

正規試験（2007年02月06日実施）【50点満点】**模範解答**

学籍番号： _____ 氏名： _____

1 以下の文章を読み、問いに答えなさい。【配点計 25 点】

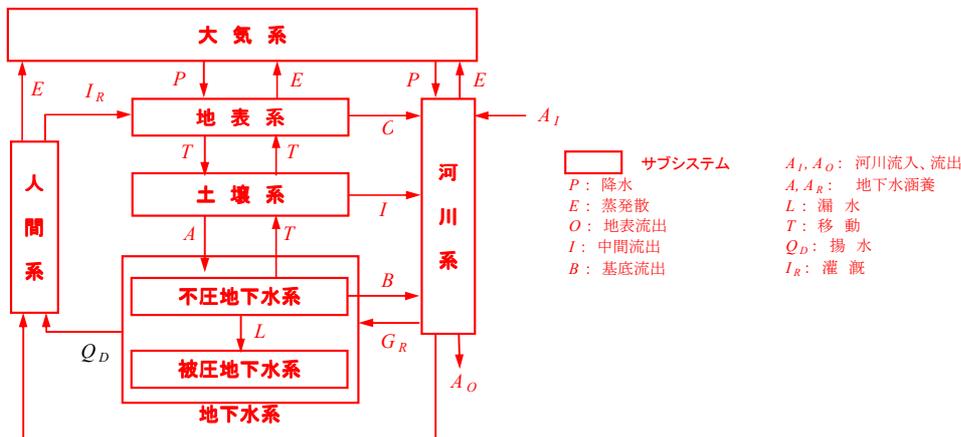
福島大学で「地下水盆管理学概論」を受講したAさんは、春休みに実家に帰省した。帰省先で家族や親戚の人たちから大学でどんな勉強をしているか質問され、「地下水盆管理学概論」という授業についても、その内容を聞かれた。Aさんは、まず、地下水盆について、どのようなものなのか分かりやすく説明した (1)。そして、地下水はその地域にとって大切な水資源であり、大きな水循環を構成する1つの要素であることを説明した (2)。また、地下水を使いすぎると、井戸が枯渇したり地盤沈下が発生したりすることを説明した (3)。

それを聞いたAさんのおじいさんは、「そういえば、この地域にもかつては湧水がたくさんあったが、今から20年前頃にはすっかり枯渇してしまったなあ」と話し始めた。それを聞いたおばあさんは、「いやいや、町の中では、湧水はもっと前に枯れてしまったよ (4)」と言って、「なんとか昔のように湧水を復活させることはできないものかね (5)」とAさんに質問した。

問1：下線部(1)に関して、地下水盆とは何か、300字以内で分かりやすく説明しなさい【配点5点】

地	下	水	盆	と	は	、	地	下	水	が	入	っ	て	い	る	容	れ	物	の	こ	と	で	す	。	地	下	水	は	地																																																																																																																						
層	や	岩	石	な	ど	の	す	き	間	に	存	在	す	る	の	で	、	地	下	水	盆	の	中	身	は	複	雑	で	す	。																																																																																																																					
地	下	水	を	含	み	私	達	が	利	用	で	き	る	水	を	産	出	す	る	こ	と	の	で	き	る	地	層	や	岩	石	の	こ	と	を	帯	水	層	と	よ	び	ま	す	が	、	地	下	水	盆	は	1	つ	の	大	規	模	な	帯	水	層	ま	た	は	い	く	つ	か	の	帯	水	層	を	含	み	、	かん	養	区	お	よ	び	流	出	区	を	含	め	た																																																												
地	下	水	収	支	が	成	り	立	つ	単	元	の	こ	と	で	す	。	地	下	水	盆	は	地	質	学	に	お	け	る	堆	積	盆	に	相	当	し	、	地	下	水	の	流	れ	を	考	え	る	場	合	の	最	大	の	単	位	で	す	。	し	た	が	っ	て	、	地	下	水	資	源	を	有	効	か	つ	持	続	的	に	利	用	す	る	た	め	に	は	、	地	下	水	盆	を	管	理	す	る	と	い	う	視	点	が	大	切	に	な	り	ま	す	。	そ	の	た	め	に	も	、	地	下	水	盆	と	い	う	容	れ	物	の	構	造	や	性	質	を	よ	く	調	べ	る	必	要	が	あ	り	ま	す	。

