

出國報告(出國類別:開會)

出席第 37 屆國際海岸工程研討會報告

服務機關：交通部運輸研究所

姓名職稱：林雅雯簡任研究員兼科長

派赴國家：澳洲雪梨

出國期間：111 年 12 月 2 日至 12 月 11 日

報告日期：112 年 2 月 17 日

出席第 37 屆國際海岸工程研討會報告

著 者：林雅雯

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>圖書服務>本所出版品)

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國 112 年 2 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 13 冊

定 價：非賣品

行政院及所屬各機關出國報告提要

頁數：34 附件：無

報告名稱：出席第 37 屆國際海岸工程研討會報告

主辦機關：交通部運輸研究所

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

交通部運輸研究所/孟慶玉/02-23496755

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

林雅雯/交通部運輸研究所/港灣技術研究中心/簡任研究員兼科長/04-26587131

出國類別：☐1.考察☐2.進修☐3.研究☐4.實習☐5.視察☐6.訪問☒7.開會☐8.談判
☐9.其他

出國期間：111 年 12 月 2 日至 12 月 11 日

出國地區：澳洲

報告日期：112 年 2 月 17 日

分類號/目：HO／綜合類（交通類）

關 鍵 詞：越波，碎波，數值模擬。

內容摘要：

第37屆國際海岸工程研討會(37th International Conference on Coastal Engineering, ICCE-2022)111年12月4日至12月9日(當地時間)於澳洲雪梨國際會議中心舉行，研討會主要探討海洋波浪、近岸流、海岸結構物、漂沙、海岸變遷、海灘保護、天然災害與海岸管理等議題，以提升海岸工程技術與學術交流為其宗旨，報告內容為前言、研討會內容、心得與建議，前言包括出國目的及行程概要，研討會內容包括研討會概況、議程及議題，研討議題針對越波、波浪分析、碎波分析及波浪相關等議題做更詳細介紹，國外對於近岸波浪模擬、波浪與結構物互制、港口內波流之模擬及波流耦合、風與波浪的耦合、碎波及越波的模擬有相當多的研究，值得臺灣借鏡，並期所獲得之資訊做為未來相關研究計畫之參考。

本文電子檔已上傳至公務出國報告資訊網。

目錄

行政院及所屬各機關出國報告提要.....	I
目錄.....	II
表目錄.....	III
圖目錄.....	IV
第一章 前言	1
1.1 出國目的	1
1.2 行程概要	1
第二章 研討會內容	4
2.1 研討會概況	4
2.2 研討會議程	9
2.3 研討議題	9
2.3.1 越波議題	9
2.3.2 波浪分析議題	13
2.3.3 碎波分析議題	18
2.3.4 波浪相關議題	23
第三章 心得與建議	27
3.1 心得	27
3.2 建議	27

表目錄

表 1-1 出國行程紀要表	1
表 2-1 第 37 屆國際海岸工程研討會議程表	9
表 2-2 波譜波浪及相位解析模式	25
表 2-3 相位解析及相位平均波浪模式	25
表 2-4 不同程式的特性	26

圖目錄

圖 1.1 機場幹線為雙層座位之火車.....	2
圖 1.2 輕軌.....	2
圖 1.3 巴士.....	3
圖 2.1 雪梨國際會議中心.....	4
圖 2.2 研討會報到處.....	4
圖 2.3 廠商展覽區.....	5
圖 2.4 研討會參加者情況.....	5
圖 2.5 工程界女姓論壇.....	6
圖 2.6 工程參訪-建築之擋土牆.....	6
圖 2.7 工程參訪-建築之擋土牆與海灘之距離.....	7
圖 2.8 越波之警示牌.....	7
圖 2.9 越波之攝影監視設備.....	8
圖 2.10 晚宴.....	8
圖 2.11 日本松島町海岸強勁風力下越波機制 ^[1]	10
圖 2.12 SWAN 數值模式模擬結果與觀測值比較 ^[1]	10
圖 2.13 越波量估計參數之定義 ^[2]	11
圖 2.14 考慮颱風暴潮下之越波量公式 ^[3]	12
圖 2.15 海堤的型式 ^[4]	13
圖 2.16 不同型式海堤之堤面衝擊力 ^[4]	13
圖 2.17 方向波譜依照波尖峰能量關係區分 ^[5]	14
圖 2.18 (a)方向波譜的尖峰能量數及發生機率，(b)作用之波浪型態 機率 ^[5]	15
圖 2.19 每年(a)海象(方向波譜型式)造成之漂沙量分析，(b)天氣 型態造成之漂沙量分析 ^[5]	15

圖 2.20 颱風風向、波向及波浪能量變化關係圖 ^[6]	16
圖 2.21 波浪能量由高頻風浪轉移到低頻長浪 ^[6]	16
圖 2.22 風浪與長浪之示性波高分佈表 ^[7]	17
圖 2.23 年度之波浪能量與波向及示性波高玫瑰圖 ^[8]	18
圖 2.24 斜坡上之崩捲型(Plunging)碎波模擬 ^[9]	19
圖 2.25 使用 SWASH 和 DualSPHysics 模擬碎波 ^[9]	19
圖 2.26 使用 SWASH 和 DualSPHysics 模擬碎波結果 ^[9]	20
圖 2.27 守恆及非守恆公式模擬緩坡底床之碎波結果 ^[10]	21
圖 2.28 守恆及非守恆公式模擬平面底床之碎波結果 ^[10]	21
圖 2.29 計算流體力學(CFD)模擬應用於衝浪設備 ^[11]	23
圖 2.30 改良之 Le Mehaute 圖(Wikipedia-Kraalennest(2012))	24
圖 2.31 Zhao 改良之波浪理論區分圖 ^[12]	24

第一章 前言

1.1 出國目的

第 37 屆國際海岸工程研討會(37th International Conference on Coastal Engineering, ICCE-2022)於 111 年 12 月 4 日至 12 月 9 日(當地時間)於澳洲雪梨國際會議中心舉行，該研討會由澳大利亞工程師協會主辦，澳大利亞工程師協會成立於 1919 年，大約有 115,000 位會員，研討會主要探討海洋波浪、近岸流、海岸結構物、漂沙、海岸變遷、海灘保護、天然災害與海岸管理等議題，以提升海岸工程技術與學術交流為其宗旨。

運輸研究所港灣技術研究中心歷年辦理港灣、海岸工程技術研究及防災應用，為充分瞭解各國港灣及海岸工程近期研究成果、防災應用及發展趨勢，參加國際海岸工程研討會有其必要性，本屆由運輸研究所港灣技術研究中心林雅雯簡任研究員兼科長出席研討會吸取新知並掌握未來研究趨勢，期所獲得之資訊做為未來相關研究計畫之參考。

1.2 行程概要

本次出國行程自民國 111 年 12 月 2 日至 12 月 11 日，為期 10 天，主要行程為參加第 37 屆國際海岸工程研討會，行程內容如表 1-1 所示，旅途中搭乘之機場幹線為雙層座位之火車如圖 1.1、輕軌及巴士如圖 1.2 及圖 1.3。

表 1-1 出國行程紀要表

日期	起訖地點	工作記要
12/2-12/3	桃園機場→澳洲雪梨	啟程，直飛澳洲雪梨，搭乘機場幹線至博物館站，再步行至住宿飯店。
12/4-12/9	澳洲雪梨	參加第 37 屆國際海岸工程研討會(ICCE)。
12/10-12/11	澳洲雪梨→桃園機場	返程，因中央車站往機場之火車路線維修，故搭乘接駁巴士至雪梨國際機場搭機返國。



圖 1.1 機場幹線為雙層座位之火車



圖 1.2 輕軌



圖 1.3 巴士

第二章 研討會內容

2.1 研討會概況

第 37 屆國際海岸工程研討會於澳洲雪梨國際會議中心舉行，內容主要包括論文研討會、海報展出、工程參訪及廠商展覽等，國際會議中心如圖 2.1，研討會報到處如圖 2.2，廠商展覽區如圖 2.3，研討會參加情況如圖 2.4，工程界女性論壇分享成功經驗如圖 2.5，工程參訪於澳洲海灘旁建築物之擋土牆(深度約 10m)如圖 2.6 及 2.7，海灘旁行人路徑上之越波警示標誌及攝影監測設備如圖 2.8 及 2.9，研討會晚宴如圖 2.10。



