

浅層改良工法において有機質土に有効な新しい固化材の開発に向けた研究

福岡大学大学院

学生会員 椿 貴裕

福岡大学工学部

正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣

株式会社E プラス

正会員 廣田 武次

リーフ エア 株式会社

稲元 裕二

有限会社 宮坂設計

宮坂 博信

1. はじめに 我が国は、国土の 70%が山岳地帯であり、急峻な山や急勾配の河川、降雨量も多いという特質な地形を有していることから、世界でも有数の軟弱地盤国である。軟弱地盤には有機分を多く含む土質が堆積しており、これらの土質の工学的特性は一般的な土質と比べて大きく異なる。そのため土工事において固化材を混合攪拌して土質の力学的性質を改良することが多い。しかしながら、既往の研究^{2),3)}では、これらの有機質土に含まれる有機物(フミン酸、アロフェン等)が改良土の固化反応を阻害し、所定の強度発現が生じないことが報告されている。そのため、現状の施工方法では一般的な固化材より高価で各土質の状況に応じたセメント系固化材を用いており、地盤改良でのコスト高が顕在化している。そこで本研究では、改良土の強度促進および固化反応の阻害要因を抑制することを目的とした添加剤を用い、有機質土において添加剤を固化材に混合した混合固化材の有効性の検討を行った。実験では、有機分含有量が異なる土質を用いて、特に添加剤および固化材の添加量に着目し、一軸圧縮強度から混合固化材を地盤改良材として用いた場合の適用性評価を行った結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料及び添加剤 本研究で用いた土質は、関東ローム、模擬土、泥炭の 3 種類である。模擬土は、カオリン粘土と泥炭の質量比を 1:1 として作製した試料である。これらの物理特性を表-1 に示す。いずれの土質も有機分含有量が高く、特に泥炭は、有機物含有量が 80%近く、高有機質土である。固化材は六価クロム溶出抑制効果を有した高炉セメント B 種とセメント系固化材(一般軟弱土用、高有機質土用)を使用した。図-1 に添加剤と有機分を多く含有した土質との固化反応メカニズムを示す。添加剤を添加した場合、水和反応に必要なカルシウムイオン(Ca^{2+})が補われエトリンガイトの生成が促進されるとともにセメント固化を阻害する有機物イオンとイオン反応することにより、改良土の強度発現を促すことが期待できると考える。添加剤の添加率は、固化材の質量比である。また、本研究で使用する添加剤は自硬性を有しないため、固化材と併用した混合固化材を用いる。

2-2 実験条件 表-2 に実験条件を示す。土質の含水比は自然含水比とした。混合固化材の改良効果を把握する目的として、添加剤の添加率は、6 条件(0, 6, 9, 12, 15, 18%)とした。また、固化材の配合量⁴⁾は、現場における均一な混合が確保できる最小添加量(50kg/m^3)をもとに $50\sim 250\text{kg/m}^3$ の範囲で 5 条件用いた。ソイルセメントの作製方法は、浅層改良工法の施工手順を考慮し、最初に粒子状の添加剤と土質を混合し、十分にイオン反応を促進させた後、固化材を混合攪拌する方法を用いた。

2-3 改良土の強度評価 今回の検討における改良土の強度評価は既往の文献⁵⁾から 28 日養生における目標の一軸圧縮強さを $675\sim 1350\text{kN/m}^2$ としている。

表-1 物理特性

土質試料	土粒子の密度 $\rho_s(\text{Mg/m}^3)$	自然含水比 $w_n(\%)$	細粒分含有率 $F_c(\%)$	強熱減量 $L_i(\%)$
関東ローム	2.464	90.5	77.6	19.1
模擬土	2.150	38.1	71.8	41.5
泥炭	1.446	104.6	70.6	79.2

