

II-52

表面流を伴う不飽和浸透流の実験と解析

北海道大学工学部 正員 藤田陸博
北海道大学工学部 学生員 山本太郎
北海道大学大学院 学生員 SIAMAK BOUDAGHPOUR
北海道開発局開発土木研究所 正員 竹本成行

1. はじめに

表層土を構成する土粒子径が小さい場合には、不飽和浸透流と表面流が、同時に生起する場合がある。本研究は、斜面流出装置を用いて実際に人工的に降雨を発生させ、その流出を表面流と浸透流に分けて測定し、また砂層内数点の圧力を測定することにより、これらの関係を実験的に明らかにしようというものである。

2. 実験の概要

実験装置の模式図を図2-1に示す。斜面長は5m、斜面幅は0.3m、ここに砂層厚0.4mに細砂(珪砂7号)を、敷きつめる。写真-1は、実験装置の全体を写している。この上部に模擬降雨発生装置を取り付ける。この降雨発生装置は、塩化ビニール管に、10cm間隔で内径0.4mmの穴を開け、その近傍に蛸糸を垂らすことにより、水がそれを伝って落ちるようになっている。砂層表面には、表面流が発生した場合に大量の土砂が流れてしまい、これを防ぐために、砂層表面にナイロン製のネットを設置した。流出量は水路下流端において測定し、表面流があれば、砂層からの流出量とは別に、これを測定した。また、テンシオメーターによって砂層内の9ヶ所の負圧を測定し、その時間的変化を記録した。

この実験で用いた珪砂7号の、粒度試験の結果を図2-2、体積含水率試験の結果を図2-3、不飽和透水試験の結果を図2-4に示す。自然含水比は0.29%、飽和透水係数は0.0033 (cm/sec)である。

実験条件は、表2-1に示す。降雨強度を10, 20, 50 (mm/hr)の3種類、勾配を1/10, 1/5の2種類と変化させ、それぞれ実験開始から300 (min)降雨を継続させる。水路下流端における流出量、及び負圧の変化は、降雨状態の300 (min)と、降雨停止状態から300 (min)の合計600 (min)継続して行った。また、砂層表面のネットをはずした状態における測定をCASE.7で行った。表2-1のネットの有無はこれを示している。

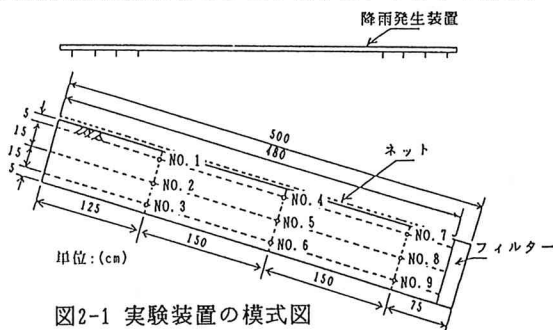


図2-1 実験装置の模式図



写真-1 実験装置の全体写真

Experimental Study on the Unsaturated Infiltration Processes with Surface Flow

by Mutuhiro FJITA, Taro YAMAMOTO, Siamak BOUDAGHPOUR and Masayuki TAKEMOTO

CASE	開始時降雨強度	終了時降雨強度
1	10.42 (mm/hr)	9.93 (mm/hr)
2	21.21	18.84
3	51.88	44.64
4	10.52	9.77
5	20.01	18.08
6	50.33	45.05
7	11.56	11.27

	斜面勾配	ネット
1	1/10	有
2	1/10	有
3	1/10	有
4	1/5	有
5	1/5	有
6	1/5	有
7	1/10	無

表2-1 実験の諸条件

3. 実験の結果と考察

図3-1～図3-7は、これらの実験に用いたハイトグラフと水路下流端からの流出量、及び圧力水頭の測定値を示している。サクシンの圧力変動を示す図のNO. 1, NO. 2等は、図2-1の番号と符合しており、テンシオメーターの埋設位置を示している。

