

波浪通過透水潛堤之諧和波生成

計畫類別：☒ 個別型計畫 ☐ 整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2611 - E - 002 - 032

執行期間：92 年 08 月 01 日至 93 年 07 月 31 日

計畫主持人：林銘崇 教授

共同主持人：丁肇隆 副教授

計畫參與人員：李芳承

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：☒ 精簡報告 ☐ 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- ☐ 赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐ 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☐ 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐ 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢
☐ 涉及專利或其他智慧財產權，☐ 一年 ☐ 二年後可公開查詢

執行單位：台灣大學工程科學及海洋工程學系

中 華 民 國 93 年 10 月 29 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

Preparation of NSC Project Reports

計畫編號：NSC92-2611-E-002-032

執行期限：92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

主持人：林銘崇

台灣大學工程科學及海洋工程學系

共同主持人：丁肇隆

台灣大學工程科學及海洋工程學系

計畫參與人員：李芳承

台灣大學工程科學及海洋工程學系

一、中文摘要

當波浪通過沒水結構物時，會因為非線性效應而產生變形，此時原本集中在低頻的能量會轉換到高频諧合波上。本文主要目的為利用量測空間上的波形變化，研究波浪通過潛堤後，因為非線性效應而產生的高频諧和波之機制。本文在表面波形的量測方面，利用 Perlin et. al.(1993)所提出之拍攝技巧，搭配高速攝影機和適當倍數的球面鏡，將垂直靜水面方向的影像放大 3.4 倍，如此記錄下表面波形隨時間在空間上的變化，以利觀察更高頻諧合波的演化過程。初步結果顯示，在波浪通過潛堤後其諧和波的生成現象，隨著孔隙率增加越趨於不明顯，其消滅波高亦越小。在不同入射波條件中，顯示波浪通過水潛堤其平均相位速度先漸減再漸增。

Abstract

The incoming waves undergo strong nonlinear deformations at the obstacle when the wave amplitude is finite. An infinite number of superharmonic waves are prominent at obstacle's lee side. The aim of this paper is thus to investigate experimentally the decomposition phenomenon of a nonlinear wave train passing over a submerged obstacle with spatial and temporal measurements. Spatial, as well as temporal, non-linear surface measurements are made using a technique which was originally proposed by Perlin et. al.(1993). This technique employs cylindrical lenses to magnify 3.4 the vertical dimension, high-speed imaging system, facilitating the measurement of the disparate

scales with a vertical surface-elevation resolution on the order of 0.0156cm/pixel. Thus, high-frequency waves are measured accurately in space and time. Time series of spatial surface-elevation measurements are presented. As result, harmonic generation, followed by the wave over a permeable submerged rectangular obstacle, turns to be unapparent as porosity increases, and its decrease wave energy also becomes smaller. With different wave conditions, the average phase velocity decreases and then increases as wave over the obstacle.

二、緒論

台灣為一個海島國家，其國土經年累月受來自海上自然力如波浪、潮汐、海流的作用，而導致部份區域海岸線後退。因此如何保護海岸降低來自波浪、潮汐等外力作用下所引起的侵蝕，為我們所必須面對的重要課題。往昔對於海岸保護工法的研究皆著重於突堤群、離岸堤等設施，雖可防止波浪越波，阻止海水入侵陸地，卻因為波浪反射增加而導致堤角沖刷加劇，而使結構物容易受損。除此之外，這些工法通常是由混凝土築成，對海岸景觀造成很大的影響。近年來，由於國人對於休閒活動的重視，進而海岸景觀之美化逐漸被重視，為了使海岸保全與自然景觀能夠兼顧，海岸防護的規劃設計逐漸採用人工養灘、潛堤(submerged breakwater)、人工潛礁(artificial reef)等海岸結構物，除了較不妨礙海岸景觀，亦對附近生態影響較小，其中又以潛堤最被廣泛的利用與研究。潛堤係指構築於海中約略平行海岸線且堤頂沒

入海平面以下之海岸保護結構物，其可使入射波能產生部份反射，部分透射，而避免全反射所造成的堤基沖蝕及堤頭渦漩刷深；且由於離岸潛堤可以促使波浪提早碎波而有效消減入射波能，使堤後水域產生穩靜之作用，並可箝制碎波帶內因沿岸流所引起向外海移動的漂沙，對受侵蝕嚴重的海域無疑提供了較佳的海岸保護工法。波浪通過潛堤之波形變化，最早是由 Johnson et al.(1951)於波浪通過暗礁時，發現其會產生許多成分波。Young(1989)從實驗中也發現類似的現象，此現象理論上可解釋為非線性效應與頻散效應互相作用的結果。Massel(1983)提出波通過潛堤所產生二階波的理論，它的結論顯示出，當波通過潛堤後二階和波會有意義地成長。並指出這些諧和波透射後能量會轉換成相同頻率的自由波。但是 Massel 的二階波理論並沒有針對這些諧和波在空間上的變化做研究。之後陸續又有許多關於波浪通過潛堤的研究，如：Rey et al. (1992) 針對類似的問題，作小尺度的物理研究，其結果顯示，黏滯力所引起的衰減(damping)會對二階諧和波造成影響（但在他的研究中並沒有發現高於二階的諧和波產生）。之後 Driscoll (1992) 研究波浪通過不透水潛堤後諧和成份波的產生，其結論指出 Losada(1991)所發展的線性模式，對於反射係數的預測有相當好的結果，然而，對於透射係數的預測並不是很準確。主要是因為線性模式無法對諧和波能量的轉換和消散能準確地描述。

