

Point

観測データと数値シミュレーションを組み合わせることによって、目に見えない地中の構造を「見える化」する技術の開発に取り組んでいます。断層や洞窟があり、複雑な構造を有している沖縄島南部のカルスト地形を対象として、琉球大学と共同で実態把握に挑戦しています。

目に見えない地中の構造を観測データから見える化

国土環境研究所 水環境解析部 阿部 真己、畑 恭子

※本報告は、「琉球石灰岩帯水層における広域地下水流動モデルの構築」土木学会論文集B1(水工学),Vol.71, No.4, I_217-I_222 (安元 純、阿部 真己、中野 拓治)をもとに作成しました。

はじめに

土壌や地下水の環境を考える際に大きな問題となるのは、地中のあらゆる情報が「目に見えない」ということです。地下水の流れや貯留量の正確な把握は、地下水の資源管理や土壌汚染対策のために重要ですが、直接見ることができない地中がどのような構造(水理地質構造)になっているかを調べることは、技術的にも経済的にも容易ではありません。

一方で、地下水の水位(水頭)の情報は、測定が比較的簡単であるうえに、公開されている情報からもデータが入手できます。地下水の水位は、地中の構造に影響を受けながら地下水が流れるという物理法則に従った結果です。地下水の流れに関する物理法則を紐解くことによって、「地下水の水位データから逆に地中の構造を推定する」という取り組みを行いました(図1)。

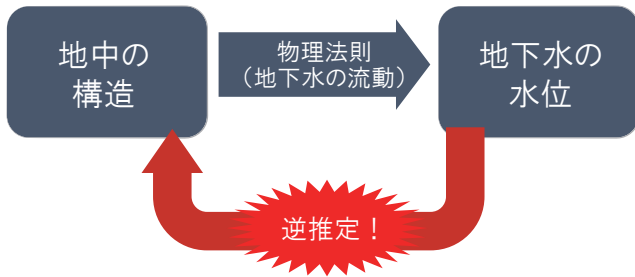


図1 地中の構造と地下水の水位との関係

ここでは、地中の構造が非常に複雑な沖縄島南部のカルスト地形(図2)を対象として、地下水の水位の観測データから地中の構造の推定を行い、技術の妥当性について検証しました。対象地域では、「島尻泥岩」とよばれる水を通しづらい地盤の上に、「琉球石灰岩」とよばれる石灰岩層があります。石灰岩層は水による浸食を受け、大規模な洞窟構造を有しています。加えて、地形を分断する断層が何か所も走っており、地下ダムと呼ばれる巨大人工構造物も存在しています。

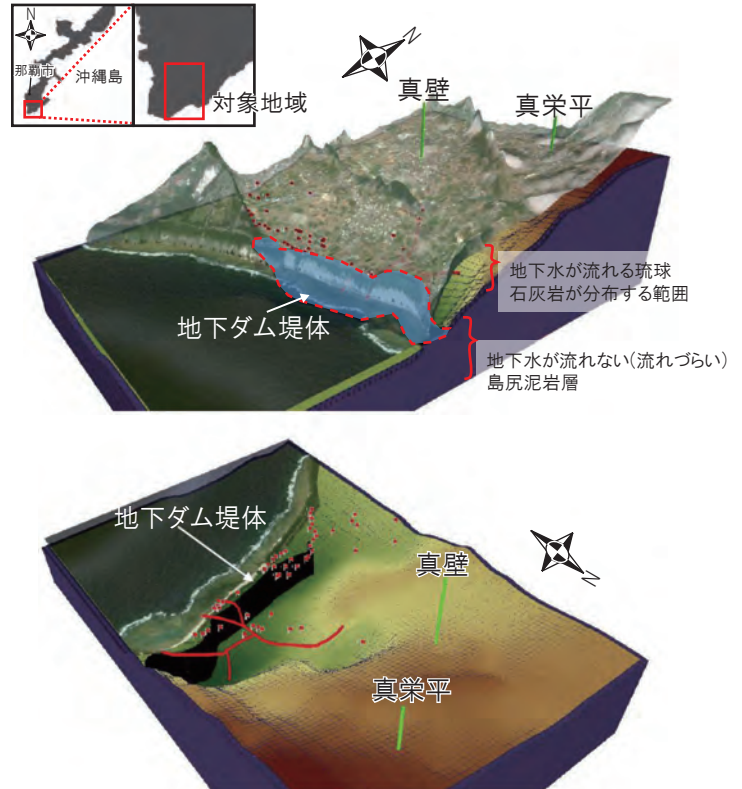


図2 沖縄島南部米須地下ダム流域の地形の概要

地中の構造を「見える化」する方法

(1)地下水の流れを表現する物理法則

地中の構造を「見える化」するために、まず地下水の水位と地中の構造を結び付けている地下水の流れをモデルで表現します。ここではUSGS(アメリカ地質調査所)が公開しているモデル「MODFLOW」を用いて、仮に設定した地形条件のもとで地下水が上流側から下流側に流れるシミュレーションを行いました。

