

III-428 透気性テストによる岩盤緩み領域の判定について

神戸大学大学院 学生員 石丸 智基
 神戸大学工学部 正 員 川谷 健
 神戸大学工学部 正 員 中山 昭彦

1. 目的 地下掘削による亀裂性岩盤の緩みが主として亀裂の開口であれば、緩み領域では透水性あるいは透気性が著しく増えると考えられる。乾いた亀裂性岩盤については、緩みの度合と範囲を判定する手段として、固有透過度 (intrinsic permeability) の空間分布を知るために透気性の測定が提案され、現場測定が実施されている^[1]。その方法では、岩盤掘削面にほぼ垂直なボーリング孔の一定区間の両端を密封し、真空ポンプで区間内の気圧を下げた後ポンプを止め、区間内の気圧と空気流入量の経時変化を測定する。固有透過度の算定式として、Jakubick らは^[1]、層厚一定の被圧層に設けられた完全貫入井へのガス流入に対する理論解を用いており、層厚は測定区間長に等しいとしている。しかし、実際の流れ場はこの理論解の前提とは違い、空気は緩んだ掘削面から岩盤に侵入してボーリング孔の測定区間に流入すると思われる。この場合、算定された固有透過度が代表する領域を把握しておくことが重要である。この観点から、本研究では数値解析によって、ボーリング孔の測定区間における気圧回復の様相が測定区間の位置、ゆるみ領域の範囲、壁面の広さによってどのように変わるかを調べた。

2. 解析方法と条件 解析は有限要素法による。亀裂性岩盤は多孔質媒体として扱え、空気は掘削面だけから岩盤に侵入し、ボーリング孔の測定区間に流入するものとする。流れ場はボーリング孔の軸に関して対称で、流れは準定常流として扱えるものとする。後者の仮定は、真空ポンプで測定区間の気圧が一定に保たれているとき岩盤内の流れが定常になっており、ポンプ停止後も、岩盤内の流れが層流状態であれば気圧の上昇が緩やかであろうことを考えると、妥当と思われる。したがって、微小時間 Δt の間、測定区間の気圧が一定の状態では、空気は掘削面から岩盤に侵入し測定区間に流入する。 Δt 時間後には、測定区間の気圧が上昇し、岩盤内の流れは新たな定常状態に達するものとする。流れ場の対称軸を z -軸、半径方向の軸を r -軸とすると、定常流に対する基礎方程式は、連続の式とダルシー則より

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\rho g K r \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho g K r \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 0$$

となる。一方、空気の密度と気圧の関係は、等温変化あるいは断熱変化のとき $\rho g = (p/C)^{1/n}$ である。したがって、上式は

$$\frac{\partial}{\partial r} \left\{ K r \frac{\partial}{\partial r} \left(p^{\frac{n+1}{n}} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K r \frac{\partial}{\partial z} \left(p^{\frac{n+1}{n}} \right) \right\} = 0$$

となる。ここに、 K =透気係数、 p =気圧、 ρ =密度、 g =重力加速度、 $n=1.0$ (等温変化)あるいは1.4(断熱変化)、 C =定数、である。ボーリング孔の測定区間に孔壁から流入する空気重量は、単位時間に

$$G = \frac{n}{n+1} \frac{2\pi r_B z_B}{C^{\frac{1}{n}}} K \frac{\partial}{\partial r} \left(p^{\frac{n+1}{n}} \right)$$

である。ここに、 r_B =ボーリング孔の半径、 z_B =測定区間長、である。測定区間内の空気の単位重量が、いま $\rho_B g$ であるとする、 Δt 時間後には $\rho_B g + G(\Delta t/V_B)$ となり、気圧は

$$p_B = \left\{ \frac{\rho_B g + G(\Delta t/V_B)}{\rho_0 g} \right\} p_0$$

となる。ここに、 $p_0 = 1$ 気圧、 $V_B =$ 測定区間の容積、 $\rho_0 g = 1$ 気圧のときの単位重量、である。

解析領域は岩盤掘削面から奥行き 10 m, ボーリングの軸は掘削面に垂直で、孔径は 4 cm, 測定区間長は 25 cm とする。気圧は、掘削面で 1 気圧、測定区間内の初期値は 0.3 気圧とする。透気係数は $K = 4.5 \times 10^{-5}$ cm/sec とし、緩み領域ではこの値の 3 倍とする。 $\Delta t = 15$ 秒、 $n = 1.4$ とする。

