

## 鯉魚潭土石壩受到集集地震作用之動態反應分析

馮正一<sup>[1]</sup> 蔡佩勳<sup>[2]</sup> 李俊男<sup>[3]</sup>

**摘要** 本研究以有限差分法 FLAC5.0 程式進行鯉魚潭水庫土石壩受到集集地震作用之動態反應分析。鯉魚潭之壩高為 96m。模擬鯉魚潭壩滾壓之築壩過程、土石壩滲流分析、滲流後之靜力平衡分析與最終之土石壩動態分析等一貫化分析。滲流分析係以集集地震來襲時的水位 60m 水位來分析。滲流分析後，再進行靜力平衡計算起始應力。在鯉魚潭壩因為集集地震的垂直向震動明顯，故垂直向與水平向的加速度歷時均輸入至土石壩底部進行 50 秒的動態分析。地震加速度在輸入前先將高於 5Hz 的頻率濾除。動態分析的土壤模式採用等值線性的 FLAC 內建模式(Sigmoidal 4)與莫爾-庫倫模式加上 5%雷利式阻尼來指定。本研究數值分析所得壩體的加速度及其傅立葉頻譜與監測紀錄比較，且將壩頂與下游殼層的永久變形與測量資料比較後，存有差異，本文亦探討其可能產生差異的原因。本研究再以鯉魚潭壩受到集集地震分析結果為基準案例，針對築壩材料的剪力模數對土石壩的動態反應進行參數分析，其結果顯示剪力模數越大，壩體變形越小。

**關鍵詞：**土石壩、有限差分法、動態反應、等值線性、滲流分析。

## Analyses of the Dynamic Responses of Li-yu-tan Earthdam Subjected to Chi Chi Earthquake

Zheng-yi Feng<sup>[1]</sup> Pei-hsun Tsai<sup>[2]</sup> Jun-nan Li<sup>[3]</sup>

**ABSTRACT** This study used FLAC5.0 to analyze the dynamic response of Li-yu-tan earthdam subjected to the 1999 Chi-Chi earthquake ( $M_L=7.3$ ) in Taiwan. The dam is 96m high. The construction stage of the dam was simulated by 20 layers of the dam materials sequentially added up to the top. Seepage analysis was performed considering a 60-meter water level, which was the level when the earthquake struck. After the seepage analysis, the initial stress state of the dam before applying the earthquake was obtained by computation for static equilibrium. Because the vertical shaking of Chi Chi earthquake is notable, both the horizontal and vertical monitored acceleration time histories were input to the base of the dam for 50 seconds in the dynamic analyses. The frequencies of accelerations were filtered to be under 5 Hz before input. The FLAC built-in "Sigmoidal 4" linear equivalent dynamic model and Mohr-Coulomb soil model were simultaneously

- 
- [1] 國立中興大學水土保持學系助理教授(通訊作者)  
Assistant Professor, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan.(Corresponding Author)  
E-mail: tonyfeng@nchu.edu.tw
- [2] 朝陽科技大學營建工程系助理教授  
Assistant Professor, Department of Construction Engineering, Chaoyang University of Technology, Taichung County 413, Taiwan.
- [3] 朝陽科技大學營建工程系碩士班研究生  
Graduate student, Department of Construction Engineering, Chaoyang University of Technology, Taichung County 413, Taiwan.

adopted with a 5% Rayleigh damping. The numerical results were compared using the acceleration time histories monitored data and their Fourier transforms at the top of the dam. Permanent displacement at the top, upstream and downstream shells was also evaluated with the theodolite data. Discrepancies between the data were found. Possible factors causing the differences are discussed. A parametric study for shear modulus of the dam materials on dynamic responses was performed. The result shows that the larger the shear modulus is, the smaller the deformation would be.

**Key Words:** earthdam, seepage, earthquake response, linear equivalent, finite difference method.

## 一、前言

台灣地震頻繁，因水庫之蓄水量甚大，且加上地震加速度作用下，很有可能造成水庫壩體之潰壩，進而造成下游區域之重大災害與財產損失。921 集集大地震，造成許多建築物發生傾倒、眾多公共設施與土石壩亦受到波及損壞。

目前土石壩在台灣為最常用的水庫壩體結構，因此本研究針對土石壩受到集集地震作用進行動態反應的數值分析。鯉魚潭水庫之土石壩體在 921 地震中，加速度監測資料頗為齊全，因此本研究選擇以鯉魚潭水壩進行數值之分析。且為了發展一貫化的分析方法，所以選用可模擬築壩過程(分層滾壓)土壩材料堆填分析、蓄水滲流分析與地震動態分析之顯性有限差分法 FLAC 5.0(Itasca, 2005)來進行。

## 二、文獻回顧

有限差分法在應用上的優點主要有：(1)應用簡單；(2)對於非均質材料，可分別指定材料參數；(3)直接以動態控制方程式在時間域求解，對非線性問題之計算相對快速。

Beaty and Byrne(1999)以合成分析法(Synthesized approach)運用有限差分法進行模擬土壤液化和位移之研究，將分析程序分為液化前、初始液化及液化後等三階段，並以 San Fernando 大壩案例進行分析。探討影響因子之關係，其發現之影響因子包括載重的方向、週期性的地震運動、遲滯性阻尼係數、打擊數(N-value)、土壤受剪力的殘留強度與土壤強度等因子。

Wang *et al.* (2001)利用有效應力法進行濱海堤壩之動態數值模擬，應用 Bounding Surface Hypoplasticity 模式 (Wang *et al.*, 1990)模擬土壤的非線性反覆應力應變行為與剪應力引起體積變化或

孔隙水壓之特性，結合 FLAC 程式動態分析和滲流之分析能力進行計算(Wang and Makdisi, 1999)，初步證實 FLAC 適用於土石壩之動態分析。

Dawson *et al.* (2001)以莫爾-庫倫線彈塑性之特性結合現地孔隙水壓激發的現象，基於 Seed 之反覆應力方法所發展而出的孔隙水壓激發模式(Pore-pressure generation model)，運用 FLAC 軟體結合其發展之模組，以 San Fernando 大壩為分析案例進行分析。分析結果可以呈現壩體之液化現象，但液化後體積沉陷之變化不易準確獲得。

Makdisi and Seed(1978)提出土石壩分析簡易法，該法係根據土石壩一維之基本振動周期與前三個主要的振態為基礎，配合土石壩受震變形圖表，概估求得壩體之變形量與壩頂最大加速度。方法較為簡單但是精確度較為不足。

邱賢德等(2003)以有限差分法 FLAC 程式初步分析仁義潭水庫受 1998 年瑞里地震作用下之力學行為、起始應力與滲流分析，嘗試對壩體材料勁度參數對自然頻率的影響與不同水位對壩體受震時的反應加以探討。

## 三、研究方法

本研究首先建立土石壩靜力平衡下之起始應力狀態，先針對土石壩材料參數進行分析，並決定材料參數，以有限差分法 FLAC 程式來進行土石壩的二維靜態分析，包括模擬築壩過程之壩體受力行為、計算壩體蓄水穩態滲流後之靜態起始應力。再對鯉魚潭水庫大壩輸入 921 集集地震水平向與垂直向加速度，探討壩體受地震力後，壩體所產生之加速度及傅立葉頻譜歷時曲線及永久變位量等進行模擬，再將計算結果與監測資料比對誤差情形。本節就本研究進行鯉魚潭水庫以 FLAC 程式進行數值模擬之方法要點與詳細程序提出討論。