

逢甲大學學生報告 ePaper

應用聲學式振動管觀測接觸載輸砂量研究

The application of acoustic vibration tube observation
contact sets for sediment transport

作者：王澤琳、李翊銘

系級：水利工程與資源保育學系

學號：D9731032、D9731195

開課老師：許盈松 老師

課程名稱：畢業專題

開課系所：水利工程與資源保育學系

開課學年 100 學年度 第 二 學期



中文摘要

台灣位於多雨亞熱帶氣候區，常年多雨且地震頻繁，地形多為山高坡陡，流域面積狹小，且流量豐枯不均，上游水源不易保存利用。再加上台灣集水區之岩層較為年輕，抗蝕能力較弱，每逢颱風豪雨來襲或地震，鬆動的土層與高強度的降雨造成泥砂含量倍增，夾砂水流對河床或邊坡造成的淤積和沖刷，對於河川水情和治理以及水利工程構造物的興建都會造成許多影響。近年泥砂淤積和水濁度問題日益嚴重，因此水中泥砂含量之觀測十分重要，藉由長期記錄觀察泥砂資料作為依據，以分析研究出具備能準確、快速、在線(on site)及連續性(continuous)功能之泥砂觀測技術。

天然河道的泥砂觀測依輸送方式區分為推移載跟懸浮載，而推移載又以運動方式分成跳躍載以及接觸載，本研究主要針對接觸載之觀測進行試驗。以聲學原理為依據，傳統振動式測砂法理論為基礎，來探討滾動顆粒撞擊簡支式振動管之特性。建立簡支式振動管與能量曲線之相對關係；以不同坡度條件之顆粒作為標定，量測不同坡度顆粒撞擊振動管產生共振頻率間的變化關係，由資料擷取器讀值觀測撞擊強度大小，同時針對能量與坡度、粒徑數量間的關係，並進一步探討能量對應輸砂率之可行性。

振動管訊號透過頻譜分析圖可推估不同河川型態的推移載運動狀態及撞擊條件。振動管能量與撞擊條件的改變呈現良好的線性趨勢。若進一步對於振動管做深入研究，使振動管的應用技術更上一層，未來振動管可望成為推移載觀測的主流型式。

關鍵字：泥砂觀測技術、共振頻率、聲學、頻譜

Abstract

Natural river sediment observations divided by conveying the passage of time as set with the suspension set out, and goes on to set out the Youyi movement into jumping upload and exposure to upload, this study focused on the observation of the contact upload test. Acoustic principles as the basis for the traditional vibration measuring sand method based on the theory, to explore the characteristics of rolling particle impact simply supported vibration tube.

The vibrating tube signal goes through spectrum analysis chart to estimate the different river types are set out the state of motion and impact conditions. The energy of the vibrating tube showed a good linear trend and impact conditions change. Further to do in-depth study of the vibrating tube, the application of the vibrating tube technology to an even higher level, the vibrating tube is expected to be the passage of airborne observations mainstream type.

Keyword: Sediment observation techniques, the resonance frequency, acoustic spectrum

目 次

第一章 緒論	1
第二章 文獻回顧	3
第三章 研究方法	10
第四章 試驗結果分析	21
第五章 結論與建議	28



摘要

天然河道的泥砂觀測依輸送方式區分為推移載跟懸浮載，而推移載又以運動方式分成跳躍載以及接觸載，本研究主要針對接觸載之觀測進行試驗。以聲學原理為依據，傳統振動式測砂法理論為基礎，來探討滾動顆粒撞擊簡支式振動管之特性。

振動管訊號透過頻譜分析圖可推估不同河川型態的推移載運動狀態及撞擊條件。振動管能量與撞擊條件的改變呈現良好的線性趨勢。若進一步對於振動管做深入研究，使振動管的應用技術更上一層，未來振動管可望成為推移載觀測的主流型式。

第一章 緒論

本研究欲利用泥砂觀測技術了解河川輸砂的特性，進一步了解輸砂特性，且透過此研究對河川達到更有效率的治理，更可利用泥砂運動特性進行水庫的排砂工作。

在天然河道中因河床剪力速度跟泥砂顆粒的沉降速度的關係所致，使得懸浮載在河川泥砂運動中佔了極大部分。主要是由於推移載量測較懸浮載量測困難許多，為了更準確了解河川輸砂特性，推移載輸砂特性已變成各界所重視的課題。

本研究內容之大綱如下：

- 一、 緒論：敘述本論文之研究動機及目的。
- 二、 文獻回顧：蒐集有關推移載觀測之文獻、以及振動管相關原理，深入探討並加以分析。
- 三、 研究方法：敘述試驗設備以及試驗流程，針對試驗中所使用之原理及軟體應用加以介紹。
- 四、 試驗結果討論與分析：利用試驗過後所分析出來的圖示，對

於能量頻譜圖及輸砂率加以說明，探討試驗的前因後果。

五、 結論與建議：綜合各項討論與結果所得，提出試驗結論，並對後續試驗加以建議。

第二章 文獻回顧

泥砂之輸送一般可按下列兩種方式分類，依據泥砂來源方式，主要可區分為河床質及沖洗質；依泥砂輸送之動力方式，則可分成懸移載與推移載。泥砂運動型式可分為滑動、滾動、跳躍以及懸移等不同型式。

