

「土のう」の摩擦特性

名古屋工業大学 正 会 員 松岡 元

名古屋工業大学

○村松 大輔、劉 斯宏、長谷部 智久、島尾 陸

これまで土のうの強度・変形特性やその設計法¹⁾などについて解明してきた。その結果、土のうを活用した補強法(ソルパック工法)は十分実用に耐えるものとなってきた。しかし、実際に土のうを用いた永久構造物、特に土のう積み擁壁を設計する際には、滑動破壊などの検討において土のう間の摩擦が問題となる。そこで、ここでは土のうの摩擦係数(摩擦角)がどの程度であるのかを示すと共に、それを大きくする工夫についてもいくつか例を紹介する。

1. 土のう袋どうしの摩擦試験

土のう間の摩擦試験を行なうに先立って、土のう袋(ポリエチレン製)の摩擦がどの程度であるかを調べるため、写真-1に示すような土のう袋どうしの摩擦試験を行なった。図-1は、この時のせん断力～水平変位関係の一例であり、同じような摩擦試験を数回行なった。表-1に試験結果の平均値を示す。袋どうしの間で相対変位が生じ始め、滑り出

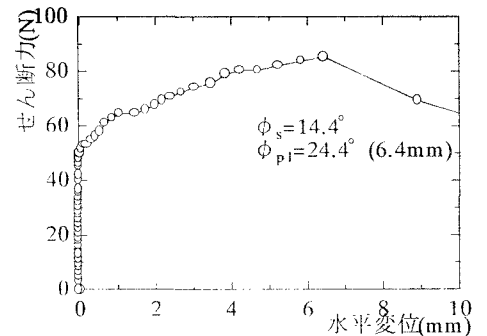
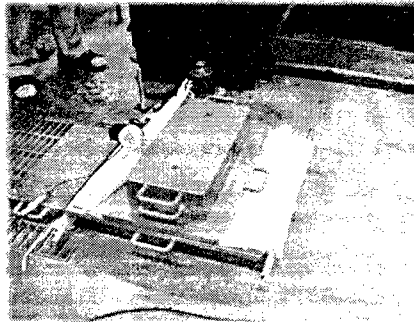


写真-1 土のう袋どうしの摩擦試験 図-1 荷重～変位関係(土のう袋どうし)

した時の摩擦角 ϕ_s の平均値は約 15° (摩擦係数 $\mu = \tan \phi_s = 0.27$)、摩擦抵抗力のピーク値での摩擦角 ϕ_{pl} の平均値は約 23° (摩擦係数 $\mu = \tan \phi_{pl} = 0.42$)であった。なお、この摩擦抵抗力のピーク値までの変位は約5mmであった。

2. 中詰め材の粒径が小さい場合の土のう間の摩擦試験

次に、中詰め材の粒子形状による角張りが土のう袋の表面へ出ないような細かい砂を中詰め材とした場合の、土のう間の摩擦試験を行なった(写真-2参照)。中詰め材には6号珪砂(最大粒径 $D_{max}=0.9\text{mm}$ 、平均粒径 $D_{50}=0.25\text{mm}$ 、 $\phi=40^\circ$)と豊浦砂(最大粒径 $D_{max}=0.8\text{mm}$ 、平均粒径 $D_{50}=0.18\text{mm}$ 、 $\phi=40^\circ$)を用いた。図-2は、中

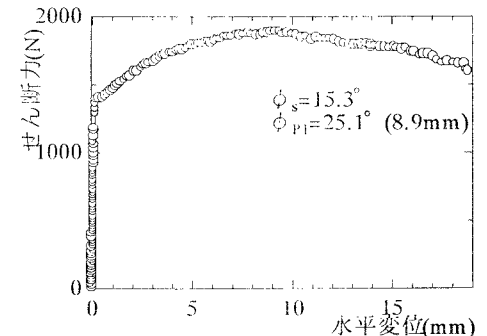
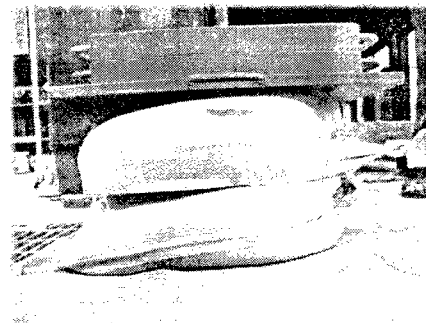


