

# ベントナイト系遮水シートと土の摩擦抵抗 に関する実験的検討

佐々木貴<sup>1</sup>・川口貴之<sup>2</sup>・川尻峻三<sup>3</sup>・澁谷啓<sup>4</sup>

ため池堤体の遮水性改善を目的とした改修にベントナイトを用いた遮水シートを敷設する工法が採用されることがある。このとき、改修した堤体の地震や豪雨に対する安定性を検討するには、遮水シートと堤体との摩擦抵抗を正確に把握することが重要になるが、ベントナイト系遮水シートでは内部のベントナイトがシートと土の摩擦抵抗やシート自体の変形特性に影響を及ぼす可能性がある。そこで本研究では、一面せん断試験装置を用いて低応力下におけるシートと土の摩擦抵抗やシート内のベントナイトの変形特性などについて詳細に検討した。その結果、シートと土のせん断摩擦強さに及ぼすベントナイトの影響は小さいことやシートと土のせん断摩擦強さはシート内部のベントナイトのせん断強さよりも小さいことなどが明らかになった。

キーワード：遮水シート，ベントナイト，摩擦抵抗，一面せん断試験

## 1. はじめに

全国には 20 万箇所程度のため池堤体が存在し、この多くは現在適用されているような密度管理や安定計算等の施工・設計体系が確立される以前に築堤されている。このため、老朽化による漏水の発生や、近年観測されているような地震や豪雨等の外力に対して所定の安全率を満足できない可能性があるなど、既存堤体の早急な改修が必要となっているため池が増加している<sup>1)</sup>。改修の際、遮水性の改善を目的とした堤体改修では、既設堤体の表のり面に遮水性を有するコアゾーン（鋼土、刃金土）を新たに築造<sup>2)</sup>することが多い。ただし、改修対象のため池近隣から所定の安全率を満足できる強度や遮水性等を有する地盤材料を入手できない場合には、表のり面に遮水シートを敷設し、覆土することで既設堤体の遮水性を向上させる工法<sup>3)4)</sup>が採用される場合がある。

しかしながら、このとき遮水シートと既設堤体あるいは覆土との摩擦強度が不十分であれば、豪雨による急激な水位上昇や地震等の外力作用時に、この境界がすべり面となって覆土部分が滑落・崩壊し、その結果として改修堤体全体が不安定化する可能性も否定できない。また、堤体法面に敷設した遮水シートが施工中に落脱するケースが稀にあることも報告されている<sup>4)</sup>。さらに、遮水シートにはゴム系<sup>5)</sup>やアスファルト系<sup>6)</sup>等が存在するが、中でもベントナイトを用いた遮水シート（以下、ベントナイト系遮水シート）では、内部のベントナイトがシートと土の摩擦抵抗やシート自体のせん断変形特性に影響

を及ぼし、複雑な力学挙動を呈する可能性があるため、遮水シートと既設堤体との摩擦抵抗を正確に把握しておくことが特に重要だと考えられる。しかしながら、これに関する研究例は比較的少なく<sup>4)</sup>、ベントナイト系遮水シートを用いた改修堤体の安定性評価等の設計手法の確立にも至っていない。

そこで本研究では、ベントナイト系遮水シートを用いたため池堤体の安定性評価に資する実験データを得るため、実際に改修堤体内でシートに作用する低応力下でのシートと土の摩擦抵抗や、シート内のベントナイトの変形特性などについて、一面せん断試験装置を用いて詳細に検討した。

## 2. 試験方法・条件

### (1) ベントナイト系遮水シート

図-1は本研究で使用したシートの構造に関する概略図、写真-1はシート両面と断面の様子を示したものである。粒状のNa型ベントナイトをいずれもポリプロピ

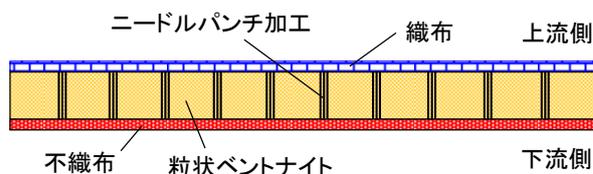


図-1 使用したシートの概略図

<sup>1</sup>地盤工学会学生会員，北見工業大学大学院工学研究科 社会環境工学専攻（〒090-8507北見市公園町165番地）

<sup>2</sup>IGS個人会員，北見工業大学 工学部 准教授（〒090-8507北見市公園町165番地）

<sup>3</sup>地盤工学会員，北見工業大学 工学部 助教（〒090-8507北見市公園町165番地）

<sup>4</sup>IGS個人会員，神戸大学大学院工学研究科 教授（〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1）

