

乱れの少ない試料のサンプリング技術

利藤房男*

Sampling Technique for Undisturbed Samples

Fusao RITO*

Abstract

According to the Japanese Geotechnical Society Standard, the only sampling methods for undisturbed samples for unconsolidated soil are thin-walled tube sampling with fixed piston, rotary double-tube sampling and rotary triple-tube sampling. The soils to which these sampling methods can be applied are limited. In particular, it is difficult for standardized samplers to collect high-quality undisturbed samples of very hard stiff clay and coarse soil in general. For this reason, a wireline sampler with a special structure developed by the Port and Airport Research Institute was applied to deep hard stiff clay in the great-depth soil investigation at Kansai International Airport. The quality of the samples collected at that time was evaluated by volume strain change when reconsolidating up to the effective overburden pressure by a constant strain rate consolidation test. As a result, the samples were determined to be in a good condition despite the large stress relief. In addition, samples not disturbed by a GS sampler (rotary double-tube sampler with fixed piston) were collected from various coarse soils such as sandy soil, boulder mixed gravel, and coral pebble mixed soil distributed in Okinawa. X-ray photographs of the samples showed that there was no crack due to disturbance, so the natural deposition condition was clearly observed. Furthermore, it was confirmed that the collected samples were of fine quality by evaluating the results of triaxial compression tests and cyclic triaxial compression tests on the samples. In this way, technological improvements have been made each time a difficulty in sampling has been encountered, but these technologies have not yet been sufficiently generalized and disseminated. In the future, it will be necessary to generalize and disseminate the technique of collecting samples in the undisturbed condition to very stiff clay and coarse-grain soil in general. If these samplers are accepted by the Japanese Geotechnical Society Standard, it will greatly contribute to the establishment of a sampling system for all types of unconsolidated soils.

Key words: Undisturbed sample, Sampling, Stiff clay, Sandy soil, Boulder mixed gravel, Coral pebble mixed soil

要 旨

未固結土を対象とした乱れの少ない試料のサンプリング方法は、地盤工学会基準では固定ピストン式シンウォールサンプラー、ロータリー式二重管サンプラー及びロータリー式三重管サンプラーだけで、その適用土質の範囲は限定的である。特に、非常に硬質な粘性土や粗粒土全般を対象とした品質の高い乱れの少ない試料採取は、基準化されたサンプラーでは困難である。このため、関西国際空港の大深度地盤調査では、大深度硬質粘性土を対象に、港湾空港技術研究所が開発した特殊な構造の港研ワイヤーライン方式のサンプラーを適用することになった。この時採取した試料に対し、定ひずみ速度圧密試験により原地盤有効応力まで再圧密した時の体積ひずみで試料品質を評価したところ、応力解放が大きいにもかかわらず良好な試料と判定された。また、砂質土、玉石混じり砂礫、沖縄に分布するサンゴ礫混じり土など各種の粗粒土を対象に、GS サンプラー（固定ピストン式ロータリー二重管サンプラー）による乱れの少ない試料を採取した。採取試料の外観（X線写真）では、乱れに伴う亀裂が無いことや自然な堆積状況が明瞭に観察された。更に、採取した試料の三軸圧縮試験や繰返し三軸試験結果を評価することで、良好な試料が採取できていることが確認できた。このように、サンプリングに対する困難な課題に直面するたびに技術の向上が図られてきたが、これら技術の一般化や普及活動が不十分である。今後は、非常に硬質な粘性土や粗粒土全般に対する乱れの少ない試料の採取方法をより一般化して普及させることで、地盤工学会基準のサンプラーとして認められれば、未固結土すべてを対象としたサンプリングの体系構築に大きく貢献できる。

キーワード：乱れの少ない試料、サンプリング、硬質粘土、砂質土、玉石混じり砂礫、サンゴ礫混じり土

*応用地質（株）技術本部

*OYO Corporation Engineering Headquarters

1. はじめに

ボーリング調査は、地盤を掘削して原位置で地盤の物性を直接調査したり、サンプリングにより土質試験用の試料を採取するなど、地盤調査の最も根幹をなす技術である。特に、ボーリングにより乱れの少ない試料を採取する技術は重要で、採取時に乱れが大きくなると地盤の強度を過小評価することになり、その結果建設工事費全体が高くなるのが指摘できる¹⁾。本論文では、最初に地盤工学会で基準化されているサンプリング方法と課題について説明する。その後、基準化されているサンプリング方法では採取困難な地盤からのサンプリング技術を二つ取り上げ、そのサンプラーの構造と特徴を取りまとめるとともに、採取した試料の品質に関する評価を行い、これらサンプリング技術の有効性を示す。最後に、サンプリング技術は今後とも引き継いでいくべき重要な現場技術であることを考慮し、今後のサンプリング技術の展望をまとめる。

2. 基準化されているサンプリング方法と課題

地盤工学会で基準化されているサンプラーを表1に示す²⁾。この内、ボーリング孔を用いた未固結の土試料を対象としたサンプリング方法は、固定ピストン式シンウォールサンプラー、ロータリー式二重管サンプラー及びロータリー式三重管サンプラーの3種類である。

固定ピストン式シンウォールサンプラーは、通常はエキステンションロッド式サンプラーを用いて軟質な粘性土を対象として使用されてきたが、最近では水圧式サンプラーが用いられることが多くなり、サンプリングの質が向上するとともに、やや硬質な粘性土の採取が可能となった。

