

# 河道沖淤量測技術及推估方法之研究

王傳益<sup>(1)</sup> 呂紹吉<sup>(2)</sup> 張嘉玲<sup>(3)\*</sup> 林彥伶<sup>(4)</sup>

## 摘 要

為改進現有之河道最大一般沖刷深度量測技術，本文研發即時動態河床沖淤之量測儀器-水土介面儀，進行水土介面儀之室內、外各項測試，包含水位、砂位、防水功能、無線傳輸等功能。結果顯示水土介面儀具有明確水位、砂位鑑別度，各項測試量測精度頗高。水土介面儀之防水功能與無線傳輸功能頗佳，已能有效且精確的應用於河床沖淤動態變化之量測。

應用於麥德姆颱風(2014)時，發現水土介面儀量測所得水位與第四河川局量測值具有一致性。砂位則與無線追蹤粒子測得之沖刷深度約略相當，其水砂位誤差均在合理範圍內。整體而言，水土介面儀應用於洪水時期量測河川即時動態河床沖淤變化深具可行性，惟如何確保儀器安全與穩定為待克服之問題。本研究針對濁水溪現場實測資料利用 SPSS 進行非線性迴歸分析，並與國內外各家公式進行比較分析，發現本計畫研提之推估公式，其推估之河道一般沖刷深度吻合度最佳。惟因目前實測資料有限，未來應蒐集更多天然河川之颱風觀測資料，以供進一步之驗證。

(關鍵詞：水土介面儀、一般沖刷深度、無線追蹤粒子。)

## Study of River Bed Variation Measuring Techniques and Estimation Methods

C.Y. Wang,<sup>(1)</sup> S.J. Lu,<sup>(2)</sup> C.L. Chang,<sup>(3)\*</sup> and Y.L. Lin<sup>(4)</sup>

Professor<sup>(1)</sup>, Professor<sup>(3)</sup> (Corresponding Author), Master<sup>(2)</sup>, Graduate Student<sup>(4)</sup> Department of Water Resources Engineering and Conservation, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan, R.O.C.

### ABSTRACT

The real-time riverbed scour and deposit monitoring instruments (water and soil inter-facer) for field observations relating to the maximum general scour depth were improved. In addition, a series of experiments were conducted in the laboratory and field for the “water and soil inter-facer” in order to assess the feasibility of the real time dynamic general scour measurements. There are four major tasks in this test, including elevation of water level, riverbed elevation, water-proof ability, and wireless data transmission. The results show that the “water and soil inter-facer” is suitable for measuring the dynamic general scour in all the tests. Also, it is an effective field measuring technique that gives riverbed variation measurements with good precision.

(1) 逢甲大學水利工程與資源保育學系教授

(2) 逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士

(3) 逢甲大學水利工程與資源保育學系教授(通訊作者: clchang@fcu.edu.tw)

(4) 逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士生

The water level obtained from the “water and soil interface monitoring system” is consistent with that measured by the Fourth River Management Bureau (WRA) for typhoon Matmo (2014). Also the riverbed level of the water and soil inter facer is consistent with that measured by using wireless tracer for typhoon Matmo (2014). Measuring errors of riverbed variation are within the allowable error for typhoon Matmo (2014). Overall, the system is feasible to measure the real-time dynamic general scour depth of riverbed during the flood event. The remaining problems to be overcome include the protection and improvement of the stability for the system.

A general scour depth estimation formula is developed by using traditional nonlinear regression analysis method with the observed data from the Cho-Shui River. The accuracy of the results from the formula developed in this project is the best among all of the estimation formulas compared. As the observed data is still limited, more data should be collected during typhoons in the future for further verification.

(**Keyword:** water and soil interface instrument, general scour depth, wireless tracer.)

## 前言

近年全球氣候變遷，經常發生高強度集中降雨，洪水時期高速水流的現場觀測的困難度高，但此極端天候的資料卻是水利工程所最缺乏卻也最需要的，該等資料為河川整治、洪水預報與水資源規劃、設計的基石，水利建設關係著無數民眾的生命財產的安全。若能瞭解河床沖淤變化及其趨勢，則可掌控防洪安全。除可應用於河川防洪工程之規劃治理外，更有助於橋梁設計、維護與封橋預警等，確保人民生命財產之安全。

台灣河川坡陡流急，颱風期間河床沖淤變動劇烈，量測最大一般沖刷深度極為困難，若能於技術上加以改進，即可獲得工程設計之重要水理參數。本研究為河道沖淤量測技術改進之研究，主要在於研擬適用於本土河川之河道沖淤量測技術及推估方法，其所量測資料未來可供國內、外既有之最大一般沖刷深度驗證及預測。本研究研發水土介面儀，於室內、外架設相關靜態及動態一般沖刷觀測設備，進行水土介面儀之室內、外各項測試，包含水位、砂位、防水功能、無線傳輸等功能，以確認該量測技術應用於現地河道最大一般沖刷深度量測之可

行性。此外，利用濁水溪下游各颱風事件之河床沖刷深度實測資料進行分析，以獲致河道一般沖刷推估公式供相關單位工程設計之參考。

## 文獻回顧

本研究蒐集國內外河道沖刷量測方法及推估公式，並加以彙整分析，期望藉由相關河道沖淤文獻資料，提供河道沖淤量測技術及推估方法改進之參考。

### (1)河道沖刷量測方法

1. 聲納沖刷儀  
聲納沖刷量測與量測水位的超音波水位計原理相同，均為利用聲波在不同介質間傳遞時所造成部分的反射來推算底床深度。若可將鉛魚固定於橋墩迎水面前緣，量測最大沖刷深度，亦可沿橋面來回施測，獲得最大一般沖刷深度。
2. 測繩或測桿  
最簡單的底床量測法係利用測繩配合測繩下端連結一重物，以人工方式逐點量測底床高度；或利用測桿插入水中，由測桿上的標尺獲得底床高度。當水深及流速較大(3m/s)時，測桿無法施測，而測繩則容易產生拖曳的情

形發生，使得量測之底床高值與測點離水面的位置大於實際狀況，故必須將拖曳角度加以修正(王如意、易任，1979)。

### 3. 透地雷達

Spicer等(1997)利用100 MHz 的透地雷達於美國四條河川量測洪水時之河川斷面。Costa 等人(2000)與USGS 合作，以微波都卜勒雷達及透地雷達分別量測水面流速及斷面進而求得流量，獲得良好結果。惟目前透地雷達受限於雷達訊號在穿透空氣、水體及固體底床等不同介質時，產生訊號嚴重衰減現象，必須懸吊於水面上量測而無法由岸上直接量測，且洪水時，水流挾帶大量泥沙，甚至是土石流，因而造成量測誤差大增。

### 4. 光纖光柵監測系統

林詠彬等(2005)以光纖監測於橋梁安全，結果顯示可利用其測得橋墩墩前局部沖刷，不同感測器可以同時串聯在同一光纖上，透過量測儀器同步量測、紀錄不同的物理、化學變化。光纖光柵感測器係一多點式光纖感測技術，可依現地實際需求，透過一台光纖光柵波長量測儀器，建置成後端同時擁有數百個光纖光柵感測器之量測監測系統。

