

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

沙床形之三維多顆粒泥砂躍移研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-002-039-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學水工試驗所

計畫主持人：李鴻源

計畫參與人員：林永峻，翁明儀，王筱雯，邱昱嘉，陳正昌，趙倬群

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 7 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

沙床形之三維多顆粒泥砂躍移研究

Investigations of three dimensional multi-particles
saltating process on a dune bed

計畫編號：NSC 92-2211-E-002-039

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：李鴻源教授 國立台灣大學水工試驗所

計畫參與人員：林永峻 國立台灣大學水工試驗所

翁明儀 國立台灣大學水工試驗所

一、摘要

以往研究的成果，主要是針對二維泥砂顆粒與底床顆粒的碰撞行為以及泥砂顆粒的運動型態作探討（Garcia and Nino(1994,1998)、陳彥旭(1998)、游景雲(1999)），已獲得不錯之成果。在有關三維泥砂運行與躍移之研究，本研究群（林穎典(2000)、李博甯(2001)、王筱雯(2002)），均假設底床為規則顆粒組成之平坦床形，建立一包含底床碰撞與空間碰撞之三維多顆粒連續躍移數值模式，藉此模式探討顆粒躍移之運動特性。然而一般明渠中，底床床型會依流速的不同而呈現包括平整(flat bed)、沙紋(ripple)、沙丘(dune)、沙浪(antidune)及急灘與深潭(chutes and pools)等不同型式，不同型式的床型會對近床區域的流況造成影響，進而影響到推移載顆粒的運動情形。本研究針對沙丘(dune)底床型態之三維泥砂顆粒躍移行為及其間的碰撞機制進行探討，藉助三維動態影像數位化系統來建立一套在沙丘底床型態下之三維多顆粒連續躍移模式，並和過去所發展相互比較，希望能對泥砂顆粒躍移運動有更進一步的了解。

關鍵詞：推移載、躍移、碰撞機制、三維動態影像數位化系統、沙丘

Abstract

A series of studies regarding the two dimensional collision mechanism with the channel bed and among the saltating particles were conducted by Garcia and Nino (1994, 1998) and our group (Chen 1998, You, 1999). The simulation results are satisfactory. For past years, our group (Lin 2000, Lee, 2001, Wang, 2002) had extended the experiments to three dimensional conditions. The bed forms of our previous experiments were flat bed and formed by uniformly distributed sediment particles. However, the bed forms in natural rivers vary with different flow conditions. Different types of bed forms, were observed, namely, flat bed, ripple, dune, antidune, and chutes and pools. Particles saltation characteristics will definitely be different under bed forms. The purpose of this study is to investigate the three dimensional saltation characteristics on a dune bed, with special attention on the collision behaviors between the saltating particles and the channel bed and interparticle collision behaviors. A three dimensional flow visualization technique will be modified and upgraded in this study to measure the three dimensional saltation trajectories on a dune bed. Basing on these data, a three dimensional continuous saltation for multiple sediment particles will then be developed. This model will be very helpful in the study of bed load transport.

Keywords : Bed load, Saltation, 3-D flow visualization technique, Dune

二、緣由與目的

天然河川是由水流和河床相互作用所構成的複雜運動系統，當水流的作用力超過河床的抵抗能力後，泥砂便開始起動，伴隨而來的是河床的變化，進而影響水流的特性。由於對近床區域的泥砂躍移機制並不十分瞭解，所以一般沿用的推移載公式，都是由實驗或現場量測所得的輸砂量，配合因次分析或簡單的物理概念所推求的經驗或半經驗公式，其適用性往往只局限於某一個狹隘的範圍內，而且應用不同公式所求得的結果差異頗大。要突破此一瓶頸，應該要針推移載的運動機制進行更深入的探討，而不再以迴歸經驗公式為目標。顆粒躍移運動除了各種定率性的作用力之外，尚包含了隨機性的影響因子；所以若要瞭解此一運動規律，不僅要研究其力學機制，還要考慮其隨機特性，才能反應出問題的全貌。近年來有不少學者著眼於泥砂顆粒的躍移分析及泥砂顆粒間彼此的作用，已有不錯的成果。

三、實驗底床佈置及分析方法

a、底床形狀

沙丘階段，水流強度、福祿數 Fr 以致於相對糙度 D/h 均將產生影響。Yalin. M. S. and E.Karahan, 研究沙丘產生-成長-衰微-消失的全部過程，隨著 D/h 的減小，沙丘所達到的陡度不斷加大，並以 0.06 為其極限，故底床的陡度選擇 0.06 來作為觀察，並選擇可以使泥沙啟動的水流條件來作為觀察。實驗佈置圖如圖一所示

b、擷取影像及顆粒軌跡方法

為了能精確並且有效的獲取三維躍移顆粒之實驗數據，本研究藉助三維動態影像數位化系統技術，即使用兩台電荷耦合相機(Charge Couple Device Camera, CCD camera) 分別紀錄 X-Y 及 X-Z 平面的亮點影像，由其中一台 CCD 照相機發出同步訊號給另一台 CCD 相機，以達同步攝影之目的，其原理簡述如下，一般彩色影像由 R(RED)、G(Green)、B(Blue)三原色所組成，稱為三個 channel，每種顏色有 256 色階，而