写真-2 土のう間の摩擦試験(細かい中詰め材) 図-2 荷重～変位関係(細かい中詰め材)

詰め材に豊浦砂を用いた時のせん断力～水平変位関係であり、同じような摩擦試験を数回行なった。表-1に試験結果の平均値を示す。袋どうしの間で相対変位が生じ始め、滑り出した時の摩擦角 ϕ_s の平均値は約 15° 、摩擦抵抗力のピーク値での摩擦角 ϕ_{pl} の平均値は約 $22^\circ \sim 23^\circ$ であり、 ϕ_s 、 ϕ_{pl} ともに土のう袋どうしの摩擦角とほぼ等しいことが分かる。このことは、中詰め材が細かくて粒子形状による角張りが土のう袋の表面へ出ないような場合には、土のう間の摩擦は土のう袋どうしの摩擦角とほぼ等しくなることを示している。なお、摩擦抵抗力のピーク値までの変位は約5～10mmであった。

3. 中詰め材の粒径が大きい場合の土のう間の摩擦試験

さらに、中詰め材の粒子形状による角張りが土のう袋の表面へ出てくるような粗い碎石やロックフィル材を中詰め材とする場合の、土のう間の摩擦試験を写真-2と同じようにして行なった。表-1に試験結果を示す。粒径の大きなロックフィル材(最大粒径 $D_{max}=53\text{mm}$ 、平均粒径 $D_{50}=12\text{mm}$ 、 $\phi=45^\circ$)が中詰め材の場合には、土のう間の摩擦抵抗力のピーク値での摩擦角 ϕ_{pl} の平均値が中詰め材であるロックフィル材の内部摩擦角 $\phi=45^\circ$ に近いのが分かる。このことは、中詰め材の粒子が非常に粗く、その角張りが土のう袋の表面にほぼそのまま出てくるような場合には、 $\phi_{pl} \approx \phi$ となることを示している。また、粒子の粗さがロックフィル材ほどではない碎石の場合には、土のう袋のピーク摩擦角 $\phi_{pl}=23^\circ < \text{碎石入り土のう間のピーク摩擦角 } \phi_{pl}=31^\circ < \text{中詰め材(碎石)の内部摩擦角 } \phi=44^\circ$ となるのが分かる。このことは、中詰め材の粒子がある程度粗

い場合には、中詰め材の粒子の角張りが多少袋の表面に出て土のう間の摩擦角 ϕ_{p1} に影響を与え、土のう袋のピーク摩擦角 ϕ_{p1} と中詰め材の内部摩擦角 ϕ との中間的な値となることを示している。

4.土のう間の摩擦角を大きくするための工夫

次に、上記 2、3 において用いた細かい中詰め材入り土のうと粗い中詰め材入り土のうを写真-3 に示すように、土のう間の谷間に土のうを設置して摩擦試験を行なった。表-2 に試験結果を示す。この場合、種々の中詰め材に対して、水平方向へ引っ張った場合の土のう間の摩擦角 ϕ_{p1} (表-1 参照)と谷間角 θ

の和として、土のう間の谷間に設置した土のうの摩擦角 ϕ_{p2} がほぼ求められることが分かる。これは、摩擦のある角度 θ の斜面上を物体が滑り上がる場合の摩擦角が、斜面の摩擦角と斜面の角度の和で表されることから容易に理解されるであろう。なお、表-2 において土のう滑り出し時の摩擦角 ϕ_s は谷間積みにしてもほとんど変わらないのが見られる。これは、写真-3 から分かるように、土のうが滑り出す前の初期の状態においては、左右の谷間角 θ の和がほぼ 0° となることによると考えられる。

