

中央多目的グラウンド等における地質調査委託業務

報 告 書

平成 29 年 3 月

西宮市土木部営繕部営繕課



目 次

巻頭調査位置案内図

1. 業務概要	1
1-1. 一般項目	1
1-2. 調査数量	3
1-3. 調査位置平面図	4
2. 調査方法	5
2-1. 機械ボーリング	5
2-2. 標準貫入試験	6
2-3. 現場透水試験	7
2-4. 間隙水圧測定	8
2-5. 孔内水平載荷試験	9
2-6. 室内土質試験	10
3. 地形・地質概要	11
4. 調査結果	15
4-1. ボーリング結果	15
4-2. 標準貫入試験結果	21
4-3. 現場透水試験及び間隙水圧測定結果	25
4-4. 孔内水平載荷試験結果	28
4-5. 室内土質試験結果	29
5. 考 察	39
5-1. 地盤定数の検討	39
5-2. 液状化の検討	46
5-3. まとめ	58

【 巻 末 資 料 】

- ・ ボーリング柱状図
- ・ 孔内水平載荷試験データ
- ・ 現場透水試験データ
- ・ 室内土質試験データ
- ・ 液状化判定結果

- ・現場記録写真
- ・室内土質試験写真

【 別途調査資料 】

- ・土質標本

1. 業務概要

1-1. 一般項目

(1) 業務名：中央多目的グラウンド等における地質調査委託業務

(2) 業務場所：兵庫県西宮市河原町3番1、3番2、8番、23、28番2（地番）

(3) 履行期間：自)平成28年12月23日～至)平成29年3月31日

(4) 業務目的：本業務は西宮市中央運動公園で計画されている多目的グラウンド等の計画に先立ちボーリング調査、原位置試験及び室内土質試験を実施し、設計・施工のための基礎資料を供することを目的とする。

(5) 調査内容：

1) 機械ボーリング	5箇所	延長150.0m
2) 標準貫入試験		計149回
3) 現場透水試験（ケーシング法）		計1回
4) 間隙水圧測定（水頭測定・砂質土）		計1回
5) 孔内水平載荷試験（低圧用）		計1回
6) 室内土質試験（物理試験、力学試験）		1式
7) 報告書作成		1式

※（調査数量の詳細は、1-2. 調査数量表に示す。）

(6) 発注者：西宮市土木部営繕部営繕課

(7) 請負者：



(8) 参考図書：

- 1) 地盤調査法 [地盤工学会]
- 2) 土質試験の方法と解説 [地盤工学会]
- 3) 設計便覧（案）[国土交通省近畿地方整備局]
- 4) 道路土工 [日本道路協会]

- 5) 道路橋示方書 [日本道路協会]
- 6) 建築基礎構造設計指針 [日本建築学会]
- 7) 委託業務特記仕様書
- 8) 西宮市営繕事業に係る電子納品運用ガイドライン

(9) 位置および地盤高測量：

ボーリング位置は監督員の指示する地点とし、位置出しについては既往既知地点から測定した。また、ボーリング地点の地盤高は、図 1.3.1 の調査位置平面図に示す地盤高基準点 (331-2 H=OP+9.59m[TP+8.29m]) から水準測量により求め、O.P 管理とした。

1-2. 調査数量

表 1.2.1 土質調査実施数量一覧表

工種	種別	細別	単位	総数量		ボーリング孔											
				設計	実施	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
						設計	実施	設計	実施	設計	実施	設計	実施	設計	実施		
ボーリング	φ 66 mm	シルト・粘土	m	25.00	33.50	8.50	1.00	9.85	6.00	6.60	6.00	4.60	6.00	5.30	6.00	7.15	
		砂・砂質土	m	56.00	78.76	22.76	0.00	14.75	14.00	20.95	14.00	5.70	14.00	18.36	14.00	19.00	
		礫混じり土砂	m	45.00	21.19	-23.81	5.00	5.40	10.00	2.45	10.00	3.40	10.00	6.34	10.00	3.60	
		玉石	m	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	
	φ 86 mm	シルト・粘土	m	0.00	1.15	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	
		砂・砂質土	m	0.00	15.15	15.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.15	0.00	0.00	0.00	0.00	
		礫混じり土砂	m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		シルト・粘土	m	5.00	0.00	-5.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	φ 116 mm	砂・砂質土	m	14.00	0.00	-14.00	14.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		礫混じり土砂	m	5.00	0.00	-5.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
サンプリング	掘進計	m	150.00	150.00	0.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	
	シノウォールサンプリング	試料	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
原位置試験	デニソンスンプリング	試料	2	0	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	標準貫入試験	回	26	42	16	2	9	6	9	6	8	6	8	6	8	8	
	標準貫入試験	回	70	87	17	14	16	14	18	14	19	14	17	14	17	17	
	標準貫入試験	回	50	20	-30	10	6	10	2	10	3	10	5	10	4	4	
	孔内水平載荷試験	回	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	現場透水試験	回	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	間隙水圧測定	回	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	土粒子の密度	試料	4	28	24	4	6	0	0	0	8	0	8	0	8	6	
	含水比試験	試料	2	28	26	2	6	0	0	0	8	0	8	0	8	6	
	物理試験	粒度試験	試料	4	28	24	4	6	0	0	8	0	8	0	8	6	
室内土質試験	粘性限界試験	試料	2	9	7	2	3	0	0	1	0	3	0	3	2	2	
	塑性限界試験	試料	2	9	7	2	3	0	0	1	0	3	0	3	2	2	
	湿潤密度試験	試料	2	0	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	三軸圧縮試験 (UU)	試料	2	0	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	土の圧密試験	試料	2	0	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	土の圧密試験	試料	2	0	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

1-3. 調査位置平面図

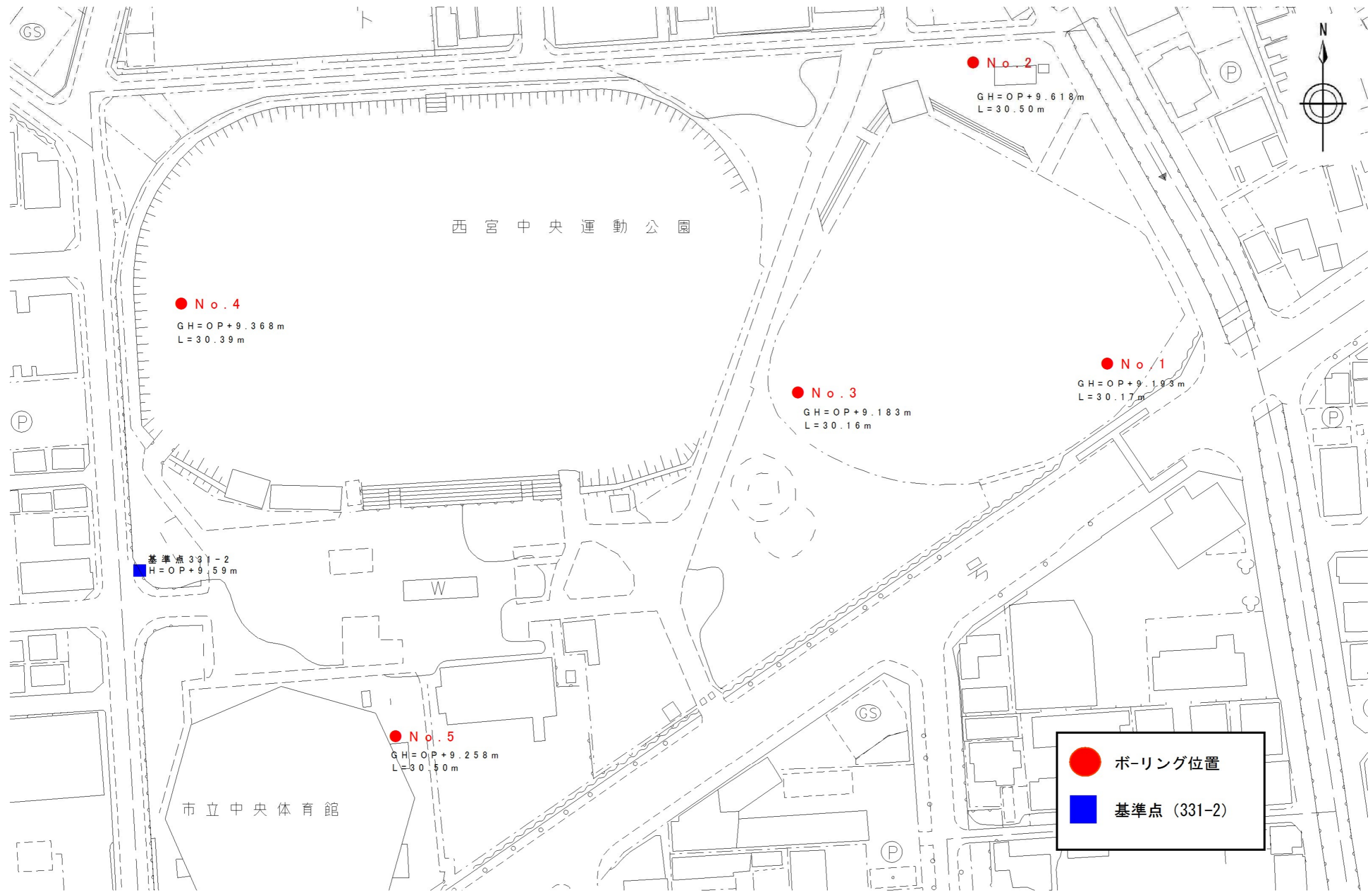


図 1-3-1 調査位置平面図

2. 調査方法

2-1. 機械ボーリング

機械ボーリングは、前述の調査位置平面図に示した5箇所を実施した。

機械ボーリングは、調査箇所の地層構成を明らかにするとともに、原位置試験を行うために実施した。実施方法の概要図を図2.1.1に示す。

ボーリング機械はロータリー式ボーリング機械を用いる。掘削孔径は孔内水平載荷試験、現場透水試験、間隙水圧測定を実施するボーリング孔はφ86mm、標準貫入試験を実施するボーリング孔はφ66mmとした。

ボーリング掘進中は、送水量・給圧・排水量・スライム状況に留意し、ケーシングチューブにより孔壁保護を行う。また、掘進作業開始前および作業終了後の孔内水位観測を行い、掘進に伴う孔内水位の変化を把握した。

掘止めは、原則として設計数量に準ずるものとするが、地盤状況や調査目的を考慮し、監督員と協議の上、決定した。

ボーリングにより採取した土質試料は、整理して観察を行い、ボーリング柱状図を作成する。ボーリング孔は、現地発生土及び良質土で確実に埋め戻した。

尚、ボーリング地点近傍に埋設管の敷設がある可能性が考えられたため、全地点で試掘（GL-1.0～1.5m程度）を行った。

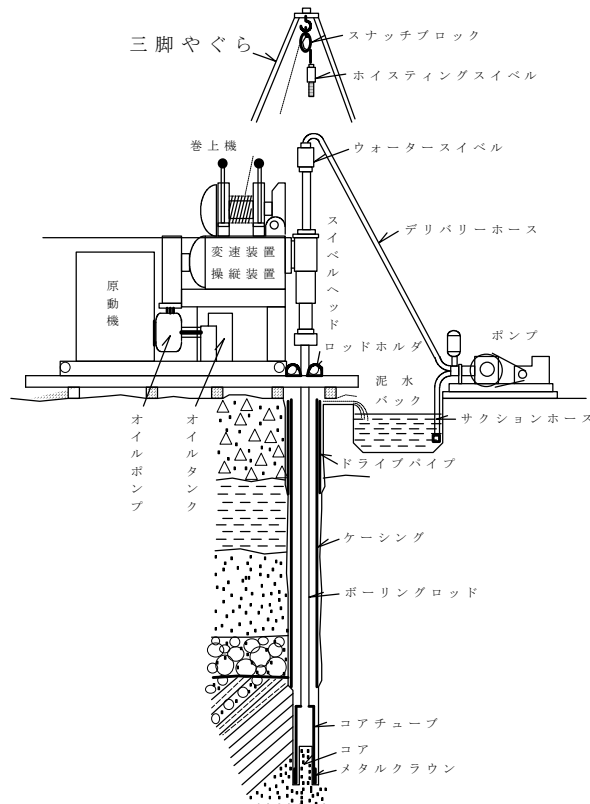


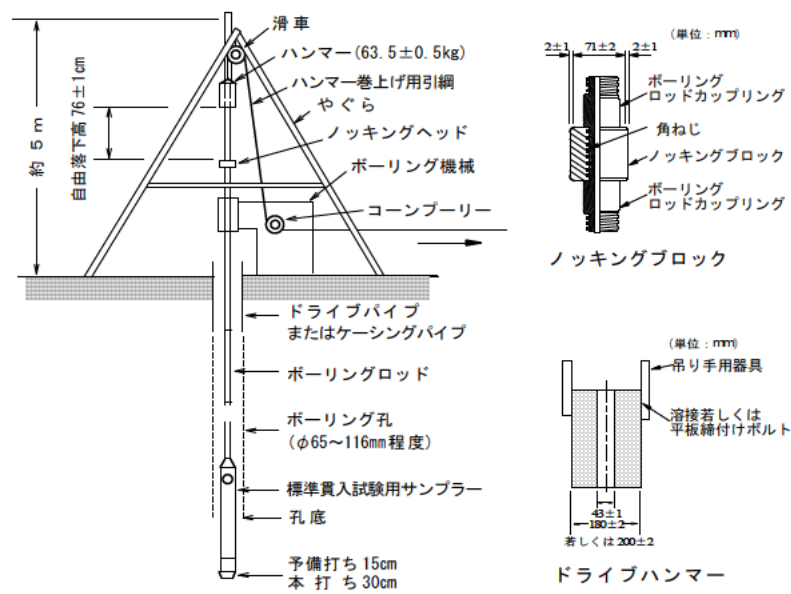
図 2.1.1 機械ボーリング模式図

2-2. 標準貫入試験

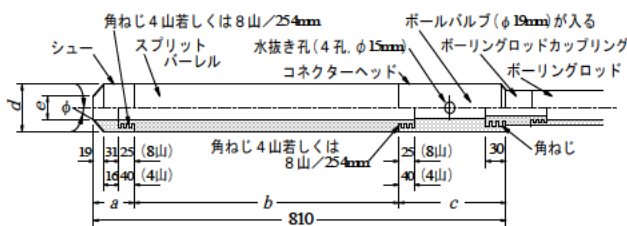
標準貫入試験によるN値は、質量 $63.5 \pm 0.5\text{kg}$ のハンマーを $76 \pm 1\text{cm}$ の高さから自由落下させて、ロッド頭部に取り付けたノッキングヘッドを打撃し、ロッド先端に取り付けたレイモンドサンプラーを地盤に 30cm 打ち込むのに要する打撃数である。

試験は原則として深さ 1.0m 毎に実施し、測定に当たっては貫入量 10cm 毎の打撃回数を記録する。尚、打撃回数は最高 60 回までとし、 60 回の打撃で貫入量が 30cm に満たない場合は累計貫入量を記入する。標準貫入試験器で採取した試料は、粒度組成・色・臭気・混入物などの観察を行い、自然状態が変化しないように保存した。

標準貫入試験に用いる主な器具を図 2.2.1 に示す。



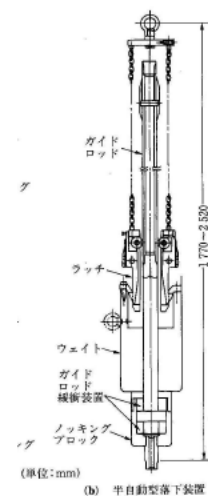
標準貫入試験法の概念図



標準貫入試験用サンプラー

単位: mm (φ以外)

各部	全長	シュー長 a	パーレル長 b	ヘッド長 c	外径 d	内径 e	シュー角度 ϕ	刃先肉厚 t
寸法	810 ± 10	75 ± 10	560 ± 10	175 ± 10	51 ± 10	35 ± 10	$19' 45' \pm 8'$	1.15 ± 0.05



(b) 半自動型落下装置

図 2.2.1 標準貫入試験状況及び使用器具概略図

2-3. 現場透水試験

試験はピエゾメーター法(ケーシング法)と呼ばれる単孔式現場透水試験の回復法で実施した。

図 2.3.1 に、測定方法を示す。

試験方法は、まずケーシングパイプを地盤に打ち込み孔内を洗浄する。パイプの先端を清水で掘進して孔隙をつくる。回復法は、地下水位が比較的高い場合に実施される方法であり、孔内の水を汲み上げて、水位の回復状況を記録する。

透水係数は、測定結果から時間-水位曲線を作成し、この曲線の傾きから算出する。

透水係数の計算式を以下に示した。

$$k = \frac{(2.3d)^2}{8L} \log\left(\frac{2L}{D}\right)a$$

ここに、

k : 透水係数 (m/s) d : 測定用パイプ内径 (cm)

D : 試験区間直径 (cm) L : 試験区間長 (cm)

t : 経過時間 (秒)

a : $\log s-t$ 曲線の直線部の勾配

$a = \log (S_1/S_2) / t_2 - t_1$

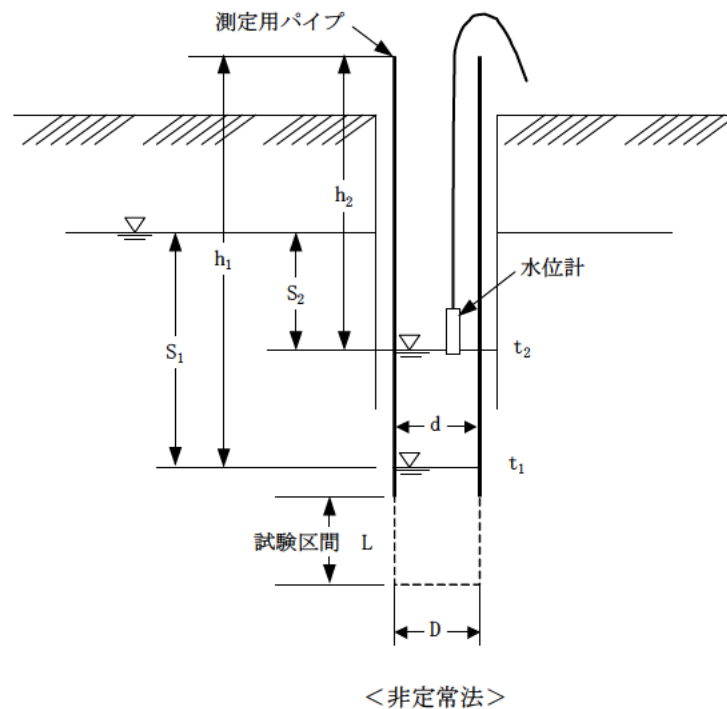


図 2.3.1 現場透水試験概略図

2-4. 間隙水圧測定

間隙水圧測定は、現場透水試験で透水係数を測定後そのまま一晩放置し、翌朝の水位を測定して、その水頭を間隙水圧とした。

水頭測定による間隙水圧 u は、

$$u = (z - D) \times \rho_w$$

ここに、

u : 間隙水圧 (tf/m²)

z : 地表面からケーシング下端までの深度 (m)

D : 地表面から水位面までの深さ (m)

ρ_w : 水の密度 ($\approx 1.0\text{tf/m}^3$)

2-5. 孔内水平載荷試験

孔内水平載荷試験は、主として杭の水平抵抗力を検討するために必要な地盤の変形係数、降伏圧力等を求めることを目的として実施した。

図 2.5.1 に示す孔内水平載荷試験機は、孔壁を加圧する測定管、圧力・変位量の制御・測定部、圧力源およびこれらを接続する連結管から構成される。試験に使用する試験機の種類は、測定管が1室のゴムチューブ製測定用セルで構成されるA型（等分布荷重方式：1室型）である。

試験方法は、JGS 1421-2003（地盤工学会基準）に基づき、ボーリング孔を掘削後、測定深度まで測定管（ゾンデ）を挿入し、ガス圧を利用してゾンデを膨張させ、段階的にボーリング孔壁を載荷する。この時の圧力 p とゾンデの変位量 r を測定することにより p - r 曲線が得られ、初期圧力 p_0 降伏圧力 p_y 極限圧力 p_l を求める。 p_0 と p_y の間の直線勾配から、以下の式により変形係数 E を求める。

$$E = (1 + \nu) \cdot r_m \cdot \Delta p / \Delta r$$

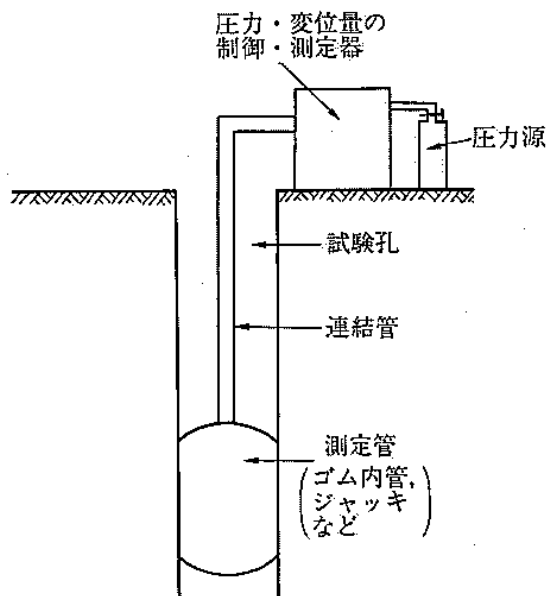
ここに、 ν : ポアソン比

Δp : 圧力-変位量曲線の直線部分における圧力増分 (kN/m^2)

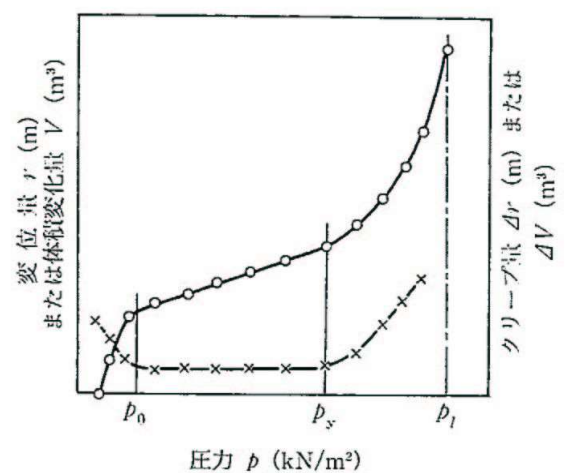
Δr : Δp に対応する変位増分 (m)

r_m : $\Delta p / \Delta r$ 算定区間の中間半径 (m)