泥砂觀測採樣儀器，大致可分類為懸移載泥砂觀測儀器、推移載泥砂觀測儀器、床砂採樣儀器及淤積物採樣儀器等四大類型。觀測推移載的方法有直接法跟間接法兩種。直接法是利用採樣器或專門設計的機器裝置直接觀測推移載的方法，根據環境不同，採樣器的型式也有所不同。主要分為籃式、壓差式、盤式、以及槽坑式等四種，在國內常見的為槽坑式，是目前推測推移載輸砂率最準確之方式。

間接法則是通過定期施測水庫、湖泊淤積量，觀測砂波尺寸大小和其運行速度，抑或利用追蹤劑觀測泥砂運動，或是調查泥砂的岩石組成等，以推求輸砂率的方法。間接法有淤積斷面量測法示蹤劑法；(3)經驗公式法(4)砂丘追蹤法。

Andreas Krein(2008)利用水聽器及水下攝影機記錄推移載運動的特性，並分析不同推移載的運動特性與其質量、顆粒大小的關係。

Brayshaw(1983)利用伯貝克推移載傳感器安裝在沖積河床。利用河床顆粒滾動所產生的磁場和電感變化來檢測和記錄推移載顆粒運動

狀況。

Froehlich (1982) 利用磁滯曲線的不同形狀，判斷河床上推移載的放電量大小。

John (2002) 使用地聲探測儀檢測山區河道洪水期間，紀錄振動及輸出之電流訊號，透過訊號放大器輸入電腦進行頻譜分析，而後與流場進行比較。

本研究利用振動管觀測泥砂的輸移特性，根據前人自動化觀測推移載的研究加以延用與改良其研究方式深入探討。Andreas Krein 在 2008 年提出利用水聽器分析推移載的特性，透過能量頻譜圖觀測推移載運動時撞擊的能量及頻率，以及 John 在 2002 年利用地音探測器紀錄石塊撞擊鋼板之訊號，而後進行訊號分析及討論。以此文獻觀點為主要依據，利用不同質量的鋼珠進行初步撞擊試驗，觀察推移質運動方式撞擊振動管後所產生能量的變化，並透過能量頻譜分析方式判斷能量變化的趨勢。

本研究目前以均勻顆粒之鋼珠作為試驗體，雖然與天然河道中的泥砂顆粒有所差異，但主要係驗證此試驗過程與控制變因是否呈現良好關係，並說明利用聲學方式量測能量的便利性。

第三章 研究方法

本研究欲了解滾動顆粒撞擊簡支式振動管之運動特性。以改變坡度、顆粒質量及數量為試驗條件，量測不同撞擊條件下與振動管共振頻率間的相互變化關係。本研究前期於空氣中進行試驗並觀察振動管的特性。若振動特性與能量觀戲呈現良好關係，之後將持續進行一系列之相關研究。

試驗設計主要是利用聲學振動管產生振幅之方式，再針對快速傅立葉轉換(FFT)對振幅積分，求得所需要振動管的頻率值，再由頻率求出能量譜密度。本試驗採用IMC訊號量測系統及FAMOS 5.0訊號分析軟體，確認必要參數及分析範圍後，將Matlab程式進行編寫動作包含：傅立葉轉換、能量譜密度、能量dB值轉換等所有轉換公式一併輸入，整體性的分析可依照試驗需求作修改。之後再利用Matlab出圖編碼將所有量化後的數據做一系列的比較圖。

本研究於逢甲大學水工環境試驗室進行，主要的設備及其操作方式如下：

試驗用訂製渠坡，長220cm，寬45cm。如照片3-1，自製鋁製材質之簡支式聲學振動管。簡支式振動管採用50 cm管長、內徑2.56 cm、外徑3.18 cm。其支架兩端分別用鋁板支撐(傾斜角度約為45度)，底部為一厚度3 cm之方形鋁板。整體支架及振動管之材質為鋁製，楊氏模數為 $7.5 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ 。在三分之一處黏貼防水型單軸應變計(strain gauge)，並且黏貼方向為欲求應變方向之垂直方向，可感應瞬時應變量。根據惠斯同電橋原理，當溫度有所變化時，則會影響金屬溫度係數，進而影響其電阻值。主要設備規格於表3-1，主要設備分別如照片3-2~3-6所示。選定不同重量鋼珠(4g、7g、16g)後，調整渠坡坡度(12、19、26、33、40度)後將鋼珠自渠坡中滾下，並逐漸改變不同顆數的鋼珠，分別為1~10顆。利用試驗觀測用之訊號擷取器(data taker)，可即時量測振動管受敲擊所產生之應變量並自動進行快速傅立葉轉換(fast fourier transform, FFT)功能後紀錄之，再進行能量頻譜分析。

由於試驗過程中會受到顆粒粒徑、數量以及坡度的大小而影響最終數據結果，所以必須考量到各種可能情況，因此，在試驗初期針對不同坡度以一顆小粒徑顆粒進行初期測試。首先測試小角度坡度的撞

