

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

東日本旅客鉄道(株) 正会員○油谷 彬博 フェロー会員 中村 宏  
ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) 正会員 田中 祐二 正会員 末永 仁良  
(株) 複合技術研究所 正会員 三平 伸吾

1. はじめに

文献 1), 2) で, サンプリングの品質が地盤物性値と設計に影響を与えること, 中～高品質サンプリングが地盤物性値を改善することを述べてきた。本稿では, 一般のサンプリングと中～高品質サンプリング(IFCS・GS) による比較事例を紹介し, サンプリング種別, 地盤種別ごとに粘着力  $c'$  と内部摩擦角  $\phi'$  を整理したデータから, 中～高品質サンプリングによる地盤物性値の改善程度に関して考察する。

2. 中～高品質サンプリング実施事例

2. 1 切土耐震診断用の検討事例

当箇所の地盤調査で実施したサンプリング方法を表-1 に, トリプルサンプリングによる当初調査と GS・IFCS による追加調査後の地盤物性値と耐震診断結果を図-1 に示す。また, 現地の概況とサンプリングごとの地盤物性値を図-2 に示す。

当箇所は, 当初調査のトリプルサンプリングでは, B 層(埋土層)の地盤物性値が小さく, 耐震診断で無補強時の変形量が大きい。当箇所では, 軌道と斜面との離隔が大きく, 吹付格子枠が施工済みである。これより, 対策要否を判断するため, 当初調査箇所の近傍で, IFCS サンプリングと GS サンプリングによる追加調査を実施し, 再度耐震診断を実施した。B 層は自然堆積地山の切土ではなく, 現在の位置に移設する前の電車線位置を埋め立てた地層である。B 層と Hos 層(本郷層)の設計用地盤物性値の考え方を以下に述べる。

図-2 表より B 層については, IFCS の飽和三軸圧縮試験値の平均値とし  $c' = 5.5\text{kN/m}^2$ ,  $\phi' = 35.0^\circ$  とした。

Hos 層については, GS・IFCS による飽和三軸圧縮試験結果は, 当初調査より  $\phi'$  は大きく,  $c'$  はほぼ 0 となった。GS・IFCS の不飽和三

表-1 サンプリング方法の比較 ③～⑥

中～高品質サンプリング

| サンプリング方法                   | 3重管サンプリング<br>(トリプル)                                                                                                                                | GSサンプリング<br>(固定ピストン式<br>二重管サンプリング)                                                                                              | IFCSサンプリング<br>(スリープ内蔵<br>二重管サンプリング)                                                                                             |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 略図<br>特徴                   | ボーリングロッド<br>・水抜き孔<br>(建設防止弁付き)<br>・シール突出長さ<br>調整可能<br>・スプリング<br>・スライム構造<br>・インナーチューブ<br>・ヘッド<br>・アウターチューブ<br>・インナーチューブ<br>・ワイヤー<br>・メタルクラン<br>・シール | ボーリングロッド<br>・サンブラーヘッド<br>・可動ヘッド<br>・スプリング<br>・スライム構造<br>・インナーチューブ<br>・ヘッド<br>・アウターチューブ<br>・インナーチューブ<br>・ワイヤー<br>・メタルクラン<br>・シール | ボーリングロッド<br>・サンブラーヘッド<br>・可動ヘッド<br>・スプリング<br>・スライム構造<br>・インナーチューブ<br>・ヘッド<br>・アウターチューブ<br>・インナーチューブ<br>・ワイヤー<br>・メタルクラン<br>・シール |
| サンプリング径                    | φ75, 83mm (一般値)                                                                                                                                    | φ70～φ200mm                                                                                                                      | φ42.5～φ75mm                                                                                                                     |
| ボーリング径                     | φ116mm以上 (一般値)                                                                                                                                     | φ90～φ240mm                                                                                                                      | φ66～φ116mm                                                                                                                      |
| 対象とする地層                    | ・中～強い硬質の粘性土<br>・軟質～硬質の砂質土                                                                                                                          | ・軟質～硬質の粘性土<br>・軟質～硬質の砂質土                                                                                                        | ・軟質～中～強い粘性土<br>・軟質～中～強い砂質土                                                                                                      |
| 採取方法                       | 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。                                                                                                              | 採取用の内管先端を掘削部近傍に設置させる一方で, 供回り防止し, 剛孔水を直接試料に当たらない形で採取する。                                                                          | 従来のある2～3重管サンブラーに高剛度鋼材と高粘性流体を併用し, 低速度で剛孔を行う。                                                                                     |
| 対象土層(強い砂質土層)に対する評価         | 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。                                                                                                            | 対象土層となる強い砂質土層に対して, 比較的高品質な試料採取が可能となる。                                                                                           | 対象土層となる強い砂質土層に対して, 比較的高品質な試料採取が可能となる。                                                                                           |
| 費用<br>(3重管サンプリングを1.0とした場合) | 1.0                                                                                                                                                | 3.0                                                                                                                             | 1.5                                                                                                                             |
| 実績                         | ・全土質に対する実績多数・砂質土層等でも実績あり(静・動的強度試験に採用)                                                                                                              | ・最新の工法・盛土・切土耐震で採用(静・動的強度試験に採用)                                                                                                  | ・最新の工法・盛土・切土耐震で採用(静・動的強度試験に採用)                                                                                                  |
| 特記事項                       | 強い砂質土の動的特性評価には, 別途供試体に小さい変位を与えて, 乱れの影響を除去して評価することもある。                                                                                              | 強い砂質土の大口径(径300mm)のサンプリングでは, 乱れが出たが, 剛孔水と高粘性流体を併用し, 試料採取時の乱れを抑制する。                                                               | 水の代りに高粘性流体と高粘性流体を併用し, 試料採取時の乱れを抑制する。                                                                                            |
| 留意点                        | 強い砂質土で, 実質的なサンプリングは困難と考えられる。押し込み頻度, 回転トルク, 剛孔水を抑える等の丁寧な作業を必要とする。                                                                                   |                                                                                                                                 |                                                                                                                                 |

