

# 自然林地と都市化域における不飽和帯水分の挙動の相違(1)

## ——不飽和帯の水分保持特性について——

Differences in the Behavior of Soil Moisture between Natural Forest Basin and Urbanized Basin (1)

——On Moisture Retention Characteristics in the Unsaturated Zone——

虫 明 功 臣\*・小 池 雅 洋\*・岡 泰 道\*

Katumi MUSIAKE, Masahiro KOIKE and Yasumiti OKA

### 1. はじめに

流域の都市化を水循環の立場から見ると、(1)表土の腐敗と地盤の平坦化、(2)不浸透域の拡大、および(3)雨水排水の強化、と把握することができる。これらのうち、(1)と(2)は不飽和帯の改変であり、洪水時の雨水損失、蒸発散、地下水涵養など、流域における水循環に重大な影響を与える。

こうした観点から、当研究室では多摩ニュータウン区域の自然林地と都市化域に設置した試験流域の観測項目のうち、特にテンシオメータによる不飽和帯水分の把握に重点を置いている。テンシオメータは土壌間隙水の毛管張力による吸引圧を測定する器具であり、水分量を知るには、吸引圧と水分量の関係を求めておかなければならない。これは、 $pF$ -水分曲線と呼ばれ、単に両者の量の関係というだけでなく、不飽和帯の水分保持の特性を支配する重要な要素である。

本報では、次報以下で不飽和帯の水分挙動を議論する前段として、各種試験法による  $pF$ -水分曲線の整合性、および自然林地と都市化域における不飽和帯水分保持特性の相違について述べる。

### 2. テンシオメータ設置場所の概要

自然地区の試験流域は、八王子市別所の多摩丘陵の一画(長池流域、流域面積 4.4 ha)に設定されている。<sup>1)</sup> その林内尾根部の地中に、5, 15, 25, 35, 50, 65, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 300 cm の 14 深度にテンシオメータを埋設している。この周辺の尾根部は一般に 10 m 以上関東ローム層で覆われている。設置点の深度 20 cm 程度までは未分解の腐葉土が卓越し、30~40 cm くらいまでは植物の根の活動が活発な腐植土であり、約 60 cm 以上で風積のほぼ新鮮な立川ローム層となる。

既開発地区の試験流域は、住宅団地ができて 10 年以上経過する多摩市永山地区(永山流域、2.8 ha)に設定されており、テンシオメータは住棟間の平地に、5, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200, 300 cm の 9 深度で埋設されてい

る。深度 2 m 付近まではロームと稲城砂が混入した転圧地盤であり、表層 15 cm 程度までは表土が配されているがかなり締め固まっている。約 2 m 以深は地山のロームであり、4 m くらいから下が稲城砂層となる。

### 3. $pF$ -水分特性の各種試験方法と結果の整合性

#### 3.1 資料サンプル

供試土壌は、従来農学の土壌物理の分野で常用されている高さ 5 cm、容量 100 cc の金属製円筒を用い、これをエッジのついた採土器に装着して所要の深度で打ち込むことによって採取した。所要深度とはこの場合テンシオメータ埋設深度であり、各深度について 3~4 個のサンプリングを行った。

#### 3.2 試験方法の概要

土壌中の保水形態は、表面保水(吸着水)と間隙保水に大別されるが、本研究で対象とするのは後者すなわち毛管水と重力水である。不飽和帯では、これらの水は大気圧を基準にすると負の圧力を示し、これを吸引圧あるいはサクションと呼んでいる。吸引圧を水頭  $\text{cmH}_2\text{O}$  で表し、その絶対値の常用対数をとったものを  $pF$  といい、これと不飽和土壌水分量との関係を ' $pF$ -水分曲線' という。

$pF$ -水分関係を求める場合、現状では一貫した試験方法は確立されておらず、吸引圧の範囲に対応して異なった試験法を採り連結せざるを得ない。そこで、ここでは各試験法で吸引圧が重なる部分に注目し、試験法による曲線の整合性を検討した。採用した試験法と吸引圧の範

