

土木研究所資料

第 434 号

R.I. 利用による土の現場密度・含水量の測定

昭和 44 年 2 月

建設省土木研究所

目 次

まえがき	1
第1章 測定原理	3
1-1 概 説	3
1-2 ガンマ線密度計	4
1-3 中性子水分計	10
1-4 校正曲線の線形	13
第2章 計器および付属装置	15
2-1 プローブ	15
2-2 スケーラー	23
2-3 標準体	23
2-4 貯蔵庫	26
2-5 タイマおよびストップウォッチ	27
第3章 校正曲線	29
3-1 校正容器	29
3-2 校正実験	32
3-3 校正曲線	69
第4章 計器の作用範囲	85
4-1 計器の作用範囲	91
4-2 垂直方向の測定の重み	112
4-3 成層試料に対する測定	115

第 5 章	測定の精度	1 2 5
5 - 1	放射線の統計的揺動	1 2 5
5 - 2	計器の安定性	1 2 9
5 - 3	校正曲線の正確度	1 4 4
5 - 4	計器と試料との空隙による影響	1 4 5
5 - 5	アクセスパイプの継目の影響	1 5 5
5 - 6	標準体の材質、位置による影響	1 5 7
5 - 7	ストップウォッチによる測定の個人差の影響	1 6 1

第 6 章	現場測定例	1 6 3
6 - 1	盛土転圧面での比較測定	1 6 3
6 - 2	アースダムのコア締固め現場での比較測定	1 7 6
6 - 3	挿入型計器の現場測定例	1 8 8

第 7 章	計器使用上の問題点	1 9 1
7 - 1	被曝放射線量	1 9 1
7 - 2	放射線の統計的揺動	1 9 2
7 - 3	計器の安定性	1 9 2
7 - 4	校正曲線	1 9 3
7 - 5	計器と試料面との密着性	1 9 3
7 - 6	作用範囲	1 9 4
7 - 7	物質の組成による影響	1 9 4

第 8 章	結 び	1 9 7
あ と が き		1 9 9
参 考 文 献		1 9 9
附 録		2 0 1

ま え が き

土の物理的状態をあらわすものとして、その密度および含水量は重要な要素である。土の現場密度および含水量の測定手段として従来は密度に対して置換法（砂、油、水等）、コアカッター法、ブロック法等が行なわれ、含水量に対しては加熱減量法（炉乾燥法、フライパン法、アルコール燃焼法、赤外線法等）、ピクノメーター法、電気抵抗法、カーバイト法等が行なわれており、これらはいずれも破壊試験である。最近これらの方法に対して全く新しい測定原理にもとづいた測定手段が開発されて実用の段階に入りつつある。これはR I（ラジオ・アイソトープ）を利用したガンマ線密度計と中性子水分計であり従来法と比較して次のような利点を有しており今後広く実用化されるものと考えられる。

- (イ) 測定が非破壊的であること。それ故に同一箇所の繰返し測定が可能である。
 - (ロ) 測定時間が短い（2～3分程度）。
 - (ハ) 取扱いが簡単で個人誤差の介入が少ない。
 - (ニ) 適切な使用法によりかなりの精度が期待できる。
- ところで欠点としては次のことがあげられる。
- (イ) 購入価格が高価であること。
 - (ロ) 複雑な電子回路を有しており計器の安定性が充分でない。
 - (ハ) 人体に有害な放射線を放出する。

しかしこれらの欠点も計器の改良研究が進むにつれて改善されていく可能性が充分にあるようである。

本報告は施工研究室において道路事業調査費「土工管理に関する試験調査」の一環として調査されたガンマ線密度計および中性子水分計に関するものであり、校正曲線の作成、計器の作用範囲、測定の精度、使用上の問題点、

現場測定方法等の調査と現場における測定、従来法との比較を実施し、R I
計器の実用性について検討した。

なお現場における測定手順等は土木試験基準の KDSK-0908 および
KDSK-0908 および KDSK-0911 を参照されたい。

第1章 測定の原理

1-1 概 説

密度計においては、ガンマ線源からのガンマ線と、被測定物質中の電子との相互作用の結果生ずる散乱ガンマ線のパルスと、吸収ガンマ線のパルスを計測する2つの方式がある。前者は、散乱型密度計といわれるもので一般に、土を構成するような比較的軽い原子（原子番号30以下）において、水素原子を除けば、質量数と、電子数の関係は、約2:1の比である。

物質の電子密度と散乱ガンマ線との関係はそのまま物質の密度と散乱ガンマ線との関係に大体おきかえることができる。

このような関係を利用して、密度を測定するものである。

後者は透過型密度計といわれるもので、ガンマ線が物質中を通過するさいに、そのエネルギーを消失していくことを利用したものである。

物質によって、そのエネルギーの消失される割合（吸収という）が、原子番号30以下（銅までの元素）において、水素原子を除けば、物質の吸収係数は、ほぼ一定であり、その物質の密度のみに関係してゐる。

この関係を利用して、物質の密度を測定するものである。

実際に、現場などで測定する場合には、あらかじめ、校正実験を行い、密度と、ガンマ線の計数率との関係を求めておかなければならない。

水分計の原理は、中性子源から、速度の遅い中性子（遅中性子）と、被測定物質中に含まれている水素原子との相互作用を利用するものである。

遅中性子は、水素原子に弾性衝突して、急激に減速さ、速度の遅い中性子（低速中性子、熱中性子）となる。

この減速は、水素原子以外の原子でも起るが、この現象は、水素原子と比較すれば、桁はずれに小さく、ほとんど問題にならない。

遅中性子の水素原子における減速は、被測定物質中の水素量と、ほぼ比例

関係にある。

この関係を利用したもので、通常土に含まれている水素原子は、 H_2O (水分)のかたちで存在している場合が多い。いかえると減速された中性子を測ることで、土中の水分が、測定されることになる。
現場で、実測するにあたっては、密度計と同様に、あらかじめ校正実験により、含水量と、減速された、熱中性子パルスとの関係を得ておかなければならない。

1-2 ガンマ線密度計

ガンマ線の背面散乱を利用して測定する方式と、ガンマ線の透過を利用して測定する2つの方式がある。

(1) 背面散乱型密度計

ガンマ線のエネルギーの0.5～0.3 MeVのものが、原子番号20程度の軽い元素に入射した場合のガンマ線と物質の相互作用は、コンプトン散乱が、もつとも優勢となる。
コンプトン散乱による吸収係数 Σ_c は、電子の散乱断面積 σ と、物質の単位体積あたりの電子数 $\rho N_0 Z/A$ との積で示される。

$$\Sigma_c = \rho N_0 \sigma Z/A \quad (式 1)$$

ここに ρ : 物質の密度 (g/cm³)、 σ : 散乱断面積 (cm²)

Z : 原子番号 (原子核中の陽子の数)

N_0 : アボガドロ数 (6.023 × 10²³ mol⁻¹)

A : 質量数 (原子核中の陽子と中性子の数の和)

Z/A は、表1-1に示すように、水素を除いてほぼ0.5である。

実際の土においては、水素のみにて存在することは非常に少なく通常 H_2O の形で含まれることが多いので水素の吸収係数に与える影響を、物質の含水比との関係で、見かけの密度1の物質の含水比よりその影響を計算すると、表1-2のようになる。

また水(H_2O)の吸収係数はある一定のガンマ線のエネルギーに対して他の物質と変らない。(表1-3)

したがって、吸収係数は、物質の種類によらず、ほとんど密度 ρ のみによつて決定される。また散乱についても、同じことがいえる。

表1-1 種々の元素のZ/A

元 素	H	Li	B	C	N	O	Na	Mg
Z/A	1.000	0.432	0.462	0.500	0.500	0.500	0.478	0.500

元 素	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Fe
Z/A	0.482	0.500	0.484	0.500	0.486	0.487	0.500	0.465

表1-2 見かけの密度1の物質の含水比による影響

含水比	水分密度	影響する割合
20 %	0.167	0.93 %
40	0.286	1.59
60	0.375	2.08
80	0.444	2.46
100	0.500	2.77
110	0.524	2.91
120	0.545	3.03

ガンマ線源と検出器の間に、適当なしゃへいを置き、線源から直接ガンマ線が、検出器に到達しないようにすることにより、散乱ガンマ線のみを検出することができる。

物質中に置かれた点状のガンマ線源が、微小体積 ΔV の中の電子によって、1回散乱後観測点に到達する散乱線束 $d\phi$ は、

$$d\phi = \frac{S}{4\pi r_0^2 r_1^2} \exp[-(\mu_0 r_0 + \mu_1 r_1) N_0 \rho Z/A] \left(\frac{N_0 Z}{A} \Delta V \frac{d\sigma}{d\pi} \right) \quad (1-2)$$

であらわされる。(図1-1)

ここに

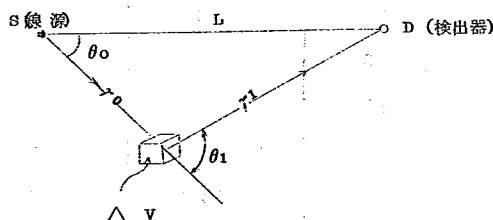
S : ガンマ線の強度

r_0, r_1 : 線源から ΔV までおよび ΔV から観測点までの距離

$d\sigma/d\pi$: Klein-Nishinaの散乱角 θ_1 に対する微分散乱断面積

よつて示めされた線源を囲む物質からの全散乱線束は、物質の体積を積分したものになる。

図1-1 ガンマ線の散乱



実際においては、観測点に到達する散乱線は、1回散乱によるものばかりでなく、2回散乱、あるいは、多数回の散乱についても、考えなければ

ならない。

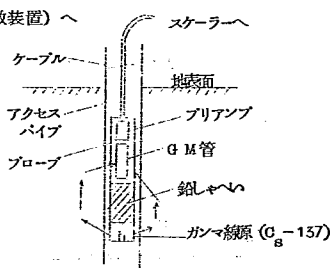
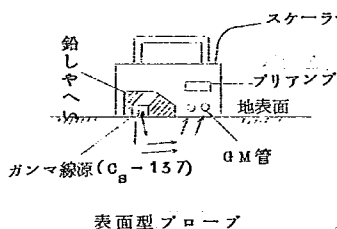
ガンマ線源としては、 $Co-60$ や、 $Cs-137$ などが使用されているが、ここでは、 $Cs-137$ を使用している。

プローブ（検出部）の形式として、地表面付近を測定する表面型プローブと、ボーリング孔を介して、地中深部を測定する挿入型プローブとがある。（図 1-2、図 1-3）。

いずれも、通常 $0.9 \sim 3.9 g/cm^3$ 程度の範囲の測定が可能である。

図 1-2

図 1-3



(2) 透過型密度計

ガンマ線は、物質中を通過するとき、エネルギーを消失してゆく、(主に光電効果、コンプトン散乱、電子対生成の3つの現象による)、これらは、物質の構成元素の原子番号 (Z) と、ガンマ線の振動数 (ν) によるエネルギーによって定まるが、実際の現象は、非常に複雑である。

いま強さ I_0 なる一定のエネルギーをもつたガンマ線が、図 1-4 に示すような厚 X 、密度 ρ なる吸収体を通して、検出器に到達するガンマ線のビームの強度 I は、次のようになる。

$$\Delta I = -\mu \times I_0 \Delta X \dots\dots\dots (1-3)$$

$$I = I_0 e^{-\mu x} \dots \dots \dots (1-4)$$

ここで、 μ_x は線吸収係数で、 cm^{-1} のディメンションをもち、物質の吸収能力を表す。

線吸収係数のかわりに、質量吸収係数 ($\mu_m = \mu_x / \rho$) を用いると (1-4) 式は、次のように表わされる。

$$I = I_0 e^{-\mu_m \rho X} \dots \dots \dots (1-5)$$

質量吸収係数は、ガンマ線のエネルギーによつて変化するが、0.3 MeV ~ 3 MeV のエネルギーでは、表 1-3 に示すように、水素を除いて、銅までの元素では、種類によらず、ほぼ一定値をとる。

図 1-4 ガンマ線の透過と吸収

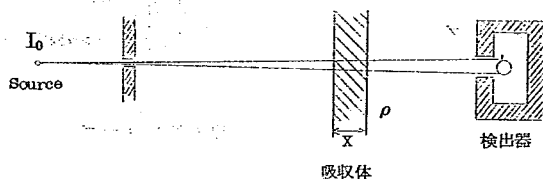


表 1-3 0.6 Mev に対するガンマ線の質量吸収係数

元 素	H	C	N	O	Na	Al	Si
質量吸収係数 (cm ² /g)	01600	00805	00805	00805	00770	00779	00805
元 素	Ca	Fe	Cu	Aier	H ₂ O	Concrete	
質量吸収係数 (cm ² /g)	00813	00769	00760	00804	00894	00604	

(C_B - 137 のガンマ線のエネルギーは 0.66 Mev)

密度計の場合、I₀ は一定値であるから、I は、 $\mu_x x \rho$ の指数関係であるので、x を一定にとることにより I は ρ の変化によって定る。

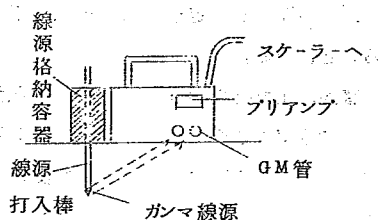
図 1-5 に示した透過形密度計では、線源から放出されるガンマ線は、あらゆる方向に放射されるので、吸収体に散乱され、検出されるガンマ線も考慮しなければならない。よって (1-5) 式は次のようになる。

$$I = I_0 e^{-\mu_m x \rho} \cdot B \dots (1-6)$$

ここで、B は、ビルドアップ係数で、次のように定義されている。

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{\text{全入射ガンマ線数}}{\text{散乱を受けない入射ガンマ線数}} \\
 &= 1 + \frac{\text{散乱を受けたガンマ線数}}{\text{散乱を受けない入射ガンマ線数}} \dots (1-7)
 \end{aligned}$$

図 - 1 - 5



1-3 中性子水分計

水素原子核の中性子減速能が、他の物質の原子核の中性子減速能に比べて、非常に大きいことを利用して、単位体積あたりの水素原子の数を測定するものである。

プローブの周囲に、物質があるとき、速中性子は、物質を構成している元素の原子核と衝突して散乱と減速が起る。中性子に対する種々の元素の核的性質を表1-4に示す。

表からわかるように、水素原子1ヶ当りの減速能は、他の元素に比べて非常に大きいし、速中性子が熱中性子になるまでの衝突回数は、他の元素と比較しても、異った性質を示す。

物質中に作り出される熱中性子束は、ほとんど水素原子密度によって定まる。

したがって、速中性子源のごく近くに、熱中性子検出管を配置することにより、熱中性子の測定をすることで、周囲の物質中の水素原子の密度を測定することになる。

普通、土などの物質では、水素原子は、ほとんど H_2O の形で含まれているので水素原子密度を測定することは水分を測定することになる。しかしながら、周囲の物質中に、熱中性子吸収断面積の大きな元素、例えばB, Fe, CaF_2 , Mn, Caなどが、多量に含まれる場合は誤差が生ずるので、補正をしなければならない。

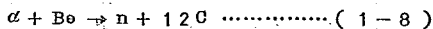
また附着水と結晶水の区別ができず、OH, CHなどの区別ができない。

中性子源としては、Am-Be, Ra-Beなどがあるが、Ra-BeはRaからの強度の γ -線^{ガンマ}を放出するので、現在では、ほとんど使用されず、Am-Beが多く使用されている。

表 1-4 中性子に対する種々の元素の核的性質

元 素	質 数 量	エネルギー対数 の平均減少率 ξ	熱中性子の 吸収断面積 σ_a (barn)	平均散乱 断面積 σ_s (barn)	原子 1 個当 りの減速能 $\sigma_s \times \xi$
H	1.00	1.00	0.332	3.8	3.8
Li	6.94	0.268	7.10	1.4	0.37
B	10.82	0.171	7.95	4	0.68
C	12.01	0.158	0.0032	4.8	0.76
N	14.01	0.136	1.88	10	1.36
O	16.00	0.120	0.0002	4.2	0.50
Na	22.99	0.084	0.525	4	0.34
Mg	24.32	0.081	0.069	3.6	0.29
Al	26.98	0.072	0.241	1.4	0.10
Si	28.09	0.069	0.16	1.7	0.12
P	30.98	0.063	0.20	5	0.32
S	32.07	0.061	0.52	1.1	0.07
Cl	35.46	0.056	3.38	1.6	0.90
K	39.10	0.050	2.07	1.5	0.08
Ca	40.08	0.049	0.44	3	0.16
Ti	47.90	0.041	5.8	4	0.16
Cr	52.01	0.038	3.1	3	0.11
Mn	54.94	0.035	13.2	2.3	0.08
Fe	55.85	0.035	2.62	11.8	0.39
Ni	58.71	0.033	4.6	17.5	0.58
Cu	63.54	0.030	3.85	7.2	0.22
Gd	112.41	0.017	2450	7	0.12
H ₂ O	18.00	0.948	0.9	10.7	10.14

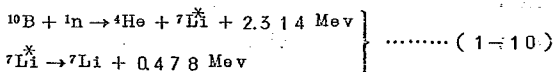
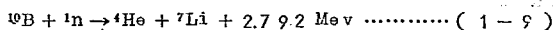
Am-Be の反応式を次に示す。



α : Am から放出されるアルファ線

n : 中性子, エネルギーは 13.6 Mev である。

熱中性子カウンターとして, BF₃ (三フッ化ホウ素) が使用されているが, これは熱中性子との間に起る次の反応を利用したものである。



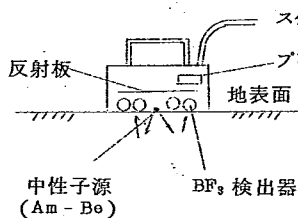
(1-9) 式または, (1-10) 式に分れる割合は, 中性子のエネルギーに依存している。

熱中性子では, (1-10) 式の反応が 93% を占めている。

プローブの形式としては, 密度計の場合と同様に, 表面形プローブと挿入形プローブがある (図 1-6, 図 1-7)。

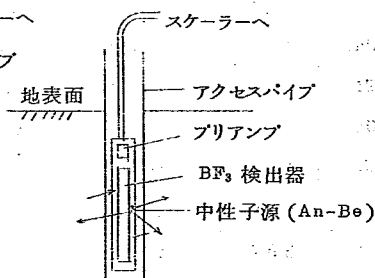
測定範囲は, 0 ~ 1.0 %_{cl} の水分密度の測定が可能である。

図 1-6



表面型水分計

図 1-7



挿入型水分計

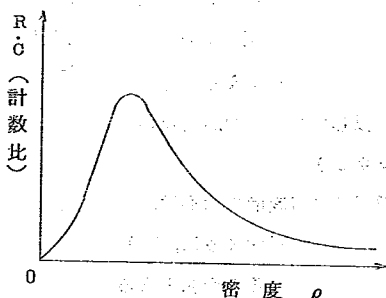
1-4 校正曲線の線形

校正曲線の線形は、散乱型密度計では、密度と計数比 ($R.C$) との関係は図 1-8 に示すような曲線となる。

図 1-8 散乱 r -線と密度の関係

密度 $\rho = 0$ のとき r -線の散乱・吸収はなく、したがって $R.C = 0$ となる。

物質の密度 ρ がある低い範囲 ($\rho = 0 \sim 1.0$) では計数比 $R.C$ は、密度が大きくなるにつれて、大きくなり、最大に達する。



これを境として密度が無限大に大きくなれば計数比 $R.C$ も 0 に近づいてくる。

これらの現象は、計数比 0 から最大になる範囲は、 r -線光子の散乱のみによる現象であり、その後は散乱と吸収の両方の作用で、密度が大きくなればなる程、吸収作用が大きくなっていくからである。

Homilius が密度 $0 \sim 2.0$ までの間で、理論的に求めたものでは、 $R.C$ の最大値は密度が 0.75 くらいのところに現れている。

この最大値の位置は、 r -線源と検出器 ($G-M$ 管) との間隔に関係があり、線源と検出器との間隔が縮まるにつれて $R.C$ の最大値は密度大なる方へ移動する。

実際に使用する範囲は、計数比 $R.C$ の最大から下降する範囲である。

使用密度範囲は、 $1.0 \sim 3.0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ で、この間の計数比と密度との関係は、ほぼ直線で近似することができ、 $R.C = -a\rho + b$ なる式で表している。

中性子水分計の線形は、図 1-9 に示すような曲線になる。

水分密度 $M = 0$ で $R.C = 0$ となる。

水分密度 $M = 1.0$ は水を表すことになる。このとき $R.C.$ は最大となる。

水分密度が約 0.8 以下で少しカーブしてくるが、実用使用範囲 ($0 \sim 0.8$ 以下) では、 $R.C. = aM + b$ なる直線式で近似しても差がつかえない。
($b \neq 0$)

透過型の密度計の線形は、図 1-20 に示すように、 $R.C.$ を対数目盛にとると直線となる。

これは r_0 線が密度 ρ なる吸収体を通過するさいに、 r_0 線が吸収され r 線エネルギーの減衰を表したもので、 $\rho = 0$ のときエネルギーの減衰は 0 であり、 $R.C.$ は最大となる。

$\rho = \infty$ ならば、 $R.C.$ は 0 に近づいていく。

この関係式は

$R.C. = ae^{-b\rho}$ なる式で表される。

ここで a, b は定数である。

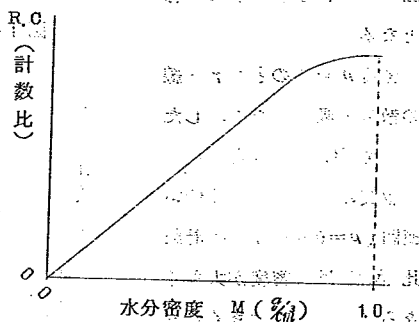


図 1-19

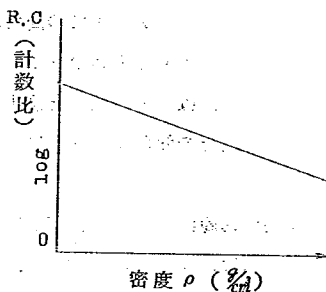


図 1-20

第2章 計器及び付属装置

計器は、プローブ（検出部）とスケアラ（計数部）より構成されている。

2-1 プローブ

プローブは、ガンマ線背面散乱型密度計の表面型プローブと挿入型プローブ、中性子水分計の表面型プローブと挿入型プローブ、ガンマ線透過型密度計の表面型プローブと挿入型プローブがある。ここでは、ガンマ線透過型密度計においては、表面型のみ取扱った。

(1) ガンマ線背面散乱型密度プローブ

(a) 表面型密度プローブ（写真2-1）

測定は、測定対象物の表面にプローブを置き、その表面の密度を測定するもので、ガンマ線源としては、Cs-137 10 mCiを用い散乱線のパルスを計測するための検出器として、ハロゲンガス封入のG-M管（ハロゲンカウンター）2本を使用している。

このハロゲンカウンターでの計測で、計数値を増幅し、安定させるためにプリアンプを使用してある。

構造の概略図を

図2-1に示す。

使用したプローブは、日立製作所製PG-4型で、プローブ寸法は、長30.1cm 幅15.8cm 高さ10.7cmで、重さは19.8kgである。

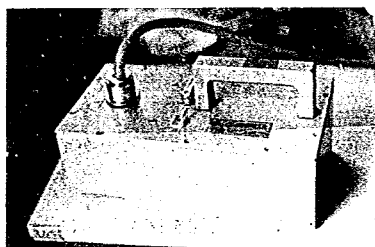
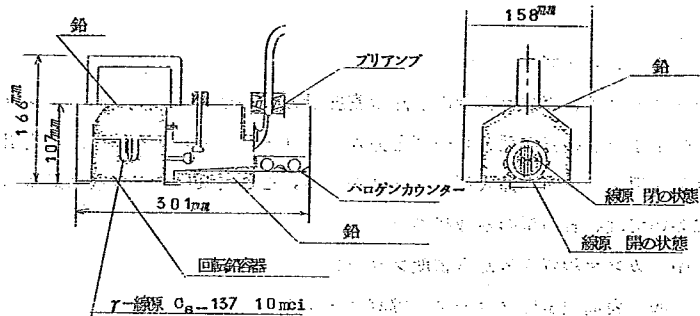


写真2-1 表面型密度プローブ

図 2-1 表面型密度プローブ構造図



(b) 挿入型密度プローブ (写真 2-2)

挿入型は、測定対象物中にボーリングの穴をあけ、プローブのガイドパイプ (内径約 47mm のアルミニウムパイプまたはケーシングチューブ) をあらかじめ埋設し、そのパイプの周囲の密度を測定する。

原理は、表面型密度計と同じであるが、表面型の測定範囲が 2π の半球状の体積内の密度測定にくらべて、 4π の球体体積内の密度を測定することができる。

構造の概略図を図 2-2 に示す。

線源は Cs-137、10mCi

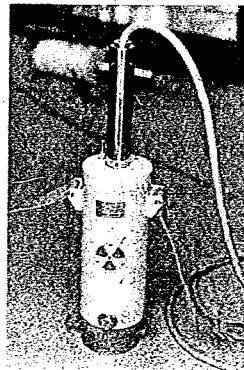
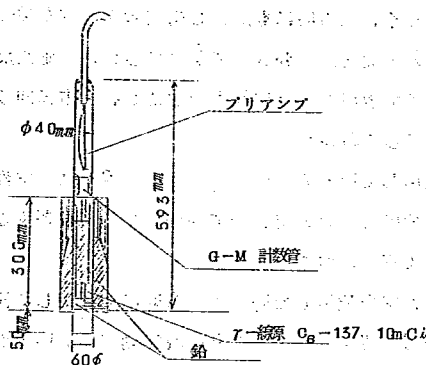


写真 2-2 挿入型密度プローブ

で検出管には、パロゲンカウンターを1本使用している。

使用したプローブは、日立製作所製PG-3形で、プローブの寸法は、長59.3 cm、径4.0 cm、重さ24.1 kgである。

図2-2 挿入型密度プローブ構造図



(2) 中性子水分プローブ

(a) 表面型水分プローブ (写真2-3)

測定は、測定対象の表面にプローブを置きその表面の水分量を測定するものである。

中性子源としては、

A m-B e、60 mCi

を用い、熱中性子のバ

ルスを計測するための

検出器として、BF₃

比例計数管 (BF₃ カ

ウンター) が4本並列

に接続されていて、こ

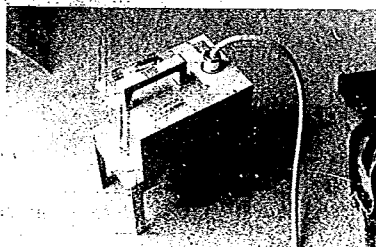


写真2-3 表面型水分プローブ

れからの入力パルスを増幅し、安定させるために、プリアンプが取付てある。

構造の概略図を図2-3に示す。

中性子源としてAm-Be 60 mciを使用する前にはRa-Be 5 mciを使用していたが中性子の他に、Raから強度の γ 線を下方向ばかりでなく、上方向にも放出し測定者が γ 線を被曝する恐れがあるので、線源の上面を鉛でおおつて防いであつた。また反射板を設けて、上方向に向けて放出された中性子を散乱し、下方に向う中性子の量を増加するようにしてあつた。

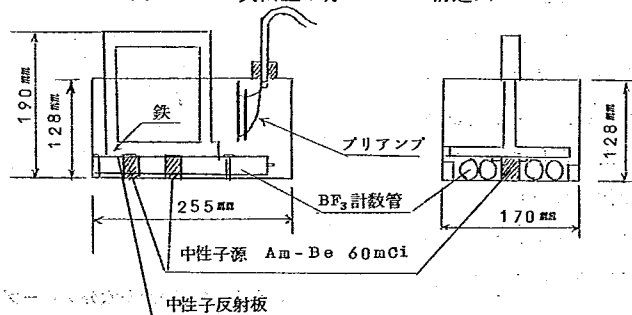
現在使用しているAm-Be 60 mCiは、中性子の他にはほとんど γ 線を放出しないので、鉛でおおつて防ぐ必要もなくなり、水分計自体の重さも軽くなつた。

また、 γ 線を放出しないので、密度計と併用して測定しても水分計による γ 線の影響を受けなくなり、現場測定において能率的になり、測定者の被曝の恐れもなくなつた。

Am-BeとCs-137と一緒に計器に組みこまれて水分量と密度を同時に測定できる計器も開発されている。

使用したプローブは、日立製作所製PB-2形で、プローブの寸法は長25.5 cm、幅17.0 cm、高さ12.8 cm、重さ6 kgである。

図2-3 表面型水分プローブ構造図



(b) 挿入型水分プローブ (写真 2-4)

原理は表面型水分プローブと同じであるが表面型の測定範囲が 2π の半球状の体積内の水分量を測定するのにくらべて、 4π の球体状の体積内の水分量を測定することができる。

挿入型は、表面型の表面測定に対して、測定対象物の深部の水分量を計る。これは測定対象物にあらかじめボーリング孔をあけ、プローブのガイドパイプを埋設して、その周囲の水分量を測定する。

中性子源は、 $\text{Am-Be } 30 \text{ mCi}$ を使用している。

構造の概略図を図 2-4 に示す。

使用したプローブは、日立製作所製 PB-1 形で、プローブの寸法は、長 52.8 cm 径 4.0 cm 重さ 5.0 kg である。

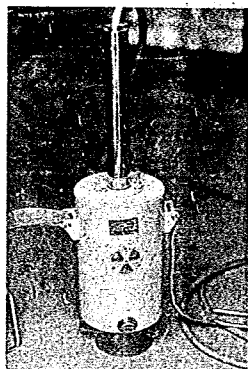
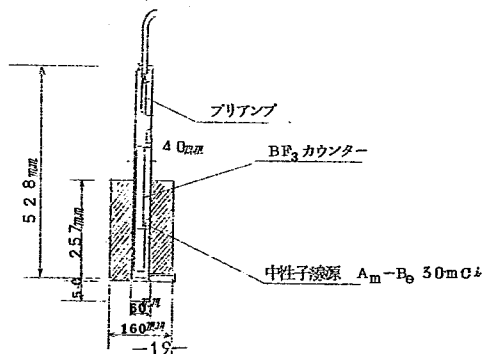


写真 2-4 挿入型水分プローブ

図 2-4 挿入型水分プローブ構造図



(3) 透過型密度プローブ (写真2-5)

透過型密度プローブにも、表面型と挿入型の両方がある。

ここでは、表面型のみを取り扱った。

構造の概略図を図2-5に示す。

測定は測定対象物の表面にプローブを置き、線源の棒を打込んで、線源と検出器の間の密度を測定するものである。

線源としては、Cs-137、10mCiを用い、放出された線が物質を透過したパルスを計測するための検出器として、背面散乱型と同様に、ハログンカウンターを使用している。

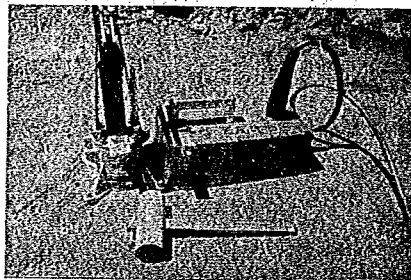
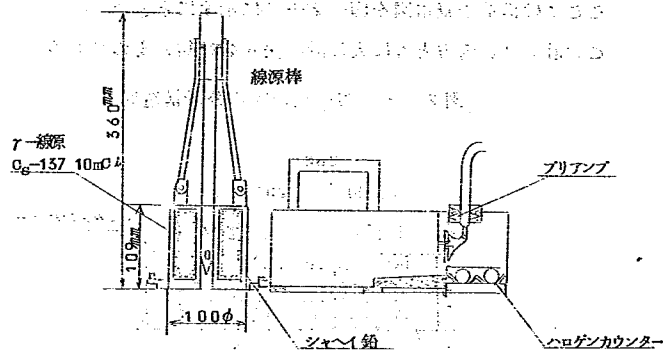


写真2-5 透過型密度プローブ

使用したプローブは、背面散乱型密度計を改造したもので、日立製作所製PG-4A形である

線源棒は、Cs-137 10mCiを、外径15mm・長300mmの鋼棒の先端に取付たものである。

図 2-5 透過型密度ブローブ構造図



(4) 表面型密度水分計 (写真 2-6)

この計器は最近開発されたもので、透過型密度計と表面型中性子水分計の二組を、一組の計器にしたものである。

構造の概略図を図 2-6 に示す。

線源は 線型として Cs-137 10mCi と、中性子線源として Am-B 30mCi を使用してある。

この計器で測定する

場合は、水分と密度が一回の測定で同時に得られ、また測定時間が短縮される利点がある。

今後、現場測定においては、この類の計器が多く使用されると思われる。

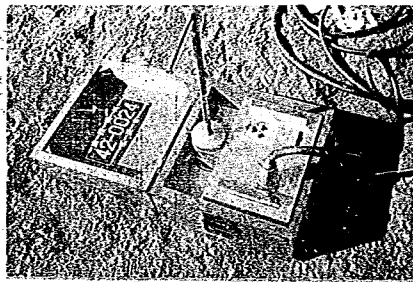


写真 2-6 表面型密度水分計

なお挿入型の γ 線散乱型密度計と中性子水分計を組み合わせ、挿入型密度水分計があるが、ここでは取扱わなかった。

ここでは構造の概略図を図-2-7に示すにとどめる。

この計器は、両方ともに大阪計測株式会社製のものである。

図 2-6 表面型密度水分計構造図

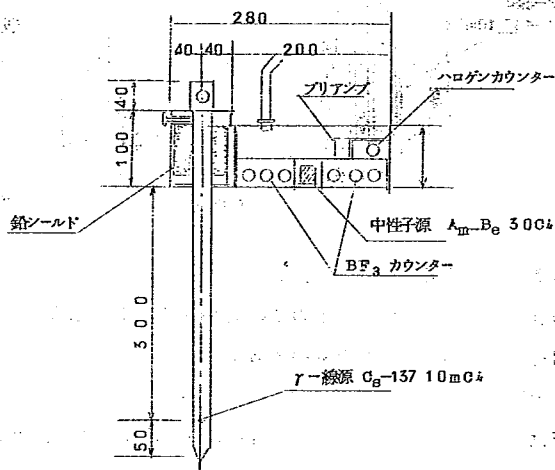
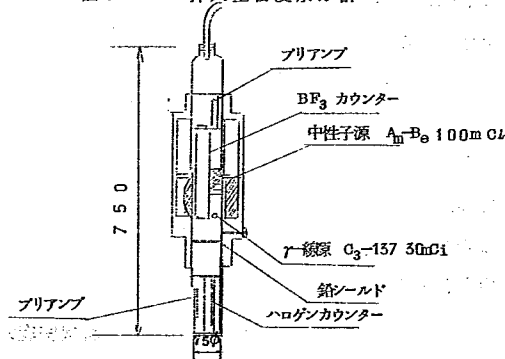


図 2-7 挿入型密度水分計



2-2 スケーラー（計数装置）

一定時間中に何個のパルスがプローブより到来してきたかを測定する装置である（写真2-7）。

測定は10進法によるデジタル表示のデカトン真空管式で5個のデカトン真空管を取付けてある。

計数値は右端より 10^1 、 10^2 、 10^3 、 10^4 、 10^5 まで測定できるようになっていて、最大99,999まで計数される。

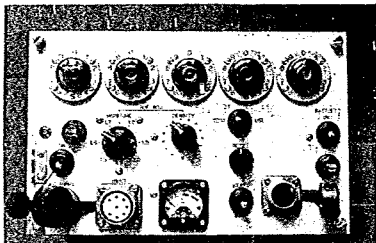


写真2-7 スケーラー

使用電源は、アルカリ電池（12V）が内蔵されていて電圧が規定電圧（11V～13Vの範囲内）以下になった場合は、100Vの電燈線より充電できるようになっている。

また外部からバッテリー（12V）を接続して使用することもできるようになっている。

一定時間中のパルスを測定するために、ストップウォッチやタイマを使用する。

タイマを接続する端子も備えている。

使用したスケーラーは、日立製作所製S-D-2形でスケーラーの寸法は長さ30.5cm 幅20.5cm 高さ24.0cmで、重さ11.9kgあり、けい帯用になっている。

2-3 標準体

標準体は計器の動作状態を点検することと標準計数率を決定するためのもの

であり、また測定開始にあたって、計器の正確度、精密度を確認しておくために用いるものである。標準体の材料は白雲石、パラフィン、水などがあるが、周囲の温度、湿度の変化に対して物理的、化学的な変化が少なく、一定の単位体積重量、あるいは含水当量の材料が必要である。

また運搬や作成上の問題を考慮すれば水を使用した場合が最適と思われる。

ここでは標準体の材料として水を使用した。

標準体は、表面型用と挿入型用の2種類がある。

両方とも、総アルミニウム製の容器で、中に水を入れる構造になっている。

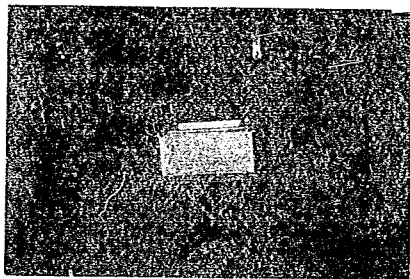


写真2-8 表面型標準体

大きさは、表面型用（背面散乱型、透過型とも併用）で、長42.0 cm、幅24.0 cm、高さ20.0 cmで、底面に透過型で使用する線源棒を挿入するように、内径20 mmのアルミニウムパイプを取付けてある。

挿入型用は、内径30 mm 高さ43.5 cmで容器の中心に外径5 cm 高さ49.5 cmのアルミニウムパイプを取付けてある。

両標準体とも、まわりの地面の影響をなくするため、高さ40 cmの鉄製の台の上に使用した。

標準体の構造の概略図と標準体受台の概略図を図2-8、図2-9に示す。

写真 2-9 挿入型標準体

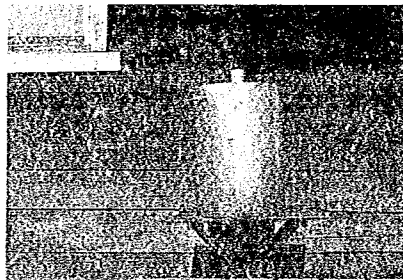
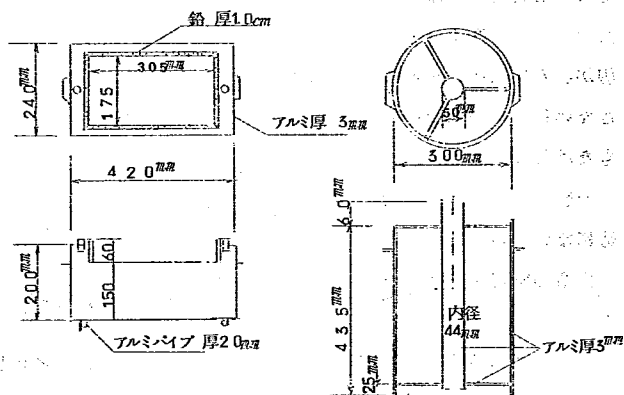


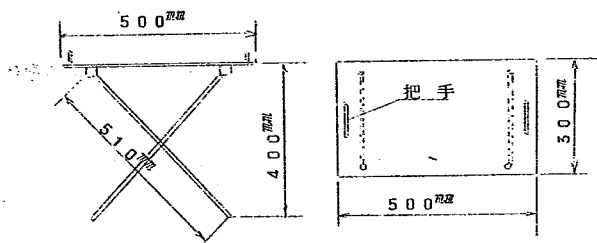
図 2-8 標準体構造図



表面型標準体

挿入型標準体

図 2-9 標準体受台構造図



2-4 貯蔵庫（写真 2-10）

測定器を格納するものである。

構造の規準は、法律（放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律）に定められているように、耐火性の構造でなければならない。

設置場所は浸水、地くずれの恐れのない場所であることで測定器の放射線源からの漏えい放射線が、人体に影響を及ぼさない程度に防ぐ構造でなければならない。

一般にコンクリート構造になっている。

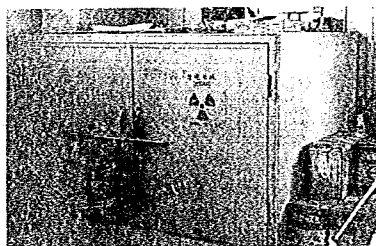
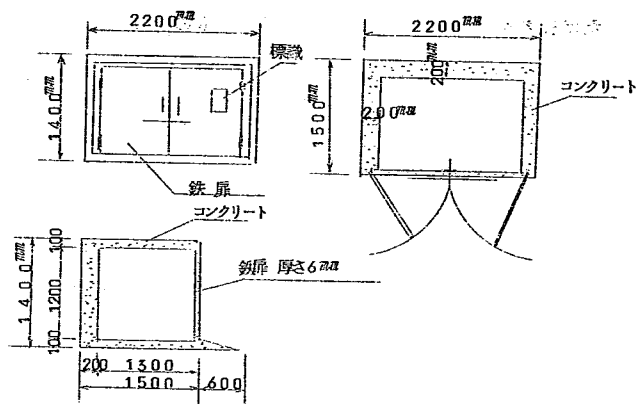


写真 2-10 貯蔵庫

構造の概略図を図 2-10 に示す。

大きさは長 2.20 m 幅 1.50 m 高さ 1.40 m で、コンクリートの厚さは、側壁が 20 cm で天井は 10 cm になっている。

図 2 - 1 0 貯蔵庫構造図



2-5 タイマおよびストップウォッチ

一定時間中に何個のパルスが到来してきたかを測定するものである。

タイマは、直流モーター式で1分と2分の両方の計測ができる。

精度は1分計測のとき $1\text{分} \pm 0.15\text{秒}$ 、2分計測のとき $2\text{分} \pm 0.30\text{秒}$ 以内となっている。

大きさは長 20.5cm 幅 11.0cm 高さ 1.3cm 重さ 1.86Kg である。(写真2-11)。

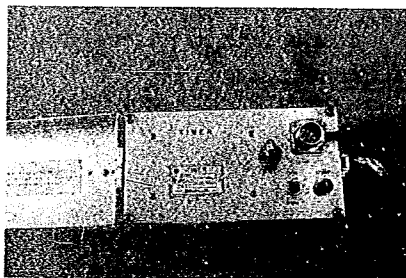


写真 2 - 1 1 タイマ

ストップウォッチを使用する場合は、計数の個人的誤差があるが、タイマ
を使用することにより、これは解消することができる。

ただしタイマー自体の精度は充分に高いものでなくてはならない。

・中

・斯

○

○

第3章 校正曲線

現場測定に先だって、湿润密度 ρ (g/cm³)と計数率R.Cの関係および、水分密度M (g/cm³)と計数率R.Cの関係をを得るために、校正曲線の作成を行う必要がある。

3-1 校正容器

校正容器には、表面型用と挿入型用の2種類の容器がある。

(1) 表面型用校正容器 (写真3-1)

容器は重箱式で、一段当りの広さは60 cm×60 cm、深さは5 cmと1.0 cmの2種類である。

これらを重ね合わせて60 cm×60 cm×80 cmの大きさである。また底面の容器は60 cm×60 cm×2.0 cmであり、容器は3.2 mm厚の鉄製である。

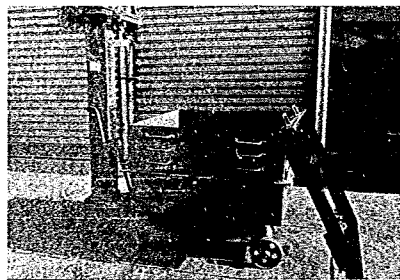


写真3-1 表面型用校正容器

底面容器の側板は、3.2 mm厚で底板は5.0 mm厚の鉄板である。

容器を重箱式にすることにより、土の垂直方向(深さ方向)の試料の不均一性による湿润密度、含水比のばらっきのチェックをすることができ、精度を上げることができる。

また平面方向のばらつきは、計器の方向を0°、90°、180°、270°の4通りに変えて平面全体を計測することで解決される。

これらの深さ方向、平面方向の湿密度、含水量のばらつきについて、昭和41年度の第20回建設省技術研究発表会において報告されている実験結果はつぎのとおりである。

① 深さ方向については、深さ5 cmの各層別の密度、含水量を求め、全平均値（全重量、全容積から求めた密度、含水量）からの分散を調べると、足しめおよびランマーでしめた場合は、ほぼ同程度の不均一性を示し、多くの場合、 $\sqrt{c}$ （不偏分散の平方根）は密度において0.03～0.08 %の範囲であるが、ときとして0.1 %以上となることもある。

これに比べて、含水量の不均一性は、ずっと少なく問題にならない。

平面方向については、深さ方向での各層別の測定をしたのち、あとの試料の下層部分で3点のJIS法として調べた結果、密度では平均して、ほぼ0.03 %のばらつきがあった。

含水量の不均一性については、各層毎の含水率とそのもののばらつきは非常に少なく、もっぱら密度の不均一性に起因している。

(2) 挿入型用較正容器（写真3-2）

容器は直径65 cm高さ80 cmの円筒形のもので中央には、アクセスパイプを鉛直に保持出来るような装置を備えている。

容器は厚3.2 mmの鉄製である。

アクセスパイプを鉛直に保持できる装置は

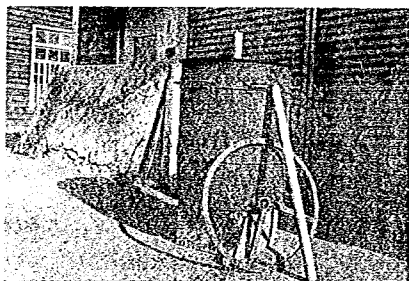
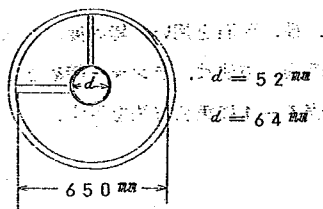


図3-1に示すように、写真3-2挿入型用較正容器になっている。

アクセスパイプの径

によって、2種類がある。

図 3-1



(3) 台計りおよびランマー

密度測定において、較正容器を台計りに載せ全量法にて測定を行うため、台計りは500 Kgまで計れるものを使用した(写真3-3)

