



Title	降雨インテーク・レートの2・3の特性について(2): 降雨による緊密層形成に伴う浸透速度の低下について(農業工学科)
Author(s)	吉永, 安俊; 山城, 三郎
Citation	琉球大学農学部学術報告 = The Science Bulletin of the Faculty of Agriculture. University of the Ryukyus(27): 223-229
Issue Date	1980-11-29
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4102
Rights	

降雨インテーク・レートの2・3の特性 について(2)*

(降雨による緊密層形成に伴う浸透速度の低下について)

吉永安俊**・山城三郎**

Anshun YOSHINAGA and Saburo YAMASHIRO : Some characteristics of intake rate of rainfall (2) (On the process of decrease of percolation ratio in the soil, due to crust made on the soil-surface by rainfall.)

I 諸 言

畑地カンガイにおける有効雨量の算出に際して、雨水の土壌への浸入速度は重要な意義をもつ。浸入速度は雨滴の衝撃作用による土壌表面の緊密化によって低下することはよく知られている。^{1,3)} 畑地土壌が耕起されて、その後、降雨を経験することによって、どのような過程で浸入速度は低下するか重要な問題となる。

筆者らは、降雨による、浸入速度の減少過程を知る目的で、直径14.6 cm、厚さ5 cmの供試土壌に、人工降雨による降雨経験を与えて、その浸透速度を測定し、降雨経過時間による浸透速度の変化を調べた。

II 実験材料および実験方法

1. 試料作成と実験装置

供試土壌としてサンゴ石灰岩土壌(島尻マージ)の2 mmフルイ通過試料を用いた。試料円筒を透明なアクリルパイプで作成し、試料断面および雨水の浸入状態が外から観察できるようにした。試料密度は乾燥密度で1.0とした。この値は沖縄本島南部糸満市を主としたサンゴ石灰岩土壌地帯の畑土壌表層5 cmに関する密度調査結果(図-2)の最頻値である。試料の含水比は、充填の際の取扱いなどを考慮して、多少低めの24%とした。供試体の大きさは、直径146 mm、厚さ50 mmとし、フィルターに厚さ50 mmの砂層(粒径0.84~2.0 mm、透水係数 $h = 4.0 \times 10^{-2}$ cm/sec程度)を設けた。試料密度の均一化を図るため、試料円筒に10 mm間隔の目盛を刻み、10 mm厚さ分づつの試料土壌をその目盛に合わせて充填した。

使用した人工降雨装置の概略図を図-1に示す。散水部が50 cm×50 cmの面積で散水ノズルが40本配

* 昭和55年農業土木学会大会にて発表

** 琉球大学農学部農業工学科 27 : 223~229 (1980)

置されている DIK-810 型である。雨滴落下距離は、実験室条件の制約により 2.3 m とした。装置は室内に設置してあるが、雨滴の風による影響をさけるために、装置の周囲に防風シートをめぐるした。また、降雨装置自体に降雨分布の片寄りが若干あるので、試料を写真-1 に示すように試料台の回転軸から等距離に置き、試料台に毎分 3.5 回の回転を与えて降雨分布の均一を図った。

