

## 6. テニスコートの土質の調査

静岡県立吉原高等学校 3年

高山稜太 外村凌大 鈴木創平 中村亮太 渡邊晴也 佐野雅斗 佐藤悠人 原田恵史郎

### 1 きっかけ

建築土木系の進路に興味を持っており学校のグラウンドやハンドボールコート、テニスコートでは、水の乾き方や、その土質などが異なっていることに気づき、今回は特にテニスコートの土質に着目し、調査していこうと考えた。

### 2 目的

3 実験①-1 自作した圧縮試験機で、塩化カルシウム、石灰を配合した土の耐久性を調べる。

#### (1)方法

##### 装置作成手順と方法

アクリル板に穴をあける。ラックの荷物を置く部分にアクリル板を設置し、開けた穴に針金を通してラックに結び付け固定する。ラックを組み立てる。

- ① 牛乳パック内の土(500mL 計量カップで杯1.5分)をビニール袋に移す。
- ② ビニール袋の中の土に、消石灰と塩化カルシウムを加えて混ぜる。
- ③ 型枠を自作した組み立て木枠の内側にセットする。
- ④ 混ぜた土を100g牛乳パックに入れ、霧吹きで水を与えた後に、つき棒で均等に突き固める。(水を加えないものは霧吹きを行わない。)
- ⑤ 十分に突き固めたら、次の土100gを入れ再び突き固める。これを8回繰り返し、合計800g 高さが7cm程度になるまで突き固める。
- ⑥ 木枠の底にたたきを押し出すための板(7cm×7cm)を当てて、ブロックを取り出す。
- ⑦ 数日野外にて放置し、乾燥させる。



実験の様子



#### (2)試験方法

- ① 完成した試料を取り出し、測定装置にのせる。
- ② 上のアクリル板を試料にのせる。
- ③ ラックの上に重りを乗せて、試料が崩れるときの荷重を調べる。

#### (3)結果

##### 土のみの実験

霧吹きで加える水の量を変化させて耐久値の測定を行った。

| 条件     | そのまま | 押すのみ | 霧吹き 7回で押す | 霧吹き 14回で押す |
|--------|------|------|-----------|------------|
| 耐久値(g) | ×    | ×    | 1713 g    | 868 g      |

##### 塩化カルシウムを加えた実験

| 条件     | 押さない         |     | 押す     |       |             |
|--------|--------------|-----|--------|-------|-------------|
|        | 上にかける        | 混ぜる | 上にかける  | 混ぜる   | 混ぜる         |
|        | 塩化カルシウム 7.3g |     |        |       | 塩化カルシウム 22g |
| 耐久値(g) | ×            | ×   | 2417 g | 700 g | 3532 g      |

#### (4)考察

結果より、土を押すことで耐久度が高まるということが考えられる。よって、塩化カルシウムの量が多いほど土は固くなると考えられる。塩化カルシウムを加えたとき、上にかけて押した場合と、混ぜて押した場合では、混ぜた場合に強度が弱くなってしまったことが分かった。これは、塩化カルシウムの性質である潮解性によって空気中の水分を吸収することで、土の耐久度が弱くなることが原因であると考えられる。場所によって土の色や質が違うことに気づいた。様々な地点で観察した結果、テニスコートには、「上の層の土」と「下の層の土」の2種類が存在していることが分かった。そこでこの両者の違いについて詳しく調べることにする。

#### 実験①-2 塩化カルシウム、石灰による上下層の強度変化

##### (1)方法

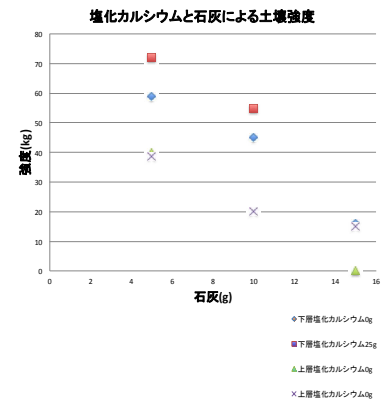
作製する種類によって塩化カルシウム、石灰を入れる分量を変える。

##### (2)結果

自作した装置を用いてブロックの耐久度を測定する。

##### (3)考察

同一条件で上層の土と下層の土を比較してみた時、すべての条件において下層土の方が、強度の高い土壌を作るのに適していると考えられる。さらに、石灰を多く混ぜてしまうと耐久値が減少してしまうことがわかる。また、塩化カルシウムを多く混ぜると耐久値が高くなることがわかった。



