

國立中山大學海洋環境及工程學系研究所 碩士論文

Department of Marine Environment and Engineering

National Sun Yat-sen University

Master Thesis

FLOW-3D 應用於孔隙結構物消波特性之研究 Study on The Application of FLOW-3D for Wave Energy Dissipation by a Porous Structure

研究生:陳俊合 撰

指導教授:李忠潘 教授

中華民國 101 年 7 月

July 2012

國立中山大學研究生學位論文審定書 本校海洋環境及工程學系碩士班 研究生陳俊合(學號: M985040011)所提論文 FLOW-3D應用於孔隙結構物消波特性之研究 Study on the Application of Flow-3D for wave energy dissipation by a porous structure 於中華民國 / [4] 年 7月 [7] 日經本委員會審查並舉行口試, 符合碩士學位論文標準。 學位考試委員簽章: 召集人陳陽益院 委員李忠潘 委員曾以帆上一大大委員邱永芳 委員李兆芳专办行奏 指導教授(李忠潘) 主义学 (簽名)

誌謝

本論文能完成要感謝的人非常多,首先感謝李忠潘老師在這幾年的指導,讓 我能完成碩士學位,謝謝口試委員李兆芳、曾以帆、陳陽益、邱永芳老師們在百 忙之中抽空來當口試委員並且提供許多對於論文上的寶貴意見,讓論文上許多有 錯誤的地方能加以改正。

在研究上特別感謝義復學長與奕鈞學長在研究上幫忙許多,沒有他們幫忙論 文難以完成。謝謝俊翰學長、科憲學長、友貞學姐、阿木華、一平、宥珊、胖丁、 浩中,在生活上以及在實驗上幫忙了我許多,謝謝大家的幫忙。

最後感謝父母提供我這十幾年來求學過程中的幫助,讓我在求學過程中能無 後顧之憂,並且教育我把我養大成人。還有最敬愛的阿嬤,從小就非常的疼我, 讓我最遺憾的就是來不及好好孝順阿嬤,希望阿嬤在天上有看到。

摘要

波浪為海洋工程中最常見的一種動力因素,對結構物或海岸的影響是以往在 設計結構物與海岸工程時主要的考慮因子,所以在海洋工程上有許多討論有關於 消減波浪的議題。本文主要以FLOW-3D 數值軟體模擬波浪與孔隙結構物交互作用, 並且與實驗做比對。在模擬中利用其建議的方式設定孔隙介質阻力參數所得到的 結果與實驗結果相比差異非常大,故討論孔隙介質阻力參數的設定也是本研究的 項目之一。

本文研究配置上以四種不同型式孔隙結構物來探討與波浪之間的交互作用, 主要分類為:單層、雙層與三層(兩種形式)。本文中 FLOW-3D 模擬波浪邊界是以 模擬造波板的方式來造波,與以往研究中利用 FLOW-3D 模擬波浪皆用其內建波浪 邊界有所不同。並以水工模型試驗的結果與模擬做比較,分別對模擬結果與實驗 結果取得水位資料後,再以程式做波浪分析探討之間差異。

模擬的結果顯示模擬造波板造波時所設定的衝程需減少原本設定值的百分之 十,所得到的波高和實驗比較才相近。孔隙介質阻力參數b設定公式調整為0.03/D (D為孔隙介質粒徑),參數a則不變所得到的模擬結果與實驗結果比較差異較小。 四種孔隙結構物的消波率皆與波浪週期有關,波浪週期越大越不易消波,反射率 與波浪週期成正相關性。

關鍵字:孔隙介質、反射率、數值水槽、水工模型試驗

I

Abstract

Wave is one of the most common dynamic factors in marine engineering. This is the major affecting factor in the design of structures and coastal engineering that wave affect the structure or the coast, so there are many topics about wave absorbing issues. In this paper, FLOW-3D modeling is implemented for wave interaction with porous structures, and comparing with experiment. This is very different between the results of models using the proposed method by the FLOW-3D User Manual to set drag coefficients of porous media and the results of experiments. Therefore, to discuss the setting drag coefficients of porous media is one of this research project.

Configuration of this study, four different types of porous structures to explore the interaction with wave, the major categories: single, double and three-tier (two forms). FLOW-3D simulations of wave boundary in this article is to simulate the wave plate to manufacture wave, FLOW-3D simulations of wave with the previous studies are different with its built-in wave boundary. The results of simulation compare with experiment, and obtain water depth data both of them, and then programmatically wave analysis explore the differences between simulation and experiment.

The simulation results show that stroke set by the analog wave board need to reduce 10 percent of the original settings, and the simulation results are similar to experiment results. The differences between simulation and experiment are smaller when porous media parameter 'b' setting formula adjust to 0.03/D (D is the particle diameter)and parameter 'a' setting formula changeless. Reducing wave of the four porous structures relate to the wave period. The wave period is bigger and more difficult to wave absorption, and the reflectivity is proportional to wave period.

Keywords: porous media, reflectivity, numerical tank, experiments of hydraulic model

摘要		
ABSTRACT		
目錄		
同口处		
圓 日 錸	•••••••••••••••••••••••••••••••••••••••	v
表目錄		VII
符號說明		viii

1-1 前言	. 1
1-2 前人研究	. 2
1-3 研究目的	. 6
1-4 本文組織	. 6
第二章 數值模式	.8
2-1 模擬軟體介紹	. 8
2-2 基本控制方程式	. 9
2-2-1 Navier-Stokes 之控制方程式	. 9
2-2-2 FLOW-3D 之控制方程式	10
2-3 FLOW-3D 模擬流程	18
2-4 GMO 模式控制與數值模擬設定	22
2-4-1 GMO 模式造波	22
2-4-2 GMO 模式造波驗證與模擬設定參數	23
	.
2-5 網格獨立性測試	26

3-1 實驗	設備	28
3-2 孔隙	約結構物模型設計及波高計配置	31
3-3 波浪	&條件	35
3-4 實驗	安步驟(圖 3-16)	37
3-4-1	孔隙結構物設置	37
3-4-2	波高計架設	37
3-4-3	進水與波高計率定	37
3-4-4	量測資料	37
3-5 分析	行方法	39
3-5-1	入射波觀測	39
3-5-2	反射率計算	39
3-6 實驗	全重複性	39
第四章 約	结果與討論	42
第四章 約 4-1 FLOV	結果與討論 W-3D 初步結果	42 42
第四章 約 4-1 FLOV <i>4-1-1</i>	结果與討論 N-3D 初步結果 <i>孔隙介質參數</i>	42 42 42
第四章 約 4-1 FLOV 4-1-1 4-1-2	結果與討論 N-3D 初步結果 <i>孔隙介質參數</i>	42 42 42 43
第四章 終 4-1 FLOV 4-1-1 4-1-2 4-2 孔陽	結果與討論 N-3D 初步結果 <i>孔隙介質參數 波浪模擬</i>	42 42 42 43 46
第四章 約 4-1 FLOV <i>4-1-1</i> <i>4-1-2</i> 4-2 孔陽 <i>4-2-1</i>	结果與討論 N-3D 初步結果. <i>孔隙介質參數 波浪模擬</i>	42 42 42 43 46 47
第四章 4-1 FLOV 4-1-1 4-1-2 4-2 孔陽 4-2-1 4-2-2	结果與討論 N-3D 初步結果 <i>孔隙介質參數 波浪模擬</i>	42 42 42 43 46 47 51
第四章 4-1 FLOV 4-1-1 4-1-2 4-2 孔隙 4-2-1 4-2-2 4-2-3	结果與討論 N-3D 初步結果 <i>孔隙介質參數 波浪模擬</i> <i>波浪模擬</i> <i>該</i> 結構物之試驗與模擬結果 <i>單層孔隙結構物</i> <i>單層孔隙結構物 三層孔隙結構物</i>	42 42 42 43 46 47 51 55
第四章 4-1 FLOV 4-1-1 4-1-2 4-2 孔陽 4-2-1 4-2-2 4-2-3 第五章	結果與討論. N-3D初步結果. <i>孔隙介質參數</i>	42 42 42 43 46 47 51 55 62
第四章 4-1 FLOV 4-1-1 4-1-2 4-2 孔陽 4-2-1 4-2-2 4-2-3 第五章 5-1 結論	 結果與討論	42 42 42 43 46 47 51 55 62

啚	目	錄
1		~

啚	2-1	FLOW-3D V9.4 程式介面	. 8
啚	2-2	二維直角網格面積和體積比例係數計算示意圖(摘自林(2008))	13
啚	2-3	FLOW-3D 模擬流程	21
啚	2-4	造波板 X 方向位置變動隨時間變化圖	23
啚	2-5	邊界示意圖	24
啚	2-6	GMO 模式造波與實驗造波自由液面變化時序列比較圖	26
啚	2-7	網格獨立性測試:入射波水位變化	27
啚	3-1	斷面造波水槽	30
啚	3-2	活塞式造波機	30
啚	3-3	電容式波高計	30
啚	3-4	電容式波高計	30
啚	3-5	波高計增幅器	30
啚	3-6	雷射旋轉水平儀	31
啚	3-7	孔隙結構物不銹鋼框架正視圖	33
啚	3-8	三層不鏽鋼框架擺放示意圖	33
啚	3-9	單層孔隙結構物(粒徑 1.6CM)	34
啚	3-1	0 單層孔隙結構物(粒徑 1.6CM)	34
啚	3-1	1 雙層孔隙結構物	34
啚	3-12	2 雙層孔隙結構物	34
啚	3-13	3 三層孔隙結構物	34
啚	3-14	4 三層孔隙結構物	34
啚	3-15	5 波高計及孔隙結構物配置示意圖	35
啚	3-10	6 實驗流程圖	38
啚	4-1	單層孔隙結構物於實驗之無因次週波率與反射率關係	48
啚	4-2	單層孔隙結構物於模擬之無因次週波率與反射率關係	49
啚	4-3	單層孔隙結構物之無因次週波率與反射率關係	49
啚	4-4	單層孔隙結構物於實驗之尖銳度與反射率關係	50
啚	4-5	單層孔隙結構物於模擬之尖銳度與反射率關係	50
啚	4-6	單層孔隙結構物之尖銳度與反射率關係	51
啚	4 - 7	雙層孔隙結構物於實驗之無因次週波率與反射率關係	52
啚	4-8	雙層孔隙結構物於模擬之無因次週波率與反射率關係	53
啚	4-9	雙層孔隙結構物之無因次週波率與反射率關係	53
啚	4-10	〕 雙層孔隙結構物於實驗之尖銳度與反射率關係	54
圖	4-1	1 雙層孔隙結構物於模擬之尖銳度與反射率關係	54
圖	4-12	2 雙層孔隙結構物之尖銳度與反射率關係	55
啚	4-13	3 第三種孔隙結構物於實驗之無因次週波率與反射率關係	56

4-14	第三種孔隙結構物於模擬之無因次週波率與反射率關係	56
4-15	第三種孔隙結構物之無因次週波率與反射率關係	57
4-16	第三種孔隙結構物於實驗之尖銳度與反射率關係	58
4-17	第三種孔隙結構物於模擬之尖銳度與反射率關係	58
4-18	第三種孔隙結構物之尖銳度與反射率關係	59
4-19	第四種孔隙結構物於實驗之無因次週波率與反射率關係	60
4-20	第四種孔隙結構物於實驗之尖銳度與反射率關係	60
4-21	第三、四種孔隙結構物於實驗之無因次週波率與反射率關係	61
4-22	第三、四種孔隙結構物於實驗之尖銳度與反射率關係	61
	$\begin{array}{c} 4-14\\ 4-15\\ 4-16\\ 4-17\\ 4-18\\ 4-19\\ 4-20\\ 4-21\\ 4-21\\ 4-22\end{array}$	 4-14 第三種孔隙結構物於模擬之無因次週波率與反射率關係 4-15 第三種孔隙結構物之無因次週波率與反射率關係 4-16 第三種孔隙結構物於實驗之尖銳度與反射率關係 4-17 第三種孔隙結構物於模擬之尖銳度與反射率關係 4-18 第三種孔隙結構物於實驗之無因次週波率與反射率關係 4-19 第四種孔隙結構物於實驗之無因次週波率與反射率關係 4-20 第四種孔隙結構物於實驗之尖銳度與反射率關係 4-21 第三、四種孔隙結構物於實驗之無因次週波率與反射率關係 4-22 第三、四種孔隙結構物於實驗之尖銳度與反射率關係

表目錄

表	. 2-1	1	邊界	界設	定定		•••	•••			•			•		 •		• •	•		 •		 • •	••	 	•	•••	 •	•	 24
表	2-2	2	數(直控	制	參	數	設	定		•			•		 • •	••		• •	••	 •	•••	 • •	•	 	•		 •	•	 25
表	. 3-1	1	波	高計	编	號	與	位	置		•			•		 • •	••		• •	••	 •	•••	 • •	•	 	•		 •	•	 32
表	3-2	2	四利	重孔	」隙	〔結	構	物	示	意	圖			•		 • •	••		• •	••	 •	•••	 • •	•	 	•		 •	•	 32
表	3-3	3	第-	一紙	1波	浪	條	件			•			•		 • •	••		• •	••	 •	•••	 • •	•	 	•		 •	•	 36
表	. 3-4	4	第-	二紙	1波	浪	條	件			•		•••	•	•••	 • •	••	• •	•	••	 •	••	 	•	 	•		 •	•	 36
表	3-5	5	重礼	复性	註	驗	數	據			•			•		 • •	••		• •	••	 •		 	•	 	•		 •		 40
表	4-1	1	模抄	疑波	と浪	與	實	驗	波	浪	比	較	٤.	•		 • •			•				 		 	•		 		 43



