

土質工学会基準案

「土の密度試験方法」(JSF 規格：T 33～36—83 T) について

土質工学会調査部長 あか ぎ とし のぶ
赤 木 俊 允

土の現場密度試験方法については、既に JIS として定められた砂置換法がある。しかし、これ以外にも数種の試験方法があり、現場ではそれらの方法も使われているのが実状である。このような状況から、それらの試験方法を基準化することが強く望まれていた。

そこで土質工学会では、昭和54年11月に「土の現場密度試験方法基準化委員会」(委員長：久野悟郎)を発足させ、種々の試験方法の問題点や使用状況を調査・検討し、これらの基準化を計ることとなった。

同委員会は、このような要請に応じて約2年半の期間にわたり、極めて意欲的に作業を進められた。このたび4種

の現場密度試験方法について、委員会案をまとめられ調査部へ提出されたので、会員各位に対しここに提示する次第である。この委員会案は、会員からの意見を聴取したのち、情報委員会において審議が行われ、最終的には理事会における審議・決定によって、正式に土質工学会基準となる。

ここに提示された基準案についてご意見のある方は、書面によって、昭和58年5月30日までに、土質工学会調査部に提出して頂きたい。

この機会に、ご多忙の中を精力的に基準案をまとめてくださった久野委員長ならびに委員の方々に対し、深甚の謝意と敬意を表明する次第である。

土質工学会基準案「土の密度試験方法」について

土の現場密度試験方法基準化委員会委員長 く の ぼ ろ
久 野 悟 郎

土の現場密度試験方法の基準としては、これまでは JIS A 1214-1980 の“砂置換法による土の密度試験方法”があるだけであった。土の現場密度の測定は、フィルダムをはじめとして、道路、宅地造成の盛土や河川堤防など各種の盛土施工の品質管理上必須の作業であるため、現場における土質試験としては使用頻度の高い試験である。

したがって砂置換法も大いに活用されているが、現場試験としてはやや手間がかかること、使用する器材が多種であること、ならびに粗礫を含んだ土については使用しにくくなるなどの欠点もあるため、その他の現場密度測定法が代わって用いられている例が多い。

このような情勢を受けて、土質工学会では「土の現場密度試験方法基準化委員会」を設置し、表一に示す構成メンバーによる活動を昭和54年11月から開始した。当初、基準化すべき試験方法の種類から検討をはじめたが、最初は土質工学会から既刊の手引き書¹⁾があるからと考慮していなかった RI 密度計、水分計を利用する方法についても、現状の使用頻度の高さから基準化すべきであるとの意見が高まり、それも加えることになった。

2年半に及ぶ委員各位の熱心な討議によって、

- ・コアカッター法による土の密度試験方法
- ・ラバーバルーン法による土の密度試験方法

表一 土の現場密度試験方法基準化委員会構成

委員長	久 野 悟 郎	中央大学理工学部
幹 事	今 川 史 郎	日本道路公団試験所
委 員	大 野 睦 雄	財団法人技術研究所
"	緒 方 信 英	(財)電力中央研究所
"	香 川 和 夫	フジタ工業株式会社研究所
"	草 間 一	国鉄鉄道技術研究所
"	沢 正	日本舗道株式会社
"	嶋 津 晃 臣	建設省土木研究所
"	平 野 富 佐 夫	前田建設工業株式会社研究所
"	松 原 一 則	水資源開発公団試験所
"	森 吉 昭	東京電力株式会社建設部
"	山 田 孝 治	日本工営株式会社

- ・シート法による土の密度試験方法
- ・ラジオアイソトープ利用による土の現場密度・含水量の標準的な測定方法

という、四つの学会基準案を作成することができた。

これらの試験方法は土の現場密度測定のために実際に用いられているもので、欧米諸国では、しかるべき基準方法となっているものが多く、われわれの作業においてもそれらを参考にしている。ただし、シート法については、実際の使用例は比較的多いにもかかわらず、ほかに例がなかったため、あらたに作成したものである。

また RI 利用の測定法については、昭和55年度に利用状

資料—387

況についてアンケート調査を実施し、最近の状況も考慮した原案についてアンケートに協力して頂いた方々による公聴会を催し、その意見を反映させてまとめ上げたものであり、熱心なお力添えに対し、大いに感謝している。

4 基準案とも、測定器械の形式・寸法などを厳密に規定し、測定手順も明確に指定できる性質の内容のものではない。むしろ、試験目的、試験条件に応じて測定装置に求められる基本的、原理的な構造の概念と、同じく測定にあた

ってとるべき手順の筋道のみをのべたものであって、実際の適用にあたっては、例えば必要とする測定精度に応じてのはかりの選択など、多くの判断が必要となる。したがって利用者の立場から多くの御意見もあると予想されるが、あるいは更に検討する必要が生ずるかとも思っている。

参 考 文 献

- 1) 土質工学会：土工管理とラジオアイソトープ，1974。

土質工学会基準案「コアカッター法による土の密度試験方法」 (JSF 規格：T 33—83 T)

1. 適用範囲

この規格は現場において土の密度をコアカッター法によって求めるための試験方法について規定する。なお、この試験方法は土が硬くてコアカッターを貫入できない場合、粗粒分が多く貫入によってコアカッターの刃口が著しく損傷する場合、ならびに非粘性土でコアカッター内に土が留どまらない場合には適用できない。

2. 試験用具

2.1 コアカッター

内径約 50 mm から約 150 mm、肉厚約 1 mm から約 4 mm の鋼製の円筒で、下端に貫入を容易にするための刃先をもつ図—1 に示すような構造のもの。コアカッターの高さは径の 0.8 倍から 1.3 倍程度のものを測定層厚に応じて選ぶ。

備考 1 コアカッターの断面積比 $C_a = \{(D_e^2 - D_i^2) / D_i^2\} \times 100$ は 10% 程度にするとよい。ここに D_e はコアカッターの最大外径、 D_i は最小内径である。

コアカッターは貫入に伴って刃先が損傷しやすいから、少なくとも 5～6 個の予備をもって現場測定に臨むことが必要である。

備考 2 JIS A 1211 T-1979 路床土支持力比 (CBR) 試験方法(案) 4.1(1) (図—9) に示されるカッターのように、装着して刃先の効果を与えることができる器具を用いれば、既存のモールドをコアカッターと同様に使用することが可能な場合がある。

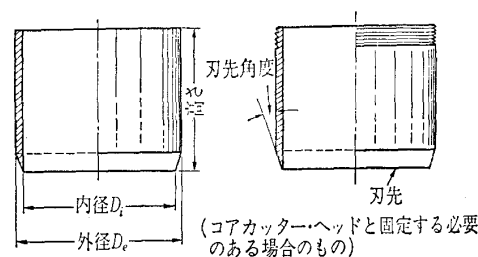
2.2 コアカッター・ヘッド

コアカッターの上部に連結してコアカッターを土中に圧入あるいはハンマーの衝撃によって貫入させるための装置で、図—2 に示すような構造のもの。

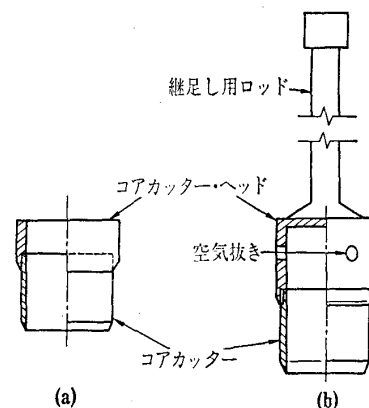
図—2 (a) は測定箇所の深さが、地表から約 1 m 以内の浅い場合に用い、図—2 (b) はそれより深い場合に用いる。