問2：下線部(2)に関して、水文的循環系を構成する大気系，河川系，地表系，土壌系，地下水系，そして人間系を水の移動方向とともに模式的に図示しなさい。【配点5点】



問3：下線部(3)に関して、日本ではどのような地質学的条件をもつ場所で地盤沈下が発生しているか、具体的な地域名を示して説明しなさい。【配点5点】

日本で地盤沈下が発生しているのは、第四紀層、そのなかでもいわゆる“沖積層”が分布している地域である。とくに、沖積層中に軟弱な粘土層を含む地域では、地下水の過剰揚水により地盤沈下が発生しやすい。こうした地質学的条件をもつ地域としては、関東平野や濃尾平野、大阪平野、筑後平野、新潟平野をはじめとする海岸平野が多い。一方、山形盆地や米沢盆地、新潟県の南魚沼地方などの内陸盆地においても第四紀層中に粘土層を含む地域で地盤沈下が発生している。とくに冬季に積雪の多い地域では、消雪用井戸からの過剰揚水が原因で地盤沈下が発生しているところがある。なお、千葉県の船橋ガス田などのように、天然ガスを含む深層地下水の採取により深度1,000～1,500 m付近の第三紀層や第四紀層が収縮して地盤沈下が発生しているところもある。

問4：下線部(4)に関して、湧水がいつ頃枯渇したかを具体的に調べるために必要な調査項目をAさんは考えた。次の調査項目のうち、最も適さないと思われる調査項目を1つ選び、その記号にはっきりと○印をつけなさい【配点5点】

- (a) 地下水位観測資料の解析
- (b) 井戸設置本数と地下水揚水量の調査
- (c) 住民からの聞き取り調査
- (d) 大気中の二酸化炭素濃度調査
- (e) 土地利用の変遷調査

問5：下線部(5)に関して、Aさんは湧水を復活させることができるかどうかだけでなく、地下水の利用と保全・管理の問題についても考えた。次の中から、適切と思われるものを5つ選び、その記号にはっきりと○印をつけなさい。【配点5点】

- (a) 一度枯渇した湧水を復活させることなど不可能である
- (b) 湧水を復活させるためには、今利用している井戸をすべて廃止してしまえばよい
- (c) 湧水を復活させるためには、現在の地下水収支がどうなっているか検討する必要がある
- (d) 湧水を復活させる際には、地元の意見を聞き合意を得ることが大切になるだろう
- (e) 湧水を復活させるためには、地下水位を回復させる必要がある
- (f) 湧水を復活させるためには、コストがかかる場合もある
- (g) 湧水が復活さえすれば、その水質は悪くてもかまわない
- (h) 湧水の温度を測るだけでは、重要な情報は得られない
- (i) 地下水の利用と保全を考える場合、すべてを昔の状態に戻せばよい
- (j) この地域の近くで圃場整備が行われている場合、その影響も考慮したほうがよい
- (k) 地下水涵養量を増やせば、地下水利用量を節約する必要はない
- (l) 地下水の収支を均衡させれば、湧水は復活すると考えられる
- (m) 地下水を飲用しない場合、見た目がきれいであれば水質分析を行う必要はない
- (n) 地下水の流れは遅いのだから、地下水位観測はたまにやればよい
- (o) 地下水位の測定は難しいので、一般の人には任せられず、専門家がやるべきだ

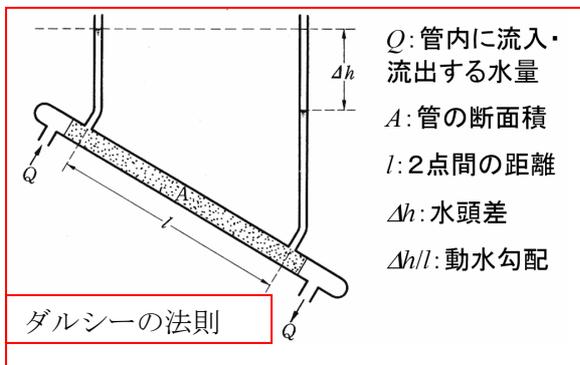
2 以下の問いに答えなさい。ただし、答える際には図や数式を使用してもよい。【配点計 15 点】

問 1 : 地下水シミュレーションにおける定常計算と非定常計算の違いについて説明しなさい。【配点 5 点】

定常計算では、時間を考慮しない、すなわち時間が無限大に経過したときの地下水の流動を計算する。定常状態ではシステムへの流入量と流出量は平衡状態にあるため、そのシステムにおいて時間の経過による貯留量の変化がない。そのため、定常計算では地下水シミュレーションモデルに貯留係数または比貯留量を入力する必要はない。

一方、非定常計算では、時間の経過による流入量や流出量の変化を考慮した地下水の流動を計算する。非定常状態ではシステムへの流入量と流出量は時間とともに変化し（非平衡状態）、そのシステムにおいて時間の経過により貯留量が増加する。そのため、地下水シミュレーションモデルに貯留係数または比貯留量を必ず入力する必要がある。また、非定常計算では、時間に関するパラメータ（シミュレーション期間や、分割期間（Stress Period）の長さや数）を設定する必要がある。

