

研 究 速 報

砂質地盤におけるGel-pushサンプリングの有効性の検討

Applicability of ‘Gel-Push’ sampling technique for sandy layer

梅原由貴*・清田 隆**・キアロ ガブリエル**・柳浦良行***
Yuki UMEHARA, Takashi KIYOTA, Gabriele CHIARO and Yoshiyuki YAGIURA

1. 研究背景

2011年3月、東北地方太平洋沖地震が発生し、東京湾岸の埋立地等において甚大な液状化被害が確認された。これ以降液状化の被害予測等の研究が活発となっている。

液状化発生の予測方法の一つとして、ボーリング時に採取される不攪乱試料を用いた室内試験により地盤強度を求める場合がある。これは、他の強度推定法よりも正確に地盤強度を算出できる方法であるといわれている一方、採取時の振動等により試料に乱れが生じ、実地盤より過大過小な強度を示すことがかねてから指摘されてきた¹。

そこで昨今、乱れの少ない地盤試料をサンプリングする手法として Gel-Push (GP) サンプリング手法が開発された。これは、図1のようなサンプラーを用いるもので、試料採取と同時に採取試料体積相当分の高濃度水溶性ポリマーが

排出され試料を包み込み、試料とサンプラーとの間の摩擦を軽減することなどにより、乱れの少ない試料を採取できる手法である。

GP サンプリングは、特に礫地盤において有効性が確認されているが、砂質地盤における有効性について検討した研究は少ない。液状化の可能性のある砂質地盤における GP サンプリング手法の有効性の検討は、液状化予測の高度化等に貢献できるといえる。

そこで本研究では、2011年の東北地方太平洋沖地震時に液状化した地点の砂質地盤から採取した GP サンプルと従来手法であるトリプルチューブ (TB) サンプルを用いて、それぞれの品質評価・比較を行った。また、試料の品質が非排水繰り返し強度に与える影響を検討した。

2. 試料採取地点と原位置調査結果

本研究では、図2に示したように2011年東北地方太平洋沖地震時に液状化が発生した、千葉市美浜区磯辺地区の埋立層と沖積層から採取した GP, TB サンプルに関して検討を行った。

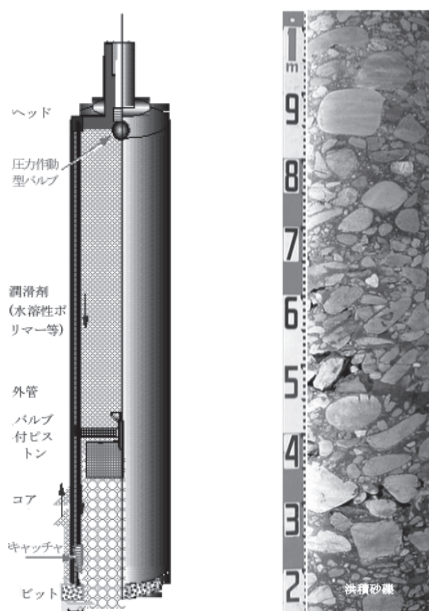


図1 GP サンプラー概念図 (島田ら, 2013²) と礫地盤から採取した試料の例 (酒井, 2014³)

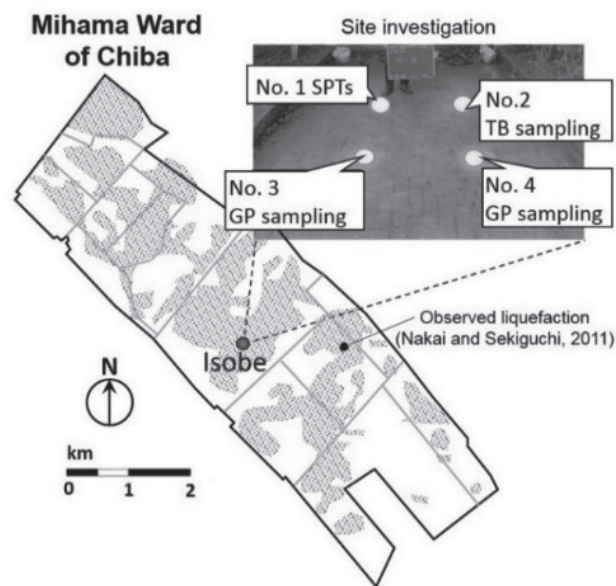


図2 試料採取地点と2011年の液状化被害 (Nakai et al., 2011⁴)

