

5.5 地盤の液状化について

5.5.1 液状化の判定計算（FL 法）と液状化の影響の程度の検討（PL 法、Dcy 法）

日本建築学会の「建築基礎構造設計指針」（2019年11月）P50～P52によれば、「液状化の判定を行う必要がある飽和土層は、原則的に地表面から20m程度以浅の土層で、考慮すべき土の種類は、細粒分含有率が35%以下の土とする。」とあり、液状化の判定計算としてFL法が述べられている。

また、「住宅地盤がわかる本」（オーム社）によれば、「FL法によって求められたFL値は地盤内のある点（深度）での液状化の可能性を求めるものであるため、FL値が1以下の地層があるといっても、非常に深い箇所と地表面付近では、地表面への影響が異なってくる。特に、直接基礎が検討されるような軽量構造物に対しては、地表面への影響の有無が設計・施工を行う上で非常に重要なポイントになる。

そこで、地表面に対して液状化が発生する可能性評価として、FL値を利用した液状化指数PL値を用いる手法がある。」（P130より抜粋）と記載される。

さらに、「FL値は、個々の地層における液状化の可能性を示しているにすぎない。建物にどの程度の液状化被害が及ぶかを知るためには、以下のように、地表面変位Dcyを計算するとよい。」（P129より抜粋）と記載されている。

今回の業務では、3本のボーリングデータについて以下の検討を行った。

- ① レベル1（中地震で表面加速度 $\alpha_{\max}=200\text{gal}=2\text{m}/\text{sec}^2$ ）、レベル2（大地震で表面加速度 $\alpha_{\max}=350\text{gal}=3.5\text{m}/\text{sec}^2$ ）を使用して、FL法により各深度でのFL値を求めて液状化判定を実施する。
- ② 液状化判定のFL値を使用して、PL法によりボーリング孔ごとに液状化指数PL値を求め、液状化の影響の程度を検討する。
- ③ 各ボーリング孔についてDcy法により地表変位（=沈下量）を求め、液状化の程度を数値で判定する。

まず、計算手法であるFL法、PL法、Dcy法について、前述の「住宅地盤がわかる本」から抜粋して説明したい（FL法の計算手法は「建築基礎構造設計指針」と同様であるが、「住宅地盤がわかる本」の説明が分かり易いため、同書籍の説明を引用した。）

5.5.2 液状化判定計算について

Bor. 1、Bor. 3、Bor. 5 の各ボーリング孔データ別に、FL 法により液状化判定計算を実施し、各深度での FL 値を算出する。次に、FL 値 1 以下となる各深度の FL 値を利用して、PL 法によりそのボーリング孔での液状化の影響の程度を PL 値として計算した。また、同じく液状化する各深度で Dcy 値を計算した。これらの計算結果は表-5.5.1～表-5.5.3 に示す通りである。

更に、それらの液状化判定計算結果をまとめたのが、表-5.5.4 である。

表-5.5.3 宮崎総合運動公園 屋内走路建設工事 液状化判定計算 (Bor.5) 地下水位 = -2.00 m

ケ-ス-1: レベル1積算積時(地震時-200ga)

①: 暫定な繰返しせん断応力比 $r/d/\sigma'z$ ②: 液状化係数比 $r/d/\sigma'z$ (固相一軸せん断せん断力 $\gamma=5\%$ の曲線を採用) ③: 液状化の判定 $FL=Z/\delta H$ ④: 液状化の影響の程度 $F=1-F(\pm 1)$ ⑤: Doy方法による水平変位(cm)

