計畫編號：SWCB-110-014

以創意實作教學引導學生開發可拆卸模組化之鋼管壩

Using innovative and hands-on teaching to guide students to develop removable modular steel check dams

（成果報告）

執 行 單 位：國立成功大學

執 行 期 間：110 年 01 月 27 日至 110 年 12 月 31 日

計畫主持人 ：賴悅仁 副教授

共同主持人 ：

協同主持人 ：

行政院農業委員會水土保持局　編印

中華民國 110 年 12 月

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考）

以創意實作教學引導學生開發可拆卸模組化之鋼管壩

摘要

本計畫以創意實作教學引導學生開發「可拆卸模組化之鋼管壩」，以增加可調式防砂壩之多樣性，讓學生從模型實作中，體會水流、土砂、水工結構物三者之間的互動關係。課程使用成大水利系之創客空間，分組同步進行，學生將學習繪製可拆卸模組化鋼管壩之三維模型、製作混凝土縮尺模型、將模型放入動床水槽中測試並實際測量地形改變，定量討論其蓄積土砂、減緩河床坡度及抑制縱向沖刷等功能。透過本計畫能持續培育出更多創客，投入水土保持領域，點燃學生對於「水土保持」及「土石流防災」的重視與熱情，以達到創新水土保持教育宣導之實質目的。本計畫研發之成果及實作經驗皆可提供水保局相關單位進行教育訓練。

關鍵詞：創意實作、教學模組、可調式防砂壩、鋼管壩、縮尺模型

Using innovative and hands-on teaching to guide students to develop removable modular steel check dams

Abstract

This project uses creative implementation to guide students to develop a removable modular steel check dam for increasing the diversity of adjustable check dams. The project uses the makerspace in the Department of Hydraulic and Ocean Engineering and provides an environment for students to experience the interaction among water flow, sediment, and hydraulic structures. Students will learn how to design a 3D model, make a concrete scale-model, and conduct physical experiments. Students also learn to examine the functions of removable check dam, such as preserving sediment, reducing bed slope and minimizing longitudinal erosion. This project plans to train more students as makers and devote themselves to study water and soil conservation and prevention of debris flows. The results can provide the Soil and Water Conservation Bureau for education and training.

Keywords: creative implementation, teaching module, removable modular steel check dams

目次

摘要.....I

Abstract.....II

目次..... III

表次..... V

圖次.....VI

第一章　前言 1-1

第一節　擬解決問題 1-1

第二節　計畫目標 1-4

第二章　工作執行方法與步驟 2-1

第一節　工作執行方法 2-1

第二節　工作執行步驟 2-14

第三章　工作進度與交付項目 3-1

第一節　計畫甘特圖 3-1

第二節　計畫交付項目 3-7

第四章　成果報告 4-1

第一節　教案說明 4-1

第二節　教案分析 4-2

第五章　結論及建議 5-1

第一節　結論 5-1

第二節　建議 5-2

參考文獻.....參-1

附錄.....附錄-1

附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形 附錄-1

附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形 附錄-6

附錄三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形 附錄-8

表次

表 3-1 計畫甘特圖.....3-1
表 3-2 河工學於疫情影響前規劃之課程大綱.....3-3
表 3-3 河工學受疫情三級警戒修正後之課程大綱.....3-5

圖次

圖 1-1 會呼吸的防砂壩(陳樹群等，2016).....1-2

圖 1-2 可拆卸模組化之鋼管壩逐步拆除、回歸自然河川之過程 1-3

圖 2-1 (上)里仁溪二期工程(水保局台南分局)；(下)東西坑溪五期工程之現地照片(水保局南投分局) 2-2

圖 2-2 里仁溪二期工程之之三維模型、平面圖、立面圖及尺寸說明 2-3

圖 2-3 東西坑溪五期工程之三維模型、平面圖、立面圖及尺寸說明 2-5

圖 2-4 可拆式模組化鋼管壩之三維模型示意圖 2-5

圖 2-5 成大水利系之創客空間 2-6

圖 2-6 本計畫開發之三維厚紙板模型 2-7

圖 2-7 拆模、打磨後之東西坑溪五期工程之 1:100 混凝土縮尺模型 2-7

圖 2-8 河工動床教學試驗水槽和學生實驗之過程 2-8

圖 2-9 第 1 組學生設計之透過性防砂壩及實測過程 2-9

圖 2-10 第 2 組學生設計之透過性防砂壩及實測過程.....2-10

圖 2-11 動床實驗過程.....2-11

圖 2-12 預計開發之間距為 1 CM 之簡易快速斷面測量工具。 2-13

圖 2-13 受到防砂壩影響之數值高程模型資料及侵蝕堆積分佈圖 2-13

圖 4-1 蘭島溪可調式防砂壩及調降過程 4-5

圖 4-2 蘭島溪 1 號可調式鋼管壩 4-6

圖 4-3 蘭島溪 1 號可調式防砂壩之施工圖 4-7
圖 4-4 繪製剖面圖.....4-7
圖 4-5 完成 3D 防砂壩主體.....4-9
圖 4-6 完成 3D 梳子壩主體.....4-10
圖 4-7 完成 3D 梳子壩調降.....4-11
圖 4-8 鋼管壩之實際尺寸與細節 4-12
圖 4-9 完成鋼管壩繪製 4-13
圖 4-10 蘭島溪 1 號可調式鋼管壩之 3D 繪圖與實際防
砂壩之比較 4-14
圖 4-11 巴沙娜橋上游防砂壩.....4-15
圖 4-12 巴沙娜橋上游防砂壩之施工細節 4-16
圖 4-13 巴沙娜橋上游防砂壩之相關尺寸 4-17
圖 4-14 製作防砂壩主體 4-18
圖 4-15 製作梳子壩部份 4-19
圖 4-16 製作鋼管壩部份 4-20
圖 4-17 完成巴沙娜橋上游防砂壩之 3D 模型繪製 4-22
圖 4-18 第一組學生設計之 3D 模型及施工圖 4-24
圖 4-19 第二組學生設計之 3D 模型及施工圖 4-25
圖 4-20 第三組學生設計之 3D 模型及施工圖 4-27
圖 4-21 第四組學生設計之 3D 模型及施工圖 4-28
圖 4-22 第五組學生設計之 3D 模型及施工圖 4-30
圖 4-23 第六組學生設計之 3D 模型及施工圖 4-31
圖 4-24 第七組學生設計之 3D 模型及施工圖 4-32
圖 4-25 木製鋼管壩縮尺模型製作過程 4-35
圖 4-26 木製鋼管壩縮尺模型之可調整功能製作方式 4-37

圖 4-27 完成可調式木製鋼管壩之縮尺模型 4-38
圖 4-28 製作混凝土防砂壩主體之紙模 4-39
圖 4-29 灌漿過程及技巧 4-41
圖 4-30 完成蘭島溪 1 號可調式防砂壩之 1:40 混凝土縮
尺模型 4-41
圖 4-31 縮尺模型水槽實驗 4-43
圖 4-32 測試不同流量對於縮尺模型之影響 4-44
圖 4-33 測試巨石與漂流木之影響 4-45
圖 4-34 地形高程測量器材。 4-46
圖 4-35 地形高程測量器材。 4-47
圖 4-36 實驗地形測量之過程。 4-48
圖 4-37 實驗地形測量之過程。 4-49
圖 4-38 影像校正圖，需要人工點選出座標原點以及比
例尺大小。 4-50
圖 4-39 影像校正圖，需要人工點選出座標原點以及比
例尺大小。 4-52
圖 4-40 長曝光影像，(A)為將所有測量影像堆疊在一
處，而形成之長曝光影像圖；(B)為圈選地形
高程之量測範圍，並遮蔽其餘外圍區域。 4-53
圖 4-41 (A) MATLAB 抓取高程亮點示意圖；(B) 疊合
由 MATLAB 自動抓取的各斷面之影像座標高
程圖。 4-54
圖 4-42 數值高程模型(DEM)。 4-55
圖 4-43 蘭島溪可拆式攔沙壩縮尺模型。 4-57
圖 4-44 蘭島溪可拆式攔沙壩實驗過程中之地形地貌。 4-57

圖 4-45 蘭島溪可拆式攔沙壩縮尺模型實驗之數值高程模型。 4-58
圖 4-46 拆壩前後之數值高差異圖。 4-58
圖 4-47 學生創意實作之可拆式攔沙壩縮尺模型。 4-60
圖 4-48 創意可拆式攔沙壩實驗過程中之地形地貌。 4-60
圖 4-49 創意可拆式攔沙壩縮尺模型實驗之數值高程模型。 4-61
圖 4-50 拆壩前後之數值高差異圖。 4-61

第一章　前言

第一節　擬解決問題

台灣山區野溪土砂流動段多以混凝土梳子壩作為防治土石流災害之主要工法，其壩身具有較大之開口，在承受基礎輸砂量時，水流與泥砂皆可通過壩體。梳子壩設計之目的在於平時讓土砂通過以保留貯砂空間，當發生大型土石流事件時，可攔阻、停淤大量土砂，以確保下游居民之生命財產安全。梳子壩在土石流及漂流木之攔阻上皆有良好之功效，並可維持河道生態機能與山區河川環境。

鋼管壩則是將混凝土梳子壩之梳子的部份換成簍空的鋼管結構，因此提高了開口率，不論在低流量或高流量時，含砂水流皆可以正常通過。鋼管壩因具備良好的減災效果，材料重量輕，加上形狀及尺寸選擇多樣，當今已是日本防治土石流災害之首選(Nakano et al., 2003; Ono et al., 2004；魯聲睿，2013)。

不過根據實驗與現場調查，粒徑若大於壩體間距的一半，就容易起連拱效應阻斷後續輸砂，轉變成為孔隙型壩體的型態，進而影響壩體對礫石的攔阻功能。鋼管壩雖然有其優點，但在建構時還是以焊接的方式製作，不能適時調整。陳樹群、川端規之(2014)及陳樹群等(2016)提出「會呼吸的防砂壩」就是為了改善鋼管壩不能調整的缺點，並提出可拆卸之模組化鋼管壩，各組件非互相焊接，而是以強化螺帽進行組合，故鋼管壩之通水容量可由橫材與縱材之拆卸而自由調節(圖1-1)。



圖 1-1 會呼吸的防砂壩(陳樹群等，2016)

鋼管壩單元化後，即可因地制宜，透過組裝橫材與縱材來完成鋼管壩。設想如果防砂壩是可以依不同時期的輸砂量改變其型式，依輸砂量由大到小不斷的拆解，那麼不僅可以因應不同時期的防砂量，也可以保持泥砂量的均衡性以及溪流生態的連續性。在高來砂量時所設計的防砂壩可採用開口型防砂壩 (如梳子壩)，在開口處裝置鋼管壩及格柵設施。隨著泥砂量的減少可先拆除橫材，其次是縱材，以允許部分淤積之泥砂流出，若來砂量再次減少，且上游不再有崩塌，即可將防砂壩降低成固床工的型態，甚至將固床工設計成自然的潭瀨結構(陳樹群等，2016；陳樹群、邱渝方，2019) (圖 1-2)。

本研究計畫非常認同防砂壩可因應防砂量做調整的概念，但此理念還是非常新穎，需要大力推廣。因此，本研究計畫希望藉由去年執

行 109 年度水保局創新計畫「以創意實作融入防砂壩下游保護及貯砂功能評估之教學模組研發」之成果及經驗，轉而投入引導學生研發「可拆卸模組化之鋼管壩」，以增加模組化鋼管壩之多樣性。再者，希望透過實作教學讓學生能實際體會如何透過逐步拆除鋼管壩的過程達到維持基礎輸砂平衡、防止河道下切及維持生態連續性之終極目標。

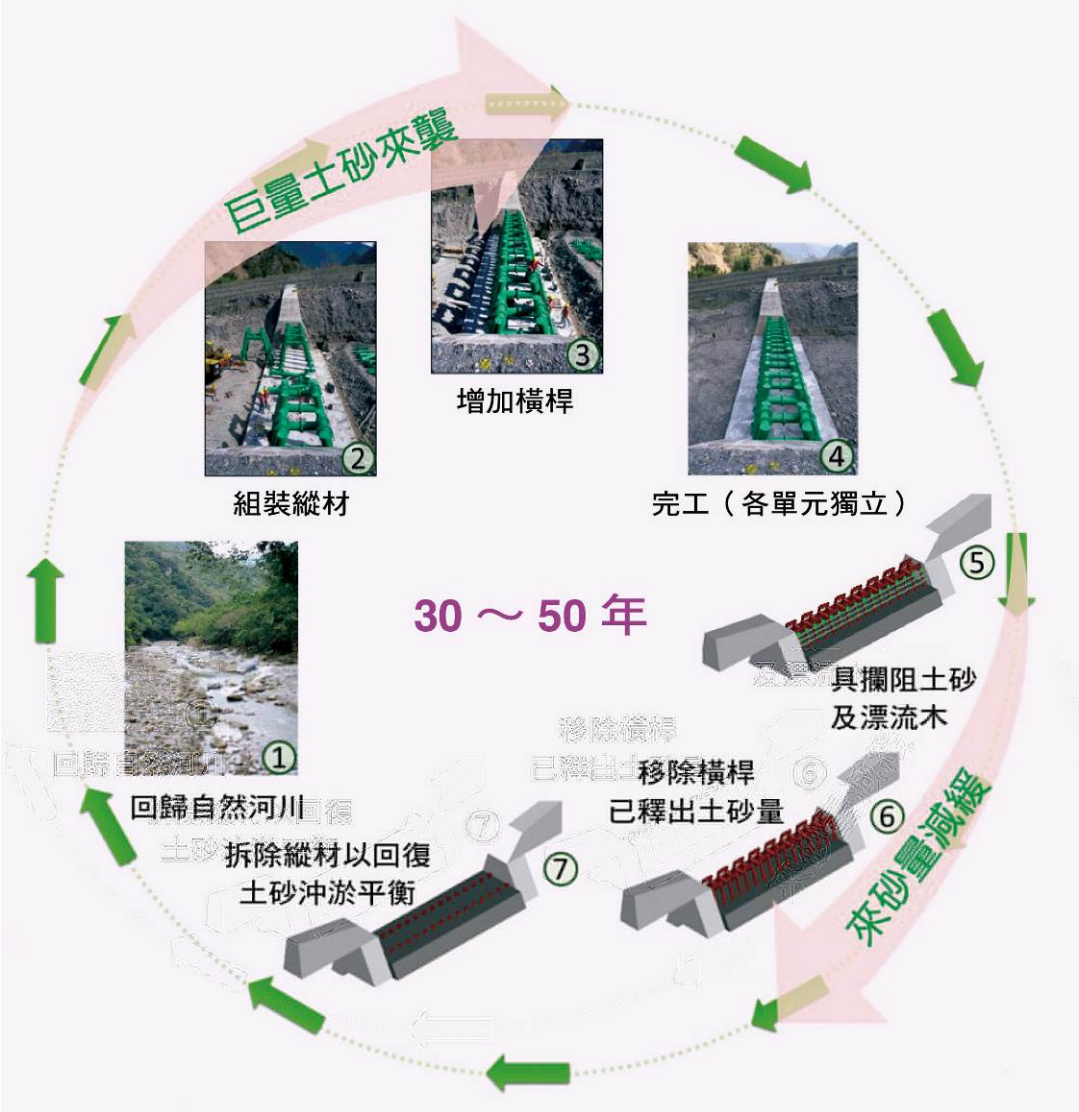


圖 1-2 可拆卸模組化之鋼管壩逐步拆除、回歸自然河川之過程

(陳樹群、邱渝方，2019)

第二節　計畫目標

誠如行政院農業委員會水土保持局 110 年度「創新研究計畫」公開徵求說明之執行課題「工程技術研發 - (5) 野溪消能設施多樣性研究」提及，可進行透過性防砂壩與非透過性防砂壩之試驗研究，探討蓄積土砂、減緩河床坡度及抑制縱向沖刷等功能差異，作為實務設計考量。本計畫之主要目的即是以創新實作教學引導學生開發可拆卸模組化之鋼管壩，以增加模組化鋼管壩之多樣性，並讓學生從模型實作中，體會水流、土砂、水工結構物三者之間的互動關係。修課學生可以透過課程中的實作活動，發揮創意、測試點子、修正模型，進而產出新型態可拆卸模組化之鋼管壩原型(prototype)，並討論其蓄積土砂、減緩河床坡度及抑制縱向沖刷等功能。透過實作之教學過程，點燃學生對於「水土保持」及「土石流防災」的重視與熱情，以達到創新水土保持教育宣導之實質目的。

本計畫以國立成功大學水利及海洋工程學系大二的學生為對象，於 109 學年第 2 學期(2021 年 2 月)之「河工學」課程中執行。本計畫主持人將延續去年執行水保局 109 年度創新計畫中所開發之創意實作教學模組，改以引導學生開發可拆卸模組化之鋼管壩。課程秉持本計畫主持人推廣多年的「創客精神」，結合理論與實作，於成大水利系之創客空間(Makerspace)中。今年修課人數為 32 人，已分成 7 組，再加上本人指導之 3 組專題生，共有 10 組人學生，人數達到 41 人。本計畫期待能持續在成大水利系培育出更多「創客(Maker)」，投入水土保持及防災領域。

第二章　工作執行方法與步驟

第一節　工作執行方法

本研究方法包含：(1) 繪製三維模型及施工圖；(2) 製作縮尺模型；(3) 實驗觀察與測量。以下為各研究方法之詳細說明：

一、繪製三維模型及施工圖

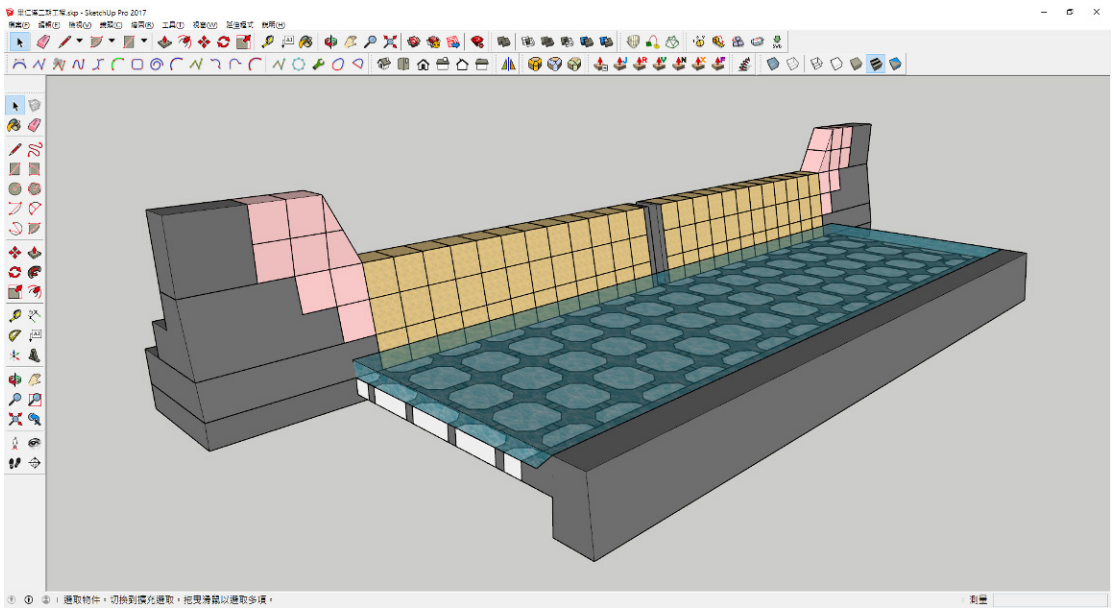
在去年執行水保局 109 年度創新計畫中，以「里仁溪二期工程」及「東西坑溪五期工程」為練習案例(圖 2-1)，本計畫主持人開發了一系列「透過性防砂壩」、「非透過性防砂壩」及「防砂壩下游保護工」之三維繪圖技巧，並研發適合在創客空間中實作之施工圖(圖 2-2 及圖 2-3)。

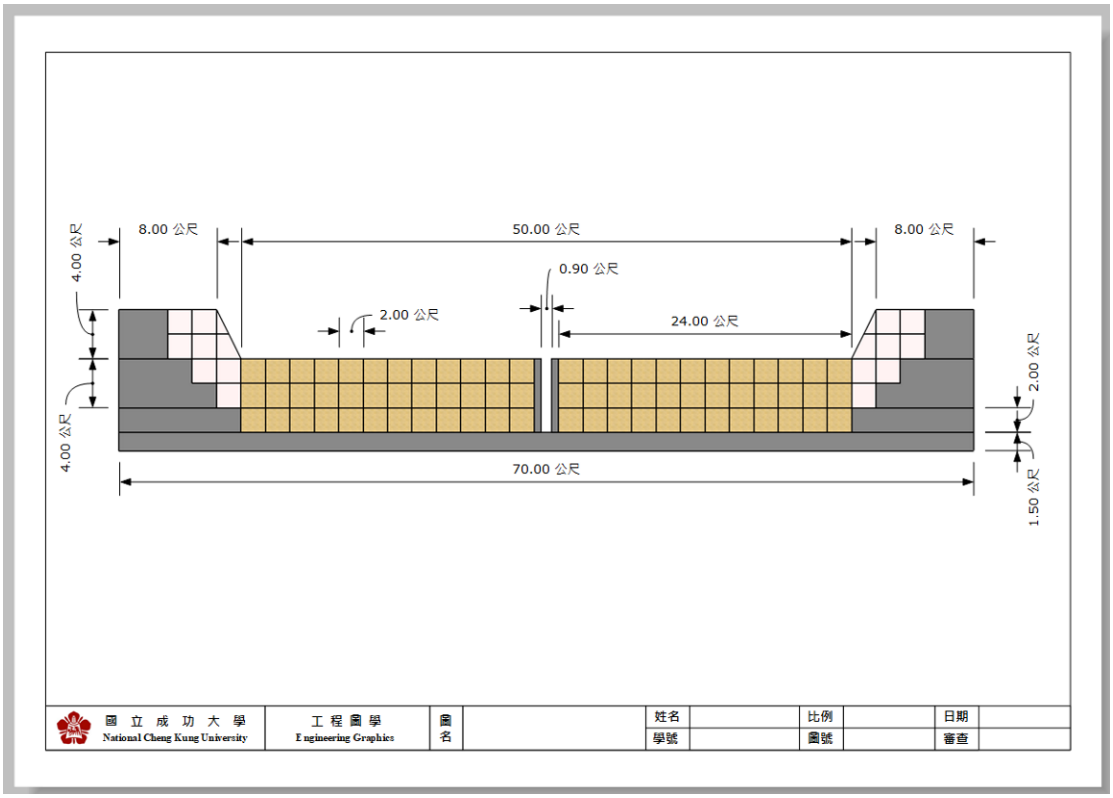




圖 2-1 (上)里仁溪二期工程(水保局台南分局)；(下)東西坑溪五期工程之現地照片(水保局南投分局)

本計畫應用此技巧改以研發「可拆卸模組化之鋼管壩」之三維模型，拆解複雜之大型工程，簡化成各式元件後，教導學生學習各元件之繪圖步驟，引導學生討論發想新的可拆卸模組化鋼管壩，並製作出工程施工圖，以增加鋼管壩之多樣性(圖 2-3)。





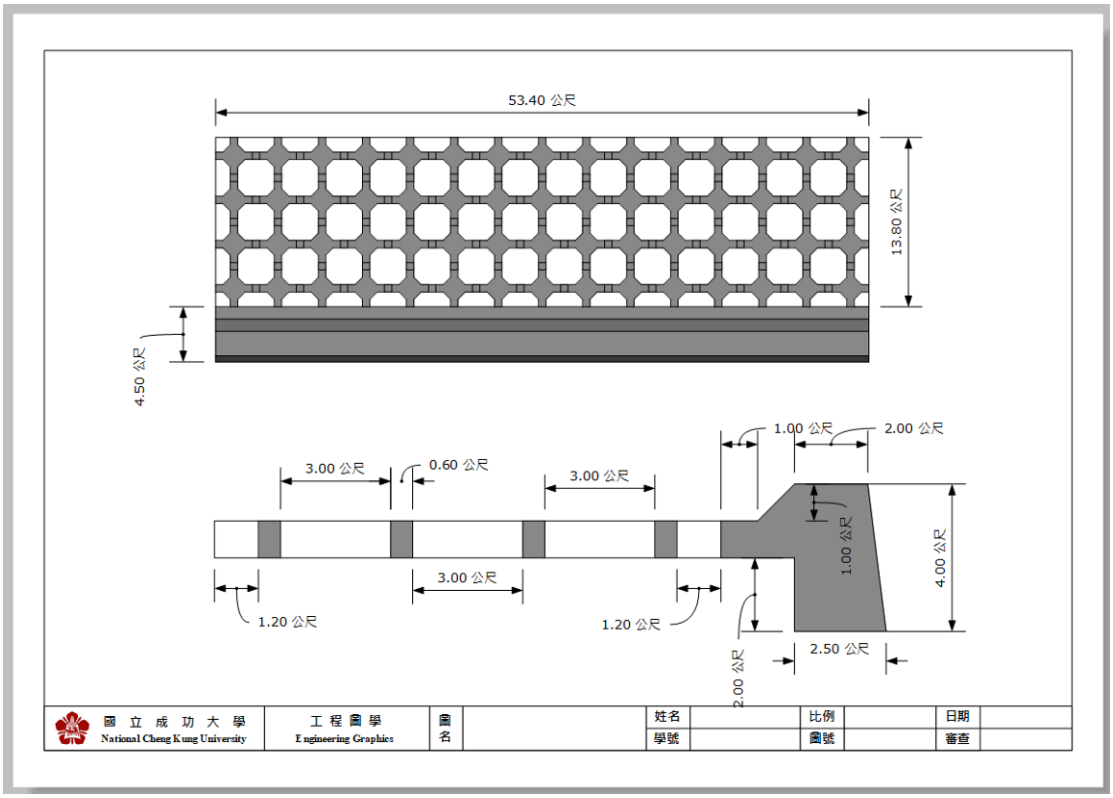
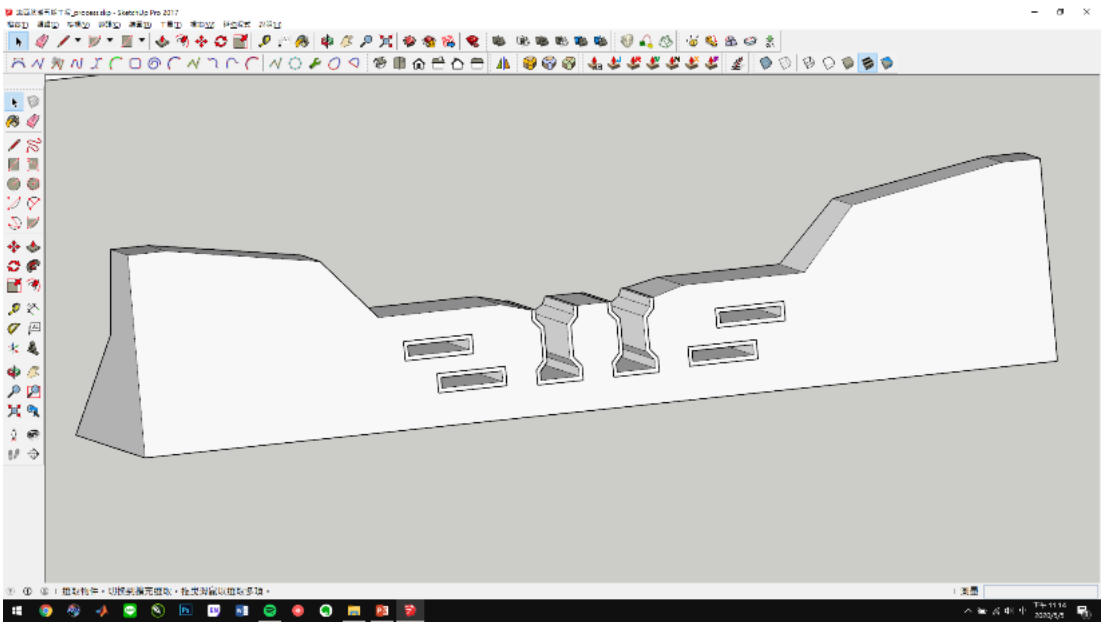
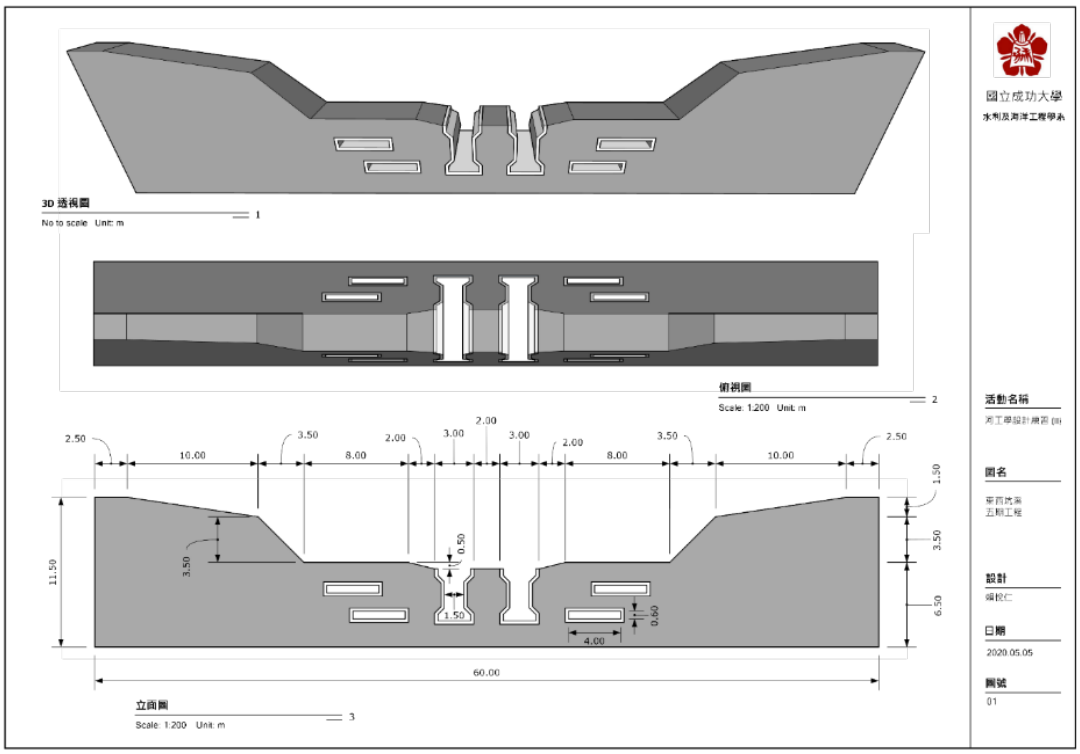


圖 2-2 里仁溪二期工程之之三維模型、平面圖、立面圖及尺寸說明




3D 透視圖
No to scale Unit: m
1
俯視圖
Scale: 1:200 Unit: m
2
2.50
10.00
3.50
8.00
2.00
3.00
2.00
3.00
3.00
2.00
8.00
3.50
10.00
2.50
11.50
3.50
0.50
1.50
0.60
4.00
1.50
3.50
6.50
60.00
立面圖
Scale: 1:200 Unit: m
3
國立成功大學
水利及海洋工程學系
活動名稱
圖名
設計
日期
2020.05.05
圖號
01

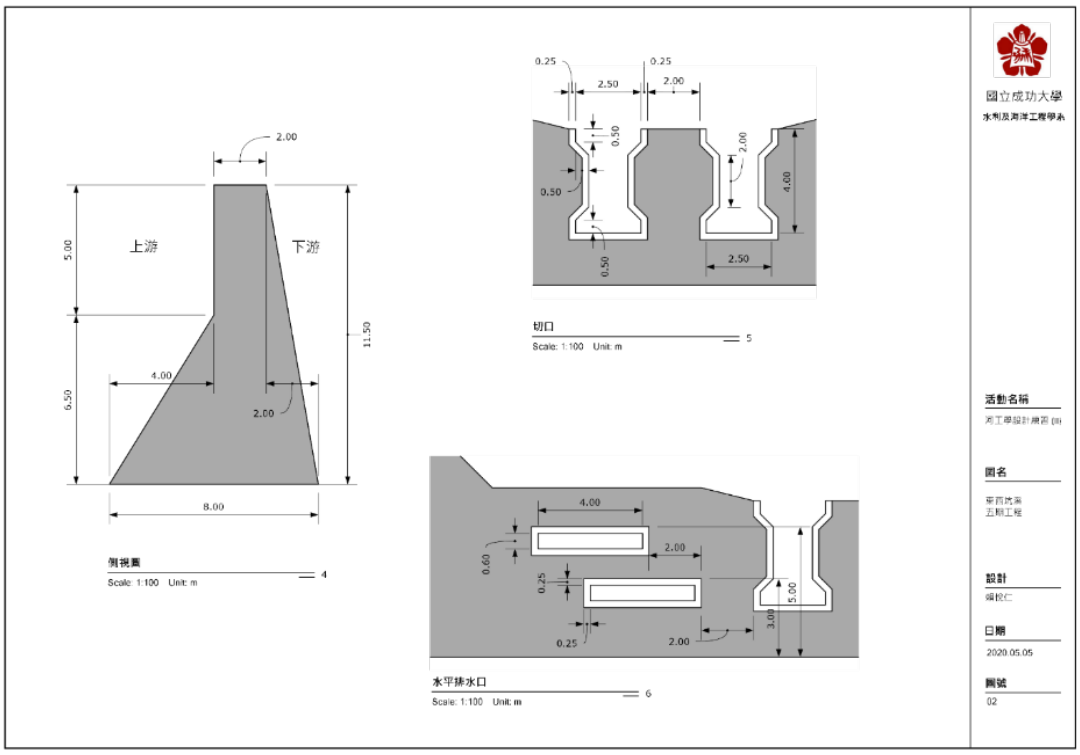


圖 2-3 東西坑溪五期工程之三維模型、平面圖、立面圖及尺寸說明

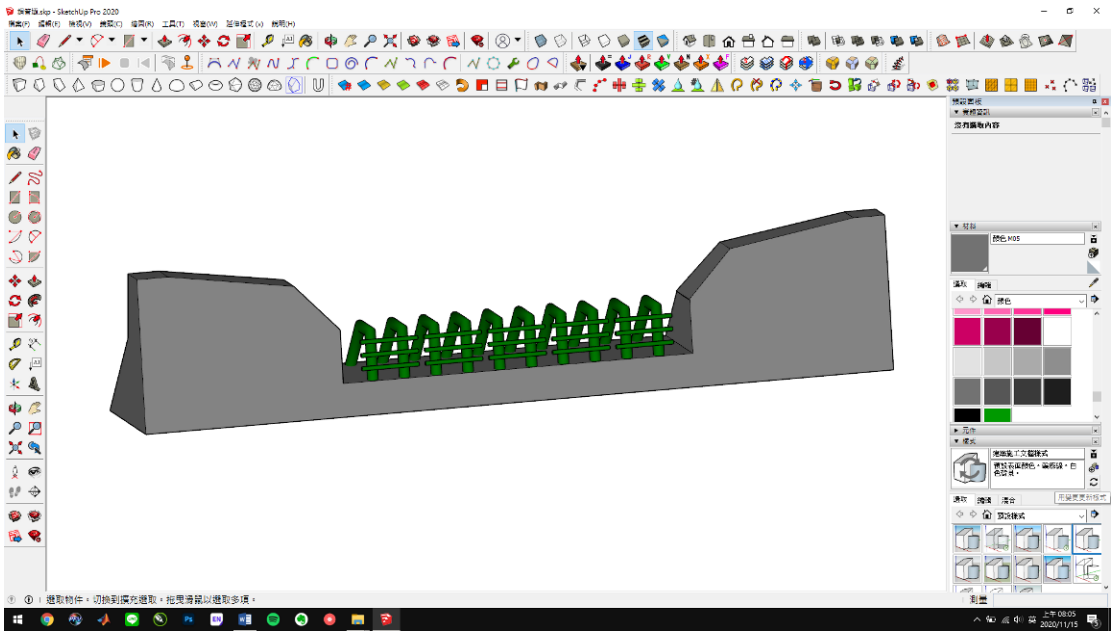


圖 2-4 可拆式模組化鋼管壩之三維模型示意圖

二、製作縮尺模型

製作縮尺模型的過程是實作課程中最精華的部分，也是學生最喜愛的部份。本計畫主持人長年以物理模型實驗進行河道、土砂及河相之相關研究，本計畫再次使用成大水利系之創客空間(圖 2-5)，引導學生進入可拆卸模組化鋼管壩之領域。