ロータリー式二重管サンプラーは、N値が5~15程度の硬質粘性土を対象としたサンプリング方法である。このサンプリング方法はデニソン式サンプラーとも呼ば

れ、固定ピストン式シンウォールサンプラーに比べて、オペレータの熟練度により採取試料の品質に差が生じやすい。粘性土(N値15程度まで)の固さのサンプリング方法は、固定ピストン式シンウォールサンプラー及びロータリー二重管サンプラーにより、現状ほぼ技術的に確立されている。

しかしながら、関西国際空港に代表される大深度で硬質な粘性土のサンプリングに対しては、基準化されたサンプラーでは対応できない状況が発生した。これに対し、港湾技術研究所(現在の港湾空港技術研究所)において港研ワイヤーライン方式のサンプラーが開発されるに至り、実務に適用されることとなった。関西国際空港プロジェクトでは、1981年から行われた関西国際空港一期地区工事の地盤調査から、更に1994~1995年の二期地区工事の調査に至るまで、港研ワイヤーライン方式のサンプラーにより、最大深度400mまでの粘性土を対象にオールサンプリングが行われ、その試料を用いた各種圧密試験結果をもとに、洪積粘性土層の長期地盤沈下予測が行われた。

ロータリー式三重管サンプラーは、地盤工学会基準では「硬さが中位以上の粘性土又は締まりの程度が中位以上の砂質土を対象」と記載されており、長年にわたり砂質土や砂礫のサンプリングに適用されてきた。しかしながら、このサンプラーは、図1に示すように³⁾、内管のシューが外管先端よりも飛び出た構造であることから、砂や礫が先端シューに当たると乱れを生じるため、構造的に砂質土や砂礫の採取には適していない。現状、砂質土や砂礫を対象としたチューブ式サンプラー(主に、ロータリー式三重管サンプラーを指しているものと考えられる)を用いたサンプリングの質は、凍結サンプリングの質よりもかなり悪いという印象が持たれている。これは、多くの地質調査業者がロータリー式三重管サンプラ

表1 基準化されたサンプラーの構造と適用地盤の関係²⁾

サンプリング法	サンプラー カテゴリー	構造	地盤の種類													
			粘性土			砂質土			砂 礫		岩 盤					
			軟質	中くらい	硬質	ゆるい	中くらい	密な	ゆるい	密な	軟岩	中硬岩	硬岩			
			N 値の目安													
固定ピストン式シンウォールサンプラー(JGS1221)	水圧式	A	単管	◎	◎	○,◎ ¹⁾	○,◎ ¹⁾	◎ ¹⁾	◎ ¹⁾							
	エキステンションロッド式	A	〃	○	○	○										
ロータリー式二重管サンプラー(JGS1222)	A	二重管		◎	○											
ロータリー式三重管サンプラー(JGS1223)	A	三重管		◎	◎	○	◎	◎			○					
ロータリー式スリーブ内蔵二重管サンプラー(JGS1224)	A,B	二重管	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	◎	◎		
ブロックサンプリング(JGS1231)	A	-	◎	◎	◎	○	○	◎			○	○				
ロータリー式チューブサンプリング(JGS3211)	A	多重管			○									◎	○	

◎適している, ○適用可能, 1)小径倍圧型水圧式サンプラー

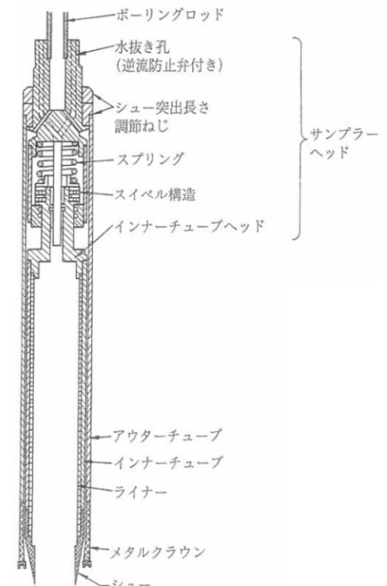


図1 ロータリー式三重管サンプラーの構造³⁾

一を長年使用してきた代償と考えられる。これに対し、砂質土のみならず砂礫にも適用できるサンプラーで、固定ピストン式のロータリー二重管タイプの特殊なサンプラー（GS サンプラーと呼ぶ）が20年以上前に開発されていたが、これまでは限定された現場でしか使用されてこなかった。ところが、2011年の東日本大震災で東京湾岸域を中心に発生した液状化被害の調査においてGS サンプラーが活用され、砂質土に対して有効なサンプラーであることが確認された。更に、沖縄地方に多く分布するサンゴ礫の混じった砂質土に対しても、高品質なサンプラーであるとの評価を得るようになってきた。

以下には、港研ワイヤーライン方式サンプラー及びGS サンプラーの特徴を述べるとともに、これまで実施した様々な現場のデータを基に、試料の品質を考察することで、これらのサンプラーの有効性を示す。

