

粒度分布および粒子形状からみた液状化強度に及ぼす影響

木更津高専 学生会員 ○佐久間秋津
 筑波大学 学生会員 瀬口拓遠
 木更津高専 正会員 鬼塚信弘
 筑波大学 正会員 松島亘志

1. はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震により、千葉県旭市では液状化が広範囲で見られた。その液状化発生地点をヒアリング調査した結果、1800年代後半から1952年頃まで沿岸部で砂鉄採掘が盛んに行われ、砂鉄採掘されていない地盤の区画では液状化が発生せず、そこに隣り合わせた山砂で構成されている配管などの埋め戻し土の区画では液状化が発生したことがわかった¹⁾。

砂鉄に関する既往研究として、鬼塚ら²⁾によって千葉県旭市で採取した砂鉄混合土の液状化判定が行われた。砂鉄を土に混合させ液状化試験を行った結果、砂鉄混合率が増加するほど、液状化強度比が大きくなることがわかった。しかし砂鉄のどのような性質が液状化強度比に影響を与えているのかは不明である。

まず既往研究として異なる砂鉄混合土でも液状化強度特性に変化を与えるのかを明らかにするため、砂質土に千葉県南房総市の砂鉄を混合して、繰返し非排水三軸試験機を用いた液状化試験を行った³⁾。その結果、砂鉄混合率増加に伴い液状化強度比が低下し、鬼塚らとの研究と相反する結果となった。

本研究は、砂鉄混合土(南房総)を用い、砂鉄が液状化強度特性に及ぼした影響要因について考察することを目的とする。

2. 液状化発生に影響する諸因子

既往研究から、液状化発生に影響する諸因子⁴⁾に指摘されているものとして、土の物理特性、初期応力・ひずみ状態、外的荷重・拘束条件が挙げられている。本研究の先行研究では土の物理特性に着目し、初期応力・ひずみ状態と外的荷重・拘束条件を一定条件で行ったことから、砂鉄が液状化強度比を上げた要因は土の物理特性が考えられ、その中でも粒度

分布と粒子形状が影響していると考えた。そこで本研究では粒度分布は粒径加積曲線から平均粒径 D_{50} を読み取り均等係数 U_c を求め、粒子形状には凹凸係数 FU を用いて定量化を図ることとした。

3. 凹凸係数 FU

粒子形状を定量的に評価するため、吉村ら⁵⁾によって提案された FU を導入した。 FU は、粒子内に直行する三軸を考え、その長軸と中間軸を含む平面に粒子を投影した断面から考える。投影断面の面積を a とし、外周長を l としたとき、(1)式で表される。

$$FU = \frac{4\pi a}{l^2} \quad (1)$$

FU は0~1.0の値をとり、投影断面が円の場合に1.0となり、凹凸の度合いが大きくなるほど FU は小さくなる。また FU の問題点として、 FU の値は粒子が針のように細長い場合にも小さくなるので、厳密には凹凸の度合いのみを表しているわけではない。そこで投影した粒子を楕円近似し、そのときの楕円の長軸 b と短軸 c を求め、アスペクト比 p を定義した。アスペクト比 p は(2)式で表される。

