

河川・トンネル一体系モデルによる流量およびヒ素の流出解析

岐阜大学工学部	学生会員	○中山 優希
岐阜大学大学院	学生会員	スリグルン
岐阜大学	正会員	吉村 英人
岐阜大学	正会員	篠田 成郎

1. はじめに

我が国の山地域には自然由来重金属類が多く分布しており、その集水域からの流出河川水やトンネル掘削に伴う湧水中に重金属類が含まれることがある。これに伴う環境影響を評価するためには、長期間にわたる物質流出動態の予測が欠かせない。一般に、集水域やトンネルからの物質流出現象は地中内の水分移動を表す飽和不飽和浸透流方程式と物質移動を表す移流・分散方程式によって評価される。しかし、こうした支配方程式に基づく厳密なモデルを用いても、計算条件として与える重金属類の存在域等に不確実性が含まれるため、その計算精度はそれほど高くない。このため、集水域内の河川水中のみやトンネル湧水中のみに着目した概念モデルが提案され、厳密モデルと同等な推定精度が得られている¹⁾²⁾。しかし、これらの方法では河川とトンネルを別々に扱うため、トンネル掘削による河川水の流量やそこに含まれる濃度の変化を評価することはできない。

そこで本研究では、山地集水域内での河川とトンネルを通じて流出する流量および自然由来重金属類濃度を推定できる新たな概念モデルを構築する。この際、流量とヒ素濃度に関するモデル推定値をこれらの実測値に合わせるように試行錯誤で各層間での移動を支配するパラメータを決定する。

2. 河川・トンネルにおける水分・物質移動モデル

本研究では、河川水中とトンネル湧水中にヒ素を含む岐阜県内のC川とAトンネルを内包する山地集水域(図-1)を本研究での検討対象域とし、Matsuiら³⁾によって提案されたコンパートメント流出モデルに基づき、河川とトンネルを含む水分および物質の動態システムとして山地集水域を集中型モデルで表現する。すなわち、これまで河川とトンネルそれぞれ

による流出現象を別々に評価していたものを一つの系として結合したモデルを再構築する。図-2はこうした統合モデルによる地中内水分・物質移動を模式的に表したものである。このモデルでは、地表面から鉛直下方に表層土壌層(A層)、岩屑層(B層)、基岩層(C層)とする。また、山地には鉛直方向に卓越した水分移動を生じさせる断層や貫入帯が存在するため、これをD層として評価する。A層の上部から降水 r により供給された水分は下方のB層およびC層に浸透し、各層の水平方向移動の合計を河川への流出量 Q_R とし、これを集水域面積 A_R で除することで河川流出高 q_R を表現する。トンネル湧水はD層や基岩としてのC層の亀裂から発生するため、これらの鉛直方向水分移動の合計をトンネル湧水流量 Q_T とし、トンネル湧水寄与面積 A_T で除することでトンネル湧水流出高 q_T を表現する。

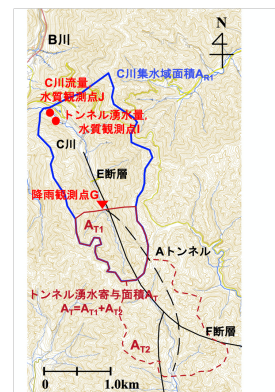


図-1 解析対象トンネルの周辺地形・断層および水文水質観測点

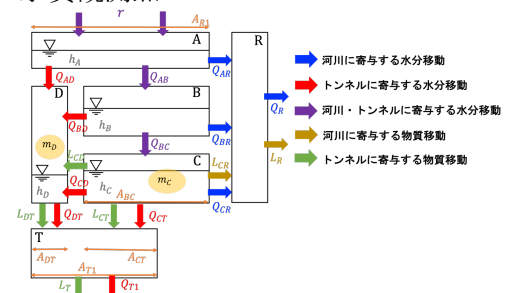


図-2 河川・トンネル一体系コンパートメント流出モデル

Siriguleng ら²⁾は、山体中の自然由来ヒ素の推定に LQ 式が有用であることを明らかにした。そこで、本研究では各層間での物質移動を LQ 式で表現する。ズリ土やボーリング調査より、ヒ素を含有する層は C 層と D 層に限定されることが判明しているため、ズリ土の溶出試験で得られているヒ素濃度を参考に C 層、D 層それぞれに含まれる初期ヒ素濃度を与える。推定された流量とともにヒ素が移動するとしてヒ素負荷量を求め、河川水中およびトンネル湧水中に含まれるヒ素濃度 c_R および c_T を推定する。