なお、今回使用した機器は、応用地質(株)製 LLT MODEL-4188 である。



(a) 孔内水平載荷試験機基本構成図



(b) 圧力-変位量（または体積変化量）

図 2.5.1 孔内水平載荷試験機構成図と測定例

(地盤調査の方法と解説、(公社)地盤工学会、2004)

2-6. 室内土質試験

室内土質試験は標準貫入試験で得られた攪乱試料を用いて行った。

試験項目および方法は、表 2.6.1 に示すとおりである。試験方法は、「土質試験の方法と解説（社団法人 地盤工学会）」に準拠して行った。

表 2.6.1 室内土質試験の基準・規格一覧表

分類	試験項目	規格・基準番号	
		JIS	JGS
物理試験	土粒子の密度試験	A 1202	0111
	土の含水比試験	A 1203	0121
	土の粒度試験	A 1204	0131
	土の液性限界・塑性限界試験	A 1205	0141

3. 地形・地質概要

1) 地形

調査地はJR神戸線「西宮」駅の北へ約2kmに位置する。調査地の北側には標高500～900m程度の六甲山地が北東から南西に延び、その六甲山地の南側には急峻な断層崖で大阪湾に臨み、その間に幅3kmにも満たない狭小な海岸平野が細長く分布している。そしてこの平野部が西宮、芦屋、神戸の主要市街地となり、海岸から山麓にいたるまでほとんど切れ目なく続いている。また、海岸沿いを埋め立てて、港湾施設や市街地の拡大がはかられている。

調査地にあたる西宮地区は、大きく沖積低地、丘陵地及び山地部に分かれる。また、丘陵地と沖積低地の境界部には扇状地・緩扇状地が分布する。

調査地は沖積低地（扇状地性低地）である。調査地付近の沖積低地は扇状地と砂礫質の氾濫原にあたり、武庫川や丘陵地から流れ出る中小河川の粗粒堆積物によって構成され、地下水位が豊富な状態となっている場合が多い。図3.1.1に調査地付近の地形区分図を示す。

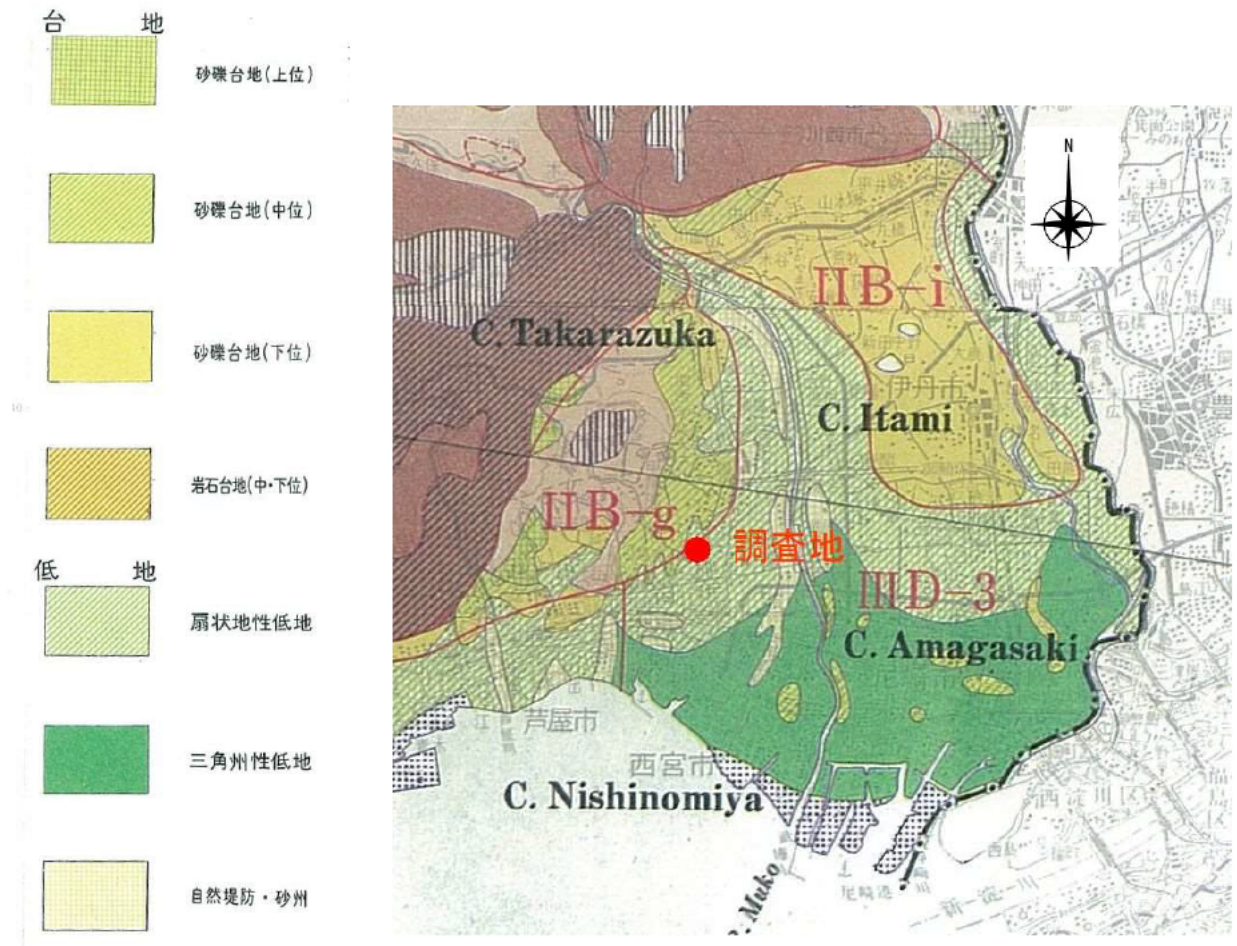


図 3.1.1 調査地付近の地形区分図

出典：土地分類図（兵庫県）H.7年5月

2) 地質

調査地周辺部の地質は、主に中生代白亜紀の六甲花崗岩・布引花崗閃緑岩類を基盤とし、それを鮮新-更新世の「大阪層群」及びそれ以降の第四紀完新世の洪積層及び沖積層が被覆している。調査地が位置する沖積低地は大阪層群上部層、高位・中位・低位段丘堆積層と、扇状地・崖錐を構成する堆積物や沖積堆積物が水平あるいはやや緩く傾斜した状態で分布している。

大阪層群は大阪平野に広く分布し、周辺部では丘陵を形成している。大阪層群は未固結の砂質土、粘性土、礫質土からなる。大阪層群を被覆して上部洪積層が分布する。上部洪積層は締まった礫質土・砂質土層及び硬い粘性土層（海成～汽水成の粘土層である Ma11 層及び Ma12 層が含まれる）が互層状に分布している。沖積層は軟弱な粘性土層、緩い砂礫・砂質土からなり、谷部や平野部に広く分布している。図 3.1.2 に西宮西部の南北表層地質断面図を示し、表 3.1.1 に調査地の地質総括表を示す。図 3.1.3 に調査地の表層地質図を示す。

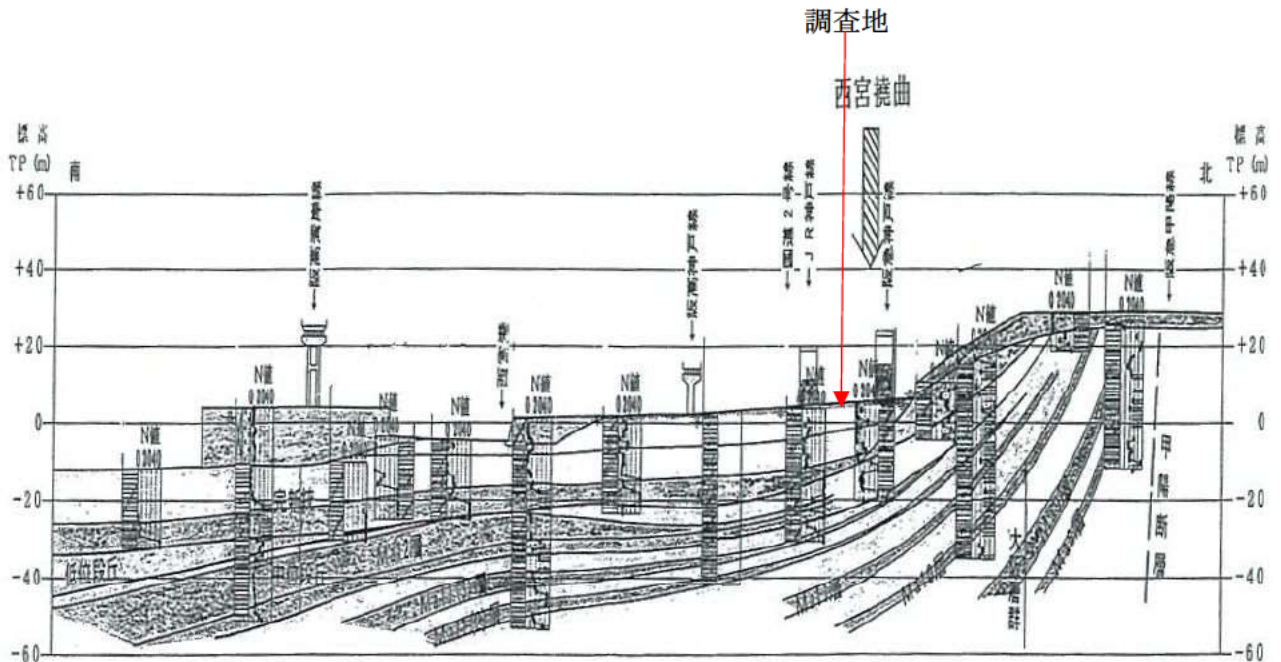


図 3.1.2 西宮西部の南北表層地質断面図

出典：六甲山地東部の地形地質と地震被害 H9 年 11 月

関西地質調査業協会

凡例

	泥・砂	沖積世	いわゆる沖積平原の堆積物で、砂、礫のほか塩土などを含まれている。しかし一部はこれを一掃して築いている。これらの堆積物は主要な平野および主な河川沿いに分布する。場所によって異なるが、日本海側では山田川沿いで約30m、瀬戸内側で15-25m位と推定される。
	砂	沖積世	扇状地を形成する堆積物で、礫のほかに塩土などを含まれている。自然堆積は武庫川や加古川下流に認められ、南砂付谷や東山地区には砂が堆積する。また淡路、吹上浜や磯子地区には砂が堆積している。
	段・丘・礫	沖積世	扇状地の扇内側に分布する礫、中位、低位の礫層がこれに相当する。礫に砂層が挟まれているが、所々に粘土を含まれ、三木市の周辺ではベツバ、コブシ等の礫が堆積している。
	礫・砂	沖積世	主として扇状地一帯に堆積する堆積物で、大規模な礫層とそれに相当するもの。礫の粒径は概して10cm以上あり、一部は砂層と粘土の層をなすことも多く、場所によっては白色の礫層を呈し、西舞鶴方面の山頂部に見られるものはやはり砂層からなり、大規模な礫層を呈している。
	礫・砂 泥質砂層	新第三紀	この記号で示したものは淡路帯（古生界）礫山層群、瀬田層群（中生界）を指す。新第三紀に属する沖積層、北田層群（北田層群）大谷層、大谷砂岩層群（西舞鶴層）などを含む広い範囲のものである。いずれも礫石、砂石、貝殻（地殻石）凝灰岩などの互層からなり、新第三紀の堆積物から新第三紀の礫石を多量する。
	礫	新第三紀	礫石も多くの堆積物に含まれるが、比較的にまとまったものとして八咫町、三木および出石方面の山頂部に分布する新第三紀の礫層を示した。いずれも100m以内の厚さをもち、ほかに礫石層も認められるが、その厚さは約300mに達し、推定される。
	砂	新第三紀	砂層は古生代堆積物に認められるが、この中で特に明瞭に認められる堆積物と区別できるが、淡路帯およびそれに相当する古生代堆積物の表示は、主として礫山付近と淡路町方面から淡路町方面に分布している。
	泥質砂	新第三紀	泥質砂層は主として扇状地、礫層を主体とする堆積物と見なされた。礫山頂部、加西市北条から福崎町を経て佐用郡上月町に至る地域、兵庫県北条郡、但馬郡などに分布する古生代、中生代、新第三紀の堆積物（新第三紀上部）などがこれに相当する。

未固結堆積物 固結半固結堆積物 固結堆積物

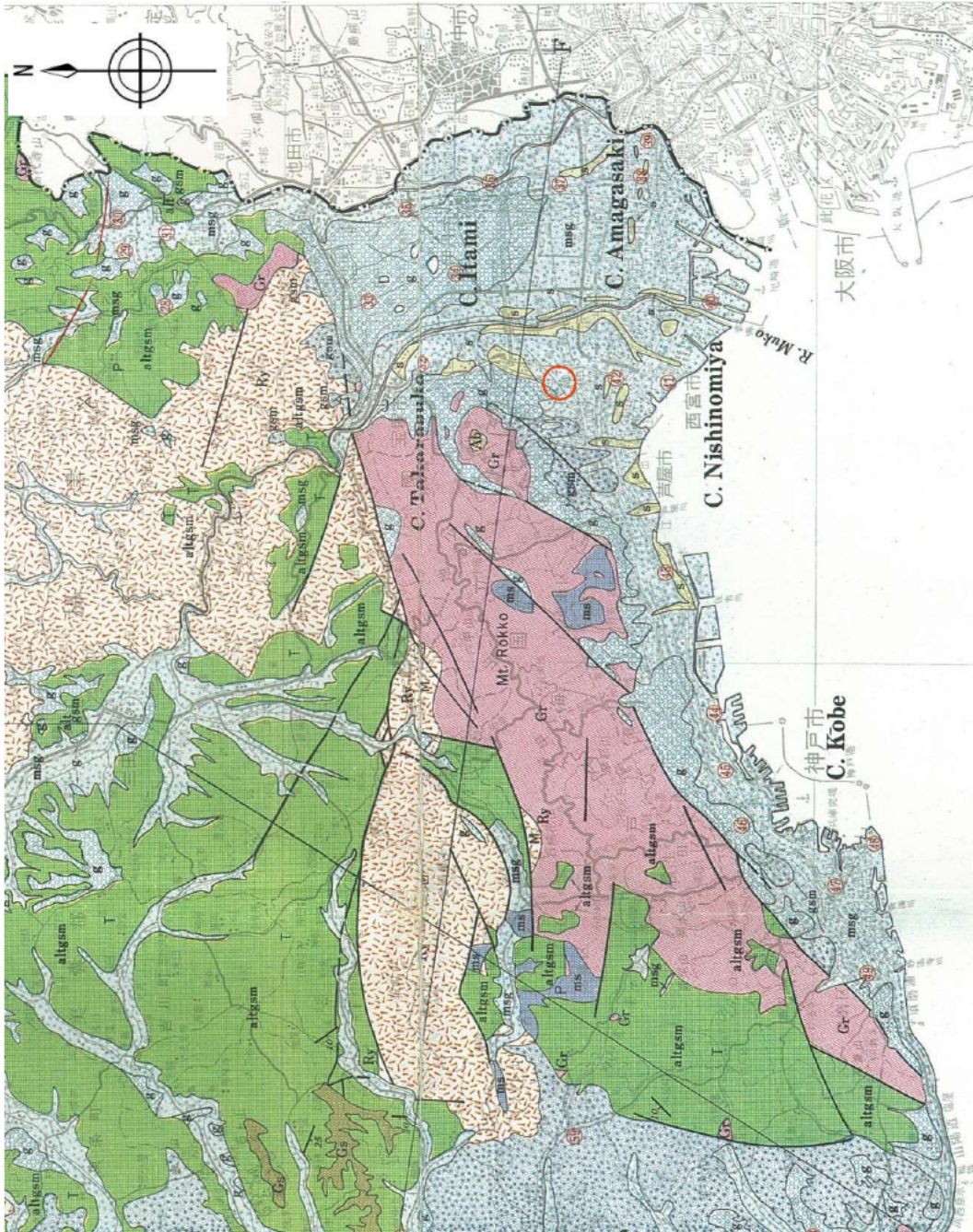


図 3.1.3 調査地の表層地質図

出典：土地分類図（兵庫県）H.7年5月

4. 調査結果

4-1. ボーリング結果

ボーリングの詳細な結果は、巻末資料「ボーリング柱状図」に示す。なお、土層の連続性や傾斜を想定するため、調査結果より地層想定断面図を作成し、図 4.1.1～図 4.1.2 に示した。

調査地の地層は盛土層(B)の下位に緩い砂質土・礫質土及び軟弱な粘性土がほぼ連続性良く水平に分布し、その下位には硬い粘性土及び締まった砂質土の互層及び締まった礫質土からなる洪積層が北東から南西に向かい緩やかな傾斜で分布している。表 4.1.1 に、調査地の地層構成を示す。

表 4.1.1 調査地の土質構成

地質時代	地層名		地層記号	土質区分	分布層厚(m)	
第四紀	現世	盛土層		B	砂・礫混じり砂	1.10～3.50
	完新世	沖積層	沖積第1砂質土層	As1	粘土混じり砂、礫混じり砂、シルト混じり砂	0.6～2.15
			沖積第1粘性土層	Ac1	粘土質砂、粘土、砂まじり粘土	0.3～0.85
			沖積第2砂質土層	As2	砂、シルト質砂、	0.6～1.20
			沖積第2粘性土層	Ac2	粘土、砂混じり粘土、粘土質砂、シルト質粘土	0.25～2.30
			沖積第3砂質土層	As3	砂、礫混じり砂、粘土混じり砂、	3.55～5.75
			沖積礫質土層	Ag	砂礫	1.20
	更新世	洪積層	洪積粘性土層	Dc	砂質粘土、粘土、シルト質砂	0.3～1.70
			洪積第1砂質・粘性土層	Dsc1	砂、粘土、粘土混じり砂、礫混じり砂、砂質粘土	3.60～6.75
			洪積礫質土層	Dg	砂礫、礫混じり砂、砂、玉石、粘土混じり砂	2.45～5.40
			洪積第2砂質・粘性土層	Dsc2	粘土、砂混じり粘土、砂質粘土、粘土混じり砂、礫混じり砂	5.60～8.40
			洪積砂質土層	Ds	礫混じり砂、シルト混じり砂、砂、粘土質砂礫	1.47～4.15

以下に各地層の概要について述べる。

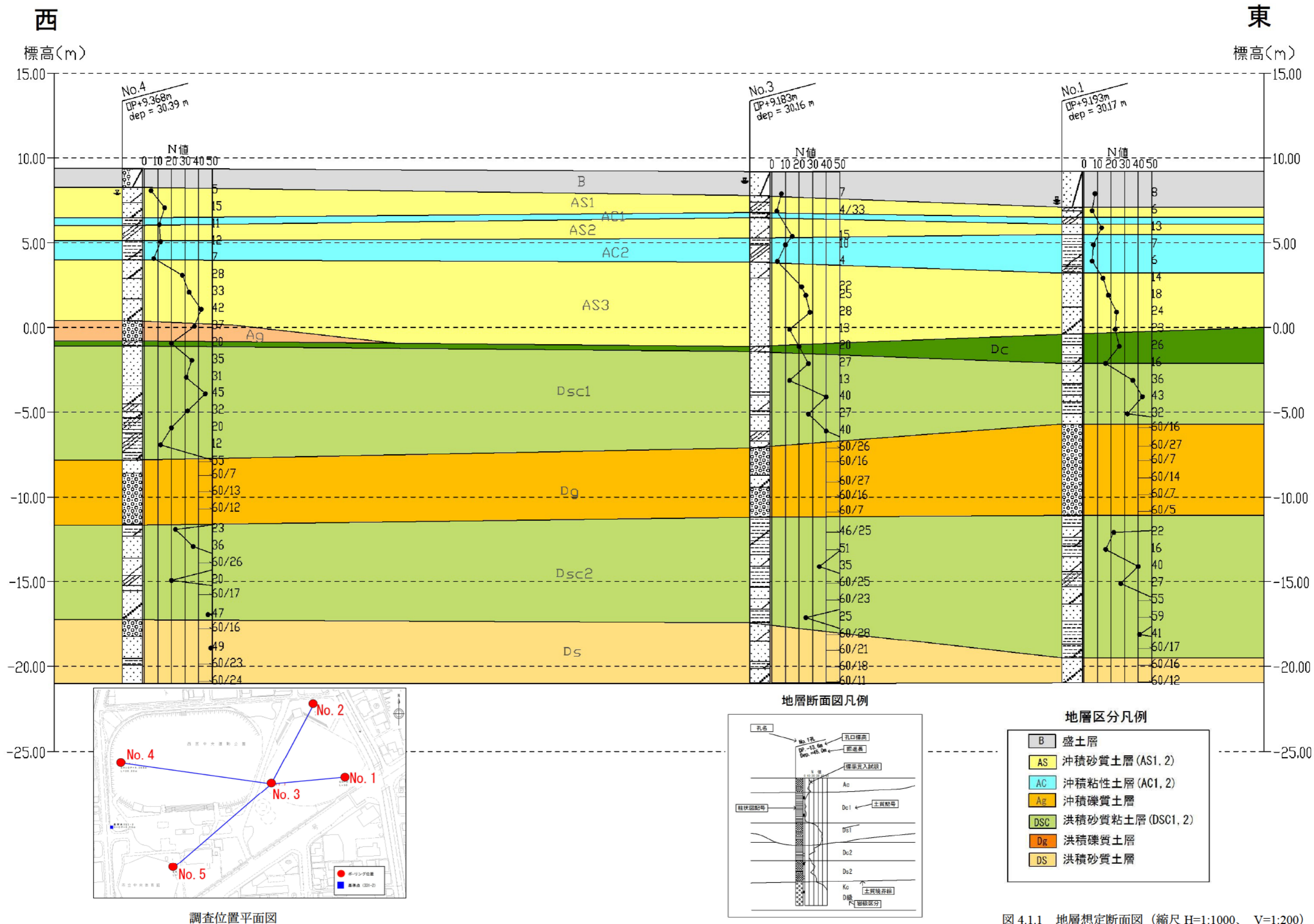


図 4.1.1 地層想定断面図 (縮尺 H=1:1000、V=1:200)

