

第Ⅲ部門

排ガス由来 CO₂ を吸収させた軽質炭酸カルシウムを混合した環境配慮型地盤圧入材の開発

(株) 鴻池組 正会員 〇内川裕也 岡田和成 大山 将 加藤 満
 東曹産業 (株) 金高鉄次
 京都大学大学院 フェロー会員 勝見 武

1. はじめに

著者らは環境配慮型地盤圧入材を用いて「地盤改良をしながら CO₂ を地盤中に貯留する技術」の開発に取り組んでいる。著者らが提案する環境配慮型地盤圧入材は、副産物もしくは未利用資源を母材として、これに CCU (Carbon dioxide Capture and Utilization) 材料として排ガス由来 CO₂ を副産物由来カルシウム源に固定化した軽質炭酸カルシウム CaCO₃ を混合した材料で、固化材は高炉スラグ微粉末と珪酸ソーダからなり、セメント (JIS 規格品) やセメント系固化材は使用しない。CO₂ を炭酸カルシウムの形で鉱物化してから地盤改良の一環として地中に貯留するため、地下深くの貯留層に圧入する CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) と比較して容易かつ安価に貯留できることが期待されるほか、地震等の外力により圧入した CO₂ が貯留層外部に漏洩する等の懸念が無い。

本報告では、種々の地盤改良工法のうち流動材を地中に圧入する静的締固め工法 (以下、流動材圧入静的締固め工法) に用いる流動材を対象に、CCU 材料を混合したときの諸物性と CO₂ 貯留量を報告する。

2. 地盤改良をしながら CO₂ を地盤中に貯留する技術の概要

一般的な地盤改良材に使用されるセメント系固化材は、現状では製造工程において CO₂ を大量に排出するため、セメント代替材料による環境配慮型地盤圧入材の利用が望まれている。

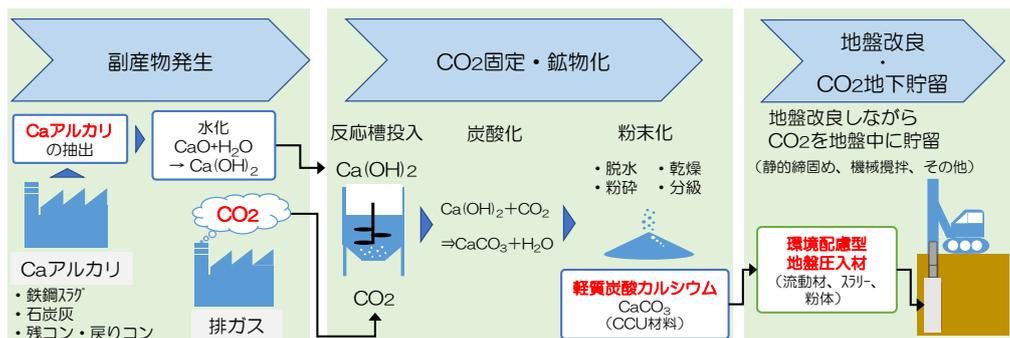


図-1 地盤改良をしながら CO₂ を地盤中に貯留する技術の模式図

図-1 に、地盤改良をしながら CO₂ を地盤中に貯留する

技術の模式図を示す。排ガス由来 CO₂ と副産物由来カルシウム源から合成する軽質炭酸カルシウム CaCO₃ には、純度 100% のとき 0.44t-CO₂/t の CO₂ が固定されており、例えばこれを環境配慮型地盤圧入材に 100kg/m³ 混合して地盤改良工法のモルタル等に用いると、44kg-CO₂/m³ の CO₂ を CaCO₃ の形で地盤中に貯留することが可能となる。

3. 環境配慮型地盤圧入材の組成

図-2 に、環境配慮型地盤圧入材の組成を示す。固化材として、高炉スラグ微粉末 (石膏添加品) と珪酸ソーダ (アルカリ刺激剤) の混合物を用いる。骨材には、未利用資源として砕石スクリーニングス・砕石粉、副産物としてコンクリートスラッジ破碎骨材、高炉スラグ細骨材などを用いることができる。不活性フィラーとして、軽質炭酸カルシウムを骨材や固化材の一部として置き換えて混合する。

