

光ファイバーセンサを用いた化学汚染物質の計測・分析

和歌山工業高等専門学校 正会員 佐々木清一

Rod Lynch: Environmental Geotechnics Laboratory, Cambridge University Engineering Department, UK

ダイヤコンサルタント 正会員 菱谷智幸

1) まえがき

近年、焼却灰、産業廃棄物等の埋め立て処分場から雨水の浸透により溶出した化学汚染物質が地盤を汚染し、さらに地下水へと拡大した事例もあり大きな社会問題になりつつある。このような汚染物質の地盤移動現象の解明は、今後の防止対策や浄化法を検討するためにも重要である。そこで、本研究は光ファイバーセンサを利用して砂層中の Cu 濃度を計測し破過曲線を求め、さらに吸着理論に立脚して吸着特性曲線の分析を行い、これらの実験から移流分散パラメータを決定し破過曲線の解析を試みたものである。

1) 実験方法

実験に用いた試料は、十分に飽和させた砂（粒径 300~600 μm ）であり、これを Fig.1 に示した円筒形の亚克力容器の中に詰め砂層（直径 114.5, 深さ 205 mm）を作成した。光ファイバーセンサは砂層の表面から 105 mm に設置し反射型の計測手法を採用した。この手法は光ファイバーケーブルの先端に直径 6, 長さ 18 mm のフィルターをかぶせ、さらにその先の裏側にアルミ箔を貼った凹型のキャップをとりつけた。この手法は従来の透過型よりも計測精度は極めて大きい。

化学汚染物質として、 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 10, 8, 5, 3 (wt%) をそれぞれ 100 ml 準備した。Cu の投入は、まず砂層の表面に水位を一致させた後おこなった。そして、Cu が砂層に浸透した時点で動水勾配=1 の下で水を流し続けた。この装置は砂層の表面から水位 10 mm に一定になるようにレベル計で制御されている。

Cu 濃度と出力電圧(V)との関係は、較正式 (1) で与えることができる。

$$\text{Cu (wt\%)} = (1/0.2633) V + 18.606 \text{ ----- (1)}$$

3) 結果の考察

Fig.2 は、(1)式から計算した Cu 濃度に対する破過曲線を計測したものである。これより各曲線とも濃度は時間と共に増加しピークを示した後、徐々に減少に転じていく。そして、負荷濃度の増加と共にピーク高さも増大する。

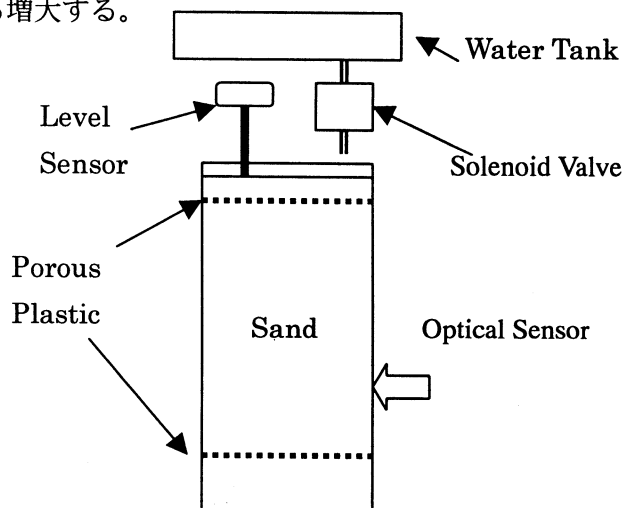


Fig.1 Experimental arrangement

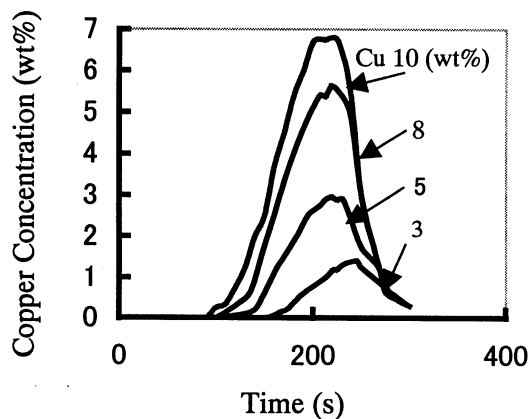


Fig.2 Breakthrough curves of copper

Fig.2の破過曲線を Gauss の正規誤差分布であると仮定することにより、分散係数 Dh は(2)式から求めることができる。1)

$$Dh=(W^{1/2})^2/11.0t_{peak} \quad \text{-----}(2)$$

Dh:分散係数(m²/s), W_{1/2}:ピーク高さの1/2 (mm), t_{peak}:ピーク高さの時間(s)