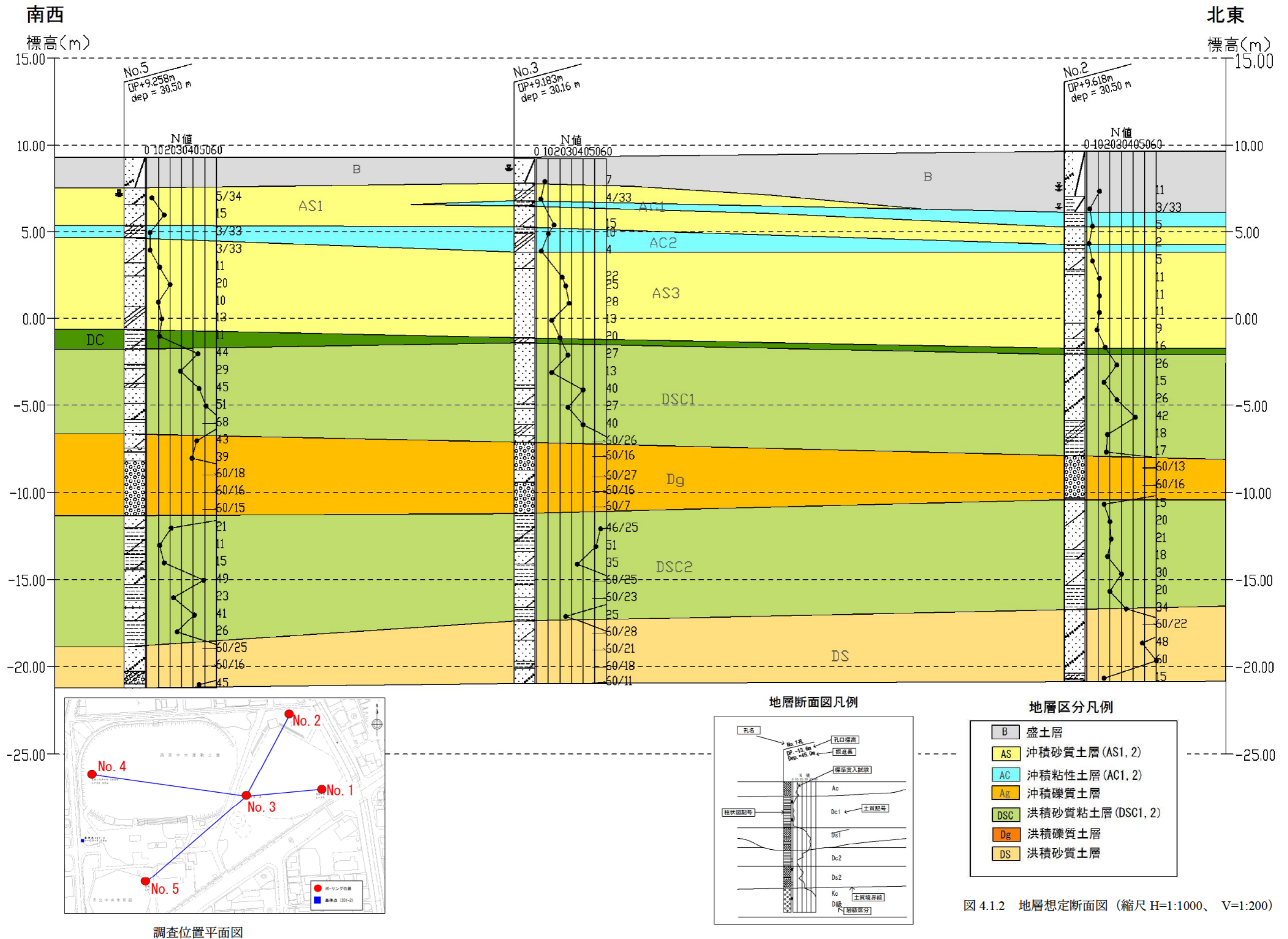


図 4.1.2 地層想定断面図 (縮尺 H=1:1000、V=1:200)

1. 盛土 (B)

表層から GL-1.1~3.5m まで分布している。構成する盛土材は細~中砂主体の砂、 $\phi 2\sim 15\text{mm}$ の垂円礫が混じる礫混じり砂、 $\phi 5\sim 15\text{mm}$ の垂円礫主体の砂礫からなる。No.1,3 地点では GL-0.3m 付近改良土の分布が認められ、No.5 地点ではアスファルト、コンクリ-ト片が混じる。色調は黄褐~黄灰~暗褐色を呈する。N 値は 3~11 回を示す。

2. 沖積層

(1) 沖積第 1 砂質土(As1)

GL-2.4~3.9m まで層厚 0.6~2.1m を有して分布している。微細~細砂が混じる粘土混じり砂、シルト分が混じるシルト質砂、 $\phi 15\text{mm}$ 程度の礫が混じる礫混じり砂、シルト分が混じる中~粗砂主体のシルト混じり砂からなる。色調は黄褐~暗褐~暗灰色を呈している。N 値は 4~15 回を示す。含水は中位を示すが、No.5 地点では含水高位を示す。また腐食物の混入も認められた。

(2) 沖積第 1 粘性土 (Ac1)

No.5 地点を除き GL-2.7~4.35m まで層厚 0.3~0.85m を有して分布している。粘土質砂、含水中位を示す粘土、砂混じり粘土からなる。色調は暗褐~暗灰色を呈し、N 値は 3~6 を示す。含水は中位を示す。

(3) 沖積第 2 砂質土 (As2)

No.5 地点を除き GL-3.7~5.35m まで層厚 0.6~1.2m を有して分布する。中~粗砂主体の砂、細砂主体の砂、シルト混じり砂、シルト質砂からなる。色調は灰~暗灰~暗青灰色を呈し、その N 値は N=3~18 を示す。含水は中~高位である。

(4) 沖積第 2 粘性土 (Ac2)

GL-4.6~6.0m まで層厚 0.25~2.3m を有して分布する。粘土、微細~細砂が混じる砂混じり粘土、微細~細砂が混じる砂質粘土、粘土分が全体に混じる中~粗砂主体の粘土質砂、砂混じり粘土、有機質なシルト質粘土からなる。腐食物の混入が認められる。色調は暗灰~灰~暗褐色を呈し、その N 値は N=3~10 を示す。含水は中位を示す。

(5) 沖積第 3 砂質土(As3)

GL-8.95~11.35m まで層厚 3.55~5.75m を有して分布する。細~粗砂主体の砂、 $\phi 2\sim 5\text{mm}$ の垂円礫が混入している中~粗砂主体の礫混じり砂、有機質な粘土をシーム状に薄く挟む粘土混じり砂からなる。腐植物の混入もみられる。色調は暗灰~暗褐~灰を呈し、N 値は 3~42 を示す。

また、含水は高位を示す。

(6) 沖積礫質土 (Ag)

No.4 地点(調査地の西側)で確認され、GL-10.15m まで分布し、層厚 1.2m を有する。

φ5～10mm の亜円礫主体の砂礫でマトリックスは細～中砂が充填されている。

色調は灰色を呈し、N 値は N=37 回である。含水は高位を示す。

3. 洪積層

(1) 洪積粘性土 (Dc)

GL-10.45～11.70m まで層厚 0.3～1.7m を有して分布する。

細～粗砂が混じる砂質粘土、細～中砂が混じる砂混じり粘土、均質な粘土、シルト質粘土からなる。No.1(調査地東側)地点では粘性層中に微細砂主体の均一な砂を挟む。色調は暗灰～暗褐色を呈し、その N 値は N=9～26 回である。含水は中位である。

(2) 洪積第 1 砂質粘性土 (Dsc1)

GL-14.9～17.5m まで層厚 3.6～6.75m を有し厚く分布する。

砂質・礫質土と粘性土が互層状に分布している。砂質・礫質土は細～中砂主体の砂、粘土混り砂、φ10mm の亜円礫が混じる中～粗砂主体の礫混じり砂、シルト分が全体に混じるシルト質砂からなり、粘性土は微細砂が混じる砂質シルト、やや硬い粘土、微細砂が混じる砂質シルトからなる。含水は砂・礫質土で含水中位を示し、粘性土で含水低～中位を示す。

色調は灰～青灰～緑灰を呈し、N 値は N=9～58 を示す。

(3) 洪積礫質土 (Dg)

GL-19.95～21.00m まで層厚 2.45～5.40m を有して分布する。

φ10～30mm の亜円礫主体の砂礫、φ2～5mm 程度の小礫が混じる細～中砂主体の砂からなる。No.5 地点では φ50～100mm の玉石の分布が認められる。

色調は灰～暗灰を呈し、N 値は N=39～60 以上を示す。含水は高位を示す。

(4) 洪積第 2 砂質粘性土 (Dsc2)

GL-26.35～28.70m まで層厚 5.6～8.4m を有して分布する。

砂質・礫質土と粘性土が互層状に分布している。砂質・礫質土は粘土分が混じる細～中砂主体の粘土混じり砂、φ2mm 程度の礫が混じる粘土混じり礫混じり砂、砂、粘土分が全体に混じる粘土質砂、シルト混じり砂からなる。粘性土は細砂が混じる砂質粘土、細砂が混じる砂混じり粘土、含水低位を示す固結粘土、砂混じりシルトからなる。含水は砂・礫質土で低～中位を示し、粘性土で含水低位を示す。色調は暗灰～灰～青灰色を呈し、N 値は 11～60 を示す。

(5) 洪積砂質土 (Ds)

当層は本調査で確認した最下層にあたる。層厚は 1.47～4.15m 以上である。

φ 10～20mm の礫が混じる細～中砂主体の礫混じり砂、細砂主体の締まった砂、微細砂主体のシルト混じり砂、φ 10～20mm の亜円礫主体の砂礫からなる。また、層厚 0.4m 程度の固結粘土が狭在しているのが認められた。

色調は暗灰～暗褐～灰色を呈し、そのN値は 15～60 以上を示すが概ね 50 以上である。

表 4.1.2 に、各ボーリング孔の孔内水位を示す。

孔内水位は盛土層 (B)、沖積第 1 砂質土層(As1)で確認され、比較的浅層に分布している。

尚、表 4.1.2 に示す孔内水位は各地点で測定した最も高い水位を記載した。

表 4.1.2 各ボーリング孔の孔内水位

ボーリング No.	孔内水位	
	GL-(m)	OP+(m)
1	1.70	7.49
2	1.98	7.63
3	0.55	8.63
4	1.45	7.91
5	2.18	7.07

4-2. 標準貫入試験結果

標準貫入試験によるN値は、土の物理特性や力学特性との関係がある。

表 4.2.1 に、砂のN値とせん断抵抗角の関係を示す。また、表 4.2.2 は、粘土のN値と物理力学特性の関係を表したものである。

表 4.2.1 N値とせん断抵抗角の関係

N 値 (相対密度)	せん断抵抗角 ϕ (度)				
	Terzaghi Peck	Meyerhof	Dunhum	大崎 ^{※1}	道路橋 ^{※2}
0~4 (非常に緩い)	28.5>	30>	①粒子丸・粒度一様 $\sqrt{12N+15}$ ②粒子丸・粒度一様 $\sqrt{12N+20}$ ③粒子丸・粒度一様 $\sqrt{12N+25}$	$\sqrt{20N+15}$	$\sqrt{15N+15}$ ($N \geq 5$)
4~10 (緩い)	28.5~30	30~35			
10~30 (中位の)	30~36	35~40			
30~50 (密な)	36~41	40~45			
>50 (非常に密な)	>41	>45			

※1：建築基礎構造設計指針に引用されている。

※2：道路橋示方書 1996 年版以前で使用されていた。

(地盤調査の方法と解説、(公社)地盤工学会、2004)

表 4.2.2 N値と粘土のコンシステンシー、一軸圧縮強度の関係 (Terzaghi Peck)

N 値	qu (kN/m ²)	コンシステンシー
0~2	0.0~24.5	非常に軟らかい
2~4	24.5~49.1	軟らかい
4~8	49.1~98.1	中位の
8~15	98.1~196.2	硬い
15~30	196.2~392.4	非常に硬い
30~	392.4~	固結した

(地盤調査の方法と解説、(公社)地盤工学会、2004)

標準貫入試験によるN値を、地層ごとにまとめて整理した。

表 4.2.3 に、各層の最小値、最大値、標準偏差及び平均N値をまとめて示す。

図 4.2.1 及び図 4.2.2 は、各層のN値分布のヒストグラムである。

N値分布のヒストグラムからすると、盛土(B)に関しては標準偏差が 3.3 とバラツキは少ない。

沖積層に関しては、沖積粘性土 (Ac1, Ac2)は標準偏差が 1~3 程度とバラツキが少なくそのコンシステンシーは「非常に軟らかい~軟らかい」の状態を示す。沖積砂質土(As1,As2,As3)に関しては平均N値 N=8~16 を示し「緩い~中位」の相対密度を示す。洪積層に関しては洪積礫質土(Dg)についてはバラツキが少なく概ね N>60 以上を示し、相対密度は「非常に密な」状態である。最下位に分布する洪積砂質土(Ds)は、平均N値は N=55 を示しバラツキが少なくその相対密度は「非常に密な」状態である。

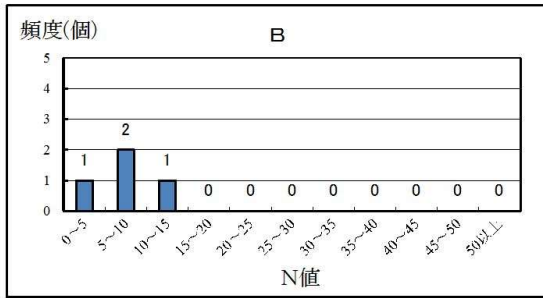
表 4.2.3 各層の最小値、最大値、標準偏差及び平均 N 値

地層名	記号	N 値 (回)					最小値 (回)	最大値 (回)	標準偏差 σ	平均 N 値 (回)
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5				
盛 土	B	8	11 3	7	-	-	3	11	3.30	7.3
沖積第 1 砂質土	As1	6		(4)	5 15	5 15	4	15	5.20	8.3
沖積第 1 粘性土	Ac1		(3)	(3)	(6)		3	6	1.73	4.0
沖積第 2 砂質土	As2	13	(6) (3)	15	(13) (18)		3	18	5.68	11.3
沖積第 2 粘性土	Ac2	7 6	(3)	10 (3)	(9) (3)	3	3	10	2.93	5.5
沖積第 3 砂質土	As3	14 18 24 23	5 11 11 11 9	(6) 22 25 28 13 24	(12) 28 33 42	3 11 20 10 13	3	42	9.64	17.3
沖積礫質土	Ag				37		37	37	-	37.0
洪積粘性土	Dc	26	(21)	(9)	20	11	9	26	7.16	17.4
洪積第 1 砂質粘性土	Dsc1	36 43 32	9 26 15 40 26 27 40 18 17	27 13 35 40 27 40 (21)	35 31 45 32 20 12 33	44 29 45 51 58	9	58	12.67	30.6
洪積礫質土	Dg	60 60 60 60 60 60	60 60	(58) 60 60 60 60	60 60 60 60	43 39 60 60 60	39	60	-	58.2
洪積第 2 砂質粘性土	Dsc2	22 16 40 27 55 59 41 60	15 20 21 18 30 20 21	46 51 35 60 60 25	23 36 60 20 60 47 60	21 11 15 49 23 41 26	15	60	16.45	34.5
洪積砂質土	Ds	60 60	51 60 48 60 15	60 60 60 60	60 49 60 60 60	60 60 45	15	60	11.18	54.9

*)地層境界で実施した N 値は()内の 10cm 貫入量の打撃回数から 30cm 貫入を算定した。60 以上は N=60 とした。

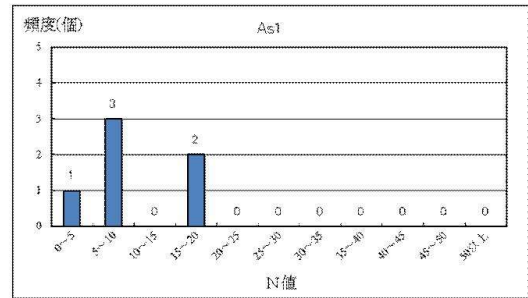
N値のヒストグラム(B)

個数5/平均7.3/標準偏差3.3



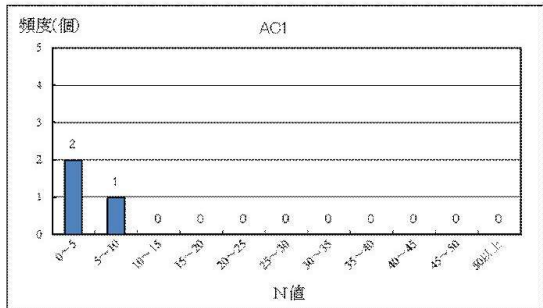
N値のヒストグラム(As1)

個数6/平均8.3/標準偏差5.20



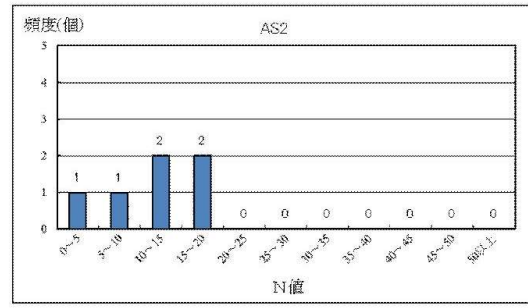
N値のヒストグラム(Ac1)

個数3/平均4.0/標準偏差1.73



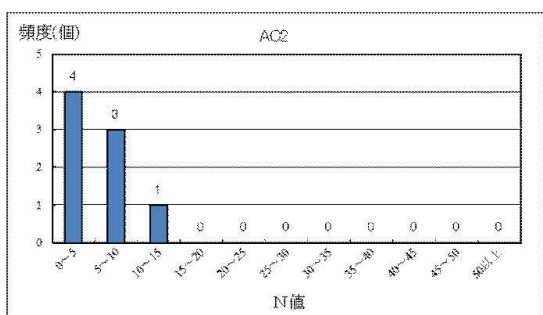
N値のヒストグラム(As2)

個数6/平均11.3/標準偏差5.68



N値のヒストグラム(Ac2)

個数8/平均5.5/標準偏差2.93



N値のヒストグラム(As3)

個数24/平均17.3/標準偏差9.64

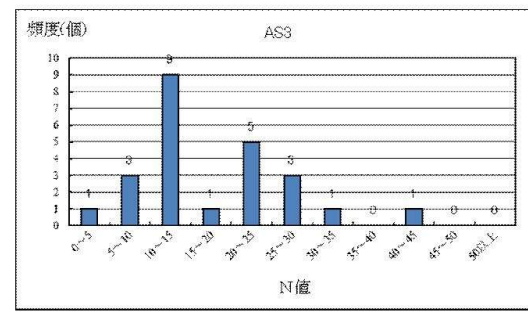
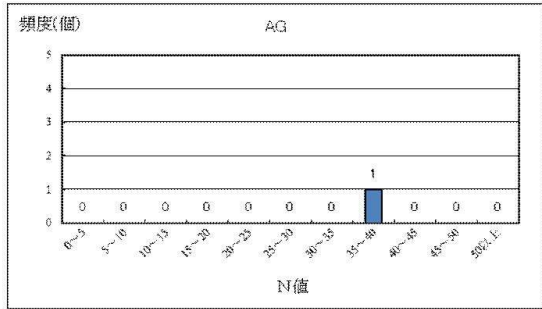


図 4.2.1 各層の N 値分布のヒストグラム

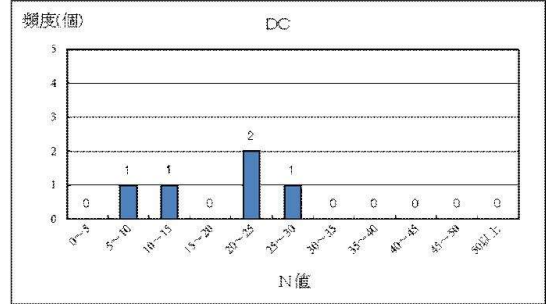
N値のヒストグラム(Ag)

個数1/平均37



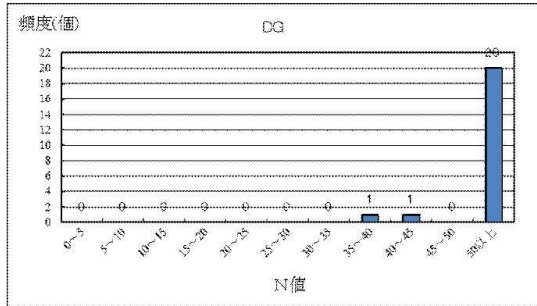
N値のヒストグラム(Dc)

個数5/平均17.4/標準偏差7.16



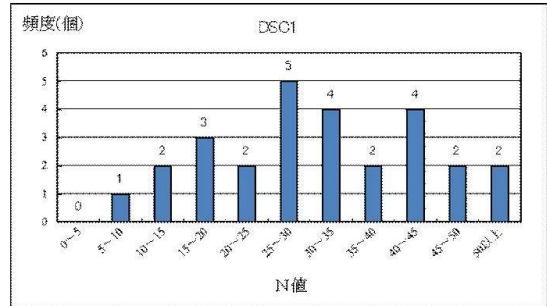
N値のヒストグラム(Dg)

個数22/平均58.2



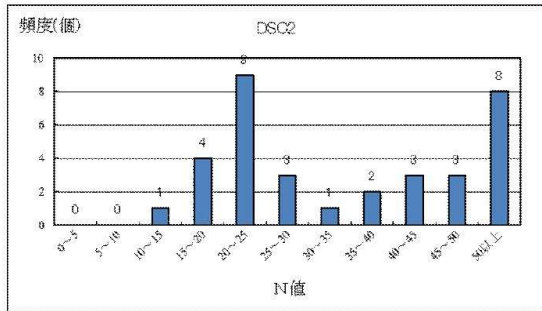
N値のヒストグラム(Dsc1)

個数27/平均30.6/標準偏差12.67



N値のヒストグラム(Dsc2)

個数34/平均34.5/標準偏差16.45



N値のヒストグラム(Ds)

個数18/平均54.9/標準偏差11.18

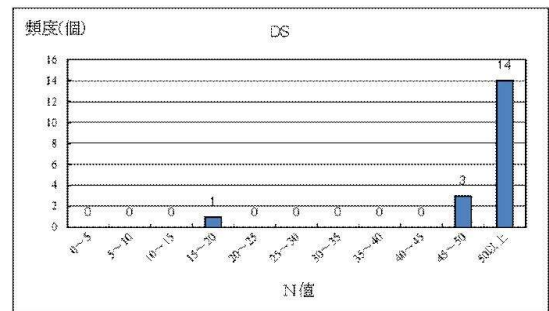


図 4.2.2 各層の N 値分布のヒストグラム

4-3. 現場透水試験及び間隙水圧測定結果

沖積第3砂質土層(As3)の透水性及び間隙水圧を把握する目的で現場透水試験及び間隙水圧測定を実施した。

1) 現場透水試験結果

表4.3.1に、現場透水試験結果の一覧表示す。なお、現場透水試験結果の詳細については、巻末の現場透水試験データに示した。

表 4.3.1 現場透水試験結果一覧表

地点名	地層記号	試験深度 GL-(m)	土質名	N 値 (回)	試験方法	透水係数 k (cm/sec)	平衡水位 GL-(m)
No.3	As3	-6.50~-7.00	砂	25	回復法	1.43E-4	-0.550

