

サンプリングの泣き所も乱れの少ない方法で採取(GS サンプリング)

GS sampling: A sampling method that minimizes disturbance and compensates for weak point

平井孝治 (ひらい こうじ)
(株) アテック吉村 技術部長

規矩大義 (きく ひろよし)
関東学院大学 学長

大島昭彦 (おおしま あきひこ)
大阪市立大学大学院工学研究科 教授

利藤房男 (りとう ふさお)
応用地質(株)エンジニアリング本部技師長室 室長

1. はじめに

2011年東日本大震災以降、砂質土の液状化調査が増加している。本調査では室内土質試験に供するための乱れの少ない試料が必要となる。試料の採取方法は、一般的にロータリー式三重管サンプラー等が用いられている。しかし、こうした標準的なサンプリング方法では、礫当たり等で採取できなかつたり、動的試験に対して乱れの影響が出る場合があることが知られている。また、凍結サンプリングであれば動的試験に対しても乱れが少ないものの、非常に高価であり、多くの現場で調査をすることは経済的に難しい。

こうした中、GS サンプラーは液状化対策などで調査を行う場合にも高品質サンプラーとして適用事例が増えてきており、地盤工学会等の最近の研究委員会でも発表されている¹⁾²⁾。これは、GS サンプラーの先端ビットに改良を加えること等で適用土質が広範となり、さらに、採取の確実性・採取試料の品質などの点で比較的良好な結果が得られてきているからである。

本稿では、GS サンプラーの構造と特徴、サンプリングの泣き所と改良点、採取試料の品質と地盤工学会における研究委員会での採用事例について報告する。なお、サンプラーの名称のGSはGravelとSandからきており、GSサンプラーを用いたサンプリングを本稿ではGSサンプリングと呼ぶこととする。

2. GS サンプラーの構造と特徴

2.1 サンプラーの構造と各部の役割

GS サンプラーの構造は、図-1に示す外管と固定ピストン内臓の内管からなっている。サンプラーヘッドは内管ヘッド部と外管ヘッド部に分かれており、外管の回転が内管に伝わらないようになっている。内管は透明アクリル管を用い、内管内は固定ピストン式シンウォールサンプラーと同様に固定ピストンで真空に保ち試料の脱落を防いでいる。中間ロッド (=ピストンの心棒：六角形状) はボーリングマシン上部の檣まで伸ばして固定することで共回りを確実に防ぐ構造となっている。

さらに、掘削水の送水圧が直接ビット先端の地盤へ影響しないようビット側面に循環水の出口を設けている。

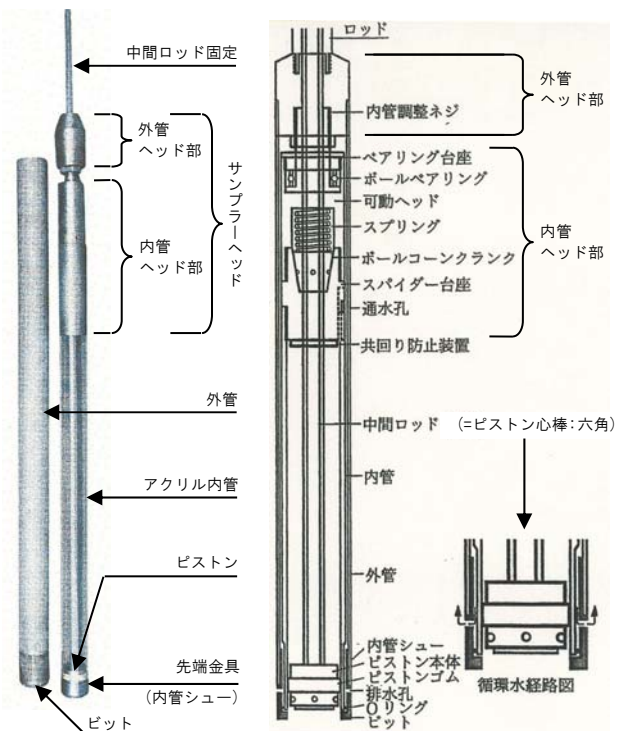
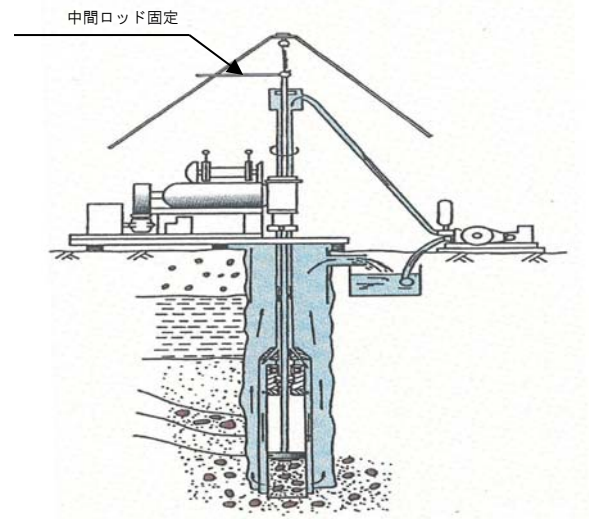


