



琉球大学学術リポジトリ

University of the Ryukyus Repository

Title	降雨インテーク・レートの2・3の特性について(1)(農業工学科)
Author(s)	吉永, 安俊
Citation	琉球大学農学部学術報告 = The Science Bulletin of the Faculty of Agriculture. University of the Ryukyus(26): 297-305
Issue Date	1979-12-11
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4161
Rights	

降雨インテーク・レートの2・3の 特性について(1)*

吉永安俊**

Anshun YOSHINAGA : Some characteristics of intake rate
of rainfall.

I 諸 言

沖縄地方のように水資源の乏しい地域で畑地カンガイ計画を立てる場合、有効雨量は水源開発可能量と合わせてカンガイ計画面積を決定する重要な因子となる。降雨量の一部または全部が土壤中に貯えられ、作物の生育に利用される部分を有効雨量と定義すれば、カンガイ計画において一雨一雨がどれ程土壌中へ浸入し貯留されるかが重要となる。雨水の土壌への浸入速度、すなわち降雨インテーク・レートは土壌条件および降雨条件に支配されると考えられる。降雨インテーク・レートに影響を及ぼす因子は大別して、土壌成分、土壌構造、土壌含水比、土壌密度、土層深等の土壌条件と降雨量、降雨強度、降雨分布、気温等の気象条件および作物、生育ステージ等の植栽条件が考えられる。自然界ではこれらの因子が複雑に影響し合って降雨インテーク・レートを決定する。

本研究は畑地カンガイ計画において有効雨量推定の際、重要因子となる降雨インテーク・レートについて、土壌条件および気象条件を単純化し、それらの条件が降雨インテーク・レートに与える影響を明らかにし、有効雨量推定に役立てようと試みるものである。今回は裸地状態を想定して、土壌含水比、土壌密度、土層深、降雨強度の4因子のみについて実験を行い、それらが降雨インテーク・レートに及ぼす影響を明らかにする。

II 実験材料および方法

1 試料作成および実験装置

供試土壌としてサンゴ石灰岩土壌（島尻マーチ）の2mmフルイ通過試料を用いた。降雨は人工降雨装置で発生させた。

供試体は図-1に示す内径25cmの塩ビ製円筒に土壌を含水比（重量%）、密度（乾燥密度）、土層深それぞれ所定の条件でつめて作成した。試料密度を均一にするために図-1の円筒内壁に5cm間隔に目盛をつけてある。充填の際、土壌は試料円筒の5cm深さ分づつに分けておき、それをさらに2回に分けて、2.5cm深さ分づつを円筒の目盛と調整しながら充填した。

* 昭和54年度農業土木学会にて発表

** 琉球大学農学部農業工学科

琉球大学農学部学術報告 26: 297~305 (1979)

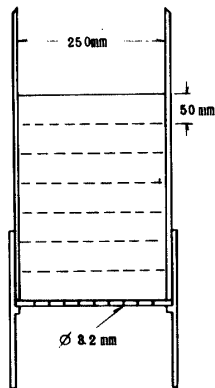


図-1 試料円筒

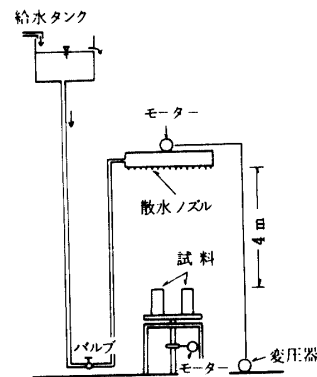


図-2 人工降雨装置

人工降雨装置は図-2に示すように散水部が $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ の面積で散水ノズルが128本。試料面までの雨滴落下距離は約4 mである。雨滴分布の風による影響を避けるため、降雨装置の周囲は防風シートをめぐるしてある。しかしなお入ってくる隙間風による影響や装置自体の降雨分布の片寄りを避けるため、試料台に毎分5回の回転を与え、降雨分布の均一を図った。降雨強度は給水管に取付けられているバルブ操作で調節する。雨滴径は変圧器により散水部の振動数で調節するが、本実験においては雨滴径の分布を同じにするため終始振動数を一定にしている。

2 実験方法

1) 降雨強度による影響

含水比、密度、土層深を一定にし、降雨強度を6段階に変化させてタン水開始時間とタン水開始後の浸入速度の測定を行った。降雨強度は試料台に試料3コと共に雨量計1コを置き、測定終了時までの雨量を量り、それを60分間強度に換算して求めた。降雨インテーク・レートを測定する目的で、試料3コのタン水開始時間と、そのうち1コのタン水開始後60~70分間のタン水深の径時変化を測定した。