### 5. 沖刷磚

將以油漆依序編碼之磚塊，垂直堆疊排列，而盧昭堯等(2005)研發「高效率河床現地沖刷磚埋設技術」，設計沖刷磚埋設輔助鐵柱乃以厚鋼板焊接上、下開口面積略大磚塊，長約為5 m之鐵柱，並於其兩端各開挖4圓孔，可同時埋設90塊磚塊。埋設完成後，以挖土機恢復河床原貌，並利用基線測量(base line surveying)得知埋設點位置。於颱風退水後，開挖沖刷磚柱最上方之編碼，即可得知該場颱風事件之最大一般沖刷深度。

### 6. 無線傳輸沖刷磚

根據交通部高科技橋梁檢測系統建置計畫(2009)中，該單位藉由無線傳輸經驗改良，研發壓電式無線傳輸沖刷磚，其以無線網路接收沖刷磚發出的訊號，來推算河床沖刷深度。藉由訊號先後順序推估最大一般沖刷深度，惟因經費較高及實用性問題故尚未普及。

### 7. 無線追蹤粒子沖刷磚柱

盧昭堯等(2013)所研發之動態沖刷觀測技術，

於颱風惡劣天候下進行河道短期一般沖刷深度動態觀測。該研究於濁水溪名竹大橋將無線追蹤粒子與沖刷磚柱結合(觀測最大一般沖刷深度)後並同時埋設於河床，結果顯示該法應屬可行，惟若將埋設間距降低，雖可得知連續之河床沖刷動態，則將增加觀測系統之建置成本。

### 8. 重力式鋼棒沖刷儀

盧昭堯等(2005)利用重錘自由落下時牽引一捲揚器，內有一數位編碼器，當重力鋼棒由馬達上、下捲動時，由微電腦控制器讀取資料，經計算得出重力鋼棒升降之距離，推算得最大一般沖刷深度。該研究於濁水溪西螺大橋利用重力式鋼棒量測河道沖刷，精度尚佳，惟其僅能量測沖刷無法量測回淤。

### 9. 磁性滑動環沖刷儀(Sliding Magnetic Collar, SMC)

盧昭堯等(2007)於濁水溪西螺大橋第16號橋墩處(P16)安裝磁性滑動環沖刷測深計，進行河道深槽沖淤量測，磁性套環可隨河床刷深而向下滑動，當沿著鋼管內部垂下之感測器接觸到磁性套環所產生的磁場時，感測器將會發出警示聲，此時由量測感測器沿鋼管內部垂下的距離即可得知河床與橋面版之間的距離，進而計算最大一般沖刷深度，其精度尚稱良好，惟其僅能量測沖刷無法量測回淤。

### 10. 水土介面儀

水土介面儀為本研究新引進之河床沖刷深度量測儀器，其優點為可同步監測多數組電極間導電阻值，轉換代表電極間之含水情況，包括浸於水體、沒入水底砂土層，或埋在不飽和土壤層諸狀態；可推算水砂介面或水面位置而判斷河床沖淤變化。因採直接數位式方法，能相當精密、穩定且靈敏獲得多點水、土體之導電值，故可提供即時動態之河床沖淤變化資訊。

針對上述現地沖刷深度監測方法，就最大沖刷深度、一般沖刷深度、颱風期間沖淤量測、動態量測及即時動態沖淤深度量測等進行可行性評估(詳如表1)，由該表中可知水土介面儀為較理想之量測方法，因此本文後續將採用該方法進行研究。

表1 現地沖刷量測方法之適用範圍及可行性評估

(Table 1 Feasibility assessment and scope of field scour measurement methods)

適用條件 \ 量測方法	聲納沖刷儀	測繩或測桿	透地雷達	光纖光柵監測系統	沖刷磚	無線傳輸沖刷磚	無線追蹤粒子沖刷磚柱	重力式鋼棒沖刷儀	磁性滑動環沖刷儀	水土介面儀
最大沖刷深度	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
一般沖刷深度	◐	○	◐	○	●	●	●	◐	◐	◐
颱風期間沖淤量測	○	×	×	◐	●	◐	◐	◐	◐	◐
動態量測	●	●	●	●	×	●	●	●	●	●
即時動態沖淤深度量測	○	×	○	◐	×	○	○	○	○	●

註：●表高度可行性；◐表中度可行性；○表低度可行性；×表不可行

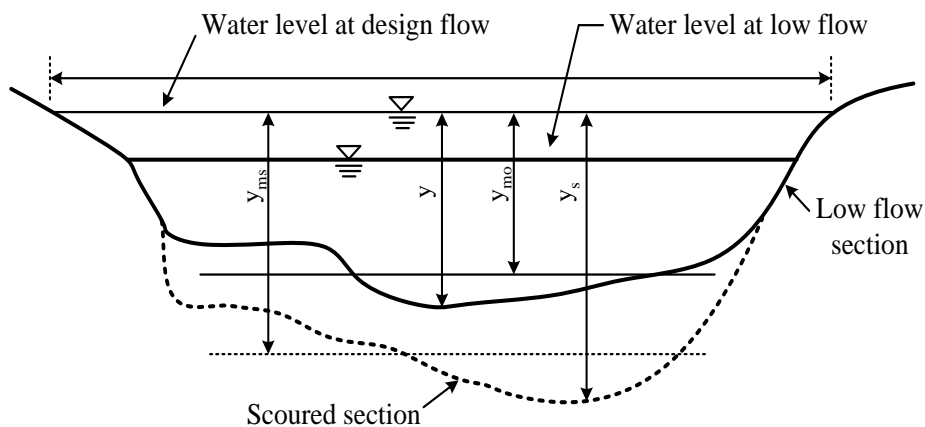


圖 1 河道一般沖刷斷面(Melville and Coleman, 2000)

(Fig.1 General scour cross section of channel)

(2)河道沖刷推估公式

Melville and Coleman(2000)定義之短期一般沖刷河道斷面如圖 1，其中各項符號定義如下： $y$  = 未沖刷時之深槽最大水深； $y_{mo}$  = 未沖刷時之低水主深槽平均水深； $y_s$  = 沖刷時斷面最大沖刷水深； $y_{ms}$  = 沖刷時斷面平均沖刷水深。

本研究蒐集國內外相關之一般沖刷深度公式，河床遭侵蝕所造成之一般沖刷主要有下列六種，彙整表格如表 2 所示。

研究方法

(1)水土介面儀

水土介面儀配件係由感測尺長度為 1.56 m，其藍色外殼為不鏽鋼板加工而製成，可避免泥砂顆粒或其它殘材之破壞撞擊，並於上方加裝密封螺旋端防止滲水，以利儀器埋設於河床中進行沖淤深度量測。水土介面儀為無線傳輸，感測尺可接線至發射端，而後並與架有接收端的資料收集機相互傳輸。資料收集機可即時呈現水位及砂位變化，並以圖層顯示各位元組的抗電阻差異。

