

II-99

塩水楔上の塩分濃度実測値による
横分散長の推定方法について

九州大学工学部 ○学生員 伊藤 敏朗

正員 初井 和朗

正員 神野 健二

正員 上田 年比古

清水建設(株) 正員 平野 文昭 九産大 正員 細川 土佐男

1. はじめに

沿岸帯水層において塩水の侵入・分散に関する解析を行う場合の重要なパラメータとして、透水係数、分散係数がある。透水係数については現場揚水試験等により推定が可能であるが、ボーリング孔において測定した塩水楔上の塩分の鉛直濃度分布から分散係数を推定する方法については未だ十分な検討は行われていないようである。本研究では、塩水楔の境界面に沿う塩分濃度の近似解により横分散長を求める方法について検討するものである。

2. 濃度分布の近似解

図-1の自由地下水を有する地下密度流に対する数値解析で得られた流速分布¹⁾によれば、図-2に示すように淡塩水境界面に沿う流速(u)が卓越し、淡塩水境界面に直交する方向の流速成分は小さい。従って図-1に示すように、 $0'-xy$ 座標系として淡塩水境界面に沿う座標軸を x 軸、これに直交する座標軸を y 軸とすれば、 x 軸に沿う分散項、および y 軸方向の移流項は小さいものと考えられるので定常状態における塩分の移流・分散に関する基礎式は、

$$u \partial \rho / \partial x = \alpha \partial (u \partial \rho / \partial y) \partial y \quad (1)$$

となる。ここで、 u : x 方向の実流速、 ρ :密度、 α :流れに対して直角方向の横分散長である。分子拡散係数の項は、横分散長の効果に比べ小さいものとし無視している。式(1)において速度と濃度の分布に相似則を仮定すると、密度および濃度分布の解は次式となる²⁾。

$$\rho = \rho_s - (\rho_s - \rho_f) \{1 - \int_z^\infty \exp(-\xi^2/2) / (2\pi)^{1/2} d\xi\}^{1/2} \quad (2)$$

$$C(x, y) = 100(\rho - \rho_f) / (\rho_s - \rho_f) \quad (3)$$

ここで、 ρ_s :塩水密度、 ρ_f :淡水密度、 $z=y/(2\alpha(x+A))^{1/2}$:積分の下限値、 A は未定数で仮想原点 $0'$ からのずれである。

3. 横分散長の算定法

横分散長 α の具体的な算定法について示そう。式(2)、(3)は $0'-xy$ 座標系で得られた解である。一方ボーリング孔を利用して得られる鉛直濃度 C^* の測定位置は一般に水平軸 X とこれに垂直な鉛直軸 Y の $0-XY$ 座標系で与えられる。従って $0-XY$ 座標系における任意の位置 (X, Y) を $0'-xy$ 座標系に変換する必要がある。いま図-1に示す任意の点 $a(x_1, y_1)$ から、淡塩水境界面におろした垂線の座標を点 $b(X', h(X'))$ としよう。この点 b は、線分 ab と淡塩水境界面の式³⁾: $h(X) = |q| / (\epsilon k) (2(\epsilon k) / |q| X + 0.5)^{1/2}$ との直交条件により算定できる。ここで、 $\epsilon = (\rho_s - \rho_f) / \rho_f$ 、 k :透水係数、 q :陸側から流出する淡水の単位幅流量である。なお、図-3において30%等濃度線を淡塩水境界面とする。この点 $b(X', h(X'))$ の値を用いれば点 $a(x_1, y_1)$ の値は、次式:

