

## 多成分多相流解析による地下水中の空気移動シミュレーション

大林組技術研究所 正会員 西田憲司  
 同 上 フェロー 上野孝之  
 同 上 正会員 須藤 賢

## 1. はじめに

揮発性有機化合物で汚染された土壌・地下水の浄化技術の一つにエアースパーキング法があげられる。これまでにも実現場で適用されている手法であるが、その設計技術は確立されていないのが現状である。こうした背景から、本研究では数値解析技術を援用した設計技術の確立を目指している。ここでは、地盤内、特に地下水における空気の移動現象を多成分多相流解析技術を用いてシミュレートすることを試みた。以下に詳述する。

## 2. 室内実験の概要

シミュレーションにあたっては、江種らの室内実験<sup>1)</sup>を対象にした。江種らは、地下水中に注入された複雑な空気の流れを明らかにするため、図-1に示す二次元水槽を用いた実験を行っている。実験では、140cm×59cm×7cmの水槽内に粒径1mmのガラスビーズ多孔体を形成し、水槽の左右両端の水位を一定に保った状態で水槽底部から空気を注入し、空気の移動状況をマノメータなどで測定している。空気を連続的に注入した場合の注入空気の拡がりを図-2に示す。江種らは空気を間欠的にも注入して実験を行っているが、ここでのシミュレーションでは、図-2に示した連続空気注入のケースを取り上げることとする。

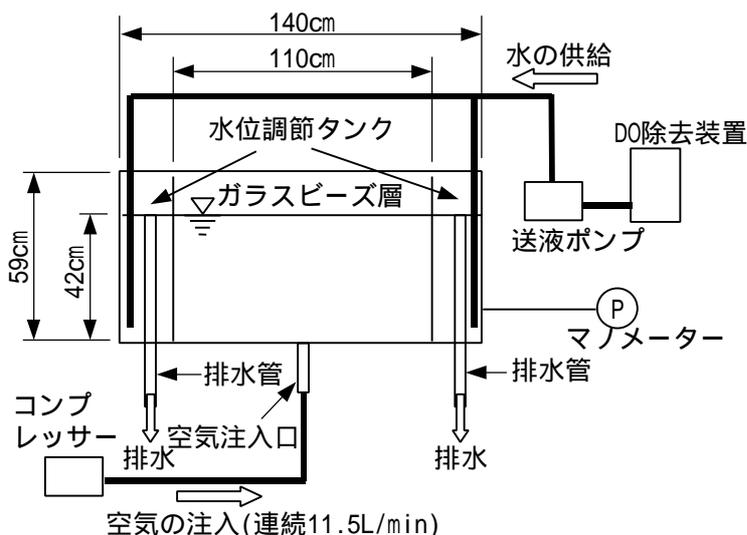
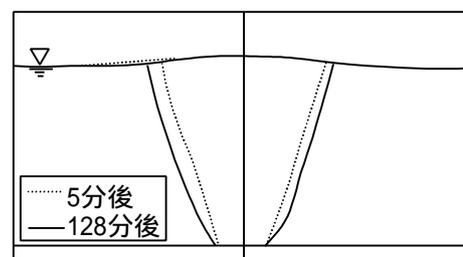


図-1 江種らの実験概要

## 3. 解析モデル

ここでの地下水中の空気移動現象シミュレーションは、将来のエアースパーキング法における予測を視野に入れて行う。したがって、多孔質媒体内における3成分（空気+水+VOC）3相（気相+水相+NAPL）から成る流動の支配方程式を差分法によって定式化した手法を用いることにした。その手法として、米国ローレンスバークレイ国立研究所が開発した多成分多相3次元地下水シミュレータ Tough2 Ver.2<sup>2)</sup>を適用した。

解析モデルを図-3に示す。解析は、Case1：地下水中に空気を注入する前の段階を定常解析で、Case2：空気注入後を非定常解析で行った。したがって、Case1においては図-3の底部に記した空気注入条件は与えていない。Case2における空気注入口は

図-2 江種らの実験結果  
(注入空気の拡がり)

浸透，数値解析，地下水，透気性，透水性

〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 TEL:0424-95-1090 FAX:0424-95-0903

水平方向に一定幅の矩形形状と仮定した。

水面より上になる上面水平境界と側方境界に、一定大気圧 0.1Mpa 条件を与えた。また側方境界の水面より下の水没部分には静水圧 + 大気圧 0.1Mpa の境界および初期条件を付与している。

多孔質透水透気媒体の絶対浸透率  $\bar{k}$  は、実験地盤の飽和透水係数  $K_1=2.0\text{cm/sec}$  と、水の密度および粘性を考慮して  $\bar{k} = 2.32 \times 10^{-2}\text{m}^2$  とした。飽和度と相対浸透率の関係は図 - 4 に示すとおり、水相および空気相ともに線形関係であると仮定した。

空気の注入条件については実験値流量  $Q = 11.5\text{L/min}$  をそのまま与えることができないため、要素単位で空気質量を定義する機能を利用し、注入質量を  $m = 2.33 \times 10^{-2}\text{kg/sec}$  とした。

