

計畫編號：111 保發-8.1-保-01-06-001(3)

可調式鋼管壩之縮尺模型：設計與實驗
Scaled model of removable steel check
dams: Design and experiments
(成果報告)

執行單位：國立成功大學

執行期間：111 年 01 月 18 日至 111 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 111 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)

可調式鋼管壩之縮尺模型：設計與實驗

摘要

惠蓀林場蘭島溪上游之 1 號及 2 號防砂壩是可調式鋼管壩之發想典範，改善了傳統鋼管壩不能調整的缺點，透過橫材與縱材之先後拆卸，可自由調節其通水容量。可調式鋼管壩材料輕、形狀多元、減災效果好，為當今防治土石流災害之首選。雖然水保局各分局已有許多可調式鋼管壩的現地先驅案例，但是實驗室尺度下的可調式鋼管壩案例卻相對較少。特別是台灣許多的可調式防砂壩案例中，少有案例是經過完整、順應四季枯豐水量來進行調整的經驗。本計畫再次精進創新實作課程，更專注在可調式鋼管壩縮尺模型之設計與實驗。縮尺模型實驗的好處是，可以在控制好的變因下，加速水砂與鋼管壩互動的過程，讓實驗者可以仔細觀察、紀錄並分析數據，以釐清現地過於複雜、各參數相互影響的因果關係。本計畫亦考慮疫情影響下的配套措施，規劃透過拍攝教學影片，讓學生可以線上學習 3D 繪圖技巧、實作過程與實驗現象。本計畫增加可調式鋼管壩之多樣性，並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。透過本計畫可以持續培育出更多水保創客，點燃學生對於「水土保持」及「土石流防災」的重視與熱情，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、可調式鋼管壩、縮尺模型

Scaled model of removable steel check dams:

Design and experiments

Abstract

The No. 1 and No. 2 check dams in the upper reaches of Landao Creek in Huisun Forest Farm are the ideal examples of adjustable steel check dams, which improve the shortcomings of traditional steel check dams that cannot be adjusted. Adjustable steel check dams are light in material, diverse in shape and good in disaster-reduction effect, and are the first choice for preventing and controlling debris flows. Although there are many local pioneer cases of adjustable steel check dams in various sub-bureaus of the Water Conservation Bureau, there are relatively few cases of adjustable steel check dams at the laboratory scale. In particular, among the many adjustable check dams in Taiwan, few of them have the experience of complete adjustment in accordance with the dry and wet seasons. This project further improve the innovative implementation course, and focus on the design and experiment of the scale model of the adjustable steel check dam. The advantage of the scaled-model experiments is that it can speed up the process of interaction between water and sand and the steel check dam under well-controlled variables, so that the experimenter can carefully observe, record and analyze the data to clarify the cause and effect of the complexity of the site and the influence of various parameters. This project will provide teaching videos so that students can learn 3D drawing skills, implementation process and experimental phenomena online. This project can increase the diversity of adjustable steel check

dams. It is also hoped that through practical teaching, students can actually understand how to gradually remove the steel check dam to maintain the balance of sediment transport, prevent the river channel from incision and maintain ecological continuity. It is hoped that through this project, more makers will continue to be cultivated to invest in the field of soil and water conservation, therefore to achieve the purpose of innovative soil and water conservation education and promotion. The research and development results and practical experience of this project can provide education and training to relevant units of the Soil and Water Conservation Bureau.

Keywords: creative implementation, teaching module, removable steel check dams, scaled model

目次

摘要.....	I
Abstract.....	II
目次.....	IV
表次.....	V
圖次.....	VI
一、前言.....	1-1
第一節 擬解決問題	1-1
第二節 計畫目標	1-4
二、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	2-11
三、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	3-5
四、成果報告	4-1
第一節 教案說明	4-1
第二節 教案分析	4-2
五、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-5
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 河工學之課程大綱	3-3
表 4-1 實驗參數對照表	4-24
表 4-2 可調式鋼管壩之拆除模式對照表	4-25

圖次

圖 1-1 (左上) 蘭島溪 1 號防砂壩下游側；(右上) 蘭島 溪 1 號防砂壩上游側橫材的效果；(下) 蘭島溪 2 號防砂壩 (陳樹群提供)。	1-2
圖 1-2 可調式鋼管壩逐步拆除、回歸自然河川之過程(陳 樹群、邱渝方，2019)。	1-3
圖 2-1 蘭島溪一號防砂壩之現地探勘照片(陳樹群， 2020)。	2-2
圖 2-2 蘭島溪一號防砂壩，原始防砂壩之側視圖及尺 寸。	2-2
圖 2-3 蘭島溪一號防砂壩，原始梳子壩之三維模型。	2-3
圖 2-4 蘭島溪一號梳子壩，拆除中間的四支梳柱。	2-3
圖 2-5 蘭島溪一號梳子壩，將四支梳柱改成三座可調式 鋼管壩。	2-4
圖 2-6 蘭島溪一號可調式鋼管壩之三維模型及尺寸標 註。	2-4
圖 2-7 巴沙娜橋上游防砂壩之 3D 模型。	2-5
圖 2-8 巴沙娜橋上游防砂壩之三維模型及尺寸標註。	2-6
圖 2-9 創新可調式鋼管壩之三維模型。	2-7
圖 2-10 河工動床教學試驗水槽與防砂壩配置。	2-8
圖 2-11 巨型漂流物阻擋水流通過，造成上游淤積之現 象。	2-9
圖 2-12 預計簡化地形掃描測量技術，並應用於可調式 鋼管壩實驗。	2-10
圖 4-1 東西坑溪五期工程之設計圖。	4-3

圖 4-2 蘭島溪一號鋼管壩之設計圖。	4-4
圖 4-3 巴沙娜橋上游可調式防砂壩之設計圖。	4-5
圖 4-4 各組第一版之作品評圖。	4-6
圖 4-5 第 1 組設計之兩種可調式鋼管壩。	4-13
圖 4-6 第 2 組設計之兩種可調式鋼管壩。	4-14
圖 4-7 第 3 組設計之兩種可調式鋼管壩。	4-15
圖 4-8 第 4 組設計之兩種可調式鋼管壩。	4-16
圖 4-9 第 5 組設計之兩種可調式鋼管壩。	4-17
圖 4-10 第 6 組設計之兩種可調式鋼管壩。	4-18
圖 4-11 可調式鋼管壩之優選作品之設計理念及動機。	4-20
圖 4-12 以蜂巢六角結構為單元之新型態可調式鋼管壩。	4-20
圖 4-13 新型態可調式鋼管壩依照上游土砂大小逐層拆除壩體單元之示意圖。	4-21
圖 4-14 新型態可調式鋼管壩具有微笑曲線設計，可將土砂導流至河道中心。	4-21
圖 4-15 粗縱材及細橫材之搭配增加了鋼管壩可調整之可行性。六角蜂巢單元模組化，也具有提高可行性之優勢。	4-22
圖 4-16 六角蜂巢不同模組之拆裝方式說明。	4-22
圖 4-17 實驗使用之 3 座可調式鋼管壩之混凝土縮尺模型。	4-24
圖 4-18 本計畫建置之移動式雷射地形掃描系統。	4-26
圖 4-19 第 1 組實驗之起始地形條件。	4-27
圖 4-20 第 1 組實驗之鋼管壩間距配置。	4-27

圖 4-21 第 1 組實驗拆壩後之間距。	4-28
圖 4-22 第 1 組實驗於不同階段測得之 DEM。	4-28
圖 4-23 第 1 組實驗之起始地形、淤滿後之地形及拆壩 後之地形。	4-29
圖 4-24 (上) 第 1 組實驗之起始地形到淤滿後之泥沙體 積變化及淤滿到拆壩後之泥沙體積變化；(下) 於 $X = 1600$ MM 及 $X = 1800$ MM 測得之橫斷 面，展示出拆壩後泥沙被水流大幅帶走。	4-30
圖 4-25 第 2 組實驗之起始地形條件。	4-31
圖 4-26 第 2 組實驗之鋼管壩間距配置。	4-31
圖 4-27 第 2 組實驗拆壩後之間距。	4-32
圖 4-28 第 2 組實驗於不同階段測得之 DEM。	4-32
圖 4-29 第 2 組實驗測得之地形變化及泥沙體積變化。	4-33
圖 4-30 (上) 第 2 組實驗之起始地形到淤滿後之泥沙體 積變化及淤滿到拆壩後之泥沙體積變化；(下) 於 $X = 1600$ MM 及 $X = 1800$ MM 測得之橫斷 面，展示出拆壩後泥沙被水流大幅帶走。	4-34
圖 4-31 第 3 組實驗之起始地形條件。	4-35
圖 4-32 第 3 組實驗於不同階段測得之 DEM。	4-35
圖 4-33 第 3 組實驗之鋼管壩間距配置。	4-36
圖 4-34 第 3 組實驗拆壩後之間距。	4-36
圖 4-35 第 3 組實驗測得之地形變化及泥沙體積變化。	4-37
圖 4-36 (上) 第 3 組實驗之起始地形到淤滿後之泥沙體 積變化及淤滿到拆壩後之泥沙體積變化；(下)	

於 $X = 1600$ MM 及 $X = 1800$ MM 測得之橫斷
面，展示出拆壩後泥沙被水流大幅帶走。4-38

一、前言

第一節 擬解決問題

「會呼吸的防砂壩」(陳樹群等, 2016)是可調式鋼管壩之發想典範,主要是為了改善傳統鋼管壩不能調整的缺點,進而設計成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,其通水容量可由橫材與縱材之拆卸而自由調節。位於惠蓀林場蘭島溪上游之 1 號及 2 號梳子壩即是最佳參考案例(圖 1-1) (陳樹群, 2021)。於 110 年 3 月 23 日由水保局舉辦之調整型防砂壩新思維研討會中,台灣其他地方還有許多正在執行、嘗試中的可調式鋼管壩案例。例如:嘉義阿里山巴沙娜橋上下游野溪土砂調整案例分析(張國欽, 2021)、知本溪調整型鋼構壩調整案例(許中立, 2021)、北港溪集水區第 5 期國有林地整治工程(許文奕, 2021)及日本扇沢可動式防砂壩實例介紹(池田武穗, 2021)等。在這些案例中,因為鋼管壩單元化後,即可因地制宜,透過組裝橫材與縱材來完成鋼管壩。主要的理念是防砂壩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,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(圖 1-2)。然而,雖然已有這麼多可調式鋼管壩現地的先驅案例,在實驗室尺度下的可調式鋼管壩卻相對較少。特別是在台灣許多的可調式防砂壩案例中,少有案例是像日本扇沢可動式防砂壩那樣,經過完整的、順應四季枯豐水量進行調整的經驗。

本計畫主持人過去兩年嘗試在成功大學水利系針對大二及大三的學生,在河工學課程中融入以防砂壩、固床工及可調式鋼管壩之創意實作活動,以水保局歷年得獎之工程為學習案例,讓學生理會從設

計到縮尺模型再到水槽實測的完整過程，本課程受到學生好評不斷。因此，本計畫將改善過去計畫執行中之缺失，再次精進實作活動，並更專注在可調式鋼管壩之縮尺模型之設計與實驗部分。縮尺模型實驗的好處是，可以在控制好的變數下，加速水砂與鋼管壩互動的過程，讓實驗者可以仔細觀察、紀錄及分析數據，以釐清現地過於複雜、各參數相互影響的因果關係。

本計畫將考慮疫情影響下的配套措施，讓可能受疫情影響的程度降到最低。規劃透過拍攝教學影片，讓學生可以線上學習 3D 繪圖設計技巧及實驗操作過程，解說在實驗室觀察到的現象。預計本計畫可以增加模組化鋼管壩之多樣性，也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 1-1 (左上) 蘭島溪 1 號防砂壩下游側；(右上) 蘭島溪 1 號防砂壩上游側橫材的效果；(下) 蘭島溪 2 號防砂壩 (陳樹群提供)。

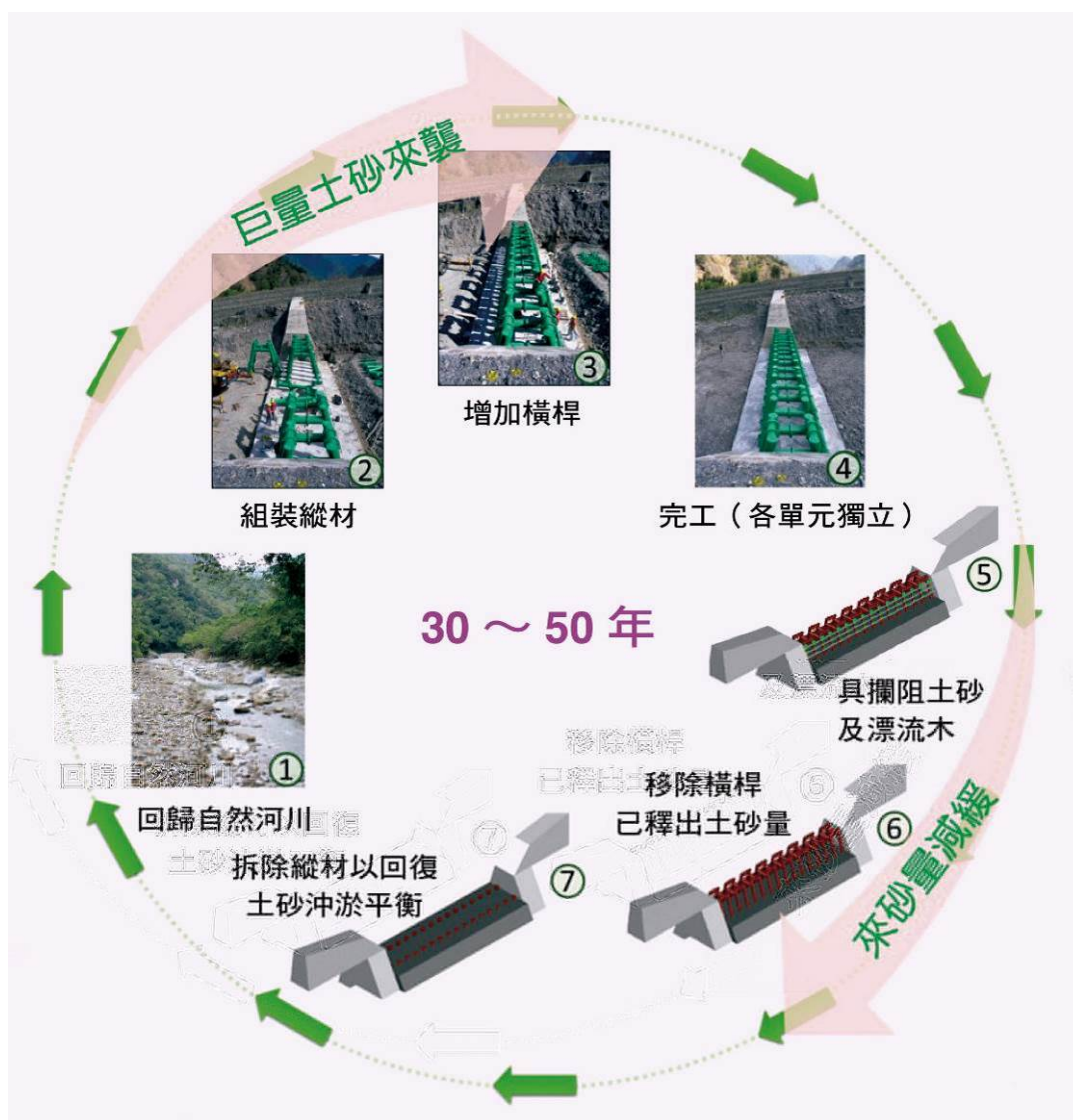


圖 1-2 可調式鋼管壩逐步拆除、回歸自然河川之過程(陳樹群、邱渝方，2019)。

第二節 計畫目標

誠如行政院農業委員會水土保持局 111 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 - (6) 創新野溪固床工程型態研究」提及，為了全面瞭解固床工程與溪流樣態的相關性，嘗試進行固床工與河流流線不同角度下之影響，提出多樣的形式，進行水工試驗，以利未來現場嘗試施作的可行性先導研究。本計畫之主要目的即是以創新實作教學引導學生設計不同型態之可調式鋼管壩，並以縮尺模型實驗檢視設計之可行性，以增加可調式鋼管壩之多樣性，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，進而產出新型態之可調式鋼管壩，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。

本計畫將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 110 學年第 2 學期(2022 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 110 年度創新計畫中所開發之創意實作教學模組，改以引導學生專注在設計和實驗本身。課程將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中，分成多組同步進行，以持續在成大水利系培育出更多「創客」，投入水土保持領域。

二、 工作執行方法與步驟

第一節 工作執行方法

本研究方將法著重在：(1) 繪製三維模型及施工圖；(2) 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 110 年度創新計畫中，以蘭島溪一號防砂壩為基本案例(圖 2-1)。本計畫主持人開發了一系列可拆式防砂壩之三維繪圖技巧，包含：蘭島溪一號防砂壩及巴沙娜橋上游防砂壩，並研發適合在創客空間中實作之施工圖(圖 2-2 至圖 2-8)。本計畫將精進此技術，繼續專研「可調式鋼管壩」之三維模型設計，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調式鋼管壩，並製作出工程施工圖，以增加可調式鋼管壩之多樣性(圖 2-9)。考量疫情可以之影響下，預計將三維模型設計之繪製過程，錄製成教學影片，以確保計畫可以在線上持續學習，並完成各組的設計作品。



