

出國報告（出國類別：開會、考察）

## 出席第 31 屆臺美水資源技術合作年會

服務機關：經濟部水利署

姓名職稱：賴建信署長、林惠芬簡任研究員、楊松岳  
科長、童正安副工程司

派赴國家：美國

出國期間：中華民國 107 年 11 月 12 日至 11 月 18 日

報告日期：中華民國 108 年 1 月



# 目錄

## 目錄 I

<b>一、目的與行程</b>	<b>1</b>
1-1 目的 .....	1
1-2 行程 .....	3
1-3 成員 .....	4
<b>二、合作研商會議</b>	<b>5</b>
2-1 與美國墾務局合作研商會議紀要 .....	5
2-2 與美國工兵團合作研商會議紀要 .....	16
<b>三、參訪行程紀要</b>	<b>25</b>
3-1 參訪 DC Water.....	25
3-2 參訪聯邦公路管理局(FHWA)實驗室 .....	28
3-3 參訪 NASA-哥達德太空飛行中心 .....	39
3-4 其他參訪心得 .....	45
<b>四、結論與建議</b>	<b>49</b>
4-1 合作研商會議結論摘述 .....	49
4-2 參訪行程 .....	51
<b>附錄-墾務局報導</b>	<b>53</b>



## 一、 目的與行程

### 1-1 目的

#### (一)參加第 31 屆臺美水資源技術合作年會並與墾務局洽談合作內容

台美合作最早可以追溯到 1956 年，石門水庫建設時開啓雙方合作契機。我國自 1987 年由北美事務協調會(代表臺灣省水利局)與美國在臺協會(代表美國內政部墾務局，US Bureau of Reclamation，USBR)簽署「臺美水資源發展技術支援協議」，開啓雙方政府水利部門交流合作，迄今已 31 年。配合我國水資源發展進程，該協議名稱修改為「臺美水資源發展技術支援協議」。經濟部水利署(以下簡稱本署)與美國墾務局合作偏重水庫管理、大壩安全、河川泥砂運移等技術面向。依據該協議，每年由臺美輪流舉辦年會，今年由美方主辦。本次出國目的為出席年會檢討 2018 年臺美合作計畫之執行成果及研商 2019 年技術合作工作項目及未來長期合作項目。

#### (二) 拜會美國工兵團洽談合作

除美國墾務局外，本署與美國工兵團(US Army Corps of Engineers，USACE)自 105 年開始以辦理技術工作坊之方式交流合作。工兵團是美國主要水利機構，肩負美國境內重要水庫、防洪、航道疏浚、水資源環境及生態保育等水利相關業務，其規模龐大並於夏威夷設有亞太分部。本署與工兵團目前在經濟分析、防洪減災等管理面向，為強化雙方合作關係洽簽合作協議中。本次前往工兵團係為拜訪美方高階官員洽談長期合作項目，並討論 MOU 簽署進度。

### (三)拜會及考察行程

除與前述 2 水利單位洽談合作事宜，另亦安排參訪以下單位，  
考察美國高階技術於水利工程之應用：

1. DC Water 華盛頓特區水公司:了解該公司目前正在進行的下水道改善計畫。
2. 聯邦公路管理局 (Federal Highway Administration, FHWA) :FHWA 轄下之特納－費爾班克(Turner-Fairbank)研究實驗室以了解美國公路管理局最新物理模型試驗及相關觀測技術，並洽談未來透過與墾務局合作平台共同合作的可能性。
3. NASA 之戈達德太空飛行中心(Goddard Space Flight Center):了解美國透過衛星影像應用在全球氣候變遷情形。

## 1-2 行程

簡要行程內容如表 1。

表 1 主要行程簡表

1	11/12(一)	啟程：臺北 TPE→華盛頓 DC	華盛頓 DC
2	11/13(二)	會議:與工兵團洽談簽署 MOU 及合作事宜 參訪 DC Water 及周邊水利設施	
3	11/14(三)	參訪聯邦公路管理局(FHWA)實驗室 (Turner-Fairbank Highway Research Center)	
4	11/15(四)	參訪 NASA(Goddard Space Flight Center)	
5	11/16(五)	會議:第 31 屆臺美水資源技術合作年會 年會晚宴	
6	11/17(六)	回程：華盛頓 DC→臺北 TPE	臺北
7	11/18(日)		

### 1-3 成員

本次代表團由水利署賴建信署長率團，成員包括水利署林惠芬簡任研究員、楊松岳科長及第四河川局童正安副工程司共 4 位。另駐美國臺北經濟文化代表處(Taipei Economic and Cultural Representative Office, TECRO)王鎮宇秘書亦參與本次與墾務局及工兵團研商會議。



## 二、 合作研商會議

### 2-1 與美國墾務局合作研商會議紀要

#### (一) 背景說明

台美合作最早可以追溯到 1956 年，石門水庫建設時開啓雙方合作契機。我國自 1987 年由北美事務協調會(代表臺灣省水利局)與美國在臺協會(代表美國內政部墾務局)簽署「臺美水資源發展技術支援協議」，開啟雙方政府水利部門交流合作，迄今已 31 年。

配合我國水資源發展進程，該協議名稱修改為「臺美水資源發展技術支援協議」。目前在此協議下僅第 6 號附錄(約期跟著主約)及第 8 號附錄(約期至 2022 年)仍於有效執行期限內。其中第 6 號附錄工作內容為墾務局專家來臺協助水資源開發計畫技術評論與諮詢;第 8 號附錄為發展適於臺灣河道沖淤數值模式及流域土砂管理技術等服務。

2015 年 11 月，第 28 屆年會於美國丹佛市舉行，由前經濟部次長楊偉甫(時兼任水利署署長)率團，雙方並同意第 29 屆年會以書面交換方式進行，第 30 屆年會於臺灣擴大辦理，以慶祝水利署與墾務局長期之合作關係。

2017 年第 30 屆年會在臺灣舉行，由美國墾務局副局長 David Palumbo 率技術服務中心組長 Tim Randle、資深國際事務官 Angela Medina、聯絡官 Yong Lai 及退休美方官員等人來台與會。本次第 31 屆年會美方首度移師墾務局位於華盛頓特區之總部舉辦，原規劃由新上任局長 Brenda Burman 主持，惟當時美國加州森林大火局長須於現場指揮，改由副局長 David Palumbo 主持。

(二) 第 31 屆年會議程

**AGENDA**  
**31<sup>st</sup> ANNUAL MEETING**

- 10:00 Introductions and Opening Remarks  
Mr. David Palumbo, Deputy Commissioner – Operations  
Dr. Chien-Hsin Lai, Director-General of WRA
- 10:30 Report on the 2018 Appendix 8 Work – Yong Lai / Blair Greimann
- 10:50 Feedback on the 2018 Appendix 8 Work - Song-Yue Yang
- 11:10 Discussion on the 2018 Appendix 8 Work  
Moderator: Jeff Morris, Director, Native American and International Affairs
- 11:30 Lunch in Cafeteria (pay separately)
- 12:30 Report on the 2018 Appendix 6 Work – Steve Dominic / Jack Gagliardi
- 12:50 Feedback on the 2018 Appendix 6 Work – Cheng-An Tung
- 13:10 Discussion on the 2018 Appendix 6 Work  
Moderator: Director, Native American and International Affairs
- 13:30 Discussion of 2019 Work Items  
Appendix 6 and Appendix 8 Agreements - Hui-Fen Lin
- 14:00 Summary Remarks  
Mr. David Palumbo, Deputy Commissioner – Operations  
Dr. Chien-Hsin Lai, Director-General of Water Resources Agency

### (三)年會紀要

1. 時間: 2018 年 11 月 16 日上午 10 點
2. 地點: 美國內政部大樓
3. 與會者:
  - 主持人:  
美國墾務局 David Palumbo, Deputy  
Commissioner- Operations
  - 臺灣經濟部水利署賴建信署長
  - 臺灣經濟部水利署: 林惠芬研究員、楊松岳科長、  
第四河川局童正安副工程司; TECRO 經濟組楊鎮  
宇秘書
  - 美國墾務局:
    - a. Mathew Maucieri, Assistant Deputy  
Commissioner
    - b. Jeff Morris, Director, Native American and  
International Affairs Office (負責國際事務)
    - c. Angela Medina, Senior International Affairs  
Specialist, Native American and International  
Affairs Office
    - d. Kristine Smith, Senior International Affairs  
Specialist, Native American and International  
Affairs Office
    - e. Timothy Randle, Manager, Technical Service  
Center (8 號附錄)
    - f. Yong Lai, Hydraulic Engineer, Technical Service  
Center (8 號附錄)
    - g. Blair Greimann, Hydraulic Engineer, Technical

