

関西圏地盤情報データベース研究利用報告書

研究課題	京都盆地周辺の3次元水理地質構造と広域地下水系のモデリング		
研究者	(所属と氏名) 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 小池 克明		
研究期間	平成24年5月 ~ 平成25年4月	報告日	平成25年5月29日

研究目的：

良質で多量の水資源として地下水の需要が世界的に急増しており、量と質に関する管理がますます重要となっている。そのためにも帯水層や不透水層の分布、および地下水流動形態を詳細に把握することが不可欠である。それにボーリング調査資料が有効に活用できることが期待される。京都盆地および周辺には地下水涵養域が広範囲に広がり、砂礫層も厚く堆積しているため、浅部・深部地下水系が広域的に存在しているはずであるが、その詳細はまだ明らかではない。そこで本研究では、地質柱状図と地盤物性のデジタルデータを用い、京都盆地周辺の3次元的水理地質構造を明らかにするとともに、この解明に適した地球統計学的手法を開発することを目的とした。さらに水理地質モデルと地下水流動シミュレーションを組み合わせ、流動方向と相対的な流速の分布を推定することも目的に加えた。

研究内容と成果：

京都盆地周辺の東西15 km、南北35 kmを解析範囲とし、範囲内に分布する8,893地点でのボーリングデータを関西地盤情報データベースから抽出した。データの約半数は10~20 mの深度長であり、深度長30 m以上は7%と限られている。ボーリング地点は主に道路や上下水道に沿い、分布の粗密の差が大きい。このような分布状況から、データ間を適切に繋ぐために地球統計学 (Geostatistics) を用い、地下水位分布と水理地質構造の2種類を推定した。前者の推定は、地下水流動形態を概略的に把握するとともに、流動シミュレーション結果の検証用参照データを作成するために行った。空間推定法として、水位データという1変数のみを用いての ordinary kriging (OK)、およびこれに加えて標高データを補助変数とした2変数用の ordinary co-kriging (OCK) を適用した。標高を増すほど地下水位も概ね高くなるので、このような相関性はOCKによる推定で考慮できる。

地質柱状図は、砂混じり粘土や粘土質礫のような記載である。これらの例では粘土、礫が主体となる土質である。全柱状図における土質の頻度に基づき、透水性を支配する主要土質として礫、砂、粘土に限定し、主体土質を重視して原データをこれら3種に大別した。水理地質構造の3次元モデリングでは、深度50 mまでを解析範囲とし、まず各ボーリング地点において0.5 m深度間隔で礫、砂、粘土の存在確率を求める。すなわち、検索点が含まれる層の土質名から相当した土質に1、他の2種には0を与える。このような2値データのバリオグラムを水平・垂直方向に作成した後、次の3つの空間推定法によって各深度での礫、砂、粘土の存在確率を計算した。

- ① 3種類の存在確率データそれぞれにOKを適用。
- ② 存在確率データに加えてN値を補助変数としたOCKの適用：おおよそ礫質土ほどN値が大きくなる。この関連性を利用すれば、主観的な土質名の曖昧さがN値という定量的地盤物性情報から軽減され、水理地質モデルの精度が向上することが期待できる。
- ③ ②で用いるデータセットに主成分分析を適用し、土質とN値とを直交化した後にOKを適用

(PCA-OK)：この無相関化によってクロスバリオグラムを作成が不要になり、クリギング計算が簡略化される。また、PCA-OK は遷移確率を求めることと等価になる。これは、ある地点の土質が例えば礫であった場合、近接点も礫、あるいは他の土質に推移する確率を意味する。

地下水位と標高とのクロスバリオグラムは、レンジが異なる指数モデルとガウスモデルの和で近似できることがわかった。OK と OCK の推定精度はクロス確認で比較した。これはサンプル点のデータ値を周囲のデータより推定し、実際の値と予測値とを比較する方法であり、その結果を相関係数で表す。OCK の相関係数は 0.984 であり、OK よりも若干精度が高いことがわかった。OCK による地下水位分布によれば、標高が高い盆地縁辺以外は、水位は標高 0~20 m の範囲にあって空間変化は小さく、水位勾配は特に緩やかであった。

次に、各格子点で計算された礫、砂、粘土の存在確率と N 値に基づき、三角ダイアグラムを定義して上記の 3 手法による水理地質モデルを表した。OK 結果には、別個に OK によって求めた N 値分布を加えている。3 手法による差異は小さいが、京都市 (2001) による 3 本の深層ボーリングデータとの比較から PCA-OK の精度が最も高いと判断できた。南北と東西方向の断面図より、盆地表層のみ粘土層が卓越するが、大部分は礫層で構成されることが明らかになった。南北断面では礫層の水平方向の連続性が高く、層厚 10~20 m 程度の層が 2 枚現れており、これらが主要帯水層であると考えられる。礫層の分布形態は標高と調和し、北から南側に向かって傾斜している。また、盆地中央では深部でも粘土層が厚く分布するのが特徴的である。盆地南部の東西断面からは、深度 10 m 以深は連続的に礫層が分布し、50 以上と特に N 値が高い層が東側では 1 枚、西側では 2 枚存在することが見出された。

さらに、土質ごとの透水係数の文献データを参照して、PCA-OK による水理地質モデルに透水係数を与え、平均的な年間降水量を涵養させて MODFLOW による地下水流動シミュレーションを行った。計算結果の一例としての南北断面に注目した。断面北側の傾斜地形において、浅部では主に下降流か南側に傾斜する流れであり、深部では地形に沿った水平方向の流れが卓越し、流速は浅部と大差ないことがわかった。一方、南側においては深部・浅部とも水平方向の流動は不明瞭になり、深部での流速は格段に遅くなり、浅部では殆どが下降流か河川に向かう上昇流になっている。

採取地点数は限られているが地下水サンプルの分析を行ったところ、浅部での推定流動系に沿って水質が類似しており、計算結果の妥当性が確かめられた。

以上のように、透水性に対応させて地質柱状図を少数の土質に大別し、それらの存在確率と N 値を主成分分析で組み合わせ、地球統計学によって主成分値の空間分布モデルを作成する、という手法によれば水理地質構造を妥当に推定できることが明らかになった。この 3 次元モデルに基づく数値シミュレーションは、本研究のケーススタディのように地下水流動形態の解明に貢献できる。

公開資料 (論文等)：杉村美緒・久保大樹・柏谷公希・小池克明 (2013) 京都盆地の水理地質構造の三次元モデリング、日本情報地質学会第 24 回総会・講演会 GEOINFORUM-2013 講演要旨 (情報地質, vol. 24, no. 2 に印刷中)

※貸出期間終了後、研究利用報告書 (本様式) と研究成果 (論文等) を提出してください。
※研究利用報告書は、KG-NET の HP に掲載いたします。