2) 含水比による影響

密度、土層深、降雨強度を一定にし、含水比を2段階に変化させてタン水開始時間の測定を行った。高含水比は試料底部より吸水させ、飽和状態にした後、24時間の自然排水を行って作成した。

3) 密度による影響

1) の実験を密度0.8, 0.9, 1.0, 1.1の4種について行った。

4) 土層深による影響

含水比、密度、降雨強度を一定にし、土層深を、20cm, 25cm, 30cm, 35cmの4種についてタン水開始時間の測定を行った。

III 実験結果および考察

降雨インテーク・レートは雨滴の衝撃エネルギーによる土壌表面の構造破壊や、それに伴う土粒子移動による土壌間隙閉塞で低下する^{4,5)}。

本研究ではタン水開始時間を測定することにより、その時間の長短で土壌の降雨インテーク・レートの大小の判断をした。同一条件の試料、降雨強度でタン水開始時間が等しい時降雨インテーク・レートも等しく、タン水開始時間が長い時降雨インテーク・レートは大きく、逆にタン水開始時間が短い時降雨インテーク・レートは小さいと考えた。

1 土壤密度と降雨強度の影響

図-3は各密度における降雨強度とタン水開始時間の関係である。両者の間は(1)式で示される指数曲線で近似できる。

$$t = a (R - \alpha)^{-b} + \beta \dots\dots\dots(1)$$

t : タン水開始時間 (min)

R : 降雨強度 (mm/hr)

a, b, α, βは定数

(1)式の各密度における定数を計算し代入すれば降雨強度とタン水開始時間の関係はそれぞれ(2)式で示される。

$$\left. \begin{aligned} t_{0.8} &= 1000 (R - 15)^{-0.85} + 6 \\ t_{0.9} &= 1000 (R - 10)^{-0.85} \\ t_{1.0} &= 1000 (R - 8)^{-0.85} - 7 \\ t_{1.1} &= 1000 (R - 6)^{-0.85} - 12 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

(tのSuffixは密度を表わす)

(1)および(2)式でt = ∞とおくことによって永久にタン水の起らない降雨強度が求まる。すなわちその土壤における限界降雨強度が求まる。

(2)式においてR_{0.8}=15, R_{0.9}=10, R_{1.0}=8, R_{1.1}=6 mm/hrのときそれぞれの密度においてtが無大になる、従って、それぞれの降雨強度はそれぞれの密度における限界降雨強度となる。

今、仮に散水カンガイの場合を考えてみると、(2)式は散水強度決定にも用いられる。すなわち限界降雨強度を限界散水強度とみなす。しかし、実際の散水カンガイでは散水時間はせいぜい数時間であるので、限界散水強度に時間の概念を導入して、任意時間内における限界散水強度を求めればよい。従って

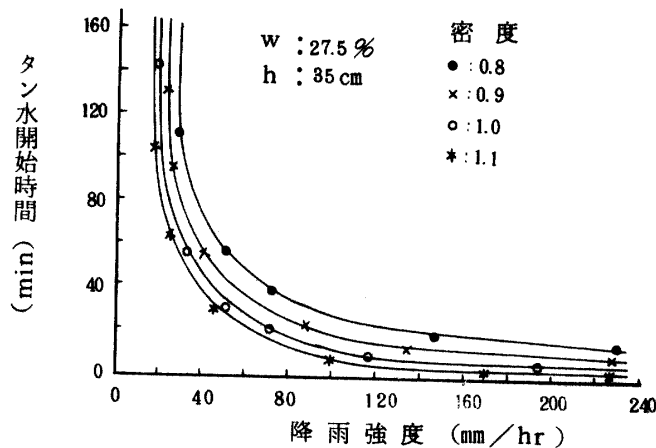


図-3 各密度の降雨強度とタン開始時間の関係

(2)式でtを任意時間にとり、t時間目にタン水の起る降雨強度を求めて、限界散水強度とする。例えば密度1.0の場合で散水時間を3時間とすれば、3時間目にタン水の起る降雨強度は(2)式で180 = 1000 (R - 8)^{-0.85} - 7とおくことによってR_{1.0} = 15.2 mm/hrが求まる。その値が散水時間3時間における限界散水強度となる。

