

# 堰塞壩沖蝕破壞型態之初步顆粒流數值模擬

高志文<sup>1</sup> 馮正一\*<sup>2</sup> 羅佳明<sup>3</sup>

1. 中興大學水土保持系碩士生
2. 中興大學水土保持系教授 [tonyfeng@nchu.edu.tw](mailto:tonyfeng@nchu.edu.tw)
3. 中興工程顧問社大地工程研究中心研究員

## 摘要

本研究主要利用二維顆粒流離散元素程式(PFC<sup>2D</sup>)，針對堰塞壩進行堰塞壩溢流沖蝕破壞整體過程的模擬，探討水位上升至溢頂破壞時堰塞壩承受之應力狀態、發生溢流沖蝕破壞之型態與時間差異。本研究先採用相關文獻中的參數值，做為顆粒流模型參數設定之依據，再依現況潰壩情況進行適當的修正。預期藉由各不同類型之歷史案例驗證顆粒流數值模型後，再分析堰塞壩破壞型態的種類、時間等各項差異，以提供後續堰塞湖災害研究之參考。最後期望藉由集水區型態、雨量強度、地質特性等數據，推測堰塞壩存在之時間及潰壩時之洪水量，做為防災避難、撤離之決策參考。

關鍵詞：堰塞壩、溢流、沖蝕、離散元素法

## A preliminary investigation by PFC on erosive failure of landslide dam

Kao Chih-Wen<sup>1</sup> Feng Zheng-Yi\*<sup>2</sup> Lo Chia-Ming<sup>3</sup>

1. Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University
2. Professor, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University  
[tonyfeng@nchu.edu.tw](mailto:tonyfeng@nchu.edu.tw)
3. Researcher, Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants

## Abstract

This study applied the distinct element method, PFC<sup>2D</sup>, to simulate the process of dam failure caused by overtopping and erosion, and to discuss stress statuses, overtopping types, and existing period while water level rising to dam failure. The parameters set for particle flow model were consulted by correlated researches, and then adjusted properly with different situations. After verifying the particle flow model by each type in the past cases, the differences of dam failure type and periods can be concluded, which provides a model for the further work in landslide dam disaster. Finally, we expect that it will be able to speculate the existing period of dams and the volume of breaking flood and then to establish a standard reference for disaster evacuation by analyzing the data of basin type, rainfall intensity, and geological characteristics.

*Keywords: Landslide dam, overtopping, erosion, distinct element method*

## 一、 前言

岩坡深層崩塌易堵塞堵塞溪流，形成堰塞壩和堰塞湖。從歷史案例發現，導致災情慘重的原因，並非僅崩塌當時所造成，堰塞壩因溢流沖蝕，壩體被衝破瞬間，大量水體一洩而下，下游保全對象來不及撤離，生命財產之安全亦備受嚴重威脅。

本研究利用離散元素程式(PFC<sup>2D</sup>, Itasca, 2008)，探討不同流場情形，對於壩體破壞方式的不同，與高橋保等(1988)所提出的天然土石壩破壞形式進行比較，此分析結果對照相關文獻中的參數值，做為顆粒流模型參數設定之依據，依現況潰壩情況進行適當的修正。本研究未來將針對堰塞壩進行壩體溢流沖蝕破壞整體過程的模擬，藉以瞭解水位上升至溢頂破壞時壩體承受之應力狀態、發生溢流沖蝕破壞之型態與時間差異。最後期望藉由集水區型態、雨量強度、地質特性等參數，推測堰塞壩存在之時間及潰壩時之洪水量，可做為防災避難、撤離之決策參考。

## 二、 文獻回顧

近幾年台灣災害頻傳，羅佳明等(2007)，山區大規模的落石災害，如中橫沿線、花蓮九曲洞、達邦三號橋東側，造成聯外道路中斷及防護工程受損。又以高雄小林村(圖 1)、台東龍泉溪(圖 2)落石崩塌形成堰塞湖，間接威脅集水區下游保全對象生命財產之安全。

高橋保等(1988)，為了解天然土石壩的潰壩機制及過程，評估各種不同潰壩所產生之災害，分析常見堰塞壩的破壞型態有三：壩頂溢流破壞、邊坡滑動破壞、漸進管湧破壞(圖 3)。



