

施設紹介

水分・密度自動計測システムについて

An Automatic System for Measuring Soil Moisture and Density

佐倉 保夫・古藤田 一雄

Yasuo SAKURA and Kazuo KOTODA

I まえがき

本計測システムは土中の水分あるいは密度プロフィールを自動的かつ連続的に測定し、その水分・密度と位置のデータを集録・処理することを目的に開発された装置である。

従来、中性子水分計およびガンマ線密度計は土木施工管理用として開発されてきたことから、現場用の測器であり、主として野外での調査・研究に使用されてきた。その際、人手によるプローブの昇降、計数値の読み取りに関して、一連の測定には多大の時間と労力が必要となること、さらに繰り返して測定をおこなう場合に、プローブの位置がズレるといった問題があった。

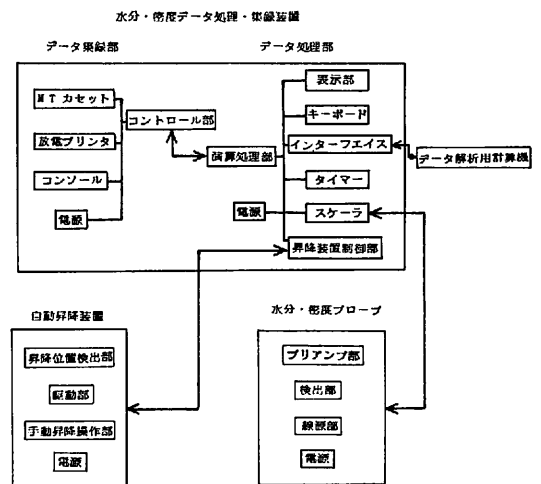
当センター熱収支・水収支部門ではこのような問題を解決するとともに、降雨あるいは蒸発による土壌水分の時間変化をできるだけ連続的に精度良く測定することを目的として、本計測システム（日本ETL製）を導入した。なお現時点で使用しているのは放射線管理の問題から水分計のみである。

中性子水分計の測定原理および使用上の問題点に関する詳細な説明はすでに山本ほか（1968）、開発ほか（1979）にあるため、ここでは本計測システムの構成、使用方法、測定例について簡単に記述するにとどめる。

II 構成および機能

水分・密度自動計測システムは、水分検層プローブ・深部型密度プローブ、水分・密度測定データ集録・処理装置、自動昇降装置により構成されている。システム構成図を第1図に示す。第1図に従って本システムの機能を概説する。

測定開始日時、計測時間、繰り返し時間々隔、繰り返し回数、測定最大深度、測定距離間隔の各データを、水分・密度データ集録・処理装置のデータ処理部・キーボードへ入力することから本システムの動作は始まる。この操作により自動昇降



第1図 水分・密度自動計測システム構成図

第1表-1 水分検層プローブ (Model SX-8n) の仕様

項目	仕様
1 型式	中性子散乱式
2 測定範囲	0.05~1.0 g/cm ³
3 放射線源	²⁵² Cf 50μCi
4 検出器	He-3 計数管1本

第1表-2 深部型密度計プローブ (Model SXD-4) の仕様

項目	仕様
1 型式	γ線後方散乱式
2 測定範囲	1.0~2.7 g/cm ³
3 放射線源	¹³⁷ Cs 9mCi
4 検出器	ハロゲンGM管3本

第1表-3 水分・密度測定データ集録処理装置 (Model DX-1A) の仕様

1. 測定データ集録部

項目	仕様
(放電プリンタ)	
1 印字方法	放電記録式
2 印字桁数	32桁/行
3 印字速度	約2桁/秒
(MTカセット)	
1 テープスピード	19.06cm/sec
2 IRG	0.9inch (平均)
3 記録方式	1トラックFM方式
4 記録密度	800BPI (平均)
5 駆動方式	キャプスタン方式

2. 測定データ処理部

項目	仕様
1 表示	測定値 8桁
2 測定位置設定	テンキー入力による a. 単一ピッチ-5, 10, 20, 25cm b. 複合ピッチ-テンキーによりプログラム可能 c. 上昇/下降切換位置-任意
2 測定時間設定	30sec および 60sec

