

## 脱水ケーキを用いた自己修復性を有する高性能遮水材の開発 ～遮水材の粒度分布の検討～

福岡大学大学院	学生会員	寺野 綜太			
福岡大学工学部	正会員	佐藤 研一	藤川 拓朗	古賀 千佳嗣	
リーフエア (株)		稲元 裕二			
(株) ホージュン		水野 正之	佐古田 又規		
西武建設 (株)	正会員	新井 靖典			
SK マテリアル (株)		齋藤 務			

1. はじめに 近年多発する集中豪雨や地震によるため池堤体のパイピングやクラックの発生、老朽化に伴う堤体機能の低下を踏まえ、全国各地で対策・補修工事が行われている。しかしながら、ため池堤体の遮水部分に用いられる天然の刃金土の不足や、地山の掘削に伴う環境破壊が重要な課題となっている。そこで、本研究では刃金土の代替材として建設汚泥の一つである脱水ケーキに着目し、脱水ケーキとベントナイトを混合させた膨潤性・自己修復性を有する遮水材の開発を行っている<sup>1)</sup>。脱水ケーキのような細粒分を多く含む材料を遮水性材料として用いる場合、施工時や落水時の乾燥収縮によるひび割れを防止すべく適切な粒度範囲が求められる<sup>2)</sup>。そこで本報では、遮水材の粒度およびベントナイト添加率が乾燥収縮時のひび割れ抵抗性に与える影響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 実験試料及び実験条件 表-1 に実験試料の物理特性を示す。実験には、碎石場で発生する濁水をフィルタープレスにかけて固液分離された脱水ケーキを使用しており、主に細粒分で構成されている。また、遮水材の粒度分布を変化させるために、まさ土を使用した。表-2 に実験条件、図-1 に試料の粒径加積曲線を示す。脱水ケーキの含水比の違いによるスレーキングやクラック(乾燥収縮)の違いを調べるべく、含水比を最適含水比と湿潤側の2条件で検討を行った。また、脱水ケーキとまさ土の混合土は、乾燥質量比で75:25, 50:50, 25:75の3条件でそれぞれの最適含水比で試料を作製し、図-1 に示すようなクラックの危険範囲と遮水材の理想の粒度範囲<sup>1)</sup>をそれぞれ満足するように検討を行った。さらに、表-2 に示す条件より、クラックが発生せず、脱水ケーキを有効利用できる条件を目標粒度として、Na型ベントナイトを乾燥質量に対して5, 10%添加し、力学特性や膨潤特性について検討を行った。

2-2 実験方法及び実験内容 スレーキング試験(JGS 2124)を参考に、遮水材の粒度分布の違いによるひび割れ抵抗性の差異の把握を行った。ひび割れ抵抗性試験は、各試料を直径100mm、高さ30mmのモールドに試料を1E<sub>c</sub>の締めめ仕事量で突き固めた後に、カッターリングを用いて直径60mm、高さ20mmに成型したものを使用した。この供試体をそれぞれ24時間風乾させ、目視によって表面のひび割れを観察した。風乾後は、スポイトを用いて供試体作製時と同じ質量になるように加水した。加水して24時間経過した後は、再び24時間風乾し、この過程を1サイクルとした。

また、締めめ試験(JIS A 1210)(A-a法)を行い、各設定含水比における乾燥密度において、コーン指数試験(JIS A 1288)による強度特性の把握を行った。さらに、遮水材の膨潤特性の把握のため膨潤力試験を行った。膨潤力試験は日本ベントナイト工業会JBAS104の膨潤試験方法<sup>3)</sup>を参考に、メスシリンダーに蒸留水100mL入れた後に、試料を2gずつ(計20g)添加し、膨潤量を1週間測定した。膨潤力試験の結果は増加した体積を元の体積で除したものを膨潤率と定義して整理した。

3. 実験結果及び考察 写真-1 にひび割れ抵抗性試験結果を示す。脱水ケーキ単体の場合、最適含水比と湿潤側の2条件とも乾燥収縮の発生が確認できた。また、最適含水比よりも湿潤側で作製した供試体の方が、早期から乾燥収縮が発生した。さらに、75:25の条件においても、サイクル数の増加に伴い乾燥収縮の発生が確認できたが、50:50、25:75の条件では、乾燥収縮は確認できなかった。これらの結果から、供試体中の脱水ケーキが占める割合が大きくなると、乾燥収縮が発生し、乾燥収縮

表-1 実験試料の物理特性

実験試料	脱水ケーキ	まさ土
土粒子密度 $\rho_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2.700	2.641
自然含水比 $w_n$ (%)	29.0	0.0
細粒分含有率 $F_c$ (%)	83.9	8.5
強熱減量 $ig.loss$ (%)	3.3	6.5

