

多成分多相流解析によるエアースパーキングの揮発浄化効果についての検討

清水建設（株） 技術研究所 正会員 ○奥野哲夫

1.はじめに 揮発性有機化合物（VOC）による土壌・地下水汚染浄化法として、空気注入と土壌ガス吸引を併用した浄化法（エアースパーキング）の適用が試みられている。しかし、その設計法は確立されておらず、浄化効率の最適化や浄化完了時期の予測には理論的検討も必要と考えられる。このための基礎検討として、本報告ではトリクロロエチレン（TCE）による汚染を対象に、空気注入（エアースパーキング）に伴って促進される揮発浄化効果を把握するため、エアースパーキング法（空気注入と土壌ガス吸引を共に実施）と土壌ガス吸引法（土壌ガス吸引のみ実施し空気注入を実施しない場合）による浄化の違いを、多成分多相流解析により評価した結果を報告する。

2.解析方法と解析モデル 著者ら¹⁾は、既にエアースパーキングに関する基礎検討の一部として、(1)土壌ガス吸引の効果、(2)空気注入量の影響、(3)吸引井配置の影響、について解析的検討を行っており、今回使用した数値解析法と解析モデルは、基本的にそれと同一である。したがって、詳細は参考文献1)に譲り、ここでは概要のみ説明する。

エアースパーキングによる浄化特性を把握するには、気相（空気）、液相（水相）、NAPL（Non-Aqueous Phase Liquids：非水溶性液相）の流動を評価する必要があるため、解析には多孔質体内において3成分（空気、水、VOC）3相（気相、水相、NAPL）からなる流動の支配方程式を積分差分法に基づき定式化した手法を用いた。また、基礎検討であるため比較的簡単なモデルを想定し、土へのTCEの吸着は生じないものと仮定した。これらについては別途検討を行う予定である。

想定した地盤は図-1に示すものである。エアースパーキングは透水性・透気性が比較的良好な地盤において効果が期待できる方法であるため、地表から深度8mまで透水係数 $1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ の砂質土とし、その下2mを透水係数 $1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ の粘性土とした。さらに、自然状態（初期状態）において地下水流動は生じていないものとし、周辺境界条件として一律深度4m位置に水位を固定した。汚染として平面図中央の地表面から10日間で1000kgのTCEが流入した状態を想定し、この状態を模擬するため、検討に先立ち自然状態での汚染

拡大状況を解析した。その結果を図-2に示す。これは汚染発生から10年後の状態であり、後述する図-3の解析領域（1/4領域）の汚染状況を示している。地下水位面や地層境界面により汚染分布が影響を受けている様子がわか

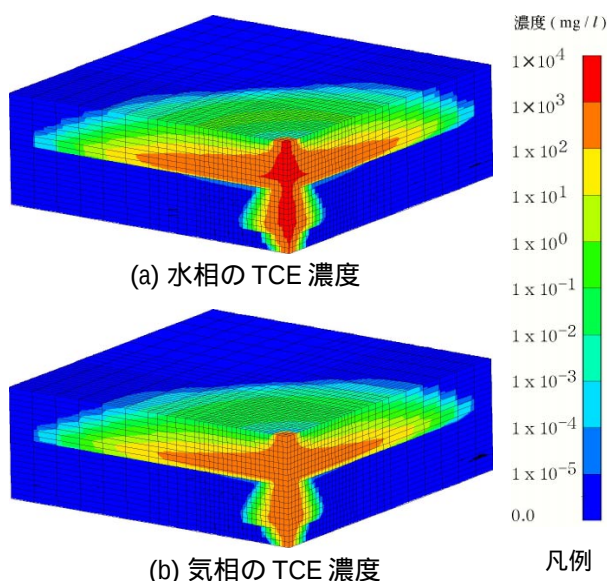


図-2 浄化開始直前の汚染状況
(汚染発生10年後)