圖 2.1 雪梨國際會議中心

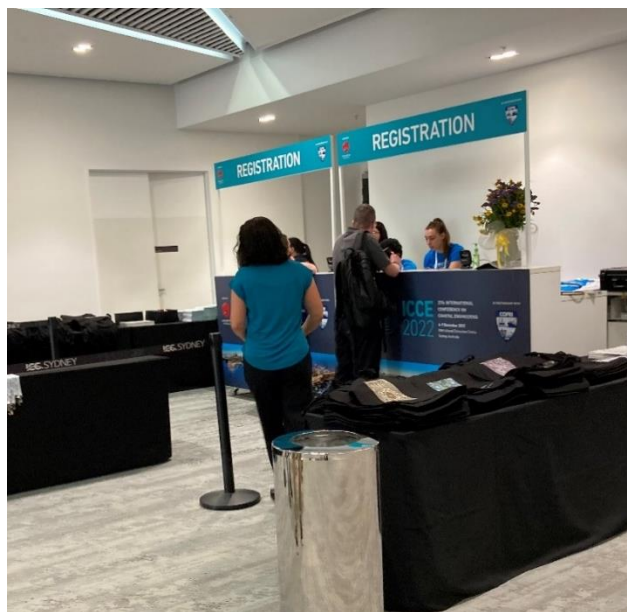


圖 2.2 研討會報到處



圖 2.3 廠商展覽區



圖 2.4 研討會參加者情況



圖 2.5 工程界女性論壇



圖 2.6 工程參訪-建築之擋土牆



圖 2.7 工程參訪-建築之擋土牆與海灘之距離



圖 2.8 越波之警示牌



圖 2.9 越波之攝影監視設備



圖 2.10 晚宴

2.2 研討會議程

研討會議題涵蓋越波、海岸洪水泛濫、衛星遙測、感測儀器、漂沙、自然工法、海嘯、風浪、數值模擬、海岸侵淤、船舶繫泊等，會議議程詳如表 2-1。

表 2-1 第 37 屆國際海岸工程研討會議程表

Sunday 4 December	Monday 5 December	Tuesday 6 December	Wednesday 7 December	Thursday 8 December	Friday 9 December
	8:30-10:30 Opening Ceremony & Keynote Presentation	8:30-10:30 Technical Sessions	8:30-10:30 Keynote Presentation & Technical Sessions	8:30-10:30 Technical Sessions	8:30-10:30 Keynote Presentation & Technical Sessions
	10:30-11:00 Morning Tea	10:30-11:00 Morning Tea	10:30-11:00 Morning Tea	10:30-11:00 Morning Tea	10:30-11:00 Morning Tea
	11:00-13:00 Technical Sessions	11:00-13:00 Technical Sessions	11:00-13:00 Technical Sessions	11:00-13:00 Technical Sessions	11:00-13:00 Technical Sessions
	13:00-14:00 Lunch	13:00-14:00 Lunch	13:00-14:00 Lunch	13:00-14:00 Lunch	13:00-14:00 Lunch
	14:00-15:30 Technical Sessions	14:00-15:30 Technical Sessions	Technical Tours	14:00-15:30 Technical Sessions	14:00-15:30 Technical Sessions
	15:30-16:00 Afternoon Tea	15:30-16:00 Afternoon Tea	Technical Tours	15:30-16:00 Afternoon Tea	15:30-16:00 Afternoon Tea
15:00 – 18:30 Registration Open	16:00-18:00 Technical Sessions	16:00-18:00 Technical Sessions	Technical Tours	16:00-18:00 Technical Sessions	16:00-17:30 Technical Sessions
18:00-19:30 Welcome Reception	18:00-19:30 Poster Session A	18:00-20:00 Women in Engineering	18:00 – 19:30 CERC Open Meeting	18:00 – 19:30 Poster Session B	19:00-23:00 Gala Dinner
				20:30 – 22:30 Young Professionals Networking Function	

2.3 研討議題

針對此次研討會的研討議題及相關技術，針對越波、波浪分析、碎波分析及波浪相關議題摘錄部分研討內容如下：

2.3.1 越波議題

1. 強勁風力下對越波的影響

日本松島町海岸波浪越波時受到颱風強勁風力(最大風速為 41m/s)影響，引起越波量的質量傳輸，造成海堤胸牆破壞、後方 10 公尺高之邊坡沖刷及邊坡上方植栽因海水鹽害而枯萎(海堤後有緩衝寬度 3 公尺)，其越波機制如圖 2.11。

Naoto Inagaki 之”Experimental investigations into the effect of strong winds on wave overtopping at a vertical seawall”^[1]研究分別使用 SWAN 及 OpenFOAM 程式模擬，SWAN 軟體為相位平均波浪模式，以波浪作用力平衡方程式為基礎，SWAN 軟體模擬結果與觀測值比較如圖 2.12，雖模擬與觀測示性波高值皆有 2 個尖峰，但 SWAN 模擬之最大

示性波高為 2.7m，觀測最大示性波高為 3.5m，為 SWAN 模擬結果之 1.3 倍。

OpenFOAM(Open-source Field Operation And Manipulation version 7) 軟體為相位解析波浪模式，以求解雷諾平均納維－斯托克斯方程（Reynolds-averaged Navier–Stokes equations，RANS）及連續方程式為基礎，使用處理邊界條件及孔隙介質流之求解器 olaFlow，得到的結論如下：

- (1) 風速 10m/s 較風速 6.84m/s，其越波可能性因風力而提高 20-30%。
- (2) 當波浪尖銳度(波高/波長)較高時，其越波可能性亦提高，其原因與碎波及反射波有關。
- (3) 有些中風速案例之越波可能性，反而較高風速案例來得高。

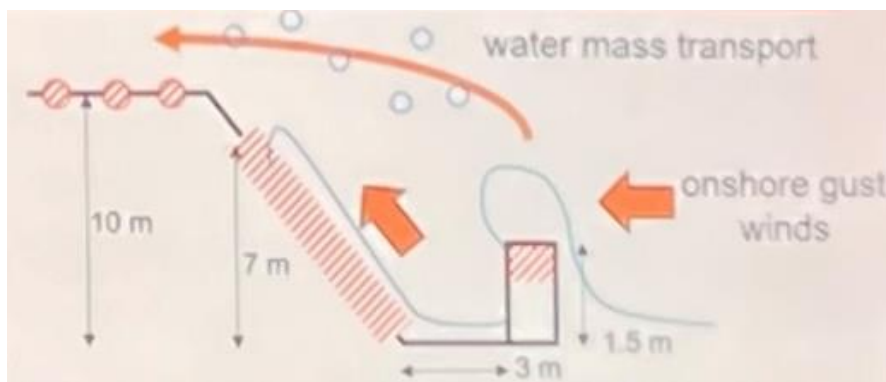


圖 2.11 日本松島町海岸強勁風力下越波機制^[1]

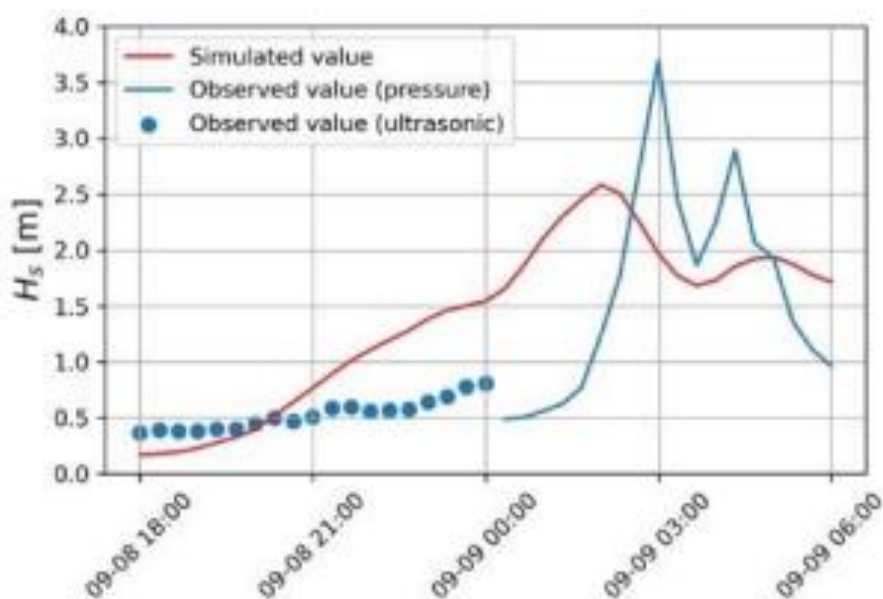


圖 2.12 SWAN 數值模式模擬結果與觀測值比較^[1]

2. 颱風暴潮對越波量之影響

歐盟越波手冊 EurOtop^[2] 不考慮颱風暴潮之越波量 q 估計公式如下:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = a \cdot \exp \left[- \left(b \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^c \right] ; R_c \geq 0$$

越波量 q (m³/s per m), H_{m0} 為利用波譜計算之示性波高 (m), a 、 b 、 c 為係數, g 為重力加速度 (9.81m/s²), R_c 為堤頂出水高(m), 如圖 2.13 所示。

研究考慮颱風暴潮(水位上升)下之越波量 q 得到以下結論:

- (1) 當堤頂出水高較小時 ($\frac{R_c}{H_{m0}} < 1.5$), 歐盟越波手冊 EurOtop 之越波量 q 有高估之情形。
- (2) Maximilian Streicher 之 "Wave overtopping over a dike for variable water level"^[3] 研究提出考慮颱風暴潮下之越波量公式 (如圖 2.14), 公式考量 $\frac{R_{cpeak}}{H_{m0}}$ 及颱風暴潮 dh 。(實驗室考量 $dh = 0.75 \sim 4.8$ m; 颱風期間 $t = 2.7 \sim 22$ 小時), R_{cpeak} 為最高之堤頂出水高, dh 為颱風暴潮 (因颱風而導致之水位上升高度), 單位為公尺。