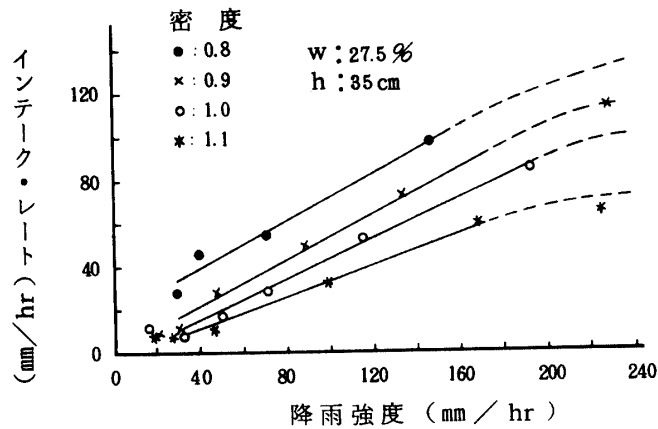


図-4 タン水開始後の降雨強度とインテーク・レートの関係

図-4は各密度における降雨強度とタン水開始後のインテーク・レートの関係を示す。インテーク・レートの値として、タン水開始後60～70分間におけるタン水深の経時変化(図-5)から、タン水開始後60分当たりのタン水深を求め、それと降雨強度の差をとった。インテーク・レートは降雨強度30mm/hrから200mm/hrあたりまでは降雨強度の増加と共に直線的に増加するが、降雨強度が200mm/hrを越えてさらに増加するとインテーク・レートの増加率は小さくなり最終的には一定値に近づく曲線関係²⁾になる。

雨滴の衝撃エネルギーによる土壌表面の緊密化は土壌自体の性質を除けば、降雨強度と降雨時間に左右されるものとする。土壌表面の緊密化現象はタン水開始直前からタン水深が2～3mm程度までに最も激しく起り、その間土壌表面の泥濘化が観測される。タン水深が10mm以上に深くなると土壌表面は雨滴による攪乱はほとんど受けなくなる。泥濘時間すなわちタン水開始直前からタン水深が2～3mmに達するまでの時間は降雨強度が小さい程長くなる。従って土壌表面の緊密化が促進されてインテーク・レートは低下する。逆に降雨強度が大きいと泥濘時間は短くなり、緊密化が十分進まないうちにタン水深が大きくなるので、インテーク・レートは低下せず大きい。

図-4でインテーク・レートが降雨強度の減少と共に小さくなるのは泥濘時間の延長に伴う緊密化の発達による影響と考える。土層中の浸透量は、最小の透水性をもつ層に支配される⁴⁾。本実験においては実験開始後は表層が最小の透水性をもつと考えられる。従って、図-4の密度は表層の密度で示すべきであるが、表層密度の測定を行っていないので、便宜上、初期密度で示している。

図-5はタン水開始後60分間のタン水深の経時変化を示す。タン水深が小さい場合は(a)のように直線関係を示すが、タン水深が大きくなると(b)のように若干水頭差の影響が出てきて曲線関係になる。しかし本実験においては直線とみなして処理した。

図-6は降雨強度60mm/hrにおける密度とタン水開始後のインテーク・レートの関係を示す。このインテーク・レートは緊密化された表層の密度に支配されると考える。ちなみに同一条件で作成した密度0.8のシリンダ・インテーク・レート(同円筒を用いタン水深を2cmに保ち、シリンダ法¹⁾)に従って行った実験の結果)の60分間平均浸入量は420mm/hrであり、図の48mm/hrに比べると約9倍の大きさになる。しかし密度1.1の値では78mm/hrと20mm/hrになり約4倍に縮まる。従って密度が小さい程降雨によるインテーク・レートの低下は激しくなると考える。

