
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

**Development of a teaching module for
integrating the downstream protection and
sand storage evaluation of a check dam
with creative implementation
(成果報告)**

執行單位：國立成功大學

執行期間：109 年 02 月 06 日至 109 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 109 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)

以創意實作融入防砂壩下游保護及貯砂功能評估之教學模組研發

摘要

本計畫之主要目的是針對「防砂壩下游沖刷保護之研究」及「透過性防砂壩貯砂功能之評估」研發創新之教學模組，讓學生從模型實作中，體會水流、土砂及水工結構物三者之間的互動關係。課程以「雙軸雙核」之概念結合理論與實作，分成兩群六組的方式進行。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，進而產出新型態之防砂壩下游保護工法之原型，並引導學生開創實用又美觀之透過性防砂壩，強化學生對防砂壩及保護工的理解。本計畫成果能創造出新型態之防砂壩及保護工，探討各種保護工法之適宜性及防砂壩之貯砂功能及抑制縱向沖刷功能之差異，以作為實務設計考量、強化應用價值。研發成果及實作經驗可提供水保局相關單位進行教育訓練。

關鍵詞：創意實作、透過性防砂壩、防砂壩下游保護工、教學模組

Development of a teaching module for integrating the downstream protection and sand storage evaluation of a check dam with creative implementation

Abstract

The main purpose of this project is to develop innovative teaching modules for “research on erosion protection of check dam downstream” and “evaluation of sand storage of permeable check dam”, so that students can experience water flow, soil sand and hydraulic structures from model implementation. The course combines theory and implementation. Students in the course can use creativity, test ideas, and modify models through the practical activities in the course, and then produce a prototype of a new type of check dam downstream protection method, and guide students to create a practical and beautiful permeable check dam, discussing its sand storage function. It is expected that the results of this project will create a new type of check dam, discuss the suitability of various protection methods, and discuss the functional differences of the check dam, such as accumulating sediment and inhibiting longitudinal erosion, as design considerations for practical purposes. Results can also provide relevant units for education and training.

Keywords: teaching module, check dam, creative implementation

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	1-7
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	2-4
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	3-3
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	4-4
第三節 期末成果發表會	4-29
第四節 優選作品之評論與說明	4-39
第五章 結論及建議	5-1
第一節 結論	5-1
第二節 建議	5-1
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-3

表次

表 3-1 計畫甘特圖	3-1
表 4-1 河工學之課程大綱	4-2

圖次

圖 1-1 水工結構物毀損之實際案例。(上) 桃園市復興區之巴陵壩 (北區水資源局, 2007); (下) 九份二山堰塞湖溢洪道之梳子壩 (照片來源: 自由時報, 2008, 記者佟振國攝).....	1-2
圖 1-2 水保局歷年獲獎案例 (水保局網站)	1-6
圖 1-3 教學模組開發之四大原則	1-8
圖 4-1 河工學使用 STEMLAB 開啟正向循環學習模式	4-6
圖 4-2 水利系二樓 STEAMLAB 串聯创客空間、流力實驗室及計算實驗室之空間關係圖	4-6
圖 4-3 里仁溪二期整治工程之現地照片與 SKETCHUP 3D 模型.....	4-7
圖 4-4 里仁溪二期工程之尺寸說明	4-8
圖 4-5 東西坑溪五期工程之現地照片與 SKETCHUP 3D 模型	4-9
圖 4-6 東西坑溪五期工程之尺寸說明	4-10
圖 4-7 水泥盆栽之紙板模型	4-12
圖 4-8 學生初次製作水泥作品之剪影	4-13
圖 4-9 灌漿工作所需之材料及注意事項	4-14
圖 4-10 水泥模型製作之工序	4-16
圖 4-11 水泥模型製作之工序.....	4-17
圖 4-12 研發課程實作中所開發出之水泥成品	4-18
圖 4-13 木工水車之設計圖	4-20
圖 4-14 課程中學生實作木工水車之過程	4-21

圖 4-15 課程使用創客空間中的雷射切割機加速建模過程.....	4-23
圖 4-16 課程助教開發混凝土縮尺模型之過程	4-24
圖 4-17 開發完成之東西坑溪五期工程 1:100 縮尺混凝土模型	4-25
圖 4-18 學生灌模之過程	4-27
圖 4-19 教學動床試驗水槽	4-28
圖 4-20 學生口頭報告設計理念	4-31
圖 4-21 透過型防砂壩 1:100 之縮尺模型展示	4-32
圖 4-22 下游保護工 1:100 之縮尺模型展示	4-33
圖 4-23 老師針對各組作品之設計講評	4-34
圖 4-24 學生於動床水槽中實驗之剪影	4-38
圖 4-25 里仁溪二期工程 (水保局台南分局).....	4-40
圖 4-26 本計畫繪製之里仁溪二期工程三維模型	4-41
圖 4-27 第 4 組學生設計之透過性防砂壩	4-42
圖 4-28 第 4 組學生之作品，扳成平面後，準備送進雷射切割機之設計圖	4-43
圖 4-29 第 4 組學生之混凝土縮尺模型及送進動床水槽中測試之過程	4-44
圖 4-30 第 1 組學生設計之下游保護工及其單元化之設計構想	4-45
圖 4-31 第 1 組學生之混凝土縮尺模型及送進動床水槽中測試之過程	4-46
圖 4-32 東西坑溪五期工程(水保局南投分局)及其三維模型	4-47

圖 4-33 第 3 組學生設計之三維模型及平面施工圖.....	4-48
圖 4-34 第 3 組學生之混凝土縮尺模型及送進動床水槽 中測試之過程	4-49
圖 4-35 河工學之期末教學意見反應表.....	4-50

第一章 前言

第一節 擬解決問題

在全球暖化及極端氣候的影響下，台灣山區多數河川及野溪具有強烈的侵蝕與堆積能力，颱風豪雨後往往導致地貌劇烈變化、毀損水工構造物，進而危害民眾生命財產安全。例如：桃園市復興區之巴陵壩於 2007 年韋帕颱風帶來的豪雨沖刷下潰壩，導致非透過性防砂壩之功能完全喪失(圖 1-1 上)(北區水資源局，2007)。韋帕颱風為大漢溪流域帶來豐沛降雨，其中在巴陵壩的大漢溪上游之集水區，包括桃園縣復興鄉及新竹縣尖石鄉等地的累積雨量達 444 毫米，導致巴陵壩右壩座基礎沖刷淘空塌陷，造成右壩體突然崩毀沖毀約 60 公尺，壩址上方約 3 公里範圍、長年承受淤積量達 1,047 萬立方公尺的泥砂也順勢沖到下游榮華壩。另一個案例為九份二山堰塞湖溢洪道之透過性梳子壩，於 2008 年卡玫基颱風豪雨後沖毀(圖 1-1 下)，農委會水土保持局緊急設置鋼軌樁穩固，避免災情擴大，同年度於下游再增設大型防砂壩，加強攔阻土石功能。在水保局的努力下，於溢洪道上，沿途設有多座梳子壩攔阻土石，並設置土石流監測預警系統，多年來確保下游南港村民、橋樑、道路安全。



圖 1-1 水工結構物毀損之實際案例。(上) 桃園市復興區之巴陵壩 (北區水資源局, 2007); (下) 九份二山堰塞湖溢洪道之梳子壩 (照片來源: 自由時報, 2008, 記者佟振國攝)

因此「水土保持」及「土石流防災」向下扎根的教育有其重要性及迫切性。然而，面對科技的日新月異，「滑世代」的來臨，學生每天花在手機、網路社群上的時間遠大於傳統的教科書本上。英國創意、文化與教育中心(CCE, Creativity, Culture and Education)執行長保羅·寇拉(Paul Collard)曾說：未來的世界不需要「找工作」的人，但需要「創造工作」的人。傳統的水土保持工程及水利工程科系正面臨著轉型的危機，我們迫切需要培育出，能創新、以跨領域的思維面對問題，並有勇氣將想法實踐的人才。

搭上世界頂尖大學對於新世代教育改革的洪流，水土保持工程及水利工程學系的老師們也在「精英主義派」及「快樂學習派」之間躊躇，但我們都知道訓練出來的學生若「只會考試」，他們在未來的社會中將沒有足夠的競爭力，也終將被社會淘汰。而這種傳統單向「你教我聽」的教學方式及「以考試為主要」的評量方式，已經讓學生漸漸從學習中逃走，進而導致放棄學習。《翻轉教育 2.0》林韋萱指出，近年來歐美國家積極在學校導入「真實的學習」(Authentic Learning) - 連結知識與生活，創造學生參與主導的機會，以及解決問題的能力 - 透過角色扮演、專題學習(Project Based Learning, PBL)、個案研討、參與社區活動、創作成品等，讓學生的學習結合真實生活的環境，會使傳授的知識更具意義。更重要的是，開放學生參與、主導、形成解決問題的能力，從「做中學」是燃起動機最有效的學習方式。

防砂壩(sabo dam; check dam)係指為攔蓄及調節溪流土砂、減緩溪床坡度、穩定流心、防止侵蝕、崩塌或抑止土石流所構築之橫向構造物，其目的為控制土砂生產與流失。防砂壩的主要特點是壩體高出溪床，使其與兩岸之間構成一個可貯蓄土砂的空間；當此貯砂空間蓄

積土砂後，會淤積形成新的溪床面，因新的溪床面坡度小於原溪床坡度，從而發揮其下功能，如：(1) 攔蓄土砂與減緩水流輸砂能力；(2) 抑制縱向沖刷；(3) 抑制橫向沖刷；(4) 控制流心。防砂壩又分成非透過性防砂壩(impermeable-type dam)及透過性防砂壩(permeable-type dam)。非透過性防砂壩可依據構造進行分類，如：重力式、半重力式、格框壩、拱壩與土壩等。而透過性壩係指在非透過性壩溢洪口處切出各種形狀的開口，並用混凝土或鋼構材料於開口處建構柱、樑等。平時一般挾砂水流所攜出的土砂礫石及水流可以自由穿過而不蓄積，使壩體上游可以維持適當之貯砂空間，以備土石流或高含砂流來臨時，可適時發揮攔阻土砂和延遲流出時間之效果，達到消減土石流規模之橫向構造物(水土保持手冊，2017; 水土保持單元叢書 01、02，2019)。

在水保局多年的努力下，豐富、多元又美觀的防砂壩設計屢屢獲獎(圖 1-2)，如：(1) 東西坑溪崩塌地及野溪治理五期工程，獲得 105 年(第 16 屆公共工程金質獎)、103-104 年度優良農業建設工程-治山防災類佳作；(2) 煤源二號橋上游野溪治理二期工程(又稱會呼吸的防砂壩，為中興大學陳樹群院長設計推廣)獲得 107 年度優良農業建設工程；(3) 龍蛟溪野溪整治五期工程，獲得 101 年(第 13 屆公共工程金質獎)；(4) 和中部落北側野溪上游土石防治工程，獲得 103 年(第 14 屆公共工程金質獎)。這些優秀的工程設計不僅能發揮其水利及防砂功能，亦是最佳的教學素材。





圖 1-2 水保局歷年獲獎案例 (水保局網站)

雖然已有許多高等教育單位投入實作教學，但針對以「創意實作」融入「水土保持」及「防災教育」的高教單位就相對較少。因此，我們急需開發這類型有趣的實作教學模組，以點燃學生學習的熱情。而

傳統的水土保持、水利工程學系，又該如何在土砂防災領域之中進行跨領域、科技、創新及實作的人才培育呢？又該如何針對「防砂壩下游沖刷保護」及「透過性防砂壩貯砂功能」兩大研究課題，進行發想、研發出具創意、美觀又實用之新工程技術呢？

第二節 計畫目標

誠如行政院農業委員會水土保持局 109 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 - (4)防砂壩下游沖刷保護之研究及(5)透過性防砂壩貯砂功能之評估」提及，防砂壩下游長期受水流沖刷影響導致基礎發生淘刷，一般採副壩、護坦、靜水池、拋塊石、消能塊等方式設計保護，擬透過試驗研究，探討各種保護工法之適宜性，供實務上應用。另外，擬針對透過性防砂壩與非透過性防砂壩之進行試驗研究，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針對「防砂壩下游沖刷保護之研究」及「透過性防砂壩貯砂功能之評估」研發創新之教學模組，讓學生從模型實作中，體會水流、土砂及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，進而產出新型態之防砂壩下游保護工法之原型(prototype)，並引導學生開創實用又美觀之透過性防砂壩，以討論其貯砂功能。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 108 學年第 2 學期(2020 年 2 月至 6 月)之「河工學」課程中執

