

資 料

インテーク・レート測定データ取り扱い上の
問題点とその改善

岩 間 秀 矩*
奥 山 武 彦**

Practical Presentation of Infiltration Data

Hidenori IWAMA and Takehiko OKUYAMA

* National Institute of Agro-Environmental Sciences

** National Research Institute of Agricultural Engineering

1. はじめに

インテーク・レート、特にシリンダーを用いた湛水法によるものは比較的簡便に測定できることから、かんがい方法の選択やかん水量の上限設定に⁴⁾、あるいは土壤の排水性・受食性の評価に⁷⁾、また、最近ではハウス土壤などにおける集積塩類の洗脱の難易の指標⁴⁵⁾として測定されている。現場におけるマクロな土壤物理性の測定法としても重要であり、土壤の物理性診断への活用が望まれている⁵⁾。しかし、シリンダー湛水法によるインテーク・レートの測定には問題点が多く、土壤の物理性診断測定法としては確立されていないのが実情である。その主な問題点は、

- 1) 測定値の変動が大きいこと、
- 2) シリンダーの打ち込みに伴う土壤の攪乱
- 3) 湛水することによる空気封入の影響や雨水の浸透との差異を評価出来ないこと、
- 4) 打ち込み深さ、湛水深、pre-wetting など測定方法に統一基準のないこと、
- 5) 測定データの整理法に問題のあること、

などである。このうち1), 2), 3)は、測定法の本来的意味が問われる問題点である。1)の測定値のバラツキの大きいことは^{6, 14)}、100mlコアサンプルよりスケールが大きい測定に対する期待を裏切るものであるが、透水性がマクロ孔隙の有無などに著しく影響されることや、成層条件による変動性など、フィールドにおける土壤の変動そのものが大きいことの反映である。測定数のみならず畑地における畦間と畦上のような不均一を前提にして、測定箇所を選択することが必要である。2)の問題については、油圧による静的圧入が土壤構造の乱れ

を最小限に抑えたとされているが¹⁴⁾、我国ではまだ検討されていない。湛水の問題については、封入空気の影響^{2, 3)}、湛水深の影響¹¹⁾、バッファポンドの効果¹³⁾等について理論的な検討がなされているが、測定法の具体的改善には至っていない。これらの問題点については、今後、更に検討を深めてゆく必要があるが、ここではそうした検討を行う際に問題となる、5)の測定データの整理法について考察した結果を述べる。すなわち、我国で戦後長く採用されてきたインテーク定数とベーシックインテーク・レートの問題点を明らかにし、より明確な指標を提案する。

2. インテーク・レート測定時間について

図-1は、黒ボク土畑地における浸透試験の測定例を示したものであるが、浸透開始後10ないし20分間は急速にインテーク・レートが減衰し、60分以内にはほぼ定常に近づくことが認められる。この傾向は、ブラジル畑土壤について雨期に測定した場合でも同様であり、下層土が湿っている土壤ではほぼ共通していると思われる。これは、我が国において浸透試験の測定時間が約60分とされていることが^{8, 9)}妥当であることを示している。他方、海外の文献^{6, 12)}では、3~5時間以上の測定時間を要するとしている場合が多いが、これは乾燥気候下の土壤や、膨潤性粘土鉱物を含むパーチソルなども対象としているからであろう。測定時間を短縮して測定数を出来るだけ増やすことが、浸透試験データの大きな変動性から望ましいが、60分間は最低限必要な時間といえる。

