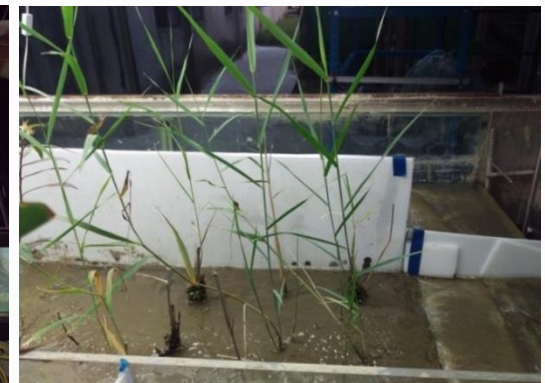
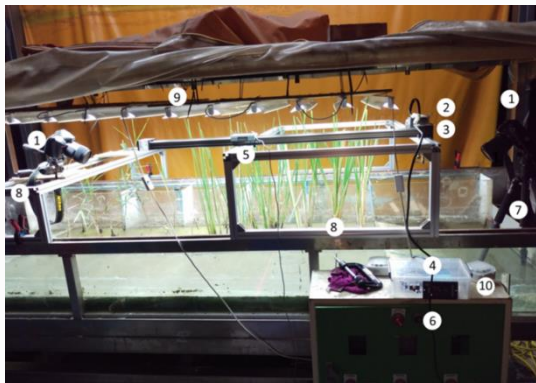




土壤侵蝕及土砂運移特性研究

國立中興大學 水土保持學系 王咏潔 助理教授

May 7th 2019

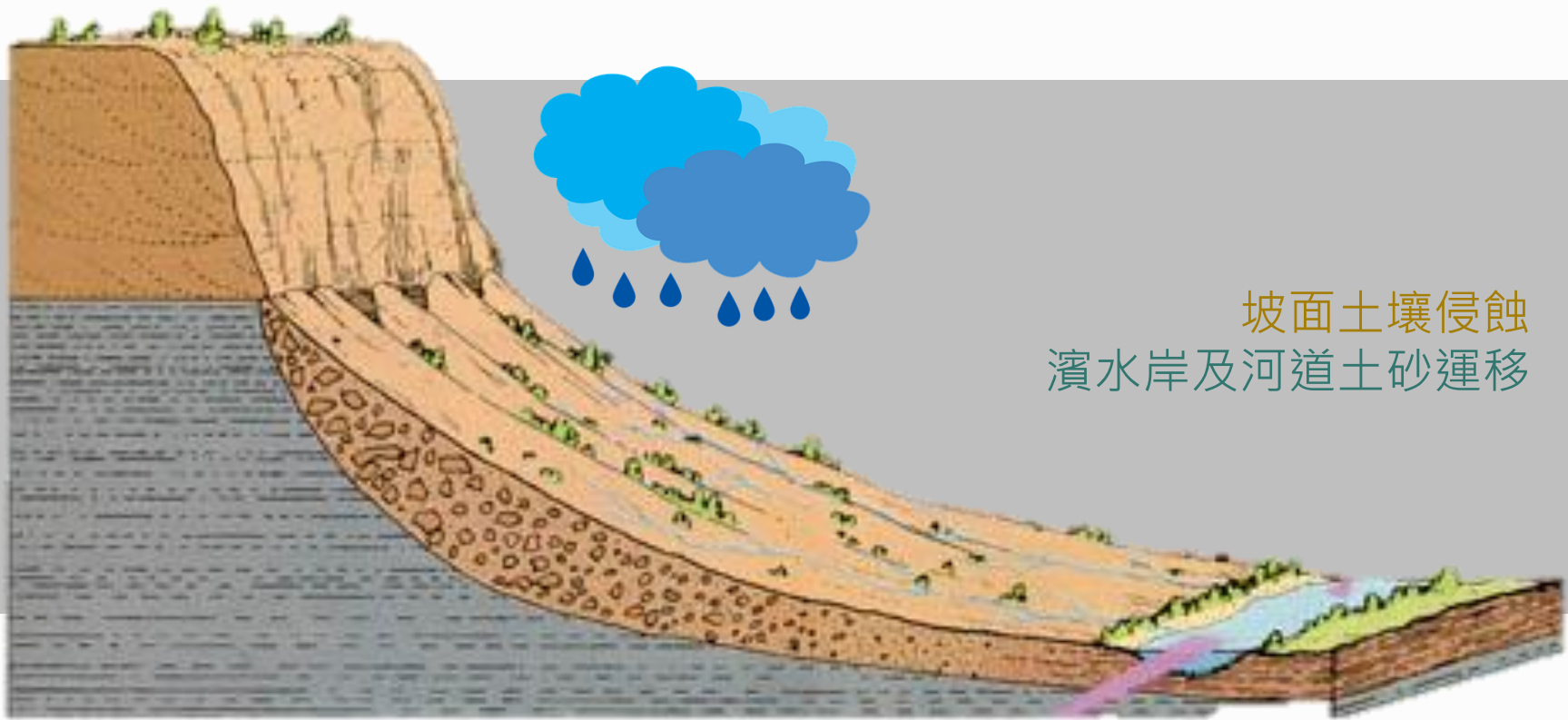


國立中興大學水土保持學系
Department of Soil and Water Conservation

WSEEL Lab
水土環境與沖蝕行為研究室

研究主題

坡面－濱水區－河道



坡面土壤侵蝕
濱水岸及河道土砂運移

Source: adapted from "Gravity Erosion Diagram | Gallery" Coaching-netz.info



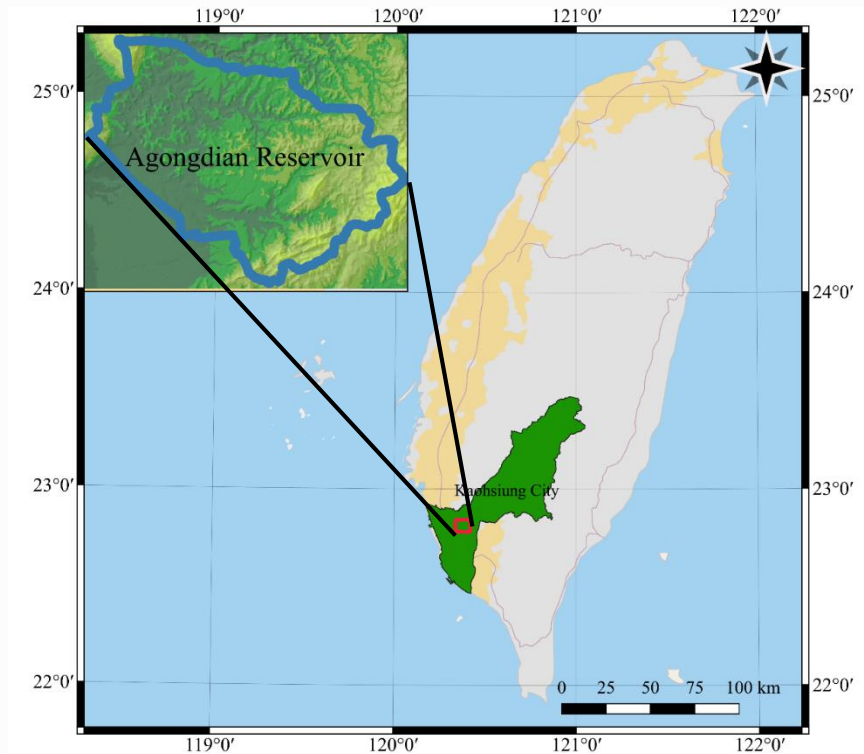
國立中興大學水土保持學系
Department of Soil and Water Conservation

WSEEL Lab

水土環境與沖蝕行為研究室

研究材料

採集自阿公店水庫之青灰泥沉積土



Source: Wang and Lai (2018)



青灰泥沉積土基本物理性質

- 顆粒密度： 2.69 g/cm^3
- 土壤質地：52.15% 砂, 45.75% 粉, 5.91% 黏
- 砂質壤土 (美國USDA 土壤分類系統)