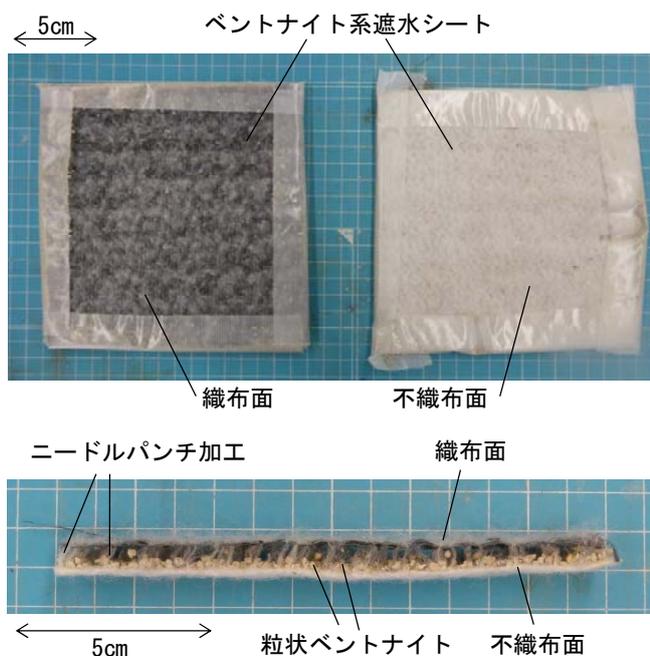


写真-1 使用したベントナイト系遮水シートの詳細

表-1 刃金土の物性値

土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.648
礫分 (%)	39.2
砂分 (%)	31.5
細粒分 (%)	29.3
土質分類	(GFS)
最適含水比 $w_{opt}$ (%)	14.2
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.806
透水係数 $k$ (m/s)	$7.82 \times 10^{-9}$

レン製の織布と不織布を挟んでおり、それらをニードルパンチ加工によって固定している。シートの仕様や性能の詳細については参考文献<sup>7,8)</sup>を参照されたい。なお、写真-1中の断面写真については、両面を結合しているニードルパンチ加工の様子を確認しやすいよう、シート内の粒状ベントナイトの一部を取り除いている。また、本研究では改修堤体内で織布面が上流側、不織布面が下流側になるよう敷設されることを想定している。

## (2) 土試料

表-1は本研究で用いた土試料の物性値をまとめたものである。この試料は刃金土として使用されているものであり、透水係数が小さく、遮水性が高いことからため池などで広く使用されている。

図-2は刃金土の締固め曲線である。実験に用いた供試体はせん断箱の大きさを考慮して、37.5mmふり通過させた刃金土を締固め度  $D_c=90\%$  ( $\rho=1.63\text{g/cm}^3$ ) になるよう締固めたものであり、図中にプロットしたように非

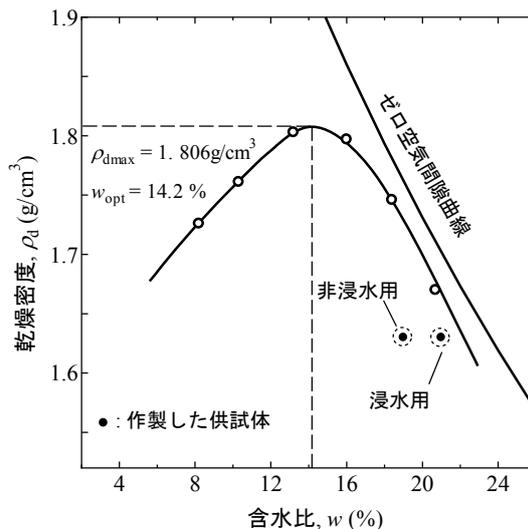


図-2 刃金土の締固め曲線

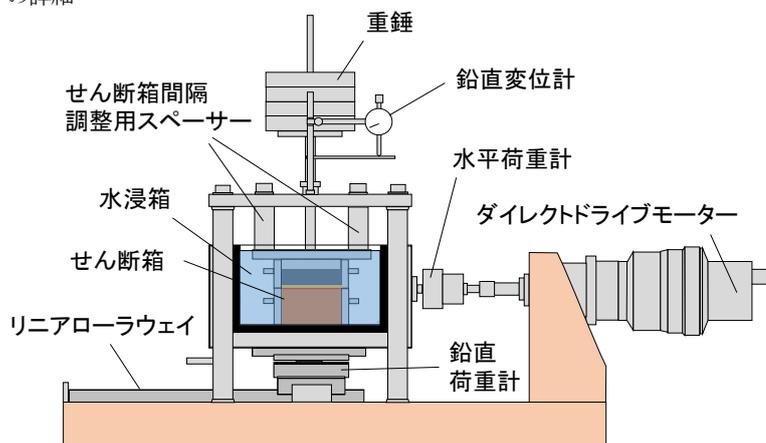


図-3 一面せん断試験装置の概略図

浸水条件下で実施した試験については含水比  $w=19\%$ 、浸水条件下での試験では  $w=21\%$  に調整した。

## (3) 一面せん断試験装置と試験方法

図-3は本研究で用いた一面せん断試験装置の概略図である<sup>9)</sup>。垂直応力  $\sigma$  は重錘によって載荷し、反力板側にある鉛直荷重計で計測する構造になっている。また、水平変位  $\delta$  はダイレクトドライブモーター、減速機、スプラインボールネジが連結された載荷システムによって与えられ、モーター回転角等から計測される。本研究では、この試験装置を用いることによって、改修堤体内に設置されたベントナイト系遮水シート周辺で想定される以下の5種類の境界をせん断面として、一連の試験を実施した。なお、括弧内のアルファベットはこれらの試験群を区別するために付けた記号である(後述の表-2参照)。

- ①: シート不織布面-刃金土の境界 (NH)
- ②: シート織布面-刃金土の境界 (WH)

- ③：シート内にあるベントナイト (BS)
- ④：刃金土のみで作製した供試体内 (H)
- ⑤：ベントナイトのみで作製した供試体内 (B)

