

1.4 調査数量

項目	数量		補足
地下水調査 及び 観測孔設置	掘削	14m (7m×2本)	φ85mm コアチューブ 打込みオールコアサンプリング φ116mm ケーシング 打込み無水掘削
	土質試料採取数	55 個 No. 1 : 25 個 No. 2 : 30 個	盛土を除く。 原則、深度 20cm ごとに試料整理。 但し、地層の変わり目を優先。
	観測孔仕上げ 深さ	No. 1 : 5.30m No. 2 : 5.10m	
	ストレーナ	5.3m No. 1 : 2.60m No. 2 : 2.70m	VP65 塩ビ管、端部ネジ加工品 φ5mm パンチング加工 開孔率 10% ナイロンフィルタ二重巻き
	パイプ	6.0m No. 1 : 3m No. 2 : 3m	VP65 塩ビ管
	揚水試験	2 回 *No. 1, 2 各 1 回。	回復法による透水係数の算出。
	室内透水試験	55 検体 No. 1 : 25 検体 No. 2 : 30 検体	室内透水試験から求めた透水係数と 揚水試験から求めた透水係数との整合 性確認を含む。
水位・水温 観測	2 箇所×9 ヶ月間		*水位・水温ともに測定インターバル 60 分で観測。
水質観測	42 回 No. 1 : 21 回 No. 2 : 21 回		pH、水比抵抗、全アルカリ度 全硬度、塩化物イオン、全鉄 有機物
既存井戸 調査	2 回 工事前：1 回 工事後：1 回		飲料水 10 項目 一般細菌、大腸菌、硝酸態窒素及び亜 硝酸態窒素、塩化物イオン、 有機物（全有機炭素（TOC）の量）、 pH 値、味、臭気、色度、濁度

## 2. 調査方法

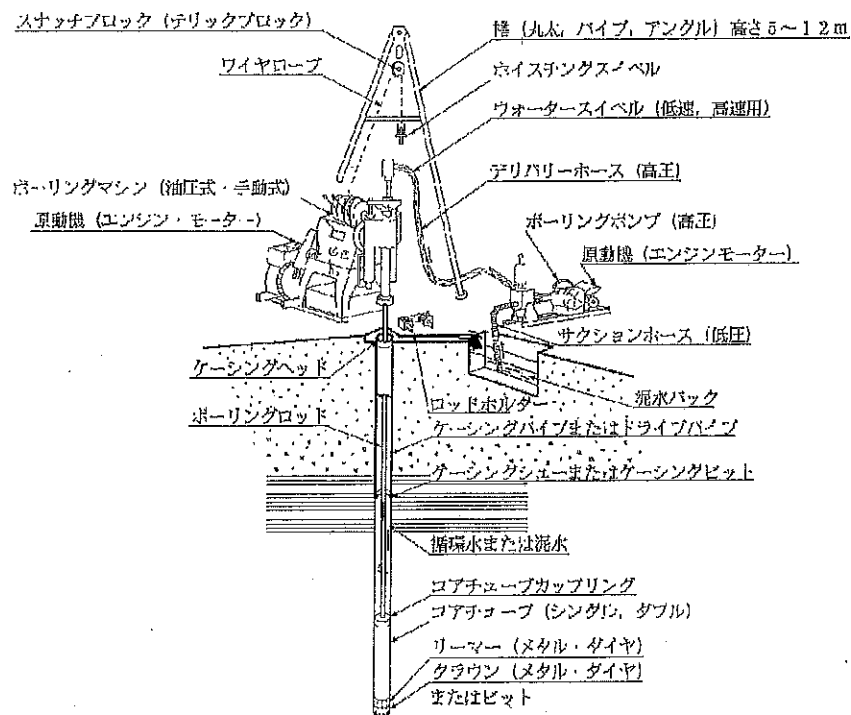
### 2.1 ボーリング (地下水調査用ボーリング)

ここでいうボーリングは地下水調査のためのボーリングであって、通常の地盤調査用ボーリングとは異なるものである。以下、詳細を述べる。

地下水調査においては掘削が地層に及ぼす影響を極力小さくし、かつ、地層を精査することが要求される。こうした要求に対応するために掘削は、 $\phi 86\text{mm}$  コアチューブ (内径  $75\text{mm}$ ) 打込みオールコアサンプリングと  $\phi 116\text{mm}$  ケーシングパイプ打込み無水掘削で行った。

まず  $\phi 86\text{mm}$  (内径  $\phi 75\text{mm}$ ) のコアチューブを打ち込んで土質サンプルを採取し、地層構造を詳細に調べ帯水層の位置を確認して掘止め深度を決定した。このとき採取した土質試料は深さ  $20\text{cm}$  ごとに整理しビニール袋に密封して保存した。シルト・粘土層は数  $\text{cm}$  程度の厚さでも遮水効果を有し、帯水層の分帯を知る上で貴重な情報となることから、このような地層の変わり目では  $20\text{cm}$  未満でも試料を採取した。こうして得た土質試料は室内透水試験を行い地層構造の確認と観測孔としての性能確認に使用した (後述)。なお、土質試料採取の際には透水試験のノイズとなる碎屑物の発生を極力少なくするために、コアチューブは回転させずに打ち込んで試料採取を行うことを徹底した。

