

再生二水石膏を用いた中性固化材の開発  
～海成粘土および火山灰質粘性土に対する改質効果～

福岡大学工学部

学生会員

奥山 哲平

池田 茄生

福岡大学工学部

正会員

佐藤 研一

藤川 拓朗

古賀 千佳嗣

住友大阪セメント株式会社

小堺 規行

吉田 雅彦

植田 竜也

中央環境開発株式会社

太田 敏則

1. はじめに 近年、環境負荷低減の観点から、各産業において廃棄物や副産物の有効活用が図られる一方、植生や生態系に与える影響の少ない中性固化材のニーズが高まっている。このような背景の下、著者らはこれまでに再生二水石膏にアルミナ成分を含む特殊添加材と粉末凝集剤を混合した新しい中性固化材の開発を行っている<sup>1)2)</sup>。これまでの成果より、シールド工事によって排出される第4種建設発生土 ( $q_c=200\text{kN/m}^2$ 以上) を想定した模擬土に対し、pHを上昇させることなく発生土の受入基準として多い第3種建設発生土 ( $q_c=400\text{kN/m}^2$ 以上) を上回る改質効果が得られており、また再泥化<sup>2)</sup>に対しても効果的であることを明らかにしている。そこで、中性固化材の実用化に向けた次なる段階として、実際の海成粘土（以後、粘土）や有機分を多く含む火山灰質粘性土（以後、黒ボク）を用いた改質効果の把握を行った。本報告では、新しい中性固化材の改質効果について市販の中性固化材や高炉セメントB種と比較した結果について報告する。

2. 実験概要

表-1 実験に用いた試料土の特性

2-1 実験試料 試料土として、表-1に示す特性を有する粘土と黒ボクを用いた。いずれも有機分を含む試料であり、特に黒ボクは土粒子の密度が低く、含水比および強熱減量が高いことから、多くの有機分を含有していることが分かる。これらの試料を、予備試験によって求めたコーン指数と含水比の関係から、 $q_c=200\text{kN/m}^2$ （第4種建設発生土）となる含水比（粘土： $w=39\%$ ，黒ボク： $w=141\%$ ）に調整したものを実験に使用した。固化材には本研究で開発した中性固化材（再生二水石膏：特殊添加材：粉末凝集剤＝82:15:3（質量比））を使用し、比較として市販の中性固化材（以後、市販品）、高炉セメントB種を用いた。なお、特殊添加材には、アルミナ成分を含有する材料を使用しており、強度増進効果と再生二水石膏中に含まれるフッ素をフッ化アルミ等の比較的溶解度の低い化合物として不溶化させる効果を期待している<sup>2)</sup>。

| 土質試料 | 土粒子密度<br>$\rho_s(\text{Mg/m}^3)$ | 自然含水比<br>$w(\%)$ | 強熱減量<br>$\text{lg-loss}(\%)$ | 細粒分含有率<br>$F_c(\%)$ | pH   |
|------|----------------------------------|------------------|------------------------------|---------------------|------|
| 粘土   | 2.614                            | 63.7             | 11.8                         | 77.0                | 8.03 |
| 黒ボク  | 2.480                            | 129              | 32.9                         | 58.0                | 6.58 |

表-2 配合条件

| 試料                                         | 固化材                      | 固化材添加量<br>( $\text{kg/m}^3$ ) | 養生日数<br>(日) |
|--------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------|
| 粘土<br>( $w=39\%$ )<br>黒ボク<br>( $w=141\%$ ) | 中性固化材<br>市販品<br>高炉セメントB種 | 30<br>50<br>(70)              | 7           |

※70 $\text{kg/m}^3$ は粘土のみ

表-3 再泥化区分<sup>2)</sup>

| 区分 | 1                                                                                    | 2                                                                                     | 3                                                                                     | 4                                                                                     | 5                                                                                     | 6                                                                                     |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 形状 |  |  |  |  |  |  |
| 状態 | 変化なし                                                                                 | 角が崩れる程度                                                                               | 周囲のひび割れが顕著                                                                            | 再泥化開始                                                                                 | 半分が再泥化                                                                                | 完全に再泥化                                                                                |

