

表面型中性子水分計の校正曲線について

野村安治*・井上光弘*・四ヶ所四男美**

Calibration Curve of a Surface-Type Neutron Moisture Meter

Yasuji NOMURA*, Mitsuhiro INOUE* and Shiomi SHIKASHO**

* *Laboratory of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture.*

** *Laboratory of Land-Drainage and Reclamation, Faculty of Agriculture, Kyushu University.*

Summary

In order to make the most efficient use of a neutron moisture meter, it is necessary to previously obtain the calibration curve of the meter for the soil in an actual field.

This paper describes a process of determination on the sphere of importance of the neutron moisture meter in vertical and horizontal directions. Thereafter, a method of making a calibration curve of a surface-type neutron moisture meter is shown. The originality of this paper lies in the experimental demonstration of the calibration curve which relates the count ratio of a surface-type neutron moisture meter with the volumetric soil moisture content for different source positions.

In order to determine the sphere of importance of scattering neutrons, an attempt was made to examine the response on a surface-type neutron moisture meter due to a paraffin mass in vertical and horizontal directions. As a result, the volume of the sphere of importance is assumed to be a sphere approximately, and the radius of the sphere of importance is obtained as the function of the volumetric soil moisture content.

Calibration curves of a surface-type neutron moisture meter for dune-sand were made under the constant soil moisture profile by the backscatter method and the direct transmission method. The results from these experiments were shown in Table 1. It appears evident that the direct transmission method under the 10cm or the 15cm source position had higher sensitivity and slightly less standard error of estimate than the backscatter method.

* 農学部農業水文学研究室

** 現在は、九州大学農学部排水干拓工学研究室

1. ま え が き

砂地は、土壌の透水性が大きく保水水分量が少ないために、農業的利用に対しては効率の高い水利用が要求される。効率的な水管理を行うためには、カンガイ下における砂地圃場の土壌水分移動を的確に把握することが必要で、特に砂地においては、根群域（浅層）の土壌水分変化を明らかにすることが重要である。しかし、従来の土壌水分測定法では、土壌断面の水分分布を短時間に測定することが困難である。そこで表面型中性子水分計を導入して迅速な土壌水分の測定を試みた。

中性子法は、測定精度の個人誤差がほとんどなく、測定時間が短いため多地点測定も可能であり、非破壊測定であるために同一個所の繰返し測定も出来る。また、その結果がただちに得られるという特徴をもっている。しかしながら、中性子水分計の出力（計数率）と含水量との関係は、様々な因子に支配される事から、これを理論的に求めることは一般的ではない。そこであらかじめ、含水量が既知の供試土壌を用いて計数の応答を校正しておき、現場における計器の出力から含水量を知るのが、RI計器の一般的な使用法である。したがって、RI計器の使

用にあたっては、校正曲線の作成が非常に重要な事である¹⁾。

本研究は、低水分状態にある鳥取砂丘圃場の表層（根群域）の土壌水分挙動を把握するために、後方散乱方式と直接透過方式を有する表面型水分密度計の農業面における効果的利用をねらいとするものである。ここでは計器の鉛直方向と水平方向の影響圏に関する実験から有感容積を推定し、鳥取砂丘砂を対象とした表面型中性子水分計の校正曲線を作成し、さらに後方散乱方式と直接透過方式の優劣を検討した。

2. 表面型水分密度計

使用した測器は、TROXLER社製の表面型水分密度計（2401型）で中性子水分計とガンマ線密度計との両機能を備えるとともに、従来の表面型測器と異なり後方散乱方式のみではなく、直接透過方式およびエアギャップ方式による測定が可能である。また、プローブ部とスケラ部とが同一測器内に組込まれているので、測器の移動が容易で多地点の測定が短時間に出来る有利な点がある。大きさは、23×38×23cm高で、重量は、18.2kgである。使用線源は、50mCiの²⁴¹Am-Be（中性子線源）と8.1mCiの¹³⁷Cs（ガンマ線源）である。検出器は、2個のBF₃比例計数管と3個のGM計数管が使用され、それぞれ熱中性子束とガンマ線を検出し、電光板には計数率が

