

透水係数の3次元分布推定について

九州大学 工学部 ○ 学 本山 喜章

九州大学 工学部 正 神野 健二

九州大学 工学部 正 上田 年比古

1.はじめに 現在、新たな石油備蓄方式の一つとして地下備蓄方式が導入されている。この際、地下備蓄の適性を判断するために、地質・岩盤水理に関する調査と評価を行うことが重要である。本報は、愛媛県越智郡菊間町種の実証プラント建設現場の調査結果¹⁾をもとに、透水係数の3次元空間分布を推定し、地質学的考察との対応を検討したものである。

2.観測孔の位置及び現地の地質概況 図-1に観測ボーリング孔及び貯油槽、水封トンネルの位置を示す。貯油槽、水封トンネルの下面深度は、それぞれ海水面下 EL-62m、-25.8mで、空洞の高さはそれぞれ20m、4mである。現地の基盤は、花崗閃緑岩を主体とした堅硬な岩盤であるが、ミロナイト化した破碎帯や亀裂沿いに風化している部分がある。しかし、大部分の破碎帯は幅3-5cmで、大きなものでも幅50cm程度であり、大規模な断層や破碎帯は見られない。図-2には観測ボーリング孔No.5,13,25の柱状図及びこの3点とNo.10の観測値、推定値を表わしている。柱状図は岩盤を風化状況によって区分¹⁾したものである。図中のL,M,Nはそれぞれ岩盤区分C_L,C_M,C_Nの添字を表わす。また柱状図の番号1-3はつぎの区間を示す：1).劣化が激しく亀裂が集中している、2).大きな亀裂が集中している、3).ミロナイト化による劣化や、割れ目の発達による細片化が著しい。

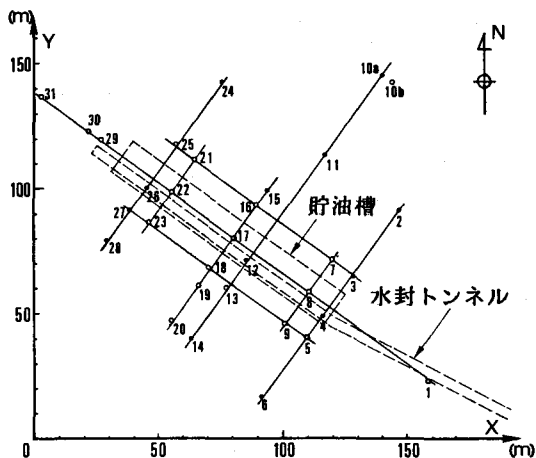


図-1 観測ボーリング孔及び貯油槽、
水封トンネル平面配置図

3.Fourier級数による透水量係数の空間分布の表現 透水試験はルジオン試験によって行われた。測定の結果、216個の観測値のうち188個は 10^{-8} ~ 10^{-2} (cm/sec)の範囲にあった。残りの28個は 10^{-8} (cm/sec)以下であったが、これを 10^{-8} (cm/sec)に統一した。観測値を対数変換し、それらの平均値を求めたところ、 $E[\log_{10} k(x,y,z)] = Y_0 = -5.542$ となった。対数変換値を次のようにFourier級数に展開する：

$$Y(x,y,z) = \log_{10} k(x,y,z) - Y_0 = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} [a_{lmn} \sin f(x,y,z; l,m,n) + b_{lmn} \cos f(x,y,z; l,m,n)] + n(x,y,z) \quad (1)$$

ここに、 $f(x,y,z; l,m,n) = (2\pi l x/L_x + 2\pi m y/L_y + 2\pi n z/L_z)$ 、 $n(x,y,z)$:観測雑音
また、 L_x, L_y, L_z は級数展開の基本波長である。次に、Fourier級数の項数を次式の赤池の情報量基準を用いて決定した： $AIC = K \cdot \ln(\sigma^2) + 2\theta$ 、ここに、 K :データ数、 θ :(パラメータ数) $= 2(L+1)(M+1)(N+1) - 2$ 、 (L,M,N) :(l,m,n)の項数、 σ^2 :推定残差分散である。最小2乗法ではパラメータ数はデータ数より少なくなければならないから、 $\theta < K$ を満たす全てのFourier係数の組合せに対してそれぞれAICを計算する。なお、 θ の計算式で定数2を引いているのは $l=m=n=0$ の項を除いているからである。