問 2 : 「ダルシーの法則」について説明しなさい。【配点 5 点】



所の水位観測管の距離を l とする。この管に単位時間あたりの流量 Q の水を通過させたときに、 Q は次式により与えられる。

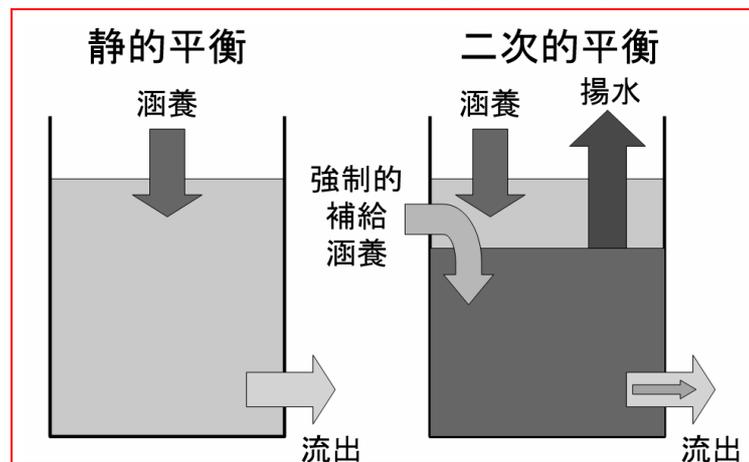
$$Q = K \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{l}$$

ここで、比例定数 K は透水係数とよばれ、砂の種類により異なる値をとる。 Q/A は浸透流速 v であるので、 v は透水係数 K を定数とする動水勾配の 1 次関数であることを示している。

1856 年に H. Darcy により発見された地下水の流れに関する実験法則のことである。図のように、砂を充填した管を準備し、その管の断面積を A 、2 箇

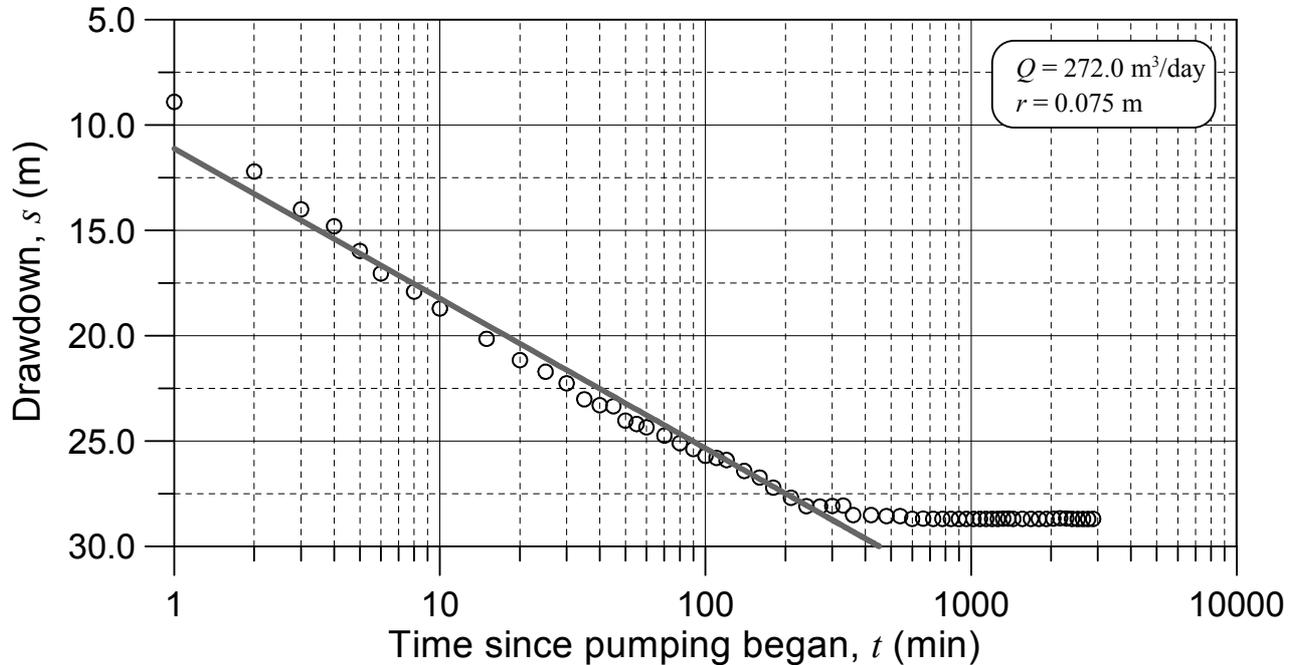
所の水位観測管の距離を l とする。この管に単位時間あたりの流量 Q の水を通過させたときに、 Q は次式により与えられる。