2.3 ハンマー

コアカッターを貫入させるために、コアカッター・ヘッドに適度の衝撃を加えるためのかけやなどのハンマー。なおコアカッター・ヘッドに静的圧力を加えることによってコアカッターを貫入させることができる装置があればその



図—1 コアカッター



図—2 コアカッター・ヘッドとコアカッター

使用が望ましい。

2.4 はかり

はかりはひょう量 10 kg から 1 kg、感量 5 g から 0.5 g のものをコアカッターの大きさに応じて選ぶ。

2.5 その他の用具

2.5.1 含水量測定用具

JIS A 1203 (土の含水量試験方法) に規定するもの。

2.5.2 掘削用具

- (1) ソイルオーガー
- (2) ショベル、ハンドスコップ
- (3) スプーン、へら、ブラシ

2.5.3 ストレートエッジ

JIS A 1210 (突固めによる土の締固め試験方法) の 2.8 に規定するもの。

2.5.4 ノギス

2.5.5 試料押出し器

コアカッター内の土を押し出すための装置。この装置によらずにへらなどで土を削り出してもよい。

3. 試験方法

3.1 コアカッターの容量と質量の測定

現場における測定に先立って、コアカッターの容量と質量を測定しておくことが必要である。コアカッターの容量を求めるためには、ノギスを用いコアカッターの高さ、および刃先部分の内径を 0.1 mm まではかる。なお、内径については互いに直交する直径方向の測定値を平均することとする。測定にあたって刃先が著しく変形していたならばそのコアカッターを取りかえるか刃先を付けなおして測定をしないさなければならぬ。

コアカッターの質量の測定にあたっては、コアカッターに泥などが付着していないことを確かめておかなければならない。

3.2 地表面あるいは深さ約 1 m 以下の浅い箇所における測定

3.2.1

平らな約 30 cm 四方の面をつくり、緩んだ土などをブラシで取り除く。測定深さが地表面でない場合にはショベルなどで測定作業がしやすいような余裕幅をもって所要な深さまで掘り下げ測定面を同じ要領で準備する。

3.2.2

コアカッターを刃先を下にしてコアカッターヘッドにはめ、平らにした測定面におき、コアカッターをできるだけ揺動させないように土中に貫入させる。

備考3 コアカッターを静かに押し込むことができれば最適であるが、それでは貫入しない場合には、ハンマーの衝撃をコアカッターヘッドに加えて打ち込む。その際、軽いハンマーで勢いよく数多く打撃するより、収斂的重いハンマーの少ない打撃回数で打ち込む方が、コアカッターと土との間のあそびを少なくするのに有効である。

備考4 径の大きいコアカッターを用いる場合は、貫入に伴って、コアカッター外壁周辺の土を掘り取ることで、貫入を容易にすることがある。

3.2.3

土がコアカッター部分をみだし、ヘッドの部分まで十分に貫入したことを確認した後、ショベルでコアカッターを土と一体のまま掘りおこす。この際、コアカッターの刃先に余分な土塊がついたままであることが必要である。このとき、コアカッター・ヘッドはつけたままでも、あるいははずした状態でもどちらでもよい。

3.2.4

コアカッターの両端面に沿ってストレートエッジで余分の土を削りおとす。コアカッター外壁に付着した土を取り除いてはかりで全質量をはかる。

3.2.5

コアカッター内の試料を取り出し、50～100 g の 2 個以上の代表的試料について JIS A 1203 (土の含水量試験方法) により含水比 w を測定する。

備考5 掘り取ったコアカッター内の土を整形する際、岩片や木根、その他の異物が含まれていないかを観察する。また、打込みによって刃先が著しく損傷されている場合は、採取された土が乱されて現場の状態と変わっている恐れがある。以上のような異状が認められ、コアカッター内の土が現場を代表する土と見なすことが不適当な場合は、その測定結果は用いない。

3.3 深さ約 1 m 以上の比較的深い箇所における測定

測定深さがこれに該当する深部の測定であっても、測定者が 3.2 の作業を実施するに十分な空間と環境が保たれている場合は 3.2 に準じて測定を行う。

3.3.1

測定を行う深さまでオーガーボーリングなどで削孔する。測定深さに達した後、孔底の緩んだ土をなるべく残さず、しかもなるべく平らになるように整正する。

備考6 この作業のために特殊なオーガー、あるいは適切な整正のための用具の使用が望ましい。

3.3.2

コアカッターを、コアカッター・ヘッドに固定する。(図一2(b)参照) ヘッドに所要の長さのロッドを継ぎ足し、コアカッターを静かに孔底の測定面におろす。ロッドをできるだけ垂直に保持したまま、3.2.2 と同じ要領によって圧入あるいはハンマーの打撃により、コアカッターを地中に貫入させる。

3.3.3

貫入深さがコアカッター長さを十分越えたことを確認して貫入を止める。なお、コアカッター長とヘッド内の余裕部分の長さの和を貫入深さが越えるとコアカッター内の土が過度に圧縮されてしまうから注意が必要である。

ロッドを前後にゆすり、コアカッター刃先面付近で内外の土をはく離させ、静かにコアカッターを引き上げる。

3.3.4

ヘッドからコアカッターを取り外し、コアカッター両端面に沿ってストレートエッジで余分の土を削りおとす。刃前における土のはく離面がコアカッター内に凹となっている場合は、コアカッター上部の余分の土を残したまま、コアカッター内の土塊を上から下へ押し下げ凹部が刃先面に達するように調整した後ストレートエッジで削り取る。