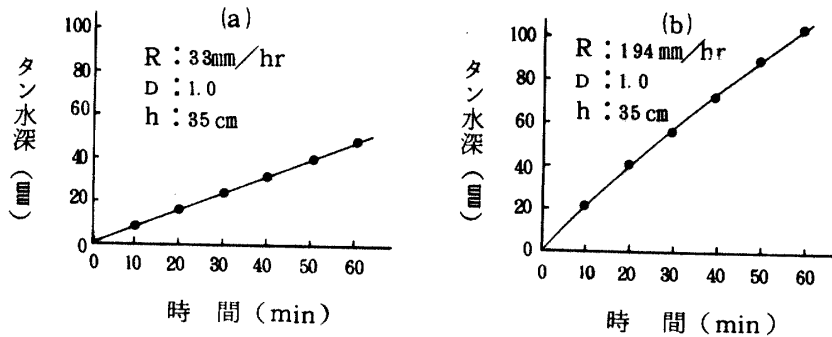


図-5 タン水開始後のタン水深の推移

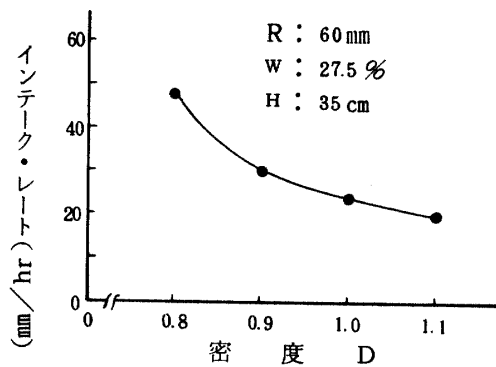


図-6 降雨強度60mm/hrにおける密度とタン水開始後のインテーク・レートの関係

2 含水比による影響

図-7は含水比とタン水開始時間の関係を示す。(a)は含水比26%と42%の試料の降雨強度54mm/hrでのタン水開始時間の結果である。含水比42%の試料は26%の試料と同一条件で作成し、試料下部より吸水させ、飽和状態に達した後、24時間の自然排水を行ったものである。

高含水比試料のタン水開始時間が遅い理由は、事前の吸水によって、土壤構造が比較的安定し、雨滴エネルギーによる土壤面の構造破壊が起りにくく、緊密化が進まないためと考える。(b)は(a)と同様な方法で作成した含水比28%と42%の試料の降雨強度34mm/hrで行った結果である。この結果では高含水比試料と低含水比試料のタン水開始時間がほぼ一致した(試料3コの平均で一致)。(a)のように降雨強度の大きな時のタン水開始時における土壤表面の密度は泥濘時間が短いため緊密化の発達が遅れ、初期条件の影響が残る。従ってインテーク・レートは初期条件の影響を受ける。(b)のように降雨強度が小さい時は泥濘時間が長くなるため、緊密化が発達し、表層密度は初期条件の影響を残さず均一になり、インテーク・レートは等しくなるものと考えられる。(a)、(b)で42%の含水比は試料全体の平均含水比であり、試料下部は上座毛管附着水³⁾の影響で飽和状態であるので土壤表面の含水比は平均値よりも低いものと思われる。

図-8はタン水経験回数とタン水開始時間の関係を示す。初回のタン水開始時間は初期密度によって

かなりの差がみられるが、タン水経験を3~4回連続的に経ると、ほとんど差はみられなくなり土壌表面は初期密度に関係なく一様に高密度になるものとする。2回目からは24時間間隔である。図-7の含水比の影響を考慮しても、タン水開始時間の短縮、すなわち降雨インテーク・レートの低下は雨滴エネルギーによる土壌表面の緊密化によるものとする。

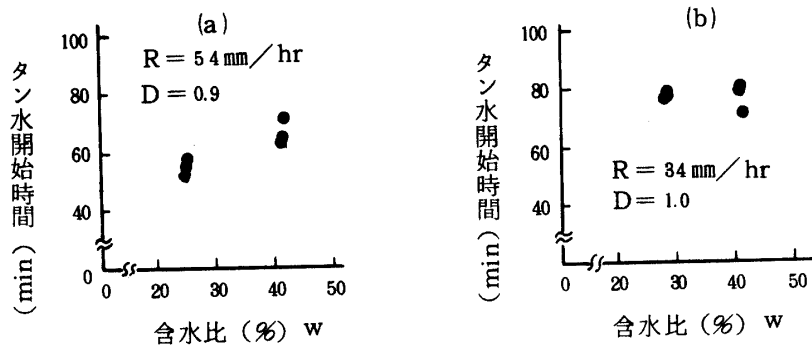


図-7 含水比とタン水開始時間の関係

土壌表層のキ裂による降雨インテーク・レートの回復を調べるために、タン水経験6回の試料を約2週間屋外に放置し、キ裂を発生させた後タン水開始時間の測定を行った。結果を図-8の右側に示す。キ裂の大きさは、深さ3~7mm、幅0.5~1.5mm程度で、それに囲まれる面積は平均3cm²である。