擊，觀察撞擊方式對於量測頻率值之變化。然後進行坡度的調整。待研訂適合的撞擊方式及放置位置後進行試驗。顆粒大小分為直徑10mm、直徑12mm、直徑16mm鋼珠，重量分別為4g、7g、16g。

我們透過大量的實驗數據，來推論出滾動顆粒撞擊振動管的規律。

1. 選定試驗坡度(12°、19°、26°、33°、40°)；藉由改變坡度模擬不同大小之流量。
2. 選定試驗鋼珠粒徑(直徑10mm、12mm、16mm)；藉由改變粒徑大小模擬不同質量撞擊振動管的能量差異。
3. 試驗首先以單顆鋼珠開始進行振動管試驗，於渠道最末端放置鋼珠，以確保每種坡度下鋼珠的撞擊位移量是相等的。
4. 每組試驗撞擊10次，撞擊結束後再增加一顆鋼珠，以此類推；為避免龐大的數據量，試驗參數設定：採樣頻率為1K Hz、採樣時間為10秒。
5. 當同一坡度下的撞擊顆數達到10顆後，改變坡度並重複上述步驟繼續試驗。

試驗結束。

第四章 實驗結果討論與分析

當鋼珠落下撞擊振動管的瞬間，振動訊號經由應變計傳送至電腦，並進行快速傅立葉轉換即時顯示時間域與頻率域之訊號，試驗過程中之採樣頻率為1K Hz；採樣時間為10秒鐘；採樣次數每組進行10次。試驗結果詳述如下：

能量-粒徑之關係

由物理觀點得知，當質量越大所造成之能量越大，如圖 4-1 所示。

當坡度及顆粒數量固定時，能量隨著粒徑大小呈現遞增之趨勢。

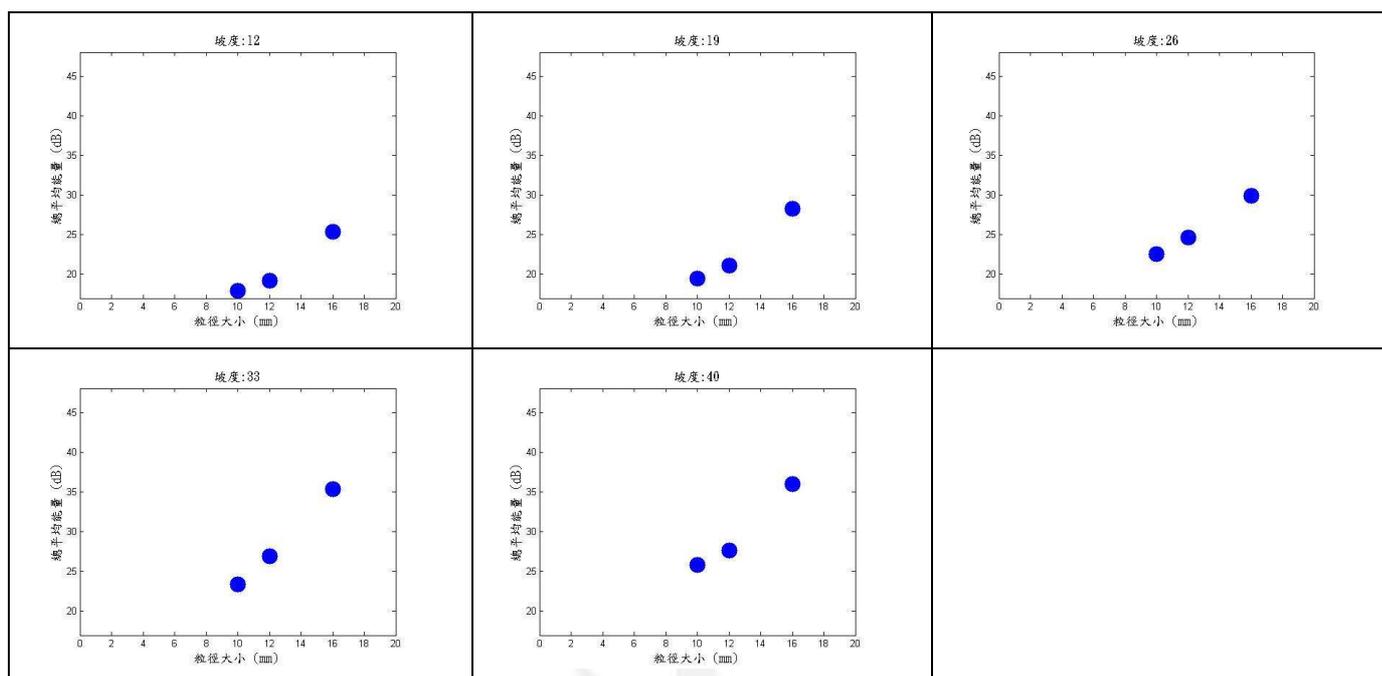


圖4-1固定坡度，粒徑-能量圖(1顆)

能量-數量之關係

確定粒徑大小對於能量值的趨勢後，增加鋼珠數量撞擊振動管是因為觀察單一顆的鋼珠無法模擬天然河道泥砂運動真實情況。而由圖可知鋼珠從1~10顆逐漸增加並連續撞擊振動管時，dB值會因連續的撞擊而逐漸增大。在資料擷取時間內使振動管受到10次撞擊，並透過IMC即時判斷鋼珠是否準確撞擊到振動管(圖4-2、圖4-3)。

