

III-71 傾斜透水層に貫入したボアホールにおける注水試験のシミュレーション

京都大学工学部	正会員	大西有三
京都大学工学部	正会員	○田中 誠
神戸製鋼所	正会員	中田 潤

1. はじめに

我が国においては近年、ダム建設の需要は増大の一途を辿っている。しかし、ダム基礎として良好である岩盤の多くは既に開発されており、透水性の比較的大きい岩盤をダム基礎とせざるを得ないケースが増えてきている。このような状況のもとでは、原位置岩盤の透水性の評価手法であるルジオン試験(注水試験)の結果の適切な評価が重要となる。そこで本研究では、透水層と難透水層を有するモデル地盤に対する注水試験を、飽和-不飽和浸透流有限要素解析手法を用いてシミュレートすることによって、このような地盤において生じると考えられる問題点を指摘しようとした。

2. 注水試験の解析モデル

半径3.3cmの鉛直のボアホールを難透水層に挟まれた層厚(層の法線方向の幅)2mの傾斜した透水層が横切っている。透水層および難透水層の透水係数はそれぞれ $1.33 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ および $1.00 \times 10^{-9} \text{ cm/sec}$ である。地表面下10mから15mの範囲に長さ5mの注水区間(ステージ)を設け、一定注水圧力 10 kgf/cm^2 のもとで注水する。ボアホール軸からある距離だけ離れたら注水の影響がおよばないという、いわゆる影響圏(影響半径)を設定した。影響半径は、ルジオン試験の指針¹⁾にある5mと、10mを考えた。また、地表面から25mないし35mを考察の対象とした。影響半径と深さの組み合わせにより、Fig.1に示すようにS, D, Fの3つのモデルを設定した。

透水層の水平に対する傾斜角は、S, Dモデルでは $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ および 60° の5種類、Fモデルでは $0^\circ, 15^\circ$ および 30° の3種類とした。初期の地下水位は、地表面(ステージ上10m)、地表面下12.5m(ステージ中央)および地表面下25m(ステージ下10m)にある場合の3つの場合を想定した。これらのモデルに対し、有限要素解析を行った。解析は3次元非軸対称解析とし、不飽和浸透流の取り扱いには赤井らによる飽和-不飽和浸透流の理論とその有限要素定式化²⁾に従った。不飽和浸透特性は透水層および難透水層において同じであるとし、Fig.2のように設定した³⁾。

影響半径における境界条件は、初期地下水面より下、上ともに水頭を初期水頭に固定した。このことは、物理的には不飽和領域においても負圧により生じる動水勾配によって水が吸引されることを意味するが、この設定が妥当であるかは今後の検討課題であるとして解析を行った。

3. 解析結果および考察

S, D, Fの各モデルについて、3種類の初期水位ごとの透水層傾斜角と定常注水量との関係をFig.3~Fig.5に示す。

定常注水量 Fig.3~Fig.5より、初期水位が低いほど注水量は少なくなることがわかる。これは、不飽和領域においては透水係数が小さいことによると考えられる。また、いずれの初期水位とも傾斜角が大きくなれば注水量は大きくなる。これは、透水層のボアホール壁面に露出する部分の面積が大きくなり、ステージからの水が透水層に流入しやすくなるためであると考えられる。S, Dモデルとも、傾斜角が 60° の場合の注水量は 0° の場合の注水量の約1.6倍となった。ただ、Fモデルで初期水位が地表面下12.5mという条件では傾斜角が 15° の場合の注水量がやや小さい。

なお、対象領域がすべて水で飽和されていて透水層が水平であり、鉛直方向の水の流れが無視できるとした場合には、注水量を理論的に求めることができる。注水量の理論値は、S, Dモデルでは 1.9973 l/min 、Fモデルでは 1.7550 l/min である。解析では、いずれもこれよりやや大きい値が得られたが、これは水がステージから上下に広がるように流れた結果であると考えられる。

境界の影響 透水層中央断面における流速分布(図は省略)を検討した結果、透水層の傾斜角が大きくなるにつれ、流速方向が断面の短軸方向(透水層の最大傾斜方向に垂直な方向)に偏る傾向が見られる。その他、ボアホールにおける短軸方向への流速が長軸方向(透水層の最大傾斜方向)へのそれに比べて大きい。

このような状況が生じる要因は2つの側面から考えられる。一方は、現実の注水試験と解析に共通な要因であり、このような結果が現実の注水試験においても得られるという可能性である。もう一方は、注水試験のモデル化における仮定から生じる問題である。後者の一つとして、解析に際して長軸方向に比べて短軸方向に注水の影響のおよぶ距離を小さく設定していることが考えられる。すなわち、本研究では傾斜した透水層を有するモデルに対しても影響半径という概念を用いたが、透水層における境界のボアホールからの距離は、長軸方向の方が短軸方向よりも遠くなる。すなわち短軸方向と長軸方向では透水層中央断面内においては境界条件の設定位置が異なることになる。

解析結果に基づき、以下に述べるような状況が生じたと推定した。等ポテンシャル線は、ボアホール近傍では楕円であるが、ボアホールから離れるに従い円形に近づき、境界付近になると再び楕円形にひずむ。境界の影響はその近辺にしか働かないが、注水試験のような放射状の浸透流の解析に限って言えば、影響半径の設定に再検討が必要であると考えられる。

