

汚泥再生処理センター整備に係る地質調査業務委託

# 報 告 書

令和 5 年 1 2 月

酒 田 地 区 広 域 行 政 組 合  
株 式 会 社 高 田 地 研

# 目 次

・調査位置案内図（縮尺 1 : 25,000）

|                              |   |    |
|------------------------------|---|----|
| § 1. 調 査 概 要 .....           | p | 1  |
| 1-1. 業 務 の 目 的 .....         | p | 1  |
| 1-2. 業 務 概 要 .....           | p | 1  |
| § 2. 調 査 内 容 .....           | p | 2  |
| § 3. 地 形 地 質 概 要 .....       | p | 8  |
| 3-1. 調 査 位 置 .....           | p | 8  |
| 3-2. 地 形 概 要 .....           | p | 8  |
| 3-3. 地 質 概 要 .....           | p | 10 |
| § 4. 調 査 結 果 .....           | p | 11 |
| 4-1. 調 査 位 置 .....           | p | 11 |
| 4-2. 調査ボーリング結果 .....         | p | 12 |
| 4-2-1. 土層の対比と諸元の整理 .....     | p | 12 |
| 4-2-2. 地 質 構 成 .....         | p | 15 |
| 4-2-3. 層状及び地質年代 .....        | p | 17 |
| 4-2-4. 地下水の特性と液状化 .....      | p | 18 |
| 4-3. 孔内水平載荷試験結果 .....        | p | 19 |
| 4-4. 室内土質試験結果 .....          | p | 21 |
| § 5. 調査結果に対する考察 .....        | p | 23 |
| 5-1. 地盤と基礎工法について .....       | p | 23 |
| 5-1-1. 基礎工法の分類と選択 .....      | p | 23 |
| 5-1-2. 杭施工方法の概説 .....        | p | 27 |
| 5-2. 地盤物性値の取りまとめ .....       | p | 30 |
| 5-2-1. 物性値の決定方法 .....        | p | 30 |
| 5-2-2. 地盤物性値の検討結果 .....      | p | 32 |
| 5-3. 地盤種別の検討 .....           | p | 33 |
| 5-4. 地盤の液状化検討 .....          | p | 34 |
| 5-4-1. 液状化判定基準 .....         | p | 34 |
| 5-4-2. 安全率 : $F_L$ の算定 ..... | p | 36 |
| 5-4-3. 液状化判定の評価 .....        | p | 39 |

## 付 図

- 調査ボーリング位置図 ..... 1 葉 (巻末袋入)
- 地 質 断 面 想 定 図 ..... 1 葉 (巻末袋入)
- 調査ボーリング柱状図 ..... 1 葉

## 添 付

- 孔内水平載荷試験成績書 ..... 一 式
- 土質試験成績書 ..... 一 式
- 現場写真集 ..... 一 式
- 土質試験写真集 ..... 一 式

## 別 添

- 電子納品 CD ..... 一 式
- 照査報告書 ..... 一 式
- 国土地盤情報データベース登録「検定証明書」 ..... 一 式
- 業務打合せ・協議記録簿 ..... 一 式
- 土質標本 ..... 一 式





## 調査位置案内図

1:25,000

酒 田

500m 0 500 1000 1500



## § 1. 調 査 概 要

### 1-1. 業務の目的

本業務は、酒田市広栄町三丁目 133 番地内における「汚泥再生処理センター整備計画」に伴い、基礎設計に必要とされる地盤の地質データを得る目的で実施したものである。

### 1-2. 業務概要

1. 業 務 名 : 汚泥再生処理センター整備に係る地質調査業務委託
2. 業 務 場 所 : 酒田市広栄町三丁目 133 番地
3. 履 行 期 間 : 自 令和 5 年 9 月 26 日  
至 令和 5 年 12 月 20 日
4. 発 注 者 : 酒田地区広域行政組合 管理者 酒田市長 矢口明子  
監 督 員 : 酒田地区広域行政組合  
事務局管理課 施設主査 佐藤 努
5. 受 注 者 : 株式会社 高田地研  
寒河江市本楯三丁目 160 番地 TEL:0237-84-4355  
代表取締役: 高 田 誠
6. 成 果 品
  - ・印刷物(ファイル製本) 2 部
  - ・電子成果品 (CD-R 等) 1 部
  - ・土質標本 (サンプル瓶) 一式

