

土質工学会基準案「地盤の平板載荷試験方法」および 「RI 計器による土の密度試験方法」について

木 暮 敬 二 (こぐれ けいじ)
土質工学会基準部長

山 田 清 臣 (やまだ きよおみ)
土質調査基準検討委員会委員長

今回公示する学会基準案

本号で公示する学会基準案はいずれも現行の基準を見直したもので、「地盤の平板載荷試験方法」および「RI 計器による土の密度試験方法」の二つである。これらの基準の素案は「現場密度・載荷試験小委員会」によって作成されたものである。

ここに公示する基準案についての意見は、書面にて平成5年6月30日までに土質工学会基準部宛に提出いただきたい。

基準案はそれぞれ統一様式に従って書き改めるとともに、見直しの結果に基づいて変更した。現行基準からの変更点などは、以下のとおりである。

(1) 「地盤の平板載荷試験方法」

本基準案において、変更した部分はとくに次の点である。

①載荷板と試験装置の例 載荷板の例と反力装置および載荷ばりからなる試験装置の例を図として示した。

②載荷方法 現行基準では、載荷方法として、計画最大荷重を8段階以上に原則として等分割することが義務づけられていたが、荷重段階を多くしても実際にはそれほど意味がないことから、本基準案

ではこれを5～8段階に等分割して載荷すればよいことにした。

③報告事項 現行基準の報告事項の内容から一般事項やほかの試験や調査を行わないと得られない結果などを削除した。

(2) 「RI 計器による土の密度試験方法」

今回の見直しによって、試験を行う上で基本的な内容は変わっていないが、新しい統一様式に書き改めるとともに、おもに次の点を変更した。

①基準の名称変更 現行の基準名は「ラジオアイソトープ利用による土の密度・含水量の標準的な測定方法」(JSF規格:T36-83T)であるが、本基準は基本的には現場で土の密度を測定する試験方法であり、また RI 計器という略称が一般に普及していることから、基準名称の案として「RI 計器による土の密度試験方法」とした。

②付図および注の削除 現行の基準に用いられている付図は、もともと試験を実施するのに必要なものではなく、あくまでも参考図であった。したがって、本基準案ではこれらの付図と注を削除した。なお、本基準案には透過型と散乱型の RI 計器の例を示した。

土質工学会基準案

地盤の平板載荷試験方法

JSF
1521—1993

Test Method for Measuring Deformability of Soil Ground by Plate Loading

1. 総則

1.1 試験の目的

この試験は、地盤に設置した載荷板の荷重と沈下量の関係から地盤反力係数や極限支持力などの地盤の変形および支持力特性を求めることを目的とする。

1.2 適用範囲

この基準は、構造物基礎地盤の変形特性および支持力特性を求める試験に適用する。

1.3 用語の定義

地盤反力係数とは単位面積当たりの荷重変化に対する沈下量の変化の割合をいう。また、極限支持力とは地盤が破壊したときの単位面積当たりの荷重をいう。

【付帯条項】

1. 本基準と部分的に異なる方法を用いた場合には、その内容を報告事項に明記しなければならない。

2. 試験用具

2.1 載荷板 載荷板は、直径 30 cm 以上の円形とし、上下面が平滑で厚さ 25 mm 以上の鋼板が望ましい。

2.2 載荷装置 載荷装置は、ジャッキ、支柱、載荷ばりおよび反力装置から構成される。

- (1) **ジャッキ** ジャッキは、計画最大荷重以上の加力能力と、変形追従できる十分なストロークを持つものとする。
- (2) **支柱** 支柱は、十分な剛性をもち端面が材軸に対して直角なものとする。
- (3) **載荷ばり** 載荷ばりは、十分な剛性をもち、曲げ、せん断、支圧および座屈に対して安

