

土の長期浸透現象について

古賀 潔*

Some Phenomena in Prolonged Water Percolation through Soils

Kiyoshi KOGA

Faculty of Agriculture, Iwate University, Iwate

1. はじめに

土の透水性は基本的には水みちの大きさ、数と連続性によって決まる。透水性を経時的に変化させる内部機構としては、①飽和度の変化、②膨潤・分散、③微生物の消長、④充填密度の変化等が考えられる。またこれらの変化をひきおこす外部的要因としては、⑤水質、⑥水温、⑦荷重、⑧水理条件等があげられる。

著者は水田、溜池、アースダムなどの遮水層の耐久性を確認する目的で、締固め土の透水性の長期変動を室内実験によって調べている。本報では締固め土における①から③の現象についていくつかの実験例、および④についての解析例を紹介する。

2. 供試土

本報で用いた3種の粘質土の主な物理性を表-1に示す。戸沢粘土(A土壌と略記)は盛岡市近郊の草地の心土で、粘土およびシルト含量の高い残積土である。滝沢火山灰土(B, C土壌)はともに岩手大学滝沢農場の心土である。C土壌は砂分が多いが、B土壌より新しい堆積でアロフェンに富み火山灰土の性格がより強い。

試料は自然含水比から目的の締固め含水比(w_m)まで乾燥して、内径10cmのモールド中につめ、ランマー¹⁾を用いてJIS標準エネルギーで締固めた。これをモールドに入れたまま、乾燥を防ぎながら養生した後、下方か

表-1 供試土の理工学性

Properties of soil samples

試料名 Soil samples	戸沢 A Tozawa	滝沢(2) B Taki zawa	滝沢(1) C Takizawa
真比重 G_s	2.73	2.76	2.80
自然含水比 w_f %	32.5	82.0	98.4
液性限界 w_L %	59.2	97	145
塑性限界 w_P %	26.8	66.6	78
塑性指数 I_P	32.4	30.4	67
最適含水比 w_{opt} %	29.3	65	68
最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm ³	1.46	0.916	0.847
粒径 $\sim 5 \mu\text{m}$	56.0	31.0	26.0
5 $\sim 74 \mu\text{m}$	29.5	54.3	12.6
分 74 $\sim 420 \mu\text{m}$	8.6	10.6	28.5
布 420 $\mu\text{m} \sim 2 \text{mm}$	5.9	3.7	30.2
% 2 $\sim 4.76 \text{mm}$	0.0	0.4	2.8
分散剤 (懸濁液 1000 mlあたり)	珪酸ソーダ 結晶溶液 20ml	ポリアルキルスルホン 酸ソーダ 2 ml	1N HCl 40ml
国際土壌学会法分類	LiC	CL	SCL
統一土質分類	CH	VH ₂	VH ₂

* 岩手大学農学部 〒020 盛岡市上田三丁目18番8号
土壌の物理性 第59号 P. 17~27 (1989)

ら毛管上昇飽和させて透水試験に供した。

3. 飽和度上昇に伴う透水性の変化

A土壌を $w_m = 20.3\%$ ($\ll w_{sp}$) で締固め、透水期間中に随時飽和度 (S_r) と浸出水の電気伝導度 (EC) を測定した結果を図-1に示す。 S_r の測定は25~100 cm \cdot H₂O 程度の水圧を供試体に加え、封入空気の圧縮量を測定する方法で行った。詳細は別報²⁾を参照されたい。供給水には煮沸脱気した逆浸透水*を用い、実験は1.3℃の恒温水槽中で行った。 S_r ははじめ急上昇し100%に漸近する。透水係数 (k) の上昇は S_r の上昇とよく対応しているが、 S_r が100%に達した後は直ちに低下に転じている。なお同様の測定をB土壌でも行っているが透水開始直後には k が停滞または減少する例もみられた。³⁾

以上のことから、 k を低下させる何らかの現象が透水開始当初から存在し、初期には S_r 上昇による k の押し上げ効果に隠されていたが、 S_r が100%に達してその効果がなくなると、直ちに k の低下となって表れたものと考えられる。従来の研究を参考すると、このメカニズムは土の膨潤、分散によるものと考えられる。

4. 膨潤、分散、凝集と透水性の変化

膨潤、分散による k 低下の機構⁴⁾ は次のように考えられる。

① 膨潤による k の低下：団粒などの土塊の内部へ水が侵入し、土塊の体積を増加あるいはこれを崩壊させる。その結果、水みちとなっている土塊間の粗大な間隙が狭窄化する。膨潤は土塊内部と外部の間隙の溶質の濃度差により、ある程度時間をかけて進行するものと考えられる。

② 分散による k の低下：水みちに接する土粒子がもとの位置から離れ、主として水流により移動して水みちの狭窄部などに堆積して浸透を阻害する。また、膨潤は分散を促進する。

外国の塩類土壌の研究からは、土壌のNa吸着率 (ESP) および浸透水の塩類濃度が高い場合は膨潤の寄与が大きく、それらが低い場合は分散の寄与が大きいといわれている⁵⁾⁶⁾。ここでは、膨潤と分散のどちらが供試土の k を低下させる主要な原因であるかを検討した。

