

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 25 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560600

研究課題名(和文) 造粒固化処理土の時間依存変形挙動の解明とモデル化

研究課題名(英文) Investigation and modelling on time-dependent deformation behavior of cement treated granulate soils

研究代表者

早野 公敏 (Hayano, Kimitoshi)

横浜国立大学・都市イノベーション研究院・教授

研究者番号：40302632

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：浚渫土や建設汚泥、泥土など液性限界を上回る高含水状態の土(液状泥土)を造粒固化する新たな方法として、固化の時間依存性を明らかにして、“ほぐし”に着目した検討を行った。一般に、海成粘土を原料土とした液状泥土にセメントを添加して直後に攪拌しても造粒物は得られない。しかし、数時間から1日程度の養生期間を設けると処理土は液状から塑性状、そして半固体状になり、ほぐしながら再攪拌すると造粒物が得られた。そして所定の粒度分布の造粒物を得るためには、処理土のコーン指数を用いた「造粒ゾーン」モデルで管理できることが分かった。

研究成果の概要(英文)：A new method for granulating liquid muds is proposed in this study. The method includes the process which crumbles partially-cemented muds. Laboratory experiments showed that granulation could not be achieved if cement-mud mixtures were stirred just after the cement was poured to the liquid muds of marine clays. However, the mixtures could be granulated if they were restirred after they had been primary cured for the period from a few hours to about one day. The particle size of the granulated materials could be changed by adjusting the primary curing periods. Laboratory experiments revealed that the cone indices of the cement-mud mixtures just after primary cured can control the possibility of the granulation and the size of particles, regardless of the water content and the primary curing period of the muds. It was also found that the compressive strength of single particles of the granulated materials which were secondary cured could not be affected by the primary curing time.

研究分野：地盤工学

キーワード：地盤改良

### 1. 研究開始当初の背景

従来、浚渫土やヘドロ、建設汚泥、泥土など液性限界を上回る高含水状態の土（液状泥土）は、その大部分を回収、脱水処理、運搬などして、産業廃棄物や建設発生土（残土）として処理されてきた。これに対し、近年、液状泥土を造粒固化して、埋立て材、裏込め材、埋戻し材、盛り土材、養浜材、覆土材、路盤材などとして有効活用する手法が提案・実用化されている。

液状泥土を造粒固化する方法として、固化材との混合に加えて、例えば高分子凝集剤を添加する方法や、石炭灰やペーパースラッジ灰など吸水性材料を添加し水分を調整する方法などがある。また液状泥土に固化材を添加した後、完全に固化するまで養生し、泥土を固結させた固結塊を破碎して粒状物を生成する方法も知られている。一方で上記に挙げた既往の事例を見ると、それぞれのやり方においていくつかの課題が認められる。

例えば従来的高分子凝集剤を添加する液状泥土の造粒固化方法においては、液状泥土を所望の状態に造粒させるために高価な凝集剤を多量添加する必要があり、非常に高コストの処理方法となる。粘性の高い泥土が処理対象である場合、好適に凝集作用が働かず、造粒できないケースもある。

吸水性材料を添加して液状泥土を造粒固化する方法においても、液状泥土の含水比を低下させるためには多量の吸水性材料を添加する必要が生じ、高コストになる。さらに多量の吸水性材料を添加することで、当初の液状泥土の量に対し処理を施した後の液状泥土（処理土）の量が增大するという問題も発生する。

セメント系固化材や石灰などの固化材を液状泥土に添加し、固化後に破碎する方法においては、固化するまでの養生時間が非常に長くなり、養生スペースの占有期間が多く必要になる。また粒状物を製造するために特別な破碎機が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究では、従来の手法の課題を解決するために、造粒固化の時間依存性を明らかにし、その簡易なモデル化を利用した新たな造粒固化処理方法の提案を目的としている。

### 3. 研究の方法

本研究では、高価な凝集剤や吸水性材料を不要にし、かつセメントなどの固化材を用いて効率的に造粒物の製造を可能にする液状泥土の造粒固化方法を試みた。具体的には、海成粘土を原料土とした液状泥土にセメントを添加して混合し、固化の時間依存性を明らかにして、この処理土をほぐすことで粒状物の生成を試みた。さらに造粒の可否や造粒物の粒度分布・粒子強度に及ぼす要因を調べ、養生工程でほぐし造粒を行うタイミングの効果的な管理ができる時間依存変形挙動の

モデル化を行った。

### 4. 研究成果

液性限界が 80.1% で自然含水比 69.4% の非常に粘性の高い海成粘土（SMC）を液性限界の 1.25 倍の含水比 100% に調泥しスラリー化したものを対象に、セメント系固化材（普通ポルトランドセメント）のみを添加して次のような条件下で造粒を試みた。

