

お知らせ

土壌物理研究会 30 周年記念シンポジウム

日時：昭和63年10月18日（火）／9：30～16：40

会場：東京大学農学部1号館第8講義室

現代の土壌物理とその展開

会長挨拶 9：30 ～ 9：40

記念講演 吉田 昭治 ： “土の変形，強さ，硬さ” 9：40～10：40
(新潟大学積雪地域災害研究センター)

一般講演 加藤 英孝 ： “土の圧縮特性について” 10：40～11：30
(農業環境技術研究所)

古賀 潔 ： “土の長期浸透現象について” 13：00～13：50
(岩手大学農学部)

谷山 一郎 ： “近赤外反射分光法による土壌水分の定量分析”
(農業環境技術研究所) 13：50～14：40

井上 久義 ： “亀裂が発達した粘質土圃場での水移動のモデル化について”
(農業土木試験場) 14：40～15：30

総合討論

＝ 現代の土壌物理とその展開 ＝ 15：40～16：40

30周年記念懇親会 < 17：00～18：30 (於：農学部4号館会議室) >

主催 土壌物理研究会

(事務局：東京大学農学部農業地水学研究室)

電話 03-812-2111 内線 5352

巻 頭 言

土壌物理性の研究における近似と定義

吉 田 昭 治*

土壌物理の研究に限らないことかもしれないが、研究を進めていく上で基本的なことで意外に見遇げされていること—研究を飛躍的に発展させる上で鍵になるほどのことでなく、単に問題を整理するうえで有効であるということぐらいのことかもしれない—を一、二あげてみたい。

土壌物理の研究対象は、我が国では、農地（水田、畑地、草地等）という農畜産物の生産現場における土壌の物理性が主であり、その目的は、土壌水分を含む土壌についての技術に生かすことである。この他には、水文学の中の蒸発を含む土中水の移動の問題、土質工学に必要な土の力学性の基礎としての土の物性論などを加えれば、ほぼその扱う範囲はすべて含まれるであろう。

いずれにしても、土壌物理の研究対象はあくまで農地など現場の土の物理性であって、全く抽象的、理想的な土壌の物理性でないことはいうまでもない。

しかし、現場の現象は極めて複雑であるから、技術目的にかなう範囲で、条件をできるだけ簡単化、単純化して、簡単な法則性を見つけ出し、逆にこれを現場の技術問題に適用するという形をとる。

さて、この適用方法を含む研究の段階で、法則の成立条件が忘れられことが意外に多い。卑近な例では、ごく近年（1960年代）の水理学の著名な成書の中で、自由地下水面の上に存在する毛管水帯の水は動かないという叙述があった。土壌物理の分野では、すでに誘動毛管水（秋葉）という知見があったから、自由地下水面上の毛管水は動かないということは当時でも常識とはなっていなかった。これと関連して、自由地下水面がある浸透流を2次元的に解析する場合、自由地下水面上の毛管流を無視するのは、一つの近似（的取り扱い）であるわけであるが、このことは、必ずしも常識とはなっていない。もちろんこの近似で實際上十分な場合も多いが、そうでない場合にまで拡張すると、間違いに転ずることになる。この例は、法則の成立条件からくる法則（解析法）自体の近似性をきちんと認識しないことからくる問題といえよう。

また、土壌の物理性や工学性を表す法則や関係を示すには、普通2ヶ以上の物理量（変量）と、これら結びずける定数や係数があるが、これらの量の定義が曖昧なまま常用されている例が意外に多い。諸量の定義は、それにかかわる法則と不可分であり、あるいは、基本的な法則とともに、それと関係する量が同時に定義されているともいえるから、関係諸量の明確化は法則自体の明確化（その成立条件を含めて）と同義ともいえる。たとえば、この例に、土質力学における土の歪がある。多くの成書や論文で、ほとんどの場合、歪みとして断りなしに弾性体の微小歪がつかわれている（らしい）。土のように10%以上の歪みがめずらしくない材料を扱うには対数歪が適切であると思われるが、これは必ずしも常識とはなっていない。この例も、ある量（歪）の定義が、法則（応力と歪の関係）自体の成立条件、あるいは法則自体の近似性などに響いてくる問題であると思われるが、意外に看過されている例といえよう。

他の似たような問題で、液状水移動のみにかかわる不飽和透水係数の水分領域の問題（これらの定義、成立条件）などがあると思われる。

以上の他に、法則がいったん数式化されると、その背後にあるモノを見なくなりやすいなどという問題もある。

以上、研究を進めていく上で気になる点を書いてみた。何かの参考になれば幸いである。

*新潟大学積雪地域災害研究センター

立川ロームにおける管状孔隙が
地下水涵養に果たす役割

成 岡 市*
 駒 村 正 治**
 高 須 俊 行**

Role of Tubular-pores in the Tachikawa Loam regarding Recharge of Groundwater

Hajime NARIOKA*, Masaharu KOMAMURA** and Toshiyuki TAKASU**

* NODAI Research Institute, Tokyo University of Agriculture

** Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture

1. はじめに

東京西南部に位置する武蔵野台地は、第四紀洪積土の武蔵野ロームを主体として、その上位に立川ローム層が不整合に覆っている。この台地は多くの開析谷に囲まれているので、水収支区は独立しており、不圧地下水（以下「地下水」とする）の大部分は雨水が台地上の平坦な地表面から浸透したものと考えられる。またこの台地の一部では、武蔵野ローム層上部から立川ローム層にわたる地表面下およそ100~600cmのところまで地下水位が変動しており、降雨開始直後短時間のうちに水位が上昇し、多くの場合24時間前後で最高水位に達する。地表面が舗装道路や建築物で被覆されていなければ、深さ0~150cm程度の浅層の土壌水分張力が降雨に対し連動的に変化している。

このような降雨に対する地下水位と土壌水分張力の敏感な応答性は、不飽和帯の飽和度を徐々に高めていくような浸潤過程よりも、雨水は土壌中のある特定の幹線を伝わり地下水面に向かって急速に流下し、その途中で幹線周辺の2次元方向に配分される現象が存在すると考えざるを得ない。

そこで高須ら¹⁾は、立川ローム層から不攪乱採取した土壌試料表面に水溶性造影剤（ギ酸第一タリウム飽和水溶液）を滴下して、その浸入経路を軟X線映像によって確かめた。それによると、造影剤は鉛直方向に伸びる管状孔隙内を流下するのが速く、続いてその孔隙内壁面から周辺の微細間隙内に広がっているのがわかった。これ

は土壌内の管路系および水溶液の浸透を同時に可視化したものであった。しかし、そこでは定量的な解析を行なわなかったため、成岡²⁾は、軟X線映像について土壌の不均一性に対応できる精度と分解能を検討しながら、管状孔隙の構造や水みちとしての連続性を定量的に把握する目的で、管路系の立体計測法を開発した。

ここでは本報は、表層直下にある立川ローム層が根群域以深であっても管状孔隙の分布が顕著で、しかも地下水位の変動帯にあってることから、この層を中心に管状孔隙が地下水涵養に果たす役割を検討した。

なお、本報でいう「管状孔隙」とは、土壌間隙（すきま）のうち、円孔断面またはそれに近い断面を持った管状の間隙をいう。実際には土壌中で立体的に連続している大孔隙の一種である。井上³⁾も指摘しているように、大孔隙は単純に大きさのみで定義しかねるものであるが、本報では便宜上、軟X線フィルム映像で肉眼識別できる孔隙を対象にし、そのうち経路の異なる管路が鉛直あるいは水平方向に相互に接続していることが明瞭に判断できる0.1mm径（pF1.5 相当）以上の太さのものを大孔隙と仮定した。以下特に断わりがなければ、管状孔隙を「孔隙」として述べることにする。

2. 調査および測定方法

1) 調査地点

東京都世田谷区内の用賀（東京農業大学実験圃場、普通畑、「Y地点」とする）、世田谷（植物園、「S地点」

*東京農業大学総合研究所 **東京農業大学農学部

立川ロームにおける管状孔隙が地下水涵養に果たす役割

とする), 宮坂(神社境内, 「M地点」とする)の4地点で土壌調査および地下水・土壌水分張力観測を行なった。YとS地点は目黒川と荏原台の間, M地点は目黒川と淀橋台の間にあり, 双方とも標高40m程度の武蔵野台地面であり, 目黒川の流域となっている。地下水位観測は, S地点1カ所, M地点1カ所の井戸を定点とした。テンシオメータによる0~200cm深の土壌水分張力観測は, S地点2カ所, M地点1カ所を定点として行なった。観測期間は1985年1月から1988年3月である。

2) 採土

3地点の深さ10, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 120, 150, 180cmで不攪乱土壌, 攪乱土壌を採取した。立川ローム層は地表から約100cm以深にあるが, 比較のため表層からも彩土した。180cm深までの彩土方法は, 不攪乱土壌の場合, 透水試験などに用いる100cm²円柱試料を各深度の鉛直方向(10~180cm深), 水平方向(120~180cm深)に3個ずつ採取し, 軟X線撮影用土壌ブロック(120~180cm深)をサンブラ打ち込み位置に近接した同一層位から約20×10×10cmの大きさに切り出すことにした。

攪乱土壌は(採取後)ビニール袋に入れて密封した。

100cm²円筒サンブラを土壌断面に打ち込む際には, 打ち込み器を試作して, サンブラ内壁面にグリスをまんべんなく塗った後, カラーに差込み, 図-1のように鉛直・水平面に対して垂直に打ち込んだ。試作器は打ち込み軸が断面に対して垂直方向のみに滑動するので, 円柱試料はサンプル内壁面に密着しながら不攪乱状態で採取できた。

土壌ブロックは, 採取層位の鉛直・水平方向が識別できるように, ブロック表面に適当なマークを付けておいた。現場のローム層は良好な状態で切り出せた。

3) 定水位飽和透水, 限界間隙試験

定水位飽和透水・限界間隙試験器を図-2のように試作した。100cm²サンブラは上下に透明アクリル製キャップをはめ込み, 3本のねじ付き棒で固定する。試料の上下端面にはフィルターをつけない。キャップは上下とも同型に設計し, サンブラ外壁との接続部分はOリングで密着させ, 気密構造(±600cmH₂O以上の耐圧が得られる)とした。

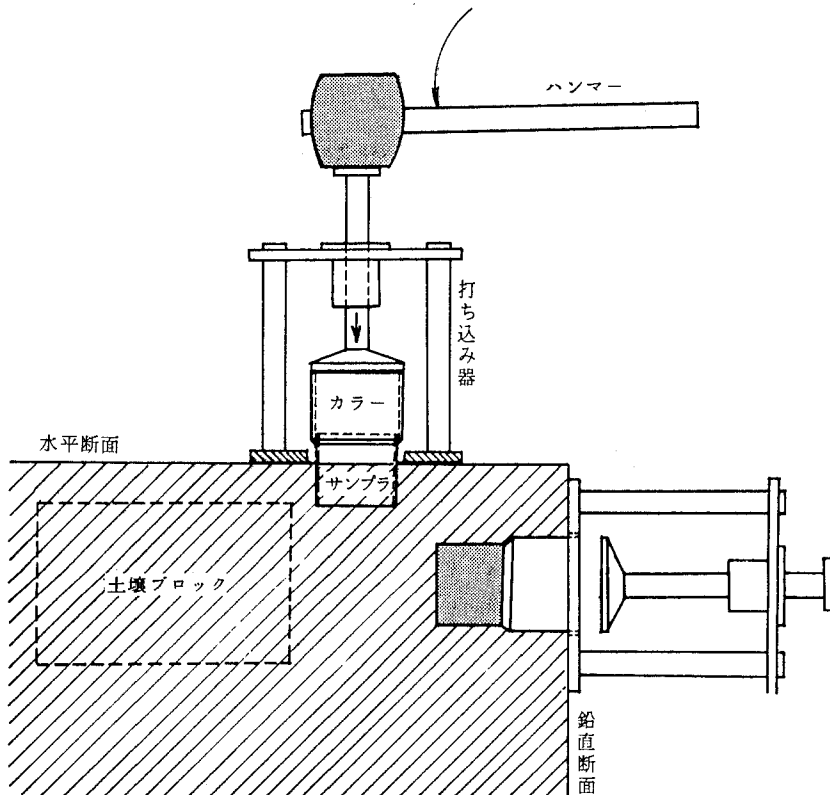


図-1 土壌試料の採取

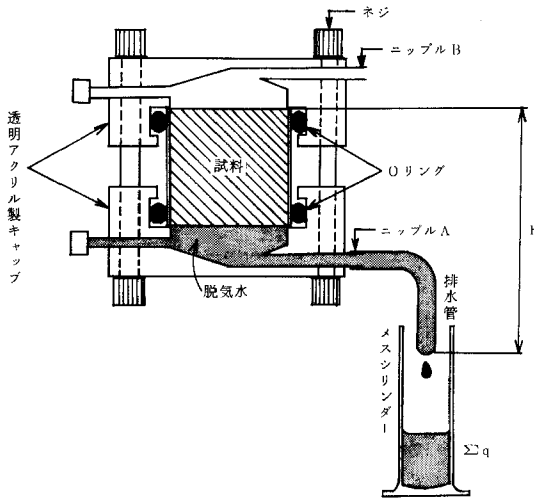


図-2 定水位飽和透水・限界間隙試験器
(図は限界間隙試験中を示す)

定水位飽和透水試験は、ニップルAにマリオット装置、ニップルBに排水管を接続、他のニップルは閉じておき、脱気水を試料内の上向き（採取層位の鉛直方向）に流すようにした。毛管飽和の後、透水が始まり流量が定常になった段階で所定の測定を行った。

限界間隙試験は田淵⁴⁾の方法に準じた。本報では、飽和透水試験終了後、ニップルAに排水管を接続、ニップルBは開けておき、試料上端面を基準に0 cmH₂Oで試料からの脱気がなくなった後に、排水管先端を1時間に5 mmずつ下げて、試料の積算脱水量を測定した。測定の終了は試料下端面から気泡が連続的に出現し始めた時点とした。最終積算脱水量 (Σ q cm³, 限界間隙量とする) は、連続気泡出現直前までの量とした。また、脱水開始から連続気泡出現までの水頭差 (Δ h cmH₂O) も記録した。

水頭差に対する積算脱水量の比 Σ q / Δ h (「脱水勾配」とする) は、100 cm³ 試料内における限界間隙の接続性、屈曲性および径変化の存在を反映した水みちの大气開放のし易さを示す。大きい値ほど間隙が開放し易い(水が抜け易い) 土壌と判断できる。

4) 造影剤の圧入

軟X線撮影試料は、採取層位から切り出してきた土壌ブロックをさらにストレートエッジ(包丁)で一辺40~70mm、厚さ30mmの直方体に切削整形した。太い孔隙が見える土塊は大きめの試料にし、1個のブロックから3~4個の試料を作った。厚さ方向にX線を透過させるので、

±5%程度の精度で一様な厚さにした。

以上の作業が終了した試料は、水分蒸発防止のためラップフィルムに包み、包装面に試料番号を記入した。

造影剤は、塩基性炭酸鉛 { 2 PbCO₃ · Pb(OH)₂ } を主成分とする油絵具「シルバーホワイト」を用い、適量のスピンドル油に溶かして粘性を調整した。どの程度の粘性にするかは、孔隙の形状・大きさによるが、常温で容積のおよそ3倍に溶かすと、自然含水比状態 (pF2.0 ~ 2.8) で孔隙周辺の微細間隙内にも浸入させることができた。

その造影剤を入れた注射器に先端が平な注射針を付けて、針先端を試料上端面の任意の孔隙開口部にあて、造影剤を土壌内に少しずつ圧入した(図-3)。やがて他の大小開口部から漏出が始まり、それらのいくつかを塞ぐと、今度は別の開口部から漏出してきた。造影剤は、試料下端面に抜けることもあれば、圧入口と同一面の他の開口部から抜け出ることもあり、土壌内部の管路網の通り易い部分から順に浸入していくことがわかる。

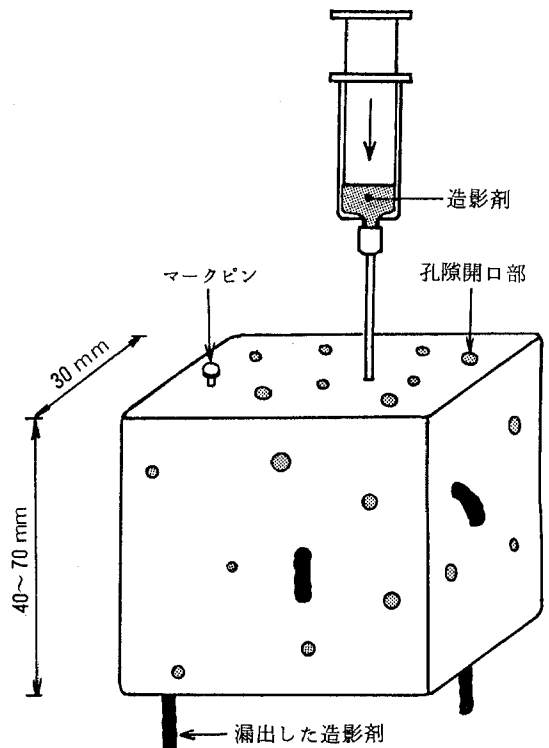


図-3 造影剤の圧入

5) 管状孔隙の軟X線ステレオ撮影と計測

既報²⁾に基本的な手法がまとめられているが、以下は本報で行なった具体例を述べる。

軟X線フィルムは、FR (FUJI PHOTO FILM) キャピネ版を半分 (252×151.5mm) に切断して、ビニール製遮光袋に入れた。軟X線発生装置は、CMB-2 (SOFT-TEX) を用いた。揺動式X線ステレオ撮影台は、図-4に示すように試作し、ラップフィルムで包んだ資料を鉛直方向が回転軸 (Y軸) 方向になるように置いて、一対2枚の撮影をした。その際フィルム上にx, y軸の位置を示すスリットも同時撮影した。フィルムは遮光袋ごと試料テーブル (カーボンファイバー) 下面に圧着し、2枚目のフィルム交換の時に試料がずれない構造となっている。撮影条件は、フィルム・焦点間距離655mm, 管電圧60kVp, 管電流mA, 照射時間120~170sec, 揺動角 (θ) $\pm 5^\circ$ とし、散乱線防止のためフィルム背面に鉛箔を合わせた。

現像・水洗・乾燥処理の済んだフィルムはライトボックス上に平坦に張り付け、CCDカメラ (SONY, XC-7) に焦点距離70mmレンズをセットして、フィルム直上300~500mmから撮像した。撮像軸はフィルム面に直交さ

せ、撮像範囲はカメラ結像面の有効範囲の約20% (面積割合) 程度にとどめておき、カメラレンズ歪などの幾何学的歪の影響をなるべく受けないようにした。映像信号はimage Σ (NIPPON AVIONICS) で高速画像処理すると同時に、モニター画面を見てフィルム映像のX-Y直交軸 (フィルム上のスリット像) とイメージメモリのX-Y直交軸を合致させた。

A/D変換した256階調のデジタル画像は、パーソナルコンピュータ (NEC, PC-9801VM2, メインメモリ640KB) に転送・ファイル化し、さらに平面位置補正、ヒストグラム解析、等濃度分布表示などの画像処理を行なって、一対2画像の孔隙中心部の対応位置をY軸方向に順次追跡し、3次元座標および孔隙内径 (ϕ , 孔隙映像の幅) を連続的に算出した。また、屈曲度 (τ) を [管路長]/[直線長] から求めた。追跡距離は、Y方向について1ステップ当り0.1~0.2mm (カメラの撮像距離によって増減)、始点・終点間 (直線長) で平均15mmとした。計測精度は1ステップ当りの追跡距離に限定されるが、本報では前述したとおり内径0.1mm以上の孔隙を対象としたので、約1/20mmの精度をとった。ただし τ は、管路が複雑なほど値が大きくなる (管路の軌跡

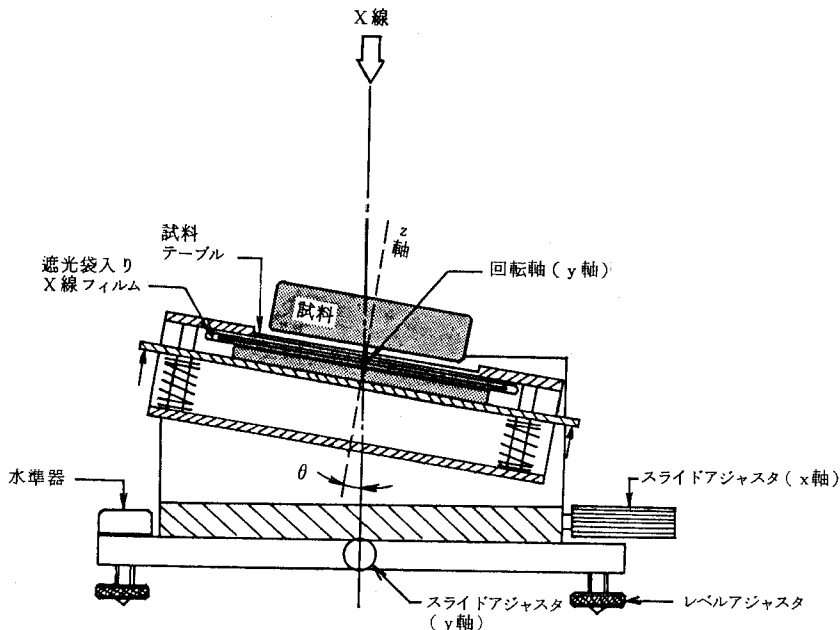


図-4 揺動式X線ステレオ撮影台 (断面図)

が長くなる)ので、管路長演算にあたっては2次スプラインによる平滑化処理を行なった。

また、孔隙画像はある幅を持っているので、その中心部分を追跡するだけの目的ならば、細線化処理で骨格部分を抽出する方法もあり得よう。しかし細線化した画像データでは孔隙中心の追跡と孔隙径算出を同時に行なうことはできず、しかも土壤粒子像が画像近傍演算のノイズになっている可能性も高い。土壤の軟X線映像には粒子、間隙、および造影剤で浮き上がらせた孔隙像など多くの情報が記録されている。したがって本報では、細線化処理をせずに孔隙と土粒子群の境界位置を追跡できるようプログラムの設計を工夫した。

3. 結果および考察

1) 土壤断面

土壤断面を図-5に示す。各地点とも表層は黒褐色で腐植に富む黒ボク土であり、堅果状構造を呈している。Y地点では深さ100 cm以深で褐色、角塊~壁状構造、S地点では深さ130 cm以深で明褐色、角塊~亜角塊状構造、

M地点では100 cm以深で褐色、角塊~壁状構造であり、3地点ともやや密な組織の火山灰層である。根系限界深さは、肉眼観察により100~150 cm深と認められた。地下水位変動帯は、S地点で130~340 cm深、M地点で300~670 cm深であった。土性については、3地点とも表層が軽埴土であり、下層になるにしたがって重埴土または壤土となっている。

また、S地点では130~200 cm深さFe結核、管状斑鉄の発達、グライ層等がみられた。管状斑鉄は径5~10 mmの大孔隙内壁に酸化鉄が硬く沈澱していたもので、これは孔隙内壁面をコーティングし、管路を保存する役割を果たしている。

次に、3地点からまとめた飽和透水係数(鉛直方向)と三相割合の平均値を図-6に示す。

飽和透水係数は、3地点とも表層から下層にかけて 10^{-2} ~ 10^{-3} cm/secのオーダーで、一般的な関東ロームの飽和透水係数と同程度で概して大きい値であり、深度方向の差はあまりみられず、表層と下層はそれぞれオーダーの範囲で近似した透水性を示している。

三相割合も各地点で同じようなパターンを示し、表層か

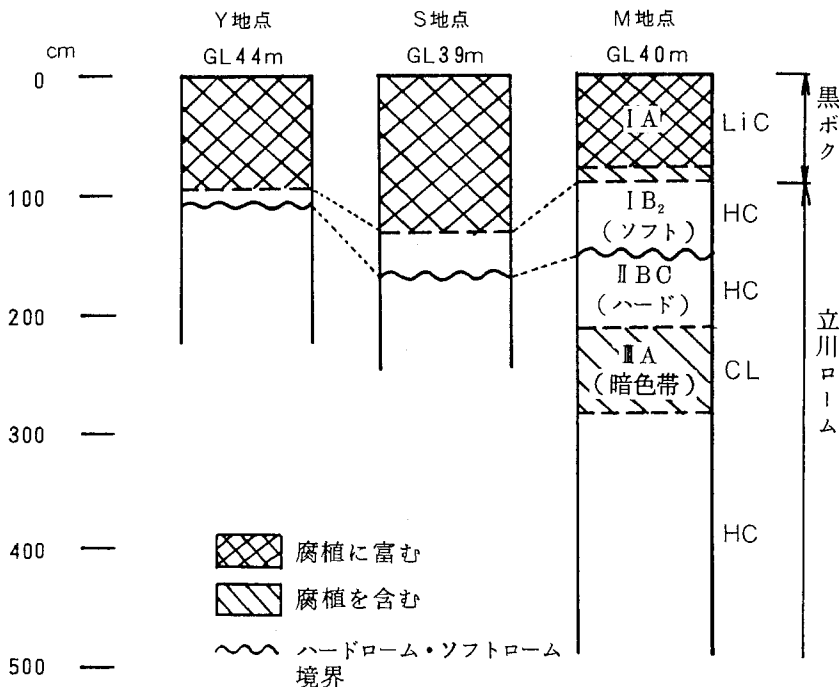


図-5 調査断面

立川ロームにおける管状孔隙が地下水涵養に果たす役割

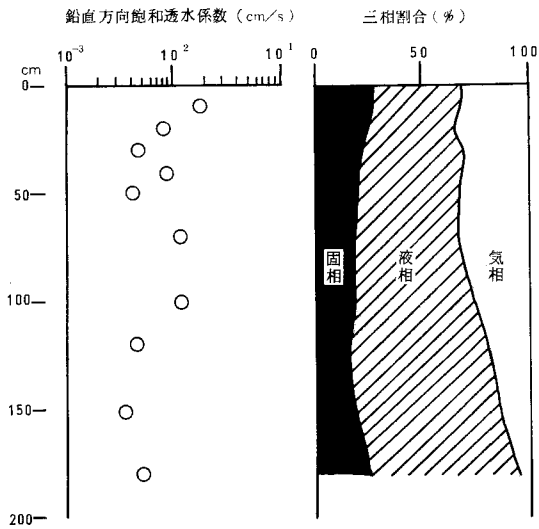


図-6 断面の飽和透水係数と三相割合
(3地点平均)

ら下層までの固相率は20~30%の範囲であった。固相率が低い値であるのに対して、気相率、液相率は高く、とくに気相率が下層でもそれほど減少しない点は関東ロームの特徴である⁵⁾。