$\phi 86\text{mm}$  コアチューブで土質試料を採取した後、 $\phi 116\text{mm}$  のケーシングパイプを打設して掘削を進め孔壁を保護した。この際もケーシングパイプは回転させずに無水で打込んで掘削を進めた。清水・ベントナイト泥水は地層を乱したり地層の目詰まりを起こすために一切の使用を控えた。

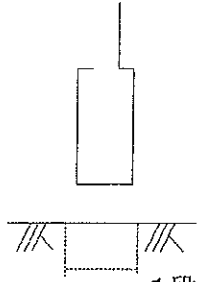


ボーリング機械

削孔手順図

ケーシング掘 (20cm 毎の打込みを原則とする。)

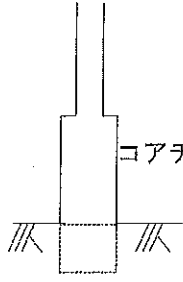
① コアチューブ



1 段目掘削  
予定区間

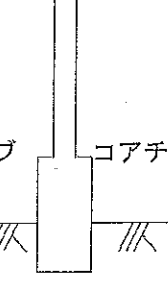
掘削開始前

②



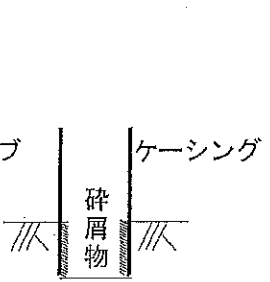
掘削 (打込み) 開始

③



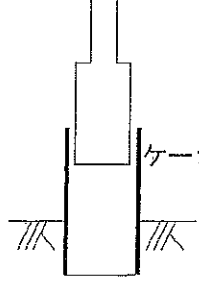
1 段掘削終了  
(試料採取)

④



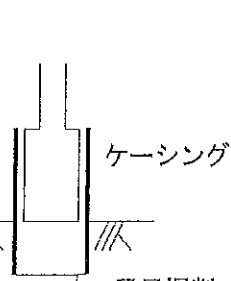
ケーシング打込み

⑤



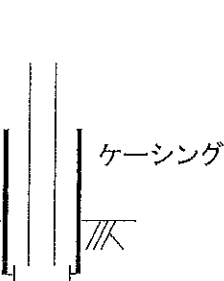
ケーシング内掃孔

⑥



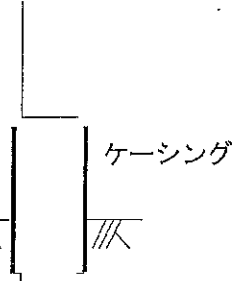
2 段目掘削開始

⑦



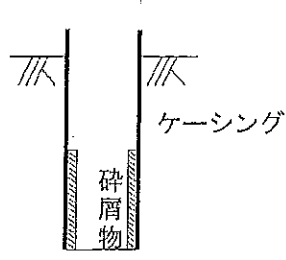
2 段掘削終了  
(試料採取)

⑧



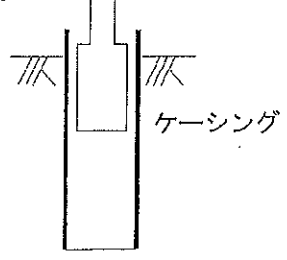
掘削孔  
ケーシング終了状態

⑨



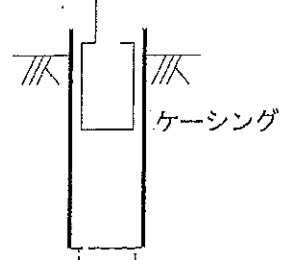
2 段目ケーシング打込み

⑩



ケーシング内掃孔

⑪

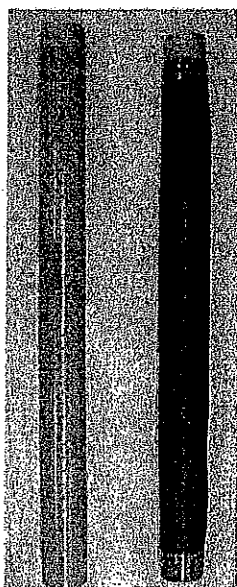


3 段目掘削予定区間

以下、これらの操作を順次繰り返して、予定深度まで掘削を行った。

## 2.2 観測孔設置

所定深度まで掘削を行った後、掘削時に確認した帯水層位置にストレーナ、それ以外の箇所にはVP65の無孔管を配置し観測孔として仕上げた。なお、掘削孔壁とストレーナとの間には観測孔内への砂等の流入を防ぐ為に、粒状大理石(φ4mm程度)を充填した。



