

## 管水路流れ解析を結合した地下水集水井周りの海水侵入解析

Numerical simulation coupling pipe flow analysis for seawater intrusion around catchment wells

○ 安瀬地一作\*, 桐博英\*, 関島建志\*, 中田達\*

○ AZECHI Issaku, KIRI Hirohide, SEKIJIMA Kenji, NAKADA Toru

### 1. はじめに

浅層地下水帯の比較的浅い層に海水が侵入している沿岸部低平地や島嶼地域などでは、不適切で過剰な地下水の揚水は下層の海水を引き上げることとなり生活用水や灌漑用水としての利用が困難となってしまふ。特に、水源の乏しい島嶼地域では海水層上に形成された淡水レンズの適切な利用方法の確立が求められている<sup>(1)</sup>。そこでは、垂直に掘った立坑から水平方向へ集水井を伸ばし広範囲に取水することで過剰な圧力低下を防ぐ方法が考えられている<sup>(2)</sup> (Fig.1)。このとき、効果的な集水井の配置や適切な揚水量の決定のためには集水井周りの圧力分布や流れ、それにより生じる海水の上昇の様子などを詳細に検討する必要がある。

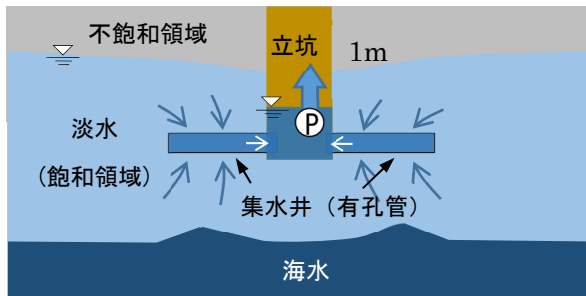


Fig.1 Schematic image of the ground water flow around wells

地下水を地表へ排出する場合の排出量の近似式はいくつか提案されており、その適用性も検討されている<sup>(3)</sup>。しかし、これらは地下排水管（もしくは排水路）が自由水面を有する場合を対象としており、さらに排水管（排水路）内流れによる圧力分布については考慮されていないため、管内が満水かつ流れ方向に圧力分布が存在する場合には不向きである。立石ら<sup>(4)</sup>は集水井周りの流れおよび海水上昇を解析するために、複数の流体解析ソフトを用いて地下水流れと集水井流れを別々に扱い、得られた結果から等価透水係数に変換して管内流れをダルシー流れとすることで管水路流れと地下水流れを同時に計算している。しかし、集水井（管）内流れにダルシー則を用いているため実際の集水井内の流れとは異なっている可能性がある。そこで、本研究では集水井内流れをそのまま管水路流れと

して扱い、地下水流れと管水路流れおよび塩分の移流分散方程式を同時に解くことで、集水井周りの流れおよび海水侵入解析を行った。なお、本研究では計算時間短縮のため鉛直二次元を対象とする。

### 2. 基礎方程式

地下水流れおよび管水路流れの基礎方程式は以下である。

【鉛直二次元飽和不飽和浸透流】

$$u = -k k_{rw} \frac{\partial(h+z)}{\partial x} \quad (1)$$

$$v = -k k_{rw} \frac{\partial(h+z)}{\partial z} \quad (2)$$

$$\rho(C_c + S_e S_s) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial z} \quad (3)$$

$$C_c \equiv \alpha(n-1)(\theta_s - \theta_r) S_e^{\frac{1}{m}} \left(1 - S_e^{\frac{1}{m}}\right)^m$$

$$S_e \equiv \left(\frac{1}{1 + (\alpha|h_c|)^n}\right)^m$$

$$k_{rw} \equiv S_e^{\frac{1}{2}} \left\{1 - \left(1 - S_e^{\frac{1}{m}}\right)^m\right\}^2$$

$$m \equiv 1 - 1/n$$

【一次元管水路流】

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{a^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{a^2}{gA} q_s \quad (4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -gA \frac{\partial H}{\partial x} - \left(\frac{n^2 Q^2}{R^{4/3}}\right) g \frac{1}{A} + \left(\frac{Q}{A} - v_s\right) q_s \quad (5)$$

