第Ⅲ部門　　覆土層内のジオシンセティッククレイライナー重ね合わせ部の摩擦特性評価

京都大学大学院　学生員　○佐藤　一貴
京都大学大学院　学生員　　小川翔太郎
京都大学大学院　正会員　　乾　　徹
京都大学大学院　正会員　　高井　敦史
京都大学大学院　正会員　　勝見　　武

1. はじめに

福島第一原子力発電所事故を受けて実施されている除染事業から発生する廃棄物等の埋立処分にあたっては、焼却処理されることで放射性物質が濃縮されること、特に飛灰等に含まれる放射性物質は水に溶け出しやすいことを受け、雨水浸透の防止が重要となる。雨水浸透防止を目的とした措置としては覆土層に遮水機能を付加する方法が一般的であるが、覆土層内の遮水材としてジオシンセティッククレイライナー（以下、GCL）の利用が期待されている。GCL は中間層となるベントナイト層の上下を織布、不織布、遮水シート等のジオシンセティックス材で挟み込んだ多層構造のシート状製品で、工業製品のため品質が安定していること、敷設においては端部を重ね合わせるのみで遮水性を確保できるため施工が容易であること等が利点として挙げられる。一方で、廃棄物埋立地盤において頻繁にみられる不同沈下が発生した際の GCL 重ね合わせ部の挙動や遮水性については知見が限られているのが現状である [1)]。本研究では、覆土層内のジオシンセティッククレイライナー重ね合わせ部の不同沈下に伴う挙動を評価する際に重要となる GCL 重ね合わせ部の境界面摩擦特性を一面せん断試験により評価した。特に、複数の GCL と重ね合わせ部の処理、および重ね合わせ部の含水状態が摩擦特性に及ぼす影響を比較、検討をした。

2. 実験方法

2.1　試料　実験には表-1 に示す 3 種類のニードルパンチタイプの 3 層構造の GCL を用いた。GCL-1 は中間本体ベントナイト層とは別に、上層の不織布中にも全面に粉状ベントナイトが充填されているため重ね合わせるだけで遮水性が発揮される。一方、GCL-2、GCL-3 は GCL は重ね合わせ部に所定の密度でベントナイトを散布して使用するタイプのものである。また、GCL-3 は他の 2 種と異なり下部層が不織布である。

2.2　実験方法　マルイ社製の標準型一面せん断試験機 MIS-233-1-0 型を用いて定圧一面せん断試験を使用した。2 枚の GCL を上下せん断箱に設置し、上下 GCL の境界面をせん断面として 0.2 mm/min の速さでせん断変位を与え、せん断変位と摩擦抵抗によって生じるせん断応力を測定した。

2.3　試験ケース　GCL および重ね合わせ部のベントナイトが自然含水比状態であるとき、雨水や覆土の水分を吸収して湿潤状態となったときの 2 ケースについて実験を行った。湿潤状態の供試体は、GCL 同士を重ね合わせたものを金属のセルに入れ上下をポーラスストーンで挟みこみ、GCL-1 は定体積条件、GCL-2、GCL-3 は 5 kN/m^2 の定圧条件で水和膨張を防ぎながら、36 時間水浸することにより作製した。実験時の供試体の含水比の範囲は GCL-1、GCL-2，GCL-3 がぞれぞれ 83～101%、128～148%、88～105%（いずれも上部 GCL）であった。いずれの供試体ともに、覆土層での利用を想定していることから垂直応力 5、10、20 kN/m^2 という比較的低い垂直応力の元でせん断を行った。

表-1　GCL と重ね合わせ部の仕様

GCL	厚さ (mm)	ジオテキスタイル（上部:下部）	ベントナイト	重ね合わせ部の処理
GCL-1	7.0	不織布：織布	粉末状 Na 型ベントナイト	そのまま重ね合わせ
GCL-2	6.0	不織布：織布	顆粒状 Na 型ベントナイト	4 kg/m^2 の密度で粒状ベントナイトを散布
GCL-3	6.0	不織布：不織布	顆粒状 Na 型ベントナイト	4 kg/m^2 の密度で粒状ベントナイトを散布

3. 実験結果とその考察

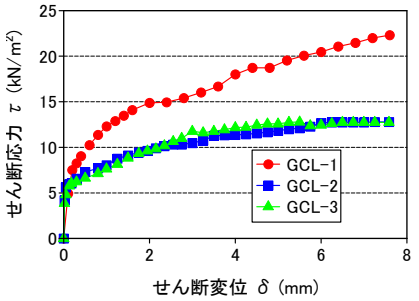
3.1　結果の整理　実験で得られた垂直応力 10 kN/m^2 でのせん断変位―せん断応力の関係を図-1 に示す。本

Kazuki SATO, Shotaro OGAWA, Toru INUI, Atsushi TAKAI, and Takeshi KATSUMI
sato.kazuki.83n@st.kyoto-u.ac.jp

