集水區河道土砂流出量觀測系統設置

臧運忠

成功大學防災研究中心

108年6月18日

大綱

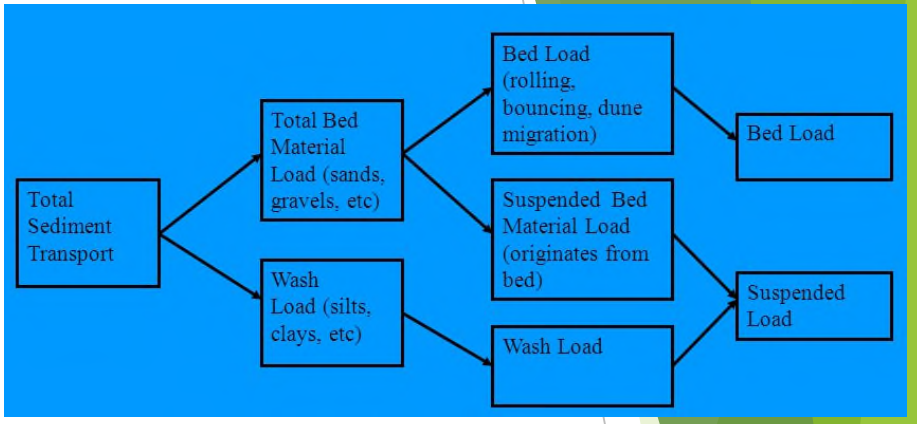
- 一、致謝
- 二、前言
- 三、水聲計運作原理
- 四、底床載輸砂量觀測-觀測站建置
- 五、現地觀測成果與底床載輸砂量推估
- 六、結論與建議

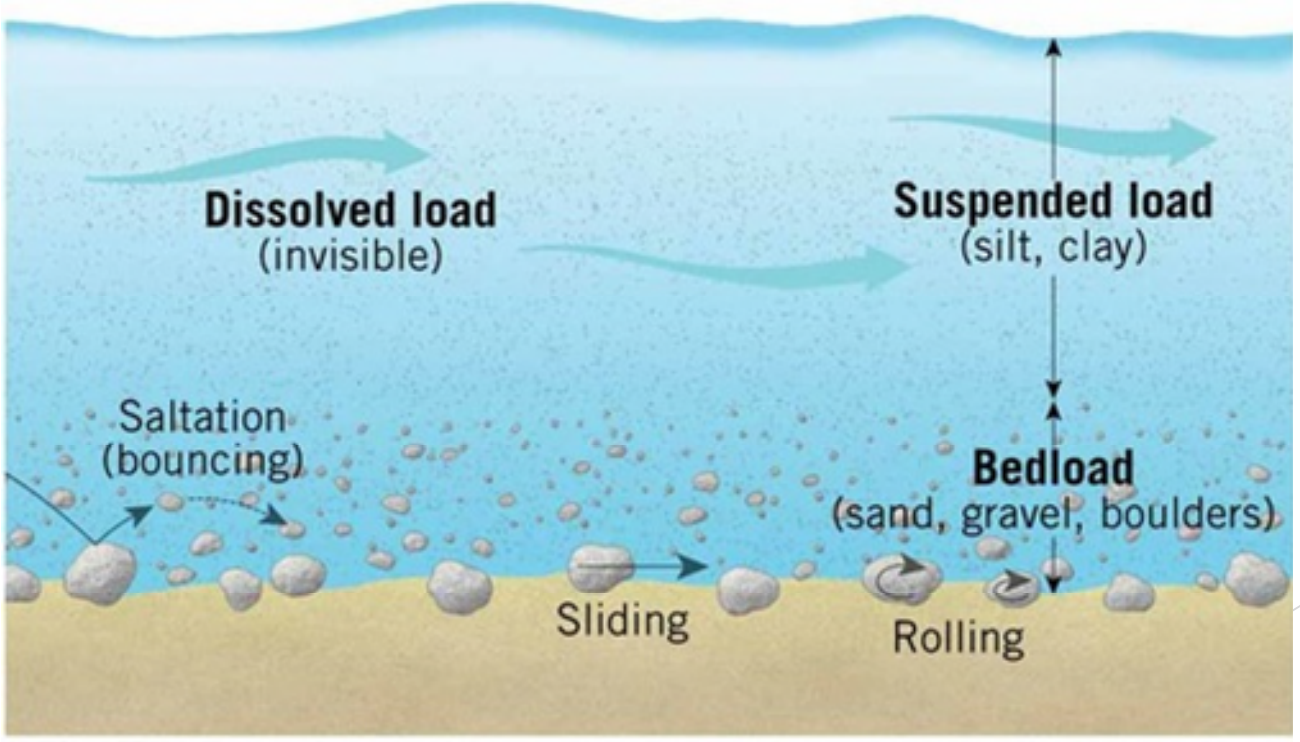
致謝

- 本計畫感謝行政院農業委員會土保持局提供計畫經費支持(保育治理組 委辦計畫)。
- 本計畫感謝日本工營株式會社(Nippon Koei)、伊藤隆郭博士、筑波大學宮本邦明教授、三重大學 堤大三教授、高知大學張浩教授、逢甲大學許少華教授、成功大學黃清哲教授等人提供底床載量測與分析相關技術諮詢。

前言

- 河川泥砂運動之型式區可分為懸移(suspended particle motion)以及滑動(sliding)、滾動(rolling)、躍移(saltating/hoping)等不同型式





前言

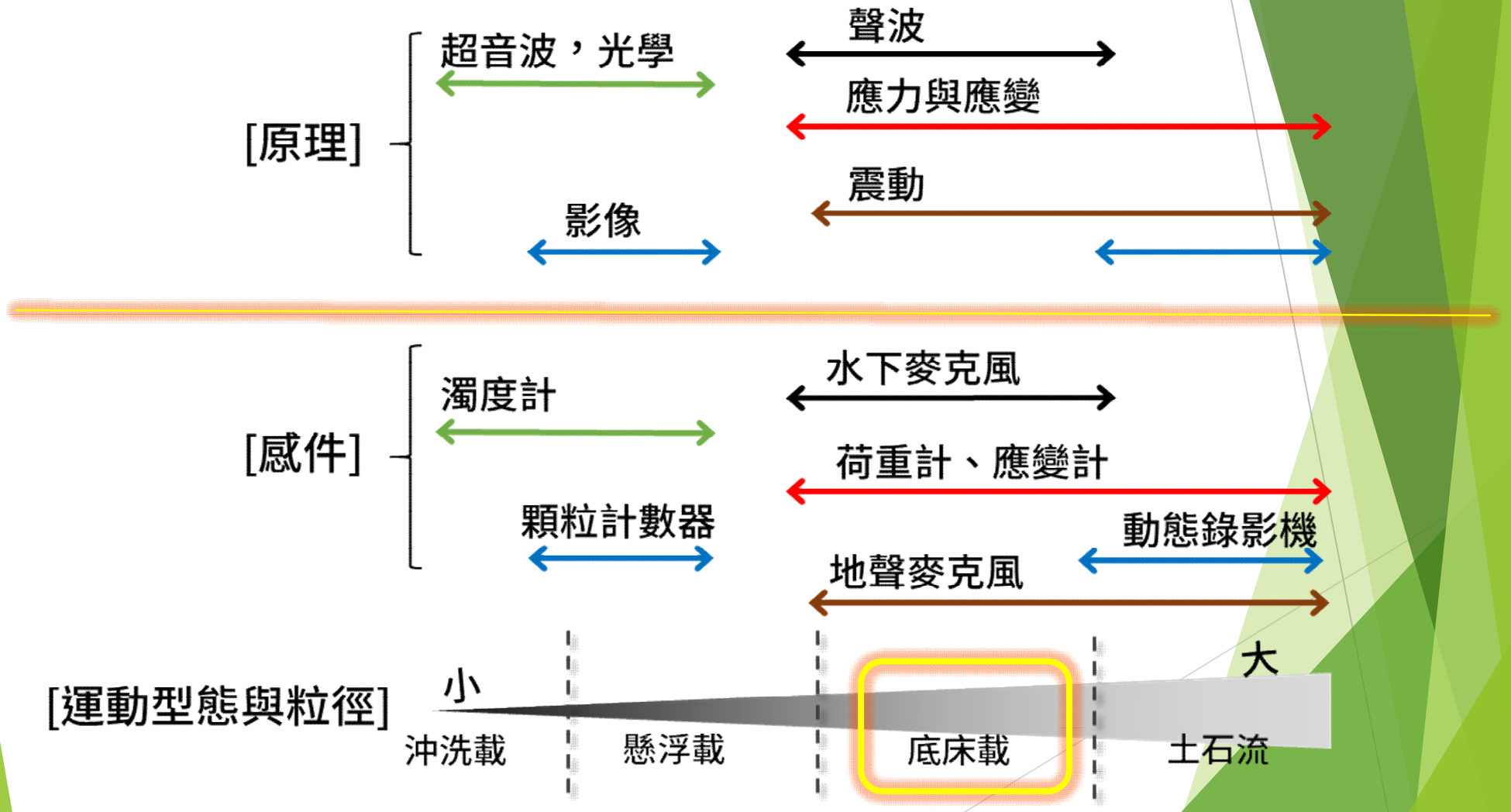
- 臺灣河道輸砂量觀測，多以懸浮載(suspending load)量測為主。
- 河道底床載(bedload)輸砂量多採用經驗公式或總輸砂量之固定比例進行推估，缺乏現地監測數據驗證，可能錯估實際輸砂量。
  - 輸砂公式之適用性：野溪之輸砂量不僅由流量控制，同時也受上游泥沙生產量之控制
  - 直接採樣方法，在臺灣因輸砂量高，較不適用
  - 間接量測方法，國外近年發展之新技術應用

人工採樣颱洪期間風險較高，難以取得連續監測成果





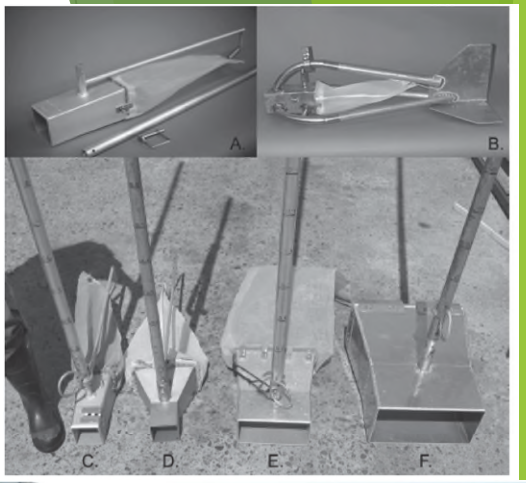
泥砂監測技術與現況


[原理]
超音波，光學
影像
聲波
應力與應變
震動
[感件]
濁度計
顆粒計數器
水下麥克風
荷重計、應變計
動態錄影機
地聲麥克風
[運動型態與粒徑]
小
大
沖洗載
懸浮載
底床載
土石流

底床載(bedload)量測方法

直接採樣方法：在臺灣山區野溪坡度陡急，較不適用。

間接量測方法：國外近年已發展成熟技術可供應用





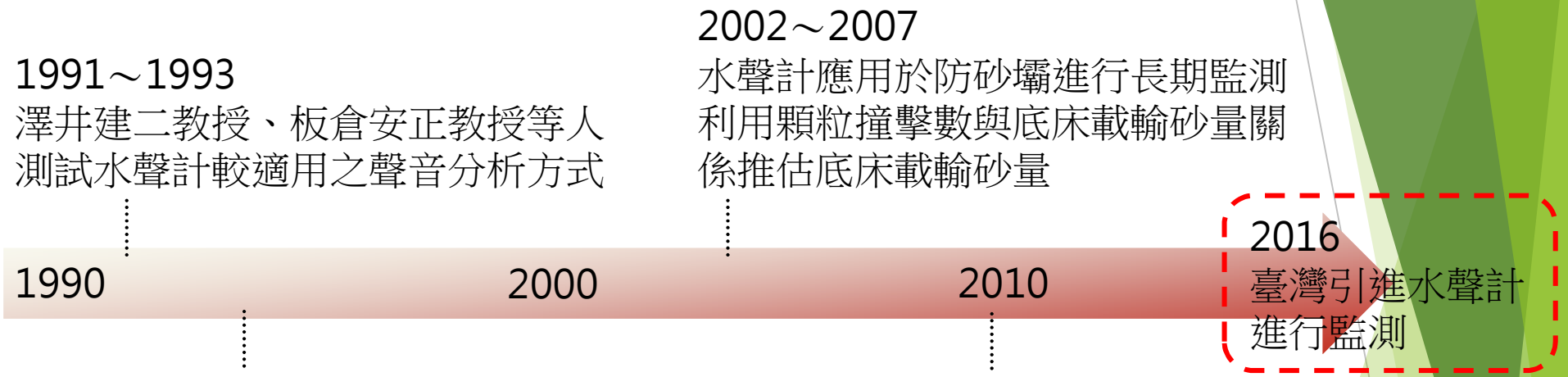


- 直接(direct)
  - 籃式 (basket-type)
  - 淺盤式 (pan-type)
  - 壓差式 (pressure-difference-type)
  - 槽坑式 (slot-type or pit-type or bedload traps)
- 間接(indirect)
  - 主動(active)
    - 聲納(sonar)
    - 雷達(radar tracer) (smart tracers)
  - 被動(passive)
    - 地聲計 geophone (plate)
    - 水聲計 hydrophone(pipe ,plate)
    - 壓力傳感器 loadcell
  - 傾斜儀(Tiltmeter)
  - 砂丘追蹤法(dune tracking)-適用大部分單一細砂
  - 示蹤劑法(tracker method)、磁性追蹤magnetic tracers
  - 經驗公式法(experimental-formula)-依河床、岩性，水工試驗率定