符號說明

A_{x}	:x方向流動的通量面積比
A_{y}	:y方向流動的通量面積比
A_{z}	: z 方向流動的通量面積比
A_{f}	:面積比
b_x, b_y, b_z	: 通過多孔隙介質或閘板時減少的流動
C _p	:紊流施密特數(turbulent Schmidt number)倒數的常數項
f_x, f_y, f_z	:x、y、z方向的黏滞項
G	:質心
G_x, G_y, G_z	:物體之加速度
$\begin{bmatrix} J \end{bmatrix}$: 物體座標系統中質量慣性矩張量
Κ	: 滲透係數
т	: 剛體質量
ñ	:表面向量
Р	:壓力
Re_p	:雷諾數
<i>R</i> _{DIF}	: 紊流擴散項
R _{SOR}	: 質量源項
[R]	: 正交座標轉換張量
S_{obj}	:表面積
T_G	: 質心總合力矩
U	:巨觀速度
$U_{_W}$: 流場中模擬物體之運動速度

U_s	: 流體表面速度
${ar U}_{\scriptscriptstyle obj}$: 自由液面在網格間移動的速度
и	:x 方向速度
ū	:流速
V_cell	:每一立方網格之總體積
V_F	: 流體體積比
V_{f}	: 體積比
V	:y 方向速度
w	:z 方向速度
X _s	: 空間系統座標中, 點的位置向量
X_b	:物體系統座標中,點的位置向量
X_G	: 空間系統座標中質心的位置向量
$\Omega_x, \Omega_y \Omega_z$: 空間系統座標中物件的角速度
ρ	:流體密度
μ	:動量擴散係數(momentum diffusion)(例如:黏度)
V	:運動黏滯係數(kinematic viscosity)
ϕ	:孔隙率
$\upsilon_{ ho}$	$: c_p \mu / \rho$
δ	: 壓力源項形式指標,靜壓力時 δ =1.0、停滯壓力則 δ =0
$ au_{ij}$	· 液體剪應力
ξ	:座標系統指標,卡式座標時 ξ =0、圓柱座標則 ξ =1

第一章 緒論

1-1 前言

台灣屬於海島型國家, 位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交界帶, 屬於季風 氣候區, 並於夏秋雨季間經常有颱風侵襲, 颱風不僅帶來了強風與豪雨, 更因颱 風吹動而產生颱風巨浪, 巨浪對沿海地區居民造成金錢上與生命財產的損失, 並 且加速了海岸線的侵蝕, 造成國土流失。所以為了維護居民生命安全與國土的保 全,海岸保護為重要課題。

隨著經濟的快速發展與人類遊憩需求提升,海岸保護的重要性更為顯著。台 灣本身天然資源缺乏,石油、煤、礦物、天然氣…大多賴於對外進口,通常這些 物資因為成本關係都以海運為主。這也顯現出港口的設置對於台灣對外貿易的重 要性,再加上台灣經常有颱風侵襲,船舶要在港灣內穩定停靠與航行的安全性為 港灣工程的重要課題。而在傳統上,保護海岸的工法包括海堤、突堤、離岸堤等 消波設施。傳統工法常以高於海平面的混凝土結構物或消波塊所構成,破壞了自 然景觀,影響民眾戲水遊憩的氣氛。此外近年來生態工程意識提升,許多環境保 護團體極力推動生態工法,目前許多工程也以生態工法為優先考慮。而孔隙結構 屬於柔性材料,補足以往剛性材料的不足,並且能提供水中微生物的附著,增加 生物的多樣性來達到生態工程的效果。

根據孔隙材料幾何結構的組成可分為以下兩類-孔隙底床與孔隙結構物。孔隙 結構物與水體的交互作用不同於不透水結構物的地方在一當水體通過孔隙結構物 時,除了流體產生的剪力傳遞至內部外,流體亦以穿越流形式進入結構物內部, 其所消耗的能量和不透水結構物有所不同,所以了解孔隙結構物與不透水結構物 流場的差異有助於工程上的評估。

1

在波浪與結構物的交互作用試驗中,主要有三種方法進行-水工模型試驗、 理論分析與數值模擬。水工模型試驗通常費時、費力又花錢,如為了節省人力與 物力的消耗而縮小其尺度又會受到模型縮尺效應的影響。欲改善傳統水工模型試 驗所限制的地方,可嘗試利用數值模擬的方式描述波浪與孔隙結構物之間作用關 係來達到目的。

1-2 前人研究

波浪通過孔隙介質研究發展中,最早開始是以達西定率(Darcy's law)的概念, 粒徑大小組成對滲透係數(permeability, K)之研究如下:Hazen(1911),Kozeny(1927), Carmen(1937),Krumbein and Monk(1942)及 Mason(1997)等分別以試驗方法率定粒 徑、級配對滲透係數的影響。根據文獻指出,礫石滲透係數約在 0.01~10m/s,而 砂或混合砂約在 0.00001~0.01m/s 之間,粒徑大小對滲透係數影響可達到百萬倍的 差異。因此 Packwood and Peregrine(1980)定出基於層流(*Re_p*<10)假設之達西定律適 用臨界流速範圍。然而達西定律是在層流、均勻流與穩態流的前提下,因此在波 浪通過孔隙結構物的研究中達西定律無法完整描述此現象。

在波浪通過孔隙結構物的試驗研究中,因為侵入式測量儀器無法深入孔隙結構物內正確的量測欲求得的物理量,所以大部分試驗研究多以波浪通過孔隙介質 底床、離岸結構物的反射率、透過率或波能消散等議題為主。Iwasaki and Numata(1970)探討波浪通過孔隙結構物其反射率和透過率變化情形。Dattatri 等人 (1978)以水工模型探討潛堤形狀、入射波參數對潛堤周圍流場的影響變化,發現潛 堤之沒水深度與堤寬為影響透射波的最大參數,在入射波與堤高固定下,波浪的 透射率會隨著沒水深增加而增加,堤寬越大對於波高的削減越好。Gu and Wang(1991)探討有關波浪與剛性顆粒底床之交互作用進行了試驗測量與理論推導,

試驗中採用了12種不同多孔礫石舖設底床,孔隙率為0.349~0.382,量測波浪在透 水底床之减衰率。黄與林(1997)的試驗中討論到波浪通過透水潛堤的反射率與透過 率以及堤內孔隙水壓的變化。而在Stuart(1998)進行拋石潛堤的波浪透過率的研究, 證實了沒水深與入射波高的比值為影響透過率的重要參數。潛堤在不同孔隙下消 波特性研究有:張(2006)"孔隙斜坡底床上波浪衰減之試驗研究"中提到不同孔隙與 孔隙厚度(材料厚/材料堤址水深)對波能的削減關係,結果顯示相對水深與波高衰 减成線性關係,也就是說進行波隨著相對水深變小而變小,當孔隙底床之厚度與 水深比大於 0.2 以上時,波高衰減的幅度趨於平緩,說明了波浪消減只在某孔隙底 床範圍內。許(2006)"波浪通過孔隙底床之傳播特性"指出孔隙率較大的底床無因次 化波長與距離(孔隙底床的距離)越大以及波讓尖銳度大的情況下,會產生較大的波 浪衰減率,也就是說入射波越大被衰減程度越大。若以碎波為主要消能方式,則 入射波被消減越多其碎波機會下降。涂與邱(1998)以水工試驗方法進行單層、雙層 與三層透水潛堤消波特性之研究,潛堤孔隙率及摩擦係數各為三種不同組別,第 一層孔隙率最大接著一次遞減,討論其透過率、反射率與能量損失。陳(2001)針對 各種規則粒徑及不規則石料之滲透係數及阻力係數關係作深入推論及研究,為進 一步研究孔隙介質內流場特性之基礎。

在波浪通過孔隙結構物之理論與數值研究中,Putnam(1949)以達西定律及波浪 在透水底床交界面之壓力變化與在不透水底床相同假設下,由透水底床滲流定出 波浪能量損失,其研究指出當水深超過 0.3 倍波長時透水層對波能消散不具影響力。 Reid and Kajiura(1957)進一步以非穩定態之達西定律取代 Putnam(1949)的穩態之達 西定律,並於透水底床邊界導入壓力連續及法線方向流速之邊界條件。研究結果 指出波浪通過透水底床上之分散關係式,且發現透水底床滲流對波長、相位速度 和群波速度之影響甚小。早先 Ward(1964)探討均勻流中孔隙物質內流場之運動方 程式,將阻力項分成層流及亂流摩擦阻力,再依因次分析決定摩擦因子和孔隙物 質特性、流體黏滯性等關係。Sollitt and Cross(1972)提出利用 Lorentz 能量等功原

3

理,針對線性摩擦係數來描述孔隙介質裡流體的能量消散特性,將摩擦力項經過 線性化處理,並針對孔隙結構物的孔隙率提出孔隙流速式來描述孔隙結構物流體 及波浪運動,並且引用特徵函數展開法求得均勻直立式多孔牆受正向入射波之反 射系數與透過系數,其理論現今仍受許多學術界學者所引用。Madsen(1983)延續 Sollitt and Cross(1972)的方法,研究有關於在岸壁前加入透水層來消減波能力,與 沒設置透水層相比效果更好。而 Lee(1987)更進一步將此勢流理論擴展到非等向性 之複合堤之流場解析,其方法是以分離變數法求解邊界值問題的特徵值,即可得 到留場支流速勢。有關於孔隙內部的流速、壓力等物理量量測試驗方面,Losada 等人(1995)以試驗方法量測均勻孔隙結構物波高、水分子速度、壓力變化及流場變 化,研究中討論有關於孔隙水動力之時空變化並驗證了 Sollitt and Cross(1972)理論, 研究結果顯示結構物的相對寬度為影響波浪透過率大小的一項重要參數,試驗結 果指出當流體通過孔隙介質時,因對流擾動項而產生之二階諧波較一階諧波顯著, 因此Losada 等人(1995)指出Sollitt and Cross(1972)之線性化孔隙流方程式僅適用在 孔隙率相當大的孔隙結構物上。柯(1997)在線性考量下,根據 Lee(1987)的理論對 張力式可透水浮堤與波浪間之交互作用進行解析,並特別根據 Dispersion 方程式特 性,定出每個複數特徵值的大約範圍及位置,證明無窮級數解的收斂性。游(1999) 做可變形浮式結構物研究時,針對浮堤變形行為、Tension Leg 與波浪場三者間之 交互作用做理論與實驗之驗證。

Sulisz(1985)使用邊界元素法(Boundary Element Method, BEM)解析不同透水 材質、梯型透水結構物,並且與實驗做比對得到良好的符合結果。Liu 等人(1999) 提出模擬波浪通過孔隙結構物模式,研究有關碎波與未碎波下流體與結構物之交 互作用。該模式以 Lin and Liu(1998)的模式為基礎,在孔隙層外以 k-ε 雷諾平均 Navier-Stokes 方程式求解流場與紊流場,在孔隙層內採用空間平均處理。該模式 採用 Van Gent(1995)之流體阻抗模式,模式中根據試驗所率定之經驗參數提供較佳 的模擬結果,然而該模式未直接解出孔隙介質內之紊流特性。張(2004)利用數值方 法模擬造波水槽波浪運動來探討微小振幅波、Stokes 高階波與孤立波,與透水結構 物互制時,液面的變化及內部流場變化情形,研究中透水結構物外部流體使用 Navier-Stokes 方程式,而結構物內部利用 Solitt 及 Cross(1972)所推得之方程式加入 流體之對流慣性力項與黏滯力項,使其微分方程型式與 Navier-Stokes 方程式類似, 並以非線性的自由液面邊界條件呈現波浪場中非線性與黏性效應的影響。Jeon 與 Cho(2006)針對系列透水與不透水梯型潛堤之布拉格反射特性分別進行數值與試驗 研究;關於數值模擬部分是以 RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes equations)做 為控制方程式,並配合 k-ε紊流模式,其自由液面採用自由表面跟蹤技術(Volume of Fluid, VOF)處理,討論有關於波浪通過潛堤之流場速度變化與其反射率,研究結 果發現當透水潛堤列數增加時反射率亦增加,且透水潛堤反射率較不透水潛堤低。 謝等(2008)發展一波浪通過透水結構數值模式,在無結構物區採用 RANS 模式,在 透水結構物區採用 Volume-Average RANS 方程式及 k-ε紊流模式來模擬紊流流場, 自由液面以 VOF(Volume of Fluid)方法處理,討論波浪在透水結構物附近流場及紊 流動能變化情形。

