

# 力触覚技術を用いた粘性土判定における研究

株式会社サムシング ○西堀義行  
慶應義塾大学 浅井 洋、大西公平

## 1. はじめに

ボーリング調査による土質判定は、目視及び手触り感により土質観察から人の判断により土質区分を判定している。礫と砂の粒径は目視で判別できるが、シルトと粘土の粒径は細かいため、目視では判別がむずかしい。そのため、シルトと粘土の細区分は、表-1 より粘り気の感触と砂分の混入状態から判別されている。

表-1 シルトの粘土の細区分<sup>1)</sup>

|     |        |     |   |
|-----|--------|-----|---|
| シルト | 砂質シルト  | 粘り気 | 弱 |
|     | シルト    |     |   |
| 粘土  | 粘土質シルト | 粘り気 | 強 |
|     | 砂質粘土   |     |   |
|     | シルト質粘土 |     |   |
|     | 粘土     |     |   |

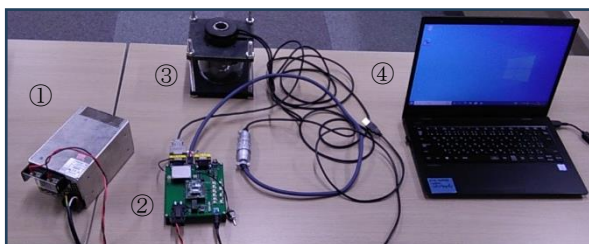
実際のところは正しく判別できているか不透明であり、判定者によるばらつきが生じていた。

今後はさらに超高齢化社会より、高齢者の大量離職が見込まれている。技術者も含めて生産労働人口が減少するため、建設分野の発展・維持には一人当たりの生産性向上を図る必要がある。人とかわる取組みとして、ロボットやAI等を用いて、人の判断を支援する必要性が高まっている。技術継承より、暗黙知をより形式知化にしていくことで、技術の自動化・自律化を実現させ、品質向上を図っていくことが今後一層求められている。

力触覚（以下、リアルハプティクスと称す）技術は、接触対象の感覚を力制御・力計測ができる力触覚伝送技術である。人が手触り感で実施していることを、リアルハプティクス技術を用いて標準化する装置開発を目的とした。リアルハプティクス技術は感触の数値化ができるため、粘り気の状態を計測して土質判定の精度評価について実験的研究を実施した。

## 2. 実験装置の全体回路

③に粘性土サンプルを入れて、開発した実験装置にセットする。①・②・④を配線により接続して計測を実施した。（写真-1）



- ①電源
- ②汎用制御基板にABCコアを装着
- ③土砂攪拌装置（ダイレクトドライブモータを天端に装着）
- ④PC（専用ソフトにてUSBメモリ内のアプリを使用）

写真-1 実験装置一式

## 3. 土砂攪拌装置の構造

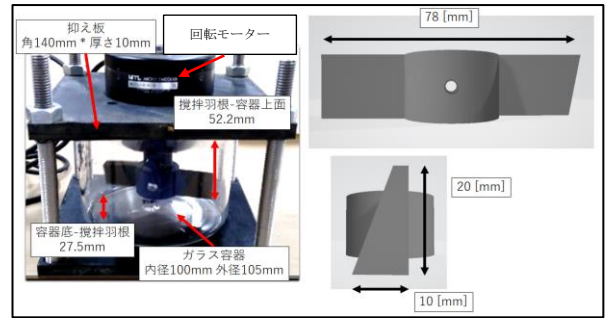


写真-2 土砂攪拌装置と攪拌羽根の寸法

土砂攪拌装置と攪拌羽根の形状・寸法を示す。（写真-2）回転部の攪拌羽根は、接続されたマイクロテック・ラボラトリー社製MDH-7018回転モーター（定格トルク1.0Nm, 定格回転速度200rpm）で制御され、一定速度で回転させた際のトルク値について0.01秒ごとにABCコアで計測する構造となっている。

## 4. 実験用の粘性土サンプルについて

実験で用いた粘性土サンプルは、塑性状（ネバネバ状態）にするため、徐々に加水させて手で練り混ぜを行い、含水を調整した。実験は準備できた粘性土サンプルの47サンプルについて実施した。

## 5. 実験方法

- ① 団子状にした粘性土サンプルを2つ用意し、ガラス容器（直径95mm・高さ78mm）の真ん中を空けた上下部に設置する。団子の大きさは高さを目安とし、攪拌羽根の天端までとする。それ以上大きな団子状は、土の量を減らすか手で変形をさせる。（写真-3左図）
- ② 粘性土サンプルと重ならないように、攪拌羽根と粘性土サンプルが十字になるようにあわせ、4角のボルトを通してガラス容器に被せる。（写真-3右図）



写真-3 粘性土サンプルの設置状態

- ③ 4隅のボルトをナットで止めて固定する。
- ④ PCで専用ソフトを操作し、0.5rps（1秒間に半回転）で回転制御させて計測する。
- ⑤ 1分間以上計測し、回転を停止させる。
- ⑥ 土砂攪拌部をガラス容器天端からはずし、土の状態

を確認する。問題ないきれいに攪拌できた状態が左写真、攪拌羽根に粘り着き離れず供回り現象を発生させた状態が右写真と判定した。右写真の場合はデータは棄却した。(写真-4)



写真-4 攪拌後の土の状態

## 6. データ解析方法

代表的な波形グラフとして、時間とトルク値(左図)、時間と回転速度(右図)のグラフを示す。(図-1)

