

# 単孔式希釈試験による地下ダム止水壁の機能診断

## Functional diagnosis of cut-off wall in subsurface dam using single-borehole dilution test

竹内 佑衣\*・○大森 千嘉\*\*・鈴木 麻里子\*\*\*・井上 一哉\*\*\*  
Yui Takeuchi, Chihiro Omori, Mariko Suzuki and Kazuya Inoue

### 1. 緒論

止水壁により地下水を堰上げて利用する地下ダムは、止水壁の状態を目視確認することができない。地上ダムと異なり、地下ダムの機能診断手法は確立されていない<sup>1)</sup>点を踏まえて、本研究では、単孔式希釈試験を用いた機能診断を提案する。実サイトにて単孔式希釈試験と数値解析を実施し、機能診断の基準となる現状の把握、止水壁損傷時の単孔式希釈試験の結果の変化について言及する。

### 2. 単孔式希釈試験による現在状態の調査

#### 2.1 帯水層の透水係数鉛直分布の同定

対象サイトは鹿児島県喜界島の喜界地下ダムである。止水壁近傍の観測孔にて、帯水層の透水係数分布を同定すること、機能診断の基準となる現在の止水壁における結果を得ることを目的として観測孔 $\alpha$ と $\beta$ にて単孔式希釈試験を実施した。本稿では代表して観測孔 $\alpha$ の結果を記す。

単孔式希釈試験では、初期濃度 $C_0 = 0.744 \text{ mg/cm}^3$ のNaClを孔内へ投入し、図1のようにECロガーを用いて異なる標高の電気伝導度の時間変化を計測し濃度 $C$ に換算した。各標高の濃度低下曲線を図2に示す。相対濃度 $C/C_0$ の時間変化に基づき透水係数 $K \text{ (cm/s)}$ を

$$K = \frac{\pi}{2t|I|} \ln\left(\frac{C}{C_0}\right) \quad (1)$$

にて求めた。本研究では、3つの観測孔の地下水位から動水勾配 $I$ を算出し、堆積岩である石灰岩の特性から層状の透水係数分布を仮定した。

5つの標高に対する透水係数 $K$ の同定結果を図1に示す。一般に石灰岩の透水係数は $10^{-2} \sim 10^1 \text{ cm/s}$ であることを踏まえると、対象サイトは比較的透水係数の大きな場である。また、標高ごとの透水係数のばらつきは3倍程度であり、ばらつき幅の小さい鉛直分布である。機能診断の基準として現在の止水壁の状態を評価するため、5つの標高にて得た濃度の時間変化を平均濃度変化として表すと図3のようになる。

#### 2.2 現在状態における単孔式希釈試験結果の評価

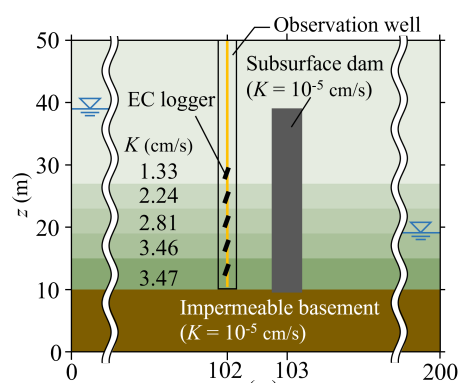


図1: ECロガー設置位置および透水係数分布

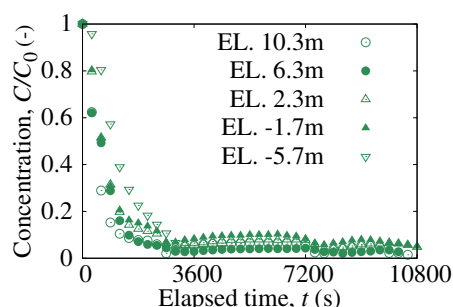


図2: 標高ごとの濃度変化

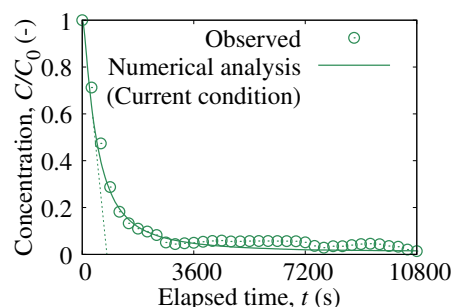


図3: 単孔式希釈試験の再現

\* カナデビア株式会社: Kanadevia Corporation

キーワード: 地下ダム, 止水壁, 機能診断, 単孔式希釈試験

\*\* 神戸大学農学部: Faculty of Agriculture, Kobe University.

\*\*\* 神戸大学大学院農学研究科: Graduate School of Agricultural Science, Kobe University.

