

表面流を有する斜面流出の実験的研究

北海道大学 正員 藤田 睦博
 北海道大学大学院 学生員 山本 太郎
 北海道開発局 正員 清水 康行
 北海道開発局 正員 市川 嘉輝

1. はじめに

表層土における斜面流出過程に着目した場合、雨水は不飽和浸透流として流出するものと表面流として流出するものがある。表面流が発生する機構としては、地中の浸透流に降雨による水が補給され、地下水面が上昇することにより地表面が飽和して発生する飽和型表面流と、地表面の透水係数が小さく、降雨強度が浸透能力を超過する場合に発生する Horton 型表面流の 2 つのタイプに分けられる。

本研究は、斜面流出装置により土壤構成材料として細砂を用いた場合の表面流の発生にいたる過程を、地表面近くの砂層内の圧力を同時に計測することによって明らかにすること、また、砂層内の初期水分量の違いが流出に対してどのような影響を及ぼすかということ考察することを目的としている。

2. 実験の概要

実験装置の概略図を図2-1に示す。斜面長は5m、斜面幅は30cm、ここに細砂(珪砂7号)を敷きつめる。この斜面の上部に降雨発生装置を取り付け、ここから5cm間隔の雨滴が落下する仕組みになっている。流出量は斜面下流端において計測される。表面流が発生し、これが下流端まで到達したときには、砂層からの流出量とは別に分離して採取し測定する。また、砂層内の数カ所にテンシオメーターを設置し、圧力水頭の変化も同時に測定した。

この実験に用いた細砂の、圧力水頭-体積含水率の関係を図2-2、圧力水頭-不飽和透水係数の関係を図2-3に示す。

実験条件として、降雨強度は10, 30(mm/hr)の2段階、斜面勾配は1/10, 1/5の2段階の設定を行った。

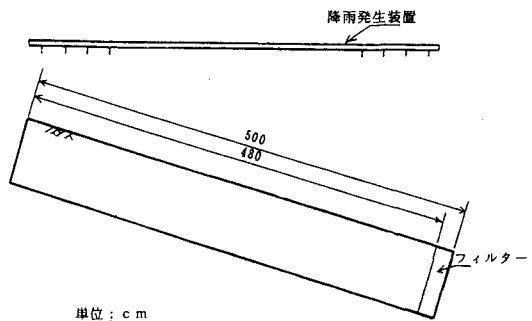


図2-1 実験装置の模式図

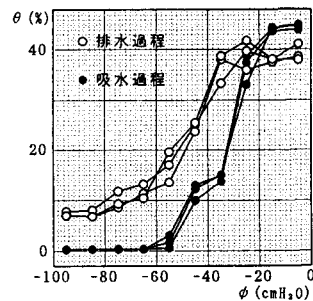


図2-2 圧力水頭(φ)と体積含水率(θ)

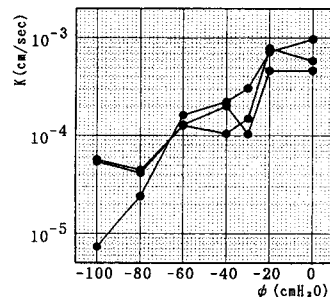


図2-3 圧力水頭(φ)と不飽和透水係数(k)

Study on the Characteristics of Unsaturated Flow with Surface Runoff
 by Mutsuhiro FUJITA, Taro YAMAMOTO, Yasuyuki SHIMIZU, Yoshiteru ICHIKAWA

3, 実験の結果および考察

図3-1は、CASE.1（斜面勾配1/5）のハイトグラフとハイドログラフであり、流出量は水路下流端において計測した。図3-2, 3は斜面上流端から25, 125, 225, 325, 375, 425, 475cm、砂層表面から約5cm下の地点の圧力水頭の測定値を示している。また、表面流が発生してからそれが斜面末端部に到達するまでの砂層表面の状態を表3-2に示している。ここでは、砂層表面がぬかるみもしくは水溜まりの状態である場合を水がうくと表現している。そして、地表面にうく水の量が多くなるとやがてこれが表面流となり斜面を流れることになる。図3-2, 3と表3-2を時間を追いつながり比較する。表より、まず155分後に斜面上流端から3.0(m)付近の斜面中流部地点で水がうき始め、時間が経過するにつれてこの範囲が徐々にひろがる。経過時間が160分を過ぎると3.25(m)付近の地点で水がうき始めるのが観察されたが、これを図3-4の圧力水頭の変化に対応させると、この地点の表層付近が飽和状態に移行し始めている時点に該当していることがわかる。また図3-4より、このとき砂層表面から下部まで全体にわたって飽和している。これは、斜面上流側からの浸透流に雨水が加わることで、地下水面が地表面近くまで上昇したためであると考えられる。同様の事が斜面上流部から下流部までのそれぞれの地点においても見られ、これよりこの表面流は砂層が地下水面の上昇によって飽和し、これによって発生したものであるといえる。そして、斜面中流部からまず飽和しそれが下流・上流方向に広がるのに伴い、表面流も中流部から発生し、そこからその範囲が広がるということがわかる。