本量測系統利用 Matrox Image Grabber(影像捕捉卡)，攝得之影像

利用 Matlab，先將全部影像作平均，再將每一張影像個別減去平均的影像，就可以抓到每張影像中移動的點，量測三維顆粒之高精度位置，進而求得並分析顆粒躍移的軌跡和躍移過程的速度、加速度以及各主要作用力大小的變化等運動及動力特性。

四、結果與討論

如圖二，為沙丘面上的流線分佈，水流在經過這樣的河底時，並不與沙丘表面相平行，近底的水流自 A 點循上波以達波峰 C，在那裡發生分離，至 E 點再和河床相遇（這一點稱為重匯點），至波峰至重匯點的長度為 L ，它反映了波峰下游分離區的長度。本實驗所得 L/λ 為 0.30 及 0.37，符合 Karahan and Peterson 在 1980 年做的沙丘波峰下游水流分離區長度與水流條件的關係，即在 $Fr > 0.2$ 時， L/λ 的值趨近於 0.32。

水流分離的結果，使近底床流速的沿程分佈不可能保持均勻，在沙丘的迎水面處於加速區，背水面處於減速區，垂線流速分佈在波峰 C 處最為均勻。在重匯點 E 處，水流的壓力最大；沙丘迎水面和背水面的壓力不等，造成沿著水流方向的一個合力，這個合力的反作用力就是沙丘的形狀阻力（又稱沙波阻力），從 E 點循著沙丘的迎水面到達 C 點，一方面是水流的時均剪切力不斷加大，在重匯點為零，至波峰到達最大，另一方面，由於水流分離面上上下兩層水流流速的急劇改變，使得這裡水流很不穩定，產生了局部紊動，紊動強度至 E 點最大，至此以下，紊動迅速向主流區擴散，進底處的紊動強度反而越來越小。

在這樣的水流條件下，泥沙顆粒在沙丘迎水面上的泥沙顆粒受水流時均剪切力及底床紊動的雙重作用而外移，沿著坡面滾動或跳動前進，到了波峰後，落入背水的面的渦流中，就地堆積下來，或是被水流帶到下一個沙丘，

其中有一部份細顆粒泥沙在下一個沙丘和緩的坡面上沉降下來，然後循著迎水坡再度向前移動。只有在接近底床處運動的顆粒泥沙到達波峰後，水流向上流動分速不足以使之舉離渦流區，結果或為水流所擷取，或者沿坡面 CD 滑落下來，都沉積在波谷中。如圖三所示，即為顆粒堆積於波谷之現象。

利用 Matlab 抓點，將 CCD 所擷取的原始影像如圖四、六，扣去背景即可抓出每個時間下移動中的點在鏡頭下的位置，如圖五、七。再利用比例尺的觀念換算鏡頭擷取的影像與

實際的單位，即可將每個點的三維座標(X , Y , Z)定出，進而去計算所有的物理量，將每個時間下的移動點疊加畫在同一張圖上，如圖八及圖九，即可明確看出顆粒所移動過的軌跡，進而準確判斷出顆粒跳躍的時間及位置；躍長 (saltation length, SL) 為每一躍移之 x 方向的相對最大高度、躍高 (slatation height, SH) 為每一躍移之 y 方向的相對最大高度、躍寬 (saltation width, SW) 為每一躍移於 z 方向的最大位移量； D_* 為實驗中所使用顆粒直徑為 0.6cm。

在 A 水流條件下， SL/D_* 、 SH/D_* 及 SW/D_* 以 30 組資料作平均後再以 D_* 無因次化，量到的值分別為 4.95、2.00、1.42；以同樣的方法算 B 水流條件下的值為 12.11、2.06、1.55，其中無因次躍長明顯地隨 Fr 的增加而增大。

組別	A	B
水流條件與量測值		
Q(cms)	0.206	0.358
V(m/s)	0.027	0.048
Fr	0.039	0.068
L/λ	0.37	0.30
SL/D_*	4.95	12.11
SH/D_*	2.00	2.06
SW/D_*	1.42	1.55