圖 2-5 成大水利系之創客空間

此空間備有完善的實作工作桌及五金工具設備，2020 年暑假，本人再次擴建實作工作桌及專業五金工具，目前已達到可同時進行 12 組，最多 60 人同時進行實作活動的規模。在去年的計畫中，本計畫主持人針對透過性防砂壩，建立了混凝土縮尺模型之建模、灌模、拆模及打磨等施工技巧(圖 2-6 及圖 2-7)。本計畫將以此為基礎，改而開發可拆卸模組化鋼管壩之縮尺模型製作方法，並著重在混凝土與金屬之組裝、拆卸技巧。



圖 2-6 本計畫開發之三維厚紙板模型



圖 2-7 拆模、打磨後之東西坑溪五期工程之 1:100 混凝土縮尺模型

三、實驗觀察與測量

本計畫使用成大水利系之河工動床試驗水槽(4 m x 0.6 m x 0.2 m，可調整坡度) (圖 2-8)，讓學生可以將自己製做的縮尺模型放入水槽中進行實驗，實際體會物理模型與水、砂互動之反應(圖 2-9 及圖

10)，強化學習動機，並引導學生開發新型態之可拆式模組化鋼管壩原型，以作為實務設計考量。今年之計畫改以較粗的彩色礫石模擬山區土石流之流動現象，以利觀察水砂與防砂壩之互動關係(圖 2-11)。





圖 2-8 河工動床教學試驗水槽和學生實驗之過程

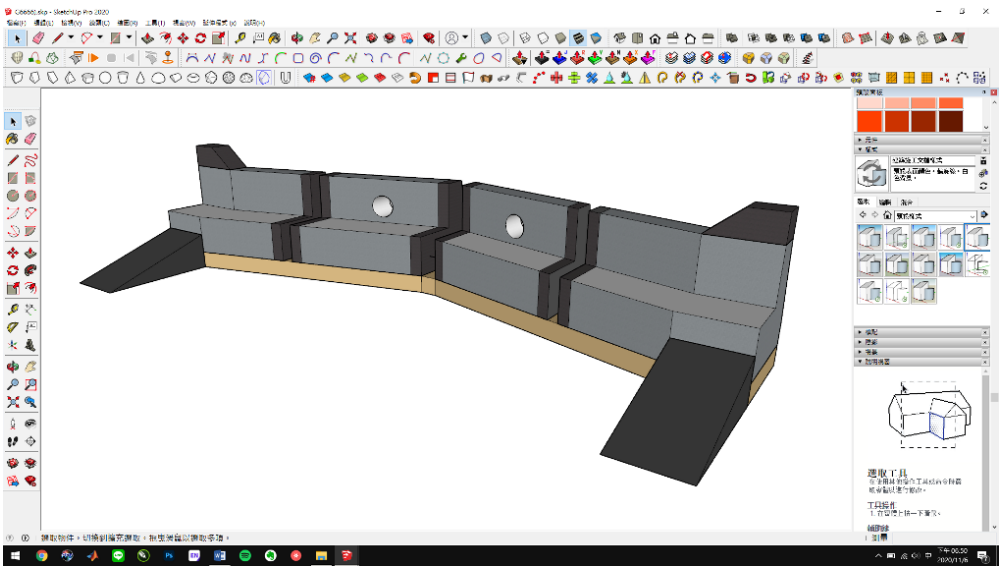






圖 2-9 第 1 組學生設計之透過性防砂壩及實測過程

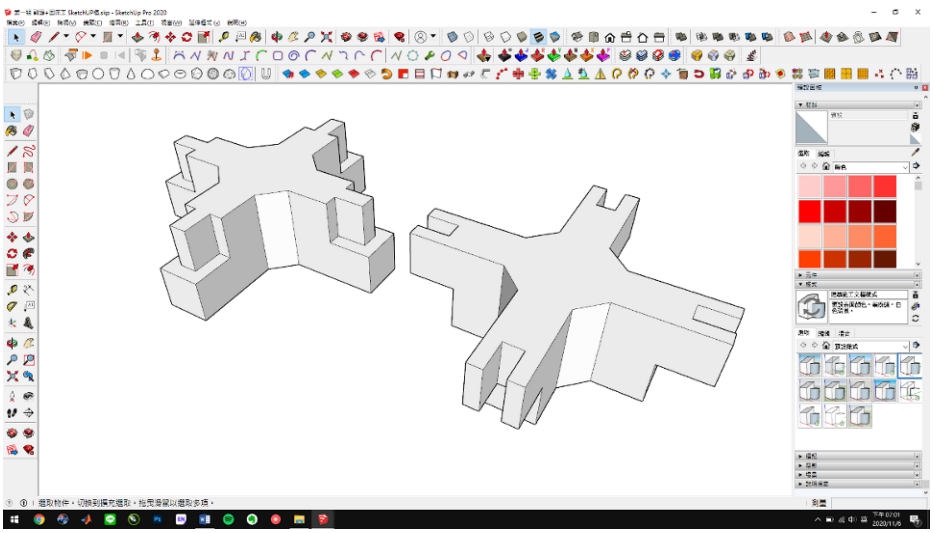






圖 2-10 第 2 組學生設計之透過性防砂壩及實測過程

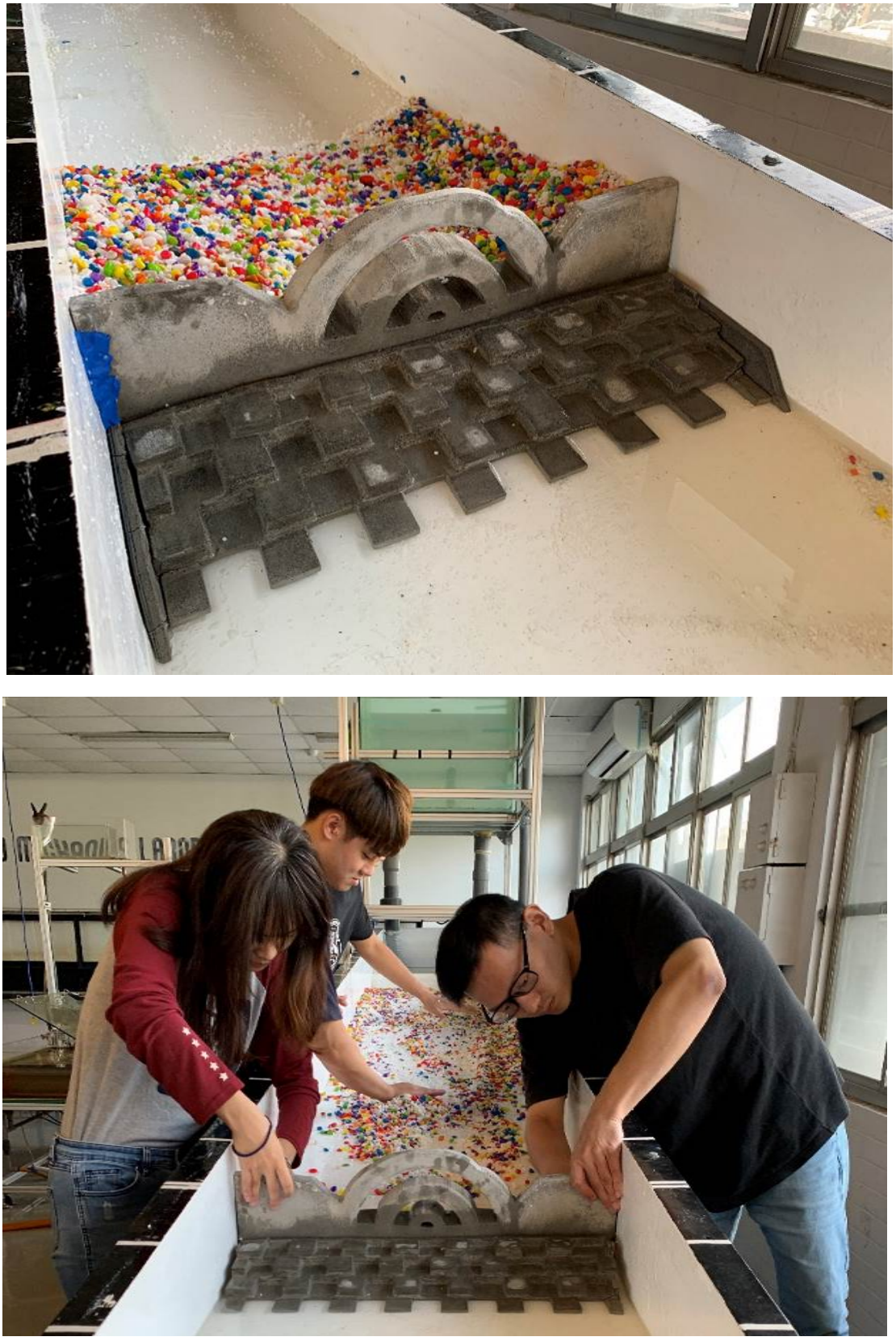
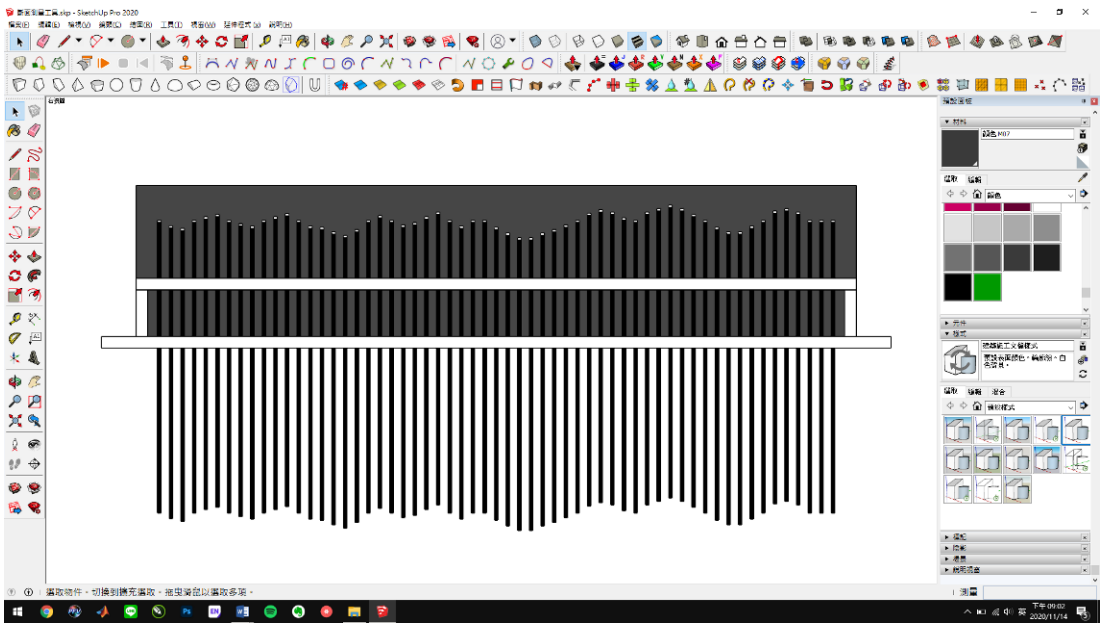


圖 2-11 動床實驗過程

為了讓修課的學生能執行實驗中之測量工作，本計畫已規劃於河工動床水槽上增設軌道台車斷面量測系統，並研發快速斷面影像量測方法。測量方法將結合本人自行研發之 Matlab 數位影像處理技術，以黑底白點的方式，每 1 cm 取一個高程資料，透過半自動程式抓取地形橫斷面。預期這方法可以加速並有效建立沿著水流方向任意 x 位置的斷面資料(圖 2-12)。

只要學生量測的斷面數量夠多，便能建立出高解析度之三維數值高程資料(DEM) (圖 2-13)。透過此方法，每組學生都可以建立出數值地形，分析橫斷面與縱斷面隨時間演化的趨勢，以定量討論鋼管壩從未淤滿到淤滿的變化，也可以觀察測量逐步拆除壩體之橫料與縱材時，土砂分佈的演化過程。



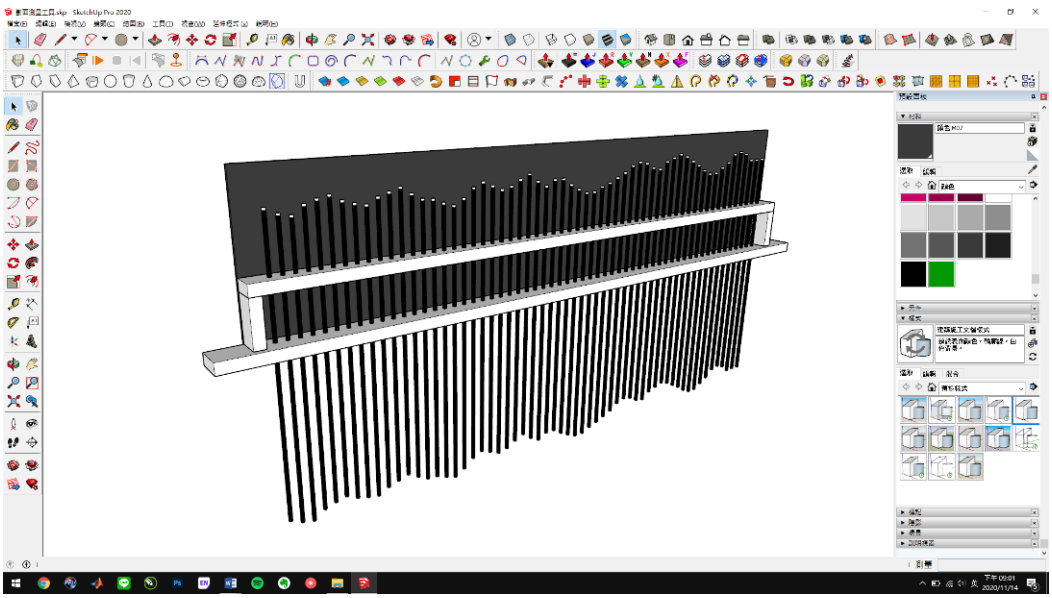


圖 2-12 預計開發之間距為 1 cm 之簡易快速斷面測量工具。

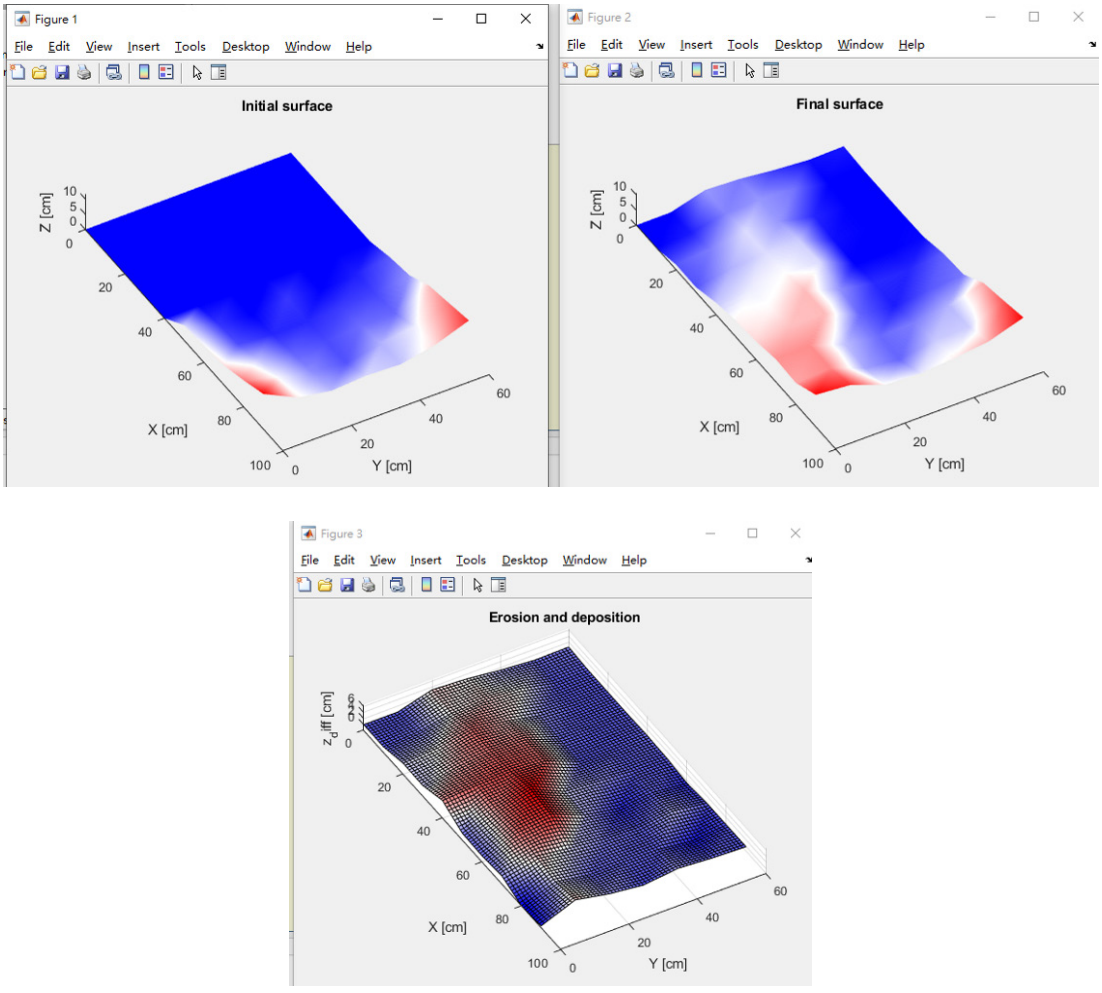


圖 2-13 受到防砂壩影響之數值高程模型資料及侵蝕堆積分佈圖

第二節　工作執行步驟

本計畫之工作執行步驟如下：

一、蒐集國內外鋼管壩及模組化鋼管壩之文獻。

二、彙整優質案例，包含工程亮點及施工圖，製作成教學案例。

三、開發各工程案例之三維繪圖步驟，細分成各元件，逐步教導學生繪製。

四、開發各工程案例之模型實作步驟，讓學生體驗模型製作之實務過程。

五、以「專題實作」進行創新設計與模型實測。

六、開發適合大學生執行之實驗地形量測方法。

七、舉辦「期末成果發表會」，邀請專家學者進行建議與講評。

八、彙整實作教學成果，撰寫成果報告，經驗可提供水保局相關單位進行教育訓練。

第三章　工作進度與交付項目

第一節　計畫甘特圖

本計畫之計畫甘特圖如表 3-1 所示，計畫中執行之課程大綱如表 3-2 及表 3-3 所示。因為課程進行中受疫情嚴重影響，學校禁止所有實作活動，所以縮尺模型實作與實驗之成果很不理想。雖然課程受到不可抗拒的因素影響，課程中每一組學生還是有完成以 SketchUp 自行設計的三維模型，這部份的成果非常豐碩，如第四章成果說明。

表 3-1 計畫甘特圖

年月 / 研究項目	110年1月	110年2月	110年3月	110年4月	110年5月	110年6月	110年7月	110年8月	110年9月	110年10月	110年11月	110年12月
(1) 蒐集國內外鋼管壩及可拆式模組化鋼管壩之文獻。	✓	✓										
(2) 彙整優質案例，包含工程亮點及施工圖，製作成教學案例。	✓	✓	✓									
(3) 開發各工程案例之三維繪圖步驟，細分成各元件，逐步教導學生繪製。			✓	✓	✓							

(4) 開發各工程案例之模型實作步驟，讓學生體驗模型製作之實務過程。				✓	✓							
(5) 以「專題實作」進行創新設計與模型實測。				✓	✓	✓						
(6) 開發適合大學生執行之實驗地形量測方法。				✓	✓	✓						
(7) 舉辦「期末成果發表會」，邀請專家學者進行建議與講評。							✓	✓	✓			
(8) 彙整實作教學成果，撰寫成果報告，經驗可提供水保局相關單位進行教育訓練。										✓	✓	✓
(9) 期初報告提交				✓								
(10) 期中報告提交							✓					
(11) 期末報告提交											✓	
(12) 成果報告提交												✓
預定進度累積百分比 (%)	8	16	24	44	56	64	72	76	80	84	92	100

表 3-2 河工學於疫情影響前規劃之課程大綱

課 程 大 綱			
週次	授 課 綱 要	講授/實驗/實習	時數
1	河工學概述、分組	講授	3
2	河川特色	講授	3
3	河川工程：堤防工程	講授	3
4	河川工程：護岸工程、固床工	講授	3
5	河川工程：丁壩工程	講授	3
6	河川工程：非透過性防砂壩、透過性防砂壩	講授	3
7	河川工程：可調式防砂壩 SketchUp 3D 河工設計(一)：以蘭島溪可調式鋼管壩為例	講授/實習	3
8	SketchUp 3D 河工設計(二)：以三台山可調式防砂壩為例 SketchUp 3D 河工設計(三)：以巴砂娜橋之可調式防砂壩為例	實習	3
9	SketchUp 3D 河工設計(四)：以日本扇沢可調式防砂壩為例 主題發想活動：可拆式元件、金屬及混凝土連接固定、組裝方式	實習	3
10	主題實作(一)：各組進行 SketchUp 模型繪	實習	3

	製與討論		
11	主題實作(一) (續)：SketchUp 設計、報告設計理念及功能	實習	3
12	主題實作(二)：雷射切割機簡介、製作施工圖、繳交設計檔案及施工圖	實習	3
13	主題實作(三)：製作防砂壩之紙板原型、製作鋼管部份	實習	3
14	主題實作(四)：混凝土灌模、製作鋼管部份(續)	實習	3
15	主題實作(五)：脫模、打磨、修整、組裝、美化	實習	3
16	主題實作(六)：地形測量技術簡介與實測	實習	3
17	主題實作(六) (續)：各組進行實驗、取得資料、分析地形變化資料	實習	3
18	期末成果發表會	實習	3

學習評量方法：

課堂作業 20%，實作練習 40%，期末成果發表會 30 %，學習態度 10%。

表 3-3 河工學受疫情三級警戒修正後之課程大綱

課 程 大 綱			
週次	授 課 綱 要	講授/實驗/實習	時數
1	河工學概述、分組	講授	3
2	河川特色	講授	3
3	河川工程：堤防工程	講授	3
4	河川工程：護岸工程、固床工	講授	3
5	河川工程：丁壩工程	講授	3
6	河川工程：非透過性防砂壩、透過性防砂壩	講授	3
7	河川工程：可調式防砂壩 SketchUp 3D 河工設計(一)：蘭島溪 1 號可調式防砂壩(梳子壩調降過程)	講授/實習	3
8	SketchUp 3D 河工設計(一)(續)：蘭島溪 1 號可調式防砂壩(鋼管壩部份)	實習	3
9	河川工程：各式可調式鋼管壩介紹 主題發想與實作暖身：可拆式鋼管壩之連接及組裝方式 (產生第一版的 prototype)	講授/實習	3
10	主題實作：各組進行 SketchUp 模型繪製與討論 小組討論、發想、繪製初步模型	實習	3

11	主題實作：確認 SketchUp 設計、報告設計理念 各組口頭報告設計理念 (確認可行性)	實習	3
12	主題實作：Part I:製作施工圖、繳交檔案；Part II:鋼管壩試做	實習	3
13	5/19 製作鋼管壩 (共 2 週工作時間) (1) 每組學生依規定時間表進入創客空間 (一個時段限 1 組) (2) 製作鋼管壩	實習(分流)	3
14	5/26 巴沙娜橋上游可調式防砂壩(Part 1) (1) SketchUp 設計(二) Part 1	遠距教學(影片)	3
15	6/2 巴沙娜橋上游可調式防砂壩(Part 2) (1) SketchUp 設計(二) Part 2	遠距教學(影片)	3
16	6/9 製作鋼管壩	遠距教學(影片)	3
17	6/16 製作紙模、綁鋼筋、灌漿、脫模、固定鋼管壩、第三次灌漿、細部打磨、修整	遠距教學(影片)	3
18	6/23 水槽測試	遠距教學(影片)	3

學習評量方法：
課堂作業 20%，實作練習 40%，期末作品 40 %。

第二節　計畫交付項目

本一年期計畫之主要目的是針對「水土保持及防災教育」研發創新之教學模組，已完成及待完成之工作項目如下說明：

(1) 檢討過去之教學模組以開發新模組。

本計畫主持人已仔細檢討去年執行之課程大綱、重新規劃授課內容、3D 模型繪製案例，並重新規劃實作活動，以符合本計畫預計完成之可拆卸模組化之鋼管壩縮尺模型及實驗。無奈受到疫情嚴重影響，在三級警戒下，所有實作活動都停止，課程後期皆改以線上教學。

(2) 蒐集國內公共工程水利類金質獎及優良農業建設工程治山防災類之實際案例。

本計畫主持人於 110 年 3 月 23 日到國立中興大學參加由陳樹群教授主辦之「調整型防砂壩新思維研討會」。學習到各分局實際執行調整型防砂壩的寶貴經驗。例如: 台南分局洪志祥課長分享屏東三台山封閉式調整型防砂壩操作對環境生態影響探討；花蓮分局梁家齊副工程司分享阿夜溪封閉型防砂壩調整案例；許中立教授分享知本溪調整型鋼構壩調整案例；南投分局張國欽課長分享嘉義阿里山巴沙娜橋

上下游野溪土砂調整案例分析；日本池田武穗協理分享日本扇沢可動式防砂壩實例介紹；林務局南投林區管理處許文奕課長分享北港溪集水區第 5 期國有林地整治工程等。

(3) 挑選、彙整優質案例之工程亮點及施工圖，分析並製作成教學案例。

本計畫主持人已編入教學案例之防砂壩工程如下: 蘭島溪 1 號可調式防砂壩及巴砂娜橋之可調式防砂壩 (如表 3-3 所示)。課程中已介紹各個工程案例的設計、尺寸及特色，讓學生更貼近工程實務。

(4) 研發工程案例之 3D 繪圖步驟及施工圖製作。

本計畫其中一項重要任務即是開發可調式防砂壩之 3D 繪圖模型。本計畫主持人已研發出各案例之繪圖步驟及施工圖製作。

(5) 研發工程案例之模型實作創新手法。

本計畫已指派一位研究助教研發混凝土縮尺模型之製作技法，但基於安全考量，本計畫將原本預設之金屬焊接技術研發，改以危險性較低、高操作性之木工代替。效果不錯，如第四章之成果說明。

(6) 實際將此教學模組應用於「河工學」課程中，並注重學生反饋。

本課程過程中皆有注意學生反饋，並即時回覆。

(7) 舉辦「期末成果發表會」，邀請專家學者進行建議與講評。檢討教學模組之優缺點。

受疫情三級警戒影響，已取消期末成果發表會。改以各組期中設計及 3D 實際案例之繪圖作業為評分基準。未來之課程大綱需考慮疫情影響之替代方案，無奈河工學之實作部份很難透過線上教學進行，實作活動中所需之五金工具、耗材、水槽等實作設備，很難讓每位學生在家都能操作。目前只能透過助教預錄實作影片，讓學生線上觀摩，但看影片很難取代實際操作。

(8) 彙整教學及創新成果，撰寫成果報告，分享創意教學經驗。

本計畫已完成第(1)至(7)項，符合計畫規劃進度。

第四章　成果報告

第一節　教案說明

本計畫以「河工學」課程為基礎，以小班制、專題實作及期末成果發表會的方式進行。課程中加入「可拆卸模組化之鋼管壩」為主題，並融入大量實作活動。課程使用成大水系之電腦教室、創客空間及流力實驗室，進行教學、設計、實作與實驗等活動，目標為使學生：(1) 了解河川基本水砂特色；(2) 學習相關河川工程知識；(3) 培養實作及實驗能力；(4) 訓練問題解決能力；(5) 具備提案創新工法能力。課程強調「做中學」，以實際工程案例為啟發，透過實作及實驗，使學生了解水砂互動過程及河川對於河工構造物之反應。

「河工學」屬於進階的創意實作課程，以水利系大二的學生為對象，課程中介紹河川水砂特色、河川型態及河川工程，內容包含：堤防工程、護岸工程、丁壩工程、固床工、堰及防砂壩等。課程中選用曾獲公共工程金質獎之實際工程為範例，透過 SketchUp 3D 繪圖軟體繪製實際工程案例，讓學生瞭解河工學理論於實務水利工程上之應用，以強化學習動機。課程將學生分成七組的方式進行，引導學生學習、思考、實作，以期待創造出新型態之可拆卸模組化之鋼管壩。

第二節　教案分析

河工學之定位為進階創意實作課程，對象為水利系大二的學生。本課程已預設修課的學生都修過本計畫主持人於大一開授之「工程圖學」(初階創意實作課程)，因此該具備基本的 SketchUp 3D 工程繪圖能力，並於大一時曾使用過創客空間之五金工具，也曾參與過簡單的木工實作活動。

因此，河工學之課程中除了介紹基本的河川水砂特色、河川型態及河川工程(堤防工程、護岸工程、丁壩工程、固床工、堰及防砂壩等)之外，最大的不同即是採小班制、專題實作及成果發表會的方式進行。本課程大綱延續去年執行之河工學，將單純授課的方式濃縮到 8 週，剩下的 9 週皆是創意實作活動，還有 1 週是以期末成果發表會取代傳統的期末考試。

本學期之河工學分成七組，針對「可調式防砂壩」，引導學生學習、思考、實作，以創造出新型態之智慧防砂壩。每組學生最終的目標是要在期末成果發表會上，介紹自己設計的可調式防砂壩，做出 1:40 的縮尺模型，並將模型放入動床水槽中進行實驗，評審委員們會在現場進行講評，並與學生近距離互動。無奈，在疫情三級警戒下，將原本規劃的實作活動打亂。改以線上教學的方式，實在難以取代水

利系創客空間能提供的充足五金工具及實驗水槽環境。

本課程投注大量的時間與心力，希望研發出活潑、具創意的河工學課程，讓學生重新點燃學習熱情。本課程之創意實作活動包含：(1)「可調式防砂壩」之三維模型繪製範例；(2) 各組學生設計之「創新可調式防砂壩」；(3) 製作 1:40 之混凝土縮尺模型；(4) 水槽實驗與測量；(5) 地形建置與分析。

課程中之實作活動成果說明如下:

(1) 「可調式防砂壩」之三維模型繪製範例：

Case 1: 蘭島溪 1 號可調式防砂壩

本課程除了介紹國內外各式可調式案例之外，特別挑選蘭島溪 1 號可調式防砂壩作為 SketchUp 3D 繪圖的第一個案例。蘭島溪 1 號可調式防砂壩歷經過幾次調整，具有特別的教育意義:

- 2007 年興建梳子壩
- 2015 年中央調降 2.5m
- 2019 年 4 月中央四支墩柱移除
- 2019 年 11 月安裝三組調整型鋼構於壩口

完整的 3D 繪製過程如圖 4-1 至圖 4-10 之說明。

惠蓀林場蘭島溪及兩座開口型防砂壩配置圖



蘭島溪下游鋼管壩 (2號)
- 2013年3月竣工
- 日商捐贈

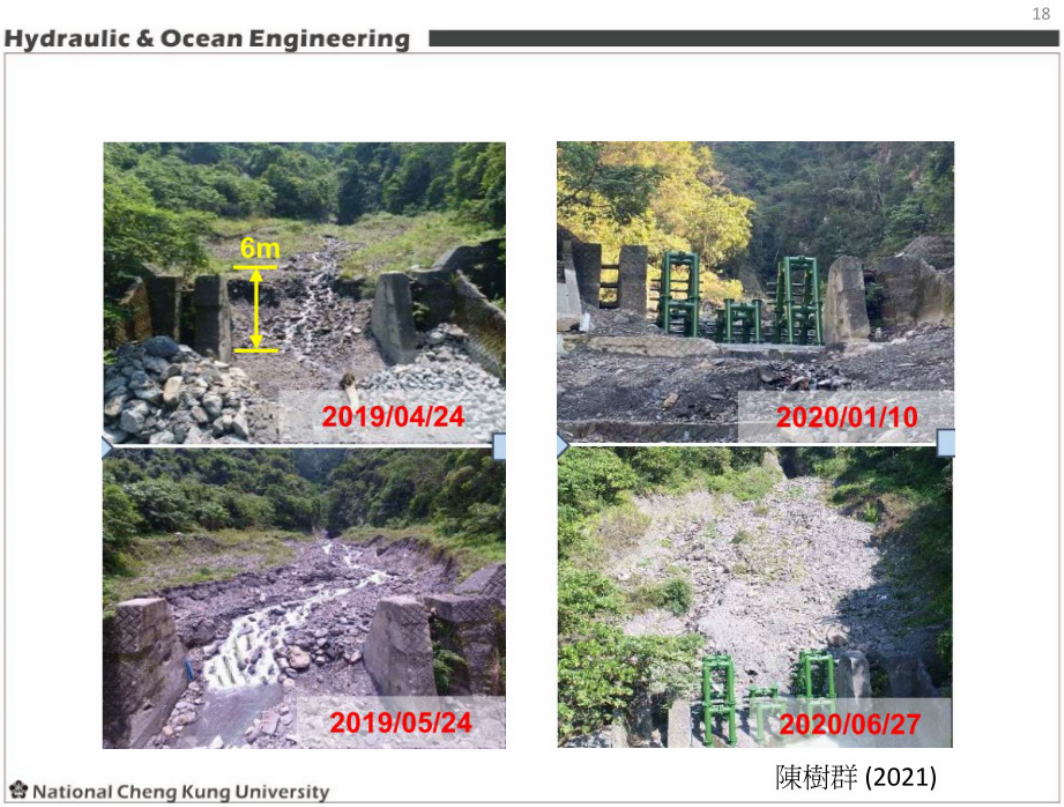
蘭島溪上游梳子壩 (1號)
- 2007年興建梳子壩
- 2015年中央調降2.5m
- 2019年4月中央四支墩柱移除
- 2019年11月安裝三組調整型鋼構於壩口

蘭島溪上游梳子壩 (1號)





陳樹群 (2021)



