

間隙中の水分状態を変化させた不飽和土の繰返しせん断変形挙動

宇都宮大学 地域デザイン科学部 正会員 ○海野寿康 吉直卓也
元宇都宮大学 非会員 AFIFAH YASMIN BINTI ZAKARIA 隈元太郎

1. はじめに

既往の地震地盤災害において自然斜面や盛土斜面が泥状になり崩壊・流下する流動性崩壊が多大な被害をもたらした。これら流動性崩壊は、表層土砂が泥化し大規模に流下する特徴を有するが、土砂は飽和度が100%未満の不飽和土であることが多く、崩壊や流下メカニズムについて未解明な点が多い¹⁾。不飽和土の力学挙動は、既知の通りサクシオン効果により間隙空気や間隙水の状態に応じて影響を受けることから、これら水分状態と繰返しせん断変形挙動の関係について検討する必要がある。

本研究では、土中の水分状態と繰返しせん断変形挙動の相互関係を明らかにするためコンクリート施工時に用いられる空気連行剤(AE剤)を使用して強制的に土中の水分状態を変化させ流動化させた不飽和土に対し繰返しせん断試験を実施し、薬剤添加無しの試料と比較した。

表-1 試料の物理的特性

	石英粉 + 珪砂 (ratio 1:1)	烏山土 (火山灰質土)
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.649	2.682
最適含水比 w_{opt} (%)	9.7	23.2
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.621	1.183
液性限界 (%)	Non	Non
塑性限界 (%)	Non	29.3
細粒分含有率 F_c (%)	44.7	32.5

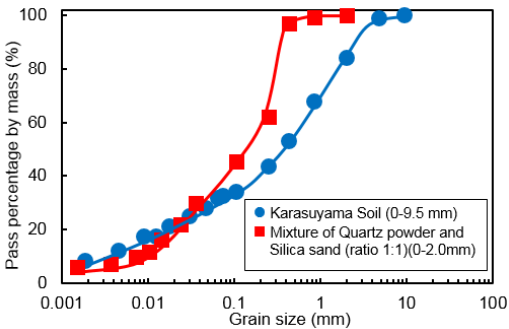


図-1 粒径加積曲線

2. 試料の物理特性と AE 剤添加による間隙水状態

実験では、土質材料として工業用材料である石英粉と 5 号珪砂の混合土 (質量比 1:1 配合) および比較の為、保水性の良い火山灰質土として栃木県那須烏山市の崩壊

土砂 (以降, "烏山土"とする) を用いた。表-1 に土試料の物理的性質、図-1 に粒径加積曲線を示す。研究では 2 試料中、混合土に対して AE 剤を加え間隙中の水・空気の状態を強制的に変化させた繰返しせん断試験を実施するとともに、烏山土にも同一条件の载荷を実施した。

水分状態を強制変化させるのに使用した AE 剤は、BASF 社のマスターポゾリス 78P (Master Pozzolith 78P) であり、JIS A 6204「コンクリート用科学混和剤」の多目的減水剤標準形 (I 種) に適合する薬剤である。供試体は、初期状態として乾燥密度 1.45~1.50g/cm³(中密)、飽和度 ($S_r=45\sim85\%$) になるようモールドに投入し作製した。AE 剤有の場合のみ、水 70cc に対して AE 剤を 6~7cc (10%)で添加している。

3. 不飽和土の繰返しせん断試験

試験に用いた三軸試験装置は、下部ペデスタルにセラミックディスク ($AEV=50kPa$)、上部キャップと供試体の境界にフッ素樹脂コーティングガラスフィルタが装着、供試体上部で間隙空気圧 u_a 、供試体下部で間隙水圧 u_w が測定している。また、二重セルを配置し供試体の体積変化について直接計測を行った。

試験は所定の乾燥密度に調整した土を蒸留水を加水することで初期飽和度 $S_{r0}=85\%$ に調整して初期条件とし、基底応力 (σ_c-u_a) を 20kPa に保ち間隙空気圧を目標値まで段階的に 5kPa ずつ载荷・圧密を実施 (3t 法)。等方応力下にて非排気・非排水条件で軸ひずみ片振幅 0.2, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0%の正弦波各 10 波を振幅数 $f=0.005Hz$ で载荷。の順で実施している。

4. 試験結果

以下、試験ケースをシリーズ A : 混合土, シリーズ B : 混合土+AE 剤, シリーズ C : 烏山土. と称する。3 シリーズにおける供試体の初期飽和度とサクシオンの関係を図-2 に示す。図よりシリーズ A(混合土)とシリーズ B(混合土+AE 剤)を比較すると、薬剤追加によりシリーズ B がシリーズ A より保水性が上がったような軌跡をとる。また、土の起源による比較としてシリーズ A と C では、