* 東京大学大学院 工学系研究科
** 東京大学生産技術研究所 基礎系部門
*** 基礎地盤コンサルタンツ株式会社

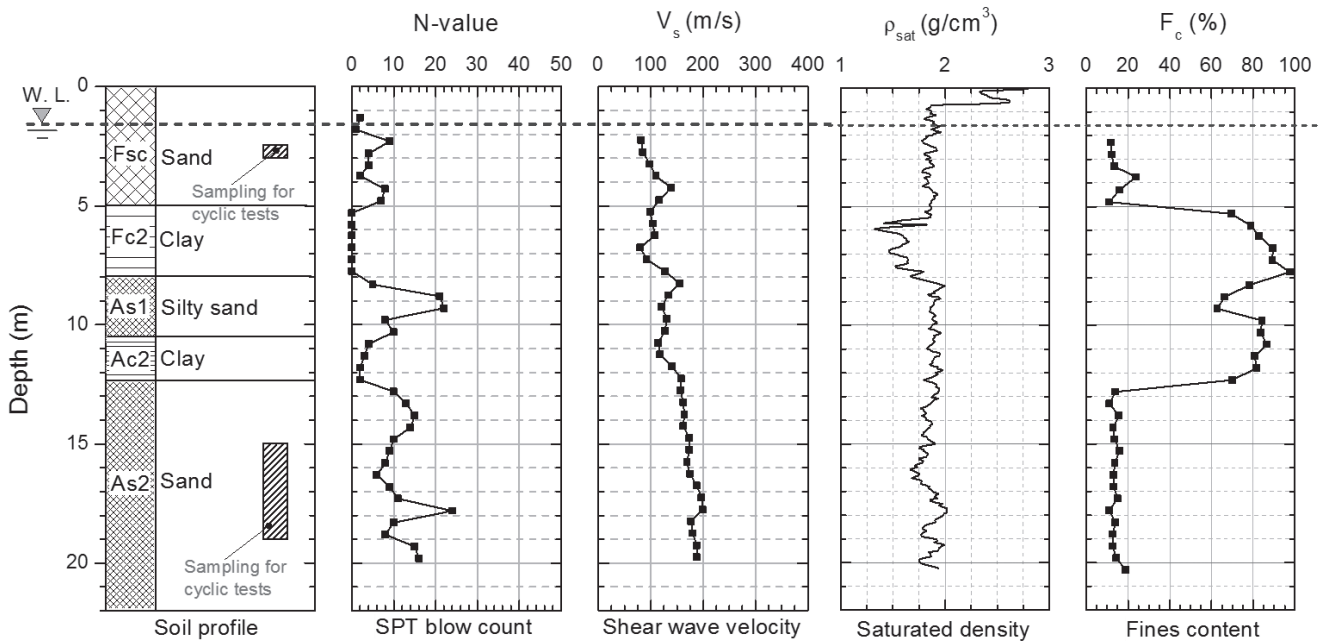


図3 原位置調査結果

図2中のNo.1孔内において実施された標準貫入試験、PS 検層、密度検層の結果、および室内粒度試験による細粒分含有率を図3に示す。対象地点の深度20m以浅の地盤は、1960~1980年代に浚渫土で埋め立てられた⁵埋立層と、その下部に位置する沖積層からなっている。粒径や細粒分含有率の違いから図3のように5層に分類できるが、本研究では2011年に液状化した可能性のある地層として図3中のFsc層とAs2層に着目し、検討対象とした。

3. 室内試験手法

試料の非排水繰り返し強度は、図4の三軸試験機を用い、試料を原位置有効土被り圧まで等方圧密した後、周波数0.1Hzの非排水繰り返し載荷試験より求めた。



図4 三軸試験機

試料の品質評価については、繰り返し載荷前の等方圧密段階で測定した間隙比 e とせん断波速度 V_s を、原位置での測定値と比較することで行った。 V_s の計測手法を図5に示す。