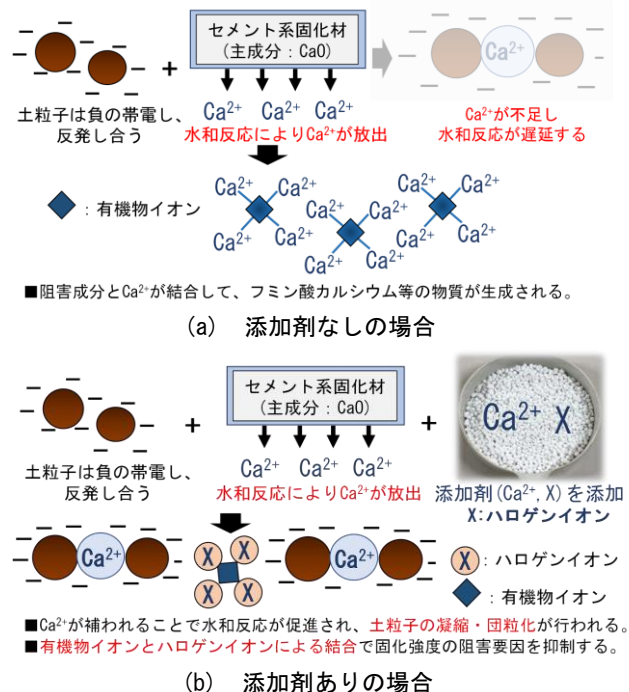


図-1 改良土の固化反応メカニズム

表-2 実験条件

土質試料	添加剤の添加率 $Ad(\%)$	固化材の種類	固化材の配合量 $C(\text{kg/m}^3)$	養生 (日)
関東ローム	0~18	高炉セメントB種 一般軟弱土用 高有機質土用	50~250	28
模擬土				
泥炭				

3. 実験結果および考察

3-1 固化材の種類および配合量の影響 図-2に28日養生における一軸圧縮強さに及ぼす固化材配合量の影響を示す。高炉セメントB種は、固化材の配合量の増加とともに一軸圧縮強さが増加している。セメント系固化材(一般軟弱土用および高有機質土用)は、配合量を250kg/m³添加した場合、著しく強度増加している。特に高有機質土用固化材を250kg/m³添加した場合、目標強度を上回っていることが分かる。

3-2 添加剤の最適な添加率の把握 図-3に28日養生における一軸圧縮強さに及ぼす添加剤の添加率の影響を示す。高炉セメントB種では、添加率12%のとき最も高い値を示した。しかしながら、添加率が12%以上の場合、強度低下を起こしている。これは、酸化力が強いハロゲンイオンとカルシウムイオンなどの陽イオンが結合したことで、水和反応に必要なカルシウムイオンが不足したことが要因と考える。セメント系固化材(一般軟弱土用)の場合、添加率9%のとき、最も高い値を示した。また、添加剤を過剰に添加した場合、高炉セメント同様に強度低下する傾向が見られる。このことから、今回使用した関東ロームのような高含水かつ有機分を多く含有する土質に対して添加剤を固化材の質量に対して10%程度添加することで、改良効果が見られることが明らかになった。

3-3 有機分含有量の異なる土質における混合固化材の改良効果の把握に関する検討 図-4に28日養生における一軸圧縮強さに及ぼす有機分含有量の影響を示す。関東ロームと模擬土に着目すると、いずれの土質も混合固化材の利用により改良土の改良効果が見られる。一方、泥炭は固化反応を阻害する有機物イオンを多く含有しているため、改良土の強度発現が見られていない。これらのことから、添加剤の効果は有機分含有量が一定以上の場合、その効果が小さくなることが分かる。

3-4 混合固化材の有効性に関する検討 図-5に各固化材の一軸圧縮強さに及ぼす混合固化材の影響を示す。(a)一般軟弱土用の場合、ケース2において最も高い改良効果が示された。また、(b)高有機質土用の場合、ケース2と3において同程度の強度発現をしている。このことから、有機分を多く含む土質試料において混合固化材を添加することで目標強度を上回り、固化材の配合量を削減できることが示唆された。