3. 港研ワイヤーライン方式のサンプラー

3.1 サンプラーの概要

港研ワイヤーライン工法は、深層岩盤コアリング専用が開発されたワイヤーラインコアラーの原理を応用して、軟弱粘性土から岩盤まで幅広い種類の土質に適用できるように改良開発されたものである。この方式の原形となった岩盤用ワイヤーラインコアラーと異なる特徴は、軟弱粘性土及び硬質粘性土が乱れの少ない状態で採取できる点にある。すなわち、剛性の高いワイヤーラインロッド（ボーリングロッド）内に各種の土質に適合した着脱自由なサンプラーをセットし、乱れの少ない試料の採取が可能となっている。図2に港研ワイヤーライン工法のシステムを⁴⁾、図3、表2にサンプラーの構造及び諸元を示す。これらのサンプラーは、対象地盤の状態により使い分けられる。粘性土（一軸圧縮強さ $q_u \leq 2\text{MN/m}^2$ ）には、水圧式固定ピストンサンプラーを用いて、ポンプの送水圧によりサンプラーの貫入を行う。硬質粘性土（一軸圧縮強さ $q_u \geq 2\text{MN/m}^2$ ）には、サンプラーの外管のみを回転させて周囲の土を削りながらサンプリングするロータリー式二重管サンプラー（デニソン

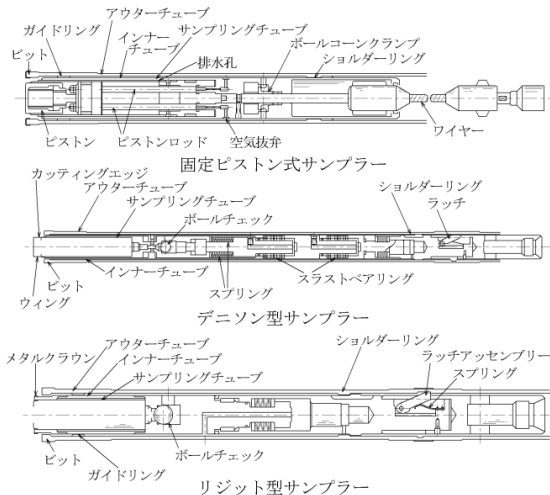


図3 港研ワイヤーライン方式のサンプラーの構造

表2 使用サンプラーの諸元

対象土層	機種	サンプラー		特徴	材質	サンプリングチューブ					備考
		外径 (mm)	長さ (mm)			内径 (mm)	肉厚 (mm)	刃先角度 (度)	内径比 (%)	長さ (mm)	
軟質粘性土	固定ピストン式薄肉サンプラー	108	4358 (2753)	水圧式サンプラー	ステンレス SUS-304	90	2	6	0	1250	
軟質粘性土	固定ピストン式厚肉サンプラー	108	4358 (2753)	水圧式サンプラー	同上	81.1	4	6	0	1170	刃先部取替可能
硬質粘性土	デニソン式サンプラー	108	2850	刃先突出量 20~50mm	同上	81.1	4	6	0.5	1000	刃先部取替可能
硬質砂質土 礫質土	リジッドサンプラー	108	2875		同上	90	2	-	-	1000	

式サンプラー)を用いる。

3.2 採取試料の品質に関する考察

大深度-400m から採取した試料は、ボーリングによる機械的な攪乱のほか、大深度から取り出すことによる応力開放の影響を受ける。前者の攪乱はサンプリング技術の向上である程度回避できるが、後者の影響は避けようがない。このため、圧密試験結果の解釈に際しては、試料の品質を定量的に評価する必要がある。

試料の品質評価は定みずみ速度圧密試験結果に基づき、表3に示す Andersen and Kolstad⁵⁾による方法（原地盤の有効応力まで再圧密した時の体積ひずみ ϵ_{v0} で評価）及び表4に示す Lunne ほかに⁶⁾による方法（原地盤の有効応力まで再圧密した時の間隙比の変化 Δe と、初期間隙比 e_0 の比 $\Delta e/e_0$ で評価）を用いて実施した。

表3 再圧密時の体積ひずみ (ϵ_{v0}) と試料の品質⁵⁾

ϵ_{v0} (%)	試料の品質
<1	非常に良い (very good)
1~2	良い (good)
2~4	まあまあ (fair)
4~10	悪い (poor)
>10	非常に悪い (very poor)

表4 再圧密時の間隙比変化率 ($\Delta e/e_0$) と試料品質⁶⁾

Overconsolidation ratio	$\Delta e/e_0$			
	Very good to excellent	Good to fair	Poor	Very poor
1-2	<0.04	0.04-0.07	0.07-0.14	>0.14
2-4	<0.03	0.03-0.05	0.05-0.10	>0.10

For particular clay multiply $\Delta e/e_0$ by $e_0/(1+e_0)$ to get the criteria in terms of ϵ_{v0}