(1) 実験装置

3. で述べた押し下げ効果のみを取り出すためには、 S_r を初めから100%にして実験をする必要がある。こ

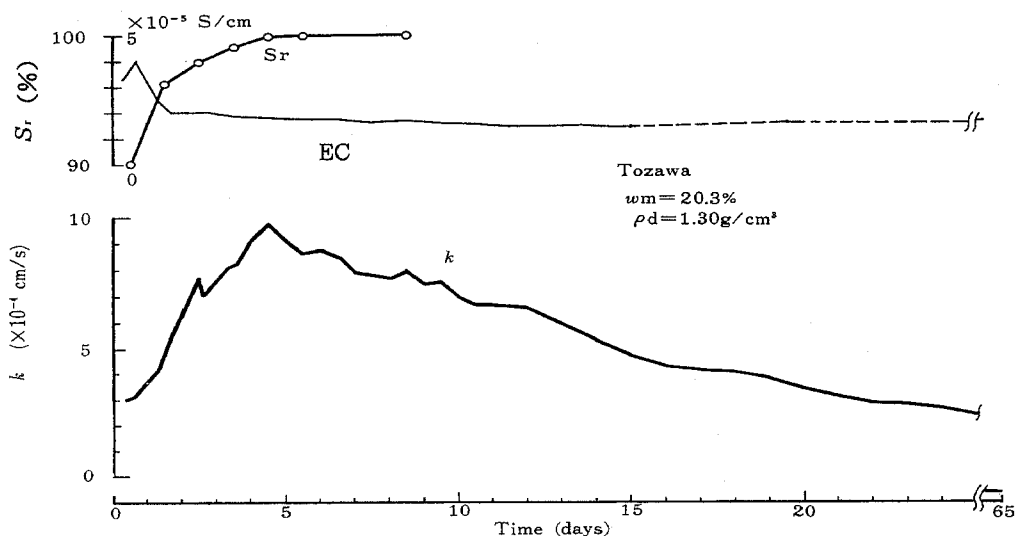


図-1 透水による S_r , k の変化
Variation of S_r and k during prolonged percolation

* 水道水を濾過膜で精製したもので、蒸溜水よりやや不純物が多い水である。

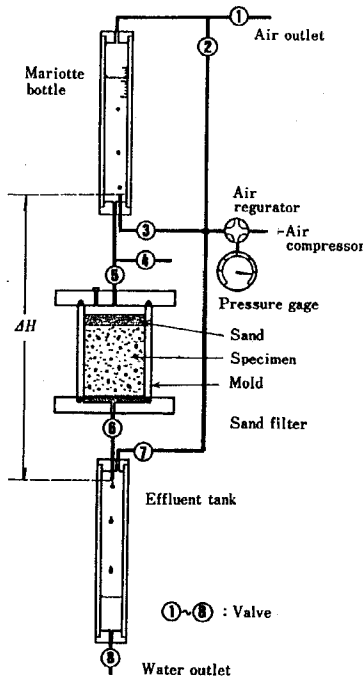


図-2 背圧装置付透水試験機

Permeability apparatus with back pressure

ここでは締固めた供試体に適した方法として、背圧を加える方法⁷⁾をとった。図-2の装置を用いて供試体全体を高圧のもとにおき、間隙空気を圧縮、溶解させる。この装置を用いると、大気圧のもとで S_r が85%以上の場合は 7 kgf/cm^2 の背圧ではほぼ完全な飽和状態にすることができる。なお、図中の ΔH は水頭差であり、透水中は一定に保たれる。

(2) 実験方法

A土壌を $w_m = 25.3\%$ ($< w_{opt}$) で締固め、2本の供試体を作製した。毛管飽和させた後、1本はそのままとし、他の1本は間隙体積と同量の 0.5 N NaCl 水溶液を浸透させ、人工的な塩類土壌に変えた。これにより処理土の体積は1.5%膨張した。これらの供試体を前述の透水試験器に組み込み、背圧を 7 kgf/cm^2 まで上昇させた。これにより S_r はほぼ100%になった。浸透水には超純水に殺菌剤としてクロラミンTを加えたものを用い ($7 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$)、水頭差一定で透水実験(無処理土の動水勾配 $i = 2.38$, NaCl 処理土の $i = 11.65$)を行った。実験は一定時間透水してから休止し、翌日の同時刻にまた一定時間透水する操作を繰り返す方法(間断透水と呼ぶ)とした。また、供試体を通じた浸出水のECも測定した。なお、供給水のECはおおむね $8 \times 10^{-5} \text{ S}$

/cm であった。

間断透水を行った理由は次のとおりである。

本項の冒頭で述べた説によれば、もし膨潤が k 低下の原因であるとすれば透水休止期間中にも間隙の狭窄化が進行し、透水を再開した場合は k は図-3 aのように測定を中止した時より低い値から始まると予測される。また、分散が原因であるとすれば k の低下は透水時間中のみに限られ、図-3 bのような結果になると予測される。

