

## 石門水庫淤泥受壓之流動性試驗與採礦法開挖淤泥之初步評估

### A Compressive Extrusion Experiment on the Sludge and Its Application for Sludge Mining in the Shih-Men Reservoir

王士榮<sup>1</sup> 王建力<sup>2,\*</sup> 徐國錦<sup>3</sup> 葉書泓<sup>4</sup> 溫紹炳<sup>3</sup>

Shih-Jung Wang<sup>1</sup>, Chein-Lee Wang<sup>2</sup>, Kuo-Chin Hsu<sup>3</sup>, Su-Hong Yeh<sup>4</sup>, Shaw-Bing Wen<sup>3</sup>

#### 摘 要

石門水庫之淤積狀況嚴重，造成蓄水量減少並可能發生日後潰堤之風險，因此，使用永續經營之概念來解決石門水庫淤積之問題，為當前一大挑戰。本文針對使用採礦方式開挖石門水庫淤泥之概念，進行水庫淤泥之流動性試驗，探討實驗室尺度中，淤泥在不同含水量、應力與開孔直徑下主動出泥之可行性。本研究改良土壤單向壓密試驗儀並設計單向壓密出泥試驗，以了解石門水庫淤泥受壓情況下之流動特性。試驗結果顯示，淤泥主動出泥之適當含水量約為 27.2~39.7%。由現地土水分布造成之載重與配合假設狀態下之水庫底泥含水量分布，考量輕質骨材燒結所需之含水量介於 30~42%，則適當開挖位置約在土水界面下 14 公尺，若採用主動出泥方式有土水坍塌之風險，因此，在本研究假設含水量分布條件下，建議使用被動開採方式進行石門水庫淤泥開挖。未來若能獲得石門水庫淤泥含水量對深度之分布，可更精確確認適合開發位置，再進行相關開採之可行性評估。

**關鍵詞：**石門水庫、淤泥、採礦、出泥試驗、含水量。

#### Abstract

The deposit problem of the Shih-Men Reservoir is serious. It induces a decrease of storage and an increase in failure risk of the dam. The sustainable concept may help to overcome the deposit problem of reservoirs. This study applies the mining concept to remove the sediment in a reservoir and focuses on the estimation of the extrusive behavior of the sediment. A mud extrusion experiment is designed and built up by modifying the existing consolidation test. The experiment considers the factors of water content of sludge, compressive stress, and opening size to evaluate the active extrusive rate of wet sludge in laboratory scale. The active extrusion of mud means that the mud can be extruded out from the opening under a compressive condition. The experiment results show that the suitable water content of the sludge for an active extrusion is 27.2~39.7%. Considering 30~42% water content of the sludge for the use of lightweight aggregate and a cross

100 年 12 月 15 日收件 101 年 2 月 24 日受理

<sup>1</sup> 國立成功大學大地資源研究中心博士後研究員(Postdoctoral Researcher, Georesources Research Center, National Cheng Kung University)。

國立成功大學資源工程學系 <sup>2</sup> 副教授 <sup>3</sup> 教授 <sup>4</sup> 碩士 (<sup>2</sup>Associate Professor, <sup>3</sup>Professor, <sup>4</sup>Master Degree, Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University)。

\*通訊作者 (Corresponding Author)。

section of the Shih-Men Reservoir with an assumed distribution of water content, the suitable active exploitative depth is 14 meters from the interface of water and sediment. The depth is shallow and might induce a hazard under a mining condition. Therefore, the exploitative location should be in the hard zone of the sediment to avoid the possible hazard. However, the experiment scale used in this study is small and the distribution of water content is an assumed condition, further investigations are required for field estimation.

**Key words:** Shih-Men Reservoir, Sludge, Mining, Mud extrusion experiment, Water content.

## 一、前 言

由於臺灣的地勢陡峭造成山高水急，加上雨量集中造成降雨強度大，使得臺灣每年降雨量雖然高於世界平均，卻仍舊水源缺乏。臺灣地區目前的用水主要來自於河川、水庫與地下水，其中水庫的蓄水占了絕大多數。臺北地區的用水主要依賴石門、翡翠等水庫的供應，而石門水庫目前淤積之情況嚴重，已經消耗掉約三分之一的原儲水量（高憲彰等人，2009），加上上游的攔砂壩，巴陵壩已經崩潰且龍華壩已經屆於滿溢，俟上游的攔砂壩崩潰後，石門水庫的淤積情況勢必將更趨惡化。有鑒於此，有關單位已持續針對石門水庫淤積淤泥進行相關處置，處置方式主要有路面機械開挖、機械浚渫與水力排砂等方法（經濟部水利署北區水資源局，2008）。路面機械開挖為採用挖土機等機具，於乾旱時將出露之泥沙部分挖除，但受制於天候之影響，且挖掘之泥砂量有限；機械浚渫採用浚渫船清除淤積底泥，取出之泥水一般需要與大量的水進行混合成為高流動性後才能操作，且泥水管路運輸能量損耗大而容易阻塞，並需要興建大面積的沉澱池，另一方面抽出之泥水實際所含之泥量相對較少，消耗許多能量但效率不高，沉澱池目前亦已經填滿，需挖除後才可再使用。水力排砂為利用水流的力量配合足夠入流量，在適當時間打開閘門將泥砂排出庫外，為相對無二次污染之方法。然而，上述前兩種淤泥的處置方式，取出泥沙之處理，又是另一個問題所在（高憲彰等人，2009）。

近年來有一個新的想法提出，為使用採礦的方式，從水庫底部或側邊進行開挖，讓水庫底部的淤泥可以主動或被動取出（溫紹炳等人，2005；李盈林，2006；王建力，2008；徐國錦，2008；黃君楷，2009），而取出之淤泥可作為燒製輕質骨材的原料或混凝土製品原料等，提供建築相關產業的使用，使取出之淤泥作資源化再利用，亦解決水庫淤積所造成之問題（李盈林，2006；葉春爐，2007；經濟部水利署北區水資源局，2008；高憲彰等人，2009；李嶸泰等人，2010）。本研究定義主動開採，指淤泥在不施加額外作用下可自行流出（壓出）之情況，或廣泛的說，指施加額外作用力使淤泥自行流出（壓出）之情況；而被動開採，指淤泥如同一般採礦方式，須進行人工開挖的方式進行開採之情況。因此，主動開採須在淤泥有適當流動狀態下方可進行，而被動開採則在淤泥為固態狀態下進行。本研究即針對使用採礦方式進行石門水庫淤泥開挖方案，首先進行石門水庫淤泥在不同含水量狀態下的流動性試驗，以了解淤泥的流動特性，進而評估石門水庫淤泥在主動開採方式下之可行性。

針對石門水庫淤泥之流動特性，工業技術研究院礦業研究所（1970a, 1970b）進行石門水庫淤泥採樣與試驗分析，結果顯示淤泥之含水量超過液性限度屬於黏性液態體，粘度試驗結果則顯示淤泥近似於黃油的粘度。周憲德（1984）採取石門水庫之岸邊淤泥與少量底泥做淤泥之基本試驗分析，結果顯示淤泥屬於 Bingham 流體。然而，工業技術研究院礦業研究所（1970a, 1970b）評估淤泥之黏性，而周憲德（1984）為使用泥水進行試驗，皆非針對淤泥在不同含水量狀態下受壓