圖 2-1 蘭島溪一號防砂壩之現地探勘照片(陳樹群，2020)。

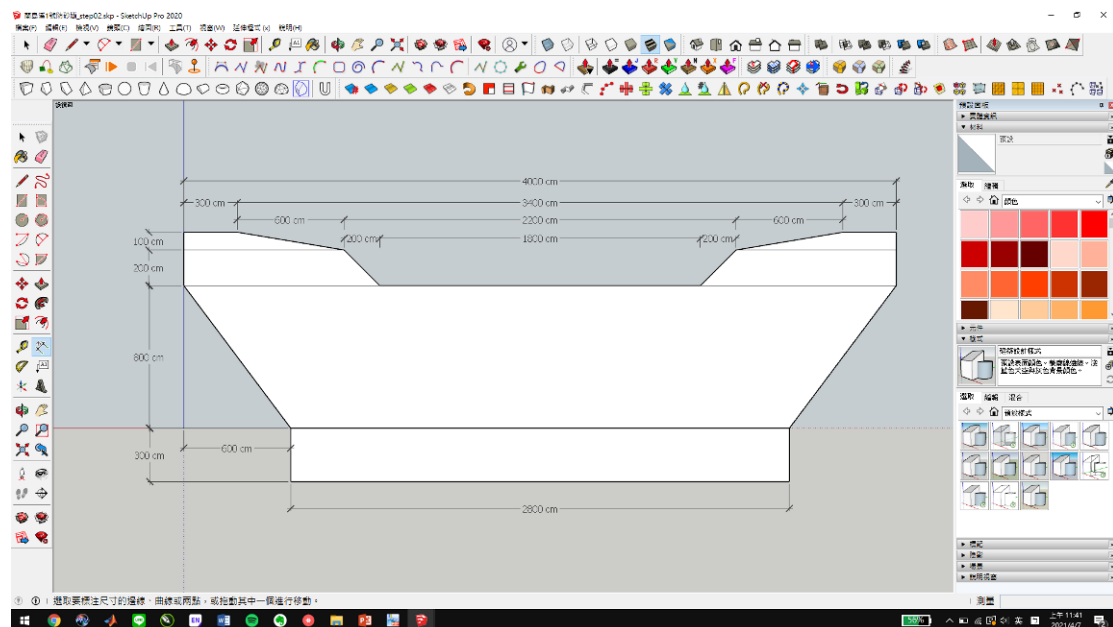


圖 2-2 蘭島溪一號防砂壩，原始防砂壩之側視圖及尺寸。

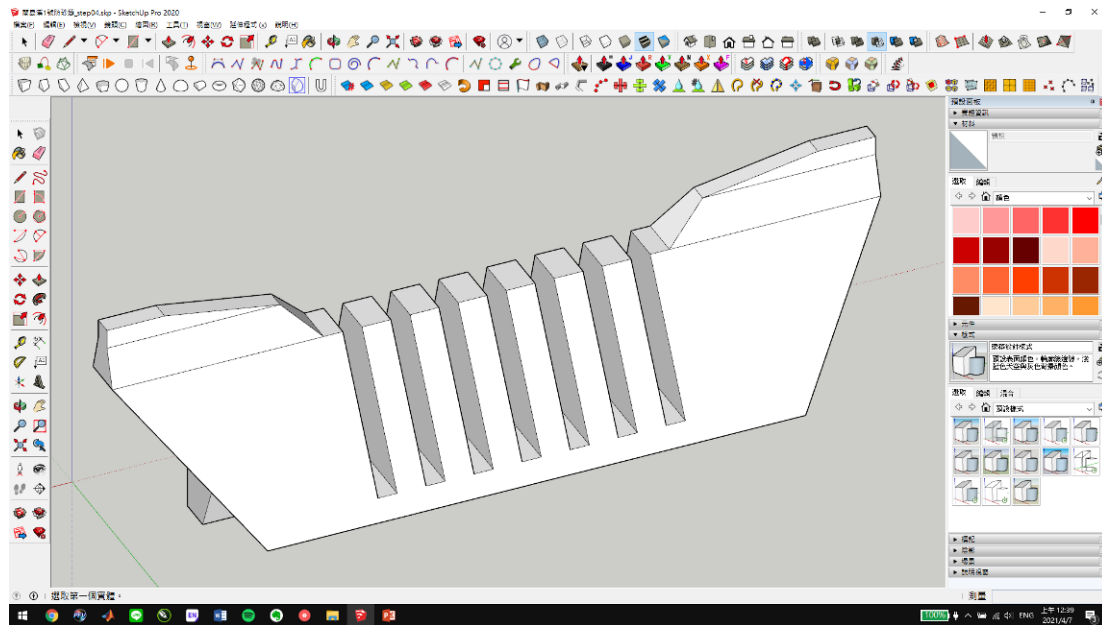


圖 2-3 蘭島溪一號防砂壩，原始梳子壩之三維模型。

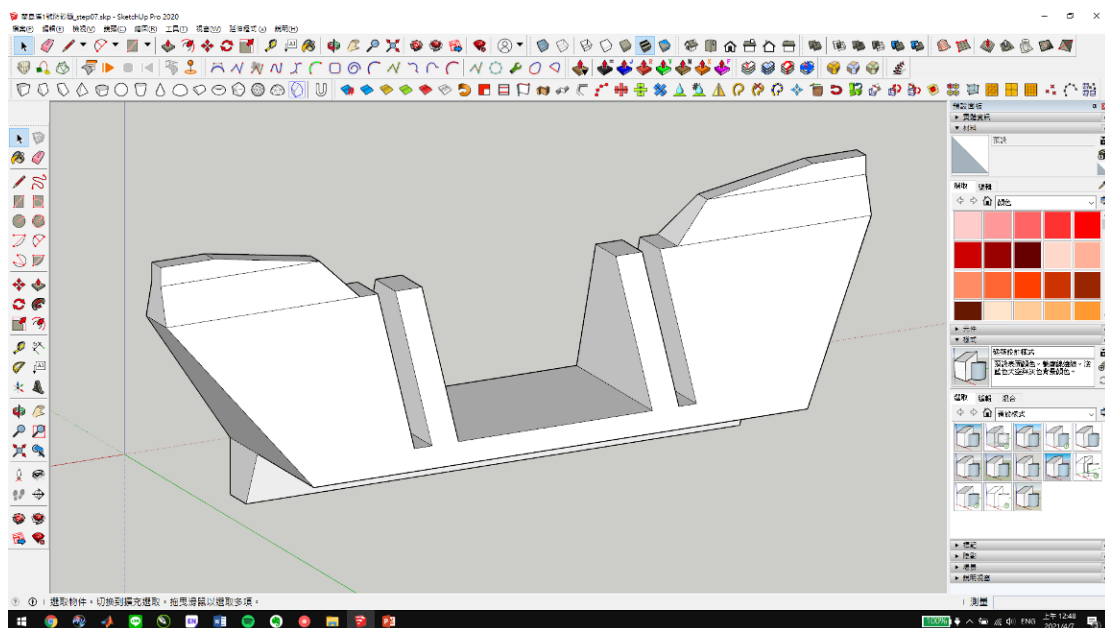


圖 2-4 蘭島溪一號梳子壩，拆除中間的四支梳柱。

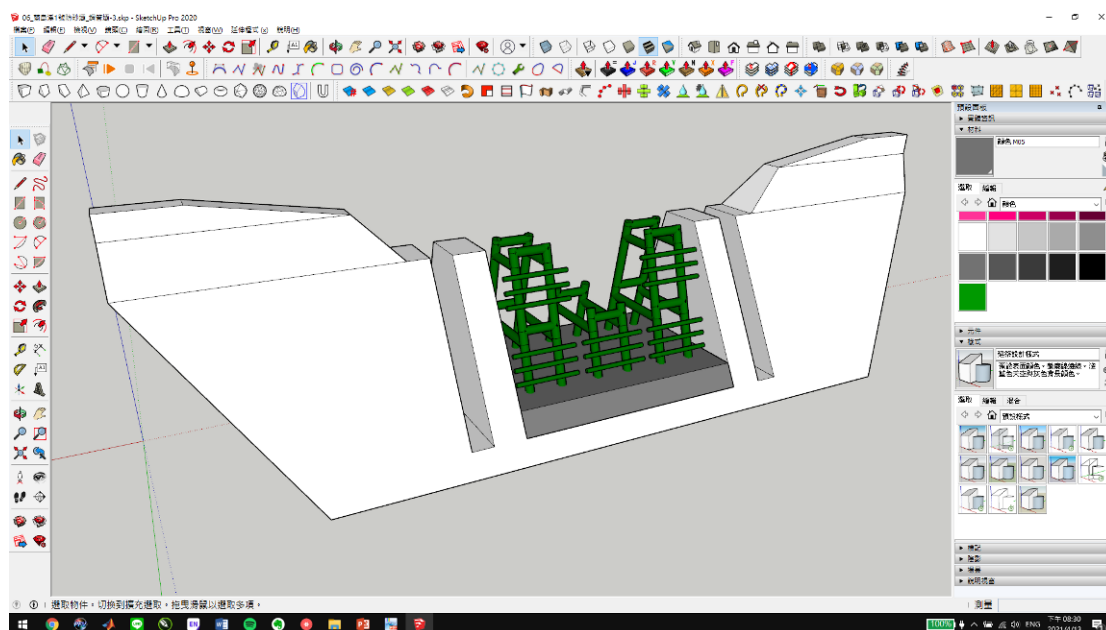


圖 2-5 蘭島溪一號梳子壩，將四支梳柱改成三座可調式鋼管壩。

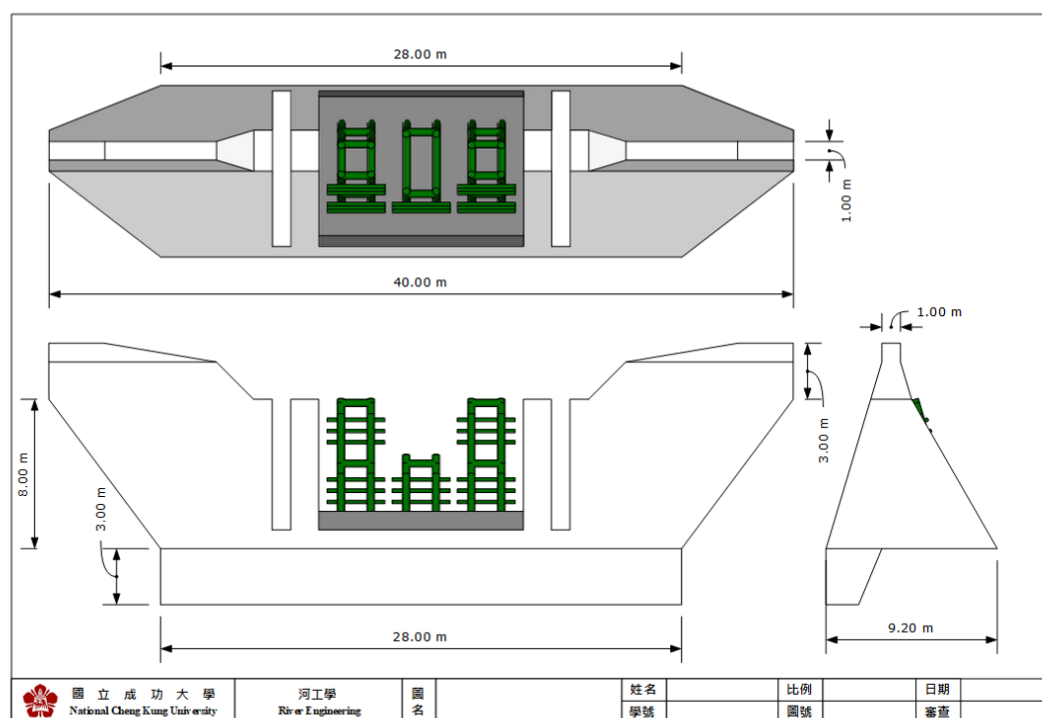


圖 2-6 蘭島溪一號可調式鋼管壩之三維模型及尺寸標註。

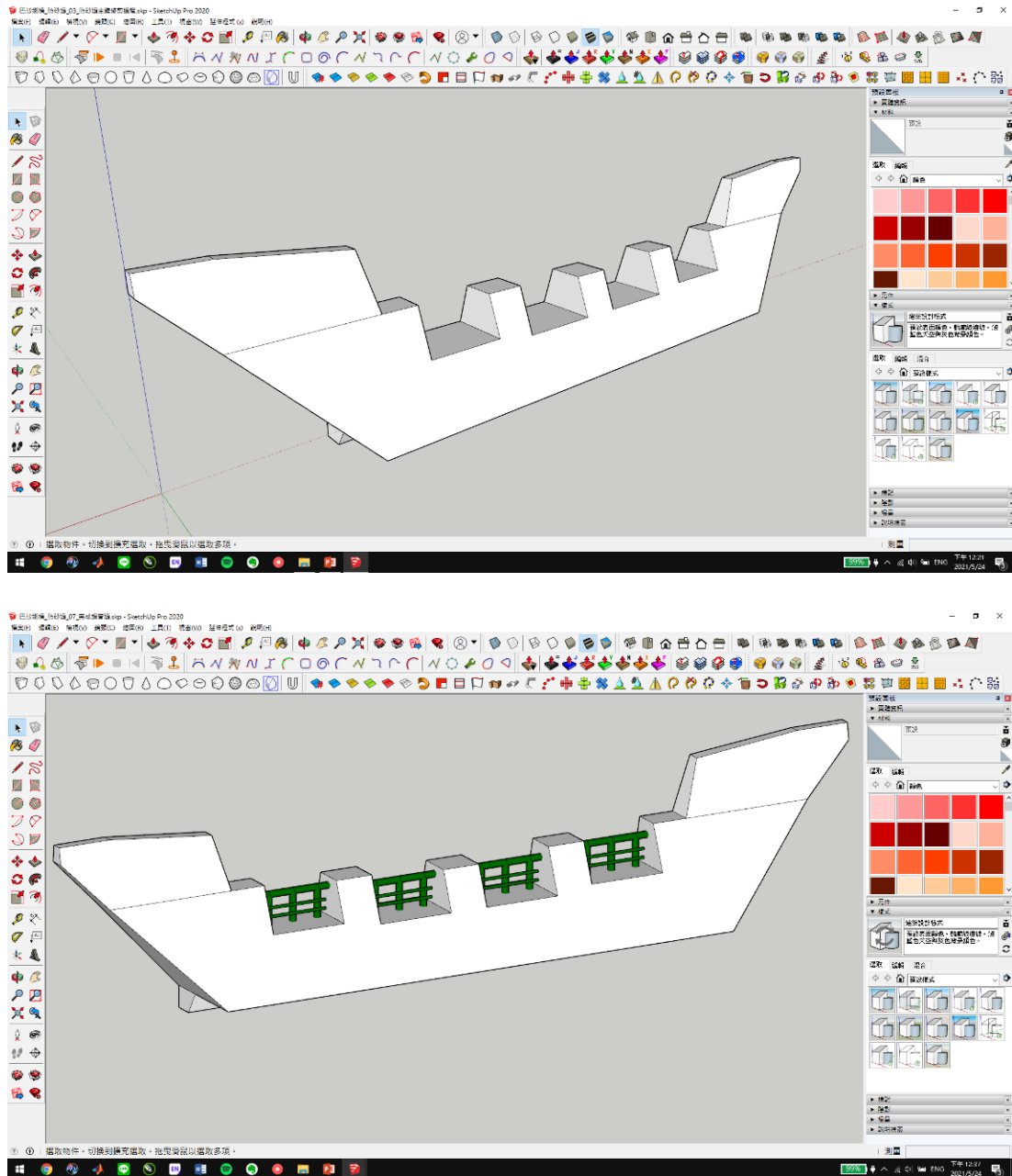


圖 2-7 巴沙娜橋上游防砂壩之 3D 模型。

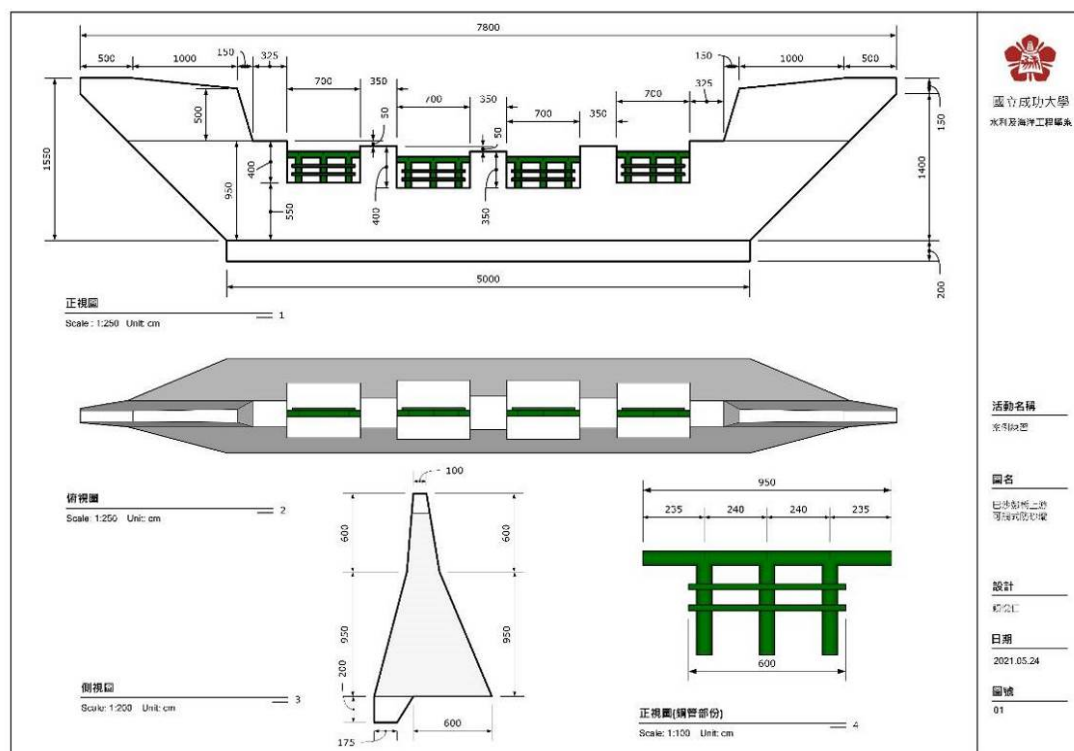
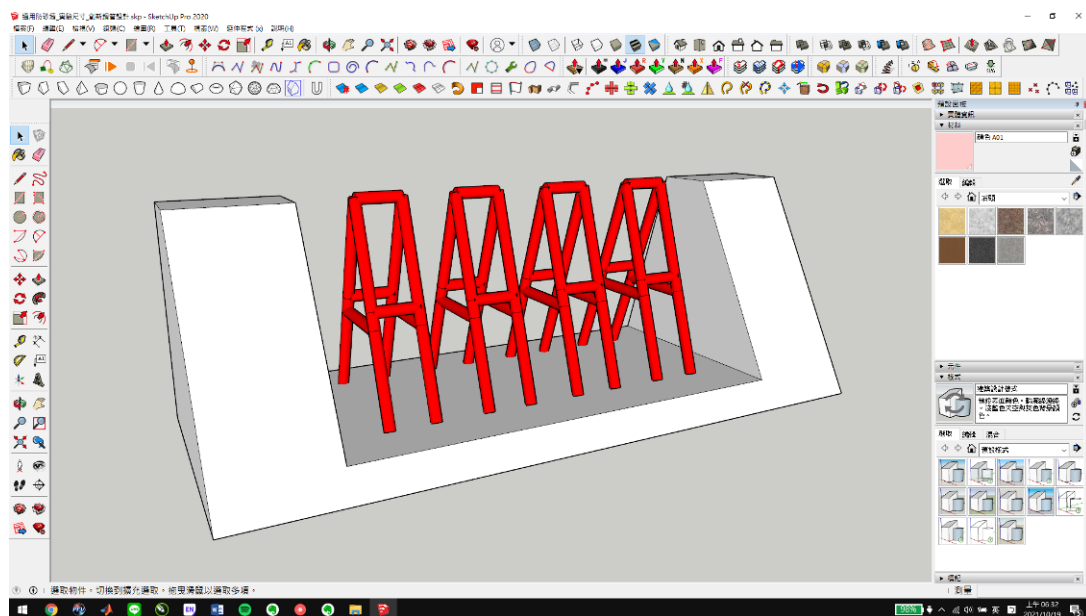


圖 2-8 巴沙娜橋上游防砂壩之三維模型及尺寸標註。



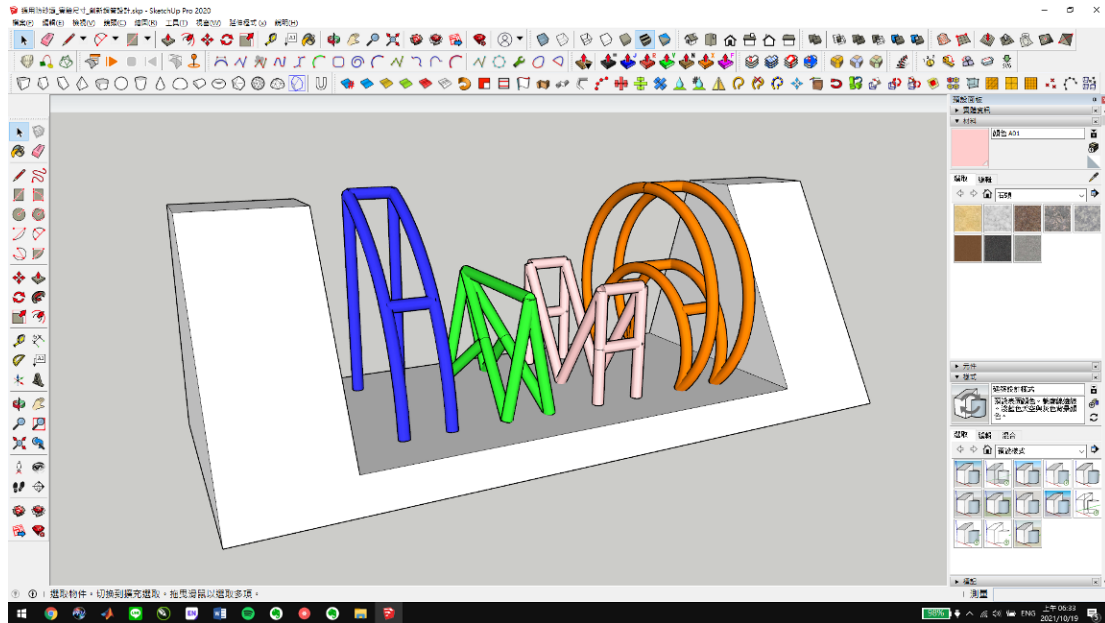


圖 2-9 創新可調式鋼管壩之三維模型。

二、實驗觀察與測量

本計畫將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 2-10)，讓學生可以將自己製做的縮尺模型放入水槽中進行實驗，體會縮尺模型、水、砂及漂流物之互動反應(圖 2-11)，強化學習動機，並引導學生開發新型態之可調式鋼管壩原型，以作為實務設計考量。在去年執行水保局 110 年度創新計畫中，實作課程受到疫情嚴重的影響，導致原本規劃至少有 6 組創新可調式鋼管壩之作品，最後加上本人指導的專題生協助下，只產出了 4 座原創作品。為解決並降低讓大二、大三的學生做實驗的執行難度，本計畫將改善目前的河工動床水槽，新增由馬達驅動之移動式測量台車，擴充水槽坡度可調整之範圍，改以雷射切頁進行地形掃描，並下放研究所端之移動式地形掃描技術至大學部(圖 2-12)。一方面為了提高數值高程模型(digital elevation model, DEM)之測量精度至釐米等級；二方面是為了

提高後續進行土砂沖淤計算之可靠度。本計畫也將 110 年度創新計畫中審查委員之建議納入考慮，只挑選出最佳的 2 組，進行完整的實驗，過程中開放所有學生在場學習觀察，比較 2 組模型對於水砂反應之差異。實驗中將以課程助教為主要操作者、學生為輔，配合錄製實驗操作教學影片，進行細部解說。另外，雷射地形掃描技術需仰賴較多的 Matlab 程式撰寫能力，目前也規劃以課程助教協助建置高解析度之數值高程模型，再讓大學生進行地形之定量分析，以降低學習門檻，讓學生持續對本課程感興趣。期待透過此規劃，每組學生都可以學習如何分析橫斷面與縱斷面隨時間的演化趨勢，定量討論可調式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材及縱材時，土砂分佈的演化過程。



圖 2-10 河工動床教學試驗水槽與防砂壩配置。



圖 2-10 河工動床教學試驗水槽與防砂壩配置(續)。



圖 2-11 巨型漂流物阻擋水流通過，造成上游淤積之現象。

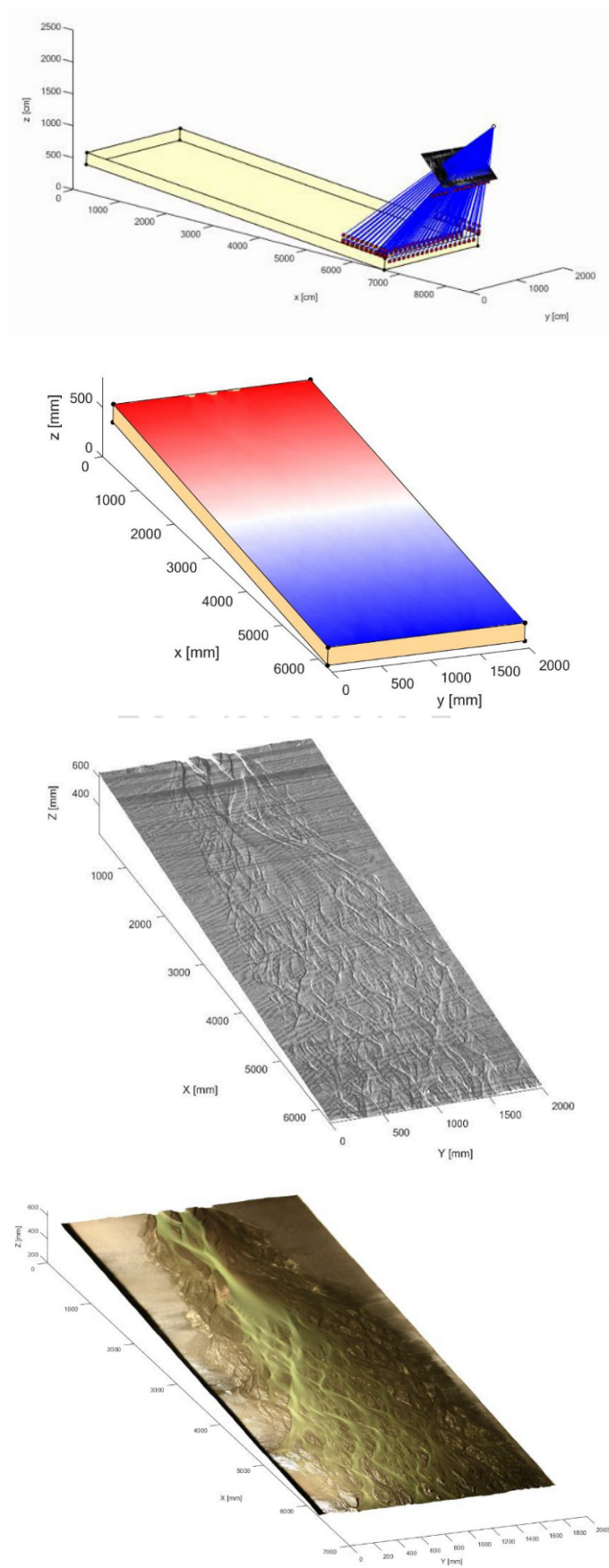


圖 2-12 預計簡化地形掃描測量技術，並應用於可調式鋼管壩實驗。

第二節 工作執行步驟

本計畫預計以一年期計畫進行，規劃在 110 學年第 2 學期(2022 年 2 月)之「河工學」課程中，以成大水利系大二及大三的學生為對象，修改並精進去年之創意實作教學模組，更專注在「可調式鋼管壩」之設計與實驗。研究流程包含：

- 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、簡化移動式高精度實驗地形掃描量測技術至大學部。
- 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。

三、 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 所示，目前已完成(1)至(7)項，符合規劃進度。

表 3-1 計畫甘特圖

年月 研究項目	111 年 1 月	111 年 2 月	111 年 3 月	111 年 4 月	111 年 5 月	111 年 6 月	111 年 7 月	111 年 8 月	111 年 9 月	111 年 10 月	111 年 11 月	111 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) 簡化移動式高精度實驗地形掃描量測技術至大學部。				✓	✓	✓						
(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	河工學簡介 (分組)	講授	3
2	河川特色、泥砂特性、水理模式	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、各式可調式鋼管壩介紹	講授	3
8	河工設計(一)：東西坑溪五期工程 (SketchUp 繪圖)	講授/實習	3
9	河工設計(二)：蘭島溪 1 號可調式防砂壩 (SketchUp 繪圖)	講授/實習	3
10	河工設計(三)：巴沙娜橋上游可調式防砂壩 (SketchUp 繪圖)	講授/實習	3
11	創意實作(一)：各組進行小組討論、發想、繪製初步模型	實習	3
12	創意實作(二)：各組口頭報告設計理念	實習	3

	(確認可行性)		
13	創意實作(三): 完成 3D 模型設計 (繳交作品)	實習	3
14	簡介地形測量技術、Matlab 基礎練習	講授/實習	3
15	實驗(一): 各組分批進行實驗、取得實測資料	實習	3
16	實驗(二): 各組建置 DEM 資料	實習	3
17	實驗(三): 各組進行地形分析、出圖	實習	3
18	期末成果發表會	實習	3
學習評量方法： 作業練習 70%，期末成果發表會 30%，學習態度 10%。			

