

名古屋大学工学部 正 員 川本 勝万
名古屋大学大学院 学生員 ○門田 俊一

1. はじめに

最近、岩盤浸透流による、岩盤構造物破壊が問題となっており、岩盤浸透流の正確な性状を知る必要が生じた。従来、多孔質媒体を通じる浸透流については、土質力学等、数多く研究されてきた。しかし、岩盤浸透流のように、不連続面を含む媒体の浸透流については、最近になって、ようやく研究が開始されたばかりである。本報告は、岩盤浸透流解析の一般的方法、および、線要素を用いる解析方法とその応用について述べたものである。

2. 一般解析方法および浸透領域のモデル化

一般に、岩盤中の水頭値分布を知れば、浸透流の流速・流量・浸透水圧等はすべて知られる。岩盤浸透流の水頭値分布を求める基礎方程式は、次式で示される準調和関数である。

$$\frac{\partial}{\partial x}(k_x \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k_y \frac{\partial H}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(k_z \frac{\partial H}{\partial z}) + Q = 0 \quad \dots (1)$$

ここに、 k_x, k_y, k_z は、 x, y, z 方向の透水係数であり、 Q は、水の発生する割合、 H は水頭値である。境界条件は、固定条件と自由条件の二種類で与えられる。水頭値分布は、式(1)を浸透領域に適用し、任意の境界条件のもとに解くことにより知られる。

浸透領域のモデル化は、次のように行なわれる。一般に、岩盤中では、割れ目部分のみ通水性を有し、割れ目部分以外では不透水性であると仮定される。しかし、例としてダム基礎の浸透流を考え、図-1のように、解析領域と比較して、割れ目と割れ目の距離が無視できると、解析領域全体を浸透領域と考え、連続体解析がなされる。連続体解析は、土中の浸透流解析と同様になされるが、透水係数の評価が問題となる。また、図-2のように、割れ目と割れ目の距離が無視できないか、あるいは、断層など大きな開口値をもつ割れ目が存在するとき、割れ目部分のみを浸透領域と考え、不連続体解析がなされる。

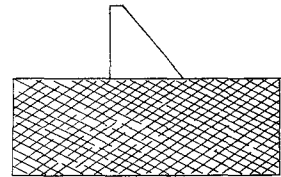


図-1 連続体モデル

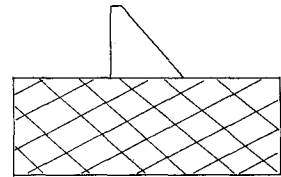


図-2 不連続体モデル

3. 不連続体に対する浸透流解析(線要素を用いた浸透流解析)

有限要素法を用いて、不連続体岩盤中の定常状態層流に対する数値解法が、Wilson⁽¹⁾らによって開発された。線要素とは、割れ目断面を線でモデル化した要素で、要素内では浸透流を一次元的に扱う。

線要素に対する有限要素法の適用は、次のようになされる。一次元浸透流の定常状態層流における水頭値分布を求める方程式は、次式となる。

$$\frac{d}{dl}(k \frac{dH}{dl}) + Q = 0 \quad \text{ただし } k = \frac{\gamma(z\alpha)^2}{12\nu} \quad \dots (2)$$

ここに、 γ は重力加速度、 ν は動粘性係数、 $z\alpha$ は線要素幅である。変分原理によれば、式(2)と等価な関係式

を導くには、全領域にわたる、次式で示される微分係数を最小にすればよい。

$$\chi = \int \left[\frac{1}{2} k \left(\frac{dH}{dx} \right)^2 - QH \right] 2a \cdot dx \dots (13)$$

いま、要素内で流速が一定となるように、水頭値Hの分布を、 $H = \alpha_1 + \alpha_2 x$ と仮定する。χの最小の条件を求めるため、各要素での $\frac{\partial \chi}{\partial H}$ を求め、全要素について、この各微分係数の値を重ね合わせると次式を得る。

$$\left\{ \frac{\partial \chi}{\partial H} \right\} = [k] \{H\} + \{F\} = 0 \dots (14)$$

ここに、{H}は水頭値ベクトル、{F}は発生水量ベクトル、[k]は浸透性行列である。式(14)が任意の境界条件のもとで解かれ、水頭値分布が求まる。

線要素を用いた浸透流解析の例として、ダム基礎におけるグラウトカーテンの効果について解析し、結果の一部を図-3、4、5に示した。図-3は、一様な開口値3mmの割目系における水頭値分布を示しており、図-4は、図-3の①、②、③、④要素をグラウトした場合の水頭値分布である。グラウトされた要素の開口値は、0.1mmとした。両図の破線は、等ポテンシャル線を示しているが、グラウト要素で動水勾配が異常に大きくなっていること、グラウト要素の下流側で動水勾配が緩やかになっていることがわかる。また、図-5は、図-3における1-1断面の浸透水圧分布を示している。図-4の水頭値分布での浸透水圧分布は、図-5のCASE2の場合である。図-5より、ダム堤体下では、グラウトカーテンによって、浸透水圧が低下していることがわかる。

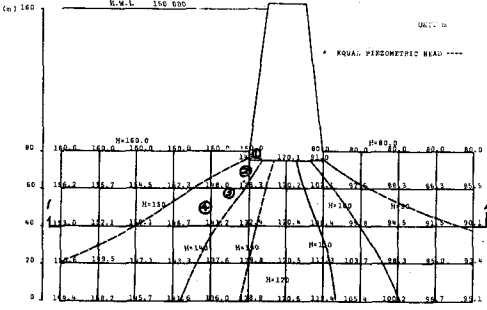


図-3 水頭値分布

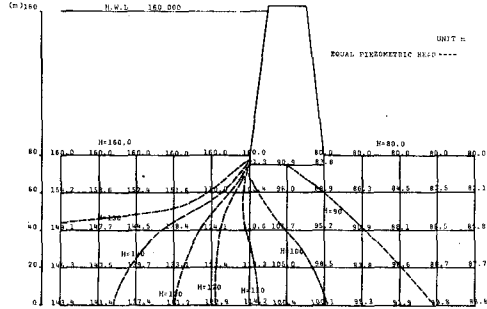


図-4 水頭値分布

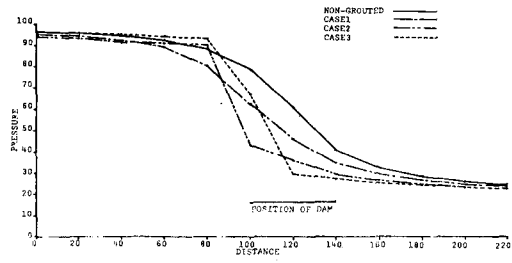


図-5 浸透水圧分布

4. おまけ

今後の問題点として、浸透流による岩盤構造物破壊に着目し、浸透流解析を考慮した岩盤応力解析について明らかにする必要がある。今後、このような方面での研究を進めて行きたい。
なお、解析結果の詳細は、講演当日に報告する予定である。

(参考文献)

(1) Wilson, C.R. and Witherspoon, P.A.; Steady State Flow in Rigid Network of Fracture, Water Resources Research, Vol.10, No2, 1974, PP. 328 ~ 335