図-4はシートの不織布面と刃金土の境界でせん断したNH試験群(上記①)におけるせん断箱とせん断面周辺の概略図, 図-5はそれ以外のWH, BS, H, B試験群

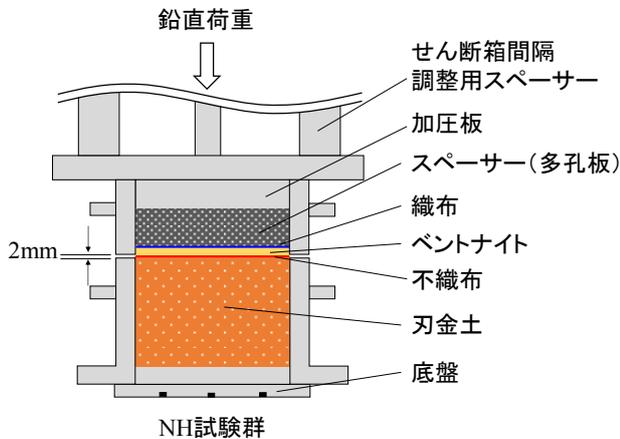


図-4 せん断箱とせん断箱周辺に関する概略図

(上記②~⑤)におけるせん断面周辺の概略図である。また、写真-2には準備や試験中の様子, 更には試験終了後におけるシートの観察結果を示している。

せん断箱の断面積は一辺120mmの正方形であり, 高さ150mm(下箱90mm, 上箱60mm)までの直方体供試体が設置可能となっている(図-4, 写真-2d参照)。このため, せん断箱内にスペーサーを設置することで供試体高さやせん断面の位置を容易に変更することが可能である(写真-2e)参照)。また, せん断箱側面の一部が透明アクリルで構成されており(写真-2a)参照), さらに底盤の脱着が可能であるため, せん断箱内に土供試体が設置された状態で, 目視で確認しながらせん断面の位置を変更することも可能である。また, せん断箱間隔については上せん断箱を吊り上げることによって設ける構造になっており, 上盤との間に設置するスペーサー長を変えることで容易に調整できる(図-3参照)。

シートと刃金土との境界をせん断面とした2つの試験群(NH(不織布面-刃金土), WH(織布面-刃金土))については, シートの厚みが増減しやすいことを考慮して刃金土を反力板側(下箱), シートを加圧板側