第1表-4 自動昇降装置 (MX-1A) の仕様

項目	仕様
1 位置検出方式	光電式ロータリー・エンコーダ 18パルス/Rev
2 プローブ駆動モータ	ブレーキ付ギアード・モータ 0.1kW 1/50 (三相)
3 プローブ上昇/下降速度	10cm/sec
4 有効測定長	10m
5 操作盤	自動/手動切換スイッチ 上昇, 下降, 停止, 各押ボタンSW
6 繰返し精度	±5mm 以下
7 原点位置	マイクロスイッチ
8 最大つり下荷重	10kg

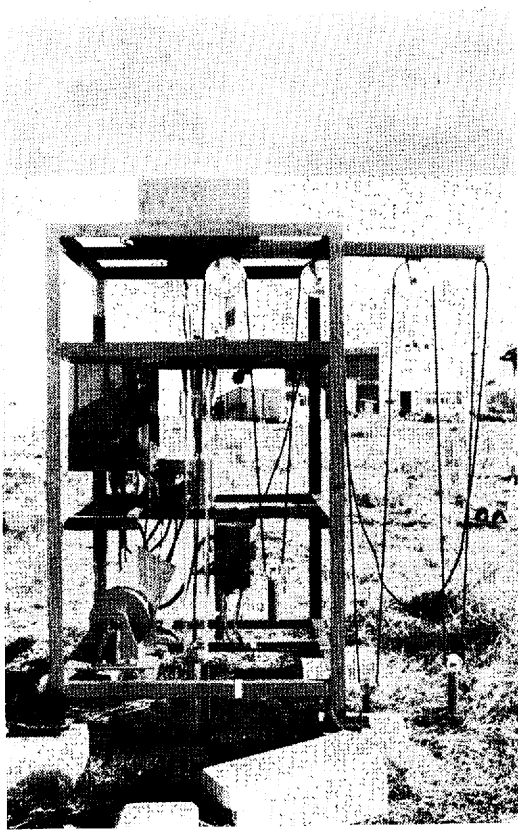
装置が駆動して位置を検出すると、つぎに水分・密度プローブによる計測が開始する。これらの結果はデータ処理部の昇降装置制御部、スケーラへデジタル信号として送信され、演算処理の後、それぞれ位置、カウント数となってデータ集録される。データ集録はデジタルプリンター、MTカセットの併用方式である。測定終了後、MTカセットに記録されたデータは、インターフェースを通してデータ解析用計算機 (SEIKO-5500) と連結され、あらかじめ得られているキャリブレーション・カーブ、スタンダード値にもとづいて計算処理することによって、水分量、密度の値に変換される。さらにプロットングライター (SEIKO-7015) を使用して、プロファイルを図化することが可能なようになっている。

本計測システム構成要素の仕様は第1表に示す通りである。

III 使用方法

ここでは当センターですでおこなっている本システムの一般的な水分計の使用法について述べる。

計測に先だち、水分-カウント比のキャリブレーション・カーブおよびスタンダード値の測定をおこなう。キャリブレーションの手順は開発ほか (1979) を参照のこと。まず現場 (当センター熱・



第2図 自動昇降装置の概観

水収支観測圃場)でプローブをスタンダード収納箱へ入れ、1分間の計測を数回繰り返して、その平均値をスタンダード値として得る。つぎに自動昇降装置を手動操作してプローブ・線源部の位置を地表面に移動させた後、前章で述べた自動操作に切り変える。

計測時間は1分間、距離間隔は10cm、最大深度は3m(アクセスチューブは10mまで無水堀りにて埋設)としている。計測回数指定は、現在、一週間に一度の試験観測期間であるためおこなっていない。

自動昇降装置の概観を第2図に示す。自動昇降装置は、アクセスチューブ付近の地表面へ雨滴の到達が可能のようにできるだけ遮断しない構造とした。そして降雨中でも計測できるように、アクセスチューブ内へ水滴の浸入を防ぐ目的でアクリ

ル製のカバーを取り付けた。

N 本計測システムによる土壌水分測定例

1978年8月1日、16日、24日、9月5日の本システムによる土壌水分プロファイルの計測結果と同期間中の降水量、ウェイングライシメータ(古藤田ほか、1977)による蒸発散量の変化を第3図に示す。この年の8月は例外的に降水量は少なく、わずかに8月1日の水分計測前に6mm、8月17日に5mmの計11mmであった。一方、蒸発散量は106.1mmに達した(8月25日~30日の間はスケール・オーバーのため欠測したので推定値を使用)。9月1日から5日の水分計測時までの間に、58mmの降水量と6.8mmの蒸発散量を記録した。