まず全てのCASEから、圧力水頭が2段階で上昇し、また流出量も2段階で立ち上がるのがわかる。これをCASE 6を中心に、時間を追って説明する。初め、圧力水頭は一定値をとっている。これは、降った雨水がそのテンシオメーターの地点まで浸透しておらず、水分量の変化がないことを示している。最も上流側にあるNo. 1～3においてこの一定となる時間は長くなっているが、特に勾配が1/5の場合、それぞれの地点における初期含水量が非常に小さいために、雨水が表面から徐々に土粒子に吸収され、鉛直方向に浸透しにくくなるためであると思われる。No. 1～3で見てみると、No. 1の圧力水頭がまず上昇し、次にNo. 2、3と上昇し始めることから、これがわかる。

次に、2回目の圧力水頭の一定値は、新しい雨水がその地点を浸透している状態を示していると思われる。斜面中央部 (No. 4～6)、下流部 (No. 7～9) ではっきり現

通過質量百分率 (%)

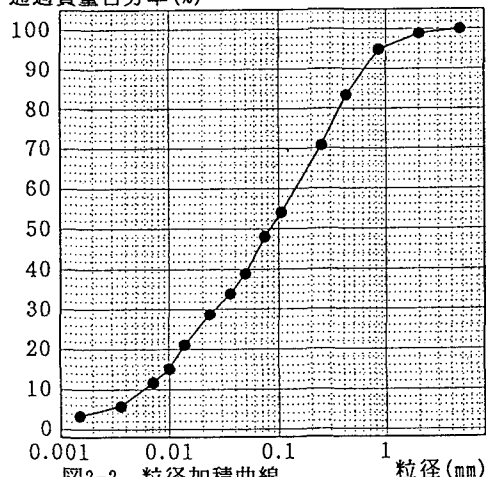


図2-2 粒径加積曲線

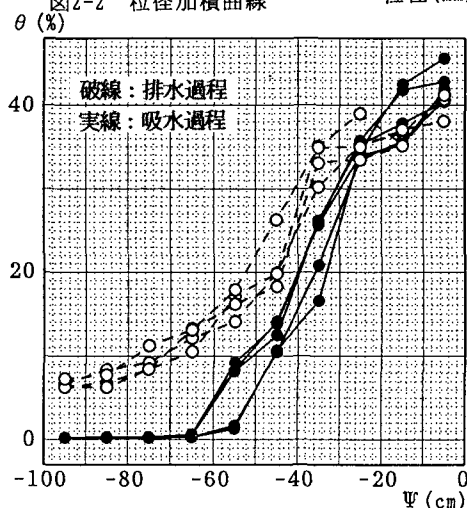


図2-3 体積含水率 θ と圧力水頭 Ψ

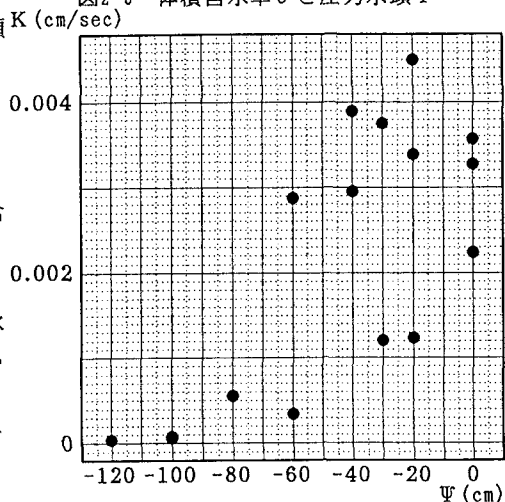
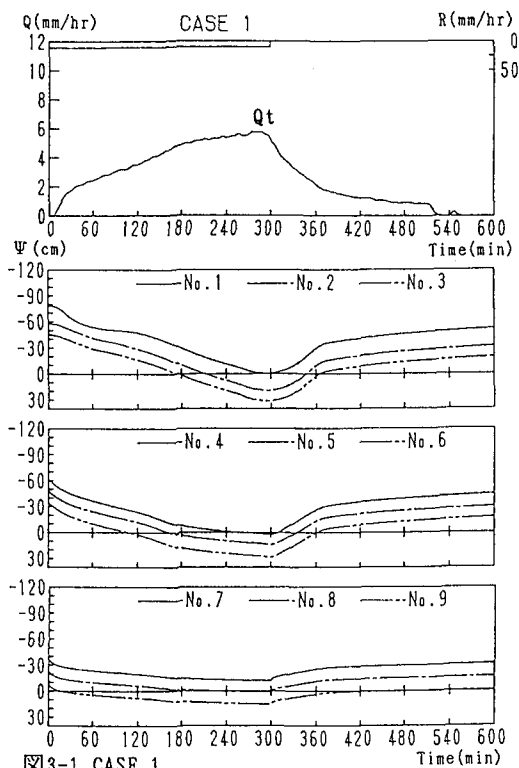
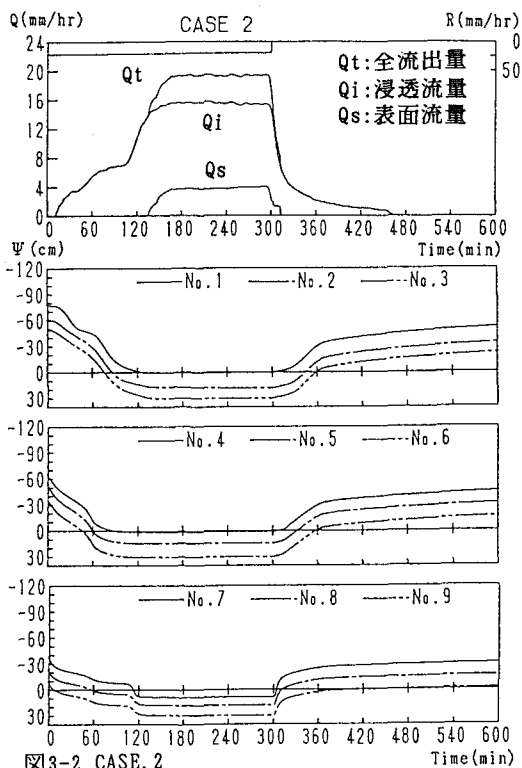


