

POC を想定した粗粒媒体における非線形ダルシー則に関する透水実験

名城大学理工学部 正会員 ○原田守博 ・ 渡邊英典
三重大学大学院 正会員 畑中重光 ・ 三島直生

1. はじめに

近年、都市化した流域において、局地的豪雨いわゆる“ゲリラ豪雨”に伴う水害が頻発しており、市街地の湛水や都市河川の氾濫・溢水を防ぐために、雨水流出を抑制する施策の重要性がいっそう高まっている。流出抑制方策の一つとして透水性アスファルト舗装があるが、アスファルト自体が高温下で流動性をもつため、透水機能の持続性に課題が残る。この点に対応する舗装としてポーラスコンクリート POC が提案されている¹⁾。POC は碎石を粗骨材としてモルタルペーストで結合したコンクリートであり、連続した粗大空隙により極めて高い透水性をもっている。POC の透水性評価には日本コンクリート工学会より透水試験法のガイドラインが示されているが²⁾、浸透流速 v が動水勾配 i に比例する線形ダルシー則を前提としたものとなっている。しかし、一般に粗大空隙では流れが乱流となるため、粗粒媒体の透水法則には非線形性が現れる可能性がある³⁾。本研究では、POC の透水法則を明らかにする前段階として、理想的な均一粒径のガラスビーズを対象に詳細な定水位透水実験を行なったので報告する。

2. 均一粒径ガラスビーズを対象とした定水位透水実験

実験では細粒から粗粒まで ($d = 0.12, 0.43, 1.1, 2.0, 4.3, 7.1\text{mm}$) の 6 種類の均一粒径のガラスビーズ (ポッターズ・パロティーニ社製) を対象とした。使用した透水実験装置の構成を図-1 に示す。実験では低水槽と高水槽で循環系を作り、ビーズから成る供試体モールドを入れた越流水槽に定常的に水を供給できる形式とした。図-2 は越流水槽における測定諸量を示している。図中の水位差を変えることによって動水勾配 $i = \Delta h/L$ を設定し、浸透流量 Q をメスシリンダーで測定した。供試体モールドは JIS で定められた土質試験法の規格品 (直径 100mm, 高さ 125mm) を用いた。ただし、通常の土質試験法が動水勾配 $i = 0.3$ を対象にしているのに対し、モールドの下に薄い塩ビ板を重ねることで $i = 0.1 \sim 0.8$ の 19 段階の動水勾配を設定した。さらに実験では、動水勾配を下から増加させるケースと上から減少させるケースについてそれぞれ別の供試体を用いて実施した。

モールドへのビーズの充填は気泡侵入を避けるため水中で行い、側面を 200 回打撃することで一様な構造になるよう配慮した。供試体高さを一連の実験の開始時と終了時にノギスを用いて確認するとともに、供試体に与える水頭差を毎回 0.1mm 単位で測定した。

なお、水温の影響は動粘性係数の変化を計算により補正可能であるが、影響を最小限にするため低水槽にサーモスタット水中ヒーターを設置して $T = 20^\circ\text{C}$ とし、2つの水槽のデジタル温度計で確認した。

上記の条件で、6種類のビーズに対して種々の動水勾配を設定し、流れのレイノルズ数 Re を確認しつつ、浸透流速 v と動水勾配 i の関係を評価した。流量は一つの動水勾配において 5 回測定し平均値を採用した。まず細粒媒体の実験で線形ダルシー則を確認した後、粒子径を大きくして乱流とし、透水法則の変化を詳細に調べた。