| No.7-4R 地盤物性値 トリプル(当初調査) |                                 | トリプル(当初調査)<br>＜全体＞耐震診断の結果(補強前の数値)                                                            |                                                                                           |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 層                        | $\gamma$<br>( $\text{kN/m}^3$ ) | peak強度<br>$C'_{\text{peak}}$<br>( $\text{kN/m}^2$ )<br>$\phi'_{\text{peak}}$<br>( $^\circ$ ) | res強度<br>$C'_{\text{res}}$<br>( $\text{kN/m}^2$ )<br>$\phi'_{\text{res}}$<br>( $^\circ$ ) |
| B層                       | 16.0                            | 0.5<br>34.5                                                                                  | 0.5<br>34.0                                                                               |
| Lm層                      | 13.0                            | 29.5<br>32.0                                                                                 | 12.5<br>34.5                                                                              |
| Lc層                      | 17.0                            | 5.0<br>29.0                                                                                  | 3.5<br>30.0                                                                               |
| Hos層                     | 17.0                            | 2.5<br>34.0                                                                                  | 4.0<br>33.5                                                                               |

| No.7-4R 地盤物性値 IFCS(追加調査) |                                 | IFCS(追加調査)<br>＜全体＞耐震診断の結果(補強前の数値)                                                            |                                                                                           |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 層                        | $\gamma$<br>( $\text{kN/m}^3$ ) | peak強度<br>$C'_{\text{peak}}$<br>( $\text{kN/m}^2$ )<br>$\phi'_{\text{peak}}$<br>( $^\circ$ ) | res強度<br>$C'_{\text{res}}$<br>( $\text{kN/m}^2$ )<br>$\phi'_{\text{res}}$<br>( $^\circ$ ) |
| B層                       | 16.0                            | 5.5<br>35.0                                                                                  | 5.5<br>35.0                                                                               |
| Lm層                      | 13.0                            | 29.5<br>32.0                                                                                 | 12.5<br>34.5                                                                              |
| Lc層                      | 17.0                            | 5.0<br>29.0                                                                                  | 3.5<br>30.0                                                                               |
| Hos層                     | 17.0                            | 6.0<br>35.0                                                                                  | 6.0<br>35.0                                                                               |

降伏震度  $K_y = 0.091$  (ピーク強度時)  
降伏震度  $K_y = 0.082$  (残留強度時)  
滑動変位  $\delta = 2612\text{mm} > 500\text{mm}$   
円弧すべり抵抗係数  $f_{rs} = 1.00$