問 3 : 「地下水収支の二次的平衡」について説明しなさい。【配点 5 点】



図のように、地下水の揚水量を大きくすると、強制的な「補給涵養」（漏水）が誘発されることがある。この場合、地下水位は静的平衡状態よりも低下するが、あるところで水位低下が止まり平衡状態に達する。これを地下水収支の二次的平衡とよび、総流入量と総流出量はバランスしているが、流入と流出の内容は静的平衡状態とは異なっているため、地下水揚水量の安全性を検討する際に注意が必要となる。

3 下図は、ある井戸で実施した被圧帯水層の連続揚水試験の結果を、片対数グラフにプロットしたものである。揚水ポンプはこの井戸に設置し水位降下量もこの井戸で測定したが、井戸損失は無視できるものとする。連続揚水試験時の揚水量 Q は $272.0 \text{ m}^3/\text{day}$ 、井戸半径 r は 0.075 m である。図中の太い直線は、水位降下部分に近似させた直線である。この揚水試験結果について、以下の問いに答えなさい【配点計 5 点】



問 1：近似させた直線について揚水試験開始後の時間と水位降下量との関係を調べたところ、10 分後の水位降下量は 18.24 m 、100 分後の水位降下量は 25.35 m であった。このとき、Cooper-Jacob の直線解析法 ($T = 2.30Q/(4\pi\Delta s)$) により、透水量係数を求めなさい。ただし、 T は透水量係数、 Q は揚水量、 π は円周率で 3.14 、 Δs は対数 1 サイクルあたりの水位降下量とする。単位を忘れないように！【配点 2 点】

Δs は $25.35 - 18.24 = 7.11 \text{ m}$ であるので、

$$T = 2.30Q/(4\pi\Delta s) = 2.30 \times 272.0 / (4 \times 3.14 \times 7.11) = 7.005$$

答え： $7.01 \text{ m}^2/\text{day}$

問 2：問 1 で求めた透水量係数を使用して、この井戸のスクリーン (= ストレーナ) 部分の透水係数を求めなさい。ただし、スクリーンの長さは 20 m とする。【配点 1 点】

透水量係数を T 、スクリーンの長さを b とすると、スクリーン部分の透水係数 K は $K = T/b$ となる。

したがって、 $K = T/b = 7.01/20 = 0.3505$

答え： 0.35 m/day

問 3：この連続揚水試験記録をみると、揚水開始後 400 分以降は水位降下量がほぼ安定している。どうして水位降下量がほぼ安定してしまったのかを考察し、この帯水層の特徴を述べなさい。【配点 2 点】

連続揚水試験では常に一定の揚水量で地下水を汲み上げているので、その途中から帯水層の水位がほぼ一定になっていることから、スクリーンを設置した帯水層とは別の帯水層から漏水による補給が生じたものと考えられる。したがって、試験を行った帯水層は、漏水性被圧帯水層であると判断される。

4 地下水盆の管理において、地下水シミュレーションは重要なツールであると位置づけられている。その理由を説明するとともに、地下水シミュレーションを実際の地下水盆に適用する際の注意点についても述べなさい。【配点5点】

地下水は直接目にすることが難しい資源であり、地下水盆内で時間とともに複雑に変化する地下水の動態を統一的に把握するためには、地下水シミュレーション技術が大きな役割を果たす。地下水盆を1つのシステムとして把握し、そのシステムを構成する基本要素について特徴と相互関係を具体的にモデル化することができれば、現状の地下水の動態を再現するだけでなく、将来の地下水盆利用計画に応じた地下水流動の将来予測をコンピュータ上で実験することができる。そこでは、将来ありえないような極端なケースについて予測したり、実際に現地で実験したり実証したりすることが不可能なケースについても、モデルにそのような条件を設定して模擬実験を行うことができる。このような模擬実験をいくつものケースについて行うことにより、将来の地下水盆の状態を予測して診断することができ、最善の対策や地下水盆管理計画を立案することが可能となる。

実際の地下水盆に地下水シミュレーションを適用するにあたっては、いかにその地下水盆の構造や特性を把握し、地下水をとりまく諸条件についてもモデルに組み込むことができるかが重要になる。そのためには、実際の地下水盆や地下水を取り巻く諸条件についてのデータの量や精度を慎重に吟味するとともに、地下水シミュレーションの目的や得られる計算結果の精度を考慮して、適切に地下水盆のモデル化を行わなければならない。また、作成したモデルの信頼度を確認するために、実際の地下水についての観測値とモデルによる計算値とを比較して、過去および現在の地下水流動がモデルにより適切に再現されているかどうかを確認する必要がある。そのために、次の点について注意する。

- 1) 実際の地下水盆についてのデータの量と質の確認
- 2) 地下水観測データの量と質の確認
- 3) 適用する地下水モデルの特徴と解析精度、適用限界の理解
- 4) モデルの入力データ・設定条件の見直しと精度向上