

環境配慮地盤固化技術の開発 ～スラリー添加による地盤改良工法への適用検討～

大成建設 正○石井 裕泰 正 松井 秀岳 正 池上 浩樹  
正 大脇 英司 正 藤原 斉郁 正 重光 達

1. はじめに

2050 年カーボンニュートラル達成に向けた地盤改良分野の取組みとして著者らは、従来のセメントやセメント系固化材に代えて、製造時の CO<sub>2</sub> 排出量が少ない高炉スラグ主体の「結合材」を活用する環境配慮地盤固化技術の開発を進めている<sup>1), 2)</sup>。既存のスラリー添加型の改良工法にこの低炭素結合材を適用する際には、種々の土質に対する強度発現性の把握が重要となることは当然ながら、結合材を用いた場合のスラリー・改良土の未固結性状や既存設備・改良機による施工性について、従来との相違を確認することもまた重要となる。要求される未固結性状や施工に用いる機材は工法により異なるため、個別工法ごとの検討が必要となる。

本報ではこのような検討の一例として、スラリーにした結合材を原位置土に添加・混合する地盤改良工法を対象とした室内配合検討および実機試験施工の結果を示す。ここでは特にスラリー・改良土の未固結性状と既存機材による施工可否に着目し、スラリー添加型の地盤改良工法に対する低炭素結合材の適用性を報告する。

2. 検討対象工法と使用材料

スラリーの添加・混合で地盤を改良する各種工法のうち、ここでは中層混合処理工法の一つであるスラリー揺動攪拌工法<sup>3)</sup>について現場施工の機会を得たため、同工法を対象とした室内配合検討および実機試験施工を実施し「結合材」の適用性を検証した。改良対象土は図 1 に示す粒度・基本物性の当該現場の粘性土で、検討には高炉スラグ微粉末を主として刺激材と複数の混和材から構成される「セメント・ゼロ型」の結合材と、一部比較用として高炉セメント B 種を用いた。

3. 室内配合検討

スラリー揺動攪拌工法の技術資料<sup>3)</sup>では、攪拌の良否は土質性状、スラリーの添加量・濃度に左右されるとし、対象土 1m<sup>3</sup>に対する標準的なスラリー添加量（以降、注入率）を 20%以上、スラリー濃度を水セメント比で最小 70%～最大 250%に定めている。ただし、スラリーや未固結の改良土に求める性能や品質範囲は明示されていないため、ここでは施工に影響すると考えられる性能指標を選定の上、従来使用される高炉セメント B 種を用いた場合との比較によって結合材の適用性を検証した。

まずスラリーの性能指標として流動性と材料分離抵抗性を選定し、J14 漏斗を用いた流下試験とポリエチレン袋を用いたブリーディング試験を実施した。検討したスラリーの水粉体比は技術資料記載の 70～250%を包含する表 1 記載の 7 水準とした。結果は図 2 に示す通り、高炉セメント B 種と結合材で作製したスラリーの流動性・材料分離抵抗性はほぼ同等で、性能差はなかった。

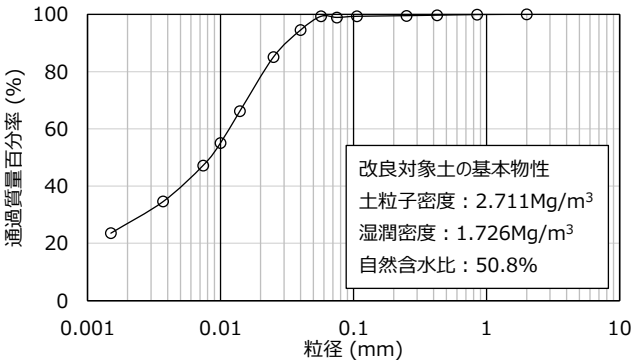


図 1 改良対象土の粒度分布とその他の基本物性

表 1 スラリーの検討配合

| 粉体名  | 水粉体比 (%)                        |
|------|---------------------------------|
| 高炉 B | 50, 70, 100, 150, 200, 250, 300 |
| 結合材  | 60, 70, 100, 150, 200, 250, 300 |

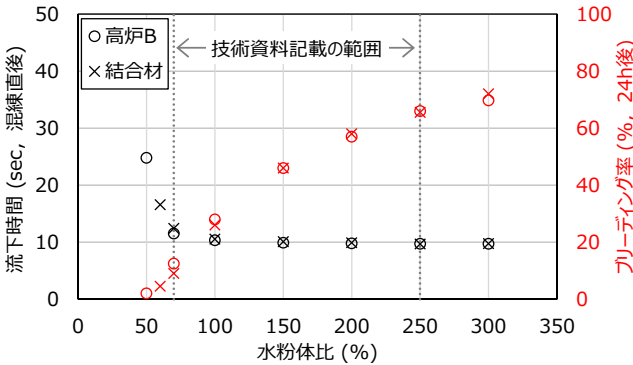


図 2 スラリー性状の比較

キーワード 地盤改良, 中層混合処理, 低炭素, カーボンニュートラル, CO<sub>2</sub> 排出量削減, 高炉スラグ  
連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL045-814-7221

