

原位置液状化強度推定法の第三海堡埋立砂に対する適用性

防衛大学校 (学)吉津考浩・○(正)正垣孝晴

1. はじめに

江戸幕末から明治の黎明期、我が国は首都東京を防衛するために東京湾口に要塞を設け 24 の砲台を設置した。そのうちの 3 つは、海上の人工島に砲台を備えた海上要塞（海堡）である。第一海堡（基礎地盤の標高は水深-5m）と第二海堡（同-10m）は千葉県富津岬沖に、第三海堡は横須賀市観音崎沖の波浪と潮流の激しい浦賀水道内（同-39m）に建設された。第三海堡は、明治 25（1892）年から 29 年間に掛けて大正 10（1921）年に完成したが、竣工 2 年後の関東大震災で施設の 35%程度が水没して、その機能を停止した¹⁾。

本稿は、三重管サンプラーで採取した第三海堡の埋立砂の乱さない試料に対する粒度分析と動的三軸試験結果²⁾に対して、原位置動的強度の推定法³⁾を適用して、新潟空港⁴⁾と新潟女池小学校³⁾で得たチューブと凍結サンプリングの結果に加え、関西の港湾⁵⁾の結果を統合して、その妥当性を検討する。

2. 埋立砂の粒度特性と液状化曲線

第三海堡は上総層群の上に捨石が敷設され、捨石部の内側に砂が埋め立てられた¹⁾。第三海堡の埋立地から採取した試料の粒径加積曲線を図-1 に示す。深度 z が 2.5m~27.5m の異なる z から得た試料の結果²⁾に加え、豊浦砂（▽）のそれ⁶⁾を併せて示している。これらの砂は、港湾局⁷⁾による「液状化の可能性がある」砂に分類されるが、特に $z=2.5\text{m}$ （+）、7.5m（×）、10.5m（○）の砂は、同「特に液状化の可能性がある」砂であり、豊浦砂や新潟砂³⁾のそれらと同様である。

図-2, 3, 4²⁾に $z=2.5, 7.5, 10.5\text{m}$ から三重管サンプラーで得た不攪乱砂に対する繰返し三軸試験の繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_c$ と繰返し載荷回数 N_c の関係を示す。 $N_c=20$ に対応する $\sigma_d/2\sigma'_c$ を軸ひずみ両振幅 $DA5\%$ 下の R_{L20} として、これらの図から読み取ると、それぞれ 0.238, 0.228, 0.196²⁾であった。

3. 原位置液状化強度推定法の第三海堡埋立砂に対する適用性

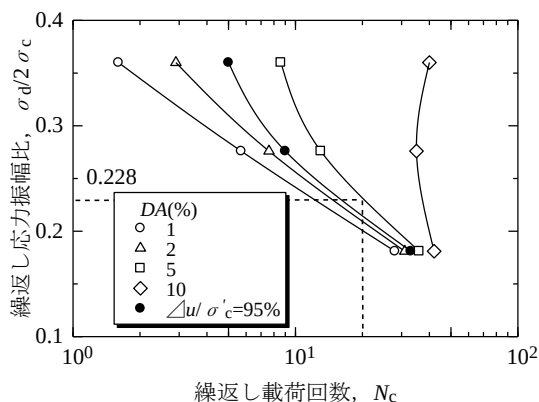


図-3 埋立砂の液状化曲線($z=7.5\text{m}$) (文献²⁾に加筆・修正)