写真-4 は、鉄棒の中にロックフィル材を入れて粒子を動きにくくした地盤の上にロックフィル材入りの土のうを置いた場合の摩擦試験の様子を示したものである。表-3 に試験結果を示す。この写真-4 のようにしてロックフィル材の粒子を動きにくくした場合は、摩擦角はロックフィル材の内部摩擦角 $\phi=45^\circ$ に近くなり、鉄棒を設置せずに粒子が動きやすい場合には、それより少し低くなる($\phi_{p1}=37^\circ$)のが見られた。これも水平方向の抵抗力(摩擦角)を大きくするための工夫の1つである。

写真-5 は、土のう間に適当な長さの杭状の棒を打ち込みコンクリートブロックを設置した場合の摩擦試験の状態を示したものである。表-3 に試験結果を示す。このように、土のうの前面や土のう間に適当な長さの杭状の棒を打ち込みコンクリートブロックを設置すれば、水平抵抗力を上げて見掛け上の摩擦角を大きくすることができる(ϕ に換算して 67° や 72° にすることは容易である)。

以上は、土のう積み擁壁などの土のう積み構造物を安定させるためのいくつかの工夫である。このように、土のうはその柔軟性を生かして現場の状況に応じた様々な対策を取ることができる。

表-3 種々の工夫を施した土のうの摩擦試験結果

地盤状態	中詰め材	ピーク値の摩擦角 ϕ_{p1} の平均値	中詰め材の ϕ
ロックフィル地盤	ロックフィル	37°	45°
枠入りロックフィル地盤	ロックフィル	45°	45°
土のう前面に杭、ブロックを設置	ロックフィル	67°	45°
土のう間に杭、ブロックを設置	ロックフィル	72°	45°

参考文献

1) 松岡 元・山本 春行・劉 斯宏・島尾 陸・長谷部 智久・藤田 健：「土のう」一休化工法(ソルバック工法)の設計法、第37回地盤工学研究発表会発表講演集。



写真-3 谷間積み土のう間の摩擦試験

表-1 土のう袋どうしおよび細かい・粗い中詰め材入り土のう間の摩擦試験

摩擦条件	中詰め材	滑り出し時の摩擦角 ϕ_s の平均値	ピーク値の摩擦角 ϕ_{p1} の平均値	中詰め材の ϕ
土のう袋どうし	———	15°	23°	———
細かい中詰め材入り土のう間	6号珪砂	15°	23°	40°
	豊浦砂	15°	22°	40°
粗い中詰め材入り土のう間	碎石	測定せず	31°	44°
	ロックフィル材	測定せず	43°	45°

表-2 谷間積み土のう間の摩擦試験

中詰め材	滑り出し時の摩擦角 ϕ_s の平均値	ピーク値の摩擦角 ϕ_{p2} の平均値	谷間角 θ	$\phi_{p2}=\phi_{p1}+\theta$
6号珪砂	15°	55°	30°	53°
豊浦砂	17°	47°	25°	47°
碎石	測定せず	55°	23°	54°
ロックフィル材	測定せず	61°	25°	68°

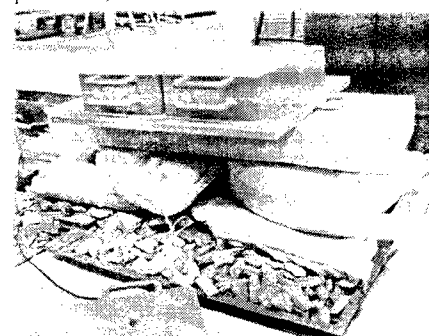


写真-4 ロックフィル材の地盤の上にロックフィル材入りの土のうを置いた場合の摩擦試験

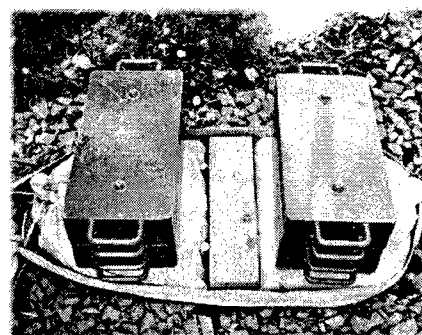


写真-5 土のう間に杭を打ち込み、コンクリートブロックを設置した場合の摩擦試験