3.3.5

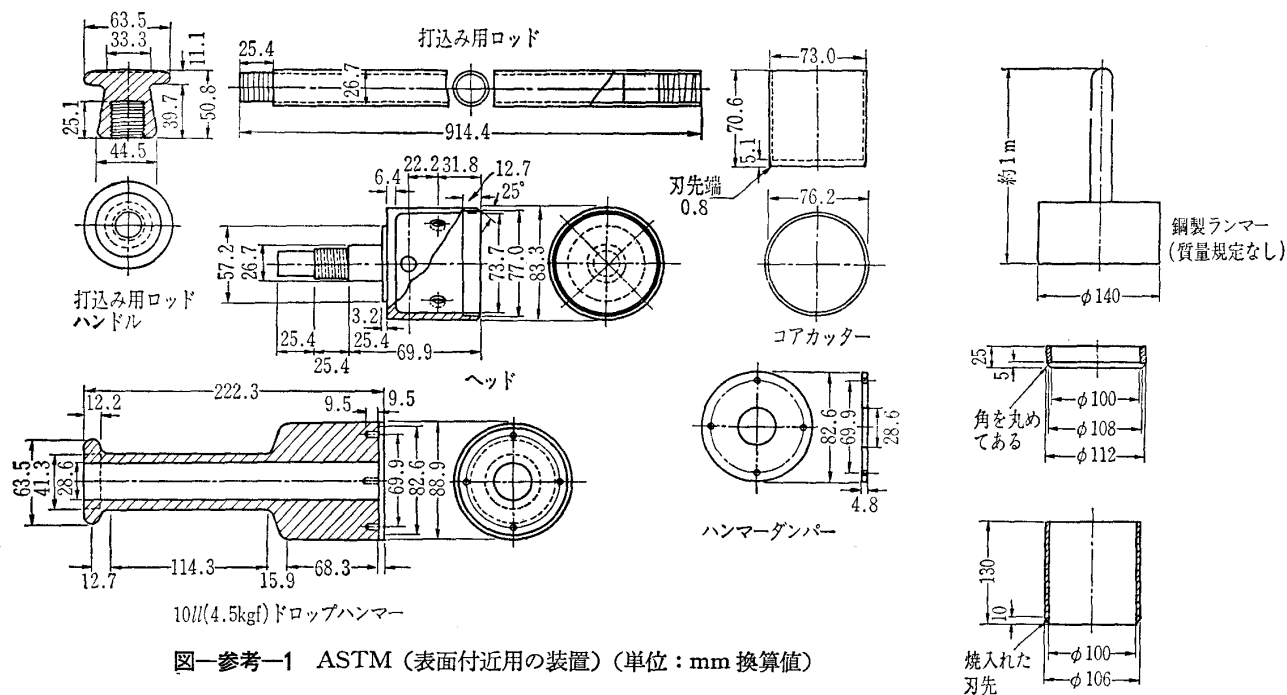
コアカッターと土の全質量、ならびに土の含水量の測定については 3.2.4 および 3.2.5 に準ずる。

備考7 コアカッター内に採取された土および採取状況による測定結果の判断については備考5 と同じ。

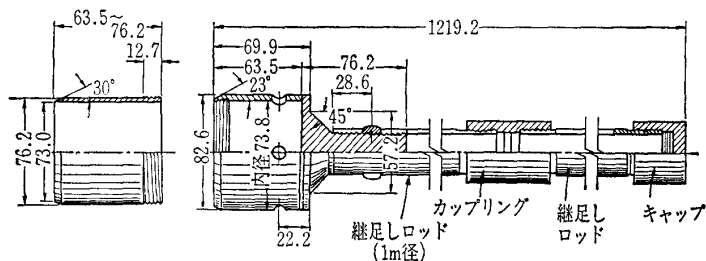
4. 土の密度の求め方

4.1 土の湿潤密度

資料-387

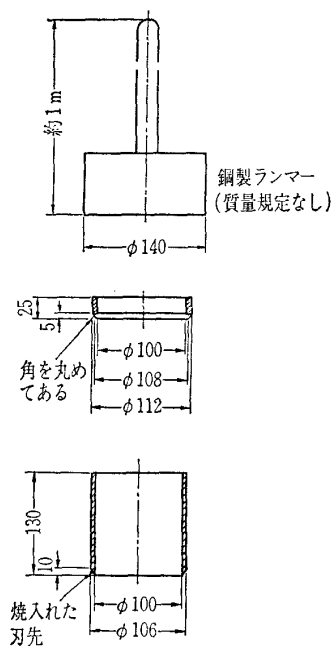


図一参考-1 ASTM (表面付近用の装置) (単位: mm 換算値)



図一参考-2 ASTM (約1 m以上の深さに用いる装置) (単位: mm 換算値)

図一参考-3 BSのコアカッター (単位: mm)



土の湿潤密度 ρ_t は次の式で計算する。

$$\rho_t = \frac{m - m_c}{V_c} (\text{g/cm}^3)$$

ここに、 m : コアカッターと土の全質量 (g)

m_c : コアカッターの質量 (g)

V_c : コアカッターの容量 (cm^3)

4.2 土の乾燥密度

土の乾燥密度 ρ_a は次の式で計算する。

$$\rho_a = \frac{\rho_t}{100 + w} \times 100 (\text{g/cm}^3)$$

ここに、 w : 含水比 (%)

5. 報告

次の事項について報告する。

- (1) 測定面の地表面からの深さ
- (2) コアカッターの高さ、内径、肉厚
- (3) 土の含水比 (%)
- (4) 土の湿潤密度 (g/cm^3 , t/m^3)

(5) 土の乾燥密度 (g/cm^3 , t/m^3)

【参 考】

コアカッター法による現場密度の測定法については、アメリカおよびイギリスに次のような規定がある。

ANSI/ASTM D 2937-71

Standard Test Method for Density of Soil in Place by the Drive-cylinder Method.

BS 1377 : 1975 Test 15 (D)

Core-cutter method for fine-grained and chalk soil free from stones.

これらの規定には、代表的な装置の図面が含まれている。

本試験法はこれらの規定を参考にしたが、装置そのものについてそれらの規定のものを準用する必要性はないものとして本文中に含めなかったが、装置製作上の参考になるものとして、それらの図面を引用したものが、図一参考-1～参考-3である（これらの図面は原図を若干簡略化してある）。

土質工学会基準案「ラバーバルーン法による土の密度試験方法」 (JSF 規格：T 34—83 T)

1. 適用範囲

この規格は、現場における土の密度をラバーバルーン法によって求めるための試験方法について規定する。

この試験方法は、最大粒径が 25 mm 以下の粗粒分の少ない土に適する。ただし、試験孔の体積を一定に保つことのできない極めて軟弱な土に対しては適用できない。

2. 試験用具

2.1 密度測定器

密度測定器（以下、測定器という）は、図—1 のような構造の試験孔の体積を測定する器具で、ラバーバルーンと体積指示計からなる。

ラバーバルーンは、薄くしわがでにくい柔軟な材質の膜で作られ、試験孔を完全に満たす大きさで、孔壁と密着させるために液圧をかけても破れないものでなければならない。

体積指示計の指示目盛りは、試験孔の体積の 1 % 以下を読みとれるものでなければならない。

測定器は、ラバーバルーンの内部の液体に正および負の圧力を必要に応じてかけられ、測定時に装置の浮上りを防ぐことができる構造とする。

備考 1 測定器の構造は、詳細には規定しない。体積を測るため、ラバーバルーンと液体を使用し、試験孔の体積を 1 % 以下の精度で測定できればよい。

2.2 はかり

はかりは、ひょう量 10 kg、感量 5 g のものとする。

2.3 測定器の較正のための容器

測定量を較正するための容器は、試験孔とほぼ同じ大きさで、測定器と同じ口径で体積が正確に求められているものとする。

備考 2 測定器の較正のための容器は、JIS A 1210(突固めによる土の締固め試験方法)に規定する 10cm モールド、または 15 cm モールドを使用してもよい。

