

## 地下水流動モデルを用いた 九大新町造成前後の地下水中塩分濃度の変動に関する分析

九州大学工学部 学生会員 戸田亮太  
九州大学大学院工学研究院 正会員 広城吉成

### 1. 背景と目的

九大新町は、平成 30 年に完了した九州大学の伊都地区への移転に伴い、平成 21 年 9 月から 23 年にかけて元岡地区に造成された。このエリアでは、造成の以前から地下水中塩分濃度を電気伝導度（以下、EC と記す）によって測定しその経年変化をモニタリングしてきたが、EC の鉛直分布は造成前後で異なる季節変動を示した。

井上りはその原因が、造成時の盛土による標高の変化によって地下水の流れが変化したことにあると考察している。この研究は、地下水涵養量の算出に用いられる地下水涵養モデルと準 3 次元淡塩 2 相地下水流動モデルを連動させたモデル（以下結合モデルと呼ぶ）を用いて造成前後の地下水の流れを計算し、この考察の妥当性を確認するものである。

### 2. 方法

#### 2. 1 解析領域

図 1 に福岡市西区元岡地区における本研究での解析対象領域 (900m×700m) を示す。図中には、平成 21 年 8 月まで EC の監視を行っていた B10-4, B16-1, B7-4 の地点、および造成後に移設された地下水塩分観測井の B22-1, B22-2, また、元岡区画整理灌水組合の井戸の位置を示している。モデルによる解析では、図中の赤枠の領域を 10m×10m の差分格子により 6300 点に分割し、各差分格子に造成前後の標高、土地利用、地質データ、降雨量等を割り当てた。解析期間は造成前の 1996 年から造成後の 2020 年の 25 年間でを行った。

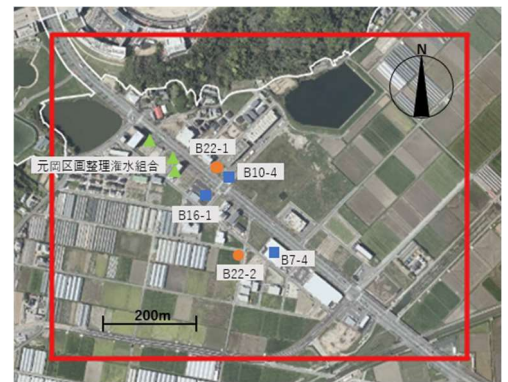


図 1 解析対象領域

#### 2. 2 結合モデル

##### (1) 地下水涵養モデル

地下水涵養モデルの基礎式は式(1), (2)のとおりである。式(1)はタンクの中の水位変化を表す式であり、式(2)は地下水への涵養量を計算する式である。

$$\frac{dh_w}{dt} = \{1 - F(r)\} \cdot r(t) - q_w(t) - EVT_1(t) \quad (1)$$

$$q_w(t) = a_L \cdot \{h_w(t) - R_0\} \times Y[h_w(t) - R_0] \quad (2)$$

ここで、 $r(t)$  : 地上に到達する時間雨量(mm/hour),  $F(r)$  : 表面流出率,  $EVT_1(t)$  : タンク内からの蒸発散量,  $R_0$  : 初期損失高(mm),  $Y[h_w(t) - R_0]$  :  $R_0 \leq h_w(t)$  のとき 1,  $R_0 > h_w(t)$  のとき 0 をとるステップ関数,  $h_w(t)$  : タンク内の水深(mm),  $a_L$  : タンクの流出孔の係数(hour<sup>-1</sup>),  $q_w(t)$  : 不飽和帯から地下水への涵養量(mm/hour) である。

##### (2) 準 3 次元淡塩 2 相地下水流動モデル

準 3 次元淡塩 2 相地下水流動モデルは準一様流の過程において 3 次元現象を平面 2 次元の近似式にした淡塩 2 相流モデルである。不圧地下水分布域と被圧地下水分布域における淡水相・塩水相の地下水位を 4 つの基礎式により算出する、ここでは不圧地下水分布域における淡水領域の式(3)と塩水領域の式(4)のみ記載する。図 3 は不圧地下水分布域における流動モデルの概念図である。

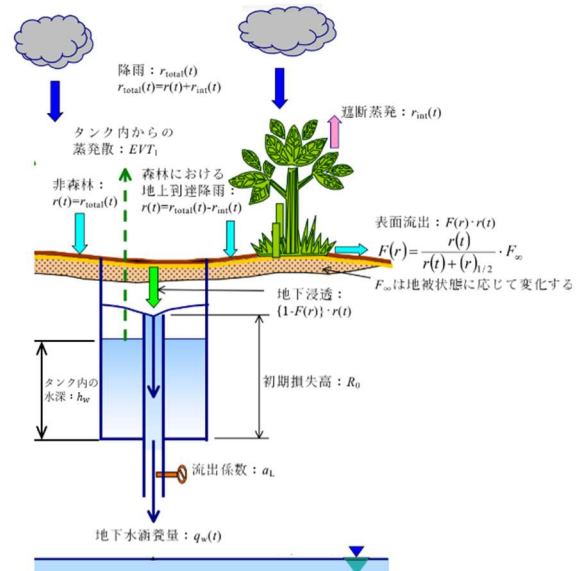


図 2 地下水涵養モデルの概念

$$n_e \frac{\partial(h_f-h_s)}{\partial t} = -\frac{\partial\{(h_f-h_s)\cdot u_f\}}{\partial x} - \frac{\partial\{(h_f-h_s)\cdot v_f\}}{\partial y} - \sum_m Q_m(x,y,t)\delta(x-x_m)\delta(y-y_m) + q_w(x,y,t) - EVT_2(x,y,t) \quad (3)$$

$$n_e \frac{\partial h_s}{\partial t} = -\frac{\partial[\{h_s-b(x,y)\}\cdot u_s]}{\partial x} - \frac{\partial[\{h_s-b(x,y)\}\cdot v_s]}{\partial y} \quad (4)$$

