

グリセロールを用いた非加熱方式による土の含水比試験法について

(株) セイコー ○浦濱有奈, 馬場敏和, 黒田憲介
防衛大学校 佐野博昭
大分工業高等専門学校 高橋 徹, 姫野季之, 前 稔文

1. はじめに

地盤材料試験の 1 つに「土の含水比試験方法 (JIS A 1203:2020) ¹⁾」(以後, JIS 法と表記する)があり, 含水比は, 土の特性を評価する上で重要な指標の 1 つであることから, 全ての地盤材料試験において求められている. ここで, JIS 法によれば質量が一定になるまで炉乾燥することとなっており, 一定質量になる時間は 18~24 時間が適当とされていることから試験当日に結果を得ることができず, 試験の翌日に含水比の結果を得ることでデータの整理を行っている. このため, 地盤材料試験実施機関においては, 結果を確認あるいは整理するにあたって非効率な状態が恒常化している.

JIS 法による炉乾燥時間が長時間にわたるという問題を解消するための 1 つの方法として, 「電子レンジを用いた土の含水比試験方法 (JGS 0122-2020) ¹⁾」(以後, 電子レンジ法と表記する)が規定されており, 一定質量になるまでの加熱時間は, 試料の量, 土の種類, 含有水分量, 電子レンジの出力などによって異なるが, 加熱時間の目安として 10~20 分間が示されており, JIS 法と比べて大幅な時間の短縮を図ることができる方法となっている ¹⁾. しかしながら, 電子レンジ法を用いるにあたって, 試料内温度を測定したところ, 試料によるばらつきはあるが平均 126℃と報告されており ²⁾, これより, 炉乾燥後, ほぼ室温になるまで冷ますためにデシケーター内で所定の時間 (例えば, 30~60 分) 静置が必要となり, 合計 40~80 分間の待機時間が必要となる.

そこで, 電子レンジ法以外でできるだけ短時間で含水比を得るために加熱方式ではなく非加熱方式 (非乾燥質量法) による含水比測定法として RI 法 (ガンマ線, 中性子線) や土壌水分計法 (高周波パルス) が紹介されている ¹⁾. いずれの含水比測定法にも長所と短所があることから迅速に高精度な含水比を測定できる試験方法の開発が期待されている.

著者らは, これまでの研究により得られたグリセロールを用いた含水比測定法 ^{3),4)}を, 粗粒土や細粒土に人工材料を含んだ土質材料, さらには, 石分を含んだ地盤材料に普及させることを目指しており, 中でも比較的小規模な土木工事の 1 つである農業用ため池の築堤材料に用いられるような細粒土に対して適用することを目論んでいる. そこで, 本研究では, 試料の作製方法を改良するために加水処理を行うグリセロール法 (以後, 加水グリセロール法と称し, 加水法と略記する) を提案し, 加水法の地盤材料への適用にあたって基礎的なデータを得る

ために, 細粒土の一例として市販の木節粘土を用いて試験を行ったのでその結果について報告する.

2. グリセロールを用いた含水比試験の原理 ⁵⁾

グリセロールを用いた水分量の測定の原理 ⁵⁾としては, ある含水比状態の試料土にグリセロールを混合すると試料土中の間隙水がグリセロールに溶解して希釈され, グリセロールの屈折率が変化するため, 事前にグリセロールと水との混合割合を変えて屈折率を測定しておき (検量線の作成), 含水比を求めたい試料土とグリセロールを混合した溶液 (試料土中の間隙水+グリセロール (グリセロール水溶液)) の屈折率を測定することで試料土中に含まれている間隙水の質量を求めることができる. ここで, グリセロールや水の屈折率は温度によって異なることに留意しなければならない ^{4),5)}.

