

# ガンマ線密度計のキャリブレーションについて

## —単一校正曲線の作成—

村木義男\* 斎藤 巖\*\* 野原他喜男\*\*\*

### まえがき

近年、散乱型ガンマ線密度計は本邦においても地盤調査、土工の施工管理などの分野において有効に利用されるようになってきた。本器の特徴とするところは、迅速に、非破壊的、個人誤差少なく測定できることである。しかし、本器にはいまだいくつかの問題点がある。その1つは、キャリブレーションに関するものである。従来の測定方法によれば一般に試料種別によって校正曲線が異なってくる。このことは精度低下の原因ともなる。測定者は精度の良い測定値を得るために次のイ)、ロ)のうち、どちらか1つの処置をとらなければならない。イ) 校正試験を試料の異なるごとに行なう。ロ) 規準になる校正曲線を測定ごとに点検し適当な補正をする。これらの処置は、密度計を現場で利用する場合、煩雑な事柄である。しかし、精度の点からは必要なことである。上記の問題は要するに、試料種別によらない単一校正曲線ができればほぼ解決される。

筆者らは、以上の観点から、普遍的校正曲線の作成を目的として諸々の実験を行なってきた。本報告はその一解決法として行なったプローブと試料との間に空気の間

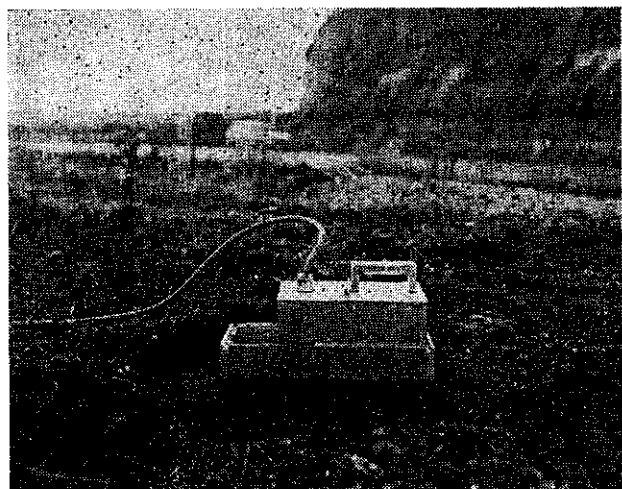


写真-1 間隙法を用いた野外実験（表面型密度計）  
隙を設ける方法（以後、間隙計数比法と呼ぶことにす

\* 応用理化学研究室長 \*\* 同室副室長 \*\*\* 同室

る)について実験結果の概要を述べたものである。

### 1 実験方法

#### 1.1 密度計、校正用容器、実験試料

実験に用いた密度計（表面型・挿入型各1）の諸元を表-1に示す。また、校正用容器の形状寸法を表-2に示す。

実験試料は外観上顕著に質を異にするとと思われる5種類の火山灰を主体に、ローム質構内土、泥炭、浜砂、精選砂利、コンクリート、水も試験に供した。火山灰の主な粒度試験結果および化学分析結果を表-3、4に示す。

#### 1.2 実験方法

火山灰、構内土、浜砂の所要供試体密度は含水量、湿潤密度に適当な変化をもたせ作成した。

RI法：密度計によって計数評価されて湿潤密度をRI法と称す。（本実験では密度計の計測方法に間隙法、試料密着法の2方法を用いる）

JIS法：次の基準密度（湿潤密度）をJIS法と称す。

基準密度 { 室内校正の場合……試料の全体積、全重量より算出したもの。  
野外における場合……砂置換法（JIS A 1214）によるもの。

間隙設定：表面型の場合……高さの異なる木製架台を用いた。（写真参照）

挿入型の場合……試料体のプローブ挿入孔

表-1 密度計の諸元

型式	線源	検出器	電源	備考
表面型	$^{137}\text{Cs}$ 10 mCi	GM管2本	D・C 12V	H社製
挿入型	$^{137}\text{Cs}$ 10 mCi	GM管1本	D・C 12V	H社製

表-2 校正用容器の形状・寸法

材質	形状	寸法 cm		積み重ね枠	備考
		縦×横×深さ			
鉄製	箱型	60×60×20		10 cm 1段, 5 cm 4段	表面型用
鉄製	円筒型	80φ×100 h			挿入型用

