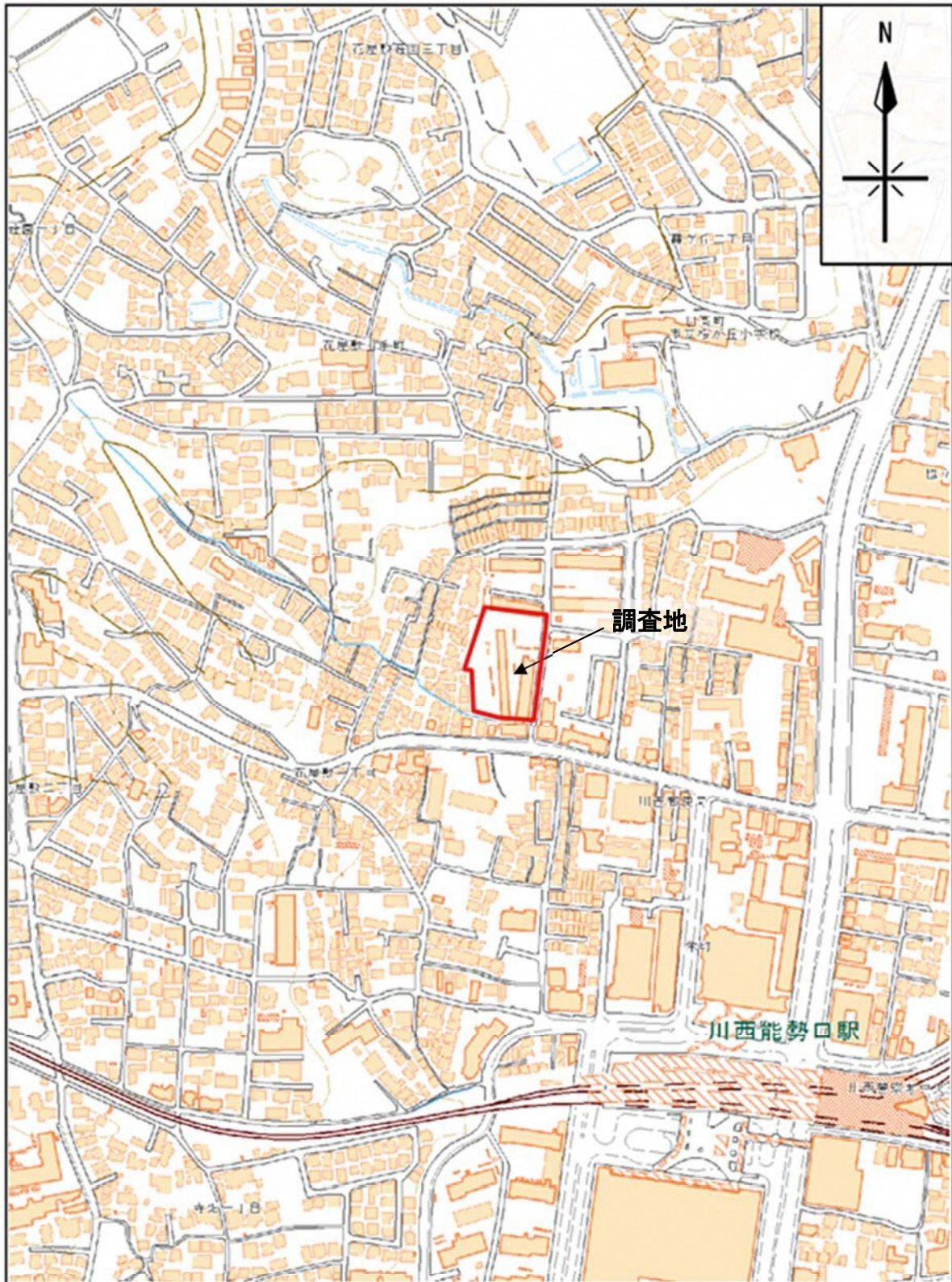


川西市花屋敷団地建替事業に伴う地質調査等委託業務

地質調査報告書

平成 30 年 2 月

株式会社関西地質調査事務所



※地理院タイルを利用しています (URL <http://maps.gsi.go.jp>)。



巻頭図 1 調査地案内図

## 巻頭図

- ・巻頭図 1 調査地案内図

## 目次

1. 調査概要.....	1
2. 調査方法.....	3
2.1 機械ボーリング.....	3
2.2 標準貫入試験.....	4
2.3 サンプリング.....	5
2.4 孔内水平載荷試験.....	6
2.5 現場透水試験.....	8
2.6 室内土質試験.....	9
3. 調査結果.....	10
3.1 地形・地質概要.....	10
3.2 ボーリング結果.....	12
3.3 現場透水試験結果.....	18
3.4 孔内水平載荷試験結果.....	19
3.5 室内土質試験結果.....	20
4. 考 察.....	22
4.1 支持層について.....	22
4.2 液状化の検討について.....	24
4.3 掘削に伴う山留めと地下水対策.....	32

### 【巻末資料】

- ボーリング柱状図
- 土質試験結果
- 現場透水試験結果
- 孔内水平載荷試験結果
- 現場記録写真

## 1. 調査概要

### (1)業務名称

川西市花屋敷団地建替事業に伴う地質調査等委託業務

### (2)委託場所

川西市花屋敷1丁目地内 (図 1.1 調査対象地案内図参照)

### (3)業務目的

本調査は、花屋敷団地建替事業に伴い、基礎形式の選定基礎資料として、調査地の地盤構成を把握するために機械ボーリングを実施した。また、原位置試験や乱れの少ない試料採取を行い、土質特性を把握した。

### (4)業務期間

平成 29 年 12 月 4 日～平成 30 年 2 月 28 日

### (5)業務内容

機械ボーリング	4 箇所 延べ 99m
標準貫入試験	81 回
孔内水平載荷試験(普通載荷)	1 回
現場透水試験	1 回
デニソンサンプリング	1 試料
室内土質試験	1 式

詳細は表 1.1 実施数量表に示す。

### (6)受注者

名称 : 株式会社 関西地質調査事務所 兵庫営業所  
環境省 土壌汚染指定調査機関 2003-5-1023  
所在地 : 兵庫県小野市浄谷町 1629 番地  
連絡先 : TEL 0794-64-2210 FAX 0794-64-2214

名称 : 株式会社 関西地質調査事務所 本社  
環境省 土壌汚染指定調査機関 2003-5-1023  
所在地 : 大阪府堺市中区深井清水町 3761 番地  
連絡先 : TEL 072-279-6770 FAX 072-279-8231

表 1.1 実施数量総括表

項目			実施				
			No. 1	No. 1'	No. 2	No. 3	計
機械ボーリング (m)	φ 66mm	粘性土	5.35	10.85	12.20	3.05	31.45
		砂・砂質土	4.95	4.95	7.20	7.90	25
		礫混じり土砂	2.60	8.10	5.35	5.55	21.6
		玉石混じり砂礫	4.10	4.10	3.25	0.00	11.45
	φ 116mm	粘性土	0.00	0.00	0.00	2.50	2.5
		砂・砂質土	0.00	0.00	0.00	0.40	0.4
		礫混じり土砂	0.00	0.00	0.00	1.65	1.65
		玉石混じり砂礫	0.00	0.00	0.00	4.95	4.95
計		17	28	28	26	99	
標準貫入試験 (回)	粘性土		7	5	14	5	31
	砂・砂質土		4	0	7	8	19
	礫混じり土砂		2	6	4	7	19
	玉石混じり砂礫		4	0	3	5	12
	計		17	11	28	25	81
デニソンサンプリング (本)			0	0	0	1	1
孔内水平載荷試験 (普通) (回)			0	0	0	1	1
現場透水試験 (ケーシング法) (回)			0	0	0	1	1
室内土質試験 (試料)	土粒子の密度試験		0	0	0	8	8
	含水比試験		0	0	0	8	8
	粒度試験	沈降分析 (ふるい分析含む)	0	0	0	1	1
		ふるい分析	0	0	0	7	7
	液性限界試験		0	0	0	1	1
	塑性限界試験		0	0	0	1	1
	湿潤密度試験		0	0	0	1	1
	圧密試験		0	0	0	1	1
三軸圧縮試験		0	0	0	1	1	

※No.1 地点は GL-17m まで掘進したが、GL-15m 付近に分布する砂礫層から被圧された湧水が認められたため、掘削が困難となった。よって、No.1 地点は閉塞し、No.1 地点の至近に新規の調査孔 (No.1' 地点) を掘削し、湧水対策を講じた。また、No.1 地点と No.1' 地点は至近であることから、No.1 地点の GL-17m までの標準貫入試験の N 値を採用し、GL-18m 以深は No.1' 地点にて標準貫入試験を実施した。

## 2. 調査方法

### 2.1 機械ボーリング

機械ボーリングは、ロータリー式スピンドル型試錐機を用いた。ボーリング作業では、様々な掘削条件(地質・深度・孔径・湧水・逸水等)に十分対応できる掘削機材を用いた。

掘削は、孔径 **66～116mm** とし、掘進中は、地層の変化や分布状態及び土性状況に注意し、適切なビット等の選択や機械の回転・給圧・給水の調整を行った。

ボーリングは、地下水位を確認するまで無水掘りとした。掘削孔の孔壁保護・透水防止には、ケーシングパイプ等を用いて対応した。ボーリング終了後は、ボーリング孔を良質土等で閉塞した。