水土介面傳訊器主要特徵係同時測讀複數組

電極之導電度，以數位方式做訊號處理，乃能獲取高精密度且穩定之測值；導電阻值之數據（測值）0~255 代表導電度之阻抗，數值越大，表示阻抗越高，亦即水體中之通量（flux,如『磁通』之概念）受到不導電顆粒之置換或阻擋而降低導電量，因而以測值升高反應出兩電極間存在較大量固定不動之砂石顆粒。水體中離子之改變，會反應到整組感測尺之所有電極，其數字測值會同步整體上升或下降，並不影響水下堆積層與介面之分辨，若電極間之水體由土砂所取代，其測值立即出現顯著增大，因此可立即判定該處即為砂位；如圖 2 所示，左圖為感測尺置於水砂中之示意，圖右則為感測尺上不同組別之感測單元(H)，各自分別量測水中之導電度(R)；整組感測器係利用上下各組電極所測導電度之變異來判識水與砂之介面，如圖右 S04 組之感測單元，其下方各感測單元(S03 至 S01)所測得之導電度越來越大，即可判斷水砂之交界面位於 S04 組之位置。無需量出標準定義之導電度值，僅須找出可茲分辨之變異感測組位置即可決定砂位。

### (2)室內試驗

本試驗於逢甲大學水工試驗室進行，首先將水土介面儀置入普利桶，而後於感測面鋪上不同厚度砂土進行試驗。試驗時利用人為控制水位與泥砂之沖刷或淤積位置，以模擬現場自然沖淤情況，並同步進行記錄儀器所傳輸數據與實測數據。此外，測試過程中亦將感測尺完全置入渠槽中以測試其防水功能，詳如圖 3 所示。

### (3)現地試驗

水土介面儀配合無線追蹤粒子沖刷磚柱之河床沖淤量測於自強大橋上下游之配置詳如圖 4 所示。其中水土介面儀附掛於自強大橋距左岸約 1504 m 處之第 8 號橋墩上，而無線追蹤粒子沖刷磚柱則埋設於第 7 號與第 8 號橋墩間(距左岸約 1560 m)之上游約 140 m、下游約 80m 處。

為求現場施工順利與儀器能穩固設置於河床中，本研究於 H 型鋼(150 mm×100 mm)背面設置直徑 1.5 吋不鏽鋼鋼管，藉以固定水土介面儀感測尺；

再於 H 型鋼中之兩側加設導流板，以防止漂流木或卵礫石之撞擊，由於迎水面斷面積較小，受水流沖擊力相對降低；再將水土介面儀固定於 H 型鋼之凹槽中，並在 H 型鋼上方繪製水尺，完成儀器整體組裝工作。

### (4)評鑑指標

本研究將採用下列二種指標進行評鑑，以判定應用水土介面儀量測水位與砂位之精確度與離散程度。

效率係數(Coefficient of Efficiency, CE)

$$CE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^M (H - \hat{H})^2}{\sum_{t=1}^M (H - \bar{H})^2} \quad (1)$$

式中： $\hat{H}$  為以水土介面儀量測之水位或砂位(m)； $H$  為實測之水位或砂位(m)； $\bar{H}$  為實測之水位之平均值(m)； $M$  為以水土介面儀量測之水位或砂位組數。

當 CE 值愈趨近 1，則表示預測結果與實際資料愈密合，即精確度愈高。

平均絕對誤差百分比 (Mean Absolute Percentage Error, MAPE)

$$MAPE = \left( \frac{1}{M} \sum_{t=1}^M \left| \frac{H - \hat{H}}{H} \right| \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中： $\hat{H}$  為以水土介面儀量測之水位或砂位(m)； $H$  為實測之水位或砂位(m)； $M$  為以水土介面儀量測之水位或砂位組數。

當 MAPE 值愈小，則預測值與觀測值的離散程度愈小；反之，則愈大。

表 2 短期一般沖刷公式  
 (Table 2 Short term general scour formulas)

學者	公式	說明
Lacey(1930)	$y_{ms} = 0.47 \left( \frac{Q}{f} \right)^{1/3}$	$y_{ms}$ = 洪峰平均沖刷水深(m) $f = 1.76D_m^{0.5}$ , $D_m \leq 1.3 \text{ mm}$
Blench (1969)	$y_{ms} = 1.20 \left[ \frac{q^{2/3}}{D_{50}^{1/6}} \right] \quad (0.06 \text{ mm} < D_{50} \leq 2 \text{ mm})$ $y_{ms} = 1.23 \left[ \frac{q^{2/3}}{D_{50}^{1/12}} \right] \quad (D_{50} > 2 \text{ mm})$	$y_{ms}$ = 洪峰平均沖刷水深(m) $q$ = 單位寬度之洪峰流量 ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) $D_{50}$ = 河床質中值粒徑(mm)
Maza Alvarez and Echavarria Alfaro(1973)	$y_{ms} = 0.365 \left( \frac{Q^{0.784}}{W^{0.784} D_{50}^{0.157}} \right) \quad (D_{75} < 6 \text{ mm})$	$W$ = 水面寬 (m) $Q$ = 洪峰流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
紐西蘭鐵路 (Holmes, 1974)	$y_s = \frac{y_r V_a K}{\sqrt{(A/W)}}$	$y_s$ = 水面下至沖刷最低點之水深(m) $y_r$ = 洪水水位與低水位時之水位差(m) $V_a = C \left( \frac{Q}{A} \right) \left( \frac{y}{A/W} \right)^{2/3}$ $C = \begin{cases} 1.2 & \text{辨狀河川} \\ 1.0 & \text{其他} \end{cases}$ $y$ = 未遭受沖刷前之水深 (m) $A$ = 未沖刷前之通水面積 ( $\text{m}^2$ ) $K = \sqrt{\frac{W}{4.83Q^{0.5}}}$
Pemberton-Lara (1984) 護甲層分析法	$Y_s = y_a \left( \frac{1}{P_c} - 1 \right)$	$Y_s$ = 護甲作用下沖刷深度 (m) $y_a$ = 護甲層厚度 (m), $y_a = 3D_c$ $D_c$ = 護甲層臨界啟動代表粒徑(m) $P_c$ = 超過臨界啟動粒徑所佔之百分比
Su and Lu (2013)	$y_{ms} = 1.26 \times \frac{q^{0.8} \times S_0^{0.27} \times \sigma_g^{0.74}}{D_{50}^{0.23}}$	$y_{ms}$ = 洪峰平均沖刷水深(m) $q$ = 單位寬度之洪峰流量( $\text{m}^2/\text{s}$ ) $S_0$ = 底床坡降 $\sigma_g$ = 河床質幾何標準偏差( = $\sqrt{D_{84}/D_{16}}$ ) $D_{50}$ = 河床質中值粒徑(mm)