セメント添加率 10%、20%、30% の 3 配合で、海成粘土にセメントを添加して 1 分間ミキサーで混合した後、それぞれの配合について 1 次養生 2、4、8、16 時間経過後にミキサーで 1 分間再び攪拌した（ほぐした）。

その結果、写真 1 に示すような処理物が得られた。一般に再攪拌しない場合や養生時間が短い場合、写真 1 上のような処理物が得られる。再攪拌しない場合、セメントを添加しただけではただの粘土の塊のままである。一方、長時間放置した後に再攪拌した場合には、写真 1 下のような固結塊状の処理物となる。しかし所定の時間に再攪拌（ほぐし造粒）をすることにより写真 1 中央のような粒状体の処理物（造粒物）を得ることができる。図 1 に造粒物の粒径加積曲線を示す。ほぐすまでの 1 次養生時間を調整することによって様々な粒度の造粒物を得ることができる。

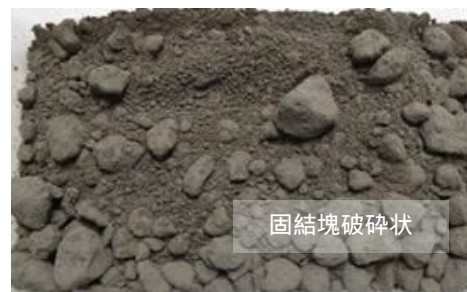
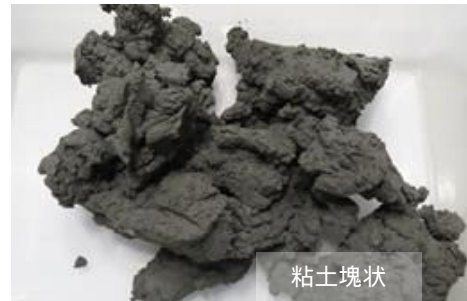


写真 1 ほぐし（再攪拌）して得られた処理物

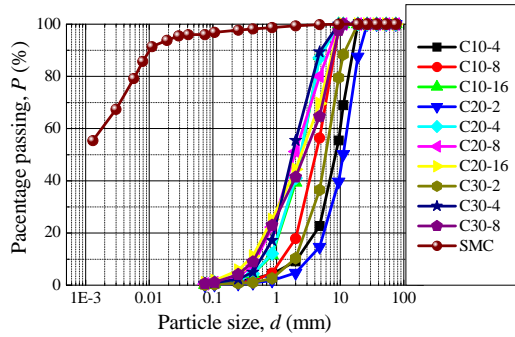


図1 得られた造粒物の粒径加積曲線

以上のように、液状泥土がセメント系固化材の化学反応により、時間経過とともに液体から固体に性状が変化する特性が認められ、その時間依存変形特性を利用する造粒が可能であることが分かった。すなわち、液状の泥土が塑性～半固体状の状態（塑性限界付近）になるタイミングで、半固形物を攪拌することによりほぐす点にこの手法の特徴がある。このような方法による造粒の方法を、「ほぐし造粒」と呼ぶこととした。

ほぐし造粒ができるタイミングは土の種類、固化材の種類、添加量、あるいは養生時間によって異なる。「ほぐし造粒」が可能な状態となる性状には一定の幅（造粒ゾーン）がある。

この「造粒ゾーン」をモデル化する方法として、締固めた土のコーン指数試験方法（JIS A1228）を用いた。再攪拌（ほぐし造粒）の直前に、前述した試験ケースのすべてでコーン貫入試験を実施した。表1に示すようにコーン指数  $q_c$  によって作製される造粒物の工学的分類が異なる。コーン指数  $q_c$  が 150～400  $\text{kN/m}^2$  まで中礫、粗礫の卓越した礫質土で、コーン指数  $q_c$  400～1000  $\text{kN/m}^2$  で砂質土、1000～1800  $\text{kN/m}^2$  で細礫の卓越した礫質土が作製される。

表1 コーン試験結果

| セメント添加率 (%)       | 10   |       | 20     |       | 30   |        |      |   |        |      |
|-------------------|------|-------|--------|-------|------|--------|------|---|--------|------|
|                   | 造粒判定 | 工学的分類 | 造粒判定   | 工学的分類 | 造粒判定 | 工学的分類  |      |   |        |      |
| 再攪拌するまでの養生時間 (hr) | 2    | ×     | —      | 124   | △    | 礫質土(粗) | 190  | △ | 礫質土(粗) | 236  |
|                   | 4    | △     | 礫質土(粗) | 153   | ◎    | 砂質土    | 386  | ◎ | 砂質土    | 716  |
|                   | 8    | △     | 礫質土(粗) | 236   | ◎    | 砂質土    | 940  | ○ | 礫質土(細) | 1614 |
|                   | 16   | ◎     | 砂質土    | 375   | ○    | 礫質土(細) | 1708 | ◆ | —      | 貫入不能 |