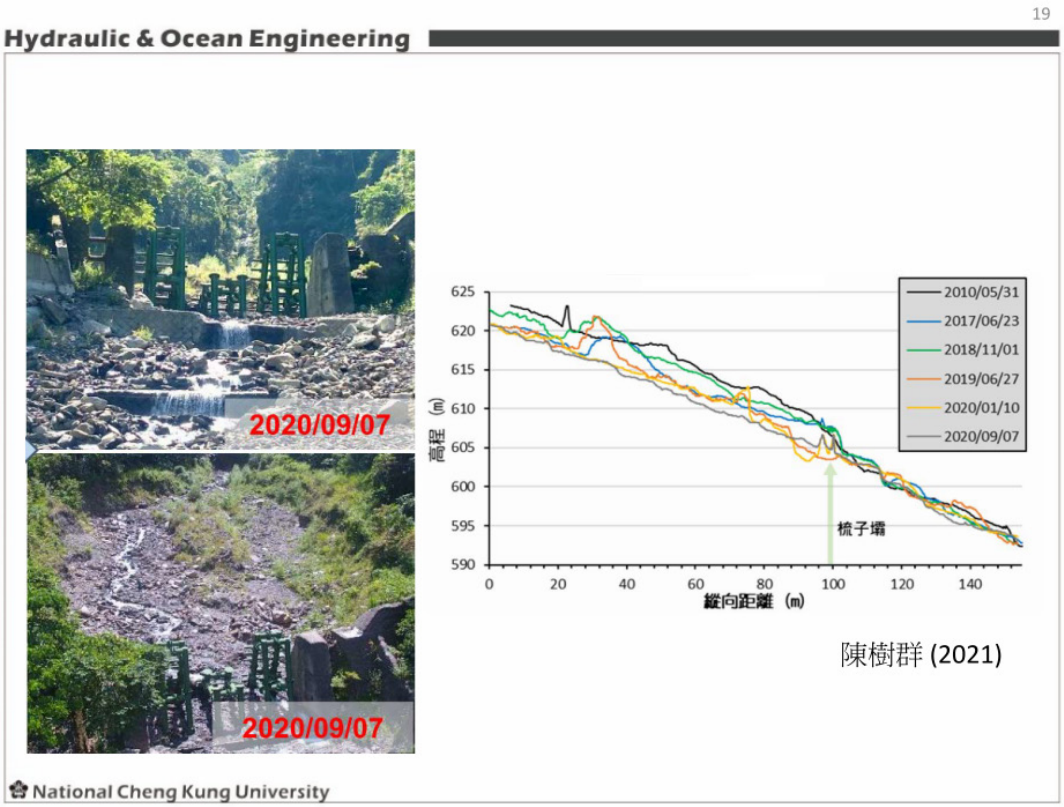


圖 4-1 蘭島溪可調式防砂壩及調降過程





圖 4-2 蘭島溪 1 號可調式鋼管壩

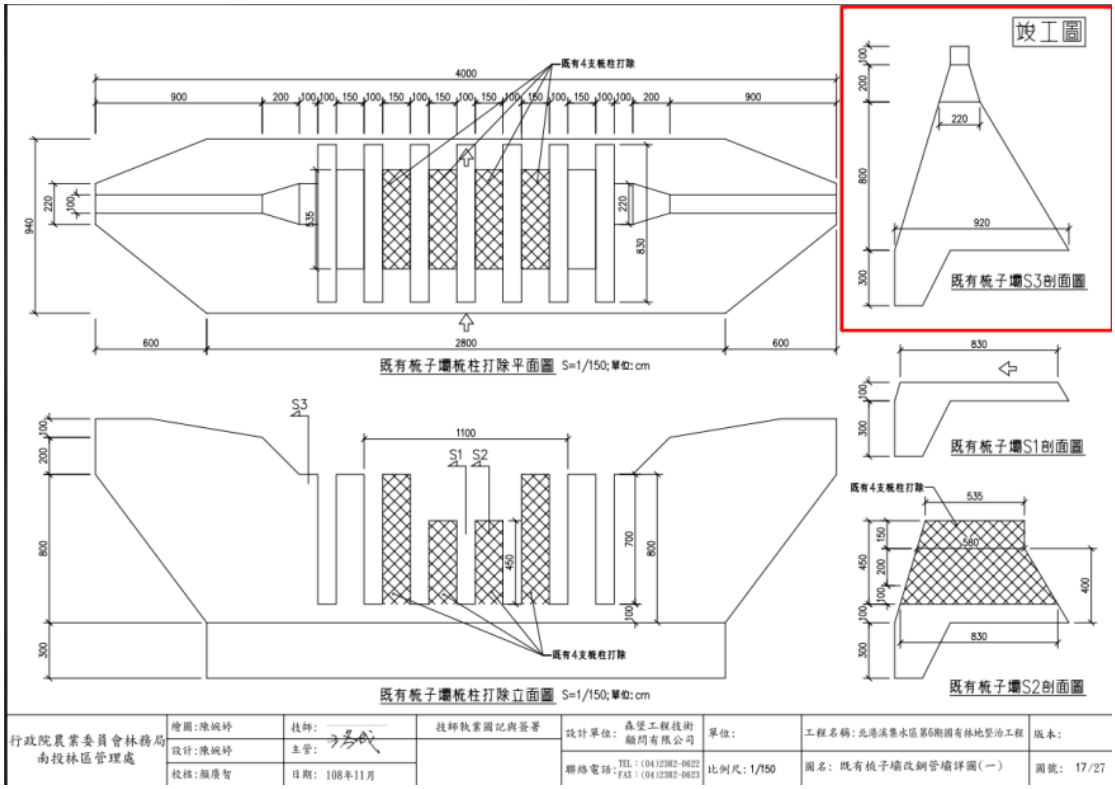


圖 4-3 蘭島溪 1 號可調式防砂壩之施工圖

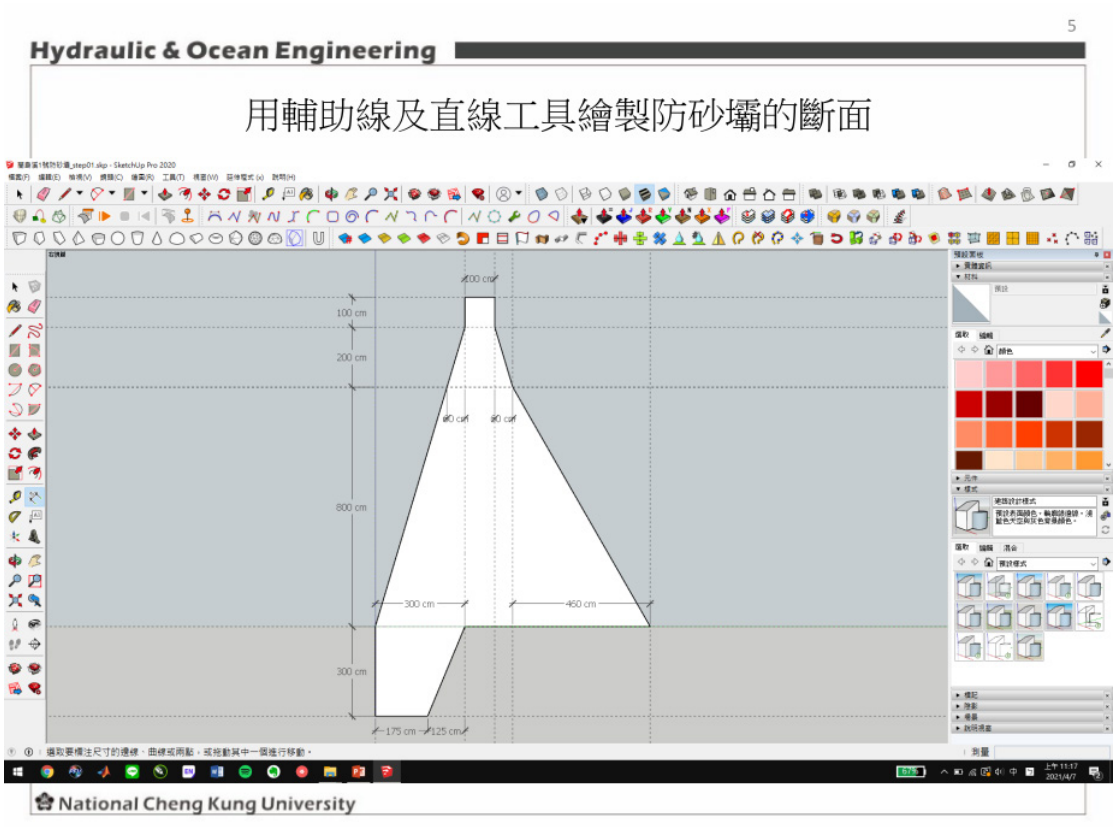
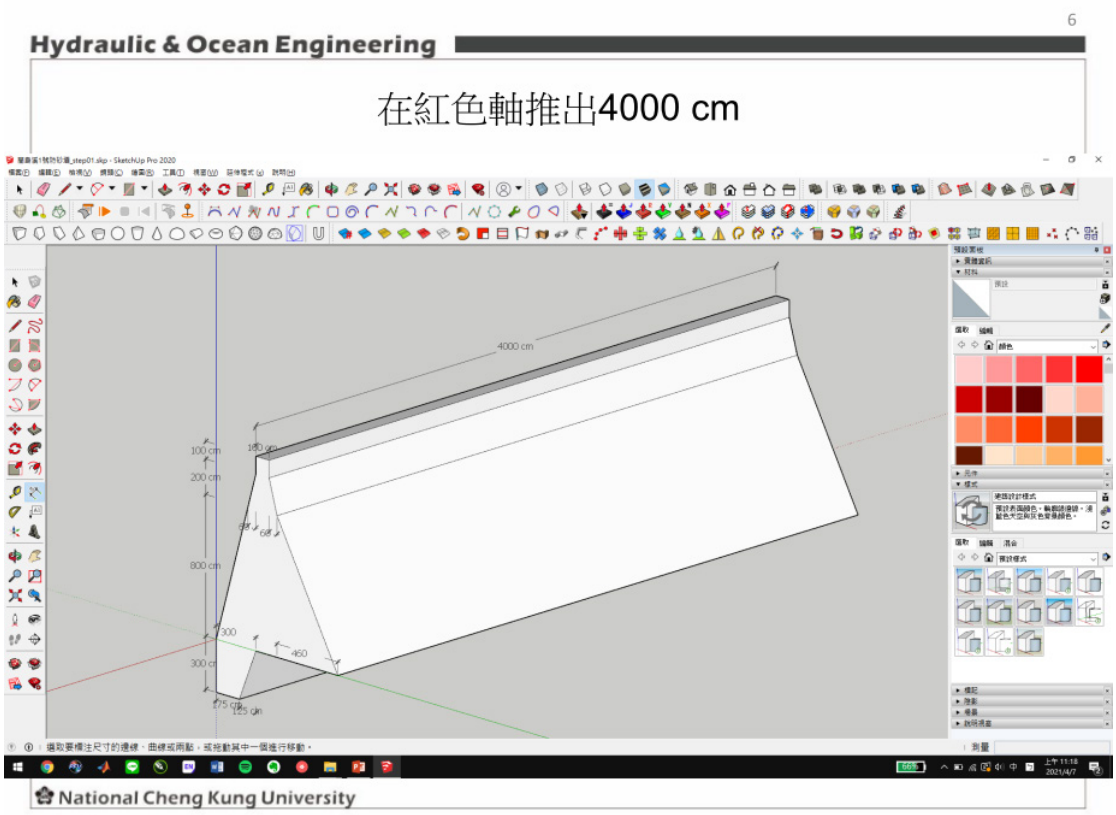
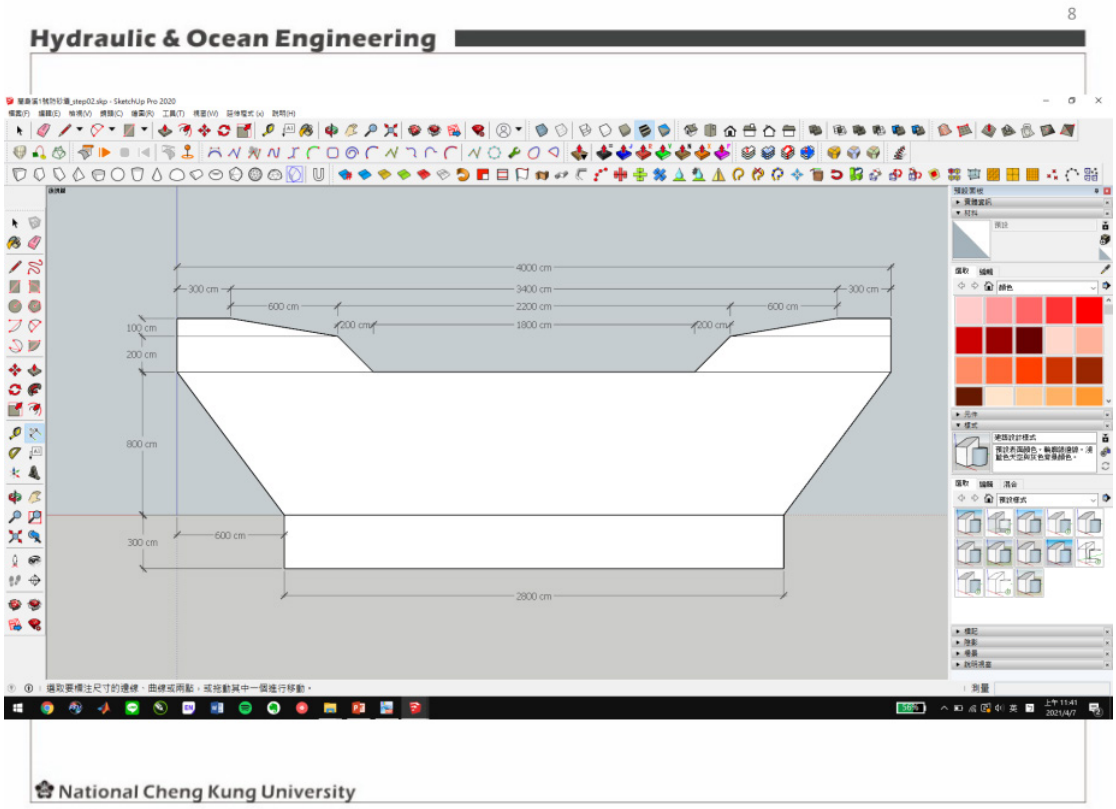


圖 4-4 繪製剖面圖


6
Hydraulic & Ocean Engineering
在紅色軸推出4000 cm
National Cheng Kung University


8
Hydraulic & Ocean Engineering
National Cheng Kung University

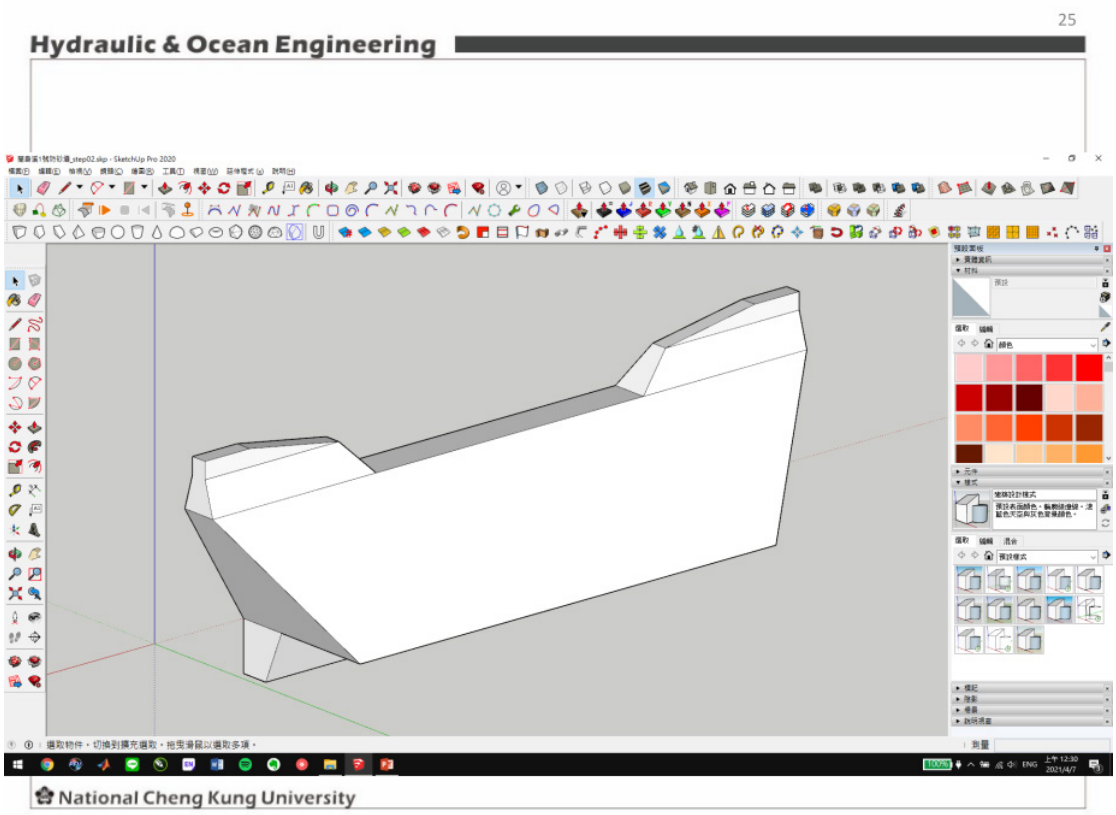
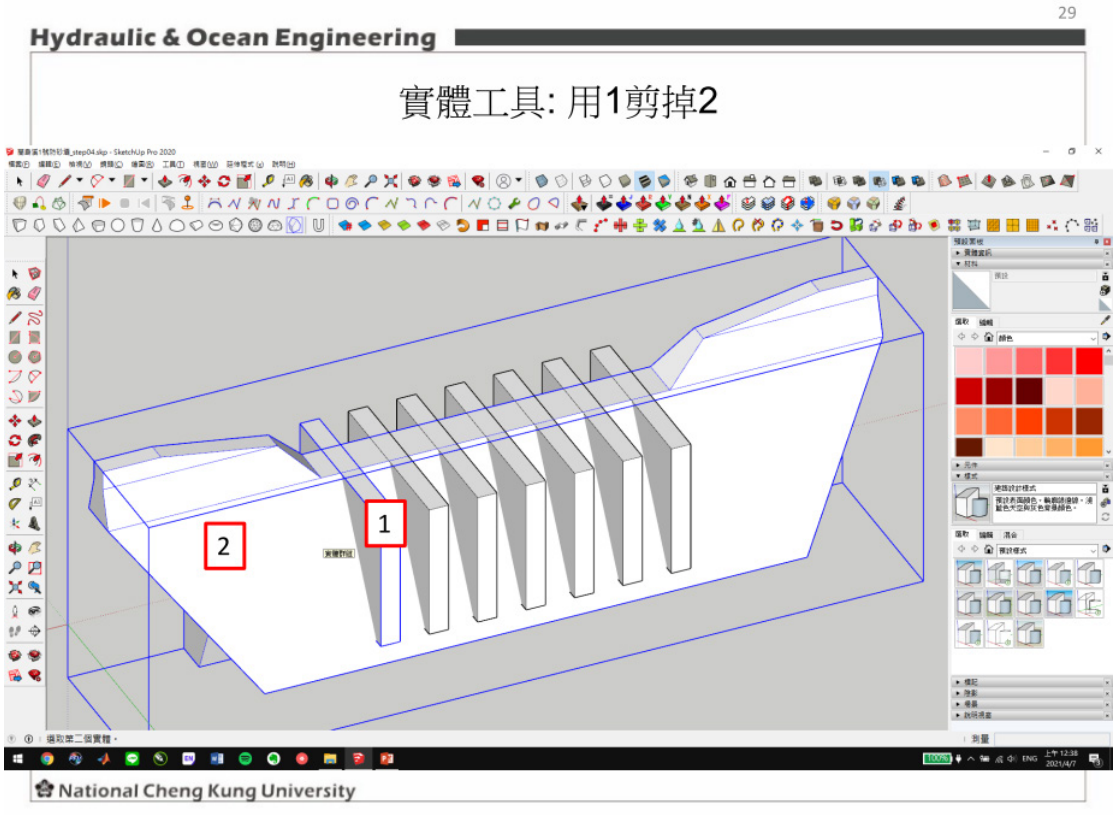


圖 4-5 完成 3D 防砂壩主體



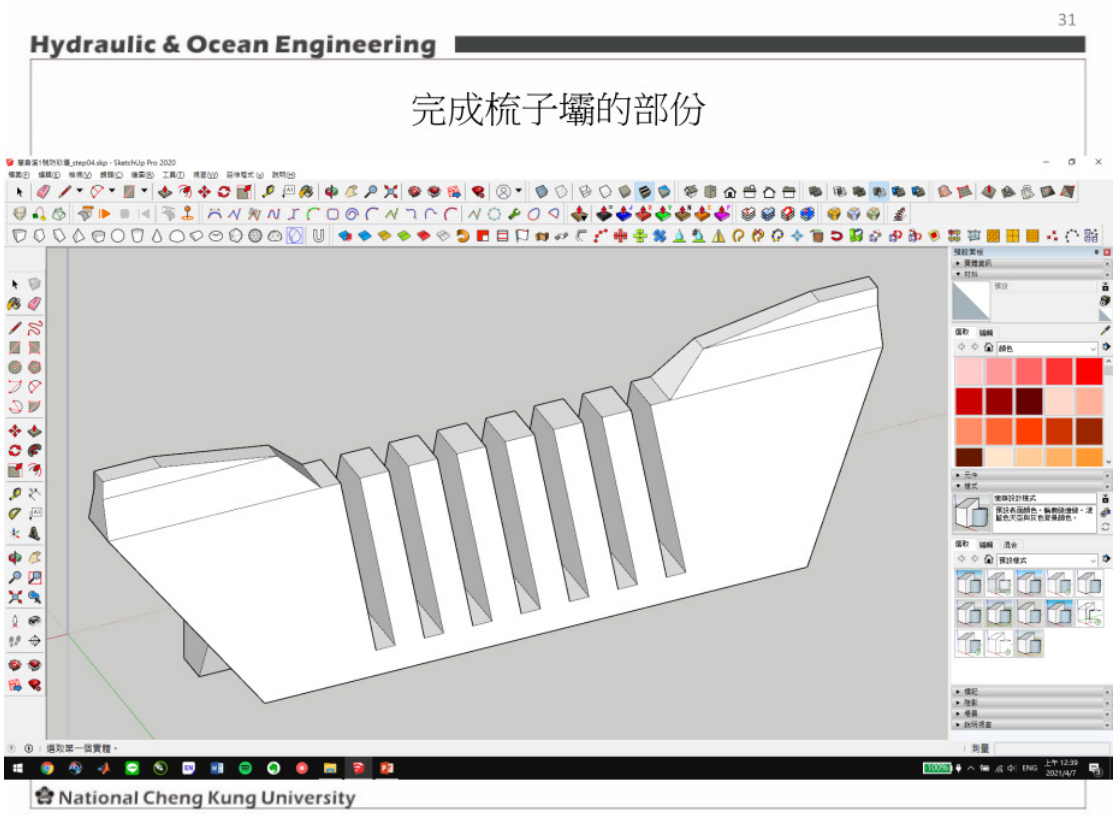
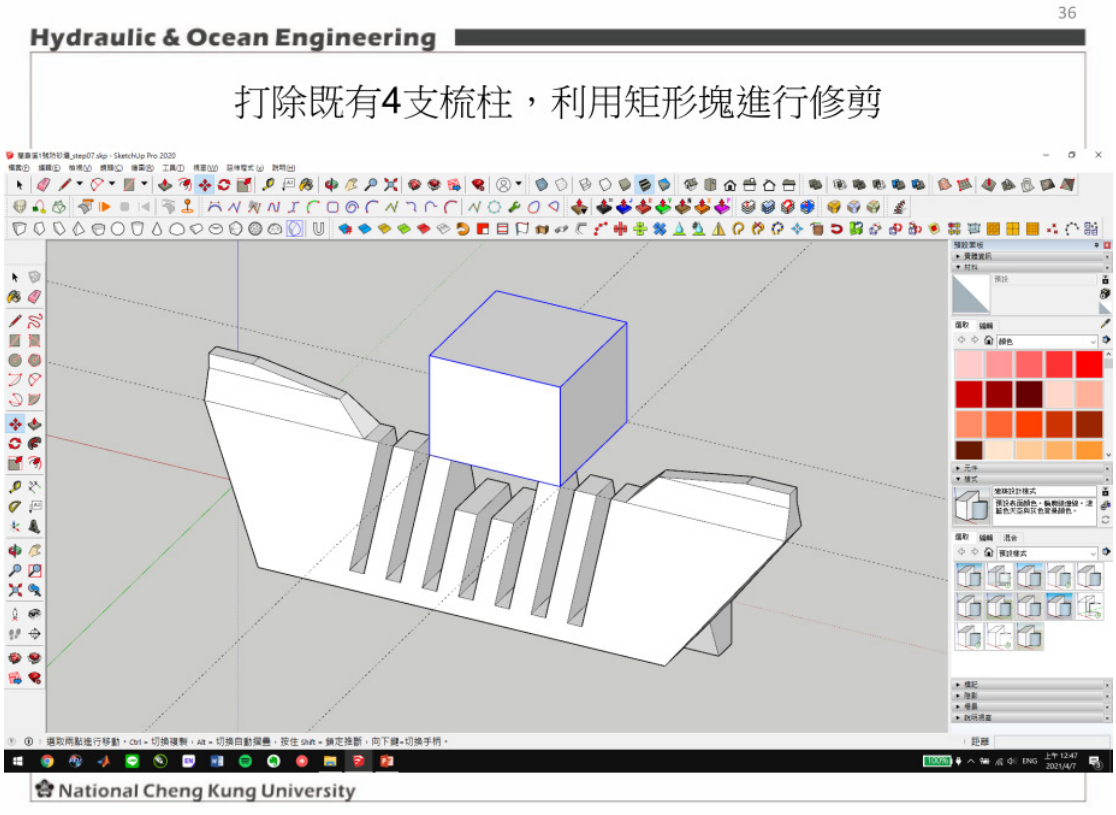


圖 4-6 完成 3D 梳子壩主體



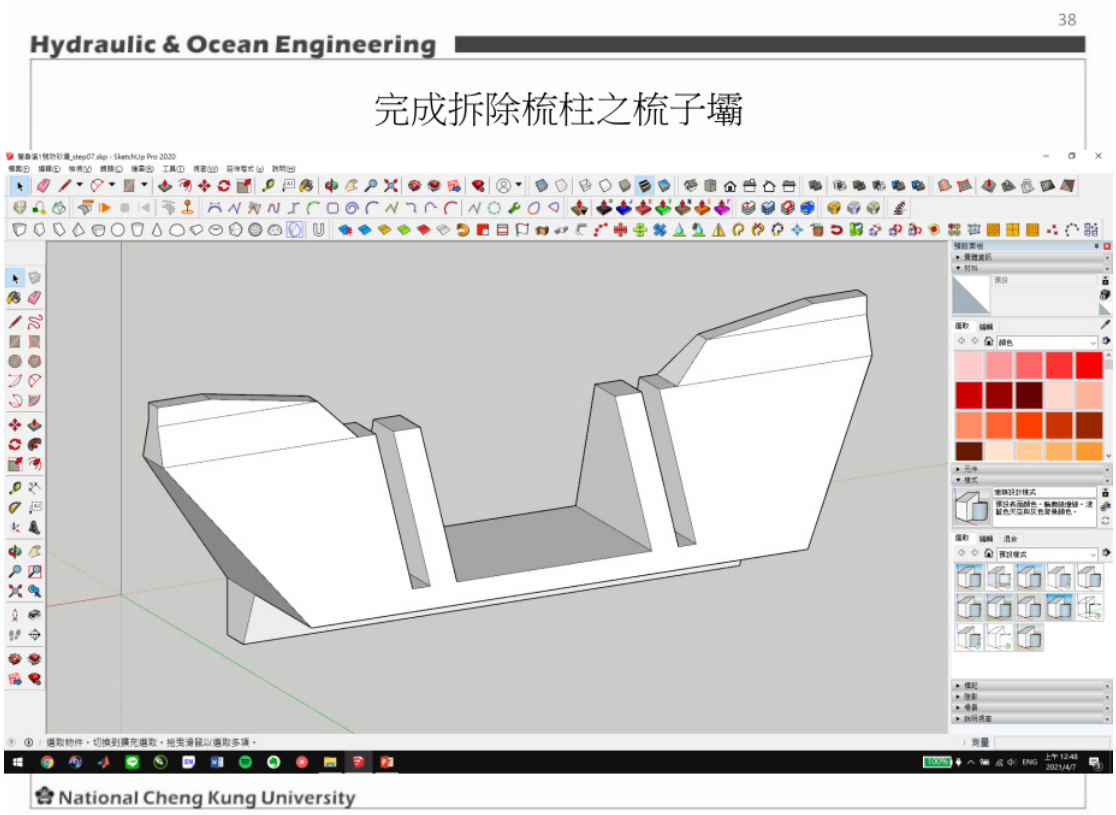
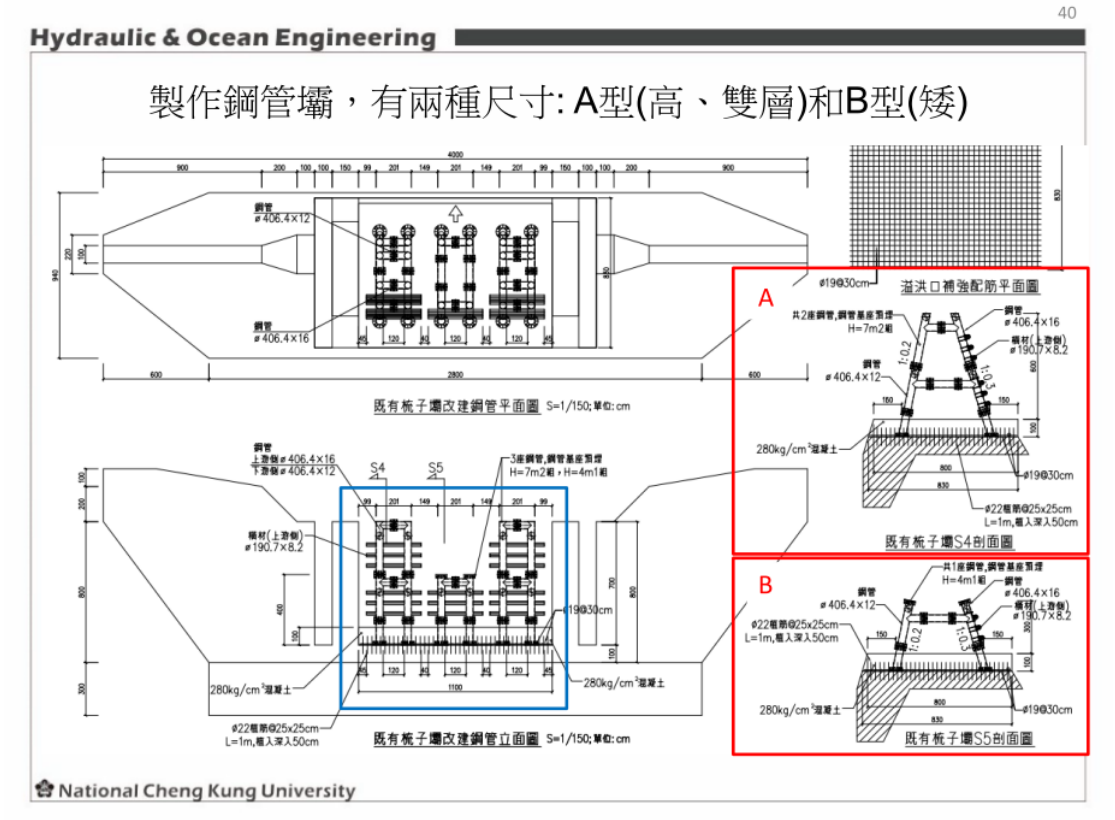


