我が社の技術PR

建設が、好きだ。
奥村組
OKUMURA CORPORATION

排水機場構築時の地盤改良土留めにおける効率的な施工とその管理方法

株式会社奥村組　土木本部　土木設計部　外木場　康将

1 はじめに

排水機場の構築では、比較的大規模な掘削を伴うことが多く、掘削時の安全性を確保しながら、限られた施工ヤードで躯体工事を効率的に進める必要があります。本稿で紹介する工事では、厳しい工程条件に対応するため、土留め壁の芯材、中間杭および切梁を用いず、セメント改良体のみで自立する地盤改良土留めを採用しました。本稿では、複雑な地盤条件でトレンチャ式中層混合撹拌工法により地盤改良土留めを構築した事例について、現場条件を踏まえた配合計画、ICTを活用した施工管理、改良体の品質確認、および掘削時の変位計測と弾塑性有限変形解析による検証を組み合わせることで、効率的かつ安全な施工を実現した取組を紹介します。

2 工事概要と施工上の課題

対象となる排水機場の構築範囲は約55m×25m、掘削深さは約6m（図１）であり、地盤改良土留めは厚さ4m、改良深度11m、底盤改良厚さ5m、設計基準強度は壁部400kN/m²、底盤部200kN/m²として計画しました。現場は一級河川に近接し、比較的軟弱な沖積層が広く分布しています。地盤は粘性土と砂質土が互層状に堆積するとともに、元耕作地であることから一部に有機質土が混在していました（図２）。このような地盤条件において、深度11mにわたり均質な改良体を造成することに加え、地盤の含水状態や土質構成の違いによる改良体強度のばらつきを適切に管理することが課題となりました。

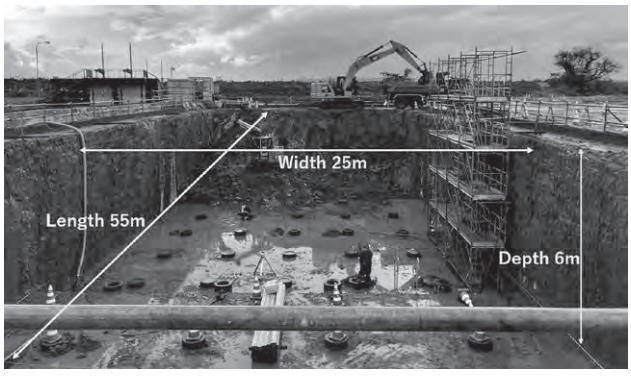


図１　地盤改良土留めの概要

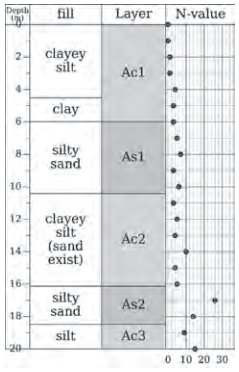


図２　現地の土質条件

3 現場条件を踏まえた配合計画

地盤改良の配合計画を行う際には、試料の含水比や細粒分含有率を適切に把握することが重要です。良好な地盤条件の箇所のみを対象として配合試験を行った場合、施工時に設計基準強度を満足できないリスクがあります。そこで本工事では、室内配合試験用の試料について、降雨時期でかつ排水路に近接し、含水比が最も高くなる条件の箇所から採取を行いました。さらに、複数深度で試料を採取し、細粒分含有率が高い深度の試料を配合試験の対象としました。

