

フィルタ分離AR法による浸透流量分離の試みーダム管理への適用ー
 Attempt of seepage flow separation by filter separation AR method -applying for dam management-

○楠本 岳志* 西尾 利哉* 菊地 藤利* 福田 晃* 原 弘典**
 (KUSUMOTO Takeshi) (NISHIO Toshiya) (KIKUCHI Fujitoshi) (FUKUDA Akira) (HARA Hironori)

1. はじめに

ダムの安全管理, 施工後の挙動監視, 正常・異常の判断および対策を検討するにあたり, 浸透流量は測定される項目として非常に重要な指標である¹⁾。また, 浸透流量の変動要因把握は, ダムの安全管理上, 浸透流量の監視上で重要である。

今回の検討対象としたダムでは, 平成 23 年の東北地方太平洋沖地震(以下, 「H23 地震」という)で被災し, 被災後に浸透流量観測施設(以下, 「漏観施設」という)における浸透流量が増加した。しかし, 間隙水圧や水質分析の結果から, 貯水池からの直接的な浸透流量の増加はなく, ダムの貯水機能は損なわれていないことが確認された。一方で, 本ダムは漏観施設が 1 系統であることから, ダムの特性が地震後に変化している可能性があることを踏まえ, 被災後のデータを蓄積した上で, 流量増加に対する影響因子をより詳細に検討する必要がある。このため, ダム管理に当たっての参考とすることを目的として, 漏観施設の浸透流量の成分分離を試み, 安全管理への適用可能性も含めた検討を行った。

2. 浸透流量の成分分離手法

浸透流量の成分分離には, 水文流出解析の手法であるフィルタ分離 AR 法を用いた。フィルタ分離 AR 法²⁾の特徴として以下の点が挙げられる。

①降雨データを必ずしも必要とせず, 流量データのみから, その流出系が持つ特性(パラメータ)の同定できることが挙げられる。②モデル構成に流出の物理過程が考慮されている。③降雨ー流出系の特徴である非線形性は主として降雨のサブシステムへの分離測での非線形性にあるが, この分離則を推定できる。④流出のサブシステム特性の同定, したがって流出予測ができる。⑤1km²以下の小流域から数万 km²の大流域まで適用可能性が検証されている。⑥流出予測の精度が高い。⑦計算が機械的にでき, 特に熟練を要しない。

本検討では, 漏観施設の浸透流量を構成する要素を, 貯水位の影響による流量, 漏観施設周辺からの流入量, 降雨の影響による流量(短期流出:数日周期), 同(中期流出:数週間周期), 同(長期流出:数年周期)の 5 成分と仮定し, フィルタ分離 AR 法を用いて成分流量への分離し, その量比について検討を行った。

3. 浸透流量の成分分離の流れと検討結果

貯水位は浸透場の境界値に相当し, 水理境界条件が変化することによって地下水の流動に影響すると考えられる。このため, はじめに貯水位と浸透流量との相関から貯水位の影響によって増減する流量を推定して全浸透流量からこの流量を差し引いた後, フィルタ分離 AR 法を適用し, 成分流量に分離した。このとき, フィルタ分離に必要な分離時定数 T_c は, 降雨後の逓減期の傾きから決定した。

続いて, 分離した成分流量毎に Burg 法を用いて AR 係数を算出した。AR 係数からは, 流

*東北農政局(Tohoku Regional Agricultural office), **中央開発(株)(Chuo-Kaihatsu Co.)

[キーワード] ダム, 浸透流量, フィルタ分離 AR 法, 安全性管理

出系の特性を理解する上で有用となる応答関数（成分単位関）や有効降雨の逆推定を行うことができる。応答関数と逆推定有効降雨から逆算した流量を実測流量と比較することによって流出系の持つノイズ成分などを評価したところ、中期成分、短期成分ともに概ね良好に再現できることを確認した。

次に、有効降雨成分の逆推定結果と実測降雨とを比較した。AR係数から求めた有効降雨成分は、あくまで漏観施設で観測される浸透流量に関する降雨成分であり、蒸発散量等を含む実測降雨と必ずしも一致するわけではないが、逆推定成分降雨の時系列と実測降雨の時系列を比較したところ、降雨の応答する時間に関しては概ね一致する傾向が見られた。

また、AR係数、応答関数が求まると、実測降雨から流出予測を行うことができる。今回は、流出予測の再現性について確認を行うため、実測降雨を用いた流出予測を行い、実測流量との比較を行った。この際に、実測降雨を成分降雨に分離する必要があるが、今回は試行として、観測降雨を中期成分と短期成分ともに50%に分けて解析した。その結果、浸透流量が小さい期間に関してはよく一致する結果が得られたが、ピーク値にやや誤差が大きい傾向が見られた。これは、実測降雨をそのまま用いて解析しているためであり、予測解析の精度を改善するためには、蒸発散量や樹冠遮断量等の考慮した上で、各成分降雨へ精度良く分離する必要があると考えられる。

次に、各成分の混合割合と浸透流の電気伝導度の関係を比較し、重回帰分析によって各成分の電気伝導度の推定を行った。その結果、貯水位の影響による流量成分の電気伝導度が最も高く、次に短期成分の電気伝導度が高くなった。この結果から、貯水位成分は、圧力変化に伴って押し出された地下水が主体であり、中期成分は地下水に降雨が浸透し伝導度が低くなっているもの、短期成分は降雨が直接浸透しているのではなく、圧力により押し出された地下水を主体とするものである可能性が考えられた。

最後に、震災前の流量に長期的な変動成分が認められたことから、H23地震前の流量についても成分分離を試みた。上記と同様に、観測流量から貯水位の影響による流量を差し引いた後、フィルタ分離AR法を用いて長期成分を分離し、ダム流域のほぼ中央に位置するアメダス降水量との比較を行った。分離した長周期成分は、概ねアメダスの降水量の過去3年間の移動平均と類似した変動傾向がみられたことから、流域が持つ長期的な降水量の変化が漏観施設の浸透流量に影響を及ぼしている可能性が示唆された。ただし、降水量が少ないにもかかわらず流量が増加している期間があり、この要因分析が今後の課題である。

4. まとめ

今回、水文流出解析の手法を用いて浸透流量を成分分離することで、1系統の漏観施設においても浸透流量の増減要因を定量的に分析することができ、ダムの安全管理上の判断の参考資料とできる可能性があることが判った。一方で流出予測を行うためには、予測値と実測値との誤差の要因についてさらに検証する必要があると考えられる。また今回はフィルタ分離AR法を用いたが、その他の手法との比較等を行って、流出予測に用いる手法の検討を行うことも必要と考えている。今後、有効降水量や成分分離則の検証等を含めて予測解析の再現精度の改善を行い、ダム管理に活用できるように検討を進めて参りたい。

参考文献

- 1) 長谷川高士・村上章(1986)Kalmanフィルタによるダム漏水量の予測,農土論集, No126, p1-8.
- 2) 日野幹雄・長谷部正彦(1985)水文流出解析 FORTRANとBASICによる, 森北出版, pp254.