圖 4-7 完成 3D 梳子壩調降



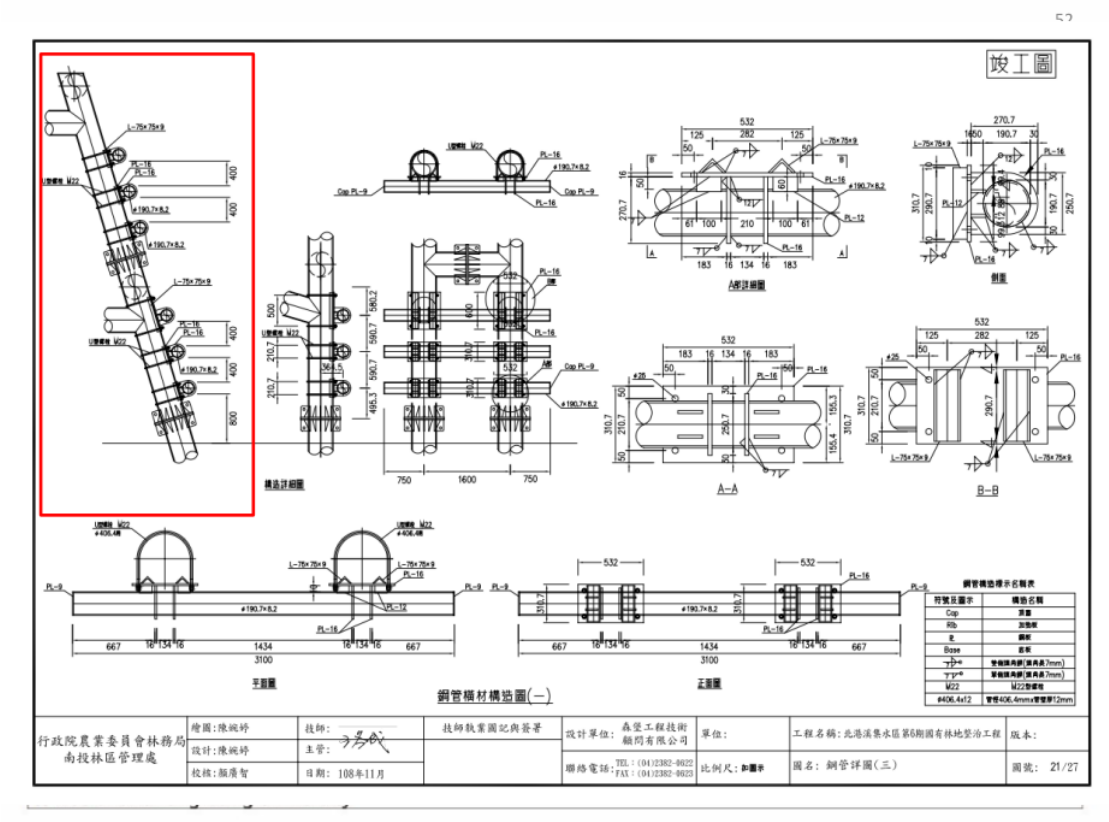
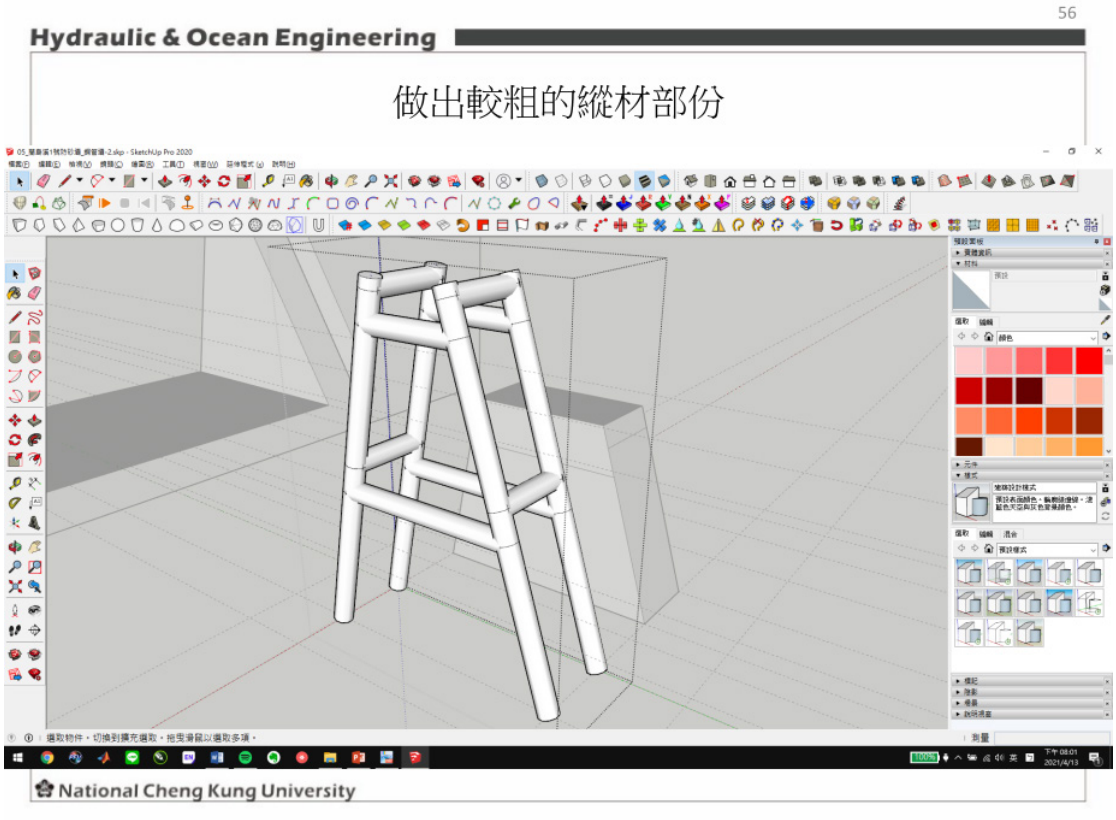
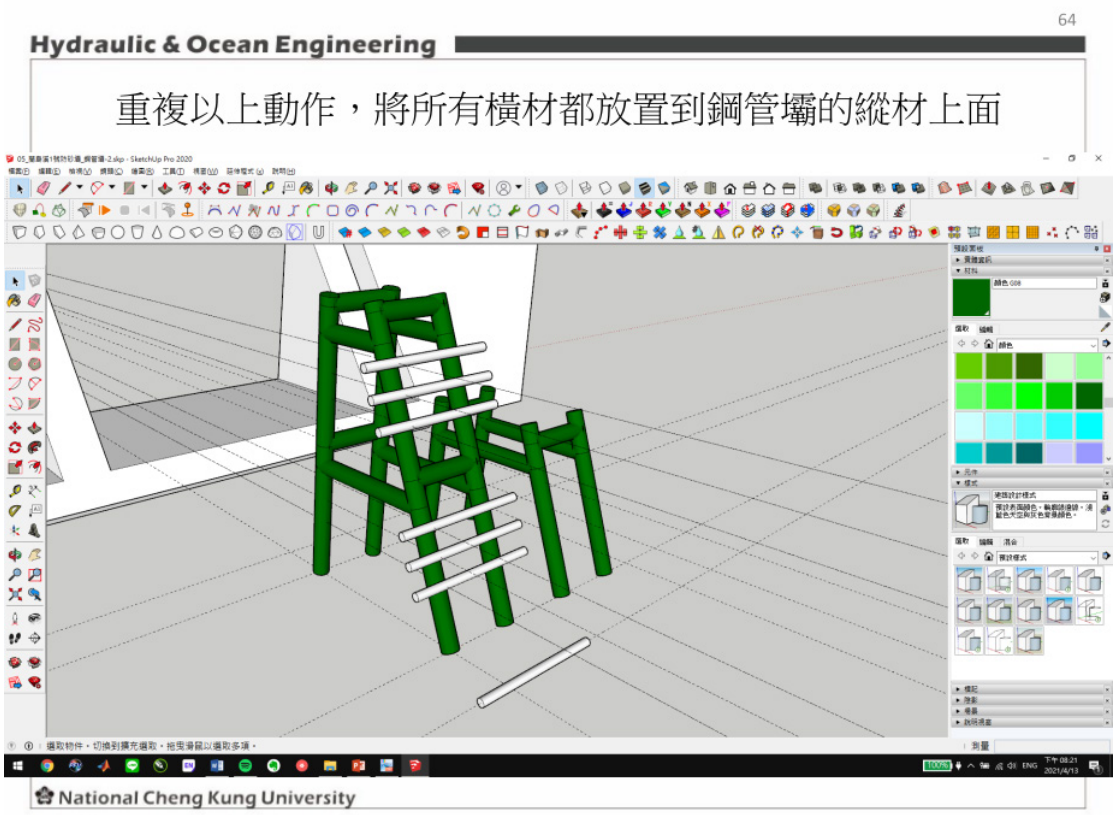


圖 4-8 鋼管壩之實際尺寸與細節




64
Hydraulic & Ocean Engineering
重複以上動作，將所有橫材都放置到鋼管壩的縱材上面
National Cheng Kung University

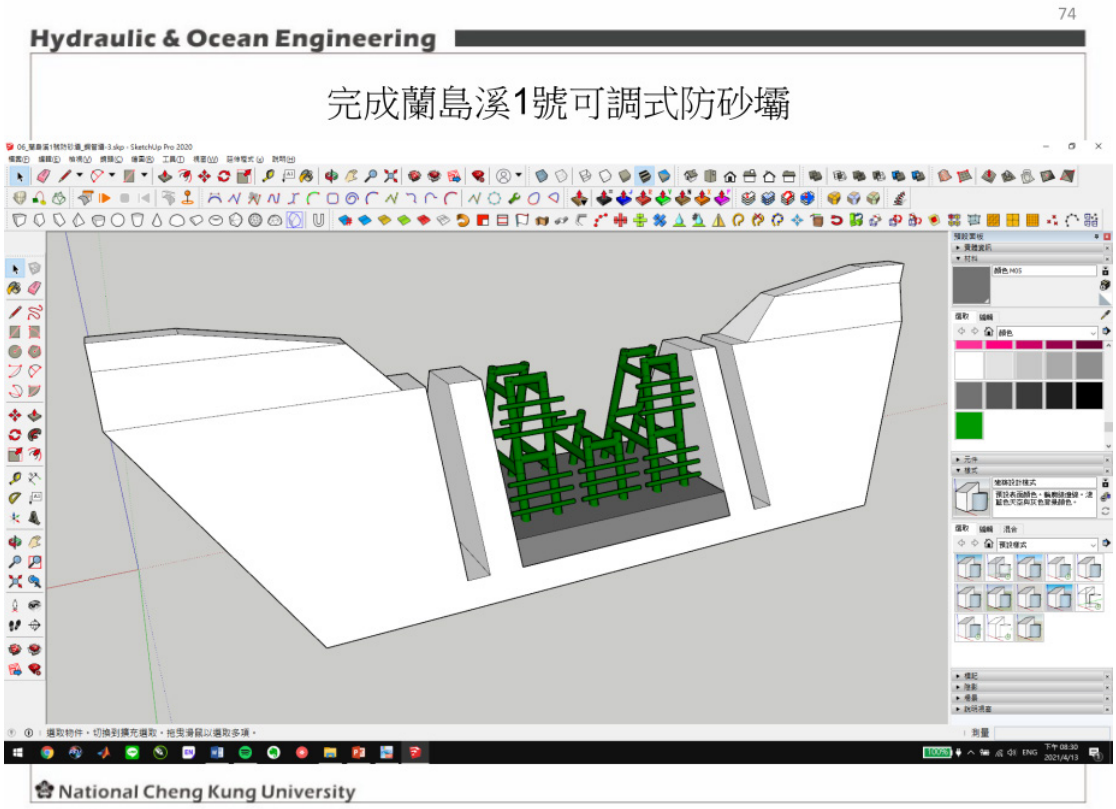

74
Hydraulic & Ocean Engineering
完成蘭島溪1號可調式防砂壩
National Cheng Kung University

圖 4-9 完成鋼管壩繪製

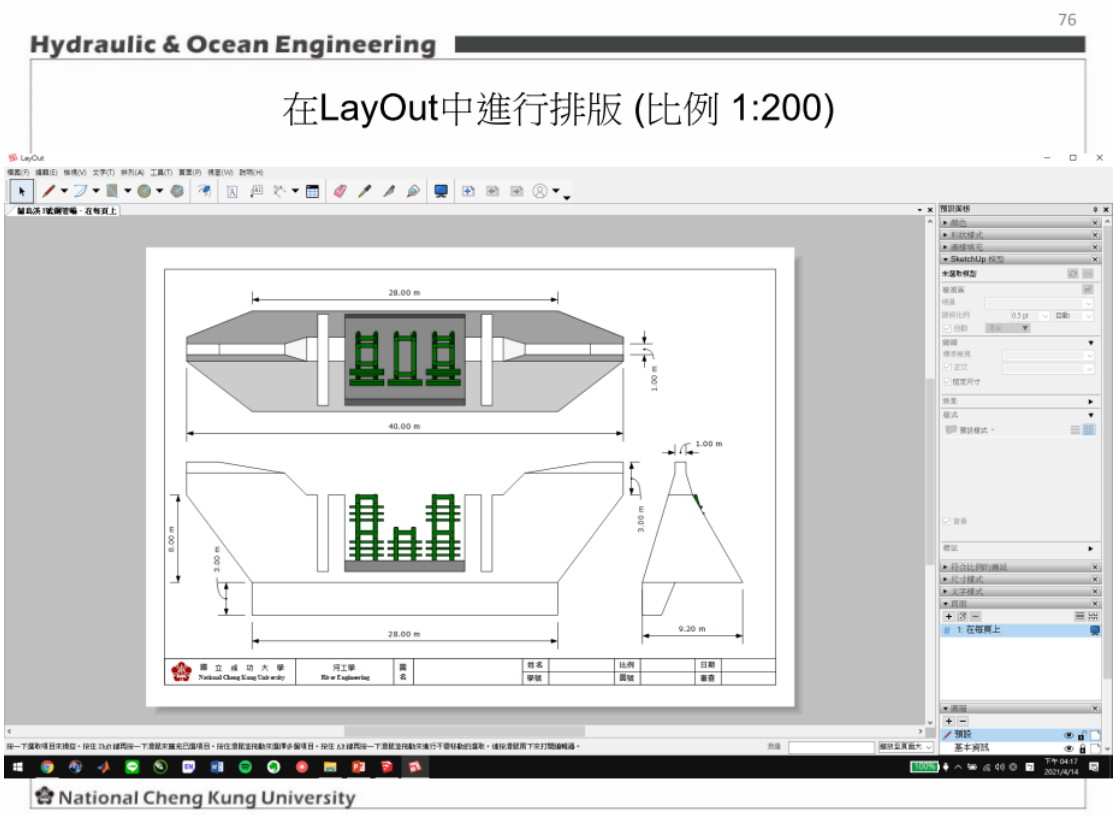




圖 4-10 蘭島溪 1 號可調式鋼管壩之 3D 繪圖與實際防砂壩之比較

Case 2: 巴沙娜橋上游防砂壩

本課程第二個挑選的實際案例為巴沙娜橋上游之防砂壩，參考張國欽課長報告中的施工實務經驗，此案例也具豐富的教學意義。完整的 3D 繪製過程如圖 4-13 至圖 4-17 之說明。

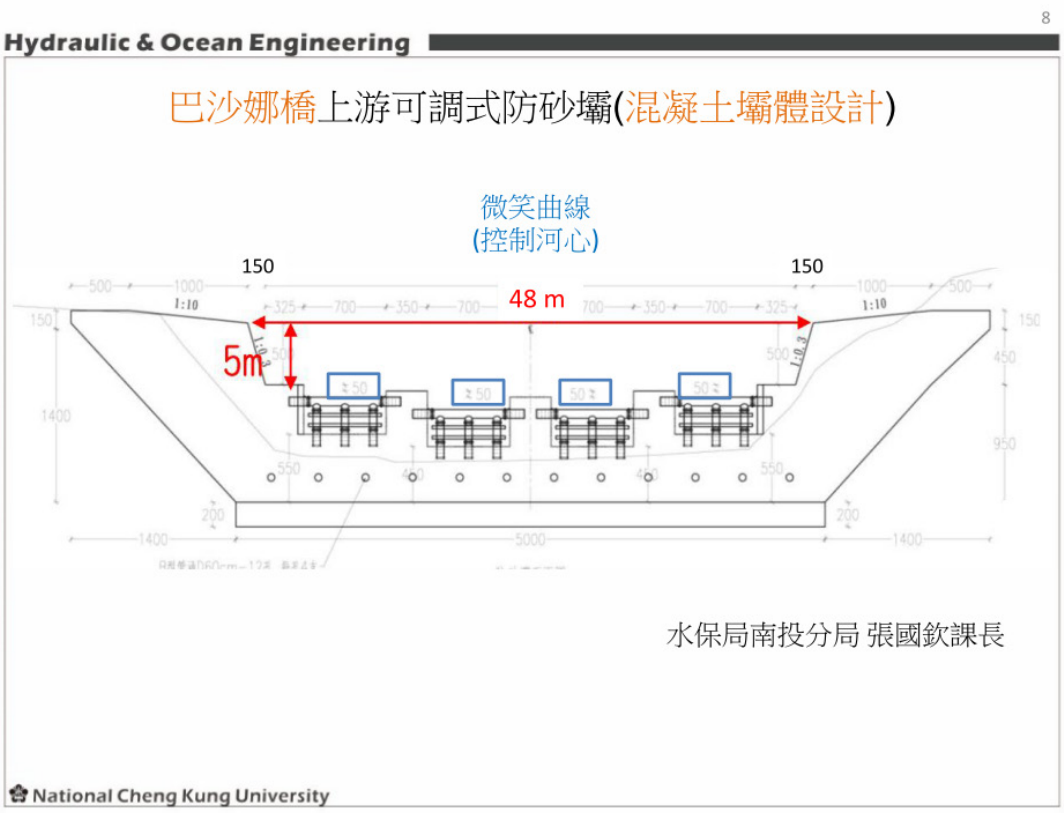


圖 4-11 巴沙娜橋上游防砂壩





圖 4-12 巴沙娜橋上游防砂壩之施工細節



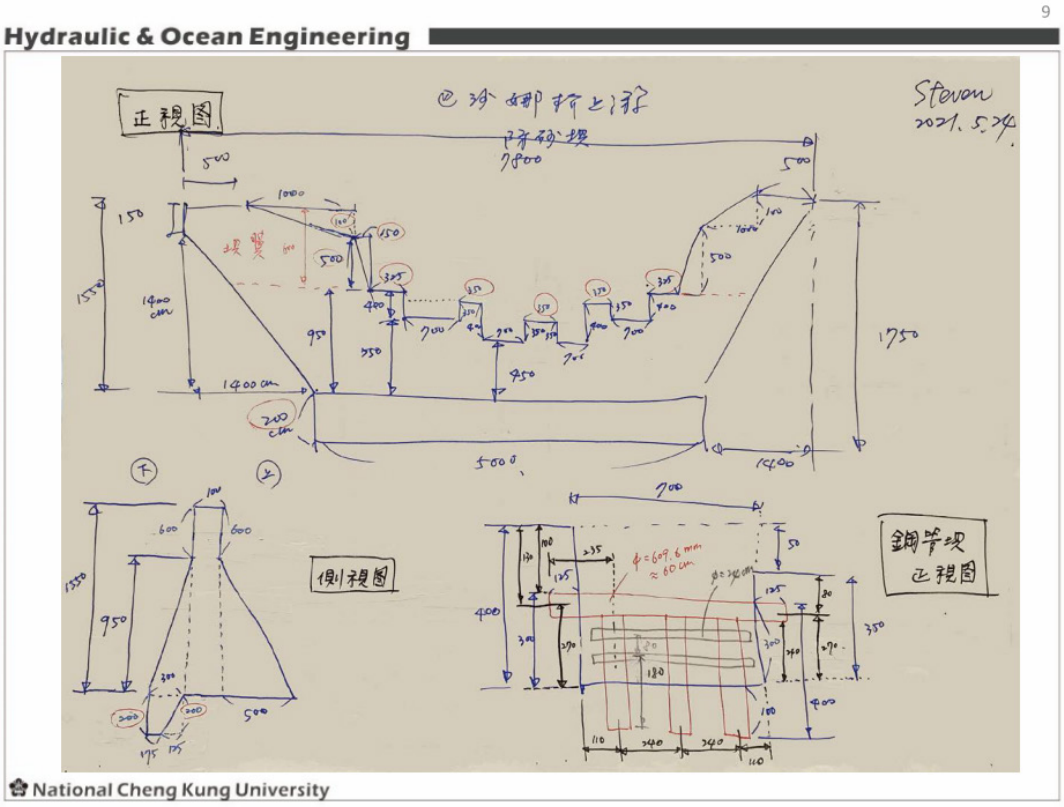
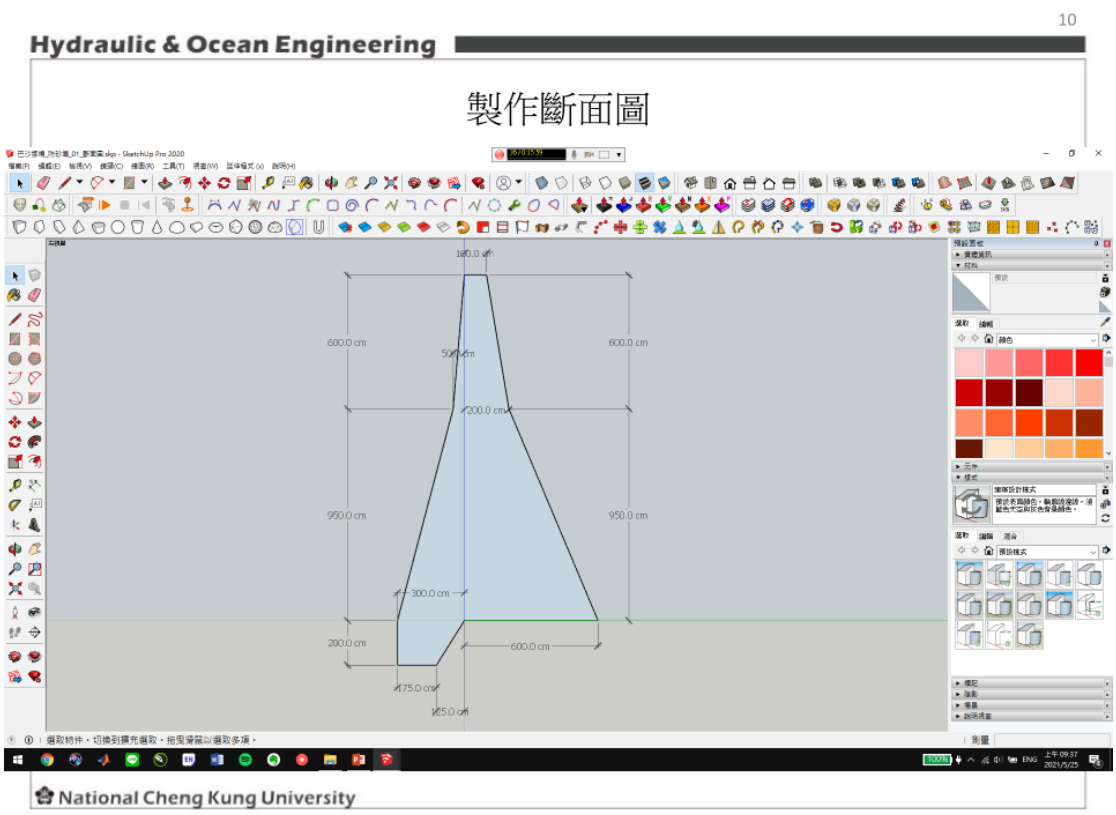


圖 4-13 巴沙娜橋上游防砂壩之相關尺寸



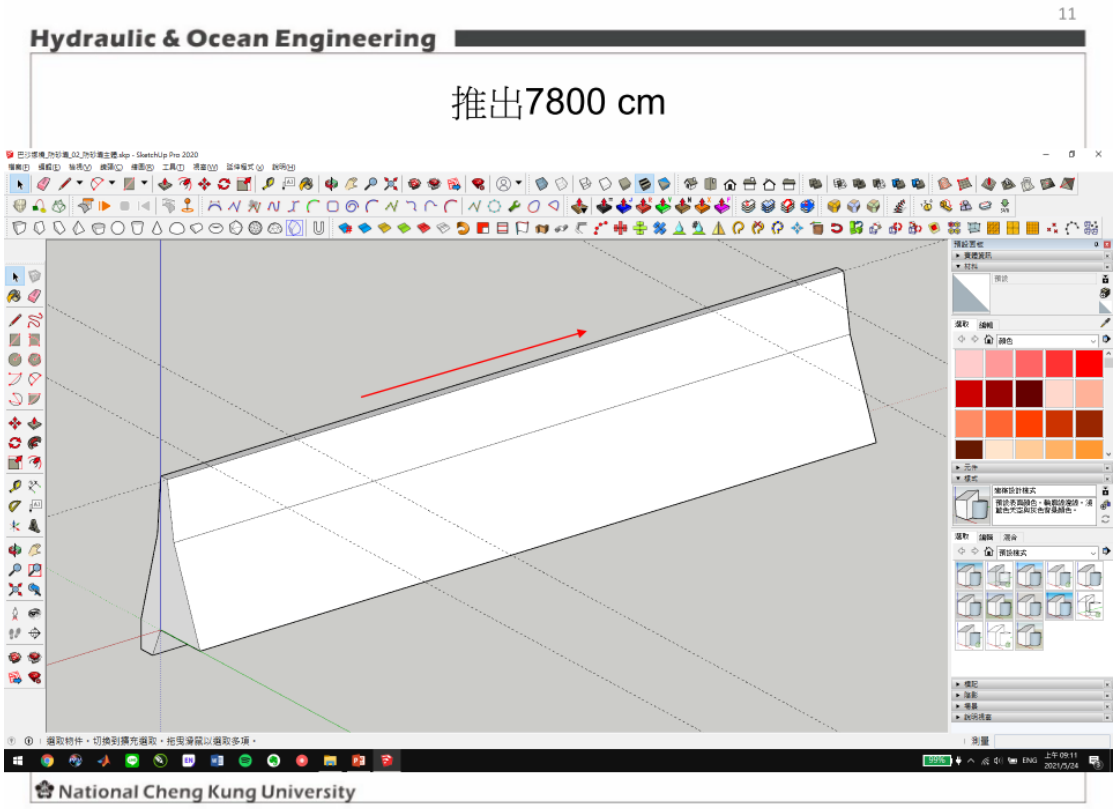
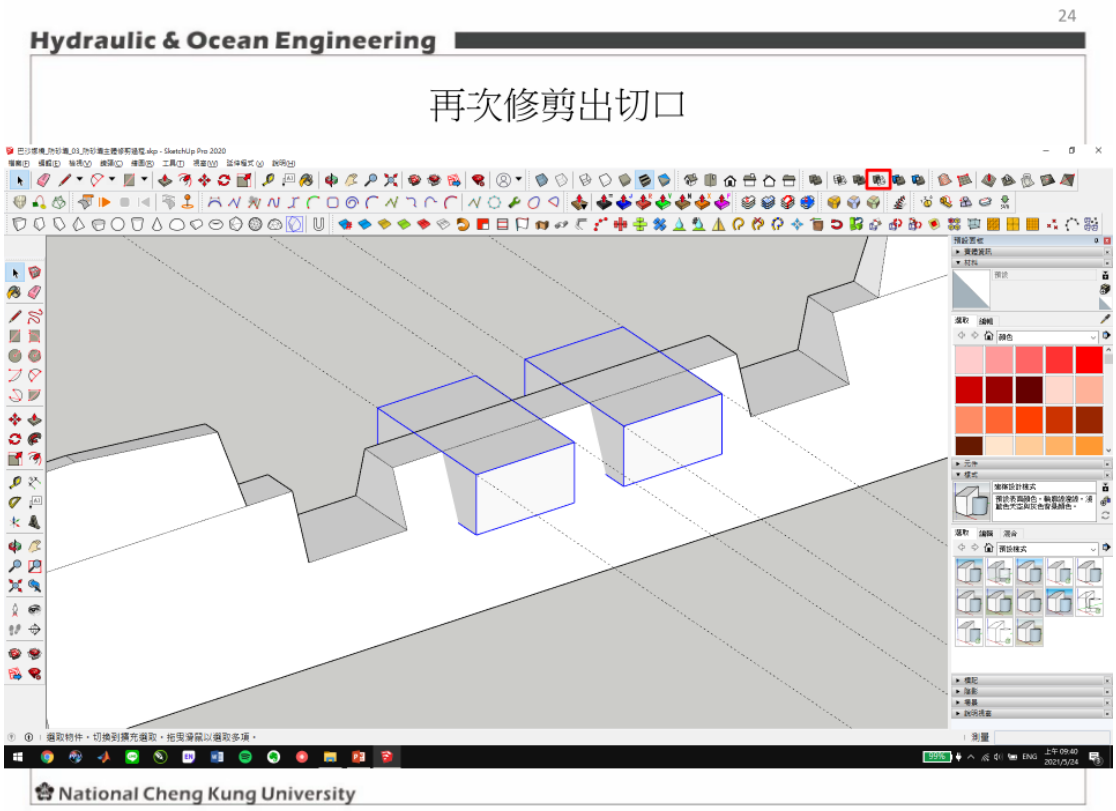


圖 4-14 製作防砂壩主體



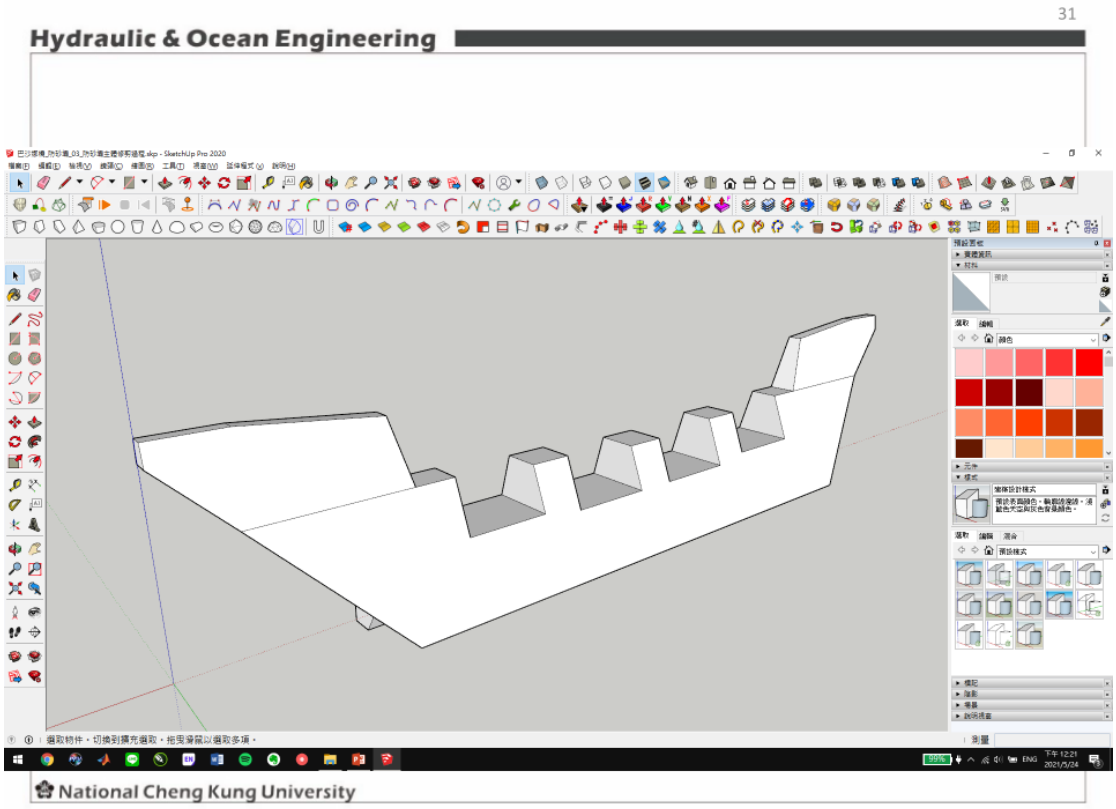
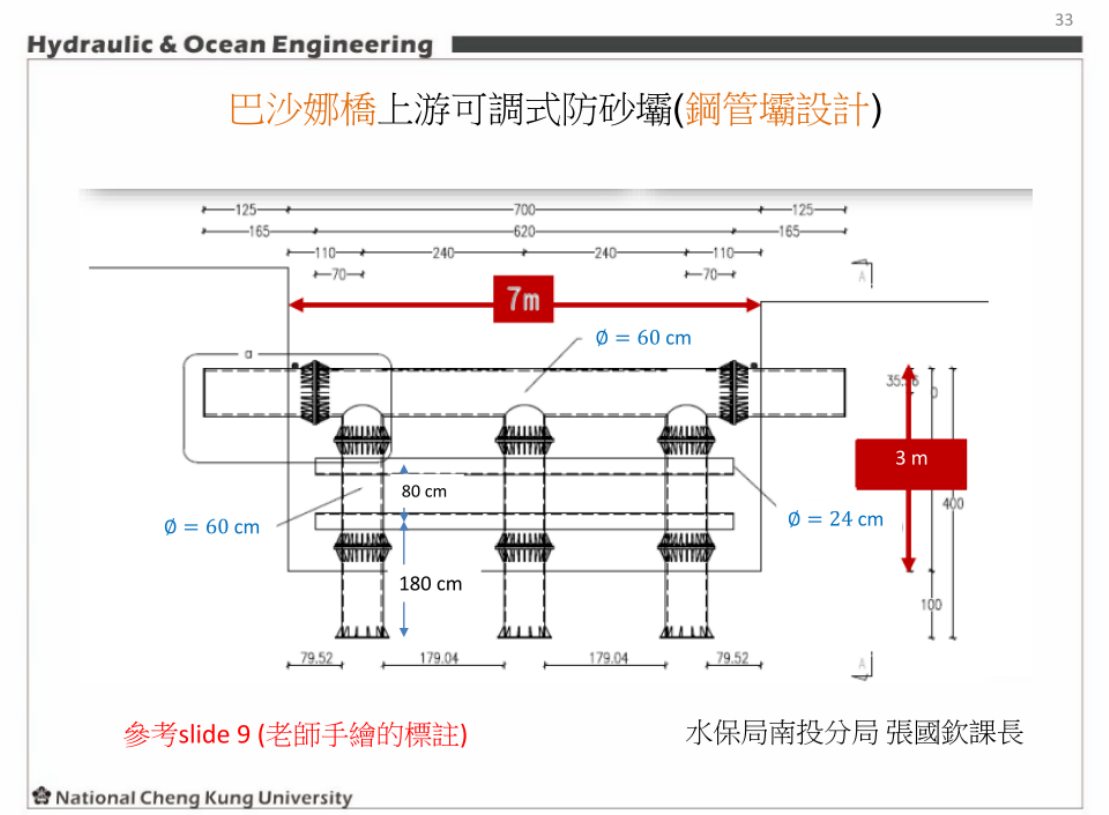


圖 4-15 製作梳子壩部份



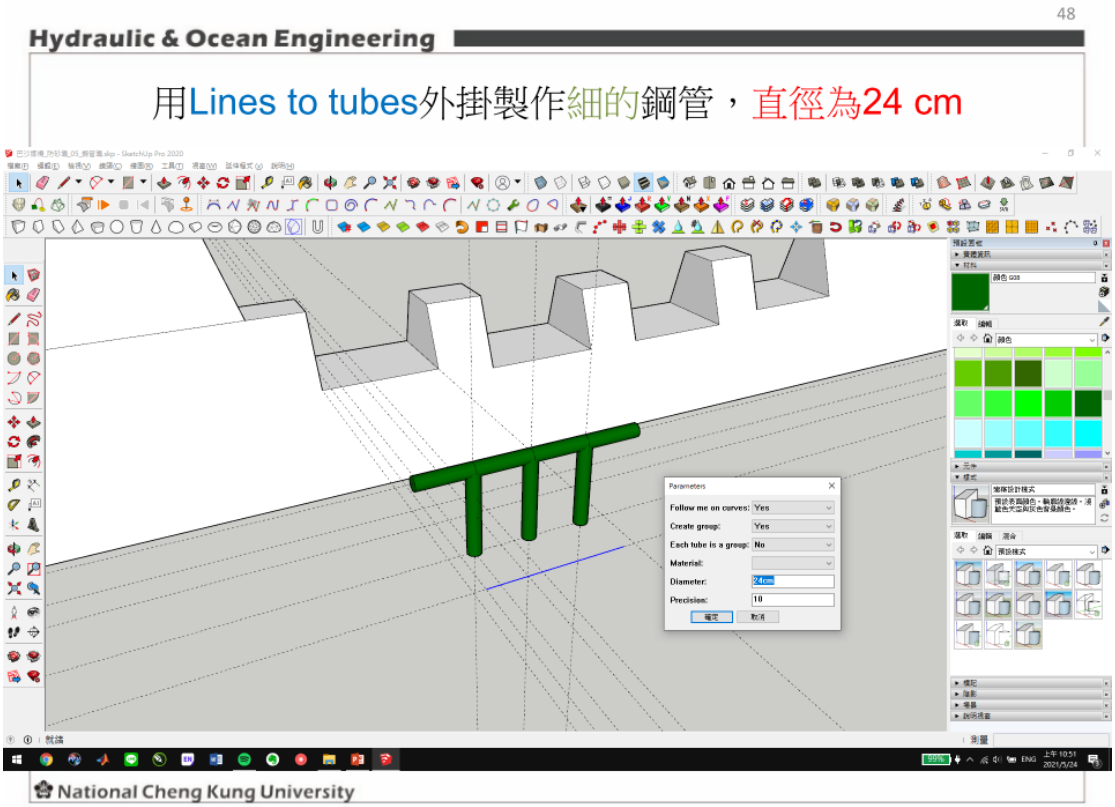
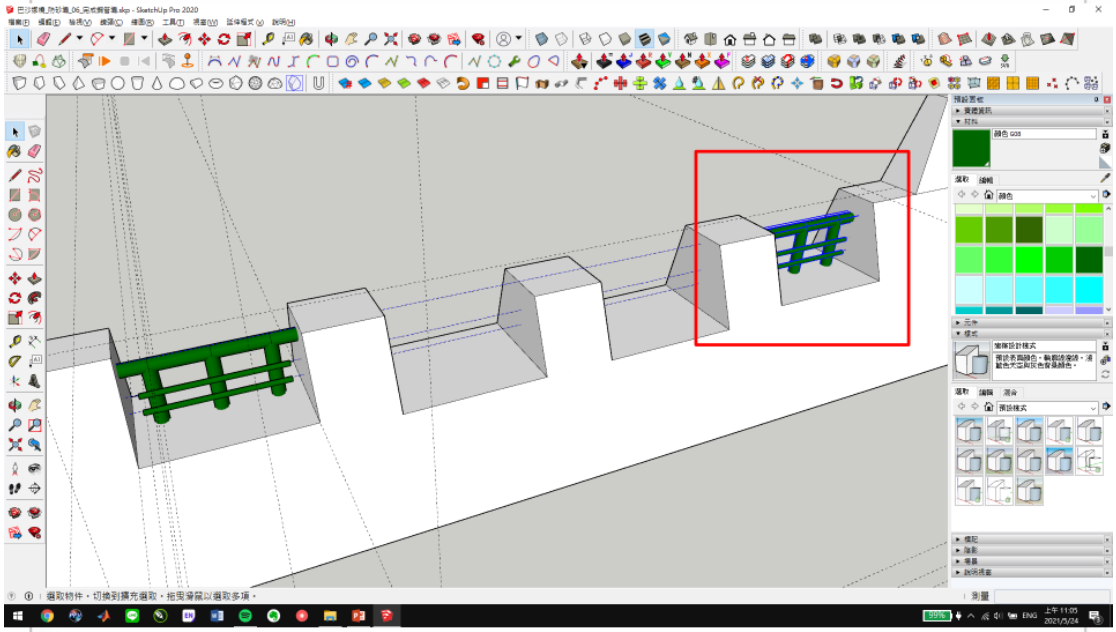