● 細粒含量高

● 乾燥時堅硬

● 吸水易化

● 連續降雨時易發生侵蝕

● 鹽分含量高-不利植物生長

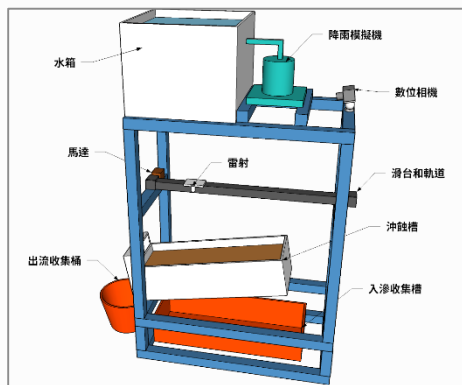


國立中興大學水土保持學系
Department of Soil and Water Conservation

WSEEL Lab
水土環境與沖蝕行為研究室

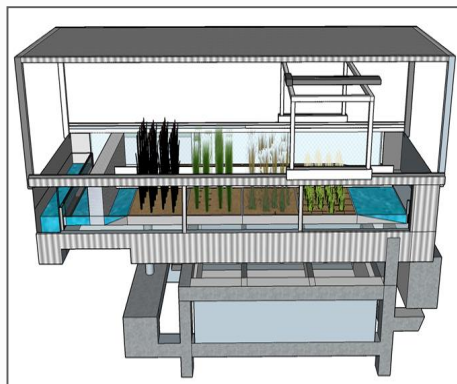
研究方法

室內實驗與系統動力模擬



坡面

- 人工降雨機實驗
- 切葉雷射掃描技術
- Hairsine-Rose 物理模型-系統動力模擬



濱水岸

- 循環水槽實驗
- 切葉雷射掃描技術
- 有/無挺水植物之土壤侵蝕與淘刷現象



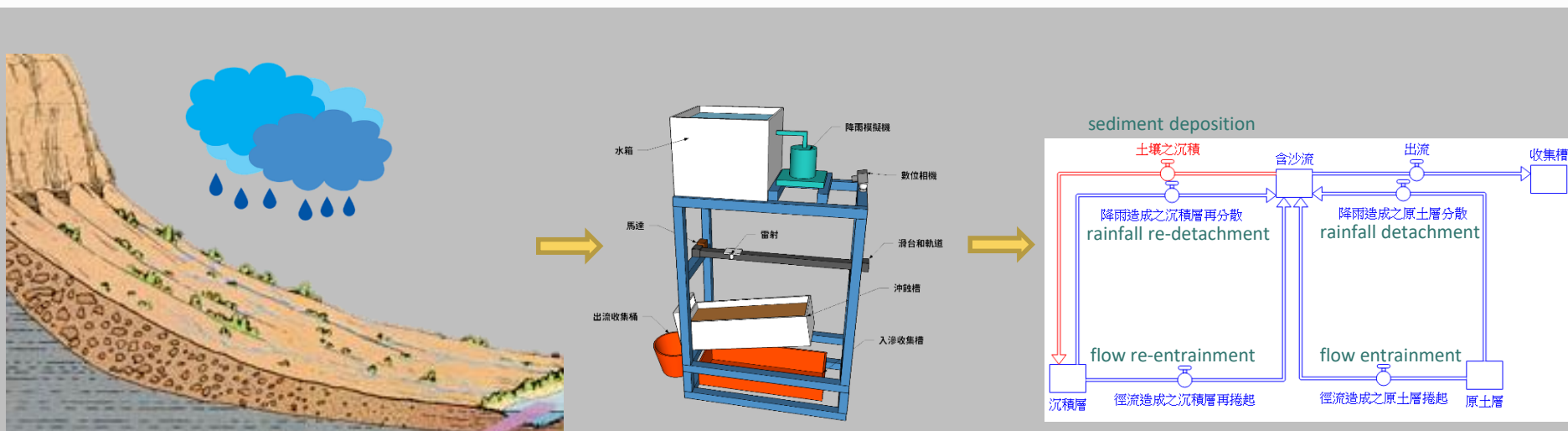
河道/河床

- 循環水槽實驗
- 土砂沖刷啟動閾值
- 臨界流速與 τ_{*c} & Shields 參數



坡面土壤侵蝕

以Hairsine-Rose 模式評估人工降雨實驗之土壤流失量



Source: adapted from "Gravity Erosion Diagram | Gallery" Coaching-netz.info

評估降雨事件中坡地土砂流失、侵蝕地形變化（紋溝發展）、土壤侵蝕與運移之過程

- 人工降雨室內實驗 + 雷射地形掃描

1. 由降雨實驗得到坡度和降雨強度與土壤侵蝕量之間的關係。
2. 建立數值高程模型，描述侵蝕過程及型態演變。
3. 求得土壤侵蝕體積和土壤侵蝕重量之間的轉換關係式。

- 依Hairsine-Rose物理方程式建立系統動力模型

1. 以系統性思考探討土壤侵蝕過程
2. 建立土壤侵蝕系統動力模型，以Hairsine-Rose方程式為基礎
降雨和逕流造成之侵蝕沉積作用會同時交互影響
3. 以實驗資料進行模式參數率定、敏感度分析、參數優化

提出對集水區坡面土砂侵蝕量之時間變化的初步評估方法及工具

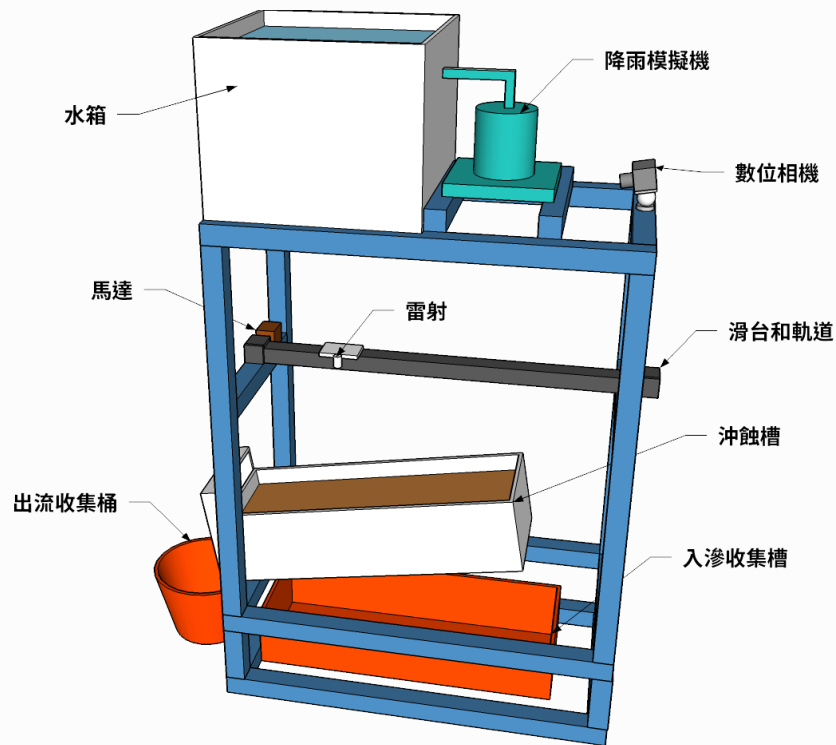


國立中興大學水土保持學系
Department of Soil and Water Conservation

WSEEL Lab
水土環境與沖蝕行為研究室

坡面土壤侵蝕

人工降雨侵蝕實驗



Source: adapted from Wang and Lai (2018)

- Eijkelkamp所出產之針管式人工降雨機
- 人工降雨動能約與天然降雨 80mm h^{-1} 相近
- 控制變因為坡度-選定6種坡度(5° 、 10° 、 15° 、 20° 、 25° 、 30°)，2重複，共12組實驗。

