

浸透流と飽和度上昇による強度低下を考慮した斜面の有限要素解析

長崎大学工学部 学○山本 芳裕 学 永松 幹雄
正 伊勢田哲也 学 馬場 真
正 棚橋 由彦 学 峰 康孝

1. まえがき

長崎豪雨の土砂災害斜面の飽和-不飽和浸透流解析(FEM-A)および浸透力と飽和度上昇による強度低下を考慮した安定解析(FEM-B)を行うのに必要な土質定数を室内実験により求めた。ここでは、FEM-Aに必要な浸透特性 $\theta-|\psi|$, $\theta-K_r(\theta)$; 体積含水率, ψ ; 圧力水頭)関係を求める実験について述べ、その結果を報告する。また、多々ある災害斜面から北栄町の斜面(平均こう配35度)を選んだ。なお解析結果は当日述べる予定である。

2. 現地概況および解析断面

北栄町斜面崩壊地域の被災後の平面図を図-1に示す。また、図-2には図-1中のII-II線の縦断面図を示す。斜面先はブロック擁壁であり、地表面は1~6mの土層、その下は不透水性の岩盤である。

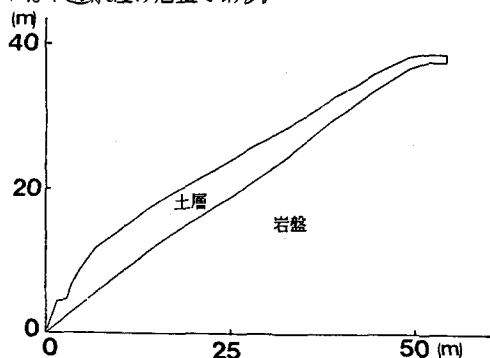


図-2 II-II線の縦断面図(被災前)

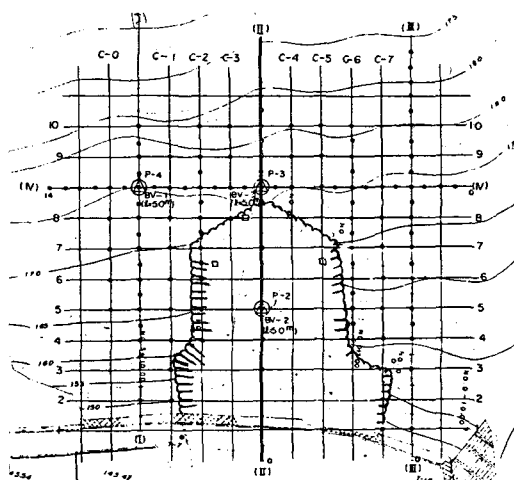


図-1 北栄町被災後の平面図

3. 解析手法

飽和-不飽和浸透流解析(FEM-A)には、赤井、大西、西垣の手法を用いた。ここでは飽和-不飽和領域の浸透を支配する基礎方程式を紹介する。それは連続の式とDarcyの法則を不飽和領域に拡大することにより次の非線形方程式で表わされる。

$$\text{div } K(\theta) \cdot \nabla (\psi + z) = (c(\theta) + a S_s) \frac{\partial \psi}{\partial t}$$

