



盛土のり先補強工法に用いる土のう材料の一面せん断試験

石田, 正利 ; 澁谷, 啓 ; 片岡, 沙都紀 ; 中西, 典明 ; 加藤, 卓彦 ; 歳藤, 修一 ; 伊藤, 修二

(Citation)

ジオシンセティックス論文集, 32:203-208

(Issue Date)

2017-12

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90005946>



盛土のり先補強工法に用いる 土のう材料の一面せん断試験

石田正利¹・澁谷 啓²・片岡沙都紀²・中西典明³・加藤卓彦⁴・歳藤修一⁵・伊藤修二⁶

沢埋めの道路盛土は耐震性が低い可能性があり、効率的で経済的な耐震補強工法の開発が求められている。このような背景から筆者らは土のう構造体を用いた盛土のり先補強工法を提案し、実物大の大型振動台実験（盛土高さ4m）を実施した。その結果、盛土の応答加速度の増加を抑制する効果を確認したが、のり先に設置した土のう構造体にせん断変形が確認され、その剛性が充分でないことがわかった。土のう構造体の剛性を高めるためには拘束圧を上げるほか、土のう同士のせん断抵抗を高める方法が考えられる。また、盛土の耐震性評価を実施するためには土のう構造体のせん断強度を把握する必要がある。そこで、筆者らは大型振動台実験で用いた土のうに用いられている織布とあらたに摩擦係数を高めた織布に対し、織布同士、土のう同士の一面せん断試験を実施してそれらの摩擦特性を調べた。

キーワード：耐震補強、土のう構造体、補強土工法、一面せん断試験

1. はじめに

土のう構造体を用いた盛土のり先補強工法のイメージ図を図-1に示す。本工法は既設盛土の耐震性を向上させるため、交通を妨げない範囲ののり先部に永久構造物として土のうを積層した後、鉛直方向に設置したアンカーにより上下からプレストレスを作用させて拘束力を高めるとともに変形を小さくした盛土補強工法である。また、土のうの中詰め材に現地発生土を使用するため経済的かつ効率的であることが特徴となっている。盛土内地下水位が高い場合、土のう構造体底部および、背面に鉛直に碎石層やジオシンセティックス等を設置することにより、地下水の上昇を抑える¹⁾²⁾。本工法に対する大型振動台実験結果では盛土の安定に際して土のう構造体部分の剛性が重要なことがわかった³⁾。土のう構造体部分の耐震性評価(内部安定)に際しては土のう同士のせん断強度(c, ϕ)を把握する必要がある。従来、土のう積層工法はソルパック工法⁴⁾や耐候性大型土のうを用いた仮設土留め構造物等の設計・施工マニュアル⁵⁾等があり、実務レベルでも多くの蓄積がある。また、土のう同士のせん断強度は松岡ら⁶⁾が研究しているが、本工法のように鉛直変位が規制される構造を加味したものではない。そこで鉛直変位を規制可能な試験装置を用い、土のうに用いられている織布とあらたに摩擦係数を高めた高摩擦織布に対

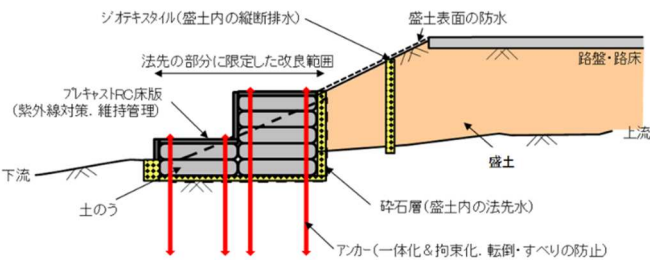


図-1 土のう構造体を用いた盛土のり先補強工法

表-1 一面せん断試験条件

有効せん断面積	織布同士	0.169m ² (345mm×490mm; 上箱内試料)
	土のう同士	0.175m ² (350mm×500mm; 上箱内寸)
垂直応力	約20, 約60, 約100kPa	
せん断変位速度	1mm/min	
参照規格	JGS0941土とジオシンセティックスの一面せん断試験	