Service Center (8 號附錄)

h. Stephen Dominic, Supervisor, Civil Engineer,  
Program Manager, Technical Service Center (6  
號附錄)

i. Jack Gagliardi, Civil Engineer, Geotechnical  
Engineering, Technical Service Center (6 號附錄)

4. 會議結論:

a. 2018 美國墾務局提供之附錄 6、附錄 8 服務工作，  
水利署接受。

b. 2019 工作項目:

附錄 6:

- 臺美雙方合作訂定塑性混凝土規範。
- 臺美雙方合作研究在極端事件下水庫操作方  
法。
- 引入風險管理進行大壩安全評估

附錄 8

- 集水區逕流及土壤沖蝕數值模式開發(2/5)
- 河口水理及泥砂運移數值模式開發(2/5)
- 河川水力、河川復育及流域土砂管理(2/5)
- 技術訓練課程及技術諮詢

c. 未來合作主題:

以共同招募國際學員為目標，臺美雙方可就  
大壩安全管理、永續水庫庫容(淤砂清除)、泥砂運  
移及管理主題合作開設訓練課程。

5. 其他重要共識

- a. 臺美雙方均珍惜、重視 30 年的交流情誼，也期待開展另一個 30 年的合作。過去 30 年以水壩工程為合作主軸，未來將跨大到管理層面、深化交流，並將雙方經驗與國際社會分享。
- b. 就目前附錄 8 水利署參與人力有限且缺乏海洋、集水區專長部分，未來水利署將引入外部團隊協助，並規劃派送水利署工程師至美國接受長期訓練。
- c. 水利署希望透過墾務局合作平台委託美國聯邦公路局(Federal Highway Administration, FHWA)進行水工模型試驗部分，在目前合約框架下無法進行。墾務局可協助在對方意願及既有附錄 6 和 8 之工作範圍內邀請 FHWA 專家赴臺提供訓練。
- d. 美國墾務局經由 20 多年實作經驗，建立對大壩安全之風險分析作法，該作法應可帶給臺灣很大助益。臺灣認同並感謝墾務局願意提供協助，未來將以石門和曾文水庫作為實施案例，優先推動。
- e. 大壩安全之風險分析墾務局目前係針對大壩損壞 (dam failure)造成生命損失面向考慮，未考慮停水造成之經濟損失或軍事攻擊之破壞。

#### (四)年會簽署結論

### **2018 Water Resources Program The 31<sup>st</sup> TECRO- AIT Annual Meeting Draft Conclusions**

The 31<sup>st</sup> TECRO-AIT Annual Meeting was held on November 16, 2018. Delegates of the Water Resources Agency (WRA) and Bureau of Reclamation discussed various issues related to the work accomplished in 2018, potential task items for 2019 under Appendix 6 and Appendix 8 Agreements, and other related matters. The conclusions from the meeting include:

1. 2018 work accomplishment under Appendix 6

After review and discussions, WRA accepted the draft progress report of “2018 Work Scope for Appendix No. 6: Findings of the Technical Review Team” as the work accomplished in 2018. The final report will be delivered in November 2018 and include revisions based on review comments provided by WRA.

2. 2018 work accomplishment under Appendix 8

After review and discussions, WRA accepted the draft 2018 progress report as the work accomplished in 2018. The final report will be delivered in February 2019 and include revisions based on review comments provided by WRA.

3. The following has been discussed and agreed upon as potential task items for the fiscal year of 2019:

(1) Appendix 6:

- A. WRA and Reclamation will cooperate to establish a plan for developing technical guidelines for the use of plastic concrete materials.
- B. WRA and Reclamation will jointly study operational challenges of reservoirs during extreme and potential methods of intervention.
- C. WRA and Reclamation will jointly analyze and determine appropriate best practices regarding dam safety by introducing risk management.

**\*The total cost of the seminars and workshops hosted in Taiwan before the Annual Meeting will be provided by the Taiwan Government. WRA will arrange the itineraries and invite recommended foreign lecturers. The fees**

**charged by the Reclamation will continue to be paid by the original contract.**

(2) Appendix 8:

- A. Watershed runoff and soil erosion numerical model development (2/5).
- B. Estuary flow and sediment transport numerical model development (2/5).
- C. River hydraulics, restoration and sediment management (2/5).
- D. Technical training and consultation.

4. Proposals and Timelines :

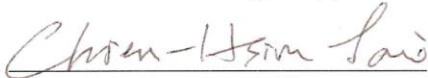
- (1) For Appendix 6, WRA will prepare a list of proposed work details and suggested funding levels by the end of April 2019. Reclamation will provide a proposal two months after the receipt of the list.
- (2) For Appendix 8, Reclamation will provide a proposal before the end of February 2019 for the 2019 work.

**Potential Future Cooperation Topics:**

Reclamation and WRA will cooperate to provide training courses regarding dam safety management, sustainable reservoir capacity (sediment removal), sediment transport and management with the goal of recruiting international students.

Authorizing Signatures

For Water Resource Agency, TAIWAN



Dr. Chien-Hsin Lai

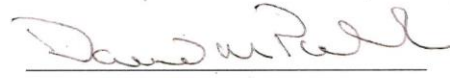
Director General

Water Resources Agency

Ministry of Economic Affairs

Date 2018-11-16

For Bureau of Reclamation, USA



Mr. David Palumbo

Deputy Commissioner – Operations

Bureau of Reclamation

U.S. Department of the Interior

Date 11/16/2018





第 31 屆年會會議現場





楊松岳科長報告附錄 8 我方審查意見



童正安工程司報告附錄 6 我方審查意見



林惠芬研究員報告 2019 年及未來合作項目



會後與會人員於內政部大樓頂樓合照





年會結論簽署

## 2-2 與美國工兵團合作研商會議紀要

### (一)背景說明:

工兵團是美國主要水利機構，肩負美國境內重要水庫、防洪、航道疏浚、水資源環境及生態保育等水利相關業務，其規模龐大並和世界各國皆有交流。本署自 105 年開始雙方以辦理技術工作坊之方式交流，交流歷程如下：

- 自 2011 年起陸續派員至工兵團轄下水文工程中心 (Hydrologic Engineering Center, HEC) 受訓。
- 2015 年 8 月工兵團轄下太平洋分部 (Pacific Ocean Division, POD) Jim Ligh 先生與水資源研究所 (Institute of Water Resources, IWR) Dr. Wen-Huei Chang 在美國在台協會 (AIT) 之陪同下來臺與本署交流，並促成 2016 年交流活動。
- 2016 年 5 月工兵團來臺交流，參訪曾文溪及曾文水庫防淤隧道，以工作坊型式就雙方主管業務及關心議題廣泛交流及討論。雙方達成以下共識：
  - 雙方朝簽訂協議方向努力。
  - 下年度可就單一特定主題深度交流。
  - 邀請水利署加入密西西比河公民會議考察團。
- 2016 年 8 月，賴署長建信 (時任副署長) 及楊松岳科長 (時任水規所工程司) 赴美國密西西比州參加在 Natchez 與 Morgan City 所舉辦之公民會議，並至

工兵團總部與 IWR(Institute for Water Resources)總部洽談合作事宜。與會人士包含：美國國防部次卿 Jo-Ellen Darcy 女士、工兵團指揮官暨總工程師 Todd T. Semonite 將軍、工兵團總部土木工程組 James C. Dalton 組長、密西西比河分部指揮官 Michael C. Wher 將軍、工程研究及發展中心 Elizabeth C. Fleming 主任、水資源研究所 Robert A. Pietrowsky 所長(已退休)。

- 2017 年 7 月，第一河川局張有德及水利規劃試驗所邊孝倫工程司赴美國研究及發展中心(Engineer Research and Development Center)參加「海岸演變基礎應用於工程規劃(Basics of Coastal Processes for Engineers and Planners)」並了解 Coastal Modeling System (CMS) 海岸模擬軟體。
- 2017 年 8 月，與水利署藉由合作辦理技術交流工作坊之方式深化交流，James. Ligh、Wen-Huei Chang、Jim Fredericks、Michelle Haynes 及 John Kucharski 等 5 位來臺舉辦「水利設施經濟效益」工作坊，交流美國之水利設施經濟效益分析作法。
- 2018 年 8 月臺美雙方共同舉辦「水利署與美國陸軍工程兵團技術交流工作坊-水利設施經濟效益」，Evan Ting、Wen-Huei Chang、Doug Gorecki 及 Doug