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調式鋼管壩之縮尺模型之設計與實驗。

(2) 蒐集國內外可調式鋼管壩之文獻。

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。本計畫將持續研讀國內外可調式鋼管壩之文獻。

(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：東西坑溪五期工程、蘭島溪 1 號及 2 號可調式防砂壩及巴砂娜橋之可調式防砂壩(如表 3-2 所示)。本計畫亦新增日本扇沢可調式防砂壩，作為經常性(四季)調整防砂壩之經典案例。課程中有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) 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。

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。本計畫主持人已完成研發各案例之繪圖步驟及施工圖製作。

(5) 簡化移動式高精度實驗地形掃描量測技術至大學部。

去年開發了斷面式的地形量測方式，方便讓大學生執行，也讓每組學生可以順利建構出數位地形高程模型(DEM)。但是，整體測量的時間過長，效率不佳。因此，本計畫已投入大量時間與精力，將本人於研究所端慣用的雷射地形掃描技術，簡化後下放到大學部，讓大學部學生有機會提早學習到高精度、高效率之地形建模技術，並提高本計畫定量數據資料之蒐集。

(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。

已在 6 月 15 日舉辦線上成果發表會，共有 3 為評審給予建議與講評。由於受到疫情的影響，只能舉行線上成果發表會。未來還是建議以實體發表結合縮尺模型展示，效果為佳。

(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)及(7)項，目前在彙整教學成果及學生之設計作品，期待有機會到相關單位分享，符合計畫規劃進度。

四、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「可調式鋼管壩」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。

本計畫於課程中之實作活動成果說明如下：

(1) 學習 SketchUp 繪製 3D 經典防砂壩案例：

本課程以東西坑溪五期工程、蘭島溪 1 號可調式防砂壩及巴沙娜橋上游防砂壩為案例，帶領著學生練習繪製這 3 座防砂壩之 3D SketchUp 模型，學習基本的表現法及尺寸標註。亦教導學生透過性防砂壩及可調式鋼管壩之差別及特色。

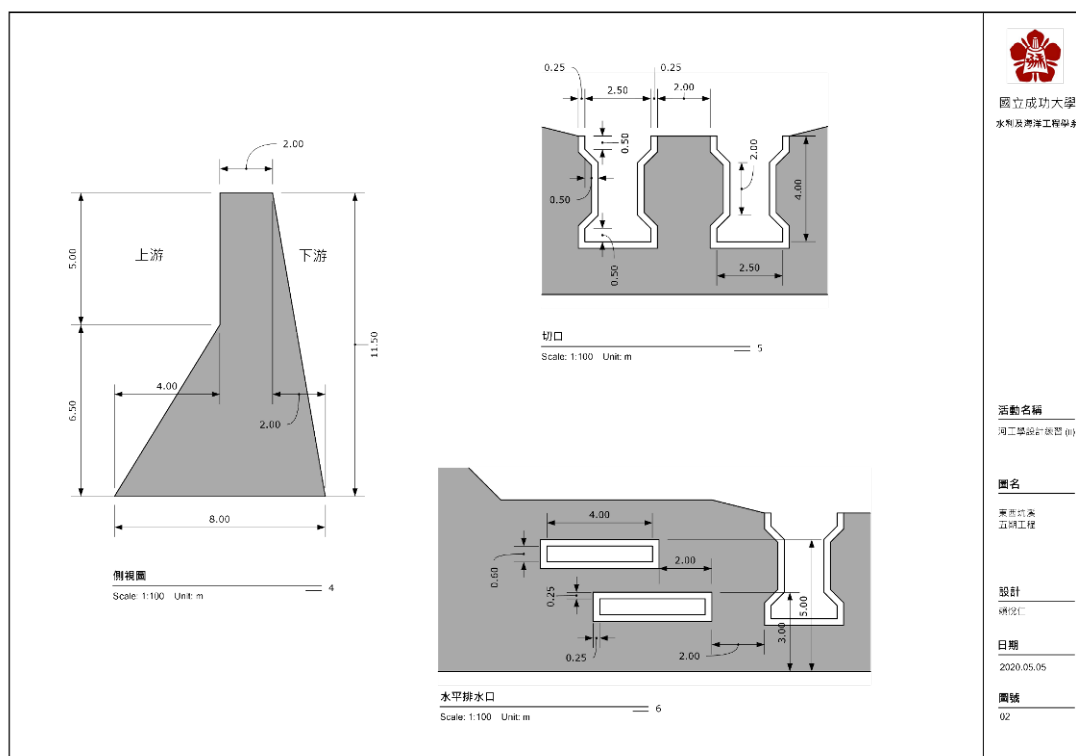
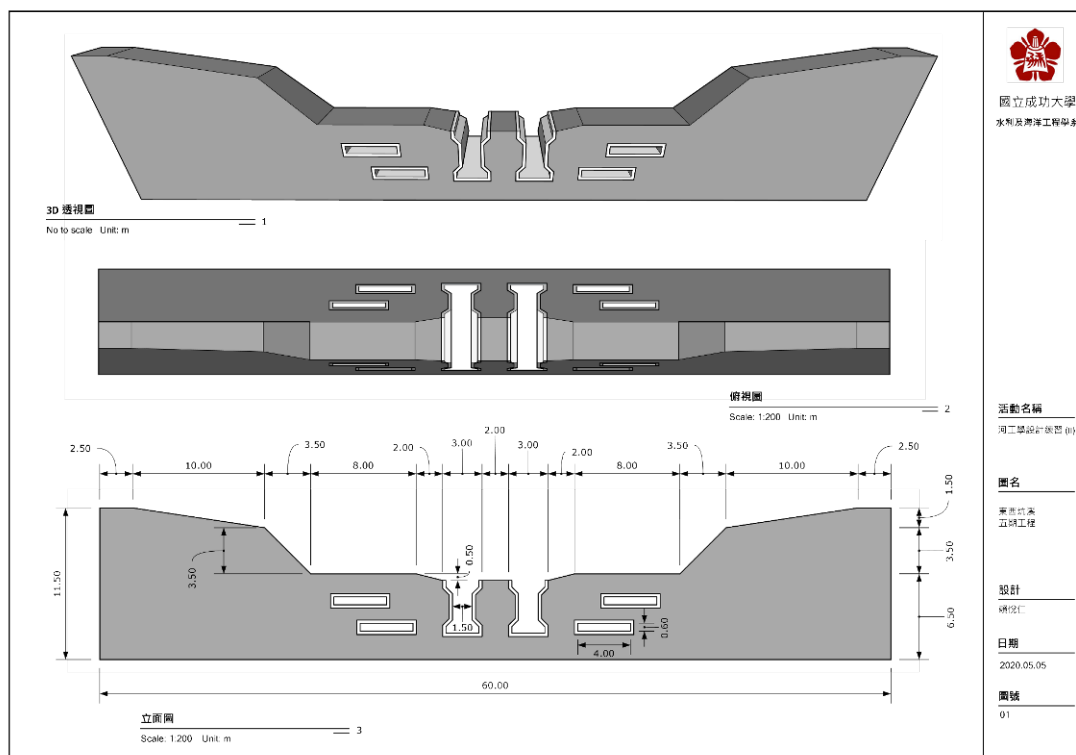


圖 4-1 東西坑溪五期工程之設計圖。

可調式鋼管壩之縮尺模型：設計與實驗

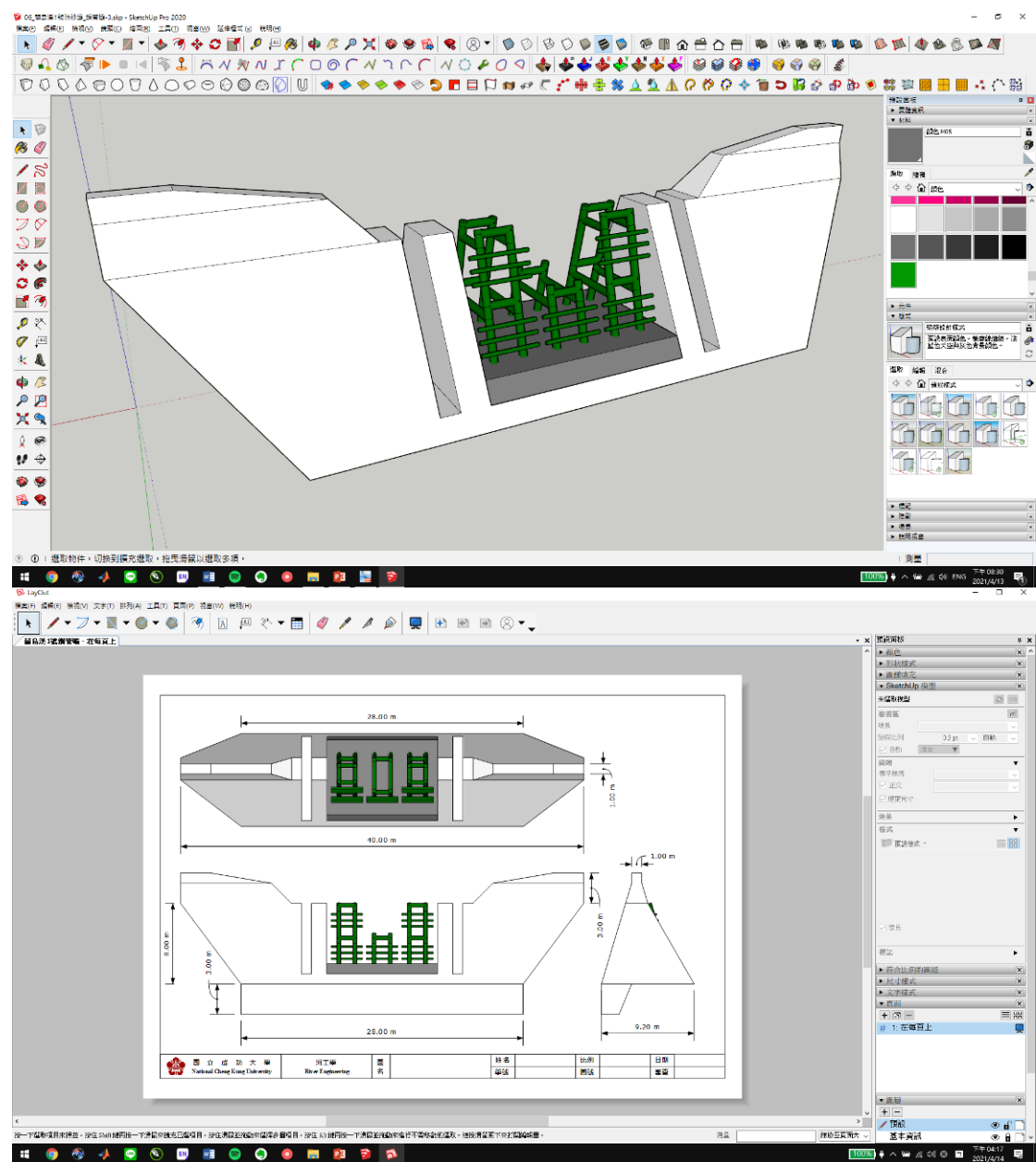


圖 4-2 蘭島溪一號鋼管壩之設計圖。

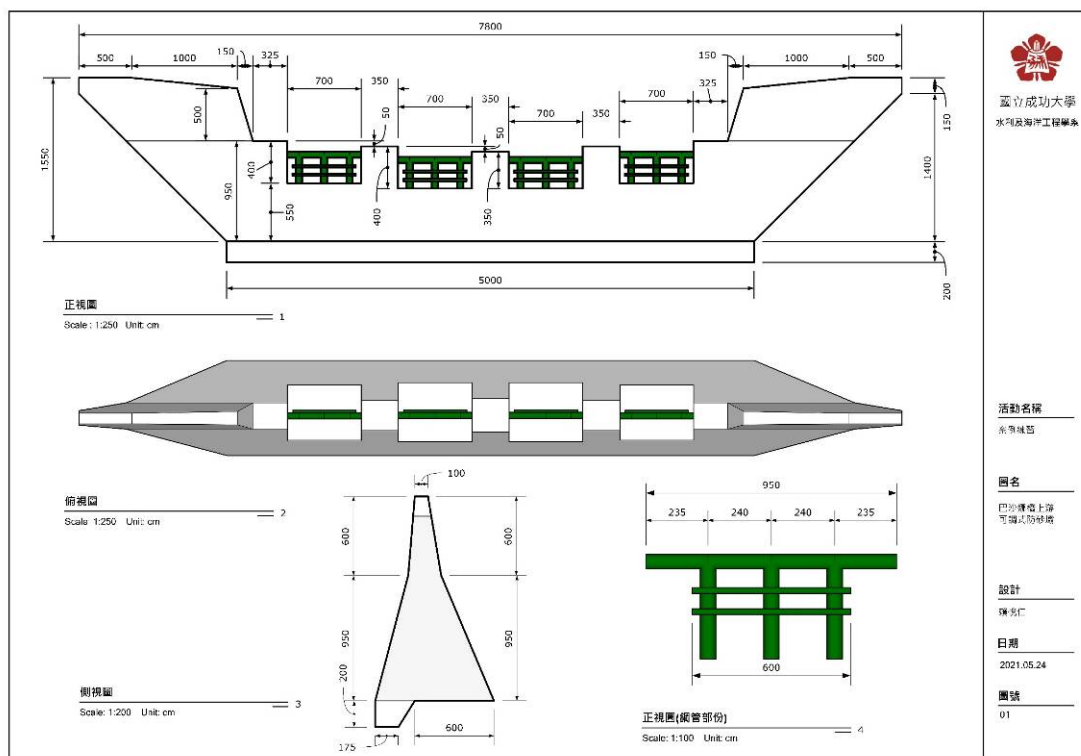
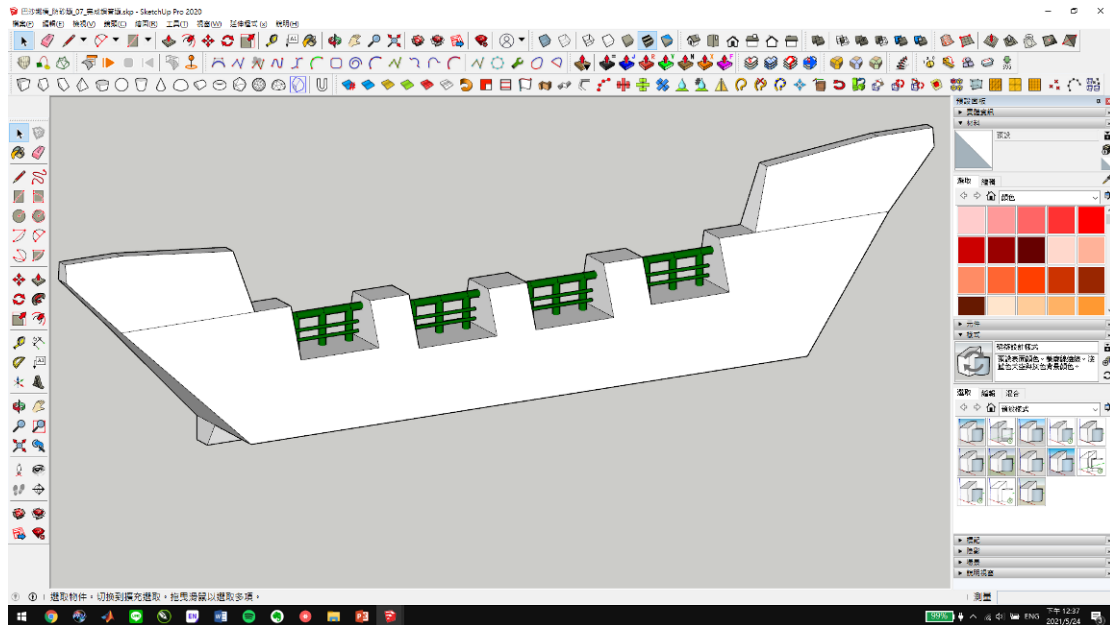


圖 4-3 巴沙娜橋上游可調式防砂壩之設計圖。

(2) 學生創意發想之可調式鋼管壩：

學生學會繪製經典的防砂壩之後，本人於學期中開始引導各組進行小組討論及發想。經過各組口頭報告設計理念及本人確認可行性之後，讓各組學生協作繳交第一版的 3D 模型設計作品。爾後，本人仔細的檢視各組作品、給予評論(圖 4-4)並鼓勵學生改進後於期末提出修正後的完整設計作品。

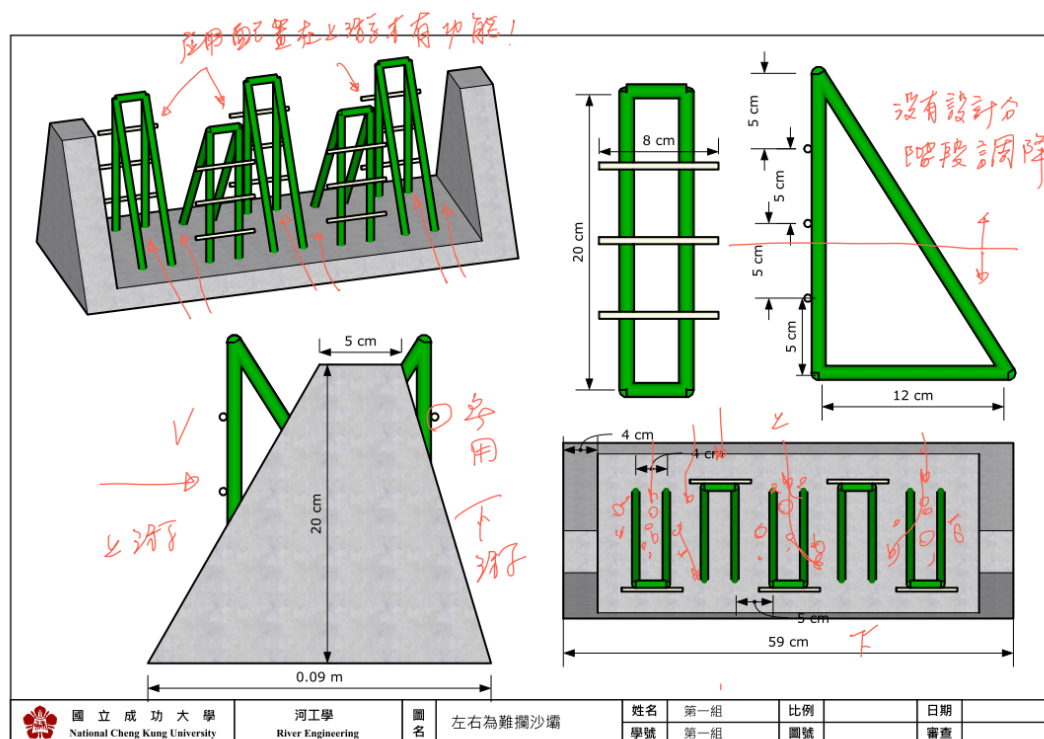


圖 4-4 各組第一版之作品評圖。

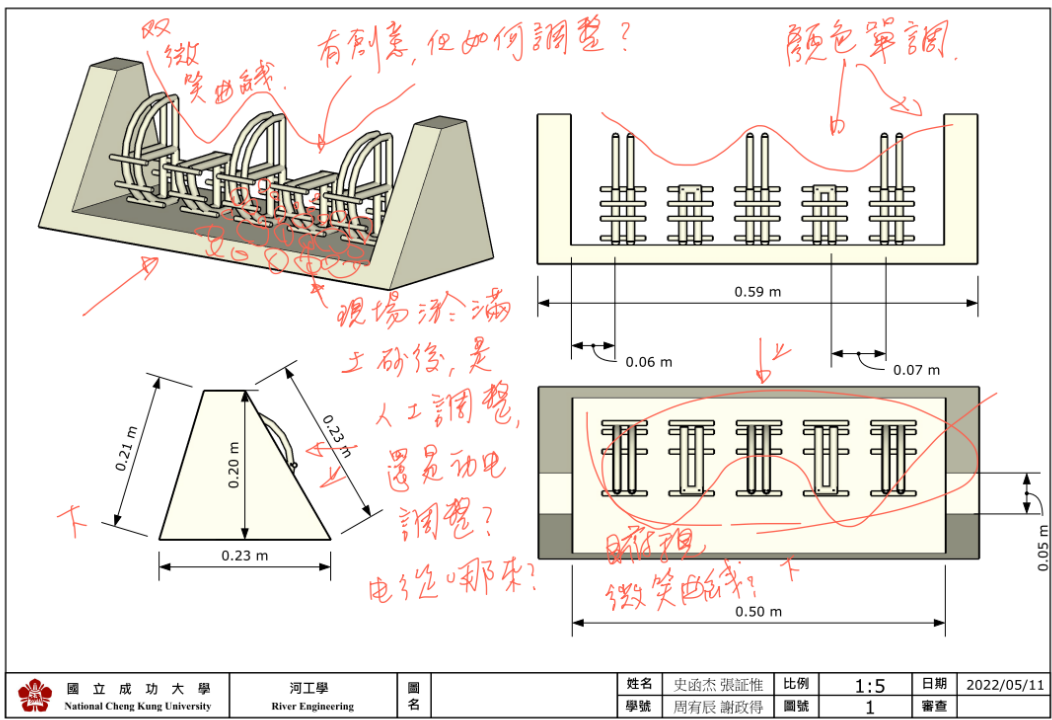
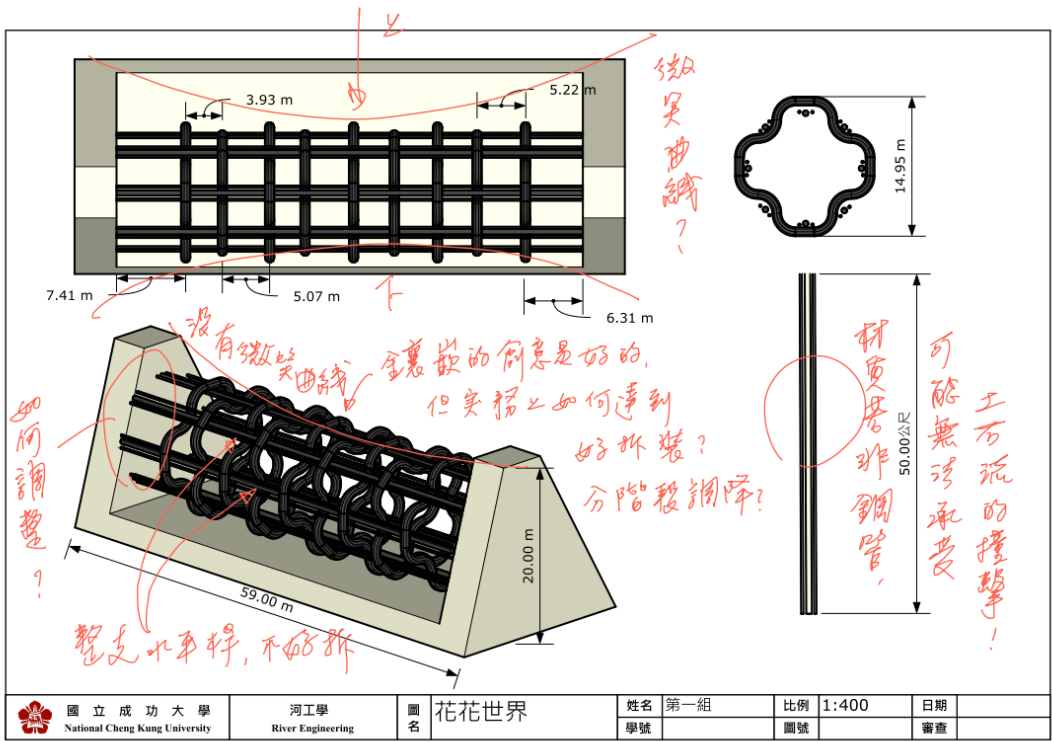