ストレーナの外觀

(左) : VP65 (内径φ65mm 硬質塩化ビニルパイプ) φ5mm 穴あけパイプ  
開孔率 8%。

(右) : 左のパイプにナイロンフィルタを取り付け、ストレーナとして  
仕上げたもの。

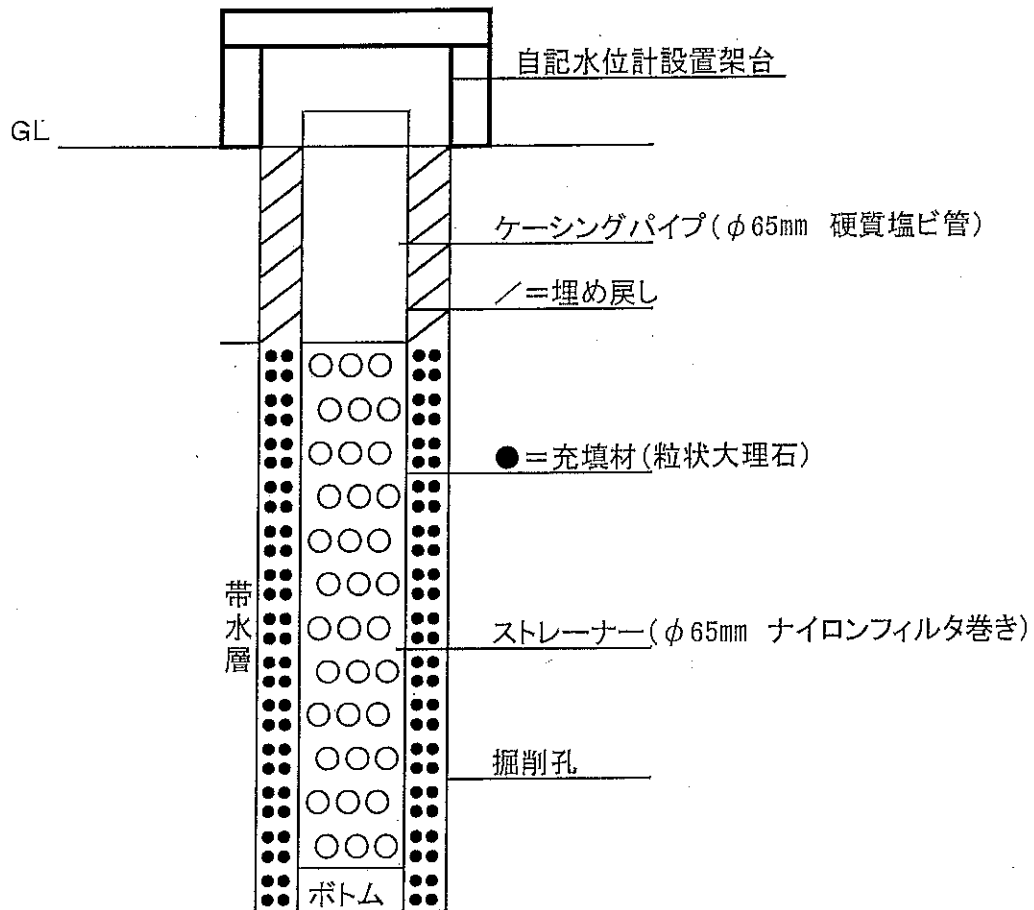
観測孔設置後はベラーとポンプにより孔内に残存した砕屑物を除去した。洗浄が十分に行われたかどうかは、回復試験で求めた観測孔としての透水係数(後述)と、ボーリングで採取した土質試料の室内透水試験(後述)から求めた透水係数を比較して、妥当な値を示していることを確認して調査に用いた。

観測孔として仕上げた後には水位観測用の自記水位計を設置するために自記水位計設置架台を設置した。

今回はロガー内蔵式の水位・水温計に加え、杭打設時の瞬間的な水位変化を捉えるためのフロート式の自記水位計を併用するための自記水位計設置架台を設けた。

概略構造図を以下に示す。

観測孔概略構造図



### 2.3 揚水試験

観測孔の透水係数を把握するために、揚水試験を実施し回復法で透水係数を求めた。

回復法とは、揚水試験を一定時間継続した後揚水を停止し、水位の回復曲線を用いて解析する方法である。揚水停止後の水位の回復状況を経過時間毎に記録する。その結果を片対数グラフにプロットし、透水量係数及び透水係数を算出した。

