

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

※

※

※

碎波流場機制之實驗研究 (一)

※

※

※

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89-2611-E-002-024

執行期間：88 年 3 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

計畫主持人：丁肇隆

共同主持人：林銘崇

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

執行單位：國立台灣大學造船及海洋工程學研究所

中華民國 89 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

碎波流場機制之實驗研究(一)

Experimental Study of Breaking Wave Mechanism (I)

計畫編號：NSC 89-2611-E-002-024

執行期限：88年8月1日至89年7月31日

主持人：丁肇隆

國立台灣大學造船及海洋工程學系

共同主持人：林銘崇

國立台灣大學造船及海洋工程學系

計畫參與人員：胡惟鈞

國立台灣大學造船及海洋工程學系

一、中文摘要

由於海洋活動隨著人類文明逐漸頻繁，海洋結構物之安全性也就逐漸重要。由於複雜之波浪外力造成結構物設計上的困難，而其中又以碎波之破壞性最強。近年來海內外學者致力於碎波之研究不遺餘力，然而理論模式之正確性卻令人懷疑，追根究底歸因於對碎波機制之不瞭解，本研究即針對此一問題進行探究。

本研究使用線性變頻波(頻率由高至低線性變化)產生出深水崩波(spilling)型碎波，並利用 1/10 斜坡產生淺化捲波(plunging)型碎波，以影像系統分別攝取碎波瞬間之波型變化，做為進一步利用 PIV 流場量測系統觀測碎波流場之基礎。

關鍵詞：PIV 流場量測系統、碎波機制

Abstract

Since the ocean activities become frequent, the safety of ocean structure becomes more important. However, the design of ocean structures is more difficult than the design of land structures due to the complicated exerting wave forces, especially the breaking-wave forces. Recently, researchers have strived for developing theoretical breaking wave model. Since the physical mechanism of breaking waves is still obscure, the accuracy of the models is doubtful. This research is going to investigate this complicated problem.

A deep-water spilling-breaker is generated successfully in the laboratory by using a linear-varying-frequency wave train. We

generate a shoaling plunging-breaker with the foreshore slope of 1/10. A high-speed CCD camera are used to monitor the breaking wave profile instantly. With these results, we can establish a PIV measurement system for measuring and observing the whole flow field of breakers.

Keywords: PIV measurement system, breaking-wave mechanism

二、緣由與目的

波浪傳遞至淺海時，由於水深減小所造成之淺化效應，引致波浪尖銳度急遽增大及波高的抬升，當超過其極限後即發生碎波。事實上，當碎波發生時，由於波形的急速崩潰，導致波動本身相當部份的能量急驟釋放出來，所造成的現象十分複雜，如波浪的減衰變形，波浪引起的沿、離岸流對底質懸浮物的輸送及輸沙等，這些都與波浪內部流場在淺化過程的變化有密切的關係，卻不若波形的變化可一目了然。早期對碎波的研究著重在碎波的發生條件、碎波形式及波高衰減形式之探討，但對碎波帶內之流場運動及其力學機制，乃至於碎波所引起的紊流及渦動在時空上的分佈特性，則尚未十分明瞭，因此有關碎波帶內之流場機制值得深入研究探討。

許多學者對碎波的特性進行研究，如：Inman, Tait & Nordstrom(1971), Battjes (1975), Svendsen & Putrevu (1994)。碎波代表一種極端的海況，在工程上也代表最可能發生危險的情況，其重要性相當顯而易見，但因為發生變化的時間相當短且劇烈，直至近二十年來對此問題才在

理論及實驗上有明顯的進展。近年來對碎波研究的回顧可參考 Peregrine (1983)、Stansby & Isaacson (1987)、Battjes (1988)、Svendsen & Putrevu (1996) 等學者的著述。

