

III-A 300 臨海井戸の揚水に伴う塩素イオン濃度上昇に関する検討

川崎製鉄 正会員 谷敷多穂 正会員 小林博之
 岡山大学 正会員 河野伊一郎 正会員 竹下祐二
 川鉄エンジニアリング 正会員 岡本勝昭

1. はじめに

平成6年夏に中四国地方を襲った異常温水により70%カットという未経験の工業用水の給水制限が実施された。工業用水確保の手段として、臨海地区での地下水揚水を試みた。揚水初期においては、4,000m³/dayあまりの清浄な水の確保が可能であったが、給水制限の強化に伴う揚水量の増加により、急激な塩素イオン濃度の上昇が起こり、工業用水としては低い水質の状態となった。

本研究はこれらの現象の原因を解明し、塩分濃度を著しく上昇させない適正な揚水井の判定値を求めるため、地下水質の回復（塩素イオン濃度 20ppm 前後）が確認できた揚水停止10ヶ月後に揚水実験を行なって得られた地盤の特性値を用いて、平面浸透流解析により温水期の井戸運転時の再現を行うと共に、運転記録から塩素イオン濃度の上昇との関係について検討したものである。

2. 揚水試験と地盤特性値の算定

井戸配置を図-1に、井戸構造および地盤状況を図-2に示す。温水時に設置された11本の井戸のうち、1本(No.10)を揚水井、6本を観測井(No.1,3,8,9,11,12)とした。予備試験として段階揚水試験を、本試験として定量揚水試験を実施した。なお、いずれの井戸もベント機により掘削貫入したものである。揚水試験における最大の特徴は、すべての井戸が海域から400m以内と極めて臨海地域に位置するため、井戸内水位がともに潮汐変動の影響を受け、すべての井戸内水位測定において潮汐の影響を補正する必要がある点である。井戸間で微小な差はあるが、井戸内水位(y)と潮位(x)は常に次式の関係にあり、各揚水試験の測定水位の補正に用いている。なお、相関係数は0.96である。

$$y = 0.59x + 0.93 \quad (\text{m}) \quad (\text{代表的な井戸 No.10})$$

段階揚水試験ではかなり透水性の良い地盤であることと揚水設備能力の限界もあり、通常 $[\log(Q) - \log(S_w)]$ の関係から求まる限界揚水量の判定はできなかった。

定量揚水試験では地盤特性値の算定を目的として、 $Q=3.03\text{m}^3/\text{min}$ の一定揚水量で行った。得られた結果のうち図-3に非定常時の水位低下をプロットで示す。表-1にJacob法、潮汐効率を用いた方法、回復法、Thiem法の4つの方法より得られた地盤特性を示す。これらの結果と試験地盤を均質地盤と仮定して、平面浸透流解析を用いて得られた解析結果を比較したところ、 $k=3.1\text{E}-01(\text{cm}/\text{s})$ 、 $S=2.0\text{E}-04$ が揚水試験時の水位低下挙動を再現するのに適切な値であると判断した。図-3に地下水水位低下曲線として示す。

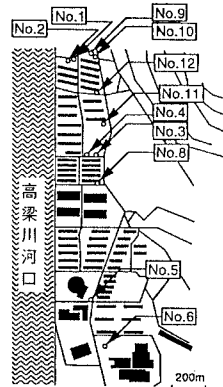


図-1 対象地域と井戸配置

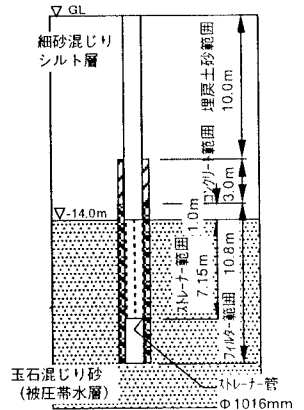


図-2 井戸構造と地盤状況

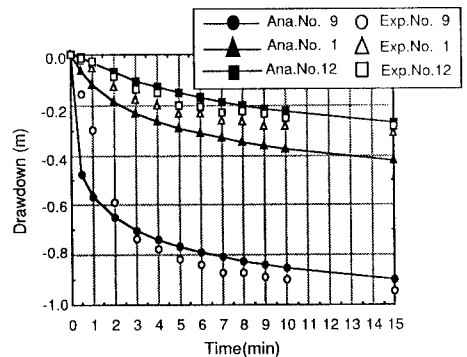


図-3 水位低下比較（非定常時）

3. 渇水時の再現と考察

平成6年夏の渇水当時の運転記録（日々の揚水量と塩素イオン濃度の測定結果）を元に浸透流解析で再現した。図-4、5に水位低下と塩素イオン濃

表-1 各種解析法より得られた地盤特性値

Well No.	r (m)	Jacob 法		潮汐効率	回復法	Thiem 法
		k (cm/s)	S	S	k (cm/s)	k (cm/s)
No. 9	10	3.00E-01	7.80E-04	3.80E-05	3.10E-01	3.10E-01
No. 1	100	4.90E-01	2.00E-04	4.10E-05	4.60E-01	3.10E-01
No. 12	210	5.30E-01	8.10E-05	3.50E-05	5.30E-01	3.10E-01