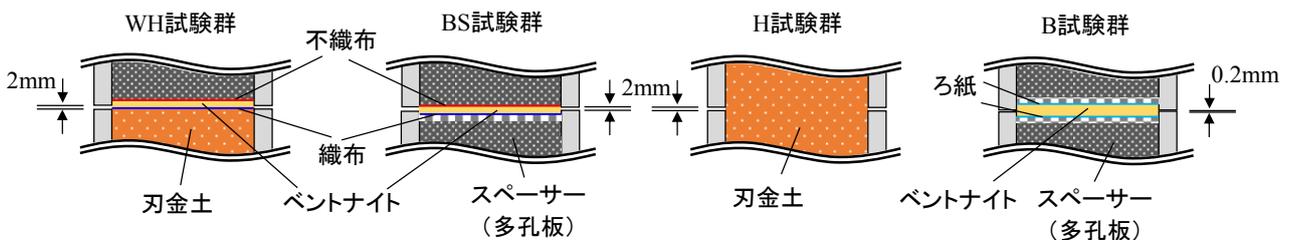


図-5 境界面およびせん断面周辺の詳細

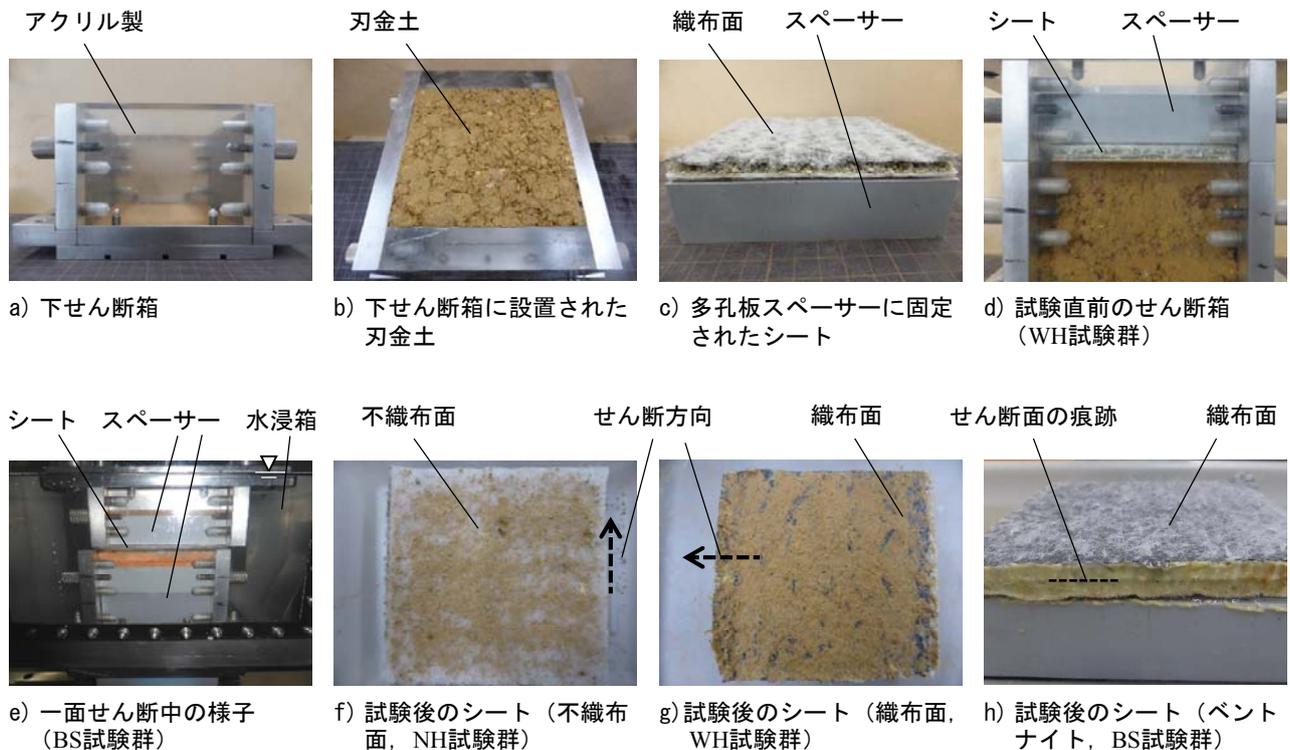


写真-2 試験準備や試験中の様子, 試験終了後におけるシートの観察結果

表-2 主な試験条件と試験後の含水比に関するまとめ

試験名	せん断面	浸水日数 (日)	鉛直応力 $\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	せん箱間隔 (mm)	せん断速度 (mm/min)	含水比 (ベントナイト) $w_B$ (%)	含水比 (刃金土) $w_H$ (%)	飽和度 (刃金土) $S_{RH}$ (%)
NH10D	不織布面-刃金土		10	2	1		19.3	81.1
NH50D	不織布面-刃金土		50	2	1		19.3	81.1
NH10W-1	不織布面-刃金土	1	10	2	1	130.5	22.7	95.5
WH10W-1	織布面-刃金土	1	10	2	1	140.3	21.8	91.7
WH30W-1	織布面-刃金土	1	30	2	1	132.8	23.3	98.1
WH50W-1	織布面-刃金土	1	50	2	1	120.4	23.5	98.8
WH10W-7	織布面-刃金土	7	10	2	1	162.8	23.8	100.0
WH50W-7	織布面-刃金土	7	50	2	1	117.4	23.3	98.1
BS10W-7	シート内ベントナイト	7	10	2	1	167.8		
BS50W-7	シート内ベントナイト	7	50	2	1	115.3		
H10W-1	刃金土供試体	1	10	2	0.02		23.3	98.1
H50W-1	刃金土供試体	1	50	2	0.02		21.8	91.5
B10W-1	ベントナイト供試体	1	10	0.2	0.02	190.5		
B30W-1	ベントナイト供試体	1	30	0.2	0.02	185.7		
B50W-1	ベントナイト供試体	1	50	0.2	0.02	126.7		

(上箱)に設置した(写真-2d)参照)。所定の  $w$ ,  $\rho_d$  となるよう調整・計量した刃金土をせん断箱に入れ、下せん断箱の上面まで締固めた後(層厚 30mm, 3層, 写真-2b)参照), 粘着力の大きい両面テープで樹脂板(スペーサー)に貼り付けたシートを設置した(写真-2c)参照)。このため、荷重によっては下箱内の刃金土が圧縮し、シートとの境界面が下箱内に移動することがあったが、先述したように底盤側からスペーサーを挿入することで、必ず境界面がせん断箱間隔中央にくるよう調整した。写真-2f, g)には試験後のシートの様子が示されているが、各シート表面には刃金土が薄く付着しており、概ねこの境界でせん断できていることが確認できる。

シート内にあるベントナイトをせん断面とした BS 試験群については、あらかじめ樹脂板に貼り付けられた状態で浸潤させたシートをシート厚の中央がせん断面となるよう設置した(写真-2e)参照)。写真-2h)には試験後のシートの様子が示されているが、シート内ベントナイトのほぼ中央でせん断できていることが確認できる。

刃金土のみで作製した供試体をせん断した H 試験群については、所定の  $w$ ,  $\rho_d$  となるよう調整・計量した刃金土を、層厚の中央がせん断面となるようにせん断箱内で締固めた(層厚 40mm, 1層)。また、シート内にある粒状ベントナイトのみで作製した供試体をせん断した B 試験群については、シートを接合させる際の重ね合わせ部に散布された粒状ベントナイトがすべり面となるこ

とを想定しており、層厚が 10mm になるよう 185g 程度の粒状ベントナイトを敷き詰め、初期層厚の中央がせん断面となるようにした。なお、浸水時の流亡を避けるためにベントナイト両端にはろ紙を敷いたポーラスストーンを配置した。

#### (4) 試験条件と試験後の含水比

表-2は本研究で実施した一連の試験群の試験条件と試験終了後の含水比についてまとめたものである。表中に示す全ての試験はせん断中に $\sigma$ の制御を行わない簡易定圧一面せん断試験である。表中の試験名については、最初のアルファベットは先述の①~⑤に示したせん断面に関する情報を表したものであり、その後にある2桁の数字は一面せん断試験開始時の $\sigma$ である。また、その後のアルファベットは浸水条件(浸水:W, 非浸水:D), ハイフンに続く数字はせん断箱内でシートを浸水させた日数を表している。

せん断箱間隔  $d$  については、B 試験群では粘性土であるベントナイトがせん断面となることを考えて 0.2 mm としたが、それ以外については全て 2 mm とした。なお、BS 試験群もシート内にあるベントナイトをせん断するが、シート内にあるニードルパンチによって過剰に補強効果が発揮されることを避けて 2 mm とした。

せん断速度については、土試料のみをせん断する H および B 試験群については地盤工学会基準「土の圧密定圧一面せん断試験方法」<sup>10)</sup>に準拠して 0.02 mm/min と