し、織布同士と土のう同士の一面せん断試験を実施してそれらの摩擦特性を調べた。

2. 実験方法

¹正会員、太陽工業(株) (〒154-0001東京都世田谷区池尻2-33-16)
²地盤工学会国際会員、神戸大学大学院 (〒657-8501兵庫県神戸市灘区六甲台1-1)
³地盤工学会員、復建調査設計(株) (〒532-0004大阪府大阪市淀川区宮原1-4-13)
⁴地盤工学会員、(株)日建設計シビル (〒541-0054大阪府大阪市中央区南本町3-6-14)
⁵地盤工学会員、ライト工業(株) (〒564-0063大阪府吹田市江坂町1-16-8)
⁶地盤工学会員、前田工織(株) (〒461-0001愛知県名古屋市中区泉1-21-27)

表-2 土のう用織布の物性

織布種類	記号	引張強さ (N/3cm)	伸度 (タテ×ヨコ%)	材質
一般	T-300	3000	15×15	ポリエステル
高摩擦	F-300	3000	20×10	ポリエステル

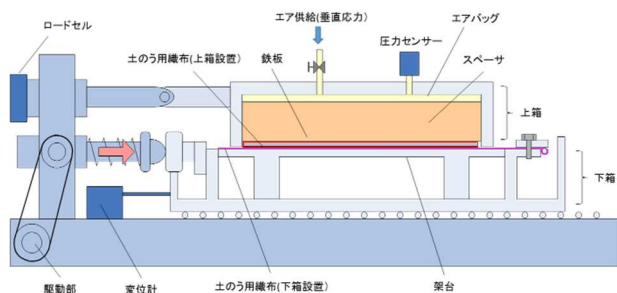


図-2 一面せん断試験（織布同士）

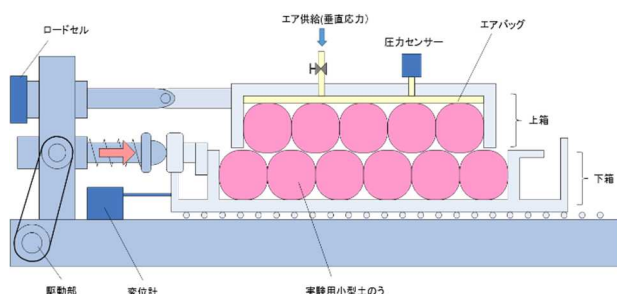


図-3 一面せん断試験（土のう同士）

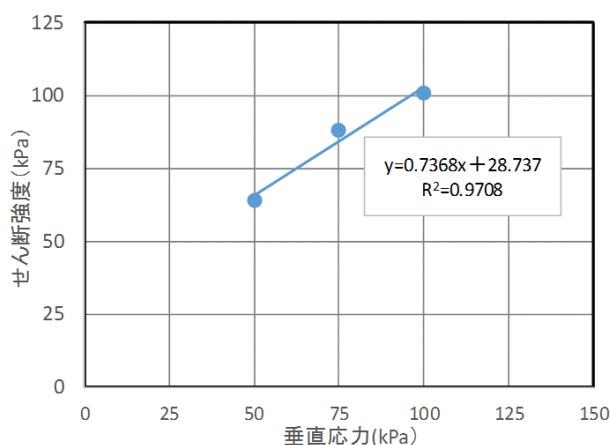


図-5 中詰め土（筑波まき土）の一面せん断試験



図-6 土のう設置状況

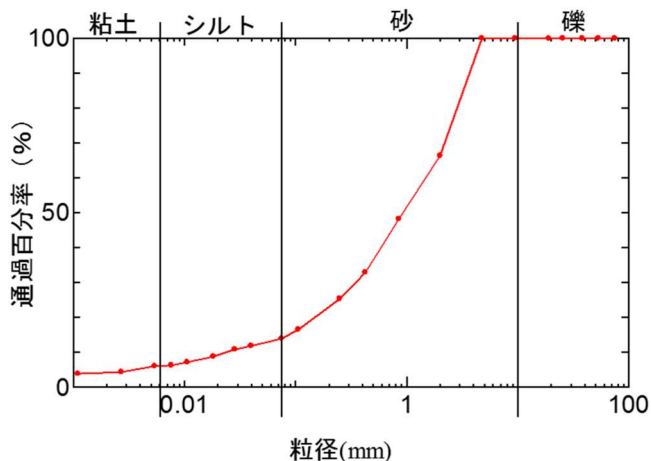


図-4 中詰め材の粒度分布（筑波まき土）

(1) 試験装置と試験条件

使用した一面せん断試験装置を図-2, 3に, 試験条件を表-1に示した。表-2は土のうに用いられている織布の物性である。織布同士の試験はせん断面の上下の鉄板に試料を取り付けてせん断させた。土のう同士の試験は実験用小型土のうとしてφ100mm（試験装置の制約上, 実際に想定している土のうの直径φ200mmに対して約1/2の大きさ）×長さ350mmの土のうを用いた。土のうの中詰め材は筑波まき土であり, 図-4にその粒度分布を, 図