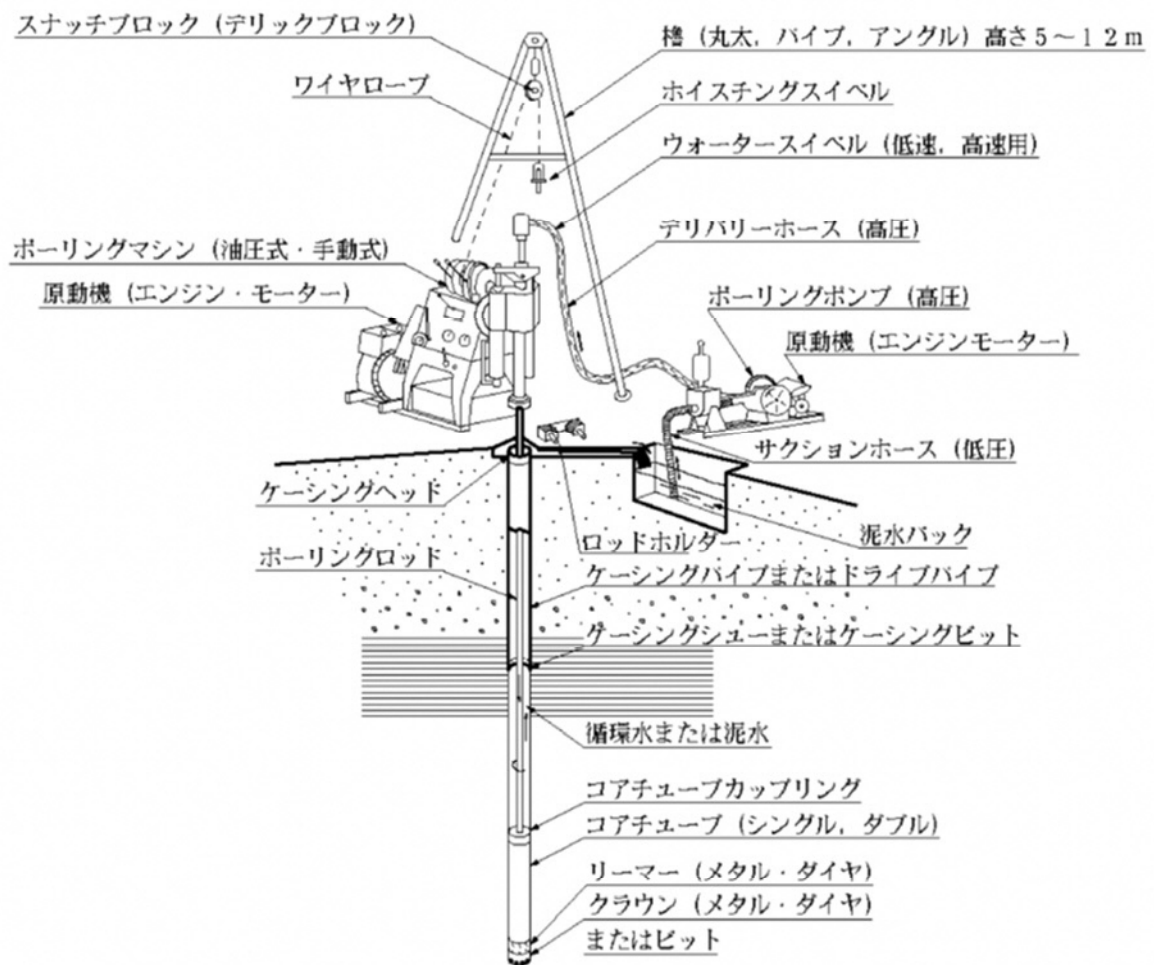


図 2.1 ボーリング一般図  
(地盤調査計画指針：日本建築学会)

## 2.2 標準貫入試験

標準貫入試験は、ボーリング孔を利用し、粘性土の硬軟や砂質土の締まり具合の概略の指標となるN値を求めるとともに、土質判定と土質試験のための試料を得ることを目的として実施した。試験は深さ1m毎に実施し、その方法は「JIS A 1219」に準拠した。

試験方法は、図2.2に示すように、全長 $810 \pm 1.0\text{mm}$ 、外径 $51 \pm 1.0\text{mm}$ の円筒形のサンプラーを試験位置に設置し、質量 $63.5 \pm 0.5\text{kg}$ の鋼製ハンマー(モンケン)を $76 \pm 1\text{cm}$ の高さから自由落下させ、先端のサンプラーを地中に打ち込むものである。打ち込む深さは、予備打ち15cm、本打ち30cm、後打ち5cmの計50cmで、N値とはこのうち、本打ち30cmの貫入に要するハンマーの打撃回数である。試験後は、直ちにサンプラーを引き上げ、試料の観察(土質、色調、状態及び混入物等)を行った後、土質試験用の試料は、ビニール袋に入れて密閉し、その他の試料は透明な容器に詰めて土質標本とした。

試験結果は、測定したN値と採取試料の観察結果をボーリング結果と合わせてボーリング柱状図に整理する。また、採取試料の一部は室内試験(物理試験)に供した。

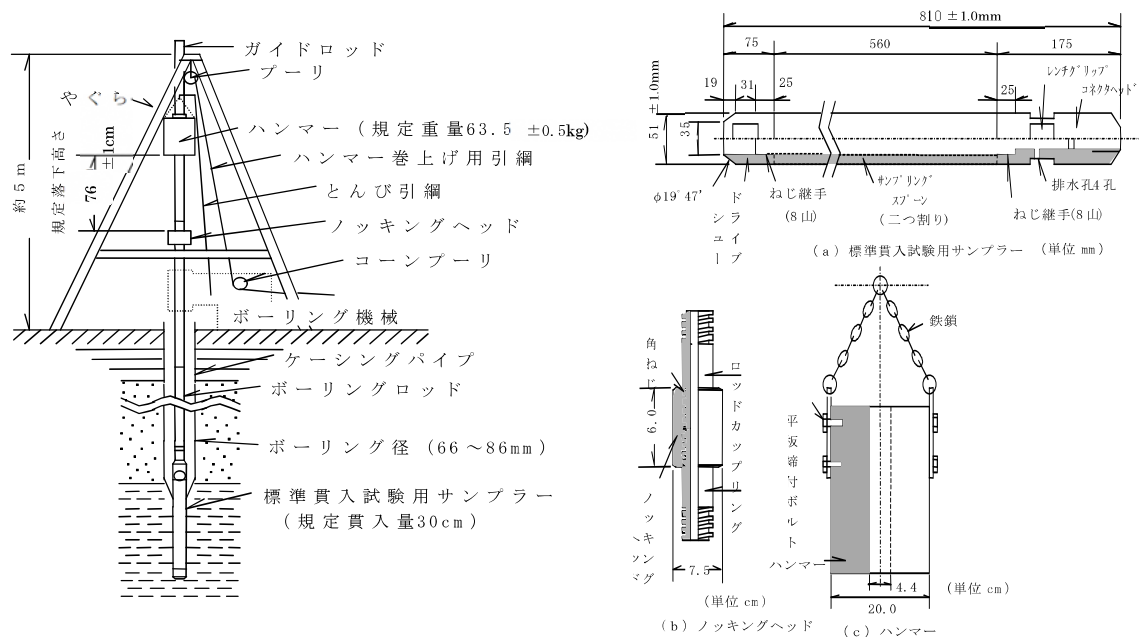


図 2.2 標準貫入試験器の構造

### 2.3 サンプリング

サンプリングは、デニソンサンプリングを実施した。デニソンサンプリングは、N値4～15の硬質な粘性土層を対象に乱さない試料を採取するものであり、図2.3に示すステンレス製のサンプリングチューブを用いて、図2.4に示すサンプラーによって行った。なお、サンプリング深度までの掘削孔径はφ116mmである。

採取した試料は、攪乱や水分蒸発を防止するために、速やかにサンプリングチューブの両端をシールして、衝撃、振動及び温度変化等を防止しながら試験室へ運搬し、土質試験に供した。

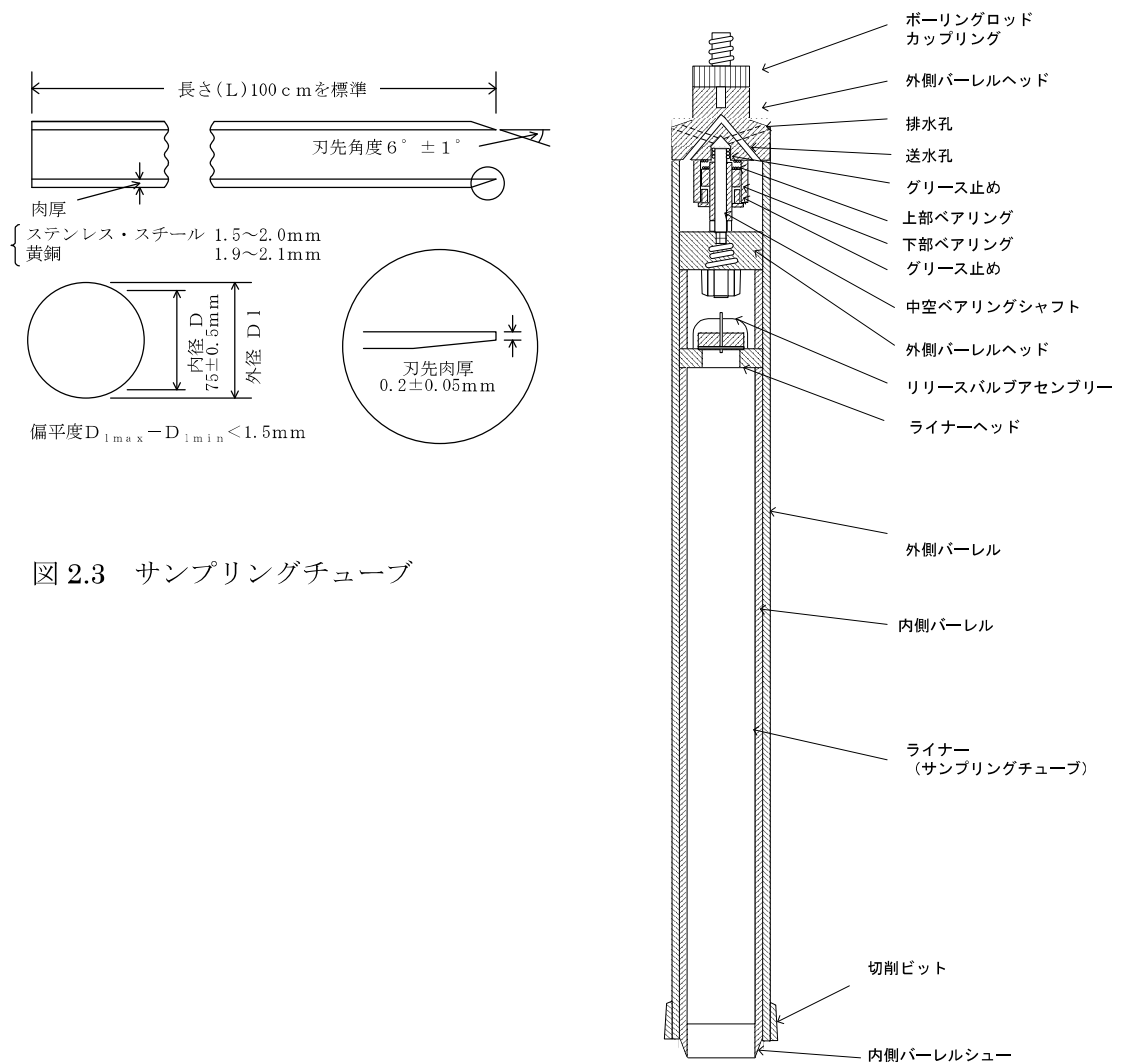


図 2.3 サンプリングチューブ

図 2.4 デニソン型サンプラーの構造



## 2.4 孔内水平載荷試験

孔内水平載荷試験は、ボーリング孔壁を利用して、地盤の変形特性及び強度特性を求めめるために実施する。その方法は「JGS 1421-2003」に準拠した。

試験の原理は、ボーリング孔内にゴムチューブ（プローブ）を挿入し、ゴムチューブを水圧によって膨張させることによってボーリング孔壁に水平方向の圧力をかけ、この加圧力とボーリング孔壁の変形量を測定し、地盤の荷重～変形の関係を求めるものである。