4.解析結果及び考察 表-1にはAICの算定結果のうち、この値が小さいものを5組示している。またそれに対応する推定残差分散も併記している。この場合、基本波長(L_x, L_y, L_z)=(160m,150m,120m)とした。表-1によると、項数の組が(L,M,N)=(9,0,1)のときにAICは最小値16.6となった。次に、このようにして求めた最適項数に対応するFourier係数により、 $Y(x,y,z)$ の推定値 $\hat{Y}(x,y,z)$ を求めた。図-2より、透水係数の分布をFourier級数で表現することは、概ね妥当であるといえる。No.5のEL-49m付近では、二つの亀裂が交叉しており、この部分が開口クラックとなったために、数値が異常に大きくなったと推定される。また、No.5のEL+1.16m, No.25のEL-62.6mなど、比較的大きな破碎帯の存在が原因で数値が

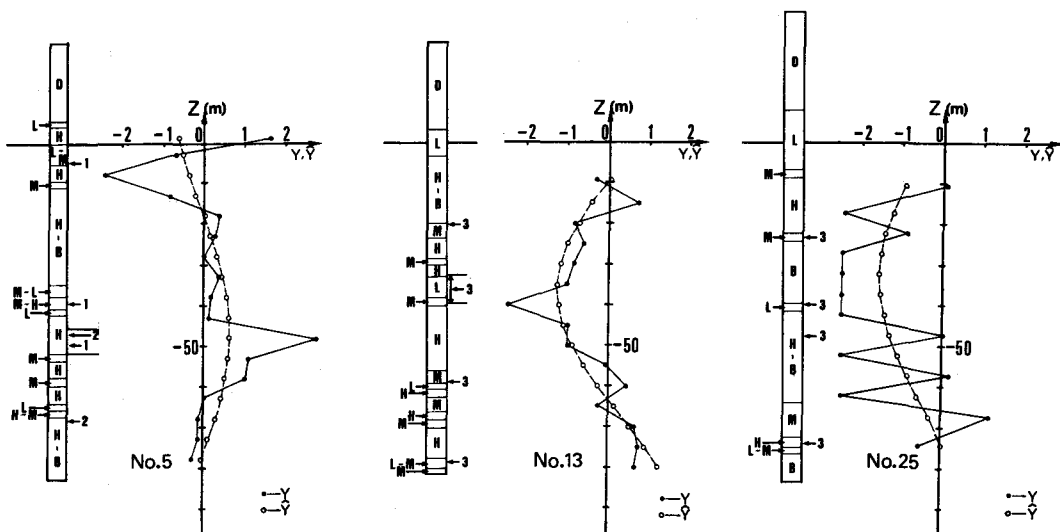


図-2 地質柱状図及びYの観測値、推定値

大きくなったと考えられる区間も数ヶ所見うけられる。図-3には、 $Y(x, y, z)$ 及び花崗岩の堅硬な部分の透水係数を表わしていると考え

られる 10^{-8} (cm/sec)以下の28個のデータを除いた場合(平均値 $Y_0 = -5.176$)の $Y'(x, y, z)$ の度数分布を示している。また、図-4には、推定残差 $\Delta Y = Y - \hat{Y}$ の度数分布を示している。この図より、 ΔY についてはほぼ正規性が仮定できるようである。これらの図からも地質学的特性を考慮すれば、推定精度が上がるのが期待される。

5. 結び 本報の結果より、赤池の情報量基準(AIC)を最小2乗法を行う場合のFourier係数の項数決定に有効に使用し、透水係数の空間分布をFourier級数により表現することは、ある程度妥当であること、地質学的考察を加え、適当な方法で改良すれば精度を高めることができると考えられることがわかった。今後、基本波長の仮定方法、堅硬部・破碎帯・風化帯などの地質学的な特性の表現、ロバスト推定法等による適当な改良などの問題点を検討していきたい。

参考文献: 1) 「石油備蓄技術(地下備蓄)調査」

報告書 石油公団 1983年.3月

表-1 残差分散とAIC

(L, M, N)	残差分散	AIC
(9, 0, 1)	0.760	16.6
(1, 4, 1)	0.768	19.0
(5, 1, 1)	0.714	19.4
(3, 2, 1)	0.726	22.9
(0, 9, 1)	0.784	23.4

($L_x=160m, L_y=150m, L_z=120m$)

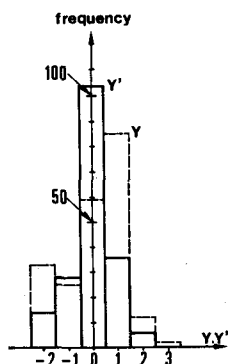


図-3 Y, Y'の度数分布

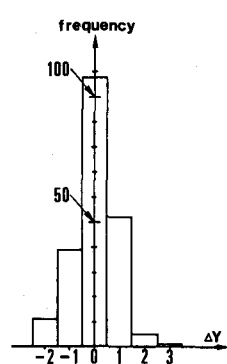


図-4 推定残差 ΔY の度数分布