

VII-288

縦分散長と遅延係数を求めるための室内カラム試験方法について

基礎地盤コンサルタンツ(株)	正会員	百瀬 忍
東京電力株式会社		宮越 進
宮城県農業短期大学	正会員	藤原 幸彦
東京電力株式会社		清水 和人
基礎地盤コンサルタンツ(株)	正会員	日比 義彦

1. まえがき 近年、各種物質による地下水汚染が問題となり、汚染防止のための対策が行われている。その際、汚染防止工設計では汚染範囲の予測が必要となり、汚染範囲の予測解析が行われる場合も増えてきた。また、解析手法についても、特性曲線法から発展したマリオン-ラザン法（有限要素法型特性曲線法）及び風上有限要素法の登場により、より精度の良い解析手法が確立されつつある。しかし、汚染の予測解析に必要なパラメータである縦分散長と遅延係数は、一般的には、実験的な検討がなされずに経験的に設定されているのが現状であり、試験方法も確立されているとはいえない。

本報告では、今回、筆者等が実施したパラメータ決定のための試験方法を紹介するとともに、実験で得られた縦分散長と遅延係数を示す。

2. 試験方法 室内カラム試験装置は、5段に積んだアクリリングに所定の乾燥密度になるように試料を詰め、一定な水位差を保てるように、浸透液をマリョットタンクを用いて、試料の下から上に浸透させる構造になっている。アクリリングの大きさは、内径10cm、高さ5cmである。

試験は、流速が一定（排水量が一定）になるまで純水を浸透させ、その後、各種浸透液を連続的に浸透させた。

浸透液の濃度変化は、セミックス製採水プローブをアクリリングの脇から供試体内に挿入し、浸透液のEcを測定して求めた。なお、採水位置は、各アクリリングの中心である。

室内カラム試験で得られた濃度比の深度分布曲線（実験曲線）と以下の(1)式により求まる濃度比の深度分布曲線（理論曲線）をフィッティングさせて、拡散係数Dと遅延係数Rを求めた。

$$(C/C_0) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{1-\xi}{2(\xi \eta)^{1/2}} \right) + \frac{1}{2} \exp(1/\eta) \operatorname{erfc} \left(\frac{1+\xi}{2(\xi \eta)^{1/2}} \right) \quad (1)$$

