

博多湾の埋立地盤の液状化強度および年代効果に関する一考察

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

1. はじめに

平成 17 年 3 月 20 日に発生した福岡県西方沖地震では、博多湾の沿岸部の多くの地点において地盤の液状化が観測され、構造物の被害も認められた。本研究では、博多湾沿岸部に位置する、福岡市中央埠頭と海の中道海浜公園「光と風の広場」から実際に砂を採取し、両者の物理的性質、および液状化強度特性を報告する。また、セメント添加による年代効果の再現を試み、沿岸部と内陸部の液状化強度の差異を生み出したと考えられる年代効果について考察を行う。

2. 実験内容および結果

2.1. 物理特性

試料は、福岡市中央埠頭と海の中道海浜公園「光と風の広場」の填砂跡から採取したものをを用いた(以降、中央埠頭砂、海の中道砂と呼ぶ)。2つの試料を粒径 2mm でふるい分けを行い、供試体を作製した。中央埠頭砂と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、中央埠頭砂、海の中道砂ともに、土粒子の密度 ρ_s および最小密度 $\rho_{\min}$ 、 $\rho_{\max}$ は、豊浦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-1 に示す粒径加積曲線から、海の中道砂は比較粒度の揃った中粒～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。一方、中央埠頭砂は海の中道砂に比べると粒度に幅があり、液状化しにくい砂であるといえる。

2.2. 一面せん断特性

海の中道砂にセメントを添加したさい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、相対密度は 60% に調整した。図-2 に改良砂と未改良砂のせん断強度を示す。改良砂の方が粘着力は大きくなり、内部摩擦角は小さくなった。

2.3. 液状化強度特性

試料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、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 100kN/m² の有効拘束圧をかけ、約 30 分圧密させた後、繰返し載荷を行った。同一の有効拘束圧のもとで、繰返し応力振幅比を適切に変化させて実験を行い、液状化強度曲線を決定した。図-3 は海の中道砂と中央埠頭砂の液状化強度曲線を示したものである。

表-1 海の中道砂と中央埠頭砂の物理試験結果

	豊浦砂	海の中道砂	中央埠頭砂
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.640	2.621	2.784
最小密度 $\rho_{\min}$ (g/cm ³)	1.332	1.365	1.326
最大密度 $\rho_{\max}$ (g/cm ³)	1.646	1.653	1.667

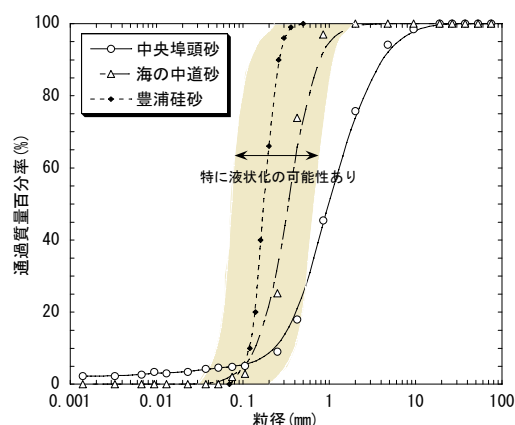


図-1 粒径加積曲線

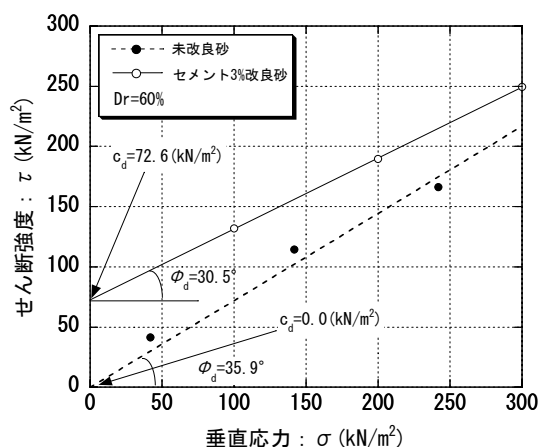


図-2 改良砂と未改良砂のせん断強度

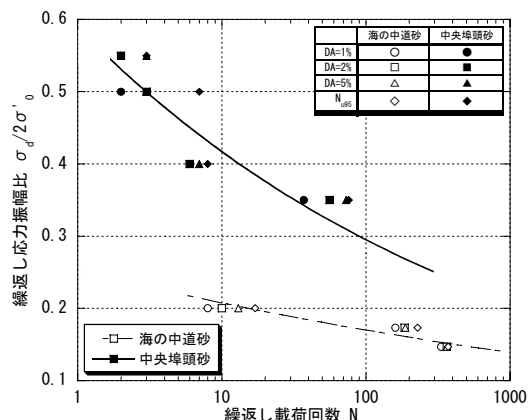


図-3 液状化強度曲線

中央埠頭砂が海の中道砂に比べて液状化強度が大きいことが見てとれる。また、 $DA=2\%$ 、 $N_c=20$ 回で液状化を定義した場合、中央埠頭砂の液状化強度と、海の中道砂の液状化強度との比率は中央埠頭砂が海の中道砂の約 2.0 倍である。この理由として、中央埠頭砂は海の中道砂に比べて粒度に幅があり、液状化強度に影響を及ぼすことが挙げられる。図-4 に改良砂と未改良砂の液状化強度曲線を示す。改良砂の方が、未改良砂に比べ、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 倍となった。

