

アジア航測株式会社 ○小川紀一郎、在原 芳人
中島 誠、高野 裕司

1. はじめに

山地流域における土砂生産現象を予測する上で、豪雨時に発生する斜面表層崩壊を把握することは重要な課題である。表層崩壊は、豪雨に伴い斜面表土層中の水分が変動し、飽和域の拡大によって土層の強度が低下して、斜面上の土塊が移動する物理現象である。本検討では、これまでの水文観測や土質調査の成果をもとに表土層中の水分変動状況についてモデル的考察を試みた。なお、本調査の対象斜面は天竜川水系の藤沢川流域における野笹地区である。

2. 差分法による浸透流解析

飽和・不飽和領域の浸透を支配する基礎方程式は、連続の式とDarcyの法則を不飽和領域へ拡張することにより次のような方程式で表される。

$$\frac{\partial}{\partial x} k \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial h}{\partial z} = (S_s + C) \frac{\partial h}{\partial t}$$

ここに、 h は全水頭 ($\phi + z$) で、 ϕ は圧力水頭、 z は位置水頭である。また k は透水係数で、飽和域では $k = k_s$ (飽和透水係数)、不飽和域では $k = f(\phi)$ である。そして S_s は比貯留係数で、不飽和域の場合は0である。また、 C は比水分容量 ($C = \partial \theta / \partial \phi$, θ : 体積含水率) で、飽和域の場合は0である。本検討では上式をもとに差分法を用いて計算を行うものとする。ここで、計算要素は様々な地形に対しての適用可能性を考え、一般座標系差分より離散化することとした。線形連立方程式の解法にはMILUGS法 (前処理付き多共役勾配法) を用いた。

3. 計算条件の設定

対象降雨は、現地の水文観測成果より1988年6月2日～3日の降雨を対象とした。また計算要素は、現地で実施されたこれまでの土層調査 (簡易貫入試験) の結果から、 N_c 値を目安として0～3,

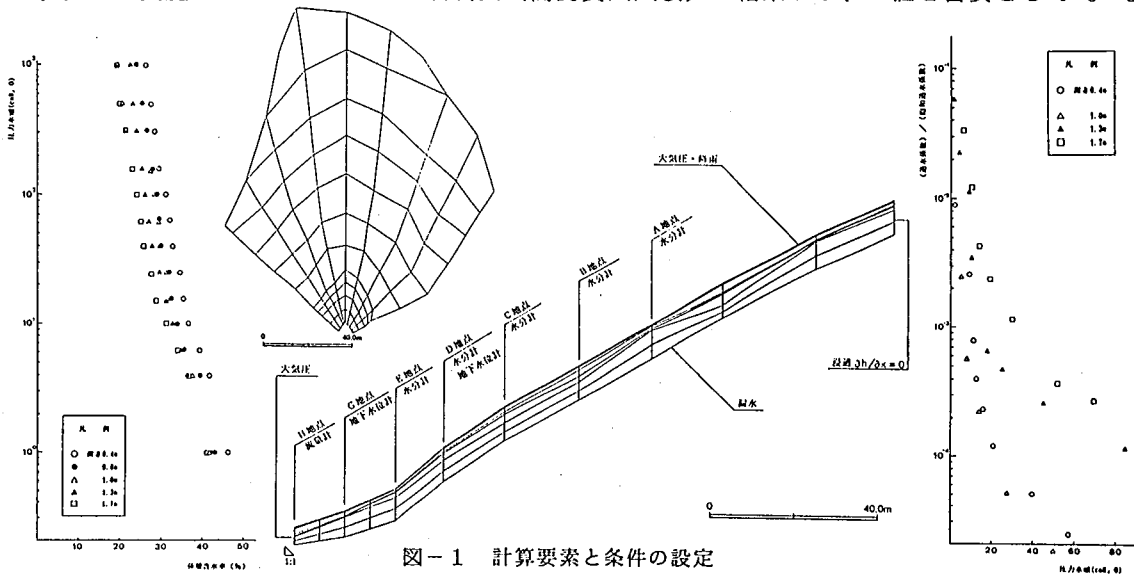


図-1 計算要素と条件の設定

3~5, 5~10, 10~50, 50以上の5深度(計算上50以上を2分割して6深度)に各計算要素を設定した。さらに表土層のモデル化や各種パラメータ等の諸条件については、現地で測定されたものをもとに設定した(図-1)。