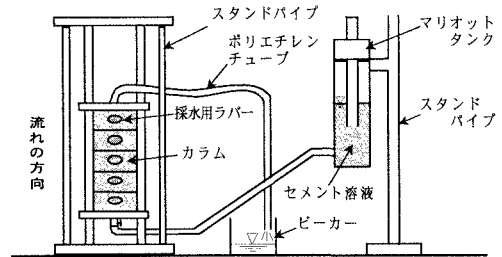


図-1 室内カラム試験器

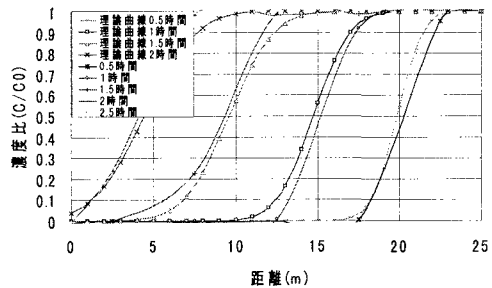


図-2 実験曲線と理論曲線のフィッティング（ガラスビーズ 1mm）

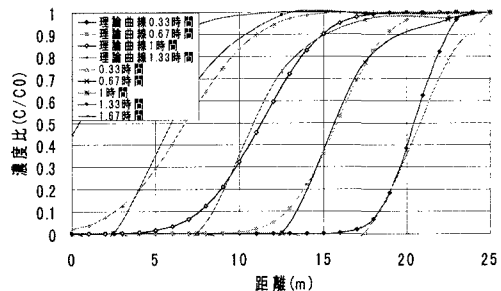


図-3 実験曲線と理論曲線のフィッティング（標準砂）

縦分散長、遅延係数、室内カラム試験

連絡先（東京都江東区東陽3-22-6 東陽町 AXIS ビル・03-5632-6822・03-5632-6816）

$$(1/\eta) = Vx/D \quad \xi = Vt/xR$$

ここで C/C0:濃度比 D:拡散係数 V:流速

x:注入口からの距離 R:遅延係数

上記により得られた拡散係数と流速の相関関係をもとに以下の式により縦分散長 α_L を求めた。なお、分子拡散係数 D_m は十分小さいことから $0\text{cm}^2/\text{sec}$ とした。

$$D = \alpha_L V + D_m = \alpha_L V \quad \text{----- (2)}$$

試験に使用した試料は、ガラスビーズ（粒径 0.1mm 、粒径 1mm 、粒径 1mm と 0.1mm ガラスビーズの1:1の混合）、仙台市内の旗立層砂質土及び標準砂であり、浸透溶液は、 0.1% 、 1% 濃度 NaCl 溶液及び 1% 濃度 CaCl_2 溶液である。

3. 試験結果

実験結果の例として、図-2、3にそれぞれガラスビーズ供試体、標準砂供試体の室内カラム試験より得られた濃度比(C/C0)の深度分布曲線（試験曲線）と(1)式より得られた濃度比の深度分布曲線（理論曲線）のフィッティング状況を示す。

図-2、3によると、全体的に理論曲線と試験曲線は概ね一致している。しかし、図-2によると、ガラスビーズ供試体では、カラム両端で理論曲線と試験曲線をフィッティングさせるとカラム中央では、濃度比(C/C0)に若干の差が生じている。また、図-3によると、標準砂では、カラム中央で理論曲線と試験曲線をフィッティングさせるとカラム両端では、濃度比(C/C0)に若干の差が生じる。この一因としては、カラム全体で完全な一次元浸透流となっていない可能性が考えられる。

表-1には、今回実施した室内カラム試験の試験条件とともに図-2、3に示したように理論曲線と試験曲線をフィッティングさせて求めた拡散係数Dと遅延係数Rを示す。また、図-4、5には、ガラスビーズおよび砂質土の流速Vと拡散係数Dの関係を示す。図-4、5によると、データが少ないが、拡散係数Dと流速Vの関係は材料毎に概ね直線関係と見なせる。

材料毎の縦分散長 α_L と遅延係数Rを表-2に示す。表-2によるとガラスビーズの縦分散長 α_L は $0.109 \sim 0.378\text{cm}$ となり、旗立層砂質土と標準砂の縦分散長 α_L は $0.214 \sim 0.215\text{cm}$ となり、粒度と縦分散長 α_L との間に明瞭な関係は見られない。また、遅延係数Rが1以下となるケースがあるが、これは実験の際に求めた流速の誤差が大きいことを意味する。本来、ガラスビーズでは、吸着がないので遅延係数Rは1となると考えられるが、遅延係数Rが1以上となるケースがあり、この原因については今後検討する必要がある。

4. 結 論

今回用いた試験装置でも、一様、縦分散長と遅延係数を求めることは可能である。しかし、より精度よくパラメータを求めるためには、さらに、一次元浸透を維持するための試験装置の構造と流速の測定方法についての改良が必要なことが判明した。

[参考文献] 中野、宮崎、塩沢、西村：土壌物理環境測定法, pp159-169.