試験装置は、図 2.5 に示すように、載荷方式がA型（等分布荷重方式、1室型）である LLT (Lateral Load Tester) を用いた。

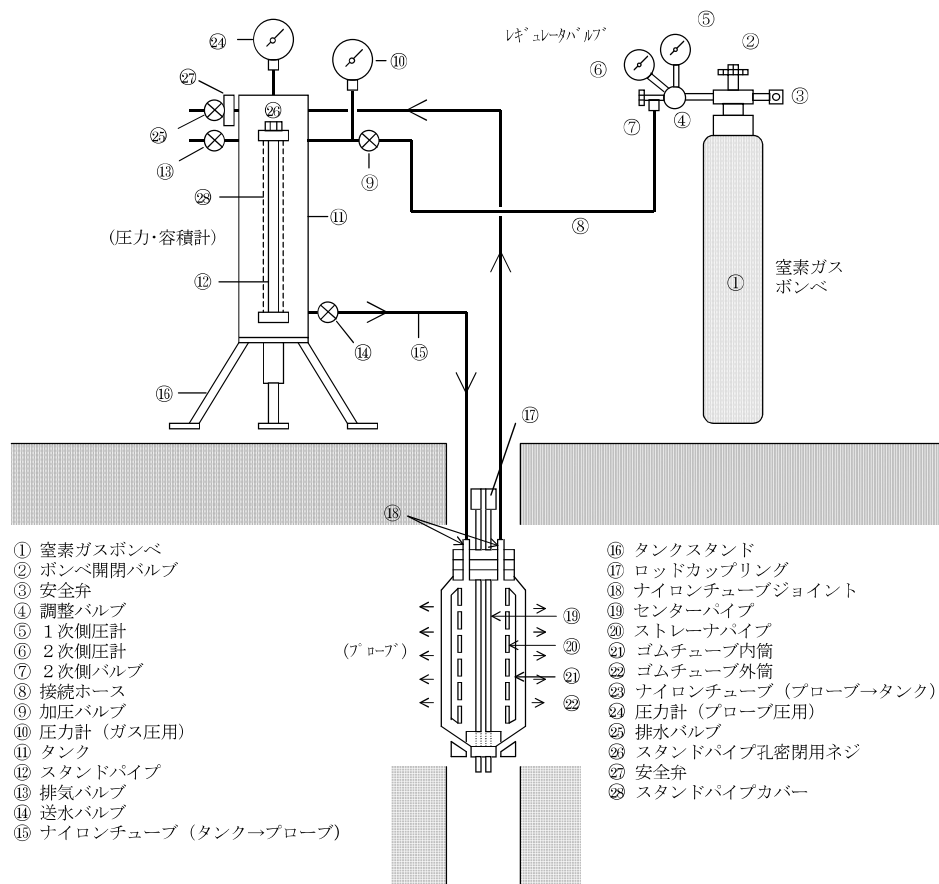


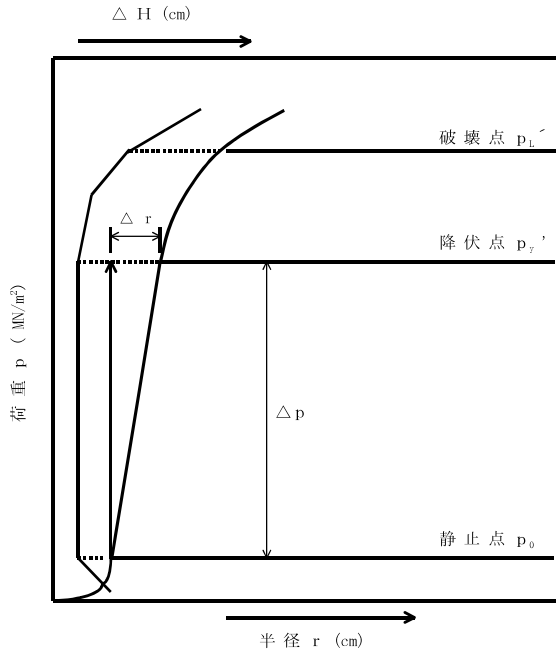
図 2.5 孔内水平載荷試験(LLT)の概要

なお、測定手順及び解析方法は次のとおりである。

(ア)プローブに装置するゴムチューブの反力をあらかじめ測定し、キャリブレーションカーブ (H-Pg 曲線) を作成する。

(イ)プローブを試験深度まで挿入し、圧力段階毎に変位量を測定する。なお、測定時間は、15, 30, 60sec 経過時について記録する。

(ウ)結果の解析



- 降伏点 ( $p_y$ )  
 $p_y = p_{y'} - p_0$  (MN/m<sup>2</sup>)
- 破壊圧 ( $p_L$ )  
 $p_L = p_{L'} - p_0$  (MN/m<sup>2</sup>)
- 地盤反力係数  $K_m$  (MN/m<sup>3</sup>)  
 $K_m = \Delta p / \Delta r$   
 $= (p_{y'} - p_0) / \Delta r$
- 変形係数  $E_m$  (MN/m<sup>2</sup>)  
 $E_m = (1 + \nu) \cdot r_m \cdot K_m$   
 $\nu$  : ポアソン比 (=0.3)  
 $r_m$  : 中間半径

図 2.6 孔内水平载荷試験解析図

測定結果から図 2.6 を作成し、 $p_0 \sim p_y$  の勾配から横方向の地盤反力係数 ( $K_m$ ) と変形係数 ( $E_m$ ) を求めた。

## 2.5 現場透水試験

現場透水試験は、原位置における透水係数及び平衡水位を求めることを目的として実施した。図 2.7 に現場透水試験の概略図を示す。

試験準備として、ケーシングパイプを所定の深度近傍まで挿入し、ケーシングを外周に間隙が生じないように打撃して設置した。そのケーシング底から 50cm の区間は清水による掘進を行い、透水区間を設けた。

測定はケーシング内の水をくみ上げて、水位上昇による時間と水位を測定した。

解析は非定常法の直線勾配法により行なった。この方法は時間の経過に伴う水位の上昇を測定する方法である。時間経過に対し水位が変動しない値を平衡水位とし、この平衡水位と測定深度の水位差と経過時間により求める方法である。

透水係数は時間と水位の関係から、次式を用いて求めた。

$$\text{透水係数 } k = (2.3de)^2 / 8L \cdot \log(2L/D)a \quad (\text{m/s}) \quad \text{ただし } L/D \geq 4$$

$$\text{直線勾配 } a = \log(s_1/s_2) / t_2 - t_1$$

ここに、  $k$  : 透水係数(m/sec)

$d$  : 測定用パイプの内径(m)

$D$  : 試験区間の直径(m)

$L$  : 試験区間の長さ(m)

$t$  : 経過時間(sec)

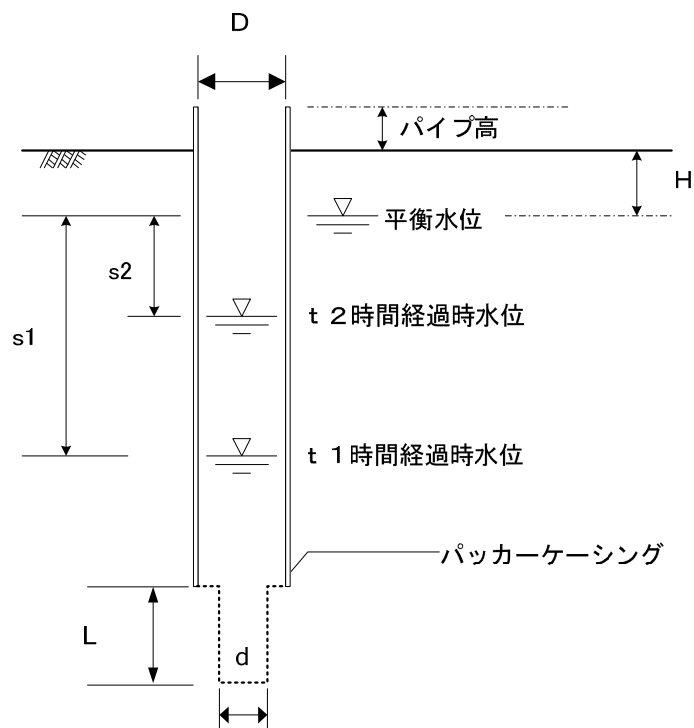


図 2.7 現場透水試験概要図

## 2.6 室内土質試験

室内土質試験は、土の基本的な性質を把握するために、物理及び力学試験を実施した。試験に用いる試料は、デニソンサンプリングにより採取した「乱れの少ない試料」、及び標準貫入試験時に採取した「乱した試料」を用いた。

実施する試験項目及び方法・規格は表 2.1 に示すとおりである。試験方法は、原則として日本工業規格(JIS)又は地盤工学会基準(JGS)に基づいて実施した。

表 2.1 室内土質試験項目一覧表

区分	試験項目	JIS	JGS	乱さない試料	乱した試料	目的
物理試験	土粒子の密度試験	A-1202	0111	○	○	地盤の工学的性質
	含水比試験	A-1203	0121	○	○	〃
	粒度試験	A-1204	0131	○	○	〃
	液性・塑性限界試験	A-1205	0141	○	○	〃
	湿潤密度試験	A-1225	0191	○	-	〃
力学試験	三軸圧縮試験	A-1216	-	○	-	〃
	土の圧密試験	A-1217	0412	○	-	〃

### 3. 調査結果

#### 3.1 地形・地質概要

調査地は川西市花屋敷団地内にあたる。

調査地の地形は、地形区分図(図 3.1)によれば、猪名川沿いに細長く形成された猪名川低地にあたり、猪名川低地の西方には長尾山山地や伊丹台地が分布している。

調査地周辺の地質は、表層地質図(図 3.2)によれば、山地部では砂岩や頁岩からなる堆積岩、流紋岩や凝灰岩、花崗閃緑岩からなる火山岩が分布する。台地部ではこれらの岩盤の上に海成粘土、砂、礫からなる大阪層群や礫、砂からなる段丘堆積層が覆っている。また、低地部では、大阪層群や段丘堆積層の上に礫・砂・粘土からなる沖積層が覆っている。なお、調査地の沖積層は、周辺の台地部の小河川や猪名川から供給された河川堆積物であると考えられる。

