

凍結粘性土中の不凍水量と電気比抵抗特性の関係の検討

早稲田大学	学生会員	○齋藤 祐磨
早稲田大学	正会員	小峯 秀雄
早稲田大学	フェロー会員	後藤 茂
(株)精研	正会員	上田 保司
(株)精研	正会員	大石 雅人

1. はじめに

凍結工法の品質管理において、温度管理^{1),2)}との複合的な管理方法として比抵抗トモグラフィ等の物理探査技術の適用が考えられる。比抵抗トモグラフィを利用した凍結土の品質管理を行うためには、凍結土の電気比抵抗特性の検討が肝要である。特に凍結粘性土中には、土粒子表面に不凍水が存在し、不凍水量が電気比抵抗特性に影響を及ぼす可能性があると考えられる。既往の研究³⁾から、凍結土中の不凍水量は、温度が低下するに伴い減少することが分かっている。そこで本研究では、凍結粘性土における温度変化に伴う不凍水量の変化と電気比抵抗の関係を検討するために、 $-5^{\circ}\text{C}\sim-70^{\circ}\text{C}$ の広い温度範囲において凍結粘性土供試体の電気比抵抗を測定した。

2. 使用した土質系材料と供試体作製方法

凍結粘性土の作製には藤の森粘土、凍結砂質土の作製には豊浦砂を用いた。凍結粘性土供試体の作製は、試料をスラリー状にしたものを段階的に予圧密することにより飽和土となるように行った。供試体は直径 250mm×高さ 130mm の円柱形に成型し、供試体の目標乾燥密度は $1.65 (\text{Mg}/\text{m}^3)$ に設定した。予圧密した供試体から、直径 50mm、高さ 50mm の円柱形、直径 50mm、高さ 100mm の円柱形を、それぞれ 3 本ずつ採取した。採取した供試体は、モールドに入れて側面を拘束し、底面のみを開放した断熱材を被せた。断熱材を被せた供試体の底面部に銅板を敷き、 -20°C の冷凍庫内で 24 時間凍結した。図 1 は、供試体の凍結方法の概略図である。凍結させた供試体は、モールドから脱型して、 -5°C の低温室で温度養生させた。凍結砂質土の作製は、モールドを水で満たし試料を落下させて飽和土にして、凍結粘性土と同様の凍結方法で凍結させて行った。

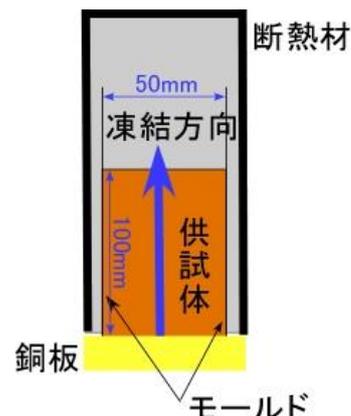


図 1 供試体凍結法の概略図

3. 実験装置および実験方法

電気比抵抗測定には、日置電機株式会社製の LCR メータ (3532-80) を用いた。今回用いた LCR メータの測定可能な電圧の周波数は $4\text{Hz}\sim 1\text{MHz}$ である。銅板電極を挟み込むプローブは、二端子のものを用いた。図 2 に、電気比抵抗測定試験の様子の概略図を示す。供試体と電極間の接触を良好にするために、電極と供試体間に網目 2.00mm の銅メッシュを挟み込み、銅板と供試体を挟む方向に荷重圧を 3000Pa かけた⁴⁾。

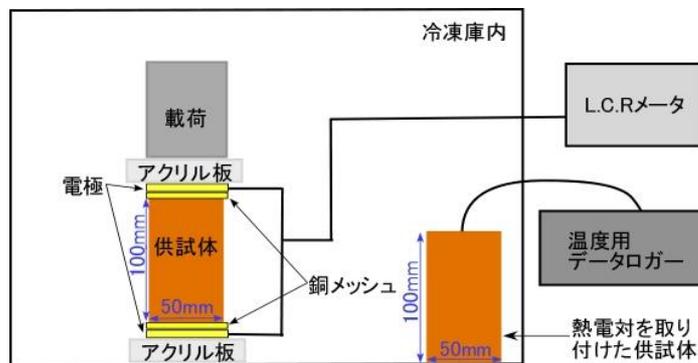


図 2 電気比抵抗測定試験の概略図

供試体の温度測定は、熱電対を取り付けた同じ寸法の温度測定用供試体の温度を測定することにより行った。熱電対は温度測定用供試体の中心部に取り付けた。供試体と温度測定用供試体は、それぞれ -5°C の低温室にて

キーワード 不凍水, 比抵抗, 凍土, 粘性土, 室内実験

24 時間温度養生させた後、同時に-70°Cの冷凍庫に移して電気比抵抗試験を行った。温度と電気比抵抗値は 1 分間隔で記録し、供試体温度が-70±0.1°Cに落ち着くまで計測を続けた。

4. 温度変化による電気比抵抗値への影響

図 3 に、凍結粘性土の 6 つのケースの電気伝導率と温度の関係を示す。CASE-1, 2, 3 が高さ 50mm, CASE-4, 5, 6 が高さ 100mm の供試体である。図 3 から、電気比抵抗値の逆数である電気伝導率は、温度が減少するに伴い、減少していることが分かる。図 4 に凍結粘性土の不凍水量と温度の関係⁵⁾を示す。電気伝導率と温度の関係は、不凍水量と温度の関係と同様な形状をしており、不凍水量と電気伝導率は相関が高いと考えられる。従って以下は、電気比抵抗の逆数である電気伝導率に着目して、不凍水量と電気比抵抗特性について検討する。