#### 4 実験② 山中式試験器による試料の強度の測定

施工技術総合研究所に依頼し、より詳細に硬度が測定できる山中式の土壤硬度計をお借りした。

##### 測定操作法

- ① 測定する地面を平滑に削り「ツバ」が断面に完全に接触するまで円錐部を土壤面に垂直に圧入しその後、静かに抜き取る。
- ② 硬度指数目盛の値をもとに、バネの縮長を計算式に代入して計算し、記録する。
- ③ 汚れによる摩擦によって測定値が変わらないように注意しながら3回測定を行う。

自作した容器



土質調査



##### 実験②-1 大まかな強度測定

###### (1)試料作製手順

- ① 容器に荒木田土(粒子)と砂の比率が1:1のものと、1:0の物を作る(水は各100g)
- ② 乾燥機に入れる前の質量を測定する。
- ③ 乾燥機に入れ、48時間乾燥させる。(乾燥機内は40℃で一定温度にする。)
- ④ 乾燥機から取り出して、質量を測定する。
- ⑤ 山中式試験器で3回測定を行う。
- ⑥ 測定結果の平均値を公式に入れ、強度を計算する。

乾燥機



**(2) 実験結果**

以下の表に示すような値となった。

(測定前の質量) - (測定後の質量) = 蒸発量

$$P = \frac{100x}{0.7952(40 - x)^2}$$

| 強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 1:1   | 1:0   |
|--------------------------|-------|-------|
| 土の比率                     | 10    | 5     |
| 土                        | 223.3 | 423.4 |
| 砂                        | 223.3 | 0.0   |
| 水                        | 63.8  | 60.5  |
| はじめ重さ                    | 510.4 | 483.9 |
| 実験前重さ                    | 479.2 | 461.5 |
| 蒸発量                      | 31.2  | 22.4  |
| 1st                      | 9.0   | 28.5  |
| 2nd                      | 12.0  | 29.0  |
| 3rd                      | 12.0  | 28.5  |
| ave                      | 11.0  | 28.7  |
|                          | 1.64  | 28.07 |

**(3) 考察**

砂と土を混合させた試料 B の耐久度が低くなっているため荒木田土の割合が多いほうがより強固な土を作製することができると考えられる。

砂の割合で耐久度が変化する可能性があることが考えられるので、さらに詳細な配合比で同様の実験をし、もっとも強固な土となる配合比を見つけることにする。

なお、テニスコートの砂は均質ではないので、次の実験からはサンシンズカラーサンドショップ社の 0.2mm 砂 (石英) を砂として用いることにした。

**実験②-2 砂と土の配合率の違いによる強度**

試験的な実験での考察を活かし、砂の割合を細かく変化させて実験を行うことにする。

**(1)方法**

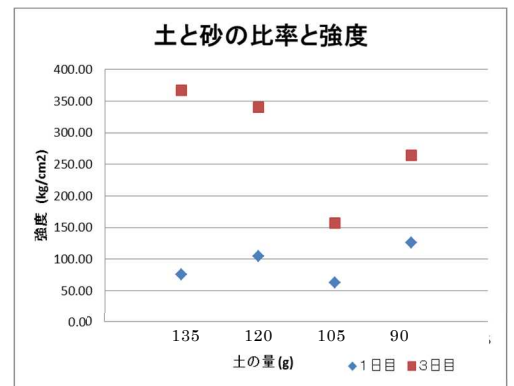
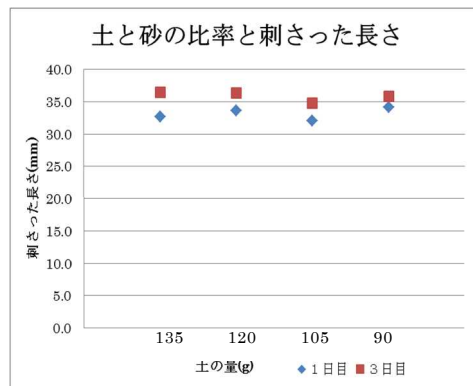
- ① プラスチックの容器に荒木田土と砂 (サンシンズカラーサンドショップ社の 0.2mm 砂) の比率が 9:1,8:2,7:3,6:4 のものを作る。
- ② これに水を 7.5g 加えて混ぜ、その後塩ビパイプに圧力を均等にかけて詰める。
- ③ 乾燥機に入れ、乾燥させた後、山中式で 3 回測定を行う。