また、3地点10~180cm深さにおける間隙分布を図-7に示した。鉛直方向の100cm³試料全てについてプロットしてある。いずれの深度でもおおよそpF1.0~2.0(等価直径0.3~0.03mm)にピークがあり、下層ではpF2.5~2.8(0.001~0.005mm)にピークがあるので、表層から下層にかけて雨水の重力排水を担う非毛管間隙が多く存在しているとともに、下層では貯留を担う毛管間隙も

兼ね備えていると判断できる。

ここで、表層から下層にかけて透水性や間隙割合に大きな差がみられない理由について考察する。

M地点では、220~290cm深あたりに暗褐色(7.5 YR 3/4)を帯びた暗色帯があった。表層(黒ボク, I A)直下から暗色帯(III A)直上にかけての層は、層位関係から 1.2×10^4 y. B. P. 頃⁶⁾から $2.1 \sim 2.2 \times 10^4$ y. B. P. 頃⁷⁾の立川ローム層(TcL)と判断される。またこの層は、立川ローム第1部層(II B₂層, 「ソフトローム」)と第2部層(II BC層, 「ハードローム」)と考えられており⁸⁾、その境界はきわめて起伏に富んでいる。松井はこの起伏の成因について、腐植土形成以前の森林土壌の説を検討しながらも、ソフトロームにおける乾湿の反復による塊状構造の発達の下限にあたる可能性を考えている⁹⁾。森林土壌であれば、根系の発達程度から根群域下限に起伏が生じる可能性もある。一方、佐瀬らは、関東ローム層から植物珪酸体を普遍的に検出しており、ソフトロームから暗色帯にかけて、ササ属、キビ亜科を主体とするイネ科植物相、暗色帯で深から武蔵野ローム上部にかけてササ属がきわめて優勢なイネ科植物相を推定し、亜寒帯林域および落葉広葉樹林域が中心となって分布していたと考えている¹⁰⁾。立川ローム層を軟X線映像で観察すると、どの層でも類似した量と形状の孔隙がみられる。これは、孔隙の多くはイネ科植物等の根系によって形成され、地形や植物遷移に極端な変化がなく土壌生成とともに徐々に堆積していった、と考えることによって説明できる。しかしながら、当該層における孔隙の成因が、植物根系によるのか、土壌動物によるのか、あるいはその他のものによるかはまだ明らかではない。たとえば渡辺

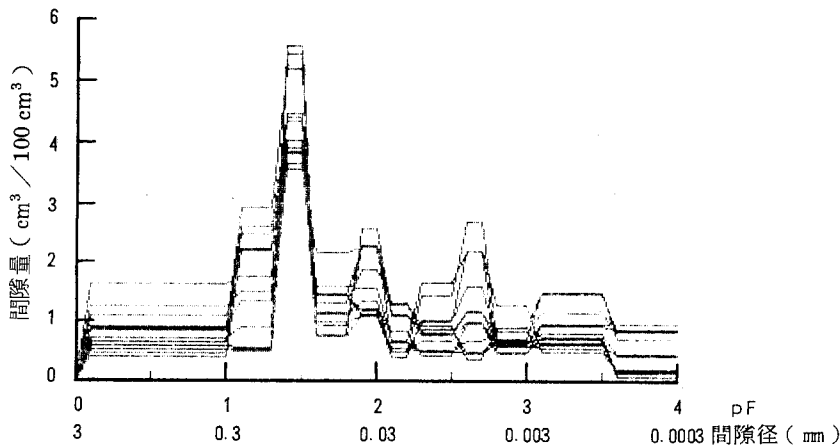


図-7 0~180cm深の間隙分布

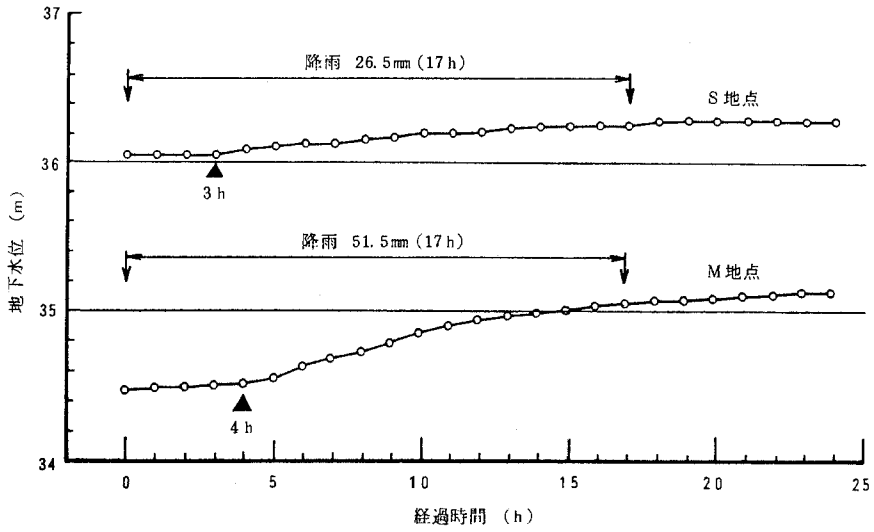


図-8 降雨と地下水位

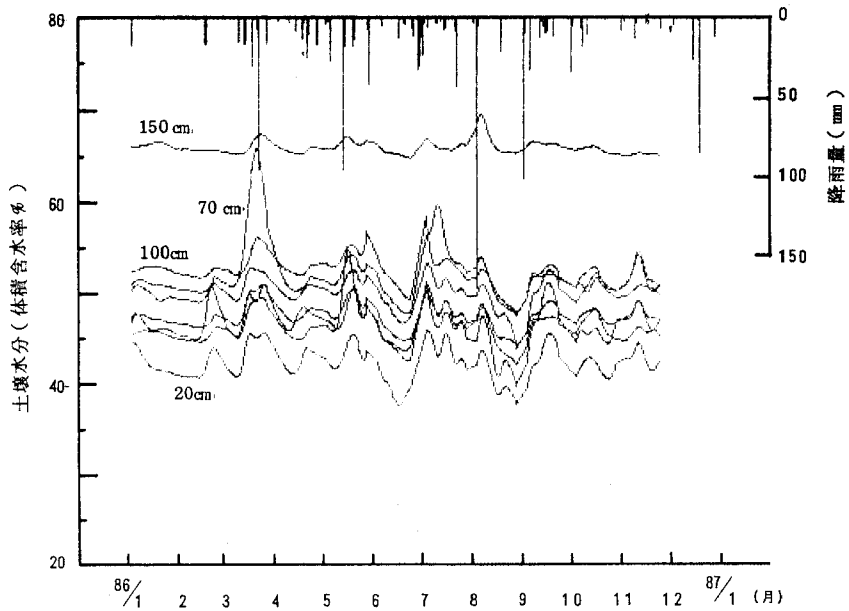


図-9 降雨量と土壌水分の経年変化

立川ロームにおける管状孔隙が地下水涵養に果たす役割

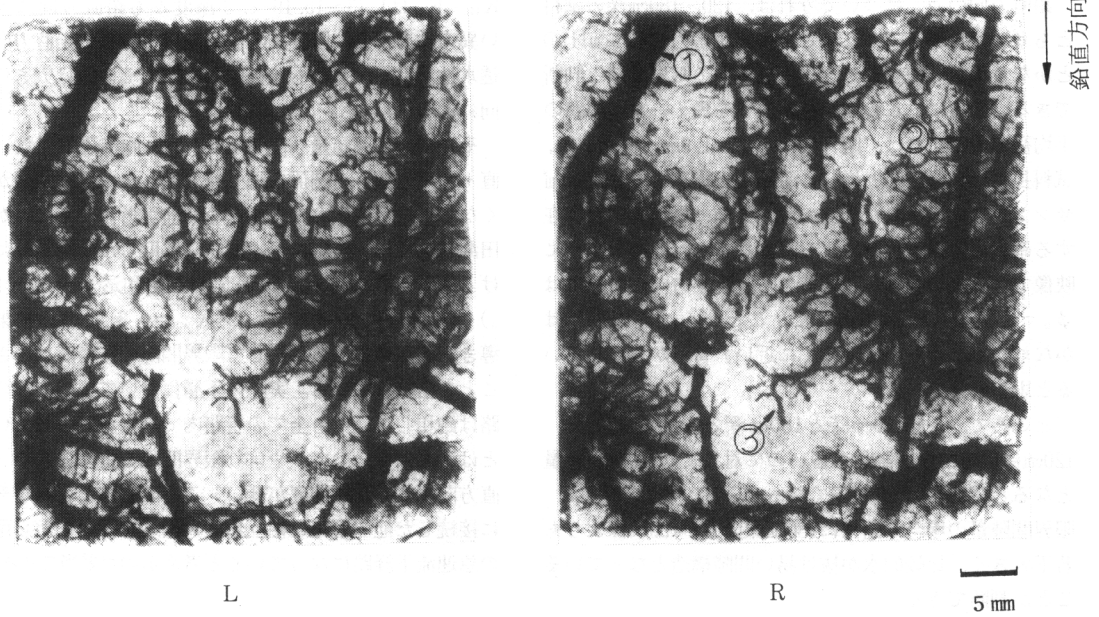


写真-1 S地点180 cm深(立川ローム)における管状孔隙
(軟X線ステレオ映像, 試料厚30 mm, 右下スケールは投影面上の寸法)

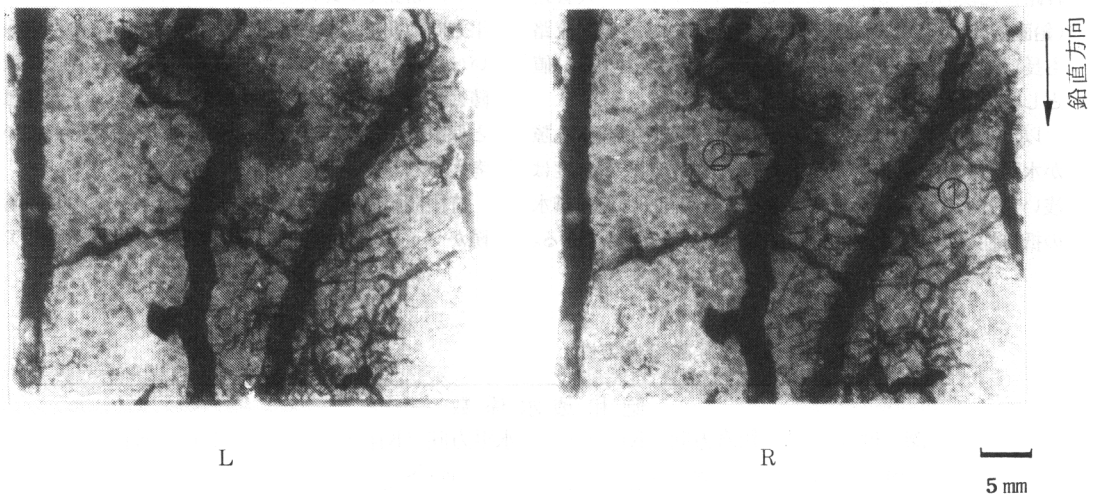


写真-2 Y地点180 cm深(立川ローム)における管状孔隙
(データは写真-1に同じ)

る可能性が高いと考えている。

鉛直方向の ϕ_e についてみれば、120, 180cm深の試料とも $\phi_e = 1.58\text{mm}$ で、このときの実測張力は $1.9\text{cmH}_2\text{O}$ とかなり小さい値をとり、排水性良好の限界間隙と判断できる。さらに、この開口径が試料を貫く一本の経路の平均径と仮定すれば、図-10から $r = 1.8\text{mm/mm}$ となり、試料長にたいして80%増しの管路長と推算できる。100 cm^3 サンプルに採取された土壤の脱水方向に最大孔隙が存在する確率は、採土位置によって異なるが、前述のように映像で3mm級の孔隙が確認できる（水平方向の試料では $\phi_e = 3.3\text{mm}$ というのもあった）ことから、実際の ϕ_e はかなり太く、 r も小さい（1に近い）管路が存在していると思われる。

ところで、下層120cm深と180cm深とを比較すると、120cm深の方で全間隙量が多いのに対して、限界間隙量となると180cm深の方が多くなっている。脱水勾配は、限界間隙量の場合と同様に180cm深の方が120cm深よりも若干大きく、比較的水が抜け易い間隙構造となっていることが判断できる。

また、鉛直方向と水平方向とを比較すると、限界間隙量は120cm深で約1.2倍、180cm深で約1.1倍鉛直方向が大きく、脱水勾配は、120cm深で約2.8倍、180cmで約1.9倍鉛直方向に大きい。写真-1, 2から判断して、100 cm^3 円筒試料における鉛直方向の大気開放経路は、太くダイレクトなものが優勢であるのに対して、水平方向の開放経路は比較的細く途中いたるところにネックや大管路（鉛直方向に延びる）との分岐・合流部分があり、流路も長いので、限界間隙量は少なく、脱水勾配も小さい値として出てくると考えられる。

以上から、立川ローム層の地下水位変動帯は管状孔隙が水平方向よりも鉛直方向に発達しており、その程度は浅い部分よりも深い部分で大きくなる傾向があり、排水の抵抗性はかなり小さい構造になっていると判断できる。

次に、表-2に鉛直・水平方向の飽和透水係数を示す。 K_U/K_H は1.73~15.19と3深度とも鉛直方向に大きい異方性を示し、限界間隙試験結果と同様に鉛直方向に透水性が良く、しかも比較的深い層でその差は大きい傾向にある。

そこで、粗間隙量（ $pF1.8$ 以下）と飽和透水係数（鉛直・水平方向）の関係を図-11に示した。粗間隙量が多くなると透水係数も大きくなる傾向がある。ところが、田淵ら¹²⁾は、立川ローム層から採取した土壤試験における限界間隙透水係数（ K_{we} ）と飽和透水係数（ K_{ws} ）との関係について、 $K_{we}/K_{ws} = 0.3$ という結果を導き、飽和透水係数に対して限界間隙の影響度は小さいことを指摘している。実際の下層においては、一部の管路は飽和していても全ての管路内で飽和流が生じているとは考えにくいので、やはり限界間隙を主体とする（鉛直方向に太く、屈曲度が低い）ごく限られた管路がそれに接続した他の管路と相互に圧力伝達を行いながら雨水の急速流下経路になっていると考えるのが妥当であろう。

4. おわりに

立川ローム層では、雨水は、体積の80%以上を占める量的に優勢な間隙のうち、10%に満たない通水し易い構造の管状孔隙を迅速に伝わり、地下水面に向かって急速流下する。一方、その管路とも接続しているかもしれないが、屈曲度が比較的高い（流路が長い）鉛直または水平方向の孔隙も多数存在し、雨水はこれらの内壁面あるいはさらに分岐・展開している細孔隙から周辺の微細間隙に浸透し貯留される。すなわち、立川ロームには排水と保水の二段機能が管状孔隙によって備えられていると考えられる。

降雨開始後短時間で地下水位が上昇するのは、管状孔隙がバイパス的水みちとなって多くの水量を通して

表-2 飽和透水係数の異方性

深 度 cm	飽 和 透 水 係 数		K_U / K_H
	鉛直方向 (K_U) cm/s	水平方向 (K_H) cm/s	
120	4.11×10^{-3}	2.38×10^{-3}	1.73
150	3.79×10^{-3}	1.40×10^{-3}	2.70
180	4.83×10^{-3}	3.18×10^{-4}	15.19

注) 値はY, S地点の平均

立川ロームにおける管状孔隙が地下水涵養に果たす役割

によれば、ミミズは全間隙の2/3にあたる生息孔を作ることもあるという¹¹⁾。孔隙形態に関する検討を要するので即断はできないが、ミミズの体幅は数百 μm ～数 mm であるので、立川ローム層の管状孔隙のサイズに合っていないとはいえない。土壌動物の深さ方向の分布は植物根系より浅いが、ロームの堆積過程で土壌環境が土壌動物に対して良好なコンディションであったとすれば、孔隙は深度方向に普遍的に分布し、場合によっては上下層の孔隙が連続することになる。

以上のこと*は、透水性や間隙割合に深度間の差異があまりみられない理由として考えることができよう。

2) 降雨開始後の地下水位上昇と土壌水分増加

地下水位について図-8に降雨開始後24時間以内の記録例を示す。S地点では、降雨開始後約3時間目に水位が上昇し始めた。その時の地下水深が298 cm であったから、雨水はおよそ $2.8 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ の速さで地下水面に到達したと推定できる。M地点では550 cm 深さの地下水位が約4時間目に上昇し始めたので、同様に $3.8 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ の速さと推定できる。これが雨水の平均流下速度とすれば、実際の雨水はかなりの速さで流下していることになる。

さらに土壌水分張力観測結果の例を土壌水分に換算して図-9に示す。冬期は降水量が少ないため土壌水分が少なく変化はほとんどない。夏期は降水量が多く蒸発量も多いため、全層の水分量の変動が大きく波形も複雑なパターンを示している。深さ方向で比較した場合、表層から下層にかけての懸垂水帯は降雨開始直後から短時間のうちに増加し、24時間以内にピークに達している。下層の毛管水帯では、降雨開始直後から増加し始めるが、24時間以内にピークに達するとは限らず、1～3日かかることもある。連続降雨期間と連続干天期間を比較すると、懸垂水帯(およそ70 cm 以浅)では期間の長さに関係なく変動しているが、毛管水帯(およそ70 cm 以深)では連続干天期間が続いても降水量があっても変動がない場合がある。

3) 管状孔隙の形状

雨水の急速流下による地下水位の上昇や下層における土壌水分の連動的増加は、肉眼でも識別できる孔隙が重要な機能を果たしていると思われる。管状孔隙の実例として、写真-1(L, R)および写真-2(L, R)を示した。2組の写真はそれぞれ一対のステレオ映像で、両眼立体視すると孔隙群の存在形態を見ることができる。

写真-1の土壌試料はS地点から採取し、写真-2のそれはY地点から採取した。いずれも180 cm 深の立川ローム(ハードローム)である。黒い筋が造影剤で、孔隙お

*立川ローム層の堆積過程で、大孔隙が植物根系もしくは土壌動物によって形成されたという考え方。

よびその周辺内に圧入したものである。向かって下方向を地下水側としている。背景の灰色に見える部分はマトリックスである。鉛直方向の孔隙といっても、映像には斜めに延びているもの、曲がりくねっているもの等さまざまな孔隙が存在しているので、以下は鉛直方向に比較的連続している孔隙のいくつかについて述べる。なお水平方向の孔隙については、ほとんどが鉛直方向に延びる太い孔隙から分岐しており、映像範囲を横切るような連続した経路を見いだせなかったので、計測の対象から外した。

写真-1の太い孔隙①は斜入しており、内壁面のところどころに分岐孔隙結合部にあたる凹部が見え、平均内径 $\bar{\phi} = 2.4 \text{mm}$ (変動係数C.V.=14.5%)、屈曲度 $\tau = 1.3 \text{mm/mm}$ である。②は大小管路が束状になった構造を見せ、周辺に細い孔隙群が密集しており、 $\bar{\phi} = 1.2 \text{mm}$ (C.V.=13.3%)、 $\tau = 1.7 \text{mm/mm}$ である。③は右上方の管路から造影剤が入り込み途中で停止したもので、先端にメニスカスが見える。その先にも孔隙が続いているが、映像では識別不能である。

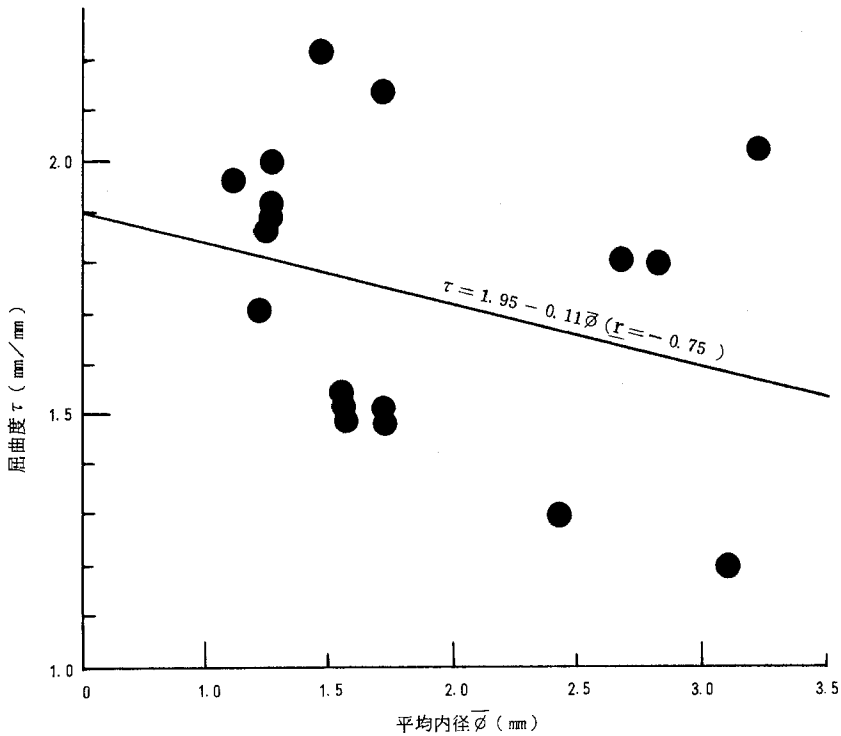
写真-2では、比較的大直径の孔隙が見られ、①は $\bar{\phi} = 2.8 \text{mm}$ (C.V.=7.1%)、 $\tau = 1.8 \text{mm/mm}$ で、周辺に分岐した細孔隙間が見える。②は $\bar{\phi} = 3.1 \text{mm}$ (C.V.=13.5%)、 $\tau = 2.1 \text{mm/mm}$ であり、周辺の間隙に造影剤が入っている。この2本の管状孔隙は、太くて蛇行しているのが特徴的である。また他の映像で認めた最大孔隙には、 $\bar{\phi} = 3.1 \text{mm}$ (C.V.=6.45%)、 $\tau = 1.2 \text{mm/mm}$ というのもあった。これを等価張力に換算すると $1.0 \text{cmH}_2\text{O}$ (=0.3/0.31, ジュレンの式)とかなり小さく、屈曲度も低い。

次に、計測した孔隙(18経路)における $\bar{\phi}$ と τ の関係を図-10に示した。 $\bar{\phi}$ と τ は負の相関関係にあり、内径が大きくなると屈曲度は小さくなる傾向にある。また、 $\bar{\phi}$ の変動係数はおよそ6～20%の範囲にあったが、 $\bar{\phi}$ と変動係数との相関は明瞭ではなく、孔隙の1本ごとに径変化の度合(なめらかさ)が異なっているのが特徴であった。その径変化が流体の移動に関してどのような影響を与えるかについては今後の検討を要するところである。

立川ローム層では数十組以上の軟X線映像を得ているが、同一層位であっても大小孔隙の混ざり具合は複雑で、今のところ類型化していない。したがって本報では一部の孔隙映像について計測を行い、透水・限界間隙試験は同一層位の別試料(複数個)を用いて行なった。

4) 限界間隙と透水性

ソフトおよびハードローム層に当たっている120、180 cm 深の鉛直・水平方向の限界間隙試験の結果を表-1



図—10 鉛直方向に延びる管状孔隙の内径と屈曲度

表—1 限界間隙試験結果

深 度	方 向	全 間 隙 量	限 界 間 隙 量	脱 水 勾 配 ($\Sigma q / \Delta h$)	限 界 間 隙 最 大 開 口 径
cm		cm ³	(Σq) cm ³	cm ³ /cm H ₂ O	(ϕ_e) mm
120	V	85.20	2.25	0.36	1.58
	H	85.20	1.88	0.13	3.33
180	V	80.66	3.19	0.43	1.58
	H	80.66	2.82	0.23	1.50

注) V : 鉛直方向, H : 水平方向, 間隙量は 100 cm³ 試料中の体積を示す。

のようにまとめた。なお、調査した立川層の限界間隙量は1.8~7.7cm³(全間隙の約2~9%, pF1.8以下相当の粗間隙の約15~36%)であった。

前述の軟X線映像から判断して、孔隙の一部が限界間隙となっていることは間違いないさうである。限界間隙試験において、試料末端から連続気泡が流出したときは、少なくとも一本の経路(管路)は完全開放されているが、それに追隨したその他の管路は不完全な開放状態となっ

ている。もし試料中の1本1本の孔隙が脱水負圧に対して同じ抵抗生をもっているならば、限界間隙量は多数の管路の開放量を表しているはずである。また、表中の ϕ_e は100cm³試料上・下端面付近における後退メニスカスに対するサクシオンから換算した等価直径のうち最大径を示し、完全開放した限界間隙の開口径と仮定した。この場合、鉛直方向では、試料端面の最大開口部は1本の経路をたどってそのまま他端面の最大開口部につな

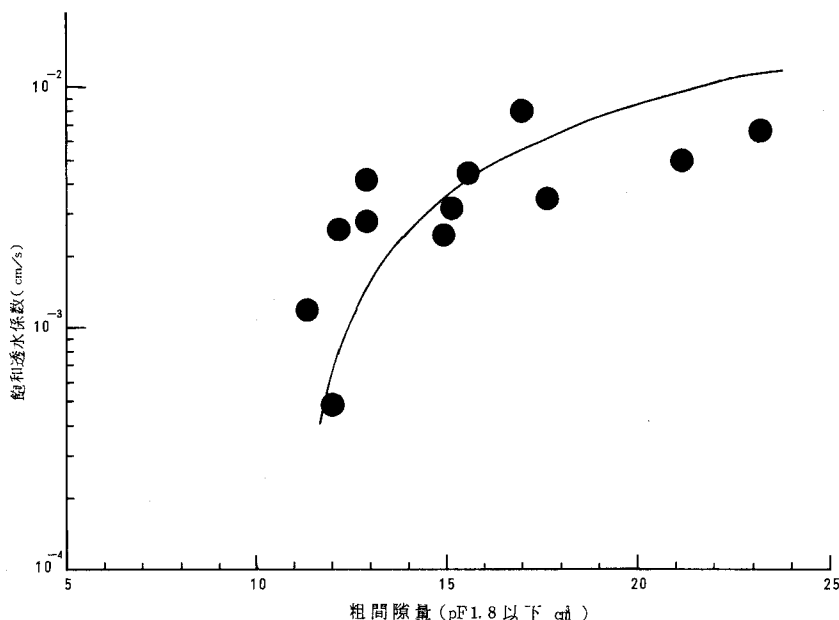


図-11 粗間隙量と飽和透水係数

結果であり、しかも水平方向は比較的透水性が低い間隙構造になっているから、鉛直方向の管路が短時間で満水することによると推察される。

管状孔隙群が不均一に分布しているように見えるのは、動物の循環器系のような構造が地下で構成されているようなもので、管路系の連続性・接続性は組織的に展開されており、物質の移動現象や貯留に関してかなり合理的な機能の分化が行なわれているのではないかと考えられる。

今後は、管状孔隙の物理的機能についてさらに詳細な検討を進めたい。

最後に、調査にあたって種々ご協力いただいた世田谷区関係各位、ならびに現地観測等に協力された研究室専攻学生諸君に対して、心から感謝申し上げます次第である。

引用文献

- 1) 高須俊行・駒村正治・成岡 市: 土と基礎, 34(11), 51-56 (1986)
- 2) 成岡 市: 農土誌, 55 (9), 29-35 (1987)
- 3) 井上久義: 農土論集, 132, 111-120 (1987)
- 4) 田淵俊雄: 研究の資料と記録, 13, 29-32 (1963)
- 5) 駒村正治: 第四紀研究, 24 (3), 229-238 (1985)
- 6) 山路 進・鈴木正章・遠藤邦彦・大沢真澄・二宮修治・新井房夫・宮地直道・鈴木和博: 日本第四紀学会講演要旨集, 12, 54-55 (1982)
- 7) 町田 洋・新井房夫: 化学, 46, 339-347 (1976)
- 8) 松井 健: 土と基礎, 32 (4), 1-4 (1984)
- 9) 松井 健: 考古学研究, 23 (2), 59-66 (1976)
- 10) 佐瀬 隆・細野 衛・守津川徹・加藤定男・駒村正治: 第四紀研究, 26 (1), 1-11 (1987)
- 11) 渡辺弘之: 土壤動物のはたらき, 51-52, 海鳴社 (1983)
- 12) 田淵俊雄・田淵公子・長田 昇: 農土研究別冊, 7, 53-60 (1963)

Summary

The groundwater table level (unconfined aquifer) ranges from 1 to 6 m below the ground surface in the Musashino Plateau, Tokyo, Japan. The water level which rises at the start of rainfall reaches the peak level within 24 hours, and the soil moisture almost simultaneously increases in the relatively shallow subsurface (0–1.5 m depth) due to the existence of tubular pores (macropores) extending from the surface to the aquifer (in Tachikawa Loam, tephra layers).