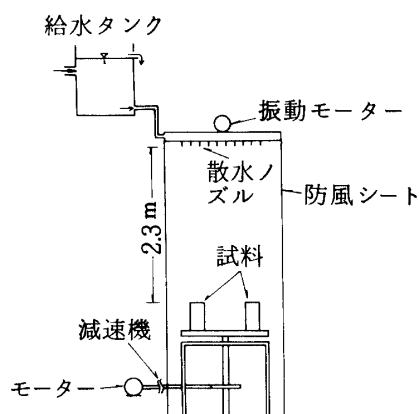


図-1 人工降雨装置の略図

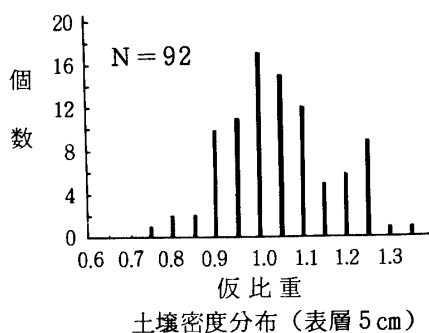


図-2 石灰岩土地帯表層 5 cm の密度分布

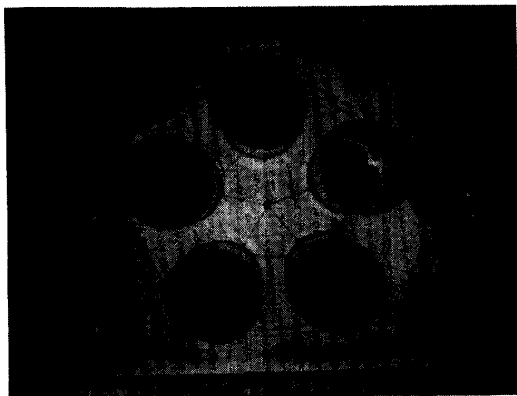


写真-1 試料の位置

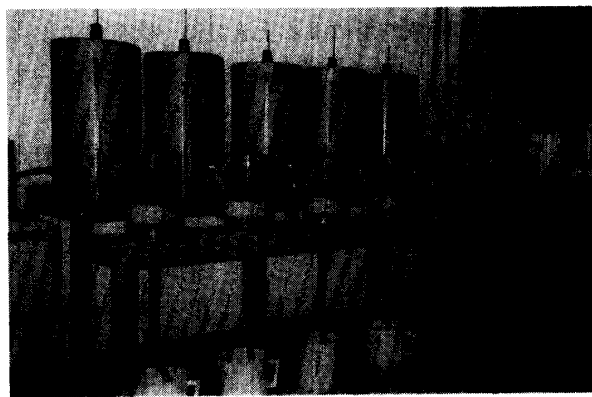


写真-2 浸透速度測定装置

2. 実験方法

降雨強度による浸入速度の減少過程の違いを知るために降雨強度を 32 mm/hr, 74 mm/hr, 117 mm/hr の 3 種について行った。それぞれの降雨強度について、タン水開始時、タン水開始前およびタン水開始後の任意時間における浸透試験を行い、浸透速度を求めた。タン水開始前任意時間における測定は、降雨強度 32 mm/hr については降雨開始後 30 分と 50 分の 2 経過時間で行い、74 mm/hr については 10 分と 18 分の経過時間について行った。なお、117 mm/hr についてはタン水開始時間が短かったために測定は行っていない。タン水開始後の任意経過時間の測定については、タン水深との兼ね合いで、117 mm/hr と 74 mm/hr においては 10 分間隔で行い、32 mm/hr においては 20 分間隔で測定を行った。一回の降雨試験につき試料 4 コを用いて行い、それぞれの試料における降雨時間は、タン水前の任意時間の測定に

ついで、個々の試料同一時間とし、タン水開始時については、個々の試料のタン水開始時間とした。なお、個々の試料にはタン水開始時間に若干の差があるので、タン水開始後の任意経過時間における測定においては、個々の試料のタン水開始時間に所定の経過時間を加えた降雨時間とした。個々の試料は所定の降雨時間に達するとただちに降雨装置から取り出し、タン水深を測定した後、浸透試験を行った。浸透試験は、写真-2に示す方法でマリOTT装置を用いて水頭5cmの定水位法で行った。浸透量の測定は試料下部より排水が始まり、ほぼ一定の状態に落ち着いてから開始し、約20~40分間について行った。

降雨強度は雨量計(試料円筒と同一内径および高さ)を用いて、降雨終了時までの雨量を量り、これを60分間強度に換算して求めた。タン水開始時の判定は土壤表面に表面に沿った薄い水膜が発生した時点とした。

III 実験結果および考察

図-3に供試土壤の粒度分析結果を示す。図から明らかなように粘土分が90%以上の粘土質土壤である。0.05mm径における分散率²⁾は5~6程度で耐水性の大きい土壤である。土壤の耐水性は、降雨による土壤表面の緊密層の生成に大きな影響を与えられている。相馬¹⁾は土壤の耐水性とその透水係数との関係を調べて、耐水性の小なる土壤ほど団粒が破壊されやすく、浸透の減退は著しいとしている。また川村^{3,4)}も表層土の耐水性と雨滴の衝激作用による緊密層形成にはきわめて密接な関係があることを確認している。