締固めに使用したランマーは、写真3-4に示したものをを使用した。

ランマーの重量は13 Kgで、おきさは、

12 cm × 12 cm × 10 cmの鉄製である。

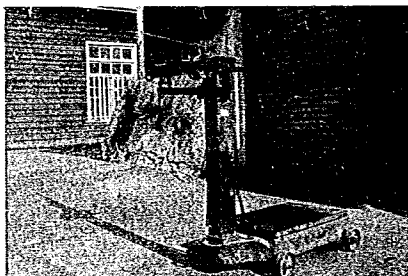


写真3-3 台計り



写真3-4 ランマー

3-2 較正実験

較正実験で使用した材料は、関東ローム、粘土、シルト系粘土、砂質ローム、砂、砕石を用い、締固度、含水比を変えて行った。

締固の方法は、ランマー締めと足締めの2方法で行った。

表3-1に実験方法を示す。

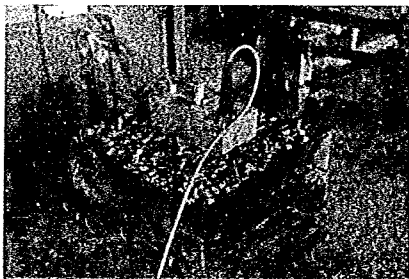


写真3-5

表面型の較正実験

写真3-6

透過型密度計
の較正実験

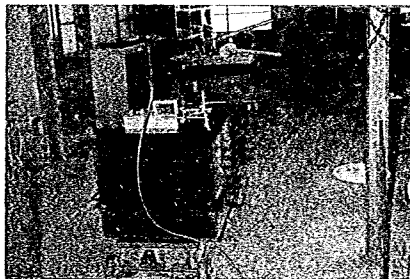


表 3 - 1 校正実験方法

使用計器	使用容器	締固め方法	測定方法
表面型密度計	重箱式 $60\text{ cm} \times 60\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ $60\text{ cm} \times 60\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ のカラーを	まき厚約 10 cm で 100 回の 足しめと、50 回のランマー	一段毎に湿潤密度を全量法 にて求め、一段毎に $0^\circ, 90^\circ,$ $180^\circ, 270^\circ$ の位置を変え 4 点の計測
表面型水分計	6 ~ 4 段重ね合 せる。	しめの 2 方法	一段毎に含水量 2 個を測定 一段毎に $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ,$ 270° の位置を変え 4 点の 計測
透過型密度計			一段毎に湿潤密度を全量法 で求め含水量を 2 個測定 計測は 2 段毎に行い、深さ 方向は $5\text{ cm}, 10\text{ cm}, 15\text{ cm},$ 20 cm で $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ,$ 270° の 4 点の計測
挿入型密度計	直径 65 cm 高 80 cm の円筒形	まき厚約 10 cm で 100 回の 足しめと、50 回のランマー	容器の約 $\frac{1}{2}$ 点毎に、全量法 による湿潤密度の測定 計測は、底面より 5 cm 毎に 行った。
挿入型水分計		しめの 2 方法	容器の約 $\frac{1}{2}$ 点毎に 4 個の含 水量を測定 計測は、底面より 5 cm 毎に 行った。

写真 3-7

表面型の校正実験
におけるランマー
縮めの状況



なお得られた校正データ，土質試験結果を表 3-2～表 3-12，図 3-2～図 3-7 に示す。

表 3-2 表面型 密度計 較正データ (1)

実 験 年 月 日	実 験 番 号	実 験 材 料	計数值 (cpm)	S. C (cpm)	計数比 R. C	密 度 ρ (%)		備 考
						5 cm ρ	10 cm ρ	
42.6.15	1	MH	13,745	12,774	107.6	1.077	1.085	関 東 口 - Δ (第一盛土)
6.16	2	MH	13,312	12,962	102.7	1.221	1.232	◇ (◇)
6.20	3	SP	9,427	12,916	0.719	1.850	1.839	砂質口 - Δ (第一盛土)
6.22	4	SP	9,448	12,960	0.729	1.797	1.792	砂質口 - Δ (第一盛土)
7.4	5	SM	12,851	12,649	1.016	1.190	1.184	砂質口 - Δ (第一盛土)
7.6	6	MH	13,765	12,658	108.6	0.988	0.984	関 東 口 - Δ (第一盛土)
7.6	7	MH	13,568	12,712	106.6	1.115	1.110	◇ (◇)
7.7	8	SM	11,828	12,650	0.935	1.378	1.367	砂質口 - Δ (第一盛土)
7.8	9	SM	10,734	12,763	0.841	1.627	1.631	◇ (◇)
7.12	10	SP	10,137	12,561	0.807	1.609	1.607	砂質口 - Δ (第一盛土)
7.12	11	SM	10,927	12,604	0.867	1.472	1.463	合 成 土
7.13	12	SP	11,425	12,610	0.906	1.585	1.582	砂
7.14	13	SM	11,040	12,546	0.880	1.608	1.597	合 成 土
7.18	14	SP	10,960	12,455	0.880	1.363	1.362	砂
7.19	15	SW	11,361	12,568	0.904	1.441	1.428	砂

表3-2 表面型 密度計 校正データ (2)

実 験 年 月 日	実 験 番 号	実 験 材 料	計 数 値 (cpm)	S. C (cpm)	計 数 比 R. C	密 度 ρ_t ($\frac{g}{cm^3}$)		備 考
						5 cm ρ_t	10 cm ρ_t	
42. 7.21	16	SW	10,764	12,546	0.858	1.582	1.585	砂
7.22	17	CH	12,143	12,610	0.963	1.292	1.283	関 東 ロ ー ム (第二盛土)
7.24	18	CH	10,860	12,497	0.869	1.747	1.729	◇ (◇)
7.26	19	SC	13,329	12,469	1.069	0.875	0.879	砂 質 ロ ー ム (グランド)
7.27	20	SC	12,939	12,514	1.034	1.130	1.120	◇ (◇)
7.31	21	SC	12,312	12,822	0.963	1.341	1.335	◇ (◇)
10. 9	22	SM	12,987	12,503	1.037	1.187	1.171	砂 質 ロ ー ム (鳥 井 峠)
10. 9	23	SM	10,743	12,477	0.861	1.598	1.584	マ サ 土 (大阪マサ土)
10.11	24	ML	11,808	12,495	0.945	1.425	1.421	砂 質 粘 土 ロ ー ム (姫 路)
10.11	25	ML	10,793	12,579	0.858	1.643	1.638	◇ (◇)
10.13	26	SM	9,035	12,566	0.719	1.971	1.969	マ サ 土 (大阪マサ土)
11.28	27	SM	13,044	13,110	0.995	1.303	1.295	砂 質 ロ ー ム
11.28	28	SM	12,196	13,086	0.932	1.453	1.448	◇
11.28	29	SM	11,853	13,112	0.904	1.671	1.665	マ サ 土 (大阪マサ土)
11.28	30	SM	9,311	13,096	0.711	1.925	1.925	◇ (◇)

表 3-2 表面型・密度計 校正データ (3)

実 験 年月日	実 験 番 号	実 験 材 料	計数值 (cpm)	S.C (cpm)	計数比 R.C	密 度 γ_t ($\frac{g}{cm^3}$)		備 考
						5 cm γ_t	10 cm γ_t	
42.11.30	31	SW	9,496	12,938	0.734	1.802	1.799	砂
12. 1	32		10,515	12,982	0.810	1.628	1.625	砂 利
12. 5	33		11,396	13,114	0.869	1.602	1.484	砕 石
12. 6	34		10,600	13,119	0.808	1.602	1.593	◇
12. 6	35		10,595	13,064	0.811	1.465	1.460	◇
12. 7	36		11,744	13,166	0.892	1.485	1.477	◇
12. 7	37		10,699	13,160	0.813	1.476	1.488	◇
12. 8	38		6,980	13,072	0.534	1.799	1.785	エ メ リ
12. 8	39		10,545	13,147	0.802	1.410	1.406	砕 石
43. 5.13	101	SM	10,873	12,541	0.867	1.631	1.629	マ サ 土 (大阪マサ土)
5.22	102	SM	11,001	12,645	0.870	1.613	1.607	◇ (◇)
5.22	103	SM	9,686	12,629	0.767	1.885	1.883	◇ (◇)
5.23	104	ML	12,034	12,575	0.957	1.425	1.420	砂質粘土ローム (姫 路)
5.23	105	ML	11,005	12,591	0.874	1.609	1.607	◇ (◇)
5.24	106	SM	12,829	12,577	1.020	1.262	1.256	砂 質 ロ ー ム

表3-2 密度計 校正データ (4)

実 験 年 月 日	実 験 番 号	実 験 材 料	計 数 値 (cpm)	S.C (cpm)	計 数 比 R.C	密 度 γ_t (%)		備 考
						5 cm γ_t	10 cm γ_t	
43. 5.27	107	SM	12186	12537	0.972	1.410	1.410	砂 質 ロ - ム
528	108	SW	9369	12713	0.737	1.753	1.733	砂
531	109	MH	14011	12703	1.103	1.014	1.014	関 東 ロ - ム (第一盛上)
6. 1	110	MH	13813	12885	1.072	1.080	1.078	〃 (〃)
6. 3	111	SM	13433	12954	1.037	1.176	1.162	砂 質 ロ - ム (鳥 井 峠)
6.19	112	SC	11740	12775	0.919	1.441	1.442	〃 (グラントの土)
6.20	113	SC	10942	13136	0.833	1.657	1.657	〃 (〃)
6.25	114	CH	13601	13879	0.980	1.273	1.262	関 東 ロ - ム (第二盛土)
7. 1	115	CH	6106	6703	0.911	1.472	1.476	〃 (〃)
7. 2	116	SW	5648	6764	0.835	1.493	1.498	砂
7. 2	117	SW	6090	6722	0.906	1.411	1.411	〃
7. 3	118		5980	6850	0.873	1.362	1.367	砕 石 1
7. 4	119		6011	6839	0.879	1.392	1.384	〃 2
7. 4	120		5172	6779	0.763	1.454	1.437	〃 3
7. 5	121		5290	6843	0.773	1.565	1.556	〃 4

43.7.5	122		6,380	6,920	0.922	1.472	1.484	砕 石 5
7.6	123		6,155	6,771	0.909	1.462	1.467	砕 石 5
11.14	124	86-SM	8,928	12,144	0.735	1.887	1.886	緑川マサ土
11.14	125	砕 石	9,447	12,253	0.771	1.740	1.747	砕 石
11.13	126	砕 石	9,765	12,283	0.795	1.675	1.678	砕 石
12.2	129	砕 石	9,628	12,550	0.767	1.720	1.714	砕 石
12.2	130	砕 石	8,569	12,491	0.686	1.946	1.948	砕 石
12.7	131	砕 石	8,020	12,512	0.641	2.010	1.996	砕 石
12.9	132	砕 石	7,581	12,448	0.609	2.095	2.088	砕 石

表3-3 表面型 水分計 校正データ (1)

実 験 年月日	実 験 番 号	実 験 材 料	計数值 (cpm)	S.C (cpm)	計数比 R.C	含水率 m(%)	水分密度 M($\frac{g}{cm^3}$)		備 考
							5 cm M	10 cm M	
42.6.15	1	MH	9746	17623	0.553	46.9	0.500	0.504	関 東 ロ - ム (第一盛土)
6.22	4	SP	1750	17500	0.100	662	0.119	0.118	砂
7.4	5	SM	2350	17806	0.132	1002	0.119	0.119	砂 質 ロ - ム
7.6	6	MH	7911	17737	0.446	41.1	0.411	0.408	関 東 ロ - ム (第一盛土)
7.6	7	MH	8896	17757	0.501	39.7	0.443	0.442	〃 (〃)
7.7	8	SM	6357	17743	0.358	22.9	0.314	0.311	砂 質 ロ - ム
7.8	9	SM	6293	17726	0.355	21.8	0.355	0.355	〃
7.12	11	SM	1783	17655	0.101	545	0.081	0.080	合 成 土
7.13	12	SP	1055	17576	0.060	642	0.102	0.101	砂
7.14	13	SM	4454	17747	0.251	1312	0.211	0.210	合 成 土
7.19	15	SP	1770	17669	0.100	846	0.122	0.121	砂
7.21	16	SP	1966	17716	0.111	773	0.122	0.122	〃
7.22	17	CH	8066	17767	0.454	30.6	0.396	0.393	関 東 ロ - ム (第二盛土)
7.24	18	CH	10407	18323	0.568	30.5	0.548	0.547	〃 (〃)
7.26	19	SC	6211	18002	0.345	33.9	0.296	0.297	砂 質 ロ - ム (グラント)

表 3-3 表面型 水分計 校正データ (2)

実 験 年月日	実 験 番 号	実 験 材 料	計数值 (cpm)	S.C (cpm)	計数比 R.C	含水率 m(%)	水分密度 M($\frac{\%}{cm}$)		備 考
							5 cm M	10 cm M	
42. 7.27	20	SC	7517	17983	0.418	32.3	0.363	0.364	砂 質 ロ ー ム (グ ラ ン ド)
7.31	21	SC	8896	18081	0.492	33.1	0.444	0.442	〃 (〃)
10. 9	22	SM	5110	18785	0.272	22.2	0.265	0.261	〃 (鳥 井 峠)
10. 9	23	SM	3235	18175	0.178	11.4	0.183	0.181	マ サ 土 (大阪マサ土)
10.11	24	ML	4563	18109	0.252	15.1	0.215	0.215	砂質粘土ローム (姫 路)
10.11	25	ML	5227	17599	0.297	14.3	0.236	0.235	〃 (〃)
10.13	26	SM	4626	17791	0.260	11.3	0.223	0.223	マ サ 土 (大阪マサ土)
43. 5.13	101	SM	3593	20185	0.178	11.2	0.183	0.183	〃 (〃)
5.22	102	SM	3436	20214	0.170	10.8	0.174	0.174	〃 (〃)
5.22	103	SM	4320	20186	0.214	10.7	0.202	0.202	〃 (〃)
5.23	104	ML	4339	20370	0.213	11.7	0.194	0.194	砂質粘土ローム (姫 路)
5.23	105	ML	5238	20146	0.260	13.9	0.224	0.224	〃 (〃)
5.24	106	SM	4431	20140	0.220	15.9	0.201	0.200	砂 質 ロ ー ム
5.27	107	SM	5240	20312	0.258	15.8	0.223	0.222	〃
5.28	108	SW	1873	20137	0.093	5.73	0.101	0.099	砂

表 3 - 3 表面型 水分計 較正データ (3)

実 験 年 月 日	実 験 番 号	実 験 材 料	計数值 (cpm)	S. C. (cpm)	計数比 R. C	含水率 m(%)	水分密度計 M($\frac{\%}{cm}$)		備 考
							5 cm M	10 cm M	
43. 5. 31	109	MH	9,111	20,157	0.452	43. 0	0.436	0.436	関 東 ロ - ム (第一盛土)
6. 1	110	MH	9,883	20,252	0.488	37. 1	0.468	0.467	〃 (〃)
6. 3	111	SM	4,852	20,301	0.239	20. 8	0.245	0.242	砂 質 ロ - ム (鳥 井 峠)
6. 19	112	S. C	9,485	20,224	0.469	28. 0	0.395	0.404	砂 質 ロ - ム (グランド)
6. 20	113	S. C	10,177	20,192	0.504	27. 0	0.447	0.446	〃 (〃)
6. 25	114	CH	8,563	20,007	0.428	29. 9	0.381	0.391	関 東 ロ - ム (第二盛土)
7. 1	115	CH	10,321	20,317	0.508	29. 9	0.441	0.442	〃 (〃)
7. 2	116	SW	1,467	20,318	0.023	12. 0	0.018	0.018	砂
7. 2	117	SW	1,299	20,291	0.064	5.60	0.079	0.079	〃 (砂 質 砂)
		S. C							〃
43. 11. 14	124	SC-SM	3,333	20,198	0.165	7.43	0.140	0.140	緑 川 ゼ ン 土 (〃)
11. 14	125	〃	3,119	20,252	0.154	7.64	0.133	0.133	〃
11. 13	126	〃	2,809	20,507	0.137	7.64	0.128	0.128	〃
11. 26	127	〃	27.13	19,945	0.136	7.39	0.124	0.124	〃 ($r_t = 1.672$)
11. 27	128	〃	2,980	20,135	0.148	7.03	0.127	0.127	〃 ($r_t = 1.801$)

1 + 2

43.12.2	129	3622	20.12.1	0.180	8.96	0.154	0.154
12.2	130	4359	19.9.7	0.218	9.68	0.188	0.189
12.7	131	6275	19.9.24	0.325	13.90	0.279	0.277
12.9	132	6769	20.0.27	0.338	13.63	0.286	0.286

—42—

表3-4 挿入型 密度計 較正データ (1)

実 験 年 月 日	実 験 番 号	実 験 材 料	計数值 (cpm)	S.C (cpm)	計数比 R.C	密 度 ρ_t (g/cm ³)	使 用 バ イ ブ	備 考
4.13.11	1	CL	15891	13811	1.151	0.929	アルミニウムパイプ(厚3mm)	関東ローム(土質研)
3.12	2	CL	14,127	13838	1.021	1.270	〃	〃 (〃)
3.15	3	CL	15,781	13859	1.139	0.892	〃	〃 (〃)
3.15	4	CL	14,829	13817	1.073	1.105	〃	〃 (〃)
3.16	5	CL	15,503	13809	1.123	0.959	〃	〃 (〃)
3.17	6	CL	15,023	13,779	1.090	1.072	〃	〃 (〃)
3.18	7	SP	12,617	13839	0.912	1.519	〃	砂
3.18	8	SM	14,765	13,758	1.073	1.191	〃	合 成 土
3.19	9	SM	13,033	13,781	0.946	1.477	〃	〃
3.19	10	SP	13,709	13,755	0.951	1.441	〃	砂
3.25	11	特殊材料	14,994	13,846	1.083	1.130	〃	砂75%砂糖25%混合
3.25	12	〃	17,360	13,793	1.259	0.875	〃	砂 糖
3.26	13	MH	15,970	13,850	1.153	0.817	〃	関東ローム(第一盛土,乾)
3.28	14	MH	15,551	13,823	1.125	0.982	〃	〃 (第一盛土,乾)
3.30	15	MH	16,146	13,811	1.169	0.854	〃	〃 (第一盛土)

表 3-4 挿入型 密度計 校正データ (2)

実 験 年月日	実 験 番 号	実 験 材 料	計数値 (cpm)	S.C (cpm)	計数比 R.C	密 度 $\gamma_s(\frac{\%}{cm^3})$	使 用 バ イ ブ	備 考
4.13.1	16	MH	14822	13805	1.078	1.213	アルミニウムパイプ(厚3mm)	関東ローム(第一盛土)
4.4	17	MH	15580	13755	1.133	0.995	〃	〃 (〃)
4.4	18	MH	16,141	13796	1.170	0.798	〃	〃 (〃)
4.5	19	MH	10,041	13834	0.726	1.014	ケーシングパイプ	〃 (〃)
4.18	20	SM	9,648	13783	0.700	1.150	〃	合 成 土
4.18	21	SM	8,206	13794	0.595	1.476	〃	〃
4.19	22	SP	8,243	13765	0.599	1.533	〃	砂
4.22	23	MH	14,067	13739	1.024	1.126	50mmφオーガー(アルミパイプ)	関東ローム(第一盛土)
4.24	24	MH	17,613	13,694	1.286	1.126	75φオーガー(アルミパイプ)	〃 (〃)
4.27	25	SP	10,487	13,712	0.765	1.833	アルミニウムパイプ(厚3mm)	砂
4.28	26	SP	6,547	13,723	0.492	1.834	ケーシングパイプ	〃
4.28	27	SP	7,512	13,704	0.548	1.465	1 1/2 ガスパイプ	〃
5.2	28	SP	5,706	13,705	0.416	1.846	〃	〃
5.6	29	SM	9,006	13,662	0.659	1.881	50mmφオーガー(アルミパイプ)	合 成 土 アルミパイプ厚3mm
5.7	30	SM	13,827	13,620	1.015	1.881	75mmφオーガー(〃)	〃 〃

表3-4 挿入型 密度計 較正データ (3)

実 験 年 月 日	実 験 番 号	実 験 材 料	計数值 (cpm)	S.C (cpm)	計数比 R.C	密 度 $\rho_t(\frac{\%}{cm})$	使 用 バ イ プ	備 考
4.15.13	31	MH	9,515	13,726	0.693	0.871	1 $\frac{1}{2}$ ガスバイプ	関東ローム(第一盛土)
5.14	32	MH	7,739	13,665	0.566	1.295	"	" (")
7. 8	33	MH	15,795	13,544	1.166	1.056	アルミニウムバイプ(厚2mm)	" (土質研)
7.11	34	SP	11,681	13,568	0.861	1.734	" (")	砂 (湿)
7.11	35	SM	9,253	13,534	0.684	2.067	" (")	合成土
7.12	36	SM	8,321	13,456	0.618	2.093	" (厚3mm)	"
7.14	37	SP	12,227	13,514	0.905	1.499	" (")	砂 (乾)
7.14	38	SP	12,837	13,498	0.951	1.509	" (厚2mm)	" (")
8.15	39	MH	15,836	13,461	1.176	0.756	" (厚3mm)	関東ローム(第一盛土)
8.15	40	MH	15,573	13,470	1.156	0.915	" (")	" (")
8.29	41	MH	16,208	13,438	1.206	0.789	" (厚2mm)	" (土質研)
8.30	42	SP	13,017	13,473	0.966	1.470	" (")	砂 (乾)
8.30	43	SP	12,414	13,381	0.928	1.489	" (厚3mm)	" (")
8.30	44	SP	8,097	13,425	0.603	1.485	ケーシングバイプ	" (")
8.31	45	SP	7,135	13,417	0.532	1.486	1 $\frac{1}{2}$ ガスバイプ	" (")

41831	46	MH	9286	13630	0681	0787	1 1/2 ガスパイプ	関東ローム (第一盛土)
831	47	MH	10268	13424	0765	0793	ケーシングパイプ	〃 (〃)
910	48	SM	9247	13472	0686	2011	アルミニウムパイプ (厚 3 mm)	合 成 土

表3-5 挿入型 水分計 校正データ (1)

実 験 年月日	実 験 番 号	実 験 材 料	計数值 (cpm)	S. C (cpm)	計数比 R. C	含水率 m(%)	水分密度 M (g/cm ³)	使 用 バ イ ブ	備 考
4.13.11	1	CL	7,971	14,565	0.547	47.6	0.442	アルミニウムパイプ(厚3mm)	関東ローム(土質研)
3.12	2	CL	10,962	14,616	0.750	47.3	0.601	〃	〃 (〃)
3.15	3	CL	7,191	14,469	0.497	41.4	0.369	〃	〃 (〃)
3.15	4	CL	8,501	14,298	0.595	42.7	0.472	〃	〃 (〃)
3.16	5	CL	6,351	14,641	0.434	36.0	0.345	〃	〃 (〃)
3.17	6	CL	7,288	14,452	0.504	34.9	0.374	〃	〃 (〃)
3.18	7	SP	424	14,304	0.0296	12.6	0.0191	〃	砂
3.18	8	SM	3,001	14,562	0.206	13.4	0.160	〃	合 成 土
3.19	9	SM	4,063	14,537	0.281	13.4	0.198	〃	〃
3.19	10	SP	2,769	14,628	0.189	10.4	0.150	〃	砂
3.25	11	特殊材料	3,123	14,677	0.213	15.44	0.174	〃	砂糖 25 % 砂 75 % 混合物
3.25	12	〃	10,586	14,821	0.714	57.89	0.507	〃	砂 糖
3.26	13	MH	6,181	14,551	0.425	44.1	0.360	〃	関東ローム(第一盛土,乾)
3.28	14	MH	7,667	14,439	0.531	43.3	0.449	〃	〃 (〃)
3.30	15	MH	8,347	14,563	0.573	53.6	0.458	〃	〃 (第一盛土)

表3-5 挿入型 水分計 校正データ (2)

実 験 年月日	実 験 番 号	実 験 材 料	計数值 (cpm)	S.C (cpm)	計数比 R.C	含水率 m(%)	水分密度 M(%)	使 用 パ イ プ	備 考
4.13.31	16	MH	11220	14449	0.777	53.6	0.650	アルミニウムパイプ(厚3mm)	関東ローム(第一盛土)
4.4	17	MH	8885	14724	0.603	48.2	0.480	〃	〃 (〃)
4.4	18	MH	7012	14625	0.479	49.8	0.397	〃	〃 (〃)
4.5	19	MH	6879	14527	0.474	49.4	0.501	ケーシングパイプ	〃 (〃)
4.18	20	SM	2303	14428	0.160	13.0	0.150	〃	合 成 土
4.18	21	SM	3425	14890	0.230	13.1	0.193	〃	〃
4.19	22	SP	200	14563	0.0137	0.62	0.0095	〃	砂
4.22	23	MH	10783	14588	0.739	49.6	0.558	50φオーガーアルミニウム	関東ローム(第一盛土)
4.24	24	MH	8599	14688	0.585	48.7	0.548	75φオーガーアルミニウム	〃 (〃)
4.27	25	SP	5769	14619	0.395	7.75	0.142	アルミニウムパイプ	砂
4.28	26	SP	4595	14566	0.315	10.3	0.189	ケーシングパイプ	〃
4.28	27	SP	2962	14611	0.203	11.4	0.167	1 $\frac{1}{2}$ ガスパイプ	〃
5.2	28	SP	4839	14518	0.333	12.5	0.231	〃	〃
5.6	29	SM	5903	14802	0.399	13.8	0.260	50φオーガー(アルミ)	合成土 アルミパイプ厚3mm
5.7	30	SM	4816	14578	0.330	13.8	0.260	75φオーガー(アルミ)	〃 〃

表3-5 挿入型 水分計 校正データ (3)

実 験 年月日	実 験 番 号	実 験 材 料	計数值 (cpm)	S.C (cpm)	計数比 R.C	含水率 m(%)	水分密度 M($\frac{g}{cm^3}$)	使 用 バ イ プ	備 考
4.15.13	31	MH	5,518	14,576	0.379	48.9	0.426	1 $\frac{1}{2}$ ガスパイプ	関東ローム (第一盛土)
5.14	32	MH	9,160	14,592	0.628	49.1	0.436	"	" (")
7.8	33	MH	9,275	14,586	0.636	46.8	0.494	アルミニウムパイプ(厚2mm)	関東ローム (土質研)
7.11	34	SP	4,425	14,619	0.303	9.09	0.158	" (")	砂
7.11	35	SM	6,921	14,631	0.473	13.9	0.287	" (")	合 成 土
7.12	36	SM	6,971	14,539	0.479	14.5	0.303	" (厚3mm)	"
7.14	37	SP	230	14,557	0.016	1.15	0.0115	" (")	砂 (乾)
7.14	38	SP	229	14,566	0.016	0.85	0.0128	" (厚2mm)	" (")
8.15	39	MH	6,477	14,596	0.444	47.9	0.362	" (厚3mm)	関東ローム (第一盛土)
8.15	40	MH	8,046	14,614	0.551	47.1	0.431	" (")	" (")
8.29	41	MH	6,607	14,738	0.448	—	—	" (厚2mm)	" (土質研)
8.31	46	MH	5,192	13,837	0.375	46.2	0.364	1 $\frac{1}{2}$ ガス管	" (第一盛土)
8.31	47	MH	5,082	14,798	0.343	47.0	0.373	ケーシングパイプ	" (")
9.10	48	SM	6,393	14,670	0.463	12.6	0.253	アルミニウムパイプ(厚3mm)	合 成 土

表 3-6. 透過型密度計 較正データ 打込深さ 5 cm-(1)

実 験 年 月 日	実 験 番 号	実 験 材 料	計 数 値 (cpm)	S.C (cpm)	計 数 比 R.C	湿潤密度 γ_w (g/cm ³)	含 水 率 w (%)	備 考
43.12.6	1	SC-SM	4,881	11,043	0.442	1.672	7.44	緑川マサ土
1.12.7	2	〃	4,657	10,882	0.428	1.788	7.10	〃
1.12.7	3	MH	7,264	10,956	0.663	1.117	42.5	第一盛土
1.12.8	4	〃	6,605	10,846	0.609	1.270	-	〃
1.12.8	5	SM	5,460	10,941	0.499	1.557	9.48	大阪マサ土
1.12.9	6	〃	5,146	10,903	0.472	1.670	9.62	〃
1.12.9	7	ML	6,073	10,962	0.554	1.462	12.39	姫 路
1.13.0	8	〃	5,246	10,861	0.483	1.664	11.72	〃
12. 3	9	SC-SM	4,761	10,871	0.438	1.789	9.36	緑川マサ土
12. 3	10	〃	4,250	10,954	0.388	1.970	9.78	〃
12. 4	11	SM	6,234	10,842	0.575	1.394	16.86	砂質ローム
12. 5	12	〃	6,791	10,988	0.618	1.262	16.70	〃
12. 5	13	OH	7,356	10,930	0.673	1.150	33.9	第二盛土
12. 6	14	〃	6,297	10,952	0.575	1.274	33.6	〃
12. 6	15	ML	5,636	10,922	0.516	1.472	15.47	姫 路
12. 7	16	〃	4,553	10,998	0.414	1.706	14.94	〃

表3-6 透過型密度計 校正データ 打込深さ5cm-(2)

実 験 年月日	実 験 番 号	実 験 材 料	計数值 (cpm)	S.C (cpm)	計数比 R.C	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	含水率 w' (%)	備 考
43.12.9	17	SM	5,231	10,830	0.483	1.651	12.11	大阪マサ土
12.10	18	〃	4,524	10,874	0.416	1.856	11.89	〃
12.10	19	SM	6,563	10,930	0.600	1.317	21.08	鳥井峠
12.11	20	SW	5,671	10,822	0.524	1.413	-	砂 (乾)
12.12	21	GW	5,331	11,060	0.482	1.489	13.2	碎石 - ①
12.12	22	〃	5,148	11,024	0.467	1.654	14.7	〃
12.13	23	〃	5,216	10,934	0.477	1.623	2.78	碎石 - ②
12.13	24	SW	5,865	10,762	0.545	1.451	7.30	砂 (湿)
12.16	25	SM	6,600	10,732	0.615	1.320	20.1	砂質ローム
12.17	26	SM	5,413	10,892	0.497	1.539	19.16	〃
12.17	27	GW	4,855	10,934	0.444	1.698	-	碎石 - ③
12.18	28	SW	4,687	10,926	0.429	1.796	3.53	砂 (粗)
12.19	29	GW	5,274	11,011	0.479	1.661	-	碎石 - ④
12.20	31	GW	6,021	10,987	0.548	1.461	-	碎石 - ⑤
12.21	32	GW	5,051	10,912	0.463	2.061	-	碎石 - ⑥

表 3-7 透過型密度計 校正データ 打込深さ 10 cm- (1)

実 験 年 月 日	実 験 番 号	実 験 材 料	計 数 値 (cpm)	S. C (cpm)	計 数 比 R. C	湿潤密度 γ_t ($\frac{g}{cm^3}$)	含 水 率 w' (%)	備 考
43.1.2.6	1	SC-SM	3,445	1,104.3	0.312	1.672	7.39	緑川マサ土
1.1.2.7	2	〃	3,058	1,088.2	0.281	1.801	7.03	〃
1.1.2.7	3	MH	6,300	1,095.6	0.575	1.132	42.1	第一盛土
1.1.2.8	4	〃	5,466	1,084.6	0.504	1.270	—	〃
1.1.2.8	5	SM	4,026	1,094.1	0.368	1.563	9.66	大阪マサ土
1.1.2.9	6	〃	3,565	1,090.3	0.327	1.673	9.65	〃
1.1.2.9	7	ML	4,955	1,096.2	0.452	1.430	12.17	姫 路
1.1.3.0	8	〃	3,747	1,086.1	0.345	1.646	11.64	〃
12. 3	9	SC-SM	3,076	1,087.1	0.283	1.795	9.39	緑川マサ土
12. 3	10	〃	2,476	1,095.4	0.226	1.973	9.86	〃
12. 4	11	SM	4,987	1,084.2	0.460	1.403	16.79	砂質ローム
12. 5	12	〃	5,703	1,098.8	0.519	1.289	16.80	〃
12. 5	13	CH	6,197	1,093.0	0.567	1.169	34.3	第二盛土
12. 6	14	〃	5,136	1,095.2	0.469	1.275	33.8	〃
12. 6	15	ML	4,227	1,092.2	0.387	1.472	15.45	姫 路
12. 7	16	〃	3,013	1,099.8	0.274	1.720	14.93	〃

表3-7 透過型密度計 較正データ 打込深さ10cm-(2)

実 験 年月日	実 験 番 号	実 験 材 料	計数值 (cpm)	S.C (cpm)	計数比 R.C	湿潤密度 γ_t ($\frac{g}{cm^3}$)	含水率 w' (%)	備 考
43.12.9	17	SM	3,877	10,830	0.358	1.627	12.10	大阪マサ土
12.10	18	〃	2,871	10,874	0.264	1.845	11.83	〃
12.10	19	SM	5,765	10,930	0.527	1.248	20.64	鳥 井 峠
12.11	20	SW	4,870	10,822	0.450	1.405	—	砂 (乾)
12.12	21	GW	4,313	11,060	0.390	1.493	13.6	碎石 - ①
12.12	22	〃	3,803	11,024	0.345	1.660	15.1	〃
12.13	23	〃	3,641	10,934	0.333	1.629	28.0	碎石 - ②
12.13	24	SW	4,768	10,762	0.443	1.420	7.26	砂 (湿)
12.16	25	SM	5,259	10,732	0.490	1.321	20.1	砂質ローム
12.17	26	SM	3,943	10,892	0.362	1.541	19.41	〃
12.17	27	GW	3,685	10,934	0.337	1.659	—	碎石 - ③
12.18	28	SW	3,147	10,926	0.288	1.781	3.60	砂 (粗)
12.19	29	GW	3,733	11,011	0.339	1.614	—	碎石 - ④
12.20	31	〃	4,790	10,987	0.436	1.461	—	碎石 - ⑤
12.21	32	〃	3,860	10,912	0.354	1.688	—	碎石 - ⑥

表 3-8 透過型密度計 校正データ 打込深さ 15 cm-(1)

実 験 年 月 日	実 験 番 号	実 験 材 料	計 数 値 (cpm)	S.C (cpm)	計 数 比 R.C	湿潤密度 γ_t ($\frac{g}{cm^3}$)	含 水 率 w' (%)	備 考
43.1.26	1	SC-SM	2860	11043	0.259	1.655	7.41	緑川マサ土
1.12.7	2	〃	2470	10882	0.227	1.788	7.02	〃
1.12.7	3	MH	6278	10956	0.573	1.126	41.8	第一盛土
1.12.8	4	〃	5206	10846	0.480	1.260	-	〃
1.12.8	5	SM	3578	10941	0.327	1.555	9.72	大阪マサ土
1.12.9	6	〃	2944	10903	0.270	1.668	9.68	〃
1.12.9	7	ML	4429	10962	0.404	1.430	12.21	姫 路
1.1.30	8	〃	3150	10861	0.290	1.646	11.58	〃
12. 3	9	SC-SM	2370	10871	0.218	1.781	9.36	緑川マサ土
12. 3	10	〃	1786	10954	0.163	1.959	9.83	〃
12. 4	11	SM	4619	10842	0.426	1.392	16.82	砂質ローム
12. 5	12	〃	5461	10988	0.497	1.269	16.72	〃
12. 5	13	CH	6121	10930	0.560	1.162	34.2	第二盛土
12. 6	14	〃	4808	10952	0.439	1.277	33.9	〃
12. 6	15	ML	3735	10922	0.342	1.467	15.44	姫 路
12. 7	16	〃	2420	10998	0.220	1.724	14.90	〃

表 3-8 透過型密度計 校正データ 打込深さ 1.5 cm - (2)

実 験 年 月 日	実 験 番 号	実 験 材 料	計 数 値 (cpm)	S.C (cpm)	計 数 比 R.C	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	含 水 率 w (%)	備 考
43.12. 9	17	SM	3,314	10,830	0.306	1.614	12.07	大阪マサ土
12.10	18	〃	2,197	10,874	0.202	1.851	11.79	〃
12.10	19	SM	5,309	10,930	0.486	1.248	20.64	鳥 井 峠
12.11	20	SW	4,524	10,822	0.418	1.402	—	砂 (乾)
12.12	21	GW	3,959	11,060	0.358	1.482	1.40	碎石 - ①
12.12	22	〃	3,186	11,024	0.289	1.648	1.54	〃
12.13	23	〃	3,094	10,934	0.283	1.610	2.80	碎石 - ②
12.13	24	SW	4,380	10,762	0.407	1.418	7.33	砂 (湿)
12.16	25	SM	4,862	10,732	0.453	1.319	20.1	砂質ローム
12.17	26	SM	3,431	10,892	0.315	1.529	19.40	砂質ローム
12.17	27	GW	3,193	10,934	0.292	1.661	—	碎石 - ③
12.18	28	SW	2,469	10,926	0.226	1.766	3.63	砂 (粗)
12.19	29	GW	3,204	11,011	0.291	1.605	—	碎石 - ④
12.20	31	GW	4,252	10,987	0.387	1.461	—	碎石 - ⑤
12.21	32	GW	3,061	10,912	0.281	1.688	—	碎石 - ⑥

表3-9 透過型密度計 校正データ 打込深さ20cm-(1)

実 験 年 月 日	実 験 番 号	実 験 材 料	計 数 値 (cpm)	S. C. (cpm)	計 数 比 R. C	湿潤密度 γ_t ($\frac{g}{cm^3}$)	含 水 率 w' (%)	備 考
43.1.2.6	1	SC-SM	2,286	11,043	0.207	1.676	7.42	緑川マサ土
1.1.2.7	2	◇	1,883	10,882	0.173	1.800	7.05	◇
1.1.2.7	3	MH	5,861	10,956	0.535	1.136	4.19	第一盛土
1.1.2.8	4	◇	4,707	10,846	0.434	1.268	-	◇
1.1.2.8	5	SM	2,976	10,941	0.272	1.560	9.75	大阪マサ土
1.1.2.9	6	◇	2,420	10,903	0.222	1.669	9.64	◇
1.1.2.9	7	ML	3,804	10,962	0.347	1.439	11.90	姫 路
1.1.3.0	8	◇	2,563	10,861	0.236	1.630	11.59	◇
12. 3	9	SC-SM	1,859	10,871	0.171	1.797	9.37	緑川マサ土
12. 3	10	◇	1,293	10,954	0.118	1.977	9.86	◇
12. 4	11	SM	3,936	10,842	0.363	1.406	17.05	砂質ローム
12. 5	12	◇	4,934	10,988	0.449	1.290	16.61	◇
12. 5	13	OH	5,738	10,930	0.525	1.167	3.41	第二盛土
12. 6	14	◇	4,425	10,952	0.404	1.276	33.7	◇
12. 6	15	ML	3,080	10,922	0.282	1.483	15.49	姫 路
12. 7	16	◇	1,925	10,998	0.175	1.702	14.92	◇

表3-9 透過型密度計校正データ打込深さ20cm-(2)

実 験 年月日	実 験 番 号	実 験 材 料	計数值 (cpm)	S.C (cpm)	計数比 R.C	湿潤密度 $\rho_t (\frac{g}{cm^3})$	含水率 $w' (\%)$	備 考
43.12.9	17	SM	2,718	10,830	0.251	1.625	12.11	大阪マサ土
12.10	18	◇	1,631	10,874	0.150	1.843	11.75	◇
12.10	19	SM	4,852	10,930	0.444	1.248	20.64	鳥井峠
12.11	20	SW	4,015	10,822	0.371	1.400	-	砂 (乾)
12.12	21	GW	3,406	11,060	0.308	1.492	13.3	碎石 - ①
12.12	22	◇	2,602	11,024	0.236	1.641	15.7	◇
12.13	23	◇	2,438	10,934	0.223	1.630	2.83	碎石 - ②
12.13	24	SW	3,810	10,762	0.354	1.420	7.32	砂 (湿)
12.16	25	SM	4,368	10,732	0.407	1.312	20.2	砂質ローム
12.17	26	SM	2,941	10,892	0.270	1.542	19.42	◇
12.17	27	GW	2,559	10,934	0.234	1.649	-	碎石 - ③
12.18	28	SW	1,967	10,926	0.180	1.776	3.58	砂 (粗)
12.19	29	GW	2,665	11,011	0.242	1.620	-	碎石 - ④
12.20	31	◇	3,955	10,987	0.360	1.456	-	碎石 - ⑤
12.21	32	◇	2,350	10,912	0.215	1.688	-	碎石 - ⑥

表 3-10 土質計算値 (表面型) - ①

年	月	日	番号	実 験 材 料		比 重	湿潤密度	水分密度	乾燥密度	含 水 量		間隙比	飽和度	空気体積率	備 考
				土 質 名 称	土 質 分 類	G _s	ρ_t (g/cm ³)	M (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	含水率 w	含水比 w	e	Sr	V _a	
42.6.15	1			第一盛土	MH	2650	1.065	0.504	0.561	46.9	88.3	3.685	63.5	28.7	
6.16	2			"	"	"	1.232	-	-	-	-	-	-	-	
6.20	3			砂	SP	2700	1.839	-	1.839	-	-	0.468	0	3.19	
6.22	4			"	SP	2700	1.792	0.118	1.674	6.62	7.09	0.614	3.12	2.62	
7.4	5			砂質ローム	SM	2647	1.184	0.119	1.065	10.02	11.14	1.485	4.60	4.79	
7.6	6			第一盛土	MH	2650	0.984	0.408	0.576	4.11	6.98	3.573	5.18	3.77	
7.6	7			"	"	"	1.110	0.442	0.668	3.97	6.58	2.958	5.89	3.07	
7.7	8			砂質ローム	SM	2647	1.367	0.311	1.056	22.9	29.7	1.511	5.20	2.89	
7.8	9			"	"	"	1.631	0.355	1.276	21.8	27.8	1.074	6.85	1.63	
7.12	10			砂	SP	2700	1.607	-	1.607	-	-	0.680	-	4.05	
7.12	11			合 成 土	SM	2720	1.463	0.080	1.383	5.45	5.76	0.966	1.62	4.12	
7.13	12			砂	SP	2700	1.582	0.101	1.481	6.42	6.86	0.824	2.25	3.50	
7.14	13			合 成 土	SM	2720	1.597	0.210	1.387	13.12	15.10	0.960	4.28	2.80	
7.18	14			砂	SP	2700	1.362	-	1.362	-	-	0.983	-	4.96	
7.19	15			"	SW	"	1.428	0.121	1.307	8.46	9.24	1.065	2.34	3.95	
7.21	16			"	SW	"	1.585	0.122	1.463	7.73	8.38	0.846	2.67	3.36	

表3-10 土質計算値 (表面型)-②

実 験 年月日	実 験 番号	実 験 材 料		比 重 Gs	湿潤密度 $\gamma_w (\% \text{ml})$	水分密度 $M (\% \text{ml})$	乾燥密度 $\gamma_d (\% \text{ml})$	含 水 量		間隙比 e	飽和度 Sr	空気体積率 Va	備 考
		土 質 名 称	土質分類					含水率 w	含水比 w				
42.7.22	17	第二盛土	CH	2.650	1.283	0.393	0.890	30.6	44.1	1.976	59.1	27.1	
724	18	〃	CH	〃	1.729	0.547	1.182	30.5	43.9	1.206	96.5	19.1	
726	19	グランド	SC	2.655	0.879	0.297	0.582	33.9	5.13	3.570	38.2	49.3	
727	20	〃	〃	〃	1.120	0.364	0.756	32.3	4.77	2.501	50.6	35.3	
731	21	〃	〃	〃	1.335	0.442	0.893	33.1	4.95	1.973	66.6	22.2	
10.9	22	鳥井峠	SM	2.650	1.171	0.261	0.910	22.2	28.5	1.908	39.6	39.6	
10.9	23	大阪マサ土	〃	2.645	1.584	0.181	1.403	11.4	12.9	0.885	38.5	28.9	
10.11	24	姫路	ML	2.681	1.421	0.215	1.206	15.1	1.78	1.223	39.0	33.6	
10.11	25	〃	ML	〃	1.638	0.235	1.403	14.3	1.67	0.910	49.2	24.2	
10.13	26	大阪マサ土	SM	2.645	1.969	0.225	1.746	11.3	12.7	0.514	65.4	11.8	
11.28	27	砂質ローム	〃	2.645	1.295	—	—	—	—	—	—	—	
11.28	28	〃	〃	〃	1.448	—	—	—	—	—	—	—	
11.28	29	大阪マサ土	〃	〃	1.665	—	—	—	—	—	—	—	
11.28	30	〃	〃	〃	1.925	—	—	—	—	—	—	—	
11.30	31	砂	SW	2.700	1.799	—	1.799	—	—	0.501	0	33.4	
12.1	32	砂利			1.625	—	—	—	—	—	—	—	

42.12.5	33	砕 〇 石			1484	-	-	-	-	-	-	-
12.6	34	〇			1593	-	-	-	-	-	-	-
12.6	35	〇			1460	-	-	-	-	-	-	-
12.7	36	〇			1477	-	-	-	-	-	-	-
12.7	37	〇			1488	-	-	-	-	-	-	-
12.8	38	エメリー			1785	-	-	-	-	-	-	-
12.8	39	砕 〇 石			1406	-	-	-	-	-	-	-
43.5.13	101	大阪マサ土	SM	2.645	1.629	0.183	1.446	1.12	12.6	0.828	4.02	27.1
522	102	〇	〇	〇	1.607	0.174	1.433	1.08	12.1	0.845	3.78	28.5
522	103	〇	〇	〇	1.883	0.202	1.681	1.07	12.0	0.573	5.54	16.3
523	104	姫 〇 路	ML	2.681	1.420	0.194	1.226	1.17	13.3	1.139	3.13	3.66
523	105	〇	〇	〇	1.607	0.224	1.383	1.39	16.1	0.937	4.61	26.1
524	106	砂質ローム	SM	2.647	1.256	0.200	1.056	1.59	18.9	1.506	3.32	4.02
527	107	〇	〇	〇	1.410	0.222	1.188	1.58	18.8	1.230	4.05	32.8
528	108	砂	SW	2.690	1.733	0.099	1.634	5.73	6.07	0.646	2.53	29.3
531	109	第一盛土	MH	2.650	1.014	0.436	0.578	4.30	7.54	3.584	5.58	34.6
6.1	100	〇	MH	〇	1.078	0.467	0.611	3.71	5.90	2.909	5.38	34.4
6.3	111	鳥井峠	SM	2.650	1.162	0.242	0.920	2.08	2.63	1.880	3.71	41.1

表 3-10 土質計算値 (表面型) - ③

実 験 年月日	実験 番号	実 験 材 料		比 重 Gs	湿潤密度 ρ_t (g/ml)	水分密度 M (g/ml)	乾燥密度 ρ_d (g/ml)	含 水 量		間隙比 e	飽和度 Sr	空気体積率 Va	備 考
		土 質 名 称	土質分類					含水率 w	含水比 w				
43.6.19	112	グランド	SC	2.655	1.442	0.404	1.038	28.0	38.9	1.557	66.3	20.5	
620	113	〃	SC	〃	1.657	0.446	1.211	27.0	37.0	1.195	82.2	9.7	
625	114	第二盛土	CH	2.650	1.262	0.391	0.871	29.9	42.7	1.996	56.7	28.9	
7.1	115	〃	CH	〃	1.476	0.442	1.034	29.9	42.7	1.562	72.4	16.8	
7.2	116	砂	SW	2.580	1.498	0.018	1.480	12.0	1.21	0.743	42.0	40.8	
7.2	117	〃	SW	〃	1.411	0.079	1.342	5.60	5.93	0.937	163.3	40.5	
7.3	118	砕 石 ①	GW	2.594	1.367	—	1.367	—	—	0.898	—	4.73	
7.4	119	〃 ②	GW	2.529	1.384	—	1.384	—	—	0.827	—	4.53	
7.4	120	〃 ③	〃	2.674	1.437	—	1.437	—	—	0.861	—	4.63	
7.5	121	〃 ④	〃	2.672	1.556	—	1.556	—	—	0.717	—	4.18	
7.5	122	〃 ⑤	〃	2.682	1.484	—	1.484	—	—	0.807	—	4.47	
7.6	123	〃 ⑥	〃	2.710	1.467	—	1.467	—	—	0.847	—	4.59	
43.11.4	124	緑川マサ土	SC-SM	2.730	1.786	0.140	1.746	7.43	8.03	0.564	38.9	22.0	
11.14	125	〃	〃	〃	1.747	0.133	1.614	7.64	8.27	0.692	32.6	27.6	
11.13	126	〃	〃	〃	1.678	0.128	1.550	7.64	8.27	0.761	29.6	30.4	

