

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～

大成建設 正○松井 秀岳, フェロー 青木 智幸

正 大脇 英司, 正 藤原 齊郁, 正 池上 浩樹

1. はじめに

2050年までのカーボンニュートラル達成に向け、建設業においてもCO₂排出量削減の取組みが進む中、コンクリート分野では既に広く普及する高炉セメントよりもさらに環境に配慮した結合材の検討が進められている。例えば、高炉スラグ微粉末の硬化を促進する刺激材を工夫し、ポルトランドセメントの使用量をゼロとした結合材でCO₂排出量を大幅に削減したコンクリート¹⁾が実用段階にあるほか、排気ガス等から回収したCO₂を固定化したカーボンリサイクル材料(CaCO₃等)を含む結合材で、製造過程のCO₂収支をゼロもしくはマイナスにするコンクリート^{1), 2)}も開発されている。コンクリートと同じくセメントを主体とする固化材を使用して来た地盤改良分野においてもCO₂排出量削減の取組みは急務であり、上記技術の応用が期待される。

著者らは、地盤改良で使用される「固化材」を上記の「結合材」と置換することを基本方針とする環境配慮地盤固化技術について、各種地盤改良工法への応用検討を進めている。本報では検討の一例として、地中連続壁工法を対象とした室内配合検討の結果を示し、従来の固化材との比較を通して結合材の適用性を報告する。

2. 使用材料

検討に使用した結合材は、いずれも高炉スラグ微粉末とカルシウム系の化合物(刺激材)を主体として構成される粉体で、セメントを使用しない「セメント・ゼロ型」、CO₂排出量削減の観点でセメント・ゼロ型の構成材料の一部を高炉セメントに置換した「CO₂抑制型」、および、CO₂排出量が試算上ゼロとなる量のカーボンリサイクル材料を混合した「カーボンリサイクル型」の計3種類である。比較用として配合検討に使用した高炉セメントB種の製造時CO₂排出量を100%とした場合のCO₂排出割合の一覧を図1に示す。セメント・ゼロ型およびCO₂抑制型でも高炉セメントB種に対して7割程度のCO₂排出量削減が期待できるほか、カーボンリサイクル型では総CO₂排出量がゼロとなる。なお、カーボンリサイクル材料の混合量をさらに増やした結合材で所要の性能を満足できれば、当然ながらCO₂収支をマイナスとする結合材配合も実現可能である。

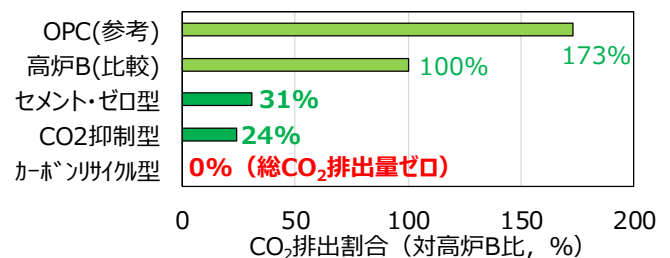
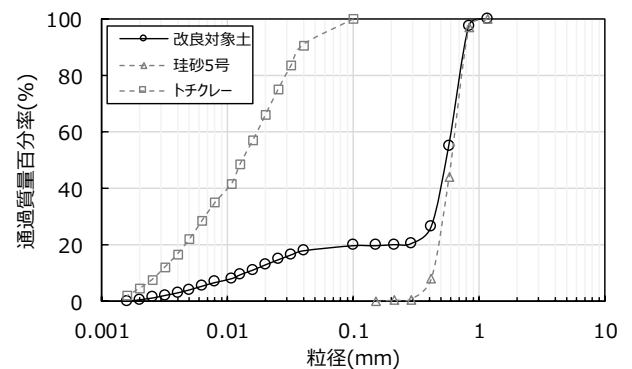
図1 結合材・固化材製造時のCO₂排出量の比較

図2 改良対象土の粒度分布

改良対象の土質材料には、調達容易性を考慮し、市販の珪砂5号(竹折礫業所)とトチクレー(大竹工業)を混合した砂質土を用いた。両者の混合割合は、工法資料³⁾記載の砂質土の適用範囲「細粒分割合20%以上」を参照し、細粒分割合が下限値の20%程度となる乾燥質量比4:1を採用した(粒度分布は図2参照)。配合検討にあたっては、単位体積あたりの質量、即ち、乾燥密度と含水比を定める必要があり、ここではN値30~50の密な地盤を想定した相対密度70%を仮定のうえ、砂の最大・最小密度試験の結果から乾燥密度1.624Mg/m³を定め、さらに同条件の飽和含水比22.8%を採用した。また、ソイルセメント地中連続壁で標準的に配合されるベントナイトには、250メッシュのNa型ベントナイトTB-250(立花マテリアル)を使用した。

キーワード 地盤改良, 地中連続壁, 低炭素, カーボンニュートラル, CO₂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 TEL 045-814-7221

3. 配合検討

ソイルセメント地中連続壁では、固化材、ベントナイト、水（および混和剤）で構成される懸濁液と原位置土を混合した「混合土」の物性が、強度・透水性等の要求性能と流動性等の施工性をともに満足する必要がある。ここでは、表 1 の評価項目に対して一般的な目標値を定め、結合材の種類と懸濁液配合をパラメータとした配合検討を行い、混合土の物性を確認することによって結合材の適用性を検証した。

