

III-77 サイナソイダル試験による岩盤の透水特性評価（室内試験結果）

－ 流れの次元に基づく水みち分布特性の定量化の試み －

鹿島技術研究所 (正) 渥美 博行 (正) 日比谷 啓介
(正) 小淵 考晃 (正) 宮嶋 保幸

1. はじめに

電磁探査、表面波探査等の物理探査においては、時間変動する信号の周波数をもとに深度別の物性を評価することが行われている。

複数の孔井を試験孔として孔井間の透水特性を高精度に評価する孔間透水試験の一つ、サイナソイダル試験では、発信区間の圧力信号を正弦波状に変動させ、さらに周波数を変化させることで各々に対応する情報が得られるものと考えられる。

ここでは、流れの次元に基づいて岩盤内の水みち分布特性の定量化を試みた室内試験の結果を紹介する。

2. 岩盤内の水の流れ－水みち分布特性と流れの次元－

岩盤内の地下水は、均質な多孔質体中の一樣流れ場として近似しやすい土質地盤と異なり、主として節理、破碎帯等の不連続面の中をパイプ状に、あるいは平面状に流れ（流れの構成要素）、これらが交錯することで水みちはネットワークを形成する。こうした水みちの分布特性を定量化する指標として、われわれは流れの次元を適用している¹⁾。

ある点から距離 R まで流域が広がったときに、流域の体積 V が R の n 乗に比例するとき、流れの次元は n となる。 n が R の関数で表わされることが、不連続面を介した岩盤内の水の流れの特徴といえる。したがって、地山の3次元的な広がりに対して水みちが3次元的に分布していない場合、3次元等価多孔質体を仮定して求めた透水特性で、実際の水の流れをモデル化することはできない。例として、1次元流れのパイプを図-1中に示すように X 軸方向に無限に連続する3次元立体格子状に組み合わせ、岩盤中の水みちをモデル化する。このときの $R-V$ の関係を解析し、結果を図-1の両対数グラフ上に示す。先の定義によれば、グラフの傾きは流れの次元 n を示す。 R が小さい範囲では構成要素であるパイプの流れの次元である1を示し、 R が増大、すなわち流域が拡大するにつれ流路は複数のパイプ中で分岐を重ね、流れの次元は1から3へと増大する。流域がさらに拡大すると、流れは巨視的に X 方向の1次元流れへと非整数値をとりながら漸移することがわかる。

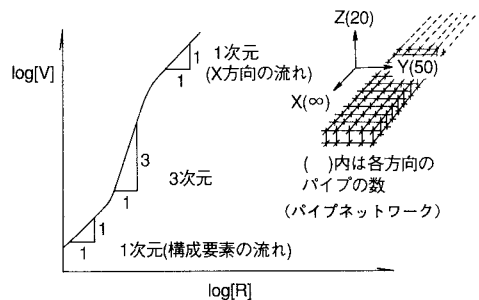


図-1 流域の拡大による流れの次元の変化

3. 室内試験結果

(1) 試験方法

圧力容器内で所定間隙水圧下で定常状態にある供試体中の発信区間に注水・揚水の組み合わせで正弦波状の圧力信号を与え、受信区間で応答を計測する（詳細は参考文献²⁾参照）。

試験条件は間隙水圧 5 kg/cm^2 、発信振幅 3 kg/cm^2 、周波数 $10^{-2} \sim 3 \times 10^{-1} \text{ rad/s}$ とした。

(2) 供試体

供試体としては、前回の試験において3次元的な流れが実現し多孔質体としての近似が可能であることを確認した²⁾ 白河凝灰岩を用いた。今回は、流れの場を制約するために、正方形断面×長さ30cmの直方体試料の対となる4面を樹脂コーティングして発・受信区間を設けた。試験は異なる形状あるいは発・受信間距離を有する3つの供試体を対象として行った（図-2参照）。なお、図-2には、A、B、Cそれぞれの供試体で、発信区間を中心とする試験の影響範囲に応じて実現する流れの次元を、2. で例示した方法によって推定した結果を模式的に示す。

(3) 試験結果および評価

供試体A、B、Cを対象として正弦波状発信圧力の周波数をさまざまに変化させた時の、受信信号の振幅の減衰を図-3に示す。発信周波数と受信信号の振幅減衰の関係は流れの次元に特有のものとなり、試験の影響範囲が発信周波数の平方根の逆数に比例するといわれる³⁾ことから、同図は、発信区