グリセロールの質量を m_g , 水の質量を m_w とするとグリセロールに対する水の質量比 R_{wg} (以後, 水の質量比と略記する) を次式(1)に定義する ⁵⁾.

$$R_{wg} = \frac{m_w}{m_g} \quad (1)$$

グリセロール水溶液の測定時の温度と屈折率がわかれば温度を考慮に入れた検量線 ⁴⁾により水の質量比 R_{wg} を求めることができ, R_{wg} がわかれば次式(2)により m_w を求めることができる.

$$m_w = R_{wg} m_g \quad (2)$$

以上の結果を基にして, 次式(3)により試料土の含水比 w_g を求めることができる.

$$w_g = \frac{m_w}{m_s} \times 100 = \frac{R_{wg} m_g}{m - R_{wg} m_g} \times 100 \quad (3)$$

本研究では, グリセロール法により求めた含水比を JIS 法 ¹⁾や電子レンジ法 ¹⁾により求めた含水比と区別するために w_g と表記し, 任意温度検量線 ⁴⁾により求めた含水比を w_{gT} と表記する. さらに, 加水法により求めた試料土の含水比を $w_{gTsoil(aw)}$ と表記する.

3. 加水法を用いた木節粘土の含水比試験

加水法の実施にあたって, まず, 試料土の炉乾燥質量 m_s を 10g とし, 試料土に加水後の懸濁液の設定含水比 w_{sus} は 100~300% の 4 種類, 水の質量比 R_{wg} は 0.5~0.9 の 4 種類とした. これらの試験条件を基にして試料土に所定量の水を加え, その後, グリセロールを添加して 5 分間攪拌を行った. 試料土と水とグリセロールの懸濁液からシリンジにより懸濁液を採取し, シリンジにフィルター (5 μ m, 0.45 μ m) を取り付け, ろ過後, グリセロール

水溶液の屈折率の測定を行った。屈折率の測定にあたっては、最長 5 分間継続して行った。なお、屈折率の測定にはポケット糖度・屈折計（(株) アタゴ製, PAL-BX/RI）1 台とポケット濃度・屈折計（(株) アタゴ製, PAL-RI）2 台の合計 3 台を用い、以後、PAL-BX/RI を屈折計 A、PAL-RI を屈折計 B、C と称する。

以下では、木節粘土の締固め曲線（ $w_{opt}=34.8\%$ 、 $\rho_{dmax}=1.240\text{Mg/m}^3$ ）を参考に、 $w_{dry}=26.4\%$ 、 $w_{opt}=34.8\%$ 、 $w_{wet}=41.9\%$ に相当する試料土の含水比を加水法により求めた $w_{gTsoil(aw)}$ について考察する。

図-1 は、加水後の懸濁液の設定含水比 $w_{sus}=100\%$ 、水の質量比 $R_{wg}=0.7$ の場合の試料土の設定含水比 w_{soil} と加水法により求めた試料土の含水比 $w_{gTsoil(aw)}$ と設定含水比 w_{soil} との差との関係を示す。図より、試料土の設定含水比 $w_{soil}=26.4\sim 41.9\%$ に対して、屈折計 A（記号○）の差は、 $-2.1\sim -2.4\%$ となっているが、屈折計 B（△）、C（□）では $-0.4\sim 0.3\%$ となっている。

図-2 は、加水後の懸濁液の設定含水比 $w_{sus}=100\%$ の場合の水の質量比 R_{wg} と加水法により求めた試料土の含水比 $w_{gTsoil(aw)}$ と設定含水比 w_{soil} との差との関係を示す。図より、 R_{wg} が $0.5\sim 0.9$ では、 $w_{gTsoil(aw)}-w_{soil}$ は $-2.4\sim 2.0\%$ となっている。また、屈折計 B と C はほぼ同じ結果となっており、水の質量比 $R_{wg}=0.7\sim 0.8$ の差が小さくなっている。

図-3 は、加水後の懸濁液の設定含水比 $w_{sus}=100\%$ 、水の質量比 $R_{wg}=0.7\sim 0.8$ の場合の試料土の設定含水比 w_{soil} と加水法により求めた試料土の含水比 $w_{gTsoil(aw)}$ との関係を示す。図より、屈折計 A（○●）の結果を除くと、誤差は 2%程度になっていることがわかる。

