

砂鉄混入した砂質土の液状化強度に及ぼす影響要因の考察

木更津高専 学生会員 ○佐久間秋津
木更津高専 正 会 員 鬼塚信弘

1. はじめに

現在までに液状化調査に関する研究は多数行われている。液状化調査に関する既往研究で、鬼塚らは千葉県旭市で採取した砂鉄混合土の液状化判定を行った。砂鉄を土に混合して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¹⁾。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瞭なことが多い。そこで本研究は、液状化強度比に影響を与えていると考えられる平均粒径、均等係数、粒子形状に着目し、砂鉄に一般的な砂質土を混合させ土の繰返し非排水三軸試験を行い、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を考察することを目的とする。

2. 試料選定

本研究で使用する砂鉄は、千葉県千倉町瀬戸浜海岸産を入手した。砂鉄は砂を手洗いし砂に付着している不純物や塩分を取り除き、コンロで水分を十分蒸発したものを使用した²⁾。本研究では一般的な砂質土として山砂を用いることとした。その理由として1964年に起きた新潟地震や1995年に起きた兵庫県南部地震で、地下構造物の埋め戻しに使用された山砂が液状化したという被害が報告されており³⁾、山砂は液状化しやすい試料であるといえる。砂鉄と山砂の粒子形状を確認するため、顕微鏡を使って観察した。砂鉄の粒子形状は球状に近いことが見て取れる(写真-1)。

3. 試料の物理的性質

砂鉄と山砂を質量比で混合し、砂鉄を基準とした砂鉄混合率20%試料、40%試料を作製した。作製した砂鉄混合土の物理的性質を求める試験を行った。試験結果を表

-1に示す。土粒子の密度は、砂鉄混合率の増加に比例して大きくなり、既往研究と同様の結果が得られた²⁾。最小・最大乾燥密度は、砂鉄混合率の増加に比例して密度は大きくなったが、最大・最小間隙比の結果を見ると砂鉄混合率の増加に伴い、間隙比は小さくなるという結果が得られた(図-1)。間隙比が小さくなる要因として、砂鉄の粒子形状が山砂に比べて球状に近い構造で、粒子のかみ合わせが良くなり、間隙を狭める形状なのではないかと考えられる。また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-2)。



写真-1 山砂（左）と砂鉄（右）の顕微鏡写真

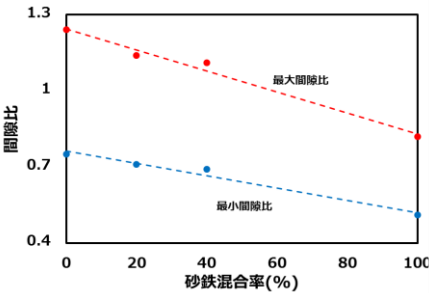


図-1 砂鉄混合率と間隙比の関係

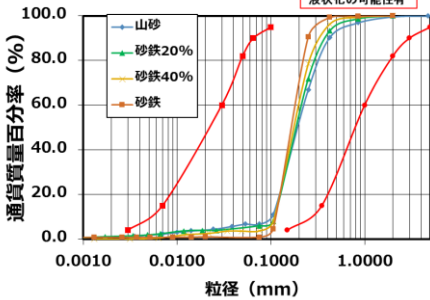


図-2 粒径加積曲線

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_{cl} (%)	6.80	6.04	3.70	0.90
土質材料の細区分	細粒分まじり砂	-	-	-

4. 試料作製⁴⁾⁵⁾

本試験で行う供試体作製方法を検討した。本試験はまず空中落下法で供試体を作製したが密詰め状態の供試体を作製することができなかったため、空中落下法+打撃法で行った。落下高さを20cmに固定し、その後、木槌によってモールドから5cm離して試験容器の側面を打撃して締固め、打撃回数を5層に分けて各層5~50回とし供試体の相対密度を求めた(図-3)。この方法を用いることで密詰め状態の供試体を作ることができた。打撃回数を大きくすると相対密度1.0まで作製することが可能となり、密な状態の供試体を作製したい場合には最適であった。砂鉄が混合されている試料は、少ない打撃回数で高い相対密度が得られることがわかった。その要因として、砂鉄の粒子形状が球状に近く、密な状態で粒子が配置したためだと考えられる。