實驗步驟如下：

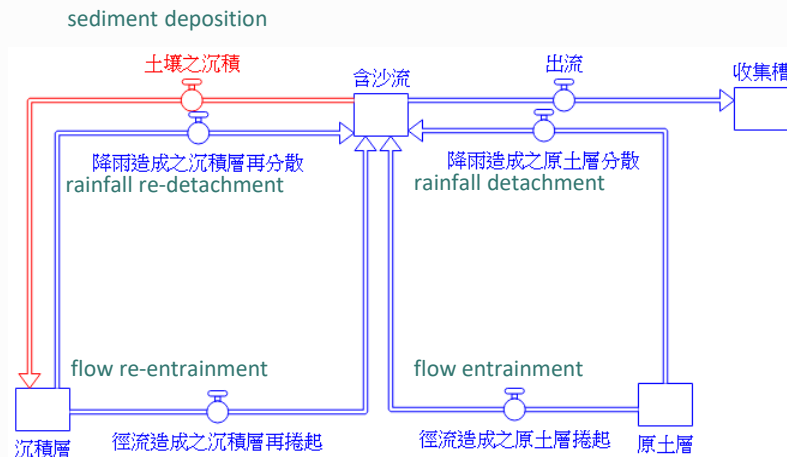


坡面土壤侵蝕

坡面侵蝕系統動力模型

• 系統動力學(System dynamics)

1. 美國麻省理工學院(Massachusetts Institute of Technology)教授Jay W. Forrester首先提出其概念和應用。
2. 強調問題的整體性，由許多的相關因素與彼此間互動關係所構成。
 - Stock: 存量: 某一變數在特定時刻的狀態。
 - Flow: 流量: 存量的變化快慢。
 - Converter: 輔助變數: 在模型中使用到的各項參數。



Source: 賴俊辰 & 王咏潔 (2019)

• 坡地侵蝕物理模型 - Hairsine-Rose Model

1. 由Hairsine, P.B.和Rose, C.W.於1991和1992年所發表之論文(Hairsine & Rose, 1991, 1992)所提出。
2. 其主要觀念:
 - 降雨和逕流所產生之相關侵蝕沉積過程是同時作用。
 - 將土壤根據粒徑分布畫分成數個不同階層*i*。
 - 此模型常用於小尺度的實驗上，且具有簡單但明確的土壤侵蝕物理過程。

$$\frac{\partial(Dc_i)}{\partial t} + \frac{\partial(qc_i)}{\partial x} = \underbrace{r_i}_{\text{土表}} + \underbrace{r_{ri}}_{\text{沉積層}} + \underbrace{e_i}_{\text{土表}} + \underbrace{e_{di}}_{\text{沉積層}} - \underbrace{d_i}_{\text{沉積層}}$$

r_i : 對階層*i*之逕流所造成原有土表捲起之侵蝕率(kg/m²s)

r_{ri} : 對階層*i*之逕流所造成沉積層再捲起之侵蝕率

e_i : 對階層*i*之降雨所造成原有土表分散作用之侵蝕率

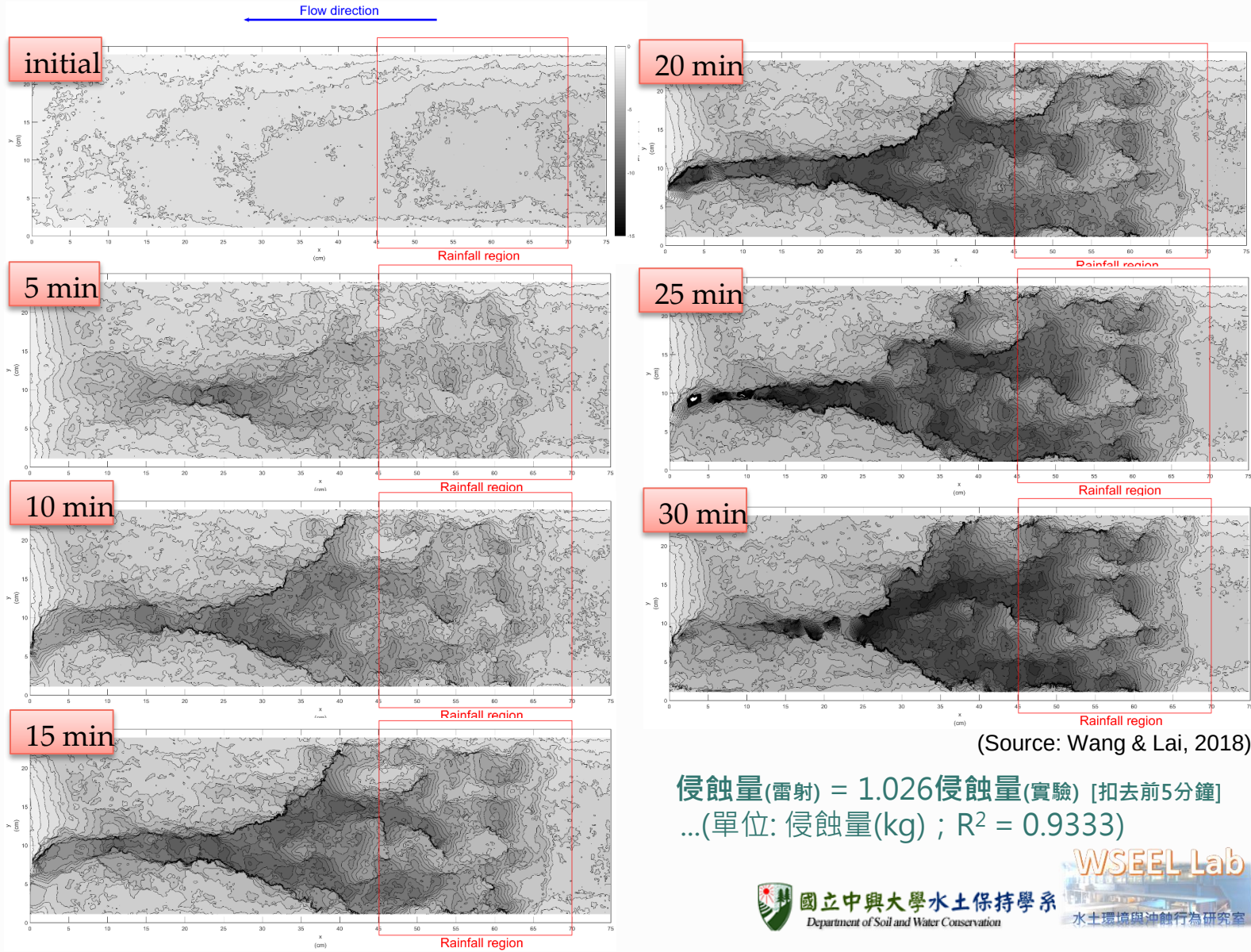
e_{di} : 對階層*i*之降雨所造成沉積層再分散作用之侵蝕率

d_i : 對階層*i*之土壤沉積率



坡面土壤侵蝕

侵蝕地形
(30°)



侵蝕量(雷射) = 1.026 侵蝕量(實驗) [扣去前5分鐘]
...(單位: 侵蝕量(kg) ; $R^2 = 0.9333$)