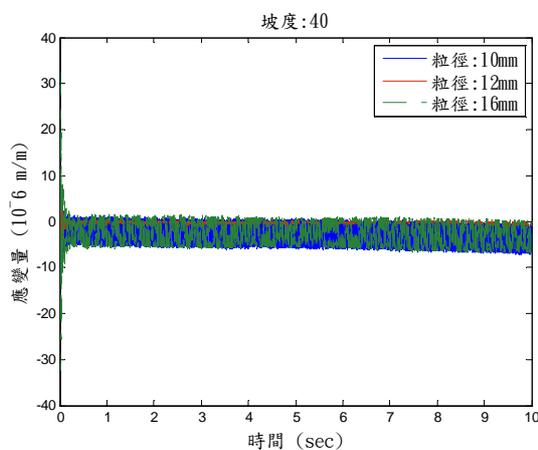


圖4-2顆粒狀及原始訊號圖(1顆)

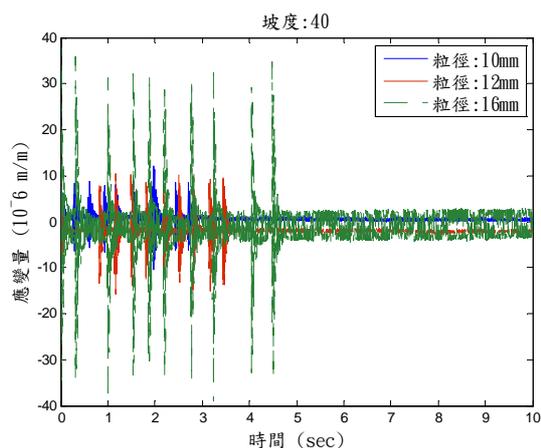


圖4-3顆粒狀及原始訊號圖(10顆)

透過Matlab程式碼計算，將整個撞擊過程的能量值計算出來，相同粒徑下，當顆粒數量越多的時候，因為振動管受到連續撞擊，能量值(dB)也會向上攀升，如圖4-4。

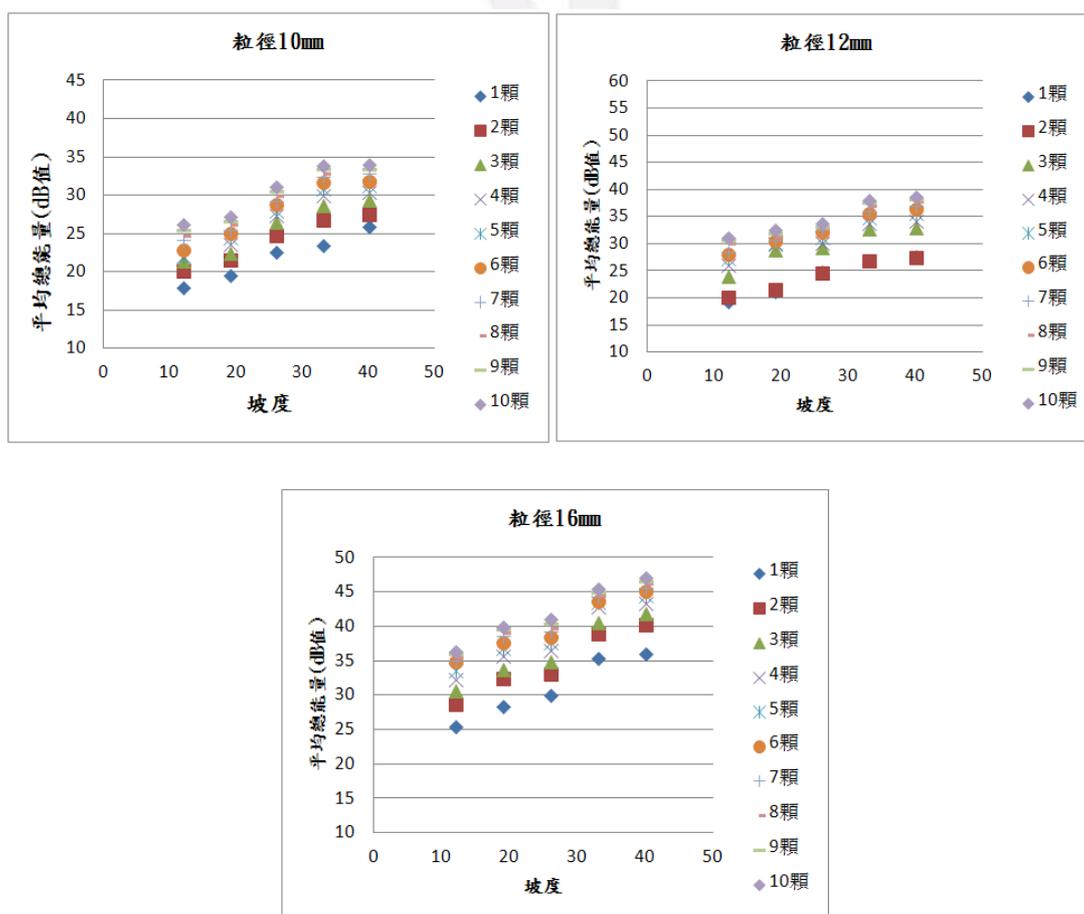


圖4-4相同粒徑下，顆數-能量圖

能量-坡度之關係

台灣地形關係，導致台灣的河川大多數為坡度陡峭、流量湍急，因此流量對於河川輸砂來說有一定的影響程度。當坡度越陡，因重力造成鋼珠下滑的速度越快，根據牛頓定律，當速度越快而質量不變時，其能量會增加，如圖4-5。