3. 初期浸透量について

* 農業環境技術研究所 ** 農業土木試験場

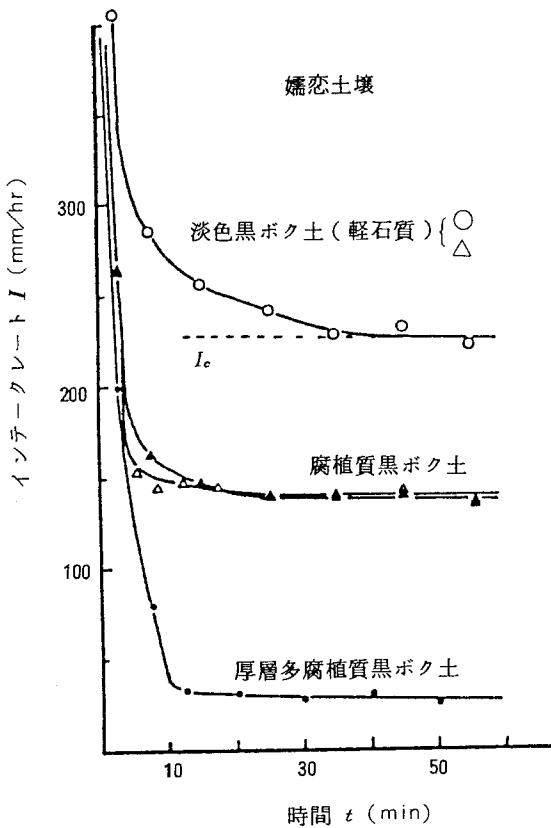


図-1 インテーク・レートの測定例

浸透開始後10分間前後には、急速な浸透が起り量的にも多い。当然、この初期浸透量は排水や降雨の貯留に対する意味が大きいと思われるが、これまでの浸透試験データの取扱いにおいてはあまり重視されていない。図-2は、我が国で一般化しているデータ整理法に従い、両対数紙に積算浸透量 (D , mm) と浸透開始後の経過時間 (t , min.) の関係をプロットし、Kostiakov の実験式を適用したものである。

$$D = ct^n \quad \dots\dots\dots (1)$$

$c, n : \text{const.}$ 多くの場合 $1 > n > 0$

ここで、 c は浸透開始1分後 ($t = 1 \text{ min}$) における浸透量を意味しているが、図-2に見られるように実測値より小さい値となることが多い。図-3は、ブラジル畑土壌並びに黒ボク土畑におけるインテーク・レート測定結果に(1)式を適用して得た c 値と、浸透開始1分後の浸透量の実測値との比較を見たものであるが、 c 値は浸透性が良い n の大きい場合ほど過小評価となっている傾向が認められる。ここで数式の適用によって実測データが生かされなくなることが問題と思われる。

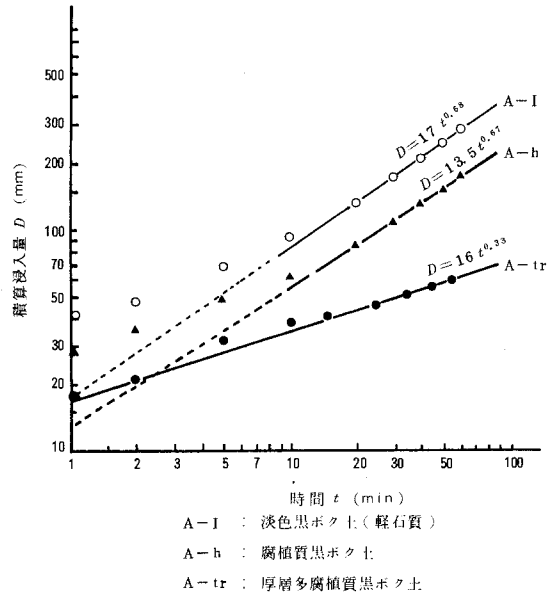


図-2 インテーク・レートの測定値への Kostiakov 式の適用

堀ら¹⁾は、転換畑において停滞水の消失日数と c 値に相関があり、初期浸透量が排水に関与していることを示したが、実測初期浸透量と c 値の差異については言及していない。

(1)式以外に浸透に良く適用される式にPhilip式¹⁰⁾がある。これは理論式であるが均質な土壌を想定しており、不均質な成層土壌に対してはひとつの実験式とみなされよう。

$$D = at^{1/2} + bt \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで ($a+b$) が給水開始1分後の浸透量に相当しているが、筆者の測定例では、実測値と差異の大きいものがかなり認められた。また、第1項の係数 a は、sorptionityと呼ばれ土壌の浸透開始前後の水分差による毛管吸水性を示す係数とされているが、土壌水分が湿潤状態からスタートする我が国の場合には、初期浸透量は粗孔隙量と関連していることが予想された。図-4は、10分間浸透量 (D_{10}) と表層部0~30cmの粗孔隙量との相関を見たものであるが、一部、林地におけるデータを除いて正相関が認められた。

4. ベーシックインテーク・レートについて

ベーシックインテーク・レートは、アメリカのかんがい設計基準に準じて次のように定義されている^{8, 9)}。積算浸透量 (D) は(1)式で表され、インテーク・レート (i , mm/hr) は(1)式を微分して得られる。