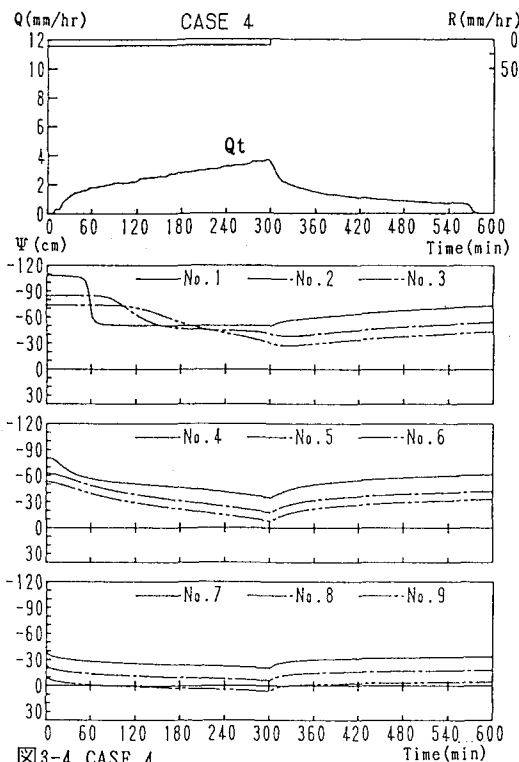
図2-4 不飽和透水係数 K と圧力水頭 Ψ



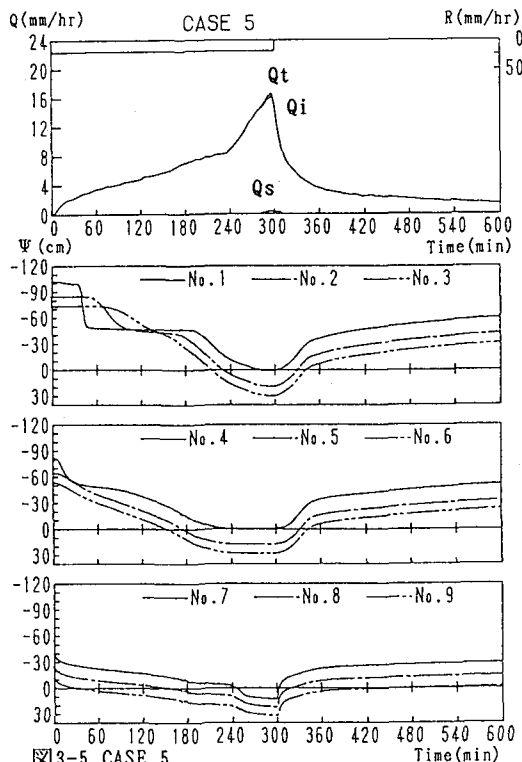
☒ 3-1 CASE. 1



☒ 3-2 CASE. 2



☒ 3-4 CASE. 4



☒ 3-5 CASE. 5

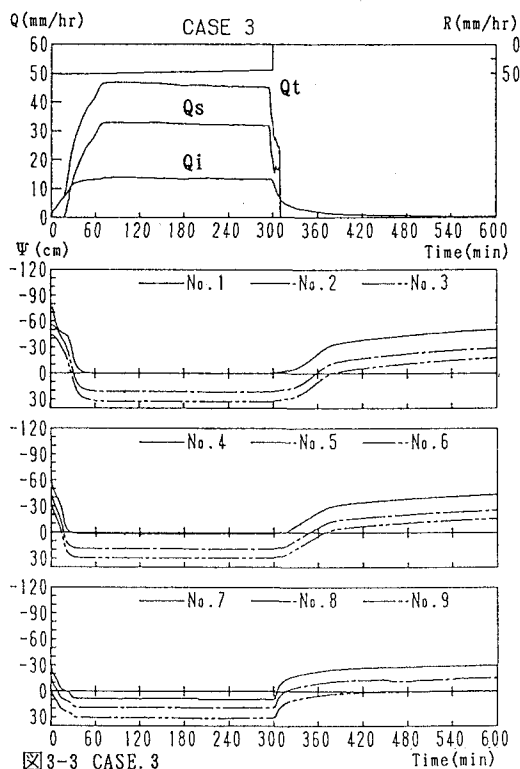


図3-3 CASE.3

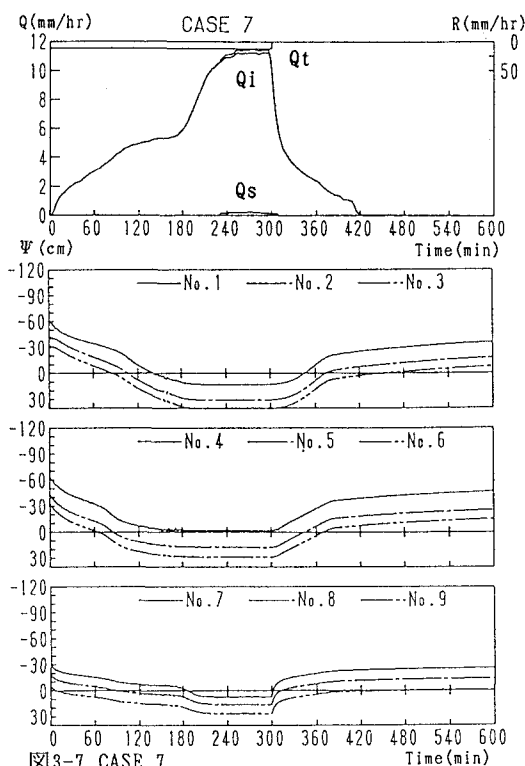


図3-7 CASE.7

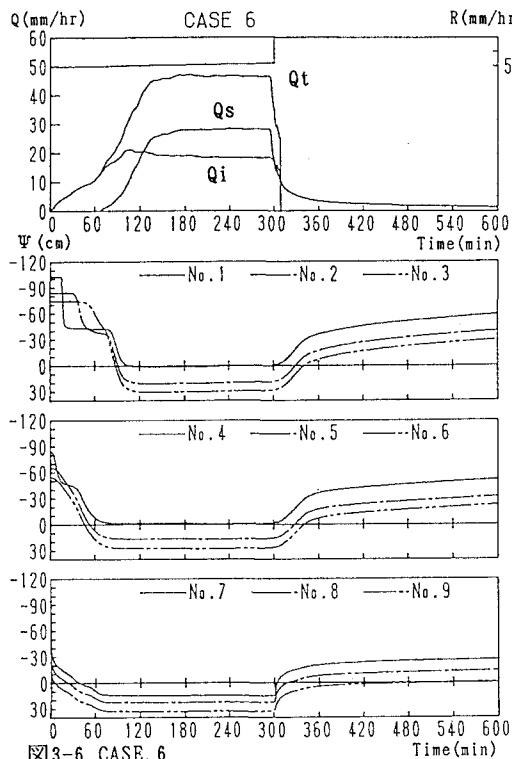


図3-6 CASE.6

れていないのは、その地点での降雨水の外に、上流部からの斜面方向の浸透流も加わるためであろう。またこの時、ハイドログラフが1回目の立ち上がりを見せていることから、この時の流出は新しい雨水の流入により押し出された水が中心であることがわかる。

そして、3回目の一定値は、地下水面がそれぞれの地点の地表面近くまで上昇し、定常に落ちついた状態を示しているであろうと思われる。No.7~9のテンシオメーターにおいてこの一定値をとる時と、ハイドログラフの2回目の立ち上がりとが、ほぼ一致していることから、この時の流出が新しい降雨水によるものが中心であることがわかる。これは、岩崎ら¹⁾が降雨水に塩水を用いた実験を行い、この2回目の立ち上がりにおいて、流出の塩分濃度が急激に上昇したことから確認されている。また、この定常状態に至るまでにかかる時間が、中央部が最も短く、次に下流部、最後に上流部の順となっているが、これは、中央部は降雨水に上流からの浸透流が加わるために地下水面の上昇が早く、下流部は末端において浸透流が流出しているために、地下水面の上昇が遅れるためであろう。実際、砂層表面において、表面流が発生し始めるのは、下流部ではな