碎波過程的數值模式建立進展相當緩慢，其原因主要是用 turbulent flow model 直接數值模擬碎波仍不可行，必須要加入一些適當的物理條件，另一原因是計算自由液面在碎波時及碎波後的波形困難度很高，傳統上假設自由液面為一連續且為一物質邊界在液氣混雜的區域將不再適用。現有描述碎波的數值模式大都植基於水深方向積分的方程式，如 shallow-water equation、Boussinesq equation、Serre equation，並將碎波的過程以消散項的型式加入水深方向積分的動量方程式加以描述；Zelt (1991)、Karambas & Koutitas (1992) 引進 eddy viscosity model, Brocchini, Drago & Ivoenitti (1992)、Schäffer, Madsen & Deigaard (1993) 使用更複雜的 roller model 來描述液氣混雜區域的速度場。這些模式在水面波形上與實驗觀察得到的資料相當一致，但仍無法準確的得到內部流場。Deigaard, Fredsoe & Hedegaard (1986) 使用簡化的 turbulent kinetic energy k -equation 去估計碎波帶的紊流傳遞，但 Svendsen (1987) 發現此模式對 turbulent kinetic energy 在水深方向的變量有高估的情形，且如何適當的決定碎波帶的紊流尺度也相當困難。Lemos (1992) 利用 k - ϵ turbulence closure model 描述碎波，但此模式未與實驗資料直接比對。由上述的簡短回顧，可發現目前仍沒有數值模式可充分描述碎波的過程，且其速度場亦未經過仔細的實驗驗證。

亦有許多學者由實驗量測碎波的速度及紊流強度，如 Stive (1980)、Stive & Wind (1982)、Nadaoka & Kondoh (1982)、Hattori & Aono (1985)、Mizuguchi (1986)、Nadaoka, Hino & Koyano (1989)、Ting & Kirby (1994, 1995, 1996)，這些學者所採用的量測方式為 hot-film anemometer 或 laser Doppler velocimeter (LDV)。近年來 particle image velocimetry (PIV) 的技術亦被引進量測碎波，此方法的優點是可測得全域瞬時的速度分佈，並可由 PIV 的資料

計算得到 acceleration & vorticity，如 Lin & Rockwell (1994, 1995)、Skyner (1996)、Chang & Liu (1997)。

三、結果與討論

本研究為三年計劃之第一年度，旨在利用雷射及高速攝影機建立一套波形變化及 PIV 流場之量測系統，以觀察量測碎波發生時瞬間之變化。本實驗在台大造船及海洋工程學系之基礎流體實驗室中執行，實驗配置示意圖如圖一，在一長 20m、寬 0.8m、深 0.8m 之斷面水槽中配合可程式之活塞式造波機，並使用一 4W 之 Argon Ion 雷射及 Kodak Motion-Corder Analyzer Model SR-Ultra 高速灰階攝影機攝取碎波波形及流場之變化。

在儀器架設上，為便於觀測不同位置之碎波，採用光纖及一 30° 之 laser-sheet generator couple 以取代一般使用之透鏡組，當雷射以波長 $514 \mu\text{m}$ 輸出功率 0.85w 時，經光纖導光仍有 0.48w，功率損耗約為 43.5%，此時在靜水面之雷射光頁寬度約為 2mm。為利於觀測，在水中添加 Rhodamine B 染料，取像速度為 250FPS。

在實驗條件上，一般由波形尖銳度、入射波頻率及底床坡度控制碎波之型態。當產生深水崩波(spilling)型碎波時，吾人採用之入射波如圖二，波高因數 0.9 之線性變頻波，其特徵頻率為 1.312Hz，在距造波機 8m 處攝取之影像如圖三，各子圖之時間間隔為 20ms。由圖中可看出，碎波發生時波形之演變經由 CCD 可清楚觀測，波峰崩潰處空氣混入僅及於液面附近，波峰前緣下方，發生碎波後即產生一道帶狀陰影區，應為由上往下打光時，受到碎波產生之氣泡遮蔽所致。在淺化碎波方面，參考 Battjes 之碎波相似參數，以波形尖銳度 0.04、頻率 1.12Hz 之入射波在 1/10 斜坡上產生捲波(plunging)型碎波如圖四，各子圖之時間間隔為 28ms。圖中波峰前緣在碎波發生後向前突出成捲舌狀，捲入大量空氣之情形清晰可見，唯受氣泡之影響，受遮蔽之帶狀陰影區亦較大。