行。本計畫主持人延續過去 6 年創意實作之教學經驗，正在大幅改造「河工學」既往的課堂講授及考試方式，改以小班制、專題實作及成果發表會的方式進行。課程中導入河工學理論、基礎河工設計、水土保持及防災等概念，以強化學生對「河道工程」、「水土保持」及「土石流防災」的重視。課程以「雙軸雙核」之概念結合理論與實作併行，針對「防砂壩下游沖刷保護」及「透過性防砂壩貯砂功能」分成兩群六組的方式進行，引導學生學習、思考、實作，以期待創造出新型態之防砂壩及保護工。本計畫主持人將秉持四大原則以開發全新之教學模組：(1) 以工程實際案例引發興趣；(2) 從理論與實作練習中強化學習動機；(3) 進行模型實驗測試，體會真實反應；(4) 開創新思維及附加價值及舉辦成果發表會(圖 1-3)。



圖 1-3 教學模組開發之四大原則

課程中藉由一連串發想、聯想、轉想、串想等活動設計，引導學生參與小組討論及模型製作，期末將以成果發表會取代傳統的期末考試，讓學生在營造出的實作環境中「真實學習」及「自發學習」。為達成此目的，本計畫已配合成大水利系新設置之「創客空間」

(Makerspace)進行實作教學，此教學空間為本計畫主持人於 2016 年開始規劃、2017 年積極打造、2018 年正式啟用。本計畫將秉持不斷精進課程的教學態度，激發學生從事並喜愛「動手做」，從「做中學」演練課堂技巧，培養解決問題的能力。目的是希望在水利工程及水土保持領域培育出更多「創客」(Maker)，以培養「勇於失敗」及「想得出來，就做得出來」的創客精神。

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) 檢討過去之教學模組以開發創新教學模組；(2) 研發工程案例之 3D 繪圖步驟及施工圖製作；(3) 研發工程案例之模型實作創新手法。以下為各研究方法之詳細說明：

一、檢討過去之教學模組以開發創新教學模組

在過去 6 年之教學經驗中，本計畫主持人已在水利系之創客空間中執行過多次課程實作及工作坊，實際教學案例如下：

(一) 工程圖學

本計畫主持人於每學年上學期，培育成大水利系大一新生，學習三維 SketchUp 之繪圖技巧。內容包含：基本工程圖繪圖技巧、比例尺、視覺化展示及施工圖排版等。學生於課程中需參與多次實作活動，例如：繪製施工圖、按圖施工、模型實作、測試模型等。課程以組為單位，每組學生透過發想點子、將點子繪製成設計圖、測試自己設計之模型於水環境中的反應，最後以期末成果展的方式，邀請專家學者們建議並鼓勵大一新生持續精進水利、水保之工程專業知識。本計畫已將過去在工程圖學中開發過的繪圖模組融入本學期之河工學教學內容之中，並針對「防砂壩下游沖刷保護」及「透過性防砂壩貯砂功能」兩大議題，進行繪圖技巧開發。

(二) 河工設計

2018 年在台大土木系卡艾瑋教授的帶領之下，促成了台大、成大兩校三系(土木、水系、建築)之跨校跨領域合作。課程對象為三系

大二之學生，以進行實質跨領域、具水環境整合思維之合作與培育。學期中執行「設計工作營」，讓三系的學生交流、合作。學期末執行「建造工作營」。本計畫於這學期之河工學中，擬規劃再次攜手台大土木系、成大建築系及本系(成大水利系)，規劃於5月初在成大水利系之創客空間進行設計工作營；於6月底將於台南市北門區之水晶教堂附近之基地，再次執行建造工作營，以打造出適合當地之1:1大型風力漂浮塔，並融入當地民情、提升休憩價值。

二、研發工程案例之3D繪圖步驟及施工圖製作

過去本計畫主持人針對成大水利系大一的學生開授之「工程圖學」，課程中都會導入最新的3D繪圖技巧，並應用不同的工程案例中。過程中引導學生學習相關之繪圖技巧及排版美學。在期末之成果展活動中，每組學生往往都能提出創新、令人驚豔的作品，實作能力較強的學生，也會將模型作品帶來成果展中，展示給專家學者們以輔助說明他們的設計理念，因此學生修完「工程圖學」都具有強烈的成就感，也學會了好用的3D繪圖工具。本計畫將開發一系列「透過性防砂壩」、「非透過性防砂壩」及「防砂壩下游保護工」之相關3D繪圖技巧，並研發適合在創客空間中實作之施工圖。一方面引導學生發想創新之防砂壩及保護工，一方面亦會強調施工之可行性。期待能產出新型態之防砂壩下游保護工法之原型，並引導學生設計具創意、美觀又實用之透過性防砂壩以討論其貯砂功能。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，以達到水土保持教育宣導之實質目的。

針對防砂壩下游長期受水流沖刷影響導致基礎發生淘刷，一般採

副壩、護坦、靜水池、拋塊石、消能塊等方式設計保護。本計畫將重新繪製有代表性之各式防砂壩 3D 模型，拆解複雜之工程，簡化成各式元件後，教導學生學習各元件之繪圖步驟，並繪按照實際比例繪製出工程施工圖。學習過程中也將介紹各式可能造成掏刷、破壞之機制，引導學生討論如何改善，並探討各種保護工法之適宜性，開創新的保護工設計，並供實務上應用。針對透過性防砂壩與非透過性防砂壩之工程實務案例，本計畫已參考過去之研究，正引導學生討論、設計創新之防砂壩，並注重蓄積土砂、減緩河床坡度及抑制縱向沖刷等功能差異進行創新設計。

三、研發工程案例之模型實作創新手法

創意模型實作是本計畫之研究重點，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，也將善用實驗室之實務經驗，在成大水利系之創客空間中執行。此空間備有完善的實作工作桌及五金工具，例如：鑽床、電動起機、釘槍、圓鋸機、切斷機、雷射切割機及電腦割字機等。本計畫已完成本學期設定之建模、灌模、拆模、打磨、養護等實作技巧，讓學生體會、學習新的施工技法。本計畫亦使用河工動床試驗水槽(4 m x 0.6 m x 0.2 m，可調整坡度)進行學生的模型測試。課程中已規劃多次實作活動，包含：使用木條、木板、壓克力、鋼絲、透水網、標準砂、石膏、混凝土等材料，打造出透過性防砂壩及下游保護工之縮尺模型，讓學生實際體驗物理模型與水、砂互動之反應，強化學習動機，並引導學生開創新型態之防砂壩原型，作為實務設計考量。

本計畫已將修課學生分成兩群六組進行以下兩個核心主題探討：

第 1 群 (3 組學生)：以防砂壩下游沖刷保護設計為主題

研究防砂壩下游長期受水流沖刷影響導致基礎發生淘刷，一般採副壩、護坦、靜水池、拋塊石、消能塊等方式設計保護，擬透過試驗研究，探討各種保護工法之適宜性，供實務上應用。

第 2 群 (3 組學生)：以透過性防砂壩貯砂功能之評估為主題

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。

第二節 工作執行步驟

本計畫將以一年期計畫進行，正在本學期(108 學年第 2 學期)(2020 年 2 月至 6 月)之「河工學」課程中，以成大水利系大二的學生為對象，針對「防砂壩下游沖刷保護」及「透過性防砂壩貯砂功能」，研發全新之「創意實作教學模組」。研究流程如下：

- (一) 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。
- (二) 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。
- (三) 開發各工程案例之 3D 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) 引導學生進行小組討論、發想創新點子。

- (六) 以「專題實作」進行創新設計與模型實測。
- (七) 舉辦「期末成果發表會」，邀請專家學者進行建議與講評。
- (八) 彙整創新實作教學成果，撰寫成果報告，分享點子和教學經驗。
- (九) 研發成果及實作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，目前已依照此進度表執行至 11 月。

表 3-1 計畫甘特圖

項目 年月	109 年 1 月	109 年 2 月	109 年 3 月	109 年 4 月	109 年 5 月	109 年 6 月	109 年 7 月	109 年 8 月	109 年 9 月	109 年 10 月	109 年 11 月	109 年 12 月
(1) 檢討過去之教學模組以開發新模組。	✓	✓										
(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。	✓	✓	✓									
(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。		✓	✓									
(4) 研發工程案例之 3D 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。				✓	✓	✓						

(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。				✓	✓	✓						
(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。							✓	✓	✓			
(8) 彙整教學及創新成果，撰寫成果報告，分享創意教學經驗。										✓	✓	✓
(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	20	28	44	56	64	72	76	80	84	92	100

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，已按照規劃進度完成以下工作項目：

- (1) 檢討過去之教學模組以開發新模組。
- (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。
- (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。
- (4) 研發工程案例之 3D 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。
- (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。
- (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。
- (8) 彙整教學及創新成果，撰寫成果報告，分享創意教學經驗。

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「防砂壩下游沖刷保護之研究」及「透過性防砂壩貯砂功能之評估」兩大議題，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。課程將學生分成兩群六組的方式進行，引導學生學習、思考、實作，以期待創造出新型態之防砂壩及保護工。課程大綱如表 4-1。

表 4-1 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	河川概述、分組(兩群六組)	講授	3
2	河川概述	講授	3
3	河川工程：堤防工程、主題發想活動	講授/實習	3
4	河川工程：護岸工程	講授	3
5	河川工程：丁壩工程	講授	3
6	河川工程：防砂壩	講授	3
7	主題實作 (一)：水泥工法	實習	3
8	SketchUp 3D 設計(一)：以里仁溪二期工程為例	講授/實習	3
9	主題實作 (二)：木工工法	實習	3
10	SketchUp 3D 設計(二)：以東西坑溪五期工程為例	講授/實習	3
11	河川工程：固床工 主題實作 (三)：各組進行 SketchUp 模型繪製與討論	講授/實習	3
12	主題實作 (四)：完成 SketchUp 設計、報告設計理念及功能	實習	3
13	主題實作 (四)：雷射切割機簡介、製作施工	實習	3

	圖、安排施工步驟 (繳交設計檔案及施工圖)		
14	主題實作 (五): 製作防砂壩及固床工之紙板模型	實習	3
15	主題實作 (五): 混凝土灌模	實習	3
16	主題實作 (五): 脫模、打磨、修整	實習	3
17	主題實作 (六): 設計作品說明文件、美化、故事化作品	實習	3
18	期末成果發表會: 口頭報告設計理念、講解施工圖、進行水槽測試、現場討論水流互動效果	實習	3
學習評量方法: 課堂作業 20%，實作練習 40%，學習態度 10%，期末成果發表會 30%。			

備註:

主題實作 (一): 水泥工法練習

練習案例: 水泥花盆、水泥容器, 練習配比、攪拌混凝土、灌模、拆模

主題實作 (二): 木工技法

練習案例: 木造水車, 練習使用帶鋸機、鑽台及電動起子機、鎖螺絲、木結構與水互動

主題實作 (三): 各組 SketchUp 模型設計

主題實作 (四): 設計製作模板、施工步驟、結合水泥、木工、金屬

主題實作 (五): 製作防砂壩及固床工縮尺模型、灌模、脫模、修整、養護

主題實作 (六): 設計作品說明文件、美化、故事化作品，以雷射機雕刻密底板，自製文字說明卡

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创客空間之五金工具，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。課程大綱也做出大幅度的調整，過去可能 18 週都是授課，其中有兩週是考試。不過本計畫主持人開授之河工學將單純授課的方式，濃縮到只有 7 週，剩下的 10 週是創意實作活動，還有 1 週是以期末成果發表會取代傳統的期末考試。

本課程已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) 以 SketchUp 3D 繪圖軟體繪製曾獲獎之水工結構物；(2) 水泥盆栽實作練習活動；(3) 木工水車實作活動；(4) 混凝土縮尺防砂壩及固床工實作活動。以上為本計畫主持人開授之河工學與過去的授課老師們最大的不同與改變。

本學期之河工學分成兩群六組，針對「防砂壩下游沖刷保護」及「透過性防砂壩貯砂功能」，引導學生學習、思考、實作，以期待創造出新型態之防砂壩及保護工。每組學生最終的目標是要在期末成果發表會上，介紹自己設計的保護工或透過性防砂壩，做出 1:100 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。本課程為了帶領每組學生都達成此目標，又搭上成大水利系正積極打造水利系專屬之 **STEM Lab** (Science, Technology, Engineering and Mathematic Laboratory)(圖 4-1)之列車，未來將串聯、整併流體力學實驗室(Fluid Mechanics Lab)、創客空間(Makerspace)及電腦教室(將更名為計算實驗室(Computation Lab))(圖 4-2)。以下針對本課程如何使用 STEM Lab 進行教學及實作活動進行詳細說明。