圖 4-4 各組第一版之作品評圖(續)。

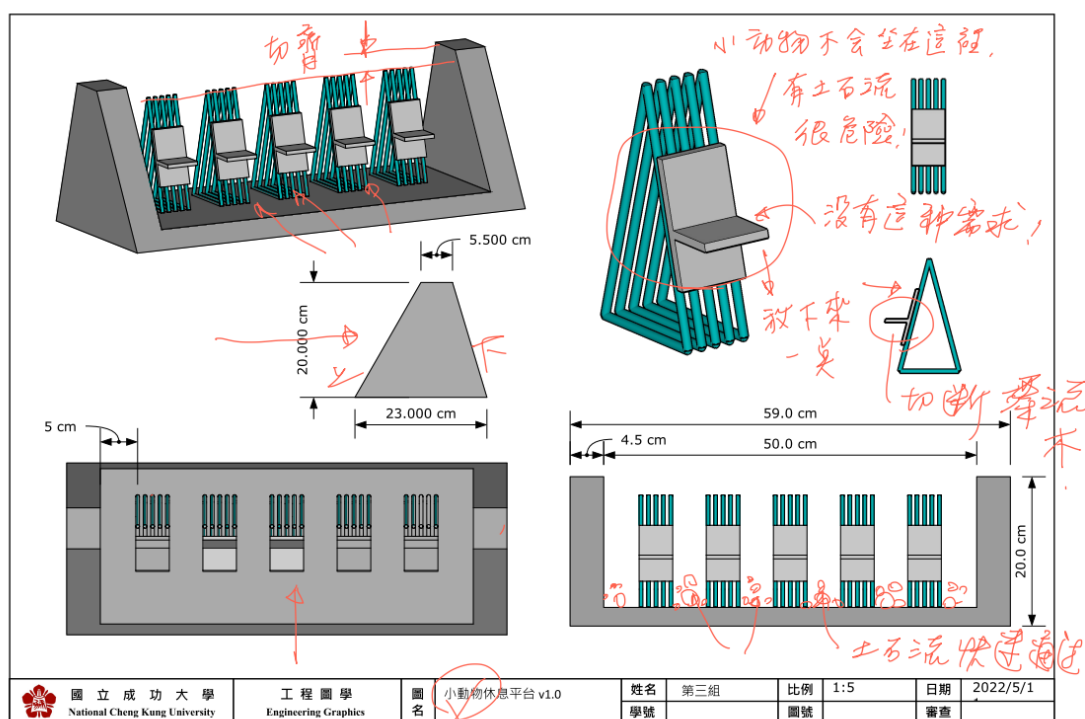
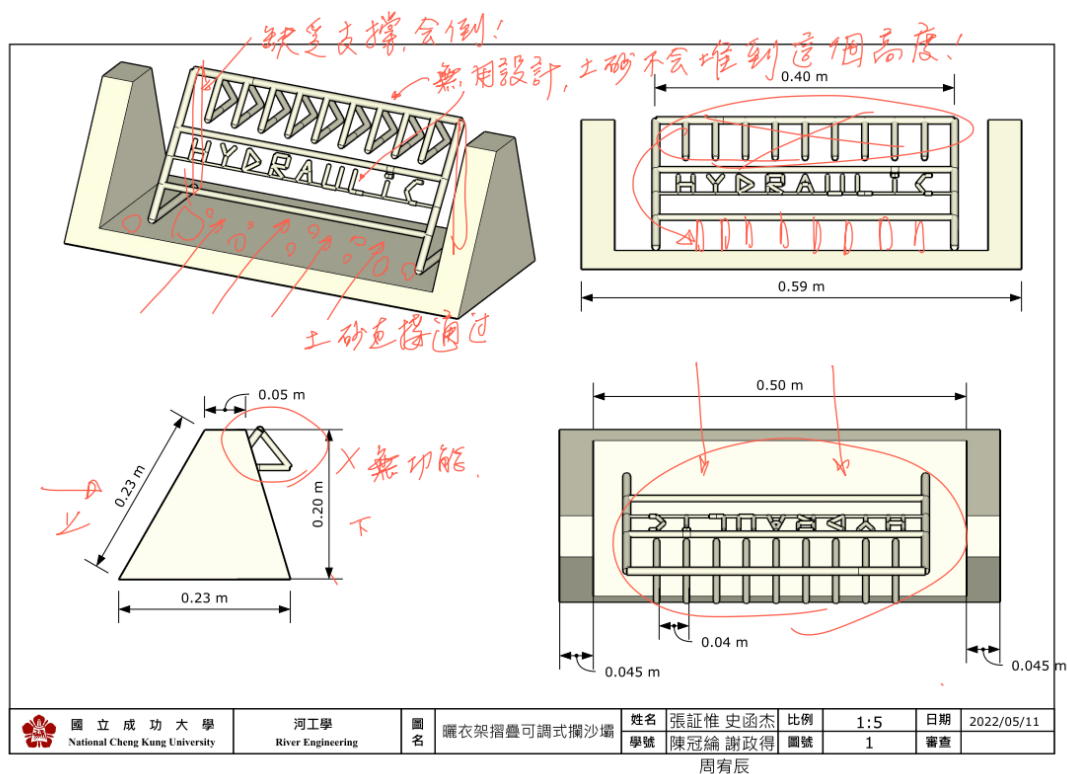


圖 4-4 各組第一版之作品評圖(續)。

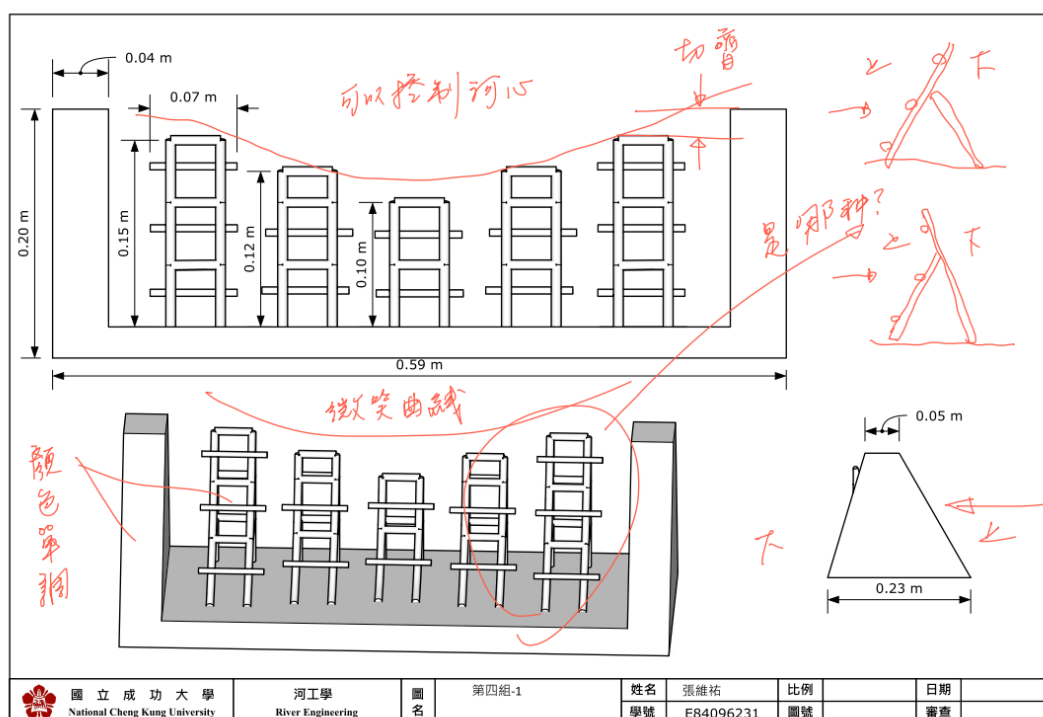
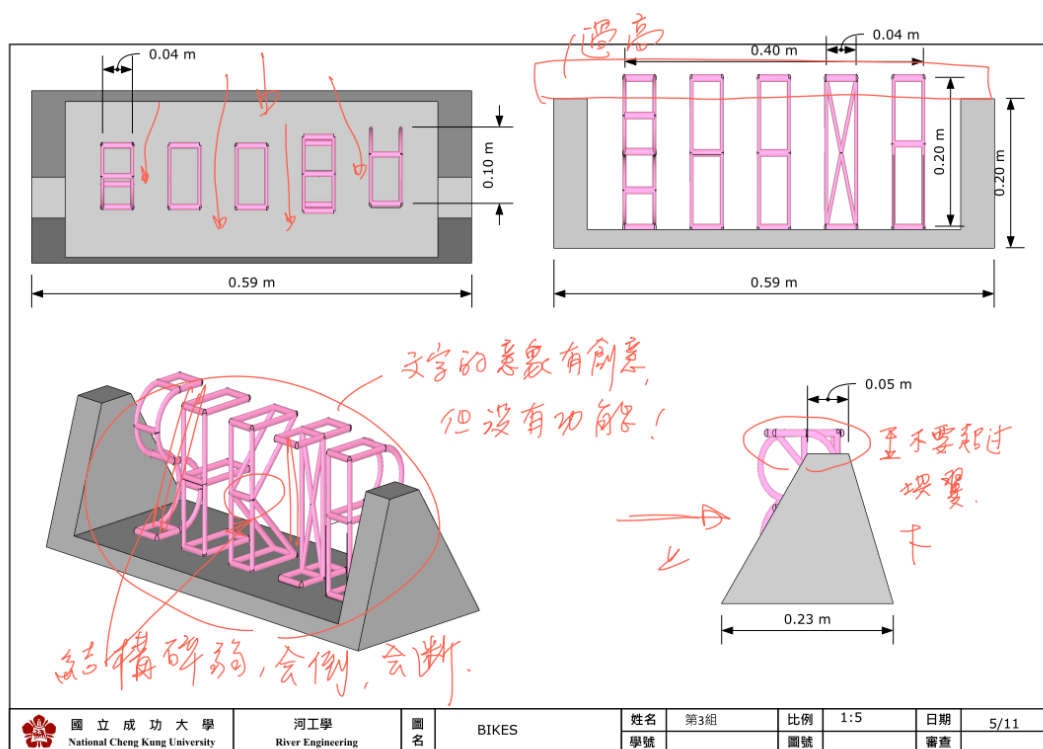


圖 4-4 各組第一版之作品評圖(續)。

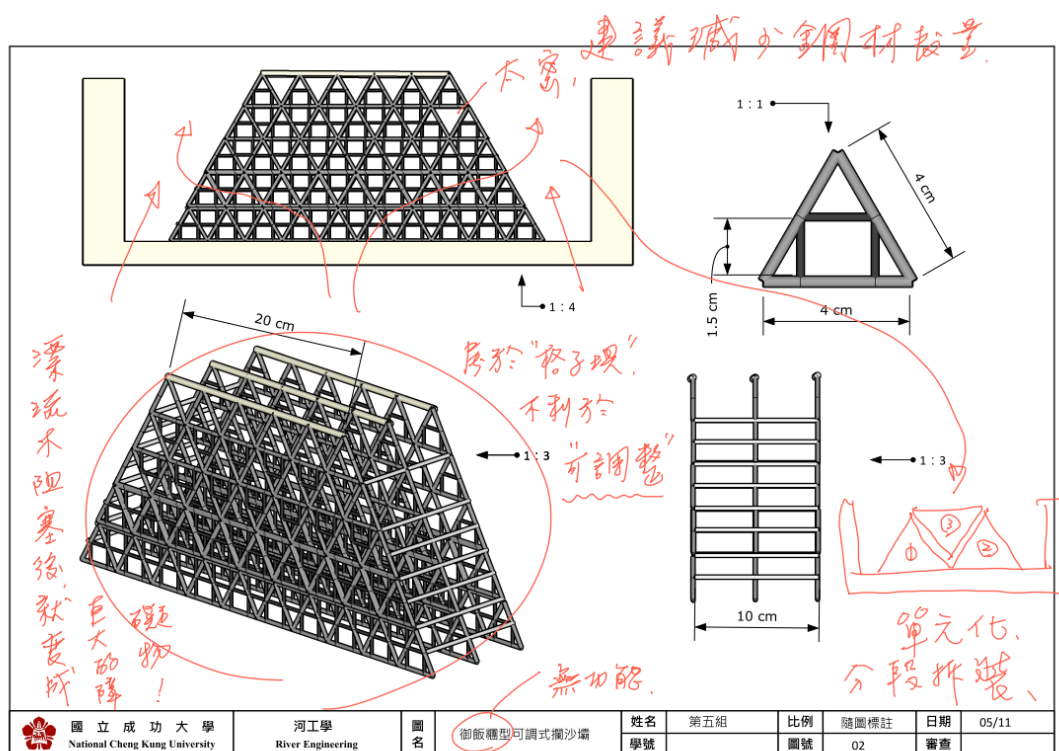
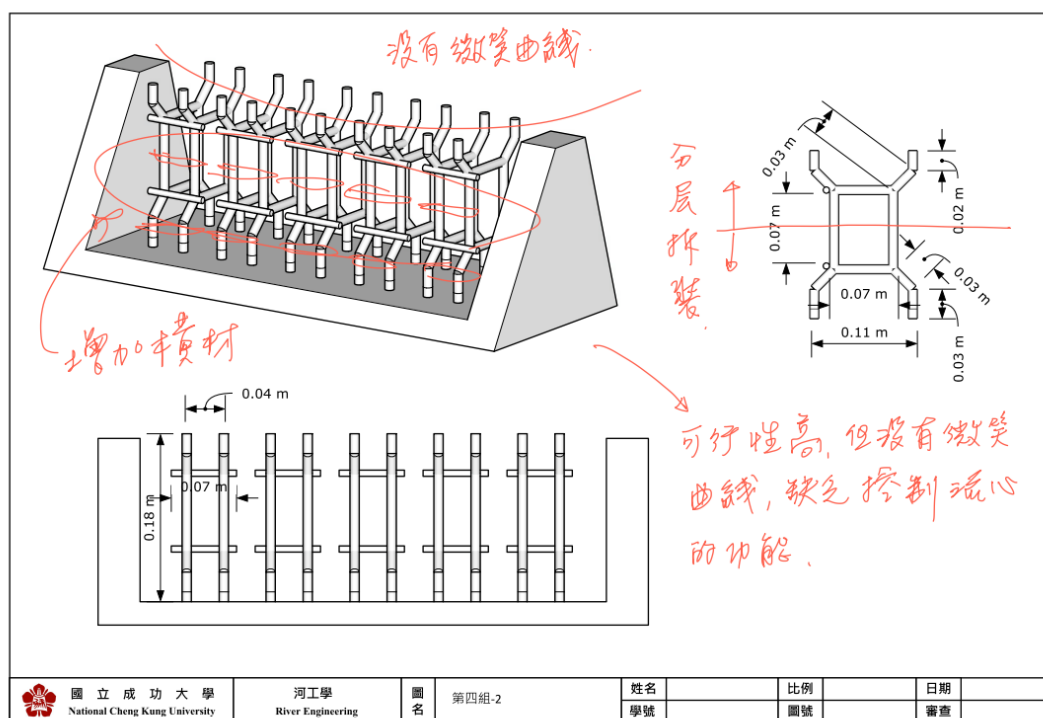


圖 4-4 各組第一版之作品評圖(續)。

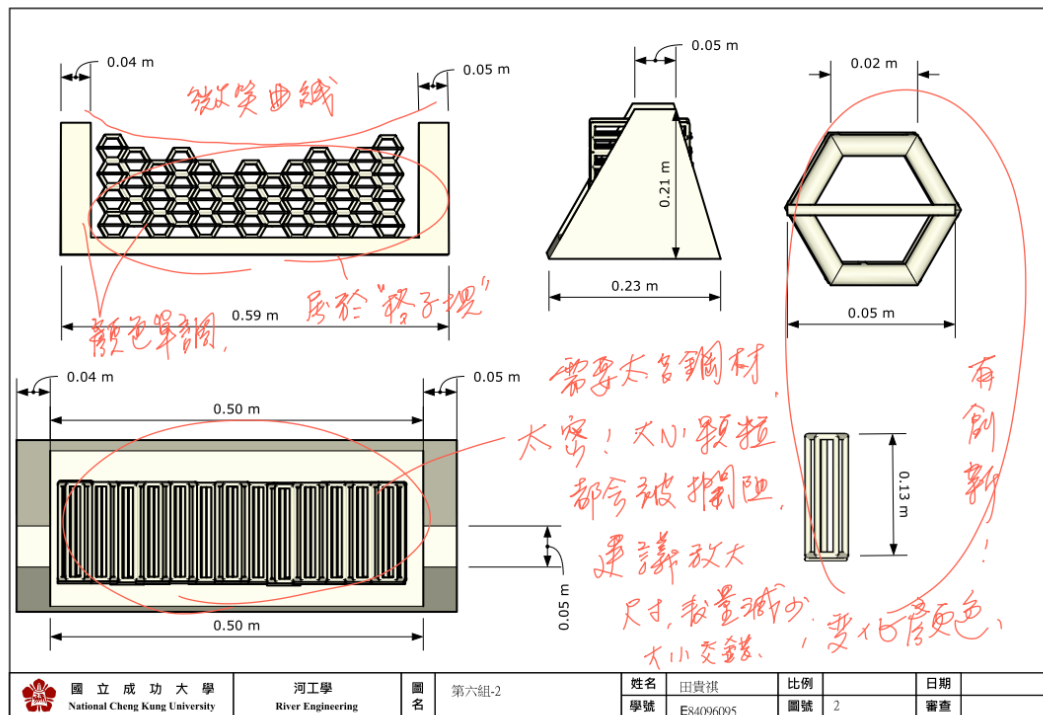


圖 4-4 各組第一版之作品評圖(續)。

每組學生經過修正及重畫之後，於期末成果發表會中各提出 2 個版本的設計作品。學生於期末成果發表會中必需報告以下內容：

1. 設計理念、動機。
2. SketchUp 模型介紹。
3. 可行性及功能性解說。
4. 拆裝方式說明。
5. 微笑曲線設計。
6. 組內任務分配說明。

因此，本計畫產出共 12 種可調式鋼管壩之 3D 設計作品，各組之成

果如下：

第 1 組之作品

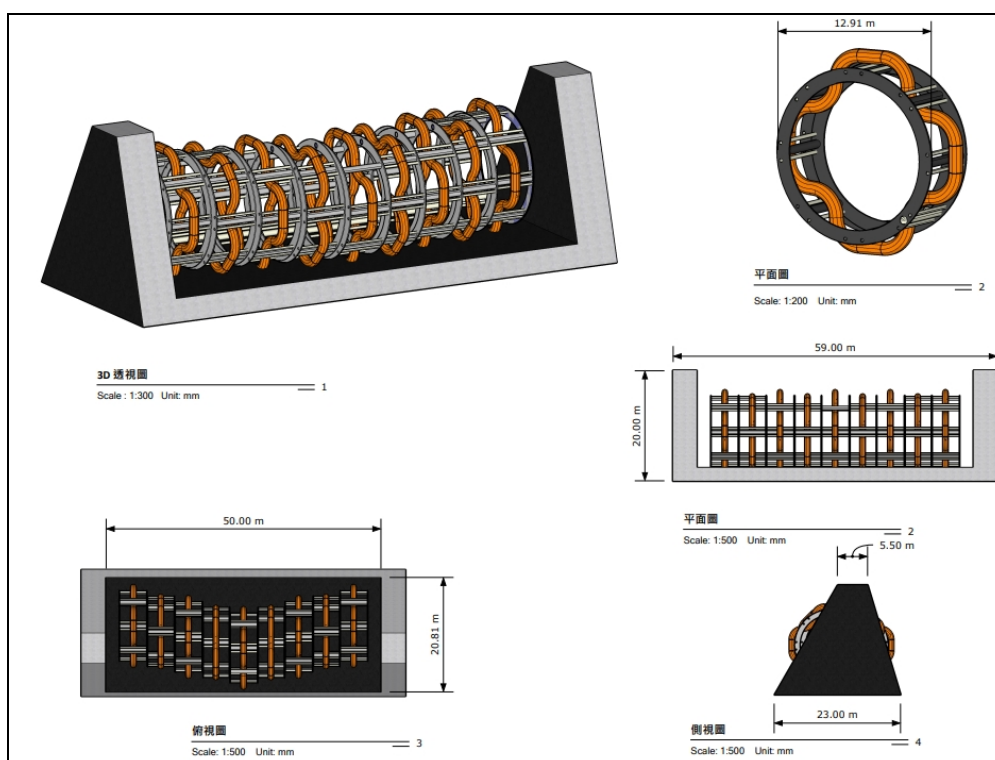
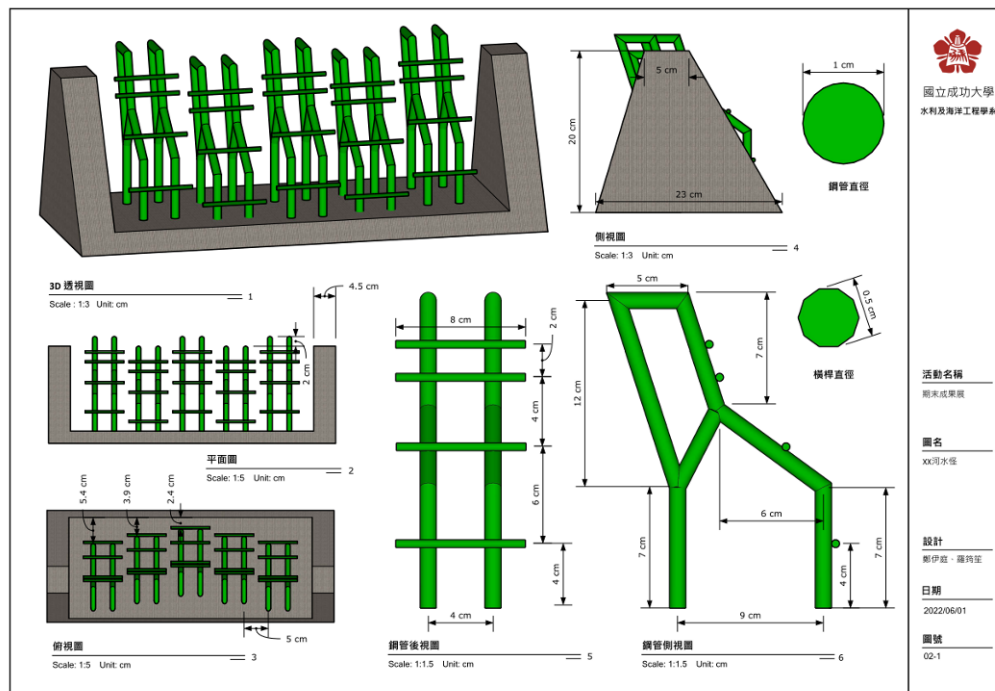


