

屏東縣第 65 屆國中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：地球科學科

組 別：國小組

作品名稱： 壩亡別跡 - 不同壩型之堰塞壩潰決對下游家園
影響範圍探究

關 鍵 詞： 堰塞壩、土石流、潰決機制

編號：A5005

目錄

壹、前言.....	1
貳、研究設備及器材	
一、試驗配置.....	4
二、試驗器材.....	5
參、研究過程或方法.....	5
肆、研究結果.....	7
伍、討論	
一、潰決機制.....	8
二、對下游影響.....	10
陸、結論.....	11
柒、參考資料及其他.....	12

圖目錄

圖 1.1	屏東縣牡丹鄉土石流潛勢溪流分布資料圖.....	1
圖 1.2	土石流潛勢溪流對下游影響範圍圖，以屏縣 DF055 為例.....	2
圖 1.3	堰塞壩破壞類型示意圖.....	3
圖 2.1	試驗配置圖.....	4
圖 3.1	試驗流程圖.....	6
圖 5.1	組別 1 寬矮型壩體潰決過程.....	9
圖 5.2	組別 6 窄高型壩體潰決過程.....	9
圖 5.3	組別 3 潰決過程.....	10

表目錄

表 2.1	試驗渠道配置條件表.....	4
表 4.1	不同壩型之壩體條件及其試驗結果.....	7

摘要

為深入了解不同壩型之堰塞壩潰決對下游家園會帶來甚麼不同的影響，本研究透過室內渠道試驗，模擬天然河道主支流交會樣貌，並改變壩體高寬比例參數，探究寬矮型壩體及窄高型壩體潰決機制，及其對下游家園影響程度。結果發現當壩體由寬矮型轉為窄高型，潰決機制亦會由溢頂破壞轉為管湧破壞。而潰決之機制亦牽動水流及土砂移動特性，試驗發現當壩體高寬比越相近，潰決時對下游的破壞力為最大，窄高型壩體則最小。

壹、前言 (研究動機、目的、文獻回顧)

牡丹鄉位於臺灣東南部山區，擁有美麗的山川與豐富的自然資源，但同時亦坐落於颱風經常肆虐的恆春半島地區，面臨著自然天災的危害，尤其是土石流的威懾。根據農業部農村發展及水土保持署統計，牡丹鄉內目前共有 9 條土石流潛勢溪流(圖 1.1)，土石流潛勢溪流編號分別為屏縣 DF056-屏縣 DF063。此外，近年來由於全球氣候變遷，導致降雨型態多為高強度降雨，更增加了致災的風險性，對居民的生命財產安全造成威脅。



縣市	鄉鎮	村里	土石流潛勢溪流編號	重要地標	參考雨量站 第一參考/第二參考	警戒值
屏東縣	牡丹鄉	牡丹村	屏縣DF056	佳德谷植物園區	牡丹/石門	600
屏東縣	牡丹鄉	牡丹村	屏縣DF055	牡丹二號橋	牡丹池山/牡丹	600
屏東縣	牡丹鄉	石門村	屏縣DF062	大梅部落	石門山/石門	600
屏東縣	牡丹鄉	石門村	屏縣DF061	大梅路交會之道路箱涵	石門山/石門	600
屏東縣	牡丹鄉	石門村	屏縣DF060	大梅路交會之道路箱涵	石門山/石門	600
屏東縣	牡丹鄉	石門村	屏縣DF059	文明路橋橋頭	石門山/石門	600
屏東縣	牡丹鄉	石門村	屏縣DF058	中間路橋	牡丹/石門	600
屏東縣	牡丹鄉	石門村	屏縣DF057	199線21.4K	牡丹/石門	600
屏東縣	牡丹鄉	四林村	屏縣DF063	四鄰二號橋	四林格山/檳榔	600

圖 1.1 屏東縣牡丹鄉土石流潛勢溪流分布資料圖

(資料來源：土石流及大規模崩塌防災資訊網)