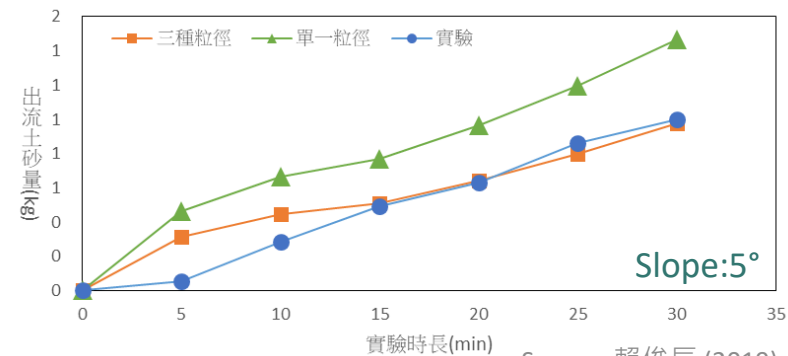
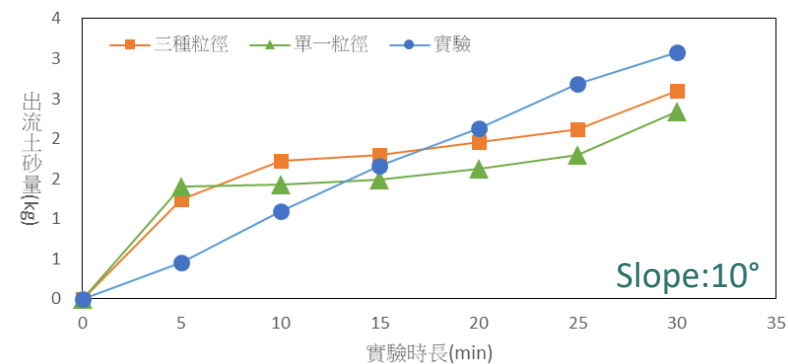
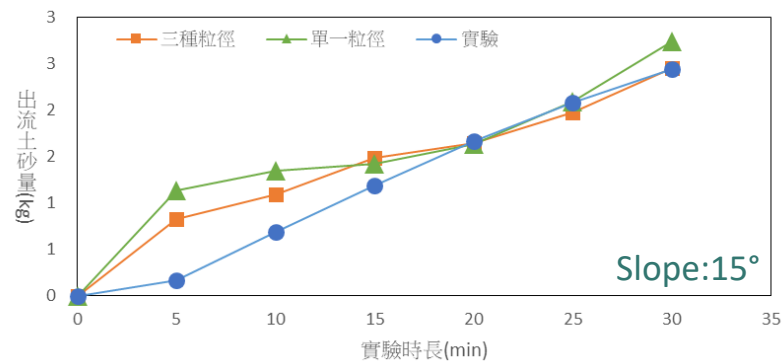
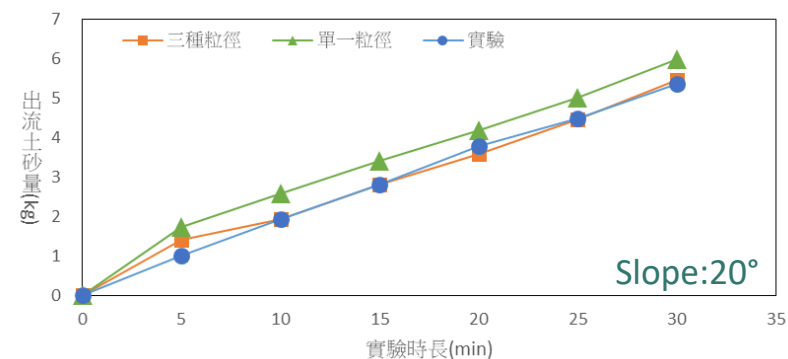
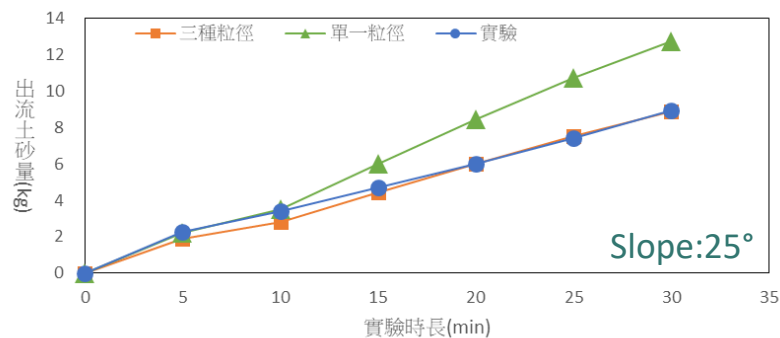
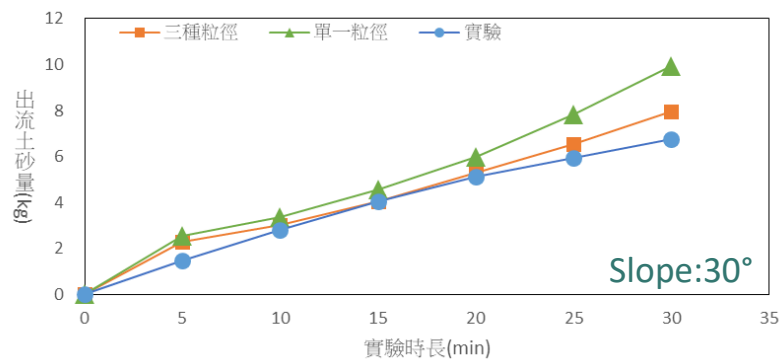


國立中興大學水土保持學系
Department of Soil and Water Conservation

WSEEL Lab
水土環境與沖蝕行為研究室

坡面土壤侵蝕

土壤流失量模擬



Source: 賴俊辰 (2019)