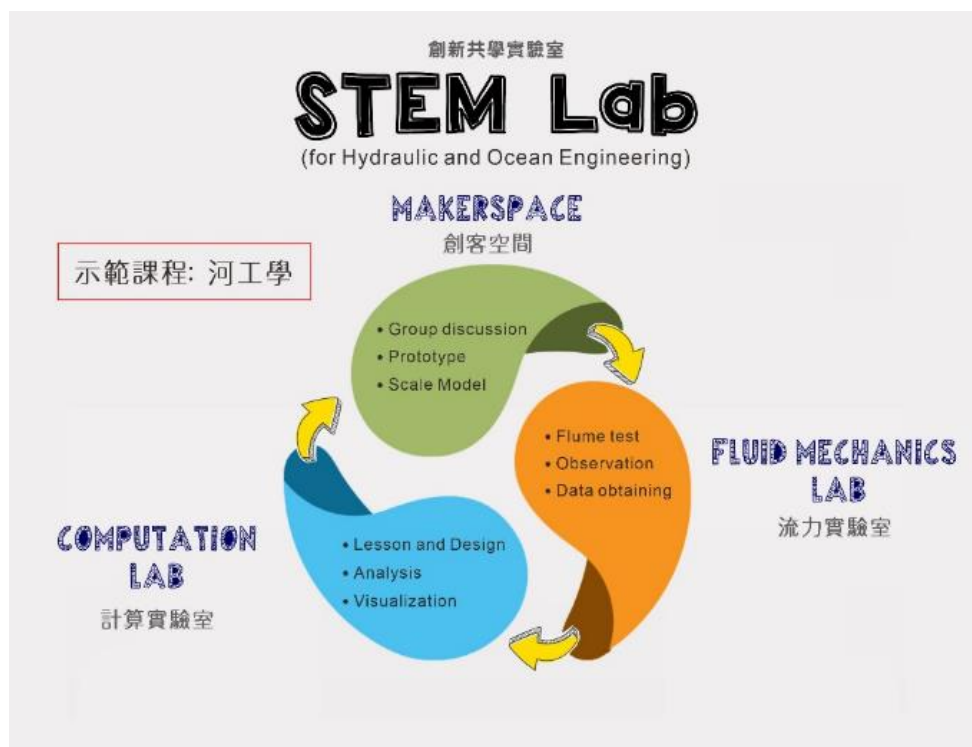


圖 4-1 河工學使用 STEM Lab 開啟正向循環學習模式

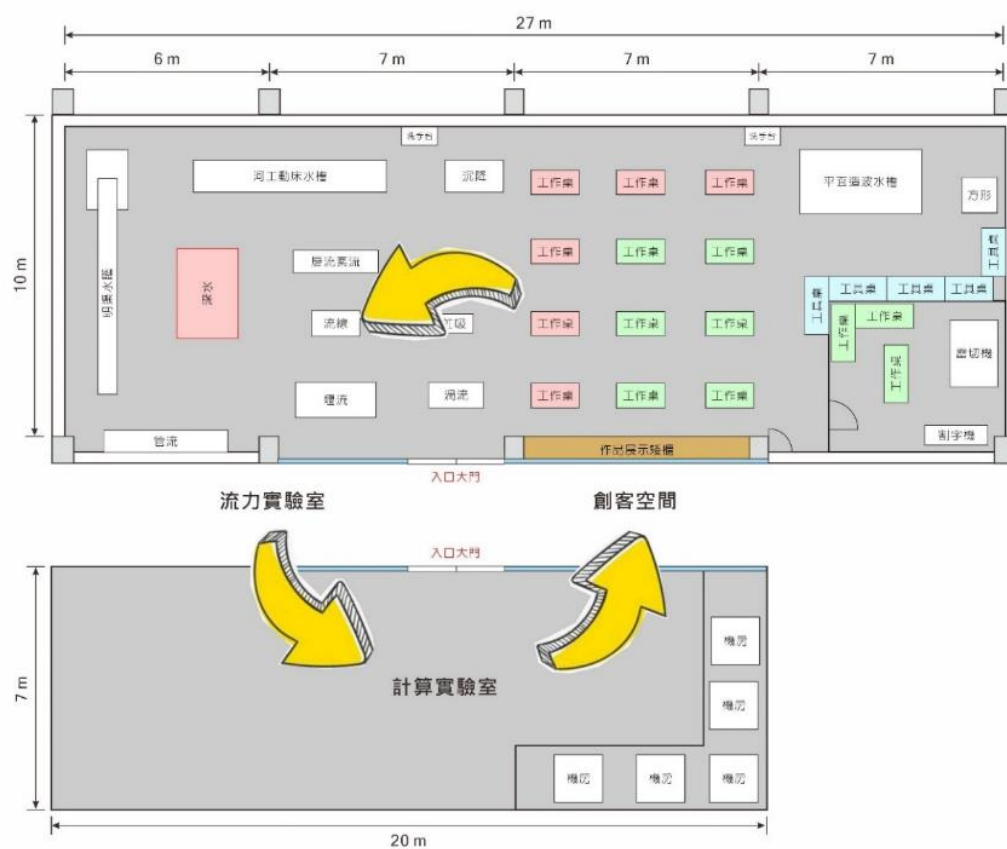


圖 4-2 水利系二樓 STEAM Lab 串聯創客空間、流力實驗室及計算實驗室之空間關係圖

a. 計算實驗室(Computation Lab)

在計算實驗室中，主要是以「授課」及「SketchUp 3D 建模」為主。由課程大綱中可以發現，本人將單純授課的時間濃縮到只有 7 週，並安排 4 週的時間，其中 2 週由本人親自帶學生以 SketchUp 繪製兩座獲獎之公共工程 3D 模型，分別為里仁溪二期整治工程(2016 年度農委會優良農建獎佳作)(圖 4-3 及圖 4-4)及東西坑溪五期工程(第 16 屆公共工程金質獎)(圖 4-5 及圖 4-6)，另外 2 週則是由每組學生逐步完成各組自己的 SketchUp 3D 模型設計，並輸出成比 1:100 之施工圖，待送進創客空間中之雷射切割機進行切割。

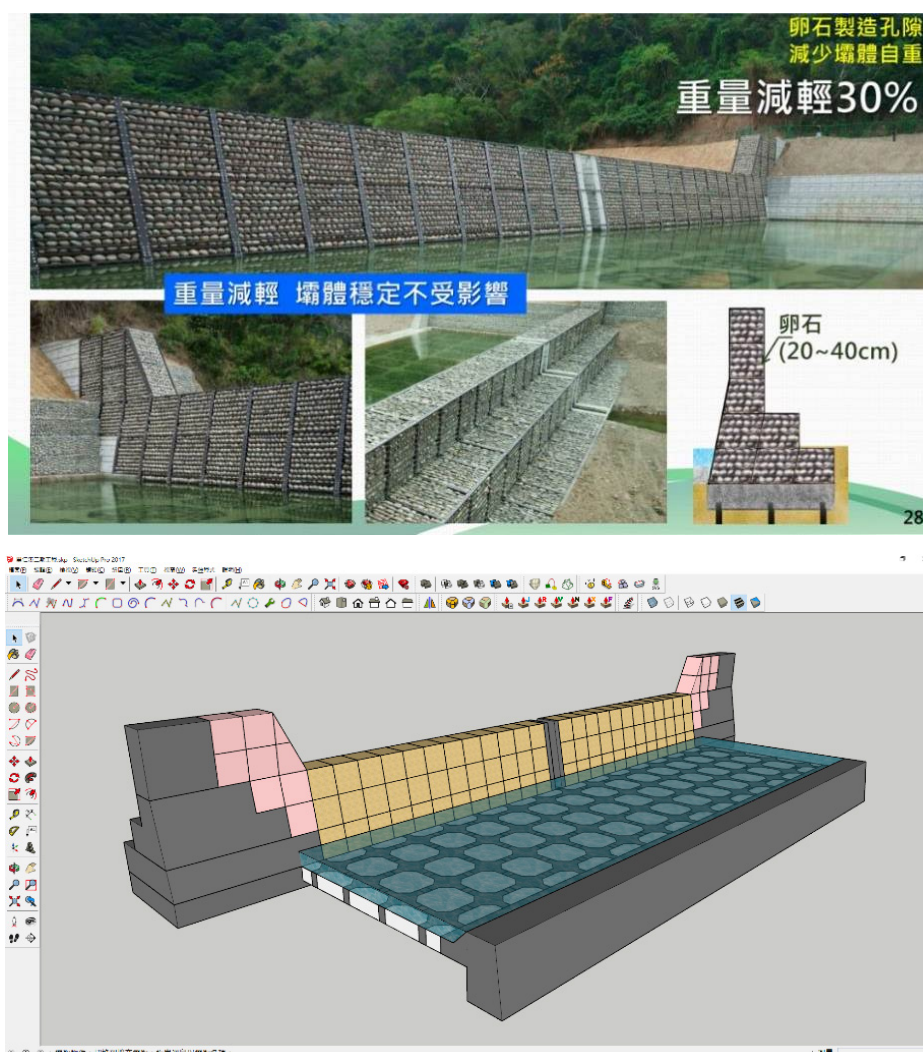
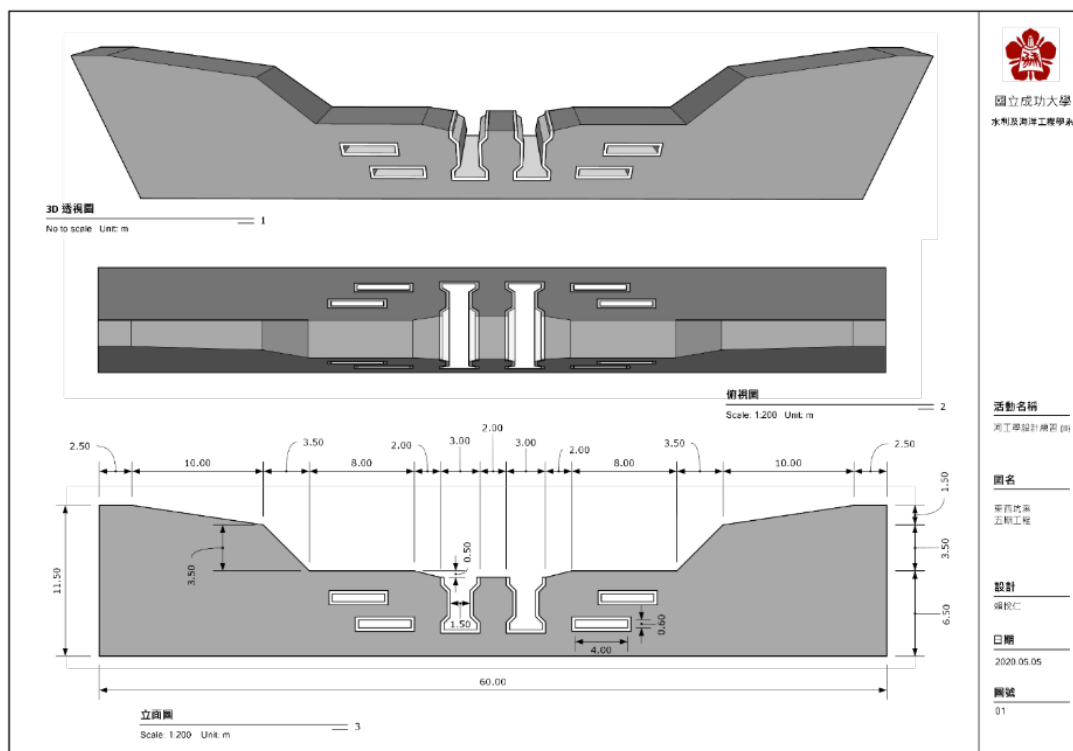


圖 4-3 里仁溪二期整治工程之現地照片與 SketchUp 3D 模型



圖 4-5 東西坑溪五期工程之現地照片與 SketchUp 3D 模型



國立成功大學
水利及海洋工程學系

活動名稱

河工學設計競賽 (H)