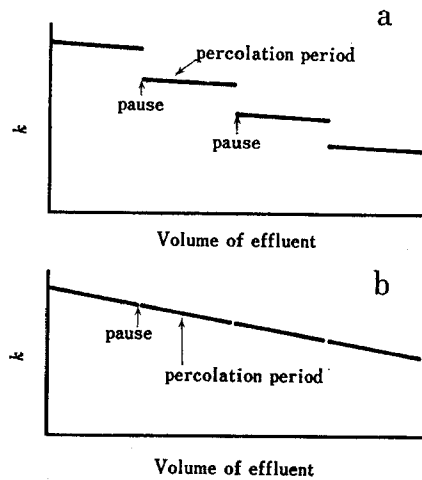


図-3 間断透水による k 変動の予測

Two estimated patterns of k change by the intermittent percolation

(3) 実験結果

図-4, 5に結果を示す。 k の連続線は1回の透水を、また線間の不連続は透水休止中であることを表す。マリOTT瓶の目盛りの読み取りは透水開始後1, 5, 10, 15, ...分に行ったが、はじめの1分間には間隙水圧の変化など非定常的な現象が起きている可能性もあるので、図ではこの1分間のデータは除外してある。これらの図では k は対数目盛りでプロットしてある。従って、図上の縦方向の距離が k の低下割合を表している。なお、図-5の1.1 lに現れた急上昇は実験操作のミスによるものであるが、その後の経過に大きな影響は与えていない。

無処理土では、1回の透水による低下割合が大きい、休止による回復も大きい。この傾向は初期に顕著である。低下の割合は間断透水の回を重ねるにつれて減少してい

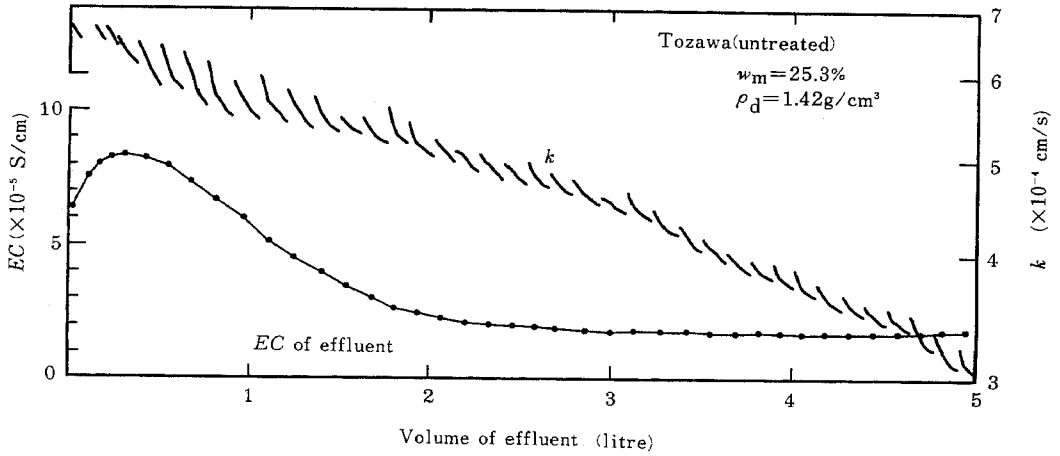


図-4 間断透水試験の結果 (無処理土)
Result of intermittent percolation through untreated soil

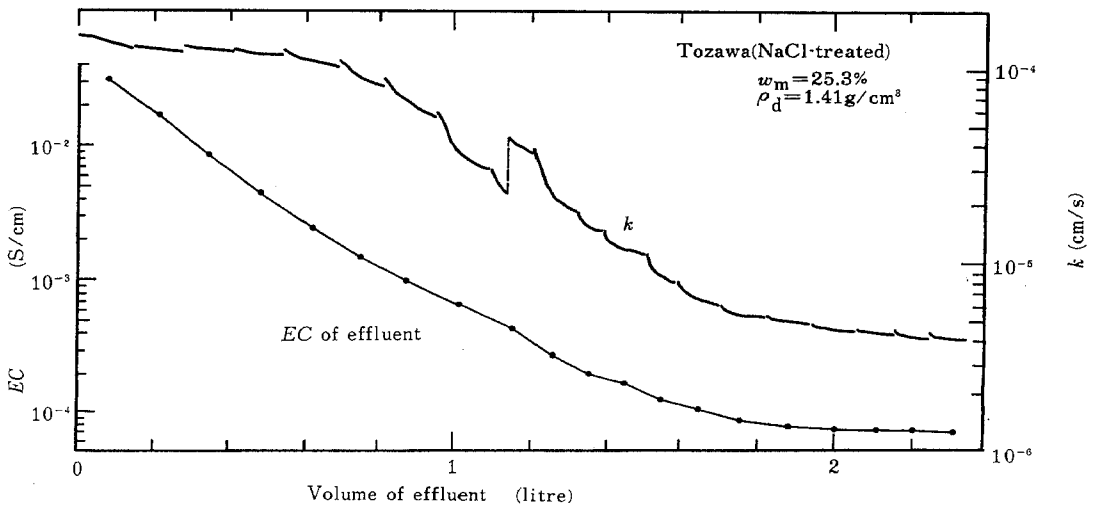


図-5 間断透水試験の結果 (NaCl-処理土)
Result of intermittent percolation through NaCl-treated soil