深さ Z(m)	地質 土質分類	N値	直前直後の体積質量 γ (KN/m ³)	直前の体積質量 γ_{sat} (KN/m ³)	水中単位体積質量 γ (KN/m ³)	有効上層圧 $\sigma'z$ (kN/m ²)	修正係数 $\gamma=0.14(7.5)$	①: 暫定な繰返しせん断応力比 $r/d/\sigma'z$	②: 液状化係数比 $r/d/\sigma'z$	③: 液状化の判定 $FL=Z/\delta H$	④: 液状化の影響の程度 $F=1-F(\pm 1)$	⑤: Doy方法による水平変位(cm)	
												修正係数 $\gamma=0.14(7.5)$	修正係数 $\gamma=0.14(7.5)$
0.00	B	砂混じり粘土	14.0	—	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.10	B	砂混じり粘土	14.0	—	—	15.40	15.40	15.40	15.40	16.30	9.450	0.000	0.000
1.15	B	砂混じり粘土	14.0	—	—	16.30	16.30	16.30	16.30	17.20	9.425	0.000	0.000
2.00	B	砂混じり粘土	18.0	—	—	31.60	31.60	31.60	31.60	32.50	9.000	0.000	0.000
2.00	B	砂混じり粘土	18.0	—	—	31.60	31.60	31.60	31.60	32.50	9.000	0.000	0.000
2.15	B	砂混じり粘土	18.0	—	—	34.45	32.95	0.65	0.968	1.74	12.2	74.2	74.2
2.90	B	砂混じり粘土	18.0	—	—	48.70	39.70	0.65	0.953	1.55	4.6	39.4	39.4
3.15	SF2	砂質シルト	17.0	18.0	8.0	53.20	41.70	0.65	0.953	1.55	4.6	39.4	39.4
3.70	SF2	砂質シルト	17.0	18.0	8.0	63.10	46.10	0.65	0.938	1.41	14.1	17.1	17.1
4.15	SF2	砂質シルト	17.0	18.0	8.0	72.10	50.60	0.65	0.938	1.41	14.1	17.1	17.1
5.15	ASA	細~中砂	19.0	20.0	10.0	92.10	60.60	0.65	0.923	1.28	21.8	7.5	3.0
6.15	ASA	細~中砂	19.0	20.0	10.0	112.10	70.60	0.65	0.908	1.19	17.9	7.5	3.0
6.45	ASA	細~中砂	19.0	20.0	10.0	118.10	73.60	0.65	0.893	1.12	7.9	16.9	7.4
7.15	SF1	シルト質砂	17.0	18.0	8.0	130.70	79.20	0.65	0.878	1.07	17.1	4.2	0.0
8.00	SF1	シルト質砂	17.0	18.0	8.0	146.00	86.00	0.65	0.863	1.01	17.2	4.2	0.0
8.15	AS3	礫混じり砂	19.0	20.0	10.0	149.00	87.50	0.65	0.848	0.97	24.2	10.7	6.1
9.15	AS3	礫混じり砂	19.0	20.0	10.0	169.00	97.50	0.65	0.833	0.93	13.9	10.7	6.1
9.45	AS3	礫混じり砂	19.0	20.0	10.0	175.00	100.50	0.65	0.818	0.90	10.7	10.7	6.1
10.15	AS3	礫混じり砂	19.0	20.0	10.0	188.30	106.80	0.65	0.803	0.86	10.4	10.7	6.1
11.15	AS2	火山灰質砂	18.0	19.0	9.0	207.30	115.80	0.65	0.788	0.84	15.9	8.2	3.8
12.15	AS2	火山灰質砂	18.0	19.0	9.0	226.30	124.80	0.65	0.773	0.81	21.0	8.2	3.8
13.15	AS1	細砂	19.0	20.0	10.0	304.90	163.40	0.65	0.758	0.78	28.9	8.2	3.8
17.15	AS1	細砂	19.0	20.0	10.0	324.90	173.40	0.65	0.743	0.76	22.0	8.2	3.8
18.15	AS1	細砂	19.0	20.0	10.0	344.90	183.40	0.65	0.728	0.74	22.9	8.2	3.8
19.15	AS1	細砂	19.0	20.0	10.0	364.90	193.40	0.65	0.713	0.72	18.7	8.2	3.8
20.00	AG	砂礫	20.0	21.0	11.0	381.90	201.90	0.65	0.700	0.70	97.1	8.2	3.8
20.00	AG	砂礫	20.0	21.0	11.0	389.25	205.75	0.65	0.685	0.68	97.1	8.2	3.8
21.00	Mb	砂岩混互層	20.0	21.0	11.0	402.90	212.90	0.65	0.670	0.67	97.1	8.2	3.8
26.00	Mb	砂岩混互層	20.0	21.0	11.0	507.90	267.90	0.65	0.655	0.65	97.1	8.2	3.8