全であるもの。設置にあたっては、転倒しないように注意する。

(4) **反力装置** 反力装置は、実荷重またはアンカーを使用する。

2.3 荷重計 荷重計は、原則として環状ばね型力計または荷重計を用いる。

2.4 沈下量測定装置 沈下量測定装置は、基準点、基準ばりおよび変位計によって構成される。

(1) **基準点** 基準点は、基準ばりを支持するもの。

(2) **基準ばり** 基準ばりは、十分な剛性を持つ鋼板を用いる。

(3) **変位計** 変位計は、0.01~0.001mm 目盛、測長 30 mm 以上のダイヤルゲージ、またはこれに準ずる性能の変位計を用いる。

2.5 時計 時計は、時刻および経過時間を測定できるものとする。

【付帯条項】

2.1 載荷板は、一般に直径 30 cm の円形の平板が用いられるが、角形を用いてもよい。その製作精度は 1/1 000 程度のものとする。載荷板の一例を図-1 に示す。

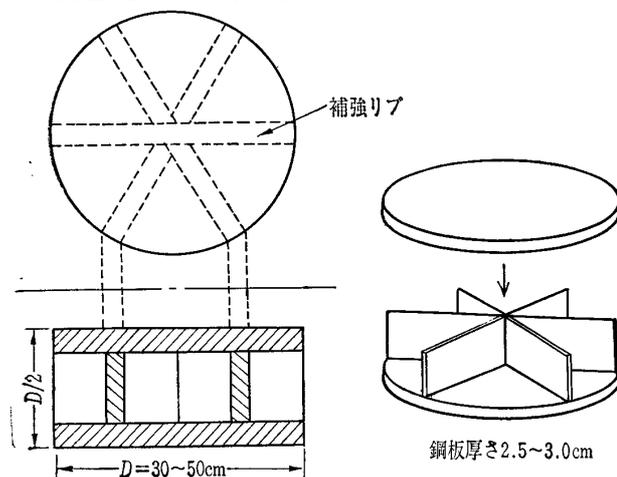


図-1 荷載板の一例

2.2 荷重装置は、荷荷板上に偏心荷重が加わらないように取り付け、また、保安施設を必要に応じて設ける。

- (1) ジャッキはスムーズな荷重増減ができ、油圧あるいは水圧により所定の荷重が保持できるものを用いる。なお、ダイヤフラム加圧板を用いてもよい。
- (4) 反力装置には、実荷重による方法とアンカーによる方法があり、十分な荷重荷重に見合うものとする。いずれも次の条件を満たすものとする。

＜実荷重による方法＞

- ① 実荷重は計画最大荷重の1.2倍以上であること。
- ② 実荷重の受台は荷荷板の中心から1.5m以上離れた位置に設置すること。
- ③ 反力装置は荷荷による移動や転倒に対して十分安全であること。

＜アンカーによる方法＞

- ① アンカーは、計画最大荷重の1.2倍以上の荷重に対して十分な引張り抵抗を有するとともに、引張り材に支障を及ぼすような伸びが生じないこと。
- ② アンカー体は、荷荷板の中心から1.5m以上離れて対称に配置すること。
- ③ 荷荷ばりとの接合部分は、偏心や二次応力を考慮して十分に安全であること。