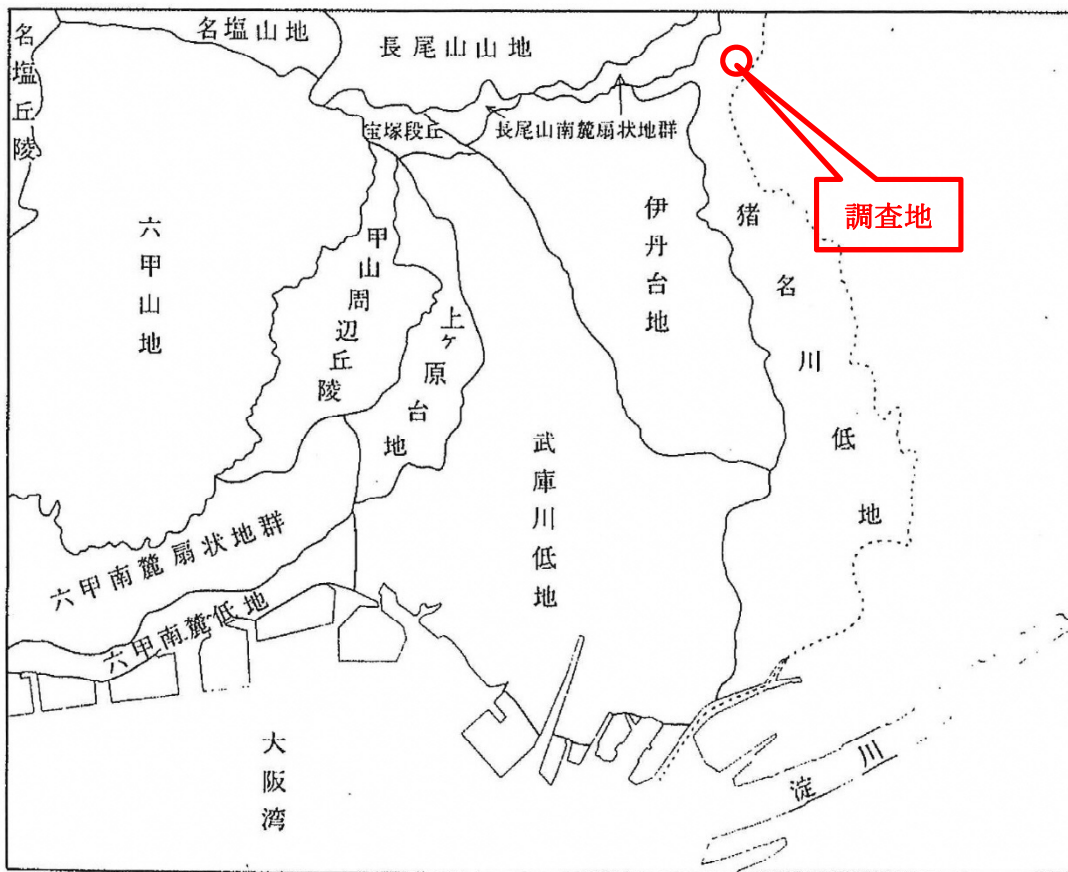


図 3.1 調査地周辺の地形区分図  
(土地分類基本調査：大阪西北部 国土調査 1996)

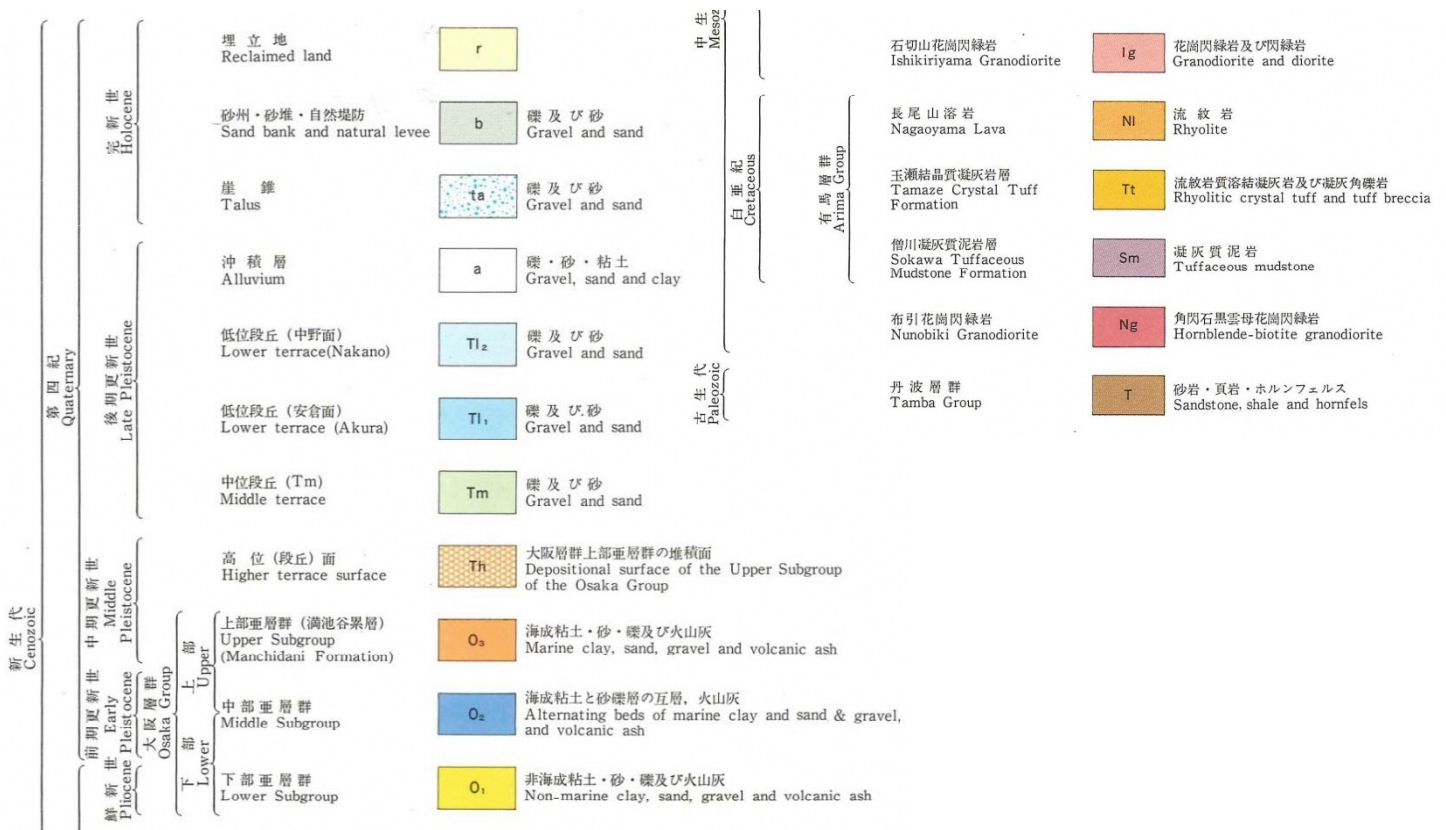
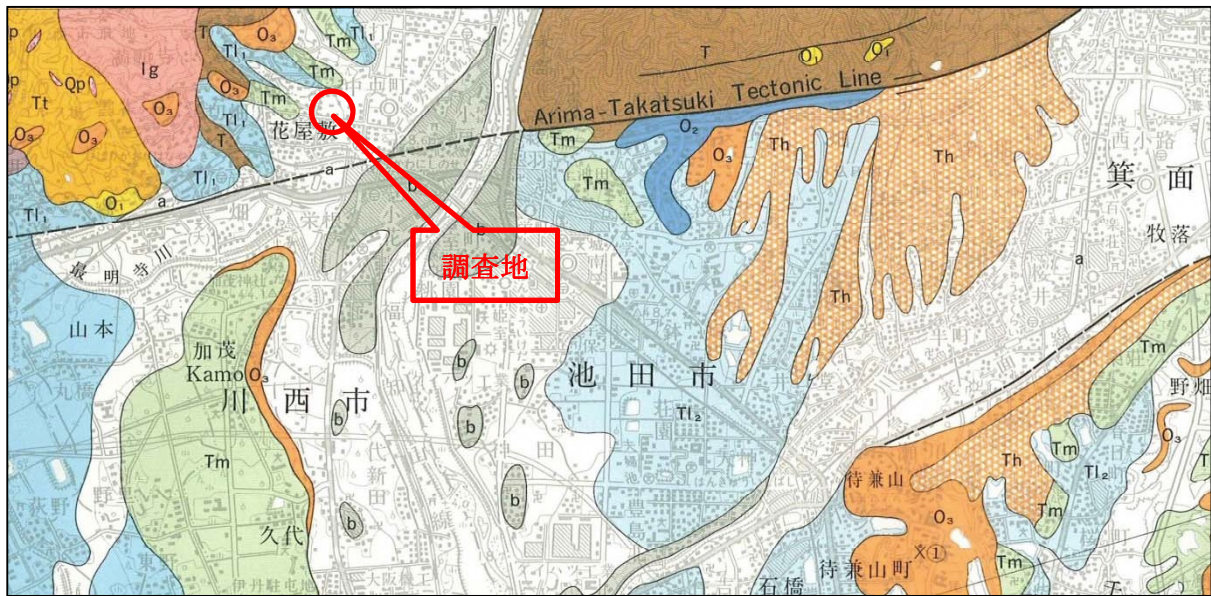


図 3.2 調査地周辺の地質図  
(5 万分の 1 地質図「大阪西北部」より)

### 3.2 ボーリング結果

ボーリング調査は、花屋敷団地内で3箇所実施した。ボーリング位置を図3.3に示す。調査結果の詳細は、ボーリング柱状図として巻末添付した。調査地の地層推定断面図を図3.4に示す。

調査地の地盤状況は、表3.1に示すように、上位から盛土、沖積層、洪積層で構成される。地層毎の概要は表3.2に整理した。

表 3.1 調査地の地質層序表

地質時代		地層区分	地層名	記号
現 世		盛土	盛土	B
第四紀	完新世	沖積層	粘性土層	Ac
			礫質土層	Ag
	更新世	洪積層	第1 礫質土層	Dg1
			第1 粘性土層	Dc1
			第1 砂質土層	Ds1
			第2 礫質土層	Dg2
			第2 粘性土層	Dc2
			第2 砂質土層	Ds2
			第3 粘性土層	Dc3
			第3 砂質土層	Ds3
		第3 礫質土層	Dg3	

各地層の分布状況を以下にまとめる。

#### 【盛土】

盛土は層厚 1.15m～1.80m を有し、礫質土が主体である。

礫径 2～20mm 程度の亜角礫が主体で、最大礫径 300mm が点在する。

N 値は 2～6 を示す。

### 【沖積層】

沖積層は、盛土直下に粘性土層 (Ac) が分布し、No.2 地点では粘性土層(Ac)の直下に礫質土層(Ag)が認められる。

#### ●粘性土層(Ac)

出現標高は KBM-0.36~-1.52m であり、層厚は 0.4~1.7m 程度を有する。

粘土~砂混じり粘土が主体である。

N 値は 1~5 の範囲にあり、平均 3 を示す軟らかい粘性土である。

#### ●礫質土層(Ag)

礫質土層(Ag)は、No.2 地点のみで認められる。出現標高は KBM-0.76m であり、層厚は 3.1m 程度を有する。

粘土混じり砂礫が主体で、礫径 2~30mm の垂角礫が主体である。礫間充填物は粘土混じり細砂~粗砂である。

N 値は 3~9 の範囲内にあり、平均 6 を示す緩い礫質土である。

含水量は多い。

### 【洪積層】

洪積層は、上部、中間部、下部に礫質土層(Dg1、Dg2、Dg3)が水平方向に連続性の良い。

また中間部には粘性土層(Dc1、Dc2、Dc3)が分布するが、第 1 粘性土層(Dc1)に第 1 砂質土層 (Ds1)、第 3 粘性土層(Dc3)に第 3 砂質土層(Ds3)が介在する。