また、室内配合試験では、一般軟弱土用、高有機質土用および特殊土用の固化材を比較しました。強

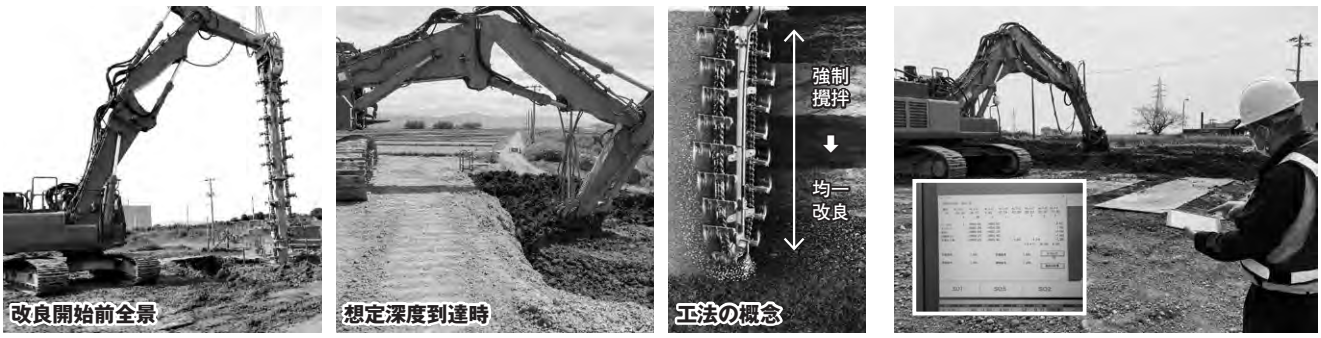


図３　トレンチャ式中層混合撹拌工法

図４　ICTによるリアルタイム管理

度試験と六価クロム溶出試験の結果を踏まえ、必要な強度の確保だけでなく、環境面への適合性も考慮し、特殊土用固化材を採用しました。

4 施工方法とICTを活用した施工管理

本工事では、切梁や腹起し等の支保工を不要とする自立式地盤改良土留め構造を採用しました。これにより、掘削機械や躯体構築の作業ヤードを広く確保することができ、施工の効率化と安全性向上に大きく寄与しました。また、地盤改良体の構築はトレンチャを地中に挿入し、固化材スラリーを注入しながら原位置土と強制撹拌混合するトレンチャ式中層混合撹拌工法を採用しました。強制的に撹拌混合を行うため、粘性土と砂質土の互層地盤でも、深度方向に連続した均質な改良体の造成が可能です（図３）。深度約11mの改良体を確実に造成するため、施工機械の位置、改良深度、トレンチャの軌跡および固化材の吐出量について、ICTを活用したリアルタイムでの一元管理を行いました（図４）。施工漏れや重複施工、改良深度不足を防止し、オペレータと施工管理者が情報を共有できるシステムとしました。その結果、施工後に帳票で確認する管理方法と比較して、手戻りの防止と管理作業の省力化を図ることができました。また、施工履歴を面的に記録することで、改良範囲全体の施工状況を把握しやすくなり、品質管理記録としての有効活用もできました。

5 改良体の品質確認

造成直後の改良体について、図５に示す３地点から試料を採取しました。さらに、改良体の上部、中部、下部から試験体を作成し、一軸圧縮強度試験（σ28）を実施しました。結果、深度方向において、強度と剛性に大きな差はなく、要求性能を満足する均質な改良体が造成されていることを確認しました（図６）。一方、採取地点により強度差が認められました（図７）。原地盤の物理試験の結果から、地点により細粒分含有比率、含水比に差異が見られ、改良体の強度発現に影響したものと考えられます。深度・平面の双方から品質確認を行った結果、ばらつきはあるものの、全ての場所で要求性能を満たすことができました。この結果より、全体を一つの土質条件で判断するのではなく、原地盤の土質構成、試料採取位置および採取時の含水状態を考慮した配合計画を実施することが重要であると考えられます。