荷重装置の一例を図-2に示す。

2.3 荷重計は振動や気象変化に耐え得るものでなければならぬ。荷重計の容量は計画最大荷重の1.2~2倍の範囲とし、精度は最大荷重の ± 1 アンカーによる方式

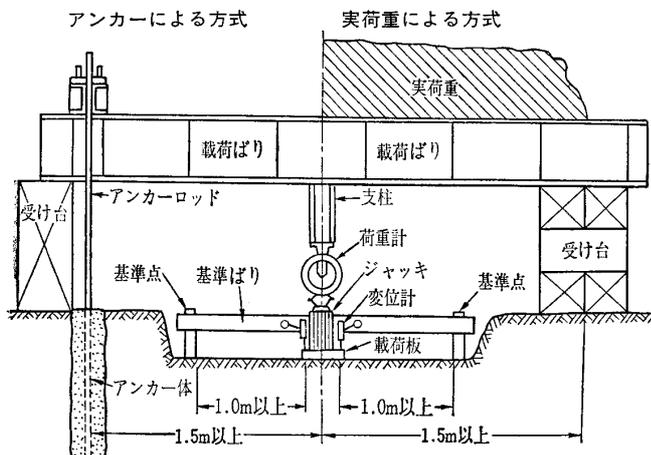


図-2 反力装置および荷荷ばりの取付け例

%以内とする。

2.4

- (1) 基準点は、荷荷板の外側端から1.0m以上離れた所に設置する。
- (2) 基準ばりは振動や気象変化による有害な影響を受けないような方法で基準点に支持する。
- (3) 変位計は試験前に正常に作動することを確認し、振動や気象変化に耐え得るようにする。また原則的に4点設置し、次の点に留意する。
 - ① 変位計は荷荷板の対称な位置に配置し、荷荷板の沈下量を正確に測定できるように鉛直に設置する。
 - ② 試験に伴う荷荷板の傾斜や水平変位を考慮して、変位計の先端の接する面は適当な広さで平滑な水平面とする。

3. 試験方法

3.1 試験位置の選定 荷荷試験は、構造物の種類、規模、基礎の大きさおよび支持地盤の土層構成などを十分に検討し、地盤を代表する地点を選定して行う。

3.2 試験地盤面の整形および養生

- (1) 試験地盤面は、荷荷板の中心から1.0m以上の範囲を水平に整地する。
- (2) 試験地盤面は、試験期間中地盤状態が変化しないように養生する。

3.3 荷荷板の設置 荷荷板は整形した試験地盤面に、水平で一様に密着するように設置する。

3.4 荷荷方法 荷荷方法は、試験目的に応じて荷重制御による単純荷荷方式あるいは多段階荷荷方式のいずれかを選定する。

- (1) 試験に先だち第1段階の荷重を越えない範囲で予備荷荷を行う。
- (2) 荷重は、計画最大荷重を5~8段階ずつ等分に荷荷する。
- (3) 荷荷および除荷は、速やかに一定速度で行う。
- (4) 荷重の保持時間は、30分程度の一定時間とする。除荷および再荷荷の荷重段階では、5分程度の一定時間とする。

資料-470

(5) 多段階荷重は、所定の荷重段階と3回程度の繰返し回数で実施する。

3.5 沈下量の測定 沈下量の測定は、各荷重段階において所定の荷重に達した後、原則として0分、1分、2分、5分および以後5分経過ごとに荷重保持時間継続して行う。

【付帯条項】

3.1 試験の実施にあたっては、事前の実施計画に従い、試験実施体制を決め、事故がないように安全作業に務める。風・雨・日照および地下水やその他の工事作業などにより試験が阻害されたり、測定精度が低下しないようにする。

3.2

(1) 試験地盤面の状況は事前に十分に観察しておく。最終的な整形作業は、地盤の変化や乱れを避けるために試験直前に行う。

3.4

(3) 荷重および除荷する単位面積当たりの荷重は $2 \text{ kgf/cm}^2 \{196 \text{ kN/m}^2\}$ 以下を標準とする。

4. 試験結果の整理**4.1 試験結果のまとめ**

測定結果にもとづいて「時間-荷重曲線」「時間-沈下量曲線」および「荷重-沈下量曲線」を作成する。

4.2 試験結果の評価

(1) 地盤反力係数の算定 地盤反力係数 k_v ($\text{kgf/cm}^3 \{ \text{kN/m}^3 \}$) は、「荷重-沈下量曲線」を

もとに次式より求める。

$$k_v = \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

ここで、

ΔP : 単位面積当たりの荷重の変化量 ($\text{kgf/cm}^2 \{ \text{kN/m}^2 \}$)

ΔS : ΔP に対応する沈下量 (cm)