砂質土層(Ds1、Ds2、Ds3)は、水平方向の連続性に乏しい。

#### ●第 1 礫質土層(Dg1)

出現標高は KBM-2.48~-3.86m であり、層厚は 3.3~5.0m 程度を有する。No.2 地点に向かって出現標高が 1~1.5m 程度低くなる傾向にあり、層厚 3.3m と薄くなる。

玉石混じり砂礫が主体で、礫径 2~50mm の垂角礫が主体である。ボーリング調査時にはコア長 200mm 程度が認められ、玉石の点在が想定される。

N 値は 24~60 以上の範囲内にあり、平均 47 を示す非常に密な礫質土である。

含水量は多い。

玉石は形状が扁平で、寝るような形に堆積することが多いため、ボーリング調査時に確認した最大礫径は楕円形の玉石の短辺である可能性がある。一般的に地盤中の玉石の大きさは、ボーリング調査時に認められた礫径の 3 倍程度を目安にすることが多いとされていることから、ボーリング調査時のコア長(短辺)が 200mm 程度であれば、長辺は 600mm 程度の玉石であると推定できる。

#### ●第 1 粘性土層(Dc1)

出現標高は KBM-7.11~-7.43m であり、層厚は 0.4~6.5m の範囲で変化する。No.2 地点で層厚 6.5m を有するが、No.1'、No.3 地点では Dc1 層に洪積第 1 砂質土層(Ds1)が介在す



ることにより層厚が薄くなる傾向にある。また、No.1'地点では、洪積第2礫質土層(Dg2)に層厚1.5mで介在する。

粘土～砂質粘土が主体である。

N値は8～40の範囲にあり、平均18を示す非常に硬い粘性土である。

●第1砂質土層(Ds1)

第1砂質土層(Ds1)は、No.1'、No.3地点で分布が認められる。出現標高はKBM-7.67～-8.13mであり、層厚は0.4～4.5mの範囲で変化する。

砂が主体で、部分的にシルトや礫が混入する。

N値は21～60以上の範囲にあり、平均46を示す密な砂質土である。

含水量は多い。

●第2礫質土層(Dg2)

出現標高はKBM-13.56～-15.08mであり、層厚は0.9～3.1mの範囲で変化する。礫混じり砂～粘土混じり砂礫が主体で、礫径2～30mmの垂角礫が主体である。礫間充填物は粘土混じり細砂～粗砂である。

N値は44～50の範囲にあり、平均47を示す密な礫質土である。

含水量は少ない～多い。また、No.1'地点のKBM-14.5m付近に分布する砂礫では、掘進時に5L/分程度の湧水が認められた。

●第2粘性土層(Dc2)

第2粘性土層(Dc2)は、No.2地点のみで分布が認められる。出現標高はKBM-14.46mであり、層厚は1.3mを有する。

粘土が主体である。

N値は12を示す硬い粘性土である。

●第2砂質土層(Ds2)

第2砂質土層(Ds2)は、No.2、No.3地点で分布が認められる。出現標高はKBM-15.76～-16.28mであり、層厚は1.2～1.8mを有する。

砂～シルト質砂が主体である。

N値は23～60以上を示し、平均36を示す密な砂質土である。

含水量は少ない～多い。

●第3粘性土層(Dc3)

出現標高はKBM-16.96～-18.08mであり、層厚は1.5～5.5mの範囲で変化する。

粘土が主体で、部分的に砂が混入する。

N値は13～60以上を示し、平均31を示す固結した粘性土である。

●第3砂質土層(Ds3)

第3砂質土層(Ds3)は、No.2地点のDc3層に介在する。出現標高は-18.71mであり、層厚は1.1mを有する。

砂が主体で、全体に粘土が混入する。

N値50を示す非常に密な砂質土である。

●第3礫質土層(Dg3)

出現標高は KBM-19.53～-22.97m であり、層厚は 5.0～6.5m を有する。No.3 地点では出現標高が高いが、No.1'、No.2 地点へと出現標高が低くなる傾向にある。出現標高の高低差は約 3.5m である。

砂礫が主体であるが、No.2 地点では砂～礫混じり砂が主体となる。砂礫は径 2～30mm の亜角礫が主体で、礫間充填物は粘土混じり細砂～粗砂である。最大礫径 50mm である。

N 値 50～60 以上(一部 20)を示し、局所的な N 値 20 を除外した平均は 58 を示す非常に密な礫質土である。

含水量は多い。また、No.1'、No.2 地点では掘進時に 10～30L/分程度の湧水が認められた。

【地下水位について】

本調査で確認した無水掘り時の孔内水位を表 3.3 にまとめる。

孔内水位は、GL-1.45～-3.72m(KBM-0.66～-3.25m)であった。この孔内水位は、沖積礫質土層(Ag)及び洪積第1礫質土層(Dg1)中の自由地下水(不圧地下水)面である。

No.1 地点の KBM-14.5m 付近に分布する砂礫層(洪積第2礫質土層：Dg2)は、被圧地下水を有しており、地上 5m 程度まで水位が認められた。また、洪積第3礫質土層(Dg3)においても被圧地下水を有しており、Dg2 層と同様の水位まで上昇することが想定される。

表 3.3 孔内水位一覧表(無水掘り時)

孔番	孔内水位	
	GL-(m)	KBM-(m)
No.1	確認できず	-
No.1'	3.50	3.22
No.2	1.45	0.66
No.3	3.72	3.25



図 3.3 調査位置平面図

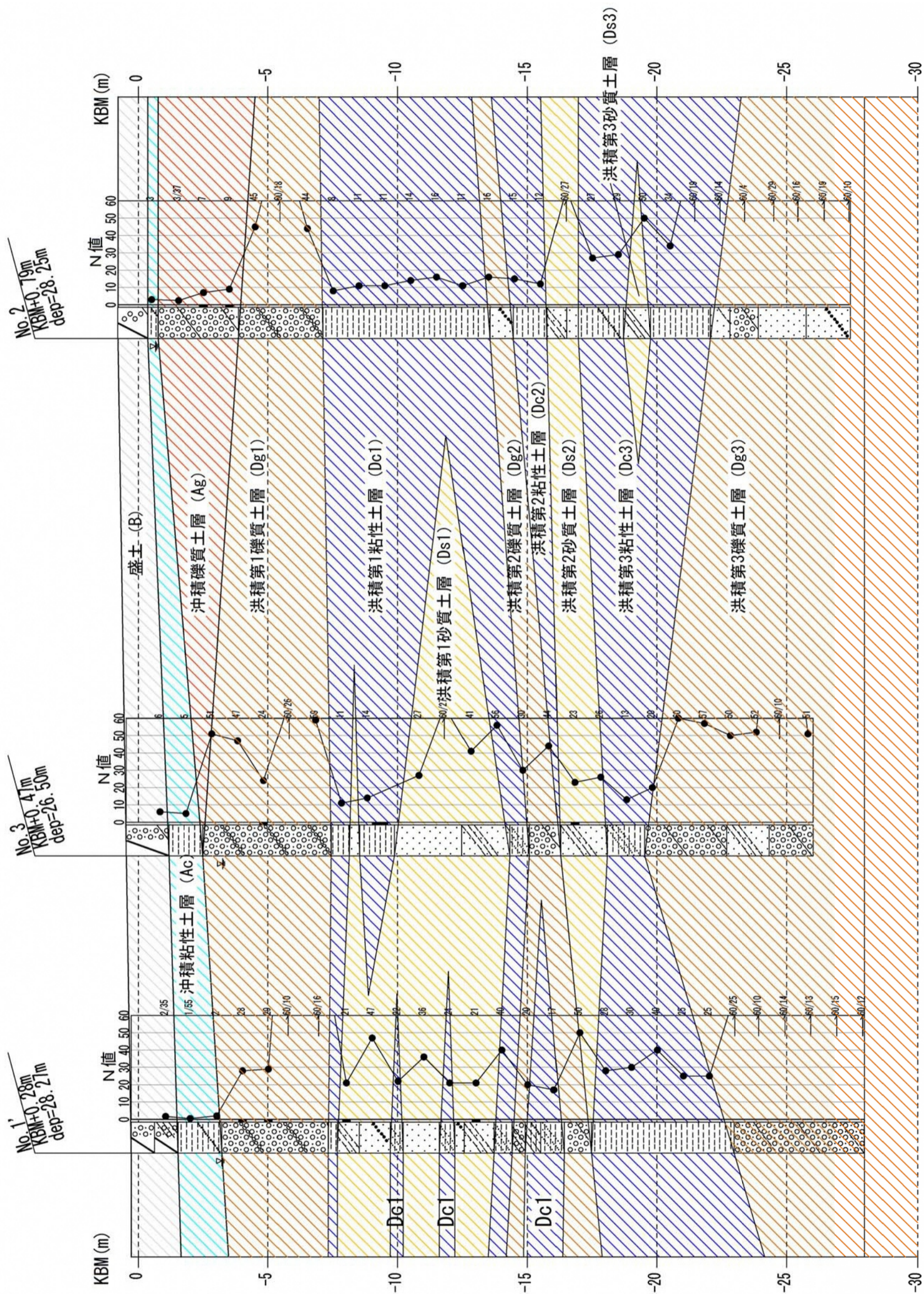


図 3.4 地質推定断面図

### 3.3 現場透水試験結果

現場透水試験は、洪積第1礫質土層(Dg1)の透水性を把握することを目的に実施した。試験結果記録は巻末に示した。

各地点の透水試験の結果を表3.4に示す。

洪積第1礫質土層(Dg1)の透水係数は $6.96 \times 10^{-5} \text{m/s}$ を得た。透水性と土質区分の関係図(図3.5)によれば、「中位」の透水性に相当する。

表 3.4 現場透水試験結果

孔番 No.	3	
孔口標高 KBM+(m)	+0.47	
試験深度	GL-(m)	6.00~6.50
	KBM-(m)	5.53~6.03
土質名	玉石混じり砂礫	
測定方法	非定常法	
透水係数 k (m/s)	$6.96 \times 10^{-5}$	
平衡水位	GL-(m)	3.80
	TP-(m)	3.33