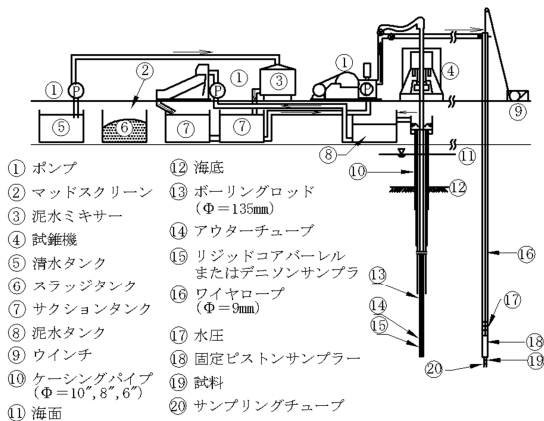


図2 港研ワイヤーライン工法のシステム⁴⁾

関西国際空港二期地区の深度-400m ボーリング (港研ワイヤーライン工法で施工) で採取した乱れの少ない試料を用いて実施した定ひずみ速度圧密試験結果から、 ϵ_{v0} 、 $\Delta e/e_0$ を求め、図4に深度分布図を、図5に過圧密比 (OCR) との関係をもとめた⁷⁾。なお、サンプリング方法は、深度-150m 付近までは水圧式固定ピストンサンプラーを、それ以深にはロータリー式二重管サンプラーを用いている。図4によると、 $\epsilon_{v0}=2\sim 4\%$ 、 $\Delta e/e_0=0.04\sim 0.07$ と良質試料の範囲にほぼ収まっているとともに、深度的にもほぼ一定の試料品質を有しており、サンプリング方法の違いによる影響もあらわれていない。また、図5からは、どの試料も ϵ_{v0} 、 $\Delta e/e_0$ の値に関係なく、過圧密比はほぼ一定である。試料の品質が圧密降伏応力に影響しているとすれば、 ϵ_{v0} 、 $\Delta e/e_0$ が大きくなるにつれ圧密降伏応力は低下するはずである。したがって、今回の試料品質の範囲内では、乱れの影響が圧密降伏応

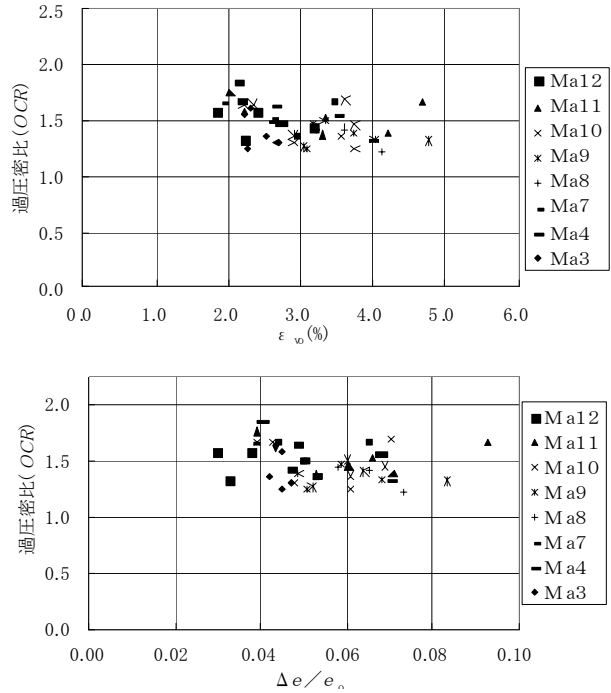
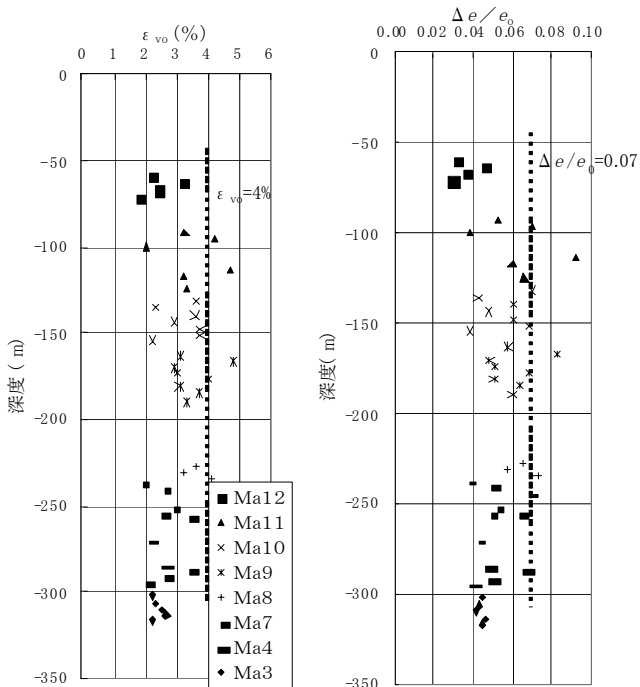


図5 過圧密比 (OCR) と ϵ_{v0} 、 $\Delta e/e_0$ の関係⁷⁾



注) Ma は大阪湾に分布する海成粘土層で下部から順に番号がふられている。

図4 ϵ_{v0} 、 $\Delta e/e_0$ 深度分布図⁷⁾

力の値にはほとんど影響していないと考えられる。

このような検討結果ならびに他社が実施した大深度静的コーン貫入試験と圧密試験の比較評価⁷⁾を総合して、港研ワイヤーライン方式のサンプラーで採取した試料の品質は、応力解放が大きいにもかかわらず良好で、関西国際空港の長期沈下予測のために実施された圧密試験の信頼性は高いと評価された⁷⁾。

4. GS サンプラー

4.1 サンプラーの概要

GS サンプラーの構造は図6に示すように⁸⁾、外管と固定ピストン内蔵の内管からなっている。サンプラーヘッドはインナーチューブヘッド部とアウターチューブ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、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を使用することで試料の脱落を防ぐ構造となっ

