

セメント系改良柱体の打設前後における地盤の微視的土構造と間隙径分布

佐賀大学理工学部 学○ 嘉村 俊 佐賀大学大学院工学系研究科 正 根上武仁
佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 正 日野剛徳 正 加 瑞
佐賀大学大学院工学系研究科 学 姫野季之

1.はじめに：筆者らの属する研究グループは、塩分・酸化還元環境の変遷が深層混合処理工法の品質管理諸量と地盤環境に及ぼす影響に関する研究を進めてきている¹⁾。品質諸量の管理に際しては、既往の評価手法に微視的土構造や間隙径分布の視点を加えたマイクロ・マクロメカニックス的手法に基づく評価の有効性や課題についていち早く主張してきている^{2)~5)}。本報では、有明海沿岸低平地域に打設された改良柱体とその近傍を対象として、改良柱体の打設前後における地盤の微視的土構造と間隙径分布を比較した結果について述べる。

2.検討試料の諸元：本報の検討で用いた No.1 および No.2 と呼ぶ試料は、前報⁶⁾における採取位置と同様のものであり、それぞれ改良柱体の中心から 0.4m ($r/R_c=0.5$ 、ここに r ：改良柱体側面からの距離 (m)、 R_c ：改良柱体の半径 (m)⁷⁾ および 0.65m ($r/R_c=0.8$) から採取したものである。No.3 および No.4 と呼ぶ試料は、それぞれ改良柱体の中心から 1.20m ($r/R_c=1.5$) および 1.60m ($r/R_c=2.0$) から採取したものである。No.5 と呼ぶ試料は、改良柱体打設前の自然地盤からのものである。

3.SEM 観察⁴⁾：上記の試料について、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた微視的土構造の観察を行った。微視的土構造の観察および水銀圧入型ポロシメーターによる間隙径分布測定用の供試体作製に際しては、凍結乾燥法を用いた⁵⁾。観察倍率については個々の粘土粒子 ($5\mu\text{m}$) が明確に判断できる倍率を選定し、堆積方向に対し垂直な面を対象に観察を行った⁵⁾。

図-1 および図-2 は、No.1 試料および No.2 試料の SEM 画像を示したものである。画像一枚の横幅は $85\mu\text{m}$ ほどであり、シルトの最大粒径 ($75\mu\text{m}$) とほぼ一致する。図-1 中にみられる土粒子はそのほとんどがシルト粒子かそれ以下の粘土粒子であり、シルト粒子が多いことがわかる。改良柱体打設前の粒度

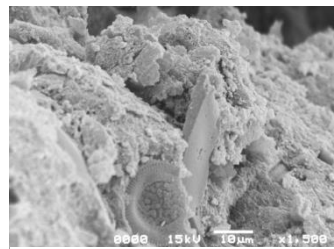


図-1 No.1(9.17m)

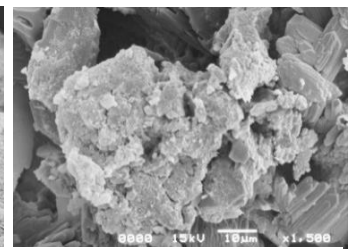


図-2 No.2(8.87m)

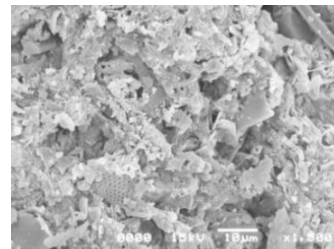


図-3 No.3(8.65m)

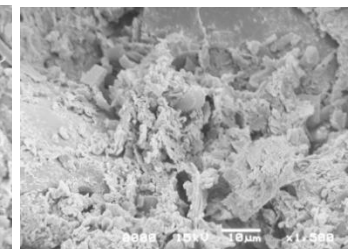


図-4 No.4(8.75m)

分布状況でもシルト分が卓越していた⁹⁾ことから、定性的ながら原地盤の実状態を捉えることができていると考えられる。これは、後述する図-3~5 についても同様である。また、図-1 の中央部やや下側には、形状がかなり保たれている珪藻遺骸が確認できる。同じ供試体の他の観察ポイントでも、いくつかの珪藻遺骸やその破砕小片が確認できた。図-2 では、右側から下側にかけて珪酸カルシウム水和物と考えられる粒子が確認できる。また、中央部にはアグリゲーシ