ちなみに、MODFLOWは、非常に長い歴史があるモデルですが、最近大幅にバージョン・アップされました。米須地下ダム流域のように断層が存在する地形は、従前の地下水モデルでは計算が難しい地形の一つですが、バージョン・アップされたMODFLOWには、このような地形でも計算できる新しい仕組みが搭載されています。

(2)地中の構造を紐解くアルゴリズム

地中の構造を紐解くアルゴリズムは、発想としてはとてもシンプルで古典的なもので、いわゆる逆問題という問題を解くものです。

地中の構造を推定することは、地中の「透水係数」とよばれる場所ごとに異なる「水の通りやすさ」に関するモデルの設定条件を推定することに置き換えて考えることができます。例えば、さらさらした砂の地盤であれば水が通りやすく、透水係数は大きい値となり、粘土のような地盤であれば水が通りづらく、透水係数は小さい値となります。空洞がある場合には、透水係数は高くなると考えられます。

ここでは、沖縄島南部の米須地下ダム流域を50m四方の約3.5万個の四角形格子に分割して地形を表現し、地下水の水位データ約100個を用いて50mごとに透水係数の値を推定します。

ただし、注意しなければならない点は、約100個のデータから350倍となる約3.5万個の透水係数を推定することです。このように手元にあるデータに比べて推定したいデータが著しく多い状況を「不良設定問題」とよび、適切な留意なしに問題に取り組むと「過剰学習」とよばれる落とし穴にはまってしまう。

本検証では、SVD(特異値分解)とよばれる正則化に加えて、「pilot point」という直感的に扱いやすい技術を組み合わせることにより、自然な推定結果を得ることに成功しました。100個のデータから3.5万個のデータを完璧に推定できる魔法のような技術は残念ながら存在しません。100個のデータから引き出せる情報は100個分相当の情報量だけです。この100個分相当の情報量を十分役に立つように工夫して3.5万個に適切に割り当てるテクニックが、SVDや「pilot point」とよばれる技術です。

推定結果

地中の構造を「見える化」した結果を図3に示します。透水係数の平面図を示したもので、赤色ほど値が大きく、水が通りやすいことを示しています。既存の報告書をもとに黒線で地下空洞の分布を重ねました。水が通りやすいと推定された赤色のエリアとよく整合しています。また、地下水の流速について、4日で2km物質が輸送された現象が確認された場所の流速が500m/day程度となっている等、実流速のオーダー感も整合していることがわかりました。

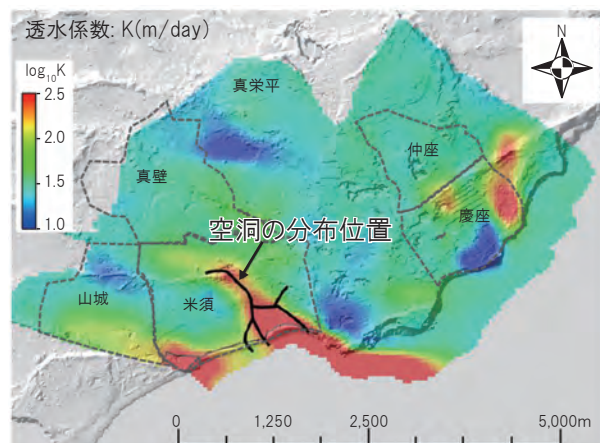


図3 地中の構造の「見える化」(透水係数の平面分布)

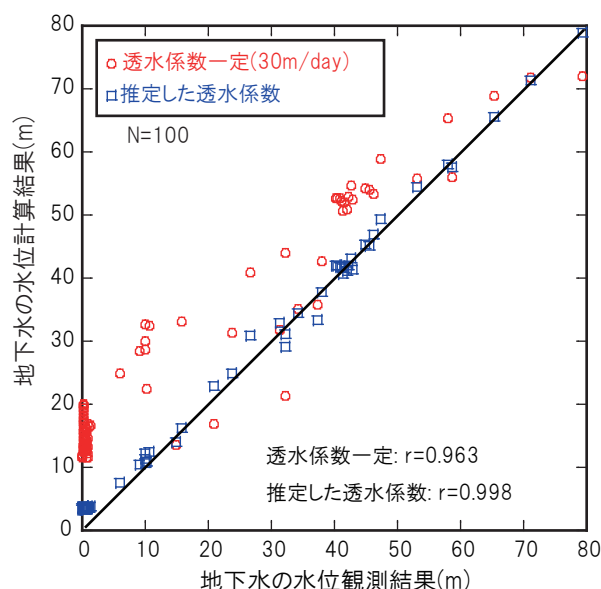


図4 地下水の水位計算結果と観測結果の比較

地下水の水位の計算結果と観測結果を比較した散布図を図4に示します。赤色のプロットは透水係数を一定の値にしたもので、青色のプロットが図上側の透水係数を推定した条件で地下水の水位を計算したものです。地下水の水位の計算結果は、透水係数を推定することで格段に再現性が向上しました。

おわりに

地中の「見える化」について、限られたデータからの取り組みでしたが一定の妥当性のある結果が得られました。引き続き検証が必要ですが、地中の情報を見る化する技術は、さまざまなことに役立てることができると考えています。今後も琉球大学等と連携しながら、より高精度な技術へと発展させていく予定です。