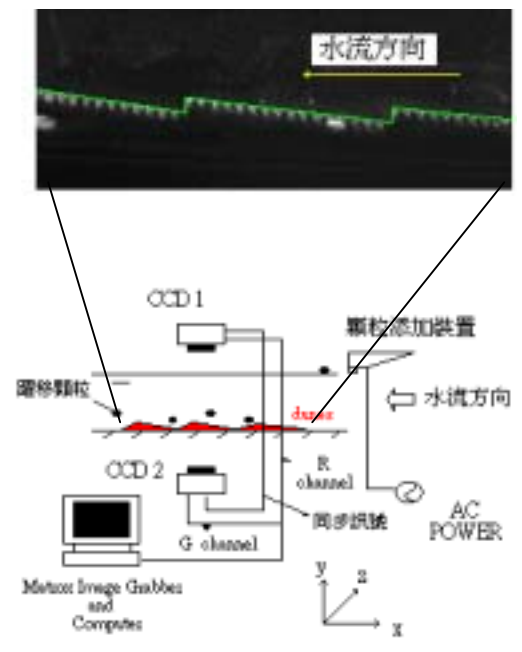
表一、水流條件與量測值

五、誌謝

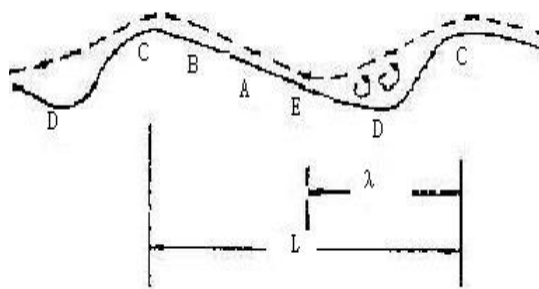
本研究承蒙 國科會提供研究經費及台大水工試驗所提供試驗場地，謹致謝忱。

五、參考文獻

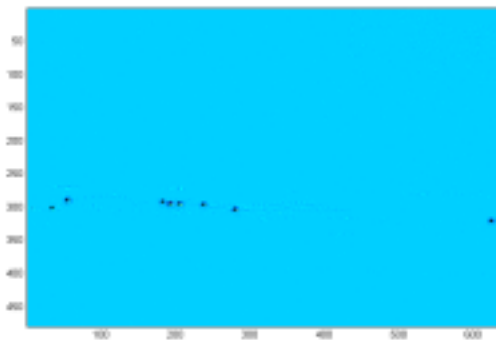
1. Einstein, H. A. and E.A. El-Sammi. "Hydrodynamic forces on a rough wall," Rev. Modern Phys., Vol.21, No.3, pp.520-524, 1949.
2. Karahan, M. E. and A. W. Peterson, "Visualization of Separation Over Sand Waves" , J. Hyd. Div. Proc., Amer. Soc. Civil Engrs., Vol.106, No. HY8, Aug. 1980, pp.1345~1352
3. Lee, H.Y., and Hsu, I.S., "Investigation of Saltating Particle Motions," Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.120, No.7, pp.831-845. 1994.
4. Lee, H.Y., Chen, Y. H. You, T.Y., and Lin, Y.T., "Investigations of Continuous Bed Load Saltating Process", ASCE Journal of Hydraulic Engineering. (in press)
5. Lee, S.Y , "Investigations of the Particle Saltating Process Near the channel Bed" ,MS Thesis, Dept. of Civil Engineering, National Taiwan University, June 1993 (in Chinese) .
6. Nino, Y., Garcia, M. and Ayala, L., "Gravel Saltation 1. Experiments," Water Resources Research, Vol.30, No.6, pp.1907-1914, 1994.
7. Yalin. M. S. and E.Karahan, "Steepness of Sedimentary Dunes", J. Hyd. Div., Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.



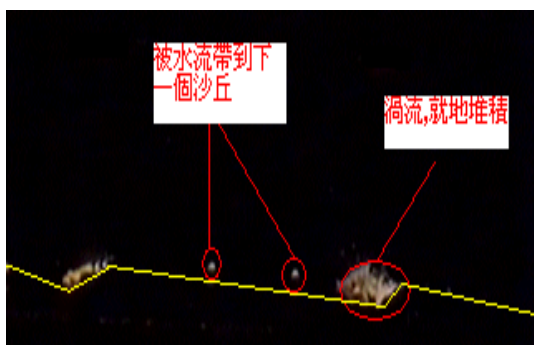
圖一、實驗佈置圖



圖二、沙丘上的流線分佈



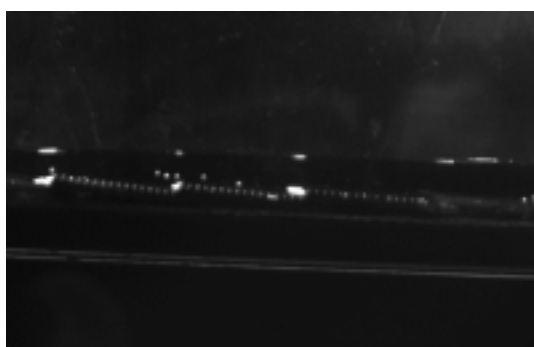
圖五、用 Matlab 分析原始圖像所得移動點(x-y)