-5に一面せん断試験結果(Dc=87%時)を示した。含水比11.7%（最適含水比12.2%）に調整した筑波まき土2kgを土のうに入れた後, 締固め度Dc≥90%となるよう30cmの高さから10回自由落下させて締固める方法で3回に分けて合計6kgの土のうを作製した。このとき, スケールにて土のう形状を測定して求めた湿潤密度は2.35g/cm³であった。土のうは下箱に6袋, 上箱に5袋を土のうの長手方向がせん断方向に直角に, さらに上下で千鳥になるよう配置した。図-6に上箱, 下箱それぞれの土のう設置状況を示す。

(2) 試験ケース

表-3 に示すとおり、織布同士の試験は2種類の織布に対し、それぞれ同じ種類同士のせん断試験を、土のう同士の試験も同様、2種類の織布を持って作製した土のう同士(同じ種類同士)のせん断試験を実施した。

表-3 試験ケース

CASE	実験内容	使用織布
1	織布同士	T-300
2		F-300
3	土のう同士	T-300
4		F-300

3. 実験結果

(1) 織布同士

3種類の垂直応力 (σ_N kPa) で一面せん断試験をおこなった結果、図-7 および図-8 に示す変位量とせん断応力の関係が得られた。

一面せん断試験においては、せん断強度 τ_{Smax} は垂直応力の一次関数となり、両者の関係は摩擦係数 (μ) と粘着力 (C_s kPa ≥ 0) を用いて(1)式のように表される。

$$\tau_{Smax} = C_s + \mu \cdot \sigma_N \quad (1)$$

また、織布同士の一面せん断試験では、垂直応力がゼロとなる仮想状態において粘着力はゼロと見做せる。よって粘着力を0として垂直応力とせん断強度の関係を図-9 に示した。なお、せん断強度はせん断応力の最大値とした。図-9 より織布同士の摩擦係数は高摩擦タイプ (CASE2 : F-300) が大きいことが確認できた。

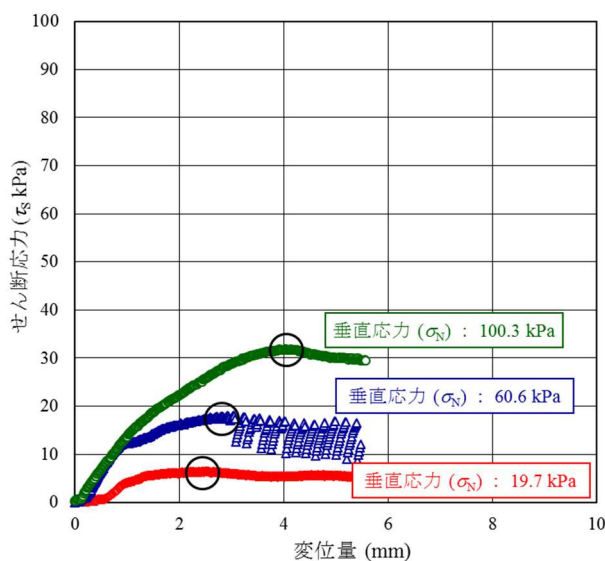


図-7 変位量とせん断応力の関係
(CASE1 ; 織布同士, T-300)