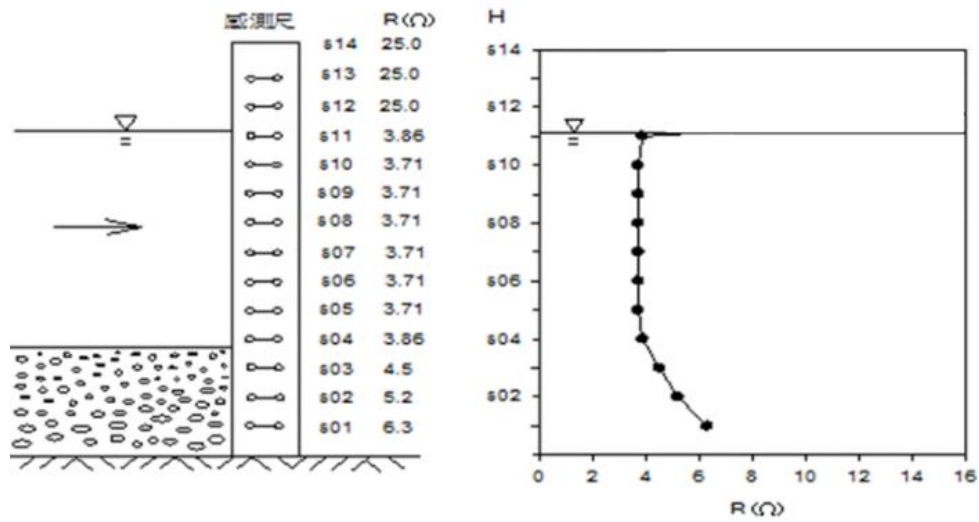
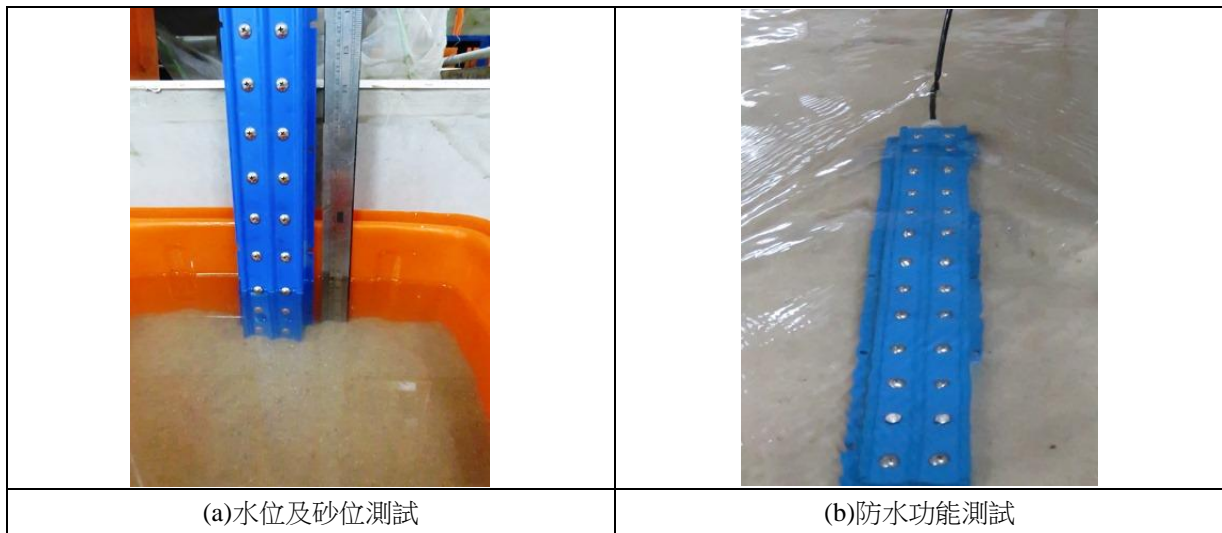


圖2 水土介面儀量測原理示意圖(台禹監測科技公司，2010)

(Fig.2 Schematic diagram of water and soil inter-facer measurement principle)



(a)水位及砂位測試

(b)防水功能測試

圖3 水土介面儀室內試驗

(Fig.3 Laboratory experiments of water and soil inter-facer)

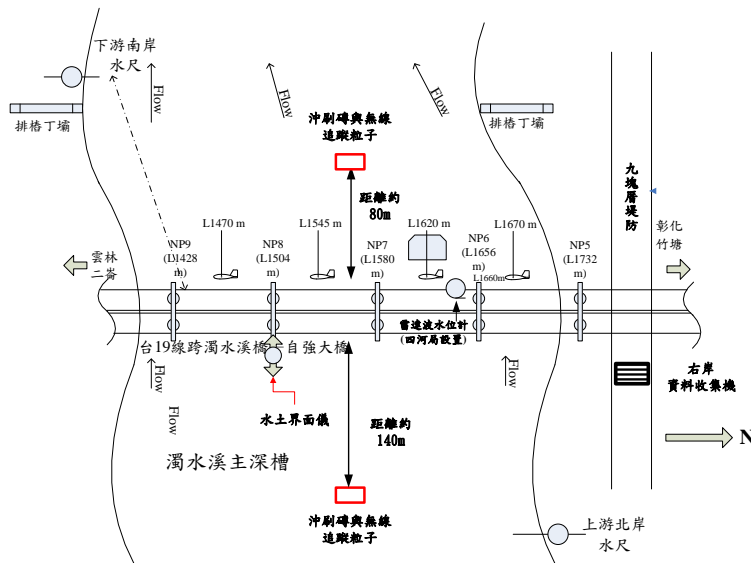


圖4 水土介面儀現場安裝配置圖

(Fig.4 Field installation and configuration of water and soil inter-facer)

## 結果與討論

### 1. 室內試驗結果

依序將砂位、水位、防水功能、無線傳輸試驗結果分述如下：

#### (一)、砂位量測功能測試

砂位由人為控制，鋪上不同高程及確實壓密砂土於感測尺上，將水與砂在感測尺上充分覆蓋後才開始讀取資料收集機中之數據。試驗結果如圖 5 所示。圖中顯示自 0 分至 30 分時，河床為淤積之狀態，31 分至 60 分時，河床為沖刷之狀態。水土介面儀測得之河床沖淤深度與實測值大致吻合，對

於與水體傳導介質頗為不同的砂土介質，其阻抗值能夠有效透過感測尺反應且即時回傳準確數據。

應用水土介面儀於室內進行量測功能試驗結果，表 3 將實測值與儀器測得砂位之數值進行分析，由評鑑指標公式計算可得其砂位之效率係數(CE) 值為 0.98，趨近於 1，顯示砂位之量測精確度甚高；而由評鑑指標公式計算可得其砂位之平均絕對誤差百分比(MAPE) 0.31%，顯示預測值與觀測值的離散程度甚小。又由圖 6 可知，砂位之判定係數(R2) 為 0.984，顯示水土介面儀對於砂位有良好辨識結果，且能即時且有效地反應河床沖淤變化。

