砂の粒度特性と安息角の関係

防衛大学校 正垣孝晴・吉津考浩

1. はじめに

チューブサンプリングの際のチューブ壁面と土の摩擦に起因する試料の乱れは、砂や粘土に関係な く壁面から 2mm 程度と小さい¹⁾。また、相対密度 D,が 70%程度より小さい砂地盤のチューブサンプ リングでは、チューブ貫入による密度増加で、原位置の間隙比 e が小さく Drが大きくなる結果として、 液状化強度 $R_{1,20}$ や初期剛性率 G_0 も過大評価することになる²⁾。そして、この密度増加に起因する e、 $D_{\rm r}, R_{\rm L20}, G_0$ の測定値から,原位置の値を推定する EM 法^{2),3)}は、砂の堆積地や粒度特性に関係なく原 位置のそれらを統一的に説明できることを示した⁴⁾。採取試料の撹乱や密度変化は、上述のように e と D_rの変化に加え, R_{1.20}や G₀の値を直接支配する。このようなチューブ貫入による砂試料の移動や 密度変化によるダイレタンシー挙動は、土の強度成分(c, o)の中で、oの影響が大きいと推察され デル試験¹⁾や EM 法^{2),3)}で検討した供試土の o'が同等であれば、チューブ貫入による砂試料の移動や 密度変化によるダイレタンシー挙動も同様であると推察される。本稿では、砂の粒度特性とな'の関係 から、チューブ貫入による砂粒子の移動や EF 法の適用性の根拠を考察する。

2. 供試土と粒度分析(安息角)試験結果

表-1 は供試土の粒度分析とφ'の試験結果をまとめて示している。チューブ貫入のモデル試験で用い た砂は、豊浦砂(防大)であり、EF 法の検討で用いた砂は、新潟空港、新潟東港、新潟女池、走水 1,2, 久里浜, 富津 2, 関西港湾 1,2 の 9 試料である。他は, 一連の比較のために用いた。これらの砂 は、地震時の液状化対象砂として、我が国の広い堆積地から採取している。粒度分析試験は、JIS A1204 に従い、 φ'は乾燥炉で 24 時間乾燥させた含水比 0%の状態の砂を、ロートで水平面に自由落下 させた際の斜面の角度として測定した。

3. 粒度特性と安息角の関係

図-1,2,3,4 は、それぞれ細粒分含有率 Fe, 50%粒径 D50, 均等係数 Ue, 曲率係数 U'eと o'の関係であ る。また、表-2はこれらの図の記号凡例を示している。F。の最大値は、久里浜砂で 2.4%であるが、こ の砂を含めて細粒分を殆んど含まない細砂から粗砂に分類される砂である。揖斐川砂は、砂粒子の摩 耗が他の海浜堆積砂ほど進んでいないことを反映して、 ø'=39.4°と大きいが、他は 31.8°(富津 2)か 睅