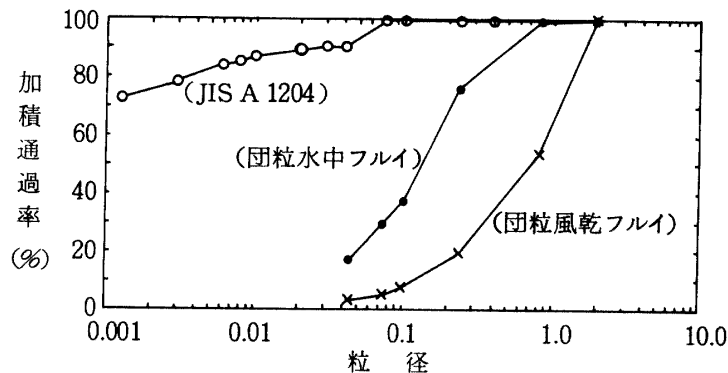


図-3 粒度分析

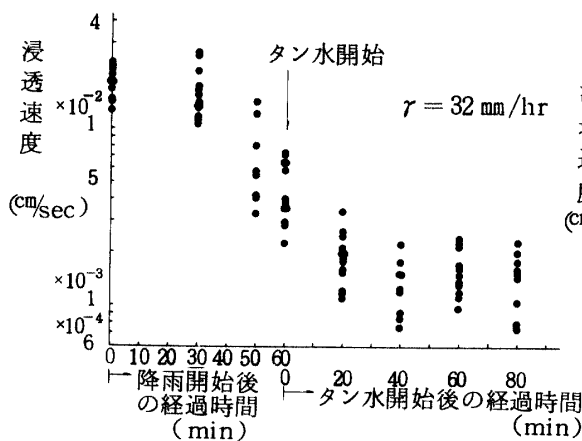


図-4 降雨時間と浸透速度の関係

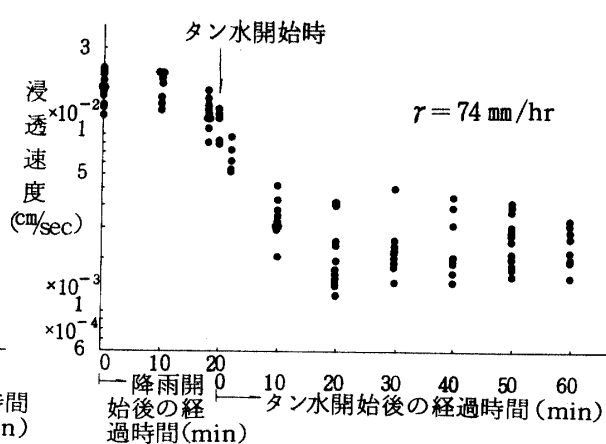


図-5 降雨時間と浸透速度の関係

降雨強度 32mm/hrのときの降雨経過時間とその時間における浸透速度の関係は図-4で示される。図の横軸の上欄の数字は、降雨開始からタン水開始時までの経過時間を表わし、下欄の数字は、タン水開始時からの経過時間を表わしている。個々の試料のタン水時間に若干の差があるので、図-4におけるタン水開始時間は個々の試料のタン水開始時間の平均値で示した。タン水開始後の経過時間については、個々の試料のタン水開始時間を平均値に揃えて、そこを起点として表わしてある。図-5、図-6も同様な方法で表わした。図-5は降雨強度 74 mm/hr, 図-6は降雨強度 117mm/hrにおける降雨経過時間と浸透速度の関係を示す。

浸透速度は写真-2に示す方法で、水頭5cmを与えた時の任意時間の浸透量を測定し、次式によって求めた。

$$v = \frac{Q}{At}$$

- v : t 時間平均浸透速度 (cm/sec)
- Q : t 時間浸透量 (cm³)
- A : 試料断面積 (cm²)
- t : 時間 (sec)

従って、ここでの浸透速度は5cmの水頭を与えた時の速度である。これらの浸透速度は試料の不飽和状態における値であるので若干のバラツキがある(図-4~図-6)。これらの平均値を求めて示すと図-7になる。