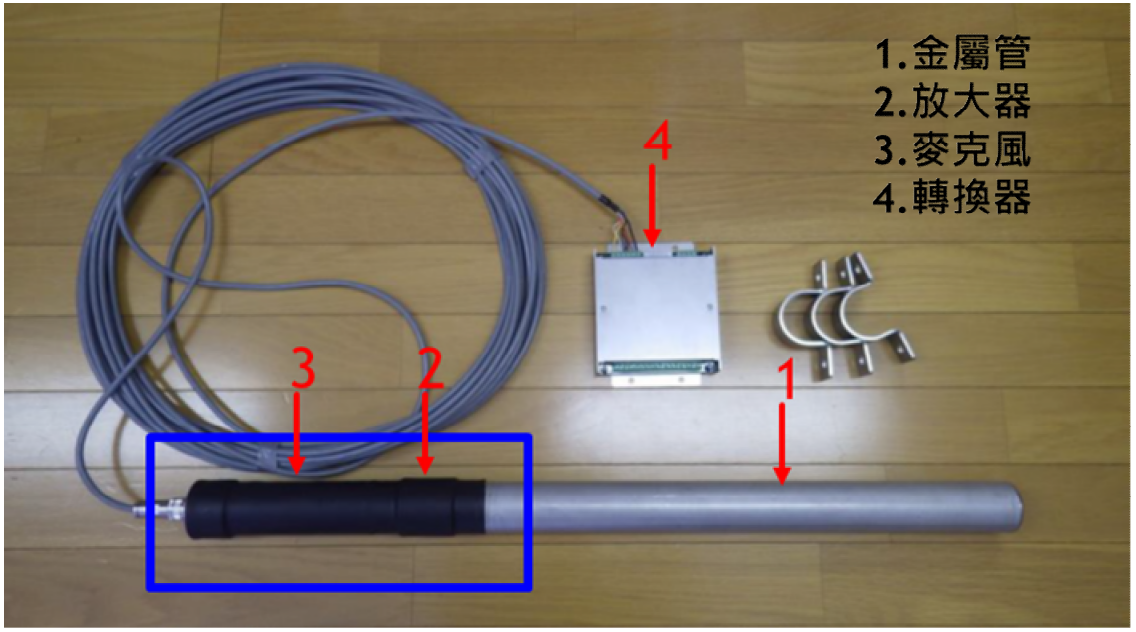
	水聲計 (管型)	水聲計 (平板型)	地聲計 (震動型)	Reid-type 囚砂坑
長時間連續監測	○	○	○	△ 囚砂坑容量有限 但無法取得全事件資料
土砂粒徑分布	○	○	△ 不易推估	○ 須配合囚砂區設置 但無法長期連續監測
小流量輸砂量監測	○ 較地音敏感	○ 較地音計敏感	△ 較不敏感 (相較於水聲計)	○ 須配合囚砂區設置 但無法長期連續監測
高流量輸砂量監測	○ 輸砂量高時發生飽和現象	○ 輸砂量高時發生飽和現象	○～△ 適合較大粒徑砂礫監測 (卵礫石)	○
建置成本 (硬體)	較低	中等	中等	最高

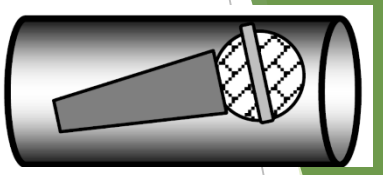
水聲計運作原理

水聲計發展沿革


1991～1993
澤井建二教授、板倉安正教授等人
測試水聲計較適用之聲音分析方式
2002～2007
水聲計應用於防砂壩進行長期監測
利用顆粒撞擊數與底床載輸砂量關
係推估底床載輸砂量
1990
2000
2010
2016
臺灣引進水聲計
進行監測
1994～1997
宮本邦明教授等人
利用濾波器擷取出圓周向音訊
提出音壓動量關係推估土砂量
之理論
2010
日本國土交通省藉由全國土砂監測
技術精進計畫應用水聲計至全國21
條河川共60處監測點

日本管式水聲計





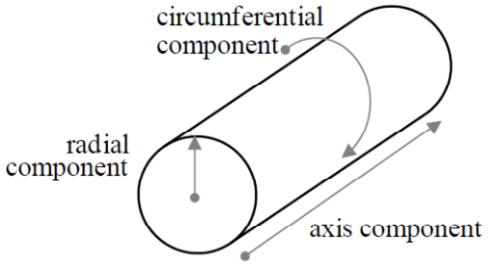


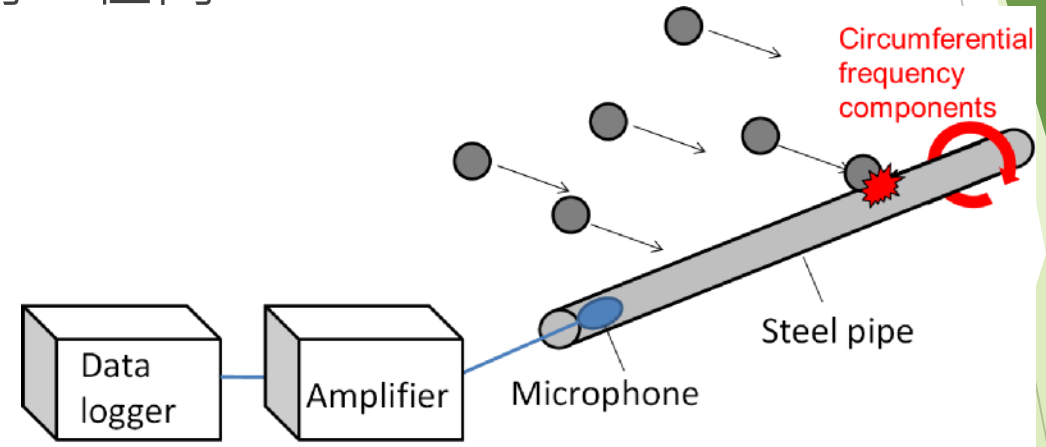
■ 水聲計以證實可有效應用於底床載輸砂量之量測

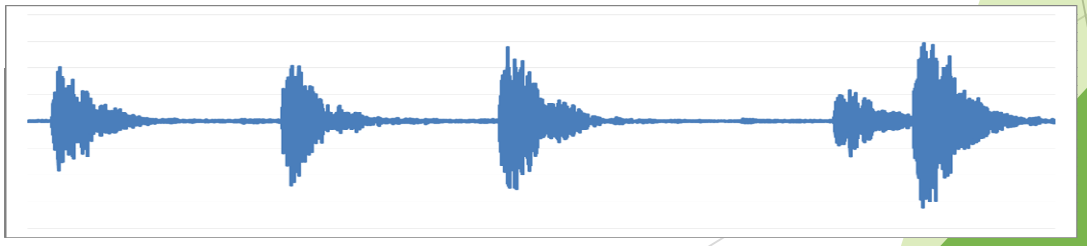
(BARZINGER & BURCH, 1990; HEGG & RICKENMANN, 1998; RICKENMANN, 1998; MIZUYAMA et al., 2002; SUZUKI et al., 2010)