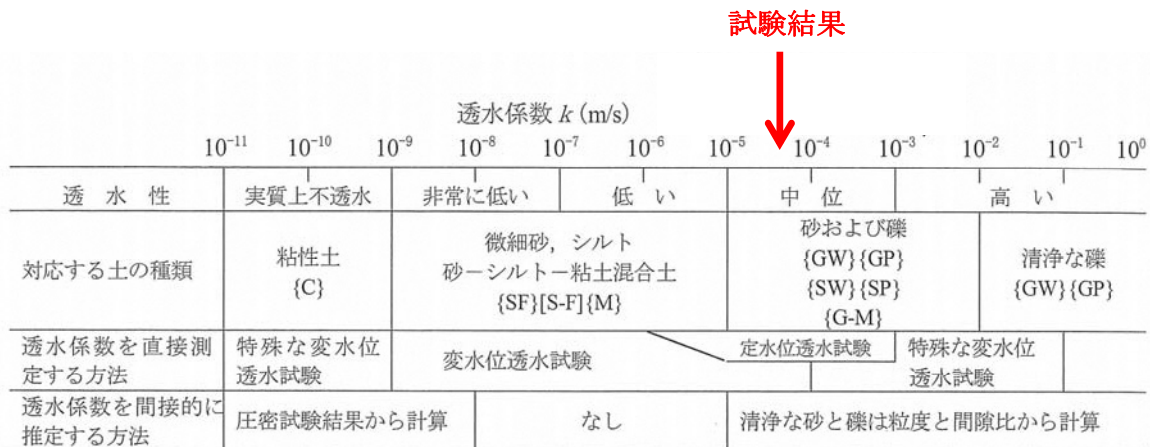


図 3.5 透水性と土質区分

(地盤材料試験の方法と解説：地盤工学会)

### 3.4 孔内水平載荷試験結果

孔内水平載荷試験(LLT)は、洪積第1礫質土(Dg1)の横方向変形特性を把握する目的で実施した。

試験結果は巻末のデータシートに示すとおりであり、結果で得られた値を整理して表3.3にまとめて示す。

表 3.3 孔内水平載荷試験結果

地点名	測定深度 GL-(m)	地層区分	土質名	N 値	変形係数 E kN/m <sup>2</sup>	E/N 値
No.3	3.50	Dg1	玉石混じり砂礫	51	35,660	E=700N

一般に N 値と変形係数 E との相関は図 3.5 のように  $E = 670N^{0.986} \approx 700N(\text{kN/m}^2)$  程度といわれており、その相関関係には  $E = 400 \sim 1000N(\text{kN/m}^2)$  のばらつきがある。本調査の結果を図 3.5 にプロットすると、 $E = 700N$  となり、図の相関のばらつきの範囲内に位置する。よって今回の結果は一般的な範囲内にあるといえる。

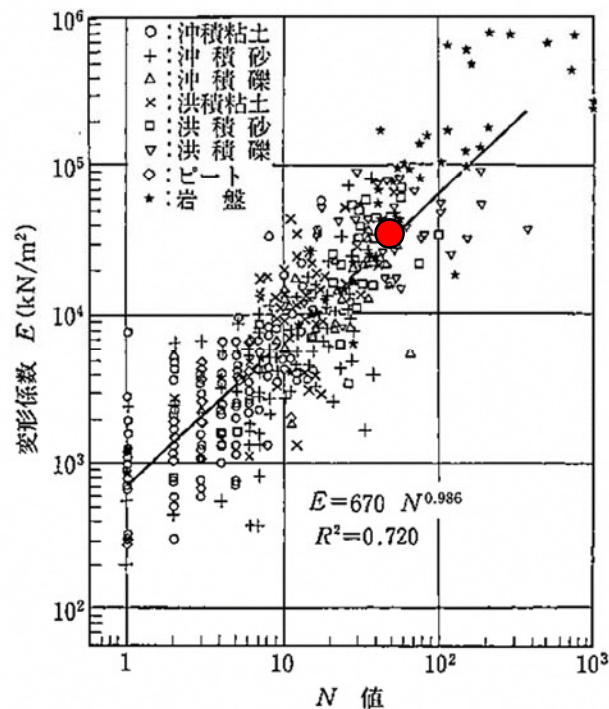


図 3.5 孔内水平載荷試験結果より得られた変形係数と N 値との関係

(「地盤調査の方法と解説」(公社)地盤工学会(2013))

### 3.4 室内土質試験結果

ボーリングで得られた土質試料を用いて、室内土質試験を実施した。結果の詳細は巻末資料「土質試験結果」にまとめて示す。表 3.5、3.6 に室内土質試験結果一覧表を示す。

表 3.5 室内土質試験結果一覧表：乱れの少ない

試料番号	D4-1
採取深度 GL-(m)	9.50～10.10
土質名	粘土(Dc1)
N値	14
湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.041
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.642
自然含水比 $W_n$ (%)	20.3
間隙比 $e$	0.559
礫分(%)	0.9
砂分(%)	32.2
シルト分(%)	37.3
粘土分(%)	29.6
液性限界 WL (%)	28.2
塑性限界 $W_p$ (%)	16.5
塑性指数 $I_p$ (%)	11.7
地盤材料の分類名	砂質粘土 (低液性限界)
圧密指数 $C_c$	0.23
圧密降伏応力 $P_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	1253
粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	180
せん断抵抗角 $\phi$ (°)	0

表 3.6(1) 土質試験結果一覧表：乱した試料

試料番号 深さ GL・(m)	P1-1 4.15~4.45	P1-2 5.15~5.45	P1-3 8.15~8.45	P1-4 13.15~13.45
地層名	洪積第1 礫質土層	洪積第1 礫質土層	洪積第1 砂質土層	洪積第1 砂質土層
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.682	2.684	2.628	2.639
自然含水比 $W_n$ (%)	8.2	8.5	23.7	21.1
礫分(%)	70.8	62.7	0.1	0.0
砂分(%)	21.5	26.1	55.4	36.0
シルト分(%)	7.7			
粘土分(%)				
地盤材料の分類	粘性土混じり 砂質礫	粘性土混じり 砂質礫	粘性土質砂	砂質粘性土

表 3.6(2) 土質試験結果一覧表：乱した試料

試料番号 深さ GL・(m)	P2-1 3.15~3.45	P2-2 4.15~4.45	P3-1 5.15~5.45	P3-2 17.15~17.45
地層名	沖積 礫質土層	沖積 礫質土層	洪積第1 礫質土層	洪積第2 砂質土層
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.632	2.605	2.712	2.628
自然含水比 $W_n$ (%)	14.1	12.2	9.5	21.7
礫分(%)	35.5	48.6	76.2	0.0
砂分(%)	49.7	32.2	15.6	44.0
シルト分(%)	14.8			
粘土分(%)				
地盤材料の分類	粘性土混じり 礫質砂	粘性土質 砂質礫	粘性土混じり 砂質礫	砂質粘性土



#### 4. 考 察

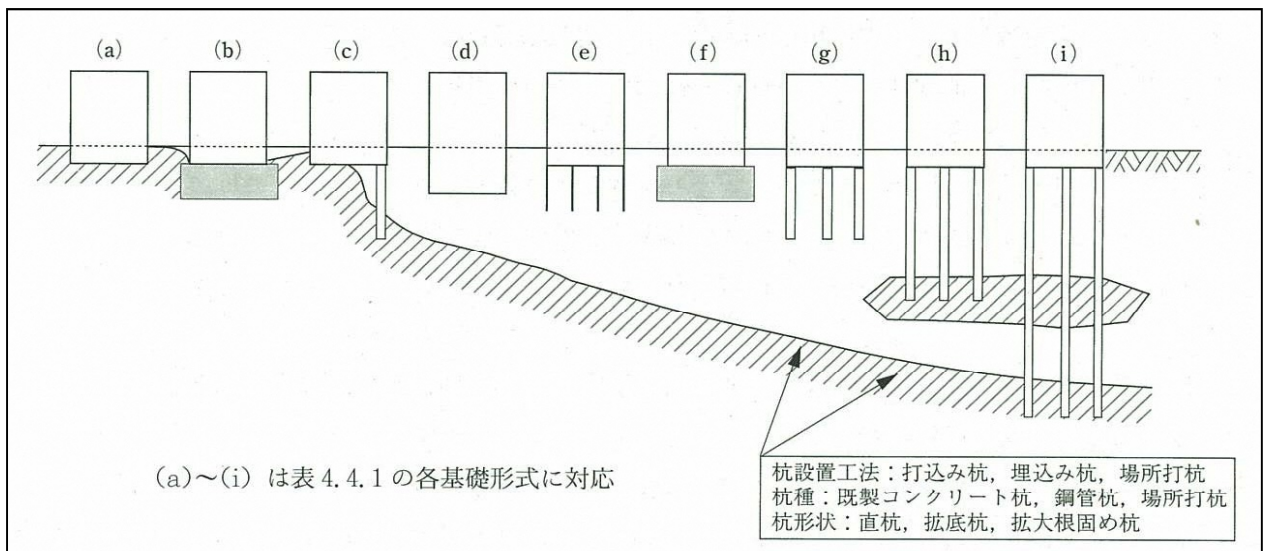
今回の調査結果をもとに、設計・施工に対する留意点を以下に示す。

- ①支持層としての評価
- ②飽和砂質土層、礫質土層の液状化の有無
- ③掘削に伴う山留めと地下水対策

##### 4.1 支持層について

図 4.1 に支持地盤の深度と適用可能な基礎形式を示す。

一般に構造物の安全のためには、基礎は十分な層厚を有する良質な支持層に支持させなければならない。良質な支持層とは、構造物の規模や形状によって一概に決めることはできないが、一般には砂質土層・砂礫層で N 値が大略 30 以上、粘性土層では 20 以上で層厚を 3~5m 以上有する地層とされている。



- (a) 直接基礎 (b)直接基礎+地盤改良工法 (c)併用基礎(異種基礎) (d)フローティング基礎  
 (e)併用基礎(パイルド・ラフト基礎)(f) 直接基礎+地盤改良工法(g)杭基礎(摩擦杭)  
 (h)杭基礎(中間支持層への支持杭) (i) 杭基礎(支持杭)

図 4.1 支持地盤と基礎形式の関係  
 (建築構造設計指針 2001 改訂、(社)日本建築学会)

調査地では、出現標高は KBM-19.53～-22.97m、層厚 5.0～6.5m、平均 N 値 58 を示す洪積第 3 礫質土層(Dg3)が分布している。

洪積第 3 礫質土層(Dg3)を支持層とする場合は杭基礎(支持杭)となる。

今回の調査結果より、杭基礎選定の留意点を以下にまとめる。

- ①支持層の深度は 20m 以上、土質は礫質土、N 値 50 以上である。
- ②No.3 地点では出現標高が高いが、No.1'、No.2 地点へと出現標高が低くなる傾向にあり、出現標高の高低差は約 3.5m である。
- ③中間層には平均 N 値 47 を示す洪積第 1 礫質土層(Dg1)が分布し、径 600mm の玉石の点在が予想される。
- ④地下水位は KBM-3m 以浅に位置している。
- ⑤洪積第 2 礫質土層(Dg2)は、被圧地下水を有しており、地上 5m 程度までの水位が認められ、5L/分の湧水が認められる。また、洪積第 3 礫質土層(Dg3)も被圧地下水を有しており、Dg2 層と同様に、地上 5m 程度まで水位の上昇が想定される。湧水は 10～30L/分が認められる。