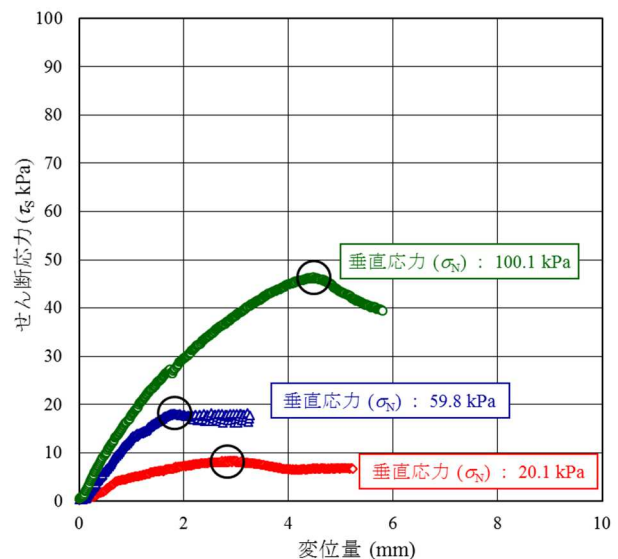


図-8 変位量とせん断応力の関係
(CASE2 ; 織布同士, F-300)

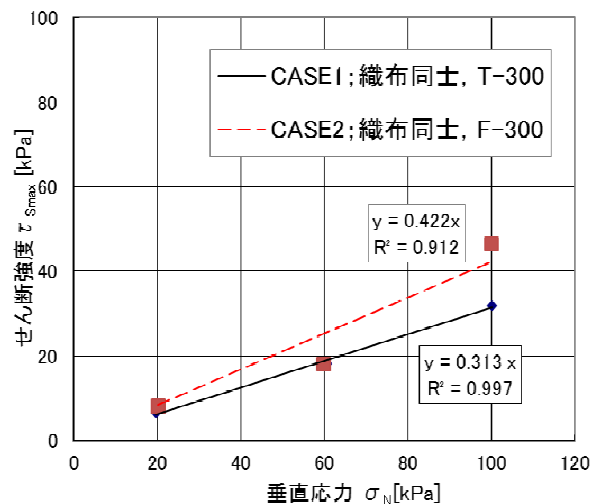


図-9 垂直応力とせん断強度の関係(織布同士)

(2) 土のう同士

3種類の垂直応力 (σ_N kPa) で一面せん断試験をおこなった結果、図-10 および図-11 に示す変位量とせん断応力の関係が得られた。

せん断強度は垂直応力約60kPa、約100kPaの試験結果ではせん断応力の最大値としたが、約20kPaのそれは明瞭な最大値は現れなかったため、変曲点(変位量27mm前後)のせん断応力をせん断強度と見做した。なお、土のう同士の一面せん断試験は図-6 に示すように一面せん断試験装置の下箱と上箱で土のうを千鳥に配置している。よって、土のう同士は噛み合った状態になっていることから、垂直応力がゼロとなる仮想状態においても、この噛み合わせ効果に由来する抵抗力が発生すると考えられ、それを擬似粘着力として原点を通らない近似直線で垂直応力とせん断強度の関係を図-12 に示した。

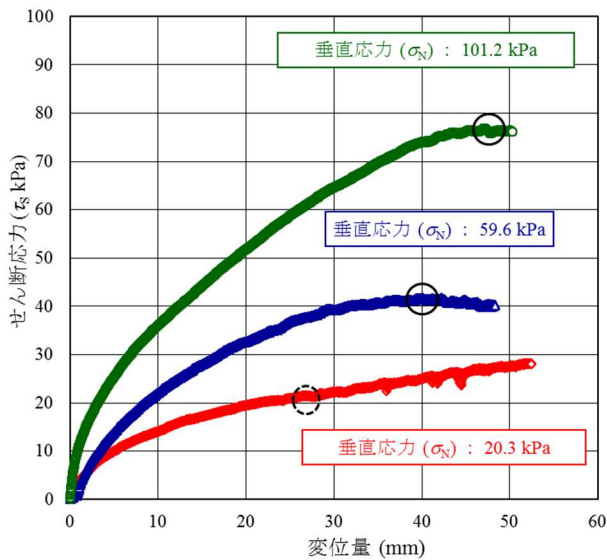


図-10 変位量とせん断応力の関係
(CASE3 ; 土のう同士, T-300)