當山區因為山崩、地滑、土石流等因素，而使大量土砂運移至河道將有可能形成堰塞壩體，堵塞河流後造成壩體上游水位淤高形成堰塞湖，並視其壩體構成材料、地質環境等情況，形成不同壩體潰決歷程，一旦堰塞壩體潰決，大量蓄積水體傾瀉而下，壩體土石與洪水形成強烈土石流，將會對下游地區產生巨大的生命財產安全 (Swanson et al., 1986; Costa and Schuster, 1988; Casagli and Ermini, 1999; Ermini and Casagli, 2003; Korup, 2004)。根據統計資料發現有許多土石流潛勢溪流更是緊臨著人民重要生活場所，以屏縣 DF055 為例(圖 1.2)，土石流潛

勢溪流緊鄰主要道路、橋樑、社區活動中心及學校等。因此提升學童對環境的使命感與保護意識便成為了重要課題。本試驗扣合了 SDGs 中永續城市與社區、保育陸域生態、氣候行動概念，透過本試驗可帶領學生從中培養實驗設計、排錯、重新驗證等思維能力，並經驗團隊合作，此外，更期盼得以藉此提升防災意識與家鄉土地的使命感。

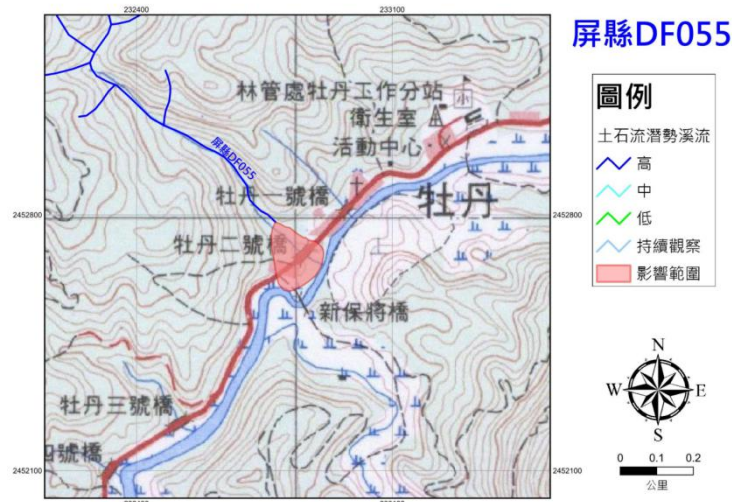


圖 1.2 土石流潛勢溪流對下游影響範圍圖，以屏縣 DF055 為例

當堰塞壩體產生並在後方累積大量來水，便會造成土體潰決，而土體潰決機制約可概分成三類：溢頂潰決、邊坡潰決以及管湧潰決。田焜茂清(2002)針對此三種破壞類型進行說明，解釋如下：

1. 頂溢破壞(圖 1.3(a)): 堰塞壩因上游來水蓄積於壩體上游坡面之後，水位上升速度 相較於壩體內水分入滲速度快，導致水流自壩頂溢頂，並產生侵蝕作用破壞壩頂及壩體下游坡面，並轉化為土石流。

2. 邊坡破壞(圖 1.3(b)) 當壩體內水位線未到達下游坡面，且水位亦尚未溢頂前，土體會因水流入滲而增加負重，同時土壤顆粒間的摩擦力因含水而降低，導致壩體最終產生滑動，壩面被破壞而發生潰決。當壩體尚存在未飽和土體時，壩體不會整體滑動潰決，僅局部破壞，而滑動之土體將堆積於坡腳處，待潰決產生大流量才進而發生集中型強烈土石流。

3. 管湧破壞(圖 1.3(c)) 當壩體後方水位尚未到達壩頂前，壩體內水位線已到達下游 坡面，水流自壩體內滲出，形成管湧現象並向上游侵蝕壩體。下游坡趾處因管湧侵蝕而被破壞，此時潰決的泥砂將暫時堆積於潰決處，直至破壞面逐漸擴大形成小型崩塌並產生小型溝槽，加劇侵蝕現象，最終導致堰塞壩大規模潰決形成土石流。後續之潰決過程與溢頂潰決相近。