Bellomo 等 4 位來臺，並針對臺灣之計畫案例進行實質深度交流座談。

## (二)會議紀要

1. 時間: 2018 年 11 月 13 日上午 10 點
2. 地點: 美國陸軍工程兵團總部
3. 與會者:
  - 主持人: James Dalton, Director of Civil Works, Headquarters (工兵團最高階行政官)
  - 臺灣經濟部水利署: 賴建信署長、林惠芬研究員、楊松岳科長、第四河川局童正安副工程司; TECRO 經濟組楊鎮宇秘書
  - 美國陸軍工程兵團:
    - a. Charles Ray Alexander, Director of Contingency Operations and Homeland Security (SES 高階行政官，專責災害應變)
    - b. Joe Manous, Director of Institute for Water Resources(IWR)
    - c. Wen-Huei Chang, Senior Economist, IWR
    - d. Doug Bellomo, Flood Risk Manager, IWR
    - e. John Daley, Senior Program Manager, Interagency & International Services, Headquarters (負責 MOU 簽訂)
4. 會談紀要:
  - 面對天然災害之因應作為:
    - a. 美國近年天然災害頻仍，水災、旱災、火災接連發生，

美國政府嘗試藉由新科技的導入、創新的作法及民眾參與等改善防災因應作為、降低災害損失。其中提升氣象預測及水理演算的準確度甚為關鍵，是面對災害事前準備、災中應變的重要因素。

- b. 目前加州森林大火除燒毀大量建物外，亦大面積燒毀植栽、改變當地地貌。地表覆蓋土讓經大火燒炙後，土壤性質改變不利於雨水滲透，遇雨將增加地表逕流及土石沖刷。美國目前亦在思考如何利用植物、樹木的種植降低未來洪水災害。
- c. 美國州政府在多次災害的洗禮後，對於災害的應變處置能力提升，以目前加州森林大火為例，州政府尚未提出聯邦政府協助請求，災害應變仍以州政府層級為主體，聯邦政府居協助角色。
- d. 臺灣政府近年大量運用社群媒體公開資訊、與民眾溝通，讓民眾掌握即時訊息、自助防災成效良好。美方亦認同此作法，目前由政府單位公開資訊並適時釐清錯誤訊息，避免民眾因為資訊不足妄加揣測，增加防救災難度，但工程師對外溝通能力仍有待提升。
- e. 臺灣分享出流管制、逕流分擔法制化，全國全面推行及透水鋪面、道路人行道下挖設計等低衝擊開發 (Low Impact Development), 美方表達敬佩與高度興趣。目前工兵團僅就該單位轄管範圍內推動 LID 做

法。

### 水庫淤積清除

- a. 臺灣目前公告水庫有 95 座，目前均面臨土砂淤積、喪失庫容的嚴重問題。以臺灣最大庫容曾文水庫為例，在 2009 年莫拉克颱風單一事件中即喪失 12% 庫容。水庫在供水、調度上扮演重要腳色，所以臺灣政府投入大量經費進行水庫清淤工程。曾文水庫排砂隧道-象鼻鋼管已於去(2017)年完工，今年開始試運轉；北部石門水庫目前亦在進行阿姆坪防淤隧道工程。
- b. 臺灣河川坡陡流速快，防淤隧道中高流速及泥砂沖蝕是臺灣高度關注的議題。
- c. 美國水庫淤積問題目前雖不嚴重，但亦逐漸浮現，目前利用旱季進行調查。美國雖然水庫庫容大、淤積速度沒有臺灣快，但亦是一個高風險的隱憂，必須及早止血防止問題進一步惡化。然而，利用陸上機械清淤價錢昂貴且效果不佳，須及早採取行動藉由重力，在高流速時隨著水體沖洩至壩體下游。
- d. 臺灣利用水力排砂已累積相當多實際經驗，歡迎美方來台參訪、交流。

### 經濟分析

- a. 目前工兵團有許多非常優秀的經濟專家，也作了扎實的經濟分析，但目前的分析結果沒有納入社會和環



境面向的效益，在面對國會及民眾上仍難有完整論述，所以工兵團內部仍積極在尋求更完備的分析。美方也對臺灣如何將經濟分析利用在排定政策優先順序上表達興趣，也希望可以多多交流、互相學習。

### 水理模式合作

- a. 臺灣近年受氣候變遷衝擊，一年中同時遭遇枯旱汲水災之極端事件頻繁出現，累積大量現場觀測資料。且因臺灣地形特殊，水理演算挑戰度高，是驗證、提升水理演算模式的最佳場域。臺灣運用 HEC 系列模式，如 HEC-HMS 及 HEC-RAS 有豐富經驗，可與美方合作針對海島型、小集水區域、都會區排水等類型進行合作，提高模擬準確度。
- b. 美方回應認同，並表示即使在 MOU 尚未完成簽定前亦可推動。

### (三) 雙方共識及重要結論:

1. 臺美雙方簽定中之「水利綜合管理技術合作協議 (INTEGRATED WATER RESOURCES MANAGEMENT Agreement)」草案內容業經雙方執行層級確認，美方將於近期送國防部、我方已提送外交部提供修正意見，預計於 2019 年第一季可完成簽署。
2. 合作協議簽定前，雙方可先行啟動合作開發適用於海島型、小集水區域、或都會區排水等類型之 HEC 水理模式，提高模擬準確度。

3. 在經濟分析方面，雙方可共同研究將環境、社會效益量化。
4. 美方對臺灣水庫重力排砂、土砂沖刷、逕流管制出流分擔作法表達高度興趣。臺灣則希望與美方導入新科技、面對天然災害災應變作為、利用經濟分析做為決策參考之作法加強交流。



工兵團合作會議與會人員合照



楊松岳科長簡報





與工兵團會談情形



互贈禮品

### 三、 參訪行程紀要

#### 3-1 參訪 DC Water

##### (一)單位簡介

華盛頓哥倫比亞特區供水及下水道管理局（DC Water）成立於 1996 年，為特區政府的獨立機構，負責提供華盛頓特區 67 萬居民和每年 1,780 萬訪客的飲用水，污水收集和污水處理。為了處理生活污水，該單位並經營世界上最大的高階污水處理廠(Blue Plains Advanced Wastewater Treatment Plant)。

該局是美國最早開始使用智慧水表的城市(2002 年)，並安裝了智慧污水處理系統(Flygt Concertor)來監測可能的管線問題，增加操作效率。

##### (二)考察摘要

此次參訪行程由 DC Water 工程師 Brandon Flora 先進行 15 分鐘簡報介紹該單位執行清潔河流計畫(Clean Rivers Project)緣由及概況，隨後提供 Blue Plains Tunnel 工程已完工部分現場導覽。

清潔河流計畫是 DC Water 正在進行的基礎建設計畫，旨在截流和淨化截流降雨初期之雨水，以減少下水道溢流（combined sewer overflows, CSO）進入特區的 Anacostia 和波托馬克河以及 Rock Creek 而造成河川污染。