## § 2. 調 査 内 容

### ① 機械ボーリング

油圧式小型ロータリー試錐機を用い、掘削口径  $\phi 66 \text{ mm}$  にてノンコアボーリングを実施した。

※ 使用機械 東邦地下工機社製 D1-B 型試錐機 1 台

### ② 標準貫入試験

地盤土質の原位置での硬軟や締め具合の指標、いわゆる、N 値を得るための試験である。

「JIS-A-1219」法に準じた試験器具（半自動型試験装置）及び試験方法により、原則としてボーリング本孔で 1m 掘進する毎に実施した。

### ③ 孔内水平載荷試験

ボーリング孔内で水平方向の地盤の変形特性を求めるための試験であり、調査本孔の隣に設けた試験孔内で実施した。

※ 使用試験器 応用地質社製 LLT (Model-4189) 一式

### ④ 室内土質試験

深度 20m 付近までの砂質土・礫質土層を中心にした貫入試験の採取試料にて地盤の液状化検討を主目的に、粒度特性などの物理的試験を行った。

※ 試験項目 土の粒度 (JIS-A-1204)

### ⑤ 調査スタッフ

|           |   |         |               |
|-----------|---|---------|---------------|
| 主任技術者     | : | 鈴木 春 雄  | (RCCM 土質及び基礎) |
| 業務担当者     | : | 七 海 友 哉 |               |
| 試錐担当者     | : | 飯 坂 賢 一 | (地質調査技士)      |
| 照 査 担 当 者 | : | 大 場 浩 史 | (技術士 土質及び基礎)  |

⑥ 準拠及び参考文献

| 番号 | 名 称                 | 発行者              | 発行年月    |
|----|---------------------|------------------|---------|
| 1  | 本業務委託仕様書            | 本業務添付資料          |         |
| 2  | 地質・土質調査業務共通仕様書      | 国交省 国官技第418号     | R5.03   |
| 3  | 共通仕様書（地質調査業務）       | 山形県 県土整備部        | R4.04   |
| 4  | 建築基礎構造設計指針 2019     | 日本建築学会           | 2019.11 |
| 5  | ボーリング柱状図作成要領(案)・同解説 | (一社)全国地質調査業協会連合会 | H27.06  |
| 6  | 建築基礎設計のための地盤調査計画指針  | 日本建築学会           | 2009.11 |
| 7  | 小規模建築物基礎設計指針        | 日本建築学会           | 2008.02 |
| 8  | 地盤調査の方法と解説          | 地盤工学会            | 2013.04 |
| 9  | 地盤材料試験の方法と解説        | 地盤工学会            | 2020.12 |

⑦ 業 務 数 量

業務数量の概要は次の通りである。（数量の詳細は次頁の「調査数量調書」に示す）

・機械ボーリング工

|              |        |
|--------------|--------|
| （φ 66 mm本孔）  | 50.45m |
| （φ 86 mm試験孔） | 7.50m  |