ここに、 $u$ は $x$ （水平）方向流速、 $v$ は $z$ （鉛直）方向流速、 $h$ は圧力水頭、 $k$ は飽和透水係数、 $k_w$ は相対透水係数、 $\rho$ は淡水密度、 $C_c$ 比水分容量、 $S_e$ は有効飽和度、 $S_s$ は比貯留係数、 $\theta_s$ は飽和体積含水率、 $\theta_r$ は残留体積含水率、 $m$ 、 $\alpha$ はパラメータ、 $H$ はピエゾ水頭、 $Q$ は集水管内流量、 $A$ は管断面積、 $g$ は重力加速度、 $n$ はマンニング粗度係数、 $R$ は径深、 $v_s$ は横流入速度の管軸方向成分、 $q_s$ は単位幅横流入量である。なお、管水路流れの方程式は簡単のため移流項を省略してある。

(1)~(3)式は ADI 法で差分し、(4)、(5)式は陰的中心差分法で差分する。移流項を省略し、陰的解法を用いることで、圧力伝播速度が著しくことなる地下水流れと管水路流れを同時に効率よく計算することができる。

\* 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門 National Institute for Rural Engineering, NARO

Key Word 地下水, 数値流体力学, 管水路流れ, 水環境・水質

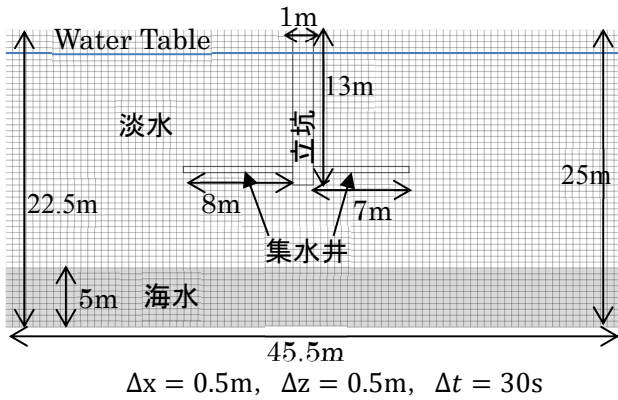


Fig. 2 Finite-difference grid

### 3. 解析条件

解析は Fig.2 に示す格子・条件で行った. 透水係数は  $2.0 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ , 集水井は  $\phi 100\text{mm}$  の鋼管 (圧力伝播速度は約  $1000\text{m/s}$ ) とし, マニング粗度係数は  $0.02$ , 全長にわたってスクリーンを有しており全長から集水する. 地下水から集水管への流入量の算定式は, 圧力差の  $1/2$  乗

に比例するトリチェリ型とし, 流量係数をここでは  $1.5 \times 10^{-4}$  とした. 淡水深, 海水位は常に一定で, 立坑内の水位を  $10\text{mm/s}$  の速さで  $5\text{m}$  まで水深を下げ (初期水深は  $10.5\text{m}$ ),  $24$  時間にわたって立坑内水深  $5\text{m}$  を維持するよう揚水を継続する. その後揚水を停止する. 揚水停止後は周辺地下水と集水井内の圧力差により自然に立坑内の水深が回復する.

### 4. 解析結果

Fig.3 に,  $24$  時間後および  $72$  時間後の圧力水頭分布と, 塩分濃度分布を示す.  $24$  時間後には集水井周りの圧力が急激に低下しているが, 圧力低下がまだ下層まで伝わっておらず, 海水は引き上げられていない. 対して,  $72$  時間後には圧力は徐々に回復しているが, 取水による圧力低下の影響はまだ残っている. この圧力低下の影響が下層まで伝わり海水が引き上げられている.

