

く、試験者の技術が未熟な場合には、同じ土に対して求めた液性限界値が塑性限界値よりも小さく求められることもあるから、注意しなければならない。

塑性指数

土の塑性の度合を示すものに塑性指数がある。塑性指数とは、液性限界値と塑性限界値との差をいう。塑性指数の高い土ほど、塑性が大きく、粘土は普通 15 (percent) 以上である。また、粒子の大きさが中程度の砂は、ほとんど塑性指数が零である。

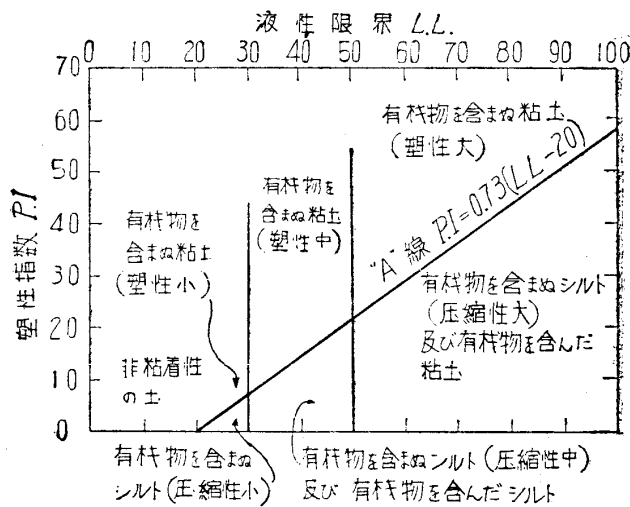


図-5

これは A. Casagrande によって作られた土の塑性図表である。“A”線より上はすべて有機物を含まぬ粘土が位置するので、測定した試料の L.L. と P.I. よりその土が大体どんな性質のものかが判定できる。又逆に試料の大体の性質がわかっている場合には、その試料の L.L. 及び P.I. の測定値をこの図表から check できる。

液性限界並びに塑性限界試験共通注意事項

液性限界、及び塑性限界を行う場合に、下記のことが共通の注意事項として挙げられる。

1) 試料の乾燥 試料を準備する際には、なるべく炉乾燥によらず空気乾燥を行い、やむを得ない場合に炉乾燥を行うときでも、その土の大体塑性限界以上の含水比になるまで炉乾燥しないよう注意しなければならない。すなわち、炉乾燥し過ぎた試料に対して、求められる液性、及び塑性限界値は、空気乾燥の試料に対して求められる夫々の値より低い値となることがいわれている。

2) 試験と時間との関係 粘着性の高い土の液性、及び塑性限界試験は、試料を練り合わせるに要する時間、

及び、練り合わせてから試験を行うまでの時間に、影響することが大である。すなわち、この時間が長い程、求められる液性限界、塑性限界の値は増大する。しかしてその増大の割合は、時間と共に次第に小さくなり、一定の値に近くなる。したがって試料は十分に練り合わせ、練り合わせた後蒸発を防ぎながら、20～30分間放置してから試験をするのが、望ましいといわれている。(土木学会誌 38 巻 1 号、内田一郎、松木錬三氏参照)

3) 蒸溜水 試験に用いる水は、土中のイオン変換をきたさないよう、また不純物を含めないように、絶対蒸溜水を使用しなければならない。

4) 含水比測定 本試験の結果は、直接含水比測定に關係するものであるから、含水比の測定は、JIS A 1203 に従い、正しく含水比を求めるよう注意することが必要である。また、試料を準備する前に、その土の自然含水比を測定することは、すべての土の試験の場合に必要なであるが、本試験の結果と関係して求められる、水一塑性比(註)(Water-Plasticity Ratio)は、液性限界及び塑性限界値と共に、その土の自然含水比を対象とするものである。

註 水一塑性比

自然状態の土の含水比と塑性限界値との差を塑性指数で除したものである。水一塑性比の値が大きい土は、液性限界と比較して自然含水比が高いことを示し、その土の練り直したものの強度は、小さいことを示す。