坡面土壤侵蝕

研究成果與結論



降雨延時&強度量化關係式

不同降雨強度、降雨延時之單場或數場降雨事件下，對坡面造成之土壤侵蝕與表土流失，不同時距之土砂量體估計。



遙測及影像分析技術之應用

雷射土壤侵蝕體積與實際收集之土壤侵蝕量之轉換式，可應用於遙測技術產出的數值地形模型，求得地形變化體積差，轉換成土壤侵蝕量。



土壤侵蝕敏感參數

逕流侵蝕相關參數（捲起作用單位所需能量、河川功率門檻值），以及降雨侵蝕相關參數（原土層和沉積層之離散能力）為主要敏感因子。



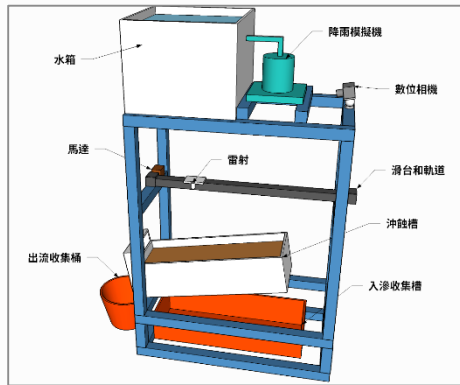
土壤侵蝕模擬

以Hairsine-Rose物理概念發展之系統動力模型，探討土壤侵蝕的物理機制和過程，可根據現地資料與降雨強度模擬事件中土壤流失與侵蝕過程之時間變化。



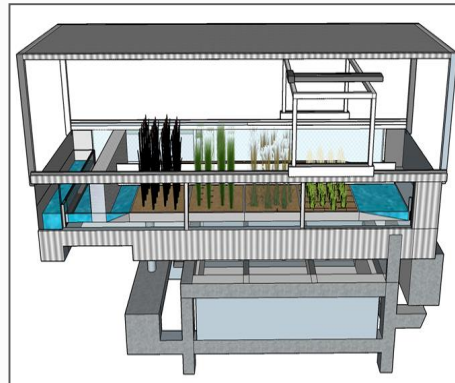
研究方法

實內實驗搭配有/無植物種植



坡面

- 人工降雨機實驗
- 切葉雷射掃描技術
- Hairsine-Rose 物理模型-系統動力模擬



濱水岸

- 循環水槽實驗
- 切葉雷射掃描技術
- 有/無挺水植物之土壤侵蝕與淘刷現象



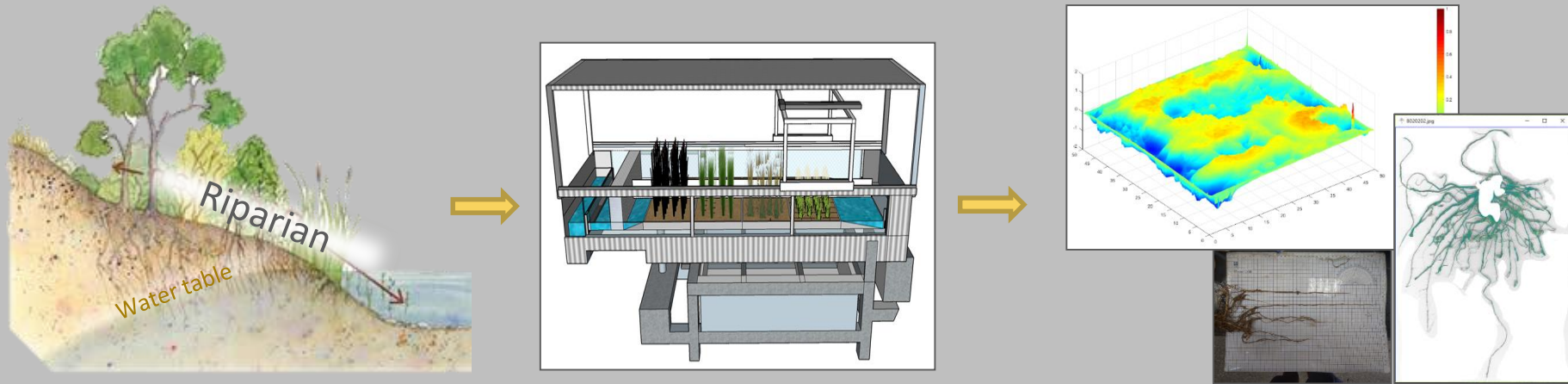
河道/河床

- 循環水槽實驗
- 土砂冲刷啟動閾值
- 臨界流速與 & Shields 參數



濱水岸土壤侵蝕

以水槽實驗探討濱岸挺水植物對土壤侵蝕之影響



Source: adapted from <http://cowsandfish.org/riparian/riparian.html>

了解濱水區/淺水區土壤在表面裸露、種植挺水植物、擬真植物的侵蝕與沖刷特性

- 循環水槽實驗 + 植物生長紀錄&洗根分析

1. 裸露土壤表面 VS 種植剛性挺水植物
→ 無根、無莖效應 VS 有根、有莖效應
2. 種植剛性挺水植物 VS 擬植植物（壓克力柱）
→ 有根、有莖效應 VS 無根、有莖效應

- 雷射地形掃描

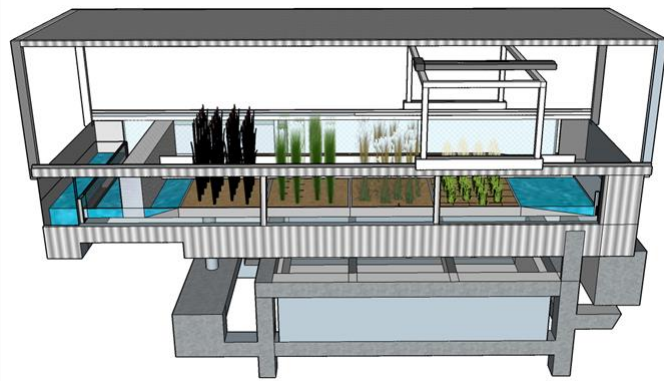
1. 調整流量，觀察侵蝕/沖刷及淤積情形
2. 以地形掃描建立DEM → 不同時期DEM求得體積差 → 估算侵蝕/淤積變化
3. 以沖/淤地形變化探討植物根、莖對淺水流區土壤侵蝕/沖刷與土砂運移之影響

提供原生水生植物加入河溪濱水區域整治應用，幫助濱水區邊岸土砂穩定之效益評估

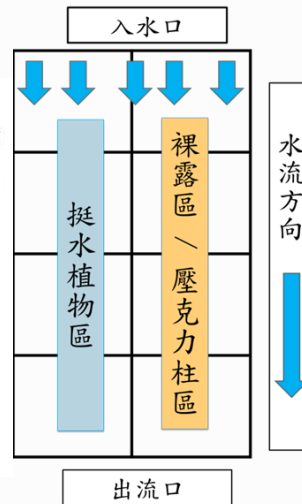


濱水岸土壤侵蝕

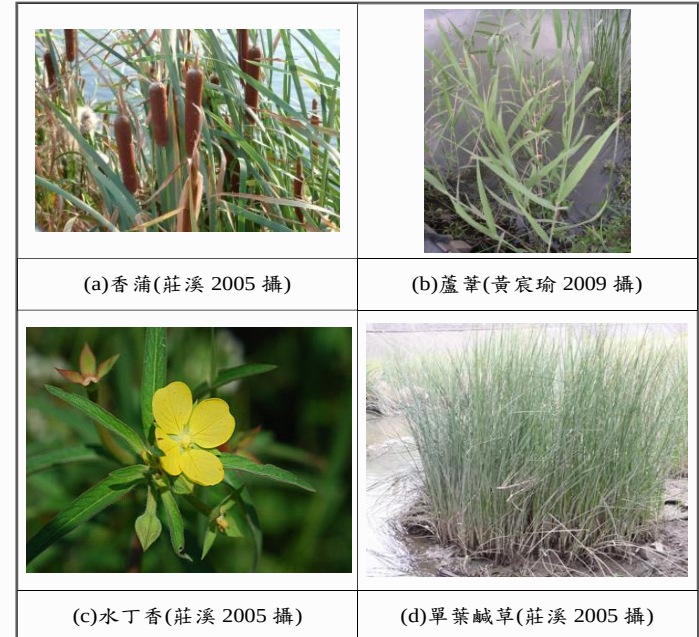
循環水槽實驗



Source: 陳登詠&王咏潔 (2019)



Source: 陳登詠(2019)



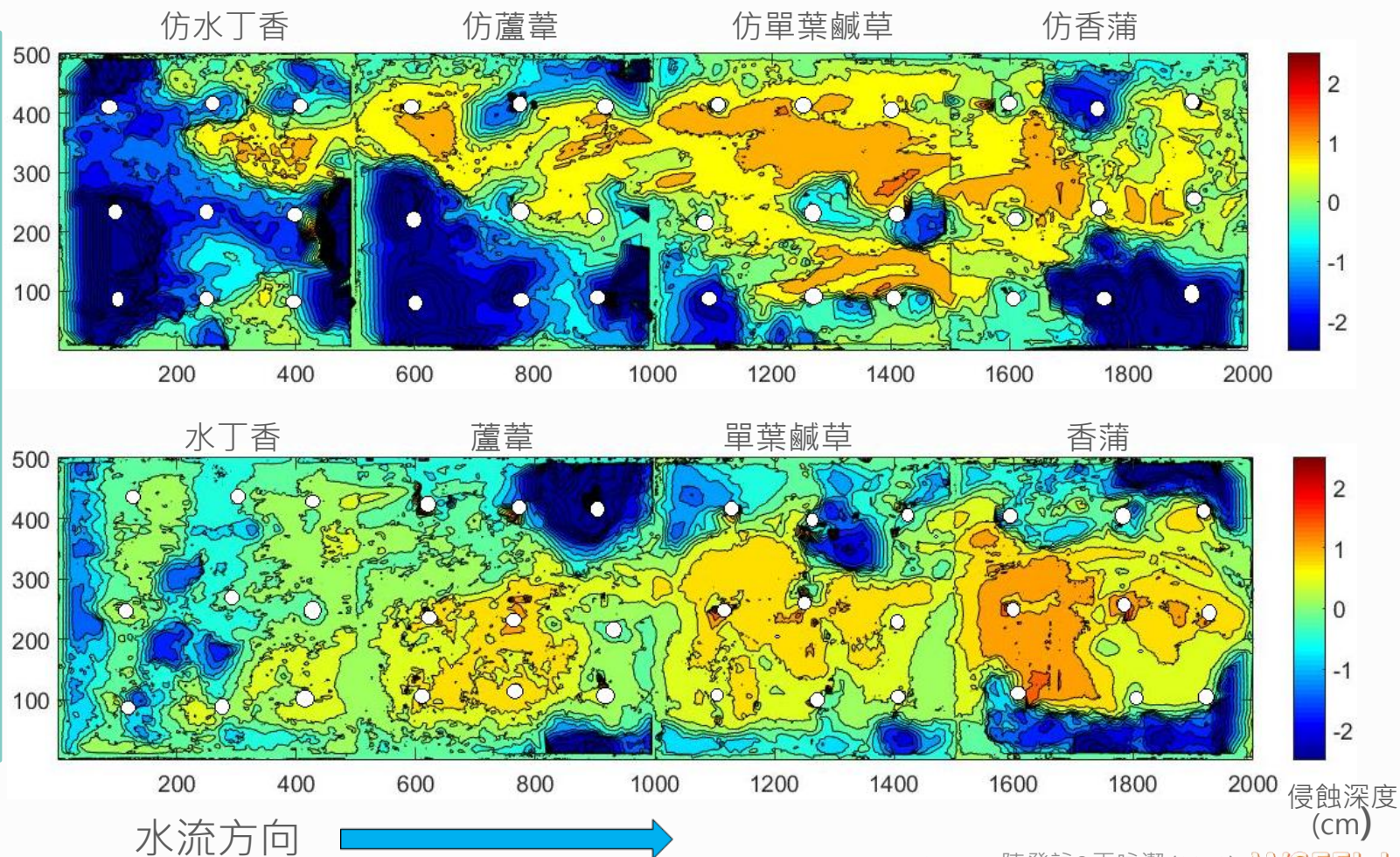
Source: 陳登詠(2019)