液状化による影響は「軽微」である。

ケ-ス-2: レベル2積算積時(大地震時-350gal)

①: 暫定な繰返しせん断応力比 $r/d/\sigma'z$ ②: 液状化係数比 $r/d/\sigma'z$ (固相一軸せん断せん断力 $\gamma=5\%$ の曲線を採用) ③: 液状化の判定 $FL=Z/\delta H$ ④: 液状化の影響の程度 $F=1-F(\pm 1)$ ⑤: Doy方法による水平変位(cm)

深さ Z(m)	地質 土質分類	N値	直前直後の体積質量 γ (KN/m ³)	直前の体積質量 γ_{sat} (KN/m ³)	水中単位体積質量 γ (KN/m ³)	有効上層圧 $\sigma'z$ (kN/m ²)	修正係数 $\gamma=0.14(7.5)$	①: 暫定な繰返しせん断応力比 $r/d/\sigma'z$	②: 液状化係数比 $r/d/\sigma'z$	③: 液状化の判定 $FL=Z/\delta H$	④: 液状化の影響の程度 $F=1-F(\pm 1)$	⑤: Doy方法による水平変位(cm)	
												修正係数 $\gamma=0.14(7.5)$	修正係数 $\gamma=0.14(7.5)$
0.00	B	砂混じり粘土	14.0	—	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.10	B	砂混じり粘土	14.0	—	—	15.40	15.40	15.40	15.40	16.30	9.450	0.000	0.000
1.15	B	砂混じり粘土	14.0	—	—	16.30	16.30	16.30	16.30	17.20	9.425	0.000	0.000
2.00	B	砂混じり粘土	18.0	—	—	31.60	31.60	31.60	31.60	32.50	9.000	0.000	0.000
2.00	B	砂混じり粘土	18.0	—	—	31.60	31.60	31.60	31.60	32.50	9.000	0.000	0.000
2.15	B	砂混じり粘土	18.0	—	—	34.45	32.95	0.65	0.968	1.74	12.2	74.2	74.2
2.90	B	砂混じり粘土	18.0	—	—	48.70	39.70	0.65	0.953	1.55	4.6	39.4	39.4
3.15	SF2	砂質シルト	17.0	18.0	8.0	53.20	41.70	0.65	0.953	1.55	4.6	39.4	39.4
3.70	SF2	砂質シルト	17.0	18.0	8.0	63.10	46.10	0.65	0.938	1.41	14.1	17.1	17.1
4.15	SF2	砂質シルト	17.0	18.0	8.0	72.10	50.60	0.65	0.938	1.41	14.1	17.1	17.1
5.15	ASA	細~中砂	19.0	20.0	10.0	92.10	60.60	0.65	0.923	1.28	21.8	7.5	3.0
6.15	ASA	細~中砂	19.0	20.0	10.0	112.10	70.60	0.65	0.908	1.19	17.9	7.5	3.0
6.45	ASA	細~中砂	19.0	20.0	10.0	118.10	73.60	0.65	0.893	1.12	7.9	16.9	7.4
7.15	SF1	シルト質砂	17.0	18.0	8.0	130.70	79.20	0.65	0.878	1.07	17.1	4.2	0.0
8.00	SF1	シルト質砂	17.0	18.0	8.0	146.00	86.00	0.65	0.863	1.01	17.2	4.2	0.0
8.15	AS3	礫混じり砂	19.0	20.0	10.0	149.00	87.50	0.65	0.848	0.97	24.2	10.7	6.1
9.15	AS3	礫混じり砂	19.0	20.0	10.0	169.00	97.50	0.65	0.833	0.93	13.9	10.7	6.1
9.45	AS3	礫混じり砂	19.0	20.0	10.0	175.00	100.50	0.65	0.818	0.90	10.7	10.7	6.1
10.15	AS3	礫混じり砂	19.0	20.0	10.0	188.30	106.80	0.65	0.803	0.86	10.4	10.7	6.1
11.15	AS2	火山灰質砂	18.0	19.0	9.0	207.30	115.80	0.65	0.788	0.84	15.9	8.2	3.8
12.15	AS2	火山灰質砂	18.0	19.0	9.0	226.30	124.80	0.65	0.773	0.81	21.0	8.2	3.8
13.15	AS1	細砂	19.0	20.0	10.0	304.90	163.40	0.65	0.758	0.78	28.9	8.2	3.8
17.15	AS1	細砂	19.0	20.0	10.0	324.90	173.40	0.65	0.743	0.76	22.0	8.2	3.8
18.15	AS1	細砂	19.0	20.0	10.0	344.90	183.40	0.65	0.728	0.74	22.9	8.2	3.8
19.15	AS1	細砂	19.0	20.0	10.0	364.90	193.40	0.65	0.713	0.72	18.7	8.2	3.8
20.00	AG	砂礫	20.0	21.0	11.0	381.90	201.90	0.65	0.700	0.70	97.1	8.2	3.8
20.00	AG	砂礫	20.0	21.0	11.0	389.25	205.75	0.65	0.685	0.68	97.1	8.2	3.8
21.00	Mb	砂岩混互層	20.0	21.0	11.0	402.90	212.90	0.65	0.670	0.67	97.1	8.2	3.8
26.00	Mb	砂岩混互層	20.0	21.0	11.0	507.90	267.90	0.65	0.655	0.65	97.1	8.2	3.8

