

## 有明粘土の生石灰による改良効果に及ぼす有機物と塩分の影響

Effects of Organic Matter and Salt Concentration on Strength of Quick Lime Stabilized Ariake Clay

鬼塚 克忠 (おにつか かつただ)  
佐賀大学教授 理工学部都市工学科Chirdchanin Modmoltin (チャードチャニン モドモルティン)  
佐賀大学大学院工学系 研究科博士後期課程根上 武仁 (ねがみ たけひと)  
佐賀大学助手 理工学部都市工学科河野 雅和 (こうの まさかず)  
佐賀大学大学院工学系 研究科博士前期課程

## 1. はじめに

著者らは既に、軟弱な建設発生土の有効利用法について報告している<sup>1)</sup>。有明粘土を地盤材料として再利用するためには、生石灰やセメントなどの固化材による化学的改良が必要である。しかしながら、採取場所や深度が異なると、含水比・固化材添加率・養生日数などを同じ条件にしても、その改良効果は大きく異なることがこれまでに明らかにされている<sup>2)</sup>。

固化材を用いる場合、対象となる建設発生土の粒度分布、粘土鉱物、有機物（腐植酸や腐植）も含め、pH、土中の間隙水（塩分濃度や電気伝導性）などの性質が問題となる<sup>3)</sup>と考えられるが、その影響は未だ明らかではない。

そこで本研究では、採取場所の異なる有明粘土について、強熱減量・塩分・腐植含有量を測定し、有機物と塩分が生石灰添加による有明粘土の改良効果に及ぼす影響について考察した。

## 2. 有明粘土試料と試験方法

## 2.1 用いた試料

今回用いた試料は福岡県大川市の水路底の深度1 mより採取した有明粘土（粘土1とする）、佐賀県小城郡芦刈町の水田の深度約3 mより採取した有明粘土（粘土2とする）、長崎県諫早湾の締切堤内側の深度約3 mより採取した有明粘土（粘土3とする）である。用いた試料の物理的性質は表1に示すとおりである。これより粘土1は粘土2・3と比較すると塩分濃度およびpHが低いことがわかる。表中の塩分濃度は電気伝導率の測定により、測定されたNa<sup>+</sup>イオン濃度から算出した値である。

## 2.2 試験方法

含水比の違いによる改良効果の差をなくすため、粘土1の含水比185%になるように他の粘土の含水比を調節した。後述する有機物除去試料については、含水比を150%に調節した。なお、生石灰添加率は対象とする有明粘土の換算乾燥質量に対して5%、10%および20%である。供試体は締め固めない方法<sup>4)</sup>で作製し、寸法は直径5 cm×高さ10 cmとし、20±1℃で、それぞれ7日・14日・28日養生後、一軸圧縮試験を行った。

表1 有明粘土の物理的性質

	粘土1 大川	粘土2 芦刈	粘土3 諫早	
自然含水比 (%)	185.0	150.0	170.0	
土粒子の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.48	2.62	2.56	
液性限界 (%)	142.7	133.0	150.0	
塑性指数	89.1	71.4	88.0	
粒度組成 (%)	砂分	3.0	2.5	0.0
	シルト分	29.0	37.5	19.0
	粘土分	68.0	60.0	81.0
塩分濃度 (g/l)	0.7	15.4	23.1	
pH	6.0	7.6	8.3	
有機物含有量 (重クロム酸法) (%)	1.1	1.1	1.1	
腐植含有量 (%)	1.94	1.67	2.35	
腐植酸含有量 (%)	1.60	0.25	0.31	

粘土に含まれる有機物を処理するために、アルカリ抽出法<sup>4)</sup>を適用し、粘土中の有機物を除去した。これは乾燥質量で500 g相当の粘土試料に対して0.5 mol/lの水酸化ナトリウム水溶液を加え、攪拌・混合し含有有機物を除去する方法である。アルカリ抽出実施後は塩分濃度が変化するため、含水比の調節を行った後に塩分濃度を調節した。