・標準貫入試験（JIS-A-1219）

ボーリング本孔 1m 掘削毎に 1 回 計 50 回

・孔内水平載荷試験

No.1 別孔 1 回 （普通載荷 LLT）

・サンプリング及び室内土質試験

7 試料

サンプリングは標準貫入試験用サンプラー  
土質試験は粒度試験（ふるい分け）

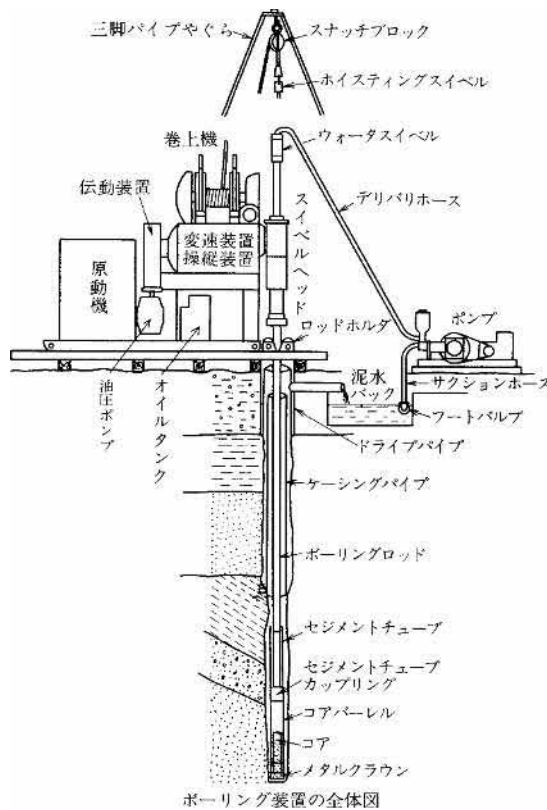


調査数量調書

| 調 査 区 分                |        | 細 別       | 調 査 地 点 |       |    |    | 当初数量計 Σ | 変更数量 Σ  |
|------------------------|--------|-----------|---------|-------|----|----|---------|---------|
|                        |        |           | No.1    |       |    |    |         |         |
|                        |        |           | 当初      | 変更    | 当初 | 変更 |         |         |
| 機械ボーリング<br>ノンコア<br>(m) | φ 66mm | 粘性土・シルト   | 30.00   | 22.15 |    |    | 30.00   | 22.15   |
|                        |        | 砂・砂質土     | 20.00   | 27.85 |    |    | 20.00   | 27.85   |
|                        |        | 小 計       | 50.00   | 50.00 |    |    | 50.00 m | 50.00 m |
|                        | φ 86mm | 粘性土・シルト   |         | 5.90  |    |    |         | 5.90    |
|                        |        | 砂・砂質土     |         | 1.10  |    |    |         | 1.10    |
|                        |        | 小 計       |         | 7.00  |    |    | m       | 7.00 m  |
| 標準貫入試験(回)              |        | 粘性土・シルト   | 30      | 21    |    |    | 30      | 21      |
|                        |        | 砂・砂質土     | 20      | 29    |    |    | 20      | 29      |
|                        |        | 小 計       | 50      | 50    |    |    | 50 回    | 50 回    |
| 原位置孔内試験(回)             |        | 孔内水平載荷試験  | 1       | 1     |    |    | 1 回     | 1 回     |
| 室内土質試験(試料)             |        | 土の粒度(フルイ) | 2       | 7     |    |    | 2 試料    | 7 試料    |