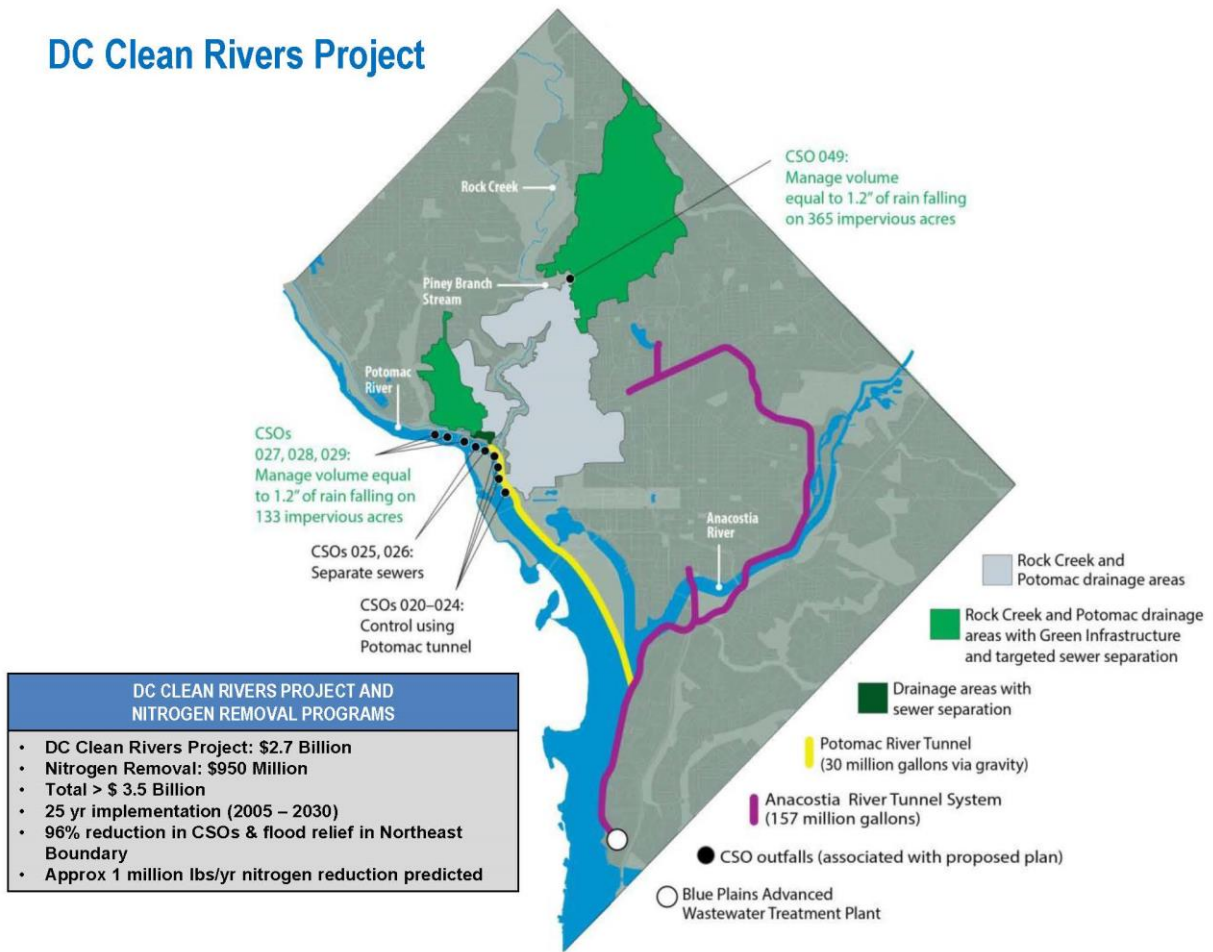


簡報說明並交流 DC Clean Rivers Project



現場說明汙水處理廠內部運作情形

# DC Clean Rivers Project



**DC CLEAN RIVERS PROJECT AND NITROGEN REMOVAL PROGRAMS**

- DC Clean Rivers Project: \$2.7 Billion
- Nitrogen Removal: \$950 Million
- Total > \$ 3.5 Billion
- 25 yr implementation (2005 – 2030)
- 96% reduction in CSOs & flood relief in Northeast Boundary
- Approx 1 million lbs/yr nitrogen reduction predicted

清潔河流計畫(Clean Rivers Project)執行範圍圖

## 3-2 參訪聯邦公路管理局(FHWA)實驗室

### (一)簡介

位於維珍尼亞州特納－費爾班克(Turner-Fairbank)的美國聯邦公路管理局(Federal Highway Administration, FHWA)國家公路研究中心(NHI)之研究實驗室，主要從事公路基礎設施在水力沖刷下之可靠度試驗觀測研究，為美國公路橋梁承受河川及波浪沖刷試驗研究及橋設計規範制定之權威單位之一。

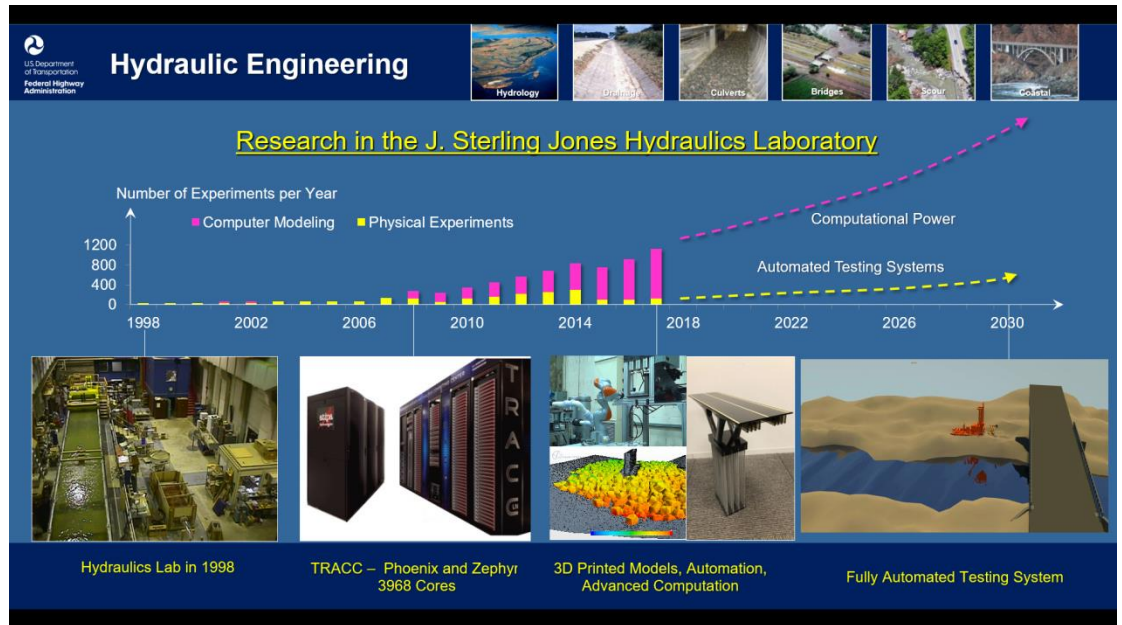
其下之水力研究實驗室(J. Sterling Jones Hydraulics Research Laboratory)除物理模型試驗及現地觀測外，亦開發計算流體動力學(CFD)進行橋梁結構衰變模擬。美國墾務局開發之SRH-2D數值模式，FHWA亦將其應用在橋樑沖刷上，獲致相當好的成效，藉由本次參訪行程，了解美國公路管理局最新物理模型試驗及相關觀測技術，及二維數值模式於河道局部沖刷之應用等。

### (二)考察摘要

此次參訪行程由研究中心下的3個實驗室結構Structures Laboratory、大地Geotechnical Laboratory、及水力研究實驗室J. Sterling Jones Hydraulics Research Laboratory研究人員依序介紹，並提供實驗室現場導覽。其中水工模型實驗室自1988年創立以來，早期是以水工模型試驗為主體，於2008年引進超級電腦之後，數



值模型運用的比例逐漸超過物理模型試驗。物理模型試驗的運用主要是為了數值模式的檢定驗證使用，真正的模擬以數值模式為主。



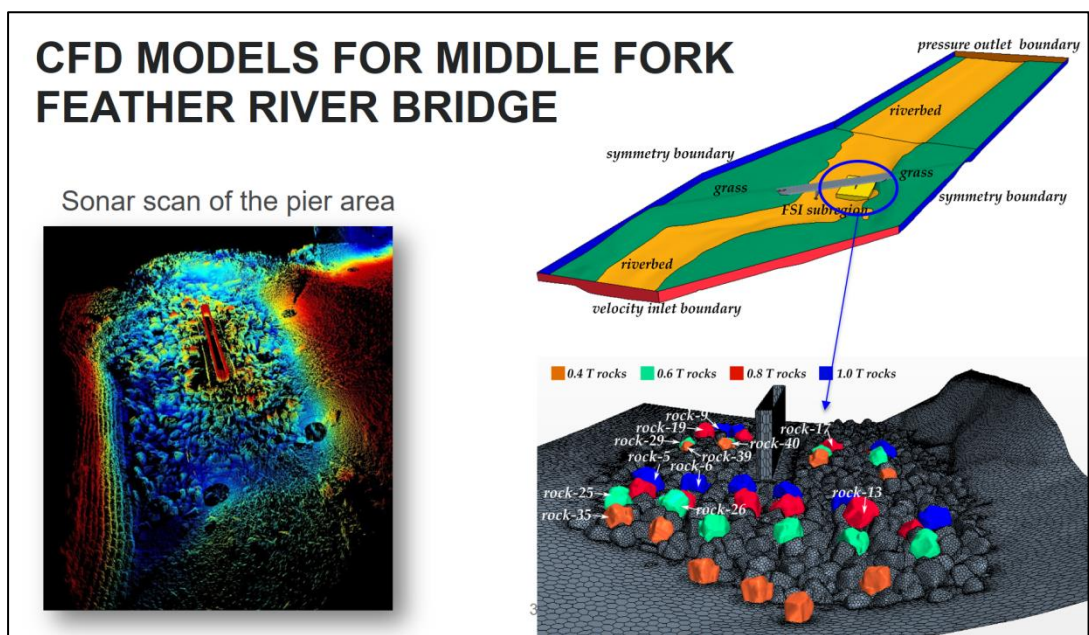
J. Sterling Jones 水力研究試驗室物理與數值模式之發展  
(來源: Federal Highway Administration, 2018, NATIONAL HYDRAULICS TEAM FUNCTIONAL AREAS)