ここで、 $h_f$ : 基準面から鉛直上方にとった淡水面の高さ、 $h_s$ : 基準面から鉛直上方にとった淡塩境界面の高さ、 $u_f$ ,  $v_f$ ,  $u_s$ ,  $v_s$ : 淡水相および塩水相の水平方向流速成分、 $Q_m(x,y,t)$ : 井戸の揚水量、 $q_w(x,y,t)$ : 降雨の地下水への涵養量、 $b(x,y)$ :  $(x, y)$  地点における水理基盤面(透水層と不透水層の境界)の基準面からの高さ、 $EVT_2$ : 地下水面からの蒸発量、 $\delta$ : デルタ関数で河川の位置を表示するために使用、 $n_e$ : 有効空隙率である。

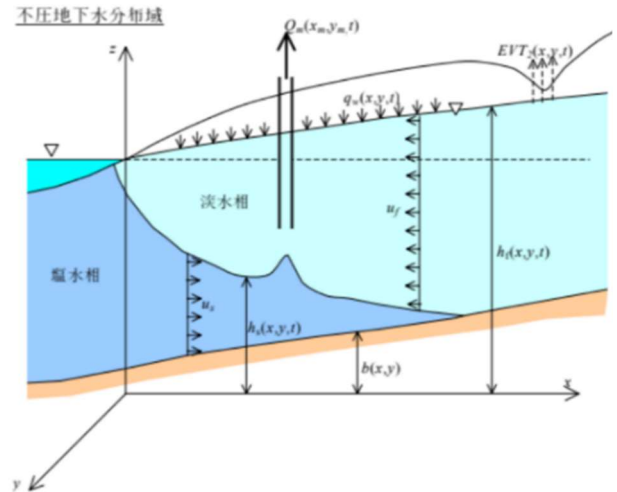


図3 地下水流動モデルの概念

3. 結果と考察

3. 1 B22-1 に関する考察

図4は、平成15年のB10-4、令和2年のB22-1における夏季(7~9月の平均)と冬期(12~2月の平均)のECの鉛直分布を示している。B22-1では、夏季にECが低下する現象が見られている。井上は、造成による標高の変化に伴って道路を挟んで北東から南西への流れから道路沿いの北西から南東への流れに変わったことにより、ECの低い地下水がB22-1に流入したことがこの現象を引き起こしていると考察している。

この考察の妥当性について、結合モデルによる計算結果から考える。計算結果とその後の考察については、西部支部発表時に公表する予定である。

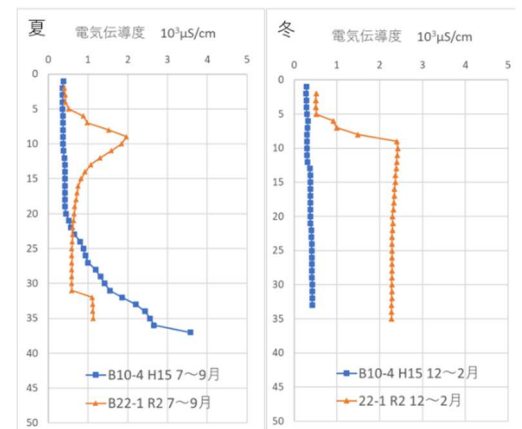


図4 B10-4とB22-1の季節ごとのEC鉛直分布

3. 2 B22-2 に関する考察

図5は、平成20年のB7-4、令和2年のB22-2における夏季と冬のECの鉛直分布を示している。B7-4では夏季のECは10m付近から20m付近で緩やかに上昇しているが、B22-2では、夏季に深度6m付近で電気伝導度が急に上昇しはじめ、それ以深も高い値を示す現象が見られている。井上は、夏季から秋季にかけて増加する灌水組合井戸からの揚水によって井戸周囲のECが増加し、その地下水が道路沿いの流れに乗って侵入することによりECの上昇が起きていると考察している。また、北西側で標高が高くなったことにより道路沿いの流れが強くなったことが、B22-2における顕著なECの増加につながっていると考察している。

この考察の妥当性についても、今後、結合モデルによる計算結果から考察し、西部支部発表時に公表する予定である。

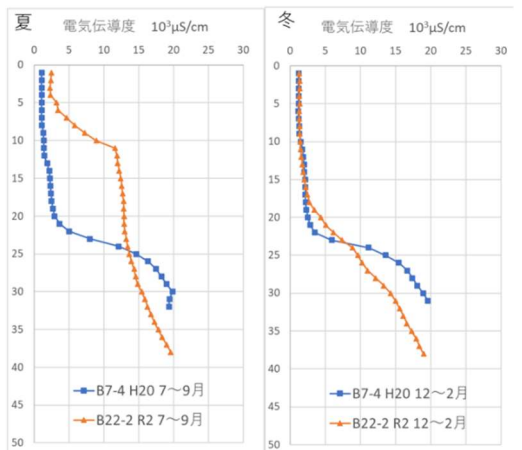


図5 B7-4とB22-2の季節ごとのEC鉛直分布

4. 結論

本研究は、九大新町造成前後のECの鉛直分布の季節変動の変化についての井上の考察について、結合モデルを用いた地下水の流れの計算の結果から、その妥当性を確認するものである。詳しい計算結果とその後の考察については、西部支部発表時に公表する予定である。

今後の展望として、3D物質移動モデルを用いてECの鉛直分布の計算を行うことで、より詳しい考察を行いたい。

1)井上優花卒業論文：九大新町造成前後の地下水中塩分濃度の変動に関する一考察，2022