

細骨材表面水の移動に関する実験的研究

名古屋大学工学部 学生会員 中野友裕
 名古屋大学工学部 正 会 員 田辺忠顕

1. はじめに

コンクリートを作る際にセメントは水と反応するが、その反応においては細骨材表面に付着している表面水との間でも行われる。そのため、細骨材に付着している表面水の量を管理することは、配合するセメントや水の量を正確に、かつ迅速にすることにつながる。

一般に、湿潤した細骨材を放置しておく、水分は排水、あるいは蒸散によって一部失われると同時に、水頭差によって水分が移動する。この水分移動がとりまなおさず表面水の変化を表しており、この水分移動を解析的に推定できればコンクリート細骨材の水分管理に使用できる。

本研究は、この水分移動・損失について排水の面から実験・解析を試みたものである。

2. 解析理論

2. 1 飽和・不飽和浸透流の基礎式

本研究においては、現象を支配する方程式として、飽和・不飽和両領域に拡張されたRichardsの式を基礎式とする。

水の圧縮性や土壌の骨格構造の変化を無視すれば、微小体積において次の連続式が成立する。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\operatorname{div}(\vec{q}) \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 θ は体積含水率、 $\vec{q}$ は流速ベクトル、 t は時間である。

不飽和土壌中の水分の運動を記述する方程式は、飽和地下水に関するDarcyの法則を、透水係数が体積含水率（あるいは水分量）の関数であると仮定して、不飽和浸透流にまで一般化したBuckinghamの方程式である。

$$\vec{q} = -K(\theta) \operatorname{grad} \phi \quad \dots \dots (2)$$

ここに、 $K(\theta)$ は透水係数、 ϕ は水理水頭で $\phi = \psi + z$ （ ψ は毛管ポテンシャル、 z は位置水頭）である。この運動方程式を、(1)の連続方程式に代入すれば、Richardsの式を得る。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\psi)}{\partial z} \quad \dots \dots (3)$$

(3)式において、 $\partial \theta / \partial t = d \theta / d \psi \cdot \partial \psi / \partial t = C(\psi) \partial \psi / \partial t$ とすると、毛管ポテンシャルに関する次式が得られる。

$$C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\psi)}{\partial z} \quad \dots (4)$$

ここに、 $C(\psi)$ は比水分容量で、 $C(\psi) = d \theta / d \psi$ である。

2. 2 不飽和特性を表す式

(4)式を解くためには、物理条件として体積含水率、毛管ポテンシャル、透水係数の3個の相互の関係が分かっているなければならない。ここでは、砂の保水特性および透水特性を谷¹⁾によって提案された次式で与えることにする。

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) \cdot \left(\frac{\psi}{\psi_0} + 1 \right) \cdot \exp \left(-\frac{\psi}{\psi_0} \right) + \theta_r \quad \dots \dots (5)$$

$$K(\theta) = K_s S^\beta \quad \dots \dots (6)$$

また、(5)式を微分することによって比水分容量 $C(\psi)$ を次式で表すことができる。

$$C(\psi) = \frac{d\theta}{d\psi} = -\frac{\theta_s - \theta_r}{\psi_0} \exp\left(-\frac{\psi}{\psi_0^2}\right) \quad \dots\dots(7)$$

ここに、 θ_s ：飽和含水率、 θ_r ：比残留率、 ψ_0 ： $C(\psi)$ の最大値を与える毛管ポテンシャルの値

K_s ：飽和透水係数、 S ：有効飽和度、 β ：砂の特性パラメータ

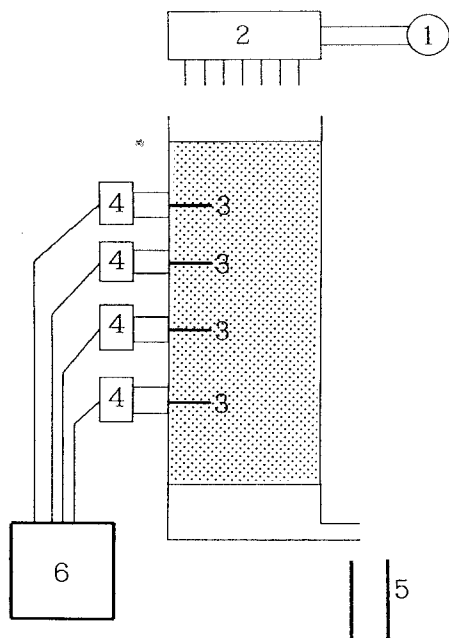
有効飽和度 S については、 $S = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ で表される。

3. 実験方法

本研究では、砂中の水の持つ毛管ポテンシャルを正確に測定するために、水を満たした小室の一端を素焼材とし、他の一端が圧力感応材となっているような構造の圧力変換器を用い、これを素焼面がよく砂に密着するように砂中に埋設して測定する。砂中水が素焼材を介して小室内の水とエネルギー的に平衡することを利用して、小室内の水の圧力を測ることで毛管ポテンシャルが測定されるわけである。

実験は、図1に示すような4ヶ所に素焼材を挿入した長いカラムに砂をつめて行う。実験手順は、以下のようである。

- ①砂と水を少しずつ入れていき、砂を水締めする。その際、空気がすべて出るようにする。
- ②最下部を自由排水に切り替える。一定時間排水させて気乾状態をつくる。
- ③散水器から一定流量の水を送り出す。最下部から流れ出る水の流量が一定になったときを定常状態とする。散水直後から定常になるまでの間の非定常状態におけるテンション変化を、データロガーで記録する。
- ④いくつかの散水強度について、テンションの変化を記録する。



①ポンプ ②散水器 ③素焼材 ④圧力変換器
⑤メスシリンダー ⑥データロガー

図-1 実験装置の概略図

4. おわりに

今回の実験に用いた細骨材は、かなり幅広い粒径分布をしており、カラムへの詰め方によって実験結果が大きく異なってきた。普遍的な結果を出すために、今後は実験準備の段階からの砂の挙動を観察して、実験結果との因果関係についても検討を進めたく考えている。解析及び実験の結果については、当日発表する。

5. 参考文献

- 1) 谷 誠：一次元鉛直不飽和浸透流によって生じる水面上昇の特性 日林誌64 pp. 409～418 1962