セメント系固化材による地盤改良工への電気比抵抗コーンの適用に関する検討

地盤改良　電気比抵抗　CPT

ｿｲﾙｱﾝﾄﾞﾛｯｸｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ㈱　正会員　○井上恵介
同上　正会員　石井正紀
同上　正会員　重富正幸
東亜建設工業㈱　正会員　三枝弘幸

１．はじめに

我が国の国土のうち，平野部の多くは軟弱地盤で占められているため，構造物の構築や防災対策として地盤改良が広く適用されている。そのうち，セメント系固化材による地盤改良工の品質管理では，構築された改良体の出来形（深度，直径など）及び強度，均質性を確認することが行われる。一般に，それらの確認は固化後の改良体から採取したコアサンプルによる一軸圧縮強さ q_u やコア採取率により行われていることが多い。筆者らは比較的浅い深度までの地盤改良工において，セメント系固化材が混合された改良土の電気比抵抗ρ（単位：Ω·m）が未改良土に比べて低いことを利用した品質管理手法の先行研究 [1] に着目し，電気式コーン貫入試験（CPT）の技術を応用した電気比抵抗コーンの開発とそれを用いた貫入試験の検討を行っている。本稿は，試作した電気比抵抗コーンの概要，それを用いた現場試験結果と今後の展望について報告する。

２．電気比抵抗コーン貫入試験の概要

電気比抵抗コーン貫入試験とは，電極を備えたコーンを油圧式の貫入装置などによって地盤に一定速度で貫入しながら地盤の深度方向の電気抵抗 R（単位：Ω）を連続的に測定し，R からρを求める原位置試験である。試作した電気比抵抗コーンの概略と電気比抵抗コーン貫入試験の概要を**図-1**，**図-2** にそれぞれ示す。電極材質には黄銅を使用し，電極直径 10mm，電極間隔 25mm とした。各電極間は電気的に絶縁する必要があるため電極周囲に樹脂製の絶縁体を配置している。R の測定方法は既往報告 [2] に倣って 4 電極法を採用し，測定周波数は 1,000Hz とした。電気比抵抗コーンは LCR メータと PC で構成される地上側の計測機器と多芯ケーブルで接続され，測定地盤のρの深度分布をリアルタイムに確認することができる。なお，LCR メータから出力される値はρではなく R であることから，ρ への換算が必要となる。これについては，濃度に対するρが既知である塩化カリウム（KCl）溶液を用いた校正試験を事前に行い，換算式を求めておくことで対応することができる。校正試験結果の一例を**図-3** に示す。

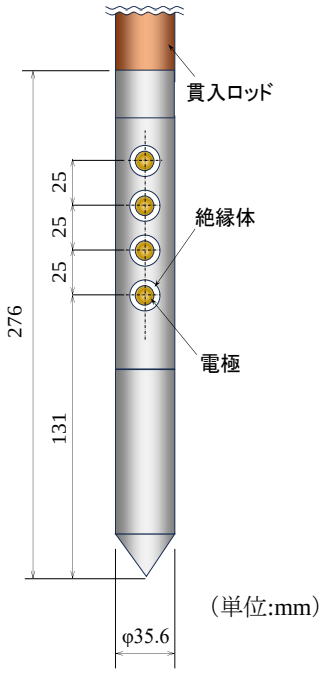

図-1　電気比抵抗コーンの概略

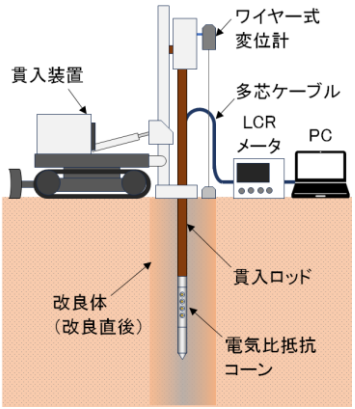

図-2　電気比抵抗コーン貫入試験の概要

３．現場測定結果

今回電気比抵抗コーン貫入試験を実施した現場は埋立地盤であり，事前の調査より N 値が 3～5 程度の粘性土地盤である。なお，地下水位は GL-1.5m 付近に位置している。液状化対策として高圧噴射撹拌工法が採択され，施工仕様は水セメント比 100%，セメント系固化材の添加量 206kg/m^3 で，構築される改良体の直径が 2.0m，長さが 7.7m，地表面から改良体天端までの土被りは約 3.0m である。

