

再生二水石膏を用いた中性固化材の開発 ～種々の含水状態における改質効果の把握～

福岡大学工学部	学生会員	柳田 竜希	寺野 綜太
福岡大学工学部	正会員	佐藤 研一	藤川 拓朗
住友大阪セメント株式会社		小堺 規行	吉田 雅彦
中央環境開発株式会社		太田 敏則	古賀 千佳嗣
			植田 竜也

1. はじめに 近年、環境負荷低減の観点から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。筆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おり^{1),2)}、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) を想定した模擬土をはじめ、海成粘土や火山灰質粘性土に対して、pHを上昇させることなく第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ることを明らかにしている。さらに次なる検討として、コーン指数が求められないような高含水比な土質材料を対象に、中性固化材の改質効果について検討した結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料 実験試料として珪砂、トチクレイ、加泥剤を混合して模擬砂質土(含水比25%においてコーン指数 200kN/m^2 を有する)を作製し、本研究で開発した中性固化材を用いた。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³⁾。

2-2 実験方法及び実験内容 表-1に示す条件で作製した模擬砂質土に、表-2に示す固化材添加量を添加し、ホバートミキサーを用いて攪拌混合

表-1 模擬砂質土の作製条件

模擬砂質土				
7号珪砂：トチクレイ(質量比)	70:30			
加泥剤 (kg/m^3)	3			
含水比 (%)	25	30	35	40
コーン指数 (kN/m^2)	200	—	—	—

して試料を作製した。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、 $D=10\text{cm}$ 、 $H=12.7\text{cm}$ のモールドにて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、

表-2 各含水比における固化材添加量

実験試料 含水比 (%)	模擬砂質土														
	25			30			35			40					
固化材添加量 C (kg/m^3)	20	30	50	30	50	70	50	100	150	300	500	100	150	200	500

ラップをかけて 20°C 一定の恒温室内にて7日間養生したものを直後成型と定義し、コーン指数試験用の供試体とした。一方、改質後の仮置きや練返しを想定し、混合・攪拌した材料を締固めずに7日間密封養生させ、解きほぐした後に締固めて作製した供試体を材齢時成型と定義し、これら2種類の供試体の改質特性について検討を行った。なお、改質目標は発生土の再利用を想定し、表-3に示すとおりとした。

表-3 改質目標 (要求性能)

コーン指数 q_c (kN/m^2)	pH
500以上	5.8~8.6

3. 実験結果及び考察

図-1 (a) ~ (d) に固化材添加量とコーン指数及び pH の関係を示す。いずれの結果からも、模擬砂質土の含水比が高くなるほど目標コーン指数 ($q_c=500\text{kN/m}^2$) を満足するための固化材添加量は増加し、固化材添加量の増加に伴い pH も上昇する傾向にあることが分かる。直後成型と材齢時成型における改質効果の差は、固化材添加量が多く、コーン指数が高くなるほどその差は大きくなる傾向にあることが分かる。また、模擬砂質土の含水比 $w=30\%$ 以上の条件においては、目標コーン指数を満足する配合において、pH はいずれも 8.6 を超え

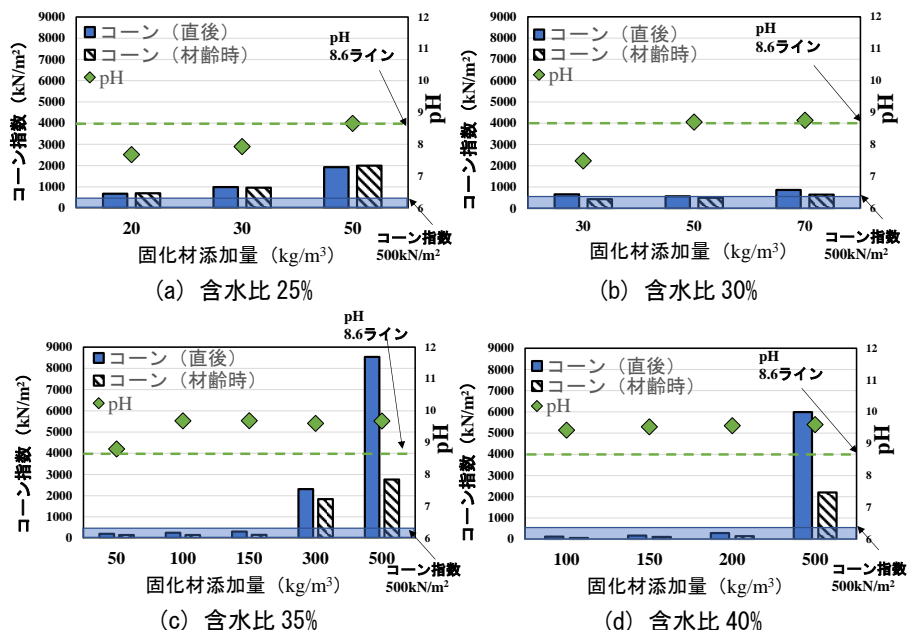


図-1 固化材添加量とコーン指数及び pH の関係

る結果となった。しかしながら、本研究で開発した中性固化材は、高含水比な試料に対しても十分な改質効果を発揮できることが明らかとなり、pHについても10を上回るような高アルカリ性を呈する可能性は低いことから、セメントやセメント系固化材と比べ環境に優しい固化材であることを示唆している。これら一連の結果を踏まえて、直後成型と材齢時成型別に固化材添加量とコーン指数の関係を示した結果が図-2 であり、いずれも式(1)に示す指数関数で近似できることが分かる。