2.4 ベースプレート

ベースプレートは図—1 に示すような金属製板で測定器の口径に等しい穴を有するものとする。

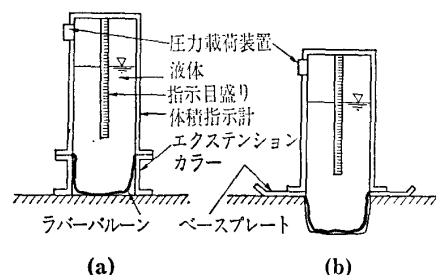
2.5 エクステンションカラー

エクステンションカラーは、測定器と同じ口径で、測定器、ベースプレートに固定できるものとする。

2.6 その他の用具

2.6.1 含水量測定用具

含水量測定用具は JIS A 1203(土の含水量試験方法)に



図—1 測定器の構造および測定の原理

規定するものとする。

2.6.2 試験孔を掘削するための用具

試験孔を掘削するための用具は次のとおりとする。

- (1) 小さいつるはし
- (2) ハンドスコップ
- (3) のみまたはたがね
- (4) スプーン

3. 測定器の較正

体積指示計の指示目盛りの較正は、2.3 で規定した較正用容器を用いて次の手順で行う。

(1) 較正用容器の容量を V_0 、エクステンションカラーの容量を V_e とする。

(2) 測定器とエクステンションカラーを固定し、図—1 (a) に示すように十分堅固で水平な面に設置し、指示目盛りの読みが変化しなくなるまで液圧を増加する。このときの指示目盛りの読みを γ_1 とする。

(3) 測定器をエクステンションカラーからはずし、較正用容器に固定する。

(4) 測定器の液圧を徐々に増加し、指示目盛りの読みが変化しなくなるまで液圧を増加する。このときの指示計の読みを γ_2 とする。

(5) 体積指示計の較正係数 K は次の式から計算する。

$$K = \frac{V_0 - V_e}{\gamma_2 - \gamma_1}$$

(6) 較正の終了後、液圧をさげ、ラバーバルーンを較正用容器からはずす。

備考 3 体積指示計の較正前には、ラバーバルーンを膨張させ、よくゆすり、ラバーバルーン内部に付着している気泡を除去しなければならない。また較正用容器内でラバーバルーンを膨張させた際、較正用容器内に空気が残らないように注意しなければならない。

4. 現場における土の密度の測定

現場における土の密度の測定は次の手順で行う。

資料—387

(1) 試験箇所の地表面を水平にならす。
 (2) ベースプレートを地表面に密着させる。
 (3) 測定器とエクステンションカラーを固定して試験箇所に設置し、較正時と同じ状態で体積指示計の初期値 γ_3 を測定して記録する。

(4) 測定器とエクステンションカラーをベースプレートからはずし、ベースプレートの穴にあわせて試験孔を掘削する。掘削に当たっては、試験孔の周辺の土を乱さないよう注意し、ラバールンが密着しやすいように試験孔の孔壁を滑らかに仕上げなければならない。

(5) 試験孔から掘り出した土の全質量 m を測定する。質量をはかり終わった土をよく混合し、その中から表—1に従って試料をとり、含水比 w を求める。

(6) 図—1(b)に示すように測定器をベースプレートに設置し、較正のときと同じ試験状態でラバールンを試験孔のなかで膨張させる。このときの体積指示計の読みを

表—1 土の最大粒径に対する含水量試験に要する試料の最少量

土の最大粒径 mm	含水量試験用の試料最少量 g
5	100
12.5	250
25	500

γ_4 とする。

(7) 試験孔の体積 V は次の式で計算する。

$$V = V_e + K(\gamma_4 - \gamma_3)$$

5. 土の密度の求め方

5.1 土の湿潤密度

土の湿潤密度 ρ_t は次の式で計算する。

$$\rho_t = \frac{m}{V} \text{ (t/m}^3\text{)}$$

5.2 土の乾燥密度

土の乾燥密度 ρ_a は次の式で計算する。

$$\rho_a = \frac{\rho_t}{w + 100} \times 100 \text{ (t/m}^3\text{)}$$

6. 報 告

次の事項について報告する。

- (1) 土の最大粒径 (mm)
- (2) 土の含水比 w (%)
- (3) 土の湿潤密度 ρ_t (t/m³)
- (4) 土の乾燥密度 ρ_a (t/m³)
- (5) 試験孔の径および深さ

土質工学会基準案「シート法による土の密度試験方法」

(JSF 規格：T 35—83 T)

1. 適用範囲

この規格は、現場において土の密度をシート法によって求めるための試験方法について規定する。

なお、この規格で規定する装置および方法を用いる試験は、砂置換法等による密度測定が難しい岩石質材料に適用する。

2. 試験用具

2.1 ベースプレート

ベースプレートは、図—1に示すように材料中の最大粒径の3倍以上の穴をあけたカラー付の金属製あるいは木製の板とする。

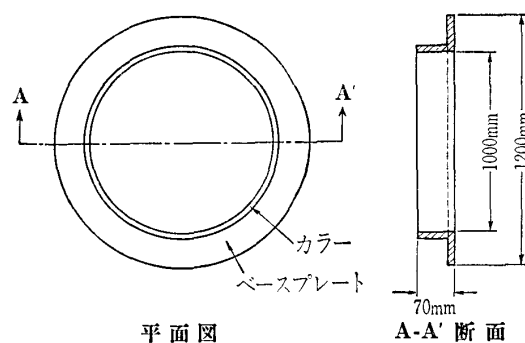
備考1 ベースプレートの穴の形状は、特に円形とする必要はないが、試験孔壁にシートが密着しやすいように円形とすることが多い。

備考2 カラーの高さは、孔径の5～10%程度とする。

2.2 シート

シートは試験孔壁に密着させやすい柔軟性に富んだ透明なものとする。

備考3 シートは、JIS K 6732 (農業用塩化ビニールフィルム)で



図—1 カラー付ベースプレート (孔径1 mの例)

