

# 礫率を考慮した土砂堆積地盤の透水係数の評価

Estimation of permeability of sand sediment soil taking gravel content into account.

森井俊広

MORII Toshihiro

## 1. はじめに

水は土とともに緑を育む。しかし互いに反発するのも自然である。その最たる例に降雨にともなう土砂災害がある。これを未然に防ぎ、あるいは被害を最小限に抑えるには、降雨浸透によって地盤中に生じる水の動きを適切に予測しなければならない。この予測には、地盤の飽和透水係数と土の不飽和水分特性が必要になる。地山地盤や土砂堆積地盤では、Fig. 1 に示すように、大小の礫が入り混じっている状態が一般である。大きな礫の間に分布する土砂部の透水係数は、コア土として採取できるようであれば室内の透水試験によって測定できる。また最近では、原位置で土砂部の現場飽和透水係数と不飽和水分特性を迅速かつ精度よく測定できるようにもなっている<sup>1,2)</sup>。当然のことであるが、これらの測定値は、地盤中の水の動きの予測に用いられてはじめて、実務的な意味をもつ。

本研究では、Fig. 1 に示すような礫混じりの土砂堆積地盤を対象に、室内あるいは原位置で測定される透水係数から、地盤全体の透水性を評価する方法について検討する。

## 2. 礫混じりの土砂堆積地盤の透水係数モデル

### 2.1 礫率を考慮した透水係数モデル

礫混じりの地盤の透水性を、ダルシーの式で定義



Fig. 1 Sediment soil of sand mixed with gravel.

される透水係数を介して評価する場合、透水にまったく寄与しない礫部分と、これ以外の礫間に分布する土砂部分の容積比率を考慮する必要がでてくる。これを、Fig. 2 に示す断面積  $A$ 、長さ  $L$  の簡単な管モデルを用いて考察する。

$A$  は、透水を受け持つ土砂部分の断面積  $A_s$  と間隙断面  $A_v$ 、そして透水に寄与しない礫部の断面積  $A_g$  からなる。また  $A_s$  と  $A_v$  をあわせた断面積を  $A_m$  とする。室内試験や原位置透水試験でえられる透水係数は、この  $A_m$  に対して求められたもので、これを  $K_m$  とする。管の両端  $a, b$  に作用する動水こう配を  $i$  とすると、土砂部を通過する流量は、 $q_m = (K_m \cdot i) \cdot A_m$  と表されるから断面  $A$  に対する全体の透水係数  $K$  は、

$$K = \frac{q_m}{A \cdot i} = K_m \left( 1 - \frac{A_g}{A} \right) \quad (1)$$

で与えられる。礫部分の断面積の影響を考慮するため、礫の混合率（礫率） $P$  を導入する<sup>3)</sup>。 $P$  は、礫と土砂部の合計質量に対する礫の質量の比で定義されるから、Fig. 2 の円筒では、 $P = A_g / (A_s + A_g)$  となる。また、礫と土砂は、母岩が同じであることから、両者の粒子比重をともに  $G$  とすると、土砂部で測定できる乾燥密度  $d$  を介して、 $A_s / A_m = d / (G \cdot w)$  の関係を与えることができる。ただし  $w$  は水の密度である。これらの関係を式(1)に入れ、 $A_s, A_m, A_g$  および  $A$  を消

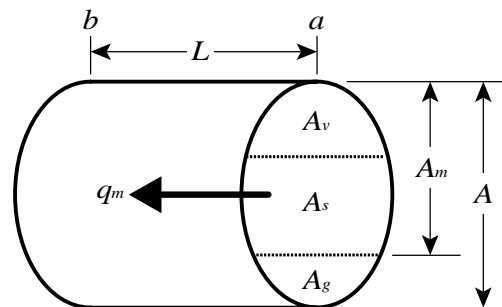


Fig. 2 Soil column model to consider effect of gravel on seepage.

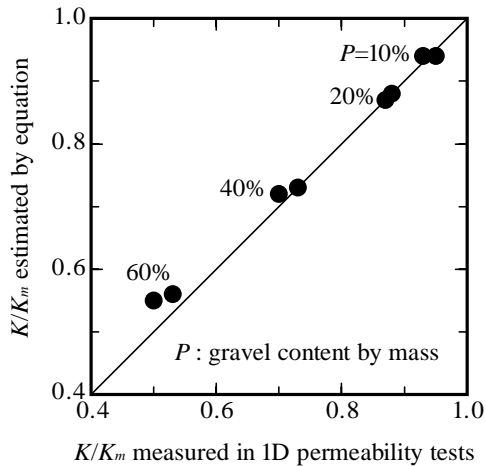


Fig.3 Comparison of  $K/K_m$  estimated by equation (2) with laboratory measurements.

