実効雨量を用いたダムの堤体管理の検討

東日本旅客鉄道株式会社　正会員　○家坂　佑希　　四宮　卓夫
株式会社工学気象研究所　正会員　　佐久間　雅俊　森川　浩司

1. 概要

貯水池堤体やダムなどの構造物では水域から浸透する土中水分の影響により，予期せぬ事故や災害を誘発する恐れがあるので，構造物から流れ出る水量を漏水量として観測し監視を行うことは重要である．

しかし計測器への流入水は必ずしも対象の構造物を構成する土中からの流出とは限らず，図-1 に示すように，降水により地表面や比較的浅い層に浸透して計測器に流入する水もある．計測器で観測される流量のどの程度が降雨による影響なのかが分かれば，この影響を除くことにより実際のダム湛水域からの浸透水の量を推定することができ，適切な安全性評価に寄与する．

信濃川発電所では山本調整池堤体（ゾーン型アースダム，堤高 27.5m）からの漏水を 5 箇所の漏水観測所で常時監視している（図-2）．前記で述べたように，各漏水観測所での観測値は降水の影響を有し，尚且つその割合は一様ではない．この割合は土壌の構成や地形的な要因により時間的に変化するため，推定が困難である．そこで本研究では調整池からの純粋な漏水量を推定するために，各観測所において観測される漏水量に影響する降雨分の推定モデル構築を，実効雨量指標を用いて行った．また作成した推定モデルと観測値を比較し，モデルの再現性，妥当性について検証した．

2. 実効雨量の導入

実効雨量は次の式で計算される．

$$R(t)=\int_0^t Y(\tau)\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t-\tau}{H}}d\tau \qquad (式\ 1)$$

t　：時間
$R(t)$　：実効雨量指標
$Y(t)$　：時刻tにおける降雨強度
H　：半減期

実効雨量は土壌中に含まれる雨水が減少する様子を表す指標で，その減少速度は半減期Hで決められる．半減期 1 時間の実効雨量とは，ある時刻の土壌中の雨量が 1 時間経つと半分になる速さで減ることを示す．

3. 推定モデルの構築

本解析では観測される漏水量の推定値（以下，推定漏水量）を（式 2）で仮定した．

$$w=\sum_i a_i R_i \qquad (式\ 2)$$

推定漏水量wは数種の異なる半減期の実効雨量指標R_i（$i=1,2,3\cdots$）の組合せをそれぞれ一定の割合（以下，影響係数）a_iで加算して求める．モデルの作成には，調整池の湛水が無かった，即ち堤体からの漏水量が 0 であった期間（2009 年 4 月から同年 9 月）に観測した降雨量を入力値とする．出力値として推定漏水量が求まり，推定漏水量と観測漏水量との誤差が最小となるときの影響係数a_iの組合せを求めた．影響係数は半減期の影響度を示す指標であり，各漏水観測所で観測される漏水量の地質的，地形的要因などを表す．半減期は 0.5，1.5，6，24，96，384（時間）の 6 種から，特に影響係数の高い 3 種を選んだ．

