近接土留めへの影響を考慮した機械撹拌工法地盤改良の施工（その１）
－周辺地盤への影響と対策－

西松建設㈱　地下鉄マリナベイ出張所　　正会員　○吉田　吉孝，　村川　徳尚
西松建設㈱　国際事業本部　　正会員　　草野　孝三

１．はじめに

本工事は，シンガポールの Marina South と呼ばれる 1980 年代に埋め立てられた海岸線に近接するエリアにおける地下鉄新線工事である．土質概要は，10-15m 厚の埋立土直下に 20-45m 厚の沖積粘土層が堆積しており，非常に軟弱な Marine Clay 層（海成粘土層，N 値 0-4）には依然，過剰間隙水圧が残留している．そのため，①土留め掘削時の先行地中梁および底盤改良，②シールドトンネルの将来沈下防止目的で広範囲かつ大深度の地盤改良が計画されていた．本論文では，地盤改良工法として採用した機械撹拌式深層混合処理工法が周辺地盤へ与える影響と影響低減工法として採用した排土式工法および緩衝孔の効果について報告する．

２．地盤改良工概要

表－１に改良体品質に関する企業先の要求事項，**表－２**に固化材の配合をそれぞれ示す．

平均改良厚が約 15m，固化材注入率が約 30%であり，この注入量が地表面隆起に 100%寄与した場合，隆起量は計算上 2.6m となる．本工事の近接エリアにて同工法を適用した別工事実績によれば，排土量が注入量の約 70%であったことから，本工事における地表面隆起量は約 1.8m と想定された．近接する構造物への悪影響が懸念されることから，排土式工法（**写真－１**参照）を採用し，固化材吐出前に原地盤を予め排土することにより，周辺への影響度合いを低減させることとした．

表－１　改良体に関する品質要求事項

改良目的	せん断強度 (kPa)		変形係数 E_{50} (MPa)	
	最小値	平均値	最小値	平均値
土留め変形抑制	450	---	225	---
シールド沈下対策	450	1,000	190	300

表－２　固化材配合表（改良対象土量 1m³ あたり）

改良目的	水 ℓ	セメント kg	セメント 種類	注入率 %
土留め変形抑制	200	200	高炉	26.8
シールド沈下対策	240	240	高炉	32.1

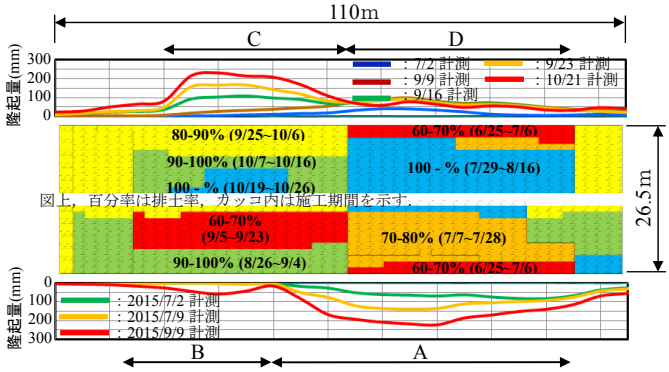
写真－１　排土式工法　　**写真－２　施工範囲空撮**

３．周辺地盤への影響

シールド発進立坑から Marina Channel と呼ばれる河川までの区間における施工状況を**写真－２**に示す．写真中に示す数字は当範囲における施工手順と各エリアでの評価項目に該当する．施工の流れに対応する形でエリア①において地表面隆起量と排土率の相関関係を把握，エリア②において土留壁孔内傾斜計の計測による緩衝孔設置方法の確立，エリア③では地中傾斜計の計測を行い，エリア④における施工パラメータの最終確認を行った．

（１）　地表面隆起量と排土率の関係（エリア①）

写真－２のエリア①で，地表面隆起量の計測と排土率の測定を行い，両者の相関関係について調べた．**図－１**に地表面隆起量と排土率の関係を表す．なお，排土率とは，排土量をセメント吐出量で除した値を百分率で表しており，排土率が高いほど原地盤を多く排土していることを示す．なお，ロッド貫入速度を遅くすれば，排土量を増やすことが可能である．



図－１　地表面隆起量と排土率の関係（エリア①）

キーワード　地盤改良，機械撹拌工法，排土式工法，緩衝孔，周辺地盤変位
連絡先　　〒105-6310　東京都港区虎ノ門 1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー10 階 西松建設㈱国際事業本部 TEL03-3502-7693

