

サンプリング技術が地盤物性値と設計に与える影響事例とその考察

Impact and consideration of sampling method on soil properties and design

三平 伸吾*, 中村 宏**, 野澤 伸一郎***, 末永 仁良***

Shingo MIHARA, Hiroshi NAKAMURA, Shinichiro NOZAWA and Jiro SUENAGA

汎用的なサンプリング技術に対して、調査費用は高くなるが、品質が向上するといわれているサンプリング技術を複数用いた鉄道工事用調査において、得られる地盤物性値とそれらを用いた設計計算結果について分析を行った。代表的な事例として、環境に配慮した気泡水を利用するサンプリング技術を適用した事例においては、緩い砂質土層と埋土層における設計定数が改善し、その後の設計および施工計画において良好な取組ができるようになった事例を紹介する。

キーワード：サンプリング，品質，設計

Sampling, Quality, Design

1. はじめに

試料採取作業の特性等により、サンプリングによる乱れの影響を回避できないこと、乱れは対象土質により程度が異なることが分かっている。様々な地層条件に対して、適切なサンプリング手法を選定することは容易ではない。本稿では、各種サンプリング技術を用いた実施事例を述べ、地盤物性値等の向上程度に関して報告する。

2. サンプリング技術と品質について

サンプリング品質を改善すべく、削孔水の処理方法を工夫した技術、削孔水に変えて高粘性流体と気泡を併用する技術等が新たに提案されている。^{2) 3) 4)}

一般的に鉄道事業で利用されるサンプリング手法以外に、掘削方法等が改良されたサンプリング技術を対象とし、それらの技術概要と実績比較を表-1に示す。

表-1 各種サンプリング技術とそれらの概要^{2) 4)}

サンプリング方法	シンウォールサンプリング	2重管サンプリング(デニゾン)	3重管サンプリング(トリプル)	GPサンプリング	GSサンプリング(固定ピストン式二重管サンプリング)	IFCSサンプリング(スリープ内蔵二重管サンプリング)	凍結サンプリング
略図特徴							
サンプリング径	φ75mm(一般値)	φ75mm(一般値)	φ75, 83mm(一般値)	φ70~φ200mm	φ70~φ200mm	φ42.5~φ75mm	適用制限なし
ボーリング径	φ86mm以上(一般値)	φ116mm以上(一般値)	φ116mm以上(一般値)	サンプリング径+ケーシング肉厚	φ90~φ240mm	φ66~φ116mm	適用制限なし
対象とする地層	軟質~中程度の粘性土	中程度~硬質の粘性土	中程度~硬質の粘性土 中程度~硬質の砂質土	中程度~硬質の硬質土 中程度~硬質の砂質土	軟質~硬質の硬質土 軟質~硬質の砂質土	軟質~中程度の粘性土 軟質~中程度の砂質土	細粒分の少ない砂質土 硬質粘土
採取方法	サンプリングチューブを静的に押し込み採取する。	先端にビットの付いた外管で地盤を回転切削し、回転しない内管を地盤に押し込み採取する。	2重管と同様に施工し、試料採取において内管の内側のチューブで採取を行う。	単管サンブラーに高濃度潤滑材を充填し、循環水を使用しないで試料採取する。	採取用の内管先端を掘削部近傍に設置、供回り防止、削孔水を試料に当てずに採取する。	従来手法のサンブラーに微細気泡水と高粘性流体を併用して使い、低送量で削孔を行う。	地盤を凍結させ、コアリングにより試料採取する。凍結時・融解時の体積変化に配慮が必要。
適性土層(緩い砂質土に対する評価)	緩い砂質土では、押し込み力による乱れが生じると考えられる。	緩い砂質土では、チューブ押し込み、削孔水による乱れが生じやすいと思われる。	主に砂質土用サンプリングであるが、本サンプリングでも乱れが大きい知見が多い。	硬質土に対しては高品質な採取が可能、回転トルクが大きく重い砂質土では不向きと思われる。	対象土層となる緩い砂質土層に対して、比較的高品質な試料採取が可能。	対象土層となる緩い砂質土層に対して、比較的高品質な試料採取が可能。	凍結時・融解時の体積変化に配慮すれば最も高品質な採取方法である。
費用比較	0.7	1.0	1.0	4.0	3.0	1.5	8.0
実績	粘性土の実績多数	粘性土の実績多数	全土質の実績多数	硬質土の実績多数	耐震補強事業で採用	耐震補強事業で採用	施工費用高で実績少数

