

平成30年4月20日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K15008

研究課題名（和文）廃棄物処分場で利用されるシートはため池の遮水材となり得るのか？

研究課題名（英文）A fundamental study on mechanical behaviors of small earth dams with GCLs.

研究代表者

河端 俊典（KAWABATA, TOSHINORI）

神戸大学・農学研究科・教授

研究者番号：20335425

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：

近年、ため池改修に必要なコア土の採取が困難になり、ベントナイト系遮水シートを使用する事例が増えている。しかしながら、遮水シートを用いたため池の設計手法は構築されていない。そこで、本研究では、ため池特有の環境条件下での遮水シートの基本挙動ならびに遮水シートを敷設した堤体の動的挙動を解明するため、圧密試験、土との境界面での一面せん断試験、シートを敷設した堤体を対象とした振動実験を実施した。その結果、ため池で使用される低拘束圧下では、必要な遮水性能とせん断強度を有することが明らかとなった。一方、遮水シートによる堤体の補強効果は期待できず、敷設方法により破壊メカニズムが異なることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：

In recent years, geosynthetic clay liners are used as impermeable materials in small earth dams because of lack of core materials. However, the design for small earth dams with GCLs has not been established yet. In the present study, consolidation tests, direct shear tests for soil/GCL interfaces and shaking model tests have been conducted in order to reveal fundamental behavior of GCLs and dynamic behavior of small earth dams with GCLs under conditions considering circumstances of small earth dams. As a result, it can be revealed that the water-barrier performance and the shear strength likely to be sufficient under small confining pressure condition such as small earth dams. On the other hand, the experimental results have revealed that GCLs could not be expected as reinforcement materials and the embankment's failure mechanism depends on the setting shape of GCLs.

研究分野：農業農村工学

キーワード：ため池 遮水シート 動的挙動 圧密試験 一面せん断試験 振動実験

## 1. 研究開始当初の背景

ため池は全国に 20 万箇所存在し、その多くが江戸時代以前に築造され、老朽化している。東日本大震災では、藤沼池の決壊をはじめ甚大な被害が多数発生した。ため池改修に際しては、ため池上流側に遮水材として粘性土を用いる前刃金工法が一般的であるが、近年、良質な粘性土の採取が困難になっており、廃棄物処分場で使用されるベントナイト系遮水シート等（以下、遮水シート）が用いられるケースが増加している。しかしながら、ため池特有の環境条件下での遮水シートの挙動特性について解明されておらず、遮水シート工法の設計手法は構築されていない現状にある。改修が必要なため池が益々増加する中、遮水シート工法の確立が急務であることは言うまでもない。

## 2. 研究の目的

ベントナイト系遮水シートは、図-1 に示すように、粉状あるいは粒状のベントナイトが織布と不織布で挟まれ、繊維で縫合されている（ニードルパンチ加工）。乾燥状態では厚さ 6mm 程度であるが、浸潤すると 10mm 以上に膨潤する特徴を有する。実際の施工では、遮水シートを堤体上流側に階段状あるいは直線状に敷設し、0.5~1.0m の覆土を設ける。すなわち、このようなため池特有の環境条件下での遮水シートの基本的挙動特性の解明が重要となる。本研究では具体的に 1) 遮水シートの膨潤特性、2) 低拘束圧下でのシートと土の境界面でのせん断挙動特性、3) 遮水シートが敷設された堤体の動的挙動ならびにその敷設条件が堤体の動的挙動に及ぼす影響を解明することを目的としている。

## 3. 研究の方法

本研究では、上記に示す 3 つの解明事項に対して、それぞれ 1) 遮水シートの圧密試験、2) 遮水シートと堤体土の一面せん断試験、3) 遮水シートを敷設した堤体模型を対象とした振動実験を実施した。以下、それぞれの研究方法について具体的に述べる。

### 1) 遮水シートの圧密試験

通常、遮水シートは乾燥状態で敷設し、改修完了後の湛水により膨潤する。しかしながら、施工中の降雨により浸潤することも考えられる。覆土前の浸潤がシート厚さや透水係数に及ぼす影響について調べるために、浸潤条件を変えた圧密試験を行った。図-1 に示す遮水シートを  $\phi 60$  ならびに  $\phi 100$  の寸法に切り取り、供試体とした。試験機に設置する前に浸水させたケースと試験実施後（載荷後）に浸水させたケースについて、載荷圧力を 9.8, 39.2, 157kPa と変えて、供試体の鉛直変位量の変化を測定した。さらに予め浸水したシ