液状化による影響は「中」である。

表-5.5.4 宮崎県総合運動公園 屋内走路建設工事 液状化判定計算 PL値、Dcy値 計算結果表

* 中地震時 (レベル 1 荷重 - 200gal)						
ボ-リング 番号	PL値	PLの範囲	液状化の影響の程度	Dcy値(cm)	Dcyの範囲	液状化の程度
Bor.1	5.80	5<PL≦15	液状化による影響は大きい	9.85	5<Dcy≦10	小
Bor.3	6.20	5<PL≦15	液状化による影響は大きい	6.65	5<Dcy≦10	小
Bor.5	2.13	0≦PL≦5	液状化による影響は小さい	3.85	0<Dcy≦5	軽微
平均値	4.71	0≦PL≦5	液状化による影響は小さい	6.78	5<Dcy≦10	小

* 大地震時 (レベル 2 荷重 - 350gal)						
ボ-リング 番号	PL値	PLの範囲	液状化の影響	Dcy値(cm)	Dcyの範囲	液状化の程度
Bor.1	28.40	20<PL	液状化による影響は非常に大きい	22.75	20<Dcy≦40	大
Bor.3	22.62	20<PL	液状化による影響は非常に大きい	16.50	10<Dcy≦20	中
Bor.5	23.00	20<PL	液状化による影響は非常に大きい	12.20	10<Dcy≦20	中
平均値	24.67	20<PL	液状化による影響は非常に大きい	17.15	10<Dcy≦20	中

建築構造設計指針(P5)によれば、中地震(レベル1)、大地震(レベル2)の定義は以下の通りである。

- * 1 中地震(レベル1 荷重): 短時間に作用する荷重のうち、建物の供用期間中に1回から数回遭遇する荷重
- * 2 大地震(レベル2 荷重): 短時間に作用する荷重のうち、設定した再現期間中に想定される最大級の荷重

5.5.3 液状化判定計算結果について(総括)