## 機械ボーリングエの概要

地質調査用の機械ボーリングは次のような機器及び設備を調査地点に仮設し、原則として鉛直方向へ目的を達するまでの深度まで行うものである。

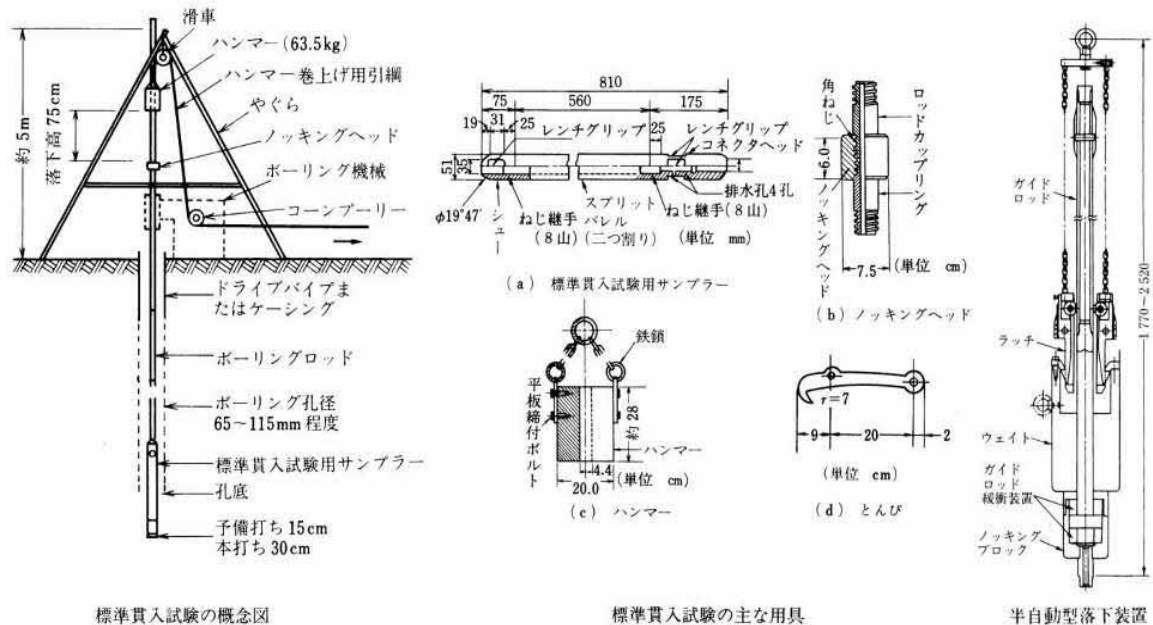


|                 | 内 径             | 43mm                                                | 48mm                             | 58mm                             |
|-----------------|-----------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| スピンドル           | 回 転 数 (rpm)     | (A) 50:150:300<br>(B) 75:220:440<br>(C) 160:470:920 | (A) 65:185:360<br>(B) 90:265:520 | (A) 50:140:280<br>(B) 70:200:400 |
|                 | ス ト ロ ーク        | 400mm                                               | 500mm                            |                                  |
|                 | 給 進 力           | 20.2kN{2060kgf}                                     |                                  |                                  |
|                 | 引 抜 力           | 27.0kN{2750kgf}                                     |                                  |                                  |
|                 | 所 要 動 力         | 5.5kW/4Pまたは8PS/1800rpm                              |                                  |                                  |
| 機 体 寸 法 (L×W×H) | 1400×670×1340mm | 1400×670×1325mm                                     | 1400×670×1365mm                  |                                  |
| 機 体 質 量         | 500kg           | 510kg                                               | 520kg                            |                                  |

機械ボーリングは、ロッドに接続したコアバレル（コアチューブ）及びクラウン（ビット）に回転・給圧を与え、地盤を切削・掘削するものである。通常、掘進時には掘削に伴う掘屑（スライム）の排出、孔壁の崩壊防止等を目的にポンプによりロッドの中を通じベントナイトを主成分とする掘削泥水を循環させている。掘削用のツール（主にコアバレル、クラウン）には地盤の硬軟、コアリング（地質試料の採取）の有無、掘削口径等によって様々な種類があり、用途・目的に併せて適宜取り替えて用いる。

## 標準貫入試験の概要

標準貫入試験は下図のような装置によりボーリングの掘削孔内でN値を求める目的で行う代表的な原位置試験であり、同時に試験区間の土質試料（代表試料）が採取できる。



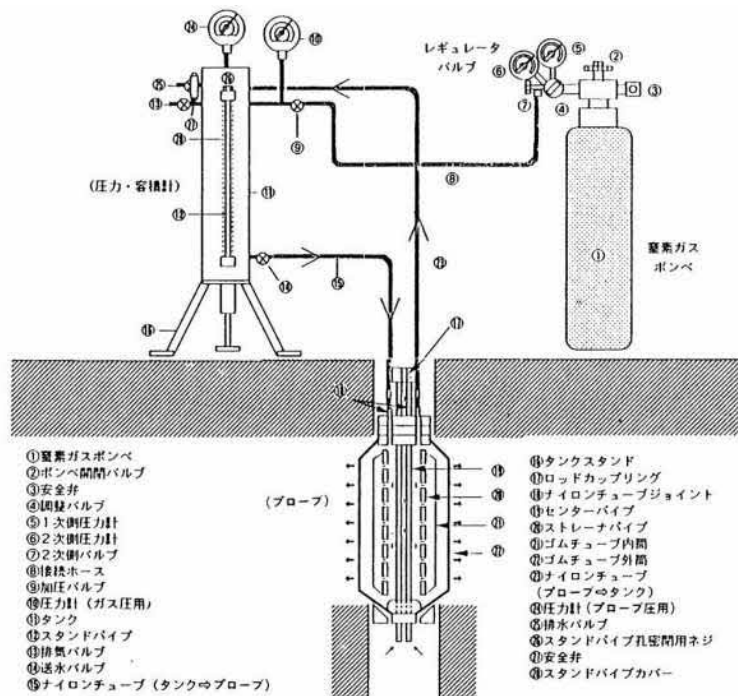
N値は地盤の相対的な硬軟または締まり具合の程度を表す最も代表的な値である。それから他の物性値（例えば土の内部摩擦角や粘着力、地盤の支持力度、弾性係数など）を推定する方法が古くから研究されてきた。但し、特に軟弱な粘性土や転石・玉石などを含む土砂に対しては精度的な問題があるとされている。