し、それ以外の試験については共通に地盤工学会基準「土とジオシンセティックスの一面せん断試験方法」<sup>1)</sup>に準拠して1mm/minとした。

浸水条件については、シート下流側を想定したNH試験群（不織布面-刃金土）以外は水浸箱を脱気蒸留水で満たし、せん断箱全体を試験名に記載されている所定の日数だけ浸水させた後にせん断を行った。ただし、BS試験群（シート内ベントナイト）については、シートをせん断箱内ではなく、別のモールド内で試験時と同じ $\sigma$ を与えた状態で7日間浸水させ、それをせん断箱に移設してからせん断を行った。一方、NH試験群（不織布面-刃金土）については、比較のために1日浸水させた試験も行っている（NH10W-1）。なお、せん断箱内に設置した全てのスペーサーは多孔板となっており、シートや土試料に対してスムーズに水分が供給されるようになっている。

試験後の $w$ について、シート内にあるベントナイトの含水比 $w_B$ は $\sigma$ と浸水時間が同じであれば概ね同程度の値が得られることが伺える。また、 $\sigma=10\text{ kN/m}^2$ では浸水期間が1日から7日になることで135%前後から165%前後に増加するが、 $\sigma=50\text{ kN/m}^2$ では浸水時間によらず120%前後である。さらに、ベントナイトのみで作製した供試体（B試験群）の $w_B$ は、 $\sigma=50\text{ kN/m}^2$ では同様であるものの、 $\sigma=10\text{ kN/m}^2$ ではシート内にあるベントナイトの $w_B$ に比べてかなり大きい。これらのことから、 $\sigma$ が小さいとシート内にあるベントナイトは時間とともに吸水膨張するが、ニードルパンチによる拘束力が発揮されることで、吸水膨張が制限されていることが伺える。一方、 $\sigma$ が大きいと $\sigma$ による拘束力によって予め吸水膨張が制限されるために、浸水時間やシート内にあるか否かによらず、同程度の $w_B$ が得られるのだと考えられる。一方、刃金土の含水比 $w_H$ については、浸水させた試験では22~24%程度となっており、飽和度 $S_H$ は91~100%の範囲にあることが確認できる。

### 3. 試験結果・考察

#### (1) ベントナイト系遮水シートと土の摩擦抵抗

図-6はシートの上流側境界を想定した織布面と刃金土の境界をせん断するWH試験群のせん断摩擦応力 $\tau_s$ と水平変位 $\delta$ の関係を比較したものである。 $\sigma$ が大きくなるにつれてせん断摩擦強さ $\tau_{s\max}$ が大きくなることが分かる。また、シート内にあるベントナイトの含水比は浸水期間に伴って変化するが（表-2参照）、これがせん断摩擦抵抗に与える影響は小さいことが分かる。

図-7は浸水期間1日で行われたWH試験群（織布面-刃金土）の $\tau_s \sim \delta$ 関係と、刃金土のみで作製した供試体をせん断したH試験群のせん断応力 $\tau \sim \delta$ 関係を比較したものである。他の研究でも報告されている通り、土とジオシンセティックス間の $\tau_{s\max}$ は土のせん断強さ $\tau$ を超えていないことが分かる<sup>2)</sup>。

