

## 58 地中で起こる侵食現象に関する2, 3の考察

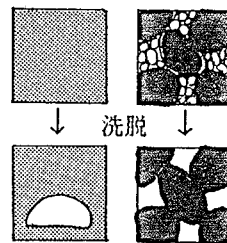
林業土木施設研究所 ○青木 規

東京農工大学農学部 塚本良則 窪田順平

### 1. はじめに

山地斜面の雨水流出の大半が地中流であることを考えると、地中流によって起こる侵食現象と、その結果として発達する水みちが雨水流出や斜面の安定に及ぼす影響について研究を進めていくことは重要である。

地中流の集・排水が良好な場所では、2つのタイプの水みち形成が考えられる。一つは空洞化で粒子構成が比較的均質な土層中で、土粒子全体が洗い出されるものである(図-1 a)。他のものは粒子構成が不均質な土層中で、骨格構造をなしていない微細な土粒子やコロイドが溶脱や洗脱によって運び去られる粗粒化である(図-1 b)。自然の土層は様々な径の粒子で構成されていること、空洞の発達と維持との関係などを考えると、野外で観察される地下空洞は特殊条件下で発達するもので、地下侵食の本質は粗粒化にあると考えられる。



a: 空洞化 b: 粗粒化  
図-1: 地下侵食の種類

本研究では地中で起こる侵食の促進要因を明らかにすることを目的に室内実験を試みた。室内実験は、水みちの発達には地下水位変動が重要との推察に基づき、地下水位の上下変動による粗粒化の実験を行ない、地下水位変動速度、動水勾配、土質等が粗粒化に及ぼす影響を評価した。

### 2. 実験の概要

#### 2-1. 実験装置

実験装置の概略を図-2に示す。実験装置は縦5 cm、横10 cm、深さ40 cmの透明アクリル製で、土槽内を四方向から観察できる。土槽底部より5 cmのところ有多孔質の仕切りを設け、それ以上を土層、それ以下を水みちと仮定した。自然条件下では、地中で既に水みちが存在し、洗脱された土粒子が流水によって運搬されるという条件下で、水みちの水位変動が水みち上部の土層内へ及ぶ場合を想定している。

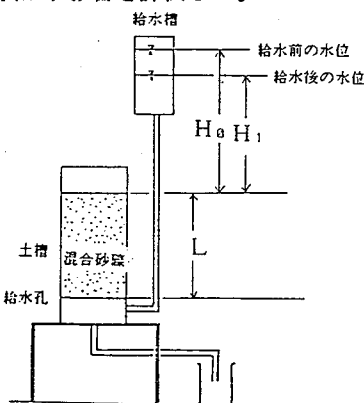


図-2: 実験装置概略

#### 2-2. 実験方法及び実験試料

流出口の栓を閉じた状態で、土槽に試料を詰めて給水槽より給水する。水面が地表に到達したら給水を停止し、流出口の栓を開き地下水位を低下させ、水位の上下変動による侵食量を測定する。

##### (1) 実験1: 地下水位の変動速度が粗粒化に及ぼす

##### 影響の評価

給排水の速度を変えることにより、異なる6種類の

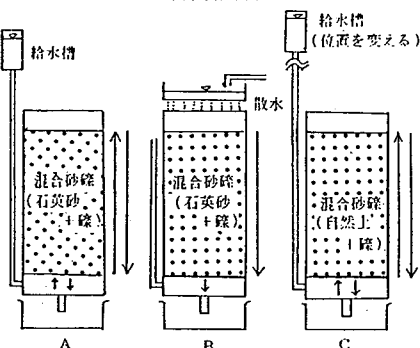


図-3: 実験内容及方法 (矢印は水の移動方向を示す)

水位変動速度のもとで実験を行った(図-3A)。また、地下水位変動による侵食作用を相対的に評価するために、土槽上面より強度の異なる雨を降らせ、雨水浸透流による侵食量を測定した(図-3B)。雨水浸透流による実験では、地下水位変動によって砂礫に作用した水量を間隙率より算出し、それが流出した時点で測定を終えた。

試料は、石英砂( $0.106 < d < 0.250\text{mm}$ )と礫( $5 < d < 7\text{mm}$ )を重量比1:10で混合した混合砂礫(含水率2.0~2.5%)を用いた。充填時の空隙率は38%であった。

## (2) 実験2:動水勾配と土質が粗粒化に及ぼす影響の評価(図-3C)

給水槽の位置を変えることによって、異なる水頭差のもとで地下水位変動を与えた。試料は、表-1に示す自然土(風化進行度の異なる花崗岩真砂土と関東ローム)と礫( $5 < d < 7\text{mm}$ )を1:3の重量比で混合した混合砂礫を用いた。