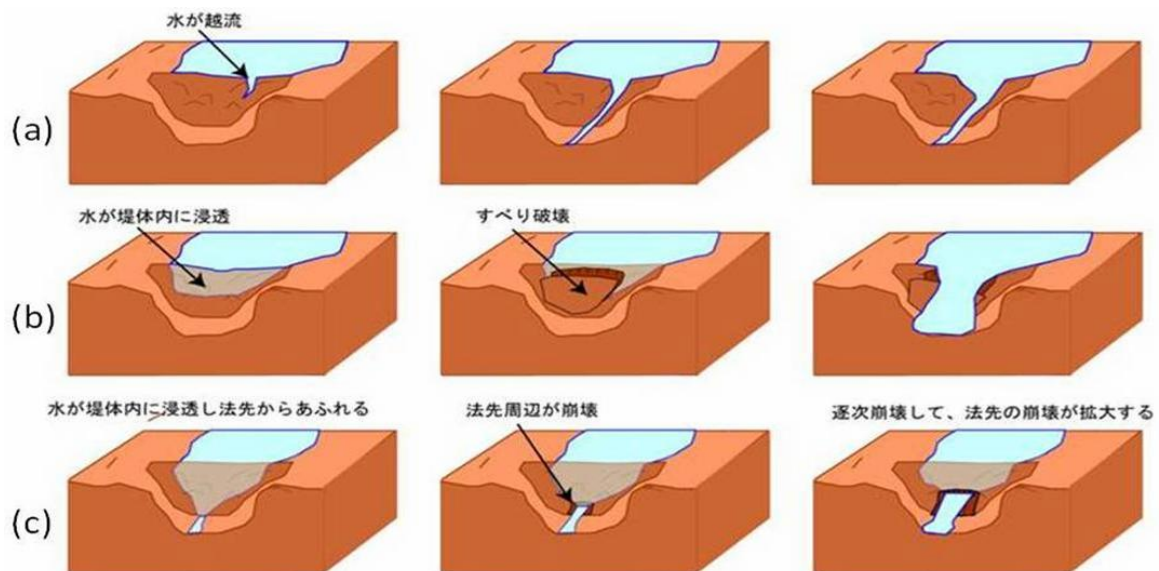


圖 1.3 堰塞壩破壞類型示意圖 (田畑茂清，2002)

(a)溢頂破壞(b)邊坡破壞(c)管湧破壞

由文獻可知壩體後方水流上升速度及壩體內部水流入滲速度會影響土體潰決機制，而壩體本身的型態(如寬矮或窄高)是否也會影響潰決機制，並對下游保全對象產生不同程度的災害影響，則值得進一步進行探討。因此本研究目的即為探討不同壩型之堰塞壩潰決對下游家園影響範圍。

貳、研究設備及器材

一、試驗配置



圖 2.1 試驗配置圖

如圖 2.1 所示，本試驗透過壓克力模型建造渠道，分別有一主流及一支流。河道條件如表 2.1 所示，並在兩河道上游設置供水系統，分別提供每秒 100 立方公分以及每秒 95 立方公分之流量條件。主流及支流會合口，以油土捏製一 1 公分高的障礙物，以攔阻部分土砂並以此觀察在何種壩型下，大部分土砂將被沖刷並被帶及對岸集砂板(模擬保全對象居住處)。

表 2.1 試驗渠道配置條件表

河道	長度 (cm)	寬度 (cm)	坡度 (度)	流量 (立方公分/s)	供水處 (cm)
主流	126	25	10	100	匯口向上游 85 公分處
支流	100	12	15	95	匯口向上游 55 公分處

二、試驗器材

(一) 渠道模型

利用矽利康黏合壓克力板材，並利用現地石塊、輕黏土塑造坡度，考量防水需求，在坡度塑型完成後以油土在表面鋪設防水層，避免試驗進行時水流入滲至渠道內部或輕黏土遇水變形。

(二) 矽砂

本試驗選用 2V 矽砂，平均直徑約 0.85-1.4mm，並統一以乾砂進行試驗。試驗後濕土收集完成後，透過烤箱進行 180 度 30 分鐘的烘乾，並於除溼空間靜置 3 小時後才可重複被使用。