實驗過程中，藉由改變渠道的坡度，以模擬天然河道的各種流量狀況，因此將規格設定坡度為12、19、26、33、40度；可發現，隨著坡度的增加，鋼珠撞擊振動管的能量亦隨之增加，如圖4-6、圖4-7所示。

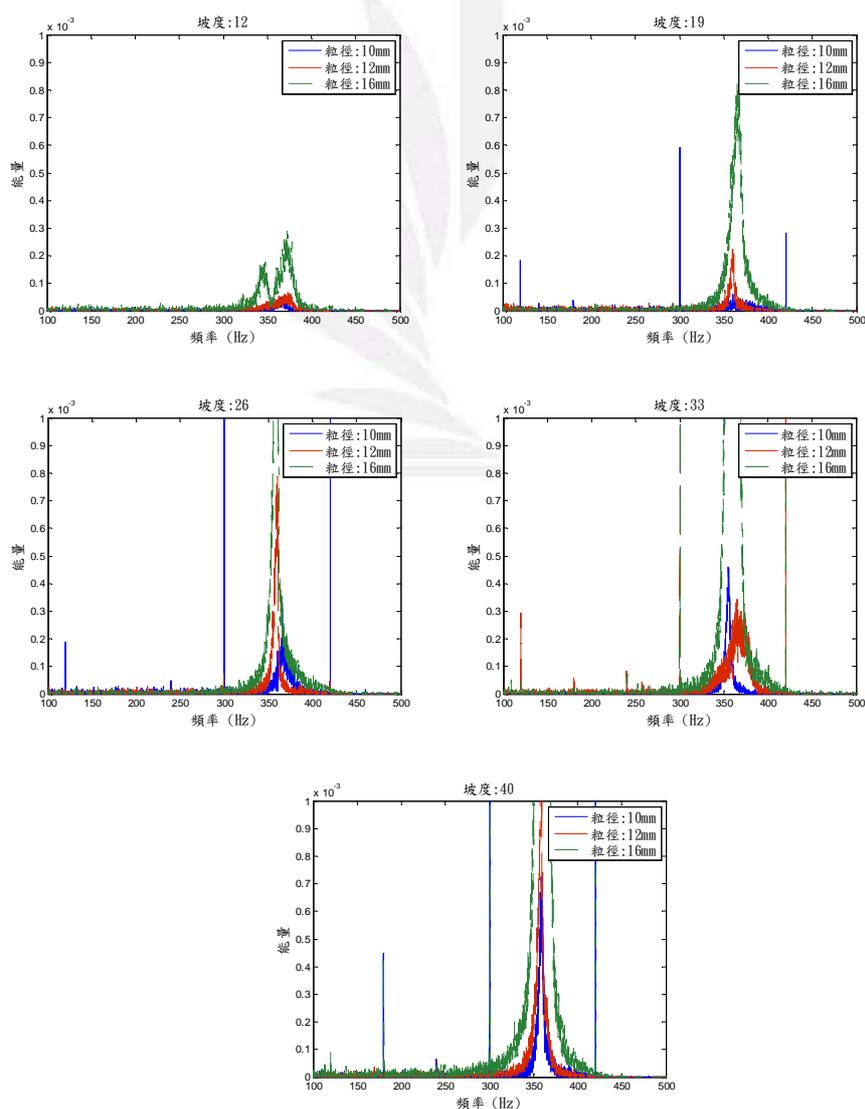


圖 4-5 能量頻譜圖

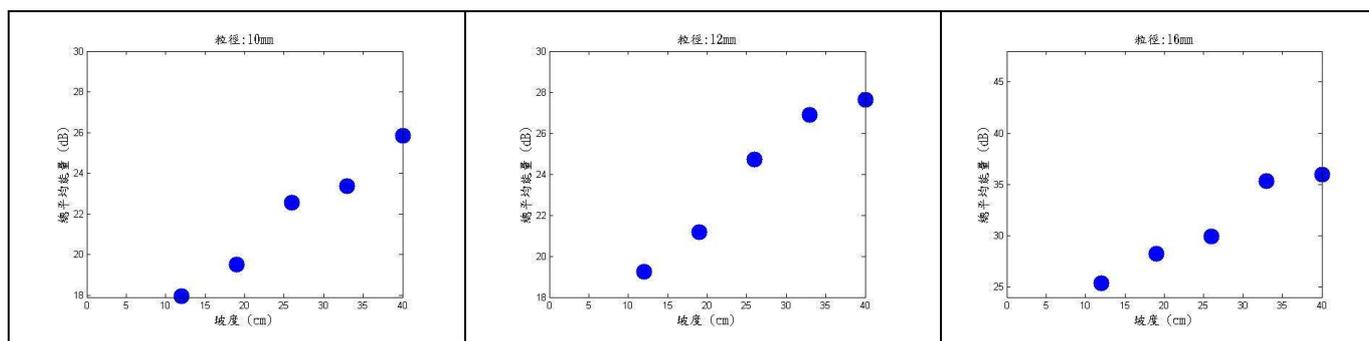


圖4-6不同坡度下，顆粒-能量圖(1顆)