くが、回復の割合も減少していくため、長期的に全体をみると k は単調に低下している。一方、NaCl処理土は累積浸透量(Q)が0.6~1.8 lの区間で k の低下が激しく、また全体的に休止による k の回復は少ない。透水実験終了後に供試体高さを測定し開始時の高さと比較したところ、無処理土では0.1%の圧縮、処理土では2.2%の膨張が認められた。なお両供試体とも全期間を通じて、浸出水中に粘土粒子などの懸濁物は認められなかった。

(4) 考 察

実験結果を図-3の予測と比べると、透水中の k の低下という点では両供試体ともbと一致する。従って、いずれにも k の低下に分散が大きく寄与した可能性がまず考えられる。

無処理土で表れた休止による k の回復は予測しなかったことである。この回復の原因としては S_v の増加はほとんど考えられないから例えば、透水中に水流によって機械的に分散され水みちの狭窄部などに移動して透水を阻害したり懸濁状態となって大きな粘性抵抗を生じていた土粒子が、休止中には凝集して沈降したり、周辺の土壁に固着して、透水を阻害する役割を減じたことが考えられる。すなわち、通常の粒度試験等において分散が不十分な場合には、攪拌している間は土粒子の凝集が妨げられて懸濁状態となるが、静置すると土粒子が凝集して早く沈降する。これに類似した現象が間隙中でも起こっているものと思われる。

そこで、無処理土の透水実験において土粒子は間隙水中で分散しやすい状態だったのか、凝集しやすい状態だったのかを検討するため、次の方法で分散試験を行った。まず、前述の無処理土と同じ条件で間断透水実験を行い、浸透流出水を採取し、保存した。次に無処理の土壌試料に加水してペースト状に練り、上述の浸出水とともに試験管に入れて振とうし、静置して凝集・分散の状態を経時観察した。また、最後に試験管中の試料を円心分離して上澄み液のECを測定した。その結果 $EC=9\sim 2\times 10^{-5}S/cm$ では土粒子の大部分は8分以内に凝集沈降し、4時間以内に上澄みはほとんど透明になった。このことから k の低下は物理化学的には凝集しやすい環境の中で進行していたことが明らかとなった。従って、 k の低下の原因は水流による機械的な分散であり、休止による回復は土粒子の凝集によるという前述の考察を支持する結果が得られた。

一方、NaCl処理土の k は、透水開始当初から無処理土の4分の1と低かった。これはNaCl置換中の膨潤によるものと考えられる。また、 k の顕著な低下が0.6 l付近から突然始まったのは間隙水中のイオン濃度の低下

の影響が表れたためと考えられる。そこで、透水実験終了後の供試体から採取した試料と各種の濃度に調製したNaCl水溶液を用いて無処理土と同様の観察を行った。その結果、 k の急低下が始まった $EC=5\times 10^{-3}S/cm$ に対応する試験管では、4分で大部分の土粒子が沈降し、30分後には上澄みはほとんど透明になった。上澄みの濁りが8時間以上継続するようになるのは $EC=1\times 10^{-4}S/cm$ 以下になってからであり、図-5では1.6 l以降の段階に対応する。このことから k の低下は処理土においても凝集しやすい環境で進行していたことがわかる。それにも関わらず、処理土では無処理土のような休止による k の顕著な回復がみられなかったことから、処理土の k 低下に対する分散の寄与は小さかったものと考えられる。従って処理土の k が透水中に低下した原因としては、膨潤および団粒の崩壊が考えられる。しかし、実験結果は膨潤について立てた図-3 aの予測とも異なる。従って、膨潤が予想より急速で透水中の短時間(例えば7回目、0.8~0.9 l区間は40分)にほぼ完了したことも考えられるが、浸透流により団粒の崩壊が促進されたことが k 低下の主要な原因であると判断した。

5. 微生物活動が透水性に与える影響

ここでは微生物活動による k の低下はどの程度か、またその活動の条件を温度と栄養の面から検討した。

(1) 微生物の活動が顕著に表れた例

C土壌を最適含水比で締固めて2本の供試体を作製した。毛管上昇飽和の後、室温(22°C)のもとで1本には超純水、もう1本には0.1%砂糖水を浸透させた。その結果は図-6のように前者の k は緩やかな上昇→急上昇→平衡の経過を示したのに対し、後者の k は初めから急低下し最後にはガスを発生するに至った。

(2) 「温度のみ良好」、「温度・栄養とも良好」の比較

B土壌を締固めて($w_m=73.9\%>w_{op}$)、毛管上昇飽和の後恒温槽中で脱イオン水を浸透させた。温度ははじめの9日間までは21°C、9日以降は1.3°Cに切り替えた。 k が平衡した後95日目に温度を21°Cに上げたところ、図-7のように k の不連続は生じたがその後の動きには変化が認められなかった。なお、図中の1.3°Cの k は粘性の温度補正を行って21°Cに換算してある。上述の不連続の原因は不明であるが、モールドの熱膨張により供試体との間に隙間ができた可能性がある。また、9日目の不連続は封入空気の熱収縮により水みちが拡大したためと思われる。次に、179日目に供給水を0.1%砂糖水に切り替えたところ、 k は1週間後から明確に低下

