

經濟部



行政院及所屬各機關出國報告  
(出國類別:研究)

## 河砂運移調查及量測技術之研究

出國人 服務機關：經濟部水利署水利規劃試驗所  
職 稱：正工程司  
姓 名：程運達

出國地區：奧地利

出國期間：98年7月12日至98年7月26日

報告日期：98年9月16日

行政院及所屬各機關出國報告  
(出國類別:研究)

河砂運移調查及量測技術之研究

出國人 服務機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

職 稱：正工程司



姓 名：程運達

出國地區：奧地利

出國期間：98年7月12日至98年7月26日

報告日期：98年9月16日

## 出國報告審核表

出國報告名稱：河砂運移調查及量測技術之研究		
出國人姓名	職稱	服務單位
程運達	正工程司	經濟部水利署水利規劃試驗所
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他 _____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：98年7月12日至98年7月26日		報告繳交日期：98年9月16日
計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目的」、「過程」、「心得及建議事項」) <input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備 <input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input checked="" type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input checked="" type="checkbox"/> 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input checked="" type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他 _____ <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式：	
審核人	單位主管	機關首長或其授權人員
		

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

## 誌 謝

本次參訪研修，係於經濟部國際合作處98年度台奧技術合作人員訓練計畫項下，派赴奧地利研修「河砂運移調查及量測技術之研究」。承蒙國合處趙孟華小姐協助，國立中興大學水土保持工程學系陳樹群教授引薦，奧地利農林環境及水利經管部提絡省野溪及雪崩防治局(6-2區)WEBER局長協助取得邀請函及安排行程，方能順利成行。

赴奧期間，又蒙我國駐奧代表處林柏廷先生於機場指引、WEBER局長的姐姐Dr. Andrea Somweber及其夫婿前來接機並贈予奧國旅遊美食導覽乙冊，讓人倍感窩心。參訪過程中，BOKU山區防災研究所所長Prof. Johannes HBL及同仁Dr. Michael Chiari、Dr. Arnold Kogelnig及Miss Monica Stanzer；提絡野溪及雪崩防治局(6-2區)局長Mr. Christian Weber；提絡野溪及雪崩防治局氣象站Dr. Karl Gabl及同仁Mag. Monika Weis；i.n.n.自然工程管理公司負責人DI Alexander Ploner先生及同仁DI Gottfried Seer與Mag. Hannes Thouhousor；Fiebiger顧問公司負責人Dr. Gernot Fiebiger及夫人，薩爾茲堡野溪及雪崩防治局局長Mr. Leonhard Krimpelstaetter；瑞士聯邦研究中心的Prof. Dr. Dieter Rickenmann；Vigl顧問公司負責人Dr. Sc. Techn. Alois Vigl及同仁Dr. Christian Barwart；前提絡野溪及雪崩防治局局長Mr. Jorg Heumader及義大利Provincia公司主管Dr. Sandro Gius；BOKU水空氣與環境工程系Dr. Hugo Seitz；提絡水資源局Dr. Wolfgang Gattermayr等人，除詳盡解說外，對參訪行程安排及生活起居照顧均極用心，尤其是WEBER局長及其家人熱情的接待，令此行除增長見聞外，亦得異國邦誼之溫馨，謹於此致上最誠摯之敬意與謝意。

## 摘 要

因奧地利並無供作民生公共用水或農業用水之水庫，大型水庫主要用途皆為水力發電，水庫防淤策略以水力排砂為主，並無高含砂濃度懸移載監測與量測之需求，對於懸移載運移監測與量測課題範疇之研擬或探討尚有發展空間。因此，無從獲得與本國水庫或河川對應有效之高濃度懸移載量測或監測應用方案，但奧國於水文站設置之人性化及其功能之多重應用，令人印象深刻。

依參訪單位提供之資料瞭解，相關推移載調查是必須且其規定具有法律位階，國家已立法要求有關推移載的調查，此點可提供我國借鏡。目前奧地利於推移載之量測研究，著重於現場試驗資料之收集分析，以率定推移載與河川流量間的關係，聯邦政府投入相當多經費予研究單位設立現地試驗站，經由瞭解目前無單一設備可滿足所有量測需求，因此採用整合型推移載運移自動化監測系統，針對需要之參數進行量測，目前多可獲得滿意之成果。

整合型推移載運移自動化監測系統，是指於單一試驗站內設置包括地音探測器、工業型個人電腦及資料儲存設備、無線通訊數據機及全球定位系統、遠距遙控、二種以上推移載取樣設施(如槽坑式取樣井、可攜式籃式採樣器)、水尺、超音波水位計、光學式懸移載量測、雷達波流速計、氣溫與水溫計等等，整合傳統水文站量測設施與功能，另外加上截長補短的各型取採樣器，以及可遠端遙控之自動化連續觀測與記錄系統。

現有商業化懸移載量測儀器，其量測值易受懸移載粒徑的影響，且（或）其量測範圍太小，無法滿足國內河川與水庫之泥砂粒徑隨時間變化大且濃度變化範圍大的環境。目前，無單一種儀器可滿足所有量測需求，建議可考慮參考奧國作法，採取整合型自動化監測系統，針對需要之參數進行量測，或可獲得滿意之成果。

就體制層面而言，在台灣上中下游涉及水的單位眾多，從上游至下游有農委會林務局、農委會水保局、內政部營建署、環保署、經濟部水利署、農田水利會、自來水事業處、自來水公司及各縣市政府等等，事權不統一又無一協調仲裁主管；反觀奧地利由聯邦農林環境及水利經管部的部會名稱及其組織架構即可瞭解，在奧地利，有關於水的事權是統一的，由源頭、上游、中游，全由同一部長指揮，不論是開發、應用、保育、防災、救災、復原、重建、預防與戰備，採整體一致之管理方式，此點實足效法。

# 河砂運移調查及量測技術之研究

## 目 錄

壹、研習目的.....	1
貳、行程安排與研習內容.....	1
一、行程安排.....	1
二、主要研習內容.....	4
三、參訪照片.....	6
參、研習心得.....	14
一、奧地利自然人文環境與相關行政體系介紹.....	14
二、河砂運移監測與量測技術.....	17
三、參訪單位懸移載運移監測與量測.....	42
四、參訪單位推移載運移監測與量測.....	46
肆、結論與建議.....	70
伍、參考文獻.....	71

## 壹、研習目的

台灣因地質與氣象條件特殊，又處於地震帶及熱帶氣旋危害區，地震及豪雨造成坡面崩塌及土壤沖蝕，上游土砂隨水流挾帶而下，形成各河川特有的地文、水質與生態環境。對自然河川而言，河道沖刷或淤積、洪泛或改道屬正常的總能量調整行為，但對侷限性的人工河道或水工構造物而言，沉渣淤積將減少水庫庫容並影響水質及河防安全，故泥砂含量調查分析需經常性辦理，以供防治及研究參考。

根據懸移載及流量資料，可建立類似水位-流量率定曲線的流量與懸移載率定曲線，率定曲線建立後，即可經由觀測之流量紀錄估計懸移載輸砂量。由於含砂濃度與河川流量相對關係變異性大，因此連續觀測河川泥砂濃度之技術相當重要。

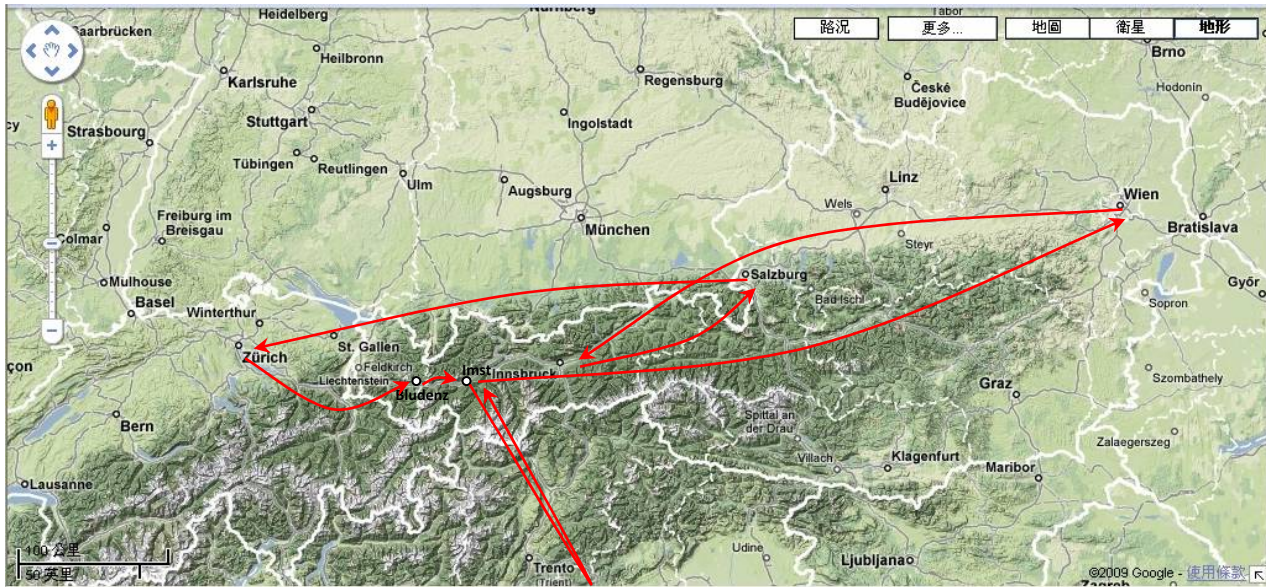
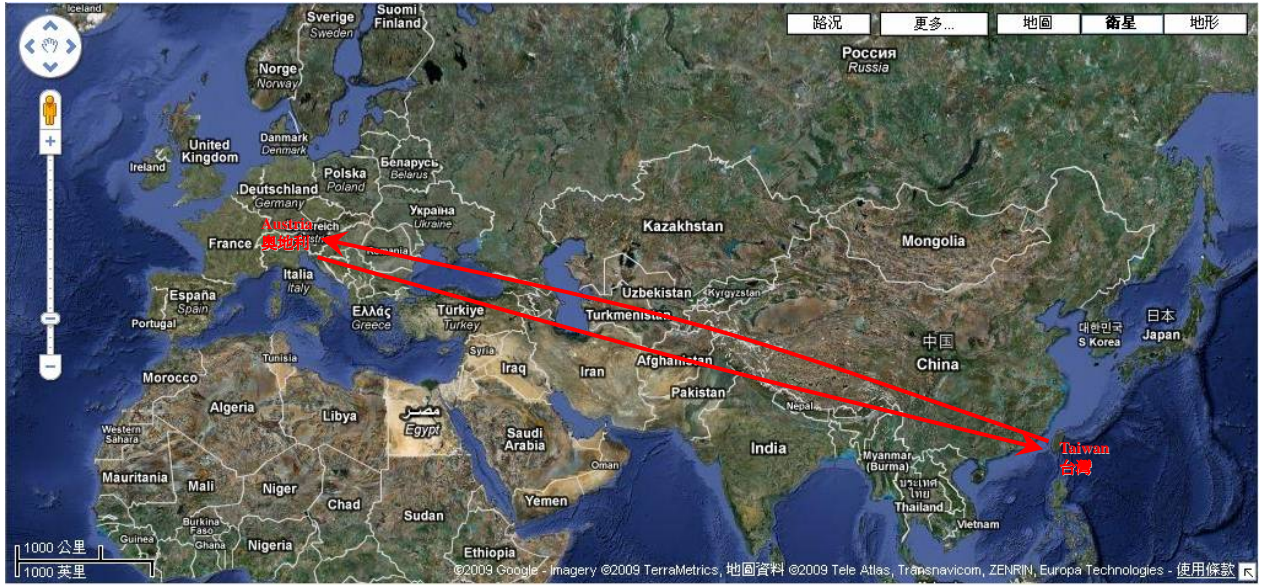
長久以來，國內河川甚少有於高流量高流速狀況下之土砂運移調查及量測資料，即使有部份量測資料，亦因受限於取樣設備、位置、方法而讓辛苦所得資料之正確性打上折扣。目前石門水庫入庫泥砂量評估及規劃中繞庫排砂方案效率評估，即面臨此一問題，為解決相關困難，目前，水利署正投入資源積極開發相關調查及量測技術。

為尋求更廣泛的調查及量測技術與設備，擬利用此研習計畫，赴歐陸蒐集研習歐洲系統之技術、經驗與設備，包括相關理論基礎及設備實作觀摩，以提供國內高流量高流速河川土砂運移調查及量測之參考。

## 貳、行程安排與研習內容

### 一、行程安排

此次赴奧地利研習之時程計15日，行程表如表01，除假日外，整體研習內容極為充實，行腳遍及奧地利西南部、瑞士及義大利，行程地圖如圖01，由台北至維也納來回約2萬公里，於奧地利則以維也納為起點，依序參訪音斯布魯克、薩爾茲堡、蘇黎克、布魯登斯、茵斯特、義大利、音斯布魯克、茵斯特、維也納，全程估計約三千八百餘公里，由於協助本次參訪單位主要為提絡野溪及雪崩防治局，因此，除了本次參訪主題—河砂運移調查及量測技術，另安排該單位及相關研究單位的業務介紹與至現場參訪實際規劃成果，包括於河川上游所作的土石流與土砂防治之整合治理觀念、防治措施等，行程安排相當緊湊，堪稱一趟豐碩之旅。



地圖資料來源：Google Map

圖 01 參訪行程地圖



表 01 參訪行程表

日期	行程	住宿地點	旅行里程
7/12(日)	啓程 06:30 抵達維也納，由 SomWeber 醫生夫婦接機 09:00 抵達旅館	Vienna 維也納	飛機 9550 KM 汽車 30KM
7/13(一)	拜訪 BOKU, Institute for Mountain Risk Engineering 09:30 至 BOKU 議題研討，15:45 返回	Vienna 維也納	汽車 10 KM
7/14(二)	1.移動(維也納 至 音斯布魯克) 2.拜訪提絡野溪及雪崩防治局氣象站 09:40 搭火車離開維也納，14:30 至音斯布魯克車站 15:00 拜訪氣象站，研討議題至 16:30 到達旅館	Innsbruck 音斯布魯克	火車 572 KM 汽車 8 KM
7/15(三)	1.現場參訪 Zaberbach, Community Gerlosberg 2.拜訪 i.n.n.公司 3.移動(音斯布魯克 至 薩爾茲堡) 09:00 至現場參訪，13:30 回到 inn 公司，研討議題 17:30 搭火車離開音斯布魯克 19:29 至薩爾茲堡	Salzburg 薩爾茲堡	汽車 130 KM 火車 255 KM
7/16(四) 至 7/17(五)	1.拜訪薩爾茲堡野溪及雪崩防治局 2.拜訪費必格顧問公司 3.現場參訪 Putzengraben, Muhlbach, Karbach, Newbach, Rubbach, Randobach, Thalgau, Pillsteinbach, Schwarzaubach 7/16 08:10 至野溪及雪崩防治局拜訪 08:20 起現場參訪至 17:45 回到旅館 7/17 08:30 起現場參訪至 18:10 回到旅館	Salzburg 薩爾茲堡	汽車 310 KM
7/18(六)	資料整理	Salzburg 薩爾茲堡	Salzburg 薩爾茲堡
7/19(日)	移動(奧地利薩爾茲堡 至 瑞士蘇黎克) 10:31 搭乘火車 16:20 抵達瑞士蘇黎克車站 16:40 抵達旅館	Zurich 蘇黎克	火車 553 KM
7/20(一)	現場參訪瑞士 Erienbach 及 Vogelbach 9:00 由 Rickenmann 教授帶領現場參訪 15:45 回到旅館	Zurich 蘇黎克	汽車 95 KM
7/21(二)	1.移動(瑞士蘇黎克 至 奧地利 Bludenz) 2.拜訪 VC 顧問公司 3.現場參訪 Litz valley, Silbertal 4.移動(Bludenz 至 茵斯特) 09:40 搭火車 11:35 至 Bludenz VC 顧問公司，議題討論 14:00 現場參訪 17:04 搭火車離開 Bludenz 18:23 抵茵斯特，18:40 至旅館	Imst 茵斯特	火車 160 KM 汽車 70 KM 火車 81 KM
7/22(三)	1.拜訪提絡野溪及雪崩防治局 2.現場參訪 Pusstertal Vally, Italy (Southern Tyrol) 08:15 拜訪提絡野溪及雪崩防治局，08:30 由 Weber 局長帶領現場參訪，18:45 回到旅館	Imst 茵斯特	汽車 590 KM

表 01 參訪行程表(續)

日期	行程	住宿地點	旅行里程
7/23(四)	1.現場參訪 Lech River 2.現場參訪 Vent-Rofenache 08:00 由 Weber 局長帶領現場參訪，17:30 回到旅館	Imst 茵斯特	汽車 180 KM
7/24(五)	1.拜訪提絡省水資源局 2.現場參訪 Inns 河-水文測站 10:45 拜訪提絡省水資源局，11:30 現場參訪 Inns 河-水文測站，16:15 回到旅館	Imst 茵斯特	汽車 140 KM
7/25(六)	移動(茵斯特 至 維也納) 資料整理 08:48 搭火車離開茵斯特，14:24 抵達維也納	Vienna 維也納	火車 629 KM
7/26(日)	返程 07:35 離開旅館 08:00 搭巴士至機場 08:30 抵機場 11:35 搭華航班機離開維也納		汽車 30 KM 飛機 10100 KM

## 二、主要研習內容

基於研習目的之需求，乃規劃前往地理與河川條件與我國相近之奧地利研習及進行現場觀摩。本次參訪研修，係於經濟部國際合作處98年度台奧技術合作項下，經國立中興大學水土保持工程學系陳樹群教授引薦，由奉派參訪人員商請奧地利農林環境及水利經管部提絡省野溪及雪崩防治局(6-2區)WEBER局長協助安排行程。

透過WEBER局長用心的安排研修內容與實務觀摩處所，邀請極具實務經驗的學者或專家講解、討論有關奧地利於推移載運移監測與量測估算、河床穩定與整體防治、推移載管理、以及土石流防治與減洪設施等問題。其間，為瞭解相關問題之現地監測與量測估算試驗，除於奧地利境內現地參訪對應之主題外，另赴瑞士參訪瑞士聯邦研究中心的現地試驗站及義大利(南提絡)Pustertal Valley現地參訪河川整治、淤砂管理措施。

此行參訪之奧地利相關單位，於河川泥砂運移量測方面之研究重點，多著重於推移載運移監測與量測估算，對於懸移載運移監測與量測估算實務方面，則僅於低濃度懸移載量測及監測。依參訪單位告知，此因奧地利並無供作民生公共用水或農業用水之水庫，大型水庫主要用途皆為水力發電，並無水量調蓄之需求，由於水庫防淤策略以水力排砂為主，於洪水期或高流量高濁度時即進行水力排砂，並無高含砂濃度懸移載監測與量測之需求，對於懸移載運移監測

與量測估算課題範疇之研擬或探討，尚有發展空間。因此，無從獲得與本國水庫或河川對應有效之高濃度懸移載量測或監測應用方案。

但另一方面，奧地利相關單位於河川上游所作的土石流與土砂防治之整合治理觀念、防治措施及其領先嚴謹的規劃態度，著實讓研修人員眼界大開，而且於推移載運移量測、低濃度懸移載量測及監測應用方案之務實嚴謹、符合人性及安全之規劃設計理念亦多有學習之處。

主要參訪內容依序如下：

1. 「維也納—BOKU大學山區防災研究所」，河川土砂運移調查及量測技術議題討論，照片01~04
2. 「音斯布魯克—提絡野溪及雪崩防治局氣象站」，氣象、水文資料蒐集分析與預報系統介紹，照片05~08
3. 「音斯布魯克—INN自然工程管理公司」，河川集水區泥砂與洪水量模擬分析、土石流預警與邊坡災害警示系統介紹；「現場參訪 Zaberbach, Community of Gerlosberg」，河床穩定工法介紹，照片09~12
4. 「薩爾茲堡—薩爾斯堡野溪及雪崩防治局」，拜訪；「費必格顧問公司」，土砂防治之整合治理措施議題研討；「現場參訪 1.Putzengraben, 2Muhlbach, 3.Karbach, 4.Newbach, 5.Rubbach, 6.Randobach, 7.Thalgau, 8.Pillsteinbach, 9.Schwarzaubach」，土砂防治之整合治理措施介紹，照片13~22
5. 「蘇黎克(瑞士)—現場參訪 1.Erlenbach 2.Vogelbach」，推移載運移量測試驗站介紹，照片23~26
6. 「布魯登斯—Vigl顧問公司」，河川整治、淤砂管理議題研討；「現場參訪 1.Litz valley 2.Klostertal valley」，河川整治、淤砂管理介紹，照片27~30
7. 「茵斯特—提絡野溪及雪崩防治局」，河川整治、淤砂管理、推移載運移量測議題研討，照片31~34
8. 「義大利—現場參訪(南提絡)Pustertal Valley」，河川整治、淤砂管理介紹，照片35~38
9. 「提絡省—現場參訪Lech River, Vent-Rofenache」，邊坡整治、推移載運移量測介紹，照片39~42
10. 「音斯布魯克—提絡水資源局」，拜訪；「現場參訪Innsbruck/inn河川水文站」，懸移載運移量測介紹，照片43~48

### 三、參訪照片



照片 01 與 BOKU 山區防災研究所 Hubl 所長及同仁合影



照片 02 BOKU 山區防災研究所有關泥砂運移之水工試驗(1)



照片 03 BOKU 山區防災研究所有關泥砂運移之水工試驗(2)



照片 04 BOKU 山區防災研究所有關泥砂運移之水工試驗(3)



照片 05 與提絡野溪及雪崩防治局氣象站同仁合影



照片 06 氣象站留影



照片 07 提絡野溪及雪崩防治局氣象站顯示之亞洲區域氣象資料



照片 08 提絡野溪及雪崩防治局氣象站顯示之台灣地區氣象資料



照片 09 與 INN 自然工程管理公司同仁合影



照片 10 Zaberbach 河道邊坡近自然工法



照片 11 Zaberbach 隱藏式河床穩定工法



照片 12 隱藏式河床穩定工法之固定纜索



照片 13 Putzengraben 攔砂壩及集砂池



照片 14 Muhlbach 攔砂壩及集砂池



照片 15 Karbach 防砂壩



照片 16 Newbach 攔砂壩及集砂池



照片 17 Rubbach 系列防砂壩



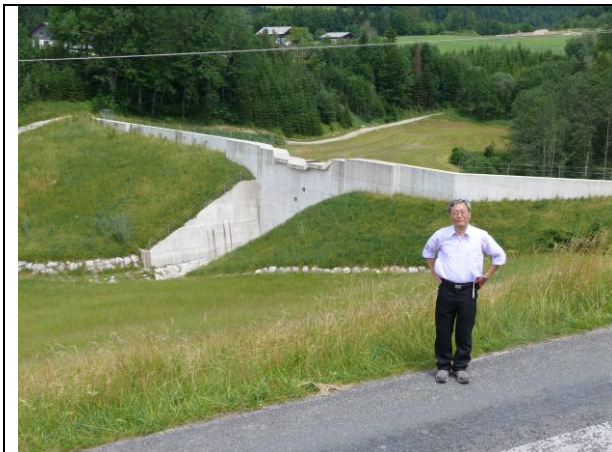
照片 18 Randobach 防砂壩



照片 19 Thalgau 系列防砂壩



照片 20 Pillsteinbach 攔砂壩



照片 21 Schwarzaubach 攔砂壩及集砂池



照片 22 與 Fiebiger 顧問公司同仁合影



照片 23 Erlenbach 試驗站攔砂壩



照片 24 Erlenbach 試驗站設備室及集砂池



照片 25 Erlenbach 試驗站設備室



照片 26 Erlenbach 試驗站三角堰及堰前設施



照片 27 Litz valley 水力電廠取水口



照片 28 Litz valley 水力電廠沉砂池



照片 29 Klosters valley 河道整治工程



照片 30 Klosters valley 河道整治工程

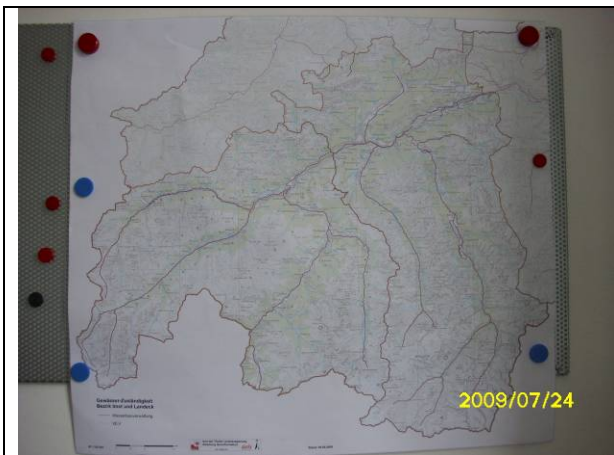




照片 31 提絡野溪及雪崩防治局



照片 32 與 Weber 局長辦公室



照片 33 提絡野溪及雪崩防治局 管轄範圍



照片 34 與 Weber 局長合影



照片 35 Pustertal Valley 土石流整治工程(1)