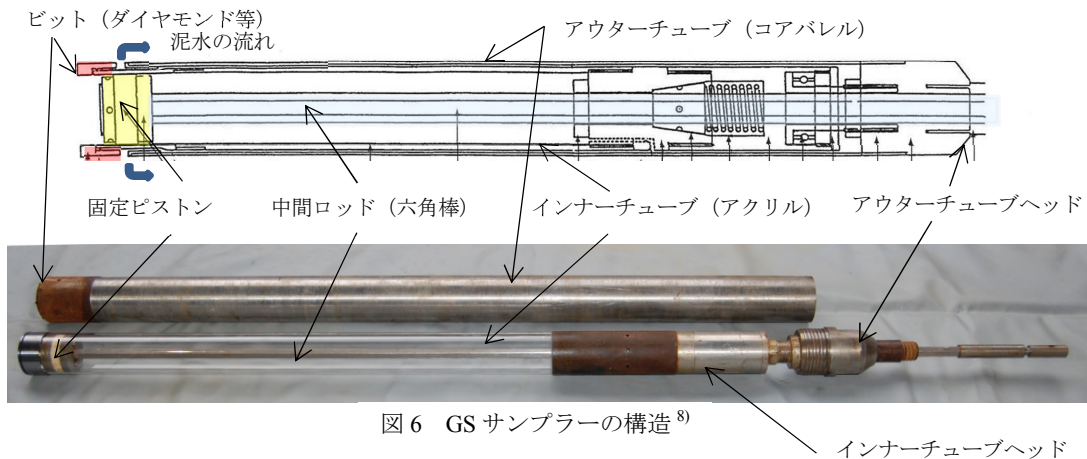


図6 GS サンプラーの構造⁸⁾

ている。中間ロッド（六角形状のピストンの心棒）はボーリングマシン上部の櫓まで伸ばして固定することで、共回りを確実に防ぐ構造である。更に、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。また、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。この循環水の排出経路の構造は、ダム岩盤の高品質サンプリングとして使用されている低送水量低給圧工法（LWLP 工法）⁹⁾と基本的には同様な構造である。

GS サンプラーの長所は、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こと、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・破砕帯など幅広い土質に適応可能であること、③六角の中間ロッドを使用するため、六角の一点を北に合わせて固定すれば北向きの方位サンプリングが可能となり地層傾斜が推定できること、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ことなどがあげられる。短所は、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こと、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より高価となること、③他のサンプラーに比べ、土質に応じた組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熟練した技術を要することなどがあげられる。

4.2 採取試料の品質に関する考察

日本国内の3地区（千葉県香取市、兵庫県洲本市、沖縄県宮古市）で実施したGSサンプリングをもとに、採取試料の品質を検討した。香取市では沖積砂質土を、洲本市では洪積玉石混じり砂礫を、宮古市ではサンゴ礫混じり土を対象とした。

4.2.1 千葉県香取市

ボーリング調査は、最初に深度-20mまで0.5mピッチで標準貫入試験を実施し、その孔を用いてPS検層を1.0mピッチで実施した。その後、3m程度ボーリングマシンを移動させ、GSサンプラーを用いて、沖積砂質土を対象として、乱れの少ない試料を9本採取した。

ボーリング調査結果を図7に示す⁸⁾。表層3mは軟質な沖積粘性土（A_{C1}）からなり、その下位は沖積砂質土（A_{S1}、A_{S2}及びA_{S3}）が主体で、深度-7~8m付近には砂質土と粘性土の互層（A_{SC}）が分布している。サンプリング対象とした砂質土は、細砂主体で粒径が均一、N値は5~20程度である。

GSサンプリングで採取した9本の試料採取率は、ほぼ100%であった。採取した試料のX線写真を図8に示す⁸⁾。X線写真からは、サンプリングの乱れに伴う割れ目はみられず、沖積砂質土の堆積状況を示す縞状の構造