濱水岸土壤侵蝕

侵蝕地形變化- 實驗二 (12週結果)

壓克力柱區
VS
植物區



Source: 陳登詠 & 王咏潔 (2019) WSEEL Lab

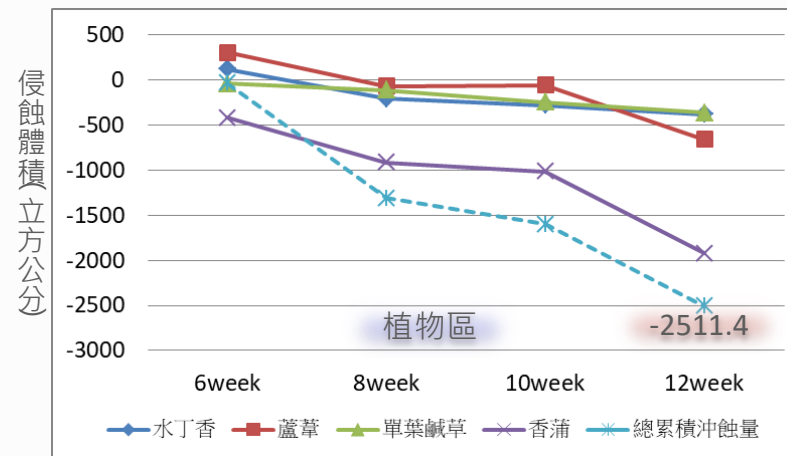
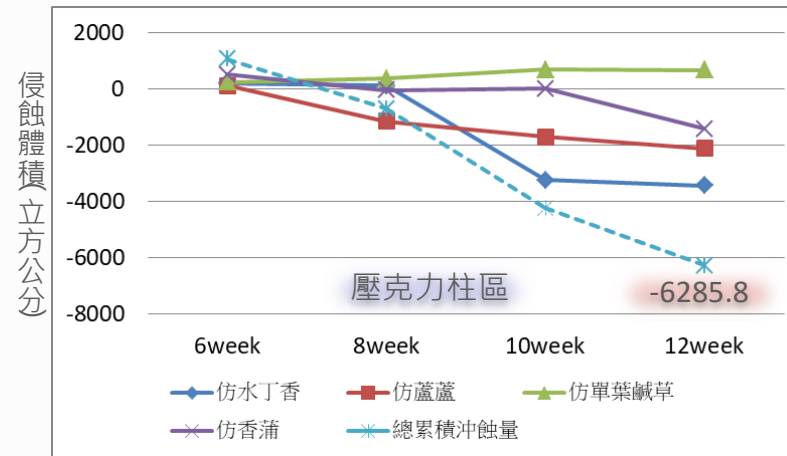


國立中興大學水土保持學系
Department of Soil and Water Conservation

水土環境與沖蝕行為研究室

濱水岸土壤侵蝕

實驗二



Source: 陳登詠&王咏潔 (2019)



國立中興大學水土保持學系
Department of Soil and Water Conservation

WSEEL Lab
水土環境與沖蝕行為研究室

濱水岸土壤侵蝕

研究成果與結論



裸露區與植物區之侵蝕差異

補露區總侵蝕量大於植物區 10.6%；侵蝕情形顯著發生於流量 150L/min(流速 49.95cm/s) 至 200 L/min(流速 66.6 cm/s) 期間。柳明哲 (2019) 研究出，泥岩土壤之啟動流速約 55-60 cm/s。



擬真植物與真實植物區之侵蝕差異

壓克力柱區總侵蝕量大於植物區，總侵蝕量相差 2.5 倍；兩者皆有植物地上部（莖）對水流之影響，造成之二次流與淘刷作用，但植物區中植物根系盤結作用明顯減緩表土侵蝕之程度。



侵蝕體積與平均沖刷深度

侵蝕體積：壓克力柱區 > 裸露區 > 植物區；平均沖刷深度：壓克力柱區 > 植物區 > 裸露區。裸露區多大面積侵蝕，植物因地上部次流導致局部區域刷深，但是整體因為有根系保護，侵蝕體積仍略低於裸露情況。



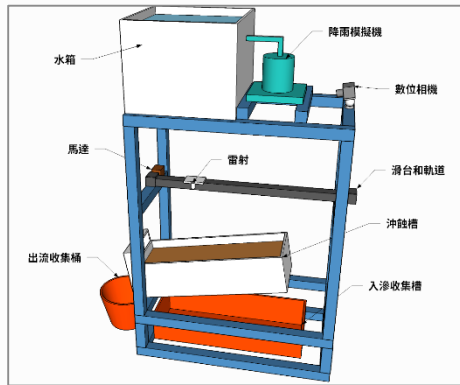
植物抗沖能力

蘆葦與單葉鹹草-根系越長，代表根系蔓延程度高，土壤抗沖性越佳。此兩種挺水植物固土效果佳，且存活率高，管理維護需求低，適合推廣至整治工程使用。



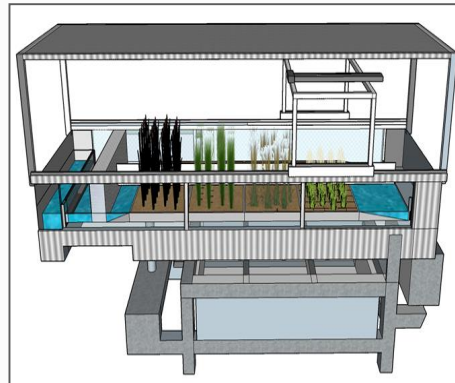
研究方法

土砂啟動過程之水槽沖刷實驗



坡面

- 人工降雨機實驗
- 切葉雷射掃描技術
- Hairsine-Rose 物理模型-系統動力模擬



濱水岸

- 循環水槽實驗
- 切葉雷射掃描技術
- 有/無挺水植物之土壤侵蝕與淘刷現象



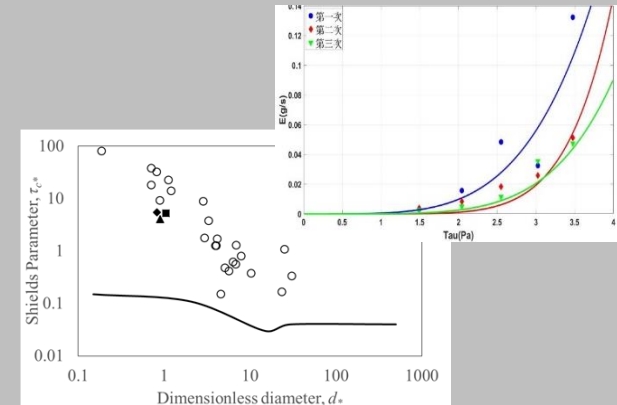
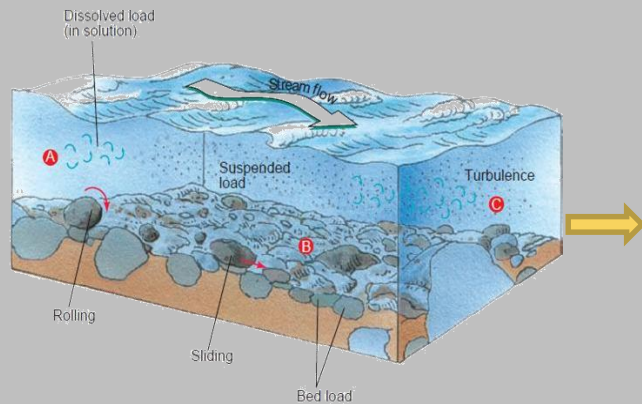
河道/河床