表-1:混合試料(自然土)の特徴

| 混合試料                                      | 真砂土(I) | 真砂土(II) | 真砂土(III) | 真砂土(IV) | 火山灰質粘性土 |
|-------------------------------------------|--------|---------|----------|---------|---------|
| 粗砂含量(%)<br>( $2.0 \sim 0.42\text{mm}$ )   | 55.8   | 38.3    | 47.7     | 7.0     | 1.8     |
| 細砂含量(%)<br>( $0.42 \sim 0.074\text{mm}$ ) | 39.5   | 50.5    | 20.7     | 23.8    | 34.7    |
| シルト・粘土含量(%)<br>( $0.074\text{mm} \sim$ )  | 4.7    | 11.2    | 31.6     | 69.2    | 63.5    |
| 土壌分率率(%)                                  | 57.23  | 48.17   | 45.79    | 18.63   | 33.3    |
| 混合充填時の空隙率(%)                              | 27.6   | 28.4    | 30.2     | 39.4    | 33.3    |

## 3. 実験結果と考察

以下に述べる地下侵食量とは洗脱されて流出する土砂量をいう。

### 3-1. 実験1:地下水位の変動速度が粗粒化に及ぼす影響の評価

#### 3-1-1. 実験中の観察

地下水位変動を与えた場合、移動する地下水面において侵食が発生した。土槽上より散水した場合、浸透水は水みちを形成して流下し、その周辺で局所的に侵食が発生した。

#### 3-1-2. 地中水の移動速度と地下侵食量の関係

地下水位変動速度及び雨水浸透速度と地下侵食量との関係をまとめたものが図-4である。これより以下のことがわかる。

(1) 粗粒化は地中水の移動速度が大きいほど活発である。地中水の移動速度が大きいほど、砂礫粒子に働く流体力が大きくなるため、侵食量が増加すると考えられる。

(2) 侵食量に対しては、地下水位の上下変動が雨水浸透流よりはるかに大きな影響を及ぼす。

地下水位変動は浸透水圧が砂礫層全体に作用するが、雨水浸透流は特定の水みちを形成して移動するためである。

(3) 地下侵食量は地下水位の上昇期間中よりも下降期間中の方が多い。水位上昇時には砂礫粒子が上昇水圧によって上向きに押し上げられ脱落量が相殺されるのに対して、下降期間中は浸透水圧と砂礫重量の相乗作用によって侵食量が増加するものと考えられる。

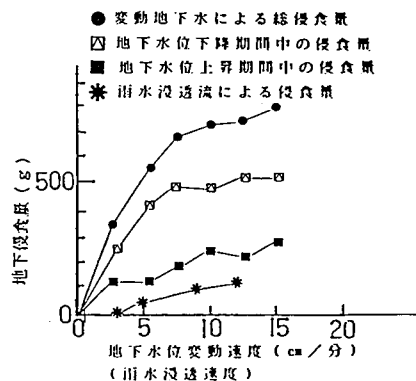


図-4:地下水位変動速度、雨水浸透速度と地下侵食量の関係

### 3-2. 実験2:動水勾配と土質が粗粒化に及ぼす影響の評価

#### 3-2-1. 実験中の観察

水位上昇時に、礫間空隙を充填している土砂粒子が浸透水によって吹き上げられる、いわゆるボーリング現象がみられ、地中水はこれによって形成された水みちを移動することが観察された。水みちを地中水が移動する際に、水みち周辺で細粒分が洗脱され、水位変動の繰り返しによって粗粒化は拡大していった。地下水位停止時も粘土の膨潤による崩落、封入空気吹き出しによる侵食が観察された。

#### 3-2-2. 平均水頭差と地下侵食量の関係

平均水頭差とは図-2において、給水直後の水頭差( $I_0 = (H_0 + L)/L$ )と水位が地表に到達した時の水頭差( $I_1 = H_1/L$ )との平均値( $I_a = (I_0 + I_1)/2$ )である。平均水頭差と地下侵食量の関係を図-5に示す。これより以下のことがわかる。

- (1) 水頭差が大きいほど侵食量が多くなる。水頭差が大きいほど土粒子に作用する浸透圧が大きくなるためと考えられる。
- (2) シルト・粘土の含有量が多くなるほど侵食量が少なくなる。

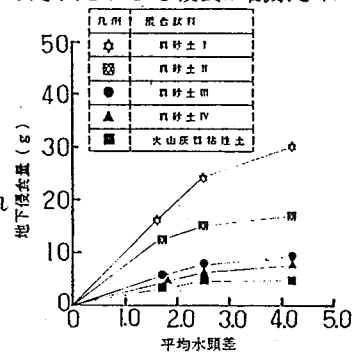


図-5: 平均水頭差と地下侵食量の関係

#### 3-2-3. シルト・粘土含有量と地下侵食量の関係

シルト・粘土含有量と地下侵食量の関係を図-6に示す。これより以下のことがわかる。

- (1) 土中のシルト・粘土含量が多いほど粗粒化が発生しにくい。

土中のシルト・粘土含量が多くなるほど粘土の凝集力によって砂礫間の結合が強固になること、地中水の移動する間隙が小さくなるため浸透速度が小さくなり、粒子に作用する流体力が減少することが原因と考えられる。