図 4.3.1 に、一般的な透水性と土質区分の関係を示す。

透水性	透水係数 k (cm/s)											
	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^{+1}	10^{+2}
	実質上不透水	非常に低い			低	い	中位		高	い		
対応する土の種類	粘性土 {C}	微細砂, シルト, 砂-シルト-粘土混合土 {S-F} [S-F] {M}				砂および礫 (GW)(GP) (SW)(SP) (G-M)			清浄な礫 (GW)(GP)			
透水係数を直接測定する方法	特殊な変水位透水試験	変水位透水試験				定水位透水試験			特殊な変水位透水試験			
透水係数を間接的に推定する方法	圧密試験結果から計算		なし			清浄な砂と礫は粒度と間隙比から計算						

図 4.3.1 透水性と土質区分

(地盤調査の方法と解説、(公社)地盤工学会、2004)

砂 (As3) の透水係数は 10^{-4} (m/sec)オーダーで低い透水性となる。対応する土の種類は砂-シルト-粘土混合土の範囲に含まれる。ボーリングの観察記事からすると、試験区間は細砂~中砂が主体で若干、細粒分混じっていること、室内土質から礫混じり粘性土質砂(SCs-G)に分類されることから、対応する土の種類と一致する。

Creager は、土の粒度曲線から求められる 20%通過粒径 (D_{20}) から地盤の透水係数を推定する方法を提案し、表 4.3.2 に示す D_{20} と透水係数の関係を示している。

この関係を定式化すると、次式で表すことができる。

$$k=0.0034 \times D_{20}^{2.3}$$

ここに、 k : 透水係数 (m/sec)

D_{20} : 20%粒径 (mm)

表 4.3.2 Creager による D_{20} と透水係数 k の関係

D_{20} (mm)	k (cm/s)	D_{20} (mm)	k (cm/s)
0.005	3.0×10^{-6}	0.18	6.85×10^{-3}
0.01	1.05×10^{-5}	0.20	8.90×10^{-3}
0.02	4.00×10^{-5}	0.25	1.40×10^{-2}
0.03	8.50×10^{-5}	0.30	2.20×10^{-2}
0.04	1.75×10^{-4}	0.35	3.20×10^{-2}
0.05	2.80×10^{-4}	0.40	4.50×10^{-2}
0.06	4.60×10^{-4}	0.45	5.80×10^{-2}
0.07	6.50×10^{-4}	0.50	7.50×10^{-2}
0.08	9.00×10^{-4}	0.60	1.10×10^{-1}
0.09	1.40×10^{-3}	0.70	1.60×10^{-1}
0.10	1.75×10^{-3}	0.80	2.15×10^{-1}
0.12	2.60×10^{-3}	0.90	2.80×10^{-1}
0.14	3.80×10^{-3}	1.00	3.60×10^{-1}
0.16	5.10×10^{-3}	2.00	1.80

(土質試験の方法と解説、(公社)地盤工学会、2004)

Creager の方法で現場透水試験深度の透水係数を推定すると、表 4.3.3 のようになる。

表 4.3.3 現場透水試験深度の 20%粒径から求めた透水係数

地点名	地層記号	採取深度 GL-(m)	20%粒径 D_{20} (mm)	D_{20} から推定した透水係数 k (m/sec)	現場透水試験による透水係数 k (m/sec)
No.3	As3	6.50~7.00	0.11	2.12E-5	1.28E-6

No.1 地点の As3 層で推定した透水係数は、現場透水試験の 1 倍程度である。

2) 間隙水圧測定結果

間隙水圧測定は、現場透水試験で透水係数を測定後そのまま一晩放置し、翌朝の水位(平衡水位)を測定して、その水頭を間隙水圧とした。水頭測定による間隙水圧 u は、

$$u = (z - D) \times \rho_w \times 10$$

ここに、

u : 間隙水圧 (kN/m²)

z : 地表面からケーシング下端までの深度 (m)

D : 地表面から水位面までの深さ (m)

ρ_w : 水の密度 ($\approx 1.0\text{g/cm}^3$)

により求められる。

表 4.3.4 に、現場透水試験深度の間隙水圧測定結果を示す。

表 4.3.4 現場透水試験深度の間隙水圧測定結果

地点名	地層記号	ケーシング深度 z (m)	平衡水位 D (m)	間隙水圧 u (kN/m ²)
No.3	As3	6.5	0.55	59.5

4-4. 孔内水平載荷試験結果

試験結果をまとめたものを、表 4.4.1 に示す。試験結果の詳細は、巻末の孔内水平載荷試験データシートに示すとおりである。

表 4.4.1 孔内水平載荷試験結果一覧表 (No.3 地点)

測定深度 (GL-m)	地層記号	土質名	N 値	降伏圧 P_y (kN/m ²)	破壊圧 P_l (kN/m ²)	地盤係数 K_m (MN/m ²)	変形係数 E (MN/m ²)
5.70	As3	粘土混じり砂	4	226.40	345.82	57.495	3.495

図 4.4.1 は、一般的な N 値と変形係数の関係に今回の試験値をプロットしたものである。なお、

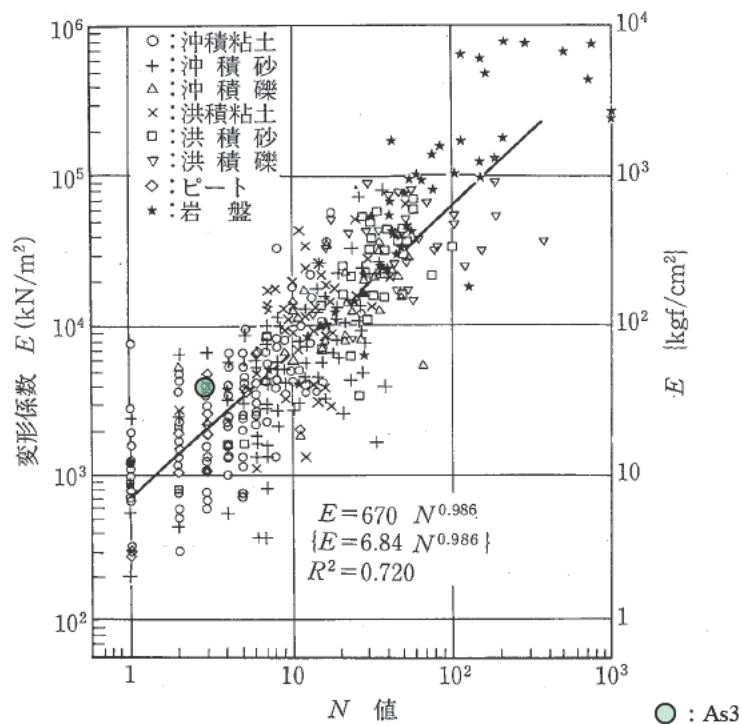


図 4.4.1 孔内水平載荷試験より得られた変形係数と N 値との関係
(地盤調査の方法と解説、(公社)地盤工学会、2004)

両者の関係は、地盤材料に関わらず、おおむね $E = 670 N^{0.986}$ kN/m² という関係が成立している。試験結果からすると、As3 層の変形係数は N 値に対してやや大ききことがいえる。いずれにせよ、 $E = 670 N^{0.986}$ の直線関係からことなるものの、ばらつきの範囲内にあるといえる。

4-5. 室内土質試験結果

基礎地盤の物理特性を把握するために、標準貫入試験で採取した攪乱試料を用いて室内土質試験を実施した。表 4.5.1 に、室内土質試験結果の一覧表を示す。なお、試験結果の詳細は巻末の「室内土質試験データ」を参照されたい。

(1) 土粒子の密度 ρ_s

土粒子の密度は、以下の範囲にある。

$$\rho_s = 2.573 \sim 2.680 \text{ g/cm}^3$$

土粒子の密度は、従来「土粒子の比重」と呼ばれていたものに相当し、土粒子群の平均比重のことをいう。表 4.5.2 に示すように、通常の土質では $2.6 \sim 2.7 \text{ g/cm}^3$ 程度の値を示すことが多く、有機質の粒子の場合はこれより低く、重鉱物を含む粒子の場合はこれより高くなる。

試験を行った試料の土粒子の密度の中で As1, Ac2, As3, Dsc1 層については $\rho_s = 2.6 \text{ g/cm}^3$ 以下を示す箇所があるが、これは腐植物の混入の影響が考えられる。それ以外の地層については、通常の土質の値といえる。

表 4.5.2 土粒子の密度の測定例

土質名		密度(g/cm ³)	土質名	密度(g/cm ³)
沖積世	粘土	2.65	関東ローム	2.78
	砂	2.70	まさ土	2.60
洪積世	粘土	2.67	しらす	2.38
	砂	2.65	山砂	2.79
豊浦標準砂		2.64	泥炭	1.50

(土質試験の方法と解説、(公社)地盤工学会、2009)

(2) 自然含水比 w_n

自然含水比は、一般的な土の場合、表 4.5.3 に示すように砂→砂質土→粘性土の順に値が大きくなり、概略軟らかい粘性土の場合は 50%以上、砂質土は 40%以下となることが多い。

自然含水比は $w_n = 6.0 \sim 46.5(\%)$ の範囲にある。沖積粘性土層(Ac2)で $w_n < 30$ を示す部分があるがこれは粗粒分の混入が影響と考えられる。また洪積砂質粘性土層(Dsc1,2)の中で $w_n > 30$ を超えるものは粘性土主体層であり、 $w_n < 20$ 以下のものは砂質土主体である。

表 4.5.3 一般的な土の性質

土質	特性	自然含水比 w_n (%)	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	自然間隙比 e
砂		5~20	2.6~2.8	—	—	1.6~2.0	0.5~1.0
砂質土		20~40	2.5~2.7	30~50	20~40	1.6~1.8	1.1~2.0
砂質シルト		30~60	2.5~2.7	40~70	30~50	1.5~1.6	1.5~2.5
粘土・シルト		50~100	2.5~2.7	40~120	30~70	1.4~1.7	1.5~3.0

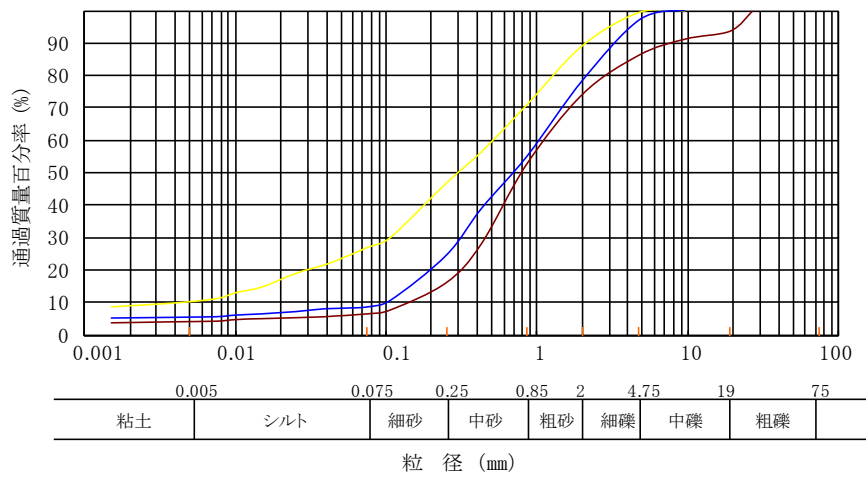
(地盤材料試験の方法と解説、(公社)地盤工学会、2004)

表 4.5.1 室内土質試験結果一覧表

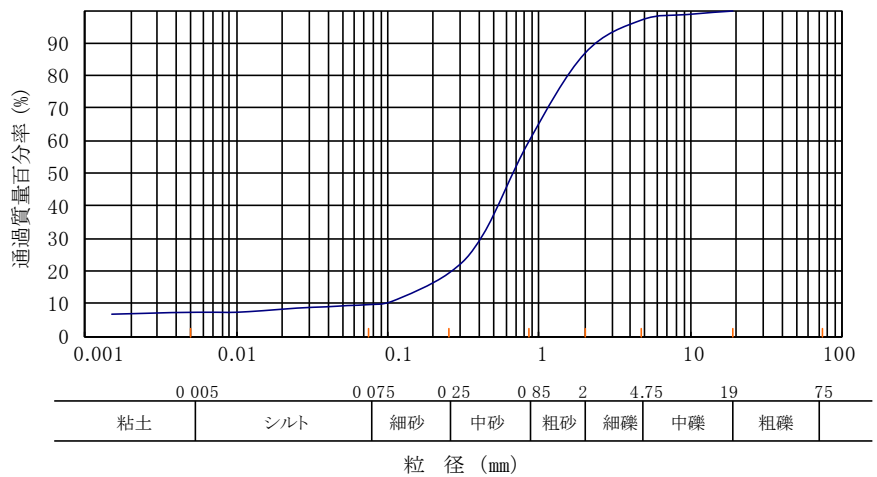
地点名	試料番号	深 さ	地層記号	一 般						粒 度						コンシステンシー特性				分類		
				湿潤密度 ρ_t g/cm ³	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	自然含水比 w_n %	間隙比 e	飽和度 S_r %	礫分 (2~75mm)%	砂分 (0.075~2mm)%	シルト分 0.005~ 0.075mm)%	粘土分 (0.005mm 未満)%	最大粒径 mm	均等係数 U_c	20%粒径 D_{20} mm	液性限界 w_L %	塑性限界 w_p %	塑性指数 I_p	コンシステンシー指数 I_c	分類名	分類記号
No.1	1P-1	3.15-3.45	As2	-	-	2.612	19.3	-	-	12.9	77.3	2.4	7.4	19	10.5	0.26	-	-	-	-	粘性土礫混じり砂	S-CsG
	1P-2	5.15-5.45	Ac2	-	-	2.573	34.9	-	-	0.1	17.4	39.0	43.5	4.75	-	-	45.9	22.1	23.8	0.5	砂質粘土	CLS
	1P-3	7.15-7.45	As3	-	-	2.619	25.1	-	-	8.3	88.8	2.9		4.75	2.73	0.59	-	-	-	-	分球された礫混じり砂	SP-G
	1P-4	11.15-11.45	Dsc1	-	-	2.598	25.3	-	-	4.9	42.6	28.0	24.5	4.75	-	0.0033	36.5	19.1	17.4	0.6	砂質年組	CLS
	1P-5	16.05-16.32	Dg	-	-	2.615	13.4	-	-	39.8	54.4	5.7		26.5	10.5	0.4	-	-	-	-	粘性土まじり礫質砂	SG-Cs
	1P-6	22.15-22.45	Dsc2	-	-	2.680	33.8	-	-	0.1	10.6	59.1	30.2	4.75	-	0.0013	73.0	24.6	48.4	0.8	砂まじり粘土	CH-S
No.3	3P-1	2.15-2.45	As1	-	-	2.596	21.6	-	-	10.7	62.4	16.8	10.1	9.5	106	0.031	-	-	-	-	礫混じり粘性土質砂	SCs-G
	3P-2	5.15-5.45	Ac2	-	-	2.619	23.5	-	-	5.5	54.7	26.1	13.7	9.5	-	0.012	-	-	-	-	礫混じり粘性土質砂	SCs-G
	3P-3	6.65-6.95	As3	-	-	2.616	16.1	-	-	10.9	72.9	8.7	7.5	9.5	30.9	0.11	-	-	-	-	礫混じり粘性土質砂	SCs-G
	3P-4	9.15-9.45	As3	-	-	2.609	13.3	-	-	32.3	55.6	5.9	6.2	19	30.4	0.19	-	-	-	-	粘性土まじり礫質砂	SG-Cs
	3P-5	12.15-12.45	Dsc1	-	-	2.621	19.3	-	-	7.7	76.9	8.0	7.4	9.5	47.3	0.14	-	-	-	-	礫参り粘性土質砂	SCs-G
	3P-6	17.05-17.21	Dg	-	-	2.631	14.3	-	-	25.3	64.9	6.2	3.6	26.5	11.3	0.27	-	-	-	-	粘性土まじり礫質砂	SG-Cs
	3P-7	21.15-21.45	Dsc2	-	-	2.633	20.1	-	-	15	49.8	18.6	16.6	19	-	0.014	39.3	18.4	20.9	0.9	粘性土質礫質砂	SCsG
	3P-8	28.15-28.45	Ds	-	-	2.611	15.2	-	-	19.2	70.3	6.2	4.3	9.5	14.3	0.24	-	-	-	-	粘性土まじり礫質砂	SG-Cs
No.4	4P-1	2.15-2.45	As1	-	-	2.621	15.6	-	-	25.5	67.9	2.4	4.2	26.5	6.88	0.31	-	-	-	-	粘性土まじり礫質砂	SG-Cs
	4P-2	5.15-5.45	Ac2	-	-	2.606	23.6	-	-	16.7	38.9	27.3	17.1	9.5	288	0.0073	-	-	-	-	粘性土質礫質砂	SCsG
	4P-3	7.15-7.45	As3	-	-	2.617	15.5	-	-	5.3	72.4	11.1	11.2	9.5	200	0.034	-	-	-	-	礫なじり粘性土質砂	SCs-G
	4P-4	9.15-9.45	Ag	-	-	2.622	9.3	-	-	49.4	40.2	2.3	8.1	19	68.2	0.31	-	-	-	-	粘性土まじり砂質礫	GCs-G
	4P-5	11.15-11.45	Dsc1	-	-	2.619	15.4	-	-	6.2	75.1	11.1	7.6	9.5	59.0	0.086	-	-	-	-	礫混じり粘性土質砂	SCs-G
	4P-6	16.15-16.45	Dsc1	-	-	2.648	35.1	-	-	0.0	0.6	58.2	41.2	0.25	-	-	-	-	-	-	粘土	CL
	4P-7	19.00-19.13	Dg	-	-	2.627	6.0	-	-	82.3	14.6	3.1		37.5	47.5	2.9	-	-	-	-	砂混じり礫	GW-S
	4P-8	21.15-21.45	Dsc2	-	-	2.628	18.9	-	-	3.9	45.7	10.6	39.8	9.5	-	-	-	-	-	-	砂質粘土	CLS
No.5	5P-1	2.15-2.45	As1	-	-	2.614	19.2	-	-	21.5	69.9	3.1	5.5	9.5	10.4	0.21	-	-	-	-	粘性土まじり礫質砂	SG-Cs
	5P-2	4.15-4.45	Ac2	-	-	2.577	46.5	-	-	4.0	2.7	22.2	71.1	19	-	-	65.5	25.0	40.5	0.5	粘土	CH
	5P-3	5.15-5.48	As3	-	-	2.582	34.3	-	-	4.6	50.4	20.6	24.4	4.75	-	0.0027	-	-	-	-	粘性土質砂	SCs
	5P-4	10.15-10.45	Dc	-	-	2.604	20.9	-	-	0.0	37.3	32.1	30.6	2	-	0.0013	29.6	15.6	14.0	0.6	砂質粘土	CLS
	5P-5	12.15-12.45	Dsc1	-	-	2.611	15.4	-	-	7.7	73.7	10.6	8.0	9.5	52.3	0.0092	-	-	-	-	礫混じり粘性土質砂	SCs-G
	5P-6	22.15-22.45	Dsc2	-	-	2.635	23.6	-	-	15.0	42.8	16.3	25.9	19	-	0.0016	64.3	22.9	41.4	1.0	粘性土質礫質砂	SCsG

(3) 粒度特性

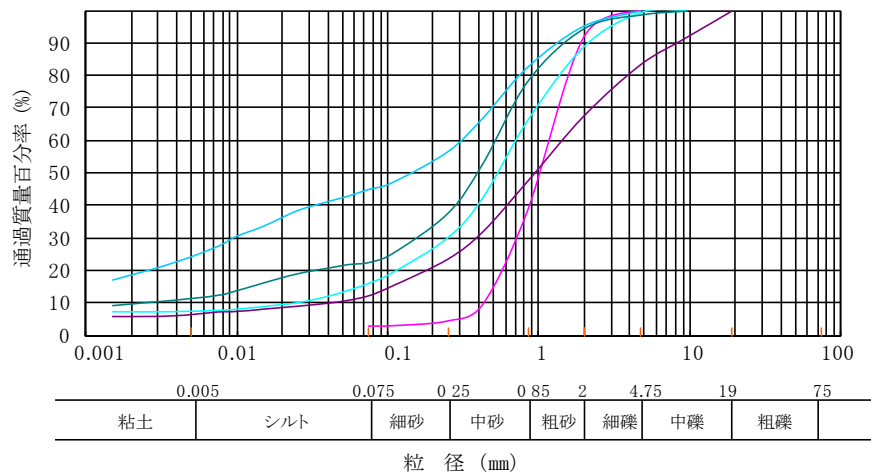
◎図4.5.1に、沖積砂質土層のAs1、As2、As3の粒径加積曲線を示す。



(1) As1層の粒径加積曲線



(2) As2層の粒径加積曲線



(3) As3層の粒径加積曲線

図4.5.1 沖積層のAs1、As2、As3層の粒径加積曲線

沖積砂質土層は、粒径加積曲線からすると、As1層は最大粒径に違いはあるものの粒度分布の幅が狭いほぼ均一な砂層である。1試料であるが、As2層は細粒分が9.8%含む粘性土礫混じり砂である。また、As3層は粒度分布の幅が広く細粒分の混入が認められる砂層である。日本統一分類ではAs1層は礫混じり粘性土質砂(SCs-G)、粘性土まじり礫質砂(SG-Cs)に分類され、As2層は粘性土礫まじり砂(A-CsG)、As3層は礫混じり砂(SP-G)、礫混じり粘性土質砂(SCs-G)、粘性土まじり礫質砂(SG-Cs)、粘性土質砂(SCs)に分類される。