$$T=kD=2.3Q/4\pi s \cdot \log(t/t')=0.183 \cdot Q/\Delta s$$

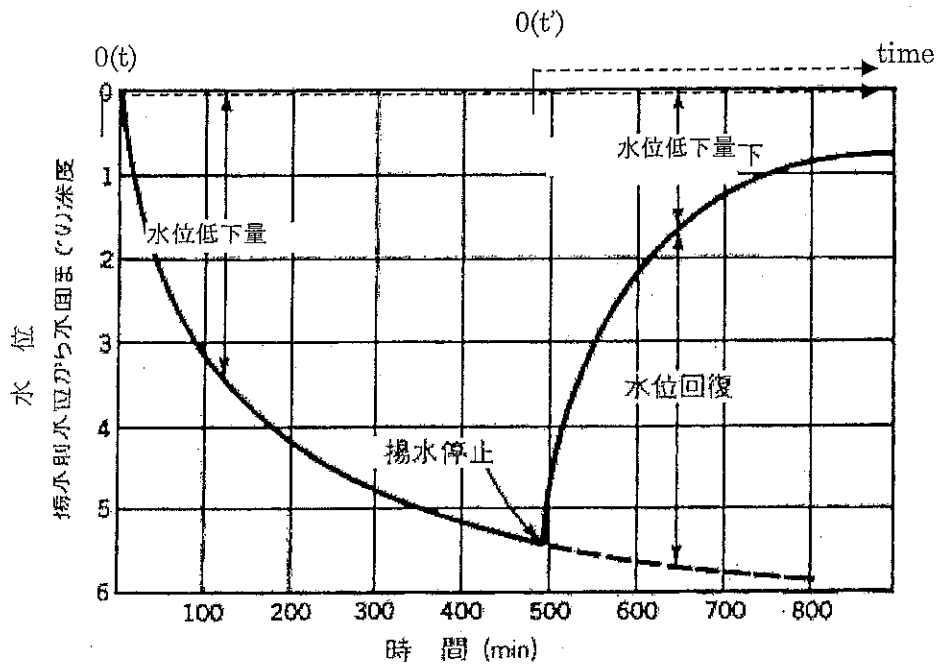
ここで、T=透水量係数

k=透水係数

Q=揚水量

D=帯水層厚

片対数紙の対数目盛に  $\log(t/t')$  を、普通目盛に低下量  $s$  をとれば直線となり、対数1サイクルの低下量差  $\Delta s$  をとると直線の勾配は  $1/\Delta s$  となり、T、kを求めることができる。

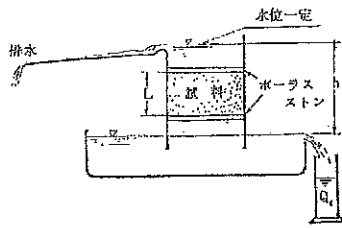


水位降下と回復曲線

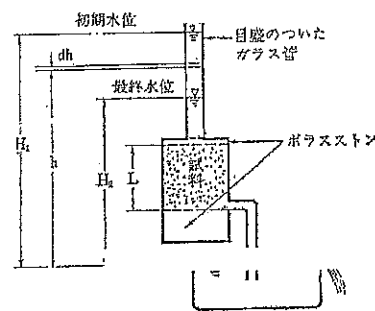
## 2.4 室内透水試験

地層の透水性を詳細に調査するためにボーリングで深度 20cm 毎に採取した土質サンプルの室内透水試験を実施した。

(1) 定水位透水試験装置の原理図



(2) 変水位透水試験装置の原理図



### 透水試験の原理

#### (1) 定水位透水試験

砂質土のような透水性の高い土 ( $k > 10^{-3}$  cm/s の土) に適する。

$k$  ; 透水係数 (cm/s)                       $t$ ; 透水時間 (s)  
 $Q(t)$  ;  $t$  秒間の透水量 (cm<sup>3</sup>)               $L$ ; 試料の厚さ (cm)  
 $A$  ; 試料の断面積 (cm<sup>2</sup>)                       $h$ ; 水位差 (cm)  
 $i$  ; 動水こう配