液性限界並びに塑性限界の試験意義及び目的などについては、かつて本誌の一読者からも質問があつたが、この問題に関しては、こゝで簡単に議論することはできない。しかしながら少くとも現場の土の分類(図-5 参照)その他土質力学基礎工学上の重要な資料となるものであることは、異論がないと思う。以下に A. CASAGRANDE をはじめ多くの文献の中、主なものを掲げて、読者の便に供したい。

CASAGRANDE A., "Research on the Atterberg Limits of Soils", Public Roads, Vol. 13, No. 8, 1932

CASAGRANDE A., "Classification and Identification of Soils" Transactions of A.S.C.E. Vol. 113, 1948

LAMBE T.W., Soil Testing for Engineers Chap. III

現場における土の単位位積重量試験方法 (JIS A 1214)

1. 適用範囲

1.1 この規格は土工あるいは、路盤工を施工してい

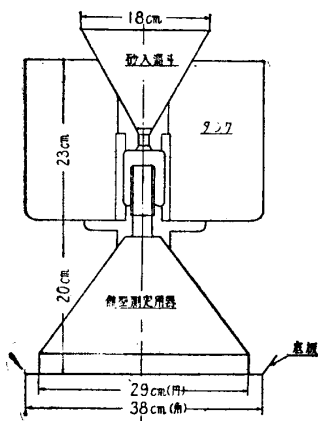
る現場における、土の締固めの度合を決定する試験に適用する。

1. 2 土の締固めの度合は現場から採った単位体積中の土の乾燥重量で表わす。

2. 試験用具

2. 1 砂を用いて穴の体積をはかる場合 (3. 3. 1. の場合)

- (1) **ハカリ** 容量約 15 kg, 感度 10 g のもの。
- (2) **容器** 砂または水を入れる容積目盛のついたもの。
- (3) **密閉試料箱** 含水量をはかるための試料を入れて密閉できるもの。
- (4) **直線定規** 地表面をならすことのできる金属製のもの。
- (5) オーガおよびスプーンのような土を採取できるもの。
- (6) **砂** 標準網フルイ 2000 μ を通り、標準網フルイ 420 μ に残るもので、十分乾燥した洗い砂。
- (7) **現場密度測定器** 穴の中に砂を入れるための図一1 のような器具。
- (8) **標準の砂による体積測定用器** 図一2 のような器具。



図一1

2. 2 水を用いて、穴の体積をはかる場合 (3. 3. 2 の場合)

- (1)~(5) 2.1 (1)~(5) に同じ。
- (6) 木製ベース、プレートおよび押えワク図一3 のようなもの。

3. 試験

3. 1 試料

3.1. 1 地表面のゆるんでいる土、ゴミ、ホコリ等を取り除いて、直径約 50 cm の広さに注意深く直線定規を用いて水平にならす、もし粗骨材が多くて、小

さな穴のできる場合には、そばの土を注意深くつめ、軽くたたいて水平にする。

- 3.1. 2 20~25 cm の径の円を地表面に描く。
- 3.1. 3 オーガ、スプーン、ネジ廻し等で、円の中の土を深さ約 20 cm まで掘り、その土を容器に全部入れ、その重さ W を測っておく、穴の深さの方向に土質が変わる場合はその位置をかえてやり直す。
- 3.1. 4 含水量をはかるため、その付近からべつに試料を少量採って密閉試料箱に入れる。

3. 2 土の乾燥重量の決定

- 3.2. 1 3.1.4 の試料の含水比を JIS A 1203 (土の含水量試験方法) によつて求める。
- 3.2. 2 土の含水比から、つぎのように 3.1.3 の土の乾燥重量 W_0 を求める。

$$W_0 = \frac{W}{1 + \frac{\text{含水比}}{100}}$$

3. 3 穴の体積の測定 つぎのいずれかの方法による

3.3. 1 砂を用いる場合

- (1) 図一1 に示す器具を用いて、穴の深さとほぼ等しい高さの位置に体積目盛のついた容器をおき、砂を落下させて、つめた砂の単位体積重量を計る。これを数回繰り返して平均値を求めておく。
- (2) 砂と容器との重さを計る。
- (3) 図一1 の器具を穴の上ののせ、上の漏斗から、砂を、下の漏斗の上端に達するまで落とし込む。
- (4) 鉄板を底板と下の漏斗の間に押し込み、底板から上の砂を、全部容器にもどす。
- (5) 残りの砂と容器との重さを計る。
- (6) 穴の体積 V をつぎのように計算する。