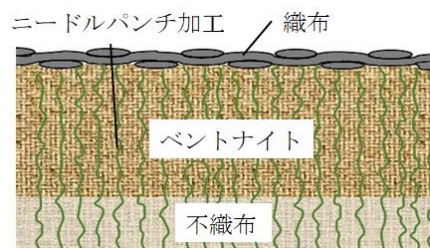


図-1 ベントナイト系遮水シート

トについては、通常の段階載荷による圧密試験（JIS A 1217:2009）も実施した。

### 2) 遮水シートの一面せん断試験

遮水シートと土の境界面におけるせん断特性を検討することを目的に一面せん断試験を実施した。土試料には、6・7号混合珪砂（ $\rho_s=2.64\text{g/cm}^3$ ， $\rho_{dmax}=1.58\text{g/cm}^3$ ， $\rho_{dmin}=1.23\text{g/cm}^3$ ）ならびにコア用土と砂を混合した細粒分まじり砂（混合土と記載、 $\rho_s=2.64\text{g/cm}^3$ ， $\rho_{dmax}=1.90\text{g/cm}^3$ ）を用い、珪砂は相対密度 85%、混合土は締固め度 95%になるように作製した。遮水シートには、図-1 に示すタイプ（GCL1）に加え、2枚の織布の間に粉状ベントナイトを挟み込み、織布同士をステッチ縫合されたベントナイト系遮水シート（GCL2）の 2 種類を使用した。また、シートの浸潤条件については、浸潤と乾燥の 2 種類の条件下で実施した。すなわち、試験対象となる境界面については、土の種類、シートの種類（織布面と不織布面およびその間のベントナイト層）、浸潤条件を変えた。さらに、実際の施工では、シートに重ね合わせ部が存在するため、シート重ね合わせ部を対象とした試験についても実施した。また、せん断速度については、遮水シートと土の境界面で 1.0mm/min（ISO 12957-1「土とジオシンセティックスの一面せん断試験方法」）、砂の内部せん断試験では 0.2mm/min、混合土の内部せん断では 0.02mm/min、シート重ね合わせ部ベントナイト層のせん断試験では 0.02~1.0mm/min の条件とした。垂直応力は堤体内の低応力状態を想定して、25, 50, 100kPa とした。上記に示す各種試験条件について、合計 53 ケースの一面せん断試験を実施した。

さらに本研究では、上記に示すような単一方向のみの一面せん断試験に加え、地震時のシートと土のせん断挙動特性を調べる目的で繰り返し一面せん断試験についても実施した。当試験では浸水した  $\phi 100$  のシートを対象にして 25kPa の垂直応力下で変位制御方式（0.5, 1.0, 3.0, 5.0mm）の繰り返し載荷試験を行った。

### 3) 遮水シートを敷設した堤体の振動実験

図-2 に示すように、高さ 300mm、天端幅 100mm、法面勾配 1:1.3 の堤体を作製した。堤体上流側には水位 200mm の貯水部を設けた。基盤材料には 6・7 混合珪砂とカオリン粘土を質量比 1:1 で混合したものを、堤体材料

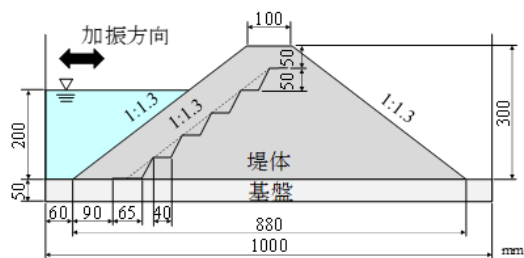


図-2 振動実験模型断面

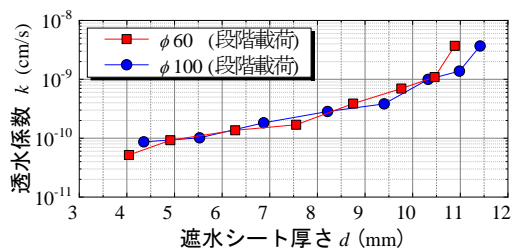


図-3 遮水シート厚さと透水係数の関係

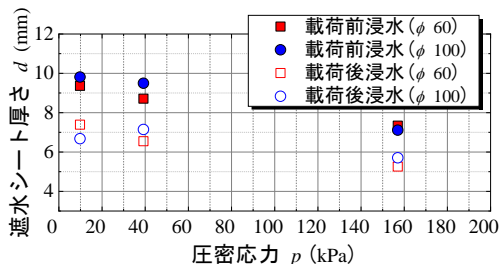


図-4 試験終了後の遮水シート厚さ

には質量比 4:1 で混合したものを用いた。小型コンパクターを用いて堤体を締め固め、締固め度  $D_c$  値を 95% ( $\rho_{dmax}=1.84 \text{ g/cm}^3$ ) になるように調整した。また、遮水シートには薄手のポリ塩化ビニル製シートを用いた。本実験では、遮水シートを敷設していない均一型のケース (case-a)、遮水シートを階段状に敷設したケース (case-b)、case-b と同様の敷設形状で、シートの摩擦を低減するために 2 重のシート間にグリースを塗布したケース (case-c)、法面勾配に平行に直線状に敷設したケース (case-d) の 4 ケースについて実施した。なお、貯水部が堤体の動的挙動に及ぼす影響を検討するため、case-a, b, d の 3 ケースについては、貯水部を設けないケース (堤体締固め度  $D_c$  値 92%) についても実施した。