(2) 極限支持力 「荷重-沈下量曲線」で沈下量が急激に増大し始めるとき、もしくは載荷板やその周辺地盤の状況が急激に変化し、載荷が難しくなり始めたときの荷重を読み取る。

【付帯条項】

4.1 多段階荷重方式の試験では、「荷重-残留沈下量曲線」および「除荷曲線」を作成する。

5. 報告事項

試験結果について次の事項を報告する。

- (1) 本基準と部分的に異なる方法を用いた場合は、その内容
- (2) 試験方法
- (3) 試験結果図および表
- (4) 地盤反力係数
- (5) 極限支持力
- (6) 試験地盤の観察結果と地下水の状況
- (7) その他特記すべき事項

【付帯条項】

(2) 試験方法は、載荷板の形状と寸法、載荷方法および反力装置などについて報告する。

土質工学会基準案

JSF

RI 計器による土の密度試験方法

1613-1993

Test Method for Density of Soils Using Radioisotope Gauge

1. 総則**1.1 試験の目的**

この試験は、自然地盤および造成地盤の土をラジオアイソトープ (Radioisotope :

放射性同位元素) を用いた RI 計器で、土の密度および含水比を求めることを目的とする。

1.2 適応範囲

この基準は、すべての土質材料を対象とする。

1.3 用語の定義

土の密度とは、土の単位体積当たりの質量をいう。この場合、湿潤密度とは、土の単位体積当たりの土粒子と空隙に含まれている水の質量をいい、乾燥密度とは、土の単位体積当たりの土粒子の質量をいう。

RI とは、ラジオアイソトープの略称であり、RI 計器とは、ガンマ線密度計および中性子水分計を有する水分測定および密度測定器をいう。

【付帯条項】

1. 本基準と部分的に異なる方法を用いた場合には、その内容を報告事項に明記しなければならない。

2. 試験器具

2.1 RI 計器 RI 計器は、密度計と水分計とを保有し、湿潤密度と水分密度を同時測定できるもので、以下の機能を有するもの。

- (1) 線源 測定に使用するラジオアイソトープの放射線が、密度および水分を有効に測定できる強さをもつ密封線源とする。
 - (2) 検出器 放射線を検出できる十分に安定なもの。
 - (3) 計数器 検出器からの信号を数える装置であって、計数回路・タイマー回路等からなる。
 - (4) 表示器 放射線計数率および測定結果を表示できるもの。
 - (5) 電源 計器を作動させるに必要な内部電源を有し、充電可能なもの。
 - (6) 外装 (2)~(5)をまとめるか、あるいは別装する外箱で、現場計器として頑丈で、防塵、防湿および温度などの外的条件による影響が少ない構造とする。
- 2.2 線源棒 放射線源を装備した金属性の棒。あらかじめ削孔された孔へ挿入できる構造のもので所定の打込み深さが確実に保持できるもの。
- 2.3 標準体 物理的・化学的に安定で経時変化

