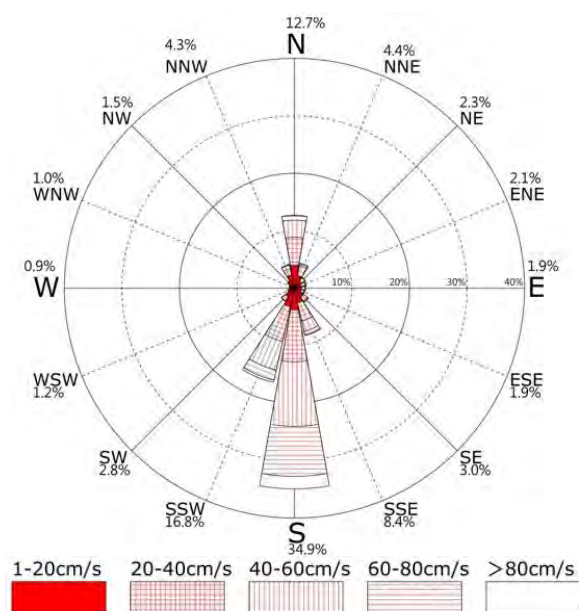


圖 7 北竿白沙港海域海流觀測玫瑰圖(2017/01/01~2017/12/31)

表 5 北竿白沙港海域潮流各主要分潮參數表(2017/01/01~2017/12/31)

分潮	E 方向		N 方向	
	振幅(cm/sec)	遲角(deg)	振幅(cm/sec)	遲角(deg)
M2	1.62	134.39	5.65	172.55
K1	0.46	127.86	2.13	14.94
S2	1.0	108.61	6.19	148.16
O1	0.99	301.52	2.07	18.89

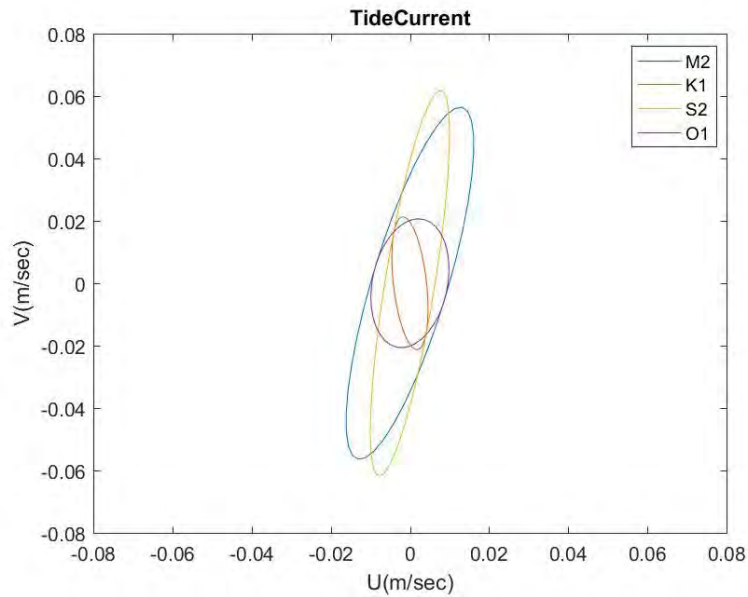


圖 8 北竿白沙港海域各主要分潮潮流橢圓圖(2017/01/01~2017/12/31)

3.3.3 東莒猛澳港

東莒猛澳港海域全期平均流速為 22.2 cm/sec，流速小於 25 cm/sec 約佔 67.6%，介於 25~50cm/sec 約佔 25.7%，大於 50cm/sec 約佔 6.7%；在流向方面，全期流向主要以 S~W 方向最多，約佔 54.0%，其餘 N~E 方向約佔 25.6%，E~S 方向約佔 13.4%，W~N 方向最小約佔 7.0%。圖 9 為東莒猛澳港海域海流觀測玫瑰圖。

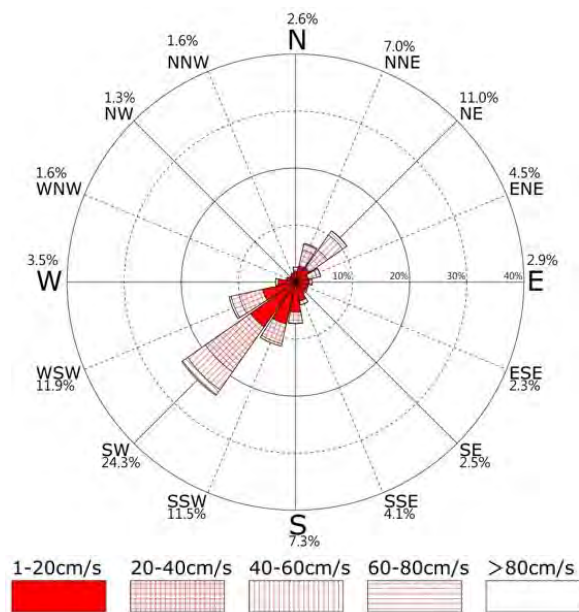


圖 9 東莒猛澳港海域海流觀測玫瑰圖(2017/01/01~2017/12/31)