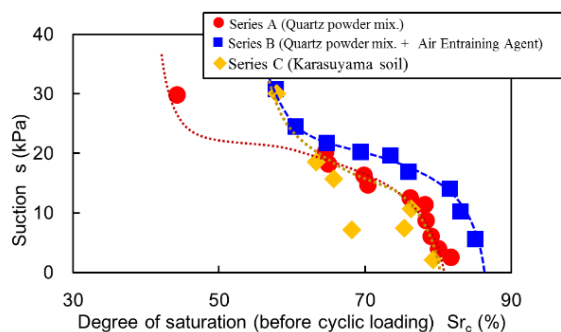


図-2 供試体の繰返しせん断前のサクシオンと飽和度

高い飽和度状況では保水性に差は見られない一方、飽和度60%以下では保水性に差が生じている。

ここで、本研究では、有効応力として下記式[1]²⁾に基づく骨格応力 σ'_m で表記する。

$$\sigma'_m = (\sigma_m - u_a) + \chi(u_a - u_w) \quad [1]$$

u_a , u_w , および χ は、それぞれ空気圧、間隙水圧および材料パラメータであり、パラメータ $\chi = Sr/100$ を用いる。さらに骨格応力より不飽和土の液状化を“有効応力がゼロに至った状態”と定義し飽和土同様に液状化の評価についてせん断後の有効応力減少比を式[2]によって定義する（液状化した場合、ほぼ 0.95~1.00 となる）。

$$\text{有効応力減少比} = 1 - \frac{\sigma'_m}{\sigma'_{m0}} \quad [2]$$

シリーズ A (薬剤無し) とシリーズ B (薬剤有り) の代表的な供試体の有効応力経路と応力~ひずみ関係を図-3に示す。図よりほぼ等しい飽和度にも関わらず AE 薬剤の有・無により繰返しせん断変形挙動には差が見られ、シリーズ A では極端な軟化挙動を示さないが、薬剤添加により繰返しひずみ軟化し、有効応力も AE 剤添加により 10kPa 以下まで低下している。水分状態によって大幅に挙動が変化する。このため飽和度 (供試体内の水分量) のみで繰返しせん断変形挙動を一義的に決められない。

なお、予備試験により飽和供試体では AE 薬剤の有無に関わらず初期条件が等しい場合、有効応力経路と応力~ひずみ関係の軌跡は一致することを確認しており、懸念される薬剤自体による強度への影響は極端に小さい。

図-4 にシリーズ A, B, C の有効応力減少比と圧密後の飽和度関係のグラフを示す。シリーズ A と B を比較することにより AE 剤の有・無による液状化する飽和度範囲の影響をみると AE 剤添加により添加無では有効応力減少比が 0.95 以下であった飽和度が添加により 0.95 以上を示している。また、シリーズ B と C はほぼ同じ軌跡をとることから、AE 剤を添加することで非火山灰質土が火山灰質土同程度の低い飽和度範囲まで有効応力ゼロに

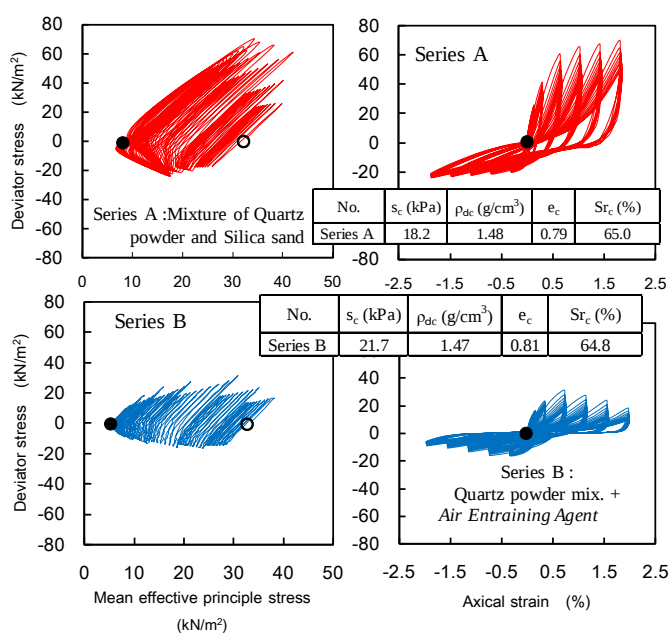


図-3 同一飽和度下の薬剤添加有・無のせん断挙動

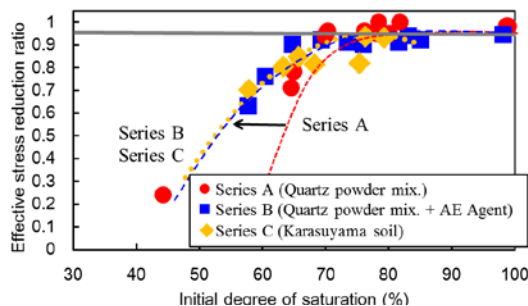


図-4 有効応力減少比と初期飽和度関係

至り、液状化するように変化したことが伺える。

5. 結論

- AE 剤を添加すると添加無しでは液状化しなかった初期飽和度条件でも供試体が無効応力がゼロに至り液状化する結果となった。
- 上記から AE 剤により強制的に水分状態を変化させると、有効応力減少比が低い飽和度まで 0.95 以上となり、液状化する飽和度の範囲が広がる。
- 非火山灰質土であっても強制的に水分状態を変化させると火山灰質土同様の不飽和繰返しせん断変形挙動を取るようになる。

以上のことから、不飽和土の繰返しせん断変形挙動は土中の水分量だけでなく水分状態によって影響をうける。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 15K20900 と 15H02263 の助成を受けて実施したものです。

参考文献 1) T. UNNO, M. KAZAMA, N. SENTO and R.

UZUOKA :Change of moisture and suction properties of volcanic sand induced by shaking disturbance, Soils and Foundations, Vol.46, No.4, pp.519-528, 2006. 2) Bishop, A.W. and Blight, G.E : Some aspects of effective stress in saturated and partly saturated soils, Geotechnique, 13(3), 177-97, 1963.