規定するビニールフィルム5種、6種が適当である。透明なものが良いのは水を張った時に孔壁とシートの密着の程度を直接目で確かめることができるためである。

2.3 はかり

はかりはひょう量200 kg程度、感量100 g以下のもので掘削土の全質量、試験孔への注水量を1～5回の分割で測定できるものを目安とする。

2.4 給水装置

給水装置は試験孔体積を求めるために、試験孔内に静かに注水できるものとし、注水前後の水を含めた全質量を計

量できる水槽あるいは注水量を測定できる流量計を備えた給水装置とする。水槽の容量は試験孔体積に見合うか、1～5回の分割で試験孔を満たし得るものとする。

備考4 流量計は最小目盛り1 l以下のものを用い、適正流量範囲で使用しなければならない。

2.5 その他の道具

2.5.1 試験孔を掘削するための用具

ピック、つるはし、スコップなど掘削に必要な機械器具。

2.5.2 掘削土を保存するための袋または容器および防水シート

備考5 防水用シートは仮置き場所の下に敷いたり、掘削土の含水量が降雨等により変化しないように覆うために使用する。

2.5.3 含水量測定用具

JIS A 1203 (土の含水量試験方法) に規定するものを使用する。

2.5.4 温度計

温度計は精度1℃のものを使用する。

2.5.4 水準器

2.5.5 砂

地表面の整形に使用するもので、粒径2 mm以下のものが望ましい。

3. 測定方法

3.1 試験箇所の整地

(1) 試験箇所の地表面は、できる限り平たんに整地する。この時、地表面の緩んだ土、石、ごみ等を取り除き、不陸を砂でならす。

(2) 地表面の水平度は、水準器を用いて検査する。水平度は次の範囲内が望ましい。

$$i < \frac{H}{2D} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに

i : 地表面の水平度

$$\left(i = \frac{h}{l} \right)$$

H : カラーの高さ

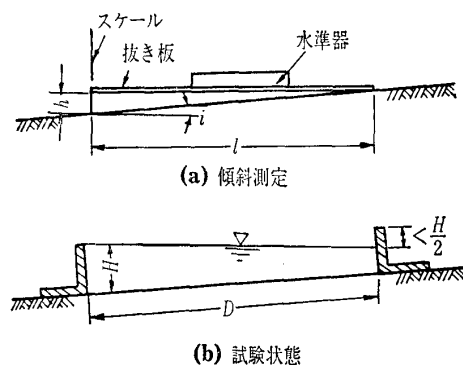


図-2 地表面の傾斜測定

D : 試験孔径

3.2 ベースプレート部の体積測定

(1) 整地した地表面にベースプレートを固定する。

(2) カラー内壁、地表面に沿ってシートを密着させる。

(3) 給水装置で図-3に示すように、カラー天端から水があふれる寸前まで静かに注水する。

(4) 注水前後の水を含めた水槽質量 m_1 (kg), m_2 (kg)を測定し、(4)式によりベースプレート部の体積 V_1 を求める。流量計を用いる場合は流量計によって体積 V_1 を求める。

(5) ベースプレートを固定した状態のまま、シート内の水を試験に影響を及ぼさない場所に捨て、シートを取り除く。

3.3 試験孔の掘削および掘削土質量の測定

(1) ベースプレートの穴に沿い掘削用具で試験孔を掘削する。孔壁はシートが密着しやすいようになめらかに仕上げる。

備考6 試験孔が大きく、孔壁が緩みやすい場合には、ベースプレート周辺に足場板等を使用して孔壁の緩みを極力避ける。

(2) 試験孔の深さは、試験孔径の2/3程度とする。

(3) 掘削土は含水量が変化しないように保存用の袋または容器に入れ、その全質量(m)を測定する。分割して計量する場合は、誤差を小さくするために5分割以内にとどめる。

3.4 試験孔掘削後の体積測定

(1) シートを試験孔の孔壁に密着しやすいように敷き広げる。

備考7 シートは、たるませて穴の中に広げシートの一部を引いたり、たるませたりしながら水を注ぐと、シートとカラー・孔壁間の空気を追い出しやすく、密着の度合いがよくなる。

(2) 試験孔内に3.2(3)と同じ要領で、図-4に示すようにカラー天端まで注水する。

(3) 注水前後の水を含めた水槽質量 m_3 (kg), m_4 (kg)を測定し、(5)式よりベースプレート部と試験孔部の体積 V_2 を求める。流量計を用いる場合は流量計によって体積 V_2 を求める。

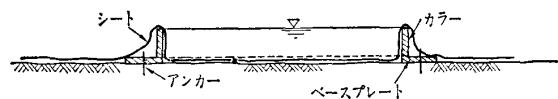


図-3 ベースプレート・カラー部の体積測定

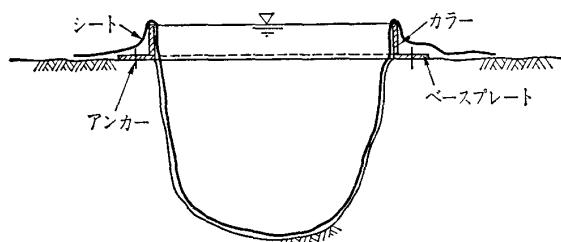


図-4 掘削部の体積測定

資料—387

備考8 m_3 , m_4 を数回にわたって測定する場合は、それぞれの累計とする。

(4) 使用水の水温 ($t^{\circ}\text{C}$) 測定を行う。

4. 試験結果の整理

4.1 掘削土の含水比の求め方

含水比の測定は、JIS A 1203の規定を準用し、土質材料と岩石質材料とに分けて行い、土全体の含水比 w を求める。

$$w = w_f \cdot P_f + w_c(1 - P_f) (\%) \cdots \cdots (2)$$

ここに、

w_f : 土質材料部分の含水比 (%)

w_c : 岩石質材料部分の含水比 (%)

P_f : 土質材料の全材料に対する乾燥質量比

なお、土質材料と岩石質材料との境界は、粒径 75 mm とする。

4.2 土の密度の求め方

(1) 試験孔の体積 V は、次式から計算する。

$$V = V_2 - V_1 (\text{m}^3) \cdots \cdots (3)$$

V_1 : ベースプレート部の体積

V_2 : ベースプレート部と試験孔部の体積

$$V_1 = K(m_1 - m_2) (\text{m}^3) \cdots \cdots (4)$$

m_1 : 3.2(4)の注水前の水を含めた水槽質量 (kg)

m_2 : 3.2(4)の注水後の水を含めた水槽質量 (kg)

K : 表—1 に示す水温 $t^{\circ}\text{C}$ における水 1 kg 当たりの体積 (m^3/kg)

$$V_2 = K(m_3 - m_4) (\text{m}^3) \cdots \cdots (5)$$

m_3 : 3.4(3)の注水前の水を含めた水槽質量 (kg)

表—1 温度 4～32℃における水 1 kg 当たりの体積

水温 $t^{\circ}\text{C}$	水 1kg 当たりの 体積 $K \text{ m}^3/\text{kg}$	水温 $t^{\circ}\text{C}$	水 1kg 当たりの 体積 $K \text{ m}^3/\text{kg}$	水温 $t^{\circ}\text{C}$	水 1kg 当たりの 体積 $K \text{ m}^3/\text{kg}$
4	1.00000×10^{-3}	10	1.00027×10^{-3}	22	1.00221×10^{-3}
5	$1.00001 \times "$	12	$1.00048 \times "$	24	$1.00268 \times "$
6	$1.00003 \times "$	14	$1.00073 \times "$	26	$1.00320 \times "$
7	$1.00007 \times "$	16	$1.00103 \times "$	28	$1.00375 \times "$
8	$1.00012 \times "$	18	$1.00138 \times "$	30	$1.00435 \times "$
9	$1.00019 \times "$	20	$1.00177 \times "$	32	$1.00497 \times "$

m_4 : 3.4(3)の注水後の水を含めた水槽質量 (kg)

(2) 土の湿潤密度 ρ_t は、次式から計算する。

$$\rho_t = \frac{m}{1000V} (\text{t/m}^3) \cdots \cdots (6)$$

m : 3.3(3)の試験孔から取り出した湿潤土の質量 (kg)

V : 試験孔の体積 (m^3)

(3) 土の乾燥密度 ρ_a は、次式から計算する。

$$\rho_a = \frac{100 \rho_t}{100 + w} (\text{t/m}^3) \cdots \cdots (7)$$

5. 報 告

次の事項について報告する。

(1) 岩石質材料の最大径 (mm)

(2) 土の含水比 (%)

(3) 土の湿潤密度 (t/m^3)

(4) 土の乾燥密度 (t/m^3)

(5) 試験孔の径、深さ

(6) 試験孔の状況

土質工学会基準案「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: T 36—83 T)

1. 総 則

1.1 適用範囲

この基準は、現場において土の密度および含水量をガンマー線透過密度計および中性子水分計によって求めるための標準的な試験方法について規定する。

この基準の適用できる深さは、線源の打込み深さ以内、適用最大粒径は打込み深さの 3 分の 1 程度とする。なお、この範囲を越える測定を実施する場合は、あらかじめ必要な試験を実施してその適用の可否を検討しなければならない。