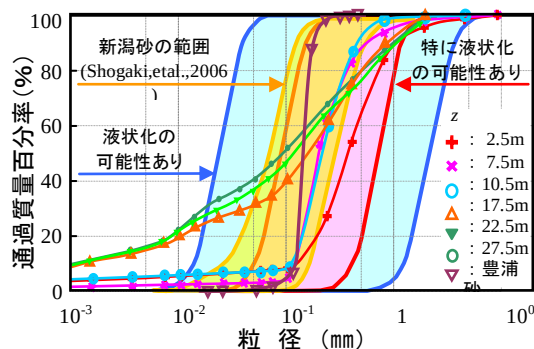


図-1 第三海堡の埋立砂の粒径加積曲線

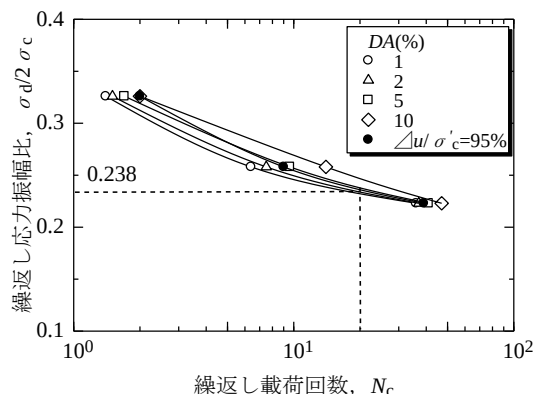


図-2 埋立砂の液状化曲線($z=2.5\text{m}$) (文献²⁾に加筆・修正)

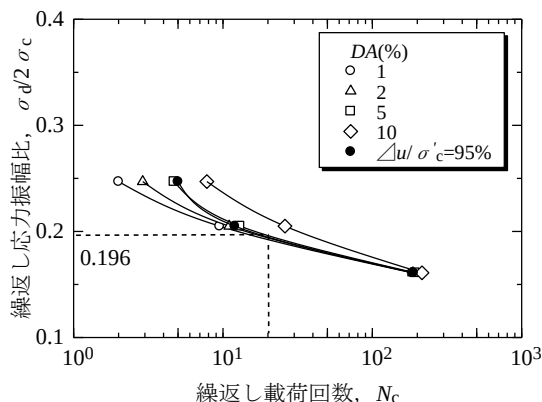


図-4 埋立砂の液状化曲線($z=10.5\text{m}$) (文献²⁾に加筆・修正)

キーワード：液状化・原位置動的強度・第三海堡

連絡先：〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL 046-841-3810

図-5 は、相対密度 D_r と R_{L20} の z 分布であり、新潟女池小学校のチューブ($\circ$)と凍結($+$)の結果に加え、第三海堡埋立砂($\odot$)の測定結果をプロットしている。第三海堡の $R_{L20}=0.196\sim0.238$ と $D_r=37\sim47\%$ は、新潟地盤のそれらの下位に位置している。図-5 に示す新潟砂は、新潟地震(1964 年)で液状化し、壊滅的な被害を与えたことで知られているが、第三海堡の埋立砂は動的強度特性の観点でも液状化の対象砂であることがわかる。

図-6 は、新潟空港⁴⁾、新潟女池小学校校庭³⁾、関西のある港湾⁵⁾、第三海堡で得た液状化強度 (R_{L20}) と D_r の関係を示している。新潟空港 ($+$) と女池小学校 ($\times$) のプロットに対する回帰直線近傍に、関西のある港湾($\odot$)と第3海堡($\circ$)のプロットは位置している。地盤工学会で規定された試料採取法と試験方法(性能規定)の結果であるが、試料採取時の密度増加で、 R_{L20} と D_r が大きく評価されていることが、これまでの検討⁸⁾で分かっている。

図-7 は、この密度増加の影響を排除するため、推定法³⁾を用いて地盤内の原位置の R_{L20} と D_r を推定した結果である。図-7 の R_{L20} は D_r とともに大きくなり、材料学的に整合するのみならず、新潟空港 ($+$) と女池小学校 ($\times$) から得た回帰曲線近傍に、関西のある港湾⁵⁾ ($\odot$) と第3海堡 ($\circ$) のプロットが位置し、異なる4堆積地の結果も統一的に説明できている。第三海堡の測定値は推定した D_r よりも平均 16% 程度過大で、 R_{L20} では同 0.08 程度過小な値である。すなわち、測定値は $D_r < 70\%$ の範囲で危険側の設計値を与えることがわかる。

4. おわりに

推定法³⁾の適用によって第三海堡の地盤特性に応じた原位置の D_r と R_{L20} が推定された。推定法は、女池、新潟空港、関西のある港湾、第三海堡の埋立砂の D_r と R_{L20} が地盤特性に応じて、統一的に説明できることが分かった。

本稿は、地盤工学会関東支部「江戸期以降の土木史跡の地盤工学的分析・評価に関する研究委員会」の活動の一環として作成した。第三海堡の地盤データは文献2による。データの使用をお認め頂いた国土交通省東京湾口航路事務所に深甚の謝辞を表す。