In this paper, the internal diameter and tortuosity of some tubular pores were analysed by Soft X-ray images using the stereoscopic measuring method. The physical characteristics of the tubular pores were estimated by the permeability test, etc.

Large pores running continuously in the vertical direction were 3.1 mm in diameter (coefficient of variation 6.45%) with tortuosity of 1.2 mm/mm. The larger the diameter of the pores, the lower their tortuosity. Coefficient of the variation was about 6–20%, and the ratio of the pore diameter varied.

The vertical tubular pores (less than 10% of the total pore volume) can be easily drained. Accordingly, rain-water rapidly trickles down (velocity: 10^{-2} cm/s) to the groundwater table. As many tubular pores exhibit higher tortuosity in the vertical or horizontal direction, rain-water percolates from these pores (or fine pores which branch off and spread out) to the surrounding soil matrix.

The heterogeneous distribution of the tubular pores is comparable to the circulatory system of higher animals. The continuity and cohesiveness of the tubular pores which were developed systematically may account for the effective physical functions in the subsoil.

圧力トランスデューサを利用した 迅速変水位透水試験法

金 豊 多 満 田 幸 敦 徹 雄 敦*

Measurement of the Coefficient of Water Conductivity with a Pressure Transducer

Toru KON, Yukio TOYOMITSU and Atsushi TADA

Institute of Agricultural and Forestry Engineering, University of Tsukuba

I. まえがき

難透水性土壌（ここでは飽和透水係数 $=1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下を考えた）の透水係数を求める場合、スタンドパイプを用いた従来の変水位透水試験法では、その測定に多くの時間を要し、温度管理や蒸発防止の面でも苦慮しているのが現状である。

測定時間を短縮するには大きな動水勾配を設定して透水試験を行う方法があるが、試料に大きな動水勾配がかかると圧縮が進行することが考えられ、好ましい方法とは言いがたい。

一方、難透水性土壌に対し、低動水勾配のもとで短時間に透水試験を行おうとすれば、試料内を浸透する水量は極微量となり、スタンドパイプでその量を正確に把握するのは困難となる。この微量な浸透量を正確に測定する方法として、Remy (1973) が圧力トランスデューサを利用する方法を提案している¹⁾。

しかし、その装置は三軸圧縮試験器や加圧ポンプを使った大がかりなものであり、透水係数の算出に用いる測定器の感度については、圧力トランスデューサの感度のみを考え、試料やその他の測定器の変形を考えていないなど、不十分な点がみられる。そこで著者等はこれらの問題点を修正し、圧力トランスデューサを用いた簡便な透水試験器を作成し、種々の土壌について透水係数の測定を行った。この測定において透水係数を求めるための測定器の感度が試料中の空気量によって変化することを明らかにし、試料中の空気量を考慮した測定器の感度の算定法を示した。

本試験器を用い上記感度を考慮して求めた透水係数とスタンドパイプを用いて求めた透水係数とを比較すると、両者の値はほぼ一致することが確認されたので、ここに紹介する。

II. 迅速変水位透水試験法の原理

スタンドパイプ（断面積 $a \text{ [cm}^2\text{]}$ ）を用いた従来の変水位法は、試料上下端の全水頭差が H_1 から $H_2 \text{ [cmH}_2\text{O]}$ に変化する水利条件のもとで断面積 $A \text{ [cm}^2\text{]}$ 、長さ $L \text{ [cm]}$ の試料を $a(H_1 - H_2) \text{ [cm}^3\text{]}$ の水量が流れるのに要する時間 $T \text{ [s]}$ を測定し、ダルシー則から次式で透水係数 $k \text{ [cm/s]}$ を求める方法である²⁾。

$$k_{15} = \mu_T \frac{a \cdot L}{A \cdot T} \ln \frac{H_1}{H_2} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 k_{15} : 15°C における変水位法による透水係数
 μ_T : 温度補正係数

一方、圧力水頭が $1 \text{ cmH}_2\text{O}$ 変化したときに圧力トランスデューサ受感部は $S \text{ cm}^3$ の体積変化を起こし、この変化量は圧力の大きさにかわらず一定である。このことを利用して、スタンドパイプの代わりに、この圧力トランスデューサを用いると、スタンドパイプを用いた変水位法と全く同じ原理で透水係数を求めることができる。すなわち、試料を流れる水量は $S(H_1 - H_2)$ で求められる。したがって、透水係数 K は次式で表される。なお、この S を以後測定感度 $\text{[cm}^3/\text{cmH}_2\text{O]}$ と呼ぶことにする。

* 筑波大学農林工学系

$$K_{15} = \mu_T \frac{S \cdot L}{A \cdot T} \ln \frac{H_1}{H_2} \dots\dots\dots(2)$$

K_{15} : 15°Cにおける迅速変水位透水試験法による透水係数

ここで $a \gg S$ であるので測定時間は非常に短くなる。ただし、測定器の測定感度は圧力トランスデューサ受感部のみでは決まらず他の要因も加わる。このことについてはIVで述べることにする。

III. 迅速変水位透水試験法の装置と測定方法

1. 装 置

試作した透水試験器の概要を図-1に示す。この試験器は従来のスタンドパイプ型透水試験器にコックと圧力トランスデューサを持続しただけの簡易なものである。ここで使用した圧力トランスデューサは、一般に測定器メーカーで市販されている。拡散型半導体圧力計で、その測定範囲は±100cmH₂O、測定精度は±0.5cmH₂O、

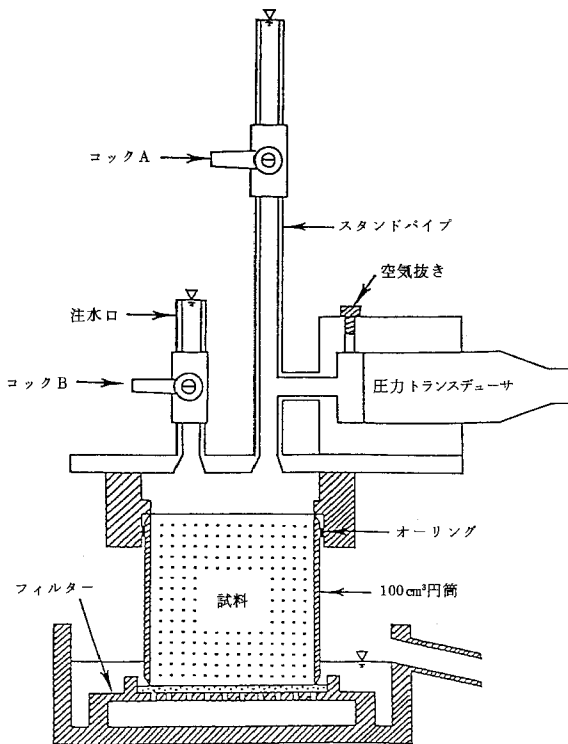


図-1 透水試験器の概要図

測定感度は $1.1 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 / \text{cmH}_2\text{O}$ である。測定圧力の読み取りはペンレコーダで行った。IVで詳述するが、この透水試験器内の水圧がかかる部分に体積弾性係数の小さい物質、例えばゴムやシリコンを多用すると透水試験の迅速性を損なうことになる。また、試験器内に空気が存在すると、大きな測定誤差を招くことになる。したがって、ゴム類の使用は試料と試験器の接続部にパッキングとしてオーリングを用いるにとどめた。また、試験器内に残留した気泡の確認が行えるよう、試験器各部に透明なアクリルや半透明のプラスチックを用いた。試験器内に残った気泡はコックから排出する。

この装置で測定できる試料は、直径5.0cm、長さ5.1cmの通常用いる100cm³円筒試料である。

2. 測定方法

本透水試験は以下の手順で行った。

- ① 試料を透水試験器にセットする。
- ② コックA、Bを開き、注水口から脱気水を注ぎ透水試験器内を水で満たし、コックBを閉じる。このとき、試験器内に気泡が残留することのないよう十分注意する。
- ③ 透水試験器が透水試験中動くことのないよう固定する。
- ④ スタンドパイプ上端まで脱気水を注ぎ、そのとき、ペンレコーダがスタンドパイプ内水位と排水位との差（本実験では25cmH₂O）、すなわち、試料上下端の全水頭差を示すように圧力トランスデューサの読みを調整する。
- ⑤ コックAを閉じ、試料上下端の全水頭差がH₁からH₂になるまでの時間を記録し、その結果をもとに(2)式より透水係数を算出する。なお、圧力トランスデューサの受感部の変形と全水頭差の変化との関係を図示すると図-2のとおりである。

IV. 透水試験器の測定感度

前述したように透水試験器の測定感度は圧力トランスデューサの測定感度のみで決まるものではない。すなわち、圧力変化を受ける系内において、体積変化を起こすものがあれば、それらの影響を受けることになる。そこで圧力トランスデューサや試料を含めた透水試験器全体の感度を求めておく必要がある。

圧力の変化に対して体積変化量の大きい空気は、測定感度に関して、最も大きい影響力を有する。したがって、ここでは試料が完全飽和の場合と、閉鎖不飽和の場合とに分けて考える。

圧力トランスデューサを利用した迅速変水位透水試験法

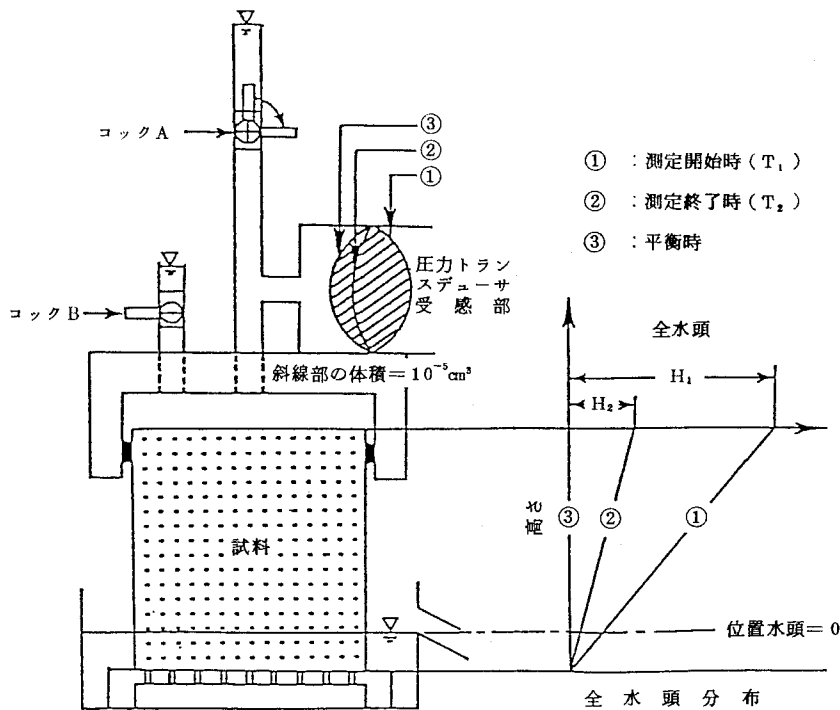


図-2 コック A を閉じたときの試料内の全水頭変化

1. 完全飽和試料の場合

試料が完全な飽和状態にあるときの透水試験器全体の測定感度を S_1 とすると、この S_1 は次のように表すことができる。

$$S_1 \Delta H = \Delta V_s + \Delta V_x + S_0 \Delta H$$

$$S_1 = (\Delta V_s + \Delta V_x) / \Delta H + S_0 \quad \dots(3)$$

ここで、

ΔH : 測定中の圧力トランスデューサの圧力変化量 (絶対値) [cmH₂O]

ΔV_s : 測定中の土粒子の体積変化量 [cm³]

ΔV_x : 測定中の圧力トランスデューサ受感部以外の試験器の体積変化量 [cm³]

S_0 : 圧力トランスデューサ本体の測定感度 (cm³/cmH₂O)

(3)式における S_0 は定数であるが、 $(\Delta V_s + \Delta V_x) / \Delta H$ は定数であるとは限らない。そこで、飽和時の本透水試験器の感度 S_1 が定数かどうかを調べるため、完全に飽和させたセッコウ試料およびポーラスカップ試料について、 $\ln H-T$ 関係を実測し検討した。試料の完全飽和に当たっては、試料を水中に浸し、 -75 cmHg以下の減圧度を3時間以上保ち、試料から気泡が出なくなった

ことを確認したうえで、透水試験に供した。

$\ln H-T$ 関係は、ダルシー則より次式で表される。

$$\ln H = -\frac{K \cdot A}{S_1 \cdot L} \cdot T + C \quad \dots(4)$$

(Cは積分定数)

K, A, L, C は定数であるから、 S_1 が定数であれば $\ln H-T$ 関係は直線関係になるはずである。

実測結果は図-3に示すように $\ln H-T$ 関係は直線関係にあり、試料が完全に飽和しているときの透水試験器全体の感度 S_1 は定数として扱えることがわかった。

そこで、この S_1 の値を実験により求めた。すなわち、セッコウが試料およびポーラスカップ試料について、スタンドパイプを使った透水試験により試料の透水係数 k_{1s} を実測した。次に同一試料について、本透水試験器を使った透水試験を行い、試料上下端の全水頭差 H_1 から H_2 に変化するに要する時間 T を測定することで、(2)式から $K_{1s} = k_{1s}$ 、 $S = S_1$ としてその結果を示したのが表-1である。 -75 cmHg減圧飽和試料の実測測定感度は $3.2 \sim 3.4 \times 10^{-4}$ cm³/cmH₂Oの範囲であり、安定した値が得られている。したがって、試料が完全に飽和しているときの本透水試験器の測定感度 S_1 は 3.3×10^{-4}

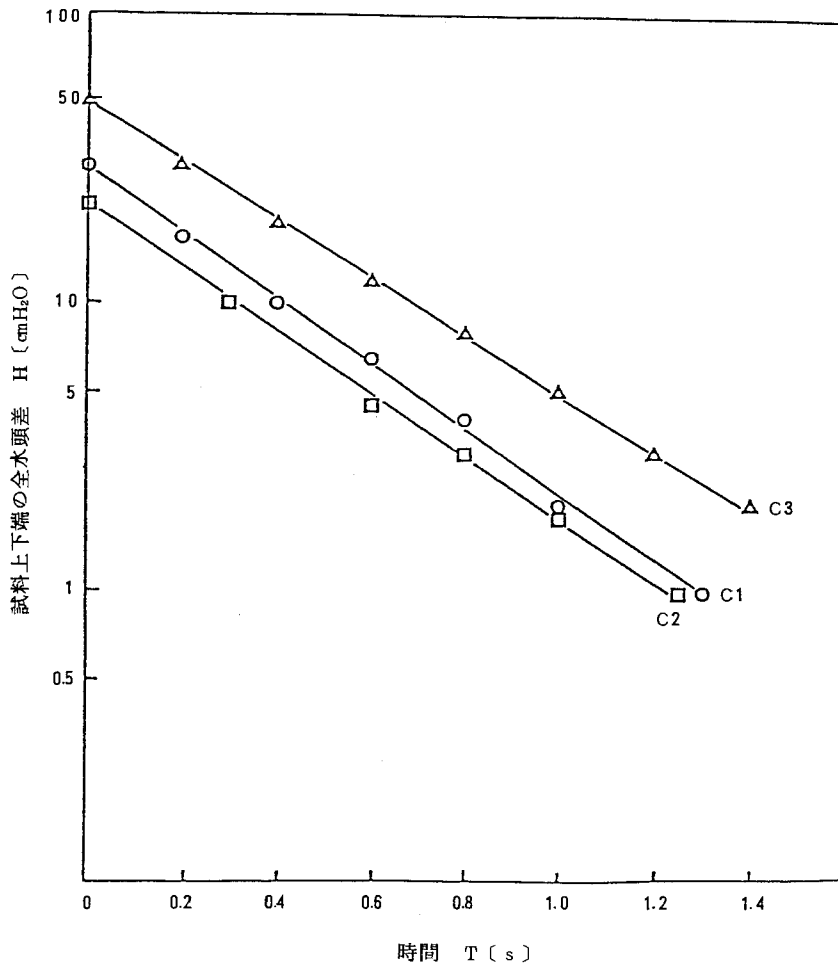


図-3 - 75 cm Hg 減圧飽和したセッコウ試料の $1nH - T$ の関係

cm³/cmH₂Oと考へた。この測定感度は、従来法のスタンドパイプの断面積に相当するものである。したがって、例えば、断面積0.55cm²のスタンドパイプを使った透水試験法と本透水試験器を使った透水試験法の所要測定時間を動水勾配条件を同じにして比較すると、理論的には本迅速法は $3.3 \times 10^{-4} / (0.55 \times 1) = 1 / 1700$ の測定時間で済むことになる。しかし、透水性のよい土壌の飽和透水係数を測定しようとするれば、圧力が瞬時に平衡に達してしまうため、記録計からその速度は読みとれない。本透水試験器で測定できた完全飽和試料の透水係数の上限は約 5×10^{-4} cm/sであった。

2. 閉鎖不飽和試料の場合

1) 理論式 試料が閉鎖不飽和の状態にあるときの、

透水試験器全体の測定感度を S_2 [cm³/cmH₂O] とすると、 S_2 は次のように表すことができる。

$$S_2 \cdot \Delta H = \Delta V_s + \Delta V_a + \Delta V_x + S_0 \cdot \Delta H$$

$$S_2 = S_1 + \Delta V_a / \Delta H \dots\dots\dots(5)$$

ここで ΔV_a : 測定中の試料内気泡の体積変化量 [cm³]
 (5)式の ΔV_a は次のように表すことができる。試料上端における絶対圧が P_1 [cmH₂O] の時を測定開始時 (T_1)、試料上端における絶対圧が P_2 [cmH₂O] の時を測定終了時 (T_2)、試料下端の絶対圧を P_3 [cmH₂O] とすると、試料内における高さ方向の圧力分布は次のように表せる (図-4)。

$$P_{T_1}(Y) = P_3 + (P_1 - P_3) Y / L \dots\dots\dots(6)$$

$$P_{T_2}(Y) = P_3 + (P_2 - P_3) Y / L \dots\dots\dots(7)$$

圧力トランスデューサを利用した迅速変水位透水試験法

表-1 飽和時の測定感度 S_1

試料	試料No.	V_a (cm^3)	k_{15} (cm/s)	S_1 ($\text{cm}^3/\text{cm H}_2\text{O}$)	S_1 の平均値 ($\text{cm}^3/\text{cm H}_2\text{O}$)
セッコウ ^{注1)}	C 1	0	1.9×10^{-4}	3.2×10^{-4}	3.3×10^{-4}
	C 2	0	1.7×10^{-4}	3.2×10^{-4}	
	C 3	0	1.5×10^{-4}	3.2×10^{-4}	
ポーラスカップ ^{注2)}	P 1	0	—	3.3×10^{-4}	

注 1): 従来の変水位法による透水係数 k_{15} と迅速法による透水係数 K_{15} が等しいとして、(2) 式から逆算により測定感度 S_1 を求めた。

注 2): ポーラスカップの断面積 A は測定困難であるので、 $k_{15} = K_{15}$ として、(1) 式、(2) 式から、 $S_1 = a \cdot T / T'$ で求めた。ここで、

T : 迅速法による測定時間 (s)

T' : 従来の変水位法による測定時間 (s.)

V_a : 透水試験終了直後の試料内気泡体積

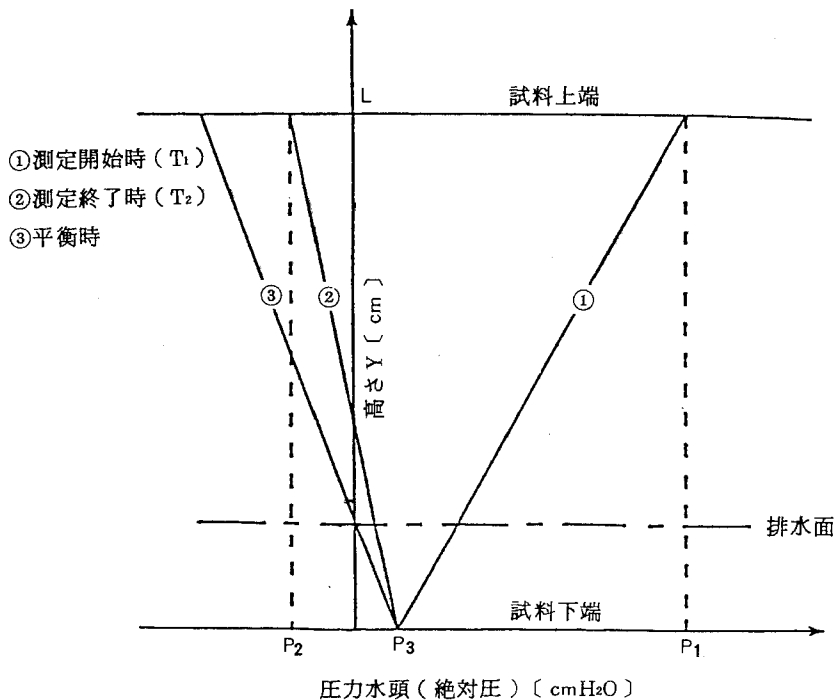


図-4 迅速変水位透水試験時の試料内の圧力水頭分布

ここで、

$P_{T_1}(Y)$: 測定開始時 (T_1) の高さ Y における絶対圧
[cmH₂O]

$P_{T_2}(Y)$: 測定終了時 (T_2) の高さ Y における絶対圧
[cmH₂O]

Y : 試料下端からの高さ [cm]

L : 試料長 [cm]

いま、測定が短時間で終了することから温度は一定と考えられるので、試料内の圧力分布が $P_{T_1}(Y)$ のとき、 V_{a1} の体積の気泡が試料内に均等に存在すると仮定すると、試料内の圧力分布が $P_{T_2}(Y)$ に低下したときの気泡の体積増加量 ΔV_a は、ボイルの法則から次のように表せる。

$$d\Delta V_a = \frac{P_{T_1}(Y) - P_{T_2}(Y)}{P_{T_2}(Y)} \cdot \frac{dY}{L} \cdot V_{a1} \dots (8)$$

ここで、

V_{a1} : 測定開始時 T_1 における試料内の気泡体積
[cm³]

(6)式、(7)式を(8)式に代入すると、

$$d\Delta V_a = \frac{P_1 - P_2}{L} \cdot \frac{Y}{P_3 L - (P_3 - P_2) Y} \cdot V_{a1} \cdot dY \dots (9)$$

(9)式を $Y=0$ から $Y=L$ まで積分すると

$$\Delta V_a = \frac{P_1 - P_2}{P_3 - P_2} \left\{ \frac{P_3}{P_3 - P_2} \ln \left(\frac{P_3}{P_2} \right) - 1 \right\} V_{a1} \dots (10)$$

(10)式を(5)式へ代入すると $\Delta H = P_1 - P_2$ であるから

$$S_2 = S_1 + \frac{1}{P_3 - P_2} \left\{ \frac{P_3}{P_3 - P_2} \ln \left(\frac{P_3}{P_2} \right) - 1 \right\} V_{a1} \dots (11)$$

ここで、大気圧を1000cmH₂Oとすると、 P_2 は試料上端上の水深3cmに相当するので $P_2 = 1003$ cmH₂O、 P_3 は、排水面が試料下端上1cmにあるとすると、 $P_3 = 1001$ cmH₂Oになる。ゆえに、(11)式は、

$$S_2 = S_1 + 5.0 \times 10^{-4} V_{a1}$$

となる。ここで、試験開始時の V_{a1} は実測できないので、透水試験後、試料の質量を測定し、-75cmHg減圧飽和したときの試料の質量との差を測定終了直後の試料内気泡体積 V_a として、 $V_{a1} = V_a$ とすると、

$$S_2 = S_1 + 5.0 \times 10^{-4} V_a \dots (12)$$

となる。

そこで、(12)式の理論式が実際に適合するかどうかを調べるために、セッコウ試料について、次の2通りの飽和处理を行い、試料内に存在する気泡体積を変えて、そのときの測定感度 S_2 を実測した。

①毛管飽和法：試料下端から水を供給し、毛管力を利用して水を上昇浸入させる方法

②-50cmHg減圧飽和法：毛管飽和させた後、試料を水中に浸し、-50cmHgまで減圧した状態の容器の中に約3時間静置して飽和させる方法

その結果を示したのが表-2である。透水試験の実測値によった測定感度 S_2' と試料内気泡体積の実測値から(12)式に従って算出した測定感度 S_2 とを比較すると、前者は後者に比べて若干小さめの値を示しているものの両者はほぼ近い値になっている。したがって、試料内の気泡体積 V_a と閉鎖不飽和試料の場合の透水試験器全体の測定感度 S_2 との関係は(12)式で表しても大きな違いとはならない。