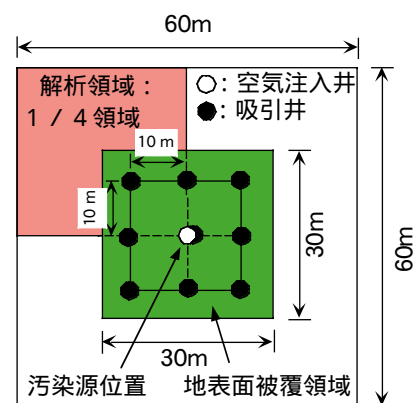
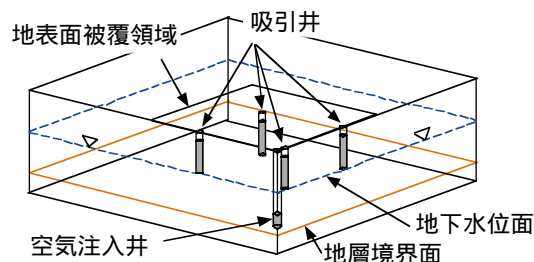


図-1 地盤モデル



キーワード：土壌・地下水汚染，数値解析，浄化，エアースパーキング，多相流解析

連絡先：（住所）東京都江東区越中島3-4-17，（TEL）03-3820-5537，（FAX）03-3820-5959

る。以下の検討では、この状況から浄化を開始することを想定した。

今回の検討目的はエアースパーキングの揮発浄化効果を把握することである。このためエアースパーキング法(空気注入と土壤ガス吸引を併用した浄化法：以下、この検討ケースをAVと呼ぶ)と土壤ガス吸引法(以下、この検討ケースをVEと呼ぶ)の2ケースを検討した。エアースパーキング法ではTCEの流入位置(中心)に空気注入井を設けるものとし、空気注入位置は深さ7.0m～7.5mの50cm区間とした。空気注流量は $100 \times 10^{-3} \text{Nm}^3/\text{min}$ とする。また、吸引井は、地下水面以浅の深度0.5m～4.0mにおいて-0.05気圧(ゲージ圧)で吸引する。図-3の浄化解析モデルには井戸配置などの条件を示している

が、解析は浄化対策工の幾何学的対称性から1/4領域で実施する。図-4 浄化期間中の各相の残留TCE質量
なお、エアースパーキング法と土壤ガス吸引法での浄化条件の違いは、空気注入の有無のみである。

4. 解析結果と考察 図-4に浄化期間中の残留TCE質量の経時変化を示している。同図にはエアースパーキングと土壤ガス吸引法による違いと、各相毎の残留TCE質量の内訳も示している。水相および気相中のTCEの残留量は、土壤ガス吸引法の方が僅かながら少ないものの、NAPL相(TCE原液相)を揮発浄化させる効果により、地中全体の残留TCE総量はエアースパーキング法の方が1/4～1/5程度まで少なくなり、解析例ではエアースパーキングによる揮発浄化の効果が4～5倍あることがわかる。以上の浄化期間中の水相と気相のTCE濃度分布を図-5、6に示す。これより浄化状況が把握できる。

5. 終わりに 今回は簡単な地盤モデルを想定してエアースパーキングの揮発浄化効果の基礎検討を行った。今後さらに詳細な検討を進める予定である。

参考文献 1) 奥野他：エアースパーキングによる土壌・地下水汚染浄化法についての解析的検討，地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会，第7回講演集，(社)日本水環境学会・日本地下水学会・(社)土壌環境センター主催，pp.331-334，2000。