(三) 壩體

壩體建造時透過敲擊進行夯實，於上游坡面及下游坡面各分成左岸、中心及右岸進行人工夯實，各敲擊 20 下，使壩體穩固。

(四) 影像設備

影像紀錄分別使用數位攝影機一台及平板(i pad)兩台，分別於主流左右岸及下游進行影像紀錄，以不同面向同步觀察壩體潰決機制。

參、研究過程或方法

一、試驗流程

試驗流程詳述如下，圖 3.1 為試驗流程圖。

1. 試驗流程前期為參數設定期，重複測試以確定本試驗採用之河道坡度、流量及攝影位置等。
2. 待參數確定後，即可開始進行壩體鋪設，並在鋪設過程中進行均勻夯實，壩體鋪設完成後開始影像錄製。

3. 試驗以主流放水為開始，並在水流達上游坡趾後支流亦同步放水，持續觀察壩體受破壞機制與時間，當壩體開始出現位移、滑動、溢頂等受破壞現象後開始計時並持續沖刷 30 秒，之後主流與支流同步關水，影像紀錄結束。
4. 收集集砂板上土砂，待烘乾後秤重並記錄乾砂重。
5. 進行河道清洗，將河道上殘留土砂沖洗乾淨，並於清洗後以乾抹布擦拭渠道，避免因殘留之土砂及潮濕的渠道表面影響下一組實驗。
6. 重複步驟 2 至步驟 5，直至所有試驗組別皆完成實驗。

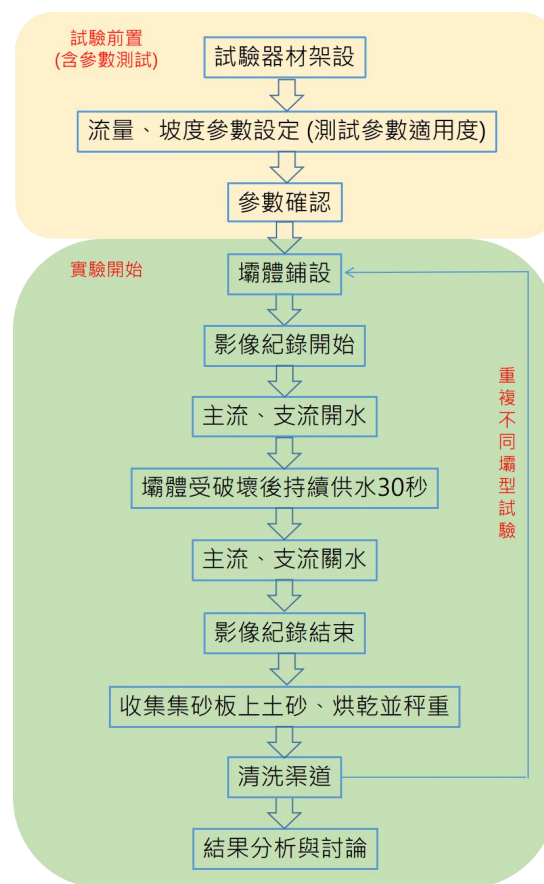


圖 3.1 試驗流程圖

肆、研究結果

本試驗依照不同壩體高度及寬度，共可分為 6 組試驗壩型，並在每種壩型中分別進行 3 次試驗以觀察不同壩型的潰決樣貌，及其潰決後對下游之影響。各組實驗後結果紀錄如表 4.1。

組別 1 至組別 6 分別代表壩型由寬矮型轉至窄高型，因壩型的不同導致在蓄水區水位上升時間，以及入滲時間上也有所差異。此外潰決機制亦由寬矮型壩體的溢頂破壞漸而轉為窄高型壩體的管湧破壞。而集砂板的乾砂重則屬組別 3、組別 4 為最多，窄高型壩體試驗組的乾砂重最低，寬矮型次之。