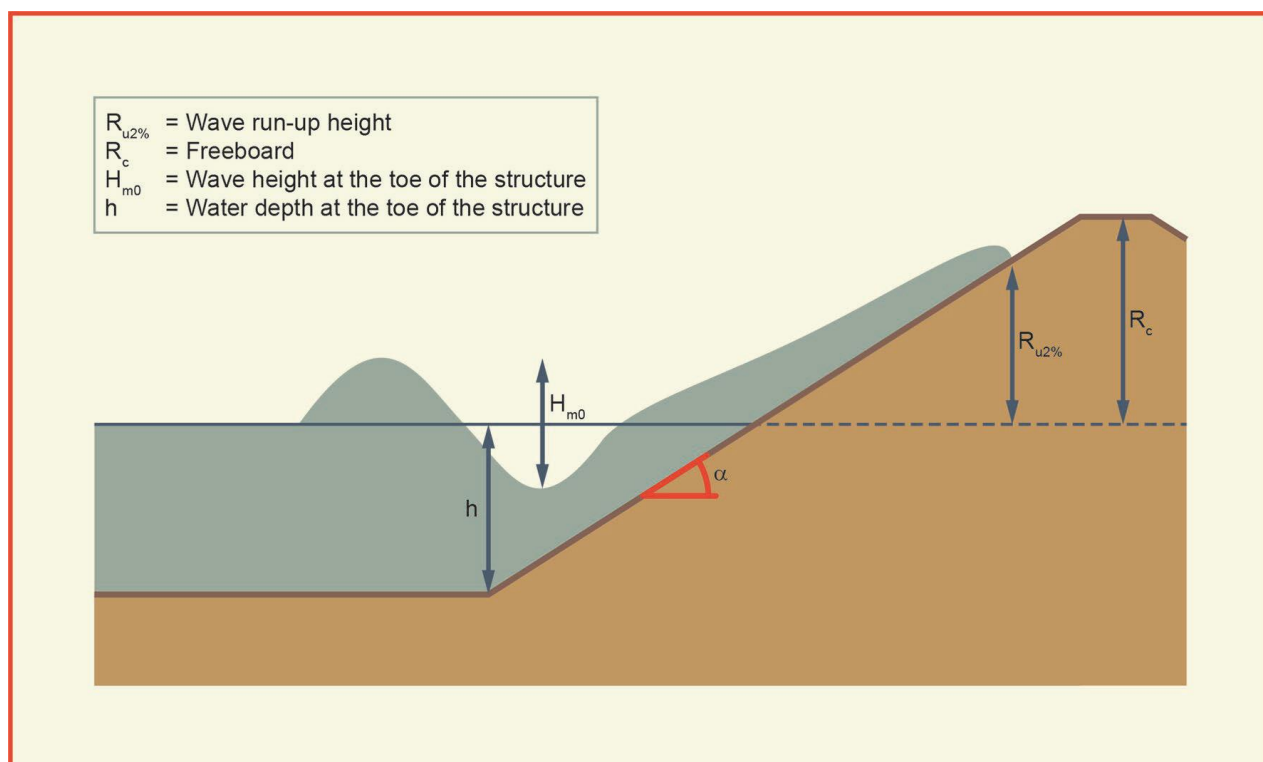


圖 2.13 越波量估計參數之定義^[2]

$$Q = \frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.09 \cdot \exp \left[- \left(1.5 \cdot \left(\frac{R_c}{H_{m0}} \right)_{eq} \frac{1}{\gamma^2} \right)^{1.3} \right]$$

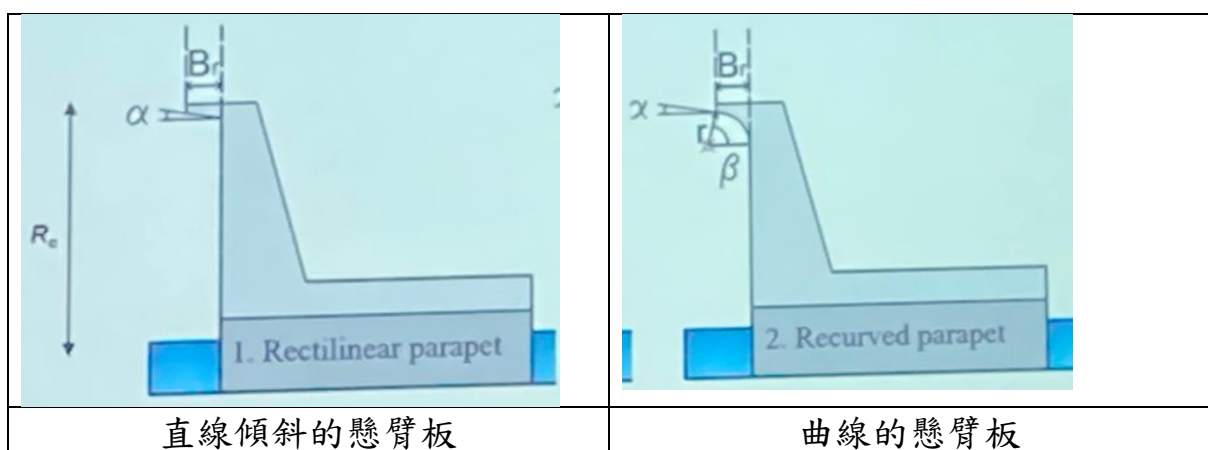
$$\left(\frac{R_c}{H_{m0}} \right)_{eq} = \frac{R_{c,peak}}{H_{m0}} + \exp(-1.44 \cdot \frac{R_{c,peak}}{dh})^{0.55}$$

圖 2.14 考慮颱風暴潮下之越波量公式^[3]

3.減少越波之海堤設計

傳統直立式海堤可設計直線傾斜、曲線型式的懸臂板或曲線的返波牆來減少越波（如圖 2.15），Paolo De Girolamo 之”Numerical experiments on overhanging parapets under non-breaking wave conditions”^[4]研究之數值模擬採用 OpenFOAM 程式加上 IHFOAM 求解自由液面，得到不同型式海堤的堤面衝擊力，如圖 2.16 所示，研究結果顯示：

- (1) 曲線返波牆之堤面衝擊力最大，有懸臂板或曲線海堤之堤面衝擊力皆較傳統直立堤為大。
- (2) 減少越波效果為曲線返波牆(最佳)>曲線的懸臂板(次之)>直線傾斜的懸臂板(再次之)。
- (3) 堤面衝擊力由結構物的慣性力抵抗。



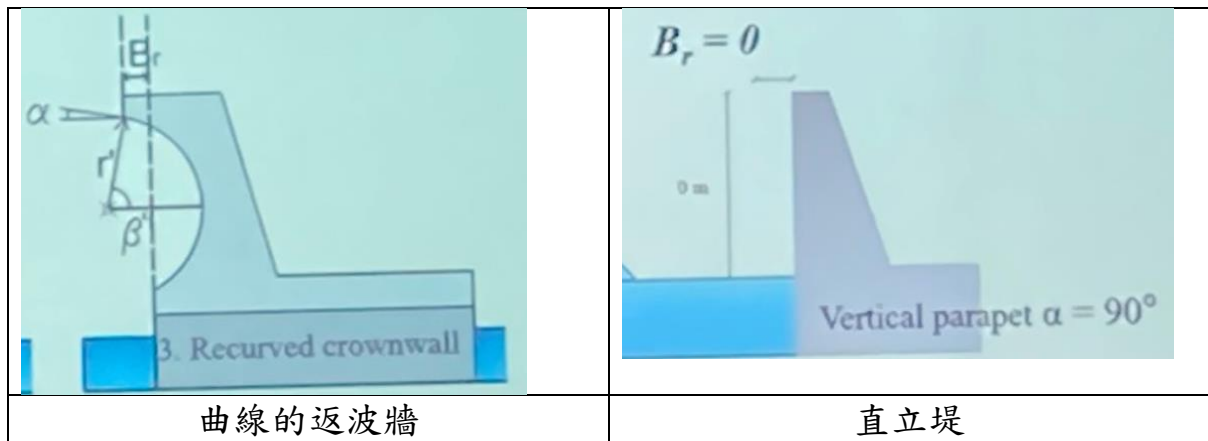


圖 2.15 海堤的型式^[4]

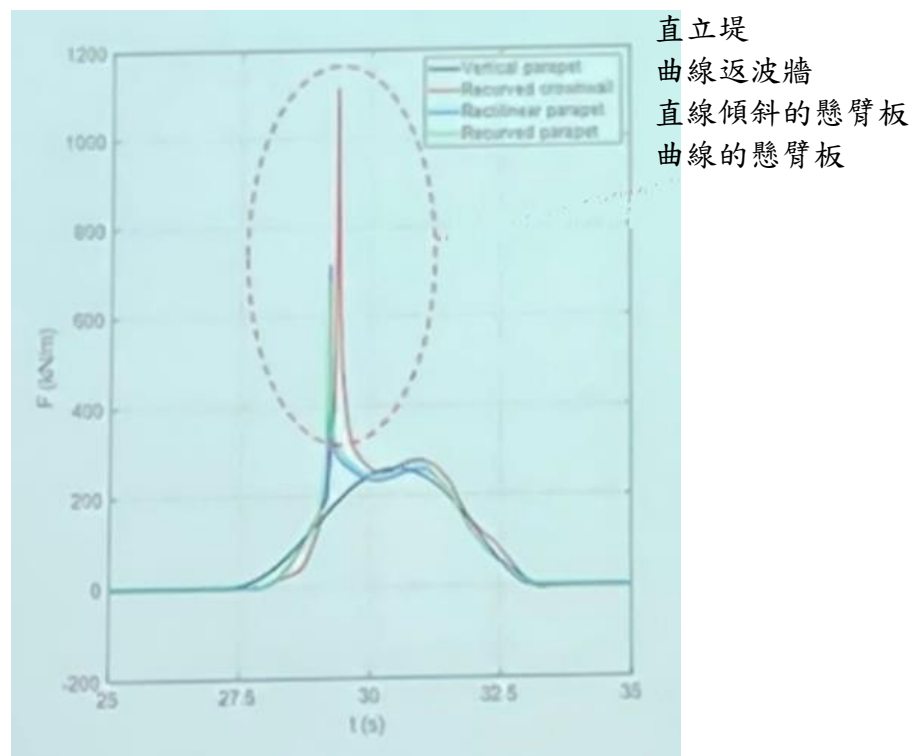


圖 2.16 不同型式海堤之堤面衝擊力^[4]

2.3.2 波浪分析議題

1. 近岸方向波譜與漂沙分析

Stefan Aarninkhof 之”Unraveling multimodal nearshore wind wave fields on the Dutch shoreface”^[5]研究首先繪出近岸不同地點之方向波譜，並將方向波譜依照波浪尖峰能量組成分類，分為伴隨的波浪（波浪交角 0~60 度）、相反的波浪（波浪交角 120~180 度）、交互作用的波浪（波浪交角 60~120 度）及向某方向傳播的波浪(如圖 2.17)，統計