なお、室内試験においては、データの信頼性を高めるため、実験を二つの機関（東大生研・基礎地盤コンサルタンツ（株））にて実施した。

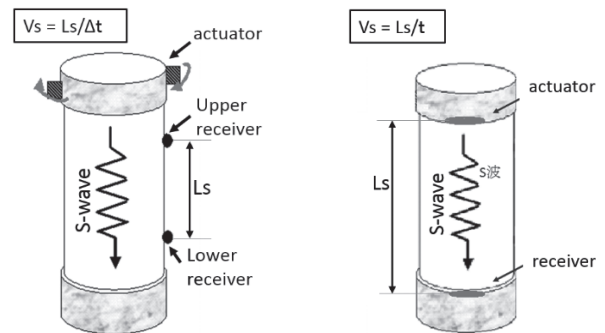


図5 V_s 測定概念図

(左：東大生研，右：基礎地盤コンサルタンツ（株）)

V_s の測定結果の一例を図6に示す。 V_s 測定においては、波形読み取りの際の人為的誤差等の測定誤差が生じる。そのため、測定は等方圧密中に段階を踏んで複数回行い、誤差の補正を行った。品質評価の際は、原位置での静止土圧係数を0.5と仮定し、原位置応力状態と等しい状態における室内試験結果を原位置測定結果と比較した。

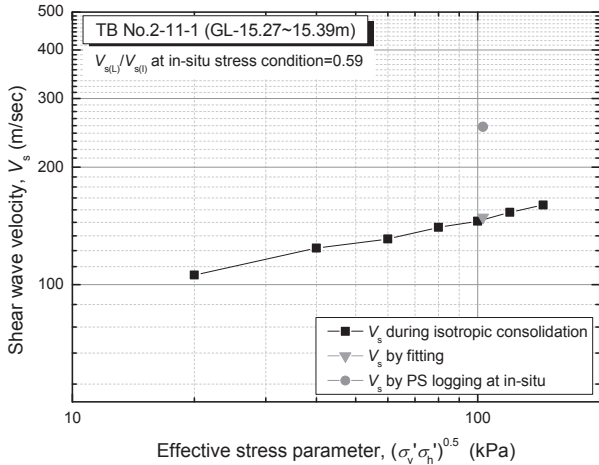


図6 等方圧密段階における V_s 測定結果の例

4. 品質評価と非排水繰り返し三軸試験結果

図7, 8に本研究で得られた試料の品質評価結果と液状化強度曲線を示す。なお、各図 (a) の品質評価のグラフは、横軸に室内試験と原位置調査での e の比、縦軸に室内試験と原位置調査でのせん断波速度比を示しており、それぞれ密度面での乱れと微視的構造面での乱れを表している。図の中心に向かうほど乱れの少ない高品質試料である。

なお、せん断波速度は密度変化の影響を受けるため、検討においては以下の式 (1), (2) を用いて間隙比関数で正規化した V_s^* を使用した。また、本研究では2つのサンプリング手法間の試料品質の違いを検討する際には、同じ深度、粒度分布のサンプル同士を比較した。

$$V_s^* = V_s / \sqrt{f(e)} \quad (1)$$

$$f(e) = e^{1.3} \quad (\text{Jamiolkowski et al., 1991}^{\circ}) \quad (2)$$

ここに、 V_s : せん断波速度 (m/sec), e : 間隙比

図7は、沖積層から採取された試料の結果である。(a) 品質評価結果より、TB サンプルの間隙比は原位置状態と比較して小さくなる傾向が認められ、その程度は10%前後であった。GP サンプルの間隙比も原位置と比較して10%前後ばらついていたが、TB サンプルとは異なり原位置より若干緩くなる供試体も認められた。 V_s^* に代表される土粒子の微視的構造の乱れについては、やや細粒分が多いGL-16.5~17mの試料ではばらつきが大きかったものの、全体的にはGP サンプルの方がTB サンプルより乱れの程度は小さい様である。

一方、(b) の液状化強度曲線をみると、GP, TB の品質の差が強度にもたらす影響は小さいと考えられる。GL17~18.5mの試料では差が生じているが、TB 試料の採取位置の原位置せん断剛性率が高かったことから、その影響が