表-2 実験条件

実験試料	乾燥質量比	含水比 (%)
脱水ケーキ	100 : 0	19.5
	100 : 0	24.0
脱水ケーキ+まさ土	75 : 25	14.3
	50 : 50	12.6
	25 : 75	11.6

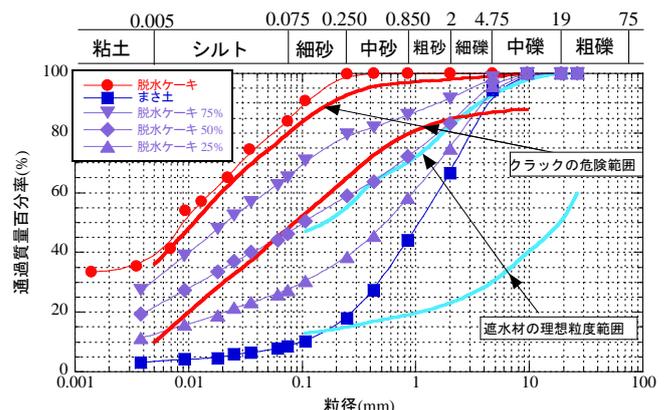
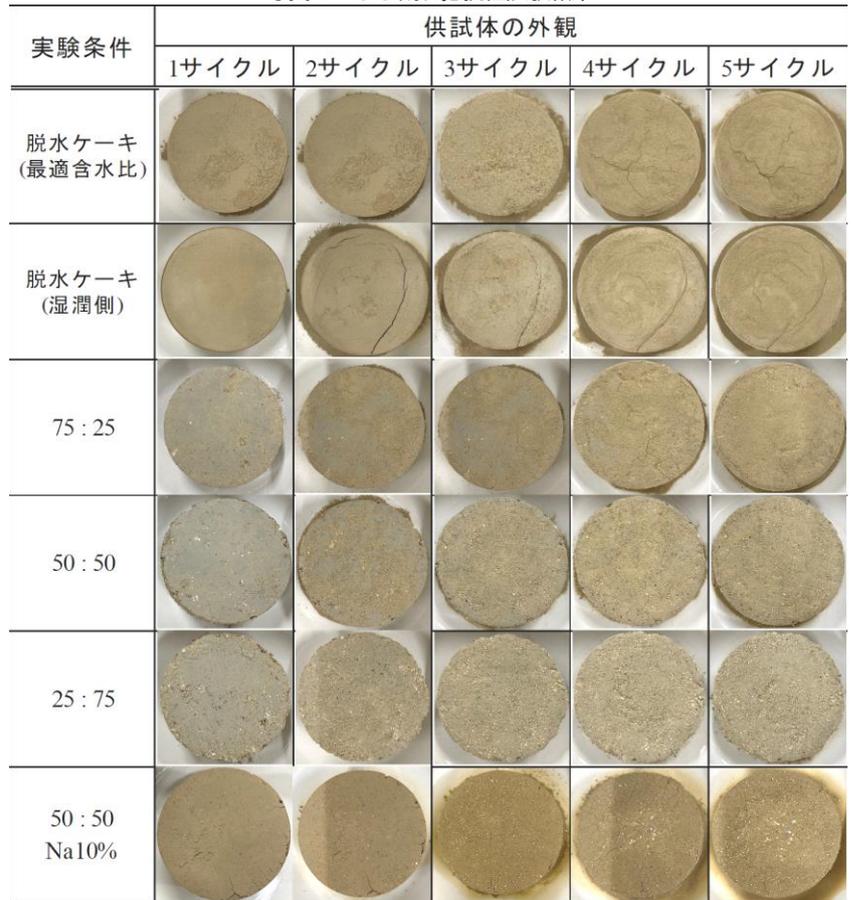


図-1 遮水性材料の粒度範囲<sup>1)</sup>に加算

写真-1 ひび割れ抵抗性試験結果



によるクラックを防止するためには、図-1に示す遮水材の理想的な粒度範囲のような適度な砂礫分を含む必要があることが確認できた。

そこで、乾燥収縮によるクラックが発生せず、脱水ケーキを有効利用できる50:50の条件を目標粒度として、50:50の条件にNa型ベントナイトを混合した条件における力学特性及び膨潤特性について検討を行った。ベントナイトを混合した場合、サイクル数の増加に伴い、供試体表面に微細なクラックが発生した。この要因として、ベントナイトの膨潤と乾燥収縮が繰り返されたためであると考えられる。また、1サイクル目の風乾時にすでに乾燥収縮による大きなクラックが端部に確認できたが、サイクル数の増加とともに修復されていることが分かる。これは、ベントナイトの膨潤による間隙部の修復や、加水時に供試体表面の細粒分がクラックに移動したためと考えられる。図-2に50:50の条件における締固め試験結果を示す。ベントナイトを添加した場合、ベントナイトの添加率の増加とともに最大乾燥密度は小さく、最適含水比は大きくなる傾向を示した。これは、粉体のベントナイトを添加したことによって細粒分含有率が増加したためと考えられる。図-3にコーン指数試験結果を示す。含水比が6~10%の乾燥側の場合、ベントナイト添加率10%の方が細粒分含有率が大きいいためコーン指数は小さな値を示し、最適含水比以上の場合ベントナイトの持つ増粘性によりコーン指数は大きな値を示した。また、試料の含水比がそれぞれ最適含水比( $w_{opt}=14.8, 15.0\%$ )の場合、普通ブルドーザ(15t級)が走行可能な要求性能( $q_c=500\text{kN/m}^2$ )<sup>3)</sup>を十分に満足する結果となった。