降伏震度  $K_y = 0.224$  (ピーク強度時)  
降伏震度  $K_y = 0.224$  (残留強度時)  
滑動変位  $\delta = 765\text{mm} > 500\text{mm}$   
円弧すべり抵抗係数  $f_{rs} = 1.00$

図-1 調査前後の地盤物性値(設計用)および耐震診断結果

サンプリングごとの地盤物性値一覧 (B 層, Hos 層)

| 地点番号     |      | No.7-4-1                        |      | No.7-4-2 |      | No.7-4-1 |      | No.7-4-2 |       | No.7-4R |      | No.7-4-1 |      | No.7-4-2 |      | No.7-4R |       | No.7-4-1 |      | No.7-4-2 |      | No.7-4-1 |  | No.7-4-2 |  | No.7-4-1 |  | No.7-4-2 |  |        |  |     |  |        |  |        |  |
|----------|------|---------------------------------|------|----------|------|----------|------|----------|-------|---------|------|----------|------|----------|------|---------|-------|----------|------|----------|------|----------|--|----------|--|----------|--|----------|--|--------|--|-----|--|--------|--|--------|--|
| 地盤記号     |      | B1                              |      |          |      |          |      |          |       | B2      |      |          |      |          |      |         |       | B3       |      |          |      |          |  |          |  | Hos      |  | Hos      |  | Hos    |  | Hos |  |        |  |        |  |
| 試料番号     |      | S-1                             |      |          |      |          |      |          |       | S-2     |      |          |      |          |      |         |       | S-3      |      |          |      |          |  |          |  | S-4R-2   |  | S-4      |  | S-5    |  | S-5 |  |        |  |        |  |
| 試験条件     |      | 飽和                              |      |          |      | 不飽和      |      |          |       | 飽和      |      |          |      | 不飽和      |      |         |       | 飽和       |      |          |      | 不飽和      |  |          |  | 飽和       |  |          |  | 不飽和    |  |     |  | 飽和     |  |        |  |
| サンプリング方法 |      | IFCS                            |      | GS       |      | IFCS     |      | GS       |       | トリプル    |      | IFCS     |      | GS       |      | IFCS    |       | GS       |      | IFCS     |      | GS       |  | トリプル     |  | IFCS     |  | GS       |  | IFCS   |  | GS  |  |        |  |        |  |
| 一様密度     |      | $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> ) |      | 18.708   |      | 19.031   |      |          |       |         |      | 15.676   |      | 17.364   |      | 19.777  |       |          |      | 19.630   |      | 20.434   |  |          |  | 16.706   |  | 18.413   |  | 19.159 |  |     |  | 19.237 |  | 19.267 |  |
| せん断      | 全応力  | $\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )   | 10.3 | 55.6     | 16.7 | 1.6      | 4.4  | 40.0     | 153.0 | 0.3     | 35.2 | 57.4     | 26.4 | 21.3     | 25.5 | 59.5    | 128.1 | 53.8     | 32.5 | 15.9     | 40.0 | 11.3     |  |          |  |          |  |          |  |        |  |     |  |        |  |        |  |
|          |      | $\phi$ (°)                      | 33.1 | 20.0     | 36.8 | 37.5     | 26.9 | 19.5     | 14.6  | 36.5    | 30.2 | 31.6     | 33.7 | 33.7     | 34.8 | 6.7     | 0.0   | 22.2     | 29.8 | 39.4     | 45.1 | 48.9     |  |          |  |          |  |          |  |        |  |     |  |        |  |        |  |
|          | 有効応力 | $\sigma'$ (kN/m <sup>2</sup> )  | 0.0  | 0.0      | 7.1  | 7.2      | 0.5  | 6.6      | 0.0   | 1.9     | 15.2 | 11.0     | 0.0  | 8.5      | 7.4  | 1.3     | 0.0   | 0.0      | 16.4 | 7.3      | 0.0  | 0.0      |  |          |  |          |  |          |  |        |  |     |  |        |  |        |  |
|          |      | $\phi'$ (°)                     | 37.7 | 37.6     | 39.2 | 38.1     | 34.5 | 33.9     | 39.5  | 39.3    | 35.0 | 34.7     | 38.6 | 37.3     | 39.9 | 35.4    | 38.5  | 38.4     | 35.5 | 40.4     | 36.9 | 37.9     |  |          |  |          |  |          |  |        |  |     |  |        |  |        |  |