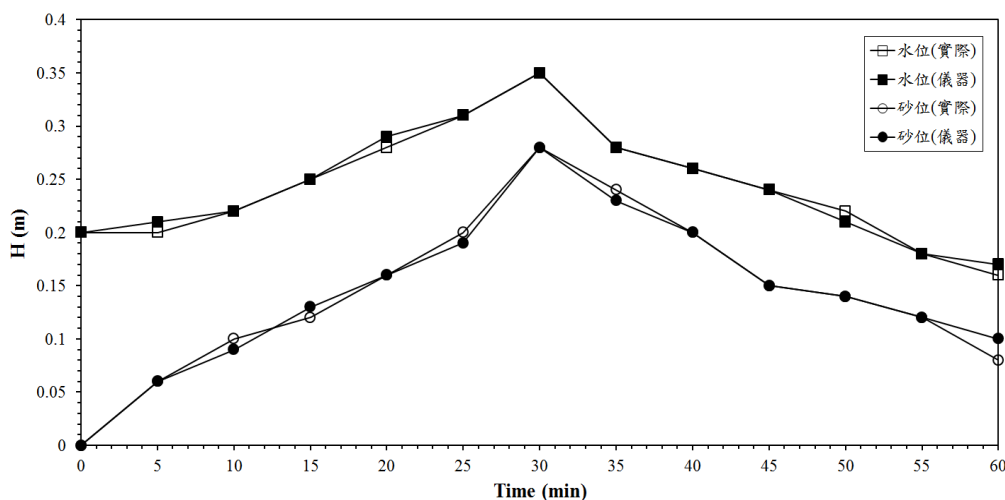


圖5 水土介面儀水位及砂位試驗結果

(Fig.4 Elevation of water level and riverbed experiment results of water and soil inter-facer)



表3 水土介面儀水位及砂位測試結果比較

(Table 3 Elevation of water level and riverbed experiment results comparison of water and soil inter-facer)

時間(min) 高度	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
實際水位(m)	0.20	0.20	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.28	0.26	0.24	0.22	0.18	0.16
儀器水位(m)	0.20	0.21	0.22	0.25	0.29	0.31	0.35	0.28	0.26	0.24	0.21	0.18	0.17
實際砂位(m)	0.00	0.06	0.10	0.12	0.16	0.20	0.28	0.24	0.20	0.15	0.14	0.12	0.08
儀器砂位(m)	0.00	0.06	0.09	0.13	0.16	0.19	0.28	0.23	0.20	0.15	0.14	0.12	0.10
水位效率係數(CE)=0.99；砂位效率係數(CE)=0.98													
水位平均絕對誤差百分比(MAPE)=0.11%；砂位平均絕對誤差百分比(MAPE)=0.31%													

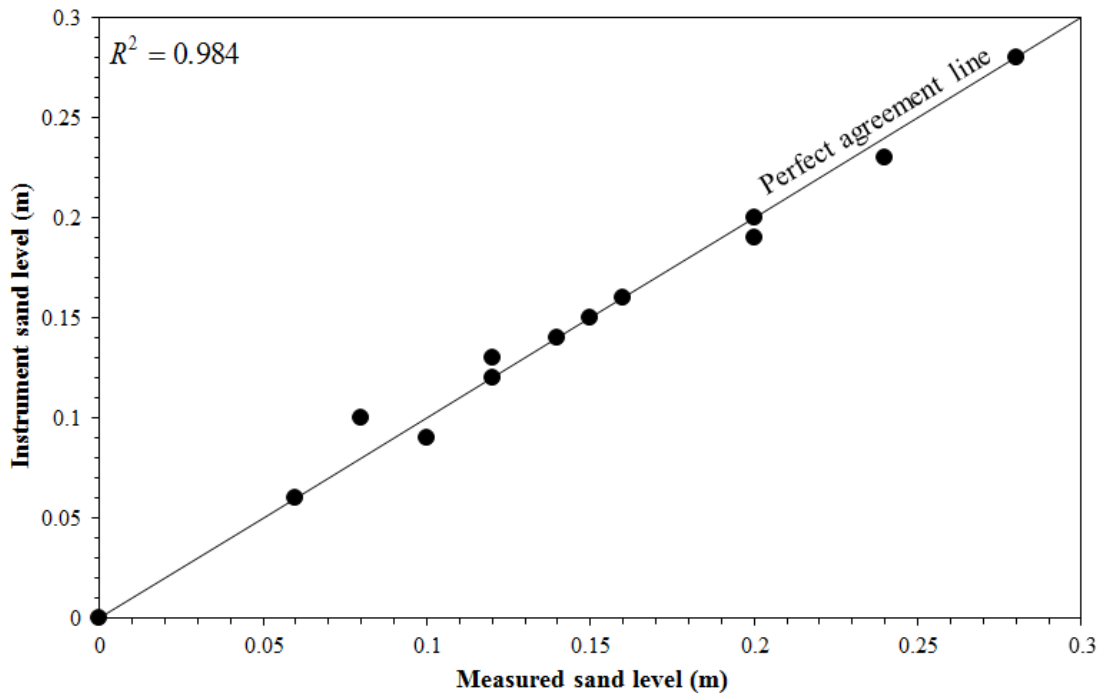


圖6 水土介面儀砂位試驗

(Fig.6 Elevation of riverbed experiments of water and soil inter-facer)

(二)、水測量功能測試

水位測試過程與砂位測試過程相同，乃利用人為控制普利桶中之水位高度，以模擬水土介面儀感測尺在實際河床中的水位變化。應用水土介面儀於室內進行量測功能試驗結果，將實測值與儀器測得水位之數值進行分析，由評鑑指標公式計算可得其水位之效率係數(CE)值為 0.99，趨近於 1，顯示水位之量測精確度甚高；而評鑑指標公式計算可得其水位之平均絕對誤差百分比(MAPE)為 0.11%，顯示預測值與觀測值的離散程度甚小，詳見表 3。又如圖 7 可知，水位之判定係數(R2)為 0.989，顯示

水土介面儀對於水位有良好辨識結果，且能即時且有效地反應水位變化。

(三)、防水功能

試驗過程中均將感測尺平放於蓄水槽中，藉以測試其防水功能。測試結果為完全防水，並無水滲入之現象。由於感測尺上方有螺旋端，其能夠有效避免外在介質(如水、砂土)入滲，基本上只要訊號發射端未浸水，則無線傳輸功能不受影響，況且其發射端日後於現場將加裝保護設施，感測尺就能將數據穩定的回傳至資料收集機，達到無線動態即時傳輸的目標。

(四)、無線傳輸

水土介面儀分為感測尺組與資料收集機組，兩者為無線傳輸配件，即當感測尺測得水位與砂位時，將測得資料無線傳輸至資料收集機，傳輸距離最遠可達 3 公里。測試當天室外天氣為陰雨天，本研究將感測尺組移至戶外進行數據接收測試；資料收集機組則置於逢甲大學土木水利館頂樓處，樓高為 5