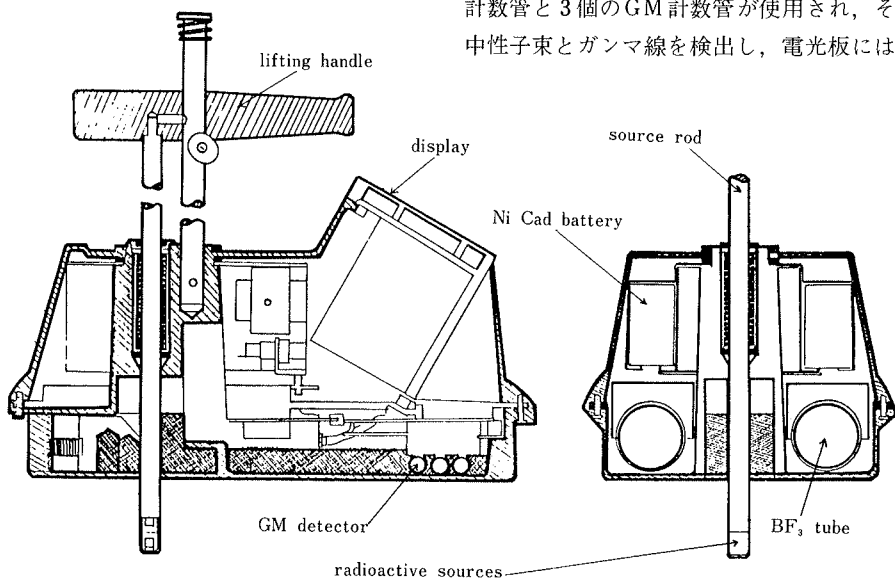


Fig. 1. Scheme of surface moisture-density gauge.

タイマーで自動的に表示される。放射性線源は、三重にステンレス鋼でシールドされ、線源棒の底部に取付けられており、線源棒を挿入することによって測器底面より0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 cmの位置で測定できる。測定された計数率は、測定の前後における標準体の計数率の平均値で除し、それぞれの測定個所における計数率比(カウント比) C_R として整理した。

3. 実験方法

(1) 影響圏の決定

RI計器は、機種(散乱型か透過型か)、計器の幾何学的条件(線源と検出器間の距離、検出器の長さ、配置状況)、使用するラジオ・アイソトープの線質特性によって計器固有の作用範囲が定まっており、この範囲は測定器の有感容積と呼ばれている。これより小さい容積の供試体を用いて校正した場合には、RI計器の特性上、カタヨリを生じ誤差の原因になる。したがって、計器の校正を行うときは、この事を考慮して計器の測定影響範囲よりも十分に大きい供試体を用いるべきである。そこで、表面型中性子水分計の影響圏を知るために実験を行った。この種の実験に、しばしば採用される物質で、水素原子が豊富で、均質かつ安定した物質として、パラフィン体を使用した。媒体土壌として砂丘砂を用い後方散乱方式によって鉛直方向あるいは水平方向に対するパラフィン体の影響による測器の応答を測定した。

鉛直方向の影響圏の実験方法としては、100×100×100cmの鉄製タンクの底部中央に20.0×35.6cm²、高さ6.4cm、重量4,097gのパラフィン体を設置し、その上に所定の水分量の砂を5cm間隔に充填し、そのつどランマーで均一に突き固め、計数率を測定した。水平方向の影響圏の実験方法としては、前述のタンクに所定の体積含水量の砂を充填し、パラフィン体をタンクの側面に設置した。さらに、タンク内の土壌表面に置いた測器を移動することによって、パラフィン体と線源までの水平距離と計数率との関係を求めた。

(2) 校正曲線の作成

砂丘砂を供試土壌とし、均一な土壌水分分布を得るために乾燥砂にスプレーで水を供給しながらミキ

サーで混合し、所定の体積含水量になった砂を10cmごとの土層厚となるように充填し、ランマーで突き固めた。土壌表面から5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 cmの深さの土層に対して、それぞれの深さで5点、定容積採土を行い、体積含水量を求めた。その結果、土壌水分分布は均一で、土壌水分量は深さに対して、ほぼ一定に保たれていたため、体積含水量は全試料の算術平均によって求めた。さらに、既知の均一初期水分量に、タンクの底部から給水して飽和水分量を計測し、校正曲線を作成した。計数率の測定時間は、標準偏差を1.25%以下にするため、少なくとも6,500カウント以上を計数できる時間とした。また、測定回数は3回とし、その平均計数率を用いた。

4. 結果および考察

(1) 影響圏の半径

体積含水量 θ に対する計数率比 C_R と土層の厚さ Z との関係を鉛直方向の影響圏に関する実験結果から示したものが、Fig.2 および Fig.3 である。土層の厚さが増加するにつれて、計数率比はそれぞれの体積含水量に対して減少している。これらの結果から影響圏の半径は、25cm前後であると考えられる。