關於高階諧和波能量的轉換，Ohyama and Nadaoka(1992)指出波浪通過矩形潛堤後其能量之頻率域上變化。波浪由深水傳遞至淺水處，除了原來的主頻波還會產生二階高頻波，高頻波係由兩種成分波所組成，一種為強制波(forced waves)，另一種為自由波(free waves)。強制波與自由波頻率相同，但其波速不同。強制波波速與主頻波一致，因此依附在主頻波上傳遞，從水位時序列圖上看不出其獨特的成分。自由波則滿足頻散關係，波速隨著頻率及水深變化而不同。基本上，二階高頻自由波之波速比主頻波波速小，因此會被主頻波趕上並越過。當波浪由淺水進入深水時，非線性效應逐漸消失，原先非線性效應產

生之高頻波的強制波成分無法繼續存在，會釋放能量到自由波，使得主頻波波高因無強制波的依附，造成波高降低的現象。此外 Grue(1992) 提出分離各階成分波的兩波高計法，以分析高頻波中之自由波與強制波成分能量相互傳遞的情形。

三、實驗設備與實驗方法

3.1 實驗設備與佈置

本實驗在國立台灣大學工程科學暨海洋工程學系基礎流體實驗室進行。主要實驗設備包含實驗水槽(長 20m、寬 30cm、深 60cm)、造波系統、光學系統及高速攝影系統。

3.1.1 非干擾式量測光學系統

本實驗為求觀測波浪在通過潛堤前、後之完整波形，並能清楚的量測到空間上高頻諧和波之演變，並同時觀察波浪通過潛堤後，堤後流場之變化，因此本實驗以 4w 鈹雷射(Argon Laser)搭配透鏡組，組成一光學系統，主要是為了要產生一平行水槽玻璃壁之光頁，如圖 1 所示。當雷射光(綠光，波長 514.5nm)產生後經由反射鏡將其導入水槽內，在進入水體前雷射光先經一球面鏡($f=500\text{mm}$)聚焦，目的在產生一很薄之光頁於水體中(如此可確保我們所拍攝的影像為二維區域的，減少實驗資料擷取到三維空間變化的誤差)；然後在經由一圓柱透鏡($f'=12.7\text{mm}$)將光束展開成一雷射光頁，使被照到之含染料的水體呈現出一清楚之影像，如此攝影系統才能清楚的捕捉到自由表面之變化。

3.1.2 高速攝影系統

本實驗攝影機採用 Kodak 公司所生產之 Motion Corder Anylyzer-SR Ultra Mono 高速灰階數位攝影機進行觀測紀錄。此系統若以解析度為 128×34 pixels(Display size)時，最高取像速度可以達到每秒 10000 張；若採用高解析度 512×480 pixels(Display size)顯像，其最高取樣速度則為每秒 250 張。衡量影像解析度與所擷取之拍攝之時間，本實驗在拍攝波形上採取像解析度為 512×240 pixels(Display size)，取像速度為每

秒 125 張(每張影像之間距為 8ms),全部取像歷程約 21 秒鐘。但由於高階諧和波其振幅可能不大,為避免因Y方向之解析度不夠,而遺失有關高階諧和波之資料,故在此記錄波形時,於攝影鏡頭前加裝兩個圓柱透鏡(焦距分別為 100mm和 200mm),使得於影像於X方向解析度為 15.85 pixels/cm與Y方向解析度為 53.25 pixels/cm,如此可將Y方向影像放大約 3.4 倍,而X方向保持實際大小。