◎図4.5.2は、沖積粘性土層(Ac)の粒径加積曲線である。

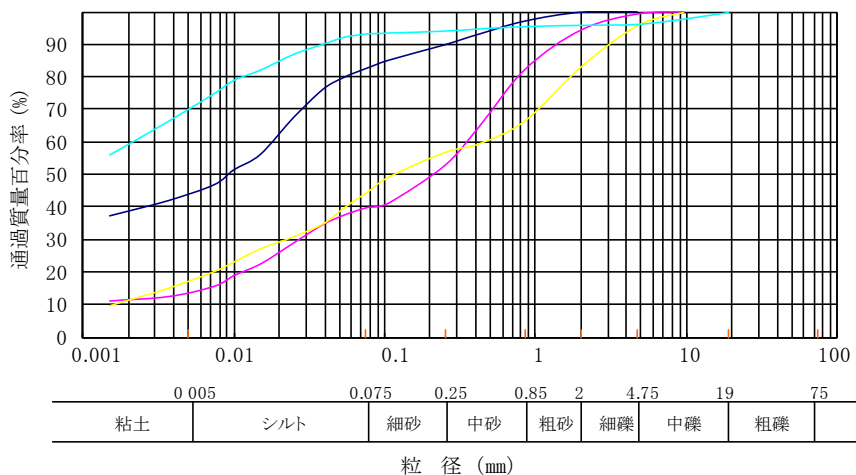


図4.5.2 沖積粘性土層(Ac)の粒径加積曲線

沖積粘性土層は、粒径加積曲線から粒度分布の幅が広い粘性土層である。粗粒分の混入が17～59%を占め、粗粒分の混入が多い不均質な粘性土である。日本統一分類では砂質粘土(CLS)、礫混じり粘性土質砂(SCs-G)、粘性土質礫質砂(SCsG)、粘土(CH)に分類される。

◎図4.5.3に、沖積礫質土層(Ag)の粒径加積曲線を示す。

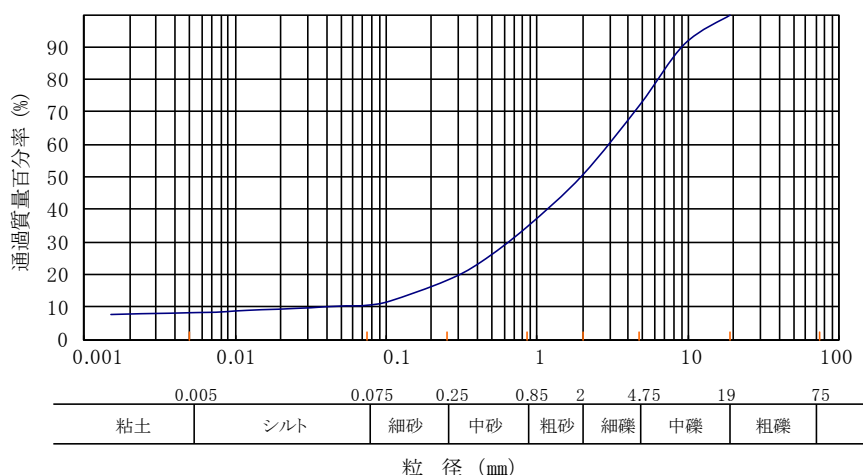


図4.5.3 沖積礫質土層(Ag)の粒径加積曲線

礫分が全体の49%を占め、砂分が40%を占める礫質土である。日本統一分類では粘性土まじり砂質礫（GS-Cs）に分類される。

◎図4.5.4洪積粘性土層(Dc)の粒径加積曲線である。

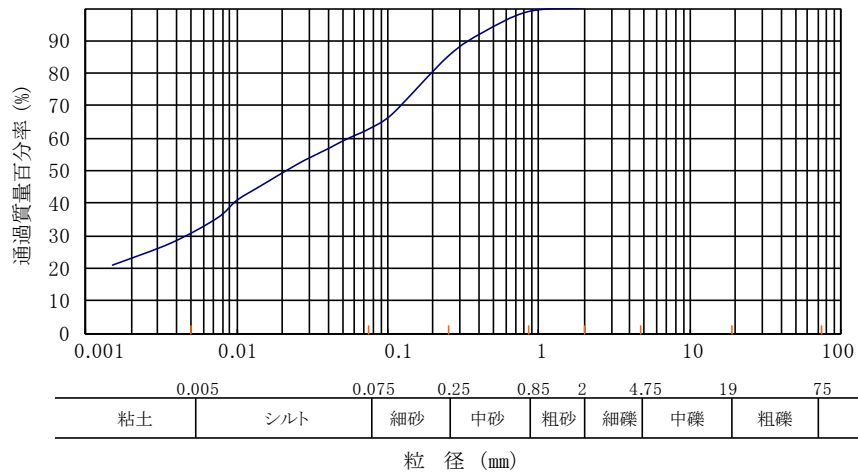


図4.5.4 洪積粘性土層(Dc)の粒径加積曲線

洪積粘性土層(Dc)は、粗粒分が37%を占め砂分の混入が多い粘性土層である。

日本統一分類では砂質粘土(CLS)に分類される。

◎図4.5.5は、洪積第1砂質粘性土(Dsc1)の粒径加積曲線である。

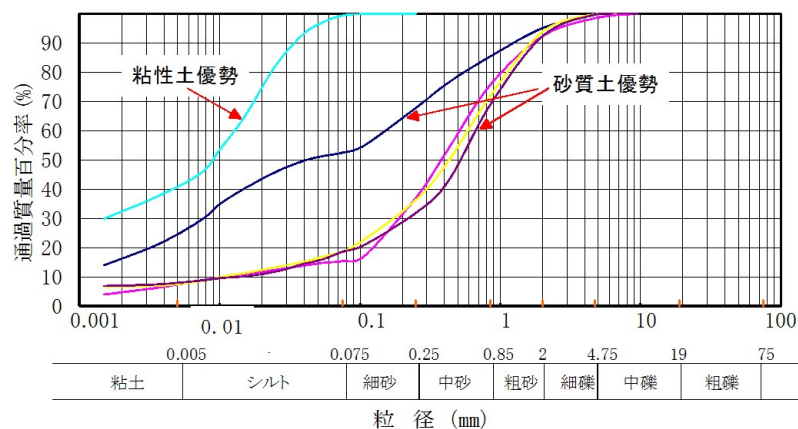


図4.5.5 洪積第1砂質粘性土層(Dsc1)の粒径加積曲線

洪積第1砂質粘性土互層(Dsc1)は、粘性土優勢部分に関しては、細粒分が全体の99%以上を占める均質な粘土である。砂質土優勢部分に関しては、粒度分布の幅は一部細粒分(52%)の混入が多い部分が認められるが、概ね狭くバラツキ少ない砂質土層である。日本統一分類では、粘性土優勢部分では砂まじり粘土(CH-S)、砂質土優勢部分では砂質粘土(CLS)、礫混じり粘性土質砂(SCS-G)に分類される。

◎図4.5.6は、洪積礫質土(Dg)の粒径加積曲線である。

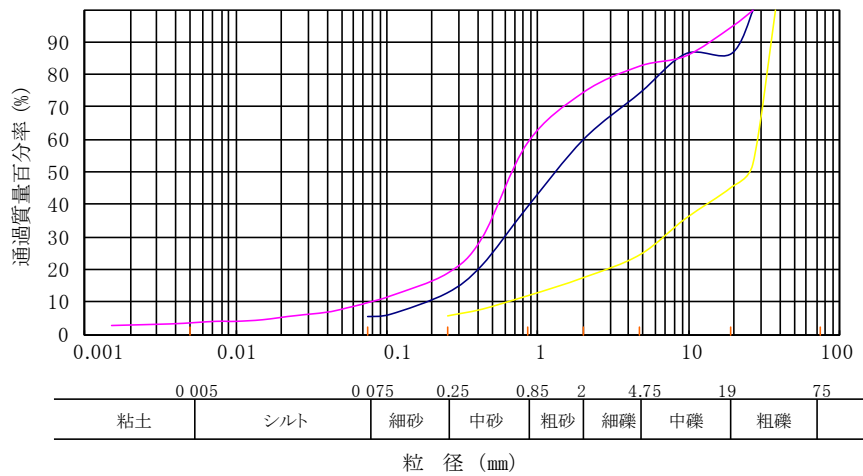


図4.5.6 洪積礫質土層(Dg)の粒径加積曲線

洪積礫質土層(Dg)は砂分(54~64%)の混入が多い礫質土層である。No.4地点の4P-7では礫分が全体の82%を占め礫分が優勢な部分も認められる。日本統一分類では粘性土まじり礫質砂(SG-Cs)、砂まじり礫(GW-S)に分類される。

◎図4.5.7は、洪積第2砂質粘性土(Dsc2)の粒径加積曲線である。

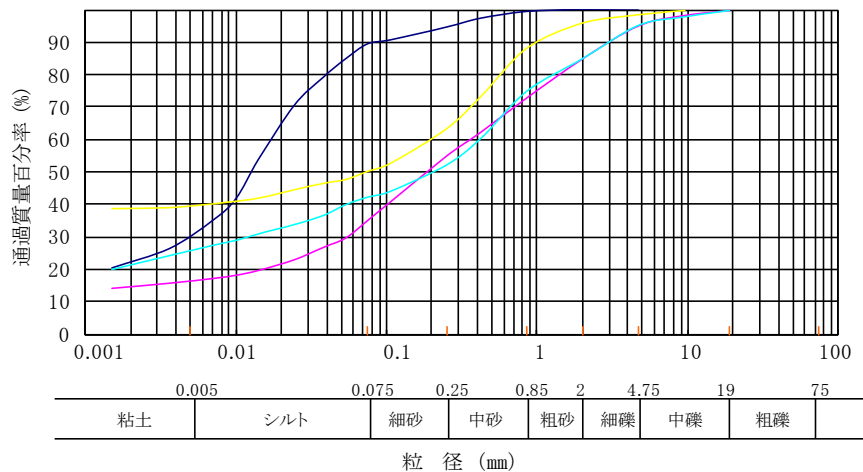


図4.5.7 洪積第2砂質粘性土(Dsc2)の粒径加積曲線

洪積第2砂質礫質土互層(Dsc2)は粘土・シルトからなる細粒分が全体の40%程度を占める砂質土層が主体である。日本統一分類では、砂まじり粘土(CH-S)、粘性土質礫質砂(SCsG)、砂質粘土(CLS)に分類される。

◎図 4.5.8 は、洪積砂質土層(Ds)の粒径加積曲線である。

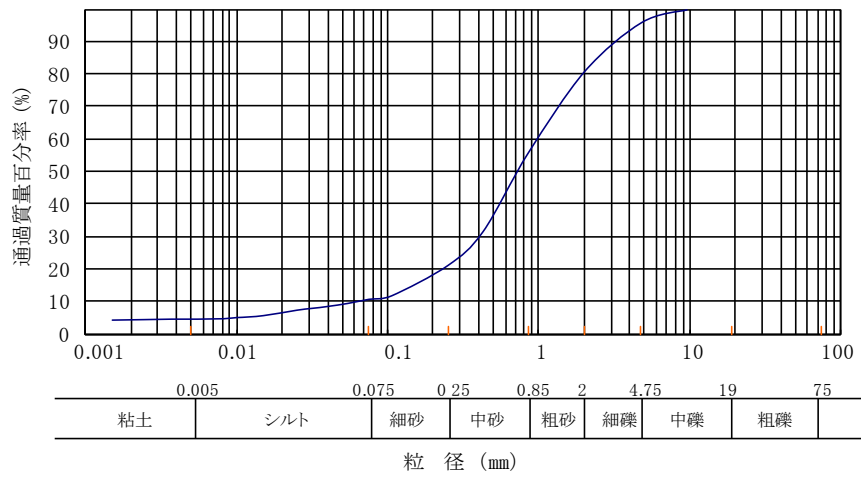


図 4.5.8 洪積砂質土層(Ds)の粒径加積曲線

洪積砂質土層(Ds)は礫分及び砂分からなる粗粒分が全体の 89%を占める砂質土層である。
日本統一分類では粘性土まじり礫質砂(SG-Cs)に分類される。

(4) コンシステンシー特性

表 4.5.4 に、一般的な液性限界・塑性限界の測定例を示す。

表 4.5.4 液性限界・塑性限界の測定例

土の種類	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)
粘土 (沖積層)	50 ~ 130	30 ~ 60
シルト (沖積層)	30 ~ 80	20 ~ 50
粘土 (洪積層)	35 ~ 90	20 ~ 50
関東ローム	80 ~ 150	40 ~ 80

(地盤材料試験の方法と解説、(公社)地盤工学会、2004)

図 4.5.9 は、試験結果を塑性図に示したものである。

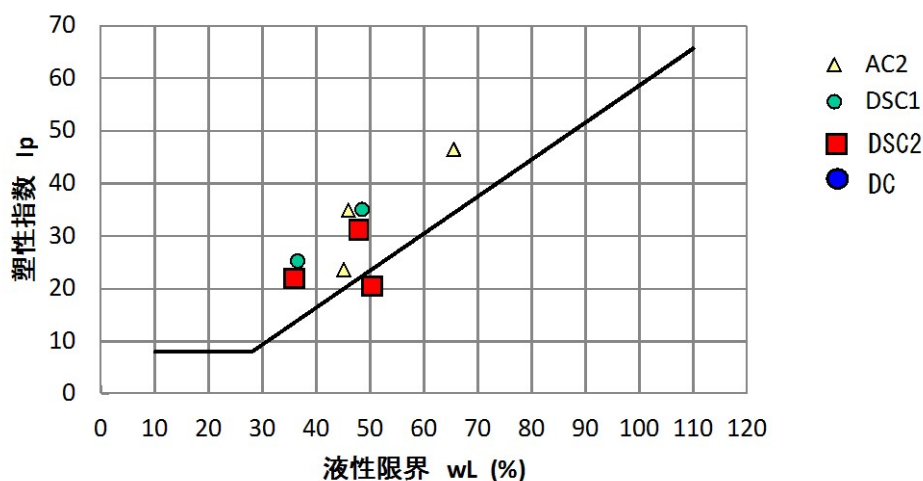


図 4.5.9 塑性図

図中の液性限界－塑性指数関係は我が国における一般的な液性限界・塑性限界の測定例であり、試験結果は概ね一般的な測定例に沿っている。

自然状態（自然含水比の時の状態）における細粒土の硬軟や安定の程度を表す目安に、コンシステンシー指数 (I_c) がある。これは、自然含水比 (w_n) がその土の液性限界に近いのか、あるいは塑性限界に寄った所にあるかの程度を示すもので、次式で求められる。

$$I_c = (w_L - w_n) / I_p$$

一般的な土の含水状態は $w_P < w_n < w_L$ であるため、 $I_c = 0$ に近い時は、乱せば液状となることを示している。1 よりも大きいときは、安定な状態にあることを示す。

Ac2 層の I_c は 0.5~0.9 であり、中位~安定な状態である。Dsc1 層の I_c は 0.6 を示し中位の状態である。Dsc2 層に関しては $I_c = 0.8 \sim 1.0$ を示し安定しており、Dc 層は $I_c = 0.6$ を示し中位の状態である。

(5) 土質分類

地盤材料の工学的分類は、主に観察結果、塑性図、液性限界によって、図4.5.9にしたがって分類する。尚、試験試料の分類名は、前述の表4.5.1に示したとおりである。

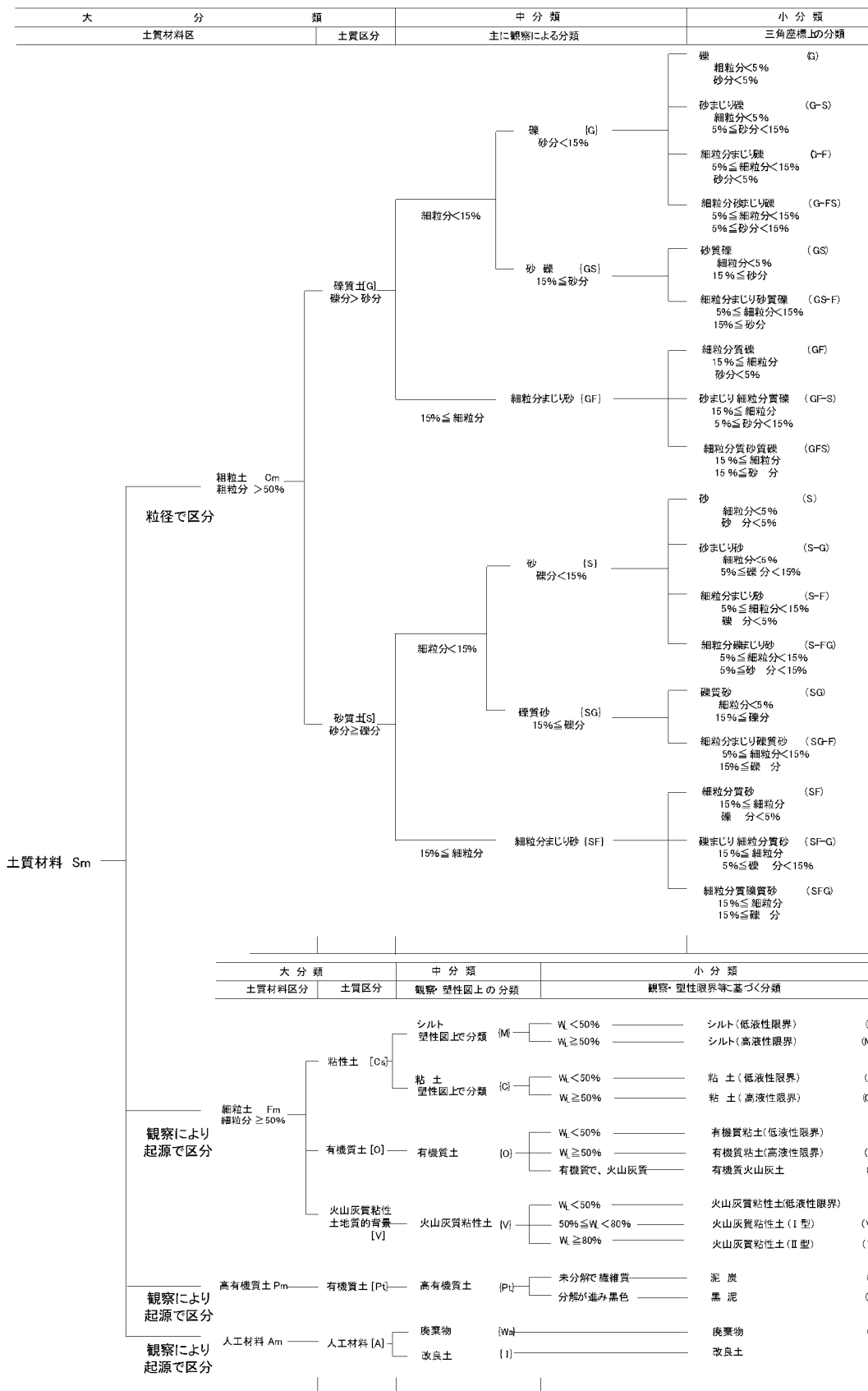


図4.5.10 土質材料の工学的分類体系

(地盤材料試験の方法と解説、(公社)地盤工学会、2004)

5. 考 察

5-1. 地盤定数の検討

本調査では標準貫入試験及び現場透水試験、孔内水平載荷試験等の原位置試験などを実施した。また、標準貫入試験により採取した試料を用いて室内土質試験を行い、物理特性等を調べた。

これらの試験結果に基づいて設計に用いる地盤定数を検討した。

標準貫入試験から求めた平均 N 値を用いて推定することとした。

(1) 設計に用いる N 値

表 5.1.1 に、各層の平均 N 値と設計に用いる N 値を示す。

設計用 N 値は図 4.2.1 及び図 4.2.2 を参考に特異値を除く平均 N 値とした。

表 5.1.1 設計に用いる各層の N 値(回)

地層名	記号	最小値	最大値	標準偏差	平均 N 値	設計用 N 値
盛土	B	3	11	3.3	7.3	7
沖積第 1 砂質土	As1	4	15	5.2	8.3	5
沖積第 1 粘性土	Ac1	3	6	1.73	4.0	4
沖積第 2 砂質土	As2	3	18	5.68	11.3	11
沖積第 2 粘性土	Ac2	3	10	2.93	5.5	5
沖積第 3 砂質土	As3	3	42	9.64	17.3	16
沖積礫質土	Ag	37	37	-	37.0	37
洪積粘性土	Dc	9	26	7.16	17.4	22
洪積第 1 砂質粘性土	Dsc1	9	58	12.67	30.6	30
洪積礫質土	Dg	39	60	-	58.2	59
洪積第 2 砂質粘性土	Dsc2	15	60	16.45	34.5	34
洪積砂質土	Ds	15	60	11.18	54.9	57

*) 設計用 N 値は特異値を除いた平均 N 値を採用し、小数点以下を切り捨てた。

(2) 単位体積重量 γ_t

表 5.1.2 及び表 5.1.3 は、経験的に推定された設計時に用いる土質定数の仮定値である。各層の単位体積重量はこの仮定値から設定した。

表 5.1.2 設計時に用いる土質定数の仮定値

種類	状態	単位体積重量 (kN/m ³)	せん断抵抗角 (度)	粘着力 (kN/m ²)	地盤工学会基準 ^(注2)	
盛土	礫および礫まじり砂	締め固めたもの	20	40	0	{G}
	砂	締め固めたもの	20	35	0	{S}
		粒径幅の広いもの 分級されたもの	19	30	0	
	砂質土	締め固めたもの	19	25	30 以下	{S F}
	粘性土	締め固めたもの	18	15	50 以下	{M}, {C}
関東ローム	締め固めたもの	14	20	10 以下	{V}	
自然 地盤	礫	密実なものまたは粒径幅の広いもの	20	40	0	{G}
		密実でないものまたは分級されたもの	18	35	0	
	礫まじり砂	密実なもの	21	40	0	{G}
		密実でないもの	19	35	0	
	砂	密実なものまたは粒径幅の広いもの	20	35	0	{S}
		密実でないものまたは分級されたもの	18	30	0	
	砂質土	密実なもの	19	30	30 以下	{S F}
		密実でないもの	17	25	0	
	粘性土	固いもの (指で強く押し多少へこむ) ^(注1)	18	25	50 以下	{M}, {C}
		やや軟らかいもの (指の中程度の力で貫入) ^(注1)	17	20	30 以下	
		軟らかいもの (指が容易に貫入) ^(注1)	16	15	15 以下	
	粘土およびシルト	固いもの (指で強く押し多少へこむ) ^(注1)	17	20	50 以下	{M}, {C}
やや軟らかいもの (指の中程度の力で貫入) ^(注1)		16	15	30 以下		
	軟らかいもの (指が容易に貫入) ^(注1)	14	10	15 以下		
関東ローム		14	5(ϕ)	30 以下	{V}	

注 1) ; N 値の目安は次のとおりである。

固いもの (N=8~15), やや軟らかいもの (N=4~8), 軟らかいもの (N=2~4)

注 2) ; 地盤工学会基準の記号は、おおよその目安である。

(道路土工、盛土工指針、(公社)日本道路協会、平成 22 年度版、p101)