標準貫入試験はボーリングロッドを接続した規定形状のサンプラーを 63.5 kgのおもりで 76 cm高さから自由落下させて打撃するもので 30 cm貫入させるのに必要な打撃回数が「N値」である。（JIS-A-1219 2013 付属書 A に規定）

打撃回数の記録は 10 cm毎に行い、総打撃回数は 50 回ないし 60 回を上限とする。通常、ボーリングで 1m 掘進する毎に試験を行い、ボーリング孔底の掘屑（スライム）やボーリングによる地盤の乱れの影響を避ける目的で 15 cmの予備打ちの後、本試験を行う。ただし予備打ちは硬質地盤の場合短縮される事がある。ハンマーの打撃は、かつては上記のトンビなどが用いられたが、現在では打撃高さの人為的な誤差を避けるため、半自動式の打撃装置が使われることが普通である。

# 孔内水平載荷試験の概要

孔内水平載荷試験は下記のような装置を用い、ボーリング孔内で水平方向の地盤の変形特性（K値，E値）を求める目的で行うものである。



| 装置名                          | 測定管（載荷部分） |    |            |                   |     | 加圧方法       | 最大加圧力<br>[MPa] | 変位量の測定法              |
|------------------------------|-----------|----|------------|-------------------|-----|------------|----------------|----------------------|
|                              | 載荷板       | 形状 | 直径<br>[mm] | 長さ<br>[mm]        | 室機構 |            |                |                      |
| LLT<br>(Lateral Load Tester) | 厚肉弾性ゴム    | 円筒 | 80         | 900<br>(測定部分は600) | 1   | ポンプ貯蔵の窒素ガス | 約 2.45         | 測定管流入水量による<br>(地上測定) |

試験装置は地上部の水タンク（圧力・容積計）とボーリング孔内に挿入したゾンデにより構成され、その間を2本のナイロンパイプで接続されている。ゾンデの外側はゴム製であり窒素ガスポンプの圧力により圧送された水で膨張し、地盤を押し広げ載荷する。

試験は一段階2分間を標準とし、各段階毎に0.02～0.1MPa（20～100kN/m<sup>2</sup>）程度ずつ注水圧を増加させながら載荷し、地盤が破壊するまで繰り返す。各段階の注水圧（載荷重）と注水量（変形量）の関係から上記のK値，E値を算出する。

## § 3. 地形地質概要

### 3-1. 調査位置

調査地は、酒田市役所庁舎より南南東方向へ約 5.4 km隔てた、酒田市広栄町三丁目地内の酒田地区広域行政組合の敷地内に位置する。

### 3-2. 地形概要

調査地を含む庄内平野は、月山―鳥海山を連ねる起伏山地（出羽山地）と、沿岸流で形成された長大な庄内砂丘との間を最上川をはじめとする赤川・日向川・月光川（吹浦川）などの河川の堆積物によって埋積されたものである。これらの河川は現在、それぞれ独立した河口をもって日本海に注いでいるが、この内赤川はもともと最上川の支流であったものが、昭和初期に砂丘を横断する放水路が整備され、単独河川として分離した歴史を持つ。

