

山梨大学工学部 正員 坂本 康
中央リサイクル(株) 小滝 英達
大林道路(株) 西田 喜之

1. はじめに

廃棄物埋立層のような大きな固体を含む不飽和層の流れについて、東條ら(1993)はRichards式が適用できないことを示した。本研究では、東條らと同様の実験をガラスビーズ層で行い、水みち流れによる溶質の移動を検討した。本研究の特徴は、溶質濃度の時間変化、水みちのフラクタル次元も検討した点である。

2. 実験方法

不飽和層浸透-流出実験では、出口付近に飽和層ができて、それが結果を大きく左右することがある。本研究では、この点を避けるために流出口から鉛直仕切りを上に長く伸ばし、不飽和層での鉛直・水平移動のみを捉えるようにした。実験装置概要を図-1に示す。装置上部のガラスビーズ層(奥行: 1.5cm)が対象となる不飽和層である。その下を19mm間隔で20個に仕切り(図では簡略化して10個のみ示した)、流出口(No.1-No.20)から試験管に採水した。流出口はナイロンストッキングで覆い、ビーズの流出を防いだ。

ガラスビーズ(空隙率: 38-40%)は、直径 0.59-0.84、0.84-1.00、1.00-1.41、1.41-1.70mm の4種を用いた。浸透水は、層表面の中心に差した注射針から約5.0cm³/minで注入した。浸透水は始めはKMnO₄溶液(500mg/l)、流出量が一定になってからは精製水とした。濃度は585nm吸光度で測定した。実験は乾燥状態で1回、湿潤状態で5回行った。湿潤状態とは、精製水でガラスビーズ層を飽和にした後、約2時間重力により排水した状態である。なお、乾燥状態ではどの粒径でもほぼまっすぐな水みちになったので、以下では湿潤状態のみを検討する。

3. 結果と考察

3.1 水みち流れの水平方向への広がり

図-2は最小粒径(0.59-0.84mm)、図-3は最大粒径(1.41-1.70mm)での各流出口からの流出量の例である。図のように、粒径が小さいと水の流れが水平に広がるが、粒径が大きいと分岐した水みちとなって中心近くでのみ流出する。図-4は各流出口の中心からの距離と流出比率との関係である。流出比率は、5回の実験の左右の値、計10個のデータの平均値である。図のように、0.59-0.84mmでは比較的水平に広がるが、0.84mmを越える粒径では中心から3cm以内のところに90%以上が集中した。しかも粒径による差はない。また、最小粒径の10個のデータの分散は、他の1/11-1/6倍と小さくなった。

3.2 水みち流出の時間変化

図-5、図-6は最小粒径での流出量と流出KMnO₄濃度、図-7は最大粒径での流出KMnO₄濃度のそれぞれ時間変化である。これらは、図-2、図-3と同じ実験の図である。図によると、濃度は浸透水の先端が流出口に達するとかなり早く一定濃度になる。このことから、浸透水の先端で起こる流れ方向への拡散は小さいと考え

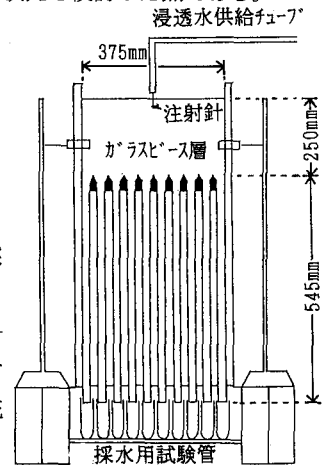


図-1 実験装置概要

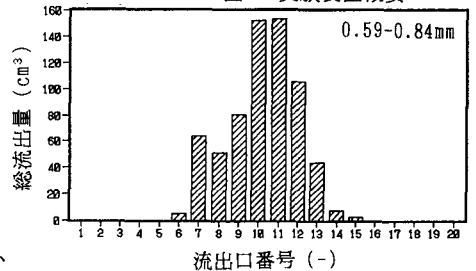


図-2 各流出口からの流出量(1)

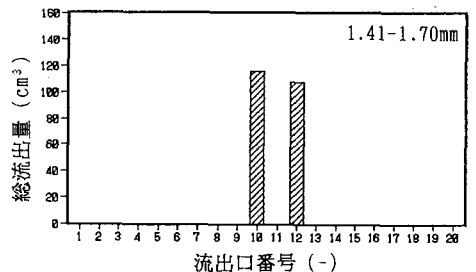


図-3 各流出口からの流出量(2)

