

## III-429 透気性からみた亀裂性岩盤の緩みの評価

神戸大学大学院 学生員 中谷 元彦  
 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 掘削による亀裂性岩盤の緩みが亀裂開口幅の増大であれば、緩み領域の透水性または透気性は大きくなる。緩みの大きさと範囲を判定するために、乾いた岩盤については、掘削面にほぼ垂直に穿ったボーリング孔内で一定区間に透気性を測定することが提案され、現場測定が行われている<sup>[1]</sup>。その方法では、ボーリング孔の測定区間の気圧を真空ポンプで下げた後ポンプを止めて、気圧上昇の経時変化を測定する。そして固有透過度(intrinsic permeability)を算定する。算定式としては、多孔質媒体中のガス流に対する理論式が用いられている。

多孔質媒体とみなせるほど亀裂密度が大で、測定区間の孔壁にも多数の亀裂があれば、気圧の上昇速度は透気性の大きさ、すなわち緩みの大きさを表している。しかし亀裂密度がそれほど小さくなく、測定区間毎に亀裂数や亀裂開口幅にばらつきがあれば、気圧上昇の速さは必ずしも緩みの度合を表わさない。このような場合、個々の区間で測定された気圧上昇速度が、緩んでいない岩盤本来の亀裂開口幅のばらつきの範囲で起こり得る値であるのか、あるいは緩みの結果であるのかを判定する必要がある。この観点から、本研究では、亀裂の長さ、幅、方向が一定の確率分布に従う不規則変数であるとした亀裂系の数値モデルを用い、緩みの範囲と度合、および測定区間の亀裂数が気圧回復過程に及ぼす影響を調べた。

2. 解析方法 亀裂系モデルは、Longらの方法にしたがって作成した。亀裂の方向の分布は一様乱数で与え、長さや開口幅の分布は指数分布とした。長さの平均値は3m、下限値は2.4m。開口幅の平均値は20 $\mu$ m、下限値は1 $\mu$ mとした。亀裂数は、12m $\times$ 7.5mの領域に150本とし、この領域の中央部6m $\times$ 3mを解析のための試験片とした。図-1に、統計的性質は同じであるが、用いる乱数を換えて作った2つの試験片を示す。

亀裂幅が微小であれば、亀裂内の空気の流れは層流である。このとき、解析では、掘削面から亀裂を通り測定区間に流入する流れを準定常流、すなわち微小時間 $\Delta t$ の間は定常流として扱えると考えられる。平滑な平行板間の微小間隙を流れる層流として亀裂内の平均流速を算定し、空気の密度が等温変化または断熱変化であるとして、亀裂交点*i*における質量保存を考えると、連立方程式

$$[D_{ij}] \{p_j \frac{n+1}{n}\} = \{0\} \quad (1)$$

を得る。ここに、 $p_j$ は亀裂交点*j*での気圧であり、

$$D_{ij} = -\alpha \frac{b_{ij}^3}{s_{ij}} : (i \neq j), \quad D_{ii} = -\sum_{j=1}^N D_{ij}, \quad \alpha = \frac{n}{n+1} \frac{1}{12\mu C \frac{1}{n}}$$

である。また、*j*は亀裂交点*i*に隣接する交点、*N*は交点*i*に直接つながる交点の数、 $b_{ij}$ は交点*i*と*j*をつなぐ亀裂の幅、 $s_{ij}$ は交点*i*と*j*の距離、 $\mu$ は空気の粘性係数、*n*は1.0(等温変化)または1.4(断熱変化)、*C*は定数である。式(1)を所与の境界条件のもとで解けば、亀裂交点の気圧が求まり、亀裂を通る流量が算定できる。

3. 解析結果 測定箇所の気圧上昇速度から緩みの有無をどの程度の信頼度で判定できるかを調べるため、図-1に示す2つの亀裂系モデルの幾何形状はそのまま、亀裂幅の分布が異なる(統計的性質は同じ..)モデルをそれぞれ100個作った。そしてモデル毎に、岩盤に緩みがある場合と無い場合について、気圧上昇の経時変化を算定した。このとき、測定箇所に亀裂が1つの場合(図-1の●印の交点)と2つの場合(●と○印の交点)をとりあげた。岩盤の緩みは次の4通りに設定した。①掘削面から3m