キ裂発生後のタン水開始時間は初期密度に関係なく同じになる。これは6回のタン水経験で各試料の表層密度が同一になっているためと考える。キ裂の深部は初期密度のままの状態と思えるが、キ裂面積の全体に占める割合が小さいことと、雨滴の衝撃でただちに目詰りを起こしてしまうために、タン水開始時間に与える影響はほとんどなく、タン水開始時間は表層密度によって決まるものとする。

表面乾燥およびキ裂発生のため、降雨インテーク・レートは初期密度1.1の試料で初回の約70%の回復が認められる。しかし、密度0.8では約20%の回復にすぎない。

3 土層深による影響

図-9は試料底部の密閉状態および開放状態の土層深とタン水開始時間の関係を示す。(a)は封入空気の影響を知るために試料底部を密閉してある。降雨強度50mm/hrにおけるタン水開始時間は、土層深に関係なく、ほぼ同時にタン水を開始した。表-1に示すように、密度0.9における間隙率は67.9%で、各土層深20cm、25cm、30cm、35cmのタン水開始時の飽和度はそれぞれ73.5%、65.9%、60.3%、57.0%

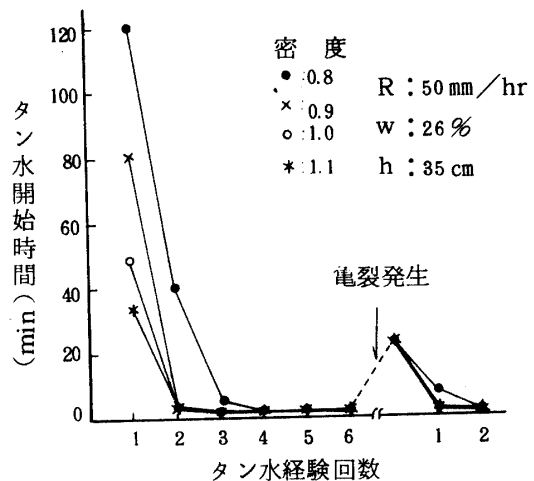


図-8 タン水経験回数とタン水開始時間の関係

表-1 密度と間ゲキ率

乾燥密度	0.8	0.9	1.0	1.1
間ゲキ率(%)	71.4	67.9	64.3	60.7
	比重2.80		植土に類する	

であった。(b)は試料底部を開放状態にして、排水および土壌空気が自由に抜け出るようになっている。(a)と同一降雨強度50mm/hrでのタン水開始時間は土層深に関係なく同時である。従って(a)同様土層深の影響は受けないものと考える。

(a), (b)において各土層深とも試料底部の密閉、開放に関係なくほぼ同一時間にタン水が起る。したがって封入空気はタン水開始時間にほとんど影響を及ぼさないものと考える。

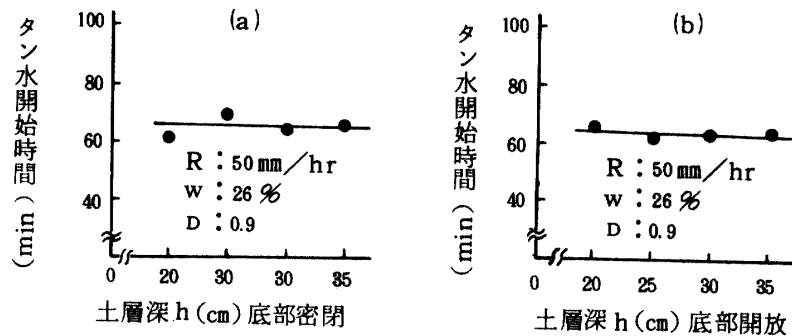


図-9 土層深とタン水開始時間の関係

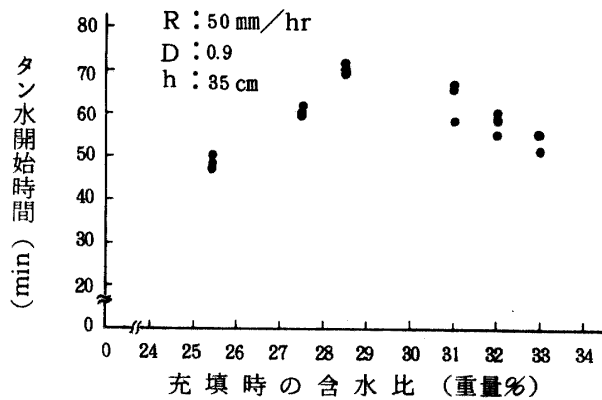


図-10 充填時の含水比とタン水開始時間の関係

一般に土層中の浸透量は、最小の透水性をもつ層に支配されるから⁴⁾、本研究のような均一密度の試料では、降雨インテーク・レートはタン水開始以前までは、土壌表面の初期密度の影響を受け、タン水開始以後は雨滴の衝撃エネルギーによって起る土壌表面の緊密化の影響を受ける。

