

## セメント系薬液注入により改良された地盤の 電気比抵抗特性に及ぼす粒度組成と薬液充填率の影響

茨城大学 学生会員 ○阿部聡

茨城大学 正会員 小峯秀雄 村上哲

### 1. 背景と目的

地盤支持力が低下した地盤の対策工として、セメントを用いた薬液注入工法が実施されている<sup>1)</sup>。多種多様な地盤への適用が想定されるセメント系薬液注入においては、粒度組成と薬液充填率に着目した地盤改良効果の検討が重要であり、さらに、注入により目標とする改良効果が得られていることを確認することが肝要である。薬液注入の施工管理においては、注入後の改良範囲や改良効果を適切に評価することが重要であるため、電気比抵抗から改良効果の指標となる薬液充填率を評価する方法が提案されている<sup>2)</sup>。しかし、この評価方法は飽和砂を対象とした溶液型水ガラス系薬液注入によるものであり、様々な地盤を対象とした懸濁液型セメント系薬液注入への適用性は明らかにされていない。そこで、本研究では、セメント系薬液注入により改良された地盤の電気比抵抗特性に及ぼす粒度組成と薬液充填率の影響を明らかにすることを目的とした。

### 2. 粒度組成と薬液充填率を模擬した薬液固結土供試体の作製

図1は、対象とした土質試料の粒度分布である<sup>1), 3)</sup>。JIS 0051-2009「地盤材料の工学的分類方法」<sup>4)</sup>により、各試料は、それぞれ細粒分まじり砂質礫と砂質細粒土に分類される。

原位置において、注入後の改良範囲や改良効果は、RI、弾性波探査および電気検層などにより評価される。この中でも、比抵抗トモグラフィにより注入後の改良範囲や改良効果を評価する場合、粒度組成と薬液充填率に着目したセメント系薬液注入改良土の電気比抵抗特性を把握することが重要であると考えられる。そこで、粒度組成と薬液充填率を模擬した供試体を作製するため、中礫、細礫、粗砂、中砂、細砂、シルトおよび粘土に相当する平均粒径の土質材料として、気乾状態の骨材 A(奥多摩工業製コンクリート用骨材 20-05)、骨材 B(奥多摩工業製コンクリート用骨材水洗 7 号)、三河珪砂 3 号、三河珪砂 5 号、三河珪砂 7 号(三河珪石株式会社製)、DL クレー(昭和 KDE 株式会社製)およびクレーサンド(株式会社タック製)を用いた。上記の各土質材料の土粒子の密度は JIS A 1202:2009「土粒子の密度試験方法」<sup>4)</sup>、粒度分布は JIS A 1204:2009「土の粒度試験方法」<sup>4)</sup>に準拠して測定した。図2に各土質材料の粒度分布を示す。使用した薬液はデンカ S パック(電気化学工業製、比表面積 5800cm<sup>2</sup>/g、平均粒径約 0.185μm)である<sup>1)</sup>。配合割合は現地における注入材料の条件と同一になるように、

