

VI-89

土の締固め程度の測定技術に関する研究

—— 散乱型R I 計器の開発 ——

三井建設機	正会員	高田知典
建設省土木研究所	正会員	嶋津晃臣
建設省東北地方建設局	正会員	見波 潔
三井建設機	正会員	中川良文

1. はじめに

締固め施工の自動化・効率化を図るためには、施工中に締固め程度を迅速かつ連続的に計測し、その情報を締固め作業にフィードバックさせるシステムが必要となります。

そこで、筆者らは締固め程度を無人でかつ自動的に計測する締固め計測ロボットを開発し、土の締固め程度をリアルタイムに計測する装置として、散乱型R I 密度・水分計を開発した。

開発に当っては、次の基本的条件を設定した。

- 迅速かつ定量的な計測が可能で、計測結果は施工管理上十分な精度を持つこと
- 所定のエリアを連続的に移動して計測できること
- 非破壊検査であること

具体的な開発課題として、基礎実験（昭和62年度、土木学会全国大会にて報告）で得られた測定範囲（深度）の確保と、連続移動計測時に生ずる計器と計測地盤との空隙の影響を考慮した較正式を得ることとした。

なお、本研究は建設省総合技術開発プロジェクト「エレクトロニクスを利用した建設技術高度化システムの開発」の中の土木研究所を主管とする共同研究の一環として行ったものである。

2. 散乱型R I 密度・水分計

(1) 計器の基本構成

計器を写真-1に、仕様を表-1に示す。

計測時間は、1秒単位で行うことができるが、精度上、十分な計数率を得るためには15秒以上の計測を標準としている。また、計測は計器単体での手動計測ばかりでなく、外部コンピュータからの信号でも計測開始、終了、計測結果の通信などの制御が行える機能を有している。

(2) 測定原理

在来のR I 密度・水分計と同様に、密度計はガンマ線（線源Co-60、線源強度70 μ Ci）が物質と相互作用する性質を利用している。水分計は、高速中性子（線源Cf-252、線源強度30 μ Ci）が水素原子と衝突することにより熱中性子となる性質を利用している。

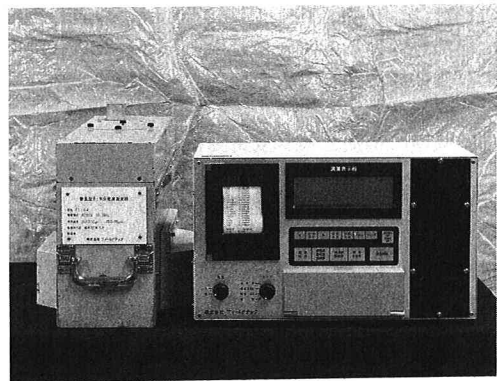


写真-1 散乱型密度・水分計

項 目		内 容
測定方法	密 度	ガンマ線散乱型
	水 分	熱中性子散乱型
測定範囲	湿潤密度	1.00～2.50 t/m
	水 分	0.05～0.90 t/m
測 定 時 間		15秒以上（秒単位任意）
線 源	ガンマ線	2.3MBq (70 μ Ci) Co-60
	熱中性子	1.1MBq (30 μ Ci) Cf-252
外 部 出 力		16ビットパラレルI/F
測 定 指 示 方 法		外部信号指令 パネル操作
そ の 他		測定面との空隙測定機能

表-1 散乱型密度・水分計の仕様

(3) 計測範囲（深度方向）

深さ方向の作用範囲を図-1に示す。

その結果、「土」の計測（密度範囲1.0～2.5g/cm³）では、15～20cmの深さまで計測範囲と見なすことができる結果を得た。

3. 校正実験

(1) 実験方法

実際の土の校正曲線を得るために、鋼製の基準箱にさまざまな密度・水分量の実験地盤を作成して計測を行った。実験地盤の材料は、ローム、シルト質砂、レキ混り砂のうち各2種類を一定の比率で混合し、計30種類の地盤を作成した。締固めは、各試料を強制練りミキサーでよく混合し、均一とした後、ランマを用いて人力で行った。