$$q_c = A \cdot e^{n \cdot C} \quad (1)$$

ここで、 q_c :コーン指数、 A 及び n :係数、 C :固化材添加量である。係数 A は、固化材を添加していない各含水比状態におけるコーン指数を示しており、係数 n は固化材添加量に寄与する係数と考えられ、いずれもコーン指数に影響する含水比で整理した結果、図-3 に示すような相関が得られる。これらの相関関係を用いて、固化材添加量とコーン指数の関係について実測値と予測値を比較した結果が図-4 であり、直後成型・材齢時成型ともに、 $w=25\%$ および $w=30\%$ において精度よく表せていることが分かる。また、含水比の増加に伴い固化材添加量が多くなり予測値と実測値に差が見られることから、今後、さらにデータ数を増やし精度を高めていく必要があるものの、予測式を用いることで各含水比において改質に必要な固化材添加量のある程度求めることが可能である。図-5 は、目標コーン指数($q_c=500\text{kN/m}^2$)を満足する固化材添加量を含水比ごとに整理した結果であり、こちらも直後成型・材齢時成型ともに相関がみられ、近似式を用いることで所定の含水比に応じ改質に必要な固化材添加量を推測できることが分かる。図-6 は、固化材添加量と pH の関係を示しており、含水比に関係なく固化材添加量が 50kg/m^3 あたりを超えると pH は中性からアルカリ性に移行することから、このあたりが模擬砂質土を用いた条件において中性を維持できる範囲と考えられる。また、pH と固化材添加量は、対数式で近似できることから、固化材添加量から改質後の pH を予測することが可能である。さらに、固化材添加量が増加しても pH が 10 を超える可能性は低いことも分かる。

4. まとめ 本研究で開発した中性固化材は、高含水比な模擬砂質土に対しても固化材添加量を調整することで十分な改質効果を得られることが明らかとなった。その際、固化材添加量が 50kg/m^3 を超えると pH は中性域を僅かに超える傾向にあるものの、pH が 10 を上回る可能性は低いと考えられる。また、固化材添加量とコーン指数の関係は指数関数で近似することが出来ることから、試料土の含水比から改質に必要な固化材添加量の推定が可能である。

【参考文献】 1) 郭 嘉・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣・小堺規行・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) 奥山哲平・池田茄生・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣・小堺規行・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，土木学会西部支部研究発表会，III-028, pp.325-326, 2022. 3) 郭 嘉・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣・小堺規行・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.

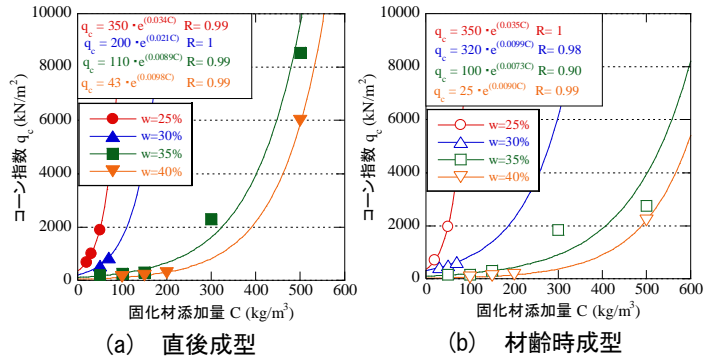


図-2 固化材添加量とコーン指数の関係

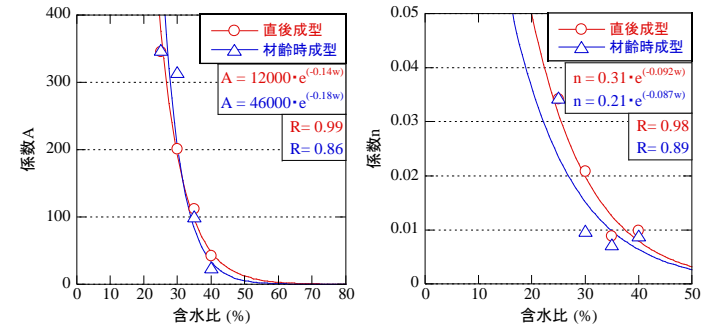


図-3 含水比と係数の関係

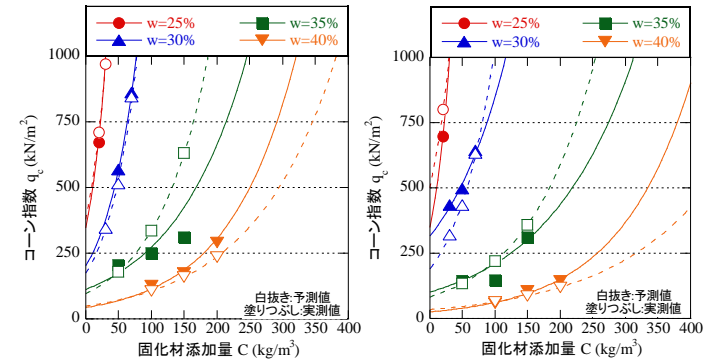


図-4 実測値と予測値の関係

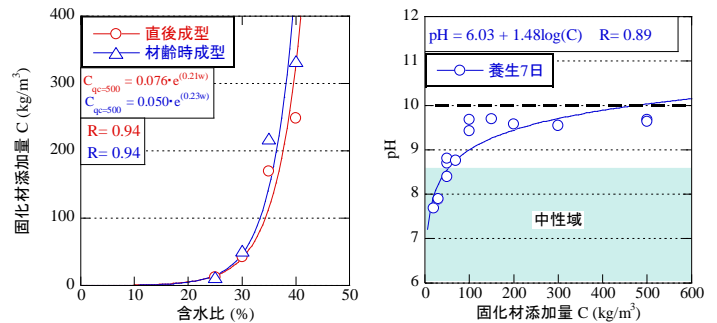


図-5 コーン指数 500kN/m^2 となる含水比と固化材添加量の関係

図-6 固化材添加量と pH の関係(養生 7 日)