431126	127	◇	◇	◇	1672	0124	1548	739	798	0763	285	309
1127	128	◇	◇	◇	1801	0127	1674	703	756	0630	327	260
12.2	129	◇	◇	◇	1714	0154	1560	896	984	0749	358	275
12.2	130	◇	◇	◇	1948	0189	1759	968	1072	0552	530	167
12.7	131	◇	◇	◇	1996	0277	1719	1390	1614	0588	749	931
12.9	132	◇	◇	◇	2088	0286	1802	1363	1578	0514	838	548

表3-11 土質計算値 (挿入型) - ①

実 験 年月日	実 験 番号	実 験 材 料		比 重 Gs	湿潤密度 $\gamma_t (\% \text{ml})$	水分密度 $M (\% \text{ml})$	乾燥密度 $\gamma_d (\% \text{ml})$	含 水 量		間隙比 e	飽和度 Sr	空気体積率 Va	備 考
		土 質 名 称	土質分類					含水率 w	含水比 w				
413.11	1	土 質 研	CL	2.650	0.929	0.442	0.487	47.6	9.09	4.45	5.42	37.4	水分密度は 計算による 水分密度は 計算による
3.12	2	〃	〃	2.650	1.270	0.601	0.669	47.3	8.98	2.960	8.04	14.7	
3.15	3	〃	〃	〃	0.892	0.369	0.523	41.4	7.06	4.068	4.60	43.4	
3.15	4	〃	〃	〃	1.105	0.472	0.633	42.7	7.45	3.185	6.20	28.9	
3.16	5	〃	〃	〃	0.959	0.345	0.614	36.0	5.63	3.319	4.50	42.3	
3.17	6	〃	〃	〃	1.072	0.374	0.698	34.9	5.36	2.797	5.08	36.3	
3.18	7	砂	SP	2.700	1.519	0.0191	1.500	12.6	1.28	0.800	4.32	42.5	
3.18	8	合 成 土	SM	2.720	1.191	0.160	1.031	13.4	1.55	1.638	2.57	46.1	
3.19	9	〃	SM	2.720	1.477	0.198	1.279	13.4	1.55	1.127	3.74	33.2	
3.19	10	砂	SP	2.700	1.441	0.150	1.291	10.4	1.16	1.091	2.87	37.2	
325	11	砂75砂糖25	特殊		1.130	0.174	0.956	15.44	18.26	—	—	—	
325	12	砂 糖	〃		0.875	0.507	0.368	57.89	13.75	—	—	—	
326	13	第 一 盛 土	MH	2.650	0.817	0.360	0.457	44.1	7.89	4.803	4.35	46.7	
328	14	〃	〃	2.650	0.982	0.449	0.533	43.3	7.64	3.760	5.38	36.5	
330	15	〃	〃	2.650	0.854	0.458	0.396	53.6	11.55	5.687	5.38	39.3	
331	16	〃	〃	2.650	1.213	0.650	0.563	53.6	11.55	3.708	8.25	13.7	

414.4	17	第一盛土	MH	2.650	0.995	0.480	0.515	48.2	93.1	4.145	5.96	32.6
4.4	18	◇	◇	2.650	0.798	0.397	0.401	49.8	99.2	5.615	4.68	45.1
4.5	19	◇	◇	2.650	1.014	0.501	0.513	49.4	97.6	4.164	6.21	30.6
418	20	合成土	SM	2.720	1.150	0.150	1.000	13.0	14.9	1.718	23.6	48.3
418	21	◇	SM	2.720	1.476	0.193	1.283	13.1	15.1	1.121	3.66	33.5
419	22	砂	SP	2.700	1.533	0.0095	1.524	0.62	0.63	0.772	2.20	42.6
422	23	第一盛土	MH	2.650	1.126	0.558	0.568	4.96	98.4	3.669	7.11	22.7
424	24	◇	◇	2.650	1.126	0.548	0.578	48.7	95.0	3.669	7.01	23.3
427	25	砂	SP	2.700	1.833	0.142	1.691	7.75	8.40	0.597	3.80	23.2
428	26	◇	SP	2.700	1.834	0.189	1.645	10.3	11.5	0.641	4.84	20.2
428	27	◇	SP	2.700	1.465	0.167	1.298	11.4	12.9	1.081	3.22	35.2
5.2	28	◇	SP	2.700	1.846	0.231	1.615	12.5	14.3	0.672	5.75	17.1
5.6	29	合成土	SM	2.720	1.881	0.260	1.621	13.8	16.0	0.677	6.42	14.4
5.7	30	◇	◇	2.720	1.881	0.260	1.621	13.8	16.0	0.677	6.42	14.4
513	31	第一盛土	MH	2.650	0.871	0.426	0.445	48.9	95.7	4.954	5.12	40.6
514	32	◇	◇	2.650	1.295	0.436	0.859	4.91	9.65	3.021	8.46	11.5
7.8	33	土質研	MH	2.650	1.056	0.494	0.562	4.63	88.0	3.717	6.27	29.3
711	34	砂	SP	2.700	1.734	0.158	1.576	9.09	10.0	1.000	3.79	25.9
711	35	合成土	SM	2.720	2.067	0.287	1.780	13.9	16.1	0.528	8.30	5.97

表3-11 土質計算值 (挿入型)-②

実 験 年月日	実 験 番号	実 験 材 料		比 重 Gs	湿潤密度 $\gamma_t (\%_m)$	水分密度 $M (\%_m)$	乾燥密度 $\gamma_d (\%_m)$	含 水 量		間隙比 e	飽和度 Sr	空気体積率 Va	備 考
		土 質 名 称	土 質 分 類					含水率 w	含水比 w				
41.7.12	36	合 成 土	SM	2.720	2.093	0.303	1.790	145	17.0	0.520	88.8	38.2	
7.14	37	砂	SP	2.700	1.499	0.0115	1.487	1.15	1.16	0.822	38.1	43.4	
8.14	38	〃	〃	2.700	1.509	0.0128	1.486	0.85	0.86	0.805	28.9	43.3	
8.15	39	第一盛土	MH	2.650	0.756	0.362	0.394	47.9	9.19	5.727	42.5	48.9	
8.15	40	〃	〃	2.650	0.915	0.43	0.484	47.1	8.90	4.474	52.7	38.6	
8.29	41	土 質 研	MH	2.650	0.789	-	-	-	-	-	-	-	
8.30	42	砂	SP	2.700	1.470	-	1.470	-	-	0.837	-	45.6	
8.30	43	〃	〃	2.700	1.489	-	1.489	-	-	0.813	-	44.9	
8.30	44	〃	〃	2.700	1.485	-	1.485	-	-	0.818	-	45.0	
8.31	45	〃	〃	2.700	1.486	-	1.486	-	-	0.817	-	45.0	
8.31	46	第一盛土	MH	2.650	0.787	0.364	0.423	46.2	8.59	5.260	43.3	47.7	
8.31	47	〃	〃	2.650	0.793	0.373	0.420	47.0	8.87	5.306	44.3	46.9	
9.10	48	合 成 土	SM	2.720	2.011	0.253	1.758	12.6	14.4	0.547	71.6	10.1	

表 3 - 12 土質計算値 (透過型密度計) - ①

実 験 年月日	実 験 番号	実 験 材 料		比 重 Gs	湿潤密度 $\gamma_w (\%)$	水分密度 M ($\%$)	乾燥密度 $\gamma_d (\%)$	含 水 量		間隙比 e	飽和度 Sr	空気体積率 Va	備 考
		土 質 名 称	土質分類					含水率 w	含水比 w				
43.12.6	1	緑川マサ土	SC-SM	2.730	1.672	0.124	1.548	7.39	7.98	0.763	2.68	30.9	
1127	2	〃	〃	2.730	1.801	0.127	1.674	7.03	7.56	0.630	3.27	26.0	
1127	3	第一盛土	MH	2.650	1.132	0.476	0.656	42.1	72.7	3.043	6.33	27.6	
1128	4	〃	〃	2.650	1.270	—	—	—	—	—	—	—	
1128	5	大阪マサ土	SM	2.645	1.563	0.151	1.412	9.66	10.69	0.873	3.24	31.5	
1129	6	〃	〃	2.645	1.673	0.161	1.512	9.65	10.68	0.750	3.77	26.7	
1129	7	姫 路	ML	2.681	1.430	0.174	1.256	12.17	13.86	1.135	3.27	35.7	
1130	8	〃	〃	2.681	1.646	0.194	1.452	11.64	13.17	0.843	4.19	26.6	
12.3	9	緑川マサ土	SC-SM	2.730	1.795	0.169	1.626	9.39	10.36	0.678	4.17	23.6	
12.3	10	〃	〃	2.730	1.973	0.195	1.778	9.86	10.94	0.535	5.58	15.4	
12.4	11	砂質ローム	SM	2.647	1.403	0.236	1.167	16.79	20.2	1.268	4.22	32.3	
12.5	12	〃	〃	2.647	1.289	0.217	1.072	16.80	20.2	1.468	3.64	37.8	
12.5	13	第二盛土	CH	2.650	1.169	0.401	0.768	34.3	52.2	2.450	5.65	30.9	
12.6	14	〃	〃	2.650	1.275	0.431	0.844	33.8	51.1	2.141	6.33	25.0	
12.6	15	姫 路	ML	2.681	1.472	0.227	1.245	15.45	18.27	1.154	4.24	30.8	
12.7	16	〃	〃	2.681	1.720	0.257	1.463	14.93	17.55	0.832	5.65	19.7	

表 3-12 土質計算値(透過型密度計) - ②

実 験 年月日	実 験 番号	実 験 材 料		比 重 Gs	湿潤密度 $\gamma_w (\% \text{ml})$	水分密度 $M (\% \text{ml})$	乾燥密度 $\gamma_d (\% \text{ml})$	含 水 量		間隙比 e	飽和度 Sr	空気体積率 Va	備 考
		土 質 名 称	土質分類					含水率 w	含水比 w				
4312.9	17	大阪マサ土	SM	2.645	1.627	0.197	1.430	12.10	13.77	0.850	42.9	2.62	
1210	18	〃	〃	2.645	1.845	0.218	1.629	11.83	13.42	0.626	56.7	1.67	
1210	19	鳥 井 峠	〃	2.650	1.248	0.258	0.990	20.64	2.60	1.675	41.1	3.69	
1211	20	砂	SW	2.700	1.450	0	1.450	0	—	0.862	—	4.63	
1212	21	碎石 - ①	GW	2.777	1.493	0.020	1.473	1.36	1.38	0.881	43.3	4.49	
1212	22	〃	〃	〃	1.660	0.025	1.635	1.51	1.53	0.696	60.8	3.8.6	
1213	23	碎石 - ②	〃	—	1.629	0.046	1.583	2.80	2.88	—	—	—	
1213	24	〃	SW	2.700	1.420	0.103	1.317	7.26	7.83	1.050	20.1	4.13	
1216	25	砂質ローム	SM	2.647	1.321	0.265	1.056	20.1	25.2	1.509	44.2	3.35	
1217	26	〃	SM	2.647	1.541	0.299	1.242	19.41	24.1	1.132	56.4	2.32	
1217	27	碎石 - ③	GW	2.729	1.659	0	1.659	0	—	0.645	—	3.92	
1218	28	砂 (粗)	SW	2.700	1.781	0.064	1.717	3.60	3.79	0.573	17.8	2.9.9	
1219	29	碎石 - ④	GW	2.712	1.614	0	1.614	0	—	0.680	—	4.05	
1220	31	碎石 - ⑤	〃	2.734	1.461	0	1.461	0	—	0.870	—	4.6.6	
1221	32	碎石 - ⑥	〃	—	1.688	0	1.688	0	—	—	—	—	

3 - 2

[illegible]

土質工学会

図 3 - 4

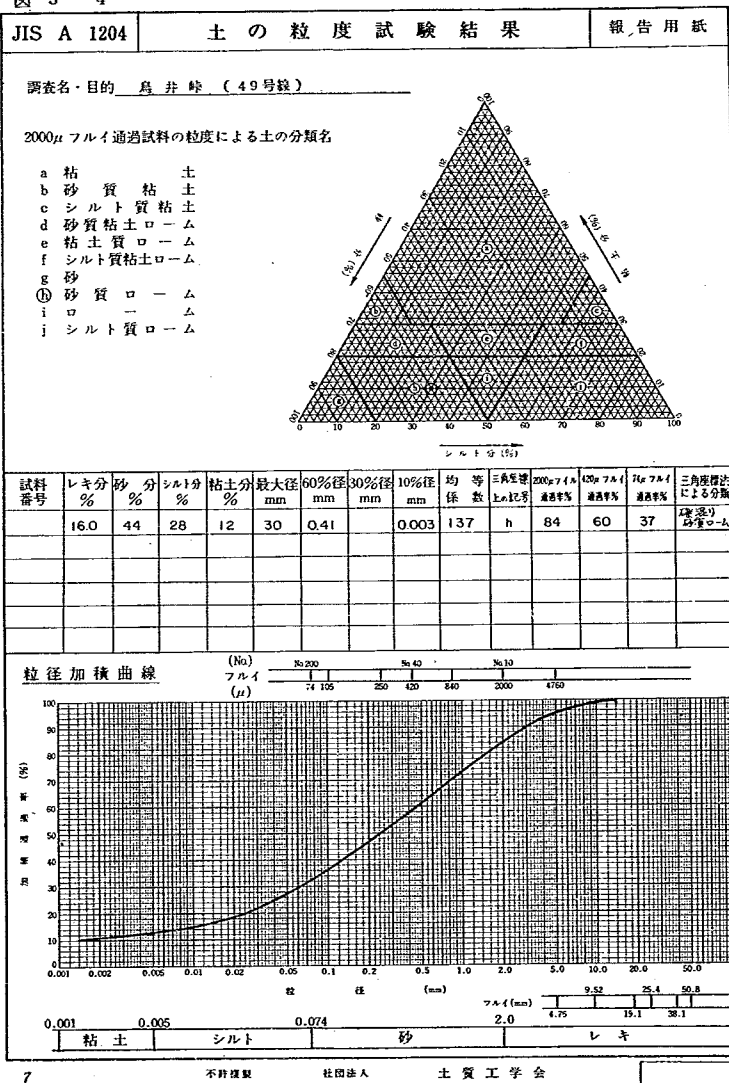
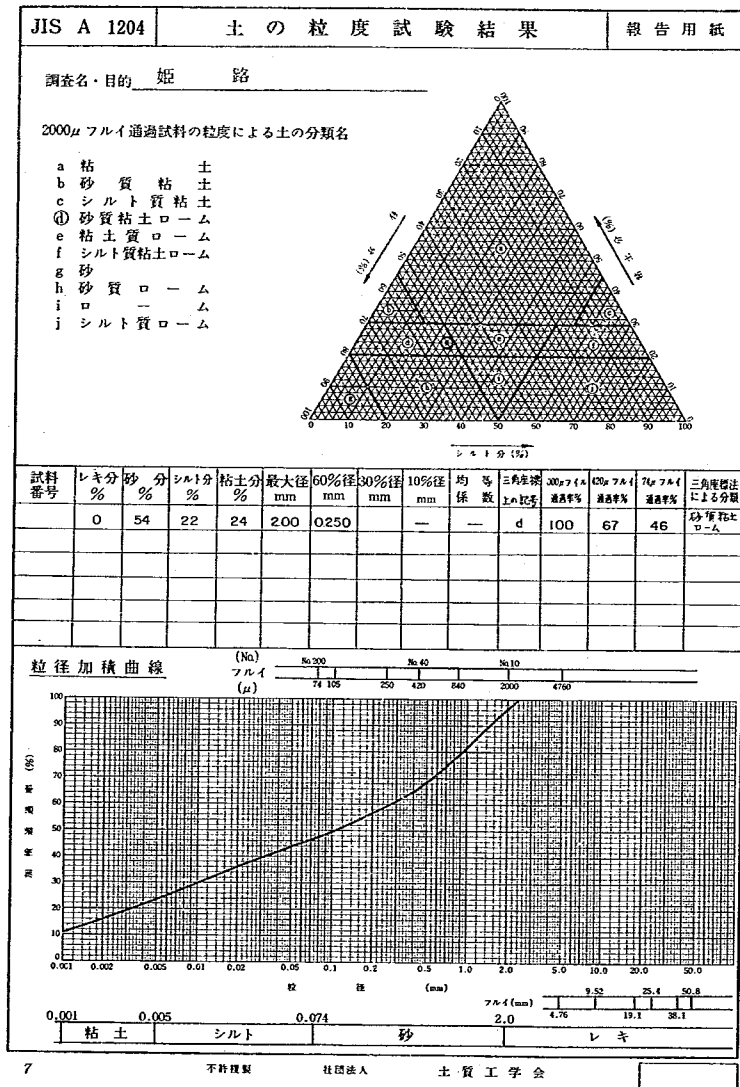
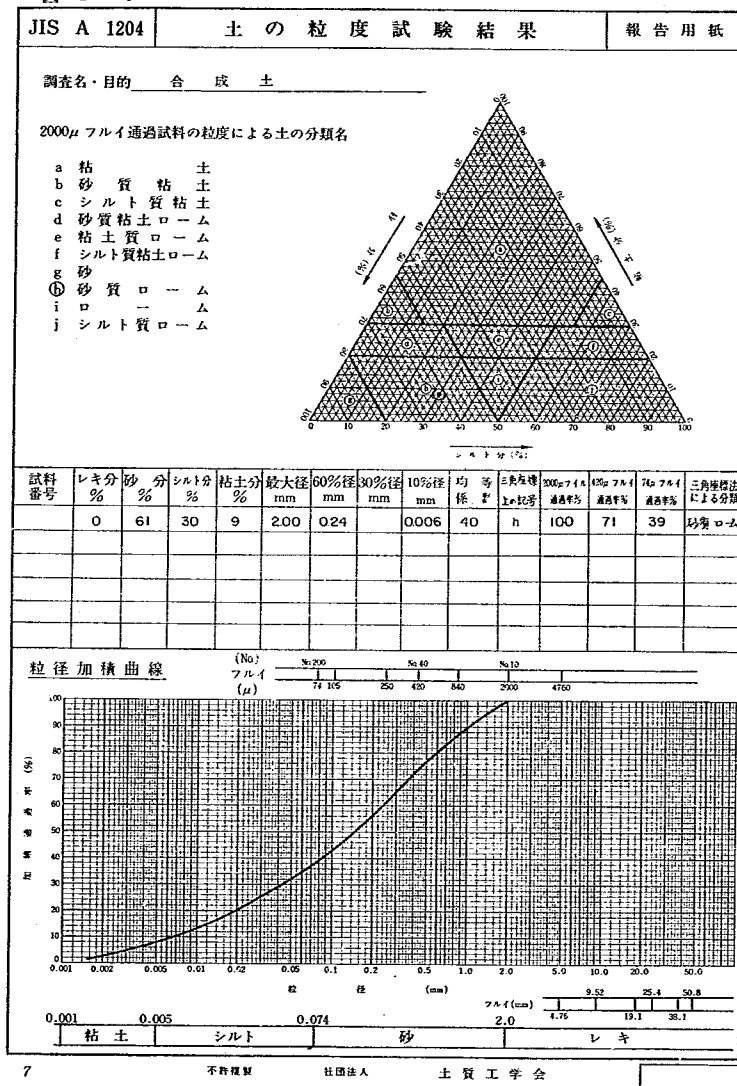


図 3 - 5



[illegible]

図 3 - 7



3-3 較正曲線

較正実験で得られた結果より、較正曲線を図3-8から図3-16までに示す。

土の分類は統一分類法に従って、粗粒土と組粒土に大きく2つに分類し、粗粒土のうちでも、レキ、碎石は散乱型計器において砂および砂質土とはまったく違った現象が見られるのでこれらを別に取り扱った。

表面型密度計および表面型水分計において、RIの深さ方向の作用範囲が約10 cm程度であるので、一段毎の深さ方向5 cmの r_0 およびMと、二段毎の深さ方向10 cmの r_0 およびMに分け、それぞれの較正曲線を作成した。

これにより、深さ方向10 cmの較正曲線が現場測定で従来法に良くあうように思われる。

それぞれの較正曲線式を表3-13に示す。

ただし、縦軸にR、G(%)、横軸(z)に湿潤密度および水分密度をとった。

挿入型のアクセスパイプは、アルミニウムパイプの厚3 mmのものによる較正曲線式である。

3-13 較正曲線式表

計器名	較正曲線式	不偏分散の平方根 (バラッキ)RV	相関係数 R	備 考	
表面型 密度 プローブ	$y = -0.381z + 1483$	0.014	-0.990	深さ方向 (cm)	細粒土
	$y = -0.391z + 1488$	0.033	-0.935	5	粗粒土
	$y = -0.394z + 1496$	0.026	-0.963		全 体
	$y = -0.380z + 1480$	0.015	-0.989	10	細粒土
	$y = -0.388z + 1483$	0.031	-0.939		粗粒土
	$y = -0.393z + 1492$	0.062	-0.965		全 体

計器名	校正曲線式	Rv	R	備 考	
表面型 水分 プローブ	$y = 1.032x + 0.023$	0.022	0.987	深さ方向 (cm)	細粒土
	$y = 1.188x - 0.024$	0.018	0.994		粗粒土
	$y = 1.136x - 0.014$	0.020	0.993	5	全体
	$y = 1.031x - 0.022$	0.020	0.989	10	細粒土
	$y = 1.180x - 0.022$	0.016	0.995		粗粒土
	$y = 1.128x - 0.012$	0.018	0.994		全体
挿入型 密度 プローブ	$y = -0.281x + 1.398$	0.014	-0.955	細粒土	
	$y = -0.486x + 1.649$	0.010	-0.998	粗粒土	
	$y = -0.409x + 1.517$	0.038	-0.973	全体	
挿入型 水分 プローブ	$y = 1.160x + 0.038$	0.021	0.983	細粒土	
	$y = 1.654x - 0.021$	0.041	0.979	粗粒土	
	$y = 1.180x + 0.037$	0.041	0.980	全体	
透 過 型 密度 ブ ロ ー ブ	$\log y = -0.309x + 0.173$	0.021	-0.964	打込深さ (cm)	細粒土
	$\log y = -0.294x + 0.159$	0.012	-0.983		粗粒土
	$\log y = -0.082x - 0.183$	0.026	-0.570	5	砕石
	$\log y = -0.256x + 0.100$	0.024	-0.927		全体
	$\log y = -0.266x + 0.106$	0.030	-0.901	10	細粒土
	$\log y = -0.516x + 0.375$	0.010	-0.996		粗粒土
	$\log y = -0.431x + 0.246$	0.023	-0.880		砕石
	$\log y = -0.517x + 0.398$	0.048	-0.919		全体
	$\log y = -0.646x + 0.493$	0.028	-0.984	15	細粒土
	$\log y = -0.681x + 0.562$	0.018	-0.993		粗粒土

内
十
八

計器名	校正曲線式	R _v	R	備考	
透過型密度プロブ	$\log y = -0.601z + 0.448$	0.020	-0.945	打込深さ (cm)	砕石
	$\log y = -0.649z + 0.510$	0.022	-0.988		全体
	$\log y = -0.807z + 0.657$	0.030	-0.987	20	細粒土
	$\log y = -0.813z + 0.693$	0.016	-0.996		粗粒土
	$\log y = -0.932z + 0.895$	0.018	-0.980		砕石
	$\log y = -0.787z + 0.649$	0.024	-0.990		全体

表面型密度計，表面型水分計，挿入型密度計および挿入型水分計では，細粒土と粗粒土の2本の校正曲線が得られたが，校正曲線の上部の方は細粒土がしめ，下部の粗粒土がしめる傾向にある。

この二つの線の交点を境として，両方の式を使用することが全体による1本の曲線式を使用するよりも現場測定において，好ましく思われる。

透過型密度計においては，細粒土，粗粒土および砕石の3本の校正曲線が得られたが，土質による差は打込深の浅い場合を除いて，あまり顕著でなく現場測定においては，これらをまとめた全体による1本の曲線式を使用するのが望ましい。

打込の深さ別による全体の校正曲線を図3-14に示す。

なお表面型密度計および水分計の校正曲線のばらっきの程度をよく知るために，図3-17，図3-18に校正容器の各段による深さ方向10 cmについて，プロットしたものを示す。

(1) 背面散乱型密度計

図3-17からもわかるように表面型密度計の校正曲線においては，バラッキがかなり大きい。背面散乱型密度計は，第5章の5-4での実験結果からもわかるように，特に試料の表面状態に影響されやすいので，ある程

度のバラッキは、さけられないのかもしれない。細粒土と粗粒土に分けて、直線近似すると両者には差が生じ、細粒土が上方に平行移動する傾向にある。なおレキや碎石については図にプロットしていないが、この場合は、はっきりと粗粒土系の線よりも下方に位置する。これら土質による差は、その試料の粒径や含水量の違いや、また含有物質の違いによるものと考えられる。挿入型密度計においても表面型計器と同様の傾向にある。

(2) 中性子水分計

図3-18によると、水分計においてはバラッキは少なく充分に直線近似できるようである。

細粒土系と、粗粒土系で直線には差があり、細粒土は高含水量領域を、粗粒土は低含水量領域を代表している。

細粒土を多く含む砂質ロームを粗粒土系に分類したので、直線の差はそれほど顕著ではないが、粗粒土に比して細粒土は上方へ平行移動する傾向がある。これは細粒土には砂質土に比して結晶水の含まれる割合が多く、水分計は結晶水まで測定するのに反して、従来の炉乾燥法では、結晶水まで測定しないことに起因するものと考えられる。

(3) 透過型密度計

透過型密度計においては、図3-14に示すように、打込み深さに応じて、4本の線が得られている。この4本の線は測定の原理によると $x=0$ なる点で集束する。

ところで、図3-8の較正曲線は、 $x=0.848 \sim 1.142$ の範囲で集束している。

これは線源と検出器間のキヨリが打込み深さによって変り、そのことにより幾何条件が異なることによる影響と、放射線の散乱による影響ではないかと思われる。

土質の差、粒径の差によるばらつきは、背面散乱方式にくらべて少なく、試料の表面状態による影響もあまり受けないタイプであり、背面散乱方式

より優れていると思われる。

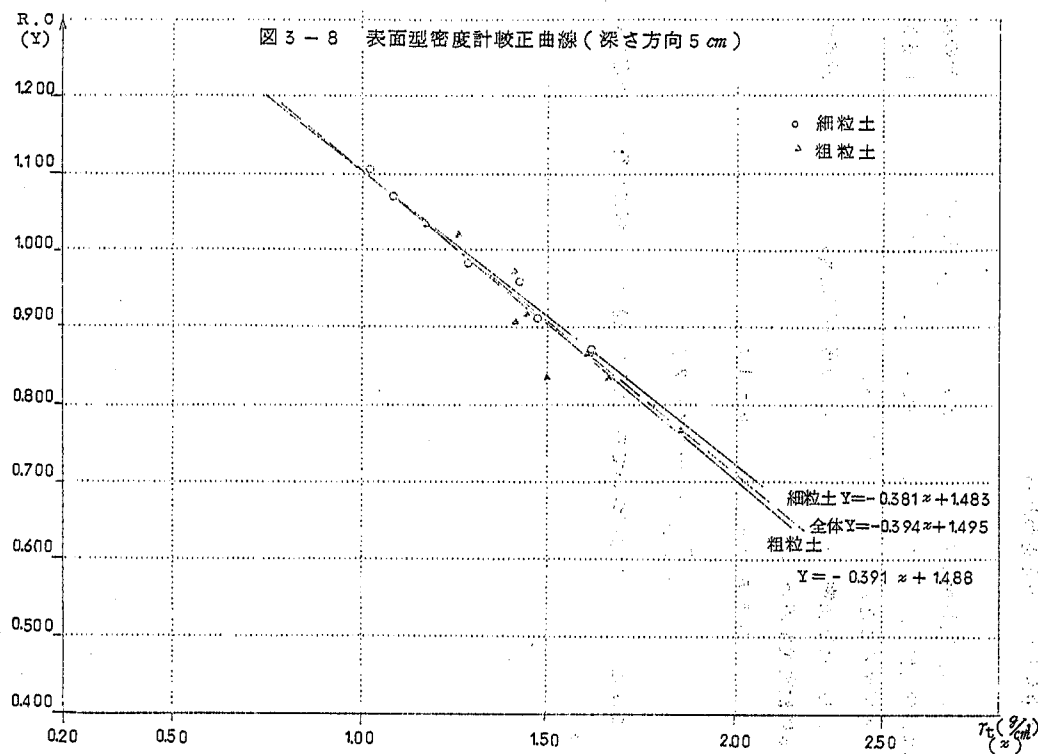
一般に、実際現場で測定する場合の較正曲線は、土質の差を考えてその現場の試料にて、2～3点を較正実験で求めて、室内較正曲線との相対関係にて使用することが望ましいようである。

得られた湿潤密度 γ_t と水分密度 M より乾燥密度 γ_d および含水比 W を計算するには次式を用いる。

$$\gamma_d = \gamma_t - M \dots\dots\dots (3-1)$$

$$W = \frac{M}{\gamma_t - M} \dots\dots\dots (3-2)$$

なおこれら較正曲線についてのくわしい検討は第2報にて行なう予定である。



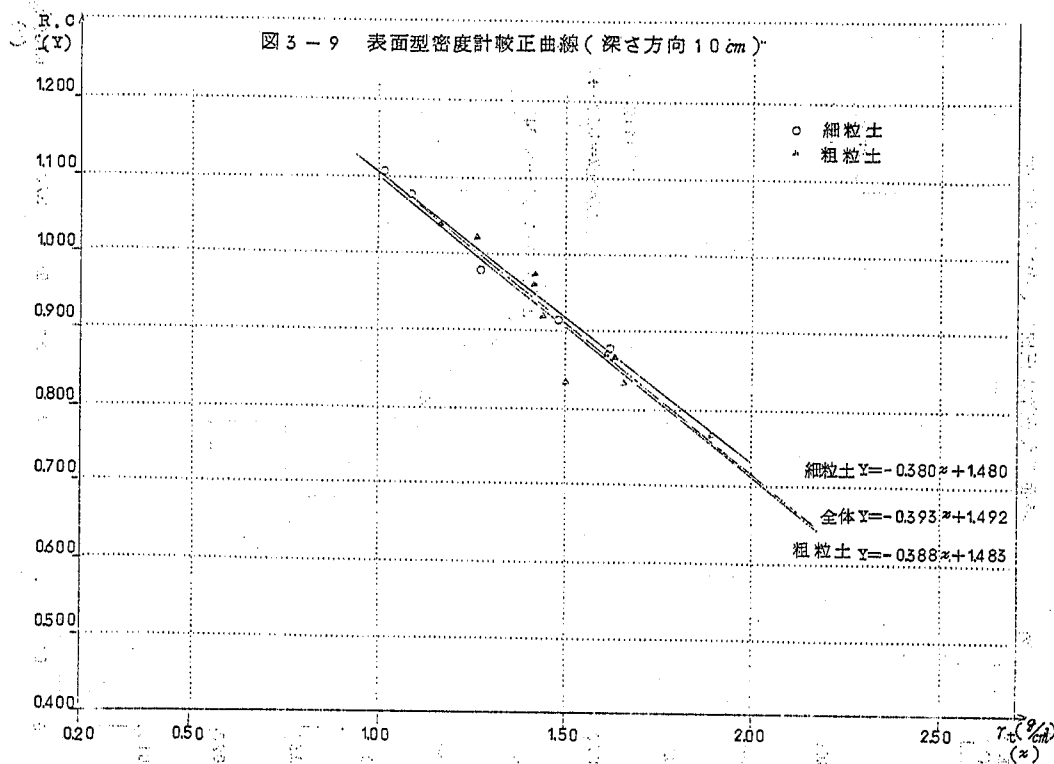


圖 3 - 10 表面型水分計較正曲線 (深さ方向 5 cm)

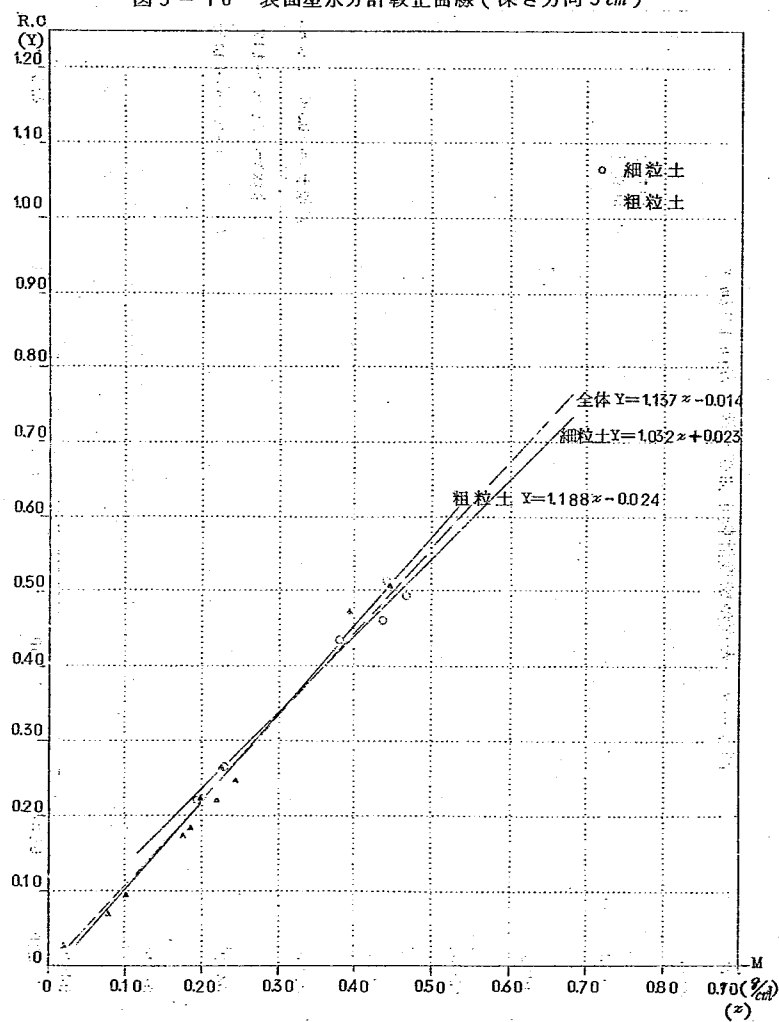


図 3-11 表面型水分計校正曲線（深さ方向 10 cm）

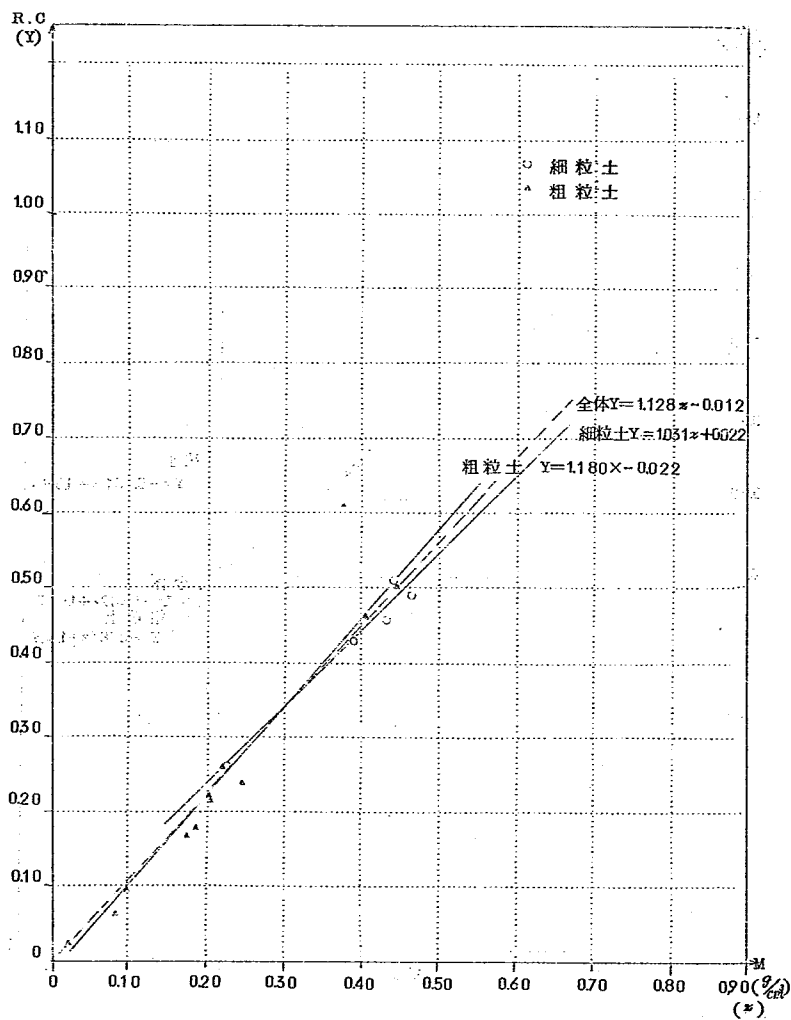


図 3-12 挿入型密度計校正曲線

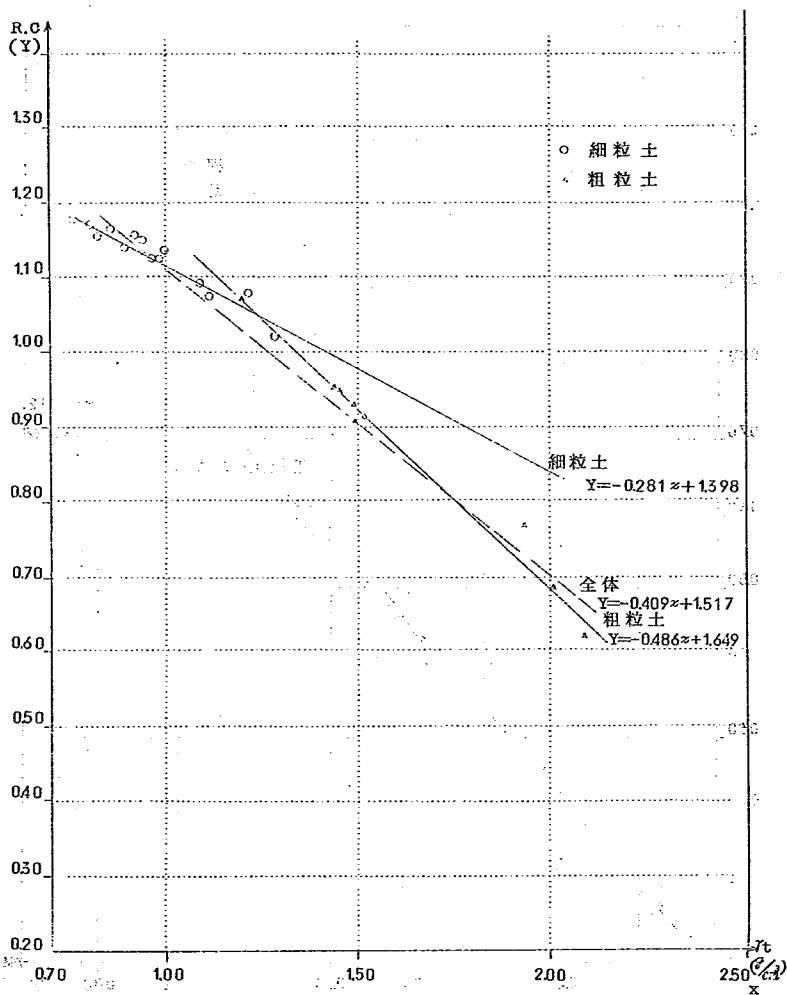


図 3 - 13 挿入型水分計校正曲線

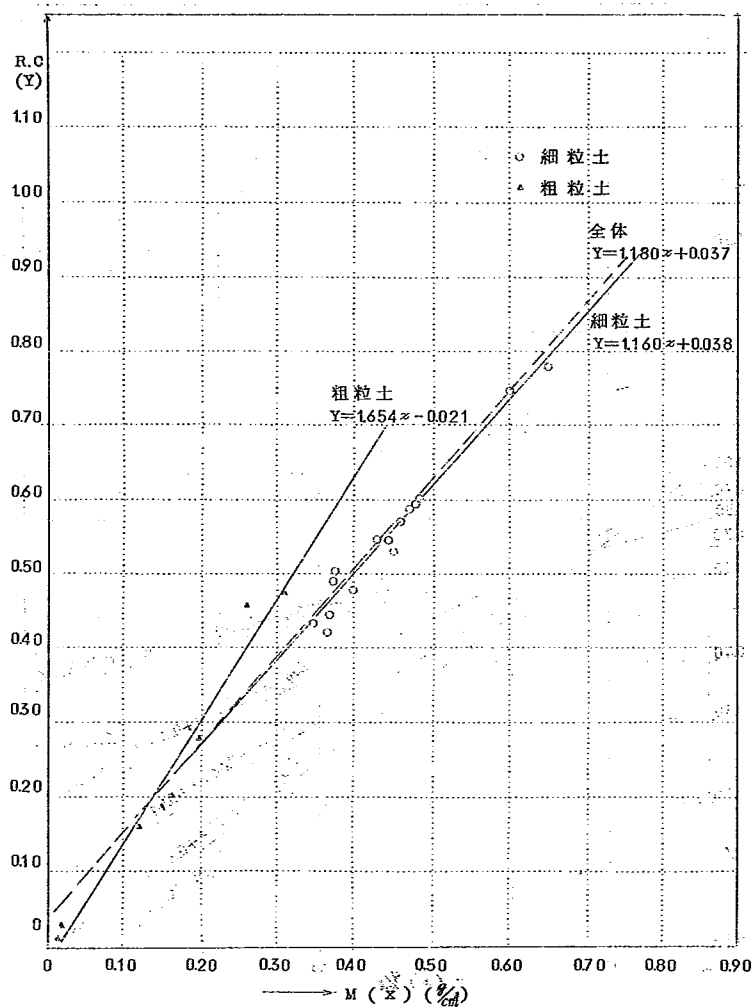


圖 3 - 14 透過型密度計校正曲線(1)

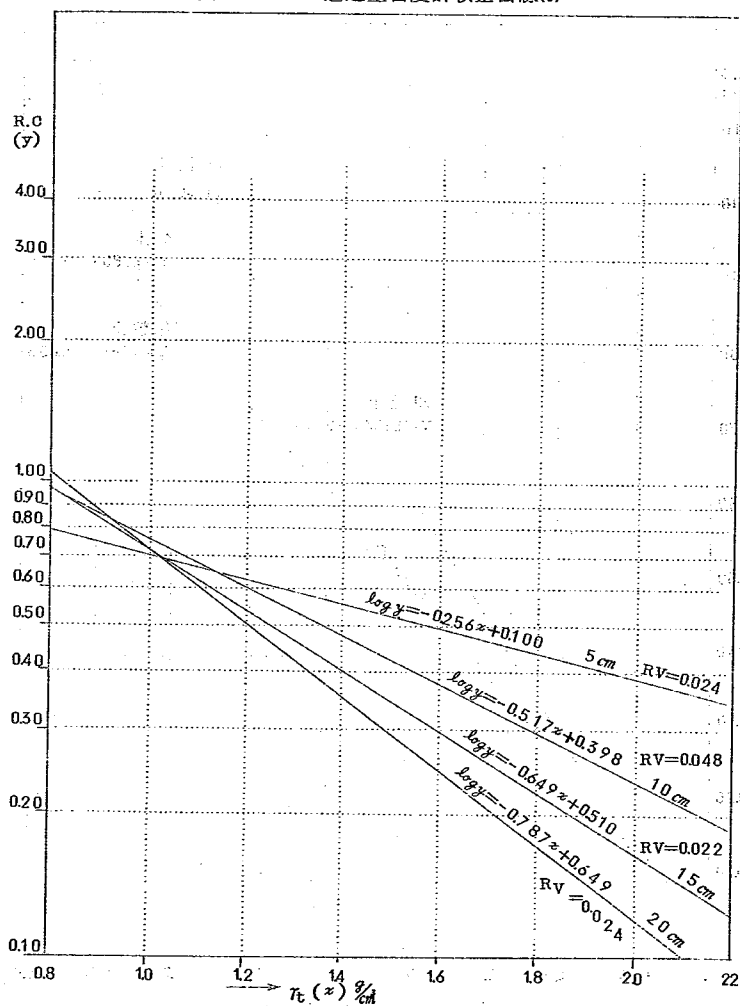


図3-15 透過型密度計校正曲線(2)