(1)方向波譜的能量尖峰數及發生機率，(2)作用之波浪型態機率(如圖 2.18)。

漂沙分析使用 TRANSPOR2004 模式，針對水深 20 公尺擇適當地點進行每年海象(方向波譜型式)及天氣型態造成之漂沙量分析(如圖 2.19)。

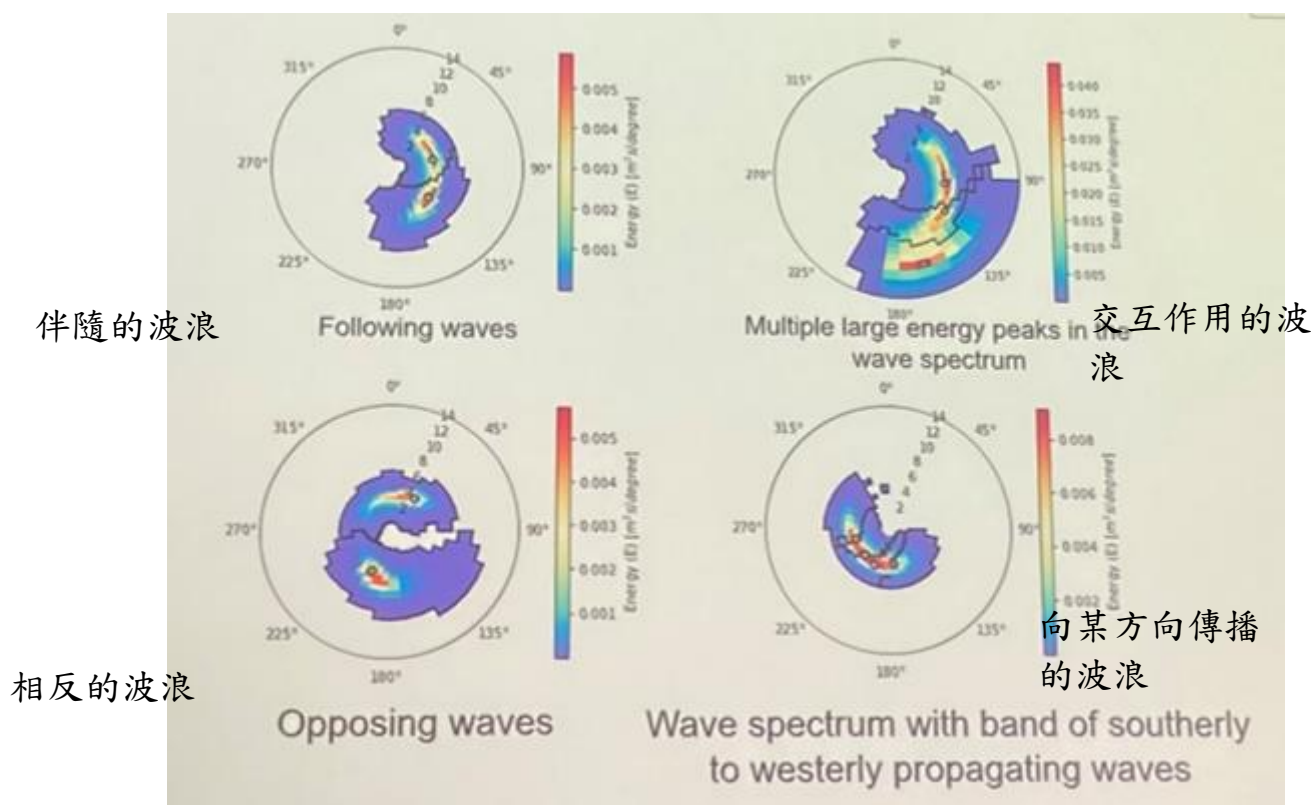
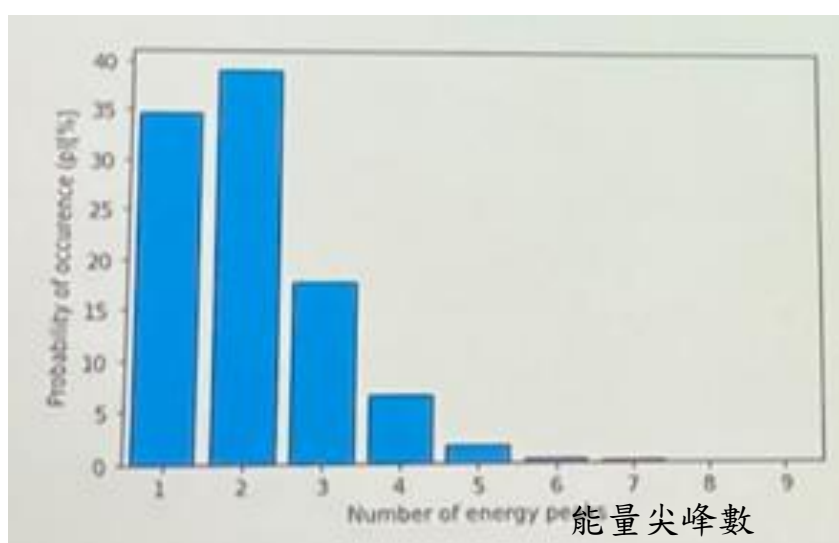


圖 2.17 方向波譜依照波尖峰能量關係區分^[5]

發生機率



(a)

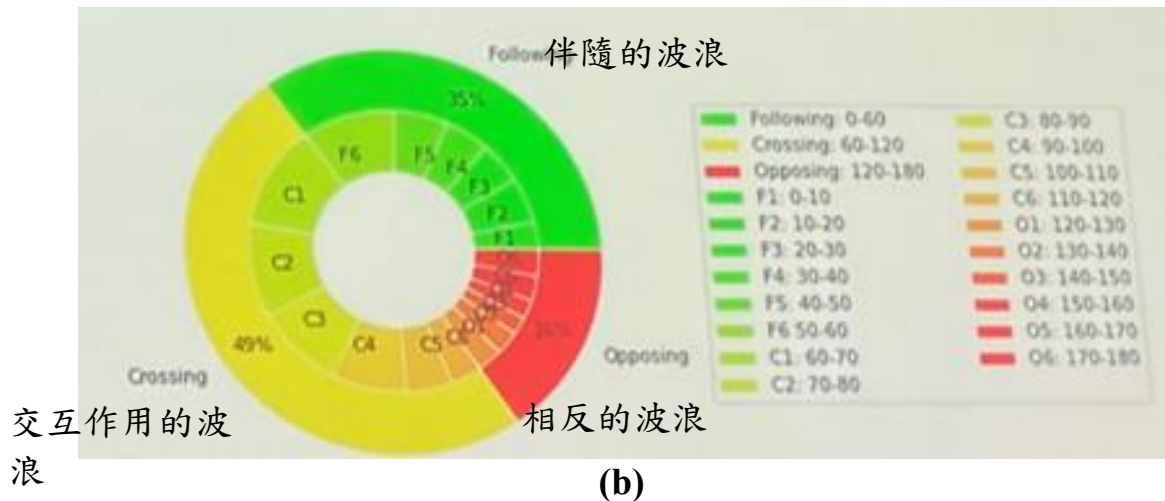


圖 2.18 (a)方向波譜的尖峰能量數及發生機率，(b)作用之波浪型態機率^[5]

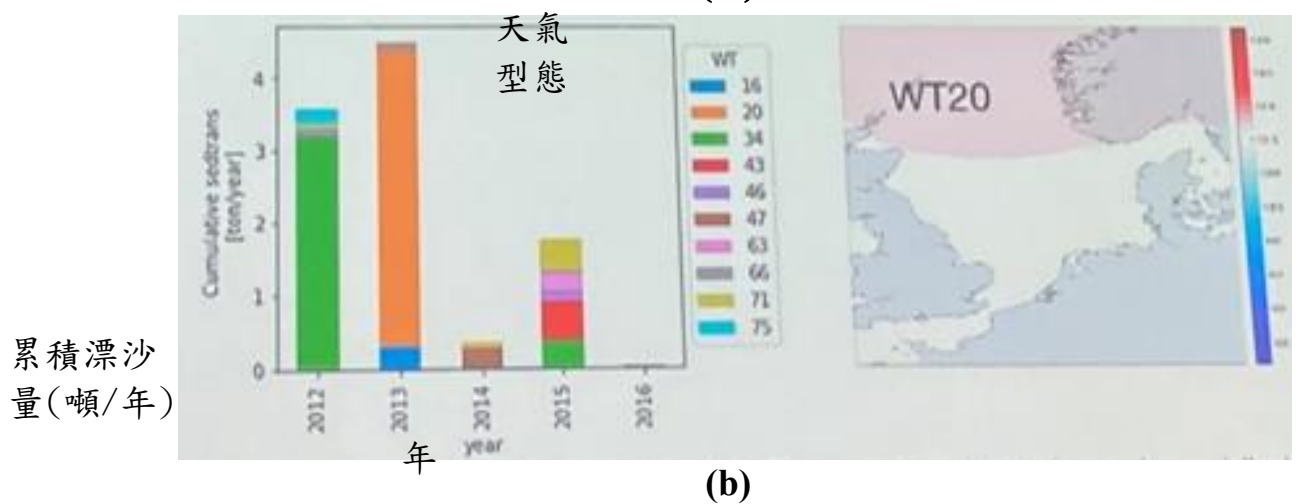
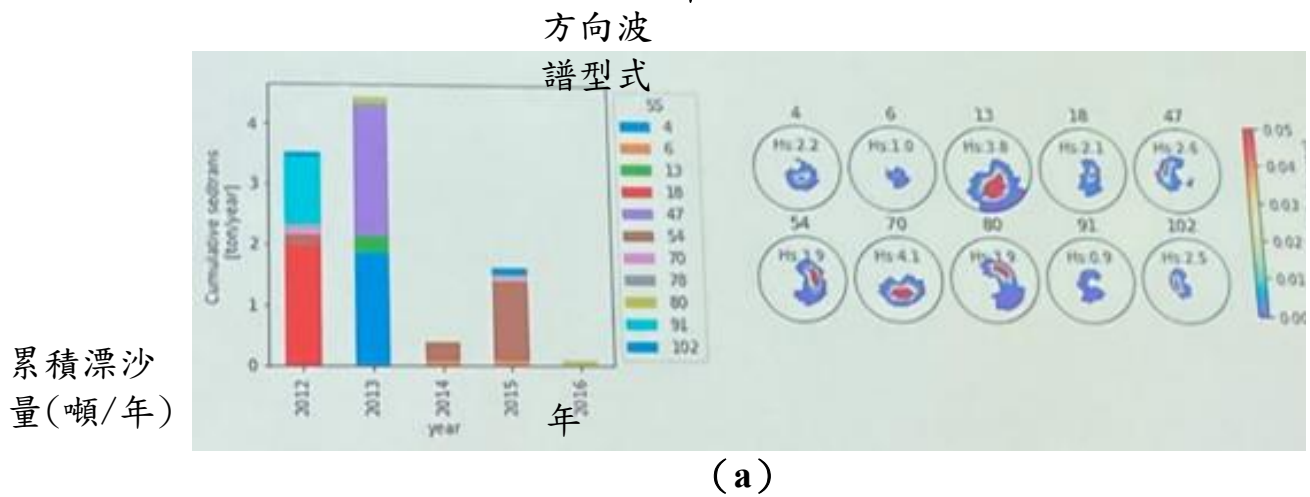