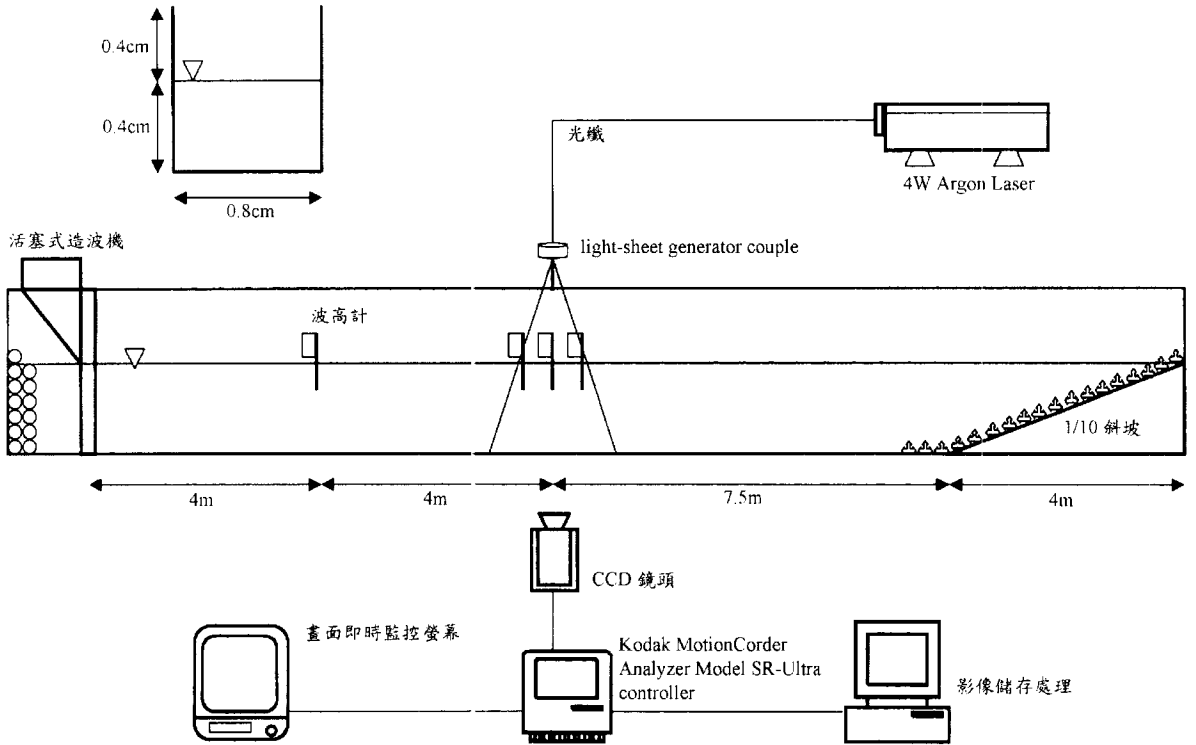
四、計畫成果自評

本計劃第一年度旨在利用雷射及高速攝影機建立一套波形變化及 PIV 流場之量測系統，此系統已架設完成，由初步之實驗結果可證實其可行性。唯為更精確量測瞬時碎波波形及流場之變化，可由減小雷射光頁寬度以獲取較高之照明亮度及觀測精度，並視碎波發生之位置及型態調整雷射光頁照明之方式及角度，以避免碎波產生之氣泡造成帶狀陰影區遮蔽內流場之觀測。