とすると、ダルシーの法則から、

$$Q(t) = k \cdot i \cdot A \cdot t = k \cdot h/L \cdot A \cdot t$$

$$k = \frac{Qt \cdot L}{h \cdot A \cdot t}$$

#### (2) 変水位透水試験

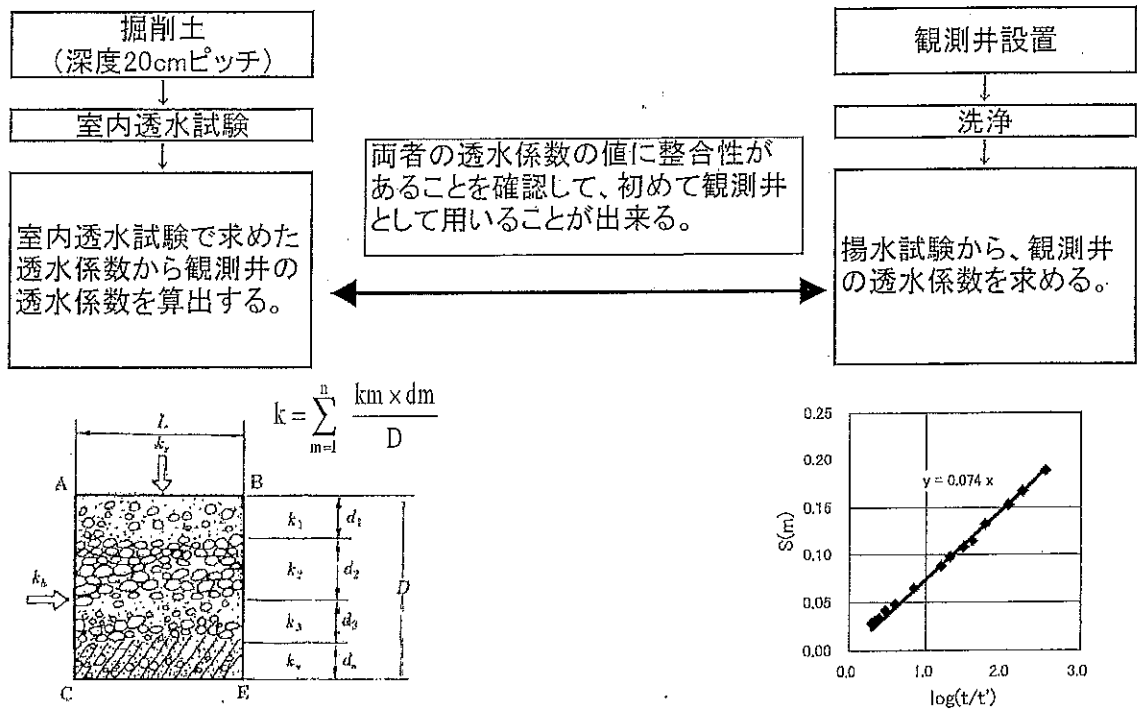
変水位透水試験は試料の透水性に応じて、スタンドパイプの径を変えることにより広範囲の試料に適用できる。  $k = 10^{-1}$  (cm/s) ~  $10^{-8}$  (cm/s) 程度までの土に用いることができる。

$a$ ; ガラス管の断面積 (cm<sup>2</sup>)  
 $A$ ; 試料の断面積 (cm<sup>2</sup>)  
 $H_1$ ; 試験開始時の水位 (cm)  
 $H_2$ ; 試験終了時の水位 (cm)  
 $h$ ; 任意時間後の水位 (cm)  
 $t$ ; 水位が  $H_1$  から  $h$  まで下るに要した時間 (s)  
 $T$ ; 水位が  $H_1$  から  $H_2$  まで下るに要した時間 (s) とすると、

$$k = 2.3 \frac{a \cdot L}{AT} \log \frac{H_1}{H_2} = \frac{C}{T}$$

\*ここで、 $C = 2.3aL/A \cdot \log H_1/H_2$  で透水試験測定器によって定まる定数。

ここで、観測井の揚水試験と土質試料の室内透水試験との関係は以下のようなになる。



出来上がった観測井の透水係数を求めても、その妥当性を検証しなければ何の意味もない。そのために、ボーリング時に細かく(20cmピッチ)慎重に採取した土質試料の室内透水試験を行い、観測井としての透水係数を計算で求める必要がある。室内透水試験結果から求めた観測井の透水係数よりも揚水試験で求めた観測井の透水係数の方が低い場合は、観測井周辺の透水層が掘削によって乱されて目詰まりしている場合が多い。その場合は、観測井の洗浄が不十分と見做し洗浄を行い、それでも透水係数の値に乖離がある場合は、観測井としては使えない。室内透水試験結果から求めた観測井の透水係数が揚水試験で求めた透水係数よりも小さい場合は、土質試料にスライムが混じっている場合であり、その場合も観測井の性能検証が行えず、結局は意味のない調査になってしまう。

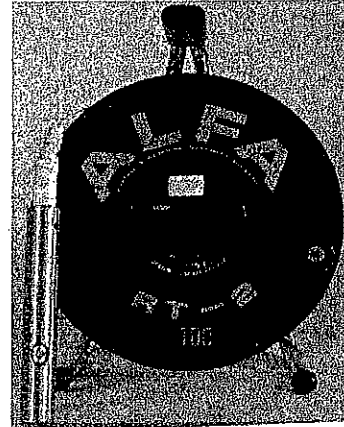
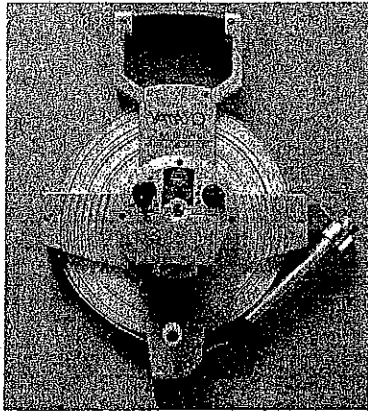


