

II-67 塩水楔上の鉛直塩分濃度実測値による 横分散長の推定に関する実験的検討

九州大学工学部 正員 〇 榊井 和朗 九州大学工学部 正員 神野 健二
九州大学工学部 正員 上田年比古 九州産業大学 正員 細川土佐男

1. はじめに

海岸帯水層を対象に分散を考慮した地下密度流の数値解析を行う場合、分散係数の与え方が重要な問題となる。本研究では、観測孔を利用して測定した塩水楔近傍の鉛直方向の塩分濃度分布から、最適な横分散長を推定する方法について、室内実験による検討を加えるものである。

2. 横分散長の推定法

図-1には、横分散長の推定に用いた座標系を示している。まず、淡塩水境界面の式¹⁾を x 軸、これに垂直に y 軸、 x - y 座標系の仮想原点を帯水層下部の不透水境界上の点 O_2 とする。次いで移流分散方程式において、次の4つの条件：(i)定常流、(ii)分子拡散および x 方向の分散は y 方向に比べ無視できること、(iii) y 方向の流速は x 方向に比べ無視できること、(iv)実質流速と塩分濃度 $c(x, y)$ の分布に相似則が成立すること、以上を仮定すると、次に示す塩分濃度の解析解を得る。

$$c(x, y) = 1 - \{1 - (1/\sqrt{2\pi}) \int_{\eta}^{\infty} \exp(-\zeta^2/2) d\zeta\}^{1/2} \quad (1)$$

ここに、積分の下限値は相似変数 $\eta = y/\sqrt{2\alpha(x+\beta)}$ 、 α ：横分散長、 β ：仮想原点 O_2 の移動距離である。

解析解式(1)による横分散長 α の推定法を要約すると次のようである：

【i】透水係数、淡水流入量、相対密度差 $\epsilon = (\rho_s - \rho_f)/\rho_f$ より淡塩水境界面を求め、これを x 軸とする。

【ii】図-1に示す点 O_1 を座標原点とする X - Y 座標系での塩分濃度測定位置 (X_0, Y) を、点 O_2 を原点とする x - y 座標系での位置 (x, y) に変換する。

【iii】変換された測定位置 (x, y) および横分散長 α と仮想原点の移動距離 β の初期値を、式(1)の積分の下限値 η に代入し、全ての測定点における濃度 $c(x, y)$ を算定する。

【iv】未定数 α 、 β を種々変化させ、解析解 c と実測の濃度 c^* との誤差の自乗の和、すなわち次の評価関数；

$$J = \sum_{j=1}^N \{c^*(X_0, Y_j) - c(x_j, y_j)\}^2 \quad (2)$$

が最小 ($J_{\min}$) となる値を最適推定値 $\hat{\alpha}$ 、 $\hat{\beta}$ とする。なお、式(2)の N は塩分濃度観測位置 X_0 でのデータ数である。

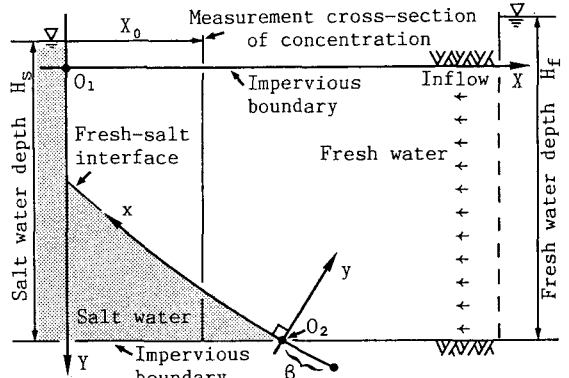


図-1 横分散長推定に用いた座標系

表-1 室内実験の条件

		Expt. 1 【ガラス球】	Expt. 2 【相馬砂】
帯水層厚	H (cm)	50	50
帯水層長	(cm)	100	100
塩水深	H _s (cm)	53	53
淡水深	H _f (cm)	54.9	54.9
相対密度差	ϵ	0.025	0.025
平均粒径	d (cm)	0.235	0.054
空隙率	n	0.35	0.375
透水係数	k (cm/s)	3.5	0.46
淡水流入量	q (cm ³ /s)	2.20	0.275
Reynolds数	$R = (q/nH)d/\nu$	3.4	0.091

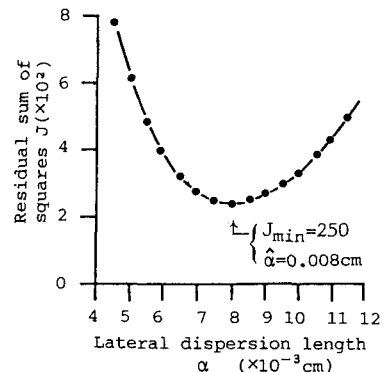


図-2 推定誤差

3. 室内実験による検討

ここでは、多孔性媒質にガラス球を用いた場合(Expt.1)、および相馬砂を用いた場合(Expt.2)の、それぞれの被圧帯水層における塩水の定常侵入・分散に関する室内実験により、本推定法の妥当性について検討を加える。表-1に実験条件を示している。なお、鉛直方向の塩分濃度は、測定位置 $X_0=4\text{cm}$ 、 20cm に設けた観測孔において、径 4mm の電気伝導度センサにより測定している。

