

東京大学生産技術研究所

正 員

虫 明 功臣

東京電力(株)

正 員

。小池 雅洋

内田 善久

1. はじめに

関東ロームで被覆された茅三紀丘陵地の都市化に伴う水循環機構の変化を究明する目的で、多摩丘陵の自然地区と既開発地区に試験流域が設置され、水循環過程に沿った観測体制が敷かれている。本稿は、自然状態の長池試験流域の尾根部に埋設された自記テンシオメーターの観測資料を基に、不飽和帯水分の挙動ならびに不飽和帯水分量と日蒸発散量の関係について検討したものである。

2. テンシオメーター設置場所の概要

不飽和帯の間隙では一般に水が毛管張力によって保持されており、その圧力は負圧を示す。この間隙内毛管水の吸引圧を水頭(cmH₂O)で表わしたものの常用対数を、pF値と呼ぶ。テンシオメーターはこの吸引圧を測定する装置である。

長池試験流域の平坦な尾根部に1977年秋から、深度5, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 150, 200, 300, 400cmの11深度に自記テンシオメーターを設置して観測を続けている。後述する図1と表1からもわかる通り地表から約50cmまで植物の影響が活発ないわゆるA層であり、その下部約25m付近まで関東ローム層で覆われている。下部のロームは粘土化が進み、透水係数 10^{-6} cm/secオーダーの難透水層を形成し、この上に不圧地下水が存在する。その地下水位は通常地表下11m付近で、降雨に対応して最大4m内外の変動を呈する。¹⁾

3. 深度別pF-水分曲線²⁾

テンシオメーターによって測定している吸引圧(pF)は、現地の各深度で採取されたサンプルに対して、pFの低い範囲(pF2以下)では吸引法試験、高い範囲(pF2~3)では遠心法試験を適用することによって、水分量と対応づけられる。この関係がpF-水分曲線と呼ばれる。現地での試料採取には、打ち込み式の100cc同筒サンプラーを使用し、各深度毎に数回のサンプルについて試験を行った。同一深度のサンプルでも試験結果がばらつく場合があるが、採取時に稀の固まったと考えられる試料などは除外して、平均的なpF-水分関係を定めた。また、一般に吸引圧と水分量の関係は、脱水過程と吸水過程では異なり、ヒステリシスループを形成する。吸引試験の範囲では、各深度の試料について両過程のpFと水分量の関係を求めた。以上の試験結果より、重力水の範囲をpF0~20として深度方向に三相区分を求めたのが図1および表1であり、図2(a)~(d)には深度別pF-水分曲線の例を挙げる。

表1. 三相区分

深度	飽和度	発育性	気相	液相	固相
5 cm	0.48	82	35	47	18
15	0.45	83	34	49	17
25	0.44	84	33	51	16
35	0.47	83	24	59	17
50	0.50	81	17	64	19
70	0.53	80	14	63	20
100	0.63	77	11	66	23
150	0.65	76	7	69	24
200	0.66	76	13	63	24
300	0.64	76	12	64	24
400	0.63	77	15	62	23

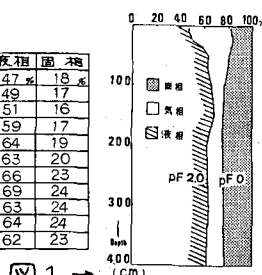


図1

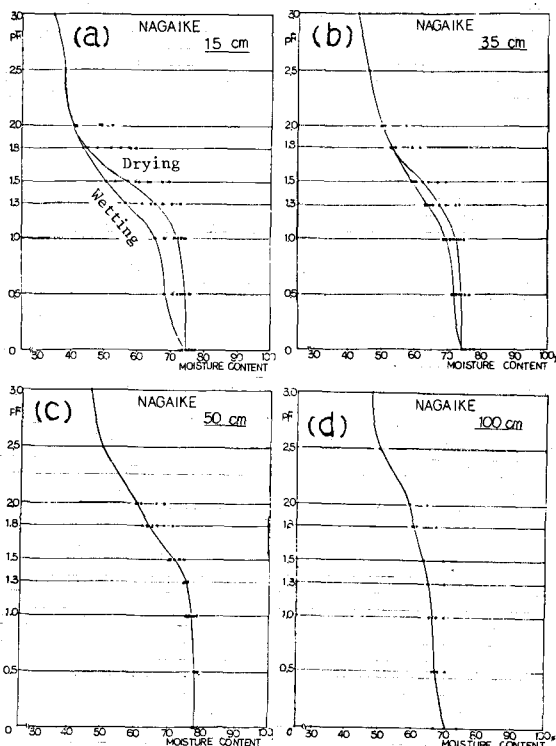


図2 深度別pF-水分曲線

図1と表1より、総間隙は70~80%と深度毎にあまり変化しないが、重力水が満たすことのできる間隙（気相、有効間隙）は、ほぼ50cm付近すなわちA層を境に著しい相違を示すことがわかる。つまり、A層では有効間隙率が20~35%と大きく、それより深部では10%前後の小さな値を示す。pF-水分曲線に着目すると、5~35cmでは脱水過程と吸水過程で顕著な相違を示すのに対して、50cm以深では両者の差がほとんど認められない。そこで後者については、脱水・吸水過程とも一本の曲線をあてはめることにした。