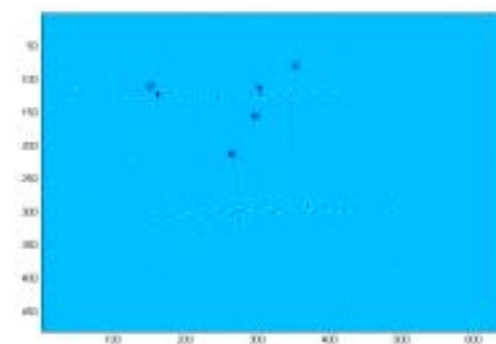
圖三、顆粒移動圖



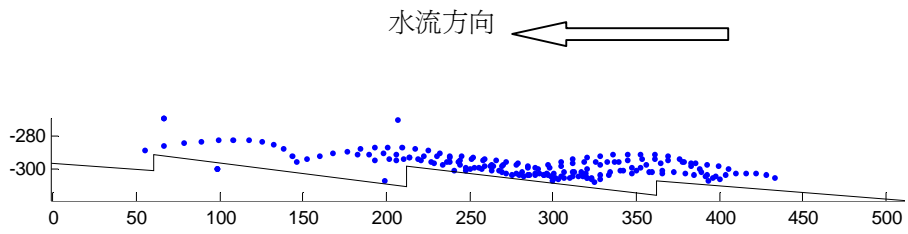
圖六、CCD 相機所擷取原始圖像(x-z)



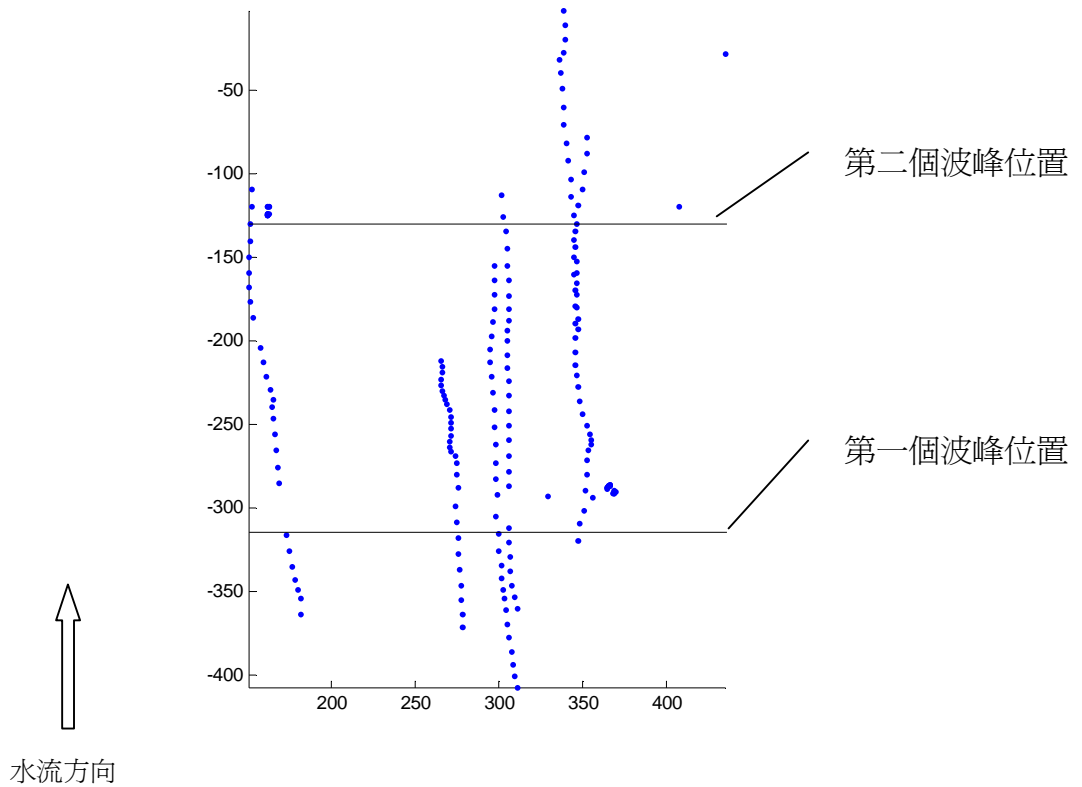
圖四、CCD 相機所擷取原始圖像(x-y)



圖七、用 Matlab 分析原始圖像所得移動點(x-z)



圖八、用 Matlab 分析實驗影像軌跡圖(x-y)



圖九、用 Matlab 分析實驗影像軌跡圖(x-z)