電気比抵抗コーン貫入試験結果を**図-4** に示す。試験は改良作業完了直後に任意に選定した改良体の杭芯（No.1 地点），杭芯から 0.8m 離れた位置（No.2 地点），杭芯から 1.0m 離れた位置（No.3 地点）の 3 地点においてそれぞれ実施した。電気比抵抗コーンの貫入は CPT などで使用される貫入装置を用いて 20±5mm/sec の速度で GL-12.0m 程度まで行い（改良体下端＋1.0m 程度），深度方向に対して連続的に R を取得しρを求めた。

No.1 地点の未改良部である GL-1.0m～GL-3.0m を除き，各地点とも未改良部のρは概ね 10.0Ω·m～100.0Ω·m であったのに対し，改良部については 0.5Ω·m～1.0Ω·m であり，未改良部と改良部のρの明確な違いを確認することができた。このことから，電気比抵抗コーン貫入試験は高圧噴射撹拌工法などを用いたセメント系地盤改良工法における改良深度の確認という観点で有用な手段であることが示唆された。なお，前述した No.1 地点（杭芯）の GL-1.0m～GL-3.0m の区間

Various studies on the application of electrical resistivity cone to ground improvement work using cement-based solidified materials.

Keisuke Inoue, Masanori Ishii, Masayuki Shigetomi Soil and Rock Engineering Co.,Ltd.
Hiroyuki Saegusa TOA Corporation

において，ρが未改良部であるにも関わらず改良部と同等の値を示すのは，改良作業に伴って地表に排出される排土内のセメント系固化材によるものと推察される。このことは，ρによってセメント系固化材の存在を感度良く捉えることができる事実を裏付ける結果であると考えている。

No.3 地点（杭芯から 1.0m 離れた位置）の結果は，改良体下端の深度まで他の地点の改良部のρと同程度の値を示していることから，少なくとも所定の半径を有する改良体が構築できていると判断できる。このことから，計画される改良体直径位置の少なくとも 2 箇所で電気比抵抗コーン貫入試験を行うことにより，深度方向における改良径の確認を行うことができると考えている。

また，建築分野の既往報告 [1]においては，固化後に原位置で採取したコアの q_u（目標強度を満足したコア）の変動係数 pVq_u と未固化時に測定した改良体のρの変動係数 $pV\rho$には相関関係（$pVq_u = pV\rho + 5.0$）があり， $pV\rho$によって従来のコアの q_u による強度管理と同等の品質管理が可能と報告されている。参考までに今回の No.1 地点の現場実測データについて深度 GL-3m～GL-10m までの 1m 区間ごとの $pV\rho$を算出したところ 6.9%～13.1%であり（**表-1**），固化後のコアの q_u の pVq_uは 12%～18%となる。従来のセメント系地盤改良における配合試験の目標強度設定で，pVq_u が 30～40%として設定されていることを考慮すると，比較的良好な改良体が構築されているものと考えることができる。今後は既往報告にある pVq_u と $pV\rho$の相関関係が，筆者らが開発中の電気比抵抗コーンにおいても成立するか否かを確認するためのデータ収集を継続し，$pV\rho$による品質管理についても検討を行っていく所存である。

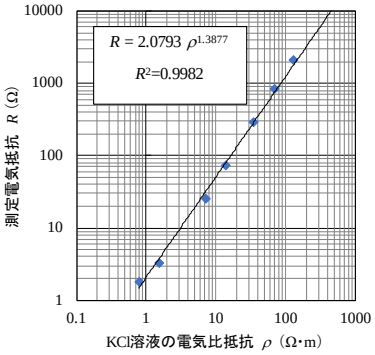

図-3　KCl 溶液の電気比抵抗ρと電気比抵抗コーンの測定電気抵抗 R の関係

表-1　No.1 地点の深度区間ごとの電気比抵抗の変動係数

深度 GL-(m)	平均値 (Ω･m)	標準偏差 (Ω･m)	変動係数 $pV\rho$ (%)
3 ～ 4	8.7E-01	6.0E-02	6.9
4 ～ 5	8.5E-01	1.1E-01	13.1
5 ～ 6	7.5E-01	7.4E-02	9.9
6 ～ 7	8.8E-01	9.3E-02	10.6
7 ～ 8	7.9E-01	5.6E-02	7.1
8 ～ 9	7.8E-01	5.8E-02	7.5
9 ～ 10	6.8E-01	5.4E-02	7.9

