

## ヒートアイランド緩和対策への地下水利用の試解析

大林組 技術研究所 正会員 ○杉江 茂彦 上野 孝之  
赤川 宏幸

## 1. はじめに

都市圏の地下水は取水規制を経て水位が上昇しており、取水以前の状態に近づいた地域もある<sup>1)</sup>。これらの地下水を環境保全の立場から適切に制御して、例えば「ヒートアイランド現象」の緩和対策に有効利用できれば、夏場の都市生活が少しばかり涼しく過ごしやすくなるのではと考える。本研究では地下水の取水に伴う地盤の沈下・変動と地下水の「打ち水」利用を採り上げ、同問題の挙動評価に有効な土/水連成FEM解析（解析コード：GRASP3D<sup>2)</sup>）を用いた試解析を実施したので概要を述べる。

## 2. ヒートアイランドの緩和対策への地下水利用の在り方について

同対策への地下水利用は夏季7月～9月に限定される。この時期が地下水位の年間変動の高水位期にあたっている地域もある<sup>3)</sup>。年毎の降水の影響も勘案しながら、低水位期の3月～5月の水位レベルよりも下回らない様に取水を行うことにより、取水層である砂・礫層の周辺の粘土層を確実に過圧密状態に保つことができよう。加えて、地盤沈下の蓄積が年毎に進まない様に計測と予測解析の相互評価により確認しながら取水を行う。これらにより沈下を制御したより安全な地下水利用が可能である考える。夏季に限定して地下水を取水する場合を想定した地盤・地下水の挙動解析例を以下に示す。

## 3. 地盤および水位変動の解析モデル化

大阪市の地盤を採り上げる。この地盤では掘削工事において実測挙動と、ここで用いる解析法<sup>2)</sup>との相互検証<sup>4)</sup>を実施し、整合性を確認している。地層構成と揚水の位置をFig. 1に示す。揚水井による水の放射流れと変形の対称性から、地盤の軸対称の4分の1の領域をモデル化した。地表面を除くモデル境界面には面外方向の変位を拘束した。

揚水の対象層は深度50m付近に堆積する洪積砂層とした。同層は厚さ13mと十分な層厚を持ち、上下の洪積粘土層は過圧密状態にあり安定している。これらの層の入力物性値をTable 1に示す。粘土層の圧密特性の表現には関口と太田の提案による弾塑性構成式<sup>5)</sup>を用いた。モデルの影響圏( $R=350\text{m}$ )はSichardtの式により設定した。洪積砂層の季刊の水位変動をFig. 2の様に想定し、モデル外周部( $R=350\text{m}$ )に水頭境界条件として与えた。

夏季7月～9月の揚水井稼動時の揚水井の水位低下量( $H_p$ )は $H_p=-2\text{m}$ 、 $-4\text{m}$ 、 $-6\text{m}$ の3ケースとした。加えて取水を行わない場合の計4ケースの計算を行った。

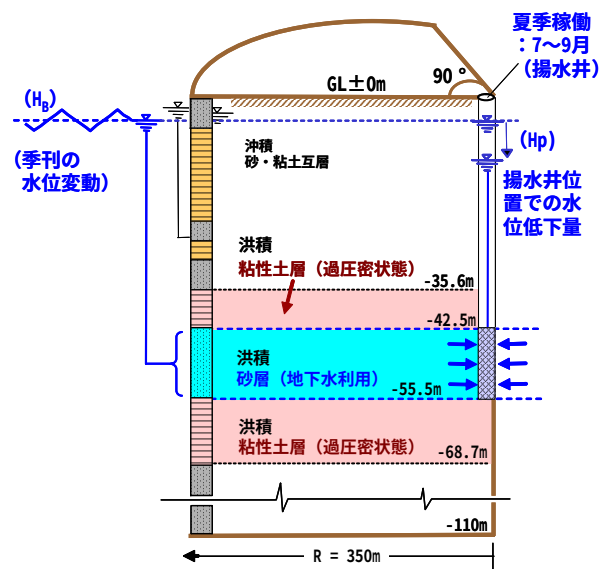
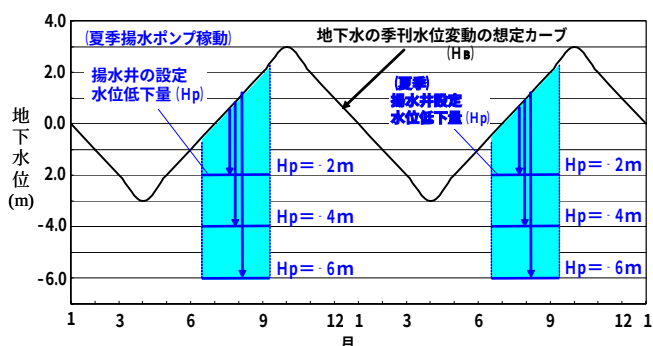