	開始時降雨強度	終了時降雨強度
CASE.1	30.85(mm/hr)	29.63(mm/hr)
.2	10.90	10.26
.3	10.72	10.16
.4	9.74	9.12

表3-1 降雨強度

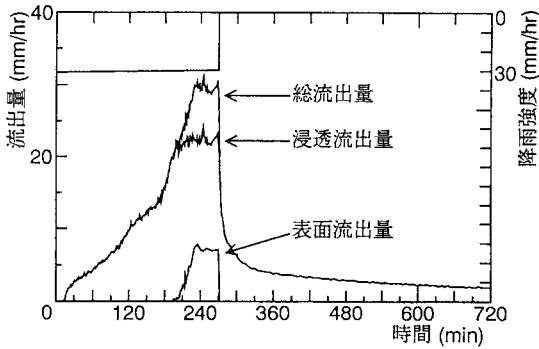


図3-1 CASE.1のR, Q

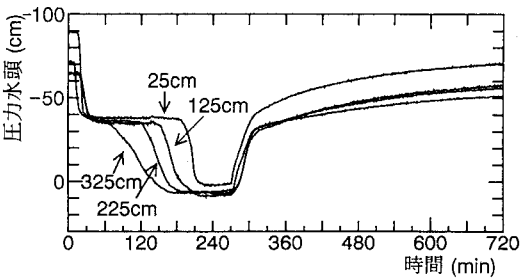


図3-2 表層付近の圧力水頭の変化（上流側）

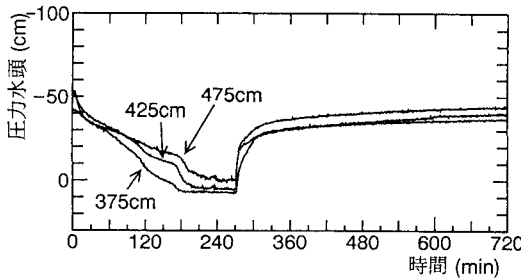


図3-3 表層付近の圧力水頭の変化（下流側）

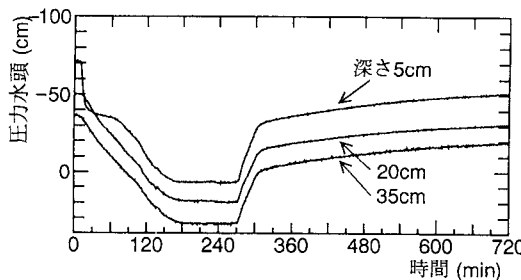


図3-4 375cm地点の圧力水頭の変化

経過時間 (min)	砂層表面に水が 浮いている範囲	表面流が流れて いる範囲
155	*3.0(m)付近	
160	2.7 - 3.2(m)	3.2(m)付近
165	2.3 - 3.4	3.0 - 3.3(m)
170	2.3 - 3.6	2.8 - 3.5
175	2.2 - 3.8	2.6 - 3.8
180	1.7 - 4.0	2.5 - 4.0
185	1.5 - 4.3	2.4 - 4.3
190	1.4 - 4.5	2.4 - 4.5
195	1.3 - 4.6	1.7 - 4.6
200	0.9 - 4.8	1.6 - 4.8
205	0.6 - 4.8	1.6 - 4.8

