

海の中道海浜公園で採取した砂の液状化強度特性

九州大学工学部 学生会員 児玉 聡 九州大学大学院 フェロー会員 善 功企
 九州大学大学院 正会員 陳 光斉 九州大学大学院 正会員 笠間 清伸

1. 背景および目的

平成 17 年 3 月 20 日に発生した福岡県西方沖地震では、博多湾の沿岸部において地盤の液状化が発生した。特に海の中道海浜公園「光と風の広場」カモ池周辺では、液状化による墳砂、地盤の流動などの痕跡が顕著に現れていた。本文では、「光と風の広場」で採取した試料の物理的性質、一面せん断特性、液状化強度特性を報告する。また、本文では、砂質土の年代効果を再現するために、若干のセメントを添加して同様の実験を行ったので、その結果も報告する。

2. 実験内容および結果

2.1. 物理特性

試料は、海の中道海浜公園「光と風の広場」の墳砂跡から採取したものをを用いた(以降海の中道砂と呼ぶ)。この海の中道砂を粒径 2mm でふるい分けを行い、供試体を作製した。海の中道砂の物理試験結果を表-1 に示す。この表に示すように、土粒子の密度 ρ_s 及び最小密度 ρ_{min} 、 ρ_{max} は豊浦標準砂の値とほぼ変わらず、土粒子の一般的な値であるといえる。図-2 に示す粒径加積曲線から海の中道砂は比較的粒度の揃った中粒～細粒砂で、港湾の技術基準¹⁾に照らし合わせてみると、特に液状化しやすい砂であるといえる。

2.2. 一面せん断特性

海の中道砂のせん断特性を評価するために、圧密定圧一面せん断試験を行った。供試体の寸法は、直径 6cm、高さ 2cm とし、空中落下法により相対密度が 60% となるように調整して作製した。実験開始後、変位が 7mm になった時点をもって終了とした。

図-2 に、 τ - σ_v 関係を示す。この図に示す通り、粘着力 c_d は、 0 kN/m^2 、内部摩擦角 ϕ_d は、 35.9° となった。豊浦標準砂は、相対密度 50% のとき粘着力が 0 kN/m^2 、内部摩擦角が 34° であるという測定結果²⁾を参考にすると、海の中道砂も一般的な砂とほぼ同様の一面せん断特性を持つといえる。

2.3. 液状化強度特性

海の中道砂の液状化強度特性を評価するために、繰返し非排水三軸試験を行った。供試体の寸法は、直径 5cm、高さ 10cm で、一面せん断試験と同様に、空中落下法により相対密度が 60% になるように調整して作製した。炭酸ガスや脱気水、および二重負圧法を用いて飽和度を上げた後、供試体に 100 kN/m^2 の有効拘束圧をかけ、約 30

表-1 海の中道砂の物理試験結果

| | 豊浦標準砂 | 海の中道砂 |
|----------------------------------|-------|-------|
| 土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$ | 2.640 | 2.621 |
| 最小密度 $\rho_{min}(\text{g/cm}^3)$ | 1.332 | 1.365 |
| 最大密度 $\rho_{max}(\text{g/cm}^3)$ | 1.646 | 1.653 |