圖 1 高雄小林村堰塞壩殘跡



圖 2 台東龍泉溪堰塞湖

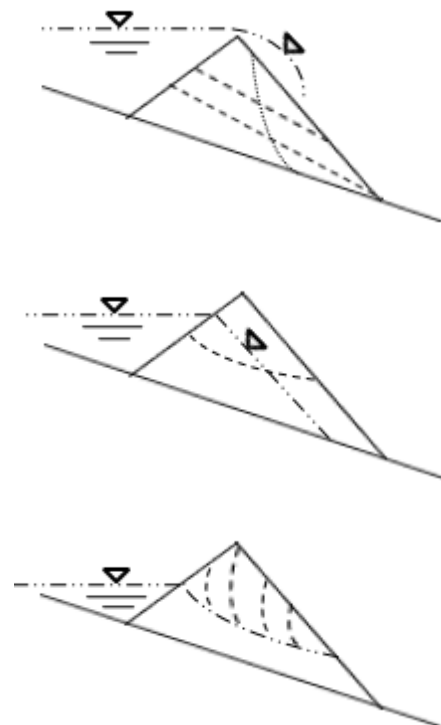


圖 3 天然土石壩破壞形式(重繪自高橋保與匡尙富，1988)

### 三、 研究方法

本研究採用 Itasca 公司所開發之軟體 PFC<sup>2D</sup> (Itasca, 2008), 進行模擬分析。利用高橋保等(1988)提出的三種天然土石壩破壞方式, 於建模完成後, 以不同的顆粒半徑、顆粒數量、鍵結強度(正向、切向)、流場網格, 流場方向及速度大小, 分析在這些變數下, 所產生的破壞型態差異, 未來與相關現地資料做一個相互驗證, 以求取最符合現地狀況的破壞方式。

#### 3.1 PFC 之基本假設

- (1) 顆粒假設為剛體。
- (2) 顆粒間的接觸極小(點接觸)。
- (3) 顆粒的作用只發生在接觸。
- (4) 碰撞情形僅於顆粒對顆粒、顆粒對牆。
- (5) 顆粒間可存在勁度的鍵結, 且可受力而破壞。
- (6) 顆粒幾何形狀皆為圓形, 可利用內建指令連結顆粒, 創造出任意形狀。
- (7) 顆粒可自由移動與轉動。
- (8) 水模組無法產生孔隙水壓的激發, 以忽略進行模擬。

#### 3.2 PFC 之基本假設

本研究 PFC 之基本假設如表 1 所示。

表 1 PFC 數值模型參數

參考項目	模擬參數值
模擬面積	400 m <sup>2</sup>
牆元素數量	20
球元素摩擦係數	0.3
球元素摩擦係數	1.0
平行鍵結正向勁度	1e7 kN/m <sup>3</sup>
平行鍵結切向勁度	3e6 kN/m <sup>3</sup>

### 四、 模擬分析結果

#### 4-1 壩頂溢流破壞

本研究 PFC 之壩頂溢流破壞模擬, 假設該堰塞壩體的透水係數在前述三種壞型態中最小, 強度最大, 其

相關參數如表 2, 假設水流略高過壩體, 上游流速較緩慢, 且為水平流動, 為低速區, 以維持壩體形狀; 下游流速加大, 向坡趾方向流動, 此為高速區。當模擬時間 22s, 下游坡面鍵結已經受到破壞(圖 4-a), 再增加 10s, 斷面被沖刷破壞(圖 4-b), 繼續模擬, 破壞更加明顯, 且有向上游面發展的跡象, 部分顆粒往下游滾動(圖 4-c), 時間到達 102s, 破壞更加劇, 被帶往下游的顆粒更多, 坡面角度漸緩(圖 4-d), 壩體只會發生某一斷面破壞, 不至於發生整體性破壞。可能發生此種型態破壞的地質特性為, 中央山脈和南部較為常見的泥岩及板岩。

表 2 PFC 數值模型變數

參考項目	模擬參數值
球元素半徑	0.01~0.05
球元素數量	5000
平行鍵結正向強度	7e4 kN/m <sup>2</sup>
平行鍵結切向強度	7e4 kN/m <sup>2</sup>

