

土壌ガス吸引法の吸引効果解析手法の提案とその適用による基礎的検討

ハザマ技術研究所 正会員 山下 亮
 ハザマ技術研究所 正会員 今井 久
 ハザマ環境修復事業部 福岡 隆志

1. はじめに

揮発性有機溶媒で汚染された不飽和地盤の浄化では土壌ガス吸引法がしばしば用いられ、現地計測による吸引影響範囲や浸透係数の推定結果も多く報告¹⁾されている。現地での計測事例の報告はなされているものの、地表からの空気の流入、深度方向の土壌間隙中の空気の流れについての解析的検討はあまりなされていない。ここでは吸引井周辺の空気の流動特性を把握し、その効果的配置設計等に反映するため、気体の圧縮性を考慮して、既存の地下水解析コードを利用し簡易に圧縮性を考慮した土壌ガス挙動の解析手法を提案する。さらにこの手法を利用し、吸引井周辺の空気の流動特性と地面を被覆することによる吸引の効果について基礎的な検討・考察をする。

2. 解析手法の考え方

土壌ガスの運動方程式は、気体の圧縮性を考慮して、大気圧下の圧力条件に換算した流量を q_N とすると式(1)で示される。

$$q_N = -\frac{K}{\mu} \cdot \frac{P}{P_{atm}} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} \quad (1)$$

ここで μ : 粘性係数(Pa・s), K : 浸透係数(m²), P : 圧力(Pa), P_{atm} : 大気圧(Pa), である。温度一定で粘性係数, 浸透係数は圧力に依存しないとすると式(1)の P/P_{atm} は不飽和浸透流解析の相対透水係数とみなすことができ、既存の浸透流解析コードを利用することができる。

3. 基礎的検討

(1) 地表からの空気の流入の検討

吸引井周辺の透気係数・浸透係数を算定する際、鉛直方向の流れを無視し、井戸に向かう水平な円筒状の流れを想定した式を用いられることがある。しかし実際には、吸引している空気は影響圏内の地表から供給されと考えられ、地表面では大気から地中へ向かう流れが生じていることになる。このような事象に着目した解析事例を図-1に示す。解析は半径10m, 深さ方向5mを対象とし、境界条件は地表を大気圧, 吸引井内圧は $0.5 P_{atm}$, 他の面は No flow である。図はモデル中央鉛直断面での圧力コンタ, 流速ベクトルを示す。井戸周辺に上から下へ向かう大きな流れが生じていることが示され、井戸近傍でコンタが密になり圧力勾配が大きくなっていることが示されている。

図-2には地表面からの総流量を1とした地表面からの流入量の井戸半径方向の分布を示す。図-1ベクトル図でも示されたように井戸周囲での流入量が多いことがわかる。

図-3には井戸半径方向の圧力分布を深度ごとに示す。またモデル領域端を大気圧境界として円筒状の流れの式(2)から与えられる圧力分布を太い実線(cylindrical)で示す。吸引井周辺の圧力勾配は深くなるにつれて小さくなる。

cylindrical は最も圧力勾配が小さく地表からの空気の供給の有無がこのような差を与えたと考えられる。

$$\frac{P_{atm}^2 - P_w^2}{\ln(R/r_w)} = \frac{P_{atm}^2 - P_r^2}{\ln(R/r)} \quad (2)$$

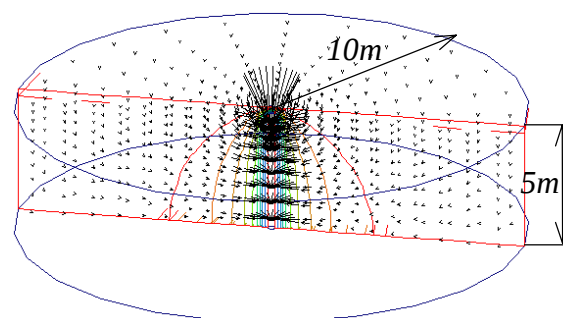


図-1 吸引井周辺の流速と圧力コンタ

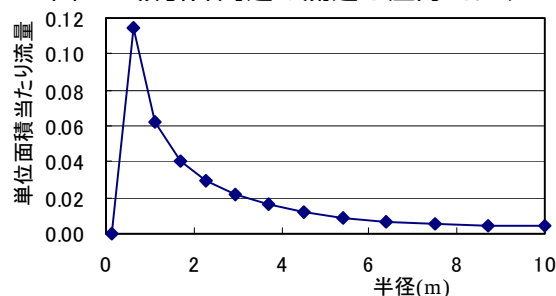


図-2 地表面からの流入量

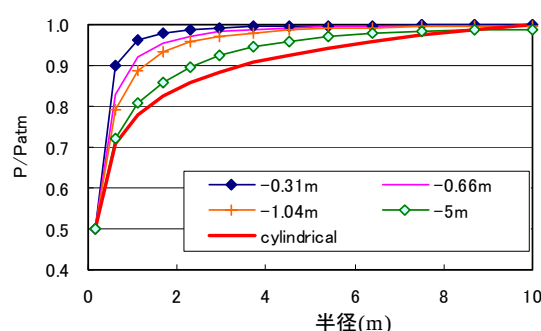


図-3 井戸半径方向の圧力分布

キーワード：土壌ガス吸引, 数値解析, 圧縮性流体, 浸透係数

〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 / TEL:0298-58-8813 / E-mail; yamayama@hazama.co.jp