られる。また、最小粒径では、中心から遠い流出口の濃度が幾分低く、水と KMnO_4 の全体の回収率も 93% となった。これに対し、他の粒径では中心からの距離による濃度の差はなく、回収率も 96-99% であった。これらのことから、最小粒径では非可動水への移動があると考えられる。なお、濃度低下に対しては、 $\ln(\text{濃度})$ と経過時間、および累加流量との関係を検討したが、直線関係はえられなかった。

図-8には、平均粒径と各流出口への到達時間との関係を示す。図のように、最小粒径のときは到達時間が他に比べ極端に長くなるが、他の粒径ではほぼ同程度であった。

3.3 水みちのフラクタル次元

図-9に平均粒径と水みちのフラクタル次元(ボックスカウンティング法による)との関係を示す。図のように粒径が大きいとフラクタル次元は小さくなる。これは、粒径が大きいと水みちが分岐してより一次的になるためである。図には、層表面上空数cmから滴下したときの水みちのフラクタル次元(坂本康(1992))も示す。図より、上空から滴下しても層中に注入しても同様のフラクタル次元の水みちになるといえる。

4. まとめ

粒径が 0.59-1.70mm の範囲の4種の径のガラスビーズで作った不飽和層を対象に、水みち流れによる溶質移動を検討した。得られた主な結果は以下である。

- (1) 流れの水平方向への広がり：粒径が0.84mm以下だとまとまった流れとなり水平方向へも広がるが、それより粒径が大きいと分岐した水みちとなって中心近くのみを流れる。
- (2) 流出の時間変化：浸透水の先端での拡散は少ないようだ。また、粒径が0.84mm以下だと、各流出口への到達時間が極端に長くなり、また非可動水の影響も現れてくる。
- (3) フラクタル次元：平均粒径が大きいとフラクタル次元は小さい。層表面への滴下と層中への注入では、水みちのフラクタル次元に差はない。

文献 東條安匡・田中信寿・松藤敏彦(1993)：廃棄物充填層の二次元不飽和浸透に関する研究、第4回廃棄物学会研究発表会講演論文集、531-534。

坂本康(1992)

図-8 平均粒径と流出口への到達時間

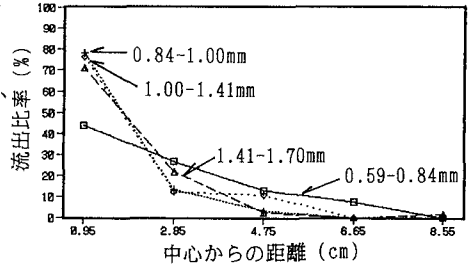


図-4 中心からの距離と流出比率

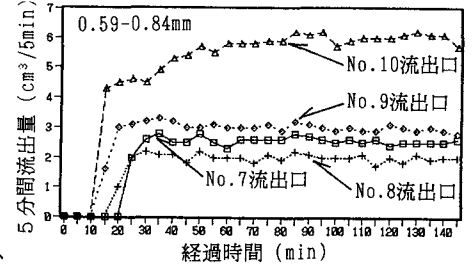


図-5 流出量の時間変化

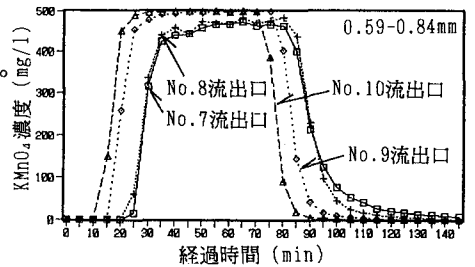


図-6 流出 KMnO_4 濃度の時間変化(1)

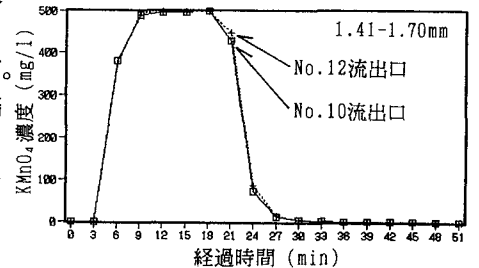


図-7 流出 KMnO_4 濃度の時間変化(2)

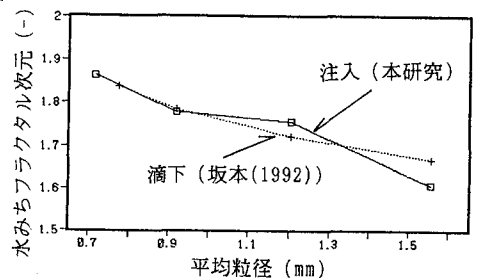


図-9 平均粒径と水みちフラクタル次元

：不飽和層中の水みち流れのフラクタル次元と水みち侵入モデルによるシミュレーション、水工学論文集、36、447-452。