樓。為了測試其傳輸距離，分別將感測尺組於本校園內各處進行無線傳輸測試，其分別設置於本校下列位置：①學思園(200 m)、②體育館 (280 m)、③網球場 (400 m)、④圖書館(560 m)、⑤東大門(640 m，離土木水利館最遠處)。表 4 為水土介面儀無線傳輸功能試驗結果，從數據結果得知無論是砂位或水位之量測精確度均甚高；顯示應用水土介面儀無線傳輸砂位及水位具有良好之精確度與穩定度。

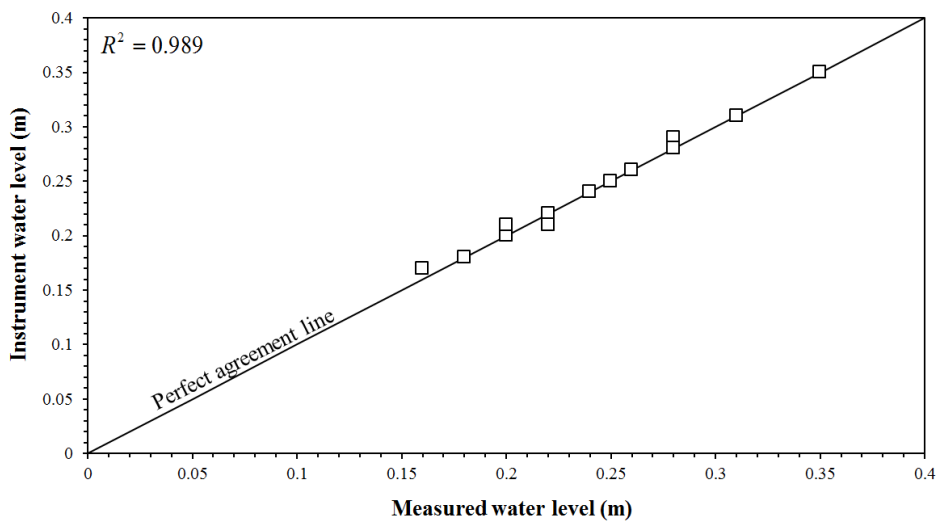


圖7 水土介面儀量測水位試驗

(Fig.7 Elevation of water level experiments of water and soil inter-facer)

表4 水土介面儀室外無線傳輸水砂位測試結果比較

(Table 4 Elevation of water level and riverbed wireless data transmission experiment results comparison of water and soil inter-facer)

高度	位置	①	②	③	④	⑤
	實際水位(m)		0.16	0.34	0.34	0.34
儀器水位(m)		0.16	0.34	0.34	0.33	0.35
實際砂位(m)		0.04	0.1	0.1	0.1	0.1
儀器砂位(m)		0.04	0.1	0.1	0.1	0.1

2. 麥德姆颱風水土介面儀沖刷量測

麥德姆颱風於 2014 年 7 月 23 日登陸台灣，圖 8 為自強大橋水位站由四河局雷達波水位計及水土介面儀分別測得之水位歷線，圖中顯示水土介面儀與第四河川局之水位變動趨勢具有一致性，其誤

差也都在合理範圍之內。惟水土介面儀於 7 月 23 日 7 時 11 分遭漂流物撞擊而毀損，流量約為 2045 cms，沖刷深度約為 0.60 m，此與第 2 顆無線追蹤粒子(wireless tracer)測得之沖刷深度 0.55 m 約略相當，其後則無法繼續監測水位及砂位。綜合而言，利用水土介面儀監測水位及砂位具可靠度，惟應做

好保護儀器工作，則應用其進行動床沖淤量測深具可行性。

由水位歷線可知本次颱風為雙峰歷線，第 1 顆無線追蹤粒子於流量約為 1750 cms 時啟動，沖刷深度約 0.17 m；第 2 顆無線追蹤粒子於流量約為 2045 cms 時啟動，沖刷深度約 0.55 m；第 3 顆無線追蹤粒子於流量約為 2133 cms 時啟動，沖刷深度約 0.88 m；第 4 顆無線追蹤粒子於洪峰流量為 6000 cms 時啟動，沖刷深度約 1.10 m，颱風過後經開挖發現最大沖刷深度約為 1.238 m，顯見最大

沖刷深度發生於洪峰之後，惟仍應有更多之量測資料加以驗證。

其後利用本研究所量測之水位與第四河川局現場水位計所測得之水位相互比較，並以 3.4 節之評鑑指標進行誤差分析，結果效率係數(CE)為 0.75，平均絕對誤差百分比(MAPE)為 1.52%；推測乃因現場量測級距較大，且現場不可控制之因素較多所致。此誤差雖較室內試驗為大，然尚屬可接受範圍內，由此可知水土介面儀之現場水砂位量測應具可行性。

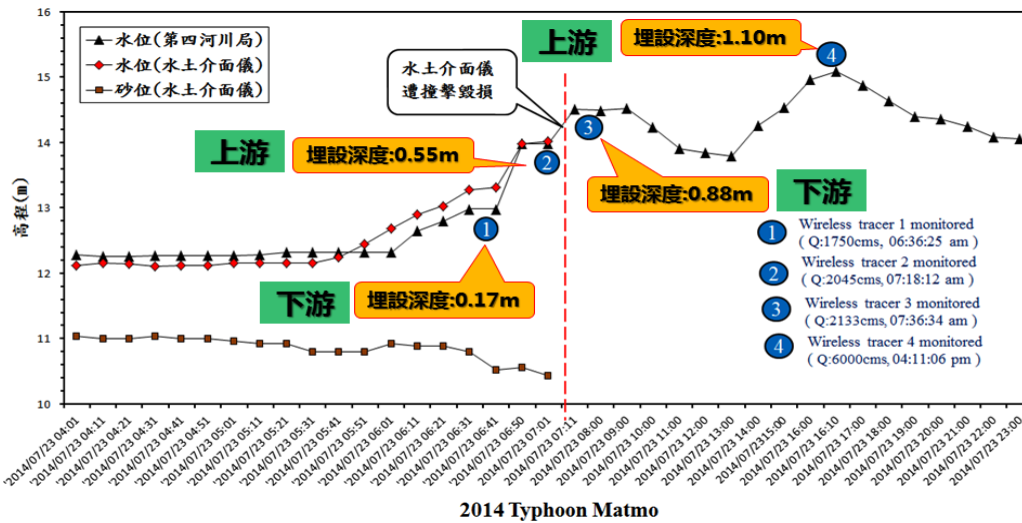


圖8 麥德姆颱風水土介面儀配合無線追蹤粒子全量程砂位變化

(Fig.8 Elevation of water level and riverbed measured by using water and soil inter-facer, wireless tracer during typhoon Matmo)

### 3. 洪峰一般沖刷水深

本研究考量並參酌各家經驗公式之參數，選用 Su and Lu(2013)之洪峰附近沖刷公式作為基礎，採

用河床質中值粒徑( $D_{50}$ )、單寬洪峰流量( $q$ )、河

床質幾何標準偏差( $\sigma_g$ )等因子，並將原式之河床

坡降因子( $S_0$ )以福祿數( $F_r$ )替代，又考量未來工

程應用之便利性，採用洪峰平均沖刷水深(即洪峰水位至沖刷河床底部間之水深)替代河床沖刷深度，獲得本研究推估公式如(3)式所示。

$$y_{ms} = a \times \frac{q^b \times \sigma_g^c \times F_r^d}{D_{50}^e} \quad (3)$$