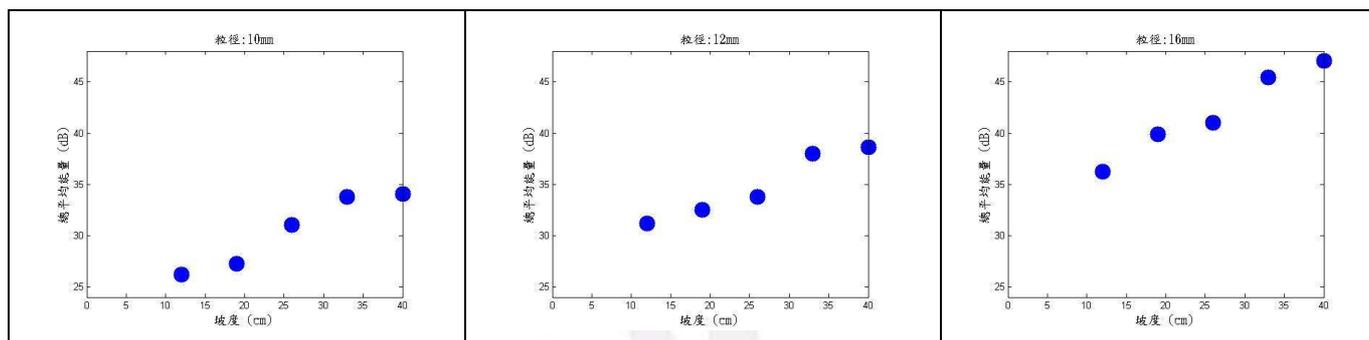


圖4-7不同坡度下，顆粒-能量圖(10顆)

能量-輸砂率之關係

觀察以上結果，可發現在單一控制變因狀況下均呈現良好的正相關趨勢。進一步將上述的試驗數據合併，模擬非均勻顆粒輸砂，利用 Bagnold(1966)提出能量不滅定律推出的輸砂率-能量公式：

$$gb' = W'_b \times \bar{u}_b \quad (4-1)$$

其中， W'_b 為單位床面面積上推移載的水下重量， \bar{u}_b 為推移載的平均運動速度， gb' 為水下重量計的單寬推移載輸砂率，輸砂率單位為每秒立方公分的輸砂量，以克為重量單位。由於 gb' 本身並非搬運泥砂所作的功，因重力 W'_b 的作用方向並非沿著推移載運動方向，故

必須乘上一個角度 $\tan \alpha$:

$$Sp = W'_b \times \bar{u}_b \times \tan \alpha \quad (4-2)$$

其中， Sp 為搬運泥砂所需作的功。

根據實驗結果，如圖 4-8 所示，鋼珠顆粒撞擊試驗不論是在顆粒的多寡、均勻或非均勻顆粒下，每個坡度下單寬輸砂率與能量的關係呈現出來的相關係數都相當穩定且為正相良好趨勢。

