孔内蒸発量計測に基づく軟岩の透水性推定に関する研究

埼玉大学大学院理工学研究科 学生会員 小西亮平 埼玉大学地圏科学研究センター 正会員 長田昌彦

空気流出

地表面

<u>1. 研究の目的</u>

現在、スイス・モンテリ地下研究所と埼玉大学地圏科学研究センタ ーの共同研究として、オパリナスクレイを対象とした、ボアホール孔 内で生じる非定常な蒸発過程の計測値から、透水特性を同定する試み がなされている。本研究はその一端として、計測される孔内蒸発量お よび計測条件下に最も相応しい飽和透水係数を推定することを想定し て、飽和 - 不飽和領域の浸透流解析によって飽和透水係数と孔内蒸発 量の関係を導くことを目的としている。

2. スイス・モンテリ研究所による孔内蒸発量計測実験の概要

スイス・モンテリ地下研究所における Evaporation Logging (蒸発量計測実験)は、ボアホール孔内に空気を流量調節しながら流入し、孔内の2点間で温度と相対湿度を計測することで絶対湿度を算出し蒸発量を求めるものである(図1)。

<u>3. 飽和 - 不飽和浸透流解析の支配方程式</u>

(1)解析領域

図 3 のような直径 8cm のボーリング孔周りの等方均質な岩盤を考 え、解析領域を鉛直方向に *z* = *z*₀ m(圧力水頭 0m 面)から、 *z* = *z*₀ - 20 m までを取り、また、 *z* = *z*₀ - 10 m にある水平ボーリン グ孔中心を鉛直に対称軸として、対象軸から水平方向に 20 m とした。 (2)飽和度が変化する地盤中の流れの支配方程式

 $\nabla \cdot \left(k_{sat} k_{rw} \nabla h \right) = \phi \frac{\partial S_w}{\partial t} + S_w S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad \cdots (1)$

(k_{sat} : 飽和透水係数[m/s], k_{rw} : 相対透水係数h: 全水頭[m], ϕ : 間隙率, S_w : 飽和度, S_s : 貯留係数[m/s])

(3)境界条件

岩盤内の境界は、上端面を圧力水頭 0m とした静水圧分布を与え、 ボーリング孔壁での境界は、式(2)に示す Kelvin's Law を用いて 相対湿度から推定される毛管圧力(ch=-Pc)を考慮して与えた。

$$ch = \frac{RT}{gM} \log \frac{RH}{100} \quad \cdots (2)$$

(R:気体定数[J/K/mol],T:絶対温度[K], g:重力加速度,M:分子量[kg/mol],RH:相対湿度[%])







キーワード Evaporation Logging,オパリナスクレイ, 飽和 - 不飽和浸透流解析, Kelvin's Law, 水分特性曲線 連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市下大久保 255 埼玉大学地圏科学研究センター TEL 048-858-3547

また、飽和度(S_w)と不飽和透水係数(k)は、図 3 のオ パリナスクレイの水分特性曲線を基に、毛管圧力から 与えられる一価の関数と仮定した。

$$S_w(ch) = \frac{\theta_w}{\phi} = \left(\frac{1}{1.0 + (\alpha (-ch))^{\frac{1}{1-m}}}\right)^m \quad \cdots (3)$$

$$k(S_w) = k_{sat} S_w^{\frac{1}{2}} \left\{ 1 - \left(1 - S_w^{\frac{1}{m}} \right)^m \right\}^2 \quad \cdots \quad (4)$$

(θ_w :体積含水率, α,m :フィッティングパラメータ) また、図 4 に解析用パラメータを示す。原位置実験で得られたオ パリナスクレイの飽和透水係数 $2.0 \times 10^{-14} \approx 1.0 \times 10^{-12}$ [m/s]であ る。この範囲をさらに広げた上で、逐次、飽和透水係数を変えた 浸透流解析から蒸発量を導くことで、飽和透水係数と蒸発量の関 係を求める。

4. 飽和透水係数と孔内蒸発量の関係

図 5 に原位置実験によって求められたオパリナスクレイの飽和 透水係数上下限 2.0×10⁻¹⁴ [m/s]と1.0×10⁻¹² [m/s]での孔内蒸発 量の経時変化を示した。また図 6 に、飽和 - 不飽和浸透流解析を 行い、経過時間 10 日,30 日,100 日での飽和透水係数と蒸発量 の関係を示した。

<u>5.考察</u>

図 5 から飽和透水係数が小さいほど、定常状態に至りやすいこ とが判った。また図 6 から、仮に経過時間が 30 日であったとする と、オパリナスクレイの飽和透水係数の範囲から、孔内蒸発量は およそ 0.2≈2.2 [mg/m²/s]となる。本研究で用いた仮定に従うな らば、このような現象が生じる可能性がある。

<u>6.結論</u>

飽和 - 不飽和領域の浸透流問題の解析により、飽和透水係数と 孔内蒸発量の関係を導くことができた。しかし、孔壁の境界条件 で考慮した毛管圧力が蒸発量に大きく影響しているため、今後、 相対湿度と毛管圧力の関係について実験的に検討する必要がある。

name	coefficient	value	Unit
貯留係数	S_s	1.0×10^{-6}	[1/m]
飽和透水係数	k _s	$1.0\!\times\!10^{-14}\approx\!1.0\!\times\!10^{-11}$	[<i>m</i> / <i>s</i>]
間隙率	ϕ	0.15	[-]
重力加速度	g	9.807	$[m/s^2]$
パラメータ	α	3.81×10 ⁻⁴	[1/m]
パラメータm	т	0.4123	[-]
気体定数	R	8.3142	[J/K/mol]
絶対温度	Т	291	[<i>K</i>]
分子量	М	0.018	[kg / mol]
相対湿度	Rh	83	[%]

図4 解析用パラメータ



図5 孔内蒸発量の経時変化



参考文献:「堆積軟岩の工学的性質とその応用」地盤工学会 1995 川本 他「有限要素法による数値解析入門」土と基礎 講座 1987 P.S.フヤコーン G.F ピンダー 訳監修 赤井浩一「地下水解析の基礎と応用 上巻 基礎編 下巻 応用編」現代工学社 1988