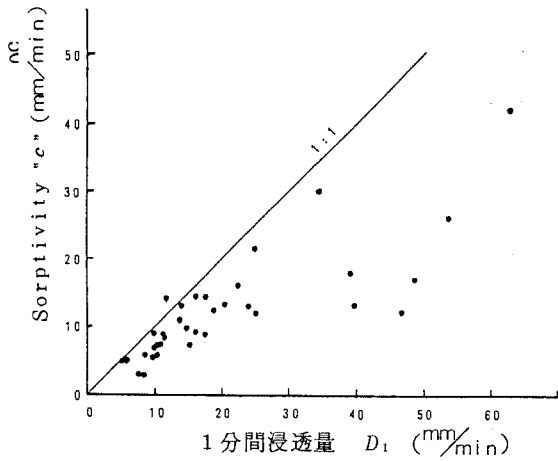
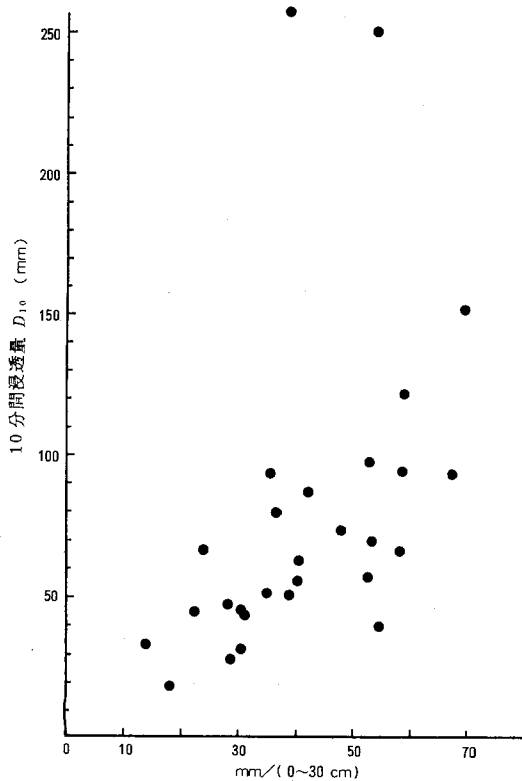


図-3 Sorptivity "c" と1分間浸透量 "D₁" の比較



表層(0~30 cm)の粗孔隙量 (pF<1.5)

図-4 表層(0-30 cm)の粗孔隙量 (pF<1.5) と10分間浸透量 D₁₀の相関

$$I = 60 \cdot cnt^{-n-1} \text{ (mm/hr)} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、(3)式では時間の経過ともなってI値が一定とならないので、「インターク・レートの変化率がインターク・レートの10%になった時のインターク・レートをベーシックインターク・レート (I_b) とする」と定義している。この定義の方程式を解くことにより、I_bに達する時間 (t_b) が得られる。

$$t_b = 600 (1 - n) \text{ (min)} \dots\dots\dots (4)$$

(3)式に(4)式を代入してI_bが得られる。

$$I_b = 60cn [600 (1 - n)]^{n-1} \text{ (mm/hr)} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、定義の方程式を解いて(4)式の解を得るには、時間の単位の取り方に注意する必要がある。すなわち、tは分単位であるので時間 (T: hr, t/60) 単位に変換する必要がある。

$$-dI/dT = 1/10 \cdot I \dots\dots\dots (6)$$

$$\begin{aligned} -d [60cn (60T)^{n-1}] / dT \\ = -60^n cn (n-1) T^{n-2} \\ = 1/10 \cdot 60^n cn T^{n-1} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

(7)式からT_b = 10 (1 - n) (hr)が得られ、したがってt_b = 600 (1 - n) (min) が得られる。

ここで、分単位 (t) のまま定義方程式を解くと、t_b = 10 (1 - n) 分が得られる。すなわち、

$$\begin{aligned} -dI/dt = 1/10 \cdot I \\ -60cn (n-1) t^{n-2} = 1/10 \cdot 60cnt^{n-1} \\ \therefore t_b = 10 (1 - n) \text{ (min)} \end{aligned}$$

であり、10分間にベーシックインターク・レートに達することになってしまう。これは加速度が1分間に1/10づつ変化することと、1時間に1/10づつ変化することの大きな違いを思えば当然のことである。