**(2)結果**

右のグラフに示した。

**(3)考察**

2 4 時間乾燥では、乾燥時間が不十分であったため、測定結果が低くなってしまったと考えられる。刺さった長さに大きく変化が見られなかったため、さらに比率を大きく変化させて実験を行っていくことにする。



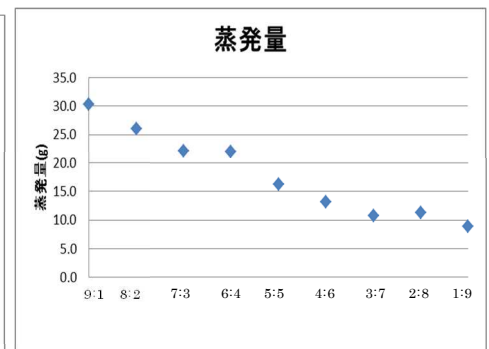
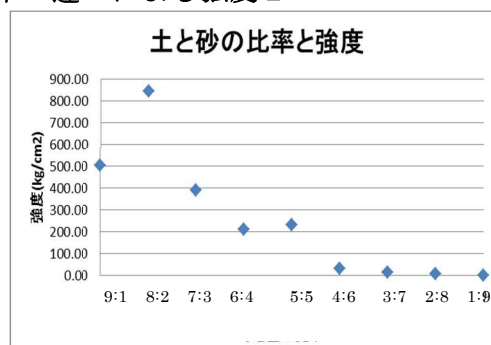
**実験②-3 砂と土の配合率の違いによる強度 2**

**(1)方法**

第 3 回実験と同様に土と砂の比を変えて実験を行う。

**(2)考察**

山中式を利用し強度を調べると 8:2 の値が大きくずれている



ことがわかる。これは高い強度のときは、わずかな長さの変化で強度の値が大きく変化してしまうため、測定時の読み取りの誤差が関係していると考えられる。

この実験で蒸発量は土と砂の比率によって異なり、土を多くして砂を少なくするほど蒸発量が多くなることがわかった。

このように砂の比率を高くすると蒸発量が増加することから砂の比率は水はけなどにも関係してくると考えた。

### 実験②全体の考察

土と砂の比率を変えることによって強度が変わってくる、砂の比率が高いほど強度が低くなることが分かった。また、長い時間乾燥させるほど強度が強くなることがわかった、よって水分量が少ないほど強度が高くなることが分かった。

土と砂を混ぜる際の水の量を変えることによって強度が変わってくることもわかった。

土の比率が多くなるほど蒸発量が増加しているのので、土と砂の比率によって水はけが関係すると考えた。土と砂の比率、蒸発量、強度は比例関係があると考えられる。

取り出した土



## 5 実験③ 自作装置による透水係数の計測

### 透水係数の原理

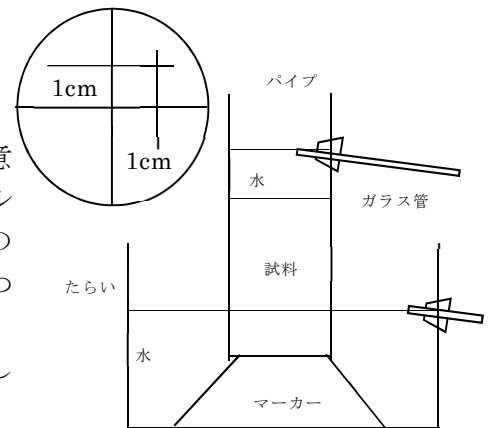
透水係数は試料土の中を水が移動する速さを表した数値である。透水係数は、各土質により異なり、主に土の粒子の大きさで変化し、土の粒の大きさが大きく、揃っている方が大きい。逆に粒の大きさが小さく揃っていない方が小さくなる。

| 透水係数 | $10^1$ | $10^0$ | $10^{-1}$ | $10^{-2}$ | $10^{-3}$ | $10^{-4}$ | $10^{-5}$ | $10^{-6}$ | $10^{-7}$ |
|------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 土質名  | レ      | キ      | 砂・細砂      | シルト質砂     | シルト       | 粘土        |           |           |           |

参考文献:よくわかる土質力学例題集、工学出版(株)、昭和54年、p54

### 装置の作製手順

- ① パイプに2カ所、たらいに1カ所の穴をあける
- ② 開けた穴にガラス管を入れたゴム栓で蓋をする。
- ③ パイプに作成した蓋を取り付けるパイプの蓋は2つ用意し、差し金を用いて、1cm 間隔で格子状に線を引きドリルを用いて、1つに1.5mm,もう1つに1.0mm の穴を格子の交点に穴をあける。1.0mm,1.2mm,1.5mm それぞれについて作成する。
- ④ たらいに水を入れ、マーカータらいの中に入れ、蓋をしたパイプをマーカータらいの上に設置する。