波長皆小於線性理論波長是合理的。

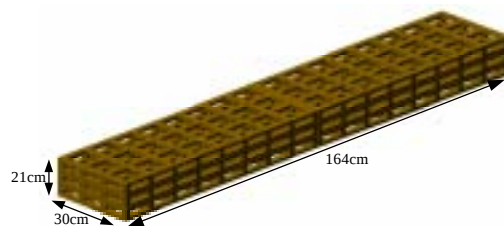


圖 2 實驗中之淺堤模型

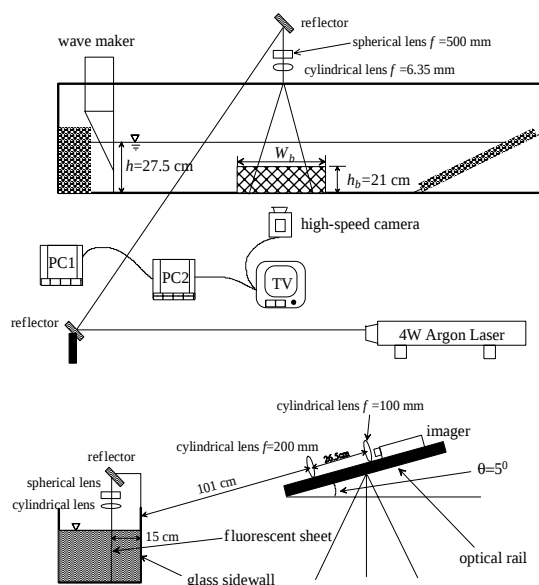


圖 1 實驗配置圖

3.2 實驗條件

為了讓波浪條件在實驗設備容許下與線性波的要求下,盡量接近淺水波,並因前人的研究指出不同波浪型態產生之波譜形狀相同並無差異;堤後高頻波主要是由非線性交互作用產生,碎波是次要影響因子,所以在波浪條件的選定上,波高以通過潛堤不碎波為主要原則。在本研究中選定三種不同孔隙率潛堤分別為不透水($n=0$)與透水潛堤($n=0.408$ & $n=0.740$),其潛堤幾何形狀如圖 2 所示為(長 164cm 寬 30cm 高 21cm),其放置於離造波板 7.0m 處($x=218\text{cm} \sim x=382\text{cm}$)。入射波波浪條件其詳細資料如表 1 所示。其中 H =入射波高、 L =線性理論波長與影像量取波長、 h =水深(27.5cm)。由表 1 知波浪條件皆為 $1/20 < h/L < 1/2$ 間為中間水深,故由影像量取

表 1 實驗中之淺堤孔隙率與入射波條件

模型孔隙率 n	入射週期 $T(\text{sec})$	入射波高 $H_i(\text{cm})$	入射波長 $L(\text{cm})$		U_r $\frac{H_i L^2}{h^3}$
			理論	影像	
0	1.0	2.36	134	124	1.745
	1.25	2.05	181	170	2.85
0.408	1.0	3.05	134	124	2.25
	1.25	3.51	181	170	4.88
0.740	1.0	3.66	134	124	2.70
	1.25	3.80	181	170	5.28

三、資料處理

3.1 自由液面之判讀

由於每一章圖片的解析度為 512×240 pixels, 所以我們在判讀影像時採 pixel 為單位, 以方便處理, 待判讀完成後再將其轉換成真實物理尺寸。且由於拍攝之空間很大, 影像景寬無法一張全部涵蓋, 故採多次拍攝, 利用波場之良好重現的性質, 於最後利用各張影像間之重複拍攝的部份, 以重現波浪在空間上之瞬時全貌。由於拍攝波形時, 我們所設定相機的取像速度為 125 張/秒, 依相機本身記憶體之容量限制, 所以每次可連續紀錄 2730 張影像, 典型之影像記錄如圖 3。在自由液面判讀上, 利用水體與空氣間之亮度及灰階梯度之差異性, 我們可決定出自由液面的位置, 每次判讀液面均由影像上方往下搜尋, 如此可讓程式可以判讀出波形的最表面, 而此位置的座標被定義為自由液面之位置, 因X方向共有 512 pixels, 故需找出每個X位置其相對自由液面之Y座標, 如此表面波形之位置即可確認, 其判讀後之結

果如圖 4 所示。不過由於光頁寬度的限制，在畫面兩旁常會無法的到清楚之液面影像，故通常判讀時只取影像中間清楚的部份。每張影像在每一瞬間記錄最多 512 個 X 位置的液面，當連續記錄 2730 張後，相當於在空間上有 512 根連續之波高計同時記錄約 21 秒的液面位置，而這些任意位置之時序列，經轉換至頻率域後，即可以看出各成份波之能量在空間上的變化。

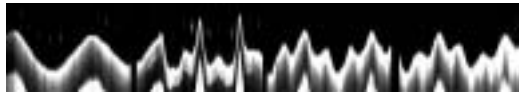


圖 3 典型自由液面連結影像

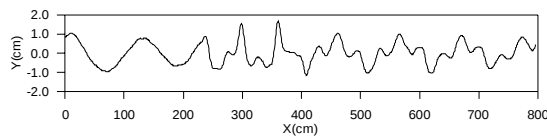


圖 4 自由液面判讀後之結果

3.2 影像之連結

由於欲了解表面波在堤前、堤上、堤後的變形，其整個涵蓋水平範圍達 800cm，而每次拍攝在水平方向景寬最大只能紀錄約 15cm 左右，所以利用良好之波形重現性及連接技巧，找尋相鄰之影像在重複拍攝區同一相位時間所紀錄到的波形，並將其連結起來。從圖 5 可知，影像記錄下緣有三個明顯的標記，其之間距離皆為 15cm，利用這些已知的規劃拍攝空間之波形，再從相鄰影像中的位置尋找確切影像連接之位置，我們可以從影像上知道左右兩邊標記的位置，前後位置所拍攝到的影像中也各有其中一個標記，而此標記就是將影像連結起來的關鍵點，其連結原理可從圖 4 的說明更容易瞭解，圖 4 中每一張影像之後虛線位置與其後一張影像的前虛線位置代表著真實空間上之相同位置。