表 1 試験方法と適用範囲

適用範囲	飽和		最小容水量	
	重力流出水		毛管水	
試験方法	0	0.5	1.0	1.3 1.5 1.8 2.0 2.3 2.5 2.8 3.0
脱 水	①土柱法	[ ]		[ ]
	②吸引法	[ ]		[ ]
	③加圧法	[ ]		[ ]
	④透心法	[ ]		[ ]
吸 水	吸引法	[ ]		[ ]

\* 東京大学生産技術研究所 第 5 部

研究 速 報

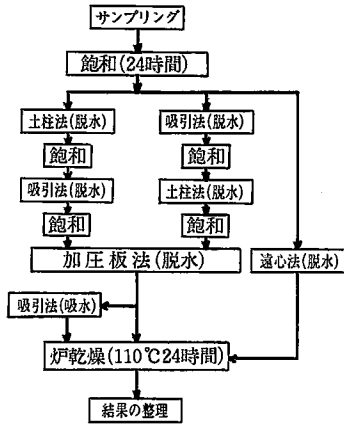
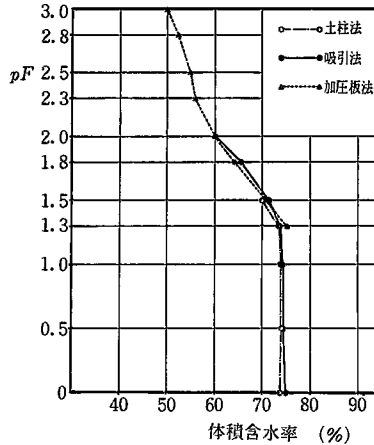
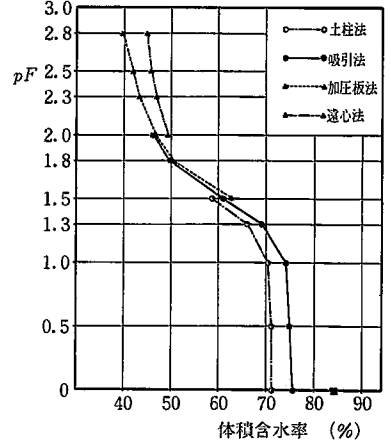


図1 各種試験法適用の手順



(a) 深度 25 cm



(b) 深度 50 cm

図2 長池試験流域林内土壤試料の各種試験法による結果の比較例

図を表1に示し、各試験法の概要を以下に列記する。<sup>2),3)</sup>

① 土柱法：直径 25 cm、高さ 50 cm の円筒に細砂を詰め、平らにした砂の表面に濾紙を敷き、その上に円筒サンプルを密着させる。砂中の水面を段階的に変化（毛管水柱高を  $pF$ ）させることにより吸引圧を調整し、各吸引圧における平衡水分量を測定する。

② 吸引法：微細な孔隙をもつセラミック板を水で飽和させその下部に水で満たされた管を連結する。セラミック板に円筒サンプルを密着させ、管の末端（試料より常に下位）の位置を上下させることにより所要の吸引圧に調整し、各吸引圧における平衡水分量を測定する。

③ 加圧板法：水で飽和させたセラミック板を底部にもつ円筒サンプルを密着させ、吸引圧に見合う圧力を室内に加えて、所要の吸引圧力に対応する平衡水分量を測定する。

④ 遠心法：遠心力によって吸引圧を再現しようとするもので、回転数を調節することにより各吸引圧に対する平衡水分量を求める。

試験の手順を図1に示す。まず、飽和状態から段階的に吸引圧を高めて行う脱水過程の試験を各試験法で実施し、次に一部の試料について吸引圧を順次低下させる吸水過程の試験を吸引法によって行った。

3.3 試験法による結果の整合性

図2に自然林地の試料の試験結果の例を示す。図2(a)には、深度 25 cm の同一試料に対して、吸引法→土柱法→加圧板法の順序で脱水試験を行い、同深度の別の試料に遠心法を適用した結果が描かれている。まず、低い  $pF$  値に対して吸引法と土柱法ではかなり差のある点が注目される。すなわち、同じ吸引圧に対して吸引法の方が土柱法より水分量が多くなっている。ただし、土柱