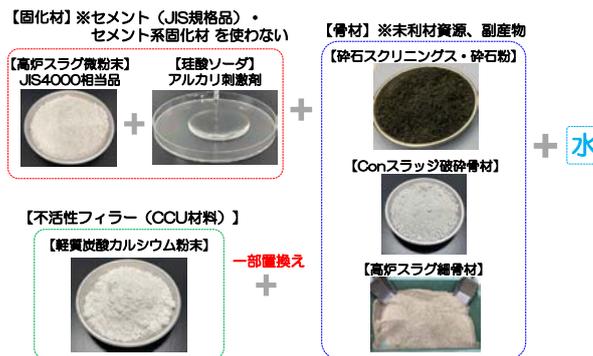


図-2 環境配慮型地盤圧入材の組成

4. 環境配慮型地盤圧入材の諸物性と CO₂ 貯留量

表-1 に使用材料の例と CO₂ 排出原単位を示す。CO₂ 排出原単位は各材料の製造に係る値であり、参考文献^{1) 2)}

³⁾ に記載のないものはメーカーにヒアリングして得た値を用いた。高炉スラグ微粉末は、石膏が SO₃ 換算で 2% 程 UCHIKAWA, Y., OKADA, K., OYAMA, S., KATO, M., KANETAKA, T., KATSUMI, T. okada_kr@konoike.co.jp

度プレミックスされたものを使用する。珪酸ソーダは、事前検討の結果⁴⁾より SiO₂/Na₂O モル比 2.0 のものを使用する。本検討に用いた軽質炭酸カルシウムは純度 94.5% であり 416kg-CO₂/t の CO₂ が固定されている。製造時の CO₂ 排出量 50kg-CO₂/t を差し引くと、正味の CO₂ 排出原単位は -416+50=-366 kg-CO₂/t となる。混和剤は水に対して外割りで添加した。

表-2 に配合と諸物性を示す。テーブルフロー（以下、TF）試験は、JISR5201 に準拠したが、フローコーンに代わり φ8cm×H8cm のシリンダーを使用した。シリンダーを引き上げた直後（0 打）および 15 回の落下運動を与えた

後（15 打）に混練物の広がり測定して TF 値とした。TF 値は、0 打が 82~172mm、15 打が 136~255mm であった。骨材に高炉スラグ細骨材を用いると、膨張収縮率が収縮側となる。一軸圧縮強さは、高炉スラグ細骨材は σ7 から σ28 にかけての強度増加が大きいものに対して、コンクリートスラッジ破碎骨材では小さい。なお、地盤改良施工時のポンパビリティの検討結果および改良後地盤の環境安全性評価については別報^{5) 6)}を参照されたい。

図-3 に、地盤改良材の CO₂ 排出量を示す。ここで CO₂ 排出量は、配合量に各材料の CO₂ 排出原単位を乗じて合計した値である。参考例として、セメント系固化材の場合の CO₂ 排出量を記載した。軽質炭酸カルシウムを添加した No.2、9~11 は、CO₂ 排出量がマイナスになる。軽質炭酸カルシウムを添加しない No.1 においても 57kg-CO₂/m³ であり、セメント系固化材と比べて CO₂ 排出量は 1/2 程度である。

図-4 に、地盤改良工の施工による CaCO₃ としての CO₂ 貯留量を示す。ここで CO₂ 貯留量は、軽質炭酸カルシウムの配合量に CO₂ 排出原単位を乗じた絶対値である。本検討の配合を適用した場合の CO₂ 貯留量は、地盤改良工の施工時に環境配慮型地盤圧入材を 1m³ 使用につき 106~170kg-CO₂/m³ となる。正味の CO₂ 貯留量は、材料運搬や施工機械運転に伴う CO₂ 排出量などを考慮して全体収支で評価する必要があるが、本検討では考慮していない。

5. まとめ

CCU 材料として排ガス由来 CO₂ を吸収させた軽質炭酸カルシウムを混合した環境配慮型地盤圧入材を用いることにより、地盤改良の一環として CO₂ を効率よく地中に貯留できる可能性があることがわかった。

参考文献

- 1) 河合研至：コンクリートの環境負荷評価①コンクリートに関わる環境負荷，コンクリート工学，Vo.50, No.6, 2012.6
- 2) 土木学会：コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案），2005.
- 3) 東京都水道局：くらしと水道 CO₂ 計算ツール，<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/kurashi/co2.html>（参照 2023.5.8）
- 4) 岡田和成ら：CCU 材料を用いた環境配慮型地盤改良材の開発～その 1：珪酸ソーダの物性が硬化特性に与える影響～，第 58 回地盤工学研究発表会，2023.
- 5) 内川裕也ら：CCU 材料を用いた環境配慮型地盤改良材の開発～その 2：加圧脱水量低減に関する基礎的検討～，土木学会第 78 回年次学術講演会，2023.
- 6) 竹中夏子ら：CCU 材料を用いた環境配慮型地盤改良材の開発～その 3：改良後地盤の環境安全性～，土木学会第 78 回年次学術講演会，2023.