表-2 閉鎖不飽和時の測定感度 S_2

試料	飽和方法	試料No.	V_a (cm ³)	k_{15} (cm/s)	S_2' (cm ³ /cm H ₂ O)	S_2 (cm ³ /cm H ₂ O)
セッコウ	毛管	C 1	3.7	1.0×10^{-4}	1.9×10^{-3}	2.2×10^{-3}
		C 2	3.3	8.9×10^{-5}	1.8×10^{-3}	2.0×10^{-3}
		C 3	3.8	8.3×10^{-5}	1.8×10^{-3}	2.2×10^{-3}
	-50cmHg 減圧法	C 1	2.1	1.5×10^{-4}	9.2×10^{-4}	1.4×10^{-3}
		C 2	2.1	1.3×10^{-4}	1.2×10^{-3}	1.4×10^{-3}
		C 3	2.2	1.2×10^{-4}	1.2×10^{-3}	1.4×10^{-3}

S_2' : 従来の変水位法による透水係数 k_{15} と迅速法による透水係数 K_{15} が等しいとして、(2)式から逆算により求めた測定感度

S_2 : (12)式から求めた測定感度

V_a : 透水試験終了直後の試料内気泡体積

圧力トランスデューサを利用した迅速変水位透水試験法

V. 土壌試料を使った迅速変水位透水試験法の検証

迅速変水位透水試験法（以下、迅速法と略記する）で求めた飽和透水係数の妥当性に関して、同一土壌試料について迅速法で求めた透水係数とスタンドパイプを使った変水位透水試験法（以下、従来法と略記する）で求めた透水係数とを比較することで検討した。

迅速法による測定の際、適用する測定感度は、セッコウ試料およびポーラスカップ試料から求めた測定感度である。

1) 供試土

供試土は、茨城大学水田圃場の関東ローム耕盤層、土浦市沖宿の竜ヶ先層粘質土、および農業研究センター圃場の灰色低地土耕盤層の3種である。その物理性は表-3のとおりで行った。

試料の飽和は毛管飽和と-75cmHg減圧飽和との2通

りで行った。

2) 迅速変水位透水試験法による透水係数の測定結果の妥当性の検討

透水試験終了直後に測定した各試料中の気泡体積は表-4のとおりである。この表にみられるように、関東ロームではこの飽和の方法ではまだ空気を残しているため、(2)式を用いて測定感度を求め、(2)式から透水係数を求めた。なお、関東ロームについては、不飽和であったため S_2 が大きくなり、測定時間を長くとしたので、 10^{-3} cm/s オーダーの透水係数でも測定することができた。他の試料は気泡体積がほとんど0であったので、測定感度は飽和時の S_1 を用いて透水係数の計算を行った。

このように迅速法で求めた透水定数 K_{1s} を従来法で求めた透水係数 k_{1s} と比較すると図-5のとおりであり、比較的よく一致している。

以上のことから、試料中の気泡体積を考慮すると、本

表-3 供試土の土壌物理性

試料名		関東ローム	竜ヶ崎層粘質土	灰色低地土
採土深さ (cm)		17~24	3~8	21~26
真比重		2.58	2.64	2.69
乾燥密度 (g/cm ³)		0.86	0.95	1.25
三相分布	固相率 (%)	33.3	36.2	46.3
	液相率 (%)	60.9	61.8	51.7
	気相率 (%)	5.8	2.0	2.0
粒径組成 (%)	2~0.2 mm	4 *	7	6
	0.2~0.02 mm	32 *	16	26
	0.02~0.002 mm	35 *	36	34
	0.002 mm以下	29 *	41	34
土性名 (国際法)		Li C *	Li C	Li C

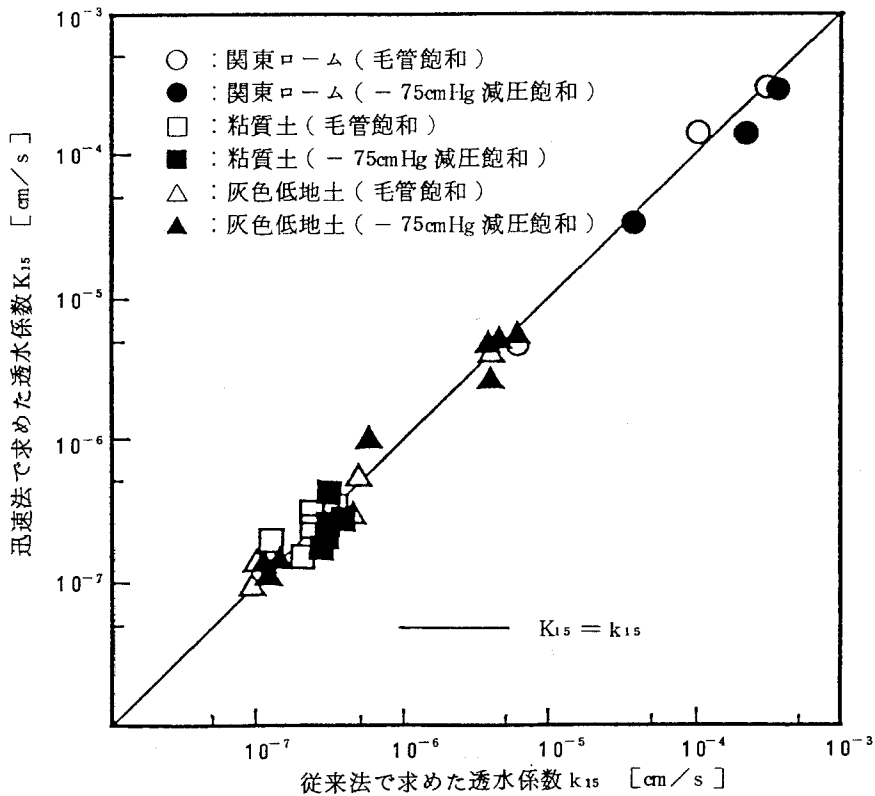
粒度分析：測定法-比重計法

分散剤-関東ロームは塩酸を、その他はヘキサメタリン酸ナトリウム

*：軽部氏のデータによる

表-4 透水試験終了直後の試料内の気泡体積 V_a (cm³)

試料名	関東ローム			竜ヶ崎層粘質土					灰色低地土			
	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4
毛管飽和	1.4	1.7	1.8	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0
-75 cmHg 減圧飽和	0.5	0.7	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0



図一五 迅速法で求めた透水係数 K_{15} と従来法で求めた透水係数 k_{15} との比較

方法で従来法よりも千数百分の一の短時間で難透水性土壌の透水係数が測定できることを確認した。

VI. ま と め

圧力トランスデューサを利用した迅速水位透水試験器を試作し、この装置を使った透水試験法を実験的に検討した。結果をまとめると以下のとおりである。

- (1)迅速変水位透水試験器で求めた透水係数は従来法で求めた透水係数とほぼ等しい値が得られ、圧力トランスデューサを利用した本測定法は有効である。
- (2)本測定法により低動水勾配のもとで従来法に比べ、非常に短時間で測定できる。
- (3)試料が完全に飽和しているときの測定感度は透水試験器固有の定数であり、また試料が閉鎖不飽和のときの測定感度は次式で表される。

$$S_2 = S_1 + 5.0 \times 10^{-4} \cdot V_a$$

S_2 : 試料が閉鎖不飽和のときの測定感度 [cm³/cm

H₂O]

S_1 : 試料が飽和しているときの測定感度 [cm³/cm H₂O]

V_a : 透水試験終了直後の試料内気泡体積 [cm³]

- (4)供試土には、関東ローム水田の耕盤層、竜ヶ崎層粘質土、灰色低地土の耕盤層の3種を用いた。火山灰土の関東ロームは本試験で用いた毛管飽和、-75cmHg減圧飽和によっても完全に空気間隙を排除することができなかったが、他の粘質土2種類ではほぼ完全に飽和できた。このことは、土壤の種類別にみた物理性をよく反映しており、火山灰土のように孔隙径に幅のある多孔質な土壤を供試するときには、空気間隙量の実測が重要であるが、飽和しやすい孔隙を持つ土壤ではこの種の飽和操作で十分のようであった。このことは、粘質土2種のような土壤では、湛水中の場合などには現地採土試料を直接測定することができる可能性を示唆している。

圧力トランスデューサを利用した迅速変水位透水試験法

謝 辞

引用文献

関東ロームのサンプリングは茨城大学の圃場から、灰色低地土は農研センターの圃場から採土した。

採土に当たり、田淵俊雄教授をはじめ茨城大学の方々、農業研究センター石井和夫室長、中司啓二研究員にお世話になった。また、関東ロームの粒度分析は茨城大学の軽部重太郎助教授のデータを利用させていただいた。さらに筑波大学農林工学系の関係各位には実験や討論に当たり御協力をいただいた。ここに記して感謝する次第である。

- 1) J. R. Remy : The measurement of small permeabilities in the laboratory, *Geotechnique*, Vol. 23, No 3, pp. 454~458 (1973)
- 2) 土の理工学性実験ガイド編集委員会 : 土の理工学性実験ガイド, pp. 102~105, 農業土木学会 (1983)

Summary

The falling-head permeability test with a stand pipe has been used for the determination of the hydraulic conductivity of soil. This method requires a long time for the measurement in soils with a low permeability. Therefore, the temperature and evaporation must be controlled throughout the test.

Remy (1973) measured the hydraulic conductivity with a pressure transducer in a short time. But he considered only the sensitivity of the pressure transducer and disregarded the total sensitivity of the apparatus equipped with a pressure transducer.

A simple apparatus equipped with a pressure transducer was designed to measure the hydraulic conductivity of low-permeable soils, taking account of the total sensitivity of the apparatus including the pressure transducer. The results were as follows:

1. In a saturated soil, the sensitivity S_1 can be expressed by the following equation.

$$S_1 = (\Delta V_s + \Delta V_x) / \Delta H + S_0$$

where, ΔV_s : Volume change of soil for experiment (cm^3)

ΔV_x : Volume change of apparatus without the pressure transducer (cm^3)

ΔH : Change in the difference of total head between the top and bottom part of soil (cmH_2O)

S_0 : Sensitivity of the pressure transducer ($\text{cm}^3/\text{cmH}_2\text{O}$)

2. In an unsaturated soil, the sensitivity S_2 can be expressed by the following equation.

$$S_2 = S_1 + \Delta V_a / \Delta H$$

where, ΔV_a : Volume change of air in soil for experiment (cm^3)

On the assumption that the air in the soil is uniformly distributed and by applying Boyle's law.

$$S_2 = S_1 + \left\{ P_3 \ln (P_3 / P_2) / (P_3 - P_2) - 1 \right\} V_a / (P_3 - P_2)$$

Where, P_2 : Absolute pressure on top of the soil when the measurement is completed (cmH_2O)

P_3 : Absolute pressure at the bottom of the soil during the experiment (cmH_2O)

V_a : Volume of air in the soil after the end of the experiment (cm^3)

In the current experiment, $S_2 = S_1 + 5.0 \times 10^{-4} V_a$.

3. The value of the hydraulic conductivity measured by this method with pressure transducer was in agreement with the value measured by falling-head permeability test with a stand pipe.

土壤中の溶質移動解析への有限要素法の適用

西 村 直 正*
五十崎 恒*

Application of the Finite Element Method to the Analysis of
Solute Transport through soil

Naomasa NISHIMURA and Hisashi ISOZAKI

Faculty of Agriculture, Gifu University

1. はじめに

我が国では、特に干拓地などの塩類土壌や施設園芸などにおいて、塩類濃度過多による作物の生育障害が問題となってきている。このうち施設園芸においては、天然降雨が遮断されるのに加えて多肥集約的栽培が営まれるために、土壌表層に塩類が残留・集積しやすく、これに対処するために灌水除塩が頻繁に実施されている。

本研究では、このような土壌中の溶質移動現象を解明することを目的として、溶質移動を記述する一般の移流分散型の方程式の有限要素法による解を試み、本解析法の有効性を検討することにする。

一般に、このような数値解析においては、時間および空間における節点の間隔が、収束性や安定性といった解の精度を左右することになることはいうまでもない。しかしながら、ここで取り扱う移流分散型の方程式の場合には、これらの影響は移流項による因子と拡散分散項による因子の2つに区別して考えることができる。そこで本研究では、移流項あるいは拡散分散項のどちらかを無視した特殊な条件下におけるシミュレーションをそれぞれ個別に行なうことにより適当な節点間隔を決定した上で、両方の項を考慮した一般の場合をシミュレートするという方法を採用することにする。

2. 移流分散型方程式の有限要素法による解法

(1) 空間の離散化

土壌中の不動水領域を無視でき、しかも土粒子による

溶質の吸着速度が溶質の移動速度に対して十分大きいと仮定できる場合には、Sink-Sourceのない一次元における土壌中の溶質移動は、平衡等温吸着式を用いた次式の移流分散型の方程式で記述されてきた¹⁾。

$$\frac{\partial (\rho_s Q + \theta c)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (-qc + D_s \frac{\partial c}{\partial x}) \quad (1)$$

ここで、 ρ_s は乾燥密度 (g/cm^3)、 Q は単位重量当りの乾燥土壌に対する溶質の平衡吸着量 ($\mu g/g$)、 θ は体積含水率 (cm^3/cm^3)、 c は土壌間隙中の溶液濃度 ($\mu g/cm^3$)、 q は土壌水フラックス ($cm^3/cm^2/sec$)、 D_s は拡散分散係数 ($cm^2/cm/sec$)、 t は時間 (sec)、 x は距離 (cm)である。上式を、有限の空間領域 ($0 \leq x \leq L$)における N 個の線形の基底関数 $\phi_i (i=1, 2, \dots, N)$ を用いて Galerkin 法により離散化し、部分積分を行うと次式が得られる。

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^N \int_0^L \frac{d\phi_i}{dx} (-\phi_j q + D_s \frac{d\phi_j}{dx}) dx c_j \\ & + \sum_{j=1}^N \int_0^L (\rho_s \frac{dQ}{dc} +) \phi_i \phi_j dx \frac{dc_j}{dt} \\ & = -[\phi_i J_c]_0^L \quad (i=1, 2, \dots, N) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 J_c は溶質のフラックスで、

$$J_c = qc - D_s \frac{\partial c}{\partial x} \quad (3)$$

*岐阜大学農学部

である。(2)式を行列表示すると、

$$[A] \{C\} + [B] \{dC/dt\} = \{F\} \quad (4)$$

であり、 $[A]$ 、 $[B]$ 、 $\{F\}$ 、 $\{C\}$ 、 $\{dC/dt\}$ はそれぞれ

$$[A] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} q_1 & q_1 & & & & & & 0 \\ -q_1 & -q_1+q_2 & q_2 & & & & & \\ & -q_2 & -q_2+q_3 & q_3 & & & & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & & & \\ 0 & & -q_{N-2} & -q_{N-2}+q_{N-1} & q_{N-1} & & & \\ & & & -q_{N-1} & q_{N-1} & & & \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} a_1 & -a_1 & & & & & & 0 \\ -a_1 & a_1+a_2 & -a_2 & & & & & \\ & -a_2 & a_2+a_3 & -a_3 & & & & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & & & \\ 0 & & -a_{N-2} & a_{N-2}+a_{N-1} & -a_{N-1} & & & \\ & & & -a_{N-1} & a_{N-1} & & & \end{bmatrix}$$

..... (5)

$$[B] = \begin{bmatrix} 2b_1 & b_1 & & & & & & 0 \\ b_2 & 2(b_1+b_2) & & & & & & \\ & b_2 & 2(b_2+b_3) & b_3 & & & & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & & & \\ 0 & & b_{N-2} & 2(b_{N-2}+b_{N-1}) & b_{N-1} & & & \\ & & & b_{N-1} & 2b_{N-1} & & & \end{bmatrix}$$

..... (6)

$$\{F\} = \begin{bmatrix} J_{c1} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ J_{cN} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\{C\} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ \vdots \\ c_N \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\{dC/dt\} = \begin{bmatrix} dc_1/dt \\ dc_2/dt \\ dc_3/dt \\ \vdots \\ dc_N/dt \end{bmatrix} \quad (9)$$

である。但し、 $k(=1, 2, \dots, N-1)$ を要素番号とする

$$a_k = D_{sk} / \Delta x_k \quad (10)$$

$$b_k = (\rho_s dQ/dc + \theta)_k \cdot \Delta x_k / 6 \quad (11)$$

であり、 q_k 、 D_{sk} 、 $(\rho_s dQ/dc + \theta)_k$ はそれぞれ要素の中点における値で代表するものとする。また Δx_k は要素の長さであり、 J_{c1} 、 J_{cN} はそれぞれ節点1と N における溶質のフラックスである。

(2) 境界条件の変換

(4)式は Neumann 型の境界条件、即ち溶質のフラックスが一定という境界条件の問題に適用可能となる。しかしながら一般には、土壌が濃度一定の溶液に接しているなどの場合の方がはるかに現実的であるため、さらにこれを Dirichlet 型の境界条件にも対応できるようにするために、以下のような変換が必要となる。

今、 $x = 0$ における濃度 c_1 が時間によらず一定であるとすると、(4)式は次の様に既知の部分と未知の部分に分解できる。

$$1 \begin{Bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{Bmatrix} + 1 \begin{Bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} dC_1/dt \\ dC_2/dt \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} \quad (12)$$

このとき、 $dc_1/dt = 0$ であるから、上式の未知部分については、

$$[A_{22}] \{C_2\} + [B_{22}] \{dC_2/dt\} = \{F_2\} - c_1 [A_{21}] \quad (13)$$

のように表現できることになる。これを改めて(4)式の形で記述するものとするれば、右辺の定数ベクトル $\{F\}$ には J_{c1} という Neumann 条件の代わりに c_1 という Dirichlet 条件が取り込まれたことがわかる。さらに、

$x = L$ における濃度 c_N が一定の場合にも , 同様の交換を考慮することができる。

(3) 予測子-修正子法による直接積分法

(4)式を差分化するには、次の2つの形式がよく用いられる。

$$\begin{aligned}
 & [A]^m [\varepsilon \{C\}^{m+1} + (1-\varepsilon) \{C\}^m] \\
 & + [B]^m [\{C\}^{m+1} - \{C\}^m] / \Delta t = \{F\}^m \\
 & \dots\dots\dots (14)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \varepsilon [A]^{m+1} \{C\}^{m+1} + (1-\varepsilon) [A]^m \{C\}^m \\
 & + [B]^{m+\nu} [\{C\}^{m+1} - \{C\}^m] / \Delta t \\
 & = \varepsilon \{F\}^{m+1} + (1-\varepsilon) \{F\}^m \dots\dots\dots (15)
 \end{aligned}$$

これらの式においては、 $\varepsilon = 1$ は前方差分、 $\varepsilon = 0$ は後方差分、 $\varepsilon = 0.5$ はCrank-Nicolson法の場合に相当する。また、 m は時間方向における節点番号、 Δt は時間間隔である。それぞれの式において、未知部分と既知部分とに分離して整理すれば、

$$\begin{aligned}
 & (\varepsilon [A]^m + [B]^m / \Delta t) \{C\}^{m+1} \\
 & = [(\varepsilon - 1) [A]^m + [B]^m / \Delta t] \{C\}^m \\
 & + \{F\}^m \dots\dots\dots (16)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (\varepsilon [A]^{m+1} + [B]^{m+\nu} / \Delta t) \{C\}^{m+1} \\
 & = [(\varepsilon - 1) [A]^m + [B]^{m+\nu} / \Delta t] \{C\}^m \\
 & + \varepsilon \{F\}^m + (1-\varepsilon) \{F\}^m \dots\dots\dots (17)
 \end{aligned}$$

となる。ここで、 $[B]^{m+\nu}$ は $\{C\}^{m+\nu} = \varepsilon \{C\}^{m+1} + (1-\varepsilon) \{C\}^m$ に対応する値だとすると、(16)式と(17)をそれぞれ予測子と修正子として次のように直接積分することができる。

(i) まず、 $\{C\}^m$ の値を用いて $[A]^m$ 、 $[B]^m$ 、 $\{F\}^m$ を計算し、(16)式の子測子を用いて Δt 時間後の $\{C\}^{m+1}$ を予測する。

(ii) $\{C\}^m$ と予想した $\{C\}^{m+1}$ を用いて $[A]^{m+1}$ 、 $[B]^{m+\nu}$ 、 $\{F\}^{m+1}$ を計算し、(17)式の修正子を用いて $\{C\}^{m+1}$ の値を修正する。

(iii) 修正した $\{C\}^{m+1}$ を用いてさらに修正子にかけ、 $\{C\}^{m+1}$ の値が満足いく程度まで収束したら、次の時間ステップに進む。

以下では、本解析法の有効性を検討するために θ と q が位置と時間にかかわらず、一定と単純化して計算を行ったが、その場合には修正子はほぼ、1、2回で収束した。

なお、水の流れが非定常の場合には、あらかじめ何らかの方法により土壌水の移動をシミュレートして各時間ステップにおける θ と q を求めておきさえすれば、それに伴う溶質移動を、本解析法により逐次計算することができる。

3. 数値解の精度に影響を及ぼす因子

(1) 拡散分散項が無い場合の解の精度

さて、拡散分散項が無く、位置と時間にかかわらず θ と q が一定の溶質移動をシミュレートする場合、 Δx と Δt の間隔をそれぞれ同一にとるならば、(14)式の子測子は次のように無次元化できる。

$$\begin{aligned}
 & \mathcal{Z} [A_{c1}] [\varepsilon \{C_r\}^{m+1} + (1-\varepsilon) \{C_r\}^m] \\
 & + [B_n] [\{C_r\}^{m+1} - \{C_r\}^m] = \mathcal{Z} \{F_{c1}\} \\
 & \dots\dots\dots (18)
 \end{aligned}$$

ここで、 $[A_{c1}]$ 、 $\{F_{c1}\}$ はそれぞれ一定の行列とベクトルであり、

$$[A_{c1}] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & & & & & 0 \\ -1 & 0 & 1 & & & & \\ & -1 & 0 & 1 & & & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \\ 0 & & & -1 & 0 & 1 & \\ & & & & -1 & -1 & \end{bmatrix} \dots\dots\dots (19)$$

$$\{F_{c1}\} = \begin{Bmatrix} -c_b/c_o \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ c_i/c_o \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (20)$$

となる。また、 $\{C_r\} = \{C\} / c_o$ (21)

$[B_n] = [B] / (\Delta x \cdot \theta)$ (22)

$\mathcal{Z} = q \cdot \Delta t / (\Delta x \cdot \theta)$ (23)

である。修正子についても同様の変換が可能である。このように Δx と Δt は、すべて変数 \mathcal{Z} の中に含まれるため、この場合の解の精度を左右するのは ε と \mathcal{Z} のみであることがわかる。

(2) 移流項が無い場合の解の精度

一方、移流項が無く、位置と時間にかかわらず θ と

q が一定の溶質移動をシミュレートする場合、(14)式の予測子は次のように無次元化できる。

$$\mathcal{Q}[A_{c2}][\varepsilon\{C_r\}^{m+1} + (1-\varepsilon)\{C_r\}^m] + [B_n][\{C_r\}^{m+1} - \{C_r\}^m] = \mathcal{Q}\{F_{c2}\} \dots \dots \dots (24)$$

ここで、[A_{c2}]、{F_{c2}} はそれぞれ一定の行列とベクトルであり、

$$[A_{c2}] = \begin{bmatrix} 1 & -1 & & & 0 \\ -1 & 2 & -1 & & \\ & -1 & 2 & -1 & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots \\ 0 & & -1 & 2 & -1 \\ & & & -1 & 1 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (25)$$

$$\{F_{c2}\} = \left\{ \begin{array}{c} (c_b - c)/c_0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ (c_i - c_{N-1})/c_0 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (26)$$

となる。また、

$$\mathcal{Q} = D_s \Delta t / [\theta (\Delta x)^2] \dots \dots \dots (27)$$

である。修正子についても同様の変換が可能であるため、この場合の解の精度を決定するのはεとQの2つの因子であることがわかる。

このような定常状態で土壤水の流動が生じている場合には、溶質移動に対する数値解の精度に影響を及ぼすものは、εの他に節点間隔ΔxとΔtが考えられるが、このうちΔxとΔtについてはQの因子とQの因子の2つに整理することができる。したがって数値計算を行う際には、特にQとQをどのような範囲に設定するかを十分検討しておく必要がある。そこで以下では、拡散分散項あるいは移流項を無視した条件下において実際にシミュレートした結果を解析解あるいは準解析解と比較することにより、QとQの満たすべき値の範囲を推定していくことにする。

4. 計算条件

ここでは平衡吸着量Qは、Freundlichの等温平衡吸着式によりcの関数として

$$Q(c) = Q(c/c_0)^\alpha \dots \dots \dots (28)$$

により表現されるものとし、一方溶質の拡散係数と分散係数はそれぞれ含水率θと空隙中の流速v(=q/θ)の関数であるとして提案された次式を、拡散分散係数として用いた。

$$D_s(\theta, v) = D_0 \theta \tau^2 + \beta |v| \dots \dots \dots (29)$$

但し、Q₀=100(μg/g)、C₀=100(μg/cm³)、α=0.5、β=2.5(cm)、Fickの拡散係数であるD₀は10⁻⁵(cm²/sec)、屈曲度τは0.65とした。また、土壤の体積含水率、乾燥密度、土壤水フラックスとしてはθ=0.4(cm³/cm³)、ρ_s=1.5(g/cm³)、q=0.01(cm/sec)の値を採用した。

以上の仮定のもとで、次のような4つの計算条件を設定した。

- (i) 拡散分散の効果は無視した場合の、移流効果のみによる溶質のリーチング。
- (ii) 拡散分散の効果は無視した場合の、移流効果のみによる溶質の浸入。
- (iii) 土中水フラックスの生じていない場合の、拡散効果のみによる溶質の浸入。
- (iv) 拡散分散効果と移流効果とともに考慮した場合の、溶質の浸入。

但し、溶質の浸入の場合には初期条件c_i=c₀/10、上流端の境界条件c_b=c₀とし、リーチングの場合には、初期条件c_i=c₀、上流端の境界条件c_b/10とした。

これらの計算条件の内、(i)と(ii)はQの決定のために、また、(iii)はQの決定のために設定したものである。さらに(iv)は、QとQの値から逆算されるΔxとΔtの値を用いた場合に、はたして解が精度よく得られるかを検討するために設定した条件である。

5. 解析解または準解析解と数値解との比較

(1) 拡散分散効果は無視した場合の溶質のリーチング
 (1)式においてθとqが一定でD_s=0の場合、cを独立変数に、xを従属変数に変換すると∂x/∂t=q/(ρ_sdQ/dc+Q)となる。従って、この場合の浸入前線の位置x(t, c)は、次式の特異曲線により与えられる。

$$x/V = 1/\{(\rho_s/\theta)dQ/dc + 1\} = 1/(18.75/\sqrt{c} + 1) \dots \dots \dots (30)$$

但し、c_b ≤ c ≤ c_iである。また、

$$V = q \cdot t / \theta = v \cdot t \dots \dots \dots (31)$$

であり、これは t 時間に土壤中に浸入した水の、平均到達距離に相当する。

さて、3章で述べたようにこの条件下における数値解の精度を左右するのは ε と \mathcal{Q} である。Fig. 1 は、拡散分散効果を無視した場合の溶質のリーチングにおける解析解と数値解とを、各々の ε と \mathcal{Q} について比較した結果である。この場合は、 ε を 0.5 に近付けるほど、また、 \mathcal{Q} を小さくするほど、より正確な解が求まっているのが分かる。しかしながら、前線の形状が比較的大きく変化する $c/c_0=1$ の付近では、精度が落ちてしまっている。このような誤差は、次に示す溶質の浸入の場合に、より大きくなる。