表 5.1.3 設計時に用いる土質定数の仮定値

地層	沖積層			関東	渋谷	東京層		
	砂質	シルト質	粘土質	ローム層	粘土層	砂質	シルト質	粘土質
単位体積重量 (kN/m ³)	16.7~18.8	14.8~17.0	13.7~15.7	12.3~14.1	14.0~16.3	17.2~19.2	15.5~17.3	14.1~16.2

(建築基礎構造指針 2001 年改訂 P115)

※東京層は洪積層にあたる

表 5.1.4 に、推定した各層の単位体積重量を示す。

尚、単位体積重量は表 5.1.1 及び表 5.1.3 を参考に表 5.1.2 から求めた。

表 5.1.4 各層の単位体積重量

地層名	記号	設計用 N 値	地盤	種類	状態	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)
盛土	B	7	盛土	砂質土	締固めたもの	19
沖積第 1 砂質土	As1	5	自然地盤	砂質土	密実でないもの	17
沖積第 1 粘性土	Ac1	4	自然地盤	粘土	軟らかいもの	14
沖積第 2 砂質土	As2	11	自然地盤	砂質土	密実でないもの	17
沖積第 2 粘性土	Ac2	5	自然地盤	粘土	軟らかいもの	14
沖積第 3 砂質土	As3	16	自然地盤	砂質土	密実でないもの	17
沖積礫質土	Ag	37	自然地盤	礫混じり砂	密実なもの	21
洪積粘性土	Dc	22	自然地盤	粘性土	固いもの	18
洪積第 1 砂質粘性土	Dsc1	30	自然地盤	砂質土	密実なもの	19
洪積礫質土	Dg	59	自然地盤	礫混じり砂	密実なもの	21
洪積第 2 砂質粘性土	Dsc2	34	自然地盤	砂質土	密実なもの	19
洪積砂質土	Ds	57	自然地盤	砂	密実なもの	20

(3) 土の粘着力 c

Terzaghi and Peck は、粘土のコンシステンシーと N 値、一軸圧縮強さ q_u の関係を表 5-1-4 及び図 5.1.1 のように与えた。

表 5.1.5 N 値と粘土のコンシステンシー、一軸圧縮強さの関係

N 値	q_u (kN/m ²)	コンシステンシー
0 ~ 2	0.0 ~ 24.5	非常に軟らかい
2 ~ 4	24.5 ~ 49.1	軟らかい
4 ~ 8	49.1 ~ 98.1	中位の
8 ~ 15	98.1 ~ 196.2	硬い
15 ~ 30	196.2 ~ 392.4	非常に硬い
30 ~	392.4 ~	固結した

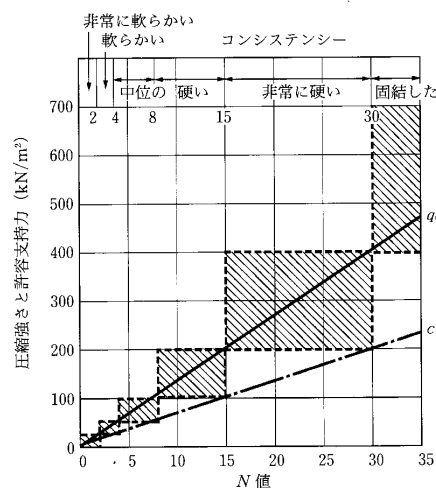


図 5.1.1 N 値と粘土のコンシステンシー、一軸圧縮強さの関係(Terzaghi and Peck に加筆修正)
(地盤調査の方法と解説、(公社)地盤工学会、2004)

表 5.1.5 及び図 5.1.1 の関係から、範囲の中央を通る N 値と q_u の関係は、

$$q_u = 12.3N \sim 13.1N \approx 12.5N \quad (\text{kN/m}^2)$$

となる。

土の粘着力 c と一軸圧縮強さ q_u の関係は、 $c \approx 1/2 q_u$ にあることから

$$c = 6.25 \cdot N \quad (\text{kN/m}^2)$$

として算定する。

なお、砂質土・礫質土は原則的に $C=0$ (kN/m^2) とした。

(4) せん断抵抗角 ϕ

標準貫入試験のN値から、砂のせん断抵抗角 ϕ を推定する場合に、以下の参考式を用いる。

$$\phi = \sqrt{20N + 15}^\circ$$

(建築基礎構造設計指針 2001年改訂 P113)

表5.1.6に、今回の調査地点での砂質土及び礫質土のせん断抵抗角 ϕ を示す。

推定したせん断抵抗角は標準貫入試験の深度ごとに求めた。砂質土層及び礫質土層のせん断抵抗角は、以下のようになる。

表5.1.6調査地における砂質土、礫質土層のせん断抵抗角

地層名	記号	設計用 N 値	ϕ°
盛土	B	7	26.8
沖積第 1 砂質土	As1	5	25.0
沖積第 2 砂質土	As2	11	29.8
沖積第 3 砂質土	As3	16	32.9
沖積礫質土	Ag	37	42.2
洪積第 1 砂質粘性土	Dsc1	30	39.5
洪積礫質土	Dg	59	49.3
洪積第 2 砂質粘性土	Dsc2	34	41.1
洪積砂質土	Ds	57	48.7

なお、粘性土のせん断抵抗角は、 $\phi=0$ ($^\circ$) とみなした。

(5) 透水係数 k

現場透水試験を行っていない地層については、以下に示す 20%通過粒径から透水係数を推定する Creager の式を用いる。なお、粘性土層は実質的に不透水層となるが今回、粗粒分の混入が多い粘性土層であるため透水係数を推定した。

$$k=0.0034 \times D_{20}^{2.3}$$

ここに、 k : 透水係数 (m/sec)

D_{20} : 20%粒径 (mm)

表 5.1.7 に、20%粒径と推定した透水係数をまとめて示す。

表 5.1.7 20%粒径と推定した透水係数

地層名	記号	平均N値	20%粒径 D_{20} (mm)	透水係数 k (m/sec)	平均透水係数 k (m/sec)
沖積第 1 砂質土	As1	5	0.031 0.31 0.21	1.15E-6 2.30E-4 9.39E-5	1.08E-4
沖積第 2 砂質土	As2	11	0.26	1.53E-4	1.53E-4
沖積第 2 粘性土	Ac2	5	0.012 0.0073	1.30E-7 4.14E-8	8.57E-8
沖積第 3 砂質土	As3	16	0.59 0.11 0.19 0.034 0.0027	1.01E-3 2.12E-5 7.46E-5 1.43E-6 4.20E-9	2.21E-4
沖積礫質土	Ag	37	0.31	2.30E-4	2.30E-4
洪積粘性土	Dc	22	0.0013	7.83E-10	7.83E-10
洪積第 1 砂質粘性土	Dsc1	30	0.0033 0.14 0.086 0.092	6.67E-9 3.69E-5 1.20E-5 1.41E-5	1.58E-5
洪積礫質土	Dg	59	0.40 0.27	4.13E-4 1.67E-4	2.90E-4
洪積第 2 砂質粘性土	Dsc2	34	0.0013 0.014 0.0016	7.83E-10 1.85E-7 1.26E-9	6.24E-8
洪積砂質土	Ds	57	0.24	1.28E-4	1.28E-4

*) 沖積第 3 砂質土層(As3)に関しては推定透水係数 K_{20} は参考値とし原位置試験値を採用した。

(6) 変形係数 E

孔内水平載荷試験を実施していない地層については、図 4-5-1 に示した N 値と変形係数の関係から、

$$E = 670N^{0.986} \quad (\text{kN/m}^2)$$

を用いて推定する。

(7) 設計に用いる地盤定数

以上で推定した各層の設計用地盤定数を、表 5.1.8 にまとめて示す。

表5.1.8 設計用地盤定数

地層名	記号	N 値	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ (°)	透水係数 k (m/sec)	変形係数 E (kN/m ²)
盛土	B	7	19	0	26	-	4563
沖積第 1 砂質土	As1	5	17	0	25	1.08E-4	3275
沖積第 1 粘性土	Ac1	4	14	25	0	-	2628
沖積第 2 砂質土	As2	11	17	0	29	1.53E-4	7126
沖積第 2 粘性土	Ac2	5	14	31	0	8.57E-8	3275
沖積第 3 砂質土	As3	16	17	0	32	1.28E-6	3496 10311
沖積礫質土	Ag	37	21	0	42	2.30E-4	23567
洪積粘性土	Dc	22	18	137	0	7.83E-10	14115
洪積第 1 砂質粘性土	Dsc1	30	19	0	39	1.58E-5	19165
洪積礫質土	Dg	59	21	0	49	2.90E-4	37336
洪積第 2 砂質粘性土	Dsc2	34	19	0	41	6.24E-8	21682
洪積砂質土	Ds	57	20	0	48	1.28E-4	36088

*) 赤字は、原位置試験結果である。原位置試験で求めた変形係数はG L -5. 7m 於ける試験結果値である。

5-2. 液状化の検討

「建築基礎構造設計指針 2001：日本建築学会」に基づいて地盤の液状化抵抗率（ F_L ）を算定して、液状化の検討を行った。

(1)液状化検討対象土層

建築基礎構造設計指針では以下の土層が液状化判定の対象とされている。

- 1) 対象深度：GL0～-20m
- 2) 飽和土層
- 3) 細粒分含有率 $F_c < 35\%$ の土層
- 4) 粘土分(0.005mm 以下の粒径をもつ土粒子)含有率 $P_c \leq 10\%$ 、または塑性指数が 15%以下の埋立地盤あるいは盛土地盤

(2)地震時のせん断応力比（L）の算定

等価な繰返しせん断応力比 L を以下の式で算定する。

$$\alpha_{eq} = 0.7 \cdot \frac{\tau_{max}}{\sigma'_{Vz}} \cdot g$$

$$\gamma_n = 0.1(M - 1)$$

$$\gamma_d = 1 - 0.015z$$

- τ_d : 水平面に生じる等価な一定繰返しせん断応力振幅 (tf/m²)
 σ'_{Vz} : 検討深さにおける有効土被り圧 (tf/m²)
 γ_n : 等価な繰返し回数に関する補正係数
 M : 地震のマグニチュード
 α_{max} : 地表面における設計用水平加速度 (gal)
 g : 重力加速度 (980gal)
 σ_z : 検討深さにおける全土被り圧 (tf/m²)
 γ_d : 地盤が剛体でないことによる低減係数
 z : 地表面からの検討深さ (m)

(3) 液状化抵抗比 (R) の算定

下記に示す算定式から補正N値 N_a を求め、補正N値 N_a と液状化抵抗比 R の関係図(図 5.2.1 のせん断ひずみ振幅 5% 曲線を用いて液状化抵抗比 R を求める。

$$(N)_{0.66} = \frac{N - 1.828(\sigma'_v - 0.66)}{0.399(\sigma'_v - 0.66) + 1}$$

N_a : 補正N値

N_l : 換算N値

ΔN_f : 細粒分含有率に応じた補正N値の増分

C_N : 換算N値係数 (σ'_z の単位は tf/m^2)

N : とんび法または自由落下法による実測N値(ただし、コーンブーリ法を用いたときは、ロープをブーリから外してハンマを自由落下させる努力をした場合、1割程度、自由落下の努力をしなかった場合、2割程度割り引くこととする。

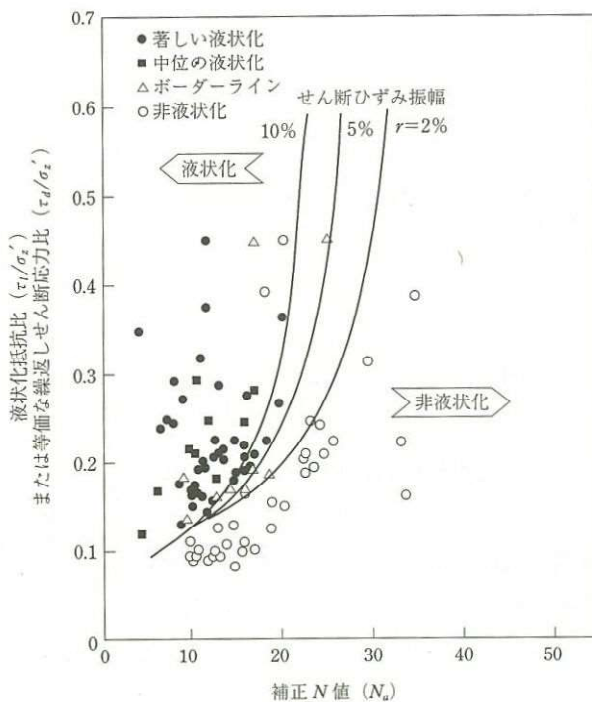


図 5.2.1 補正 N 値 N_a と液状化抵抗比 R 関係図

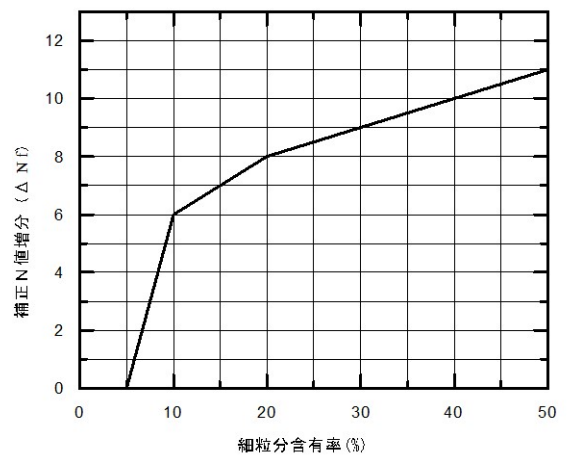


図 5.2.2 F_c と ΔN_f の関係図

(4) 地表面水平加速度

繰り返しせん断応力比 L の算定に用いる地表面水平加速度は損傷限界検討用では $150 \sim 200 \text{ cm/S}^2$ 、終局限界検討用では 350 cm/S^2 である。 350 cm/S^2 は 1995 年の兵庫県南部地震などの際に液状化した地盤上で観測された最大値である。

(5) 液状化の判定

液状化発生に対する安全率 F_L を次式で産出する。

$$F_L = \frac{\tau \ell / \sigma' z}{\tau d / \sigma' z} = \frac{\tau \ell}{\tau d}$$

$F_L \leq 1.0$ ——— 液状化発生の可能性があり、値が小さくなるほど液状化発生危険度が高い

$1.0 < F_L$ ——— 液状化発生の可能性はない

(6) 水平地盤反力係数の低減

$F_L \leq 1.0$ となる地盤に対しては、杭基礎を用いる場合に水平地震反力の低減を考慮する必要がある。建設基礎構造設計指針では F_L 地、地表面からの深さ、補正N値 N_a をパラメータとして表 5.2.1 に示す低減係数を与えている。

表 5.2.1 水平地盤反力係数の低減係数

液状化発生に対する安全率 F_L の範囲	地表面からの深さ z (m)	水平地盤反力係数に乗じる低減係数 γ_k			
		$N_a \leq 8$	$8 < N_a \leq 14$	$14 < N_a \leq 20$	$20 < N_a$
$F_L \leq 0.5$	$0 \leq z \leq 10$	0	0	0.05	0.1
	$10 < z \leq 20$	0	0.05	0.1	0.2
$0.5 < F_L \leq 0.75$	$0 \leq z \leq 10$	0	0.05	0.1	0.2
	$10 < z \leq 20$	0.05	0.1	0.2	0.5
$0.75 < F_L \leq 1.0$	$0 \leq z \leq 10$	0.05	0.1	0.2	0.5
	$10 < z \leq 20$	0.1	0.2	0.5	1.0

[液状化判定の条件]

液状化判定は屋内競技ゾーン計画地にあたる No.1,3 地点とトラック競技・屋外競技ゾーンにあたる No.4,5 地点で行う。

- ・土層条件：No.1,2,4,5 地点
- ・地震動は「東日本大震災による液状化被災市街地の復興に向けた検討・調査について」を参考に 2CASE について行う
 - 1) 中地震による中程度の揺れ 200gal M7.5
 - 2) 直下型地震による大きな揺れ 350gal M7.5

計算には「中央開発株式会社 液状化判定プログラム」を使用した。

表 5.2.2～5.2.9 に、液状化判定結果を示す。なお、液状化判定結果は巻末に示した。

表 5.2.4 No.3 地点 液状化判定(M7.5 200gal)

標尺 (m)	柱状図	地層深度 (m)	層厚 (m)	γ_t (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	計算深度 (m)	N 値	σ_v (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	塑性指数	補正 N 値	M=7.5 $\alpha_{max}=200.0$ gal				低減率 β	N 値	標尺 (m)		
															R	L	FL	判定					
5		1.40	1.40	19.0	19.0	9.0	1.30	7	24.7	17.7	0.0	0.0	0.0	16.6	0.180	0.182	0.994	X	0.22	●	1.5		
		1.80	0.40	17.0	17.0	7.0	2.31	4	42.2	25.0	16.8	10.1	0.0	16.7	0.181	0.216	0.839	X	0.22			○	1.0
		3.70	0.30	14.0	14.0	4.0	3.80	15	66.5	34.5	2.4	7.4	0.0	31.3	1.320	0.241	5.475	○	1.00				
10		3.90	1.20	17.0	17.0	7.0	4.30	10	73.8	36.8	26.1	13.7	0.0	26.3	0.348	0.249	2.203	○	1.00	○	1.0		
		4.30	0.40	14.0	14.0	4.0	5.30	4	87.8	40.8	26.1	13.7	0.0	16.2	0.176	0.263	0.672	X	0.21				
		5.35	1.05	14.0	14.0	4.0	6.80	22	113.2	51.2	8.7	7.5	0.0	38.0	4.496	0.264	17.06	○	1.00				
15		6.30	0.95	17.0	17.0	7.0	7.30	25	121.7	54.7	8.7	7.5	0.0	41.1	7.555	0.263	28.73	○	1.00	○	1.0		
		8.30	2.40	19.0	19.0	9.0	8.30	28	138.7	61.7	8.7	7.5	0.0	42.9	10.18	0.261	38.99	○	1.00				
		9.30	1.00	17.0	17.0	7.0	9.30	13	155.7	68.7	5.9	6.2	0.0	22.1	0.289	0.259	1.116	○	1.00				
20		10.30	4.00	17.0	17.0	7.0	10.30	20	172.7	75.7	32.1	30.6	0.0	35.3	2.758	0.256	10.78	○	1.00	○	1.0		
		11.30	1.00	19.0	19.0	9.0	11.30	27	191.4	84.4	8.0	7.4	0.0	36.5	3.434	0.250	13.74	○	1.00				
		12.30	1.00	19.0	19.0	9.0	12.30	13	210.4	93.4	8.0	7.4	0.0	20.5	0.243	0.244	0.997	X	1.00				
15		13.00	2.40	19.0	19.0	9.0	13.30	40	229.4	102.4	8.0	7.4	0.0	46.6	18.02	0.238	75.73	○	1.00	○	1.0		
		14.10	0.90	19.0	19.0	9.0	14.30	27	248.4	111.4	8.0	7.4	0.0	32.7	1.706	0.232	7.342	○	1.00				
		15.30	0.95	19.0	19.0	9.0	15.30	40	267.4	120.4	8.0	7.4	0.0	43.5	11.27	0.227	49.64	○	1.00				
15		15.90	0.60	19.0	19.0	9.0	16.28	60	286.0	129.2	6.2	3.6	0.0	58.6	87.79	0.222	395.5	○	1.00	○	1.0		
		16.30	0.40	19.0	19.0	9.0	17.13	60	303.8	138.5	6.2	3.6	0.0	56.7	70.56	0.216	326.3	○	1.00				
		17.90	1.60	21.0	21.0	11.0	18.29	60	328.0	151.2	6.2	3.6	0.0	54.6	53.64	0.209	256.8	○	1.00				
20		18.60	0.70	21.0	21.0	11.0	19.13	60	345.8	160.5	6.2	3.6	0.0	53.1	44.56	0.204	218.7	○	1.00	○	1.0		
		20.04	1.80	21.0	21.0	11.0	20.04	60	364.8	170.4	6.2	3.6	0.0	*****	*****	*****	*****	*	*****				
		20.40	1.80	21.0	21.0	11.0													PL法			4.38	○

FL値による判定
 X-液状化すると判定
 ○-液状化しないと判定
 PL法による判定
 X-PL>15 液状化危険度が極めて高い
 △-15≦PL>5 液状化危険度が高い
 ○-PL≦5 液状化危険度が低い

表 5.2.5 No.3 地点 液状化判定(M7.5 350gal)

標尺 (m)	柱状図	地層深度 (m)	層厚 (m)	γ_t (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	計算深度 (m)	N 値	σ_v (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)	シルト (%)	粘土 (%)	塑性指数	補正 N 値	M=7.5 $\alpha_{max}=350.0$ gal			低減率 β	N 値	標尺 (m)			
															R	L	FL 判定						
5		1.40	1.40	19.0	19.0	9.0	1.30	7	24.7	17.7	0.0	0.0	0.0	16.6	0.180	0.318	0.568	X	0.22	●	10		
		1.80	0.40	17.0	17.0	7.0	2.31	4	42.2	25.0	16.8	10.1	0.0	16.7	0.181	0.378	0.479	X	0.22			○	15
		2.40	0.60	17.0	17.0	7.0	3.80	15	66.5	34.5	2.4	7.4	0.0	31.3	1.320	0.422	3.129	○	1.00				
10		3.90	1.20	17.0	17.0	7.0	4.30	10	73.8	36.8	26.1	13.7	0.0	26.3	0.348	0.436	1.259	○	1.00	○	25		
		4.30	0.40	14.0	14.0	4.0	5.30	4	87.8	40.8	26.1	13.7	0.0	16.2	0.176	0.460	0.384	X	0.21			○	30
		5.35	1.05	14.0	14.0	4.0	6.80	22	113.2	51.2	8.7	7.5	0.0	38.0	4.496	0.461	9.749	○	1.00				
15		6.30	0.95	17.0	17.0	7.0	7.30	25	121.7	54.7	8.7	7.5	0.0	41.1	7.555	0.460	16.42	○	1.00	○	40		
		8.30	2.00	13.0	13.0	9.0	8.30	28	138.7	61.7	8.7	7.5	0.0	42.9	10.18	0.457	22.28	○	1.00			○	45
		9.30	1.00	17.0	17.0	7.0	10.30	20	172.7	75.7	32.1	30.6	0.0	35.3	2.758	0.448	6.157	○	1.00				
20		10.30	4.00	17.0	17.0	7.0	11.30	27	191.4	84.4	8.0	7.4	0.0	36.5	3.434	0.437	7.852	○	1.00	○	55		
		13.00	2.40	19.0	19.0	9.0	12.30	13	210.4	93.4	8.0	7.4	0.0	20.5	0.243	0.427	0.570	X	1.00			○	60
		14.10	0.90	19.0	19.0	9.0	13.30	40	229.4	102.4	8.0	7.4	0.0	46.6	18.02	0.416	43.27	○	1.00				
20		14.30	0.20	19.0	19.0	9.0	14.30	27	248.4	111.4	8.0	7.4	0.0	32.7	1.706	0.407	4.195	○	1.00	○	70		
		15.30	0.95	19.0	19.0	9.0	15.30	40	267.4	120.4	8.0	7.4	0.0	43.5	11.27	0.397	28.37	○	1.00			○	75
		15.90	0.60	19.0	19.0	9.0	16.28	60	286.0	129.2	6.2	3.6	0.0	58.6	87.79	0.388	226.0	○	1.00				
20		16.30	0.40	19.0	19.0	9.0	17.13	60	303.8	138.5	6.2	3.6	0.0	56.7	70.56	0.378	186.5	○	1.00	○	85		
		17.90	1.60	21.0	21.0	11.0	18.29	60	328.0	151.2	6.2	3.6	0.0	54.6	53.64	0.366	146.7	○	1.00			○	90
		18.60	0.70	21.0	21.0	11.0	19.13	60	345.8	160.5	6.2	3.6	0.0	53.1	44.56	0.357	124.9	○	1.00				
20.40	1.80	21.0	21.0	11.0	20.04	60	364.8	170.4	6.2	3.6	0.0	3.6	0.0	*****	*****	*****	*****	*	*****	○	100		