圖 4-5 第 1 組設計之兩種可調式鋼管壩。

第 2 組之作品

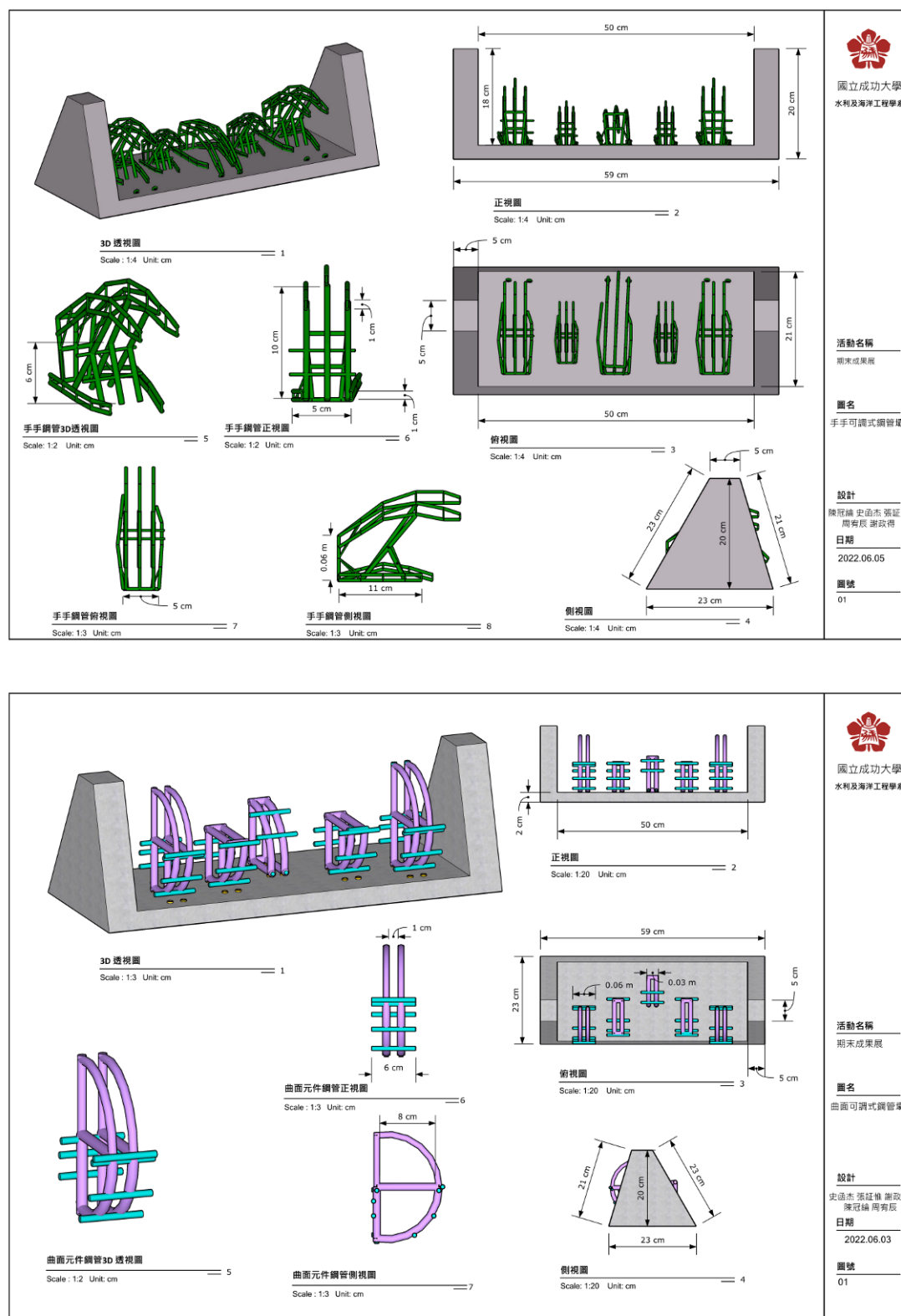


圖 4-6 第 2 組設計之兩種可調式鋼管壩。

第 3 組之作品

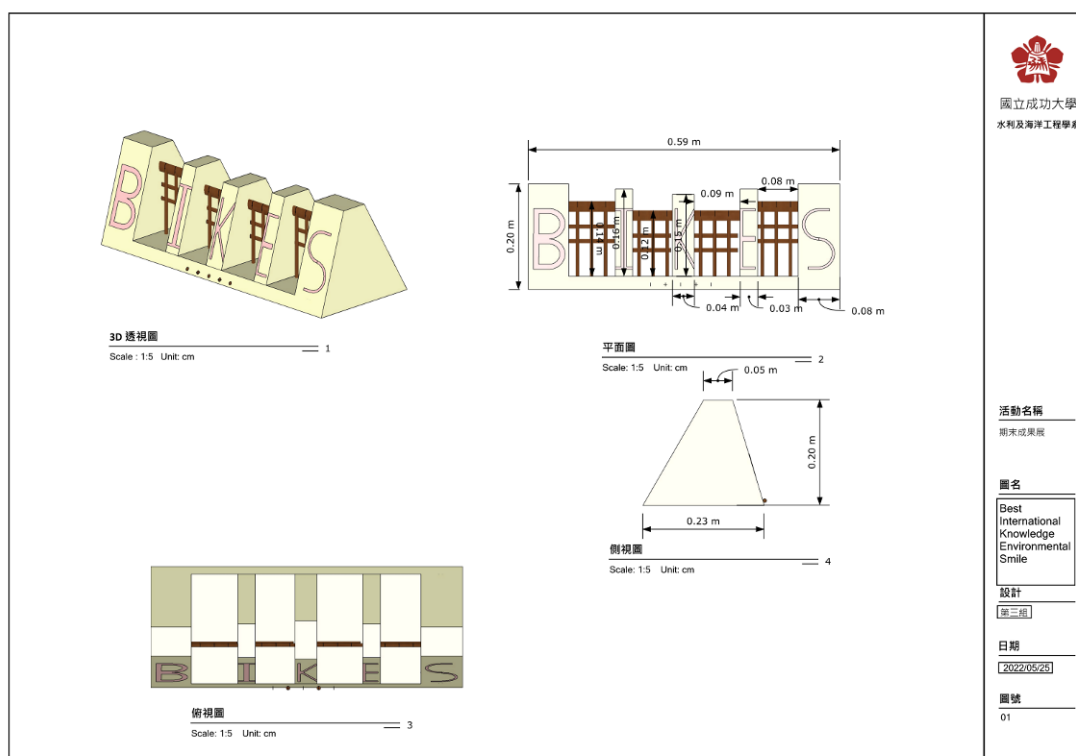
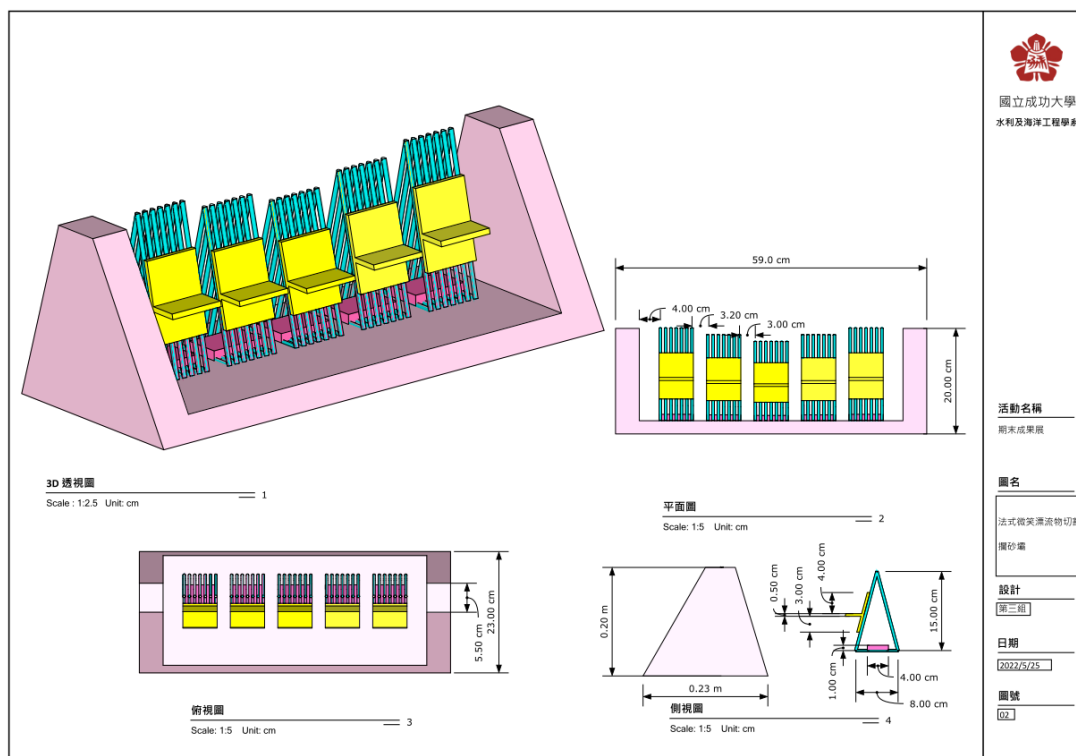


圖 4-7 第 3 組設計之兩種可調式鋼管壩。

第 4 組之作品

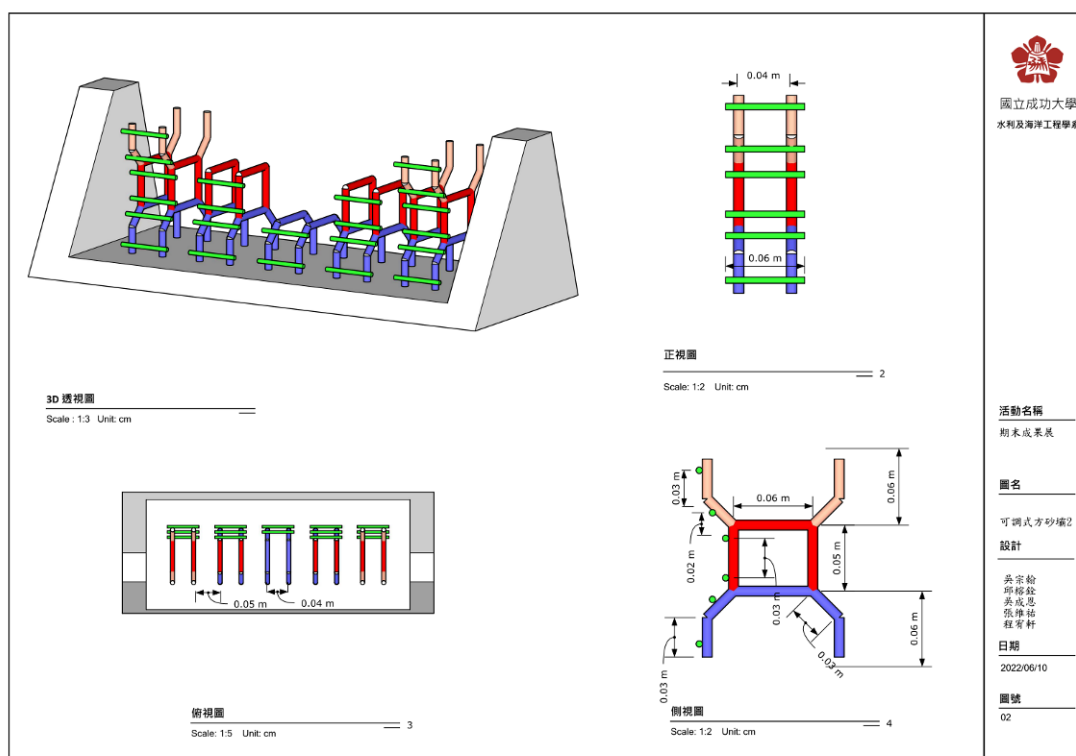
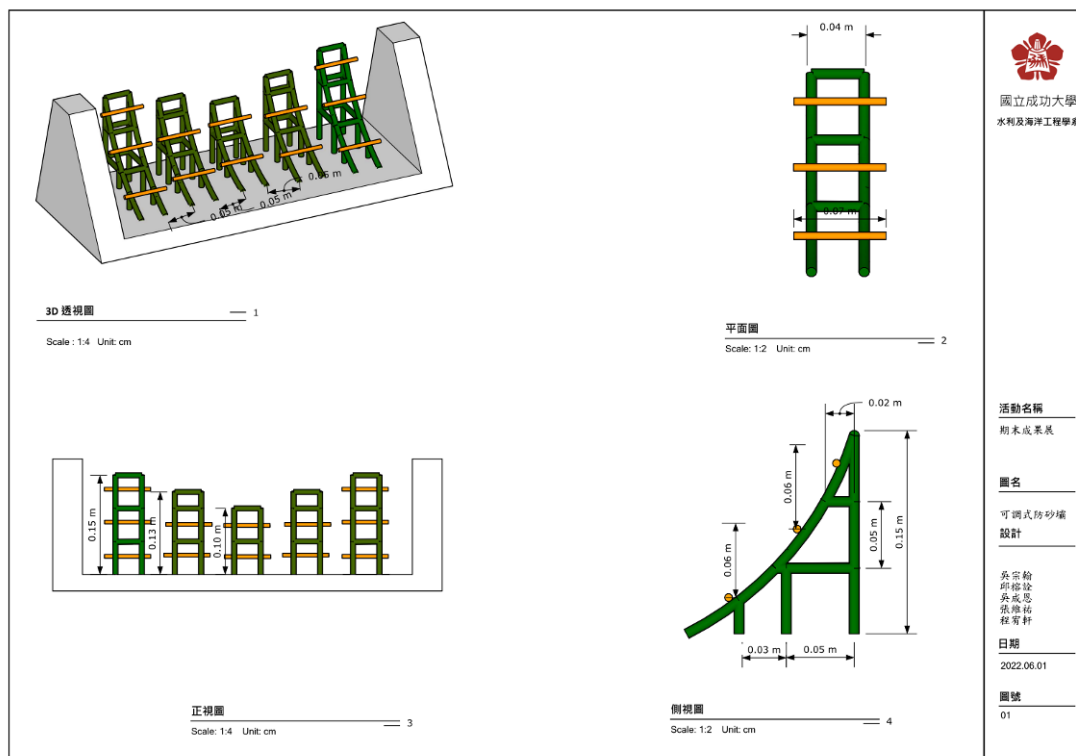


圖 4-8 第 4 組設計之兩種可調式鋼管壩。

第 5 組之作品

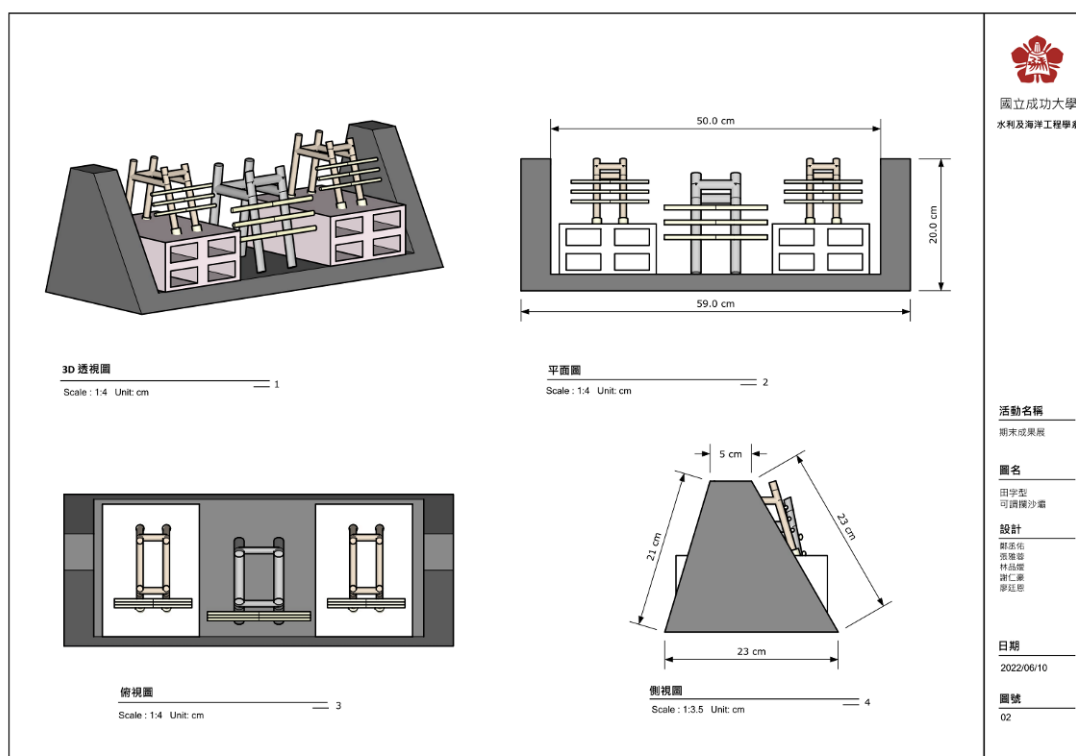
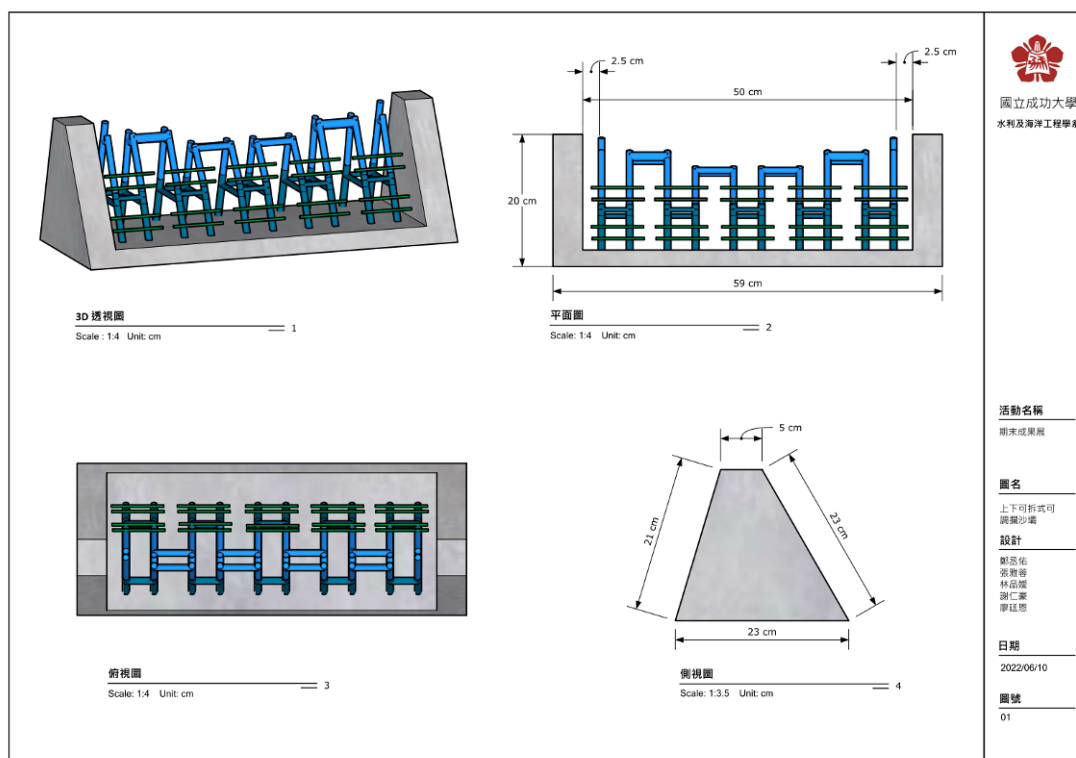


圖 4-9 第 5 組設計之兩種可調式鋼管壩。

第 6 組之作品

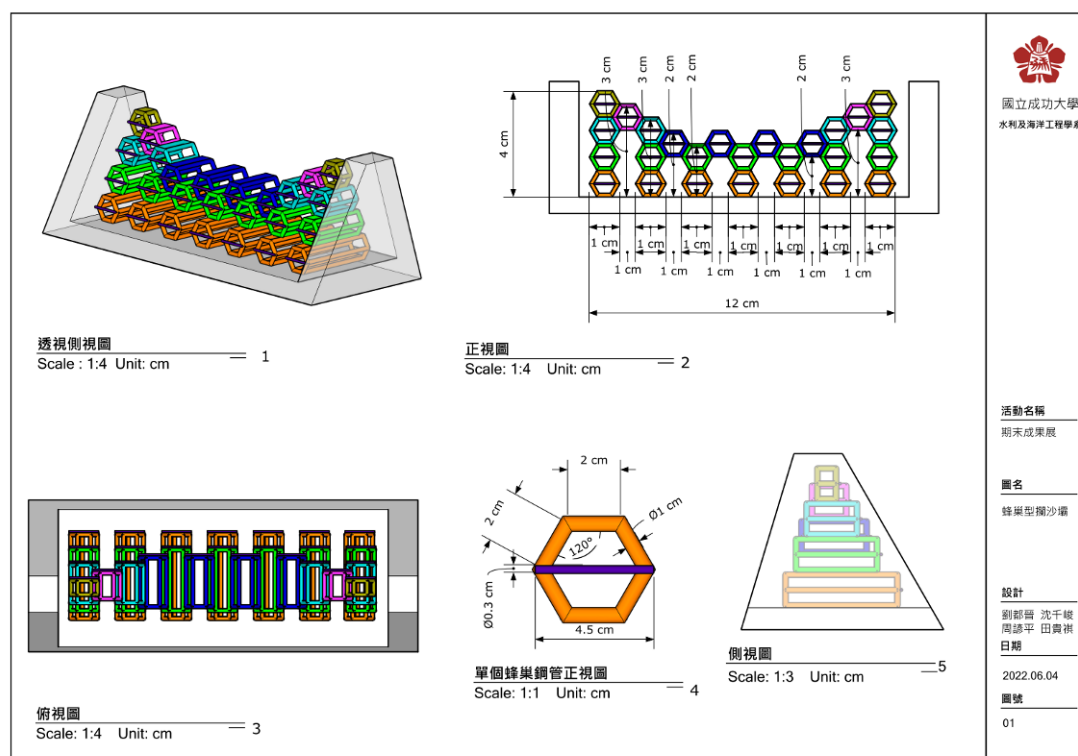
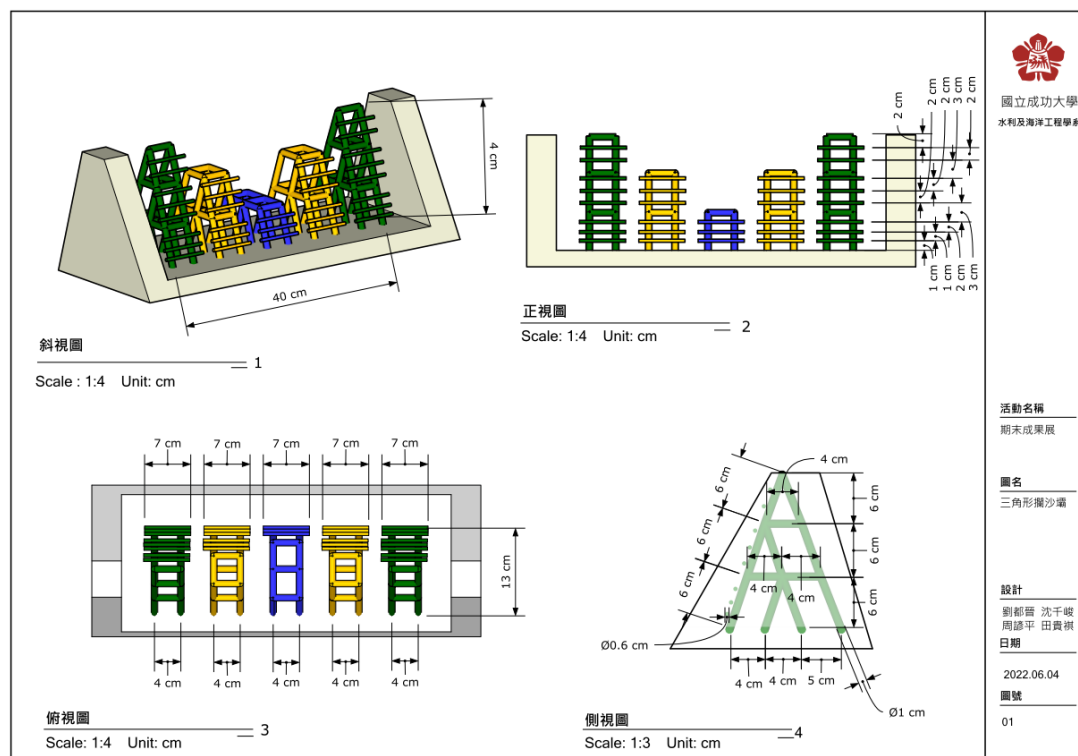