水聲計運作原理

- 泥砂顆粒通過時撞擊金屬管產生聲音訊號
- 聲音訊號可分為軸向、徑向以及圓周向。

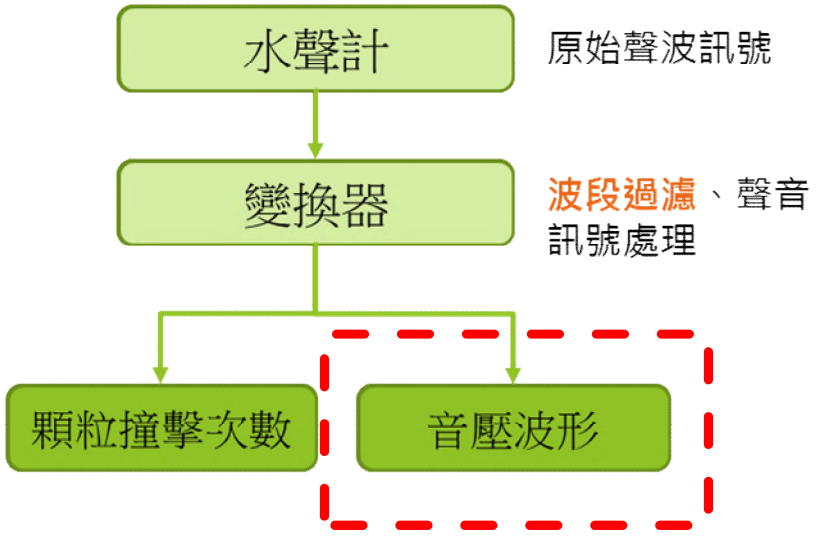


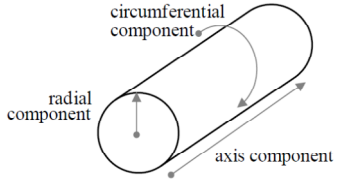


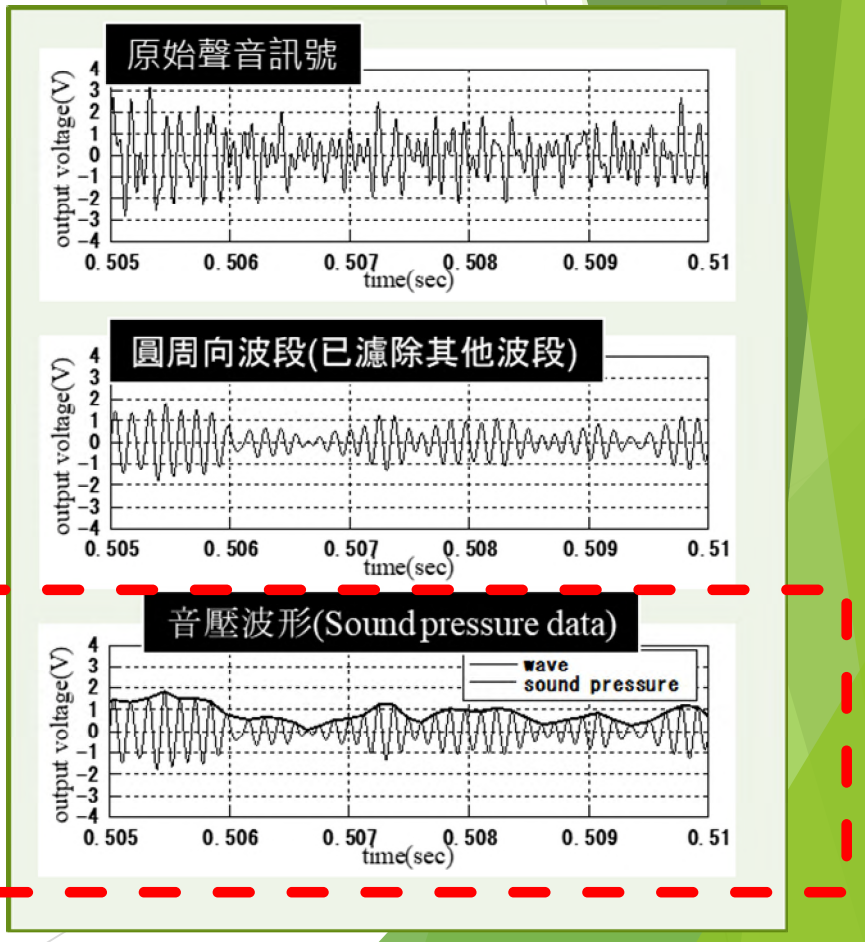


水聲計運作原理-聲音訊號解析

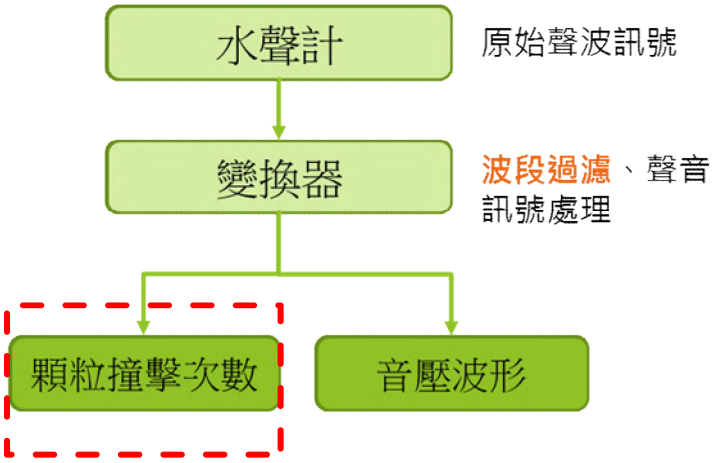
- 聲音訊號濾除其他波段，僅留下與顆粒撞擊相關性最高之**圓周向**波段。
- 聲音訊號經解析後得音壓波形(sound pressure data)



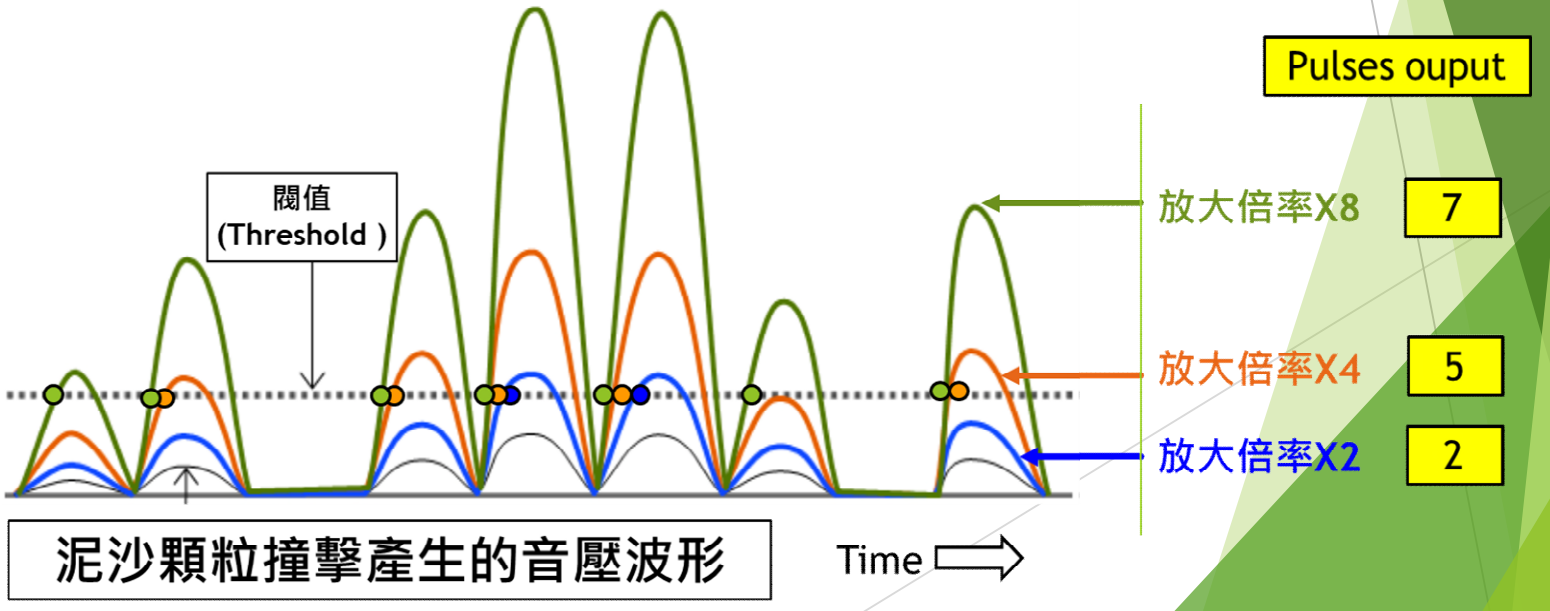




水聲計運作原理-聲音訊號解析



- 泥砂顆粒撞擊水聲管所產生之聲音訊號，經初步處理後輸出方波波形(Pulse)，”有效撞擊”之判定為方波波形之電壓值高於門檻值2.5V(threshold
- 音壓波形以10種倍率(x2~x1024)放大後，經放大之脈衝(Pulse)若超過閥值，將視為有效撞擊，並輸出至資料紀錄器。
- 輸出10種放大倍率之撞擊次數



水聲計運作原理-聲音訊號解析

紀錄時間	流水號	電池電壓	溫度	撞擊次數	撞擊次數	撞擊次數	撞擊次數	撞擊次數	撞擊次數	撞擊次數	撞擊次數	撞擊次數	撞擊次數	聲壓	水位	濁度	流速
TIMESTAMP	RECORD	(volt)	℃	(x1024)	(x512)	(x256)	(x128)	(x64)	(x32)	(x16)	(x8)	(x4)	(x2)	(mvolt)	cm	(ntu)	m/s
2016/11/18 11:01	45218	13.65	27.47	5	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	10.35	773.5	0.47
2016/11/18 11:02	45219	13.65	27.5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.09	173.6	0.46
2016/11/18 11:03	45220	13.64	27.5	26	17	11	5	2	1	1	0	0	0	0	13.13	158.9	0.44
2016/11/18 11:04	45221	13.62	27.53	9	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	12.72	183.3	0.41
2016/11/18 11:05	45222	13.64	27.56	27	22	16	11	7	4	1	0	0	0	0	12.55	188.8	0.43
2016/11/18 11:06	45223	13.65	27.58	18	14	8	2	0	0	0	0	0	0	0	13.47	174.4	0.44
2016/11/18 11:07	45224	13.6	27.62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.7	199.7	0.48
2016/11/18 11:08	45225	13.6	27.63	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.43	197.9	0.46
2016/11/18 11:09	45226	13.6	27.67	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.22	197.3	0.49
2016/11/18 11:10	45227	13.66	27.72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.33	170.4	0.45
2016/11/18 11:11	45228	13.63	27.82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.19	164	0.44
2016/11/18 11:12	45229	13.63	27.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.06	276.4	0.44
2016/11/18 11:13	45230	13.6	27.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.05	232.2	0.49
2016/11/18 11:14	45231	13.6	28.03	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.34	221.9	0.46
2016/11/18 11:15	45232	13.62	28.08	4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	11.12	234.6	0.47
2016/11/18 11:16	45233	13.64	28.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.75	410.3	0.41

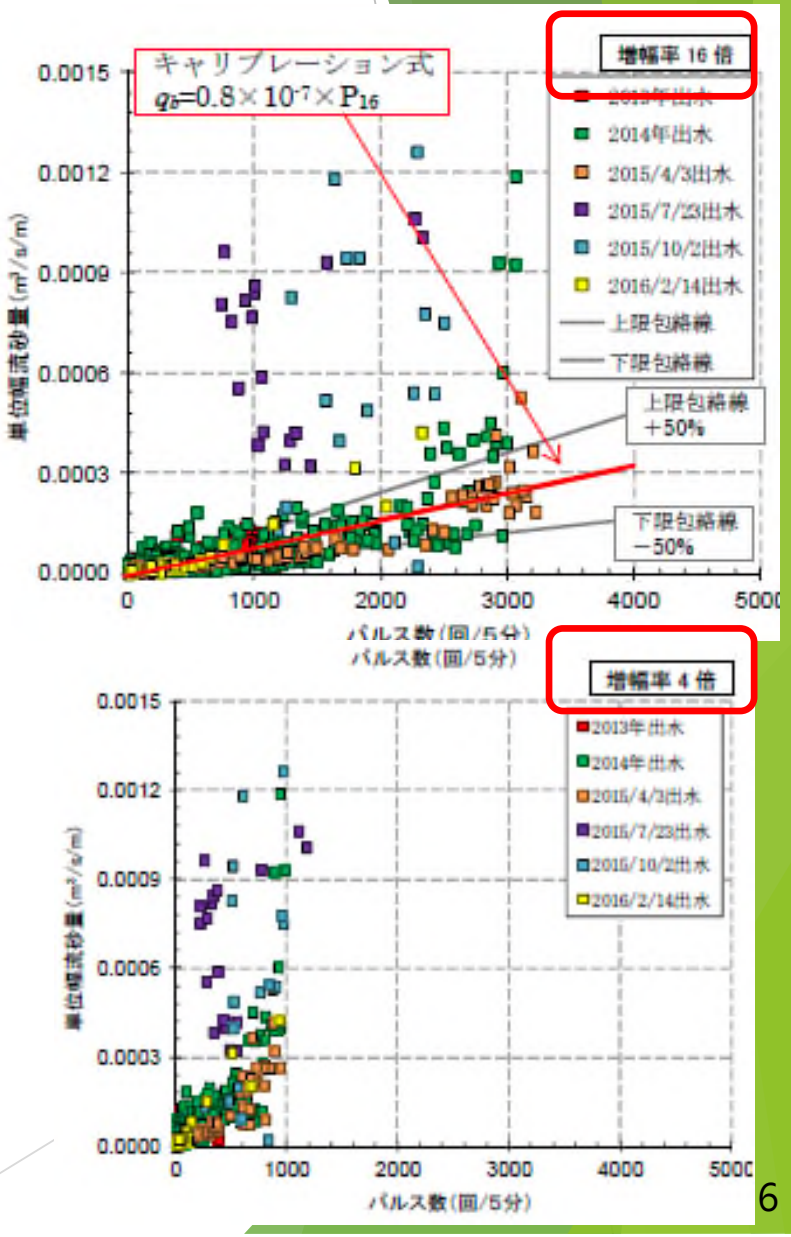
水聲計運作原理-底床載輸砂量推估(撞擊次數法)

方法一 建立撞擊次數與輸砂量關係

- 聲音訊後經由轉換後得到10種放大倍率（x2~x1024)之撞擊次數。
- 建立撞擊次數與輸砂量之關係圖(撞擊次數/5min Vs 輸砂量/5min)
- 選取撞擊次數與輸砂量關係呈現較佳線性關係之倍率

$$q_b=0.8\times10^{-7}\times P_{16}$$

底床載輸砂量　　撞擊次數(放大倍率X16)



註:需要多場事件累積資料

水聲計運作原理-底床載輸砂量推估(撞擊次數法)







水聲計運作原理- 底床載輸砂量推估(音壓動量法)