圖 4-16 製作鋼管壩部份

56

Hydraulic & Ocean Engineering

一樣的做法，應用到右邊

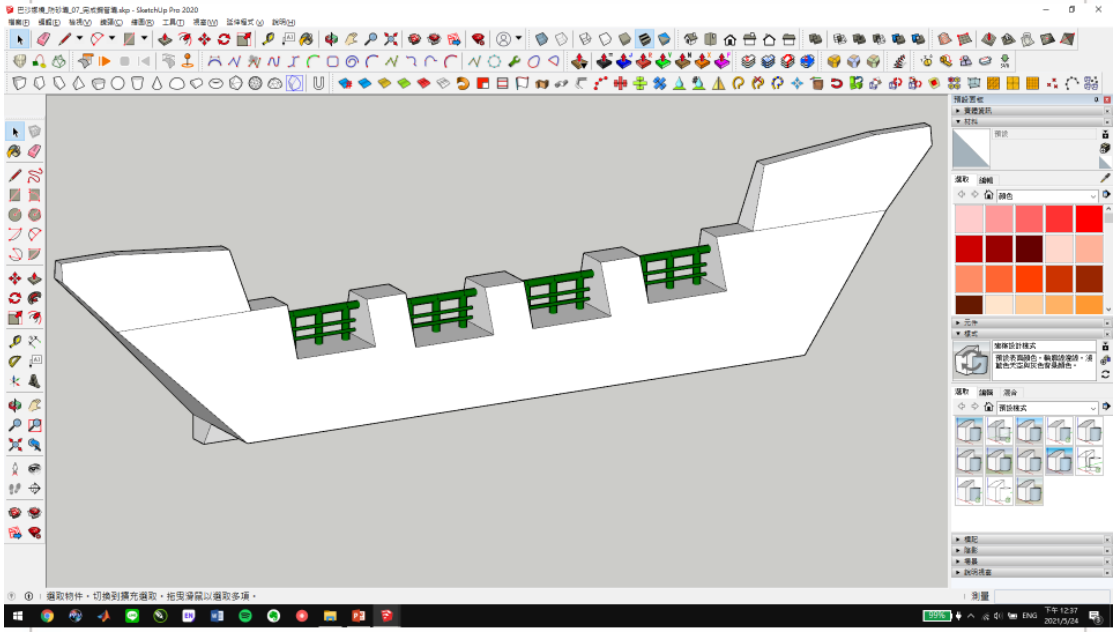


National Cheng Kung University

60

Hydraulic & Ocean Engineering

刪除所有輔助線，完成巴沙娜橋上游可調式鋼管壩。



National Cheng Kung University

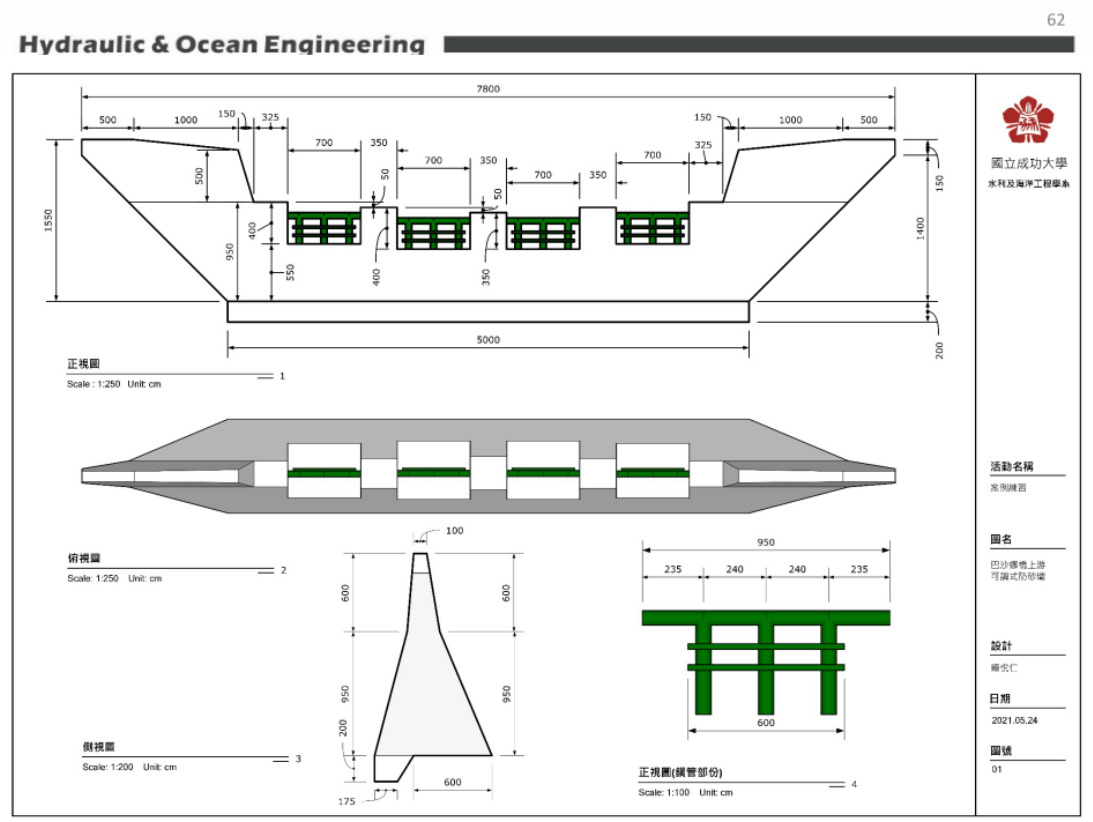


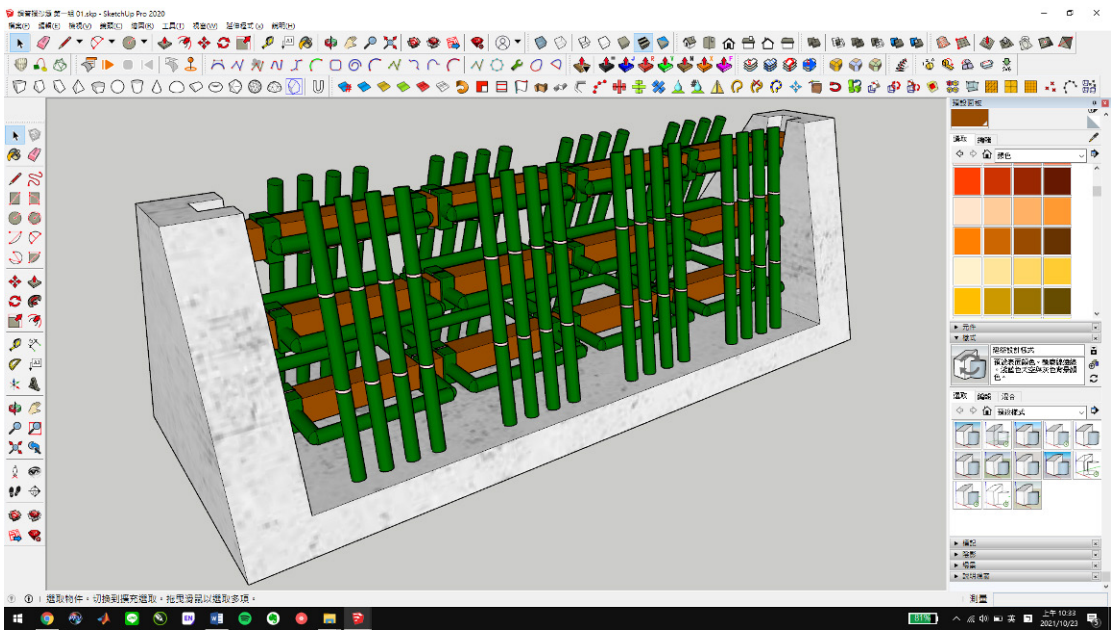
圖 4-17 完成巴沙娜橋上游防砂壩之 3D 模型繪製

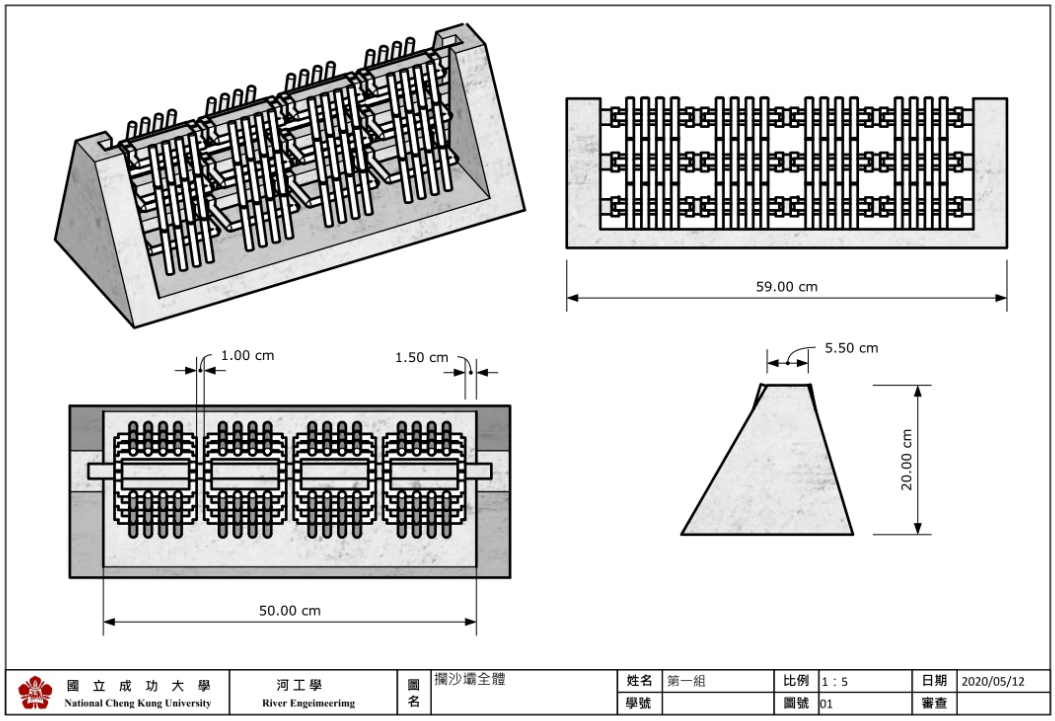
(2) 各組學生設計之「創新可調式防砂壩」：

本計畫藉由河工學課程引導 7 組學生以蘭島溪 1 號鋼管壩為基底，以 SketchUp 設計出「創新」的可調式防砂壩，成果豐碩，介紹如下：

第一組學生之設計作品

第一組的學生受到日本扇沢可動式防砂壩實例的影響，思考在混凝土壩翼兩側洗溝，達到可以方便上下抽拉的拆卸組裝過程，並結合鋼管壩可調式結構的優點，期待會有更好的貯砂效果。設計中採用中間橫桿卡於兩側壩翼之中，並連結外部鋼管壩元件，可以增加整體防砂壩的穩定度(圖 4-18)。





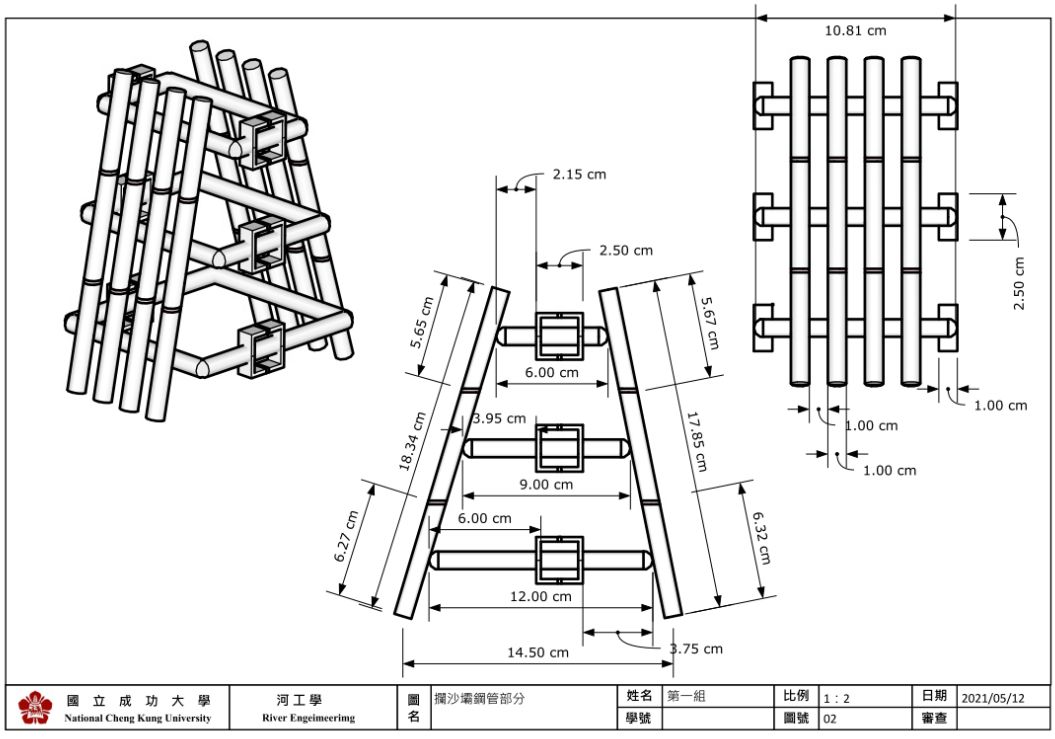
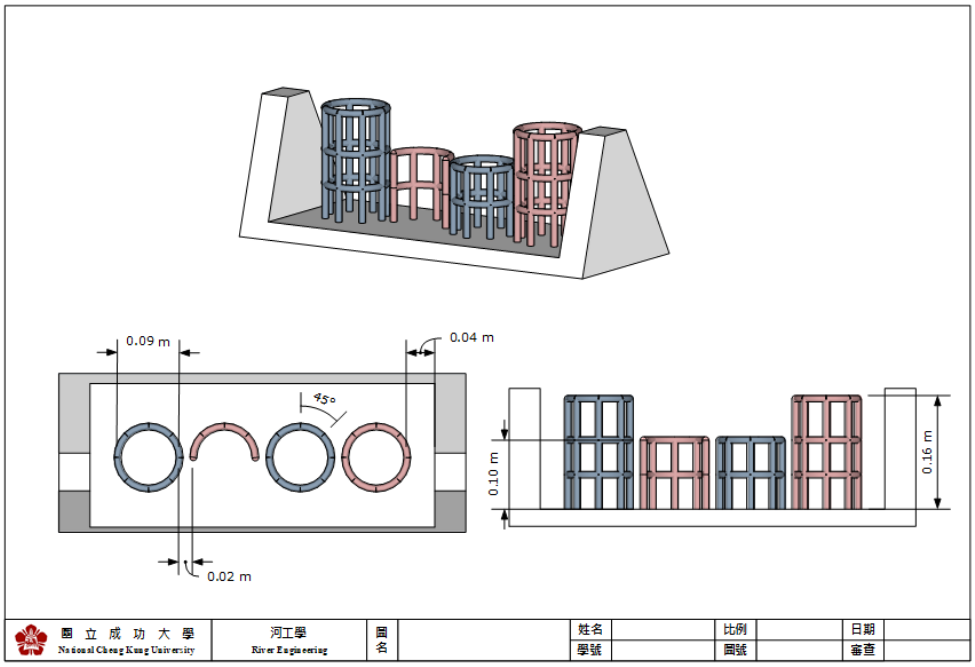


圖 4-18 第一組學生設計之 3D 模型及施工圖

第二組學生之設計作品

第二組學生以比薩斜塔為發想，中央兩座鋼管壩較低，可以控制流心。鋼管壩又分成圓柱形及六角形(圖 4-19)。



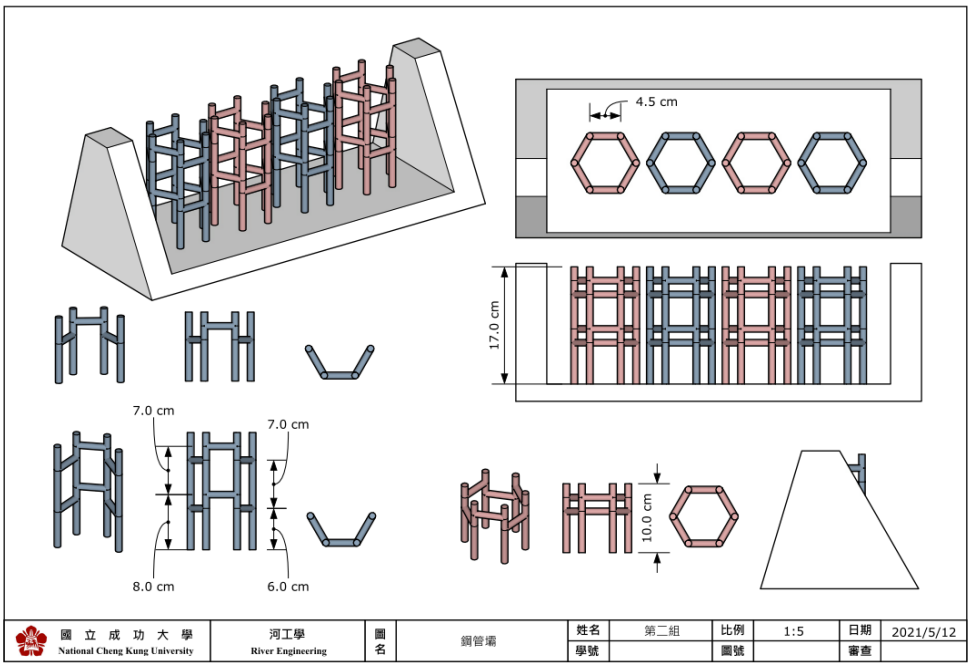
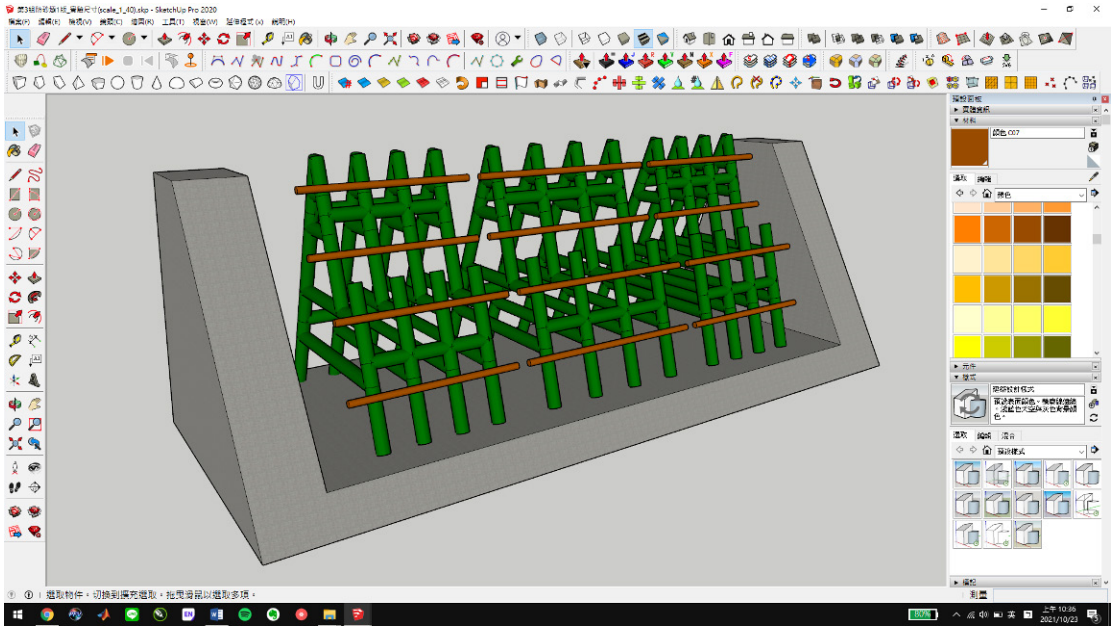
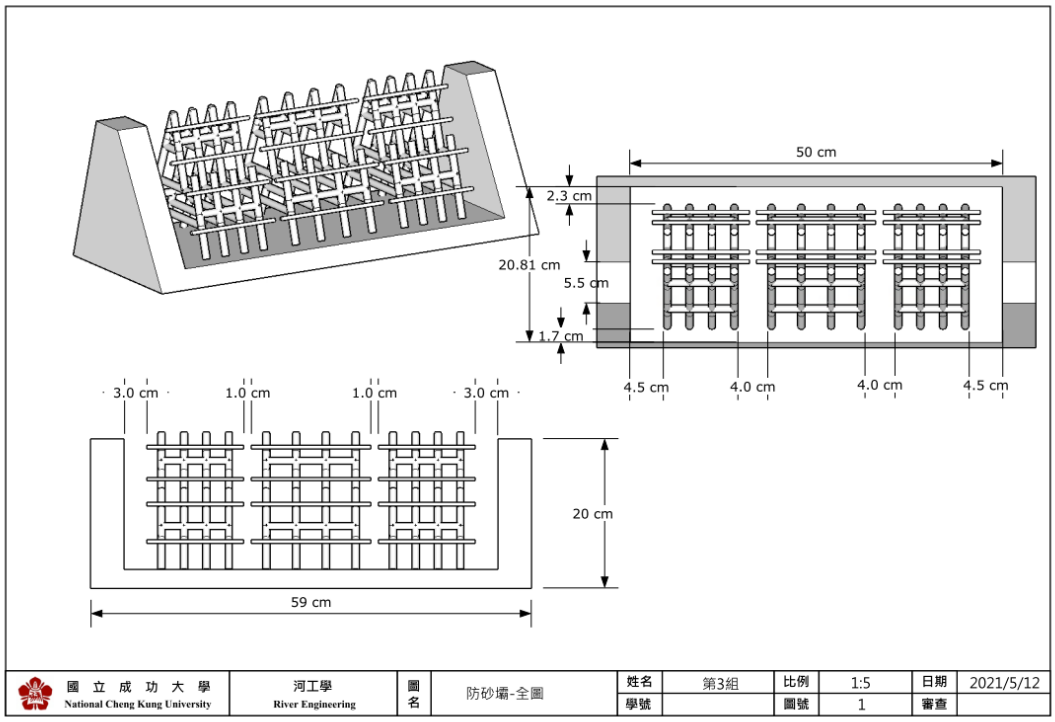


圖 4-19 第二組學生設計之 3D 模型及施工圖

第三組學生之設計作品

第三組學生以變形的 A 字結構為發想，設計可以符合大流量及小流量都有不錯的貯砂效果。這組學生是唯一一組有在暑假回到創客空間中，花了幾週的時間把實體模型做出來，並送到水槽中測試(圖 4-20)。





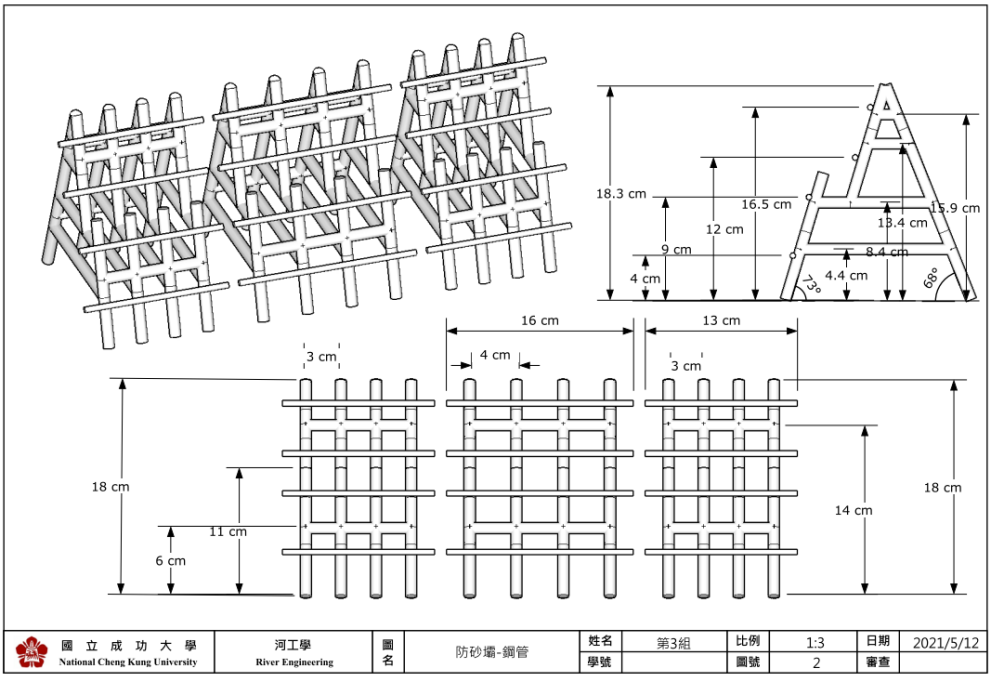
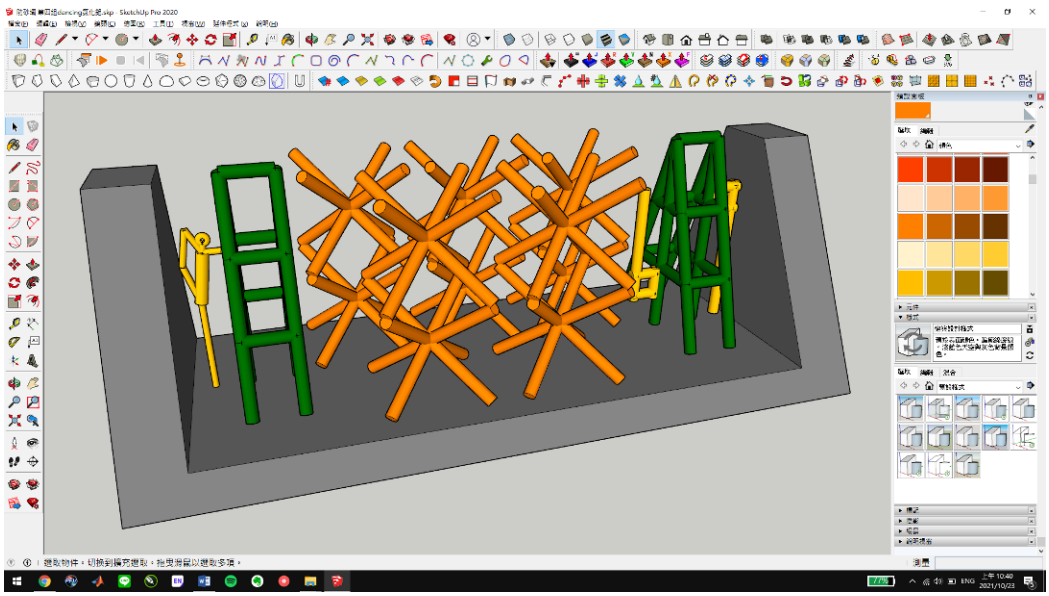
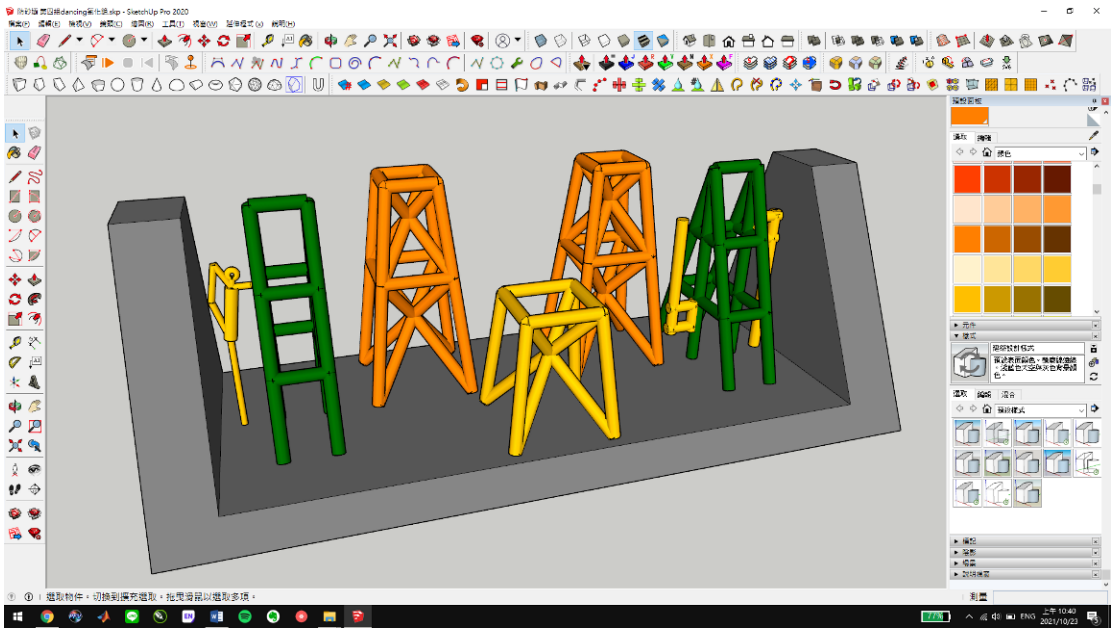


圖 4-20 第三組學生設計之 3D 模型及施工圖

第四組學生之設計作品

第四組學生以氯化銫作為發想元素，設計出較特別的作品，期待可以討論不同鋼管壩之貯砂效果(圖 4-21)。





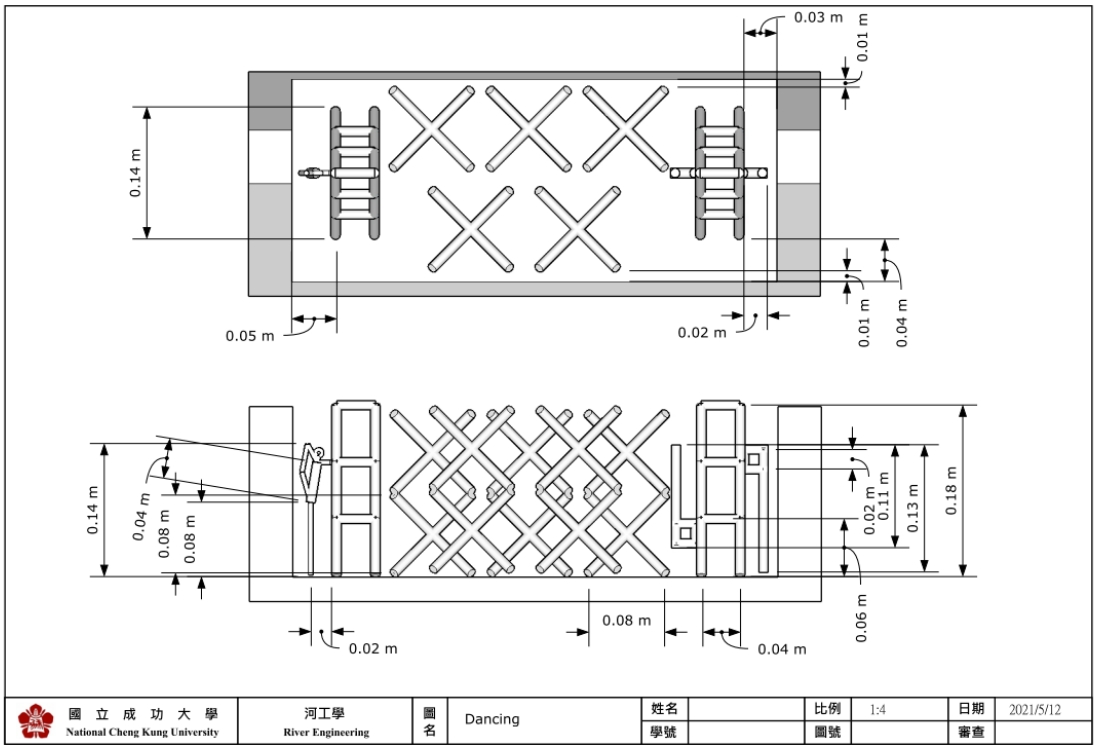
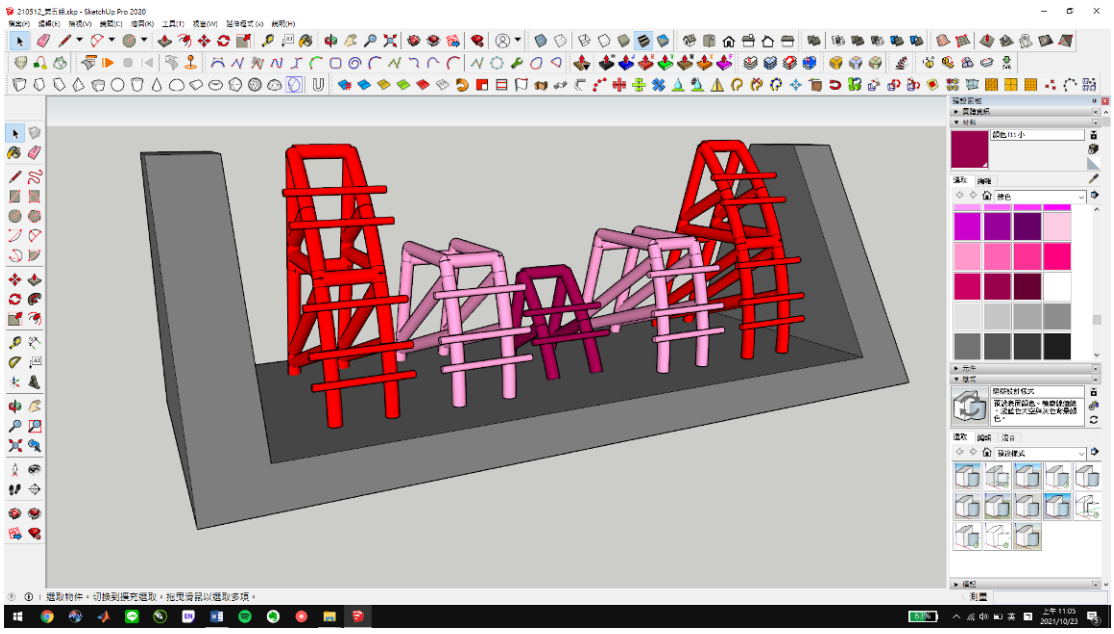
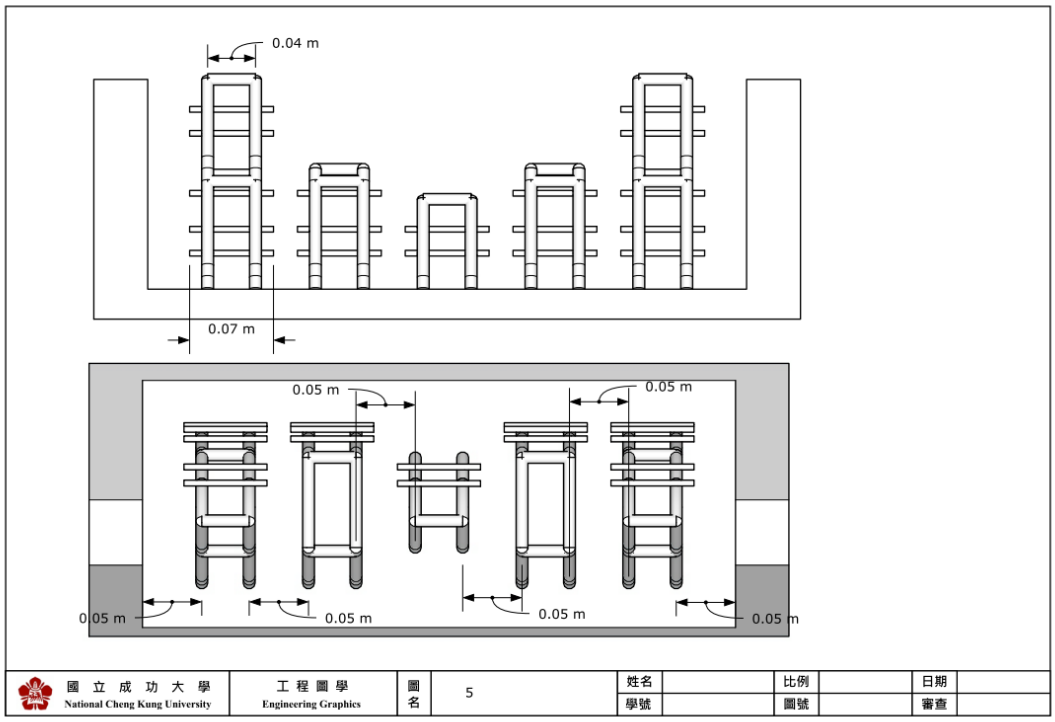