アルカリ抽出法によって有機物除去し、塩分濃度を調節した粘土1、粘土2および粘土3に、あらかじめ粘土1から抽出しておいた腐植酸と生石灰20%を加え、攪拌・混合後7日養生し、一軸圧縮試験を行った。有機物除去試料の塩分濃度は、NaOHおよびHClで処理されているため、高い値を示す。そのため有機物を除去した試料については蒸留水で洗い、塩分濃度を調整した。さらに、粘土1・2および生石灰20%を添加した粘土1・2、また有機物を除去した粘土1に生石灰20%を添加した試料について、走査型電子顕微鏡（SEM）による微視的土構造の観察を行った。

## 3. 試験結果と考察

## 3.1 一軸圧縮試験結果

図1は、自然粘土1・2・3における生石灰添加率と養生日数を変化させた場合の一軸圧縮試験結果を示したものである。粘土1（図1(a)）は生石灰添加による強度発現は見られず、添加率20%で28日養生した場合でも、一軸圧縮強さは5 kN/m<sup>2</sup>であり非常に低かった。これに対して粘土2・3（図1(b)(c)）は、生石灰添加率および養生日数によってかなりの強度増加が見られた。

有機物を除去した試料を、それぞれ処理土1・2・3

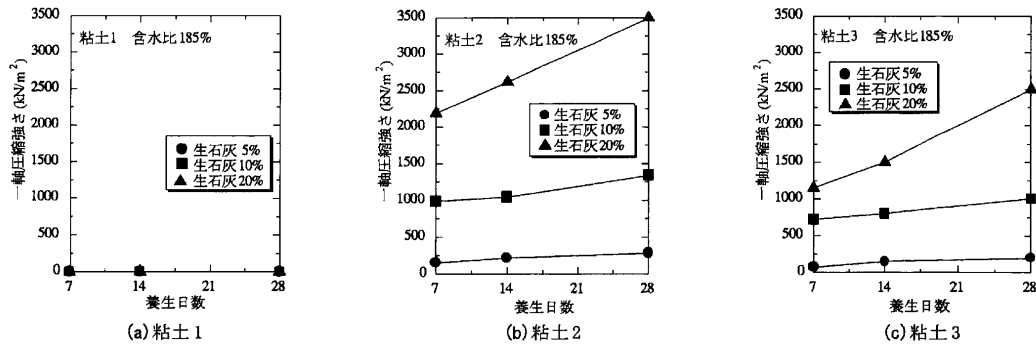


図-1 自然粘土に生石灰を添加した一軸圧縮試験結果

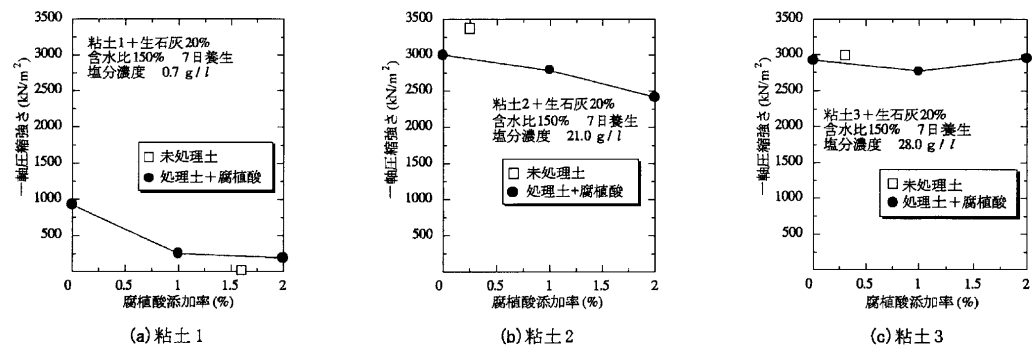


図-2 有機物除去粘土に生石灰を添加し腐食酸添加率を変化させた一軸圧縮試験結果 (7日養生)