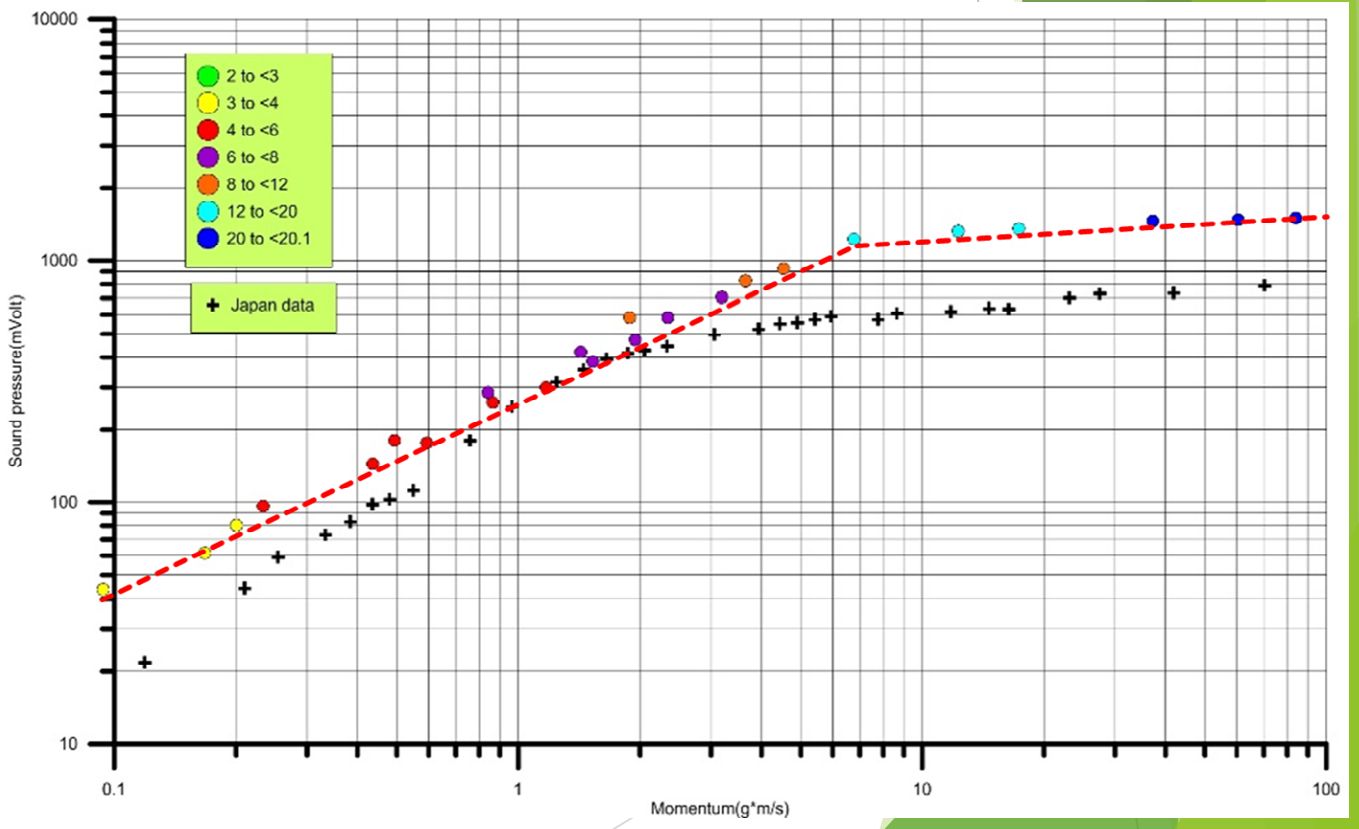
■ 建立音壓與動量之關係

於45度斜坡上，在不同高度，以不同粒徑，找出聲壓與動量關係。





聲壓與動量關係曲線



水聲計運作原理-底床載輸砂量推估(音壓動量法)

方法二 利用音壓動量關係推估輸砂量

- 顆粒撞擊水聲計金屬管產生之音壓波形，其峰值(peak)與動量(momentum)呈現線性關係

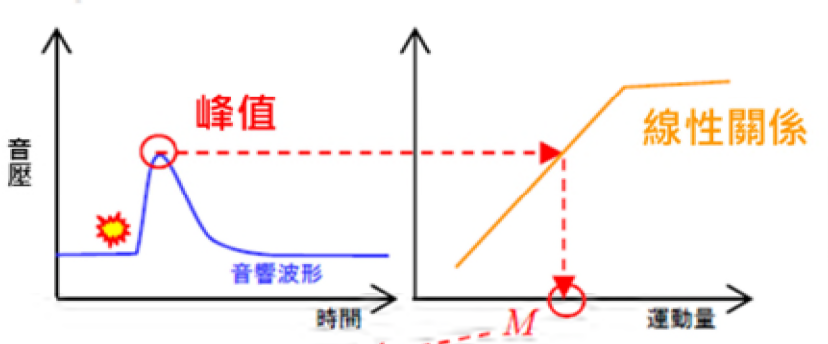
Step1：
由音壓與其量之線性關係可得到動量（mv）

Step1：

動量(mv)及速度(v)已知條件下，可計算顆粒重量(m)

Step1：

假設為圓形顆粒，即可推求顆粒粒徑(d)　$\mathrm{m} = \rho \frac{\pi}{6} d^3$



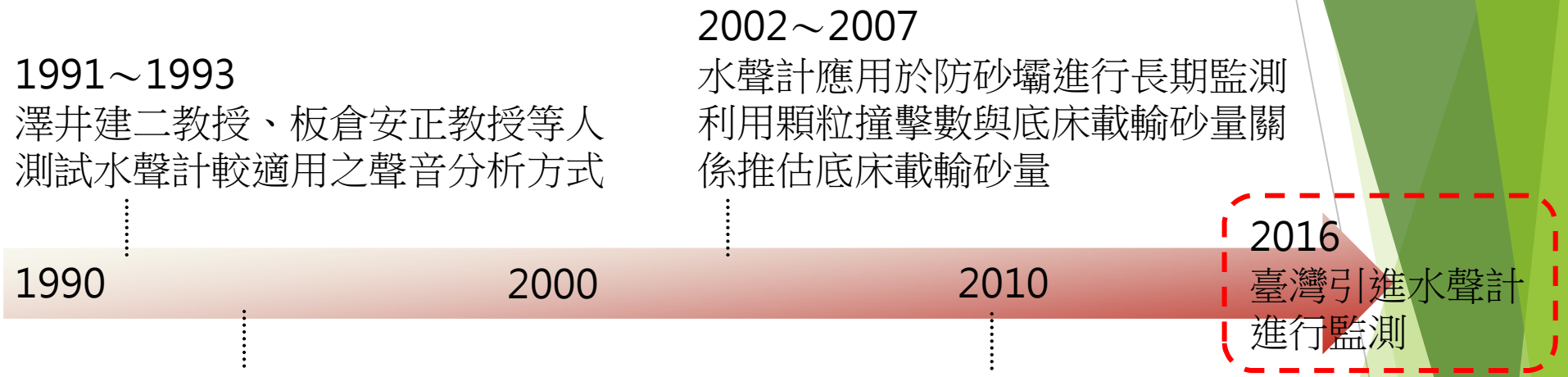
$$M = m u_s$$

$$m = \frac{1}{6}\pi d^3 \times (\sigma - \rho)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{6m}{\pi(\sigma - \rho)}}$$

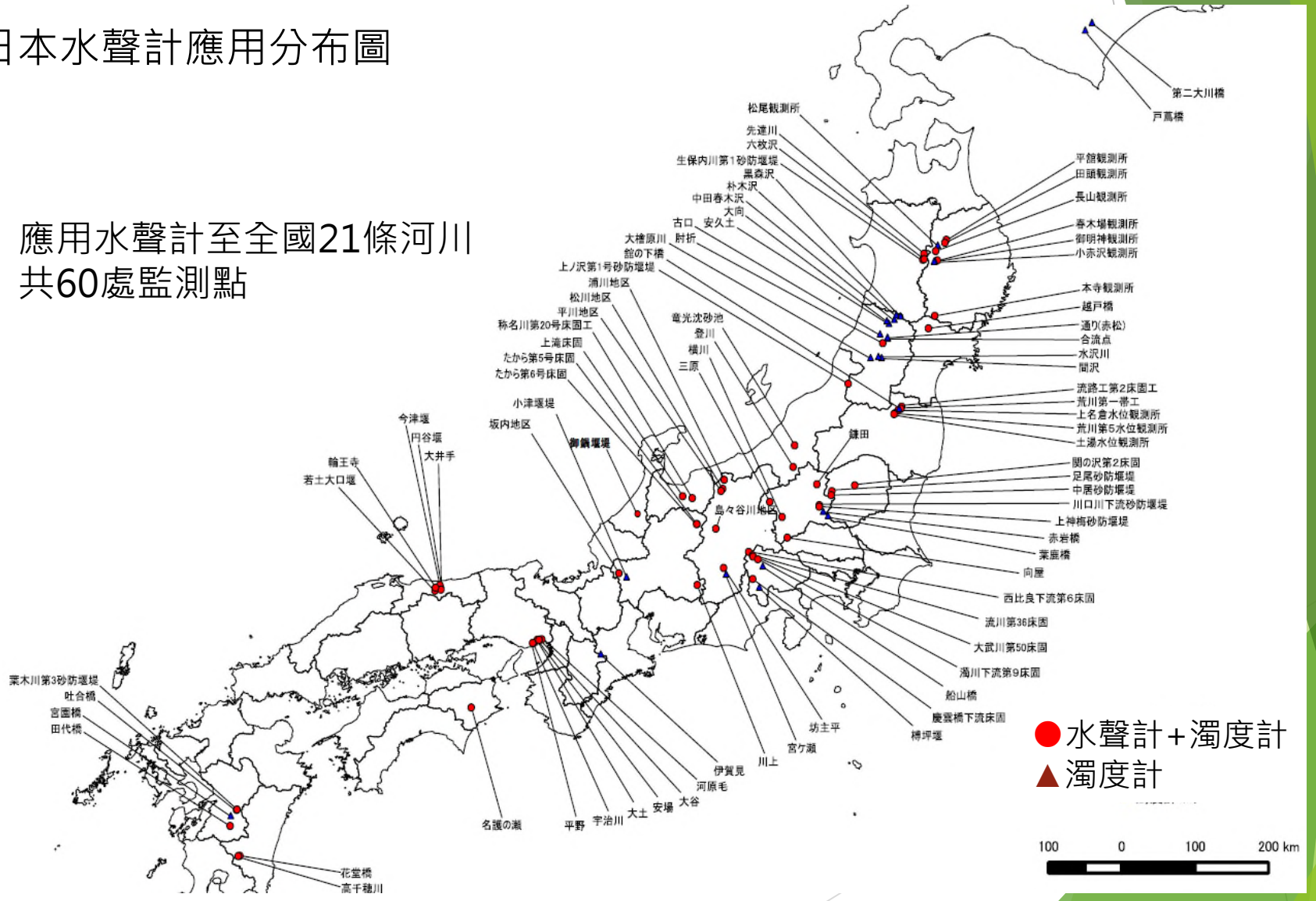
M：動量(g*m/s)
m：質量(g)
u_s：土砂移動速度(m/s)
d：粒徑(m)
σ：土砂比重
ρ：水比重

水聲計發展沿革


1991～1993
澤井建二教授、板倉安正教授等人
測試水聲計較適用之聲音分析方式
2002～2007
水聲計應用於防砂壩進行長期監測
利用顆粒撞擊數與底床載輸砂量關
係推估底床載輸砂量
1990
2000
2010
2016
臺灣引進水聲計
進行監測
1994～1997
宮本邦明教授等人
利用濾波器擷取出圓周向音訊
提出音壓動量關係推估土砂量
之理論
2010
日本國土交通省藉由全國土砂監測
技術精進計畫應用水聲計至全國21
條河川共60處監測點