圖 4-10 第 6 組設計之兩種可調式鋼管壩。

(3) 優選作品之設計理念分析與說明:

第六組同學設計之第 2 件作品於期末成果發表會中，獲得最多評審委員的好評，兼具創新設計與實務可行性，說明如下:

(a) 正六角形結構在能重複組合的形狀中，容積為最大，能夠節省鋼管材料及減輕壩體重量。在力學方面，重複推疊可使受力分散至各方向，達到高承重的結構效果(圖 4-11)。

(b) 以蜂巢六角形結構為參考，由下往上、由長至短堆疊而成，使底部的耐重提高以穩固壩體。在面對上游處皆加裝可拆式橫材以攔阻更細小之泥沙或漂流木。為了使結構更加穩固，在最上方皆用六角結構互相連接(圖 4-12)。

(c) 整體結構由下至上總共分六層。六角形可調式鋼管壩，可依照上游來水來砂進行調節、逐層拆壩(圖 4-13)。

(d) 可調式鋼管壩具有微笑曲線設計，可將土砂導流至河道中心(圖 4-14)。

(e) 上游端的橫材能在第一時間阻擋大型漂流物和泥沙，六角形容積大的特點也能防止鋼管壩內部形成淤積，讓拆裝工程較容易進行。六角蜂巢單元模組化，也具有提高可行性之優勢。(圖 4-15)。

(f) 所有鋼管皆以扣環，搭配強化螺絲鎖固，上中下 6 層分開比各支鋼管分開容易。在工廠線將各 6 層組裝完成，現場再將 6 層鎖在一起。

屆時依照狀況決定要組立到第幾層(圖 4-16)。

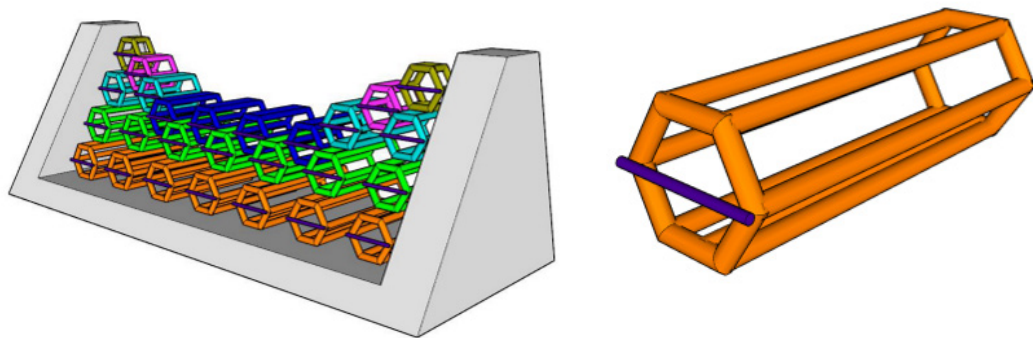


圖 4-11 可調式鋼管壩之優選作品之設計理念及動機。

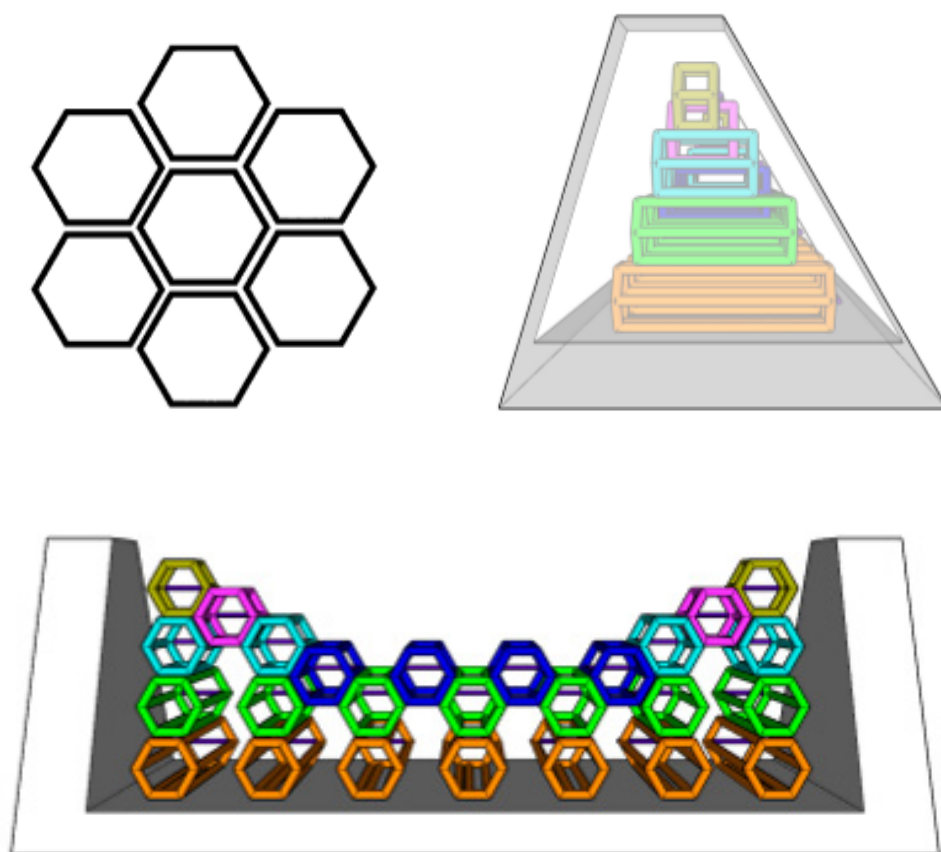


圖 4-12 以蜂巢六角結構為單元之新型態可調式鋼管壩。

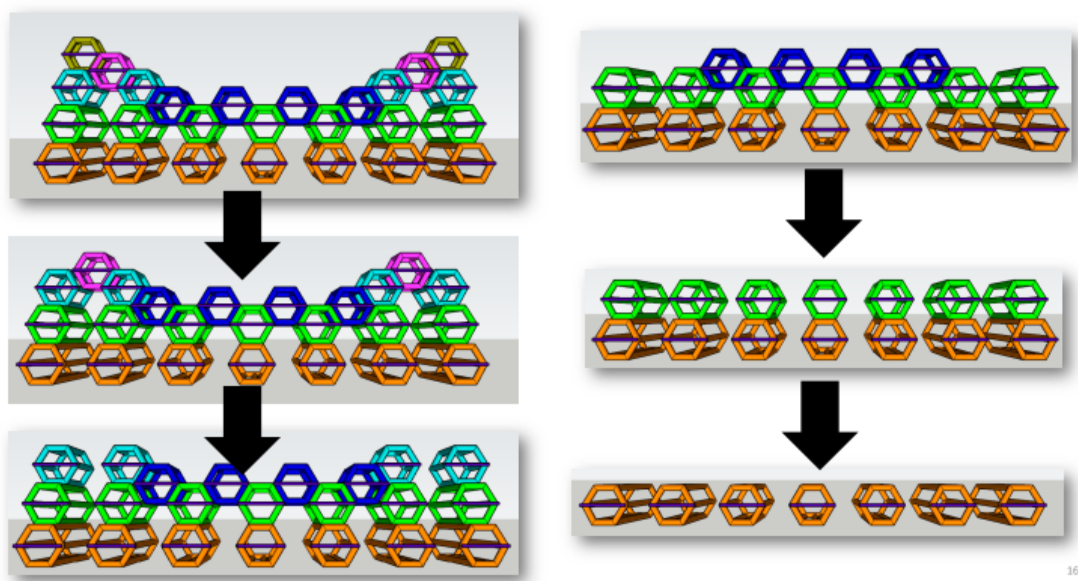


圖 4-13 新型態可調式鋼管壩依照上游土砂大小逐層拆除壩體單元之示意圖。

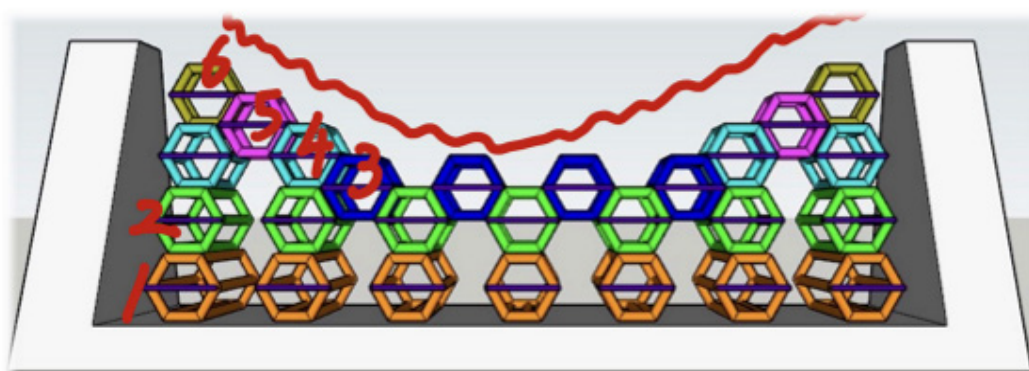


圖 4-14 新型態可調式鋼管壩具有微笑曲線設計，可將土砂導流至河道中心。

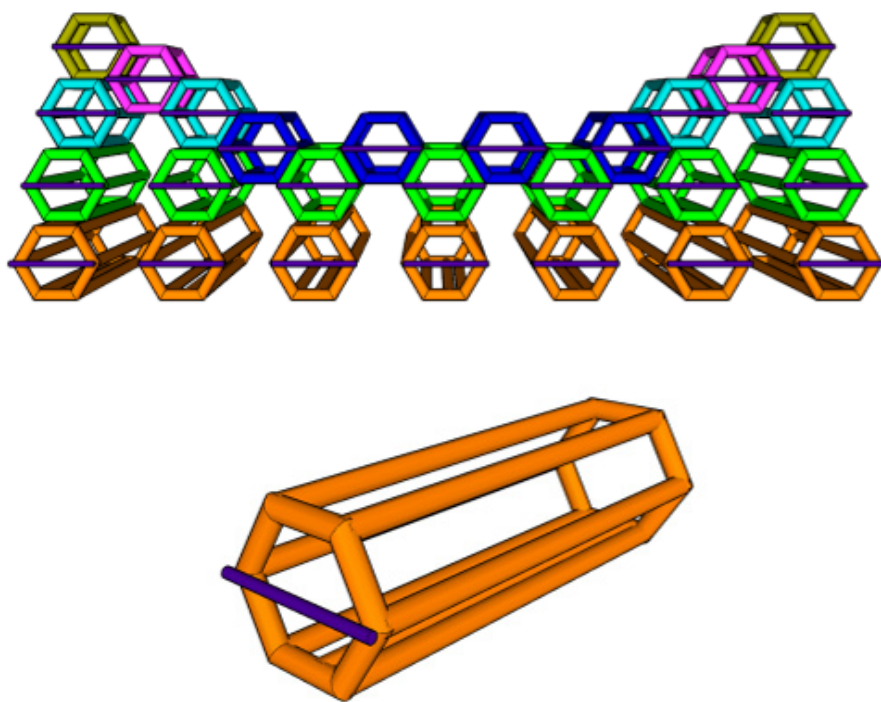


圖 4-15 粗縱材及細橫材之搭配增加了鋼管壩可調整之可行性。六角蜂巢單元模組化，也具有提高可行性之優勢。

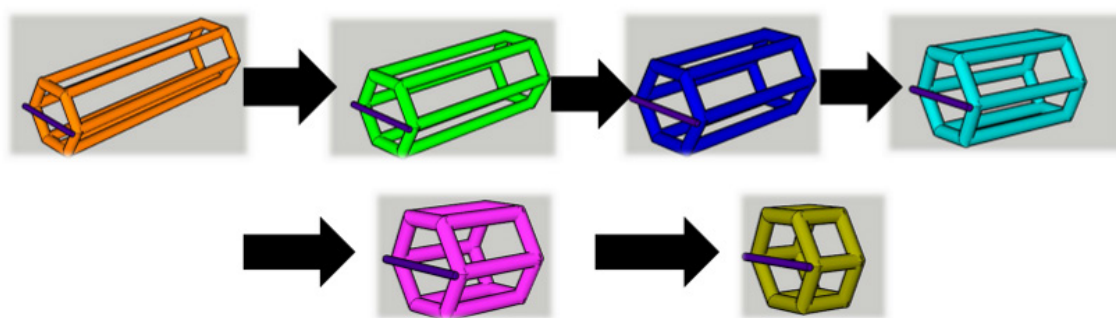


圖 4-16 六角蜂巢不同模組之拆裝方式說明。

(4) 水槽實驗與測量:

水槽實測是本課程規劃之重點，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之中。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。

為了爭取課程中讓學生作實驗的時間，本計畫使用過去修課同學已製作好的混凝土縮尺模型。挑選出3座可調式防砂壩之縮尺模型(圖4-17)。實驗之砂材是依據惠蓀林場上游蘭島溪一號防砂壩之泥沙粒徑(魯聲睿，2013)進行1:40之縮尺。選用四種泥沙粒徑依序為 $d_{max} = 28.1 \text{ mm}$ 、 $d_{95} = 17.8 \text{ mm}$ 、 $d_{50} = 12.5 \text{ mm}$ 及 $d_{25} = 9.5 \text{ mm}$ ，並以白色礫石為基底，加入彩色礫石做為視覺追蹤使用。

本計畫之壩體模型設計則是參考水山高九等(1985)針對各類型透過性防砂壩進行試驗研究之結果，建議 $b/d_{max} < 1.5 \sim 2.0$ ，其中 b 為壩體開口寬度， d_{max} 為泥沙最大粒徑。因為 d_{max} 在天然河川中屬於少數，因此本實驗以 d_{95} 代替 d_{max} 。再以1:40之比例進行縮尺實驗。實驗參數設定如表4-1，而每種模型採用不同的拆壩方式，如表4-2。各組學生選定要執行之縮尺實驗後，規劃拆壩方式，以探討不同拆壩

順序對於淤滿後的可調式鋼管壩上游之地形改變，並估算泥沙運移體積變化率。本計畫共完成 6 組定量實驗，每組實驗都分成三個階段。

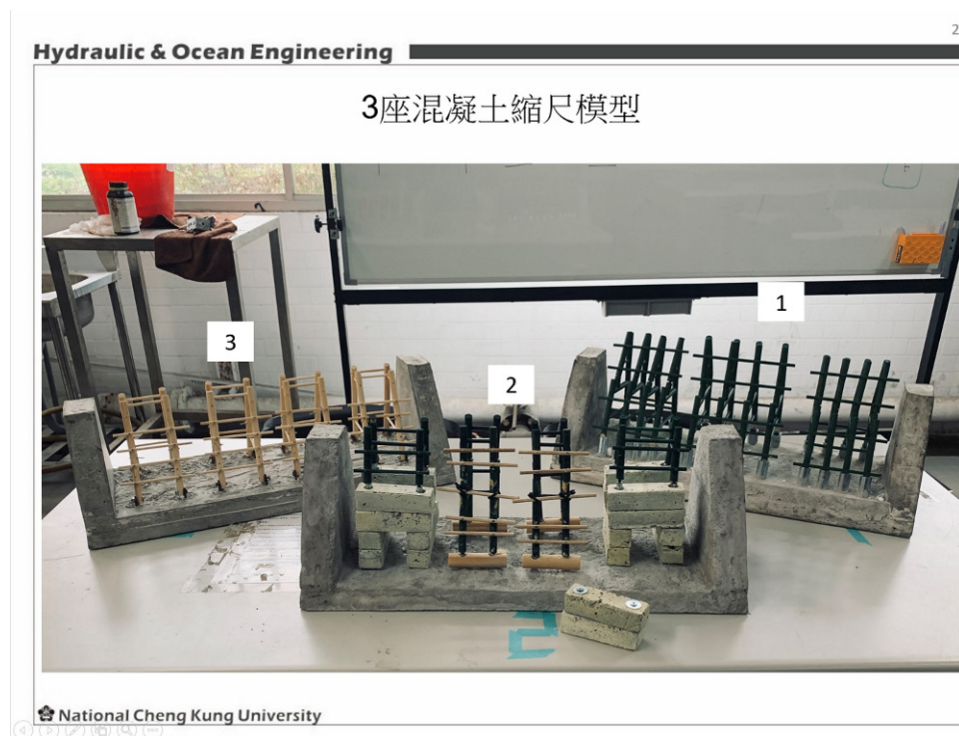


圖 4-17 實驗使用之 3 座可調式鋼管壩之混凝土縮尺模型。

表 4-1 實驗參數對照表

Run	坡度 (degree)	坡度 (%)	水流量 (cms)	供沙量 (m³)	地形高程堆積量			DoDs	
					(m³)			(m³)	
					起始 地形	拆壩前	拆壩後	拆壩前	拆壩後
1	8	0.1405	0.005	0.025	0.01251	0.03599	0.02542	0.02348	-0.01057
2	8	0.1405	0.005	0.028	0.01353	0.04034	0.02985	0.02680	-0.01049
3	8	0.1405	0.005	0.02	0.01057	0.02841	0.02389	0.01784	-0.00452
4	8	0.1405	0.005	0.02	0.01042	0.02881	0.02296	0.01840	-0.00586
5	8	0.1405	0.005	0.02	0.01151	0.03066	0.02292	0.01915	-0.00775
6	8	0.1405	0.005	0.02	0.01178	0.02807	0.01696	0.01629	-0.01111

表 4-2 可調式鋼管壩之拆除模式對照表

Run	鋼管壩拆除模式	鋼管壩數量		橫材數量	
		拆壩前	拆壩後	拆壩前	拆壩後
1	完全拆除中央鋼管壩	3	2	12	8
2	完全拆除左岸鋼管壩	3	2	12	8
3	完全拆除中央偏右岸鋼管壩	4	3	14	9
4	完全拆除左岸鋼管壩	4	3	14	12
5	完全拆除右岸鋼管壩	4	3	16	12
6	完全拆除中央偏左岸鋼管壩	4	3	16	12

今年 5 月疫情嚴重爆發，學生禁止到校，因此各組也無法執行計畫規劃之實驗。本計畫早已擬好無法由學生親自執行實驗之配套措施。於是，兩位課程助教便開始代替學生執行 6 組實驗，進行雷射地形掃描(圖 4-18)，獲取每個階段之高解析度(1 mm x 1mm)之數值高程模型資料(DEM)。實驗過程中皆有拍攝教學影片，本人以線上教學的方式介紹實驗配置、組數、操作、地形掃描技術及分析結果。實驗成果如下(圖 4-18 至圖 4-36)：