した。

(3) 栄養のみが良好な場合

A土壌を締固めて ($w_m = 19.5\% < w_{opt}$), 毛管上昇飽和の後1.3°Cの恒温槽中で脱イオン水(クロラミン

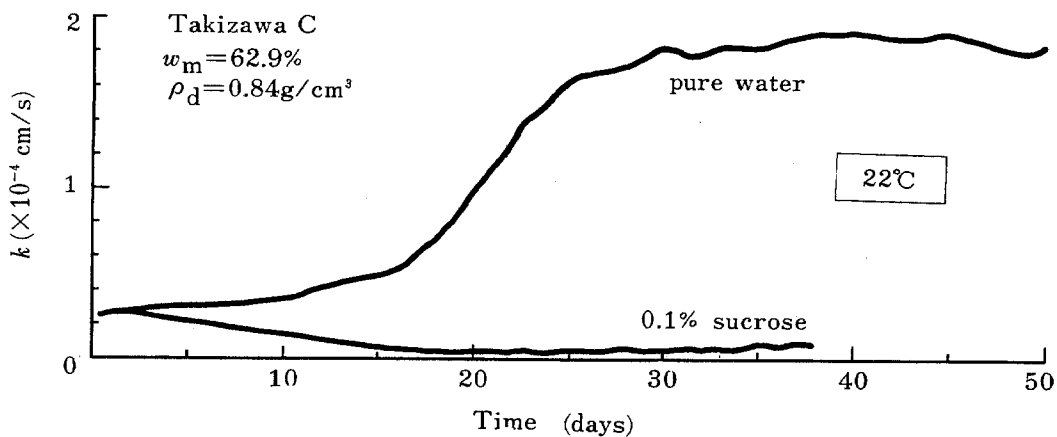


図-6 微生物による透水性低下の一例
A typical reduction of k by microorganisms

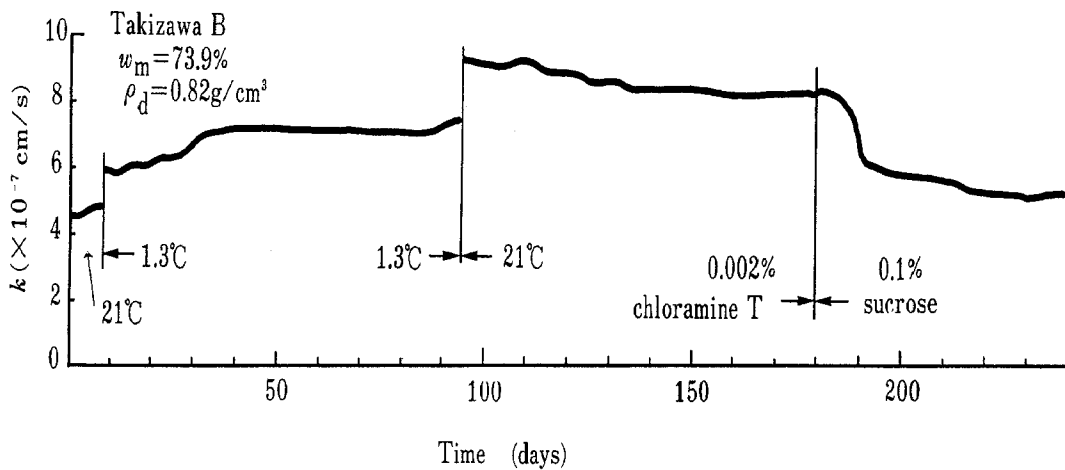


図-7 温度, 栄養条件が k に与える影響
Effect of temperature and nutrition on k

を添加)を浸透させた。図-8に示すように k は急増した後、急低下して、70日目以降はほぼ平衡した(この急増は S_r の上昇、急低下は土粒子の分散によると考えられる)。そこで107日目に供給水を0.1%砂糖水に切り替えたが、切り替えた後の k は、切り替え前にも認められたきわめて緩やかな低下傾向の延長線上の変化にとどまった。

以上1)~3)の実験例はいずれも有機物が乏しい心土であるが、その量や質は異なるであろう。また微生物

そのものの検討を行っていないので、十分な考察はできないが、これらの結果をまとめると表-2のようになる。

表から、 k の低下は温度と栄養の2つの条件がそろったときに生じていることがわかり、これはGupta⁸⁾が砂で得た結果と一致している。また、逆に低温または栄養を絶つことにより微生物活動はかなり抑制できることもわかった。浸透の純粋に物理的側面を研究する際には参考となろう。