3. 水分流出モデルの適用結果

河川およびトンネル湧水流出高の推定結果 q_{Rsim} , q_{Tsim} を図-3の1段目に示す。河川およびトンネル湧水ともに実測値の流出特性を捉えた推定結果となった。トンネル湧水では融雪期部分で推定結果が実測値よりも過小になっている。しかし、河川およびトンネル湧水の NS 指標はそれぞれ 0.77 および 0.92 であり、一体系モデルの妥当性を確認するとともに全体的に良好な推定精度であることがわかった。

4. ヒ素流出モデルの適用結果

河川水中・トンネル湧水中に含まれるヒ素濃度の推定結果 c_{Rsim} , c_{Tsim} を図-3の2, 3段目に示す。 c_{Rsim} は q_{Robs} の変動に応じて激しく上下動を伴う結果となった。このため、推定精度の検討は難しいが、推定値と実測値の差は極めて小さいため、ほぼ妥当な精度の推定結果が得られたと判断する。 c_T についても実測値と推定値の差は極めて小さいため、高い精度で推定できた。

5. トンネル掘削前の河川流出高・ヒ素濃度推定結果

トンネル掘削前の状態を仮想的に考え、D 層の初期貯水高を変えて推定した結果を図-4に示す。D 層初期貯水高が 200m 以下では小雨期における貯水高減少量が小さく、全体的に単調増加するため、経年的に D 層貯水位が上昇し続けてしまう。一方、300m のケースでは冬から春にかけての貯水高増加量が足りず、今後長期間でみた時に D 層貯水位が減少し続ける可能性が高い。これらより、トンネル掘削前の D 層貯水高は 250m 付近で変動していると考えることが妥当と判断できる。なお、河川流出高およびヒ素濃度ともにトンネル掘削前後での大きな変化は確認できなかったため、検討対象集水域ではトンネルの有無は

河川流量およびヒ素濃度に大きな影響を及ぼしていなかった可能性のあることがわかった。

6. おわりに

河川・トンネル一体系モデルで河川とトンネル両方の水分・物質流出現象を妥当な精度で推定することができ、同定したパラメータをパラメータ同定時とは異なる別の期間にそのまま適用し推定を行うことでモデルの有用性も確認できた。本研究では試行錯誤にてパラメータを同定した。この際、パラメータ値の違いによる水分・物質動態への影響を調べることで、確度の高いパラメータを同定することができた。今後は、本研究で同定したパラメータ値を制約条件とし、データ同化手法を適用して、より尤もらしいパラメータ値の組み合わせを探索する必要がある。

参考文献

- 1) 森守正: データ同化手法と深層学習を併用したトンネル施工時の湧水量予測に関する基礎的研究, 岡山大学大学院環境生命科学研究科博士論文, 2021.
- 2) Siriguleng, 篠田成郎: 山地トンネル湧水によるヒ素流出特性の評価, 土木学会論文集 G (環境) (投稿中).
- 3) Matsui, S. Itoshiro, M. Buma, T. Matsushita, K. Hosogoe, A. Yuasa, S. Shinoda, and T. Inoue: Predicting pesticide concentrations in river water with a hydrologically calibrated basin-scale runoff model, Water Science and Technology, 45(9), 141-148, 2002.

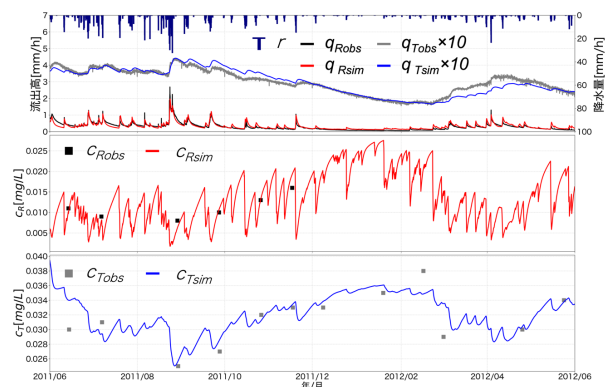


図-3 流出高およびヒ素濃度の推定結果

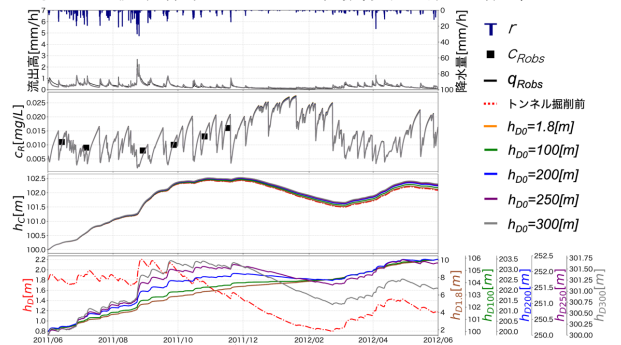


図-4 トンネル掘削前河川流出高、ヒ素濃度、C 層貯水高および D 層貯水高の推定結果