- (2) 土中のシルト・粘土含量が少ないと侵食量に対して水頭差の影響が大きくなる。侵食性は土粒子の分散性と運搬性によって決まる。シルト・粘土含量が多い場合は、侵食に対して分散性の影響が大きいため水頭差の大きさによる侵食量の差は小さいと考えられる。シルト・粘土含量が小さくなると運搬性がより支配的となるため、水頭差の影響が大きく現れると考えられる。

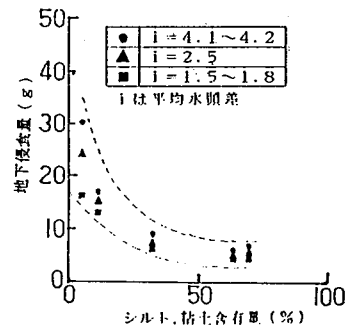


図-6: シルト・粘土含量と地下侵食量の関係

#### 3-2-4. 地下侵食量と土壌分散率の関係

礫間空隙を充填している土壌の侵食性が粗粒化に影響を及ぼすと考え、土壌分散率と地下侵食量の関連性について調べた。

土壌分散率とは土壌集合体の水に対する安定度を量的に示すもので土壌の侵食性の指標となる。本研究では以下に示すミドルトンが提案した分散率を用いた。

$$\text{分散率} = \frac{\text{浄水だけで分散させた場合の0.05mm以下の粒子含量}}{\text{完全分散させた場合の0.05mm以下の粒子含量}} \times 100(\%)$$

土壌分散率と地下侵食量の関係を図-7に示す。土壌分散率が大きくなると地下侵食量が増加する傾向がみられる。礫間隙に分散率の大きな土砂が充填しているところでは大きな浸透水圧が作用した場合に洗脱が活発に行われ、粗粒化が進むと考えられる。

#### 4. 総括

(1) 土体に大きな浸透水圧が作用した場合の粗粒化は、礫間隙を充填している土砂がクイックサンド状態になることで発生する場合がある。

(2) 粗粒化を促進する主要因は動水勾配と地下水位の変動である。侵食量に対しては地下水位の変動が雨水浸透流より大きな影響を及ぼす。このことは水みちにおける水位変動と地下侵食の活発化、それによって起こる水みちの発達・閉塞が地滑り移動や崩壊に影響を及ぼす点で重要であると考えられる。

(3) 土中のシルト・粘土の含量が増加すると粗粒化が起きにくいことがわかった。これは粘土によって粒子同士の凝集力が増加し、耐蝕性が大きくなるためと考えられる。粗粒化はシルト・粘土含量が少ないルーズな構造を有する崩積土中で起き易いと考えられる。

(4) 礫間隙を充填している土砂の分散率が大きいほど粗粒化が起き易い傾向がある。これは土壌分散率が大きいほど浸透水によって粒子同士が分散・剥離され易いためと考えられる。

#### 5. おわりに

本研究では地中で起こる侵食のうち、粗粒化現象を砂質土を材料として実験的に評価することができたが、これは地中で起きる自然の侵食現象を再現したとはいえない。地中で起こる侵食は、その進行が緩慢であり、現象を実際に目にするのが困難である。今後は現場の材料を使った研究事例を増やしていくことが大切と考える。

#### 参考文献

1. 海堀正博(1983)善徳地すべりにおける地下侵食量の測定結果について,昭和58年度砂防学会研究発表会概要,新砂防,Vol136, No2(129), 54
2. 太田猛彦・塚本良則・野口晴彦(1983)パイプフローと山崩れについての一考察,昭和56年砂防学会講演集, 92-93
3. 佐々恭二・武居有恒(1977)鉛直方向側面破壊の検討Ⅱ—その実例,地すべり, 14(3), 7-14
4. 武居有恒(1980)地下侵食,土と基礎, 29(3), 50-51

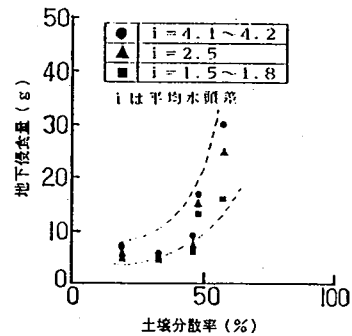


図-7: 土壌分散率と地下侵食量の関係