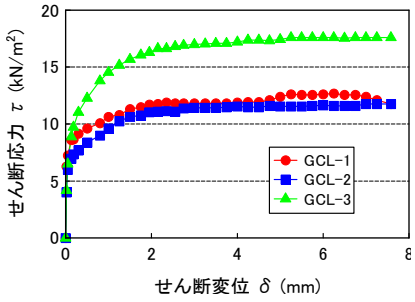
研究では GCL の重ね合わせ部のずれの発生の有無に着目していることから、変位－せん断応力関係において、変位が急速に進展する最大曲率点でのせん断強さτ(kN/m^2) を降伏応力と仮定した。さらに、それぞれのケースでの垂直応力σ (kN/m^2) と求めた降伏応力との関係より、最小二乗法を用いて図-2 に示すようにクーロンの破壊規準に基づく粘着力と摩擦角を算出した。なお、自然含水比状態の GCL-1 の試験結果については著者らが以前に実施した実験データ[2)]を引用した。

3.2　結果と考察　図-1 に示すようにせん断応力は自然含水比状態ではせん断開始直後に大きく上昇した後も、せん断が進むごとに増加していくのに対し、湿潤状態では一度大きく増加した後はほとんど一定の値を示す。このことから全ての GCL において自然状態よりも湿潤状態での方が、一旦、境界面にずれが生じると急速にずれが進行するのと考えられる。強度定数については図-2 で示すように自然含水比状態では摩擦角に大きな差がある。GCL-1 は垂直応力の増加に伴って摩擦応力が増加しているのに対し、他の GCL では摩擦角 ϕ が小さく垂直応力によらず摩擦応力がほぼ一定となっている。これは重ね合わせ部に散布したベントナイトの有無に起因し、GCL-1 では織布面と不織布面間において垂直応力の増加に伴って大きな摩擦抵抗が発生するのに対して、他の GCL では局所的には重ね合わせ部に散布したベントナイトがせん断されたために、上載荷重に対して摩擦抵抗の増分が小さいと考えられる。

湿潤状態では 3 試料とも摩擦角が非常に小さく、粘着力も 6～9 kN/m^2 に分布している。GCL-1 では圧密により GCL 中の水分の影響によって上下 GCL の織布－不織布間の摩擦抵抗が低下したこと、また GCL-2、GCL-3 では水分によって湿潤状態となった重ね合わせ部に散布されたベントナイトが、0.2 mm/min と比較的早いせん断速度でせん断されたため、ベントナイトの非排水強度が摩擦応力に支配的に作用したと考えられる。

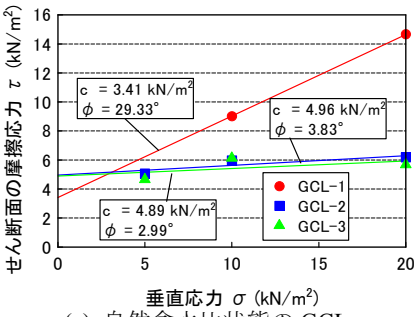


(a) 自然含水比状態の GCL

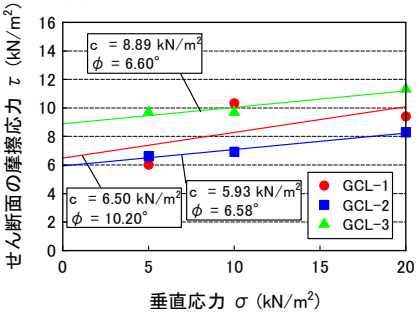


(b) 湿潤状態の GCL

図-1 垂直応力 10 kN/m^2 でのせん断変位―摩擦応力関係



(a) 自然含水比状態の GCL



(b) 湿潤状態の GCL

図-2 垂直応力―降伏応力関係

4.　おわりに

3 種類の構造、重ね合わせ部の処理が異なる GCL の重ね合わせ部境界面を対象に、覆土層での適用を想定した低い垂直応力 (5～20 kN/m^2) の下で一面せん断試験を実施し、摩擦特性の評価を行った。その結果、全ての GCL 湿潤状態の方が自然含水比状態と比較して、一度境界面にずれが生じた後は進行しやすいこと、また重ね合わせ部にベントナイトを散布するタイプの GCL とそうでないものとでは、自然含水比状態においては摩擦角が大きく異なり後者の方が小さい値を示すことが確認された。湿潤状態では全ての GCL についてその摩擦強度定数に大きな違いはなく、摩擦角が非常に小さいため垂直応力の増加に伴う摩擦応力の増加は、本実験条件の下では非常に小さいものであった。

参考文献

1) LaGatta, M.D., Boardman, B.T., Cooley, B.H. and Daniel, D.E. (1997): Geosynthetic clay liners subjected to differential settlement, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 123 (5), pp.402-410.

2) 須本祥太・小川翔太郎・乾徹・高井敦史・勝見武 (2014): 不同沈下に伴う GCL 重ね合わせ部の摩擦特性と遮水性, 第 49 回地盤工学研究発表会平成 26 年度発表講演集, 地盤工学会, pp.2011-2012.