が明瞭に認められ、良質な試料が採取できていることが確認できる。

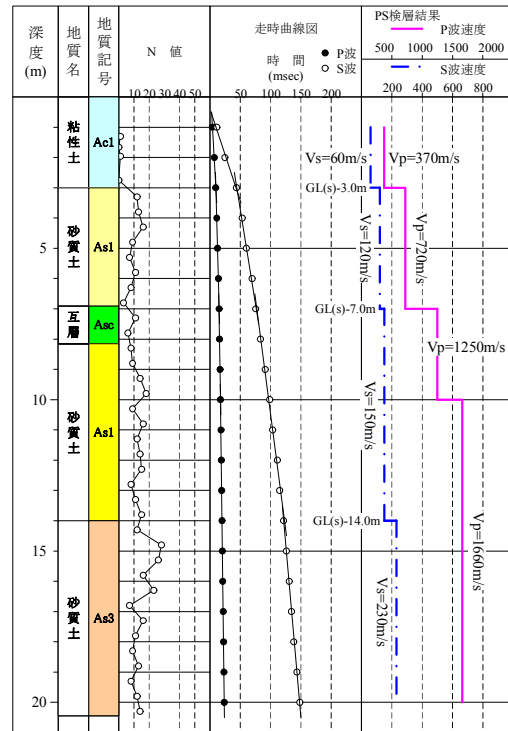


図7 ボーリング調査結果⁸⁾

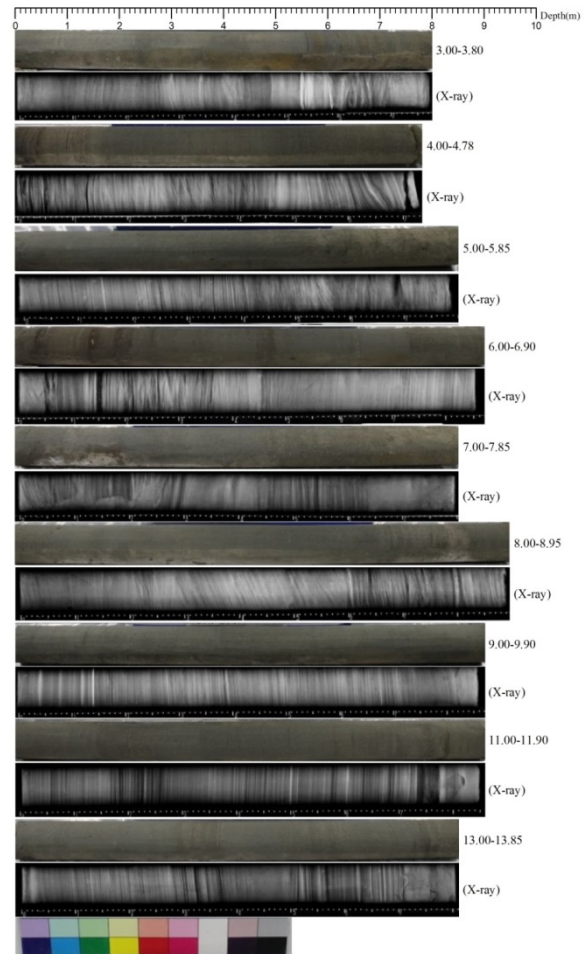


図8 採取した試料のX線写真⁸⁾

採取した試料を用いて、地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験を実施した。その結果を図9に示すとともに⁸⁾、試験から得られたせん断剛性率とPS検層から算定したせん断剛性率の関係を図10に示す⁸⁾。なお、図10には関西地区で実施した同様の結果を追加している¹⁰⁾。これによると、両者の関係はほぼ1:1の関係にある。限られた試験結果からではあるが、PS検層が原地盤でのせん断剛性率を示していると考えられるならば、GSサンプリングの試料の品質は原地盤とほぼ同等な良好な状態にあると判断される。

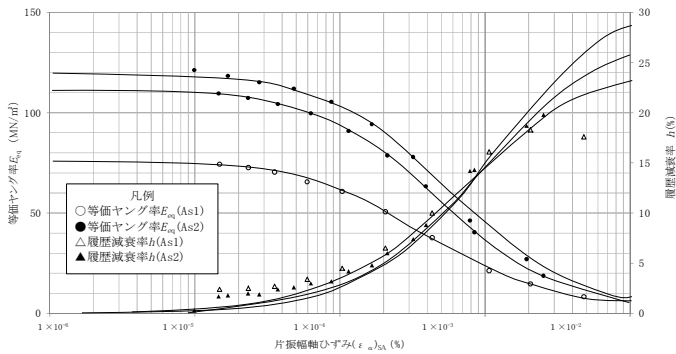


図9 繰返し三軸試験結果⁸⁾

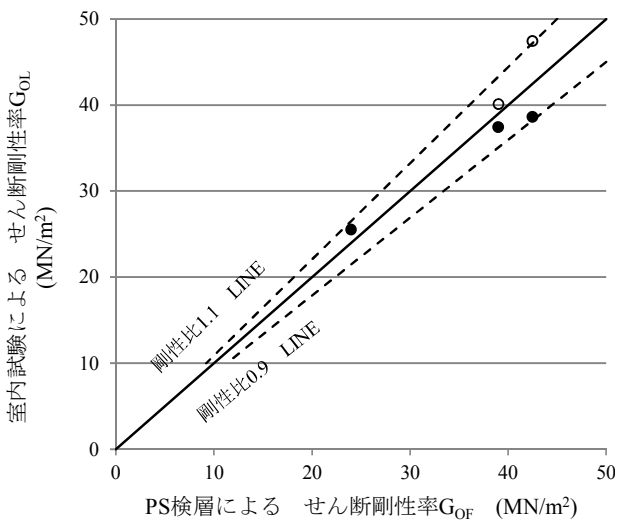


図10 せん断剛性率 G_0 の比較⁸⁾

4.2.2 兵庫県洲本市

本地区には、海峡を横断する長大橋の建設が予定されていた。地質的には、沖積層の下位に洪積層の玉石混じり砂礫層が分布しており、この層が長大橋基礎の支持層として適しているかどうか問題となった。このため、玉石混じり砂礫層の力学特性を把握する目的で、含まれる玉石の大きさを考慮して大口径（直径20cm）の乱れの少ない試料をGSサンプラーにより採取した。なお、使用した内管の亚克力管は、直径20cmの既製品が存在しないため、特注により製作した。

採取した試料の代表的な写真を図11に示す⁸⁾。この

写真からは、硬質な玉石がサンプラーにより円形に切断され、玉石の周辺の基質に乱れがみられないことから、乱れの少ない状態で試料が採取されていることが確認できる。



図11 採取した試料の代表的写真⁸⁾

4.2.3 沖縄県宮古市

沖縄県宮古市のある琉球諸島の海底土は、現世サンゴ礁やサンゴの死骸等からなる石灰岩層のような硬質の地盤と沖積軟弱地盤が存在している。沖積軟弱地盤は、一般的にサンゴ礫混じり土と呼ばれるものである。波の静かなラグーン内では礁縁から運ばれた塊状のサンゴ片を基盤にして、波に弱く真水に比較的強い枝サンゴの生息が活発となり、生長した枝サンゴの上に陸上から運ばれるサンゴ片が沈降し、枝サンゴ間に堆積していく。このような過程を長年繰返してサンゴ礫混じり土層が形成される。このため、サンゴ礫混じり土は枝サンゴ礫を多量に含有し、枝サンゴ片の間に細粒土が緩く詰まった状態で存在している（図12参照）。

