

脱水ケーキを用いた自己修復性を有する高機能遮水材の膨潤・遮水性能に関する検討

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
 西武建設(株) 正会員 新井 靖典
 リーフエア(株) 稲元 裕二
 (株)ホーゲン 水野 正之

1. はじめに 老朽化したため池は、近年多発している集中豪雨や地震によって、堤体にパイピングやクラックが生じ、貯水機能の低下や決壊の問題が顕在化している。そのため、各地で対策・補修工事が行われているが、ため池堤体¹⁾の遮水材に用いられる刃金土に使用する良質な粘性土の不足や、刃金土の採取による自然破壊などの課題が生じている。そこで、本研究では、碎石製造過程の濁水処理に伴って発生する脱水ケーキを刃金土の代替材として有効利用する検討を行っている。さらに、ベントナイトの遮水性や膨潤性能に着目し、脱水ケーキとの混合土により、パイピングやクラック発生時に遮水性能が発揮されることを期待している。本報では、ベントナイトの種類や添加率が脱水ケーキの膨潤性能に与える影響や、高機能遮水材としての透水性及び自己修復性について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料及び実験方法 (a) 遮水材の力学特性及び膨潤特性の把握 実験には、表-1に示す物性を有する脱水ケーキと比較材料として木節粘土を用いた。脱水ケーキは、碎石の製造過程で生じる濁水をフィルタープレスで圧搾したものであり、凝集沈殿の際にポリアクリルアミド系凝集剤を使用している。表-2に各ベントナイトの物性値を示す。ベントナイトは、膨潤性に優れたNa型ベントナイト(以下、Na型)と、Na型と比較して膨潤性は劣るが、吸水性や、コスト面で優れているCa型ベントナイト(以下、Ca型)の2種類を使用した。表-3に膨潤力試験²⁾の実験条件を示す。脱水ケーキは、含水比が膨潤性能に及ぼす影響を把握するため、脱水ケーキの含水比を9~27%(3%間隔)に調整し、ミキサーを用いてベントナイトと混合を行った。木節粘土は、含水比とコーン指数試験の結果から建設機械の走行可能な要求性能($q_c=490\text{kN/m}^2$)³⁾を満足する含水比に調整したもの(以下、模擬土)を使用している。膨潤力試験²⁾は、容量100mLのメスシリンダーに蒸留水を満たし、2mmふるいを通過した試料(遮水材)を2gずつ10回に分けて沈降堆積させ、7日間、目視にて膨潤量の測定を行った。膨潤性能の評価には、膨潤力試験によって得られた体積増分を初期の体積(沈降体積直後)で除し、百分率で表したものを膨潤率(%)と定義して行った。また、締固め試験(JISA 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(JISA 1288)による強度特性の把握を行った。膨潤特性については、表-3に示す実験条件のとおり、Na型、Ca型を母材の乾燥質量に対してそれぞれ5、10%添加した。

(b) 遮水材の透水性及び自己修復性の把握 ベントナイトを用いた供試体は、透水係数の算出までに長期間を要することから、供試体層厚を薄くし、空気圧を付加させて動水勾配を高めることによって、短期間で高精度な透水係数の算出が可能であることが報告されている⁴⁾。そこで、本研究でも表-4に示すように供試体層厚や動水勾配を変化させて変水位透水試験を行った。最も膨潤率が高かった条件を用いて、550kJ/m³の締固めエネルギーで突固め、層厚が1cmの供試体を作製した。通水性を向上させるため、ビュレット側から空気圧を付加させ動水勾配を300に設定した。また、比較のために動水勾配90、層厚2cmの条件で試験を行い、供試体層厚と動水勾配の違いによる透水係数の変化を確認した。写真-1(a)、(b)に穴あきの供試体の様子を示す。供試体に損傷が無い通常の条件に加え、自己修復性の把握を行うために、供試体の中央に直径3、6mmの穴を空け、時間経過に伴う透水係数の変化を確認した。

3. 実験結果及び考察
 3-1 遮水材の力学特性及び膨潤特性の把握 図-1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Na型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。一方、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。これは、Ca型はNa型