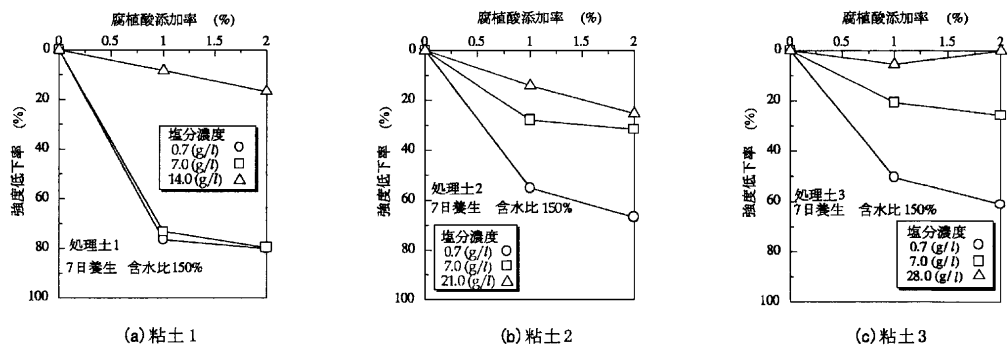


図-3 処理土の塩分濃度を変化させ生石灰および腐食酸添加した場合の一軸圧縮強度低下率 (7日養生)

と呼ぶ。処理土1の液性限界は、処理前より減少し、土粒子の密度が増加した。これは含有されていた腐植などの有機物が除去されたためと考えられる。図-2(a)に示すように処理土1に生石灰20%を添加し、7日養生後に一軸圧縮試験を行った結果、同条件の未処理土の改良強度が $5 \text{ kN/m}^2$ であったのに対し $900 \text{ kN/m}^2$ の強度を得た。これより、粘土1の場合は、含有される腐植酸が改良効果を大きく阻害すると考えられる。

図-2は腐植酸添加率と改良強度の関係を示したものである。粘土1の場合(図-2(a))は腐植酸添加により約 $750 \text{ kN/m}^2$ 程度の強度低下が見られるが、粘土2・3の場合(図-2(b)(c))は、粘土1に比べるとあまり大きな強度低下は生じていないことがわかる。これより、生石灰添加による有明粘土の改良強度は、含有される腐植酸などの有機物以外にも大きく影響する因子があることがわかる。図-2(b)(c)および表-1から判断すると、粘土1と粘土2・3で改良強度に違いが見られたのは、腐植などの有機物含有量に加え、塩分濃度の影響であると考えられる。

図-3は処理土1・2・3に対し、塩分濃度と腐植酸の添加率を変化させたときの強度低下率を示したものである。粘土1(図-3(a))は、塩分濃度が $14.0 \text{ g/l}$ (図中 $\Delta$ )になると、強度低下率が小さくなり、生石灰による改良強度は腐植酸の影響をあまり受けないことがわかる。また、図-3(b)(c)の粘土2・3では、この傾向がさらに顕著に見られ、塩分濃度が高くなるにつれて、腐植酸の添加率が高くても、比較的大きな改良効果が得られていることがわかる。

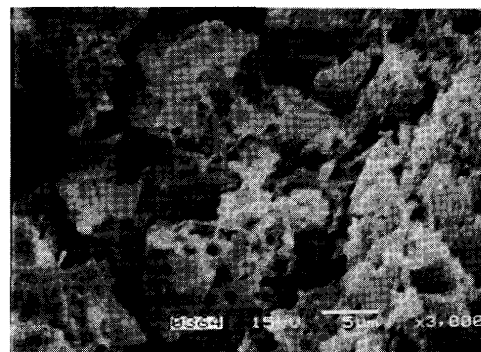
塩分濃度は生石灰の改良メカニズムにおいて、イオン交換反応および水和生成物の形成を促進し、改良強度が増加することが報告されている<sup>5),6)</sup>。つまり、生石灰添加による改良には、腐植酸や塩分濃度が大きく関連し、塩分濃度が高い場合には、塩分による改良効果促進が生じ、腐植酸の影響が小さくなるものと考えられる。

### 3.2 微視的土構造観察

図-4は、有機物除去処理前の粘土1・2の電子顕微鏡写真(SEM写真)を示したものである。両試料とも多くの珪藻遺骸が確認できる。図-5は、有機物除去処

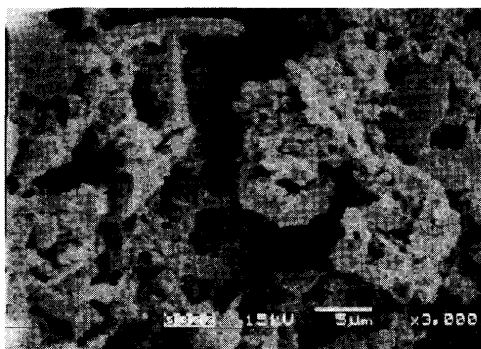


(a)粘土1 含水比185% (——5μm)