圖 4-21 第四組學生設計之 3D 模型及施工圖

第五組學生之設計作品

第五組學生以弧形的鋼管壩作為發想基礎，中央三座鋼管壩較低，可以有效控制流心。設有粗細不同的橫材及縱材，預期可以達到類似蘭島溪 1 號或 2 號鋼管壩的貯砂效果。





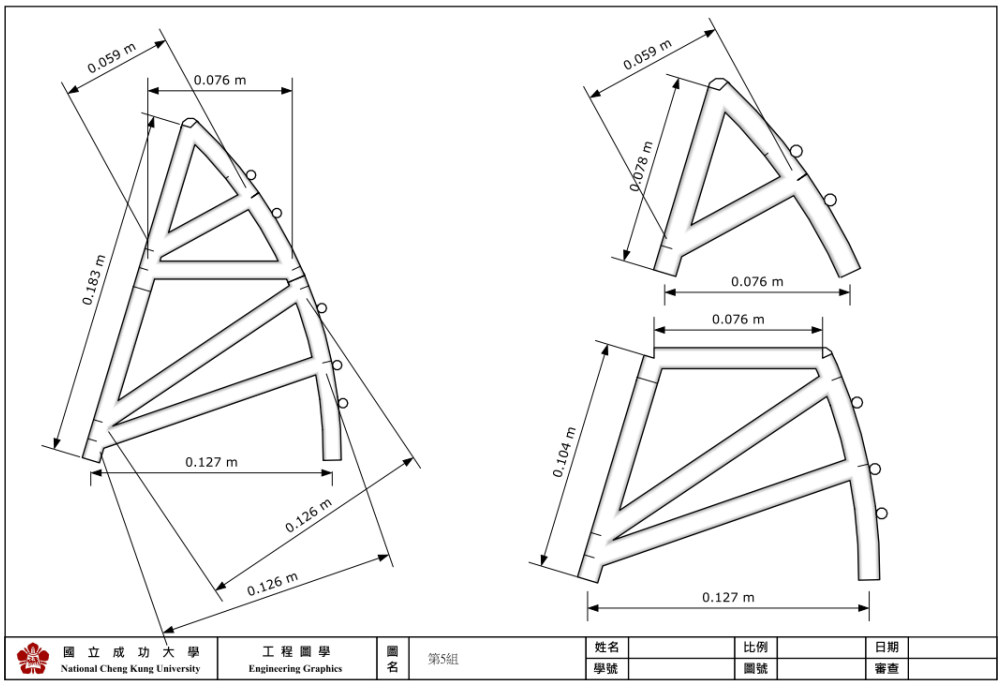
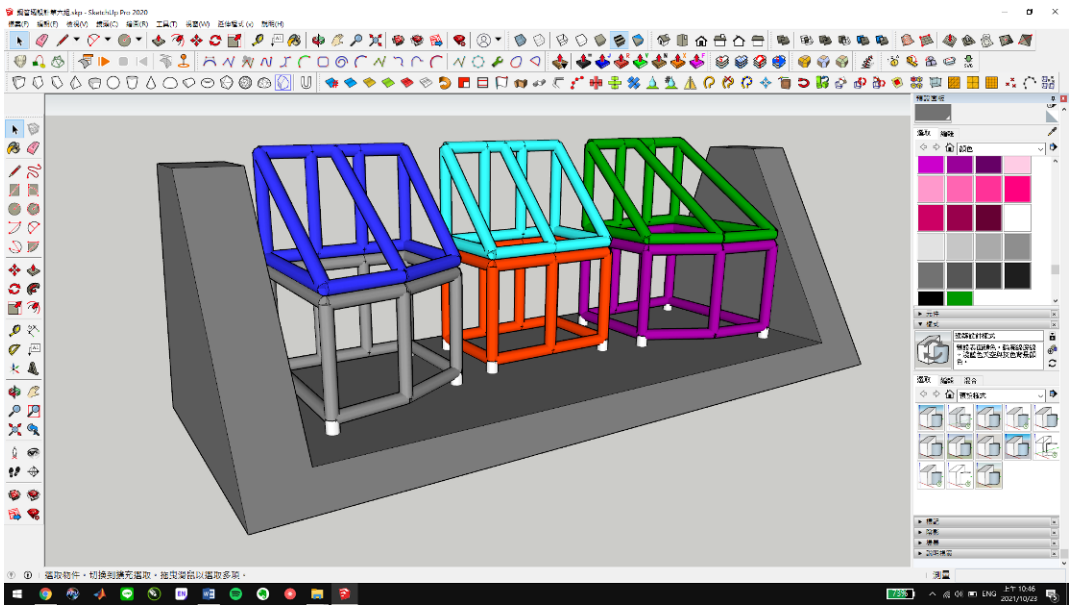
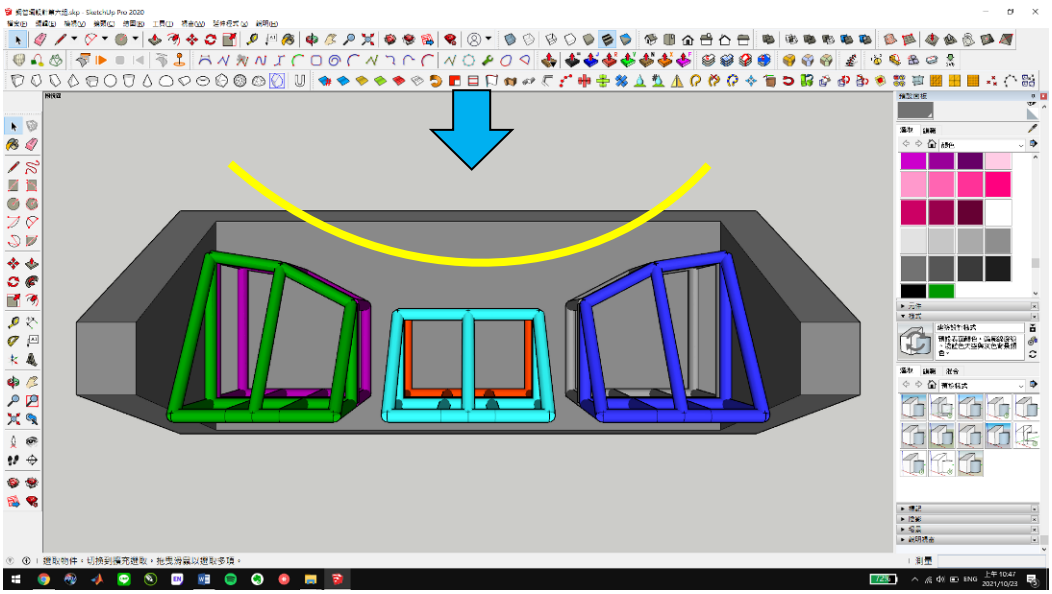


圖 4-22 第五組學生設計之 3D 模型及施工圖

第六組學生之設計作品

第六組學生以可拆式格子壩為出發，設計中考量微笑弧線的概念，可以自然將土砂聚集到河道流心。





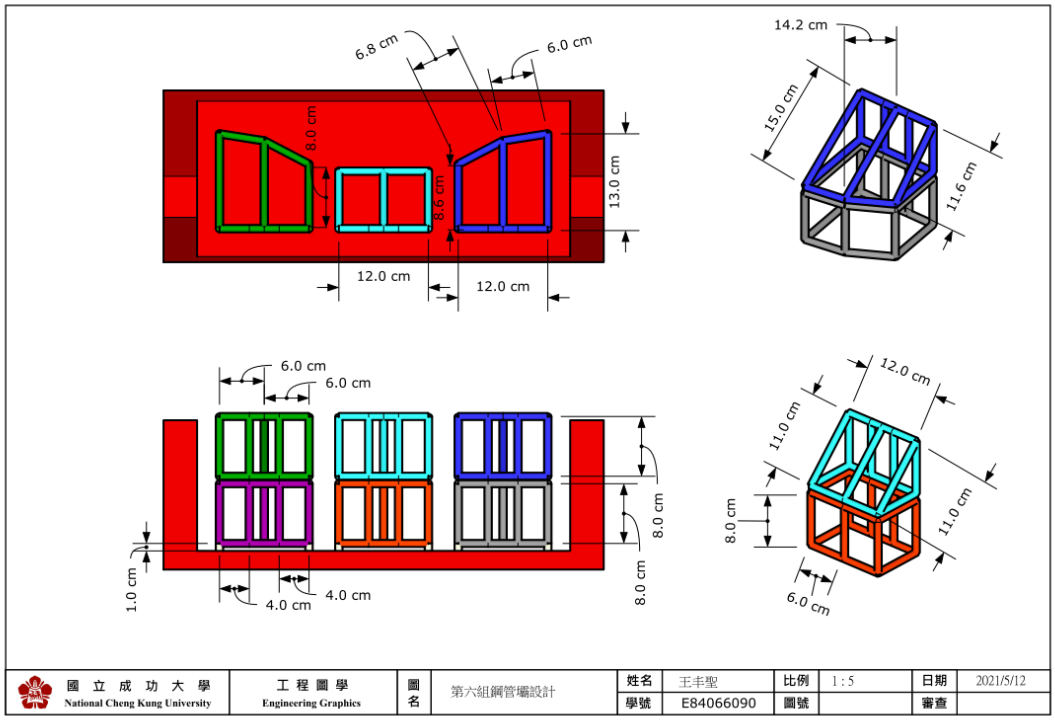


圖 4-23 第六組學生設計之 3D 模型及施工圖

第七組學生之設計作品

第七組學生以變形的 W 字結構為發想，兩側鋼管壩之頂部為金字塔結構，中央之鋼管壩則是類似蘭島溪 1 號鋼管壩的結構。預計透過不同結構可以討論不同的貯砂效率。

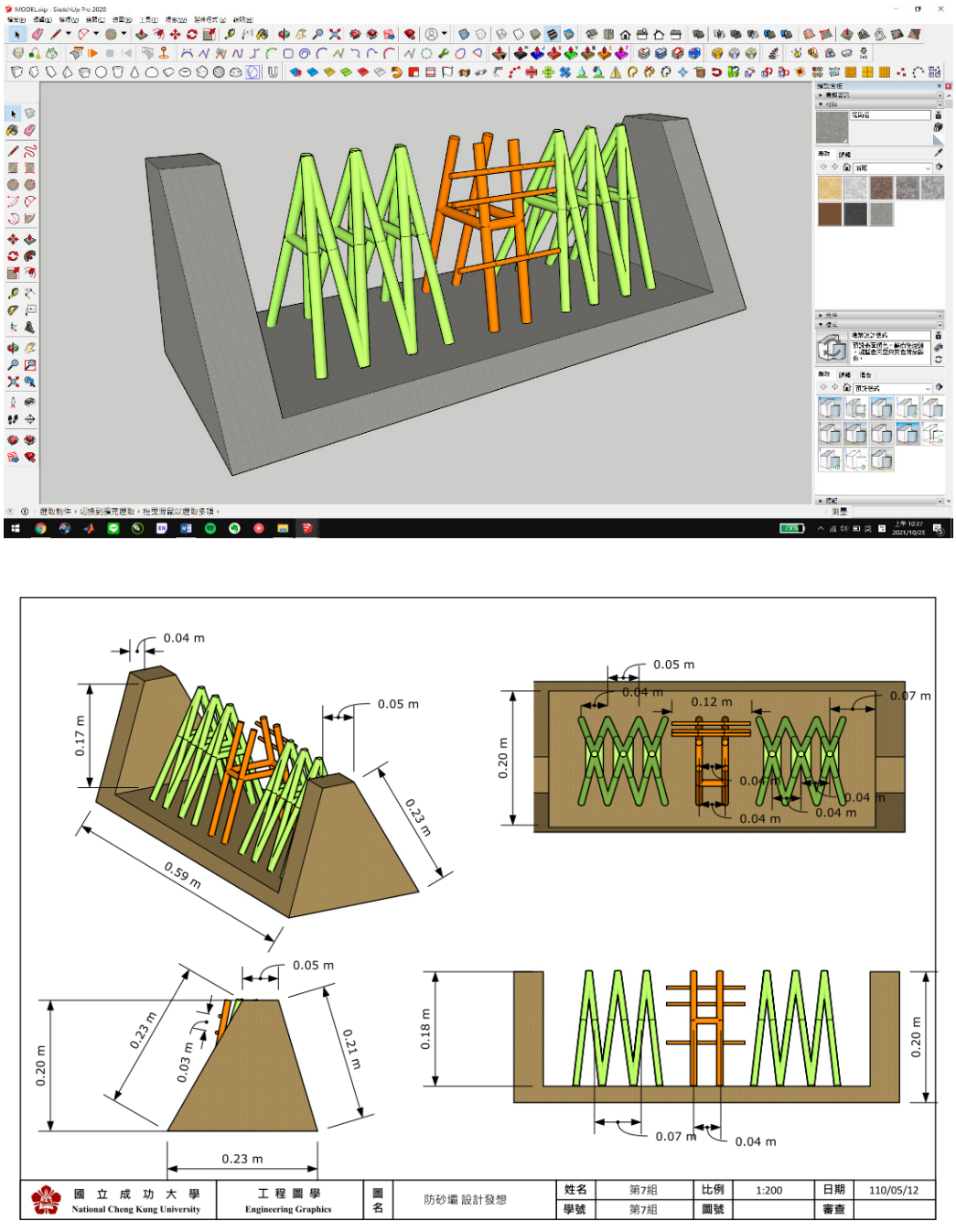


圖 4-24 第七組學生設計之 3D 模型及施工圖

(3) 製作 1:40 之混凝土縮尺模型:

本課程之另一個重點實作活動則是製作 1:40 之混凝土縮尺模型，並開發可調式鋼管壩之製作方式。本計畫原本規劃研發金屬焊接技術及金屬與混凝土連接之技術。學期中經詢問系上資深教授及學校相關規定後，無法執行金屬焊接這類危險性較高的實作活動。基於安全與系上創客空間之長期發展，本人決定改採危險性較低，但操作性較高的木工代替金屬材質的實作練習。效果很不錯，如圖 4-18 至圖 4-23 之說明。

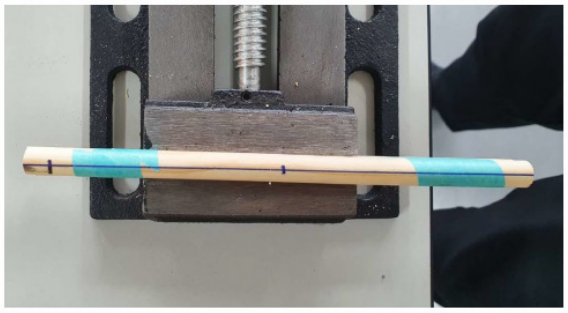


4

Hydraulic & Ocean Engineering

鑽孔

- 為確保鋼管壩組裝的一致性，鑽孔位置必須固定，且能使橫桿連接穩固不歪斜。
- 上游面鋼管鑽孔位置：9 cm、17 cm 處
- 下游面鋼管鑽孔位置：7.8 cm、16.5 cm 處





National Cheng Kung University

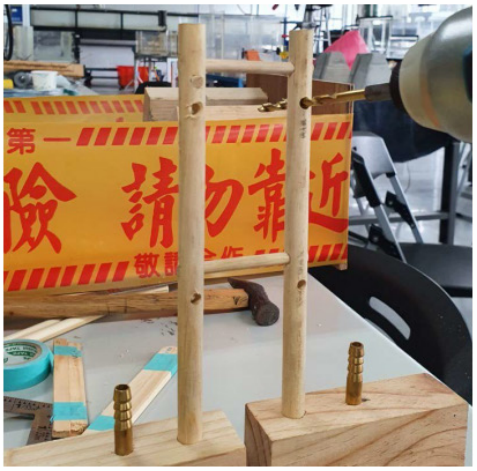
6

Hydraulic & Ocean Engineering

鑽孔

- 沿流線方向上的鑽孔，會需要傾斜的鑽孔角度，以做出鋼管的傾斜斜率 (詳細施作技巧參考影片)
- 上游面鋼管鑽孔位置：由下往上計算 7.45 cm、14.95 cm 處
- 下游面鋼管鑽孔位置：由下往上計算 7.35 cm、14.85 cm 處





National Cheng Kung University

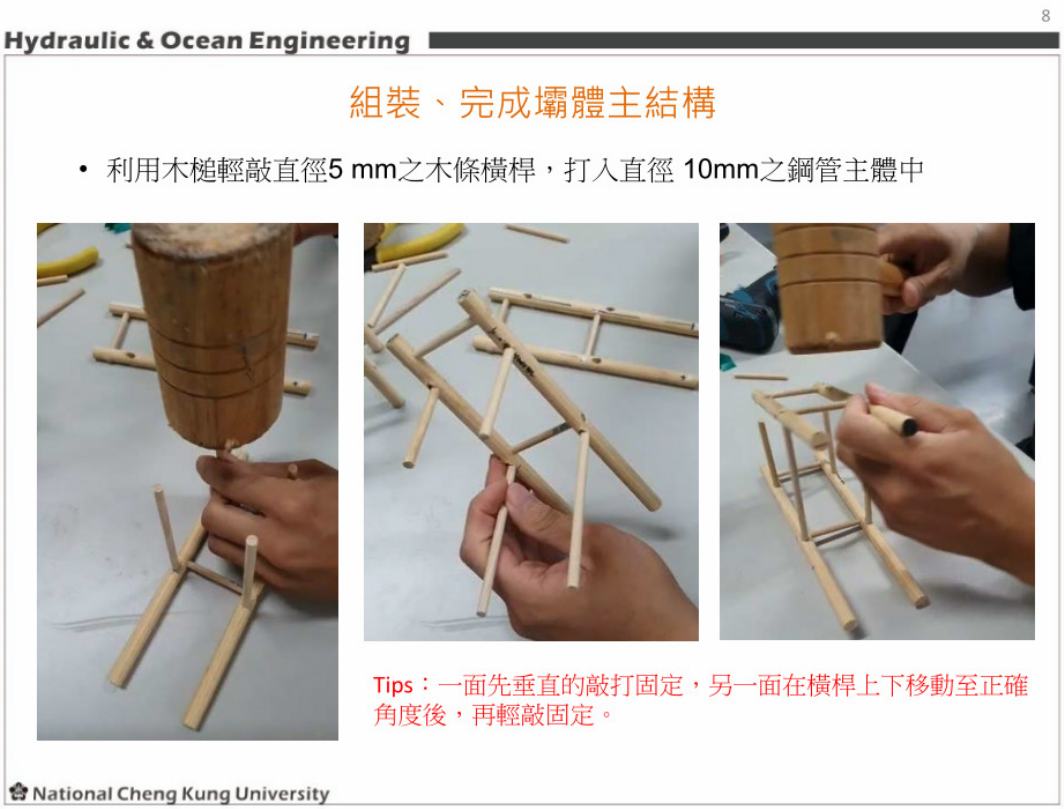




圖 4-25 木製鋼管壩縮尺模型製作過程

11

Hydraulic & Ocean Engineering

木榫作法

- 於木棍切斷處中央位置，鑽出一直徑 4mm的小洞。於小洞中塞入木榫作為上下切面的連接



優點：
- 鋼管壩外部無凸出結構，不會增加鋼管直徑。
- 連結處設計簡單，可快速拆卸與組裝。

缺點：
- 圓木棍直徑小，洗木榫洞困難容易失誤，使得壩體組裝時歪斜。
- 木榫需要木棍連接處上下 1.5 公分的預留，容易使壩體設計受阻。

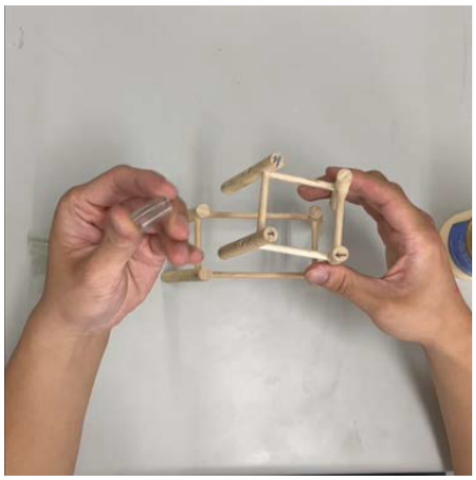
National Cheng Kung University

12

Hydraulic & Ocean Engineering

塑膠軟管連接

- 木棍截斷處以塑膠軟管在外部連接上下鋼管壩，並使用太棒膠連接軟管與上部鋼管壩



優點:
- 施作較簡單，省去鑽洞、塞卡榫的麻煩。
- 連接處組裝快，成品也較不會有歪斜狀況。

缺點：
- 連接上木棍後，軟管會緊緊的咬住木棒，使得鋼管壩的上下拆除困難。
- 外圍多了一圈透明軟管，增加鋼管壩直徑。

National Cheng Kung University

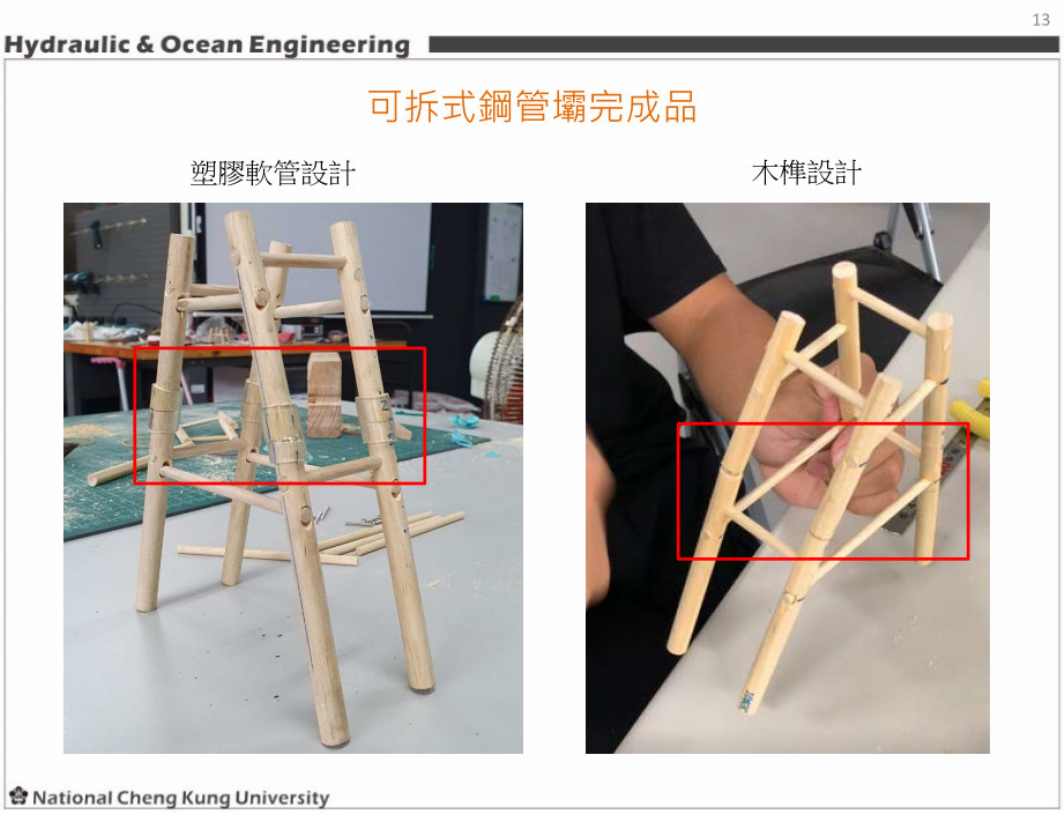


圖 4-26 木製鋼管壩縮尺模型之可調整功能製作方式

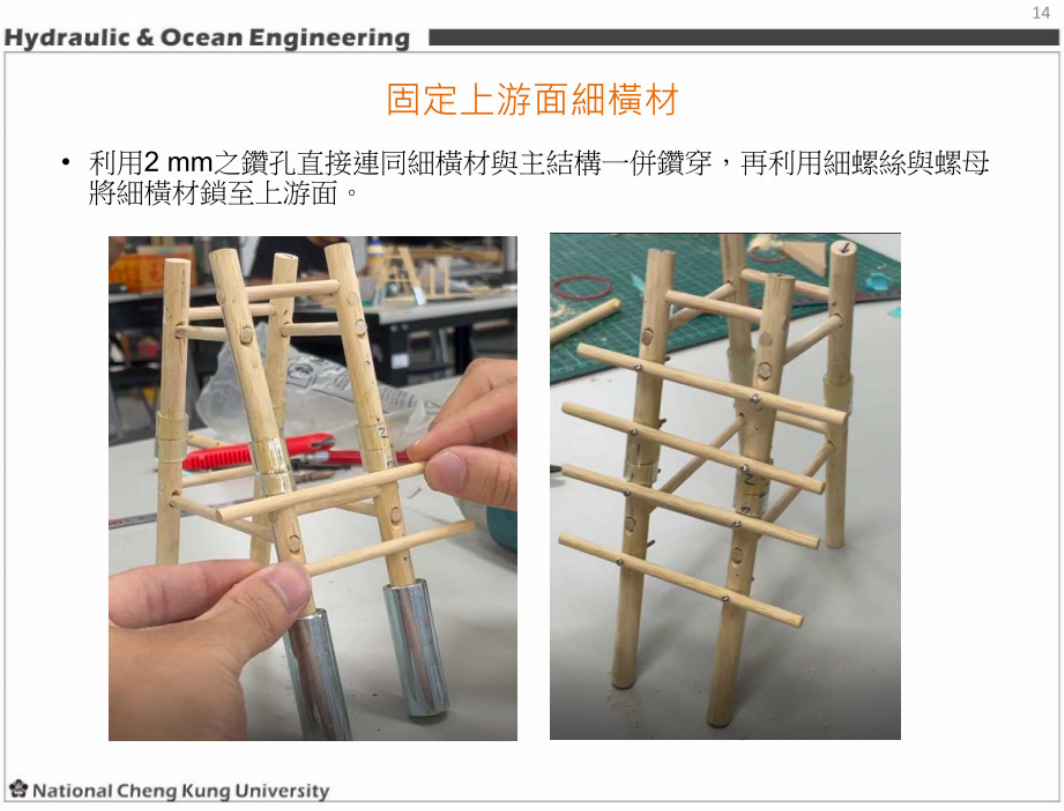
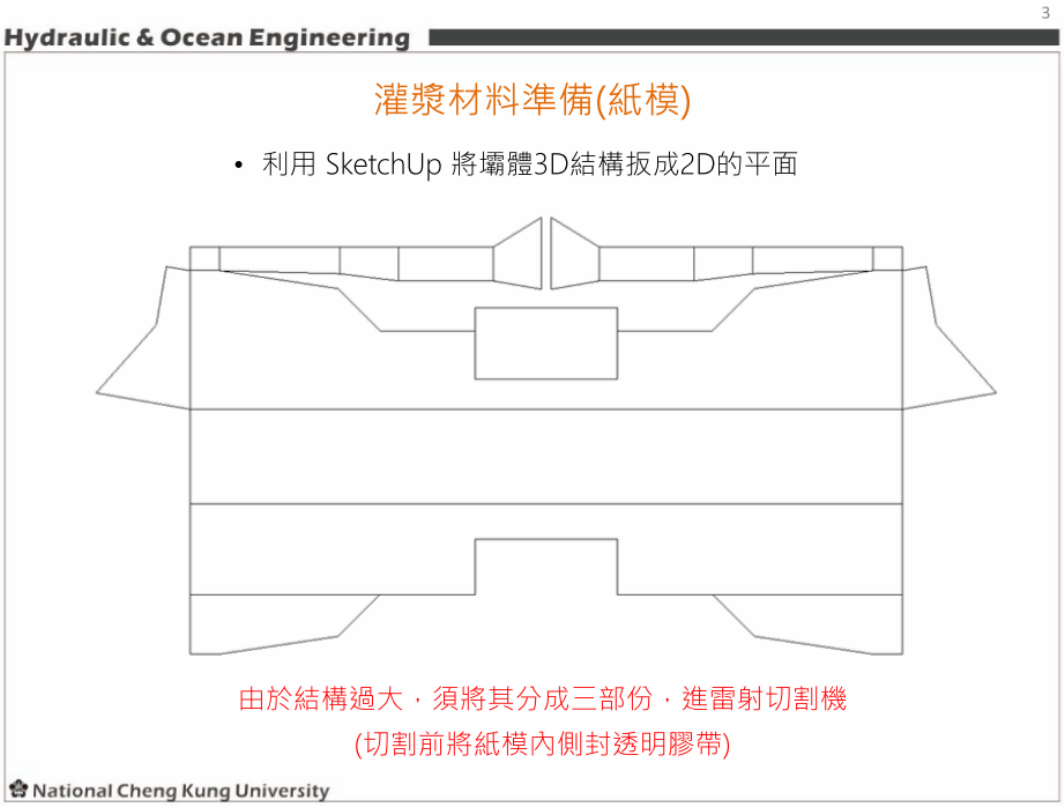




圖 4-27 完成可調式木製鋼管壩之縮尺模型



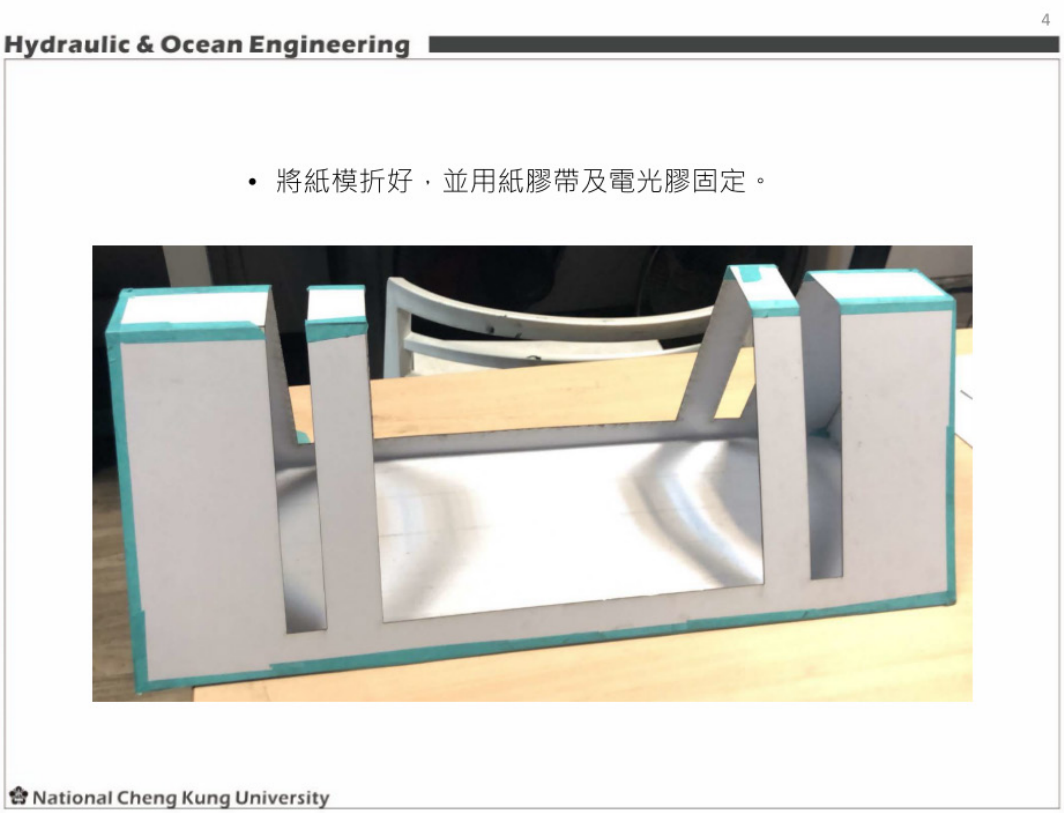
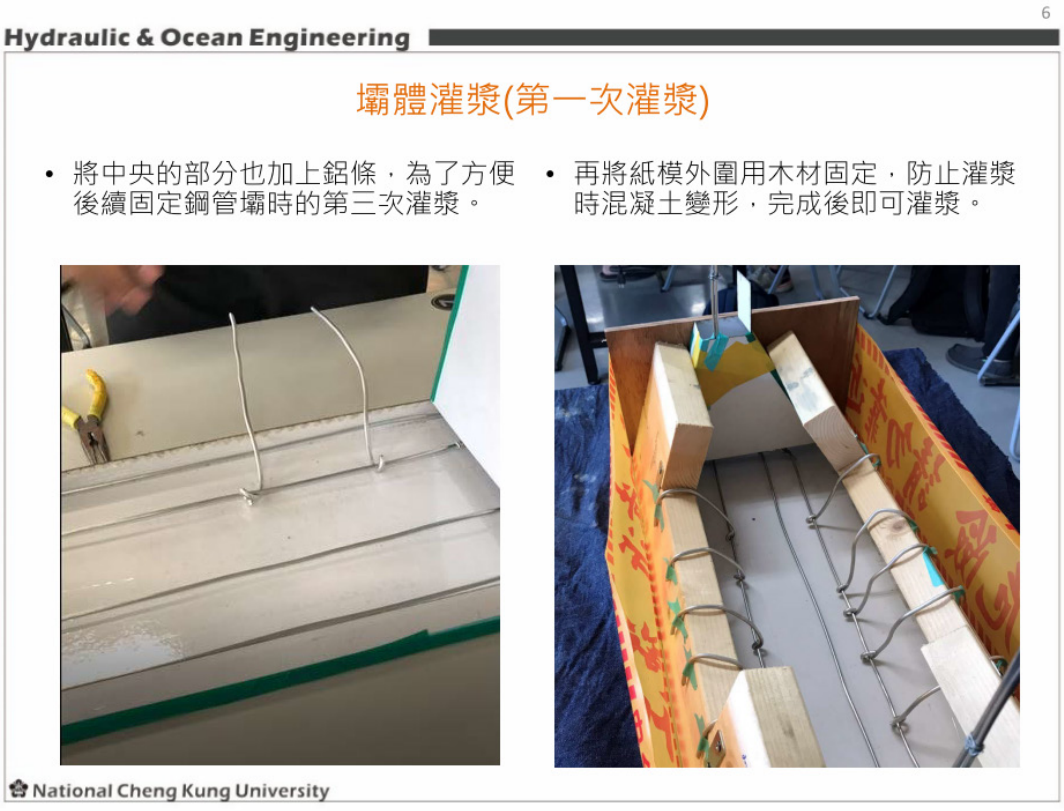