有關於利用 FLOW-3D 計算流體力學軟體應用在水利或海洋工程上相關研究 有:陳(2007)利用 FLOW-3D 模擬保護工對橋墩周圍底床沖淤變化的影響,模擬結 果得知保護工將正向水流分為左右兩股水流,雖然造成渠道兩側產生高速水流, 但在保護工後面形成一廣大的流速緩慢區,緩慢區涵蓋了整個橋墩來達到保護橋 墩的效果。黃(2007)以 FLOW-3D 對排沙漏斗渦流特性進行觀察研究,發現排沙漏 斗內部導板末端所產生的擾流現象,容易造成細顆粒泥沙隨渠槽出流水排出。楊 (2008)以 FLOW-3D 模擬含沙流體衝擊壩體來仿造出土石流衝擊壩體時壩前流場變 化情形,以及討論三種不同壩體對於囚砂率的影響,由模擬結果可知在相同條件 下直立壩囚砂率較佳,曲面壩次之,斜面壩最差。林(2008)以 FLOW-3D 模擬船舶 岸壁效應,並以圖表及動畫顯示船舶航跡及其船艉渦流,流場壓力分佈,橫移力 與偏航矩的比較。並且驗證 FLOW-3D 理論與實驗值一致性,利用數值航道的經濟

5

性與重複性將模擬結果建立相依關係圖,供航海教學與訓練參考。賴(2009)"波浪 與粗粒徑斜坡底床傳遞之試驗與數值研究",在數值研究中利用 FLOW-3D 的孔隙 體模式與三維直接解析模擬波浪通過孔隙結構物時流場變化情形,並比較兩者與 實驗結果的準確性,並且以 FLOW-3D 模擬不透水與孔隙底床波浪變形、流場及紊 流特性,並比較兩者之差異性。褚(2010)以 FLOW-3D 建構一數值水槽模擬規則波 與複合式透水結構,探討波浪與結構物交互作用時速度分布與反射率,並且與前 人研究結果比較。

1-3 研究目的

海岸工程的相關研究最終目的是為了保護海岸與港灣免於海浪侵蝕影響生命 財產的安全,隨著經濟發展與科學研究進步,礫石海灘的地形變化與拋石護岸的 研究逐漸受到重視,此議題就關係到波浪與孔隙結構物作用在先前研究中利用 FLOW-3D 數值軟體模擬波浪與結構物交互作用,造波是利用 FLOW-3D 內建的波 浪邊界造波,而內建的造波方式為利用波浪理論給定波形與速度來產生波浪,為 了能更貼切模擬實驗室實況本文嘗試以模擬造波板在數值水槽造波;再加上模擬 孔隙結構物時,依照使用者手冊所給的建議設定阻力參數,模擬出來的結果與試 驗結果有很大的差異,所以本文將利用結構形態簡單的孔隙結構物以水工模型實 驗與數值模擬互相比對,並且找出合適的阻力參數,本文主要工作如下:

- 1. 以FLOW-3D 建立一數值水槽,並且以造波板方式造波。
- 2. 以水工模型實驗與數值模擬找出合適的孔隙介質阻力參數。
- 以水工模型實驗與數值模擬探討波浪受不同型式孔隙結構物的影響結果。

1-4 本文組織

- 第一章 緒論:包含了前言、文獻回顧、研究目的與本文組織大致介紹本論 文的內容。
- 第二章 數值模式:介紹 FLOW-3D 軟體,並詳述控制方程式與 FLOW-3D 內 在本論文有用到的模式。說明 FLOW-3D 操作流程以及本論文模擬的設定 參數,並且做網格獨立性分析。
- 第三章 水工模型實驗方法與分析方法:詳述實驗設備、波浪條件、模型設 置與實驗方法,並且說明分析資料的方法。
- 第四章 結果與討論:呈現水工模型實驗與數值模擬的結果,並討論結果的 特性。
- 第五章 結論與建議:對本研究做綜合性討論與重點說明,並且針對研究中 不完善部分提出後續改進的建議。

第二章 數值模式

2-1 模擬軟體介紹

1963年,美國國家實驗室(Los Alamos National Laboratory, LANL)的Dr. C. W. Hirt開創了非常重要的流體力學動力學法,例如:自由表面跟蹤技術。1980年Dr. Hirt 創辦Flow Science Inc,於美國新墨西哥州Alamos成立,其目標是提供一套計算精 確的CFD(計算流體力學)軟體。1985年,FLOW-3D®商業版正式釋出。其特有 的體積分率法(Fractional)計算技術,能提供真實且詳盡的自由液面描述,非常適合 做流固耦合試驗的虛擬實驗室。例如:使用FLOW-3D來模擬船舶岸壁效應、土石 流衝擊攔沙壩研究...等。其軟體操作介面如圖2-1所示。



圖2-1 FLOW-3D V9.4 程式介面

FLOW-3D 是一套近年來眾多人使用的計算流體力學(Computional Fluid Dynamics, CFD)軟體。一般的數值模擬是利用切割許多網格,每個網格之間包含 著相互關聯的關係,而節點是用來暫時儲待定的參數,例如:壓力、溫度...等物 理量。由網格所組成的數值空間取代原本連續的物理空間。流體運動方程式使用 離散的方法定義出流體參數、設置邊界條件與求得數值解。FLOW-3D 計算方式為 將流體空間分割為矩形儲存格。計算網格有效的離散物理空間,在網格中每個離 散點上的值代表著每個流體參數。因為實際物理參數在空間中是連續的,網格中 節點與節點間取得適當的距離將可以得到有代表性的結果來描述實際物理情況。 使用數值逼近來趨近一個物理性質,當網格間的距離縮減無法更趨近物理性質, 則將視為一個不正確的結果。網格的細化可以增加模擬的精確度,但相對的所需 要的硬體需求相對提高,使用者應在數值模型的大小與精確度取得一適當的平 衡。

2-2 基本控制方程式

FLOW-3D 理論基礎在於質量守恆方程式、動量方程式與能量守恆方程式等, 因此它可以應用在大部分流體運動的模擬上,其遵守的數學模式為 Navier-Stokes 方程式。現今之解析法仍未能完全解析此偏微分方程式,故採用數值方法來模擬, 以下幾小節即描述 FLOW-3D 幾個控制方程。

2-2-1 Navier-Stokes 之控制方程式

在古典力學中,物質體系所遵循的物理法則是「質量守恆」與「動量守恆」, 對於三維不可壓縮黏性流體其連續方程式與動量方程式在直角坐標系統下的形式 為:

(1) 連續方程式

9

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$
(2-1)

(2) 動量方程式

在 x 方向, y 方向和 z 方向分别表示如下:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$
(2-2a)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + v \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$
(2-2b)

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + v \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - g$$
(2-2c)

上式中(*u,v,w*)分別表示水平和垂直方向瞬時速度分量,(*x,y,z*)分別為水平和 垂直方向之座標, *P* 為瞬時壓力, 而ρ、ν分別為流體之密度和運動黏滞係數 (kinematic viscosity),在數值模擬過程中假設不受其他因素之影響而保持定值。

2-2-2 FLOW-3D 之控制方程式

(1) 質量連續方程式 (Mass Continuity Equation)

質量連續方程式一般型式如下:

$$V_{F} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_{x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_{y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_{z}) = R_{DIF} + R_{SOR}$$
(2-3)

上式中 V_F 是流體體積比, ρ 是流體密度, R_{DIF} 是紊流擴散項, R_{SOR} 是質量源項, (u,v,w)是(x,y,z)座標方向的流體速度, $A_x \cdot A_y \cdot A_z$ 分別是 $x \cdot y \cdot z$ 方向流動的通量面積比。

$$R_{DIF} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\upsilon_{\rho} A_{x} \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(\upsilon_{\rho} A_{y} R \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\upsilon_{\rho} A_{z} \frac{\partial \rho}{\partial z} \right) + \xi \frac{\rho \upsilon_{\rho} A_{x}}{x}$$
(2-4)

上式中係數 v_{ρ} 等於 $c_{p}\mu/\rho$, μ 是動量擴散係數(momentum diffusion)(例如:黏

度), c_p 是參照紊流施密特數(turbulent Schmidt number)倒數的常數項。 ξ 為座標系統指標,若使用卡式座標時 $\xi=0$,若為圓柱座標則 $\xi=1$ 。

其中在(2-3)式中, R_{sor}可被當作密度源項,例如模擬質量穿越多孔障礙物時。 對於求解可壓縮流體時則必須對(2-3)給定密度傳輸方程式。對於不可壓縮流,流 體密度ρ是常數,則(2-3)式可簡化為不可壓縮流的情況:

$$R_{SOR} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial}{\partial x} (uA_x) + R \frac{\partial}{\partial y} (vAy) + \frac{\partial}{\partial z} (wAz) + \xi \frac{uA_x}{x} \right)$$
(2-5)

(2) 動量方程式(Moment Equations)

以卡式座標的形式將Navier-Stokes 方程式展開可得(x,y,z)三個方向的流體速度(u,v,w):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} \left(u - u_w - \delta u_s \right)$$
(2-6a)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} \left(v - v_w - \delta v_s \right)$$
(2-6b)

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} \left(w - w_w - \delta w_s \right)$$
(2-6c)

上式中 $U_w = (u_w, v_w, w_w)$ 是流場中模擬物體之運動速度, (G_x, G_y, G_z) 是物體之 加速度, (b_x, b_y, b_z) 是通過多孔隙介質或閘板時減少的流動, $U_s = (u_s, v_s, w_s)$ 是流體 表面速度, δ 為壓力源項形式指標,若為靜壓力時, $\delta = 1.0$,若為停滯壓力,即流 體進入計算領域之流速為0,則 $\delta = 0 \circ (f_x, f_y, f_z)$ 為 $x \cdot y \cdot z$ 個方向的黏滯項,即:

$$\rho v_F f_x = wsx - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xx}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{xz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xx} - A_y \tau_{yy}) \right\}$$
(2-7a)

$$\rho v_F f_y = wsy - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(A_x \tau_{xy} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(A_y \tau_{yy} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_z \tau_{yz} \right) + \frac{\xi}{x} \left(A_x \tau_{xx} - A_y \tau_{xy} \right) \right\}$$
(2-7b)

$$\rho v_F f_z = wsz - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xz}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{zz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xz}) \right\}$$
(2-7c)

上式中_{*t*ij}代表液體剪應力,第一下標為作用面,第二下標為作用方向:

$$\tau_{xx} = -2\mu \left\{ \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right\}$$
(2-8a)

$$\tau_{yy} = -2\mu \left\{ R \frac{\partial v}{\partial y} + \xi \frac{u}{x} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right\}$$
(2-8b)

$$\tau_{zz} = -2\mu \left\{ \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right\}$$
(2-8c)

$$\tau_{xy} = -\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial x} + R \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\xi v}{x} \right\}$$
(2-8d)

$$\tau_{xz} = -\mu \left\{ \frac{\partial u}{\partial z} + R \frac{\partial w}{\partial x} \right\}$$
(2-8e)

$$\tau_{yz} = -\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial z} + R \frac{\partial w}{\partial y} \right\}$$
(2-8f)

(3) 流體界面與自由液面

數值方法要表現自由液面有許多種方式,在 FLOW-3D 中是用流體體積法 (Volume of Fluid, VOF),此方法提供了經由固定網格追蹤流體介面的方法,且能準 確的處理自由液面。

流體體積法是 Hirt and Nichols(1981)兩人所提倡,是將計算網格點額外再定義 一流體比例函數 F(x, y, z, t), F之位置與壓力變數相同,皆位於網格的中心點,其 值位於 0 和 1 之間,若 F=1 表示流體完全填充;若 F=0 表示沒有流體;若其值介 於 0 和 1 之間表示部分填充,而其部分填充的元素就是流體介面,F函數值之控制 方程式為:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \nabla \cdot \left(F \vec{u} A_f \right) = 0 \tag{2-9}$$

上式中 V_f 是體積比, A_f 是面積比, \overline{u} 是流速。

自由表面會隨著時間而變動,因此每一個網格之 F 值也會跟著變化才能表現 出自由液面的變化。目前大部分 CFD 軟體在自由液面的計算上多是根據此方法進 行開發。FLOW-3D 在自由液面的模擬更加完整,稱為 TrueVOF,可使得網格建立 容易、減少記憶體的使用量、減少電腦計算時間,也可以使得網格元素可以有效 符合一般幾何形狀。



圖2-2 二維直角網格面積和體積比例係數計算示意圖(摘自林(2008))

圖 2-2 所示,虛線部分表示自由液面的真實情況, $A_f n V_f$ 表示自由液面在計 算網格所占比例, S_{obj} 表示表面積、n為表面向量, \overline{U}_{obj} 表示自由液面在網格間移 動的速度,V cell 表示每一立方網格之總體積。

(4) 物體運動模式(General Moving Object Model, GMO)