圖 2.19 每年(a)海象(方向波譜型式) 造成之漂沙量分析， (b) 天氣型態造成之漂沙量分析^[5]

2. 颱風風向、波向及波浪能量變化之關係

Ian Young 之 "The physical processes active in tropical cyclone wave generation"^[6] 研究將颱風風向、波向及波浪能量變化(S_{in} 為能量之風浪成長項、 S_{nl} 為能量之波浪間非線性交互作用項、 S_{ds} 為能量消散項) 關係繪圖瞭解(圖 2.20)，波浪能量由高頻風浪轉移到低頻長浪(圖 2.21)。

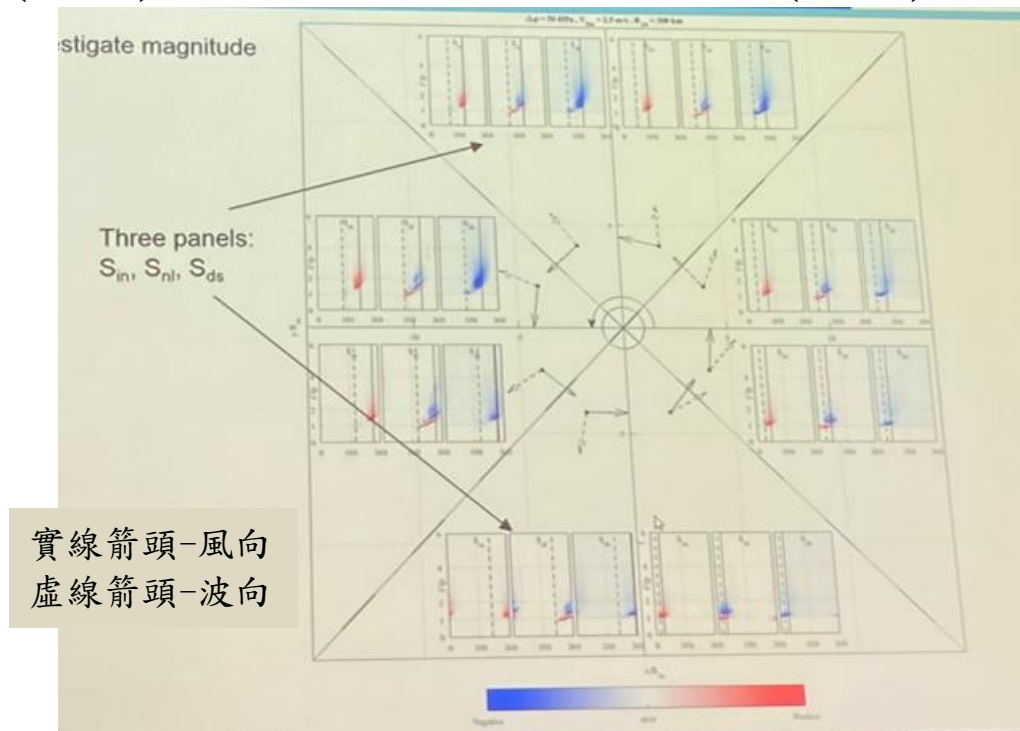


圖 2.20 颱風風向、波向及波浪能量變化關係圖^[6]

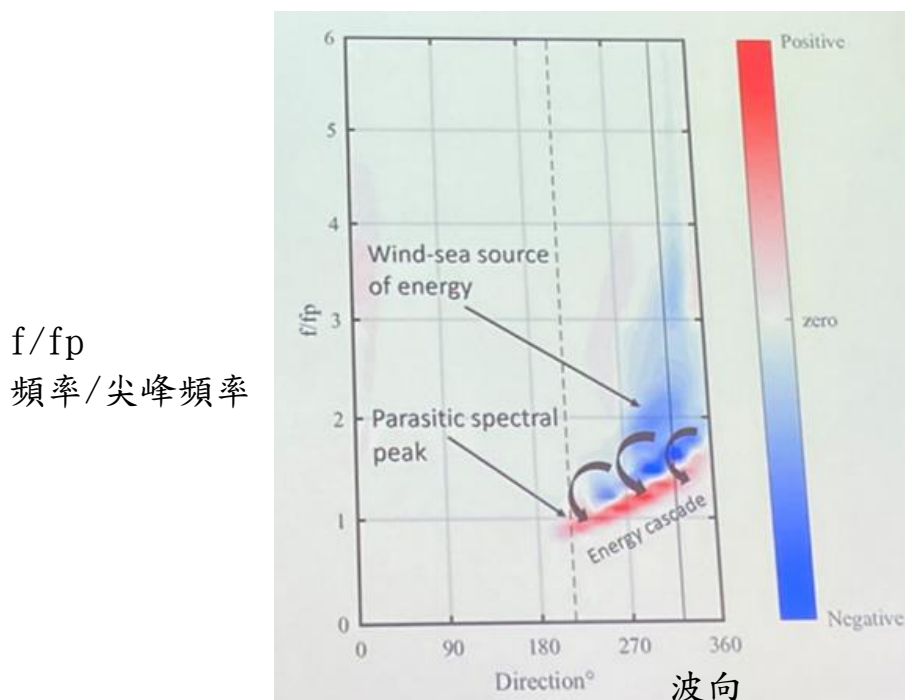


圖 2.21 波浪能量由高頻風浪轉移到低頻長浪^[6]

3.風浪與長浪之分析

Lukas Froehling 之”Comparison of field and forecast metocean data in the German bight”^[7]研究製作風浪與長浪之示性波高分佈表(如圖 2.22)，長浪佔比 $Swell_{prop}$ 可分為 0~0.33、0.33~0.66、0.66~1，瞭解長浪、風浪的示性波高及比例情形。

$$H_s = \sqrt{(H_s^{Swell})^2 + (H_s^{Windsea})^2}$$

$$Swell_{prop} = \frac{H_s^{Swell}}{H_s}$$

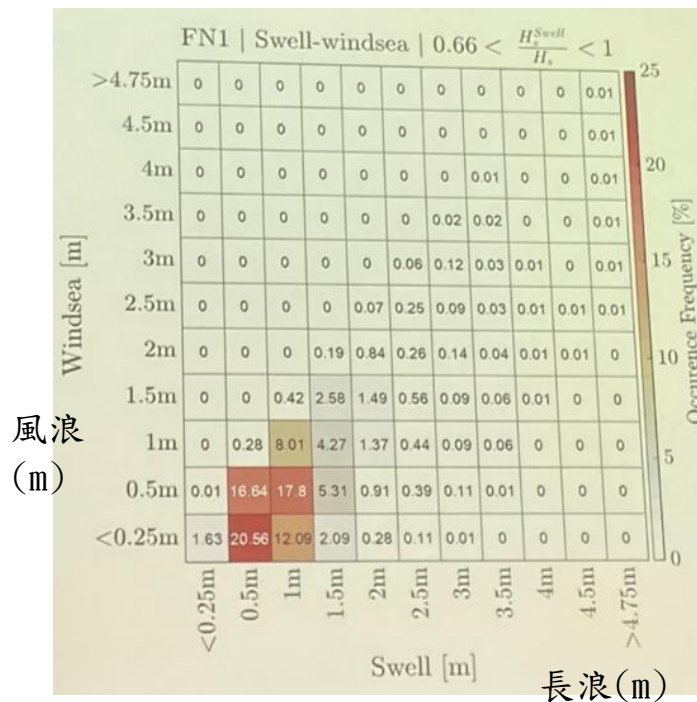


圖 2.22 風浪與長浪之示性波高分佈表^[7]

4.波浪能量及波浪玫瑰圖

Ms Anna Adell 之”Multi-scale modelling ; field validation in Faxe bay, Denmark”^[8]研究製作年度之波浪能量與波向及示性波高玫瑰圖(如圖 2.23)。