4. まとめ

得られた結果より、試料土への加水後の含水比 w_{sus} が 100%、水の質量比 $R_{wg}=0.7\sim 0.8$ の条件下で設定含水比との差が小さくなり、加水法の有効性を確認することができた。今後は、農業用ため池築堤材料に対して試料土の加水後の含水比の目安を 100%として検討を行う。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、各種の室内試験および結果の整理には、防衛大学校 本科 建設環境工学科卒業生・宮地吏矩氏（現・防衛省 陸上自衛隊）のご協力をいただいた。ここに、深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) (公社) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説〔第一回改訂版〕—二分冊の 1—, 「第 3 編 物理試験 第 3 章 含水比試験」, pp. 121-131, 2021.
- 2) 藤田龍之, 古川幸雄：電子レンジを利用した土の物理試験方法に関する二, 三の考察, 土質工学会論文報告集, Vol. 28, No. 4, pp. 197-202, 1988.
- 3) 佐野博昭, 森岡秀一, 川満洋, 山田幹雄, 小竹望, 前稔文, 尾形公一郎, 川原秀夫：グリセロールに対する水の溶解性に着目した廃石膏ボード由来再生石膏の含水比測定法, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol. 77, No. 2, pp. 172-184, 2021.

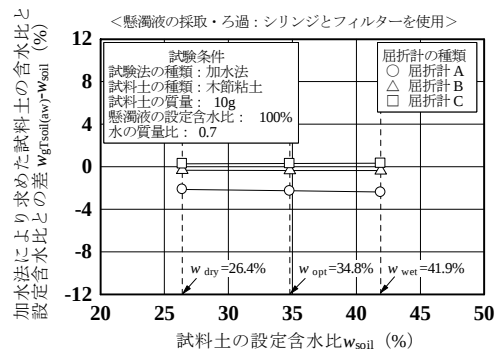


図-1 試料土の設定含水比と加水法により求めた試料土の含水比と設定含水比との差との関係（懸濁液の設定含水比 100%、水の質量比 0.7 の場合）

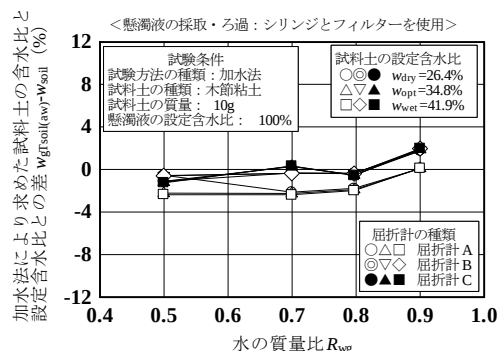


図-2 水の質量比と加水法により求めた試料土の含水比と設定含水比との差との関係（懸濁液の設定含水比 100%の場合）

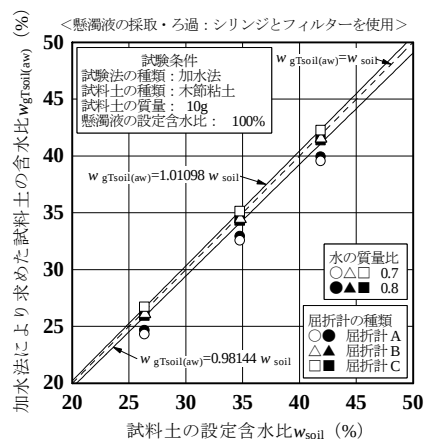


図-3 試料土の設定含水比と加水法により求めた試料土の含水比との関係（懸濁液の設定含水比 100%、水の質量比 0.7~0.8 の場合）

- 4) 佐野博昭, 宮田喜壽, 山田幹雄, 高橋徹, 姫野季之, 前稔文：グリセロール法による土の含水比測定のための温度を考慮に入れた検量線作成に関する実験的検討, 土木学会論文集, Vol. 81, No. 2, 24-00237, 2025.
- 5) Wada, S. and Kakuto, Y.: Glycerol-extraction refractometry for determination of gravimetric water content of soil samples, Communications in Soil Science and Plant Analysis, Vol. 26, Nos. 7 & 8, pp. 1315-1322, 1995.