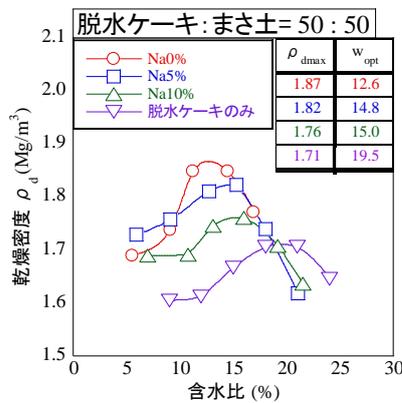


図-2 締固め試験結果

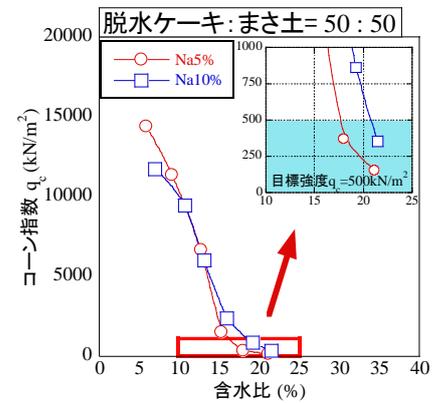


図-3 コーン指数試験結果

図-4に膨潤力試験結果を示す。ベントナイトを10%混合した場合、脱水ケーキ単体と比べ50:50の条件の方がわずかに膨潤率が大きくなることが明らかになった。脱水ケーキ単体の場合、脱水ケーキ中に含まれる凝集剤がベントナイトの膨潤に影響を及ぼしている可能性があり<sup>4)</sup>、50:50の条件では脱水ケーキの混入量が少ないため膨潤率がわずかに大きくなったと考えられる。今後は、脱水ケーキとまさ土の乾燥質量比を変化させた条件においても検討し、膨潤率とまさ土混合率の関係を調べる必要がある。

4. まとめ 脱水ケーキのような建設汚泥を用いた場合、脱水ケーキ単体や脱水ケーキとまさ土の乾燥質量比が75:25の条件において乾燥収縮によるクラックが発生したが、一方で50:50, 25:75の条件ではクラックが発生しなかった。そのため、遮水材の粒度分布は乾燥収縮に影響を与え、乾燥収縮を防止するためには適度な砂礫分が必要であることが明らかになった。

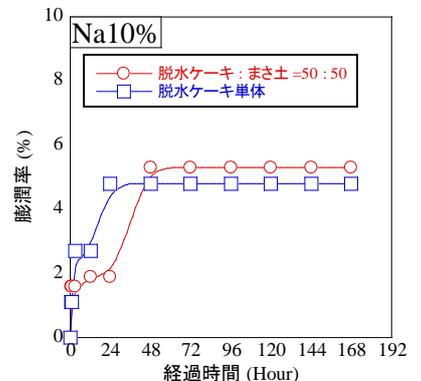


図-4 膨潤力試験結果

【参考文献】 1) 農林水産省農村振興局：土地改良事業設計指針、ため池の整備(案), pp.14-18, 2006. 2) 日本ベントナイト工業会 JBAS104：77 ベントナイト(粉状)の膨潤試験方法(JBAS104), 1977. 3) 社団法人セメント協会：地盤改良マニュアル第4版, p.393, 2014. 4) 寺野ら：脱水ケーキを用いたベントナイト混合土の膨潤・遮水性能, 第15回地盤改良シンポジウム論文集, pp. 447-450, 2022.

## 脱水ケーキを用いたベントナイト混合土の膨潤・遮水性能

○寺野綜太<sup>1</sup>・佐藤研一<sup>2</sup>・藤川拓朗<sup>2</sup>・古賀千佳嗣<sup>2</sup>稲元裕二<sup>3</sup>・水野正之<sup>4</sup>・新井靖典<sup>5</sup>・齋藤務<sup>6</sup><sup>1</sup>福岡大学大学院・<sup>2</sup>福岡大学工学部<sup>3</sup>リーフェア（株）・<sup>4</sup>（株）ホージュン・<sup>5</sup>西武建設（株）・<sup>6</sup>SK マテリアル（株）