表-5.5.1～表-5.5.4 の液状化判定計算結果より以下のことがわかる。

① レベル1 荷重(中地震時-200gal)の液状化判定計算結果について

- ・液状化の可能性が高いFL値1以下が発生する深度はBor.1で6.15m～14.15m、Bor.3で5.15m～12.15m、Bor.5で7.15m～13.15mとなっており、これらの層でFL値が1以下となる深度のN値は17以下である。
- ・建築物に対して、液状化の被害が大きい表面から浅い深度(5m未滿)では液状化の可能性は低い。
- ・液状化の程度を表すPL値は、Bor.1=5.80、Bor.3=6.20、Bor.5=2.13、平均値=4.71と「液状化による影響は小さい」と判定される $PL < 5$ となっている。
- ・地表面での水平変位(cm)を表すDcy値は、Bor.1=9.85cm、Bor.3=6.65cm、Bor.5=3.85cm、平均値=6.78cmであり、液状化の程度としては概ね「小」となる。

② レベル2 荷重(大地震時-350gal)の液状化判定計算結果について

- ・液状化の可能性が高いFL値1以下が発生する深度はBor.1・5で3.15m～19.15m、Bor.3で3.15m～18.15mとなっており、これらの層でFL値1以下となる深度の最大N値は26(Bor.5-19.15m)となっている。結果的に見れば、地下水位(深度2.00～2.62m)以下から深度20mまでのほぼ全層で、液状化が発生する可能性が高いと言える。
- ・液状化の程度を表すPL値は、Bor.1=28.40、Bor.3=22.62、Bor.5=23.00、平均値=24.67と「液状化による影響は非常に大きい」と判定される $PL > 20$ となっている。
- ・地表面での水平変位(cm)を表すDcy値は、Bor.1=22.75cm、Bor.3=16.50cm、Bor.5=12.20cm、平均値=17.15cmであり、液状化の程度としては概ね「中」となる。