圖名

東西坑溪
五期工程

設計

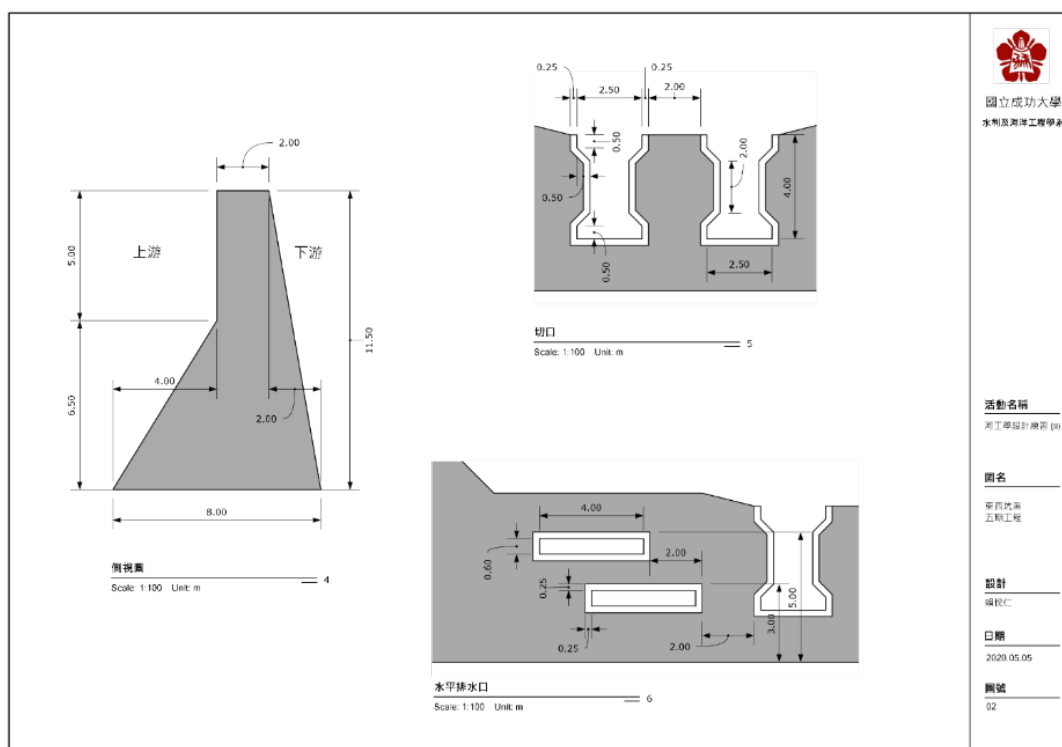
羅松仁

日期

2020.05.05

圖號

01



國立成功大學
水利及海洋工程學系

活動名稱

河工學設計競賽 (H)

圖名

東西坑溪
五期工程

設計

羅松仁

日期

2020.05.05

圖號

02

圖 4-6 東西坑溪五期工程之尺寸說明

b. 創客空間(Makerspace)

在創客空間中的實作活動，是本課程最精華的部份，也是學生最喜愛的部份。由課程大綱中可以發現，為了讓學生循序漸進，而不至於感受到學期目標太難、太大。本計畫主持人與課程助教花了非常大的心思在安排實作活動，共有 6 次「主題實作」，並以 7 週的時間完成。以下是實作的剪影及說明。

(1) 水泥盆栽實作課程

為了讓沒有做過水泥相關作品的學生，可以從零開始，了解水泥特性，並完成自己(第一件)的水泥作品。首先，將分割列印出來的幾何圖形，按照順序組合，並以紙膠帶將之黏貼固定在銅版紙上(圖 4-7)，再以美工刀切割出需要的幾何形狀，組裝成立體的幾何外型。紙板模型完成後，便進行水泥灌模作業(圖 4-8)，大部份學生都是第一次使用水泥製作模型。



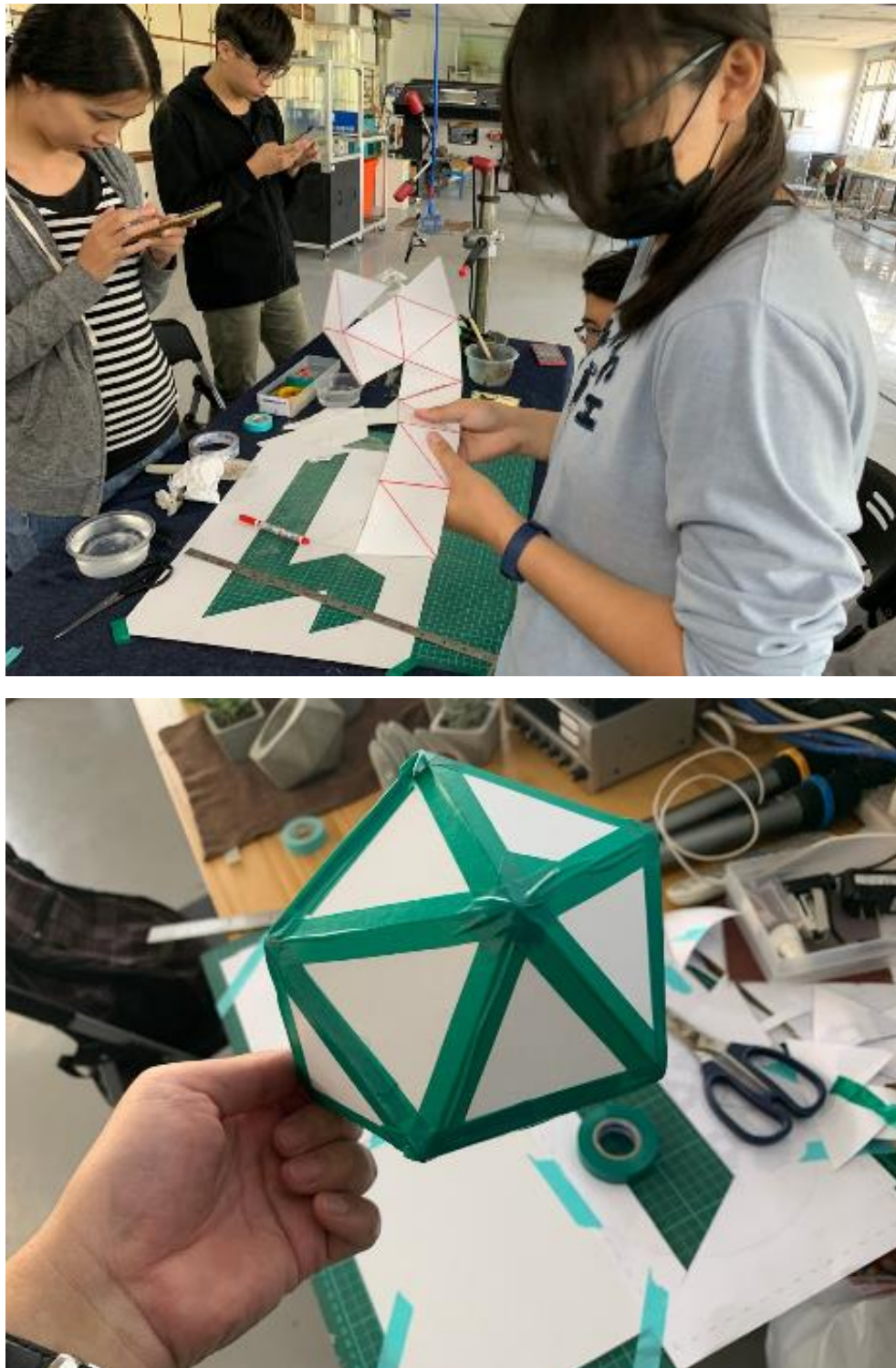


圖 4-7 水泥盆栽之紙板模型



圖 4-8 學生初次製作水泥作品之剪影

紙模盆栽製作完成後，即可準備進行水泥灌漿作業。不過，在灌漿之前，需要讓學生了解本次灌漿工作所需之材料、施工步驟及注意事項(圖 4-9)。例如：水灰比(水泥砂漿或水泥混凝土中，拌和用水量與水泥重量之比)，水泥漿體的配比，會嚴重影響灌漿品質與成品的展現。此外，在灌漿的過程中，仍有許多細節需要特別留意，例如：水泥漿體內部的空氣是否有確實排出、灌漿後模型的固定，以及是否造成紙模的破壞，都是需要特別注意的部分。

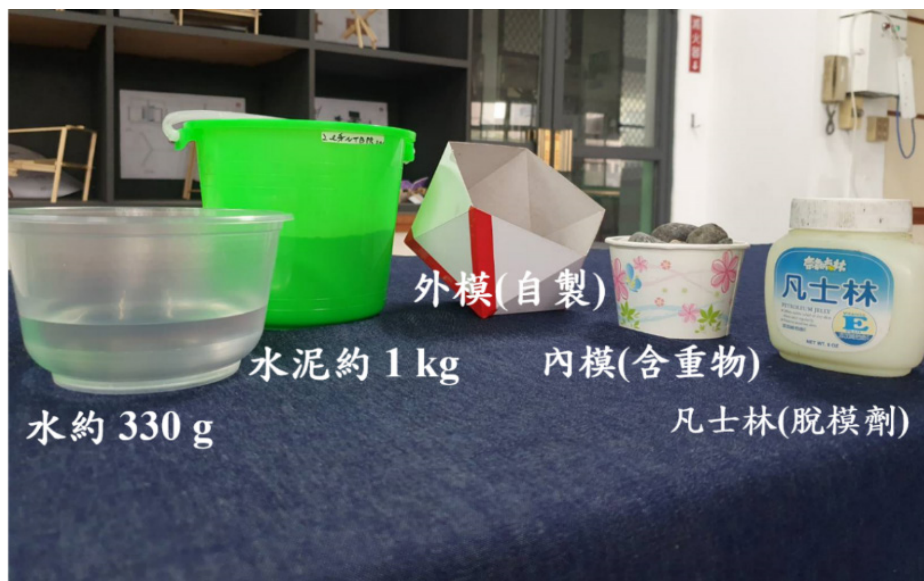


圖 4-9 灌漿工作所需之材料及注意事項

水泥灌漿後，視灌漿物的尺寸差異，需等待 2-7 天不等的凝合時間，確保有足夠的時間讓水泥的水化反應能完全作用，達到基本的水泥結構強度。待水泥完全硬化後，即可脫模，並進行打磨及整修。最後還需要泡水養護，讓水泥結構能夠有完整的強度(圖 4-10)。





圖 4-10 水泥模型製作之工序

從脫模到養護的過程，學生往往都只有在教科書上看過，雖然可以了解其中的原理與目的，但卻無法親身體會這些施工步驟的必要與

重要性。不過，透過水泥實作活動，能讓學生真實感受水泥灌漿的過程及細節(圖 4-11)，這些經驗將是學生未來在土木水利相關領域中，可能會面臨到的實際問題，這也是實作課程最重要的意義與目的。



圖 4-11 水泥模型製作之工序

在開發實作活動的過程中，只要能有不同的模具，我們就能製作出不同造型的水泥容器(圖 4-12)。最簡單的是用不同大小的塑膠碗(或寶特瓶)，就能進行灌漿。我們也發現，在會與水泥接觸的面上，先塗上一層凡士林，將有助於脫模。而在水泥的實作課程中，我們著重的是讓學生從水泥的基本認知、骨材配比，到實際操作都能夠有最基本的了解與實作經驗。然而，除了一般紙模或板模的水泥灌漿方式，我們也嘗試過透過矽膠翻模的方式，製作出相同規格的水泥結構製品，例如：利用消波塊模型進行矽膠翻模，可以做出矽膠模，再進行灌漿，我們就能做出水泥消波塊。



圖 4-12 研發課程實作中所開發出之水泥成品

(2) 木工實作課程

建構在水利系大一工程圖學的訓練成果，本課程在木工實作練習中，強調讀圖的能力，並要求學生「按圖施工」，目的在訓練學生未來在工程實務上對於施工設計圖的閱讀能力與執行能力(圖 4-13)。本學期木工的主題為「水車」，訓練學生在一個下午就能將模型做出來，並放進水槽中測試其效果。

在木工的實作課程中，學生需熟悉基礎五金器具的使用方式與安全注意事項。例如：電動起子機、鑽床、帶鋸機及砂布帶機等操作方式，藉此提升學生的實務操作能力與經驗，也能夠讓學生們提早學習與意識到施工上的各項安全問題與操作細節。透過小組分工的方式，讓學生們了解團隊合作的重要性，也能夠更有效率達成實作課程之目標。此外在課程中，透過木條與螺絲的組合，同學們也需要思考整體木工結構的施工順序、穩定性及組合方式，從做中學強化同學們對於結構物接合的概念(圖 4-14)。

