

割れ目を含む堆積岩における透水試験の測定精度に関する数値解析による検討

(財)電力中央研究所 正会員 田中靖治
(株)竹中工務店 正会員 重野喜政

1. はじめに

岩盤の透水性を調査する場合、従来ルジオンテストが一般的に行われている。ルジオンテストの結果から透水係数を算出する際、定常状態を仮定した式を用いるが、実際の試験は厳密には定常状態になる前に打ち切られている。そこで、本研究では、割れ目を含む堆積岩において、ルジオンテストの結果から透水係数を算出する場合の精度について、数値解析により検討を行う。

2. 解析方法

解析モデルの大きさは、一辺の長さが 100m の立方体である。その立方体領域に、図-1 に示すように半径 5m 以上の割れ目を 374 枚確率的に発生させた。割れ目の半径は、べき乗数 4.0 のべき分布に従うものとした。割れ目の方向については、特定の方向への集中はなく、ランダムとした。また、模擬透水試験の試験孔とするため、モデル中央に一本、そこから 20m 離れた場所に 4 本の計 5 本の鉛直ボーリング孔を配置した。ボーリング孔と交差する割れ目の数は 21 枚である。

解析には電中研の開発した有限要素法に基づく地下水流動解析コード FEGM¹⁾を使用した。解析モデルでは、割れ目は 73,614 個の面要素、マトリクス部は 1,847,415 個の四面体要素で表現した。

割れ目の透水量係数と貯留係数は、すべての割れ目についてそれぞれ一律 $1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 1×10^{-9} とした。また、マトリクス部の透水係数は $1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ で一様とし、比貯留率に関しては $1 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ と $1 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ の 2 通りの場合について計算を行った。境界条件として、上下面は不透水境界とし、他の境界面はすべて全水頭ゼロに固定した。

3. 解析結果

まず、ボーリング孔と割れ目との交差箇所について、試験区間長を 1m とし、注水圧力を 1 kgf/cm^2 から 10 分毎に 1 kgf/cm^2 ずつ最大 5 kgf/cm^2 まで上げ、その後逆に 1 kgf/cm^2 まで段階的に下げた場合の注水量の変化を計算した。ここで、各段階の継続時間を 10 分としたのは、実際の透水試験において、この程度の継続時間としている例が数多く見受けられるためである。

マトリクス部の比貯留率を $1 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ としたケースについて、各圧力段階における後半 5 分間の注水流量の平均値と、注水圧との関係（いわゆる P-Q カーブ）の一例を図-2 に示す。図には参考のために、定常状態での注水圧と注水量の関係も示した。昇圧段階の注水圧 1 kgf/cm^2 と 5 kgf/cm^2 の 2 点間の勾配から求めた透水係数は、定常状態での注水圧と流量の関係から得られる透水係数の 3.09 倍となった。「ルジオンテスト技

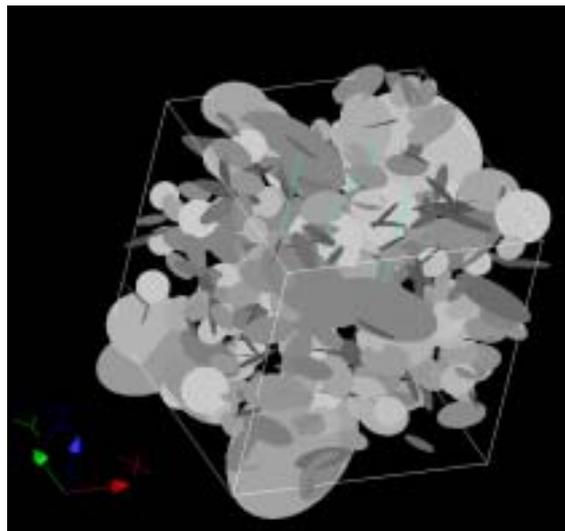


図-1 発生させた割れ目群

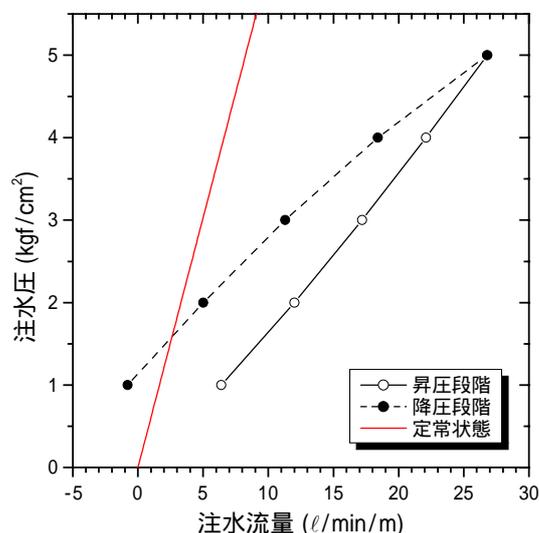


図-2 模擬透水試験による P-Q カーブの例
(試験区間に割れ目を含む)

キーワード：ルジオンテスト、透水係数、堆積岩、割れ目、数値解析

連絡先：〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL:04-7182-1181 FAX:04-7182-2243

術指針・同解説」²⁾によれば、「注入量の測定時間は原則として5分間とするが、その間1分毎に注入量を測定し、変動が小さい（通常10%未満）ことを確認する必要がある。」とあるが、図-2に示したケースでは、降圧段階の1kgf/cm²の場合を除けば、各圧力段階での後半5分間の流量の変動は1.0～6.9%で、条件を満足している。なお、降圧段階の1kgf/cm²で注水量が負の値になっているのは、それ以前に注入された水が注水区間に一時的に逆流している状態が、10分間では解消されないためである。割れ目を含む全21区間についてみると、昇圧段階のP～Qカーブから得られる透水係数は、定常状態から得られる透水係数に対して、マトリクス の比貯留率が $1 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ の場合には1.15～3.09倍（平均2.11倍）、 $1 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ の場合には1.03～1.68倍（平均1.34倍）となる。

