

土質標本瓶を介した帯磁率測定の有効性

株式会社レアックス      ○加藤 欣也、石井 啓滋、大山 朝之、向井 和行

1. はじめに

携帯型帯磁率計は、地盤の磁性鉱物の多寡やその変化傾向を容易に把握できるツールであり、ボーリング試料への適用も可能である。土質ボーリング試料を測定する際、コア箱に収納された状態では金具等による測定値への影響が懸念されるため、コア箱から試料を取り出して測定することが望ましいが、試料数が多い場合は著しい時間を要する。標本瓶を直接測定する方法が作業効率の面で有効と考えられるが、各試料状態の差異（①充填具合、②含水状態）が測定値に影響する懸念がある。

そこで本報告では、標本瓶を用いた帯磁率測定の実用上の有効性を検証するため、『標本瓶試料』と、各試料状態の差異が小さくなるようにした『調整試料』のそれぞれの帯磁率を比較し、条件の差異による帯磁率の影響を評価した。

2. 使用機器

測定計器は Terraplus 社製 KT-10 v2 を使用した。測定範囲は  $0.001 \times 10^{-3} \text{SI} \sim 2 \text{SI}$ 、センサーの透過深度は約 4cm であり、センサーから深さ 2cm までに測定値の約 90% を取得する<sup>1)</sup>。なお、測定面は各容器の平坦面である底面とし（写真-1）、10 回測定の実測値を測定値とした。

3. 標本瓶試料と調整試料の相関

(1) 測定試料

測定試料は第四紀の堆積物を対象としたボーリング孔の標準貫入試験試料およびカッティングス試料の合計 548 試料、土質は礫質土、砂質土、粘性土、火山灰質土、有機質土である。

(2) 検証方法

標本瓶試料と調整試料の帯磁率が同様の傾向を示すか検証するため、以下の 2 種類の容器を用いて帯磁率を比較した。

① 標本瓶試料

- ・容器：標本瓶（直径約 4cm、高さ約 8cm、容積約 100ml）
- ・試料：掘進作業中に試料を標本瓶に収めた状態。各試料の充填具合と含水状態にばらつきがある。

② 調整試料

- ・容器：カップ容器（直径約 3cm、高さ約 2cm、容積約 17ml）
- ・試料：標本瓶試料と同一の試料を恒温槽の温度設定 50℃ で 1 日乾燥させた後、カップ容器に満杯に充填した状態。各試料の充填具合と含水比の差異は小さい。なお、調整試料を標本瓶に詰め替えると、試料の厚みは約 1.4cm に相当する。



写真-1 測定状況（左：標本瓶試料、右：調整試料）

(3) 検証結果

図-1 に標本瓶試料と調整試料による帯磁率の散布図、表-1 に各土質の帯磁率の統計処理結果一覧表を示す。

標本瓶試料の帯磁率の範囲は  $0.024 \times 10^{-3} \text{SI} \sim 8.31 \times 10^{-3} \text{SI}$ 、平均値は  $1.85 \times 10^{-3} \text{SI}$  であるのに対し、調整試料の範囲は  $0.006 \times 10^{-3} \text{SI} \sim 8.70 \times 10^{-3} \text{SI}$ 、平均値は  $1.49 \times 10^{-3} \text{SI}$  である。全ての土質において、平均値は調整試料が標本瓶試料より低く、全体の相関式は  $y = 0.75x$  を示す。