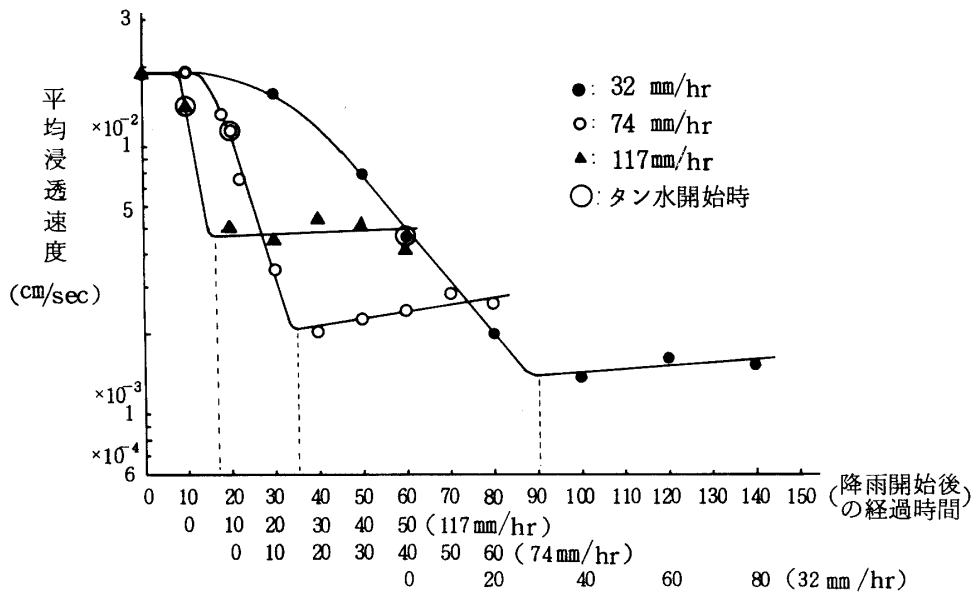


図-7 降雨経過時間と平均浸透速度の関係

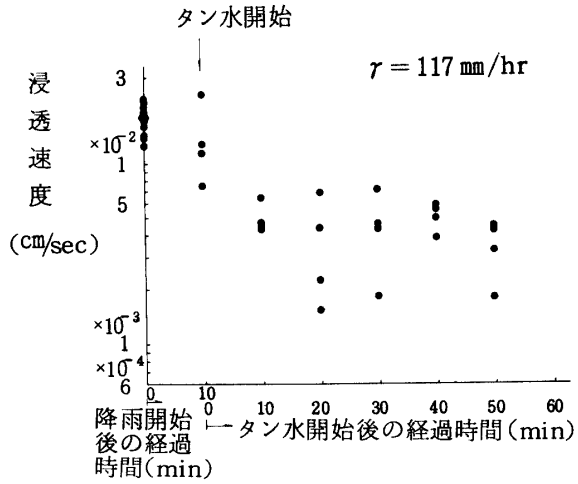


図-6 降雨時間と浸透速度の関係

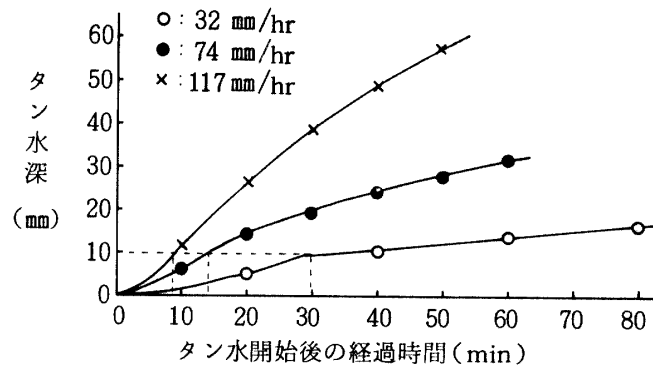


図-8 タン水開始後の経過時間とタン水深の関係

図-7において降雨継続時間に伴って浸透速度が減少過程を辿ることがよくわかる。浸透速度の低下は降雨によって土壌表面に形成される緊密層によるものであるから、図-7に示される浸透速度の減少は、土壌表面の緊密層形成が行われたことを意味する。従って、土壌表面の緊密化は降雨開始からある一定時間まで進行し、その後、若干の回復はみられるが、ほぼ平衡状態を保つことがわかる。