宮古市平良港の水深約10mの海底のサンゴ礫混じり土を対象として、GSサンプラーを用いて乱れの少ない試料の採取を行った。本地区のサンゴ礫混じり土は、細砂～中砂を主体として部分的にサンゴ礫を点在する砂質土層と、径40～50mmのサンゴ礫を混入し基質はシルト質細砂である砂礫層に大別される。N値は、砂質土層で20前後、砂礫層ではかなりばらつくが概ね10～30である。試料は、サンゴ礫混じり土の砂質土を8本、礫質土を14本採取した。サンゴ礫が硬質であることから、先端のビットにはダイヤモンドビットを使用した。1試料当たりの採取時間は、概ね2～3時間を要したが、試料採取率は、ほぼ100%であった。採取した試料の代表

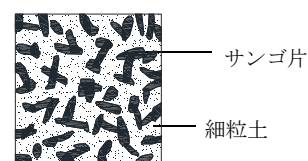


図12 サンゴ礫混じり土の特徴

的な外観写真と X 線写真を図 13 に示すが⁸⁾、大型の硬質なサンゴ礫がきれいに円柱状に切削されていることが観察できるとともに、X 線では、サンゴ礫の堆積状況が明瞭に観察できる。

GS サンプラーを用いて採取した乱れの少ない試料の三軸圧縮試験結果 (CUB 条件) を、表 5 にまとめた¹¹⁾。この表には、N 値より港湾の施設の技術上の基準・同解説¹²⁾に示されている方法でせん断抵抗角 ϕ を推定した結果を併記した。砂質土層では N 値より推定した平均せん断抵抗角が $\phi=37.4^\circ$ であるのに対して、三軸圧縮試験結果では平均 $\phi=43.0^\circ$ であった。また、砂礫層では N 値より推定した平均せん断抵抗角が $\phi=36.5^\circ$ に対して、三軸圧縮試験結果では平均 $\phi=60.0^\circ$ と極めて大きい値を示した。このように、サンゴ礫混じり土のせん断抵抗角は、通常の砂質土で用いられている N 値と ϕ の関係式から推定すると過小評価となることが分かった。この理由は、サンゴ片は表面がざらざらで更にかみ合うことで大きなせん断抵抗が発揮されるものと考えられる。これまでは、サンゴ礫混じり土の乱れの少ない試料の採取が困難であったため、このような評価が出来なかったが、今後は GS サンプラーを有効に用いることで、正確な力学試験結果を提供し、その結果

経済的な構造物等の基礎設計が可能となり、建設工事全体の工費縮減に寄与できることが期待できる。

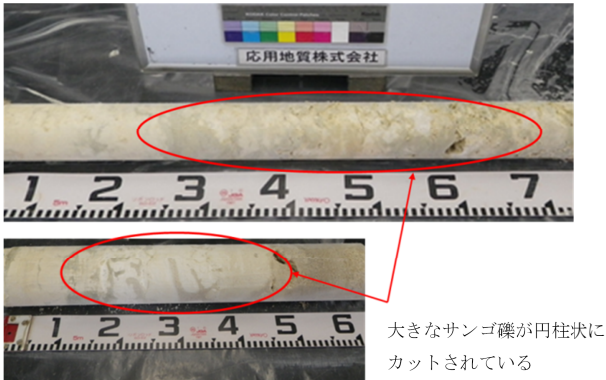
5. 今後のサンプリング技術の展望

粘性土のサンプリングに関しては、N 値 15 程度までの固さであれば、地盤工学会で基準化されている固定ピストン式サンプラーならびにロータリー式二重管サンプラーで対応可能である。問題は、それより固い粘性土のサンプリング方法である。今後、構造物の大規模化や重要性が更に高まっていくことが予想され、固い粘性土の支持力、変形、沈下あるいは動的特性のより高度な把握が重要になってくる。関西国際空港で使用したサンプラーは、ワイヤーラインでの特殊なサンプリング方法であり、現在ではサンプラー自体が製作されていない。このため、固い粘性土に対しては、硬質粘性土対応のサンプラーが必要である。水圧式固定ピストンサンプラーやロータリー式二重管サンプラーのチューブを肉厚タイプにし、更にサンプラー全体の剛性を高めることは技術的に可能であるので、地盤工学会基準に肉厚サンプラーを含めてしまうことで、一般化したサンプラーとすることが可能である。固い粘性土のためのサンプラーの基準がない現在、固い粘性土をロータリー式三重管サンプラーで採取することはほめたい。なぜなら、ロータリー式三重管サンプラーは内管の中に泥水が混入する構造となっており、これにより固い粘性土が吸水膨張を生じ強度低下を起こすことになる。過去には、関西圏で深度-100m~-150m 位の固い粘性土をロータリー式三重管サンプラーで採取し、試料の品質が悪いために再度掘り直しとなった事例がある。