表-1 試験条件と拡散係数、遅延係数の算出

試料の種類	浸透液の種類	乾燥密度 $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	飽和度 $S_r(\%)$	間隙率 n	流 速 $V(\text{cm}/\text{sec})$	拡散係数 $D_r(\text{cm}^2/\text{sec})$	遅延係数 R
ガラスビーズ 0.1mm	$0.1\% \text{NaCl}$	1.43	97.9	0.432	$4.800\text{E}-03$	$4.600\text{E}-03$	2.42
ガラスビーズ 0.1mm	$0.1\% \text{NaCl}$	1.43	97.9	0.409	$2.300\text{E}-03$	$3.000\text{E}-03$	0.77
ガラスビーズ 1mm	$0.1\% \text{NaCl}$	1.48	100.0	0.409	$2.800\text{E}-03$	$8.000\text{E}-04$	0.95
ガラスビーズ 1mm	$0.1\% \text{NaCl}$	1.57	100.0	0.376	$8.800\text{E}-03$	$1.900\text{E}-03$	0.90
ガラスビーズ 1mm	$0.1\% \text{NaCl}$	1.57	100.0	0.376	$3.940\text{E}-03$	$8.000\text{E}-04$	1.38
ガラスビーズ 1mm	$0.1\% \text{NaCl}$	1.57	100.0	0.376	$5.910\text{E}-03$	$1.600\text{E}-03$	1.90
ガラスビーズ混合	$0.1\% \text{NaCl}$	1.78	100.0	0.292	$8.300\text{E}-03$	$1.000\text{E}-03$	0.88
ガラスビーズ混合	$0.1\% \text{NaCl}$	1.78	100.0	0.292	$4.200\text{E}-03$	$4.000\text{E}-04$	0.95
ガラスビーズ混合	$0.1\% \text{NaCl}$	1.95	100.0	0.225	$8.810\text{E}-03$	$8.800\text{E}-04$	1.55
旗立砂質土	$0.1\% \text{NaCl}$	1.29	81.0	0.448	$1.250\text{E}-03$	$4.000\text{E}-04$	1.60
旗立砂質土	$0.1\% \text{NaCl}$	1.00	88.8	0.619	$3.400\text{E}-03$	$2.500\text{E}-03$	0.77
標準砂	$1\% \text{NaCl}$	1.00	78.5	0.381	$6.800\text{E}-03$	$2.000\text{E}-03$	1.75
標準砂	$1\% \text{NaCl}$	1.00	98.0	0.466	$7.500\text{E}-03$	$1.300\text{E}-03$	1.00
標準砂	$1\% \text{CaCl}_2$	1.00	78.5	0.381	$3.600\text{E}-03$	$1.000\text{E}-03$	1.00
標準砂	$1\% \text{CaCl}_2$	1.00	98.0	0.466	$4.900\text{E}-03$	$1.000\text{E}-03$	1.70

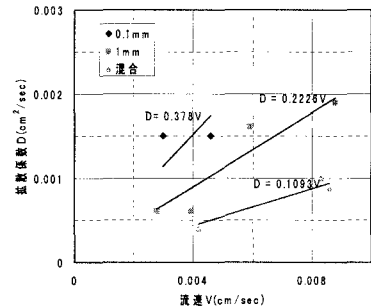


図-4 流速と拡散係数の関係（ガラスビーズ）

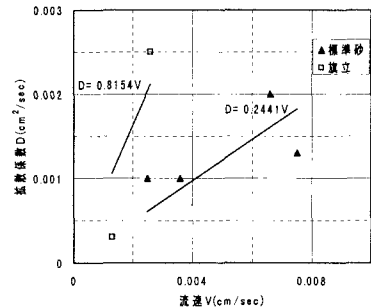


図-5 流速と拡散係数の関係（砂質土）

表-2 縦分散長と遅延係数の算出結果

試料の種類	粒 度 (mm)	縦分散長 $\alpha_L(\text{cm})$	遅延係数 R
ガラスビーズ 0.1mm	0.1	0.378	$0.77 \sim 2.42$
ガラスビーズ 1mm	1	0.223	$0.90 \sim 1.90$
ガラスビーズ混合	$0.1 \sim 0.2$	0.109	$0.86 \sim 1.55$
旗立砂質土	2以下	0.815	$0.77 \sim 1.60$
標準砂	$0.25 \sim 0.1$	0.244	$1.00 \sim 1.70$