

山地におけるトンネル湧水とヒ素流出の簡易モデル化と予測

岐阜大学工学部

学生会員 ○森 亮希

岐阜大学工学部

正会員 篠田成郎

岐阜大学工学部

正会員 小島悠揮

岐阜大学流域圏科学研究センター

正会員 児島利治

岐阜大学工学部

正会員 大橋慶介

1. 研究の背景と目的

岐阜県内の山地域には重金属などの自然由来有害物質を含む地層が多く存在している。トンネル湧水に含まれる重金属類の処理・対応は容易ではなく、その濃度・負荷量の推移を予測することは対策立案において重要となる。一般に、トンネル湧水およびこれに含まれる物質の流出現象は、地中内の飽和・不飽和浸透流方程式と物質の移流・分散方程式によって表現され、有限要素モデルなどで解析される^{1),2)}。しかし、こうした解析では要素毎の土質・地質条件や物質溶出源の情報を詳細に与えなければならない。トンネル湧水中物質濃度に応じた対策立案では、むしろ大まかな物質濃度の推移をより簡便に予測できることが望まれる。また、こうした現場での実際の問題では、物質溶出源を特定できていないことが多く、トンネルを実水量や物質移動の時間変化データから物質溶出源の位置と物質溶出量を推定できるようにすることも重要かつ有用な手法となることが期待される。そこで本研究では、飽和・不飽和浸透流方程式を簡易的に貯留関数モデルとして表現するとともに、移流・分散方程式において分散の効果を無視して得られる移流方程式によって物質移動を簡易的に表すモデルを構築し、その適用性を検証することを目的とする。

2. トンネル湧水流出のメカニズム

岐阜県内のAトンネルではヒ素を含むズリ土やトンネル湧水が確認されている。図-1はトンネル上部山体の地質縦断構造を示し、これに基づき水分移動を模式的に表したものを図-2に示す。これらの図中の断層(D1層)におけるズリ土から高濃度のヒ素が検出されている。また、これら断層と石英班岩・文象班岩で構成される貫入帯(D2層)から多量のトンネル湧水が発生している反面、これら以外の地層からの湧水流出はほとんど発生していない。一方、弾性波探査およびボーリング調査より、弾性波速度が3.0km/sよりも小さな地層に岩屑(B層)が分布するとともにその下方の基岩(C層)との境界面付近に地下水面を形成していると推定されている。地表はスギ人工林で覆われ、20～100cm程度の表層土壌(A層)が存在している。これらの情報より、地表面から降水によって供給された水分は図-2に示す4通りの経路でトンネル湧水として流出すると考えられる。

3. 貯留関数法に基づくトンネル湧水流出のモデル化

鉛直一次元飽和・不飽和浸透流方程式より、上記の各層での貯留関数モデルとして鉛直流出流量が求めら

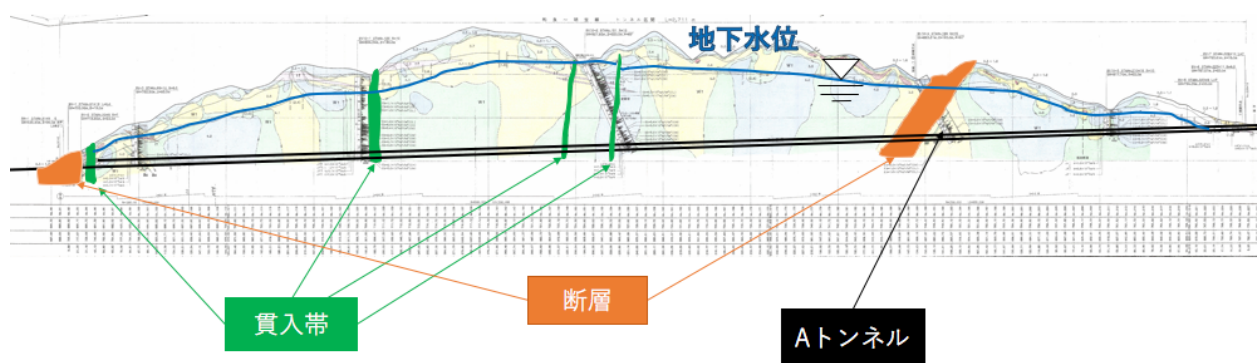


図-1 トンネル地質縦断 (全長 2772m)