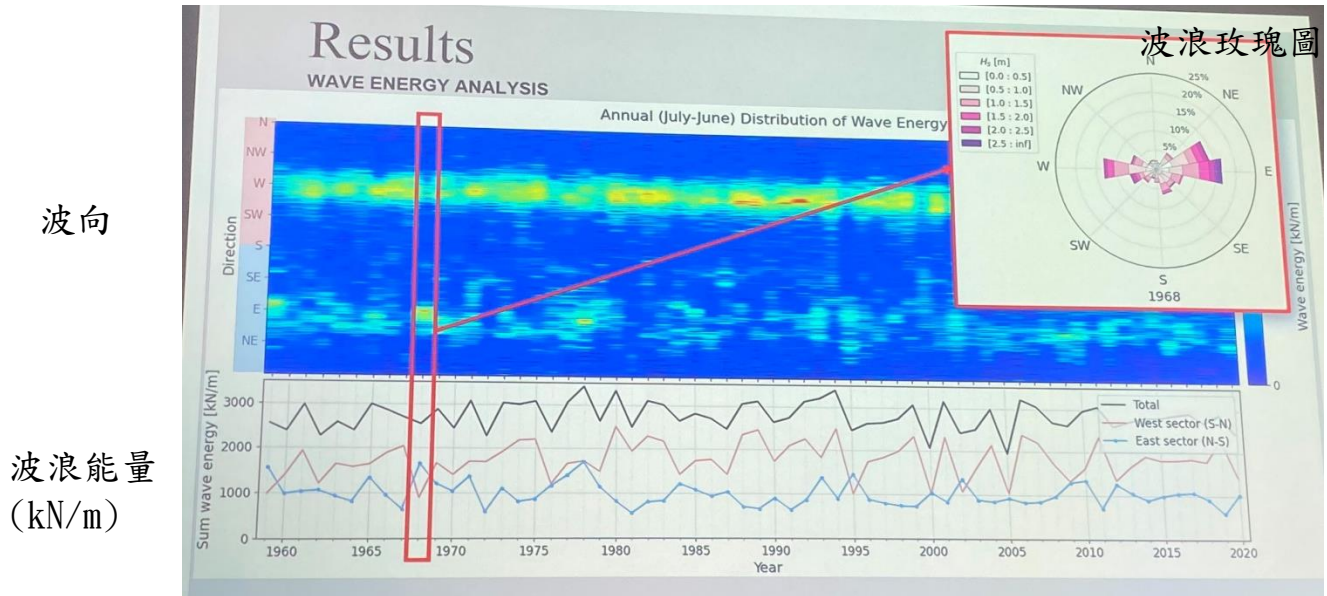


圖 2.23 年度之波浪能量與波向及示性波高玫瑰圖^[8]

2.3.3 碎波分析議題

1. 使用 SWASH 和 DualSPHysics 模擬 Plunging 型碎波

波浪於近岸因地形變化產生碎波，碎波將導致波浪能量消散、能量轉移，平均水位、流況變化及波浪溯上等，欲準確模擬近岸的波浪、流況、水位及對結構物的影響，模擬碎波過程中水面的快速變形及其伴隨的流況有其必要性。

傳統使用網格的模式較難模擬的情況為(1)複雜的海岸地形；(2)碎波的傾覆自由液面；(3)動態系統(浮動或可變形的結構)；而相位求解波浪模組(例如 Boussinesq 模式和非靜水壓模式)的特點為(1)自由液面使用單一數值表示；(2) 參數化碎波的過程 (使用次格點)。

使用計算流體力學 CFD(Computational Fluid Dynamics)模式(例如 OpenFOAM)的特點為(1)在固定網格解 3D Navier-Stokes 方程式；(2)空氣及水的界面、複雜地形及剛體運動較難分析；(3)計算資源昂貴。

無網格計算流體力學 CFD 模式採用平滑化粒子水動力(SPH, Smoothed Particle Hydrodynamics)(DualSPHysics)的特點為(1)計算點即粒子(流體質量) 移動依據 Navier-Stokes 方程式；(2)結合速度及加速度(Lagrangian 座標)得到粒子軌跡；(3)粒子移動時帶著某些性質(如

壓力)；(4)粒子間可藉由核權重函數(kernel weighting function)進行局部內插；(5)可藉由 GPU 縮短大量粒子的模擬時間。使用 DualSPHysics 研究衝浪區的水動力，可分析非規則波(包括內重力波及波浪溯上等)於斜坡上之崩捲型(Plunging)碎波(如圖 2.24)。

Ryan Lowe 之”Nonhydrostatic and mesh-free computational fluid dynamic model comparisons of surf zone hydrodynamics by plunging irregular waves”^[9]研究為提昇模擬運算效率，使用網格多層非靜水壓波流 SWASH 模式模擬波浪至碎波前過程，再用 DualSPHysics 模式做近岸模擬(如圖 2.25)，模擬範圍包括近岸長浪(週期 8 秒)至內重力波(週期 30-300 秒)，模擬約 430 個波浪，SWASH 模式使用 16 個 CPU，計算時間約 30 分鐘，DualSPHysics 模式使用 5,120 個 CUDA 核心及 Nvidia Tesla V100 GPU，計算時間約 100 小時，模擬結果如圖 2.26 所示，研究指出 SWASH 和 DSPH 在模擬崩捲型碎波時呈現的碎波現象並不相同，DSPH 在模擬碎波較真實，2 方法皆可正確得到一般的水動力參數，DSPH 和 CFD 方法有其必要性，可應用於更細緻的模擬碎波，例如碎波造成在結構上的載重，波浪與複雜的地形、有孔隙的結構物之互制，動態波浪與結構物互制問題。

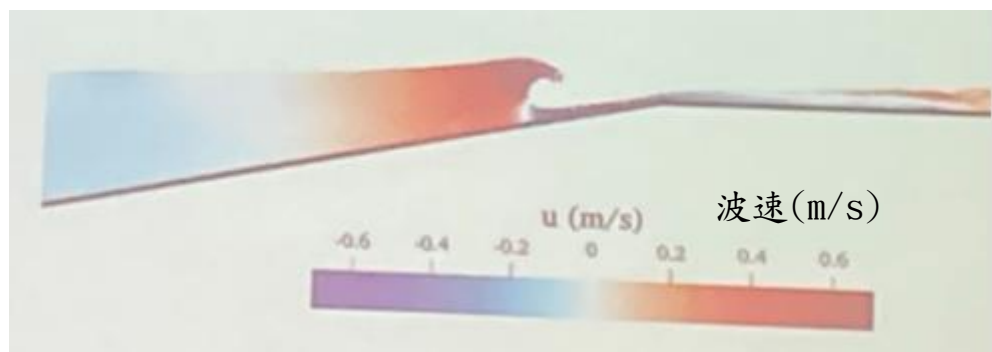


圖 2.24 斜坡上之崩捲型(Plunging)碎波模擬^[9]



圖 2.25 使用 SWASH 和 DualSPHysics 模擬碎波^[9]

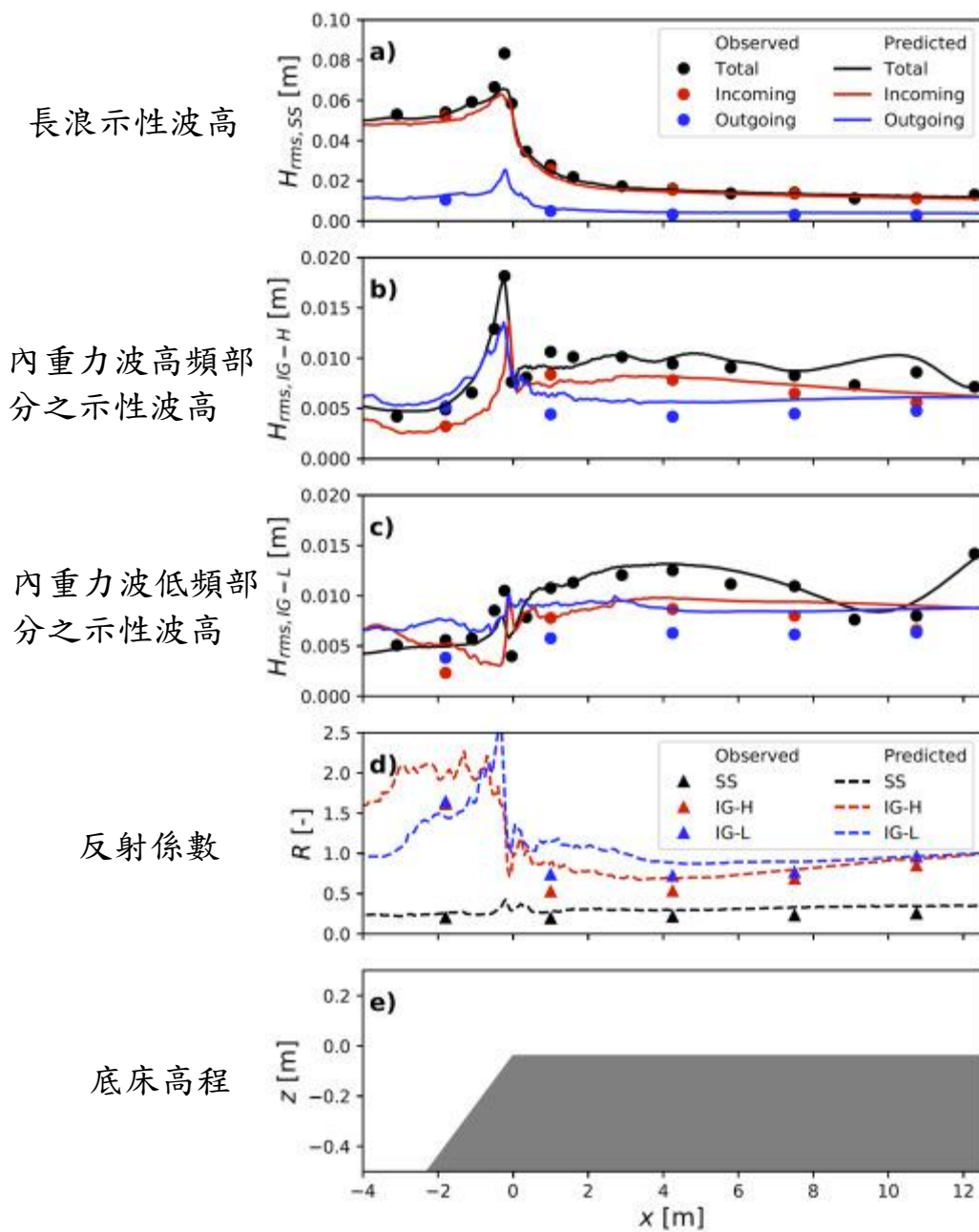


圖 2.26 使用 SWASH 和 DualSPHysics 模擬碎波結果^[9]