Table.1 は(2)式から計算した分散係数の値を示したものである。この結果、分散係数は Cu 濃度が大きくなると増加している。つまり、この係数が大きいほど土層内での分散能力が高いことを意味する。

Cu の吸着特性曲線は、バッチ試験から決定した。その結果は Fig.3 にて示すことができる。吸着量は Cu 濃度の増加により増えていく。そして、その値はある濃度以上になると増加量は小さくなり一定の値に近づく。ここで、吸着式として、まず Linear model (3)により検討を試みる。

$$S=KdCi^n \quad \text{-----}(3)$$

S:吸着量(wt.%), Ci:平衡濃度(wt.%), Kd:分配係数,n:指数

(3)式において、n=1 とおき求めた値が□である。さらに、対数をとった値(Freundlich model)を△にてプロットした。これらの計算値は、測定値と著しく異なる。これに対して、Langmuir model による式(4)を用いて計算した結果○は、測定値とほとんど一致している。つまり、Cu の砂に対する吸着特性は Langmuir model により評価できる。

$$S=SobCi/(1+bCi) \quad \text{-----}(4)$$

So: (1/wt.%), b: (wt.%):ラングミュラー定数

土中移動の過程において、汚染物質の吸着により流れに遅れ現象が生じる場合には式(5)の遅延係数 R を用いて評価できる。そこで、Cu の破過曲線について 10wt%の測定値を例として、遅延係数 R の効果を移流拡散による FEM 解析値をもとに検討した結果が Fig.4 である。これより、R が大きくなると破過曲線が吸着効果により横方向に傾くことが明らかとなった。

$$R=1+ (\rho d/n) Kd \quad \text{-----}(5)$$

ρd 乾燥密度(g/cm³), n:間隙率

4) 参考文献

1) A.C.J.Treadaway, et all: Pollution transport studies using an in-situ fibre optic photometric sensor,Engineering Geology (53), pp.195-204, 1998

Table.1 Estimation for copper dispersion coefficient Dh

Cu(wt.%)	Peak time(s)	Half-height(mm)	Dh(m ² /s)
10	216.19	35.5	5.26x10 ⁻⁷
8	222.81	28.5	3.29x10 ⁻⁷
5	229.42	16.0	1.01x10 ⁻⁷
3	244.87	7.0	1.81x10 ⁻⁸

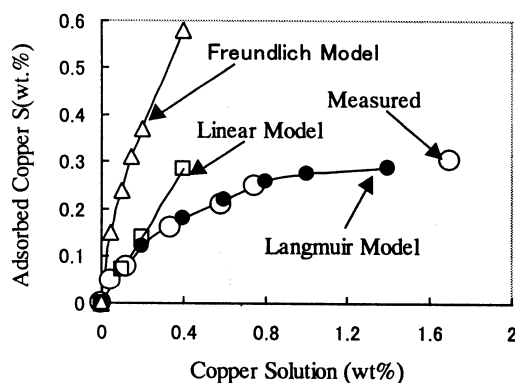


Fig.3 Relationship between experimental and analytical values by batch method

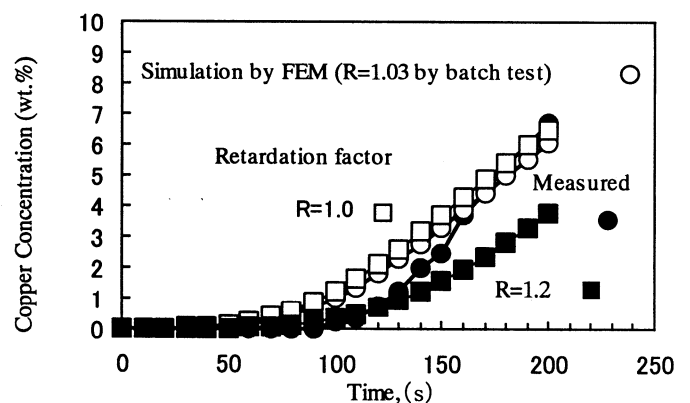


Fig.4 Breakthrough curve simulation of copper (Added 10wt. %)