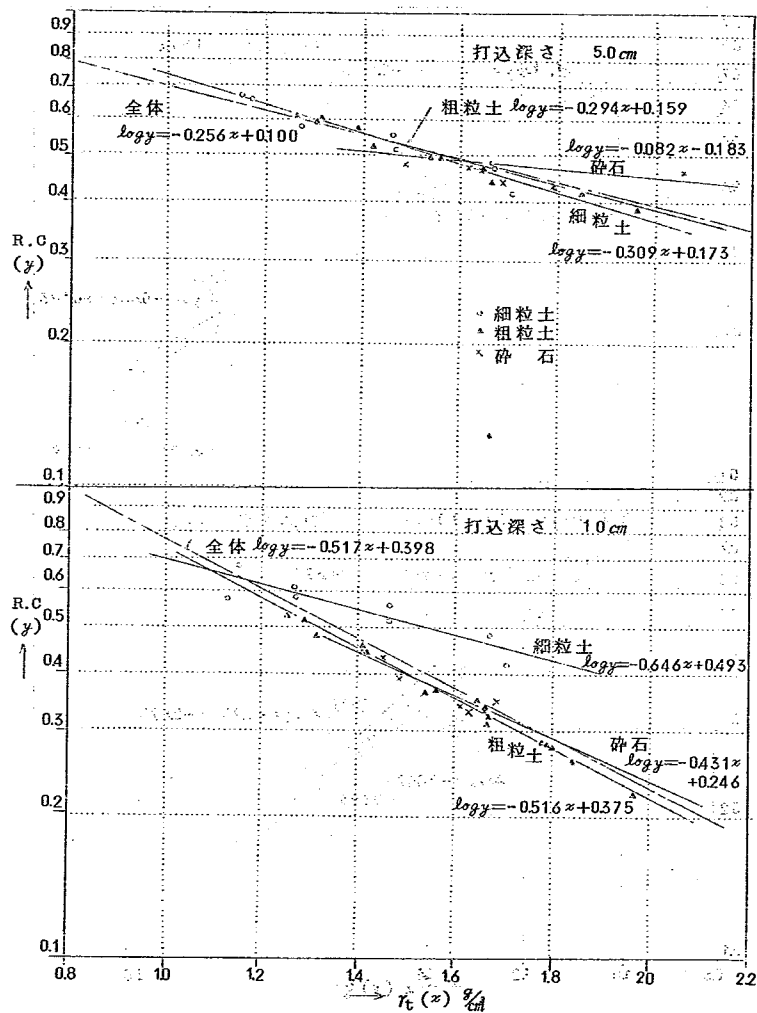
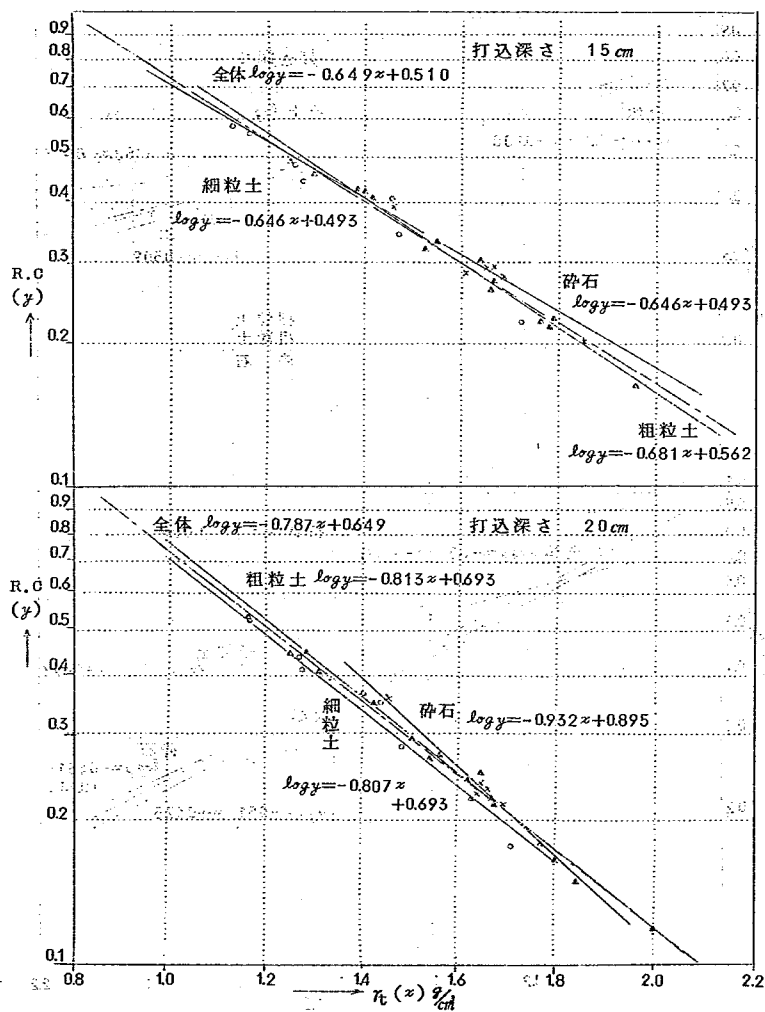


圖 3-16 透過型密度計校正曲線(3)



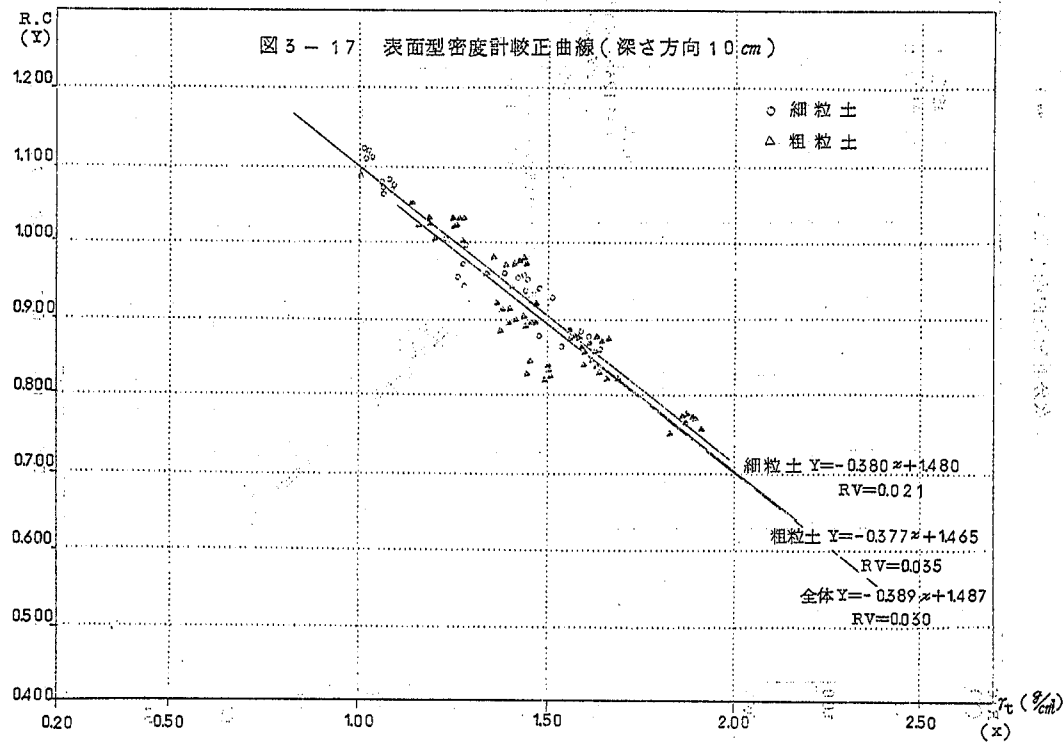
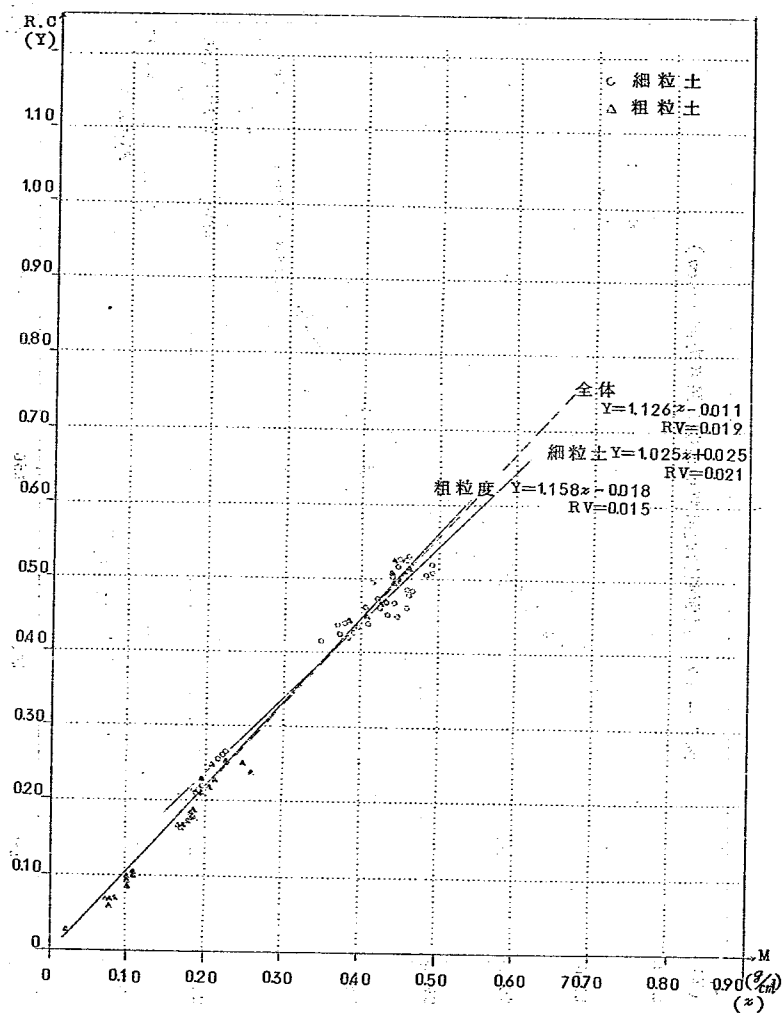


図 3-18 表面型水分計校正曲線 (深さ方向 10 cm)



第4章 計器の作用範囲

散乱ガンマ線および中性子線の到達距離に応じて測定の有効体積（作用範囲：Sensitive Volume）が定まってくる。一般に作用範囲は計器における線源と検出管のジオメトリー（幾何的配置）及び線源の種類によって異なってくるが、普通に使用されている Cs^{137} や $A_{m}-B_{\theta}$ 線源を用いている計器では当試験に用いている計器と同程度の作用範囲を有しているものと考えてよい。

この章では作用範囲に関する実験結果と、これに関連して試料が層をなす場合の影響、および垂直方向の測定の重みについてふれる。透過型密度計については第2報にてとりあげる予定である。なお本報告においてとりあつかっている計器のジオメトリーを図4-1～図4-7に示す。

図 4-1 表面型型 ガンマー線密度計

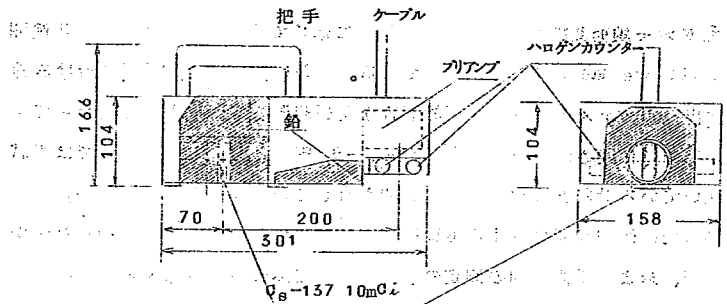


図 4-2 表面型 中性子水分計

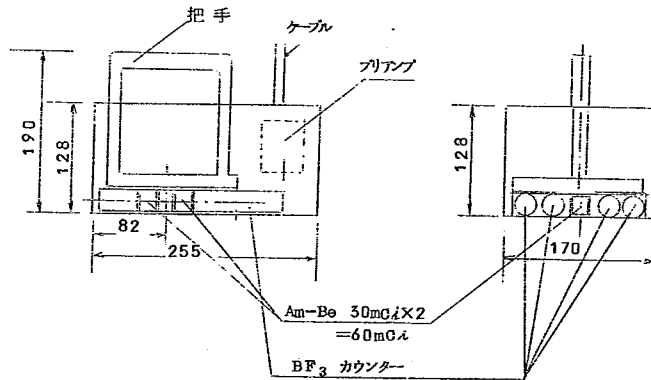


図4-3 透過型 密度計

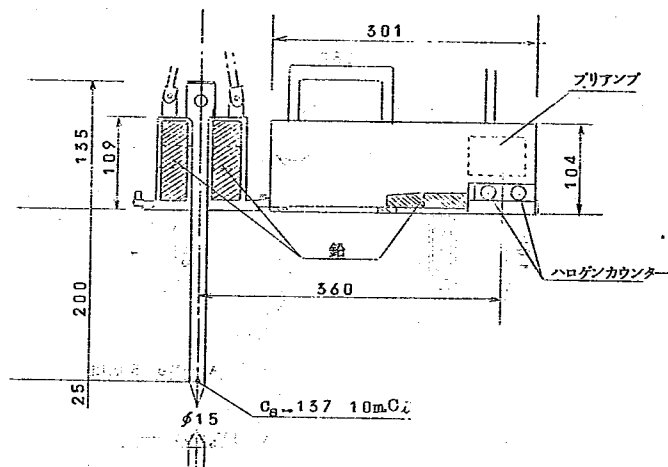


図 4-4 表面型 水分・密度計

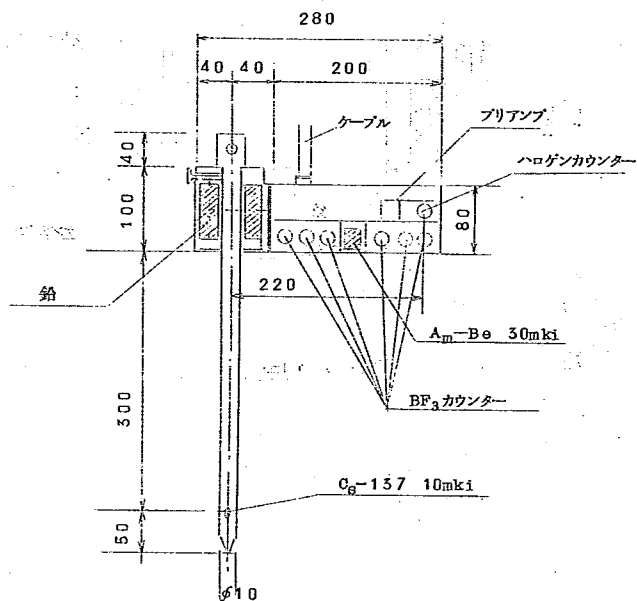


図 4-5 挿入型中性子水分計

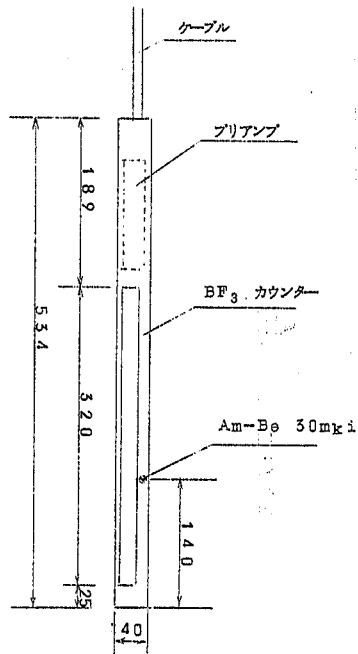


図 4-6 挿入型ガンマー線密度計

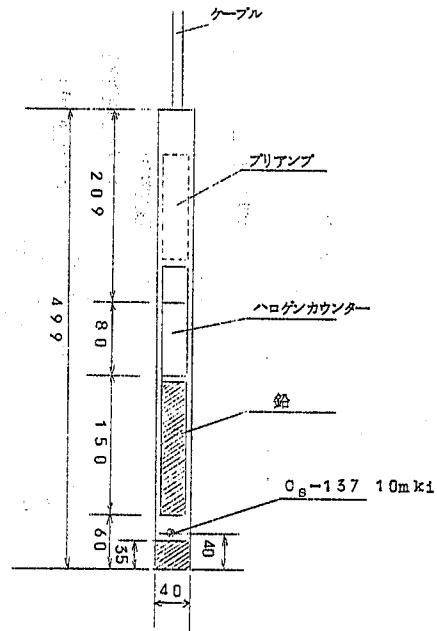
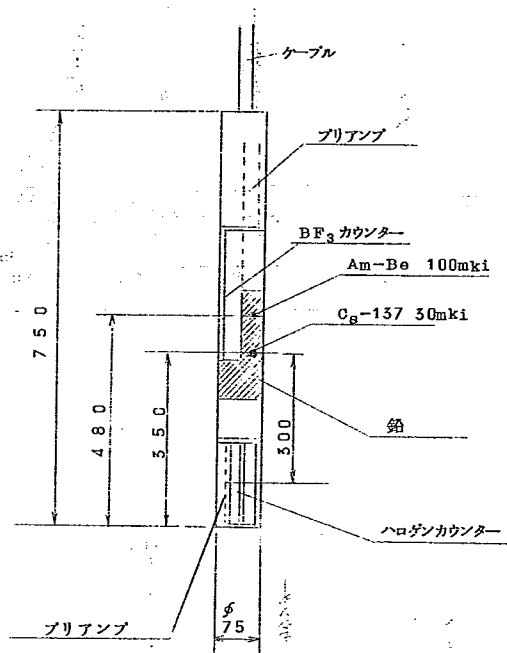


図4-7 挿入型 水分・密度計



4-1 計器の作用範囲 (Sensitive Volume)

有効体積の大きさ、すなわち作用範囲を知るには、被測定物の厚さを変えて計数値の飽和点で推定する方法をとった。

(1) 表面型ガンマ線密度計 (背面散乱型)

深さ方向の作用範囲は図4-8に示すように計器をさかさまにして、その上に試料を重ねていく方法をとった。

試験は土および特殊物質について

行なった。深さ方向および横方向

の結果を図4-9～図4-16お

よび表4-1に示す。図4-9は

締固め程度をいろいろと変化させ

た土について、試料の厚さを変化

させたときの計数値の変化を示し

ている。いずれの試料においても厚さを増加するにしたがって計数値が増加

していくが、計数値が飽和点に達する付近においては曲線の勾配がしだいに

ゆるやかになっている。計数値が飽和点に達したときの厚さが、放射線の到

達しうる最長距離であり、これが測定の有効深さと考えることができる。し

かしながら曲線の形から、計数の飽和値を100%とすると、実用上は90

%の点の厚さをとるのが妥当であると考えられる。図4-11、4-12に

は、以上の結果を100%、90%、80%の作用深さについてまとめたも

のである。この結果より作用深さは密度が大になるにしたがって浅くなる傾

向にあるが普通の土 ($\gamma_t \div 1.6$) では実用上10cm程度の有効測定深さを

もつことがわかる。

横方向についても図4-13、14に示すような方法で90%の実用作用

範囲を調べてみると、普通の土では試料面において 2.5×1.5 cm、深さ10

cmの楕円体と見なすことができる。なお測定の中心は線源と検出管のほぼ中

間に存在する。

(2) 表面型中性子水分計

表面型密度計の場合と全く同様の方法で行なった。結果を図4-27～図4-29および表4-2に示す。この結果より、作用範囲は含水量が減少するに従って、広くなる傾向にある。含水量が 0.2 g/cm^3 以下になると作用範囲は急激に広くなるが、普通の土(含水比15%以上)では、実用作用範囲はほぼ深さ14cm、試料表面での面積 $22 \times 18\text{ cm}$ である。含水比15%以下の砂ではさらにこの範囲は広くなることが考えられる。なお測定中心は、ほぼ中性子線源の位置である。

(3) 挿入型計器

挿入型計器の作用範囲については、試料として水を用い、半径方向、軸方向について検討した。実験結果を図4-23～図4-25に示す。90%の実用作用範囲で考えると、密度計の場合に、半径方向13cm、軸方向3.0cm程度である。たとえこれは試料に水を用いた場合の値であるので、実際の土の場合とは異なる。実際の土の場合には、密度計では、この値は小さくなり、水分計では大きくなるものと考えられ、結局、表面型計器とほとんど同様の測定範囲を有するものと思われる。たとえ軸方向にかなり広い範囲を有するのは、密度計においては線源と検出管の距離が大であること、水分計においては検出管そのものの長さが大であること、といったジオメトリによるものであろう。

なお表面型、挿入型の実用作用範囲を図4-26、図4-27に示した。ただし挿入型については実際の土の場合を示していないので注意を要する。



写真 4-1 作用範囲実験中(土)

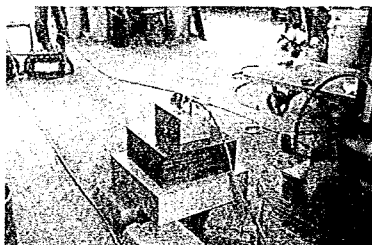


写真 4-2 作用範囲実験中
(ペークライトヒミカゲ石)

図4-9 表面型密度計 深さ方向作用範囲(0) (土)

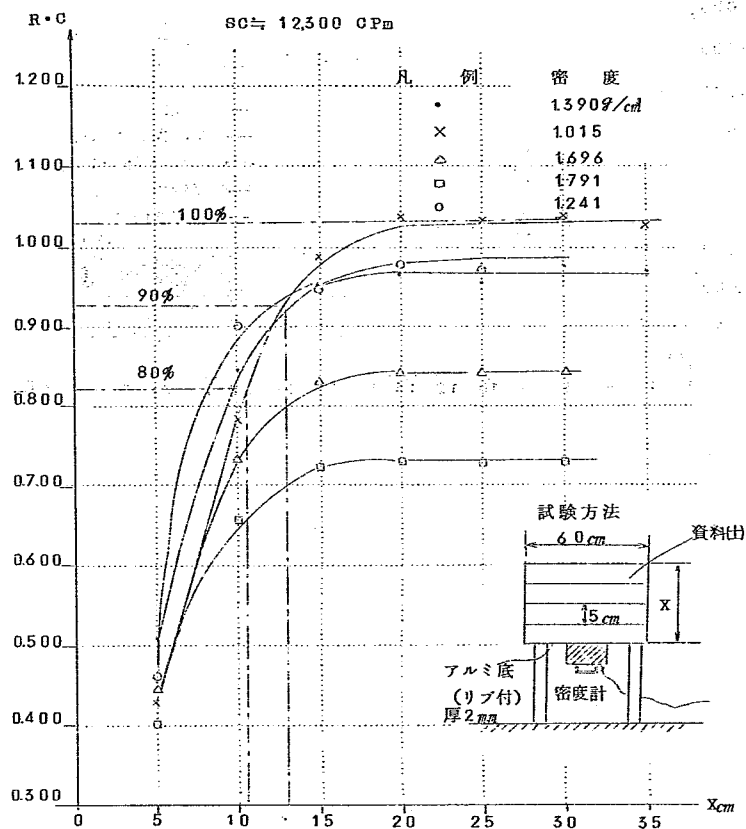


図4-10. 表面型密度計：深さ方向作用範囲(1) (特殊物質)

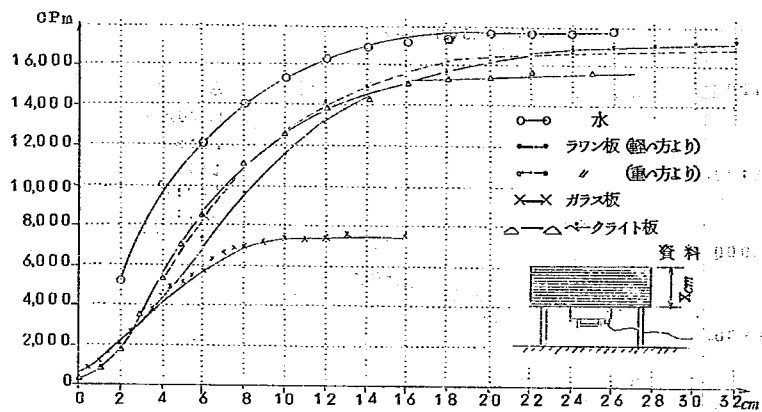


図 4-1-1 表面型密度計 深さ方向作用範囲(2) (土)

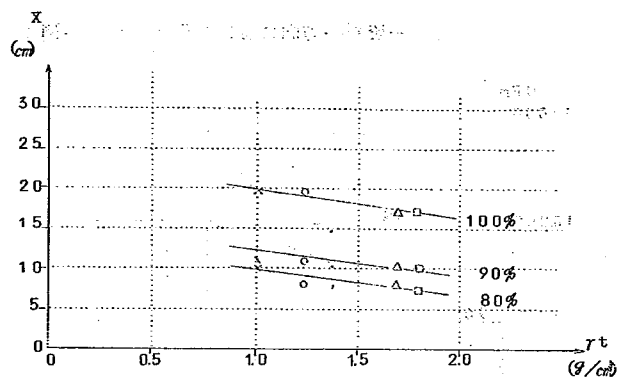


図 4-1-2 表面型密度計 深さ方向作用範囲(2) (特殊物質)

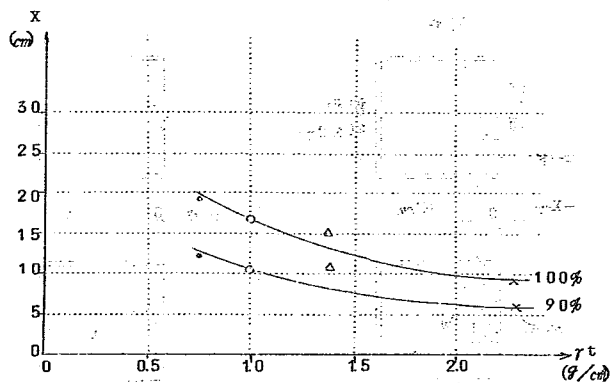
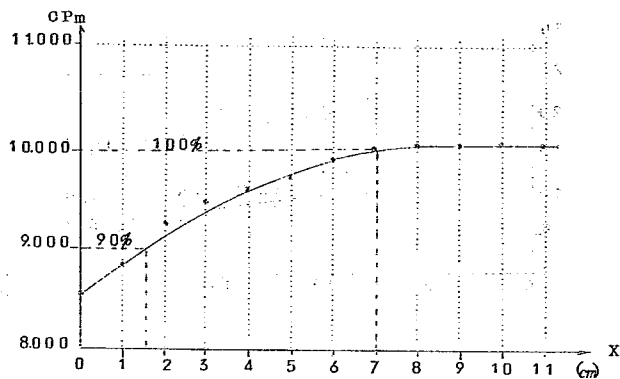


図4-13 表面型密度計 横方向作用範囲(1) (土)

一資料一方向における作用関係(一例)



試験方法

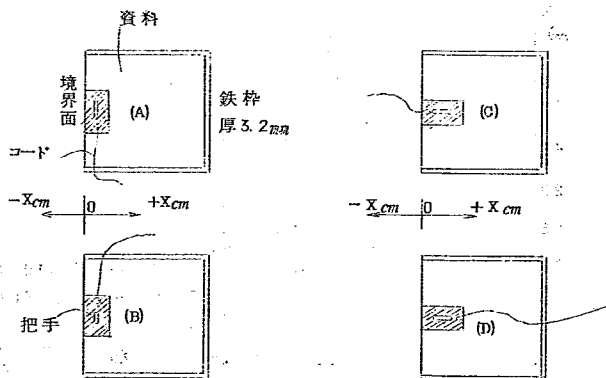
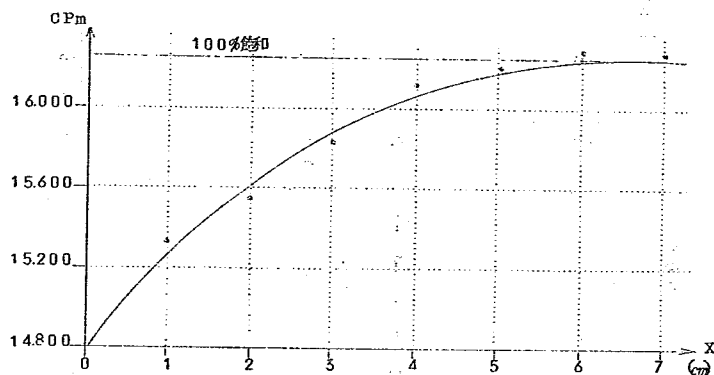


図 4-14 表面型密度計 横方向作用範囲(1) (特殊物質)

一資料一方向における作用範囲(一例)



試 験 方 法

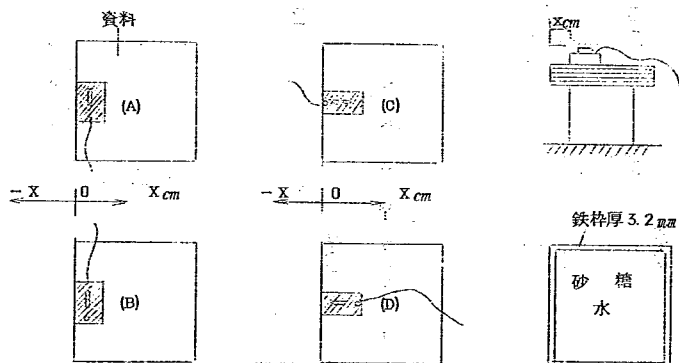


图 4-15 表面型密度计 横方向作用范围(2) (±)

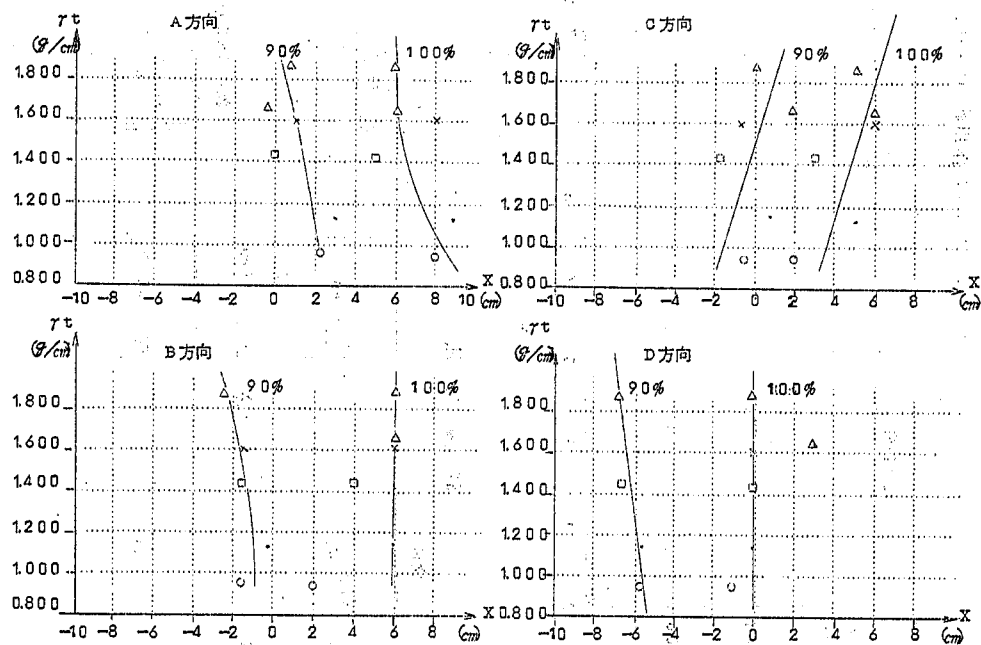


图 4-16 表面型密度计 横方向作用范围(2) (特殊物质)

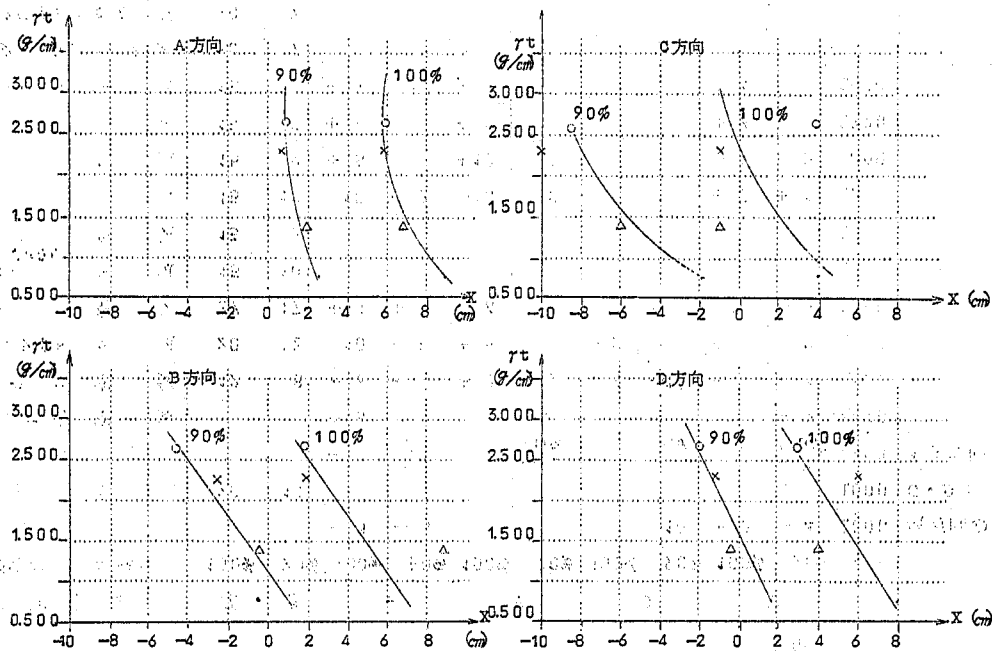


表 4-1 表面型密度計の作用範囲

(単位はcmで各ふちを0とする)

使用材料		深 さ		A		B		C		D		備考	
被測定物質	境界物質	100%	90%	100%	90%	100%	90%	100%	90%	100%	90%		$\frac{7t}{g/cm}$
水	ミカゲ石			+ 1	- 3	0	- 6	- 7	-10	+ 2	- 4	1000	横方向のA・B・
水	空 気	20	11									1000	C・Dは、図4-
ミカゲ石	水			+ 2	- 1 (110%)	- 2	- 5 (110%)	- 7	-10 (110%)	- 2	- 5 (110%)	2,628	1 3 参照
ミカゲ石	空 気			+ 6	+ 1	+ 1	- 4	- 4		+ 3	- 2	2,628	
ガラス	空 気	12	8	+ 6	+ 1	+ 2	- 2	- 3	-10	+ 4	- 1	2,447	
ベークライト	空 気	20	12	+10	+ 3	+ 8	0	- 2	- 6	+ 6	0	1,378	
スワン板	空 気	27	17	+11	+ 3	+ 6	0	+ 2	- 4	+10	+ 1	0,750	
関東ローム	空 気	15	10									1,180	
乾 燥 砂	空 気	13	8									1,560	
関東ローム	空 気	15	10	+10	+ 2	+10	0			+10	+ 1	0,200	
関東ローム	空 気	15	9	+ 8	0	+10	0			+ 8	0	1,000	
砂質ローム	空 気	13	10	+ 5		+ 5				+ 3		1,720	
乾 燥 砂	空 気	15	9	+ 7	0	+ 4				+ 4		1,520	
ベークライト	ガラス	10	7										
ベークライト	ミカゲ石	10	7										
ガラス	ベークライト	8	5										

図 4-17 表面型水分計 深さ方向作用範囲(1) - 5

SC = 20.200 CPM

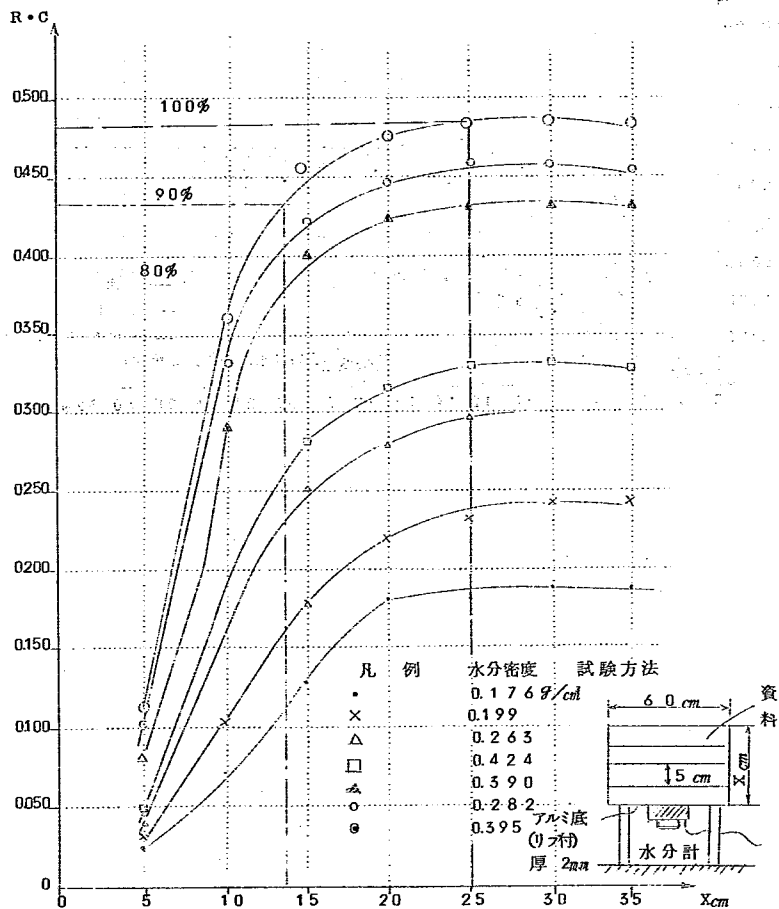


圖 4-18 表面型水分計 深さ方向使用範圍 (特殊物質)

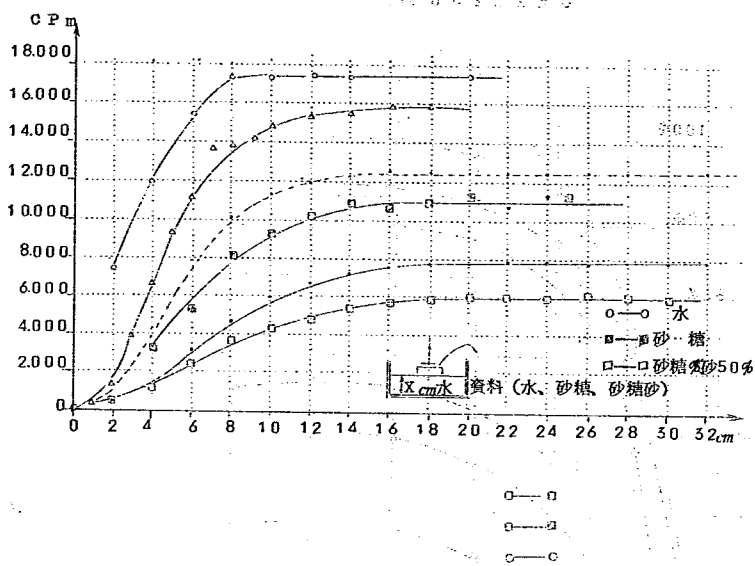


図4-19 表面型 水分計 深さ方向使用範囲(2)

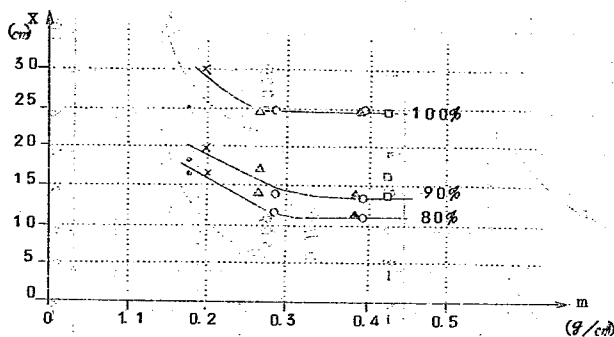


図4-20 表面型 水分計 深さ方向使用範囲(特殊物質)

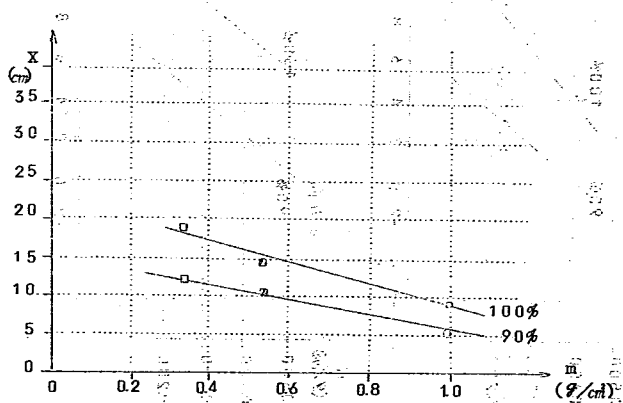


図4-21 表面型 水分計 横方向使用範囲(空気と土の境界面)(3)

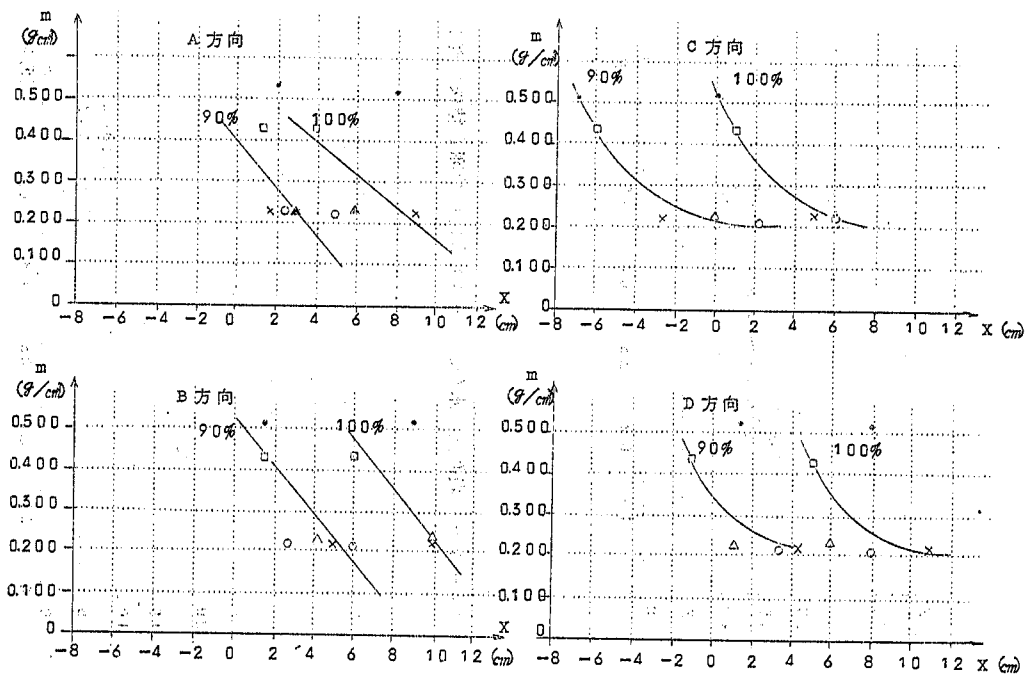


図4-22 表面型 水分計 横方向使用範囲(空気と特殊物質との境界面)

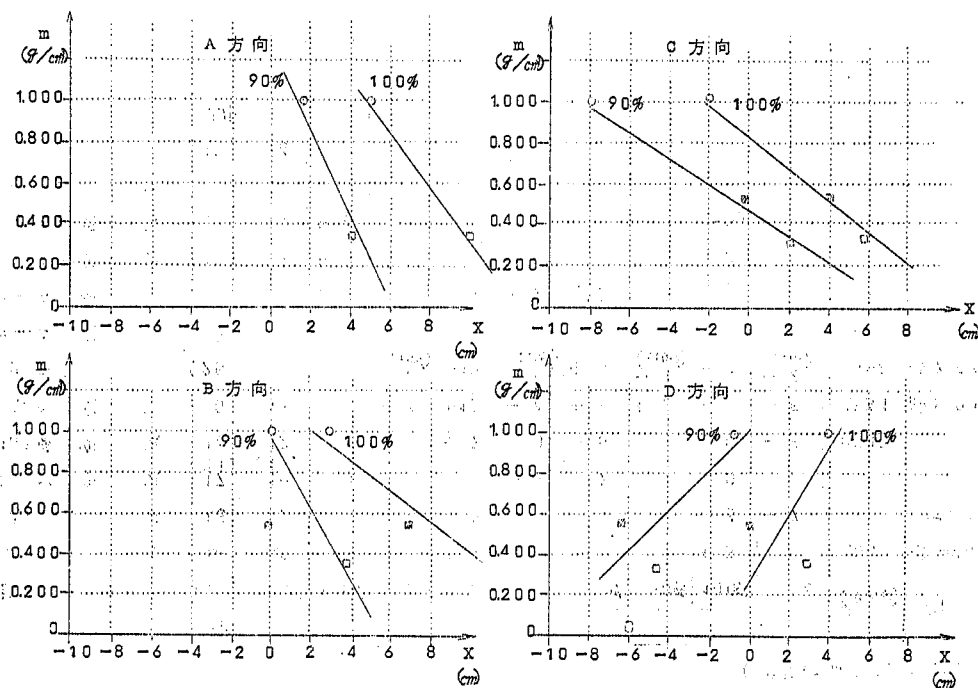


表 4-2 表面型水分計の作用範囲

(単位はcmで各ふちを0とする)

使用材料		深 さ		A		B		C		D		M (g/cm)	備 考
被測定物質	境界物質	100%	90%	100%	90%	100%	90%	100%	90%	100%	90%		
水	空 気	10	5.5	+ 3	+ 1	+ 2	0	+ 3		+ 3		1.000	横方向A・B・C・
ベークライト	空 気	16	9	+ 4	0	+ 5	0	+ 5	0	- 3	- 7		Dは図4-9参照
ラ ヲ ン	空 気	(17) (21)	(10) (15)	+ 8	+ 3	+ 6	+ 2	+ 7	+ 2	0			
砂糖 100%	空 気	16	12			+ 7	0	+ 5	0	0	- 6	0.540	
砂糖 50%	空 気	20	14	+10	+ 3	+12	+ 4	+ 6	+ 2	+ 3	- 5	0.331	砂 5 0 %
砂糖 25%	水	(25)		+10	0 (110%)	(+10)	0 (110%)	+ 8	- 1 (110%)	+ 6	- 2 (110%)	0.188	砂 7 5 %
関東ローム	空 気	17	10									0.58	
関東ローム	空 気			+ 8	+ 3	+ 7	+ 2	(+3)				0.36	
関東ローム	空 気	15	9	+ 8	+ 2	+10	+ 2	+ 5		0		0.47	
砂質ローム	空 気	20	14	+ 6	+ 2	+ 6	+ 1	+ 6		(+5)		0.24	
ベークライト	ガ ラ ス	10	6										
ベークライト	ミカゲ石	10	6										
ガ ラ ス	ベークライト	30以上											

図 4-23 挿入型の半径方向作用範囲 (水)

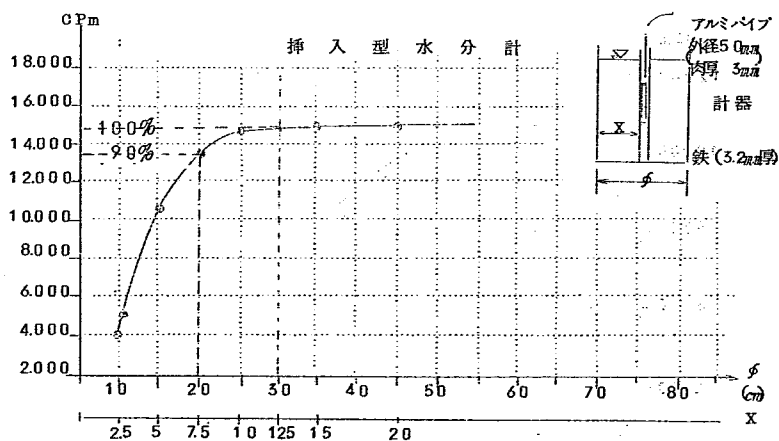
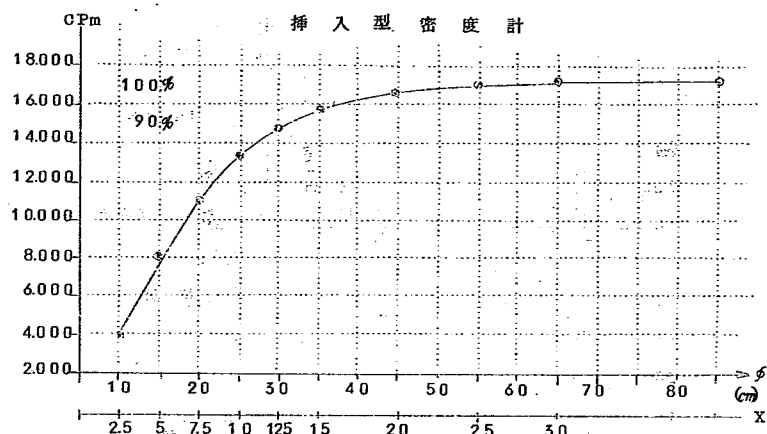


