

東京電力(株) 正員 ○平井 憲

藤原万喜夫

1. まえがき

ダムの挙動を監視するためには、種々の項目について計測を行なう必要がある。漏水量、変形、揚圧力の3項目は、ダムの挙動が総合的に現われる現象であり、漏水量はその中でも最も重要な測定項目である。

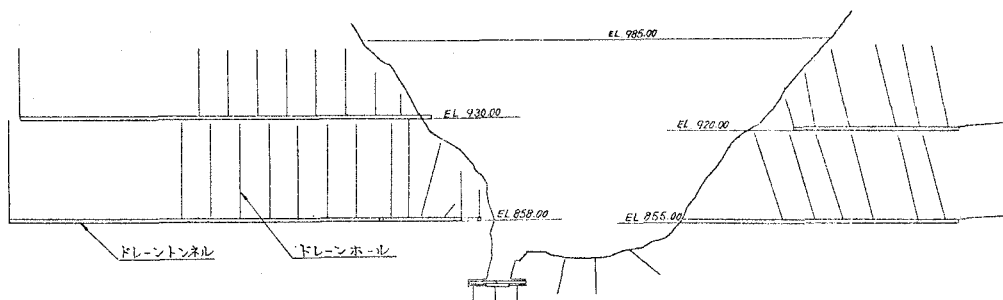
岩盤中を水が浸透して行くメカニズムは、不明な部分が多く、また貯水位、雨量などによって測定値が変動するにため、漏水量が正常であるかどうかを判定するのは難しい問題である。

本文は、信濃川上流梓川にある奈川渡ダムの基礎漏水量について、管理式を作成し、これに基づいてダム管理を定量的に行なうことを試みにものである。

2. 基礎漏水量の測定方法

図-1のドレーントンネルにおいて、漏水を集め、三角ゼツに導き、越流水深を1mm読みの触針型水位計で測定し、これをダム右岸にある制御所で打点記録している。この他にドレーンホール毎の漏水量も、メスシリンドラ等で定期的に測定しており、異常があつた場合、どの部分の異常か分るようになつている。

図-1 奈川渡ダムドレーン工展断面図



3. データの解析

昭和44年8月16日～昭和50年2月28日にかけて、漏水量、雨量、貯水位の3項目に関して、毎日のデータが得られている。このデータ数は各々2223個となり、多すぎて扱いにくい上、測定誤差等により、本質的な要因の影響の現われが鮮明でなくなる。そこで半旬単位にデータを平均し、これを基礎データとした。この基礎データは以下のように表記する。

Q_t : 時刻 t におけるダムの基礎漏水量

H_t : 時刻 t における貯水位

R_t : 時刻 t における雨量

ここで t は半旬数を示す。

基礎データ Q_t , H_t , R_t をプロットしたものが図-2である。

3.1 データの傾向

図-2より以下のことが言える。

(i) 時間の経過により、漏水量は減少していく。

(ii) 貯水位の変動と漏水量の変動とは、相関が高いと考えられる。

(iii) 貯水位の大幅な変動が漏水量に与える影響は、時間が経過するに従い、減衰していくようである。

(iv) 大雨のあとには、漏水量に影響が現われる。

3.2 管理式の設定

上述の傾向から、次のような手順で管理式を推定していく。

漏水量は、貯水位、雨量が全く変動しなければ、時間が経過するに従い、指数関数的に減少すると考えられる。したがって、最初に漏水量の時間に対しての傾向を示す式を作り、次に、この時間に対しての傾向と実測値との“ずれ”は貯水位と雨量の変動によつて引き起こされるものと考え、この“ずれ”を貯水位と雨量の変動によつて回帰する式を考える。以下にこれを詳述する。

(1) 漏水量の時間に対しての傾向を示す式を作る。

漏水量が時間の経過によつて指数関数的に減少していくのを、次式で表現する。

$$Q_t = \alpha + \beta \rho^t \quad \text{----- ①}$$

この係数 α, β, ρ を推定する際に、図-2のすべてのデータを用いると、貯水位が大きく下がっている部分(これを仮に“特殊状態”と呼ぶ)の影響を受け、正しい時間傾向が得られないので、特殊状態のデータを除いて係数を求める。この特殊状態は次のように求める。すなわち、貯水位の度数分布から中央値 H_m を求め

$$h = (\text{最大貯水位}) - H_m, \quad H_t < H_m - h$$

となる貯水位 H_t を特殊状態とする。これに対して、特殊状態でないものを“平常状態”と呼ぶ。

ここでは、 $H_t \geq 976.40$ となる貯水位データに対応する漏水量が平常状態と判断された。平常状態と判断されたデータ 298個より①式の係数 α, β, ρ を求めると、次のようになった。

$$Q_t = 814.01 + 1570.83 \times 0.9958^t \quad \text{----- ②}$$

(2) ②式から求めた値と実測値との“ずれ”を貯水位と雨量の変動によつて回帰する。

31 (iii) で述べたように、特殊状態では貯水位変動の影響が、時間の経過とともに減衰していくと考えられるので、これを考慮した回帰式にする必要がある。

a. 平常状態の回帰式

$$g_t - \bar{g} = A_1 \times (h_t - \bar{h}) + A_2 \times (R_t - \bar{R}) + A_3 \times (R_{t-1} - \bar{R}') \quad \text{----- ③}$$

b. 特殊状態の回帰式

$$g_t - \bar{g} = A'_1 \times (f(x) h_t - \bar{h}') + A_2 \times (R_t - \bar{R}) + A_3 \times (R_{t-1} - \bar{R}') \quad \text{----- ④}$$