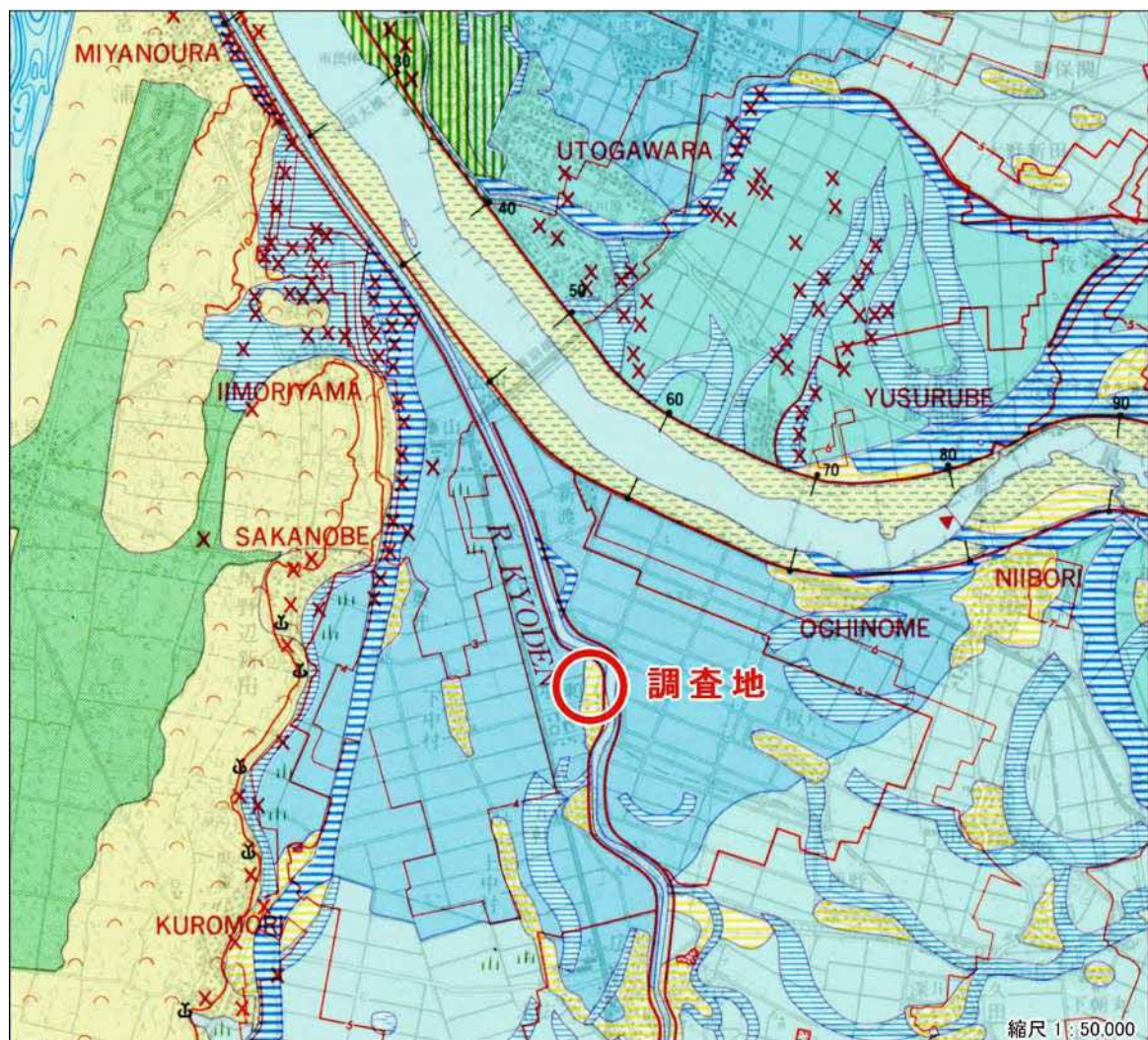
庄内平野は地形的に三角州（デルタ）に類する地形が広がり、各河口近くの平野部は、海に密接な影響下で生成した「下位デルタ」に、そのやや上流側は、堆積の過程で海浜の影響を受けた「上位デルタ」が広がっている。また、最も河川規模の大きな最上川沿いでは、過去に幾度も氾濫して地盤の開析や流路の変遷を繰り返しており、その氾濫原平野や旧河道地形が広範囲に展開している。また、これらの地区では過去の地震において何度か液状化現象を生じたことが知られている。（次頁「地形概念図」を参照の事）