FL値による判定
 X-液状化する判定
 ○-液状化しないと判定
 PL法による判定
 X-PL>1.5 液状化危険度が極めて高い
 △-1.5≧PL>5 液状化危険度が高い
 ○-PL≦5 液状化危険度が低い

PL法	19.55
	X

表 5.2.6 No.4 地点 液状化判定(M7.5 200gal)

標尺 (m)	柱状図	地層深度 (m)	層厚 (m)	γ_t (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	計算深度 (m)	N 値	σ_v (kN/m ²)	σ_v' (kN/m ²)	シルト (%)	粘土 (%)	塑性指数	補正 N 値	M=7.5 $\alpha_{max}=200.0$ gal				低減率 β	N 値		標尺 (m)	
															R	L	FL	判定		10	40		
5		1.10	1.10	19.0	19.0	9.0	1.30	5	24.3	24.3	2.4	4.2	0.0	****	****	****	****	1.00	●	○	1.0	1.45	
		2.00	0.90	17.0	17.0	7.0	2.30	15	41.3	32.8	2.4	4.2	0.0	28.1	0.732	0.161	4.538	1.00	○	○	1.0	4.0	
		2.90	0.90	17.0	17.0	7.0	3.30	11	57.1	38.6	2.4	7.4	0.0	23.5	0.344	0.187	1.844	1.00	○	○	1.0	3.5	
		3.35	0.45	14.0	14.0	4.0	4.30	12	73.8	45.3	2.4	7.4	0.0	23.6	0.350	0.202	1.731	1.00	○	○	1.0	3.0	
		4.25	0.90	17.0	17.0	7.0	5.30	7	87.8	49.3	27.3	17.1	0.0	20.4	0.240	0.217	1.104	1.00	○	○	1.0	2.5	
		5.40	1.15	14.0	14.0	4.0	6.30	28	104.5	56.0	11.1	11.2	0.0	45.6	15.59	0.224	69.53	1.00	○	○	1.0	2.0	
		6.50	1.10	17.0	17.0	7.0	7.30	33	121.5	63.0	11.1	11.2	0.0	49.8	28.48	0.228	125.0	1.00	○	○	1.0	1.5	
		7.70	1.20	17.0	17.0	7.0	8.30	42	138.5	70.0	11.1	11.2	0.0	58.4	86.51	0.230	376.5	1.00	○	○	1.0	1.0	
		8.95	1.25	17.0	17.0	7.0	9.30	37	156.9	78.4	2.3	8.1	0.0	47.9	21.63	0.228	94.69	1.00	○	○	1.0	0.5	
10		10.15	1.20	21.0	21.0	11.0	10.30	20	177.5	89.0	32.1	30.6	0.0	33.5	1.984	0.224	8.867	1.00	○	○	1.0	0.0	
		10.45	0.30	18.0	18.0	8.0	11.30	35	196.3	97.8	11.1	7.6	0.0	43.1	10.56	0.221	47.78	1.00	○	○	1.0	0.0	
		12.80	2.35	19.0	19.0	9.0	12.30	31	215.3	106.8	11.1	7.6	0.0	37.7	4.293	0.218	19.68	1.00	○	○	1.0	0.0	
		13.90	1.10	19.0	19.0	9.0	13.30	45	234.3	115.8	11.1	7.6	0.0	49.6	27.51	0.215	128.0	1.00	○	○	1.0	0.0	
		14.35	0.45	19.0	19.0	9.0	14.30	32	253.3	124.8	11.1	7.6	0.0	36.4	3.377	0.211	15.97	1.00	○	○	1.0	0.0	
		14.70	0.35	19.0	19.0	9.0	15.30	20	272.3	133.8	58.2	41.2	0.0	33.2	1.895	0.208	9.112	1.00	○	○	1.0	0.0	
15		15.40	0.70	19.0	19.0	9.0	16.30	12	291.3	142.8	58.2	41.2	0.0	26.0	0.506	0.204	2.473	1.00	○	○	1.0	0.0	
		16.75	1.15	19.0	19.0	9.0	17.30	55	310.5	152.0	3.1	0.0	0.0	44.6	13.31	0.201	66.33	1.00	○	○	1.0	0.0	
		17.20	0.45	19.0	19.0	9.0	18.09	60	327.0	160.6	3.1	0.0	0.0	47.3	20.04	0.197	101.8	1.00	○	○	1.0	0.0	
		17.96	0.76	21.0	21.0	11.0	19.07	60	347.6	171.4	3.1	0.0	0.0	45.8	16.02	0.192	83.39	1.00	○	○	1.0	0.0	
20		21.00	3.04	21.0	21.0	11.0	20.06	60	368.5	182.4	3.1	0.0	0.0	****	****	****	****	****	*	○	○	1.0	0.0

FL値による判定
 X-液状化する判定
 ○-液状化しないと判定
 PL法による判定
 X-PL>15 液状化危険度が極めて高い
 △-15≧PL>5 液状化危険度が高い
 ○-PL≦5 液状化危険度が低い

PL法	
0.00	○

表 5.2.7 No.4 地点 液状化判定(M7.5 350gal)

標尺 (m)	柱状図	地層深度 (m)	層厚 (m)	γ_t (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	計算深度 (m)	N 値	σ_v (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	塑性指数	補正 N 値	M=8.0 $\alpha_{max}=350.0$ gal				低減率 β	N 値	標尺 (m)
															R	L	FL	判定			
1.10		1.10	1.10	19.0	19.0	9.0	1.30	5	24.3	24.3	2.4	4.2	0.0	****	****	****	****	1.00	●	5	
2.00		0.90	17.0	17.0	7.0	2.30	15	41.3	32.8	2.4	4.2	0.0	28.1	0.732	0.304	2.408	1.00	○	10		
2.90		0.90	17.0	17.0	7.0	3.30	11	57.1	38.6	2.4	7.4	0.0	23.5	0.344	0.352	0.979	0.64	X	15		
3.35		0.45	14.0	14.0	4.0	4.30	12	73.8	45.3	2.4	7.4	0.0	23.6	0.350	0.381	0.919	0.65	X	20		
4.25		0.90	17.0	17.0	7.0	5.30	7	87.8	49.3	27.3	17.1	0.0	20.4	0.240	0.410	0.586	0.37	X	25		
5.40		1.15	14.0	14.0	4.0	6.30	28	104.5	56.0	11.1	11.2	0.0	45.6	15.59	0.422	36.89	1.00	○	30		
6.50		1.10	17.0	17.0	7.0	7.30	33	121.5	63.0	11.1	11.2	0.0	49.8	28.48	0.429	66.32	1.00	○	35		
7.70		1.20	17.0	17.0	7.0	8.30	42	138.5	70.0	11.1	11.2	0.0	58.4	86.51	0.433	199.8	1.00	○	40		
8.95		1.25	17.0	17.0	7.0	9.30	37	156.9	78.4	2.3	8.1	0.0	47.9	21.63	0.431	50.24	1.00	○	45		
10.15		1.20	21.0	21.0	11.0	10.30	20	177.5	89.0	32.1	30.6	0.0	33.5	1.984	0.422	4.705	1.00	○	50		
10.45	0.30	18.0	18.0	8.0	11.30	35	196.3	97.8	11.1	7.6	0.0	43.1	10.56	0.417	25.35	1.00	○	55			
12.80	2.35	19.0	19.0	9.0	12.30	31	215.3	106.8	11.1	7.6	0.0	37.7	4.293	0.411	10.44	1.00	○	60			
13.90	1.10	19.0	19.0	9.0	13.30	45	234.3	115.8	11.1	7.6	0.0	49.6	27.51	0.405	67.93	1.00	○	65			
14.35	0.45	19.0	19.0	9.0	14.30	32	253.3	124.8	11.1	7.6	0.0	36.4	3.377	0.399	8.473	1.00	○	70			
14.70	0.35	19.0	19.0	9.0	15.30	20	272.3	133.8	58.2	41.2	0.0	33.2	1.895	0.392	4.835	1.00	○	75			
15.40	0.70	19.0	19.0	9.0	16.30	12	291.3	142.8	58.2	41.2	0.0	26.0	0.506	0.385	1.312	1.00	○	80			
16.75	1.15	19.0	19.0	9.0	17.30	55	310.5	152.0	3.1	0.0	0.0	44.6	13.31	0.378	35.20	1.00	○	85			
17.20	0.45	19.0	19.0	9.0	18.30	60	327.0	160.6	3.1	0.0	0.0	47.3	20.04	0.371	54.03	1.00	○	90			
17.96	0.76	21.0	21.0	11.0	19.30	60	347.6	171.4	3.1	0.0	0.0	45.8	16.02	0.362	44.25	1.00	○	95			
20.06	60	368.5	182.4	3.1	0.0	0.0	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	○	100	
21.00	3.04	21.0	21.0	11.0	PL法														2.63	○	105

FL値による判定
 X-液状化すると判定
 ○-液状化しないと判定
 PL法による判定
 X-PL>15 液状化危険度が極めて高い
 △-15≧PL>5 液状化危険度が高い
 ○-PL≦5 液状化危険度が低い

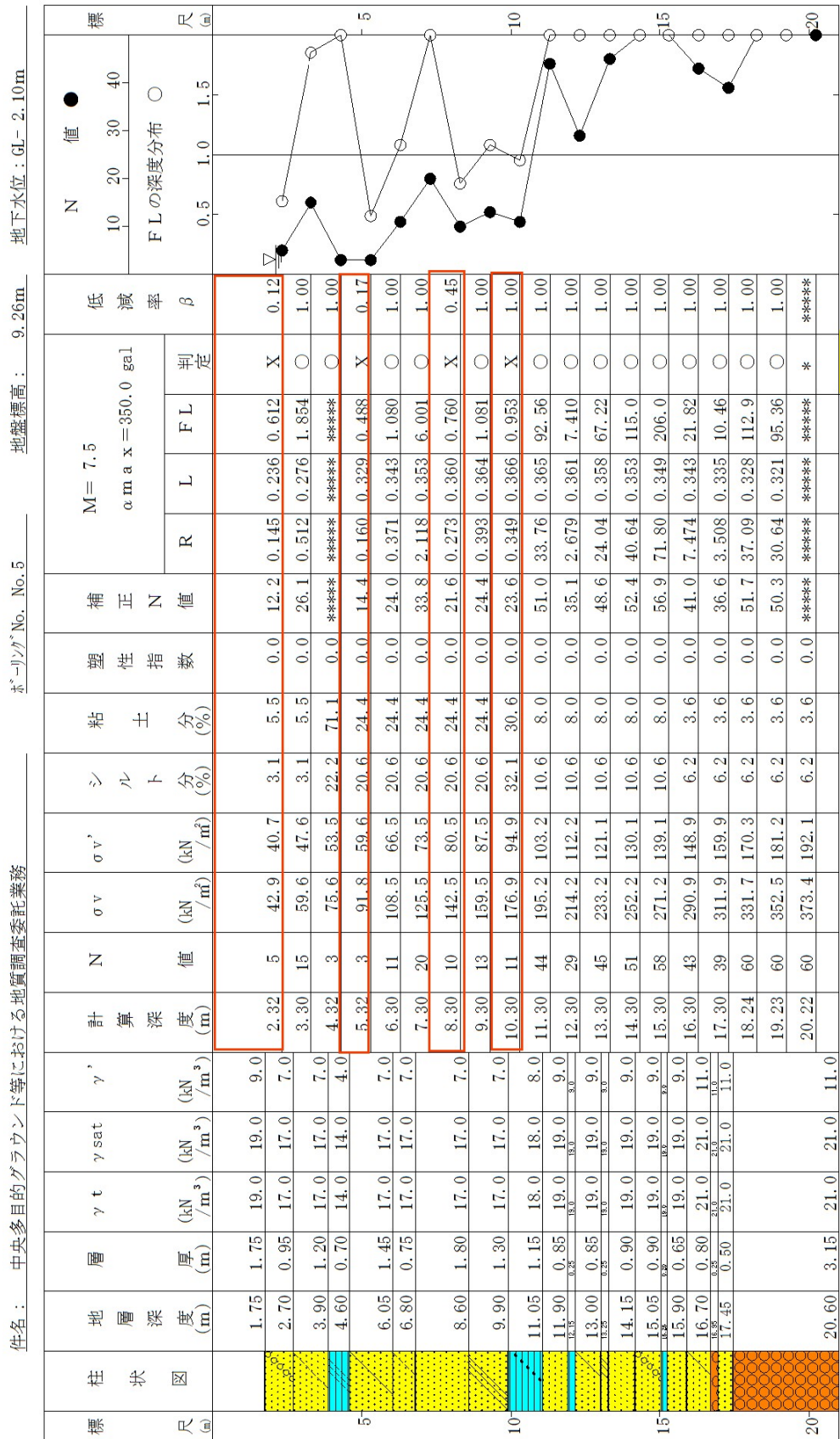
表 5.2.8 No.5 地点 液状化判定(M7.5 200gal)

標尺 (m)	柱状図	地層深度 (m)	層厚 (m)	γ_t (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	計算深度 (m)	N 値	σ_v (kN/m ²)	σ_v' (kN/m ²)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	塑性指数	補正 N 値	M=7.5 $\alpha m \times = 200.0 \text{ gal}$			低減率 β	N 値	標尺 (m)
															R	L	FL 判定			
1.75		1.75	1.75	19.0	19.0	9.0	2.32	5	42.9	40.7	3.1	5.5	0.0	12.2	0.145	0.135	1.071	1.00	10	1.5
2.70		2.70	0.95	17.0	17.0	7.0	3.30	15	59.6	47.6	3.1	5.5	0.0	26.1	0.512	0.158	3.245	1.00	20	1.0
3.90		3.90	1.20	17.0	17.0	7.0	4.32	3	75.6	53.5	22.2	71.1	0.0	19.4	0.220	0.175	1.252	1.00	30	0.5
4.60		4.60	0.70	14.0	14.0	4.0	5.32	3	91.8	59.6	20.6	24.4	0.0	14.4	0.160	0.188	0.853	X	40	0.5
6.05		6.05	1.45	17.0	17.0	7.0	6.30	11	108.5	66.5	20.6	24.4	0.0	24.0	0.371	0.196	1.891	O		5
6.80		6.80	0.75	17.0	17.0	7.0	7.30	20	125.5	73.5	20.6	24.4	0.0	33.8	0.202	0.105	10.50	O		10
8.60		8.60	1.80	17.0	17.0	7.0	8.30	10	142.5	80.5	20.6	24.4	0.0	21.6	0.273	0.206	1.330	O		15
9.90		9.90	1.30	17.0	17.0	7.0	9.30	13	159.5	87.5	20.6	24.4	0.0	24.4	0.393	0.208	1.891	O		20
11.05		11.05	1.15	18.0	18.0	8.0	10.30	11	176.9	94.9	32.1	30.6	0.0	23.6	0.349	0.209	1.668	O		25
11.90		11.90	0.85	19.0	19.0	9.0	11.30	44	195.2	103.2	10.6	8.0	0.0	51.0	0.208	0.208	162.0	O		30
13.00		13.00	0.85	19.0	19.0	9.0	12.30	29	214.2	112.2	10.6	8.0	0.0	35.1	2.679	0.207	12.97	O		35
14.15		14.15	0.90	19.0	19.0	9.0	13.30	45	233.2	121.1	10.6	8.0	0.0	48.6	24.04	0.204	117.6	O		40
15.05		15.05	0.90	19.0	19.0	9.0	14.30	51	252.2	130.1	10.6	8.0	0.0	52.4	40.64	0.202	201.3	O		45
15.90		15.90	0.65	19.0	19.0	9.0	15.30	58	271.2	139.1	10.6	8.0	0.0	56.9	71.80	0.199	360.5	O		50
16.70		16.70	0.80	21.0	21.0	11.0	16.30	43	290.9	148.9	6.2	3.6	0.0	41.0	7.474	0.196	38.18	O		55
17.45		17.45	0.50	21.0	21.0	11.0	17.30	39	311.9	159.9	6.2	3.6	0.0	36.6	3.508	0.192	18.31	O		60
20.60		20.60	3.15	21.0	21.0	11.0	18.24	60	331.7	170.3	6.2	3.6	0.0	51.7	37.09	0.188	197.6	O		65
							19.23	60	352.5	181.2	6.2	3.6	0.0	50.3	30.64	0.184	166.9	O		70
							20.22	60	373.4	192.1	6.2	3.6	0.0	****	****	****	****	****		75

FL値による判定
 X-液状化する
 O-液状化しない
 PL法による判定
 X-PL>15 液状化危険度が極めて高い
 △-15≧PL>5 液状化危険度が高い
 O-PL≦5 液状化危険度が低い

PL法	1.56
	O

表 5.2.9 No.5 地点 液状化判定(M7.5 350gal)



[液状化判定結果]

表 5.2.10 に No.1,3,4,5 地点の液状化判定結果を示す。

表 5.2.10 No.1,3,4,5 地点の液状化判定結果

液状化判定条件		FL法による判定 FL<1の地層		P L法による判定			
地点	地震動	200gal	350gal	200gal	PL値	350gal	PL値
		No. 1	As3	B、As3	○	0.32	△
No. 3	B、As3	B、As3	○	4.38	×	19.55	
No. 4	なし	なし	○	0.00	○	2.63	
No. 5	As3	B、As3	○	1.56	△	8.9	

表 5.2.10 から液状化に対する安全率FLはNo.1,3,5 地点については盛土層(B)と沖積第3砂質土層(As3)において 200gal、350gal で FL<1 を示し「液状化の可能性あり」の判定となった。No.4 地点に関しては各層 FL>1 以上となり「液状化の可能性なし」となった。

液状化指数PLは以下の式で求められる。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_{L,z}) (10 - 0.5z) dz$$

$F_{L,z}$: 深度Zにおける液状化抵抗率 (ただし, $1 \leq F_{L,z}$ の場合は, $F_{L,z}=1$ とする)

z : 深度 (m)

求められた液状化指数PLからPL法による液状化判定は以下の通りである。

- X - $P_L > 15$ 液状化危険度が極めて高い
- △ - $15 \geq P_L > 5$ 液状化危険度が高い
- - $P_L \leq 5$ 液状化危険度が低い

表 5.2.10 からPL法による液状化判定は、地震動 200gal では各地点共に「液状化危険度が低い」と判定され、地震動 350gal では No.1,5 地点では「液状化危険度は高い」と判定され、No.3 地点では「液状化危険度は極めて高い」と判定された。

5-3. まとめ

(1) 調査地の地層について

1) 調査地にあたる西宮地区は、大きく沖積低地、丘陵地及び山地部に分かれる。また、丘陵地と沖積低地の境界部には扇状地・緩扇状地が分布する。調査地は沖積低地（扇状地性低地）にあたる。調査地付近の沖積低地は扇状地と砂礫質の氾濫原にあたり、武庫川や丘陵地から流れ出る中小河川の粗粒堆積物によって構成され、地下水位が豊富な状態となっている場合が多い。調査地の地質は、中生代白亜紀の六甲花崗岩・布引花崗閃緑岩類を基盤とし、それらを覆って大阪層群上部層、高位・中位・低位段丘堆積層と扇状地・崖錐を構成する堆積物、沖積層が水平あるいはやや緩く傾斜した状態で分布している。

2) 調査地の地盤構成は、地表から 1.10~3.50m の厚さの盛土 (B) とその下部には GL-10m 前後まで粘土、砂、礫からなる沖積層が互層状に分布している。それ以深は洪積層が分布し、粘土、砂、礫が互層状に分布している。これらの地層は連続性良く北東から南西に向かい緩やかな傾斜で分布している。

3) N 値分布のヒストグラムからすると、沖積第 3 砂質土層(As3)、洪積砂質土(Ds)の標準偏差が 10 以上とばらつきが大きい。このことから As3 及び Ds は均一な砂質土ではなく、粘土・シルトの細粒分及び砂・礫の粗粒分が混在している中間土と言える。また、洪積第 1,2 砂質粘性土層(Dsc1,Dsc2)は、平均N値が N>30 を示すが、砂質土、粘性土の互層であるため標準偏差が 10 以上とバラツキが大きい。

4) No.3 地点の沖積第 3 砂質土(As3)の透水係数は 10^{-6} (m/sec)オーダーで低い透水性となる。ボーリングの観察記事や粒度試験結果から細粒分の混入が認められることから、対応する土の種類と一致する。このことから As3 層はやや透水性の低い砂質土であると言える。

(2) 地下水について

ボーリング調査時に確認された孔内水位を表 5.3.1 に示す。

ボーリング調査時に確認された孔内水位は盛土層 (B)と沖積第 1 砂質土層(As1)中で確認され比較的浅層に分布している。

表 5.3.1 ボーリング時に確認された孔内水位

ボーリングNo	孔内水位		地層	備考
	GL-(m)	OP+(m)		
No.1	1.70	7.49	B	屋内競技ゾーンが計画されている
No.2	1.98	7.63	B	屋内競技ゾーンが計画されている
No.3	0.55	8.63	B	屋内競技ゾーンが計画されている
No.4	1.45	7.91	As1	トラック競技・屋外競技ゾーンが計画されている
No.5	2.18	7.07	As1	トラック競技・屋外競技ゾーンが計画されている