図-2には、Expt.1での測定位置 $X_0=4\text{cm}$ における種々の α に対する評価関数 J の応答を示している。この場合、仮想原点の移動距離 $\beta=-2\text{cm}$ 、横分散長 $\hat{\alpha}=0.008\text{cm}$ で評価関数は最小となり、この値を最適推定値とする。

図-3には、各測定位置での最適推定値を式(1)の解析解に代入して求めた濃度分布曲線を実線で、実測値を●印で示している。推定曲線は実測の濃度分布の形状とほぼ一致しているといえる。

表-2には、横分散長の最適推定値、および比較のため、粒径 d 、動粘性係数、淡水流入量 q をHarleman-Rumerの分散係数に関する実験公式²⁾に代入して求めた横分散長の値を示している。Expt.1の推定値は実験公式より求めた値と概ね一致していると考えられる。Expt.2では、2つの測定位置 $X_0=4\text{cm}$ と $X_0=20\text{cm}$ での推定値に若干の差が認められるが、2つの推定値の平均値(0.0042cm)は実験公式による値とほぼ一致しているといえる。従って、塩分濃度測定用の観測孔の増加により推定精度は向上するものと考えられる。

以上のことから、本法によりほぼ妥当な横分散長を推定できると考えられる。

表-2 横分散長の推定値

	Expt. 1	Expt. 2
本法による [$X_0 = 4\text{cm}$]	0.0080	0.0011
横分散長の推定値 $\hat{\alpha}$ (cm) [$X_0 = 20\text{cm}$]	0.0075	0.0073
Harleman-Rumerの実験公式 による横分散長 α (cm)	0.0058	0.0039

4. おわりに

本研究では、被圧帯水層における塩水の定常侵入・分散の室内実験に対し、新たに提案した横分散長の推定法を適用し、その妥当性について検討し、次のような結果を得た。

(i) 塩分濃度の解析解に横分散長の最適推定値を代入し求めた鉛直方向の濃度分布は、実測の濃度分布の形状と、ほぼよく一致することを示した。

(ii) 横分散長の最適推定値は、Harleman-Rumerの分散係数に関する実験公式から求めた横分散長の値と概ね一致し、本推定法でほぼ妥当であることを示した。

参考文献

- 1) 土木学会水理委員会編：水理公式集，土木学会，p.384,1985. 2) Harleman, D.R.F and R.R.Rumer: Longitudinal and lateral dispersion in an isotropic porous medium, J. Fluid Mech., Vol.6, pp.385-394, 1963.

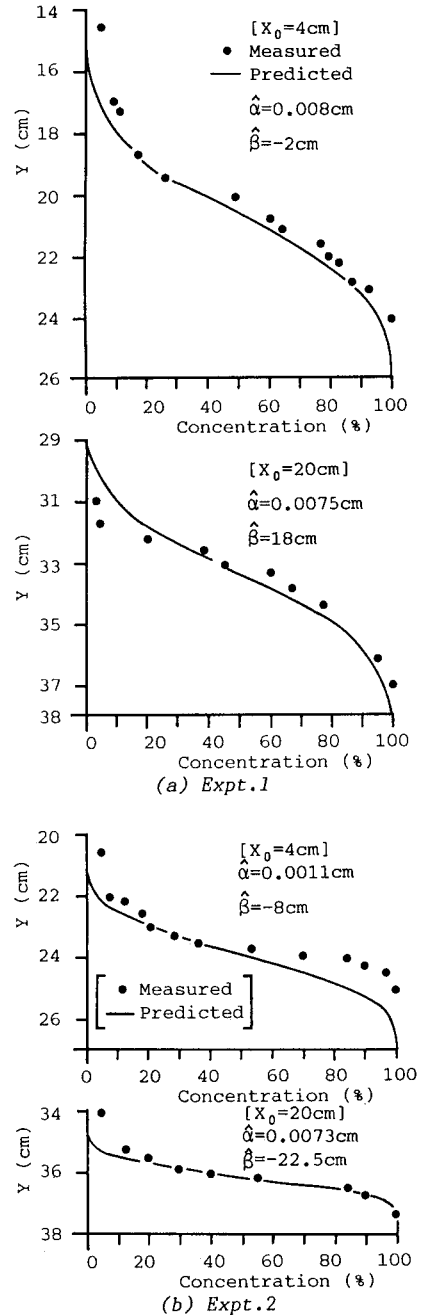


図-3 鉛直濃度分布