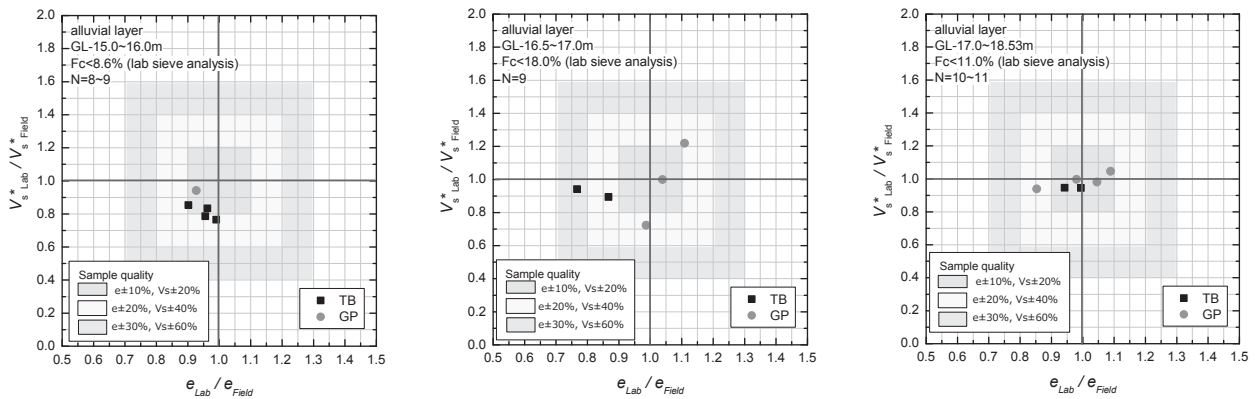


図7 (a) 沖積層採取試料の乱れの傾向

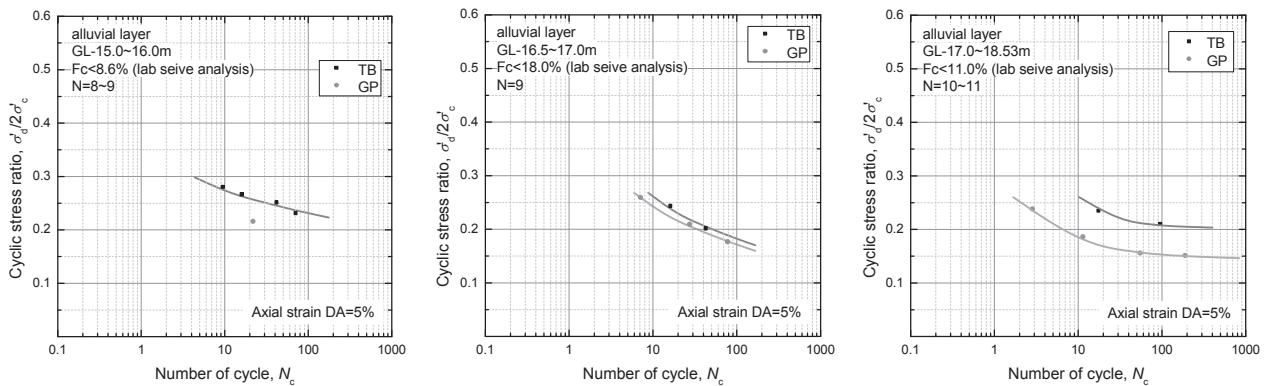


図7 (b) 沖積層採取試料の液状化強度曲線

研究速報
 表れていると考えられる。沖積層の簡易判定法（道路橋示方書）による実地盤の液状化強度 R_{L20} は 0.17~0.20 程度であり、実験結果との差は小さかった。

Yoshimi et al. (1994)¹ は、換算 N 値 10 程度の地盤ではチューブサンプリングでも、品質が良いと考えられる凍結サンプリングと同等の液状化強度が得られることを示している。今回の沖積地盤の N 値は 8~11 程度であるため、実験結果に及ぼす採取手法の違いの影響が表れにくかった可能性が考えられる。また、TB は密度化し構造が劣化する方に乱れており、これらが打ち消しあって強度にあまり乱れの影響が出なかった可能性がある。

図 8 は埋立層の結果である。(a) 品質評価の図より、GP は TB よりも図の中心に近くプロットされ、密度・微視的構造いずれにおいても GP が TB よりも乱れが少ない結果となった。また、いずれも構造強化の方に乱れを生じていた。

(b) の液状化強度をみると、GP、TB 試料いずれも R_{L20} は 0.3 以上となり、2011 年の地震で顕著な液状化が生じた地盤にしては液状化強度が非常に高い結果となった。サンプル数が少ないため、今後も継続した検討が必要である。

