

氏 名 (本 籍)	佐々木 崇 二 (岩手県)
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	博 甲 第 13 号
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 53 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻 の 名 称	地 球 科 学 研 究 科 地 理 学 ・ 水 文 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	電 気 ア ナ ロ グ モ デ ル に よ る 地 下 水 の 3 次 元 定 常 流 解 析

## 論 文 の 概 要

地下水流動のシステム解析では、現在主に2次元数学モデルと2次元電気アナログモデルが適用され、一応の成果があげられている。しかし、2次元モデルには適用限界があり、現実の地下水は3次的に流動するため、地下水の流動を系統的に解析するためには、3次元モデルを開発する必要がある。これまでにも数学モデルと電気アナログモデルによる3次元地下水流動モデルは、小規模ながら考案されてはいたが、いずれの場合も現場の地下水流動解析には適用し難い。数学モデルは境界条件の複雑さを取り扱うのが困難であるからであり、現時点では電子計算機の容量に制約があるから現場に適應した3次元地下水流動モデルの開発は不可能である。一方、電気アナログモデルは大がかりな入出力装置を必要とし、電流、電圧値の測定に困難な点がある。しかし、電気アナログモデルは境界条件の複雑さを比較的簡単に扱うことができるため、3次元モデルによる現場の地下水流動の解析には最も適している。

電気アナログモデルは地下水の流動に関するダルシーの法則と電気の流れに関するオームの法則との相似性にもとづき、地下水の流動システムを電気の流れに置きかえて解析しようとするものである。電気アナログモデルには数種類のモデルが存在するが、地下水流動の解析に最も有効な電気アナログモデルは抵抗網アナログモデルである。抵抗網アナログモデルは、電導紙アナログモデルと同様に多孔質媒体中の流れをシミュレートするモデルであるとともに、この媒体中での流れを記述する微分方程式の差分形を解く計算機でもある。

本研究は、地下水の3次元定常流解析を目的として、3次元電気アナログモデルを開発し、これを現場に適用することによりモデルの有効性を明らかにするとともに、これまで明らかにされ得なかつ

た地下水の3次元流動現象について解析を行なったものである。

研究の第一段階として、3次元抵抗網アナログモデルの有効性と境界条件の違いによる地下水流動の変化を考察するため、次の三つの境界条件をもつモデルを作成した。3次元モデルの解析解は得られていないが、このモデルの解は部分的に鉛直2次元の解析解と比較でき、検討が可能である。

(a)モデルは均質・等方性であり、四方の側方境界は鉛直で流線境界である。下部境界は水平で流線境界である。上部境界は直線的に傾斜しているポテンシャル境界である。

(b)モデルは不均質で等方性である。このモデルの四方の側方境界は鉛直な流線境界であり、下部境界は水平で流線境界である。上部境界は非線型に傾斜しているポテンシャル境界である。

(c)(a)の境界条件に吸込み境界条件の深度をかえて与え、(b)の境界条件に吸込み境界条件の深度と場所をかえて与えた。

これらの境界条件での各モデルから得られた地下水の流動パターンとその涵養一流出関係から次のことが明らかになった。

(1)(a)で得られた流動パターンは解析解の鉛直2次元流動パターンと同じであった。このことは、3次元電気アナログモデルが第一近似としては充分であることを示している。

(2)3次元の流動パターンは境界条件の差異により大きく影響される。特に、吸込み境界の位置をかえると流動パターンは大きく変化し、この変化は2次元モデルで得ることはできない。

(3)同一地点で吸込み境界の深度をかえた場合には、深度が浅くなるにしたがって涵養域の割合が増加していくことがわかる。また、同一深度の場合、下流側に位置している方が涵養域の割合が大きい。