- 循環水槽實驗
- 土砂沖刷啟動閾值
- 臨界流速與 τ_{*c} Shields 參數



河道中土壤侵蝕

評估泥岩地區沖床沉積物之侵蝕閾值



Source: <http://geography.name/the-work-of-streams-and-stream-gradation/>

研究泥岩土壤表面冲刷啟動特性與土壤基本性質之關係

• 流況測定與剪應力計算方法比較+ 循環水槽沖蝕實驗

1. 24-、48-、72-hr 自然沉降時間備製不同壓密固結程度土樣
2. 五種不同流況產生不同底床剪應力作為侵蝕外力
3. 剪應力計算：平均斷面法與平均對數模式法（LP法）比較
4. 土樣補充式明渠水槽搭配位移計測量平均侵蝕率

• 高斯牛頓法擬合求得啟動剪應力與無因次分析

1. 以高斯牛頓法非線性擬合 $E = M(\tau - \tau_c)^n$ 公式
2. 以中值粒徑為最小侵蝕高度，求得臨界剪應力 τ_c
3. 無因次化分析，求得Shields parameter: $\tau_{*c} = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma_w)d_{50}}$
4. 推求不同水深環境之啟動流速

提出土粒之臨界啟動條件與其評估方法，作為侵蝕模式與輸砂公式之物理參數



國立中興大學水土保持學系
Department of Soil and Water Conservation

WSEEL Lab
水土環境與沖蝕行為研究室

河道中土壤侵蝕

土樣補充式明渠水槽實驗



製作土
樣 (自
然沈降)

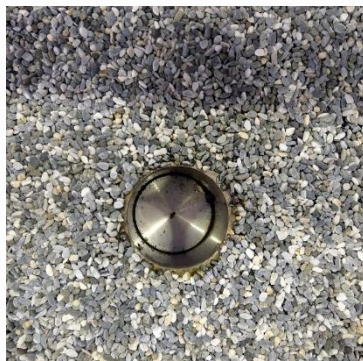
土樣置
入渠道
並蓋上
蓋子

調整坡
度與流
量

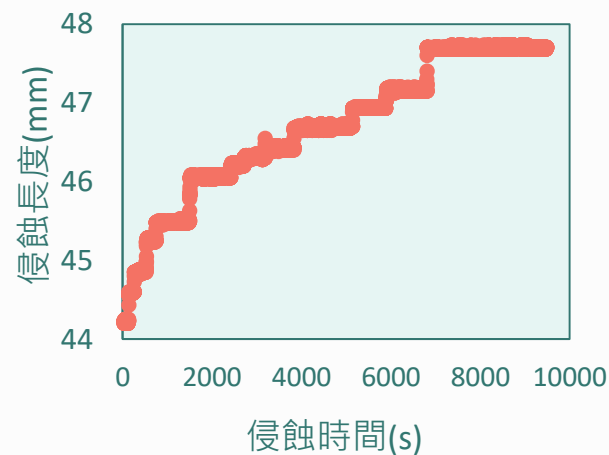
調整水
深並待
流況穩
定

掀蓋並
等待30
秒使疏
鬆層逸
散

以位移
計電子
記錄器
紀錄侵
蝕深度

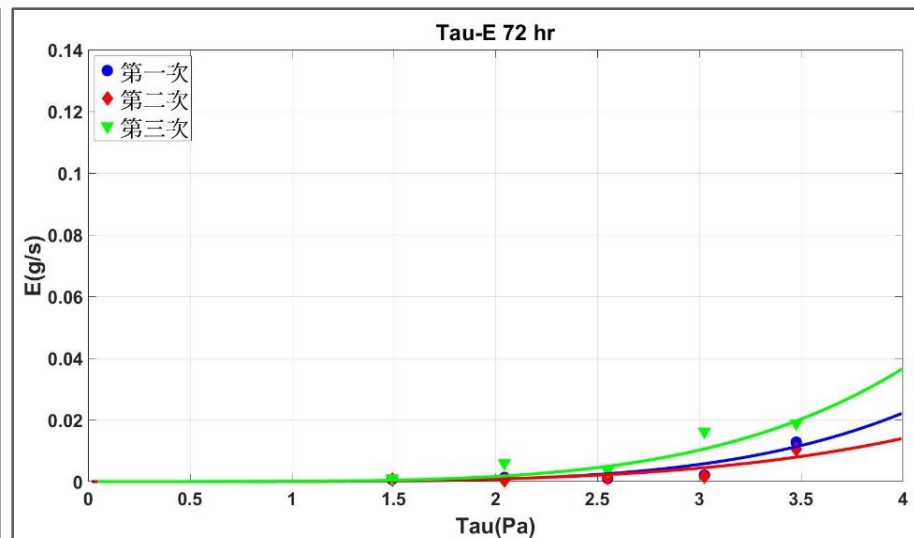
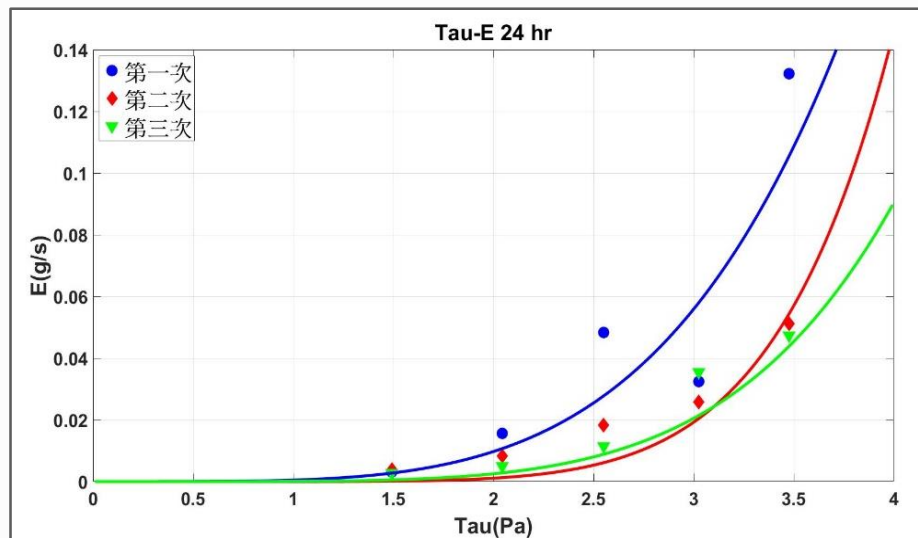
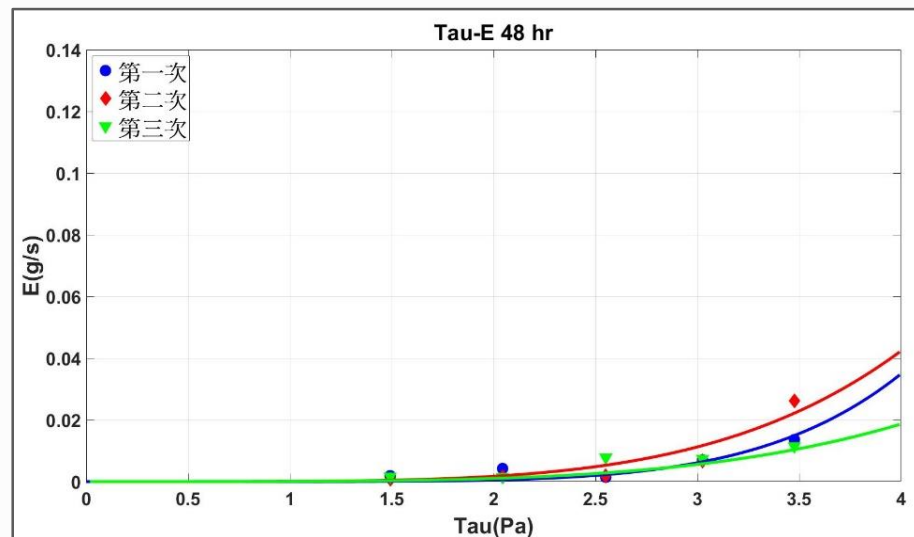
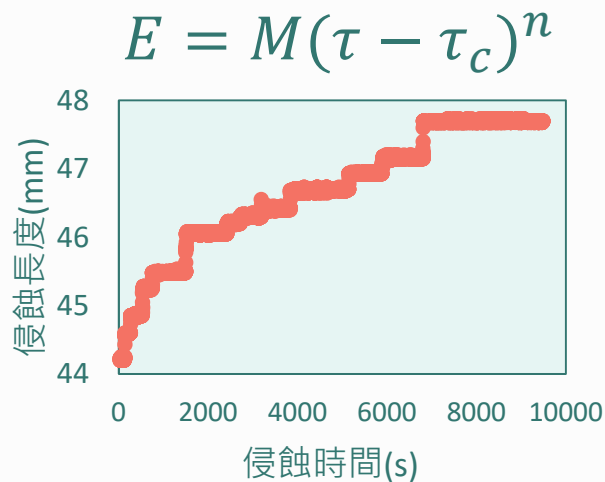


