

未固結改良体の形状計測を目的とした比抵抗及び充電率の三次元測定実験  
ーその1 小型土槽による予備実験ー

清水建設(株) 正会員 ○近江 健吾 河田 雅也 新宮 康之  
(株)地圏総合コンサルタント 佐渡 耕一郎 今里 武彦

1. 研究目的

国土強靱化施策が推進される中、いわゆる軟弱地盤が多く分布するわが国においては、構造物の基礎地盤を強化する目的で、セメント系固化材等による地盤改良が実施される機会は多い。これらの地盤改良工事に対する改良体の出来形や品質の管理は、従来から施工終了後のチェックボーリングによる確認という手法が一般的であるため、面的な改良形状の把握ができず改良径不足といった品質上の不具合を回避できない、作業工程に支障を来たさないようなリアルタイムの状況確認が出来ないといった課題がある。また、このような課題に対して、これまでも改良体形状の計測を試みる研究事例が報告<sup>例えば1)</sup>されている。

著者らは、軟弱地盤を対象としたセメント改良施工後に、迅速かつ非破壊で未固結状態の改良体の三次元形状を計測し、出来形や改良品質を把握することを目的として、地盤改良前後の比抵抗ならびに充電率（以下、IP と記す）の変化に着目し、これらを三次元測定することで改良体形状を精度良く計測する手法について、基礎的実験を計画・実施した。

表-1 本研究で計画した3段階の実験内容

| 実験段階(場所)            | 測定対象                   | 測定方法                    | 測定項目            | 測定目的                                        |
|---------------------|------------------------|-------------------------|-----------------|---------------------------------------------|
| 予備実験<br>(小型土槽実験)    | 改良前後の<br>粘性土、砂、砂質土     | 二次元比抵抗探査<br>(地表1測線)     | 比抵抗、IP、<br>土中温度 | 各土質の改良前後の比抵抗、IPの変化を把握する(固化材は2種類使用)          |
| 模擬実験<br>(大型土槽実験)    | 砂質土                    | 三次元比抵抗探査<br>(地表3+孔内4測線) | 比抵抗、IP          | 各土質中に形成した模擬改良体の形状計測の可否・精度を把握する              |
|                     | 模擬セメント改良体              |                         |                 |                                             |
| フィールド実験<br>(施工現場実験) | 有機質土、凝灰質粘土、砂、砂質土/シルト互層 | 三次元比抵抗探査<br>(地表4+孔内4測線) | 比抵抗、IP          | 実施工現場において、模擬実験で試行した改良体の形状計測手法の作業性や検出精度を把握する |
|                     | 実施工した改良体               |                         |                 |                                             |

2. 研究概要

本研究では、表-1 に示す予備実験、模擬実験、フィールド実験をそれぞれの実験結果や課題を踏まえつつ、段階的に実施することとした。研究の目標として、研究目的に示した施工管理の実情や課題を踏まえ、①施工早期における改良体未固結状態の計測ができること、②出来型確認のために 10 cm 程度の計測精度を確保できること、③改良範囲の三次元形状を把握できることの3点を目指すこととした。

表-2 実験で使用した3種類の土質の基本物性

| 土質材料物性 | 土質種類     | 粒度組成 |       |      |      | 調整後含水比 (%) |
|--------|----------|------|-------|------|------|------------|
|        |          | 礫    | 砂     | シルト  | 粘土   |            |
|        | 砂(豊浦標準砂) | 0.0  | 100.0 | 0.0  | 0.0  | 20.1       |
|        | 粘性土(青粘土) | 0.0  | 9.4   | 46.6 | 44.0 | 46.3       |
|        | 砂質土(混合土) | 0.0  | 74.2  | 10.9 | 14.9 | 20~25      |

3. 予備実験

3. 1 計測手法

予備実験では、『豊浦標準砂(砂)』と『青粘土(粘性土)』、ならびに両土質の混合試料(砂質土:細粒分含有率25~30%目途)からなる3種類の土質(表-2)を用いて、これらを含水調整した後に小型の土槽内に充填し、未改良時とセメント改良時の比抵抗ならびにIPの二次元測定を行った。測定条件を表-3に示す。計測は、Super Sting 8R/IPを用い、4極法のダイポール・ダイポール電極配置で行った(図-1)。

表-3 各種測定条件

| 実験仕様     | 予備実験                                  |          |          |
|----------|---------------------------------------|----------|----------|
|          | 1                                     | 2        | 3        |
| 測定方法     | 二次元比抵抗探査(地表1測線)                       |          |          |
| 電極間隔     | 地表電極25mm間隔(二次元配置)                     |          |          |
| 測定時間     | 0h, 3h, 6h, 24h, 72h, 120h, 168h (7回) |          |          |
| 測定項目     | 比抵抗、IP、土中温度                           |          |          |
| 実験サイズ    | 小型土槽(L600×W350×D300mm)                |          |          |
| 試験条件     | セメント添加前/後の地盤                          |          |          |
| 模擬改良体    | なし                                    |          |          |
| セメントスラリー | 普通ポルトランド/高炉B 250kg/m <sup>3</sup>     |          |          |
| 土質種類     | 砂(豊浦砂)                                | 粘性土(青粘土) | 砂質土(混合土) |

キーワード 比抵抗, 充電率, 三次元測定, 未固結セメント改良体

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設(株)土木技術本部 TEL 03-3561-3916

電極接地部には、接地状態が不十分にならないよう土層表面を平坦にし、特に砂試料の場合には、電極付近に電解水（塩水）を少量散布するなどの接地状態を確保する対策を行った。