図-10は充填時の含水比とタン水開始時間の関係を示す。充填時の含水比の変化に対してタン水開始時間はピークをもつ関係になる。これは土壌中の水分の多少の影響ではなく、それに伴う充填時の土壌構造の物理的安定度の影響と考える。従って、充填時の含水比29~30%附近が雨滴の衝撃エネルギーに対して、構造的に安定しており、泥濘化による目詰の起りにくい状態と考える。

本研究は裸地状態の降雨インテーク・レートについて行ったが、植生のある自然ホ場での浸入機構は若干異なるものと考える。例えば植生のあるホ場では個々の雨滴それぞれが土壌表面に落下するのでは

なく、一部は植物体でまとめられ、葉先あるいは幹伝いの落下、流下が発生する。従って土壤表面の攪乱は少なくなり、降雨インテーク・レートは裸地状態より若干大きくなるものと考える。

4 本実験における問題点

(1) 降雨強度に若干の経時変化が認められた(50mm/hr強度で60分間に3~4mm)。それがタン水開始時間およびタン水開始後のインテーク・レートにどの程度の影響を及ぼすかは明らかでない。しかし、比較実験においては同時測定を行っているので定性的には問題はないと考える。

(2) インテーク・レートの温度補正を行っていない。本実験は約半年にまたがって行っているため結果には若干の気象条件の影響が含まれているものと考えられる。

(3) 実験②)の含水比による影響では試料の底部は自由に排水できるようになっているので、自然ホ場などのように透水性の低い心土をもつ場合とでは、土壤含水比の降雨インテーク・レートに与える影響は若干異なるものと思われる。

IV 摘 要

1. この研究は降雨インテーク・レートの2・3の特性を明らかにする目的で行ったものである。
2. 供試土壤は石灰岩土壤(島尻マーヅ)の2mmフルイ通過試料を用いた。
3. 降雨は人工降雨装置で発生させた。
4. 降雨強度が大きくなるにつれて、タン水開始時間は短くなる。降雨強度とタン水開始時間の関係は $t = a(R - \alpha)^{-b} + \beta$ で近似できる。ここで、 t はタン水開始時間(min)、 R は降雨強度(mm/hr)、 a 、 b 、 α 、 β は定数。
5. 雨滴は土壤表面の団粒構造を破壊して、土粒子の移動による目詰まりを起させ、土壤表面を緊密化する。それに伴って、降雨インテーク・レートは低下する。
6. 降雨インテーク・レートは降雨強度の増加と共に大きくなる。

参 考 文 献

- 1 土壤物理性測定法委員会編 1972 土壤物理性測定法 p168~173 東京、養賢堂
- 2 平田徳太郎 1965 山地浸透計について、日林誌 38(1):34~40
- 3 宮坂 穂 1949 毛管附着水の基礎的研究、農土研 16(3~4):71~77
- 4 野口彌吉・福田仁志共訳 1948 ベーバー土壤物理学 第2版 p356~361, p372, 東京、朝倉書店
- 5 八幡敏雄 1975 土壤の物理、p148~149, 東京、東大出版会

Summary

1. The purpose of this study is to make clear some characteristics of intake rate of rainfall by means of rainfall simulator.
2. Ryukyu limeston (Sample Nakaza, Gushikami-Son), passed through 2mm mesh size Sieve, was used as the testing soil.
3. It has been observed that the flood beginning-time (T) decreases as rainfall intensity (R) increases.

The relationship between (T) and (R) can be expressed by an empirical formula:

$$T = a(R - \alpha)^{-b} + \beta$$

In this formula, T is flood beginning-time (min), R is rainfall intensity (mm/hr), a, b, α and β are empirical constants.

4. It has been observed that the falling raindrop breaks down aggregate of the soil, displaces, transports soil particles, percolates with fine particles which seal up the pores of the soil especially into the immediate surface, and compacts the soil surface. Consequently, the compact surface is responsible for low intake rate.
5. The Intake rate of rainfall increases in accordance with rainfall intensity.