* (株) 複合技術研究所

** 東鉄工業 (株)

*** 東日本旅客鉄道 (株)

**** JR 東日本コンサルタンツ (株)

Integrated Geotechnology Institute Limited

Totetsu Kogyo

East Japan Railway Company

JR East Consultants Company

3. サンプリング技術と設計事例の紹介

サンプリングの乱れが建設事業費に大きく影響しやすい緩い砂質土および切土斜面地盤への適性に注目し、品質が良好とされているサンプリング手法の一例として、IFCS・GS サンプリング法と一般的なトリプルサンプリング法による比較事例を述べることにする。

3.1 盛土の液状化対策における設計事例(その1)

当該事例の箇所は、緩い液状化層が10m以上堆積する地層条件であり、可能な限り現位置液状化強度を正確に評価し、合理的な対策工事を計画する需要があった。

図-1に検討箇所の盛土及び支持地盤の断面とサンプリング位置を示す。支持地盤に液状化層のYus層(有楽町砂層)が厚く分布している。サンプリング位置は、液状化層のN値が小さい箇所近傍を選定し、追加地盤調査でGSサンプリングを採用し、液状化強度を再評価した。

トリプル(3重管)サンプリングとGSサンプリングは近傍箇所で行われ、図-2に示す通りYus-1層でGSサンプリングの不攪乱試料を用いた液状化試験結果は、トリプルサンプリングの試料に比べて液状化強度が大きい結果となった。図-3に盛土地震対策の概要を示す。

Yus-1層の液状化強度は、乾燥密度が同程度の供試体に対して、GSサンプリングの方がより現位置の地盤状態(物理特性、拘束圧依存性)を表していると判断し、GSサンプリングから得られた結果を用い、有効応力解析により鋼矢板とワイヤーによる締切対策を設計した。

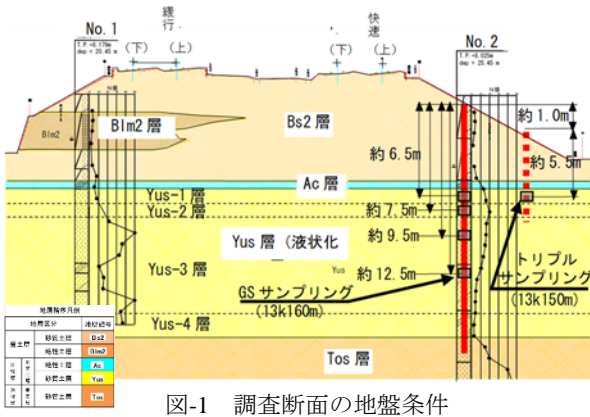


図-1 調査断面の地盤条件

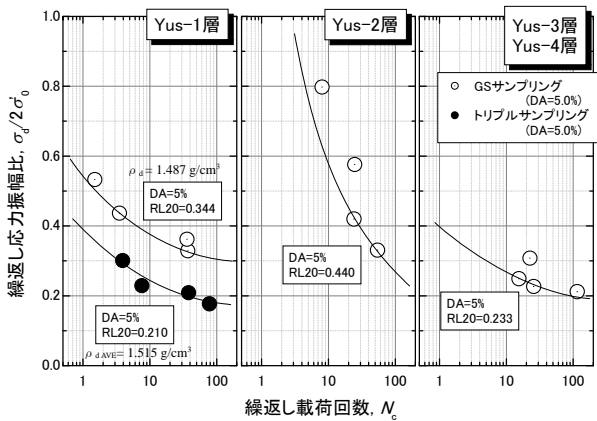
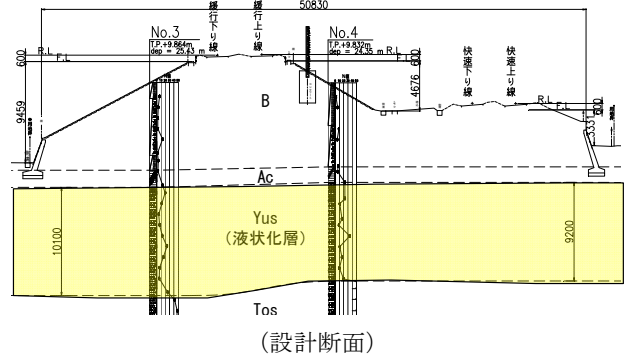
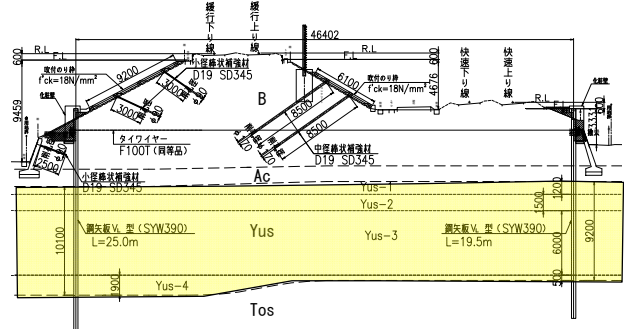


