

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～

(株) 鴻池組 正会員○竹中夏子 岡田和成 内川裕也 大山 将
(株) 鴻池組 正会員 加藤 満 小山 孝 後藤 宇
東曹産業 (株) 金高鉄次 利田靖治
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、環境配慮型地盤改良材を用いて「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改良材は、産業副産物および未利用資源を母材とし、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を CaCO₃ 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、セメント系固化材は使用しない。CO₂は鉱物化して地中に貯留するため、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。

種々の地盤改良工法のうち、例えば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)の流動材として環境配慮型地盤改良材を用いる場合は、改良後地盤の環境安全性が担保されることを確認する必要がある。そこで本報告は、流動材圧入静的締固め工法の流動材を対象に、改良後地盤の環境安全性に関する基礎的検討を行った結果を報告する。

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改良材の利用が望まれている。著者らが開発中の環境配慮型地盤改良材は、ペーストには高炉スラグ微粉末(石膏添加品)とアルカリ刺激剤(珪酸ソーダ)からなる固化材と、不活性フィラーとして排ガス由来 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。

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。軽質炭酸カルシウム CaCO₃ 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改良材に 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を地盤中に貯留することが可能となる。

3. 環境安全性確認試験方法

表-1 に使用材料を示す。骨材は最大粒径5mm以下の高炉スラグ細骨材を用いた。高炉スラグ微粉末は石膏添

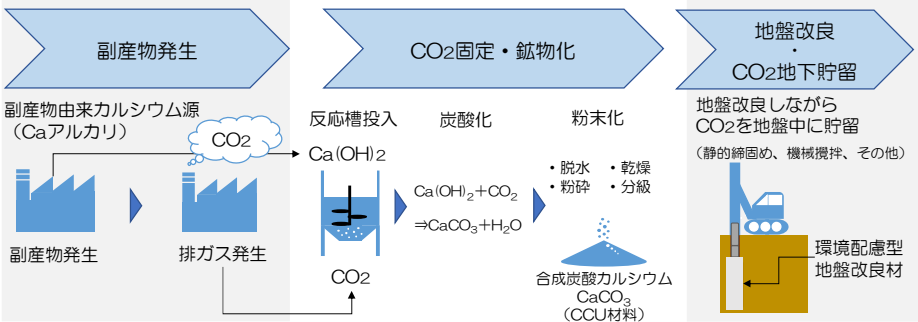


図-1 地盤改良をしながら CO₂を地盤中に貯留する技術の模式図

表-1 使用材料

材料名	記号	密度 g/cm ³	摘要
骨材	S1	2.6～2.9	JIS A 5011-1、高炉スラグ細骨材 (5mm以下)
高炉スラグ微粉末	P	2.8≦	JIS A 6206、SO ₃ =2～4%、比表面積3500～5000cm ² /g
軽質炭酸カルシウム	F	2.4～2.8	CaCO ₃ 純度90%以上、比表面積2500cm ² /g以上
珪酸ソーダ	WG	1.49～1.53	SiO ₂ /Na ₂ Oモル比=2.0、Na ₂ O=14.1～14.5%
水	W	1.0	上水道水

キーワード CCU 材料、CO₂ 地下貯留、地盤改良、環境配慮型地盤改良材、軽質炭酸カルシウム
連絡先 〒541-0057 大阪府中央区北久宝寺町 3-6-1 (株) 鴻池組 技術企画部 TEL06-6245-6580

加品を用いた。表-2 に配合および試験項目を示す。環境安全性評価のための試験方法は、土壤環境基準や土壤汚染対策法、「コンクリート用骨材又は道路等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会」の報告書

表-2 配合と試験項目

No.	環境配慮型地盤改良材の配合					試験項目		
	1m ³ 当り添加量 (kg)					H15環告18号 溶出量試験	H15環告19号 含有量試験	JIS K 0058-1 有姿攪拌溶出 試験
	S1	P	F	WG	W			
1	1616	404	0	12.6	281	σ 7, σ 28	σ 7	σ 42
2	1545	39	348	12	298			

