

三軸試験及び吸水軟化試験による火山灰質砂質土盛土材の力学特性の評価

火山灰質砂質土 三軸試験 吸水軟化試験

名城大学大学院 正会員 ○児玉 直哉・山下 隼史
名城大学 国際会員 小高 猛司・李 圭太
中部土質試験協同組合 国際会員 久保 裕一

1. はじめに

近年に発生した北海道胆振東部地震（2018 年）や熊本地震（2016 年）では、火山灰質土で造成された宅地盛土、特に谷埋め盛土において多数の家屋に被害が生じた。火山灰質土は高含水状態になりやすい、施工時の破砕を受けやすい、など取り扱いが難しい材料ではあるが、細粒分が適度に含まれていることが多く、盛土材として利用される例も多い。一方、我々の研究グループでは、河川堤防土を対象として、河川土工マニュアルに従い適度に細粒分を含んだ築堤材料であっても、締固め度 95%程度なければ、浸透すべりに対する性能が得られないことを示してきた¹⁾。本研究では、ニセコ町で採取された火山灰質砂質土の盛土材料を対象として三軸試験と吸水軟化試験を実施し、供試体密度によって力学特性がどのように影響を受けるかについて検討した結果を示す。

2. 試験概要

本研究で使用した、ニセコ町で採取された試料の粒度分布を図 1 に示す。試験を実施するにあたり、粒径 9.5mm 超の礫を取り除くせん頭粒度調整試料を用いた。供試体は直径 50mm、高さ 100mm の円柱であり、外部の銅製モールドで 5 層に分けて作製した。供試体の含水比を 10%で統一し、締固め度を 70%, 80%, 90%, 95%の 4 パターンで締め固めた。本研究で使用したニセコ火山灰質砂質土と全く同じ試料を用いた小久井らの報告²⁾では、不攪乱試料のせん断強度を再現する再構成試料における乾燥密度で一面せん断試験を実施していたが、その際の乾燥密度に相当する締固め度が 70%という小さな値となった。表 1 に各試験の条件とともに供試体のせん断開始前の等方圧密後の供試体の乾燥密度も示す。三軸試験は CUB 試験を実施し、作製した供試体を三軸試験機に設置し、二重負圧法で完全飽和させ、所定の有効拘束圧で等方圧密した後、非排水条件で載荷速度 0.1%/min のせん断を行う。

一方、吸水軟化試験は、初期せん断を受けた盛土の浸透すべり耐性を評価することが可能であり、降雨や地下水位の上昇などによる浸透時の有効応力状態を探索することが可能である。CUB 試験と同様の手順で圧密過程までを行い、地盤内の異方状態を模擬するために排水条件で所定の軸差応力まで初期せん断を行う。その後、浸透による有効応力低下を模擬するために、所定の軸差応力で一定に保ちながら間隙水圧を徐々に上昇させていくことで供試体を破壊に至らしめる。なお、破壊に至る直前まで間隙水圧を上昇させても供試体内への吸水は起こらず、軸ひずみもほとんど変化しないが、ある有効応力状態に到達した途端に急激な軸ひずみが発生して破壊に至る。したがって、CUB 試験では評価が困難な低有効応力条件下にある土の軟化時の強度定数を精度よく見つけることが可能である。本試験では、拘束圧 50kPa では一定軸差応力 25kPa、拘束圧 100kPa では一定軸差応力 50kPa まで初期せん断を行い、その一定軸差応力で維持したまま、崩壊に至るまで間隙水圧を上昇させた。

3. 試験結果

図 2 に CUB 試験の有効応力経路、図 3 に吸水軟化試験の有効応力経路を示す。図 2 の CUB 試験結果に着目する。締固め度 70%, 80%では、すべての拘束圧でせん断初期から塑性圧縮挙動を示し、緩詰の砂質土によくみられる傾向を示した。また、モールの応力円