但し、 $a = \begin{cases} 0: \text{不飽和領域} \\ 1: \text{飽和領域} \end{cases}$

$K(\theta)$: 圧力水頭(ψ)に依存する飽和-不飽和領域における2次の透水係数テンソル

ψ : 圧力水頭, z : 位置水頭

$c(\theta)$: $(d\theta/d\psi)$ 比水分容量(圧力水頭の増分に対する体積

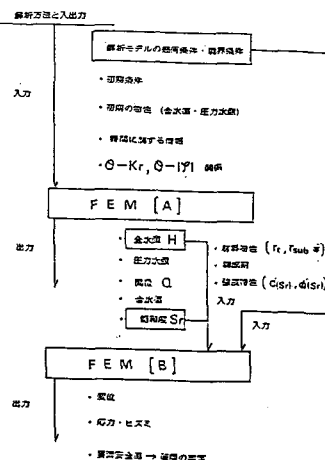


図-3 フローチャート

含水率の変化の割合) 浸透が進行して、飽和になると
 $c(\theta) = 0$ となる。

$S_r: (= \partial m / \partial \psi)$ 比貯留係数

安定解析 (FEM-B) については、伊勢田、棚橋らの壁面摩擦力を考慮したFEM解析手法³⁾をもとに改良を加え、飽和度と強度との関係は久桑の研究を参考にした。図-3にFEM-A、FEM-Bのフローチャートを示す。FEM-Aのデータとして $\theta-K_r$ 、 $\theta-\psi$ 関係などを入力し、結果が全水頭H、圧力水頭、飽和度 S_r などに出力される。FEM-Bの入力データにはFEM-Aの解析結果(全水頭H、飽和度 S_r)と S_r の関数である強度特性 $c(S_r)$ 、 $\phi(S_r)$ などがあり、各要素の安全率を求め破壊の判定を行う。FEM-Aの結果より自由水面を求めるのは容易である。全水頭を圧力水頭と位置水頭の和と仮定し、飽和領域では圧力水頭が正、不飽和領域では負となるので、自由水面は圧力水頭が零になる点を連ねた面となる。なお北栄町の斜面のFEM-A、FEM-B解析結果は当日報告する予定である。

4. 浸透特性試験

(1) サクション

図-4に示すように内径5.0cmの透明なプラスチック製のパイプに電極を水平方向に4つ、鉛直方向に10.0cm間隔で9段、合計36個取り付け付けた。このパイプの底部に刃利を敷き土を数層に分け、現場の密度に締め固めた。この状態で各電極の電導度を測定しパイプ下端部を浸水させた後水面から電導度の変化があった電極までの高さをサクション ψ とした。これによると体積含水率 $\theta = 0.35$ 、 0.41 の時のサクションは各々 0.335 、 0.22 mであり図-5に $\theta-\psi$ 関係を示す。

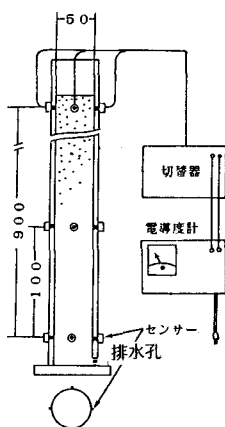


図-4 実験装置(サクション)

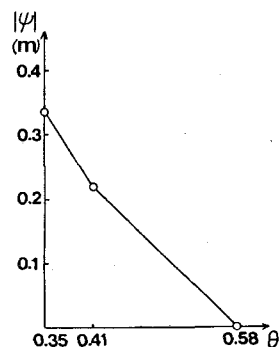


図-5 $\theta-\psi$ 関係

(2) 不飽和透水係数

図-6の塩化ビニルパイプAに、電導度測定用の電極をうね込んだパイプBを挿入した時、現場の湿潤密度になるように土を締め固めた。水を供給直後から、排水孔の流出量が定常となるまでの充量を q 、土層表面の断面積をAとすると、みかけの透水係数は q/A となり、ここでは 3.73×10^{-4} cm/secとなった。また実験後の体積含水率 θ は 0.39 となった。変水透水系試験より求めた飽和透水係数 $k_{sat} = 3.75 \times 10^{-5}$ cm/secと不飽和透水係数の比 $K_r = k_{unsat} / k_{sat}$ と θ の関係を図-7に示す。

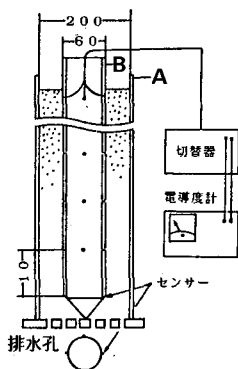


図-6 実験装置(透水)

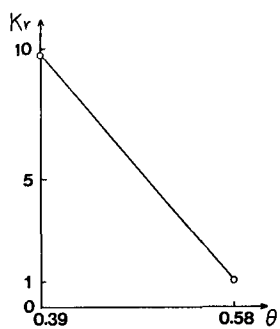


図-7 $\theta-K_r$ 関係

参考文献

- 1) 赤井・大西・西垣：有限要素法による飽和-不飽和浸透流の解析
- 2) 伊勢田・棚橋：第16回土質工学研究発表会報告概要
- 3) 久桑：九州大学学位申請論文、盛土構築物の崩壊と対策に関する研究