表-3 火山灰粒度試験結果

試料名	レキ分 %	砂分 %	シルト分 %	粘土分 %	最大径 mm	60%径 mm	10%径 mm	均等係数	200μフルイ通過率 %	420μフルイ通過率 %	74μフルイ通過率 %	三角座標法による分類
美々細粒火山灰	11.5	59.3	29.2			0.4		—	88.5	62.3	29.2	砂質ローム土 粘
美々粗粒火山灰	9.0	81.0	—	—	9.52	0.9	0.2	4.5	91.7	16.6	10.2	砂
旭川台場火山灰	7.0	65.4	—	—	9.52	0.41	—	—	92.7	61.4	28.1	砂
足寄火山灰	6.0	92.4	—	—	19.1	0.33	0.09	3.7	93.9	66.3	0.8	砂
柏原火山灰	19.8	50.6	29.6			0.6	—	—	80.2	47.8	29.6	砂質ローム土 粘

表-4 化学分析結果

試料名	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Mg <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig. Loss	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	合計
美々細粒火山灰	65.57	4.64	—	16.28	—	2.6	0.96	—	—	5.29		95.34
美々粗粒火山灰	53.7	4.1	7.0	16.7	0.07	8.2	5.2	2.8	0.72	0.4	0.1	98.99
旭川台場火山灰	72.3	1.2	1.0	14.6	0.06	2.2	0.11	—	—	2.5	0.4	94.37
足寄火山灰	73.4	1.3	1.0	14.1	0.07	1.3	0.38	—	—	2.6	0.5	94.65
柏原火山灰	47.76	10.37	—	19.43	—	5.81	3.54	—	—	13.83		100.74

を直径の相異なる硬化塩化ビニール管などで穿孔し、間隙を変化させた。

間隙計数比：〔ある間隙における計数率/試料に密着した時の計数率〕をいう。

試料密着計数比：〔試料に密着した時の計数率/標準体の計数率〕をいう。（一般に行なわれている計数比の表示法）

2 実験結果

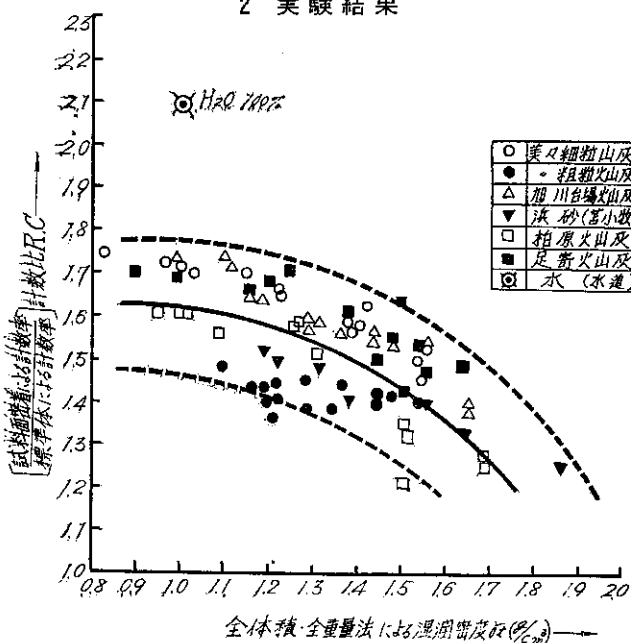


図-1 試料密着法による湿潤密度校正曲線(表面型)

A 表面型の場合

2.1 試料密着計数比(これまでの方法)による校正曲線

現在、一般に行なわれている試料密着計数比と基準密度との関係を示したのが図-1である。図から明らかなように、各試料によって密度はかなりのばらつきが認められる。われわれが、単一校正曲線で全試料の密度を表わそうとすると当然精度は低下する。しかし、土質別に校正曲線を作成することも煩雑であり、現場向きではない。検討を要する1つの課題である。

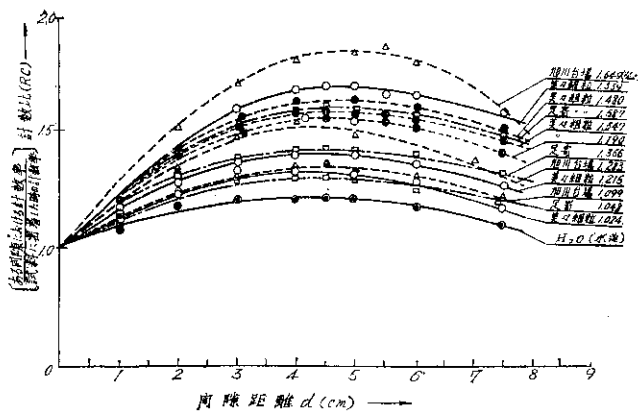


図-2 間隙設定時の計数比特性(表面型)