已知這 55 個位置影像中的左邊及右邊之虛線位置後，靜水位固定在 $Y=215$ pixel 處，程式就會自動搜尋影像，找尋條件最符合的影像，將此這 55 個位置的影像連結起來。例如，當我們連結時會以 section1 為開始，在 section1 與 section2 要連結時，程式會自動依 section1 那張影像的檔名為目

標，在 section2 中相對此檔名附近前後五張搜尋影像，連結法則為搜尋在重疊處之表面波形斜率最接近目標檔名之影像，當作連接影像，如此就可避免因儀器所產生的些許相位誤差，以此法則類推將 55 個區間連接完成。

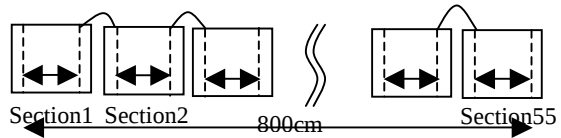
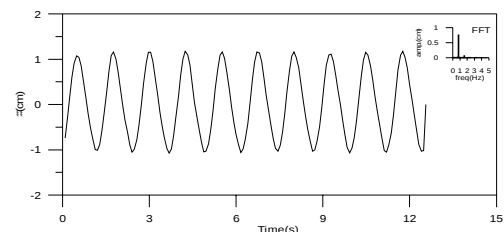


圖 5 影像連結方式示意圖

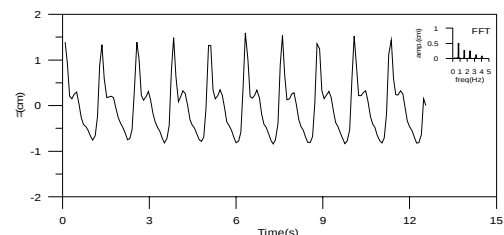
四、實驗結果與討論

4.1 時間序列變化

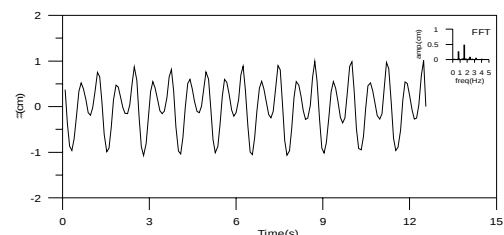
圖 6~8 為利用實驗所得之影像，分別選取堤前 100cm 處，潛堤上方正中央處及堤後 100cm 處這三個位置，在週期 $T=1.25$ (S) 下，波浪通過通過堤寬 164cm 之潛堤的時序列資料和其相對應的頻譜分析圖，從圖上可以看出波浪在不透水潛堤 ($n=0$) 前方時，其各高階成份波之能量均十分小(相對於入射波)，但當波浪傳遞至潛堤上方時，由於潛堤之存在，明顯有淺化的作用，使



(a) $x=118$ cm



(b) $x=300$ cm



(c) $x=482$ cm

圖 6 波浪通不透水潛堤($n=0$)之時序列變化與相對應之頻譜圖(a)堤前 100cm 處(b)潛堤之正中央(c)堤後 100cm 處；堤寬 164cm、週期 $T=1.25(s)$

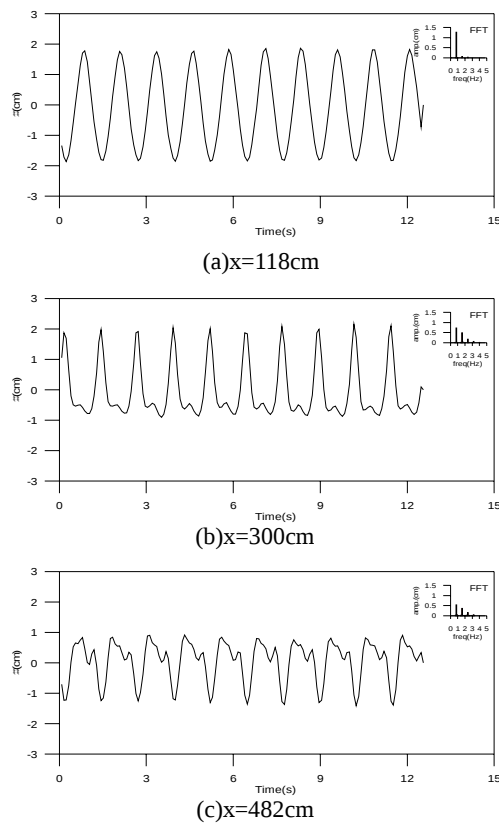


圖 7 波浪通透水潛堤($n=0.408$)之時序列變化與相對應之頻譜圖(a)堤前 100cm 處(b)潛堤之正中央(c)堤後 100cm 處；堤寬 164cm、週期 $T=1.25(s)$