Fig. 1 地盤モデルと水理条件

Schematic Ground Model and Groundwater Condition

Table 1 洪積砂層・洪積粘土層の定数値  
Material Parameter values of Diluvial Clayey and Sandy Aquifer Subsoils

|          | 圧縮指数 | 変形係数       | ポアソン比 | 摩擦角       | 過圧密比 | 透水係数                          |
|----------|------|------------|-------|-----------|------|-------------------------------|
| 洪積粘土層(上) | 0.21 | -          | 0.34  | 30 (deg.) | 2.5  | $7.9 \times 10^{-8}$ (cm/sec) |
| 洪積砂層     | -    | 1093 (MPa) | 0.35  | -         | -    | $2.0 \times 10^{-2}$          |
| 洪積粘土層(下) | 0.13 | -          | 0.39  | 30        | 2.5  | $3.0 \times 10^{-8}$          |

Fig. 2 地下水の想定水位変動と揚水井の設定水位低下  
Assumed Quarterly Behaviours of Diluvial Sandy Aquifer Water Level and Set Water Levels of draw Well

キーワード : 地下水、地盤沈下、打ち水、有限要素法

連絡先 : 東京都清瀬市下清戸4-640 TEL : 0424-95-1097 FAX : 0424-95-0903

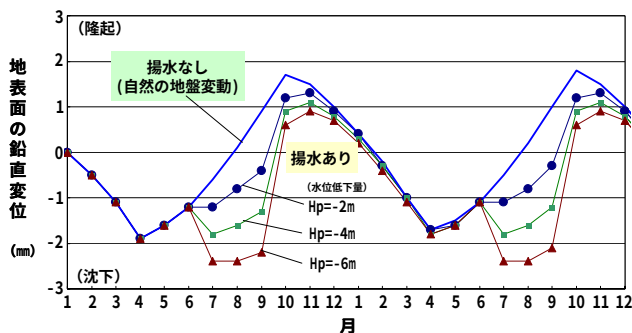


Fig. 3 揚水井近くの地表面の変動（沈下・隆起）  
Vertical Behaviours of Ground Surface  
Adjacent to Draw Well

#### 4. 全水頭および地盤沈下の計算結果

7月からの3ヶ月の取水で地下水位の低下が生じたのは、取水層の洪積砂層とその上下の洪積粘土層に限定された。地盤の変形については、揚水井を中心とするすり鉢状の沈下形状に加えて、モデル外周部（ $R=350\text{m}$ ）付近に洪積砂層の夏場の高水位に伴う隆起が得られた。地下水利用においては沈下の絶対量だけではなく影響圏内の沈下・変形勾配にも留意する必要がある。

揚水井近傍の地表の鉛直方向の変位をFig. 3に示す。揚水を模擬したケースでは揚水井の水位低下量（ $H_p$ ）に応じて変動カーブが下方にシフトしている。揚水井の水位が年間の水位変動の最低レベル（ $H_B=-3\text{m}$ ）を大きく下回る $H_p=-6\text{m}$ の場合を除き、地表の変位は揚水を行わない場合の地盤変動の範囲内にある。したがって揚水井の水位を地下水の年間の水位変動の範囲内に保つことにより、地盤沈下を制御した地下水利用が可能であると考えられる。

#### 5. 揚水量の計算結果と打ち水利用からの考察

揚水井の水位を $H_p=-2\text{m}$ とした場合の7月～9月の揚水量（ $Q$ ）をTable 2に示す。この量（ $Q$ ）で可能なヒートアイランド緩和対策の打ち水の面積（ $A$ ）を同表に示す。面積（ $A$ ）の算定にあたっては、湿潤性舗装路面からの蒸発量<sup>6)</sup>、または、芝生の蒸発散量<sup>7)</sup>等から、一日あたりの蒸発量（ $Q_b$ ）を $5\text{L}/\text{m}^2/\text{日}$ と想定した。