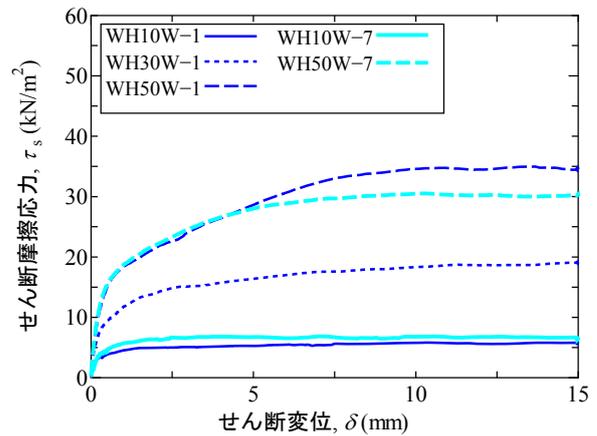


図-6 WH試験群（織布面-刃金土）の $\tau_s \sim \delta$ 関係

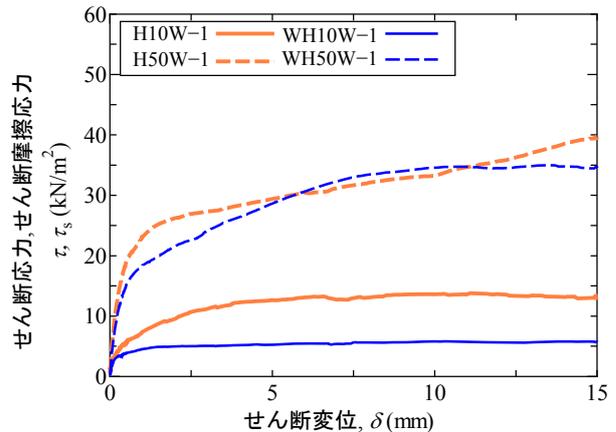


図-7 WH試験群（織布面-刃金土）およびH試験群（刃金土）の $\tau_s \sim \delta$ 関係

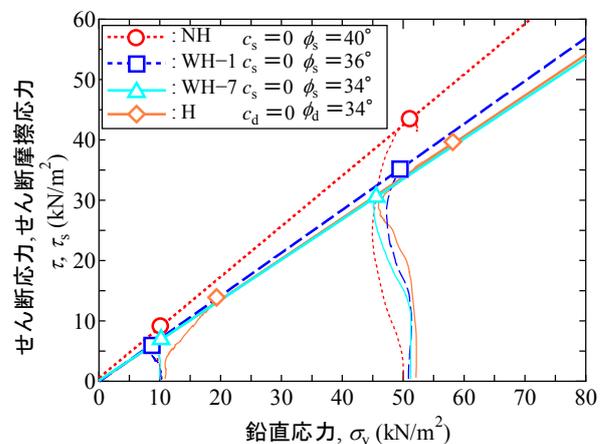


図-8 ベントナイト系遮水シートと刃金土（NH, WH）のせん断摩擦定数および刃金土（H）の強度定数

図-8はシート（織布面、不織布面）と刃金土との $\tau_s \sim \delta$ 関係（WH, NH試験群）から得られた $\tau_{s\max}$ と、その時の $\sigma$ をプロットしたものである。また、図中には一面せん断試験中の $\tau_s \sim \sigma$ 関係も示している。浸水条件や浸水期間が同じ結果を直線で結ぶと、いずれも切片はほぼ0であったことから、土とジオシンセティックス間の粘着力 $c_s$ は0だと判断し、原点を通過する近似曲線の傾きから土とジオシンセティックス間のせん断抵抗角 $\phi$ を求

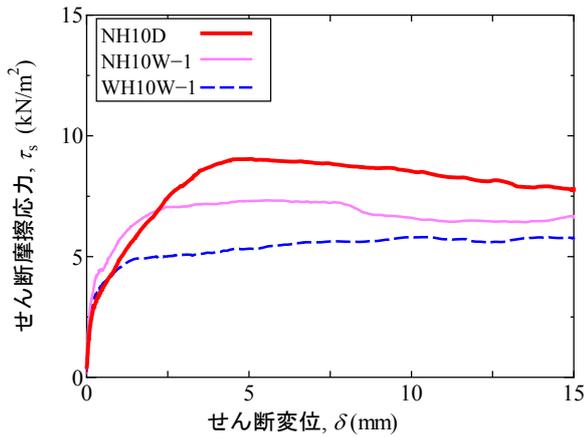


図-9 WH試験群（織布面-刃金土）とNH試験群（不織布面-刃金土）の比較

めた。非浸水条件下で実施されたNH試験群（不織布面-刃金土）から得られた $\phi$ が、浸水条件下で実施されたWH試験群（織布面-刃金土）から得られた $\phi$ よりも大きいことが分かる。また、浸水期間が長くなるとわずかに $\phi$ が低下するが、 $\tau_{\max}$ と同様に $\phi$ についても浸水期間の影響は小さいことが分かる（図-6参照）。本試験結果のみから中長期的な変化を論ずることは困難であるが、7日間浸水膨張させたシートを用いた試験結果においても、シート内のベントナイトがシートと刃金土の間に染み出している様子は確認されておらず（写真-2g参照）、この影響によって摩擦力が低下する可能性は低いと予想される。図-8中には、刃金土のみで作製した供試体をせん断したH試験群から得られたせん断抵抗角 $\phi$ も示しているが、同じ $\sigma$ で実施された試験から得られた $\tau_{\max}$ と $\pi$ には違いがあるものの、WH試験群から得られた $\phi$ とほぼ等しいこと、刃金土の粘着力 $c_d$ も0と見なせることが分かる。

図-9は $\sigma=10\text{ kN/m}^2$ で実施されたシート（織布面、不織布面）と刃金土の境界をせん断した際に得られた $\tau \sim \delta$ 関係を比較したものであり、NH試験群（不織布面-刃金土）については浸水・非浸水条件下での試験結果も示している。浸水することで $\tau_{\max}$ は低下するが、浸水条件下の織布面と刃金土の $\tau_{\max}$ よりは大きいことが分かる。すなわち下流側の浸水条件によらず、シート両面と刃金土との境界で得られる $\phi$ について比較すると、上流側のシート（織布面）と刃金土との境界で得られる $\phi$ の方が小さいことが確認できる。

## (2) ベントナイトの変形特性

図-10はシート内のベントナイトをせん断したBS試験群において、浸水過程でのシート厚の変化を示したものである。先述したように、シートの浸水はせん断箱とは別のモールド内において、所定の $\sigma$ を作用させた状態で行っている。初期厚は6.4mmであるが、 $\sigma=10\text{ kN/m}^2$ では浸水過程で吸水膨張し、7日後には約8.5mmとなっている。一方、 $\sigma=50\text{ kN/m}^2$ では载荷初期に沈下した後も徐々に圧縮し、7日後には約5.0mmとなっている。