其非線性波浪效應增加故造成波浪的變形，進而產生明顯的高頻諧和波，此外，隨著潛堤孔隙率的增加位於堤後的高階諧和波現象越趨於不明顯，其主要原因是潛堤上的有效水深變大所致。在波浪通過潛堤後，在水深與堤前相同的情況下，其波形並未回復為原來的入射波形，而是產生更複雜的波形，故可推論這些生成之高階成份波，在產生後與原主頻波有著複雜之共存機制；此外，但由於波浪分解的機制在水位時序列圖上比較不容易看出其中詳細的變化，故本文以攝影所得之詳細空間波形變化資料，以進一步瞭解這些生成之高階諧和波在空間上的演化。

4.2 空間序列變化

圖 9 至圖 14 即為不同週期($T=1.0(S)$ 、 $T=1.25(S)$)之波浪通過通過堤寬 164cm 之

不透水潛堤 ($n=0$) 與透水潛堤 ($n=0.408$ & $n=0.740$) 時表面波形在空間上 800cm 長之變化，在圖中均包含 12 張波形之空間變化記錄，各空間波形記錄之間距

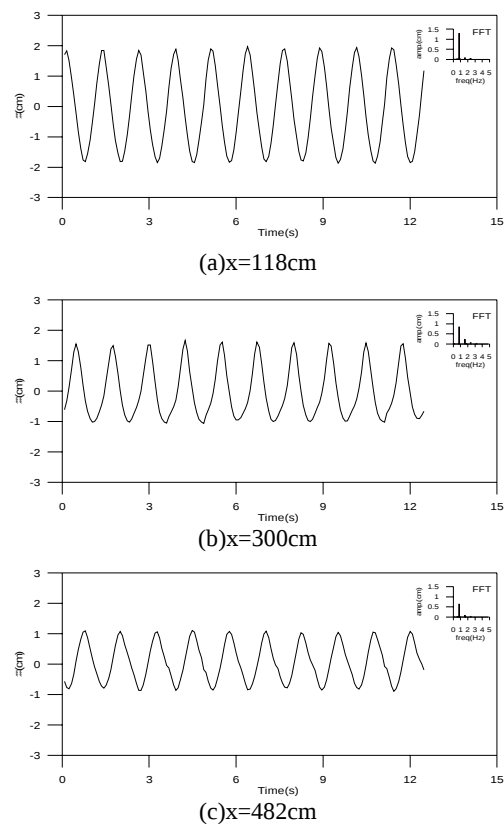


圖 8 波浪通透水潛堤($n=0.740$)之時序列變化與相對應之頻譜圖(a)堤前 100cm 處(b)潛堤之正中央(c)堤後 100cm 處；堤寬 164cm、週期 $T=1.25(s)$

均為 0.16 秒，位於圖右方紀錄的時間為高速攝影機開拍後時間($t=8.0s \sim 9.76s$)，可以清楚看出 12 張空間波形結果足以完整表現出一個週期以上波形在空間上變化之記錄，而最底下之子圖顯示出潛堤放置之空間位置為 $x=218cm \sim x=382cm$ 處(離造波板 7.0m 處)，參考潛堤所在位置可以清楚地看出波形相位變化與潛堤位置之關係。為了更進一步了解相位速度於空間上變化，圖 9~14 將選取六個標記(no.1~6)，以利計算其堤前、堤上、堤後的平均相位速度(見表 2 所示)。

從圖 9 與圖 10 中可以看出，波形在不透水潛堤前運行時，相位速度分別在週期 $T=1.0s$ 及 $T=1.25s$ 為 125.0cm/sec 與 140.0cm/sec，位於堤上的波並非一開始就出現波峰尖而波谷平的非線性波浪特徵，而是在潛堤上運行某段距離後，波峰尖銳

