Evaluation of Pull-out Resistance of Geomembrane in Soil by Pull-out Test

Komei Iwasaki (Mitsui Petrochemical Indu. Pro., Ltd.)

Takao Hirai (ditto)

The profile section of geomembrane-lined reservoirs was the liner coming up from the bottom of the pit, covering the side slopes, then running over the top a short distance. With regard to the stability of the running over, at the case of geomembrance runout only and no anchor trench at all, an exact knowledge of the interaction between geomembrane and soils was required. In this case, the the pull-out test was used to measue the interaction between geomembrane and soils. Then pull-out test were also carried out with various soiles and geomeranes.

As a results, some problems at the pull-out test of geomembrane was evident.

斜面からの滑落を防止する目的で、斜面の小段部分や最上部においてジオメンブレン端部を土中に埋め込み、アンカーとして作用させるような使用形態では、その埋め込み長さを決定する上でジオメンブレンと土との引抜きによる摩擦特性の評価が必要である。本報告では、考えられる材料間の摩擦特性のうち、数種類のジオメンブレン材料と、数種類の土試料について引抜き試験による摩擦特性の評価を試みた結果、試験方法および評価方法に関し、いくつかの問題点が生じた。

遮水シートの摩擦特性

三井石化産資(株) 岩崎高明

平井貴雄

1. はじめに

現在、人工貯水池をはじめ、河川、トンネル、廃棄物処分場等の各分野にジオメンブレンは使用されており、その需要も拡大の一途にある。また、ジオメンブレンの材質についても塩化ビニル系、ポリエチレン系、合成ゴム系、アスファルト系を中心に各種複合構造のものまで様々なものが用いられている。一方、これらのジオメンブレンの使用の形態についても、供用中の紫外線による劣化や機械的作用による損傷に対する保護の目的でジオメンブレン上面に土を被覆したり、¹⁾ 保護および排水を目的としジオネットや不織布、ジオコンボジットが用いられ、また被覆土および内挿物の荷重がすべてジオメンブレンに作用するのを防ぐためにジオグリッドが用いられている。^{2) 3)} このような使用形態で図-1に示すような斜面にジオメンブレンを敷設する場合には、ジオメンブレンの破断に対する安定性の検討を実施することが必要であり、その検討には敷設された材料間の摩擦特性の評価が不可欠であり、このような使用形態の場合には一面せん断型の摩擦試験による評価が有効である。^{1) 2) 3) 4)}

一方、図-2のように小段部分や斜面の最上部においてジオメンブレンを土中に埋め込みアンカーとして作用させ、斜面からの滑落を防止することも考えられている。このような形態では特にジオメンブレン-土間の引抜きによる摩擦特性の評価が有効である。

本報告では、材料間の摩擦特性のうち、数種類のジオメンブレン材料（特にアスファルト系を中心）と、数種類の土試料について引抜き試験による摩擦特性の評価を試みた結果を報告する。

また、試験の一部については引抜き試験と同じ条件で一面せん断型の摩擦試験を実施し結果を比較した。

図-1 斜面部分のジオメンブレンの安定性の検討 (Koerner, R. M., (1990)²⁾)

図-2 埋め込みアンカーとして使用するケース (Koerner, R.M., (1990)²⁾)

2. 試験方法および試験条件

試験は図-3の装置を用いた引抜き試験を中心に、一部について図-4の試験装置を用いた一面せん断型の摩擦試験も実施した。引抜き試験装置の土槽寸法は長さ100cm×幅30cm×高さ40cm（上下20cm）の直方体で、ジオメンブレンの敷設状態は土槽幅30cmに対しサンプル幅20cm、土槽長さ100cmに対しサンプル長さ50cm（ケースにより30cm）で実施した。また、一面せん断型の摩擦試験の土槽寸法は長さ60cm×幅40cm×高さ20cm（上下10cm）で、ジオメンブレンの敷設状態は土槽幅40cmに対しサンプル幅40cm、土槽長さ60cmに対しサンプル長さ60cmの全面敷設状態で実施した。

両試験とも鉛直載荷圧 (σ_v) は上方のラバーバッグを介して空気圧により0.1～0.3 kgf/cm²の範囲で負荷した。実験の方法は引抜き試験の際のジオメンブレンの引抜き変位およびせん断試験の際の上箱のせん断変位を変位制御法（変位速度1mm/min）で与え、引抜き力あるいはせん断力をロードセルで計測し、同時に引抜き試験の際のジオメンブレンの最後端部の変位を計測した。

なお、引抜き試験については、装置および条件の都合上、土槽サイズに比べサンプル幅、長さとも小さいもので実施したが、引抜き時に試験装置寸法に対するサンプルサイズの影響がどの程度生じるかを今後確認する必要がある。

図-3 引抜き試験装置概要

図－４ ジオテキスタイル摩擦特性試験装置概要（一面せん断試験）⁵⁾

使用した土試料および供試体の作製方法の概略については表－１に示す通りで、豊浦標準砂の気乾状態および湿潤状態、自然含水比が約80%の関東ローム、碎石（C-20）、コンクリートブロックの4種類について実施した。図－３の装置を用いて実施した試験で突固めを要する試料については層厚10cm毎に、3.2kgf/70cm²のランマーで1回突き固めた。