表 4.1 不同壩型之壩體條件及其試驗結果

組別	壩高 (cm)	壩寬 (cm)	蓄水區水位上升 至壩頂時間(s)	水流自上游壩趾 入滲至下游壩址 時間(s)	潰決 機制	集砂板 乾砂重(g)	平均集砂板 乾砂重(g)
1	2	7	3	-	溢頂	50	53
	2	7	3	-	溢頂	55	
	2	7	3	-	溢頂	54	
2	3	6	6	10	溢頂	48	50
	3	6	7	12	溢頂	50	
	3	6	5	11	溢頂	52	
3	4	5	12	11	溢頂	68	69.6
	4	5	10	11	管湧	70	
	4	5	11	11	溢頂	71	
4	5	4	15	13	管湧	65	68
	5	4	15	13	溢頂	69	

	5	4	14	15	管湧	70	
5	6	3	25	15	管湧	26	22
	6	3	23	14	管湧	22	
	6	3	26	15	管湧	18	
6	7	2	-	15	管湧	17	14.6
	7	2	-	13	管湧	15	
	7	2	-	13	管湧	12	

伍、討論

一、潰決機制

試驗結果發現，當壩體為寬矮型時會因蓄水區水流上升速度較水流自上游入滲至下游速度快，因此壩體受破壞之形式均為溢頂破壞。原因為對於水流而言，寬矮型壩體在上游至下游的坡趾距離上，相對於壩體高度有較長的比例，需要花費的時間比水流上升時間要多。以組別 1 為例(如圖 5.1)，由於壩體高度僅有 2 公分，相較於上下游壩趾長度短，水位自上游壩趾上升至壩頂僅需 3 秒，由照片可知當水流開始溢頂並造成壩體壞時，壩體內部的土砂尚未完全受水流入滲。

而高窄型壩體則以組別 5 為例，壩體高度較高則需花費較多蓄水時間，壩體水位自上游壩趾上升至壩頂時間約需 23-26 秒，相較於組別高出約 8 倍蓄水時間。而入滲時間則僅需約 15 秒，因此當壩體尚未出現溢頂破壞時，下游則已出現管湧破壞，如圖 5.2 可見，壩體內部入滲速度快於蓄水區水位上升速度。

在組別 3 與組別 4 中，壩體高度與壩體寬度接近，由表 4.1 可知其兩組別之入滲時間及壩體後方水位上升速度相近，由圖 5.3 可見，溢頂破壞與管湧破壞幾乎同時發生。



圖 5.1 組別 1

寬矮型壩體潰決過程

(紅色線為壩體內部入滲水位線)



圖 5.2 組別 6

窄高型壩體潰決過程

(紅色線為壩體內部入滲水位線)