照片 36 Pustertal Valley 土石流整治工程(2)



照片 37 Pustertal Valley 邊坡穩定工程



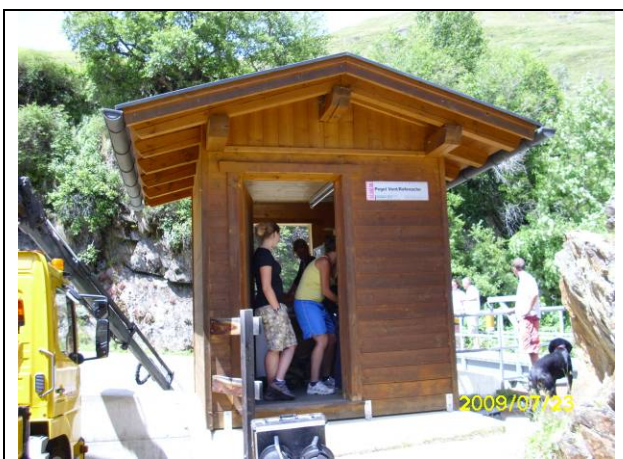
照片 38 與 Heumader 局長及 Gius 博士合影



照片 39 Lech River 邊坡穩定整治工程(1)



照片 40 Lech River 邊坡穩定整治工程(2)



照片 41 Vent-Rofenache 試驗站(1)



照片 42 Vent-Rofenache 試驗站(2)



照片 43 提絡水資源局組織看板



照片 44 提絡水資源局河川整治看板(1)



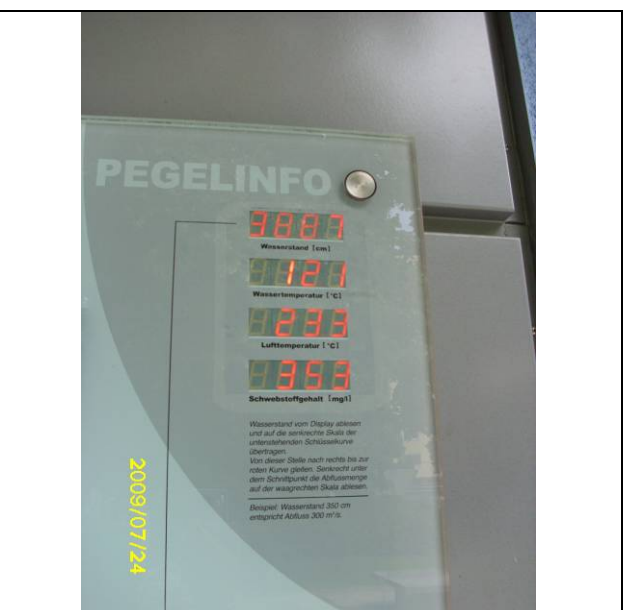
照片 45 音斯布魯克 inn 水文站



照片 46 innsbruck/inn 水文站取樣設備



照片 47 innsbruck/inn 水文站看板



照片 48 innsbruck/inn 水文站即時資訊

## 參、研習心得

### 一、奧地利自然人文環境與相關行政體系介紹

奧地利地處中歐，位置圖如圖02，總面積83,871平方公里，由西至東560公里，從南到北280公里，全國約三分之二的地區為高山及丘陵，主要分佈於西部及南部地區，屬阿爾卑斯山系，最高峰大鐘山（Grossglockner）海拔3,797公尺。東部以低丘及平原為主，屬維也納盆地及帕諾尼恩平原，境內有奧地利最大之紐錫德勒湖（Neusiedler See），面積285平方公里。湖泊眾多是奧地利的自然景觀特色，除位於東疆與匈牙利交界的紐錫德勒湖外，西北邊則有與德國、瑞士交接的伯登湖（Bodensee）及中西部的薩爾斯堡湖區（Salzkammergut）、南部的渥爾特湖區（Woerter See）等。

自古以來奧地利即為西歐與東歐交通樞紐，在河川方面，北部的多瑙河（Danube）是奧地利最有名的自然景觀，南部則有穆爾河（Mur）、德拉瓦河（Drau），西部有因河（Inn River）、薩爾察赫河（Salzach River）。主要河流多瑙河，流經奧地利長度約350公里，中、小型貨船可從北海經德國境內萊茵河，再穿過串連運河入多瑙河，最後並可從羅馬尼亞進入黑海。

奧地利係內陸國，無海岸線，但與鄰國陸地交界線總長2,562公里，南接義大利、斯洛維尼亞；東鄰匈牙利、斯洛伐克；北瀕捷克、德國；西與瑞士、列支敦斯登接壤。奧地利屬於大陸性氣候，年平均降雨量僅約800毫米，但由於每年溶雪帶來大量的水量，在水資源方面並不匱乏。冬季寒冷，夏季則約有兩個月的炎熱，冬、夏溫差大，夏季（7月份）平均氣溫約在30°C以上，冬季（1月份）平均氣溫約零下2°C。

奧地利人口約820萬人，首都維也納市（Wien）係該國第一大城，人口約160萬人，其他較大的城市包括格拉茲（Graz）、薩爾茲堡（Salzburg）、林茲（Linz）、克拉根福（Klagenfurt）、音斯布魯克（Innsbruck）等，官方語言為德語。

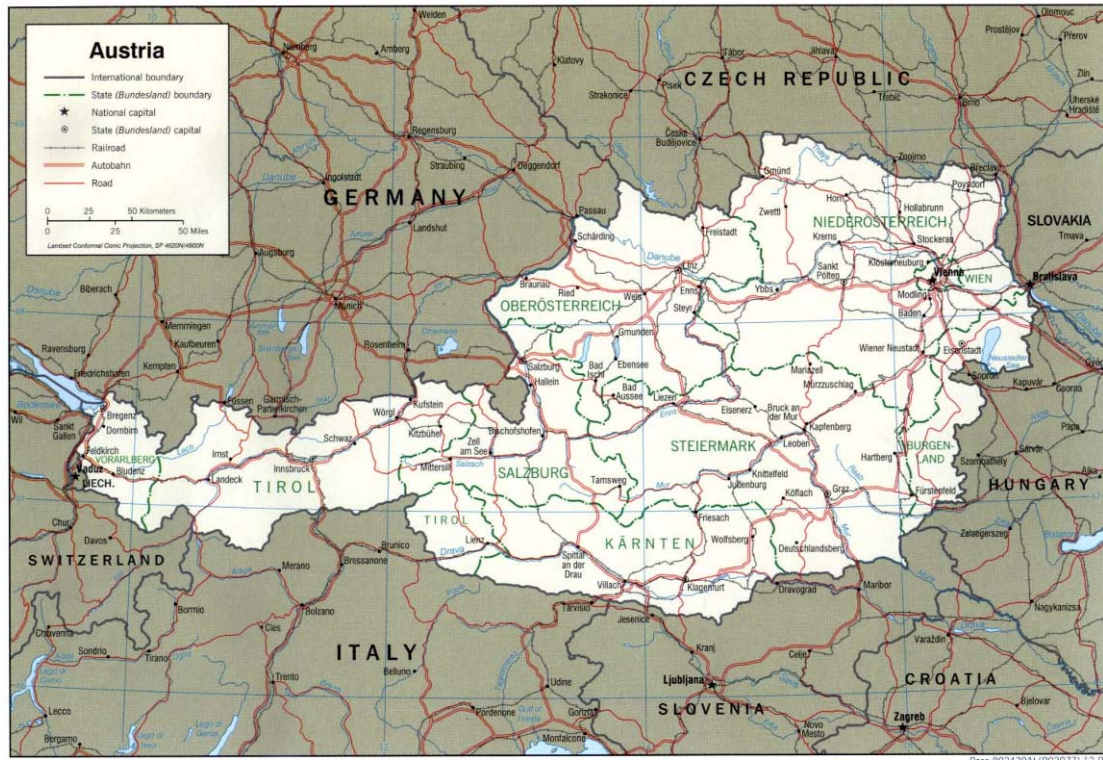


圖02 奧地利行政地圖

1955年英、美、蘇、法四國和奧地利在維也納簽署國家條約，奧地利宣布獨立，第二共和隨告誕生。同年10月，國家議會宣佈永久中立，並在年底加入了聯合國，1995年，奧地利加入歐洲聯盟。

奧地利為聯邦共和國，議會由類似上、下兩院之聯邦議會（Bundesrat）及國民議會（Nationalsrat）組成；憲法上採雙首長制，總統係國家元首，由國民普選，任期6年，現任總統Dr. Heinz Fischer（SPOe，社民黨）自2004年7月8日就任。總理則為國家之行政首長，通常為國民議會最大黨領袖，每4年改選。現任政府自2007年1月就任，由社民黨及國民黨聯合執政，總理Dr. Alfred Gusenbauer（SPOe，社民黨），副總理Wilhelm Molterer（OeVP，人民黨）。

奧地利共由九個邦組成，如圖2，分別是維也納（Wien）、布爾根蘭（Burgenland）、上奧地利（Oberoesterreich）、下奧地利（Niederösterreich）、史泰爾馬克（Steiermark）、克恩藤（Kaernten）、薩爾茲堡（Salzburg）、提洛（Tirol）、福拉爾貝格（Voralberg）。各邦有其自己的省政府（province government）具有高度自治權，各聯邦政府之下又區分為數個行政區（district）負責執行各

項聯邦法律，但並非實質具有經費的行政體，至於最下層則為市（鎮）（community）。

奧地利在水資源管理方面，主管之行政機關為奧地利聯邦農林環境及水利經管部（Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment, and Water Management, BMLFUW），由圖03所示之組織圖瞭解，與本署業務較相關的是隸屬於農林環境及水利經管部的野溪及雪崩防治局（The Federal Forest Technical Service of Torrent and Avalanche Control）及水利經營管理局（Water Management Bureau），野溪及雪崩防治局業務範圍為河川中、上游區域，水利經營管理局業務範圍為河川中、下游區域，此二單位之角色位階類似我國的農委會水保局與經濟部水利署。

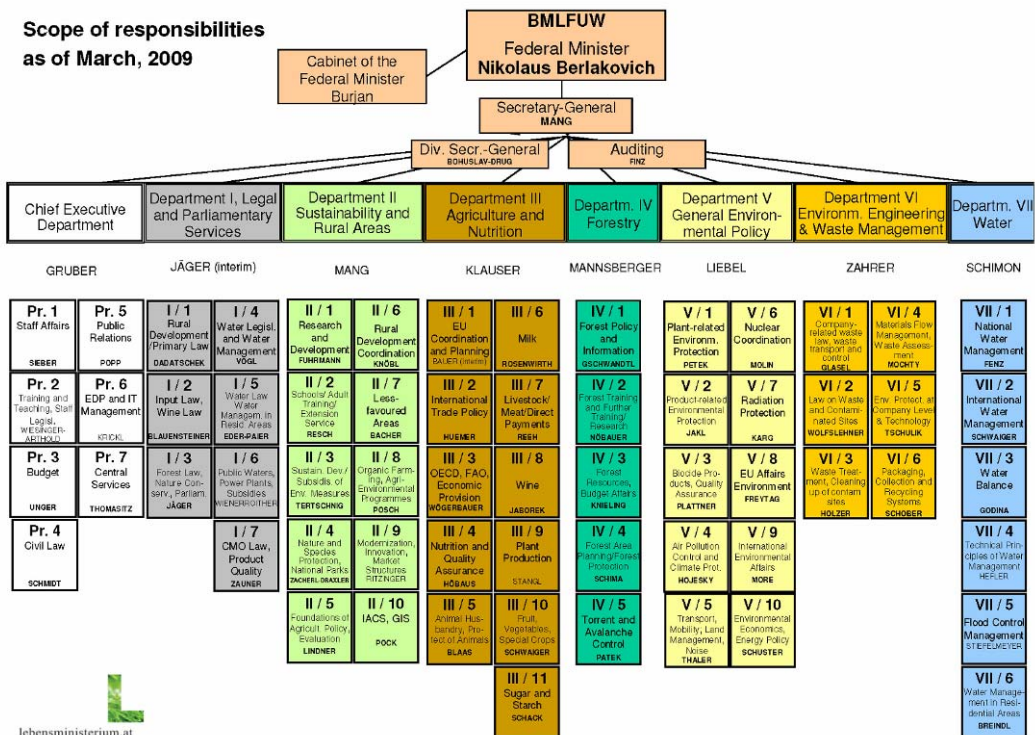


圖03 奧地利聯邦農林環境及水利經管部組織圖

## 二、河砂運移監測與量測技術

### (一)河砂運移機制

此處所稱河砂，依通用的說法指的是沉渣(sedimentation)。何謂沉渣？依據USGS及ASTM的定義，“Particles derived from rocks, biological materials, or chemical precipitants, that are transported by, suspended in, or deposited by flowing water”——經由水流運移、懸移或堆積，衍生自岩石或生物材料或化學沉澱的顆粒，稱為沉渣。

一般河川泥砂運動之型式可區分為滑動(sliding)、滾動(rolling)、躍移(saltating/hopping)及懸移(suspended particle motion)等不同型式，當河床剪力速度(bed-shear velocity)大於泥砂顆粒的運移起動臨界值時，河床質將以滑動/滾動之型式於底床連續移動；此時，如河床剪力速度持續增大，則沿著底床連續移動的顆粒將產生跳動現象，此跳動現象之綜合模式即為躍動。而當河床剪力速度大於泥砂顆粒的沉降速度時，泥砂顆粒將被抬昇至水流的上舉力大於顆粒的浸水重量處，如此，泥砂顆粒將進入懸移型態。

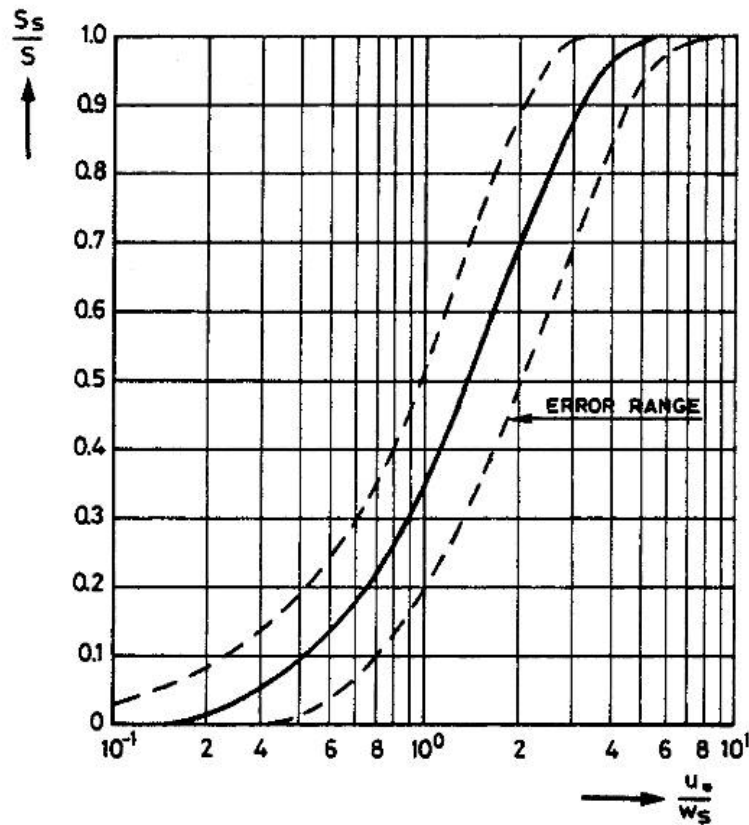
通常，我們將在水中進行滑動(sliding)、滾動(rolling)、躍移(saltating/hopping)型式運動的泥砂顆粒稱為推移載(bed load)，而進行懸移(suspended particle motion)型式運動者稱為懸移載(suspended load)。推移載屬於較粗顆粒，在河床上運移時，仍與底床維持斷續接觸。懸移載則屬於較細顆粒，在輸運過程中主要懸浮於水體內，與底床接觸時間較短，但仍有機會與推移載進行交換。

懸移載除了來自河道本身的河床質，一般另含有集水區沖刷而來細粒料，亦即含有沖洗載(wash load)，一般來說，大致以 $50\sim 63\mu\text{m}$ 作為沖洗載的顆粒尺寸分界或以過篩百分比10%以下（亦即顆粒小於 $D_{10}$ ）之河床砂視為沖洗載。沖洗載之多寡，取決於上游集水區之土砂供給率 (supply rate)，並與集水區土壤之侵蝕率有關。沖洗載的特色是，它的濃度於河道橫斷面上的分佈大致是均勻的，基於此項特性，有關沖洗載的簡易量測，便可以單點濃度量測值乘上流量來代表某處斷面之沖洗載量。

推移載與懸移載通常是伴隨著發生，但兩種運移模式於河道內之運移區間難以界定，圖04 為Van Rijn (1984)有關懸移載與顆粒沉降速度及河床剪力速度關

係之研究，由圖04之關係顯示，推移載與懸移載兩者於水理關係上有部份重疊，此亦為分類調查之誤差所在。

此外，依ISO 標準規範(ISO 4363)之分類，亦可將沉滓(sedimentation)之運移方式可區分為總輸砂載(total load transported)、河床載(bed material load)、沖洗載(wash load)、推移載(bed load)、懸移載(suspended load)及總懸移載(total suspended load)，其關係如圖05。



$S_b$  = BED LOAD TRANSPORT

$S_s$  = SUSPENDED LOAD TRANSPORT

$S$  = TOTAL LOAD TRANSPORT (=  $S_s + S_b$ )

$u_*$  = BED-SHEAR VELOCITY

$w_s$  = PARTICLE FALL VELOCITY OF SUSPENDED SEDIMENT

圖 04 懸移載與顆粒沉降速度及河床剪力速度關係圖 (Van Rijn, 1984)



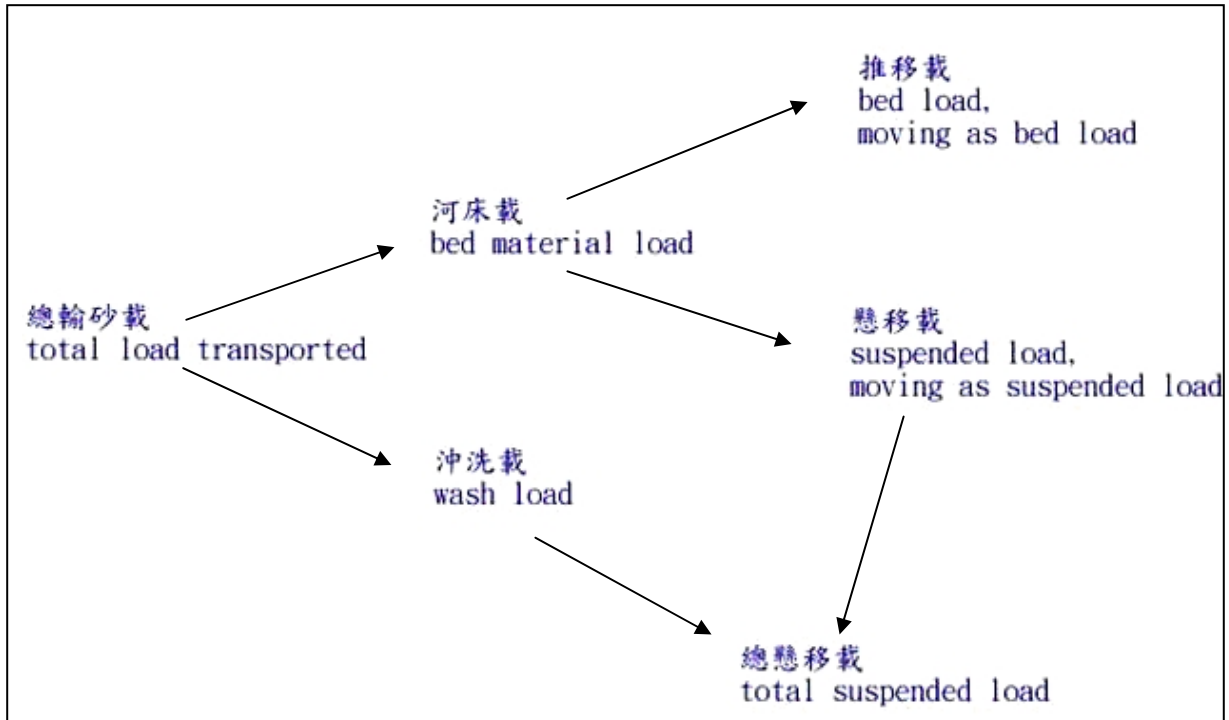


圖 05 沉滓依運移方式之分類圖

## (二)輸砂公式

河道輸砂現象相當複雜，目前國內外所使用之各種輸砂公式，由於發展背景、假設條件、特性及適用性不同，選用輸砂公式時，一般皆須利用實驗室及野外實測資料率定相關參數，包括泥砂特性（如幾何、沉降、物化性質），水體特性（fluid，如溫度、密度、黏性）及水流特性（flow，如坡度、流速水深、紊流強度、剪應力、上舉力）等參數。由於各項水力參數相當複雜，且通常具有對時間或空間的變異性。目前，並無一單一公式可完全適用整個河道斷面上所有沉渣的估算，因此應用上大致依使用目的，將公式適用性區分為推移載、懸移河床載、河床載及總輸砂載四個區塊，表02~表06 所示為國內外常用之推移載、懸移河床載、河床載及總輸砂載之公式。

表 02 推移載(bed load)輸砂公式(1/2)

作者	推移載輸砂公式	說明
Meyer-Peter/Muller (1948)	$q_b / [g(\rho_s / \rho - 1)D_m]^3 = 8 \left[ \left( \frac{k_s}{k'_s} \right)^{3/2} \tau_* - \tau_{*c} \right]^{3/2}$ $\tau_{*c} = 0.047$ $\tau_* = \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma)D}$ $k_s = 1/n, k'_s = 26/D_{90}^{1/6}, D_{90}: [m]$	從剪應力之觀點出發，考慮臨界起動剪應力並配合大量實驗資料所建立，坡度(0.4-2.3%)，粒徑(0.4-30 mm)，非均勻砂以 $D_m$ 為代表粒徑
Einstein (1950)	$1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\frac{1}{7}\psi-2}^{\frac{1}{7}\psi-2} e^{-t^2} dt = \frac{43.5\phi}{1 + 43.5\phi}$ $\phi = \frac{q_b}{\sqrt{g(\rho_s / \rho - 1)D^3}}$ $\psi = \frac{(\gamma_s - \gamma)D}{\gamma R'S}$	結合流體力學與機率概論
Schoklitsh (1962)	$q_b = \frac{2.5}{\rho_s / \rho} S^{3/2} (q - q_c)$ $q_c = 0.26 \left( \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right)^{5/3} \frac{D_{40}^{3/2}}{S^{7/6}}$	考慮臨界起動流量，推移載輸砂率由單寬流量主導，以自行收集及 Gilbert (1914) 之水槽試驗資料為主，粒徑(0.3-5 mm)，非均勻砂以 $D_{40}$ 為代表粒徑，適合礫石河床
Bagnold (1980)	$\frac{i_b}{i_{b*}} = \left[ \frac{\omega - \omega_0}{(\omega - \omega_0)_*} \right]^{3/2} \left( \frac{Y}{Y_*} \right)^{-2/3} \left( \frac{D}{D_*} \right)^{-1/2}$	考慮水流功率及非均勻泥砂分組挾砂率

資料來源：921 地震後濁水溪下游輸砂關係之試驗研究 (2/2)，2007，經濟部水利署水利規劃試驗所

表 02 推移載(bed load)輸砂公式(2/2)