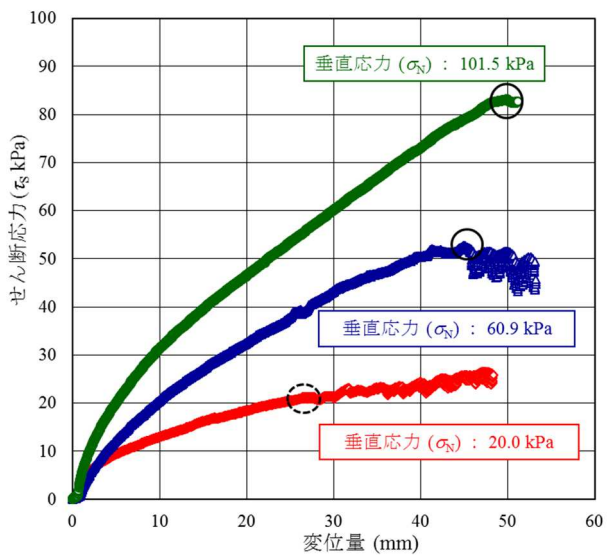


図-11 変位量とせん断応力の関係
(CASE4 ; 土のう同士, F-300)

図-12より土のう同士の擬似粘着力は大きな差はないが、摩擦係数は高摩擦タイプの織布を用いたほう(CASE4 : F-300)が大きいことが確認できた。また、摩擦係数は織布同士のそれに比べ2倍程度大きくなる結果となった。試験開始時は土のうを図-3に示すように千鳥に配置したことから、変位量が50mm程度(土のう直径の1/2)に達した試験終了段階では図-13に示すように上箱内の土のうが下箱内土のうの直上に乗り上げて噛み合わせが解消されている状況が予想された。

しかし、実際には図-14示すとおり噛み合わせは解消されていなかった。これは試験装置の構造上、鉛直方向の変位が規制されるためと考えられる。つまり上箱の土のうは噛み合わせ状態から下箱の土のうをせん断方向へ乗り越えるような動き(正のダイレイタンス)になりつつ、ほぼその場所で留まって回転するように変形したと考えられる。したがっ

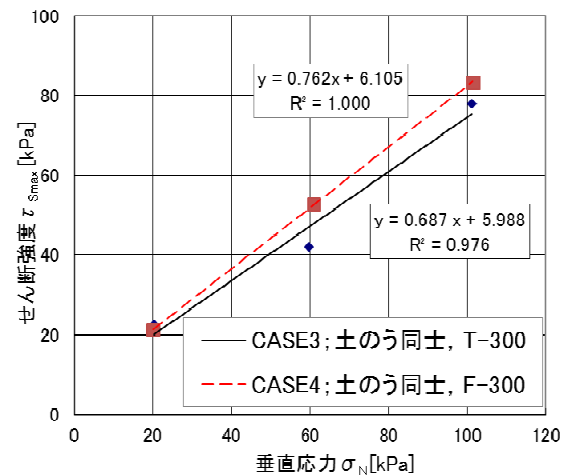


図-12 垂直応力とせん断強度の関係(土のう同士)

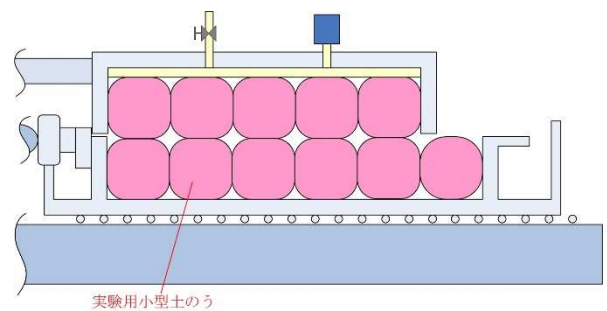


図-13 試験終了段階における土のうの接触状況の予想



図-14 せん断試験後の土のうの状況

て、図-12に示した土のう同士のせん断強度には噛み合わせ効果の他、土のう同士のダイレイタンス効果と表面の摩擦抵抗力および、土のう自体の変形によるせん断抵抗力が寄与していると考えられる。

