

アルカリ建設汚泥の中性化における CO₂ 固定量に改質材が及ぼす影響に関する基礎的分析

横浜国立大学 正会員 早野公敏, 稲坂昂樹, 坂口綾
domi 環境 正会員 山内 裕元

1. はじめに 建設汚泥は、その発生処理過程あるいは中間処理過程において高アルカリ性を示すことが多く、それらを再資源化する際には処理土の浸出水を観測し、中和処理する等の対応が必要である。一方、近年では高アルカリ汚泥を CO₂ 下で養生することで中性化処理を行い、再資源化することが試みられている。さらに工場や処理場から排出される廃ガスを利用することが検討されており、カーボンリサイクルへの発展の可能性も生じている。そこで本研究では、アルカリ建設汚泥の中性化における CO₂ 固定量に改質材が及ぼす影響について、中性化試験及び炭酸塩含有量試験結果を分析して検討した。

2. 汚泥供試体と試験方法 表 1 に示すように、所定の含水比 w に調整した青粘土(液性限界 $w_L = 40.7\%$ 、塑性限界 $w_p = 23.7\%$)に、改質材(高炉セメント B 種, PS 灰系改質材, 生石灰)を単体あるいは複数で、所定の乾燥質量比 A で添加し、模擬汚泥を作製した。表 2 には各改質材の組成を示した。作製した汚泥を、直径 82mm のプラスチックカップに層厚 30mm になるように詰めたものを供試体とした。各汚泥について約 10 個の供試体を作製し、図 1(a)の CO₂ インキュベーター内に静置し、所定の CO₂ 濃度で養生することで中性化を行った。そして任意の CO₂ 養生期間で供試体を 1 個ずつインキュベーター内から取り出し、地盤工学会基準に基づき、pH 測定を行った。また、中性化試験前と試験後の各供試体からそれぞれ試料を採取して炭酸塩含有量試験を行い(図 1(b))、得られた炭酸塩含有量の差から中性化に伴う CO₂ 固定化量 $m_{CO_2}(\text{gCO}_2/\text{gdry-sludge})$ の評価を行った。 m_{CO_2} は汚泥乾燥試料 1g に対する CO₂ 固定量(g)を表す。なお、事前に CaCO₃ を用いて発生ガス圧と炭酸塩量の関係を求めるキャリブレーションを行った。

表 1 中性化試験の供試体条件

(BFCB: 高炉セメント B 種, PSAS: PS 灰系改質材, QL: 生石灰)

(a) 単体の改質材を添加したケース

| 青粘土含水比, w (%) | 添加率, A (%) | 密閉養生期間, t (日) | 初期 pH | 乾燥密度, $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$ | CO ₂ 濃度(%) | 試験数 |
|-----------------|--------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----|
| 0.5 w_L | QL:3% | 5 日以上 | 12.37 | 0.81 | 10.0 | 1 |
| 0.75 w_L | QL:3% | 5 日以上 | 12.30 | 0.77 | 10.0 | 1 |
| 0.75 w_L | QL:6% | 5 日以上 | 12.63 | 0.80 | 10.0 | 1 |
| 1.0 w_L | QL:3% | 5 日以上 | 12.35-12.61 ^(*) | 0.64-0.70 ^(*) | 5.0, 10.0 | 2 |
| 1.0 w_L | BFCB:3% | 6, 28 日 | 11.52-12.05 ^(*) | 0.71-0.78 ^(*) | 1.3, 2.5, 5.0, 10.0 | 6 |
| 1.0 w_L | BFCB:6% | 5, 7, 29 日 | 11.68-11.89 ^(*) | 0.73-0.77 ^(*) | 1.3, 2.5, 5.0, 10.0 | 6 |
| 1.0 w_L | PSAS:20% | 6 日 | 11.60 | 0.72 | 10.0 | 1 |

(*)は粒度調整したものを含む

(b) 複数の改質材を添加したケース

| 青粘土含水比, (%) | 添加率, A (%) | 密閉養生期間, t (日) | 初期 pH | 乾燥密度, $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$ | CO ₂ 濃度(%) | 試験数 |
|-------------|----------------------|-----------------|-------------|--------------------------------------|-----------------------|-----|
| 1.0 w_L | BFCB:3% +PSAS:7% | 7 日 | 11.75 | 0.73 | 10.0 | 1 |
| 1.0 w_L | BFCB:3% +PSAS:10% | 6 日 | 11.78-11.90 | 0.72-0.74 | 1.3, 2.5, 5.0, 10.0 | 4 |
| 1.0 w_L | BFCB:3% +PSAS:20% | 5, 7, 10, 28 日 | 11.71-11.96 | 0.73-1.16 | 1.3, 2.5, 5.0, 10.0 | 9 |

