

1, はじめに

近年、電子計算機による数値演算処理機能の向上に伴い、浸透流解析と斜面安定解析とを組み合わせることにより、表層崩壊の発生の予知・予測を行おうとする試みが盛んに行われるようになった。しかし、既往研究では表層崩壊発生時刻を再現する際、崩壊発生時刻が実際よりも遅れることが指摘されている。これは、決して一様とはいえない斜面の透水性や土質特性を一様としたことに原因があり、崩壊の発生場所だけではなく、崩壊発生時刻をも忠実に再現し、これによって得られる成果を活用して予知・予測問題へと展開していくためには、斜面の不均一性をも考慮し得る崩壊モデルを用意する必要がある。本研究では斜面の不均一性を構成する「パイプ」、「樹木の根系」、「転石(礫)」、「亀裂」等の要素を「斜面の構造的欠陥」と定義し、これらの構造的欠陥の一つとして位置付けられる転石(礫)に着目し、転石(礫)が土層内での雨水の挙動や地下水深の形成ひいては斜面の安定性に及ぼす影響について、室内実験を行うことにより定量的に把握した。

2, 実験方法

本研究では、実験水路内にボール(「転石」と仮定)を配置し、このボールの有・無や大きさ(直径)が水路内での地下水深形成過程や土層内部での水移動に及ぼす影響について定量的に把握した。実験装置は、図-1に示すように、給水用の定水位タンクと長さ100cm、幅15cm、深さ20cmのアクリル製水路、並びに水路下端部からの流出量計測用の電子天秤とデータロガー(パソコン)により構成されている。水路下端部から5cm~65cm区間の水路側面には、10cm間隔で計7本の内径8mmのビニールチューブを接続し、水路内の水面形(地下水深)の計測が可能な構造となっている。実験水路内には15cmの厚さで豊浦標準砂を充填した。実験水路の上・下流部はフィルターで仕切られ、上流部には貯水タンクを、下流部には三角堰を設置し、実験水路と上・下流部の間の水移動が可能な構造(図-1)となっている。

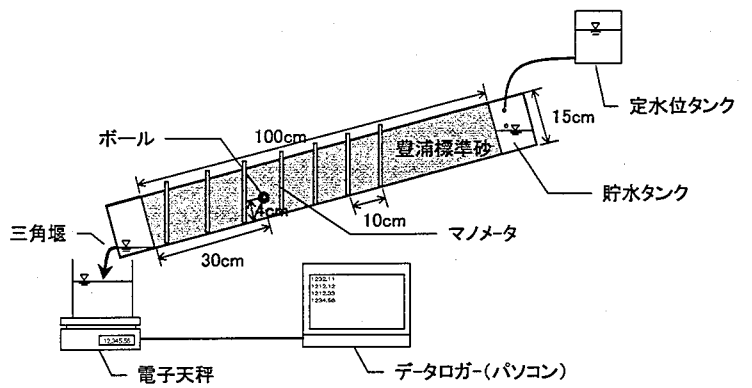


図-1 実験装置の概要

実験水路内への給水は定水位タンクを用いて行った。給水時間は、全実験ケースにおいて下流端からの流出量が定常状態に達する60分間とした。実験時の測定項目は、水路下端部からの流出量と水面形(地下水深)の2項目である。流出量は、実験水路下端部に設置した三角堰からの越流量を電子天秤を用いて10秒毎に自動計測した。水面形の経時変化については、水路側面に設置したマンメーターの値を目視により読み取った。水路内へのボールの設置にあたっては、図-1に示すようにボールの中心が水路の下流端から30cm、底面から4cmの高さに位置するようにした。実験ケースは、ボールを埋設しない場合と、ボールの直径をφ3.0, 5.0, 5.7cmと変化させた計4ケースである。また、全ケースとも給水量を0.3cc/sec、給水時間を60分とし、水路勾配を15°均一とした。