4. まとめ 1)有機質土地盤を要求強度以上に改良するためには250kg/m³以上のセメント系固化材が必要であることが示された。2)自然含水比状態の関東ロームにおいて、添加剤を固化材の質量の10%程度添加することで改良効果を発揮することが明らかになった。3)土質の有機分含有量の違いが添加剤による改良効果に影響することが判明した。4)有機物を多く含有する土質において、混合固化材を適切な配合量用いることで固化材のみの場合と比較して高い改良効果を期待できることが明らかになった。

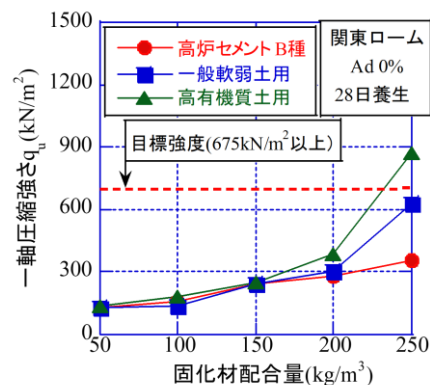


図-2 一軸圧縮強さに及ぼす固化材配合量の影響

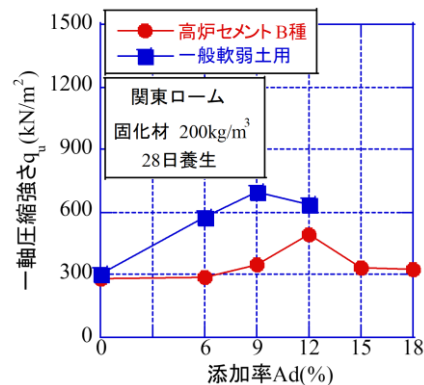


図-3 一軸圧縮強さに及ぼす添加剤の添加量の影響

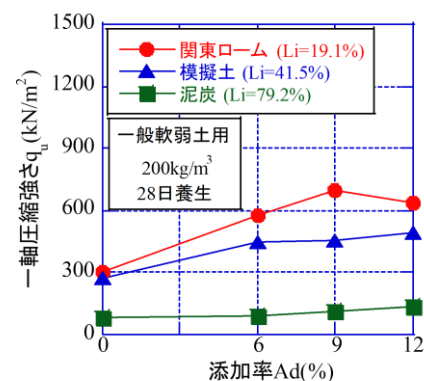


図-4 一軸圧縮強さに及ぼす有機物含有量の影響

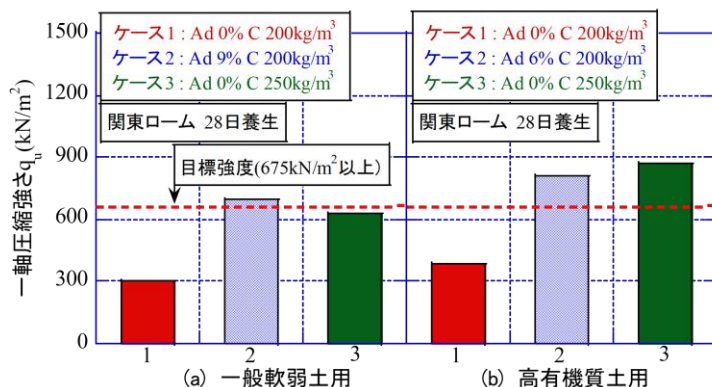


図-5 一軸圧縮強さに及ぼす混合固化材の影響

【参考文献】 1) 奥村樹郎：我が国における軟弱地盤改良工の歴史的展開，地盤と建設，Vol.17, No.1, 1999. 2) 渡邊ら：セメントの固化作用を阻害する火山地域の特殊土，砂防学会研究発表会概要集，pp.B-148-B-149, 2013. 3) 川崎ら：泥炭およびロームの化学成分がセメント硬化体の強度発現特性に及ぼす影響，農業農村工学会大会講演会講演要旨集，pp.756-757, 2015. 4) 一般社団法人セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル第4版，pp.110-111, 2012. 5) 一般社団法人日本建築センター：地盤改良の設計及び品質管理における実務上のポイント，pp.14-15, 2010.