$$p = \frac{c}{b} \quad (2)$$

p は0~1.0の値をとり、投影断面が円の場合に1.0となり、投影断面が細長くなるほど p は小さくなる。

本研究は筑波大学松島研究室が所有する顕微鏡を用いて、粒子を投影させた写真を撮影した。その後ImageJ⁶⁾を用いて画像解析を行い FU を算出した。

4. 試料選定

本研究で使用する試料は、先行研究と同様の砂鉄と山砂を選定した。

砂鉄と山砂の粒子形状を確認するため顕微鏡を用いて観察した。砂鉄の粒子形状は山砂に比べて丸みを帯びている粒子であることがわかる(写真-1,-2)。



写真-1 山砂の顕微鏡写真

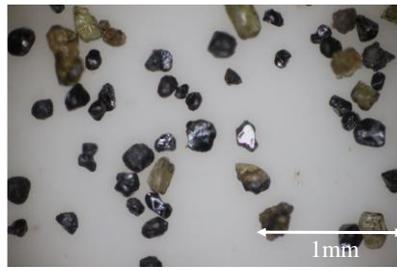


写真-2 砂鉄の顕微鏡写真

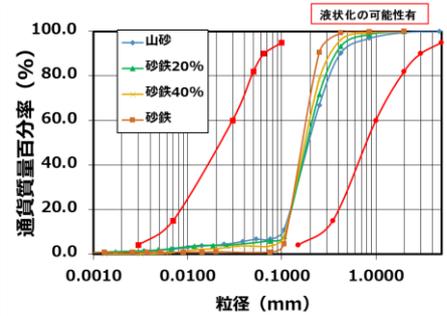


図-1 粒径加積曲線

表-1 試料の物理的性質

	山砂	砂鉄20%	砂鉄40%	砂鉄
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.69	2.90	3.14	4.04
最小乾燥密度 ρ_{dmin} (g/cm ³)	1.20	1.36	1.48	2.22
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.54	1.7	1.87	2.68
平均粒径 (mm)	0.19	0.18	0.17	0.16
均等係数 U_c	2.10	1.95	1.90	1.76
細粒分含有率 F_c (%)	6.80	6.04	3.70	0.90
土質材料の細区分	細粒分まじり砂	-	-	-
凹凸係数 FU	0.54	-	-	0.72
アスペクト比 p	0.74	-	-	0.79

砂鉄が混入することによって粒度分布は大きく変化しておらず、本研究では粒度分布が液状化強度に影響を与えていたとはいえない。そのため本研究では、液状化強度比低下の要因として粒子形状の差異が考えられる。砂鉄の FU は大きいいため、凹凸が少ない丸い試料で

5. 試料の粒子物性

砂鉄と山砂を質量比で混合し、先行研究でも行ったパターンと同様に砂鉄混合率20%試料、40%試料を使用した。使用した砂鉄混合土の物理的性質を表-1に示す。全ての試料で均等係数 U_c が 2 前後の値を示しており、砂分が90%以上含まれていて、細粒分含有率も低いことから、非常に粒のそろった土であることがいえる。粒径加積曲線を見ると、全ての試料が液状化可能性有に入っている(図-1)。

6. 液状化強度比低下の要因

本研究では、液状化強度比低下の影響要因として、 D_{50} 、 U_c 、 FU の3つを仮定した。 D_{50} と U_c は、すべての試料において大きな差異は見られなかった。山砂に比べて砂鉄の方が FU は高かったため、凹凸度が少ない試料であることが定量的に判断できる。また、山砂と砂鉄のアスペクト比に大きな差異は見られなかった。粒度分布については、既往研究から均等係数の小さい試料に比べ、均等係数の大きい試料は大きな液状化抵抗を示すことがいわれている⁷⁾。また粒子形状については、既往研究から、液状化抵抗は粒子が丸くなるにしたがって小さくなることがいわれている⁸⁾。本研究の D_{50} と U_c は液状化試験を行った全ての試料で同程度の値をとっているため、

あることがいえるため、液状化強度比低下の要因として挙げられる。

7. まとめ

本研究は、山砂と砂鉄を混合した砂鉄混合土を用いて、砂鉄混合に伴う液状化強度比低下要因を考察した。その結果、粒子形状の凹凸が小さくなることによって、液状化強度特性が小さくなることが考えられる。

参考文献

- 1) 尾上ら：緩い砂埋戻し地盤の辺縁部の液状化に伴う地盤変状の特徴
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgs/7/1/7_1_175/_pdf (2018/1/10 参照)
- 2) 鬼塚信弘ら：千葉県旭市で採取した砂鉄混合土の液状化判定, 第 51 回地盤工学研究発表会, pp1779~1780, 2016
- 3) 佐久間秋津：砂質土に砂鉄を混合した液状化強度特性, 第 52 回地盤工学研究発表会, pp1607~1608, 2017
- 4) 岡二三生(2001)「地盤液状化の科学」, 近未来社出版
- 5) 吉村優治ら(1993). 砂のような粒状体の粒子形状の簡易な定量化法. 土木学会論文集, (463), 95-103
- 6) ImageJ : <https://imagej.nih.gov/ij/>
- 7) 原忠ら：砂礫の液状化強度および液状化後の非排水せん断強度に及ぼす粒度分布の影響
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscej1984/2000/645/2000_645_245/_pdf (2018/1/9 参照)
- 8) 吉村優治ら：砂の等方圧密およびせん断特性に及ぼす粒子形状の影響
<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00037/487/487-121970.pdf> (2018/1/9 参照)