$V =$

$$\frac{\text{初めの砂と容器との重さ} - \text{後に残った砂と容器との重さ}}{\text{砂の単位体積重量}}$$

3.3. 2 水を用いる場合

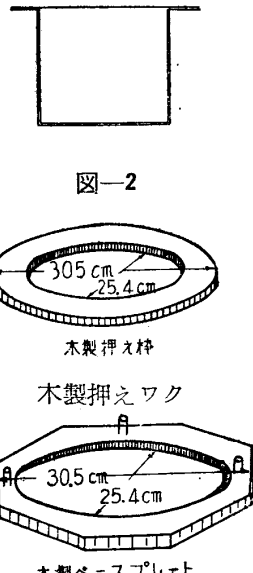
- (1) 水平にならした地面にベースプレートを置く。
- (2) ゴム膜を穴の中にぴったりと合うように押し込み、上端を押えワクで押える。
- (3) 準備した水の量を計る。
- (4) 穴の中に水を入れてベースプレートの上端まで満たし、残った量を計る。
- (5) 穴の体積 V をつぎのように計算する。

$$V = \text{初めに計った水の体積} - (\text{後に残った水の体積} + \text{ベースプレート自身の穴の体積})$$

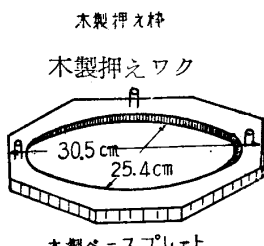
4. 結果の計算

土の単位体積重量はつぎの式から計算する。

$$\text{土の単位体積重量 (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{土の乾燥重量 } W_0}{\text{穴の体積 } V}$$



図一2



図一3 木製ベースプレート

解 説

谷 藤 正 三*

1. まえがき

単位体積重量測定（また現場密度試験と呼ばれるもの）は築堤および路盤の締め固めの度合を決めるのに用いられ、締め固め管理に応用する。

湿った状態にある単位体積重量あるいは現場密度とは自然地盤にある材料の 1 m^3 当りの水分を含んだ状態の重量である。絶対乾燥の単位体積重量および密度は地盤にある土の 1 m^3 当りの土だけの重量である。

2. 穴の容積の測定方法

(i) 試料の採取方法

(a) 約径 50 cm の地表から弛んでいる土、塵等を取り除いて注意深く地表を水平にする。若し小さな穴が出来たら附近の土をなるべく同じ状態につめる。板などで軽くていねいに叩く。

(b) 20~25 cm の径の円を地表に描く。

(c) オーガー、スチーン、ネチ廻し等で円の中の土を掘り、その土を容器に全部入れる。穴の深さは約 20 cm 位とするが、その間に土質が変化するときは浅くとも別々に分けるようにする。

もし含水量もすぐ計るときは穴から少し離れた所より試料をとり、ブリキ又はガラスの容器に入れて密封する。

(ii) 水による穴の体積の測定

これは要するに穴の中を満たすに要する水量を測定して体積を求めるのである。必要な器具は規格に定めてある通りである。ゴム膜は水が土中に滲透してゆくのを防ぐために使用するのである。

(a) 水平な地面にベース、プレートを設置する。

(b) ゴム膜の寸法より幾分小さい穴を掘る。

(c) 穴の中でゴム膜を調整し、押えの輪をベース、プレートの上におく。

(d) 目盛のある容器で水量を測定しておき、ゴム膜の中に水を入れ、ベース、プレートの上縁に水平になるまで注ぎ込み、容器の中に残っている水の量を測ると次のようにして試料をとった穴の体積が計算出来る。