土壌表面の緊密化は雨滴の衝撃エネルギーによる土壌表面の構造破壊と土粒子の移動で土壌間隙が閉塞されて起こる^{6,8)}。土壌表面はタン水開始直前からタン水深が2~3mmに達するまで泥濘化が観測される。これは吉永⁹⁾によっても確認されている。従って、土壌表面はこの時最も激しく緊密化が進むものと考ええる。

表-1 最小浸透速度におけるタン水深

降雨強度 (mm/hr)	タン水開始時から最小浸透速度に達する時間 (min)	最小浸透速度に達した時のタン水深 (mm)
117	8	10
74	15	10
32	30	10

各降雨強度のタン水開始時から最小浸透速度に達する経過時間を図-7より求め、その時間におけるタン水深を図-8より求めると表-1に示される関係になる。表-1に示されるように、それぞれの降雨強度において最小浸透速度に達する時間は異なる。しかし、それに達した時のタン水深はいずれの降雨強度でも約10mmである。これは降雨強度には関係なく、タン水深が約10mmに達する時、浸透速度は最も小さくなることを意味する。従って、土壌表面の緊密化はタン深が約10mmに達するまで進行し、約10mm付近で最も密な状態になるものと考ええる。図-7によると浸透速度の減少過程は降雨強度によって異なり、降雨強度が大きい程減少量は小さい。この原因は降雨強度が大きい程タン水深が10mmに達する時間が早く、従って、雨滴による土壌表面の攪乱時間が短くなり、緊密化が十分行われなためと考ええる。図-7から明らかのように、浸透速度の減少過程は逆S字状を示し、タン水深が10mm以上になると若干の回復現象がみられる。これは土壌面の緊密層の弱い部分が雨滴の落下による水の振動と、浸透流による土壌微粒子の下方への流去によって破壊されるためと考ええる。ちなみに、降雨による緊密層形成の試料について浸透速度の経時変化を調べてみると、図-9(b)に示される関係になる。これは降雨強度74mm/hrの降雨下でタン水開始後20分(降雨開始から約40分)までの降雨経験を与えた試料の浸透速度の経時

変化である。(a)のプロットは降雨経験のない、すなわち緊密層が存在しない均一な試料の浸透速度の経時変化である(試料に5 cmの水頭を与え、試料下部より排水が始まり、浸透がほぼ一定に落ち着いた状態から測定を開始した)。これら二つの試料の浸透速度は対称的な経時変化を示す。(a)の試料の浸透速度は経過時間と共に低下している。これは浸透試験に水道水を使用したため、水に含まれた空気が遊離して気泡となり、土壌間隙中に残留し、流路断面を縮小させる現象、すなわちエアー・バイディング現象⁷⁾の影響と考える。逆に(b)の試料の浸透速度は経過時間と共に増大する。この原因は浸透流によって緊密層の土壌微粒子が下方へ流去されることによって起こる緊密層の破壊現象による影響と考える。この場合においてもエアー・バイディングの影響は考えられるが、破壊作用の影響が大きいため、浸透速度は増加傾向を示すものとする。

雨水の浸透速度の減少過程は、土壌条件が等しいならば、降雨強度に左右され、浸透速度の減少量は降雨強度が大きい程小さい。しかし、三原⁵⁾の研究によれば、降雨強度が等しい場合でも、その雨滴分布が異なれば、浸透速度の減少過程は異なり、大雨滴が多い程減少程度は大きいとしている。本実験においては人工降雨の雨滴分布の調査は行っていないが、それぞれの降雨強度における雨滴分布の構成比は同一という仮定で考察を行った。