一般在 FLOW-3D 製造波浪是使用內建的造波邊界來造波,在造波邊界上如需要模擬造波板造波,則需要利用物體運動模式(GMO)在模擬空間中模擬造波板造波。

在 GMO 模式中可使物體做出與流體的耦合運動或者是依照所給定的運動方

式使物體運動,並且可由固定軸或固定點來做六個維度的運動。在一個模擬問題 中可讓多個物體做不同形式的獨立運動。

GMO 模式是在 FLOW-3D 中物理模式和數值方法最常使用的卡式座標與圓柱 座標中運作,但還是有其限制的地方,例如:運動物體必須是固體(solid)不可為有 孔隙物體(porosity)、固定軸(fixed axis)必須平行座標系統的軸。

剛體運動方程式

為了方便計算在時間等於零時,物體系統座標(body system)(x',y',z')建立在每 個運動物體上且座標軸平行於空間系統座標(space system)。若物體是六個自由度的 運動其物體系統座標建立在質心G上。兩個系統的座標轉換如下:

$$x_s = [R] \cdot x_b + x_G \tag{2-10}$$

 x_s 和 x_b 分別為在空間系統座標和物體系統座標中,點的位置向量, x_G 為在空間系統座標中質心的位置向量,[R]為正交座標轉換張量其形式為:

$$\begin{bmatrix} R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}$$
(2-11)

一向量A轉換方式如下:

$$A_s = [R] \cdot A_b \tag{2-12}$$

[R]的計算方法如下:

$$\frac{d[R]}{dt} = [\Omega] \cdot [R]$$
(2-13)

$$\begin{bmatrix} \Omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\Omega_z & \Omega_y \\ \Omega_z & 0 & -\Omega_x \\ -\Omega_y & \Omega_x & 0 \end{bmatrix}$$
(2-14)

 Ω_x, Ω_y 和 Ω_z 分別為在空間系統座標中物件的角速度。

根據動力學,剛體運動可被分離成兩種位移,分別為直線的運動(translational motion)與轉動的運動(rotational motion)。在剛體中任何一點的直線位移速度和轉動

角速度皆相等,所以有以下的推論首先以 p 當作運動物體上的任意點,其速度關係與質心速度V_G和角速度ω有關,其關係如下:

$$V_p = V_G + \omega \times R_{p/G} \tag{2-15}$$

其中 R_{p/G} 為質心 G 到 p 的距離向量。而剛體運動的兩種位移方程式如下所示:

$$F = m \frac{dV_G}{dt}$$
(2-16)

$$T_{G} = [J] \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega \times ([J] \cdot \omega)$$
(2-17)

其中 F 為總合力、m 為剛體質量、 T_G 為質心總合力矩、[J] 為在物體座標系統(body system)中的質量慣性矩張量,其形式如下:

$$\begin{bmatrix} J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} \end{bmatrix}$$
(2-18)

其中 J_{11} 、 J_{22} 和 J_{13} 為質量慣性矩,而其他元素組成方式如下:

$$J_{11} = \int (y'^2 + z'^2) dm, J_{22} = \int (x'^2 + z'^2) dm, J_{33} = \int (x'^2 + y'^2) dm$$
(2-19)

$$J_{12} = J_{21} = -\int x' y' dm, J_{13} = J_{31} = -\int x' z' dm, J_{23} = J_{32} = -\int y' z' dm$$
(2-20)

(5) 孔隙介質模式

在現實生活中,土壤、海綿、礫石堆...等都是孔隙介質。在微觀尺度下,空間中速度和壓力是不規則的,但在巨觀的尺度下,用平均體積代表流體會有不錯的結果。

通常在描述孔隙介質會利用孔隙率的大小來表現流體通過孔隙介質時的特性, 當孔隙的大小遠小於流體的範圍則可以忽略個別的孔隙大小,可採用孔隙介質模 式來進行模擬。

孔隙介質控制方程式

孔隙率的定義方式為孔隙體積除以總體積,以 Ø 表示。1956 年法國工程師 Henry Darcy 指出通過孔隙介質之單一方向之體積流量是由孔隙介質前後壓力差所 造成的,即:

$$U = -\frac{K}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x}$$
(2-21)

(2-21)式為達西定律(Darcy's law), U 為巨觀速度,係數 K 是材料的滲透係數, μ 是黏度。在孔隙介質中流體組抗可以表式(2-6)式中的拖曳力,而拖曳力正比於 速度:

$$b = F_d u \tag{2-22}$$

其中 F_d 是多孔隙介質阻力係數。由滲透係數 K 根據(2-23)是可得到阻力係數 F_d 。

$$K = \frac{\phi\mu}{\rho F_d} \tag{2-23}$$

渗透係數

滲透係數 K 是由幾何因素決定,因此可以從顆粒大小與纖維直徑訂出滲透係數。由水力半徑理論可以得到 Carmen-Kozeny 方程式(Carmen,1937),如下:

$$K = \frac{D^2 \phi^3}{180(1-\phi)^2}$$
(2-24)

孔隙介質阻力係數根據雷諾數

在 FLOW-3D 孔隙介質阻力係數與雷諾數關係如下:

$$F_{d} = \frac{\mu}{\rho} \frac{1-\phi}{\phi} \left[a \frac{1-\phi}{\phi} + b \frac{\operatorname{Re}_{p}}{D} \right]$$
(2-25)

其中 a = 180/D²,而 b 之範圍介於 1.8/D~4.0/D,b 越大則越粗糙。參數 b 的 定義具有選擇性,初始設定為 b=0。而孔隙介質之飽和流體的孔隙雷諾數(pore Reynolds number)由下式計算:

$$\operatorname{Re}_{p} = \frac{\rho UD}{\mu}$$
(2-26)

(6) 紊流模式

紊流傳輸模式

單一方程(one-equation)紊流傳輸模式包含了紊流速度擾動相關之紊流動能傳輸方程式

$$k_r = \frac{1}{2} \left(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2} \right)$$
(2-27)

其中(2-27)式中的三項速度分別對應 x、y、z 三方向上與紊流有關的流體速度, 係數 1/2 是由三個座標方向上的紊流動能擾動總合而來。

傳輸方程式包含紊流能量的對流與擴散。紊流能量乘機是由於剪應力和邊界 的影響,能量消散是由於黏滯力損失伴隨著紊流漩渦,以上這些全都包含在模式 當中,其形式如下:

$$\frac{\partial k_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial k_T}{\partial x} + vA_y \frac{\partial k_T}{\partial y} + wA_z \frac{\partial k_T}{\partial z} \right\} = P_T + G_T + Diff_T - \varepsilon_T$$
(2-28)

其中 k_T 為紊流動能, V_F 、 A_x 、 A_y 、 A_z 為 FLOW-3D 中 FAVORTM 方程式之參 數, P_T 為紊流動能生成項

$$P_{T} = CSPRO\left(\frac{\mu}{\rho V_{F}}\right) \begin{cases} 2A_{x}\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^{2} + 2A_{y}\left(R\frac{\partial v}{\partial y} + \xi\frac{u}{x}\right)^{2} + 2A_{z}\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^{2} \\ + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + R\frac{\partial u}{\partial y} - \xi\frac{v}{x}\right) \left[A_{x}\frac{\partial v}{\partial x} + A_{y}\left(R\frac{\partial u}{\partial y} - \xi\frac{v}{x}\right)\right] \\ + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}\right) \left(A_{z}\frac{\partial u}{\partial z} + A_{x}\frac{\partial w}{\partial x}\right) \\ + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + R\frac{\partial w}{\partial y}\right) \left(A_{z}\frac{\partial v}{\partial z} + A_{y}R\frac{\partial w}{\partial y}\right) \end{cases}$$
(2-30)

其中 CSPRO 是紊流參數,其預設值為 1.0, R 和 ξ 與圓柱座標系統有關。而浮 升產生項為:

$$G_{T} = -CRHO\left(\frac{\mu}{\rho^{3}}\right)\left(\frac{\partial\rho}{\partial x}\frac{\partial P}{\partial x} + R^{2}\frac{\partial\rho}{\partial y}\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial\rho}{\partial z}\frac{\partial P}{\partial z}\right)$$
(2-31)

CRHO 為另一個紊流係數,其預設值為 0.0,但是模擬與熱氣的浮升流體有關的問題時其預設值為 2.5。擴散項形式為:

$$\frac{\partial \varepsilon_{T}}{\partial t} + \frac{1}{V_{F}} \left\{ uA_{x} \frac{\partial \varepsilon_{T}}{\partial x} + vA_{y} \frac{\partial \varepsilon_{T}}{\partial y} + wA_{z} \frac{\partial \varepsilon_{T}}{\partial z} \right\} = \frac{CDIS1}{k_{T}} \left(P_{T} + CDIS3 \cdot G_{T} \right) + Diff_{\varepsilon}$$

$$-CDIS2 \frac{\varepsilon_{T}^{2}}{k_{T}}$$

$$(2-33)$$

其中 CDIS1、CDIS2、CDIS3 為可調整的無因次參數,在k-ε模式中其預設 值分別為 1.44、1.92、0.2。在(2-33)中 Diff。為

$$Diff_{\varepsilon} = \frac{1}{V_{F}} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\upsilon_{\varepsilon} A_{x} \frac{\partial \varepsilon_{T}}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(\upsilon_{\varepsilon} A_{y} R \frac{\partial \varepsilon_{T}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\upsilon_{\varepsilon} A_{z} \frac{\partial \varepsilon_{T}}{\partial z} \right) + \xi \frac{\upsilon_{\varepsilon} A_{x} \varepsilon_{T}}{x} \right\} (2-34)$$

2-3 FLOW-3D 模擬流程

本節將介紹 FLOW-3D v9.4 版模擬的流程,在一個模擬案例中主要分成兩大項 目:1. 模式建立、2.分析,模式建立主要動作為建模,分析為選擇所需要的物理 特性並進行輸出與資料分析。以下將針對模式建立在 FLOW-3D 介面與分析各項細 節做完整說明,整個模擬流程如圖 2-3。

(1) 模式建立(Model Setup)

基本環境設定(General)

在此選單裡設定基本數值模擬設定如:模擬時間、單位制度、壓縮留或不可 壓縮流與計算精度皆在此選單中調整。

物理模組(Physics)

在此選單提供數十種物理模組選擇,在本論文選擇四個主要物理模組:1.重力 (Gravity),根據所選擇的單位制度來輸入 $x \cdot y \cdot z =$ 方向重力值。2.GMO 模 組,此物理模組為因應造波板造波所選擇的物力模組,此模組為提供在模擬 中任何需要控制移動方式的物件相關設定。3.孔隙介質(Porous media),設定孔 隙介質阻力方程式所根據的物理理論,以及設定阻力參數,有關於各個不同 孔隙介質阻力參數設定亦可於之後網格與幾何(Meshing&Geometry)選單中做 個別的調整。4.黏性與紊流(Viscosity and turbulence),此模組為選擇紊留所根 據的物理理論,在本文選擇 $k - \varepsilon$ 模式做為紊流基礎。

流體選擇(Fluids)

此選單為調整流體的各種物理性質的地方。

網格與幾何(Meshing&Geometry)

在此選單中可控制網格的切割與大小,並且為設置模擬中各種結構物的大小與 位置,造波板與孔隙結構物即在此設定。並且能針對各個結構物的物理特性做 調整。

邊界設定(Boundaries)

在此選單為設定各邊界的邊界條件。

初始條件(Initial)

設定模擬初始條件如初始水深、大氣壓力...等,皆在此選單重設定。

輸出設定(output)

FLOW-3D 輸出資料有三種資料選項 1.Restart data 2.History data 3.Selected data 前兩個資料選擇為基本資料,若所需的物理資料沒出現在前兩個資料中,可在 Selected data 選擇所需的物理資料。在此選單可調整各個資料的擷取頻率。

數值方法(Numerics)

此選單提供時間步長(Time-step)的設定以及各種物理數值方法的計算選擇皆 可在此選單中作控制。

(2) 分析(analyze)

於此選單進行資料輸出,選取所需的資料與格式進行資料輸出。本文選擇水 位資料,再利用 matlab 對水位資料進行後續的資料分析如反射率的計算、對 資料作圖、波浪條件測定...等。



圖2-3 FLOW-3D模擬流程

2-4 GMO 模式控制與數值模擬設定

2-4-1 GMO 模式造波

以往利用 FLOW-3D 模擬波浪之相關研究,皆以 FLOW-3D 內建的造波邊界來 模擬波浪。為了能更貼切的模擬水工實驗室斷面水槽的研究,本文將利用 GMO 模 式來模擬造波板造波的運動行為來達到造波的效果。

在 2-2-2 小節中有提到 GMO 模式可提供物體做六個維度的運動,而在模擬造 波板運動的案件中物體只需做 x 方向直線的運動(translational motion), GMO 模式 中, x 方向的直線運動控制方式有兩種:1.輸入運動速度的時間變化 2.簡諧運動。 由於造波板運動方式為簡諧運動故選擇第二種方式來模擬, 簡諧運動方程式如 下:

$$V = A\sin(2\pi ft + \phi_0) \tag{2-35}$$

其中 V 為物體運動速度、A 為 sin 函數中的振幅、f 為頻率、φ 為 sin 函數中的 初始相位角,控制物體做簡諧運動只需輸入A、f、φ。

由於一般活塞式造波板造波是根據以下方程式來得到所需衝程:

$$S = H \times \frac{\sinh(kh)\cosh(kh) + kh}{2\sinh^2(kh)}$$
(2-36)

