

## 直接透過方式による表面型中性子水分計の応答特性

野村 安治\* · 井上 光弘\* · 古谷 和生\*\*

### Characteristics of a Surface-Type Neutron Moisture Meter for each Different Source Position

Yasuji NOMURA,\* Mitsuhiro INOUE\* and Kazuo FURUYA\*\*

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

\*\**Nissetsu Consultant Co.*

#### Summary

For the purpose of agricultural utilization of a surface moisture-density gauge, it is useful for the measurement of soil moisture content to extend the method not only as the backscatter method but also as the direct transmission method and the air-gap method used for the measurement of density up to this time.

This paper describes the experimental demonstration of the relation existing between the count ratio and the volumetric soil moisture content for different source positions. The new method proposed in this study is to some extent a combination and a development of existing radiation techniques. The characteristics of the direct transmission method, which is to make measurements at the surface of the thermal neutron flux produced by a fast neutron source introduced into the soil at different depths, are shown to the homogeneous or heterogeneous distribution of soil moisture content.

The detection at the soil surface of the thermal neutron flux created by a fast neutron source introduced into the soil at different depths is presented as a new neutron method to determine the soil moisture content.

The following characteristics of a surface-type neutron moisture meter became evident after having a discussion about the experimental results.

- 1) From the results obtained on homogeneous and heterogeneous media in the moisture range of more than 7% by volume, the direct transmission method with 5 cm, 10 cm and 15 cm source position has higher sensitivity than the backscatter method on condition that the source

---

\* 農学部農業水文学研究室

\*\* 現在は、日設コンサルタントK.K.

is situated at the soil surface.

- 2) When the gauge is in poor contact with the ground, the direct transmission method with the source position of 10cm has no effect on the response on the gauge of the soil surface roughness as much as the backscatter method.
- 3) It can be seen that there is a peak of the response in the presence of an air-gap above any soil moisture content in connection with the source depth.
- 4) In the case of heterogeneous soil moisture distribution, even if the dry sand layer exists on the surface as in the actual sand dune field, it is recognized that the direct transmission method with the source position of 10 cm or 15 cm has a higher sensitivity in spite of the influence of the dry sand layer.

Therefore, in all cases where the gauge is in poor contact with the ground, it is the source position or the source depth which is the main cause of the influence on the count ratio. The surface-type moisture-density gauge used in this study would apparently also have useful characteristics, that is, the direct transmission method with the source position of 10 cm or 15 cm below the soil surface.

### 1. ま え が き

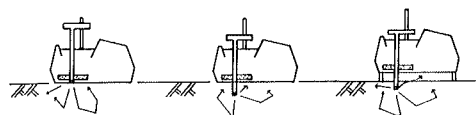
従来の表面型水分計は、後方散乱方式によって浅層の土壤水分を測定するために使用されている。本研究においては、表面型水分密度計によって、密度測定に使用される直接透過方式やエアギャップ方式による土壤水分の測定を試み、中性子水分計の測定法を拡張しようとするものである。

ここでは、表面型水分計に関して、線源の土中への挿入位置の変化に対する測器の応答(カウント比)と土壤水分(体積含水量)との関係を実験的に求め、さらに異なった土壤水分の層が存在する場合について検討を行った。

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ている。中性子線源は、 $^{241}\text{Am-Be}$ , 50mCi, ガンマ線源は、 $^{137}\text{Cs}$ , 8.1mCiで、検出器は2個のBF<sub>3</sub>比例計数管と3個のGM計数管が使用されている。放射性線源は、線源棒の底部に取付けられており、測器底面より5cm間隔で30cm深さまで測定できる。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。挿入型中性子水分計は、プローブ部に放射性線源と増幅器、検出器が組込まれているが、本測器は、表面型測器であり、線源棒を地中に挿入しても増幅器や検出器は地上に存在するため、挿入型中性子水分計とは応答特性が異なる。

Fig. 1は、測定方式を示したもので、後方散乱方式(*Back scatter method*)は、線源と検出器の両方を地表面に密着させる場合で、速中性子源の近くに生ずる熱中性子束を測定するものである。直接透過方式(*Direct transmission method*)は、線源棒を土壤中に挿入し地表面にある検出器で熱中性子束を測定する方法である。エアギャップ方式(*Air-gap method*)は、測器の底面と測定する媒体との間にエアギャップを設けて測定する方法で、土壤表面の粗



(a) Backscatter (b) Direct transmission (c) Air-gap  
Fig. 1. Measurement modes of a surface-type neutron moisture meter.