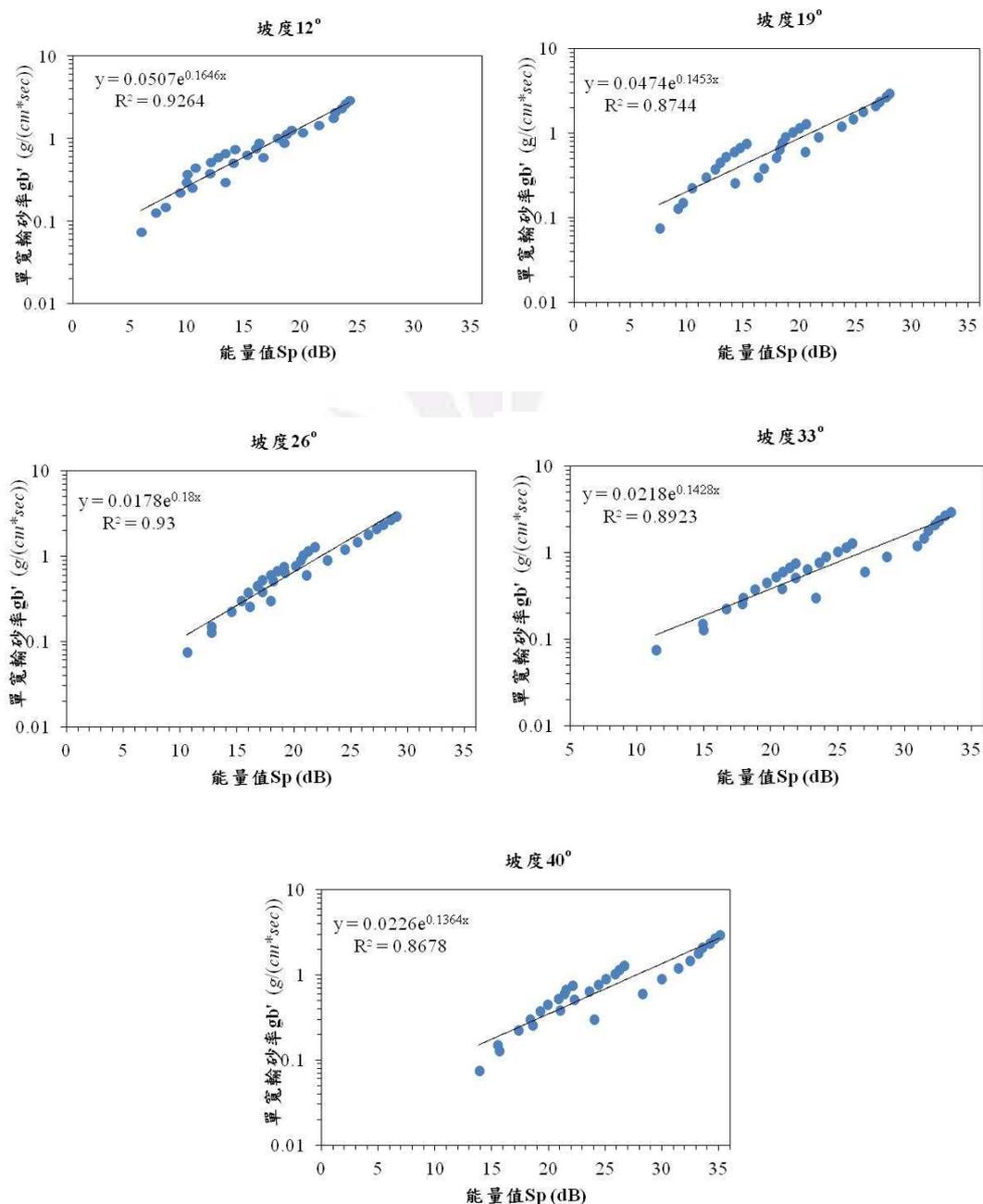


圖 4-8 輸砂率-能量

總結

綜合以上數據，可知dB值大小是由撞擊力道及顆粒數量多寡來決定，鋼珠隨著坡度增加使加速度變大造成撞擊力增強，鋼珠質量愈大以及鋼珠顆數愈多，都會使能量相對增加，如圖4-9所示。

