

漂着軽石と砂との混合土に関する一面せん断特性

北海道大学大学院	フェロー会員	○渡部要一
北海道大学大学院		小林 華
沖縄総合事務局		嶋倉康夫

1. はじめに

小笠原諸島の海底火山「福德岡ノ場」が2021年8月に噴火し、噴出した大量の軽石が海流により遠く離れた南西諸島各地の海岸に漂着した。内閣府沖縄総合事務局は、回収した軽石を購入砂あるいは砂質礫浚渫土砂との混合土として締め固めて有効利用する方法を「中城湾港泡瀬地区における軽石埋立処分手順¹⁾」として公開しているが、せん断強度特性についての直接的な言及はない。前報²⁾で軽石に関する一面せん断特性について報告したことに続き、本報では軽石と購入砂との混合土を対象とし、前報と同様の試験手法により評価した一面せん断特性を報告する。

2. 試料と試験条件

軽石は9.5mmふるいを通過した試料を使用した。軽石の外観写真や断面SEM画像は前報²⁾に掲載している。混合した砂は、中城湾港泡瀬地区での軽石埋立処分で実際に用いた海砂である。軽石と購入砂の粒径加積曲線を図-1に示す。試験対象とした試料は、軽石、砂、軽石と砂との混合土（容積比1:1）の3種類であり、それぞれ表-1、表-2、表-3に一面せん断試験の供試体情報と試験条件を示す。試験ケース名のPは軽石、Sは砂、PSは軽石と砂との混合土、Sに続く文字Lは緩詰め、Dは密詰めを表す。これらに続く数字はせん断前に作用させた直応力であり、100, 200, 400kPaを設定した。供試体寸法は直径60mm、高さ約20mmである。軽石および混合土の場合は、一面せん断試験の容器の中に軽石粒子が破碎しない程度に密に詰めて供試体を作製した。砂の場合は、これと同程度の締め固め状態（緩詰め状態）の試料のほかに、しっかりと締め固めた状態（密詰め状態）の試料も作製した。直応力を作用させて沈下が終了したことを確認した後、上せん断箱と下せん断箱の隙間を0.2mmとし、定体積状態にして水平変位速度0.2mm/minで水平変位7mmまでせん断した。

3. 試験結果と考察

軽石、砂、混合土の試験から得られた(a)せん断応力と水平変位との関係と(b)せん断応力と直応力との関係（応力経路）を図-2、図-3、図-4にそれぞれ示す。

軽石の試験結果（図-2）は前報²⁾と整合しており、全体としてはダイレーションの傾向が優勢でひずみ硬化型の挙動となる。しかし、直応力400kPaではダイレーションの傾向が表れる前に粒子破碎の影響が強く表れ、一時的に顕著な体積収縮傾向が見られた。応力経路上には、水平変位1, 2, 4, 7mmに対応する点とともに、それぞれの変位での点を結んだ曲線も示した。直応力が400kPaと高いケースでは、変位1mmを過ぎると著しい直応力の低下が見られ、粒子破碎による体積収縮の影響が強く表れるが、変位3～4mmを超えると直応力が増加に転じており、粒子破碎の影響よりもダイレーションの影響が優勢になったと理解できる。変位7mmで定義したクーロンの破壊規準線は、 $c=40.0\text{kPa}$, $\phi=41.7^\circ$ の直線で表される。

砂の試験結果（図-3）は、緩詰めでは体積圧縮傾向が見られ、鉛直応力が高くなるほどその傾向が著しい。しかし、密詰めの場合にはダイレーションが卓越し、せん断応力はピークを示した後にはわずかな低下する傾向が見られた。応力経路上に示した水平変位1, 2, 4, 7mmに対応する点を結ぶ線を見ると、緩詰め試料の試験では徐々に上方に移動するのに対し、密詰め試料の試験では、水平変位2mm以降はほぼ収束している。変位7mmで定義したクーロンの破壊規準線は、緩詰め試料では $c=30.4\text{kPa}$, $\phi=28.8^\circ$ 、密詰め試料では $c=72.1\text{kPa}$, $\phi=32.1^\circ$ の直線で表される。