作者	推移載輸砂公式	說明
Parker-Klingeman/Mclean (1982)	$W^* = 0.0025e^{[14.2(\phi_{50}-1)-9.28(\phi_{50}-1)^2]}, 0.95 < \phi_{50} < 1.65$ $W^* = 11.2\left(1 - \frac{0.822}{\phi_{50}}\right)^{4.5}, 1.65 < \phi_{50}$ $W^* = \frac{q_s^*}{\tau^{*3/2}}, q_s^* = \frac{q_s}{\sqrt{g(\rho_s/\rho-1)D_{50}^3}}, \phi_{50} = \frac{\tau_{50}^*}{\tau_{r50}^*}, \tau_{r50}^* = 0.08$	礫石河川覆蓋底層(subpavement)各級粒徑具同等之移動性(equal mobility)，Milhou (1973) 於 Oak Creek 之實測資料，水流強度大至破壞河床表面覆蓋層(pavement)，覆蓋底層推移載始運移
Van Rijn (1984)	$\phi_b = 0.053 \frac{T^{2.1}}{D_*^{0.3}}, \phi_b = \frac{q_b}{\left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g\right)^{0.5} D_{50}^{1.5}}$ $T = \frac{U_*'^2 - U_*^2}{U_*^2}, D_* = D_{50} \left[ \frac{(s-1)g}{v^2} \right]^{1/3}$	以數值方法求解運動方程式，計算推移載躍移高度、推移速度，並依據水理及泥砂關係推求而得
郭朝雄等人 (1984-1988)	$\frac{q_b}{\sqrt{\left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho}\right)gD_{50}^3}} = 0.104 \left(\frac{d}{D_{50}}\right)^{0.529} \left(\frac{U}{\sqrt{gD_{50}}}\right)^{1.640} S^{0.833}$	因次分析配合現場實測及水槽試驗資料，迴歸分析而得，濁水溪自強大橋段及小田支線現場採樣

表 03 懸移河床載(suspended bed material load)輸砂公式(1/2)

作者	懸移床砂載輸砂公式	說明
Einstein(1950)	$i_{sw}q_{sw} = i_{Bw}q_{Bw}(P_E I_1 + I_2)$ $i_{Bw}q_{Bw} : \text{某一河床質床粒徑其所相應之單寬推移載輸砂率}$ $i_{sw}q_{sw} : \text{某一床砂載床粒徑其所相應之單寬懸移載輸砂率}$ $P_E = 2.303 \log(30.2d/\Delta)$ $\Delta = k_s/\chi, k_s = D_{65}, \chi \text{ 可查圖獲得}$ $I_1 = 0.216 \frac{E^Z}{(1-E)^Z} \int_E^1 \left(\frac{1-\eta}{\eta}\right)^Z d\eta$ $I_2 = 0.216 \frac{E^Z}{(1-E)^Z} \int_E^1 \left(\frac{1-\eta}{\eta}\right)^Z \ln \eta d\eta$	<p>以 Rouse Eq.及砂粒阻力所產生之剪力速度 <math>U'_*</math> 代替 <math>U_*</math>，定義接近床面厚度為 <math>2D</math> 之運移泥砂為推移載，並認為其係懸移載之來源。</p>
Velicanov (1958)	$C_v = k \frac{U^3}{gh\omega}$ <p><math>k</math> 為泥砂與水體密度之函數； <math>h</math> 為水深</p>	<p>根據重力理論推導出懸移載垂線平均含砂量公式</p>
van-Rijn (1984)	$q_{si} = \int u C_{vi} dy$ $u(y) = \frac{u_*}{\kappa} \ln\left(\frac{y}{y_0}\right) \quad y_0 = 0.11(\nu/u_*) + 0.03k_s, y_0 = \text{速度爲 } 0 \text{ 之高度(距床面)}, k_s = \text{Nikuradse 等值糙度高度},$ $\frac{C_v}{C_{va}} = \left[\frac{a(h-y)}{y(h-a)}\right]^Z, \text{ for } \frac{y}{h} < 0.5$ $\frac{C_v}{C_{va}} = \left[\frac{a}{(h-a)}\right]^Z \exp[-4Z(y/h-0.5)], \text{ for } \frac{y}{h} \geq 0.5$ $C_{va} = 0.015 \frac{D_{50}}{a} \frac{T^{1.5}}{D_*^{0.3}}, a_{\min} = 0.01h$ $\beta = 1 + 2 \left[\frac{\omega_s}{u_*}\right]^2, 0.1 < \frac{\omega_s}{u_*} < 1$ $\varphi = 2.5 \left(\frac{\omega_s}{u_*}\right)^{0.8} \left(\frac{C_{va}}{C_0}\right)^{0.4}, \text{ for } 0.01 \leq \frac{\omega_s}{u_*} \leq 1.0, C_0 = 0.65$ $Z' = Z + \varphi, Z = \omega/(\beta \kappa u_*)$ $q_s = \frac{u_* C_{va}}{\kappa} \left[\frac{a}{h-a}\right]^{Z'} \left[\int_a^{0.5h} \left[\frac{h-y}{y}\right]^{Z'} \ln\left(\frac{y}{y_0}\right) + \int_{0.5h}^h \exp[-4Z'(y/h-0.5)] \ln\left(\frac{y}{y_0}\right) dy\right]$	<p>根據 Rouse (1937) 之濃度分佈式及對數流速剖面，以自行推導之推移載輸砂公式計算推移載輸砂量，並以之作爲懸移載濃度分佈之參考濃度，推求懸移載輸砂量。Van Rijn (1984) 在修正懸移載參數 <math>Z</math> 值時，係以一參數 <math>\beta</math> (<math>\beta &gt; 1</math>) 修正 <math>\kappa</math> 值 (von Karman constant)，並以斷面平均剪力速度進行計算，有別於 Einstein(1950) 以砂粒剪力速度推估。</p>

資料來源：921 地震後濁水溪下游輸砂關係之試驗研究 (2/2)，2007，經濟部水利署水利規劃試驗所

表 03 懸移河床載(suspended bed material load)輸砂公式(2/2)

作者	懸移床砂載輸砂公式	說明
Wright-Parker (2004)	$q_{si} = \int u C_{vi} dy, \quad u/u_* = \frac{1}{\alpha \kappa} \text{Ln}(\eta/\eta_0), \quad \eta = y/h$ $\frac{C_v}{C_{va}} = \left( \frac{h-y}{y} \frac{a}{h-a} \right)^{Z_w}, \quad C_{vai} = E_i F_i, \quad Z_w = \omega/(\alpha \kappa u_{*sk})$ $\alpha = \begin{cases} 1 - 0.06(C_{5t}/S_0)^{0.77} & \text{for } \frac{C_{va}}{S_0} \leq 10 \\ 0.67 - 0.0025(C_{5t}/S_0) & \text{for } \frac{C_{va}}{S_0} > 10 \end{cases}$ $E_i = 7.8 \times 10^{-7} T_i^5 / [1 + (7.8 \times 10^{-7} / 0.3) T_i^5]$ $T_i = (1 - 0.288 \sigma_\phi) S_0^{0.08} (R_{epi})^{0.6} \frac{u_{*sk}}{\omega_i} \left( \frac{D_i}{D_{50}} \right)^{0.2}$ $D_i = 2^{\psi_i} = 2^{-\phi_i}, \quad \psi_i = -\phi = \log_2(D_i) = \frac{\text{Ln}(D_i)}{\text{Ln}(2)}$ $\bar{\phi} = \frac{1}{N} \sum_1^N \phi_i F_i$ $\sigma_\phi = \sqrt{\sum_1^N (\phi_i - \bar{\phi})^2 F_i}$ $R_{epi} = \frac{\sqrt{\left( \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) g D_i \times D_i}}{\nu}$ $u_{*sk} = \begin{cases} \frac{h_{sk} S_0}{\left( \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) D_{50}} = 0.05 + 0.7 (\tau_* F_r^{0.7})^{0.8} \\ \tau_* = \frac{h S_0}{\left( \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) D_{50}} \\ F_r = \frac{\bar{u}}{\sqrt{gh}} \\ u_{*sk} = \sqrt{gh_{sk} S_0} \end{cases}$	<p>Wright-Parker (2004) 根據 Rouse (1937) 之濃度分佈及對數流速分佈，並根據美國 USGS 在 Niobrara, Middle Loup, Rio Grande, Red, Atchafalaya, 及 Mississippi river 等河川，考慮近床區之泥砂濃度及推移載捲增率 (entrainment rate) 與床砂質之粒徑組成，定義參考濃度位置 <math>a \approx 0.05h</math>，推導出個別粒徑之單寬總懸移載輸砂率。一般在砂質河段中，推移載占斷面總輸砂量之比例極為有限，故可將總懸移載扣除沖瀉載概估床砂載。此外，Wright-Parker (2004) 亦利用實測資料加以迴歸分析後，提出參數 <math>\alpha</math> 對 <math>\kappa</math> 值 (von Karman constant) 之修正。</p>

表 04 河床載(bed material load)輸砂公式(1/3)

作者	河床載輸砂公式	說明
Einstein method (1950)	$i_t q_t = i_{Bw} q_{bw} + i_{sw} q_{sw} = i_{Bw} q_{bw} (1 + P_E I_1 + I_2)$	左式為單位時間、單位寬度以乾重計之床砂載輸砂率，可用於公制或英制單位。愛因斯坦方法在計算上較為複雜，然而其將推移載、懸移載及河床載統合分析，而非以彼此分割、孤立之方式探討，物理上較合理
Colby (1964)	$q_t = [1 + 0.01k_3(k_1k_2 - 1)]q_{t1}$ $q_{t1}$ : 未經修正之單寬輸砂率 (tons/day/ft) $k_1$ 、 $k_2$ : 特定水深下，不同水溫及細顆粒濃度之輸砂率修正值 $k_3$ : 不同床砂中值粒徑下之輸砂率修正值	利用大量之河川及實驗室資料，建立床砂載輸砂率與平均流速、水深、水溫及中值粒徑之關係
Bagnold (1966)	$q_{tw} = \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \tau U \left( \frac{e_b}{\tan \alpha} + 0.01 \frac{U}{\omega} \right)$	從水流功率 (stream power) 之觀點出發。其中， $\gamma$ 與 $\gamma_s$ 為水及泥砂之單位體積重量； $q_{tw}$ 為單位時間、單位寬度以乾重計之輸砂率 (lb/s/ft)； $\tan \alpha$ 與 $e_b$ 分別為底床剪應力與正向應力之比及效率係數，兩者可由查圖獲得
Engelund-Hansen (1967)	$f\phi = 0.1\theta^{5/2}$ $f' = \frac{2gSd}{U^2}$ $\phi = \frac{q_{tw}}{\gamma_s} [(s-1)gD^3]^{0.5}$ $\theta = \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma)D}$	利用 Bagnold 之水流功率概念及相似性原理推導而得

資料來源：921地震後濁水溪下游輸砂關係之試驗研究 (2/2)，2007，經濟部水利署水利規劃試驗所

表 04 河床載(bed material load)輸砂公式(2/3)

作者	床砂載輸砂公式	說明
Shen-Hung (1972)	$\log C_t = -107404.45938164 + 324214.74734085Y$ $- 326309.58908739Y^2 + 109503.87232539Y^3$ $Y = \left( U S^{0.57} / \omega^{0.32} \right)^{0.00750189}$	<p>作者認為以單一福祿數、雷諾數或其組合皆無法描繪輸砂率，故根據 587 組以砂粒 (sand) 為主要範圍之試驗資料，經迴歸分析後獲得輸砂經驗式。</p>
Ackers-White (1973)	$C_s = c_s \frac{D}{R} \left( \frac{U}{U_*} \right)^n \left( \frac{F_g}{A} - 1 \right)^m$ $F_g = \frac{U_*^n}{[gD(s-1)]^{1/2}} \left[ \frac{U}{32^{1/2} \log(10R/D)} \right]^{1-n}$ $D_g = D \left[ \frac{g(s-1)}{v^2} \right]^{1/3}$	<p>根據 Bagnold 之水流功率概念及無因次參數分析，考慮粗細砂粒其運移方式之不同，認為粗顆粒主要以推移方式運移，而細顆粒則以懸浮方式運移。依據此一論點，提出一可動性參數 (mobility number)，反應粗細砂在水體中運移之權重。其中，<math>n</math>，<math>c</math>，<math>A</math> 與 <math>m</math> 為係數可查表獲得</p>
van Rijn (1984)	$q_t = q_s + q_b = FUD(C_a) + q_b$	<p>利用其推移載公式之參考濃度 <math>C_a</math> 為基礎，考慮河床質級配與顆粒亂流阻尼發展而得。其中，<math>F</math> 為懸移載修正因子；<math>U</math> 為平均速度；<math>D</math> 為水深</p>
Yang et al. (1996)	$\log C_t = 5.165 - 0.1531 \log \frac{\omega_m D}{v_m} - 0.2971 \log \frac{U_*}{\omega_m}$ $+ \left( 1.78 - 0.361 \log \frac{\omega_m D}{v_m} - 0.481 \log \frac{U_*}{\omega_m} \right) \log \left( \frac{\gamma_m US}{\gamma_s - \gamma_m \omega_m} \right)$ $\omega_m = \omega (1 - C_v)^{7.0}$ $v_m = \frac{\rho}{\rho_m} v e^{5.06 C_v}$ $\rho_m = \rho + (\rho_s - \rho) C_v$ <p><math>\omega_m</math> : 修正之顆粒沉速  <math>v_m</math> : 修正之運動粘滯係數  <math>C_v</math> : 重量百分比計 (包含沖瀉載)</p>	<p>修正 Yang (1979) 之單寬水流挾砂率公式。主要目的係針對細顆粒懸移載高時之床砂載計算 (包含沖瀉載)。其特點為維持原始公式中之係數，僅對顆粒沉速、粘滯係數及相應容重進行修正，該公式曾應用於黃河</p>

表 05 河床載(bed material load)輸砂公式(3/3)

作者	床砂載輸砂公式	說明
Wu et al. (2000)	$\frac{q_{b_k}}{p_{b_k} \sqrt{(\gamma_s/\gamma - 1)gD_k^3}} = 0.0053 \left[ \left( \frac{n'}{n} \right)^{1.5} \left( \frac{\tau_b}{\tau_{c_k}} - 1 \right) \right]^{2.2}$ $\frac{q_{s_k}}{p_{b_k} \sqrt{(\gamma_s/\gamma - 1)gD_k^3}} = 0.0000262 \left[ \left( \frac{\tau}{\tau_{c_k}} - 1 \right) \frac{U}{\omega_{s_k}} \right]^{1.74}$ $n' = \frac{D_{50}^{1/6}}{20}, \quad \tau = \gamma RS, \quad \tau_b = \gamma R_b S, \quad R_b = (nU)^{3/2} / S^{3/4}$ $\omega_{s_k} = \sqrt{\left( 13.95 \frac{v}{D} \right)^2 + 1.09 \left( \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) gD} - 13.95 \frac{v}{D}$ <p>(Zhang, 1989)</p> $\tau_{c_k} = 0.03 \left( \frac{p_{h_k}}{p_{e_k}} \right)^{0.6} (\gamma_s - \gamma) D_k$ $p_{h_k} = \sum_{j=1}^n \frac{p_{b_j} D_j}{D_k + D_j}$ $p_{e_k} = \sum_{j=1}^n \frac{p_{b_j} D_k}{D_k + D_j}$ $v = 1.792 \times 10^{-6} / (1.0 + 0.03368T + 0.000221T^2), \quad T : ^\circ C$	<p><math>q_{b_k}</math> : 體積計之單寬推移載 (m<sup>2</sup>/s)</p> <p><math>q_{s_k}</math> : 體積計之單寬懸移載 (m<sup>2</sup>/s)</p> <p><math>p_{b_k}</math> : 第 <math>k</math> 個粒徑級所佔床砂質之百分比</p> <p><math>p_{h_k}</math> : 第 <math>k</math> 個粒徑級所佔床砂質隱蔽作用之百分比</p> <p><math>p_{e_k}</math> : 第 <math>k</math> 個粒徑級所佔床砂質暴露作用之百分比</p>



表 06 總輸砂載(total load)輸砂公式

作者	總輸砂載公式	說明
Modified Einstein (1955)	<p>通過量測斷面某一粒徑級之總輸砂率，較細之顆粒可由下式計算：</p> $Q_i = Q'_{s_i} \frac{P_m J_1 + J_2}{P_m J_1} + J'_2$ <p>較粗之顆粒則可表為：</p> $Q_i = i_{Bw} Q_{bw} (P_m I_1 + I_2 + 1)$	<p>原始愛因斯坦方法係估算不同水流條件及泥砂特性之床砂載輸砂率，Colby and Hembree (1955) 及後續之許多研究人員，針對 Einstein method (1950) 提出不同方式之修正。修正愛因斯坦方法可針對已知之水流流量 (Q)、現場實測之懸移載含砂量及相應之水流及泥砂特性，估算包括沖瀉載在內之總輸砂量 (total load)。因此修正之愛因斯坦方法，必須配合實測資料方可估計總輸砂量</p>
Colby (1957)	<p>Colby (1957) 另提出一簡便之圖解法，供總輸砂量之估算。此法係根據修正愛因斯坦方法之河川觀測資料，以半經驗法推演。惟其無法將未量測區之泥砂顆粒按組成分離，且未量測區輸砂量對流速變化頗為敏感，故需要精確之流速測定</p>	<p>此方法所需要之基本資料包括：平均流速、河寬、平均水深、實測懸移載平均含砂濃度 <math>\bar{C}'_s</math> (以採樣器採樣，包含沖瀉載與床砂載)，及實測河床質之平均含砂濃度 <math>\bar{C}'_m</math>，但無需河床質之粒徑組成。其並將沖瀉載 (wash load) 與床砂載 (bed material load) 之分界粒徑定為 0.0625 mm</p>
郭朝雄等人 (1984-1988)	$G_T = 13.645Q^{1.6}$ <p>其中，<math>G_T</math> 為全寬總輸砂率 (包含沖瀉載, tons/day); Q 為流量 (cms)</p>	<p>郭朝雄等人 (1984-1988) 於濁水溪下游自強大橋河段進行 5 年之現場觀測試驗，並依其所觀測之水理及泥砂資料進行迴歸獲得</p>

資料來源：921 地震後濁水溪下游輸砂關係之試驗研究 (2/2)，2007，經濟部水利署水利規劃試驗所

### (三)傳統河砂量測限制

由於流速、泥砂濃度於河道上之變異性，以及採樣設備本身之限制，依沉滓之採樣方式分類，可將河道縱剖面於垂直向區分為兩個區域，可採樣區與無法採樣區，如圖06，就一般性瞭解，愈細的顆粒愈能於垂直向均勻分佈，而較粗之顆粒於下層之濃度則較高，由圖06可知，懸移載直接採樣器雖能真實反映採樣點的泥砂濃度，但其於整體斷面之代表性仍有盲點。爲了補足此缺額，雖可採間接公式法推估，如Meyer-Peter and Muller(1948), Einstein(1950), Colby and Hembree(1955), Chang and others(1965), 等等公式，但因此等公式不僅於同一河川計算所得差異甚大，即使是同一公式於不同河川之適用性亦可能有相當的變異性。除以公式解推估外，另有加上推移載採樣器，如圖07，以取得圖06中部份無法採樣區之泥砂樣品，以此獲得適合公式法的參數及增進全部輸砂量量測之準確性。

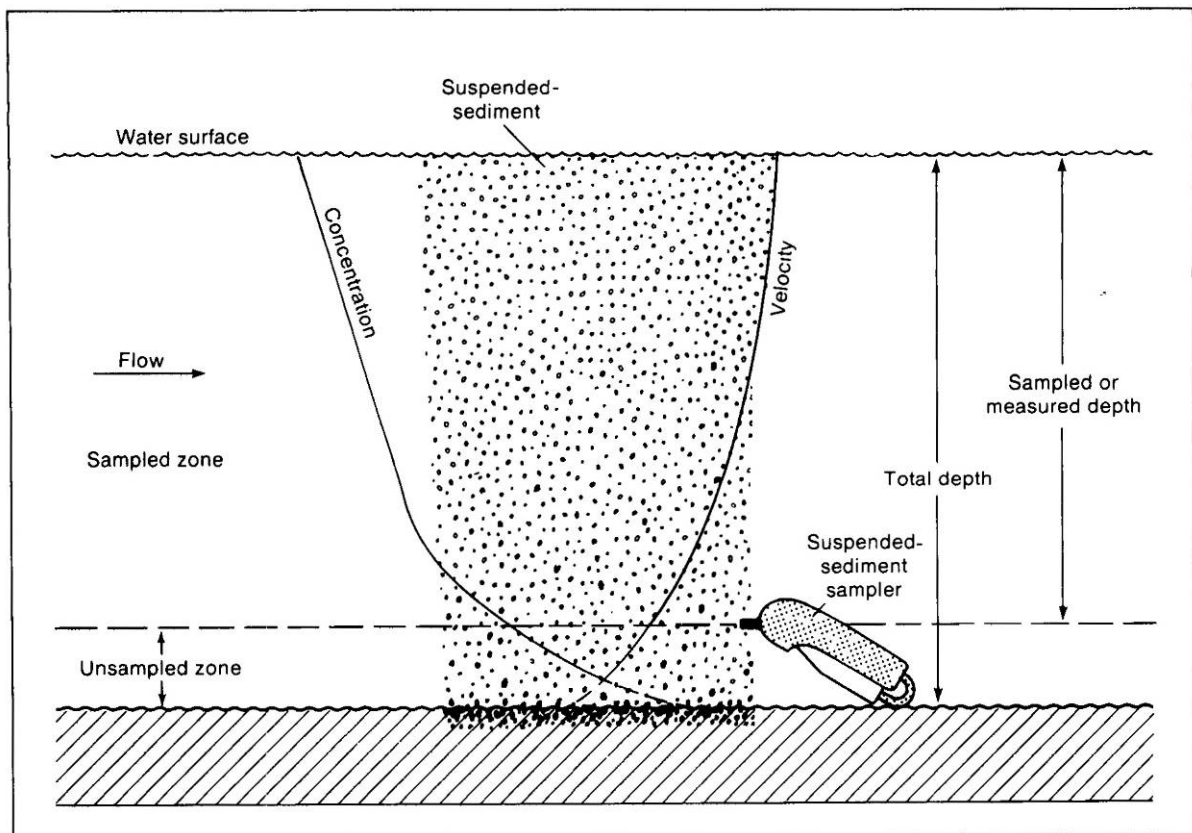


圖 06 沉滓依採樣方式之分類圖

(USGS, Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment, 1979)

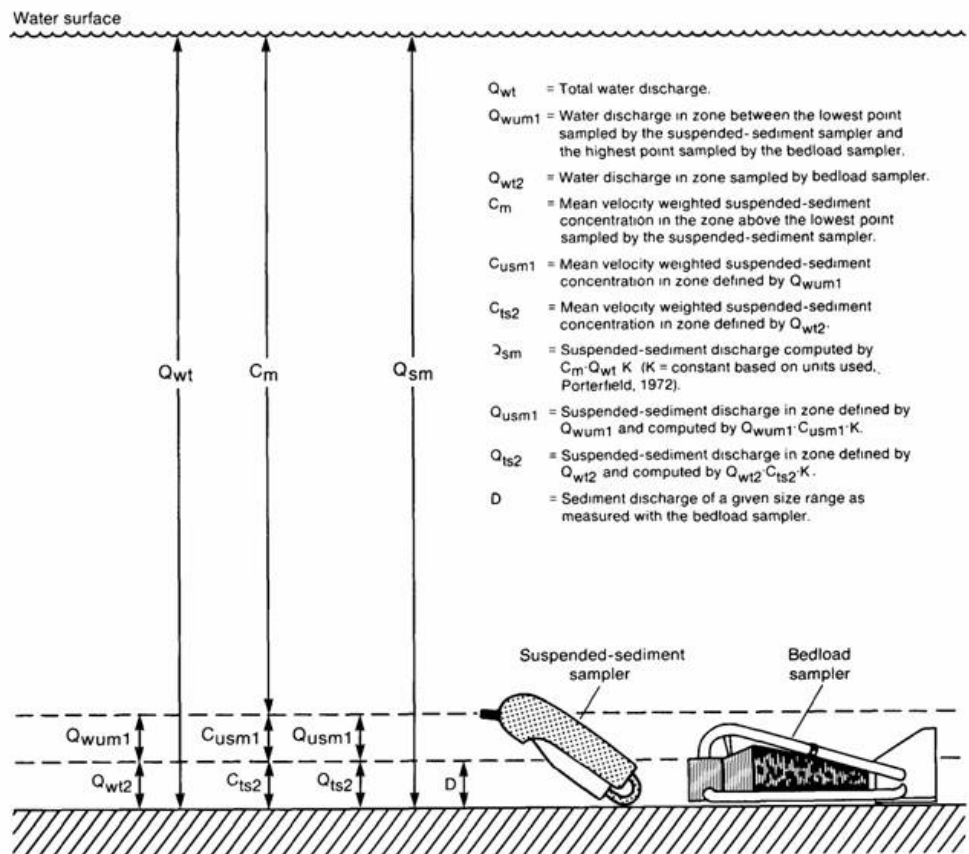


圖 07 加上推移載採樣器之整理輸砂量採樣推估法 (Hubbell, 1964)