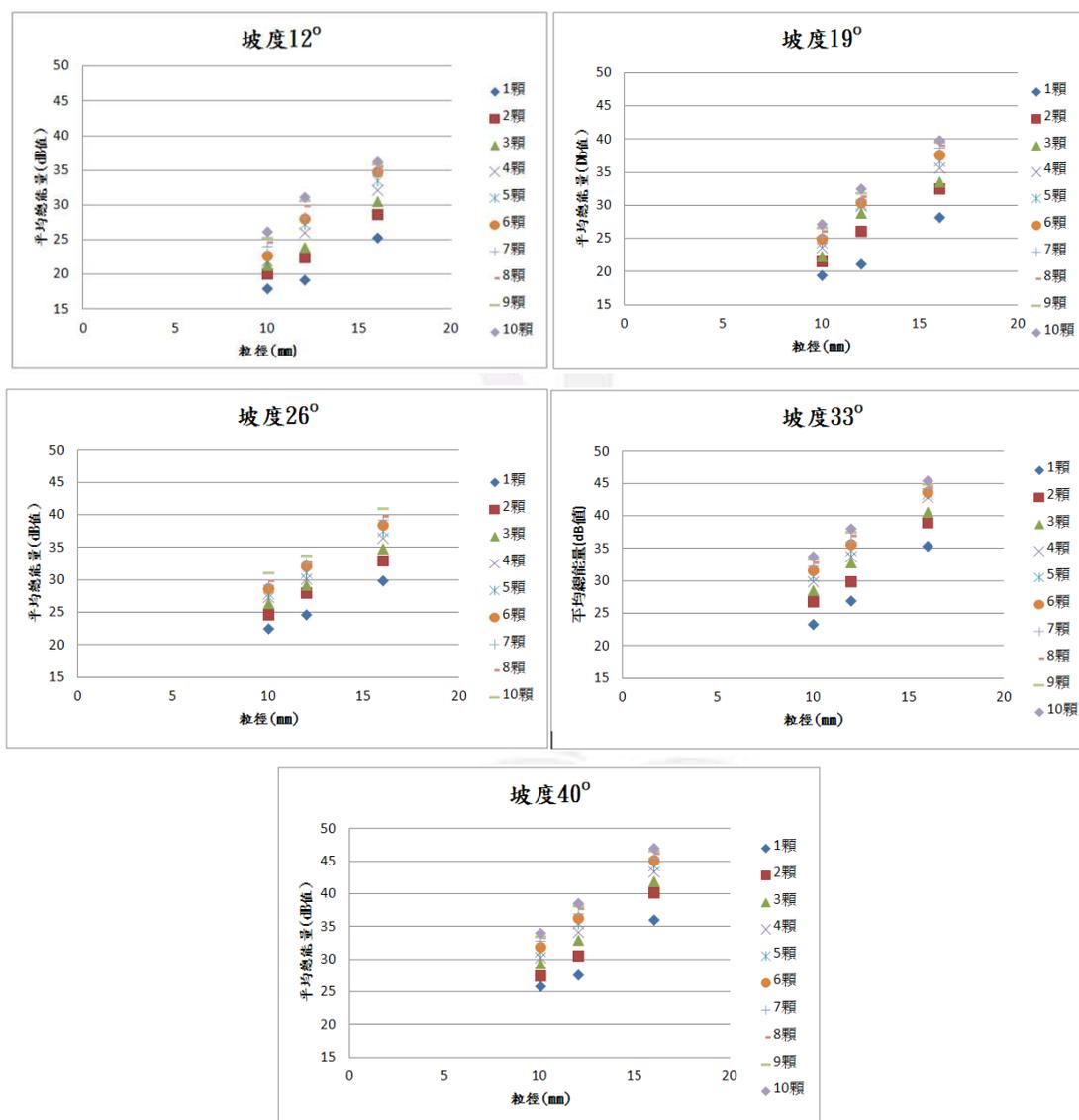


圖4-9變因與能量圖

第五章 結論與建議

結論

1. 放置多粒鋼珠撞擊到振動管時，若兩顆鋼珠之間之滾落時間間隔太近時，則應變分析器會將滾落間距過近的鋼珠訊號判別為同時接收的應變訊號，造成訊號分析的不完整性，由此得知，應變分析器無法連續密集接收鋼珠撞擊訊號，此點在現地量測是較為不利的一點。
2. 放置鋼珠過程中，有時在滾落之前會由於前一次試驗之關係使得應變訊號不在起始值上，所以必須在訊號量測主視窗重新設置歸零動作再進行試驗，因此每次在放置鋼珠之前必須確認主應變訊號是否在起始值上。
3. 經過實驗之後，利用 Bagnold 經驗公式代入已知條件來求得單寬輸砂率對於能量之間的關係圖，我們可以經由此關係圖得知不同坡度河道的輸砂率，換言之，若是能在現地河川進行振動管測砂時，可經由在實驗室中所做的不同坡度所推估出來的單寬輸砂率能量圖，與現地坡度做比較，如此一來便可快速且即時的瞭解天然河道的輸砂率。
4. 根據惠司同電橋的原理，不同溫度下電阻的線性函數會跟著變化，當環境溫度有所變化時，振動管的電阻值會改變，使得應變計所接收之應變主訊號容易產生雜訊，因此在進行每組試驗中，必須進行濾波動作或改變應變計黏貼方式，避免試驗撞擊過程中因溫度影響造成雜訊的誤差。
5. 在比較試驗數據後，可發現試驗過程中能量會隨著坡度以及粒徑逐漸遞增，兩者皆是使能量增加的主要變因之一，比較兩者對於能量之間的關係圖可發現，粒徑對於能量的敏感度更勝於坡度，換言之，以能量增加的趨勢方面，鋼珠粒徑較渠坡坡度更為顯著。

6. 本研究進行時，振動管偶有在接受訊息時會出現 60 Hz 的電源雜訊，此雜訊經快速傅立葉轉換後，在能量頻譜圖上會呈現更明顯的雜訊，這將可能影響本研究之試驗數據，在現地中，雜訊問題必會更加嚴重，因此未來研究可望加入過濾雜訊的動作。

建議

1. 在天然河道中，推移載的運動會因為水流狀態、地形、氣候而有所改變，因此我們希望未來在試驗中以不同粒徑之鋼珠混合放置，以模擬天然河道中較複雜的泥砂運動型態。
2. 未來可在渠道中加入不同的底床介質，例如加入泥砂或石塊以模擬真實河床的不平坦跟不規則性。另外，也可改變渠道之路徑，使之接近天然河道的路線。
3. 此次試驗是在空氣中進行，但我們試驗最終目的為觀測河川中的推移載運動情形，因此，在往後的試驗可望在水中進行，以越接近天然河道的方式測試振動管真正實用性。
4. 試驗中質量較小的鋼珠加上坡度較低的渠道，往往造成鋼珠撞擊力道不夠，導致振動管無法判讀其應變量，使訊號分析出現難題，因此未來必須改良設備或改變設置儀器方式以克服此困難。

參考文獻

1. Andreas Krein(2008). “An electromagnetic device for automatic detection of bedload motion and its field Applications “
2. Brayshaw(1983). “Investigating the transport dynamics and the properties of bedload material with a hydro-acoustic measuring system “
3. Froehlich (1982) . “Monitoring of bed load transport by use of acoustic and magnetic device”
4. John D. Newman (2002). “A mountain stream flowmeter”
5. 中國水利學會泥砂專業委員會，1988年，泥砂手冊，中國。
6. 錢寧，萬兆惠，1991年，泥砂運動力學，中國：科學出版社。
7. 洪振豪，97年，振動式泥砂濃度觀測技術研究，逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士論文，台中。
8. 程運達(2009)，「河砂運移調查及量測技術之研究」，經濟部水利署水利規劃試驗所。