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 ρ_s (Mg/m ³)	2.700	2.690
自然含水比 w_n (%)	29.0	3.9
細粒分含有率 F_c (%)	83.9	96.4

表-2 各ベントナイトの物性値

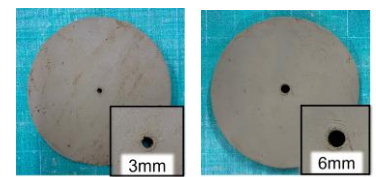
ベントナイトの種類	Na型	Ca型
かさ密度(Mg/m ³)	0.69	0.55
膨潤力(ml/2g)	21	6.5
pH	10.1	9.7

表-3 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
木節粘土		21.5

表-4 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	90	0.009	通常
	1	300	0.021	通常
				3mm穴あき 6mm穴あき

写真-1 穴あきの供試体の様子
 (a) 穴あき(3mm) (b) 穴あき(6mm)

キーワード 刃金土、遮水材、脱水ケーキ、ベントナイト、膨潤

連絡先 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学工学部 TEL 092-871-6631 (内線 6464)

と比較して吸水性に優れているため⁹⁾であると考えられる。

図-2 にコーン指数試験結果を示す。いずれの条件においても含水比の増加に伴いコーン指数は低下することが分かる。また、脱水ケーキにベントナイトを混合することにより、脱水ケーキ単体と比べ、コーン指数は低下することが明らかとなった。また、以降の考察は膨潤力試験において、懸濁が発生しなかった含水比 $w=24, 27\%$ (湿潤側)の条件に着目して含水位や配合条件の違いによる膨潤率の評価を行った。図-3 にコーン指数試験結果(湿潤側)を示す。建設機械走行可能な要求性能($q_c=490\text{kN/m}^2$)³⁾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ことが分かる。また、湿潤側においては、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しない結果となった。これは、Na 型は、Ca 型と比較して増粘性に優れているため⁹⁾であると考えられる。図-4 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。また、図-5 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 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、添加率の増加に伴い膨潤率も増加する傾向が見られたが、Na 型と比較して膨潤率は小さいことが分かった。脱水ケーキと模擬土の膨潤率の比較を行うと、Na 型において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考えられるため、今後、ベントナイトと凝集剤の相互作用について明らかにする必要がある。

3-2 遮水材の透水性及び自己修復性の把握 図-6 に動水勾配 90, 300 の経過日数と透水係数の関係を示す。動水勾配 90 の条件における透水係数は、 $k_{15}=5.0 \times 10^{-11}\text{m/s}$ 、動水勾配 300 の条件においては、 $k_{15}=5.4 \times 10^{-11}\text{m/s}$ であり供試体層厚や動水勾配が異なる場合においても、同程度の透水係数が算出されることが確認できた。そこで、動水勾配 300 の 3 条件を用いて、透水性と自己修復性の評価を行った。図-7 に変水位透水試験結果を示す。供試体の状態が通常の場合、透水係数は $k_{15}=5.4 \times 10^{-11}\text{m/s}$ であり、刃金土の要求性能を十分に満足する結果となった。また、穴あきの供試体についても、経過日数の増加に伴い透水係数が低下していることが分かる。試験終了後に供試体の穴あき径を確認したところ、膨潤により穴が塞がっている様子が確認できた。しかしながら、ポーラストーンの目詰まりも確認されたため、この透水係数の低下は、膨潤による口径の減少とポーラストーンの目詰まりが相互に作用した結果と考えられる。よって、今後は目詰まりの対策を講じた上で試験を行い、自己修復性の検討が必要である。

4. まとめ 1) 脱水ケーキの膨潤性能について、脱水ケーキに Na 型を 10%混合し、含水比を $w=24\%$ に調整した条件において、膨潤率は 3.7%であった。2) 脱水ケーキに Na 型を 10%混合し、含水比を $w=24\%$ に調整した条件の膨潤率は、凝集剤が含まれていない木節粘土を用いた場合の膨潤率と比較して約 7%も小さく、脱水ケーキ中の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。3) 脱水ケーキを用いた遮水材の透水性は、刃金土の要求性能を十分に満足し、遮水材としての性能が十分にあることが分かった。