度明顯的變大，顯然是受到淺化作用的影響，其非線性成分增加，而所增加的非線性成分波與原有線性波之間的相位速度並不相同，經過疊加導致波浪出現非線性波

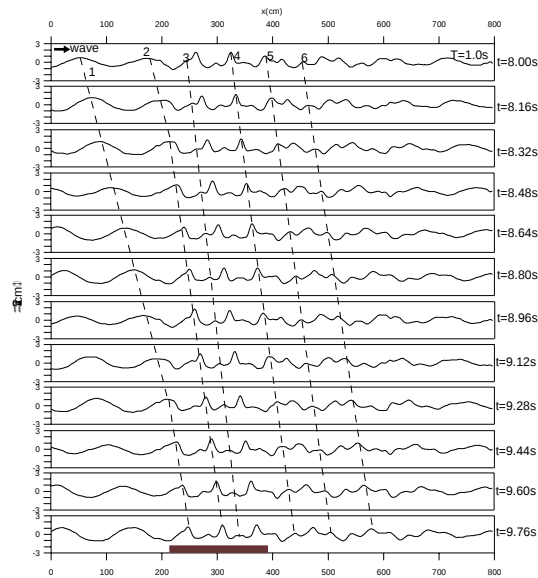


圖 9 波浪通過不透水潛堤之空間變化，週期 $T=1.00(S)$ 、堤寬 164cm、堤高 21cm

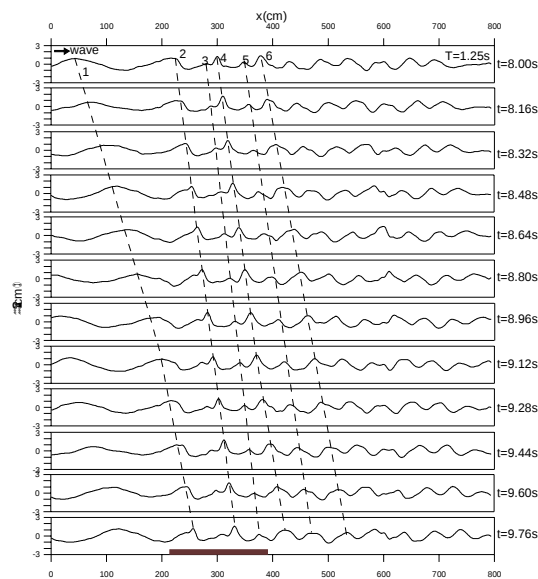


圖 10 波浪通過不透水潛堤之空間變化，週期 $T=1.25(S)$ 、堤寬 164cm、堤高 21cm

浪的特徵，各成份波彼此間的差異，也使波浪在堤上運行時出現了明顯的二次波峰(如圖中no.3 所示)，平均相位速度對應週期 $T=1.0s$ 及 $T=1.25s$ 為 $54.5cm/sec$ 與 $53.4cm/sec$ ，甚至出現是三次波峰等。此外，堤上主波 (no.2&no.4) 之平均相位速度在週期 $T=1.0s$ 分別為 $64.3cm/sec$ 與 $61.2cm/sec$ ，在週期 $T=1.25s$ 分別為 $65.3cm/sec$ 與 $62.9cm/sec$ ，在這裡二次波峰

的定義為跟隨在主峰後所產生的第一個小波峰，依此類推三次波峰為跟隨在主峰後的第二個小波峰。在波浪通過潛堤後，由於水深由淺變深，主峰的尖銳度明顯減小，但二次或高次波峰卻於明顯，又因為