1.2 用語の意味

○土 の 密 度: 土の単位体積当たりの質量をいい、質量として土粒子と含まれている水との両者を考える場合を湿潤密度 $\rho_t (\text{t/m}^3)$ 、土粒子だけを考える場合を乾燥密度 $\rho_a (\text{t/m}^3)$

という。

○土の水分密度: 土の単位体積当たりの含有水分の質量をいい、 $\rho_m (\text{t/m}^3)$ にて表す。

○密 度 計: ガンマー線透過密度計の略称。

○水 分 計: 中性子水分計の略称。

○RI 計 器: 密度計・水分計の総称。

○RI : ラジオアイソトープ (Radio-isotope: 放射性同位元素) の略称。

○計 数 率: n (cpm)

ガンマー線あるいは中性子線の 1 分間当たりの計数値。

○標準体計数率: s (cpm), RI 計器が標準体に設置された時の計数率。

○計 数 率 比: $R = n/s$, 測定における計数率と標準体計数率の比。

1.3 使用上の規制および安全管理

(1) 密度計・水分計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」)および関連諸法令注1)に従わなければならない。

特に次の事項には十分に留意する必要がある。

- (i) 管理責任者の選定および管理責任体制
- (ii) 密度計・水分計の保管場所・保管施設の構造
- (iii) 密度計・水分計の運搬方法
- (iv) 使用現場における管理区域の設定
- (v) 漏えい線量率の測定(サーベイメーターなど)
- (vi) 被ばく線量の測定(フィルムバッジ、ポケット線量計の装備)
- (vii) 健康診断

(2) 密度計・水分計の線源の数量が「放射線障害防止法」の規制値以下である場合(以下「微小線源」と称す)は、法的な手続きは要求されないが、なお放射性同位元素の性質が失われるものではないので、同法に準拠した安全管理体制で使用することを推奨する。

特に線源の交換および廃棄に際しては、微小線源であっても、安全、適切な処置を講じなければならない。

2. 試験装置

2.1 密度計

密度計は土によるガンマー線の透過減衰を利用して土の密度を測定する装置であり、次のものからなる。

- (1) ガンマー線源：密封線源であること。
- (2) 線 源 棒：先端部にガンマー線源を有し、土中に押し込むか、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。
- (3) 検 出 器：ガンマー線を検出できる十分に安定なもの。
- (4) 計 数 装 置：検出器からの信号を数える装置(スケーラー)であり、計数回路、タイマー、内蔵電源などからなる。
- (5) 外 装：(2)、(3)および(4)をまとめるかあるいは別装する外箱であり、現場計器として十分に頑丈で、防水・防じん、耐衝撃性を備え、かつ温度などの外的条件による影響が少ない構造とする。
- (6) 標 準 体：標準体計数率を得るための、物理的・化学的に安定で経時変化のない均

一な物質。

なお標準体は RI 計器が異常なく動作していることの確認、ならびに線源の減衰による標準体計数率の補正のためにも用いられる。

- (7) 地表面整形用：鉄板・スレートエッジなど測定箇所器具の地表面を平滑に仕上げるに必要な器具。
- (8) ガイド板、打：測定する地表面に垂直な線源棒の外込み棒あるいは径にほぼ等しい孔を形成するためにドリル必要な器具。

2.2 水分計

水分計は土中の主に水素原子による中性子の減速を利用して土の水分密度を測定する装置であり、次のものからなる。

- (1) 中性子線源：密封線源であること。
- (2) 検 出 器：熱中性子を検出できる十分に安定なもの。
- (3) 計 数 装 置：2.1(4)と同等のもの。
- (4) 外 装：2.1(5)と同等のもの。
- (5) 標 準 体：2.1(6)と同等のもの。
- (6) 地表面整形用器具：2.1(7)と同等のもの。
- (7) 中性子線源を地中に設置する場合には 2.1(2)および(8)と同等のものを備える。

3. 測 定

3.1 標準体計数率の測定と RI 計器の作動状態検定

3.1.1 標準体計数率の測定

RI 計器の測定に当たっては、測定前と測定後に RI 計器を標準体上に設置して、標準体計数率を求める注2)。

3.1.2 RI 計器の作動状態検定

RI 計器の測定時には、3.1.1 によって求められた標準体計数率を用いて、RI 計器の作動状態を 3.1.3 の方法により検定しなければならない。

3.1.3 作動状態検定の方法

(1) 検定時の標準体計数率 s から次式により $s_{\max}$ および $s_{\min}$ を求める。

$$\left. \begin{matrix} s_{\max} \\ s_{\min} \end{matrix} \right\} = s \pm 1.96 \sqrt{\frac{s}{t}} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 t ：計数時間(分)

(2) (1)で得られた $s_{\max}$ および $s_{\min}$ が次式を満足していれば RI 計器は正常に作動していると見なしてよい。

$$\left. \begin{matrix} s_{\max} > s_0'_{\min} \\ s_{\min} < s_0'_{\max} \end{matrix} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

注 1) 「放射性同位元素等車両運搬規則」(運輸省令第33号)、「自動車運送事業等運輸規則」(運輸省令第44号)、「鉄道運輸規程」(鉄道省令第3号)、「航空機による爆発物等輸送基準等を定める告示」(運輸省告示第298号)、「危険物船舶運送および貯蔵規則」(運輸省令第30号)、「昭和22年通信省告示第384号」(「建築基準法、同施行令」)、「火災予防条例準則」(自消甲予発第73号)、「電離放射線障害防止規則」(労働省令第41号)、「職員の放射線障害の防止」(人事院規則10-5)など

注 2) 標準体計数率の測定においては、周囲の状況(壁面、地面、ほかの RI 線源など)によってその計数率が影響を受けないように注意する。

資料—387

$$\left. \begin{array}{l} s_0'_{\max} \\ s_0'_{\min} \end{array} \right\} = s_0' \pm 1.96 \sqrt{\frac{s_0'}{t_0}} \quad \text{.....(3)}$$

$$s_0' = s_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{D/T} \quad \text{.....(4)}$$

s_0 : ある時点に設定した基準となる標準体計数率 (cpm)

t_0 : s_0 を得るに要した計数時間 (分)

$s_0 \cdot t_0 \geq 154\,000$ であることが望ましい注3)。

T : 装備している放射性同位元素の半減期 (日)

D : s_0 設定後の経過期間 (日)

(3) もし(2)において式(2)の条件を満足しない場合は RI 計器の検査を行い、3.2.2(2)の校正曲線の検定を実施する。この場合、検定値に異常がなければ、新規に s_0 を設定する。

3.2 校正曲線

3.2.1 校正曲線の作成

(1) 校正曲線 : RI 計器の使用に先立って、密度あるいは水分密度と計数率比の関係を示す校正曲線を作成しなければならない。

(2) 供試体の数 : 供試体は測定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、かつその範囲でなめらかな曲線が得られる個数を用意しなければならない。

(3) 供試体の要件 : 供試体は下記の要件を備えるものとする。

(a) 供試体は測定対象の土で、既知の密度および含水比に締め固められたものとする。なお、密度および水分密度が既知のブロック (例えば石材、アルミ板、ガラス板など) や水は補助供試体として使用することができる。