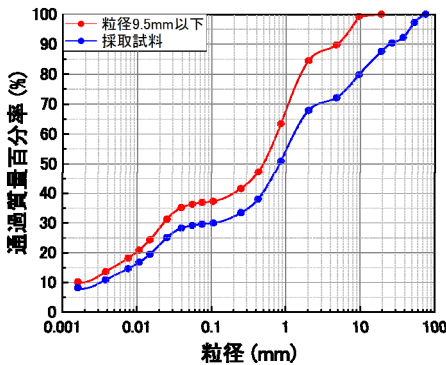


図 1. 粒径加積曲線

表 1. 各供試体の諸元

試験方法	締固め度 (g/cm ³)	拘束圧 (kPa)	圧密後の乾燥密度 (g/cm ³)
CUB三軸試験	70	50	1.140
		100	1.144
		150	1.165
	80	50	1.272
		100	1.293
		150	1.350
	90	50	1.400
		100	1.384
		150	1.410
	95	50	1.466
		100	1.463
		150	1.473
吸水軟化試験	70	50	1.125
		100	1.154
	80	50	1.296
		100	1.287
	90	50	1.411
		100	1.426
	95	50	1.479
		100	1.490

を作成する際に、強度にばらつきがあり明確な拘束圧依存性は見られなかった。そこで、粘着力を 0kPa と仮定して内部摩擦角を算出すると、締固め度 70%では $13.1^{\circ} \sim 27.6^{\circ}$ 、80%では $15.6^{\circ} \sim 23.0^{\circ}$ という低い値が得られた。以上より、締固め度 70%、80%では、十分なせん断強度は期待できないことが示唆された。締固め度 90%では、せん断初期に高い剛性を示し弾性が卓越した挙動を示した後、高い拘束圧の試験では脆性的な崩壊を示した。これらは比較的やや密詰めの砂質土によくみられる傾向である。モールの応力円では、粘着力 9.4kPa が得られ、内部摩擦角は 29.6° であった。また、締固め度 95%では、せん断初期から高い剛性を発揮し、塑性膨張を伴う硬化挙動を伴いながら軸差応力のピーク値に達し、その後、緩やかなひずみ軟化挙動を示した。これは、良く締まった密詰めの砂質土にみられる力学挙動である。モールの応力円では、粘着力は得られなかったが、内部摩擦角は 40.4° であった。以上より、締固め度 90%で、95%では、盛土材として最低限のせん断強度を有していると考えられる。

図 3 の吸水軟化試験結果に着目する。橙線で一定軸差応力 25kPa、緑線で一定軸差応力 50kPa の有効応力経路を示し、黒の破線で CUB 試験における限界応力比、深紅線で吸水軟化試験における破壊応力比を示す。限界応力比と破壊応力比の 2 線を比較して考察する。締固め度 70%、80%では、破壊応力比の方が限界応力比より傾きが小さいことから、平均有効応力が低い条件下で、豪雨等による浸透時にすべり破壊への耐性は期待できないと考えられる。また、締固め度 90%、95%では、破壊応力比と限界応力比の傾きが同程度であることから、平均有効応力が低い条件下で、CUB 試験と同程度のせん断強度を発揮すると考えられるが、豪雨等による浸透時の粘着力はみられないことが分かる。これは砂質土によくみられる傾向である。以上より、いずれの締固め度においても平均有効応力が低い条件下で高いせん断強度は期待できず、豪雨等による浸透時におけるすべり破壊への耐性は低い材料であることが示された。

4. まとめ

小久井らの報告と全く同じ試料を用いて同様の乾燥密度で作製した供試体で三軸試験を実施した結果、小久井らの一面せん断試験では比較的密詰め傾向の力学挙動を示したが、我々の CUB 試験では緩詰め傾向の力学挙動を示すという、大きく異なる試験結果が得られた²⁾。小久井らは 2mm 以下の粒径に調整した供試体を用いていたという違いがあるが、火山灰土を再構成するプロセスの違いによって、乾燥密度が同じであっても力学特性が大きく異なった可能性もある。今後は、試料採取の乾湿履歴、粒度調整、締固め方法の違いが、再構成された火山灰質盛土材料の力学特性にどのような影響を及ぼすのか検討するとともに、液状化抵抗等にも着目していきたい。

