

III-306 亀裂性岩盤の透気試験について

神戸大学大学院 学生会員 石丸 智基
 神戸大学工学部 正会員 川谷 健
 神戸大学工学部 正会員 中山 昭彦

1. はじめに 亀裂性岩盤の緩み度合いと範囲を判定するため気圧回復試験結果から固有透過度を算定する際、亀裂密度が大きい場合は岩盤を多孔質地盤と仮定して解析できる¹⁾。しかし亀裂密度がそれほど大きくない場合、亀裂特性（密度、開口幅、方向など）にばらつきがあるため、気圧回復（上昇）速度は測定位置ごとに大きく異なると考えられる。亀裂系の空気流を平行板間の層流と考えると、流量は亀裂開口幅の3乗に比例するので、気圧回復速度は亀裂特性のうち開口幅に最も大きく左右されるであろう。緩みの有無の判定には、各測点での気圧回復速度を非緩み域で測定したバックデータと比べる必要があるが、開口幅にばらつきがあるので、緩み域の回復速度が非緩み域より常に早いとは限らない。それゆえ亀裂特性、とくに開口幅のばらつきが気圧回復速度に及ぼす影響を把握することが重要である。

本研究では、非定常流として解析するため、格子状の2次元亀裂系モデルを用い、開口幅の分布が指数分布に従うとして、それが気圧回復過程に及ぼす影響、および亀裂系内の空気流と多孔質地盤内の空気流の違いを調べた。また緩みの度合いと範囲がどの程度大きくなれば気圧回復速度に有意の差が現れるかを調べた。

2. 解析方法 亀裂系モデルを図-1に示す。解析域は縦5.5m、横4m、厚さ1mであり、亀裂の配列は格子状で横方向に8本、縦方向に11本、格子の辺数は157本である。開口幅は格子の各辺ごとに異なり、平均値25 μ m、下限値5 μ mの指数分布とした。亀裂長（辺長）は全て50cmとし、差分法の適用では各亀裂を5等分し、それらの節点で圧力を算定した。掘削面（x軸）上の亀裂端点で気圧は常に1気圧とした。一方、測定孔への空気流入は○、●、△印の亀裂端点からとした。その他の端点是不透性境界とした。測定孔の初期気圧は0.1気圧とした。亀裂内の初期気圧は、上述の境界条件で定常時の気圧とした。測定孔の容積は10cm³、空気の粘性係数は $\mu=1.84 \times 10^{-4}$ g/cm $\cdot$ s、空気の密度変化は等温変化とした。

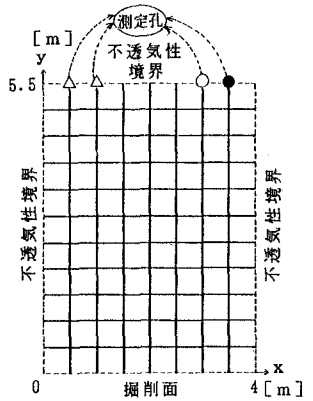


図-1 解析モデル

亀裂内の空気流が平行板の間隙を流れる層流であるとし、空気密度が等温変化または断熱変化として、連続の式を用い、さらに後退差分法で離散化すれば、図-2を参照して

$$\text{亀裂交点で} : \left\{ \frac{12\mu n A}{P \Delta t} + \sum_{j=1}^N \frac{b_{ij}^3}{\Delta S_{ij}} \right\} \Psi_i^{(\Delta t)} - \sum_{j=1}^N \frac{b_{ij}^3}{\Delta S_{ij}} \Psi_j^{(\Delta t)} = \frac{12\mu n A}{P \Delta t} \Psi_i^{(0)} \quad (1)$$

$$\text{単一亀裂内で} : -\Psi_i^{(\Delta t)} + \left(2 + \frac{12\mu n}{P b_{ij}^2} \frac{\Delta S_{ij}^2}{\Delta t} \right) \Psi_i^{(\Delta t)} - \Psi_i^{(\Delta t)} = \frac{12\mu n}{P b_{ij}^2} \frac{\Delta S_{ij}^2}{\Delta t} \Psi_i^{(0)} \quad (2)$$

$$\text{亀裂端点で} : \left(2 + \frac{12\mu n}{P b_{ij}^2} \frac{\Delta S_{ij}^2}{\Delta t} \right) \Psi_i^{(\Delta t)} - 2\Psi_i^{(\Delta t)} = \frac{12\mu n}{P b_{ij}^2} \frac{\Delta S_{ij}^2}{\Delta t} \Psi_i^{(0)} \quad (3)$$

が導かれる。ここに $\Psi = P^{n+1}$ であり、Pは気圧、 ΔS_{ij} は節点i, j間の距離、 b_{ij} は開口幅、 μ は空気の粘性係数、Aは亀裂交点の空面積、 $\Psi_i^{(\Delta t)}$ は節点iでの Δt 時間後の Ψ 、等温変化のとき $n=1$ である。各節点に上式を用い、得られた連立方程式に境界条件を導入して解けば、節点の気圧が求まる。 Δt 後