4. 解析結果と考察

解析結果として、Case1 空気注入前の圧力分布を図 - 5 に示す。図から静水圧分布がうまくシミュレートできていることがわかる。水相底部の圧力は、実験値 104,120Pa に対し解析解は 101,040Pa でほぼ一致しており、流速や飽和度分布も問題なくシミュレートできている。Case2 空気注入の場合について、注入 128 分後の飽和度分布を図 - 6 に示す。実験同様、空気は上方に移動するに連れて広がっていく様子がシミュレートできている。しかし水面付近で解析解と実験値にズレが見られる。また図面は割愛するが、流速ベクトルも局部的に不自然な結果が認められた。こうした結果は、空気注入条件の与え方に起因するものと考えられ改善する必要がある。

5. おわりに

ここでは、地下水中での空気の移動現象を多成分多相流解析技術によってシミュレートした結果を述べた。特に、文献 1) に詳細なデータが掲載されている江種らの実験結果を利用させていただいた。今後もより正確なシミュレートを目指して解析技術を改善していく予定である。

【参考文献他】1)江種伸之・中藤康拓・生原功一・平田健正：水分飽和多孔体に注入した空気の移動と溶解特性，地下水学会誌，第 44 巻第 4 号，pp.285 ~ 294，2002 .

2)http://www-esd.lbl.gov/TOUGH2/

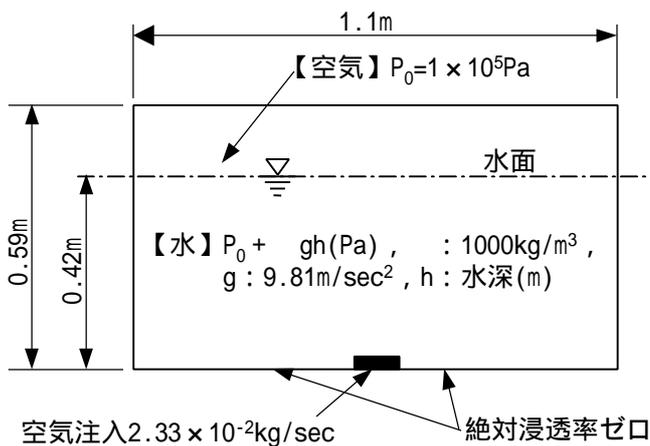


図 - 3 解析モデル

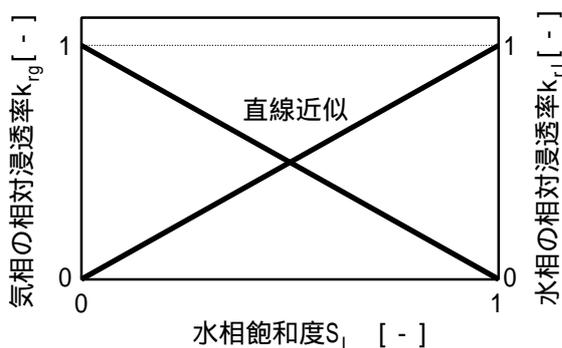


図 - 4 飽和度と相対浸透率の関係

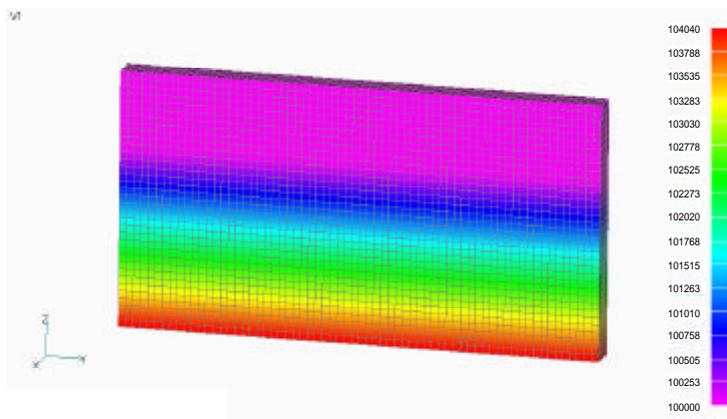


図 - 5 解析結果Case1空気注入前の圧力分布

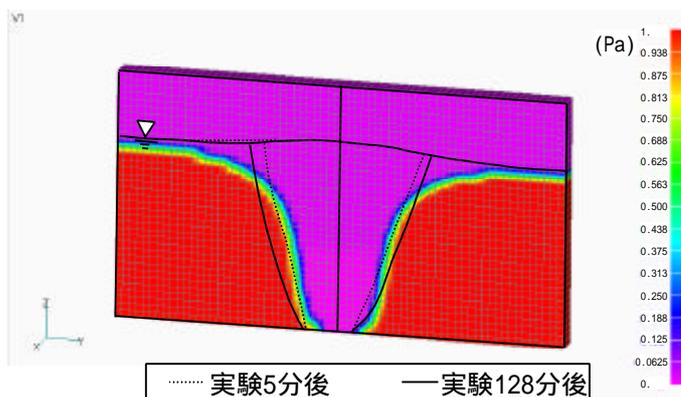


図 - 6 解析結果Case2空気注入128min後の飽和度分布