のない物質とする。

2.4 地表面整形用器具 鉄板または直ナイフなど測定箇所の地表面を平滑に仕上げるのに必要な器具。

2.5 測定孔作製用器具 測定する地表面に垂直な孔を削孔するために必要な器具である。ガイド板、ハンマー、打込み棒あるいはドリルなどとする。

2.6 較正用容器 較正用容器は、RI 計器の有感容積を十分に包含する大きさのものとする。

2.7 その他の用具

- (1) 含水比測定用具 JIS A 1203「土の含水比試験方法」に規定するもの。
- (2) 締め装置 静的に締め固めることが可能な装置。

【付帯条項】

2.1 RI 計器には透過型と散乱型があり、計器の概略の構成の一例を図-1 および図-2 に示す。

RI 計器は、バックグラウンドを測定し、補正できる機能を有するものとする。バックグラウンドとは、宇宙線や地中から放出される自然放射線である。

散乱型の場合、礫分の多い土では測定値の変

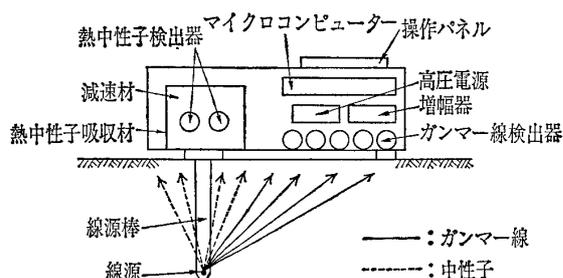


図-1 透過型 RI 計器の概略構成

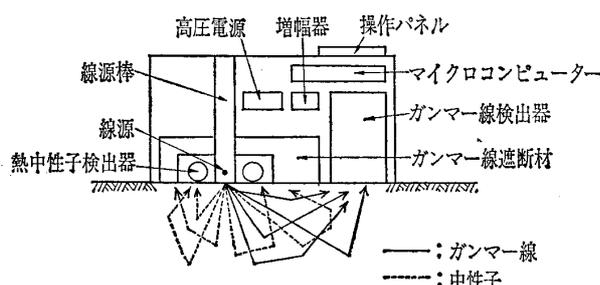


図-2 散乱型 RI 計器の概略構成

資料-470

動が大きくなる場合がある。」

2.1

(2) 線源には、密度測定用としてガンマ線および水分測定用として中性子線などが使用されるが、放射線の取扱いに当たっては「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」（「放射線障害防止法」）および関連諸法令に従わなければならない。放射線強さが、規制値（密度および水分測定用を合わせて100マイクロキュリー {3.7メガベクトル}）以下の微小線源の場合は、法的な規制は受けない。

2.2 散乱型 RI 計器の線源棒は、計器に内蔵され着脱可能なものとする。

2.3 標準体の使用目的は、線源が放射線を出す強さが時間の経過によって減衰するのを補正することにある。また、計器が異常なく作動しているかの確認のためにも使用する。

2.5 測定孔作製用器具は、散乱型 RI 計器には必要ない。

3. 試験方法

3.1 基準値の設定

最初に線源を RI 計器に組み込み線源強さを測定した日（基準日）の標準体計数率（cpm）を、その RI 計器の基準値とする。

- (1) 他に放射線源がある場合は、影響のないところまで十分に遠ざける。
- (2) 計器の電源スイッチを入れ、ウォーミングアップを行う。
- (3) RI 計器から線源棒を取り外し、20m 以上遠ざけた状態で、標準体の上で標準体バックグラウンドを測定する。
- (4) 標準体をコンクリート、アスファルトまたは土の上に置き、RI 計器を標準体上に設置して標準体計数率（cpm）を測定する。

測定は、以下の条件を満たすまで行い、標準体計数率 S_1 (cpm) と測定時間 t_1 (分) を記録する。

$$S_1 \cdot t_1 \geq 154\,000$$

ここに、

S_1 : 基準日の標準体計数率から標準体バック

クグラウンド計数率を引いた計数率
(cpm)

t_1 : 基準日の $S_1 \cdot t_1 \geq 154\,000$ の S_1 を得るに要した計数時間 (分)

3.2 初期作動状態の確認

基準日から RI 計器の初期作動確認をする日（検査日）までに減衰した放射線量を計算し、検査日の標準体計数率 S_3 (cpm) を算出する。

得られた計算値と検査日に実施した標準体測定により得られた標準体計数率とを比較し計器の初期作動状態を確認する。

- (1) 3.1 (1)~(3)の作業を行う。
- (2) 標準体をコンクリート、アスファルトまたは土の上に置き、RI 計器を標準体上に設置して標準体計数率 S_2 (cpm) を測定する。

測定は、以下の条件を満たすまで行い、標準体計数率 S_2 (cpm) と測定時間 t_2 (分) を記録する。

$$S_2 \cdot t_2 \geq 154\,000$$

ここに、

S_2 : 検査日の標準体計数率から標準体バックグラウンド計数率を引いた計数率
(cpm)

t_2 : 検査日の $S_2 \cdot t_2 \geq 154\,000$ の S_2 を得るに要した計数時間 (分)