法→吸引法の順に試験を行うと、逆の結果、つまり土柱法の方が水分量が多くである。自然林地の表層 5~25 cm の試料でこの傾向は顕著であり、都市化地盤の全深度と自然林地の 50 cm 以深の試料ではこのような傾向は認められない。表層試料では試験を繰り返すうちに容積が減少するものも観察される。したがって、試験結果の相違は試験方法に起因するものではなく、大間隙をもつ表層試料が試験中に変形を起こすことによると考えられる。以上から、林内表層土壌の低  $pF$  部の  $pF$ -水分関係の決定に当たっては、土柱法、吸引法にかかわらず先に行った試験法の結果を採用するのが合理的と考えられる。

次に、 $pF$  1.5~2.0 間の吸引法と加圧板法の結果に着目すると、両者はほぼ一致している。この範囲の吸引圧で保持される間隙はかなり小さく、試験の繰り返しによって間隙構造の変化は生じないものと推察される。

遠心法による結果は、図2(a)の例だけでなく一般に加圧板法の結果と一致が悪い。理由は現在明らかではないが、この試験法による結果は採用しないこととした。

図2(b)は、自然林地の深度 50 cm の試料に対する結果であり、試験法間で  $pF$  値が重複する部分について含水率がほぼ一致している。自然林地の 50 cm 以深と都市化地盤の全深度について同様な結果を得ている。したがって、 $pF$  1.5~3.0 の範囲の脱水過程においては、一貫して試験ができる加圧板法を用いるのが便利である。

4. 自然林地と都市化域の不飽和帯水分保持特性の相違

4.1 三相区分

自然林地と都市化域の両試験流域のテンシオメータ埋設地点近辺で各埋設深度の円筒サンプルを採取し、上述の方法で  $pF$ -水分関係を求めた。同一深度の試料であつ

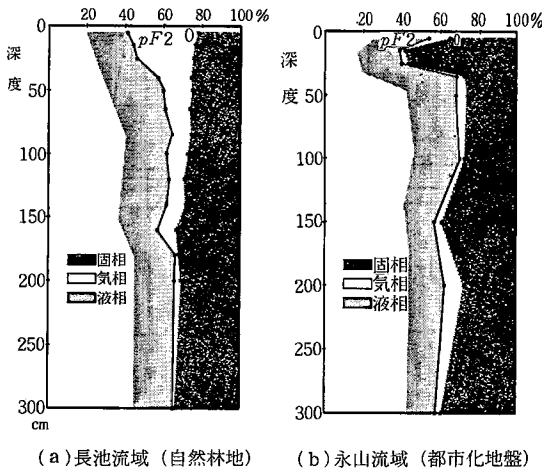


図 3 三相区分図

でも試験結果にかなりの差が見られる場合がある。この原因としては、場所の相違と採土器の打ち込み過ぎが考えられるが、後者による試料の圧密が懸念されたので総脱水量が多い試料の試験結果を優先的に採用した。

$pF$ -水分曲線において、 $pF=0$  は飽和を表し、それに対応する含水率は総間隙を、残りは土壌粒子の体積率すなわち固相を示す。重力水の範囲については議論のあるところであるが、通常言われている  $pF=2$  とすると、 $pF=0\sim 2$  の間の含水率は重力排水が可能な間隙の割合を表す、これを気相と呼んでいる。 $pF=2$  以上は重力では移動できない毛管水と吸着水の範囲であり、液相と呼ばれる。

長池（自然）と永山（都市化）の両試験流域の  $pF$ -水分試験結果より、上記の三相を深度方向に描いたのが、図 3 (a), (b) である。長池流域の自然林地の土壌では、気相が表層 25 cm 付近までは 30~40% と大部を占め、50 cm 以下 160 cm 付近までは 10~15%、それ以深では数% と小さくなる。これに対して、永山の場合には、表層は転圧やその後の踏固めなどにより固相部分が著しく大きく、深度 150 cm 付近まで気相はほぼ 5% 以下と、長池流域に比べてきわめて小さい点が注目される。また、永山の 2 m 以深は表土層を剥いだ地山のローム層に相当している。