入力波には 5Hz で 30 波の正弦波を最大加速度 250gal, 500gal, 750gal, 1000gal を目標に段階的に与え、その後は堤体表面に亀裂が確認できるまで加速度を増加させた。

#### 4. 研究成果

##### 1) 遮水シートの圧密試験

図-3 に段階的荷による圧密試験の結果を

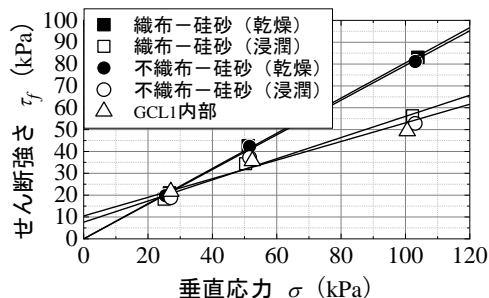


図-5 垂直応力とせん断強さの関係



図-6 試験終了のシート織布面の様子

示す。シート厚さの増加に従い、透水係数が増加することがわかる。また、試験終了後のシート厚さを図-4 に示す。载荷前に浸水させた条件の方が载荷後に浸水させた条件よりもシートが厚いことがわかる。すなわち、図-3 の結果を考慮すると、载荷前に浸水した場合、透水係数が増加することが明らかとなった。すなわちシートは覆土前に浸潤すると遮水性能が低下することが示された。しかしながら、シートに要求される透水係数は  $5.0 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$  以下であることから、ため池遮水材としての遮水性能は維持されていると考えられる。

##### 2) 遮水シートの一面せん断試験

図-5 に GCL1 (図-1 に示すタイプ) と珪砂の境界面での一面せん断試験に基づく垂直応力とせん断強さの関係を示す。せん断強度は織布面と不織布面の違いにより大きな差は見られないものの、乾燥条件と浸潤条件の違いによっては明確な差が現れている。すなわち、浸潤条件でのせん断強さが乾燥条件よりも小さいことが明らかとなった。不織布面には面に沿う水みちを防止するため、製造時に粉状ベントナイトを故意に付着させることから、これらのベントナイトが浸潤したことで、せん断強度が低下したと考えられる。また、図-6 に示すように、織布面においては、ベントナイトの滲み出しが観察されたことから強度低下を招いたと考えることができる。しかしながら、浸潤したベントナイトは粘着力を発揮することから、10~20kPa 程度の低拘束圧下では、せん断強度の低下は認められない。

図-7 に変位振幅 3.0mm での繰り返し一面せん断試験から得られたせん断変位とせん

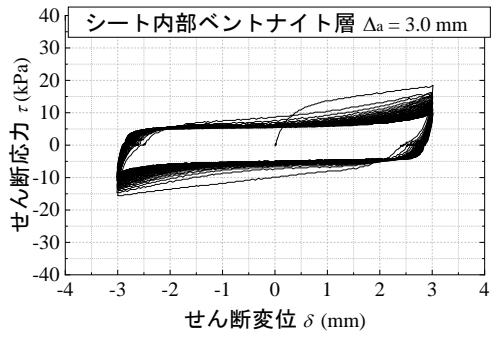


図-7 せん断変位とせん断応力の関係

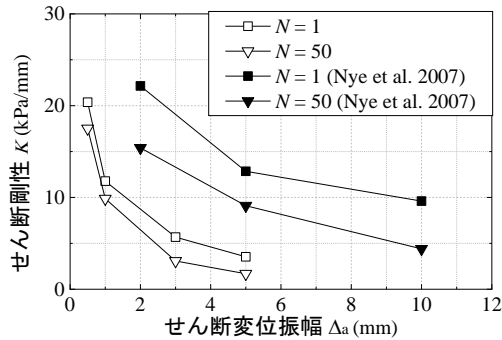


図-8 変位振幅とせん断剛性の関係

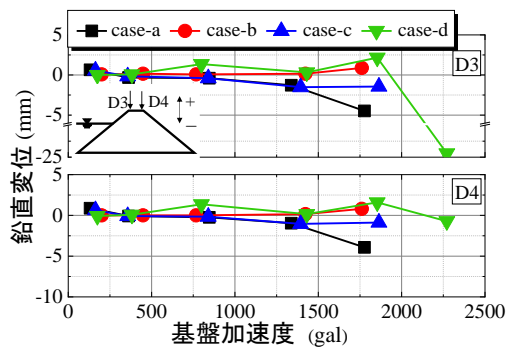


図-9 基盤加速度と沈下量 (貯水有)