(2) 拡散分散効果を無視した場合の溶質の浸入

4章で $\alpha=0.5$ を仮定したように一般に平衡吸着式 $Q(c)$ は上に凸な曲線で表現されることが多い。そのため θ と q が一定で $D_s=0$ の条件下での溶質の浸入では後方の特性曲線が前方の特性曲線を追い越す形となり、その結果この場合の解は、ピストンライクに溶質の浸入前線が進行する衝撃波としての取扱いが可能になる²⁾。従って、物質保存条件から次式が得られる。

$$x/V = (c_b - c_i) / \left\{ \rho_s [Q(c_b) - Q(c_i)] / \theta + (c_b - c_i) \right\} = 0.260 (c_i \leq c \leq c_b) \dots\dots (32)$$

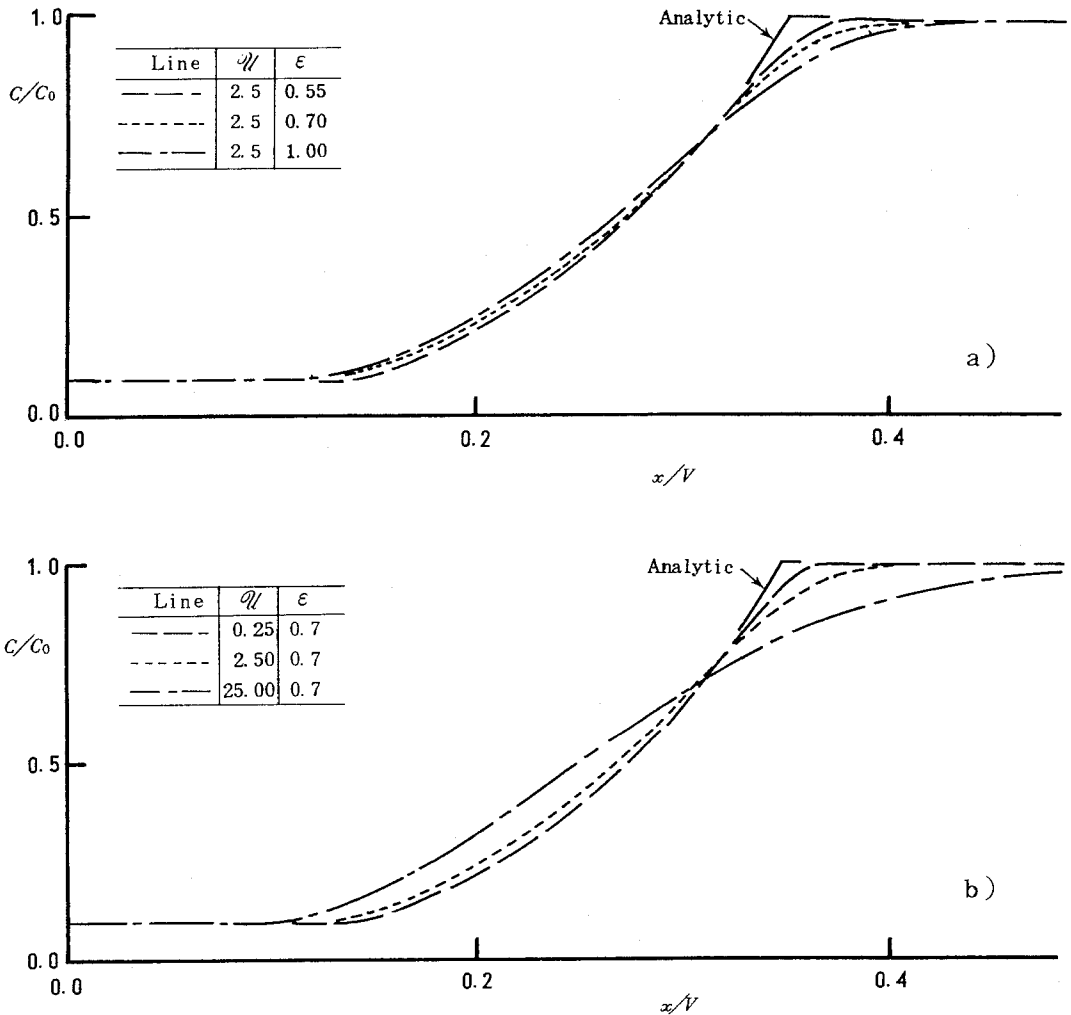


Fig. 1 Effects of a) ε and b) \mathcal{Q} on the propagation of a concentration front. (after $250/\mathcal{Q}$ time steps).

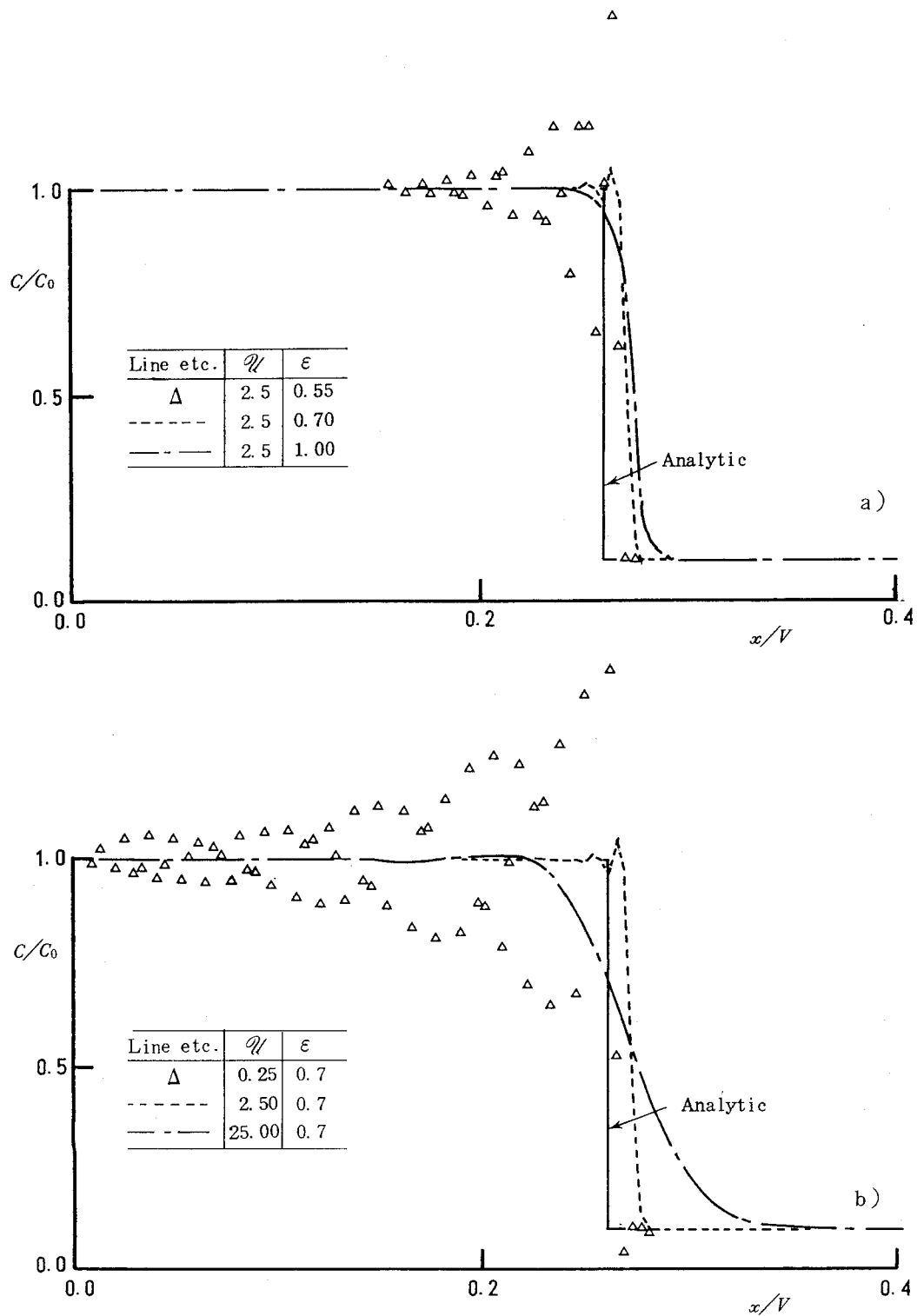


Fig. 2 Effects of a) ϵ and b) \mathcal{M} on the propagation of a concentration front. (after $250/\mathcal{M}$ time steps)

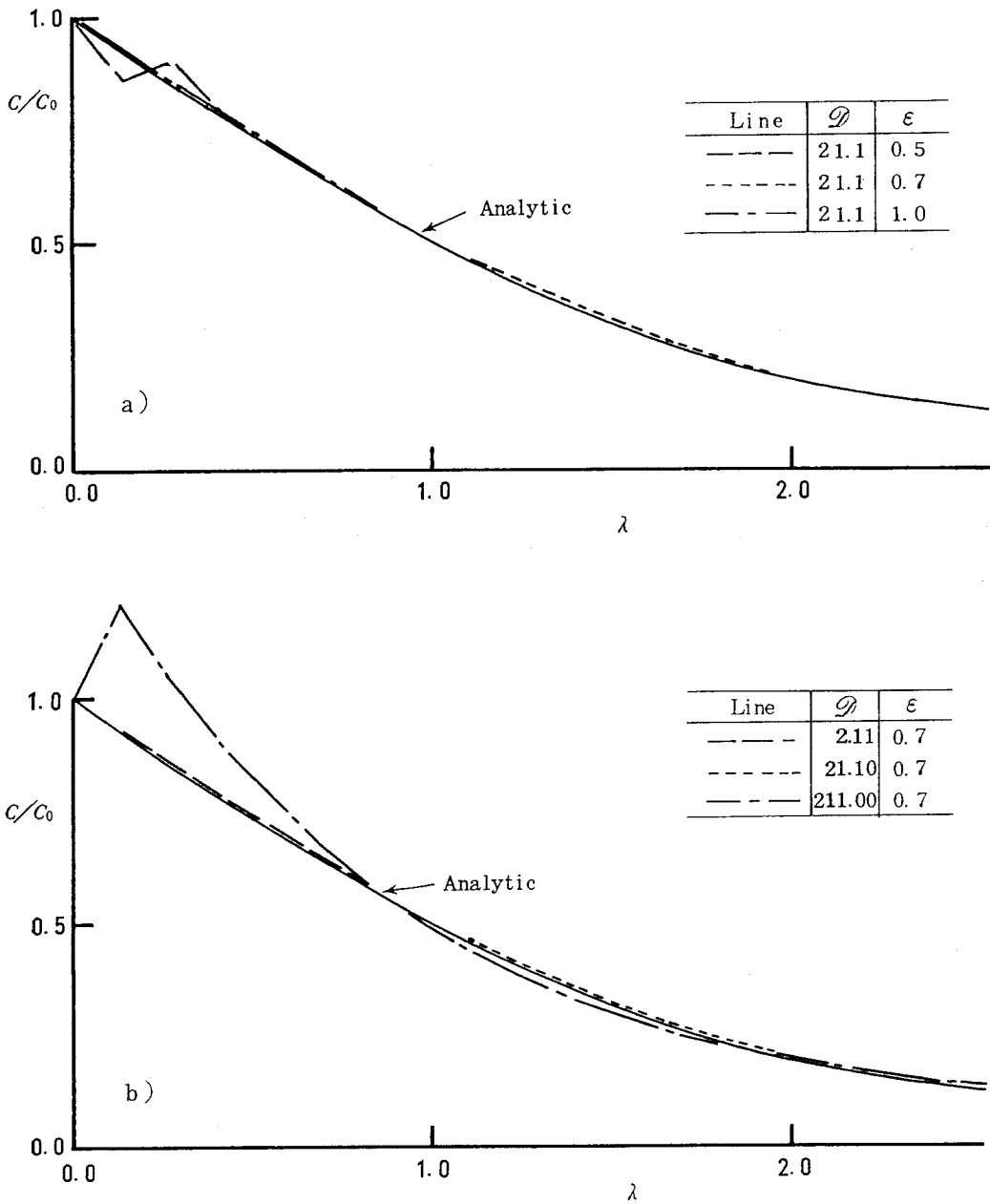


Fig. 3 Effects of a) ϵ and b) \mathcal{D} on the propagation of a concentration front. (after $211/\mathcal{D}$ time steps)

したがってもしも、土壌による溶質の吸着が無ければ、 $Q(c_s) = Q(c_i) = 0$ より $x = V$ となり、溶質の浸入前線の位置と浸入水の平均到達距離は一致する。

Fig. 2に、拡散分散効果は無視した場合の溶質の浸入における解析解と数値解とを各々の ε と \mathcal{Z} について比較した。解析解は、 $x/V = 0.260$ でステップ状に変化するため、これを数値解で正確に求めることは困難であった。 $\varepsilon = 0.55$ では前線後方で解が振動し、 $\varepsilon = 1.0$ では振動は緩和されるものの、前方差分近似のために前線位置が実際よりも前方に伸びてしまう。したがって ε については 0.7 程度が適当であると考えられる。一方、 \mathcal{Z} の値についても、 $\mathcal{Z} = 0.25$ では振動、 $\mathcal{Z} = 25.0$ では前線形状がなだらかとなる傾向があるため、 $\mathcal{Z} = 2.5$ 程度が最適であると推定される。

このように、拡散分散項を無視した場合の溶質の移動においては、単に \mathcal{Z} を小さくすれば数値解の精度も上がるというわけではなく、 $\mathcal{Z} = 2.5$ 前後といったある値の範囲に設定する必要のあることが分かった。

(3) 土壌水フラックスの生じていない場合の、拡散効果のみによる溶質の浸入。

次に、移流効果の無い場合の溶質の浸入について考えてみることにする。この場合は、土壌水のフラックスは生じていないとするのであるから分散効果も生じず、溶質は拡散効果のみによって移動することになる。このとき、Boltzmann 変換によって次式の連立常微分方程式が得られる。

$$\frac{dA}{dc} = \left(\frac{\rho_s}{\theta} \frac{dQ}{dc} + 1 \right) \lambda \quad \dots \dots \dots (33)$$

$$\frac{d\lambda}{dc} = -\frac{2}{A} \quad \dots \dots \dots (34)$$

上式は、Runge-Kutta 法等により数値計算が可能であり、その結果、次式の Boltzmann 変数、

$$\lambda = x \sqrt{\theta / (D_s t)} \quad \dots \dots \dots (35)$$

を濃度 c の関数として求めることができる。

Fig. 3に、Runge-Kutta 法による準解析解と、 ε 及び \mathcal{Z} を変えた場合の数値解と比較して示す。この場合は、 ε は 0.7 程度よりも大で、 \mathcal{Z} は 21.1 程度よりも小で、準解析解と非常によく一致した。

(4) 拡散分散効果と移流効果とともに考慮した場合の、溶質の浸入。

最後に、移流項と拡散分散項の両効果による一般の溶質移動の場合について検討する。

土壌水フラックスと含水率がともに一定の場合、浸入初期における(1)式の解は摂動法を用いて次式のような級数展開が可能となる。

$$x(c, t) = \sum_{i=1}^{\infty} g_i(c) t^{-i/2} \quad \dots \dots \dots (36)$$

このとき g_1 と g_2 については、次式の連立常微分方程式の解として得られる。

$$\frac{dG_1}{dc} = \left(\frac{\rho_s}{\theta} \frac{dQ}{dc} + 1 \right) g_1 \quad \dots \dots \dots (37)$$

$$\frac{dg_1}{dc} = -\frac{2D_s}{\theta G_1} \quad \dots \dots \dots (38)$$

$$\frac{dG_2}{dc} = \left(\frac{\rho_s}{\theta} \frac{dQ}{dc} + 1 \right) g_2 \quad \dots \dots \dots (39)$$

$$\frac{dg_2}{dc} = -\frac{G_2 + v(c_i - c)}{(D_s/\theta)(dc/g_1)^2} \quad \dots \dots \dots (40)$$

Fig. 4に g_1 と g_2 の2項についての計算結果をFig. 5に、この2項のみで濃度前線を近似した結果を、実線で示す。

さて、拡散分散項と移流項とともに考慮した計算条件下では、数値シミュレーションの精度には、 ε のほかに \mathcal{Z} と \mathcal{Q} が関係しているものと考えられる。 ε の値としてはこれまでの考察から 0.7 程度にしておけば適当であろう。一方、 \mathcal{Z} は 2.5 前後、 \mathcal{Q} は 21.1 程度以下であるとすれば、次式

$$\log \Delta t = \log(2.5\theta/\Delta q) + \log \Delta x \\ = 2 + \log \Delta x \quad \dots \dots \dots (41)$$

$$\log \Delta t \leq \log(21.1\theta/D_s) + 2 \log \Delta x \\ = 2.13 + 2 \log \Delta x \quad \dots \dots \dots (42)$$

より Δt と Δx の値はFig. 6の斜線内にあればほぼ適当であろうと考えられる。ここでは、浸入の初期における準解析解と比較するため、 $\Delta t = 100$ sec、 $\Delta x = 1.0$ cm (Fig. 6に点で示す) をとり、計算を行った。その結果をFig. 5に破線で示す。この場合、時間ステップ1回目(即ち、 $t = 100$ sec)と2回目($t = 200$ sec)の $x = 1.0$ における値が若干の振動傾向を示す他は、まずまずの結果が得られた。

次に、さらに改良のため、 $x = 0$ 付近で Δx を小さく、また、 $0 < t < 100$ で $\Delta t = 10$ sec、 $100 < t$ では $\Delta t = 100$ sec、として計算を行った結果をFig. 5に点線で示す。この場合も、時間ステップ1回目で $x = 0$ 付近の値が振動したが、その後は急速に緩和されて、 $t = 100$ sec以降では良好な結果が得られた。

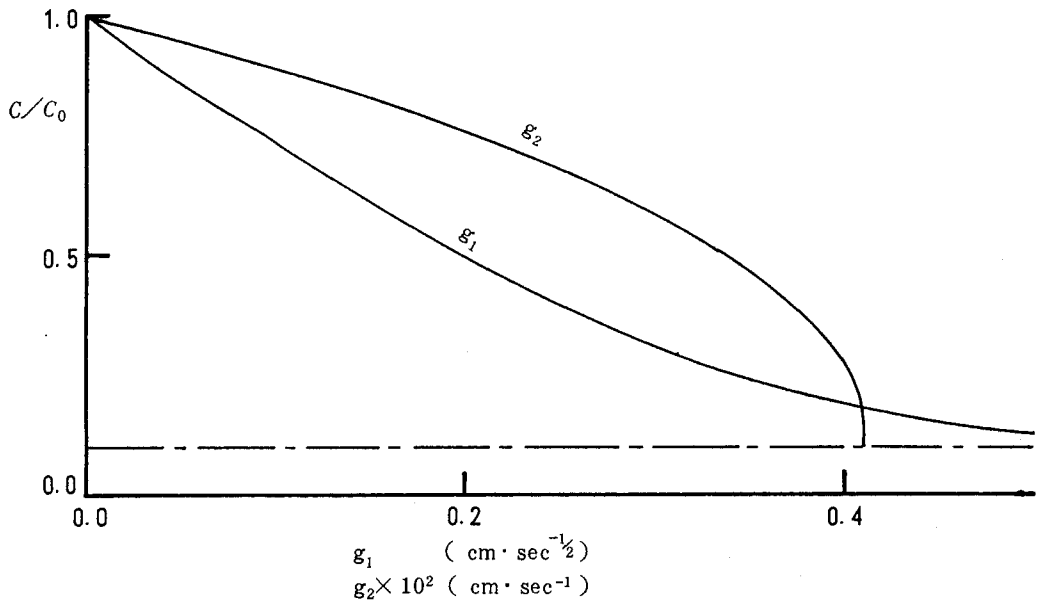


Fig. 4 Functions of g_1 and g_2

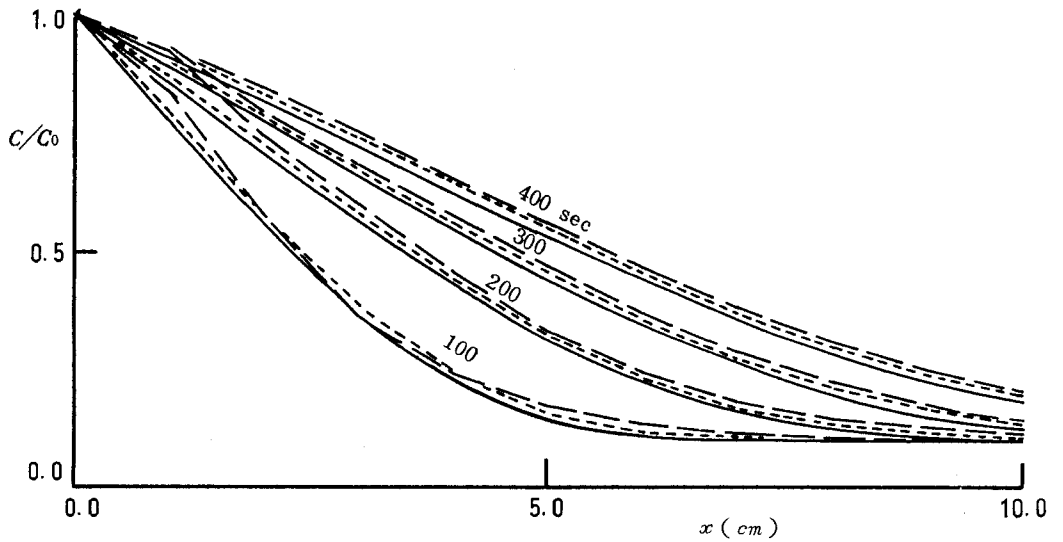


Fig. 5 Comparisons between finite element method (--- and) and perturbation method (———).

6. 結 論

土壌中の溶質移動現象を解析するために、空間に対しては有限要素法により離散化し、時間に対しては差分法を用いて表現した予測子と修正子によって、直接積分するという方法によりシミュレーションを行ない、その適合性を検討した。その際、時間と空間の離散点の取り方に工夫が必要となるが、ここでは移流項と拡散分散項を別個に取り扱うことによりこれを推定する方法を示した。また、それにより推定した離散点間隔を用いてシミュレートした結果はほぼ満足のいくものであり、本解析法の有効性が確認された。

引用文献

- 1) Hillel, D. : "Fundamentals of Soil Physics", Academic Press, New York, 1980.
- 2) 富士岡義一監訳 : "コリンズ浸透理論", 畑地農業振興会, 128-134, 1947
- 3) Phillip, J. R. : The Theory of Infiltration 1, Soil Sci. (83), 345-357, 1957

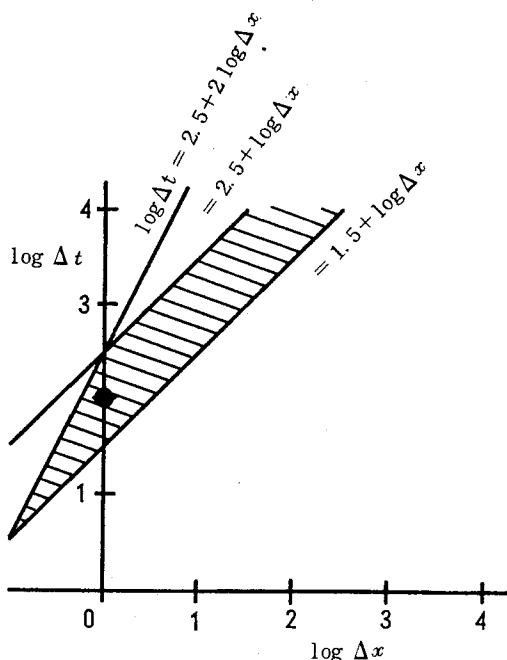


Fig. 6 $\Delta t, \Delta x$ の最適範囲.

Summary

Solute transport through soil was simulated using the finite element method for the discretization of the space domain and the predictor-corrector method for immediate integration in the time direction.

The accuracy of numerical calculations in this case generally depends upon the distance between the nodal points for space and time. However, in case of a general convective-dispersive equation, these effects on the results can be estimated by separating the convective and diffusive-dispersive factors. Thus, the intervals between the nodal points were determined by comparing analytical or semi-analytical solutions with the numerical results obtained on the assumption that either convection or diffusion-dispersion did not occur.

The results of the simulation considering both terms were satisfactory enough to agree with the semi-analytical solution calculated by the perturbation method. The results also showed that the accuracy of the solution could be improved if the nodal points were better designed.