く中央部からであった。

降雨停止後、それぞれの圧力水頭はある一定値まで急激に戻る。これは、地下水面が下降している状態であり、下流側になる程これにかかる時間は短くなる。このあと、土粒子間にある水が徐々に抜けるため、なだらかに初期状態へと回復する。

次に、同じ降雨強度において、勾配1/10、1/5のハイドログラフを比較すると、1/5の時の方が、1/10の時より立ち上がりが遅いのがわかる。これは、1/5の時の方が1/10の時より、初期水分量が少なく、雨水が、まず土粒子に吸収されるために、流出の応答が遅れるのではないかとと思われる。

CASE.7の実験は、砂層表面に設置したネットの効果を調べるために行った。このネットは、ナイロン製で約1(mm)メッシュのものである。先にも述べたように、このネットは、表面水による表層土砂の流出と、雨滴による表面の掘削を防止するために設置した。写真-2は、ネットを設置しない状態で、降雨(10mm/hr)の開始後3時間後における砂層表面の状態である。降雨発生装置が十分でなく、写真-2で示すように、雨滴による表層の掘削がみられる。CASE.1は、ネットのほか、他の条件はCASE.7と同一であり、この両者を比較している。これらを比較すると、ネットが無い時の方が、ネットが有る時よりも流出量の応答が早いのがわかる。CASE.1が、降雨開始から300(min)経過してもピークを迎えていないのに対して、CASE.7では、約240(min)経過後にピークを迎えている。これは、ネットが一時的に砂表面において、水を保持し、このために表面から水が浸透する速度が遅くなり、ネットの無い場合には、砂層表面に雨滴による掘削の効果により、浸透速度が早くなるためであろう。実際の流域においても、裸地であれば、CASE.7のような状態が生ずるものと思われる。また、植生がある場合には、表土層に掘削の生ずることがなく、本実験で用いたネットは、植生の役割を果たしていたのではないかとと思われる。