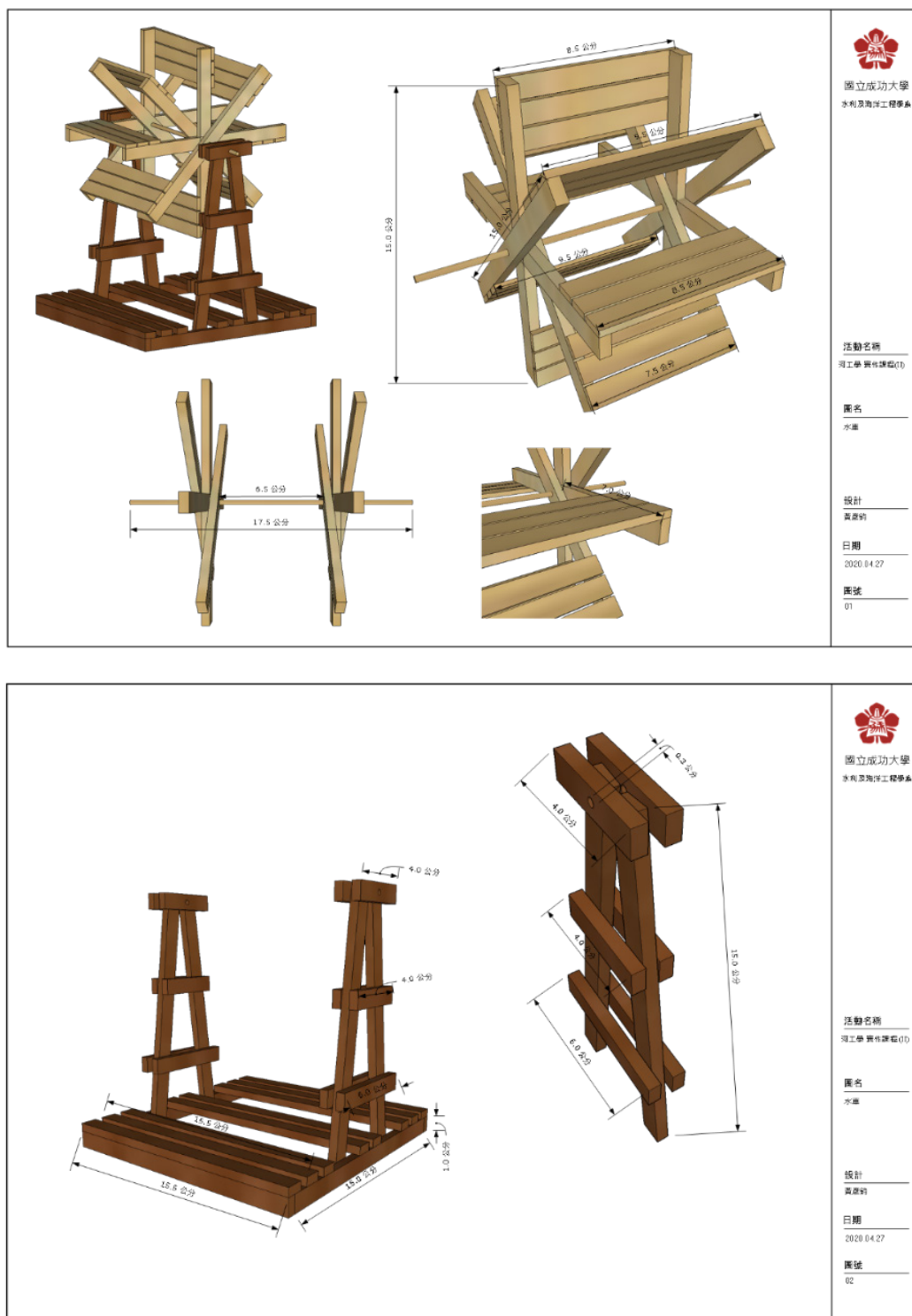


圖 4-13 木工水車之設計圖



圖 4-14 課程中學生實作木工水車之過程

(3) 混凝土縮尺模型之實作活動

當執行過水泥盆栽的練習後，將目標拉回正題，我們希望讓學生設計出自己的水工結構物，並製作出 1:100 的混凝土縮尺模型。這個實作活動必須是各組已將 SketchUp 3D 模型設計完成，並輸出成可以送進雷射切割機的施工圖(圖 4-15)。

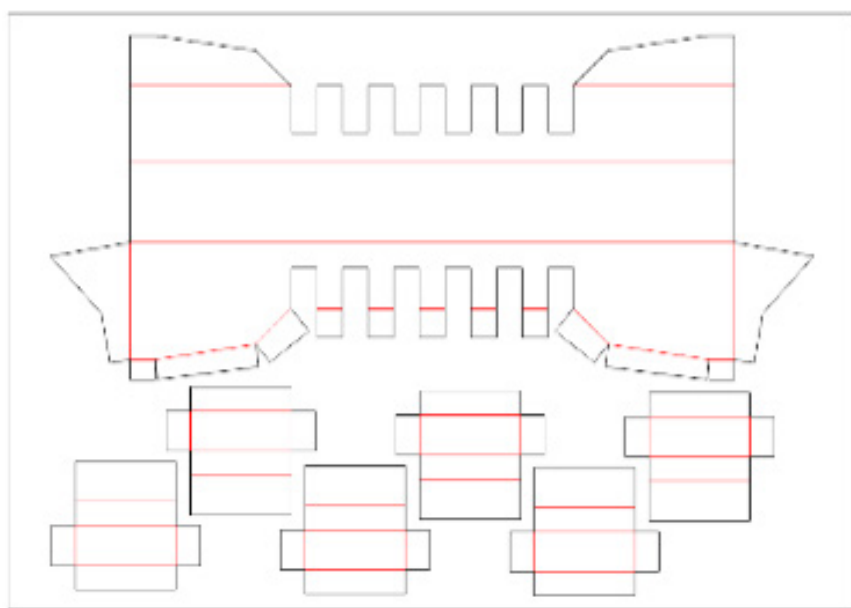




圖 4-15 課程使用創客空間中的雷射切割機加速建模過程

為了準備這次實作活動，課程助教也嘗試了許多種灌漿方式，目前已試過倒著灌漿、正著灌漿、分批灌漿、綁鐵絲(模擬鋼筋)...等方式(圖 4-16)，也因此體會到許多施工細節。目前已研發出傳統梳子壩及東西坑溪五期工程(具有許多特殊切口的透過性防砂壩)(圖 4-17)的混凝土縮尺模型製作方式。

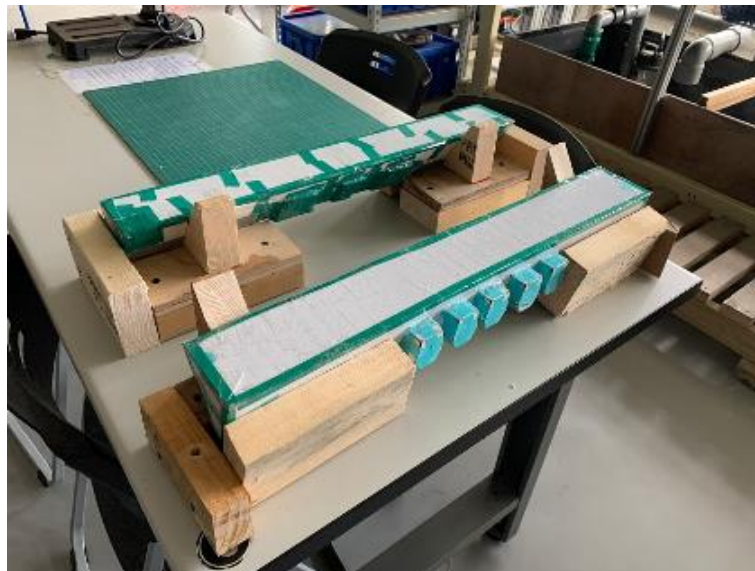


圖 4-16 課程助教開發混凝土縮尺模型之過程



圖 4-17 開發完成之東西坑溪五期工程 1:100 縮尺混凝土模型

透過課堂中介紹過的防砂壩與固床工之現地案例，本次實作活動之主要目的是希望引導學生設計出，不同於以往過於制式的防砂壩或固床工，進而催生出新型態的水工結構物(圖 4-18)。透過小組發想、討論與集思廣益，目前各組都能發展出具有獨特功能、創新、或有特殊意義的防砂壩或固床工。





圖 4-18 學生灌模之過程

c. 流力實驗室(Fluid Mechanics Lab)

流力實驗室在本課程中是提供測試縮尺模型的場域，按照不同的測試環境，我們可以提供明渠動床水槽及平面造波水槽(圖 4-19)，通常是在學期末才會使用。主要目的是讓學生能感受到自己做出來的模型，放進水槽中與水砂互動的真實反應。流力實驗室會配合河工學的期末成果發表會彈性使用，讓整個發表會變得更活潑，增加老師與學生的近距離互動。



圖 4-19 教學動床試驗水槽

第三節 期末成果發表會

經過整學期的努力，本課程於 109 年 6 月 24 日在成大水利系二樓創客空間舉辦河工學之期末成果發表會，特別感謝詹錢登教授及吳昀達教授蒞臨指導。成果發表會的進行方式為兩兩一組，一組為「透過性防砂壩」與另一組為「下游保護工」，先個別進行口頭簡報，說明設計理念、展示設計 3D 模型(圖 4-20 至圖 4-22)。然後，評審委員走到各組工作桌前，實際觀察各組 1:100 之模型，講評並與學生互動(圖 4-23)。

學生再將 1:100 之混凝土模型，於動床水槽中佈置完成。待兩組之模型都配置完成，便開啟上游之定水頭，使水流入動床水槽中，以模擬實際水流經過透過性防砂壩及下游保護工之過程。學生可以近距離觀察水、砂與水工結構物之互動，亦可觀察到水工結構物受到水流侵蝕底床泥砂而傾倒、位移之現象。老師們亦可於水槽兩側與學生討論、講評現場可能發生的實際現象，強化學生對於透過性防砂壩及下游保護工之體會(圖 4-24)。