混合土の試験結果（図-4）は、軽石の試験結果に近い傾向があるが、以下の点が特徴的である。鉛直応力が100kPaのケースでは、軽石の場合よりせん断応力が低下するものの、緩詰め砂より高い値が得られた。このことから、せん断抵抗角が大きな軽石は、砂のせん断強さを改善する効果があるといえる。一方、鉛直応力が400kPaのケースでは、軽石の場合よりもせん断応力が増加し、さらに粒子破碎による急激な体積圧縮が見られない。このことから、

キーワード 軽石、砂、せん断特性

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究院 TEL 011-706-6193

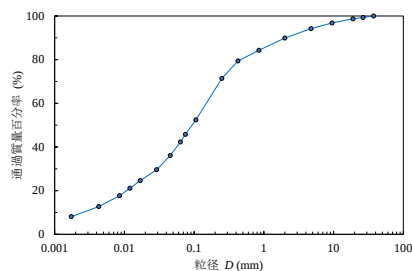


図-1 試料の粒径加積曲線

表-1 試験条件と供試体情報 (軽石)

軽石 試験ケース	直応力 σ (kPa)	含水比 (%)	乾燥密度 初期状態 (g/cm ³)	乾燥密度 せん断時 (g/cm ³)
P100a	100	30.7	0.210	0.221
P100b	100	30.0	0.216	0.227
P200a	200	25.3	0.218	0.235
P200b	200	30.5	0.225	0.244
P400a	400	29.1	0.197	0.223
P400b	400	28.4	0.218	0.249

表-2 試験条件と供試体情報 (砂)

砂 試験ケース	直応力 σ (kPa)	含水比 (%)	乾燥密度 初期状態 (g/cm ³)	乾燥密度 せん断時 (g/cm ³)
SL100a	100	13.0	0.663	0.691
SL100b	100	13.4	0.706	0.744
SL200a	200	10.0	0.699	0.764
SL200b	200	13.6	0.686	0.726
SL400a	400	13.1	0.678	0.723
SL400b	400	13.0	0.646	0.721
SD100	100	14.5	0.862	0.893
SD200	200	11.3	0.813	0.850
SD400	400	14.5	0.754	0.793

表-3 試験条件と供試体情報 (混合土)

軽石+砂 試験ケース	直応力 σ (kPa)	含水比 (%)	乾燥密度 初期状態 (g/cm ³)	乾燥密度 せん断時 (g/cm ³)
PS100a	100	13.9	0.482	0.509
PS100b	100	13.2	0.471	0.502
PS200a	200	13.4	0.498	0.526
PS200b	200	15.3	0.484	0.506
PS400a	400	14.6	0.488	0.524
PS400b	400	15.0	0.499	0.541

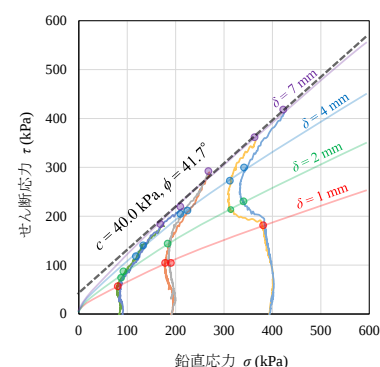
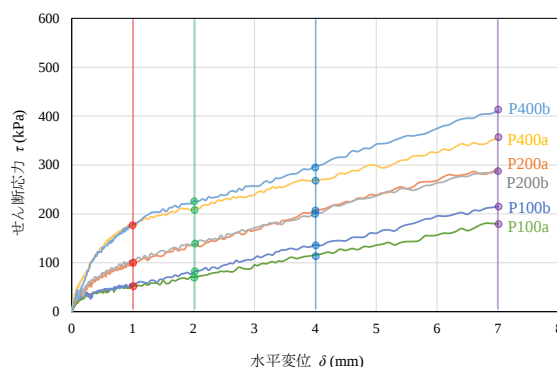


図-2 軽石のせん断応力と水平変位の関係 (左) とせん断応力と直応力の関係 (右)