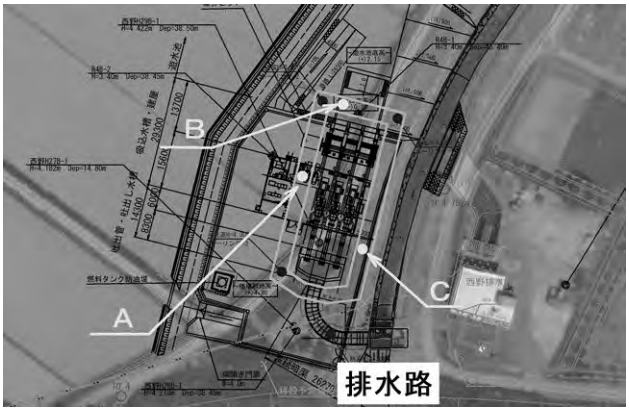


図５　試料採取位置（A ～ C）

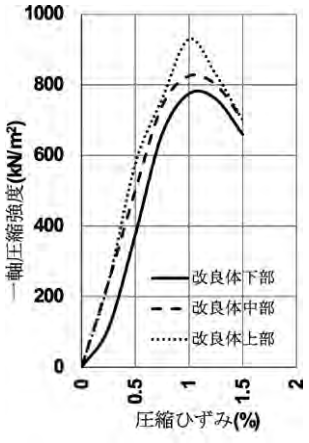


図６　一軸圧縮強度試験結果（点C　深度別）

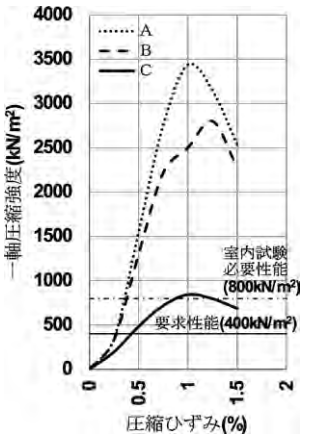


図７　一軸圧縮強度試験結果（点A ～ C　深度平均）

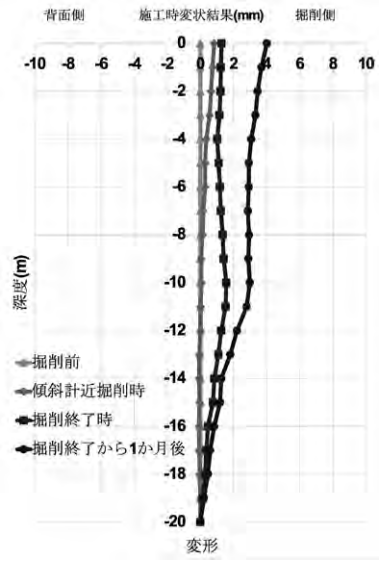


図８　地盤改良土留めの計測結果

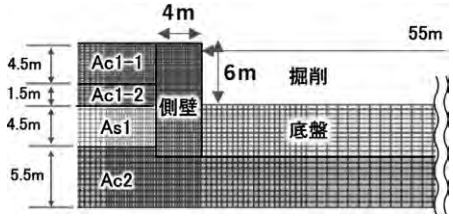


図９　解析モデル

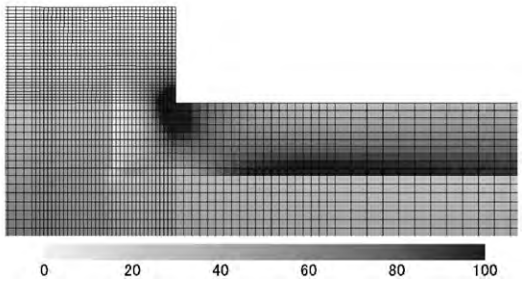


図10　平均有効応力分布(kPa)

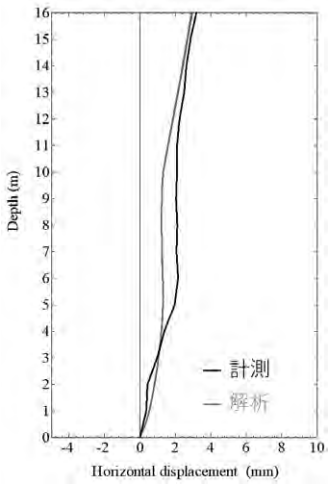


図11　変位量の比較

6 変位計測と弾塑性有限変形解析による検証

地盤改良土留めの施工中における変位挙動を把握するため、挿入式傾斜計を用いて深度20mにわたり、深度1mごとの水平変位を計測しました。計測は、掘削前、傾斜計近傍の掘削時、掘削完了時および掘削完了１か月後に実施しました。その結果、地盤改良土留めは掘削側へわずかに前傾する変形モードを示し、壁の最大変位は約4mmと非常に小さく、安定した状態であることを確認しました（図８）。

さらに、地盤改良土留めと周辺地盤の詳細な状態を把握するため、施工時に実施した室内土質試験の結果を用いて「弾塑性有限変形解析」を実施しました（図９）。解析には、粘性土、砂質土、セメント改良土の力学挙動を考慮できる構成則を適用し、実際の掘削ステップを再現しました。解析の結果、図10に示す平均有効応力分布より、土留め壁の下端部と掘削底面との境界、および底盤改良体下面に応力集中が確認されました。底盤改良体下面の応力集中は、土留め壁にかかる側圧や掘削による底盤部のリバウンドに起因するものと推察されます。また、得られた土留め壁の変形モードおよび変位量は、傾斜計による実測結果を概ね再現できており（図11）、解析モデルの妥当性を確認することができました。

以上より、計測と解析の両面から、本工事での地盤改良土留めが掘削時の安定性を確保し、周辺地盤の変形を抑制していることが確認できました。また、現場計測結果を解析によって検証・補完することで、目視や変位計測だけでは判断できない改良体や周辺の応力状態を把握でき、今後の地盤改良土留めの設計および施工計画に有効な知見が得られました。

7 おわりに

本工事では、排水機場構築時の土留め工として地盤改良土留めを採用しました。現場条件を考慮した配合計画、ICT施工管理、品質確認および変位計測を組み合わせることで、要求性能を満足する地盤改良土留めを構築し、掘削時の最大変位は約4mmと非常に小さい結果となりました。また、弾塑性有限変形解析により実測結果を再現し、改良体や周辺地盤の応力状態についても確認しました。

今回の施工を通じて、地盤改良土留めの性能を十分に発揮するためには、地盤条件を踏まえた適切な配合計画に加え、施工段階での品質確認や変位管理を一体的に実施することが重要であることを再認識しました。今後も、施工管理および解析技術の高度化を図りながら、地盤改良土留めのさらなる合理化と信頼性向上に取り組み、排水機場をはじめとする農業水利施設の整備事業に貢献していきたいと考えています。



図12　排水機場完了全景
（上：新設排水機場［本工事］、下：既設排水機場）