

III-A 315

釜石原位置試験場における透水試験
（その2）不連続体岩盤浸透流モデルの適用性の検討

岩手大学 正 小林 晃
 動燃事業団 正 千々松正和
 宮城県 赤池光弘

1. はじめに

亀裂性岩盤内の浸透流の問題は、ダム基礎の漏水や揚圧力、トンネル地山の湧水やそれによる有効応力の変化の問題として水利施設の設計・施工・維持・管理上、非常に重要な検討課題である。既往の検討では岩盤を連続体として評価することが多いが、近年のエネルギー関連施設などに関するこの分野の急速な進歩により、岩盤の亀裂をより現実的に評価する手法が種々開発検討されている。実際、亀裂性岩盤内の浸透流の挙動には連続体では説明できないことが多々あり、より実際に即した予測精度の高いモデルによる評価が必要であろう。このような観点から、筆者らは、次元を考慮した単孔式透水試験の評価手法を用いて原位置透水試験結果を評価し、実際の岩盤中の流れの様相を推定することを試みてきた¹⁾。この評価手法は、流れの様相（次元）自体を同定する作業を行うので、各透水試験の流れのイメージを持つことができる。そして、透水係数と次元の分布等から、流れの状況を知る様々な情報を抽出し、そのような現象を再現できるモデルの検討も行ってきた²⁾。本論ではさらに、ランダムな亀裂配置を持つ不連続体モデルが実際岩盤で観測された様々な傾向を再現できるかどうかを検討した。

2. 原位置試験から得られた知見

本研究で検討した原位置試験は釜石鉱山の花崗岩中で行われた単孔および孔間透水試験である。まず、これらの原位置試験結果を次元を考慮した解析手法で評価した透水係数と次元を用いて、相関長、透水係数テンソルの同定など種々の検討を行った結果、得られた知見をまとめると以下のようになる。

- (1) 透水係数の分布は、大概、対数正規分布に従っており、次元の分布は正規分布に従う。
- (2) 透水係数の相関長は1.7mと短く、次元の相関長は0.4mとさらに短い。
- (3) 同一注入点でも観測点が異なると、次元、透水係数とも異なる。
- (4) 注入点よりも観測点での透水係数の方が大きい。一方、次元は、注入・観測点で定まった傾向がない。
- (5) 相関長より大きな規模では、透水係数テンソルは正定値にはならない。

以上より、この地点における流れの状況の特徴として以下の様なことが推測される。

- (a) ここでの透水係数の最小代表規模（REV）は、相関長から推測して2m立方程度の体積であろう。
- (b) したがって、それ以上、大きな領域では場の不均一性の影響を受ける。
- (c) 水みちは、不均一に存在するが、個々の経路のつながり方は、場所により非常に異なる。

この検討結果からモデルが具備すべき条件として、透水係数および次元の分布がかなり不均一であることが挙げられる。本論では、この二つの特性の不均一性に焦点を絞って、不連続体モデルの可能性を検討した。

3. 不連続体モデル

3.1 解析モデルの概要

今回の解析モデルの種類は表-1に示すように平面ネットワークと線要素ネットワークについて行った。今回検討した不連続体モデルはランダム亀裂ネットワークの一つであるBecherモデルをもちいた。亀裂形状は円形で、円の中心座標はポアソン分布に従い、円の直径、亀裂の方向、亀裂幅は正規分布、そして亀裂長さを対数正規分布と仮定して乱数を用いて亀裂を発生させた。平面亀裂ネットワークは、亀裂面上の交差線を結んだ三角形要素を要素とし、線要素ネットワークは三角形要素を構成している辺を線要素とし、それぞれ均一透水係数(phomo,lhomo)と不均一透水係数(phetro,lhetro)の浸透解析をおこなった。不均一モデルは各要素の透水係数を対数正規分布でばらつかせている。注入は定量注入とし、40x40x40mの解析領域の真ん中からいちばん近い節点に、 $1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ で注入し、全境界面で全水頭がゼロという境界条件を用いている。以上の条件より、非定常浸透流解析を行い、注入点での圧力～時間関係を求め、次元解析を解析を行い、透水係数と次元の評価を行った。