図-1 GSサンプラー構造図(下)と掘削概念図(上)
(GSサンプラーは、アテック吉村が開発、平成7年の「地盤調査法³⁾」に固定ピストン式二重管サンプラーとして掲載、改良を経て現在に至る)

内管先端部から循環水が内管側に回らないように内管先端シュー（先端金具）に溝を設けOリングをはめて外管との隙間を遮水している。

2.2 サンプラーの特徴

GS サンプラーおよびサンプリングの特徴として以下のことが挙げられる。

(1) 長所

- ①採取試料は透明なアクリル管へ収納され、試料採取後すぐに試料観察が可能である。
- ②対象地盤は粘性土・砂質土・礫質土をはじめ廃棄物や風化岩・破碎帯など幅広い土質に適応可能である。
- ③六角の中間ロッドを使用するため、例えば六角の一点を北に合わせて固定すれば北向きの定方位サンプリングが可能となる。地層傾斜の推定に寄与できる。
- ④ドライとウェットいずれのサンプリングも実施可能であり、泥水・泡・圧縮空気等が使用可能である。（廃棄物では有害物質の拡散を防ぐため圧縮空気を使用。）

(2) 短所

- ①中間ロッドの固定などを含めサンプラーのセッティングに若干時間を要する。
- ②作業手間と材料費からロータリー式三重管サンプラー等より高価となる。
- ③他のサンプラーに比べ、土質に応じた組み立て時の調整やサンプリング時の押し込み速度を調整するなど技術を要する。（経験して慣れる必要がある。）

3. サンプリングの泣き所と改良点

各種サンプリングの適用範囲イメージを図-2に示す。通常、粘性土であれば固定ピストン式シンウォールサンプラーによるサンプリング（図中：S サンプリングで表示）やロータリー式二重管サンプラーによるサンプリング（図中：D サンプリングで表示）、砂質土であればロータリー式三重管サンプラーによるサンプリング（図中：T サンプリングで表示）が行われる。礫を含む粗粒土となると上記方法では困難で凍結サンプリングなどに頼らざるを得ない。近年の液状化調査で問題となるのが、細粒分を多少含む緩い砂質土のサンプリングで、その困難性からサンプリングの泣き所となっている。

その要因の一つを図-3の上図に示す。一度サンプラーに入った試料に対し、引き揚げ時にサクシオンが働き脱落することがある。地盤が緩いと外管に孔壁地盤が寄ってきてこの度合いが強くなる。経験上この現象は、細粒分が10%を超えると増すようである。

当初、GS サンプリングにおいても上記現象は見られた。図-3上図のとおり、ロータリー式三重管サンプラーと同様の発想で採取試料が内管内で詰らない様に内管内径よりビット内径を小さくしていた。このため採取試料と内管との間に隙間ができる。隙間があるとピストン内の密閉度が低くなりサクシオンの影響を受けやすいことになる。