(b) 供試体の密度、含水比および材質などは均一でなければならない。

(c) 供試体の寸法は RI 計器の有感容積注4)を十分に包含するもので、かつ供試体の測定表面は平滑でなければならない。

(d) 供試体容器は土の締め固めに際して変形しないものでなければならない。

(4) 計数率比の決定 : 個々の供試体に対する計数率比は以下の手順により算出する。なお、標準体計数率や供試体の測定における計数率の測定時間は 3.3 に留意して決めるのがよい。

(a) RI 計器のウォームアップを行う注5)。

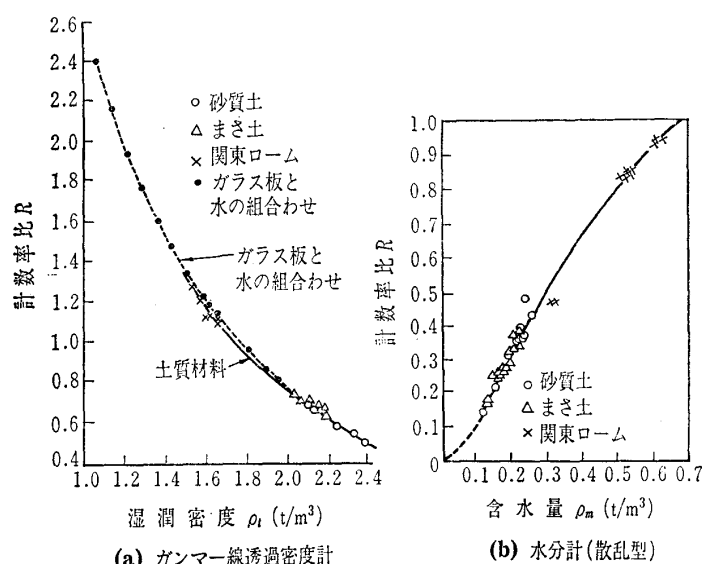
(b) 標準体計数率 s_1 を求める。

(c) 供試体に RI 計器を設置する。この際、線源棒はあらかじめ形成された孔に孔壁を乱さないように挿入する。

注 3) 付図—2 より、放射線の統計的揺動による計数値の相対誤差を 0.5% 以下 (信頼度 95% において) とするのに必要な総計数値

注 4) 有感容積は実験的に確認することが望ましいが、密度計の場合、目安として計器面積の 4 倍程度、深さは線源打込み深さの 1.2 倍程度である。水分計も密度計の場合と同等である。ただし散乱型水分計の場合、深さは 30cm 程度である。

注 5) 通常は 5 分間程度行えば計器は十分に安定な状態となる。



付図—1 校正曲線の一例

(d) 供試体の測定は RI 計器の設置位置を少なくとも 4 方向 (0°, 90°, 180°, 270°) 変えて行い、その平均値から計数率 n を求める。

(e) 標準体計数率 s_2 を求める。

(f) 各供試体の計数率比 R は次式により算出する。

$$R = \frac{n}{(s_1 + s_2)/2} \quad \text{.....(5)}$$

(5) 湿潤密度・水分密度の決定 : 個々の供試体の湿潤密度・水分密度は以下の要領により決定する。

(a) 湿潤密度 ρ_t (t/m³) は次式により求める。

$$\rho_t = m/V \quad \text{.....(6)}$$

ただし m : 供試体の質量 (t)

V : 供試体の体積 (m³)

(b) 水分密度 ρ_m (t/m³) は、供試体上での測定完了後、供試体容器内の各部から採取した試料について JIS A 1203 の方法により含水比 w (%) を求め、次式により算出する。

$$\rho_m = \frac{w}{100 + w} \cdot \rho_t \quad \text{.....(7)}$$

(6) 校正曲線の作図 : 計数率比を縦軸に、湿潤密度あるいは水分密度を横軸にとり、グラフ用紙上にプロットする。各供試体について求められた点を、全体としてなめらかな曲線で結び校正曲線とする注6)。

3.2.2 校正曲線の検定

(1) 次のいずれかに該当する場合には、校正曲線の検定を行わなければならない。

(a) 校正曲線作成に用いた土と性質が異なる土を測定する場合および化学組成が異なる土を測定する場合注7)。

(b) 標準体計数率に 3.1.3(3) のような変動があった場

注 6) 付図—1 の例参照。

注 7) 水分計の場合は更に校正曲線に密度依存性があるといわれている。

合、あるいは定常業務における測定結果が異常と思われた場合。

(c) RI 計器を新規に取得、修理した場合、あるいは線源棒を交換した場合。

(2) 検定の方法は 3.2.1 による。ただし較正点の個数は減じてよい。

3.2.3 較正曲線の修正

3.2.2 により検定された較正点がもとの較正曲線とかけ離れている場合は、検定された較正点でこれを修正する。

3.3 精度

3.3.1 統計的揺動による

誤差^{注8)}

RI 計器の放射線の統計的揺動による湿潤密度、水分密度の測定誤差 $\Delta\rho_t$ 、 $\Delta\rho_m$ は、95%の信頼度において次式で示される。

$$\left. \begin{array}{l} \Delta\rho_t \\ \Delta\rho_m \end{array} \right\} = \frac{1.96R}{k} \sqrt{\frac{1}{n \cdot t} + \frac{1}{s \cdot t_s}} \quad \dots\dots\dots(8)$$

ここに

k : 較正曲線の分解能

$$k = \frac{\partial R}{\partial \rho_t} (\text{m}^3/\text{t})$$

$$\text{または } k = \frac{\partial R}{\partial \rho_m} (\text{m}^3/\text{t})$$

t_s : 標準体計数率の計数時間 (分)

3.3.2 精度を考慮した測定計画

RI 計器を用いた測定では式(8)で示される統計誤差を伴うものであるので、測定対象や目的に応じた所要の精度を念頭に置き、測定の頻度や一点当たりの測定時間などを決めるのがよい^{注9)}。

3.4 現場測定

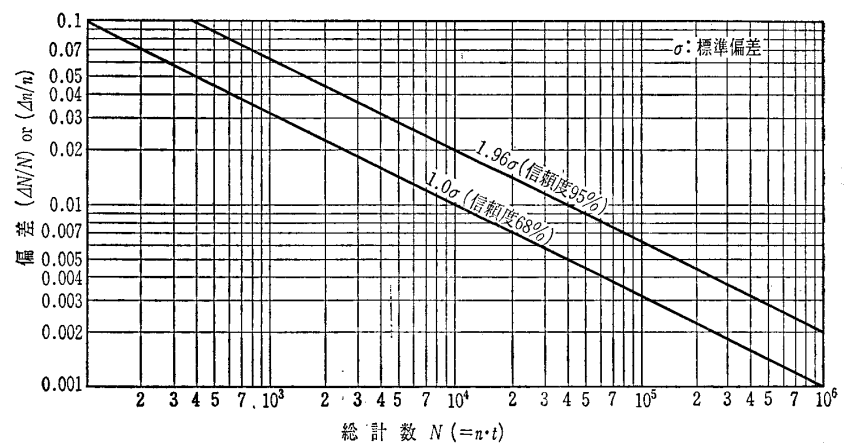
3.4.1 測定箇所の準備

(1) 測定箇所の表面をストレートエッジなどで必要な広さが平滑になるように凹凸あるいは緩んだ部分を削り取り、RI 計器底面と測定表面の密着性が十分得られるようにする。