3, 考察

3.1, 定常状態時の地下水深

定常状態時(給水開始60分後)の地下水深の縦断変化を図-2に示す。ボールを埋設した場合、定常状態時の地下水深はボールを埋設しない場合よりも高い値を示し、地下水深の増加傾向が最も顕著に見られる水路下流端から45cm地点(斜距離)の地下水深は、ボールを埋設しない場合と比較して、case:ball(3.0)で0.9cm, case:ball(5.0)で1.5cm, case:ball(5.7)で1.8cm上昇する結果となった。このボールの埋設による地下水深の増加傾向は、ボールの上流部においてより顕著に認められることがわかる。

3.2, 浸透力の変化

斜面内の任意の区間における浸透力は(1)式で求められる。ここに、

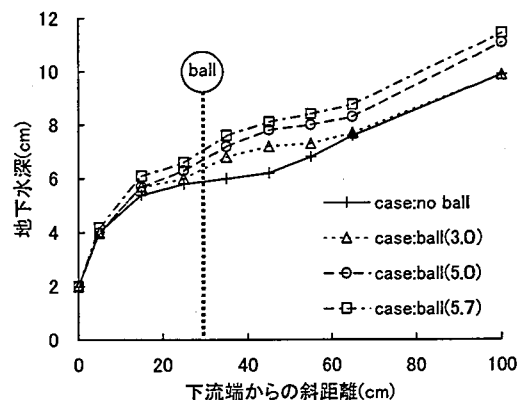


図-2 定常状態時の水面形

$$F_n = \frac{H_{n+1} - H_n}{L_n} \gamma_w \dots \dots \dots (1)$$

H_{n+1} : 水路下流側の位置水頭, H_n : 上流側の位置水頭, L_n : 区間長(cm), γ_w : 地下水の単位体積重量(gf/cm³; 1.0gf/cm³), F_n : 浸透力(gf/cm²)である。定常状態時の地下水の浸透力の縦断変化を図-3に示す。ボールの埋設にともなう浸透力の増加は、ボール埋設箇所を含む水路下流端から25~35cm地点の10cm区間(斜距離)で明瞭に認められ、この増加傾向はボールの断面積の増加とともに顕著となる。これに対して、ボールの上流側に位置する水路下流端から45~60cmの間では、ボールの存在が逆に浸透力を減少させている。ここで認められたボール周辺部における局所的な浸透力の増加は、細粒土砂の流亡を促進させる力として働き、礫(ボール)の存在は浸透侵食すなわち土層内部での地下侵食の引き金になることが十分に予想される。

3.3. 斜面の安定性

斜面の任意の地点における安全率は、無限長斜面を仮定すると(2)式により求められる。ここに、 F_{sn} : 任意の地点; nでの安全率, c : 粘着力(gf

$$F_{sn} = \frac{c \cdot (\delta_{on} - h_n \cdot \gamma_w) \cdot \cos^2 \theta \cdot \tan \phi}{\delta_{on} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta}$$

$$\delta_{on} = \rho_s \cdot (1 - N) \cdot Z + \gamma_w \cdot h_n \cdot N \dots \dots \dots (2)$$

cm²), ϕ : 土の内部摩擦角(°), h_n : 任意の地点; nでの地下水深(cm), γ_w : 水の単位体積重量(gf/cm³; 1gf/cm³), θ : 斜面勾配(°), δ_{on} : 任意の地点; nでの鉛直応力(gf/cm²), ρ_s : 土粒子の密度(g/cm³; 2.65g/cm³), N : 間隙率(cm³/cm³), Z : 土層の鉛直高さ(cm; 15.5cm)である。また、飽和時の水締めされた豊浦標準砂の土質強度は、一面せん断試験を実施することにより粘着力; $c=0.0$ gf/cm², 内部摩擦角; $\phi=37.6^\circ$ と設定した。なお、この時の間隙率は $N=0.46$ cm³/cm³である。定常状態時の斜面に(2)式を適用した場合の安全率の縦断変化を図-4に示す。ボール埋設箇所の上流側である水路下流端から35cm~55cm地点において、ボールの埋設にともなう安全率の低下が顕著に認められ、この傾向はボールの断面積の増加とともに大きくなるのがわかる。土層と大気との境界面となる実験水路の上・下流端を除く範囲内(水路下流端から15~65cm)では、ボールを埋設した場合の安全率は、(3)式で近似することができる。ここに、