表 6 為東莒猛澳港海域潮流各主要分潮參數表，其中 M2 分潮 之 E 方向振幅為 2.18 cm/s，遲角為 68.54o，N 方向振幅為 2.82 cm/s，遲角為 74.64o，K1 分潮 之 E 方向振幅為 0.82cm/s，遲角為 261.34o，N 方向振幅為 0.39 cm/s，遲角為 215.93o，S2 分潮 之 E 方向振幅為 0.79 cm/s，遲角為 121.46o，N 方向振幅為 1.46 cm/s，遲角為 110.95o，O1 分潮 之 E 方向振幅為 0.60cm/s，遲角為 81.23o，N 方向振幅為 0.87 cm/s，遲角為 100.24o，由表中可看出 M2 為最大主要分潮，圖 10 為東莒猛澳港海域各主要分潮潮流橢圓圖。

表 6 東莒猛澳港海域潮流各主要分潮參數表(2017/01/01~2017/12/31)

分潮	E 方向		N 方向	
	振幅(cm/sec)	遲角(deg)	振幅(cm/sec)	遲角(deg)
M2	2.18	68.54	2.82	74.64
K1	0.82	261.34	0.39	215.93
S2	0.79	121.46	1.46	110.95
O1	0.60	81.23	0.87	100.24

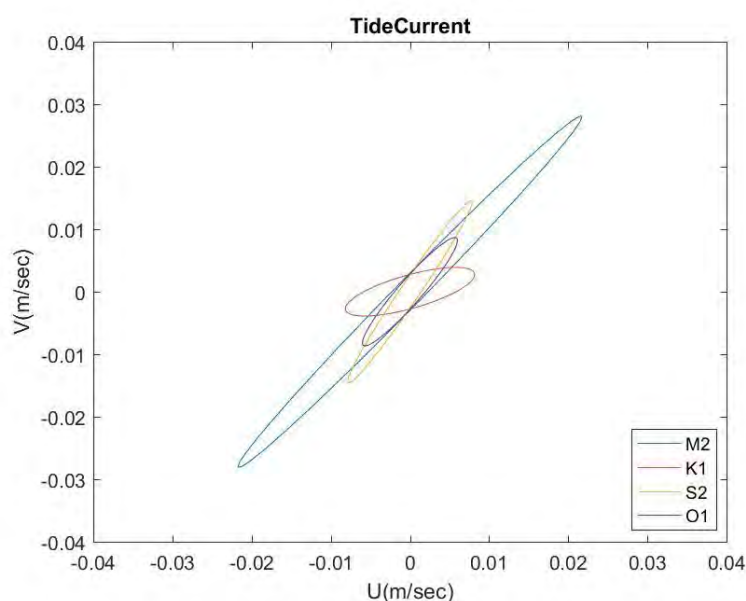


圖 10 東莒猛澳港海域各主要分潮潮流橢圓圖(2017/01/01~2017/12/31)

3.3.4 東引中柱港

圖 11 為東引中柱港海域海流觀測玫瑰圖，東引中柱港海域在流速方面全期平均流速為 22.2 cm/sec，流速小於 25 cm/sec 約佔 64.2%，介於 25~50cm/sec 約佔 32.4%，大於 50cm/sec 約佔 3.4%；在流向方面，全期流向主要以 E~S 方向最多，約佔 49.6%，其餘 N~E 方向約佔 7.8 %，S~W 方向約佔 22.8%，W~N 方向則約佔 19.8%。

表 7 為東引中柱港海域潮流各主要分潮參數表，圖 12 為東引中柱港海域各主要分潮潮流橢圓圖，其中 M2 分潮 之 E 方向振幅為 2.5 cm/s，遲角為 19.89°，N 方向振幅為 4.27 cm/s，遲角為 216.88°，K1 分潮 之 E 方向振幅為 0.21cm/s，遲角為 188.67°，N 方向振幅為 0.09 cm/s，遲角為 215.94°，S2 分潮 之 E 方向振幅為 0.59cm/s，遲角為 10.87°，N 方向振幅為 0.97 cm/s，遲角為 230.63°，O1 分潮 之 E 方向振幅為 0.25cm/s，遲角為 259.33°，N 方向振幅為 1.60 cm/s，遲角為 15.22°，由圖表中可看出 M2 為最大主要分潮。