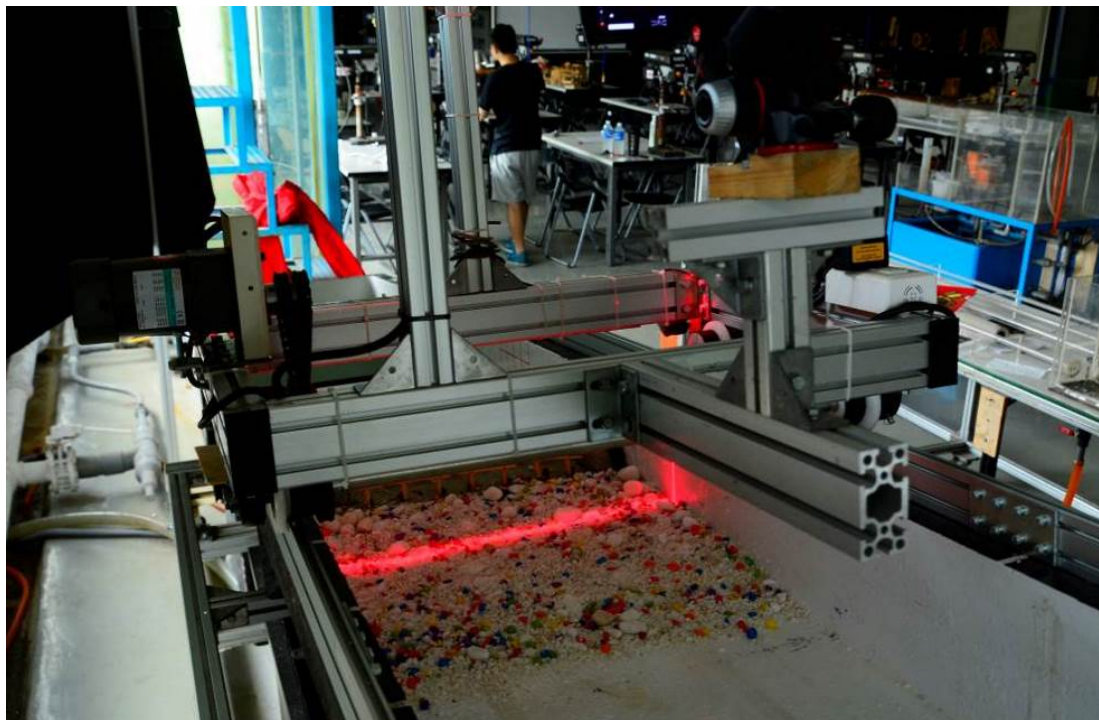


圖 4-18 本計畫建置之移動式雷射地形掃描系統。



圖 4-19 第 1 組實驗之起始地形條件。

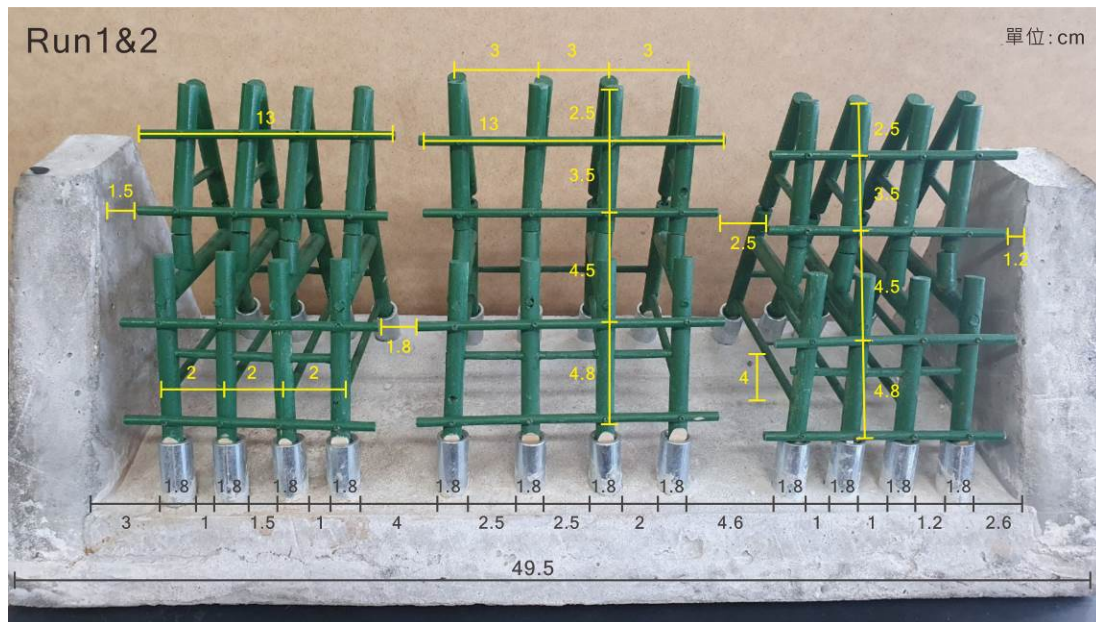


圖 4-20 第 1 組實驗之鋼管壩間距配置。

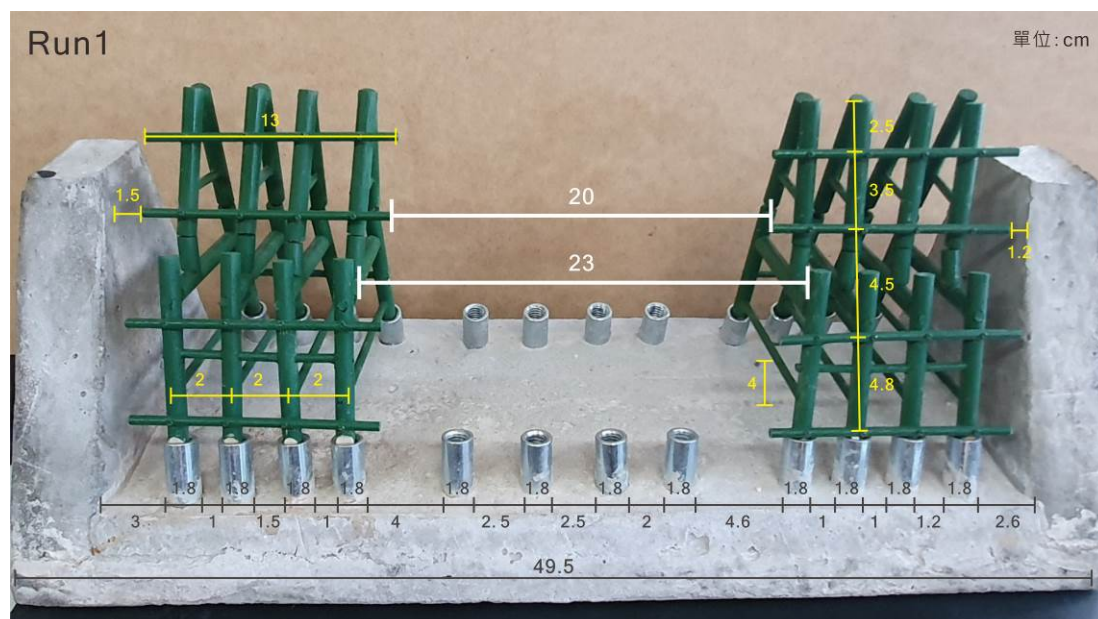


圖 4-21 第 1 組實驗拆壩後之間距。

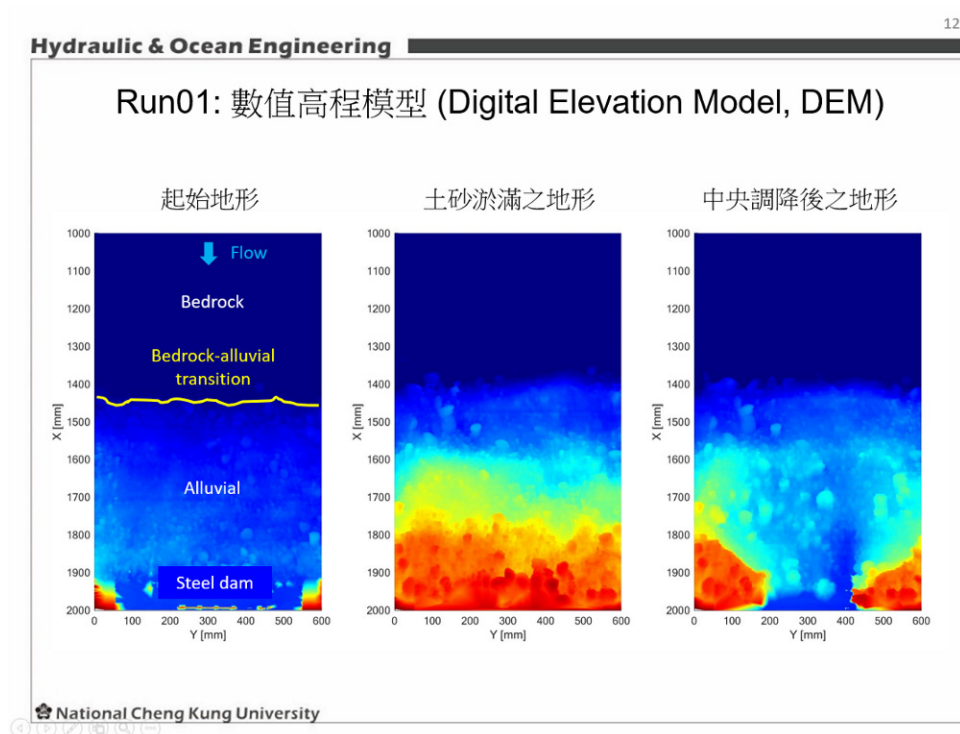
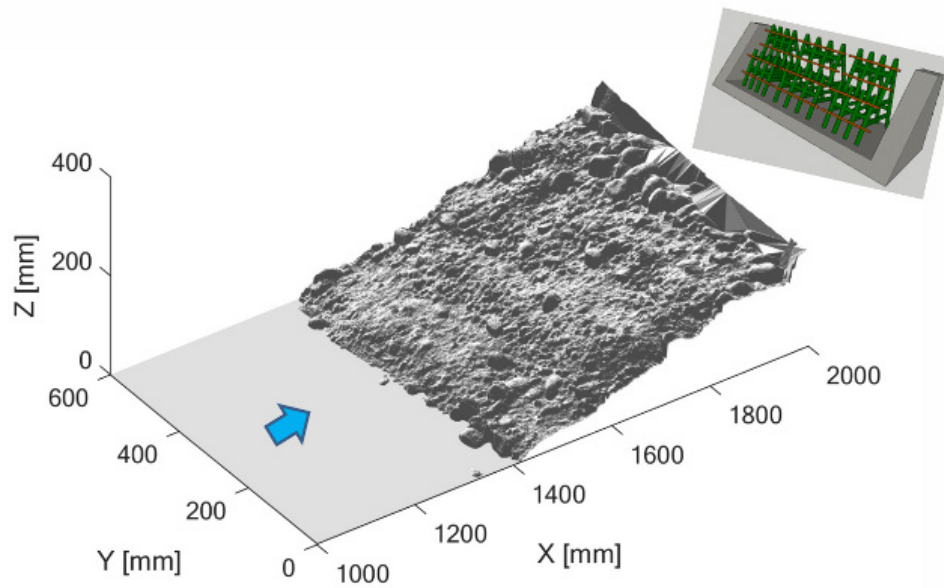


圖 4-22 第 1 組實驗於不同階段測得之 DEM。

Hillshaded DTM (stage01)



Hillshaded DTM (stage02)

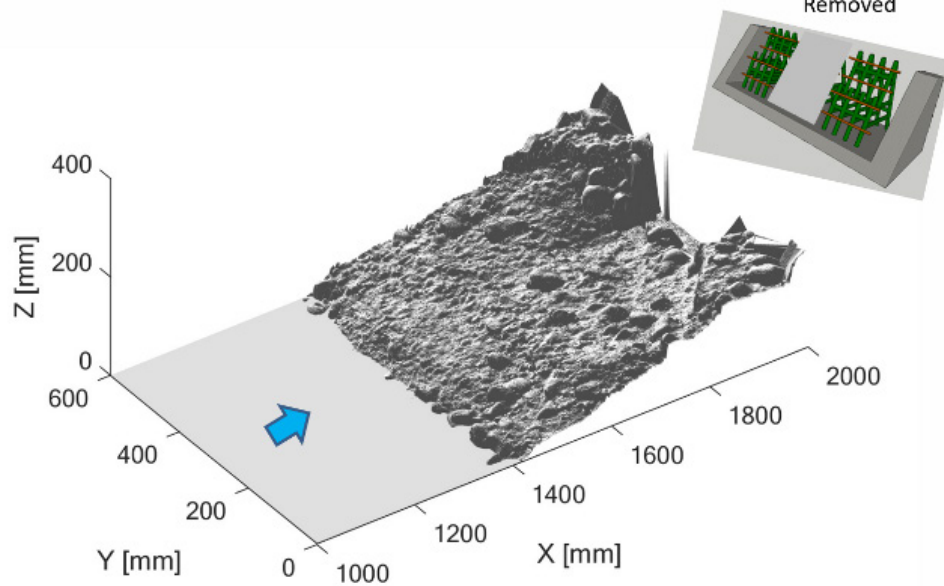


圖 4-23 第 1 組實驗之起始地形、淤滿後之地形及拆壩後之地形。

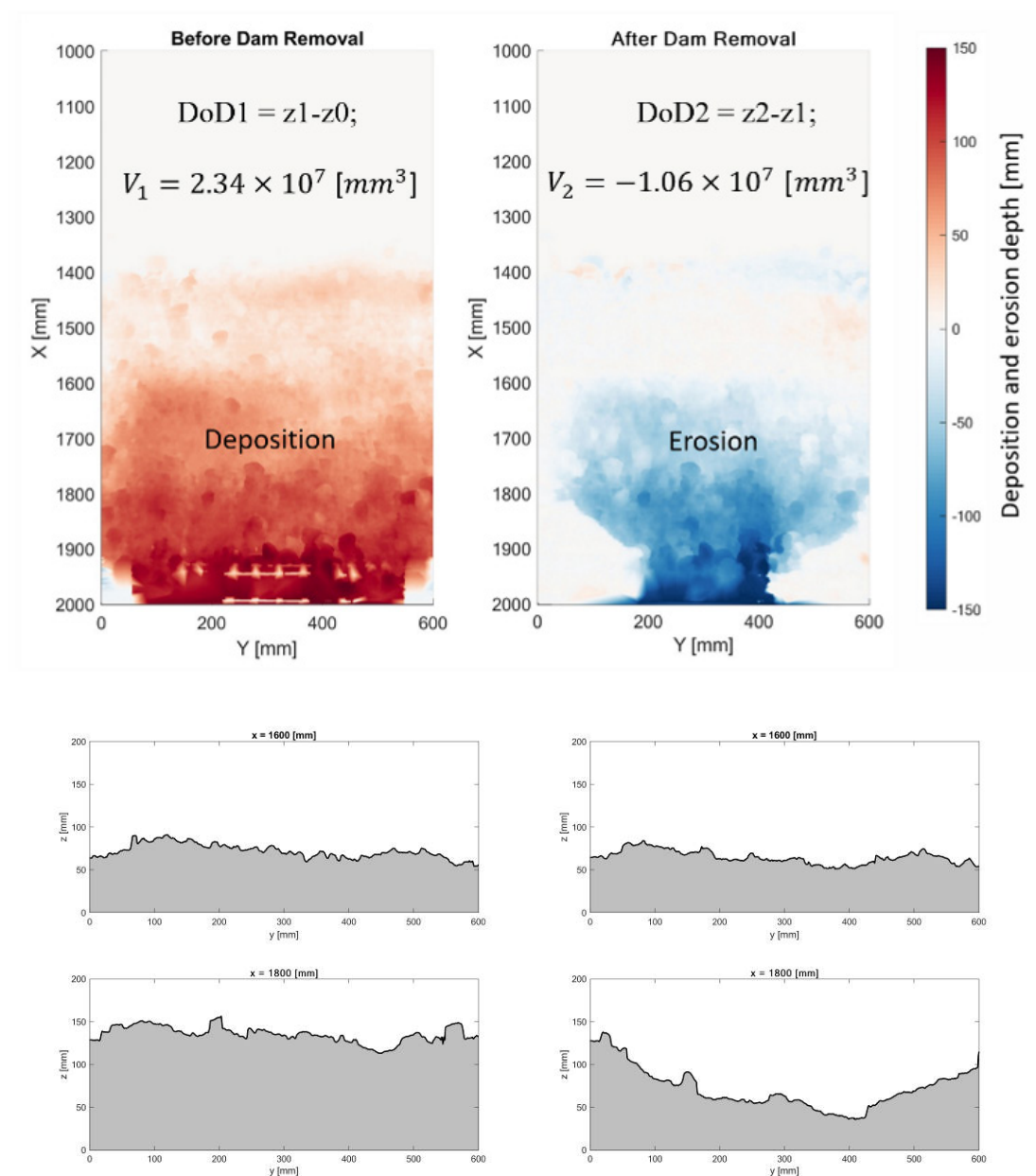


圖 4-24 (上) 第 1 組實驗之起始地形到淤滿後之泥沙體積變化及淤滿到拆壩後之泥沙體積變化；(下) 於 $x = 1600 \text{ mm}$ 及 $x = 1800 \text{ mm}$ 測得之橫斷面，展示出拆壩後泥沙被水流大幅帶走。



圖 4-25 第 2 組實驗之起始地形條件。

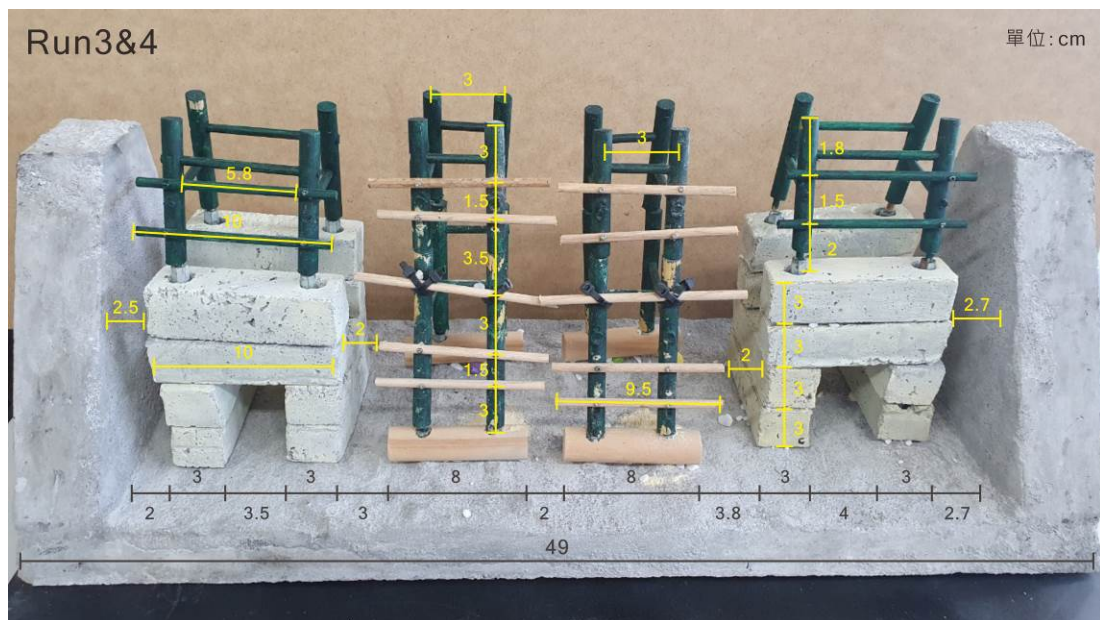
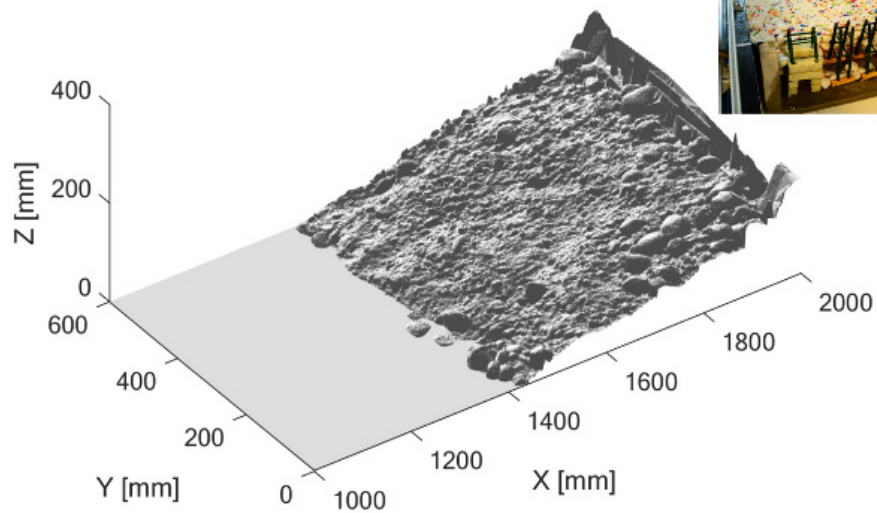


圖 4-26 第 2 組實驗之鋼管壩間距配置。

26

Hydraulic & Ocean Engineering

Hillshaded DTM (stage1)

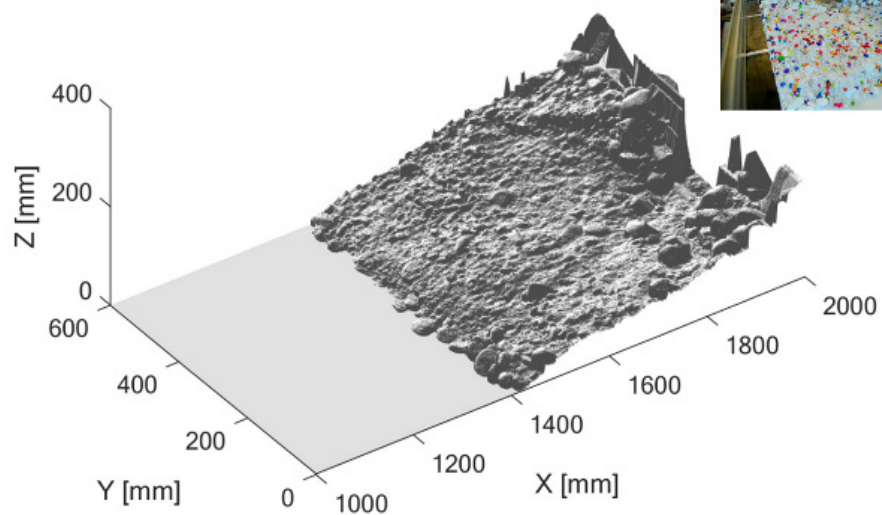


National Cheng Kung University

27

Hydraulic & Ocean Engineering

Hillshaded DTM (stage2)



National Cheng Kung University

圖 4-29 第 2 組實驗測得之地形變化及泥沙體積變化。

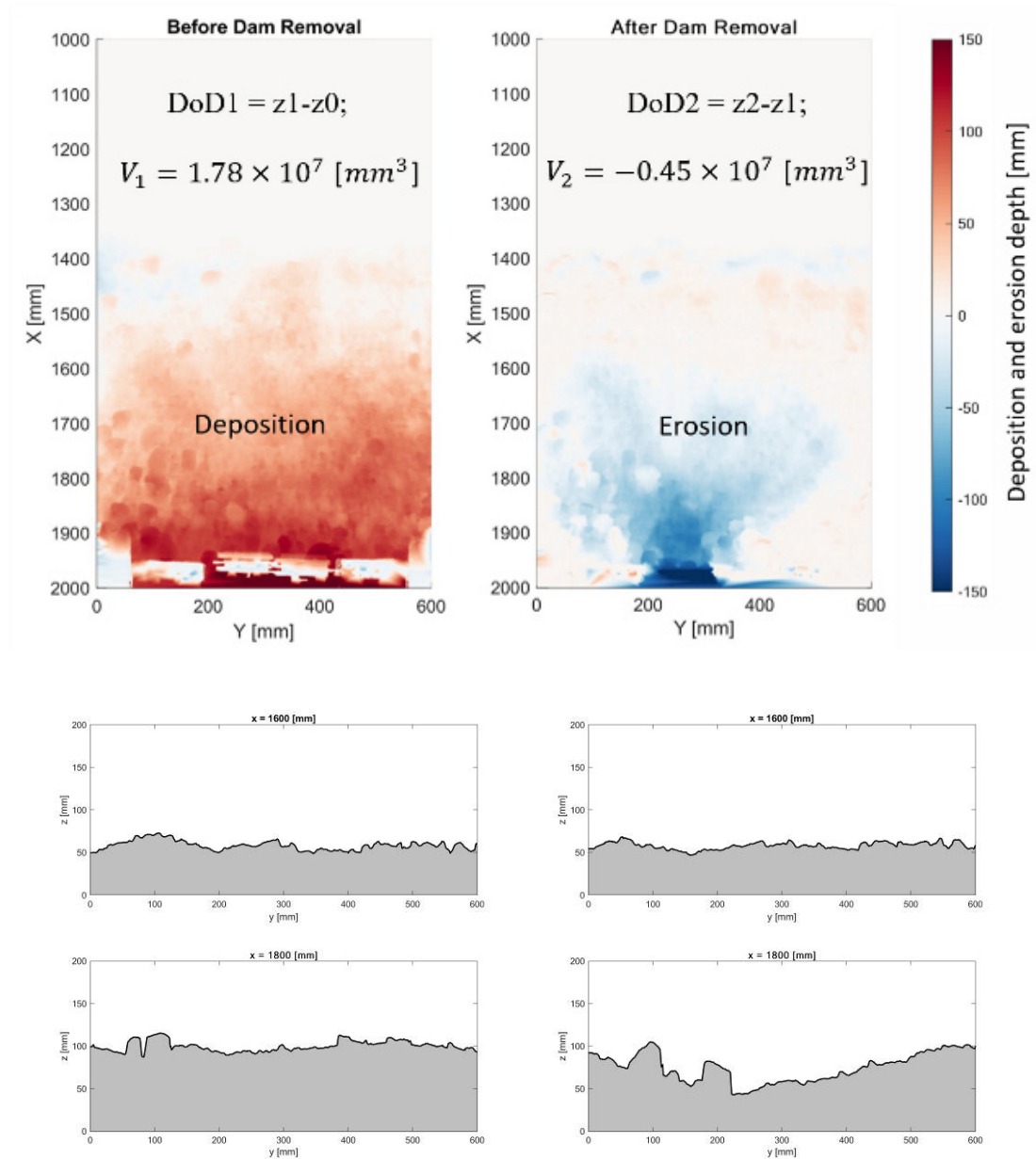


圖 4-30 (上) 第 2 組實驗之起始地形到淤滿後之泥沙體積變化及淤滿到拆壩後之泥沙體積變化；(下) 於 $x = 1600 \text{ mm}$ 及 $x = 1800 \text{ mm}$ 測得之橫斷面，展示出拆壩後泥沙被水流大幅帶走。