4. おわりに

透水層と難透水層を有する地盤における注水試験、およびそれに対する数値解析においては次の点に留意することが必要であると考えた。

1. 透水層が傾斜していると、同じ幅を持つ水平な透水層よりも注水量は多くなる。透水層の傾斜角度等の幾何情

報がない場合、傾斜した透水層を含む地盤の透水性を実際の透水性よりも過大に評価する可能性がある。

2. 飽和-不飽和浸透流解析によれば、試験前の地下水位の位置によって注水量は変動するが、試験領域が初期に地下水面上にあっても注水量は完全飽和の場合のおよそ0.8倍程度である。
3. 透水層内の浸透流は、特に透水層の傾斜角度が大きい場合、最大傾斜方向よりもそれに垂直な方向に卓越している。この結果に対して、影響半径と、透水層とボアホールの交差面形状について再検討する必要がある。

また今後の研究課題としては次のものが挙げられる。

1. 不飽和領域における注水試験を非定常問題としてとらえ、不飽和領域に水が浸透する様子を解析する。
2. 浸透流に対する重力の影響を示す。

参考文献 1)建設省河川局開発課監修：ルジオンテスト技術指針・同解説、（財）国土開発技術センター、1984. 2)赤井ら：土木学会論文報告集、**264**, 87-96, 1977. 3)大西・西垣：土と基礎、**29** (8), 37-45, 1981.

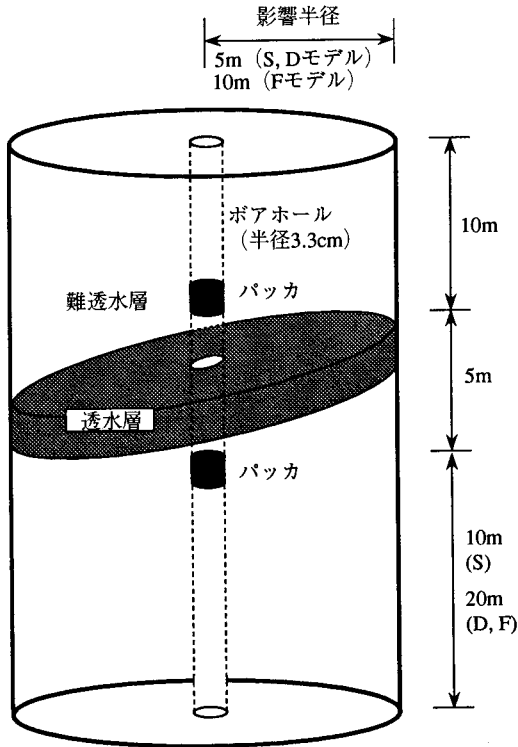


Fig.1 ルジオン試験の解析モデル

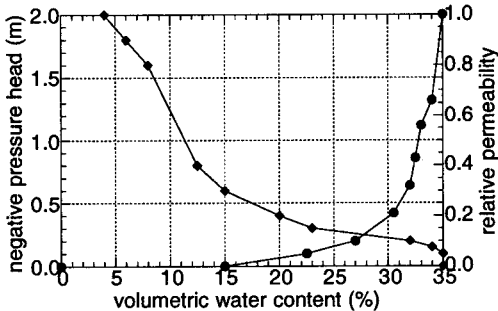


Fig.2 不飽和浸透特性

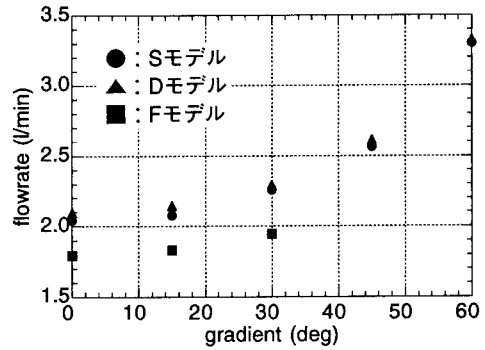


Fig.3 注水量（地下水位0m）

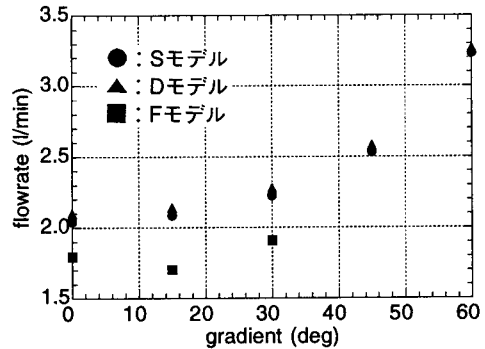


Fig.4 注水量（地下水位-12.5m）

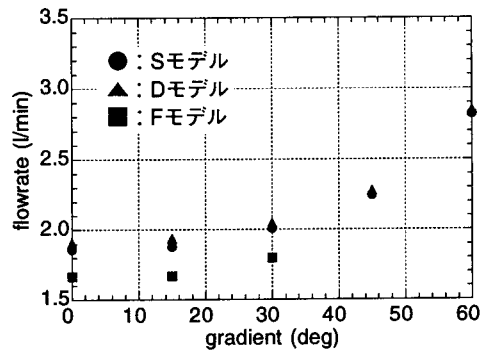


Fig.5 注水量（地下水位-25m）