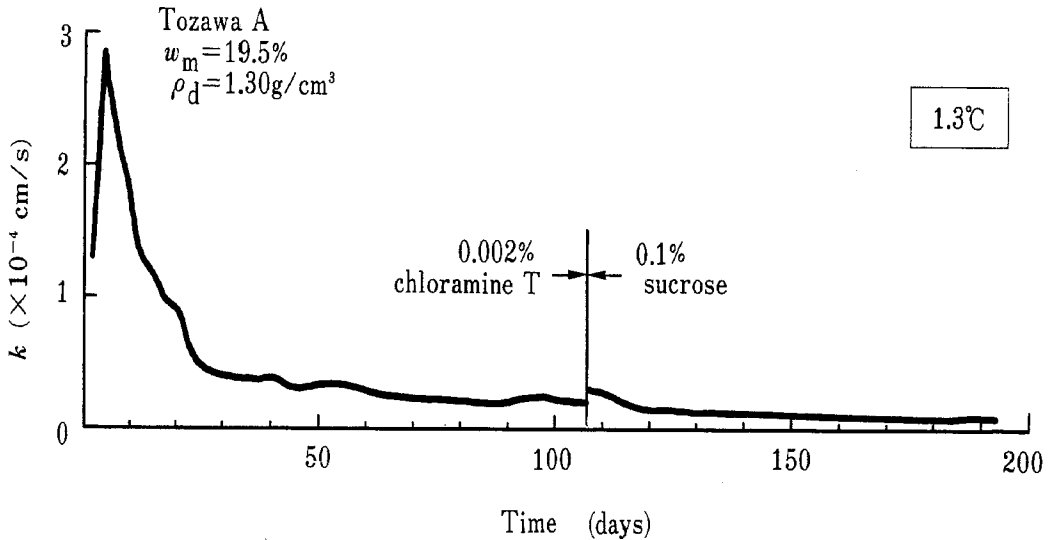


図-8 低温条件下での栄養の効果
Effect of nutrition on k under low temperature

表-2 温度、栄養条件と透水性の変化
Effect of temperature and nutrition of influent water on the variation of permeability

試料	A	A	B	B	B	C	C
温度条件	×	×	×	○	○	○	○
栄養条件	×	○	×	×	○	○	×
k の変化	→	→	→	→	↓	↓	→

○: 良好, ×: 不良 ↓: 低下, →: 不変

6. 透水による圧密と透水性の変化

浸透水は土粒子に対し流れの方向に力を及ぼす。この力は透水力、浸透水力⁹⁾等と呼ばれる。この力が十分大きい場合は土の骨格が圧縮される。この現象は浸透圧密¹⁰⁾と呼ばれる。締固め土についての実験結果は別報¹¹⁾を参照されたい。ここでは筆者が最近誘導した圧密方程式¹²⁾を用いて、水田の代かき土壌の圧密による透水性の変化をシミュレートした結果を示す。

(1) 圧密方程式

土層厚の変化および土粒子の自重を考慮にいれ、公称ひずみで表現した圧密方程式は次式で表される。

$$\frac{\partial \bar{\epsilon}}{\partial t} = c_{v0} \cdot \frac{\partial^2 \bar{\epsilon}}{\partial z_0^2} + \frac{dc_{v0}}{d\bar{\epsilon}} \cdot \left(\frac{\partial \bar{\epsilon}}{\partial z_0} \right)^2 - \frac{\gamma_0'}{\gamma_w} \cdot \frac{dk_0}{d\bar{\epsilon}} \cdot \frac{\partial \bar{\epsilon}}{\partial z_0} \dots\dots(1)$$

ここで、 $\bar{\epsilon}$: 公称ひずみ
 t : 時間
 z_0 : 原始座標 (圧密前に土層上端からとった距離。これに対し圧密中、圧密後の距離は流動座標 z と呼ぶ)

c_{v0} : 圧密係数, $c_{v0} = \frac{k_0}{\gamma_w \cdot m_v}$

k_0 : 原始座標による透水係数

m_v : 体積圧縮係数, $m_v = \frac{d\bar{\epsilon}}{d\sigma'}$

σ' : 有効応力

γ_0' : 圧密前の土の水中単位体積重量

γ_w : 水の単位体積重量

公称ひずみとは圧縮中の土層各部の層厚が圧縮前 (初期状態) と比べて減少した割合で、分数ひずみとも呼ばれる。上式で $\bar{\epsilon}$, c_{v0} , k_0 , m_v は z_0 と t の関数である。 k_0 はこれまで述べてきたように種々の要因で変化するが、ここでは圧縮による変化にのみ注目して $k_0 = f(\bar{\epsilon})$ として扱う。

圧密中の土層全体の透水性は層下端における浸透流速 $v_{0.01}$ で評価され、これは次式で表される。

$$v_{0.01} = \left[c_{v0} \cdot \frac{\partial \bar{\epsilon}}{\partial z_0} - \frac{\gamma_0' \cdot k_0}{\gamma_w} \right] \dots(2)$$

$z_0 = H_0$

ここで、 H_0 は初期土層厚さである。

(2) 係数の決定

(1)式を解くためには①土の応力とひずみの関係、②透水係数とひずみの関係が必要であり、ここでは足立¹³⁾の室内代かき実験の結果からこれらの関係を求めた。その結果、沖積粘土質土壌の圧縮性と透水性を次式で近似することとした。

$$\sigma' = 0.003182 \cdot [\exp(4.583 \bar{\epsilon}) - 1] \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

(1 kgf/cm² = 98.1 kN/m²)

$$k_0 = 1.852 \times 10^{-6} \cdot \exp(-5.506 \bar{\epsilon}) \quad (\text{cm/s})$$

(3) 計算方法

計算は代かき層の初期厚さを10cm、湛水深を3cmとし、代かき層下端の水圧が0cm・H₂Oとした場合 (ケース1)、代かき層下端の水圧が13cm・H₂Oとした場合 (ケース2)、およびケース1において $\gamma_0' = 0$ とした場合 (ケース3) について行った。ケース1は浸透圧密と自重による圧密が複合した場合であり、ケース2は自重のみによる場合であり、ケース3は浸透圧密のみの効果をみるために設定した仮想的な場合である。

