

割目系岩盤を対象とした原位置水理試験の解析的シミュレーション

鹿島建設 正会員 ○岩野 圭太 戸井田 克
川端 淳一 渥美 博行

1. 背景

放射性廃棄物の地層処分やエネルギー地下備蓄等を通じて、より詳細かつ定量的に岩盤の透水性を把握する必要性が生じ、広範囲な透水特性を持つ岩盤を対象とした原位置水理試験が開発されてきている（例えばシーケンシャル試験¹⁾）。一方で、その評価方法としては、非定常水理挙動から流れの次元の評価等（例えばBarkerら²⁾）も研究されているが、多くの場合、地盤を対象に行われる水理試験に倣い、対象とする岩盤を均質等方な多孔質媒体と仮定し、試験孔を中心とした2次元放射状流を仮定して透水係数等を求めている。

割目系岩盤では割目の幾何学特性と水理特性が岩盤全体の水理挙動を支配すると考えられ、割目が寄与する水理特性をいかに評価するかが重要な鍵となる。割目の幾何学性に関しては、近年、試験孔や坑道壁面の観察データから割目の3次元的な幾何学性の統計的特性値を推定する研究も進められている³⁾。このような現状を踏まえ、チャンネルネットワークモデルを用いて具体的に割目を発生させた割目系岩盤をモデル化し、原位置水理試験のシミュレーションを通じて割目の透水特性の評価手法についての一考察を行う。

2. 評価方法

原位置水理試験のシミュレーションは、チャンネルネットワークモデル DonChan を用いて行う。想定する水理試験は、注水による岩盤の透水試験方法(JGS1322-2003)に準拠した試験とし、試験区間の有効圧力水頭(Δs)と区間流量(ΔQ)の関係から求められる傾き $a(=Δs/ΔQ)$ から以下の式にて透水係数を求めるものである。

$$K = \frac{1}{2\pi La} \ln\left(\frac{2L}{D}\right) \tag{1}$$

シミュレーションで用いた割目ネットワークは表1に示すような統計量を持った確率論的割目と試験区間を貫通する決定論的割目で構成されるものとする。また、確率論的割目は試験区間を貫通しないものとし、原位置において割目を含まない区間の水理試験などを通じて基質部の透水係数は推定済みとした。

解析パラメータとして、原位置の事前調査では、決定が難しい決定論割目の半径を R=5, 10, 15m とし、それぞれの割目半径に対して確率論割目を設定して 20 リアライゼーション実施した。また、本検討では、図2に示す逆解析的な方法によって、原位置試験で得られた試験結果を満足する割目の透水性（透水量係数）を求めた。

3. 数値解析シミュレーション

全ての解析ケースから求められた原位置試験結果を満足する割目の透水量係数の分布を図3に示した。決定論割目の半径が小さい場合（R=5m），推定される割目の透水量係数は2段階の分布となることがわかる。この2段階分布は、試験区間を貫く決定論割目が周辺の確率論割目と密なネットワークを組んでいる場合（透水量係数の値が低い部分）と決定論割目と周辺の確率論割目のネットワークが疎で孤立している場合（透水量係数

キーワード 割目系岩盤，透水量係数，決定論割目，確率論割目

表1 水理試験シミュレーションの設定条件

試験条件	領域サイズ	X=100、Y=100、Z=50	[m]
	ボーリング位置(試験区間)	X=50、Y=50、Z=22-32	[m]
	試験区間	10	[m]
	孔径	0.08	[m]
基質部	区間水頭値	1	[m]
	基質部透水係数	1.00E-08	[m/s]
	割目の密度	P32=0.125	
	割目の方向	Fisher分布 (φ=0°、θ=0°、κ=5.0)	
確率論 割目	半径分布	べき分布(べき乗数3.5)	
	割目最小半径	3	[m]
	割目の枚数	1	[枚]
	割目の中心座標	(x、y、z)=(50、50、27)	
決定論 割目	割目の方向	(走向、傾斜)=(0°、45°)	
	割目の半径	5、10、15	[m]
	目標値	原位置試験で求められた 区間透水係数	7.00E-08 [m/s]

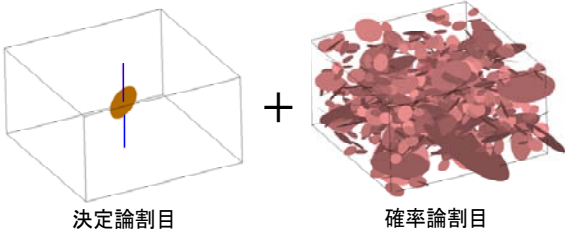


図1 決定論割目と確率論割目

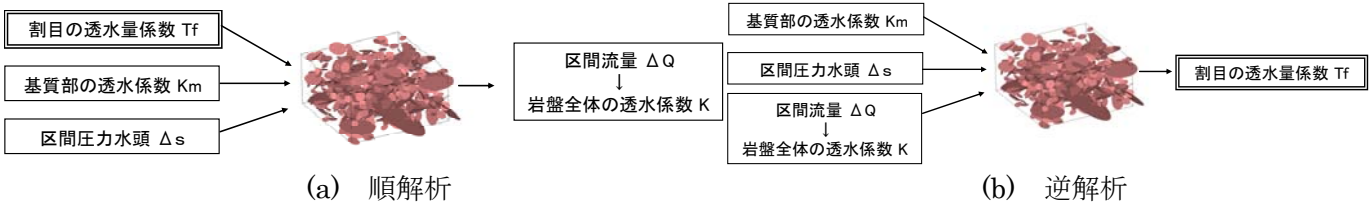


図 2 順解析と逆解析の考え方

の値が高い部分)で大別されると推測される。図 4 に試験区間を貫通する決定論割目に交差する周辺の確率論割目の枚数と、シミュレーションで推定された割目の透水量係数の関係を示す。決定論割目の半径が $R=5\text{m}$ の場合は、周辺の確率論割目とネットワークを構成する交差枚数は最大でも 2 枚程度であり、交差していてもネットワーク性が低く透水量係数として大きい値が算定される場合がある。一方、決定論割目の半径が大きくなるにつれ、ネットワークが密になり、推定される割目の透水量係数は小さくなる。交差枚数が 6 枚以上になってくると十分に密なネットワーク構造となり、割目の透水量係数の変化は小さくなるのがわかる。