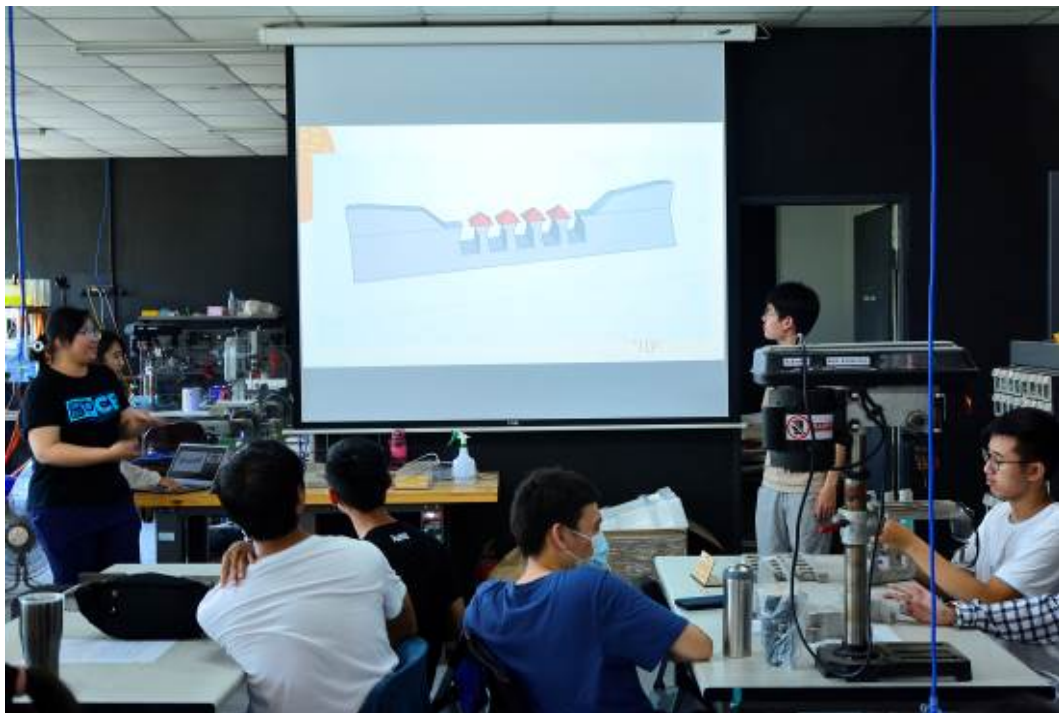




圖 4-20 學生口頭報告設計理念



圖 4-21 透過型防砂壩 1:100 之縮尺模型展示



圖 4-22 下游保護工 1:100 之縮尺模型展示



圖 4-23 老師針對各組作品之設計講評







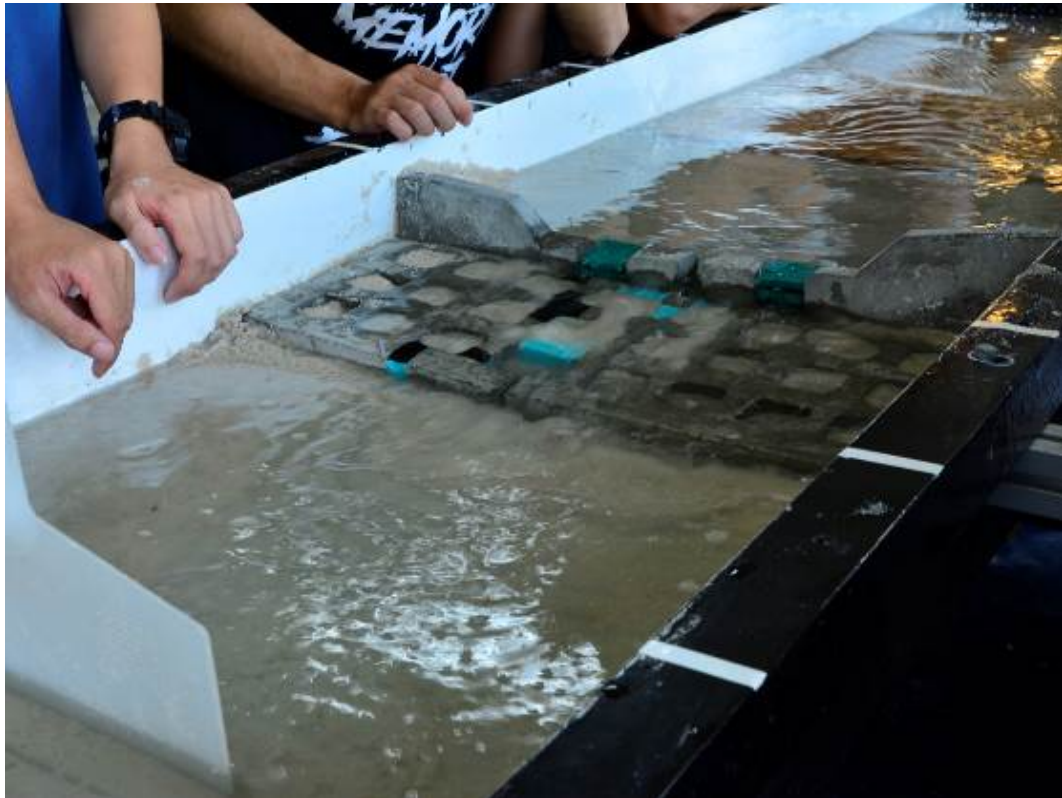


圖 4-24 學生於動床水槽中實驗之剪影

過去在水利系尚未有創客空間時，期末成果主要是以海報的方式呈現，模擬小型研討會的方式進行，評審委員會到每一面展版前評分、與學生互動，這樣的效果也不錯。不過，有了 STEM Lab 之後，就可以讓期末成果發表會更有彈性，學生除了可以解說設計圖之外，又可以展示模型，甚至將模型放入水槽中與水砂互動。這樣的學習方式便是順著 STEM Lab 的正向循環模式，未來若有高年級的課程，可以再將模型實測的資料數據傳回計算實驗室中，進行更多定量分析及資料視覺化等工作，讓 STEM Lab 增加更多的研究價值。最後，STEM Lab 的成立，亦可提供場地辦理教育訓練或中小型研討會，增加 STEM Lab 的附加價值。

第四節 優選作品之評論與說明

本計畫於河工學課程中介紹許多水保局曾獲選公共工程金質獎之作品，其中「里仁溪二期工程」及「東西坑溪五期工程」被挑選出來進行細部介紹，並由本計畫主持人親自於課堂中帶領每位學生以 SketchUp 繪製三維模型。而這些課堂練習也深深影響學生的期末作品創作過程，例如：課堂中提到里仁溪二期工程(圖 4-25)是以簍空的鋼構骨架中填滿卵石，形成高透水性的防砂壩主體，壩體中間有留切口讓水流可以快速通過。課堂中讓學生練習的三維模型如圖 4-26。

第 4 組學生便以學到的里仁溪二期工程案例為基底，設計出新的透過性防砂壩(圖 4-27)。這組一開始設計得太複雜，考慮縮尺模型施工的可行性後，扳成平面後的設計圖如圖 4-28。經過繁複的建模、灌模、脫模、打磨之步驟後，學生完成了自己設計的混凝土縮尺模型(圖 4-29)。送進動床水槽中試驗時，學生須將作品埋入砂床中，仔細觀

察自己作品與水砂互動的結果(圖 4-29)。雖然沒有時間進行定量測量，但老師與學生都在水槽邊近距離觀察水砂互動，並進行講評，討論透過性防砂壩之功能及其貯砂效果。

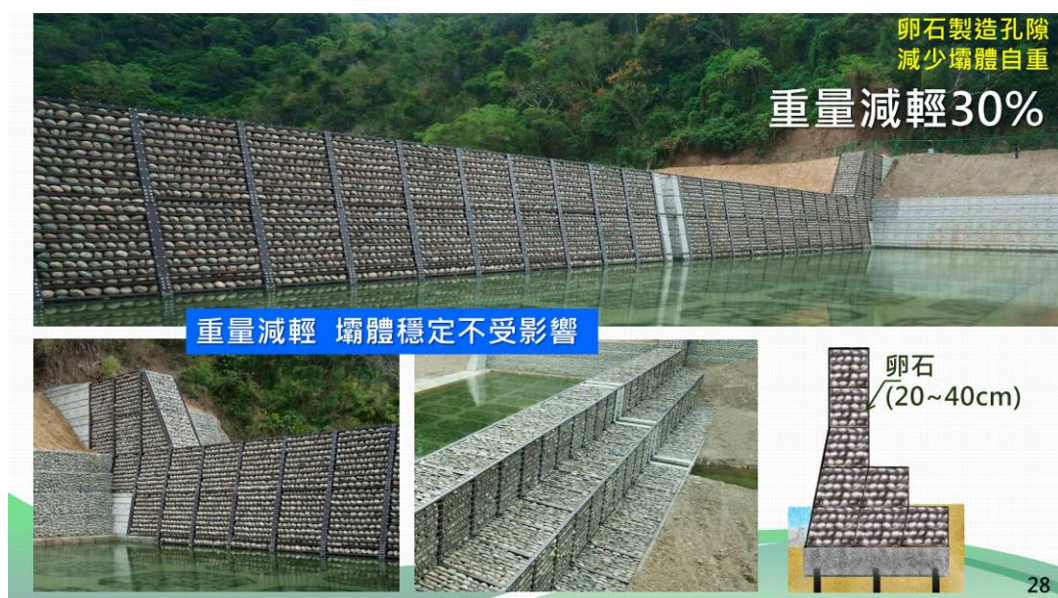


圖 4-25 里仁溪二期工程 (水保局台南分局)

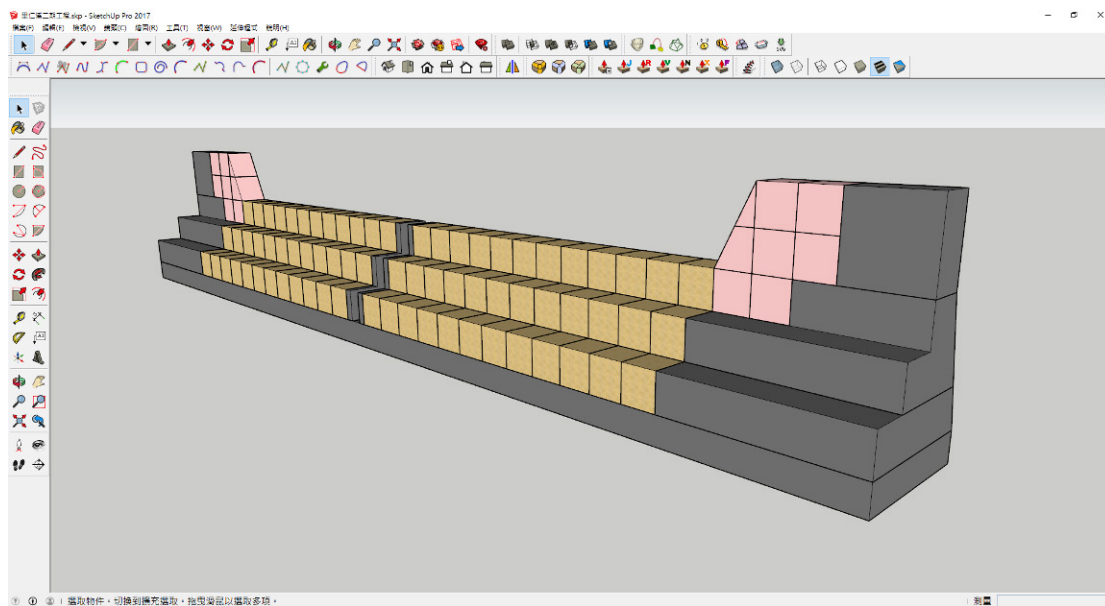
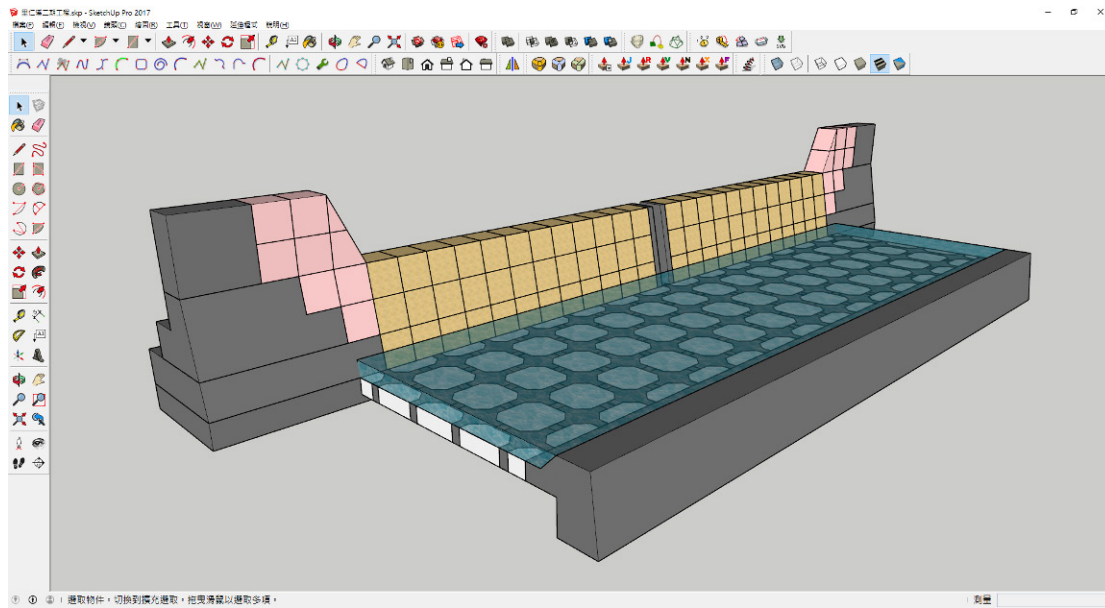