3.3 較正曲線の作成

RI 計器の現場使用に先だって、測定する土の湿潤密度および水分密度と計数率比の関係を示す較正曲線（較正式）を作成する。

- (1) 較正用容器内に既知の密度および含水比に締め固めた均一な供試体を必要個数作製する。
- (2) 作製した個々の供試体の湿潤密度 ρ_i (g/cm³) および水分密度 ρ_m (g/cm³) を求める。
- (3) 3.1 (1)~(3)の作業を行う。
- (4) 標準体をコンクリート、アスファルトまたは土の上に置き、RI 計器を標準体上に設置して標準体を測定し、基準日からの放射線減衰量を計算し作動状態を確認する。
- (5) 較正用容器内の供試体の上でバックグラウン

ドの測定を行う。測定は、RI 計器から線源棒を取り外し、20m以上遠ざけた状態で行う。

- (6) RI 計器により個々の供試体の計数率比を求める。
- (7) 供試体の含水比 $w(\%)$ を測定する。
- (8) 求めた計数率比と湿潤密度あるいは水分密度との関係を求める。この関係式を較正曲線とする。

3.4 現場測定

- (1) 3.1(1)~(3)および3.3(4)の作業を行う。
- (2) 測定現場において、現場バックグラウンドを測定する。測定は、RI 計器から線源棒を取り外し、20m以上遠ざけた状態で、土の上で現場バックグラウンドを測定する。
- (3) 測定箇所の表面を直ナイフなどで測定に必要な広さが平滑になるように凸の部分の削り取り、RI 計器と地表面の密着性が十分得られるようにする。透過型計器の場合は測定孔作製用器具を使って地面に垂直に線源棒挿入用孔を開ける。
- (4) RI 計器に線源棒を取り付け、測定箇所にRI 計器を設置して測定する。
- (5) 以後、同一エリア内での測定は、次の測定点に移動し、(3)と(4)を必要回数繰り返し測定する。

【付帯条項】

3.1 基準値を設定した日が、放射線の減衰量を計算する基準日となる。

計数率とは、単位時間当たりの放射線の強さをいい、1分間当たり(cpm: count per minute)で表す。

標準体計数率とは、RI 計器で標準体を測定したときの計数率をいう。

- (4) 標準体測定では、標準体計数率が壁や器物の影響を受けないように、標準体を壁などから離れた場所において測定しなければならない。

3.2

- (1) 線源の時間的な減衰の程度は、線源に用いるラジオアイソトープの種類によって決まっているので、基準とする日から作動確認する日まで

の経過日数により標準体計数率が初期作動確認日にはどの程度になっているかを計算することができる。

3.3 計数率比とは、測定した土の湿潤密度および水分密度の各々の計数率を標準体計数率で除した値である。

- (1) 供試体の数は、測定の対象とする土の密度および含水比の範囲を十分に包含し、なめらかな曲線が得られる個数を準備する。
- (5) 較正曲線(較正式)は、バックグラウンドを測定し、補正をしなければならない。
- (7) 供試体の含水比は、供試体の計数率比を測定後、供試体を崩す際に試料を数箇所から採取し、JIS A 1203「土の含水比試験方法」に規定する方法によって測定する。

3.4

- (2) 土もしくは測定日が変わるごとに現場バックグラウンドを測定し、補正しなければならない。
- (3) 散乱型 RI 計器の場合、測定表面の凹凸が測定値に及ぼす影響が透過型 RI 計器に比べて大きいので、地表面の平滑性を十分に確保しなければならない。

4. 測定結果の整理

4.1 初期作動確認時の標準体計数率の算定

- (1) 検査日の標準体計数率 $S_2(\text{cpm})$ の測定結果から、最大標準体計数率 $S_{2\max}(\text{cpm})$ および最小標準体計数率 $S_{2\min}(\text{cpm})$ を次式で算定する。

$$\left. \begin{array}{l} S_{2\max} \\ S_{2\min} \end{array} \right\} = S_2 \pm 1.96 \sqrt{\frac{S_2}{t_2}}$$