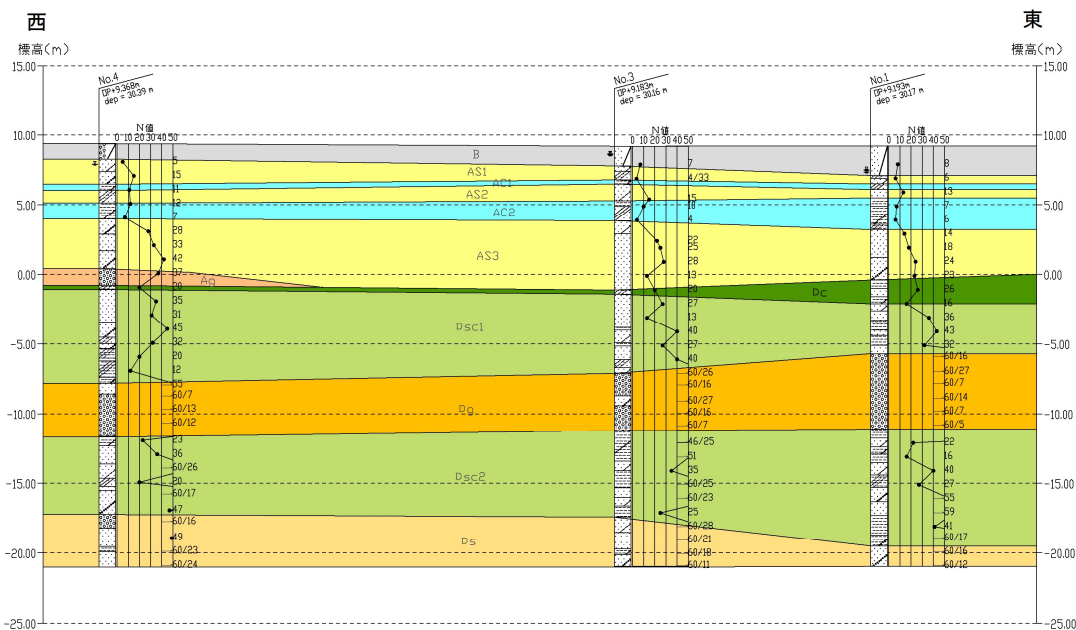


図 5.3.1 調査地の地質想定断面図 (No.1,3,4 断面)

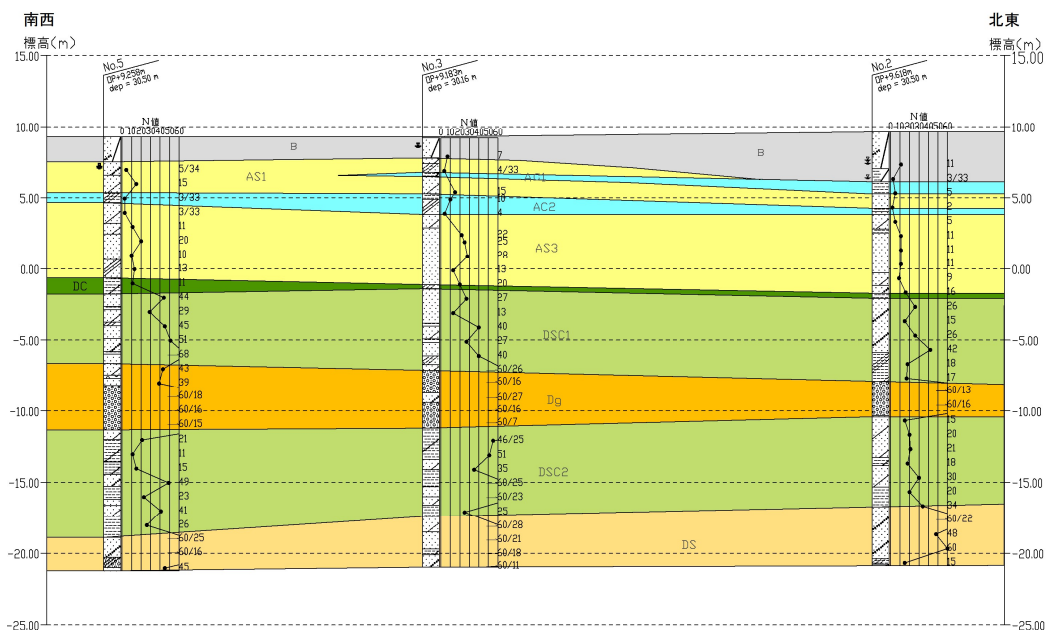


図 5.3.2 調査地の地質想定断面図 (No.2,3,5 断面)

(3) 支持層について

一般に良質な支持層とは砂質土層の場合はN=30以上、粘性土質地盤ではN=20以上とされ、その層厚も3m以上が望ましいとされている。

調査地で支持層を求めると、GL-11.0m付近から分布する洪積層が対象層となる。

沖積層の下位に分布する洪積第1砂質粘性土層(Dsc1)は平均N値N=30程度を示すが、砂質土部でN=13~15を示す箇所が見られ、粘性土部でN=12~18を示す箇所が認められることから安定した支持層ではない。洪積第1砂質粘性土層(Dsc1)の下位に分布する洪積礫質土層(Dg)に支持層を求めると、洪積礫質土層(Dg)の平均N値はN=58を示し、その層厚も概ね3m以上あることから支持層条件を満足し安定した支持層と言える。また、GL-26~28m以深から分布する洪積砂質土層(Ds)についても平均N値はN=57程度を示すことから安定した支持層と言える。

参考までに既往文献から調査地付近の支持層分布(図5.2.4)を見ると、支持層の上面標高はOP-5~-10mである。調査地の洪積礫質土(Dg)はOP-5.71~7.88mであり既往資料の支持層の範囲に入る。

以上から調査地の支持層としては洪積礫質土層(Dg)及び洪積砂質土(Ds)が妥当であろう。

ただし支持層の選定にあたっては経済性等を考慮し選定すべきである。

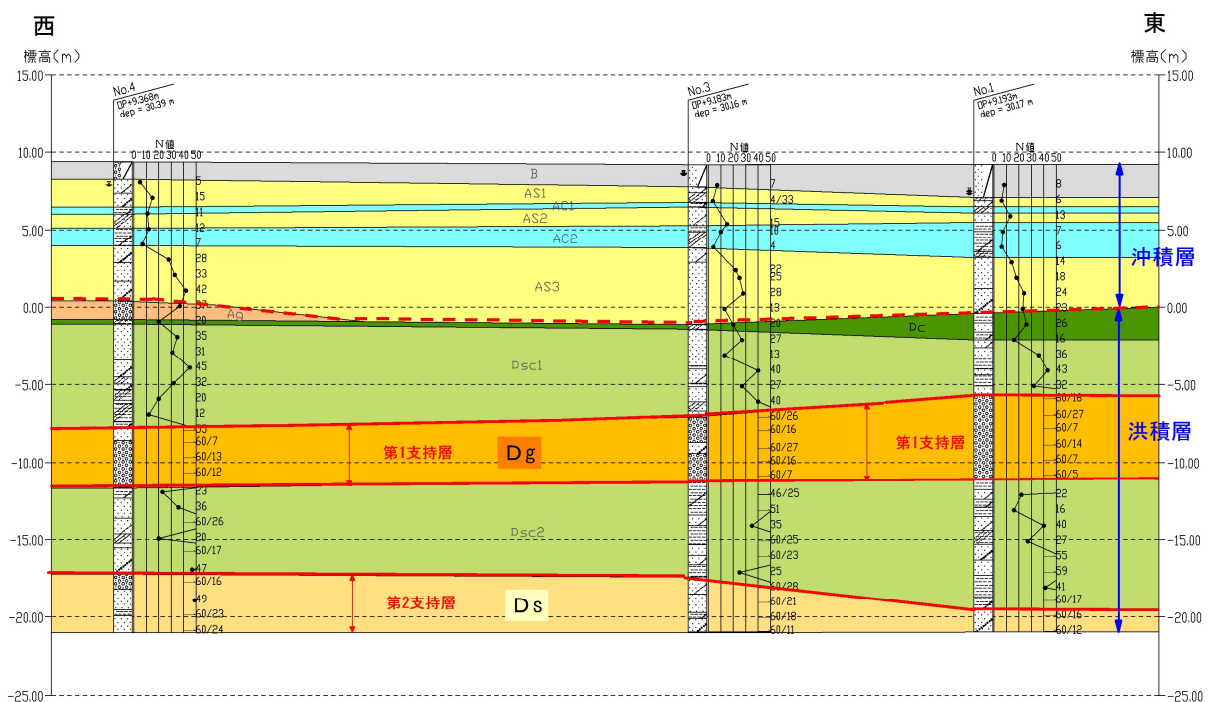


図 5.3.3 調査地における支持層 (No.1.3.4 断面)

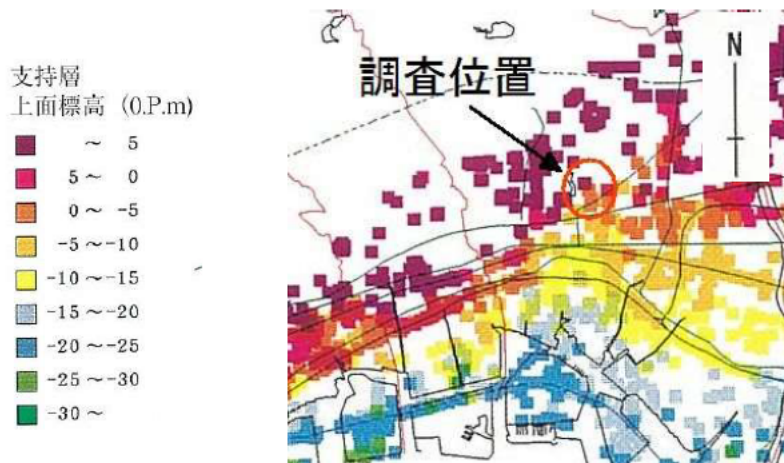


図 5.3.4 支持層の上面標高の分布

出典 新関西地盤 関西地盤情報活協議会

(4) 液状化について

地盤の液状化は飽和した緩い砂質土等に地震等の繰り返し外力が加わることにより土粒子間の間隙水圧が上昇し、地盤の有効応力が低下することで砂層が液体のように流動化する現象である。液状化は埋立地、旧河道、自然堤防、後背湿地、造成宅地の埋立地等で発生するといわれている。また液状化のおそれのある地盤条件は、建築基礎構造設計指針では地表面から 20m 程度以浅の沖積層（地下水以深）で、考慮すべき土の種類は細粒分含有率 $F_c=35\%$ 以下の土とする。ただし埋め立て地盤などの人工造成地盤では、粘土分（0.005mm以下の粒径を持つ土粒子）含有率が 10%以下、または塑性指数が 15%以下の埋め立て、あるいは盛土地盤について液状化の検討を行うとされている。

阪神大震災時における建物被害状況分布図（鉄筋コンクリート住宅被害 図 5.3.5）及び液状化被害分布図(図 5.3.6)を見ると調査地付近には建物被害なし、液状化発生は認められなかった。

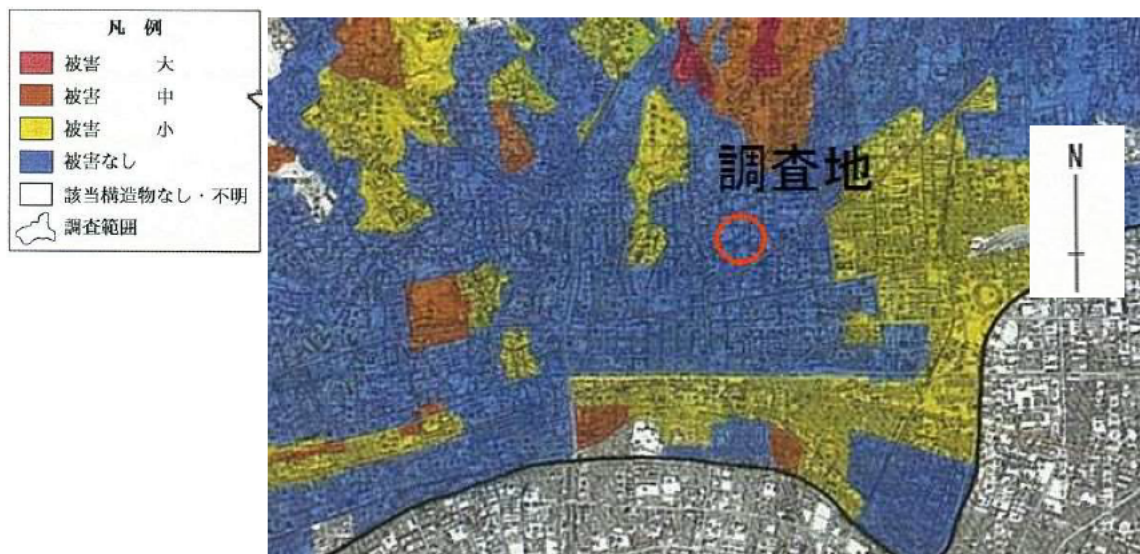


図 5.3.5 調査地付近の建物被害状況分布図(鉄筋コンクリート住宅被害)

出典：六甲山地東部の地形地質と地震被害

関西地質調査協会



図 5.3.6 調査地付近の阪神大震災被害状況分布図(斜面崩壊、液状化)

出典：六甲山地東部の地形地質と地震被害
関西地質調査協会

調査地点での液状化の可能性を検討すると、GL-3m 付近まで分布する盛土層(B)及びGL-11.0m 付近まで分布する沖積層の砂質土層で $N=3$ 程度を示す部分が認められることから液状化の可能性が考えられる。No.1,3,4,5 地点で行った液状化判定(簡易)の結果、盛土層(B)及び沖積第3砂質土層で $FL < 1$ を示し「液状化の可能性あり」との判定となった。また、液状化指数 PL は No.1,3,5 地点で「液状化危険度が高い」「液状化危険度が極めて高い」判定となった。阪神大震災時の液状化予測(図 5.3.7)からは調査地付近の液状化指数 PL を確認すると、 $PL=5 \sim 20$ の地点が分布しており液状化判定と近似している。

以上から調査地における液状化の可能性は高いと考えられる。

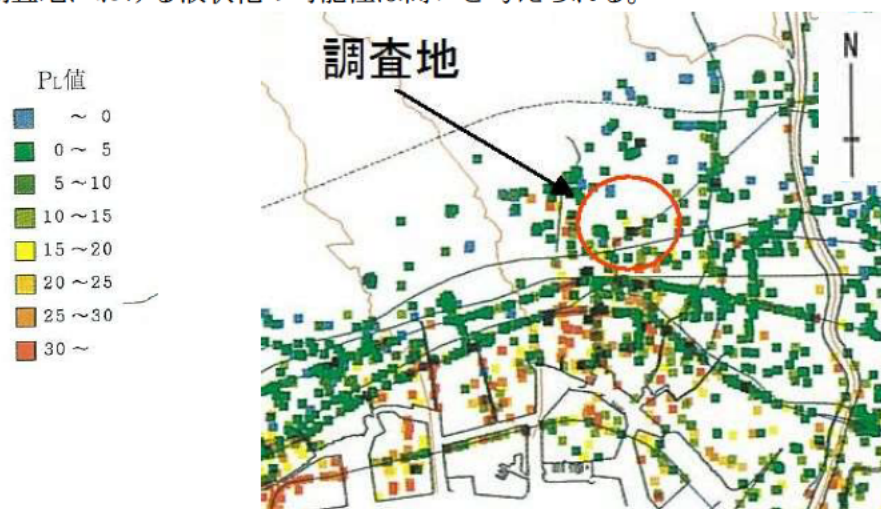


図 5.3.7 阪神大震災の液状化予測(建築指針)

出典 新関西地盤 関西地盤情報活協議会

(5) 調査地の工学的基盤面について

「道路橋示方書・同解説 耐震設計編」では耐震設計上の基盤面とは、対象地点に共通する広がりを持ち、耐震設計上振動するとみなす地盤の下に存在する十分堅固な地盤の上面を想定している。ここで十分堅固な地盤とは、せん断弾性波速度 300m/s 程度で、粘性土層では N 値 N=25、砂質土層では N=50 以上を有している剛性の高い地層と記載されている。

既往資料 1)、2) から調査地周辺の工学的基盤面を求めると以下の事が言える。

調査地周辺の洪積砂質土層や洪積礫質土層は全般に深度が深くなるに従い N 値が大きくなる傾向が認められ、Vs もそれに比例して大きな値を示すようになる。Ma12 層より下部に分布する地層では Vs が概ね 500m/sec 以上を示し Ma12 層の Vs に比べると明らかに大きな値を示している。

そのことから調査地周辺の工学的基盤面は Ma12 層より下部に分布する地層との境界面となる。

調査地の工学的基盤面は図 5.3.8 から GL-40~50m (TP-30~40m) 付近から分布していると推定される。

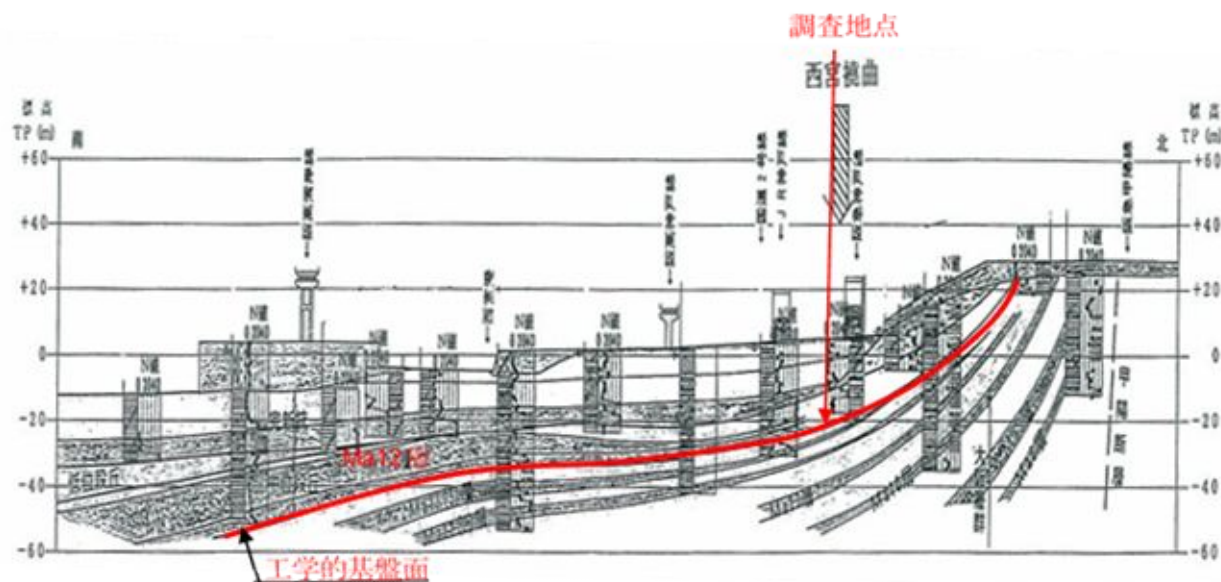


図 5.3.8 西宮西部の南北表層地質断面の工学的基盤面図

出典：六甲山地東部の地形地質と地震被害 H9 年 11 月

関西地質調査業協会

既往資料 1)地盤情報データベースを活用した神戸地域地震解析

2)大阪・神戸地域の表層地盤の土質特性のモデル化と地盤工学問題への適用

(6) 設計・施工の留意点

1) 駐車場設置に伴う留意点

調査地北西部 (No.1,2,3 地点) の屋内競技ゾーン (全体建築面積 約 6000m² 全体延床面積 約 12000m²) 内に 100 台収容の地下駐車場が計画されている。

調査地は、沖積低地の扇状地と砂礫質の氾濫原にあたり、武庫川や丘陵地から流れ出る中小河川により地下水位が豊富な状態となっている。

ボーリング時に確認した孔内水位は、GL-0.5~2.0m 程度であり高い。また間隙水圧測定で確認した Ac3 層の間隙水圧は $u=59.5\text{kN/m}^2$ を示す。

地下駐車場の規模は未定であるが、仮に GL-10m まで掘削し設置する場合には以下の事が言える。(対象土層 B、As1、As2、As3、Ac1、Ac2 層)

○沖積砂質土(As1,AS2)は N=3~18 程度と緩い状態である。地下水位が高いことから掘削時にボーリング等が発生し、掘削底面の崩壊や地下水湧水に伴う掘削部の変位が考えられるため排水処理や土留工法等を検討して設計・施工を行う必要がある。

ただし As1,As2 層は土質試験結果等から細粒分が混じる砂質土であるため急激な崩壊の可能性は少ないと考えられる。

○沖積粘性土層(Ac1、Ac2)は N=4~5 程度と軟らかい粘性土である。Ac1,Ac2 層の下位に分布する As3 層の間隙水圧が高いことから掘削時に粘性土層(Ac1,Ac2)で、盤ぶくれ現象が発生し、掘削底面の崩壊が考えられるため排水処理や土留工法等を検討して設計・施工を行う必要がある。

○調査地周辺には家屋が多数あるため、排水対策を行うことで (沖積粘性土層の圧密による家屋の変位、井戸枯れ等) 周辺環境へ影響を与えることが考えられる。

従って、排水対策にあたり周辺環境を考慮した設計・施工を検討する必要がある。

2) 支持層 (Dg) の直下の粘性土についての留意点

調査地の支持層をして GL-14~17m から分布する洪積礫質土(Dg)層が考えられた。

Dg 層の下位には洪積第 1 砂質粘性土層(Dsc1)が、砂質土層と粘性土層が互層状に分布する。

No.1,3,4,5 地点では Dg 層直下に粘性土層が分布している。これらの粘性土層の N 値は N=11~51 を示し、そのコンシステンシ-は「硬い~固結した」状態であることから沖積粘土に比べ大きな圧密沈下が発生する可能性は低いが、上載荷重条件により圧密沈下の可能性も考えられるためサンプリング及び試験を実施し、圧密定数を求め検討する必要がある。

3) 液状化対策工についての留意点

液状化判定から盛土層(B)と沖積第 3 砂質土層(As3)で液状化の可能性が高いと判定された。

液状化対策として密度の増大を図る締固め工法 (密度増大工法)、固結する固結工法、飽和土を低下する地下水位低下工法、間隙水圧の抑制・消散をはかるドレーン工法等がある。

調査地周辺には家屋が多数建っている。地下水低下工法は地下水低下のために圧密沈下

発生に伴う家屋へ影響が考えられる。締め固め工法やドレーン工法は振動や騒音が発生するため周辺環境へ影響を与える。また、固結工法は最も確実で一般的に行われる工法であるが、地盤の固結による地下水阻害のため井戸枯れや固化材注入による地下水のにごり等が考えられるため、液状化対策工法の採用にあっては検討する必要がある。