#### (四)濁度與濃度：

一般採樣水體中懸浮泥砂含量檢驗之表示或檢測方式，主要有濁度及濃度兩種方式。

濁度 (turbidity)，其單位為NTU (nephelometric turbidity unit，簡稱NTU)，現今濁度之測定廣泛使用散射濁度測定法(Nephelometric method)，其量測原理為在特定條件下，比較水樣和標準參考濁度懸浮液對特定光源散射光的強度，以測定水樣的濁度，散射光強度愈大者，其濁度亦愈大。濁度測定適用於飲用水水源水質之檢測，自來水廠對於水質多以泥砂濁度為判斷依據。基本上濁度與含砂濃度或懸移載濃度並無一定的關係，濁度雖然主要受到懸移載含量的影響，但懸移載的粒徑分佈、顏色、水質等亦會影響光學濁度品質，此外不同儀器，如不同光源波長與感光器，於單一泥砂濃度樣本所量測濁度也不一定相同。

濃度 (concentration)，其計算原理係以採樣水體中泥砂含量佔全部採樣水體的百分比形式表示，可以體積比或重量比計，然通常以重量比較多，其單位

為ppm (parts per million)，亦即將泥砂乾重及水樣總重之比值採百萬分比表示。

## (五)懸移載(suspended load)量測

### 1、概述

懸移質通常隨其周圍水流以同等速度流動，因此欲量測得懸移載，可先量測水流之代表性含砂濃度，然後乘以當時之流量而得。一般河川水位流量站通常在進行水深與流速量測的同時，利用懸移載取樣器採集水樣，以烘乾法或濃度秤重分析法量測泥砂濃度。

台灣因地質與氣象條件特殊，又處於地震帶及熱帶氣旋危害區，地震及豪雨造成坡面崩塌及土壤沖蝕，上游表土隨水流沖洗而下，其中細顆粒土壤形成沖洗載，而砂質泥砂便形成懸移載隨河水向下游運移，形成各河川特有的水質與生態環境，此兩類泥砂輸砂量即為總懸移載。對自然河川而言，河道沖刷或淤積、洪泛或改道屬正常的總能量調整行為，但對侷限性的人工河道或人工構造物而言，日積月累的沉渣淤積，將減少水庫庫容並影響水質及河防安全，故泥砂含量調查分析需經常性辦理，以供防治及研究參考。

根據懸移載及流量資料，可建立類似水位-流量率定曲線的流量與懸移載率定曲線，此率定曲線建立後，即可經由觀測之流量紀錄估計懸移載輸砂量。懸移載屬於非點源物質，其濃度除了與流量的關係具高度變異性外，與時間的關係亦具有高度變異性。為了解輸砂率隨時間的改變，較有效的方法是獲取長時間懸移載的變化，以長時間之懸移載資料蒐集降低其對時間之變異性。由於含砂濃度與河川流量相對關係變異性大，因此連續觀測河川泥砂濃度之技術相當重要。

### 2、傳統直接法採樣法：

有關直接取樣器之要求，美國F.I.S.P. (Federal Inter-Agency Sedimentation Project) 委員會訂定有設計與製作懸移質取樣器的標準以供參考：

- (1) To allow water to enter the nozzle isokinetically. (In isokinetic sampling, water approaching the nozzle undergoes no change in speed or direction as it enters the orifice.) 取樣器的進水管必須要能讓水流保持運動平衡的狀態

態，水流在流入進水管時，儘量沒有速度或方向的改變。

- (2) To permit the sampler nozzle to reach a point as close to the streambed as physically possible. (This varies from 3 to 7 inches, depending on the sampler.) 取樣器的進水管應儘可能地到達一個接近河床表面的點，視取樣器的種類而定，距離約在7.5到17.5公分不等。
- (3) To minimize disturbance to the flow pattern of the stream, especially at the nozzle. 將取樣時所造成的擾動降到最小，尤其是在進水管附近。
- (4) To be adaptable to support equipment already in use for streamflow measurement. 設計上應能搭配現行的流量或流速量測儀器。
- (5) To be as simple and maintenance-free as possible. 儀器應設計簡單且易於維修。
- (6) To accommodate a standard bottle size 使用標準大小容積的取樣瓶。

基於上述觀念，懸移質取樣器之設計，必須能夠在取樣器周圍的渾水中，取得一個具有代表性的不擾動樣本，以了解垂直或橫斷面的懸移質濃度。

受限於取樣設備，一般於河流斷面單垂線施行懸移載泥砂取樣，分為全深取樣法(depth integrating sampling)及點取樣法(point integrating sampling)兩種，表07所列為USGS懸移載（全深與點）及床砂質採樣器各型號、操作方式、重量、河底無法量測距離及理論最大可採樣深度，圖08及圖09分別為USGS各式懸移載全深採樣器及點採樣器之圖示。

**全深取樣器(depth integrating sampler)**，設計用於量測全垂線水深直接取樣，於垂降及抬昇過程中連續取樣，以取得代表此垂直位置之綜合性代表水樣，但無法反映濃度隨深度之分佈。

**點取樣器(point integrating sampler)**，設計用於量測全垂線水深直接取樣，垂降至特定深度後，由纜繩或採電動方式將採樣瓶瓶口開啓一段預定時間或至充滿取樣瓶，以取得此特定深度之代表性水樣。

表07 USGS懸移載採樣器規格特性及適用範圍

Sampler Designation	Suspension Type	Weight (lb)	Nozzle distance from bed (ft)	maximum depth (ft)	Maximum velocity (ft/s)	Remark
DH-48	Wading rod	4.5	0.29	8.9	8.9	Depth integrating
DH-59	handline	22	0.33	15	5.0	Depth integrating
D-49	Cable reel	50	0.40	15	6.6	Depth integrating
D-74	Cable reel	62	0.33	15	6.6	Depth integrating
D-96	Cable reel	132	0.33	39-110	6.6	Depth integrating
P-72	Cable reel	41	0.40	50.9	6.6	Point integrating
P-61	Cable reel	105	0.35	120	6.6	Point integrating
P-63	Cable reel	200	0.50	120	5.3	Point integrating

資料來源：改寫自 USGS Field methods for measurement of fluvial sediment



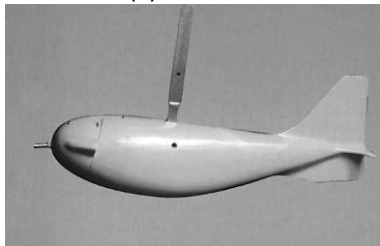
(a)US DH-48



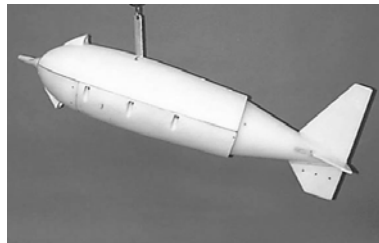
(b)US DH-59



(c)US D-49

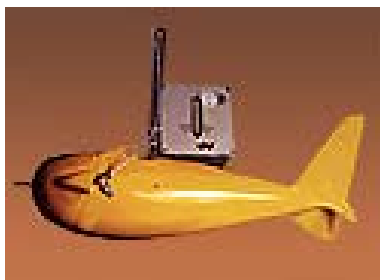


(a)US D-74



(b)US D-96

圖 08 USGS 懸移載全深採樣器 DH-78, DH-59, D-49, D-74, D-96



(a)US P-61-A1



(b)US P-63



(c)US P-72

圖 09 USGS 懸移載點採樣器 P-61-A1, P-63, P-72

與懸移載全深採樣器相比，點採樣器較具彈性，設計亦較為多樣性，其可用於採取由水面至水底僅數公分之間，代表某深度平均濃度的水體樣品，採樣深度一般較全深採樣器為深。

**使用鉛魚採樣瓶量測技術具有下列幾項優點：**

- (1) 原理簡單，操作容易。
- (2) 低流量(速)時，全垂線水深直接取樣，可同時量測泥砂濃度及粒徑分佈，且不受泥砂濃度過高及粒徑分佈寬廣之影響。
- (3) 具高度觀測效益與機動性，測站毋須預設儀器。
- (4) 儀器設備費用重置性低，各測站可使用同一套設備，單一測站平均量測成本低，符合經濟效益。
- (5) 儀器構造簡單易於拆卸維修保養。
- (6) 採樣瓶法雖為傳統直接侵入式採樣方法，但仍為目前唯一廣泛應用於水文站懸移載輸砂量觀測之儀器；其餘聲波、雷射、輻射或光學等原理之間接觀測技術雖已研發多年，於野外現場之應用尚有推展空間。

**使用鉛魚採樣瓶量測技術之主要缺點：**

- (1) 取樣進行濃度試驗之效率與經濟性、時間與人力成本耗費與自動化設備比較相對較高。
- (2) 於高流量(速)狀況下取樣，樣品極易受擾動而失去代表性，無法確定量測之準確度。
- (3) 人工取樣不適合惡劣天候進行，危險性過高。
- (4) 人工取樣無法連續觀測河川之泥砂含量，不能有效地反應洪水事件時的現地狀況。

**3、其他直接法採樣法：**

其他直接取樣法，如自動抽水式採樣器、泵浦式採樣器等，利用抽水設備直接抽取含砂水流進行垂線全深採樣或點採樣，然而，由於抽水取樣過程，無可避免對流場造成擾動，故此類方法量測之準確性較差。

**4、間接法採樣法：**

直接量測法，不論取樣瓶法或自動抽水式採樣器、泵浦式採樣器等，受限於取樣後之分析作業，皆不易自動化，除了耗費時間與人力成本外，試體可能因採樣時擾動而失去代表性，致使無法確定量測之準確度。此外，人工取樣的方法，須另進行分析作業，無法立即獲得試驗結果，亦即無法即時反應洪水、颱風時的現地狀況。

間接量測法係利用聲波、雷射、gamma或X-rays核子輻射、可見光或紅外線及光譜分析之光學原理等物理性質與含砂濃度之間的關聯性，據以間接推估泥砂濃度。這些間接物理量的量測技術，部份已相當成熟並已商業化，便於進行自動化作業。但其與含砂濃度之關係，可能受到各河川特性，如泥砂粒徑大小、礦物成分、溫度、流速等其他因子所影響，因此，必須針對觀測標的進行率定，才能有效推估觀測濃度。

目前較容易取得之商業化含砂濃度自動化觀測設備之技術原理，主要有光學、音波、雷射等三大類，此外，近幾年國內外仍持續進行相關的研究發展，有核能法、差壓式、電容式及時域法射法（TDR），有關懸移載泥砂濃度量測技術之比較如表08，可自動化量測方法的特性如表09。

綜合而論，現有商業化儀器，其量測值易受懸移載粒徑的影響，且（或）其量測範圍太小，無法滿足國內河川與水庫泥砂粒徑隨時間變化大且濃度變化範圍大的環境。此外，洪水期間為河川含砂濃度觀測之主要時段，但洪水時之高流速與夾帶之石塊與雜物等漂流物，容易撞擊損壞精密儀器，現有之商業儀器多屬侵入式，儀器主要的觀測元件多置於水面下，可維護性較差，同時限於儀器購置費用昂貴，無法於同一觀測位置設置多組設備，通常無法兼顧現地觀測之空間解析度。



表 08 懸移載量測技術比較表

技術方法	操作原理	優點	缺點
聲波 (acoustic)	利用反射聲波決定粒徑分布及濃度	於寬廣之垂向範圍具良好之空間與時間解析、非侵入式	反射訊號與泥砂參數之關係不易解讀、高濃度時訊號衰減量大
採樣瓶 (bottle sampling)	使用取樣瓶沒入水流中取樣後分析	受普遍認可、經得起時間考驗之方法、可量測濃度與粒徑分布、大部分量測技術均利用採樣瓶法量測結果進行檢校	空間解析度稍差、侵入式、水樣需於試驗室分析、並需要現場操作人員
泵浦取樣 (pump sampling)	以水泵浦自水流中取樣後分析	受普遍認可、經得起時間考驗之方法、可決定濃度與粒徑分布	空間解析度差、侵入式、資料須在試驗室分析、水樣擾動性大
雷射聚光反射 (focused beam reflectance)	根據雷射反射時間量測泥砂顆粒	不受粒徑大小影響、適用寬廣之粒徑尺寸及濃度範圍	成本昂貴、侵入式、僅能單點量測
雷射繞射 (laser diffraction)	根據雷射折射角量測泥砂顆粒	不受粒徑大小影響	可靠性較低、成本昂貴、侵入式、僅能單點量測
核子技術 (nuclear)	利用 gamma 或 X-rays 之反射或透射量測泥砂顆粒	耗電量低、適用寬廣之粒徑尺寸及濃度範圍	靈敏度低、輻射源衰減問題、侵入式、僅能單點量測
光學式 (optical)	利用可見光或紅外光之反射或透射量測泥砂顆粒	操作簡易、空間解析度高、允許遠端配置及資料擷取、價格較不昂貴	易受粒徑分佈影響、侵入式、僅能單點量測、儀器易受污染
遠距光譜反射 (remote spectral reflectance)	遙測水體對光線之反射及散射程度	可量測寬廣範圍區域	解析度低、較不適合用於渠流流場、易受粒徑大小影響
*TDR 時域反射法 (time domain reflectometer)	利用電磁波量測所得到之之電學性質決定含砂濃度	具有良好時間解析度，可遠端自動化觀測，量測靈敏度高	侵入式量測、受溫度影響大，但可利用溫度感測補償。泥砂粒徑分佈寬廣石，濃度量測準確性會降低，無法同時測得泥砂粒徑分佈。

備註：資料來源 Wren et al. (2000)，\*為本計畫整理

表 09 各種含砂濃度自動化觀測儀器優缺點評估表(1/2)

方法	操作原理	設置成本	操作性	濃度量測範圍	量測準確度 (誤差範圍)	量測誤差來源	耐用性	
較易取得商業儀器	Optical (光學式)	利用可見光或紅外線之穿透或散射反射進行含砂濃度量測	已商業化，單點儀器成本約為10-30萬。	操作簡易、具有良好時間解析度，可遠端自動化量測，屬於侵入式	取決於散射量測角度與光源及接受器型態，亦受粒徑分佈影響。90度散射之量測範圍一般小於5000ppm，大角度回散射儀器可達10~20萬ppm	在特別率定的情形下，90度散射量測靈敏度高，量測準確度約為100 ppm。大角度回散射儀器量測準確度隨量測濃度增加而增加，誤差約在100~5000ppm之間	受顆粒顏色與粒徑大小影響大，率定工作困難	儀器感測面易受污染。於洪水條件下之耐用性堪虞
	SuperSonic (超音波法)	利用超音波傳輸能量之衰減探測含砂濃度	已商業化，單點儀器成本約為20萬。	操作簡易，具有良好時間解析度，可自動化量測，屬於侵入式	取決於感測器尺寸、頻率及粒徑分佈。在感測器間距10cm及含泥量大於20%狀況下，量測範圍一般小於15萬ppm	在特別率定的情形下，量測準確度隨量測濃度增加而增加，誤差約在1000~5000ppm之間	受感測器尺寸、泥砂顆粒大小、種類影響大，率定工作困難	於洪水條件下之耐用性堪虞
	雷射繞射 (Laser diffraction)	利用雷射之折射角探測淤砂顆粒	已商業化，但儀器成本為目前所有方法中最髙	操作複雜，需專業訓練。具有良好時間解析度，屬於侵入式量測法	一般量測範圍小於5000ppm	量測靈敏度高，量測準確度約10ppm	不受粒徑影響，但由於探測空間範圍小，易受局部性擾動	於洪水條件下之耐用性堪虞

資料來源：石門水庫水砂運移監測與異重流模式開發及應用研究(1/2)，經濟部水利署水利規劃試驗所，(2008)

表 09 各種含砂濃度自動化觀測儀器優缺點評估表(2/2)

方法	操作原理	設置成本	操作性	濃度量測範圍	量測準確度 (誤差範圍)	量測誤差來源	耐用性	
其他儀器	核能法 (Nuclear)	利用透射或反射之 gamma 或 X-rays 進行量測	尚未商業化	操作複雜，需專業訓練。耗能小，適於長時間觀測，屬於入侵式	一般量測範圍約為 500-12000ppm	取決於核能法本身之靈敏度限制，此方法較適用高於 1000ppm	受泥砂化學成分影響，因人造輻射源會自然衰減之關係，需定期重新率定量測儀器	維護性差，且現地標定程序較為困難
	差壓式 (Differential pressure)	利用兩個壓力計（或差壓計）由不同高度壓力差計算出泥水混合物之比重，進而推算出水中含砂濃度	尚未商業化	操作簡單，屬於非侵入式量測	實驗室試驗量測精確度可達 10到1000ppm	受水中漂流物影響，量測誤差可高達 65,000ppm	易受溫度、水流擾動、水流流速以及水中溶解成分等因素影響	儀器易受水流影響而損壞，耐用性堪虞
	電容式 (Capacitance)	利用平板或圓柱型電容感測器，基於輸出之電流量與濃度成正比關係之原理	尚未商業化	操作簡單，屬於非侵入式量測	量測技術具有高濃度量測的能力，但黏土和砂的粒徑大小會影響濃度之輸出結果	泥砂濃度量測在低濃度量測時，其準確性不足	受溫度、水質導電度及泥砂種類所影響大，前者可以修正補償，但後兩者無法即時量測補償	耐用性有待商榷
	TDR (時域反射法)	利用電磁波量測所得到之電學性質決定含砂濃度	量測主機已商業化，成本約20萬，但可一機多點觀測，傳感器尚未商業化。	具有良好時間解析度，可遠端自動化觀測、屬於入侵式量測儀器	量測範圍受限於受測體之導電度，一般河川與水庫的條件下高達20萬ppm以上	目前利用 70cm感測器配合新式分析方法，其量測準確度約為 1500ppm	受溫度影響大，但可利用溫度感測補償。土壤顆粒影響小，在一般的含砂濃度觀測不需特別率定	感測器堅固且成本低，可更換，維護性高

## (六)推移載量測

推移載一般來說，其組成主要為較粗之顆粒，雖然其數量不及懸移載之多，但卻是河川輸砂裡重要的一環。推移載的運移，不論是縱向或橫向，在空間的分佈上變異性甚大。因此，於實務上，量測困難度遠大於懸移載。

由於推移載床面層(*bed load layer*)的厚度不大，傳統的量測儀器量測不易，所以目前對於推移載的研究並不詳盡。由於推移載取樣複雜度高，因此，國內外有多種適合不同目的的取樣器或方法，如 *Helley-Smith Sampler*, *Arnhem Sampler*, *Net-frame traps*, *electronic devices*, *acoustic*, *Birkbeck Design*, *Yangtze Samplers*, *tracers*, *Pit Traps (reduce temporal & spatial var.)*, *Contour Mapping (lake storage; deltas)*, *Vortex-tube bedload trap*, *Toutle River Sampler*, *Radio transmitters*, *tagged particles*, *Delft Nile Sampler*, *Pan-type Samplers*,...等等。這些推移載採樣技術，主要分為直接法及間接法兩類：

### 1、直接法推移載採樣：

此類方法乃將採樣器或專門機械安置於河床底部，直接收集隨水流運移之推移載泥砂顆粒。推移載取樣器於距離底床數公分深度的區間內取樣，該區間是點取樣器或全深取樣器無法取樣的位置，由於此區間含有無法懸浮的大型顆粒在此區間運移，也正是高泥砂濃度的位置。正因如此，推移載取樣器的設計方式與點取樣器或全深取樣器並不相同，其並不採取水體，而是利用網格收集袋採取篩濾的方式，篩除水體而留下推移載顆粒。

理想的河床載取樣器的技術要求大致可歸納出下列5點：

- (1) 於取樣口鄰近水流之擾動性降至最低
- (2) 對不同尺寸顆粒應具有相當的取樣效率，且可供校正。
- (3) 設計簡單，耐用，攜帶型除應易於操作外亦應具相當份量。
- (4) 取樣口尺寸應足以搭配懸移載取樣器，至少應有最大顆粒尺寸的1.5倍。
- (5) 壓差型取樣器進口處的流速與鄰近流速比應等於或略大於1。

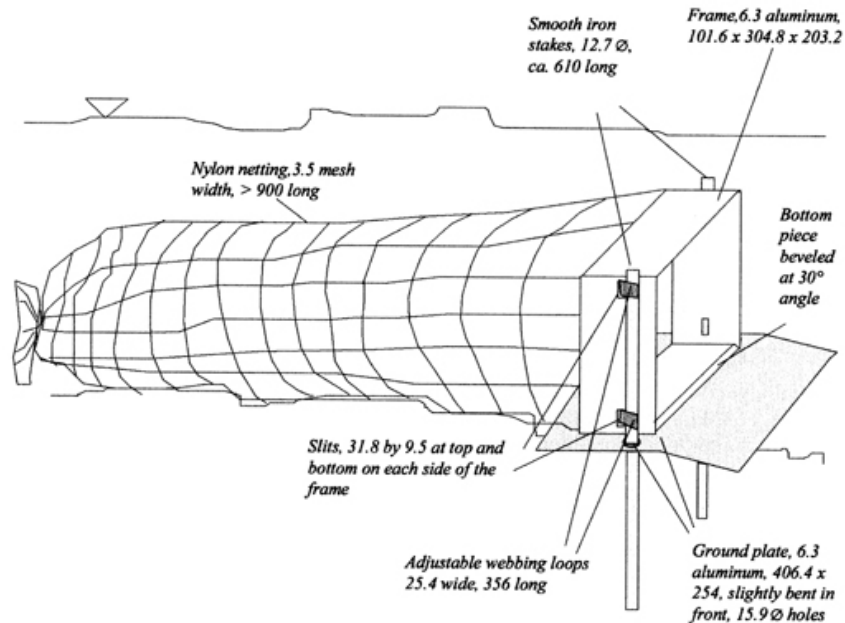
推移載取樣所涉及的技術相當複雜，一般使用的取樣器很難全部符合上述技術要求，但是只要謹慎小心且適當地操作設備，依然能取得相當不錯的樣本。

依據設計原理、構造及操作方法，現行推移載採樣器可歸納為籃式 (*basket-type*)、淺盤式 (*pan-type*)、壓差式 (*pressure-difference-type*) 及槽坑式 (*slot-type*)

or pit-type) 等四類，表10 為各式推移載採樣器其結構特點及適用範圍。對於研究流域河段，應先以水工模型試驗，針對斷面之幾何流速、坡度及河床粒徑等特性，進行多方試驗評估後，再選擇適當之底床顆粒採樣器。

#### 籃式(basket-type)：

開口採強韌鋼架，以鋼絲或尼龍製成籃子，使泥砂流入籃內，篩濾後留下推移載，開口尺寸可依河床質粒徑調整，示意圖如下。



#### 淺盤式(pan-type)：

取樣器縱斷面為楔形，置於河底並以楔頂與水流相切。泥砂顆粒沿著盤頂運移至下游端順著橫槽而收集，此型適用於推移載規模小之砂質河床。

#### 壓差式(pressure-difference-type)：

此採樣器橫斷面沿水流方向擴張，使得出口處產生壓力落差彌補能量損失，並獲得相當於未擾動水流流況時之進口速度及泥砂運移量，而將推移載沉積於擴張斷面或下游端附加濾袋中。此型最大的問題在於取樣器進口處的流速與鄰近流速比未能等於或略大於1，此法較適用於多砂河床。下圖為Helley Smith Sampler 的示意圖。

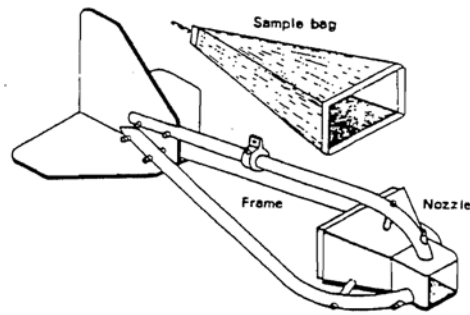
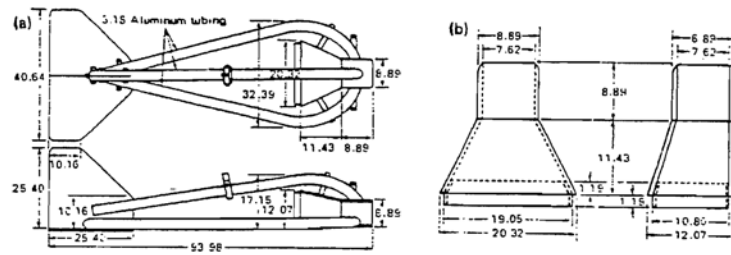
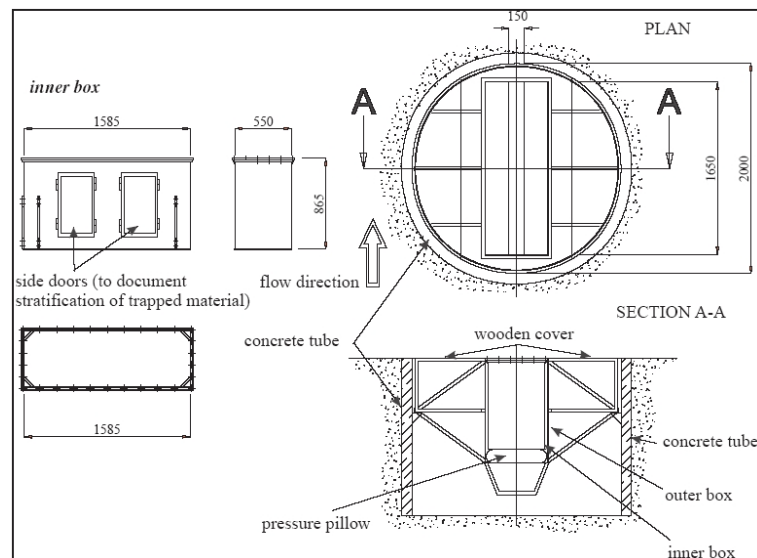


Fig. 1 Helley-Smith bed load sampler.