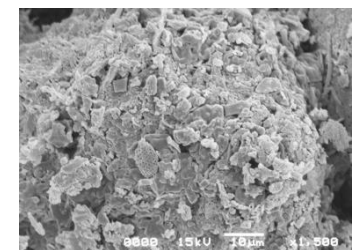


図-5 No.5(9.05m)

ョンと呼ばれる土粒子の集合体があることがわかる。No.3~5 試料の SEM 画像を図 3~5 に示す。いずれの供試体でも珪藻遺骸やその破砕小片が多く存在している。また、特に No.5 の試料については、シルト粒子の最大径とほぼ同じサイズのアグリゲーションが確認できる。紙面の都合上示せないが、No.1 および No.2 における他の観察ポイントでは、図-2 に示したような水和物やエトリンガイトと考えられる針状結晶が多数確認できている。また、改良柱体内よりも自然地盤のほうが原型を留めた珪藻が多く観察できている。改良柱体における No.1 試料および No.2 試料の SEM 観察から、微視的によく似た様相を示すことがわかった。他

方、改良柱体近傍の No.3,4 試料および自然堆積地盤の No.5 試料の SEM 観察結果から、これらの試料は微視的によく似た様相を示すことがわかった。微視的土構造の観察結果から、改良柱体近傍の自然堆積地盤は、改良柱体打設の影響を受けていないことがうかがえる。

4. 間隙径分布測定：水銀圧入型ポロシメーターによる間隙径分布の測定を行った。乾燥による収縮がどの程度生じているか確認するため、炉乾燥法から求めた含水比と水銀注入量から求めた含水比を比較した。結果を図-6 に示す。図-6 より、含水比（炉乾燥）と含水比（水銀圧入法）の比は、0.85~0.97 程度であり、乾燥収縮の影響は大きくないと考えられる。図-7 は間隙容積 V_{dp} と間隙径 d_p の関係を示したものである。No.1 および No.2 試料に着目すると、試料の採取深度にかかわらず、 $0.03\mu m$ 付近に 1 つのピークを有する間隙径分布状況を示している。乱さない状態の No.3~5 試料については、 $2\mu m$ 付近にピークを一つ持つ間隙径分布の形状を示すことがわかる。また、図-6 の結果から、No.1 および No.2 試料は、No.3~5 試料よりも含水比が低いことがわかる。つまり、No.1,2 試料は、No.3,4,5 試料と比較すると、密実化が進んでおり、それに伴って間隙径分布が変化している。一軸圧縮試験結果⁶⁾を併せて考察すると、間隙径分布状況が深さ方向に対してほぼ一定であることから、改良柱体打設時の固化材混合は均等になされていると推測できる。また、改良柱体の間隙径分布状況と自然堆積地盤の間隙分布状況は全く異なることから、改良柱体近傍（No.3~4 試料）でも改良柱体打設の影響はを受けていないと考えられる。

5. まとめ：本報で得られた結果を要約すると、次のとおりである。：1)SEM 観察より、改良柱体と自然堆積地盤の微視的土構造の様相は全く異なることがわかった。；2)間隙径分布の測定結果より、自然堆積地盤よりも改良柱体のほうが間隙が密実化していることがわかった。また、一軸圧縮試験結果と併せて考察すると、改良柱体打設時の固化材混合は均等になされていることが推測された。；3)SEM 観察と間隙径分布測定結果から、改良柱体打設による周辺地盤への影響はないものと考えられる。

謝辞：本研究は、(独) 学術振興会・科学研究費補助金・基盤研究(B) (一般)・課題番号 23360204 (研究代表者：日野剛徳)、ならびに基盤研究(C)・課題番号 23560592 (研究代表者：根上武仁) における課題として実施した。記して感謝の意を表します。