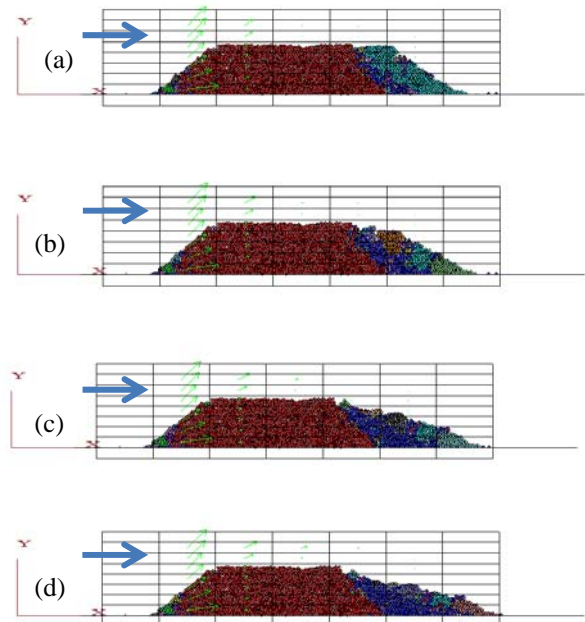


圖 4 溢流破壞模擬結果 (a)22s (b)32s (c)52s (d)102s

#### 4-2 邊坡滑動破壞



針對邊坡滑動破壞的模擬，本研究假設該堰塞壩體透水係數中等，強度最小，其相關參數如表 3，假設情形與壩頂溢流破壞相似，水流約到達壩體 2/3 高，上游流速較緩慢，且為水平流動，為低速區，以維持壩體形狀；下游流速加大，向坡趾方向流動，此為高速區。當模擬時間 23s，上游面有部分的鍵結被破壞，下游坡面鍵結也開始受到影響(圖 5-a)，再增加 10s，破壞有向上游面發展的趨勢，且顆粒被帶往下游滾動(圖 5-b)，繼續模擬，顆粒滾動距離更遠(圖 5-c)，時間到達 108s，破壞並沒有明顯向後的跡象，破壞區域就是之前那一塊，唯有顆粒的移動範圍變大(圖 5-d)，其距離較溢頂破壞來的遠。可能發生此種型態破壞的地質特性為，互層岩組(間夾和偶夾)。

表 3 PFC 數值模型變數

參考項目	模擬參數值
球元素半徑	0.01~0.05
球元素數量	4000
平行鍵結正向強度	3e4 kN/m <sup>2</sup>
平行鍵結切向強度	3e4 kN/m <sup>2</sup>

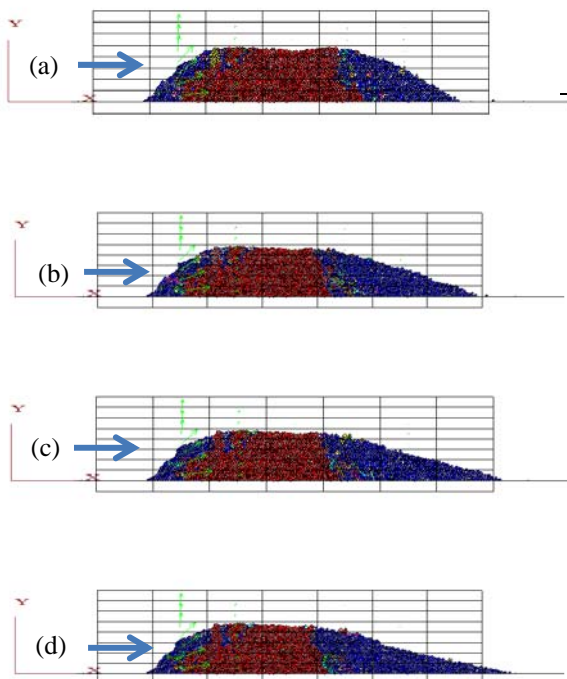


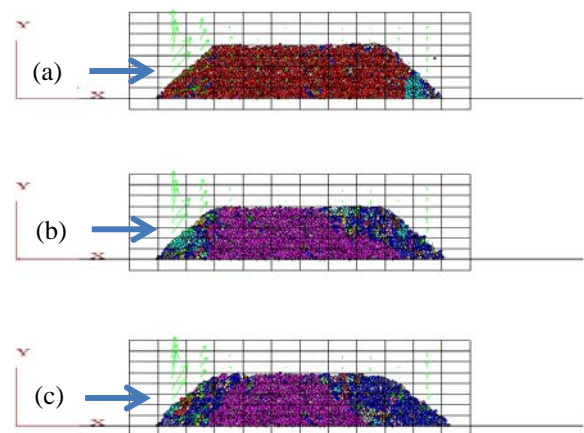
圖 5 邊坡滑動模擬結果 (a)23s (b)43s (c)68s (d)108s