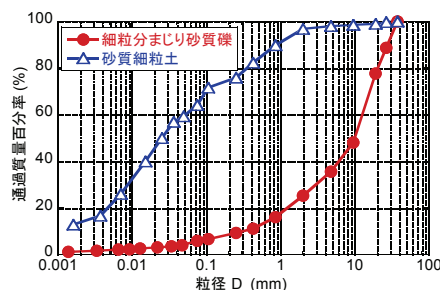


図1 対象地盤の粒度分布<sup>1), 3)</sup>

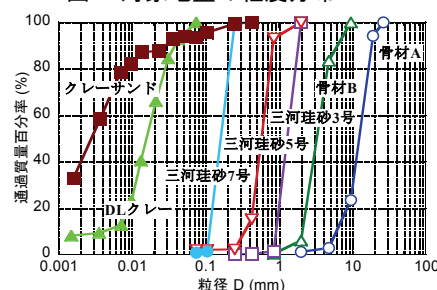


図2 各土質材料の粒度分布

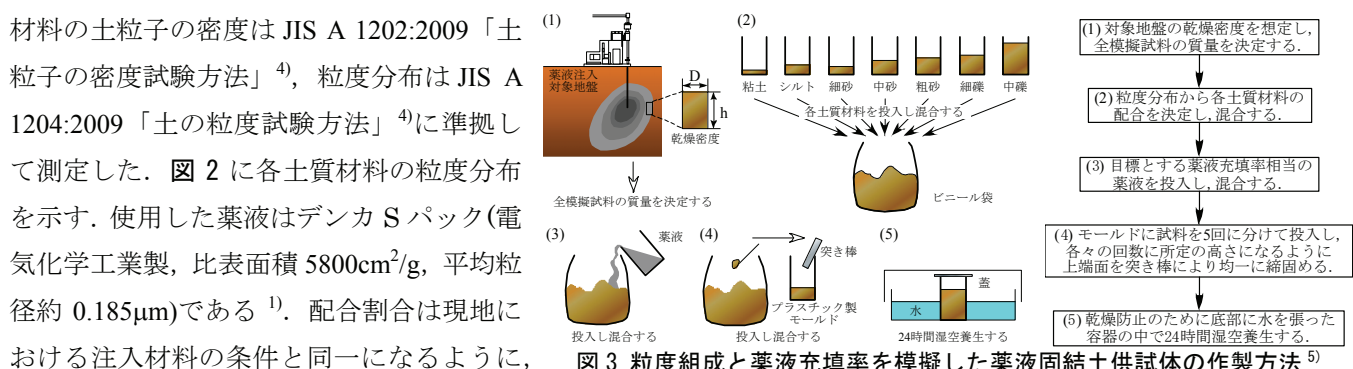


図3 粒度組成と薬液充填率を模擬した薬液固結土供試体の作製方法<sup>5)</sup>

重量比で、デンカ S パック : 水 = 100 : 964 とした<sup>1)</sup>。図3に注入対象地盤の粒度組成と薬液充填率を模擬した薬液固結土供試体の作製方法を示す<sup>5)</sup>。供試体作製時における目標の乾燥密度は、現地の乾燥密度を考慮し、細粒分まじり砂質礫においては 1.50g/cm<sup>3</sup>、砂質細粒土の場合は 1.30g/cm<sup>3</sup> とした。また、薬液充填率は次式により求めた<sup>6)</sup>。

キーワード 薬液注入, 電気比抵抗, 粒度組成, 薬液充填率

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 TEL 0294-38-5163

$$\alpha(\%) = \frac{Q(\text{cm}^3)}{V(\text{cm}^3) \times \frac{n(\%)}{100}} \times 100 \quad (1)$$

ここに、 $\alpha$ は薬液充填率(%),  $Q$ は改良対象地盤に対する注入量( $\text{cm}^3$ ),  $V$ は改良対象地盤の体積( $\text{cm}^3$ ),  $n$ は間隙率(%)

を表している。表1は各薬液充填率における供試体の飽和度である。供試体の飽和度は、多少のばらつきがあるものの、薬液充填率の増加に伴い高くなった。

### 3. 粒度組成と薬液充填率に着目した電気比抵抗の変化

電気比抵抗は、LCR メータ(日置電機株式会社製、正弦波交流電圧)により測定した。図4に電気比抵抗測定の概略図を示す。水を入れた容器の中にアクリル製の板を置き、その上に銅製の電流および電位電極と水を含ませた定性濾紙、ゴム板を配置した<sup>7)</sup>。

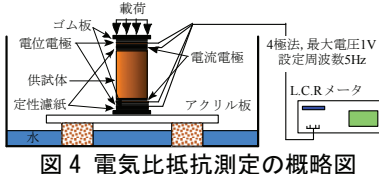


図4 電気比抵抗測定の概略図

図5に対象とした細粒分まじり砂質礫および砂質細粒土における電気比抵抗

と薬液充填率の関係を示す。細粒分まじり砂質礫の場合、薬液充填率 80% 以上において電気比抵抗は 30.3~46.2 $\Omega\text{m}$  の間で安定した。一方、砂質細粒土の場合、薬液充填率 30~60%の範囲において、電気比抵抗は 241.6~56.3 $\Omega\text{m}$  まで大きく低下し、60%以上になると 24.7~50.5 $\Omega\text{m}$  の間で比較的安定した。土粒子部分の電導率は極めて低く、供試体中を通る電流は間隙流体部分を通れる<sup>8)</sup>と考えられていることから、飽和度が高い、すなわち薬液充填率が高くなるにつれて、電気比抵抗は小さくなったと考えられる。

また、細粒分まじり砂質礫は、薬液充填率 40%以上において、飽和度 38%の現地採取試料を用いた小早川らの測定結果<sup>1)</sup>と同程度の値を示した。これより、注入前の地盤の飽和度が 38%以下の場合、今回対象とした細粒分まじり砂質礫の電気比抵抗特性は、薬液充填率 40%以上において飽和度に依存しないと考えられる。