電気伝導率は電気の通しやすさを示す値である。水の電気伝導率は約 20mS/m, 氷の電気伝導率は約 300nS/m である。よって、水は凍ることで電気伝導率が大きく下がり、電気を通しにくくなることが分かる。すなわち、凍結粘性土中の不凍水が温度低下とともに凍ることで、供試体が電気を通しにくくなり、図 3 のようなデータが得られたと考えられる。図 5 に、温度低下による電気伝導率低下のメカニズム図を示す。

図 6 に凍結砂質土と凍結粘性土の電気伝導率と温度の関係の比較を示す。図 6 から、凍結砂質土と比較して凍結粘性土の電気伝導率は温度に大きく影響を受けることが分かる。凍結砂質土は、凍結粘性土と比較して、極めて不凍水量が少ないため、温度による電気伝導率の変化が小さいと考えられる。

図 3, 4 から、100mm の供試体に対し、高さ 50mm の供試体の電気伝導率が、温度に対してばらついていることが分かる。熱容量の違いによる熱流入の影響差が考えられる。

6. 結論

- 1) 凍結粘性土において、電気伝導率と温度の関係と不凍水量と温度の関係のグラフが同様の形状であることが分かった。電気伝導率の逆数である電気比抵抗を測定することにより、不凍水量の評価ができる可能性を見出した。
- 2) 凍結粘性土と比較して、凍結砂質土は電気伝導率の温度低下による影響が極めて小さい。

参考文献

- 1) 草野剛嗣, 逢坂昭治, 相馬啓, 堀井清之: 飽和含水土壌内の凍土・温度予測 - 土壌の凍結や融解現象を含む数値解析 -, 地盤工学ジャーナル Vol. 4, No. 1, pp.35-46, 2009.
- 2) 松岡啓次, 隅谷大作, 小椋浩: 地盤の凍結・解凍予測のための三次元非定常熱伝導解析, 土木学会論文集 C(地圏工学) Vol.71, No.2, pp.125-135, 2015
- 3) P.J. WILLIAMS : UNFROZEN WATER CONTENT FROZEN SOIL AND SOIL MOISTURE SUCTION, GEOTECHNIQUE Vol.14, No.3, pp.231-246, 1964
- 4) 齋藤祐磨, 小峯秀雄, 後藤茂, 上田保司, 大石雅人: 凍結土の電気比抵抗測定試験における再現性向上のための試験条件の明確化, 第51回地盤工学研究発表会 (投稿中)
- 5) 松岡啓次, 上田保司, 隅谷大作: 非定常熱解析による不凍水の熱的影響評価, 日本雪氷学会誌 雪氷 Vol.75, No.5, pp.263-273

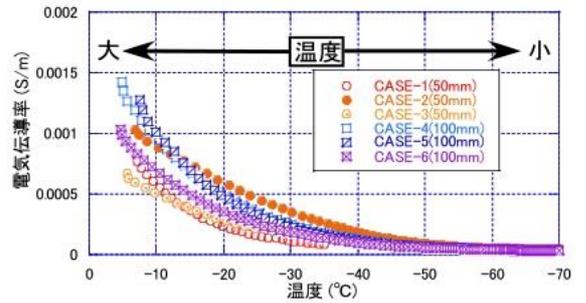


図 3 凍結粘性土の電気伝導率と温度の関係

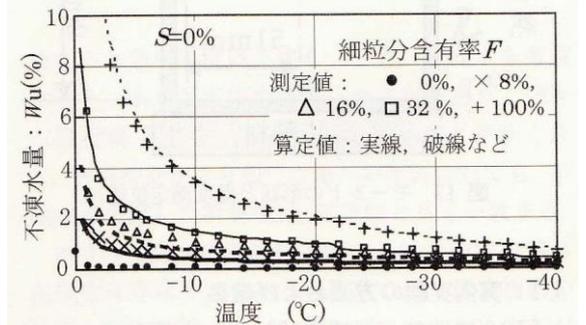


図 4 凍結粘性土の不凍水量と温度の関係⁵⁾

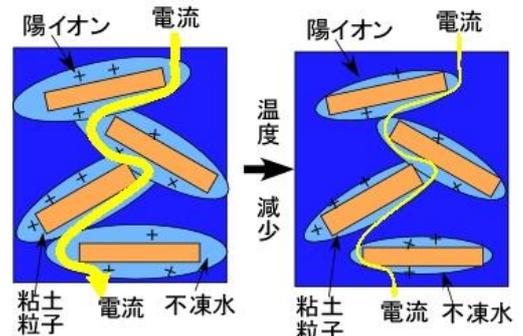


図 5 電気伝導率低下のメカニズム図

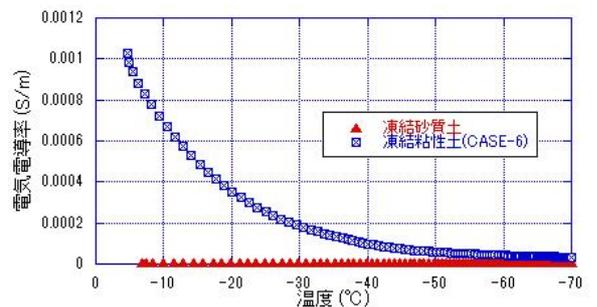


図 6 凍結砂質土と凍結粘性土の電気伝導率と温度の関係の比較