つまりコーン指数で管理することにより必要に応じた粒度を持つ造粒物が作製可能であることを示している。図2に示すようにコーン指数はセメント添加率と養生時間でコントロールできる。すなわち、造粒までの養生時間を短縮するためにはセメント添加率を大きくすることが有効であり、逆に少な

いセメント添加量で造粒させるためには長い養生時間を確保する必要があることが同図でわかる。同図を用いることでセメント添加量や養生時間、あるいは養生ヤード広さやサイクルタイム等、現場条件に合わせて最適な造粒条件を設定することが可能である。

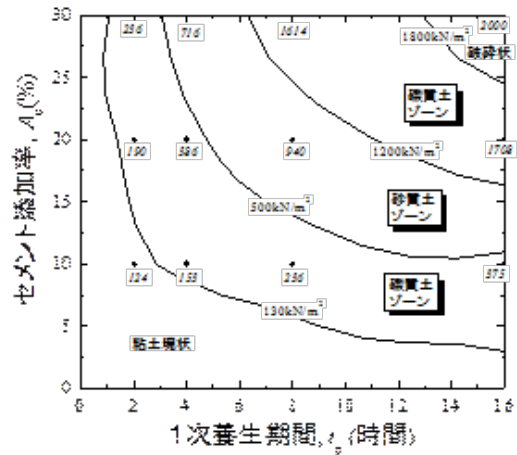


図2 コーン試験を利用した造粒ゾーン

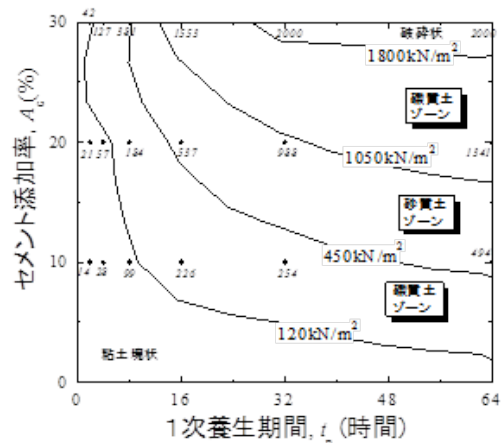


図3 粘土の初期含水比が変化したときの造粒ゾーン

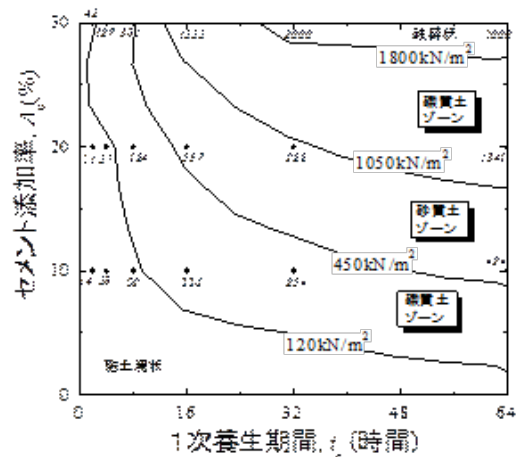


図4 粘土の種類が変化したときの造粒ゾーン

図2に示した造粒ゾーンは、粘土の初期含水比が変化したり、あるいは粘性土の種類が変わったりしてもほぼ同様にモデル化ができることが確認され(図3,図4),一般性の高いモデル化であると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1件)

(1) 早野公敏, 山内裕元, 佐々木孝太, 藤嶋恵輔, "ほぐしを利用した液状泥土の新しい造粒方法の基礎的検討", 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.70, No.4, 424-432, 2014.

〔学会発表〕(計 3件)

(1) 佐々木孝太, 山内裕元, 早野公敏, 液状泥土を固化材で造粒固化する方法の提案と管理手法の検討, 第49回地盤工学研究発表会講演集, pp.639-640, 2014年, 7月

(2) 藤嶋恵輔, 早野公敏, 造粒砂の粒度分布に着目したPS灰および石炭灰の配合条件と造粒メカニズムの検討, 第48回地盤工学研究発表会講演集, pp.743-744, 2013年, 7月

(3) Hayano, K. and Fujishima, K., "Effects of paper sludge ash and fly ash on mixture design of cement-treated granulated soils", Geotechnics for sustainable development (Phung Duc Long eds.), pp. 375-378, 2013.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1件)

名称: 液状泥土の造粒固化方法

発明者: 早野公敏, 佐々木孝太, 山内裕元, 和栗成樹

権利者: 国立大学横浜国立大学, domi環境株式会社

種類: 特許

番号: 特願 2014-239213

出願年月日: 2014年11月26日

国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://hayano2.wix.com/khayanolab>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

早野 公敏 (HAYANO KIMITOSHI)

横浜国立大学・大学院都市イノベーション

研究院・教授

研究者番号: 40302632