

セメント混合により年代効果を再現した砂の液状化強度特性

九州大学大学院 学生会員○児玉 聡

フェロー 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。本文では、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」から採取した砂を用いて、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 ρ_{min} 、 ρ_{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

中央埠頭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とし、相対密度は60%に調整した。砂の乾燥重量に対し、セメントを所定の量添加し、7日間水中養生を行った。表-2に各セメント添加率に対するせん断強度を示す。セメント添加率が大きくなるにつれ、粘着力が増加し、内部摩擦角が減少する傾向を示した。

2.3 液状化強度特性

試料にセメントを添加したさい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、相対密度が60%になるように調整した。砂の乾燥重量に対し、セメントを所定の量添加し、7日間水中養生を行った。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-2は中央埠頭砂の液状化強度曲線を示したものである。セメント添加率が大きくなるにつれ、液状化強度が増加するのが見て

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 ρ_{min} (g/cm ³)	1.332	1.365	1.326
最大密度 ρ_{max} (g/cm ³)	1.646	1.653	1.667

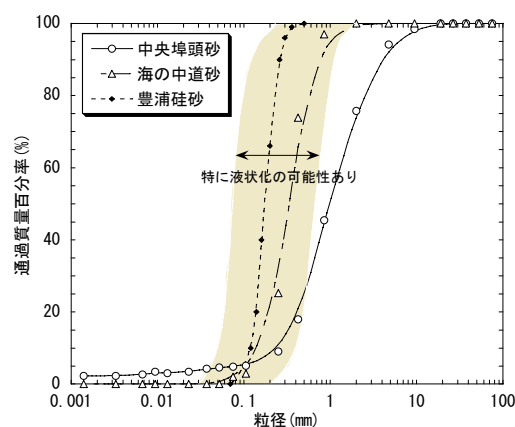


図-1 粒径加積曲線

表-2 一面せん断試験結果(中央埠頭砂)

セメント添加率(%)	粘着力 c_d (kPa)	内部摩擦角 ϕ (°)
0	2.89	48.1
1	7.93	39.6
3	14.26	37.9
5	39.33	39.7

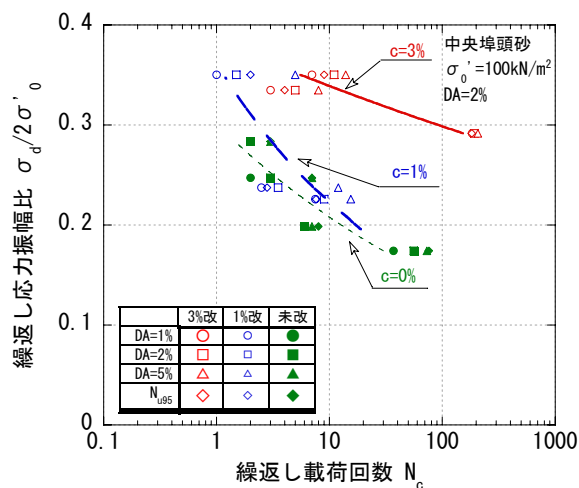


図-2 液状化強度曲線(中央埠頭砂)

とれる．また， $DA=2\%$ ， $N_c=20$ 回で液状化を定義した場合，セメント 1, 3% 添加時の液状化強度はセメント無添加時のそれぞれ 1.03 倍，1.72 倍となった．

3. 年代効果の再現結果

図-3 に中央埠頭砂における粘着力と繰返し応力振幅比の関係を示す．粘着力 8kN/m^2 付近から急に繰返し応力振幅比が大きくなった．この結果を澤田らの研究結果²⁾を元に作成したグラフにプロットしてみると，図-4 のようになる．図より粘着力が比較的小さい段階で液状化強度が高くなり，その後はゆるく上昇していく傾向を示すことが分かる．また，図-5 に既往の研究²⁾⁵⁾⁶⁾を用いて作成した堆積深度と液状化強度増加率の関係を示す．堆積深度が深くなるにつれ，液状化強度増加率も大きくなるのが分かる．図-6 は，既往の研究²⁾⁶⁾および海の中道砂と中央埠頭砂の繰返し三軸試験結果を用いて，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した．本研究で行った，海の中道砂および中央埠頭砂による年代効果再現実験では， $DA=2\%$ ， $N_c=20$ 回で液状化を定義した場合の改良砂の液状化強度と未改良砂の液状化強度の比は，海の中道砂がセメント 1%, 3% 改良砂それぞれ未改良砂の 1.03, 1.18 倍，また中央埠頭砂は，セメント 1%, 3% 改良砂それぞれ未改良砂の 1.03, 1.72 倍であった．図-6 よりセメント 1% の場合，両試料とも約 100 年，セメント 3% の場合，海の中道砂が約 580 年，中央埠頭砂が約 55000 年の年代効果を再現していると推察される．