3. 解析結果 a) 掘削面の広さが測定区間の気圧回復に与える影響：ボーリング孔を中心として掘削面の半径が 3.5 m と 5 m の場合について、測定区間が 6~6.25 m のときの気圧回復曲線を図-1 に示す。測定区間が掘削面から離れるほど、掘削面の広さによる違いがみられ、掘削面が狭いと気圧回復は遅くなる。しかしこの違いは極めて小さい。これは、測定区間のボーリング孔壁面積が掘削面の面積に比べて非常に小さいためと考えられる。

b) 緩み領域の範囲の影響：緩み領域が掘削面から $z = 3$ m までの場合および $z = 3.5$ m までの場合の測定区間 3~3.25 m における気圧回復曲線を図-2 に示す。測定区間が緩み域外であれば、緩み領域に隣接していても、気圧回復に緩みの影響はほとんどない。一方、緩み領域内では気圧回復は急速である。次に、緩み領域が限られた範囲にある場合として、緩み領域が $z = 2.5 \sim 3.5$ m の場合および緩みが $z = 2.5 \sim 3.75$ m で、しかもボーリングの軸を中心に半径 50 cm の範囲に限られている場合の測定区間 3~3.5 m における気圧回復曲線を図-3 に示す。いずれの場合も、気圧回復の様子は、緩み領域が掘削面 ($z = 0$ m) から測定区間を含む領域まで広がっている場合とほとんど違ってない。

4. まとめ i) 緩み領域での気圧回復は、緩んでいない領域と比べて十分に早い。したがって、透気性の測定から緩みの有無が判定でき、緩みの度合についても判断できる。ii) 気圧回復の早さは、ボーリング孔の測定区間近傍の透気性に依存し、掘削面からその区間までの領域の透気性にはほとんど影響されない。これは、測定区間の孔壁の面積が掘削面と比べてはるかに小さいことによると考えられる。

参考文献

[1] Jakubic, A.T. and R.Klein ; Permeability assessment in caven of underground oil storage , Rep. No. 90-158-p, 1990

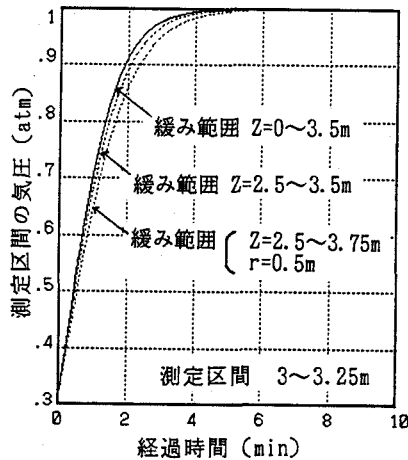


図-1

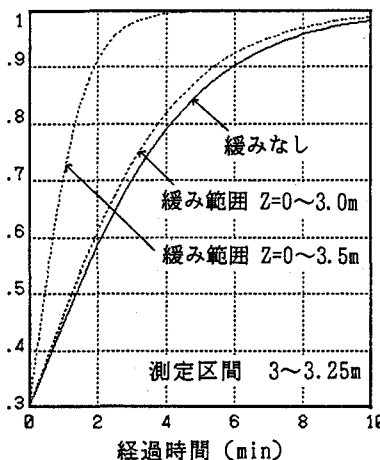


図-2

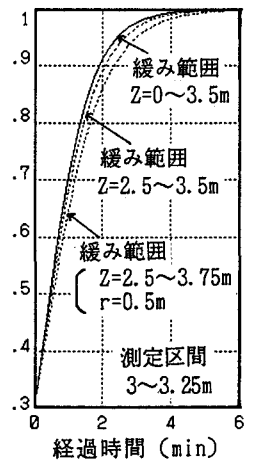


図-3