$$x = \int_{X_0}^{X'} (1 + (dh/dX)^2)^{1/2} dx \quad (4)$$

$$y = ((X - X')^2 + (Y - h(X'))^2)^{1/2} \quad (5)$$

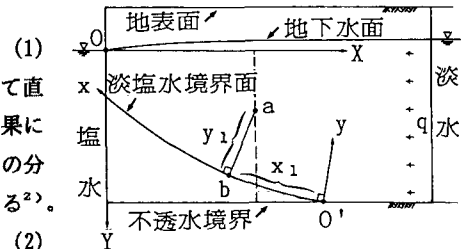


図-1 分散係数推定に用いる座標系

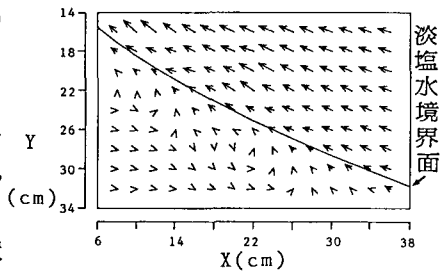


図-2 淡塩水境界面付近の流れの様子

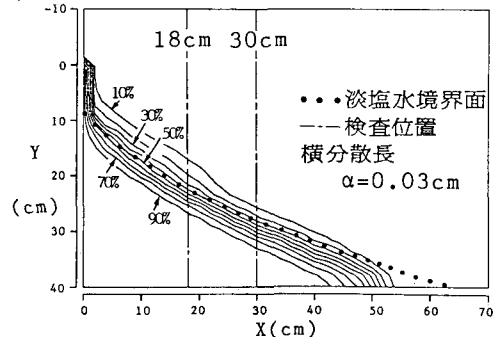


図-3 数値解析による等濃度線

により、0-xy座標系における値 (x_1, y_1) に変換できる。ここで、式(4)の積分の下限 x_0 は0'-xy座標系の仮想原点0'のX成分である。以上により0-XY座標系の任意の点 (X, Y) は0'-xy座標系の値 (x, y) に変換されることになる。次にこの変換された座標 (x, y) を式(2)の積分の下限値 $z=y/(2\alpha(x+A))^{1/2}$ に代入し、横分散長 α 、定数 A が与えられれば式(2)から検査位置 (X, Y) に対応する近似解 C を算定することができる。そこで種々の α 、 A を仮定し、近似解 C と実測の濃度 C^* との誤差の2乗の和、すなわち評価関数： $J = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \{C^*(X_i, Y_j) - C(X_i, Y_j)\}^2$ が最小(J_{min})となるとききの α および A が現地に対する最適な横分散長と仮想原点からのずれと考えられる。ここで、 M は観測孔の数、 N はある観測孔での鉛直方向のデータ数である。

4. 結果および考察

ここでは、図-3に示すように、縦分散長 0.3cm、横分散長 $\alpha = 0.03\text{cm}$ での数値解析¹⁾により得られた濃度データを用い、 $X=18\text{cm}$ 、 30cm における鉛直濃度分布を実測の濃度データと仮定し、本推定法の妥当性について検討を加える。まず、式(2)の定数 A を0、仮想原点として淡塩水境界面と不透水境界との交点を用いた場合の横分散長 α の推定を行った。この結果図-4より $X=18, 30\text{cm}$ における横分散長の推定値はそれぞれ $\alpha=0.025, 0.05\text{cm}$ となった。数値解析で用いた横分散長 $\alpha=0.03\text{cm}$ とオーダ的には妥当な結果となっている。図-5には、推定した横分散長を用いて式(2)から求めた鉛直濃度分布と数値解との比較を示している。傾向は概ね一致しているものの、検査位置 $X=18\text{cm}$ では鉛直濃度分布の非対称性のため低濃度域での差が大きく、評価関数の値も $X=30\text{cm}$ に比べて大きくなっている。次に2ヶ所の観測孔($X=18, 30\text{cm}$)における鉛直濃度分布から横分散長 α と定数 A の両者の推定を行った。図-6に示すように $A=11\text{cm}$ 、 $\alpha=0.03\text{cm}$ で評価関数は最小値を示し、数値計算で与えた横分散長と一致している。すなわち、観測孔を増やし、さらに仮想原点からのずれを考慮することにより推定精度を向上することができると考えられる。

5. おわりに

本研究では、横分散長の推定法について検討を行い、本解析法の妥当性についての若干の考察を加えた。今後は、室内実験、現地データに対しての適用性について検討を加える予定である。

参考文献

- 1) 舂井・神野・上田・伊藤・細川：海岸帯水層における地質構造が塩水の侵入・分散過程に及ぼす影響，九大工学集報，第59巻，第6号，pp. 793-798，1986。
- 2) 上田・神野・藤野：地下密度流の淡塩水境界面の混合について，九大工学集報，第50巻，第3号，pp. 183-189，1977。
- 3) 玉井：密度流の水理，土木学会編『新体系土木工学』技報堂出版，pp. 166-170，1980。

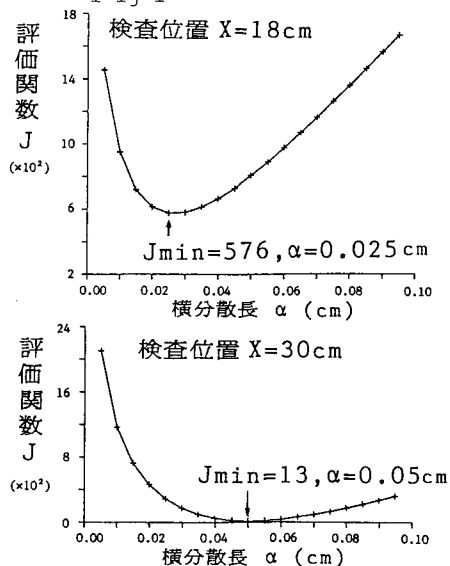


図-4 鉛直濃度分布の推定誤差

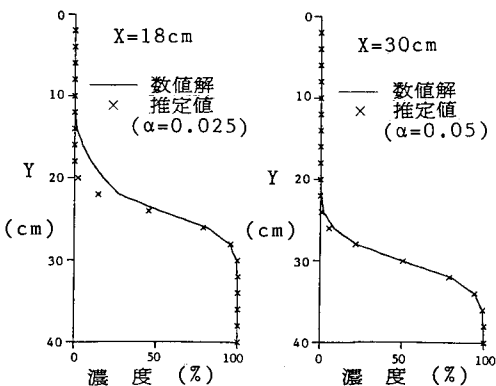


図-5 鉛直濃度分布

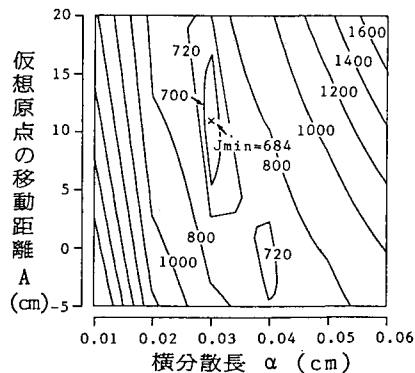


図-6 推定誤差の等値線図