圖 4-28 製作混凝土防砂壩主體之紙模



8

Hydraulic & Ocean Engineering

壩翼灌漿(第二次灌漿)

- 等待第一部分之混凝土乾燥後，可將壩翼的部分也灌好混凝土。



- 壩翼灌漿完成後，一樣靜置一天等待混凝土乾燥。



Tips：灌漿時，可用木槌敲擊側邊木板，將氣泡趕出

National Cheng Kung University

9

Hydraulic & Ocean Engineering

灌漿技巧

- 可用剩餘的紙板作為輔助，將混凝土灌入紙模。



- 左右搖晃將混凝土中的氣泡擠出，可增加灌漿品質。



National Cheng Kung University



圖 4-29 灌漿過程及技巧

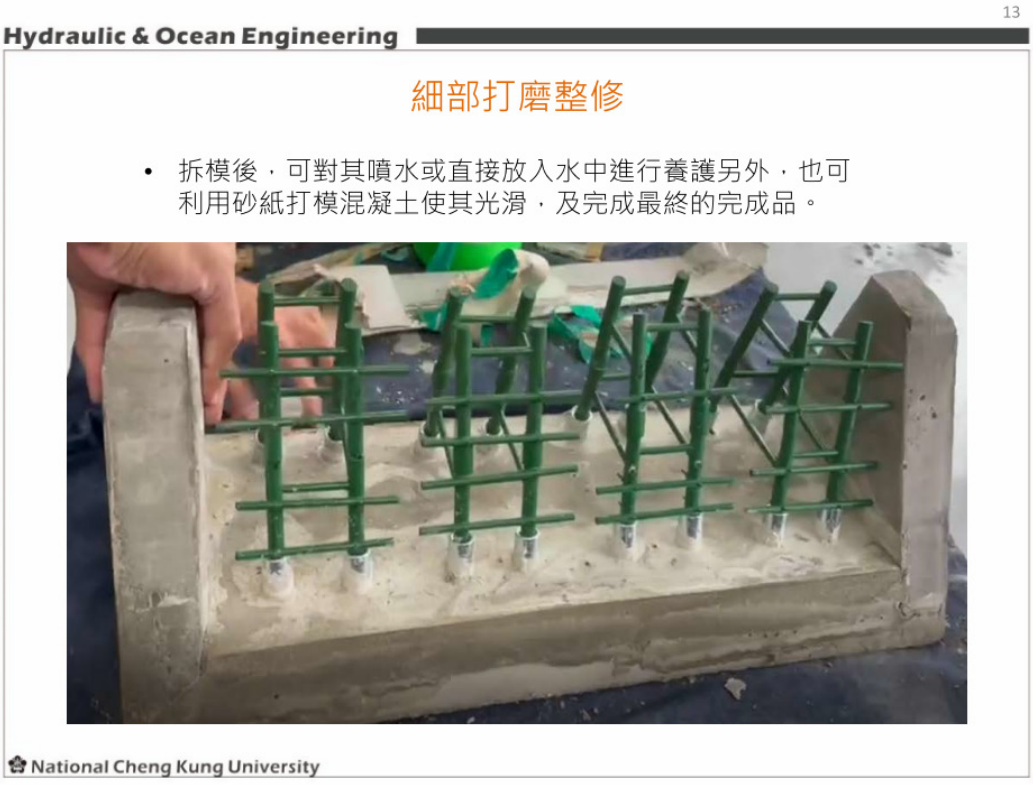
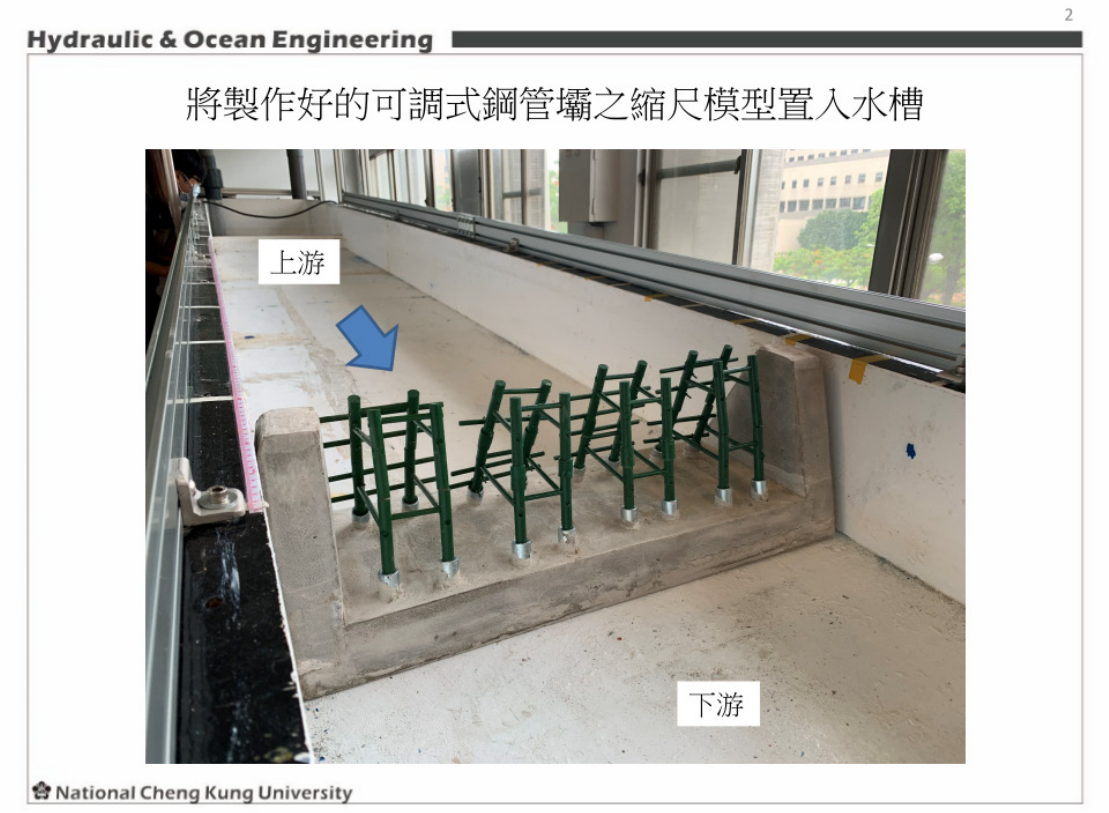


圖 4-30 完成蘭島溪 1 號可調式防砂壩之 1:40 混凝土縮尺模型

(4) 水槽實驗與測量:

水槽實測也是本課程規劃之重點，希望能讓學生親身體驗自己設計的防砂壩模型對於水流及土砂之反應，增強學生之學期動機，並引導開發創新之模型設計。本課程採用創客空間之河工動床試驗水槽，將做好的混凝土縮尺模型置入水槽中。於水槽中鋪上動床土砂，並於上游鋪設土石壩以模擬潰壩後的土砂運移過程。實驗過程中觀察並實測地形前後改變。測試之成果如圖 4-31 至圖 4-33 之說明。



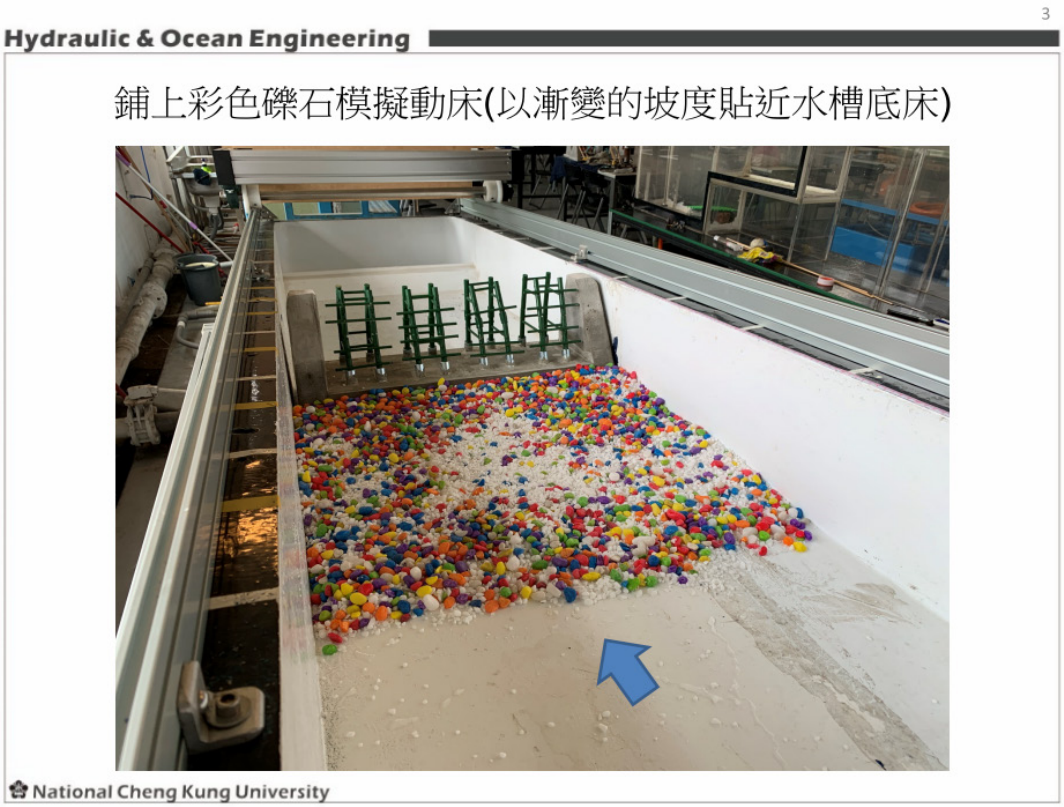


圖 4-31 縮尺模型水槽實驗

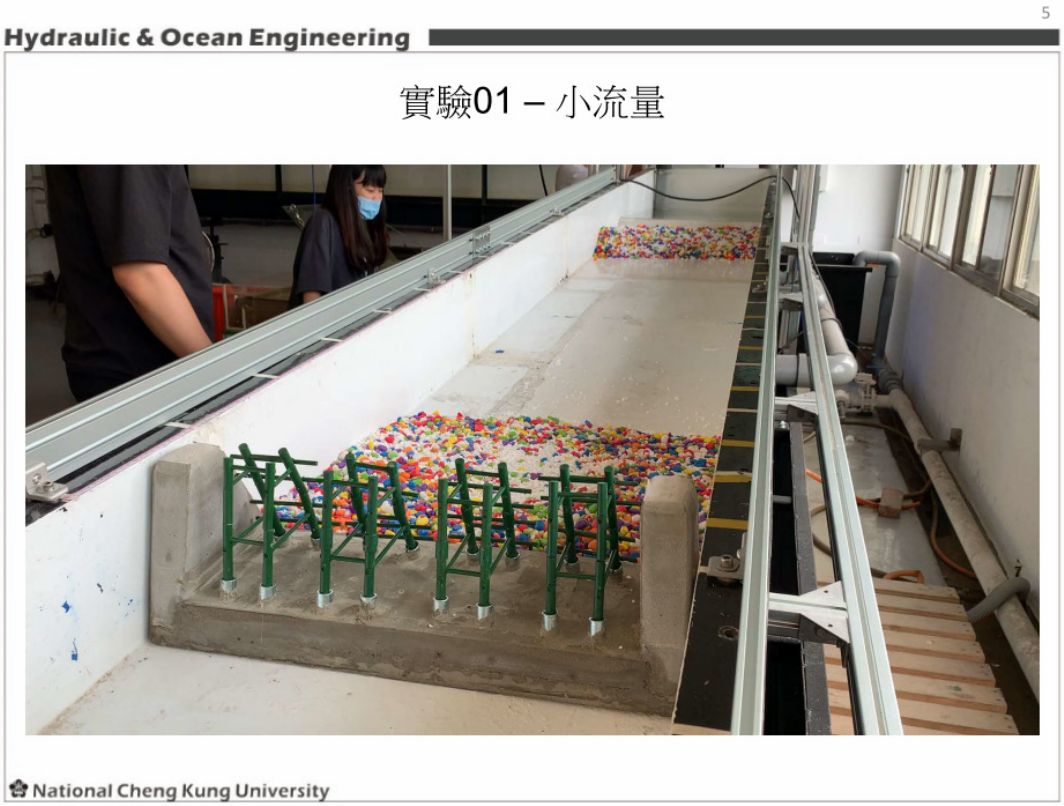




圖 4-32 測試不同流量對於縮尺模型之影響





圖 4-33 測試巨石與漂流木之影響

考量執行測量工作之對象為大二、大三的學生， 在實驗中，我們使用自製的測量器材，並以人工的方式去測量每一橫斷面上的地形高程資料。我們的測量器材由厚度 0.9 公分的密迪板及直徑 0.5 公分的圓木棒組成，透過雷射切割機精準切割出測量器材的部件，並將其組裝而成(圖 4-34)。

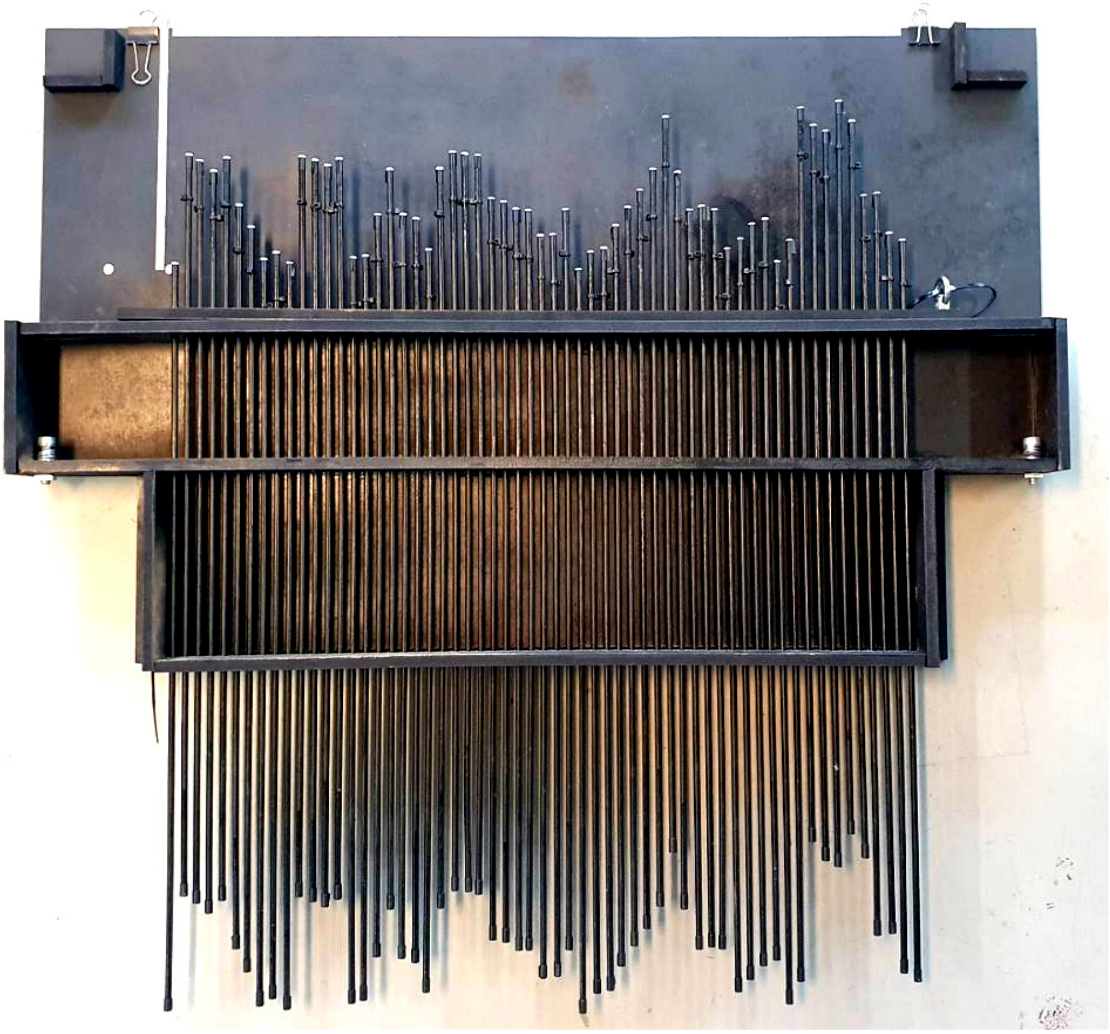


圖 4-34 地形高程測量器材。

其中，圓木棒的功能與使用方法則結合了測量水深的針尺測量與實務工程的取型器，可以一口氣呈現出該橫斷面高程的地形輪廓，反映出地形高程資訊。此外，我們設定在斷面上每間隔 1 公分就配置一條圓木棒，讓斷面測量的實驗資料能有更高的精細度，並且將測量器材之背板與圓木棒噴上黑漆，僅於圓木棒上緣處貼上白色貼紙，形成反差鮮明的亮點，用來強化與呈現出量測到的地形輪廓(圖 4-35)。

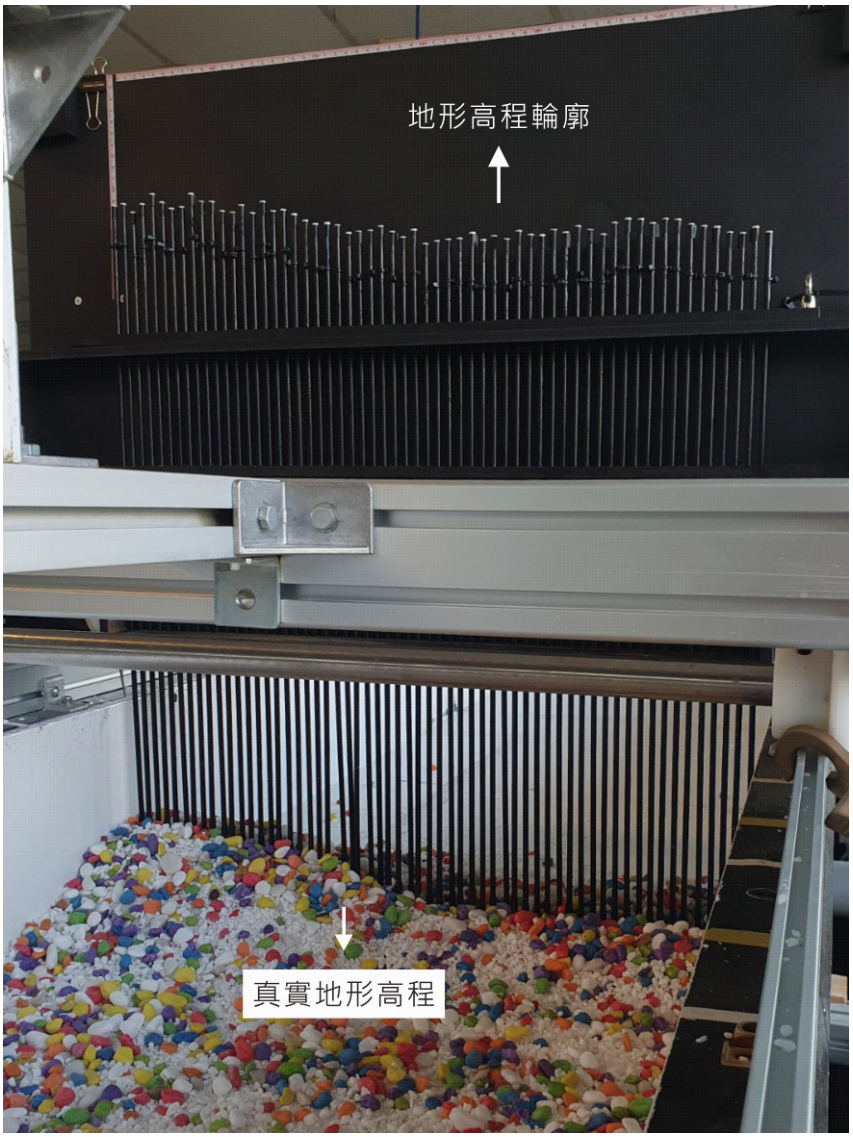


圖 4-35 地形高程測量器材。

在實驗測量方面，每次實驗我們僅測量三組實驗階段的地形資料，分別為起始地形高程、拆壩前砂石堆積的地形高程，以及拆壩後的地形高程。此外，由於這種人工斷面測量的方式較為費時費力，因此我們是以鋼管壩作為測量原點向上量測 100 公分的範圍，並在斷面上以每 2 公分測量一次為原則，故每一組實驗階段將會有 51 筆測量資料(圖 4-36)。



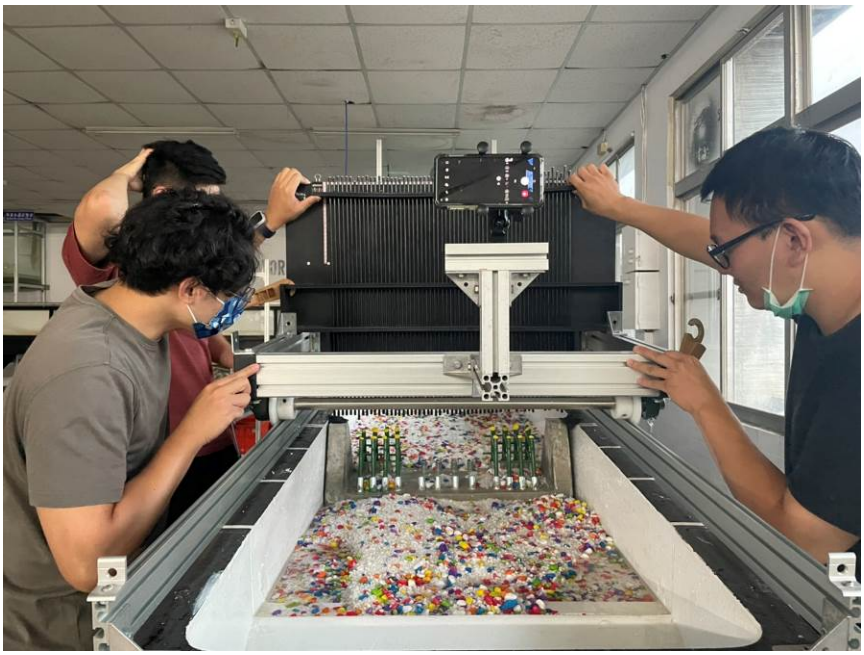


圖 4-36 實驗地形測量之過程。

在測量結果的紀錄上，我們在測量器材的前方架設手機架，透過手機拍攝去記錄實驗的測量結果。一方面，可以方便學生進行實驗，不需要利用過於昂貴的專業相機，增加實驗測量的方便性；另一方面透過

手機拍攝也可以減少測量記錄的複雜性，讓學生相對比較好上手。而在手機拍攝設定的要求上，調整相機的光圈與快門，儘量減緩外部光源的影響，希望能夠捕捉圓木棒上端白色亮點處隨地形高程變化的輪廓軌跡(圖 4-37)。



圖 4-37 實驗地形測量之過程。

(5) 地形建置與分析：

1.地形建置

在地形建置方面，我們使用 MATLAB 進行影像處理，將平面測量照片轉換成三維的數值高程模型(DEM)。我們利用抓取圓木棒上端的亮點處，取得地形高程在影像中的座標值，並藉由影像座標與真實座標的轉換，將地形高程的影像座標值轉換成實際的地形高程資料，再透過線性內插的方式建置數值高程模型(DEM)。因此，在影像處理分析前，需要對每一組實驗照片影像進行校正，確定影像的座標原點以及影像與實際值的比例尺大小，才能取得影像座標與真實座標轉換的關係(圖 4-38)。

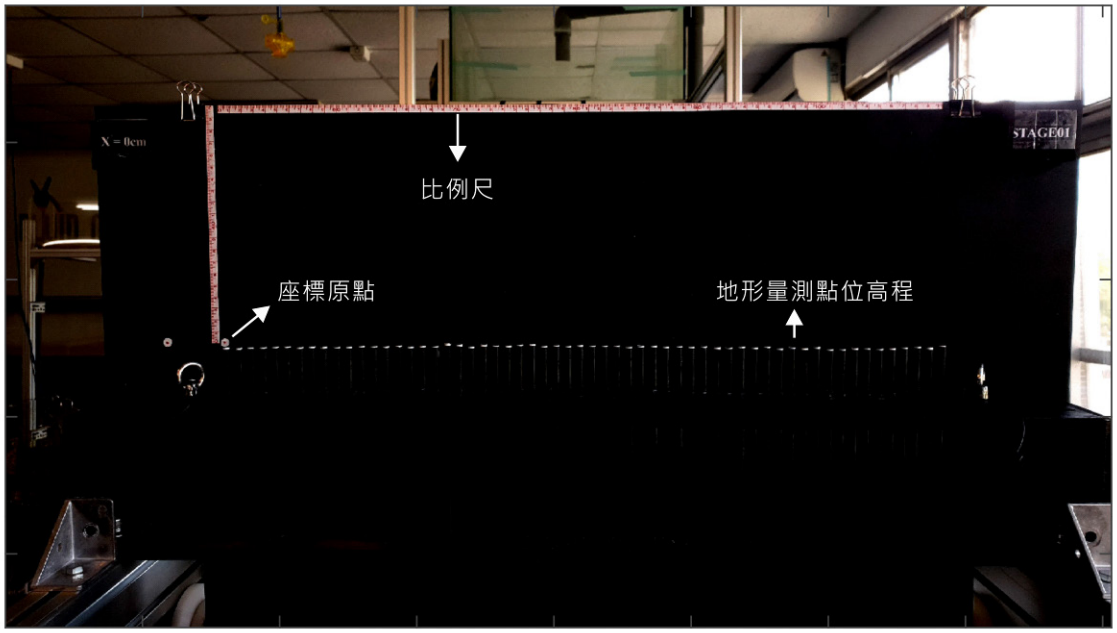
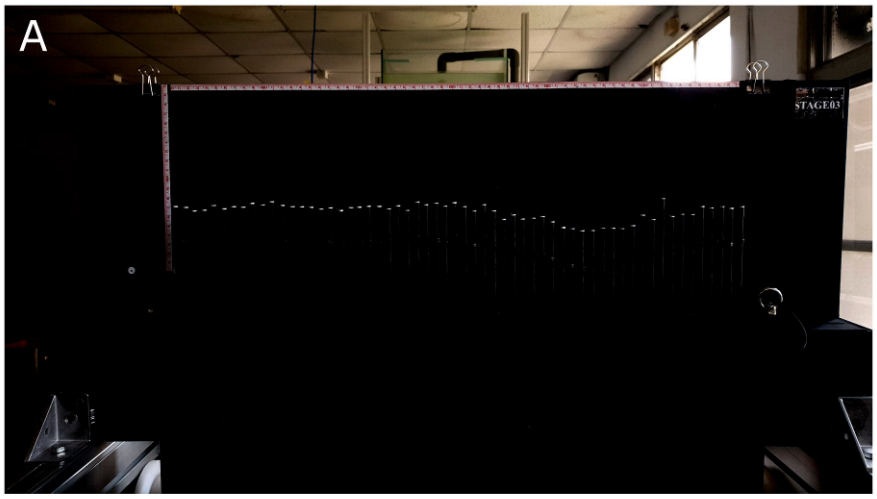


圖 4-38 影像校正圖，需要人工點選出座標原點以及比例尺大小。

接續，我們必須先針對所有的測量照片進行影像處理，為後續的地形建置提供良好的影像素材，主要可以分成兩大步驟 :(1) 亮度平滑處理。 (2)光源雜訊排除。

(1)針對測量照片中圓木棒上端亮點處進行亮度平滑處理。在我們的測量器材中，由於圓木棒的上端亮點具有些許的寬度與厚度(5mm x 2mm)，所以若沒有先行針對影像的亮度值進行調整，當 MATLAB 在判斷與抓取圓木棒端點亮點的過程中，可能會產生誤差，無法精確判斷並抓取到真實的高程位置。因此，需要先行對所有的測量照片進行二值濾波處理，微調影像中圓木棒端點亮度的像素直徑，這相當於對影像中的亮度值進行平滑處理，為的是能夠突顯出真正的圓木棒亮度端點，讓 MATLAB 能夠更精準的判斷出真實的高程位置(圖 4-39)。

影像亮度平滑處理前



影像亮度平滑處理後

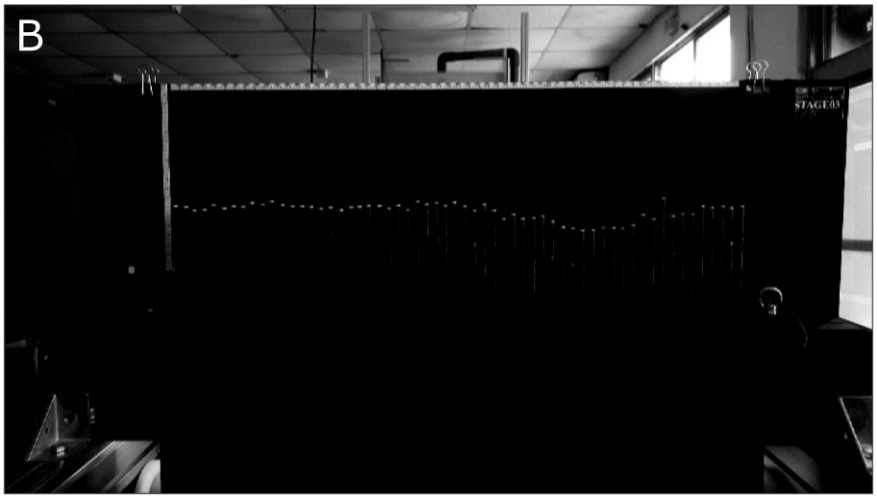


圖 4-39 影像校正圖，需要人工點選出座標原點以及比例尺大小。

(2)排除外部光源及雜訊。在每一張的測量照片中，我們只需要保留圓木棒端點的亮度值，其餘的外部光源及雜訊都是不需要的，甚至會影響後續數值高程模型建置的結果。因此，我們將所有的測量照片堆疊在一起，可以得到如同利用相機長曝光功能後所拍攝到的一張全域的高程測量圖(圖 4-40A)，再透過人工圈選將包含地

形高程資料的區塊選取出來，並遮蔽剩餘區域，確保未來在抓取圓木棒端點亮點的時候，能夠有效且準確的抓取在測量範圍內，屏蔽外部所有光源的影響(圖 4-40B)。

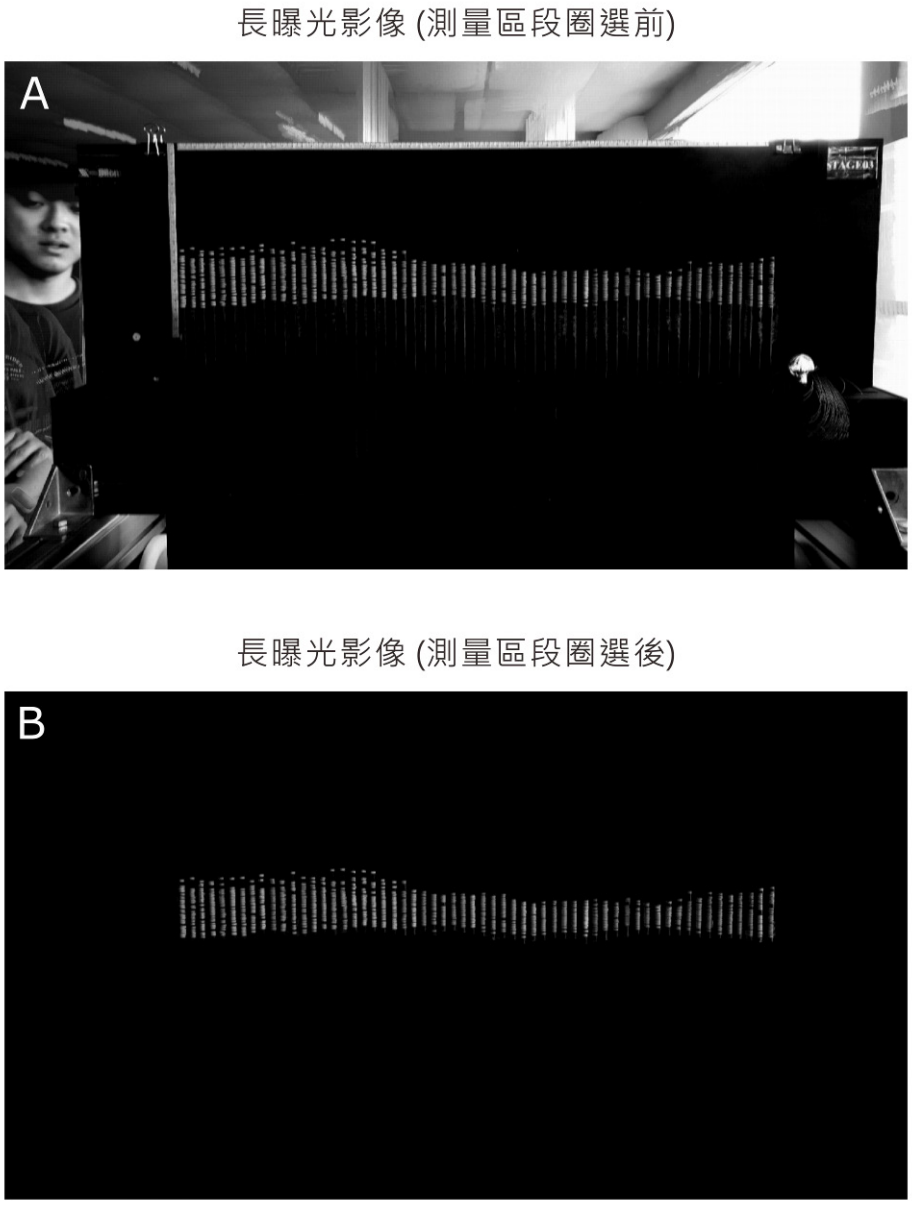


圖 4-40 長曝光影像，(A)為將所有測量影像堆疊在一處，而形成之長曝光影像圖；(B)為圈選地形高程之量測範圍，並遮蔽其餘外圍區域。

待測量影像處理完畢後，可以透過 MATLAB 自動抓取每一張測量照片上的圓木棒端點亮點，並設定亮度門檻值，再次確保排除其他被忽略未處理的光源雜訊，取得該斷面上的影像高程座標值分布(圖 4-41)。