比較のため、割れ目を含まない区間についても同様な計算を実施した。その結果得られたP～Qカーブを図-3に示す。P～Qカーブの勾配は定常状態と大差なく、昇圧段階から求めた透水係数は、定常状態での透水係数とほぼ一致し1.07倍であった。

次に、割れ目を含む区間について、各圧力段階の継続時間を20分、60分とした模擬透水試験を実施した。マトリクス の比貯留率を $1 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ とした場合のP～Qカーブ（昇圧段階）の一例を図-4に示す。各圧力段階の継続時間を増やすにつれて、P～Qカーブの勾配は定常状態の勾配に近づく。ただし、同図のP～Qカーブから得られる透水係数は、定常状態での透水係数に対して、継続時間が10分の場合に3.1倍、20分の場合に2.6倍であり、継続時間を60分にしても1.9倍にまでしか下がらない。

最後に、マトリクス の比貯留率を $1 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ とし、一定圧力で注水を続けた場合の注水量の変化を計算した。各時刻での注水流量を定常状態の注水量で正規化したグラフを図-5に示す。割れ目を含まない区間では、10分後には注水量は既に定常状態の1.2倍以下になっているのに対し、割れ目を含む区間では1時間後でも定常状態の2.6倍となっている。これが、図-2～4のP～Qカーブの違いとなって現れている。

今後、様々な条件で数値解析を行い、透水試験法の精度についてさらに検討を進めていきたい。

参考文献

1) 河西基、田中靖治、五十嵐敏文：高レベル廃棄物処分の天然バリア性能評価手法の開発（その1）割れ目系岩盤中の地下水流動解析手法、電中研究報告U93054、1994。

2) (財)国土開発技術研究センター：ルジオンテスト技術指針・同解説、1984。

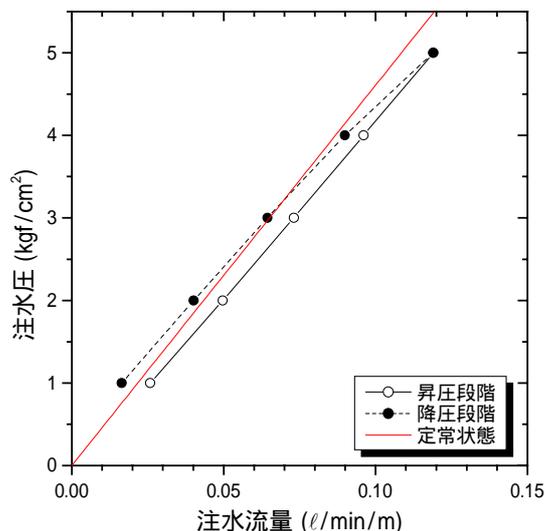


図-3 模擬透水試験によるP～Qカーブの例（試験区間に割れ目を含まない）

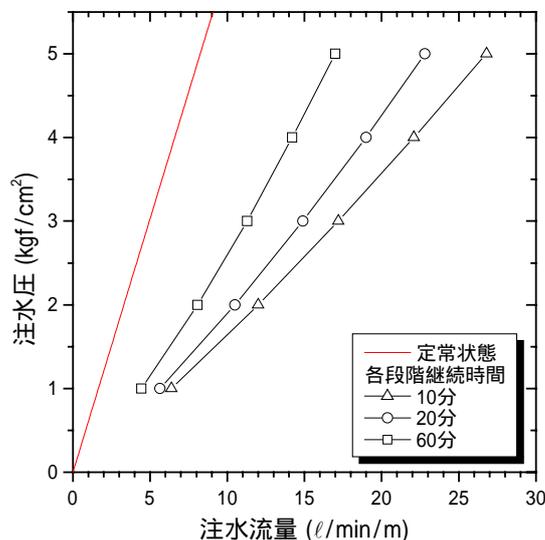


図-4 各圧力段階の継続時間とP～Qカーブの関係の一例（試験区間に割れ目を含む）

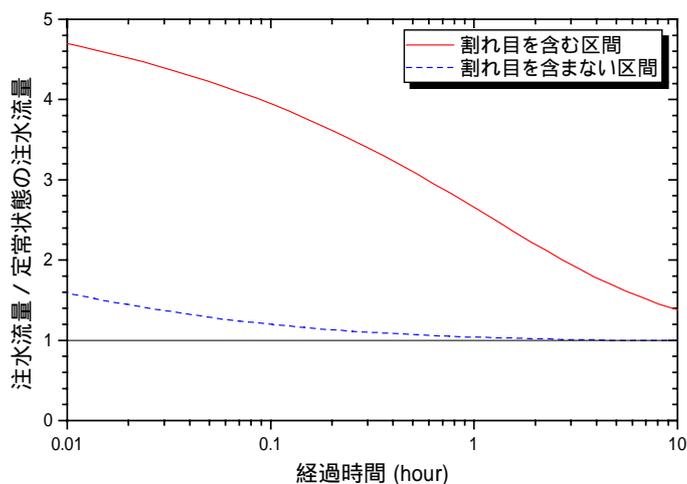


図-5 一定圧力で注水し続けた場合の流量と定常状態の注水流量との比の時系列変化