

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開発

|          |      |       |       |        |
|----------|------|-------|-------|--------|
| 福岡大学工学部  | 学生会員 | 寺野 綜太 | 崎山 大星 |        |
| 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）ホーゲン  |      | 水野 正之 |       |        |
| 西武建設（株）  | 正会員  | 新井 靖典 |       |        |

1. はじめに 近年多発してい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、老朽化したため池において堤体としての機能が損なわれ、各地で対策・補修工事が進められている。このため池堤体<sup>1)</sup>の遮水性部分には、天然の刃金土が使用されているが、近年、刃金土として使用する良質な粘性土の不足や運搬に伴う輸送コストが重要な課題となっている。そこで本研究は、刃金土の代替材として、碎石製造過程の濁水処理に伴って発生し有効利用が求められている脱水ケーキに着目した。この脱水ケーキにベントナイトを加え、遮水性の向上と膨潤性等の付加価値を与え、パイピングやクラックが生じた際に自己修復性を有する高機能な遮水材の開発を行っている。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 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特徴<sup>2)</sup>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、ホバート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、図-1に示すように、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<sup>3)</sup>( $q_c=490\text{kN/m}^2$ )を満足する含水比に調整したもの(模擬土)を使用している。膨潤力試験は、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、目視で膨潤量を測定して行った。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。

2-2 実験条件 脱水ケーキの乾燥密度と含水比の関係を把握するために、締固め試験(JISA 1210)をA-a法に基づいて行った。また、各含水比による強度特性の把握を行うためにコーン指数試験(JISA 1288)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。

3. 実験結果及び考察

3-1 遮水材の力学特性の把握 図-2に締固め試験結果、表-4に最適含水比と最大乾燥密度を示す。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型と比較して吸水性に優れているため<sup>2)</sup>であると考えられる。図-3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

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 $\rho_s$ (Mg/m <sup>3</sup> ) | 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 各ベントナイトの特徴<sup>2)</sup>

| 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 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       | 9~27<br>(3%間隔) |
|       | Ca型       |                |
| 木節粘土  | 5<br>10   | 21.5           |

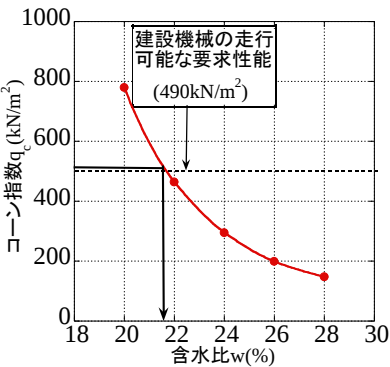


図-1 木節粘土のコーン指数試験結果

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、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 $w=24, 27\%$ (湿潤側)の条件に着目して評価を行った。図-4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<sup>3)</sup>( $q_c=490\text{kN/m}^2$ )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<sup>2)</sup>であると考えられる。

**3-2 遮水材の膨潤特性の把握** 図-5に膨潤力試験結果を示す。図中に示す色塗り部分は、写真-1に示すように、膨潤力試験開始時に乾燥側、最適含水比の試料では懸濁が発生し、細粒分が徐々に沈降することによって見かけの体積が増加し、ベントナイトの正確な膨潤率が測定できなかった。そのため、湿潤側である $w=24, 27\%$ にて検討を行った。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、その値は3.7%であった。また、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。また、最も膨潤率が高い値を示したNa型10%,  $w=24\%$ の条件において、今後はベントナイトの膨潤による自己修復性の評価を変水位透水試験によって行っていく予定である。

**4. まとめ** 1) Na型の膨潤率は、Ca型と比較して高い傾向を示した。2) Na型10%,  $w=24\%$ の条件において建設機械の走行可能な要求性能を満足し、膨潤率は3.7%を示した。3) 母材に脱水ケーキを用いた場合、木節粘土(模擬土)と比較して膨潤率が小さい傾向を示し、脱水ケーキ中のポリアクリルアミド系凝集剤が膨潤に影響を及ぼしている可能性が示唆された。

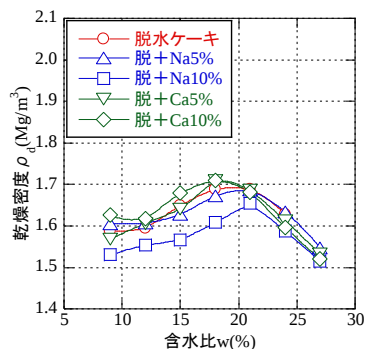


図-2 締固め試験結果

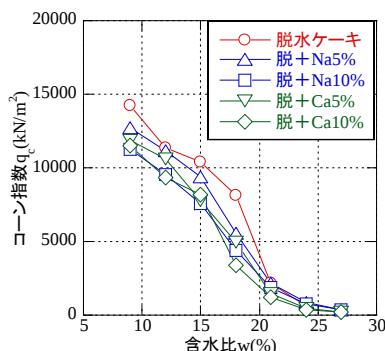


図-3 コーン指数試験結果

| 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                         |

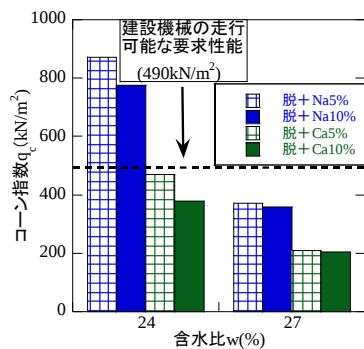


図-4 含水比とコーン指数の関係

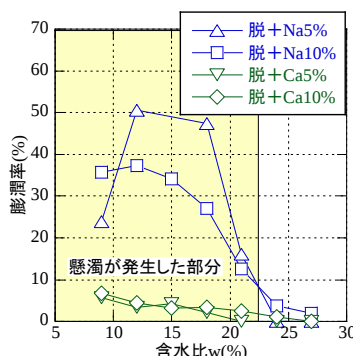


図-5 膨潤力試験結果

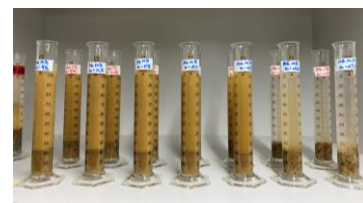


写真-1 膨潤力試験の様子(脱水ケーキ)

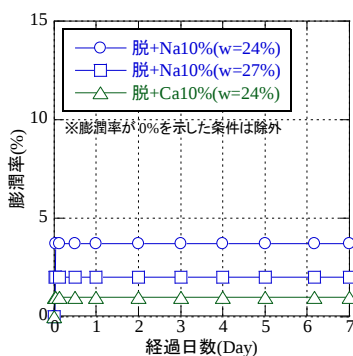


図-6 膨潤力試験結果(脱水ケーキ: 湿潤側)

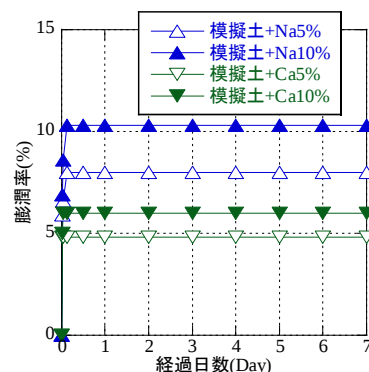


図-7 膨潤力試験結果(模擬土)

【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) 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> 3) 社団法人セメント協会：地盤改良マニュアル第4版，pp393, 2014.