この現象を改善するため、図-3下図に示す二点の改良を行った。その一点は、ピストン内の密閉度を高める

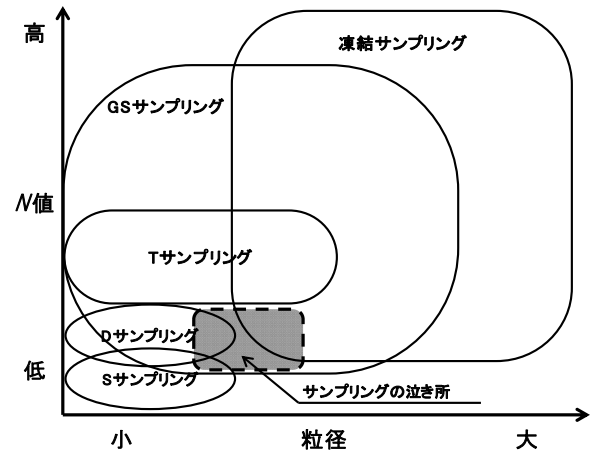


図-2 各種サンプリングの適用イメージ図

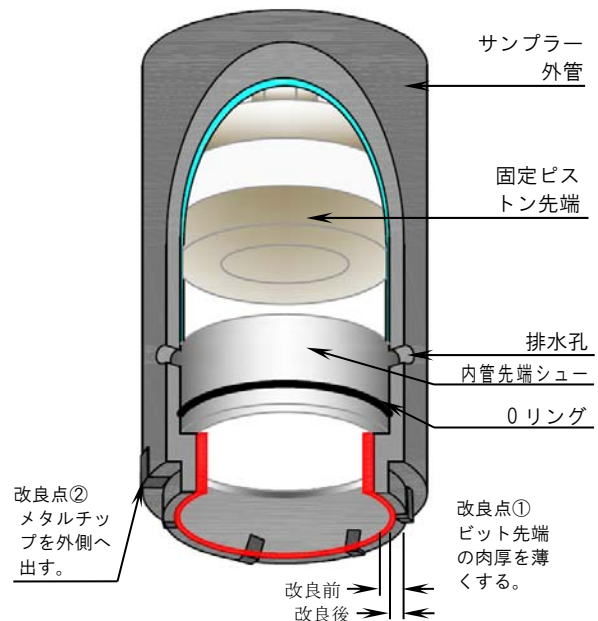
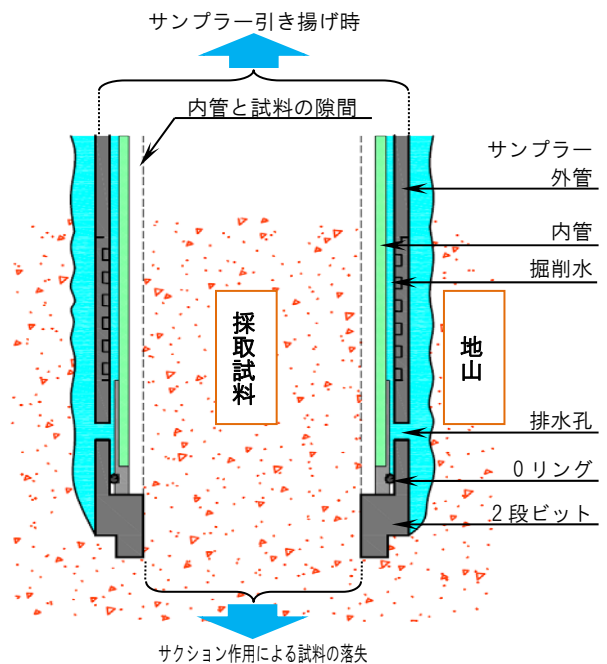


図-3 サンプラーの問題点（上）と改良点（下）

ため、採取試料径と内管内径がほぼ等しくなるように先端ビットの肉厚を薄くした。もう一点は、孔壁地盤と外管との離間を広げ孔壁が容易に寄ってこないように上段ビットのメタルチップを少し外側に出した。こうした改良によって細粒分を含む緩い砂質土でも採取率が格段に向上した。

GS サンプラーは、もともと礫質土の採取を主眼に開発したものである。その後種々の改良を重ねるとともに、近年の液状化調査拡大に伴い上記改良を行って、適用範囲を広げたものである。

4. 採取試料の品質と地盤工学会における事例

4.1 採取試料の品質について

サンプリングに要求される事項としては、まず最も基本的なことであるが「採取できること」が挙げられる。多少乱れていてもいいからどんな地盤材料か確認したい場合もある。次に要求されるのは、「採取試料の品質」で、「乱れの少ないこと」である。乱れの少なさをどう評価するかについては、試料の採取率や見た目の試料状態などの目視確認と既存の試験値との質的な物性対比などから判断することになる。

液状化試験などの動的試験に際しては、質的な品質が特に重要となる。見た目でも異常がなくてもサンプリング時の振動やせん断などで微視的に乱れることで試験結果に影響を与える。こうした乱れの影響を表すものとして原位置での PS 検層から求めたせん断剛性率とサンプリング試料の室内動的変形試験から求めたせん断剛性率を比較する方法がある⁴⁾。