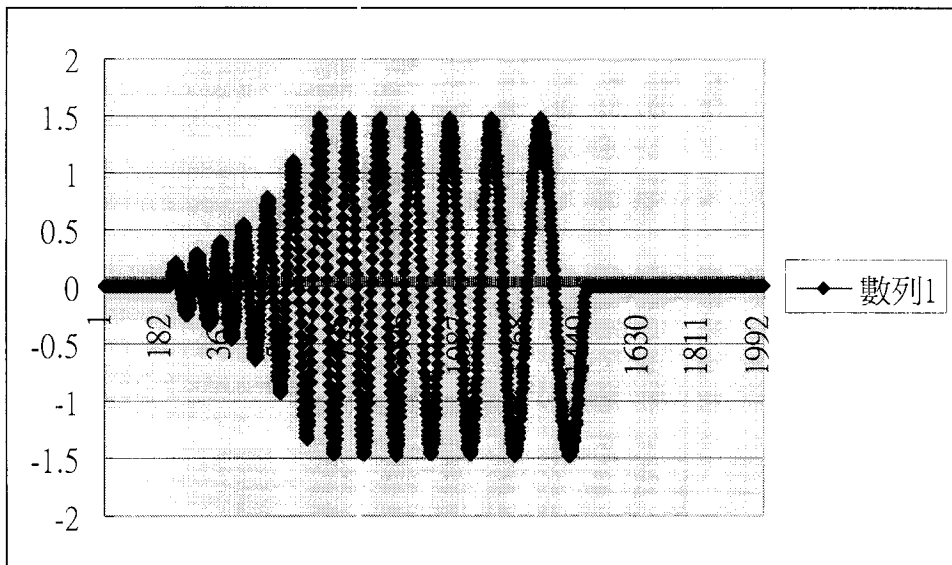
五、參考文獻

- [1] Inman, D. L., Tait, R. J. & Nordstrom, C. E. 1971 Mixing in the surf zone. *J. Geophys. Res.* 76, 3493-3514.
- [2] Battjes, J. A. 1975 Modeling of turbulence in the surf zone. *Proc. Symp. On Modeling Tech., San Francisco*, pp.1050-1061. ASCE.
- [3] Svendsen, I. A. & Putrevu, V. 1994 Nearshore mixing and dispersion. *Proc. R. Soc. Lond. A* 445, 561-576.
- [4] Peregrine, D. H. 1983 Breaking waves on beaches. *Ann. Rev. Fluid Mech.* 15, 149-178.
- [5] Stansby, P. K. & Isaacson, M. Recent developments in offshore hydrodynamics: workshop report. *Applied Ocean Research*, 1987, 9(3), 118-127.
- [6] Battjes, J. A. 1988 Surf-zone dynamics. *Ann. Rev. Fluid Mech.* 20, 257-293.
- [7] Svendsen, I. A. & Putrevu, V. 1996 Surf-zone hydrodynamics. In *Adv. Coastal Ocean Engng* 2, 1-78.
- [8] Zelt, J. A. 1991 The run-up of non-breaking and breaking solitary waves. *Coastal Engng* 15, 205-246.
- [9] Karambas, Th. V. & Koutitas, C. 1992 A breaking wave propagation model based on the Boussinesq equations. *Coastal Engng* 18, 1-19.
- [10] Brocchini, M., Drago, M. & Iovannitti, L. 1992 The modeling of short waves in shallow water: Comparison of numerical model based on Boussinesq and Serre equations. *Proc. 23rd Intl Conf. Coastal Engng*, pp.76-88. ASCE.
- [11] Schäffer, H. A., Madsen, P. A. & Deigaard, R. 1993 A Boussinesq model for waves breaking in shallow water. *Coastal Engng* 20, 185-202.
- [12] Deigaard, R., Fredsoe, J. & Hedegaard, I. B. 1986 Suspended sediment in the surf zone. *J. Waterway, Port, Coastal Ocean Engng* 112, 115-129.