次に水平2次元および3次元抵抗網アナログモデルの現場での有効性と境界条件の変化による影響を明らかにするため、黒部川扇状地をとりあげた。黒部川扇状地は典型的な臨海扇状地であり、以前から多くの研究がなされ、水文学的資料も豊富である。また、地下水の流動の実態についても研究されており、黒部川扇状地はモデルの有効性や適応性を検討するには理想的である。水平2次元モデルは500 mの格子網を表わすように組立てられ、解析領域は実測のデータから決定した。扇頂はポテンシャル境界として水位125 mを仮定し、扇端は基準点として0 mを仮定した。種々の境界条件についてポテンシャル分布を求めた。得られたポテンシャル分布を実測の地下水面図と比較し、最もよく一致している結果の境界条件と現実のデータを比較検討した。このモデル解析の結果から次のようなことがわかった。

(4)境界条件の与え方により平面的流動パターンは異なる。すなわち、境界条件の与え方に注意する必要がある。

(5)実測の地下水面図に最も一致した境界条件から、黒部川扇状地における透水量係数の地域的分布を知ることができる。

(6)水平2次元モデルでは湧水や自噴等の現象が明らかにできず、3次元モデルによる解析が必要である。

3次元アナログモデルは、水平方向では500 mの格子網を、鉛直方向では25 mの格子間隔の格子

網を表わすように組立てられた。3次元モデルの解析領域は現実のデータから決定した。モデルの解析は次に示す境界条件について行なった。

(d)境界条件は現実のデータを基に、東側および南側境界は流線境界条件で、北側と西側の境界は日本海に面しているためポテンシャル境界条件で、下部境界は帯水層の基盤として流線境界条件で示した。上部境界は実測の地下水面とし、ポテンシャル境界条件で示した。基準点は海岸線とし、0 mのポテンシャルで示した。扇端部の粘土層を不透水層とし、帯水層の透水係数は一様とした。

(e)(d)の場合の境界条件とほとんど同じであるが、日本海に面している境界を淡水の条件にして境界に0 mのポテンシャルを与えた。

(f)(d)の場合の境界条件に、現場の工場がある地点で深さ112.5 mの吸込み境界条件を与えた。

3次元モデル解析の結果は、流動パターンとして図化され、次のようなことがわかった。

(7)3次元モデル解析で得られた流動パターンは、扇状地内での涵養一流出関係を示し、扇端部分における自噴現象、河川水の伏流、湧水、および揚水による水位低下の現象を再現した。

(8)この3次元モデルは流動パターンについて境界条件の変化による影響を示すと共に、変化の予測を可能とし、また、効果的な地下水の利用の検討にも応用できる。

以上の結果により、ここに示した水平2次元モデルと3次元モデルは、地下水流動の解析に適用できるが、水平2次元モデルでは自噴などの現象を明らかにすることができず、3次元モデルの方がより有効性を示している。

本研究で用いた3次元電気アナログモデルは、単純な装置であり、また、定常流解析のみを行ったが、十分に地下水の流動現象を説明できた。地下水の流動の解析において3次元電気アナログモデルの効果的なことが明らかになった。

## 審 査 の 要 旨

本研究は、地下水の三次元定常流解析を目的として、電気アナログモデルを用いて理論的に再現したものを現地調査の結果と対比することによって、このモデルの有効性を検証し、同時に数理解析によって明らかにし得なかった三次元地下水流動現象の再現、解析を行なったものである。

研究の第一段階として、次の境界条件の異なる三つのモデルを作成し、検討を行なっている。(1)地下水域は、均質・等方性の帯水層からなる。四方の側方境界は鉛直な流線境界で、下部境界は水平な流線境界、上部境界は直線的に傾斜するポテンシャル境界である。

(2)地下水域は、不均質・等方性である。四方の側方境界は(1)と同じ鉛直な流線境界で、下部も水平な流線境界であるが、上部は非線型に傾斜するポテンシャル境界である。(3)上記のように設定したモデルの(1)に吸い込み条件を深度を変えて与え、(2)には吸い込み条件を深度と場所を変えて与える。