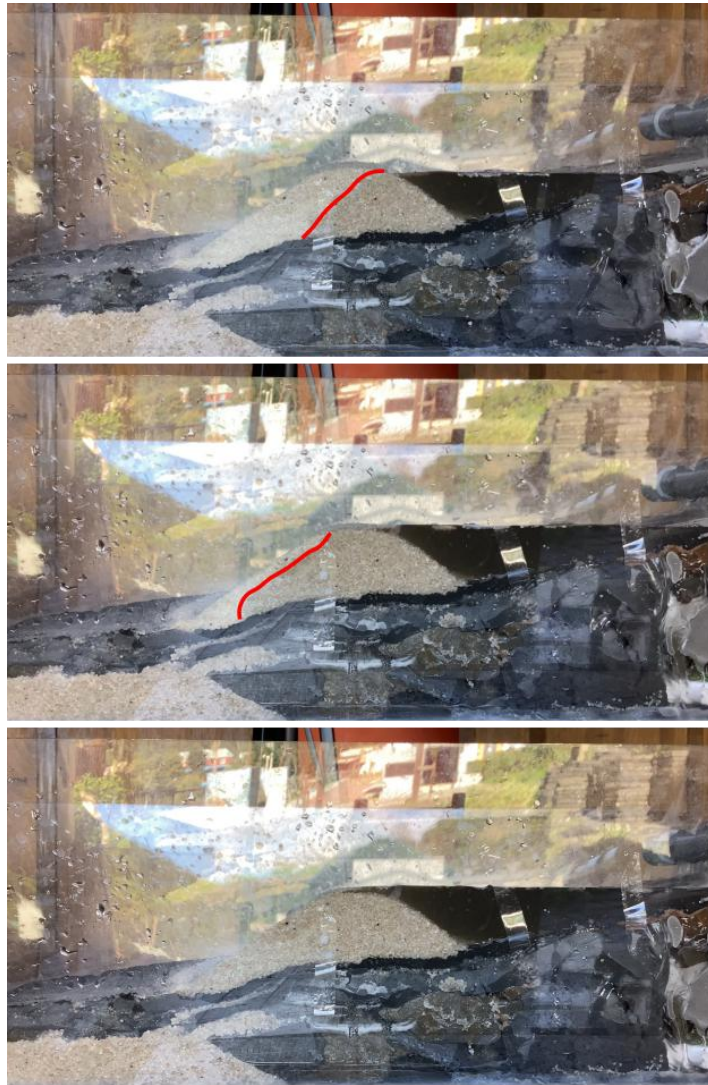


圖 5.3 組別 3

當壩體高寬比相近時，溢頂破壞與管湧破壞幾乎同時發生

二、對下游影響

由試驗結果得知，當壩體遭受破壞，水流會將土砂帶至下游，多數土砂會滯留於主支流匯口，部分則隨著支流水流被帶往支流下游，亦有部分土砂則被冲向集砂板，象徵主流對岸保全對象的災害。

試驗結果發現，當壩體高寬比相近時(參考組別 3、組別 4)，集砂板上收集的砂砂最重，由觀察判斷，由於土體同時受溢頂以及管湧破壞，壩體不穩定度最高，後方來水亦更快速且

大量地冲向下游，因此將挾帶更多矽砂往下游移動並停滯於集砂板上。

而窄高型壩體試驗(參考組別 5、組別 6)中，由於受管湧破壞，壩體後方能在蓄水的同時，下游管湧現象已經開始消耗部分蓄水區水流，因此壩體受破壞的速度較為緩慢，水流的破壞力也相對較低，大部分土砂滯留於主流上或隨支流水流被帶往蓄水槽，因此在集砂板上所收集的矽沙重量為最低。

陸、結論

- 一、透過本試驗可得知，壩體的形貌不同會影響壩體後方水流上升速度、壩體內部水流入滲速度，進而影響潰決機制，當壩體為寬矮型潰決機制主要為溢頂破壞，當壩體高寬比相近破壞模式則為溢頂及管湧近乎同步發生，而當壩體為窄高型時破壞模式則主要為管湧破壞。
- 二、壩體樣貌影響潰決機制，而潰決機制更並進一步影響著水流及土砂運動方式，當壩體高寬比相近，因同時承受兩種破壞機制，因此壩體快速被破壞，水流破壞力最強，對於下游保全對象的危害亦最高。而窄高型則相反，因壩體先受管湧破壞，水流破壞力分散，水量亦有部分自入滲時已先被消耗，因此對壩體及下游的破壞力均較低。
- 三、由於本次試驗選擇用矽砂較無黏性，且相對於現地土砂而言性質相異度較高，在潰決機制還原度上仍有尚待探討的空間，建議未來能選定一土石流潛勢溪流並參考現地粒徑調查資料，以加入不同粒徑之土砂進行混和粒徑試驗。
- 四、本次試驗坡度參考土石流發生最低坡度而定，然許多現地土石流潛勢溪流坡度多在 40 度以上，建議未來亦可朝不同坡度的調整面向進行試驗討論，以期更接近真實案例狀況。

柒、參考資料及其他

1. 田畑茂清、水山高久、井上公夫，(2002)，天然ダムと災害, 古今書院.
2. 陳樹群 (1999)，「堰塞湖潰決機制與減災工法研究」，中華水土保持學報，30(4)，pp. 299-311
3. 曾馥敏、陳樹群、安軒霈, (2014)，「現地試驗分析雙天然堰塞湖潰決特性」，中華水土保持學報
4. Brambilla S., Ferrari F. and Gatti D. (1999). “Cascade dam failure analysis using a lagrangian specification of the flow field.” IAHR Confess. Graz, Austria, p. 22-27.