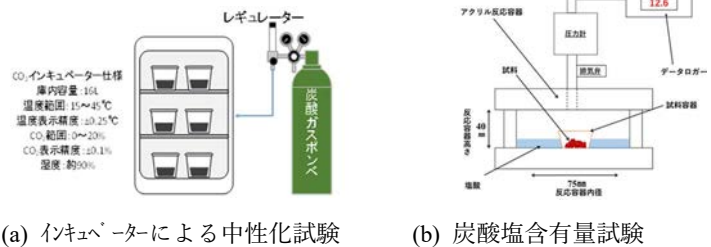


図 1 インキュベーターによる中性化試験と炭酸塩含有量試験

表 2 改質材の組成(質量比%)

(a) 高炉セメント B 種(BFCB)

| CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | SO ₃ | Fe ₂ O ₄ | MgO | others |
|-------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|------|--------|
| 65.57 | 19.07 | 5.26 | 3.98 | 2.91 | 1.98 | 1.23 |

(b) PS 灰系改質材(PSAS)

| CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | SO ₃ | Fe ₂ O ₄ | TiO ₂ | MgO | others |
|-------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------|------|--------|
| 63.89 | 13.55 | 6.89 | 6.06 | 3.27 | 3.00 | 1.31 | 2.03 |

(c) 生石灰(QL)

| CaO | Others |
|------|--------|
| 93.0 | 7.0 |

キーワード アルカリ建設汚泥, 中性化, CO₂, pH

連絡先 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 横浜国立大学 土木工学棟

3. 試験結果と改質材の影響

インキュベーター中中性化試験による供試体の pH の変化の例を図 2(a)に示す。また炭酸塩含有量試験で評価した m_{CO_2} の変化の例を図 2(b)に示す。中性化により pH は減少し、 m_{CO_2} は増加する。中性化に伴う pH や m_{CO_2} の変化速度は供試体の粒度や密度あるいは CO_2 濃度の影響を受けるが、中性化がある程度進行したときの pH や m_{CO_2} の値はあまりそれらの影響を受けない。そのため、本研究では図 2(a)(b)に示す各近似曲線の収束値を分析の対象とした。

まず各汚泥の m_{CO_2} の収束値を、汚泥乾燥質量 1g あたりの CO_2 最大固定量 $F_{CO_2\text{-sludge}}$ として、汚泥乾燥質量 1g あたりに含まれる改質材の理論 CO_2 固定量 $C_{CO_2\text{-theory}}$ および CaO 含有量

$C_{CaO\text{-dry sludge}}$ に対して整理したものを図 3(a)(b)に示す。どちらもある程度の相関が認められた。なお、 $C_{CO_2\text{-theory}}$ の算出は文献 1)による。次に $F_{CO_2\text{-sludge}}$ と改質材添加率 A から、改質材 1g あたりの CO_2 固定量 $F_{CO_2\text{-stabilizer}}$ を算出し、改質材 1g あたりの CaO 含有量 $C_{CaO\text{-stabilizer}}$ に対して整理したものを図 4 に示す。同図には既往研究 2),3)の結果も合わせてプロットした。中性化方法や CO_2 固定量測定方法が本研究のものと異なるので厳密には比較できないが、汚泥の中性化にともなう改質材単位質量あたりの CO_2 固定量は石炭灰や製鋼スラグのものより多い。

図 5 は中性化前後の pH を、汚泥乾燥質量 1g あたりに含まれる改質材の CaO 含有量 $C_{CaO\text{-dry sludge}}$ と SO_3 含有量 $C_{SO_3\text{-dry sludge}}$ に対して整理したものである。中性化後の pH は、各汚泥の pH 収束値(図 2(a)参照)を用いた。同図に示すように CaO 含有量との相関はあまり認められなかったが、 SO_3 含有量の増加に伴い、特に中性化後の pH が減少する傾向が認められた。