J. Sterling Jones Hydraulics Laboratory 採用大量自動化、最先進科技應用於水工模型實驗，如聲納掃描、機器手臂、無人機、VR、超級電腦等。說明如下：

### 1. 聲納掃描

在 J. Sterling Jones Hydraulics Laboratory 採用大量的聲納掃描應用於河川底床的量測，包含水工模型與現地試驗。聲納掃描技術可以提高傳統量測的精度以及速度，讓模式的檢定與驗證工作更加的精確。

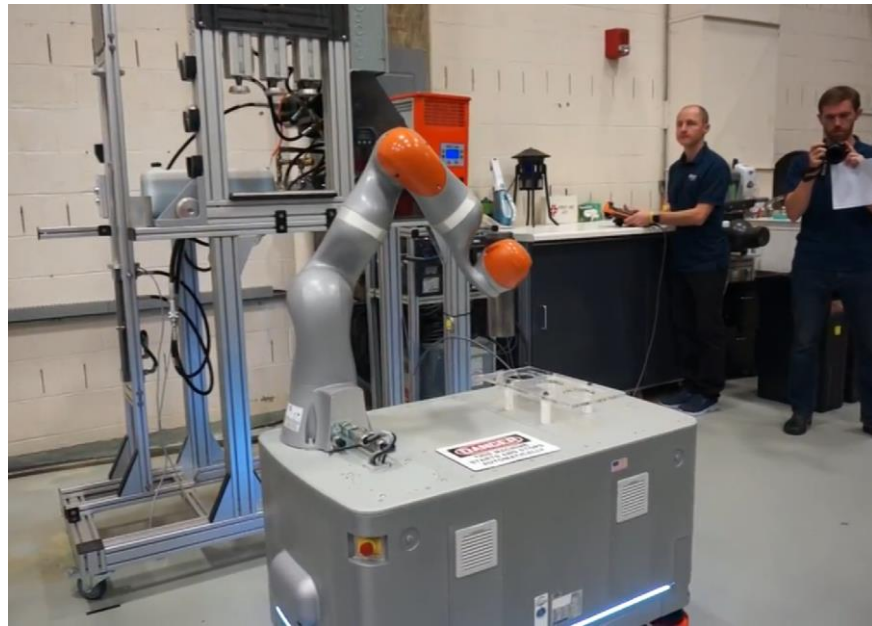
聲納掃描河床(來源:Cezary Bojanowski, 2018, Fluid Structure



interaction for riprap analysis)

## 2. 機器手臂

由於水工模型試驗室有些步驟具有重複性，因此運用機器手臂可以增加整體的工作效率，減少實驗室之人力運用。此外，由於機器手臂可以精準的調控力度，因此有些精準的動作，例如造浪，就需要透過機器手臂精準的控制力道以製造出相同的波浪。



機器手臂在水工模型試驗之應用



機器手臂在人工造浪之應用

### 3. 無人機

傳統上如果要將現地採取的樣本運送至實驗室內，須透過人力搬運以及運輸工具。無人機未來可以結合同室內與室外的實驗場域，在現場透過機器人採取樣本之後，利用無人機將實驗的樣本運送至實驗室內，並進行相關的後續研究。



無人機之應用示意圖 (來源: FHWA, 2018, NATIONAL HYDRAULICS TEAM FUNCTIONAL AREAS)

#### 4. VR

虛擬實境的應用可以將三維模擬的結果，透過虛擬實境的方式讓研究者可以去追蹤流場中的每一顆粒子的流向，並且可以針對局部更細微的地方進行更深入的檢視與研究。

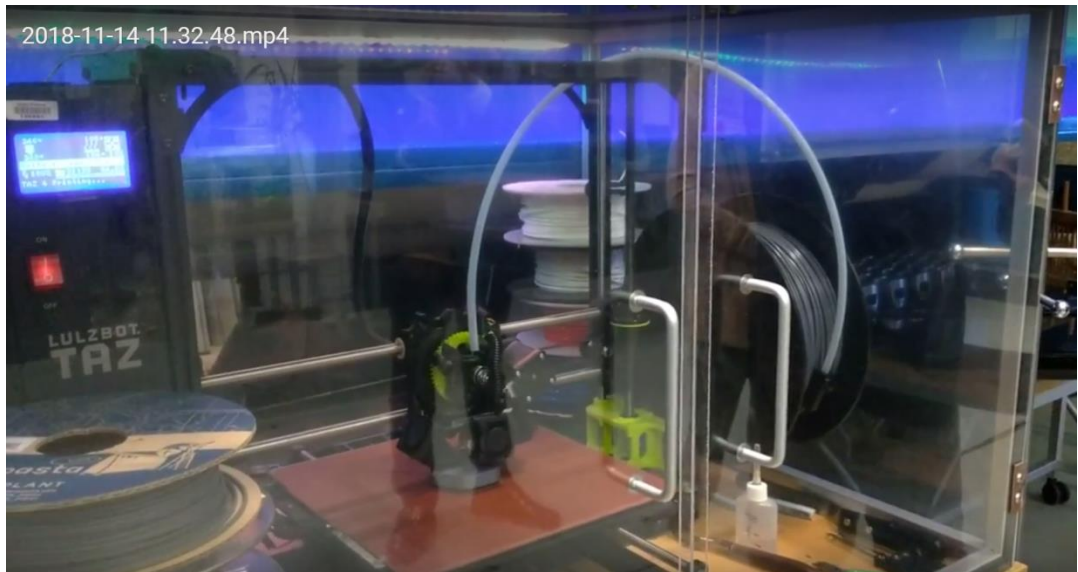




虛擬實境在數值模擬結果展示之應用

## 5. 3D 列印

傳統上水工模型試驗的構造物必須透過繁複的製作流程，將現地的人工構造物透過人工的方式製作出來。現今可以運用3D列印的技術，透過三維列印建模，在短時間之內就可以列印出所需要的水工模型，有效的降低模型建造的時間。



3D 列印水工模型

## 6. 超級電腦

未來物理模型實驗的比例將會逐漸的降低，而數值模擬的比例將會逐漸的增加。然而，數值電腦模型必須要耗費相當多的計算資源，J. Sterling Jones Hydraulics Laboratory 與相關研究單位，透過跨域結合的方式，應用超級電腦大量的進行數值模擬。



J. Sterling Jones Hydraulics Laboratory 所採用之超級電腦 TRACC – Phoenix and Zephyr, 3968 Cores

(資料來源: Federal Highway Administration, 2018, NATIONAL HYDRAULICS TEAM FUNCTIONAL AREAS)