図 4 は、総間隙と有効間隙（三相区分の気相の部分に相当）の深度方向の累加曲線である。総間隙は両者の間で大差はないが、有効間隙に著しい相違が表れている。

以上より、自然林地の尾根部 2 m 付近までは重力水が

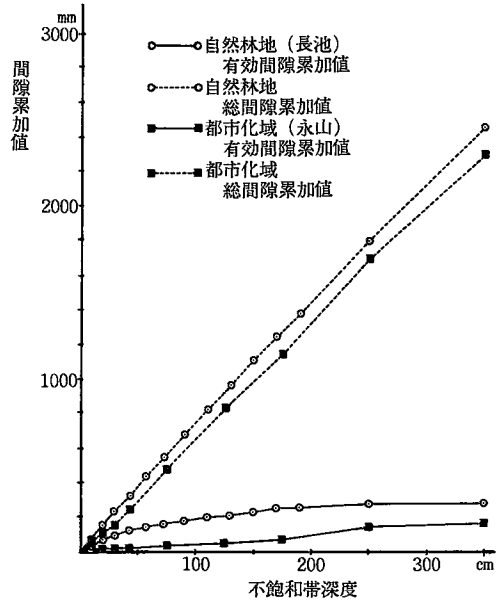


図 4 総間隙ならびに有効間隙の深度方向累加曲線  
移動できる間隙の割合が大きく、土壌の雨水保留能が高いのに対して、都市化地盤ではそれがきわめて低下するのがわかる。

#### 4.2 $pF$ -水分曲線

図 5 (a)~(c) に自然林地長池流域の、(d)~(f) に都市化永山流域の深度別  $pF$ -水分曲線を例示する。自然林地の表層 5~35 cm の場合、図 5 (a) の例に見られるように、脱水過程と吸水過程で違う経路をとる。これは、 $pF$ -水分曲線のヒステリシスと言われるものであるが、深度 50 cm 以深と都市化地域の全深度に対してはヒステリシス・ループの幅は無視できるほど小さい。浅部の森林土壌では、団粒構造が発達し粗大な間隙と微細な間隙が混在することが、ヒステリシス・ループの幅が大きい原因と考えられる。

永山の深度 15 cm の例では、総間隙が 42% と小さく、しかも曲線の勾配が著しく急である。これは、低い吸引圧で保持される水分が少なく、言い換えれば、微細な間隙あるいは土粒子から強い拘束を受けて保持されている水分が多いことを示している。すなわち、都市化地盤永山の表層の不飽和帯水分の多くは、ポテンシャル・エネルギーの低い水であり、浸透降下あるいは蒸発散などによる水分移動が生じ難いという特性を持つ。

#### 5. あとがき

自然林地と都市化地盤では浅部特に表層 30~40 cm までの土壌の水分保持特性に顕著な相違があることが明らかとなった。一方、テンシオメータによる不飽和帯水分の動態の把握には、現地の不攪乱状態の土壌に対する