$y_{ms}$  = 洪峰平均沖刷水深(m)

$q$  = 單位寬度洪峰流量( $m^2/s$ )

$\sigma_g$  = 河床質幾何標準偏差

$\sigma_g = \sqrt{D_{84} / D_{16}} (-)$

$F_r$  = 福祿數(-)

$D_{50}$  = 河床質中值粒徑(mm)

其後將各颱風事件之現地沖刷深度實測成果、河床質粒徑特性、河床坡降等相關參數共 9 筆資料，

進行一般冲刷水深經驗公式迴歸分析。其中，2012年蘇拉颱風及2014年麥德姆颱風兩筆資料，乃作為驗證用數據。本研究以(3)式進行 SPSS 軟體非線性迴歸分析，推求經驗式之係數 a、b、c、d、e，其判定係數  $R^2=0.980$ ，相關性甚佳。將各係數值代入(3)式中，得出洪峰平均冲刷水深經驗公式如(4)式所示：

$$y_{ms} = 0.706 \times \frac{q^{0.67} \times \sigma_g^{0.28} \times F_r^{-0.016}}{D_{50}^{0.217}} \quad (4)$$

將原始推導資料推估結果繪如圖 9，圖中顯示各點 DR 值(Discrepancy Ratio ; Predicted  $y_{ms}$  / Measured  $y_{ms}$ )均落於 0.5 ~ 2 之間，顯示(4)式之適

用性佳，該公式適用範圍  $q = 0.85 \sim 21.64 m^2/s$ ， $\sigma_g = 1.98 \sim 16.69$ ， $F_r = 0.134 \sim 1.148$ ， $D_{50} = 0.105 \sim 36 mm$ 。

為確認該經驗公式之適用性，本研究再進一步將2012年蘇拉颱風及2014年麥德姆颱風兩筆觀測之冲刷資料進行驗證，其結果分別示如實心圓點及實心菱形，圖中顯示其值落於  $DR \approx 1$  之處，可知推估結果頗為合理，因此該經驗公式可應用於洪峰平均冲刷水深之推估，惟因現有本土河川短期一般冲刷資料有限，未來仍需更多相關資料驗證。

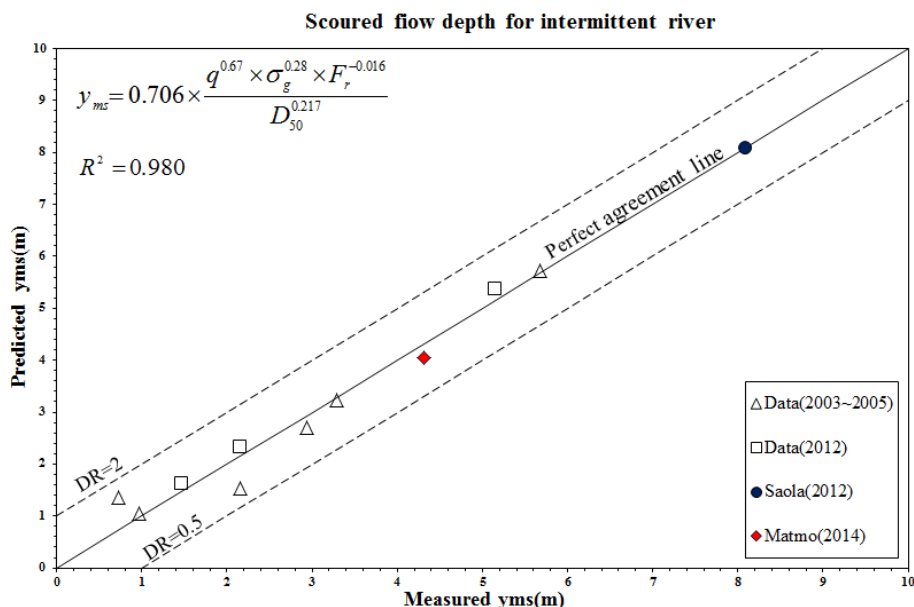


圖9 河道一般冲刷水深推估比較及驗證

(Fig.9 Comparison and verification of channel scoured flow depth estimation)

#### 4. 各家一般冲刷推估公式比較

為了瞭解各家冲刷深度公式於國內河川之適用性，分別代入(4)式與 Maza Alvarez and Echavarria Alfaro(1973)、Blench(1969)、Lacey(1930)等之冲刷深度經驗公式，將各家公式推估值與實際值進行比較分析，以研提較適用之冲刷深度經驗公式，如圖 10 所示。由圖 10 可知，空心圓點為本研究提出之(4)式之洪峰平均冲刷水深推估結果，其 DR 值(Discrepancy Ratio ; Predicted  $y_{ms}$  / Measured

$y_{ms}$ )均落於 0.5~2 之間，可知(4)式之適用性佳。Maza Alvarez and Echavarria Alfaro(1973)在圖中為實心三角形表示，結果顯示其 DR 值大多落於 0.5~2 之間，整體略為低估之情況，惟有可見其公式於一般河川冲刷水深之推估稍具可行性。

Blench(1969)公式推估結果於圖中以實心方形顯示，從結果得知其 DR 值大多落於 0.5~2 之間，整體有略微高估之現象，惟其趨勢具一致性。其中以 2012 年蘇拉颱風及 2014 年麥德姆颱風之自強大

橋等兩筆推估值有高估較多之情形，而自強大橋屬砂質河川，以其砂質河川推估公式(詳表 2)計算結果有高估之情形，然以卵礫石河川推估公式計算則其結果尚稱符合，因此該卵礫石河川推估公式可能較適用於台灣河川。而該推估公式僅考量二個參數，

應用上較為方便，未來可將其列入參考。利用 Lacey(1930)公式估算沖刷水深，雖其趨勢尚具一致性，然皆為高估許多之情況。惟上述綜合評析因現有本土河川短期一般沖刷資料有限，未來仍需更多相關資料驗證，方可完全確認其可行性。