(三)延伸應用

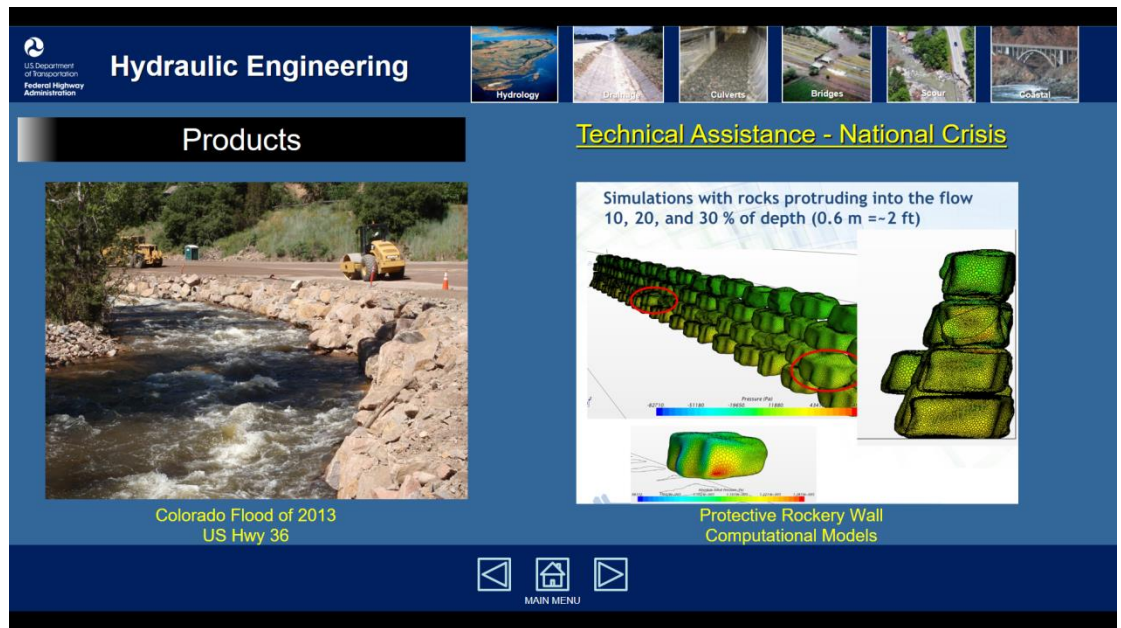
1. 目前臺灣水利署水利規劃試驗所的水工模式試驗是以物理模型為主，配合國家重大建設計畫進行，數值模式運用部分較少。由於物理模型的建模時間較長，並且需大量人力，未來或可以逐步調整方向，逐年提高數值模式的比例。數值模式需耗費大量計算資源，在計算資源的部分可以與國家實驗研究院高速網路與計算中心合作，提供數值模式所需要的運算資源，提升水工模型實驗室

的整體水準。

2. 引進先進科技除需採購採設備外，亦須搭配配相關領域專業。美國 J. Sterling Jones Hydraulics Laboratory 的專業人員包括水利、數值模擬、機械、資訊等領域，相關專業人力主要透過人力外包的公司，由人力公司招募高素質的人力。
3. 乾砌石的研究可以應用於臺灣水環境的營造

J. Sterling Jones Hydraulics Laboratory 有效的整合室內的水工模型實驗與三維數值模擬進行有關乾砌石護岸以及拋石的研究，以精準掌握乾砌石護岸以及拋石的特性與安全性。目前，本署水利規劃試驗所也有進行相關的研究，因此可以參考國外的相關的研究技術，來提升本署水工模型實驗的準確性。此外，前瞻基礎建設正推動臺灣水環境營造，因此相關的技術與研究成果可以充分的運用在臺灣水環境的營造上。





三維數值模擬乾砌石護岸(資料來源: Federal Highway Administration, 2018, NATIONAL HYDRAULICS TEAM FUNCTIONAL AREAS)

#### 4. 大量的運用三維模擬訂定相關規範

Federal Highway Administration 的相關的技術規範，在訂定過程中，會透過三維數值模式進行各種不同尺寸的分析與比較，例如道路鋪面的粗糙程度，排水溝的坡度、水溝蓋的設計等。我們在進行相關的技術規範訂定的過程中，也可有效的運用物理模型以及數值模型進行相關的研究，提升技術規範的準確性。

#### 5. SRH-2D 在不同領域之應用

SRH-2D 模式可以計算流向、流路、流速分佈、水面速度分布，透過圖形可視化的方式可以有助於溝通模擬的結果。目前美國公路管理局將 SRH-2D 應用在

橋樑橋沖刷評估、洪水風險分析與衝擊評估、多流路分析、護岸基礎保護改善、棲地營造、魚道設計、潰壩分析、都市淹水分析等，大幅改善 1D 模式之精確度，提升政府決策及資源投入之效率。目前在臺灣的應用主要是應用在河道的沖刷模擬，未來也可以應用在其他相關領域。

### 3-3 參訪 NASA-哥達德太空飛行中心

#### (一)簡介

戈達德太空飛行中心(Goddard Space Flight Center)是美國國家航空暨太空總署一個主要研究中心，位於華盛頓特區東北方約 6.5 公里處馬里蘭州的綠帶城。該中心成立於 1959 年 5 月 1 日，也是美國國家航空暨太空總署首座太空飛行中心，目前大約有 10,000 名員工。

由該中心執行的全球降水測量 ( Global Precipitation Measurement, GPM ) 計畫是由多個衛星組成的國際性衛星網路，用以提供全球即時降雨和降雪的觀測，自 2014 年開始利用多個衛星監控從而能得到接近即時的全球規模降水量圖(1 小時)，提升自然災害和災害的極端事件的預測。並經由數據可視化，展示衛星影像監測全球水資源變化情形，例如洋流觀測、降雨觀測、蒸發散觀測、土壤含水量觀測，以及地下水含量觀測等。並將資料開放提供水資源、農業、防災及生態環境等相關單位應用。

#### (二)考察摘要

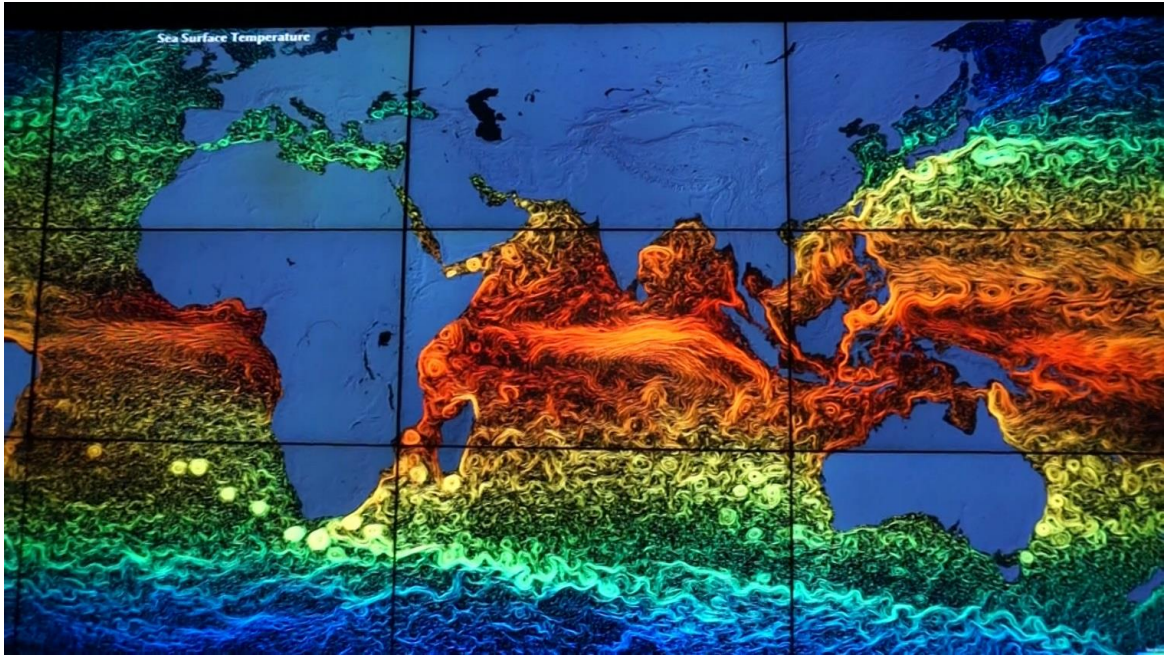
現場由中心主任 Mark Clampin 博士接待，並由應用科學經理 Stephanie Uz 博士說明該中心衛星觀測計畫成果，如利用衛星及觀測資料建立全球洋流流動模式、

推測全球發生山崩(landslide)潛勢。並展示全球降水測量 (GPM) 任務的核心觀測站上雙頻降水雷達所收集的降水三維結構的數據可視化。該圖像顯示 2014 年 3 月 10 日在日本海岸附近觀測到的一個熱帶氣旋，在大約 7 公里高度的垂直橫截面上的降雨率。紅色區域表示暴雨，黃色和藍色表示降雨量較少的區域(如照片)。