1) などを参考に、H15 環告 18 号溶出量試験、H15 環告 19 号含有量試験、JIS K 0058-1 の 5 溶出量試験とした。混練りには、モルタルミキサー（マルイ社製）を用いた。攪拌回転数は、自転 140rpm、公転 62rpm とした。ミキサー内に骨材、高炉スラグ微粉末、軽質炭酸カルシウムを投入して 30 秒攪拌混合した後、水を投入して 30 秒攪拌した。さらに珪酸ソーダを添加して 2 分攪拌した。混練り後にテーブルフロー試験²⁾、加圧ブリーディング試験と室内バーンセン断試験³⁾を行った。さらに供試体を採取して、恒温恒湿室（20℃）で養生後に膨張収縮率測定および一軸圧縮試験²⁾を行い、破壊後供試体で H15 環告 18 号溶出量試験、H15 環告 19 号含有量試験を行った。JIS K 0058-1 の 5 溶出量試験の供試体も別途混練り時に作製し、養生 42 日後に試験を行った。

4. 環境安全性確認試験結果

図-3 に一軸圧縮強さの経時変化を示す。No.1、2 とともに養生 91 日にかけて強度増加している。No.1（軽質炭酸カルシウム添加無し）の高炉スラグ微粉末添加量は No.2（軽質炭酸カルシウム添加有り）の約 10 倍であるが、強度発現は約 5 倍に留まっている。

表-3 に環境安全性確認試験結果を示す。いずれの試験方法においても、土壤溶出量基準や土壤含有量基準と比較して低い値を示しており、本検討の範囲においては環境に対する安全性が確認できた。

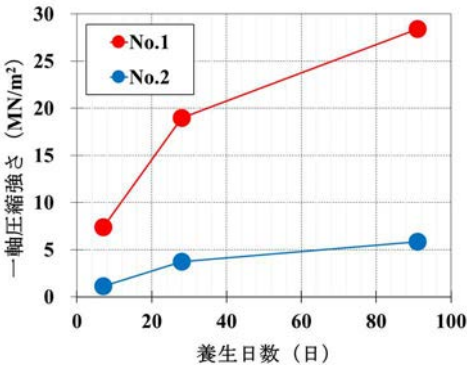


図-3 一軸圧縮強さの経時変化

5. まとめ

流動材圧入静的締固め工法の流動材を対象に、環境配慮型地盤改良材を適用した際の、改良後地盤の環境安全性に関する基礎的検討を行った。その結果、本検討の範囲においては環境に対する安全性が確認できた。今後は、高炉スラグ細骨材以外の骨材を用いた配合についても安全性の確認を行っていく予定である。

参考文献

- 1) コンクリート用骨材又は道路等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書,平成 24 年 3 月, <https://www.slg.jp/pdf/sougouhoukokusyoH24.pdf>
- 2) 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：諸物性と CO₂ 貯留量～,土木学会第 78 回年次学術講演会,2023. (投稿中)
- 3) 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. (投稿中)

表-3 環境安全性確認試験結果

試験方法	項目	配合	養生日数	試験結果	判定
H15環告18号 溶出量試験	カドミウム	1, 2	7	0.003mg/L未満	○
	鉛	1, 2	7	0.01mg/L未満	○
	六価クロム	1, 2	7	0.05mg/L未満	○
	砒素	1, 2	7	0.01mg/L未満	○
	水銀	1, 2	7	0.0005mg/L未満	○
	セレン	1, 2	7, 28	0.01mg/L以下(0.004～0.007)	○
	ふっ素	1, 2	7, 28	0.8mg/L以下(0.31～0.43)	○
	ほう素	1, 2	7, 28	1mg/L以下(0.1～0.2)	○
H15環告19号 含有量試験	カドミウム	1, 2	7	4.5mg/kg未満	○
	鉛	1, 2	7	5mg/kg未満	○
	六価クロム	1, 2	7	5mg/kg未満	○
	砒素	1, 2	7	5mg/kg未満	○
	水銀	1, 2	7	0.02mg/kg未満	○
	セレン	1, 2	7	5mg/kg未満	○
	ふっ素	1, 2	7	4000mg/kg以下(240～330)	○
	ほう素	1, 2	7	4000mg/kg以下(52～66)	○
JIS K 0058-1 有姿攪拌溶出 試験	セレン	1, 2	42	0.01mg/L以下(0.002～0.006)	○
	ふっ素	1, 2	42	0.8mg/L以下(0.25～0.29)	○
	ほう素	1, 2	42	1mg/L以下(0.1未満～0.1)	○