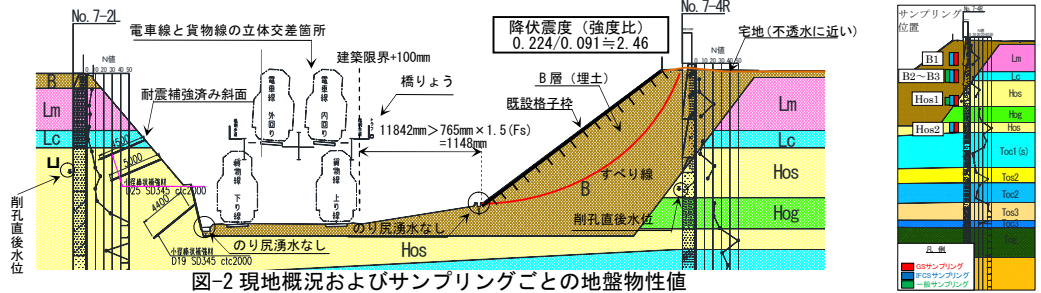


図-2 現地概況およびサンプリングごとの地盤物性値

キーワード 乱れの少ない試料, サンプリング, 地盤物性値  
連絡先: 〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目2番6号 JR 新宿ビル4階 TEL03-6276-1251  
東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター 耐震土構造 PT

圧縮試験では $\phi'$  は比較的大きく、飽和時より大きい  $c'$  (7.3~16.4 kN/m<sup>2</sup>) が得られた。のり尻に湧水が無いこと、斜面上は宅地であり雨が浸透しにくいと考えられることから、Hos 層は大半が不飽和領域と判断し  $c' = 6.0$  kN/m<sup>2</sup>,  $\phi' = 35.0^\circ$  とした (Hos 層の地盤物性値で周辺切土の耐震設計を実施)。

B 層の地盤物性値を見直して再度耐震診断を実施し、L2 地震動による変形量照査値に安全率 1.5 を見込んだ滑動変位量  $\delta : 765\text{mm} \times 1.5(F_s) = 1,148\text{mm}$  が、列車走行を障害しない位置 (建築限界+100mm) まで十分離隔が確保出来るため対策不要と整理した (図-2)。

### 3. サンプルと $c'$ , $\phi'$ に関する考察

図-3~6 は、当社の土構造耐震の地盤調査で実施した各層ごとの粘着力  $c'$  と内部摩擦角  $\phi'$  をサンプリング方法別に整理している。得られた結果について考察する。

・図-3, 4 の IFCS 飽和三軸圧縮試験に着目する。 $\phi'$  は、他のサンプリングと同程度であり、 $c'$  は逆に大きい傾向であった。

IFCS により、埋土 (砂質土・粘性土) で地盤物性値 ( $\tau = c' + \sigma' \tan \phi'$ ) が改善されると言える。

・図-5 の関東ローム層 (Lm) では、 $c'$ ,  $\phi'$  とも、一般法と IFCS で大きな差異は見られなかった。文献2) で改善された事例はあるが、全体的に Lm 層では、高品質サンプリングによる改善効果は顕著ではない。

・図-6 の IFCS 不飽和三軸試験に着目する。

Hos 層では、IFCS サンプリングの  $\phi'$  は他のサンプリングと同程度であり、 $c'$  は相対的に大きな傾向を示した。IFCS 不飽和三軸試験では、Hos 層で地盤物性値 ( $\tau$ ) を改善すると考える。

### 4. まとめ

IFCS サンプリングにより埋土層 (砂質土・粘性土) と洪積層の Hos 層で地盤物性値が改善されると考える。

#### 参考文献

- 1) 中村宏他：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, 2018.7
- 2) 油谷彬博他：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, 2018.7
- 3) 地盤調査の方法と解説, 社団法人地盤工学会, 2004.6
- 4) 平井孝治, 他：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), 地盤工学会誌, 2015.4
- 5) 上田正人：微細気泡ボーリングシステム (IFCS), 地盤工学会誌, 2015.5
- 6) 小海尚文, 他：礫質土のサンプリング事例, 全地連「技術e-フォーラム2008」高知, No.2008\_38, 2008.10
- 7) 東日本旅客鉄道株式会社：土構造物耐震補強設計マニュアル, 2013.5
- 8) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物設計標準・同解説 土構造物編, 丸善, 2007