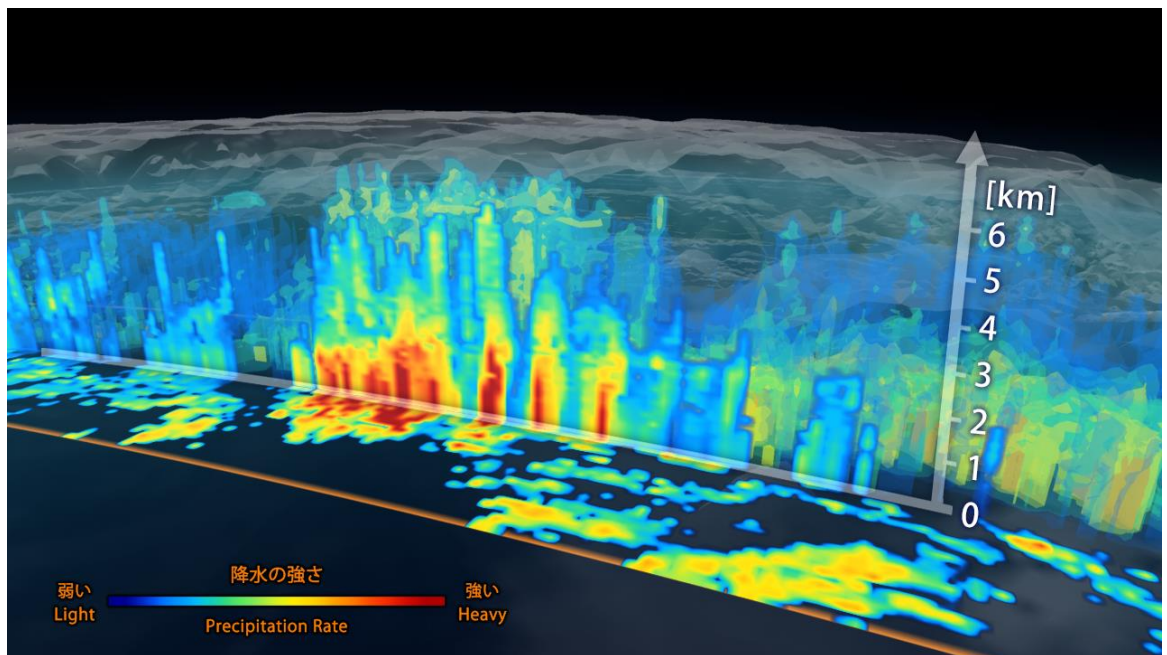


全球降水觀測計畫(Global Precipitation Measurement, GPM)

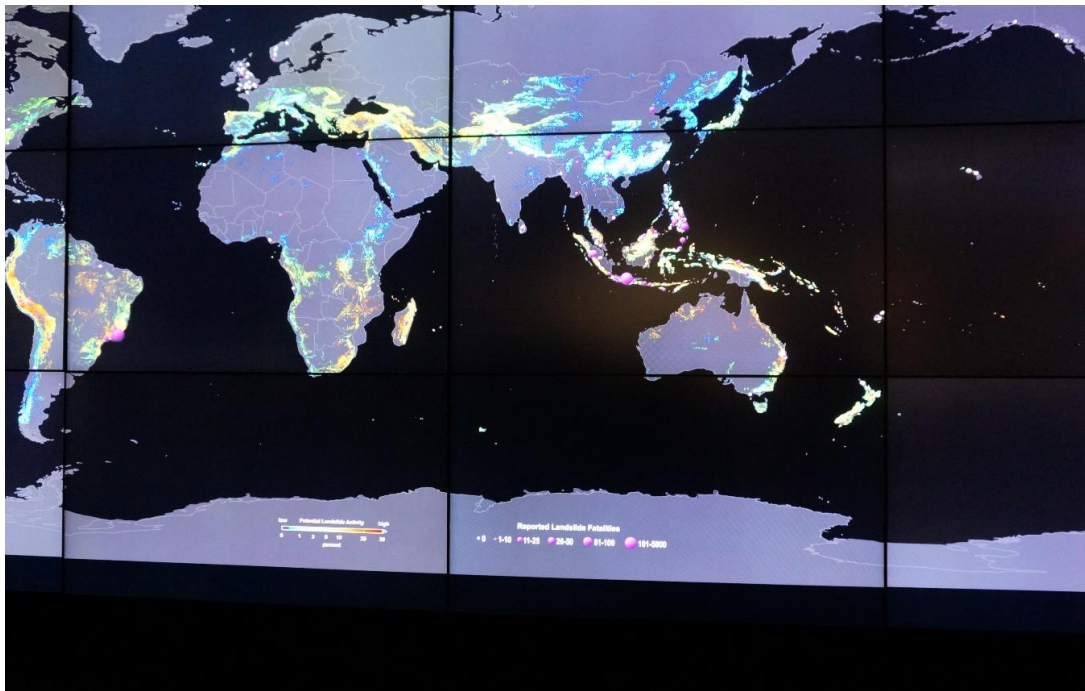




利用衛星及觀測資料建立全球洋流流動模式(顏色為海面溫度)



GPM 計畫雙頻降水雷達觀測的熱帶氣旋 3D 視圖



全球發生山崩(landslide)潛勢圖



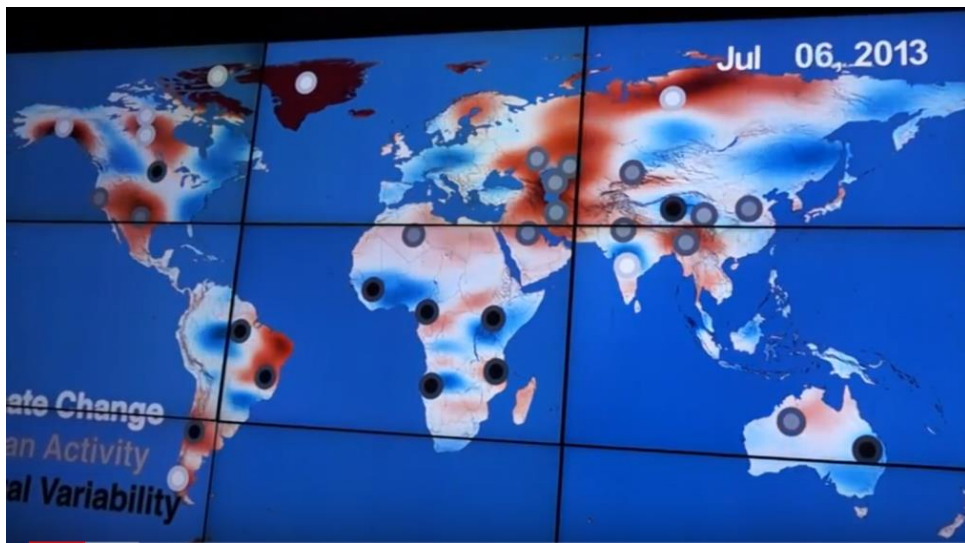
本次代表團於太空中心與接待人員合照



### (三)延伸應用

#### 1. 衛星在水資源管理的應用

戈達德太空飛行中心展示的結果顯示美國運用衛星影像監測全球水資源變化情形，例如洋流觀測、降雨觀測、蒸發散觀測、土壤含水量觀測，以及地下水含量觀測等。目前臺灣正在推動之智慧水管理需要全面性的資料，但許多資訊尚無法全面掌握，未來或可嘗試利用衛星提供相關水資源管理的資訊，例如可以嘗試透過衛星觀測有效的掌握土壤水分含量、地下水含量來等推估農業區所需要的灌溉量，作為水資源管理的依據，提高水資源的運用效率。



地下水觀測

#### 2. 全球降水觀測計畫(GPM)可以協助沒有氣象觀測資料的國家進行降雨預報

臺灣政府多年來投入基礎設施，地面雨量站的密

度及觀測長度已有相當水準，並且設置多座氣象雷達，在觀測的精度上已相當的高。然與許多南向國家接觸後發現，許多國家並沒有地面的雨量站，難以進行後續之推估及預測工作。透過先進國家取得衛星資料可以快速、全面轉換獲得水資源資料，或可做為廣設雨量站前之權宜作法。