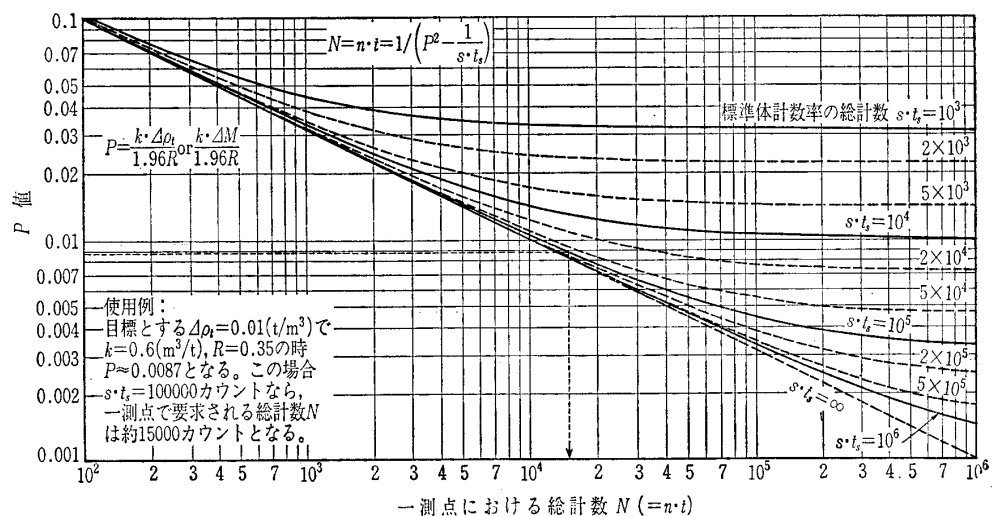
(2) 線源棒の挿入孔は、ガイド板と打込み棒あるいはド

注 8) 放射線の放出率はポアソン分布となるので、総計数値を $N(=n \cdot t)$ とすれば、標準偏差 $\sigma = \sqrt{N}$ となる。計数率の誤差 Δn は95%の信頼度において、 $\Delta n = 1.96\sqrt{n/t}$ である (付図-2 参照)。
 $R = n/s$ ($\Delta R/R$)² = ($\Delta n/n$)² + ($\Delta s/s$)² $\Delta R = k\Delta\rho_t$ これより(8)式が得られる。

注 9) この場合、一測点において必要な総計数値 $N(=n \cdot t)$ は(8)式を変形して得られる次式あるいは付図-3 を参考にするとよい。 $N = n \cdot t = 1/(P^2 - 1/(s \cdot t_s))$ ここに $P = \frac{k\Delta\rho_t}{1.96R}$ あるいは $\frac{k\Delta\rho_m}{1.96R}$



付図-2 統計的揺動による偏差



付図-3 統計的揺動による測定誤差 (95%信頼度)

リルを用いて測定表面に垂直に所要の深さの挿入孔を形成する。

3.4.2 測定

- (1) RI 計器のウォームアップを行う。
- (2) 一連の測定^{注10)}の前に RI 計器の標準体計数率 s_1 を求める。
- (3) 測定箇所に RI 計器を設置する。この際、線源棒はあらかじめ形成された孔に孔壁を乱さないように挿入する。
- (4) 測定は、3.3 に留意し、必要に応じて繰り返して測定を行い、その平均値から計数率 n を求める。
- (5) 一連の測定箇所につき(3)、(4)により順次測定を行う。
- (6) 一連の測定の後に標準体計数率 s_2 を求める。
- (7) 測定前後の標準体計数率 s_1 、 s_2 および各測定箇所における平均計数率 n から、それぞれの測定箇所における計数率比 R を次式により算出する。

$$R = \frac{n}{(s_1 + s_2)/2} \quad \dots\dots\dots(5)$$

注 10) 一連の測定は 4 時間以内を目安とするのが望ましい。

4. 結果の整理

4.1 密度・含水比の算出

(1) 各測定箇所において得られた計数率比 R から、校正曲線を用いて湿潤密度 $\rho_t(t/m^3)$ および水分密度 $\rho_m(t/m^3)$ を求める注11)。

(2) 各測定箇所における乾燥密度 $\rho_d(t/m^3)$ および含水比 $w(\%)$ は次式により算出する。

注11) 自然放射線の多い地域(例えば花崗岩地帯)における測定ではその影響を補正する必要がある。

注12) ポケット線量計は毎日、フィルムバッジは2週間分まとめて記録する。

注13) 密度計・水分計の線源あるいは構造を変更しないかぎり、ほとんど変化しないので、使用および保管時の計器周辺の漏えい線量を3か月に1回確認したものと、管理区域の範囲を記録しておけばよい。

$$\rho_d = \rho_t - \rho_m(t/m^3) \dots\dots\dots(9)$$

$$w = \frac{\rho_m}{\rho_t - \rho_m} \times 100 = \frac{\rho_m}{\rho_d} \times 100(\%) \dots\dots\dots(10)$$

4.2 現場測定に関する記録

一日の測定終了後、次の記録をまとめておく。

- (1) 現場測定の年月日、場所、目的、方法および測定箇所の土質概要など。
- (2) 使用した RI 計器の種類と台数。個々の計器に装備されているラジオアイソトープの種類と数量。
- (3) 作業従事者の氏名および作業時間。
- (4) 作業従業者各人の被ばく線量注12)。
- (5) 管理区域内外の漏えい線量注13)。

書籍紹介

「寒地工学基礎論」

東 晃 著

近年、集雪冷房システムの開発や水資源としての雪の問題、アラスカのパイプラインの建設や北極海の人工島から砕氷タンカーを使って原油を輸送する問題など、積雪寒冷地における工学上の問題が激増しつつある。

本書の目的は「寒冷地に特有な工学上の諸問題に対して応用物理的なアプローチによる体系化を行い、共通の基礎論を展開し、これによって技術の進歩を図ろうとすることにある。」と著者は冒頭で述べている。

雪氷工学がまだ学問として体系化されていない現状において、教科書としても適度の大きさの一冊の書物としてこれを総括的に、しかも学術的に解説することは容易なことではない。雪氷学と雪氷工学との橋わたしの一つの試みとして本書が刊行されたことは時宜を得たきわめて意義のあるものと思う。

本書に使用されている豊富な図表(95の図と29の表)は読者が各自の目的に応じて活用でき、この著書の一つの魅力となっている。この種の本としては比較的読みやすくできているので雪氷関係に興味をもっている研究者はもちろん、実務家の方々にも一読をおすすめしたい。

本書の構成は下記の5章および付表と索引からなっている。

- I 序論
- II 降雪
- III 積雪
- IV 凍土と凍上
- V 氷の力学

国際土質基礎工学分類にも、S. 雪と氷の力学および工学の項目があるので、今後は土質工学会の会員諸兄も雪氷工学の研究に積極的に取り組んでいただきたい。その時、本書はおおいに参考になるであろう。

(青山清道)

A 5 判 247ページ 定価 2,800円
発行所 古今書院 電話 291-2757