表－１ 土供試体の作成方法と状態

試 料	土供試体の作成方法と状態
①豊浦標準砂（気乾状態）	相対密度 D_r ＝約75%～80% 単位体積重量 $\gamma_d=1.55\text{gf/cm}^3$
②豊浦標準砂（湿潤状態）	層厚10cm毎に、3.2kgf/70cm ² ランマー1回突き固め。 単位体積重量 $\gamma_t=1.65\text{gf/cm}^3$ ，含水比 ω ＝約10%
③関東ローム	層厚10cm毎に、3.2kgf/70cm ² ランマー1回突き固め。 単位体積重量 $\gamma_t=1.09\text{gf/cm}^3$ ，含水比 $\omega=76\%$
④碎石（C－20）	層厚10cm毎に、3.2kgf/70cm ² ランマー1回突き固め。 単位体積重量 $\gamma_t=1.50\text{gf/cm}^3$
⑤コンクリートブロック	豊浦標準砂 D_r ＝約75%～80%上にコンクリートブロック（30cm×30cm 3枚）を設置 ※上面は①豊浦標準砂と同じ条件

使用したジオメンブレンの種類、試験ケースについては表－２に示す。

表－２ 試験ケース

ジオメンブレン	アスファルト系 （含浸タイプ）	ポリエチレン系	塩化ビニル系	合成ゴム系
土 試 料	①～⑤（①一面せん断）	①	①	①

3. 実験結果と考察

図-5～図-9についてはアスファルト系のジオメンブレンの各土試料毎の引抜き試験結果を引抜き変位と引抜きせん断応力の関係で示したものである。ただし、ここで言う引抜きせん断応力とは各変位段階毎に計測された引抜き荷重を下式を用いて応力に換算したものである。

$$\text{引抜きせん断応力 } \tau \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = \frac{T}{2 \cdot B \cdot L} \cdots (1)$$

T：各引抜き変位段階での引抜き荷重(kgf)

B：ジオメンブレンの敷設幅(cm) L：ジオメンブレンの敷設長(cm)

図-5は豊浦標準砂（気乾状態）、図-6は豊浦標準砂（湿潤状態）の結果であるが両結果を比較するとほぼ同様の傾向であるが低拘束圧状態（ $\sigma_v=0.1\text{kgf/cm}^2$ ）では湿潤状態の方が若干大きめの引抜きせん断応力を示し、比較的高い拘束圧状態（ $\sigma_v=0.3\text{kgf/cm}^2$ ）では気乾状態の方が若干大きめの引抜きせん断応力を示している。図-7は関東ロームでの結果であるがこの場合、低拘束圧状態（ $\sigma_v=0.1\text{kgf/cm}^2$ ）での引抜きせん断応力が豊浦標準砂に比べて大きく拘束圧の増加による引抜きせん断応力の増加分は他のケースに比べ小さくなっている。図-8は碎石を用いて行った結果であるが、どの拘束圧状態でもかなり大きな引抜きせん断応力を示している。これは、試験終了後の試料の状態を観測した結果、ジオメンブレンが碎石の起伏に追従し効果的に引抜きに対して抵抗したものと考えられる。図-9はジオメンブレンの下面にコンクリートブロック、上面に気乾状態の豊浦標準砂を用いた場合の試験結果で、引抜きせん断応力の算定には（1）式のTから両面を豊浦標準砂（気乾状態）で実施した場合の引抜き荷重の半分（ $T_{std}/2$ ）を差し引き、下式を用いて求めた。

$$\tau \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = \frac{T - T_{std}/2}{B \cdot L}$$

この場合も碎石の場合と同様にかかなり大きな引抜きせん断応力を示している。試験終了後に試料の状態を観察したところコンクリートブロック面へのアスファルトの付着が顕著でそのために大きなせん断応力を発揮したものと考えられる。

図-10は図-5～図-9における引抜きせん断応力の最大値を各上載荷重（拘束圧）毎にプロットしたものである。このように引抜きせん断応力の最大値 τ_{max} は見かけの粘着力成分 c^* と見かけの摩擦角成分 δ^* （拘束圧依存成分）を用いて下式で整理できることがわかる。

$$\tau_{max} = c^* + \sigma_v \cdot \tan \delta^*$$

図-11は引抜きと一面せん断型の摩擦試験の結果を比較するために実施したアスファルト系ジオメンブレンと豊浦標準砂（気乾状態）の一面せん断型摩擦試験の結果を示したものである。この場合、せん断応力は下式を用いて算定した。

$$\text{せん断応力 } \tau \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = \frac{S}{B \cdot L}$$

S：各せん断変位毎のせん断荷重(kgf)

B：ジオメンブレンの敷設幅(cm) L：ジオメンブレンの敷設長(cm)

