

1. まえがき 地下水流動の数値計算の精度は入力する透水係数の精度によって大きく左右されるが、本来透水係数のような水文地質データは空間的にランダムに分布する確率変数であると考えられる。従って、実測値を空間分布式で回帰できる成分及び観測に付随する観測雑音成分に分離し、これらの成分の特性を明らかにした上で、数値計算の入力情報にすることが必要であろう。本報では地質ボーリング解析結果を活用しながら、ルジオン試験による実測の透水係数をそれぞれの成分に分離する場合のデータ処理方法と、その場合の問題点について考察を加えたものである。

2. 透水係数の空間分布の実測例 図-1はA町で実施されたボーリング箇所と深さ $z = -50\text{m}$ 平面におけるfractureの交線を示したものである(例えばF10はfractureにつけた番号が10という意味)。ボーリングの深さ方向には5mピッチで11~15点ほどルジオン試験が実施されていて、総数216個のデータが得られている。一般の時系列のように豊富なデータ数とは言えないが、空間的にどのように分布するのか、どの程度分布式で回帰出来るのかあるいは地質情報はどのような形で活かされるかなどは興味ある問題である。 透水係数 $k(x, y, z)$ の対数変換値を計算し算術平均値を求めると、 $E[\log_{10} k(x, y, z)] = Y_0 = -5.552$ (k の次元は cm/s) となる。そこで

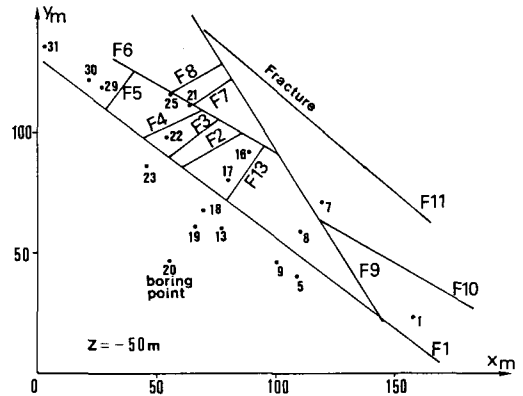


図-1 ボーリング位置と $z = -50\text{m}$ におけるfracture交線

と、 $E[\log_{10} k(x, y, z)] = Y_0 = -5.552$ (k の次元は cm/s) となる。そこで

$$Y(x, y, z) = \log_{10} k(x, y, z) - Y_0 = \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} [A_{\ell mn} \sin f(x, y, z; \ell, m, n) + B_{\ell mn} \cos f(x, y, z; \ell, m, n)]$$

+ [観測雑音] = [有限項数のFourier級数で表現出来る成分] + [fractureに対応する成分] + [stochasticな成分] + [観測雑音], $f(x, y, z; \ell, m, n) = 2\pi (\ell x/L_x + m y/L_y + n z/L_z)$ --- (1)

とおく。ここに (L_x, L_y, L_z) は (x, y, z) 方向の基本波長である。

式(1)の①と②をそれぞれ次のように表わす:

$$Y_F(x, y, z) = \sum_{\ell=0}^L \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N [A_{\ell mn} \sin f(x, y, z; \ell, m, n) + B_{\ell mn} \cos f(x, y, z; \ell, m, n)] \quad \text{--- (2)}$$

$$Y_{Fr}(x, y, z) = \sum_{i=1}^I Y_{Fr}(i; x, y, z), \quad (x, y) \text{ in } D(i) \quad \text{--- (3)}$$

$$Y_{Fr}(i; x, y, z) = Y_p(i) \cdot \exp[-\{z - \bar{z}(i)\}^2 / 2\sigma(i)^2] / \{(2\pi)^{1/2} \sigma(i)\}$$