### 槽坑式(slot-type or pit-type)：

於河床設置槽坑式取樣水工構造物，主要係將研究河段沿河寬設置混凝土槽坑數道，每道底設置可啓閉槽門，槽井收集之推移載可由泵浦定時抽出，經槽底輸送管路至河岸邊之貯存槽，經由分析，可得單位時間通過斷面之推移載量，效率高但花費甚鉅。下圖為設於Drau河的槽坑式取樣井設計圖。



## 2、間接法推移載採樣：

### 淤積斷面量測法(sedimentation process)：

於天然河川流經水庫、湖泊、沉砂池、灌溉渠道或攔河堰等水工構造物特定斷面，定期量測淤積變化量，經由淤積變化量扣除肇因於懸移載等較細顆粒淤泥量，即可得推移載之變化量。此法雖不用直接量測推移載，但仍需量測水工構造之進出口懸移載濃度。

表 10 推移載採樣器規格、性能和適用範圍

類別	名稱	取樣口尺寸 (cm)	採樣效率 (%)	使用範圍		說明
				推移質泥砂粒徑 (mm)	流速 (m/s)	
籃式	瑞士採樣器	寬 50	平均 45	粗粒徑，直到 100mm 的大卵石		30 年代使用較為廣泛
	YZ-64 軟底網式採樣器	寬 50	約 10 (天然渠道中率定)	中值粒徑小於 50mm 的中等卵石	< 5	軟底，兩側及尾部為 10 mm 孔徑之鐵絲網。在長江幹流上使用多年
	YZ-80 型船用卵石推移質採樣器	寬 50	55 (水槽內用模型儀器率定)	中值粒徑 50mm	< 4.5	軟底，器頂用邊長 10 mm 之方形薄鋼板製成，是 YZ-64 型之換代儀器
	大卵石推移質採樣器	寬 60	30 (水槽內用模型儀器率定)	粒徑較大的卵石	< 6	軟底，器頂器側及尾部為 5 mm 孔徑之鐵絲網，鉛快固定在器頂兩側。在岷江上游使用
盤式	波里雅可夫式 (Polyakov)	-	不定	砂	低速	取樣效率隨流速和推移載粒徑而升，中國大陸曾在 50 年代使用
壓差	VUV	寬 38 高 12.7	70	1-100	< 3.0	有大、小兩種型號。郭朝雄等 (1984-1988) 曾採用之
	赫利-史密斯 (Helley-Smith)	寬 7.6 高 7.6	100	0.5-16	< 3.0	在美國使用，推移載粒徑較大之河流、可用口門為 15 cm 寬之採樣器
	TR-2	寬 30.48 高 15.24	-	1-100	< 3.0	美國研製，網孔 1mm，口門面積擴張比較小
	Y-78 型砂推移質採樣器	寬 10 高 10	60	小於 10 mm 的砂和礫石	< 3.0	有 Y-781、Y-782 兩種型號，近年中國大陸逐步推廣使用
	(半壓差式) RM-2 纜到用卵石推移載採樣器	寬 70	≥ 30 (水槽內用模型儀器試驗)	5-500 mm	< 5.0	器身為三面封閉，單向放大之拱式結構，軟底網，用於岷江都江堰區
槽坑 (pit-type)	美國東議河推移載測槽	橫跨河槽	100	砂和礫石	-	可連續取樣和自動秤重，使用於小河上用於採樣器率定
	中國大陸江西坑測儀	寬 10	-	砂	< 2.0	固定埋設於天然河流中，用電測器連續測定坑內砂樣體積，在贛江上使用

資料來源：九二一地震後濁水溪下游輸砂關係之試驗研究(2/2)，經濟部水利署水利規劃試驗所，(2007)

### 砂丘追蹤法(dune tracking)：

此法主要用於含有大部份單一細砂之河床，由於此類推移載是順著水流方向以砂丘移動之型式運移，一般較難採用前述的推移載取樣器進行取樣，但因此項特點，本法僅需採用簡單的量測如聲納探測即可完成。

### 示蹤劑法(tracker method)：

利用染液探測泥砂運移，間接推估輸砂率。此法原理簡單，但因方法具多樣性，應視採樣目的、河川特性來選擇探測方法。

### 經驗公式法(experimental-formula)：

調查研究河段之河床質及岩石特性，並以水工模型試驗來率定適用之推移載經驗公式，再依據實際水理條件估算推移載輸砂量。

## 三、參訪單位懸移載運移監測與量測

此行參訪之奧地利相關單位於河川泥砂運移量測方面之研究重點，多著重於推移載運移監測與量測估算，對於懸移載運移監測與量測估算實務方面，則僅於低濃度懸移載量測及監測。

此因奧地利並無供作民生公共用水或農業用水之水庫，大型水庫主要用途皆為水力發電，水庫防淤策略以水力排砂為主，並無高含砂濃度懸移載監測與量測之需求，對於懸移載運移監測與量測課題範疇之研擬或探討尚有發展空間。因此，無從獲得與本國水庫或河川對應有效之高濃度懸移載量測或監測應用方案，但奧國於水文站設置之人性化及其功能之多重應用，令人印象深刻。

以下就現場參訪位於音斯布魯克之提絡省水資源局Innsbruck-Inns河川水文站所得資料做一說明。

1. 設站年份：約150年前
2. 最近硬體更新年份：2004
3. 流域面積：5792 Km<sup>2</sup>
4. 懸移載自動化量測儀器：光學式，最大有效範圍約5萬ppm (mg/l)。
5. 懸移載人工直接取樣：點取樣器及全深式取樣器，於河道橫斷面以纜車系統分14處垂直取樣，以供檢核及率定自動化光學量測儀器。如照片55至照片56。
6. 推移載：無檢測需求



## 7. 其他：水溫、流速(雷達波流速計)、流量、水位(超音波水位計)

綜合來看，Innsbruck-Inns水文站所採用之設備與技術並不突出，由於該處泥砂淤積或河道刷深之問題並不嚴重，流速通常低於2 m/s，且泥砂之濃度並不高，很少超過2萬ppm，因此，懸移載之人工量測與我國環境相比，相對容易，只要用一般的鉛魚取樣器直接取樣即可，如照片55至照片58，且因適用於此量測範圍之光學相關量測技術相當成熟，同時又有多年水文資料率定以及人工量測資料作校正，讓光學量測資料之準確性與可靠度大大提昇。雖然，參觀Innsbruck-Inns水文站所得資料，於技術層次上，對此行主要目的助益不多，但其附屬效益卻令人印象深刻。

首先是水文站座落於一社區型公園內，就水文站設站已超過150年的歷史研判，公園應是後設，因與公園相鄰，水文站另發揮其教育民眾與供給即時資訊之功用，在其外牆上，以類似海報看板的方式，鮮明而且活潑地宣導水文測站的歷史、河川治理的歷史、最近一次的洪災資料與即時的水文資料顯示，如照片51至照片54，不僅達到水文資訊公開透明，同時融入社群、提醒及教育民眾，讓冰冷的河畔水泥構造物有了鮮明的作用，小小的用心，所費不多，卻能有宏大的效果，此點實足效法。

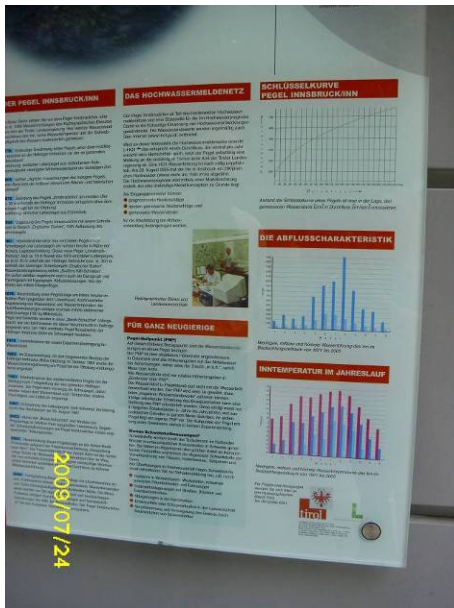
其次是有關人工取樣作業輔助設備的建置，由照片56可看出取樣用的鉛魚係懸掛於一纜車系統，兩條軌道纜繩固定於河道兩端，纜繩由電動馬達驅動，採樣作業時操作人員則位於安全的水文站內，於洪水期不必擔心操作時之安全問題，且由纜繩控制行走距離，於河道橫斷面上固定的14處分區進行垂降取樣，如此，可降低以人工定位時的不確定誤差，提高取樣樣品品質之代表性。此外，當泥砂濃度升高至超過自動化光學量測設備之上限或流速大於鉛魚取樣器之上限時，尚可採用手動取樣器，此時，為維護人工取樣時作業人員之安全，設有安全拉索，如照片59及60，其作用原理類似車用安全帶，用力拉扯時無法拉出，輕放時可自動收回，據參訪單位告知，此設施為奧國各水文站標準配備，其作用除供保護取樣人員安全外，另可作為緊急時救難之用。



照片 49 Innsbruck-Inn 水文站外觀



照片 50 Innsbruck-Inn 水文站名牌



照片 51 水文站外牆兼作民眾水文教育看板



照片 52 外牆揭示最近一次洪災事件



照片 53 水文站外牆揭示水流量即時數據



照片 54 水文站外牆揭示河川治理歷史



照片 55 量測懸移載的鉛魚



照片 56 量測懸移載鉛魚及懸掛纜車系統



照片 57 量測懸移載的取樣器



照片 58 手動量測懸移載取樣瓶



照片 59 安全拉索



照片 60 由 Gattermayr 博士示範安全拉索

## 四、參訪單位推移載運移監測與量測

### 1. 推移載之調查屬必要性，且具法律位階之約束力

依參訪單位提供之資料瞭解，相關調查是必須且具法律位階，國家已立法要求有關推移載的調查，相關條文如下：

#### **Wasserrechtsgesetznovelle 2003:**

Europäische Wasserrahmenrichtlinie 2000 wurde in österreichisches Recht umgesetzt § 59c (3) - (vormals Hydrographiegesetz 1979 § 1 (1)):

„Die Erhebung des Wasserkreislaufes hat sich auf das Oberflächengewässer, das Grundwasser und die Quellen, den Niederschlag, die Verdunstung und die Feststoffe in den Gewässern hinsichtlich Verteilung nach Menge und Dauer [...] zu beziehen.“

Festlegungen bezüglich der Messung der Feststoffe in der

#### **Wasserkreislaufferhebungsverordnung 2006 :**

(WKEV) § 12:

2. „An einer Geschiebemesstelle ist der Geschiebetransport (Geschiebefluss) bzw. die Geschiebefracht zu bestimmen.“

### 2. 調查或推估推移載時面對的主要問題

由於推移載的移動既複雜又多樣，基本上包含轉動(rolling),滑動(sliding),摩擦(traction), and 躍移(saltation)，因此，調查或推估推移載時，便須瞭解將面對以下幾個主要問題：

1. 邊界條件如幾何、坡度、糙度等等，是否已蒐集掌握？
2. 泥砂顆粒的起動剪力門檻是否需要？
3. 眾多公式中何者是最適合的推移載公式？
4. 模擬時應至何種程度？單顆粒運移模擬、沉渣分類、護甲層至次護甲層、動床模式、時間及空間的變異性等等是否為必要考量？

不論採用何種方式模擬，均應能掌握推移載的整體運移、符合整體質量不減、上下游收支平衡及對整個模擬程序的通盤瞭解。目前，於奧國幾乎所有的研究設計皆為整合型的研究方法，同時運用多種監測技術以獲取模擬分析時所需的參數，據以求得所對應成果，要注意的是，所得成果僅為一最適合的成果

(satisfactory results)，並非真解(exact results)。

一般而言，有關推移載運移的理論，多從顆粒的起始運動研究開始，與運移相關的水力參數大致可分為河床起動的臨界流速(Critical bed velocity)、臨界河床剪應力(Critical bed shear stress)、流速梯度(Velocity gradient)以及河流動力(Stream power)。此外，沉渣特性亦會影響運移機制，如顆粒大小與密度(Particle size and density)、河床料顆粒大小分佈(Sorting of bed material)、層積或堆積(Layering or packing)、顆粒形狀或方向性(Particle shape and orientation)、遮蔽或顯露效應(Hiding and exposure effects)等。因此，相關試驗或取樣器設計，應朝向滿足各項水力參數之獲得、收集或率定。

### 3. 參訪單位常用的河床載運移公式整理

#### 野溪(Mountain torrents)

1. Smart & Jäggi (1983)
2. Bathurst (1987)
3. Rickenmann (1990)
4. Palt (2001)

#### 河川(Rivers)

1. duBois (1879)
2. Schoklitsch (1930, 1934, 1950)
3. Shields (1936)
4. Meyer-Peter and Müller (1934, 1948) - deterministic
5. Einstein (1950) - stochastic
6. Yalin (1963)
7. Ackers and White (1973)
8. Bagnold (1980)
9. White and Day (1982)
10. Parker et al. (1982, 1990) – deterministic (field data)
11. Zanke (1987, 1999)
12. Sun and Donahue (2000)
13. Cheng (2002)

14. Abrahams (2003)

15. Wong and Parker (2005) – Re-Analysis of Meyer-Peter and Müller

其中最常用的河床載運移公式為Meyer-Peter and Müller (1948)，其推導原理係基於實驗室量測成果，推導出推移載與水力參數的關係式：

$$\frac{\gamma R_h (k/k')^{3/2} S}{d_m} - 0.047(\gamma_s - \gamma) = 0.25 \rho^{1/3} \frac{(q_s')^{2/3}}{d_m}$$
$$\tau_{cr} = 0.047(\rho_s - \rho_w) g d_m = g \frac{Q_s}{Q} \left( \frac{k_{st}}{k_r} \right)^{3/2} h_{cr} S$$

- Rh hydraulic radius
- k roughness coefficient due to slope
- k' roughness coefficient due to S' (energy loss due to grain resistance)
- S slope
- dm representative grain diameter of mixture;
- g s specific weight of the sediment
- g specific weight of water
- r water density
- qs submerged bed-load discharge mass per unit time and width
- tcr critical shear stress
- rs sediment density
- rw fluid density
- Qs sediment discharge
- Q flow discharge
- kst Strickler roughness value
- kr grain roughness value
- hcr critical water depth

由上述公式所涉及之參數來看，如何於野外現場獲得可靠之調查成果，以提供率定驗證，將是取樣調查之最大課題，相對地，由各家公式之推導方式、關注之參數等，亦可提供取樣技術發展或取樣器設計之導引。

#### 4. 現場參訪

依行程安排，本次共參訪兩處試驗站，一處位於瑞士，屬於瑞士聯邦研究中心的Erlenbach試驗站，類似的試驗站於奧地利另有一處(Pitzbach試驗站)，另一參訪試驗站位於奧地利提絡省Rofenache河，屬於BOKU的Vent試驗站，類似的試驗站於奧地利另有3處(Lienz/Falkensteiner Steg、Lienz/Iselsteg及Dellach/Drautal

試驗站)。兩處參訪試驗站分屬不同研究單位，但建置的理念與切入點皆類似，差別僅在部份試驗方法與取樣設備。

首先介紹屬於瑞士聯邦研究中心的Erlenbach試驗站，Erlenbach試驗站位於源自瑞士阿爾卑斯山的Erlenbach河，集水區面積約0.7平方公里，設站已超過25年，其上游約500公尺處另設有一處附設推移載量測設備的雨量站，位置圖如圖10。試驗站空照圖如圖11，由圖11可見試驗站由渠道調整工、攔砂壩、集砂池、設備室及三角堰所組成。於攔砂壩上鑲嵌有鋼板及地音探測器(2000年以前為壓電式推移載撞擊感應器piezoelectric bedload impact sensor)，如圖12及13。

試驗站原始規劃以渠道調整工導引低流量水流方向並量測水位及流速；利用攔砂壩上的地音探測器量測撞擊數量、頻率、能量等；利用集砂池收集洪水事件後的推移載，量測體積、粒徑分析，以瞭解組成及推移量；利用三角堰做流量率定。2009年另加裝來回移動式推移載收集籃，如圖14，收集特定時段或特定位置的推移載量，作為地音探測器量測撞擊成果之率定。

Pitzbach試驗站因未取得相關資料，僅以圖15說明其位置，圖16說明其相關設施配置，圖17顯示現場狀況，依參訪單位表示，該試驗站之設備類似Erlenbach，成果分析方式亦同。因參訪所得資料中以Drau河的Dellach 試驗站之資料較完整，而各試驗站相關成果之分析方式大致類似，故於後續章節介紹Dellach 試驗站時，再舉其成果資料作成果分析方式之說明。