## 4.2 液状化の検討について

建築基礎構造設計指針（日本建築学会 2001）」では、「液状化の判定をおこなう必要がある飽和土は、一般に地表面から 20m 程度以浅の沖積層で、考慮すべき土の種類は細粒土含有率が 35% 以下の土とする。ただし、埋立地盤など人工造成地盤では、細粒土含有率が 35%以上の低塑性シルト、液性限界に近い含水比を持ったシルトなどが液状化した事例も報告されているので、粘土分（0.005mm 以下の粒径を持つ土粒子）含有率 10%以下、または塑性指数が 15%以下の埋立てあるいは盛土地盤については液状化の検討を行う」とある。

調査地において、液状化の判定の対象となる地層の液状化検討の必要性を確認し、液状化検討の対象地層について、液状化発生に対する安全率 FL と地盤液状化指数 PL を算出し、液状化の有無と液状化の危険度を判定した。

### ①液状化検討の対象層

表 4.1 に液状化検討の必要性の有無を示す。

但し、細粒分含有率が 50%以上の地層は、液状化の検討対象外とした。

表 4.1 液状化検討の必要性の有無

地点名		No. 1'		
地層記号	試料番号	深さ	細粒分含有率 (シルト分+粘土分)	検討対象
		GL-(m)	(%)	
Dg1層	P1-1	4.15~4.45	7.7	対象
	P1-2	5.15~5.45	11.2	対象
Ds1層	P1-3	8.15~8.45	44.5	対象
	P1-4	13.15~13.45	64.0	対象外

地点名		No. 2		
地層記号	試料番号	深さ	細粒分含有率 (シルト分+粘土分)	検討対象
		GL-(m)	(%)	
Ag層	P2-1	3.15~3.45	14.8	対象
	P2-2	4.15~4.45	19.2	対象

地点名		No. 3		
地層記号	試料番号	深さ	細粒分含有率 (シルト分+粘土分)	検討対象
		GL-(m)	(%)	
Dg1層	P3-1	5.15~5.45	8.2	対象
Ds2層	P3-2	17.15~17.45	56.0	対象外

## ②液状化検討

### (1)検討条件

- ・判定基準：建築基礎構造設計指針((社)日本建築学会)表 4.5(1)～表 4.5(3)参照
- ・設計加速度：200gal (損傷限界), 350gal(終局限界)
- ・損傷限界：建物の供用期間中に 1 回～数回遭遇する地震
- ・終局限界：想定する最大級の地震
- ・マグニチュード：7.5(建築基礎構造設計指針(社)日本建築学会に従う)
- ・検討対象層：Ag 層、Dg1 層、Ds1 層、Ds2 層
- ・検討地点：3 地点
- ・N値：1m 毎の実測N値
- ・地下水位：各地点の無水掘り地下水位 (ボーリング柱状図参照)
- ・単位体積重量：推定値
- ・細粒分含有率：粒度試験結果より
- ・安全率：FL が 1 以下の場合に液状化すると判断する

### (2)PL 値

PL 値は、液状化の激しさの程度を示す「地盤液状化指数」である。基準の指標は表 4.2 に示すとおりであり、PL 値が 5 以上の場合に液状化の危険性が大きく、15 以上では液状化の危険性は極めて大きいとされている。

表 4.2 PL 値の判定基準

PL値	PL=0	液状化の危険度はかなり低い(液状化に関する詳細な調査は不要)
○	0<PL≤5	液状化の危険度は低い(特に重要な構造物に対してより詳細な調査が必要)
△	5<PL≤15	液状化の危険度は高い(重要な構造物に対してより詳細な調査が必要, 液状化対策が一般に必要)
×	15<PL	液状化の危険度は極めて高い(液状化に関する詳細な調査と液状化対策は不可避)

### (3)検討結果

液状化判定結果は巻末資料に添付した。表4.3(1)～表4.3(3)に各地点の設計加速度の検討結果を示す。また、表4.4(1)～表4.4(3)に検討計算書を示す。

#### 【設計加速度200gal】

3地点の全ての検討深度において液状化しないとの判定結果となった。

PL値から、液状化の危険度はかなり低いと判断できる。

#### 【設計加速度350gal】

No.2地点のAg層で液状化する判定されるが、他の2地点のDg1層、Ds1層では液状化しないと判定される。

PL値から、液状化の危険度はNo.2地点では高いが、No.1'、No.3地点ではかなり低いと判断できる。

表 4.3(1) 液状化検討結果(No.1'地点)

地点名	No.1'							
設計加速度	200gal				350gal			
項目	検討深度 GL-(m)	地層記号	FL値	判定結果	検討深度 GL-(m)	地層記号	FL値	判定結果
	4.30	Dg1層	7.482	○	4.30	Dg1層	4.275	○
	5.30		6.919	○	5.30		3.954	○
	8.30	Ds1層	6.210	○	8.30	Ds1層	3.549	○
PL値	0.000			○	0.000			○

※FL値判定結果 ○：液状化しない ●：液状化する

※PL値判定結果 ○：液状化の危険度は低い

△：液状化の危険度は高い

×：液状化の危険度は極めて高い

表 4.3(2) 液状化検討結果(No.2 地点)

地点名	No.2							
設計加速度	200gal				350gal			
項目	検討深度 GL-(m)	地層記号	FL値	判定結果	検討深度 GL-(m)	地層記号	FL値	判定結果
	3.30	Ag層	1.061	○	3.30	Ag層	0.606	●
	4.30		1.215	○	4.30		0.694	●
PL値	0.000			○	5.628			△

※FL値判定結果 ○：液状化しない ●：液状化する

※PL値判定結果 ○：液状化の危険度は低い

△：液状化の危険度は高い

×：液状化の危険度は極めて高い

表 4.3(3) 液状化検討結果(No.3 地点)

地点名	No.3							
設計加速度	200gal				350gal			
項目	検討深度 GL-(m)	地層記号	FL値	判定結果	検討深度 GL-(m)	地層記号	FL値	判定結果
		5.30	Dg1層	7.095	○	5.30	Dg1層	4.054
PL値	0.000			○	0.000			○

※FL値判定結果 ○：液状化しない ●：液状化する

※PL値判定結果 ○：液状化の危険度は低い

△：液状化の危険度は高い

×：液状化の危険度は極めて高い

表 4.4(1) 検討計算書(No.1'地点)

適用式	建築基礎構造設計指針式 (2001)												
タイトル1	川西市花屋敷団地建替事業に伴う地質調査等委託業務												
タイトル2													
調査位置	北緯: 度 分 秒 東経: 度 分 秒												
ボーリング名	No.1'												
孔口標高 (m)	KBM+0.28												
地下水位	GL-3.50(m)												
PL (加速度)	0.000(200,000gal ● ) 0.000(350,000gal ○ )												
マグニチュード	7.500												
低減係数	0.015												
計算対象範囲	地下水位以深 (補正N値の上限を30とした)												

KBM	GL	F L	No	計算深度 (m)	N 値 (回)	$\gamma t$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (kN/m <sup>2</sup> )	D50 (mm)	F C (%)	砂礫地盤 補正係数	補正N値	R	200,000(gal)		350,000(gal)		
														L	F L	L	F L	
														*m	*m	0	1	2
0	0																	
			1	1.325	1.71	20.00	26.50	26.50										
			2	2.275	0.55	14.00	42.65	42.65										
			3	3.300	2.00	14.00	57.00	57.00										
			4	4.300	28.00	20.00	75.80	67.96		7.70		30.000	1.036	0.138	7.482	0.242	4.275	
-5			5	5.300	29.00	20.00	95.80	78.16		11.20		30.000	1.036	0.150	6.919	0.262	3.954	
			6	6.050	180.00	20.00	110.80	85.81										
			7	7.230	112.50	20.00	134.40	97.84										
			8	8.300	21.00	18.00	154.96	107.92		44.50		30.000	1.036	0.167	6.210	0.292	3.549	
			9	9.300	47.00	18.00	172.96	116.12										
-10			10	10.300	22.00	19.60	191.44	124.80										
			11	11.300	36.00	18.00	209.76	133.32										
			12	12.300	21.00	19.60	228.40	142.16										
			13	13.300	21.00	18.00	246.72	150.68										

表 4.4(2) 検討計算書(No.2 地点)

適用式	建築基礎構造設計指針式 (2001)												
タイトル1	川西市花屋敷団地建替事業に伴う地質調査等委託業務												
タイトル2													
調査位置	北緯: 度 分 秒 東経: 度 分 秒												
ボーリング名	No.2												
孔口標高 (m)	KBM+0.79												
地下水位	GL-1.45(m)												
PL (加速度)	0.000(200,000gal ● ) 5.628(350,000gal ○ )												
マグニチュード	7.500												
低減係数	0.015												
計算対象範囲	地下水位以深 (補正N値の上限を30とした)												

KBM	GL	F L	No	計算深度 (m)	N 値 (回)	$\gamma t$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (kN/m <sup>2</sup> )	D50 (mm)	F C (%)	砂礫地盤 補正係数	補正N値	R	200,000(gal)		350,000(gal)		
														L	F L	L	F L	
														*m	*m	0	1	2
0	0																	
			1	1.300	3.00	14.00	25.10	25.10										
			2	2.335	2.43	20.00	44.30	35.62										
			3	3.300	7.00	20.00	63.60	45.47		14.80		17.237	0.187	0.176	1.061	0.309	0.606	
			4	4.300	9.00	20.00	83.60	55.67		19.20		19.781	0.226	0.186	1.215	0.326	0.694	
-5			5	5.300	45.00	20.00	103.60	65.87										
			6	6.240	100.00	20.00	122.40	75.46										

表 4.4(3) 検討計算書(No.3 地点)

適用式	建築基礎構造設計指針式(2001)
タイトル1	川西市花屋敷団地建替事業に伴う地質調査等委託業務
タイトル2	
調査位置	北緯: 度 分 秒 東経: 度 分 秒
ボーリング名	No.3
孔口標高(m)	KBM+0.47
地下水水位	GL-3.72(m)
PL(加速度)	0.000(200,000gal ●) 0.000(350,000gal ○)
マグニチュード	7.500
低減係数	0.015
計算対象範囲	地下水位以下 (補正N値の上限を30とした)