圖 4-31 第 3 組實驗之起始地形條件。

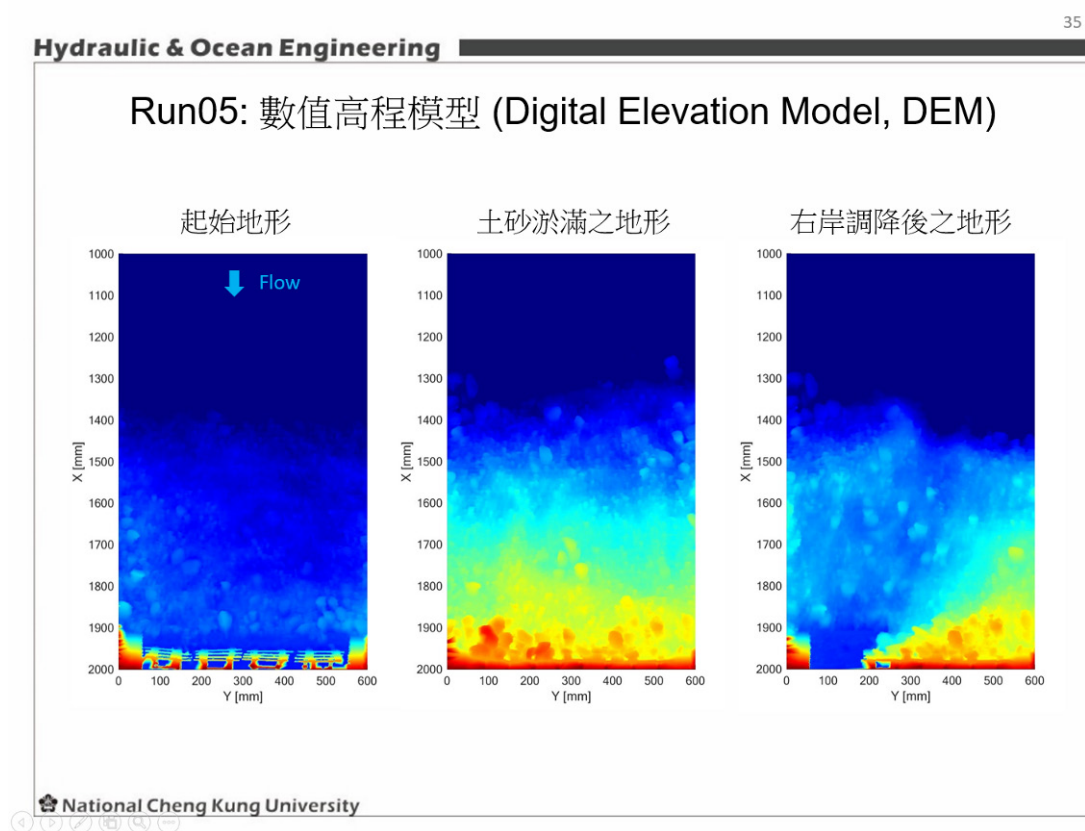


圖 4-32 第 3 組實驗於不同階段測得之 DEM。

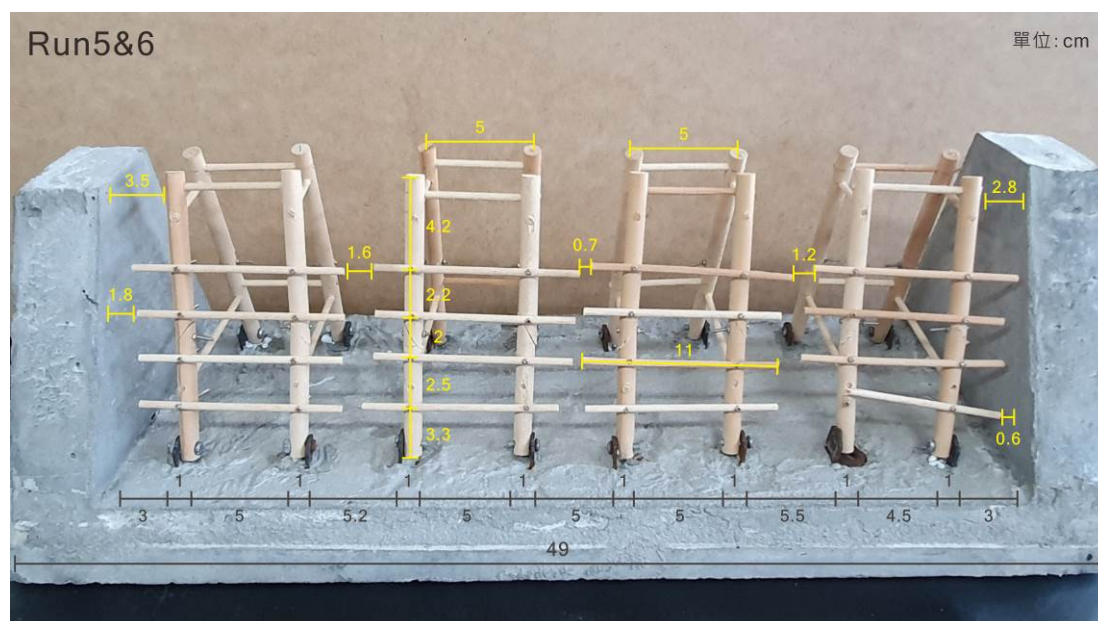


圖 4-33 第 3 組實驗之鋼管壩間距配置。

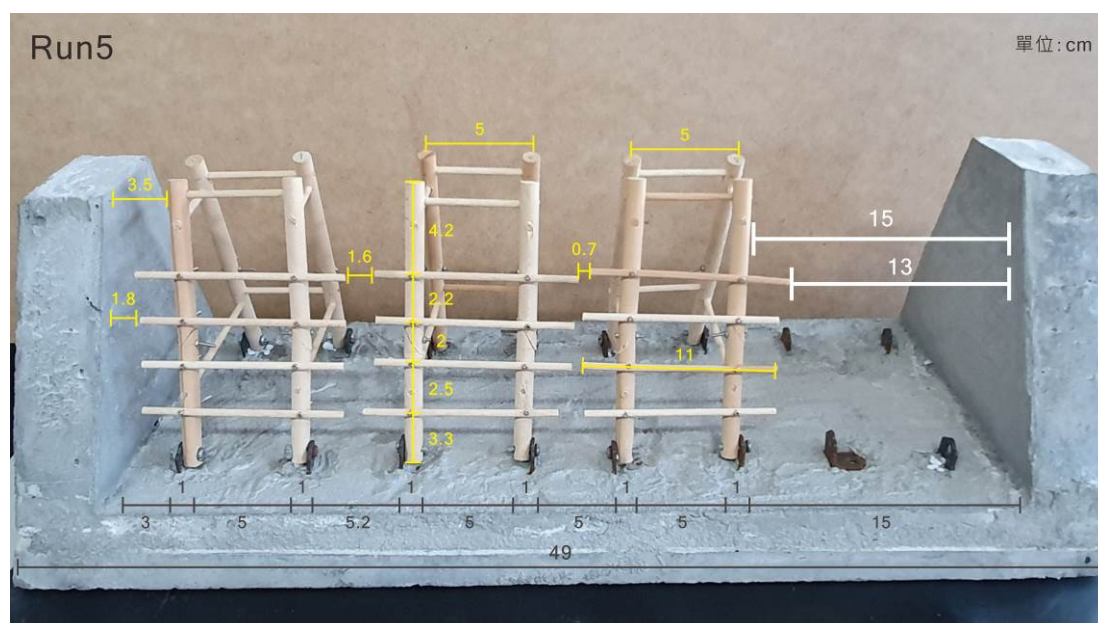
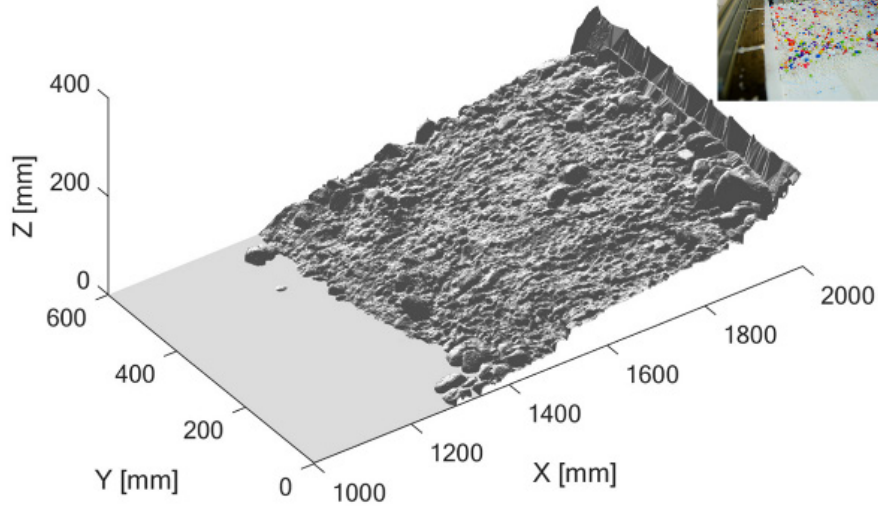


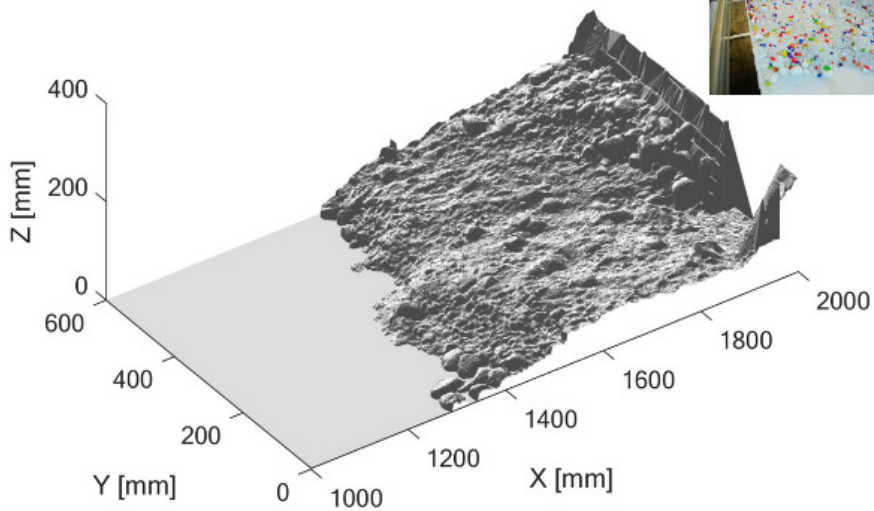
圖 4-34 第 3 組實驗拆壩後之間距。

Hillshaded DTM (stage1)



National Cheng Kung University

Hillshaded DTM (stage2)



National Cheng Kung University

圖 4-35 第 3 組實驗測得之地形變化及泥沙體積變化。

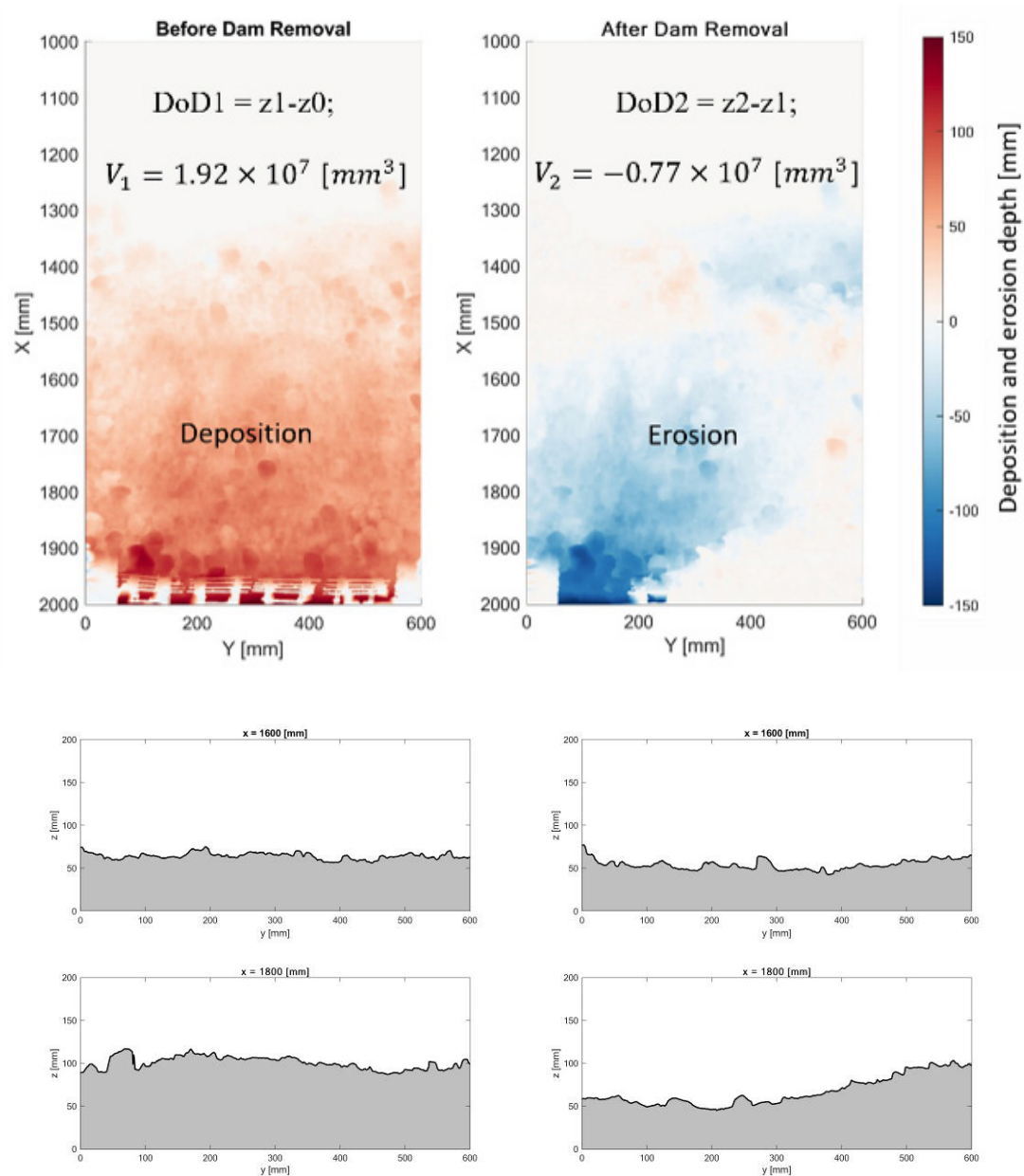


圖 4-36 (上) 第 3 組實驗之起始地形到淤滿後之泥沙體積變化及淤滿到拆壩後之泥沙體積變化；(下) 於 $x = 1600 \text{ mm}$ 及 $x = 1800 \text{ mm}$ 測得之橫斷面，展示出拆壩後泥沙被水流大幅帶走。

五、結論及建議

第一節 結論

本計畫以「可調式鋼管壩之縮尺模型:設計與實驗」為主題，透過創意實作教學模組，引導學生開發新型態之可調式鋼管壩，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。課程使用成大水利系之創客空間，分成 6 組進行(總人數為 30 人)，學生學習繪製經典之可調式鋼管壩之 3D 模型、將模型放入動床水槽中測試、實際測量地形改變，定量討論其土砂蓄積率。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，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。目前計畫按照規劃進度執行，已蒐集到具體案例，並整理製作出相關教材。除了帶領學生練習經典之可調式防砂壩之外，本計畫引導學生產出共 12 種不同之創新可調式鋼管壩之 3D 設計。本計畫亦完成 6 組縮尺實驗，建立出共 18 個高解析度之數值高程模型資料(DEM)。實驗結果顯示可調式鋼管壩從淤滿到拆除一個壩體單元後，皆可有效排出約 40-50 %之泥沙體積，在完全拆除所有壩體單元後，皆可以恢復到起始地形，結果皆認同會呼吸之防砂壩之設計理念。

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。在實驗組數規劃上，可以加入立柱和橫樑間距與泥砂粒徑之關係討論。未來若能有機會參訪可調式鋼管壩之工廠，了解實際之製作過程，將有助於更精確設計縮尺模型。另外，為來若有機會帶學生到現地參訪實際之可調式鋼管壩，亦將有助於提升學生之學習動機。

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. 陳樹群，(2021)，「調整型防砂壩之操作原則-蘭島溪二號橋梳子壩」，調整型防砂壩新思維研討會。
7. 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。
8. 許中立，(2021)，「知本溪調整型鋼構壩調整案例」，調整型防砂壩新思維研討會。
9. 張國欽，(2021)，「嘉義阿里山巴沙娜橋上下游野溪土砂調整案例分析」，調整型防砂壩新思維研討會。
10. 許文奕，(2021)，「北港溪集水區第 5 期國有林地整治工程」，調整型防砂壩新思維研討會。

11. 池田武穂，(2021)，「日本扇沢可動式防砂壩實例介紹」，調整型防砂壩新思維研討會。
12. 水山高久、下東久已、中西 宏、松村和樹，(1985)，「鋼管製透過型砂防ダムに對する土石流荷重に關する實驗的研究」，新砂防 No.37，第 30~34 頁。

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：		
1	3D設計對於可調式鋼管壩之優點為何。	優點為可更直覺地視覺化可調式鋼管壩之三維結構，思考鋼管壩三維的組裝及拆卸方式。另外，三維設計也可避免二維平面或立面思考時產生的死角，例如：在三維空間中，鋼管跟鋼管之間如何銜接等問題。
2	對於實驗之模型其力學機制，河床粒徑，沖淤變化...等，是否可以加以分析或是符合現況情境。	本計畫使用之粒徑是按照蘭島溪之現地泥沙粒徑以 1:40 的尺度進行縮尺。沖淤變化之分析成果如第四章之說明。
3	加入競賽，抗土石流衝擊之效益，或增加學生創意之發想。	謝謝委員的建議。競賽的活動可以納入下屆課程活動中執行。本計畫專注在 3D 數位設計及物理實驗之成果，強調的是拆壩後對於土砂的變化，而非抗土石流衝擊之效益。
4	本計畫比較偏向於PBL教材的開發與執行，如何將學生的創意發想反饋於水保設施的創意思維。	學生設計的創新可調式鋼管壩可以提供水保局對於防砂壩的樣式有更多元的選擇，不會只有類似蘭島溪的經典案例。本計畫產出共 12 種創新設計，成果如第四章之說明。

項次	審查意見	回覆辦理情形
5	建議可以配合現地參訪，好讓參與的學生可以有更務實的想法。	謝謝委員的建議。現地參訪的活動可以納入下屆課程活動中執行。目前課程中的實作活動已相當緊湊。
6	計畫執行期程與學校的學期時程並不相同，請問如何相互配合。	河工學是下學期的課程，上課時間是每年的2月到6月。正好是在計畫期間執行之內。按照本計畫的期程，課程結束後的7月至12月為彙整實作教學成果、檢討改進教學活動內容、改善實作環境及水槽、撰寫成果報告、準備水保局相關單位進行教育訓練。
7	本計畫期待的最終產物為何物？模型？圖資。	產物是創新的3D可調式鋼管壩之數位設計(共12種方案)、縮尺實體模型及實驗分析成果。更重要的是學生參與實作活動的過程，這部分無法量化，只能讓學生感受。
8	發想之可調式鋼管壩是否配合水文水理分析及安全性與操作性評估。	謝謝委員的建議。目前的課程沒有規劃要進行水理分析及安全性與操作性評估。這些內容更適合在其他的課程或計畫中執行。本計畫著重在可調式防砂壩之設計與縮尺模型，目前規劃的內容已相當緊湊。

項次	審查意見	回覆辦理情形
9	P2-8照片缺圖名。	已修正。
10	宜敘明學生學習效能評估的方法。	本課程除了基本作業之外，期末採用成果發表會的方式評量。共有3位評審參與評分及提供意見，是客觀且公平的。
11	P2-7圖2-9創新可調式鋼管壩宜增列水土保持技術規範或手冊的資料彙整。	謝謝委員的建議。本計畫有參考水土保持計畫手冊、水土保持單元叢書 01(非透過性防砂壩)、水土保持單元叢書 02(透過性防砂壩)等資料，授課期間皆有介紹相關技術規範。但就本人所知，「可調式鋼管壩」仍屬於研究開發階段，應尚未有詳細的設計規範。這也突顯了本計畫「創新」的價值，研究成果皆可供未來樹立規範之參考。
12	P2-1引導學生創新可調式鋼管壩製作教學上應加強土砂運移作用力，調節土砂功能及原理之基本知識。	謝謝委員的建議。本計畫於授課期間皆有介紹土砂運移作用力、各式防砂壩調節土砂之原理及基本知識。

項次	審查意見	回覆辦理情形
13	P2-7實驗觀察建議把流量，流速，水深等資料納入討論。	謝謝委員的建議。實驗之流量及流速確實重要，但是動床實驗中之定流量或變流量，亦或是水深之三維變化皆相當複雜，且變化莫測。目前的實驗配置與實驗手法，並沒有量測全域或特定斷面之流量或流速之目的。 本研究之目標更聚焦於不同階段土砂運移的體積變化。例如：防砂壩淤滿後的土砂體積，拆掉可調式鋼管壩部分單元後，其土砂重新分布的位置及量體變化。我們可以透過高解析度之地形掃描資料，幫助了解土砂變化率，如第四章成果報告中之說明。

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：		
1	P4-6 學生創意發想之可調式鋼管壩，請提供設計原則，設計依據(如立柱與橫樑間距與粒徑關係)。	謝謝委員指教。已於第四章新增設計原則與依據。關於立柱、橫樑間距與粒徑之關係請參考第四章之說明(p. 4-23 至 p. 4-28)。
2	各組設計模型請提供試驗數據以檢核其攔阻效能及可行性。	謝謝委員指教。已於第四章新增實驗數據對照表(表 4-1、表 4-2)及以每組實驗之拆壩模式，供檢核及推估可行性。
3	透過性調整型鋼構壩設計主要為有效阻攔砂石並延長壩體生命週期，創意發想應以此為主軸，避免偏離主題。	謝謝委員提點。在引導學生發想的第一階段，是讓各組學生盡情發揮創意，以激發出新型態之鋼管壩，確實有些組所發想的壩體設計偏離了主題。不過，在經過評圖之後，到繳交期末成果的過程中，每組都有修正評圖中委員的提問，盡可能達到以實際防砂壩之功能導向。不過太著重在實務功能，某種程度也會扼殺學生的創意，讓鋼管壩變得過於制式。兩者之拿捏可於每次執行實作活動中精進。

項次	審查意見	回覆辦理情形
4	P4-19 水槽實驗與量測 (1) 利用過去完成之3座縮尺模型試驗，請補充說明3座設計尺寸及差異、拆壩高度、位置。 (2) 3組縮尺模型試驗，當土砂淤滿而為拆壩，在同樣水流情況下，是否有土砂流出及流出量，可以進一步瞭解透過性防砂壩之功能性。 (3) 不同拆壩位置、寬度、深度，下游土砂淤積分佈狀況加以觀察分析。	關於這3座縮尺模型之尺寸、差異、拆壩高度、位置及土砂分佈狀況皆已新增到第四章之說明。不過本實驗未實際量測土砂出流量，只能由地形高程差異圖(DEM of Difference, DoD)進行推估侵蝕或堆積之總體積變化率。另外，本研究若要量測即時之土砂量，會受限於縮尺實驗之尺寸過小，水深過淺等困難。有關土砂之出流量測量應在大型的物理實驗中進行，才有機會透過侵入式或非侵入式之儀器測量。這已超出本研究之計畫內容。
5	實驗過程之DEM圖面太小、數字無法判讀、部分無圖例比對。	謝謝委員的建議。已在第四章中修正相關圖示及說明。
6	學生提出創意構造物及輔導為其實體案例值得鼓勵。	謝謝委員的鼓勵。本人會持續在成功大學推廣水土保持教育，培育更多水保人才。

項次	審查意見	回覆辦理情形
7	建議將相關可行設計提供本局參採，後續本局將與分局評估是否可落實於現地設計。	謝謝委員之正面鼓勵。本計畫之設計模型檔案皆可提供水保局作為參考。很期待有機會將設計理念於現地落實。

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：		
1	老師在課堂採類似黑松活動形式，讓學生分組創意發想不同可調式防砂壩構造，在教育宣導方面實在有吸引力，未來也可以與局裡工程實務面加以結合！	謝謝委員的鼓勵，非常期待與水保總局及各分局進一步合作，一同推廣「水保創客」運動，以達到實質宣傳水土保持理念與價值。
2	設計、試驗的成果相當有趣，是否有機會包裝成可操作的教案，作為教育宣導使用？	絕對可以！本人也有興趣。希望局裡有聯絡窗口可以進一步洽談未來合作細節。