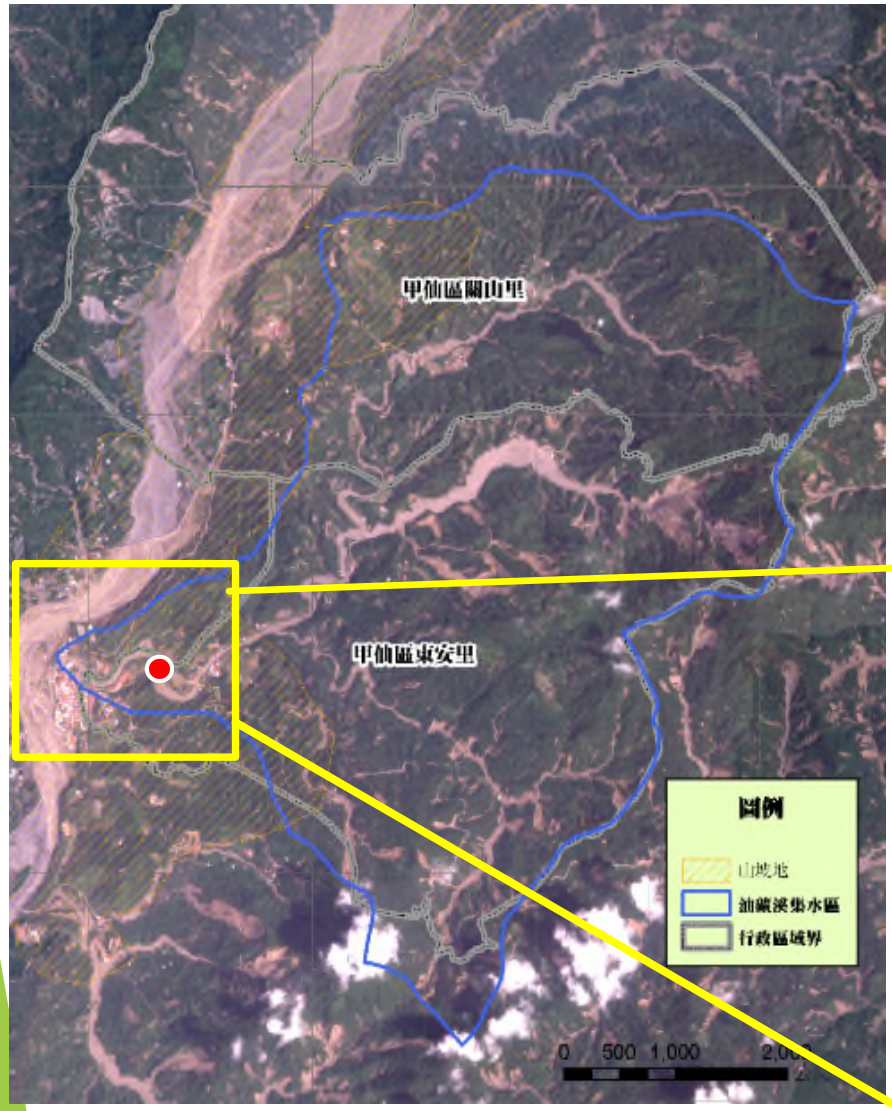
日本水聲計應用分布圖

應用水聲計至全國21條河川
共60處監測點



底床載輸砂量觀測-示範觀測站建置

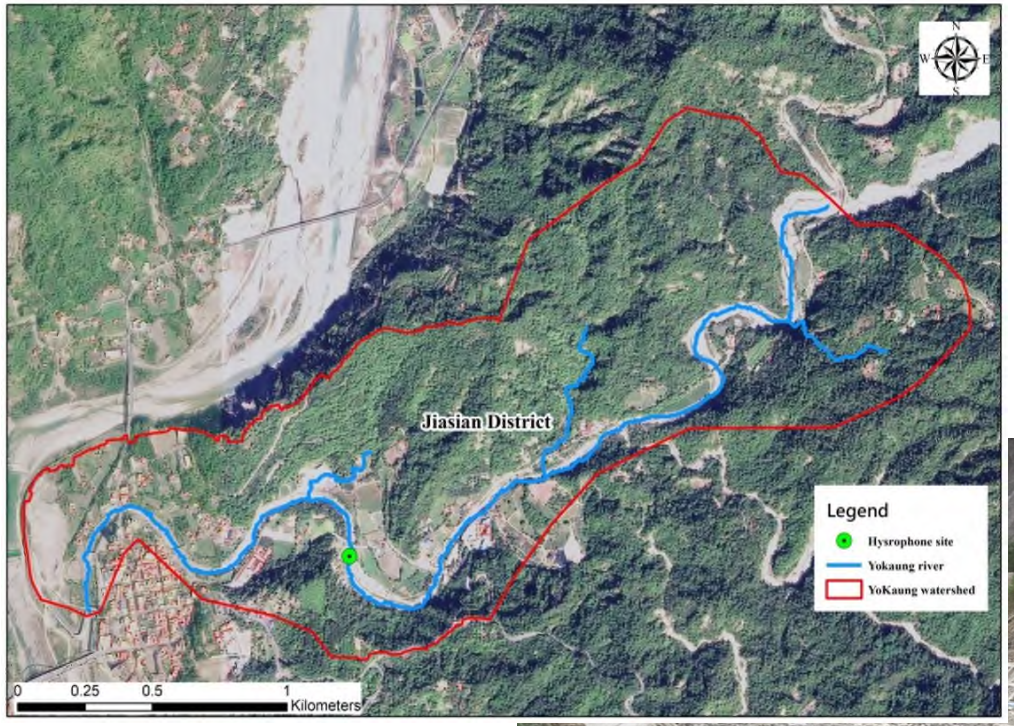
示範區區位介紹



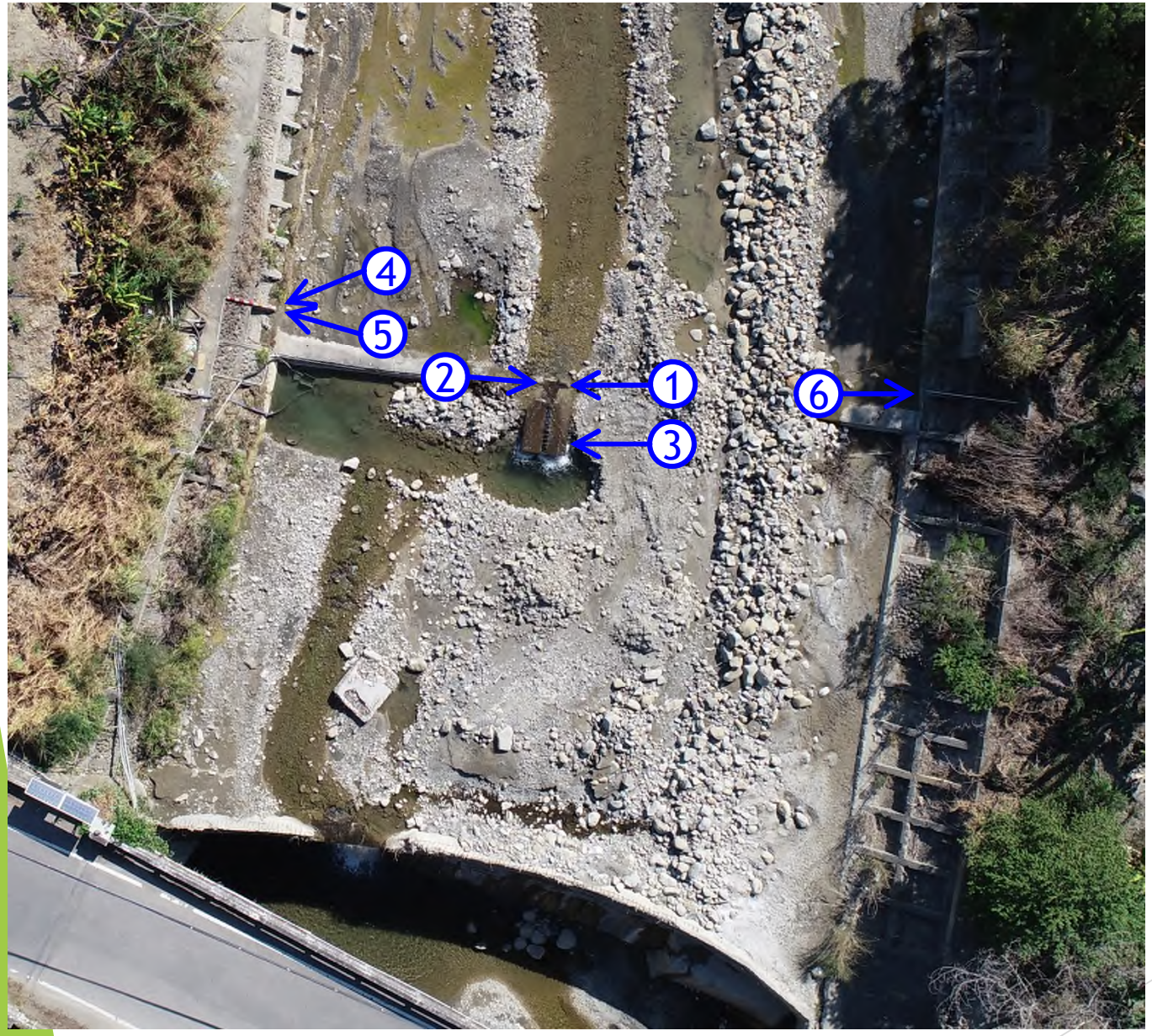
- 高雄市甲仙區油礦溪集水區
  - 集水區:旗山溪支流油礦溪
  - 集水面積:2613公頃
  - 河寬約30m，坡度2.43%
  - 卡玫基、莫拉克颱風洪流夾帶大量土石，造成護岸損毀及溢流成災。



Field data collection - Study area







(1)管式水聲計
(2)底床流速計
(3)囚砂箱
(4)壓力式水位計
(5)濁度計
(6)壓力式水位計

(6)壓力式水位計



遭遇問題

106年8月尼莎颱風及海棠颱風帶來大量降雨，令許多塊石通過，造成水聲計鋼管凹陷，無法正常量測，8月28日將水聲計及流速計拆除，10月24日進行修復及更換。

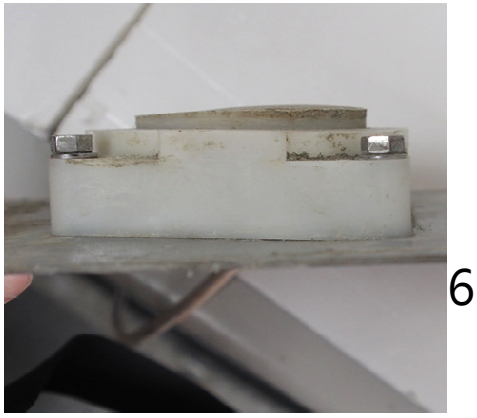






6日水聲計鋼管遭撞擊凹陷，及固定水泥磨損



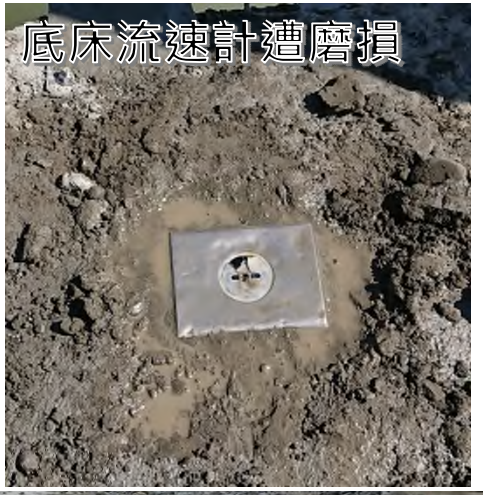


底床流速計磨損

遭遇問題

107年0823豪雨後維護現場發現固床工部分遭磨蝕，影響底床流速計，與水聲計傳輸線路，且囚砂箱蓋板流失
發生可能原因為洪峰期間土砂運移磨蝕底床，造成固床工磨損，並令其囚砂箱蓋板流失