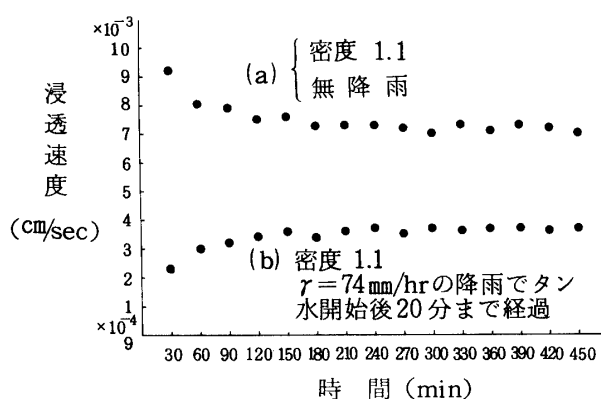


図-9 浸透速度の経時変化

以上の結果より、厚さ5 cmの供試土壌の浸透速度はタン水深が10 mmに達するまで降雨継続時間と共に減少することが明らかとなった。

タン水開始後の浸入過程において、表層5 cmの薄い土層では浸入速度=浸透速度と考えられるから、サンゴ石灰岩土壌地帯のような比較的透水性の良い畑土壌においては、タン水開始後の浸入速度は、本研究の浸透速度の減少過程結果とほぼ同じような減少過程を辿るものとする。

IV 摘 要

人工降雨を用いて、土壌の浸透速度の減少過程を降雨開始から経時的に調べた。

1. 降雨の経過時間に伴う浸透速度の減少過程は図-7で示される逆S字状をなし、タン水深が約10 mmに達するまで減少を示し、タン水深が約10 mmのとき浸透速度は最小値に達する。その後若干回復するがほぼ平衡状態を保つ。

2. 浸透速度の減少過程は降雨強度によって異なり、降雨強度が大きい程、減少量は小さい。

3. それぞれの降雨強度における最小浸透速度の値を降雨未経験試料の値に対する割合で示すと、117 mm/hr で 1/4, 74 mm/hr で 1/10, 32 mm/hr で 1/14 となる。従って降雨強度の小さな雨をタン水深が

約10 mmに達するまで経験させると、浸透速度はかなりの割合で低下するものとする。

Summary

Making use of a rain simulator, an observation was made on the process of decrease in the percolation ratio of the soil.

1. The process of decrease in percolation ratio versus the lapse of time of rainfall forms a reversed S curve as shown in Fig. 7. It shows a decrease of percolation ratio until the depth of flood reaches around 10 mm, and the percolation ratio shows its minimum value at the depth of 10 mm. From then on it regains a little, but holds a state close to the equilibrium.
2. The process of decrease of the percolation ratio differs with the intensity of rainfall; the stronger the intensity, the less the decrease.
3. The proportion of minimum percolation ratio at each rainfall intensity to the percolation of the material with none rainfall experience, are 1/4 at 117 mm/hr, 1/10 at 74 mm/hr and 1/14 at 32 mm/hr. Therefore, it is inferred that if rainfall of a small intensity is experienced until the depth of flood reaches approximately 10 mm, the ratio of percolation should decrease remarkably.

参 考 文 献

1. 相馬恒一 1956 雨滴による土壌皮膜の生成, 研究の資料と記録(東大農学部農地工学研究室) 第2集, P 23~28
2. 土壌物理性測定法委員会編 1972 土壌物理性測定法, P 426~427, 東京, 養賢堂
3. 川村秋男 1966 瀬戸内鈹質土壌の侵蝕性とその保全に関する研究, 四国農業の新技術, 第3号 P 117~230
4. 川村秋男・山崎清功・氏家勉 1963 寡雨条件における侵蝕機作に関する研究(土壌水分系と鈹質土壌の侵蝕性), 四国農試 8 P 171~184
5. 三原義秋 1951 雨滴と土壌侵蝕, 農技研報告A 1号 P 1~59
6. 野口彌吉・福田仁志共訳 1948 ベーバー土壌物理学 第2版 P 356~361, P 372, 東京, 朝倉書店
7. 八幡敏雄 1960 エヤー・バインディングによる透水性低下について, 研究の資料と記録(東大農学部農地工学研究室) 第10集 P 1~32
8. _____ 1975 土壌の物理 P 148~149 東京, 東大出版会
9. 吉永安俊 1979 降雨インテーク・レートの2・3の特性について(1) 琉大農学部学術報告 第26号 P 297~305