

III-A317

原位置透気実験によるローム層を主体とした不飽和地盤の透気特性の評価

鹿島技術研究所 正会員 安本敬作 川端淳一

1. はじめに

近年、揮発性有機化合物の浄化方法の一つとして土壤ガス吸引法が用いられるなど不飽和地盤の透気問題について取扱れる機会が増加しているが、その時の透気特性(透過度 k , 影響半径 R 等)については、あまり定量的な評価は行われていない。そこで、筆者らは不飽和地盤の透気特性に関する知見を得ることを目的とした原位置透気実験を実施し、土壤ガス吸引時の周辺地盤に発生する負圧分布およびその際の地盤中の CO_2 濃度の低下等の結果に注目して、その透気特性に関する評価を行った。

2. 原位置透気実験の概要

原位置透気実験の概要を図-1に示す。実験を行った地盤中の CO_2 濃度は9,000~12,000ppm程度であり、大気中の CO_2 濃度(約400ppm)よりかなり高くなっているが、これは生物活動等による一般的な傾向を示すものである¹⁾。実験は、吸引孔R-1から真空ポンプによってローム層中に強制的に負圧を発生させ(初期吸引負圧 $P_0 \approx 75\text{kPa}$, 吸引風量 $Q \approx 1.4\text{m}^3/\text{min}$), 吸引孔から距離 $r = 1.25, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0\text{m}$ の地点に設置した観測孔R-2~6, S-6(いずれも $\Phi=50\text{mm}$)において、発生負圧および低下 CO_2 濃度を経時的に測定した。

3. 実験結果

(1) 吸引風量 Q ・吸引負圧 P_0 の経時変化

吸引風量 Q (以下 Q)および吸引負圧 P_0 (以下 P_0)の経時変化を図-2に示す。これによれば、 Q は経時的に増加するのに対し、 P_0 は経時的に減少することがわかる。

(2) 地盤中の発生負圧 P_i の分布

各観測孔における発生負圧 P_i (以下 P_i)の経時変化を図-3に示す。これによれば、 Q の経時的な増加と同様に、 P_i も経時的に増加していることがわかる。また、シルト質細砂層中の観測孔S-6における P_i も経時的に増加していることから深度方向の影響範囲がシルト質細砂層にまで及んでいることがわかる。図-3をもとに $t=0.5, 4, 17\text{hr}$ 経過時のデータを整理し、吸引孔からの距離 r と P_i との関係を示すと図-4のようになる。これによれば、 Q の増加とともに地盤中に発生する負圧 P の影響範囲 R (以下 R)が拡大すること、また吸引孔近傍においては、 Q が過大になると、図-4中のダルシー則に基づいて得られる理論直線から外れ、その外れる範囲(非ダルシー領域)も時間とともに拡大していることがわかった。