5. 土の繰返し非排水三軸試験

本試験では、空中落下法と打撃法(落下高さ20cm, 打撃回数はそれぞれの値)により相対密度 $Dr=70\%$ の供試体($\Phi 0.6\text{cm} \times 10\text{cm}$)を作製した。載荷周波数一定(0.1Hz), 拘束圧一定, 圧密圧力 σ'_0 , 有効拘束圧 σ'_0 は 70kN/m^2 とし, 応力振幅比 1.00 とした。また, 供試体を飽和させる通水時間は 400ml, 圧密時間は 30 分とした。ただし, 飽和度を表す B 値が 0.95 以下である場合は再度通水を行った。三軸試験結果を図 4~6 に示す。繰返し載荷回数が小さい範囲での液状化強度曲線に着目すると, 砂鉄混合率が高いほど, 各軸ひずみ DA の曲線の間隔が狭くなることから, 一旦液状化するとひずみが急激に進行する。また, 砂鉄混合率を増加させると, 液状化強度比 R_L が低下することがわかる(表-2)。本試験の液状化強度比低下の影響要因として, 平均粒径, 均等係数, 粒子形状の 3 つがあげられる。平均粒径と均等係数は, 全ての試料でほぼ同じ値をとっているため, 本試験では液状化強度低下の要因は見られない。そのため, 粒子形状の違いによって液状化強度比が低下

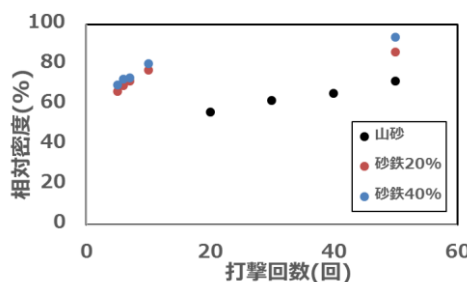


図-3 相対密度と落下高さの関係

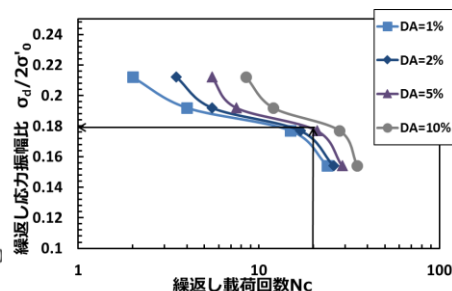


図-4 山砂の液状化強度曲線

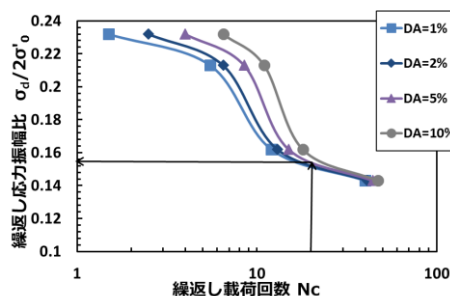


図-5 砂鉄20%の液状化強度曲線

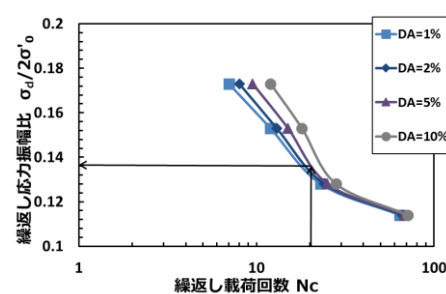


図-6 砂鉄40%の液状化強度曲線

表-2 液状化強度比

	山砂	砂鉄20%	砂鉄40%
R_L 値	0.180	0.154	0.136

することが考えられる。粒子形状が球体に近いほど, 砂鉄混合率の増加に伴い間隙比が小さくなり, 液状化強度比は低下することが考えられる。鬼塚ら¹⁾の砂鉄が混合されている地盤が液状化しなかった要因として, 砂鉄混合率が増加するほど間隙が減ることから, 砂鉄混合土は締まりやすい試料であり, 液状化が起こらなかった地盤は液状化した地盤より相対密度が高かったことが要因として考えられる。

6. まとめ

砂鉄混合率を増加させると, 砂質土の液状化強度比が低下することがわかった。相対密度が一定の場合, 粒子形状が球体に近いほど液状化が起こりやすいことが考えられる。

【参考文献】

- 1) 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
- 2) 菅谷奈緒子：木更津工業高等専門学校 平成 8 年度 卒業研究論文
- 3) 防災基礎講座：災害の危険性をどう評価するか
http://dil.bosai.go.jp/workshop/03kouza_yosoku/s09eki_jyoka/liquefaction.htm (2016/11/23 参照)
- 4) 清水正喜・古澤慶祐：砂の一面せん断試験における供試体作製と試験手順に関する考察, 2008
- 5) 豊田浩史：地盤の振動台実験方法とその適用性
<http://shear.nagaokaut.ac.jp//Archive/PDF/Model.pdf> (2016/12/1 参照)