図 4-2-4 挿入型の軸方向作用範囲 (水)

挿入型密度計

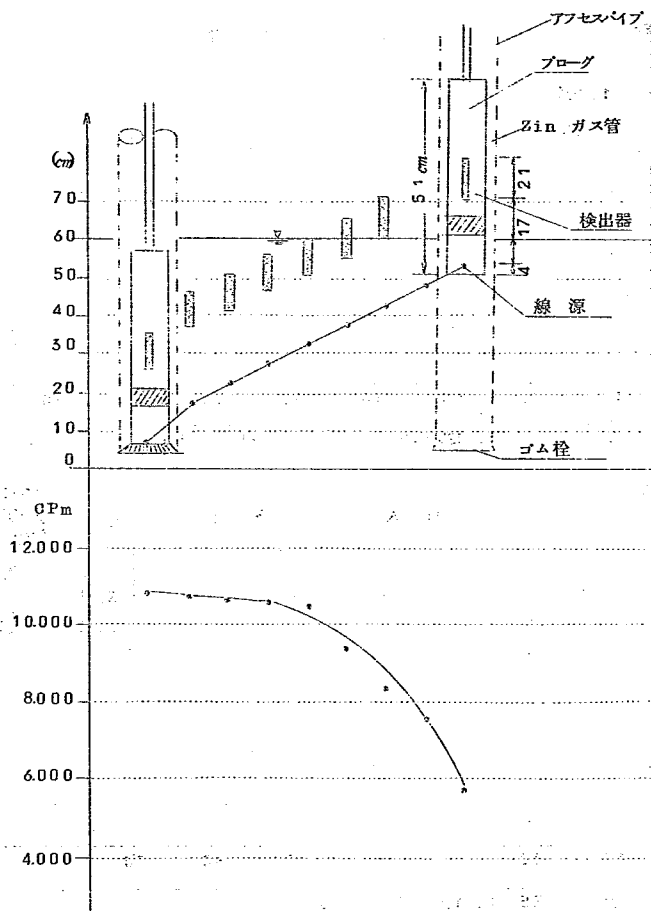


図 4-25 挿入型の軸方向作用範囲 (水)

挿入型水分計

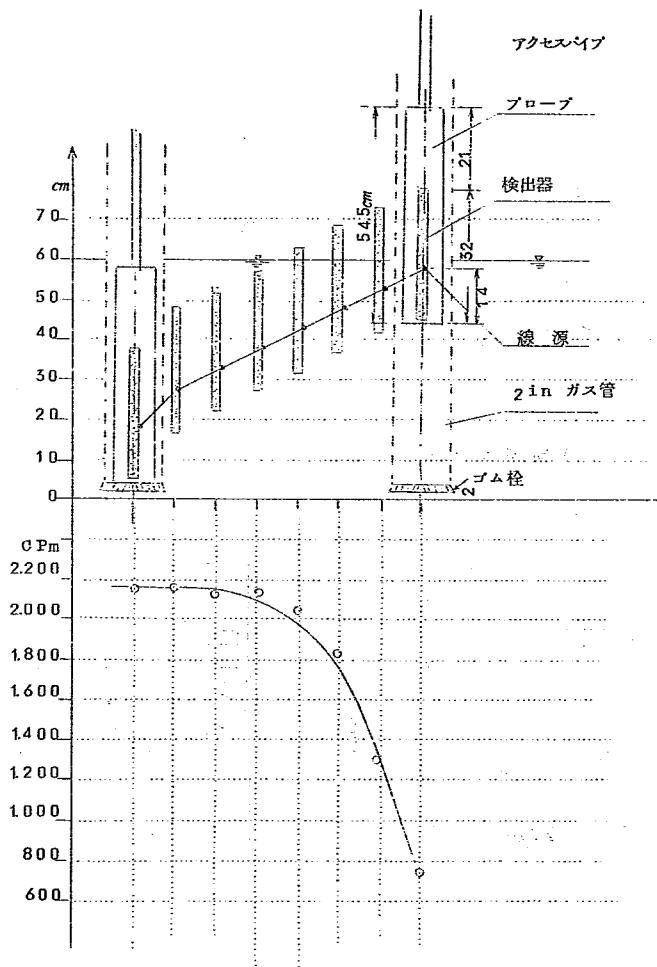
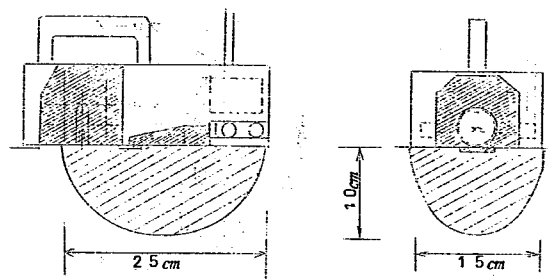


図4-26 表面型計器の実用作用範囲

($r_t \div 1.6$, $M \div 0.3$)

背面散乱型密度計



表面型水分計

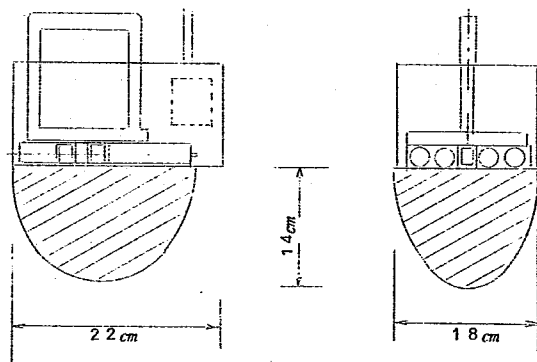
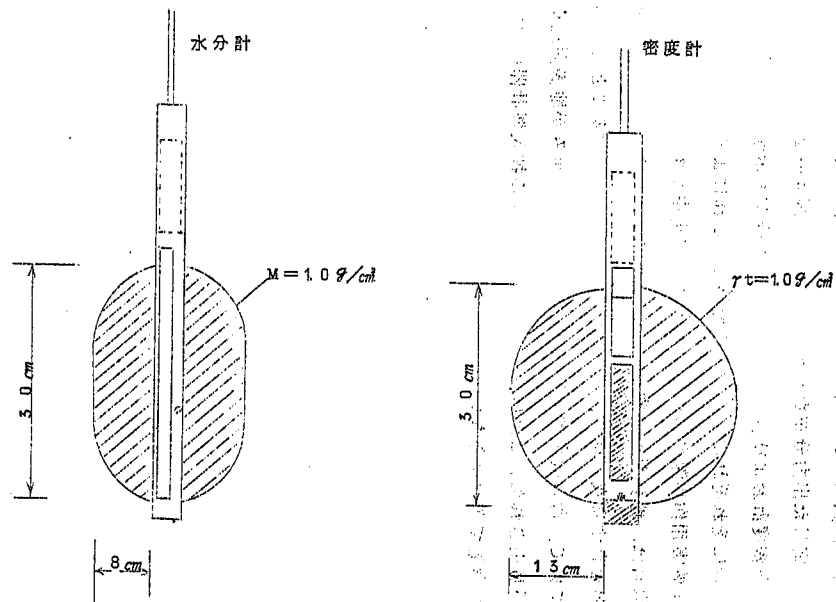


図 4-27 挿入型計器の実用作用範囲 (対象物は水)

($r_t = 1.0$, $M = 1.0$)



注：実際の土においては、水分計の測定範囲はこれより広い。

“ “ 密度計の “ これより小さい。

4-2 垂直方向の測定の重み

測定の深さ方向（挿入型にあっては半径方向）の測定の出力分布については、密度計、水分計共に同様の曲線形を有している、いまベークライト板を用いて、その厚さに応じた出力分布をもとに考察する。図4-28、図4-29の右半分に、表面型密度計および表面型水分計の出力分布を示す。この曲線の勾配をもとに左半分にそれぞれの測定の重みを得た。これによると測定の強度は地表面から90%実用作用深さの約 $1/3$ のところに集中していることがわかる。普通の土の場合は、地表面から約4cmのところに相当する。これは丁度斜線を施した断面形を有する穴を掘り、この穴の平均密度を測定することと同じである。全体的に見て、背面散乱型のRI計器では、測定の重みが地表面近くに集中することが見出された。これは、同一原理で測定する挿入型計器についても同様であると考えて差つかえない。

図 4-28 測定の重み (表面型密度計) 試料: ペークライト板

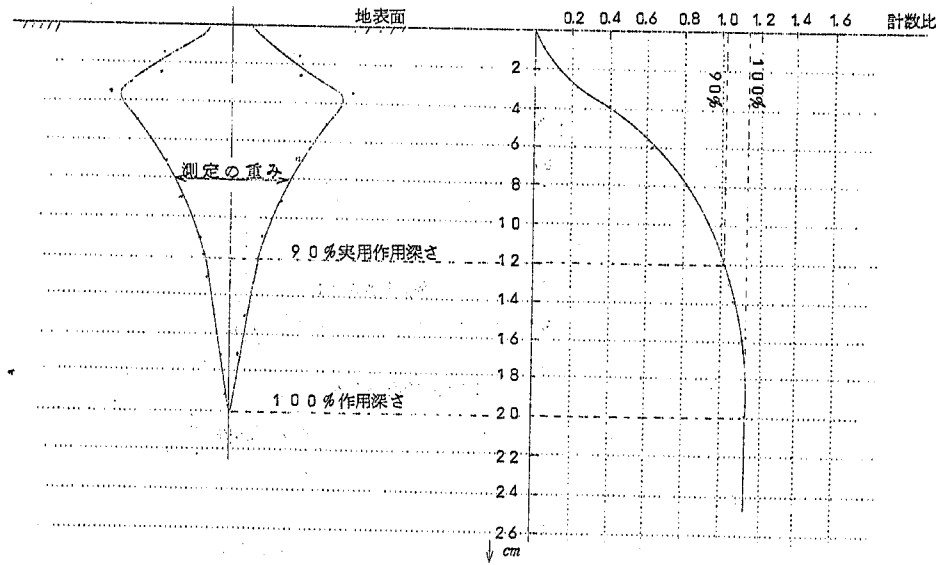
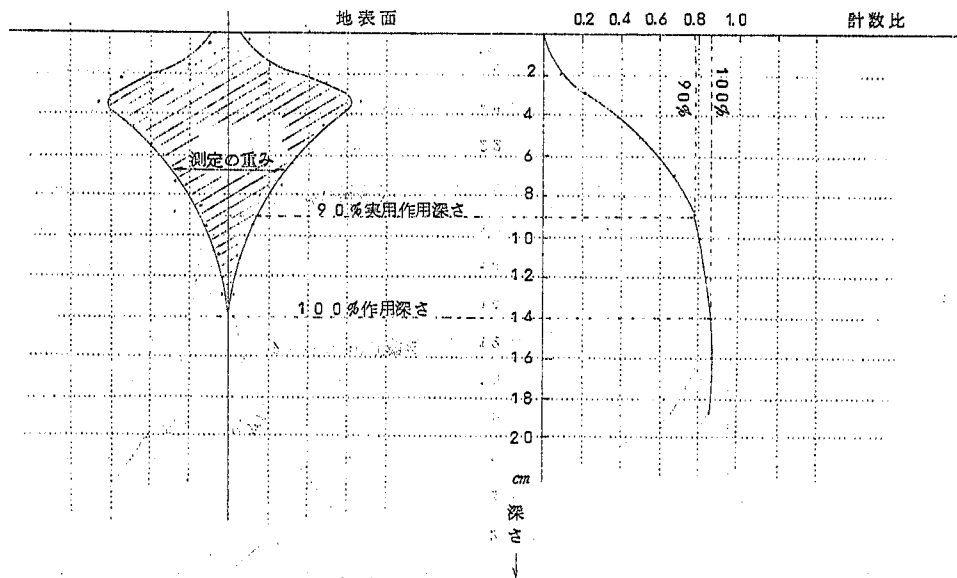


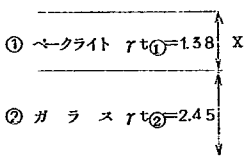
図4-29 測定の重み（表面型水分計） 試料：ペークライト板

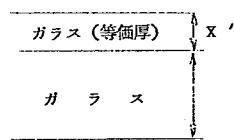


4-3 成層試料に対する測定

計器の作用範囲内に異種の層を有する場合の応答を、主に表面型計器の深さ方向に層のある場合について調べた。

図4-30、図4-31に、互に異種の材料としてベークライト板($r_t=1.38$)とガラス板($r_t=2.45$)を用いて実験した結果を示す。いまベークライト板のみの曲線を①、ガラス板のみの曲線を②、ガラス板を境界物質としたときのベークライト板の曲線を③、ベークライト板を境界物質としたときのガラス板の曲線を④とする。③および④は、①と②の合成によって得られ、それは密度の違いを等価厚を考慮することによって補正して計算した③および④に計算上は等しくなるはずである。しかしながら実際に得られた③、④は、③④とはかなり異なり、①、②を単独で測定した場合の90%実用測定深さの厚さで完全に飽和してしまっている。これは異種の物質の境界面で反射に起因しているものと考えられる。境界物質の密度が大きい場合には放射線が境界面でそのまま反射されて計数値を増す傾向にあり、また境界物質の密度が小なる時は、一たん境界物質中に入った放射線が逆戻りする際に境界層面で逆に反射されて計数値が減少する傾向にあると考えられる。なお③の算出法は密度に対する等価厚を考慮して4-1式のようなになる。





$$f_{\textcircled{3}}(x) = f_{\textcircled{1}}(x) + f_{\textcircled{2}}(x) - f_{\textcircled{2}}(x') \quad \dots\dots\dots (4-1 \text{式})$$

$$\text{ただし } x' = x \cdot \frac{r_{t\textcircled{1}}}{r_{t\textcircled{2}}}$$

$f_{\textcircled{2}}(x)$: ②の曲線の飽和計数値

④の算出についても全く同様の方法をとった。

図4—3.2～図4—3.6に表面型計器の横方向及び挿入型計器の軸方向に境界層が存在する場合についての結果を示す。いずれの場合にも境界層を通過するときには、ゆるやかな変化を示し、密度計においては線源と検出管との中間点の測定の中心点として、その作用範囲における平均的な値を示している。また水分計においては線源の位置を測定の中心点として同様の結果を示している。

図 4-30 表面型密度計

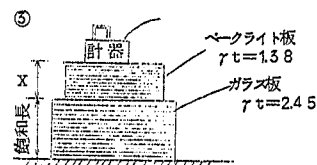
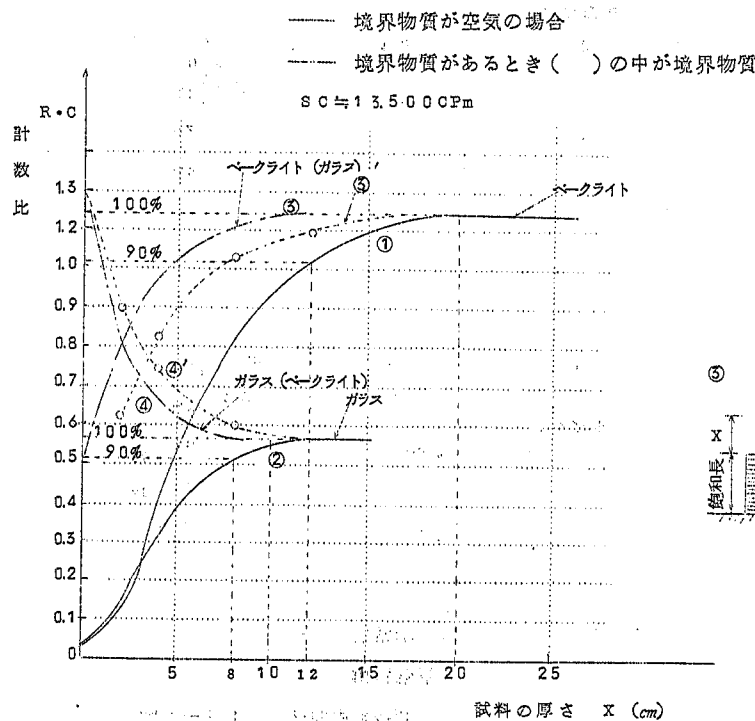


図 4-3 1 表面型水分計

- 境界物質が空気の場合
 - - - 境界物質があるとき () の中が境界物質

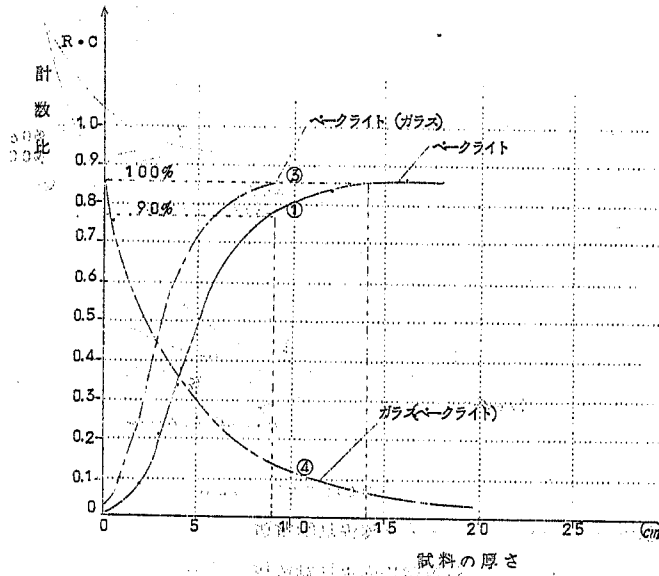


図4-3 2 表面型 密度計 横方向（水とみかげ石の境界面）

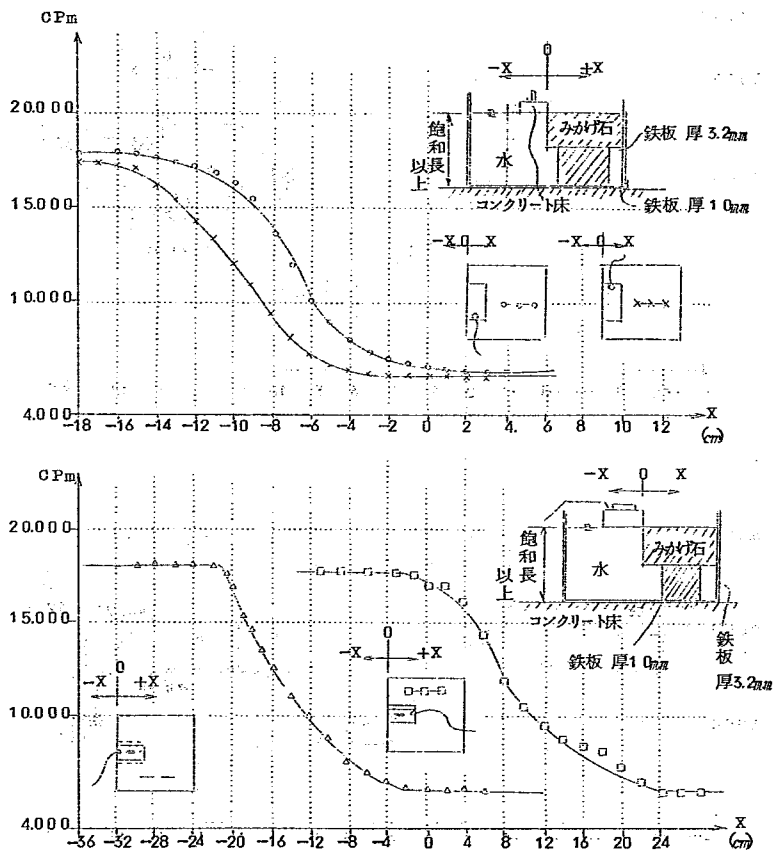


図4-33 表面型水分計 横方向（水とみかげ石の境界面）

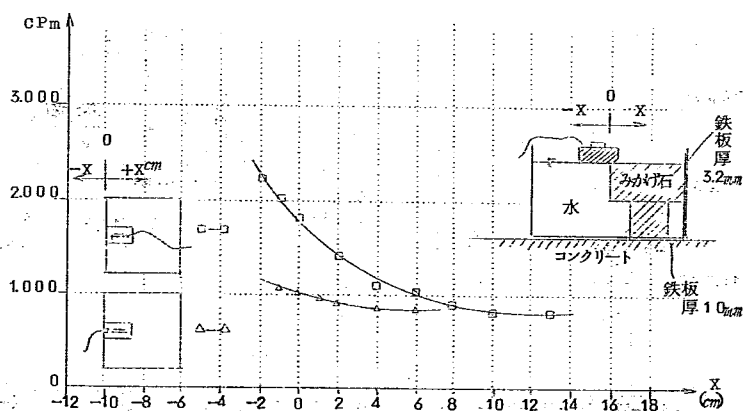
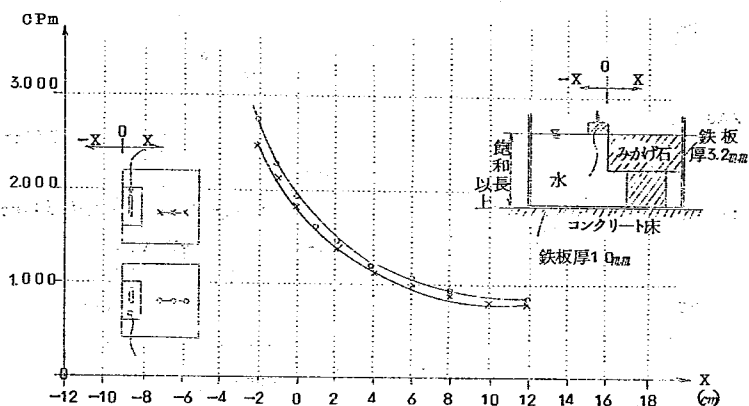


図 4-3-4 表面型 水分計 砂 7 5 灰砂糖 2 5 % の混合物と水の
境界面

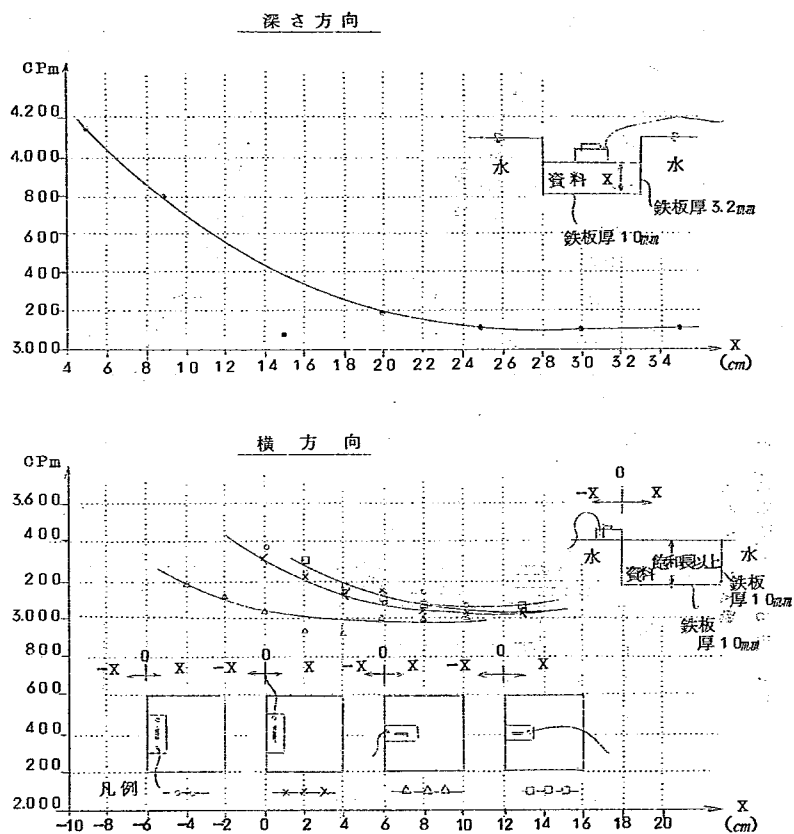


図 4-35 境界層の影響

挿入型 密度計

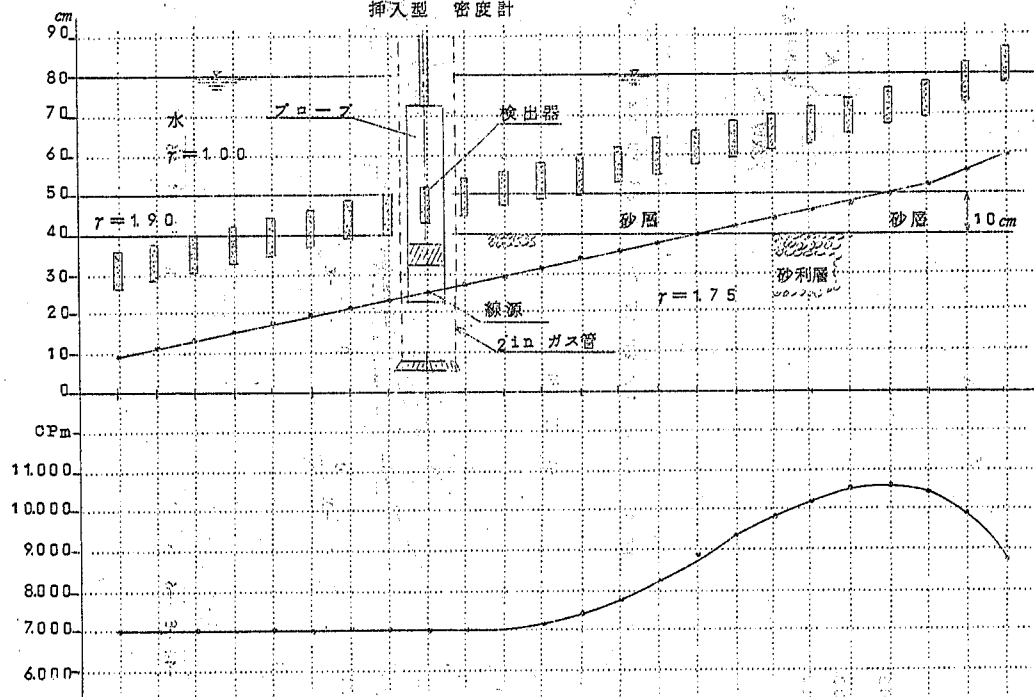
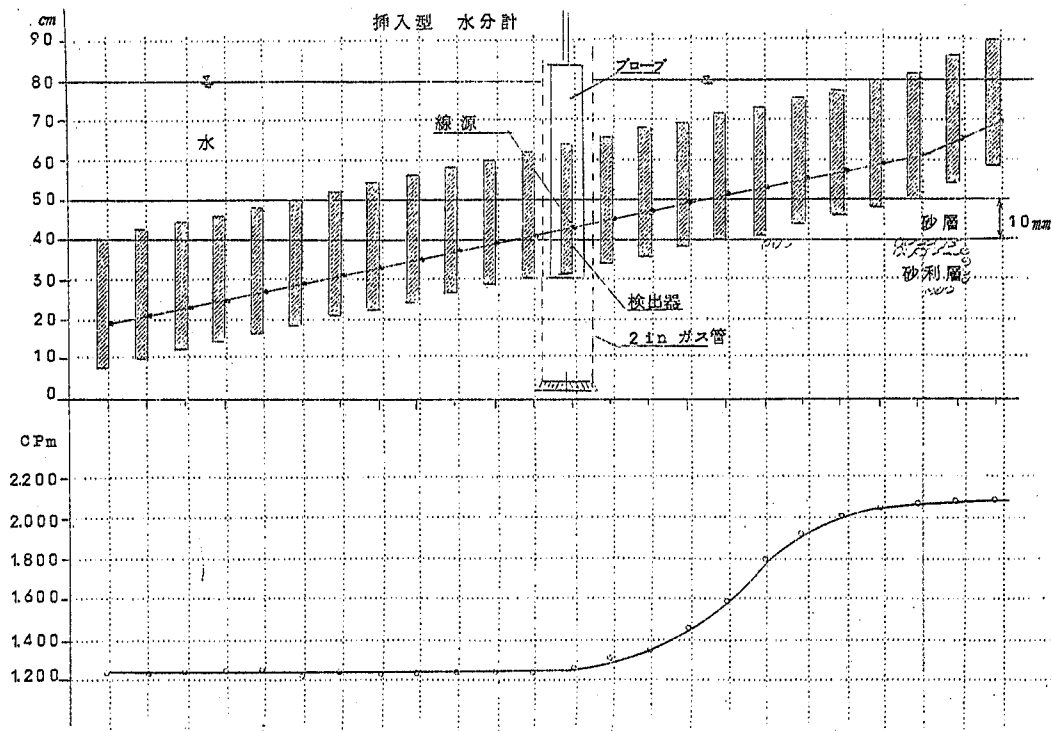


図 4-36 境界層の影響



第 5 章 測定の精度

RI 計器を使用する上で、ある程度の誤差は避けられないのであるが、これを大きく分けて、計器の特性上必然的に生ずる誤差と入意的により生ずる誤差とがある。

計器の特性上必然的に生ずる誤差は(1)放射線の統計的揺動、(2)計器自体の安定性、(3)較正曲線の偏りなどがある。

入意的により生ずる誤差は、(1)プローブが試料に密着していないことによる誤差、(2)挿入型計器のアクセスパイプの継目による誤差、(3)標準体の材質、位置による誤差、(4)計測時間の誤差などがある。

5-1 放射線の統計的揺動

放射線源から放出される粒子または光子の数の時間的分布は、アツトランダムであり、一定時間に検出される計数は、測定毎に多少のばらつきがある。このばらつきは一般的に正規分布で近似される。

測定結果のばらつきを知ることは、測定精度を評価する上で重要である。

このばらつきは、標準偏差であらわされる。

1 回の計数の標準偏差 σ は、計数値を N とすれば

$$\sigma = \sqrt{N} \quad \text{..... (5.1)}$$

で与えられる。

多数回測定した場合、それらの 68% が $N \pm \sqrt{N}$ の中におさまる。

相対的標準偏差は

$$\sqrt{N}/N = 1/\sqrt{N} \quad \text{..... (5.2)}$$

となる。

この相対的標準偏差で、 N の代表値を表 5-1 に示す。

表5—1 相対的標準偏差

N	$\sqrt{N}$	$\frac{1}{\sqrt{N}} \times 100\%$
100	10	10
500	22.4	4.48
1000	31.6	3.16
5000	70.6	1.41
10,000	100	1.0

表からわかるように相対的標準偏差が±1%以下になるようにするためには、10,000以上の計数が必要となってくる。
t時間の計数がNであつた場合の計数率nは $n = N/t$ で、この標準偏差は

$$\sigma_1 = \sqrt{N}/t = \sqrt{n/t} \quad (5.3)$$

で、相対的標準偏差は

$$\sigma_1/n = 1/\sqrt{nt} = 1/\sqrt{N} \quad (5.4)$$

であらわされる。

いま計数値A、B、C、D……の標準偏差をa、b、c、……とすれば、関数(A、B、C……)の標準偏差 σ_f は、一般に次の式であらわされる。

$$\sigma_f = \left\{ \left(\frac{\partial f}{\partial A} \right)^2 a^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial B} \right)^2 b^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial C} \right)^2 c^2 + \dots \right\}^{1/2} \quad (5.5)$$

(5.5)式より

$$\begin{aligned} (A \pm a) + (B \pm b) \text{ の標準偏差は } & \sqrt{a^2 + b^2} \\ (A \pm a) - (B \pm b) \text{ の } & \sqrt{a^2 + b^2} \\ (A \pm a) \times (B \pm b) \text{ の } & A \times B \sqrt{a^2/A^2 + b^2/B^2} \\ (A \pm a) \div (B \pm b) \text{ の } & (A/B) \sqrt{a^2/A^2 + b^2/B^2} \end{aligned} \quad (5.6)$$

とあらわすことができる。

測定に関して、自然からの放射線(宇宙線など)も計数することになり、それとの関係は、次のようになる。

測定したときの計数が t_s 時間に N_s 、自然計数が t_n 時間に N_n だとすれば、正味の計数率(測定の計数から自然計数率を差引いたもの)の標準偏差は次式であらわされる。

$$\sigma' = \frac{n_s}{x_s} + \frac{n_b}{x_b} \dots\dots\dots (5.7)$$

ここで $n_s = N/x_s$, $n_b = N/x_b$ である。

測定の時間 x_s と自然計数の測定時間 x_b との和を一定に与えて、 σ' を最小にするためには x_s と x_b の配分は

$$\frac{x_s}{x_b} = \frac{n_s}{n_b} \dots\dots\dots (5.8)$$

とすれば、よいことになる。

標準偏差 σ の各々についての信頼度を計算すると表5-2のようになる。

信頼度は一般に95%(約2 σ)が表5-2の信頼度

とられる。

この信頼度で、計数値との関係を計

算すると表5-3のようになる。

σ	信 頼 度
1 σ	68.27%
1.96 σ	95
2 σ	95.45
3 σ	99.73

表5-3 95%信頼度における計数値

カ ウ ン ト 数	標 準 偏 差	精 度
154000以上	392	± 0.50%以内
68000 "	261	± 0.75 "
38400 "	196	± 1.00 "
17060 "	131	± 1.50 "
9600 "	98	± 2.00 "
4270 "	65.3	± 3.00 "
2400 "	49.0	± 4.00 "
1500 "	39.2	± 5.00 "

実際に測定する場合、自然からの放射線と計器からの漏えい放射線の値を計数する。

この値は、実験によつてあらかじめ測定してなければならない。

実際の計数値は、これらの計数値（バックグランド）を含んだものであり、計数値（カウント数）が、小さくなれば測定の精度におよぼす影響は大きくなる。

これを補正するには、（5.6）式より次の式がみちびき出される。

$$\left(\frac{N}{t} - \frac{N_b}{t_b} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{\sqrt{N}}{t} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{N_b}}{t_b} \right)^2} = (n - n_b) \pm \left(\frac{n}{t} + \frac{n_b}{t_b} \right)^{1/2} \dots \dots (5.9)$$

ここで N : 測定計数、t : 測定時間

N_b : バックグランド計数

t_b : バックグランド測定時間

$n = N/t$, $n_b = N_b/t_b$

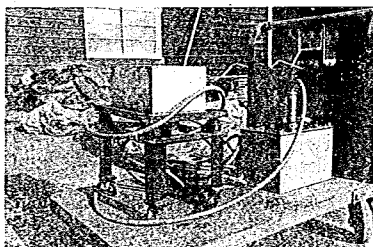
写真 5-1

室内バックグ
ランドの測定



写真 5-2

屋外バックグランド
の測定



5-2 計器の安定性

出力変動の要因として、放射能の統計的揺動以外に計器の安定性がある。

これらの要因は、電源電圧の変動、温度変動、温度以外の原因による回路素子の電気的特性の変動、被測定物と計器の間の幾何学的条件による変動などがあると考えられる。

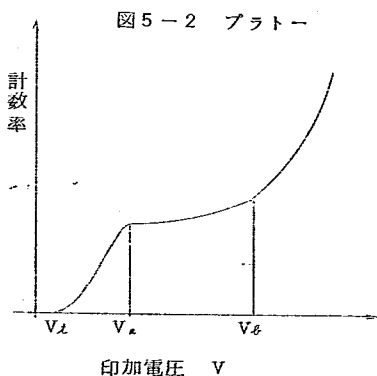
これらの変動も、測定精度に影響する。

(1) カウンター（計数管）の安定性

(a) プラトー特性

計数管に一定の強さの放射線を照射した場合、計数率は印加電圧によって変化してくる。

この変化は図5-2に示すように印加電圧を上げていくと V_d で計数し始め（この電圧を計数始動電圧という） V_a まで急に計数率が増し、 V_a 以上でほとんど計数率が一定で、 V_d 以上で急に増加する。



この V_a を計数管の開始電圧といい、 $V_a \sim V_d$ 間をプラ

トー (Plateau) または、一定計数域という。

このプラトーが長かつ水平である程よい計数管であり、測定の精度も良くなる。

プラトーの傾斜は印加電圧100Vまたは1V当りの変化に対する計数率の百分率で表され、100V当り数%以下である。

計数管を動作させるために、印加する電圧は普通プラトーの $\frac{1}{3}$ 程度開始

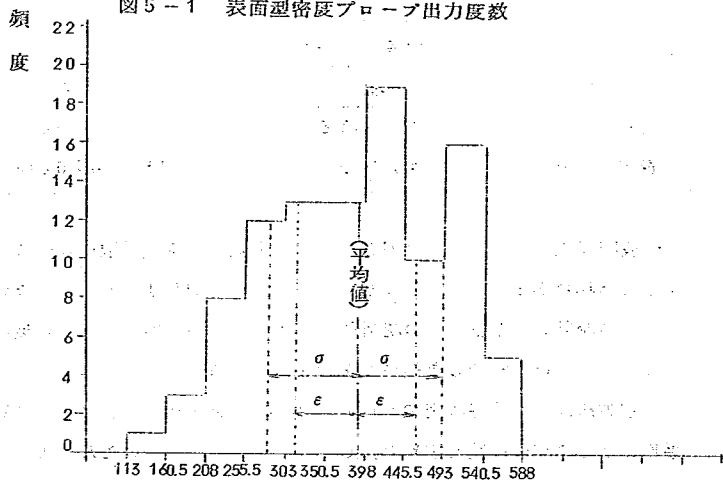
表5—6 χ^2 検 定

	χ^2	自由度 =階級数-3	$\chi^2(0.05)$	$\chi^2(0.01)$	備 考
表面型密度計	66.97	7	14.07	18.48	$\chi^2_0 < \chi^2 (0.005)$
表面型水分計	41.38	7	14.07	18.48	$\chi^2_0 < \chi^2 (0.005)$

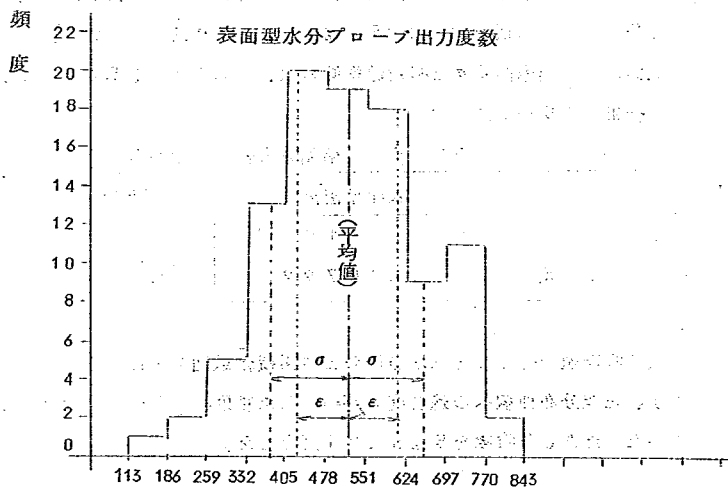
表5—6の検定でわかるように、95%の信頼度に対して、正規分布に適合している。

これらの結果より、精度を高めるためには、表5—3に示したようにカウント数を多くすることにより高精度を得ることができる。

図5-1 表面型密度プロブ出力度数



表面型水分プロブ出力度数



表面型の密度計および水分計のバックグランドを測定した結果を表5—4に示す。

表5—4 バックグランド

計 器 名	室 内	屋 外
表面型密度計	500~560Cpm	170~180Cpm
表面型水分計	190~200Cpm	480~490Cpm

一般的に表5—4に示したバックグランド値は、測定計数に比べて非常に小さい場合が多く、補正を要しなくても精度に関与することは少ない。

計数の統計変動（放射線の統計的揺動）を表面型計器（散乱型密度計、水分計）について測定した結果は次の通りである。

測定方法は、1分毎計測で連続100回の測定を行ない、全計数の算術平均値とその標準偏差を求めた。（正規分布においては、これによつて分別される面積の全体に対する割合は、約70%になり、また確率誤差によつて分別される面積の割合は約50%とならなければならない）。

測定値より標準偏差 σ と相対標準偏差は、（5.3）、（5.4）式より求めた結果を表5—5に示す。

表5—5 標準偏差と相対標準偏差

	表面型密度計	表面型水分計
標準偏差	106	140
相対標準偏差	0.00792	0.00799

次に測定値の組分け度数分布表および累積度数回数を作成して（図5—1）、正規分布曲線への適合度を χ^2 検定した結果、表5—6に示すようになった。ただし危険率を5%および1%とした。

電圧より高い値で使用される。この電圧を使用電圧という。

使用電圧を高い方の値 (V_B に近い方) で永く使用すればするほど計数管の寿命も短くなり、スケーラーの回路にも影響を与え、測定精度も悪くなってくる。

プラトーの測定は、計数管のチェックにもなり、現場測定など、測定開始前に簡単なプラトー測定を行なった方が好しく (同一現場や実験室などでは3ヶ月程度連続使用の場合は、最初にプラトーを測定して、使用電圧を決めておく)、3ヶ月程度に1回はプラトーの測定をする事が望ましい。

プラトーの測定結果の1例を表5-7に示す。

表5-7 プラトー

印 加 電 圧	表面型水分計	表面型密度計
V_a	1.60 Kv	
V_B	1.75 Kv	
使 用 電 圧	1.65 Kv	350 V
プラトー巾 ($V_a \sim V_B$)	0.15 Kv	200 V以上
プラトーの傾斜	2.68%	0%

(b) 計数管の数え落し

ガンマ線の吸収散乱のパルスや熱中性子のパルスを計測する計数管は、その装置に分解時間があると当然数え落しをする。

いま分解時間を τ 秒、測定値をN Cpmとすると、真値 n は、次式で与えられる。

$$n = \frac{N}{1 - \frac{N\tau}{60}} \text{ (Cpm)} \quad \dots\dots\dots (5.10)$$

ガンマ線を使用している密度プローブの場合の分解時間 τ は、G-M管の分解時間 τ_0 で決まる。

中性子水分計の場合は、スケーラーのデカトロンの休止時間 τ_m で決定される。

(5-1.0)式からわかるように、測定値 N Cpm に、数え落しは関係してくる。

N が多くなれば数え落しは、多くなる。この関係は、プラトーの印加電圧を高圧で使用する場合にもあらわれてくる。

数え落しの補正を(5-1.0)式を用いて、 N と n の関係より、補正する。

この補正図を、図5-3に示す。

(2) 電源電圧による変動

電源電圧の変動による影響は、カウント数にあらわれる。ある一定電圧より電圧が低下するとカウント数は、一般に下ってくる。

長時間の測定では、電源電圧は次第に降下し、この影響は、測定の精度に影響してくると考えられる。

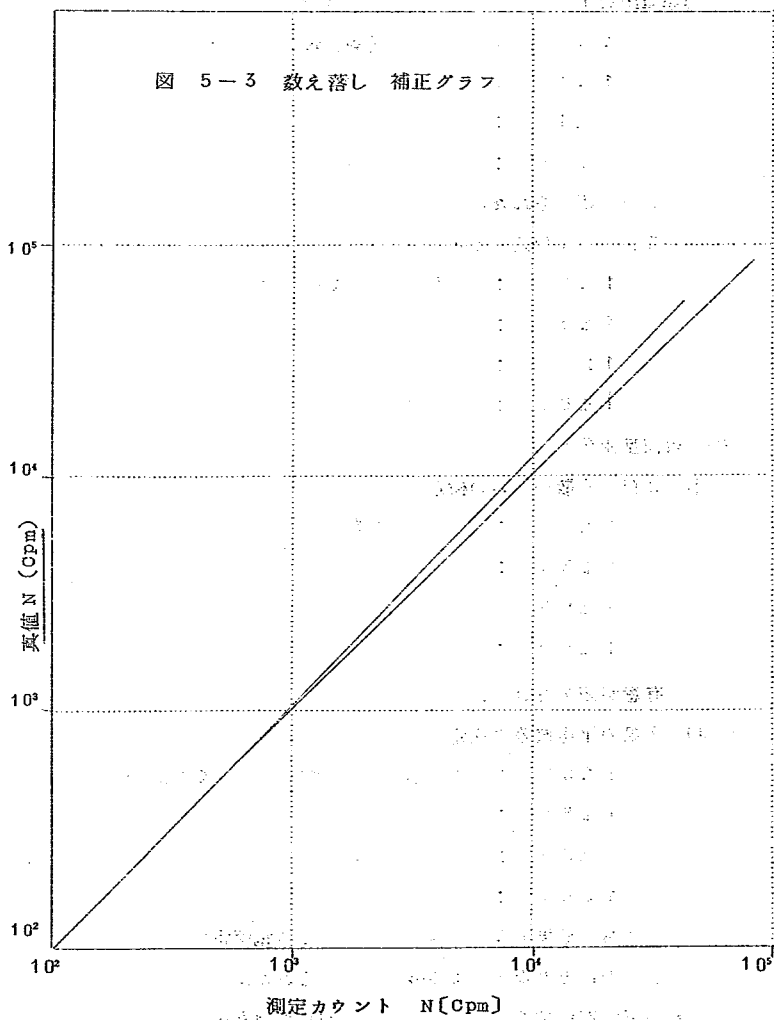
ただしスケーラーには、電源電圧の変動にそなえて、計数管に加えられる高電圧を一定に保つ安定回路が内蔵してある。

電源電圧を1.0 V～1.3.0 Vの間で、電圧変化幅を0.5 Vとして、測定した結果は次の通りである。

測定方法は、被測定試料の材質として、水を使用し、それぞれの電圧に対して、5回の繰返し計測を行い、変動については、各電圧と基準電圧(1.2.0 V)での計数を、2組の平均値差の検定を行つた。この場合、まず2組の試料について、分散に関する検定をし、その結果ばらつきに有意差が認められない場合は、2組の平均値差を t 検定した。また2組の試料についての分散の違いが認められる場合、平均値差の検定はWelchの方法について行つた。

(a) 表面型密度計(散乱型)

図 5-3 数え落とし 補正グラフ



(i) 2組の分散の違いの検定

基準電圧を1.2.0 Vとし、危険率を5%と1%とする。

$$1.1.0 \text{ V} : F_0 < F(\phi_1, \phi_2; 0.05/2)$$

$$1.1.5 \text{ V} : //$$

$$1.2.5 \text{ V} : //$$

$$1.3.0 \text{ V} : //$$

有意が認められない。

(ii) 2組の平均値差の検定

$$1.1.0 \text{ V} : |t_0| < t(\phi, 0.05)$$

$$1.1.5 \text{ V} : //$$

$$1.2.5 \text{ V} : //$$

$$1.3.0 \text{ V} : //$$

(b) 表面型水分計

(i) 2組の分散の違いの検定

$$1.1.0 \text{ V} : F_0 < F(\phi_1, \phi_2; 0.05/2)$$

$$1.1.5 \text{ V} : //$$

$$1.2.5 \text{ V} : //$$

$$1.3.0 \text{ V} : //$$

有意が認められない。

(ii) 2組の平均値差の検定

$$1.1.0 \text{ V} : t(\phi, 0.05) \leq |t_0| < t(\phi, 0.01)$$

$$1.1.5 \text{ V} : |t_0| < t(\phi, 0.05)$$

$$1.2.5 \text{ V} : //$$

$$1.3.0 \text{ V} : //$$

これらの結果1.1.0 V～1.3.0 Vの間の電源電圧の変化においては、基準電圧との差による影響は認められなかつた。この範囲での電源電圧変化では充分に高電圧安定回路が働き測定の精度について