参考文献：1) Hi no et al. : Frontiers of Structural and Civil Engineering, Higher Education Press & Springer, Vol.6, No.2, pp.153-165, DOI: 10.1007/s11709-012-0153-y, 2012. ; 2) 鬼塚ら：有明粘土の乱さない試料および再圧密試料の微視的土構造、土と基礎, Vol.46, No.4, pp.17-20, 1998. ; 3) 三浦ら：土木学会論文集, No.624/III-47, pp.203-215, 1999. ; 日野ら：講座「土の構造とメカニクス〜ミクロからマクロへ〜」、土と基礎, Vol.50, No.5, pp.36-40, 2002. ; 4) 根上ら：低平地研究, No.12, pp.35-38, 2003. ; 5) Taguchi et al. : Deep Mixing 2009 Okinawa Symposium, Intern. Symp. Deep Mixing & Amixture Stabilization, Okinawa, Japan, CD-ROM, CT-13, 2009. ; 6) 平岡ら：平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, CD-ROM, 第三部門, pp.533-534, 2013. ; 7) 三浦ら：土木学会論文集, No.596/III-43, pp.209-221, 1998. 8) 日野ら：有明海北岸低平地域における深層混合処理工法適用前の地盤の堆積環境, 第 47 回地盤工学研究発表会平成 24 年度発表講演集, CD-ROM, pp.2023-2024, 2012.

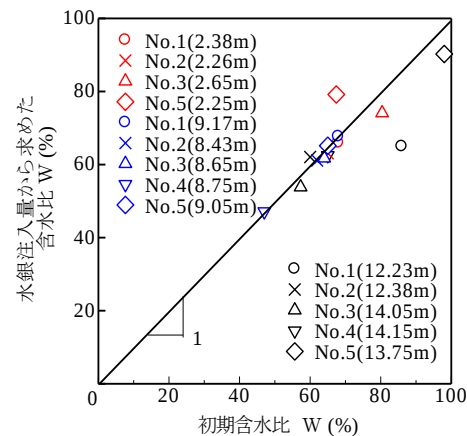


図-6 炉乾燥法と凍結乾燥法の含水比の比

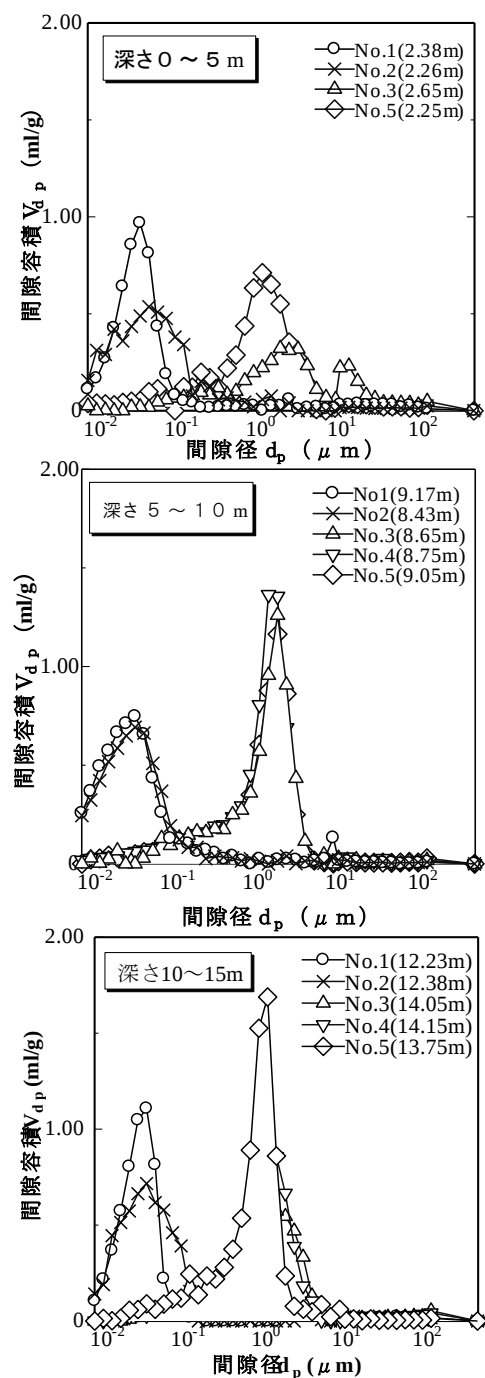


図-7 間隙径分布測定結果
(間隙容積 V_{dp} と間隙径 d_p の関係)