GS サンプラーは砂質土、砂礫、玉石混じり砂礫、サンゴ礫混じり土など粗粒土全般に活用できる技術である。これらの粗粒土全般の乱れの少ない良質な試料採取が可能となれば、支持地盤のより詳細な強度、変形特性や、粗粒土の詳細な液状化特性などの把握が可能となる。GS サンプラーは実績をかなり積み上げてきており、地盤工学の研究者にも GS サンプラーの良さを分かってくれる方が増えてきている。ただし、一方では限られた会社の技術であることから、発注仕様書へ入りづらい面もある。このため、更に実績を積み、出来れば地盤工学会基準のサンプラーとしていく必要がある。なお、砂質土や砂礫など粗粒土のサンプリングにロータリー式三重管サンプラーを使用することは、極力避ける必要がある。繰返しになるが、内管シューが先端から飛び出ているために、乱れが生じることが明らかである。

固い粘性土用の肉厚の水圧式固定ピストンサンプラー及びロータリー式二重管サンプラー、更に粗粒土全般を対象とした GS サンプラーを普及させ、一般化出来れば、ほぼすべての種類の未固結地盤に対するサンプリン

【外観写真】



【X線写真】

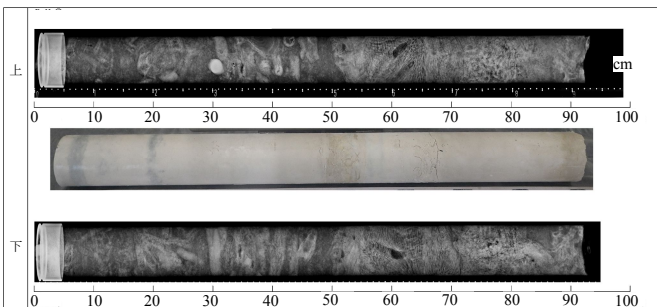


図 13 採取した試料の代表的な外観写真と X 線写真¹³⁾

表 5 三軸圧縮試験結果 (CUB)¹¹⁾

土の種類	せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)	
	N 値より推定	三軸圧縮試験結果
砂質土	平均 37.4	38.0~47.9(平均 43.0)
砂礫	平均 36.5	38.3~81.6 (平均 60.0)

グ技術の体系構築に大きく貢献できる。

6. おわりに

サンプリング技術は、土質試験及びその結果を用いて実施する基礎設計において、その根幹をなすものである。応用地質株式会社においては、地盤工学会で標準化されているサンプリング以外にも、大深度や砂礫、あるいはサンゴ礫混じり土などの特殊なサンプリングに取り組み、実用化に関しては相当程度の貢献をしてきている。ただし、現時点で振り返ってみると、現在の技術職員の中でサンプリングの重要性を十分に認識している職員がどの程度いるか疑問である。地質調査業の技術伝承の重要性が問われ始めてかなり経過するが、サンプリングをはじめとする基礎的な地盤調査技術を後進に如何に伝えるか、もう一度真剣に考える必要がある。

謝辞：港研ワイヤーライン方式のサンプラーは、港湾空港技術研究所で開発されたもので、関西国際空港の地盤調査で港湾技術研究所の指導の下に当社が実務的に活用、実用化した技術である。また、GS サンプラーは、株式会社アテック吉村が開発し、現在当社とアテック吉村で技術提携している技術である。ここに記して、港湾空港技術研究所ならびにアテック吉村に対し、感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 土田孝. 三軸試験による自然粘性土の強度決定法に関する研究. 港湾技研資料. 1990, No. 688, p. 30-38.
- 2) 公益社団法人 地盤工学会. 地盤調査の方法と解説. 2013, p. 202-203.
- 3) 公益社団法人 地盤工学会. 地盤調査の方法と解説. 2013, p. 240-246.
- 4) 奥村樹郎, 松本一明, 善功企. 関西国際空港における土質調査工事—大深層土質調査—, 建設の機械化, 1982.
- 5) Andresen, A. and Kolstad, P.: The NGI 54-mm Samplers for Undisturbed Sampling of Clays and Representative Sampling of Coarser Materials, State of the Art on Current Practice of Soil Sampling, Progressing of The International Symposium of Soil Sampling, Singapore, 1979, p. 13-21.
- 6) Lunne, T., Berre, T. and Strandvik, S.: Sample disturbance effect in soft low plastic Norwegian clay, Symposium on Recent developments in Soil and Pavement Mechanics, Rio de Janeiro, 1997, p. 81-102.
- 7) 竹村恵二, 水谷崇亮, 利藤房男. 関西国際空港の建設と地盤工学的諸問題, 3.地盤調査(その1), 2008, 地盤工学会誌, 56-5(604). p. 32-39.
- 8) Rito, Fusao. Sample quality of coarse-grained soil obtained by new type sampler called GS sampler, Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development - Geotec Hanoi, 2016, p. 1185-1191.
- 9) 谷川正志, 古宮一典. LWLP 工法による高品質ボーリング, 2011, 地盤工学研究発表会発表講演集(CD-ROM), Vol. 46, No. 46.
- 10) 平井孝治, 規矩大義, 大島昭彦, 利藤房男. 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), 2015, 地盤工学会誌, 63-4(687). p. 10-13.
- 11) Rito, Fusao. Applicability of Undisturbed Sampling Method Called GS Sampler for Coral Pebble Mixed Soil, International Conference on Soft Ground Engineering (ICSGE), 2015, p. 835-842.
- 12) 社団法人 日本港湾協会. 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2007, 320 p.