| 試料 | 土粒子密度 | $F_{\rm c}$ | D_{50} | $D_{ m max}$ | 均等係数 | 曲率係数 | 最小間隙比 | 最大間隙比 | 安息角 |
|--------|-------------------|-------------|-----------|--------------|------------|------------|------------|---------------|------|
| | $\rho_s (g/cm^2)$ | (%) | (mm) | (mm) | $U_{ m c}$ | $U_{ m c}$ | e_{\min} | $e_{\rm max}$ | (°) |
| 豊浦(防大) | 2.653 | 0 | 0.327 | 0.85 | 1.9 | 0.7 | 0.616 | 0.948 | 37.3 |
| 豊浦(関電) | 2.653 | 0 | 0.169 | 2 | 1.7 | 0.9 | 0.616 | 0.948 | 37.9 |
| 新潟空港 | 2.691 | 1.7 | 0.306 | 2 | 2 | 1.1 | | | 36.9 |
| 新潟東港 | 2.634 | 0.5 | 0.373 | 4.75 | 1.6 | 1 | 0.747 | 1.116 | 37.1 |
| 新潟女池 | - | 0.9~6.8 | 0.24~0.37 | 0.85~4.75 | 1.5~2.2 | 1.0~1.2 | - | - | 37 |
| 走水 1 | 2.874 | 0.5 | 0.167 | 4.75 | 1.6 | 0.9 | 0.634 | 0.977 | 33.4 |
| 走水 2 | 2.727 | 0 | | 9.5 | | | | | |
| 久里浜 | 2.776 | 2.4 | 0.181 | 4.75 | 1.8 | 0.9 | 0.592 | 0.946 | 33.2 |
| たたら浜 | 2.8 | 0.6 | | 4.75 | | | | | |
| 富津2 | 2.71 | 0.1 | 0.306 | 2 | 1.3 | 0.7 | 0.674 | 1.016 | 31.8 |
| 関西港1 | 2.636 | 0.6 | 0.511 | 4.75 | 1.6 | 1 | 0.724 | 1.07 | 36.2 |
| 関西港 2 | 2.642 | 1.2 | 0.439 | 4.75 | 2.2 | 0.8 | 0.667 | 1.043 | 35.5 |
| 珪砂 3L | | 0 | 1.318 | 4.75 | 1.6 | 1 | | | 32.1 |
| 揖斐川 | | 1.3 | 0.71 | 4.75 | 3.1 | 1.2 | | | 39.4 |
| 霞ヶ浦 | | 0.8 | 0.235 | 4.75 | 2.4 | 0.9 | | | 36.7 |
| 神戸 | | 0.1 | 0.906 | 4.75 | 2.3 | 0.8 | | | 33 |

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 Ta 046-841-3810

1



ら 37.9°(豊浦(関電))の範囲に位置している。チューブ貫入と EF法の検討 で用いた砂の ϕ 'は、31.8~37.3°の範囲であり、これらの試料の D_{50} の範囲は、 0.167~0.511mm である。また、同様に U_c と U'_c の範囲は、1.3~2.2 と 0.7~1.0 であり、いずれも同様な粒度特性を示している。 ϕ '=32~37 の 5°の差が、チ ューブ貫入時の砂の移動やダイレタンシー挙動に及ぼす影響を定量的に明らか にすることは困難である。標準砂を用いたチューブ貫入のモデル試験のチュー ブ貫入圧 pは、チューブ貫入力をチューブ内の砂の面積を含めた断面積で除し た値として、4kPa 程度¹⁾である。また、深度が 10m 程度の飽和砂地盤の有効 土被り圧 σ'_{vo} は 80kPa 程度である。この点から p=4kPa や σ'_{vo} =80kPa 下で ϕ '=5°がせん断強度やダイレタンシー挙動に及ぼす影響は大きくないとも推察 される。そして、走査型電子顕微鏡による観察では、これらの砂粒子の表面状 態や形状も同様であることを確認している。

4. おわりに

チューブ貫入から得た試料の測定値から EF 法で推定した原位置の e, D_r , R_{L20} , G_0 の値が, 堆積地や粒度特性の異なる 9 種類の自然堆積砂や埋立て砂に関係な く統一的に説明できる⁴⁾理由は,対象砂の粒度特性や ϕ ',粒子表面や形状の差 の影響が小さいのが理由であると推察された。

参考文献

1) 正垣・筒井・吉津:サンプリングチューブ貫入による試料撹乱のメカニズム,地盤工学会誌, 60(7), pp.22-25, 2012. 2) Shogaki, T. and Sato, M. (2011): Estimating *in-situ* dynamic strength properties of sand deposits, The 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanic and Geotechnical Engineering, Hong-Kong, CDR. 3) Shogaki, T. and Kaneda, K. (2013): A feasible method, utilizing density changes, for estimating *in-situ* dynamic strength and deformation properties of sand samples, *Soils and Foundations*, 53 (1), pp.64-76. 4) 正 垣:性能設計のための地盤工学, 鹿島出版会, 2012.

表-2

0

•

Δ

۸

 \diamond

 ∇

▼

0

▲

▼

図の記号凡例

Toyoura(NDA)

Toyoura(KE)

Niigata air

Niigata east

Hashirimizu1

Hashirimizu2

Kurihama

Futsu

Tatara shore

Kansai port1

Kansai port2

Silica sand 3L

Kasumigaura

Ibi river

Kobe