【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.18, 2006. 2) 日本ベントナイト工業会：日本ベントナイト工業会標準試験方法，ベントナイト（粉状）の膨潤試験方法（JBAS・104・77），1977. 3) 社団法人セメント協会：地盤改良マニュアル第4版，pp.393, 2014. 4) 貞松，小峯ら：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. 5) クニミネ工業株式会社 HP：層間陽イオン

<https://www.kunimine.co.jp/bent/basic.html>

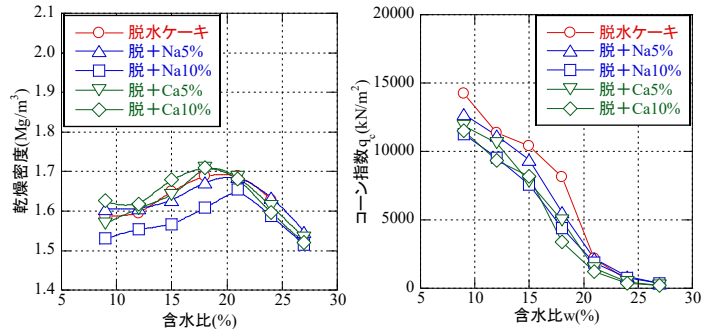


図-1 締固め試験結果

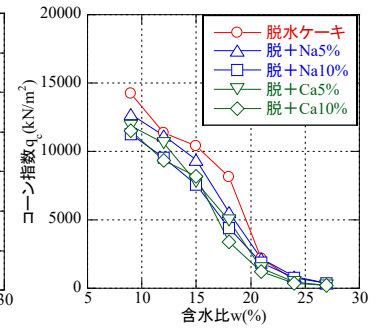


図-2 コーン指数試験結果

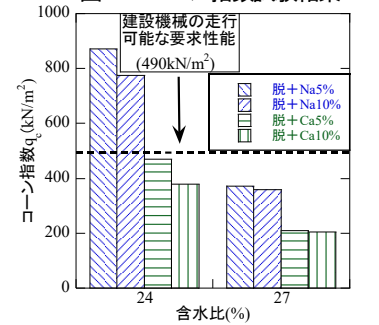


図-3 コーン指数試験結果(湿潤側)

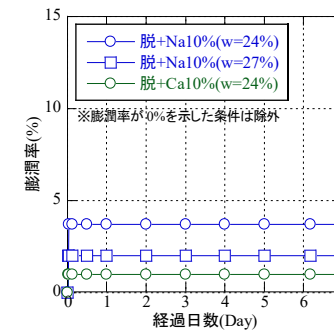


図-4 膨潤力試験結果
(脱水ケーキ：湿潤側)

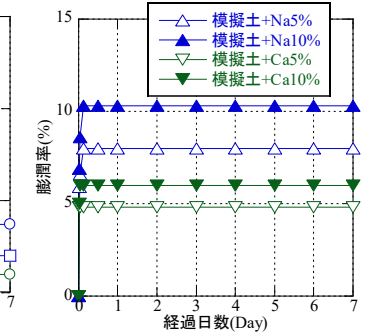


図-5 膨潤力試験結果(模擬土)

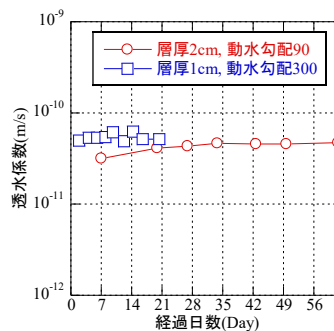


図-6 変水位透水試験結果
(脱水ケーキ：通常)

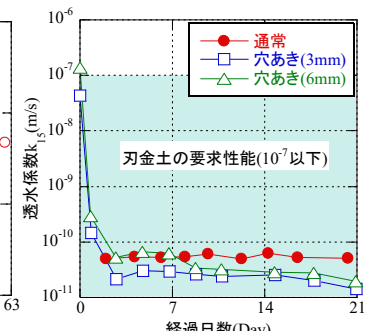


図-7 変水位透水試験結果
(脱水ケーキ：通常・穴あき)