マサ土開畑地における営農一作後の侵食実態

松 本 康 夫*

Soil Erosion after First Cultivation in New Reclaimed Farmland
of Decomposed Granite Soil

YASUO MATUMOTO*

Faculty of Agriculture, Gifu University

I. はじめに

花崗岩風化土（マサ土）からなる開畑地においては、造成工事の直後から圃場一面にわたってガリ侵食が起これ、これが短期間に発達するため多量の土砂が流亡することが多い¹⁾。このような開畑地では、土壤の保全対策を最優先しながら開畑工事や営農をどのように実施していくか、という基本的な方策が模索されている現状にある²⁾。本報告は、営農ならびに土地利用に伴って土壤侵食及び堆砂がどのように起こるのか、この側面からの実態分析を加えることによって、開畑後のマサ土圃場面の保全管理の様式を明らかにしようとするものである。

II. 調査地域の概況と調査方法

(1) 調査地域の概況

本調査はT開拓建設事業地区内のS団地を対象として行った。本団地は、深層まで構造風化の進んだマサ土が広範に分布しており、ほぼ南北を軸とした褶曲地形の尾根部を最大17~18m掘削し、谷地田を深い所で15~16m埋めて造成された改良山成畑からなる。

造成工事は一部の附帯工事を除いて昭和59年度中にほぼ完了し、昭和60年度初頭から営農が着手されている。水兼道路はやや遅れて昭和60年6月中に完成している。地形的には、図-1に示したように④、⑩圃区下部の法面を境にして大きく上下二段に分かれており、また①~⑥圃区の中央には尾根が残されて東西に集水域が分断されたようになっている。各圃区は、表-1に示したように面積0.4~0.8ha、勾配5°のほぼ一様な圃場面を主体として構成され、水兼道路に沿った方向の勾配は、4~5°と1~2°であり、いわゆる一辺傾斜型の造成

形態を採っている。

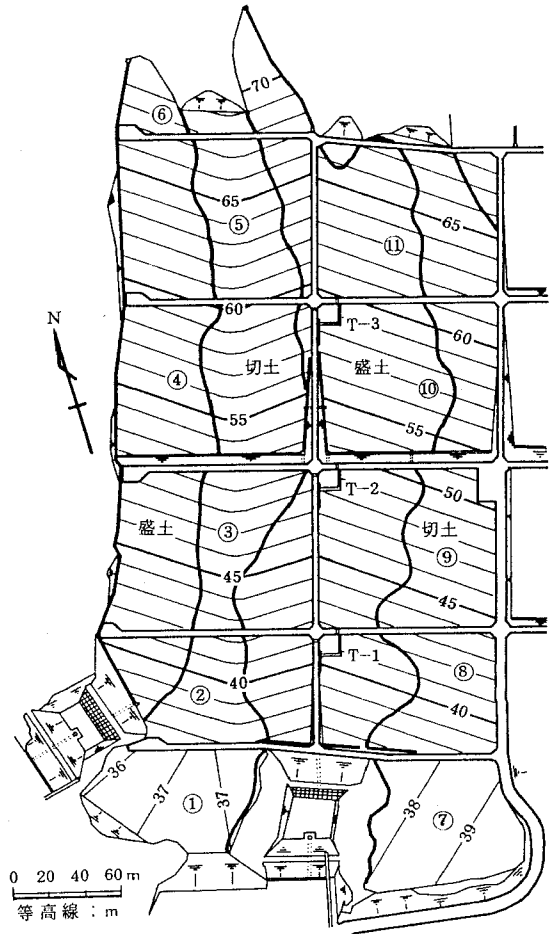


図-1 対象団地の造成形態

*岐阜大学農学部

表-1 各圃区の地形特性

圃区番号	面積 (ha)	勾配 (°)	斜面長 (m)
①	0.45	2.0	46
② 東西	0.26 0.35	5.0	60
③ 東西	0.38 0.56	5.0	94
④ 東西	0.35 0.51	5.0	89
⑤ 東西	0.39 0.53	5.1	95
⑥ 東西	0.16 0.13	5.1	10 ~ 70
⑦	0.53	1.7	90
⑧	0.62	5.1	74
⑨	0.82	5.0	95
⑩	0.77	5.1	88
⑪	0.80	5.0	88
計	7.61	—	—

各圃区から流出した雨水は、④、⑩圃区を除いてはほぼ直接、水兼道路に流入した後、圃場内沈砂池(T-1, T-2, T-3)に流入する。ここで一時湛水した後、改めて水兼道路に合流して沈砂池に至る。④、⑩圃区下部の水兼道路は法面によって圃場面と隔てられているため、圃場面からの排水は法肩の承水路、シュートを経て水兼道路に流入する。水兼道路網は本団地の主要な排水組織を構成し、これが大きな特徴の一つである。

水兼道路は、やや掘り下げた、幅3mのアスファルト道路であるが、路側部を約12cm高くして浅い水路になるよう設計されている(図-2)。下層路盤の下には、径50mmのアンダードレーンが設けられ、路体の地下水圧浮上を防止するとともに、路側に沿っては侵食されるのを防ぐため、約15~20mおきに切込みをいれ、空洞ブ

ロックを積んで円滑に排水が入るよう、カットオフが設置されている。

圃場内沈砂池は、原則的に水兼道路の交差部の一角に設けられている。構造は、10×10m、深さ1mに掘り下げ、底部をアスファルトライニングして周囲を板柵で囲ったものである。排水と土砂は、接する二本の道路を横断して設けたキャッチ水路(規模は計画排水量で変わるが、幅、深さともに30~50cm、グレーチングを施してある)からコンクリートシュートを経て流入し、一時貯留された後、側壁越流型の余水吐から流出する。本団地には、この様な圃場内沈砂池が3カ所設けられている。

(2) 調査方法

調査は、春・夏作物の収穫を終えた営農1作後の土壌侵食の実態を調べるため、昭和60年8月27日~29日に集中的に行った。

まず、圃場面の侵食実態を明らかにするため、各圃区の作付状況、畝立て方向さらに畝間、畝間流末部の管理状態を観察・記録した後、圃場内で発生したガリについて、分布と延長をスケッチした。各ガリは、多くの分枝ガリを伴った樹枝状を呈しているのが普通であるため、ガリの上下流にわたって踏査し、断面規模の変化に注意しながら、短いガリでは上流部と下流部、長いガリでは上流部、中流部及び下流部においてガリの幅と深さをボールとスチール尺により実測した。

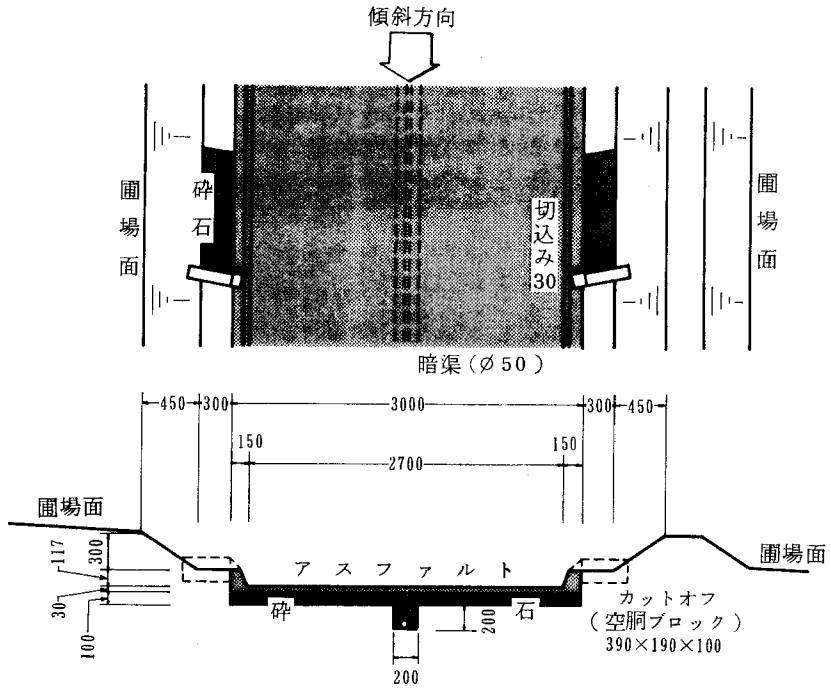
次に、圃場面で発生した流亡土砂は承水路や水兼道路に流入し、流下しているため、各承水路と水兼道路に沿って、圃場面との接合部にポイントをおきながら踏査し、ガリの発生、流入状態あるいはその管理状況を調べるとともに、水兼道路と圃場内沈砂池の堆砂状況を観察した。

III. 土壌侵食の実態

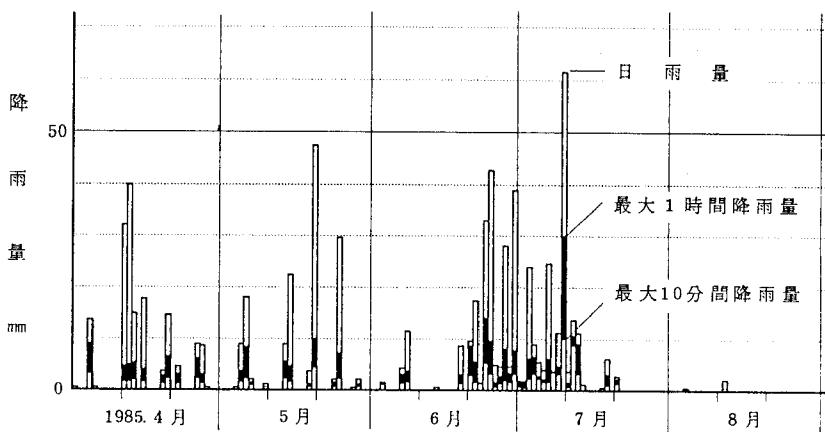
(1) 降雨状況

春・夏作物栽培期間中の降雨状況を図-3に示した。図中には、日雨量の中で観測された1時間最大雨量と10分間最大雨量を示しておいた。日雨量に占めるこれらの降雨量の値を調べることによって降雨のパターンを判断することができる。すなわち、日雨量と1時間最大雨量、さらに1時間最大雨量と10分間最大雨量の差がそれぞれ小さくなるにつれて、短時間に雨が降ったことがわかる。

マサ土からなる開畑地の土壌侵食はガリ侵食が優勢である。ガリ侵食が発生し、発達する様子を時間の経過とともに詳細に追跡すると、ガリは短時間の降雨によって短期間に発達し、発生時および発達の初期においては、わずかの降雨でもガリの発達がみられるが、次第に降雨



図一 2 水兼道路の標準的な構造



図一 3 作付期間中の降雨状況

マサ土開畑地における営農一作後の侵食実態

履歴に左右されるようになって、ある時点では、それまでに起こった短時間降雨を上回ったときに急激なガリ発達が見られることが多い³⁾。ガリは深くなりながら発達していき、次第に「降雨に対する免疫」を獲得するようになるといえよう。そのために、時間が経過するにつれてガリ発達の速度が遅くなる傾向が認められる。ちなみに、従来の調査経験によると、ガリは10mm/10分程度の降雨で急激に発達することがわかっている。したがって、マサ土開畑地の土壌侵食を評価する時には、長時間の総降雨量でなく、短時間、例えば10分間の降雨量の履歴に注目するとよい。

以上のような観点から降雨分布を検討すると、春・夏作物の栽培期間中における10分間最大雨量10mm以上の降雨の出現時期は、営農後期の7月中旬で出現頻度は1回だけである。土壌侵食とくにガリ侵食に及ぼす降雨履歴の観点から、営農期間中の降雨はあまり侵食性が高いとはいえない。

(2) 圃場面の土地利用と侵食状況

各圃区内を踏査し、観察した土地利用状況ならびにガリの発生状況は、図-4のとおりであった。図中には、作付状況、畦立て方向ならびに調査時の圃場面の状態、さらに観察されたガリを深さ30cmごとに、それぞれ太さを変えて示した。太いものほどガリが深い。水兼道路と圃場内沈砂池の網掛け部分は、それぞれ堆砂が認められた範囲にあたる。圃場面の網掛け部分は、ブルドーザー等によって補修された場所であり、水兼道路等の接合部には、土のうを積んだ仮設流出口が設けられていたので、それらの位置を付記しておいた。

表-2では、作付様式と侵食・安全管理状況の概略を整理しておいた。なお侵食状況では、各圃区で観察された一連のガリから断面の最も大きい部位のガリ幅とガリ深さを、例えば最大断面の規模が、幅50cm、深さ70cmであれば、(50/70)のように表しておいた。また、本団地ではおもにタバコとスイカおよび飼料が作付されており、タバコは、4月の中旬および下旬に定植され、7月中から8月上旬にかけて収穫されている。スイカは、5月の初旬に定植され、8月上旬から中旬にかけて収穫されている。飼料は、スイカとほぼ同様である。

(3) 圃場面からの流亡土砂量

圃場面の侵食実態調査の結果から、ガリ侵食に伴う流亡土砂量の値を計算して、表-3に示した。各圃区は、全て集水域単位に分けてある。さらに、各圃区からの流亡土砂量を相互に比較するため、単位面積あたりの流亡土砂量(m^3/ha)を求め、()内に付記した。計算にあたっては、個々のガリにおいて実測した幅と深さか

ら横断面積を算出し、それらを一本のガリごとに平均して平均断面積を求め、これに各ガリの延長を乗じて流亡土砂量とした。圃場面が耕起されたり、補修されたために、ガリが埋め戻されたものは原則として除外してある。一部でも原形の残されたものは判定できる範囲内で計算した。

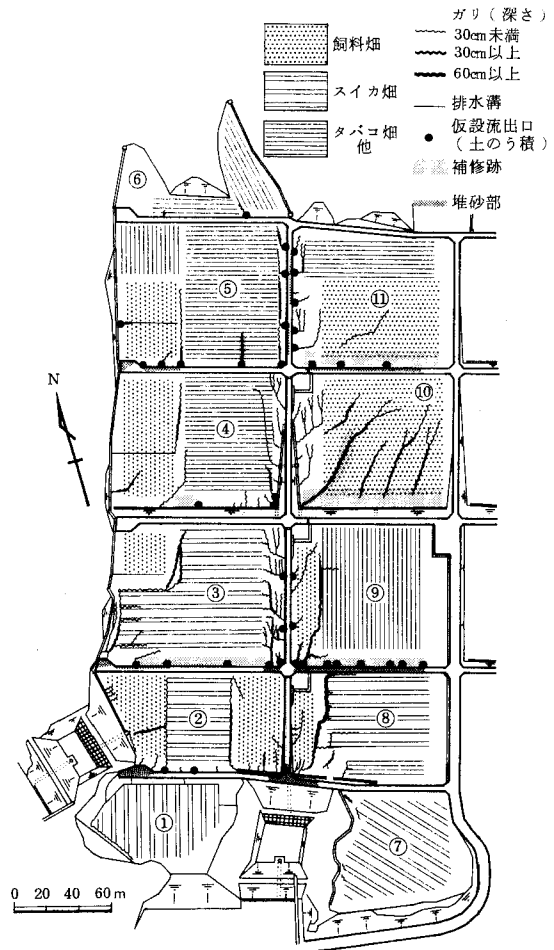


図-4 対象団地の土地利用とガリ発生状況

表-3の結果をもとに、各圃区の土地利用や地形特性と流亡土砂量の関係を調べてみよう。作付様式(表-2)と対照すると、スイカとタバコといった作物による流亡土砂量の違いは顕著でなく、むしろ地形や畦立及び細分された土地利用との関係が強くみられる。例えば、②、④、⑤圃区のように地形あるいは土地利用によって細分された圃区の流亡土砂量は、総量で約13~15 m^3 、個別の

表一 各圃区における作付様式と侵食・保全管理状況

圃区No.	作 付 様 式	侵 食 ・ 保 全 管 理 状 況
①	全面、スイカの横畦栽培	法尻のガリ(20/10)を除き、侵食の痕跡はほとんどない。周囲に排水溝。
②	ほぼ傾斜方向に3分割利用。中央、スイカの横畦栽培。	畑境界にガリ(20/35)。ムシロ芝張り承水路からガリ(30/40)波及。
③	ほぼ全面、スイカの横畦栽培。北西部、飼料畑。	畑境界から畝間に波及するガリ(30/40)。東裸地部ガリ(30/50)は高密度で10~20mおきにカットされ、仮設流出口へ導入。畑面下部補修跡。
④	ほぼ傾斜方向に2分割利用。東部、タバコの横畦栽培。西部、飼料畑。	飼料畑から畑境界にガリ(20/30)波及。東裸地部、承水路からガリ(30/30、50/50)が波及。飼料畑内に横断排水溝あり。
⑤	ほぼ傾斜方向に2分割、西部、等高線方向に2分割、計3分割利用。東部、タバコの横畦、北西部、縦畝栽培。南西部、飼料畑。	畑境界にガリ(50/50)。東側のガリ(40/40)は20~30mおきにカットされ、仮設流出口へ導入。飼料畑内に横断排水溝、タバコと飼料畑間に草生帯あり。横畦タバコ畑中央に畝決壊の痕跡。
⑥	東部、タバコの縦畝、中央部、タバコの横畝栽培。	水兼道路接合部からガリ(60/25、45/30)波及。
⑦	全面、スイカの縦畝栽培。	承水路からガリ(25/30)が波及。
⑧	ほぼ全面、スイカの横畝栽培。西部、飼料畑。	畑境界に大きなガリ(60/90)が発生し、畝間に波及。板を渡して栽培。飼料畑内にガリ(45/40)の痕跡多数。
⑨	ほぼ全面、タバコの縦畝栽培。西部、飼料畑。	畑境界から飼料畑にガリ(50/70)。飼料畑内にガリ(30/25)の痕跡多数。30mおきにカットされ、仮設流出口へ導入。畑面下部5~10mおきに仮設流出口。頻繁な補修跡。
⑩	ほぼ全面、飼料畑。西部、裸地。	畑面に大きなガリ(40/50、40/70)発生。西裸地部、カットされたガリ(20/15)が高密度で発生広範な補修跡。
⑪	ほぼ等高線方向に2分割利用。アマ茶ヅルの横畝栽培と飼料畑。	飼料畑内にガリ(25/20)。西裸地部、10~20mおきに仮設流出口へ導入。畝間マルチング。

単位面積あたり10~28m²/haであり、おおむね15~25m²/ha程度である。地形的にほぼ傾斜方向に2分割された③圃区では、東、西それぞれ約15m²(39m²/ha)、17m²(29m²/ha)であり、おおむね30~40m²/ha程度である。圃区がほぼ全面にわたり畦立て利用された⑧、⑨圃区では、ともに総量30m²弱でおおむね40m²/ha程度である。飼料畑として全面利用された⑩圃区では、際だって多く、49m²(64m²/ha)である。これらに対し、ほぼ等高線方向に分割利用された⑪圃区では、約17m²(9m²/ha)、傾斜が2°以下の①、⑦圃区や短い斜面の⑥圃区では、多くても4m²/haである。以上の流亡土砂量の観点からみると、圃場は畝を立てて利用した方が、ガリが圃場面の一部に集中するため保全効果が高く、

さらに傾斜方向に分割したり、より細分した方が一層好ましく、等高線方向に分割利用した時に最も保全効果の高いことがわかる。①、⑥、⑦圃区のように緩傾斜あるいは短い斜面を利用した時には、土壌侵食の観点からほとんど問題がないといえよう。

IV. 保全対策と課題

本圃地では営農が始まって間もないため、土地利用と保全管理作業の不徹底、これに開畑初年度の草生の未熟さが加わって、畑境界および水兼道路と圃場面の接合部といった排水の集中する流末部の処理が課題として残された。例えば、圃区内がほぼ傾斜方向に分割されて横畝

表-3 各圃区からの流亡土砂量

圃区番号	流亡土砂量 (m ³)
①	1.8 (4)
② 東西	7.3 (28) 7.6 (22)
③ 東西	14.9 (39) 16.5 (29)
④ 東西	7.8 (22) 5.0 (10)
⑤ 東西	6.3 (16) 8.2 (15)
⑥ 東西	0.5 (3) 0.3 (2)
⑦	0.6 (1)
⑧	27.3 (44)
⑨	29.3 (36)
⑩	49.1 (64)
⑪	7.3 (9)
計	189.8 (25)

()内は m³/ha.

を立てた圃場で畑境界にガリ侵食が集中し、植栽面と水兼道路の間に裸地がある所では、畝間からの排水が加わって密度の高いガリが発生した。また、畑面は水兼道路の敷高から約30cm高く、接合部が小さな法面になっているので、畑面に波及するガリが避けられなかった。一部ではムシロ芝張り承水路から畑面にガリが波及し、ガリからの流入土圧でムシロが破れているような所もみられた。

一方で水兼道路内の堆砂は、約2°以下の緩傾斜部と排水の停滞部で起こっていたが、図-4のようにタバコの縦畝栽培が行われた⑨圃区の下部で浅く広がり、これは畝間にたくさんのガリが波及したことを示唆している。縦畝を立てたことによって、水兼道路との接合部における頻繁な補修作業を要するようになったことが推察される。

これに対処するためには、畦畔や承水路をほぼ等高線方向に挿入して土地利用を規制し、わずかな傾斜をもった横畝栽培を誘導するのが理想ではないかと思われる。また、圃場面の保全管理は、ガリが下端から上方に波及する特性をもっているため、排水の集中する圃場流末部の処理が最も重要であり、ほぼこれに尽きる。例えば、各畝間の流末を畝間ごと、あるいは2~3本集めて直接水兼道路に導くなどの対策が必要であろう。さらに、調査の経験から、ガリ侵食は比較的監視の行き届かないところ、例えば、水兼道路から見えない法面の上などに集中していることが多い。圃場の形態として、できるだけ監視しやすいものを採用することも必要であろう。

謝辞：調査にあたり、T開拓建設事業所関係各位の多大なご援助・ご協力を賜った。ここに記して、感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 松本康夫：マサ土開畑地の侵食・堆砂実態と土砂収支，農土論集，126，pp. 59~66 (1986)
- 2) 例えば佐藤芳久・和高喜一・穴沢健夫・持館孝悦・坂下幸男：農地開発地区における土壌侵食特性，農土誌，54 (5)，pp. 11~15 (1986)
- 3) 松本康夫・丸山利輔・長堀金造・高橋 強・今尾昭夫・福桜盛一：ガリ発達過程と流亡土砂量，農土論集，77，pp. 53~60 (1978)

Summary

The extent of soil erosion after the first cultivation was investigated in a newly reclaimed field consisting of weathered Granite soil (Masasoil). The development of methods of soil preservation was discussed.

The field blocks (90m in length) which had been reclaimed along with the improvement of slope (5 degrees) were intercepted by a graded waterway or terrace channel in the lower part. The survey was carried out immediately after the first crops (mainly tobacco, watermelon and forage crops) were harvested. Land use, gully patterns and sedimentation area were observed.

Many gullies were present at the boundary of the planted area and a high density of gullies was observed on the bare fields between planted area and collecting ditches. Gullies extending from the top of the gentle slope between the field and the waterway caused sedimentation in the graded waterway below the field block due to slope farming. There was a slight decrease in the amount of soil loss in the field blocks in which ridges and furrows were made. Moreover, erosion was not severe in the field blocks divided into subblocks. The most effective land use was to subdivide the field blocks along a slightly graded line.

For fields consisting of weathered Granite soil (Masasoil) it is necessary to adopt contour farming with furrows with a low gradient by establishing graded levees or terrace channels which contribute to land conservation. During cultivation, it is important to collect the surface flow from each furrow at the boundaries and drain the water into drainageways directly. Field blocks must be arranged to facilitate conservation practices.

特別研究会“土壌中の物質移動現象 の新たな展開”について。

1. はじめに

去る1987年7月18日、土壌物理研究会主催、農業土木試験場と農業土木学会土壌物理研究部会後援による特別研究会が開催された。本研究会は恒例のシンポジウムと異なり、海外からのゲストスピーカーを含め、英語を会議用語として使用するという、一種の国際研究集会であった。本研究会としてこの種の経験は、1977年の第19回シンポジウム以外には見あたらないので、会の内容と状況を記録にとどめ、今後の参考に供したい。なお、特別研究会英文タイトルは、

A special meeting on the new aspects of transport phenomena in soils であった。

2. プログラム

- Opening Speeches :
 - S. Nakagawa (Director General of National Research Institute of Agricultural Engineering)
 - N. Nakano (President of Research Association of Soil Physics, Japan)
- Morning session : Effects of macropores on water and solute movement in soils.
 - R. Hatano and T. Sakuma ; Significance of the interpedal macropores in the movement of water and solute in heavy clayey soils.

4. 講演要旨

Morning session

The Significance of the Interpedal Macropores in the Movement of Water and Solutes in Heavy Clayey Soils.

Ryusuke Hatano and Toshio Sakuma
Hokkaido University

Most theoretical analyses of the material transport phenomena in the soil-plant-atmosphere system have been made on the assumption of the existence of homogeneous Soil profiles. Heavy clay-

Ir. J. Bouma ; Characterizing water and solute movement in heavy clay soils.

- Comments by H. Inoue and H. Narioka on the morning session.
- Afternoon session : “Flow of solutes in soils”
 - B. P. Warkentin ; Contaminant transport in solis--an Overview.
 - T. Tabuchi ; Percolation loss of nitrogen in flooded rice fields.
- Comments by S. Otoma on the afternoon session.
- General discussion : The chairman was Dr . T. Woodhead.

3. 参加者について

プログラムに紹介したボーマ氏、ワーケンチン氏そしてウッドヘッド氏は、特に日程を都合して当研究会に参加してもらったものである。また、乙間氏は、今回の研究会のテーマに深い関係を持った研究を手がけておられる方として、国立公害研究所からの御推薦を頂いてご招待したものである。会場に参加した人々も数名の外国人を始め、北海道から沖縄まで幅広くおられたのも本研究会の特徴であった。

ey soils, however, have heterogeneous profiles which are characterized by coarse and dense prismatic or blocky peds and very coarse interpedal macropores. Consequently, we are not able to adapt the methods of analyses of homogeneous soil profiles to the heavy clayey soils. This report attempts to evaluate the role of interpedal macropores in the movement of water and solutes in heavy clayey soils, based on the idea that the heterogeneous soil system can be regarded as a cluster of homogeneous fractions.

The water infiltration experiment in a Pseudogley soil indicated an extremely irregular distribution of percolating water. That is, the soil water suction in the deeper part of the Cg horizon just above the impermeable layer decreased more rapidly than that in the upper part of the Cg horizon. We consider that such a phenomenon is due to bypass flow when most infiltration water moves into a part of the interpedal macropores. We have therefore developed a simulation model that consists of the following four submodels : 1) vertical infiltration into the peds ; 2) bypass flow ; 3) lateral water absorption into the peds through the macropore walls ; 4) accumulation of water in the bottom of the macropores.

With regard to solute transport, its irregularity was also observed in breakthrough experiments using Cl^- in undisturbed soil cores with shrinkage cracks. Breakthrough curves are characterized by a very rapid increase of concentration during the initial stage a significant tailing during the later stage. Since breakthrough curves failed to fit to the fundamental diffusion-dispersion transfer equation consisting of diffusion-dispersion term and mass flow term, we consider the possibility of a source-sink term. The source-sink term was evaluated by a graphical method assuming that pore water was divided into two phases : a mobile phase a stagnant phase. Consequently, we concluded that the rapid increase in the initial stage of the breakthrough curve was caused by the bypass flow, while the tailing in the later stage was caused by the interdiffusion between the mobile phase and the stagnant phase. Furthermore, when the initial salt concentration of the soil solution was low, solute transport through the mobile phase was accelerated owing to the salt sieving effect which occurs in the interpedal micropores and the decrease of sink volume in the stagnant phase.

Heavy clayey soils are characterized by such very poor physical properties as high bulk density, high stickiness and poor permeability. We therefore considered that physical improvements in drainage, for example the breaking up of the subsoil, are indispensable for the utilization of such heavy clay soils as upland fields. As we have already suggested, however, macropores generated by the breaking up of the subsoil are considered to be effective in not only helping rapid drainage but also in increasing the retentivity of the subsoil layer, owing to water absorption of peds from water which has accumulated in the bottom of the macropores. The plant roots which elongate preferentially through the macropores can effectively utilize water and nutrients which exist there. In this sense, it can be said that the interpedal macropores developed in subsoil layer play an important role in providing favorable conditions for water and nutrient supply to plant roots.

Characterizing Water and Solute Movement in Heavy Clay Soils.

J. Bouma

Dept. Soil Science & Geology, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.

Porosity patterns in heavy clay soils are highly variable: shrinkage upon drying and swelling upon wetting create a constantly changing pattern of macropores, notably cracks between peds. Water movement is highly influenced by these cracks and the talk to be presented will focus on different procedures that can be used to adequately represent these changing conditions. These procedures are unique in that they emphasize the use of both physical and morphological techniques.