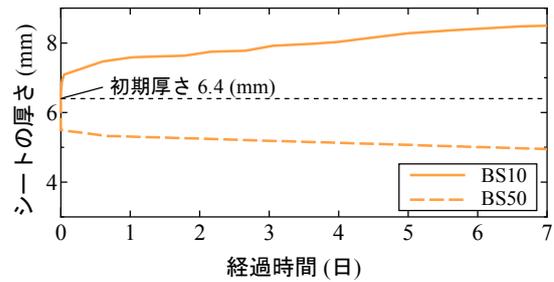


図-10 BS試験群（シート内ベントナイト）の浸水過程におけるシート厚の変化

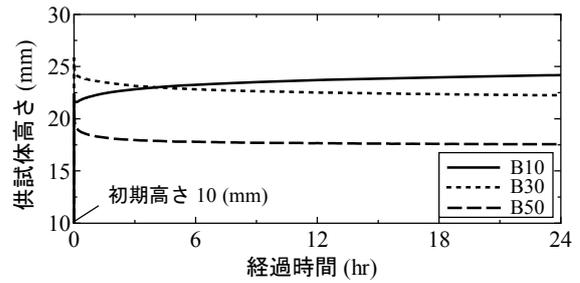


図-11 B試験群（ベントナイト供試体）の浸水過程における供試体高さの変化

図-11はベントナイトのみで作製した供試体をせん断したB試験群において、浸水過程での供試体高さの変化を示したものである。先述したように供試体の初期高さは10mmであるが、荷重载荷前に浸水させたため急速に吸水膨張した後、荷重载荷によって一旦圧縮し、その後 $\sigma=10\text{ kN/m}^2$ ではさらに膨張、 $\sigma=30, 50\text{ kN/m}^2$ では圧縮していることが分かる。また、試験を始めた24時間後にはいずれの試験でも圧縮・膨張挙動が十分に収束していることが確認できる。

図-12はいずれもベントナイトをせん断しているBS試験群（シート内のベントナイト）とB試験群（ベントナイトのみで作製した供試体）の $\tau \sim \delta$ 関係を比較したものである。また、図-13はこの中の同じ $\sigma$ で実施された試験について、せん断初期の変形挙動を比較したものである。これらの図から、せん断初期は両試験群で概ね同様な挙動を示しているが、せん断変位が進むにつれて、シート内のベントナイトをせん断しているBS試験群の $\tau$ の方が大きくなり、大きな $\pi$ が得られることが分かる。これはニードルパンチがせん断に対して大きく抵抗しているためだと考えられ、せん断開始時の $\sigma$ が同じ試験で比較すると、シート内ベントナイト（BS試験群）をせん断した際に得られる $\pi$ は、シートと刃金土の境界（WH, NH試験群）をせん断した際に得られた $\tau_{\max}$ や、刃金土（H試験群）をせん断した際に得られた $\pi$ よりも大きいことが分かる。図-14はベントナイトをせん断したBS試験群（シート内のベントナイト）とB試験群（ベントナイトのみで作製した供試体）の $\pi \sim \sigma$ 関係であり、図中には一面せん断試験中の $\tau \sim \sigma$ 関係も示している。いずれの試験群も粘着力 $c_d$ を有しており、BS試験群から得られた $c_d$ の方が大きく、 $\phi$ についてもB試験

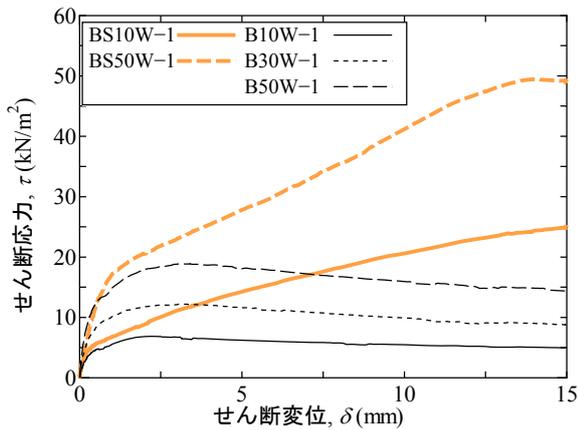


図-1 2 BS試験群（シート内ベントナイト）とB試験群（ベントナイト供試体）の $\tau \sim \delta$ 関係

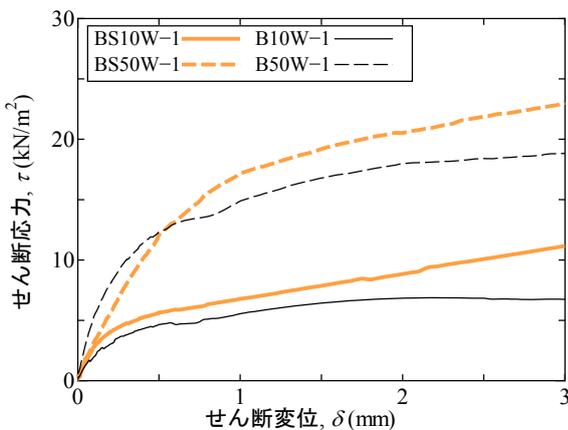


図-1 3 せん断初期における $\tau \sim \delta$ 関係の比較 (BS, B試験群)

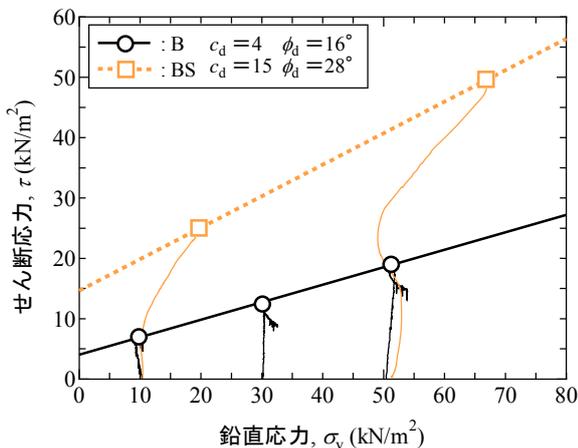


図-1 4 BS試験群（シート内ベントナイト）とB試験群（ベントナイト供試体）から得られた強度定数

群から得られた $\phi$ より大きいことが分かる。また、せん断抵抗角のみを比較すれば、ベントナイトのみで作製した供試体をせん断（B試験群）した際に得られる $\phi$ が全ての試験群の中で最も小さいことが分かる。以上のことから、シートを接合させる際の重ね合わせ部を想定した粒状ベントナイトがせん断（すべり）面となること（B

