

カルシア改質土と地山材の摩擦特性に関する実験（その1）

浚渫土 スラグ 一面せん断試験

(国研) 海上・港湾・航空技術研究所 国際会員 ○森川嘉之
 (国研) 海上・港湾・航空技術研究所 水谷崇亮
 (国研) 海上・港湾・航空技術研究所 国際会員 松村 聡
 日本製鉄(株) 正会員 赤司有三
 JFEスチール(株) 正会員 本田秀樹
 日鉄日新製鋼(株) 清水雅浩
 複合技術研究所 木口峰夫

1. はじめに

土砂処分場の減容化に対する社会的要請から、浚渫土と製鋼スラグを混合、固化した改質土（以下、カルシア改質土という）を岸壁の裏埋め材などとして有効活用することが近年進められている[1]。このとき、原地盤の一部をカルシア改質土に置換すると、カルシア改質土と原地盤の境界付近では、両者の強度の違いから地震時に追従して変形せず、剥離のようなすべりを生じることが懸念されている。また、すべりの状況は、地盤条件によって異なると考えられるが、カルシア改質土と地山とのすべり（摩擦）特性について確認された研究はない。本研究では、カルシア改質土と地山との摩擦特性を明らかにするために、地山材料として礫と砂を用いた大型の一面せん断模型実験を実施した。また、コンクリート壁との摩擦特性を調べるため、地山材料の代わりにコンクリートを用いた実験も併せて実施した。ここでは、別報[2]で紹介される大型一面せん断試験と区別するために、本実験を摩擦係数測定実験と呼ぶものとする。

2. 実験方法

図1は、摩擦係数測定実験で用いた標準的な実験断面を示している。実験土槽は、内寸法が幅 1182mm、奥行き 540mm、高さ 400mm である。実験では、はじめに土槽内の高さ 200mm まで地山あるいはコンクリート層を作製する。その後、内寸法が幅・奥行き共に 500mm、高さ 200mm のせん断箱を設置し、予め所定の配合で混合されたスラリー状のカルシア改質土をせん断箱に打設する。せん断箱は、土槽内に収まり、水平荷重時にはフラットローラーによって摩擦の少ない状態で水平移動できる構造となっている。せん断箱は鉛直変位が拘束された状態であるが、せん断箱内の側壁にはテフロンシートを貼り、カルシア改質土の鉛直変位を妨げないようにした。打設後、土槽内を水で満たした状態で 28 日間養生した。養生中は、カルシア改質土の上面に幅・奥行き共に 500mm の重錘を載せ、上載圧 3.7kPa を載荷した。養生後、同形状の重錘を追加し、所定の上載荷重（載荷開始時に 10kPa および載荷途中でさらに 10kPa 追加）を載荷した状態で、載荷ジャッキを使ってせん断箱を水平方向に引っ張って載荷を行った。水平載荷速度を 1mm/min、せん断箱のスリット幅を 20mm とした。

表1は実験ケースの一覧を示している。カルシア改質土の配合条件を一定として、土槽内の試料を砂、礫およびコンクリートの3種類に変えて実験を行った。ただし、礫単体でのせん断特性を調べるため、カルシア改質土の代わりに礫をせん断箱に堆積させた実験も併せて実施した（表1中、GF-0に該当）。表2は本実験に用いた試料の一覧を示している。