其中S為衝程、H為波高、h為水深、k為2π/L(L 為波長),所以要控制造 波板所造出的波浪符合輸入的波浪條件可借由(2-36)式來得到造波板所需衝程。

要利用 GMO 模式來模擬造波板造波首先要控制其衝程,也就是要能控制簡諧 運動中的振幅,根據(2-35)式我們可控制造波板的速度,若要控制振幅則需以(2-35) 式對時間 t 做積分得到 x 位移為:

$$x = -\frac{A}{2\pi f} \cos\left(2\pi ft\right) \tag{2-37}$$

積分的過程中預設其初始相位角為零,則(2-37)式中 $\frac{A}{2\pi f}$ 為物體作簡諧運動的

振幅,而造波板的衝程為簡諧運動振幅的兩倍,得到衝程為 A/πf 。所以利用 GMO 模式造波首先要知道造波條件,再利用造波條件來計算造波板所需衝程,接著利 用衝程計算簡諧運動中速度函數的振幅即可。

2-4-2 GMO 模式造波驗證與模擬設定參數

利用 GMO 模式模擬造波板造波首先要先確定 GMO 模式是否會依照我們所要的需求移動物件。在 2-3-1 小節有提到造波板會以簡諧運動移動,故只要驗證造波板是否會依照所輸入的衝程和週期來運動即可造出所需要的波浪條件。

GMO 模式下物件的依據點(reference point)在 x 方向隨時間的變化即為造波板 在 x 方向隨時間的位移變化情形。在此給定一造波板其衝程為 0.1 公尺、週期 2 秒、 起始位置坐標為(0,0,0)的條件下利用 GMO 模式模擬造波板隨時間變化的 x 方向位 置變動的情形如圖 2-4:



圖2-4 造波板x方向位置變動隨時間變化圖

由圖 2-4 可確定由 GMO 模式所控制的造波板能依照所輸入的條件移動,其週 期和衝程皆符合所給定的條件,移動方式為簡諧運動。有了上述的驗證後,現在 可以控制物體依照所設定的移動方式來進行移動,接著要驗證的就是所造出來的 波浪和實驗室造波水槽所造出來的波浪的吻合程度。

模擬斷面造波水槽的案例中,設定 FLOW-3D 邊界條件時,為了符合現實實驗 中邊界的實際狀況邊界設置如表 2-1,其示意圖如圖 2-5,此設定為合乎模擬出來 的結果符合物理現象所做出的設定。而其長、寬、高根據國立中山大學海洋環境 及工程學系造波池中的斷面水槽所設定,長、寬、高分別為 39.1m、0.1m、1.5m, 其中寬的部分在造波池的斷面水槽中實際上是 1.5m,為了讓模擬合乎經濟效益降 低網格數,做了對模擬出來的結果影響不大的調整,將寬調整為 0.1m,網格大小 為 2 公分,為了減少資料量過於龐大在本研究中模擬結果的資料擷取頻率設為 20Hz。而求解器數值控制參數設定如表 2-2。

邊界名稱	邊界設定
X min	Wall
X max	Wall
Y min	Wall
Y max	Wall
Z min	Wall
Z max	Outflow

表 2-1 邊界設定



圖2-5 邊界示意圖
時間步長控制 Time-step controls	
時間步長控制	穩定收斂
Time-step size controlled by	Stability and convergence
	自由表面係數 1.0
	Free surface
	表面張力係數 0.5
	Surface tension
穩定係數	次時步長控制係數 0.45
Stability factors	Sub-time step factor
	次時步長限制 10 次
	Maximum number of sub-time steps
	面積/體積比調整 -3.1
	Area/volume ratio adjustment

表 2-2 數值控制參數設定

壓力求解選項	Pressure solver options
隱性 Implicit	

顯性/隱性求解選項 Explicit/Implicit solver options			
黏性應力	顯性		
Viscous stress	Explicit		
對流	顯性		
Advection	Explicit		
流固耦合	顯性		
Moving object/ Fluid coupling	Explicit		
流體體積對流 volume of fluid advection			
Split Lagrangian method			

動量對流 Momentum advection

一階 First order

流求解選項 Fluid flow solver options

解動量和連續方程式 Solve momentum and continuity equations

經過測試 GMO 模式控制的造波板是否可以按照需求加以控制後,以下嘗試利用 GMO 模式控制物件模擬造波板製造波浪,其波浪條件為週期 1.6 秒、水深 0.6 公尺、波高 12 公分的條件下來做測試。

比照實驗室中的擺設,在FLOW-3D模式中擺放四隻波高計而波高計擺放位置 距造波板約七到八公尺之間,四支波高計所記錄的水位變化(擷取頻率為 20Hz)隨 時間變化資料再與實驗所測得的水位變化做比較。模擬的目的是要做出和實際造 波現象相符的結果,經過測試把(2-36)式中的衝程減少百分之十後造波板邊界模擬 值和實驗值較接近。實驗和利用 GMO 模式造波的自由液面變化時序列比較圖取第 一支波高計如圖 2-6 所示,由圖 2-6 可以看出造波板邊界模擬和水工實驗結果接近, 而利用內建造波邊界的結果略高於水工實驗的結果。一般在水工實驗中造波機所 造出來的實際波高值會略低於輸入波高值,所以造波板邊界與內建造波邊界須做 修正才能與水工實驗結果相符圖 2-6 中造波板邊界有修正過,而內建造波邊界則無 修正。



圖2-6 GMO模式造波與實驗造波自由液面變化時序列比較圖

2-5 網格獨立性測試

為了能確定所使用的網格大小可以準確的描述出物理現象,再考慮其精度與 電腦執行效率的情況下須進行網格獨立(Grid independence)過程以決定接下來模 擬中網格的大小,在此以網格大小與入射波水位變化之關係進行探討,做為研究 中前期網格測試。本文以1cm、2cm、3cm、4cm 做為網格獨立性測試的網格大小。

2-5-1 水位變化

在測試中所用的造波條件為週期 1.5 秒、波高 5 公分、水深 50 公分,其他模擬設定如 2-3-2 小節中所提到的模擬設定相同。量測入射波水位變化其量測點設置如同實驗室擺設,並且取第一支波高計位置水位資料來做比較。由圖 2-7 中可明顯 看出 4cm 網格所模擬出來的結果與另外三種網格大小比較結果偏差較大,而就 1~3 公分網格來比較 1cm 和 2cm 的結果較接近,考慮電腦執行的效率選擇 2cm 網格較 為合適。



圖2-7 網格獨立性測試:入射波水位變化

接著利用已確定的 2cm 網格模擬出來的入射波水位變化和實驗造出的入射波 水位變化來做比較,如圖 2-6 所示模擬結果與實驗相當的吻合。所以在接下來的研 究模擬中所使用的網格大小皆為 2cm,借以能用較經濟的電腦資源得到精度在可 接受範圍內的結果。

第三章 水工模型實驗方法與分析方法

實驗在國立中山大學海洋環境及工程學系造波池中的斷面水槽進行,長、寬、 高分別為 39.1m、1.5m、1.5m,在其中一側為玻璃觀測區,總共9片玻璃,每片玻 璃為2公尺,玻璃觀測區總長為 18 公尺。造波端配置為一活塞式造波機可造出所 給定的規則波與不規則波,在另一端鋪設孔隙結構物來觀測孔隙結構物的消波的 情形,孔隙結構物分別由粒徑 3.5cm、2.5cm、1.6cm 的彈珠所構成。

3-1 實驗設備

本文實驗部分主要的儀器設備如下:

(1) 斷面水槽

實驗載水工模型試驗場的二為斷面水槽(圖 3-1)進行,水槽包含玻璃觀測面與 造波設施。長 42 公尺、寬 1.5 公尺、深 1.5 公尺,實際波浪傳遞範圍為扣掉造波 設施所佔的空間後,為 39.1 公尺(包含孔隙結構物)。玻璃斷面可提供使用者觀測波 浪在水槽內變化情形,內置水位標尺提供使用者判讀水位來達到所需的水深。而 造波設備包含造波機及控制電腦。造波機(圖 3-2)採用丹麥水工試驗所(DHI)控制 系統,造波板為單片式造波板 1.5m×1.5m,採用直流伺服馬達、Moog 置伺服驅動 器、Bosch-Rexroth 制動器期可用衝程最大為 0.75m 及 DHI Waves Synthesizer 控制 軟體所構成的活塞式(piston type)造波系統,能產生規則波(1st Stoke's Waves)與不 規則波(JONSWAP)。

造波原理是透過電腦將試驗波浪週期及振幅資料經由軟體程式轉換成類比信號,接著控制油壓系統接受到訊號後推動造波板造出試驗的波浪條件。控制電腦 可遠端控制造波機,並架設在擷取電腦旁方便進行實驗時的控管。 (2) 電容式波高計及增幅器

水位量測是利用電容式波高計(圖 3-3、3-4),其原理是利用水位與測線電容呈線性關係來量測水位變化。每支波高計包含感應測線、電容檢測器及電源供應器, 測線是由鐵氟龍電線(PTFE)及電極形成一電容迴路,並隨著水位變化感應產生電 容變化,藉由電容檢測器量測電容變動再轉換成類比式電壓訊號,再傳到波高計 增幅器(圖 3-5)使用。

(3) 訊號擷取卡

由台灣研華科技 ADVANTRCH 所製造之訊號擷取卡型號 PCI-1713,可供 32 個頻道資料數位輸入,12-bit 的數位轉換,做為量測資料的收集。

(4) 雷射旋轉水平儀

在設定水槽裡各個點相對位置,使用日本 TOPCON 制的雷射旋轉水平儀 RL-VH3D(圖 3-6),其特性為垂直水平雙軸電子是自動整平,其精度水平垂直在 ± 20"內,最大量測距離可達 90 公尺,利用其垂直雙軸與旋轉特性來定位水槽內的 位置。

使用 Intel 四核心電腦、記憶體容量為 4GB,提供資料的擷取與儲存。並利用 MATLAB 所撰寫的程式來進行資料擷取與分析。並且有本實驗室所編寫的即時顯 示儀器頻道與訊號隨時間變化圖。







圖3-2 活塞式造波機



圖3-3 電容式波高計



圖3-4 電容式波高計



圖3-5 波高計增幅器



圖3-6 雷射旋轉水平儀

3-2 孔隙結構物模型設計及波高計配置

本實驗為定床實驗,底床為平坦的水泥地,並且在水泥壁面上塗上防水漆,既可以防水又可減少表面摩擦力。

孔隙結構物是利用彈珠所構成,要利用彈珠組成長 0.6m、寬 1.5m、高 0.7m 的長方體形狀必須克服彈珠因為表面摩擦力小並且形狀為圓球體,堆疊時如沒有 外框的支撐會因地心引力影響而坍塌,所以要設計能支撐彈珠堆疊後產生下滑壓 力並且不影響波浪通過時受到框架太大的影響,所以採用了不銹鋼架+不銹鋼網來 支撐彈珠。由於框架是要泡在水中為了防止鐵材容易生鏽故採用不銹鋼材質的鐵 材焊接而成,不銹鋼框架正面示意圖如圖 3-7 所示。孔隙結構物最多由三層不同粒 徑彈珠所組成分別為 3.5cm、2.5cm、1.6cm 三層框架擺放示意圖如圖 3-8。每一層 的大小皆為長 0.6m (x 方向)、寬 1.5m (y 方向)、高 0.7m (z 方向)的長方體,本實驗 孔隙結構物有四種不同類型如表 3-2,第一種為單層 1.6cm 粒徑(圖 3-9、3-10),第 二種為雙層孔隙結構物(圖 3-11、3-12),其粒徑分佈從波浪的行進方向來看 2.5cm →1.6cm,第三種和第四種皆為三層孔隙結構物(圖 3-13、3-14),主要差別在於粒 徑分佈一個是從波浪的行進方向來看 3.5cm→2.5cm→1.6cm,另一個則是從波浪的 行進方向來看 1.6cm→2.5cm→3.5cm,本文將前者作為第三種孔隙結構物而後者為 第四種孔隙結構物。

實驗波高計以及孔隙結構物(第三種孔隙結構物)配置如圖 3-15,波高計編號 1~4 為量測入射波波高資料,用途為檢測造波機所造出的波浪是否符合所輸入的預 定值,編號 5~8 的波高計為量測波浪通過孔隙結構物反射後的反射率。各支波高 計詳細的實際位置將列於表 3-1 中。

波高計編號	距離造波板位置(公尺)	波高計間距	間距說明	用途
1	7.238			檢測入射波
2	7.638	0.4	1-2	檢測入射波
3	8.039	0.401	2-3	檢測入射波
4	8.439	0.4	3-4	檢測入射波
5	32.678			計算反射率
6	33.121	0.443	5-6	計算反射率
7	33.574	0.453	6-7	計算反射率
8	34.015	0.441	7-8	計算反射率

表 3-1 波高計編號與位置

表 3-2 四種孔隙結構物示意圖

	示意圖
第一種孔隙結構物	
第二種孔隙結構物	
第三種孔隙結構物	<u> 波向</u> 3.5cm 2.5cm 1.6cm
第四種孔隙結構物	<u></u> 波向 1.6cm 2.5cm 3.5cm