試験群）を除けば、本研究で実施した $\sigma$ の範囲内では、粘着力を考慮するとシート内のベントナイトよりもシート（織布面）と（刃金）土の境界（上流側境界）の方が弱部となる可能性が高いと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究で対象としたベントナイト系遮水シートと刃金土に関して得られた知見を以下にまとめる。

- ・シート内にあるベントナイトの含水比は浸水期間に伴って変化するが、これがシートと土のせん断摩擦強さやせん断摩擦定数に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。
- ・他の研究でも報告されている通り、土とジオシンセティックス間のせん断摩擦強さは土のせん断強さを超えないことが確認された。
- ・本研究で対象としたベントナイト系遮水シートでは、浸水条件下にある土と織布面間のせん断抵抗角が土と不織布面間のせん断抵抗角よりも小さかった。
- ・せん断開始時の垂直応力が同じであれば、シート内のベントナイトをせん断した際に得られるせん断強さはシートと土のせん断摩擦強さや土自体のせん断強さよりも大きいことが分かった。
- ・本研究で検討した5種類のせん断断面の内、ベントナイトシート内とベントナイトのみで作製した供試体内をせん断断面とした場合のみ粘着力が得られた。
- ・本研究で検討した5種類のせん断断面から得られたせん断抵抗角の中で、ベントナイトのみで作製した供試体をせん断した際に得られるせん断抵抗角が最も小さいことが分かった。また、これを除けば本研究で実施した垂直応力の範囲内では、シート内のベントナイトよりもシート（織布面）と（刃金）土の境界（上流側境界）の方が弱部となる可能性が高いことが分かった。

**謝辞：**本研究を遂行するにあたり、神戸大学大学院の片岡沙都紀助教と北見工業大学4年の川内谷勇真氏には多大なる協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) [http://www.maff.go.jp/nousin/bousai/bousai\\_saigai/b\\_tameike/](http://www.maff.go.jp/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/), 農林水産省, ため池の概要 (2015.10.30閲覧)
- 2) 谷茂: ため池施設の老朽化診断と改修, 農業土木学会誌, Vol.69, No.5, pp.487-490, 2001.
- 3) 向谷光彦, 守田誉, 井内和人, 田中勝彦, 乃村智子: 徳島県の泥炭質土における表面遮水シート工法によるため池の築堤, ジオシンセティックス論文集, Vol.28, 2013.
- 4) 神山惇, 鈴木素之, 河内義文, 浦部朋子, 深田三夫: ベントナイト遮水シートとため池堤体の間のせん断強度特性と堤体すべり破壊防止効果の検討, 地盤工学会中国支部論文報告集, 地盤と建設, Vol.31, No.1, pp. 157-167, 2013.

- 5) 楫賀成昭, 宮川元宏 : ゴムシートによる溜池遮水工法, 西松建設技報, Vol.19, pp.181-182, 1996.
- 6) 鈴木光, 坂田稔, 達増康隆 : 農業用水用貯水施設における斜面舗装の施工に関する改善対策, 北陸道路舗装会議技術報集, 2012.
- 7) <http://volclay.jp/jp/product/lineup/10.html>, 株式会社ボルクレイ・ジャパン, ボルクレイ・マット (2015.10.30閲覧)
- 8) <http://www.asahi-kasei.co.jp/agt/kankyout/jp/volcra/>, 旭化成ジオテック株式会社, ボルクレイ・マット (2015.10.30閲覧)
- 9) 佐々木貴, 川口貴之, 中村大, 山下聡 : 凍結融解履歴の有無による締固めた細粒土の一面せん断挙動の違い, 地盤工学会北海道支部技術報告集, Vol. 54, pp. 69-74, 2014.
- 10) 地盤工学会 : 地盤材料試験の方法と解説, 二分冊の2, pp.661-699, 2009.
- 11) 地盤工学会 : 地盤材料試験の方法と解説, 二分冊の2, pp.1048-1057, 2009.
- 12) Jwell, R.D., Milligan, G.W.E, Sarsby, R.W. and DuBois D.: Interaction between Soil and Geogrids, Symposium on Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering. London, pp.1-13, 1989.

## EXPERIMENTAL STUDY ON FRICTION RESISTANCE BETWEEN SOIL AND BENTONITE GEOSYNTHETIC CLAY LINER

Takashi SASAKI, Takayuki KAWAGUCHI, Shunzo KAWAJIRI  
and Satoru SHIBUYA

In renovation work for the purpose of improving water shielding properties of an aging embankment of irrigation pond, a method for installing a bentonite geosynthetic clay liner may be adopted. In this case, it is important to have a precise understanding of the frictional interaction properties between geosynthetic clay liner and soil in the embankment for the investigation of stability of the embankment against earthquakes and heavy rainfall after renovation. For this reason, in this study, direct box shear test apparatus was used to fully examine the frictional interaction properties between the bentonite geosynthetic clay liner and the soil used in the pond embankment under low stress, the deformation characteristics of bentonite within the liner, etc.

KEYWORDS: Geosynthetic clay liner, Bentonite, Friction resistance, Direct box shear test