(*斜面上流端からの距離)
表3-2 地表面の状況

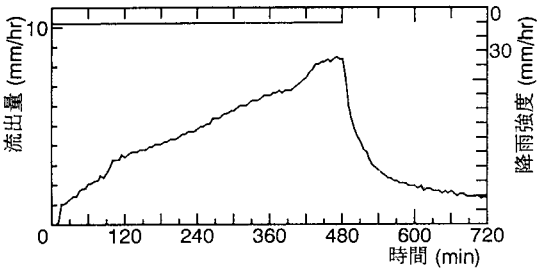


図3-5 CASE. 2の R, Q

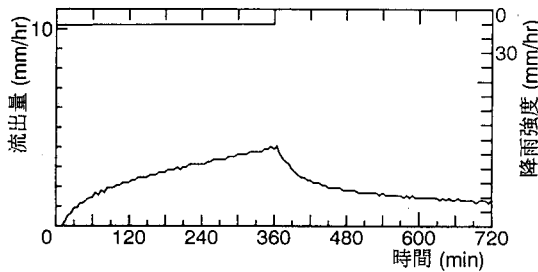


図3-6 CASE. 3の R, Q

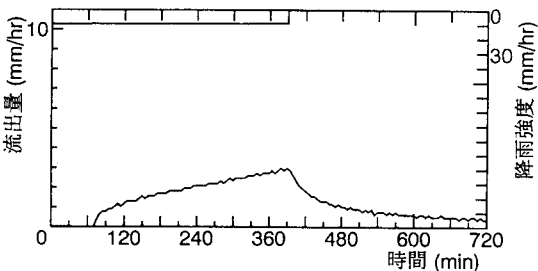


図3-7 CASE. 4の R, Q

つぎに、初期状態における砂層内の水分量がハイドログラフの変化に与える影響を見る。実験の条件を表3-3に示す。CASE. 2, 3はそれぞれの斜面勾配で雨を降らせた後そのまま十分に放置し、砂層内の水の移動がほとんど無くなった時を初期状態とした。また、CASE. 4は、斜面勾配1/5で同様に放置した後、実験開始直前に勾配を1/10におろすことにより、1/5の初期水分量で1/10の実験を行ったものである。

それぞれの実験結果のハイドログラフは図3-5～7である。同じ経過時間における流出量を表3-4においてそれぞれ比較すると、CASE. 2とCASE. 3では、CASE. 2つまり斜面勾配が緩いときに流出量は大きくなっており、また、CASE. 3とCASE. 4を比較すると、CASE. 4つまり斜面勾配が急なときに流出量が大きくなっていることがわかる。ここで、ハイドログラフの立ち上がりまでに要する時間を比較してみると、それぞれCASE. 2は6分、CASE. 3は11分、CASE. 4は71分となっており、斜面勾配が緩く初期水分量小さい条件において特に遅くなっている。

これから、砂層中の初期水分量は流出に対して大きく左右させるといえる。そして、この初期水分量は斜面勾配、土粒子径、乾燥期間などに依存されることを考え合わせると、これらの要素の違いに流出に関して非常に大きく影響を及ぼすことがわかる。

	斜面勾配	初期状態における 含水率 (%)
CASE. 2	1/10	19
. 3	1/ 5	13
. 4	1/ 5	13

表3-3 斜面勾配と初期含水率

	120(min)	240	360
CASE. 2	3. 4(mm/hr)	4. 8	6. 5
. 3	2. 2	3. 1	3. 9
. 4	1. 2	2. 1	2. 7

表3-4 経過時間と流出量

4, まとめ

1)表層土の流出過程において、それを構成する土粒子径が小さい場合に発生する表面流は、上流からの浸透流に雨水が加わるにより地下水面が上昇し、地表面近くが飽和することによるものである。

2)降雨時における土層内の初期水分量は流出に対して非常に大きな影響を与え、やはりこれが大きい場合には降雨に対する流出の応答は早くなる。そしてこの水分量を決定させる、斜面勾配、土壌構成成分、前の雨からの乾燥期間などの要素それぞれが大きな意味を持つと考えられる。

5, 参考文献

1)山田正、許士達広、村上泰啓、岩崎福久：斜面流出の素過程に関する実験的研究、土木学会北海道支部論文報告集、1990

2)藤田睦博、山本太郎、Siamak Budaghpour, 竹本成行：表面流を伴う不飽和浸透流の実験と解析、土木学会北海道支部論文報告集、1992

3)藤田睦博、高橋一浩、平野道夫：植生が長・短期流出に及ぼす効果に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集、1992

4)谷誠：一次元鉛直不飽和浸透によって生じる水面上昇の特性：日本林学会誌 第64号 pp.409～418、1982

5)日野幹雄、太田猛彦、砂田憲吾、渡辺邦夫：洪水の数値予報、森北出版社、1989