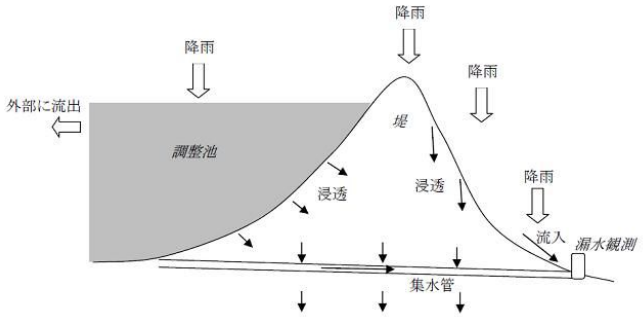

図-1 観測される漏水量の概念図

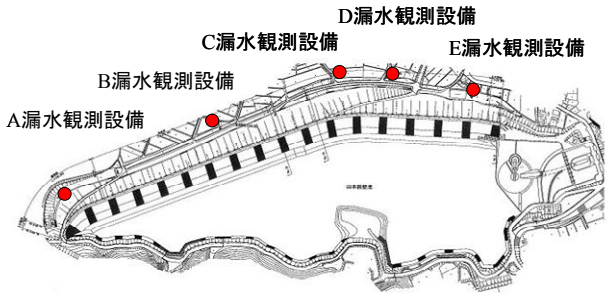

図-2　山本調整池漏水観測設備

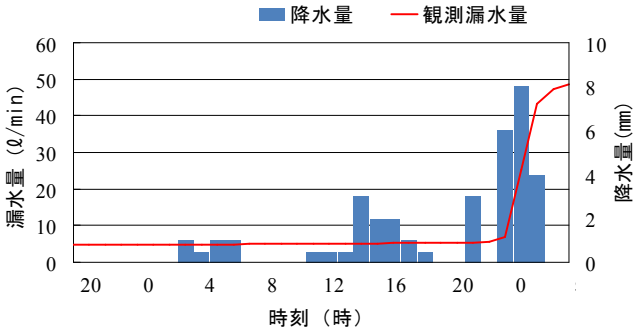

図-3　降雨による漏水量の増加

4. 土壌吸収許容量の設定

観測漏水量と降雨量を表したものを図-3 に示す．降雨直後には観測漏水量は増加せず，ある程度の量が降った後に増加する傾向がある．この傾向は無降雨期間が長いほど見られたため，周囲の土壌水分が少ないこ

キーワード　実効雨量，ダム，漏水，堤体，調整池
連絡先　　〒947-0012　新潟県小千谷市山本 316 番地　エネルギー管理センター 信濃川発電所　TEL0258-82-4531

とが要因であると考えた．そこで土壌が吸収できる水分の許容量を土壌吸収許容量Cと呼び（式3）で設定した．Cは無降雨期間に比例して大きくなる．

$$C(t+1)=\begin{cases} C(t)+\Delta C & \text{（無降雨時）} \\ C(t)-r(t) & \text{（降雨時）} \end{cases} \qquad \text{（式3）}$$

t　：時刻

ΔC　：単位時間あたりCの増分（傾き）

$r(t)$　：時刻tにおける単位時間降雨量

また土壌吸収許容量はある値以上は大きくならず，降水があってもこの許容量内ならば降雨とみなされないとした．降雨があった分だけ許容量は減り，これがゼロになると降水があったとみなされ，実効雨量が計算される．単位時間あたりの土壌吸収許容量の増分ΔCと上限値を設定するため，無降雨期間後に初めて降雨があってから，その累積降雨量に応じて観測流量が値を増加させるか否かを調べた．増加した場合をケース1，増加しなかった場合をケース2として，各々散布図にプロットし，その二つの点の集合の境界となる直線の傾きがΔCであるとした．**図-4**に示す．上限値の設定手法はケース2のプロットのうち最も降雨量が大きいものを目安に設定した．

5. 定常流量の設定

各漏水観測所で，降水とは関係なく定常的に観測される地山からの湧き水と考えられる流量がある．無降雨が連続する期間とその期間の最後の時刻の流量を調べ，無降雨期間の長さに関らず常に流れている流量を定常流量として設定した．（**図-5**）

6. 推定モデルの検証

6.1 再現性の確認

作成モデルの再現性の確認のため，作成に用いた期間の観測漏水量と比較を行った．**図-6 上段**に観測値と計算値及び降雨量の時系列を示す．計算値は観測値の傾向をよく捉えている．また相関係数は5箇所の観測所において平均値が0.890と高く，作成モデルに再現性があることを確認できた．しかし一部のケースでピーク値が最大2.4倍の差が発生した．

6.2 妥当性の検証

作成モデルの妥当性の検証のため，同じく調整池に水のない期間である2009年9月から12月の降雨量を用いて推定漏水量を計算し，観測値と比較した．その結果を**図-6 下段**に示す．計算値は観測値の傾向をよく捉えている，相関係数の平均は0.941となったため，作成モデルの妥当性を確認できた．しかし前項と同様に，一部のケースでピーク値に誤差が発生した．