ここで $g_t = Q_t - Q_t^e$, $h_t = H_t - H_m$, $\bar{g} = \frac{1}{N} \sum g_t$ (N はデータ数), $\bar{R} = \frac{1}{N} \sum R_t$

$\bar{R}' = \frac{1}{N} \sum R_{t-1}$, $\bar{h} = \frac{1}{N} \sum h_t$, $\bar{h}' = \frac{1}{N} \sum f(x) h_t$, $A_1, A_2, A_3, A'_1, A'_2, A'_3$: 係数

③式は、最小自乗法により係数 A_1, A_2, A_3 が求められる。④式は、まず減衰関数 $f(x)$ を推定し、次に最小自乗法によつて係数 A'_1, A'_2, A'_3 を求める。減衰関数 $f(x)$ は次のように求める。貯水位の変動が漏水量の変動に与える影響が、時間とともに変化するのを見るために、 g_t/h_t の変化を調べる。特殊状態のうち、図-2の期間1から10について、 g_t/h_t の平均と t の平均を求め、最小自乗法により g_t/h_t と t との関係を求めると次式が得られた。

$$f(t) = g_t/h_t = 10^{-0.001026t + 0.5240} \quad \text{----- ⑤}$$

最小自乗法により $A_1, \dots, A'_3$ を求めると、管理式は次のようになった。

a. 平常状態: $H_t \geq 976.40$ の場合

$$Q_t - (814.010 + 1570.83 \times 0.9958^t) - 4.394 = 15.550(H_t - 0.518) + 1.336(R_t - 3.919) + 3.624(R_{t-1} - 4.262)$$

$$Q_t = 1570.83 \times 0.9958^t + 15.550 H_t + 1.336 R_t + 3.624 R_{t-1} + 789.668 \quad \text{----- ⑥}$$

b. 特殊状態: $H_t < 976.40$ の場合

$$Q_t = (8/4.010 + 1570.83 \times 0.9958^t) + 185.538 = 10.923 (10^{-0.001026t + 0.5240} H_t + 16.673) + 0.842 (R_t - 5.099) + 1.410 (R_{t-1} - 4.104)$$

$$Q_t = 1570.83 \times 0.9958^t + 10.923 \times 10^{-0.001026t + 0.5240} H_t + 0.842 R_t + 1.410 R_{t-1} + 800.306 \quad \text{----- ⑦}$$

④⑦式に基いて、昭和44年8月～昭和50年2月のデータから求めた計算値と、実測値をプロットしたものが図-3である。

4. 管理式の評価

3で求めた管理式④⑦について、この式が実用に供し得るものか否かを検討する必要がある。そこで、④⑦式について、検定および計算値の区間推定を行なう。

④⑦式について、分散分析表を用いて検定を行なった結果、④⑦式は有意であることが確認された。

次に区間推定を行なった結果、95%の信頼区間において、次式が得られた。ここで Q_t : 実測値、 $\hat{Q}_t$: 計算値

$$\hat{Q}_t - 108.26 \leq Q_t \leq \hat{Q}_t + 108.26 \quad \text{----- ⑧}$$

したがって、漏水量の実測値は、計算値の ± 108.26 の範囲に入るといことが、95%の信頼度で言えることになる。

5. 管理式の運用

⑧式は95%の信頼度で言えるのであるから、この区間より飛び出た値が現われた場合、すぐに異常であるとか、管理式があてはまっていないというような結論を出すことはできない。そこで逐次抜き取り検査の手法を用い、次式を満足すれば良値、満足しなければ不良値として、図-4のような判定を行なう。

$$P_n = P_0^d (1 - P_0)^n \quad P_n = P_0^d (1 - P_0)^n \quad \frac{P_{in}}{P_{on}} < \frac{1 - \beta}{\alpha} \quad \text{----- ⑨}$$