Many standard soil physical techniques for measuring hydraulic conditions don't work in clay soils. Measurement of water-tables in unlined augerholes (3) and of pressure heads in the soil matrix (6) may yield unrepresentative results when macropores are intercepted. Alternative procedures can be defined after considering macropore-patterns to be obtained with morphological techniques. The same is true for obtaining optimal sampling volumes (2). An important aspect of the hydrology of clay soils is bypass flow, which is movement of free water along vertical macropores through an unsaturated soil matrix. Techniques were developed to measure bypass flow (4,1) and data obtained can be used in simulation models, by lowering effective rainfall (5, 8). Detailed simulations considering a single shower can also be made. This includes consideration of lateral infiltration from the macropores into the adjacent unsaturated soil matrix (7). Such models require data on the total vertical area along which bypass-flow occurs. This area can be obtained with morphological techniques. Formation of horizontal cracks upon can have a major drying effect on the unsaturated, upward flux water from the watertable to the root zone. A staining technique was developed to allow quantification of the air-filled horizontal cracks as a function of the pressure head (1,8).

So far, studies discussed covered the physical behaviour of specific structural conditions at a fixed point in time. Dynamic characterization of the flow system in time is still very difficult because small changes in be continued. Physical processes have to be characterized primarily by physical methods. However, morphological techniques are crucial when defining specific physical boundary conditions of the flow system.

References.

- 1) Bouma, J., 1984. Using soil morphology to develop measurement methods and simulation techniques for water movement in heavy clay soils. In : Bouma, J. and P. A. C. Raats (Eds.). Water and solute movement in heavy clay soils. Proc. of an ISSS Symposium ILRI, Publ. 37, Wageningen, the Netherlands. p. 298-316
- 2) Bouma, J., 1985. Soil Variability and soil survey. In : D. R. Nielsen and J. Bouma (Eds.). Soil partial Variability. Proc. of an ISSS-SSSA workshop. Pudoc, Wageningen, the Netherlands. p. 130-150.
- 3) Bouma, J., L. W. Dekker & J. C. F. M. Haans, 1980. Measurement of depth to water table in a heavy clay soil. Soil Sci. 130 (5) : 264-270.
- 4) Bouma, J., L. W. Dekker & J. C. Muilwijk, 1981. A field method for measuring short-circuiting in clay soils. J. Hydrol. 52 (3/4) : 347-354.
- 5) Bouma, J., & P. J. M. de Laat, 1981. Estimation of the moisture supply capacity of some swelling clay soils in the Netherlands. J. Hydrol. 49 (3/4) : 247-259

- 6) Bouma, J., C. F. M. Belmans & L. W. Dekker, 1982. Water infiltration and redistribution in a silt loam subsoil with vertical worm channels. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46 (5) : 917-921.
- 7) Hoogmoed, W. B. & J. Bouma, 1980. A simulation model for predicting infiltration into cracked clay soil. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 44 (3) : 458-461.
- 8) Stiphout, T. P. J. van, H. A. J van Lanen, O. H. Boersma and J. Bouma, 1987. The effect of bypass flow and internal catchment of rain on the water regime in a clay loam grassland soil. *J. of Hydr.* (in press)

Afernoon session

Contaminant Transport in Soils--an Overview

B. P. Warkentin

Contaminant transport in soils is usually described by models, because this is the best way to deal with complex systems. Models attempt to predict the distribution of the contaminant in space and time. The more a model represents the nature of soil, the more complex it becomes. Increased complexity often does not mean increased predictive power. Prediction of the actual paths of contaminant transport through soils is not yet possible. Simple models, with estimates of soil parameters, serves well in predicting relative movement of classes of contaminants. Complex models allow study of processes, aid in understanding the systems, and allow study of how variation in specific combinations of characteristics affect transport. Because of the nature of variability in soils, stochastic models based on probability of certain values of soil properties at certain points are seen to be more useful than deterministic models that describe mechanisms.

The models for contaminant transport in unsaturated soils are based on transport equations that have terms for mass or advective flow, diffusion and / or dispersion, and retardation due to sorption, degradation or volatilization. Each of these terms depends upon soil properties that vary in time and space. Examples are distribution of organic matter on a micro scale, pore-size distributions, or changes in soil particle coatings. Average parameters may be valid for some uses but not for others.

The nature of variability of soils in the field must be part of our mathematical descriptions of natural processes. In man-made materials we attempt to increase uniformity ; in nature the rule is diversity and variability.

Typically, in ten cores taken in a field, one will show that a contaminant has moved to 3 meters, 2 will show the contaminant at 30 cm and 7 will show no contaminant below 5 cm. Our task is to describe that produces such a distribution.

It is usually desirable that the soil interacts with contaminants in such a way that transport is restricted. This may involve sorption of the contaminant, or biological degradation. Sorption may be a simple exchange reaction, or involve physical-chemical reactions that are poorly understood and generally called "specific adsorption." In either case there is a limit to the soil's ability to retain contaminants; and soils must be managed in such a way that their "buffer capacity" for attenuation of contaminants is not exceeded.

Degradation is generally considered to occur only at the soil surface, although microorganisms have been found at depth. It may be possible to make conditions suitable for biological degradation at depth.

A particular example of contaminant transport in soil that depends upon reactions not well

understood arises in schemes for ultimate disposal of high level nuclear wastes. The wastes are contained in metal canisters, with swelling clays filling the remainder of the cavity in solid rock a thousand meters below the surface. When the canisters fail, the clay is the second line of protection. The canisters have a temperature of several hundred degrees centigrade, while the pore water in the rock is saline and is under a hydraulic gradient. The problem is to predict movement of radioactive elements in the clay over several hundred years under a temperature gradient, with a swelling pressure modified by temperature and pore water. The diffusion process is modified by exchange and by changes in pore size distribution of the clays due to swelling and shrinking. A simple macroscopic diffusion coefficient is an imprecise average; bulk water has a different diffusion coefficient from film water on clays. Fluxes due to temperature, pressure and solute gradients are poorly understood, and need further investigation by soil physicists.

Percolation Loss of Nitrogen in Flooded Rice Fields

Toshio Tabuchi

Ibaraki University

1. Introduction

Excess percolation causes fertilizer loss of nitrogen and groundwater pollution. Finally it flows out to rivers and lakes. If the concentration of nitrogen and phosphorus increase in lake water, the lake will be eutrophicated. Many kinds of plankton grow abnormally in the lake and the lake water change to like a green paint. It becomes undesirable to use the water for drinking and irrigation. In some cases fish culturing will have a great damage due to the dead water by the decrease of dissolved oxygen. Accordingly percolation loss of nitrogen should be controlled.

2. Difference between flooded rice fields and upland fields

There is a great difference between the percolation loss of nitrogen of flooded rice fields and that of upland fields. In flooded rice fields, surface soil is saturated and oxygen is little; reduced condition. Then NH_4 is main form of nitrogen.

Contrary to this, in upland fields soil is unsaturated and oxygen is abundant. Then NH_4 changes to NO_3 , which flows out from soil easier than NH_4 . Furthermore there are many kinds of crops which need large quantity of fertilized nitrogen in upland. Accordingly, nitrogen loss is larger in uplands than in flooded rice fields.

3. Saturated type and unsaturated type

There are two types of rice fields. In saturated type, soil is saturated and little oxygen condition. In unsaturated type, surface soil is saturated but subsoil is not saturated and water pressure is negative.

In saturated type the concentration of nitrogen in percolating water of 40 cm depth was less than $2 \text{ mg}/\ell$ and its main form was NH_4 and organic nitrogen.

In unsaturated type main form of nitrogen of percolating water was NO_3 and NH_4 was little (Furuhata 1979). Usually percolation loss in this type is larger than in saturated type.

4. Inflow and outflow of nitrogen

In rice fields not only outflow of nitrogen but also inflow of nitrogen exists. Inflow consists of irrigation water and rainfall. Outflow consists of surface outflow and percolation.

Inflow and outflow of nitrogen were measured in 58 fields in Japan. Both outflow and inflow are in the wide range. In some rice fields inflow is larger than outflow. We call this type of rice fields as a absorber type. On the other hand, rice fields where outflow is larger than inflow are

outflow type. Outflow type should be changed to absorber type by percolation control and improvement of water management and fertilizer application.

5. Nitrogen removal in flooded fields

Flooded rice fields have a function of nitrogen removal by denitrification. If NO_3 flows into flooded reduced condition, it will be removed by denitrification. Lots of rice fields remove nitrogen in the process of natural water flow from upland to lowland. From the viewpoint of environment as well as food production, rice fields should be conserved in Japan.

5. 質疑応答

質疑応答は、午前部のコメンテーター、井上久義氏（農土試）、成岡市氏（東京農大）および午後部のコメンテーター乙間末広氏（国立公害研）によって事前に準備されていたもの以外に、各発表者に対しても活発に行なわれた。特に、ゲストスピーカーのボーマ氏、ワーケンチン氏に対しては会場から果敢な質問が寄せられ、日本人スピーカーやコメンテーターに対してボーマ氏、ワーケンチン氏、ウッドヘッド氏から熱心な質問が繰り返し出され、よくかみ合った議論が進んだ。

総合討論では、ウッドヘッド氏を座長として討議を行ない、立派に長い弁説を振るわれた人、何度か英語で質問していたがついに面倒になって日本語に切り換えた人などいろいろであったが、発言者が絶えることなく、1時間があっという間に過ぎ去った。

最後に、本セミナーの実質的ディレクターであった岩田進午氏から示唆に豊んだまのための発言をいただいて、散会となった。

（文責 宮崎 毅）

資料

アロフェン中空球状粒子の球壁の化学構造

逸見 彰 男*

Chemical Structure of Wall of Allophane
hollow spherical particle

TERUO HENMI

Department of Agricultural Chemistry
Faculty of Agriculture, Ehime University

火山灰や火山砂礫などの降下火山噴出物に由来するアンディゾル（火山灰土壌）は、世界各地に広く分布している¹⁾。とくに、我が国は、環太平洋火山帯上に位置するため活火山が数多く存在し、火山灰土壌が北海道から九州まで全域にわたって広がっている（この土壌の全面積は60,641km²であり、全国総面積の16.4%に相当する²⁾。火山灰などの混入による影響をうけた土壌までも含めると、分布面積はさらに大きくなる。

火山灰土壌は、他の成因の沖積土壌とか非火山灰土壌に比較して、理化学的にも理工学的にも特異な性質を持つことがよく知られている。つまり、化学的には、活性アルミニウムを多量に含む、リン酸固定能が大きい、腐植を多く集積する、K⁺やNH₄⁺イオンなどの陽イオン（植物養分となる）の保持力が小さいなど、また物理的には、仮比重が小さい、土粒子間の結合が弱いため風蝕や水蝕を受けやすい、孔隙に富み自然状態の全水分含量が高いが、非自由水含量も大きい、こね返しによる土木施工の困難性などである。これらの性質は、この土壌を使って生物生産を営む農業においてはもちろんのこと、土木、建築などの土壌となんらかの形で関連のある分野に大きな影響を与えると共に、環境科学においても土壌中での諸物質の挙動を理解あるいは予測するうえで大切である。

性質の発現に係わる重要なコロイド（粘土）は、火山灰土壌では主としてアロフェンから成っていることが多い。このため、前述のような特異な性質はアロフェンの特性や化学構造と密接に結び付いている。アロフェンは、天然に産出する、一連の化学組成を持った非晶質の和 water ケイ酸アルミニウム塩類とされている³⁾。X線回析図に鋭い回析ピークを示さないこのアロフェンは、従来の電

子顕微鏡観察で決まった形状を認めることが出来なかったもので、無定形であると言われていた。ところが、最近の高分解能電子顕微鏡を使った詳細な観察によって、直径35-50Å位の均一な微小中空球状の粒子であることがわかった^{4,5,6)}。小さいながらも各粒子がはっきりと定まった形態を有していることは、中空球の範囲内では原子が規則的に配列し一定の構造を作っていることを示す。中空球の集合体を全体的に見れば、形は種々様々で一定していない。このことが無定形とされた原因であろう。また、球の大きさがあまりにも微小であるため、X線回析的に非晶質として振る舞うのである。しかし、全く無秩序な原子配列の状態を指す「非晶質」という言葉を用いるのは適切ではない。むしろ、アロフェンに対しては、原子配列が短距離（中空球の大きさ程度）規則性（short-range order）のみを有している微結晶であり、各々の微結晶片（個々の中空球）どうしの並び方には秩序がほとんど認められないので⁷⁾、「低結晶質」と見なすのが妥当である。

こうして、アロフェンの微細形態が解明されたことにより、火山灰土壌の分散、保水、脱水などに関する物理的性質がうまく説明できるようになった^{8,9)}。例えば、図-1に示したように、自然状態では二つの種類の吸着水が存在し、それぞれ中空球状粒子の間および内部に収容されている。加熱すると、これらの吸着水は二段階にわたって離脱する¹⁰⁾。85℃までの加熱により、粒子間の孔隙を占めていた水分子は除去され、各粒子は再配列を起こして接近する。粒子内部に存在する水は、140℃の加熱によって初めて完全に取り除くことができる（この水は、球壁の狭いホールを経由する以外には外部に行けないので、高温を要するのであろう）。含水比測定

*愛媛大学農学部農芸化学科

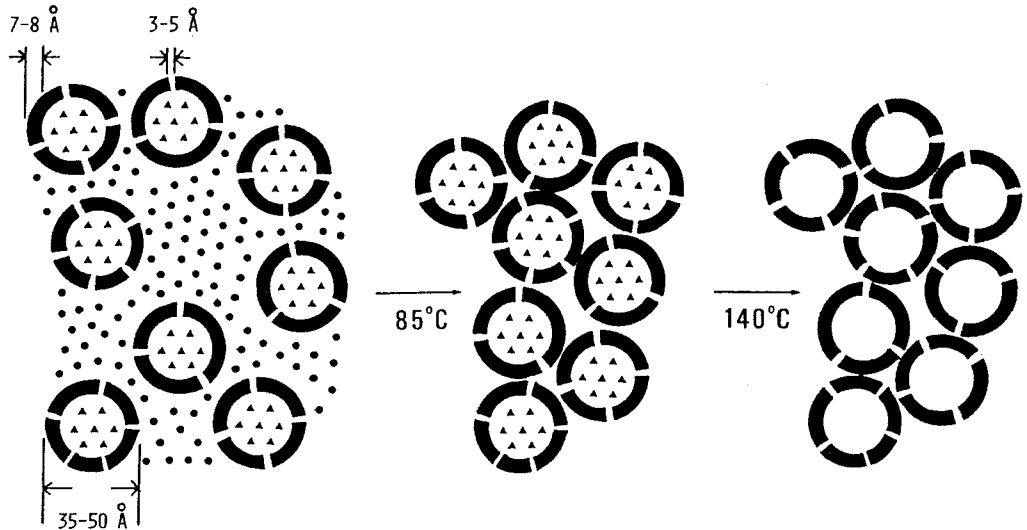


図-1 アロフェンの単位粒子（中空球状）と、その集合体

外径35-55Åの各粒子の球壁（厚さ7-8Å）には、球の内外を連結する、直径3-5Åのホールが10個前後存在する。粒子内および粒子間の孔隙には水分子（▲：粒子内孔隙水、●：粒子間孔隙水）が収容されている。前者の孔隙に存在する水は、後者の孔隙のそれよりも離脱しにくく、105-110°Cの加熱後でも残存する。

粒子間孔隙水は85°Cまでの加熱によって除去できるが、粒子内孔隙水を完全に取り除くには、140°Cの加熱を要する。

に用いる 105-110°Cの加熱では、アロフェンを完全に脱水できず、これを含む粘土や土壌に対する測定値は過小評価されることになる。加熱脱水法によって、アロフェン質の粘土や土壌の含水比を測定する場合には、140°Cの加熱温度を必要とすると考えられる。

さらに、この種の土壌の諸性質をこれまで以上に深く究明して、いろいろな分野で目的に合わせこれを効果的に利用・活用するには、アロフェンの微細形態のみならず化学構造をも知っておくことは不可欠であると考えられる。ここでは、最近ほぼ明らかになったアロフェン中空球壁の構造について、主として著者等の研究内容を取り上げながら、説明する。

化学分析により、中空球壁は、主としてケイ素 (Si)、アルミニウム (Al)、酸素 (O) および水素 (H) から組み立てられているが、Si と Al の含量が一定ではなく、ケイバン比で約1から2とかなり組成に変動のあることが明らかになっている⁵⁻¹¹⁾。形状にはほとんど差は認められないが、ケイバン比にこれほど幅が現れることから、化学組成の異なるアロフェンの間で、物性や属性がかなり相違しているだろうと予想されていた。そこで、筆者等は組成を異にする一連の試料を集めて、鉱物学的

諸性質や表面特性などを調べたところ、これらの性質や特性はケイバン比の変化によってほぼ規則正しく変わっており、概してアロフェンは、ハロイサイトよりもむしろイモゴライトに性格的に近く、とりわけケイバン比の低い (1.0に近い) アロフェンほど、種々の点でイモゴライトに似ている程度が大きいう結果を得た^{11,12,13,14,15,16,17)}。イモゴライトは準結晶質の和水晶ケイ酸アルミニウム (ケイバン比は1.0) であり、その形態が外径ほぼ20Å、内径10Åほどの長く伸びた管状であって、管壁の化学構造はほとんど解明されている¹⁸⁾。これらを参考に、ParfittとHenmiは、アロフェンの構造は本質的にはイモゴライトのそれに類似していると考えて、1980年に、ケイバン比が1.0のものに対する構造モデルを提案した¹⁷⁾。この構造モデルによると、アロフェンを構成するSi, Al, OおよびHは、これらの原子がイモゴライトの管壁中で並んでいるのとはほぼ同じ配列をとって、結合し球壁を形成している。すなわち、図-2に挙げたように、モノマーのケイ酸陰イオンがギブサイトの単位シートに結合したものが、SiOH基を球内部側に位置するようにして、球壁となっている構造である。球壁の欠陥部 (球の内部と外部を連絡する穴) の回りに存在

アロフェン中空球状粒子の球壁の化学構造

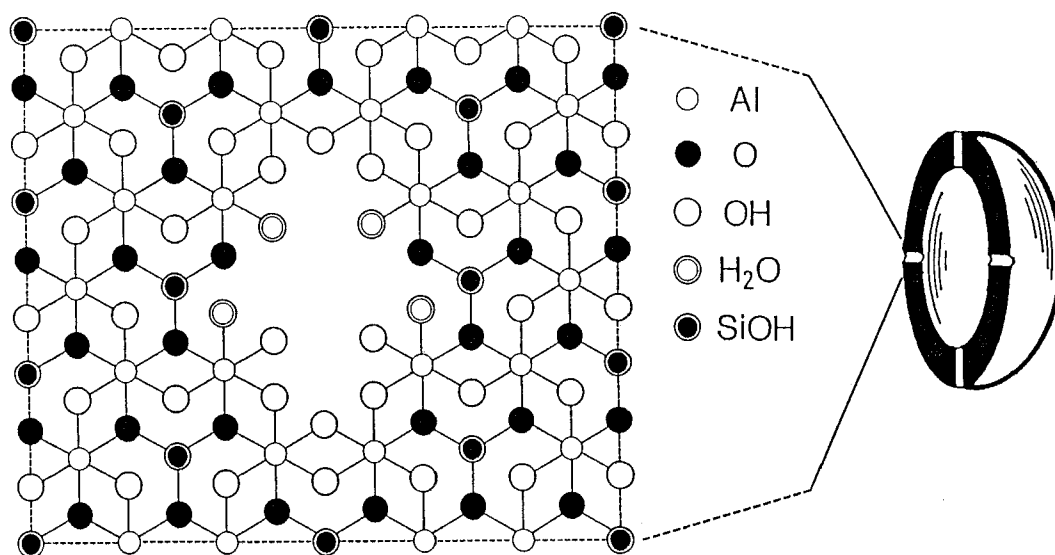


図-2 ケイバン比の低い(1.0に近い)アロフェン中空球状粒子の球壁の化学構造, と半分切断した粒子の模式図

化学構造の中央部の空隙は、球壁を貫通するホールに対応する。ホールの周辺には、活性アルミニウム、つまり、Al(OH)H₂Oグループが存在している。このグループはリン酸や有機酸を強く吸着する部位になる。球の内部側面に存在するシラノール基(Si-OH)のOHは、球中心方向を向いている。外部側面はアルミノール表面(Al-OH-Al)となっている。

する2個のAl(OH)H₂Oグループは活性アルミニウムとして振舞い、リン酸の固定現象、有機物との複合体形成、陰イオン交換、結晶水の保持などに寄与する。現在のところ、原子の結合の様子を知る最も信頼性の高い方法とされる核磁気共鳴法(²⁹Si-および²⁷Al-NMRスペクトル測定)から、アロフェンのこのようなイモゴライト類似構造の正しさが検証されている^{19, 20, 21, 22, 23}。140°Cに加熱し両タイプの吸着水を完全に除去した試料の灼熱損失量分析から得られた構造OH含量測定も、この構造を支持している²⁴。イモゴライトとほとんど同じ構造のものは、“プロトイモゴライトアロフェン”と呼ばれることもあり、この構造がアロフェンの基本的構造である¹²。ケイバン比の高いアロフェンは、基本的構造のシラノール基(Si-OH)や活性アルミニウムとなる。

Al(OH)H₂O基の部位にケイ酸が縮合(脱水的に結合)した構造になっていると考えてよい。この考えの正当性は、火山灰や浮石の風化物から分離したアロフェンを分析すると、ケイバン比の大きいアロフェンほど、1) シロキサン(Si-O-Si)結合が多く存在すること、2) H₂O(+)(構造OH)含量“プロトイモゴライトアロ

フェン”のそれに比べて大きく減少していることから、明らかである^{7, 22}。室内実験によって、“プロトイモゴライトアロフェン”試料とケイ酸を反応させると天然に生じたケイバン比の高いアロフェンに諸性質のほとんど一致するものが生成すること²⁵、天然産の比の高い試料は脱ケイ反応によって“プロトイモゴライトアロフェン”に近いものに変化すること(未発表)からも、上述の考えの正しさが証明できる。アロフェンの理化学的性質がケイバン比の変動に伴ってほぼ規則的に変化するのには、比によって、基本的構造へのSiの結合様式が少しずつ異なっていることが主因だったのである。

低結晶性であるため、X線回析法など従来の常套的な結晶構造解析法を適用できず構造の解明が困難だったが、いろいろな化学的手法を巧みに利用すること、および最新の機器分析的方法を駆使することで、とくにケイバン比の低いアロフェンに対して化学構造をほぼ明らかにすることができた。この結果、アロフェンのイオン交換、イオン吸着や固定、荷電特性、分散凝集、水との相互作用、強固なアグリゲート形成などを司っている官能基(Si-OHおよびAl-OHグループ)が、中空球のどの位置にどんな結合状態で存在するのかがわかってきたので

ある。各粒子において、どこにどんな種類の電荷が発生するかも予測できる。また、シラノール基で覆われた球内部側の表面は、アルミノール表面となっている外部側の表面とは諸特性（例えば、吸着特性など）においてかなり異なるだろうことも予期できる。アロフェン中空球壁についてここで述べたような化学構造を念頭におき微視的な立場にたつて眺めてみると、火山灰土壌の物理性や工学性の特異な性質について、これまで以上にうまく理解できると共に発現の詳細なメカニズムをも知ることができるものと期待できる。

引用文献

- 1) Leamy, M. L., Smith, G. D., Colmet-Daage, F., and Otowa, M. (1980): Soil with variable charge, Lower Hutt NZ, NZ Soc. Soil Sci., 17-34.
- 2) 足立嗣雄 (1973): 農技研報B, 第24号, 127-264
- 3) Wada, K. and Harward, M. E. (1974): Advances in Agronomy, 26, 211-260, Academic Press Inc.
- 4) Kitagawa, Y. (1971): Am. Miner., 56, 467-475.
- 5) Henmi, T. and Wada, K. (1976): Am. Miner., 61, 379-390.
- 6) Wada, S-I. and Wada, K. (1977): Clay Miner., 12, 289-298.
- 7) 逸見彰男 (1987): 粘土科学, 27, 32-44.
- 8) 北川靖夫 (1976): 土壌の物理性, 34, 32-36.
- 9) 前田 隆 (1980): 土壌の物理性, 41, 36-54.
- 10) 逸見彰男 (1983): 日本土壌肥科学会講演要旨集 (第29集), 32.
- 11) Henmi, T. (1985): 5th Meeting of the European Clay Groups, J. Konta, ed., 459-464, Univerzita Karlova Praha.
- 12) 逸見彰男 (1986): ペドロジスト, 30, 163-168
- 13) Henmi, T. (1977): Clay Miner., 12, 356-358
- 14) Henmi, T. (1980): Clays Clay Miner., 28, 92-96.
- 15) Henmi, T., Tange, K., Minagawa, T. and Yoshinaga, N. (1981): Clays Clay Miner., 29, 124-128.
- 16) Henmi, T., Nakai, M., Seki, T. and Yoshinaga, N. (1983): Clay Miner., 18, 101-107.
- 17) Parfitt, R. L. and Henmi, T. (1980): Clays Clay Miner., 28, 288-294.
- 18) Cradwick, P. D. G., Farmer, V. C., Russell, J. D., Masson, C. R., Wada, K. and Yoshinaga, N. (1972): Nature Phys. Sci., 240, 187-189
- 19) 清水 洋, 渡部徳子, 増田彰正, 逸見彰男, 齊藤肇 (1984): 昭和59年三鉱学会講演要旨集, 92.
- 20) 清水 洋, 渡部徳子, 増田彰正, 逸見彰男, 齊藤肇 (1985): 日本地球化学会年会 講演要旨集, 262.
- 21) Goodman, B. A., Russell, J. D., Montez, B., Oldfield, E. and Kirkpatrick, R. J. (1985): Phys. Chem. Miner., 12, 342-346.
- 22) 逸見彰男 (1988): 土肥誌, 59, 237-241.
- 23) Shimizu, H., Watanabe, T., Henmi, T., Masuda, A. and Saito, H. (1988): Geochemical. J. (印刷中)
- 24) 逸見彰男, 吉永長則 (1983): 第27回粘土科学討論会 講演要旨集, 29.
- 25) 逸見彰男, 中田 真 (1986): 第30回粘土科学討論会 講演要旨集, 51.