2-2 実験条件及び実験方法 表-2に示す配合条件で改質土を作製し、pH、コーン指数、再泥化抵抗性<sup>2)</sup>について評価を行った。改質土は、配合条件に示す所定量の固化材を試料土に添加し、ホバートミキサーを用いて3分間攪拌混合して作製した。

表-4 改質目標（要求性能）

| コーン指数<br>( $\text{kN/m}^2$ ) | pH        | 再泥化区分 |
|------------------------------|-----------|-------|
| 500 以上                       | 5.8 - 8.6 | 2以下   |

その後、突固めによる土の締固め試験方法(JIS A 1210)に準拠し、D=10cm、H=12.7cmのモールドに2.5kgランマーを用いて落下高さ30cmにて3層25回で打設・成型を行い、ラップをかけて20℃の恒温室内にて7日間養生したものをコーン指数試験用の供試体とした。7日養生後、コーン指数試験(JIS A 1228)および土懸濁液のpH試験(JGS 0211)を行った。再泥化試験は、コーン指数試験と同じ突固めエネルギーで作製したD=5cm、H=10cmの供試体を水道水に水浸（液固比5）させ、表-3に示す再泥化区分<sup>2)</sup>に従い目視により評価を行った。なお、改質目標は発生土の再利用を想定し、表-4に示すとおりとした。

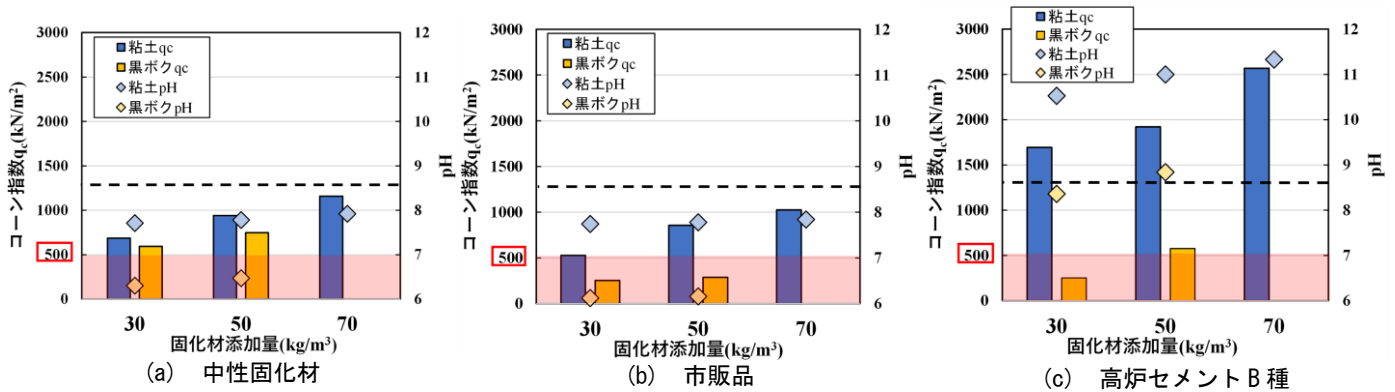


図-1 固化材添加量とコーン指数及び pH の関係

### 3. 実験結果及び考察

#### 3-1 コーン指数とpHへの影響

図-1 (a) ~ (c) に固化材添加量とコーン指数及び pH の関係を示す。改質対象が粘土の場合、固化材の種類に関係なくいずれも固化材添加量の増加に伴いコーン指数は増加する傾向にある。また、(a) 本研究で開発した中性固化材と (b) 市販品の中性固化材の改質効果を比較した結