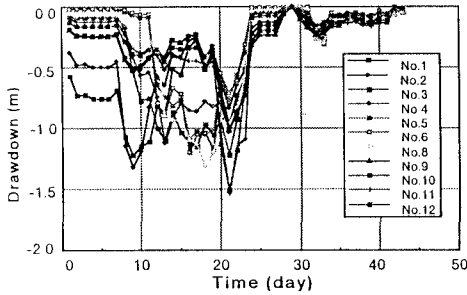


図-4 井戸内水位低下の経時変化

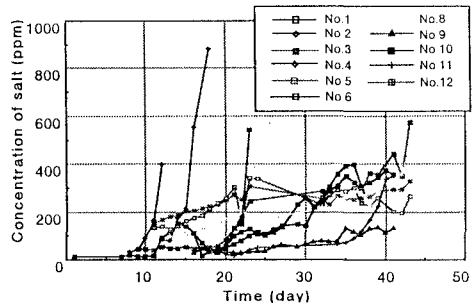


図-5 塩素イオン濃度の経時変化

度の経時変化を、図-6に揚水21日目の地下水位コンターを示す。これらの関係には、地下水位低下が1mを超え、揚水量が階段状に増加した1~2日後に塩素イオン濃度が急激に増加する特徴があり、淡水・塩水境界でのアップコーニング現象が進行したものと推測される。

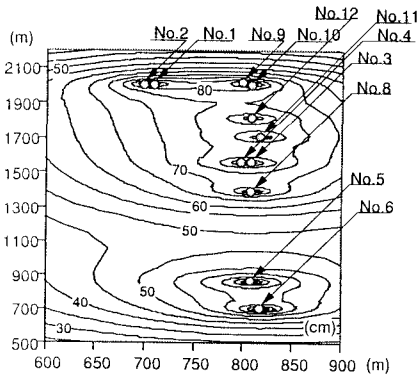


図-6 地下水位低下コンター（渇水21日目の再現）

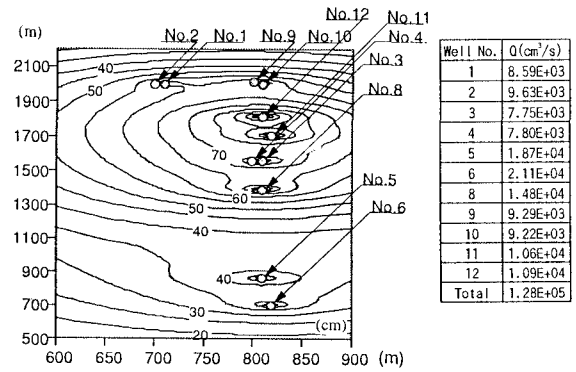


図-7 地下水位低下コンター（全井戸内水位1m低下時）

このことを踏まえて、揚水による全井戸の水位低下を1mに固定して浸透流解析を行い算定した各井戸の揚水量と、この流量で揚水を行った場合の揚水開始1日後の地下水位コンターと各井戸の揚水量を図-7に示す。推定される11カ所の井戸からの合計揚水可能量は、11,000m³/dayで、このときの水位低下状況は、渇水時の運転において最も大きな地下水位低下をもたらした21日目の運転状況の再現状況（図-6）と比較すると地域全体として海域側の水位低下が緩和されていることがわかる。

4. まとめ

以下に本研究の成果をまとめる。

- (1) 揚水試験結果から算定した透水係数、貯留係数をもとに試験地盤をモデル化し、浸透流解析により揚水各地盤の特性値の妥当性を検証した。
 - (2) 渇水時の揚水状況を浸透流解析により再現することにより、水位低下と塩素イオン濃度上昇の関係を整理し、アップコーニング現象の抑制が可能と推測される各井戸の揚水量を算定した。
- （謝辞）本解析の遂行にあたり、岡山大学卒業生、福英靖君、小林蒼治君の協力を得たことを記して、感謝の意を表します。

<参考文献> 1) 河野伊一郎、八木剛男、吉国洋(1990): 土の力学、技報堂出版、2) 竹下祐二(1994): 「地下水動態の計測」、地下水学会誌第36巻第3号、3) 高坂信章 (1993): 「多孔式揚水試験」、地下水学会誌 第35巻第4号