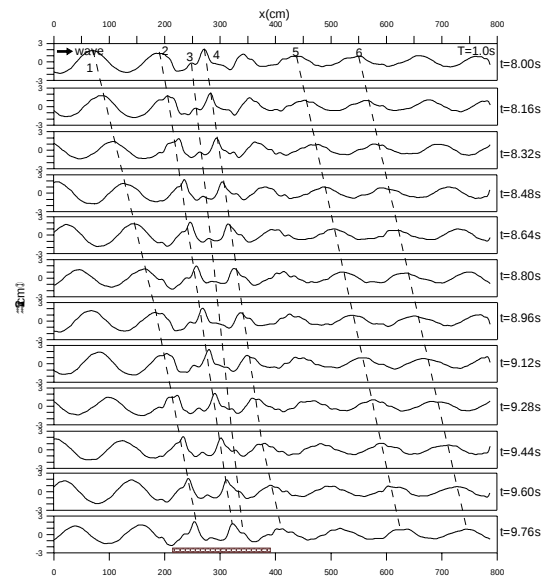


圖 11 波浪通過透水潛堤($n=0.408$)之空間變化，週期 $T=1.00(S)$ 、堤寬 164cm、堤高 21cm

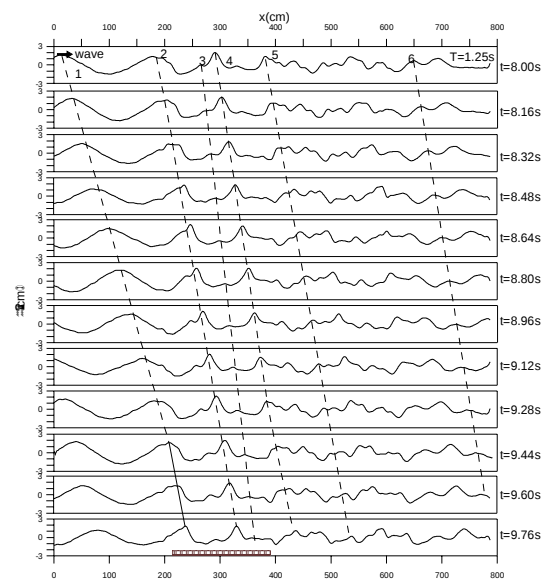


圖 12 波浪通過透水潛堤($n=0.408$)之空間變化，週期 $T=1.25(S)$ 、堤寬 164cm、堤高 21cm

由主峰所分離出來的小波相位速度較慢，所以它會逐漸地從主峰分離出來，從圖 9 與 10 中(no.5&no.6)平均相位速度在週期 $T=1.0s$ 及 $T=1.25s$ 中分別 $67.5&70.5cm/s$ 及 $76.0&86.8cm/s$ 。雖然在相同堤寬、不同週期下，其表面波形的變化大體上都呈現如此的趨勢，但如仔細觀看，可明顯感覺出，不同條件對高次波峰產生的位置，或者是

波浪通過堤後的運動，都還是有差異存在。

對於透水潛堤而言 ($n=0.408$ & 0.740)，由圖 11~14 空間波形我們可以看出，在孔隙率為 0.408 時，波浪於堤前平均相位速度在波浪條件週期為 $T=1.0s$ 與 $T=1.25s$ 大致上可以看出堤前至堤上為漸減，過堤之後

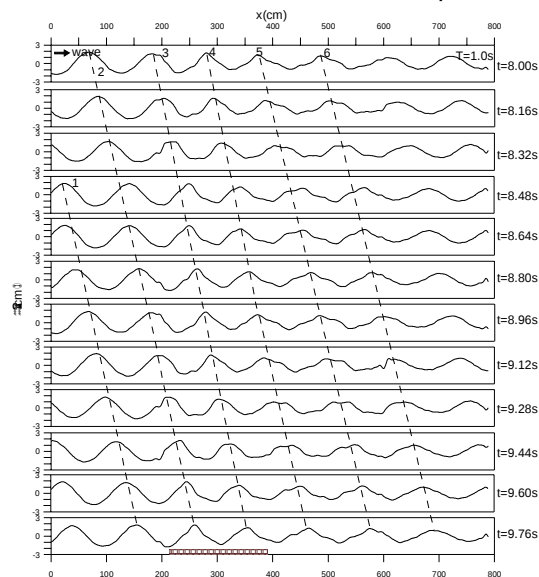


圖 13 波浪通過透水潛堤($n=0.740$)之空間變化，週期 $T=1.00(S)$ 、堤寬 $164cm$ 、堤高 $21cm$ 週期 $T=1.25s$

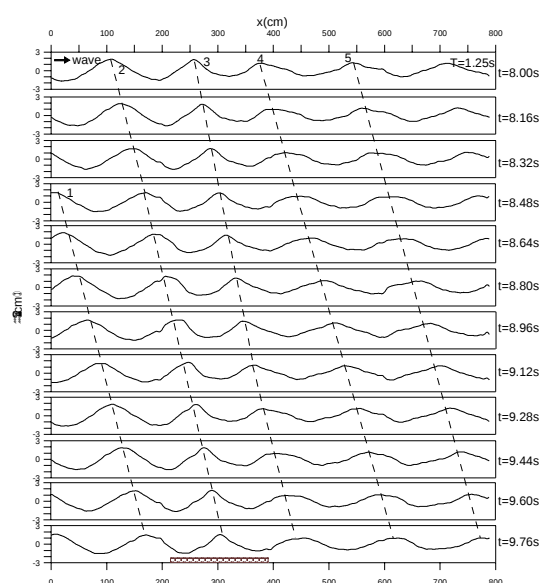


圖 14 波浪通過透水潛堤($n=0.740$)之空間變化，週期 $T=1.25(S)$ 、堤寬 $164cm$ 、堤高 $21cm$

由於水深變大而趨於增加（見表 2）；孔隙率為 0.740 條件中，波浪從堤前運行至堤後大體上趨勢都與孔隙率 0.408 相似。不過值得注意的是，隨著孔隙率增加，其高階諧和波生成現象越趨於不明顯，主波峰和其伴隨生成的小波峰，也相對不明顯。由表 2 其平均相位速度數據與圖 11~14 可以看出，因非線性效應而產生伴隨在主波峰的