Source: 柳明哲 & 王咏潔 (2019)



河道中土壤侵蝕

侵蝕應力與侵蝕率



Source: 柳明哲 & 王咏潔 (2019)

河道中土壤侵蝕

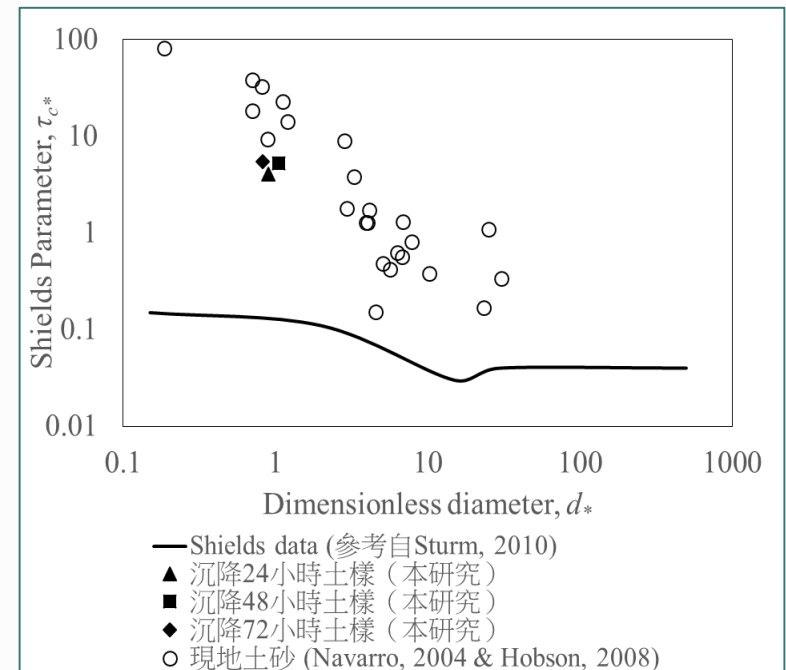
啟動剪應力&無因次化分析

$$d_* = \sqrt[3]{\frac{(G_s - 1)gd_{50}^3}{\nu^2}}$$

$$\tau_{c*} = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma_w)d_{50}}$$

$$V_c = 5.75\sqrt{\tau_c^*(SG - 1)gd_{50}} \log\left(\frac{12.2R}{k_s}\right)$$

沉降時間(hr)	實驗次數	啟動侵蝕率(g/s)	啟動剪應力(Pa)	平均值(Pa)
24	1	8.374×10^{-3}	1.925	2.367
	2	8.224×10^{-3}	2.649	
	3	8.510×10^{-3}	2.525	
48	1	8.564×10^{-3}	3.136	3.084
	2	8.690×10^{-3}	2.804	
	3	8.608×10^{-3}	3.312	
72	1	8.727×10^{-3}	3.283	3.220
	2	8.568×10^{-3}	3.523	
	3	8.661×10^{-3}	2.853	



(Source: 柳明哲 & 王咏潔, 2019)



河道中土壤侵蝕

研究成果與結論

💧 侵蝕應力流況計算方式比較

比較平均斷面法（考慮空間平均流速）與平均對數模式法（考慮流速剖面空間變化）計算之侵蝕應力呈正相關之指數關係。

☀️ 青灰泥侵蝕啟動特性影響因子

青灰泥岩風化沉積土壤之侵蝕啟動特性，自然沉降造成之壓密與固結時間為重要影響因子。粒徑大小、含水量、密度等因子之影響在本研究中較不顯著。

📄 黏粒含量之重要性

與前人研究結果比較，細粒之土砂材料，其黏粒或（粉+黏）粒含量比例相當者，其沖蝕啟動應力相當。在粒徑分布相似材料中，含黏土礦物者之抗侵蝕能力較佳；即在細粒材料中黏土顆粒之吸引力為重要因子。

✓ 無因次分析應用

將剪應力無因次化後，以公式計算不同沉降固結時間之土樣，在不同坡度之均勻流況下的啟動流速，可作為青灰泥岩地區進行土壤侵蝕模擬及集水區輸砂模擬之應用參考。



參考文獻

- Hillslope figure: “Gravity Erosion Diagram | Gallery” Coaching-netz.info
- Riparian area figure: <http://cowsandfish.org/riparian/riparian.html>
- Sediment transport figure: : <http://geography.name/the-work-of-streams-and-stream-gradation/>
- Yung-Chieh Wang*, Chun-Chen Lai, 2018 (July), Evaluating the Erosion Process from a Single-Stripe Laser-Scanned Topography: A Laboratory Case Study, 10(7), 956, Water (SCI). doi:10.3390/w10070956
- 柳明哲 & 王咏潔*, 2019 (3月), 「青灰泥沉積土沖蝕率與啟動應力實驗研究」, 水土保持學報, 已接受。
- 陳登詠 & 王咏潔*, 2019 (1月), 「真實挺水植物與人工材料模擬植物之沖蝕試驗研究」, 水土保持學報, 50(1), 2350-2361。
- 賴俊辰 & 王咏潔*, 2019 (1月), 「小尺度人工降雨試驗侵蝕量模擬研究-Hairsine-Rose模式應用」, 水土保持學報, 50(1), 2339-2349。
- 陳證詠, 2019 (1月) 「挺水濱岸植被對土壤沖蝕特性影響之試驗研究」, 碩士論文, 國立中興大學水土保持學系。
- 賴俊辰, 2019 (1月) 「應用Hairsine-Rose模型於人工降雨實驗之土壤流失量評估」, 碩士論文, 國立中興大學水土保持學系。
- 柳明哲, 2019 (1月) 「青灰泥岩地區土砂沉積物之沖刷啟動特性研究」, 碩士論文, 國立中興大學水土保持學系。



Thanks for Listening
Questions?