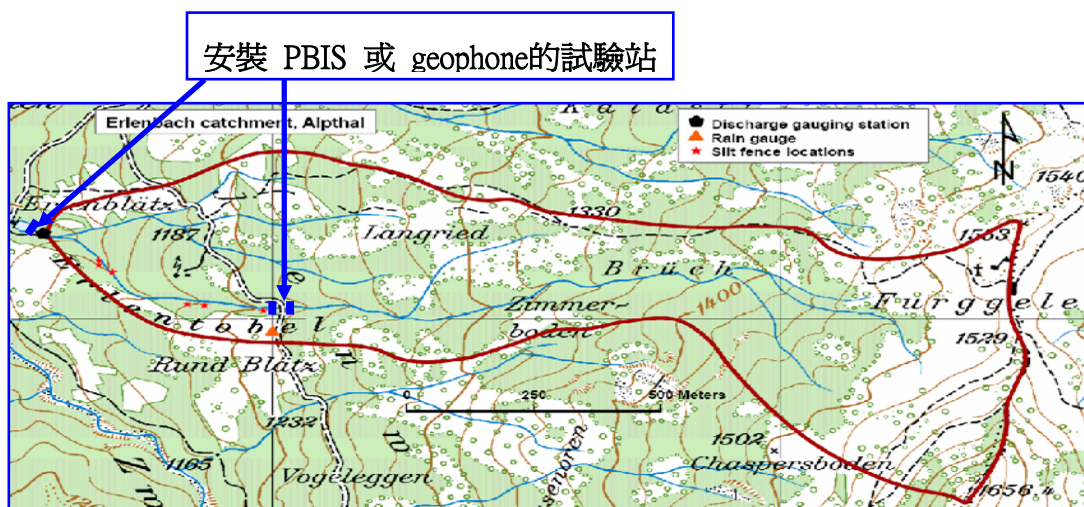


圖 10 Erlenbach 試驗站位置圖

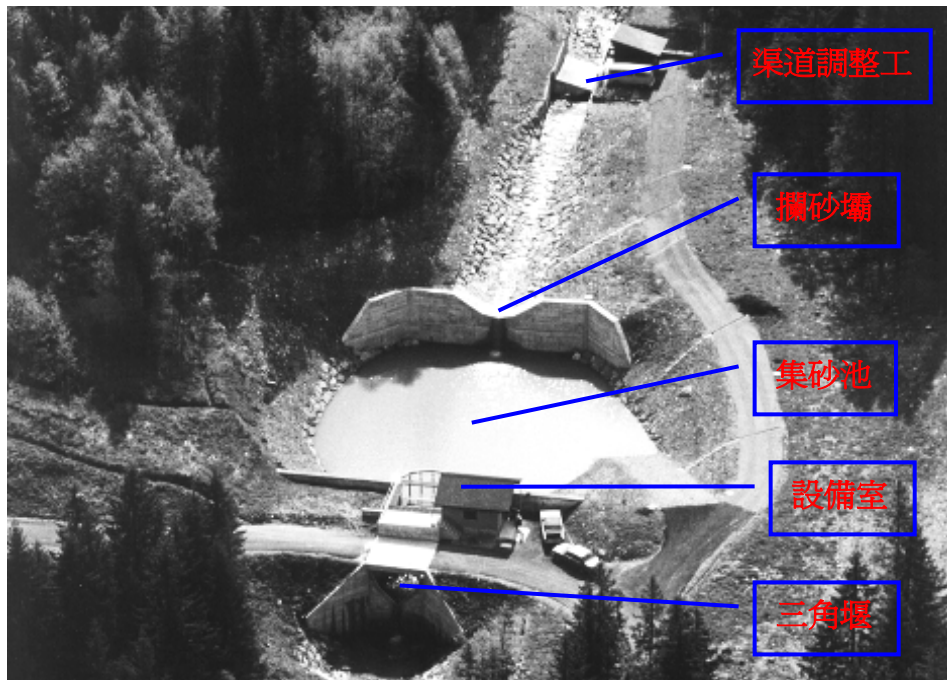


圖 11 Erlenbach 試驗站空照圖



圖 12 Erlenbach 試驗站位置圖

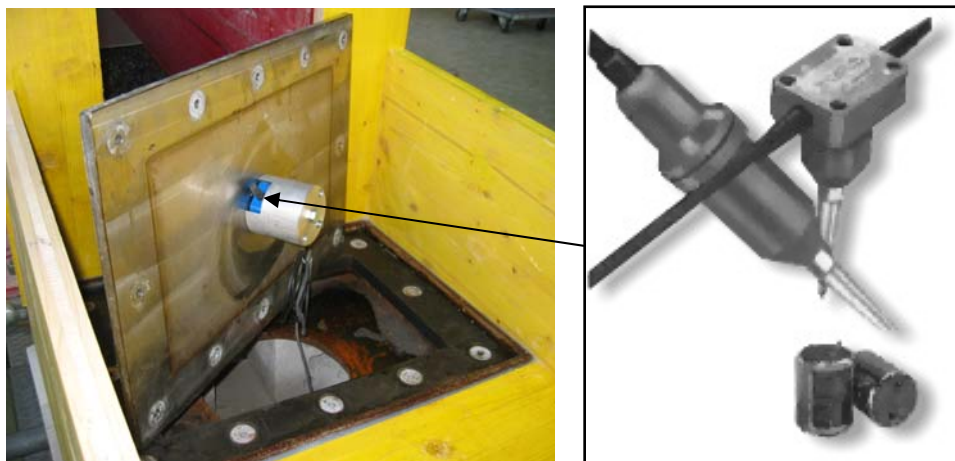


圖 13 將 geophone 安裝於鋼板作業圖





圖 14 2009 年新安裝的推移載收集籃

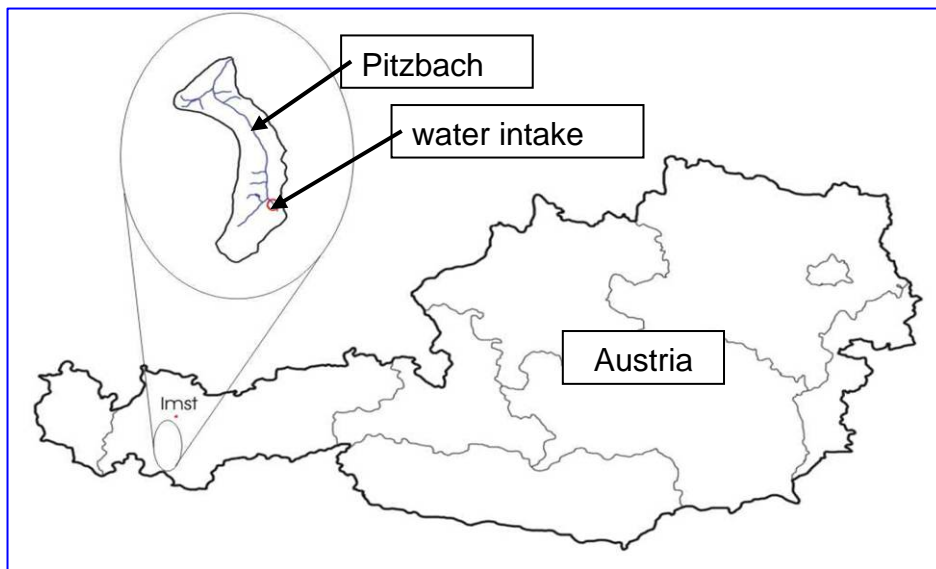


圖 15 Pitzbach 試驗站位置圖

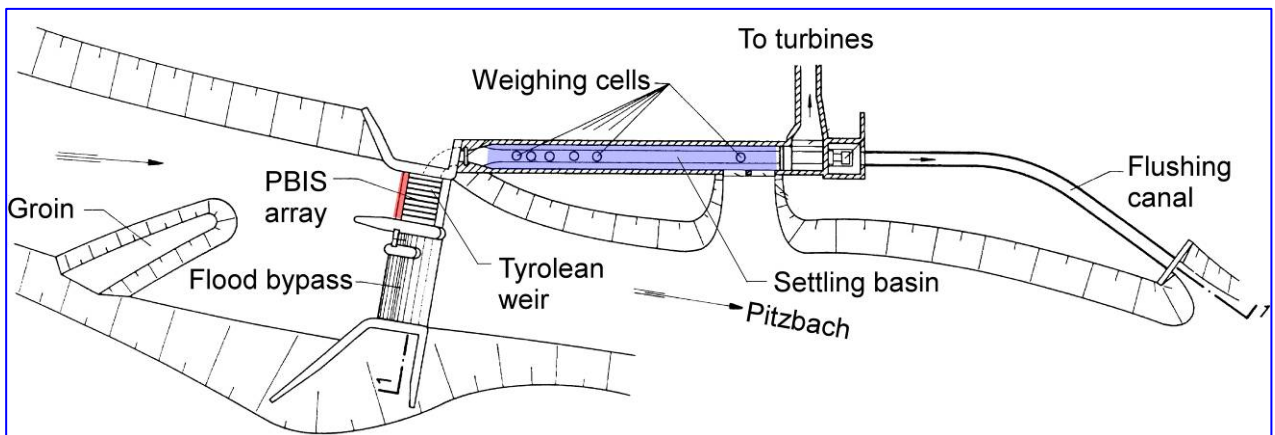


圖 16 Pitzbach 試驗站設施配置圖



圖 17 Pitzbach 試驗站現場狀況圖

#### BOKU 的 Vent-Rofenache 等 4 處試驗站：

Vent試驗站位於奧地利提絡省Rofenache河，設立於1999年，期間曾因經費不濟陸續停擺了2次，至2006年，方始設置較完善的推移載量測系統。2006年初，在奧地利東提絡(Carinthia/Eastern Tyrol)，於發源自阿爾卑斯山的礫石質河床的Drau河及其最重要支流Isel上，設置了相同原理的推移載量測系統。

此套系統以大約40公里的距離，分佈設置於3處代表性的試驗站。其中兩處(Drau河的Dellach試驗站及Isel河的Lienz試驗站)配置有地音探測器(geophone)、不同型式的推移載取樣器、自走式推移載取樣設備以及其他相關的水文量測設備，如懸移載取樣器、流速儀、水尺水位計等等，各項設施個別施測時均有其限制，但同時施測時即能截長補短，互補不足的部份。大部份資料均採自動化量測，透過遠端遙控裝置，即可由(水資源)局辦公室直接操作。第3處設於2002年設立的試驗站，位於Drau河上游的Falkensteiner Steg，同樣裝置有地音探測器及流速儀、水尺水位計等水文量測設備。

四處試驗站之位置圖如圖18，水系與集水區圖如圖19及圖20，基本資料如表11。

透過同時收集水文、地質、氣象及其他相關資料，如沉渣來源，沉渣疏濬等資料，可以詳細地觀察與分析於各試驗站的沉渣運移行為過程。

早先於試驗站採用自走式推移載取樣設備與固定式的推移載槽坑式取樣井。有關推移載起動及其運移率，以及運移相關行為過程，如橫斷面變異性、

運移週期或規律性等，皆納入作研究分析。

雖然本次參訪之試驗站為Vent- Rofenache試驗站，但所取得資料較完整者為Dellach/Drautal (River Drau)試驗站，因各站規劃原則類似，因此，於介紹Drautal試驗站時，再以其資料做有關設施規劃原則、推移載取樣設備佈置原則及成果分析方式作詳細說明。

表 11 試驗站基本資料表

Gauging Station River	Lienz Isel	Lienz Drau	Dellach Drau	Vent Rofenache
Gauging station number	212167	231092	213660	201350
River Kilometer (km)	0.90	226.70	202.34	0.20
River Catchment Area (km <sup>2</sup> )	Isel 1198.7	Drau 668.0	Drau 2131.0	Rofenache 98.1
Regime	perennial	perennial	perennial	glacial
Slope (m m <sup>-1</sup> )	0.0035	0.0025	0.0019	0.03
Bed Width (m)	40.0	17.0	50.0	6.0
Altitude (m NN) PNP	667.20	679.87	600.04	1891.01
MQ (m <sup>3</sup> /s)	38.7	13.5	69.2	4.49
HHQ (m <sup>3</sup> /s) / Date	720/03.09.1965	156/07.10.1998	325/30.06.2008	109/25.08.1987
NNQ (m <sup>3</sup> /s) / Date (dataset)	3.00/04.03.1963 1951 - 2006	1.5/23.12.1998 1991-2006	13.7/16.01.2007 2004 - 2008	0.09/21.03.1992 1971 - 2006

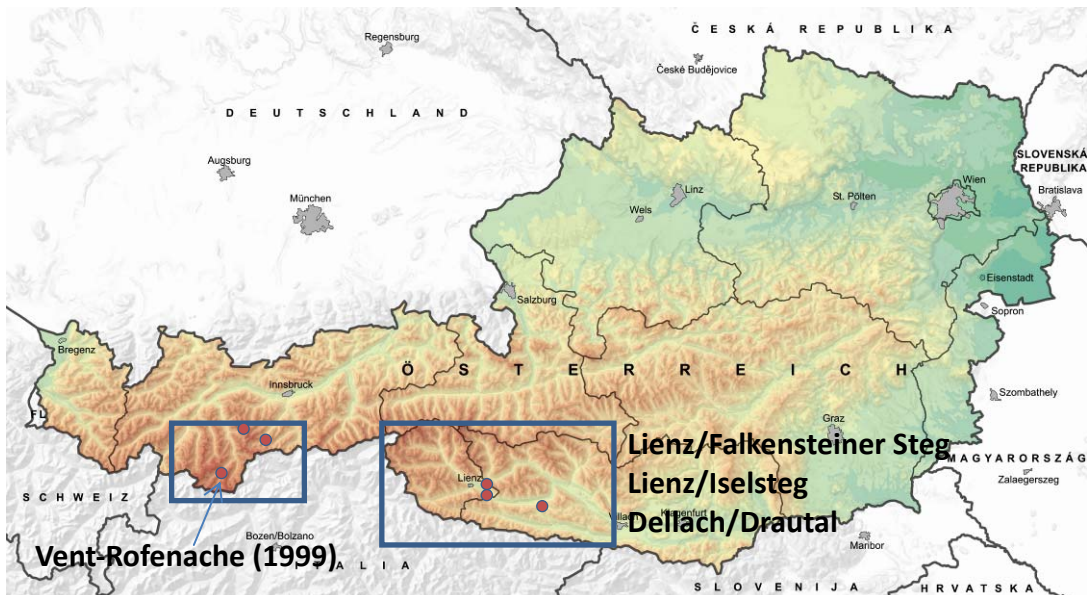


圖 18 試驗站位置圖

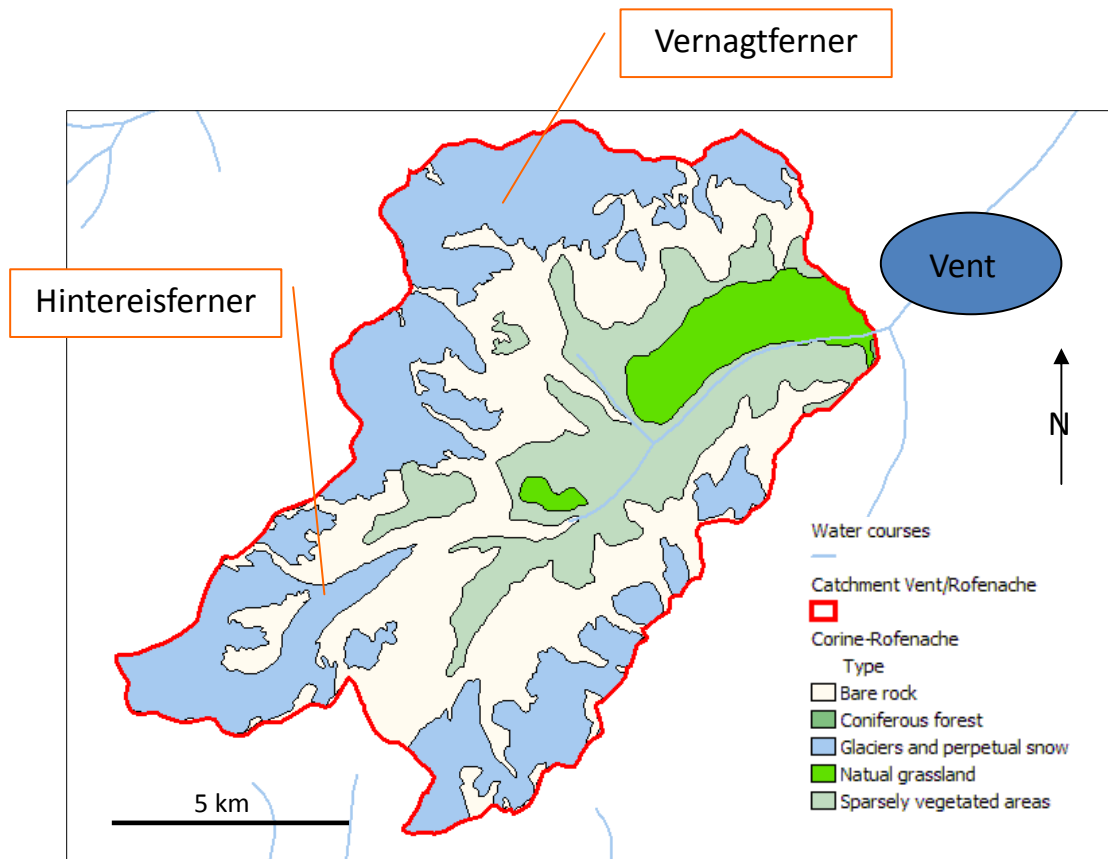


圖 19 Vent 試驗站水系及集水區圖

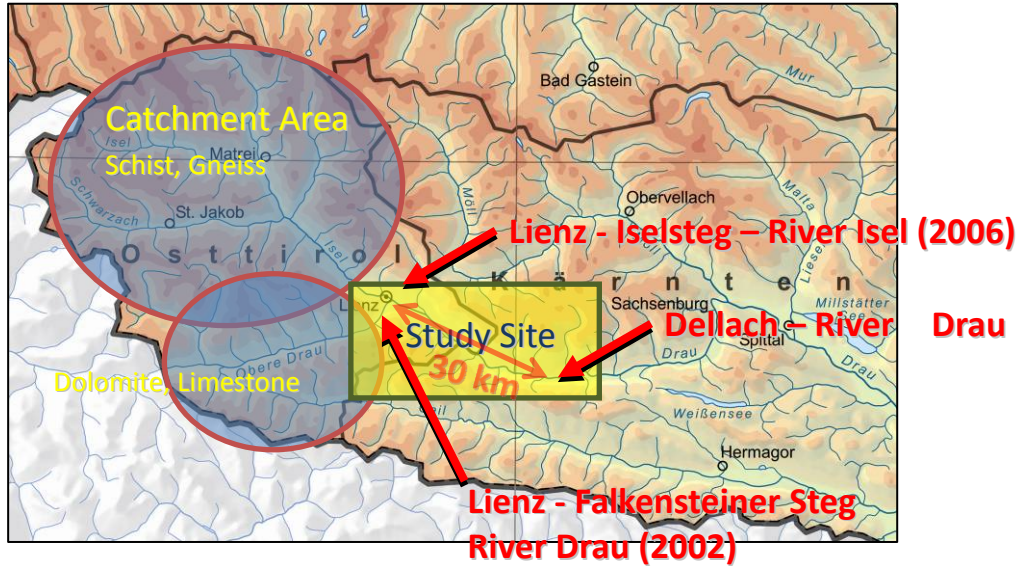


圖 20 Falkensteiner Steg、Iselsteg 及 Drautal 試驗站水系及集水區圖

## (1) Vent/Ötztal (Rofenache)試驗站

### A. 試驗站設備：

- (1) 12 geophones(地音探測器)
- (2) PXI data storage (new 2009)(工業型個人電腦及資料儲存設備)
- (3) Automatically time update(自動時間更新)
- (4) GSM, GPRS modem(無線通訊數據機及全球定位系統)
- (5) Remote Control(遠距遙控)
- (6) Mobile basket samplers (Vent Sampler)(可攜式籃式採樣器)
- (7) River gauging(水位、流量)
- (8) Suspended load measurements(懸移載量測，光學式)
- (9) Continuous flow velocity measurements(連續式流速量測，雷達波)
- (10) Water, air temperature measurements(氣溫、水溫計)
- (11) Ombrometer(雨量計)

### B. 試驗站設施佈置原則：如下圖21。

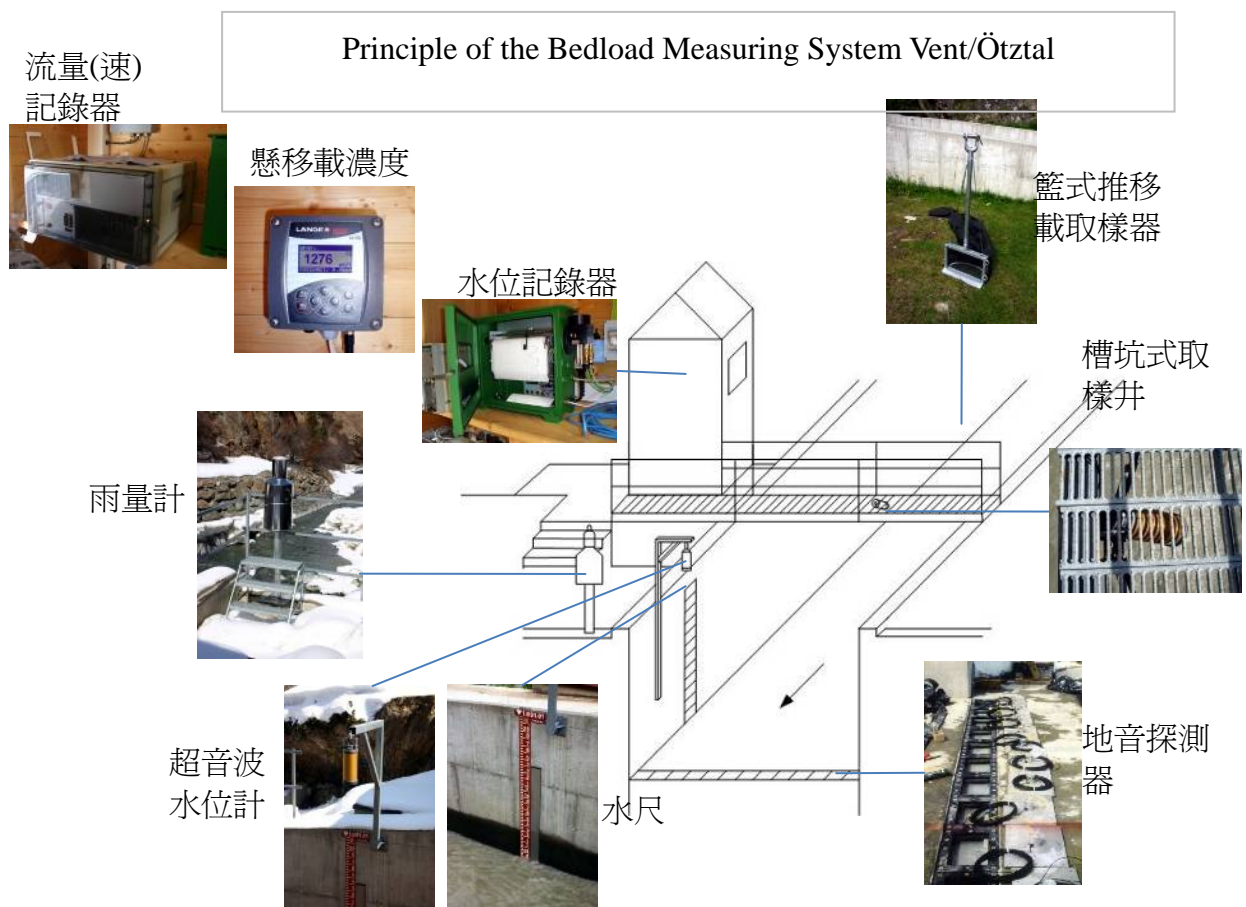


圖 21 Vent 試驗站推移載取樣系統配置原則

C. 試驗站現場狀況：

試驗站冬季枯水期及夏季豐水期現場狀況如圖22及圖23。



圖 22 試驗站冬季枯水期現場狀況



圖 23 試驗站夏季豐水期現場狀況

D. 試驗站現場施作情形：如下圖24至圖27。



圖 24 推移載取樣器(籃式)



圖 25 吊車施作推移載取樣現場狀況

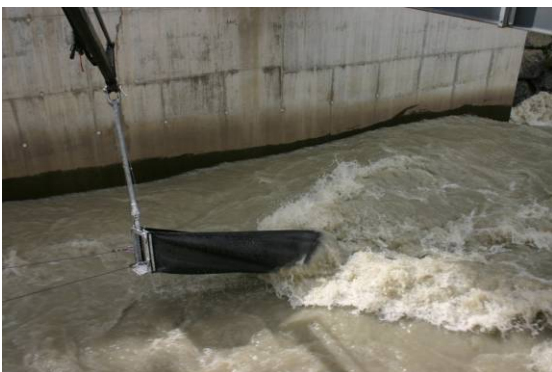


圖 26 推移載取樣作業情況



圖 27 自取樣器移出截取的推移載

## (2) Lienz/Falkensteiner Steg (River Drau)試驗站

### A. 試驗站設備

- (1) 16 geophones(地音探測器)
- (2) PXI data storage (new 2009) (工業型個人電腦及資料儲存設備)
- (3) GPRS modem(無線通訊數據機及全球定位系統)
- (4) Automatically time update (自動時間更新)
- (5) Remote Control(遠距遙控)
- (6) (Mobile basket samplers) (可攜式籃式採樣器)
- (7) River gauging(水位、流量)
- (8) Suspended load measurements(懸移載量測，光學式)
- (9) Water temperature measurement(水溫計)
- (10) Cable crane(纜線吊車)
- (11) Flow velocity spot measurements(連續式流速量測，雷達波)

### B. 試驗站現場狀況：如圖28。



圖 28 Lienz/Falkensteiner Steg 試驗站現場狀況

### (3) Lienz/Iselsteg (River Isel)試驗站

#### A. 試驗站設備

- (1) 32 geophones(地音探測器)
- (2) PXI data storage(工業型個人電腦及資料儲存設備)
- (3) GPRS modem(無線通訊數據機及全球定位系統)
- (4) Automatically time update (自動時間更新)
- (5) Remote Control(遠距遙控)
- (6) TIWAG bedload sampler(TIWAG推移載取樣器)
- (7) River gauging(水位、流量)
- (8) Suspended load measurements(懸移載量測，光學式)
- (9) Water temperature measurement(水溫計)
- (10) Cable crane(纜線吊車)
- (11) Flow velocity spot measurements(流速計，雷達波)

#### B. 試驗站現場及作業情形：如圖29至32。



圖 29 Lienz/Iselsteg 試驗站現場狀況



圖 30 TIWAG 推移載取樣器吊放作業



圖 31 TIWAG 推移載取樣器



圖 32 TIWAG 推移載取樣器內部情形



### (3) Dellach/Drautal (River Drau)試驗站

#### A. 試驗站設備

- (1) 40 geophones(地音探測器)
- (2) PXI data storage(工業型個人電腦及資料儲存設備)
- (3) GPRS modem(無線通訊數據機及全球定位系統)
- (4) Automatically time update (自動時間更新)
- (5) Remote Control(遠距遙控)
- (6) 3 Pit bedload traps(槽坑式取樣井)
- (7) Mobile basket samplers (LHSS) (可攜式籃式採樣器)
- (8) River gauging(水位、流量)
- (9) Suspended load measurements(懸移載量測，光學式)
- (10) ISCO Sampler(ISCO水體採樣器)
- (11) Continuous flow velocity measurements(流速計，雷達波)
- (12) Water temperature measurement(水溫計)

#### B. 試驗站現場及作業情形：如圖33至圖42。



圖 33 Lienz/Iselsteg 試驗站現場狀況



圖 34 Lienz/Iselsteg 試驗站水文站



圖 35

自走式 LHSS 推移載取樣器



圖 36

LHSS 推移載取樣器作業情形



圖 37 推移載補捉槽坑



圖 38 推移載取樣器

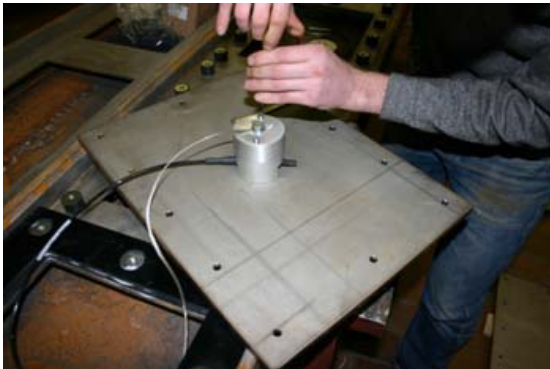


圖 39 Geophone 安裝情形



圖 40 感應鋼板安裝情形



圖 41 推移載篩分析設備



圖 42 推移載篩分析現場作業

### C. 試驗站設施規劃原則及現場佈置

雖然本次參訪之試驗站為Vent-Rofenache試驗站，但所取得資料較完整者為Dellach/Drautal (River Drau)試驗站，依據參訪單位表示，各站規劃原則類似，因此，以Drautal試驗站之資料做說明，試驗站所在河道橫斷面圖如圖43。