(4) 計算結果と考察

ケース1の圧密過程の計算結果を図-9に示した。沈下および透水性の低下は約20日にわたって進行する。また、圧密終了後の土層中の乾燥密度 ρ_s の分布は図-10に示すように、上端で粗、下端で密となり透水係数 k の分布もこれに対応する。図には足立による ρ_s の測定結果も示してあるが、計算結果はこれによく一致している。

ケース2、3については時間-沈下曲線のみを図-9に記入し、おもな結果を表-3にケース1とともに示した。同表でわかるとおりこの例の場合、沈下、透水性低下への寄与は、浸透圧密の方が自重圧密よりも大きいことがわかる。この計算例より湛水深が増加したり土層底面の水圧が減少する場合は浸透圧密の効果はさらに増加することになる。

表-3 定常状態の計算結果の比較
 Comparison of the three cases

項目	Case 1 自重+浸透	Case 2 自重のみ	Case 3 浸透のみ
Settlement cm	2.11	1.01	1.68
Water velocity 10 ⁻⁷ cm/s	6.26	0.00	8.17
Mean k 10 ⁻⁷ cm/s	3.80	9.19	5.23
$\bar{\epsilon}$ on bottom %	40.3	17.8	35.5

注) 初期状態の透水係数は 18.5×10^{-7} cm/s
 Case 1: self weight + seepage force
 Case 2: self weight, Case 3: seepage force

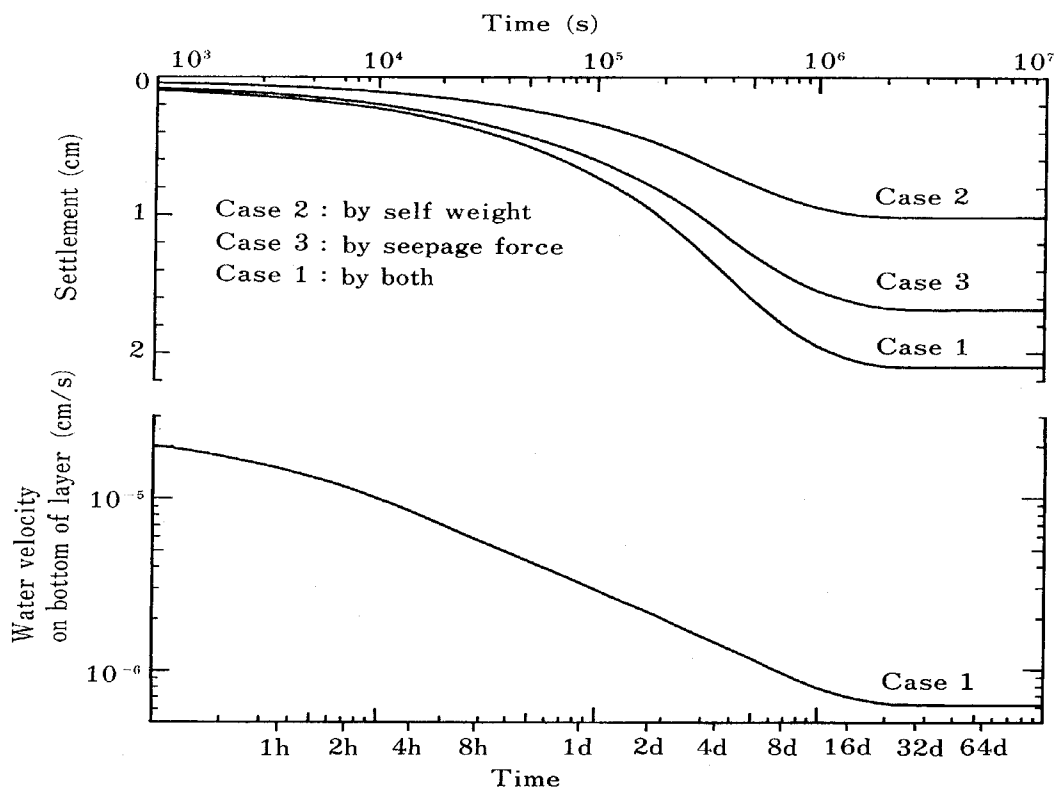


図-9 代かき土の時間-沈下, 流速曲線
Time-settlement curves and time-velocity curve of puddled soil