## 2.2 試料体とプローブ間隙設定時の特性

試料体と計器間に間隙を設け、その距離を次第に変えた場合の計数比の変化の割合を図-2に示す。この図より次のことがいえる。計数比～間隙距離  $d$  間には、 $d$  が 0 より次第に増加すると計数比も 1.0 より次第に大きくなり、 $d=4\sim 5\text{ cm}$  において最大値を示す。次に  $d$  がさ

らに大きくなると計数比は次第に減少して行く。計数比の最大値は、各試料種別、密度によって異なり、一定の関係を示さない。しかし、ここでわれわれは1つの共通点を見いだす。すなわち、計数比はいずれの種類の試料、密度にかかわらず約  $4\sim 5\text{ cm}$  の間隙距離で最大値を示すことである。

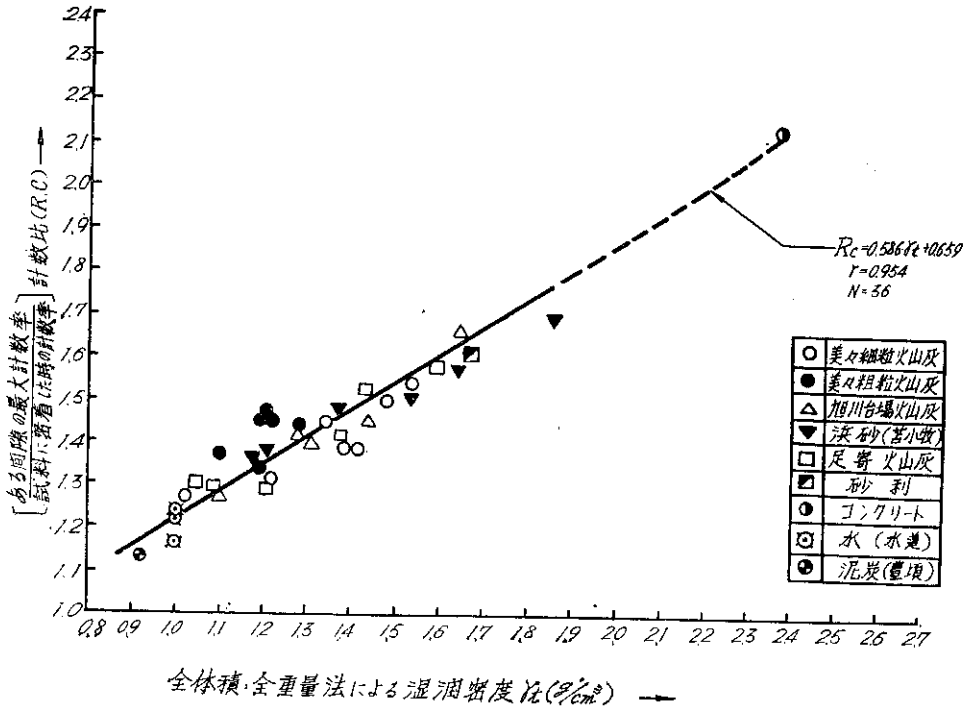


図-3 間隙設定時の最大計数比～湿潤密度校正曲線 (表面型)