7. まとめ

実効雨量指標の導入による，信濃川発電所山本調整池漏水量の推定モデル式を作成し，観測値との比較を行った．計算値は観測値の傾向を捉えており，作成したモデルの再現性と妥当性を確認した．だが一部のケースにおいてピーク値で誤差が確認された．本研究の成果は将来的に堤体監視システムへの導入を目指しているため，調整池に水がある期間の検証が必要である．

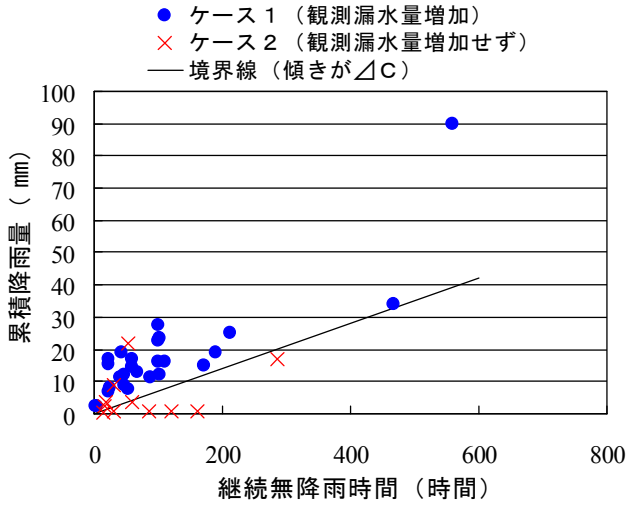

図-4　土壌吸収許容量の設定（中江川観測所）

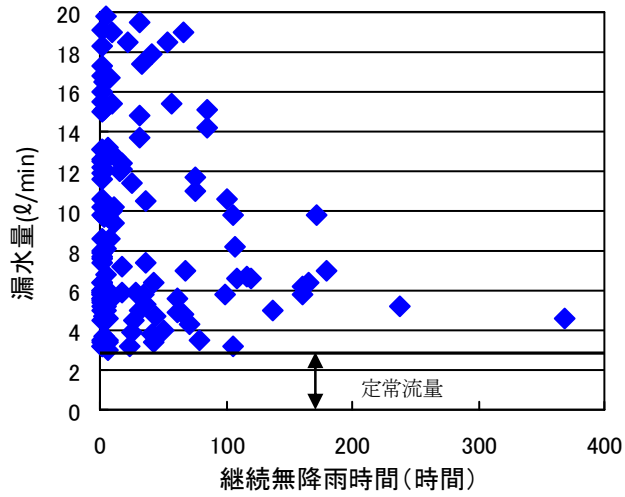

図-5　定常流量の設定

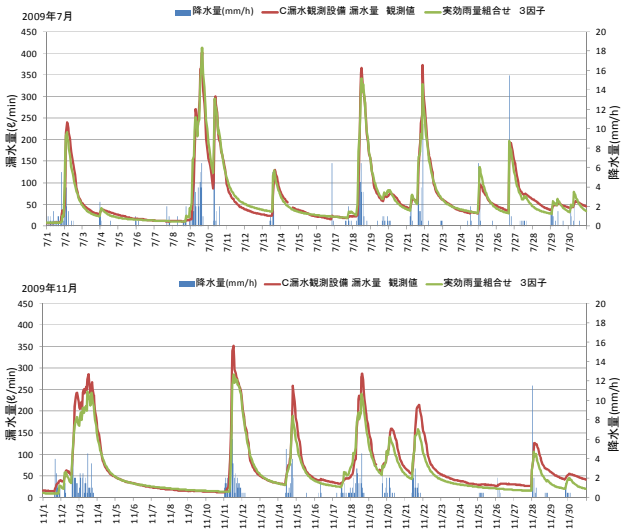

図-6　モデルによる計算結果の観測値との時系列比較

上段：作成に使用した期間　**下段**：検証に使用した期間

また信濃川発電所は豪雪地帯にあることから，積雪・融雪の影響を無視できない．そのため積雪・融雪の影響を考慮したモデルを構築し，冬季期間の漏水量の推定も行っていく．