3.2 解析結果と考察

表-2に平面ネットワークと線要素ネットワークの解析結果を示す。この結果から次のことが言える。

- (1) phomoシリーズは、各要素の透水係数は同じであるが、亀裂の配置が異なる。これによると、亀裂の連結具合（亀裂の配置）が異なると、透水係数が大きく異なることがわかる。ここでは、エルゴード仮定を用いているので、この構造の相違は、水みち構造の不均一性を表しており、この結果により透水係数のばらつきは、水みちの連結具合に大きく影響を受けることが分かる。
- (2) phetroシリーズはphomoの一つの亀裂配置に対して、乱数の初期値が異なる3つの透水係数分布を解析している。これによると、構造が同じであると、透水係数の分布が異なってもあまり透水係数のばらつきは大きくないことが分かる。一方、次元のばらつきには、透水係数の不均一性が大きく影響を及ぼし、同じ構造でも次元がばらつくことがわかる。
- (3) 線要素の場合（lhomoシリーズ）は面要素の場合ほどには、水みち構造（亀裂の配置が異なること）が透水係数に及ぼす影響は大きくない。一方、次元は、構造が異なると（線要素の配置が異なると）大きく異なる場合が生じている。
- (4) 透水係数の不均一性が、線要素モデルに与える影響は透水係数、次元ともあまり大きくない。

以上のことから、面および線要素ネットワークモデルに関して次のようなモデルとしての特性が指摘できる。

- (a) 面要素ネットワークを用いる場合には、透水係数の不均一性をランダム過程としてとらえるためには、構造のパターンを多く再現する必要がある、次元の不均一性を再現するためには、透水係数の分布のパターンを多く評価する必要がある。
- (b) 線要素ネットワークを用いる場合には、透水係数の分布は均一でも、構造のパターンを多く評価することにより、透水係数と次元の不均一性を再現することができる。

ここでの検討は、モデルで実際現象を再現する場合にその特徴を明かにすることであった。

不連続体モデルでも、全ての水みちをモデル化できるものではなく、現状では水みちの幾何および水理学的条件に関しても十分な情報があるわけではないので、それは一つの概念の枠を越えない。そのことを理解したうえで、モデルの特長を把握し、現象の解析に望むことが重要であろうと考えている。

表-1 不連続体モデル

ネットワークの種類	均一・不均一
平面ネットワーク	均一透水係数 (phomo)
	不均一透水係数(phetro)
線要素ネットワーク	均一透水係数(lhomo)
	不均一透水係数(lhetro)

表-2 平面および線要素ネットワーク解析結果

Case	Kf(m/s)	Sf(1/m)	次元	Case	Kf(m/s)	Sf(1/m)	次元
phomo1	4.08E-07	3.98E-08	2.2	lhomo1	7.11E-07	7.95E-06	1.2
phomo2	3.62E-06	2.51E-04	1.9	lhomo2	1.24E-06	5.57E-06	2.1
phomo3	1.51E-05	1.51E-05	1.9	lhomo3	1.20E-06	1.32E-08	2.1
phetro11	4.06E-06	5.44E-05	2.2	lhetro11	1.40E-06	1.57E-05	1.2
phetro12	6.38E-06	4.42E-04	2.3	lhetro12	4.87E-05	2.00E-08	1.3
phetro13	5.25E-06	3.81E-06	1.9	lhetro13	3.97E-06	2.40E-06	1.2
phetro21	6.74E-06	5.23E-05	1.3	lhetro21	1.46E-06	3.99E-08	2.1
phetro22	1.22E-05	2.65E-05	1.1	lhetro22	1.38E-06	1.00E-06	2.2
phetro23	9.97E-06	9.74E-07	1.6	lhetro23	2.24E-06	5.20E-05	2.4
phetro31	1.67E-05	3.37E-06	1.9	lhetro31	1.26E-06	1.32E-06	2.2
phetro32	9.77E-06	1.09E-04	1.9	lhetro32	3.36E-06	4.21E-06	1.8
phetro33	1.06E-05	8.23E-05	1.8	lhetro33	1.30E-06	3.01E-05	2.3

参考文献 1) 小林晃, 柳沢孝一, 原位置透水試験の解析法の課題, 第40会地盤工学シンポジウム, 215-222, 1995
 2) 小林晃, 岩盤浸透流モデルの基本的特性に関する研究, 不連続性岩盤と構造物に関する研究報告書, 449-452, 1995