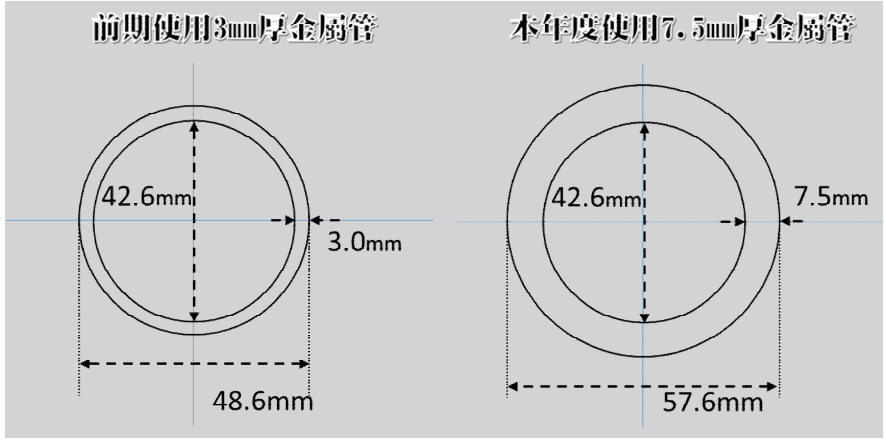
遭遇問題

遭遇問題

106年颱風事件後，大塊石撞擊造成凹損，量測值異常

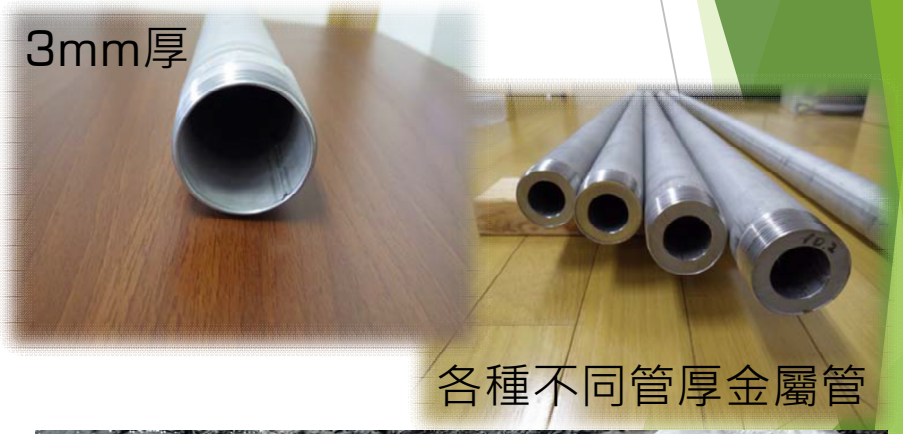
改善方案

更換為管厚7.5mm金屬管
取得較佳環境耐受力
後續實驗測試其粒徑範圍及回歸曲線



水聲計鋼管遭撞擊凹損





各種不同管厚金屬管

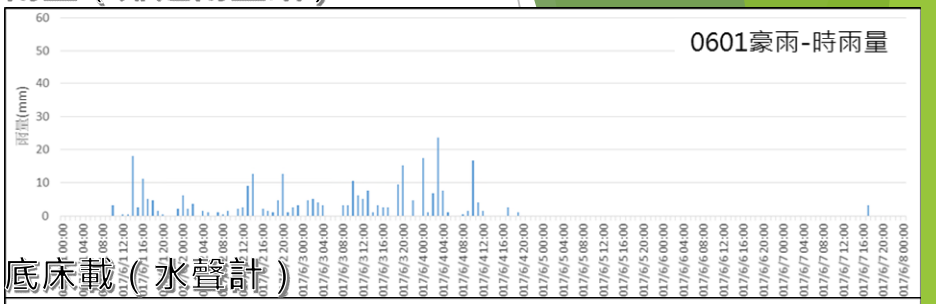


現地觀測成果

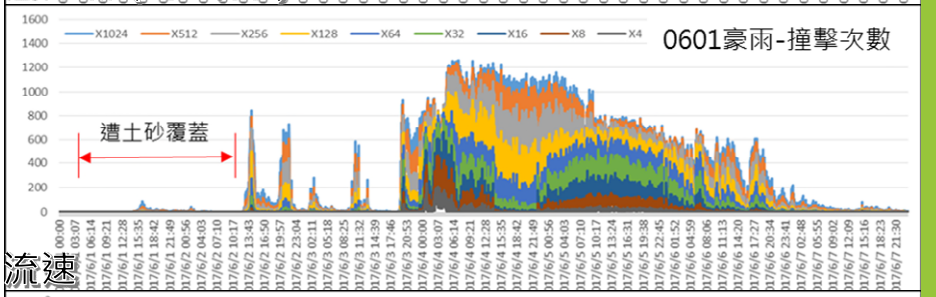
現地監測成果綜合分析-107年

- 收集之現地監測資料分析包括含雨量（鄰近甲仙雨量站），以及示範站水位、濁度、流速、水聲計聲音紀錄等，將其繪製歷線圖
- 了解示範站底床載土砂運移特性

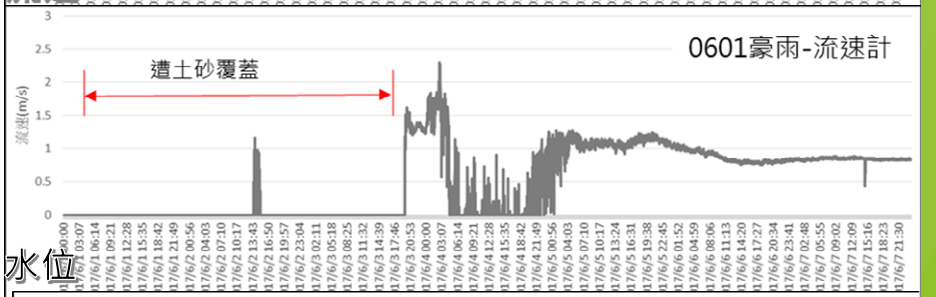
雨量（鄰近雨量站）



底床載（水聲計）



流速



水位

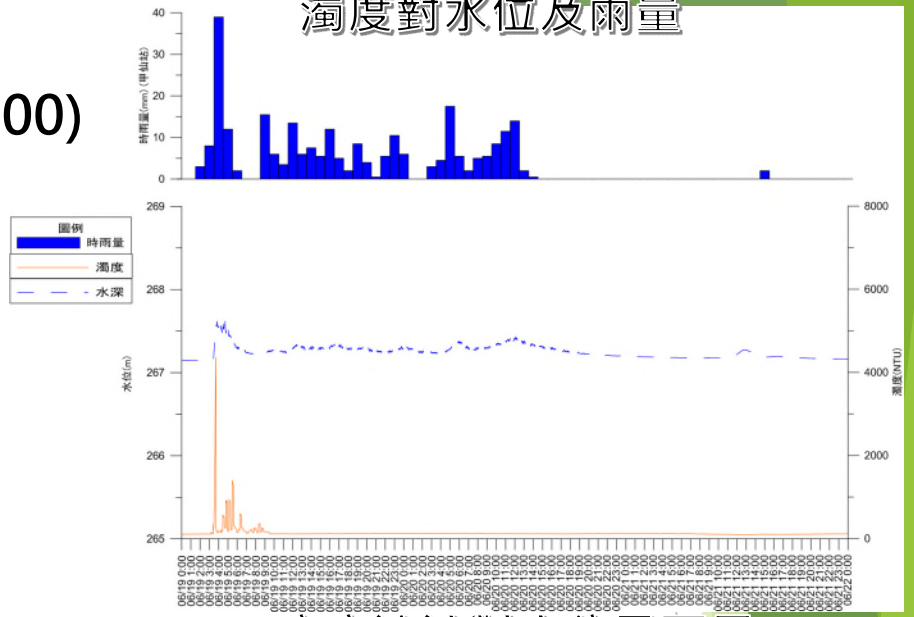


現地監測成果綜合分析-107年

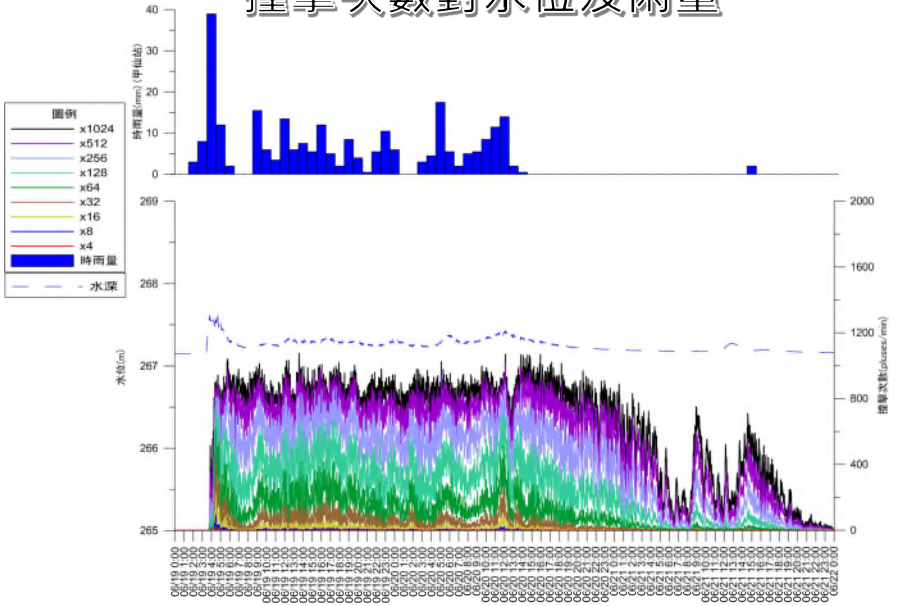
0619豪雨事件(06/19 00:00~06/22 00:00)

- 0619豪雨總降雨量為257.0 mm
- 1小時最大降雨量39.0 mm
- 最大水位增加83.0cm
- 最大流速為2.379 m/s
- 最大撞擊次數1077 次/分
- 最大濁度4364NTU

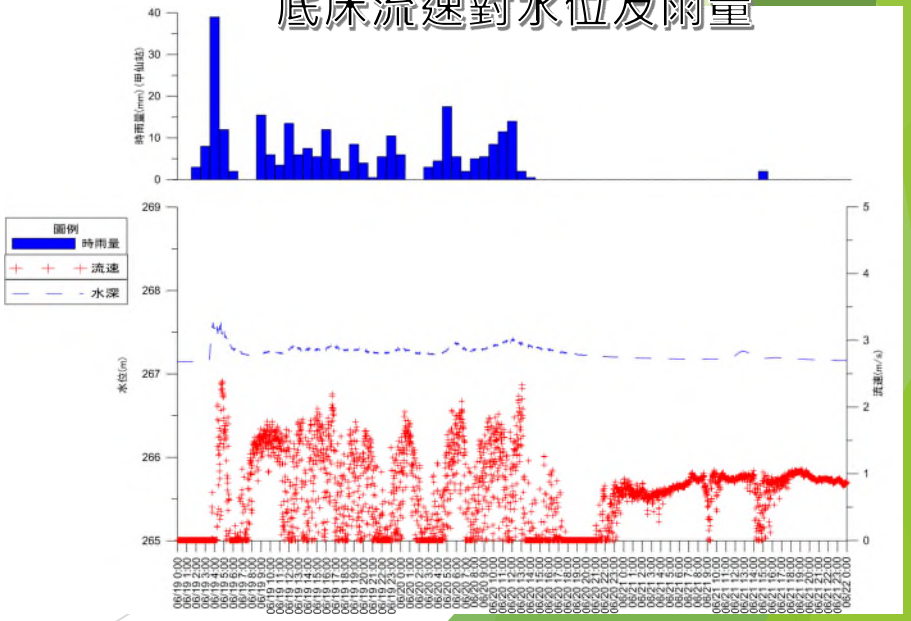
濁度對水位及雨量



撞擊次數對水位及雨量



底床流速對水位及雨量

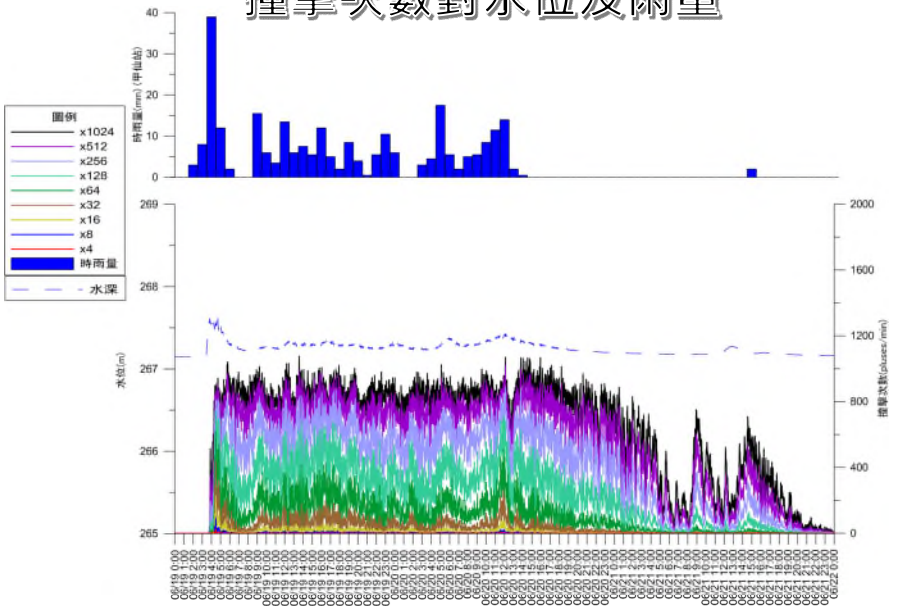


現地監測成果綜合分析-107年

0619豪雨事件(06/19 00:00~06/22 00:00)

- 0619豪雨總降雨量為257.0 mm
- 1小時最大降雨量39.0 mm
- 最大水位增加83.0cm
- 最大流速為2.379 m/s
- 最大撞擊次數1077 次/分
- 最大濁度4364NTU