一本の揚水井から得られる揚水量（ $Q$ ）で賄うことができる打ち水の面積（ $A$ ）は、対象とする揚水井の影響圏の面積（半径 $R=350\text{m}$ の円の面積）の29%～42%にあたっている。地盤モデルの対象とした地区の道路の面積は土地面積の約20%程度であり、これを上回る割合となっている。打ち水の主な対象が道路であることを考えると本試算による地下水の揚水量（ $Q$ ）は当該地区の道路全体に打ち水を行うのに十分な量と言える。

地下水の温度と気温の差による冷却効果はどうであろうか。地下水は年間を通して温度の変化が小さい。外気で暖められた水道水や溜め水等を打ち水に用いる場合に比べて、地下水が低温であることによる冷却効果（顕熱の効果）も期待できる。しかし、先の蒸発による効果（潜熱の効果）を前提とした $Q_b=5\text{L}/\text{m}^2/\text{日}$ という値は、顕熱の効果期待するには少量である。Fig. 4に試算概要を示すように、地下水と地上の水との温度差を $10^\circ\text{C}\sim 20^\circ\text{C}$ と仮定すると、顕熱によるヒートアイランドの緩和効果は、潜熱による同効果に比べて3%程度と極小さいと言える。

#### 6. おわりに

地下水利用においては地盤沈下の問題の他にも、地下水環境自体への影響、加えて塩水化、土壌・植生、生物の生態系への影響など環境評価の対象は多岐にわたっている。これらを併せた総合的な評価のもとにヒートアイランド緩和対策への地下水利用の可能性を探る必要がある。

#### 「参考文献」

- 1) 東京都土木研究所：平成13年地盤沈下調査報告，2002
- 2) Ohta, H., Iizuka, A., Omote, Y., Sugie, S.: 3-D analysis of soil/water coupling problems using elastoviscoplastic constitutive relationships, Proc. 7th Int. Conf. Computer Methods and Advances in Geomechanics, Vol. 2, pp. 1191～1196, 1991
- 3) 土質調査法（第2回改訂版），（社）土質工学会，1982
- 4) 杉江：土留掘削地盤の挙動実測事例と有限要素法解析，第46回地盤工学シンポジウム論文集，（社）地盤工学会，pp. 147～150, 2001
- 5) Ohta, H. and Sekiguchi, H.: Constitutive equations considering anisotropy and stress reorientation in clay, Proc. 3rd Int. Conf. Numerical method in Geomechanics, pp. 475～484, 1979
- 6) 赤川，小宮，齊藤，宮川：湿潤舗装システム「打ち水ペープ」の開発（その1），大林組技術研究所報，No. 58, 1999
- 7) 三小田：軽量土壌を用いた屋上芝生植栽の熱環境緩和効果に関する研究，日本建築学会技術報告集 No. 2, pp. 116～119, 1996.3

Table 2 揚水量の算定値（ $H_p=-2\text{m}$ ）  
Pumping up Water Quantity Calculated（ $H_p=-2\text{m}$ ）

|                                                       | 7月      | 8月      | 9月      |
|-------------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| 揚水量（ $Q$ ）<br>（ $\text{m}^3/\text{日}$ ）               | 557     | 679     | 804     |
| 打ち水可能面積（ $A$ ）<br>（ $\text{m}^2$ ）<br>*1              | 111,400 | 135,800 | 160,800 |
| 影響圏（半径 $R=350\text{m}$ の円の面積）に対する打ち水可能面積（ $A$ ）の割合（%） | 29      | 35      | 42      |

\*1 夏場の蒸発量の一般値  $Q_b=5\text{L}/\text{m}^2/\text{日}$ により、 $A=Q/Q_b$ で算定

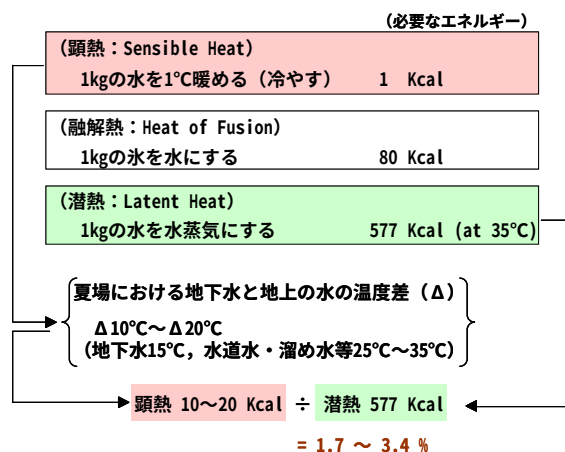


Fig. 4 潜熱（蒸発熱）と顕熱の冷却効率の比較  
Comparison of Cooling Efficiency  
Between latent Heat and Sensible Heat