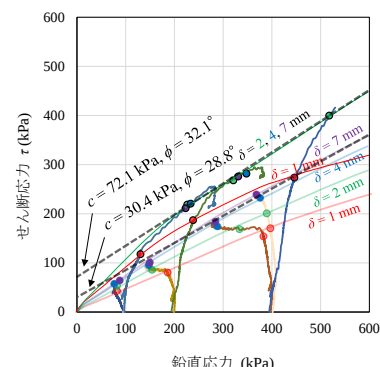
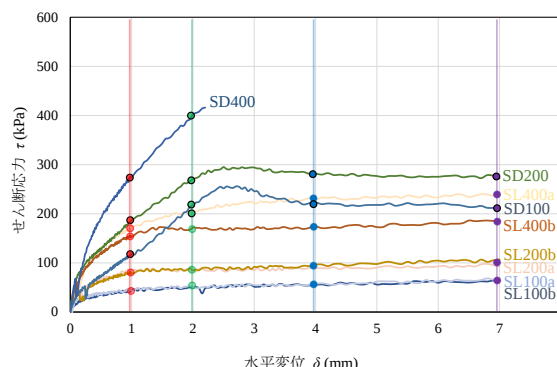


図-3 砂のせん断応力と水平変位の関係 (左) とせん断応力と直応力の関係 (右)

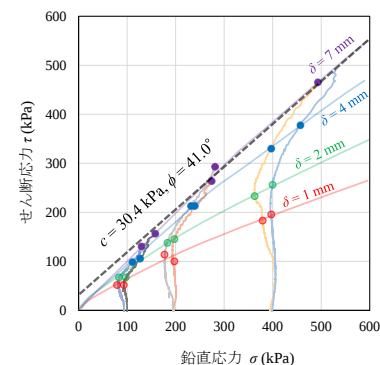
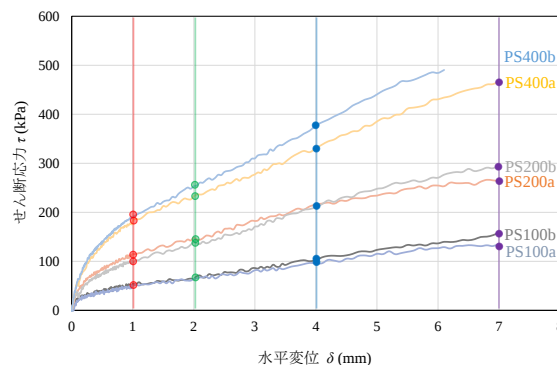


図-4 混合土のせん断応力と水平変位の関係 (左) とせん断応力と直応力の関係 (右)

せん断抵抗角は大きいが破砕性が

懸念される軽石に対して、軽石の隙間に砂が充填されることによって、軽石の欠点である破砕性の影響が大幅に軽減され、かつ、せん断強さの増加にも寄与する効果があることがわかる。応力経路上に示した水平変位1, 2, 4, 7mmに対応する点を結ぶ線を見ると、軽石の場合と概ね同等の傾向があることが読み取れる。変位7mmで定義したクーロンの破壊規準線は $c=30.4\text{ kPa}$, $\phi=41.0^\circ$ であり、軽石の場合とほぼ同等である。

4. まとめ

本研究では、海底火山「福德岡ノ場」の噴火に由来する漂流軽石、砂、および軽石と砂との混合土に対して直応力400kPaまでの範囲で一連の一面せん断試験を実施した。得られた知見は以下の通りである。

- 1) 軽石と砂を混合することにより、軽石の破砕性による欠点（高い拘束圧下でのせん断に伴う急激な体積収縮）が大幅に改善される。
- 2) 軽石と砂との混合土のせん断特性は軽石のせん断特性に準じたものとなる。
- 3) 緩詰め砂に軽石を混合することにより砂のせん断強さを改善する効果もある。

参考文献

- 1) 沖縄総合事務局 (2022): 中城湾港泡瀬地区における軽石埋立処分手順. <http://www.ogb.go.jp/kaiken/minato/pumice>
- 2) 渡部要一, 小林 華, 森川嘉之, 石原正豊, 嶋倉康夫 (2022): 海底火山「福德岡ノ場」の噴火で沖縄県沿岸に漂着した軽石の一面せん断特性, 土木学会第77回年次学術講演会, III-67.