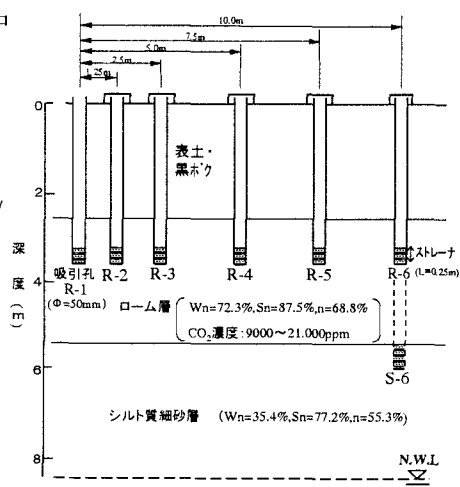


図-1 原位置透気実験の概要

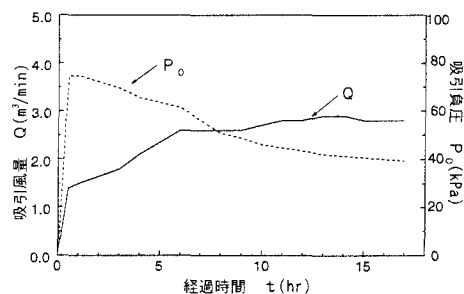


図-2 吸引風量および吸引負圧の経時変化

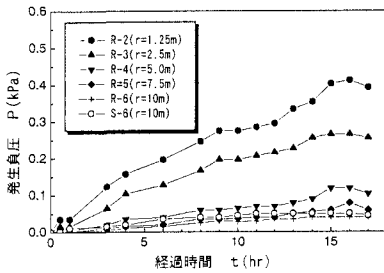


図-3 発生負圧の経時変化

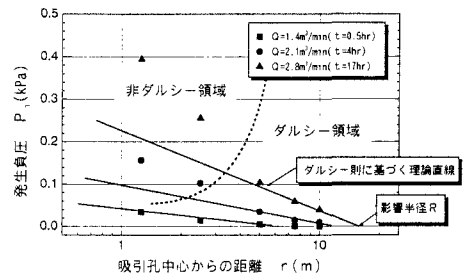


図-4 吸引孔からの距離と発生負圧との関係

(3)地盤の透過度k

実験地盤の透過度kを、図-4中のダルシー則に基づき、以下に示す①、②の条件で算定した結果を表-1に示す。これによれば、今回のローム層を主体とした不飽和地盤の透過度kは、Qに拘わらずいずれも $k = 10^{-7} \text{ cm}^2$ 程度である。

したがって、吸引効果(Q, R)の増大は、非ダルシー領域の拡大によるものであること、また非ダルシー領域の拡大は、吸引孔近傍の高負圧領域に生じた通気みちを土壌ガスが選択的に通過することによって生じた現象であるものと推測される。

①地盤中の一地点への三次元放射流理論²⁾に空气の粘性・圧縮性を考慮した式

$$Q = \left(\frac{4\pi k}{\mu} \right) \frac{(P_{\text{atm}} - P_w) \{1 + (P_{\text{atm}}/P_w)\}}{(1/r_o - 1/R)} \quad \text{----- (1)}$$

②不完全貫入井戸におけるフォルツハイマーの理論³⁾に空气の粘性・圧縮性を考慮した式

$$Q = \left(\frac{2\pi k}{\mu} \right) \frac{H(P_{\text{atm}} - P_w) \{1 + (P_{\text{atm}}/P_w)\}}{\ln(R/r_o)} \sqrt{\frac{L}{H}} \cdot 4 \sqrt{\frac{2H-L}{H}} \quad \text{----- (2)}$$

Q: 吸引風量, k: 透過度, μ : 粘性係数, H: 不飽和層の厚さ, P_w : 吸引負圧, P_{atm} : 大気圧,

R: 影響半径, r_o : 吸引孔の半径, L: 吸引孔のストレーナ長

(4)地盤中のCO₂の濃度の経時変化

各観測孔で測定した地盤中のCO₂濃度の経時変化を図-5に示す。これによれば、吸引孔近傍の観測孔のCO₂濃度は吸引開始とともに急速に低下すること、吸引孔から遠く観測孔のCO₂濃度は吸引開始から暫く経過した後、徐々に低下し始めることがわかる。従って、吸引効果(Q, R)が経時的に増大していることが地盤中のCO₂濃度の経時変化からも確認された。これは、逆に地盤中のCO₂濃度に着目すれば、土壌ガス吸引法における吸引(浄化)効果を評価できる指標となるものと考えられる。

4. おわりに

ローム層を主体とした不飽和地盤において原位置透気実験を実施した結果、透気特性について以下の知見を得ることができた。

(1)真空ポンプ等によって地盤中に強制的に負圧を発生させた場合、吸引孔近傍の通気みちの発生に伴う非ダルシー領域の拡大による吸引効果(吸引風量Q, 影響範囲R)の増大がみられる。

(2)地盤中のCO₂濃度に着目することによって吸引効果の評価ができる。

参考文献 1) 浜田, 田中: 森林土壌中における二酸化炭素の時空間分布, 日本水門学会誌, pp3-16, 1997

2) 河野: 地下水工学, pp104-105, 1990

3) 〆・〆・クリストフ, ケ・〆・フ・イ・チエフ: 地下水の力学, pp268-273, 1961

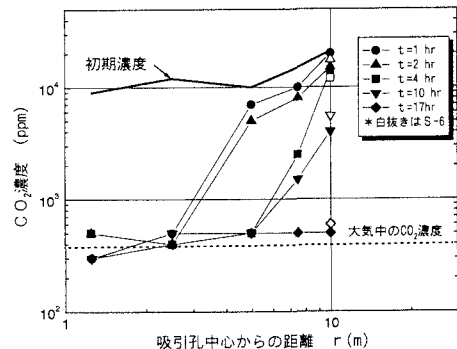


図-5 地盤中のCO₂濃度の経時変化