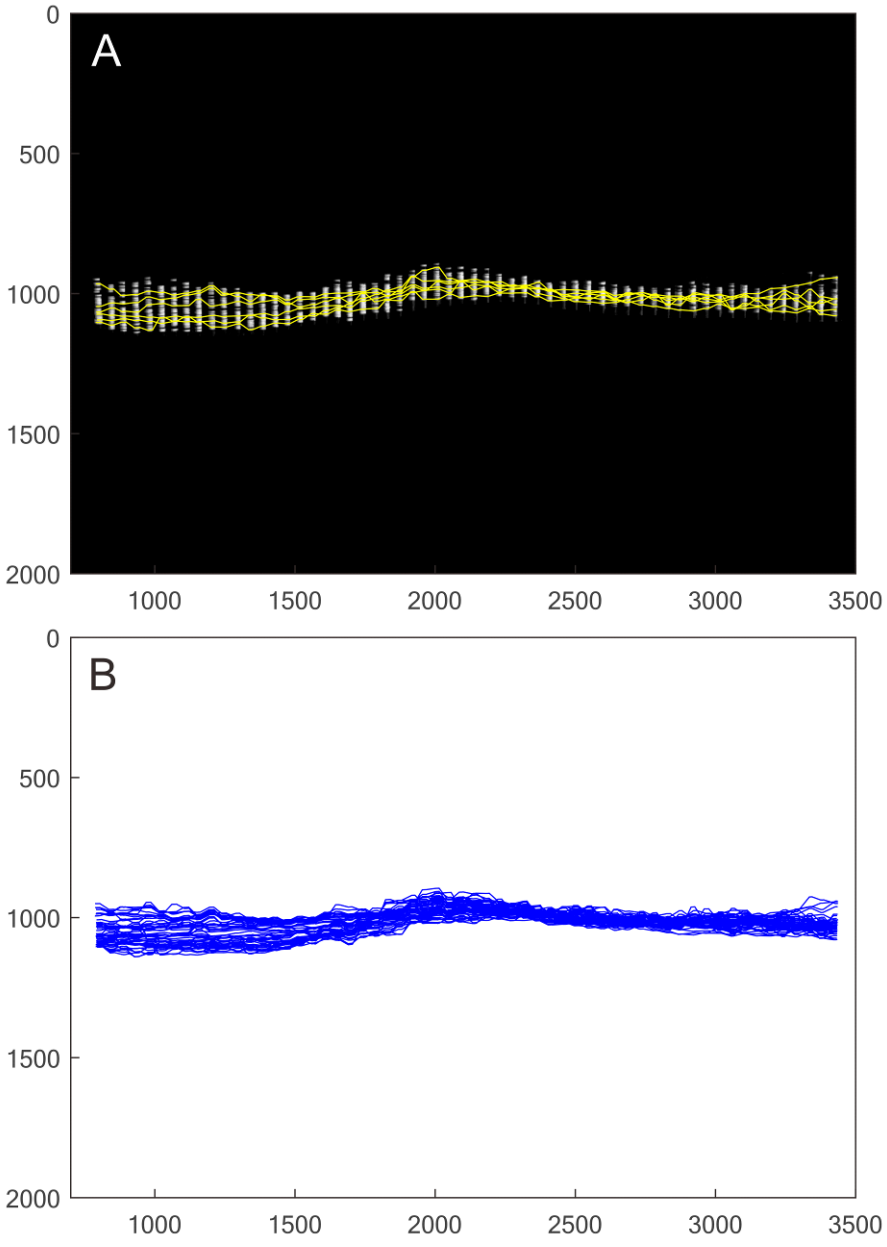


圖 4-41 (A) MATLAB 抓取高程亮點示意圖；(B) 疊合由 MATLAB 自動抓取的各斷面之影像座標高程圖。

因此，根據實驗測量資料，我們可以得到在水槽橫斷面上每間隔 2 公分的影像剖面高程資料，最後利用校正影像時定義的座標原點及比例尺，將影像座標資料轉換成真實的高程資料，並內插到間隔每 1 公分的網格上，取得網格大小為 1 cm x 1 cm 的數值高程模型(DEM)(圖 4-42)。

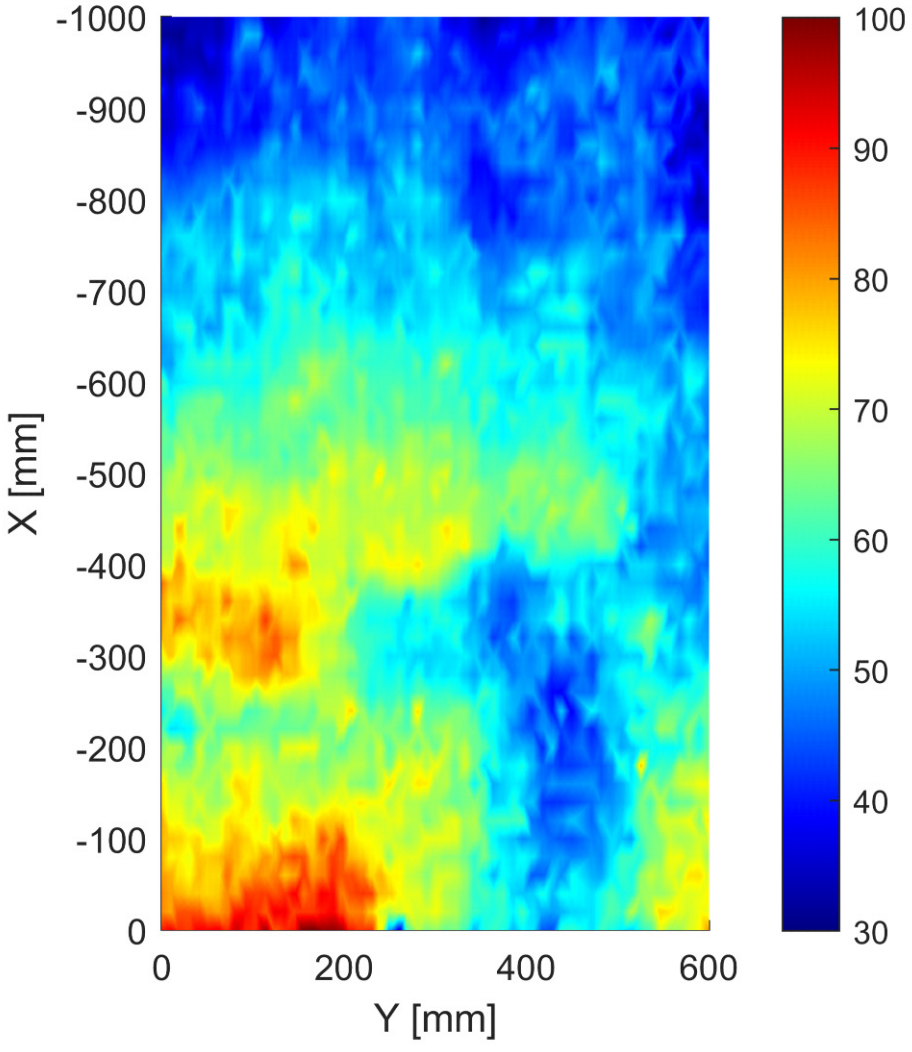


圖 4-42 數值高程模型(DEM)。

2.地形分析

我們進行了兩組不同的可拆式鋼管壩實驗，並透過 MATLAB 影像分析取的數值高程資料，以及比較拆壩前後的地形高程變化。

案例一 ： 蘭島溪可拆式攔沙壩縮尺模型實驗

我們使用蘭島溪可拆式攔砂壩之縮尺模型進行實驗(圖 4-43)。在本實驗中，總共進行了四組階段實驗，實驗階段 1 至 3 屬於拆壩前的土石流事件，在每次實驗階段開始前，會在上游處堆設一小礫石壩，並觀察當潰壩後形成之土石流對於攔砂壩之影響；實驗階段 4 為拆壩後試驗，希望探討比較可拆式攔砂壩於拆壩前後對土砂調節的反應(圖 4-44)。在實驗開始前會先測量初始地形，並於拆壩前後在各測量一次地形高程，總共可以取得三組數值高程模型，並透過高程相減得到數值高程差異圖(圖 4-45 及圖 4-46)。從實驗結果上來看(圖 4-46)，拆壩前後的地形高程確實有明顯的變化，這也表示在拆壩前，攔砂壩確實有攔阻土砂的能力，避免過多的土砂隨著水流一起往下游傳遞，造成下游處的土砂淤積以及河工結構物之破壞。拆壩後，在水流與攔砂壩的互相作用下，原本被攔砂壩阻攔的土砂也隨著水流往下游傳遞，使得原先上游的堆積情形有所趨緩。就拆壩前後的數值高程差異圖結果表明，在本縮尺模型試驗中，拆壩確實對於土砂分布與調節有明確

的影響。

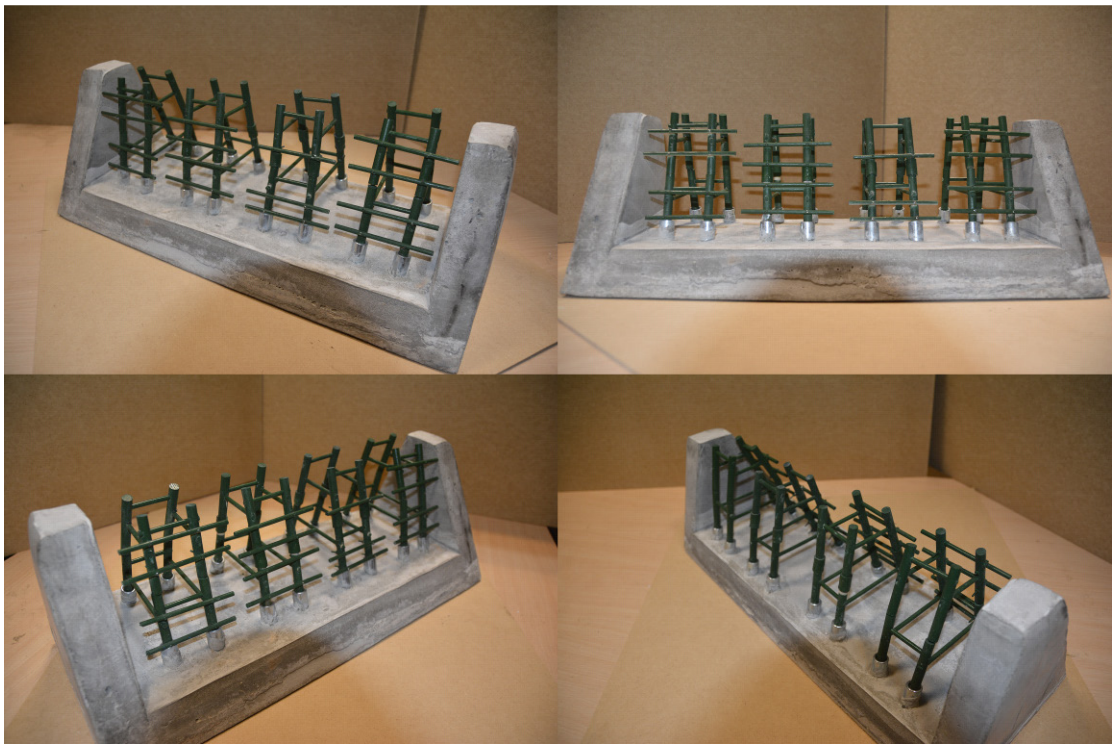


圖 4-43 蘭島溪可拆式攔沙壩縮尺模型。



圖 4-44 蘭島溪可拆式攔沙壩實驗過程中之地形地貌。

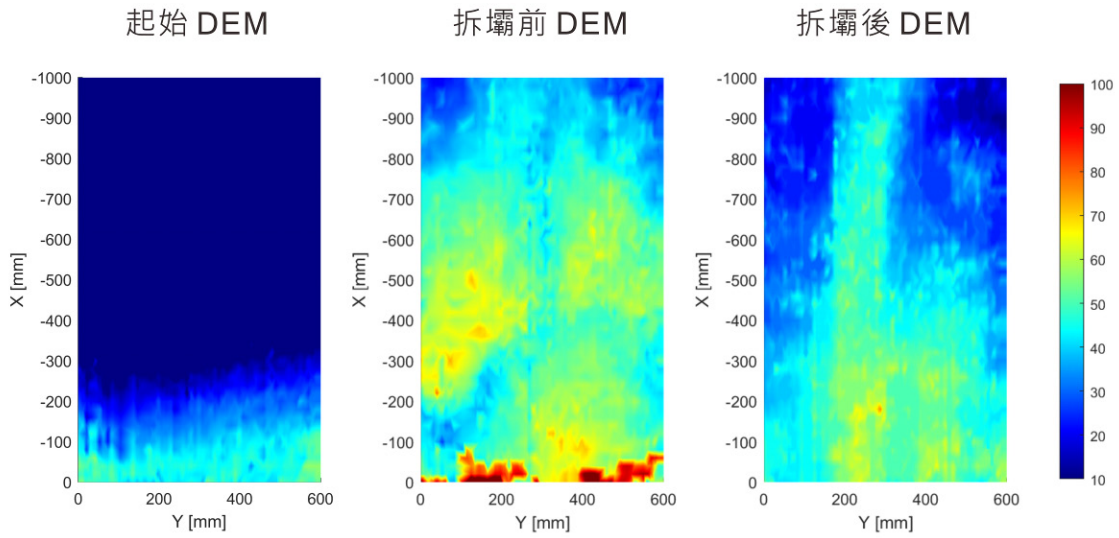


圖 4-45 蘭島溪可拆式攔沙壩縮尺模型實驗之數值高程模型。

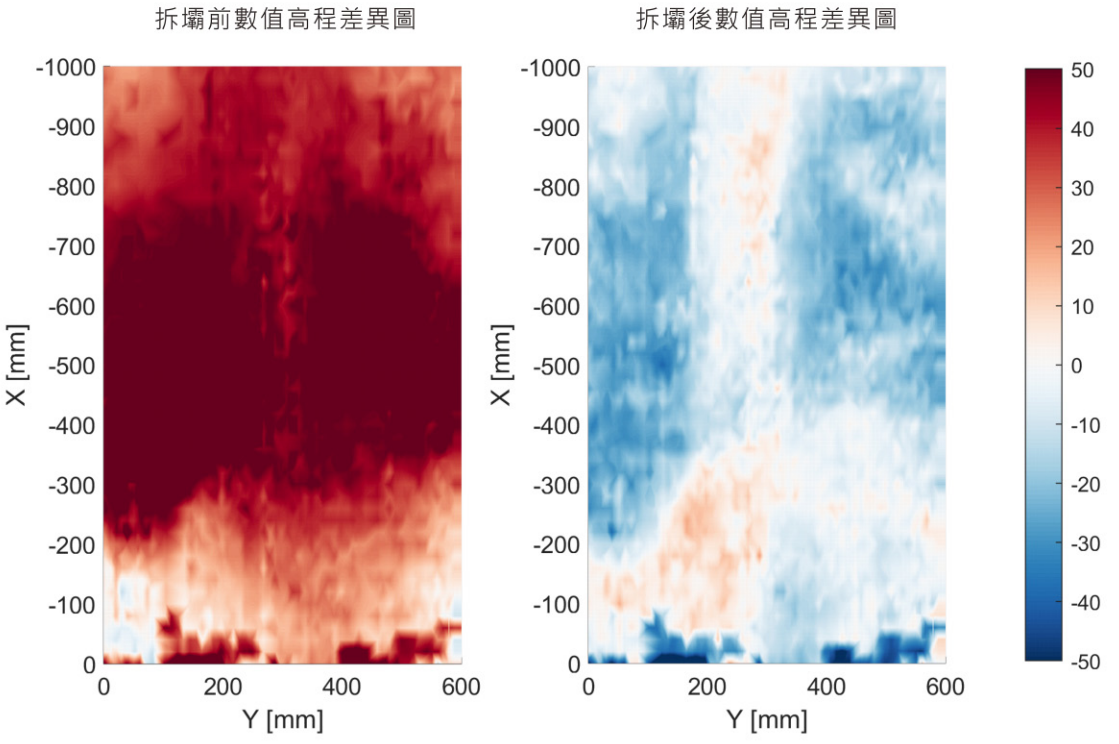


圖 4-46 拆壩前後之數值高差異圖。

案例二：學生創意實作之可拆式攔砂壩模型實驗

本實驗所使用的攔砂壩模型由學生親手設計與實作完成，符合課程創意實作的教學精神(圖 4-47)。本實驗的設定與案例一雷同，都希望探討經過三次土石流事件後，可拆式攔砂壩在拆壩前後對土砂調節的反應，並建置數值高程模型以及數值高程差異圖，讓我們更清楚拆壩前後的地形特徵(圖 4-48 至圖 4-50)。從實驗結果上來看，由學生創意實作的攔砂壩在阻攔土砂的能力上也不比蘭島溪案例遜色，並且土砂有更往下游傳遞之趨勢，明顯堆積於攔砂壩上游處(圖 4-49，拆壩前 DEM)。在拆壩後，原先於上游堆疊的土砂迅速被水流帶走，並舒緩與調節原先的嚴重堆積情形，從拆壩後的數值高程模型差異圖(圖 4-50)中可以明顯看到此一趨勢。

整體來說，不論是蘭島溪縮尺模型還是學生的創意實作攔砂壩，對於土石流事件的土砂攔阻能力都保有一定程度的水準，於拆壩後對於土砂的調節能力也有相似的趨勢，但就實驗結果來看，由學生創意實作的攔砂壩似乎有更好的效果。未來也希望在透過學生的創意發想，設計出更多不同且多樣化的攔砂壩，進而分析與比較不同的拆卸式攔砂壩對土砂調節能力的反應。

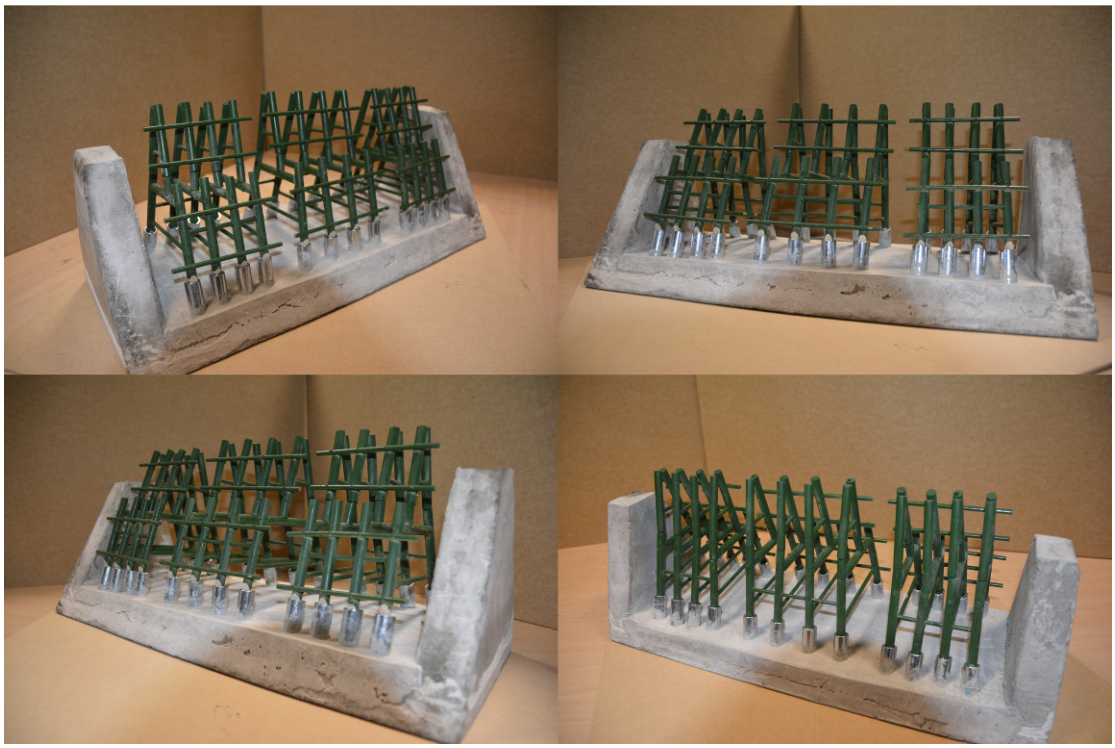


圖 4-47 學生創意實作之可拆式攔沙壩縮尺模型。



圖 4-48 創意可拆式攔沙壩實驗過程中之地形地貌。

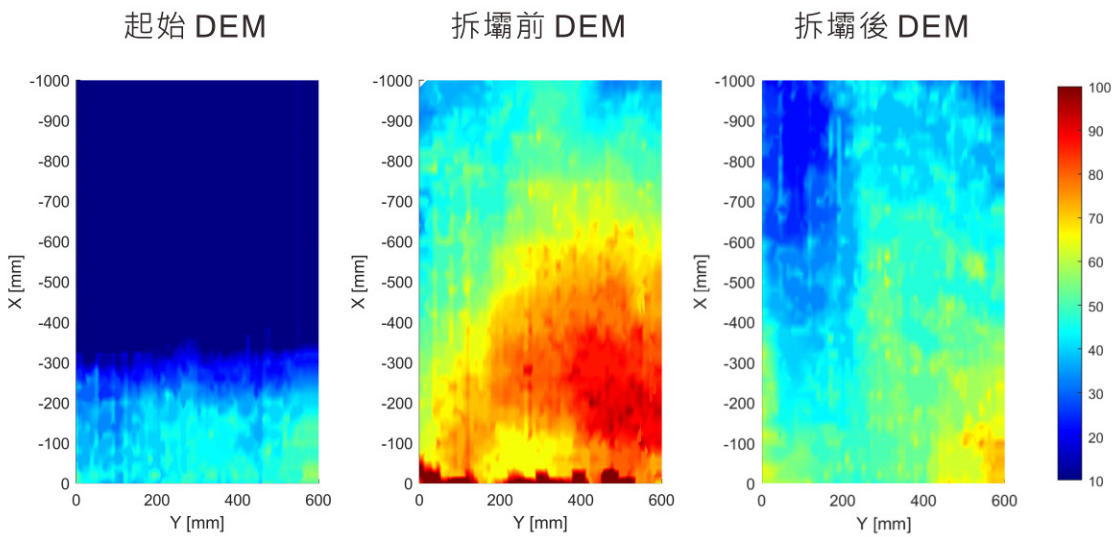


圖 4-49 創意可拆式攔沙壩縮尺模型實驗之數值高程模型。

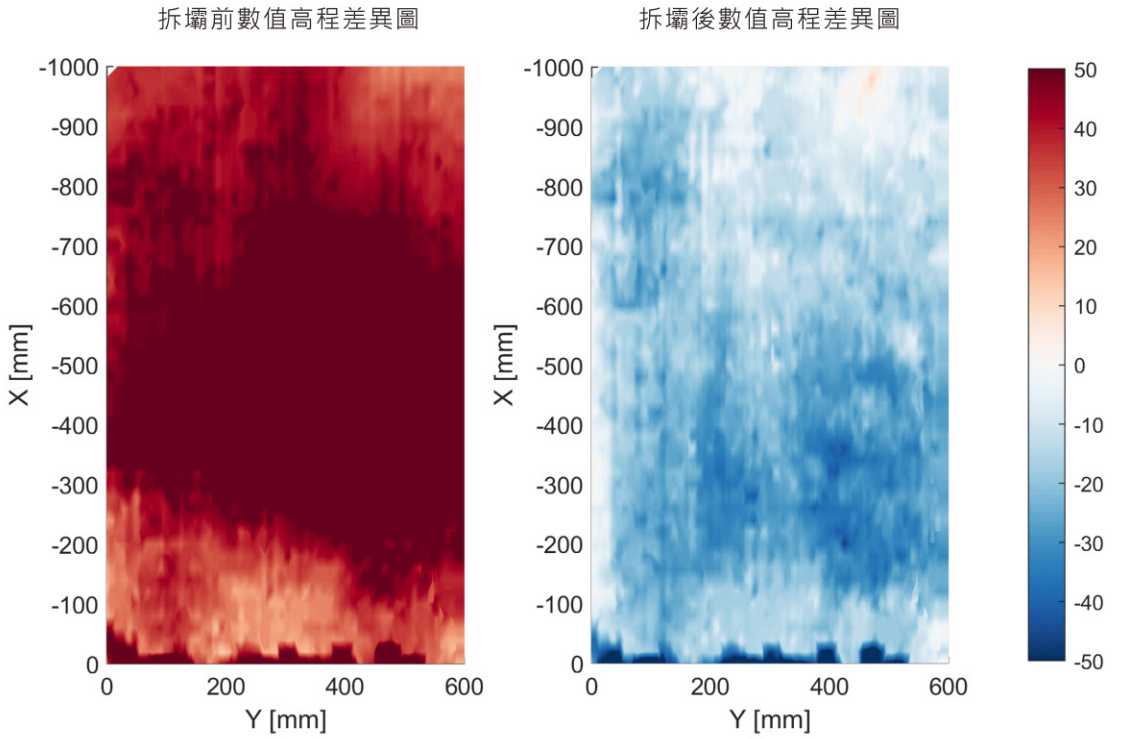


圖 4-50 拆壩前後之數值高差異圖。

第五章　結論及建議

第一節　結論

本計畫以「可拆卸模組化之鋼管壩」為研究主題，透過創意實作之教學模組，引導學生開發新型態之可調式防砂壩，以增加模組化鋼管壩之多樣性，並讓學生從模型實作中，體會水流、土砂、水工結構物三者之間的互動關係。課程將使用成大水利系之創客空間，分成七組進行，學生可學習繪製可拆卸模組化鋼管壩之三維模型、製作混凝土縮尺模型、將模型放入動床水槽中測試並實際測量地形改變，定量討論其蓄積土砂、減緩河床坡度及抑制縱向沖刷等功能。目前計畫按照規劃進度執行，已將蒐集到的案例製作成教材，並完成 3D 繪圖技法，製作完成混凝土縮尺模型，並完成水槽實測，且開發出適合大學生執行之斷面量測方法。雖然受到疫情的影響，我們無法執行在創客空間的「實作」及「實驗」等活動，但是我們每一組學生都有繳交 3D 數位設計之 SketchUp 模型，並以 LayOut 排版製作成施工圖。在疫情影響下，原本預計產出至少七組創新設計，最後只有完成一座蘭島溪 1 號鋼管壩之縮尺模型及一座學生原創之縮尺模型，並將這兩座模型都進行實驗與地形變化測量。但是本計畫之初衷不變，希望透過本計畫持續培育出更多創客，投入水土保持領域，點燃學生對於「水土保持」及「土石流防災」的重視與熱情，以達到創新水土保持教育

宣導之實質目的。本計畫研發之成果及實作經驗皆可提供水保局相關單位進行教育訓練。

第二節　建議

建議未來相關之課程模組，可參考本次計畫之執行成效，檢討後予以精進，例如：活動次數、實作時間、耗材準備及實驗量測等。另外，更重要的是要考量受疫情嚴重影響下，線上課程如何做到需要大量實作及五金工具輔助之課程活動?

在未來的計畫中，我們將採用審查委員在期中報告中給的建議，可以競選出 1-2 組製做成實體模型並進行水流實驗，過程中可以直播或錄影方式供學生線上觀摩。我認為這是非常好的建議，不需要每組都製作縮尺模型和做實驗，這方式可以大幅縮減讓每組學生都做縮尺模型及實驗的時間，本人會將此建議納入 111 年度之創研計畫中執行。

參考文獻

1. 行政院農業委員會水土保持局，(2017)，「水土保持手冊」。
2. 行政院農委會水土保持局，(2019)，水土保持單元叢書 01。
3. 行政院農委會水土保持局，(2019)，水土保持單元叢書 02。
4. 陳樹群、安軒霈、國領ひろし、林永欣，(2016)，「野溪高土砂災害之模組化防砂壩管理」，中華水土保持學報，47(3):111-121。
5. 陳樹群、邱渝方，(2019)，「會呼吸的防砂壩」，科學發展 2019(8)，560:56-62。
6. 魯聲睿， (2013)，「鋼製梳子壩之囚砂與排砂效益」，國立中興大學水土保持學系研究所碩士論文。
7. Nakano, H., Kasai, S., Moriyama, H., and Mizuno, M. (2003). “Safer and more economical steel sabo dam designs.” Kobe Steel Engineering Reposts, 53(1), 86-90.
8. Ono, G. I., Mizuyama, T., and Matsumura, K. (2004). “Current practices in the design and evaluation of steel sabo facilities in Japan.” International Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA/TRIENT, 7, 253-264.

附錄

附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	國內疫情嚴峻，學校全面改為線上教學，「河工學」的授課是否有因應的授課方式?	在疫情還為二級警戒時，有採分流的方式進行實作。授課部份則採線上預錄教學影片的方式進行。
二	全國疫情三級警戒，規定室內5人、室外10人，水工實作及期末成果發表會是否有因應的配套措施或方案?	疫情升為三級後，成大全面禁止室內所有實作活動，連室內5人之活動也一律禁止。而河工學之實作部份，非常仰賴水利系創客空間提供之五金機具、材料及水槽才能執行。無奈只能取消所有實作及實驗活動，改採線上教學，繪製3D可調式防砂壩之實際案例作為評分依據。各組亦保留期中

項次	審查意見	回覆辦理情形
		之設計方案，作為期末評分依據。原本規劃之期末成果展則被迫取消。
三	圖2-11非土石流模擬，由圖2-11顯示為動床實測過程，因土石流為大量土砂與水砂充分混合的運動混合流體。	同意，已修正文字說明。
四	建議研究團隊能適當篩選出有實務應用可能之學生創作作品，並進一步推動及實際應用或於水保局標準設計單元之可能性。	這是個非常好的建議。本計畫原本預計可產出至少 7 組 1:40 之縮尺模型作品，無奈在疫情嚴重影響下，目前只能產出一座蘭島溪 1 號鋼管壩及另一座學生創作之縮尺模型。
五	P3-6 規劃編入教學案例之防砂壩－「三台山可調式防砂壩」為混凝土構造(含調整橫板)，依主題“可拆卸模組化之	完全同意。本人實際在準備案例教材時，已刪除「三台山可調式防砂壩」此案例，皆改為鋼管壩之案例(如蘭島溪 1 號

項次	審查意見	回覆辦理情形
	鋼管壩”應有更好的選擇案例。	及 2 號鋼管壩；巴沙娜橋上游之防砂壩)。如第四章成果說明。
六	P3-6研發工程案例之模型實作創新手法特別著重在金屬材質與混凝土之連接方式、金屬與金屬組裝方式，依前案例經驗，鋼結構鏽蝕及變形，造成組裝拆卸困難，是實務操作上比較需要解決的問題，如果可以納入考量，對於實務操作會更有助益。	謝謝委員提供寶貴之實務經驗。我們在研發縮尺模型時，亦發生組裝上之問題，也有參考現地之可調式鋼管壩之施工案例(由陳樹群院長提供蘭島溪 1 號及 2 號鋼管壩為例)。本計畫原本規劃研發金屬焊接技術及金屬與混凝土連接之技術。學期中經詢問系上資深教授及學校相關規定後，無法執行金屬焊接這類危險性較高的實作活動。基於安全與系上創客空間之長期發展，本人決定改採危險性較低，但操

項次	審查意見	回覆辦理情形
		作性較高的木工代替金屬材質的實作練習。效果很不錯，如第四章成果說明。
七	本研究可有開發何種工序施作實務上最有效最省工，建議朝此方向研究。	謝謝委員的建議。本研究在開發縮尺模型之過程中，有不斷精進實作手法、改善施工工序，這些經驗皆可作為現地參考。
八	加強說明學生參與及創意思考之教學方式。	謝謝委員的建議，如第四章成果說明。
九	建議蒐集學生之參與回饋。	謝謝委員的建議，本計畫之河工學皆有蒐集學生之參與回饋。

項次	審查意見	回覆辦理情形
十	建議加強對學生說明「成效評估」之基準，以引導作品創意方向。	謝謝委員的建議，本計畫會將「成效評估」納入引導作品創意方向之依據。

附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	目前報告書展現的兩個案例說明多著重於實際場域的縮尺模型再造與模擬的分析討論，於實作方面有充份之說明，但對於計劃主題: 於開發可拆卸模組鋼管壩之"創意"之相關說明與呈現偏少，期待能補充，並展現學生之創意表現。	感謝委員之建議。有關學生之創意作品說明已寫在期末報告書之第四章第二節第二項 ，請委員參考 4-23 頁至 4-32 頁。
二	建議未來可讓學生以匿名方式填寫課程意見表單，並在道告書中加入學生反饋意見。	感謝委員之建議。會考慮將此建議納入 111 年度之創研計畫中執行。
三	建議未來課程的替代方案，可以採線上數值模型分析，同樣可以線上分享各組可拆式鋼管壩的數值模成果。或者是各小組書面設計可拆卸鋼管壩，競選一組的鋼管壩設計做	感謝委員之建議。雖然受到疫情的影響，我們無法執行在創客空間的「實作」及「實驗」等活動，但是我們每一組學生都有繳交 3D 數位設計之 SketchUp 模型，並以 LayOut

項次	審查意見	回覆辦理情形
	成模型，並直播進行水流試驗分享給學生線上觀摩。	排版製作成施工圖，所以書面設計是有的，成果說明如 4-23 頁至 4-32 頁。至於，競選出 1-2 組製做成實體模型並進行水流實驗，過程中可以直播或錄影方式供學生線上觀摩。我認為這是非常好的建議，可以大幅縮減讓每組學生都做縮尺模型及實驗的時間，本人會將此建議納入 111 年度之創研計畫中執行。

附錄三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	很有意義的課程，讓學生學習也有動手做。建議可以針對較有成效的可拆卸模組，實作成鋼管材料，以提供未來大規模工程治理使用參考。	感謝委員建議。未來的課程中可以進行此項規劃，讓模型更具實務意義。
二	建議持續進行創新教學，提供教案資料。	感謝委員建議。我們會持續推動水土保持創意教學，發揮影響力，以培育出更多水土保持及土石流防災之專才，讓創意實作教學更具實質意義。
三	可拆卸模組化之鋼管壩有作力學強度之探討嗎?	目前的實驗設計著重在設計新型態的可拆式防砂壩及探討逐步拆壩對土砂分佈的影響，無法進行力學分析。不過，為來較成熟的案例是可以考慮進行力學分析。