表-4に織布同士および、土のう同士の一面せん断試験結果をまとめて示した。

表-4 一面せん断試験結果のまとめ

CASE	実験内容	使用織布	擬似粘着力(kPa)	摩擦係数
1	織布同士	T-300	0	0.31
2		F-300	0	0.42
3	土のう同士	T-300	5.99	0.69
4		F-300	6.11	0.76

織布同士の場合一般的な織布(T-300)に対し、高摩擦タイプ(F-300)の織布は1.35倍の摩擦係数を有することが分かった。また、これらの織布を使用して作製した土のう同士は実現場と同様、図-3に示すように千鳥に噛み合わせて設置したためその噛み合わせ効果から、ともに6kPa程度の擬似的な粘着力が発生している。なお、摩擦係数はT-300に対しF-300は1.1倍程度となった。なお、中詰め材料(筑波まき土)の摩擦係数は図-5に示すとおり0.74であり、織布同士ではこの値を下回るが、土のう同士の摩擦係数はほぼ同等の値を有する。

4. まとめ

土のう構造体を用いた盛土のり先補強工法に用いる土のうの材料である織布同士とそれを用いた土のうの一面せん断試験を実施した。織布同士の摩擦係数は高摩擦タイプのものが一般的な織布より1.35倍と大きい、土のう同士では1.1倍と織布同士のそれより小さい傾向となった。この程度の差であれば織布の違いが土のう構造体におよぼす影響は少ないといえる。なお、土のう同士の摩擦係数は織布同士のそれに比べ、T-300で2.2倍程度、F-300で1.8倍程度と比較的大きな値となった。これは(土のう同士のせん断時のダイレイタンスー)、(土のう同士の表面摩擦抵抗)、(個々の土のう自体のせん断変形)の効果であると考えられる。土のう構造体にどの程度の

剛性が必要かは背面盛土の形状や地震などの外力により異なる。今後、本検討で得られた土のう同士の摩擦特性とそれを踏まえた必要アンカー力の関係、土のうの許容変位量、充填土砂に鉄鋼スラグ等を用いることによる土のう内部のせん断強度の増強等の検討を行い、盛土のり先補強工法の最適な仕様検討を行っていきたい。

謝辞：一面せん断試験の実施に際して地方独立行政法人大阪産業技術研究所の西村様には多大なるご協力を頂きました。ここに深謝いたします。

参考文献

- 1) 澁谷啓ら：土のう構造体を用いたのり先補強工による既設盛土の耐震化 - その1 基本概念, 第51回地盤工学研究発表会, 2016
- 2) 加藤卓彦ら：土のう構造体を用いたのり先補強工による既設道路盛土の耐震化 - その3 土のう構造体の設計法の確立に向けた基礎的検討 -, 第52回地盤工学研究発表会, 2017
- 3) 田嶋亮佑ら：土のう構造体を用いたのり先補強工による既設道路盛土の耐震化 - その1 実物大大型振動台実験 -, 第52回地盤工学研究発表会, 2017
- 4) ソルパック協会ホームページ<http://www.solpack.gr.jp/>
- 5) 財)土木研究センター：「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル, 2012
- 6) 松岡元ら：土のう積層体の変形・強度特性と設計法, 土木学会論文集NO.764/III-67, pp.169-181, 2004

DIRECT BOX SHEAR TEST OF SOIL—BAG MATERIALS IN USE FOR REINFORCING THE TOE OF THE EXISTING EMBANKMENT.

Masatoshi ISHIDA, Satoru SHIBUYA, Satsuki KATAOKA, Noriaki NAKANISHI,
Takahiko KATO, Shuichi TOSHITO and Shuji ITO

The authors have recently proposed aseismic countermeasure for embankment currently in service, in which the toe is reinforced by using a soil-bag structure. Moreover, the performance was examined in a large-scale shaking table test using a model embankment with 4m high. As a result, the soil-bag structure was found effective in terms of reducing the response acceleration in the embankment to some extent. However, it was also found that the structure was not robust enough by exhibiting shear deformation during shaking. Accordingly, it is now needed to increase the overall stiffness by increasing the shear resistance of the soil-bag structure. A series of direct box shear test was, hence, carried out in order to manifest the characteristics of not only the geotextile-to-geotextile friction but also the soil-bag to soil-bag friction.

KEYWORDS: seismic stability, soil-bag materials, reinforced embankment, direct box shear test