土 粒 子

作物の“新しい”生物障害の解明にむけて

— 土壌物理の出番が来ている！ —

米 山 忠 克*

昨年10月、土壌物理研究会で「作物の生理障害と土壌の物理性」のテーマでシンポジウムを持たれた。実行委員の方からプレゼンテーションのおさそいを受けたが、数日考え準備不足、データ不足でおことわりしてしまった。話題提供された5人の課題をみると、土壌水分問題と作物の生育制御となっている。やはり生物の生理障害の機作を土壌の物理性の観点から問うには至っていなかったかと思った。

関東東海農業研究会及び推進会議（土壌肥料分科会）では、この2、3年にわたって「作物の生理障害」を主要なテーマとして検討を進めている。多様化し、集約化された栽培条件下で、穀物、野菜、果樹、花きすべてにさまざまな生理障害がみられ、収量、品質に影響をもたらしている場合が多くみられる。その要因として、(1) 栄養塩類、特に窒素・りん酸・カルシウム・カリウムの過剰に起因するとおもわれるもの、(2) ハウス栽培などでは、窒素吸収と光合成（炭素獲得）のバランスがとれていないもの、(3) 石灰の多用によるアルカリ化や硝酸集積などによる酸性化により、土壌のpHがいつのまにか変動した結果、土壌の中のマンガンやマグネシウムの吸収に欠乏がおこったり、過剰がおこったりするもの、(4) 土壌の乾燥や過湿による水分代謝の異常が生じ、それに連動して、ホウ素やカルシウムの代謝に異常がおきたもの、これにはハウレンソウの夏期栽培など、作物本来の適期の移動による水分代謝異常もある。これ以外に要因の特定できない生理障害が多々みられる。

従来の多くの生理障害は、問題土壌での特定の成分の欠乏や過剰に要因があった。これらは、作物の成分分析や土壌分析から比較的簡単に解析され、不足成分の投与やpHの矯正などの対策がこうぜられてきた。しかし今日の生理障害の要因は、上述の如く従来のものと違っている。富栄養下での養分アンバランスによる生理障害と言えよう。例えばみかけの障害は、クロロシスで鉄欠乏であるのに、作物の成分分析をしても鉄をはじめとして、他の成分の欠乏がみられないということがあつた。何らか

の体内要因で鉄が生理活性を失っているためと予想される。一方、土壌成分の分析からは、栄養塩がすべてが充分以上あるのに、生理障害が発生することもよくみられる。

このような“新しい”生理障害の解明にむけて二つの研究が必要と思われる。その一つは、富栄養下で高い生産を至向する場合の植物の生理生化学であり、特に、りん酸・カリウム・窒素が、体内に充分以上ある場合、植物の代謝や微量成分の活性が、どのように制御されているか。野菜・果樹・花きについて、特にこの面の基礎研究が望まれている。ハウスのような強制された高生産下での水の代謝へも、従来の水関係の研究を発展させる必要がある。

さらに富栄養化した培地土壌層での水分や栄養塩類の分布がどうなっているかの情報がほしい。富栄養化した土壌では、作物の高い成長の結果、土壌水分の動きは活発であろうし、もしこの時大型機械の導入などで耕盤層が形成されていたり、地下水位が低下して乾燥しやすい場合、水問題は大きい。土層のガス、特に酸素濃度についても、活発に成長する作物の根圏では、水分の分布と平行して検討されるべきだろう。一方、富栄養化した土壌では、塩類濃度が土壌CECの100~200%に達するものも多くみられ、カチオンのみならず塩素・硝酸・硫酸のアニオン濃度も高い。土壌りん酸もトルオーグリン酸 ($mg P_2O_5 / 100g$ 乾土) で200~500mgに達し、土壌溶液のりん酸もトルオーグリン酸の1/10程度となっている。このような富栄養化土壌で、土層の水分分布の変動に対して、土壌マイクロサイトのpH、ECなどがどのように変化しているかの情報は、急性的に発生する生理障害の解明に必要不可欠である。高生産のための土壌では、水の動きや塩類の局在性など、大変ダイナミックになっており、作物にとって限界に近いところがあると予想される。このような問題は、従来の土壌の化学性を中心とした乾土ベースの土壌診断のみからは、解明できない。土壌層の分化や、土壌の物理特性の上に、水分や栄養塩の動き

* 農林水産省 農業研究センター

や濃度変化のリアルタイムの情報によらねばならない。

“新しい”生理障害の解明のため、土壌の水関係のみならず、栄養塩の動きを水やガスの動きとともに、土壌のマイクロサイトでリアルタイムにとらえることが望まれる。こうした情報が集積されれば「生理障害と土壌の物理性」のテーマのもとに討議をし、栽培管理の対策を提案出来るようになると思われる。

 書 評

『 森 と 文 化 』

齋 藤 正 彦 編

東京大学出版会 1987年

A 6 版 307pp. 2,200円

緑の代名詞としての森林は、憩いの森や21世紀の森、森林公園などとして身近に存在し、また広く親しまれ、われわれにとっても関心が深い。したがって、このような時期に本書が出版されることは、時宜を得ていると確信する。

本書は、1985年に東京大学で開講された総合科目のテーマ「森と海」のうち、森に関する部分について集録されたもので、植物分類学、宇宙地球科学、建築学、環境地理学、森林生態学、比較文学……など広い分野にまたがる12名の専門家が執筆している。

ここで本書の内容について、概略を紹介し、説明したい。

歴史のなかの森；森と山を結びつけヒストリカルな角度から述べている。すなわち日本人の生活は、森と非常に密接な関係にあり、山の上に神を奉り、15世紀の半ば位まで山間の土地に住み、小規模の水田耕作を営んでいた。平地には大きな河川が流れているが、しばしば洪水による氾濫のため、人々はほとんど住まず田畑もなかったと考えられている。しかし、15世紀の後半からは、治水灌漑工事の技術が進んできたため、山地から平地へ移動したといわれる。

日本の森林；日本の森林の特徴として、森林を構成する植物相の多様性を指摘し、南北に長いことにより生じる著しい温度差、日本と周辺地域の地史、日本の地理的位置などを主要な原因として上げている。さらに琉球列島の森林、暖温帯の森林、中間温帯林、冷温帯の森林および亜寒帯の森林について概観している。

日本の神話と森・山・海；八世紀の初頭に編纂された古文書「古事記」と「日本書記」から山、川、草、木などの起源を考え、神話研究の立場から記述され、興味深いものがある。

森と火山；森の出発点を探る上で、1983年の三宅島噴火による裸地部に調査の足を踏み入れ、菌類・藻類・苔類などの植性遷移から森林の形成を考えている。

庭のなかの森；ヴェルサイユ宮殿の森を取り上げ、宮

殿における庭園設計の幾何学的様式について述べている。また宮殿建築の原型は、16世紀の後半、イタリアのルネッサンス時代に溯り、森がどうして庭の中に入ってきたか言及している。

森と海をめぐる歴史の胎動；福井県三方湖を例に上げ、科学的に花粉分析の結果から古環境を復元、推定している。すなわち、花粉の種類をもとに木の種類を決定し、生態史観に立脚している。

森の文化史；マツは、多くの樹木の中でも日本人の生活と極めて関係が深く、時代と文化生活とに触れている。さらに森林は、日本文化の石油であり、農耕文化を支えてきた、と記している。

ドイツ文学に現われた森の姿；森の文学について、A-dalbert Stifver (1805~1868) の作品から森について書かれているものを二つ取り上げ紹介している。① Der Hochwald 1842 (喬木林)、② Bergkristal 1845 (水晶)。

森—その風景論；森林を景観環境から論じ、高評価される森林環境として、① 相親的に類似性の強い高標高地帯の森林環境、② 何らかの自然的制限要因によって局地的に成立する森林環境、③ 目的別に造成され維持管理されている森林環境、④ 他の利用目的の結果として維持管理されている森林環境、を上げている。

森に帯する意識の比較；人々は、森についてどのように捕らえるか、日本とヨーロッパ数カ国を対象に比較調査を行なっている。日本のように森林面積が国土の67%を占めている場合とヨーロッパのように20~30%位とでは、森に帯する意識にかなりの隔りがあることを指摘している。

木材と建築；日本の建築の中で木造住宅の占める割合、外材の輸入状況、木造住宅の種類・建て方などを紹介している。

本書を読んで感じることは、その内容が人文科学、社会科学および自然科学など、一方で赤ずきん、イザナキ・

イザナミノミコトが出てくると思えば、他方では花粉分析、プレハブ住宅の話になるなど、対照的で極めて興味深い。森の起源や存在価値を考える上では、童話や神話の話も必要であるし、実態を掌握する上から調査は欠かせない。さらに科学的アプローチによって位置付け、一冊の書として編纂されている。農学関係の書籍とはいえ、われわれの分野とは多少角度が異なるため、土壌物理的な記述は皆無に等しい。しかし、土壌生成の環境要因の一つとして樹木を上げるのなら、また森林に対する理解を深めるならば、是非一読に値する書としてお勧めしたい。

最後に、森に対する国民性の意識の違いには驚嘆させられた思いがする。

(青木 正雄)

 書 評

水田における土壌物理性の測定
 — 日本における測定方法 —
 (PHYSICAL MEASUREMENT IN FLOODED RICE SOILS)
 The Japanese Methodologies

田淵俊雄, 岩田進午, 長谷川周一,
 ウッドヘッド T. マウラー E. 編
 国際稲作研究所 (International Rice Research Institute) 1987年
 A5版. 65pp

本書は、水稲生産を行っている開発途上国の研究者、技術者のために編集された水田における土壌物理性の測定法のハンドブックである。また、日本で研修する外国人のためのテキストとしても好適な本といえる。

さて、この本の出版のきっかけになったのは、1984年に開催されたIRRI主催の「水稲を主にした作付体系における土壌管理の土壌物理学的な問題」についての国際討論会である。「土壌物理性と水稲」という会議報告書が出版されたが、この科学の普及と応用のためには標準的な測定法が必要とされた。そこで、日本で用いられている水田の土壌物理性測定法を英文で出版することが要請されたものである。大学、及び農業土木試験場の10名の執筆者が10章に分けて記述している。主な内容を紹介しますと次の様である。

- 第1章 土壌物理性測定目的
- 第2章 土壌断面調査方法
- 第3章 土壌三相分布測定方法
- 第4章 土壌間げき水圧の測定法（ピエゾメーターとテンシオメーターによる測定と計算）
- 第5章 透水係数測定法
- 第6章 白色塗料を用いた亀裂測定法
- 第7章 用水量と浸透量測定法
- 第8章 水路の流速測定法
- 第9章 地耐力測定法
- 第10章 圃場表面の凹凸測定法（水準測量と地表残留水の観察）

以上の各測定項目では、測定目的、測定内容に関連する物理性の水田土壌と畑土壌の違い、測定装置、試料採取方法、理論、測定手順、注意点、日本における測定値の例が記載されている。

さて、私が今から20年近く前に当時の農事試験場に初

めて勤務したとき、最初に研修を兼ねて実験したのが土壌物理性の測定であった。研究室の先輩が講習会用に作成したテキストを参考に測定を行ったが、重粘土壌の試料採取には苦勞した。また、圃場での測定、実験室での測定いずれもかなり長い時間を要し、さらに亀裂などを含む土壌の不均一性があり、反復数もかなり必要であった。用いた方法は、本書に記載されたものとほぼ同じで、土壌の基本的性質を測定する方法には変化がないことが分かる。ところで、物理性の測定装置には、高価なものはないが、簡単な機構の割には高いと思われるものもあるし、数台以上を必要とすることが普通である。測定原理を十分理解して、手作りの装置を工夫する必要もかなり多かった。本書の測定原理や装置の図解は分かりやすいので、このような場合は助かるのであろう。また、データシートの例が掲載されており、すぐに利用でき、計算の手順も分かりやすい。測定、試料採取に必要な、小物類の記載が丁寧に行われており、これは大変役立つ点である。

次に、本書に記載された土壌物理性の測定は、水利施設の設計や、暗渠施工の必要性の判断、用水量の計算、圃場整備方法の決定などには欠くことのできない測定であるが、土壌養分や作物栄養などの分析結果と違い、簡単に物理性の改善による増収効果などの大きさを予測できる場合は少ないのであろう。そこで、本書に記載された土壌物理性の数項目を用いて、測定値の範囲別に想定される水稲栽培上の問題点を検索できるテーブルが作られれば便利と思われた。しかし、測定結果を幅広く活用するための、かなりの示唆が本書から得ることができる。諸外国の各種の土壌について、本書の測定法で得られたデータのデータベースが作られるのも近い将来に期待される。

(長野間 宏)

会 務 報 告

(昭和62年10月1日～昭和63年4月30日)

諸会議開催経過

1. 事務局会議 (昭和62.10.6. 於東京大学農学部)
 - 1) 事務局引継ぎについて
 - 2) 第14回ISSSについて
 - 3) 会計報告
 - 4) 編集委員会報告
 - 5) 第29回シンポジウムについて
2. 昭和61年度第2回評議員会 (昭和62.10.16. 於東京大学農学部)

〔出席者〕相馬、徳永、岩田、久保田、中野、宮崎、足立、小川 (以上評議員)、多田 (会計監査委員)、岩間、河野、塩沢、駒村、井本、石川、加藤 (以上事務局)

- 1) 昭和61年度事業報告
 - 2) 昭和61年度会計報告
 - 3) 会誌編集委員会報告
 - 4) 執筆規定一部改正
 - 5) 昭和62年度事業計画
 - 6) 昭和62年度予算
 - 7) 新入会員の承認
3. 昭和62年度総会 (昭和62.10.16. 於東京大学農学部)
 - 1) 昭和61年度事業報告
 - 2) 昭和61年度会計報告
 - 3) 会誌編集委員会報告
 - 4) 執筆規定一部改正報告
 - 5) 昭和62年度事業計画
 - 6) 昭和62年度予算
 - 7) 会員動向の報告
- 尚、総会で可決された61年度決算、62年度予算は次の通りです。

	項 目	61年度決算	62年度予算
収	繰越金	173,589円	914,153円
	一般会費	1,593,500	3,500,000
	講読会費	277,750	248,000
	賛助会費	30,000	109,000
	出版物売上	0	10,000
入	雑収入	88,245	92,847
	合 計	2,163,084	4,870,000

支 出	会誌製作費	685,000円	2,400,000円
	総会費	0	450,000
	通信費	131,240	250,000
	文具費	102,550	50,000
	賃金	35,000	200,000
	交通費	73,180	30,000
	会議費	34,461	100,000
	幹事手当	50,000	50,000
	編集委員会費	26,500	100,000
	選管委員会費	-	300,000
予備費	111,000	1,210,000	
次年度繰越金	914,153	-	
	合 計	2,163,084	4,870,000

4. 第29回シンポジウム

日 時：昭和62年10月16日(金) 9:30～16:30

場 所：東大農学部 1号館第8講義室

テーマ：農地における物理性制御と作物反応

講 演：

- 1) 低温期における施設野菜の生育異常と水管理；
荒木 陽一 (野菜茶業試験場)
- 2) 水稻の異常穂発生と土壌の物理性；
相崎 万裕美 (埼玉県農業試験場)
- 3) 大豆根の伸長および根粒活性と土壌水分；
桑原 真人 (農業研究センター)
- 4) 畑作物生育のための地下水位制御－傾斜地転換畑の地下水位制御の事例－；
永石 義隆 (四国農業試験場)
- 5) 土壌管理用水について；
三野 徹 (岡山大学農学部)

総合討論

5. 事務局会議 (昭和63年1月7日、於東京大学農学部)
 - 1) 第30回シンポジウムについて
 - 2) 昭和62年度第一回評議員会について
 - 3) 会誌発行について
 - 4) 学術会議会員および「推薦人」の推薦について
 - 5) 会計について
- 尚、「推薦人」は、岩田進午氏にお願いすることになりました。
6. 事務局会議 (昭和63年2月4日、於東京大学農学部)
 - 1) 会誌発行について
 - 2) 学術会議会員選挙について
 - 3) 名簿作成について
 - 4) 第30回シンポジウムについて

会 務 報 告

7. 事務局会議（昭和63年3月29日、於東京大学農学部）

- 1) 第30回シンポジウムについて
 - 2) 会誌発行について
 - 3) 名簿、会員、会費について
 - 4) 昭和62年度第1回評議員会について
 - 5) 手当・旅費に関する事務局内規の改訂について
8. 昭和62年度第1回評議員会（昭和63年4月2日、於神戸大学農学部）

〔出席者〕 粕淵、前田、岩田、久保田、中野（政）、長谷川、宮崎、小川、中野（啓）（以上評議員）、岩間、河野、加藤（以上事務局）

- 1) 第30回シンポジウムについて
- 2) 編集委員会報告
- 3) 入退会の承認および会員の動向
- 4) 評議員選挙について
- 5) 学術会議会員選挙について
- 6) 事務局内規の改訂について

会員の動向

1. 会員数（昭和63年4月30日現在）

会員種別	会員数	会員種別	会員数
○正会員及び学生会員	619		
(地区)		(地区)	
北海道	71	京 都	13
東 北	67	大 阪	21
青 森	15	兵 庫	13
岩 手	17	和歌山	1
宮 城	9	中国・四国	83
秋 田	7	鳥 取	17
山 形	17	島 根	14
福 島	2	岡 山	6
関 東	212	広 島	12
茨 城	97	山 口	7
栃 木	11	徳 島	1
群 馬	3	香 川	11
埼 玉	11	愛 媛	9
千 葉	14	高 知	6
東 京	45	九 州	61
神奈川	17	福 岡	17
山 梨	3	佐 賀	10
新 潟	11	長 崎	4
中 部	69	大 分	2
静 岡	11	熊 本	4
愛 知	14	宮 崎	9
三 重	16	鹿 児 島	11
岐 阜	7	沖 繩	4
長 野	6	海 外	4
富 山	7		
石 川	7	賛助会員	3
福 井	1		
近 畿	52	購読会員	54
滋 賀	4		
奈 良	0	合 計	676

2. 新入会員

氏名	会員種別	連 絡 先
角野三好	(正)	036 弘前市文京町3 弘前大学農学部
小前隆義	(正)	305 つくば市観音台2-1-2 農士試
並川 清	(正)	606 京都市左京区北白川追分京大農学部
南里勝義	(正)	840-23 佐賀郡川幅町南里佐賀農試
佐賀農業試験場	(購)	840-23 佐賀郡川幅町南里
北陸農業試験場	(購)	943-01 上越市稲田1-2-1

3. 脱会者

千葉守男（茨城）、山田要（群馬）、浦部速明（東京）、川村登（京都）、小谷佳人（鳥取）、松尾憲一（佐賀）、木内知美（東京）、大野幹彦（東京）、久保清昭（海外）、Shoji Mizuno（海外）、宇都宮たばこ試験場（賛助）

4. 住所変更

別送名簿に記載。

— 編 集 後 記 —

本号は自由投稿論文が主体です。報文は、透水性に関するものが2題、土壌溶液、土壌保全に関するものがそれぞれ1題ずつで、いずれも興味深い内容です。

特別研究会報告は、ポーマ、ワーケチンの両氏を迎えての本研究会主催の研究会の要旨です。外国人の来日が益々多くなりつつある状況から見て、このような催しは本研究会でも多くなると言えましょう。

巻頭にての吉田氏の近似則利用の際のその背景にある忘れがちな定義の常々の認識の重要性の御指摘には、会員諸氏もドキッとすることがあったことと思われます。ある立派な論文を引用する際に、その背景にあるものをも含めてではなく、一部の結論だけが、都合よく受け取られて、1人歩きをしまっていることはよく見受けられます。また、近年に多い数値的処理法の利用にしても、単に相関が高いからそれで良しとして、その物理的な意

味を考えなかったり、何んでもかんでも統計諸法を駆使して、相関があるようにしてしまったりが、多くなっているとは言えませんか。吉田氏の御指摘は、会員諸氏においても今後大いに肝に銘じるべきかと思われれます。

さて、今年の夏は冷涼多雨なシーズンとなりました。現場試験に取り組まれた方々には、データとりとサンプリングとに大変苦労されたことでしょう。畑灌調査に携わっていた方々には、海の家と同じで、開店休業でしたね。この天候のために、関東では出穂が大変に遅くなって、稲刈りも2週間~20日間程遅れています。それでも平年収量とのことですが、日本の稲作技術はやはり大したものと言えましょう。

会員諸氏の投稿を是非ともお願いします。

(河野 英一)

— 土 壌 物 理 研 究 会 —

事務局構成	会 長	中野政詩
	副 会 長	岩間秀矩
	会計幹事	塩沢 昌
	〃	井本博美
	庶務幹事	宮崎 毅
	編集幹事	河野英一・加藤英孝
編 集 委 員	河野英一 (委員長)・加藤英孝・山路永司・渡辺 実・駒村正治・石川重雄	

土壌の物理性 第56号 (会員配布) 1988年9月20日発行

発行 土壌物理研究会 (〒113) 東京都文京区弥生1-1-1 東京大学農学部農工学科農業地水学研

究室内 電話 03-812-2111 (内5352) 振替口座 東京5-17794

銀行口座 第一勧業銀行根津支店 口座番号(普通預金) 1036491

印刷 (株) ジェイ・ピー・シー 〒105 東京都港区新橋5-25-6 山本ビル2F TEL 03-436-2124(代) FAX 03-578-7182

(1984・11・22 改正)

土壤物理研究会会則

- 第1条 本会は土壤物理研究会 (Research Association of Soil Physics, Japan) と称する。
- 第2条 本会は土壤の物理性を中心とする試験研究の発展と農業技術への貢献を図ることを目的とする。
- 第3条 本会はその目的を達成するため次の事業を行なう。
- (1) 研究発表会、討論会及び見学会などの開催
 - (2) 土壤の物理性 (Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan 会誌という) 並びにその他の印刷物の発行
 - (3) 内外の研究、技術の交流及び他の学会、諸団体との協力
 - (4) その他本会の目的を達成するため必要な事業
- 第4条 本会の会員は、正会員、学生会員及び賛助会員、購読会員の4種とする。
会員となるには評議員会の承認を受けなければならない。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。
- | | | |
|-----------|------|---------|
| 正会員 | 年額 | 3,500円 |
| 学生会員 | 〃 | 2,000円 |
| (大学院生を含む) | | |
| 賛助会員 | 1口年額 | 15,000円 |
| 購読会員 | 会誌年額 | 4,500円 |

広告料 賛助会員 実費
賛助会員以外 実費の5割増

- 第6条 本会に次の役員をおく。任期は2年とする。ただし、3期連続の重任は認めない。選出方法は別に定める。
- (1) 会長1名、副会長1名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (2) 評議員
イ 15名 正会員から互選する。
ロ 3名以内 会長が委嘱する。
 - (3) 会計監査 2名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (4) 幹事 若干名
会長委嘱
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- 第8条 本会に次の委員会をおく。
- (1) 選挙管理委員会
正会員の中から評議員会によって選出され、本会の評議員選挙を管理する。
 - (2) 編集委員会
正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され、会誌その他の印刷物の編集に当る。
- 第9条 本会の経費は会費その他の収入をもってあてる。
- 第10条 本会の会務執行に必要な規定は別に定める。

「土壤の物理性」投稿規定 (1988・4・2 改定)

1. 投稿要領

- 1) 投稿は本会会員に限る。ただし共著者の場合また編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
- 2) 投稿原稿の採否は編集委員会が決定する。編集委員会は要すれば文章の加除修正を行う。ただし内容については、これを著者に依頼することがある。
- 3) 投稿は以下に示す種別にしたいが、その内容は土壤の物理性に主体をおくものとする。
「報文」他誌に未発表のものに限る。書き方は方法、結果、考察ならびに総括(摘要)の体裁をとり、引用文献を明らかにすること。
「論説・総説」土壤の物理性に主眼をおき、広い視野に立って記述したもの。
「資料」既に発表した報文または発表予定の内容を各分野の参考資料となるよう書き改めたもの。
「解説」物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介を含む。
「その他」土粒子、書評などを含む。
- 4) 投稿には下記形式の送り状をつける。報文のみ初刷りは著者校正とし、印刷ずみの原稿は返さない。別刷りは30部を著者に贈呈する。それ以上希望する場合は実費を申し受ける。

発表年月日		受付年月日	
種 別		原稿枚数	
表 題		図表数	表 枚 図 枚,
著 者 名		写 真 数	葉
所 属		別 刷	30部+ 部

付記：投稿は下記宛のこと

〒252 神奈川県藤沢市亀井野1866

日本大学農獣医学部農業工学科

河 野 英 一

電話 0466-81-6241 (内線377)

2. 原稿執筆要領

- 1) 原稿には400字詰横書きの原稿用紙を用いる。
- 2) 原稿の枚数は、刷り上がり6ページ以内(図表を含めて32枚程度)を基準とする。超過ページならびに写真、図表など、特に多額の経費を要するときは実費を申し受ける。
- 3) 文体 平かな漢字混りの横書き口語文として、できるだけわかりやすい表現にする。
- 4) 術語以外はなるべく当用漢字を用い、かなは現代かなづかいとする。
- 5) 句読点、括弧、ハイフンには一画を与える。数字、ローマ字は一画に二字までとする。
- 6) 数字 アラビア数字を用い、漢数字は普通の字句についてのみ用いる。
- 7) 外国人名は欧字とする。最初の文字のみ大文字とする。
- 8) 外国地名はカタカナを原則とするが、必要に応じて欧字を用いる。
- 9) 字体の指定は、ゴシック、*italic*、**bold**のように鉛筆で指定する。紛らわしい文字は誤植防止のための指示を鉛筆で記入する。(例：1ーエル、1ーイチ、1ーアイ、xV, NaACQAなど)
- 10) 術語 原則として文部省編：学術用語集による。普通に用いられる外国語の術語、物質名などはカタカナで書く。
- 11) 略字、略号を使うときは、はじめにそれが出る個所で正式の名称とともに記す。例：液性限界(LL)
- 12) 数量の単位は原則としてSIを用いる。(但し、当分の間はCGSの併用を認める)
- 13) 表・図・写真などは必要最小限とし、同一事項を表と図に重複して示すことは避ける。
- 14) 表・写真は本文のあとに1枚ごとに原稿用紙あるいはこれとほぼ同大の別紙に書き、またははり付ける。1枚ごとに著者および表題を鉛筆で略記して事故の発生を避ける。本文中欄外に挿入位置を指定し空白はあけない。ただし指定の位置にはならないことがある。
- 15) 空欄の多い表は避け、注を使うなどして紙面の節約をはかる。
- 16) 表の番号は「表-1」のようにし、説明とともに表の上に記入する。
- 17) 図はそのまま製版にとれるようトレーシングペーパー等(白か透明)に黒インクで明確に書く。製版に適しない図は書き直しを要求することがある。図中の文字は鉛筆でうすく記入しすることにとどめる。図の番号は「図-1」のようにし、説明とともに図の下に鉛筆で記入する。
- 18) 図は刷り上がりの大きさを指定し、1.5~2倍ぐらい大きく書く。ただし必ずしも指定の大きさにならないことがある。図中の字の大きさおよび線の太さは刷り上がりを考慮して定める。
- 19) 地図には定尺をつけ、何万分の1などの縮尺を指定しない。
- 20) 文献は本文のあとにまとめて通し番号順に書く。通し番号は引用の順序または著者名のABC順とする。本文の引用個所の右肩に番号を片括弧で小さく入れる。論文名は記載しなくてもよい。
- 21) 題名、著者名、所属報文の図、表および写真の表題には英文を併記するものとし、さらに報文については、300語以内の英文要約をつけるものとする。
- 22) 英文原稿も上記の規定に準ずる。