調査地を含む広栄町付近は大きく見れば最上川の下流左岸側であり、旧赤川の合流点にも近い。地形分類上は最下位のデルタ地域に属し、付近は、かつて赤川が合流していた時代は、洪水の常襲地帯であり、広く湿地地形が広がっていた。現在は、赤川の放水路、干拓排水路の整備に伴い広く低平な水田が広がる穀倉地帯となっている。

この内、酒田地区広域行政組合の立地する地区は、最上川の支流・京田川沿いにあり、デルタ地帯の中に点在する京田川の自然堤防地に相当する。







| 凡 例                                                                                 |                        | 洪 水 状 況                               | 震度Ⅶ程度の地震による液状化の可能性                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
|  | 自然堤防                   | 異状の洪水時に冠水する。冠水しても排水は良好である。            | 液状化の可能性はある。                                                   |
|  | 高位デルタ                  | 洪水時たん水する。                             | 一般に液状化の可能性は低い。ただし、旧河道・旧池沼、扇状地末端部、また、砂丘や自然堤防周辺などでは、液状化の可能性はある。 |
|  | 最上川蛇行帯低地               | 洪水時冠水しやすい。また洪水は旧河道にそって流れやすい。          | 液状化の可能性は高い。                                                   |
|  | 低位デルタ                  | 洪水時最も長くたん水する。最上川等を遡った高潮・津波が侵入する可能性あり。 | 液状化の可能性は低い。                                                   |
|  | 砂 丘                    | 冠水せず。                                 | 一般に液状化の可能性は低い。ただし、内陸側斜面末端部では液状化の可能性が高い。                       |
|  | 砂丘間低地                  | 豪雨時冠水する。                              | 液状化の可能性はある。中でも、地下水湧出地付近では液状化の可能性が高い。                          |
|  | 砂州・堤外地                 | 季節的洪水時にたん水しやすい。                       | 液状化の可能性は低い。                                                   |
|  | 埋立地                    | 高潮、津波におそわれる可能性あり。冠水しても排水は良好である。       | 液状化の可能性は高い。                                                   |
|  | 干拓地                    | 洪水時最も長くたん水する。高潮におそわれる可能性あり。           | 液状化の可能性は低い。                                                   |
|  | 旧河道(明瞭)                | 洪水時ここを洪水が走りやすい。                       | 液状化の可能性は高い。                                                   |
|  | 旧河道(不明瞭)               |                                       | 液状化の可能性はある。ただし、砂丘周縁部および最上川蛇行帯低地地区内の旧河道では、液状化の可能性が高い。          |
| ×                                                                                   | 1964年新潟地震による液状化発生地点    |                                       |                                                               |
| ×                                                                                   | 1983年日本海中部地震による液状化発生地点 |                                       |                                                               |