度の影響を少なくすることができる。

2. 実験方法と結果

(1) 均質土壌に対する測器の応答

均質な媒体として砂丘砂を用いた。すなわち、均一な土壌水分分布を得るために、乾いた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計測容器 (100×100×100 cm) に10cmごとの土層となるように充填し、ランマーでしめ固めを行った。

土壌表面から5, 10, 15, 20, 25, 30, 40cm深さの土層に対して、それぞれ5点で定容積採土を行い、体積含水量を求めた。土壌水分分布は均一で、土壌水分量が深さに伴ってほぼ一定に保たれていたの、均質な媒体の体積含水量は全試料の算術平均によって求めた。

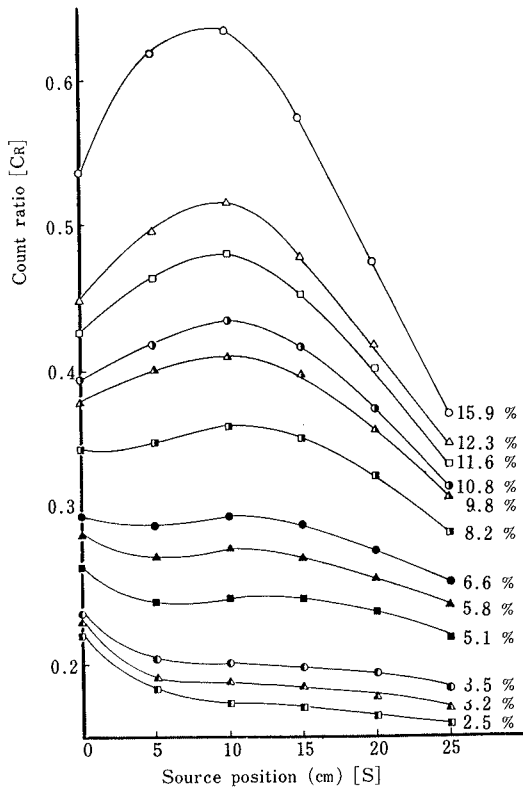


Fig. 2. Response on the gauge for each source position in homogeneous soil with different moisture contents.

表面型中性子水分計による計数値は、直接透過方式や後方散乱方式によって3回、4分計測を行い計数率を求め、この値を標準体の計数率で除して、カウント比で整理した。

カウント比  $C_R$  と線源挿入位置  $S$  との関係を、異なった体積含水量  $\theta$  の均質土壌に対して示したものが、Fig. 2 で測器の応答を示すものである。この結果から、体積含水量が約8%から16%の範囲では、線源位置10cmの直接透過方式が後方散乱方式による測器の応答より高いことがわかる。

均質土壌と空気という媒体に対して熱中性子束を評価する場合には、次のように考察される<sup>1)</sup>。すなわち、線源が約25cmよりも深いときには、この実験範囲では中性子束は対称形とみなせる。そして線源

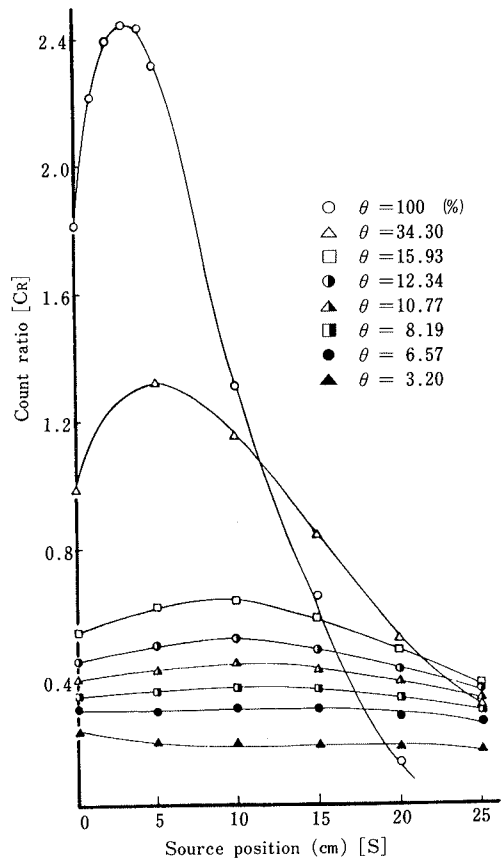


Fig. 3. Response on the gauge for each source position in homogeneous soil and water.