4. 計算結果の検討

計算の結果、表土層中の水分変動の実績値と計算値を示すと図-2のようになる。これによれば、初期の水分張力、湿潤過程の開始時期の各深度のタイムラグは良く再現されている。しかし、湿潤過程の開始時期やピーク時の水分張力はうまく表現されず、実際よりも湿潤傾向となっている。一方、表土層中の地下水位の実績値と計算値を示すと図-3のようになる。これによれば、水位上昇の開始時期、最高水位、水位の低減過程のいずれもある程度再現はされているものの、降雨に対する応答はより敏感な状態となっている。

次に、谷中心部における水分変動状況を縦断方向について示すと図-4のようになる。これによれば、表層から浸透した水分によって斜面中央部付近や縦断的に下に凸の部分に飽和域が形成される。そして、時間の経過とともに深層部にまで下がる。

5. 斜面表土層の水分変動と表層崩壊

以上のように、現地の土層構造を明確にした上で、それを忠実にモデル化することによって、飽和域の形成、拡大の様子が把握できた。ここで、計算結果の傾向から考えると豪雨時にはより表層に飽和域が形成されると推定できる。すなわち、地表から湿潤過程が始まり、水分は下へ移動して斜面中腹部にかけて薄く飽和域を形成し、その後降雨のピーク時には表土層全体に拡大する。そして、飽和域は降雨の終了とともにすみやかに縮小する。

一方、土質試験の結果、表層部のNc値で5~10の部分に地盤の強度の相対的に低い「弱層」が存在する。したがって、以上のような現象は表層崩壊を解明する上で極めて重要である。

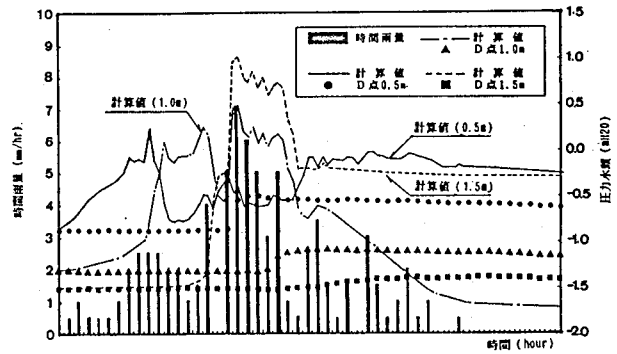


図-2 土壌水分変動の実績値と計算値

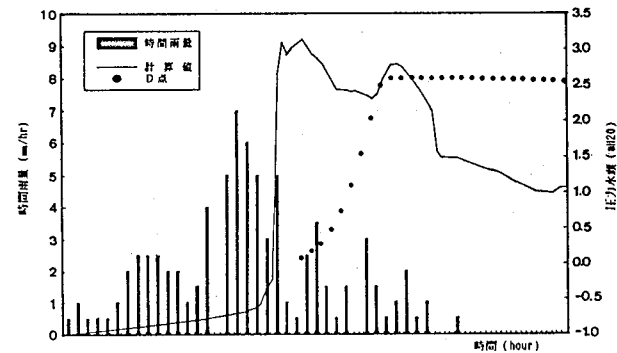


図-3 地下水位変動の実績値と計算値

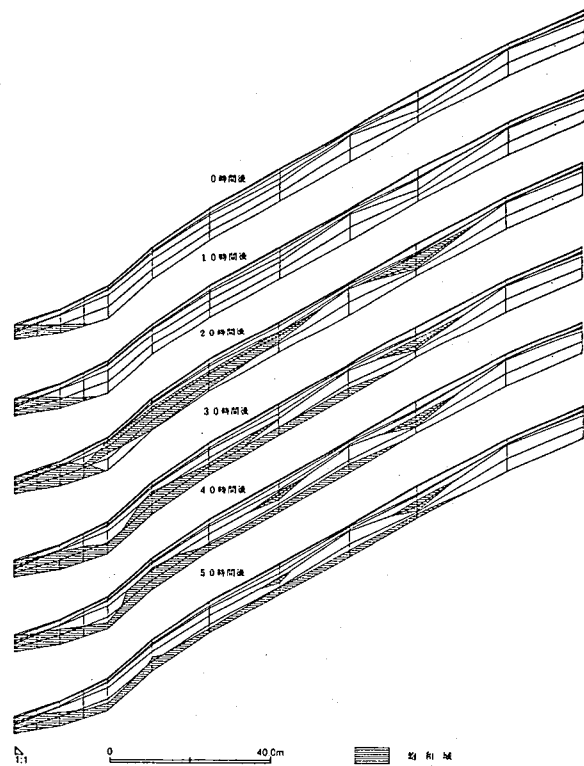


図-4 土壌水分の変動状況(縦断図)