小波，其相位速度與主波峰並不相同，不過其在潛堤上方時，由於其速度與主波峰的速度差異不太，所以在圖形上看不出它有明顯脫離主波峰的現象，但當波浪通過潛堤後其主峰和二次波的速度都會變大，且主峰和二次波峰的波速差，也會隨之變大，此時二次波峰與主峰的距離就有較明顯的變大。此外，由平均相位速度數據也發現當生成諧和波越明顯條件中（不透水潛堤 $n=0$ ，週期 $T=1.0$ 與 1.25 ；透水潛堤 $n=0.408$ ，& 透水潛堤 $n=0.408$ ，週期 $T=1.0s$ ），其平均相位速度在通過潛堤後並不會回復到接近堤前相位速度；反之，生成諧和波越不明顯條件中（透水潛堤 $n=0.408$ ，週期 $T=1.0$ 與 1.25 ；透水潛堤 $n=0.740$ ，週期 $T=1.25s$ ），其平均相位速度在通過潛堤後並不會回復到接近堤前相位速度，此現象似乎意味堤後高階諧和波間存在複雜機制，其真正原因仍有待探討。

表 2 為週期 $T=1.0(s)$ 與週期 $T=1.25(s)$ 在堤寬 $164cm$ 條件下，相對於不同孔隙率之潛堤位於堤前(水深 $27.5cm$)、堤上($6.5cm$)、堤後($27.5cm$)之平均相位速度

相速度 cm/sec		堤前	堤上				堤後
		27.5cm	6.5cm				27.5cm
孔隙率 n		1	2	3	4	5	6
0	$T=1.00s$	125.0	64.3	54.5	61.2	67.6	70.5
	$T=1.25s$	140.0	65.3	53.4	62.9	76.0	86.8
0.408	$T=1.00s$	122.3	68.0	63.6	77.0	109.7	116.5
	$T=1.25s$	128.1	73.3	55.2	68.9	62.4	75.0
0.740	$T=1.00s$	114.3	107.8	63.8	82.5	98.0	98.4
	$T=1.25s$	134.2	92.4	98.75	132.6	133.4	**

此外，在圖 9~14 中亦可清楚看見堤後週期性變化，根據根據 Mei and Ünlüata (1972)；Bryant(1973)；Mei(1989) 指出此週期性變化主要是由於各倍頻內的自由波和強制波相位間的差異所引起。

五、結論與建議

本文利用空間攝影的方式與影像連結研究波浪通過不透水 ($n=0$) 與透水潛堤 ($n=0.408$ & 0.740) 之空間變化，此外，並針對堤寬 $164cm$ ，探討其高階諧和波在空間

上的變化，初步獲得以下之結論。

不論透水或不透水潛堤中，堤後呈現明顯週期性變化，與前人研究吻合。在平均相位速度上，透水與不透水潛堤大致上呈現上堤後漸減，通過堤後漸增。隨著孔隙率增加其諧和波生成越趨於不明顯，且波高消滅越小。

至於在生成諧和波越明顯條件中，其平均相位速度在通過潛堤後並不會回復到接近堤前相位速度；反之，生成諧和波越不明顯條件，則回復到接近堤前平均相位速度，其真正原因仍有待探討。

未來，將針對不同形式潛堤探討一系列關於潛堤對諧和波生成，以利更進一步釐清生成機制。

誌謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會提供研究經費補助，計畫編號 NSC92-2611-E-002-032，謹致感謝之意。

參考文獻

1. Crue, J. (1992). "Nonlinear Water Waves at a Submerged Obstacle or Bottom Topography", *J. Fluid Mech.* Vol. 244, pp. 455-476.
2. Driscoll, A.M., Dalrymple, R.A. and Grill, S.T. (1992). "Harmonic generation and transmission past a submerged rectangular obstacle", *Proc. 23rd Int. Coastal Eng. Conf.*, Venice, ASCE, pp. 1142-1152.
3. Johnson, J.W., Fuchs, R.A. and Morison, J.R. (1951), "The damping action of submerged breakwaters", *Trans. Am. Geophys. Union* 32, pp.704-718.
4. Marc, P., L. Huanjay and C. L. T (1993). "On Generalized Bragg Scattering of Surface-Waves by Bottom Ripples", *J. Fluid Mech.* Vol. 255, pp. 597-620
5. Massel, S. R. (1983). "Harmonic Generation by Waves Propagating over a Submerged Step", *Coastal Eng.* Vol. 7, pp. 357-380.
6. Mei, C. C., and Ünlüata, Ü , (1972). "Harmonic generation in shallow water waves." In: R.E. Meyer(Editor), *Waves on Beaches*. Academic Press, New York, pp. 181-202.
7. Mei, C. C. (1989). "The applied dynamics of ocean surface waves". *World Scientific*, Singapore, pp.578-593.
8. Ohyama, T. and Nadaoka, K. (1992) "Modeling the transformation of nonlinear waves passing over a submerged dike", *Proc. 23rd Int. Coastal Eng. Conf.*, Venice, ASCE, pp.526-539.
9. Rey, V., Belzons, M. and Guazzelli, E. (1992). "Propagation of Surface Gravity Waves over a Rectangular Submerged Bar", *J. Fluid Mech.* Vol. 235, pp.453-479.
10. Young, I. R. (1989). "Wave transformation over coastal reefs", *J. Geophys. Res.*, Vol. 94, pp.9779-9789.