したがって、前記のベーシックインターク・レートの定義は数式が分単位で表されていることから、時間 (hr) 単位であることを明確化する必要がある。また、(5)式はI = I_be^{-T/10}の形を取る Horton式の変形といえる曲線であり、それと(2)式の曲線の交点がI_bということになるが、その物理的意味は余り明確ではない。

以上のようにI_b値は適当に定められたものであるが、長い期間その是非が問題にされることなく用いられてきたのは、まさしく適当であることによるのであろう。図-5、はphilip式の(2)式を適用して得られたb値(時間無限大におけるインターク・レート)とI_b値がほぼ1:1対応していることを示しており、その妥当性を示すものと考えられる。

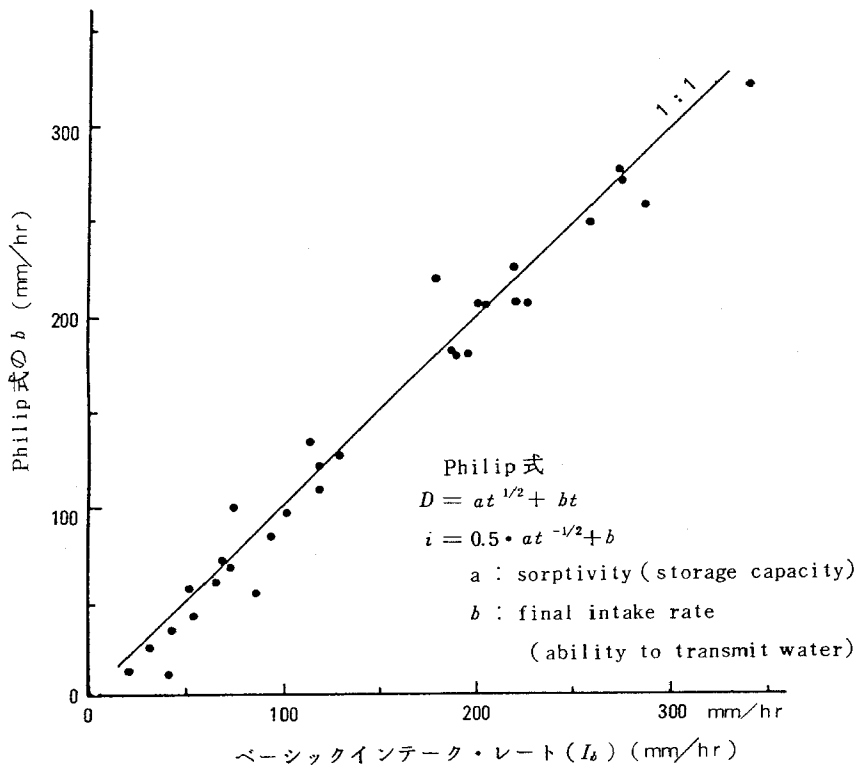


図-5 Kostiakov式による I_b とPhilip式の b の比較

あっても、 I_b に達する時間(t_b)は(3)式に見られるように、浸透性が著しく高く n が0.9前後の場合を除いて、2時間から数時間と長くなることである。このことはまず、前述のように我が国において測定時間は60分前後が普通であることから、1時間程度の実測データから2~3時間以上先を外挿することが適当なのかという疑問を生じさせる。さらに n が小さい場合、すなわち、浸透性が低い土壌では、 t_b は更に長く、 I_b は小さくなり、図-6に示すように実測によるグラフで求めたほぼ定常的なインテーク・レート($I_t = I_{60} \text{min}$)に対する相対的な比率も著しく小さくなり、 I_b 値では畑地の浸透性を過少評価することになると考えられる。

したがって、乾燥地におけるかんがい導入、あるいは畑地を水田化した後の浸透予測には長時間経過後の値が必要であるが、普通の畑地などではその必要は少なく、また、必要な場合には、外挿によらず実測すべきであると思われる。

5. まとめ

以上の検討から、これまで我が国において一般的に行われているインテーク・レート測定データの取り扱いには $D=ct^n$ 式が適用され、 c, n, I_b 等の値の比較や指標化が行われてきたが、一方では実測値の活用が不十分となっている傾向が明らかになった。従って、解析的な研究において浸透現象を数式化する必要がある場合を除き、土壌診断等においては、実測値に基づく指標を用いることが適当と思われる。