圖3-7 孔隙結構物不銹鋼框架正視圖



圖3-8 三層不鏽鋼框架擺放示意圖



圖3-9 單層孔隙結構物(粒徑1.6cm)



圖 3-10單層孔隙結構物(粒徑1.6cm)



圖3-11 雙層孔隙結構物



圖3-12 雙層孔隙結構物



圖3-13 三層孔隙結構物



圖3-14 三層孔隙結構物



圖3-15 波高計及孔隙結構物配置示意圖

3-3 波浪條件

本文所設計的波浪是利用波浪尖銳度(波高/波長)當做設計條件,在斷面水槽 中所打出的波浪尖銳度最大極限內之波浪條件皆可使用。在國立中山大學海洋環 境及工程學系造波池中的斷面水槽所能造出的波浪尖銳度最大值大約在 0.07 左右, 只要選取尖銳度在 0.07 以內之波浪即可確定在斷面水槽中造波機所造出來的波浪 不會破碎。而其中波浪尖銳度的未知數-波長是利用線性波的分散關係式 $\sigma^2 = gk \tanh kh$ (dispersion equation)求得。

本研究中波浪條件主要分兩個組,區別是由 3-2 節提到的第一、二種孔隙結構 物為第一組波浪條件,波浪條件如下一水深 0.5、0.6 公尺,週期 1.6、1.9、2.2 秒, 波高 0.08~0.22 公尺,詳細波浪條件如表 3-3。

在 3-2 節所提到的第三、四種孔隙結構物為第二組波浪條件,波浪條件如下-水深 0.5、0.6 公尺,週期 1.5、2、2.5、3 秒,波高 0.05~0.25 公尺,詳細波浪條件如表 3-4。

35

第一組波浪條件						
水深(公尺)	週期(秒)	波高(公尺)	尖銳度			
	1.6	0.08 \cdot 0.1 \cdot 0.12 \cdot 0.14	0.022~0.040			
0.5	1.9	0.08 \ 0.11 \ 0.14 \ 0.17	0.018~0.042			
	2.2	0.09、0.13、0.17、0.21	0.017~0.043			
	1.6	0.08 \cdot 0.1 \cdot 0.12 \cdot 0.14	0.022~0.038			
0.6	1.9	0.09 \ 0.12 \ 0.15 \ 0.18	0.020~0.041			
	2.2	0.1 • 0.14 • 0.18 • 0.22	0.018~0.038			

表 3-3 第一組波浪條件

表 3-4 第二組波浪條件

第二組波浪條件							
水深(公尺)	週期(秒)	波高(公尺)	尖銳度				
	1.5	0.05 \cdot 0.1 \cdot 0.15 \cdot 0.2	0.015~0.066				
0.5	2	0.05 \cdot 0.1 \cdot 0.15 \cdot 0.2	0.011~0.048				
0.5	2.5	0.05 \cdot 0.1 \cdot 0.15 \cdot 0.2	0.009~0.044				
	3	0.05 \cdot 0.1 \cdot 0.15 \cdot 0.2	0.007~0.038				
0.6	1.5	0.05 \cdot 0.1 \cdot 0.15 \cdot 0.2	0.015~0.061				
	2	0.05 \cdot 0.1 \cdot 0.15 \cdot 0.2 \cdot 0.25	0.010~0.060				
	2.5	0.05 \cdot 0.1 \cdot 0.15 \cdot 0.2 \cdot 0.25	0.008~0.050				
	3	0.05 \cdot 0.1 \cdot 0.15 \cdot 0.2 \cdot 0.25	0.007~0.044				

3-4 實驗步驟(圖 3-16)

3-4-1 孔隙結構物設置

孔隙結構物是由彈珠所組成,設置孔隙結構物需利用圖 3-7 的不鏽鋼架+不鏽 鋼網來塑造出想要的直立壁形狀,採用彈珠粒徑有 1.6cm、2.5cm、3.5cm,並利用 三種粒徑組合成 3-2 節所提到的第一、二、三、四種孔隙結構物。

3-4-2 波高計架設

波浪資料是由 8 支電容是波高計經 AD/DA 轉換卡以 50Hz 頻率記錄。8 支波高計分成兩個部分,編號 1~4 波高計為記錄入射波浪資料,編號 5~8 波高計為記錄波浪通過孔隙結構物後反射回來的波浪資料,其配置示意圖如圖 3-15。

3-4-3 進水與波高計率定

孔隙結構物與波高計架設完成後即可進水,待水位淹至波高計最低感測端後進行波高計率定,率定值的迴歸係數 R² 要達到 0.999 以上才能進行後續實驗,使環境因素造成的誤差降到最低。

3-4-4 量測資料

資料記錄時間為造波機造浪前20秒就開始記錄水位資料變化,由波高計量測 之電壓訊號經增幅器放大訊號後,藉由類比一數位轉換卡將類比訊號轉換成數位 訊號,記錄電壓變化並儲存於擷取電腦中。

37



圖3-16 實驗流程圖

3-5-1 入射波觀測

在距離造波板約七公尺處擺放四支波高計(圖 3-15 編號 1~4)觀測入射波波浪 資料,利用四支波高計量測入射波是為了能取得多筆觀測值以防止儀器觀測誤差。 利用零上切方法計算出波浪實際週期、波高接著利用週期與水深藉由線性波理論 公式計算出波長與波速。

3-5-2 反射率計算

波浪經過水槽底端孔隙結構物會產生反射波,利用擺放在孔隙結構物前四支 波高計(圖 3-15 編號 5~8)做入、反射波分離,本研究是利用 Mansard & Funke(1980) 三點法計算反射率,利用三支波高計資料所量測的波形,計算波形的振幅與相位 角,當正確合成波形與量測合成波形之誤差平方和為最小的時候,再以最小二乘 法將合成波形加以分離,求得入、反射波振福與反射率。

計算反射率的資料擷取段的取法如下一取一個成熟波,利用計算出來的波速 估計波浪通過孔隙結構物反射後到波高計所需的時間,即可擷取一段一次反射後 的波高資料。選取資料段後,先利用內插法加密資料點數,在此加密資料點的用 意在於下一個步驟在選取一個波時,若資料點不夠密,選取一個波時會比較不完 整。加密資料點後用零上切法取一個波的資料段計算反射率。

3-6 實驗重複性

在實驗中考慮到儀器本身、實驗環境以及操作方法,實驗的可信度需藉由其 重複性的檢測來支持其可靠性。而重複性試驗主要是在討論同一個實驗操作者操 作儀器,在同一個實驗中且同一個測試條件下其量測值之間的偏差,主要是討論 儀器或設備環境所產生的差異。

為了比對數據的準確性,以隨機取樣的方式來做重複性試驗的樣本選取,主要比較的波浪特性為:實測波高(m)、實測週期(sec)以及反射率。所隨機選取的波 浪條件為 3-3 節所提到的第二種孔隙結構物與第四種孔隙結構物的波浪條件隨機 選取八組來進行重複性試驗比較。

由 3-5 節提到的分析方法量測實際波高與實際週期並計算出反射率,其結果如 表 3-5 所示,可以看出在相同給定波浪條件下實測波高誤差皆在 1%以內,只有一 組誤差有到 1.5%,顯示實驗中量測波高的準確性非常的高。而實測週期幾乎完全 符合所給定的週期並且得知實驗的重複性非常高。反射率偏差也都在 1~2%內,差 異最大的波浪條件反射率也不到 3%,誤差非常的小,因此實驗造波與量測系統的 重複性可以得到驗證。

第二種孔隙結構物	給定波高(m)	實測波高(m)	實測週期(sec)	反射率
水深0.6m,週期1.9				
	0.09	0.0805	1.900	0.678
	0.09	0.0797	1.900	0.665
	0.12	0.1068	1.900	0.678
	0.12	0.1085	1.900	0.657
	0.15	0.1379	1.900	0.696
	0.15	0.1370	1.893	0.698
	0.18	0.1683	1.900	0.692
	0.18	0.1681	1.900	0.699
第四種孔隙結構物	給定波高(m)	實測波高(m)	實測週期(sec)	反射率

表 3-5 重複性試驗數據

水深0.6m,週期1.5				
	0.05	0.0442	1.500	0.555
	0.05	0.0435	1.500	0.527
水深 0.6m,週期 2				
	0.1	0.0903	2.000	0.647
	0.1	0.0901	2.000	0.658
水深0.6m,週期2.5				
	0.2	0.2062	2.500	0.600
	0.2	0.2018	2.500	0.590
水深 0.6m,週期 3				
	0.15	0.1506	3.000	0.659
	0.15	0.1492	3.000	0.650

第四章 結果與討論

4-1 FLOW-3D 初步結果

4-1-1 孔隙介質參數

關於本研究主要目的在於利用數值模式建立一數值水槽來模擬現實水槽,透 過電腦的建模、求解與資料輸出,使數值水槽能具有實驗室中現實水槽的功能。 相對於實驗室中現實水槽,數值水槽費用低、且減少建模的人力與時間支出並可 避免比尺影響,變更實驗條件容易。

本研究中模擬條件如同 2-3 節的模擬設定,對於孔隙結構物的參數設定根據 FLOW-3D 孔隙介質模式中阻力係數設定參考來決定。在 FLOW-3D 孔隙介質參數 設定中有 a、b 兩個阻力參數來設定孔隙介質阻力,且在阻力係數根據雷諾數的模 式中 a、b 在 FLOW-3D 使用者手冊中有提供參數 a、b 與孔隙介質粒徑之間的關係 式-

$$a = 180/D^2$$
 (4-1)

 $b = 1.8/D \sim 4.0/D \tag{4-2}$

根據使用者手冊內說明 a 被定義為每個多孔隙介質組成要素對於非物理流的 阻礙,b 被定義為孔隙介質的粗糙度,D 為孔隙介質粒徑。

由使用者手册所給的參數定義如(4-1)式和(4-2)式,經過測試結果按照使用者 手冊所給的關係式去設定孔隙介質來模擬,結果顯示和現實中自然現象差異極大, 經過多次的測試參數與根據其參數定義調整參數 a、b,a保持不變而b由原本(4-2) 式改變為(4-3)式。

b = 0.03/D (4-3)

由(4-1)式與(4-3)式來當作孔隙介質參數設定依據後,模擬結果覺能符合現實 中實驗結果,本文中孔隙介質皆依照(4-1)式與(4-3)式中孔隙介質粒徑之間的關係 來設定a、b孔隙介質參數。

4-1-2 波浪模擬

一般數值模擬的水槽初始條件通常為靜止狀態,對於造波方法主要有二種方式:1.利用虛擬造波板於上游端推動水體產生波浪;2.由波浪理論給定波形與速度來造波。於前人研究中使用 FLOW-3D 軟體造波皆用其內建的造波邊界即第2種造波方法來造波,本文嘗試以第一種方法來造波,軟體內設定如同 2-3 節的設定。對於用 FLOW-3D 軟體模擬造波板所造出來的波浪是否與實際上實驗室中斷面水槽所造出來的波高是否吻合,以下以表格 4-1 呈現由 FLOW-3D 模擬出來的波浪結果 與實驗室所造出的波浪來做比較。

		給定	實驗	模擬	實驗	模擬
		波高	週期	週期	波高	波高
		(cm)	(sec)	(sec)	(cm)	(cm)
週期 1.6(sec)	8	1.60	1.60	6.95	7.45	
	週期 1.6(sec)	10	1.60	1.62	8.75	9.18
		12	1.60	1.62	10.53	11.18
此深 0.5()		14	1.59	1.60	12.36	12.24
水沫 0.5(m)	週期 1.9(sec)	8	1.90	1.90	7.05	7.40
週期 1.9(sec)		11	1.90	1.92	9.98	10.33
		14	1.90	1.88	13.00	12.93
	17	1.89	1.87	16.42	15.22	

表 4-1 模擬波浪與實驗波浪比較

水深 0.5(m))田井口 2 (200)	9	2.20	2.20	7.84	8.15
		13	2.24	2.20	11.86	12.06
	迥期 2.2(SEC)	17	2.20	2.22	15.42	16.76
		21	2.21	2.22	19.53	19.84
		8	1.60	1.60	7.08	7.38
	调	10	1.60	1.60	8.92	9.35
	週期 1.0(500)	12	1.60	1.60	10.70	11.06
		14	1.60	1.60	12.38	12.27
		9	1.90	1.90	8.03	8.13
水深 () 6(m)	週期 1.9(sec)	12	1.90	1.90	10.88	10.83
♪ ↓ ♪末 0.0(m)		15	1.90	1.90	13.76	13.57
		18	1.90	1.90	16.82	16.47
	週期 2.2(sec)	10	2.20	2.20	9.21	9.50
		14	2.20	2.20	13.08	12.57
		18	2.21	2.20	17.07	16.48
		22	2.20	2.20	20.72	20.73
		給定	實驗	模擬	實驗	模擬
		波高	週期	週期	波高	波高
		(cm)	(sec)	(sec)	(cm)	(cm)
		5	1.49	1.50	4.30	4.68
-k × 0,5(m)	调	10	1.50	1.48	8.90	9.43
	迎州 1.5(500)	15	1.52	1.50	12.36	12.97
ACA 0.5(III)		20	1.53	1.50	19.01	17.21
	调	5	2.00	2.00	4.30	4.58
	迥别 2.0(SEC)	10	2.00	2.00	9.10	9.11