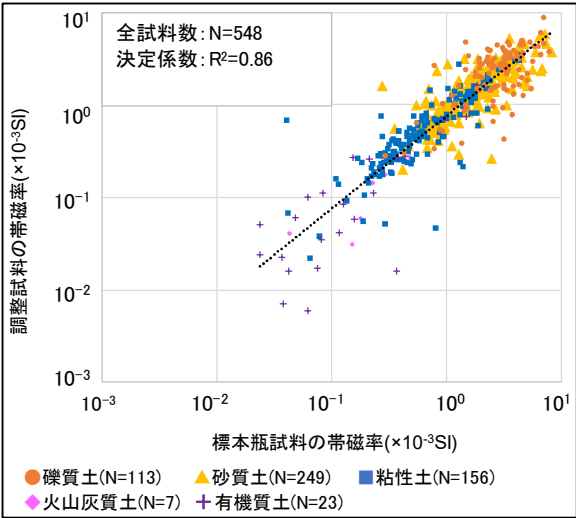


図-1 標本瓶試料と調整試料による帯磁率の散布図

表-1 各土質の帯磁率の統計処理結果一覧表

| 土質区分  | 試料    | 測定数 | 帯磁率(測定値)( $10^{-3} \text{SI}$ ) |      |       |       | 相関式(決定係数)<br>y: 調整試料<br>x: 標本瓶試料 |
|-------|-------|-----|---------------------------------|------|-------|-------|----------------------------------|
|       |       |     | 最小値                             | 最大値  | 平均値   | 標準偏差  |                                  |
| 礫質土   | 調整試料  | 113 | 0.278                           | 8.70 | 2.64  | 1.41  | $y = 0.78x$<br>( $R^2 = 0.84$ )  |
|       | 標本瓶試料 | 113 | 0.300                           | 7.97 | 3.16  | 1.53  |                                  |
| 砂質土   | 調整試料  | 249 | 0.200                           | 5.85 | 1.62  | 1.04  | $y = 0.72x$<br>( $R^2 = 0.88$ )  |
|       | 標本瓶試料 | 249 | 0.279                           | 8.31 | 2.07  | 1.41  |                                  |
| 粘性土   | 調整試料  | 156 | 0.022                           | 3.46 | 0.695 | 0.650 | $y = 0.77x$<br>( $R^2 = 0.91$ )  |
|       | 標本瓶試料 | 156 | 0.041                           | 4.50 | 0.858 | 0.810 |                                  |
| 火山灰質土 | 調整試料  | 7   | 0.031                           | 2.62 | 0.478 | 0.878 | $y = 1.06x$<br>( $R^2 = 0.98$ )  |
|       | 標本瓶試料 | 7   | 0.044                           | 2.39 | 0.539 | 0.766 |                                  |
| 有機質土  | 調整試料  | 23  | 0.006                           | 1.63 | 0.213 | 0.361 | $y = 0.70x$<br>( $R^2 = 0.92$ )  |
|       | 標本瓶試料 | 23  | 0.024                           | 1.91 | 0.313 | 0.482 |                                  |
| 合計    | 調整試料  | 548 | 0.006                           | 8.70 | 1.49  | 1.26  | $y = 0.75x$<br>( $R^2 = 0.86$ )  |
|       | 標本瓶試料 | 548 | 0.024                           | 8.31 | 1.85  | 1.54  |                                  |

(4) 考察

標本瓶試料と比較して、調整試料の帯磁率の平均値は低い傾向が認められるが、本論では両試料における帯磁率の傾向を比較するため、ここでは両試料の相関性に着目する。

両試料の決定係数は全ての土質において高く、強い相

関性が認められる。土質ごとに比較すると、礫質土の決定係数が $R^2=0.84$ であるのに対し、砂質土は $R^2=0.88$ 、粘性土は $R^2=0.91$ を示し、粒径が細かいほど高い決定係数が得られている。これは、粒径が細かいほど、標本瓶内に隙間なく試料が充填しやすく、標本瓶試料と調整試料の状態が近くなるためと考えられる。

土質に関わらず、両試料には強い相関性が認められるものの、決定係数を小さくさせる要因としては、上述した「充填具合」「含水状態」が複合的に影響していると仮定した。そこで、次にこれらの要因の影響の程度を個別に検証した。

4. 充填具合や含水状態が測定値に与える影響

(1) 測定試料

測定値の大小により影響の偏りがないことを確認するため、3章で測定した試料のうち、帯磁率が $0.001 \times 10^{-3} \text{SI}$   $\sim 10 \times 10^{-3} \text{SI}$  の試料の中から、値の大小が均等に分布するように10試料を選定した。

(2) 検証方法

a) 試料厚さの調整

センサーの透過深度内における試料の充填具合を「厚さ」に置き換えて、標本瓶試料の厚さを8~0.5cmの範囲で段階的に測定した。

b) 含水状態の調整

一般に、水は負の帯磁率を示す反磁性体であることが知られている。そこで、試料内の水分による帯磁率の影響を評価するため、標本瓶試料を用いて乾燥前と乾燥後の帯磁率を比較した。