## 1. はじめに

我が国では、近年多発する集中豪雨による堤体のパイピング、地震によるクラックの発生等により老朽化したため池の堤体機能が損なわれており、全国各地で対策・補修工事が行われている。通常、ため池堤体<sup>1)</sup>の遮水性部分には天然の刃金土が用いられているが、現在、刃金土として用いる天然の粘性土の不足や、刃金土の掘削に伴う自然破壊が重要な課題となっている。そこで、本研究では刃金土の代替材として建設汚泥の一つである脱水ケーキに着目した。脱水ケーキは砕石製造過程で発生する濁水をフィルタープレスによって脱水処理されたものであり、産業廃棄物として扱われており最終処分場の容量の延命化のため有効利用が求められている。また、本研究ではベントナイトの膨潤・遮水性能に着目している。小峯、緒方<sup>2)</sup>はベントナイトの膨潤特性に関して、ベントナイトの保有する交換性陽イオンの種類や塑性が大きく影響を及ぼすことを明らかにしている。また、高井<sup>3)</sup>は原位置土とベントナイトを混合したソイルベントナイトを作製し母材の違いによる遮水性能の評価を行っており、母材にそれぞれ異なる土試料を用いた場合でも、化学物質による影響がない状態であればベントナイトの膨潤は良好であり、高い遮水性能を保持できることを明らかにしている。そこで、本研究では脱水ケーキにベントナイトを混合したベントナイト混合土の膨潤・遮水性能についての検討を行った。本報告では、ベントナイト混合土に使用するベントナイトの種類や添加率の違いが力学特性や膨潤特性に及ぼす影響をはじめ、遮水材として使用する場合の透水性や自己修復性に与える影響について報告する。

## 2. 実験概要

## 2.1 実験に用いた試料及び遮水材の作製方法

実験試料として脱水ケーキを用いた。脱水ケーキは砕石製造過程の濁水処理に伴って発生するものであり、ポリアクリルアミド系凝集剤が含まれている。また、後述する膨潤力試験において、脱水ケーキとの比較のために凝集剤などの化学物質が含まれていない試料として、市販の木節粘土を用いた。表-1に実験試料の物理特性、図-1に粒径加積曲線、写真-1に脱水ケーキの外観、写真-2に木節粘土の外観を示す。図-1に示すように、脱水ケーキと木節粘土は、粘土分やシルト分で構成されている。木節粘土は、図-2に示す含水比とコーン指数試験の結果から、普通ブルドーザ(15t級)が走行可能な要求性能( $q_c=500 \text{ kN/m}^2$ )<sup>4)</sup>を満足するように含水比調整を行ったものを模擬土として使用した。

ベントナイトは、交換性陽イオンが $\text{Na}^+$ であるNa型ベントナイト(以下、Na型)と、 $\text{Ca}^{2+}$ であるCa型ベントナイト(以下、Ca型)の2種類を用いた。Na型は、膨潤性や増粘性、吸水性に優れており、実際に廃棄物処分場の遮水材にも多く用いられている。一方で、Ca型は、Na型と比較して膨潤性は劣るものの、低コストであり、実際に不純物吸着材として用いられている。表-2に各ベントナイトの特徴、写真-3にNa型の外観、写真-4にCa型の外観を示す。

また、遮水材の作製方法は、脱水ケーキの乾絶質量に対してベントナイトをNa型、Ca型それぞれ5、10%添加し、ホバートミキサーで混合した後に、含水比を9~27% (3%間隔)で調節した。表-3に実験条件を示す。

表-1 実験試料の物理特性

実験試料	脱水ケーキ	木節粘土
土粒子密度 $\rho_s$ ( $\text{Mg/m}^3$ )	2.700	2.690
自然含水比 $w_n$ (%)	29.0	3.9
液性限界 $w_L$ (%)	30.6	44.0
塑性限界 $w_P$ (%)	24.7	16.1
細粒分含有率 $F_C$ (%)	83.9	96.4
強熱減量 $ig.loss$ (%)	3.3	6.5

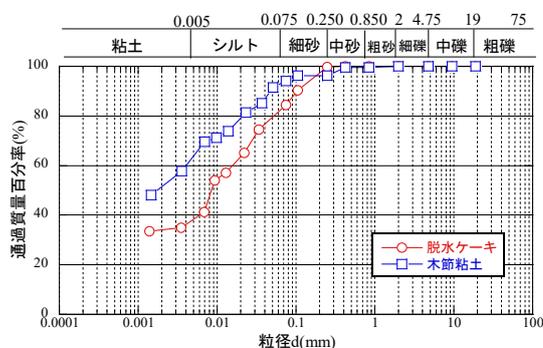


図-1 粒径加積曲線

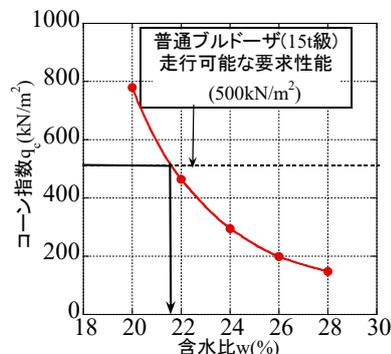


図-2 木節粘土のコーン指数試験結果

Swelling and impervious performance of bentonite mixed soil using dehydrated cake