ここに、 (L, M, N) : 打ち切り項数、 I : fracture数、fracture i の $Y_p(i)$: 強度、 $\bar{z}(i)$: 曲面の推定式 (x, y) の関数、 $\sigma(i)$: 分布幅の特性長さ、 $D(i)$: x, y 平面の拡がり領域である。図-2 (a)に概念図を示す。さて、ルジオン試験は深さ方向のある区間毎に行われる。従って z 方向の実測値は区間平均値であって必ずしも1点における値ではないことを考慮する必要がある。即ち図-2 (b)に示すように一種のフィルターを通った値として得られる。このフィルターをここでは図のように表わすと、我々が入手するのは $Y(x, y, z)$ ではなくて

$$\tilde{Y}(x, y, z) = \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} Y(x, y, \xi) g(\xi - z) d\xi = (1/a) \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} Y(x, y, \xi) d\xi \quad \text{--- (4)}$$

である。式(2)、(3)に対応するフィルター通過後の関数値をそれぞれ $\tilde{Y}_F(x, y, z)$ 、 $\tilde{Y}_{Fr}(x, y, z)$ とおく

$$\tilde{Y}_F(x, y, z) = \sum_{\ell=0}^L \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N (L_z / n\pi a) \sin(n\pi a / L_z) [A_{\ell mn} \sin f(x, y, z; \ell, m, n) + B_{\ell mn} \cos f(x, y, z; \ell, m, n)] \quad \text{--- (5)}$$

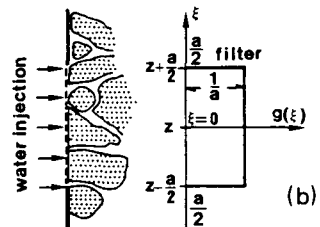
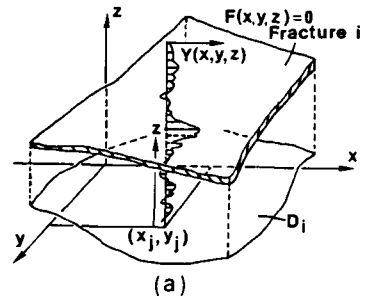


図-2 z 方向分布模式図

$$\tilde{Y}_{Fr}(x,y,z)=\sum_{i=1}^I \tilde{Y}_{Fr}(i;x,y,z)=\sum_{i=1}^I \{Y_p(i)/a\} \left[\int_{\eta_1}^{\eta_2} \exp\{-\zeta^2/2\}/(2\pi)^{1/2} d\zeta \right]$$

ここに、 $\eta_1, \eta_2 = \{z \pm a/2 - \bar{z}(i)\}/\sigma(i)$ --- (6)

3. ボーリング孔 No.5及びNo.16における試算例

式(4)の $\tilde{Y}_F, \tilde{Y}_{Fr}$ 成分にはいわゆる:

$$AIC = -2 \ln[\text{最大尤度}] + 2\theta \rightarrow \text{最小},$$

$$(\theta: \text{パラメータ数}) \quad \text{--- (7)}$$

の意味¹⁾で同定されるべきパラメータが含まれている。即ちFourier級数展開の基本波長(Lx, Ly, Lz)、Fourier係数(A_{lmn}, B_{lmn})、fractureの強度Y_p(i)、曲面推定式 $\bar{z}(i)$ 、特性長 $\sigma(i)$ 、拡がり領域D(i)等である。fracture成分についての先見情報がdeterministicに十分に得られていて、 $\tilde{Y}_{Fr}$ 成分を予め $\tilde{Y}(x,y,z)$ から除去することが可能な場合には残りの成分に対して式(7)を適用すればよいと考えられる。ここでは多数のボーリング孔のうち比較的明瞭にfracture成分が現れているNo.5及びNo.16の例で式(5)、(6)の適用を試みよう。図-3に $\tilde{Y}(x,y,z)$ を示す。No.16に記入しているF3、F2、F13は各々のfractureを3次元平面:

$$\alpha(x-x_0) + \beta(y-y_0) + \gamma(\bar{z}-z_0) = 0 \quad \text{--- (8)}$$

とし、ステレオネットから α, β, γ を、またある一点(x_0, y_0, z_0)を与えて概算したものである。[例]F2は:
 $0.399(x-75.4) - 0.692(y-72.9) - 0.602(\bar{z}+25.8) = 0$ --- (9)
 である。fractureを3次元平面と仮定するにしても本来は式(7)の基準に基づいて $\bar{z}(i)$ の式を推定すべきであるが、ここでは試算の意味でF2を定めた。No.16とF2との交点のz座標は $\bar{z} = -39.91\text{m}$ となった。ピーク値を示す $z_j = -32.39\text{m}$ とは7.52mの差があるが、これはF2の平面の推定式(9)に問題があったためと考えられる。