2. 守恆及非守恆雷諾平均納維-斯托克斯方程式於碎波模擬

Shaswat Saincher 之 "Comparative assessment of non-conservative and conservative RANS formulations for coastal applications involving breaking waves"^[10] 研究指出多相雷諾平均納維-斯托克斯方程式 (Reynolds-averaged Navier-Stokes equations, RANS) 之平流項可以 2 種方式表示，皆用來模擬碎波：

非守恆公式：(密度設於中心)

$$\rho \int_v \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} dv + \rho \int_s (\vec{V}\vec{V}) d\vec{s} = - \int_v \vec{\nabla} p dV + \int_s (u_{eff} \vec{\nabla} \vec{V}) d\vec{s} + \int_v \rho \vec{g} dv$$

守恆公式：(密度設於面心)

$$\int_v \frac{\partial(\rho \vec{V})}{\partial t} dv + \int_s (\rho \vec{V}\vec{V}) d\vec{s} = - \int_v \vec{\nabla} p dV + \int_s (u_{eff} \vec{\nabla} \vec{V}) d\vec{s} + \int_v \rho \vec{g} dv$$

使用 IITM-RANS3D 開源模式以守恆及非守恆公式於緩坡及平面底床模擬碎波結果如圖 2.27 及 2.28。

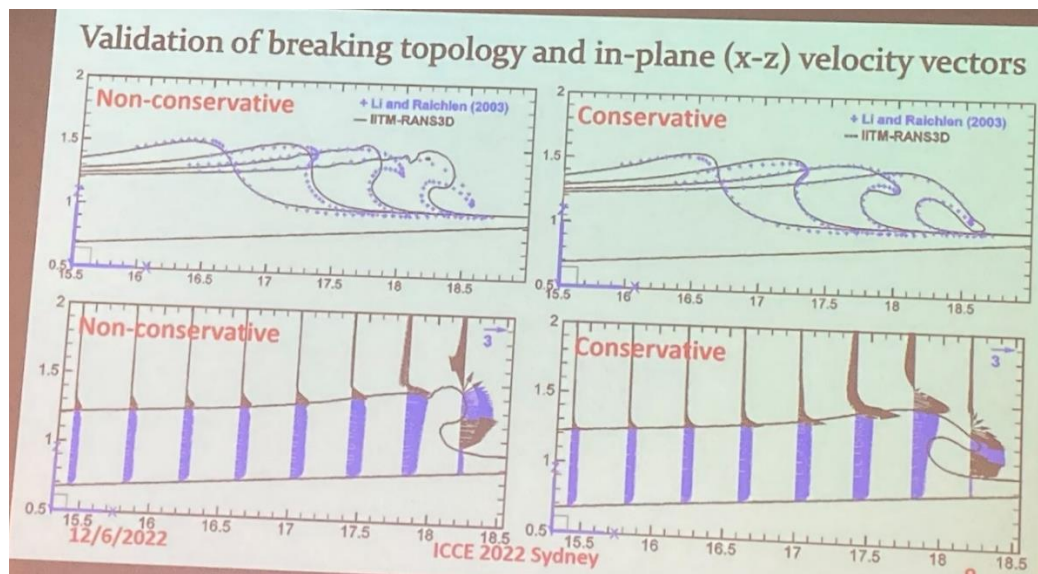


圖 2.27 守恆及非守恆公式模擬緩坡底床之碎波結果^[10]

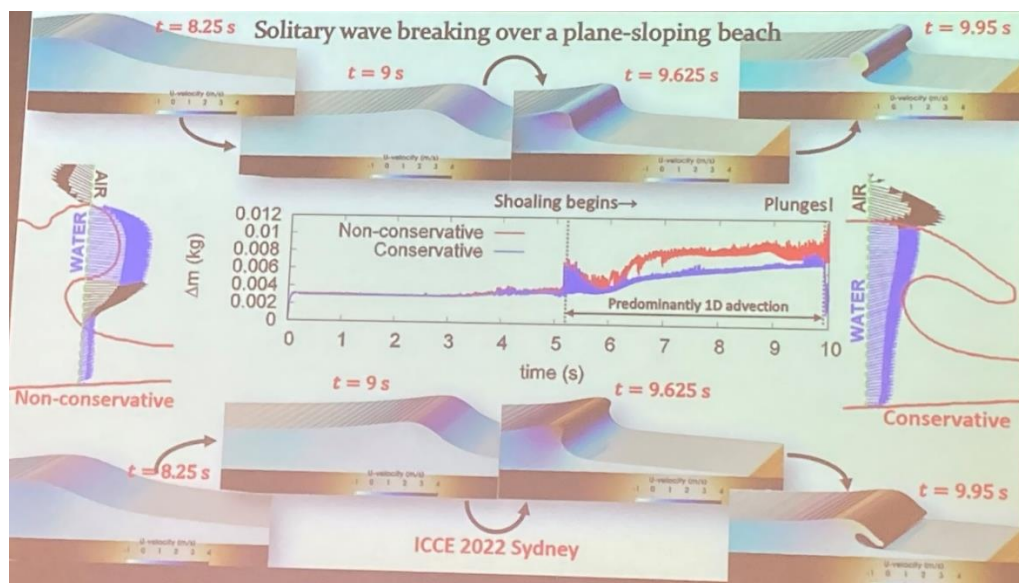


圖 2.28 守恆及非守恆公式模擬平面底床之碎波結果^[10]

3. 使用計算流體力學(CFD)提昇衝浪設備

計算流體力學(CFD)模擬應用於衝浪設備之歷程如下:

- (1) 2009 年首次驗證 3D CFD 模擬 3D 波槽的碎波形狀正確性。
- (2) 2010 年利用 CFD 及 MIKE 21 BW 模式評估衝浪的波浪，DHI 發展 OptiSurf 計算衝浪特徵以應用於 CFD 輸入。
- (3) 2014-2019 年 CFD 加上 OptiSurf 考慮多孔性的土層並應用於衝浪藻礁設計，Palm Beach Reef 衝浪設備於 2019 年建立。
- (4) 2017-2022 年最佳化衝浪碎波設計，使用 CFD 加上 OptiSurf 結合集中下沉器，使用在 SurfLakes 商業波池。

衝浪設備應用之數值模式如下:

- (1) OpenFOAM 模式為流體體積法 (VOF) (結合 interFoam 求解器) 模式，可變化網格尺寸及時間間隔，紊流使用 k- ω -SST 粘滯模式。
- (2) OptiSurf 計算衝浪特徵以應用於 CFD 輸入。
- (3) SurferSafety 進行衝浪者的安全評估。

Alireza Valizadeh 之”Yeppoon surf pool: Full-scale validation of a CFD model”^[11]研究之結論如下:

- (1) 系統化及量化 CFD 方法已應用於波浪池最佳化。
- (2) 此方法已使用於 Yeppoon 地點建立全尺寸 SurfLakes 波浪池(如圖 2.29)。
- (3) 現場與模擬的誤差在容納範圍內。
- (4) 正進行將 SurfLakes 波浪池經驗分享至全世界。
- (5) 未來將此技術應用於虛擬世界。

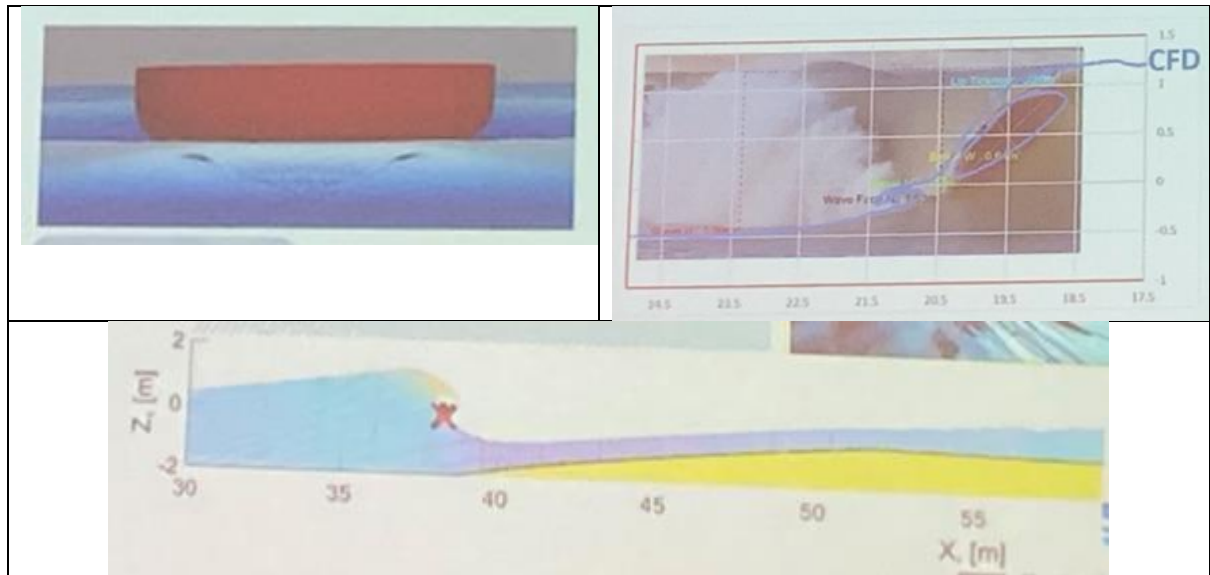


圖 2.29 計算流體力學(CFD)模擬應用於衝浪設備^[11]