よ <i>湾</i> 05(m)	调 曲 2 0(222)	15	2.00	2.00	14.32	13.56
水沫 0.5(m)	週期 2.0(Sec)	20	2.01	2.00	19.59	19.13
		給定	實驗	模擬	實驗	模擬
		波高	週期	週期	波高	波高
		(cm)	(sec)	(sec)	(cm)	(cm)
		5	2.50	2.50	4.45	4.72
	油 扣 2 5(soo)	10	2.50	2.51	9.75	9.65
	週期 2.3(SCC)	15	2.50	2.50	15.59	15.17
0.5(m)	20	2.50	2.50	21.53	22.22	
0.5(11)		5	3.00	3.00	4.57	4.58
	週期 3.0(sec)	10	3.00	3.00	10.02	9.82
		15	2.99	3.00	16.75	16.71
		20	2.98	3.00	24.07	24.77
	週期 1.5(sec)	5	1.50	1.50	4.40	4.68
		10	1.50	1.50	8.95	9.41
		15	1.50	1.48	13.56	13.41
		20	1.51	1.50	18.25	17.00
		5	2.00	2.00	4.38	4.47
0.6(m)		10	1.93	2.00	8.72	9.28
0.0(11)	週期 2.0(sec)	15	2.00	1.98	13.98	13.45
		20	2.00	1.98	19.58	18.04
		25	2.01	2.00	24.40	23.31
		5	2.50	2.50	4.52	4.46
	週期 2.5(sec)	10	2.50	2.50	9.30	9.33
		15	2.50	2.50	14.67	14.16

		給定	實驗	模擬	實驗	模擬
		波高	週期	週期	波高	波高
		(cm)	(sec)	(sec)	(cm)	(cm)
0.6(m)	週期 2.5(sec)	20	2.50	2.50	20.96	19.54
		25	2.49	2.48	26.35	26.79
0.6(m)	週期 3.0(sec)	5	3.00	3.00	4.44	4.95
		10	3.00	2.98	9.42	9.58
		15	2.99	2.98	15.33	15.22
		20	3.00	2.97	22.30	21.68
		25	3.01	2.97	30.08	28.91

由表 4-1 可以觀察出在週期上由實驗室造波板造波和數值水槽模擬造波板造 波所推出的波浪週期都非常準確,與給定條件的週期差異甚小。由上述可知曉實 驗室造波板造波與數值水槽造波板造波在波浪週期的表現上能準確的達到所給定 的要求。

在實驗室中造波板造波根據造波機使用手冊中所提供的衝程方程式 2-36 式來 設定造波板衝程,再藉由軟體轉成類比訊號控制造波板來造出波浪。數值水槽造 波也是利用控制造波板來造出波浪,而造波板的衝程也是根據 2-36 式來換算造波 條件來給定造波板衝程與頻率,經過測試後如同 2-3-2 小節所提到在數值水槽中造 波板衝程需要減少百分之十才較能符合實驗室所造出來的波浪。關於波高部分, 數值水槽造波板造出來的波高與實驗室斷面水槽造波板造出來的波高差異量也是 非常的小。

4-2 孔隙結構物之試驗與模擬結果

由於影響孔隙結構物消波的因素有很多,有鑑於在利用 FLOW-3D 數值軟體模

擬孔隙結構物時,設定孔隙結構物的兩個阻力系數 a、b 的過程中遇到利用使用者 手冊建議的方法來設定 a、b 卻和現實物理現象不符合的情形發生,所以由 4-1-1 小節得到的結果來測試兩個阻力參數是否符合現實物理現象,所以本文借由單層、 雙層、三層孔隙結構來測試利用 FLOW-3D 模擬波浪與結構物的交互作用,並與實 驗做對照。

4-2-1 單層孔隙結構物

為了測試孔隙結構物參數 a、b 首先利用單層孔隙結構物,單層孔隙結構物是 由粒徑 1.6 cm 的彈珠所組成,在實驗中用的波浪條件週期為 1.6、1.9、2.2 秒,波 高 0.08~0.22 公尺,詳細波浪條件如表 3-2。而模擬的部分波浪條件與實驗不同的 地方在於模擬多加上週期 2.5、3 秒,多加上兩個週期的原因在於從圖 4-1 可看出 無因次週波率大約在 0.2~0.4 之間無實驗資料,為了看出趨勢而在模擬的部分多加 了波浪條件。

波浪通過單層孔隙結構物其反射波情形可由反射率來表示,從實驗中所得到 的反射率結果與無因次週波率表示如圖 4-1,圖 4-1 x 軸表示無因次週波率,無因 次週波率仔細觀察可發現相同週期但水深不同的無因次週波率會兩兩相鄰(由於水 深條件只有兩組),而不同週期水深相同的無因次週波率,會間隔一個無因次週波 率。顯示在本研究中所給的波浪條件中週期對無因次週波率的影響敏感度較高, 即週期些微改變無因次週波率改變較大,水深對於無因次週波率的影響敏感度較 低,即若週期相同改變水深無因次週波率變動較小。

所以 x 軸數值越大表示週期越短,從圖中可看出週期越小反射率跟著變小, 顯示當週期較小時,波浪受孔隙結構物的影響就越大,反之週期越大受孔隙結構 物的影響就越小。

從波高的角度來觀察,在實驗中單層孔隙結構與波浪的交互作用結果,反射率與波高相關性無明顯的關係。

在模擬結果由圖 4-2 可觀察出和實驗有一樣的趨勢,當週期越小時無因次週波 率越大,反射率也比較小,顯示週期小的波浪條件較容易被孔隙結構物影響反射 率。

相對於實驗,在模擬的結果可以明顯的觀察出在相同週期與水深下波高的大 小與反射率有著明顯的關係,當波高越大其反射率跟著越大,波高越小反射率較 小。從圖 4-2 可以發現波高與反射率有較明顯的關係是出現在週期較大的部分,為 模擬多增加的波浪條件,模擬在波浪條件與實驗相同的部分其波高與反射率的關 係與實驗一樣較不明顯,與實驗結果符合。

圖 4-3 為模擬與實驗的比較圖,在同樣波浪條件下模擬的反射率結果比實驗所 求得的結果較小,但趨勢大致相符。



圖4-1 單層孔隙結構物於實驗之無因次週波率與反射率關係



圖4-2 單層孔隙結構物於模擬之無因次週波率與反射率關係



圖4-3 單層孔隙結構物之無因次週波率與反射率關係

若以尖銳度(H/L,H 為波高、L 為波長)與反射率的關係來觀察波浪通過單層 孔隙結構物的實驗結果,從圖 4-4 發現週期的變化與反射率大小有明顯的關係,從 圖形的顏色來看可發現相同週期的反射率明顯分布在同一個區間內,即週期相同 反射率分布在固定區間內。可得孔隙結構物與波浪條件的關係,週期為影響反射 率最大的因素。

圖 4-5 為模擬的結果也是可以看出週期的變化對反射率有明顯的影響,週期越 大反射率越大。模擬部分增加 2.5、3 週期的波浪條件,使得尖銳度值的最大值與 最小值有些微擴張,其對於波浪與孔隙結構物交互作用結果還是顯示反射率與週 期有密切關係。

圖 4-6 為實驗與模擬反射率與尖銳度關係的比較圖,實驗與模擬其反射率變化 趨勢也大致相同。在相同波浪條件下,波浪受孔隙結構物的影響結果,反射率分 布範圍大致在同一個區間內,相同符號表示相同週期的波浪條件,可發現相同週 期模擬與實驗的結果十分接近大致都分布在附近,得知模擬結果與實驗結果接 近。







圖4-5 單層孔隙結構物於模擬之尖銳度與反射率關係



圖4-6 單層孔隙結構物之尖銳度與反射率關係

4-2-2 雙層孔隙結構物

雙層孔隙結構物是由粒徑 2.5 cm 與 1.6 cm 的彈珠所組成,實際現場照片如圖 3-11、3-12 所示,波浪通過孔隙結構物先經過粒徑 2.5 cm 孔隙結構物再通過 1.6 cm 孔隙結構物。波浪條件與單層孔隙結構物相同,在模擬部分也同樣增加週期 2.5、 3 的波浪條件以便觀察數值較小的無因次週波率結果。

從圖 4-7 在實驗室中波浪通過雙層孔隙結構物後反射率與無因次週波率的關 係觀察到反射率的變化與單層孔隙結構物相似,週期較長的波浪條件不容易受孔 隙結構物消波影響反射率較高,週期短的波浪條件受孔隙結構物影響較大,反射 率低。無因次週波率數值越大表示波浪條件週期較短,所以由圖形的趨勢 x 軸數 值越大時反射率降低。與單層孔隙結構物相比,在實驗中雙層孔隙結構物反射率 與波高的相關性較高,在相同週期、相同水深、不同波高的條件下從圖形顏色(標 示不同波高)可以觀察出當波高越大時反射率較高的現象。

圖 4-8 為模擬結果反射率與無因次週波率比較圖,其顯示與實驗相同波浪條件 下,週期與反射率的關係也是週期越小反射率較小。在相同週期、相同水深、不 同波高的條件下波高越大反射率約大,與實驗相比有較明顯的上述現象。增加的 週期 2.5、3 波浪條件結果可看出與單層孔隙結構物模擬結果類似,反射率普遍較高,表示在模擬中單層與雙層孔隙結構物對於週期較大的波浪條件消波效果較差。

圖 4-9 為模擬與實驗結果比較,在相同波浪條件下模擬結果的反射率與實驗結 果接近,但模擬結果的反射率較低,表示模擬中所設定的孔隙結構物阻力較實際 的阻力高使得反射率降低。反射率與無因次週波率關係的趨勢一致,同樣是週期 越小反射率跟著下降。



圖4-7 雙層孔隙結構物於實驗之無因次週波率與反射率關係



圖4-8 雙層孔隙結構物於模擬之無因次週波率與反射率關係



圖4-9 雙層孔隙結構物之無因次週波率與反射率關係

以尖銳度與反射率的關係圖來觀察雙層孔隙結構物對波浪的影響,圖 4-10 為 實驗結果,與單層孔隙結構物結果圖 4-4 有相同趨勢,反射率分布和尖銳度大小較 無明顯的關連,從圖 4-10 中顏色(相同顏色代表相同週期)可明顯看出相同週期的 波浪條件其尖銳度大致分布在特定區間內,不同週期的波浪條件尖銳度分布分層 明顯。

圖 4-11 為雙層孔隙物模擬結果反射率與尖銳度比較,尖銳度分布與實驗些微

不同的地方在於模擬的結果與尖銳度有關,相同週期下尖銳度越高反射率有逐漸 增高的趨勢。從週期的角度來觀察,趨勢和實驗相同大致上週期較大的波浪條件 其反射率越大。

圖 4-12 為實驗與模擬比較圖,在相同波浪條件下其結果接近,分布的範圍相 當接近。相同符號表示相同週期,不同顏色分別表示模擬與實驗,觀察到同樣尖 銳度下相同符號反射率接近,即波浪條件相同下實驗與模擬結果接近。



尖銳度(H/L)

圖4-10 雙層孔隙結構物於實驗之尖銳度與反射率關係



圖4-11 雙層孔隙結構物於模擬之尖銳度與反射率關係



圖4-12 雙層孔隙結構物之尖銳度與反射率關係

4-2-3 三層孔隙結構物

三層孔隙結構物分為兩種型式,在 3-2 節提到第三種孔隙結構物與第四種孔隙 結構物皆為三層孔隙結構物,兩種孔隙結構物的差別參照 3-2 節說明。三層孔隙結 構物的波浪條件不同於單層與雙層孔隙結構物,其週期為 1.5、2、2.5、3 秒,波 高 5~25 公分詳細列表如表 3-3。此波浪條件彌補第一組波浪條件(表 3-2)無因次週 波率在 0.2~0.4 之間的不足,使得第三、四種孔隙結構物無因次週波率數值範圍較 廣,可觀察的趨勢較大。

圖 4-13 為第三種孔隙結構物由實驗所得到的無因次週波率與反射率關係圖, 從週波率來看,數值越大反射率越小,即週期越小反射率越小。相同週期下波高 越高反射率有較大的趨勢,以上兩個現象與單層孔隙結構物與雙層孔隙結構物有 相同情形,顯示長週期波浪條件較不容易被結構物消波。

圖 4-14 為第三種孔隙結構物由模擬所得到的無因次週波率與反射率關係圖, 明顯看出由模擬所得到的結果在週期大的波浪條件週期與水深固定下,波高的增 加與減少影響反射率的變動,由圖形的顏色與形狀可以判別波高的大小,從圖中 可以看出波高越大反射率越大,上述現象在週期大的波浪條件特別明顯,週期小的波浪條件較不顯著。