4. Mualemの方法による走査曲線と実験値の比較

35cm以浅のように脱水過程と吸水過程でpF-水分関係が著しく異なる場合、吸引圧と水分量は1対1に対応せず、以前の水履歴に依存して両曲線間のある値をとることになる。脱水・吸水のメインループ間でpF値と水分量を追跡する方法は

いくつか提案されているが、ここではヒステリシスループに關与する間隙と關与しない間隙を考慮したMualemの方法³⁾をとりあげ、この方法による計算値と実験値を比較した。図3がその結果である。図中、計算値が点線を示され、脱水過程から吸水過程へ移行する2つの場合（pF 0.0→1.5→0.0 および pF 0.0→1.3→0.0）に対する実験値がプロットされている。実験例は少数であるが、実験値と計算値の対応は比較的良好でありメインループ間の走査曲線を求めるにはMualemの方法が妥当であると判断される。

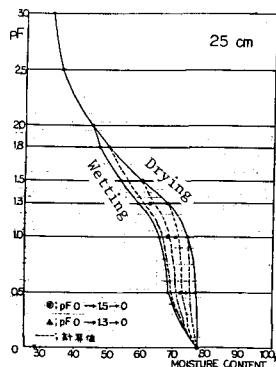


図3 Mualemの方法による計算値と実験値の比較

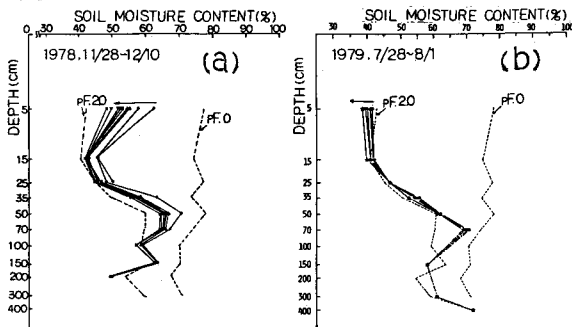


図4 無降雨期間における不飽和帯水分の日変化

5. 日蒸発散量と不飽和帯水分量の関係

一般に蒸発散量は、気象条件などの外部条件と土壌構造や不飽和帯水分量などのいわば内部条件に支配される。ここでは、外部条件は季節で考えることとし、日蒸発散量と不飽和帯水分量の関連付けを試みる。自記テンシオメーターの記録と深度別pF-水分曲線ならびにMualemの走査曲線によって、深度方向の水分量分布の時間変化を追跡することができる。降雨後ほぼ1日経過して土壌水分が最小含水量状態になった時点からの水分量の日変化に着目し、次のような仮定の下に比較的精度がよいと考えられるデータについて日蒸発散量を推定した。

① 150cm以深では変動が小さい(図4)ので、125cmから上部を蒸発散に關与する層とする。② この層から下方への浸透量は0とする。③ ある深度で欠測がある場合には、その上下の水分量変化の平均値をその深度の変化量とする。このようにして求められた連続無降雨日の日平均蒸発散量をその期間の125cm以上の平均不飽和帯水分量に対してプロットしたものが図5である。解析に耐えるデータが未だ少数なので主観的判断も加えて、図中には季節別に仮の直線が描かれている。②の仮定などにより、一般に言われる蒸発散量の値より少し大き目になっているが、地下水位がかなり深い丘陵部では蒸発散量が不飽和帯水分量とともに減少する傾向がうかがわれる。

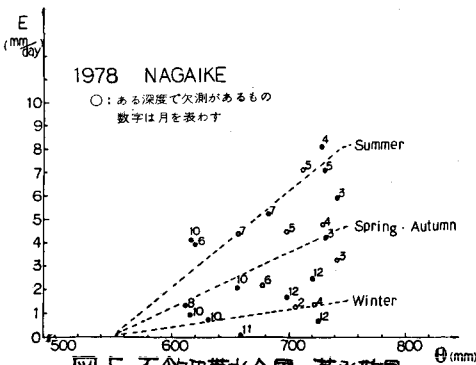


図5 不飽和帯水分量と蒸発散量

参考文献

- 1) 虫明功臣・他/多摩丘陵への試験流域の設置とその水文地帯構造/生産研究30-11/1978
- 2) 虫明功臣・小池雅洋・内田善久/多摩丘陵の関東ローマ層のpF-水分曲線について/オ7回関東支部年次発表会/1980
- 3) Mualem, Y., A/ A Conceptual Model of Hysteresis/ Water Resour. Res. 10(3), 514-520/1974