## 2.5 水位・水温観測

水位観測には手動式触針式水位計と自記水位計とを用いた。

採水時には手動式の触針式水位計を用いた。

その機構は、巻尺の先端に取付けたセンサーが水に触れたときに流れる電流を検知して水位を知るものである。外観を以下に示す。

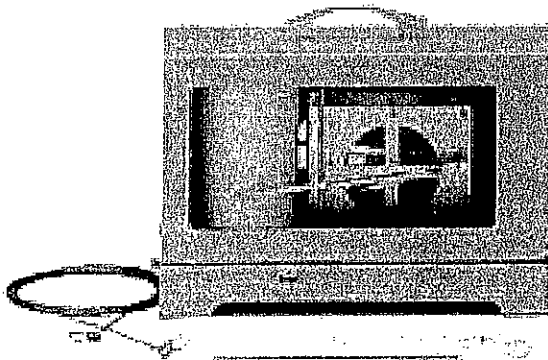


地下水位は降雨によっても変動することから連続観測を行うことが望ましい。そのための水位計には、フロート式自記水位計とデータロガー付の水圧式水位計があり、今回は、両者を併用して観測を行った。

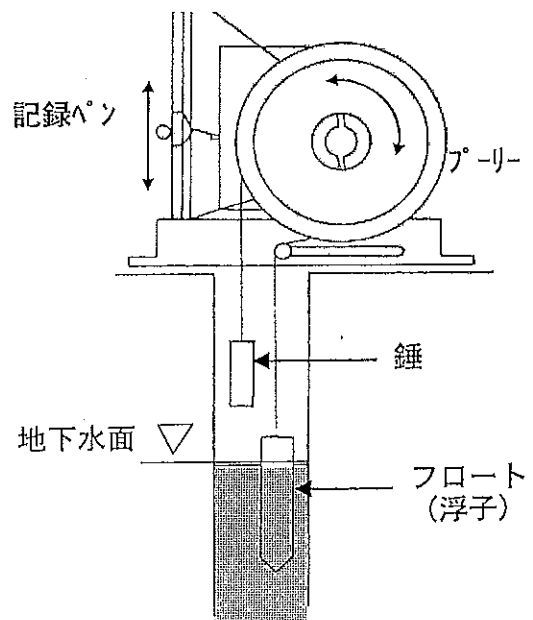
フロート式自記水位計の機構は、水面に浮かべたフロートと呼ばれる浮子が水面と共に上下するのを利用して、その動きを機械的に縮小または拡大して記録するもので、瞬間的な水位変化を目視で観測できるというメリットがあり、現場での水位の異常や杭施工時の水位変化の様子を捉えるのに適した水位計である。

フロート式自記記録水位計の外観と測定原理図を以下に示す。

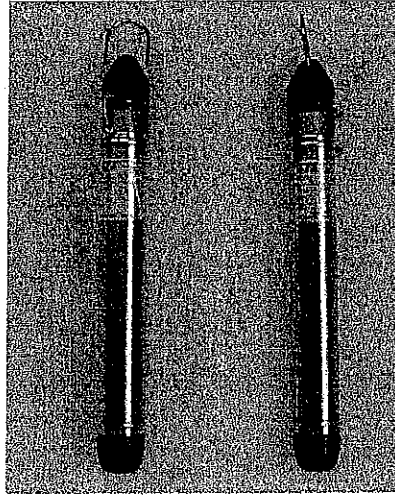
(自記水位計の外観)



(自記水位計の測定原理図)



データロガー付の水圧式水位計は、センサー部で水圧をモニターして水位を測定するもので、データはPCで処理するものであり、水温も同時に取り込めるものが多く市販されている。目視で変化を確認できないデメリットはあるが、水温を同時にとりこめるものは水温が異なる深部の被圧地下水の動きを捉えるのに適している。今回は、杭工事の影響をみる必要があることから水温計付のタイプを使用した。



## 2.6 水質観測

測定項目 は下記のとおりである。

項目： 水素イオン濃度 (pH)、水比抵抗、全アルカリ度、  
塩化物イオン (Cl<sup>-</sup>)、全硬度、全鉄 (Fe)、有機物 の7項目。

測定項目	測定方法	表示単位
水温	携帯式デジタル温度計または棒状温度計	℃
水素イオン濃度 (pH)	検定付ガラス電極 pH 計 (JIS K 0102)	—
水比抵抗 (EC 25℃)	電気伝導度計で求めた伝導率の逆数 (JIS K 0102)	Ω・cm
全アルカリ度	酸消費量 (pH4.8) (JIS K 0102)	mg/l
塩化物イオン (Cl <sup>-</sup> )	硝酸銀滴定法 (JIS K 0102)	mg/l
全硬度	滴定法 (JIS K 0102)	mg/l
鉄 (Fe)	フェナントロリン吸光光度法 (JIS K 0102)	mg/l
有機物	過マンガン酸カリウム消費量 (旧国税庁所定分析法：201-11)	mg/l
*必要に応じて Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> など	イオンクロマトグラフ法	mg/l

### 調査の詳細

#### (試料採取)

採水には、ポリエチレン、または、ポリプロピレン製の採水ビンを用い、試料水で充分共洗った後に採水を行った。採水時には採水ビン内の気泡を除去し、出来る限り空気に触れないように密閉して速やかに試験に供した。