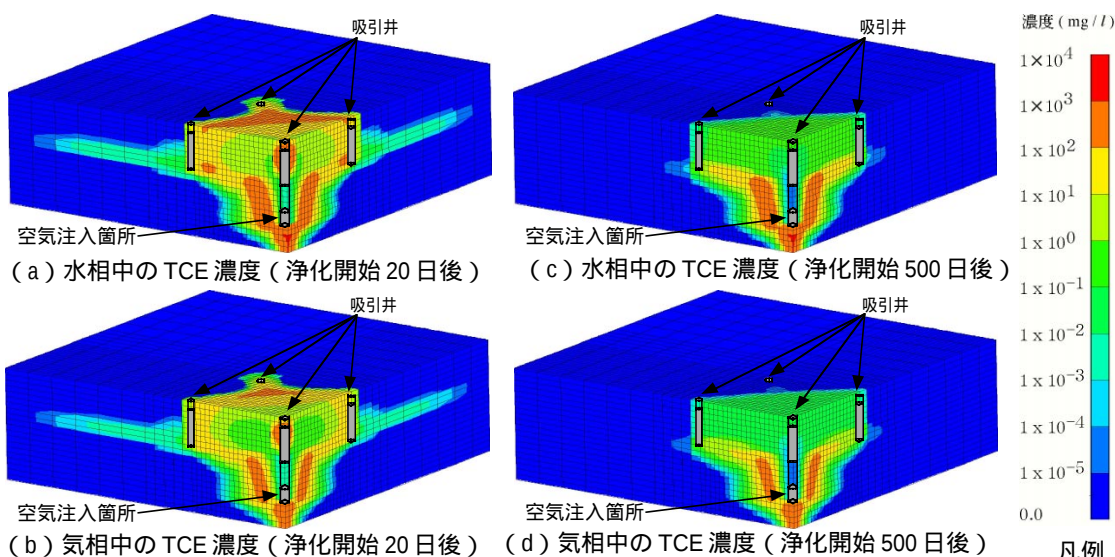
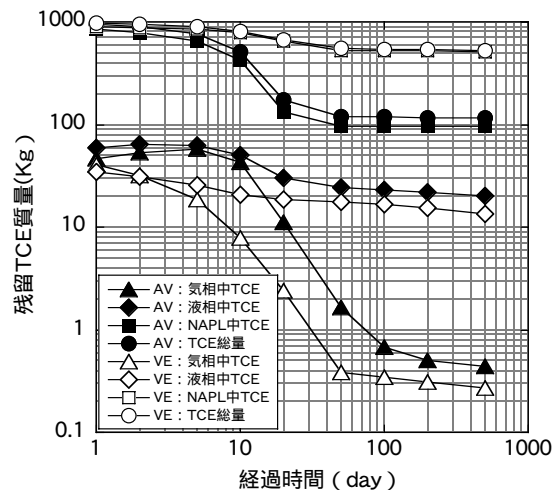


図-5 エアースパーキング法(AV)実施中のTCE濃度分布

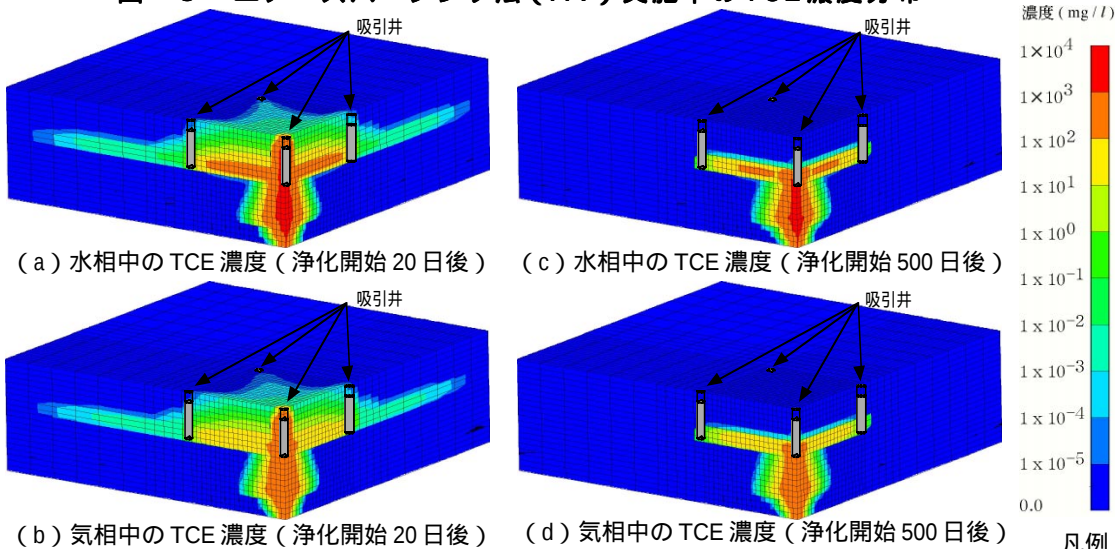


図-6 土壌ガス吸引法(VE)実施中のTCE濃度分布