撞擊次數對水位及雨量







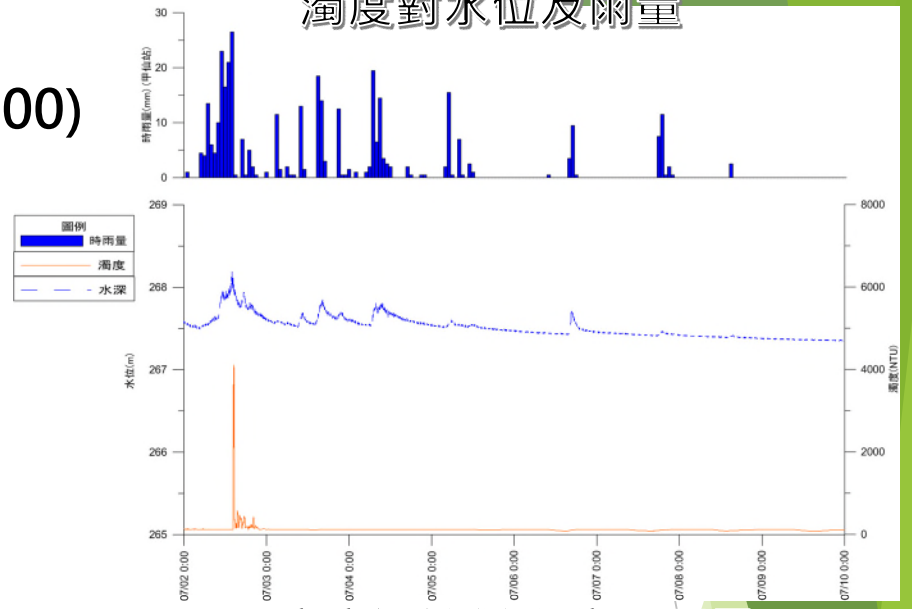


現地監測成果綜合分析-107年

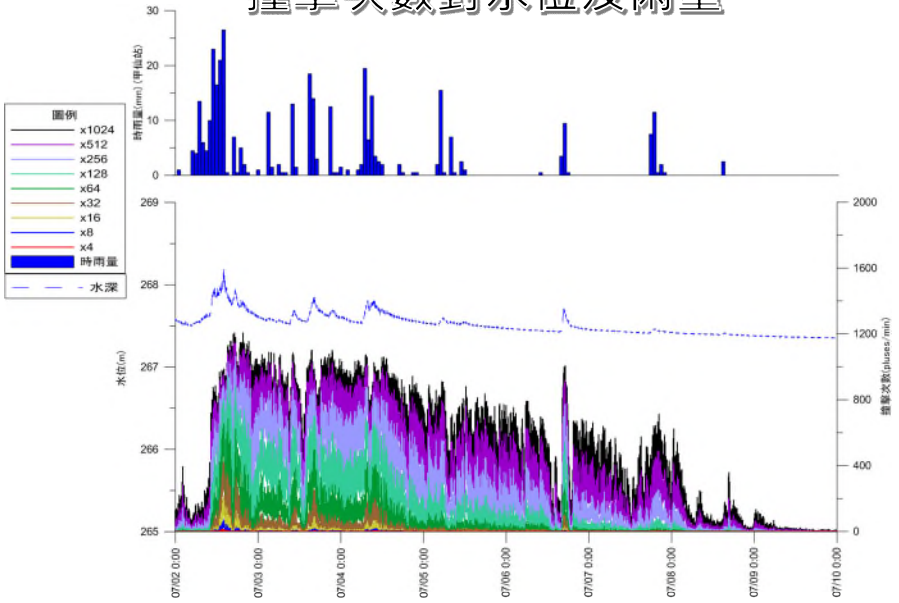
0702豪雨事件(07/02 00:00~07/10 00:00)

- 0702豪雨總降雨量為284.0 mm
- 1小時最大降雨量26.5 mm
- 最大水位增加60.0 cm
- 最大流速為2.706 m/s
- 最大撞擊次數1207 次/分
- 最大濁度4112 NTU
- 縮時攝影機進水，無影像紀錄

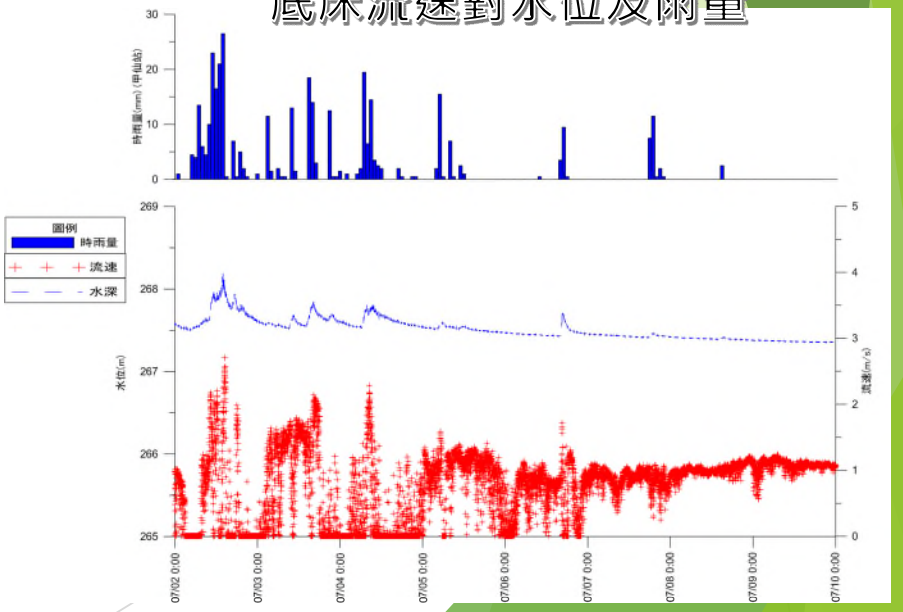
濁度對水位及雨量



撞擊次數對水位及雨量



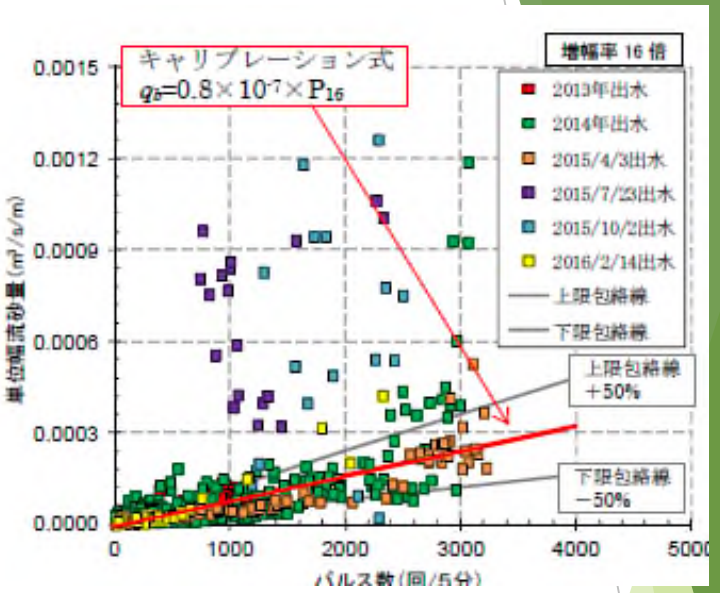
底床流速對水位及雨量



底床載輸砂量推估-107年

不同推估方法比較

- 水聲計推估
- 輸砂公式



底床載推估方法	
水聲計	撞擊次數推估底床載輸砂量
現行方法	輸砂公式推估

底床載輸砂量推估-107年

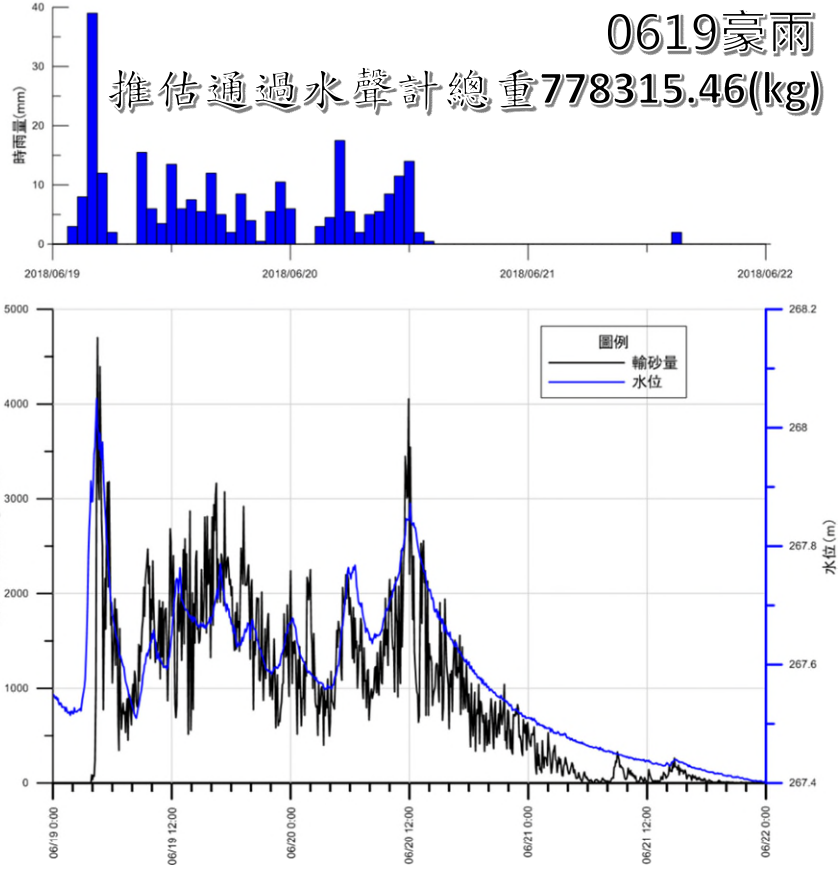
以現地監測所收集資料
(0619豪雨(06/19 00:00~06/22 00:00)、0702豪雨(07/02 00:00~07/10 00:00))

水聲計推估關係式

利用(撞擊次數與輸砂量)迴歸關係性較佳之放大倍率64倍(R^2=0.632)進行推估，
迴歸關係式為Y=1.856x

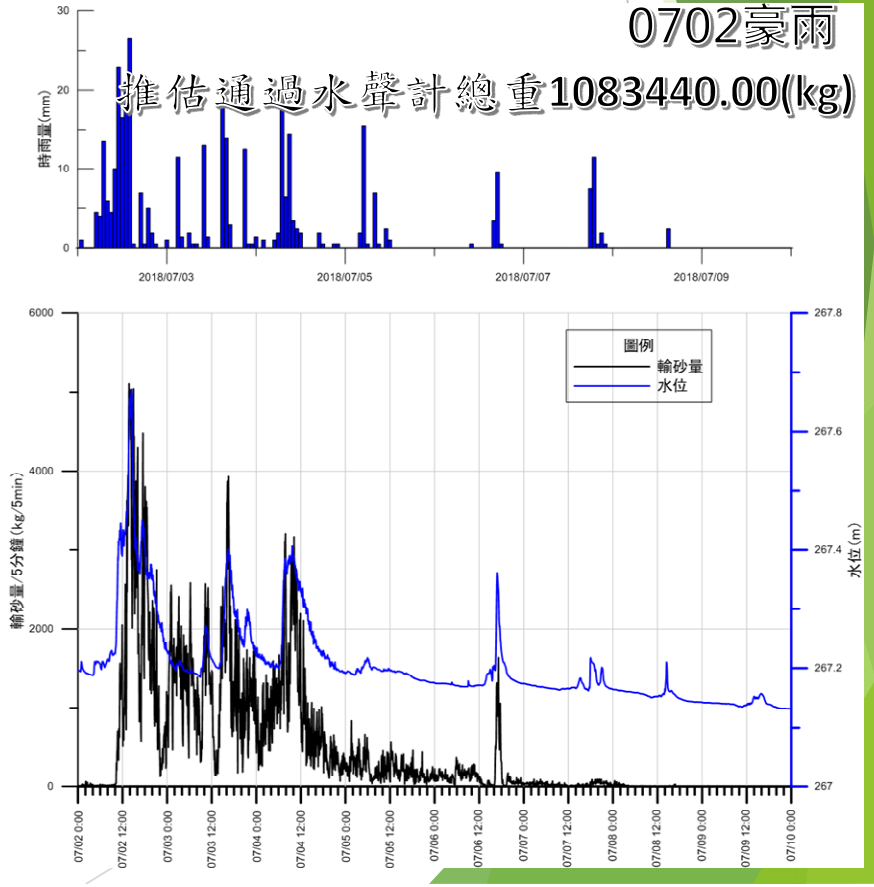
0619豪雨

推估通過水聲計總重778315.46(kg)