#### (測定方法)

##### ①地下水温

地下水温は地下水の履歴を秘めたものであり、帯水層の層区分の目安にもなる。河川水の場合は気温と連動して変化するが地下水の場合は変動が少なく、その履歴は半年のずれを生じることもあり、長期間の観測結果に基づいた考察が必要となる。測定には JIS K0102 に準拠した一般用ガラス棒状温度計もしくは携帯式デジタル温度計を用い、都度、校正を行った後に使用した。

### 3. 調査結果

#### 3.1 ボーリング・・・土質柱状図参照。

地層の詳細および地下水の状況を土質柱状図に示した。

各観測井の水位は下記のとおりである。

名称	初期水位	孔内水位（設置後）
観測孔 No. 1 (地盤標高：K. B. M. +0.400m) (管頭標高：K. B. M. +1.000m)	GL-2.780m (H20. 5. 16)	GL-2.794m (H20. 5. 19) (ストレーナ：GL-2.70m~-5.30m)
観測孔 No. 2 (地盤標高：K. B. M. -0.123m) (管頭標高：K. B. M. +0.677m)	GL-2.420m (H20. 5. 15)	GL-2.375m (H20. 5. 16) (ストレーナ：GL-2.40m~-5.10m)

No. 1 では GL-1.15m から礫や玉石がみられるが中砂が多くみられる。深さが増すにつれて粗砂が増える。さらに GL-4.30m からは中砂に変わり、-5m 以深では細砂が主体となる。GL-6.50m~-6.85m に中粗砂主体の層が顔を出す。GL-6.85m で砂質シルト層となる。

No. 2 では GL-3.00m 付近までは砂層であり、GL-3.00m 以深から礫がみられる。また、GL-2.40m からは中砂から粗砂が主体となる。GL-5.10m からはシルト混じり砂層があり、それより深くなると細砂主体となり、GL-7.00m からはシルト混じり砂が現れる。

今回、第1帯水層への杭工事の影響を抑えるため GL-7m の深さまでケーシングを配置して杭工事を行ったが、その付近にはシルトを含む細砂層が存在することから、ケーシングに遮水効果を持たせて工事の影響を低減させるという狙いは果たせると考えられる。

なお、No. 1 では GL-3.30m~-3.90m と GL-4.30m~-5.30m、No. 2 では GL-3.00m~-5.00m で激しいボーリングがみられ、この付近の地下水の力が強いことが伺える。

#### 3.2 揚水試験

孔内洗浄終了後、揚水試験を実施し透水量係数及び透水係数を求めた。このときの値を下表に示した。

名称	透水量係数	透水係数
観測井 No. 1	1.78E-03 [m <sup>2</sup> /s] ストレーナ長：2.60m	6.84E-04 [m/s] =6.84E-02 [cm/s]
観測井 No. 2	2.67E-03 [m <sup>2</sup> /s] ストレーナ長：2.70m	9.88E-04 [m/s] =9.88E-02 [cm/s]

3.3 室内透水試験・・・室内透水試験結果と透水係数別土質柱状図参照。

室内透水試験結果を一覧表にまとめた。そこから求めた透水係数を前述の揚水試験結果(施工前)とあわせて記載すると以下のようになり、両者にほとんど違いはみられない。

したがって、今回設置した観測井は地層の透水性を忠実に反映しており、目詰まり等の発生は無く、問題なく機能しているとみられる。

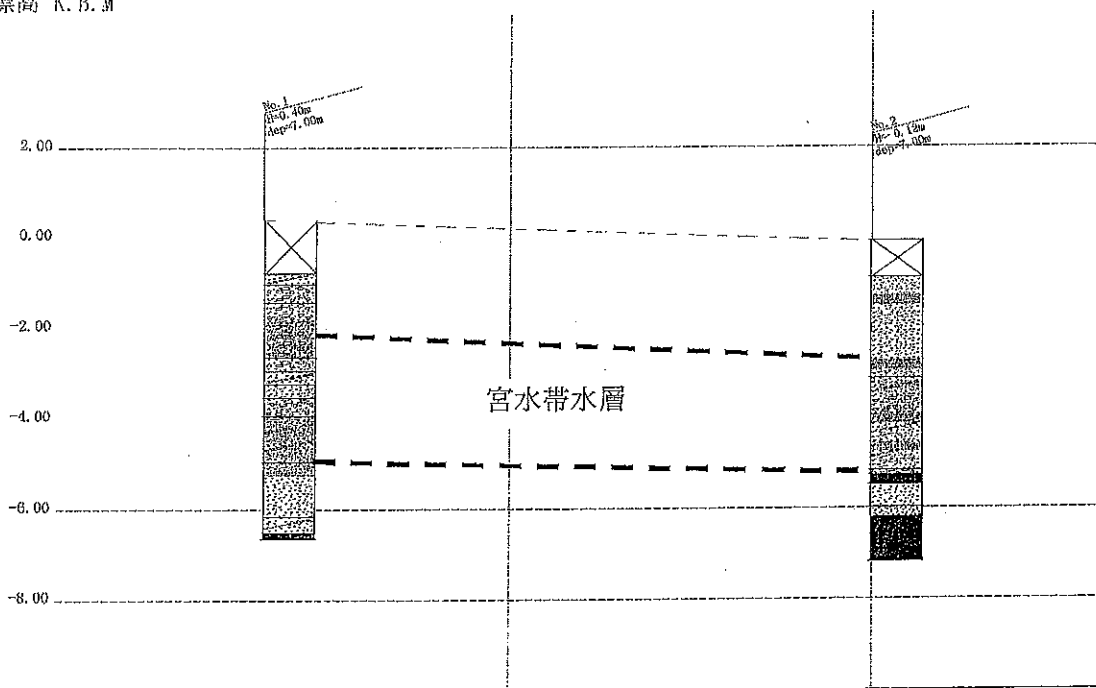
(透水係数比較表)