これらの境界条件下で各モデルから得られた地下水の流動パターンは、涵養一流出関係を示し、同時に次のようにその適用を評定する。

(1) 第一条件から得られた流動パターンは、解析解の鉛直二次流動パターンと同じである。

(2) 境界条件の差異によって、三次元流動パターンは大きく異なる。特に吸い込み境界の位置を変えると流動パターンは大きく変化し、この変化は鉛直二次元モデルから得ることはできない。

(3) 同一地点で吸い込み境界の深度を変えた場合、深度が浅くなる程涵養域の割合は増加し、同一深度の場合、下流側に行く程涵養域の割合は大きくなる。

次にモデルの有効性と適応性を検定するため、黒部川扇状地にこれを適用する。まず、水平二次元モデルを組み立てたが、ここでは格子網を500 mメッシュに、扇頂のポテンシャルとして水位125 m、扇端のそれに水位0 mを与えた。境界条件をかえて、得られた結果を実測の地下水面図と比較した。これから実際に最もよく合致している境界条件を決定し、現実のデータと比較した。これから、(1)境界条件の与え方により平面的流動パターンが異なる、(2)実測の結果と最もよく合う境界条件の採用から透水量係数の地域的分布が判明する。(3)湧水や自噴に関する説明は不可能であることなどを明らかにしている。

三次元モデルでは、水平格子網を500 mメッシュ、鉛直方向は25 m間隔の格子とした。この解析は、次の三つの境界条件について行なわれた。(1)東側と南側には流線境界条件、西側と北側にはポテンシャル境界条件を与える。下部境界は、基盤で流線境界条件、上部境界は、地下水面でポテンシャル境界条件となる。基準点は、海岸線で0 mのポテンシャルを与え、扇端部の粘土層は不透水層、帯水層の透水係数は一様である。(2)上記の条件と殆んど同じであるが、日本海に面する境界を淡水とする。(3)以上の2条件のほかに、実在する工場位置の深さ112.5 mに吸い込み境界条件を与える。これらの条件を与えて三次元モデルによる解析を行なった結果、次の事項が明確にされた。

(1) 解析で得られた流動パターンは、現実の状態とよく一致し、涵養―流出関係を明示する。

(2) 扇端部における自噴現象、湧泉、伏流や揚水による水位低下現象などをよく説明する。

(3) 境界条件の変化による地下水状態の変動を鋭敏に示す。

三次元電気アナログモデルは、比較的単純な装置であるが、地下水の流動現象、従って涵養―流出関係を明確に説明できるものである。

地下水流動の解析に当っては、三次元的取扱いが必要であるにも拘わらず、専ら二次元的取扱いしか行なわれていない。これは数学モデルにおいて、複雑な境界条件を満たすことが困難であること、多くのパラメーターを確定するためには現在の計算機の規模・容量に制約があることなどによるものである。

著者は、この困難を克服するため数学モデルの代わりに電気アナログモデルを新たに開発し、定常流ではあるが三次元的取扱いに成功している。このモデルは原理的には比較的単純であるが、その作成に多大の努力と忍耐を必要とし、日本における最初の試みとして多くの創意、工夫も見られる。

著者の試みた一連の成果は、現実の地下水問題解明に多大の貢献をするのみならず、将来の予測にも有力な手段を提供するものである。著者の秀れた創意・着想と新しい手法の開発・導入は、水文学への寄与として高く評価することができる。

上記論文審査と最終試験の結果にもとづいて、著者は理学博士の学位を受けるに十分な資格を有す

るものと認める。

昭和 53 年 2 月 17 日

主査 筑波大学教授 理学博士 山 本 莊 毅

副査 筑波大学教授 理学博士 市 川 正 巳

副査 筑波大学教授 理学博士 渡 部 景 隆

副査 筑波大学助教授 理学博士 高 山 茂 美