

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¹⁾。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²⁾。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¹⁾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_c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³⁾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 ρ_s (Mg/m ³)	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

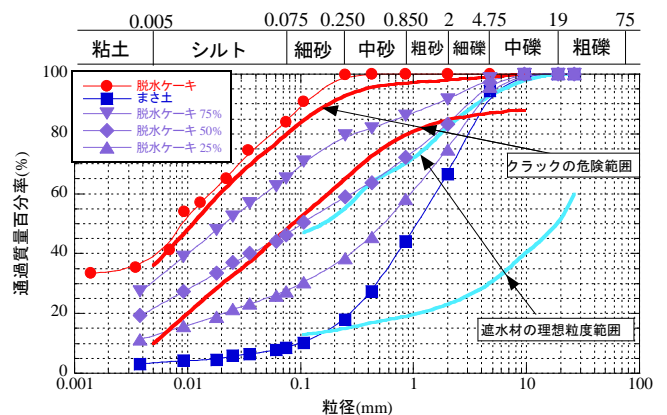


図-1 遮水性材料の粒度範囲¹⁾に加算

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**の条件における縮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($q_c=500\text{kN/m}^2$)³⁾を十分に満足する結果となった。

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⁴⁾、**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。

【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.

写真-1 ひび割れ抵抗性試験結果

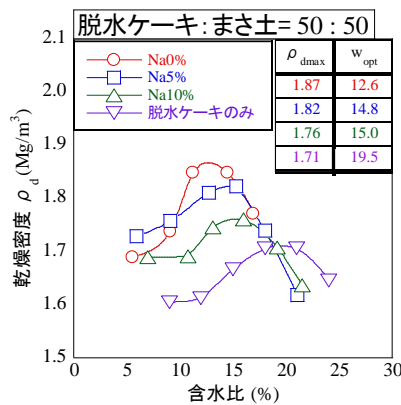
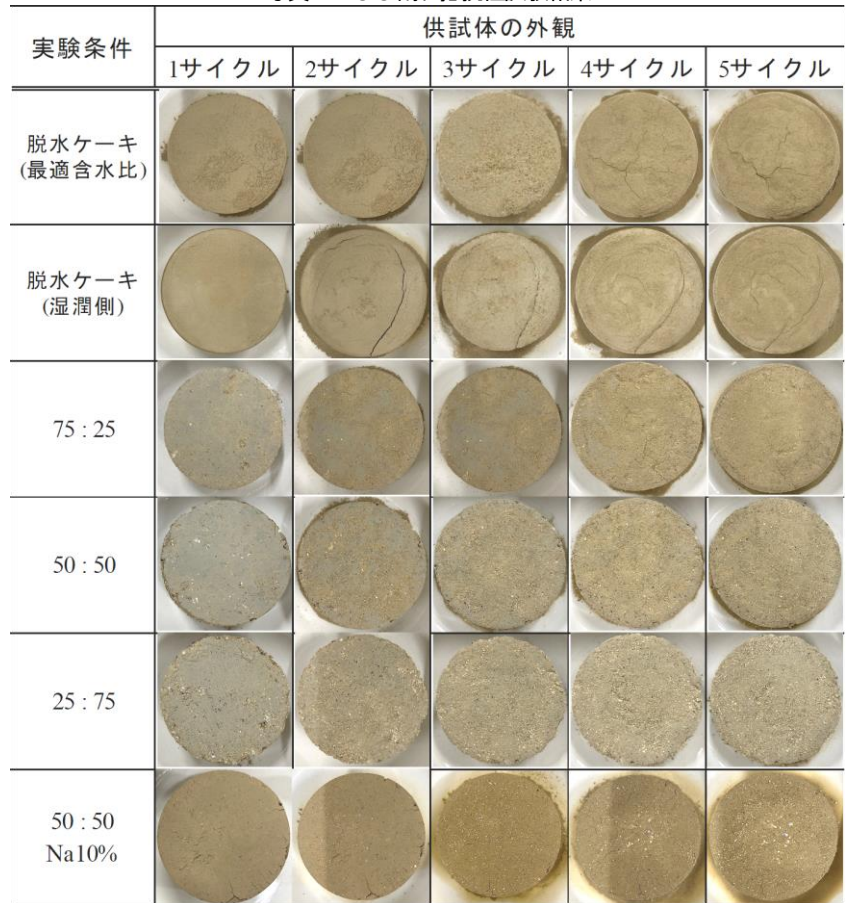


図-2 縮固め試験結果

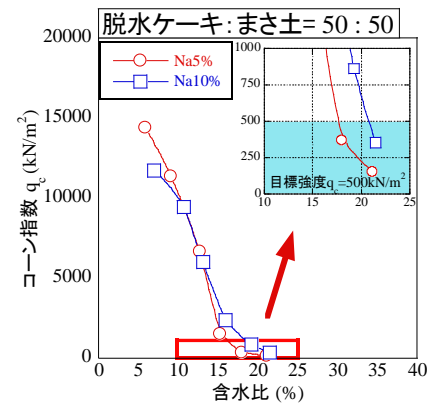


図-3 コーン指数試験結果

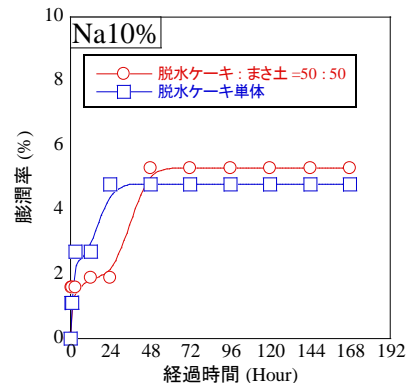


図-4 膨潤力試験結果