- [13] Svendsen, I. A. 1987 Analysis of surf zone turbulence. *J. Geophys. Res.* 92, 5115-5124.
- [14] Lemos, C. M. 1992 *Wave Breaking*. Springer.
- [15] Stive, M. J. F. 1980 Velocity and pressure field of spilling breaker. *Proc. 17th Conf. Coastal Engng*, pp.547-566. ASCE.
- [16] Stive, M. J. F. & Wind, H. G. 1982 A study of radiation stress and set-up in the nearshore region. *Coastal Engng* 6, 1-25.
- [17] Nadaoka, K. & Kondoh, T. 1982 Laboratory measurements of velocity field structure in the surf zone by LDV. *Coastal Engng in Japan* 25, 125-146.
- [18] Hattori, M. & Aono, T. 1985 Experimental study on turbulence structure under spilling breakers. In *The Ocean Surface* (ed. Y. Toba & H. Mitsuyasu), pp.419-424. Kluwer.
- [19] Mizuguchi, M. 1986 Experimental study on kinematics and dynamics of wave breaking. *Proc. 20th Intl Conf. of Coastal Engng*, pp.589-603. ASCE.
- [20] Nadaoka, K., Hino, M. & Koyano, Y. 1989 Structure of the turbulent flow field under breaking waves in the surf zone. *J. Fluid Mech.* 204, 359-387.
- [21] Ting, F. C. K. & Kirby, J. T. 1994 Observation of undertow and turbulence in a laboratory surf zone. *Coastal Engng* 24, 51-80.
- [22] Ting, F. C. K. & Kirby, J. T. 1995 Dynamics of surf-zone turbulence in a strong plunging breaker. *Coastal Engng* 24, 177-204.
- [23] Ting, F. C. K. & Kirby, J. T. 1996 Dynamics of surf-zone turbulence in a spilling breaker. *Coastal Engng* 27, 131-160.
- [24] Lin, J.-C. & Rockwell, D. 1994 Instantaneous structure of a breaking wave. *Phys. Fluids* 6, 2877-2879.
- [25] Lin, J.-C. & Rockwell, D. 1995 Evolution

