

水質の時系列解析と多変量解析によるロックフィルダムの漏水経路の推定

熊本大学工学部 ○学生員 伊藤義文
 熊本大学工学部 学生員 ジャファル
 熊本大学工学部 正会員 一ノ瀬照子
 熊本大学工学部 正会員 中島重旗

1. はじめに 最近のロックフィルダムは、施工管理技術の向上であり良好でない岩盤の場所にも設けられるようになり、堤体自体の漏水問題よりも、節理や空隙等の自然な閉鎖が満足できないダム基礎地盤や周辺地山の遮水性能の問題が、ダムの漏水量に大きく影響するようになった。よって浸透水や漏水の経路、貯水池水及び地山地下水との関係を把握することはダム管理上重要である。

そこで本研究の目的は、水質成分を用いて多変量解析及び時系列解析により漏水経路の推定を試みるものである。

2. 調査対象ダムの概要 調査対象ダムは、センターコア型ロックフィルダムでダムサイトを構成する岩石は三群変成岩に対比される黒色片岩と緑色片岩が主体で、これにアブライトが貫入している。黒色片岩は堆積岩類を原岩とし、緑色片岩は火山岩類を原岩として変成したものといわれている。図-1に採水地点を示す。

採水は、全35点について平成2年7月～12月、各月1回ごとに水質分析を行った。
 ダム周辺地下水-採水地点(1~13)
 堤体内漏水-採水地点(14, 14', 15~20, 28, 29)
 堤体基礎地盤内地下水-採水地点(21, 22, 23)
 尚、解析には昭和61年7月,平成元年4,6,7,11月の水質データも用いた。

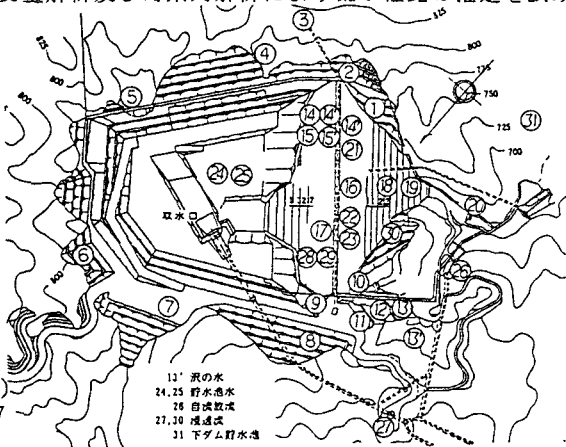
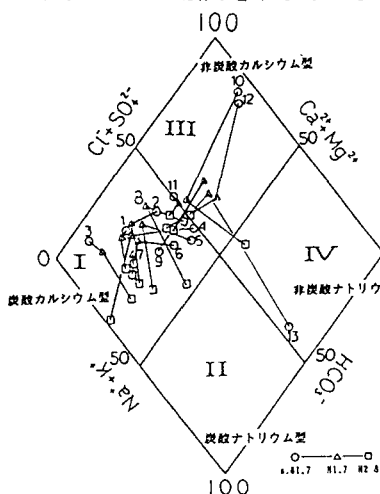
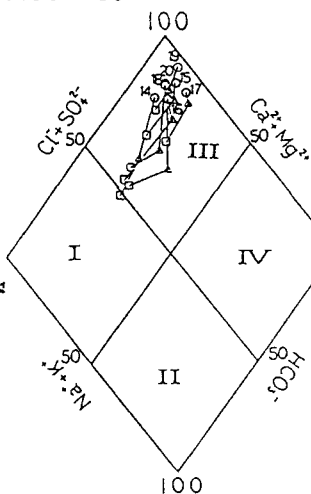
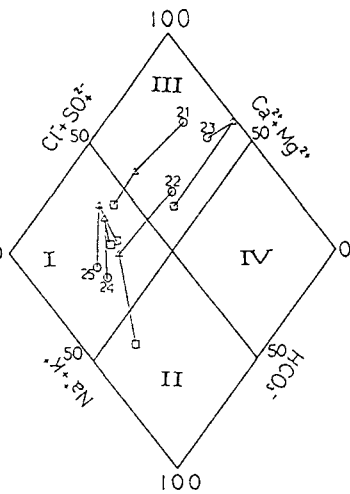


図-1 採水地点

3. 水質分析結果 キイダイヤグラムは陰イオン ($\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$)・($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$)、陽イオン ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$)・($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) の4成分系が化学平衡を保っていると仮定したもとの水質区分に用いられるものである。これにより、昭和61年7月,平成元年7月,平成2年8月のデータを用いキイダイヤグラム上にプロットし、水質の変動を見てみた。図-2(i),(ii),(iii)に、その結果を示す。結果、ダム周辺地下水は炭酸カルシウム型の一般的地下水の性質を示しているが、10は非炭酸ナトリウム型へと変動している。ダム堤体内漏水は皆同様な動きを見せていて、炭酸カルシウム型への傾向を示し、堤体基礎地盤内地下水21, 22, 23は地下水の性質を示す炭酸カルシウム、ナトリウム型への傾向を示していると考えられる。

図-2 i) キイダイヤグラム
(ダム周辺地下水)図-2 ii) キイダイヤグラム
(ダム堤体内漏水)図-2 iii) キイダイヤグラム
(堤体基礎地盤内漏水及び貯水池)