fracture成分の概略的な推定を行うため、ここでは $\tilde{Y}(x,y,z)$ を3重Fourier級数に展開し(Lx=160m, Ly=150m, Lz=120m)、これが式(5)の成分に相当すると仮定し、 $\tilde{Y}(x,y,z)$ から除去したのが図-4のR(x,y,z)である。 $\tilde{Y}_F$ は図-3中に破線で示している(L=9, M=0, N=1)。a=5.0m、 $\tilde{Y}_{Fr}(2; x,y, z_j = -32.39\text{m}) = 0.755$ (実測値)、I=1とし、式(6)にケース①: $\bar{z}(2) = -32.39\text{m}$, $\sigma(2) = 2.0\text{m}$ 、ケース②: $\bar{z}(2) = -34.39\text{m}$, $\sigma(2) = 2.0\text{m}$ を代入し、式(6)のY_p(2)を求め、Y_{Fr}(x,y,z)、 $\tilde{Y}_{Fr}$ (x,y,z)の分布を示したのが図-4の白丸及び黒丸である。破線で示すr(x,y,z)はR(x,y,z)から $\tilde{Y}_{Fr}$ を更に除いたものである。 $\bar{z}(2)$ の推定の違いによってr(x,y,z)の分布も変わることがわかる。

4. 結び 本報では透水係数の3次元空間分布の推定法の確立を目的として、fracture成分を式(3)で表わし、2、3の検討を加えたものである。最終的には逐一fracture(さらに、堅硬部が低次の級数展開で表現出来ない場合にはこれも含めて)と透水係数との関連を検討し、式(7)によって空間分布の推定を行うことが必要であると考え。謝辞:本研究を行なうにあたり本学卒業生山本喜章君の御助力を得ました。
 参考文献 1) 中川徹、小柳義夫著:最小二乗法による実験データ解析、東京大学出版会、pp.150-156、1983

※ 全般的に参考にした文献——渡辺邦夫氏学位論文:「岩盤割れ目系の諸地質量を考慮した岩盤浸透流の解析に関する基礎研究」、1983

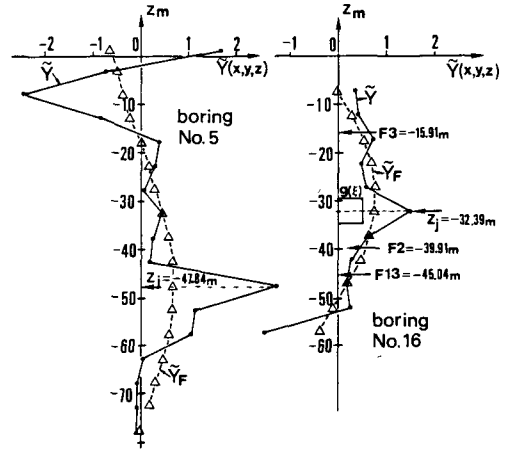


図-3 No.5、No.16の $\tilde{Y}, \tilde{Y}_{Fr}$ の分布

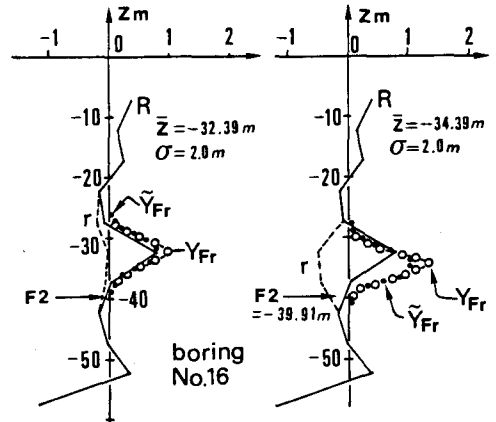


図-4 No.16でのR、Y_{Fr}、 $\tilde{Y}_{Fr}$ 、rの分布