〔計算例〕

初めのバケツの中の水の容積 = 0.0099 m^3

穴に注いだ後の水の容積 = 0.0023 m^3

注いだ水の容積 = 0.0076 m^3

ベース、プレート自身の穴の容積

$$= \frac{\text{面積}(\text{cm}^2) \times \text{高さ}(\text{cm})}{1,000,000}$$

$$= \frac{25.4^2 \times 0.785 \times 1.9}{1,000,000}$$

$$= 0.00096\text{ m}^3$$

試料の容積 = $0.0076 - 0.00096 = 0.00664\text{ m}^3$

若し目盛した容器が使えなければ、次の例のようにする。

〔計算例〕

初めの水の重量 = 12.4 kg

注いだ後の水の重量 = 4.8 kg

注いだ水の重量 = 7.6 kg

注いだ水の容積 = $7,600\text{ cc} = 0.0076\text{ m}^3$

ベース、プレート自身の穴の容積

$$= 0.00096\text{ m}^3$$

試料の容積 = $0.0076 - 0.00096 = 0.00664\text{ m}^3$

(iii) 砂による穴の体積の測定

砂による方法はどんな土質にも使用出来る。これには予め体積、重量を検定しておいた乾燥砂を用いるのである。

(1) 砂の単位体積重量の測定方法

(a) 丸味のある砂をもつて来て、これを標準網フルイ 2.0 (2,000 μ) および 0.4 (10 および 40 番フルイ) を通す。標準網フルイ 2.0 を通り、フルイ 0.4 に残るものを使用する。

(註) 標準網フルイ 2.0 を通り、標準網フルイ 0.85 に残るような均等な砂が、単位体積と重量の関係が均一になって便利だから出来れば 2.0-0.85 を使用した方がよい。

(b) 砂を洗って炉乾燥する。

(c) 図-1 に示す器具を用いて穴の深さと相対的にほぼ等しい高さの位置に体積目盛のついた容器をおき、砂を落下させて、つめた砂の単位体積重量を計る。これを数回繰返して平均値を求めておく。もし体積目盛のついた容器類がないときには次のようにしてもよい。

(a') 突き固メ試験用モールド (1000 cc) の中に砂の面から 10 cm 位高くなるようにして、砂が均等な流れとなるように注意しながら落し入れる。

(b') モールドおよび砂を振動させないように注意しながら、角棒で砂の表面をならす。

(c') モールドの中の砂の重量を測り、次の例に示すように単位重量を計算する。数回の結果の平均をとる。

* 土木研究所

〔計算例〕

モールドの中の砂の重量=1,502 kg

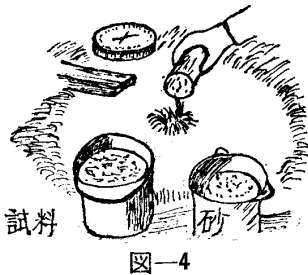
$$\text{砂の単位容積重量} = \frac{1,502}{0.001} = 1,502 \text{ kg/m}^3$$

(d) 砂を空気の漏らないような容器に入れておく。現場で使用するとき砂が完全に乾いてないと結果は一定しなくなる。

(2) あらかじめ測定した砂を用いて容積を測定する方法。

(a) スプリングバランスで砂を容器と共に測る。

(b) 図-1の器具を穴の上のせ、上の漏斗から砂を下の漏斗の上端に達するまで落とし込む。もし図-1の器具がないときは図-4に示すように漏斗や罐を使って砂の表面より10cm上から穴の中にくるく砂を入れる。(図-4)



(c) 地表に水平になるように砂をならす。このとき砂を締め固めないように注意する。余分の砂は容器にもどす。

(d) 残りの砂を容器と共に再び秤量する。

(e) 次の計算例に示すように容積を計算する。

(註) 砂を再び穴より取り出しふるい分け、洗滌して再び使用する前に乾燥する。

〔計算例〕

初めの砂の重量 12.4 kg

穴につめた後の重量 2.5 kg

穴の中の砂の重量 9.9 kg

$$\text{試料の体積} = \frac{\text{穴の中の砂の重量}}{\text{単位容積重量}}$$

$$= \frac{9.9}{1,502} = 0.0066 \text{ m}^3$$

(iv) 油による穴の容量の測定

この方法は穴をみたくに必要な油の量を測定することである。最小の器具で足り、迅速で簡単である。この方法は油を比較的浸透しないような細粒土に使用出来る。粗粒土にはギャーオイルがよい。