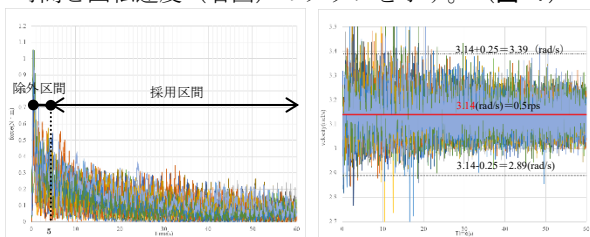


図-1 代表的なグラフ

時間とトルク値の波形グラフは、0~5秒間まではトルク値が大きくなる。0~5秒間は土圧(団子状の粘性土サンプルの重量)の影響が大きいことによる計測値の上昇であるため除外した。5~60秒間は徐々に下降またはほぼ水平に推移しており、土圧はなく触っている感触として5~60秒間区間を採用した。1サンプル25回計測を実施したが、トルク値が異常に上がり続けて収束しない波形グラフや途中から急にトルク値が上がりはじめる波形グラフについても除外した。

回転速度の波形グラフは、3.14(=0.5rps)にあわせて制御されている。正しく計測されたデータは±0.25(2.89~3.39)の範囲に概ね収まっていることがデータ分析よりわかった。これ以上で収まってない場合は、土が攪拌羽根に粘り着き離れず供回り現象とし除外した。そのため、47サンプルの内、2サンプルは除外した。

## 7. 粒度分布との比較の条件

### ①試験データ

- ・1試料で25回・47試料実施。
- ・抽出時間：5~60秒
- ・トルク値・回転速度数：1回5500データ

### ②仮定条件

47波形グラフの比較により、砂分の混在が多くなるとトルク値が小さくなる傾向がある。これより、細粒分含有率( $F_c$ )%は、1回のトルク値の平均値との関係性があると仮定した。

47データより、1回のトルク値の標準偏差( $\sigma$ )は、土質試験の粒度分布と比較すると粘土分が多いと大きくなり、シルト分が多いと小さくなる傾向がある。したがって、礫分と砂分の影響を数値上除外するため、細粒分含

有率( $F_c$ )%から粘土分とシルト分のトルク値の標準偏差( $\sigma_{(M+C)}$ )を均等割で求めることを仮定した。トルク値の標準偏差( $\sigma$ )は不偏分散から求め、95%信頼区間を採用し $2\sigma$ を用いた。

$$\sigma_{(M)} = \sigma_{(M+C)} C / F_c \quad \dots \text{式-1}$$

$$\sigma_{(C)} = \sigma_{(M+C)} M / F_c \quad \dots \text{式-2}$$

ここで、 $\sigma_{(M)}$ ：粘土分のトルク値の標準偏差均等割

$\sigma_{(C)}$ ：シルト分のトルク値の標準偏差均等割

$$\sigma_{(M+C)} : 2\sigma F_c / 100 \quad \dots \text{式-3}$$

$\sigma$ ：トルク値の標準偏差

$C$ ：粘土分の含有率(土の粒度試験より)

$M$ ：シルト分の含有率(土の粒度試験より)

$F_c$ ：細粒分含有率(土の粒度試験より)

## 8. 比較結果

### ①細粒分含有率とトルク値の関係(図-2)

1データにおけるばらつきがあるが、80%~100%までは相関性している。

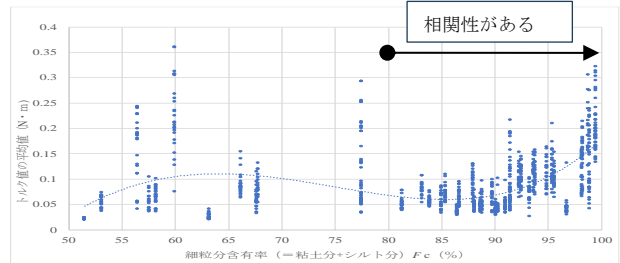


図-2 細粒分含有率とトルク値の平均値の関係

### ②粘土分とシルト分の均等含有率とトルク値の標準偏差均等割による関係(図-3)

粘土分とシルト分ともにばらつきが大きく、相関性はあるかは不明瞭である。ただし、粘土分よりシルト分のばらつきが小さいため、シルト分から求めることより、粘土分を求めることができる可能性があると考えられる。

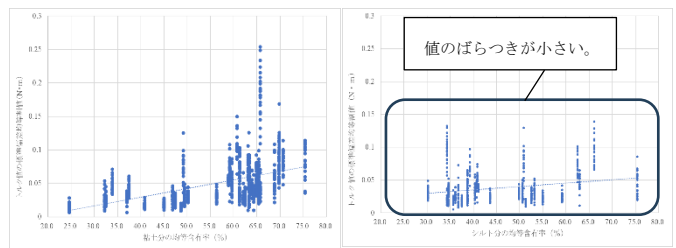


図-3 粘土分(左図)とシルト分(右図)の均等含有率とトルク値の標準偏差均等割の関係

## 9. まとめ

47サンプルの内、採用できたのが45サンプルである。結果としてサンプル数がまだ足りない。しかし、細粒分含有率80~100%の相関性とシルト分の均等含有率のばらつきが小さいことから、リアルハプティクス技術による土砂攪拌装置において粘性土判定の可能性があることが本研究よりわかった。

## 《引用・参考文献》

- 1) ボーリング野帳記入マニュアル【土質編】 第2版(2000)：社団法人全国地質調査業協会連合会：, pp. 42.