$$F_{sb,n} = F_{sb0,n} - \beta \cdot A \dots \dots \dots (3)$$

$F_{sb,n}$: ボールを埋設した場合の任意の地点; nでの安全率, $F_{sb0,n}$: ボールを埋設しない場合の任意の地点; nでの安全率, A : ボールの断面積(cm²), β : 係数である。ボールの断面積の増加に伴う安全率の低下度合いを示す係数 β と斜距離の関係(図-5)より、 β の値は、ボールから上流側に15cm地点で最大値を示すことがわかる。また、ボール埋設箇所の上・下流に位置する等距離の β を比較すると、上流側のほうが下流側よりも大きな値を示し、礫(ボール)の存在による斜面の安定性の低下は上流側で大きくなるのがわかる。

4. まとめ

本研究では、山腹斜面内部に形成される樹木根系や礫(転石)さらに亀裂といった「斜面の構造的欠陥」の内、転石に着目し、その存在が雨水の挙動や斜面の安定性に及ぼす影響について検討を加えたものである。得られた主な知見は以下のとおりである。

1) 礫の存在により斜面内の通水性(断面積)が阻害され地下水深が上昇し、結果的に斜面の安定性が低下する。また、斜面の安定性の低下度合いは礫(ボール)の断面積に比例する。

2) 礫の周辺部に局所的な速い流れが形成され、地下侵食を引き起こす要因となる。

今後は、礫(転石)をはじめとするその他の要因、特に樹木根系の存在が現地流域内での水循環過程や斜面の安定性に及ぼす影響について現地観測等を実施することにより明らかにしていく予定である。

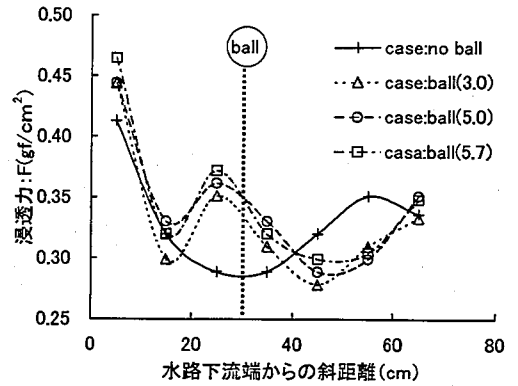


図-3 浸透力の縦断変化

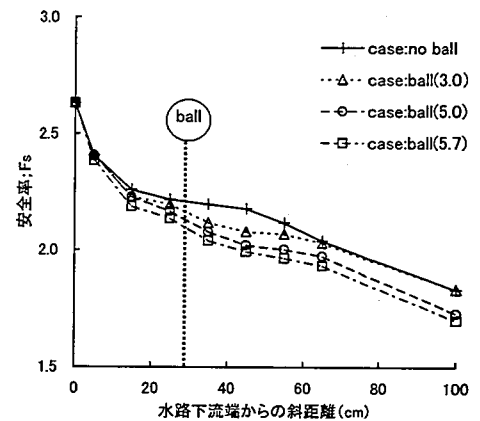


図-4 礫(ボール)の有・無による安全率の縦断変化

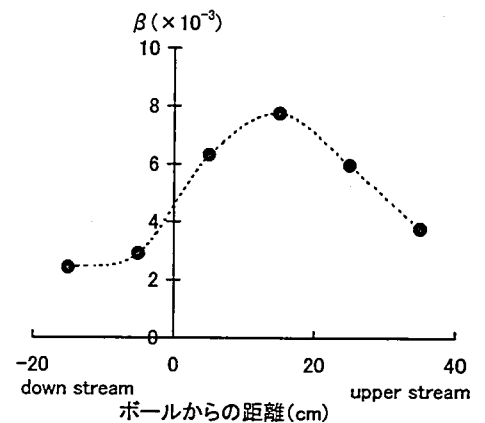


図-5 係数 β とボールからの距離の関係