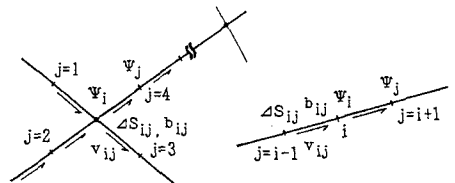


図-2 亀裂の節点分割

の測定孔内の空気密度は、時刻 t の空気密度を $\rho_B(t)$ 、測定孔への空気流入量を $M_B(t)$ 、測定孔の容積を V_B で表せば、 $\rho_B(t+\Delta t) = \rho_B(t) + M_B(t) \Delta t / V_B$ である。このときの孔内気圧は $P_B(t+\Delta t) = \{\rho_B(t+\Delta t) / \rho_0\}^{1/\gamma} P_0$ であり、 P_0 と ρ_0 は基準の気圧とそのときの空気密度である。

3. 解析結果 (Case 1) 緩みなし。(Case 2) Case 1 の開口幅を全域で1.5倍する。(Case 3) 掘削面から3 mまでの領域で Case 1 の開口幅を10倍する。図-3に、開口幅の分布を変えて計算した1気圧回復曲線（各ケース10本）を示す。このとき、測定孔につながる亀裂端点は○と●印の2点とした。掘削面から測定孔までの全経路で開口幅が増すと、その割合が小さくても、気圧回復は明らかに早くなる。一方、一部の領域が緩んで開口幅が大きくなっても、緩まない場合と比べて、気圧回復速度はそれほど増えないことがわかる。なお、(Case 4)として全域で開口幅を元の2倍にした場合では、緩みなしの場合と比べて、気圧回復ははるかに早くなった。

緩みの度合いや範囲によって気圧回復過程にどの程度の有意差が生じるかを、以下のようにして調べた。測定孔につながる端点を○と●印の2点にした場合と△印の2点にした場合で、それぞれ100通りの亀裂幅分布を与え、計200とおりの気圧回復過程を計算した。気圧回復開始2分後の孔内気圧の頻度分布が図-4である。ここに、(Case 5)は掘削面から3mまでの領域で Case 1 の開口幅を2倍する場合である。表-1に、緩みの有無の判定で過誤の危険率がほぼ等しくなる値（しきい値）と、しきい値前後の頻度を示す。これらの結果から、掘削面から測定孔までの経路全長に緩みが生じたときには、気圧回復は非常に早くなることがわかる。しかし経路の一部区間が大きく緩んでも、気圧回復はそれほど早くならない。これは、亀裂系を多孔質地盤として解析した場合と最も異なる結果である。したがって、気圧回復試験結果の解析にあたって、亀裂密度を考慮することが重要である。

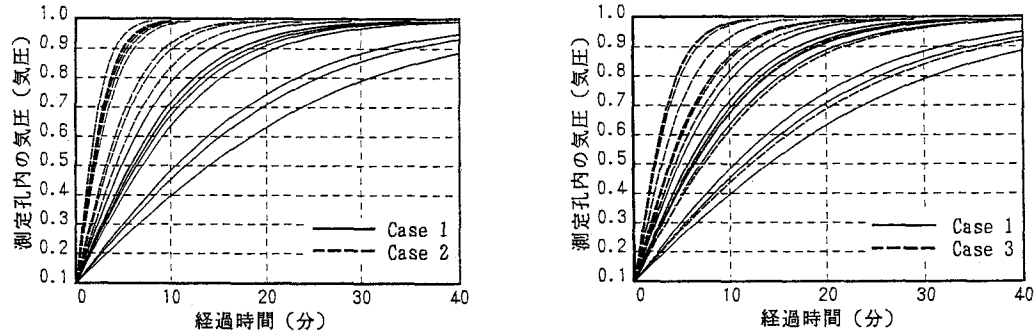


図-3 気圧回復曲線

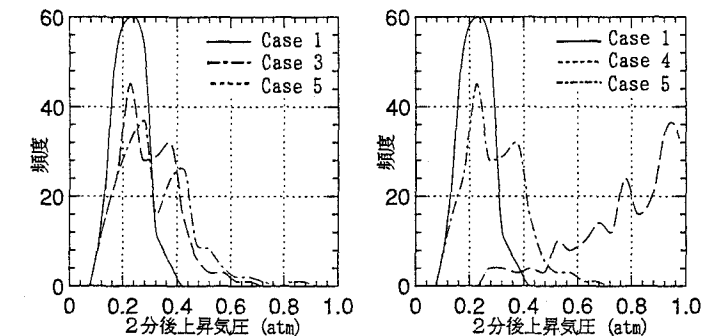


図-4 2分後の孔内気圧の頻度分布

表-1 判定過誤の危険率

気圧(atm)	0.35未満	0.35以上
Case 1	195	5
Case 4	8	192

気圧(atm)	0.25未満	0.25以上
Case 1	129	71
Case 3	69	131
Case 5	82	118

参考文献

1) 川谷ほか：真空透気試験による不均質地盤の透気性測定について，水工学論文集(36)，pp. 471-476，1992