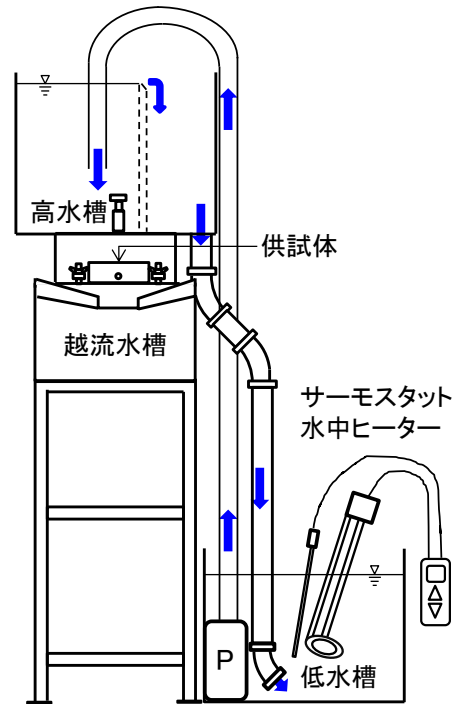


図-1 定水位透水実験装置の構成

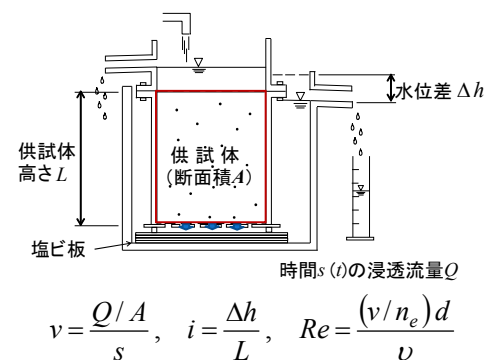


図-2 越流水槽における測定諸量

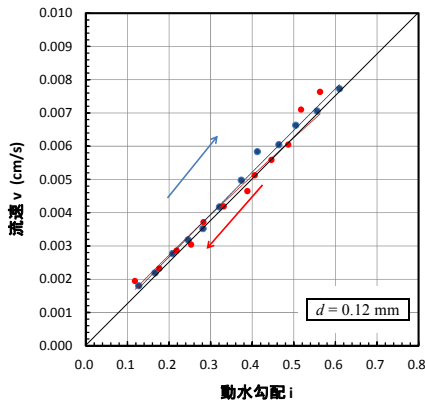


図-3 細粒媒体の実験結果の例

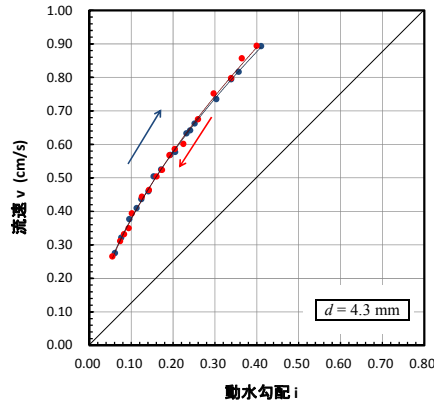


図-4 粗粒媒体の実験結果の例

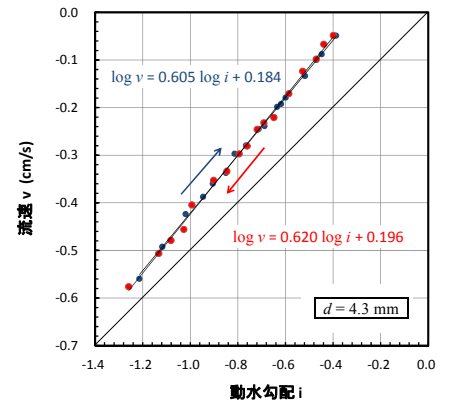


図-5 図-4 の両対数表示

3. 細粒および粗粒媒体における線形ダルシー則および非線形透水法則の表現

一般に細粒媒体では間隙内の流れは層流で、ダルシー則： $v = Ki \cdots (1)$ が成立する。図-3 は $d = 0.12\text{mm}$ の細粒ビーズについて透水実験結果を示したものである。プロットは直線状に並び、透水係数 $K = 0.012\text{ cm/s}$ でダルシー則の成立が確認できる。次に、粗粒媒体の例として $d = 4.3\text{mm}$ の粗粒ビーズについての実験結果を図-4 に示す。図によると、プロットはもはや直線状には並ばず、 v と i は線形関係にないことが分かる。乱流状態での透水法則としては、 $v = Ki^m \cdots (2)$ または $i = av + bv^2 \cdots (3)$ 等の関係式が提案されている⁴⁾。ちなみに、図-4 を両対数表示すると図-5 が得られる。図中のプロットは傾き 0.6 の直線状に並んでおり、このことは粗粒媒体の結果が式(2)の両対数変換式： $\log v = m \log i + \log K$ に適合することを意味している。よって本論では、幅広い粒度範囲における非線形透水法則の表現として、式(2)を採り上げることとする。

4. 粒径の増大に伴う透水法則の変化