(3) 検証結果

a) 試料厚さの変化に伴う帯磁率の推移

表-2にセンサーの透過深度にあたる試料厚さ4cmの帯磁率、図-2に試料厚さの調整に伴う帯磁率の推移を示す。

全ての試料において、試料厚さ4cmを基準とした場合、それ以上の厚さにおける帯磁率の変化はほぼ認められない。一方、試料厚を減少させた場合、厚さ2cmでは平均で90%、厚さ1cmでは平均で74%、厚さ0.5cmでは平均で41%の相対値を示す。

表-2 試料厚さ4cmのときの帯磁率

| 試料名                                   | A     | B     | C     | D     | E     |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 土質                                    | 有機質土  | 粘性土   | 粘性土   | 粘性土   | 粘性土   |
| 帯磁率<br>( $\times 10^{-3} \text{SI}$ ) | 0.008 | 0.008 | 0.017 | 0.022 | 0.067 |

| 試料名                                   | F     | G     | H    | I    | J    |
|---------------------------------------|-------|-------|------|------|------|
| 土質                                    | 粘性土   | 粘性土   | 砂質土  | 粘性土  | 砂質土  |
| 帯磁率<br>( $\times 10^{-3} \text{SI}$ ) | 0.233 | 0.440 | 1.80 | 4.41 | 9.49 |

b) 含水による帯磁率の影響

図-3のとおり、乾燥前後の帯磁率の決定係数は $R^2=1.00$ で強い相関が認められる。また、乾燥後の帯磁率は乾燥前に比べて0.6%程度の増加を示す。

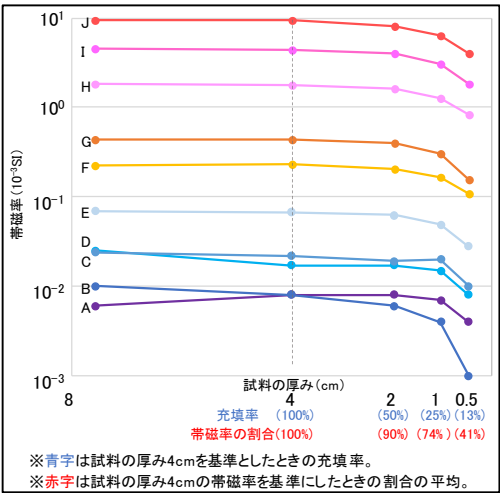


図-2 試料厚さの調整に伴う帯磁率の推移

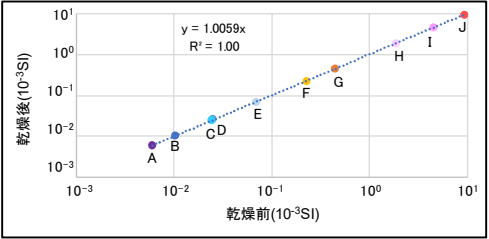


図-3 乾燥による帯磁率の変化

(4) 考察

試料厚さ1~2cmにおける帯磁率の相対値の平均が74%~90%であることは、標本瓶試料に対する調整試料（標本瓶試料に換算すると厚さ1.4cm）の帯磁率が平均約75%である測定結果と矛盾しない。また、センサーの透過深度を下回る厚さでは帯磁率の相対値が減少し、これが測定誤差の一因となる可能性があるため、標本瓶内の試料厚さは4cm以上を確保することが望ましい。

一方で、試料の乾燥前後による帯磁率の変化がほとんど認められなかったことから、含水が測定値に与える影響は非常に小さいと考えられる。

5. まとめ

標本瓶を介した帯磁率測定について、以下の点が明らかになった。

- 標本瓶試料と調整試料の帯磁率は、土質に関わらず強い相関が認められる。
- 試料間の充填具合の差異は帯磁率の精度に影響を与える。ただし、標本瓶内の試料厚さを4cm以上（半分）以上）確保した場合、影響は抑えられる。
- 試料中の含水が測定値に与える影響はほぼない。
- 以上から、標本瓶測定は試料を調整しなくとも、地盤の帯磁率を把握できる有効な手法と言える。

《引用・参考文献》

1) Terraplus Inc. (2020):KT-10 and KT-20 Frequently Asked Questions (FAQ),<https://radiationdetection.se/onewebmedia/KT-10%20and%20KT-0%20FAQ.pdf>, (2025年5月12日確認)