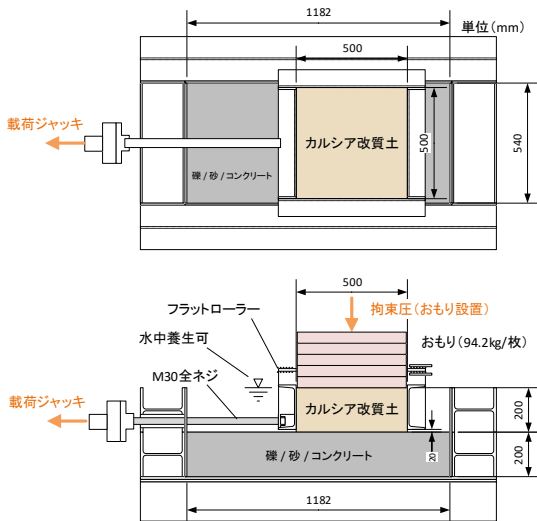


図1 標準的な実験断面

表1 実験ケースの一覧

ケース名	土槽内の試料	せん断箱内の試料
GF-0	礫	礫
GF-1	礫	カルシア改質土
SF-1	砂	カルシア改質土
CF-1	コンクリート	カルシア改質土

表2 本実験に用いた試料の一覧

用いた試料	材料特性、配合条件など	密度、qu
礫	砕石3号（粒径30～40mm）	$\rho_s=1.599\text{g/cm}^3$
砂	東北硅砂6号	$D_r=80\%$
コンクリート	セメント：砂：砂利：水 = 1：2.4：3.2：0.5（重量比）	25.1 MPa
カルシア改質土	東予港浚渫土：製鋼スラグ = 7：3（体積混合率）	93.7kPa
東予港浚渫土	細粒分質砂、 $w_n=32.6\%$ 、 $w_l=NP$	
製鋼スラグ	$D_{max}=30\text{mm}$ 、粗骨材(>5mm)=26.1%（他、細骨材）	

3. 実験の結果と考察

図2は、各実験ケースで得られた水平変位とせん断応力および鉛直変位との関係をそれぞれ示している。

図2aより、礫を対象とした2ケースを比較すると、礫単材のGF-0では水平変位の増大とともにせん断応力が徐々に増加し、やがて一定値(約24~25kPa)に収束している。これに対して、礫とカルシア改質土を用いたGF-1では荷初期にせん断応力の明確なピーク(約33kPa)が現れたのち、水平変位の増大とともにせん断応力が徐々に減少し、やがてGF-0におけるせん断応力程度(約22~23kPa)に到達している。これは、境界面付近では礫が食い込んだ状態でカルシア改質土が固化しているため、礫の移動が拘束され、荷初期にはその両材料の付着によって高いせん断抵抗が発揮されるが、荷を継続すると、その付着が破壊し、カルシア改質土による礫の拘束が無くなることで、次第に礫同士のせん断挙動に近付いたためと考えられる。荷途中で上載圧10kPaを増加させた前後のせん断応力を比較すると、GF-0で1.5倍程度、GF-1で約1.4程度のせん断応力増加となる。両ケースで同様の増加傾向を示すことから、GF-1では荷が十分に進んで残留状態となると、境界面付近での礫同士のせん断挙動が支配的になることを示唆している。一方、鉛直変位に着目すると、いずれのケースでも膨張傾向を示すものの、GF-1ではGF-0と比較して膨張量が小さく、荷途中で膨張傾向が停滞している。これは、GF-0ではせん断に伴って礫粒子が隣接する礫粒子を乗り上げて体積膨張するのに対して、GF-1では礫粒子同士の乗り上げだけでなく、境界面付近で礫粒子がカルシア改質土に食い込んだり、引きずるように水平変位したためと類推される。

図2bより、地山材が砂(SF-1)の場合にも、礫(GF-1)と同様に、荷初期にせん断応力のピークが確認され、水平変位の増大とともにせん断応力が減少する傾向が見られる。また、上載圧を増すことによって、せん断応力が増加する傾向も確認される。これは、荷後の観察結果よりカルシア改質土側の境界面の大部分に砂が付着していたこと、砂単材の一面せん断試験結果(別報[2]、参照)を見ると砂単材が明確なひずみ軟化挙動を示すことから、SF-1では砂単材のせん断挙動が支配的であったと考えられる。一方、鉛直変位に着目すると、せん断応力がピークを超えるまでほぼ体積変化しないが、水平変位10mm付近からやや圧縮傾向を示し、上載圧の増加とともに強い圧縮傾向を示すようになる。これは、荷の途中から砂地盤前面(荷方向側)において地盤の隆起が観察されたことから類推すると、砂地盤内部で円弧すべりのような破壊モードが現れたことが原因と考えられる。