第3図の土壌水分プロファイルで黒く塗った部分は前回の測定よりも水分が減少したことを、塗りつぶしていない部分は増加したことを示している。同図にみられる土壌水分の増減は、それぞれ降水・蒸発による変化と対応している。そして8月16日の地表面下150cmにおける水分減少は、8月1日に地下214cmにあった粘土層中の地下水位(2.2m地下水観測井)が8月7日以降低下して底をつくことと符合している。

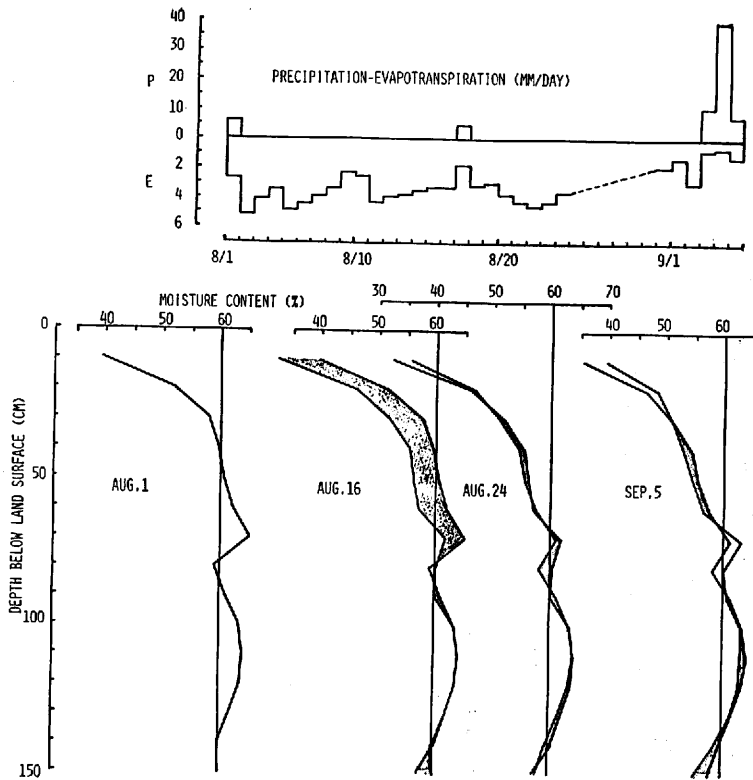
そこでつぎにこの期間の地表面水収支から計算した土壌水分の増減と中性子水分計の測定によるそれとの比較を試みた。

土壌水分の時間変化を ΔM とすれば、これらの期間中の水収支式はつぎのようにならわせる。

$$\Delta M = P - E \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 P は降水量、 E はウェイングライシメータで測定した蒸発散量である。

一方、中性子水分計による土壌水分測定量は、2m以深では変化がほとんどみられないことから、この範囲が短期的な地表面水収支にかかわっていると考えられる。そして、10cm間隔の計測であるため、地下10cmの計測値が0~15cmを、20cmが15~20cmを代表すると以下も同様に仮定した。これらの計算結果を第2表に示す。いつれの期間についても、水分計による土壌水分変化量



第3図 1978年8月1日～9月5日間の降水量、蒸発散量および土壌水分プロファイルの変化

が小さく、第I期間（8月1日～16日）を除くと量的な一致は認められない。これにはつぎのような原因が考えられる。

地表面下0～15cmの水分量の平均値として10cmの計測値を用いたこと。実際には粘土を含むローム層であるのに、砂・ベントナイト混合物によるキャリブレーション・カーブを適用したこと。

しかし後者については、変化量の比較であり、第2表にみられた相違の主な原因とはなりえない。一方、第I期間のみ比較的良い一致がみられたのは、測定時間々隔が15日と最も長く、蒸発が連続して生じており、地下0～15cm間の水分量が10cmでの計測値で代表できる条件にあったものと考えられる。すなわち前者の影響が著しく、地表面付近での粘質土中の水分量変化が激しいような短期間の水分量測定には、現状の挿

入型中性子水分計のみでは困難であり、表面型水分計との併用、あるいは地表面付近での精密なキャリブレーションなどが必要となることは言うまでもない。

このように1978年8月の試験観測から、本計測システムの運用に関するいくつかの問題点が明らかになってきた。今後これらの計測上の問題を解明しつつ、本計測システムによる土壌水分計測のルーチン化を押し進める予定である。