4. 原位置試験からの解釈

追加ケースとして、決定論割目の半径 $R=10\text{m}$ の場合で、原位置試験で求められる区間透水係数の値を下げ、 $4.0\text{E}-8(\text{m/s})$ とした場合を実施し、図 5 に示した。同図には区間透水係数が $7.0\text{E}-8(\text{m/s})$ の場合も併記している。例えば割目の透水量係数が $1.0\text{E}-6 \sim 2.0\text{E}-6(\text{m}^2/\text{s})$ で見られるように、同じ割目透水量係数を持つ場合でも、密なネットワークで試験区間の透水係数が高くなる ($7.0\text{E}-8(\text{m/s})$) 場合と粗なネットワークで試験区間の透水係数が相対的に低くなる ($4.0\text{E}-8(\text{m/s})$) 場合があり、試験区間周辺の割目ネットワークの粗密が原位置水理試験の結果に大きく影響することが分かった。試験区間を貫く割目の周囲の割目とのネットワーク性については容易に評価は難しいが、例えば孔間透水試験は連結性に関する重要な情報を得られる可能性があり、また Enachescu ら⁴⁾が提案している TNP 解析は非定常水理試験結果をもとに、次元の評価や孔近傍から周辺に向けた水理地質構造推定の可能性がある。

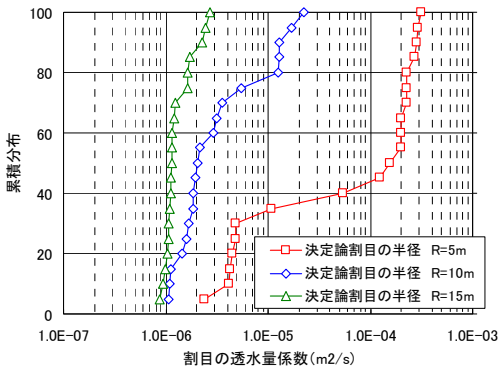


図 3 割目透水量係数の分布

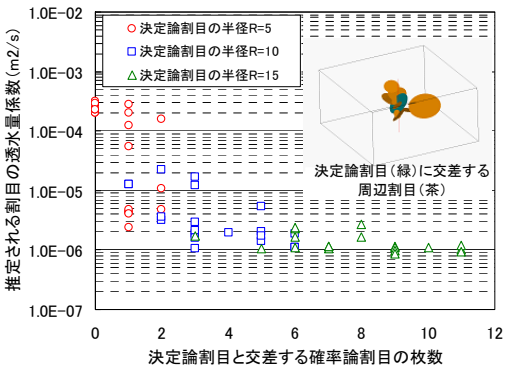


図 4 決定論割目の連結性と透水量係数

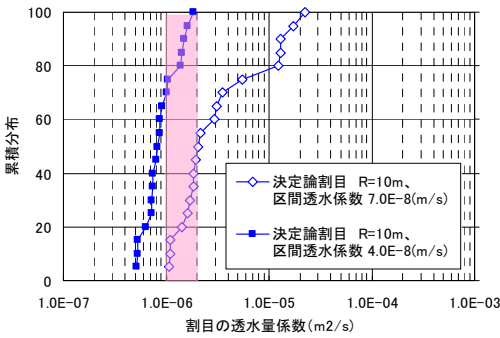


図 5 区間透水係数が低い場合の割目透水量分布

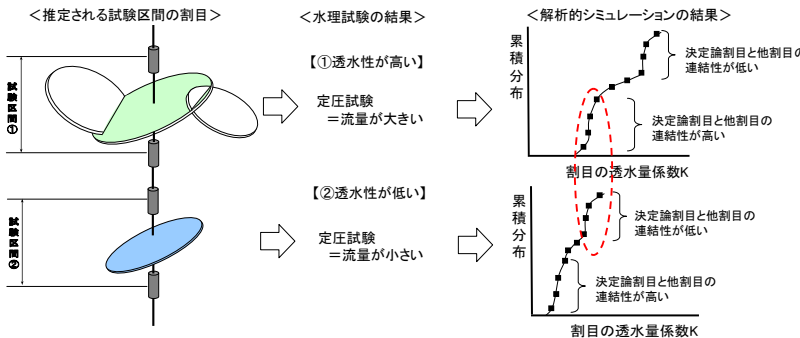


図 6 ネットワーク密度の違いと割目透水量の関係

参考文献 1) 竹内ほか (2007), 深層岩盤を対象としたシーケンシャル水理試験手法の開発と適用, 地下水学会誌, 第 49 巻第 1 号, pp17-32, 2) J. A. Barker(1998), A Generalized Radial Flow Model for Hydraulic Tests in Fractured Rock, Water Resources Research, Vol. 24, No. 10, pp1796-1804, 3) 鈴木ら (2009), 確率統計理論による亀裂特性データの相互関係の整理と数値解析モデルによる妥当性検証, 土木学会論文集 C, Vol165, No. 1, pp195-195, 4) Enachescu. et. al, (2004), A new visual synthesis tool for transient test data, U.S. EPA/NGWA Fractured Rock Conference, pp173-184