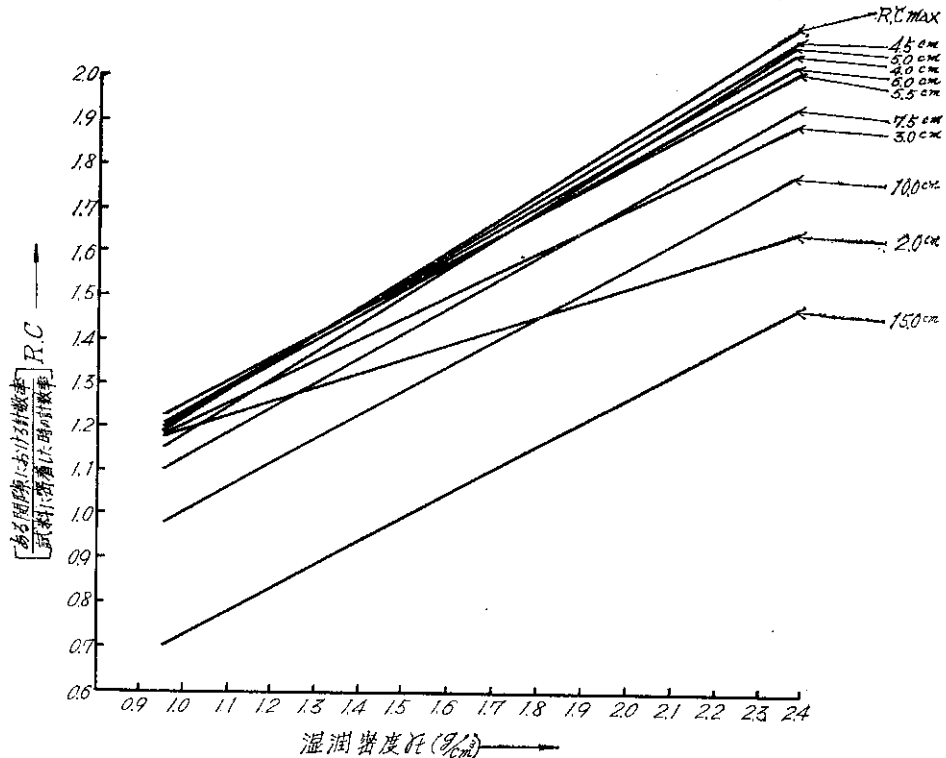


図-4 間隙距離をパラメーターとした時の計数比～湿潤密度との関係 (表面型)

### 2.3 間隙計数比による校正曲線

間隙設定時の計数比と密度との関係の一例を図-3に示す。図に示された計数比は、間隙距離4~5cmで得た最大計数比である。図-3と図-1を比べた場合、われわれは、図-3のほうの計数比~密度の相関性が著しくよくなったことを認めることができる。すなわち、間隙法を適用すると、これまで普通に行なわれている試料密着計数比による校正曲線より偏差の少ない一義的関係が得られる。この間隙法によれば、これまで改善法として推奨されている敷砂法などよりもより簡便にしかも精度のよい単一校正曲線が得られる。

次に、間隙距離をパラメーターとして計数比と密度の関係を示したのが図-4である。図-4より、われわれは次のことがわかる。すなわち諸種の材料の密度を単一校正

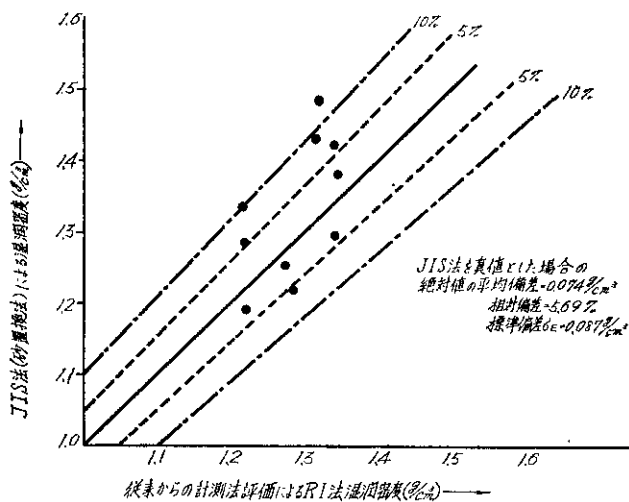


図-5 表面型密度計の試料密着計測による密度とJIS法による密度との比較

正曲線で表わすためには、間隙距離2cm以上を設定して測定する必要がある。しかし、各間隙距離によって校正曲線の分解能は異なり、最大計数比を示す距離で得た校正曲線の分解能が最も良好である。

### 2.4 野外における比較

当土木試験所美々試験道路地内において次の比較実験を行なった。イ) 砂置換法とRI法(試料密着法)の比較, ロ) 砂置換法とRI法(間隙法)の比較, ハ), イ)とロ)間の比較。

イ), ロ)の結果を図-5, 6に示す。イ)において平均偏差0.074g/cm³, 相対偏差5.69%, ロ)では平均偏差0.038g/cm³, 相対偏差3.19%となった。図-5と図-