### 4-3 溯源漸進破壞

針對溯源漸進破壞的模擬，本研究假設該堰塞壩體透水係數最大，強度中等，其相關參數如表 4，為了讓細顆粒可以由坡趾被帶出，特別將該壩體網格加密，假設水流約到達壩體 2/3 高，流向一致皆為水平流動，至下游僅剩下坡趾有流體。當模擬時間 1.4s，僅有下游坡角鍵結受到破壞(圖 6-a)，再增加 1.3s，上游面坡角有部分破壞，下游面鍵結開始斷裂(圖 6-b)，繼續模擬，鍵結破壞更加明顯，且有向上游面發展的跡象，部分顆粒往下游滾動(圖 6-c)，時間到達 7.1s，上游面的破壞變嚴重，下游顆粒間的鍵結破壞更加劇，坡面角度漸陡(圖 6-d)。整體模擬時間較短，表示該壩體的破壞相對於其他兩種方式來的快。可能發生此種型態破壞的地質特性為，互層岩組(互層)。

表 4 PFC 數值模型變數

參考項目	模擬參數值
球元素半徑	0.01~0.1
球元素數量	3000
平行鍵結正向強度	5e4 kN/m <sup>2</sup>
平行鍵結切向強度	5e4 kN/m <sup>2</sup>



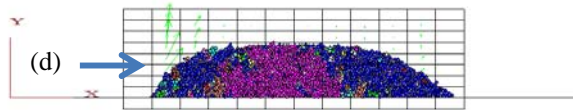


圖 6 漸進破壞模擬結果 (a)1.4s (b)2.7s  
(c)4.3s (d)7.1s

將三個模擬結果與高橋保等 (1988)，所提出的結果做比對，壩頂溢流破壞相似，而邊坡滑動破壞、溯源漸進破壞，與其所提出的結果有異。由於程式模擬中，無法考慮孔隙水壓的激發，致使滑動破壞，無法與其結果相對應；漸進式破壞有可能是顆粒範圍不夠明顯、網格還不夠密、水平速度太大，這些原因造成與其結果對應有異，在往後的參數設定上，需做一番評估，使模擬結果在驗證上有一個較好的對應。

## 五、 結論與後續建議

本研究以 PFC<sup>2D</sup> 來模擬天然土石壩的三種破壞型態，邊坡滑動破壞、溯源漸進破壞的結果，與高橋保等 (1988) 所提出，破壞方式有部分差異。在現地狀況下，材料應為非均值的，而模擬過程是以均值材料為主，導致模擬破壞與上述文章所說的，並非完全相同，在參數設定上需進一步了解，才可模擬出相似的結果。利用這三個堰塞壩破壞方式，以預期藉由各不同類型之歷史案例驗證顆粒流數值模型後，再分析堰塞壩破壞型態的種類、時間等各項差異，以提供後續堰塞湖災害研究之參考。最後期望藉由集水區型態、雨量強度、地質特性等數據，推測堰塞壩存在之時間及潰壩時之洪水量，做為防災避難、撤離之決策參考。

## 六、 致謝

本研究承蒙國科會計畫 NSC99-2625-M-005-004-MY3 之支持，特此致謝。

## 七、 參考文獻

1. 高橋保、匡尚富 “天然ダムの決壊による土石流の規模に関する研究”，京都大學防災研究所年報，第 31 號 B-2 pp.601~615，1988。
2. 羅佳明、林銘郎、李偉竹、李宏輝，「物理模型結合顆粒力學模擬於崖錐堆積形態之研究」，台灣公共工程學刊，第 3 卷，第 1 期，第 33~40 頁，2007。
3. Itasca, Inc. (2008) Particle Flow Code in 2 Dimensions, User's guide, Itasca Consulting Group, Inc.