4. 結論

1) 降雨発生時における、流出量の増加と圧力水頭の上昇は、ともに二段階のステップがあり、それぞれが対応しあっている。

2) 表面流が発生するのは、地下水面が地表面近くまで上昇したときであり、末端部よりも斜面中央部で、先に発生する。

3) 同じ降雨強度で、同じ砂質であれば、斜面勾配が大きい方が、降雨に対する流出の応答は遅い。これは、初期水分量が少なく、砂に水分が吸収されるためである。

4) 砂層表面のネットが、植生の役割を果たしたとみなせるとすれば、植生が流出に及ぼす影響は、非常に大きく、応答を遅らせ、また、表面の土砂の流出を防ぐ役割をも持っている。

5. 今後の課題

1) 今回使用したネットの効果が、予想よりもかなり大きく流出量に影響を与えた。しかし、この比較実験が十分にできず、今後、さらに実験を続ける予定である。

2) 降雨発生装置の雨滴落下孔の間隔が広く、雨

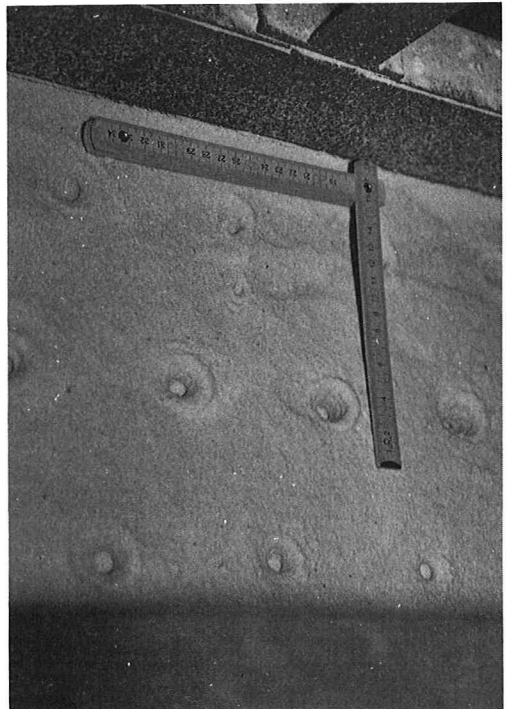


写真-2 ネット無の時の砂層表面

滴が一点に集中して落ち、ネットを設置しなければ、砂層表面に掘削が生じた。よって、砂層表面に、一様に雨滴が落ちるよう、降雨発生装置を改良することが必要である。

3) 粒径の異なる砂または土において、初期水分量を等しくし、それぞれの流出量の変化の特徴を比較する実験も行う必要がある。これは、先にも述べた岩崎らによる実験により、粒径が細かい砂のほうが、粗い砂よりもハイドログラフの立ち上がりが早いとされたが、これが、粒径によるものなのか、または、初期水分量によるものなのかを、調べるためである。

【参考文献】

- 1) 山田正、許士達広、村上泰啓、岩崎福久：斜面流出の素課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) 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.
- 3) 藤田陸博、萩原敬也、許士達広、高橋一浩、Siamak Budaghpour:大空隙を有するどそう内の土層内の不飽和浸透流の特性に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集、1991.
- 4) 藤田編：土壤中における降雨の浸透過程の研究、第32回水理講演会論文集、1988.