

汚染された帯水層の長期間揚水による水質変化の事例

サンコーコンサルタント株式会社

○三浦光隆, 越谷賢, 吉岡正光

国立研究開発法人産業技術総合研究所

町田功

1. はじめに

汚染された帯水層の浄化には、汚染物質の物理的な除去（掘削、揚水など）が有効とされる。そのような物理的な除去を実施した対策事例の報告は多くないものの、極めて時間や費用がかかることが知られる（たとえば、平田、1996¹⁾）。

われわれは、複数の帯水層にそれぞれスクリーンを設けた単孔の調査孔において水理試験を実施した際に、帯水層ごとに水頭が異なるため、試験後にある一つの帯水層に別の帯水層の地下水が混入したことを確認した。混入した地下水の排除に約1カ月の揚水を継続したものの、侵入した地下水の2割程度しか揚水することはできなかった。しかし、地下水の水質は、作業完了時に概ね混入する前の状態となった。

本報では、帯水層の浄化の対策事例の一つとして、揚水時の水位、流量、水質などのモニタリングの結果を述べるとともに、水質が改善した要因などを検討したい。

2. 調査地および調査孔

調査地は駿河湾の北端沿岸の富士川河口部に位置する。調査地および周辺には、富士火山の火山噴出物および火山麓扇状地堆積物が分布するとされる（尾崎ほか、2016²⁾）。

水理試験を実施した調査孔（図-1）では、深度120mまでトリコンビットを使用して掘削し、掘削終了後に電気検層を実施した。掘削区間の地下地質は、掘削状況や検層の結果から、難透水層となる複数のシルトが挟在する砂礫が分布することが推定された。また、深度とともに全体的な比抵抗値が減少しており、下位に溶存成分の多い地下水が分布することが推定された。

調査孔の仕上げはシルトを境とした複数の深度に試験区間としてスクリーンを設けることを計画し、仕上げ管にはVP75、試験区間には巻線スクリーン（ステンレス製、開口率39.5%）を設置した。

3. 水理試験および帯水層の浄化のための揚水の概要

水理試験（以下、1回目の揚水）は、深度42m、82m、112m付近に設けたスクリーン区間において、地盤工学会基準（単孔を利用した透水試験方法：JGS 1314-2003）に準じた段階揚水試験、定流量揚水試験、回復試験を連続的に実施した。試験区間はダブルパッカーで遮蔽し、揚水時には地下水の水質（pH、電気伝導度、酸化還元電位、溶存酸素濃度、水温）を経時的にモニタリングした。また、水理試験の実施後には、流向流速試験を行い、地下

水の流動状況の把握した。

調査孔を約1カ月間静置した後、同じ試験区間から再び揚水を行ったところ、地下水の水質が変化している区間が認められ、別の帯水層の地下水が混入していることが考えられた。混入した地下水を排除するために、混入した区間を再びダブルパッカーで遮蔽して1カ月間程度にわたり断続的に揚水（以下、2回目の揚水）を行い、揚水した地下水の水質を経時的にモニタリングして改善状況などの変化を把握した。

4. 結果と考察

(1) 試験区間の水理特性

試験区間の平衡水位は、深度42mがGL-2.5m程度、深度82mと112mがGL+0.5m程度と、下位の2区間が自噴する状態にあり、深度42mは下位の2区間と比較して水頭が3m程度小さかった。

試験区間の透水性は、深度42mが $10^{-3} \sim 10^{-4}$ m/s程度、深度82mと112mが $10^{-4} \sim 10^{-5}$ m/s程度と、深度42mが下位の2区間と比較して良好であった。

試験区間の流速は、深度が浅い区間で速く、下位ほど遅かった。

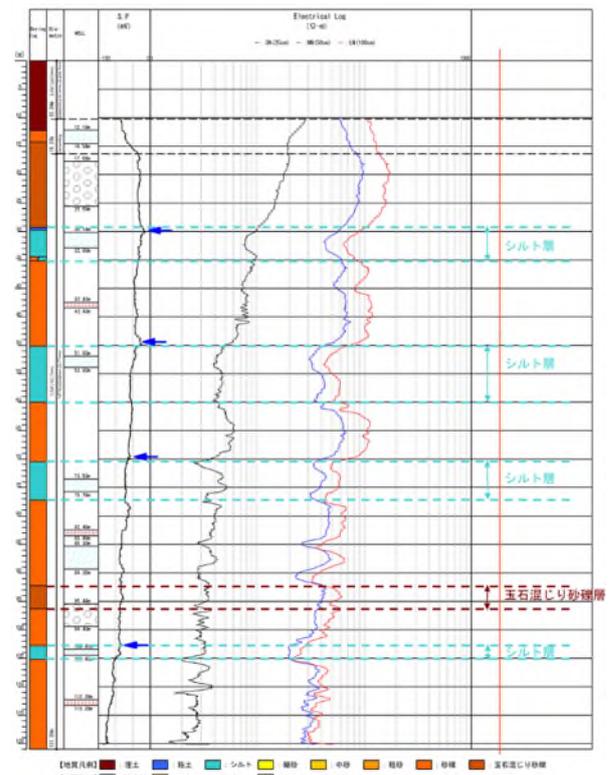


図-1 調査孔の柱状図と電気検層で得られた比抵抗値

(2) 試験区間の水質の変化

1 回目の揚水の終了時に採取した地下水の水質は、電気伝導度の違いが大きく、下位に従い高い値を示した。

2 回目の揚水の開始時の地下水の水質として、深度 42m では、電気伝導度の値が 1 回目の揚水時と比較して 10 倍以上高い値を示した。2 回目の揚水の終了時には、各深度ともに概ね 1 回目の揚水の終了時と同じ程度の値となった。