第2表 中性子水分計と水収支法による土壌水分変化量の比較

測定深度 (cm)	8 / 1		第I期間		8 / 16		第II期間		8 / 24		第III期間		9 / 5
	水分量 ($\frac{cm^3}{cm^3}$)	水分変化量 ($\frac{cm^3}{cm^3}$)	積算量 (mm)	水分量 ($\frac{cm^3}{cm^3}$)	水分変化量 ($\frac{cm^3}{cm^3}$)	積算量 (mm)	水分量 ($\frac{cm^3}{cm^3}$)	水分変化量 ($\frac{cm^3}{cm^3}$)	積算量 (mm)	水分量 ($\frac{cm^3}{cm^3}$)	水分変化量 ($\frac{cm^3}{cm^3}$)	積算量 (mm)	水分量 ($\frac{cm^3}{cm^3}$)
10	0.394	-0.070	-0.105	0.324	+0.030	+0.045	0.354	+0.041	+0.062	0.395			
20	0.519	-0.059	-0.164	0.460	+0.007	+0.052	0.467	+0.017	+0.079	0.484			
30	0.579	-0.059	-0.223	0.520	-0.008	+0.044	0.512	-0.001	+0.078	0.511			
40	0.597	-0.042	-0.265	0.555	-0.010	+0.034	0.545	-0.014	+0.064	0.531			
50	0.606	-0.044	-0.309	0.562	-0.008	+0.026	0.554	-0.008	+0.056	0.546			
60	0.621	-0.050	-0.359	0.571	+0.003	+0.029	0.574	-0.009	+0.047	0.565			
70	0.651	-0.033	-0.392	0.618	-0.008	+0.021	0.610	+0.020	+0.067	0.630			
80	0.591	+0.012	-0.380	0.603	-0.023	-0.002	0.580	+0.021	+0.088	0.601			
90	0.610	-0.008	-0.388	0.602	+0.010	0.008	0.612	-0.005	+0.083	0.607			
100	0.634	+0.002	-0.386	0.636	-0.003	0.005	0.633	-0.001	+0.082	0.632			
110	0.640	+0.003	-0.383	0.643	-0.002	0.008	0.641	-0.010	+0.072	0.631			
120	0.637	+0.001	-0.382	0.638	-0.006	0.002	0.632	-0.005	+0.067	0.627			
130	0.619	+0.003	-0.379	0.622	-0.008	-0.006	0.614	-0.001	+0.066	0.613			
140	0.600	+0.004	-0.375	0.604	-0.010	-0.016	0.594	-0.010	+0.056	0.584			
150	0.598	-0.027	-0.402	0.571	+0.006	-0.010	0.577	-0.028	+0.028	0.549			
160	0.605	-0.010	-0.412	0.595	-0.008	-0.018	0.587	-0.003	+0.025	0.584			
170	0.593	-0.012	-0.424	0.581	-0.010	-0.028	0.571	+0.010	+0.035	0.581			
180	0.611	-0.011	-0.435	0.600	-0.000	-0.028	0.599	+0.010	+0.051	0.609			
190	0.658	-0.028	-0.463	0.630	+0.002	-0.026	0.632	+0.016	+0.067	0.648			
200	0.703	-0.020	-0.483	0.683	+0.001	-0.025	0.694	+0.009	+0.076	0.703			
中性子水分計による 土壌水分変化量(mm)			-48.3			-2.5			+7.6				
地表面水収支による 土壌水分変化量(mm)			-52.5			-30.2			+22.8				

注※: 10cmの測定値が0~15cmの平均値であるとして積算値に算入してある。

文 献

開発一郎・佐倉保夫 (1979) : 散乱型中性子水分計の使用に関する問題. 筑波大学水理実験センター報告, 3, 39-46.
山本荘毅・榎根 勇・平田重夫 (1968) : 中性子水分計

のキャリブレーションについて. 東京教育大学地理学研究報告, XIII, 87-101.
古藤田一雄・佐倉保夫・林 陽生・甲斐憲次 (1978) : 水理実験センターにおける熱収支・水収支観測システムとデータ集録・処理について. 筑波大学水理実験センター報告, 2, 65-89.