表 2 に検討した懸濁液配合の一覧を示す。配合検討では、まず各粉体で同表上段に示す配合の混合土を作製し、未固結性状であるテーブルフロー値・ブリーディング率を確認した。図 3 には結果の一例として、セメント・ゼロ型で得られた未固結性状と混合土の水量（単位水量）との関係を示す。テーブルフロー値・ブリーディング率ともに単位水量が多いほど増加する傾向にあり、ばらつきはあるものの結合材の多寡による差は限定的であった。この傾向は従来配合の高炉 B を含めた全粉体に共通しており、粉体ごとに特定される許容値の範囲に単位水量を収めることで、目標の未固結性状を満足することができた。

次に、各粉体の表 2 上段配合の強度試験結果（紙面制約の都合で割愛）の外挿によって下段に青字した粉体量を決定のうえ、各粉体の許容単位水量の上限・中央・下限に相当する 3 水準の配合で材齢 3 日、28 日の一軸圧縮強さを確認した。図 4 には結果の一例としてセメント・ゼロ型で得られた強度と単位水量・W/B の関係を示す。未固結性状を満足する配合において、芯材挿入等を想定した材齢 3 日の上限強度と、壁体としての強度確保に必要な材齢 28 日の下限強度を両立する水量範囲が明らかになり、これにより全ての要求性能を満足する配合の存在が示唆された。以上の配合特定作業に結合材特有の手順はなく、従来の固化材と同様の手順で配合を特定できた。

4. まとめ

地盤改良での活用が期待される環境配慮型の結合材について、地中連続壁工法を対象とした配合検討で適用性を検証した。紙面制約で一部結果の提示に留まったが、従来の固化材と同様に配合調整可能で、要求性能達成も可能であることが示唆され、結合材の適用可能性が示された。今後、各種土質での検証、強度発現性等の調査を進めて早期の実用化を目指すとともに、他の地盤改良工法への展開も進める予定である。

参考文献 1) 大脇英司：高炉スラグ微粉末を利用した環境配慮コンクリートの炭酸ガス排出抑制から炭素の有効利用への進化、コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.819-826, 2021. 2) 大脇英司・荻野正貴：カーボンリサイクル材料を用いてカーボンネガティブを実現した T-eConcrete®/Carbon-Recycle の開発、セメント・コンクリート, No.900, pp.70-75, 2022. 3) 地盤工学会：地中連続壁工法, 地盤工学・実務シリーズ 20, p.302, 2004.

表 1 配合検討における混合土の評価項目と目標値

評価項目	試験規格*	目標値
テーブルフロー値	JIS R 5201:2015	> 150 mm (4 時間)
ブリーディング率	JSCE-F 522-2018	< 3 % (24 時間)
一軸圧縮強さ	JIS A 1216:2020	< 200 kN/m ² (3 日) > 1,000 kN/m ² (28 日)

*混合土の作製・養生・試験は全て 20℃環境で実施

表 2 懸濁液配合一覧（対象土 1m³ あたり）

粉体呼称	数量	固化材 C or 結合材 B (kg)	W/C or W/B (%)	ベントナイト (kg)
高炉 B (計 9 ケース)	6	240,280,320	100,200	10 (共通)
	3	100	120,175,230	
セメント・ゼロ (計 12 ケース)	9	100,250,300	50,100,150	
	3	70	70,190,335	
CO ₂ 抑制 (計 12 ケース)	9	100,250,300	50,100,150	
	3	50	90,215,365	
カーボンリサイクル (計 12 ケース)	9	100,250,300	50,100,150	
	3	70	70,160,265	

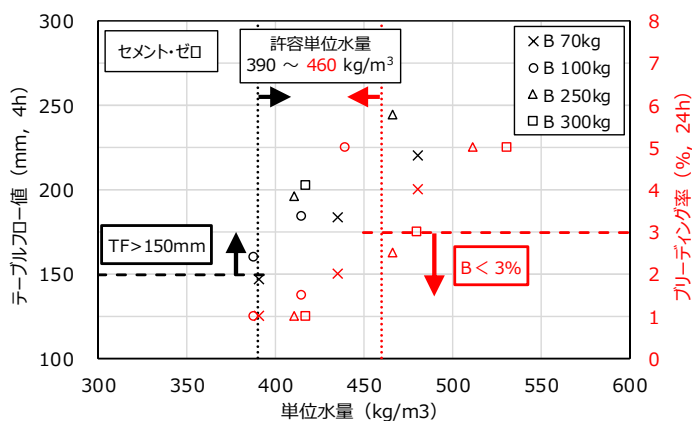


図 3 単位水量と未固結性状の関係（セメント・ゼロ）

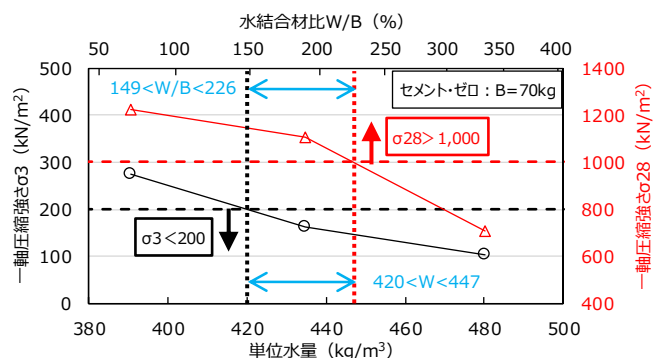


図 4 強度試験結果（セメント・ゼロ, B=70kg）