以上

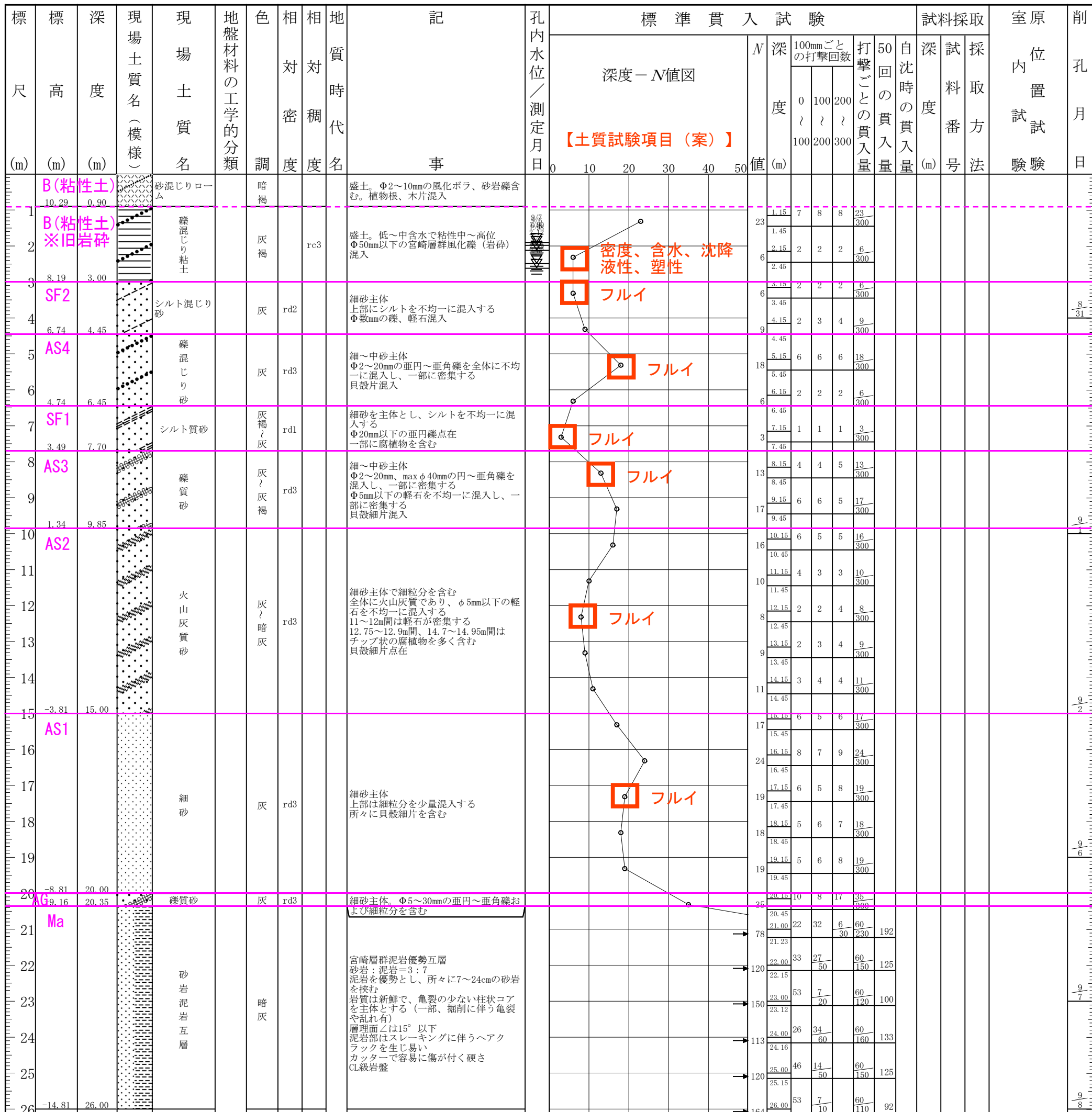
土質ボーリング柱状図（標準貫入試験）

調査名 令和4年度第161-イ-B号 宮崎県総合運動公園屋内走路建設工事に伴う地盤調査業務委託

事業名 または 工事名

調査目的及び調査対象 建築 構造物基礎

ボーリング名	Bor. No. 1	調査位置	宮崎市大字熊野	北緯	
発注機関	宮崎県営繕課	調査期間	2022年 8月 31日 ~ 2022年 9月 8日	東経	
調査業者名	株式会社国土地質調査事務所 電話 0985-29-8323	主任技師	財津良太 地質調査技士 登録番号: 第22436号	現場代理人	甲斐重隆 地質調査技士 登録番号: 第22436号
コア鑑定者	財津良太 地質調査技士 登録番号: 第22436号	ボーリング責任者	中嶋一夫 地質調査技士 登録番号: 第21404号	試験機	東邦製DM-03L型
孔口標高	仮ベンチ 11.19m	方位	北 0° 西 270° 東 90° 南 180°	使用機種	エンジン ヤンマー製TF90M
総削孔長	26.00m	角度	180° 上下 90° 0°	ポンプ	三菱製EP-161GB