参考文献 1) 国土交通省東京湾口航路事務所, 東京湾第三海堡建設史, 2005. 2) 国土交通省東京湾口航路事務所, 東京湾航路(浦賀水道航路土質調査報告書), 2002. 3) Shogaki, T. & Kaneda, K.: Feasible method, utilizing density changes, for estimating *in-situ* dynamic strength and deformation properties of sand samples, *Soils and Foundations*, Vol.53, No.1, 2013. 4) 正垣・古川・佐藤・菅野: チューブサンプリングで採取した豊浦砂の品質と原位置相対密度・液状化強度の推定法, 第55回地盤工学シンポジウム, pp.212-222. 5) 吉津・正垣: 液状化対象砂に対する原位置動的強度の評価法の適用性, 第9回地盤工学会関東支部発表会, CD-R, 2012. 6) Shogaki, T. et al.: Applicability of the small diameter sampler for Niigata sand deposits, *Soils and Foundations*, 46 (1), 1-14, 2006. 7) 日本港湾協会, 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 1989. 8) 正垣孝晴: 性能設計のための地盤工学, 鹿島出版会, pp.303-309, 2012.

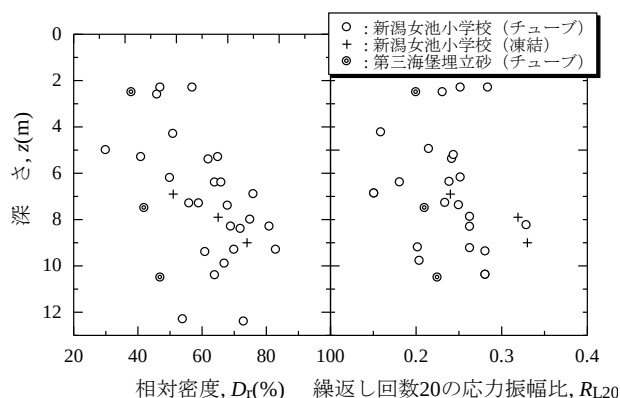


図-5 相対密度と液状化強度の深度分布図(測定値)

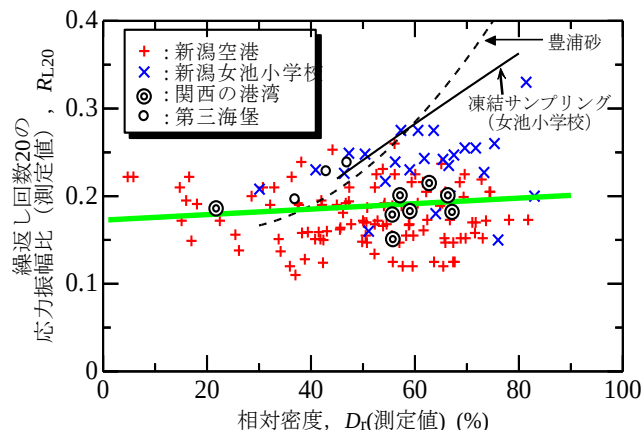


図-6 R_{L20} と D_r の関係 (測定値)

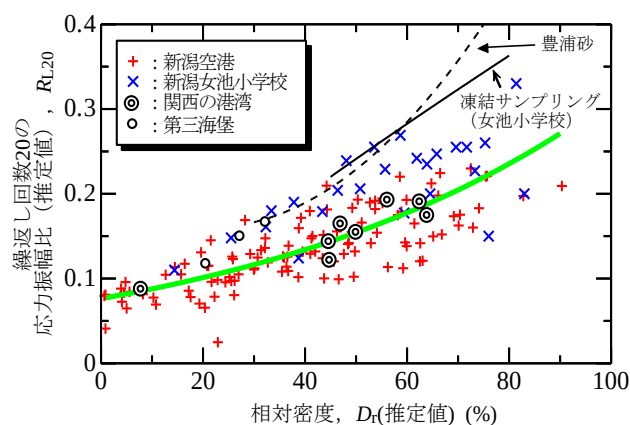


図-7 R_{L20} と D_r の関係 (推定値)