### (1)実験方法

- ① パイプに、テニスコートの土を入れ、水道からパイプへ水を入れる。この時、砂と砂の間の空気が抜けるので抜けきるまでしばらく水を加える。
- ② パイプの水位とたらいの水位が安定し、たらいのガラス管から一定量の水が出ていることを確認したら実験を開始する。
- ③ メスフラスコでたらいのガラス管から出てくる水を30秒間計り取る。この作業を繰り返し数値が安定しているところを測定結果を行う

実験のようす



公式

$$k = \frac{QL}{tAh} \quad k : \text{透水係数} \quad Q : t \text{ 秒間の透水水量}$$

$L$  : 試料の高さ  $A$  : 試料の断面積  $h$  : 上下両水槽の水位差

## (2)結果

透水係数計算に必要なデータを測定し以下に示す。

$H_p$  : 1.8cm     $H_m$  : 5.58cm     $H_T$  : 7.2cm

$L_p$  : 22.5cm     $L$  : 7.5cm     $r$  : 4.15cm

$A$  : 54.07cm<sup>2</sup>

これより穴の大きさを変化させたときの透水係数を求めていく。

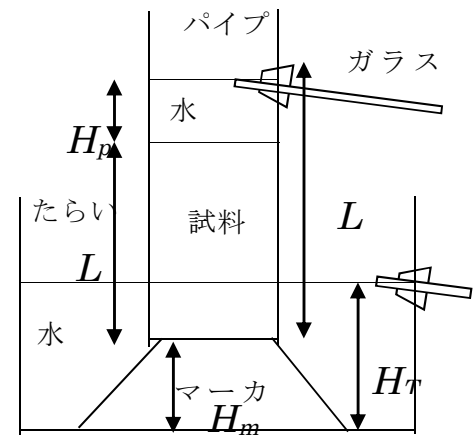
(1) 穴の大きさ 1.0mm のとき失敗

(2) 穴の大きさ 1.2mm のとき透水係数は、 $k_2 = 0.00572055$

(3) 穴の大きさ 1.5mm のとき透水係数は、 $k_3 = 0.0079332$

(4) 穴の大きさ 1.5mm (2回目) 透水係数は、 $k_4 = 0.00776186$

(5) 穴の大きさ 1.5mm 穴の数が2倍のとき透水係数は、 $k_5 = 0.00800633$



## (3)考察

1.0mm では砂が穴に詰まってしまい水がパイプから抜けなかった。ある程度の大きさの穴を開ければ装置として成り立たないことがわかる。1.5mm の穴の数を変えて実験を行ったが、透水係数に大きな変化はみられなかったため、土本来の透水係数が測定できていると考えられる。透水係数の値は、原理のなかで砂、細砂、シルトの値となった。これはテニスコートの上の土の性質と一致していることがわかる。

## 5 全体考察

今回の実験では砂と塩化カルシウムと石灰を加えた試料を作製することができず、すべて加えた試料での実験を行うことができなかった。そこで、今回の研究結果を元に各試料の比率と強度について実験し、もっとも強度の高い比率を求めていきたい。また作製した試料の強度を正確に測るため自作の圧縮試験機を正確かつ強い圧力をかけられるように改良したい。また試料を正確な円柱状にするための装置も作製していきたい。また荷重をかける時間にも関係するようなので装置の改善に努めたい。

透水性の実験では定水位透水試験器を使用した方法のみで行ったためテニスコートの上層の土のみの測定となった。試料の高さや装置の穴の数を大きく変化させることができなかったため、それらを変化させて正確に測定できるかたしかめていきたい。また、測定方法には変水位試験器を使用するものがあり、その方法を使用することでテニスコートや荒木田の透水係数を測定できる可能性がある。それを検証するために試験器を作製し、上層の土と2つを比較するとともに作製した試料の透水係数も測定したい。

## 6 謝辞

今回、多くの実験ができたのは研究費という形で支えて下さった山崎財団のご協力があったからだと思っております。また、施工技術総合研究所にも様々な面で協力していただきました。施設で拝見させて頂いた圧縮試験機を模して装置の作成をさせていただいたり、山中式の土壌硬度計の実験装置を快く貸していただいたりしました。この場をお借りしてお礼申し上げます。本当にありがとうございました。