ここで P_0 : 母集団の不良率、 P_1 : 母集団の不良率の限界、 α : 生産者危険、 β : 消費者危険

n : 良値の数、 d : 不良値の数

糸川渡ダムでは $P_0 = 0.10$ (本来は0.05であるが、管理式は外挿のため0.10とした) $P_1 = 0.20$, $\alpha = 0.10$ $\beta = 0.05$ とした。したがって⑨式は次のようになる。

$$d < 0.1701n + 3.2483 \quad \text{----- ⑩}$$

⑩式を用いて、昭和50年3月から管理を行なった例が図-4である。これによれば、基礎の漏水量は正常であると判断される。

6. あとがき

本手法は、あらかじめ得られた測定値を用いて管理式を作成し、これを以後の管理に利用する“外挿方式”である。したがって、管理式を作成する際に用いたデータの期間によつて、この手法を利用する期間を定める必要がある。この期間が過ぎた場合には、データを追加して管理式を再計算することにより、くり返して利用することが可能である。

また、本手法はここに述べた漏水量に限らず、たわみ、応力などの管理にも利用が可能である。

本文では、④⑦式が岩盤力学的にはどのような意味を持つのかについては触れなかった。今後の研究課題としたい。

7. 参考文献

- (1) 東京電力(株)、梓川水力開発工事報告、1972
- (2) 朝香鉄一、品質管理のための統計数学、東京大学出版会
- (3) 岩田元恒、ダム構造物管理基準の規程について、日本ダム会議ダム管理講習会テキスト、1974.5

図-2 奈川渡ダム基礎漏水量、貯水位、雨量の履歴

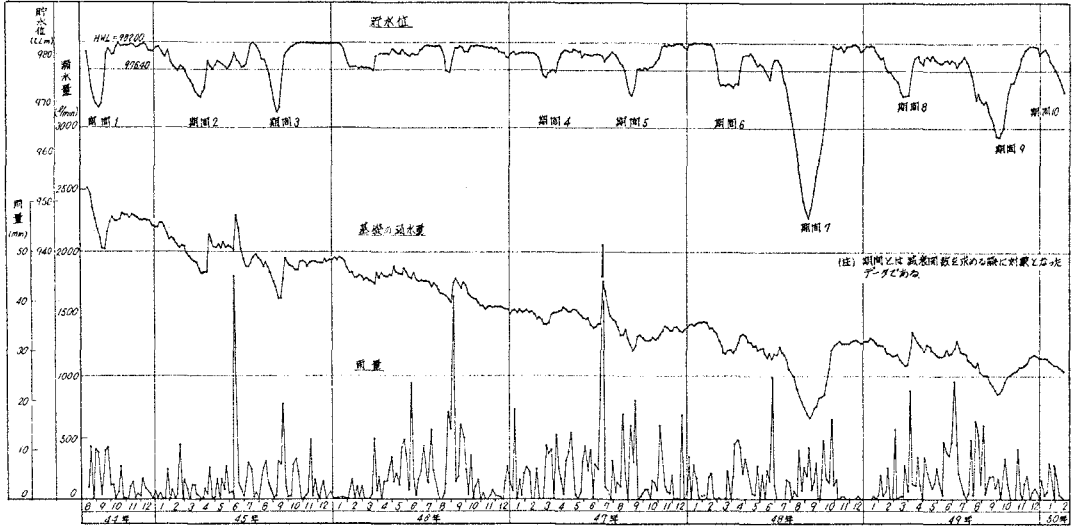


図-3 奈川渡ダム基礎漏水量の実測値と計算値

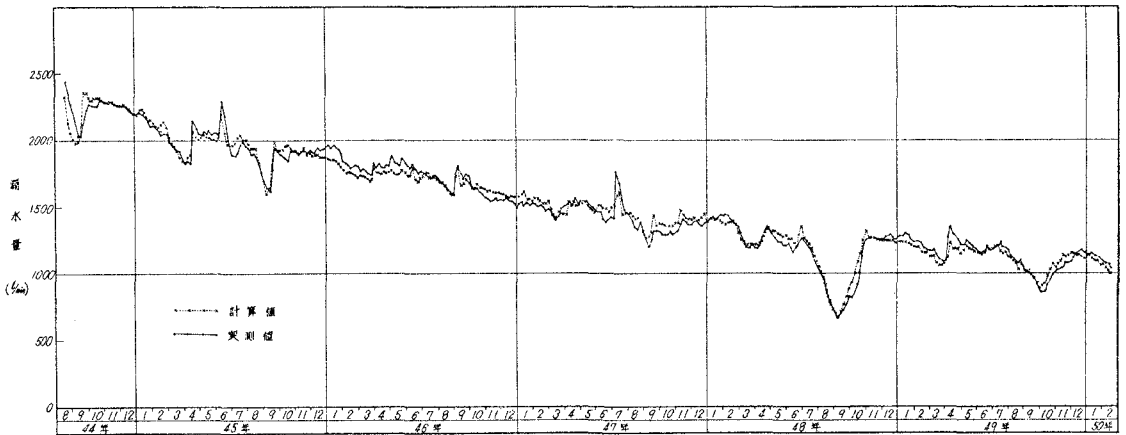


図-4 奈川渡ダム基礎漏水量管理式による管理結果