供試体	L (cm)	r (cm)	想定される流れの次元 小 ← R → 大
A	5	10	1
B	10	4	3 2 1
C	15	5	3 2

R：影響範囲

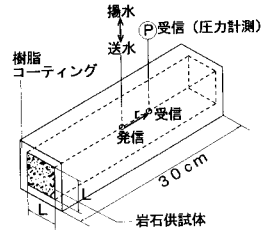


図-2 供試体形状並びに 想定される流れの次元

間からの試験の影響範囲と流れの次元との関係を表わすものである。たとえば、1次元の流れが見込まれる供試体Aの結果について、ダルシー則を仮定して物性に係わる定数を変化させたときに得られる理論曲線を重ね書きすると、1次元に対する理論曲線の一つは試験結果と整合的であるが、2次元、3次元の流れでは物性を変えても試験結果を統一的に説明することはできない。

図-3の供試体B、Cの結果については、発信周波数ごとに試験結果と整合する整数次元（ $n=1, 2, 3$ ）の理論曲線を実線で示したが、3(2)で予測したとおり、周波数帯（試験の影響範囲：R）ごとに流れの次元が変化していくことがわかる。

図-4は、比較のために供試体Aを対象として実施した定流量注水試験の結果であり、受信区間の圧力応答に1、2、3次元の流れの理論曲線によるマッチングを試みた。同一の供試体、制御系、計測系において、流れの次元に関してサイナソイダル試験の評価精度の高さがうかがえる。

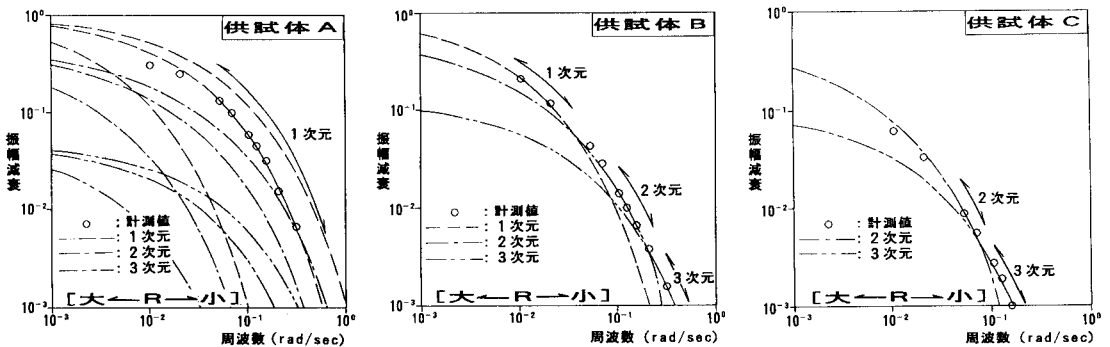


図-3 サイナソイダル試験結果 - 発信周波数と振幅減衰（受信振幅/発信振幅）の関係-

4. おわりに

多孔質体材料にコーティングを施したときの水みちの拡がり具合は、流れの場が亀裂であっても、影響範囲の拡大とともに水みちとなる亀裂がネットワークを形成し、流域の体積が増大することと等価である。

今回、孔間距離、発信周波数を変えることで、岩盤内の水みちのネットワーク特性、透水ゾーンの拡がりを把握し、また、評価対象を限定した試験を実施しうる見通しが得られ、岩盤の詳細な透水特性の評価にサイナソイダル試験が極めて重要な情報を与えることを確認した。

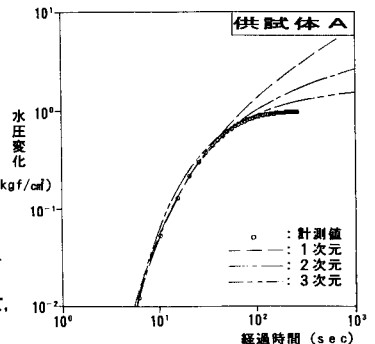


図-4 定流量注水試験結果

- （参考文献）1) 日比谷、遷美、小淵、青木：不連続性岩盤の透水特性評価におけるサイナソイダル試験の適用性について、第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、1994、pp. 413-418
 2) 日比谷、遷美、小淵：サイナソイダル試験の適用性検証を目的とした室内試験結果について、第48回土木学会年次学術講演会概要集、1993、pp. 1090-1091
 3) D. J. Noy, J. A. Barker, J. H. Black, D. C. Holmes: Crosshole investigations—Implementation and fractional dimension interpretation of sinusoidal tests, Technical Report of the Stripa Project, No. 88-01, SKB, Stockholm, 1988