(2) 被覆状況の吸引井流量へ影響の検討

被覆状況の吸引井流量へ影響の検討として図-4 に示す被覆半径 R を 0~5m まで変化させ、吸引井の総流量への影響 (図-5)、深度方向の吸引井流量分布への影響 (図-6) を示す。先の例と同じく、境界条件は地表を大気圧、吸引井は $0.5 P_{atm}$ 、表面は被覆部以外は大気圧、他は no flow である。この検討は相対比較のため、 $K/\rho=1$ として計算した。対象とする井戸深さ、モデルの半径、深度によっても結果は異なると考えられるが、この結果から以下のことが示される。

5m の被覆により約 25% の流量減があり、井戸深さと同じ 5 m の被覆で上方からの空気供給のない円筒流れのモデルとほぼ同じ流量となる。また図-6 に示す深度方向への影響として、被覆により地表付近から深度方向の流量はほぼ一定となる。被覆をしない場合は深さ 2 m ほどからほぼ一定となる。

4. 実測データとの対比

現地で計測された間隙空気圧と本解析手法の比較による浸透係数の推定例を示す。図-7 は吸引井の管内と吸引井から離れた 3 点の間隙気圧 (測定深度 2m) を大気圧を基準に示している。

この時点の吸引井での吸引風量は $1.7\text{m}^3/\text{min}$ であった。

均質モデルで解析した結果が図-7 に"均質モデル"と示す間隙気圧の井戸半径方向の分布である。計測値のほうが井戸近傍で圧力が大きく変化している。この変化を表現するため井戸周辺 1.1m 内の浸透係数を他の箇所より 1 オーダー小さくした(図-7 の不均質モデル)。不均質モデルは均質モデルよりも実測値に近い圧力分布を表現できていることがわかる。cylindrical は先の式(2)からの圧力分布である。吸引風量・圧力分布の整合性から推定された浸透係数を表-1 に示す。不均質モデルは、井戸近傍では、その周辺部の浸透係数に比較して値が 1 オーダー大きくなっている。

cylindrical は式(3)から算定した。

$$Q = \frac{\pi L K}{\mu \cdot P_{atm}} \cdot \frac{P_{atm}^2 - P_w^2}{\ln(R/r_w)} \quad (3)$$

ここで、 Q : 風量 (NL/min)、 L : 吸引井スクリーン長(m)。

表-1 推定された固有浸透係数 (m^2)

均質モデル	不均質モデル		cylindrical
	物性 1(井戸近傍)	物性 2(周辺部)	
1.47E-12	1.04E-12	1.04E-11	5.28E-11

5. まとめ

土壌ガス吸引は工場など構造物等入り組んだ場所で行なわれることが多く、その吸引効果がどの程度出るのか単純評価が難しい場合がある。そのような場合は今回提案した手法で地質の不均質性、地形・構造物の影響を考慮した吸引効果の判定が可能となると考える。課題としては減圧に伴う地下水の上昇が透気層の減少等もたらすなど、気相とともに液相も今後考慮しておく必要があると考えられる。

【参考文献】

- 1) 長藤哲夫ほか：土壌ガス吸引法の影響半径について、地下水・土壌とその防止に関する研究会第6回講演集, pp.141-144, 1998

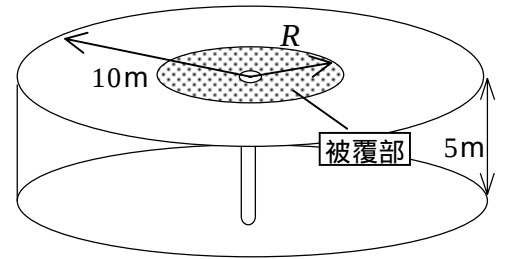


図-4 モデル形状・被覆状況

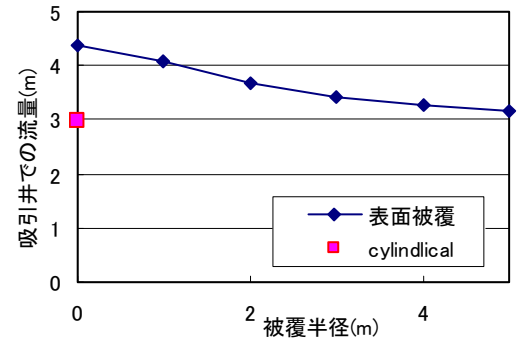


図-5 被覆半径と総流量

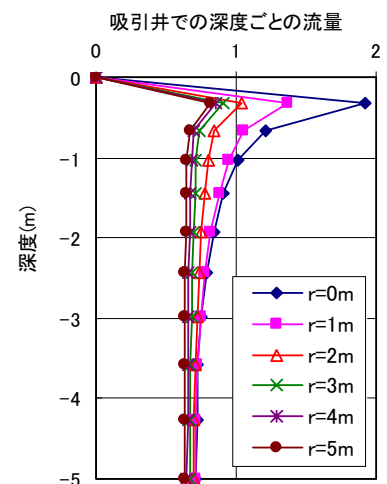


図-6 被覆半径との深度方向の流量

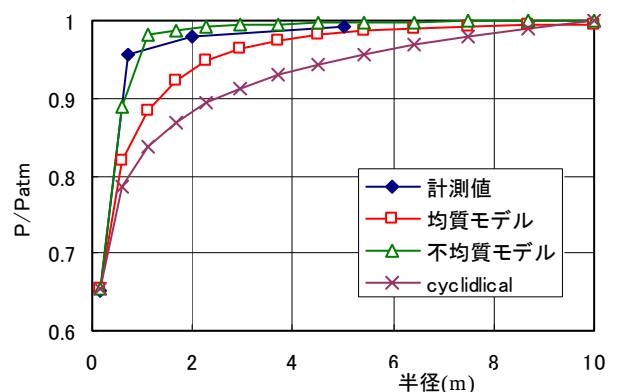


図-7 現地で計測された間隙気圧と解析