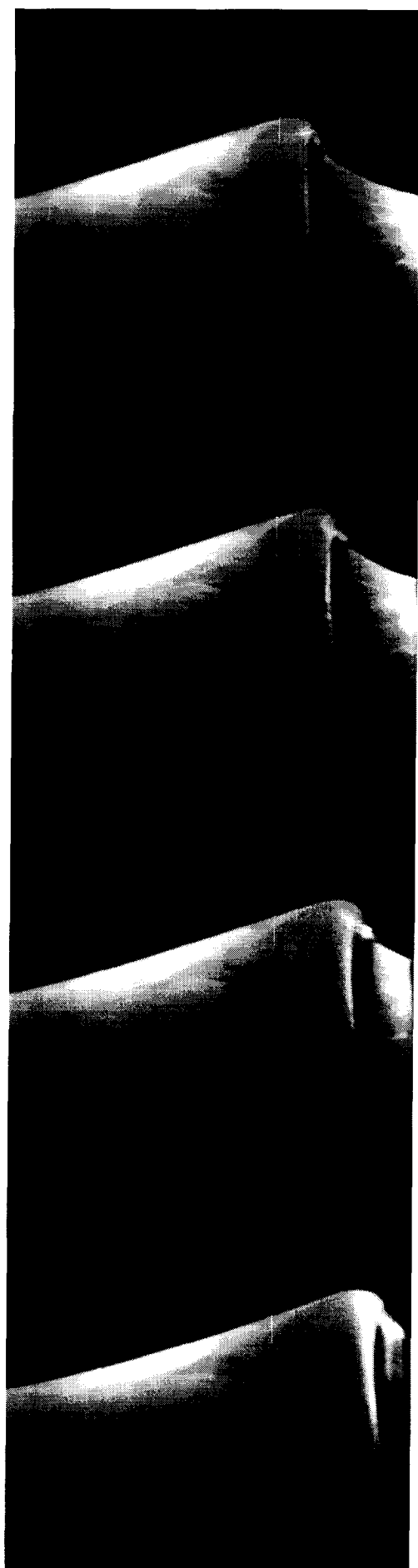
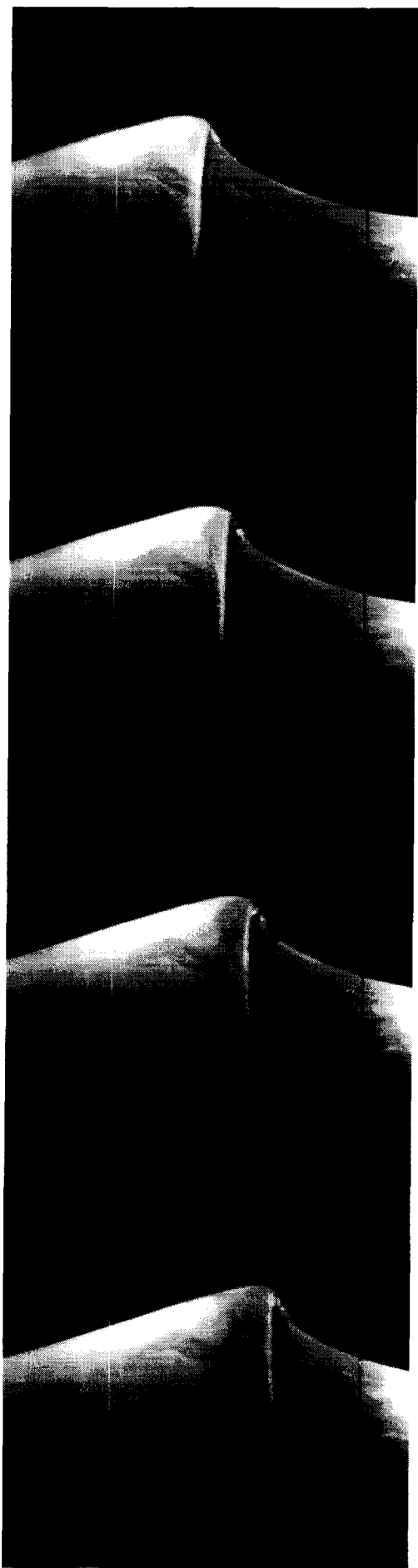
- of a quasi-steady breaking wave. J. Fluid Mech. 302,29-44
- [26] Skyner, D. 1996 A comparison of numerical predictions and experimental measurements of the internal kinematics of a deep water plunging wave. J. Fluid Mech. 315, 51-64
- [27] Chang, K. A. & Liu, P. L-F. 1997 Measurement of breaking waves using particle image velocimetry. Proc. 25th Intl Conf. Coastal Engng, pp. 527-536. ASCE.
- [28] Longuet-Higgins, M. S. 1992 Capillary rollers and bores. J. Fluid Mech. 240, 659-679.
- [29] Lin, M. C. & Shieh, L. D. 1997 Simultaneous measurement of water impact on a two dimension body, Fluid Dynamics Research.
- [30] Pengzhi Lin, Kuang-An Chang, Philip L-F. Liu 1999 Runup and rundown of solitary waves on sloping beaches, ASCE.



