

浸透流と地盤の安定性に関する解析的研究

豊橋技術科学大学 正 員 栗林 栄一
 豊橋技術科学大学 正 員 河邑 真
 豊橋技術科学大学 学生員 〇嶋 丈示
 豊橋技術科学大学 学生員 中澤 斉

1. はじめに

我が国では台風や梅雨期における集中豪雨などを始めとして、降雨による自然災害が昔から多くみられる。降雨によって地盤内は飽和流の浸透と不飽和流の浸透がともに起っており、飽和流浸透と不飽和流浸透を別々の浸透現象として考えるのではなく、一貫した系として考えて浸透流現象を解析すると非常に便利である。この中で地表面付近の不飽和帯での水の挙動は浸透能による影響が大きな役割をしていると考えられる。また、豪雨時における擁壁土圧の増加の原因として土中を流れる浸透水の影響と考えられる。そこで本報告では降雨により擁壁土圧がどのような影響を受けるか有限要素法を用いて数値解析を行い考察を加えようとするものである。

2. 浸透流を考慮した応力・変形解析手法

浸透流現象をよく見てみると、地盤の変形と土中の水の流束は各々独立な現象としてあるのではなく、浸透流が地盤の変形を引き起こしながらさらにその変形によって浸透状態が変化していくという相互依存的な関係にあるといつてよい。そこでより現実的な現象に近づいた解析を行なうために地盤骨格と水とのカップリングの問題として取りあつかうことにする。この手法は地盤中の力の釣り合い式と浸透流の連続式を組み合わせてることによって、地盤の変形と浸透流の相互作用を考慮しようとするものである。この2つの現象を同時に考える場合には、その両者の相互作用を示す関係式として、飽和土におけるTerzaghiの有効応力の原理、あるいは不飽和土におけるBishopの有効応力の原理を用いる。

3. 非定常弾性における基礎支配方程式

飽和・不飽和領域における浸透流と地盤の応力・変形を考慮した解析の基礎支配方程式は、地盤内で浸透水の質量保存則を満たすとともに応力の釣り合い式及びびずみの適合条件を満足する必要がある。地盤内での釣り合い式及び連続式を立てると、次の方程式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} & \left[\frac{1}{2} C_{ijkl} (u_{k,l} + u_{l,k}) + \alpha \delta_{ij} \sigma_w (\psi + z) \right]_{,j} + \bar{p}_s b_i = 0 \\ & \left[k(\theta) \cdot (\psi + z)_{,i} \right]_{,i} - \frac{\partial u_{i,i}}{\partial t} S_r - C(\psi) \frac{\partial (\psi + z)}{\partial t} = 0 \end{aligned} \right\}$$

ここに、 $\bar{p}_s = p_s - \alpha \delta_{ij} \sigma_w \delta_{i3}$

C_{ijkl} ; 平面ひずみ状態での弾性定数

u_i ; 変位ベクトル

α ; 飽和度、空隙率に依存する係数

p_s ; 地盤材料密度

b_i ; 物体力

$k(\theta)$; 透水係数 (θ の関数)

θ ; 体積含水率 ($= V_w/V$)

ψ ; 圧力水頭

z ; 位置水頭

$C(\psi)$; 比水分容量 ($= n \cdot dS_r/d\psi$)

連続式の左辺第二項は土の変形による水分排出量であり、第三項は圧力水頭の変化によって貯留される土中水の量的な変化を示している。ここで連続式を誘導するにあたって、次のふたつの物理的近似を用いる操作を行っている。ひとつは間隙流体が不飽和領域において圧縮性であるのに、圧縮性流体の状態方程式を用いずに無視し得るほど小さいとしていることである。他のひとつはC(ψ)のψ依存性が $n \cdot ds/d\psi$ の変化すべてを包含しているものと考え、 $n \cdot ds/d\psi = C(\psi)$ と近似していることである。

解析では得られた基礎支配方程式を重みつき残差法のひとつであるガラーキン法を用い、有限要素の定式化を行った。なお、要素は8節点からなる2次のアイソパラメトリック要素を用いるものとする。

4. 浸透能方程式

地表面に一定強度の降雨が供給されたとき、浸透強度は当初はすべて降雨が浸透するので降雨強度に等しいが、地表面が飽和状態に達すると急激に減少してある一定値に漸近する。このような浸透能の時間的变化を表わす式としてHortonの式を用いる。

$$i(t) = i_f + (i_i - i_f) \exp(-\alpha t)$$

ここに、 i ；浸透能、 i_i ；初期浸透能、 i_f ；最終浸透能、 t ；地表面への水供給開始後の経過時間、 α ；定数

この式は経験則として導かれており理論的裏付けを欠いていたが、式形が単純であり、現地への適用性も良いことから今回の解析に用いた。上式から時間的变化による地表面流入量を決定する。

5. 解析モデル

解析に用いたモデルをFig. 1に示す。

・初期条件；モデルの擁壁下端までは地下水があるものとして、間隙水圧分布を静水圧分布とし、その上部は間隙水圧を零とする。

・境界条件；変位場（Fig. 2）は側面で水平方向変位固定、底部で鉛直方向変位固定、地表面で変位自由

流れ場（Fig. 3）は擁壁背後はフィルター層の存在より浸出面、擁壁底部境界は不透水境界、右側面及び底部境界で不透水境界

浸出面の境界条件の取り扱い方は、Neumanの示した方法によるものとする。

なお、計算結果は当日に報告する。

参考文献：1) 大西有三・村上毅：有限要素法による地盤の応力・変形を考慮した浸透流解析 土木学会論文報告集 第298号 1980 2) 高木千折・岡太郎 土中水の不飽和流動 土と基礎 1981.9

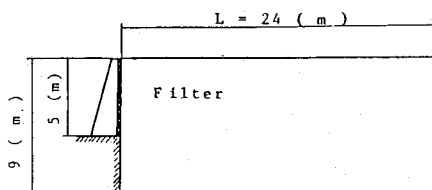


Fig. 1

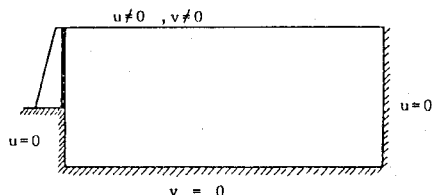


Fig. 2

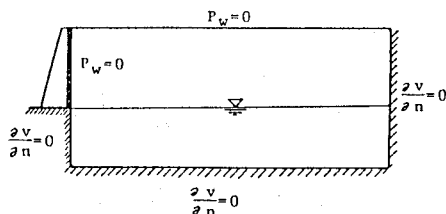


Fig. 3

Model of analysis