図-2 各種サンプリングによる液状化試験結果



(設計断面)



(液状化対策の設計事例)

図-3 液状化対策とする設計事例

3.2 盛土の液状化対策における設計事例(その2)

当該事例の箇所は、盛土支持地盤の液状化対策として、新たな技術開発工法を適用した事例であるため、液状化地盤の注入改良前後の改良効果として、液状化試験結果による液状化強度の向上程度を確認する必要があった。図-4に検討断面の地盤条件とサンプリング位置を示す。注入前後ともにトリプルサンプリングを用いたが、注入前は清水を用いた一般のサンプリングとし、注入後はIFCSを適用した。

IFCSサンプリングは、水の代わりに粒径1mm以下の微細気泡材と高粘性流体を併用し、試料採取時の乱れを抑制する方法である。通常の清水を用いたサンプリングではコアとして採取不可能な緩い砂質土層に対して、比較的高品質な試料採取が可能である。IFCSサンプリングの大きな特徴としては、デニソン、トリプル等サンプリング方法は一般的な方法で良い。また、界面活性剤を使用せずに発泡が可能のため、環境汚染を防止できる。

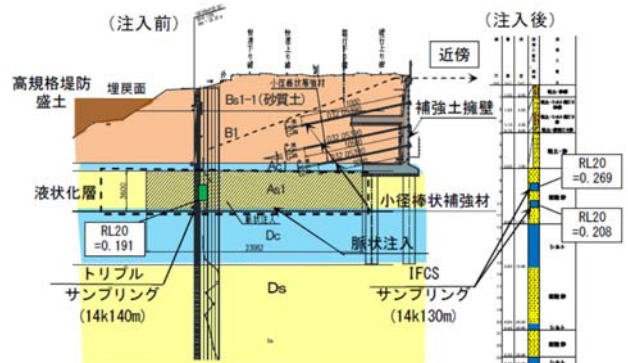


図-4 検討断面の地盤条件

液状化対策とする改良前後の液状化強度を図-5に示す。対策後の液状化強度は増加したが、ここでは注入改良の対策効果、IFCSによる地盤物性値向上効果の両方が含まれるため、定量的な改良効果は明言できないが、改良後の液状化強度を得たことで、設計上の要求性能を満足することができた事例である。

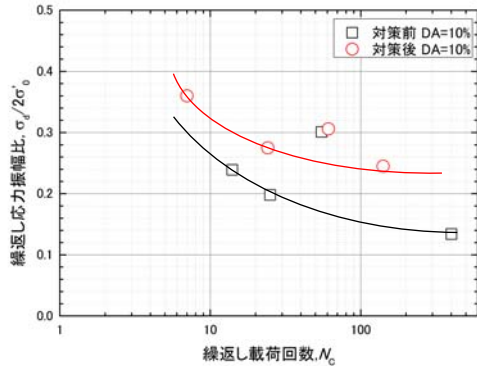


図-5 注入改良前後の液状化強度の比較

3.3 切土の耐震補強対策における設計事例(その1)

当該事例の箇所では、トリプルサンプリングによる地盤物性値を用いた耐震診断において、L1地震時の円弧すべり安全率が $F_s=1.004 < 1.1$ で非自立性地山と判定され補強量が多くなったことから、より正確に地盤物性値を評価するため、IFCSによる追加調査を実施し、再度耐震診断を実施した。サンプリング位置と地盤物性値を図-6に示す。