Sota Terano<sup>1</sup>, Kenichi Sato<sup>2</sup>, Takuro Fujikawa<sup>2</sup>, Chikashi Koga<sup>2</sup>, Yuji Inamoto<sup>3</sup>, Masayuki Mizuno<sup>4</sup>, Yasunori Arai<sup>5</sup>, Tsutomu Saito<sup>6</sup> (<sup>1</sup> Graduate School, Fukuoka University, <sup>2</sup> Fukuoka University, <sup>3</sup> Leafair CO., LTD., <sup>4</sup> HOJUN CO., LTD., <sup>5</sup> Seibu Construction CO., LTD., <sup>6</sup> SK MATERIAL Co.,Ltd.)



写真-1 脱水ケーキの外観



写真-2 木節粘土の外観



写真-3 Na型ベントナイト



写真-4 Ca型ベントナイト

## 2.2 実験方法

### 2.2.1 遮水材の力学特性及び膨潤特性

本研究では、脱水ケーキの乾燥密度と含水比の関係、含水比の違いによる強度特性の把握を行うために、締固め試験(JIS A 1210)及びコーン指数試験(JIS A 1228)を行った。ため池の遮水材である刃金土には、強度の規定値が定められていないが、本研究では遮水材の施工時を考慮して、普通ブルドーザ(15t級)が走行可能なコーン指数( $q_c=500 \text{ kN/m}^2$ )<sup>4)</sup>を基準値として設定し、コーン指数試験によってトラフィカビリティの評価を行った。

また、遮水材の膨潤特性の把握のため膨潤力試験を行った。表-4に膨潤力試験の実験条件を示す。膨潤力試験は日本ベントナイト工業会 JBAS104 の膨潤試験方法<sup>5)</sup>を参考にした。日本ベントナイト工業会の膨潤力試験では、2gのベントナイトを無拘束雰囲気下で自由膨潤させ、24時間後の見かけの体積を膨潤力(ml/2g)として表している。しかし、本検討では、遮水材中のベントナイト量が少なく、土試料に混合することにより体積増分が小さくなるため、使用する試料の量を20gとした。膨潤力試験の実験方法としては、まずメスシリンダーに蒸留水100 mL入れる。その後、試料を2gずつ(計20g)入れていき、膨潤量を1週間測定する。膨潤力試験の結果は増加した体積を元の体積で除したものを膨潤率と定義して整理した。

### 2.2.2 遮水材の透水性・自己修復性

遮水材が、刃金土の要求性能を満足するかどうか明らかにするために、変水位透水試験(JGS 0312-2018)を行った。ベントナイト系材料を用いて試験を行う場合、試験期間に長期間を要すると言われている<sup>6)</sup>。そこで、供試体層厚や動水勾配を変化させた条件によって、試験期間

を短縮し遮水材の透水性の評価を行った。表-5に実験条件を示す。また、ため池の堤体改修において、堤体盛土材料の使用区分の一つに、締固め度が95%以上とされている<sup>7)</sup>。そのため、締固め試験の結果から、締固め度が95%以上になるように密度管理によって試料を作製した。高さ約3 cmの円筒形になるよう成形した後、押し出し機を用いて層厚約1, 2 cmになるよう成形した。また、小峯ら<sup>7)</sup>の難透水性材料を用いた透水試験では、空気圧を付加し動水勾配を大きくした条件においても大気圧環境下の条件と同程度の透水係数が得られている。そこで、本研究でも動水勾配を約90, 300となるように空気圧を付加し、水頭差を与えて行った。写真-5に変水位透水試験で用いた遮水材の様子(a)通常、(b)3 mm、(c)6 mmの穴を開けた供試体(以後、穴あき)を示す。今回は遮水材にパイピングが生じた場合のベントナイトの膨潤による透水係数の変化を確かめるために、通常、穴あきの2条件について準備した。同時に穴あき径の違いによる透水係数の変化も確認する。透水係数の算出は、供試体への流入量と供試体からの流出量を測定し、ほぼ等しくなることを確認し行った。なお、透水係数の算出には小峯ら<sup>7)</sup>の研究を参考に式-1を用い、15℃に補正したものをを用いた。

表-2 各ベントナイトの特徴

特徴	Na型	Ca型
主な層間陽イオン	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
膨潤性	○	△
増粘性	○	△
吸水性	△	○
コスト	△	○

表-3 実験条件

母材	ベントナイト(%)	含水比(%)
脱水ケーキ(乾燥)	Na	5
		10
	Ca	5
		10
		9-27 (3%間隔)