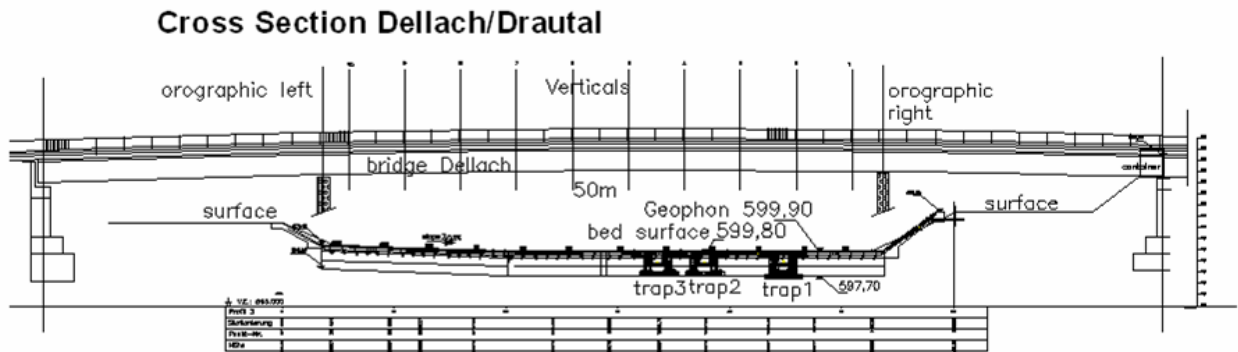


圖 43 Drautal 試驗站所在河道橫斷面圖

Drautal試驗站設站時，即以整合型推移載量測系統為規劃目標，施作時，以鋼板樁保護，於整個河道斷面設置2公尺埋深、混凝土保護層厚度1公尺的巨積塊體，其上鑲嵌寬50公分、長36公分的地音探測器觸發鋼板，為避免其上淤積，鋼板略為傾向河床。於此塊體下游側，則設置有槽坑式取樣井。地音探測器的間距於深槽處約1公尺，於淺灘處約2公尺，於Drautal試驗站全部共設置40個防水的地音探測器。地音探測器的訊號係透過讀取卡連接至工業型個人電腦。地音探測器的音頻為2000Hz，每當石塊碰撞鋼板，隨即產生一脈衝訊號，透過轉換器將訊號轉換後，再由以LabView©程式語言撰寫的資料收集與展示應用軟體來控制取樣過程。於2006年採0.1V為門檻將濾除雜訊以校核資訊，所有撞擊資料均收集並加以記錄。每分鐘撞擊數、每分鐘最大振幅以及持續累加數，為主要採集紀錄。此系統可讓使用者透過螢幕監控撞擊訊號，同時可透過GSM數據機進行遠端遙控與操作，透過SMS設備可由備用電池供電24小時，以避免停電或渡過洪水事件。其他量測資料，如水位等，亦可透過GSM數據機進行傳遞。為了比對及校正地音探測器撞擊訊號，另設置不同類型的推移載取樣器，如LHSS、固定式槽坑式取樣井等。設施規劃原則如圖44，取樣設備佈置圖如圖45。

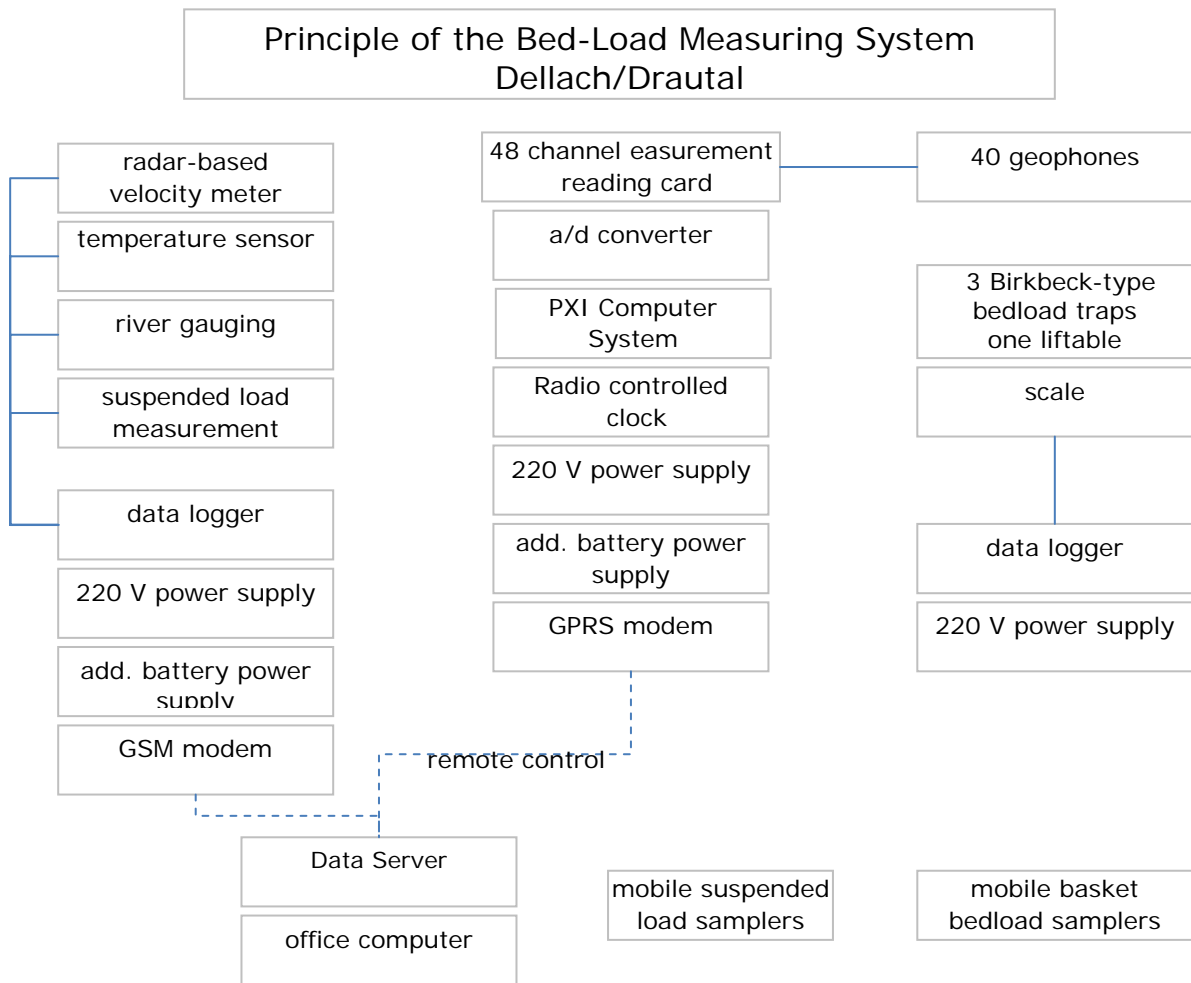


圖 44 Dellach/Drautal 試驗站設施規劃原則圖

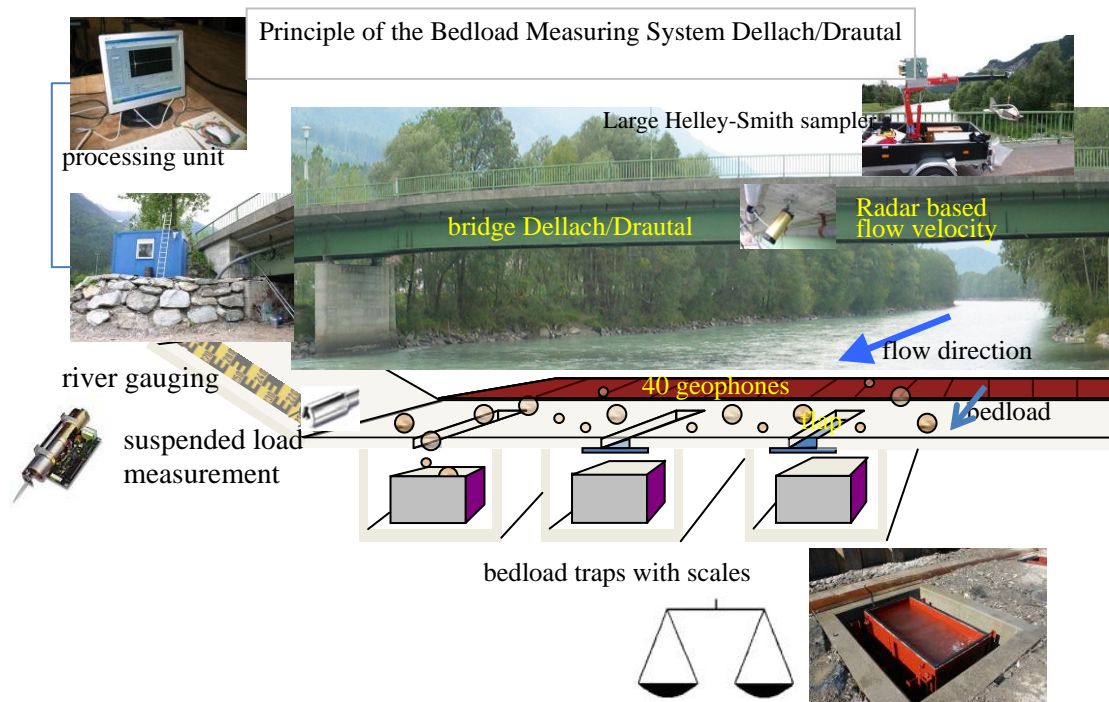


圖 45 Dellach/Drautal 試驗站量測設備佈置圖

#### D. 試驗成果及說明

由推移載取樣器(LHSS及槽溝式取樣井)取得之樣本，經粒徑分析後得各項特徵參數如表12所示。再將所得之推移載重量(或體積)與流量結合，迴歸分析得推移量與流量之關係曲線，如圖46。將不同取樣器所得實際粒徑分佈，加上經由依照地音探測器所測得撞擊數量、速率、能量等所推估粒徑分佈，如圖47至圖49，即可完整描述試驗站所在之推移載。

表12 Drau河Dellach試驗站粒徑分析特徵參數表

單位：mm

參數 \ 位置	Subsurface	Surface	Bedload
d10	1.6	2.9	2.3
d50	27.9	65.7	13.2
d90	95.3	113.2	56.8
dm	38.7	61.8	22.2