圖 4-26 本計畫繪製之里仁溪二期工程三維模型

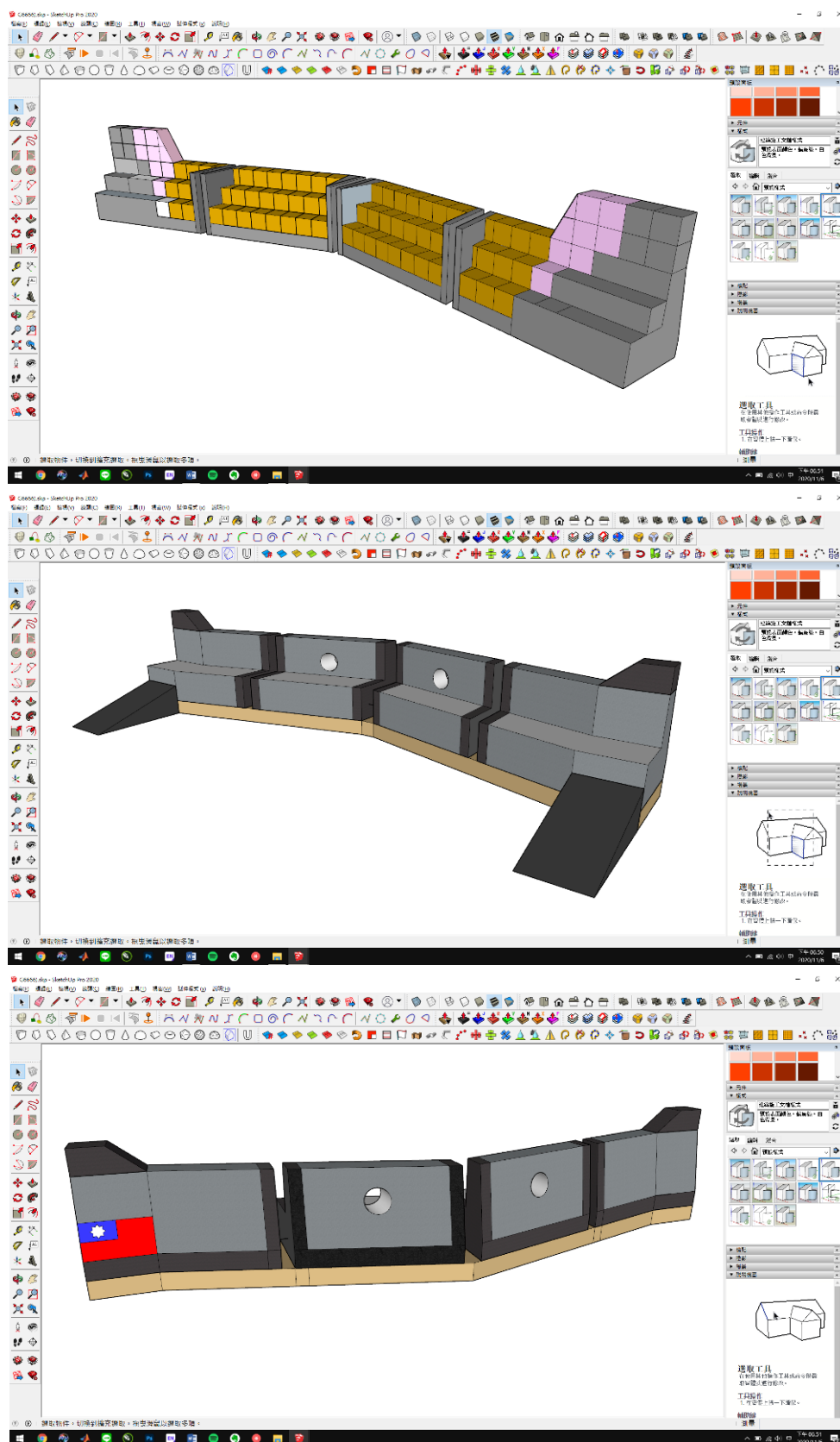


圖 4-27 第 4 組學生設計之透過性防砂壩

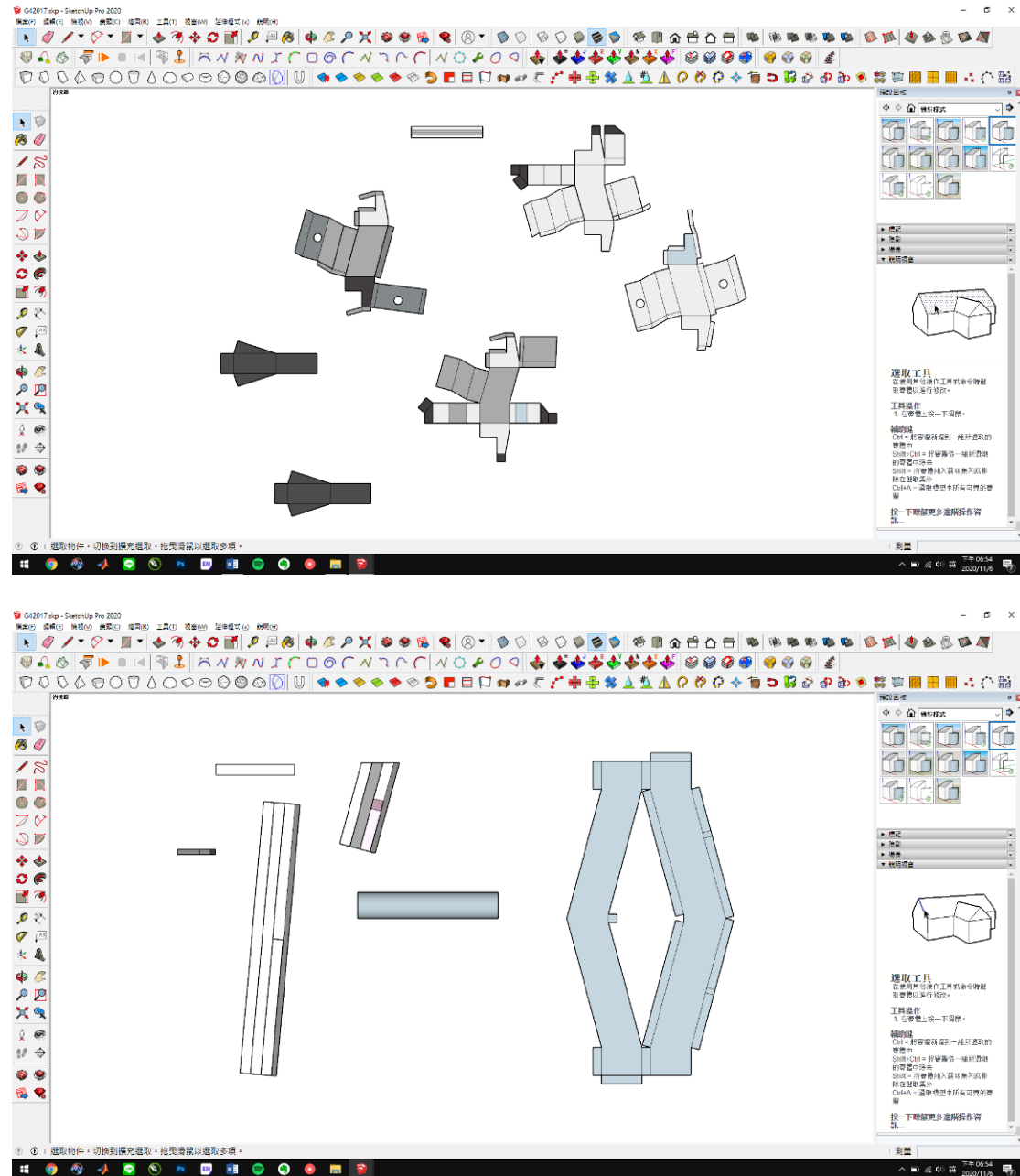


圖 4-28 第 4 組學生之作品，扳成平面後，準備送進雷射切機之設計圖

同樣受到里仁溪二期工程之影響，第 1 組的學生針對防砂壩下游保護工做創新設計，開發出可方便組裝和拆卸之塊體單元(圖 4-30)，並將想法實踐，做出混凝土縮尺模型，並將模型送進動床水槽中，觀察其設計作品與水砂互動之效果，討論是否能有效達到保護防砂壩基腳之功能。

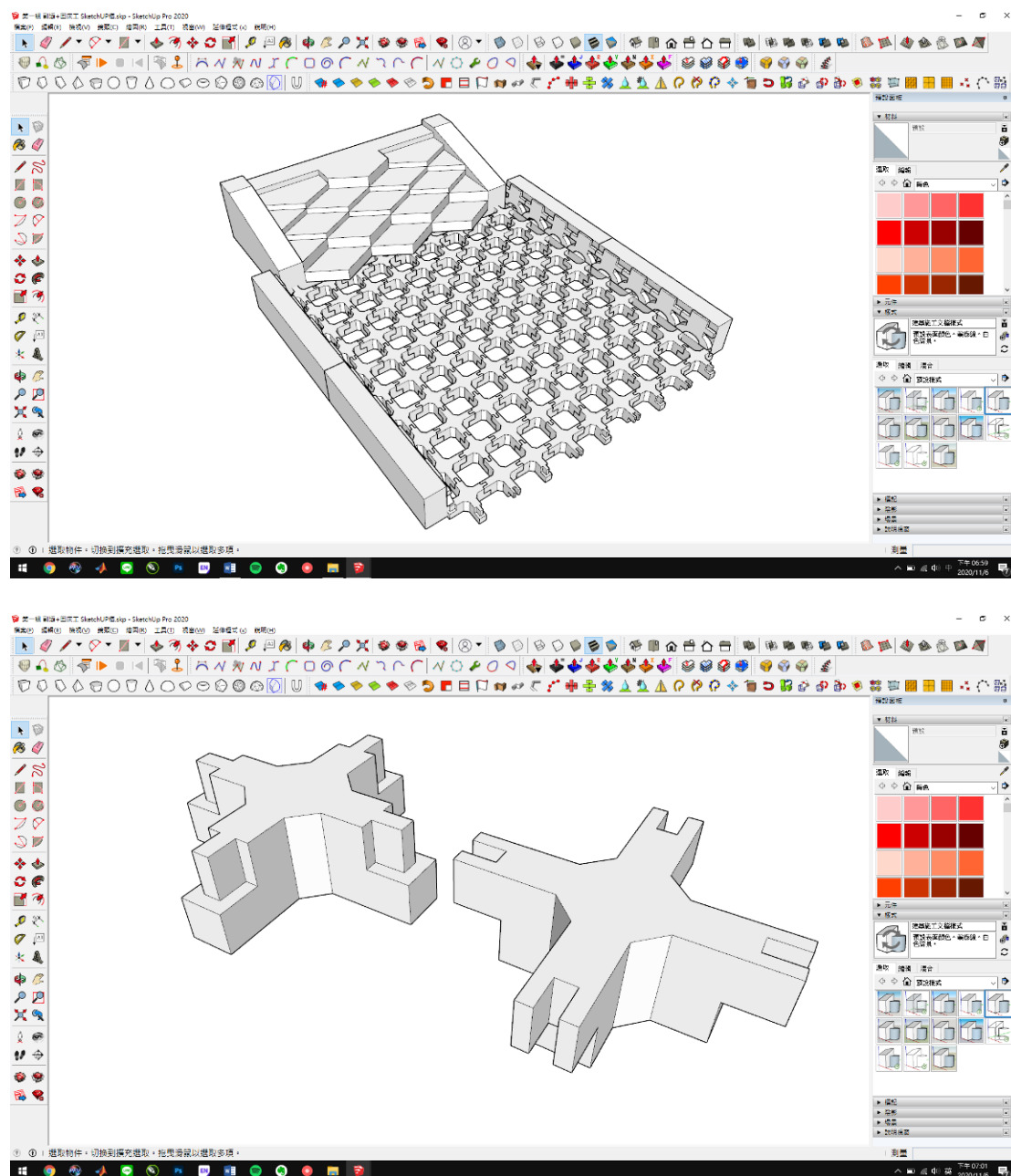


圖 4-30 第 1 組學生設計之下游保護工及其單元化之設計構想



圖 4-31 第 1 組學生之混凝土縮尺模型及送進動床水槽中測試之過程

課堂中另一個三維模型練習，本計畫挑選了東西坑溪五期工程(第 16 屆公共工程金質獎)。雖然這個練習之繪圖技巧較為複雜，但每位學生還是能完成三維模型建置之練習(圖 4-32)。

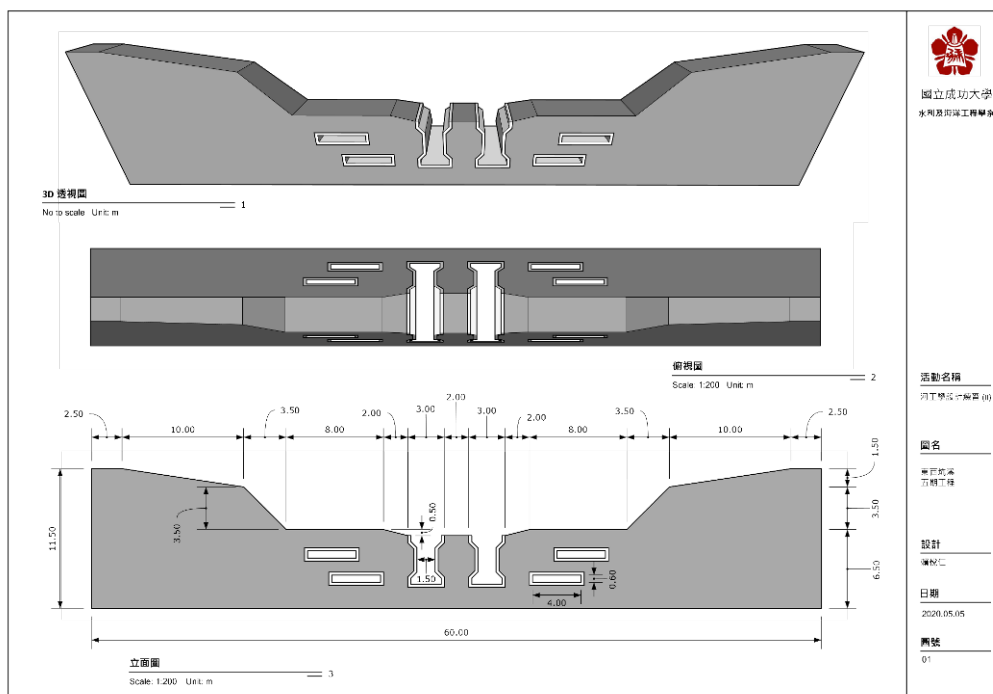


圖 4-32 東西坑溪五期工程(水保局南投分局)及其三維模型

第3組的學生深受此工程之影響，設計出結合台南安平古堡意象之透過性防砂壩(圖 4-33)及混凝土縮尺模型(圖 4-34)。這組學生的設計是因為東西坑溪五期工程的切口造型有鄒族的意象，而這組學生想把台南的意象映射到透過性防砂壩之中，所以選了安平古堡的造型。雖然此作品可能沒有特別的貯砂功能，但學生的發想確實提供了創新的設計可能。