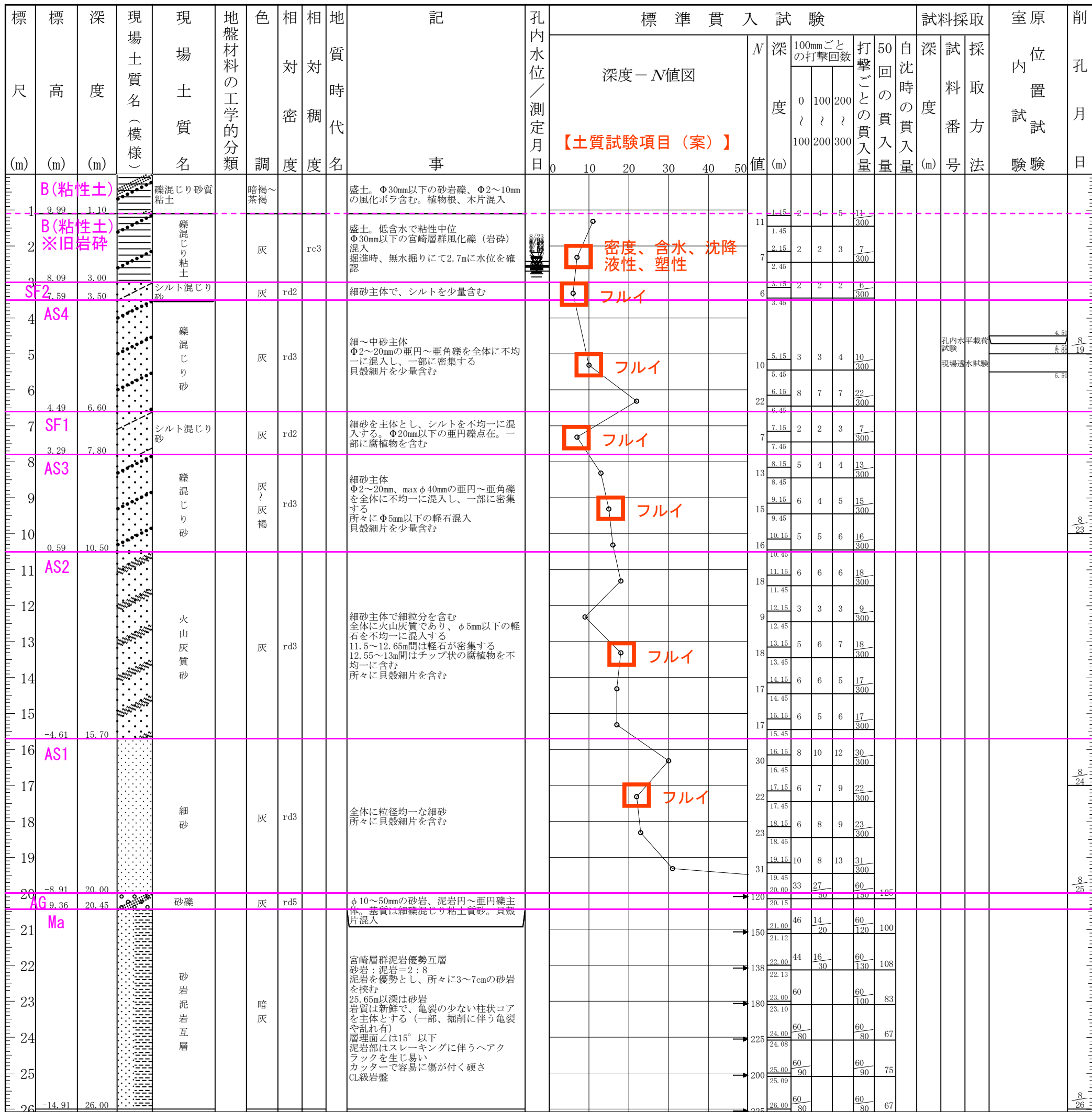
土質ボーリング柱状図（標準貫入試験）

調査名 令和4年度第161-イ-B号 宮崎県総合運動公園屋内走路建設工事に伴う地盤調査業務委託

事業名 または 工事名

調査目的及び調査対象 建築 構造物基礎

ボーリング名	Bor. No. 3	調査位置	宮崎市大字熊野	北緯	
発注機関	宮崎県営繕課	調査期間	2022年 8月 19日 ~ 2022年 8月 26日	東経	
調査業者名	株式会社国土地質調査事務所 電話 0985-29-8323	主任技師	財津良太 地質調査技士 登録番号: 第22436号	現場代理人	甲斐重隆 地質調査技士 登録番号: 第22436号
コア鑑定者	財津良太 地質調査技士 登録番号: 第22436号	ボーリング責任者	中嶋一夫 地質調査技士 登録番号: 第21404号		
孔口標高	仮ベンチ 11.09m	方位	北 0° 西 270° 東 90° 南 180°	地盤勾配	水平0° 鉛直 90°
総削孔長	26.00m	使用機種	試錐機 東邦製DM-03L型 エンジン ヤンマー製TF90M	ポンプ	三菱製EP-161GB