いま、計数率比 C_R の減衰曲線が、体積含水量 θ と土層の厚さ Z との関数により表わされるものとす

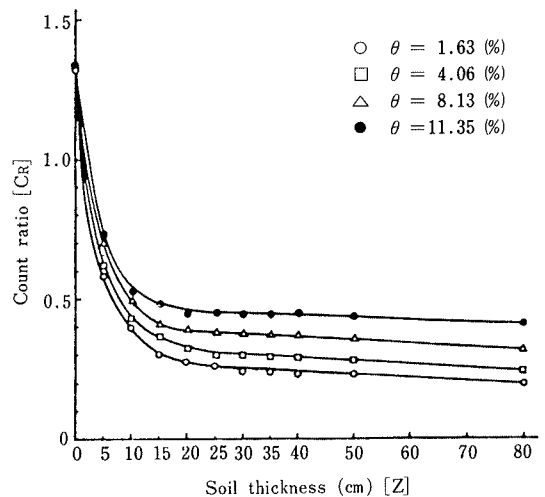


Fig. 2. Count ratio variation due to a paraffin mass with the soil thickness for each soil moisture content.

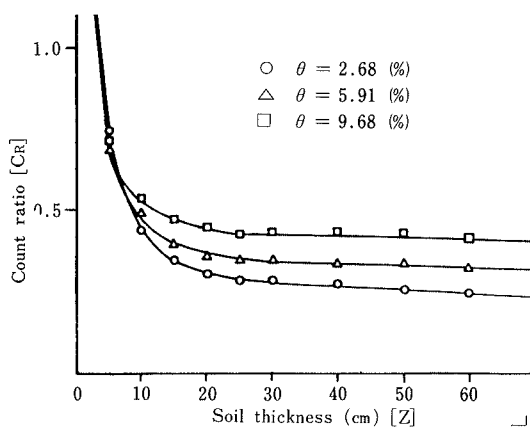


Fig. 3. Count ratio variation due to a paraffin mass with the soil thickness for each soil moisture content.

れば、次の指数曲線で近似できる。

$$\frac{C_R(\theta, Z) - \overline{C_R}(\theta, Z)}{C_R(\theta, 0) - \overline{C_R}(\theta, Z)} \equiv C_R^*$$

$$C_R^* = a_1(\theta) \exp[-\alpha_1(\theta)Z] + a_2(\theta) \exp[-\alpha_2(\theta)Z] \dots\dots(1)$$

ここで、 $\overline{C_R}$ は、パラフィン体がない場合の計数率比、 $a_1(\theta)$ 、 $a_2(\theta)$ 、 $\alpha_1(\theta)$ 、 $\alpha_2(\theta)$ は一定の体積含水量に対する実験係数である。

影響圏は、全中性子フラックスの95%が含まれる中性子源のまわりの体積として定義されるから、

$$\frac{\int_0^R C_R^* dZ}{\int_0^\infty C_R^* dZ} = \epsilon \dots\dots(2)$$

なる式で、 $\epsilon = 0.95$ を満足するRの値を影響圏の半径とすると、後方散乱方式に対して $1.63\% \leq \theta \leq 11.35\%$ では、

$$R = \frac{100}{2.5 + 0.32\theta} \dots\dots(3)$$

なる実験式で表わされた。

同様な方法による水平方向の影響圏の半径は、体積含水量4.19%、7.22%に対して、それぞれ約27cm、約20cmであり、鉛直方向の影響圏の半径を推定する(3)式による値と比較すると、影響圏の半径は回転ダ円体よりもむしろ球体と仮定して

よいと考えられる。

(2) 校正曲線

表層近くの土壤水分測定のために、後方散乱方式と直接透過方式による校正曲線を $2\% \leq \theta \leq 16\%$ の土壤水分範囲において示したものが、Fig. 4である。図中において、BSは後方散乱方式、TMは直接透過方式による測定を表わし、添字は土壤表面より挿入した線源の深さを示すものである。点線は、工場において校正された後方散乱方式による校正曲線であり、砂丘砂による校正曲線と比べると計数率比が小さくなっている。

Table 1は、体積含水量が $2\% \leq \theta \leq 16\%$ 、 $2\% \leq \theta \leq 35\%$ に対する各測定方式に対する回帰線、相関係数ならびに標準誤差を示したものである²⁾。