を越えない領域内の亀裂幅を元の2倍とする。② 掘削面から3mを越えない領域内の亀裂幅を元の3倍とし、それ以外は元の2倍とする。③ 全ての亀裂幅を元の3倍にする。④ 掘削面から3mを越えない領域内の亀裂幅を元の10倍とする。なお、掘削面の気圧は1気圧、測定箇所の初期気圧は0.3気圧とした。

緩みの有無による気圧上昇の違いを見るため、上昇開始後2分間の上昇高の頻度分布を調べた。結果の1部を図-2に示す。また、同じ目的で、気圧が0.8気圧にまで上昇するに要する時間の頻度を調べた。その結果の1部を図-3に示す。

緩みの有無を気圧上昇速度の測定値から判定する場合、その危険率は以下のとおりである。測定箇所に亀裂交点があるとき、2分間の気圧上昇高あるいは0.8気圧到達時間によって判定すると、危険率は、緩みが①のときおよそ0.4、②のとき

表-1 危険率

緩みの状態	①	②	③	④
危険率	約0.3	約0.1	0.1未満	0.2~0.3

0.1~0.2である。測定箇所に亀裂交点があるとき、0.8気圧到達時間によって判定すると、危険率は表-1のとおりである。

4. まとめ (1) 緩み有無の判定の危険率は、緩みの大きさや範囲が増すと下がる。この解析例では、測定箇所が緩み領域内にあり、緩みで亀裂幅が元の3倍になれば危険率0.1程度で判定できる。(2) 緩み域外にある測点では、緩みの影響は少ない。(3) 測定区間に複数の亀裂が含まれるように区間長を設定することで、危険率を下げるができる。

[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

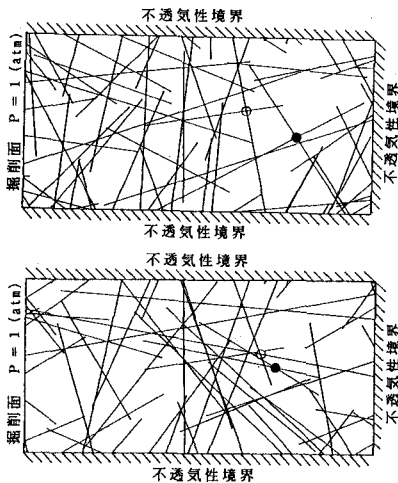


図-1 亀裂系モデル

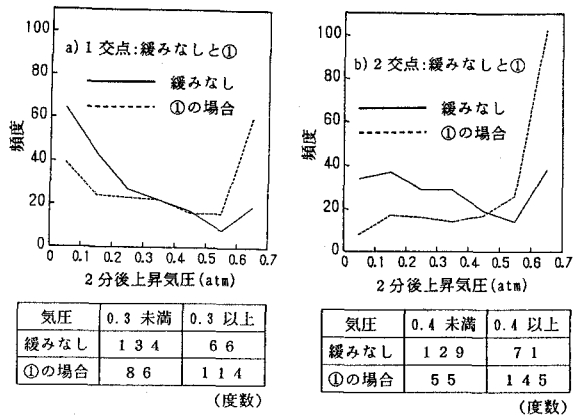


図-2 2分後上昇気圧の頻度分布

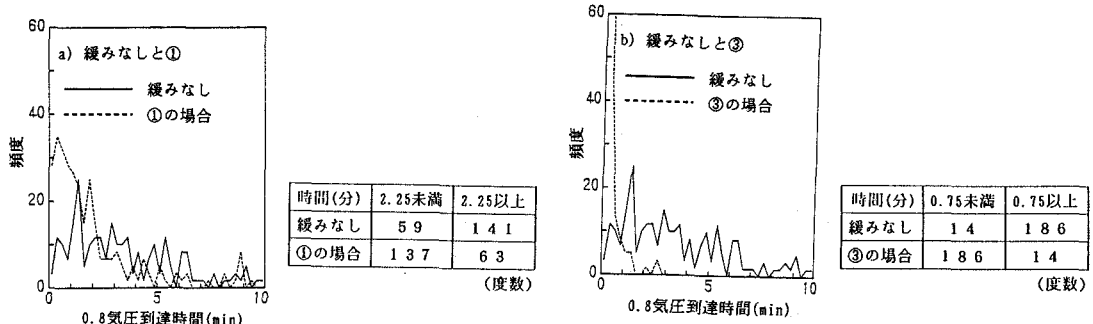


図-3 0.8気圧到達時間(min)