5. ま と め

本研究では、Gel-Push (GP) サンプリング手法の砂地盤での有効性について検討を行った。密度と土粒子構造の乱れに着目して、従来手法であるトリプルチューブ (TB) サンプリングと比較しながら乱れの評価を行った。また、品質の差が非排水繰返し強度に与える影響を検討した。

その結果、沖積層・埋立層とも、GP の乱れが TB より少ない傾向にあったが、その差は液状化強度に差を及ぼすほどではなかった。また、非常に緩い埋立層においては、GP、TB いずれも実地盤よりも過大と思われる強度を示した。

今後は、より幅広い密度 (N 値) の地盤での検討が必要と考える。

(2015 年 9 月 4 日受理)

参 考 文 献

- 1) Yoshimi, Y., Tokimatsu, K. and Ohara, J. : In situ liquefaction resistance of clean sands over wide density range, *Geotechnique*, Vol.44, No.3, pp.469-494, 1994
- 2) 島田徹也, 西村和貴, 砂川伸雄, 甲斐弘司 : サンプリング手

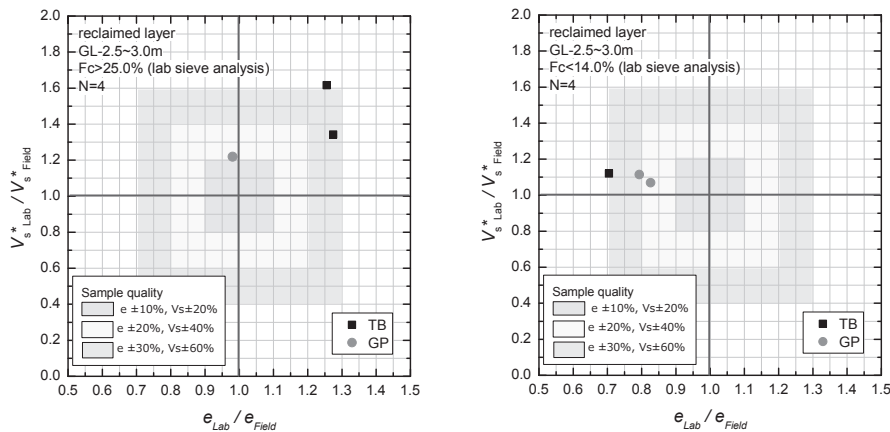


図 8 (a) 埋立層採取試料の乱れの傾向

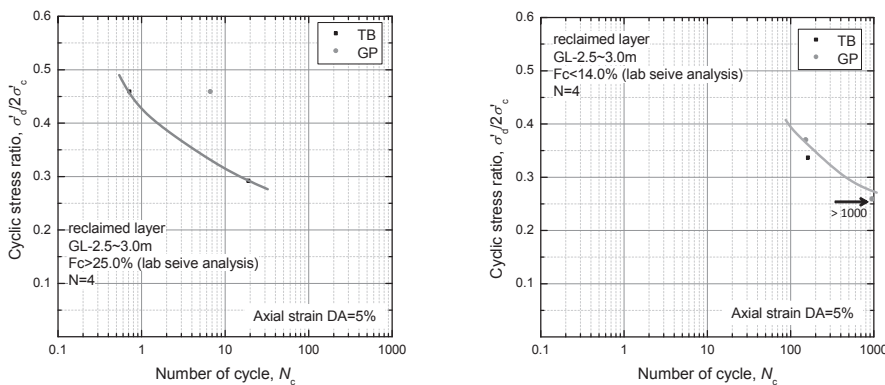


図 8 (b) 埋立層採取試料の液状化強度曲線

- 法による液状化強度試験結果事例について, 全国地質調査業協会, 「技術フォーラム 2013」長野, No.100, 2013
- 3) 酒井運雄: GP サンプルング, 地盤工学会誌, Vol.62, No.10, Ser.No.681, pp37-38, 2014
- 4) Nakai, S. and Sekiguchi, T. : Damage due to liquefaction during the 2011 Tohoku earthquake, Proc. of the International Symposium for CSMID, 1-8, 2011
- 5) 千葉市臨海開発部: 稲毛海浜ニュータウンのあゆみ, 1984
- 6) Jamiolkowski, M.B., Leroueil, S., Lo Presti, D.C.F. : Design Parameters from Theory to Practice, Proc. of the International Conference on Geotechnical Engineering for Coastal Development - Theory and Practice on Soft Ground, Vol. 2, 877-917, 1991