表-4 膨潤力試験の実験条件

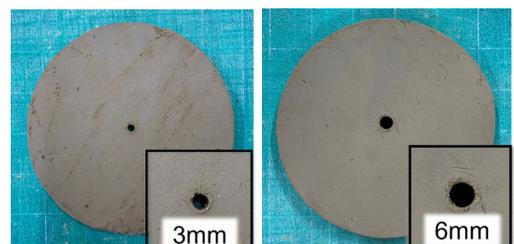
母材	ベントナイト(%)	含水比(%)
脱水ケーキ	Na型	5
	Ca型	
		10
		9-27 (3%間隔)
木節粘土		21.5

表-5 変水位透水試験の実験条件

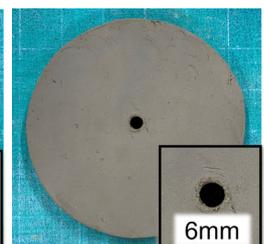
母材	供試体層厚(cm)	動水勾配	空気圧(MPa)	供試体の状態
脱水ケーキ +Na10%, w=24%	2.0	90	0.009	通常
	1.0	300	0.021	通常
				3mm穴あき
				6mm穴あき



(a) 通常



(b) 穴あき(3mm)



(c) 穴あき(6mm)

写真-5 変水位透水試験で用いた遮水材の様子

$$k_T = 2.303 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \log_{10} \frac{h_1 \gamma_w \times 10 + P}{h_2 \gamma_w \times 10 + P} \times \frac{1}{100} \quad \text{式-1}$$

ここで、 $k_T$ :  $T^\circ\text{C}$ における透水係数(m/s),  $a$ : ビュレット管の断面積( $\text{cm}^2$ ),  $L$ : 供試体高さ(cm),  $A$ : 供試体断面積( $\text{cm}^2$ ),  $t_2-t_1$ : 測定時間(s),  $h_1$ : 時刻  $t_1$ における水位差(cm),  $h_2$ : 時刻  $t_2$ における水位差(cm),  $\gamma_w$ : 水の単位堆積重量( $\text{kN/m}^3$ ),  $P$ : 加圧した空気圧(Pa)

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 遮水材の力学・膨潤特性

表-6に遮水材の最適含水比と最大乾燥密度、図-3に締固め試験結果を示す。脱水ケーキ単体における最大乾燥密度と最適含水比は、 $\rho_{dmax}=1.69 \text{ Mg/m}^3$ ,  $w_{opt}=19.5\%$ であり、脱水ケーキにCa型を混合することによって、最大乾燥密度は増加し、最適含水比は低下した。また、Na型ベントナイトを混合することによって、最大乾燥密度は低下し、最適含水比は増加した。これは、Na型はCa型と比較して増粘性や吸水性に優れているためであると考えられる。

図-4にコーン指数試験結果を示す。いずれ条件においても含水比の増加に伴いコーン指数は低下した。また、脱水ケーキにベントナイトを混合することにより、脱水ケーキ単体の値と比較してコーン指数は低下することが明らかとなった。また、後述する膨潤力試験において、懸濁が発生しなかった含水比 $w=24, 27\%$

(最適含水比に対する湿潤側、以下、湿潤側)の条件に着目して力学特性の評価を行った。図-5にコーン指数試験結果(湿潤側)を示す。普通ブルドーザ(15t級)が走行可能な要求性能( $q_c=500 \text{ kN/m}^2$ )<sup>4)</sup>を満足した条件は、脱水ケーキにNa型を5, 10%混合させ、含水比 $w=24\%$ に調整した条件である。また、 $w=27\%$ においては、いずれの条件もベントナイトの添加率が大きくなると強度が低下することが分かった。さらに、Ca型を混合させた条件においては、いずれも建設機械走行可能な要求性能を満足せず、Na型を混合した場合、要求性能を満足する結果となった。これは、Na型はCa型と比較して増粘性に優れており、粘性の増加によってコーン貫入時の周面摩擦力が増加しコーン指数が大きくなったためであると考えられる。

図-6に膨潤力試験結果(湿潤側)を示す。最も高い膨潤率を示した条件は、脱水ケーキにNa型を10%混合し、含水比を $w=24\%$ に調整した条件であり、膨潤率は3.7%であった。ここで、凝集剤が含まれていない木節粘土を用いて、膨潤率の比較を行った。図-7に模擬土の膨潤力試験結果を示す。模擬土の場合、Na型を5, 10%添加した条件において高い膨潤率を示し、Na型を10%添加した条件において膨潤率は10.3%であった。Ca型においては、添加率を増加させると膨潤率も増加したが、Na型と比較して膨潤率は小さくなることが分かった。脱水ケーキと模擬土の膨潤率の比較を行うと、それぞれの最大膨潤率の差は約7%であった。これらの結果から、脱水ケーキ中に含まれるポリアクリルアミド系凝集剤がベントナイトの膨潤に影響を及ぼしている可能性が示唆された。そのため、今後、凝集剤とベントナイトの相互作用の関係を解明を行う必要がある。