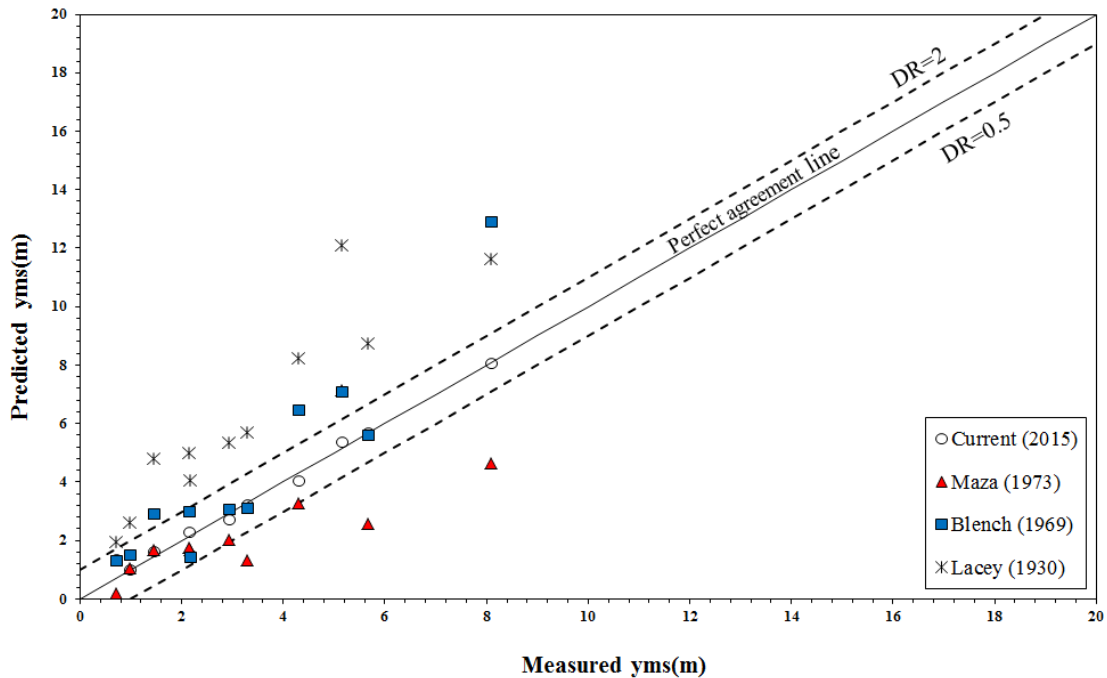


圖10 各家沖刷深度經驗公式推估洪峰平均沖刷水深比較

(Fig.10 Comparison of scoured flow peak depth estimation by experience formulas)

## 一、結論與建議

本研究為改進現有之河床沖淤量測技術，進行水土介面儀之室內、外各項試驗，包含水位、砂位、防水功能、無線傳輸等功能，亦完成濁水溪自強大橋下游之最大一般沖刷深度量測試驗，獲得如下結論與建議：

1. 水土介面儀經室內外水位、砂位、防水功能及無線傳輸測試結果，其水位及砂位具高度精確性，無線傳輸具穩定性與準確度，水土介面儀完全防水，無滲水之情形。
2. 利用水土介面儀配合無線追蹤粒子沖刷磚柱法進行河床沖淤量測工作。將該法應用於麥德姆颱風(2014)時，發現水土介面儀量測所得水位變動趨勢與四河局量測值具有一致性。砂位則與無線追蹤粒子(wireless tracer)測得之沖刷深度約略相當，其水砂位誤差均在合理範圍之內。綜合而言，利用水土介面儀監測水位及砂位具可靠度。

3. 本研究參酌各家河道沖刷之經驗公式，且考量未來工程應用之便利性，採用洪峰平均沖刷水深替代河床沖刷深度，進行 SPSS 軟體非線性迴歸分析，並利用蘇拉颱風(2012)及麥德姆颱風(2014)兩筆觀測之沖刷資料進行驗證，獲得本研究推估公式如下：

$$y_{ms} = 0.706 \times \frac{q^{0.67} \times \sigma_g^{0.28} \times F_r^{-0.016}}{D_{50}^{0.217}}$$

4. 中高流量之河道沖淤量測之困難度甚高，自然河川條件複雜，洪水期間之漂流木等殘材可能直接撞擊水土介面儀，造成儀器受損。因此如何確保水土介面儀之安全與穩定，為未來研究之重點。

## 致謝

本文承蒙行政院科技部計畫補助(計畫編號 MOST 104-2625-M-035-001)，方得以完成本研究，謹此致謝。

## 參考文獻

1. Blench, T., "Mobile-bed Fluviology," *University of Alberta Press*, Edmonton, Canada, 1969.
2. Costa, J. E., Spicer K. R., Cheng R. T., Haeni F. P., Melcher N. B., Thurman E. M., Plant W. J., and Keller. W. C., "Measuring Stream Discharge by Non-contact Method: A Proof-of-concept Experiment," *Geophy. Res. Let.*, 27(4), 553-556, 2000.
3. Holmes, P. S., "Analysis and Prediction of Scour at Railway Bridges in New Zealand," *New Zealand Engineering*, November, 313-320, 1974.
4. Lacey, G., "Stable Channels in Alluvium," Paper 4736, Minutes of the Proc., *Institution of Civil Engineers*, William Clowes and Sons Ltd., London, Great Britain, 229, 259-292, 1930.
5. Maza Alvarez, J. A., and Echavarria Alfaro, F. J., "Contribution to the Study of General Scour," Proc., *International Symposium on River mechanics*, O. A. H. R., Bangkok, Thailand, 795-803, 1973.
6. Melville, B. W., and Coleman, S. E. (2000), "Bridge Scour", *Water Resources Publications*, Highlands Ranch, Colorado.
7. Pemberton, E. L. and Lara, J. M., "Computing Degradation and Local Scour," *Technical Guideline for Bereau of Reclamation*, Engineering and Research centre, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, U.S.A, 55, 1984.
8. Spicer, K. R., Costa J. E., and Placzek G., "Measuring Flood Discharge in Unstable Stream Channels Using Ground-penetrating Radar," *Geology*, 25, 423-426, 1997.
9. Su C. C., and Lu, J. Y., "Measurements and Prediction of Typhoon-induced Short-term General Scours in Intermittent Rivers," *Natural Hazards*, 66(2), 671-687, 2013.
10. Wang, C. Y., Lu J. Y., and Su C. C., "Development and Application of an Efficient Method to River Discharge Measurement", *International Journal of Sediment Research*, 17(2), 137-146, 2002.
11. 王如意、易任，應用水文學，國立編譯館，1979。
12. 台禹監測科技股份有限公司，網址 <http://www.hycom.com.tw>。
13. 交通部台灣區國道高速公路局，高科技橋樑檢測系統建置試辦計畫技術服務-服務建議書，2009。
14. 林詠彬、張國鎮、陳俊仲、吳信宏、李路生，「光纖監測於橋梁沖刷安全之研發」，結構工程，第120卷，第1期，pp.111-124，2005。
15. 盧昭堯、林呈、王傳益，河道深槽沖淤量測及預測模擬變化潛勢評估(以濁水溪為研究案例)(1/3~3/3)，經濟部水利署水利規劃試驗所，2003~2005。
16. 盧昭堯、王傳益，921地震後濁水溪下游輸砂關係之試驗研究(1/2~2/2)，經濟部水利署水利規劃試驗所，2006~2007。
17. 盧昭堯、王傳益、楊翰宗，颶洪河道短期一般沖刷之觀測研究(1/2~2/2)，經濟部水利署水利規劃試驗所，2013~2014。

---

106年02月24日收稿

106年03月06日修改

106年03月13日接受