ダルシー則（式(2)で $m=1$ ）がほぼ成立する細粒媒体から、粒度を大きくした場合の透水法則のパラメタ (K, m) の変化を示したものが図-6 である。 d の増大につれて K 値は増加、 m 値は減少している。特に細粒で 0.95 前後であった m 値が粗粒では 0.6 以下に減少し、非線形性の強い透水法則であることが分かる。

各粒度の実験におけるレイノルズ数 Re を図-7 に示す。間隙率を実験ごとに求めたところ $n_e \approx 0.4$ であった。一般に $Re=1\sim10$ を境に流れが層流から乱流に遷移すると言われ、本実験では $d=1.1\text{mm}$ のケースがその境界に相当する。図-6 を見ると、 K と m の変化割合は $d=1.1\text{mm}$ を境に大きく異なっており、流れ構造が異なることの影響が現れたものと考えられる。

5. おわりに

細粒～粗粒における透水法則について詳細な透水実験を行なった結果、流れが乱流になると透水法則に明確な非線形性が表れることが示された。透水法則の m 値がもつ意味や流れ構造との係わりについて、今後、水理学的な検討を行う予定である。

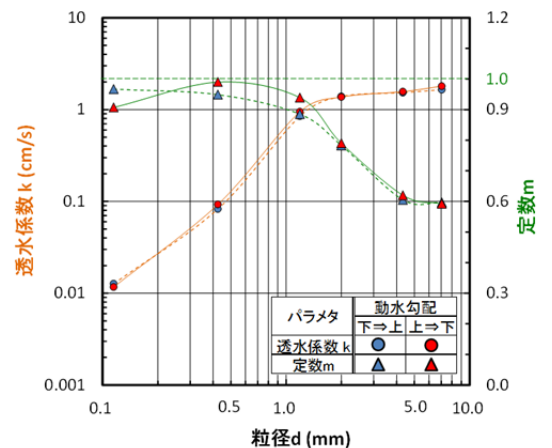


図-6 6種類の粒度における透水実験結果

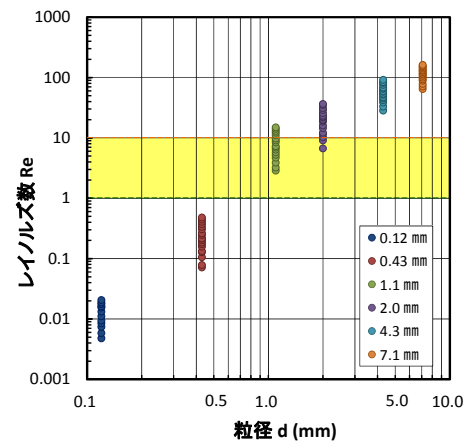


図-7 図-6 の実験時のレイノルズ数

- 参考文献 1) 中川・松村・畑中：建設機械施工，Vol.66, No.9, pp.77-81, 2014.
 2) (公社)日本コンクリート工学会：ポーラスコンクリートの透水試験方法(案)，2003.
 3) 原田・夏目・三島・畑中：土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.71, No.4, I_319-I_324, 2015.
 4) 今本・板倉・高木：「水理学の基礎」，新体系土木工学 21, pp.140-141, 技報堂，1982.