去すると、 $K_m$  と  $K$  の関係を与える透水係数モデルとして、次式がえられる。

$$\frac{K}{K_m} = 1 - \frac{1}{1 + \left( \frac{1-P}{P} \right) \left( \frac{G \cdot \rho_w}{\rho_d} \right)} \quad (2)$$

## 2.2 室内透水試験によるモデル式の検証

内径 10cm のアクリル製円筒を用いた室内 1 次元定水位透水試験により、式(2)の妥当性を調べた。細粒分をほとんど含まない最大粒径 1mm 程度の砂に、10~15mm 間でふるい分けした河川礫を均一に混ぜ合わせたのち、これを円筒に自由落下させ、長さ 60cm 程度の供試体を作製した。礫率は 10, 20, 40 および 60% とし、それぞれ 2 本の供試体を作製した。動水こう配は 0.2 程度から 0.9 あたりまで段階的に変え、供試体全体の透水係数  $K$  を測定した。礫を混ぜない砂だけの試験を行い、これによりえられた透水係数の平均値を土砂部の透水係数  $K_m$  とした。

Fig. 3 に、 $K/K_m$  について、室内透水試験の結果と式(2)による推定値を比較する。後者では、試料の  $G$  および供試体の  $P$  と  $\rho_d$  のみから推定値を求めている。良好な対応がえられ、式(2)は実務的に妥当なモデルであることが確認できる。Fig. 3 で、礫率が高くなるにつれ、推定値が試験値とずれる傾向がみられる。これは、礫が多くなると、試料の混ぜ合わせと円筒へ投入する際に、礫の分布に偏りが生じるためと考えている。

## 3. 礫混じり地盤における降雨流出予測

不透水性の地山に堆積した高さ 20m、延長 100m の土砂地盤 (Fig. 4) を仮想し、礫率にともなう降雨

流出量の予測値の違いを調べる。土砂部について  $K_m=3.0 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ ,  $G=2.65$ ,  $\rho_d=1.35 \text{g/cm}^3$  とする。地盤の初期飽和度を 60% とし、これに毎時 30mm の豪雨を 24 時間継続させた。Fig. 5 は、降雨開始後の堆積地盤からの累積流出量を、 $P=0$  (礫がないケース)、20, 40 および 60% で比較したものである。原位置試験や室内試験からえられる透水係数をそのまま用いると、流出量を多めに見積もってしまうことがわかる。Fig. 4 には、参考に、降雨開始後 12 時間の地盤内の地下水水位を比較した。流出量に比べ、地盤内の水頭分布に及ぼす礫の影響は相対的に小さい。

## 4. まとめ

原位置試験や室内試験で測定される土砂部の透水係数より、地盤全体の透水性を推定するためのモデルを提案した。モデル式の実務性を室内試験により検証するとともに、仮想地盤を対象とした数値計算により、礫率の考慮の有無によって流出量の予測が異なってくることを示した。室内試験には、新潟大学農学部 2001 年度卒業生の柳澤毅氏にご協力をいただいた。ここに記して感謝する。

### 参考文献

- 1) 森井俊広・竹下祐二・志賀剛・森敬幸・松本智、第 36 回地盤工学研究発表会、2 分冊の 1, pp. 1239-1240, 2001。
- 2) 森井俊広・竹下祐二、農業土木学会京都支部第 58 回研究発表会講演要旨集, pp. 32-33, 2001。
- 3) 土質工学会編：フィルダムの調査・設計から施工まで、土質工学会, pp. 90-93, 1988。

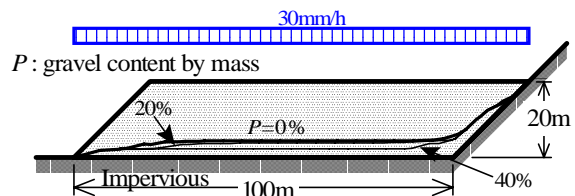
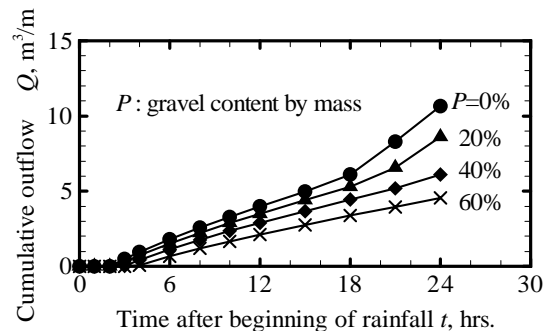


Fig. 4 Sediment soil subject to rainfall for numerical simulation.



numerical simulation taking gravel content into account.