本計器では、地盤との間の空隙量（以下Gと称す）の変化を考慮した校正曲線を得ることを目的としていることから、Gを0～4 cmの間で1 cmピッチで変化させ計測した。また、計測は十分な測定点と計数率を得るため各地盤ごとに4回、5分計測を行った。

(2) 校正式

空隙と湿潤密度、空隙と水分密度の交互作用を含んだ次のようなモデル式を設定し、回帰分析を行った。

モデル式 : $R = a + bG + c\rho + dG\rho$

目的変数 : R（計数率比）

説明変数 : ρ （湿潤密度、水分密度 gf/cm^3 ）

G（空隙 cm）

この結果、次のような校正式を得た。

湿潤密度の校正式 : （相関計数=0.976）

$R_g = (1.834 + 0.065G) - (0.520 - 0.070G) \times \rho$

水分密度の校正式 : （相関計数=0.996）

$R_m = (0.118 - 0.015G) - (1.730 - 0.261G) \times \rho_m$

過去の研究（土木研究所資料第434号、第580号）では、計測器と対象地盤の間にできる空隙の変動は計測誤差の大きな原因とされました。しかし、本計器では「校正式中に空隙の影響を取り込む」ことにより、原理的には空隙に起因する誤差をなくすることができ、連続移動計測を可能とした。

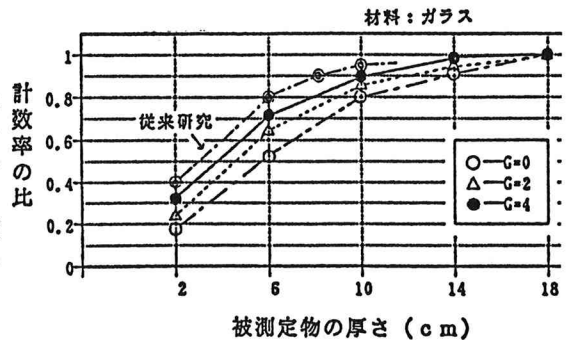
4. おわりに

本計器は、締固め程度の計測のほか、次のような分野への応用が考えられる。

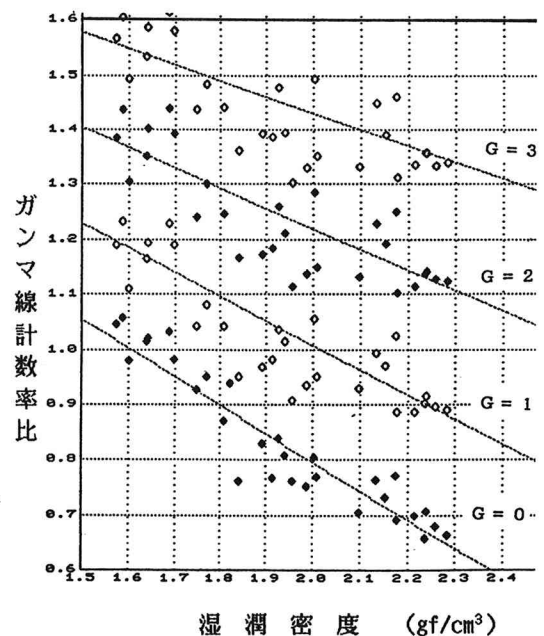
- 不可視部分（型枠背面など）の余掘量の計測
- アスファルト舗装厚・密度の計測
- コンクリート打設時の充填状況の把握 など
- 地質調査（空洞や湧水の確認）
- 低スランブコンクリート（RCD等）の締固め程度の計測

本計器を締固め計測ロボットに搭載することにより、従来の点の計測から、線や面の全数検査を可能とし、計測結果を迅速に締固め施工へフィードバックすることが可能となります。

今後は、計測仕様の検討、精度の向上などの機能向上をはかり、実工事へ適用、実用化を目指したい。



図一 深さ方向の作用範囲（密度計）



図二 湿潤密度の校正



写真一 校正実験

<参考文献>

- ・建設省土木研究所資料 第434号（1969年）、第580号（1970年）：「RI利用による土の現場密度・含水量の測定」