次に未固結改良土の流動性に着目し、表 2 の配合で製造した改良土のテーブルフロー試験を行った。ここではスラリーの水粉体比を、技術資料が定める最小値 70% と最大値 250%に中間的な 150%を加えた 3 水準とした。また注入率は、技術資料の標準値 20%を中心に 15, 25%を加えた 3 水準とし、各粉体で計 9 配合を検討した。

図 3 に改良土の流動性と良い相関を示す単位水量でテーブルフロー値を整理した結果を示す。任意の単位水量におけるテーブルフロー値は高炉セメント B 種よりも結合材の場合で高く、高炉スラグを多く含む結合材を使用したことで流動性が向上したものと考えられる。

なお表 2 の改良土については、材齢 28 日の強度も確認しており、図 4 に結果を示す通り今回の土に対しては結合材の強度発現が低調であった。一方で既報<sup>2)</sup>のように高炉セメント B 種に比べて結合材改良土の強度が優位な場合もあり、土質ごとの強度発現性の差異は今後の検討課題である。ここでは引き続き既存機材による施工可否の確認を目的とした実機試験施工を実施した。

4. 実機試験施工

図 1 の土を採取した現場にて、スラリー揺動攪拌工法で従来用いるプラント・改良機等の設備と結合材を使用した改良体の造成を行った。ここでは既存プラントによる結合材スラリーの混練・圧送の可否および既存改良機による攪拌可否などの適用性確認に重点を置き、表 3 に示す 5 配合で改良体を造成した。具体的には、中間的な水粉体比 150%で注入率を増減した 3 ケースと、スラリー濃度の上限・下限となる水粉体比 70, 250%で注入率を技術資料が標準的とする 20%とした 2 ケースである。各ケースの改良体寸法は平面 1.6m×4.3m、深さ 2.5m とした。

図 5 に改良体の造成状況を示す。紙面制約により詳細は割愛するが、混練したスラリーの密度、圧送前後のスラリーの密度変化、改良機の挙動、採取コアのフェノールフタレイン反応等を確認し、既存の機材と標準的な手順で結合材を用いた地盤改良が可能であることを確認した。

5. まとめ

環境配慮地盤固化技術の中層混合処理工法への適用を念頭に、室内配合検討および実機試験施工を実施した。現時点では各種土質に対する強度発現性の評価・整理に課題を残すが、結合材スラリー・改良土の未固結性状は高炉セメント B 種の場合と遜色なく、従来の設備・手順で低炭素結合材を用いた中層混合処理工法の施工が可能であることを確認した。引き続き、他工法への展開、今回使用した土で確認された固化不良の要因分析および適用対象土の拡大検討を進め、地盤改良工事における CO<sub>2</sub> 排出量削減に貢献していきたい。参考文献 1) 松井ら：環境配慮地盤固化技術の開発～地中連続壁工法への適用性検討～、土木学会第 77 回年次学術講演会、III-116, 2022. 2) 松井ら：CO<sub>2</sub> 排出量を削減する「環境配慮地盤固化技術」の開発、大成建設技術センター報、Vol.55, No.8, 2022. 3) WILL 工法協会：WILL 工法 技術・積算資料、2016.

表 2 改良土の検討配合

| 粉体名       | 水粉体比 (%)     | 注入率 (%)    |
|-----------|--------------|------------|
| 高炉 B, 結合材 | 70, 150, 250 | 15, 20, 25 |

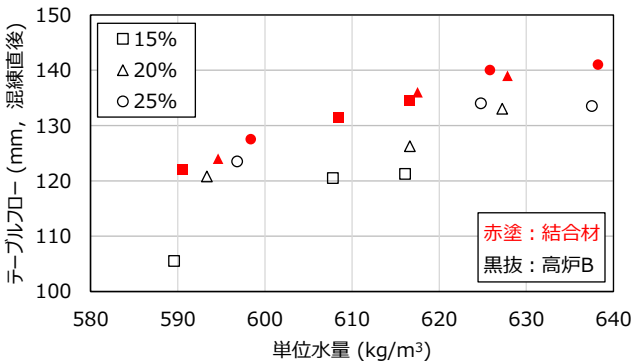


図 3 改良土のテーブルフロー値と単位水量の関係

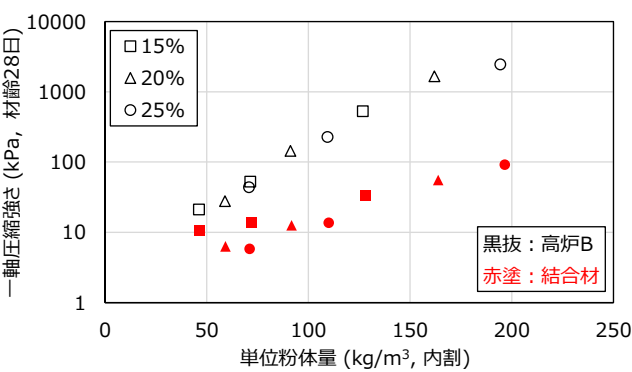


図 4 改良土の強度と単位粉体量（内割）の関係

表 3 実機試験施工の配合

| 粉体名 | 水粉体比 (%) | 注入率 (%)    |
|-----|----------|------------|
| 結合材 | 150      | 15, 20, 25 |
|     | 70, 250  | 20         |



図 5 実機による改良体造成状況