2.3.4 波浪相關議題

1. 波浪理論區分圖(Le Mehaute's chart)更新

原 Le Mehaute 圖於 1969 年提出，可利用水深 d 、波高 H 、波浪週期 T 及波長 L 條件，依照 Le Mehaute 圖決定適用何者波浪理論，1973 年海岸保護手冊及 2012 年 Kraalennest 更新改良波浪理論區分圖如圖 2.30，Kamphius(2000)、Holthuijsen(2010)將 Le Mehaute 圖深水區 Stokes 4th order 更改為 Stokes 5th order、增加孤立波的區域，碎波界限採用 Fenton(1990)公式即淺水區 $H/h=0.83322$ 、深水區 $H/L=0.14$ ，Kuifeng Zhao 之”Applicable range of periodical wave theories updating Le Mehaute's chart”^[12]之研究更新 Le Mehaute 圖如圖 2.31。

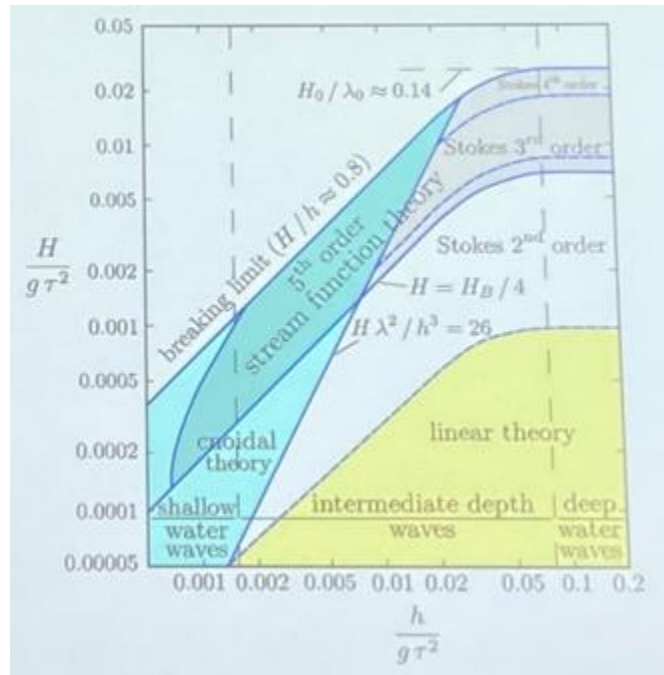


圖 2.30 改良之 Le Mehaute 圖(Wikipedia-Kraalennest(2012))

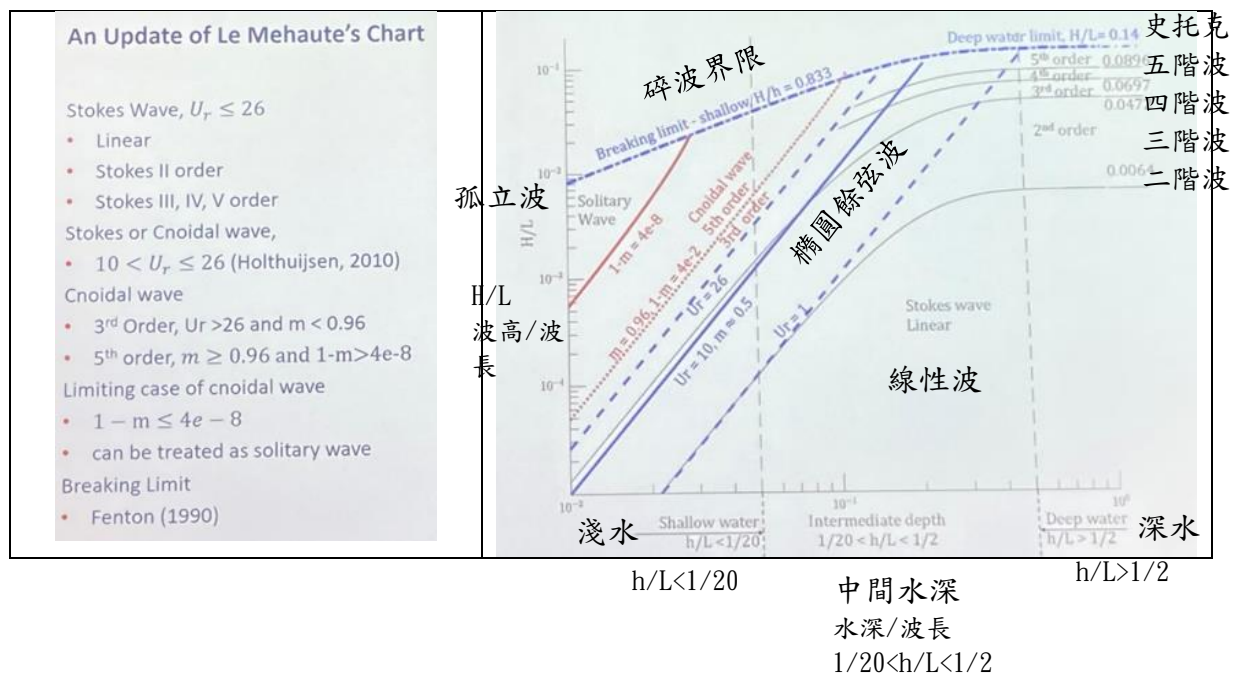


圖 2.31 Zhao 改良之波浪理論區分圖^[12]

2.模擬之數值模式

在研討會及相關文獻中提及之數值模式及其比較(如表 2-2~2-4)如下:

- (1) WRF+COAWST 模擬颱風暴潮。
- (2) CWAM(German Coastal Wave Model)海岸波浪模式結合 HBM 模式考慮流及水位變化影響。

表 2-2 波譜波浪及相位解析模式

模式	波譜波浪模式 Spectral wave model	相位解波浪模式 Phase resolving wave model
目標	波浪能量 Wave energy	波浪形狀 Wave shape
波浪變形	△	○
風浪成長	○	×
浪襲計算	理論公式	直接

表 2-3 相位解析及相位平均波浪模式

波浪模式	相位解析	相位平均	
使用方程式	完全非線性時間平均雷諾平均納維－斯托克斯方程 Navier-Stokes (NS)	非線性淺水方程式 (NLSW)	布氏近似 (Boussinesq)
離散		非離散波 non-dispersive	離散波 dispersive
程式	(1)OpenFOAM(結合連續方程式) (2)DualSPHysics (3)SWASH+ 垂直層數 ($K \geq 10$): 非靜水壓修正項+k-ε 紊流模式	(1)XBeach Surfbeat(XB-SB)解 SS 波:內重力波導致的沿流岸、溯上及越波 (2)XBeachX(水深為 2 層)+SS-wave: SWASH (3)XBeach Non-hydrostatic (XB-NH)	(1)MIKE21-BOUSS (2)BOSZ:模擬波浪尖銳度高時不穩定, 碎波模擬使用 NLSW 方程
解析度	高解析度	解析度相較較低	
模擬範圍	局部區域	大範圍	
備註	SWASH:深水波長/網格大小大約為 50~100; 淺水區深水波長/網格大小大約為 110~200	由線性波組成, 波高為頻率及相位的函數 近岸: SWAN(忽略風趨流)、STWAVE 程式, 無法模擬淺水區的內重力波	

表 2-4 不同程式的特性

程式	SWAN	MIKE21BW	MIKE3-WaveFM(M3WFM)
特性	使用波作用量守恒方程解算波能量傳播，結果為計算網格的相平均參數(波高、週期及波向)及能量譜	使用 2D 水動力模式應用 Boussinesq 近似法得到水流垂直的梯度	3D 水動力模式應用非水靜力(NHS)假設，解非線性波的傳播，提高垂直加速度及速度梯度的準確性
優點	在複雜水深地形上有效率的大範圍解析	在不規則海床上解析一系列波的傳播(如繞射、反射) 包含非線性、頻率分散及頻率及方向性的傳播 廣泛使用於波繞射的案例驗證	表面波和 3D 波動力非線性解 包含波頻率及方向性的傳播 包含乾、溼計算及風浪成長 包含越波及波浪傳播
缺點	由於相平均，故僅大約可描述繞射和反射	波深度限制(但延伸的公式可解淺至中深度) 未包含風浪成長模式穩定性較差	計算昂貴 紊流模式項及參數選擇會造成結果有較大差異 應用於繞射案例不多

第三章 心得與建議

3.1 心得

1. 運輸研究所港灣技術研究中心多年來辦理港灣技術相關研究，國際海岸工程研討會中各國將最新港灣技術研究分享呈現，參加此研討會吸收新知、瞭解國際研究趨勢有其必要性。
2. 第 37 屆國際海岸工程研討會共舉辦 6 天，每天議程由早上 8:30 至下午 7:30，每天分 3 段進行研討，除研究外，國外的交通設施、風土民情及社交人際互動等模式，皆可藉由參與研討會期間進一步瞭解。
3. 國際海岸工程研討會集合各國港灣研究精英，此次臺灣發表 2 篇論文，臺灣參與國際海岸工程研討會並發表論文有其必要性，讓各國瞭解臺灣研究發展，並可藉由精英之交流分享，更進一步提升研究能量。
4. 目前運輸研究所臺灣近岸海象預報系統(TaiCOMS)之港灣風浪模擬採用 WAM 及 SWAN 模式，至於近岸波浪模擬、波浪與結構物互制、港口內波流之模擬及波流耦合等，仍有進一步研究精進的空間。
5. 有關波浪相位解析模式其波浪模擬解析度高，但計算資源亦較昂貴，其適用性及範圍值得進一步瞭解。
6. 臺灣是海島國家，臺灣衝浪地點的發展潛力亦可進行評估，碎波議題可進一步進行研究，俾利衝浪技巧及設備之精進。

3.2 建議

1. 建議本所在相關經費許可下，能持續派員參加國際海岸工程研討會，臺灣學術單位或研究單位能踴躍發表論文。
2. 建議辦理海氣象研究之公務單位未來能有更多的資訊設備預算，俾利海氣象模擬更準確。
3. 國外對於近岸波浪模擬、波浪與結構物互制、港口內波流之模擬及波流耦合、風與波浪的耦合、碎波及越波的模擬等有相當多的研究，值得臺灣借鏡。