表-6 最適含水比と最大乾燥密度

実験試料	$w_{opt}(\%)$	$\rho_{dmax} (\text{Mg/m}^3)$
脱水ケーキ	19.5	1.69
脱水ケーキ+Na5%	20.3	1.68
脱水ケーキ+Na10%	21.0	1.65
脱水ケーキ+Ca5%	18.6	1.71
脱水ケーキ+Ca10%	18.0	1.71

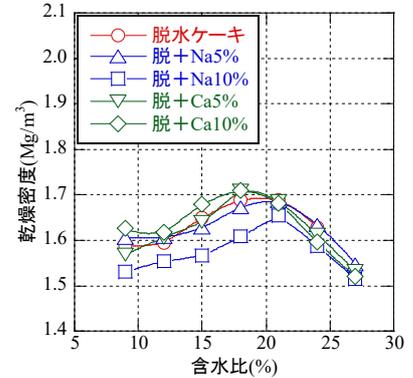


図-3 締固め試験結果

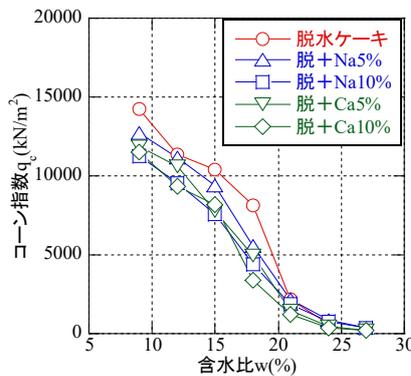


図-4 コーン指数試験結果

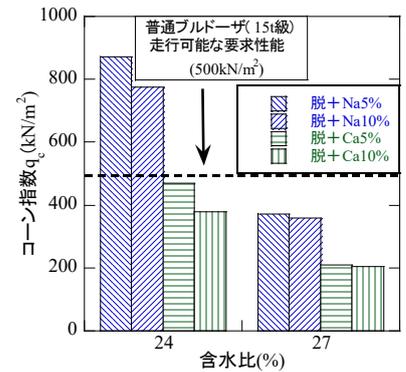


図-5 コーン指数試験結果(湿潤側)

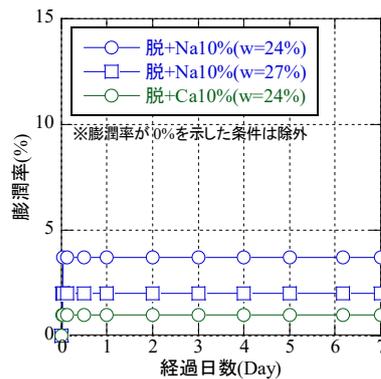


図-6 膨潤力試験結果  
(脱水ケーキ: 湿潤側)

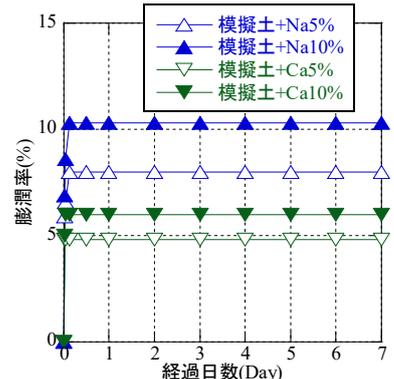


図-7 膨潤力試験結果(模擬土)

### 3.2 遮水材の透水性・自己修復性

図-8 に開孔が無い通常の供試体を用いた変水位透水試験の結果を示す。動水勾配 90、層厚 2cm の条件と、動水勾配 300、層厚 1cm の条件を比較すると、透水係数のオーダーが変わるほどの変化がなく、供試体層厚や動水勾配を変化させても同程度の透水係数が得られることがわかった。そのため、試験時間短縮の観点から動水勾配 300 の条件を用いて遮水材の透水性、自己修復性の評価を行った。図-9 に変水位透水試験結果を示す。開孔が無い通常の供試体の透水係数は  $2.98 \times 10^{-11} \text{ m/s}$  であり、刃金土の要求性能 ( $10^{-7} \text{ m/s}$  以下) を満足する結果となり、遮水材としての性能が十分にあることがわかった。また、2 種類の穴あきの供試体を用いた場合においても、遮水材として要求性能を満足する透水係数が算出された。さらに穴あき径が大きくなると、透水係数も大きくなることが確認できた。穴あきの供試体を用いたにもかかわらず、経過日数初期の段階で透水係数がすでに低下している原因として、飽和過程における通水において供試体中のベントナイトが早期に反応して膨潤し、穴あき径が小さくなったためと考えられる。写真-6 に試験終了後の遮水材の様子を示す。写真-5 と比較して、試験終了後の穴あき径が小さくなっていることが分かる。これは、供試体中のベントナイトが膨潤して穴あき径が小さくなったと考えられる。また、写真-6 (b) では完全に穴が塞がっていないにもかかわらず、透水係数が  $10^{-11} \text{ m/s}$  オーダーとなっている。また、3mm の穴あきの供試体の透水係数に関して、通常よりも透水係数が低下している。この要因として、ベントナイトの膨潤による穴あき径の縮小と、試験中のポーラスストーンが目詰まりによる透水性の低下が考えられる。今後は目詰まりの対策を講じたうえで試験を行い、膨潤率と穴あき径の自己修復の関係を調べる必要がある。

