



### 多変量自己回帰 (MAR) モデルを用いた地下水位変動の予測

降雨などによる間隙水圧の上昇が、地盤の安定性に大きな影響を及ぼすことはよく知られています。ただし、降雨に対する間隙水圧の上昇度合いを予測するためには、地盤の透水性や水分保持特性を調査する必要があり、これを広大な範囲で行うには限界があります。これら地盤の水理特性を調査することなく、降雨に対する間隙水圧の応答を予測する手法があります。いわゆる逆解析を用いる手法です。その一つに、タンクモデルで代表される概念モデルを用いるものがあります。ここでは概念モデルのうち、多変量自己回帰（以下、MAR）モデルを用いる方法をご紹介します。

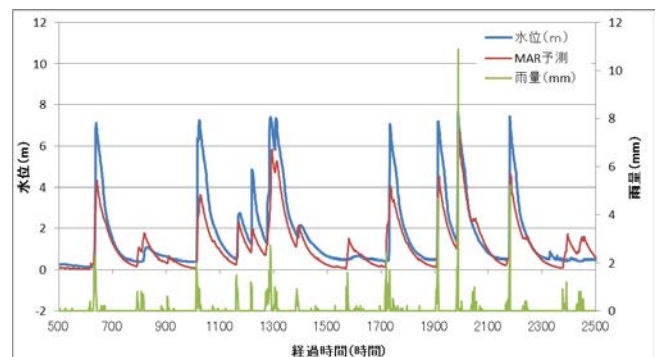
#### 予測値と実測値の乖離によりトンネル掘削などの影響を評価

タンクモデルも MAR モデルも、降雨に対する間隙水圧あるいは地下水位の応答を関数や多項式で表現し、この中に現れる係数を実測に基づいて同定するものです。このため、有限要素法などを用いる方法に比べ、式や係数の持つ物理的な意味合いが曖昧ではありますが、計算が比較的簡単で即座に答えを得ることができます。ここで紹介する MAR モデルは制御型と呼ばれ、地下水位の変動が地下水位自身の自己相関と、他の因子、例えば降雨や温度、気圧などとの相互相関から成り立っている、と考えるものです。降雨と地下水位の関係では、地下水位は次のような多項式で表されます。

$$Y_t = \sum_{i=1}^l a_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^k b_i X_{t-i} + \varepsilon$$

ここに、 $Y$ は地下水位、 $X$ は降雨量、 $\varepsilon$ は誤差であり、 $a$ と $b$ は係数、 $t$ は現在の時間、 $i$ が時間のラグ数になります。すなわち、地下水位は $l$ 時間前からの自己相関と、 $k$ 時間前からの降雨量の影響の和として表されています。

まず、実測データに基づき、実際の地下水位変動と降雨変動を最もよく表現できる係数行列  $a$  と  $b$  を求めます。求める方法には、最小二乗法やカルマンフィルタを用いる方法などがあります。次に、求めた係数を用い、前式に新たな降雨のデータを入力することで、降雨に伴う地下水位変動を予測できるようになります。実際のデータを用いて、実測値と予測値を比較した例を右下の図に示します。もし、ある時期のデータをもとに求めた係数によって予測した結果と、実測結果に開きが生じている場合には、地盤の水理特性や構造の変化が生じていることが推測されます。例えば、地すべり面の形成や移動、トンネル掘削の影響などが懸念されます。これらを早期に検知するためには、無線センサーやインターネット計測を活用し、できるだけ多くの場所で地下水位の連続モニタリングと MAR 解析などを自動で行い、地下水面変動を連続推定するなど、ソフトウェアによる 24 時間監視の仕組みを作っていくことが望ましいと考えます。



水位観測結果と MAR による予測

<http://www.geolab.jp> お問い合わせは [chisouken@geolab.jp](mailto:chisouken@geolab.jp)