4. 多変量解析 平成2年における6回の水質データを各月毎に13項目を变量として、主成分分析にかけた。その結果、第2主成分までで因子負荷量が70%以上、变量間の相関係数が0.7以上、地下水水質の進化、対象地域岩石からの各溶出成分等を考慮に入れ、6变量（EC, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, SO₄²⁻）を対象地域の水質に顕著な傾向をもつ項目として、各採水時ごとに主成分分析を行い、更に得られた第1, 2主成分得点を用いて、クラスター分析にかけ、採水地点の分類を行った。表-1, 図-3, 図-4 平成2年7月の解析例を示す。表-1の結果より、Z1軸は全イオン量の増加を示し、Z2軸はNa⁺, K⁺が増加、Mg²⁺が減少傾向にある。よってZ1軸は地下水の溶出作用を、Z2軸はイオン交換作用を反映していると考えられる。図-4のデンドログラムの結果より点線R-Rで切ることによって6つのグループに分類でき、それをもとに図-3の散布図上で、グループを囲ってみた。

表-1 主成分分析結果(H2.7)

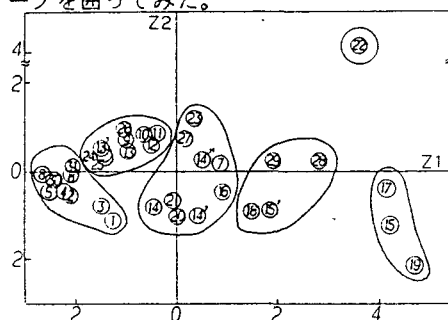


図-3 散布図(H2.7)

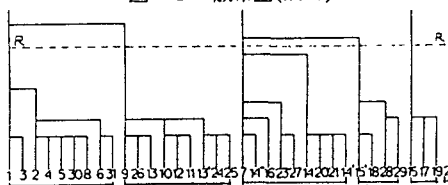


図-4 デンドログラム(H2.7)

変 量 名	平成 2 年 7 月		13 変 量				6 変 量			
	平均値	標準偏差	固有ベクトル		因子負荷量		固有ベクトル		因子負荷量	
			Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2
水温(℃)	14.52	2.66	-0.209	0.027	-0.442	0.046				
pH	7.73	1.42	0.06	0.269	0.138	0.450				
EC (μS/cm)	142.46	52.56	0.461	-0.062	0.974	-0.138	0.483	-0.133	0.982	-0.151
Na ⁺ (mg/l)	7.50	3.08	0.413	0.223	0.872	0.375	0.424	0.402	0.861	0.457
K ⁺ (mg/l)	1.63	0.93	0.248	0.397	0.524	0.666	0.254	0.721	0.515	0.820
Mg ²⁺ (mg/l)	5.14	3.70	0.348	-0.241	0.735	-0.404	0.367	-0.426	0.747	-0.485
Ca ²⁺ (mg/l)	3.30	2.33	0.437	0.022	0.922	0.036	0.453	0.032	0.921	0.036
F ⁻ (mg/l)	0.11	0.05	-0.096	0.379	-0.203	0.637				
Cl ⁻ (mg/l)	4.39	0.96	-0.048	0.484	-0.102	0.812				
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0.24	0.25	-0.025	0.973	-0.053	0.124				
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	28.51	32.41	0.394	-0.259	0.833	-0.435	0.427	-0.344	0.868	-0.391
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	39.95	18.76	0.146	0.346	0.308	0.581				
SiO ₂ (mg/l)	9.58	2.78	-0.080	-0.289	-0.167	-0.485				
			固有値		4.461		2.815		固有値	
			累積寄与率		0.343		0.560		累積寄与率	
							4.130		1.293	
									0.568	
									0.904	

5. 時系列解析 時系列解析は、2次元の平面的な数値の推移に着目して分析を行うもので、変量は単一の物で、1周期つまり1サイクル、サンプルは第1周期、第2周期、...を取り扱う。これによりデータの移り変わりが傾向変動、循環変動、季節変動、不規則変動の4つの変動要因によって合成されると仮定して各変動を分析し、今後の予測に役立てるものである。

今回は、時系列のモデルとして、4つの変動を加法的に結びつける加法モデルを使用した。それはXを原系列、Tを傾向変動、Cを循環変動、Sを季節変動、Iを不規則変動とすると次式で表せる。

$$X = T + C + S + I$$

i) 傾向変動(T)の分析: 傾向変動の分析には、1次式 $T = a + b \cdot t$ を仮定し最小2乗法を用いて定数a, bを推定。

ii) 循環変動(C)の分析: 循環変動は、数学的モデルで解析するためにコレログラム分析と呼ばれる接近法を使用した。尚、このコレログラム分析は、循環変動と不規則変動を区別せずに分析する点に特色があるので今回は不規則変動を循環変動の一部と見なし解析した。

自己相関係数: 系列 $e(t)$ とそのm時点遅れた系列 $e(t-m)$ の系列相関を遅れmの自己相関係数と呼ぶ。

$$r(m) = \frac{\sum_{t=m+1}^N e(t) \cdot e(t-m)}{\sqrt{\sum_{t=m+1}^N e(t)^2} \sqrt{\sum_{t=1}^{N-m} e(t)^2}}$$

mを0から順次変化させて得られる系列 $r(m)$ をコレログラムと呼ぶ。

iii) 季節変動(S)の分析: 季節変動の調整法は、反復移動平均比率法を使用した。この方法は、反復平均法を利用して季節指数を計算し、季節調整を行なう方法である。

尚、結果は発表時に報告する。

6. 終わりに 今後、多変量解析と時系列解析の結果及び各点の地下水水位データ等の資料などから総合的な検討をし、漏水経路の推定を行なう予定である。