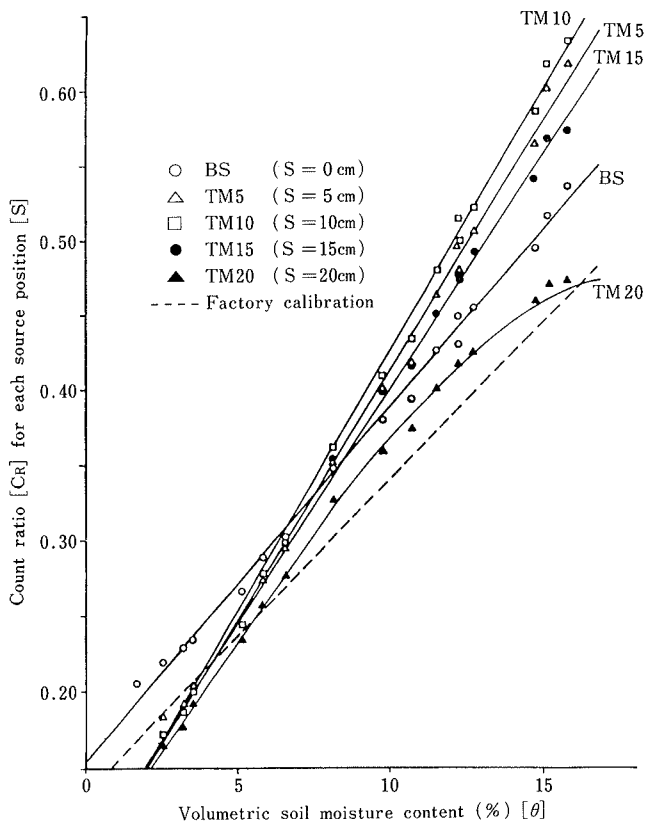


Fig. 4. Calibration curves for dune-sand of a surface-type neutron moisture meter by the backscatter method and the direct transmission method for different source positions.

これらの結果によると、体積含水量が $2\% \leq \theta \leq 16\%$ の範囲については、TM20を除くBS, TM5, TM10, TM15について、また $2\% \leq \theta \leq 35\%$ においてはBSおよびTM5では直線回帰が認められる。その他においては、体積含水量は直線と指数曲線を加えた形の回帰曲線で表わしうる。いずれの場合においても相関係数は、0.998以上である。体積含水量が $2\% \leq \theta \leq 16\%$ において、直線透過の10cm (TM10) は、BS, TM5, TM15に比べ、体積含水

量 θ の変化に対する計数率比 C_R の変化が大きく、Fig.4から明らかに、校正曲線のコウ配が急であり感度がよいことがわかる。後方散乱方式 (BS) は、土壌表面と測器底面との接触面の影響で直接透過方式 (TM) よりも測定誤差が生じ、さらに、直接透過方式により測定した方が、後方散乱方式で測定するよりも感度がよく、標準誤差も小さい。この測器においては、BSよりもTM10やTM15で測定するのが、均一土壌水分分布の場合には有利である。

Table 1. Statistical summary of calibration curves in different methods for dupe-sand.

Moisture range	Method	Calibration curves	Correlation coefficient	Standard error of estimate
$2 \leq \theta \leq 16$	BS	$\theta = -6.63 + 42.9 C_R$	0.998	0.315
	TM5	$\theta = -2.50 + 30.4 C_R$	0.998	0.314
	TM10	$\theta = -2.12 + 28.7 C_R$	0.999	0.226
	TM15	$\theta = -2.94 + 32.4 C_R$	0.999	0.191
	TM20	$\theta = -3.05 + 34.5 C_R + 1.12 \times 10^{-4} \exp(21.8 C_R)$...	0.444
$2 \leq \theta \leq 35$	BS	$\theta = -6.39 + 42.2 C_R$	0.999	0.445
	TM5	$\theta = -1.61 + 27.9 C_R$	0.999	0.421
	TM10	$\theta = -2.14 + 28.2 C_R + 1.63 \times 10^{-2} \exp(4.77 C_R)$...	0.365
	TM15	$\theta = -2.60 + 31.0 C_R + 3.99 \times 10^{-3} \exp(9.38 C_R)$...	0.260
	TM20	$\theta = -3.05 + 34.5 C_R + 3.76 \times 10^{-3} \exp(13.4 C_R) + 9.36 \times 10^{-11} \exp(46.6 C_R)$...	0.220

5. あとがき

砂丘地の表層の土壌水分測定法として、後方散乱方式と直接透過方式の両機能をもつ表面型水分密度計を使用して、均一土壌水分分布のもとでこの測器の影響圏および校正曲線を作成し、線源挿入深と計数率比を求め、測定方式の優劣を検討した。その結果、直接透過方式が表層の土壌水分挙動を把握する方法として有力であることが明らかとなった。

今後、現地圃場における測定を継続し、測器の応答特性について、また密度と土壌水分量との関連に

ついて研究を続行する。

なお、この研究の一部は、昭和49年度、昭和52年度文部省科学研究費の補助によるものである。

参考文献

1. 土質工学会. 1974. 土工管理とラジオアイソトープ——表面型密度計・水分計の取扱い手引き——. p.48-58.
2. SHIRAZI, G.A., and M. ISOBE. 1976. Calibration of neutron probe in some selected Hawaiian soils. Soil Sci. 122: 165-170.