以下に、主題の「泣き所の採取試料の品質」について、上記を踏まえて示す。

4.2 地盤工学会における研究委員会での採用事例

最近、地盤工学会の研究委員会で採用された GS サンプリングの事例を挙げる。その第一として、平成 24～26 年度実施の「各種サンディング技術の液状化調査手法としての適用性に関する研究委員会（地盤工学会関東支部、委員長：規矩大義）」において、平成 25 年 12 月に千葉県香取市佐原河川敷緑地で行われた地盤調査一斉試験の基準ボーリングに採用され、細粒分を含む砂質土の GS サンプリングを行った^{1) 2)}。

第二の事例として、平成 25～27 年度実施中の「南海トラフ巨大地震に関する被害予測と防災対策研究委員会（地盤工学会関西支部、委員長：三村衛、部会 1 主査：大島昭彦）」において、平成 26 年 6 月に大阪市住之江区で行った液状化調査で GS サンプリングが採用された。住之江では、東日本大震災で液状化した浦安と同様の細粒分を多く含む緩い砂質土の採取に成功した。

GS サンプリング試料の見た目の試料状態の例として、香取で採取した試料を写真-1 に示す。クラックや共回りによるねじれ等の乱れはほとんどなく良好に採取できていることが確認できる。また、写真-2 には住之江で採取した試料のサンプラーから抜き出した試料の状

態を示す。同じく乱れなどの様子は見られない。（写真-2 の左から 3 番目の試料に乗せている欠片は切り出し時にほぐれたものである。）

動的試験に対する品質として、香取と住之江のボーリング柱状図と GS サンプリングによる試料の物性値をそれぞれ図-4・表-1 に示す。香取では 3 深度①②③、住之江では 2 深度④⑤の試料で動的変形特性試験を行った。いずれも沖積層で細粒分 10%以上を含み N 値 4～13 の比較的緩い砂質土である。特に住之江では細粒分 40%以上を含み試料④では礫や貝殻の混入も見られた。試料⑤では細粒分が多く工学的分類上粘性土の領域に入る。

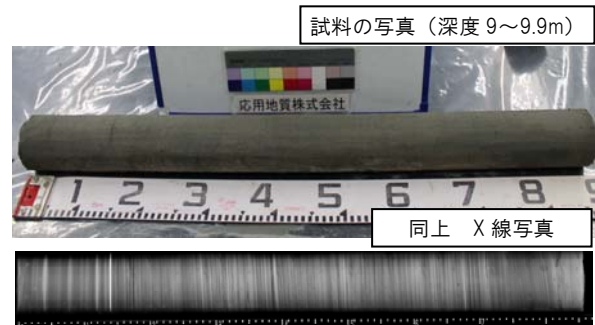


写真-1 GS サンプリング試料の外観写真と X 線写真 (香取)



写真-2 GS サンプラーから抜き出した試料(住之江)

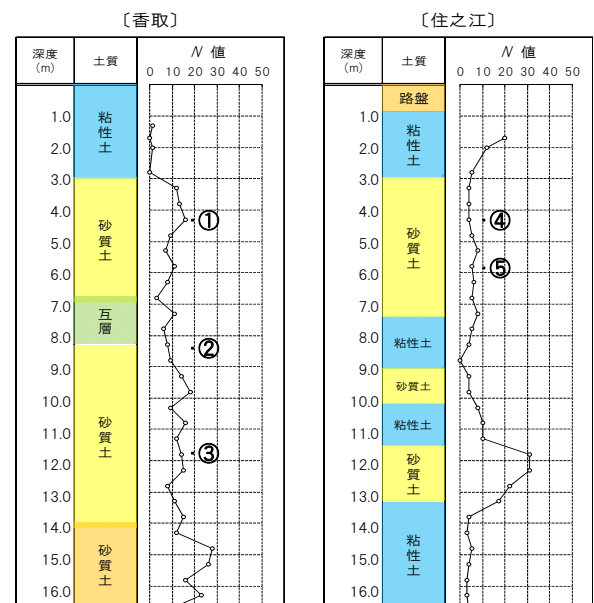


図-4 ボーリング柱状図と採取試料深度^{1), 2)} (①~⑤)