ここに、

S_2 : 検査日の標準体計数率から標準体バックグラウンド計数率を引いた計数率(cpm)

t_2 : 検査日の $S_2 \cdot t_2 \geq 154000$ の S_2 を得るに要した計数時間(分)

- (2) 基準日の標準体計数率 $S_1(\text{cpm})$ の測定結果から、検査日の最大標準体計数率 $S_{1\max}(\text{cpm})$ および最小標準体計数率 $S_{1\min}(\text{cpm})$ を次式で算定する。

資料-470

$$\left. \begin{array}{l} S_{1\max} \\ S_{1\min} \end{array} \right\} = S_3 \pm 1.96 \sqrt{\frac{S_3}{t_1}}$$

$$S_3 = S_1 \left(\frac{1}{2} \right)^{D/T}$$

ここに、

S_3 : 計算によって求めた検査日の標準体計
数率 (cpm)

S_1 : 基準日の標準体計数率から標準体バツ
クランド計数率を引いた計数率
(cpm)

t_1 : 基準日の $S_1 \cdot t_1 \geq 154\,000$ の S_1 を得る
に要した計数時間 (分)

D : 装備しているラジオアイソトープの半
減期 (日)

T : S_1 設定後、検査日までの経過期間(日)

- (3) (1)で得られた $S_{2\max}$ および $S_{2\min}$ が次式を
満足していれば、RI 計器は正常に作動し
ている。

$$S_{2\max} > S_{1\min}$$

$$S_{2\min} < S_{1\max}$$

4.2 較正時の密度の算定

- (1) 個々の供試体の湿潤密度 $\rho_t(\text{g}/\text{cm}^3)$ を次式
で算定する。

$$\rho_t = \frac{m}{V}$$

ここに、

m : 供試体の質量 (g)

V : 供試体の体積 (cm^3)

- (2) 個々の供試体の水分密度 $\rho_m(\text{g}/\text{cm}^3)$ を次
式で算定する。

$$\rho_m = \frac{w/100}{1+w/100} \cdot \rho_t$$

ここに、

w : 供試体の含水比 (%)

4.3 土の密度の算定

- (1) 計器が測定した各放射線計数率を記録す
る。

- (2) 測定によって得られた各放射線計数率から
較正曲線に従って湿潤密度 $\rho_t(\text{g}/\text{cm}^3)$ およ
び水分密度 $\rho_m(\text{g}/\text{cm}^3)$ を読み取る。

- (3) 測定箇所の乾燥密度 $\rho_a(\text{g}/\text{cm}^3)$ を次式で算
定する。

$$\rho_a = \rho_t - \rho_m$$

- (4) 測定箇所の含水比 w (%) を次式で算定す
る。

$$w = \frac{\rho_m}{\rho_t - \rho_m} \times 100 = \frac{\rho_m}{\rho_a} \times 100$$

【付帯条項】

4.1

- (2) RI の半減期は、以下のとおりである。

ガンマ線：コバルト60(^{60}Co)：1 920日

中性子線：カリフォルニウム252(^{252}Cf)：967日

4.3

- (1) 計器によっては、現場測定結果を印字するこ
とができる計器もあるので、この場合は現場測
定の年月日、測定場所など測定の条件を記録す
る所定の用紙に貼りつけて保存し活用する。

5. 報告事項

試験結果について次の事項を報告する。

- (1) 本基準と部分的に異なる方法を用いた場合
は、その内容
- (2) 試験方法
- (3) 含水比
- (4) 湿潤密度
- (5) 乾燥密度
- (6) その他特記すべき事項

【付帯条項】

- (2) 試験方法は、使用した RI 計器の種類と計器
番号などを報告する。