3. 年代効果に関する考察

図-5 に粘着力と液状化強度増加率の関係を示す。既往の研究結果²⁾と本研究におけるセメント添加による実験結果を比較した場合、分布形状に大きな違いが見られる。また、図-6 に堆積年代と粘着力増加量の関係を示す。この図からは、年代による粘着力の増加は沖積世程度ではほとんど見られないという結果になった。図-7 は、既往の研究²⁾⁻⁶⁾を用いて、堆積年代と液状化強度比の関係を示した図である。これらの関係を用いて、セメント添加による年代効果の再現の程度を評価する。本研究で行った、海の中道砂による年代効果再現実験では、改良砂の液状化強度と未改良砂の液状化強度の比は、セメント 1%, 3%改良砂それぞれ未改良砂の 1.03, 1.18 倍であった。図-7を用いるとそれぞれ約 100 年、約 600 年の年代効果を表すと推察される。

3. まとめ

海の中道砂は比較的粒度が揃っており、特に液状化しやすい砂といえる。一方、中央埠頭砂は粒度に幅があり、液状化強度からも海の中道砂より液状化しにくい砂である。年代効果の一因としてセメンテーション効果が挙げられ、若干のセメントを混合することで、粘着力とともに、液状化強度を増加させることができ、沖積世程度の年代効果の再現が可能であるといえる。今後は粘着力と繰返し応力振幅比の関係についてさらなる充実に努めたい。

<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) 澤田亮ら: 年代効果が洪積砂地盤の液状化強度に及ぼす影響, RTRI REPORT vol20, No.5, pp35~40, 2006 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 4) 堀智仁ら: 凍結サンプリング試料と再構成試料のせん断波速度と液状化強度, 土木学会北海道支部論文報告集, No.58, pp526~529, 2002 5) 太田直之ら: 凍結及び再構成砂礫供試体の動的強度特性の比較, 土木学会第 48 回年次学術講演会, pp482~483, 1993 6) 後藤茂ら: 凍結試料による江戸川砂の液状化特性と試料の健全性の検討: 土木学会第 54 回年次学術講演会, pp196~197, 1999

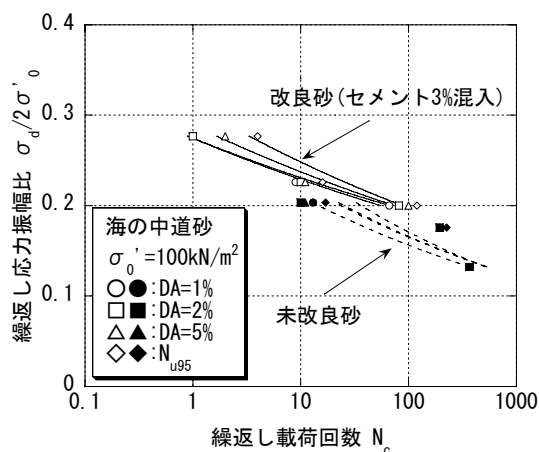


図-4 液状化強度曲線(改良)

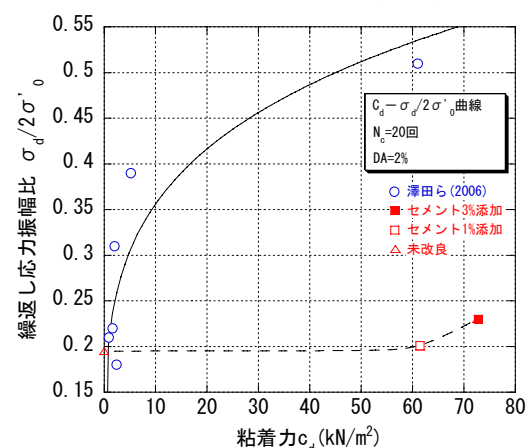


図-5 粘着力と繰返し応力振幅比の関係

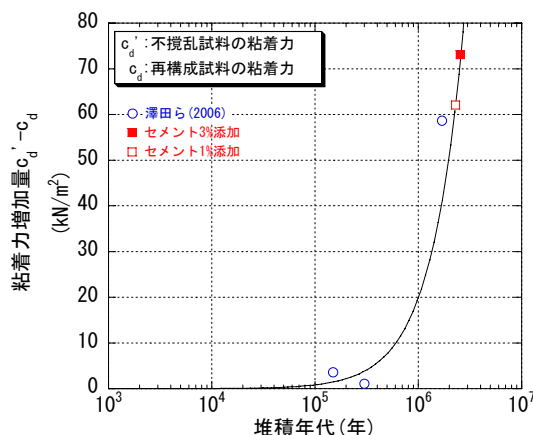


図-6 堆積年代と粘着力増加量の関係

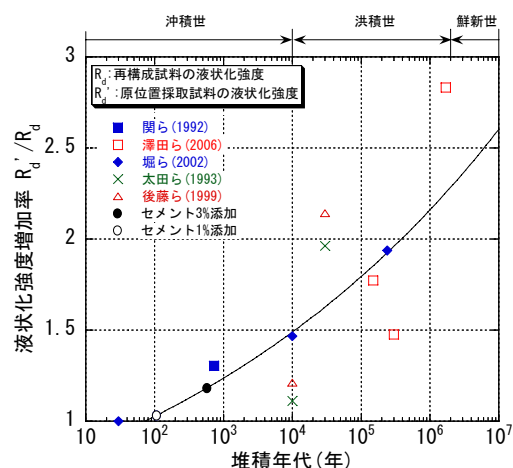


図-7 堆積年代と液状化強度関係