圖 4-15 為第三種孔隙結構物模擬與實驗反射率結果以無因次週波率表示,從 顏色觀察模擬與實驗的關係,模擬結果普遍略低於實驗結果。實驗與模擬在週期 較短的波浪條件其反射率因波高而差異大的現象較不明顯;在模擬中週期大的波 浪條件反射率因波高變化而變化明顯,波高越大反射率越大。



圖4-13 第三種孔隙結構物於實驗之無因次週波率與反射率關係



圖4-14 第三種孔隙結構物於模擬之無因次週波率與反射率關係

56



圖4-15 第三種孔隙結構物之無因次週波率與反射率關係

由尖銳度與反射率觀察第三種孔隙結構物實驗結果圖 4-16,大致上從尖銳度 的變化無法看出反射率的變化趨勢,表示在實驗中相同週期波浪通過孔隙結構物 尖銳度改變對於反射率影響不大。從不同顏色(週期不同)可發現分層現象明顯,週 期較小的波浪條件反射率較小,週期較大的波浪條件反射率較大。

以數值軟體模擬的結果如圖 4-17,在短週期方面如同實驗的結果,尖銳度無 法看出反射率的趨勢變化,但在週期大的波浪條件有尖銳度高反射率越大的趨勢 產生,與雙層孔隙結構物模擬結果相似。同樣的模擬結果在不同週期下(以顏色來 判別)的波浪條件有明顯分層現象,週期變化對反射率有明顯的影響。

實驗結果與模擬結果比較(圖 4-18),比較結果與雙層孔隙結構物比較結果類似, 模擬的數據皆略低於實驗的數據,在高週期部分模擬數據皆因為尖銳度增高而變 高,在雙層孔隙結構物也是有此情況發生。大致上模擬與實驗結果均分布在接近 的範圍內。



圖4-16 第三種孔隙結構物於實驗之尖銳度與反射率關係



圖4-17 第三種孔隙結構物於模擬之尖銳度與反射率關係



圖4-18 第三種孔隙結構物之尖銳度與反射率關係

第四種結構物的設置主要是為了觀察與第三種結構物的消波能力差異,將彈 珠粒徑的排列順序改變(參照 3-2 節)觀察反射率的變化情形。在無因次週波率關係 圖(圖 4-19)所表現的現象與第三種孔隙結構物相同,反射率隨著無因次週波率增加 而變小,在低週期的波浪條件反射率因波高變大而增加的趨勢不明顯,在高週期 的波浪條件下較明顯。

從尖銳度的角度來觀察(圖 4-20),同樣的與第三種孔隙結構物結果相似,尖銳 度的變化與反射率的變化無太大的相關性,在週期相同的波浪條件反射率分布在 固定區間,週期的變化影響反射率的結果。

第三種孔隙結構物與第四種孔隙結構物於無因次週波率與尖銳度比較圖(圖 4-21、圖 4-22)趨勢相同,可以觀察出第三種孔隙結構物反射率普遍略小於第四種 孔隙結構物,得知第三種孔隙結構物的排列方式消波率比第四種孔隙結構物排列 方式消波率較佳。



圖4-20 第四種孔隙結構物於實驗之尖銳度與反射率關係


圖4-21 第三、四種孔隙結構物於實驗之無因次週波率與反射率關係



圖4-22 第三、四種孔隙結構物於實驗之尖銳度與反射率關係

第五章 結論與建議

5-1 結論

在前人的研究中利用 FLOW-3D 數值軟體模擬波浪與結構物交互作用,造波是 利用 FLOW-3D 內建的波浪邊界造波,而內建的造波方式為利用波浪理論給定波形 與速度來產生波浪,為了能更貼切模擬實驗室現場本文嘗試以模擬造波板在數值 水槽造波,再加上模擬孔隙結構物時依照使用者手冊所給的建議設定阻力參數模 擬出來的結果與真實現場有很大的差異,所以本文將利用結構形態簡單的孔隙結 構物以實驗與模擬互相比對,並且找出合適的阻力參數並且討論波浪與四種型式 的孔隙結構物作用的結果。

在實驗上是利用 1.6cm、2.5cm 與 3.5cm 三種不同粒徑彈珠組合成四種不同形式的孔隙結構物,以波浪通過孔隙結構物後利用三點法計算反射率,探討孔隙結構物與波浪的關係。並用 FLOW-3D 數值軟體建立數值水槽模擬實驗。

利用數值軟體 FLOW-3D 建立數值水槽模擬實驗室斷面水槽,並且以模擬造波板的方式造波與重新設定孔隙結構物阻力參數。另外做實驗與模擬結果比對,在 實驗與模擬的建立與應用中得到以下成果:

- 在 FLOW-3D 的模擬上利用 GMO 模式模擬造波板造波,利用公式所計算 出來的衝程需再減少百分之十的衝程量再依照2-4-1小節的步驟代入軟體 去做模擬,模擬出來的波高才較符合實驗值。
- 2. FLOW-3D 孔隙結構物阻力參數的設定上,經由測試過後利用 FLOW-3D 使用者手冊所給的建議值模擬出來的結果並不符合實驗室做出來的結果,須把阻力參數b的參數設定依據公式改為0.03/D(D為孔隙介質粒徑),而 阻力參數a則依照使用者手冊的建議關係式設定。
- 模擬環境經過調整衝程與孔隙介質阻力參數後,分別與實驗中三種孔隙 結構物進行模擬並驗證,驗證結果顯示以FLOW-3D 模擬的反射率整體上

較實驗做出來的反射率略低一些,但其變化趨勢和實驗結果是符合的。

- 四種孔隙結構物模擬與實驗的結果皆呈現週期與反射率有極大的關係, 週期愈大的波浪條件越不受孔隙結構物影響,受後端垂直壁完全反射呈 現的反射率越大。
- 5. 在實驗中固定週期與水深下,波高的變化與反射率的正比關係在單層孔 隙結構物結果比較不明顯,在雙層與三層孔隙結構物的結果能較明顯看 出波高與反射率的正比關係;在模擬中皆可明顯看出波高的變化與反射 率的正比關係。
- 孔隙結構物的消波效率:單層孔隙結構物<雙層孔隙結構物<第四種孔隙 結構物<第三種孔隙結構物。其中同樣是三層孔隙結構物的第三種與第四 種的比較顯示將較大粒徑的彈珠排列在前端(先接觸到波浪),比將小粒徑 的彈珠排列在前端消波效果好。

5-2 建議

- 本文在波浪條件的選取週期密度並非極高,未來研究可加密其週期密度 與週期的範圍廣度讓整體資料更加完整。
- 後續研究可設置其他種不同型式的孔隙結構物,利用實驗與模擬的比對 來探討孔隙介質的阻力參數設定是否能用本文的參數設,還是要重新再 找出一組新的參數設定,是需要探討的議題。

参考文獻

- 柯文貴,"波浪與浮式透水防波堤之交互作用",國立中山大學海洋環境
 學系碩士班碩士論文,1997。
- 一黄材成、林怡成,"透水式潛堤波浪特性之實驗研究",中華明國第十九 屆海洋工程研討會論文集,第220頁~227頁,1997。
- 3. 邱乾忠,"多層透水堤消波特性之研究",國立成功大學水利及海洋工程 研究所碩士論文,1998。
- 游家瑞,"波場與可變形浮提交互作用之研究",國立中山大學海洋環境 及工程學系碩士班碩士論文,1999。
- 陳震遠,"大粒徑孔隙結構物內阻力特性之研究",國立中山大學海洋環境及工程學系碩士班碩士論文,2001。
- 張興漢,"波浪與近岸潛沒透水結構物之交互作用",國立成功大學水利
 及海洋工程研究所博士論文,2004。
- 7. 許懷仁,"波浪通過孔隙底床之傳播特性",國立成功大學水利及海洋 工程研究所碩士論文,2006。
- 張學仁,"孔隙斜坡底床上波浪衰減之試驗研究",國立成功大學水利 及海洋工程研究所碩士論文,2006。
- 5. 黃聰憲,"漏斗式排砂器水流特性及排砂效率之試驗研究",國立成功大 學水利及海洋工程研究所碩士論文,2007。
- 10. 陳建宇," 環圈堆保護橋墩之試驗及其三維流場之數值模擬",國立成功 大學水利及海洋工程研究所碩士論文,2007。
- 11. 林義復,"應用計算流力模擬船舶岸壁效應之研究",國立高雄海洋科技 大學海事學院航海科技研究所碩士論文,2008。
- 12. 楊政翰," FLOW-3D 應用於土石流防砂壩前流場及衝擊力研究",國立 成功大學水利及海洋工程學系碩士班碩士綸文,2008。

- 13. 謝志敏、黃榮鑑、楊文昌,"波浪與透水結構物互制之研究",第30 屆海 洋工程研討會論文集,第373頁~378頁,2008。
- 14. 賴堅戊,"波浪於粗粒徑斜坡底床傳遞之試驗與數值研究",國立成功大 學水利及海洋工程研究所博士論文,2009。
- 15. 褚懷宇,"波浪與複合式透水結構物交互作用之研究",國立台灣海洋 大學河海工程學系碩士學位論文,2010。
- Carmen, P. C., "Fluid through granular beds ", Trans. Inst. Chem. Eng., Vol. 15, pp. 150-156, 1937.
- Dattatri, J., Raman, H., and Jothishankar, N., "Performance characteristic of submerged breakwater", Proc.16th Conf. Coastal Eng., Hamburg, ASCE, pp. 2153-2171, 1978.
- 18. Flow Science, "User Manual of FLOW-3D Version 9.4", Floe Science, 2009.
- Gu, Z. and Wang, H., "Gravity waves over porous bottoms", Coast. Eng., Vol. 15, pp. 497-524, 1991.
- 20. Hazen, A., "Dams on sand foundations", ASCE, Vol. 73, pp. 199, 1911.
- 21. Iwasaki, T. and Numata, A., "Experimental studies on wave transmission of a permeable breakwater constructed by artificial blocks", Coastal Engineering in Japan, Vol. 13, pp. 25-29, 1970.
- Jeon, C. H. and Cho, Y. S., "Bragg Reflection of Sinusoidal Waves due to Trapezoidal Submerged Breakwaters ", Ocean Engineering, Vol. 33, pp. 2067-2082, 2006.
- Kozeny, J.," Uber kapillare Leitung des Wassers in Boden ", Akad. Wiss. Wien, Vol. 136, pp. 271-306, 1927.
- 24. Krumbein, W. C. and Monk, G. D., "Permeability as a function of the size parameters of unconsolidated sand ", Transactions of the AIME, Vol. 151, pp. 153-163, 1942.

- 25. Lee, C.P., "Wave Interaction with Permeable Structures", Ph. D. Dissertation, Ocean Engineering Program, Civil Engineering Department Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA.
- 26. Lin, P. and Liu, P. L. -F., " A numerical study of breaking waves in the surf zone ",J. Fluid Mech., Vol. 359, pp. 239-264, 1998.
- 27. Liu, P. L. -F., Lin, P., Chang, K. A. and Sakakiyama, T., "Numerical Modeling of Wave Interaction with Porous Structures", Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering-Asce, Vol. 125, pp. 322-330, 1999.
- Losada,I. J., Losada,M. A. and Martin,F. L., "Experimental study of wave-induced flow in a porous structure", Coastal Eng., Vol. 26, pp. 77-98, 1955.
- 29. Madsen, P. A., "Wave reflection from a vertical permeable wave absorber ", Coastal Engineering, Elsvier 7, pp. 381-396, 1983.
- 30. Mason, T., "Hydrodynamics and sediment transport on a macro-tidal, mixed(sand and shingle) beach", Ph. D. Dissertation, University of Southampton, 1997.
- 31. Packwood, A. P. and Peregrine, D. H., " The propagation of solitary waves and bores over a porous bed ", Coastal Eng., Vol. 3, pp. 221-242, 1980.
- Putnam, J. A., "Loss of wave energy due to percolation in a permeable sea bottom", Trans. Am. Geophys. Union, Vol. 30, pp. 349-356, 1949.
- 33. Reid, R.O. and Kajiura, K., " On the damping of gravity waves over a permeable sea bed ",Trans. Am. Geophys. Union, Vol. 38, pp. 362-666,1957.
- 34. Sollitt, C.K. and Cross, R.H., "Wave Transmission Through Permeable Breakwater", Proc. 13th International Conference on Coastal Engineering., ASCE, pp. 1827-1846, 1972.
- 35. Stuart, R.S. and Kevin R. H., " Wave transmission at submerged rubblemound

breakwater", Coastal Engineering 1998, pp.2000-2013, 1998.

- 36. Sulisz, W., "Wave Reflection and Transmission at Permeable Breakwaters of Arbitrary Cross-Section", Coastal Eng., Vol. 9, pp. 371-386, 1985.
- Van Gent, M.R.A., "Porous flow through rubble-mound material", Journal of Waterway Port, Coast. Ocean Eng., Vol. 121, pp. 176-181, 1995.
- Ward, J.C., "Turbulent Flow in Porous Media ", Journal of the Hydraulics Division. ASCE, Vol. 90, pp. 1-12, 1964.