4. まとめ アルカリ建設汚泥の中性化における CO_2 固定量に改質材が及ぼす影響について検討した結果、改質材の CaO 含有量との相関が認められた。また中性化の pH については、改質材 SO_3 含有量との相関が認められた。

参考文献 1) Steinour, H. H. (1959). Some effects of carbon dioxide on mortars and concrete-discussion. J. Am. Concr. Inst., 30(2), 905-907.2) 海野ら, 低炭素社会形成のための鉄鋼スラグの二酸化炭素固定化量の定量評価と二酸化炭素固定化メカニズムの推察. 地盤工学ジャーナル 9.4 (2014): 469-478. 3) 齋藤ら, 海面処分場における埋立廃棄物地盤中への CO_2 固定に関する基礎的研究, 令和3年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会発表資料, 2022.

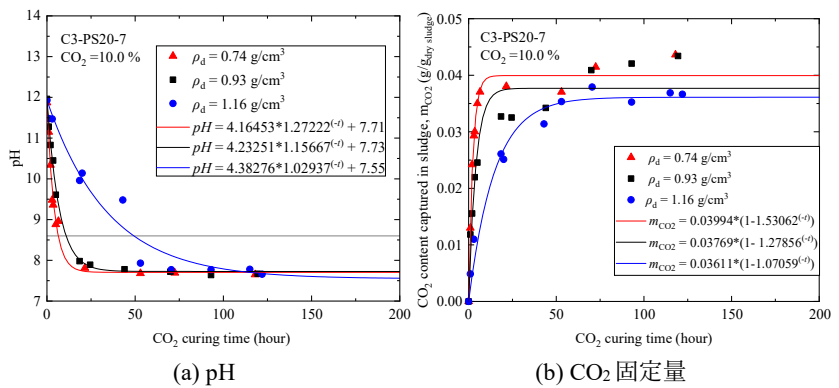


図 2 中性化にともなう pH・ CO_2 固定量の変化の例

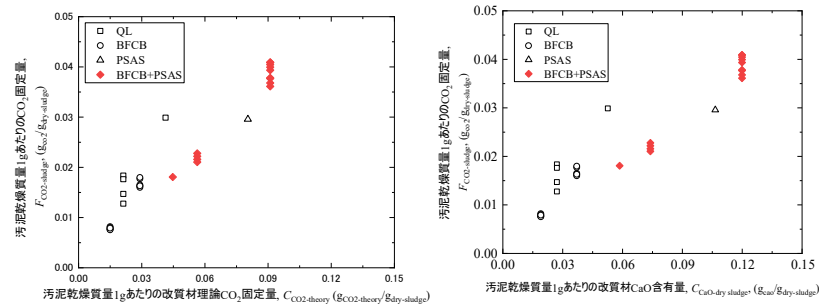


図 3 汚泥乾燥質量 1g あたりの CO_2 最大固定量

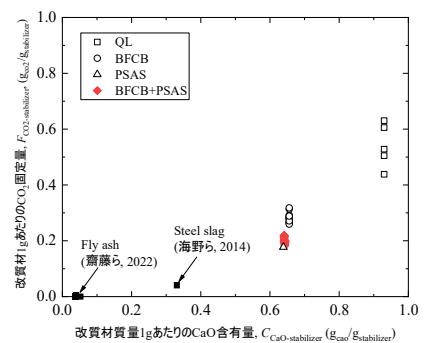


図 4 改質材質量 1g あたりの CO_2 固定量

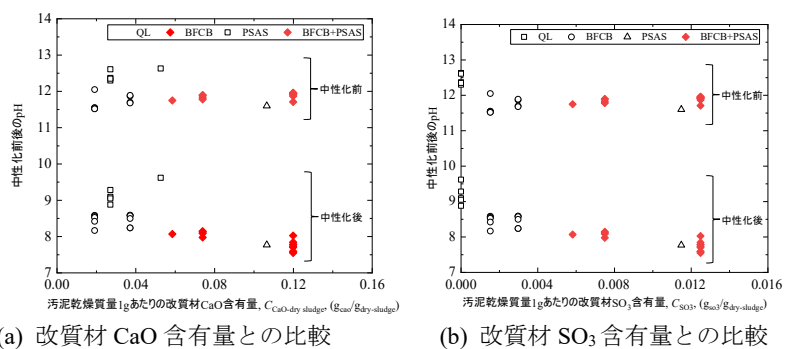


図 5 中性化前後の pH