0702豪雨

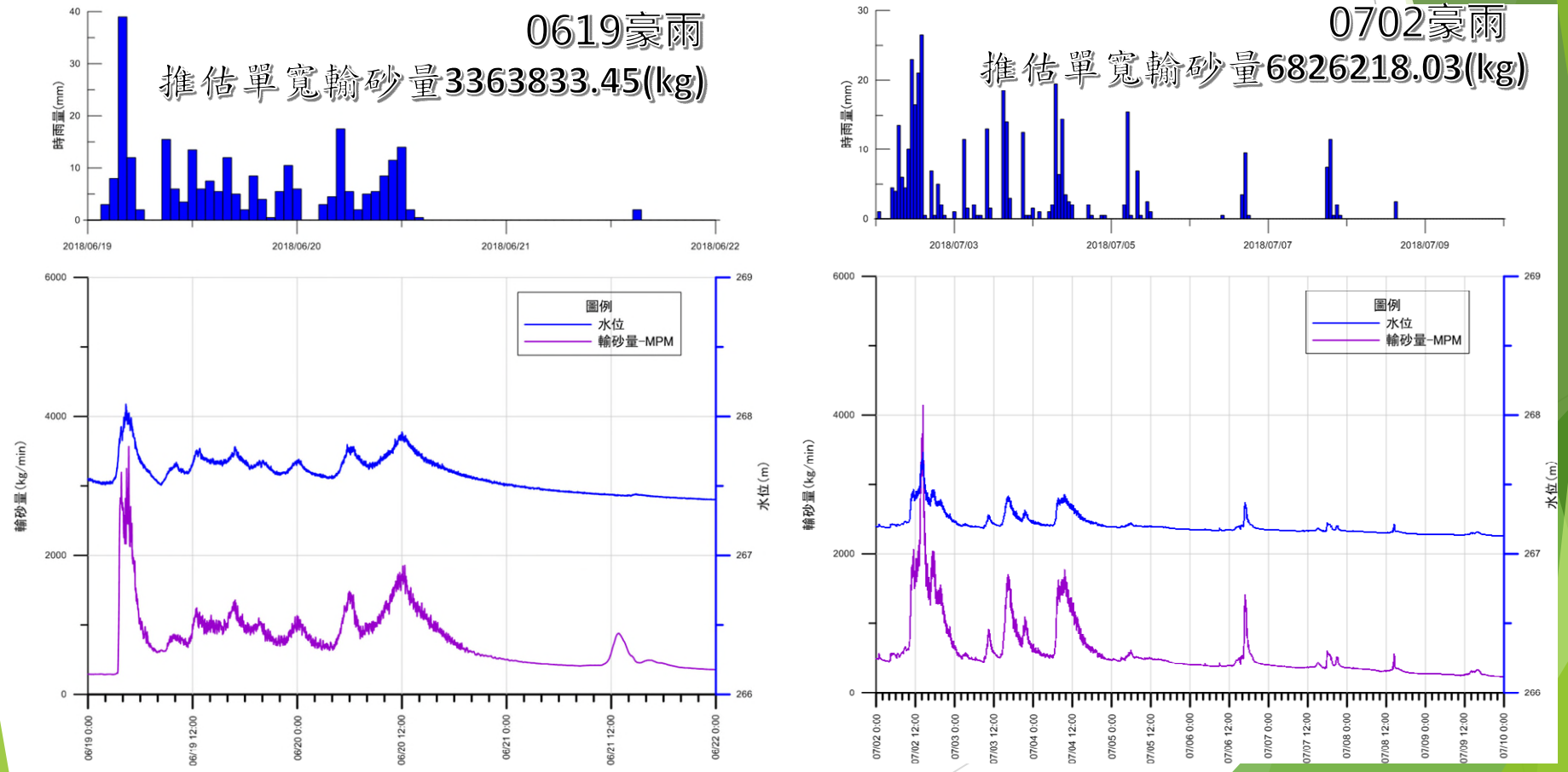
推估通過水聲計總重1083440.00(kg)



底床載輸砂量推估-107年

以現地監測所收集資料
（0619豪雨(06/19 00:00~06/22 00:00)、0702豪雨(07/02 00:00~07/10 00:00))

Meyer-Peter ˙ Müller式 依據現場篩分析之結果，將中值粒徑D_{50}帶入計算，
推估事件過程不同水深下之**平均單寬輸砂量(公斤/每分鐘)**



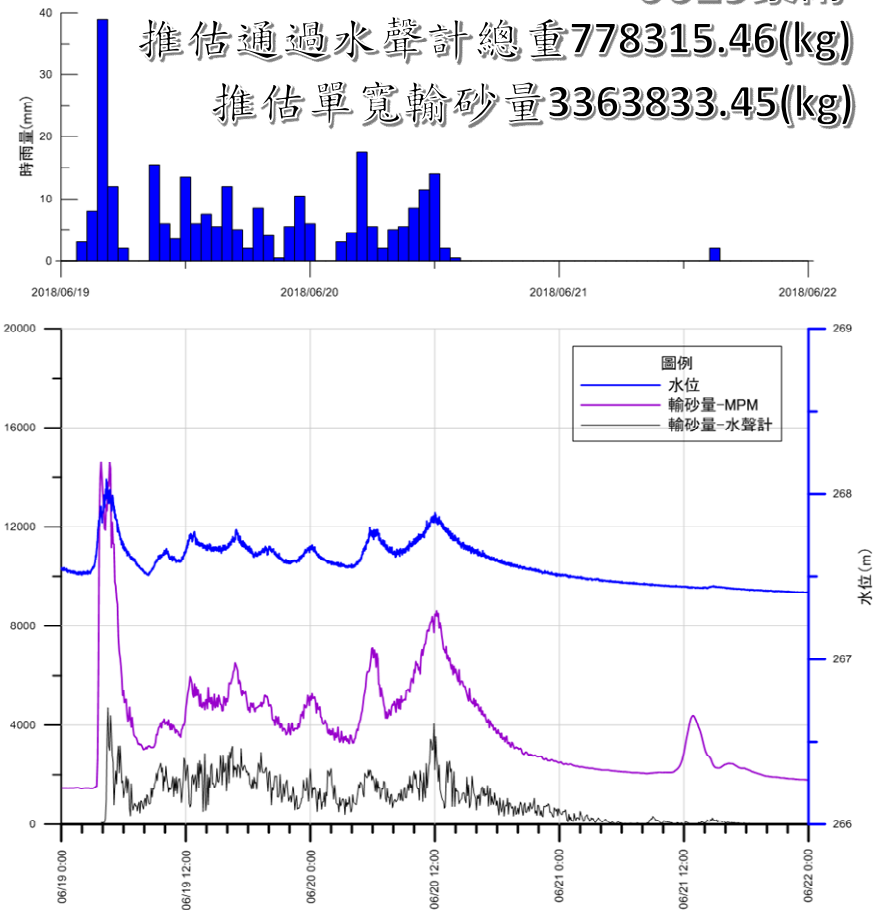
底床載輸砂量推估-107年

- 0619豪雨、0702豪雨事件全程，Meyer-Peter ˙ Müller式推估輸砂量較大於水聲計推估量約4~6倍

0619豪雨

推估通過水聲計總重778315.46(kg)

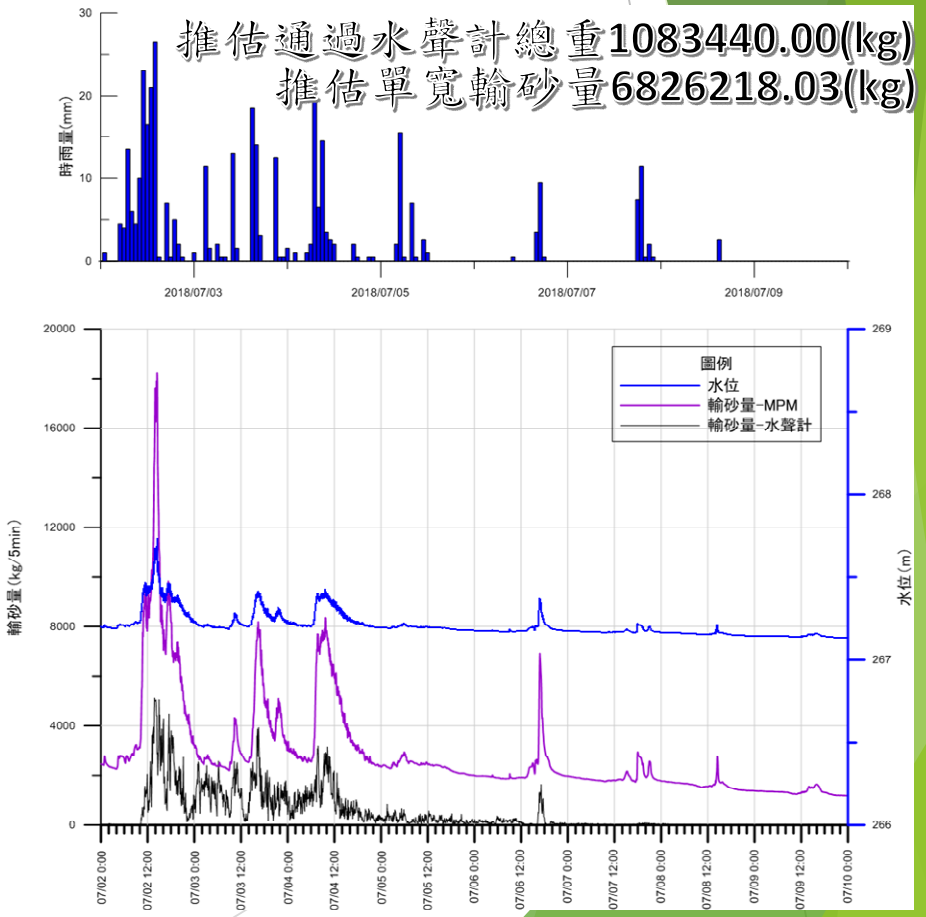
推估單寬輸砂量3363833.45(kg)



0702豪雨

推估通過水聲計總重1083440.00(kg)

推估單寬輸砂量6826218.03(kg)



技術應用限制與檢討

- 水聲計推估輸砂量之方法，1.撞擊次數推估輸砂量、2.音壓動量關係推估輸砂量

- 撞擊次數推估輸砂量(應用撞擊次數與輸砂量之迴歸關係式推估輸砂量)

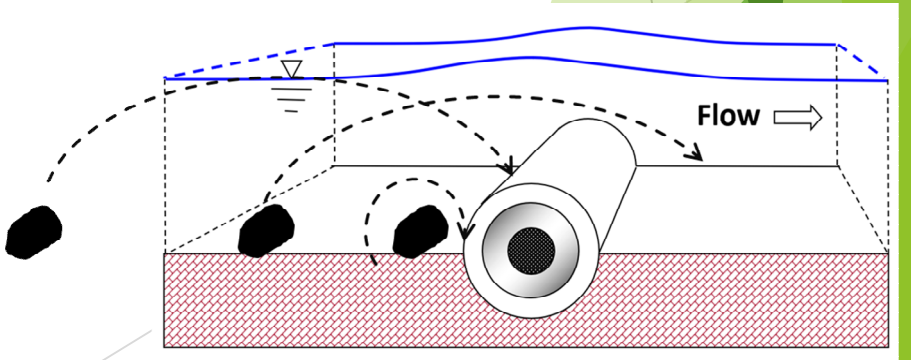
  1. 高輸砂量時，撞擊次數受到飽和的影響有其上限值

  2. 需透過長期資料累積，以求得較佳的之回歸關係

- 音壓動量關係推估輸砂量(利用音壓動量關係、顆粒速度推估顆粒質量)

  1. 需透過偵測率修正顆粒數量(砂粒可能直接跳過)

  2. 音壓與動量關係，採用直接撞擊之音壓最大值，未能考慮土砂顆粒撞擊角度效應，用於現地觀測時，仍有誤差存在。



簡　報　結　束