

第Ⅲ部門

FFT を応用した定常揚水試験による透水係数分布の推定

神戸大学工学部 学生会員 ○永田 賢司
 神戸大学都市安全研究センター 正会員 齋藤 雅彦

1. はじめに

一般に、地盤の水理特性を、広範囲にわたって直接的に計測することは困難であるが、水位・水頭の観測は比較的容易であり、しかも水位・水頭分布は、地盤の水理特性を間接的に反映している。このため、水位・水頭の観測値から地盤の水理特性を探索すること（逆解析）が試みられている。しかしながら、従来の逆解析手法では、推定対象の領域全体を複数個に分割して、各部分領域の透水（量）係数を推定するものが多いが、これでは分割数や分割パターンによって推定結果が大きく左右されることがある。これに対して、本研究では、FFT（高速フーリエ変換）による2次元波の合成を利用し、透水係数の分布を連続的に表現する手法を用いる。そして、観測点数や、用いる波長が推定精度に与える影響について考察する。

2. 透水係数の空間分布

透水係数の空間分布は齋藤・川谷¹⁾²⁾によって提案されている確率的フラクタルモデルに基づいた空間分布モデルを用いて発生させた。これは飽和透水係数 k_s の対数変換値($Y=\log(k_s)$)のパワースペクトル密度関数が $1/f^\zeta$ 型となるものであり、実地盤における透水係数の空間分布特性を容易に模擬し得ることを確認している。ここに、 f は空間周波数ベクトル、 ζ は空間的な相関性を表すパラメータであり、2次元モデルの場合 $\zeta \approx 2$ である。

3. 逆解析手法

まず、実地盤における透水係数の空間分布特性に基づき、FFTにより模擬地盤における透水係数分布を作成する。つぎに、平面2次元被圧帯水層内における自然状態および定常揚水試験時の水頭分布をFEMにより求め、複数の観測井における水頭観測値とする。そして、得られた観測値を最も良く再現する透水係数分

布を少数の2次元波の合成により表現する。その際、重ね合わせられる波の位相と透水係数の平均値、標準偏差をパラメータとし、水頭の観測値と計算値の誤差を最小化するものである。最適化の手法として、制約つきシンプレックス法を用いた。

4. 解析条件

解析領域は、500m×500mの平面2次元領域とし、これを256×256の正方形要素に分割する。透水係数の平均値(\bar{k})は 1.0×10^{-3} cm/s、透水係数の対数値(=logk)の標準偏差(σ)は0.4とし、その分布は2.で示した性質に従うものとする。観測点は16点、領域の中心から2点ずつ8方向に放射状に配置した(図-1)。水頭観測条件は、自然状態における水頭分布を仮定したもの、および定常揚水試験時の水頭分布である。逆解析時には、波長の大きな波のみを用いて透水係数分布の再現を試みるため、粗いメッシュ(32×32)を用いた。

5. 解析結果と考察

模擬地盤の一例を基に考察過程を示す。使用した模擬地盤は図-2のような透水係数分布である。

まず始めに、4.で示した条件による逆解析を行った(Case-1)。その再現結果は図-3の分布である。これより、概ね良好に再現されていることが確認できた。

次に、観測点数を図-4のように24点に増加させて同様の逆解析を行った(Case-2)。その結果が図-5の分布であるが、再現精度に大きな違いは見られなかった。これは元よりパラメータ数(14個)に対し、計算される水頭値の数(16点の場合32個)が十分多かったと考えられる。これより、観測点数は16点で十分であると判断した。

次に逆解析時に用いる2次元波の波長を2倍にして逆解析を行った。その結果が図-6に示す分布である。

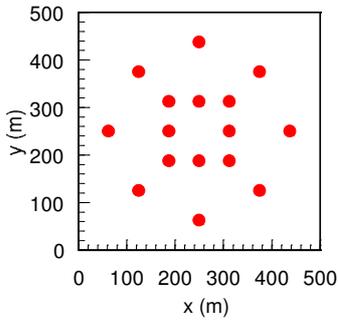


図-1 解析領域と観測点配置

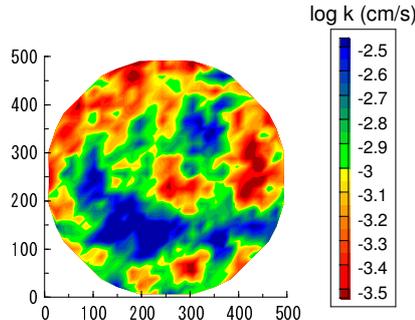


図-2 透水係数分布の生成例

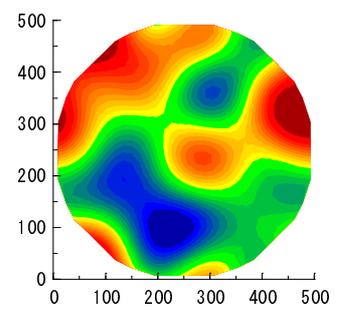


図-3 推定結果 (Case-1)