土質ボーリング柱状図（標準貫入試験）

調査名 令和4年度第161-イ-B号 宮崎県総合運動公園屋内走路建設工事に伴う地盤調査業務委託

事業名 または 工事名

調査目的及び調査対象 建築 構造物基礎

ボーリング名	Bor. No. 5		調査位置	宮崎市大字熊野		北緯		
発注機関	宮崎県営繕課			調査期間	2022年 9月 7日 ~ 2022年 9月 14日		東経	
調査業者名	株式会社国土地質調査事務所 電話 0985-29-8323		主任技師	財津良太 地質調査技士 登録番号: 第22436号		コア鑑定者	財津良太 地質調査技士 登録番号: 第22436号	
現代理人	甲斐重隆 地質調査技士 登録番号: 第22436号		ボーリング責任者	玉田修三 地質調査技士 登録番号: 第22268号		試験機	吉田製YBM-05型	
孔口標高	仮ベンチ 10.99m		方位	北 0° 西 270° 東 90° 南 180°		エンジン	ヤンマー製NFAD-90型	
総削孔長	26.00m		地盤勾配	鉛直 90°		ポンプ	丸山製MS417EA	

標尺 (m)	標高 (m)	深度 (m)	現場土質名 (模様)	現場土質名	地盤材料の工学的分類	色調	相対密度	相対稠度	地質時代名	記述	孔内水位 / 測定月日	標準貫入試験					試料採取	室原位置試験	削孔月日							
												N値	深	100mmごとの打撃回数	打撃ごとの貫入量	50回の貫入量				自沈時の貫入量	深	試料番号	採取方法			
1	9.89	1.10	B(粘性土)	砂混じり粘土	暗褐~黄褐					盛土。砂混じりローム(暗褐)、砂混じり粘土(黄褐)からなる。Φ10mm以下の礫点在。所々に植物根混入	9/14 3.70	14	1.15	2	4	8	14									
2	8.09	2.90	B(粘性土) ※旧岩砕	礫混じり粘土	灰~褐灰		rc3			盛土。中含水で粘性中~高位 Φ20mm以下の宮崎層群風化礫(岩砕)混入		7	2.15	2	3	2	7									
3	7.29	3.70	SF2	砂質シルト	灰		rc2			全体に不均一に細砂を混入する中含水で粘性低~中位		3	3.15	1	2	3										
4	4.54	6.45	AS4	細中砂	灰		rd3			上部は中砂主体で下部は細砂主体となる Φ5mm以下の礫点在		10	4.15	3	3	4	10									
5	2.99	8.00	SF1	シルト質砂	暗灰~灰		rd2			細砂を主体とし、シルトを不均一に混入する Φ数mmの軽石点在		7	7.15	1	3	3	7									
6	1.54	9.45	AS3	礫混じり砂	灰褐		rd3			細~中砂主体。Φ2~10mm, max φ 30mmの円~亜角礫を全体に不均一に混入し、一部に密集する。貝殻片混入		16	8.15	4	5	7	16									
7	-2.56	13.55	AS2	火山灰質砂	灰~暗灰		rd3			細砂主体で細粒分を含む全体に火山灰質である 11~13m間はφ5mm以下の軽石を不均一に混入し、一部に密集する 貝殻片混入		15	11.15	5	5	5	15									
8	-9.01	20.00	AS1	細砂	灰		rd3			全体に粒径均一な細砂 下部は所々に貝殻細片を含む		26	15.15	6	10	10	26									
9	-9.36	20.35	AG	砂礫	緑灰		rd5			φ10~50mmの砂岩、泥岩円~亜円礫主体。基質は細礫混じり砂質粘土。貝殻片混入		138	20.00	49	11	60	108									
10			Ma	砂岩泥岩互層	暗灰					宮崎層群泥岩優勢互層 砂岩: 泥岩=2:8 泥岩を優勢とし、所々に4~28cmの砂岩を挟む 岩質は新鮮で、亀裂の少ない柱状コアを主体とする(一部、掘削に伴う亀裂や乱れ有※20.7~21m間、22.8~23m間はコア落下による乱れ) 層理面は10°以下 泥岩部はスレーキングに伴うヘアックを生じ易い カッターで容易に傷が付く硬さ CL級岩盤		106	21.00	29	31	60	142									
11												106	22.00	27	33	60	142									
12												150	23.00	52	8	60	100									
13												164	24.00	50	10	60	92									
14												164	25.00	52	8	60	92									
15												267	26.00	60	70	60	58									