(1) 体積の決定

(a) 目盛装置をしたバケツなどで油の量をはかり、これを記録する。

(b) 油を元の穴の中に一杯になるまで注ぎ込んで、容器に残った油の量を計りこれを記録する。

(c) (a) と (b) の差から穴の体積が計算出来る。

3. 土の試料の乾燥重量の測定

掘りつつた土を皿に入れ、炉で乾燥する(最初は乾燥した空気中で行う)。乾燥したならばスプリングバランスで秤量する。

前記のようにして全試料を秤量することが出来なければ、その一部をとって湿った状態の試料を秤量し、含水比を求めて次のようにして乾燥重量を算出する。

〔計算例〕

湿った状態の試料の重量=12.7 kg

試料の含水比 = 7.8%

$$\text{試料の乾燥重量} = 100 \times \frac{\text{湿った状態の重量}}{100 + (\text{含水比} \%)}$$

$$= 100 \times \frac{12.7}{100 + 7.8} = 11.8 \text{ kg}$$

4. 単位体積重量の計算

乾燥単位体積重量は前に行つたように(計算例を見よ)試料の体積で乾燥重量を割れば得られる。湿った状態の単位体積重量は1m³中の水分の重量を出し、乾燥単位重量に加えればよい。

〔計算例〕

乾燥試料の重量 11.8 kg

試料の穴の体積 0.0066 m

含水比 7.8%

$$\text{乾燥単位体積重量} = \frac{\text{乾燥試料重量}}{\text{試料の体積}}$$

$$= \frac{11.8}{0.0066} = 1,788 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1,788 \text{ ton/m}^3$$

採取する前の状態の1m³の試料中の含有水

$$= \frac{(\text{含水比}(\%)) \times (\text{乾燥単位体積重量})}{100}$$

$$= \frac{7.8 \times 1,788}{100} = 139.5 \text{ kg}$$

湿った状態の単位体積重量

$$= (\text{乾燥単位容積重量}) + (\text{含有水})$$

$$= 1,788 + 139.5 = 1,927.5 \text{ kg/m}^3 = 1.9275 \text{ ton/m}^3$$

附 録

5. 自然状態土の試料体積の測定方法

自然状態土(乱されない土)の単位体積重量は体積が簡単に求められる形に試料を取り出すか、実験室に適した形にして試料の容積を測定して求める。この試料を乾燥して秤量する。

(i) 円筒による方法

(a) サンプリング・カラーのついている CBR 試験用のコンパクションモールドを用いて、自然状態の土を採取する。

直径 6'', 6'' (15.24 cm) 深さのモールドの容積

$$\dots\dots\dots 0.00278 \text{ m}^3$$

直径 6', 7 inch (17.78 cm) 深さのモールドの容積
0.00324 m³

直径 15 cm, 17.5 cm 深さのモールドの容積
0.00309 m³

(b) 湿つた状態の試料の秤量

(c) モールドより試料を出し、炉乾燥し乾燥重量を秤る。モールドからかき落した土は全部かためておく。

(註) 試料の完全な乾燥をすゝめるが、試料の乾燥重量は代表的な一部分の試料の含水量を測定し、これより計算しても求められる。

(d) 計算例にある様に 1 m³ 当りの乾燥重量を計算する。空の罐のような適当な容器の体積を測定しておけばこれを使用できる。

〔計算例〕

モールド体積 = 0.00278 m³

(湿潤状態の土の重量) + (モールドの重量)
 = 9.07 kg

モールドの重量 = 3.58 kg

試料の重量 = 5.49 kg

試料の乾燥重量 = 4.54 kg

$$\text{乾燥土の単位容積重量} = \frac{\text{乾燥重量}}{\text{体積}}$$

$$= \frac{4.54}{0.00278} = 1,633 \text{ kg/m}^3 = 1.633 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{湿つた状態の単位体積重量} = \frac{\text{湿つた状態の重量}}{\text{容積}}$$