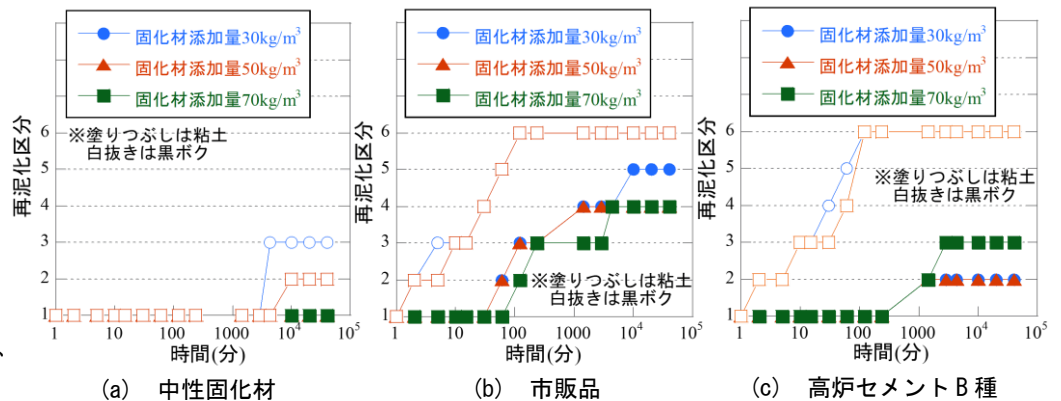


図-2 粘土及び黒ボクに対する改質効果（再泥化抵抗性）

果、同一添加量における pH に差は見られず、中性を呈する。しかし、改質効果は開発した (a) 中性固化材の方が同一添加量において僅かに高いことが分かる。一方、(c) 高炉セメントにおいては、中性固化材をはるかに上回る改質効果が得られるものの、pH は 11 前後と高いアルカリ性を呈した。次に改質対象が黒ボクの場合、(a) 中性固化材については粘土と同程度の改質効果が得られたものの、(b) 市販品は改質効果が小さく、目標とするコーン指数 ( $q_c=500\text{kN/m}^2$  以上) まで改質することが出来なかった。また、粘土において著しい改質効果が得られた高炉セメントにおいても、黒ボクのような有機分やアロフェンを多く含む火山灰質粘性土では改質効果が得られにくいことが分かる。再生石膏粉は、高有機質土に対しても高い改質効果が得られる<sup>3)</sup>ことが既往の研究においても明らかにされており、同様な結果が得られた。以上のことから、本研究で開発した中性固化材は、中性域における改質が可能であり、特にセメントによる改質が期待できない高有機質土に対しても効果的な改質が可能であることが明らかとなった。

3-2 再泥化抵抗性への影響 図-2 (a) ~ (c) に粘土及び黒ボクに対する各固化材の再泥化抵抗性を示す。改質対象が粘土の場合、(a) 中性固化材において再泥化は確認されず、他の固化材と比べて再泥化抵抗性を有することが確認された。一方、(b) 市販品及び (c) 高炉セメントにおいては、時間の経過とともに再泥化が進行し、再泥化抵抗性が低いことが分かる。また、改質対象が黒ボクの場合においても、(a) 中性固化材は再泥化に対して有効であり、添加量を増加させることで再泥化を十分に抑制できると考えられる。

4. まとめ 新たに開発した中性固化材は、pH が中性域において高い改質効果が得られた。また、一般的に改質しづらい高有機質土に対しても効果的であった。また、市販の中性固化材や高炉セメント B 種よりも再泥化抵抗性を有することが明らかとなった。

【参考文献】 1) 郭 嘉・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣・小堀規行・吉田雅彦・植田竜也・太田敏則：再生二水石膏を用いた中性固化材の改質効果と再泥化評価，第14回地盤改良シンポジウム論文集，pp.105-108, 2020. 2) 郭 嘉・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣・小堀規行・吉田雅彦・植田竜也・太田敏則：再生二水石膏を用いた中性固化材の開発～補助材・粉末凝集剤による改質効果の検証～，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.389-390, 2021. 3) 春日謙治・伊藤恵輔・佐藤研一・押方利郎・大山勝寿・坂本晃一・森田博史：半水石膏による地盤改良効果の検討，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.559-560, 2009.