(3) 深度 42m の揚水時の水質の変化と改善した要因

1 回目の揚水終了時と 2 回目の揚水開始時の電気伝導度の値を比較したところ、深度 42m の 2 回目揚水直後の値の増加が顕著であった。

これは平衡水位が上位（深度 42m）と比較して、下位（深度 82m と 112m）が 3m 近く高いため、下位の帯水層から上位の帯水層へ地下水が混入したと考えられる。また、深度 42m は他の深度と比較して、高い透水係数を示しており、優先的に下位から地下水の混入が生じたと考えられる。混入した地下水は、電気伝導度から深度 112m から供給された地下水が主体と考えられる。

混入した地下水の量を推測するため、段階揚水試験の解析理論を応用した次式で算出することを試みる。

$$Q = \frac{2\pi Lk_1[h_1 - (h_1k_2 + h_2k_2)/(k_1 + k_2)]}{\log_e\left(\frac{2L}{D}\right)}$$

ここで、k：透水係数 (m/s)、L：試験区間長 (m)、D：試験区間径 (m)、Q：流量 (m³/s)、h：平衡水位 (GL+m) であり、下付き文字は、1：供給源の帯水層、2：混入があった帯水層の値を示す。本試験では試験区間長、試験区間径は同一であるため L、D については帯水層別に区別していない。

これにより算出した混入量は 755m³であった。2 回目の揚水時に揚水した積算流量は 144m³程度であり、混入量の 1/5 程度であった。この揚水量に対して電気伝導度の値は 1/8 程度まで低減した。このように物理的な除去が満足でなかったものの、地下水の水質が改善した要因としては、帯水層の貯留量が豊富かつ地下水の流動状況が良好であったため、混入した地下水が帯水層内で希釈されたものと考えられる。これは揚水を停止している間にも一定の勾配で電気伝導度の低減がみられることから確認できる (図-2)。

表-1 水理試験の結果

	平衡水位 (GL+m)	透水係数 (m/s)
深度42m	-2.41	1.02E-04
深度82m	0.46	4.05E-05
深度112m	0.42	1.23E-05

表-2 採水時の電気伝導度

	1回目の揚水		2回目の揚水	
	終了時	開始時	開始時	終了時
深度42m	237	3567	3567	442
深度82m	1476	3901	3901	1555
深度112m	5803	4805	4805	4862

単位は μS/cm

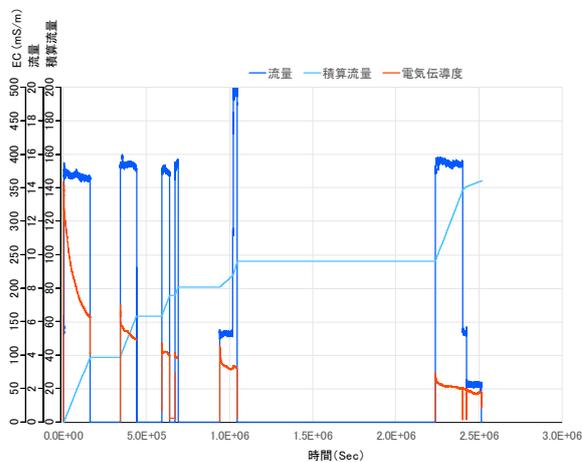


図-2 42.43～43.43m の 2 回目の揚水時の水質変化

5. おわりに

汚染された帯水層の浄化の対策としては、汚染物質の物理的な除去（揚水など）が有効であるものの、極めてコストがかかるとされる。本報においても帯水層の浄化対策として長期間の揚水を実施した。しかし、帯水層そのものの特性が水質の改善に大きく寄与したことが示唆された。帯水層の浄化対策として汚染物質の物理的な除去が重要であることに変わりはない。本報は、帯水層の適切な浄化対策を行うために、地下水の流動状況など、帯水層の特性を正確に把握することが不可欠であることを追認した事例と考える。今後は、流向流速試験の結果なども踏まえて、地下水流動シミュレーションを行うことで想定される水質の変化を模擬・再現してみたい。

6. 謝辞

本研究には、経済産業省資源エネルギー庁からの委託研究「令和 4 年度度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 (JPJ007597) (沿岸部処分システム評価確証技術開発)」の成果の一部を利用した。

《引用・参考文献》

- 1) 平田健正 (1996) : 土壌・地下水汚染と対策, 日本環境測定分析協会
- 2) 尾崎正紀・水野清秀・佐藤智之 (2016) : 5万分の1富士川河口断層帯及び周辺地域地質編纂図および説明書. 海陸シームレス地質情報編集, 駿河湾北部沿岸域, 海陸シームレス地質図 S-5.