図1の領域にて数値解析による濃度変化の再現するため、飽和不飽和浸透流方程式<sup>2)</sup>を求解して流速分布を求めた。ランダムウォーク粒子追跡法<sup>3)</sup>により移流分散現象を再現すると、図3に実線のようになり、単孔式希釈試験を良好に再現できている。よって、現在の止水壁状態を機能診断の健全基準と見なし、合わせて、溶質の流出速さの定量化のため、図3に示す濃度低下曲線の初期直線部の延長線と $x$ 軸と交点を流出時間 $T$ (s)、現在の $T$ を $T_h$ とする。

### 3. 止水壁損傷シミュレーション

止水壁は地震動や壁体材料の流亡による部分損傷の可能性があり、健全状態と比較して損傷部の透水性は大きくなり、濃度低下曲線に変化が生じる。人工的に壁体に損傷を与えることはできないため、数値解析による損傷シミュレーションを行う。損傷形状は図4に示すように、圧力のかかる下部損傷 (Case B)、地震動による鉛直亀裂 (Case S) を想定した。損傷程度は損傷部の透水係数 $K_d$  (cm/s) にて表現した。

Case B, Case S の結果を図5, 図6に示す。凡例は損傷部の透水係数 $K_d$ を示す。両ケースとも $K_d$ の増加に伴い流出時間 $T$ は減少しており、損傷部の透水性の増加は溶質の観測孔からの流出を促進することを裏付けている。また、 $K_d$ が周辺地盤と同程度となると $T$ は $T_h$ と比較してCase Bは1/2, Case Sは1/8程度に減少する。 $T_h$ に対する $T$ の減少率を検討するため、 $K_d$ と $T/T_h$ の関係を図7に示すと、Case SはCase Bより損傷の影響は大きく生じることがわかる。ここまで手順を観測孔 $\beta$ の損傷シミュレーションとして適用し、 $T/T_h$ の結果を図7に示す。 $\alpha$ ,  $\beta$ で止水壁損傷時の影響の程度は異なり、観測孔固有の損傷度と流出時間 $T$ の減少率の関係を有していることがわかる。

### 4. 結論

本研究では、単孔式希釈試験を用いた喜界地下ダム止水壁の機能診断手法を提案した。止水壁近傍の観測孔における単孔式希釈試験にて透水係数分布の同定および現状の把握を行い、数値解析にて止水壁の損傷程度と流出時間 $T$ の減少率の関係を明らかにすることで、継続的に実施する単孔式希釈試験の結果から止水壁損傷の可能性を察知できる。

参考文献：1) 緑資源機構，地下ダムによる水資源開発の手引き，2006. 2) Neuman, S.P., *J. Hydraul. Div.*, 1973. 3) Salamon, P. et al, *J. Contam. Hydrol.*, 2006.

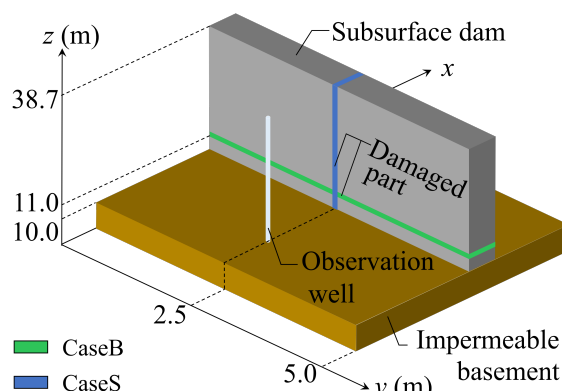


図4: 損傷シミュレーションにおける止水壁の損傷形状

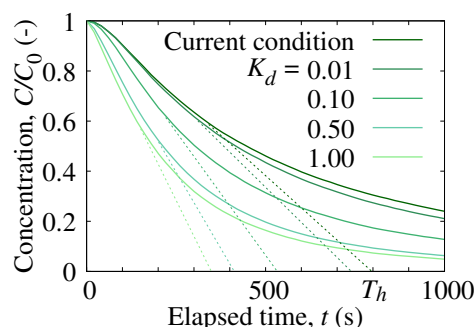


図5: 下部損傷 (CaseB)

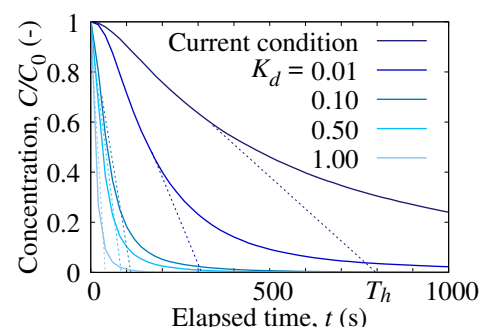


図6: 鉛直亀裂 (CaseS)

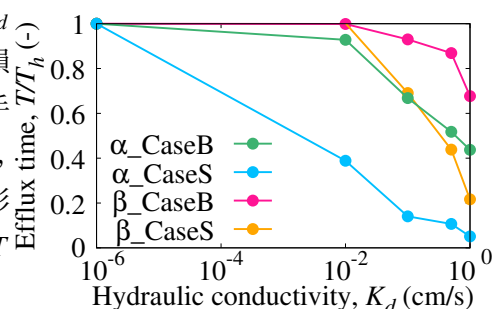


図7: 損傷の程度と流出時間の関係