セメントペーストは水和化学反応により、時間の経過と共に  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  などの大型結晶を含む水和物ゲルを形成することから、電気力線は水和物ゲルを通過すると考えられる。図6に粒度組成と薬液充填率に着目した電気比抵抗の変化のメカニズム推察図を示す。固結土の電気比抵抗特性は薬液ゲルの連続性に影響されると考えられている<sup>2)</sup>。細粒分まじり砂質礫の電気比抵抗は、薬液充填率の増加に伴い緩やかに低下したことから、礫の粒界にセメント粒子が付着していると考えられる。一方、砂質細粒土の電気比抵抗は、薬液充填率 60%以上において比較的安定したことから、セメント粒子が土粒子の骨格の形成に寄与していると考えられる。また、本測定結果から、細粒分まじり砂質礫は薬液充填率 30~100%において、砂質細粒土は 60%以上の場合、薬液が連続的に分布したと推察できる。

### 4. 結論

本研究により、得られた主な知見を以下に示す。

- 1) 細粒分まじり砂質礫の電気比抵抗は、薬液充填率 80%以上において、30.3~46.2 $\Omega\text{m}$  の間で安定した。
- 2) 砂質細粒土の電気比抵抗は、薬液充填率 30~60%の範囲において、241.6~56.3 $\Omega\text{m}$  まで大きく低下し、60%以上の場合、24.7~50.5 $\Omega\text{m}$  の間で比較的安定した。

これにより、セメント系薬液注入により改良された地盤の電気比抵抗特性は、粒度組成および薬液充填率に依存することを示した。また、薬液固結土供試体を用いることにより、注入前の地盤の飽和度がセメント系薬液注入により改良された地盤の電気比抵抗特性に及ぼす影響を把握できることを示唆した。

<参考文献>1) 小早川博亮, 塩竈裕三, 久野春彦: セメント注入による地盤改良における充填率と電気比抵抗の関係, 第46回地盤工学研究発表会(CD-ROM), pp.833-844, 2011. 2) 小峯秀雄: 電気比抵抗による薬液注入改良部の充填率の評価方法, 土木学会論文集 No.463/III-2, pp.153-162, 1993. 3) 久野春彦, 小早川博亮, 塩竈裕三, 末永弘: 未固結地盤陥没のメカニズムの検証, 地盤工学会誌 57(9), pp.10-13, 2009. 4) 社団法人地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説 -二分冊の1-, pp.53-80, pp.97-103, pp.115-136, pp.449-461, 2009. 5) 阿部聡, 小峯秀雄, 村上哲: 薬液注入対象地盤における粒度分布および細粒分含有率を変化させた薬液固結土供試体の作製方法と一軸圧縮強さ, 第8回地盤工学会関東支部発表会発表講演集, pp.161-162, 2011. 6) 土質工学会: 現場技術者のための土と基礎シリーズ9 薬液注入工法の調査・設計から施工まで, pp.129-131, 1985. 7) 千葉昭彦, 熊田政弘: 花崗岩及び凝灰岩試料の比抵抗測定 -間隙水の比抵抗が岩石比抵抗に及ぼす影響について-, 物理探査 Vol.47, No.3, pp.161-172, 1994. 8) 浅川美利: 界面電気的性質からみた土の毛細管機構について, 土木学会論文集, 第54号, pp.48-55, 1958.

表1 各薬液充填率における供試体の飽和度(%)

| 薬液充填率     | 30%       | 40%       | 50%       | 60%        |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 細粒分まじり砂質礫 | 18.6~25.2 | 28.6~36.3 | 35.6~41.6 | 42.4~59.1  |
| 砂質細粒土     | 19.7~26.4 | 32.1~36.8 | 38.2~43.3 | 50.1~51.1  |
| 薬液充填率     | 70%       | 80%       | 90%       | 100%       |
| 細粒分まじり砂質礫 | 54.4~58.8 | 73.0~79.8 | 81.0~90.6 | 87.5~103.5 |
| 砂質細粒土     | 56.7~58.5 | 61.1~70.2 | 74.3~75.9 | -          |

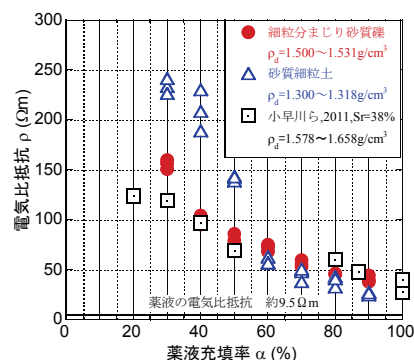


図5 電気比抵抗と薬液充填率の関係

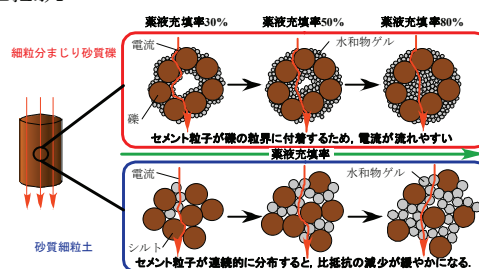


図6 粒度組成と薬液充填率に着目した電気比抵抗の変化のメカニズム推察図