表-1 使用材料の例と製造時の CO₂ 排出原単位

材料名	記号	密度 g/cm ³	摘要	CO ₂ 排出原単位 kg-CO ₂ /t
骨材	S1	ρ _{S1} =2.6~2.9	JIS A 5011-1、高炉スラグ細骨材（5mm以下）	26.5
	S2	ρ _{S2} =2.4~2.7	コンクリートスラッジ破碎骨材（5mm以下）	1.2
高炉スラグ微粉末	P	ρ _P =2.8~3.0	JIS A 6206、SO ₃ =2~4%、比表面積3500~5000cm ² /g	26.5
軽質炭酸カルシウム	F	ρ _F =2.5~2.8	CaCO ₃ 純度90%以上、比表面積2500cm ² /g以上	-366
珪酸ソーダ	WG	ρ _{WG} =1.49~1.53	SiO ₂ /Na ₂ Oモル比=2.0、Na ₂ O=14.1~14.5%	300
水	W	ρ _W =1.0	上水道水	0.235
混和剤	BT1	ρ _{BT1} =1.045~1.065	高流動性充填材用特殊増粘剤「ビスコトップ200LS-2」	—
	BT2	ρ _{BT2} =1.02	界面活性剤型液体増粘剤「ビスコトップ500K」	—
高炉セメントB種	BB	ρ _{BB} =3.02~3.05	JIS R 5211-2009	465

表-2 配合と諸物性

No.	環境配慮型地盤圧入材の配合										物性						ポンパビリティ	環境安全性評価		
	1m ³ 当り添加量 (kg)										TF値 (mm)		膨張収縮率 (%)		一軸圧縮強さ (MN/m ²)					
	S1	S2	P	BB	F	WG	W	BT1 (kg)	BT2 (kg)	0打	15打	σ7	σ28	σ7	σ28					
1	1616	0	404	0	0	12.6	281	0	0	84	159	-1.4	-2.0	7.38	18.97	—	別報6)			
2	1545	0	39	0	348	12	298	0	0	96	209	-0.9	-1.0	1.12	3.72					
3	0	1085	271	0	0	8.4	526	0	0	82	136	0.7	2.2	4.86	7.30					
4	0	1085	271	0	0	8.4	526	W<0.1%	0	135	226	-0.1	0	1.99	3.27					
5	0	1085	271	0	0	8.4	526	W<0.25%	0	111	211	0	0	2.98	4.80					
6	0	1085	271	0	0	8.4	526	W<0.1%	103	103	209	-0.2	0	3.04	4.94					
7	0	1085	271	0	0	8.4	526	W<0.25%	98	98	196	0	0	3.88	5.36			別報5)	—	
8	0	800	580	160	0	13	546	W<0.25%	172	172	255	0	0	5.06	8.02					
9	0	800	290	193	0	290	13	537	W<0.25%	120	120	225	0	0	3.38					4.89
10	0	800	193	193	0	387	13	534	W<0.25%	122	122	229	0	0	1.54					2.55
11	0	800	116	116	0	464	13	532	W<0.25%	109	109	220	0	0	0.74					1.09
12	1616	0	0	160	0	0	0	374	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0

※BB添加量は、一般的な養護材圧入時の舗装工法のセメント系固化材の添加量



図-3 地盤改良材の CO₂ 排出量

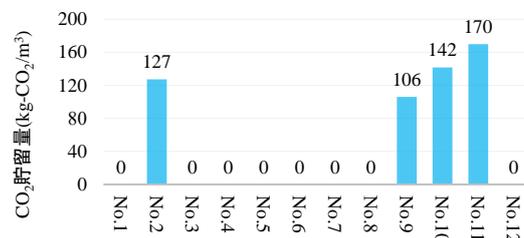


図-4 地盤改良施工による CaCO₃ としての CO₂ 貯留量