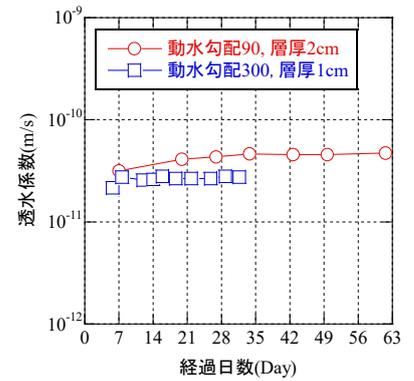


図-8 変水位透水試験結果  
(脱水ケーキ：通常)

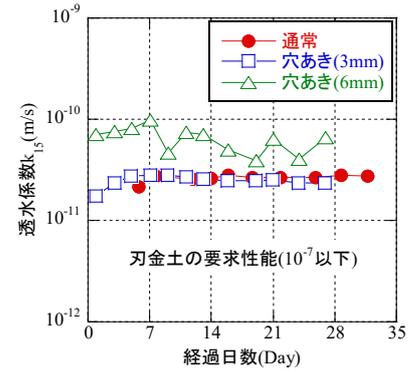
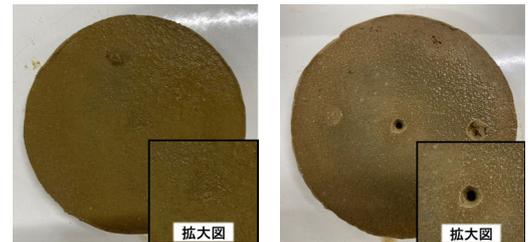


図-9 変水位透水試験結果

## 4. まとめ

- 1) 脱水ケーキに Na 型ベントナイトを 10% 混合し、含水比を 24% に調整した条件における膨潤率は 3.7% であり、木節粘土に Na 型ベントナイトを 10% 混合した条件の膨潤率と比較して小さい値となった。このことから、脱水ケーキ中に含まれるポリアクリルアミド系凝集剤がベントナイトの膨潤に影響を及ぼしている可能性が示唆された。
- 2) 脱水ケーキに Na 型ベントナイトを 10% 混合し、含水比を 24% に調整した条件における透水係数は、 $2.98 \times 10^{-11} \text{ m/s}$  であり、刃金土の要求性能 ( $10^{-7} \text{ m/s}$  以下) を十分に満足する結果となり、遮水材としての性能が十分にあることが分かった。
- 3) 穴あきの供試体を用いた場合においても、刃金土の要求性能を満足することが可能であり、ベントナイトの膨潤により穴あき径が縮小したことがわかる。また、試験前の穴あき径が大きくなると透水係数も大きくなるが、穴あき径が大きくなるとベントナイトの膨潤による自己修復性が低下する可能性があるため、今後は膨潤率と穴あき径の自己修復の関係を調べる必要がある。



(a) 穴あき(3mm) (b) 穴あき(6mm)  
写真-6 試験終了後の遮水材の様子

### 【参考文献】

- 1) 農林水産省農村振興局：土地改良事業設計指針，ため池の整備，pp.14-18 2006.
- 2) 小峯秀雄・緒方信英：砂・ベントナイト混合材料及び各種ベントナイトの膨潤特性，土木学会論文集，No.701，pp.373-385，2002.
- 3) 高井敦史・乾徹・勝見武・嘉門雅史・荒木進：ソイルベントナイト連続遮水壁の遮水性能に及ぼす影響因子，土木学会論文集C(地圏工学)，pp.4-10，2012.
- 4) 社団法人セメント協会：地盤改良マニュアル第4版，p.117，2014.
- 5) 日本ベントナイト工業会JBAS104:77 ベントナイト(粉状)の膨潤試験方法
- 6) 貞松暁大・伊藤大知・市川雄太・小峯秀雄・後藤茂・王海龍・関口高志・北原慎也：変水位透水試験による締固めたベントナイト供試体の透水係数の測定および試験方法，第55回地盤工学研究発表会，21-1-3-07，2020.
- 7) 倉持隼斗・小峯秀雄・三浦玄太・関口高志：小型変水位透水試験における圧力水頭付加の効果(その1)—試験装置の改良による精度の向上一，第51回地盤工学研究発表会，pp. 901-902，2016.