表-1 採取試料の物性値^{1), 2)}

場所	試料	N値	PS検層による せん断剛性率 GOF(MN/m ²)	室内試験による せん断剛性率 GOL(MN/m ²)	細粒分 含有率 (%)
香取	①	12.5	24.0	25.5	12
	②	8.5	39.0	37.4	17
	③	13.0	39.0	40.1	20
住之江	④	4.0	42.5	38.6	45(シルト34)
	⑤	5.0	42.5	47.4	70(シルト62)

なお、表中のPS検層はGSサンプリングと同一孔で実施しており、室内動的変形特性試験（地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験）は以下の条件で行っている。

室内動的変形特性試験の試験条件等

- ・試験方法：JGS 0542
- ・ひずみ測定：(香取) LVDT
(住之江) ギャップセンサー
- ・せん断剛性率を評価したひずみレベル： 1×10^{-6}

PS検層から求めたせん断剛性率の値(GOF)と室内動的変形特性試験から求めたせん断剛性率の値(GOL)の比較を図-5にまとめた。両者の間には良好な対応関係が認められ、せん断剛性率の比(GOL/GOF)で見ると概ね0.9~1.1の領域に入る結果であった。PS検層の結果が原位置の初期剛性率を表していると考え、GSサンプリングで採取した試料の微小ひずみレベルでの剛性率はこれに近いことから、採取試料の質的な品質についても良好であると考えられる。

以下、写真-3に住之江での実際のGSサンプリング作業状況を示す。試料の採取作業は、砂質土のサンプリングに用いられるロータリー式三重管サンプラーを使う場合と基本的に同じである。あらかじめボーリングマシンで採取開始の深度まで掘進し、GSサンプラーをボーリングマシンにセットして掘進しながら採取するのである。



写真-3 GSサンプラーの挿入状況

5. おわりに

本稿では近年増えている液状化調査で活躍中のGSサンプラーについて、構造・改良点・採用事例を報告したものである。現在、本事例に加えて浦安での液状化調査でも採取実績を挙げつつあることを追記する。

GSサンプラーは、本稿で紹介した事例以外に、沖縄のサンゴ混じり土⁹⁾等の特殊地盤にも対応するなど適用範囲が広い。しかし、品質を含めてすべての地質・土質に対応しているわけではない。今後とも改良の余地は残されている。仮に本稿で示すように品質の良いものであるのなら、広く普及されていきやすいように努めたいと考える次第である。また、今後こうした地盤調査技術が次世代技術者に引き継がれることを心から願っている。

これまでGSサンプラーを使っていたいただきました皆様と本稿で載せさせていただきました地盤工学会研究委員会関係者の皆様に感謝の意を表するものです。

参考文献

- 1) 利藤房男・規矩大義・信本実：千葉県香取市佐原河川敷におけるサウンディング現地実験，第49回地盤工学研究発表会平成26年度発表講演集，pp.225~226，2014。
- 2) 利藤房男・規矩大義・信本実：千葉県香取市佐原河川敷に分布する沖積砂質土の液状化特性，土木学会第69回年次学術講演会平成26年度発表講演集，III-033，pp.65~66，2014。
- 3) 地盤工学会：地盤調査法，pp.138，pp.183，2005。
- 4) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，pp.218，2013。
- 5) 利藤房男・与那嶺満・紫和健・荻定治・高石信・野瀬晴生：サンゴ混じり土の強度・液状化特性，第48回地盤工学研究発表会平成25年度発表講演集，pp.867~868，2013。

(原稿受理 ...)

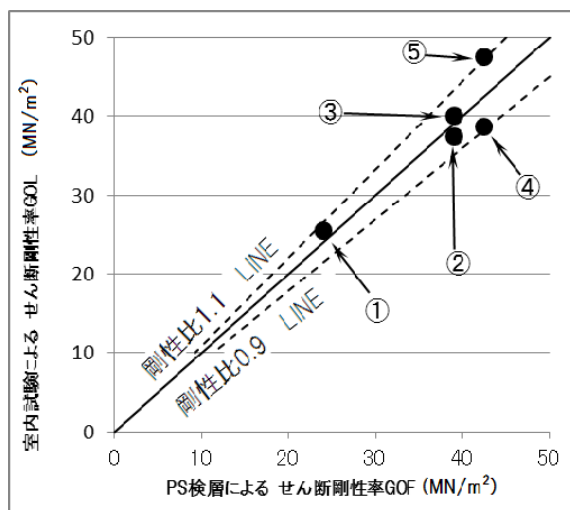


図-5 PS検層と動的変形特性試験のせん断剛性率の比較