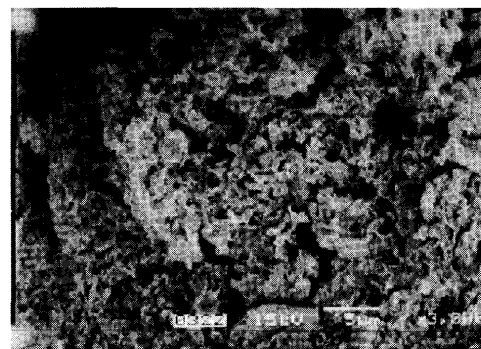


(b)粘土2 含水比150% (——5μm)

図-4 練り返した自然粘土のSEM写真



(a)粘土1 含水比185% (——5μm)



(b)粘土2 含水比150% (——5μm)

図-5 自然粘土に生石灰20%添加したSEM写真

理前の粘土1・2に生石灰を20%添加し、28日養生した試料のSEM写真を示したものである。改良強度が得られなかった粘土1(図-5(a))は、生石灰添加によって微視的土構造はほとんど変化していない。これに対して改良強度を有する粘土2(図-5(b))の場合は、比較的大きな土粒子が細片化したような状態を示し、微視的土構造が変化している様子がわかる。

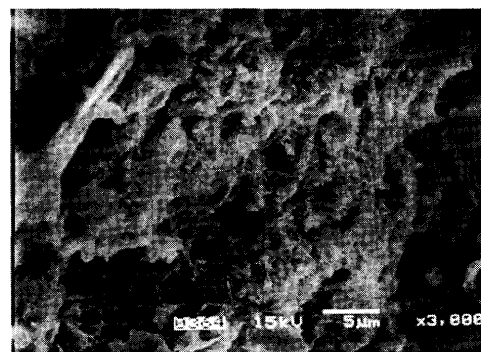
図-6は、有機物を除去した粘土1に対して、生石灰を20%添加し、攪拌・混合後に28日養生した試料のSEM写真を示したものである。図-4(a)に示した有機物除去前の状態とは異なり、有機物除去後の図-5(b)と似たような構造が見られた。

#### 4. 結論

- ① 含水比が同じであっても、腐植酸と塩分の含有量によって、生石灰による改良強度には差異がある。
- ② 塩分濃度が低い場合は、腐植酸濃度が生石灰による改良効果を大きく阻害するが、塩分濃度が高くなると、改良効果を阻害する影響は小さくなる。
- ③ 生石灰による改良強度が得られた試料では、改良前後で、微視的土構造に変化が見られた。逆に、改良強度が得られなかった試料では、微視的土構造もほとんど変化していない状態が観察された。

#### 参考文献

- 1) 南里 勝・鬼塚克忠・田中 聡：軟弱な有明粘土の地盤材料化への試み，土と基礎，Vol. 46, No. 8, pp. 17~20, 1998.



(——5μm)

図-6 処理土1に生石灰を20%添加したSEM写真

- 2) Katsutada Onitsuka, Chirdchanin Modmoltin, Takehito Negami, Masakazu Kouno: Effect of Organic Matter on Lime and Cement Stabilized Ariake Clay, 投稿中(土木学会論文集).
- 3) 大場正男：土中の有機物がセメンティング効果に及ぼす影響，土木技術資料，Vol. 10, No. 12, pp. 606~611, 1968.
- 4) 地盤工学会：土質試験の方法と解説(第一回改訂版)，安定処理土の締固めをしない供試体作製，pp. 308~316, 2000.
- 5) 地盤工学会：土質試験の方法と解説(第一回改訂版)，規格・基準以外の試験方法，腐植含有量試験，pp. 202~204, 2000.
- 6) 有泉 昌：石灰安定処理の機構，土と基礎，Vol. 25, No. 1, pp. 9~16, 1977.
- 7) Moh, ZC: Soil Stabilization with Cement and Sodium Additives, Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 88, No. 6, pp. 81~105, 1962.

(原稿受理 2001.12.27)