断応力の関係を示す。図-7より繰り返し載荷回数の増加に伴い、最大せん断応力は低下することがわかる。また、図-8に1回ならびに50回繰り返し後の変位振幅とせん断剛性の関係を示す。変位振幅の増加に従い、せん断剛性は低下することがわかる。すなわち、地震時、土とシートの間で大きな相対変位が生じた場合、そのせん断強度とせん断剛性が低下することが明らかとなった。

#### 4) 遮水シートを敷設した堤体の振動実験

図-9、図-10に振動実験より得られた天端の沈下量を示す。図-9は貯水部を設けた実験結果であり、図-10は貯水部を設けていない実験結果である。図-9からシートの無い case-a では 1750gal 付近で沈下が発生しているものの、シートを有する case-b, c, d では、大きな沈下は見られない。このことから貯水部がある場合は、遮水シートを有するケースの方が強いと言える。一方、図-10より貯水部を

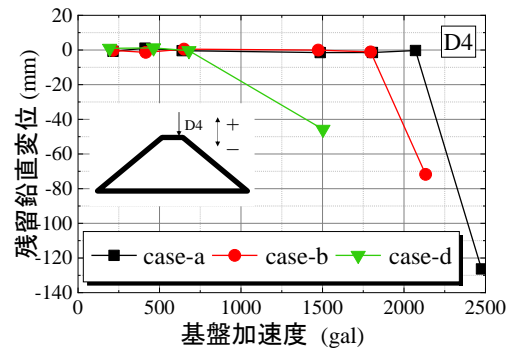


図-10 基盤加速度と沈下量 (貯水無)

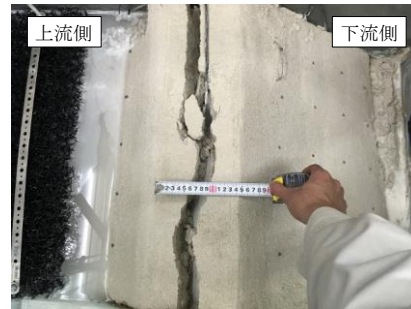


図-11 case-d の加振後天端

設けない場合、遮水シートを用いた case-b, d の沈下は case-a よりも小さな加速度段階で生じていることがわかる。これらの結果から、貯水部を設けた実験では、遮水シートの補強効果ではなく、遮水効果により堤体内部の飽和領域が減少したことで沈下が抑制されたと考えることができる。

さらに case-d に着目すると、沈下量が他のケースよりも大きいことがわかる。これは、貯水の有無にかかわらず case-d においてシートに沿った滑りが生じたことが要因である。case-d の加振後の天端の様子を図-11 に示す。このように遮水シートの敷設方法により、堤体の破壊メカニズムが変化することが明らかとなった。今後、破壊メカニズムを考慮した設計方法を考案する必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件) 全て査読有

- 1) 重元凜太郎, 澤田豊, 眞木陸, 河端俊典: ベントナイト系遮水シートとため池堤体土のせん断強度特性, ジオシンセティックス論文, Vol.32, pp.73-80, 2017.
- 2) Shigemoto, R., Sawada, Y., Maki, R. and Kawabata, T., Shear strength characteristics of internal bentonite layer of needle-punched GCL used in small earth dams under cyclic loading, Geotechnical Special Publication, ASCE, 2018. (in print)

〔学会発表〕(計4件)

- 1) 眞木陸, 重元凜太郎, 澤田豊, 河端俊典: 低拘束圧下におけるベントナイト系遮水シートのせん断強度特性その1-シートと土の境界面での一面せん断試験-, 第

- 74回農業農村工学会京都支部研究発表会，  
2017.10，金沢市.
- 2) 眞木陸，重元凜太郎，澤田豊，河端俊典：  
低拘束圧下におけるベントナイト系遮水  
シートのせん断強度特性その 2—シート  
継目の重ね合わせ部での一面せん断試験  
一，第 74 回農業農村工学会京都支部研究  
発表会，2017.10，金沢市.
  - 3) 重元凜太郎，澤田豊，清水敬三，西村達  
也，神信浩一，河端俊典：ため池堤体内  
に設置されるベントナイト系遮水シート  
の力学特性に関する検討，平成 29 年度農  
業農村工学会大会講演会，2017.08，藤沢  
市.
  - 4) 重元凜太郎，眞木陸，澤田豊，小竹望，  
鈴木麻里子，清水敬三，井上和徳，神信  
浩一，中澤博志，小田哲也，河端俊典：  
遮水シート工法により改修されたため池  
堤体の動的挙動に関する小型振動実験，  
平成 29 年度農業農村工学会大会講演会，  
2017.08，藤沢市.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

河端 俊典 (KAWABATA TOSHINORI)

神戸大学大学院・農学研究科・教授

研究者番号：20335425