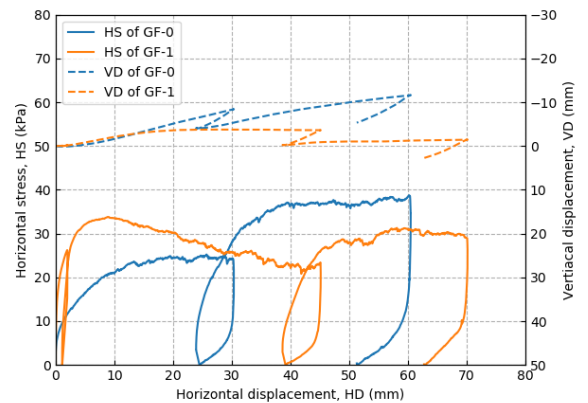
図2cより、コンクリート(CF-1)の場合には、荷初期にせん断応力がピークを示すと、その後急激に低下し、一定のせん断応力を保持する。また、上載圧の増加に伴って、せん断応力が増加すると、そのまま一定のせん断応力を保持するようである。鉛直変位に着目すると、やや膨張傾向が見られるものの、その膨張量は非常に小さく、荷中にわたってほぼ体積変化が見られない。荷後に境界面を観察すると、カルシア改質土とコンクリートの境界で明確に剥離したような表面の状態であったことから、荷初期に境界面の付着が切れた後は、境界面での単なるすべり挙動に移行したものと考えられる。

4. おわりに

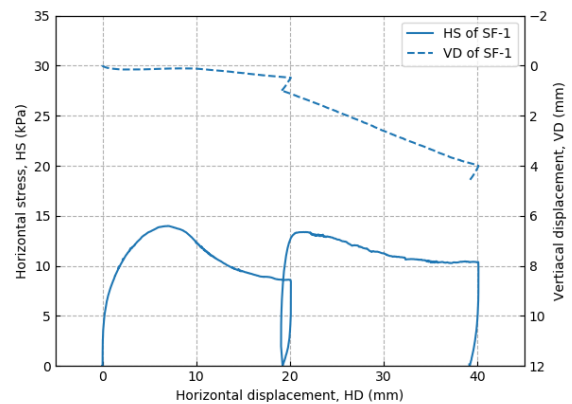
本研究では、カルシア改質土と地山材およびコンクリートとの摩擦特性を明らかにすることを目的として、摩擦係数測定実験を実施した。実験結果より、いずれのケースにおいても荷初期にはカルシア改質土の固化作用に起因して境界面付近で付着力が発揮されること、水平変位の増大とともに礫および砂では地山材単材でのせん断特性が支配的となること、コンクリートでは境界面でのすべり挙動によるせん断抵抗が発揮されることがわかった。

【参考文献】

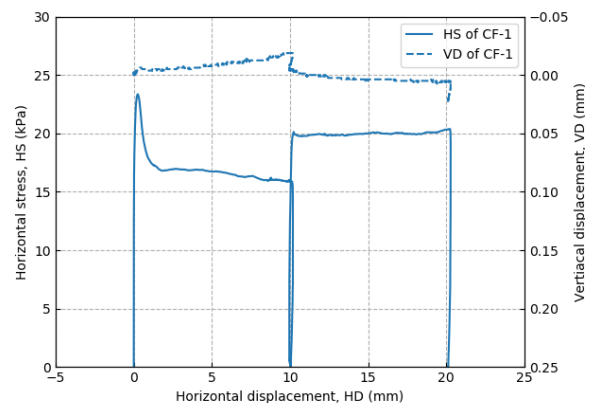
[1] 一般財団法人沿岸技術研究センター：港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル, 2017. [2] 赤司ら：カルシア改質土と地盤材料間の摩擦特性に関する実験(その2), 第55回地盤工学研究発表会, 2020. (投稿中)



a) GF-0, GF-1



b) SF-1



c) CF-1

図2 せん断応力と水平変位の関係