茨城大学の安原一哉先生と小林薫先生から実験試料を提供していただいた。記して謝意を表します。

参考文献：1) 例えば、藤田ら、小高、久保、李、早坂、道下：細粒分を含む築堤材料の締固め度によるせん断特性の違い、第 76 回土木学会年次学術講演会、III-45,2021.2)小久井、小林、安原、大森、浅田：火山灰質砂質土のせん断強度特性における繰返し載荷および飽和度の影響、第 56 回地盤工学研究発表会、2021。

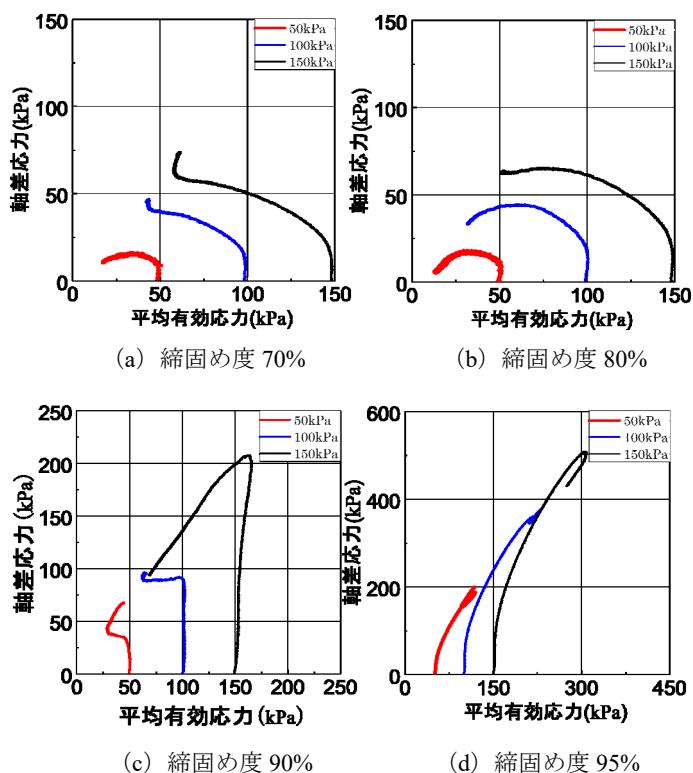


図 2. CUB 試験による有効応力経路

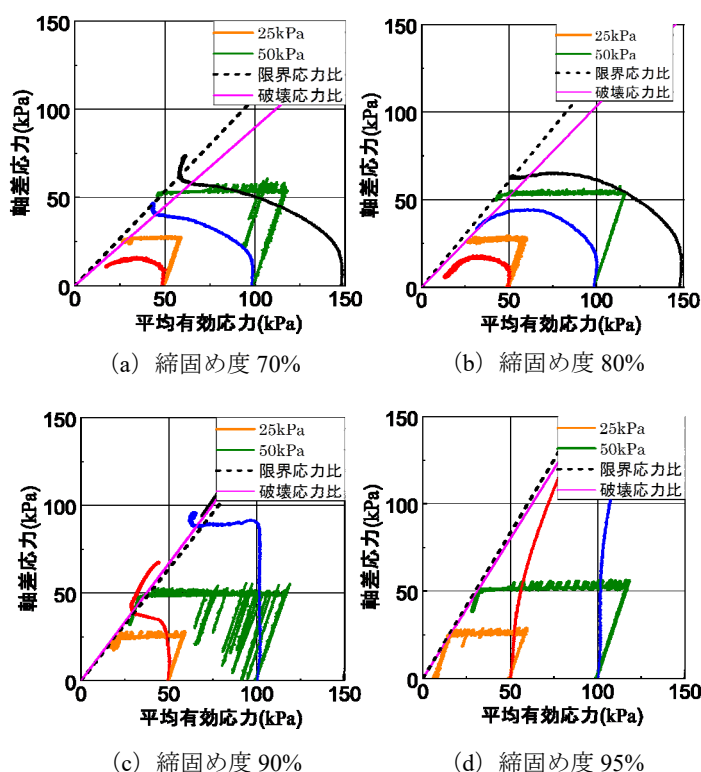


図 3. 吸水軟化試験による有効応力経路