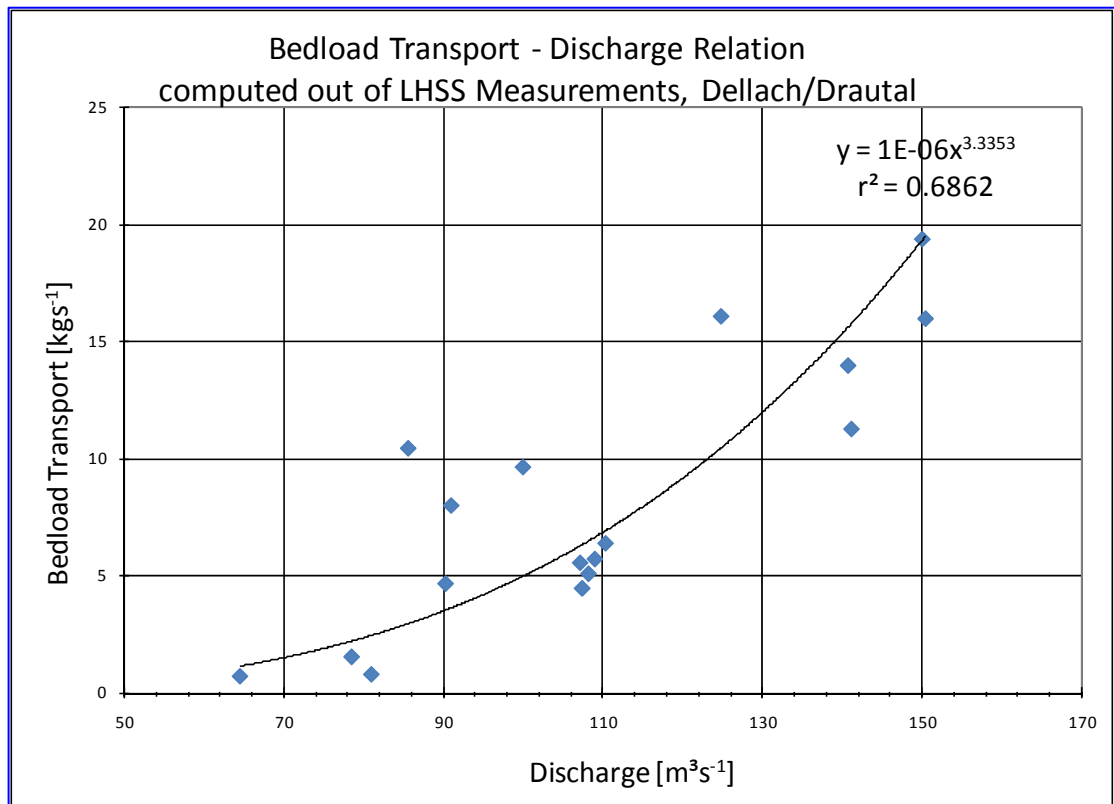


圖 46 LHSS 取樣器之取樣重量與流量之關係曲線圖

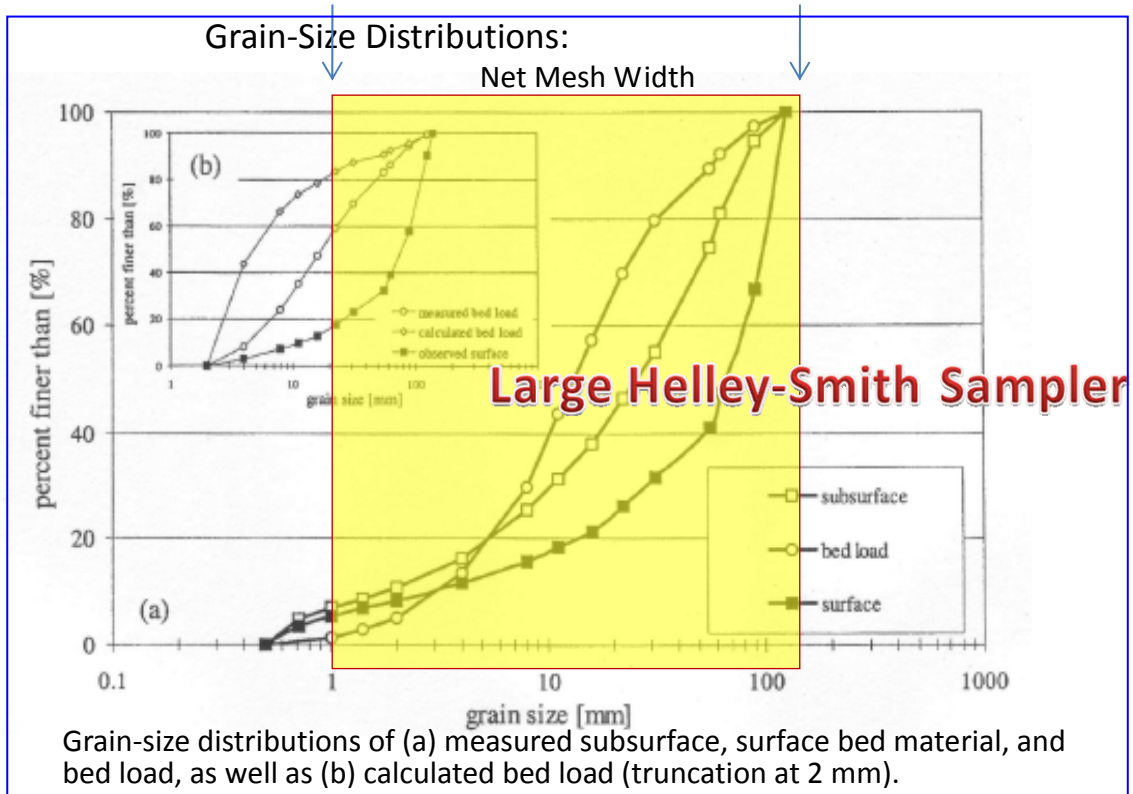


圖 47 LHHS 取樣器之取樣粒徑範圍圖

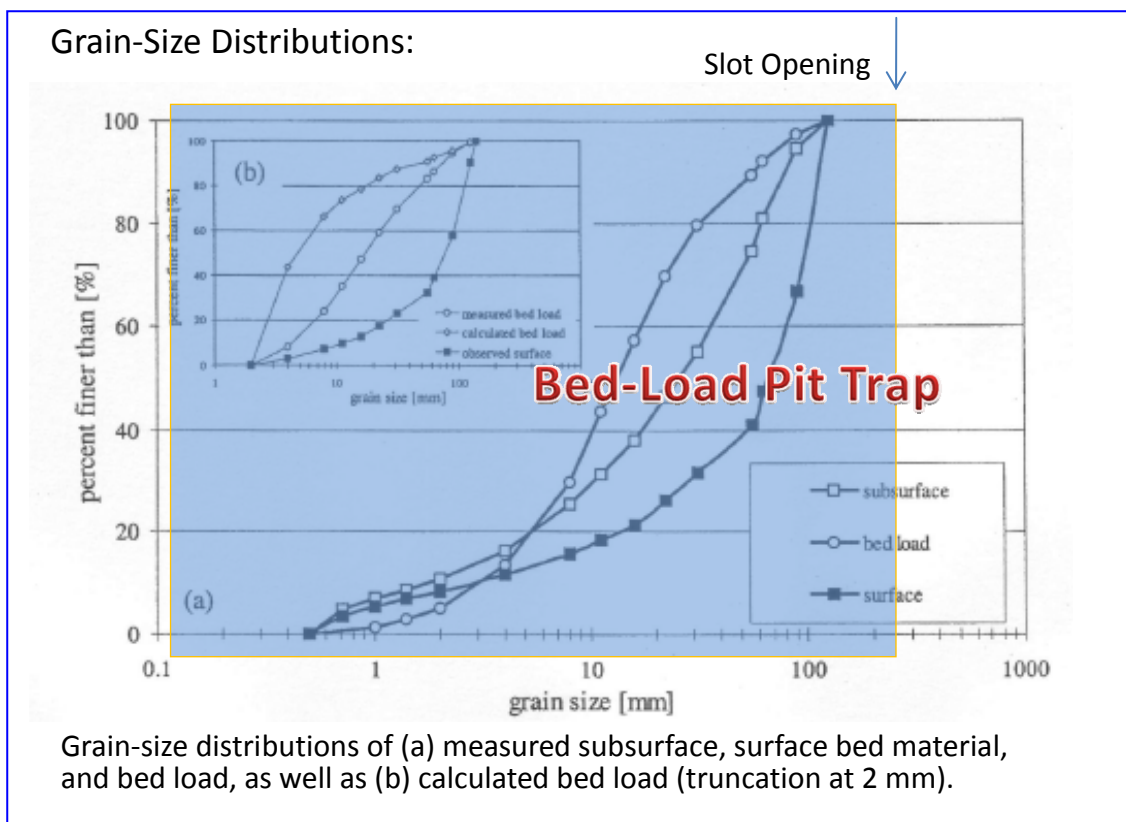


圖 48 槽坑式取樣井之取樣粒徑範圍圖

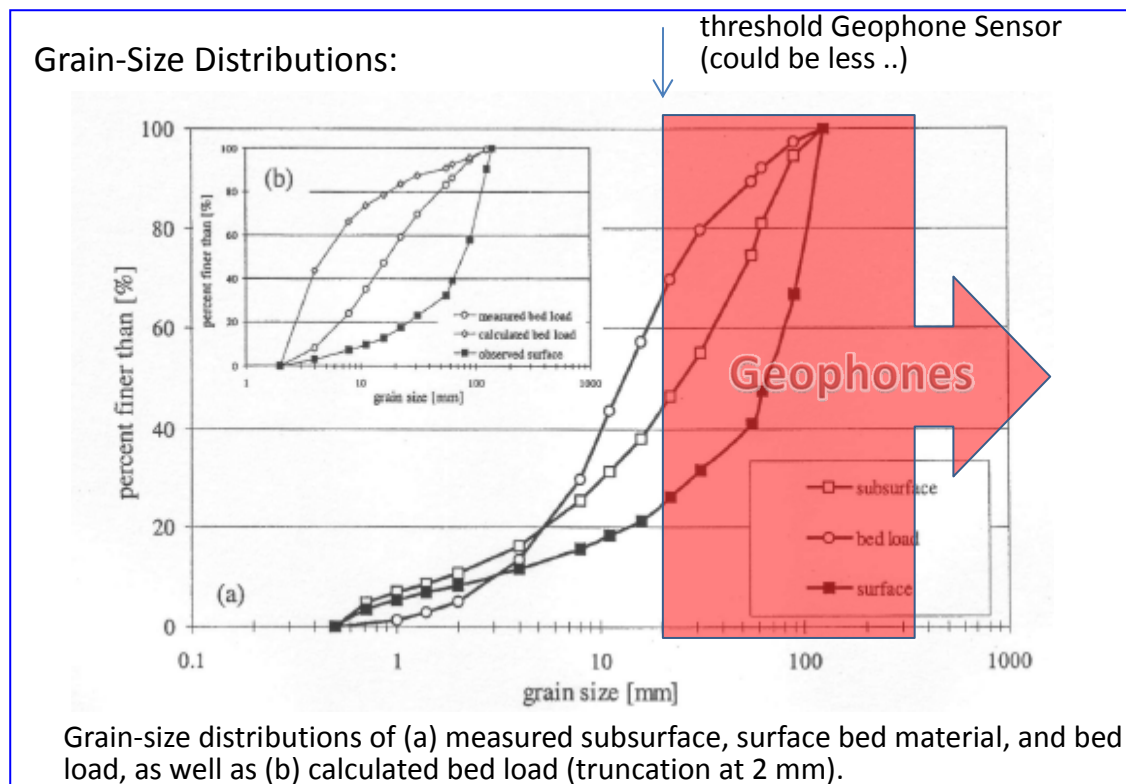


圖 49 地音探測器推估之粒徑範圍圖

經記錄個別地音探測器接收撞擊數與時間及於空間分佈之資料後，統計分析彼此之關係，如個別地音探測器接收撞擊數與時間關係圖，如圖50。

地音探測器接收撞擊數於河道橫斷面之分佈，如圖51。

全部(40個)地音探測器接收撞擊數與時間、橫向空間關係，如圖52。

再與河川流量紀錄結合分析，得地音探測器接收撞擊數及流量與時間之關係，如圖53。

接著得地音探測器接收撞擊數與流量之關係，如圖54。由圖54亦可推估推移載之起動流量(速)。

同時結合推移載累積重量與地音探測器接收之撞擊數，如圖55所示，依此關係可據以推估撞擊與推移量間之關係。

最後結合推移載重量與地音探測器接收之撞擊數之關係、流量與地音探測器接收之撞擊數之關係，推導出推移載重量與流量之關係，如圖56所示。

表13所示資料，即為利用此整合性推移載量測系統推估之河川推移載運移量。

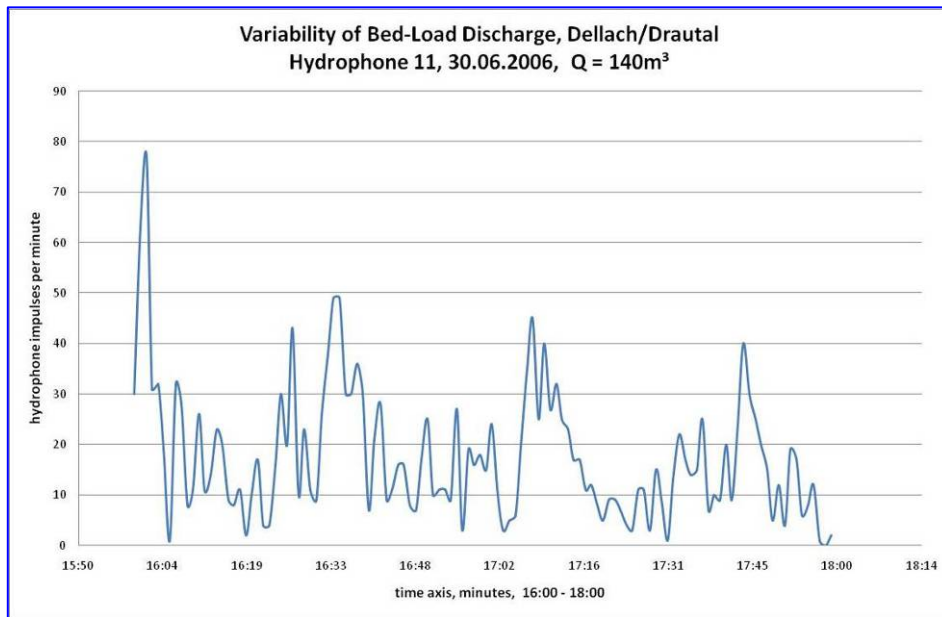


圖 50 編號 11 地音探測器接收撞擊數與時間關係圖

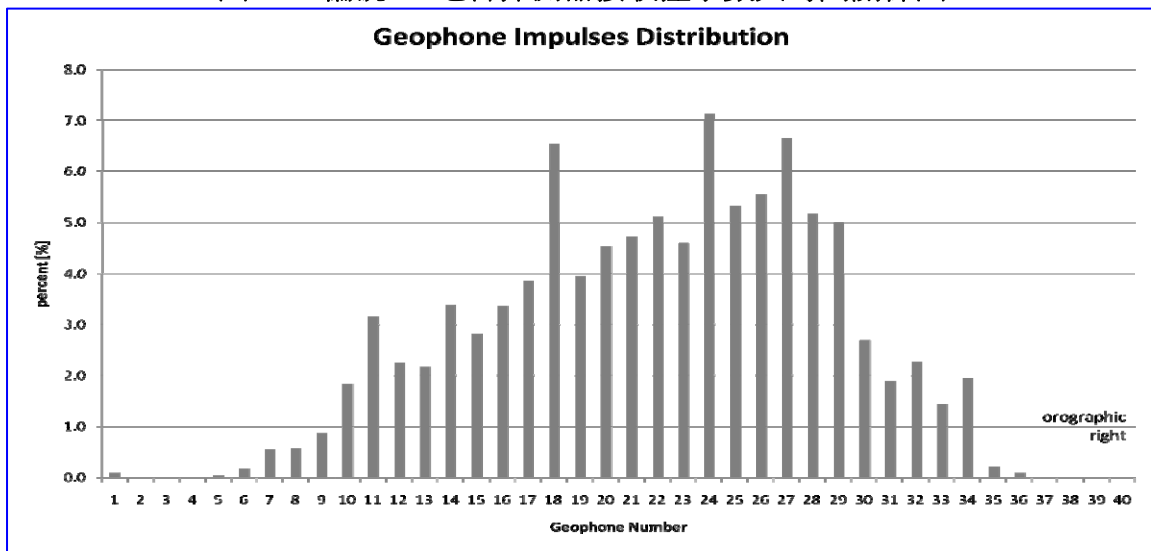


圖 51 地音探測器接收撞擊數於河道橫斷面之分佈圖

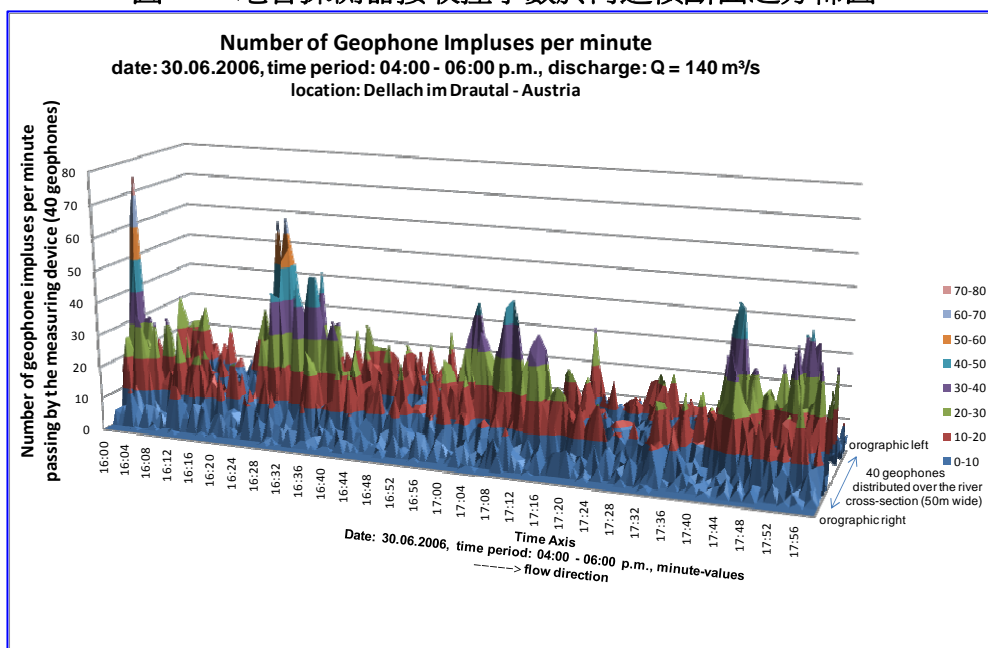


圖 52 全部(40 個)地音探測器接收撞擊數與時間、橫向空間關係圖



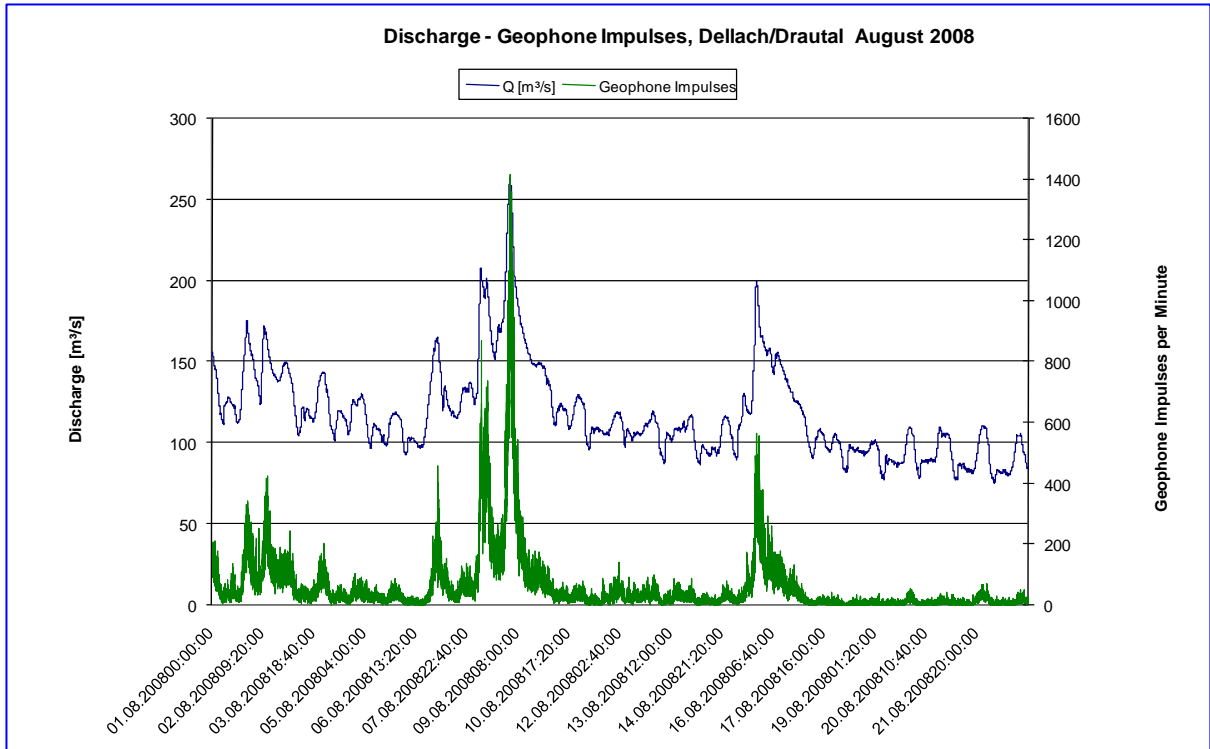


圖 53 地音探測器接收撞擊數、流量與時間關係圖

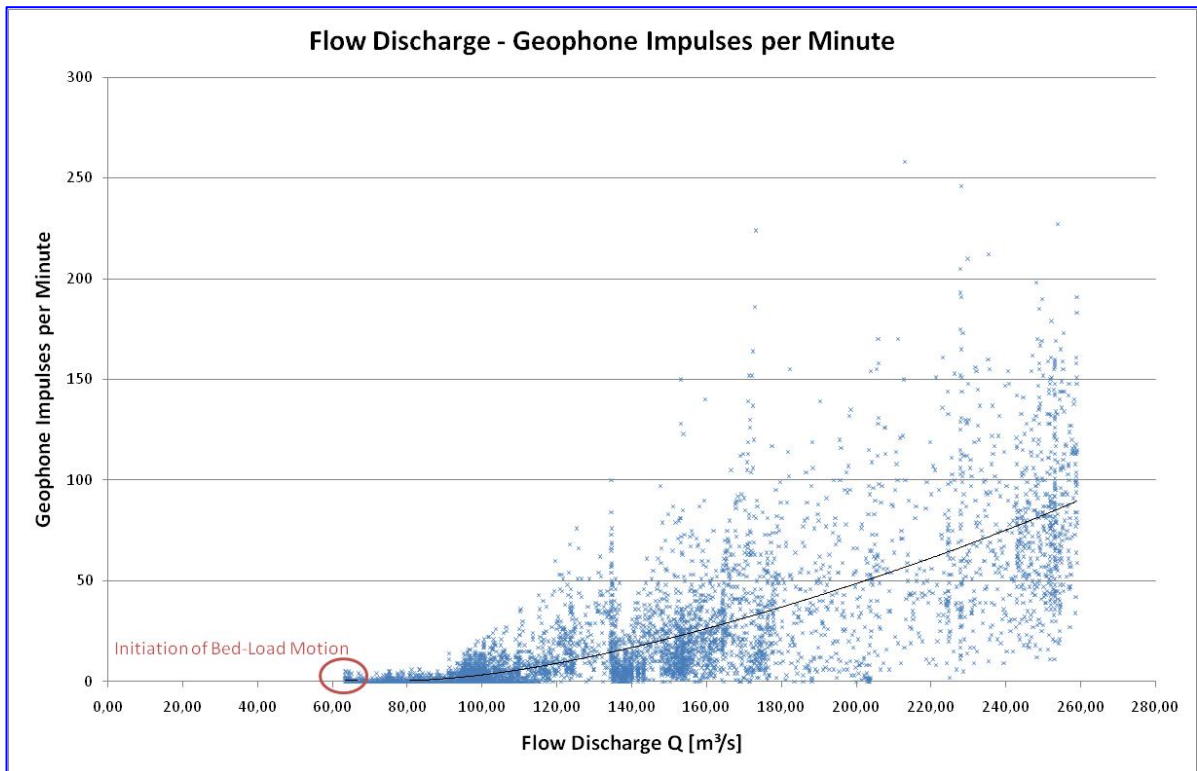


圖 54 地音探測器接收撞擊數與流量關係圖

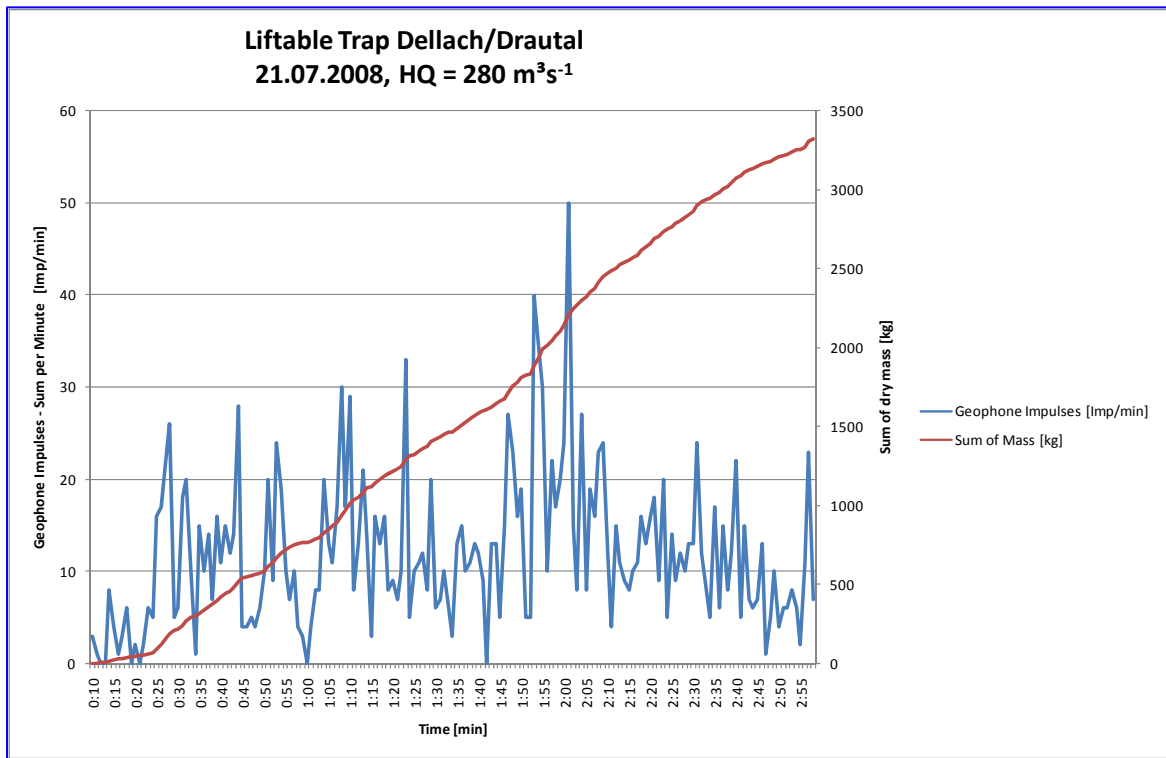


圖 55 推移載累積重量與地音探測器接收撞擊數關係圖

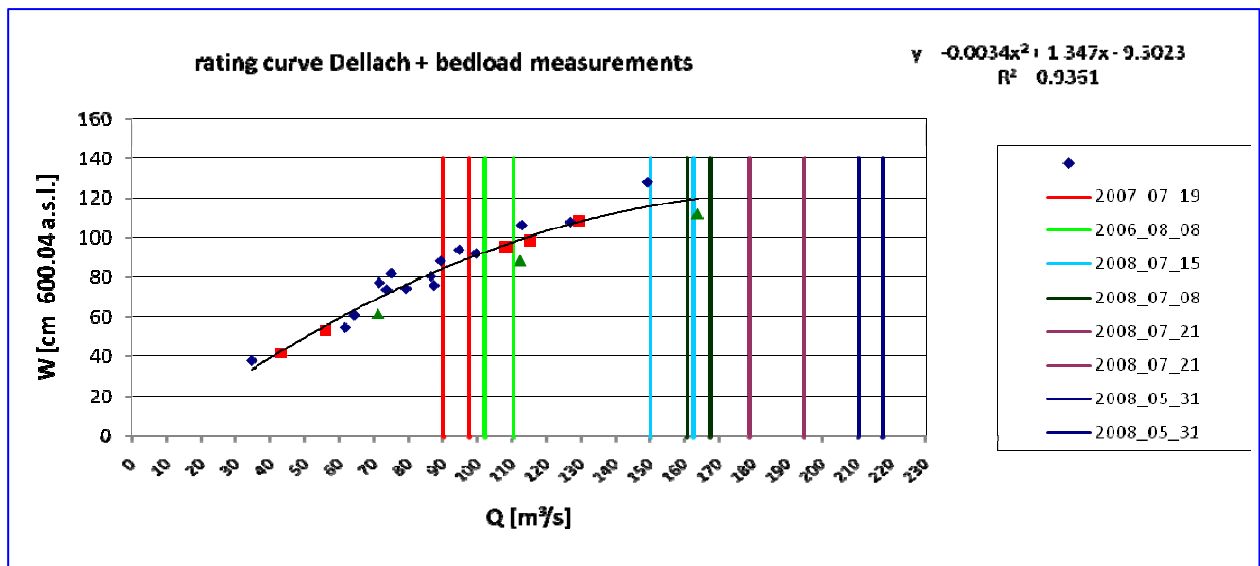


圖 56 地音探測器接收撞擊數與流量之關係圖

表 13 流量、地音探測器接收撞擊數及推移載推估量

項目	站名			
	年份	Lienz-Drau	Lienz-Isel	Dellach-Drau
Water Yield [hm³]	2007	324,284.72	1,114,327.67	1,632,862.61
Geophone Impulses [Imp]		3,125,531	3,322,795	6,149,968
Bedload Yield [t]		ca. 30,000	20,737	54,018
Water Yield [hm³]	2008	410,366.96	1,408,996.43	2,306,576.61
Geophone Impulses [Imp]		22,298,105	11,946,182	29,937,660
Bedload Yield [t]		ca. 130,000	63,839	203,611

#### **E. 有關地音探測器試驗之評估**

- a. 有效的且具潛力的長期自動化觀測探測設備
- b. 可完全自動化
- c. 具時間與空間高解析度
- d. 可測得起始運動
- e. 試驗站與實驗室間仍須進行校核
- f. 目前單一試驗站之設置費用高昂
- g. 試驗站屬固定式設備，不具機動性

#### **F. 有關整合型推移載運移自動化監測系統之評估**

- a. 經由試驗成果，可獲得特定推移載量測設備間的對照比較
- b. 於 Drau 河 Isel 試驗站採用整合型推移載運移自動化監測系統獲致良好成果
- c. 由試驗成果瞭解，基本上，目前無單一設備可滿足所有需求
- d. 整合型推移載運移自動化監測系統，可針對需要之參數進行量測，目前均可獲得滿意之成果

#### **G. 有關整合型推移載運移自動化監測系統之展望**

- a. 有關設備校核技術開發及持續觀察，如適合各不同粒徑區間的槽坑式取樣井、LHSS、TIWAG 取樣器、Vent 取樣器等，重點在於資料間斷區(data gaps)的補強推估及符合其他目標的技術。
- b. 已設置的試驗站，可提供開發新式取樣器或取樣技術。
- c. 補充設置額外、全新採樣技術之設備，如聲納(Sonar)，水聽器(Hydrophones)，示蹤劑(Tracer)，影像處理(Video)。等等，強化整合性功能。
- d. 於學理上及資料分析上，強化資料分析理論與驗證技術
- e. 經費許可下，期望增設試驗站以掌握上下游空間變異因子，及檢驗上下河川特性
- f. 積極撰寫學術論文及技術性報告，以便相關監測資訊的公開與分享

## 肆、結論與建議

1. 因奧地利並無供作民生公共用水或農業用水之水庫，大型水庫主要用途皆為水力發電，水庫防淤策略以水力排砂為主，並無高含砂濃度懸移載監測與量測之需求，對於懸移載運移監測與量測課題範疇之研擬或探討尚有發展空間。因此，無從獲得與本國水庫或河川對應有效之高濃度懸移載量測或監測應用方案，但奧國於水文站設置之人性化及其功能之多重應用，令人印象深刻。
2. 依參訪單位提供之資料瞭解，相關推移載調查是必須且其規定具有法律位階，國家已立法要求有關推移載的調查，此點可提供我國借鏡。
3. 目前奧地利於推移載之量測研究，著重於現場試驗資料之收集分析以率定推移載與河川流量間的關係，聯邦政府投入相當多經費予研究單位設立現地試驗站，經由瞭解目前無單一設備可滿足所有量測需求，因此採用整合型推移載運移自動化監測系統，針對需要之參數進行量測，目前均可獲得滿意之成果。
4. 對自然河川而言，河道冲刷或淤積、洪泛或改道屬正常的總能量調整行為，但對侷限性的人工河道或水工構造物而言，沉渣淤積將減少水庫庫容並影響水質及河防安全，泥砂含量調查分析應經常性辦理，以供防治及研究參考。
5. 根據懸移載及流量資料，可建立類似水位-流量率定曲線的流量與懸移載率定曲線，此率定曲線建立後，即可經由觀測之流量紀錄估計懸移載輸砂量。
6. 懸移載屬於非點源物質，其濃度除了與流量的關係具高度變異性外，與時間的關係亦具有高度變異性。含砂濃度與河川流量相對關係變異性大，因此連續觀測河川泥砂濃度之技術相當重要。
7. 現有商業化懸移載量測儀器，其量測值易受懸移載粒徑的影響，且（或）其量測範圍太小，無法滿足國內河川與水庫之泥砂粒徑隨時間變化大且濃度變化範圍大的環境。目前，無單一種儀器可滿足所有量測需求，建議可考慮參考奧國作法，採取整合型自動化監測系統，針對需要之參數進行量測，或可獲得滿意之成果。
8. 就體制層面而言，在台灣上中下游涉及水的單位眾多，從上游至下游有農委會林務局、農委會水保局、內政部營建署、環保署、經濟部水利署、農田水利會、自來水事業處、自來水公司及各縣市政府等等，事權不統一又無一協調仲裁主管；反觀奧地利由聯邦農林環境及水利經管部的部會名稱及其組織架構即可瞭解，在奧地利，

有關於水的事權是統一的，由源頭、上游、中游，全由同一部長指揮，不論是開發、應用、保育、防災、救災、復原、重建，採整體一致之管理方式，此點實足效法。尤其是回國後正好遇上莫拉克風災，眼見上中下游各單位無縱向聯繫，錯失資訊分享及整體動員時機，更令人感慨，筆者於民國94年赴日研習的報告中亦曾提及：「在台灣上中下游涉及水的單位眾多，事權不統一又無一協調仲裁主管；反觀日本，上中下游之主管單位一致，採整體一致之管理方式，此點實足效法。」，倏忽4年，因赴奧研習得聞奧國相關體制亦屬整合一致之管理方式，再提此項建議，實甚悵然！

## 伍、參考文獻

1. 奧地利投資環境簡介，(2008)，經濟部投資業務處
2. 奧地利聯邦農林環境及水利經管部網站（Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment, and Water Management, BMLFUW）網址[www.lebensministerium.at](http://www.lebensministerium.at)
3. Austrian Service for Torrent and Avalanche Control , (2007), Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment, and Water Management
4. Bedload Retention Basin Vorderbergerbach Austria – Physical Scale Model Study , (2007), R. Kaitna, J. Z.-Jugovic, M. Kerschbaumer, J. Kapeller, F. Zott, M. Chiari, J. Huebl, Institute of Mountain Risk Engineering, University of Natural Resources and Applied Life Sciences
5. Modelling bedload transport at steep slopes, (2009), Michael Chiari and Dieter Rickenmann
6. Bedload-transport measurements using piezoelectric impact sensors and geophones, (2007), Dieter Rickenmann , Bruno Fritschi, WSL - Swiss Federal Research Institute, Mountain Hydrology and Torrents, Birmensdorf, Switzerland
7. Innovative Bedload Measurement System for Alpine Gravel-bed Rivers and Mountain Torrents, (2009), Hugo Seitz, BOKU, Department of Water, Atmosphere and Environment
8. Bed-load Measuring System for large Alpine Gravel Bed Rivers in Dellach/Drautal, (2008), H. Seitz, H. M. Habersack, Institute for Water Management, Hydrology and Hydraulic

Engineering, Universitaet fuer Bodenkultur

9. 921地震後濁水溪下游輸砂關係之試驗研究（2/2），(2007)，經濟部水利署水利規劃試驗所
10. 石門水庫水砂運移監測與異重流模式開發及應用研究(1/2)，(2008)，經濟部水利署水利規劃試驗所
11. Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment,(1979), USGS
12. Manual Sediment Transport Measurements in Rivers, Estauries and Coastal Seas, (2007), L.C. van Rijn ,Delft Hydraulics and University of Utrecht, The Netherlands, issued by Rijkswaterstaat (Public Works Department in The Netherlands) and Aqua Publications.
13. Manual on Sediment Management and Mearsurement, World Meteorological Organization Operational Hydrology Report No. 47, (2008), Yang Xiaoqing,
14. Wren, D.G., Barkdoll, B. D., Kuhnle, R. A., and Derrow, R. W., (2000) "Field techniques for suspended-sediment measurement." J. Hydr. Engng., ASCE , 126(2): 97-104.
15. Van Rijn, L.C., (1984). Sediment Transport, Part II: Suspended Load Transport. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, No. 11.
16. Hubbell, D.W., (1964), Apparatus and techniques for measuring bedload: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1748.74 p.