追加調査前後における対策設計断面を図-7に示す。当該箇所では埋土(Bc層)が卓越し、安全率が $F_s=1.186 > 1.1$ で自立性地山評価となり、L2地震動による変形量照査(耐震性能Ⅲ： $\delta \leq 500\text{mm}$)で補強量が減じて設計を見直すことが出来た。

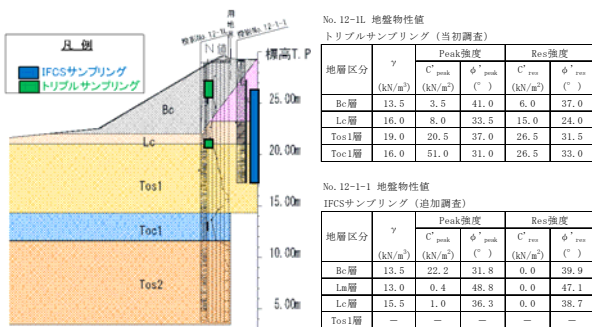


図6 検討断面の地盤条件

3.4 切土の耐震補強対策における設計事例(その2)

当該事例の箇所では、当初設計の耐震診断でL1地震時の安全率 $F_s < 1.1$ となった箇所である。トリプルサンプリングの近傍で、IFCSによる追加調査を実施した。調査前後のサンプリング位置および地盤物性値を図-8に示す。追加調査前後における対策設計断面を図-9に示す。結果として当初設計より耐震補強の対策工事数量が減じた。

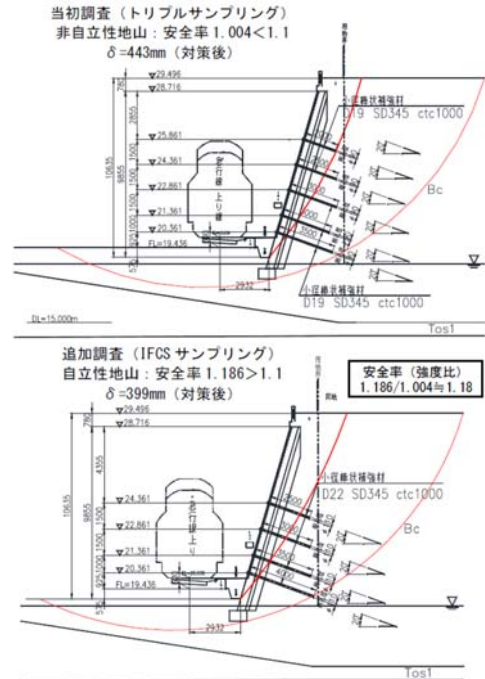


図-7 切土の耐震対策設計事例 (その1)

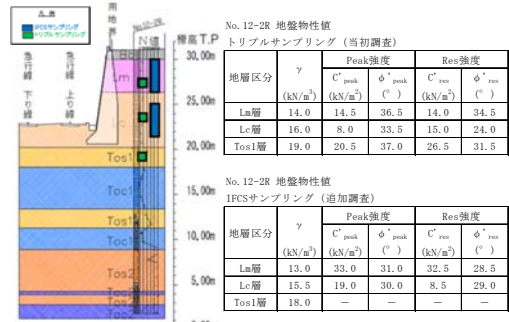


図-8 検討断面の地盤条件

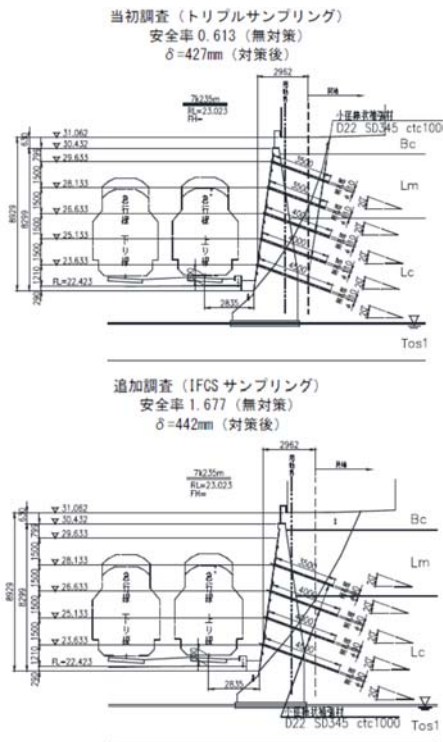


図-9 切土の耐震対策設計事例 (その2)