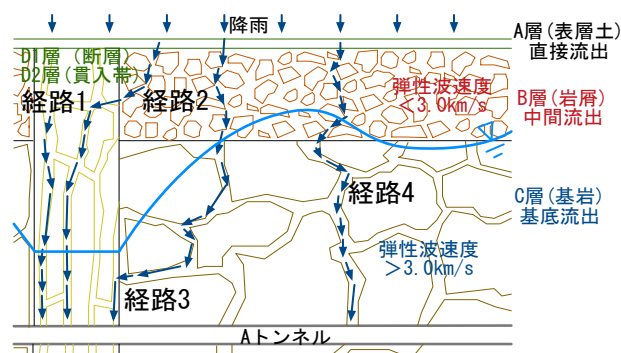


図-2 トンネル山体上部における水移動の模式図

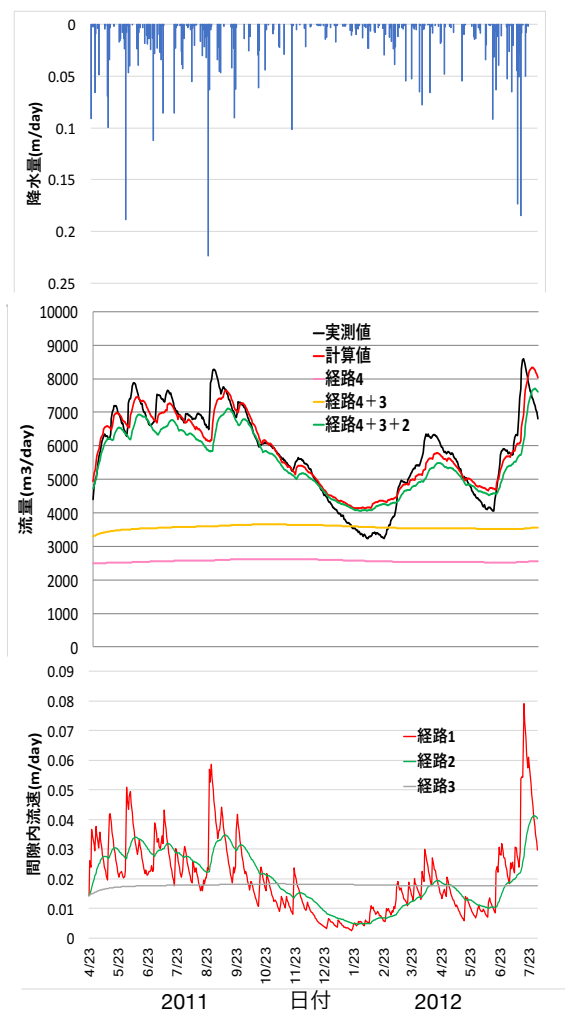


図-3 トンネル湧水流量の推定結果と間隙内流速の時間変化

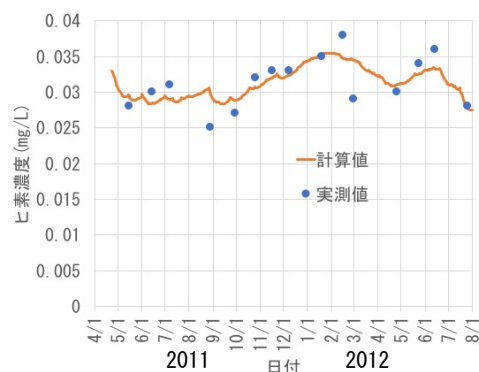


図-4 ヒ素濃度に関する実測値と計算値の比較

れる^{3),4)}。トンネル抗口での降水量(図-3 上段)を入力として、各層での浸透流量を経路毎に算出して得られるトンネル湧水流量のシミュレーション結果と実測結果の比較を図-3 中段に示す。このモデルではB層・C層→D層以外の側方水分移動を無視するとともに、蒸発散や冬季から春季にかけての積雪・融雪を考慮していないため、推定精度が低下する期間が認められるが、全体的な流量変動は再現できている。

4. 移流によるヒ素流出量の予測と考察

各層での浸透流量より各層での間隙内流速を求めた結果の一例として、D層での経路毎の間隙内流速を図-3 下段に示す。トンネル掘削時に2つの断層(D1層)からヒ素含有量の高いズリ土が確認され、C層からも微量なヒ素が検出されていた。図-4は、トンネル湧水中ヒ素濃度の実測値とC層とD1層に配置したヒ素溶出源から間隙内流速により移動させたヒ素負荷量を用いて推定したヒ素濃度との比較を示す。若干の相違は認められるものの、全体としてはヒ素濃度の時間的変動をよく表現できていると判断される。図-3 下段では、間隙内流速は経路1や2で大きく変動し、経路3では時間変化が小さいため、図-4でのヒ素濃度の時間平均値は経路3による間隙内流速に依存し、数ヶ月間のヒ素濃度変動は経路1や2の間隙内流速に支配されていると考えられる。

本モデルでは大胆な簡略化を図っているが、その推定結果は対策立案など実用性の高い方法と考えられる。また、層内の区分を細かくすることにより、ヒ素溶出源を特定することも可能であり、トンネル掘削前のボーリング等事前調査結果から事前の対策を検討することにも応用できると期待される。

謝辞

本研究では、岐阜県からデータを提供いただき、ここに記し深謝する。また、本研究は熊谷⁴⁾による検討を基礎としており、謝意を表す。

参考文献

- 1)西垣誠：有限要素法による飽和不飽和浸透流解析-AC-UNSAF2D-プログラム解説およびユーザーマニュアル，岡山地下水研究会，2005。
- 2)D.Rassam, J.Simunek, M.Th.van Genuchten：HYDRUS-2Dによる土中の不飽和流れの計算，農業土木学会土壌物理研究部会，2004。
- 3)井倉洋二：貯留関数型モデルによる土壌および基岩からの流出成分の分離，九大演報，70，13-14，1994。
- 4)熊谷光：山地におけるトンネル湧水・ヒ素流出のモデル化と予測，平成28年度岐阜大学卒業論文，2017。