図-5 引抜き試験結果
(アスファルト系ジオンブリー豊浦標準砂（気乾）)

図-6 引抜き試験結果
(アスファルト系ジオンブリー豊浦標準砂（湿潤）)

図-7 引抜き試験結果
(アスファルト系ジオンブリー関東ローム)

図-8 引抜き試験結果
(アスファルト系ジオンブリー碎石)

引抜き試験 試料土：上層 豊浦標準砂（気乾状態）
下層 コンクリートブロック

図-9 引抜き試験結果
(アスファルト系ジオメンブレン-コンクリートブロック)

図-10 最大引抜きせん断力
(アスファルト系ジオメンブレン)

図-5の引抜き試験の結果と比較してせん断応力の最大値と引抜きせん断応力の最大値はほぼ同程度である。豊浦標準砂の引抜き試験の場合は変位置80mm以前あるいは80mm程度で引抜きせん断応力はピークを生じるかあるいはほぼ一定値に落ちついているために両試験のピーク値は同程度になったものと考えられる。ただし、最大値を発揮する変位置は全く異なりジオメンブレンの特性によっては同じ摩擦特性を評価する試験であっても結果に大きな差異を生じる可能性があることを示唆している。例えば、今回装置の都合上変位置80mm程度までで計測を終了したが、図-7（関東ローム）、図-8（碎石）については引抜き量80mm以降も引抜きせん断応力が増加傾向にありピーク値は計測されなかった。このような場合の引抜きせん断応力の最大値をどのように考えるかを再検討する必要がある。

図-11 一面せん断型摩擦試験結果
(アスファルト系ジオメンブレン-豊浦標準砂（気乾状態）)

図-12はポリエチレン系のジオメンブレンと豊浦標準砂（気乾状態）との引抜き試験の結果を示したものである。引抜きせん断応力の算定は（1）式を用いた。今回用いたポリエチレン系のジオメンブレンは表面が滑らかなもので比較的摩擦の小さい材料を用いた。この場合、変位の小さい段階でピークを示した後、徐々に引抜きせん断応力は低下する。試験後の試料の観察では、アスファルト系のジオメンブレンの後端の移動がほとんどなかったのに比べ、かなりの移動の痕跡が見られた。

図-13は塩化ビニル系のジオメンブレンと豊浦標準砂（気乾状態）の引抜き試験の結果を示したものである。土試料を入れている土槽の外側のチャックとの間にある空気中部分のジオメンブレンの伸びが大きすぎるため計測の継続が不可能であったためこのような結果となった。合成ゴム系のジオメンブレンでの結果も同様であり、これらの材料については試験の方法、評価の方法を再検討する必要がある。

図-12 引抜き試験結果
（ポリエチレン系ジオメンブレン-豊浦標準砂（気乾））

図-13 引抜き試験結果
（塩化ビニル系ジオメンブレン-豊浦標準砂（気乾））

4. おわりに

今回の数種類のジオメンブレンと土試料を用いた引抜き試験の結果から以下の結論をえた。

- ① ジオメンブレンと土試料との間の摩擦抵抗は、引抜きせん断応力の最大値 τ_{max} として見かけの粘着力成分 c^* と見かけの摩擦角成分 δ^* （拘束圧依存成分）を用いて整理することができる。
- ② ジオメンブレンは引張り試験による伸びが100%程度あるいはそれより大きな伸びを生じるものがほとんどである。このような材料では引抜き試験による摩擦特性の評価と一面せん断型の摩擦試験との結果が大きく異なる可能性があるため、設計のための試験ではどちらの試験を選択するか十分に検討する必要がある。
- ③ ジオメンブレンを土中に埋め込み、アンカーとして作用させるような場合を想定し、摩擦抵抗を引抜き試験で評価する場合、ジオメンブレンののびの影響をどのように評価するかが今後の課題である。

【参考文献】

- 1)三木博史、林 義之(1994)：国内におけるジオメンブレンの現状：第1回ジオメンブレンに関するセミナー，国際ジオテキスタイル学会日本支部 ジオメンブレン技術委員会，28-46
- 2)Koerner,R.M.,(1990),Designing with Geosynthetics -Second edition-, Prentice-Hall,Englewood Cliffs,N.J.,U.S.A.,pp.466-471
- 3)Scheu,C and D.Bishop(1994) ,Improving the Stability by using geosynthetics in sealing systems, Fifth International Conference on Geotextiles, Geomenbranes and related Products, Organised under the auspices of the SEAC-IGS,3:961-964
- 4)Shan,H.-Y.,D.E.Daniel(1994) ,Slope Stability of Final Covers Containing Geosynthetic Clay Liners, Fifth International Conference on Geotextiles, Geomenbranes and related Products, Organised under the auspices of the SEAC-IGS.3:1023-1028
- 5)林重徳,落合英俊, 他(1989)：ジオグリッドの引抜き試験と一面せん断試験の比較：第4回ジオテキスタイルシンポジウム：国際ジオテキスタイル学会日本支部：119-125