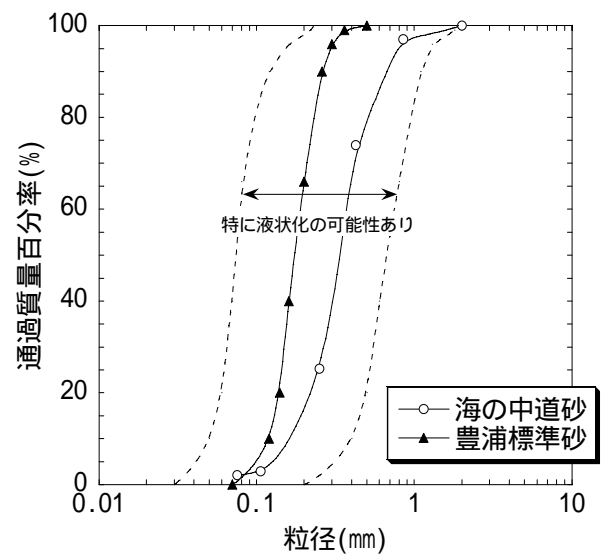


図-1 粒径加積曲線

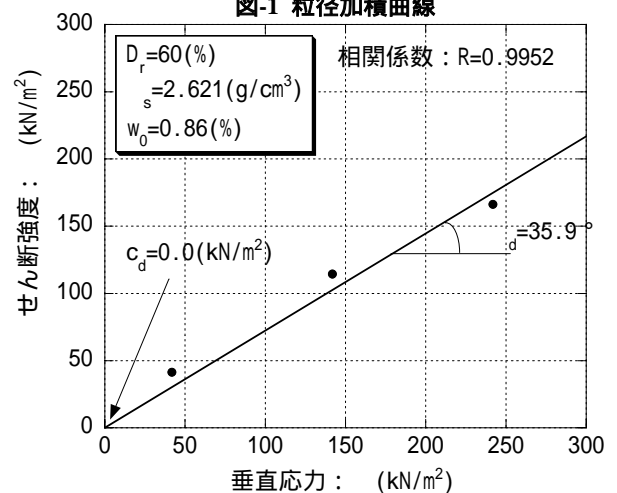


図-2 τ - σ_v 関係

分圧密させた後、繰返し載荷を行った。繰返し応力振幅比を変化させ、実験して、液状化強度曲線を決定した。また、セメントを混合した海の中道砂においては、土の乾燥重量に対して3%のセメント(高炉セメントB種)を混合し、少量の分離防止剤を加えた。その後、脱気水で満たしたモールド円に水中落下法を用いて、相対密度が60%になるよう作製した。7日間養生した後に同様の実験を行った。

図-3に改良砂の繰返し試験結果を示す。この試験は繰返し応力振幅比を0.2、有効拘束圧を 100kN/m^2 にして行った。図が示すように、改良砂の場合は、軸ひずみと過剰間隙水圧比は徐々に増加していく傾向を示し、未改良の砂の場合に比べ、過剰間隙水圧比や軸ひずみの変化において急激な変化が見られない。これは、改良砂のように粘着力を持つ場合、有効応力が0になっても粒子間に結合力が働いているため、破壊が生じにくいからである。

図-4に改良砂における載荷過程における過剰間隙水圧比 u/c' 、両振幅軸ひずみ DA との相互関係を示す。過剰間隙水圧は、繰返し回数が約20回までに急激に増加した後、その後一定の勾配でゆっくりと増加する。一方 DA は約100回までは、ほとんど増加せず、急激に増加する。図-5は改良砂と未改良砂の繰返し応力振幅比 - 繰返し載荷回数の関係を示したものである。改良砂の方が、液状化強度が増加している様子が見てとれる。また、 $DA=2\%$ 、 $N_c=20$ 回で液状化を定義した場合、改良砂の液状化強度比と、未改良砂の液状化強度比との比率は改良砂が未改良砂の1.15倍である。鎌倉市由比ヶ浜の遺跡における年代効果で、約733年で液状化強度が1.3~1.4倍増加している事を考えると³⁾、改良により、ある程度の年代効果が再現できていると思われる。

3.まとめ

海の中道砂は比較的粒度が揃っており、液状化強度と合わせても、特に液状化しやすい砂といえる。砂にセメントを加えることで液状化時の軸ひずみと過剰間隙水圧比の挙動が変化し、それはセメントに起因する粘着力に関係がある。若干のセメントを混合することで、液状化強度を増加させることができ、年代効果の再現が可能であると思われる。今年、セメント混合と粘着力および液状化強度の関連を明らかにし、年代効果を有する砂の液状化強度を研究していく予定である。