すなわち

D_{60} : 60分間の積算浸透量

I_{60} : 60分後における定常浸透能

D_{10} : 初期浸透量の指標として浸透開始10分間の浸透量

である。これらのうち I_{60} は c, n 値が求められている既存のデータから容易に読み換えることができる。

ここで従来から用いられてきた I_b 値を否定すること

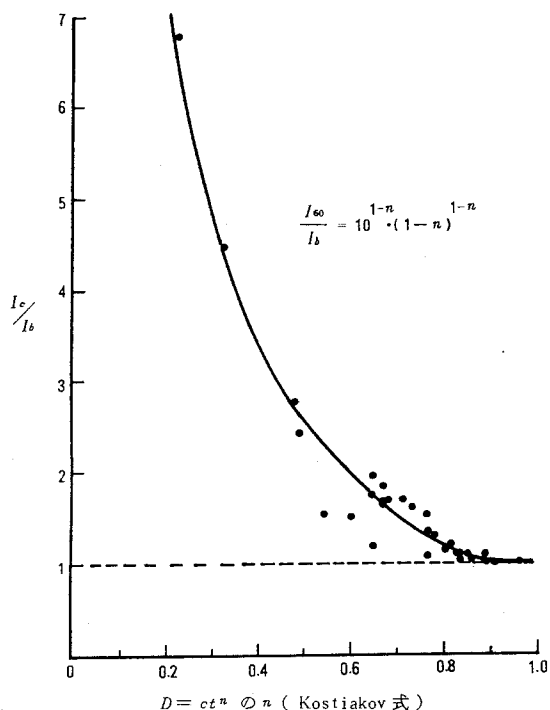


図-6 グラフによる実測定常浸透能 (I_c or I_{60}) と一ベーシックインテークレート (I_b) の比較

には、多くの異論があると思われるが、本論では I_b の物理的意味も明確にしてきた。主な問題は、実測値とのズレである。実用上の問題として、土壌侵食防止の観点からかん水量の許容最大散水強度が平坦地では I_b の $1/3$ 、傾斜地では $1/5$ されていることがある⁴⁾ これは I_b が I_{60} より小さい傾向にあることから安全率を大き目に見積もってきたことに相当しており、 I_{60} を用いる場合には安全率の低下となるのかを検討する必要がある。畑圃場整備設計において土壌の透水性の判定に n 値が指

標とされているが⁷⁾、これはかなり大まかな目安であり、 I_{60} による読み換えは容易と思われる。

さらに、インテーク・レート測定の一層の活用には、本論の最初に述べたように、シリンダー湛水法の基本的な問題点についても精力的に検討を進めて行く必要がある。

引用文献

- 1) 堀 兼明・大石達朗・山下春吉, 1983. 静岡農試研報, 28, 85-94.
- 2) 石原安雄・高木不折・馬場洋二, 1966. 京大防災研年報, 9, 551-563.
- 3) 石原安雄・下島栄一, 1976. 京大防災研年報, 19B, 99-121
- 4) 河野 宏, 1979. 土壌の物理性と植物生育, 土壌物理研究会編, 173-177, 養賢堂
- 5) 久保田 徹, 1987. 土壌の物理性, 55, 2-4
- 6) London, J. R., 1984. Booker Tropical Soil Manual, 58-72. Booker, London.
- 7) 農水省構造改善局, 1979. 土地改良事業計画設計基準・計画・ほ場整備(畑), 27-53. 農業土木学会
- 8) 松本直治, 1986. 土壌標準分析・測定法, 日土肥学会監修, 59-69. 博友社
- 9) 水之江政輝, 1972. 土壌物理性測定法, 土壌物理性測定法委員会編, 168-177. 養賢堂
- 10) Philip, J. R. 1957. Soil Sci., 83, 345-357
- 11) Philip, J. R. 1957. Soil Sci., 84, 278-286
- 12) Sanchez, P. 1976. Properties and Management of Soils in the Tropics, 96-98. John Wiley & Sons, New York
- 13) 島田 清, 1988. 農土論集, 133, 87-92
- 14) Smettem, K. R. 1987. Soil Sci., 144, 167-174.
- 15) 相馬 暁, 1988. 土肥誌, 59, 320-324