も影響がないと思われる。

(3) 時間変動および日変動

長時間または数日間にわたって、測定をする場合、計器の安定性について行つたものである。

測定方法は、時間変動においては、1時間ごとに5回の測定を行い、電源は一連の測定(5時間)が終了するまで入れておいた。

日変動においては、毎日1回、連続5日間にわたって測定を行つた。

これらの検定方法として、時間変動においては測定時間を、また日変動においては、測定日を因子として、一元配置法による分散分析を行つた。これらの結果は次の通りである。

(a) 時間変動

危険率は $\alpha_1 = 0.05$ $\alpha_2 = 0.01$ とした。

表面型密度計(散乱型) : $F_0 < F(\phi_1, \phi_2; 0.05)$

表面型水分計 : $F_0 \geq F(\phi_1, \phi_2; 0.01)$

(b) 日変動

表面型密度計 : $F_0 \geq F(\phi_1, \phi_2; 0.01)$

表面型水分計 : $F_0 \geq F(\phi_1, \phi_2; 0.01)$

この結果、時間変動において、表面型密度計では、変動は認められず、表面型水分計では、時間変動が認められた。

日変動においては、両計器とも変動が認められた。

これらの変動には、もう一つの因子すなわち、測定試料との間の接触状態の変動などによる影響があると思われる。

(4) 温度変動

温度の変化による計器の安定性は、現場測定において、重要な要因となる。

内
三
五

ここで、昭和40年度に日本放射性同位元素協会理工学部会で行ったR
I計器に関する共同実験の結果から引用すると次のようである。

現場測定では、ブローブおよびスケーラーの温度変動の範囲は広く、表
面型ブローブにおいては、 0°C 以下から 4.0°C 以上の範囲で使用されてい
る。

温度を 0°C ～ 4.0°C の範囲で約 1.0°C のピッチで適当に変え測定された
結果は次のようにでている。

密度計ブローブにおいては、計数値の 0.05% ～ 0.14% / $^{\circ}\text{C}$ の変動
があり、水分計ブローブでは、 $-4\sim+25\%$ / $^{\circ}\text{C}$ におよぶものもある。

スケーラーにおいては、 10°C ～ 2.4°C および $3\sim29^{\circ}\text{C}$ の範囲での変動
が、それぞれ $-8\sim0\%$ / $^{\circ}\text{C}$ 、 $-2\sim+9\%$ / $^{\circ}\text{C}$ におよぶものがある。

この温度変動も測定中において、温度の急激な変化がないかぎり、あま
り問題とはならず、夏場、冬場の測定条件の違いによる程度で、相対的に
は問題はないと考えられる。

しかし、挿入型計器での夏場の高温時(40°C 前後)に測定する場合、
アクセスパイ内の温度(15°C 前後)と、外気の温度との差が有りすぎる
場合には、標準体で測定を多くやることと、測定前に計器をアクセスパイ
ブ内に入れて、計器を温度に対してウォーム・アップする方が望ましい。

〔参考〕

中性子水分計およびガンマ線密度計の計器の安定性について、昭和40
年度に、13の事業所で共同実験を行った。

共同実験の項目は、つぎの6項目について行われた。

(1) タイマー

(2) プラトー

(3) 出力度数分布

(4) 電源電圧の変動

(5) 温度変動

(6) 出力の時間および日変動

実験結果は次の通りである。

(1) タイマ

供試タイマ				χ ² 検定結果			1分計時の相対標準 偏差（％）	
型式	台 数			①	②	③	範 囲	平 均
交流	国産	3	3	3	0	0	0.041～ 0.058	0.054
	輸入	0						
直流	国産	2	6	4	1	1	0.024～ 0.064	0.040
	輸入	4						
合 計			9	7	1	1		

〔註〕 χ^2 検定の分類

- ① $\chi_0^2 < \chi^2 (0.05)$: 正規分布にほぼ適合する
 ② $\chi_0^2 (0.05) \leq \chi_0^2 < \chi^2 (0.01)$: " ほぼ適合しない
 ③ $\chi_0^2 > \chi^2 (0.01)$: " 適合しない

(2) プラトロー

計 数 装 置	供試台数	供試台数でプラトローの明瞭でないもの
G-M管	20	1
B F ₃ 管	18	2
シンチレータ	2	0
合 計	40	3

プラトロー幅と使用電圧との関係およびプラトロースロープとその頻度との関係は、図5-4、図5-5に示す通りである。

図5-4 プラトー幅と使用電圧との関係

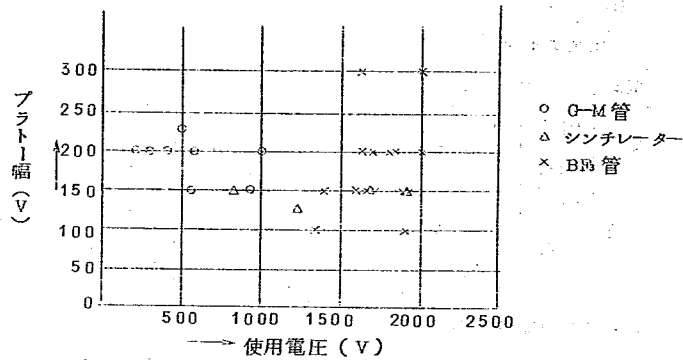
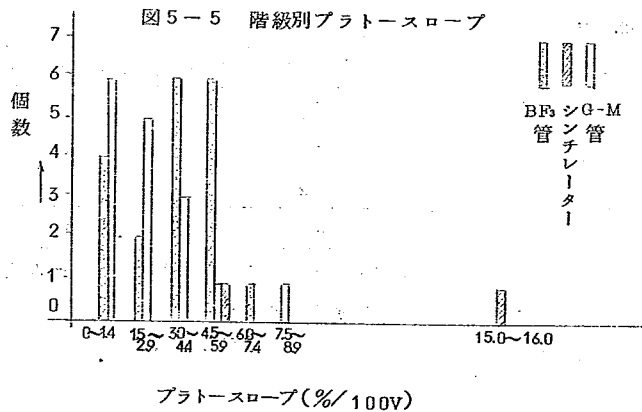


図5-5 階級別プラトースロープ



(3) 出力度数分布の正規分布への適合度

供 試 器				適合度の検定		
種 類	台 数			①	②	③
水分計	挿入型	国産	10	11	9	1
		輸入	1			
	表面型	国産	7	9	8	0
		輸入	2			
密度計	挿入型	国産	9	10	9	1
		輸入	1			
	表面型	国産	11	13	11	1
		輸入	2			
合 計		国産	37	43	37	3
		輸入	6			

(註) 適合度の検定は、タイマーの項の χ^2 検定と同じである。

(4) 電源電圧変動

型式名		供試台数		検 定 結 果	電源電圧変化幅(%)			
					-10%	-5.0	+5.0	+10.0
水分計	挿入型	国産	7	8	$1.2.1 < t(\phi, 0.05)$	5	7	8
		輸入	1					
	表面型	国産	6	7	$1.2.1 < t(\phi, 0.05)$	2	6	7
		輸入	1					
密度計	挿入型	国産	6	8	$1.2.1 < t(\phi, 0.05)$	6	6	6
		輸入	2					
	表面型	国産	5	7	$1.2.1 < t(\phi, 0.05)$	6	6	7
		輸入	2					
合 計		国産	24	30	$1.2.1 < t(\phi, 0.05)$	19	25	28
		輸入	6					

(註) 電源電圧変化幅は基準電圧に対しての幅である。

(5) 出力の温度変動

ブロープの温度変動

ブロープ		供試台数		温 度 特 性		
				正(変動率%/℃)	負(変動率%/℃)	不 明
水分計	挿入型	6		2 (+0.04)	4 (-0.04)	5
	表面型	5	11			
密度計	挿入型	5	10	0	6 (-0.05~ -0.14)	4
	表面型	5				
合 計		21		2	10	9

スケラーの温度変動

供試台数	温 度 特 性		
	正(変動率%/℃)	負(変動率%/℃)	不 明
17	6(+0.06~+0.08)	7(-0.06~-0.07)	4

ブロープ及びスケラーは、すべて国産品。スケラーとブロープの組み合わせは、水分計9台、密度計8台である。

(6) 出力の時間および日間変動

型式名		供 試 台 数		試験項目	検 定 結 果	
					$P_0 < P(\phi_1 \phi_2 : 0.05)$	$P_0 \geq P(\phi_1 \phi_2 : 0.05)$
水分計	挿入型	国産	8	時間変動	8	1
		輸入	1			
		国産	6	日間変動	6	1
		輸入	1			
	表面型	国産	6	時間変動	4	4
		輸入	2			
		国産	5	日間変動	3	4
		輸入	2			
密度計	挿入型	国産	8	時間変動	8	2
		輸入	2			
		国産	6	日間変動	7	1
		輸入	2			
	表面型	国産	10	時間変動	11	1
		輸入	2			
		国産	10	日間変動	8	4
		輸入	2			
合計		国産	59		55	18
		輸入	14			

この実験結果について考えてみると、タイマの試験結果はほぼ満足できるようである。交流タイマおよび直流タイマのいずれも1分計時の誤差は0.1%程度とみなすことができるようである。

プラトーの試験結果もほぼ良好である。

プラトーの不明なもの、およびプラトースロープが6%/100V以上のものが、供試台数40台のうち14%程度あり、20組のG-M管のうち

5組はブロード幅が40V以下である。

出力度数分布は、供試台数43のうち37台は連続100回の計数における度数分布が正規分布に適合している。このことからこの37台の計器は、測定値の標準偏差は平均値計数値から推定される統計揺動における母集団の標準偏とほぼ一致するものと思われる。

電源電圧の変動をみると、基定電圧の+10%および-10%変動させると、それぞれの供試器の約30%が電源電圧の変動の影響があるようである。

温度変動についてみると、密度計の出力が負の温度係数をもつようである。水分計、スケラーは正負のいずれの傾向もあるようである。

時間変動および日変動についてみると、水分計および密度計のうち、挿入型計器の80%以上が時間および日変動を示していないようであるが、表面型計器においては、40%以上が日変動を示している。

この表面型の変動はプローブと測定試料との間の接触状態によるものではないかと思われる。

共同実験結果から、前述のようなことが考えられるが、この結果は昭和40年に行なわれたものであり、現在においての計器の安定性は計器の改良研究がその当時より進んでおり、さほど問題ではないと考えられる。

この問題は現在の技術水準で完全に克服されうるもので、近い将来には解決されるものと思われる。

5-3 校正曲線の正確度

校正曲線の偏りの要因として、被測定物質の組成($\%A$ のばらつき)、土の単位体積重量、含水量のばらつきなどがある。校正実験で得られたそれらの要因を含んだデータを解析するさい、回帰線にあてはめるとき、推定した回帰線と各測定値には差があり、その差は誤差としてあらわれる。これは取扱い校正試料により異なる傾向を示し、それを全体表示する場合

は、種々の校正試料によつて校正したとき、標準試料と各測定値の偏差平方和より推定される。各測定値の偏差平方和の推定により、校正曲線の正確度は決つてくる。

この校正曲線の正確度は、校正曲線の偏りであらわすことができる。

校正曲線の偏り、計器の安定性、放射線の統計的揺動を考へて、測定の精度を95%信頼度での誤差Eは次式であらわされる。

$$E = \pm \frac{1}{m} \left[\frac{196}{\sqrt{R_0}} \sqrt{\frac{R}{t}} \right] + W \quad \dots \dots \dots (5.11)$$

ここに m : 校正曲線の勾配 (g/cm) - 1

R_0 : 標準体計数率 (Cpm)

R : 計数比

t : 計数時間 (分)

W : 校正曲線の正確度

この式を用いて、ここで使用した計器の大略の精度 (絶対値に対する) を試算してみると次のようになる。

ただし1分計測である。

背面散乱式表面型密度計 : 最大誤差 0.072 g/cm

〃 表面型水分計 : 〃 0.028

透過式表面型密度計 : 〃 0.027

5-4 計器と試料との空隙による影響

プローブが試料に密着してなく、空隙が生ずる場合、測定値に誤差が生じ測定の精度に影響する。

特に背面散乱方式の密度計において著しい。水分計はあまり敏感でなく、透過式の密度計では、これはほとんど問題にならず線源の打込み深さが正確であるかどうか問題になる。ここではプローブと試料との間の空隙が、散乱式計器におよぼす影響について行つたものである。

(1) 表面型計器

実験方法はプローブを試料面より、吊り上げて測定を行った。

試料は密度計で、みかげ石、ベークライト板、水分計ではベークライト板を使用した。

この結果は図5-6、図5-7に示す。

普通の土の場合は、ベークライト板の値とはほぼ等しいと考えられるが、これによると密度計と試料の空隙が5mmあれば約1000 Gpm増加し、8%ほどの誤差が生ずる。この値は0.2 g/cm³の密度の減少に相当する。

水分計の場合は5mmの空隙で約2000 Gpm減少し、約10%の誤差を生ずる。この値は0.1 g/cm³の水分密度の減少に相当する。ただしベークライト板は非常に含水量の多い土に相当しているのでこの誤差は実際上は、もつと小さくなるものと考えられる。

また密度プローブは下面に凸器があるので、軟い土、ルーズに固めた土などの試料の上面では凸器のめり込みが考えられる。

そこでプローブの凸起がめり込んだとき計数値はどのくらい変化するか実験した結果が表5-8である。

表5-8の結果で解るように3.0~0.1%の範囲内の変化で、約0.07 g/cm³~0 g/cm³であつた。

凸起のめり込みの影響よりも、それに供うプローブと試料とのすき間の影響によるものがあると考えられる。

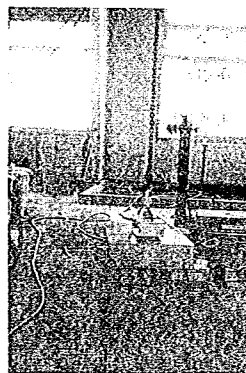


写真5-3

空隙による影響の実験

表5-8 表面型密度計(背面散乱式)の

凸起のめり込みの影響

試料	$\rho_s(g/cm^3)$	計数率 (Cpm)			$\Delta\% = \frac{A-B}{A} \times 100$	備考
		A(不沈)	B(沈)	差 $\Delta=A-B$		
砂糖	0.853	17541	17497	44	0.3	
"	0.970	17658	17688	-30	-0.2	
砂糖と砂の合成	1.124	15629	15160	469	3.0	砂糖50% 砂50%
"	1.215	13743	13444	300	2.2	砂糖25% 砂75%
"	1.162	14062	13813	250	1.8	"
砂	1.171	13397	13305	92	0.1	乾燥砂
水	1.000	17695	17325	370	2.1	
細粒土	0.926	14192	13985	207	1.5	関東ローム
"	1.033	14091	13865	226	1.6	"
"	0.939	14416	14229	187	1.3	"
"	1.017	14357	13939	418	2.9	"
"	0.817	15479	15332	147	0.9	"
"	0.850	15116	15048	68	0.4	"
"	0.783	15677	15534	143	0.9	"
"	0.819	15561	15553	8	0.1	"
粗粒土	1.110	13634	13385	250	1.8	砂質ローム
"	1.309	12448	12358	90	0.7	"
"	1.171	13026	12742	284	2.2	マサ土

これらの空隙は測定試料面の整形の度合によるものであるが、ある程度の試料面の凹凸はさけられないものである。

ここで試料面の凹凸の空隙を少なくするため、測定資料と異なつた材料を用いて凹凸面をなくして、試料表面の補正法として実験した結果が昭和

41年度の第20回建設省技術研究発表会において報告されている。この報告の実験結果は次の通りである。

凹凸面の補正材料として砂を用い、敷砂法について行なわれている。

この結果密度計において低密度 ($0.9 \sim 1.0 \text{ g/cm}^3$) の範囲では2~3% 計数比が下がるが、その他一般の場合においては、敷砂による影響は空隙による影響よりも非常に小さく、砂を用いたことによる差は、殆んどないと考えられる。水分計においては、試料表面の凹凸による空隙の影響はほとんど問題とはならないが、この場合、敷砂による影響は、含水量(水分密度)が 0.20 g/cm^3 以上では砂を敷くことにより、含水量に対して 0.01 g/cm^3 低下し、不必要に砂を敷くことで、誤差の原因となつている。

しかしながら、少しの凹面に砂を敷く程度は、それが砂質系統の土であればほとんど影響をしない。

図5-6 表面型密度計 試料と空隙の影響

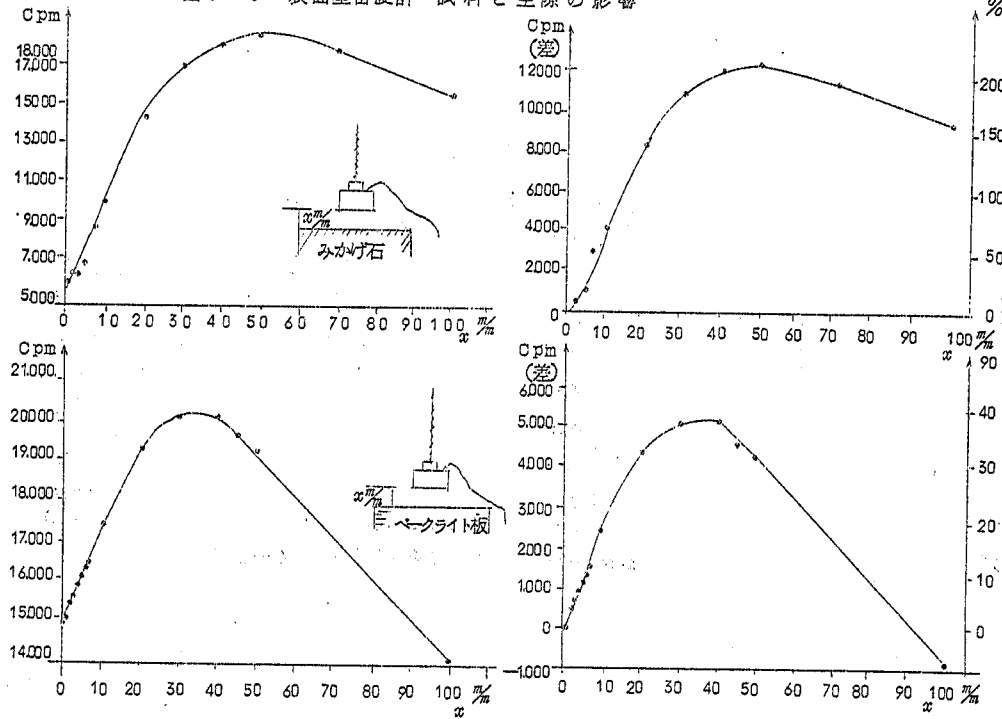
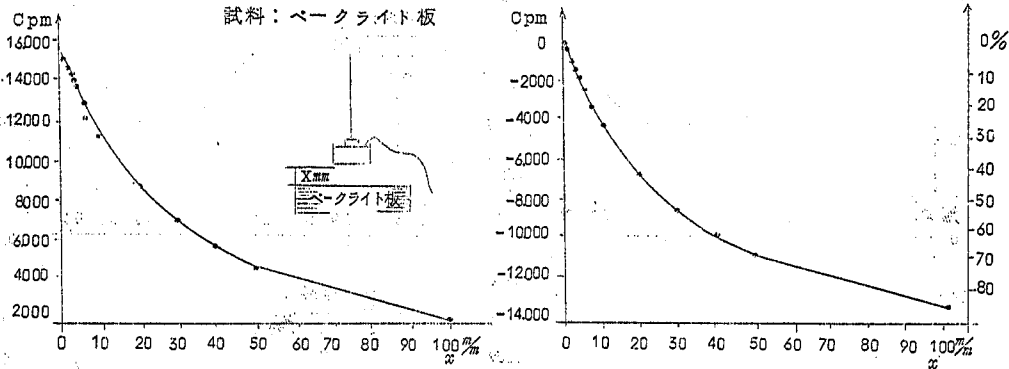


図5-7 表面型水分計 試料と空隙の影響

試料：ベークライト板



(2) 挿入型計器

アクセスパイプの外壁と試料との空隙が計数率におよぼす影響を水を材料として行つた。

その結果を図5-8に示す。

アクセスパイプの材質を、アルミニウムパイプと鉄パイプの2種類に行つたが、アクセスパイプの違いによる差は見られなかつた。

図中の⊗印は、実際に土中にボーリングを行つて測定したデーターであるが、孔径がかならずしも一致してないので、ばらついている。

空隙が5mmあれば、密度計の場合5%、密度換算で約 0.15 g/cm^3 、水分計の場合8%、水分密度換算で約 0.06 g/cm^3 程度の誤差を生ずる。

ただし、材料が水であるので、水分計の場合は、実際の土に対して、この値よりも小さくなるものと思われる。

図 5-8 パイプ外壁と試料との空隙の影響 (1)

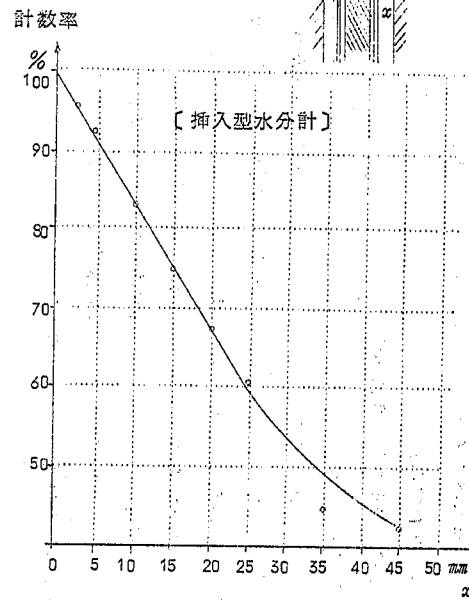
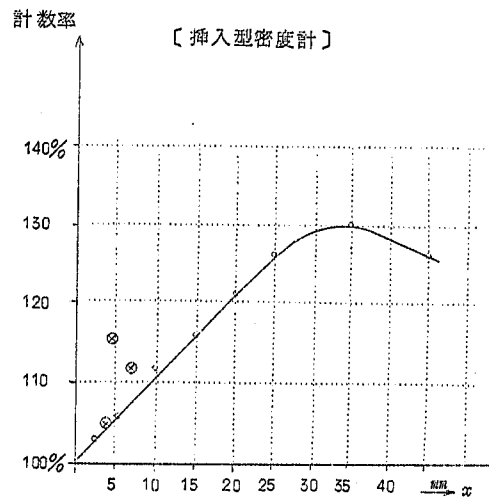
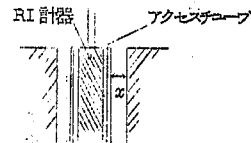


図5-8の2 挿入型パイプと試料（水）とのすき間の影響(2)

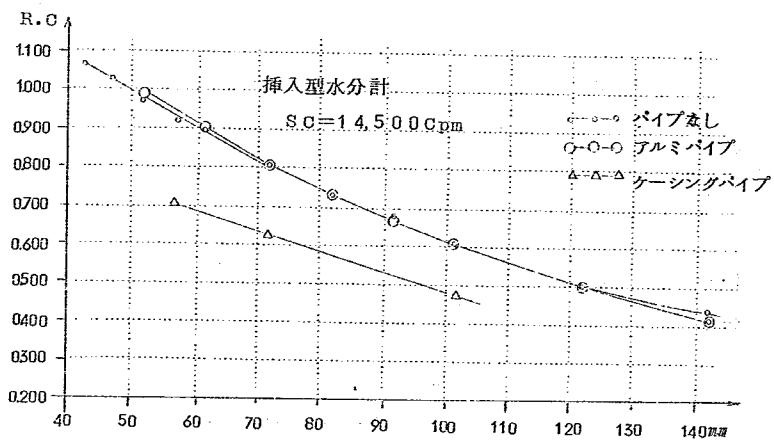
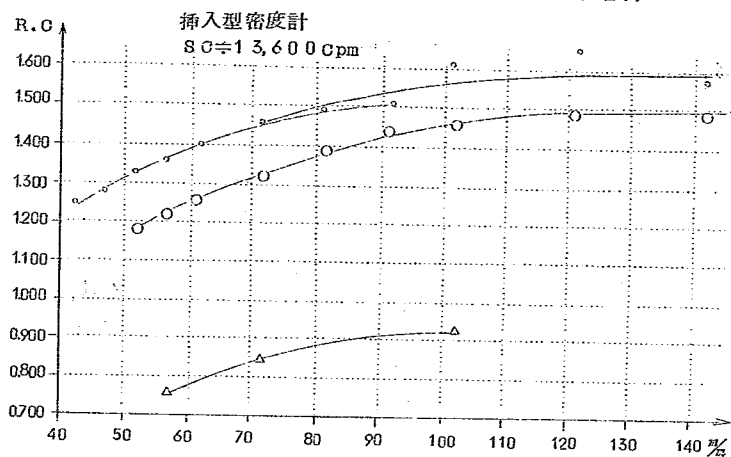
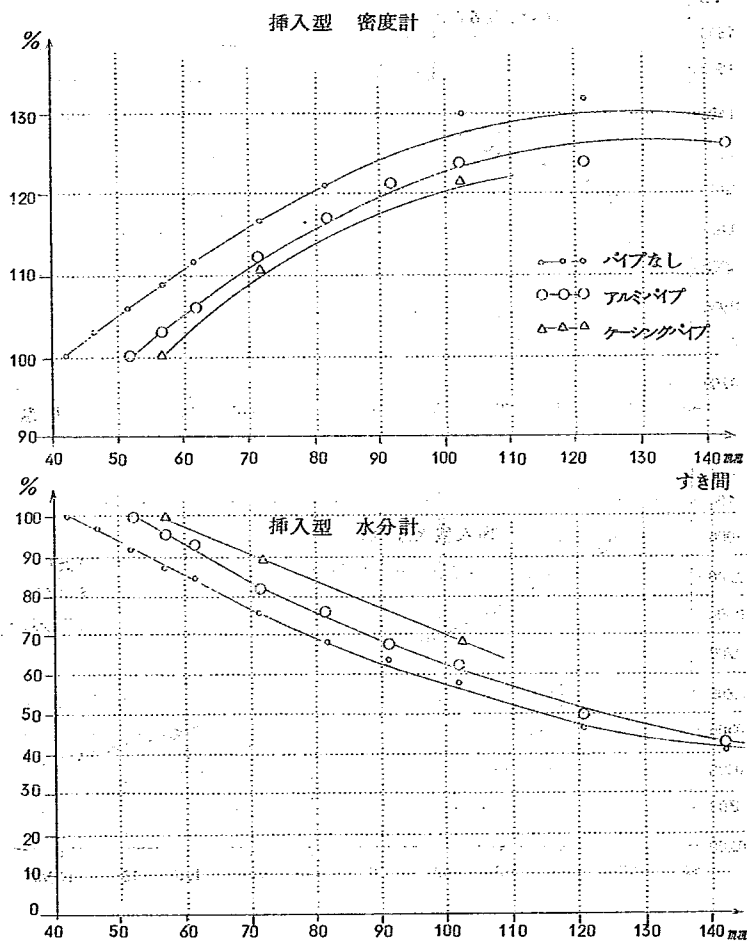


図5-8の3 挿入型パイプと試料(水)とのすき間の影響(3)



5-5 アクセスパイプの継目の影響

挿入型計器の測定では、土中深部の測定を行う関係から、ボーリングをしアクセスパイプを埋設する。

アクセスパイプの長さは、製品の制約、現場搬入、埋設の手間などにより、ある制限を受け、パイプには継目ができることが多い。

測定条件により、出来る限り継目附近を避けることにしても、継目箇所での測定が生じてくる。継目は出来るだけその部分における肉厚の変化の少ない等断面の重ね継手を使用することが望ましい。

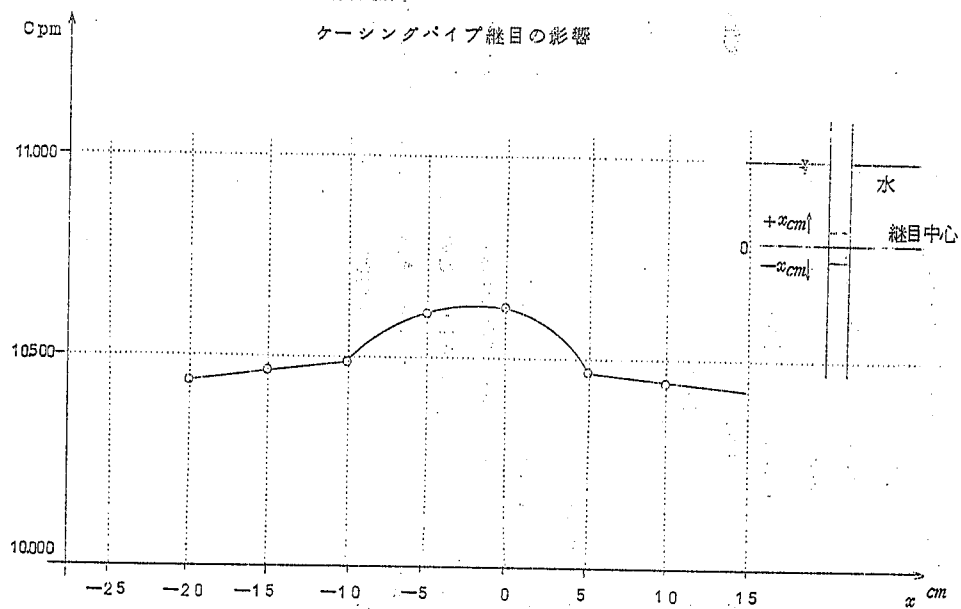
等断面の重ね継手の影響を水を材料として、挿入型密度計で実験を行った。

その結果を図5-9に示す。

図5-9において、この関係は、継目長は10 cmであるが、継目中心より上方向10 cm、下方向に20 cmまで影響することがみられ、この間は、測定点をできる限り避けることが望ましい。この場合の誤差は最大200 cpm、密度換算で0.03 g/cm³程度である。またこれは挿入型水分計であつても、他種のアクセスパイプであつても同様であると思われる。

図5-9 挿入型密度計

ケーシングパイプ継目の影響



5-6 標準体の材質、位置による影響

標準体の材料として、パラフィン、白雲母、水などが使用されているが、パラフィンなどは、温度の変化により、膨張、収縮の係数が、大きく、標準体自体による測定値が変化し、計数比に大きな影響を及ぼす。水を材料として考えると、温度の変化について、ほとんど影響されることがない。

標準体上に計器をセットする際、標準体の水位や、計器の位置によつて標準計数率 (standard count) が変つてくる。

この影響を水を標準体材料として、実験した結果、図5-10、図5-11、図5-12に示すようになった。標準体に計器をセットする場合による影響は、図5-10から図5-12でわかるように、表面型計器では、水位による影響は密度計においては、ほとんどないが、水分計においては約2.2%/cmの影響をうける。

また平面方向では、図5-11に示すように、密度計で左右に100cpm水分計においては400cpmの影響を受けるが、これは水位の変化による影響に比べて、さほど大きくはない。

挿入型計器においては、水位の変化による影響は0.1%程度でさほど問題にならない。

しかしこれらの影響はすべての標準値になるので、測定値に対する影響度は大きく、計器を標準体上にセットする場合においては、十分な注意を必要とする。

図5-10 表面型 標準体の水位による影響

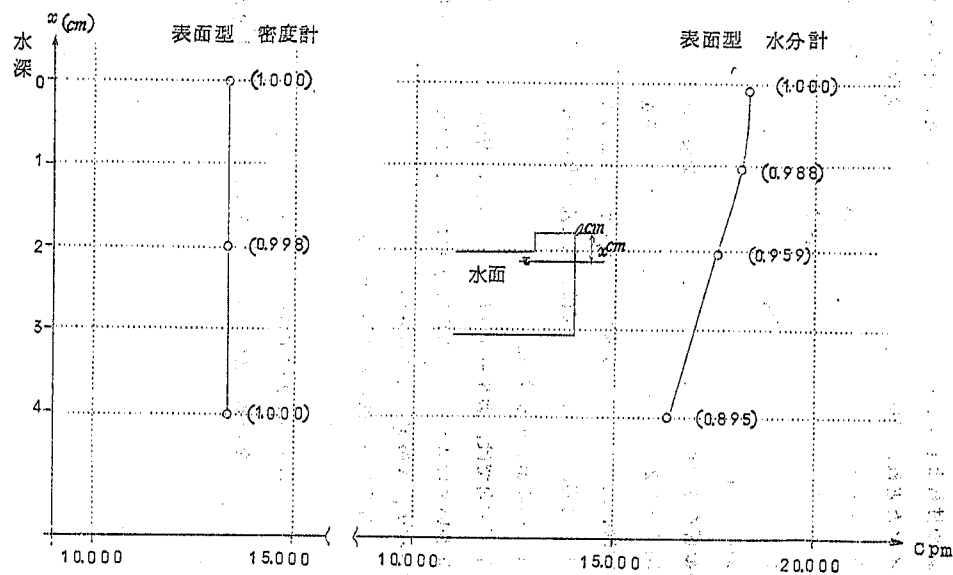


図 5-11 標準体位置の影響

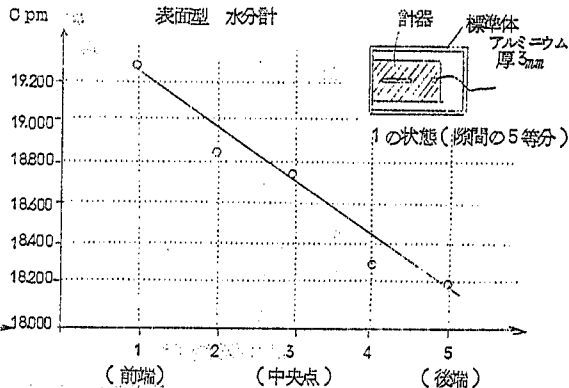
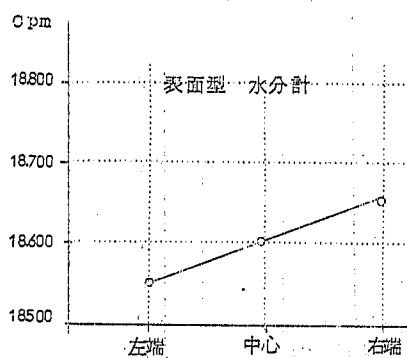
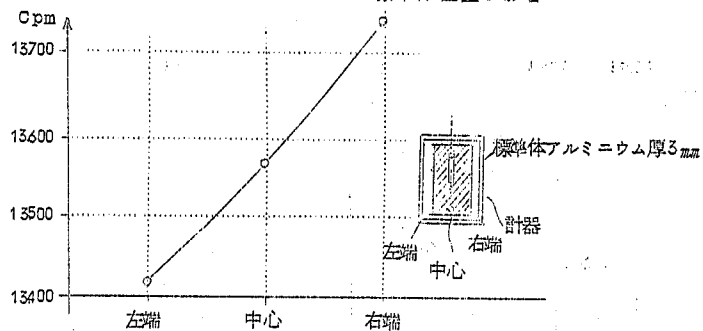
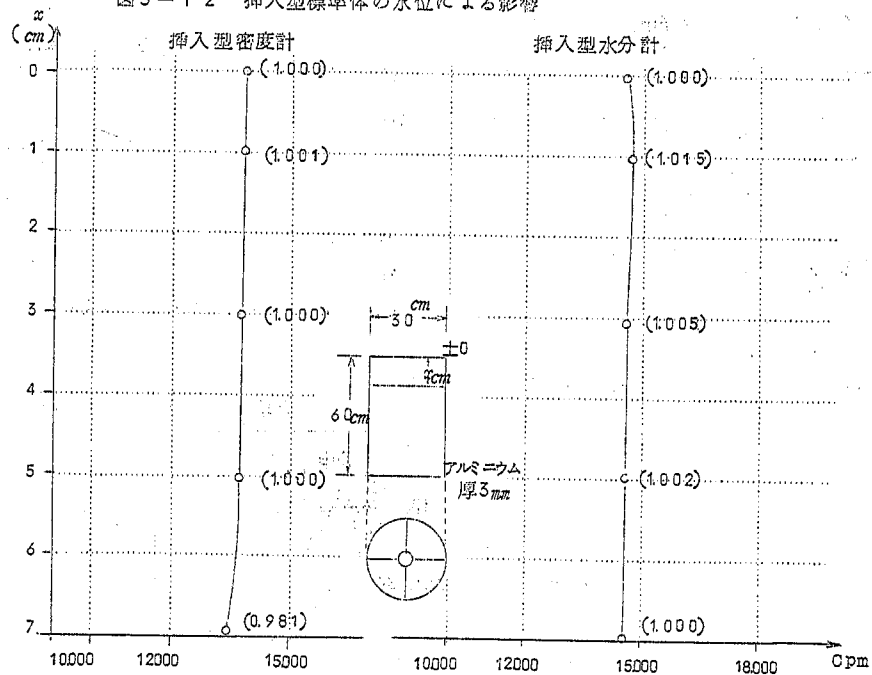


図5-12 挿入型標準体の水位による影響



5-7 ストップウォッチによる測定の人差の影響

計数の時間は、タイマ・ストップウォッチを使用して行いが、ストップウォッチを使用した場合、各人によつて測定値にばらつきがある。このばらつきの影響について、5人の測定者について行つた。

この結果は次の通りである。

測定方法は、1人当たり20回の測定とし、スケラー内蔵の発信器を使用して行つた。

スケラー自体による影響を最小にするため、電源電圧を一定とし、温度変化がない状態で行つた。

各人のばらつきの関係は、測定計数率の標準偏差によつて求め、つぎに最確値とその確率誤差の推定値の比較を行い、各人の測定回数を因子として、それぞれの結果を一元配置法によつて分散分析を行なつた。

それらの結果は、次の通りである。

(1) 各人の測定計数率の標準偏差

測定者	σ^2	σ
A	4,536	67.3
B	2,062	45.4
C	3,005	54.8
D	3,415	58.4
E	4,060	63.7

(2) 最確値とその確率誤差の推定値

測定者	測定計数率の推定値	最確値の確率誤差の推定値	各人の推定値と確率誤差
A	46.59	10.42	44.407 ± 10.42
B	31.41	7.03	44.424 ± 7.03
C	37.92	8.48	44.480 ± 8.48
D	40.43	9.04	44.413 ± 9.04
E	44.08	9.86	44.493 ± 9.86

(3) 分散分析による検定

要因	SS	df	ms	F ₀	F($\phi_1, \phi_2; 0.05$)	F($\phi_1, \phi_2; 0.01$)
A	127,088	4	31,772	881	F(4,95; 0.05)	F(4,95; 0.01)
	342,578	95	3,606		= 249	= 3.57
T	468,666	99				

$$\therefore F_0 \geq F(\phi_1, \phi_2; 0.01)$$

この結果より各人によつて、計数率に差があることがわかる。

しかしこの個人誤差も 95% の信頼度で、最大約 0.4% 程度

また同一人物のみによる測定を行えばその誤差は 95% の信頼度で 0.2 ~ 0.3 程度である。タイマを使用すると、これらの個人的誤差は含まれな

い。

タイマについて共同実験した結果をみると、交流タイマおよび直流タイマのいずれも 1 分計測時における相対標準偏差が 0.07% 以下、また誤差は 0.08 秒以下であり、タイマの計時誤差に基づく、密度、含水量の測定誤差は無視することができる。

このことより、タイマを使用することが望ましい。

第 6 章 現場測定例

表面型計器の現場測定例として、盛土の転圧面とアースダムのコア材転圧面を利用して、RI 法と在来法である砂置換法、コアカッター法との測定の比較実験を行った。

盛土材料は、ツルト質粘土ローム (MH) 粘土 (CH)、ツルト質ローム (MH) で通称関東ロームである。

アースダムのコア材料は、セン緑岩質片麻岩の風化岩で、細かく砕けたものであり、通称マサ土 (SG-SM) である。

盛土の転圧面では、RI 法と砂置換法、コアカッター法の比較測定を行い、RI 法では密度に関して、背面散乱型の表面型密度計を含水量に関しては、中性子水分計の表面型水分計を用いた。

砂置換法、コアカッター法における含水量の測定は、炉乾燥法によった。

アースダムのコア材転圧面の測定は、RI 法として密度に関しては、背面散乱型、透過型の密度計を、在来法としては砂置換法によった。含水量の測定は RI 法は、中性子水分計を、在来法は炉乾燥法を用いた。

また背面散乱型と透過型計器の比較も行った。

6-1 盛土転圧面での比較測定

盛土は材料と締固め方法の違いにより、A、B、C の盛土と A、B 盛土の基盤について、それぞれの比較を行った。A、B、C 盛土と A、B 盛土の基盤の材料と締固め方法を表 6-1 に示す。

表6-1 A, B, C盛土とA, B盛土基盤

	盛土材料	締固め方法
A	ツルト質粘土ローム(MH)	ブルドーザーまき出しのみ
B	"	タイヤローラー転圧
C	粘土 (CH)	ブルドーザーまき出しのみ
基盤	ツルト質ローム (MH)	タイヤローラー転圧

A, B, C, 基盤の比較測定結果を表6-2に示す。

ここでのRI法は、密度に関しては背面散乱法の表面型密度計、含水量は表面型中性子水分計である。

またこれらの測定結果の相関性については図6-1から図6-7に、各計器による平均値とばらつきについては、図6-8に示す。

試験 区分	測定法 X-Y	測定 盛土	測定 数	平 均 値		変動係数		相 関 係 数	等分 散性	対 応 平均差	回 帰 式		回帰式の不 偏分散値の 平 方 根	
				Mx	My	Cx	Cy				※ 固定	※ 固定	Rv ※	Rv ※
含 水 比 試 験	コアクター 法-RI法	A	32	117.2%	125.4%	5.7%	18.5%	0.027	等しくない	差なし	$y = 0.094x + 1143.99$	$x = 0.008y + 1162.05$	2579	4820
		B	77	115.6	116.9	5.0	17.3	0.139	〃	〃	$y = -0.488x + 173.282$	$x = -0.040y + 120.182$	2396	4490
		C	74	60.4	58.2	13.7	10.5	0.444	〃	〃	$y = 0.328x + 38.415$	$x = 0.060y + 25.392$	2879	2474
	砂置換法 -RI法	C	74	58.5	58.3	13.0	11.0	0.513	等しい	差あり	$y = 0.434x + 32.934$	$x = 0.606y + 23.161$	2758	2537
		基盤	60	52.2	47.2	12.2	11.0	0.345	〃	〃	$y = 0.282x + 32.494$	$x = 0.422y + 32.254$	2517	2276
	コアクター法 -砂置換法	C	74	60.4	58.5	13.7	13.0	0.460	〃	差なし	$y = 0.422x + 33.051$	$x = 0.506y + 31.065$	2879	2758
密 度 試 験	コアクター 法-RI法	A	31	12.59 g/cm ³	105.6 g/cm ³	4.5%	9.3%	0.146	等しくない	差あり	$y = 0.251x + 0.740$	$x = 0.085y + 1.169$	0239	0313
		B	81	1.309	1.159	2.5	5.5	0.161	〃	〃	$y = 0.323x + 0.736$	$x = 0.080y + 1.215$	0179	0252
		C	74	1.614	1.593	2.9	5.3	0.686	〃	〃	$y = 1.222x - 0.380$	$x = 0.385y + 1.000$	0290	0217
	砂置換法 -RI法	C	74	1.598	1.588	7.5	5.4	0.518	〃	差なし	$y = 0.374x + 0.920$	$x = 0.717y + 0.460$	0346	0299
		基盤	60	1.493	1.486	5.9	6.1	0.482	等しい	〃	$y = 0.494x + 0.749$	$x = 0.470y + 0.794$	0296	0548
	コアクター法 -砂置換法	C	74	1.614	1.598	2.9	7.5	0.351	等しくない	〃	$y = 0.893x + 0.157$	$x = 0.138y + 1.394$	0217	0346

*有意 **高度に有意

RI法（背面散乱型）と在来法の砂置換法、コアカッター法の現場比較測定の結果表6-2に示したが、この測定法は三者とも測定体積を異にするので、真の意味での比較は不可能である。しかしながらだいたいの傾向をつかむことはできる。

密度についてみると「コアカッタ法-R I法」の盛土A、Bをのぞいて、平均値、変動係数とも、比較的によくあつている。

A、B盛土は比較的軽い土質（関東ローム）であり、コアカッタを押込む際に土が締る傾向にあり、コアカッタ密度が実際よりも大きく出る可能性がある。

これはA、B盛土の「コアカッタ法-R I法」を図6-4からの相関をみればよくあらわれている。含水比についてみるとA、B盛土でのRI法の変動が大きいことと、平均値に差があることがわかるが、これはRI法において含水比算出が水分計単独でなく、密度計の値も用いることから、密度計の誤差が入っているものと考えられる。

大局的にみて、RI法と砂置換法とは、密度、含水比はかなりよく一致しているので、砂置換法の代りにRI法を用いても差つかえないものと考えられる。

また密度計のばらつきは、試料面の整形不備によるブローブと試料面との空隙が影響しているのではないかと考えられる。

RI法と砂置換法は比較的地表面近くを測定するのであるが、コアカッタ法はこれより深い部分を測定していることが多いので、土の垂直方向締め度が均一でないかぎり、これらと比較するのは、意味がないようにも思われる。

図6-8に示した各計器のばらつきをみると、RI法でのA、B盛土における含水比測定を除けば、ほぼ一定の値となつている。

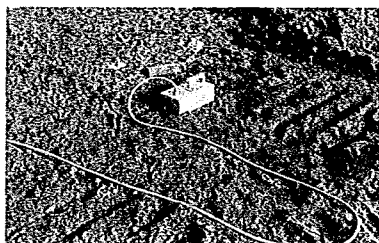


写真 6-1

表面型密度計
(背面散乱型)での
現場測定

写真 6-2

現場測定での
標準体での測定
(標準体上の計器は
表面型水分計である)

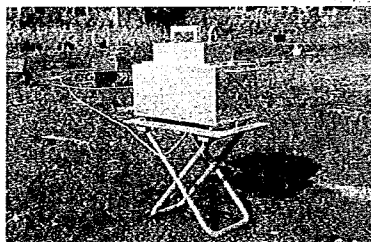


図6-1 A盛土 RI法とコアカット法の比較(含水比)