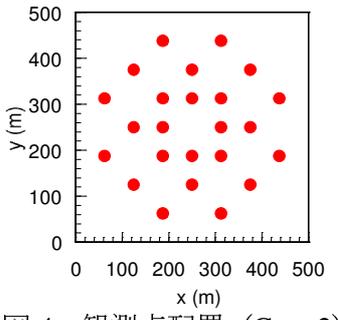


図-4 観測点配置 (Case-2)

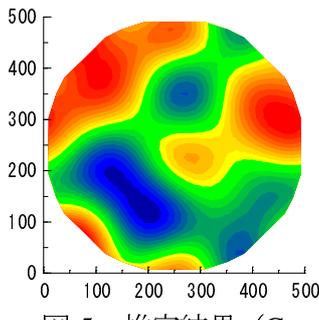


図-5 推定結果 (Case-2)

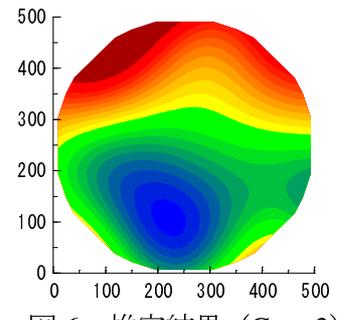


図-6 推定結果 (Case-3)

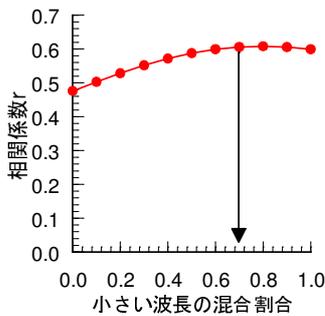


図-7 相関係数の変化 (Case-1,3)

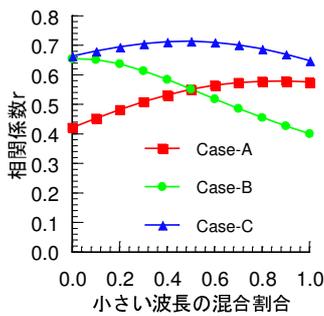


図-8 相関係数の変化 (Case-A,B,C)

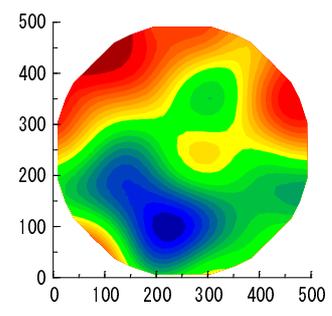


図-9 推定結果 (Case-4)

大きな波長を用いた為、分布の細かな特徴は捉えきれないが、相関係数を比較すると Case-1 は 0.60, Case-3 は 0.48 となり、Case-1 の方が再現精度はやや良好である。

ここで、異なる波長を用いた2パターンの逆解析結果を様々な割合で混合し、その時の相関係数の変化について調べた(図-7)。ここでは Case-1 と Case-3 の推定結果を 7 : 3 の比率で合成した場合が最も相関係数が大きくなったが、他の模擬地盤 (Case-A,B,C) において確認した結果、逆に長い波長を用いた方が再現性が良好な場合もあることがわかった(図-8)。このため、2パターンの結果の平均 (5 : 5 で合成) とすると、再現精度が大きく落ちる危険性は少なくなる。このようにして求めた透水係数分布 (Case-4) を図-9 に示す。このとき相関係数は 0.59 となり、Case-1 とほぼ同様となる。これより、異なる波長を用いた2つの

逆解析結果の平均をとったものを透水係数分布の再現値とすることが妥当であると判断した。

6. おわりに

- 1) 今回用いた手法により透水係数分布を逆解析した結果は、再現対象値との正の相関関係が明確に得られた。
- 2) 逆解析時に、波長の異なる波で個々に結果を出し、それらの平均値を再現結果とすると、個々の再現結果より精度が向上することが多い。

参考文献

- 1) 齋藤雅彦, 川谷健: 透水係数の空間分布に関する理論的考察, 土木学会論文集, No. 645/III-50, pp. 103-114, 2000
- 2) 齋藤雅彦, 川谷健: 透水係数の空間分布モデルの適用性に関する一考察, 土木学会論文集, No. 694/III-57, pp. 245-258, 2001