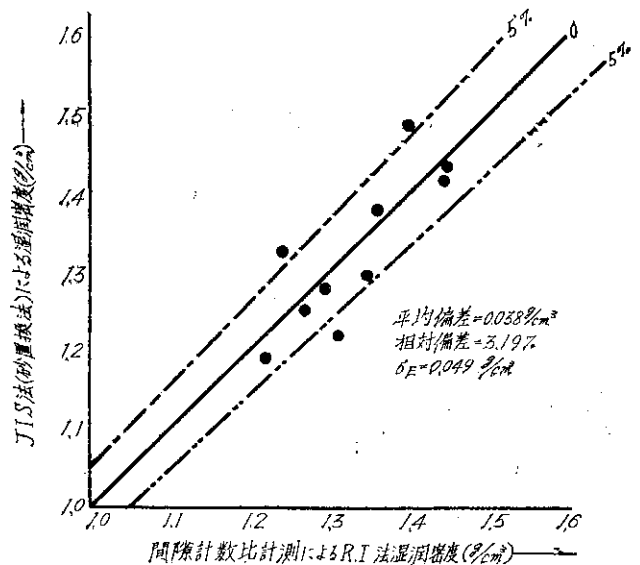


図-6 表面型密度計の間隙計数比測定法(d=4.5cm)による密度とJIS法による密度の野外実験比較

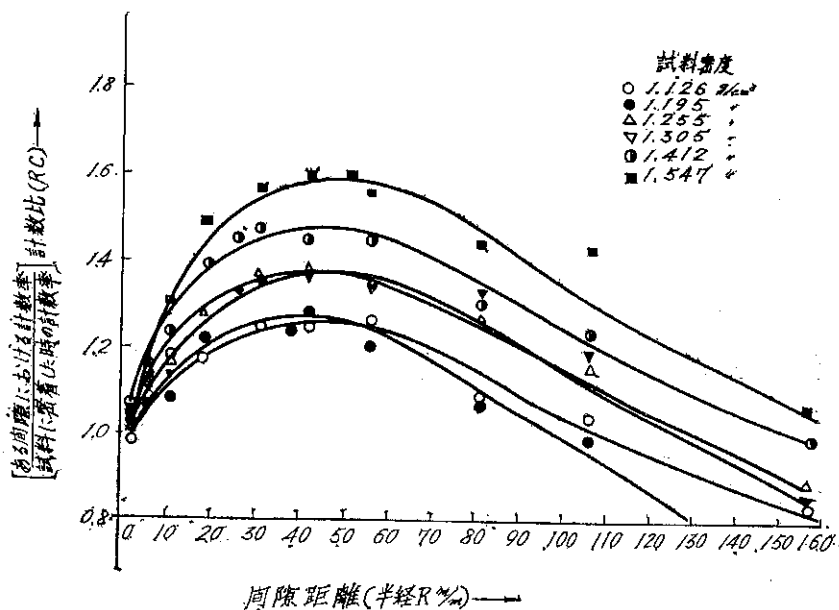


図-7 挿入型密度の旭川台場火山灰に対する間隙距離(半径)と計数比の関係

6の比較からわかるように精度はロ)のほうがすぐれている。イ)に比べて約2倍の精度向上を示した。(ただしイ)の場合の校正曲線は現地土の校正より作成した。また、ロ)の校正曲線は間隙距離4.5cmの校正曲線を用いた)われわれは、本現地比較実験によって間隙法の実用性がわかった。

## B 挿入型の場合

### 2.5 試料体とプローブ間隙設定時の特性

挿入型密度計において、試料体とプローブ間に故意に間隙を設定し、間隙の大きさ(半径)を変化させると間隙計数比も変化する。一例を図-7に示す。図-7からわかるように、計数比は約4~5cmの間隙半径で最大値を示す。この特性は表面型と同様、試料種別、密度にかかわらず共通の性質である。

### 2.6 間隙計数比による校正曲線

挿入型密度計の間隙計数比と密度との関係は良好な一義的關係を示す。一例として図-8は、間隙半径4~5cm(最大値を生ずる間隙距離)で得られた密度と間隙計数比の関係を示したものである。挿入型の校正用試料体は間隙設定操作が表面型に比して均一性を保持しがたい。しかし、相関係数は $r=0.964$ となった。参考までに図-1に対応する密着計数比(これまでの方法)による校正曲線を示したのが、図-9である。図-8と図-9を比