4. まとめ

試料にセメントを混合すると，粘着力とともに液状化強度が増加するが，その増加割合は粘着力が小さいときほど大きい．また，堆積年代と液状化強度増加率には一定の相関関係があり，若干のセメント混合により完新世～更新世程度の年代効果の再現が可能であるといえる．

<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) 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) 関眞一ら：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.

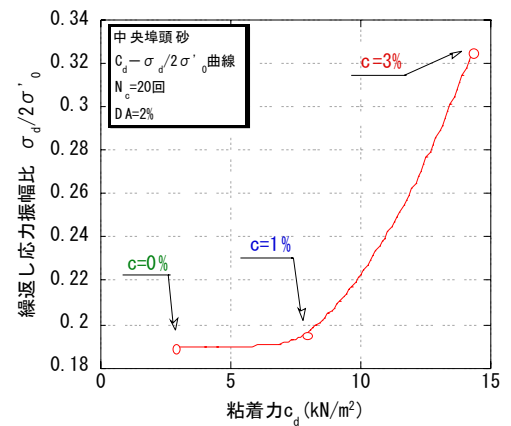


図-3 粘着力と繰返し応力振幅比の関係①

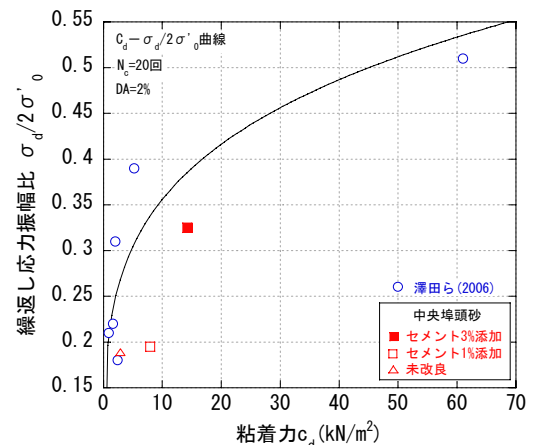


図-4 粘着力と繰返し応力振幅比の関係②

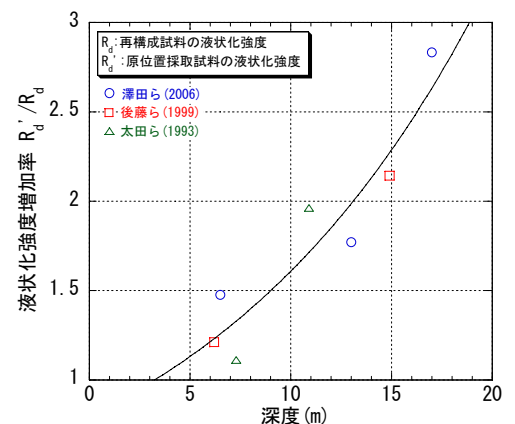


図-5 堆積深度と液状化強度増加率の関係

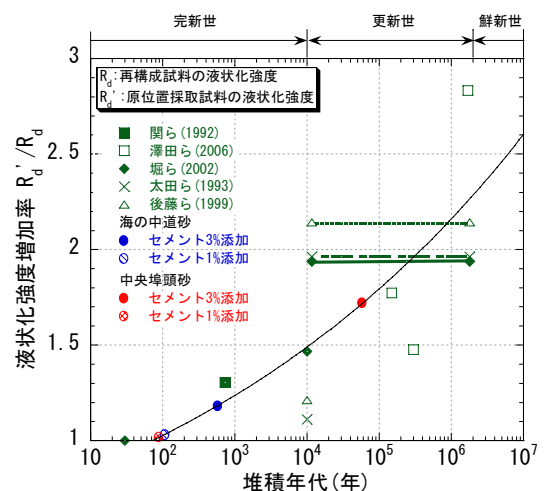


図-6 堆積年代と液状化強度増加率の関係