KBM +m	GL +m	FL	No	計算深度 (m)	N 値 (回)	$\gamma t$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (kN/m <sup>2</sup> )	D50 (mm)	FC (%)	砂礫地盤 補正係数	補正N値	R	200,000(gal)		350,000(gal)	
														L	FL	L	FL
0	0	0															
		1	1	1.300	6.00	20.00	26.00	26.00									
			2	2.300	5.00	14.00	42.10	42.10									
			3	3.300	51.00	20.00	58.20	58.20									
			4	4.300	47.00	20.00	78.20	72.52									
	-5		5	5.300	24.00	20.00	98.20	82.71		8.20		29,963	1.029	0.145	7.095	0.254	4.054
			6	6.280	69.23	20.00	117.80	92.71									

表 4.5(1) 液状化判定方法

建築基礎構造設計指針（日本建築学会）P62 より抜粋

(1) 対象とすべき土層

液状化の判定を行う必要がある飽和土層は、一般に地表面から 20 m 程度以浅の沖積層で、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。ただし、埋立地盤など人工造成地盤では、細粒分含有率が 35% 以上の低塑性シルト、液性限界に近い含水比を持ったシルトなどが液状化した事例も報告されているので、粘土分 (0.005 mm 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% 以下の埋立あるいは盛土地盤については液状化の検討を行う。細粒土を含む礫や透水性の低い土層に囲まれた礫は液状化の可能性が否定できないので、そのような場合にも液状化の検討を行う。

1) 液状化危険度予測

液状化判定は、図 4.2～4.5 を用い、以下の手順により行った。

(a) 検討地点の地盤内の各深さに発生する等価な繰返しせん断応力比を次式から求める。

$$\frac{\tau^d}{\sigma'_z} = \gamma_n \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \gamma_d \quad (4.5.1)$$

ここに、 $\tau^d$  は水平面に生じる等価な一定繰返しせん断応力振幅 (KPa)、 $\sigma'_z$  は検討深さにおける有効土被り圧 (鉛直有効応力) (KPa)、 $\gamma_n$  は等価の繰返し回数に関する補正係数で 0.1(M-1)、M はマグニチュード、 $\alpha_{max}$  は地表面における設計用水平加速度 (cm/s<sup>2</sup>)、g は重力加速度 (980cm/s<sup>2</sup>)、 $\sigma_z$  は検討深さにおける全土被り圧 (鉛直全応力) (KPa)、 $\gamma_d$  は地盤が剛体でないことによる低減係数で次式による。

$$\gamma_d = 1 - 0.015z \quad (4.5.2)$$

ここに、z はメートル単位で表した地表面からの検討深さである。

(b) 対応する深度の補正 N 値 (N<sub>a</sub>) を次式から求める。

$$N_f = C_N \cdot N \quad (4.5.3)$$

$$C_N = \sqrt{98 / \sigma'_z} \quad (4.5.4)$$

$$N_a = N_f + \Delta N_f \quad (4.5.5)$$

ここに、N<sub>f</sub> は換算 N 値、C<sub>N</sub> は拘束圧に関する換算係数、 $\Delta N_f$  は細粒土含有率 FC に応じた補正 N 値増分で、図 4.3 による。N はトンビ法または自動落下法による実測 N 値とする。



表 4.4(2) 液状化判定方法  
 建築基礎構造設計指針（日本建築学会）より抜粋

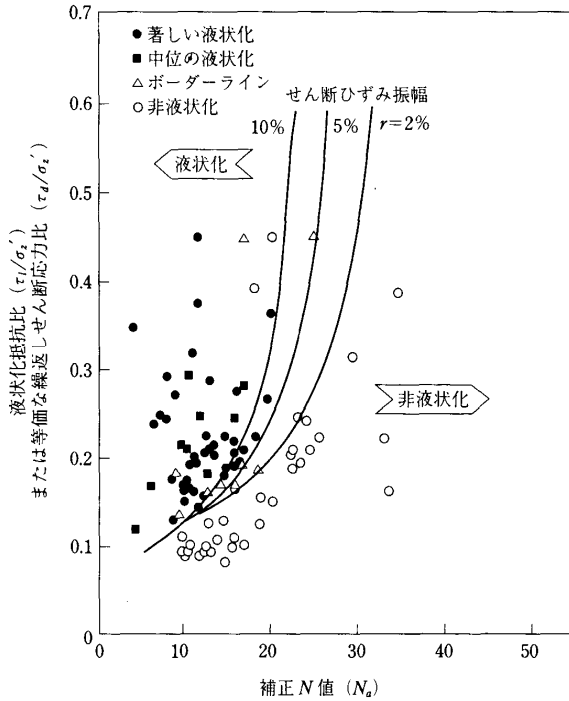


図 4.2 補正  $N$  値と液状化抵抗，動的せん断の関係

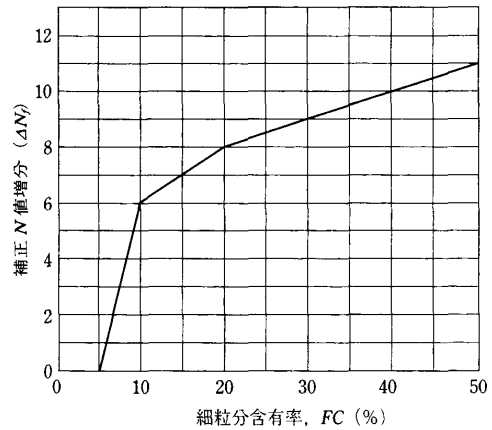


図 4.3 細粒分含有率と  $N$  値のひずみ補正係数

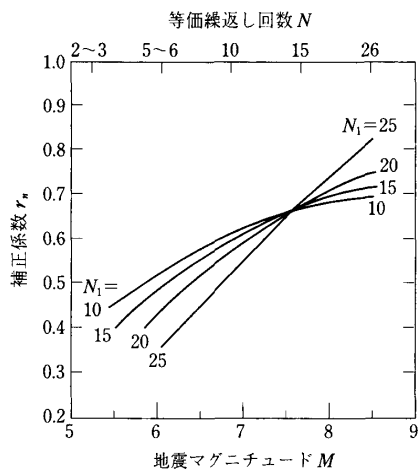


図 4.4 補正  $N$  値，マグニチュード，繰り返し回数と補正係数の関係

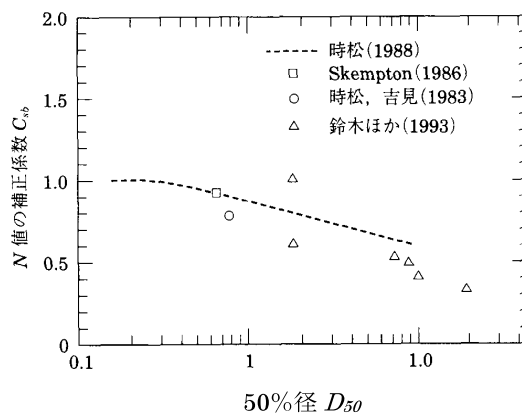


図 4.5 砂礫地盤の  $N$  値補正係数

表 4.4(3) 液状化判定方法  
建築基礎構造設計指針（日本建築学会）より抜粋

(c) 図 5.2.1 中の限界せん断ひずみ曲線 5% を用いて、補正  $N$  値 ( $N_a$ ) に対する飽和土層の液状化抵抗比  $R = \tau_1 / \sigma_z'$  を求める。ここに、 $\tau_1$  は水平面における液状化抵抗である。

(d) 各深さにおける液状化発生に対する安全率  $F_l$  を次式により計算する。

$$F_l = (\tau_1 / \sigma_z') / (\tau_d / \sigma_z') \quad (4.5.6)$$

(4.5.6) 式から求めた  $F_l$  値が 1 より大きくなる土層については液状化発生の可能性はないものと判定し、逆に 1 以下となる場合は、その可能性があり、値が小さくなるほど液状化発生危険度が高く、また  $F_l$  の値が 1 を切る土層が厚くなるほど危険度が高くなるものと判断する。

上記手順中、繰返しせん断応力比 ( $\tau_d / \sigma_z'$ ) の算定における地表面水平加速度値は、本来、地盤応答の結果であり、地盤特性に大きく影響を受ける。しかし、以下では、損傷限界検討用として  $150 \sim 200 \text{cm/s}^2$ 、終局限界検討用として  $350 \text{cm/s}^2$  程度を推奨する。 $350 \text{cm/s}^2$  は、1995 年兵庫県南部地震などの際、液状化した地盤上で観測された最大値にほぼ対応している。

より適切にせん断応力を求めたい場合、工学的基盤に対する入力地震動を最大速度やスペクトルで定義し、(1) 応答解析を行ってせん断応力の深度分布を求める、(2) 地表加速度を推定した後、上記(a)の方法によりせん断応力を求めるなどの方法をとることができる。なお、(4.5.1) 式の  $\gamma_d$  の精度は、深度が深くなるほど悪くなる。このような事態が予想される場合も、応答解析を用いることが推奨される。これらの解析は等価線形解析でも許されるものと考えられる。この場合、求められた最大せん断応力比に(4.5.1) 式の  $\gamma_n$  を乗じて ( $\tau_d / \sigma_z'$ ) とし、以下指針の手順にしたがうことができる。また、計算された地震波形の有効繰返し回数と地盤密度を考慮して図 4.4 から  $\gamma_n$  を決定することも可能である。

$N$  値が大きくなりやすい礫質土に対しては、その 50% 径  $D_{50}$  により図 4.5 のような  $N$  値補正係数  $C_{sb}$  を暫定的に用いることができる。しかし、その信頼性に鑑み、大型貫入試験による推定法、S 波速度を用いた推定法などにより総合的に検討することが望まれる。また、細粒土含有率が比較的高く、 $N$  値の信頼性が低いと考えられる土に対しては  $N$  値を用いた推定法に頼らず、例えばコーン貫入試験を用いた推定法または不かく乱試料に対する室内試験法を用いて液状化抵抗を求めることが望ましい。

#### 4.3 掘削に伴う山留めと地下水対策

調査地では、沖積礫質土層(Ag)及び洪積第1礫質土層(Dg1)内に地下水位が認められる。Ag層及びDg1は調査地周辺に広く分布する帯水層であり、豊富な地下水を有し、透水性の良い地盤と推定できる。

従って、掘削深さが地下水位以深に及ぶ場合は、地下水対策についての検討が必要となる。地下水対策のひとつとして、Dg1層の直下に分布する洪積第1粘性土層(Dc1)まで根入れさせておくことが望ましい。但し、Dg1層には、径600mmの玉石の点在が予想されることに留意する必要がある。

杭基礎工事の際は、洪積第2礫質土層(Dg2)及び洪積第3礫質土層(Dg3)を掘削することになり、今回の調査時に認められた被圧地下水が掘削工事に影響を及ぼす可能性がある。例えば、Dg3層内の被圧地下水が杭中空部に流入することでボイリング現象（水の回り込み）が発生し、Dg3層の緩みが生じるとともに、杭周面の粘性土層(Dc1層、Dc2層、Dc3層)の水圧が低下し、地盤が杭側に流動することで、周面摩擦を増大させることになる。