4. サンプリング技術と設計定数に関する考察, まとめ

図-10～13 は、関連事業において地盤調査で実施した各地層区分と粘着力 c' と内部摩擦角 ϕ' をサンプリング方法別に整理している。図中凡例の「飽和」「不飽和」の区分は、せん断定数を求めた三軸圧縮試験の試験条件区分を記載したものである。

全ての地層でせん断強さ τ が大きくなる訳ではないが、全体として品質が良いとされているサンプリングを採用することで、乱れの影響を減らすことができ、設計が容易になったことが確認できたと考えている。今後もデータを累積し、分析を継続することが望ましい。

謝辞：本検討報告にあたり、各調査結果およびサンプリング技術に関する情報提供を頂いた。中央開発関係者様に感謝申し上げます。

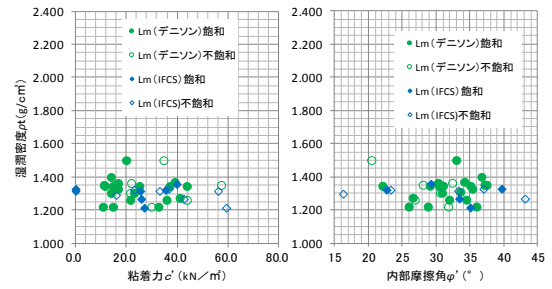


図-12 地盤定数と湿潤密度の関係 (関東ローム)

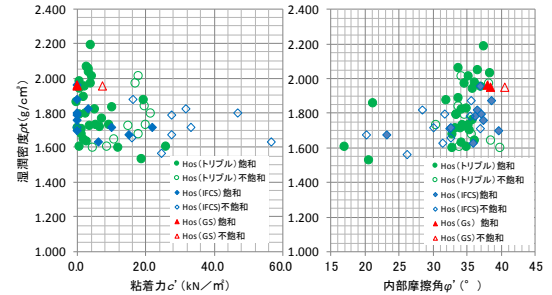


図-13 地盤定数と湿潤密度の関係 (本郷層)

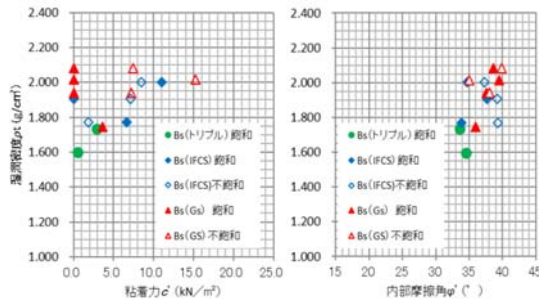


図-10 地盤定数と湿潤密度の関係 (盛土・砂質土)

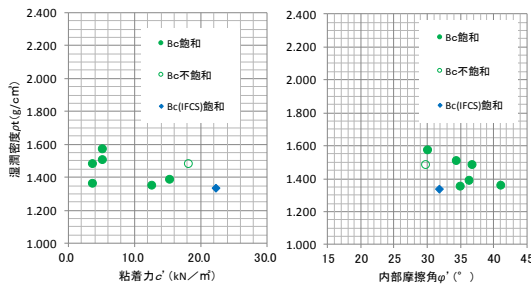


図-11 地盤定数と湿潤密度の関係 (盛土・粘性土)

参考文献

- 1) 地盤調査の方法と解説, 社団法人地盤工学会, 2004
- 2) 中村宏他 (2018): 中～高品質サンプリングが地盤物性値と設計に与える影響 (その1), 第53回地盤工学研究発表会
- 3) 油谷彬博他 (2018): 中～高品質サンプリングが地盤物性値と設計に与える影響 (その2), 第53回地盤工学研究発表会
- 4) 油谷彬博他 (2018): 中～高品質サンプリングによる地盤物性値の再評価, SED, No.51
- 5) 東日本旅客鉄道株式会社: 土構造物耐震補強設計施工マニュアル, 2021年2月

We analyzed the ground physical properties using high-quality sampling technology and the design calculations using them. When targeting soft ground, Shear strength were improved. Introducing examples of appropriate soil structure design and construction planning.