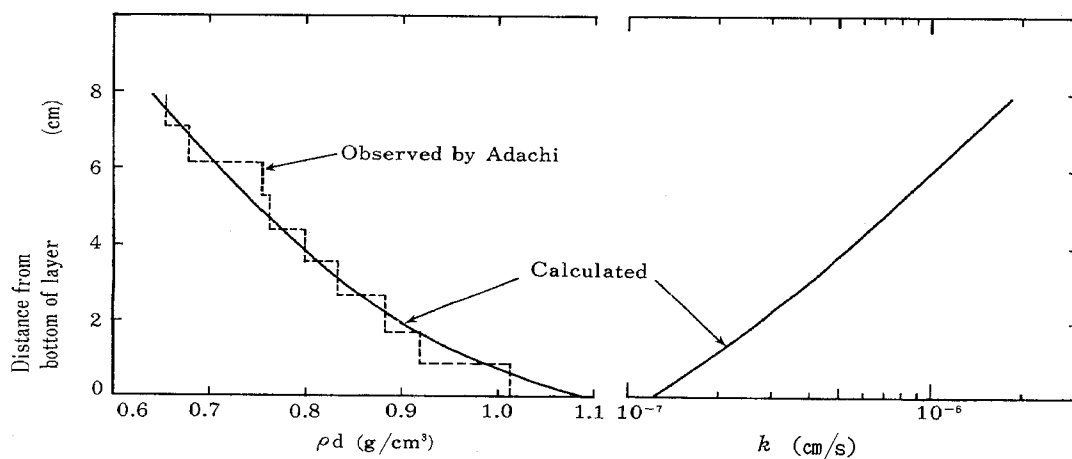


図-10 圧密終了後の ρ_d , k 分布 (ケース1)
Distribution of ρ_d and k after the completion of consolidation by self weight and seepage force

7. おわりに

本報では長期間の浸透による土の透水性の変化について、その機構を極力分離して示すことをねらった。ここで紹介した実験例は準飽和の締固め土に限られており、乾湿の繰り返しや亀裂、根孔などに特徴づけられる不均一性の水みちでおこなわれる、実際の農地の長期浸透問題とはかなりの隔りがある。また締固め土に限っても、その構造や透水性は締固め含水比によって激しく変化することを念頭におく必要がある。

しかし、現地調査や室内実験の透水性の計測は通常短時間に限られ、それらの結果から長期的予測を求められることもあろう。本報が参考になれば幸いである。

研究の遂行にあたり、農業工学研究所の足立一日出氏には実験データの利用を快諾していただいた。また、岩手大学徳永光一教授には種々助言、激励をいただき、1983～88年度の卒業研究専攻生諸氏には実験遂行と取りまとめに多大な協力をいただいた。記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 古賀 潔：新型突固め装置の開発とその評価，土質工学会論文報告集，Vol.27，No.2，pp.118-122 (1987)
- 2) 古賀 潔：透水による封入空気の減少と透水係数の変動：農土論集，No.131，pp.69-77 (1987)
- 3) 古賀 潔：透水係数の長期変動について，農土論集，130，pp.61-67 (1987)
- 4) Park, C.S. and O'Connor, G.A. : Salinity effects on hydraulic properties of soils, Soil Science, Vol.130, pp.167-174 (1980)
- 5) Frenkel, H., Goertzen, J.O. and Rhoades, J.D. : Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity, Soil Sci. Soc. Am. Jour., Vol.42, pp.32-39 (1978)
- 6) Pupsky, H. and Shainberg, I. : Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil, Soil, Sci. Soc. Am. Jour., Vol.43, pp.426-433 (1979)
- 7) Bjerrum, L. and Huder, J. : Measurement of the permeability of compacted clays, Proc. 4th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. 1, London, England, pp.6-8 (1957)
- 8) Gupta, R.P. and Swartzendruber, D. : Flow-associated reduction in the hydraulic conductivity of quartz sand, Soil Sci. Soc. Am. Proc.26, pp.6-10 (1962)
- 9) 吉田昭治：浸透水力について，土質工学会論文報告集，Vol.14，No.1，pp.89-94 (1974)
- 10) Imai, G. : Development of a new consolidation test procedure using seepage force, Soils and Foundations, Vol.19, No.3, pp.45-60 (1979)
- 11) 古賀 潔：浸透圧密した土(定常状態)の解析について，昭和63年度農土大会要旨集，pp.302-303 (1988)
- 12) 古賀 潔：三笠型一次元圧密方程式についての2, 3の考察，土質工学会論文報告集，Vol.29，No.2，pp.196-201 (1989)
- 13) 足立一日出：代かきによる浸透抑制効果の実験的研究，農土論集，Vol.135，pp.1-8 (1988)

ABSTRACT

The factors which change the permeability (k) of soils was examined on three compacted inorganic cohesive soils.

During prolonged percolation the degree of saturation (S_r) was measured by a back pressure method developed by the author. On an initial stage, the water percolation induced a rapid increase in S_r and k , but when S_r reached 100% k began to decrease immediately. This phenomenon suggested that there was a factor which decreased k at the beginning of percolation.

An intermittent percolation method was adopted to examine the contribution of dispersion and swelling to the reduction of k . k of untreated soil specimen decreased during the period of percolation, but it recovered with the pause of percolation. The reason of this reversibility of k might be attributed to the flocculation of soil particles which had been dispersed by water flow during the percolation period. Whereas the reversibility of k of 0.5N NaCl-treated specimen was not significant. The reduction of k of NaCl-treated specimen might be mainly caused by swelling and/or

destruction of aggregates.

The reduction of k by microorganisms was significant when nutrient matter was dissolved in influent water and the temperature was 21°C, but it was not so in the case of no nutrient and/or 1.3°C.

The reduction of k which followed consolidation by self weight and/or seepage force was calculated using a new equation of one-dimensional consolidation. The effect of seepage force was superior to that of self weight in the case that simulated the experimental results of puddled soil performed by Adachi.

(Soil phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 59, 17-27, 1989)