$$= \frac{5.49}{0.00278} = 1,975 \text{ kg/m}^3 = 1.975 \text{ ton/m}^3$$

(ii) 整形試料による方法

この方法は任意の形に容易に整形出来る細粒土にのみ使用出来る。

(a) ワイヤソーを用いて箱形に自然状態の土を整形する。(図-5)

(b) 寸法を測定し記ワイヤソー
 録して、試料容積を計算
 マイダ箱
 する。若し湿つた状態の
 単位体積重量や含水量が
 必要なときには、湿つた
 状態の試料の重量を秤る。

(c) 試料を炉乾燥し、
 再び重量を秤る。

(d) 計算例の如く単位体積重量を計算する。

〔計算例〕

試料の巾10 cm 試料の長さ.....10 cm

試料の高さ.....15 cm

$$\text{試料の体積} = (\text{巾}) \times (\text{長}) \times (\text{高}) = 10 \times 10 \times 15$$

$$= 1500 \text{ cm}^3 = 0.0015 \text{ m}^3$$

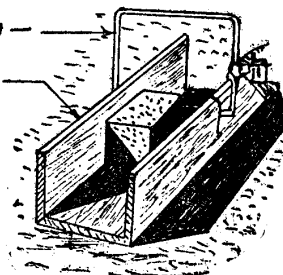


図-5

湿つた状態の試料の重量.....2,497 kgr

乾燥状態の試料の重量.....2,270 kgr

$$\text{乾燥単位体積重量} = \frac{\text{乾燥重量}}{\text{体積}}$$

$$= \frac{2,270}{0.0015} = 1,513 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1.513 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{湿つた状態の単位体積重量} = \frac{\text{湿潤重量}}{\text{体積}}$$

$$= \frac{2,497}{0.0015} = 1,664 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1.664 \text{ ton/m}^3$$

(iii) 塊状試料による方法

この方法は前に述べた方法より時間を要するが、不規則な形の塊状試料の単位容積重量が必要なときおよび規則正しい寸法に整形することが出来ない試料の試験に用

いられる。

(a) 不規則な表面をある程度整へ、熔融パラフィンに浸すかまたは刷毛で塗つて試料にパラフィンをかぶせる。(図-6)

(b) パラフィンを塗つた試料の見掛けの比重を測定する。

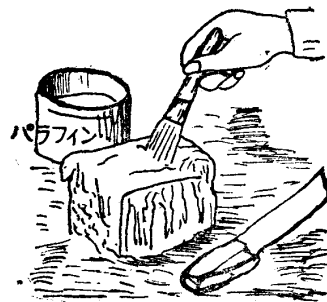


図-6

(c) 試料よりパラフィンを取り去り又土が若干付いているパラフィンもはいで、水の入っている鍋の中に入れ全パラフィンが融けるまで煮沸する。

(d) 湯が冷却したとき水の表面に塵を含まないパラフィンが固まる。これを取つて秤量する。(図-7)

(e) パラフィンを取り去つた後、鍋の中に残つている水と共に試料を炉乾燥し秤量する。



図-7

(f) 次の計算例に示すように 1 m³ 当りの乾燥重量を計算する。

〔計算例〕

パラフィンを塗つた試料重量 = 2,048 gr

パラフィンを塗つた場合の見掛け比重 = 1.55

パラフィンを塗つた試料の体積

$$= \frac{\text{パラフィン塗りの試料重量}}{\text{水の単位体積重量} \times \text{比重}} = \frac{2,048}{1 \times 1.55}$$