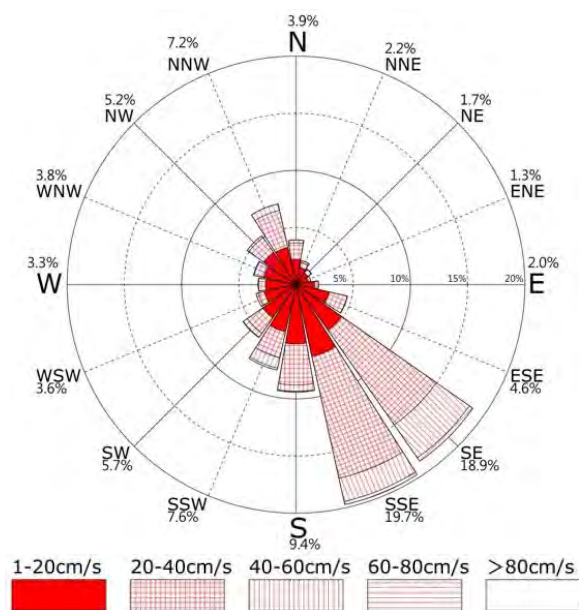


圖 11 東引中柱港海域海流觀測玫瑰圖(2017/01/01~2017/12/31)

表 7 東引中柱港海域潮流各主要分潮參數表(2017/01/01~2017/12/31)

分潮	E 方向		N 方向	
	振幅(cm/sec)	遲角(deg)	振幅(cm/sec)	遲角(deg)
M2	2.50	19.89	4.27	216.68
K1	0.21	188.68	0.09	215.94
S2	0.59	10.87	0.97	230.63
O1	0.25	259.33	1.60	15.22

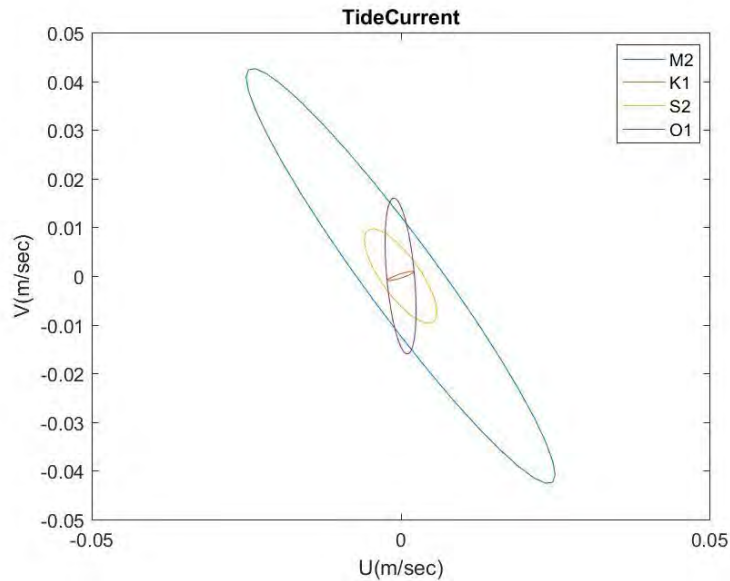


圖 12 東引中柱港海域各主要分潮潮流橢圓圖(2017/01/01~2017/12/31)

四、結論

本研究採用 2021 年 11 月至 2022 年 10 月之馬祖地區南竿福澳港水位觀測資料與 2017 年馬祖地區各島海域之海流觀測資料，探討馬祖地區各島海域之潮位與潮流特性。就潮位特性分析結果顯示，馬祖南竿福澳港平均潮差約為 4.370 公尺，平均潮位為-0.192 公尺，平均高潮位為 1.969 公尺，平均低潮位為-2.400 公尺，潮位以 M2、MKS2、S2、K1 及 O1 等 5 種分潮為主要構成，其中 M2 分潮佔比最大。在海流流速方面，各島平均流速以北竿白沙港最大，為 34.8 cm/sec，其餘各島平均流速約小於半節(25.7cm/sec)，流速分布以小於 25cm/sec 佔比最大，在流向方面，除了東引中柱港海域以 E~S 方向最多外，其餘各島皆以 S~W 方向佔比最大，各島潮流 M2 分潮皆明顯大於其他分潮，除北竿白沙港以 S2 分潮略大於 M2 外，此現象形成原因需再進一步研究探討。

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. 蘇青和、吳基、徐如娟、林受勳 (2002)，「安平港港口區域潮汐及海流特性研究」，第 24 屆海洋工程研討會。
3. 王順寬、張憲國、劉勁成 (2012)，「潮汐及潮流的主要分潮的特性比較」，第 34 屆海洋工程研討會。
4. 蘇青和、林達遠、羅冠顯、陳子健、張維庭 (2021)，臺中港海氣象觀測及特性分析，交通部運輸研究所。