### 3-4 其他參訪心得

#### (一) 運用路閘保護華盛頓特區的安全

在華盛頓特區市中心為了防洪安全，並且維持交通的暢通，因此設計了防洪路閘。平時可以維持原有道路的暢通，當洪水來臨的時候，就可以封閉道路將河岸缺口封閉。並且，路閘的設計與週邊景觀結合，視覺上看起來並不突兀。



防洪路閘示意圖

(上:平時道路開放；下:路閘裝設，道路封閉)





防洪路閘施作情形 (資料來源:美國工兵團)



路閘兩側固定牆

## (二)美國於基礎研究之投入

美國的許多政府機關均設有相關的科學研究單位，包含墾務局、陸軍工程兵團、Federal Highway Administration 等，透過大量且紮實的基礎科學研究投入，給後端的實務應用提供紮實的基礎。因此，臺灣進行大量的公共基礎建設的同時，也應該針對臺灣特有的課題，進行相關的基礎研究，投入相關的經費，作為國家建設發展的重要支撐。

## (三) 對於人的尊重

在美國內政部與墾務局召開第 31 屆臺美水資源技術合作年會會議當中，美國一位與會人員是聾啞人士。



美國政府規定只要他有意願出席，政府就必須僱用手語的人員協助，確保其了解、參與整個會議的權利。本會議搭配 2 位手語翻譯人員，需投入經費可觀，但也顯示美國政府對於身心障礙人士的尊重。



手語人員向聾啞人士透過手語解釋會議內容



## 四、 結論與建議

### 4-1 合作研商會議結論摘述

(一)美國墾務局-第 31 屆臺美水資源技術合作年會

1. 水利署接受美國墾務局提供之 2018 附錄 6、附錄 8 服務工作。

2. 2019 工作項目:

附錄 6:

- 臺美雙方合作訂定塑性混凝土規範。
- 臺美雙方合作研究在極端事件下水庫操作方法。
- 引入風險管理進行大壩安全評估

附錄 8

- 集水區逕流及土壤沖蝕數值模式開發(2/5)
- 河口水理及泥砂運移數值模式開發(2/5)
- 河川水力、河川復育及流域土砂管理(2/5)
- 技術訓練課程及技術諮詢

3. 未來合作主題:

以共同招募國際學員為目標，臺美雙方可就大壩安全管理、永續水庫庫容(淤砂清除)、泥砂運移及管理主題合作開設訓練課程。

4. 其他重要共識

- a. 臺美雙方均珍惜、重視 30 年的交流情誼，也期待開展另一個 30 年的合作。過去 30 年以水壩工程為合作主軸，未來將跨大到管理層面、深化交流，並

將雙方經驗與國際社會分享。

- b. 就目前附錄 8 水利署人力不足且缺乏海洋、集水區專長部分，未來水利署將引入外部團隊協助，並規劃派送水利署工程師至美國接受長期訓練。
- c. 水利署希望透過墾務局合作平台委託美國聯邦公路局(Federal Highway Administration, FHWA)進行水工模型試驗部分，在目前合約框架下無法進行。墾務局可協助在對方意願及既有附錄 6 和 8 之工作範圍內邀請 FHWA 專家赴臺提供訓練。
- d. 美國墾務局經由 20 多年實作經驗，建立對大壩安全之風險分析作法，該作法應可帶給臺灣很大助益。臺灣認同並感謝墾務局願意提供協助，未來將以石門和曾文水庫作為實施案例，優先推動。
- e. 大壩安全之風險分析墾務局目前係針對大壩損壞(dam failure)造成生命損失面向考慮，未考慮停水造成之經濟損失或軍事攻擊之破壞。

## (二)美國工兵團合作研商會議

1. 臺美雙方簽定中之「水利綜合管理技術合作協議 (INTEGRATED WATER RESOURCES MANAGEMENT Agreement)」草案內容業經雙方執行層級確認，美方將於近期送國防部、我方已提送外交部提供修正意見，雙方將積極推動完成簽署。

2. 合作協議簽定前，雙方可先行啟動合作開發適用於海島型、小集水區域、或都會區排水等類型之 HEC 水理模式，提高模擬準確度。
3. 在經濟分析方面，雙方可共同研究將環境、社會效益量化。
4. 美方對臺灣水庫重力排砂、土砂沖刷、逕流管制出流分擔作法表達高度興趣。臺灣則希望與美方導入新科技、面對天然災害災應變作為、利用經濟分析做為決策參考之作法加強交流。

#### 4-2 參訪行程

1. 美國聯邦公路管理局轄下之 J. Sterling Jones Hydraulics Research Laboratory 早期以物理模型試驗為主，2008 年引進超級電腦後，大量採用數值模型。另亦採用大量自動化、先進科技應用於水工模型實驗(如聲納掃描、機器手臂、無人機、VR、超級電腦等)，大幅縮短試驗時程、提高精準度。該措施需結合水利、機械、資訊等跨領域專業人員跨域合作。

目前臺灣水利署水利規劃試驗所的水工模式試驗以物理模型為主，未來或可以逐步調整方向，逐年提高數值模式的比列。在計算資源的部分可以與國家實驗研究院高速網路與計算中心合作，提供數值模式所需要的運算資源。另亦可考量引進先進科技搭配配相關領域專業，

進行跨域合作。

2. 美國 NASA 運用衛星影像研究全球水資源變化情形，例如洋流、降雨、蒸發散、土壤含水量、地下水含量觀測等。目前臺灣正在推動之智慧水管理政策需要全面性的資料，但許多資訊尚無法全面掌握，或可嘗試利用衛星資訊作為研究依據，以提高水資源運用效率。

NASA 執行之全球降水觀測計畫(GPM)可以協助沒有氣象觀測資料的國家進行降雨預報。近年與許多南向國家接觸後發現，許多國家缺少水文觀測站，難以進行後續之推估及預測工作。或可透過先進國家取得衛星資料，可以快速、全面轉換獲得水資源資料，或可做為廣設雨量站前之權宜作法。

3. 在華盛頓特區市中心為了防洪安全，並且維持交通的暢通，因此設計了防洪路閘。平時可以維持原有道路的暢通，當洪水來臨的時候，就可以封閉道路將河岸缺口封閉。

## 附錄-墾務局報導

# Reclamation host the 31st Annual Meeting with Taiwan Water Resources Agency

Written by: Fred Brown



Reclamation & the Water Resources Agency Taiwan participated in the 31st anniversary meeting between the two agencies in D.C.

The Bureau of Reclamation hosted the 31st annual meeting with the Taiwan Water Resources Agency in Washington, D.C., on November 16, 2018. This is the first time the meeting has taken place in the Nation's

capital. Reclamation has provided technical assistance and training to Taiwan through a cooperative agreement between the American Institute in Taiwan and the Taipei Economic and Cultural Representative Office.

“This meeting is our opportunity to share our common interests, knowledge and lessons learned. Where we can share our triumph and challenges,” said David Palumbo, Deputy Commissioner of Reclamation. “Everything we have shared over the past few days will benefit us both in the future, and I believe that our continued collaboration is critical for both our countries. We are fortunate to learn a great deal through these cultural exchanges.”

WRA and Reclamation hold annual meetings, alternating between Taiwan and the United States. These annual meetings have two elements, a day-long meeting to discuss the results of the work performed in the prior year and to establish the scope and priorities for the upcoming year and visits to a selection of the host-country’s water-management facilities. This helps to expose the visiting country’s experts to the technologies being used and problems being encountered at those facilities. Senior leaders in WRA and Reclamation generally attend the annual meeting and technical tours.

During the meeting, WRA and Reclamation discussed the work tasks performed that were specified in the 2018 scope of work of the cooperative agreement, discussed 2019 WRA work requests for



Reclamation's consideration and signed the 2018 Annual Meeting Conclusions document which summarized the 2018 work accomplishments and identified 2019 work items to be completed.

In addition to the annual meeting, WRA and Reclamation staff visited the Department of Transportation, Federal Highway Administration and Turner- Fairbank Research Center, touring the laboratories and had technical discussions on scour and erosion research.

The technical assistance and cooperation for water resources program between the American Institute in Taiwan and Taipei Economic and Cultural Representative Office was established in the 1980s. Various water resources projects have since been carried out and executed through Reclamation and WRA. Years of collaboration have produced fruitful results and have proven beneficial to both sides in dealing with challenges facing the sustainable use of limited water resources.

<https://www.usbr.gov/newsroom/stories/detail.cfm?RecordID=63830>