$$= 1,321 \text{ cm}^3$$

パラフィンの重量..... 83 gr

試料の湿潤状態のときの重量

$$= \text{パラフィン塗りの試料の重量} - \text{パラフィン重量}$$

$$= 2,048 - 83 = 1,965 \text{ gr}$$

パラフィンの体積

$$= \frac{(\text{パラフィンの重量})(\text{gr})}{(\text{パラフィンの単位体積重量})(\text{gr/cm}^3)}$$

$$= \frac{83}{0.869} = 95.5 \text{ cm}^3$$

試料の体積

$$= (\text{パラフィンを塗った試料の容積})$$

$$- (\text{パラフィンの容積})$$

$$= 1,321 - 95.5 = 1,225.5 \text{ cm}^3$$

乾燥試料の重量 1,792 gr

$$\text{乾燥単位体積重量} = \frac{(\text{乾燥試料重量})}{(\text{試料の容積})}$$

$$= \frac{1,792}{1,225.5} = 1.463 \text{ gr/cm}^3 = 1,463 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1,463 \text{ ton/m}^3$$

湿った状態の単位体積重量

$$= \frac{(\text{湿った試料重量})}{(\text{試料の容積})}$$

$$= \frac{1,965}{1,225.5} = 1.604 \text{ gr/cm}^3 = 1,604 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1.604 \text{ ton/m}^3$$

6. 単位容積重量の現場管理

砂利混り土のコントロール・コンパクションには、5 mm 篩を通る材料の乾燥単位体積重量を求めなければならない。そしてこれを実験室の突き固め試験より求めた乾燥単位体積重量と比較する。

測定方法

- (a) 穴の容積を測定した後、5 mm 篩に残る全ての砂利を取り去り布で拭きとって乾かす。
- (b) 10 gr 単位までの秤量する。

(c) 砂利の比重を測定する。

(d) 5 mm フルイを通る材料の乾燥単位体積重量を次の計算例に示すように計算する。

〔計算例〕

細粒部分の乾燥重量	9,989 gr
最初の試料の体積	6,599 cm ³
砂利の重量	1,859 gr
砂利の比量	2.65

$$\text{砂利の体積} = \frac{(\text{砂利の重量})}{(\text{水の単位容積重量}) \times (\text{比重})}$$

$$= \frac{1,859}{1 \times 2.65} = 702 \text{ cm}^3$$

細粒部分の体積

$$= (\text{最初の試料容積}) - (\text{砂利の容積})$$

$$= 6,599 - 702 = 5,897 \text{ cm}^3$$

細粒部分の乾燥単位体積重量

$$= \frac{(\text{細粒部分の乾燥重量})}{(\text{細粒部分の容積})}$$

$$= \frac{9,987}{5,897} = 1.693 \text{ gr/ccm}^3$$

$$= 1,693 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1.693 \text{ ton/m}^3$$

7. 結び

以上の現場における単位体積重量試験は、土作業中における施工管理上、含水量試験と共に極めて重要なもので、出来れば毎日、土作業中少くとも、午前1回、午後1回、程度抜取試験を行い、計画設計の際に期待した条件を満足した仕事が行われているかどうかを確認しなければならない。この熱意なくして工事の完全を期待することは不可能である。

この問題にからんで道路協会において、土工示方書が3月末までに完成される。読者はこれも参考にされんことを希望する。

(1954, 3)

平易なる土質工学 V

最上武雄*

土圧-I

1) 土圧の問題は土質力学の最も古い課題であるが、いまだに十分な解決に至っていないものである。土圧論以外の分野に於ても重要な役割りをしている諸概念で土圧論にその源を発したものが数多い。例えば滑り面の考え方の如きものである。さて土圧論は土質力学小史に於ても述べた様に 17 世紀の仏蘭西で生れたのである。

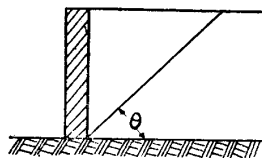


図-1

た処を目撃した事から、土は安息角 θ で壊れると考えたのである。このような経験は甚だ貴重であつて誤っている

Meyniel, Vauban 等の経験則は相当に永い間技術界を風靡していたと言う事である。彼等の書物を筆者は読んだ事がないが、彼等は土の崩壊した

* 東京大学教授