単位：cm/s

試験方法	観測井 No. 1	観測井 No. 2
揚水試験	6.84E-02	9.88E-02
室内透水試験	6.26E-02	8.63E-02

No. 1 と No. 2 の透水係数別土質柱状図結ぶと下図のようになる。

標高 K. B. M





# 透 水 係 数 別 土 質 柱 状 図

調査名 XXXXXXXXXX      ボーリング法 φ85mmオールコアリング  
 調査場所 XXXXXXXXXX      φ110mmケーシング打込み無水観測  
 地点番号 No.2 (南)      地盤標高 KBM-0.123m      調査年月日 平成20年5月15日～5月16日  
 管頭標高 KBM+0.677m      孔内水位 GL-2.375m      担当者名 XXXXXXXXXX

凡例  
 透水係数 (cm/s)  
 固:  $k \geq 5.0E-02$  } 良透水層  
 固:  $k \geq 5.0E-03$  }  
 固:  $k \geq 5.0E-04$  } 難透水層  
 固:  $k < 5.0E-04$  }

標尺 (m)	標高 (m)	深度 (m)	層厚 (m)	土質記号	土質名	色調	含水状態	記 事	ナストレ位置	標尺 (m)	
	-0.92	0.80	0.80	X	盛土	暗灰		0.00 ~ 0.80 試掘			
1.0					砂	淡褐	小	0.80 ~ 1.00 細砂主体	8.70E-04	孔内水位 GL-2.375m 初期水位 GL-2.420m 2.40	
				1.00 ~ 1.20 細砂主体				1.10E-03			
				1.20 ~ 1.40 中砂主体				2.20E-02			
				1.40 ~ 1.60 中砂主体				3.10E-03			
				1.60 ~ 1.80 粗砂主体				4.30E-03			
2.0				1.80 ~ 2.00 中砂主体			2.50E-03	大	2.00 ~ 2.20 細砂主体		2.30E-03
				2.20 ~ 2.40 細~中砂主体			1.30E-03				
				2.40 ~ 2.60 中砂主体			4.20E-03				
				2.60 ~ 2.80 細~中砂主体			3.50E-02				
				2.80 ~ 3.00 粗砂主体			5.80E-02				
3.0	-3.12	3.00	2.20		砂混じり砂	淡褐	大	3.00 ~ 3.20 粗砂主体	7.20E-02		
	-3.52	3.40	0.40		砂礫	淡褐	大	3.20 ~ 3.40 粗砂主体	7.70E-02		
	-3.92	3.80	0.40		砂礫	淡褐	大	3.40 ~ 3.60 粗砂主体	6.00E-02		
					砂礫	淡褐	大	3.60 ~ 3.80 粗砂主体	6.60E-02		
4.0					礫混じり砂	淡褐	大	3.80 ~ 4.00 粗砂主	4.80E-02		
				4.00 ~ 4.20 粗砂主体				1.70E-01			
				4.20 ~ 4.40 粗砂主体				1.50E-01			
				4.40 ~ 4.60 粗砂主体				2.00E-02			
				4.60 ~ 4.80 粗砂主体				2.20E-01			
5.0	-5.12	5.00	1.20		砂礫	淡褐	大	4.80 ~ 5.00 粗砂主体	1.80E-01		
	-5.22	5.10	0.10		シルト混じり砂	灰褐	小	5.00 ~ 5.10 粗砂主体	1.10E-01		
	-5.42	5.30	0.20		砂	褐	中	5.10 ~ 5.30 細砂主体	2.80E-04		
				砂	淡褐	5.30 ~ 5.50 中砂主体		9.50E-04			
	-5.92	5.80	0.50		砂	淡褐	中	5.50 ~ 5.80 細砂主体	8.20E-04		
6.0					細砂	淡褐	小	5.80 ~ 6.00 細砂主体 粒子均一である	6.50E-04		
				6.00 ~ 6.20 細砂主体 粒子均一である				3.20E-04			
				6.20 ~ 6.40 細砂主体		3.20E-04					
				6.40 ~ 6.80 細砂主体		3.20E-04					
7.0	-6.92	6.80	1.00		シルト混じり砂	淡褐	小	6.80 ~ 7.00 微~細砂主体	1.00E-04		
	-7.12	7.00	0.20								