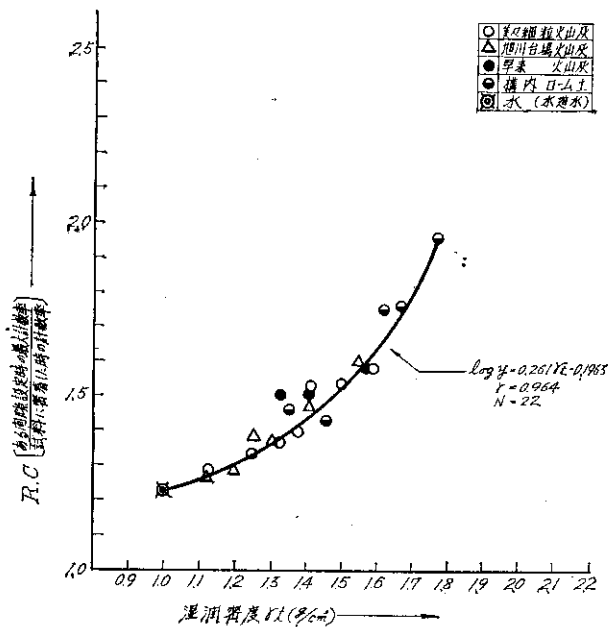


図-8 湿潤密度と間隙最大計数比法による R I 校正曲線 (挿入型密度計)

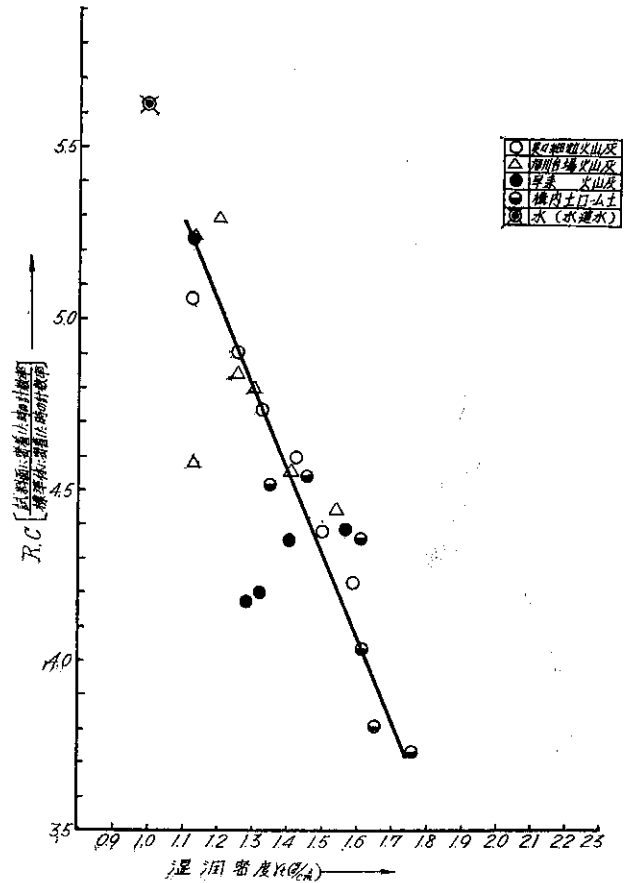


図-9 湿潤密度と試料密着計数比法による R I 校正曲線

較すると、間隙法で求めた校正曲線図-8のほうがより良い一義的關係を示している。われわれは、試料種別に影響されない単一校正曲線を作成するのに表面型、挿入型とも間隙法による測定が有用であることを確認した。

## あとがき

散乱型ガンマ線密度計において精度の問題は大きな課題である。帰するところは試料種別による校正曲線の変動の改善にあるといってもよい。これまでの解決方法としてはよりよくプローブを試料に密着させるという立場で研究されている。われわれはこれと違う立場すなわち試料との間に間隙を設ける方法について研究を行なった。今回の実験により、火山灰、ローム質土、泥炭、浜砂、精選砂利、コンクリート、水など各種の土木材料の密度がこの間隙法により単一校正曲線で示されることがわかった。ただし、挿入型の場合の間隙法の適用は、実用上難点がある。今後、研究を進めるべき1つの課題であると考え。なお、本研究の詳細はおって試験所所報で報告する予定である。