4．まとめと今後の展望

試作した電気比抵抗コーンを用いた現場実測結果において，セメント系固化材による地盤改良での未改良部と改良部のρに明確な差が得られた。この結果から今後，電気比抵抗コーン貫入試験はセメント系固化材での地盤改良工において改良径、改良深度といった出来形確認に対する有用な手段になり得ると考えている。現在，筆者らは JGS 1435 に規定される電気式コーン貫入試験器に電気比抵抗測定ユニットを接続し，1 回の貫入でρを含む 6 成分（貫入時の温度及び傾斜角度を含む）を同時に測定できるように開発を進めているところである。今後は，改良前後の原地盤のρを確認することによって改良出来形を評価するとともに，CPT によって得られる土質区分や性状評価の詳細データと併せ，セメント系固化材による地盤改良分野でのより効率的な品質評価技術に繋げたいと考えている。

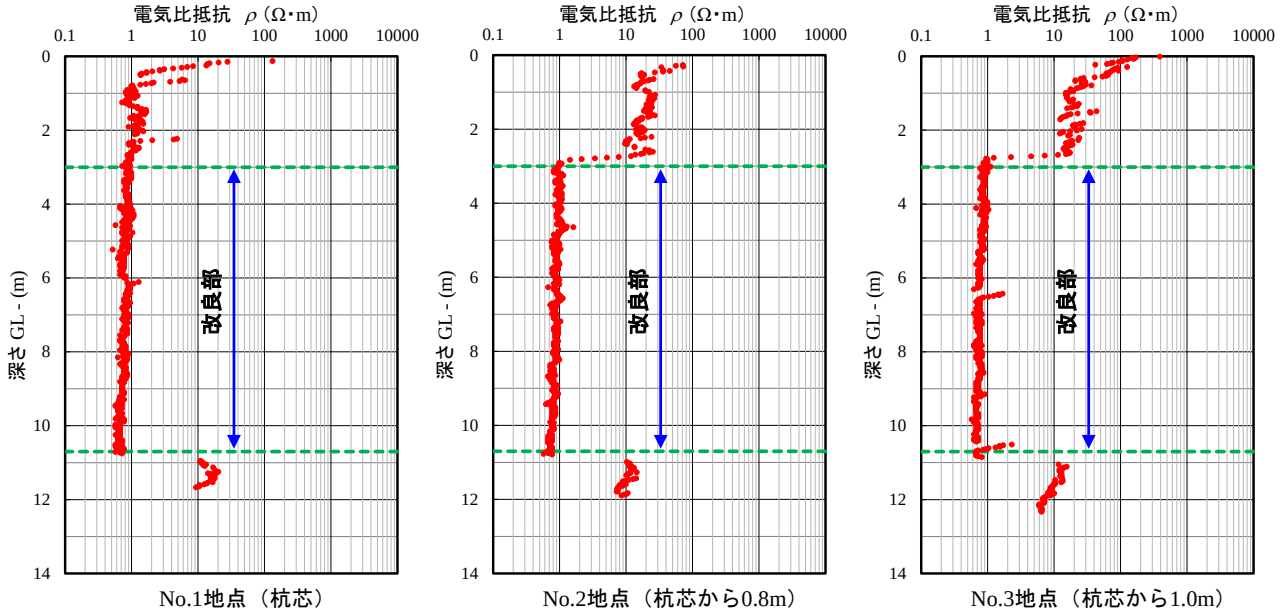

図-4　セメント系固化材による地盤改良現場における電気比抵抗コーン試験結果

参考文献

1)武智耕太郎，藤井衛，高元浩，新井マウリシオ淳：電気比抵抗法による未固化深層混合処理土の品質管理に関する研究，日本建築学会技術報告集，第 21 巻，第 48 号，pp.547-550，2015.6　2)福江正治，田屋直美，松本基，酒井豪：電導コーンの開発とその応用，土木学会論文集，No.596/Ⅲ-43, pp.283-293，1996.2　3)田村昌仁，藤井衛，青木功，小川能活他，電気比抵抗による改良体の品質評価に関する現場実験，日本建築学会構造系論文集，第 531 号，pp.95-99，2000.5