<参考文献>

- 1) (社)日本港湾協会:港湾の施設の技術上の基準・同解説, 1988.
- 2) (社)地盤工学会:土質試験法, 第7編第4章, 一面せん断試験, pp581, 2000.
- 3) 関真一ら:鎌倉市由比ヶ浜の遺跡における液状化の痕跡の現地調査と液状化履歴砂の時間効果, 土木学会第47回年次学術講演会, pp292~293, 1988

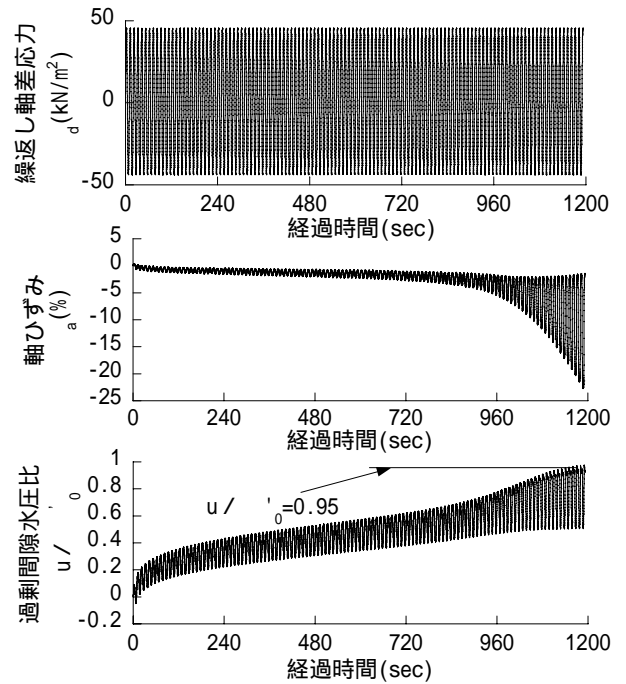


図-3 改良砂の繰返し試験結果

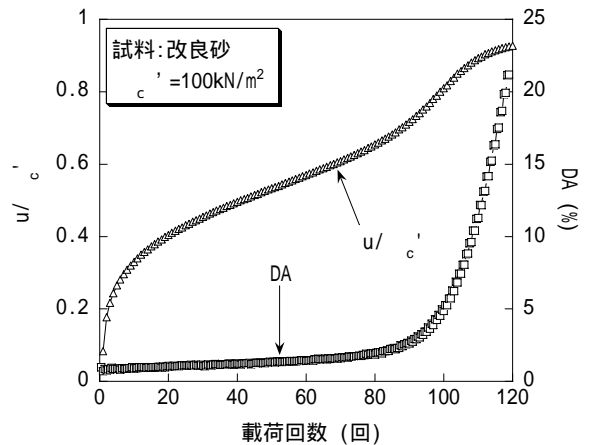


図-4 載荷過程における DA と u/c' の相互関係

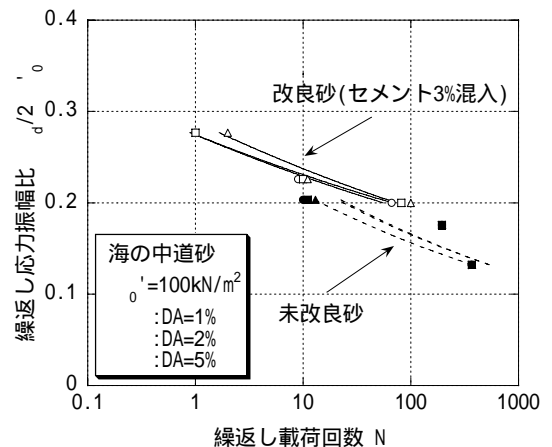


図-5 繰返し応力振幅比 - 繰返し載荷回数