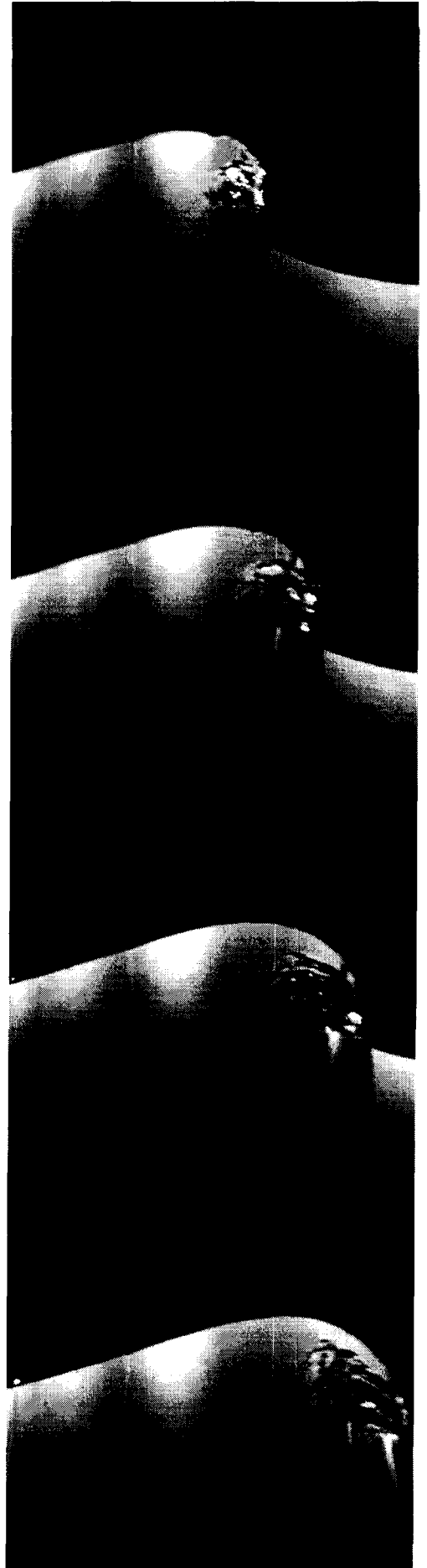
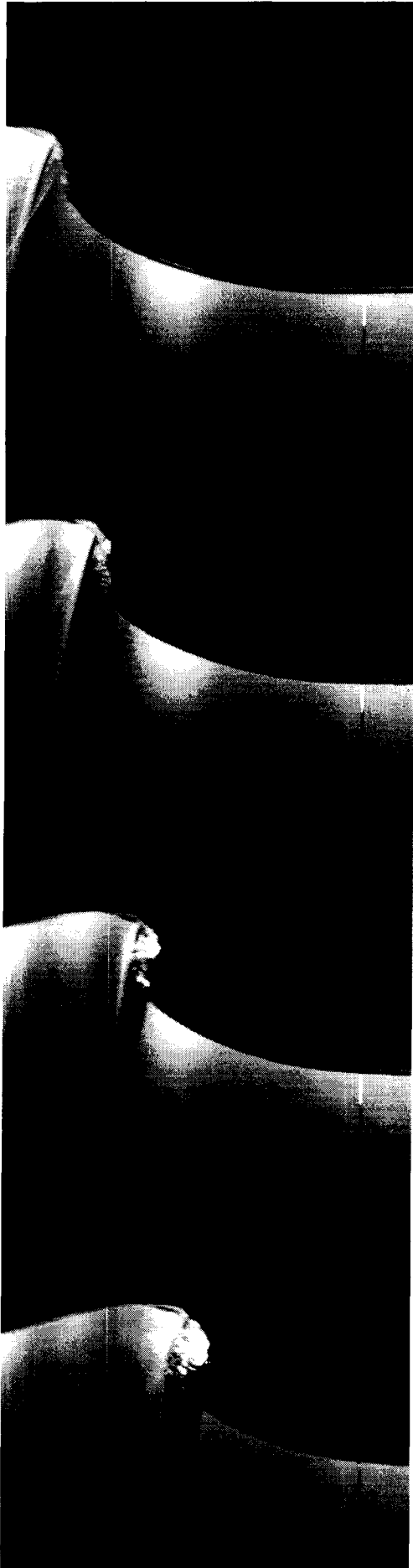
圖一 實驗配置示意圖



圖二 線性變頻波形示意圖



圖三 深水崩波(spilling)型碎波圖



圖四 淺化捲波(plunging)型碎波圖