を表面に近づけるにつれて表面での値が規則的に増して行く。ピーク値に対応する深さと約25cmの間では、空気中に熱中性子が散乱する量の方が、中性子束が増加する量よりも多く、ピークに達する所で平衡となる。そして、そこから熱中性子、速中性子の損失は顕著となり、中性子束は規則的に減少する。

約5%以下の低水分量の範囲では、直接透過方式よりも線源が土壌表面にある後方散乱方式による測定の方が測器の応答が大きくなる。線源を土中に挿入するにつれて測器の応答は少しずつ減少することが認められる。

約7%以上の水分範囲において、さらに測器の応答特性を吟味するため、水や飽和状態の砂を媒体として付け加えたものがFig.3である。この結果から、線源の位置を変えていくと、異なった水分量に対し

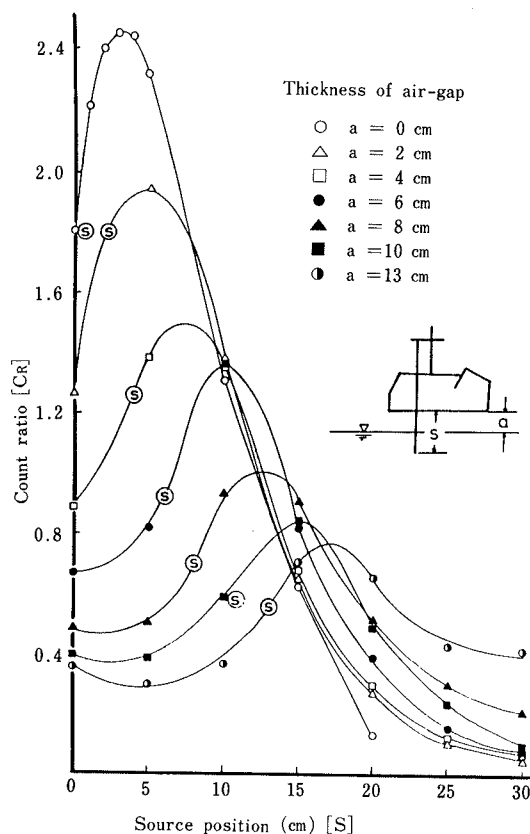


Fig. 4. Relation between the count ratio by air-gap method and source position for different thicknesses of air-gap above water.

て、応答のピークが存在することがわかる。すなわち、水の場合 ( $\theta=100\%$ ) には3cm, 砂が飽和状態に近い34%で5cm, 15%付近では約10cmとなる。7%以上の水分範囲では、後方散乱方式よりも直接透過方式による方が、より高い測器の応答が得られることがわかった。

(2) エアギャップ方式による測器の応答

測器下の表面効果の影響、すなわち、土壌表面の粗さ、あるいは測器の底面と土壌表面との間の接触の良否による応答への影響を検討するために、水および砂丘砂を媒体として、エアギャップ方式による測器の応答を測定した。

Fig. 4 は、水面上のエアギャップの厚さ  $a$  をパラメーターとしてカウント比  $CR$  と線源位置  $S$  の関係を示したものである。エアギャップの厚さが増すにつれて、測器の応答と線源位置との間に存在する応

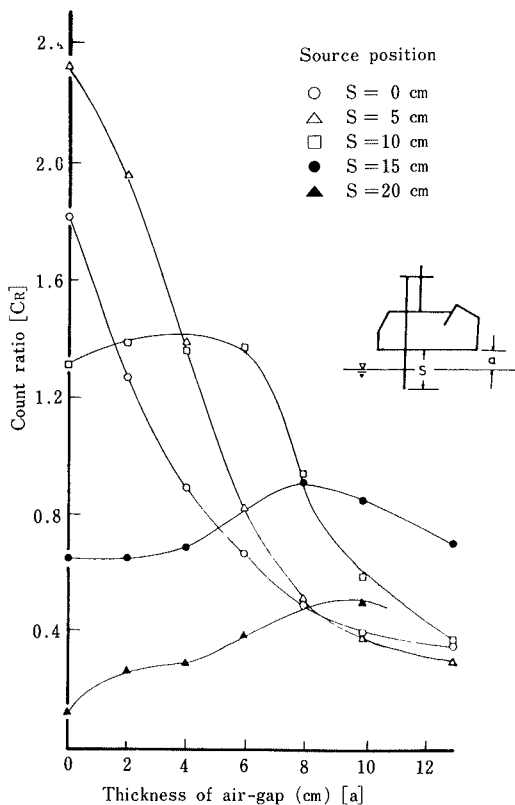


Fig. 5. Response variation on the gauge due to the presence of an air-gap above water for each different source position.

答ピークの値が小さくなり、その発生位置が測器底面から離れていくことがわかる。Ⓢ印は、線源が水面にある場合の応答である。水面下の線源深さが、3～5 cmのところに応答ピークが生じている。

Fig. 5 は、線源位置  $S$  をパラメーターとしてカウント比  $C_R$  と水面上のエアギャップの厚さ  $a$  との関係を示したものである。線源位置 0 cm, 5 cm においては、エアギャップの厚さの増加に伴って測器の応答は著しく低下している。線源位置 15 cm の場合には、応答ピークがエアギャップの厚さ 8 cm のとき、すなわち、線源を水面下 7 cm に挿入したときに発生している。さらに線源位置 10 cm のときには、エアギャップの厚さが 0 から 5 ないし 6 cm の間では、その厚さが変わってもカウント比の値には変化が見られない。