### 3. 2 計測結果

図-2 に、土質毎の計測結果を示す。砂のケースでは、未改良地盤と比較して改良地盤では、比抵抗が大きく低下した。青粘土および砂質土のケースでは、未改良地盤でも  $10 \Omega\text{m}$  程度と低かったが、 $5 \Omega\text{m}$  以下へと低下した。比抵抗がセメント添加によって低下することは既往研究<sup>例えば2)</sup>からも示されており、未固結改良地盤においても同様の傾向が確認できた。時間経過とともに表層の比抵抗が変化していく様子が確認されたが、これはセメント水和反応および乾燥に伴う含水量の変化によるものと考えられる。

IP に関しては、いずれのケースでも、未改良地盤では  $50 \text{ mV/V}$  程度以下とほぼ充電効果が確認されなかったが、セメント添加により、数百  $\text{mV/V}$  以上へと増加する傾向を示した。これは、セメント成分中の硫酸塩やアルミン酸カルシウムなど、多くのイオンや鉄化合物が影響しているものと考えられる。なお、セメント種類に関しては明確な違いが確認されなかったため、普通ポルトランドセメントの結果を示している。計測は、 $20^\circ\text{C}$ の恒温室内で実施したため、土中温度の上昇は最大で  $28^\circ\text{C}$ 程度であり、計測結果に大きな影響は与えなかったと考える。

### 4. まとめ

予備実験では、砂・粘性土・砂質土の3種類の土質をそれぞれ小型土槽内に充填し、セメント改良前後の比抵抗ならびに IP の二次元測定を行った。その結果、セメント添加により、土質種類によらず比抵抗の明瞭な低下が確認された。IP についてもセメント添加によって、明瞭な上昇傾向が確認され、未固結状態のセメント改良地盤の検出に有効であることが分かった。模擬改良体を用いた三次元測定実験の結果<sup>3)</sup>はその2に示す。

#### 参考文献

- 1) 西面他：高圧噴射攪拌工法における改良径計測システムの開発，土木学会第 67 回年次学術講演会，2013.
- 2) 小早川他：セメント系材料の注入による未固結地盤改良効果に対する電気比抵抗の適用性評価，電力中央研究所報告，調査報告：N10033，2011.
- 3) 河田他：未固結改良体の形状計測を目的とした比抵抗及び充電率の三次元測定実験—その2 模擬改良体を用いた土槽実験—，土木学会第 75 回年次学術講演会（投稿中），2020.

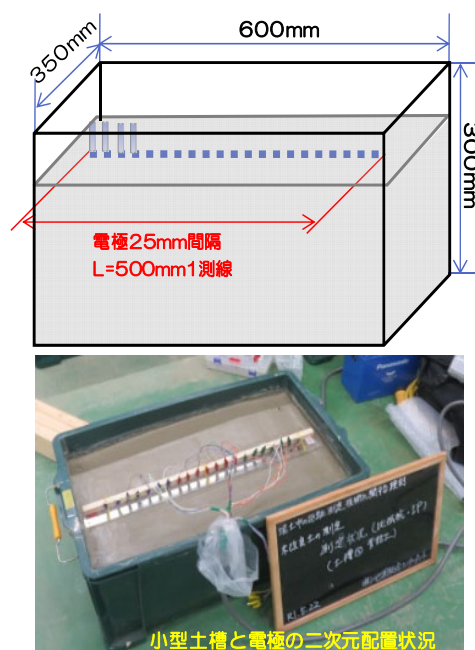


図-1 予備実験の計測状況

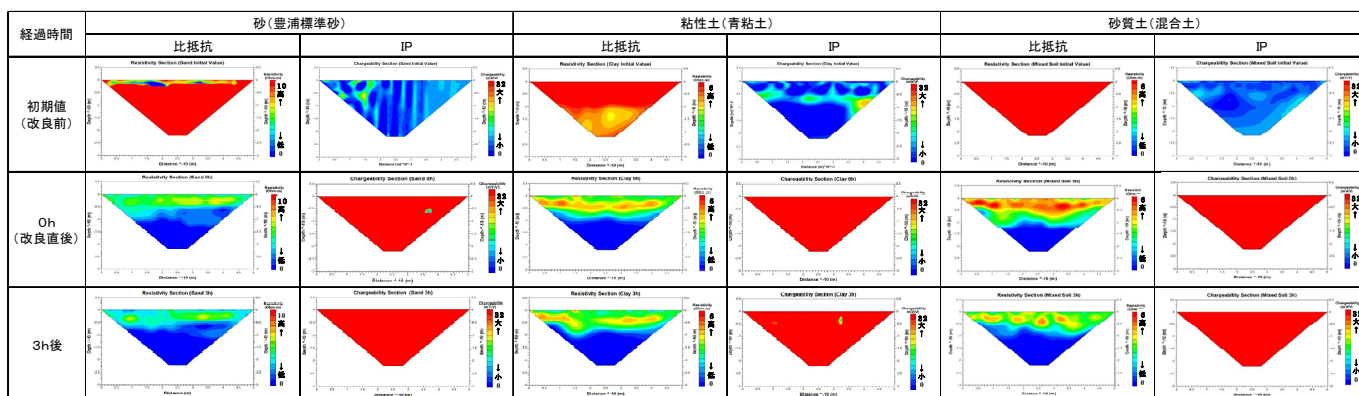


図-2 予備実験の二次元測定結果（初期値及び0, 3h 後測定，普通ポルトランドセメント）