排土量は，10tonダンプトラック1台による積み込み量7m^3（ほぐし率1.35）に搬出台数を乗じた数値とした．隆起量は，最大で約250mm，最小で約50mmであった．排土率の大小が隆起量に与える影響を評価するに際し，A～Dの4つのエリアに分類する（**図－１**参照）．エリアA：沈下計脇における排土率が80%以下と低く，隆起量が大きい．エリアB：沈下計脇における排土率が90%以上の改良杭を4列施工しており，その後に施工した中央部付近の排土率が70%以下と低いものの，隆起量が小さい．エリアC：沈下計脇における排土率が80%以上であったが，排土率の低いエリアBの改良を先行したため，エリアBの影響を受けた．最大隆起量は250mmであるが，エリアBの影響を除外した隆起量は50mm程度である．エリアD：沈下計脇における排土率が70%以下と低いが，その背後における排土率が100%以上であったため，隆起量は50mm程度であった．以上の評価結果を踏まえ，以降の施工においては，排土率の施工管理目標値を80%以上（貫入速度0.4m/分）とした．

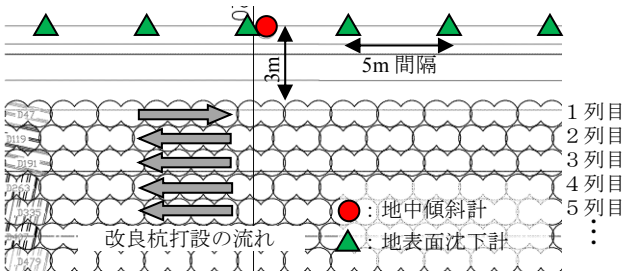
（２） 緩衝孔設置方法の確立（エリア②）

次に，土留壁（RC 連壁）に囲われた範囲（**写真－２**のエリア②）において，排土式工法併用にて施工を行った． 排土率は 80%以上であったが，土留壁が背面へ押し出される傾向が顕著になったため，追加対策を検討し，固化材注入中の改良杭脇に緩衝孔を設ける（空掘り）方法を採用した．**図－２**に施工手順を示す．固化材吐出により発生する側圧を緩衝孔（下端深度 15m）へ逃がすことを目的にしている．この緩衝孔による影響低減効果は大きく，土留壁変形量の増加は収束した．

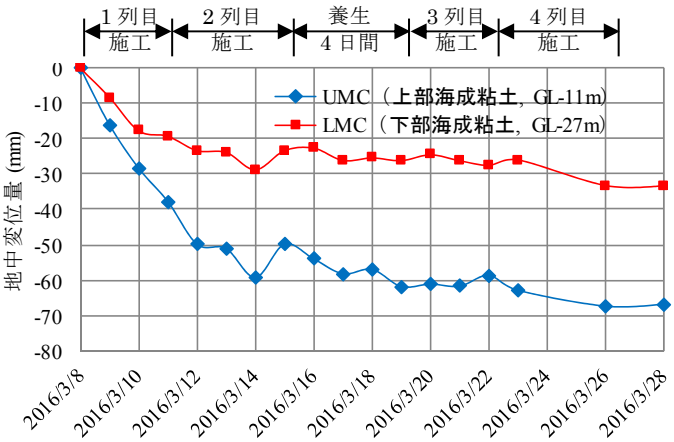
図－２　緩衝孔を伴う改良の施工手順（エリア②）

（３） 近接施工手順の確立（エリア③）

掘削中である発進立坑背面（**写真－２**のエリア④）で改良工を実施するに際し，改良杭の向き，改良杭養生期間等の施工パラメータを決定しておく必要があり，**写真－２**のエリア③において，改良杭の向きに関する影響度合いを確認することとした．**図－３**にエリア③の改良杭配置および計測器配置図を示す．地表面沈下計は改良範囲延長に沿って5m間隔，改良範囲外縁から3m離れた位置に設置した．地中傾斜計は改良範囲外縁から3m離れた位置に設置した．**図－４**に上部および下部海成粘土層内における最大変位量の経時変化を示す．土留壁から1列目，2列目施工までは地中変位量の増加が顕著に認められ，3列目施工による地中変位量はほぼ収まったが，4列目施工による変位増加が見られた．これは，改良杭若齢時における養生期間の差であると考えられ，養生期間が短い場合，先行施工杭の発現強度が低く，後行施工杭による側圧の影響を受けやすい．3列目施工時，2列目改良体の養生期間が4日であったのに対し，4列目施工時は，3列目改良体の養生期間が2日であった．以上より，次列の施工を行う際，前列改良体の養生期間を最低4日とした．なお，エリア③の地表面隆起量は30mm程度であり，緩衝孔を設けないエリア①と比較して半分程度であった．



図－３　改良杭と計測配置図（エリア③）



図－４　地中変位量の経時変化（エリア③）

４．おわりに

今回採用した排土式工法および緩衝孔設置により，無対策時と比較し地表面隆起量を約 1/60 に抑えられることを確認した．また，施工後に実施した改良体強度確認試験結果から，固化材の流出が懸念された緩衝孔設置箇所において，**表－１**に示す品質を満足していることを確認した．