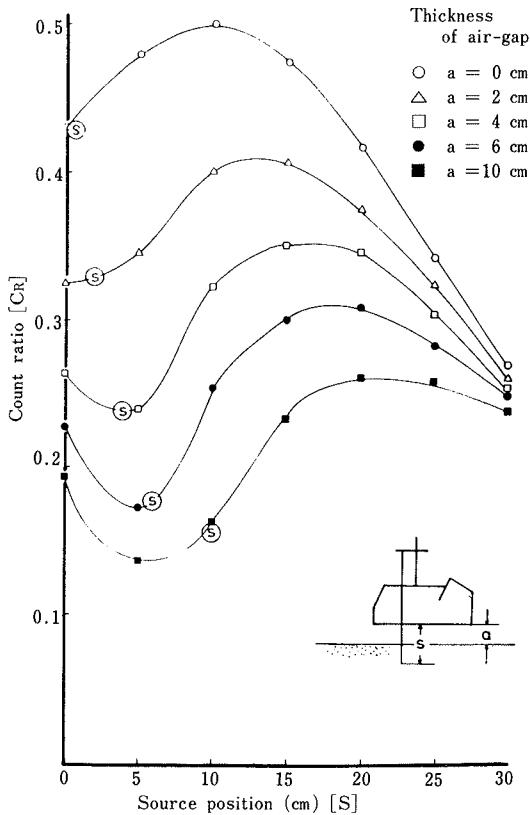


Fig. 6. Relation between the count ratio by air-gap method and source position for different thicknesses of air-gap above soil at 12.37 percent volumetric water content.

このことは、線源位置 10 cm における直接透過方式による土壌水分測定が、測器底面と土壌表面との接触がよくない場合にも、カウント比にほとんど影響を受けないことを意味する。

体積含水量 12.37% の砂上におけるエアギャップ測定方式によるカウント比と線源位置との関係は、エアギャップの厚さをパラメーターとして Fig. 6 に示した。この結果からもエアギャップの厚さが増加するにつれて、測器の応答はそれぞれの線源位置に対して減少し、応答のピークに対応する位置が計器の底面から離れていく傾向が認められる。線源が土壌面より約 10 cm の深さに位置するときは、エアギャップの厚さ  $a$  の大きさに関係なく応答のピークが生じる。

(3) 乾砂層の被覆による測器の応答

砂地圃場では、しばしば乾砂層が土壌表面に発達することはよく知られている。異なった水分コウ配をもつ土壌水分分布に対して、測器の測定上の特性を明らかにするため、ここでは、湿潤土（体積含水量 15.3%）上に乾砂層（体積含水量 3.4%）を被覆し

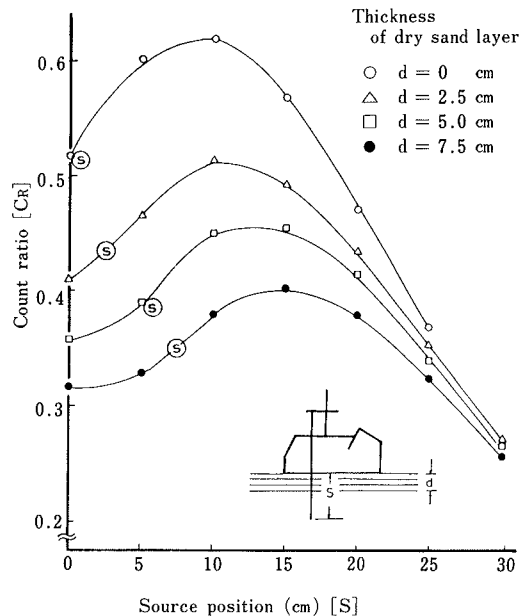


Fig. 7. Response on the gauge due to the presence of a dry sand layer on the soil surface.

た場合の測器の応答を測定した。

その結果として、線源位置  $S$  とカウント比  $C_R$  の関係を乾砂層厚  $d$  をパラメータとして示したものが、Fig. 7 である。

乾砂層の厚さが増加するに従って、測器の応答が減少している。それに伴って応答ピーク値も減少して、そのピーク発生の位置が測器の底面から離れていく傾向にある。この結果は、土壌上のエアギャップ方式による測定結果と類似している。

### 3. あ と が き

実験の結果では、浅層の土壌水分測定には、表面

型水分密度計の後方散乱方式よりも直接透過方式を使用した方が測器の感度が高いことが明らかになった。今後、実験を継続するとともに、種々の土壌水分プロファイルに対して検討する。

なお、この研究の一部は、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. MOUTONNET, P. 1969. Une méthode neutronique de mesure de l'humidité des sols en surface. International Journal of Applied Radiation and Isotopes. 20: 23-27.