研究速報

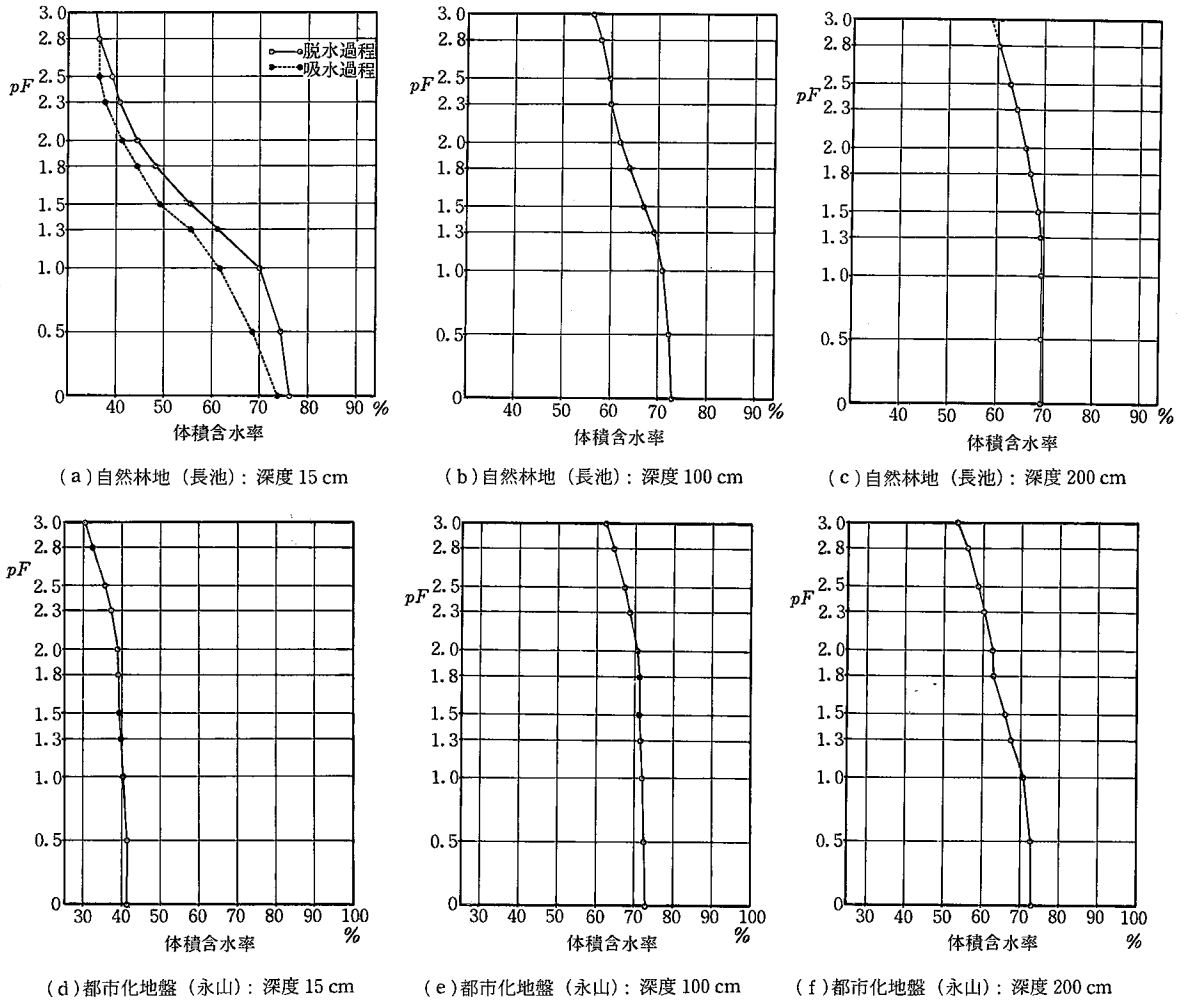


図5 深度別  $pF$ -水分曲線の例

吸引圧-水分関係を求めなければならない。これまでは、農学の分野で常用される試料採取法を踏襲してきたが、今後はサンプル・サイズあるいは採取法による試料の乱れの効果を検討する予定である。

本研究の初期の段階では、内田善久氏 (東京電力 K. K., 当時大学院生) の努力に負うところが大きかった。記して謝意を表する。 (1982年7月27日受理)

参考文献

1) 虫明功臣, 安藤義久, 村上雅博, 小池雅洋, 大矢哲朗: 多

摩丘陵への試験流域の設置とその水文地質構造, 生産研究, 30, 11, 1978.11.

2) 虫明功臣, 小池雅洋, 内田善久: 多摩丘陵の関東ローム層の  $pF$ -水分曲線について(1), 土木学会第7回関東支部年講概要集, 1980.1.

3) 虫明功臣, 小池雅洋, 岡 泰道: 多摩丘陵の関東ローム層の  $pF$ -水分曲線について(2), 土木学会第8回関東支部年講概要集, 1981.1.

4) 土壌物理研究会編: 土の物理学, 森北出版, 1979.