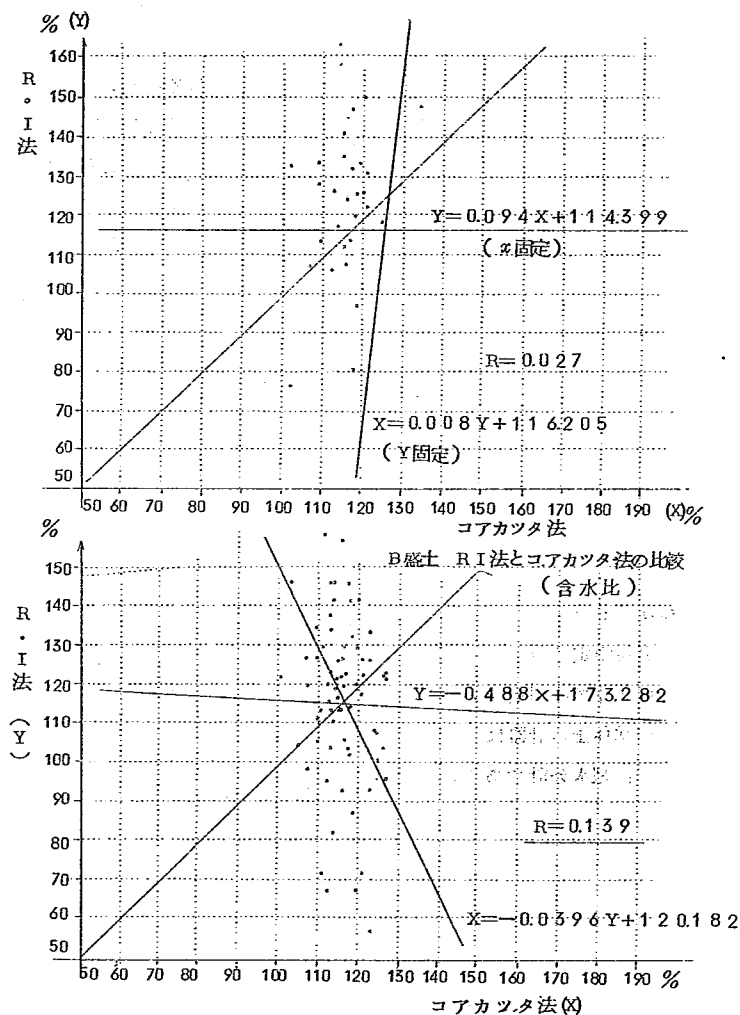


図 6-2 O 盛土 RI法とコアカツタ法の比較(含水比)

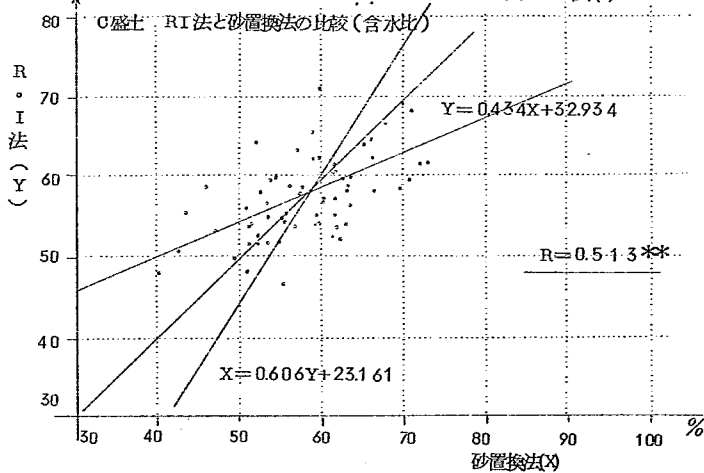
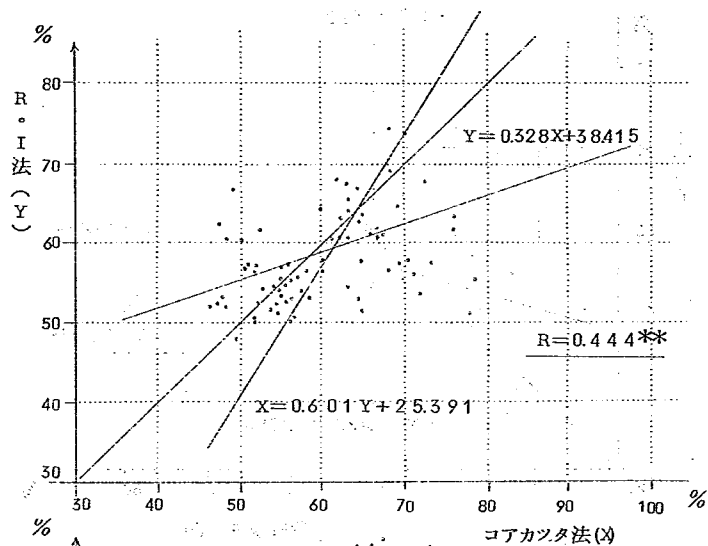


図 3-5 A・B 盛土の基礎

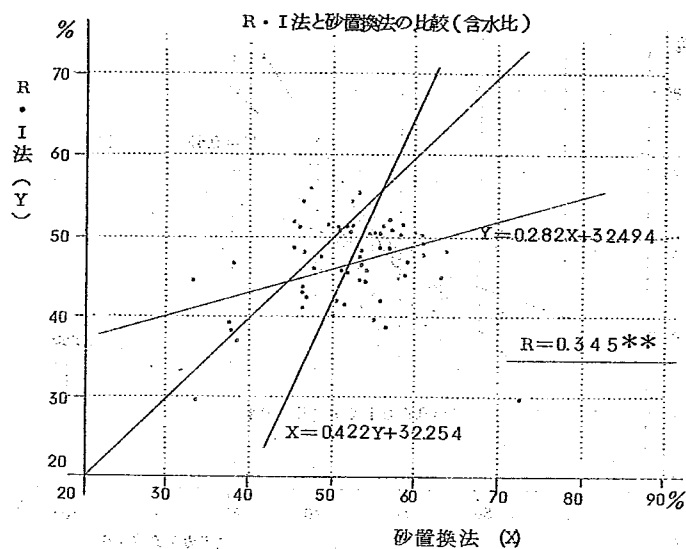


図 6-4 A盛土 RI法とコアカット法の比較:

(湿潤密度)

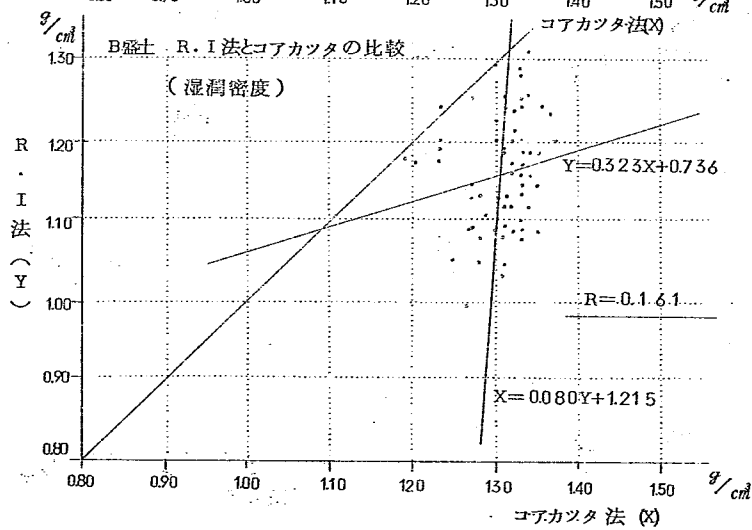
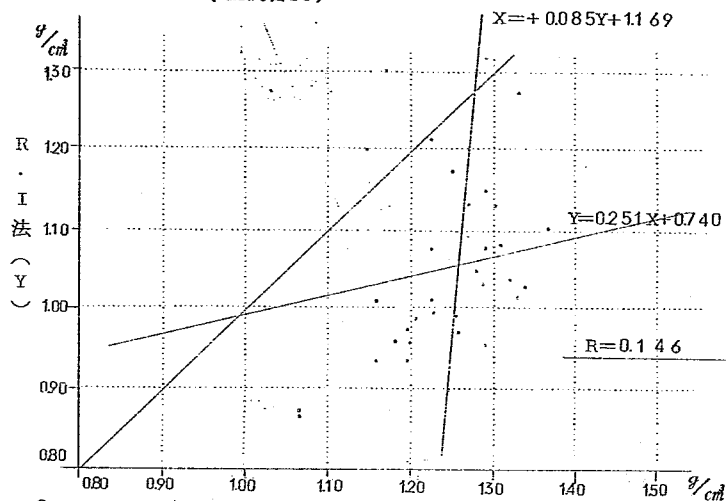


図 5-5 C盛土RI法とコアカッタ法の比較(湿潤密度)

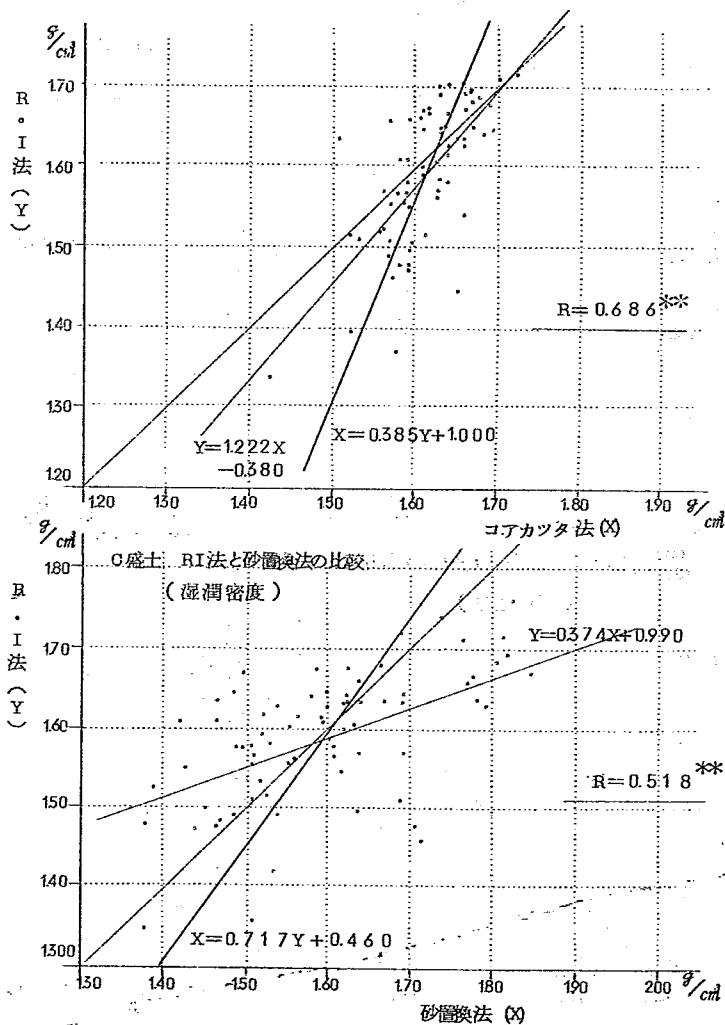


図 6-6 A・B 盛土の基礎
RI 法と砂置換法の比較 (I 調整度)

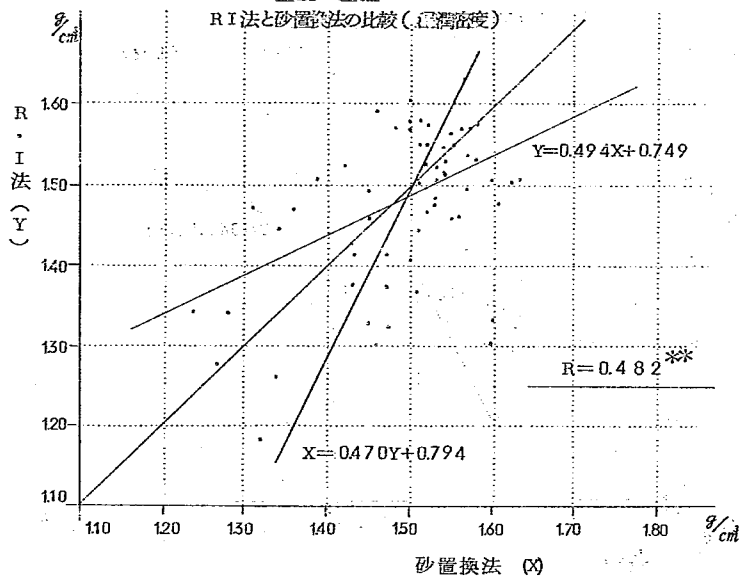


図6-7 C盛土

砂置換法とコアカット法(含水比)の比較

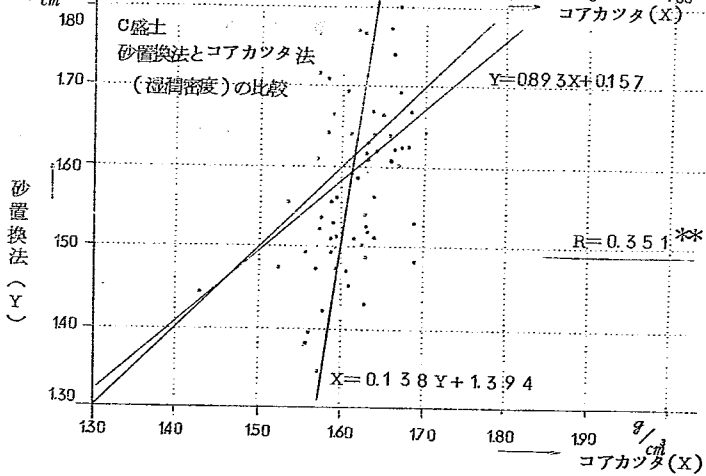
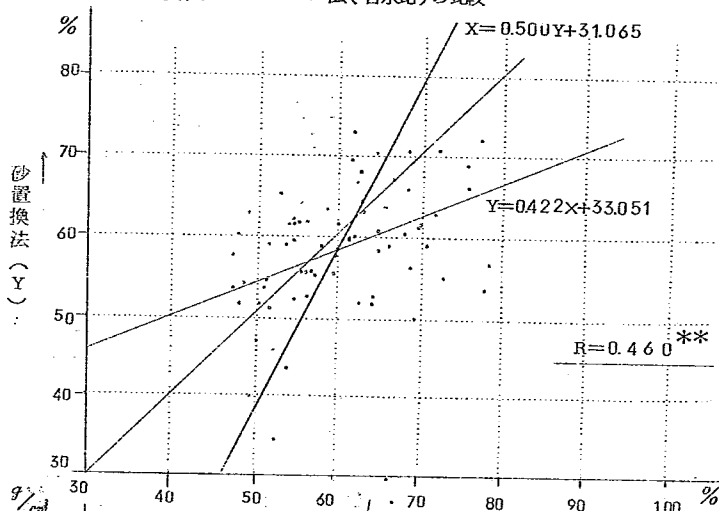
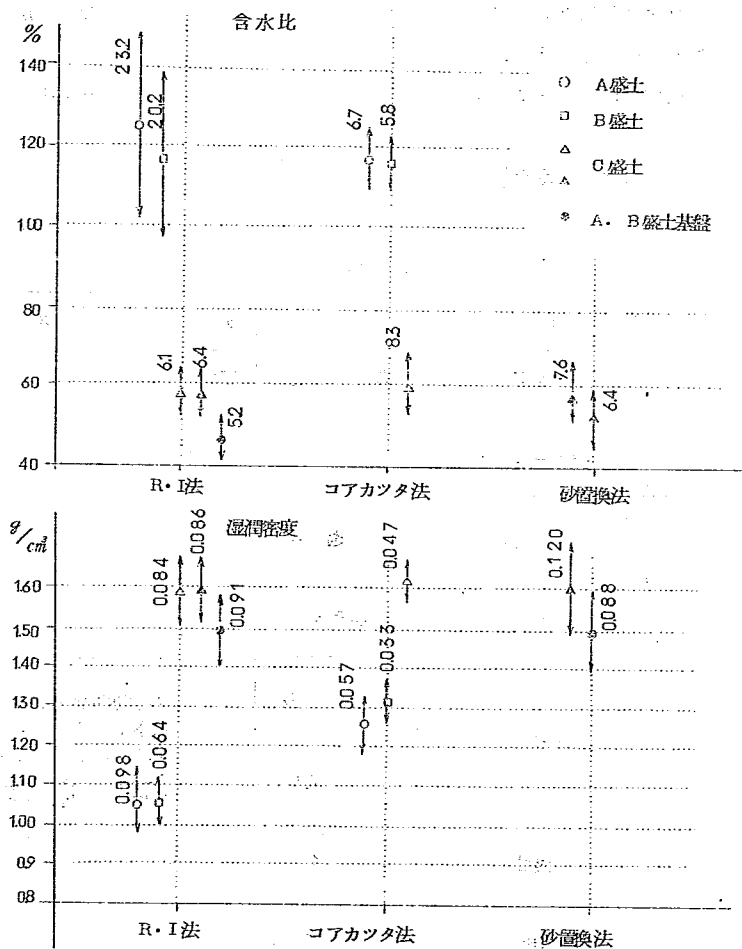


図 6-8 各計器による平均値とばらつき



6-2 アースダムのコア締固め現場での比較測定

コア材料はセン緑岩質片麻岩の風化岩より構成されていて、掘削転圧を行々と細かく碎けて、通称マサ土と呼ばれる土である。

締固めはD-80フルドザーけん引によるタンピングローラー転圧である。

ここで比較測定を行つた測定器を表6-3に示す。

表6-3 試験に用いた測定器

分類	計器名	型式	記号	備考
A	一線密度計	背面散乱型	SD	
	中性子水分計	"	SM	
B	一線密度計	透過型	TD	
	中性子水分計	背面散乱型	SM	
C	水分密度計	透過型 背面散乱型	ODM	透過型密度計と中性子水分計(散乱型)が一緒になつた計器(写真2-6)で、密度と水分密度が同時に測定できる。
D	砂置換法	孔の径 18cm	S	
	(含水比測定も含む)	孔の深さ 10cm		

ここで、透過型密度計の打込み深さは10cmとした。

A、B、C、Dの比較測定結果を表6-4に示す。またこれらの測定結果の相関性については図6-9～図6-12に、各測定器による測定値の平均値とばらつきを図6-13に示す。これらの結果から考えると平均値については密度の測定において、A（背面散乱型密度計）、B（透過型密度計）、C（透過型密度計）、D（砂置換）の各計器間には、明らかに平均値の差がみられ、 $C > B \div D > A$ なる関係にある。すなわち、透過型密度計は砂置換法に等しいが、より大きな密度を与えていてこれに比べて、背面散乱型密度計はこれよりも少なめにでてくる。これは散乱型密度計がプローブと試料とのすき間による影響に敏感で、あることと、測定のウェイトが表面近くに偏りがちであるために、B、C、Dとは測定範囲が異なっていることによるものと思われる。

水分密度Mの測定においても、平均値に差が見られるが、これは密度計における差よりも小さい。他の乾燥密度、含水比などについてみると、密度計と水分計の組み合わせにより得られる値であるので、密度計による測定のみが、そのまま表われている。

ここで砂置換法（D）を基準にとつて、RI法の比較をすればB、C、Aの順になる。

測定のばらつきを不偏分散の平方根および変動係数について調べてみると、密度測定では、 $D > A > B \div C$ の関係になる。

測定の精度からみると、このばらつきは小くなる程よいと考えられる。

砂置換法では砂のてん充方法や孔の形状等の誤差の入る可能性が多く、これが測定値のばらつきの原因ではないかと考えられる。

またAのような背面散乱型密度計では、やはり試料の表面状態による影響をうけて、B、Cのような透過型密度計に比して、ばらつきが大きい。

しかしながら、各計器とも測定体積が、それぞれ異なるので、厳密な意味での比較は不可能であることを考慮しなければならないだろう。

水分密度の測定におけるばらつきは各計器ともほぼ同じばらつきを示し

ていて、その差は少なく、ばらつきも小さい。密度計、水分計の組合せて得られる含水比、乾燥密度においては、 $D \div A > B \div C$ なる関係にある。測定値の相関性についてみると密度の測定においては、A、B、C、D各計器間の相関関係は、あまりはつきりしてないが、わずかにDの砂置換法とAの背面散乱型密度計の間の相関性が、他の組み合わせに比べて高い傾向にある。

これは、密度測定において、各計器共、測定のばらつきの領域の方が、密度の変化する領域よりも大きいために、相関関係が充分に得られなかったものと思われる。

水分密度Mの測定においては、各計器共、その相互間に高い相関性を有している。

また密度計、水分計の組み合わせより計算される値でも、水分密度の要素の強い含水比は、各計器相互間に高い相関性を示している。

以上の各計器について、平均値、ばらつき、相関性を考えあわせると、測定値の変動点で、背面散乱型密度計(A)と砂置換(D)はほとんど同じであるが、透過型密度計(B、C)は、これらA、Dよりも変動が少なく、優れていると思われる。

また含水量の測定における水分計は、変動も在来法(JIS法)とかわらず、高相関性を有し、全く実用上問題がないようである。

表6-4(1) 現場比較測定結果

(アースダムのコア締固面)

試験 区分	測定法 X-Y	測定 数	平均 値		変動係数		等 分散 性	対応 平均 差	相関 係数	回 帰 式		回帰式の不備分 散の平方根	
			M_x	M_y	C_x	C_y				x 固 定	y 固 定	RV_{yx}	RV_{xy}
湿 潤 密 度 試 験	D-A	30	2.061 [%]	1.979 [%]	535 [%]	429 [%]	等しい	差あり	0.648	$y=0.499x+0.950$	$x=0.842y+0.395$	0.066	0.085
	D-B	30	2.061	2.080	535	321	等しくない	差なし	0.307	$y=0.186x+1.697$	$x=0.507y+1.007$	0.065	0.107
	D-C	30	2.061	2.144	535	263	"	差あり	0.195	$y=0.100x+1.938$	$x=0.381y+1.245$	0.056	0.110
	A-B	30	1.979	2.080	429	321	等しい	差あり	0.145	$y=0.114x+1.853$	$x=0.185y+1.594$	0.067	0.085
	A-C	30	1.979	2.144	429	263	等しくない	"	0.281	$y=0.187x+1.774$	$x=0.422y+1.075$	0.055	0.083
	B-C	30	2.080	2.144	321	263	等しい	"	0.393	$y=0.333x+1.453$	$x=0.464y+1.084$	0.053	0.063
	A-B	60	1.990	2.085	415	332	等しい	差あり	0.293	$y=0.246x+1.595$	$x=0.349y+1.262$	0.067	0.080
	A-C	60	1.990	2.154	415	304	"	"	0.285	$y=0.226x+1.704$	$x=0.360y+1.215$	0.063	0.080
	B-C	60	2.085	2.154	332	304	"	"	0.354	$y=0.334x+1.457$	$x=0.375y+1.277$	0.062	0.065
水 分 密 度 試 験	D-A, B	30	2.217	0.239	1.430	14.80	等しい	差あり	0.829	$y=0.947x+0.033$	$x=0.726y+0.044$	0.020	0.018
	D-C	30	0.217	0.211	1.429	11.78	"	"	0.863	$y=0.690x+0.061$	$x=1.078y-0.0102$	0.0128	0.016
	A, B-C	30	0.239	0.211	1.484	11.78	"	"	0.893	$y=0.625x+0.062$	$x=1.275y-0.030$	0.011	0.016
	A, B-C	60	0.240	0.213	1.463	12.03	"	"	0.894	$y=0.653x+0.057$	$x=1.223y-0.021$	0.012	0.016
乾 燥 密 度 試 験	D-A	30	1.843	1.740	661	5.97	等しい	差あり	0.756	$y=0.644x+0.553$	$x=0.887y+0.300$	0.069	0.081
	D-B	30	1.843	1.841	6.61	3.65	等しくない	差なし	0.581	$y=0.320x+1.250$	$x=1.056y-0.100$	0.056	0.101
	D-C	30	1.843	1.933	6.61	2.77	"	差あり	0.399	$y=0.175x+1.610$	$x=0.909y+0.087$	0.050	0.114
	A-B	30	1.740	1.841	5.97	3.65	等しくない	差あり	0.380	$y=0.246x+1.413$	$x=0.589y+0.656$	0.063	0.098
	A-C	30	1.740	1.933	5.97	2.77	"	"	0.383	$y=0.198x+1.589$	$x=0.743y+0.304$	0.050	0.098
	B-C	30	1.841	1.933	3.65	2.77	等しい	"	0.373	$y=0.298x+1.385$	$x=0.467y+0.937$	0.051	0.063
	A-B	60	1.750	1.845	5.48	3.61	等しくない	差あり	0.423	$y=0.294x+1.331$	$x=0.609y+0.627$	0.061	0.088
	A-C	60	1.750	1.941	5.48	2.95	"	"	0.275	$y=0.164x+1.653$	$x=0.462y+0.854$	0.055	0.093
	B-C	60	1.845	1.941	3.61	2.95	等しい	"	0.201	$y=0.178x+1.612$	$x=0.242y+1.376$	0.056	0.066

表 6-4 (2) 現場比較測定結果

(アースダムのコア締固面)

試験 区分	測定法 X—Y	測定 数	平 均 値		変動係数		等 分散 性	対応 平均 差	相関 係数	回 帰 式		回帰式の不確か 散の平方根	
			M_x	M_y	C_x	C_y				x 固 定	y 固 定	RV_{yx}	RV_{xy}
含 水 比 試 験	D—A	30	11.89	13.86	18.46	19.59	等 し い	差なし	0.869	$y = 1.076x + 1.072$	$x = 0.702y + 2.153$	1.367	0.980
	D—B	30	11.89	13.02	18.46	16.56	"	"	0.899	$y = 0.872x + 2.646$	$x = 0.926y - 0.159$	0.951	0.980
	D—C	30	11.89	10.92	18.46	12.33	等しくない	差あり	0.897	$y = 0.551x + 4.377$	$x = 1.462y - 4.074$	0.606	0.987
	A—B	30	13.86	13.02	19.59	16.56	等 し い	差なし	0.962	$y = 0.754x + 2.560$	$x = 1.226y - 2.097$	0.594	0.758
	A—C	30	13.86	10.92	19.59	12.33	等しくない	差あり	0.884	$y = 0.418x + 5.122$	$x = 1.702y - 4.722$	0.736	1.483
	B—C	30	13.02	10.92	16.56	12.33	"	"	0.873	$y = 0.552x + 3.73.8$	$x = 1.381y - 2.066$	0.668	1.057
	A—B	60	13.82	13.04	18.34	15.82	等 し い	差なし	0.961	$y = 0.783x + 2.222$	$x = 1.180y - 1.574$	0.573	0.704
	A—C	60	13.82	11.00	18.34	12.04	等しくない	差あり	0.829	$y = 0.433x + 5.008$	$x = 1.586y - 3.621$	0.747	1.429
	B—C	60	13.84	11.00	15.82	12.04	"	"	0.842	$y = 0.540x + 3.951$	$x = 1.312y - 1.382$	0.721	1.123

図6-9 WDに関する測定値(湿潤密度)

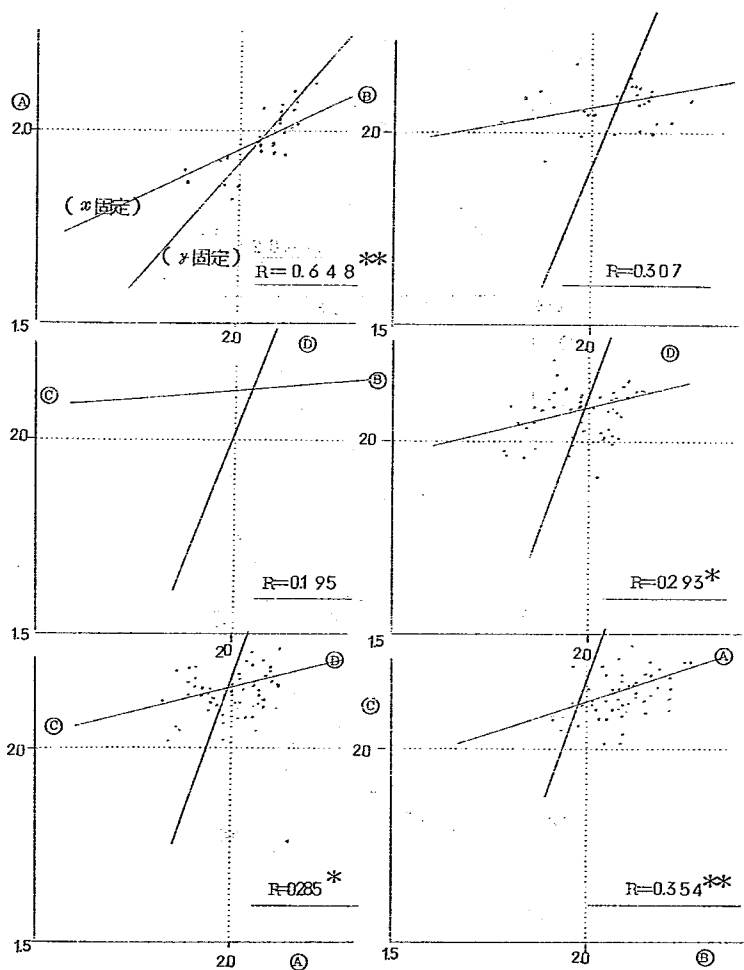


図 6-10 M に関する測定値

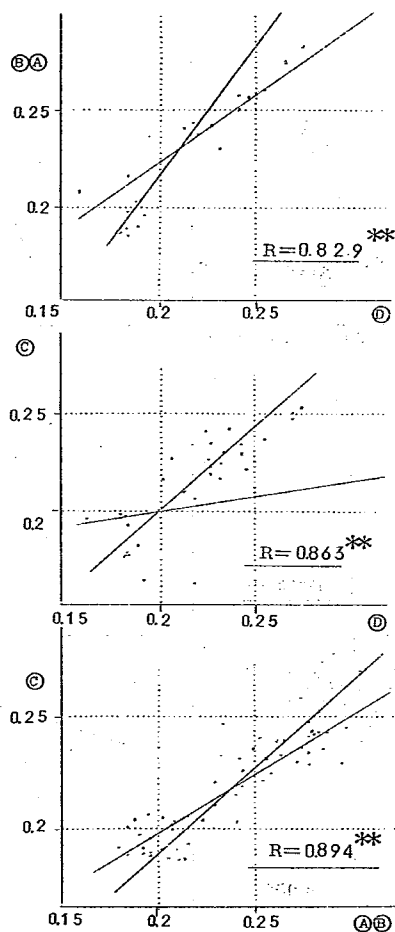


図-6-11 DDに関する測定値

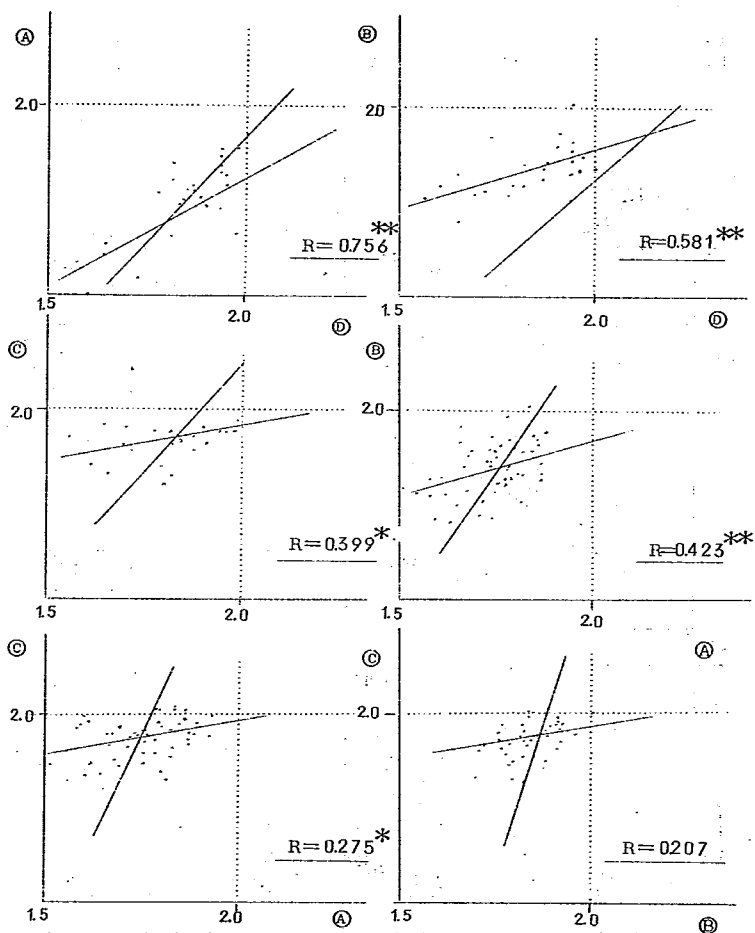


図6-12 WCに関する測定値(含水比)

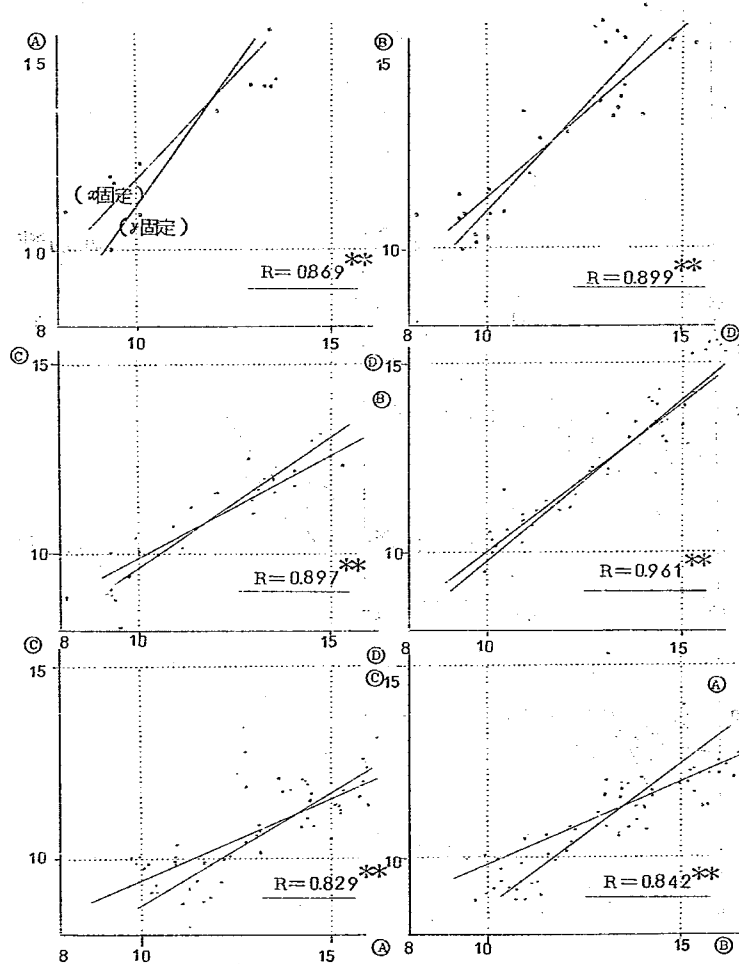
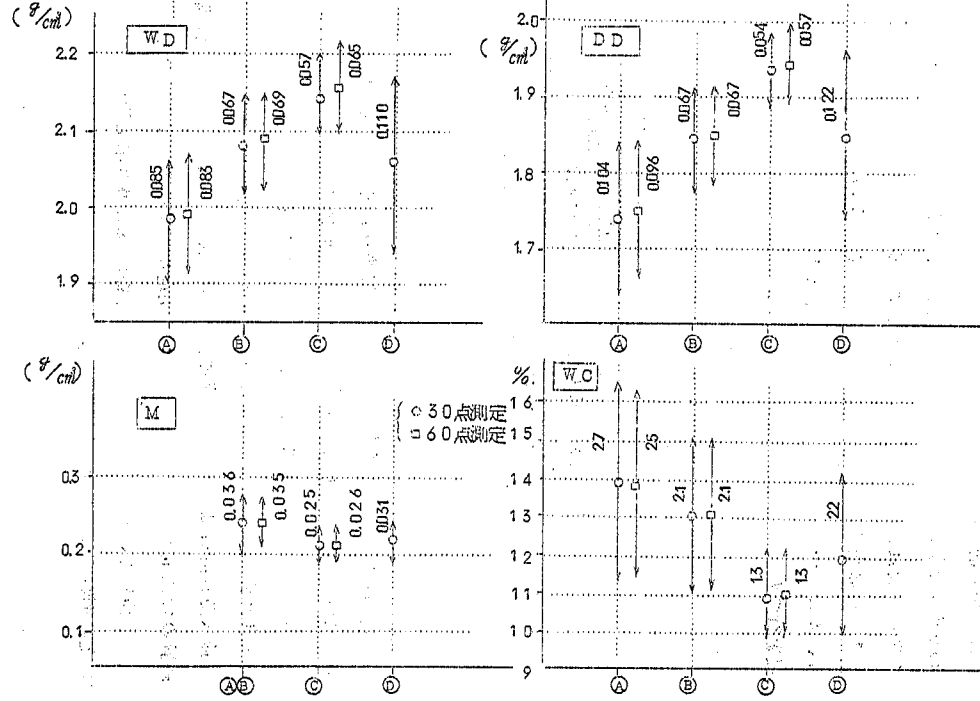


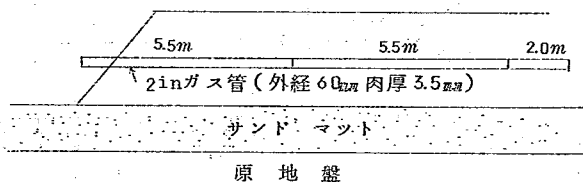
図 6-13 各計器による平均値とバラツキ



6-3 挿入型計器の現場測定例

挿入型計器の測定は、盛上施工中に横方向に埋設されたRI横パイプ（2inガス管）を利用して、盛土の湿潤密度、水分密度の測定を行った。パイプの埋設は、図6-14に示すように5.5mパイプを2本と、2mパイプ1本を継ぎ合せ計13.0mでパイプの出口（RI計器の挿入口）から、2m、3m、……10mまで1mおきに、そして12mの箇所と10点の測定を行った。測定は3期間行った。その結果を図6-15に示す。

図6-14 RIパイプの埋設状態



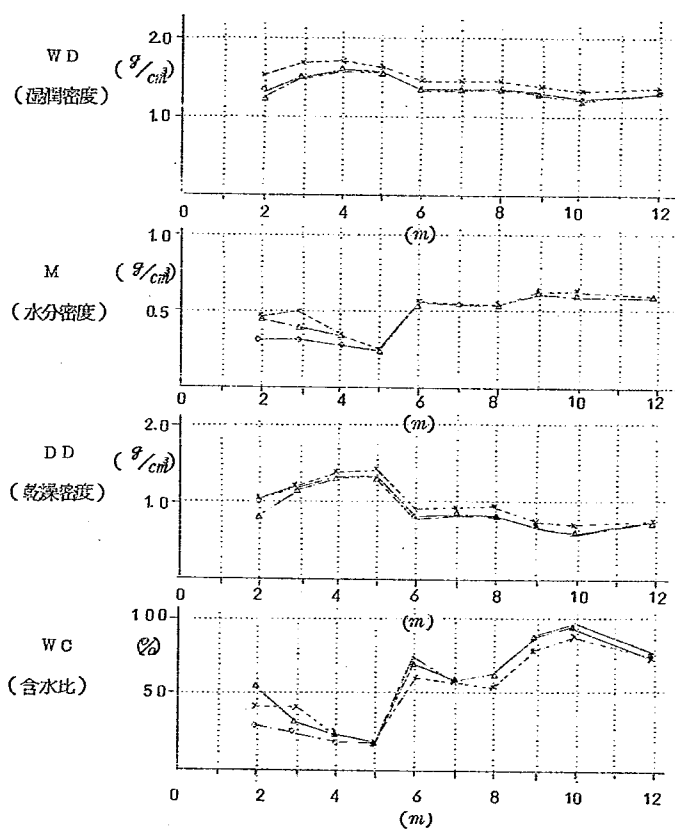
これから埋設後は1年を経ると、埋設当初にくらべて、湿潤密度が0.1 g/cm³程度増加している。しかし水分密度には変化がみられない。

このことから、施工当初に比して、パイプ周辺の土、すなわち盛土の密度が自然放置の状態で増加していることがわかる。

挿入型の計器は盛土の施工管理、圧密状態、地下水の変動の調査、路床路盤の含水量の変化および分布状態の測定などの利用に多く利用できる。

その他にも、河川の河床洗掘調査、地盤改良工事の施工管理など、現場測定例があり利用範囲は広範である。

図 6-15



佐倉No 23地点のRI横パイプ測定

No 1 $\circ$ — $\circ$ 67.1103
 No 2 $\triangle$ — $\triangle$ 67.47
 No 3 $\times$ — $\times$ 67.220

第7章 計器使用上の問題点

γ 線密度計および中性子水分計は、利用の仕方が適切であれば非常に有用なものであるが、利用上いろいろな問題点を含んでいる。

以下に、その問題点を列举する。

7-1 被曝放射線量

一般的な問題として、R1計器は人体に有害な放射線（特に γ 線）を放出していることである。

γ 線密度計では、 γ 線を放出しており、これによる被曝量を法律で規定している許容量以下におさえなければならない。

中性子水分計では、高速中性子の線源に最近ではAm-Beを使用し始めたので、 γ 線に関する被曝量はほとんど問題がなくなつたが、Ra-Be線源などの場合は、高エネルギーの γ 線を併発しているので、注意が必要である。

また大きな中性子線源を使用するときには、中性子による被曝（特に目に対する）に注意しなければならない。

現場等で普通使用している限りでは、過去の実績からも、被曝放射線量は極くわずかで、ほとんど問題とならないが（2週間で10mrem以下・・・フィルムパッチによる）室内実験などで特殊な使用をする場合には十分に管理する必要がある。

この放射線の被曝に対する健康管理（血液中の白血球、赤血球の数、眼、皮ふなどの検査）が法律によつて義務づけられている。

なおR1計器を使用するときは、放射性同位元素の取扱いに関する法律に従つて、使用許可または使用届出申請の手続き、被曝線量管理（ポケットチェンバー、フィルムパッチなどによる）が規定されている。

7-2 放射線の統計的揺動

放射線の単位時間に放出される数は、一定でなくある統計的なばらつきを有しているために、計数値には統計的な変動をさけることができない。

いまT分間にNカウンタ得られたとすれば、その値は同一試料に対して、その母平均に応じた分散を示す。

この分散はポアソン分布に従うとされている。またNが大きくなるに従って、その分布は正規分布に近づく。

この計数値Nの標準偏差 σ は $\sigma = \sqrt{N}$ で示される。

それ故Nが得られたとき、その真値は95%の信頼度で $N \pm 1.96\sqrt{N}$ の中に入ることになる。相対標準偏差 ϵ は $\epsilon = \frac{\sigma}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}}$ で示されNが大きくなるに従って小さくなる。すなわち計数値が大きくなるに従って換言すれば、計数時間を長くすれば相対誤差は小さくすることができる。

ただし7-3に述べる計器の時間的な安定性のことも考慮しなければならないので、自ら計数時間にも制限が生じてくる。

そこで、95%信頼度での相対誤差を0.5%、1%、2%にしたときのNを次に示す。

相対誤差	$\pm 0.5\%$ 以下にする	$N \geq 154000$ カウンタ以上
"	$\pm 1\%$	$N \geq 38400$
"	$\pm 2\%$	$N \geq 9600$

7-3 計器の安定性

R1計器は、プローブとスケーラーより構成され、複雑で微妙な電子回路や検出管を含むので、外的な条件（温度変化、電圧変化、時間など）によって、計器の出力特性が変化することがある。この計器の変動は、将来計器の改良などの積重ねて、実用上問題がないところまでなくすることがで

きると考えられる。

この計器変動のチェックおよび変動があつた場合の補正のために、標準体
が使用される。標準体は外的状態に対して変化がなく計数率が多く得られる
材料（例えば水など）が望ましい。

7-4 校正曲線

校正曲線の正確さは最も基本的な事項である。試材を容器につめる際には
密度、含水比の均一性を保つことが、精度のよい校正曲線を得る上に最も大
切なことである。

またこの際、計器の作用範囲（sensitive volume）に対し十分にゆとり
のある容器を用い、一点あたりの計数時間も長くかけた方がよい。

均一につめても多少の密度のばらつきは避けられないので、できるだけ多
点のくりかえし測定を行なうことが望ましい。

水分計においては、あまり問題とならないが、密度計の校正曲線は土質に
より、多少異なるので、室内で標準的な校正曲線を求めておき、現場測定にあ
だつては、必ず現地の土で2、3点チェックする必要がある。

もし両者に差があれば現地の土による校正曲線を採用しなければならない

この土質による差は、背面散乱型密度計において、特に生ずるようであり
主として土の粒度、含水量に依在しているようである。

7-5 計器と試料面との密着性

これは背面散乱型の密度計において著しいのであるが、計器と試料との
間に空隙があるとかなりの誤差が生ずる。

表面型の場合は、試料の表面凹凸があるとき、また挿入型の場合にはアク
セスパイプとボーリング孔の壁との間に空隙があるときである。表面型計器

の場合は労力さえかければ解決できるのであるが、挿入型の場合は現在良策がなく、これが挿入型計器の最大の問題点となつている。

なお透過型密度計においては、背面散乱型に比して、空隙による誤差はきわめて少なく、あまり大きな問題とはなつてない。

7-6 作用範囲 (sensitive Volume)

透過型密度計では、線源の打込み深さを自由に調整できるので、任意の深さまでの密度測定が可能で、しかも密度測定の垂直方向分布の重みは均一である。

これに反して、背面散乱型密度計および中性子水分計においては、測定範囲が浅く、地表面より10～15cm程度で、しかも地表面に近い部分に測定の重みが、かたよる傾向であるので、背面散乱型を使用するときには、この点に留意しなければならない。

7-7 物質の組成による影響

被測定物質が、次のような組成を有する場合は、通常の校正曲線は使用できないので補正を要する。

(1) γ 線密度計

測定の原理の項で示したように、密度測定の場合には、原子番号と質量数との比が0.5から大きくはずれる元素（例えば水素）を多く含んでいる場合や、レキまじり土、レキ等、空隙率の大きな物質がある場合問題がある。

(2) 中性子水分計

速中性子、吸収断面積の大きな元素（Cl, Fe, Mn, Li, Bなど）が含まれる場合。

特に海岸で塩水の含まれた状態で、使用するときには、Clの影響を考慮し

なければならない。また有機物、結晶水の形で含まれている水素（H）に対する補正の問題がある。

4、
五
一、



第 8 章 結 び

(1) 校正曲線について

土質の違いによつて校正曲線が異なるので、現場測定にあつては現地の土による校正曲線を採用しなければならない。この場合、校正曲線の勾配に関しては土質による差は認められないので、現地の土で 2、3 点チェックして、その校正点が室内標準校正曲線上にないときには、室内標準校正曲線を平行移動して現地の土に合わせて使用することができる。