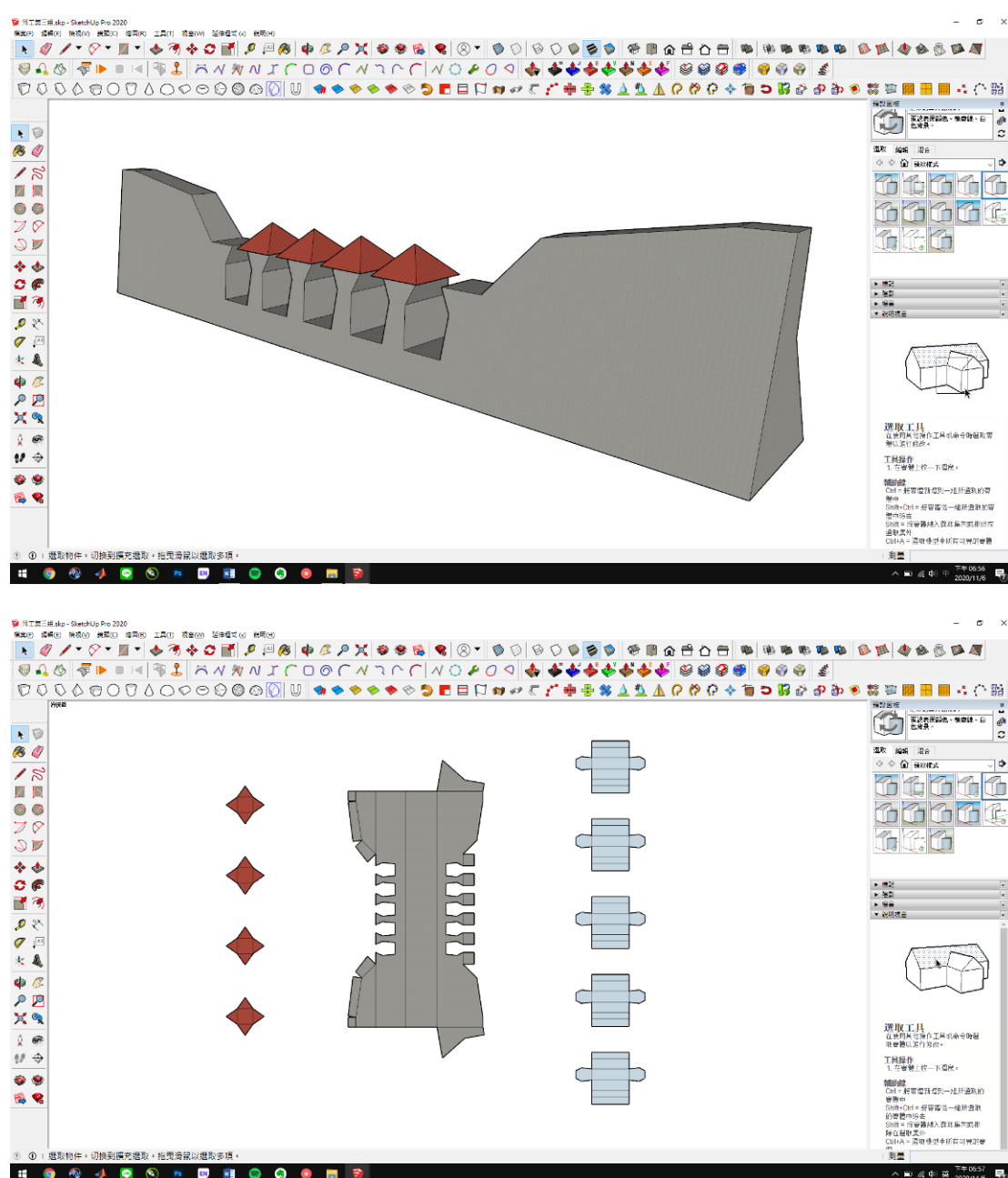


圖 4-33 第3組學生設計之三維模型及平面施工圖



圖 4-34 第3組學生之混凝土縮尺模型及送進動床水槽中測試之過程

108 學期河工學經過大幅改造、融入創意實作後之教學意見表如圖 4-35。學生反應都非常正面，也喜歡這樣的教學模式，當然還是有「工程倫理」及「水利及海洋工程系統設計、施工與維護管理之能力」等項目分數較低，但這兩個評分項目並非河工學著墨的重點。

國立成功大學教學意見反應調查-學生學習成效自評結果

學年度：108

學期：下

開課班級：水利系

科目名稱：河工學

系所序號：E8

選課人數：20

教師姓名：賴悅仁

回收問卷：10

核心能力結果：

學生獲得以下能力或素養...	(a)非常同意	(b)同意	(c)尚可	(d)不同意	(e)非常不同意	(f)無法作答
工程倫理	90%	0%	10%	0%	0%	0%
發掘、分析及處理問題的能力。	80%	20%	0%	0%	0%	0%
認識時事議題，瞭解工程技術對人、環境、社會及全球的影響，並培養持續學習的習慣與能力。	90%	10%	0%	0%	0%	0%
執行水利及海洋工程實務所需技術、法規及使用工具之能力。	80%	20%	0%	0%	0%	0%
水利及海洋工程系統設計、施工與維護管理之能力。	80%	10%	10%	0%	0%	0%



國立成功大學期末教學意見反應調查結果表

學年度：108

學期：下

開課班級：水利系

科目名稱：河工學

系所序號：E8

選課人數：20

教師姓名：賴悅仁

回收問卷：10

教學面向結果：



圖 4-35 河工學之期末教學意見反應表

第五章 結論及建議

第一節 結論

本計畫針對「防砂壩下游沖刷保護之研究」及「透過性防砂壩貯砂功能之評估」兩大議題，研發創新之教學模組，讓學生從模型實作中，體會水流、土砂及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，進而產出新型態之防砂壩下游保護工法之原型，並引導學生開創實用又美觀之透過性防砂壩，以討論其貯砂功能。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。本計畫已執行完所有工作項目，符合計畫進度，具體可交付之項目為防砂壩與保護工之創新實作教學模組。計畫執行過程中已開發許多實作之新工法及 3D 繪圖技法，於期末成果展中，聽取各組學生簡報設計理念、仔細觀賞學生之透過性防砂壩及其下游保護工之混凝土作品，並於動床水槽中直接觀察水工結構物與水砂之反應，可以近距離接收到學生的即時反饋，也讓初次接觸水工模型試驗的學生有非常強烈的感受，希望未來可以影響更多學生投入「水土保持」及「土石流防災」領域。

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：安排實作活動之次數、時間點、題材、耗材及水槽實測活動等。建議研發適合大二學生之簡易量測系統及分析方法，獲

取實驗數據後，才能有效進行定量評估。由於本計畫是第一次研發透過性防砂壩和下游保護工之縮尺模型實作活動，投入了過多的時間在開發課程模組，等到能讓各組學生都將模型做出來並送入水槽進行實驗時，已經沒有時間再教授地形測量與分析方法，讓實驗過程中只能定性觀察，實為美中不足之處。雖然這部份有點超出河工學的課程目標，不過若能精進獲取實驗數據的部份，可以讓本計畫成果更趨完善。不需要特別複雜昂貴的測量系統，簡易的測量數據，會比只能定性觀察來得好上許多。

今年因為新冠肺炎的疫情關係，本系取消了與台大土木系、成大建築系合作的機會。未來若有跨校、跨系合作之實作活動，需要盡早規劃、盡早宣傳，以增加學生參與之意願，提高跨校、跨系合作的可能。

參考文獻

1. 行政院農委會水土保持局，水土保持單元叢書 01，2019。
2. 行政院農委會水土保持局，水土保持單元叢書 02，2019。
3. 北區水資源局，「韋帕颱風巴陵防砂壩災損檢討報告」，2007。
4. 何琪瑜、賓靜蓀、陳雅慧、林葦萱、張益勤、王韻齡，翻轉教育 2.0，親子天下，2014。
5. 行政院農業委員會水土保持局，「水土保持手冊」，2017。
6. 行政院農業委員會水土保持局，「水土保持技術規範」，2014。

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	本計畫由成功大學水利系二年級河工學課程為基礎，進行教學，及相關教學模組之研發，極富教育意義，並具新之可能性建議，未來期中或成果報告可以附課程大綱，及發展之教案與教具。	感謝委員之建議，教學大綱如表 4-1 所示(p. 4-2)。相關教案說明、教案分析及教學成果如第四章成果報告所示。
二	何謂「智慧型防砂壩」？	本課程採用「智慧型防砂壩」作為包裝，引導學生創新發想可能之新型態防砂壩，類似「會呼吸的防砂壩」(陳樹群教授)。希望學生在發想設計時，考慮有效排水、貯砂、不同材質之下游保護工法、機械開合排水及排砂、可拆卸再安裝等功能。目前尚處於發想階段，不過經過第一年的努力，為來可發展原型作品。

項次	審查意見	回覆辦理情形
三	立體模型實作是否包含渠槽實驗？實驗之水力參數如何設定？	學生之實作成果皆有放入動床水槽中測試，可以定性觀察水工結構物與水砂互動的效果。不過水力參數尚未到可以定量測量的階段。第一年的成果著重在如何做出 1:100 之混凝土縮尺模型，未來可以站在此基礎上，開發適合大二學生之簡易定量實驗，以進行更多定量之分析與討論。
四	針對下游掏刷保護工法，建議可針對工法特性、優缺點、適用立地條件加以分析。	感謝委員之建議。目前學生之實驗成果尚未達到各式工法之特性及優缺點的討論階段，不過我們會將此建議納入第二年執行河工學實作時需要考量的重點。
五	透過性壩除攔阻土砂外，尚有生態考量，這部分效益如何呈現？	感謝委員之建議，這是非常重要的議題。不過目前的教學成果，無法討論透過性防砂壩降低對於生態影響的效益。未來，我們會強化此議題的呈現與討論。

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	計畫交付項目乙節中，已條列出預期完成之工作項目，建議亦整理列出具體可交付之項目。	感謝委員之建議。已將具體可交付之項目列入結論中。
二	學生於課程之中的創意成果，建議可詳加說明與評論並擇優納入報告。	已新增第四章第四節，進行優選作品之評論及說明。
三	以實作方式供學生了解混凝土及木工操作很好，惟如何融入「防砂壩下游保護及貯砂功能評估」之論述較少，宜加強說明。	感謝委員之建議。確實，「貯砂功能之評估」是目前計畫成果中的弱項，我們只有在期末成果展中，透過老師與學生在實驗水槽旁討論觀察到的現象，未有定量數據可以分析及論述。主要的原因為本計畫是第一次研發透過性防砂壩和下游保護工之縮尺模型實作活動，投入了過多的時間在開發課程模組，等到能讓各組學生都將模型做出來，並送入水槽進行實驗時，已經沒有多的

項次	審查意見	回覆辦理情形
		時間再教授地形測量與分析方法。實驗過程中只能定性觀察，確實為美中不足之處。希望為來若能再次執行水保局之創新計畫，可以更具體、更定量將貯砂功能評估作為期末評量之重點。
四	如尚無進行定量評估，是否可在課程設計上加入定性評估之方案，提供學生了解不同結構物對防砂壩下游保護及貯砂功能之影響。	感謝委員之建議。延續上一題的回覆，我們會將此建議納入第二年執行河工學實作時，必需改善和精進的重點。
五	本計畫預期產出為何？後續水保局如何應用在教育訓練上？	本計畫具體產出為「防砂壩與保護工之創新實作教學模組」，包含：教學大綱中實活動安排之次數與時機、如何準備實作材料、如何製作適當之施工圖、如何安排施工順序、如何在動床水槽中測試作品並觀察、測量沖刷和淤積之變化。以上經驗皆可做為水保局教育訓練之素材，連結局內同仁現地之經驗，舉一反三。

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	P3-3，文字用詞應以期末報告角度撰寫，「預期…」等字應修正。	感謝委員建議。已修正用詞。
二	文中對於2個核心主題(防砂壩下游沖刷保護之適宜性、透過性防砂壩儲砂功能之評估)之探討，建議可將學生所做的成果分析及心得呈現在報告書，更全面了解教學成果。	感謝委員建議。已在第四章第四節進行作品評論與說明，並增加 108 學年度河工學之教學意見調查表，學生反應非常正面。
三	建議後續研究可將課程及實作模型製作成防災教材與教具，進行水土保持與土石流防災教育推廣使用。	感謝委員建議。未來的課程中可以規劃以引導學生製作防災教具及推廣防災教育為教學目的之一，訓練學生解說模型之功能及如何達到防災、減災的效果，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。