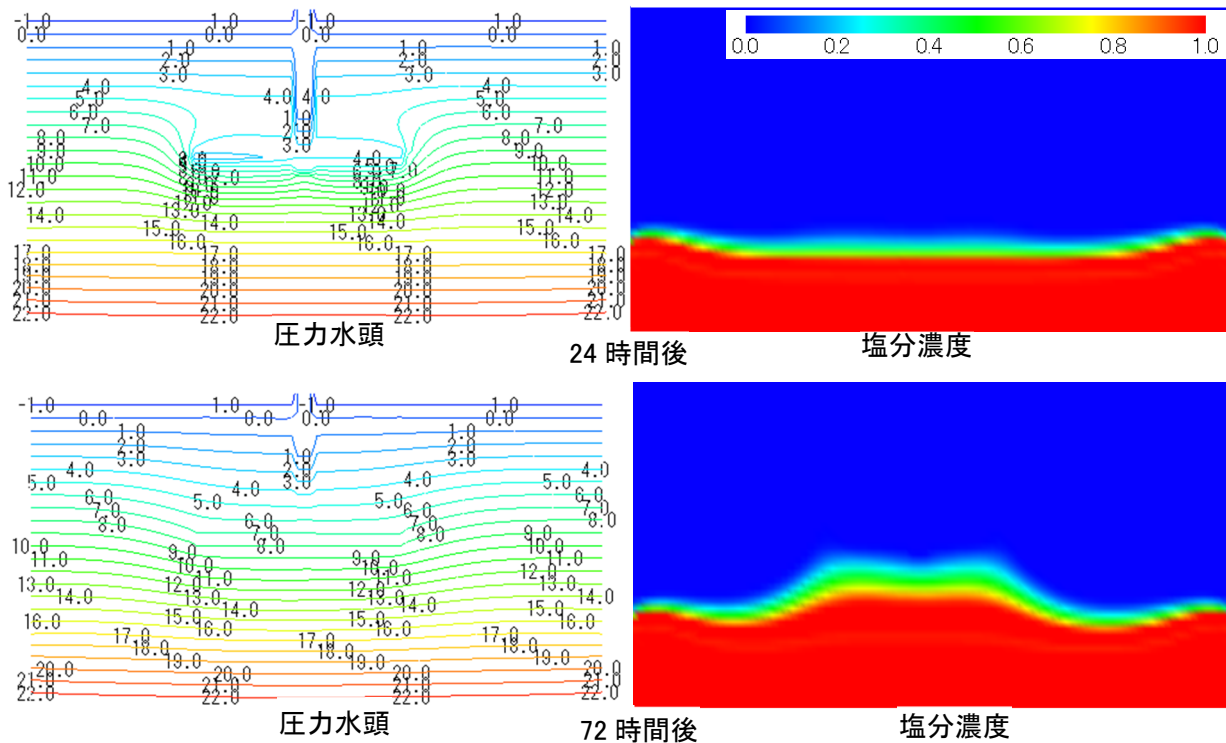


Fig. 3 Calculated water head and salinity

### 参考文献

- (1) J. Bear, A. H.-D. Cheng, S. Sorek, D. Ouazar and I. Herrera, "Seawater Intrusion in Coastal Aquifers-Concepts, Methods and Practices", (1999), 87-105
- (2) 岸智, 浜谷直史, 長田実也, 原郁男, 楠本岳志, "沖縄県津堅島における集水井を利用した淡水レンズからの地下水開発", 応用地質, 39(3) (1998), 298-305
- (3) A. El-Sadek, J. Feyen and J. Berlamont, "Comparison of models for computing drainage discharge", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 127(6), (2001), 363-369
- (4) 立石卓彦, 大村仁, 高砂直幸, "数値解析を活用した淡水レンズにおける集水井構造の検討", 農業農村工学会論文集, 302(2016), pp. I\_131-I\_14