なお、この土質による差は、背面散乱型密度計において生じやすく、水分計や透過型密度計においては、あまり顕著ではない。

(2) 計器の作用範囲について

計器の作用範囲は、密度計においては密度が小さくなる程、水分計においては水分密度が大きくなる程、広くなる。たゞこの差はあまり顕著ではなく普通の土の場合、計器のジオメトリーにもよるが密度計（背面散乱型）、水分計共に、深さ方向約 10 ～ 15 cm、横方向約 25 × 15 cm 程度である。測定の重みは地表面下 4 ～ 5 cm のところに集中しているようである。なお透過型密度計においては線源の打込深さを変えることによつて作用範囲を適当に調節することができる。

(3) 計器の安定性について

計器に対する外的条件（温度、湿度、電圧、その他）によつて出力に変動がみられることがあるが、これらは標準体を使用することによつて補正することができる。しかしながら、この安定性は現在の技術水準から考えればまもなくほとんど問題にしくなくてもよい時が来ると考えられる。

(4) 総 括

(イ) 表面型計器

背面散乱方式の密度計、水分計は取扱い上非常に簡便で精度的にもJIS法（在来法）と同等であるので、有要な計器であるが、散乱方式の表面型密度計においては、作用範囲が浅く、表面近くの測定しかできないのと、計器と試料との空隙の影響を受けやすいことで、土工の管理手段として使用するのに不満な点がある。それに比べて透過型密度計では、計器と試料との空隙の影響も少なく作用範囲は30cm程度迄の深さ方向の測定もでき、精度的には、背面散乱方式やJIS法よりも優れているので、土工の管理手段として使用するのには、非常に有望である。

たゞし線源を地中に打込む場合の手間や硬い地盤における打込みの難さが多少問題である。

水分計においては、試料表面状態の影響も少なく、精度的にもJIS法と同等で土工の管理手段としては有望である。

また表面型計器の水分密度計は、含水量と密度の測定が同時にでき、計測時間が短縮される計器であるので、今後、土工の管理手段としての計器として、多く使用されるものと思われる。

(ロ) 挿入型計器

挿入型計器は、ボーリング孔壁とアクセスパイプの空隙の問題があり、絶対値測定は困難であるが、相対的变化の測定には向き、利用範囲も広範である。

路床路盤の経年変化状態の調査など施工後の管理に対して、有望な計器である。

あ と が き

外・ 土工の管理における現場密度、含水量の測定手段の一つとして、R I 計器
五 的特性、実用性について検討を加え、一応の結論を得ることが出来た。
二 測定が非破壊的で迅速性があり精度的にも従来法に優るとも劣っていないこ
とから、多点測定管理の必要性が論ぜられている現在、ますます将来性のあ
る測定手段であると考えられる。

なお現場測定において、九州地方建設局の緑川ダム工事事務所及び久留米
技術事務所に助力いただいたことを感謝します。

施工研究室 島 津 晃 臣

吉 岡 晴 之

武 田 繁

参 考 文 献

- 1) 日本建設機械化協会関西支部技術部会：「放射性同位元素利用による
現場における土の単位体積重量測定法（案）および解説」
- 2) 近藤紀：「ラジオアイソトープ利用の土質調査」土質工学会「土質調
査法」
- 3) 有泉晶、近藤紀、森芳徳：「 γ 線密度計における河床洗堀調査」土木
研究所報告第123号
- 4) 日本原子力研究所ラジオアイソトープ研修所：「講義テキスト、基礎」

課程 1996 年

- 5) 土木研究所：「ラジオアイソトープ利用による施工管理」第 20 回建設省技術研究発表会
- 6) 日本放射性同位元素協会理工学部会：「中性子水分計およびガンマ線密度計の安定性に関する共同実験結果」
- 7) Denis Taylor and Mohan Kansara: "A Theory of the Nuclear Densimeter" Soil Science vol.104 №1
- 8) K.Preiss "Analysis and Improved Design of Gamma-Ray Backscattering Density Gages" Highway Resarch Record №107
- 9) BG Todor and William Gartner JR: "Evaluation of Direct Transmission-Type Nuclear Density Gage for Measuring In-Place Densities of Soils" Highway Research Record №107
- 10) 福井三郎、山岡昭美、岡田文夫、折井正規：「推計学入門演集」産業図書
- 11) 本間仁、春日屋伸昌：「次元解析・最小 2 案法と実験式」コロナ社

内
五

附 録

- (1) 用語の解説
- (2) 許容被曝線量
- (3) データシート

- ・ 較正実験データシート
- ・ 較正計算データシート
- ・ 現場測定用紙
- ・ プラトー用紙
- ・ 被曝線量記録用紙

(1) 用語の解説

ガイガー、ミューラー計数管 (Geiger-Müller counter)

入射した放射線粒子が起す最初の電離の大きさに関係なく、出力が一定であるような放電領域で使用するガス入り計数管。G-M計数管、あるいはガイガー計数管ともいう。

回復時間 (recovery time)

計数管などが一度動作したのち、つぎの入射放射線による出力波高値が最初の波高値の90%になるまでに要する時間。

外部被曝 (external exposure)

体外に存在する線源からの放射線 (外部放射線) による被曝。

壊変率 (disintegration rate)

放射性物質の壊変数の時間率。

dps (壊変毎秒) または dpm (壊変毎分) であらわす。

核子 (nucleon)

原子核を構成している粒子である中性子および陽子を総称していう。

核種 (nuclide)

原子番号、質量数ならびにエネルギー状態によつて一義的にきめられる原子核または原子の種類。このうち放射性を有するものを放射性核種、そうではないものを安定核種という。

キュリー (curie)

放射能の強さではかつた放射性物質の量の単位。1キュリーは放射性物質中の放射性核種の毎秒の壊変数が 3.7×10^{10} であるときの放射性物質の量であり、Ciの記号であらわす。

緊急時線量 (emergency dose)

緊急時における一時的な全身被曝の許容線量

計数落とし (counting loss)

放射線粒子を計数するとき、検出器または計数装置の不感時間、あるいは分解時間により計数されずに数え落される現象または落された計数

原子核 (nucleus)

原子の核心を形成している物質。正に帯電しており、その質量は原子の全質量のほとんど全部を占めるが、その大きさは原子全体の大きさに比べて非常に小さい。

原子核分裂 (fission)

重い原子核がほぼ等しい質量をもつ2つの原子核に分裂する現象。核分裂には中性子などの衝撃によつて引き起こされる誘導核分裂と自然に起こる自発核分裂とがある。

原子質量単位 (atomic mass unit)

各核種の中性原子の相対的質量をあらわすのに用いる単位。炭素の同位体 ^{12}C の中性原子の質量の正確な $\frac{1}{12}$ を1原子質量単位 (amu) とする。

1 原子質量単位 = 1.66032×10^{-24} g

原子番号 (atomic number)

原子核のもつ電荷を、単位電荷 ($e = 4.80290 \times 10^{-10}$ esu = 1.60208×10^{-19} coulomb) を単位としてあらわした数。これは原子核中の陽子の個数に等しい。記号: Z

高速中性子 (fast neutron)

約 0.1 MeV 以上のエネルギーをもつ中性子

光電効果 (photoelectric effect)

物質に電磁波が入射したとき、その物質から電子がとび出す現象。この電子を光電子といい、その運動エネルギーから電子の束縛エネルギーを差引いたものに等しい。

コンプトン効果 (Compton effect)

物質中の電子によつて光子が散乱される現象、散乱光子のエネルギーは散乱角の大きいほど小さくなり、残りのエネルギーは反跳電子 (コンプトン電子という) に与えられる。

最大許容線量 (maximum permissible dose)

現在の知識に照らして、生涯のいずれの時期においても感知されうる程度の身体障害を起こさないとされる放射線量の最大値

シンチレーション検出器 (Scintillation detector)

シンチレーターと光電子増倍管を組み合わせた放射線検出器

シンチレーター (Sintillator)

- 内、放射線が当ることによつて閃光を発する物質、たとえば硫化亜鉛、タリウムで活性化したヨウ化ナトリウム、アントラセン単結晶など。
五、光電子増倍管と組合わせて放射線の検出に用いられる。
三、

線量 (dose)

電離放射線によつて、物質のある点における単位質量に与えられるエネルギーに関する量である。線量は吸収線量と照射線量に分けられる。

断面積 (Cross section)

主として放射線粒子と物質などの相互作用の起こる確率をあらわす量、たとえば入射粒子の線束を ϕ 、ターゲット物質の原子数を n 、その断面積を σ とすれば、確率は $n \phi \sigma$ となる。 σ は面積の次元をももち、ターゲット核のみかけの大きさとも考えられる。ターゲット物質の関連づける対象により、原子断面積、電子断面積などが、また相互作用の種類によつて散乱断面積、放射化断面積などに定義される。断面積の単位としてバーン (barn, 10^{-24} cm^2) が用いられる。ミクロ断面積ということもある。

電子ボルト (electron volt)

エネルギーの単位の一つ。1 電子電荷をもっている粒子が電位差 1 ボルトの中を通過するとき獲得する運動エネルギーで、 $1.60 \times 10^{-12} \text{ erg}$ に等しい。記号 eV その 1000 倍をキロ電子ボルト (Kev)、1,000,000 倍を

メガ電子ボルト (Mev) という。

電離 (ionization)

放射線などの作用により、中性の原子または分子の外殻電子がひき離され、イオンになる現象。

同位元素 (isotope)

同位体ともいわれる。原子番号が等しく、質量数の異なる核種よりなる元素を同位元素といい、そのおのおの核種を互いに同位体であるという。同位体のうち放射性を有するものを放射性同位体、有しないものを安定同位体と呼ぶ。たとえば ^1H 、 ^2H 、 ^3H は互いに同位体であり、このうち ^3H は放射性同位体である。

熱中性子 (thermal neutron)

常温の気体分子と同じエネルギー分布をもつ中性子。このエネルギー分布はマクスウエル分布と一致し、その最確値に相当するエネルギーは0.025ev (中性子速度にして $2.2 \times 10^3 \text{ m/sec}$)とされている。

バックグラウンド (background)

放射線計測装置などにおいて、測定しようとする対象以外の原因により引き起こされる計測値。計数装置においては自然計数、電離箱においては自然漏洩ということもある。

比例計数管 (proportional counter)

放射線粒子によつて最初に生じた一次イオン数に比例した出力パルスを

生じるガス入数管

分解時間 (resolving time)

2つの信号を区別し、あるいは計数しうる最小の時間間隔、放射線検出器などでは、一度動作したのち、つぎの入射放射線粒子による出力が後続の電気回路を動作させる波高値になるまでに要する時間

平均寿命 (average life)

放射性物質の個の原子の寿命の統計的平均。つぎの式で τ で表わされる

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = 1.443 \times T = T / 0.693$$

ここに λ は崩壊定数、 T は半減期

ラド (rad)

吸収線量の単位、電離放射線より照射された物質1gあたりの吸収エネルギーが100ergのとき、1radと定義する。

レム (rem roentgen equivalent man or mammal)

生物学的効果から評価した線量の単位

$$\text{rem} = \text{RBE} \times \text{rad}$$

レントゲン (roentgen)

照射線量の単位、X線または γ 線の起こす電離によつて1gの空気に、84ergのエネルギーが与えられるときの線量を1rと定義する。

生物学的効果比 (relative biological effectiveness, RBE)

放射線による生物学的効果の量 (rem) と、その部位の吸収線量 (rad) との割合を示す量。ICRP は 0.03 Mev 以上の γ 線および電子について 1 とし、0.03 Mev 以下の γ 線および電子では 1.7、 σ 粒子 1.0、反跳原子 2.0 の値が採用されている。

(2) 許容被ばく線量

個人の許容被ばく線量 (法令による)

	放射線作業従事者	管理区域随時立入者
最大許容被ばく線量	3ヶ月間につき3レム (皮ふのみ8レム、手足等のみ20レム、妊娠可能な女子の腹部1.3レム、妊娠の診断から出産までの間につき妊娠中の女子の腹部1レム)	規定はないが許容被ばく線量は1年間につき1.5レム (皮ふのみ3レム)
最大許容集積線量	$D = 5(N - 18)$ レム、事故 (25レム未満) または緊急作業 (12レム以下) による超過は超過線量/2 = X年の間認められる	規定なし
被ばく線量の記録	記録し、3ヶ月ごとに3ヶ月間の集計および集計線量を記録する	記録する
健康診断の回数	3ヶ月 (血液検査は6ヶ月) をこえない期間に1回	6ヶ月をこえない期間に1回

放射線作業従事者：放射性同位元素、放射線発生装置又は放射性同位元素によつて汚染された物の取扱い、管理又はこれに附随する業務に従事する者であつて管理区域に常時立ち入るもの

体内被ばくの最大許容線量率

	最大許容線量率 (レム)	
	Main Commission	Internal Dose Commission
生殖線と全身	D=5 (N-18) レム、 30レム/13週	0.1レム/週 (5レム/年)
骨	8レム/13週 30レム/年	0.56レム/週 ($\dot{d}=0.1\mu\text{Ci}$ の 226-Ra相当)
皮ふと甲状腺	8レム/13週 30レム/年	0.6レム/週 (30レム/年)
その他の 軟組織	4レム/13週 15レム/年	0.3レム/週 (15レム/年)

X、 γ 線1回全身照射量と放射線障害

線量 (レントゲン)	初期障害	基準量 (レントゲン)
25	ほとんど臨床症状なし	事故時最大許容量12
50	血液変化 (リンパ腺の減少)	
100	強い宿酔 (嘔気、嘔吐、全身倦怠)	
150	宿酔50%	
200	長期白血球減少	危険限界量100
250	死亡 10%	
400	死亡 30日間 50%	
600	死亡 14日間 90%	
700	死亡 100%	100%致死量700

放射線障害の症状

	早 発 性 障 害	晩 発 性 障 害
全身障害	はつ気、嘔吐、全身けん怠	寿命短縮、発がん、老化現象 白血病
血液障害	リンパ球増加、白血球減少 及び増加、血小板減少	赤血球減少、白血病、悪性貧 血
皮膚障害	紅斑、脱毛、色素沈着	発がん、い縮、白斑、老化現 象

(3) データーシート

校正データーシート

校正計算シート

現場測定用紙

プラト用紙

被曝線量記録用紙

校正実験方法，現場測定方法については，建設省土木試験基準のKDSK
0911，KDSK0908を参照のこと。

R. I (表面型) 校正データシート

実験 No. 1

実験名 関東ローム
(ランマー締め)

実験者 S. T

昭和 43 年 6 月 1 日 天候 晴

校正時間 10時30分 ~ 12時30分

気温・湿度 22.0℃ 63% ~ 23.5℃ 59%

バッテリー 1.25V ~ 1.12V

プローブ	スケール	高圧
(SD)	No. 2	9V
SM	No. —	—

密度の測定 (全量法)

使用容器 60cm × 60cm × 50cm (5cm 6段)

No.	W	Wo	W-Wo	No.	W	Wo	W-Wo
6	252.8Kg	52.4Kg	193.4Kg	2	154.8Kg	38.9Kg	115.9Kg
5	228.2	54.3	173.9	1	130.2	33.8	96.4
4	203.6	49.1	154.5	0	105.3	28.7	76.6
3	178.8	44.0	134.8				

校 正

No.	0°	90°	180°	270°	摘要
S.C	25,424/2	25,389/2	25,438/2	25,516/2	
6	13,730/1	13,758/1	13,818/1	13,827/1	
5	14,039/1	13,863/1	14,015/1	13,811/1	
4	13,782/1	13,379/1	14,021/1	13,592/1	
3	13,979/1	13,698/1	14,157/1	13,756/1	
2	13,842/1	13,883/1	13,764/1	13,751/1	
1	13,633/1	13,941/1	13,743/1	13,767/1	
0	27,164/2	27,408/2	27,697/2	27,726/2	
S.C	26,239/2	26,096/2	25,929/2	26,116/2	

R. I (表面型) 校正データシート

実験 No. 1

実験名 関東ローム

実験者 S. T

(ランマー締め)

昭和 43 年 6 月 1 日 天候 晴

校正時間 10 時 15 分 ~ 12 時 10 分

気温・湿度 22 °C 63 % ~ 23.5 °C 59 %

バッテリー 13 V ~ 12 V

プローブ	スケール	高圧
SD	μ	—
(SM)	μ1	1.9KV

密度の測定 (全量法)

使用容器 60 cm × 60 cm × 50 cm (5 cm 6 段)

μ	W	Wo	W-Wo	μ	W	Wo	W-Wo
6	252.8Kp	59.4Kp	193.4Kp	2	154.8Kp	38.9Kp	115.9Kp
5	228.2	54.3	173.9	1	130.2	33.8	96.4
4	203.6	49.1	154.5	0	105.3	28.7	76.6
3	178.8	44.0	134.8				

校 正

μ	0°	90°	180°	270°	摘 要
S.C	40.614/2	40.611/2	40.942/2	40.579/2	
6	20.845/2	20.172/2	20.617/2	20.913/2	
5	10.211/1	10.087/1	10.305/1	10.360/1	
4	10.306/1	10.538/1	10.735/1	10.529/1	
3	9.720/1	9.548/1	9.560/1	9.684/1	
2	9.767/1	9.649/1	9.796/1	9.822/1	
1	9.342/1	9.399/1	9.672/1	9.283/1	
0	9.362/1	9.149/1	9.234/1	9.269/1	
S.C	40.013/2	40.476/1	40.201/2	40.597/2	

R.1 (表面型) 校正データシート

実験 No. <u>1</u>		実験名 <u>関東ローム (ランマー締め)</u>			
昭和 <u>43</u> 年 <u>6</u> 月 <u>1</u> 日					
含水率測定					
No.	含水率測定	含水率(%)	含水率測定	含水率(%)	平均(%)
6	<u>No. 11</u> WW <u>55.1</u> WW <u>55.1</u> DW <u>44.3</u> TW <u>31.5</u> Ww <u>10.8</u> Ws <u>23.6</u>	45.8	<u>No. 2</u> WW <u>50.5</u> WW <u>50.5</u> DW <u>38.6</u> TW <u>24.5</u> Ww <u>11.9</u> Ws <u>26.0</u>	45.3	45.8
5	<u>No. B-75</u> WW <u>50.1</u> WW <u>50.1</u> DW <u>40.2</u> TW <u>27.9</u> Ww <u>9.9</u> Ws <u>22.2</u>	44.6	<u>No. A-105</u> WW <u>57.6</u> WW <u>57.6</u> DW <u>46.8</u> TW <u>33.5</u> Ww <u>10.8</u> Ws <u>24.1</u>	44.8	44.7
4	<u>No. 32</u> WW <u>50.8</u> WW <u>50.8</u> DW <u>40.5</u> TW <u>28.4</u> Ww <u>10.3</u> Ws <u>22.4</u>	46.0	<u>No. A-21</u> WW <u>55.4</u> WW <u>55.4</u> DW <u>45.2</u> TW <u>33.0</u> Ww <u>10.2</u> Ws <u>22.4</u>	45.5	45.8
3	<u>No. A-16</u> WW <u>59.9</u> WW <u>59.9</u> DW <u>33.0</u> TW <u>23.7</u> Ww <u>6.9</u> Ws <u>16.2</u>	42.6	<u>No. 3</u> WW <u>52.2</u> WW <u>52.2</u> DW <u>41.8</u> TW <u>28.5</u> Ww <u>10.4</u> Ws <u>23.7</u>	43.9	43.3
2	<u>No. B-215</u> WW <u>48.8</u> WW <u>48.8</u> DW <u>39.8</u> TW <u>27.7</u> Ww <u>2.0</u> Ws <u>21.1</u>	42.7	<u>No. D-10</u> WW <u>56.2</u> WW <u>56.2</u> DW <u>45.8</u> TW <u>31.9</u> Ww <u>10.4</u> Ws <u>24.3</u>	42.8	42.8
1	<u>No. B-206</u> WW <u>49.8</u> WW <u>49.8</u> DW <u>40.8</u> TW <u>27.9</u> Ww <u>9.0</u> Ws <u>21.9</u>	41.1	<u>No. A-101</u> WW <u>50.8</u> WW <u>50.8</u> DW <u>42.5</u> TW <u>30.4</u> Ww <u>8.3</u> Ws <u>20.4</u>	40.7	40.9
0	<u>No. B-20</u> WW <u>67.8</u> WW <u>67.8</u> DW <u>55.5</u> TW <u>37.0</u> Ww <u>12.3</u> Ws <u>30.8</u>	39.9	<u>No. B-15</u> WW <u>67.7</u> WW <u>67.7</u> DW <u>54.3</u> TW <u>35.6</u> Ww <u>12.4</u> Ws <u>31.1</u>	39.9	39.9

R.I (表面型) 較正計算紙

実験名 関東ローマ（ランマー縮め）

計算者 S.T

昭和43年6月1日

密度 (γ_t)・水分密度 (M) の計算

No.	W (Kg)	V (cm)	W	γ_t	(g/cm)	M (g/cm)		R. C	
				5 cm	10 cm	5 cm	10 cm	S. D	S. M
6	12500	18000	0.458	1.083	1.081	0.496	0.495	1.070	0.509
5	12400	"	0.447	1.078	1.086	0.482	0.485	1.081	0.506
4	12700	"	0.458	1.094	1.072	0.501	0.491	1.063	0.520
3	18700	"	0.433	1.050	1.067	0.455	0.462	1.079	0.475
2	12500	"	0.428	1.083	1.092	0.464	0.467	1.072	0.482
1	12800	"	0.409	1.100	1.082	0.450	0.443	1.069	0.465
0	76600	72000	0.399	1.064	1.064	0.425	0.425	1.067	0.458
Σ			3.032	7.562	7.544	3.273	3.268	7.501	3.415
Σ/N			0.433	1.080	1.078	0.468	0.467	1.072	0.488

R.C の計算

R.C の計算				S.D		S.M			
No	SC (cpm)	Total Count	c.p.m	R.C	No	SC (cpm)	Total Count	c.p.m	R.C
SC		101,767/8	12,721		SC		162,746/8	20,343	
6	12885	55,133/4	13,783	1.070	6	20,252	82,547/8	10,318	0.509
5	"	55,728/4	13,932	1.081	5	"	40,963/4	10,241	0.506
4	"	54,768/4	13,692	1.063	4	"	42,108/4	10,527	0.520
3	"	55,590/4	13,898	1.079	3	"	38,512/4	9,628	0.475
2	"	55,240/4	13,810	1.072	2	"	39,034/4	9,759	0.482
1	"	55,084/4	13,771	1.069	1	"	37,696/4	9,424	0.465
0	"	109,995/8	13,749	1.067	0	"	37,014/4	9,254	0.458
SC		104,380/8	13,048		SC		161,287/8	20,161	

R. I 導入型		校正データシート									
実験点 2		実験試料 関東ローマ									
昭和 41 年 7 月 8 日 天候 曇り		実験者 H. Y									
校正時間 13 時 25 分 ~ 15 時 00 分		プローブ	スケーラー								
気温・湿度 25.5°C 74% ~ 25°C 82%		DD	4V								
バッテリー 1.28 V ~ 1.22 V		DM	1.75KV								
標準体 DW (A ₁)											
密度の測定 (全量法)											
使用容器 60φ × 80 cm		Wo 8.22 Kg									
h の測定 使用パイプ アルミニウム		外径 φ × 101 mm									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	66.2	66.3	65.0	62.7	65.3	65.9	66.2	65.3	65.9	65.6	K _p W ₁ = 134.9
	64.2	64.8	64.8	64.4	63.5	63.4	65.8	66.0	66.5	67.0	
2	43.3	43.6	43.6	43.3	43.0	42.2	42.3	44.6	45.3	45.5	K _p W ₂ = 210.3
	42.8	44.2	44.7	44.4	42.6	43.3	44.0	44.2	44.4	43.4	
3	16.6	17.8	17.3	17.3	15.6	15.3	16.8	14.2	16.3	15.3	K _p W ₃ = 306.6
	15.8	16.6	17.0	16.6	15.9	14.6	15.5	15.7	15.3	16.1	
校正											
測点		DM (水分計)					DD (密度計)				
S. C		72.291 / 5分					67.233 / 5分				
		72.784					67.603				
		72.512					67.753				
(測点) (パイプ)		67.196					67.196				
20	82	27.111 / 3分					47.760 / 3分				
25	77	27.963					47.207				
30	72	28.480					47.000				
35	67	27.774					47.663				
40	62	27.790					47.302				
45	57	28.072					46.545				
50	52 (60)	27.731					45.713				
55	47 (65)	23.305					41.171				
60	42 (70)										
S. C		73.246 / 5分					67.867 / 5分				
		73.338					68.078				
		73.401					67.809				

R. I 挿入型		校正データシート		2 (含水率)	
実験点 2		実験試料 関東ローム		実験者 H. Y	
昭和 4 1 年 7 月 8 日					
含水率測定					
試料	含水率測定	含水率%	含水率測定	含水率%	平均%
1	試料 A-150		試料 B-53		
	WW 5.3.1 WW 5.3.1		WW 5.2.6 WW 5.2.6		
	DW 4.3.3 TW 3.2.3		DW 4.2.1 TW 3.0.1		
	Ww 2.8 Ws 2.0.8	47.1	Ww 1.0.5 Ws 2.2.5	46.6	
	試料 B-224		試料 a-6		
	WW 4.9.4 WW 4.9.4		WW 4.9.0 WW 4.9.0		
	DW 3.9.0 TW 2.6.0		DW 4.0.6 TW 3.0.7		
	Ww 1.0.4 Ws 2.3.4	44.4	Ww 8.4 Ws 1.8.3	45.9	46.0
2	試料 A-93		試料 A-81		
	WW 5.5.2 WW 5.5.2		WW 5.8.0 WW 5.8.0		
	DW 4.3.3 TW 3.0.4		DW 4.7.7 TW 3.6.2		
	Ww 1.1.9 Ws 2.4.8	48.0	Ww 1.0.3 Ws 2.1.8	47.3	
	試料 B-19		試料 C-16		
	WW 5.1.5 WW 5.1.5		WW 4.7.4 WW 4.7.4		
	DW 4.1.3 TW 2.9.5		DW 3.6.3 TW 2.4.0		
	Ww 1.0.2 Ws 2.2.0	46.4	Ww 1.1.1 Ws 2.3.4	47.3	47.2
3	試料 A-131		試料 A-69		
	WW 6.0.6 WW 6.0.6		WW 5.4.3 WW 5.4.3		
	DW 4.7.6 TW 3.2.7		DW 4.4.2 TW 3.3.0		
	Ww 1.3.0 Ws 2.7.9	46.6	Ww 1.0.1 Ws 2.1.3	47.4	
	試料 A-31		試料 a-14		
	WW 6.0.5 WW 6.0.5		WW 5.8.6 WW 5.8.6		
	DW 4.7.1 TW 3.2.2		DW 4.5.3 TW 3.0.6		
	Ww 1.3.4 Ws 2.8.3	47.3	Ww 1.3.3 Ws 2.8.0	47.5	47.2
備考					

R. I 挿入型	校正計算シート						
実験版 <u>2</u> 実験試料 <u>関東ローム</u> 計算者 <u>H. Y</u> 昭和 <u>41</u> 年 <u>7</u> 月 <u>8</u> 日 Wo = <u>82.2</u> Kp ho <u>80.5</u> cm S <u>3,299</u> cm ² 密度 (γ_t), 水分密度 (M) の計算							
No.	W Kp	h (cm)	H (cm)	V (cm ³)	W' (%)	γ_t (g/cm ³)	M (g/cm ³)
	W	W-Wb	Σh	$\Sigma h/n$	ho-h	S × H	
1	134.9	52.7		65.24	15.26	50,300	4.60
2	210.3	128.1		43.74	36.76	121,300	4.66
3	306.6	224.4		16.08	64.42	212,500	4.68
R. C の計算							
	D. M				D. D		
	$\overline{SC}$	Total Count	c.p.m	R. C	$\overline{SC}$	Total Count	c.p.m
S. C		217,587/15分	14,506			202,552/15分	13,503
計数値	14,586	139,118/15分	9,275	0.636	13,544	236,931/15分	15,795
S. C		219,985/15分	14,666			203,754/15分	13,584
	M = 0.494 g/cm ³				$\gamma_t = 1.056$ g/cm ³		
備 考							

R、I (透過型) 校正データシート(1)

No

実験 No. 3実験試料 砂質ローム (足しめ)実験者 S、T昭和43年11月28日 天候 くもり スケター No. 2校正時間 13時15分 ~ 15時20分 印加電圧 8 V気温湿度 15° 47% 160 57%バッテリー 1.25 V ~ 1.3 V 標準体 No. 1

密度の測定

使用容器 60 cm × 60 cm × 50 cm (5 cm 6段)

No.	W	W ₀	W-W ₀	No.	W	W ₀	W-W ₀
	K _p	K _p	K _p		K _p	K _p	K _p
6	339.7	59.3	280.4	2	205.7	39.0	166.7
5	306.1	54.2	251.9	1	172.6	33.8	138.8
4	272.0	49.2	222.8	0	139.4	28.7	110.7
3	238.8	44.0	194.8				

校 正						
No.	深さ	0°	90°	180°	270°	備 考
SC	5 ^{cm}	10,974 / 1分				
	10	11,027				
	15	10,929				
	20	10,918				
1	5	5,559 / 1分	5,365	5,407	5,498	
	10	3,992	4,220	4,029	3,916	
	15	3,491	3,432	3,702	3,491	
	20	3,026	3,036	2,922	2,952	
2	5	5,563	5,435	5,766	5,497	
	10	4,143	4,156	4,200	3,990	
	15	3,688	3,947	3,671	3,748	
	20	2,958	3,140	2,871	2,930	

R、I (透過型) 校正データシート(図)

図

実験 No. 3 実験試料 砂質ローム (足しめ)昭和 43 年 11 月 28 日 13 時 15 分 ~ 15 時 20 分

校 正

No.	打込 深さ	0°	90°	180°	270°	備 考
3	5	5,642	5,737	5,353	5,733	
	10	3,844	3,975	3,885	4,057	
	15	3,428	3,536	3,610	3,692	
	20	2,788	2,979	2,945	3,132	
4	5	4,852	5,131	5,588	5,395	
	10	3,936	3,837	4,098	4,165	
	15	3,305	3,197	3,671	3,676	
	20					
80	5	11,002				
	10	10,879				
	15	10,927				
	20	10,868				
	5					
	10					
	15					
	20					
	5					
	10					
	15					
	20					

R、I (浸面型) 校正データシート

No.

実験 No. 3

実験名 砂質ローム (足しめ)

昭和 43 年 11 月 8 日

含水率測定

No.	含水率測定	含水率%	含水率測定	含水率%	平均%
6	試 22		試 55		
	WW 72.5 WW 72.5		WW 66.7 WW 66.7		
	DW 75.3 TW 22.9		DW 63.7 TW 27.3		
	Ww 4.2 Ws 42.6	8.45	Ww 3.0 Ws 32.4	7.61	8.45
5	試 63		試 58		
	WW 61.9 WW 61.9		WW 81.8 WW 81.8		
	DW 53.4 TW 23.7		DW 77.4 TW 34.9		
	Ww 3.5 Ws 38.2	9.16	Ww 4.4 Ws 46.9	9.39	9.28
4	試 A-5		試 36		
	WW 68.4 WW 68.4		WW 82.7 WW 82.7		
	DW 65.0 TW 32.9		DW 78.3 TW 30.6		
	Ww 3.4 Ws 35.5	9.59	Ww 4.4 Ws 52.1	8.43	9.59
3	試 B-130		試 9		
	WW 62.9 WW 62.9		WW 67.0 WW 67.0		
	DW 59.7 TW 22.4		DW 63.9 TW 34.9		
	Ww 3.2 Ws 33.5	9.56	Ww 3.1 Ws 33.1	9.36	9.46
2	試 51		試 C-60		
	WW 71.9 WW 71.9		WW 46.5 WW 46.5		
	DW 67.7 TW 22.1		DW 43.9 TW 20.5		
	Ww 4.2 Ws 42.8	9.82	Ww 2.6 Ws 26.2	9.92	9.87
1	試 C-2		試 d-3		
	WW 62.3 WW 62.3		WW 52.0 WW 52.0		
	DW 64.9 TW 27.7		DW 56.0 TW 30.7		
	Ww 4.4 Ws 41.5	10.60	Ww 3.0 Ws 28.3	10.60	10.60
0	試 C-17		試 B-6		
	WW 62.8 WW 62.8		WW 73.2 WW 73.2		
	DW 52.6 TW 30.7		DW 68.9 TW 30.5		
	Ww 3.2 Ws 32.1	9.96	Ww 4.3 Ws 42.7	10.05	10.00

R、I (透過型) 校正計算シート(1)

No

実験 No 3 実験試料 砂質ローム (足しめ)

計算者 H、Y

実験年月日 43年11月28日

No	打込 深さ	W(g)	V(cm ³)	$\frac{r}{t}$ (g/cm ³)	W(%)	M (g/cm ³)	$\frac{r}{r-M}$	R/C	備考
1	5	28.500	18.000	1.583	8.45	0.134	1.449	0.499	
	10	57.600	36.000	1.600	8.87	0.142	1.458	0.369	
	15	85.600	54.000	1.581	9.11	0.144	1.437	0.322	
	20	113.700	72.000	1.579	9.20	0.145	1.434	0.273	
2	5	28.000	18.000	1.556	9.59	0.149	1.407	0.509	
	10	56.100	36.000	1.558	9.52	0.148	1.410	0.377	
	15	84.000	54.000	1.556	9.62	0.150	1.406	0.344	
	20	112.100	72.000	1.557	9.88	0.154	1.403	0.272	
3	5	27.900	18.000	1.550	9.87	0.153	1.397	0.509	
	10	56.000	36.000	1.556	10.23	0.159	1.399	0.361	
	15	166.700	108.000	1.544	10.16	0.157	1.387	0.325	
	20	166.700	108.000	1.544	10.16	0.157	1.387	0.270	
4	5	110.700	72.000	1.537	10.00	0.154	1.383	0.479	
	10	110.700	72.000	1.537	10.00	0.154	1.383	0.366	
	15	110.700	72.000	1.537	10.00	0.154	1.383	0.316	
	20								
Σ	5			6.226	37.91	0.590	5.636	1.996	
	10			6.251	38.62	0.603	5.650	1.473	
	15			6.218	38.89	0.605	5.613	1.307	
	20			4.680	29.24	0.456	4.224	0.815	
Σ/N	5			1.557	9.48	0.148	1.409	0.499	
	10			1.563	9.66	0.151	1.413	0.368	
	15			1.555	9.72	0.151	1.403	0.327	
	20			1.560	9.75	0.152	1.408	0.272	

R、I (透過型) 校正計算シート (2)

底

実験係 3 実験試料 砂質ローム(足しめ)

計算者 H、Y

実験年月日 43年11月28日

R、Cの計算

系	打込 深さ	S C (cpm)	Total カウント	CPm	R、C	備 考
S、C			43,848/4	10,962		
1	5	10,941	21,829/4	5,457	0.499	
	10	"	16,157/4	4,039	0.369	
	15	"	14,116/4	3,529	0.322	
	20	"	11,936/4	2,984	0.273	
2	5	"	22,261/4	5,565	0.509	
	10	"	16,489/4	4,122	0.377	
	15	"	15,054/4	3,764	0.344	
	20	"	11,899/4	2,975	0.272	
3	5	"	22,285/4	5,571	0.509	
	10	"	15,789/4	3,947	0.361	
	15	"	14,266/4	3,567	0.325	
	20	"	11,844/4	2,961	0.270	
4	5	"	20,966/4	5,241	0.479	
	10	"	16,036/4	4,009	0.366	
	15	"	13,849/4	3,462	0.316	
	20					
	5					
	10					
	15					
	20					
	5					
	10					
	15					
	20					
	5					
	10					
	15					
	20					
S、C			43,676/4	10,919		

底

密度計		R I 計器測定				
調査名 緑川副ダムコア一締固め		測定年月日 43年10月31日				
計器名		9時20分~10時0分				
(S D (表面型))		°C % ~ °C %				
D D (挿入型)						
使用標準体 SW (A L)		測定者 T W				
使用スクレーパー 2						
測定						
測点	計数值(0°)	計数值(90°)	電圧	備考	計数值平均 (Cpm)	計数值平均 S O
	12,415/1分		12.3V			
SC	12,700			SC=12,542	12,585	
	12,641					
1	16,090/2分				8,045	0.641
2	16,995				8,498	0.678
3	18,039				9,020	0.719
4	16,186				8,093	0.645
5	17,253				8,627	0.688
6	17,466				8,733	0.696
7	16,526				8,263	0.659
8	16,822				8,411	0.671
9	16,288				8,114	0.647
SC	12,579/1分		12.0			
	12,510				12,500	
	12,410					

内
五
八

水分計		R I 計器測定			
調査名 緑川副ダムコア一緯固め		測定年月日 43年10月30日			
計器名		9時45分~10時25分			
(S M (表面型))		°C % ~ °C %			
D M (挿入型)					
使用標準体 SW (A L)		測定者 T W			
使用スケール 1					
測定					
測点	計数值 (0°)	計数值 (90°)	電圧	備 考	計数值平均 S C
	12,826/1分				
SC	12,423				
	12,708				
1	11,153/2分			SC=12,580	5,577 0.285
2	10,524				5,262 0.269
3	11,751				5,826 0.298
4	11,117				5,559 0.284
5	9,834				4,917 0.251
6	8,885				4,442 0.227
7	11,922				5,961 0.304
8	11,796				5,898 0.301
9	9,641				4,821 0.246
SC	12,489				
	12,557				12,509
	12,480				

底

密度計		R、I 計器測定		透過型		
調査名 <u>緑川副ダムコアー締固め</u>		測定年月日 <u>43年10月30日</u>				
<u>10時00分～10時50分</u>		°C % ~ °C %				
使用標準体 <u>TW (AL)</u>		使用スケール <u>底 2</u>				
打込深さ <u>10 cm</u>		測定者 <u>T、W</u>				
測点	計数值(0°)	計数值(90°)	電圧	計数值平均	計数值平均/√C	備考
	12,841/1分		11.7V			
SC	12,586			12,667		
	12,574					
						S C
1	4,030/2分			2,015	0.159	12,667
2	4,636			2,318	0.184	12,570
3	4,149			2,075	0.166	12,474
4	4,259			2,129	0.172	12,377
5	4,479			2,239	0.182	12,280
6	4,230			2,115	0.174	12,184
7	4,791			2,396	0.198	12,087
8	4,198			2,099	0.175	11,990
9	4,355			2,176	0.182	11,990
	12,069/1分					
SC	11,944		11.5	11,990		
	11,956					

密度計		R I 計 器 測 定				
調査名 <u>矢板バイパスA②</u>		測定年月日 <u>43年9月28日</u>				
計器名 <u>S D (表面型)</u>		10時35分～11時15分				
<u>D D (挿入型)</u>		°C % ~ °C %				
使用標準体 <u>D W (A1)</u>		測定者 <u>S T. H Y</u>				
使用スケール <u>1</u>						
測 定						
測点	計数值 (0°)	計数值 (90°)	電圧	備 考	計数值平均	計数值平均 S O
S O	12893/1分	12886	12.6V	SC=	12,854	
	12871	12677				
	12836	12862				
0250	7,211/1分	7,453			7,332	0.570
0500	6,519	6,499			6,509	0.506
0750	7,163	7,156			7,160	0.557
0900	7,750	7,760			7,755	0.603
1025	7,768	7,658			7,713	0.600
1150	7,637	7,693			7,665	0.596
1275	7,674	7,392			7,533	0.586
1400	7,531	7,531			7,531	0.586
1525	6,594	6,583	12.6V		6,586	0.512
1650	6,486	6,444			6,465	0.503
1775	6,535	6,572			6,554	0.510
1900	6,341	6,159			6,250	0.486
2000	6,025	5,833			5,929	0.461
2250	6,363	6,199			6,281	0.489

水分計		R I 計器測定				
調査名 矢板パイパス A-②		測定年月日 43年9月28日				
計器名		10時05分～10時50分				
S M (表面型)		°C % ~ °C %				
D M (挿入型)						
使用標準体 D W (A L)		測定者 T K、S J				
使用スケラー 板 2						
測 定						
測点	計数值 (°C)	計数值 (90°)	電圧	備 考	計数值平均	計数值平均
	17,163/1分	17,326	12V			
S C	17,113	17,287		80		
	17,281	17,218		=17,251		
0250	3,189/1分	3,509			3,349	0.194
0500	8,737	9,041			8,737	0.507
0750	9,538	8,393			8,966	0.520
0900	8,806	9,542			9,174	0.532
1025	9,613	9,444			9,529	0.553
1150	9,004	8,996			9,000	0.522
1275	8,836	8,706			8,771	0.509
1400	6,515	6,281			6,298	0.365
1525	6,178	6,119			6,149	0.357
1650	7,532	8,120			7,826	0.454
1775	7,886	7,963			7,925	0.460
1900	7,782	7,786			7,784	0.452
2000	7,478	7,130			7,304	0.424
2250	9,119	9,268			9,194	0.534

プラー特性データシート

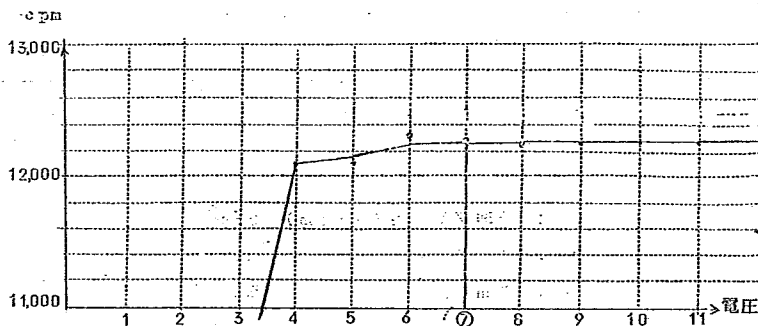
昭和43年5月11日

天気 晴 10時30分～11時10分

℃ % ～ °C %

計器名 S D 使用標準体 SW(AE) 使用スケール 系 2

電圧 密度計	水分計	計数値 ↓	電圧	計数値 ↑	電圧	平均	備考
TEST		45477/1分					
"		45472					
"		45477					
1	1.5	0					
5	1.75	12439	12.3				
11	2.0	12556					
5	1.75	12240					
1	1.5	0		0		0	
2	1.55	0		0		0	
3	1.6	0		0		0	
4	1.65	12305		12291		12298	
5	1.7	12214		12383		12298	
6	1.75	12578		12533		12566	
7	1.8	12479		12599		12539	
8	1.85	12458		12454		12456	
9	1.9	12605		12372		12484	
10	1.95	12671		12391		12531	
11	2.0	12457		12540	11.8	12499	



土木研究所千葉支所

[illegible]

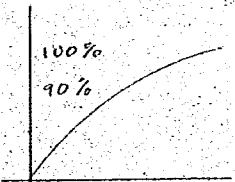
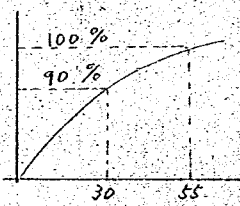
遠 : 5 m 以上 0.1

土木研究所資料 第 434 号

R.I. 利用による土の現場密度・含水量の測定

正 誤 表

ページ	行	誤 り	正
1	上から 10	子水分計	水分計
3	上から 9	1 線の関係に	線の関係に
3	下から 5	急撃に減速され	急撃に減速され
5	表 1-1	カンマ () (例) 1,000	コンマ () 1.000
5	表 1-2	水分密度の単位	g/cm^3
6	"	カンマ ()	コンマ ()
7	上から 7	0.9 ~ 3 g/m^3	0.9 ~ 3.0 g/cm^3
7	下から 1	$\Delta I = \mu \times I_0 \Delta X$	$\Delta I = \mu \times I_0 \Delta X$
8	上から 1	$I = I_0 e^{-\mu x}$	$I = I_0 e^{-\mu x} X$
9	上から 6	$I = I_0 e^{-\mu m p X}$	$I = I_0 e^{-\mu m p X}$
15	上から 5 ~ 6	表面型 面型プローブ	表面型プローブ
18	上から 4	mCi	mCi
19	上から 5	mCi	mCi
21	下から 11	線源は 線型と して	線源は 点線源と して
25	下から 2	アルミパイプ 厚 20 mm	アルミパイプ 径 20 mm
51	下から 1	表 3-6 の含水率の項 1494	14.94
69	上から 4	粗粒土と組粒土に	粗粒土と細粒土に
71	下から 15	下部の粗粒土が	下部は粗粒土が
88	図 4-4	mKi	mCi
89	図 4-5, 4-6	mKi	mCi

ページ	行	誤り	正
90	図 4-7	mKi	mCi
92	図 4-2	ベークライトヒミガケ石	ベークライトヒミガケ石
102	図 4-18		△△ ベークライト — ラン板(軽い方から) --- " (重い方から)
107	図 4-23		
108	図 4-24	Zin ガス管	2in ガス管
128 ~ 133	ページ入換え	128→129→130→131→ →133	128→132→130→ →131→129→133
135	下から 3 (5.10) 式	$m = \frac{N}{1 - \frac{N}{60}} \text{ (cpm)}$	$m = \frac{N}{1 - \frac{N}{60}} \text{ (cpm)}$
144	上から 7	影管がある	影響がある
163	上から 4	ツルト質粘土ローム	ツルト質粘土ローム
164	表 6-1	ツルト質粘土ローム	ツルト質粘土ローム
176	下から 1	打込み深さ	打込み深さ
178	下から 5	砂置換 (CD)	砂置換 (CD)
194	下から 3	Mm	Mm
200	上から 1	1996 年	1966 年
"	下から 1	最小 2 乗法	最小 2 乗法
205	上から 2	Suntillator	Scintillator
206	下から 7	$2.2 \times 10^3 \text{ m/s}$	$2.2 \times 10^3 \text{ m/s}$

ページ	桁	誤り	正																		
218		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">D. D</th> </tr> <tr> <th>SC</th> <th>Total Count</th> <th>CPM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	D. D			SC	Total Count	CPM				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">D. D</th> </tr> <tr> <th>SC</th> <th>Total Count</th> <th>CPM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	D. D			SC	Total Count	CPM			
D. D																					
SC	Total Count	CPM																			
D. D																					
SC	Total Count	CPM																			
223		<table border="1"> <thead> <tr> <th>CPM</th> <th>R.C</th> <th>偏差</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CPM	R.C	偏差				<table border="1"> <thead> <tr> <th>CPM</th> <th>R.C</th> <th>偏差</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CPM	R.C	偏差									
CPM	R.C	偏差																			
CPM	R.C	偏差																			
230		<table border="1"> <thead> <tr> <th>月日曜</th> <th>被曝時間</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	月日曜	被曝時間			<table border="1"> <thead> <tr> <th>月日曜</th> <th>被曝時間</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	月日曜	被曝時間												
月日曜	被曝時間																				
月日曜	被曝時間																				
4	F. 3 10 (1.1)式	$\Sigma c = P N_0 \times \delta / A$	$\Sigma c = P N_0 Z \delta / A$																		