## 調査地付近の地形概念図

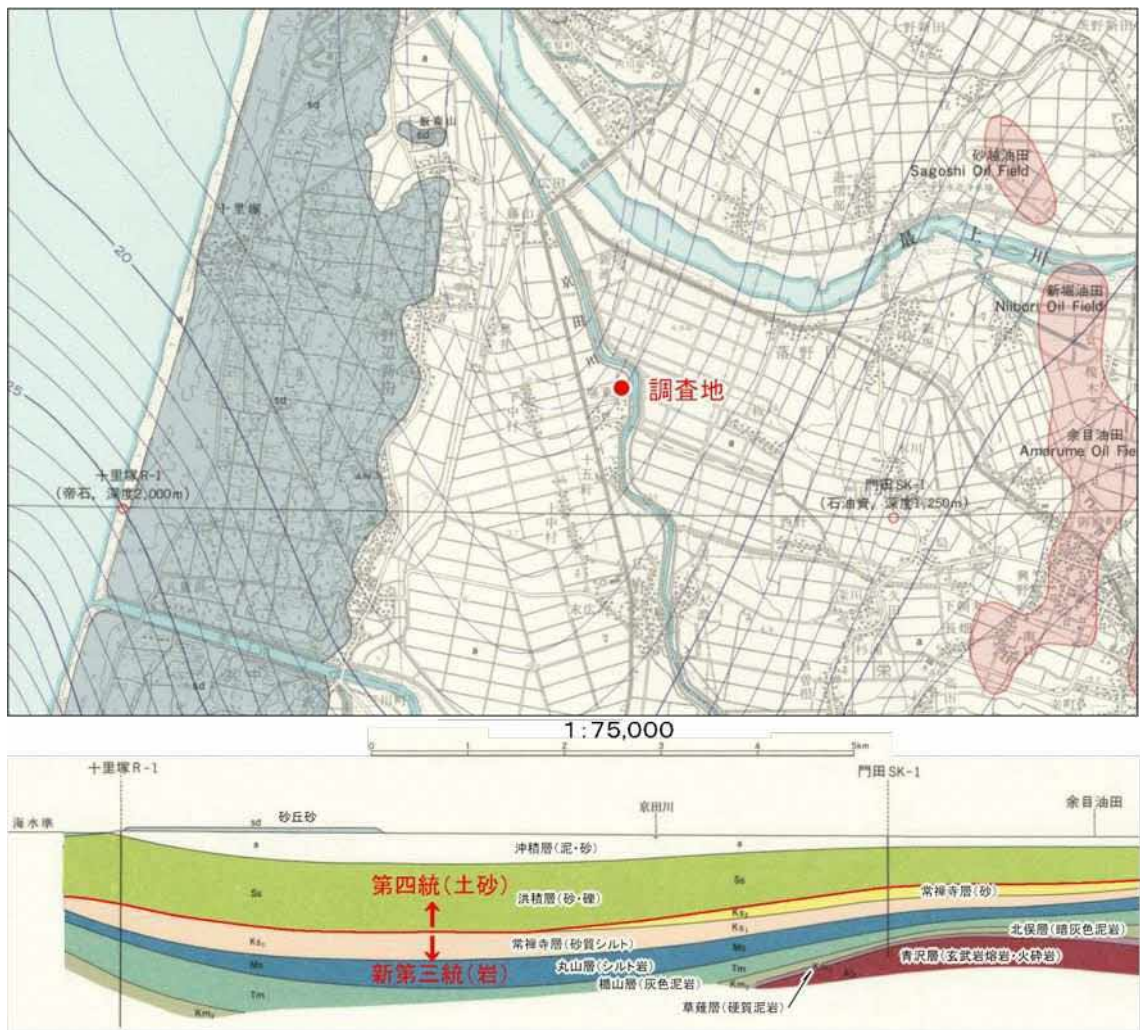
出典・庄内平野水害・液状化予測地形分類図

## 調査地付近の地形概念図

出典：庄内平野水害・液状化予測地形分類図



### 3-3. 地質概要



調査地付近の地質図・断面図

地質調査所「酒田」図幅(1/50,000)より転載

調査地付近の地質構造を示せば上図のとおりとなる。庄内平野の地質は、日本列島が大陸から分離して日本海が拡大していく時期に生成した海底火山活動の「青沢層」を基底部に、順次、堆積物（堆積岩）を中心とした地層が累重した構造となっている。調査地付近は庄内平野でも最も基盤の低い（深い）地点の一つであり、青沢層までの深度は 2000m 以上、いわゆる土砂と岩の境界とされる新第三系の上端も深度 1000m 程度に達するとされている。

これらの上部に堆積するいわゆる洪積層は、庄内層群とも称される礫・砂・泥の累重層であり、地表部に砂・泥よりなる沖積層が重なる。上図では、沖積層の層厚は 100m 以上にも達するように描かれているが、様々な文献で深度 10～50m 程度の幅をもった値が示されており定説はない。

今回の調査では深度 16m 付近で層状の明かな変化が見られたため、その深度を沖積層と洪積層の境界と仮定した。調査地付近は地形分類では京田川の自然堤防とされるが、浅部の沖積層は、粘性土を主体とする軟弱な土質で覆われている。





## 4-2. 調査ボーリング結果

### 4-2-1. 土層の対比と諸元の整理

調査ボーリングデータをその特長毎に層状に連結すると盛土層・沖積層・洪積層（①～④）の合計6層に区分できる。

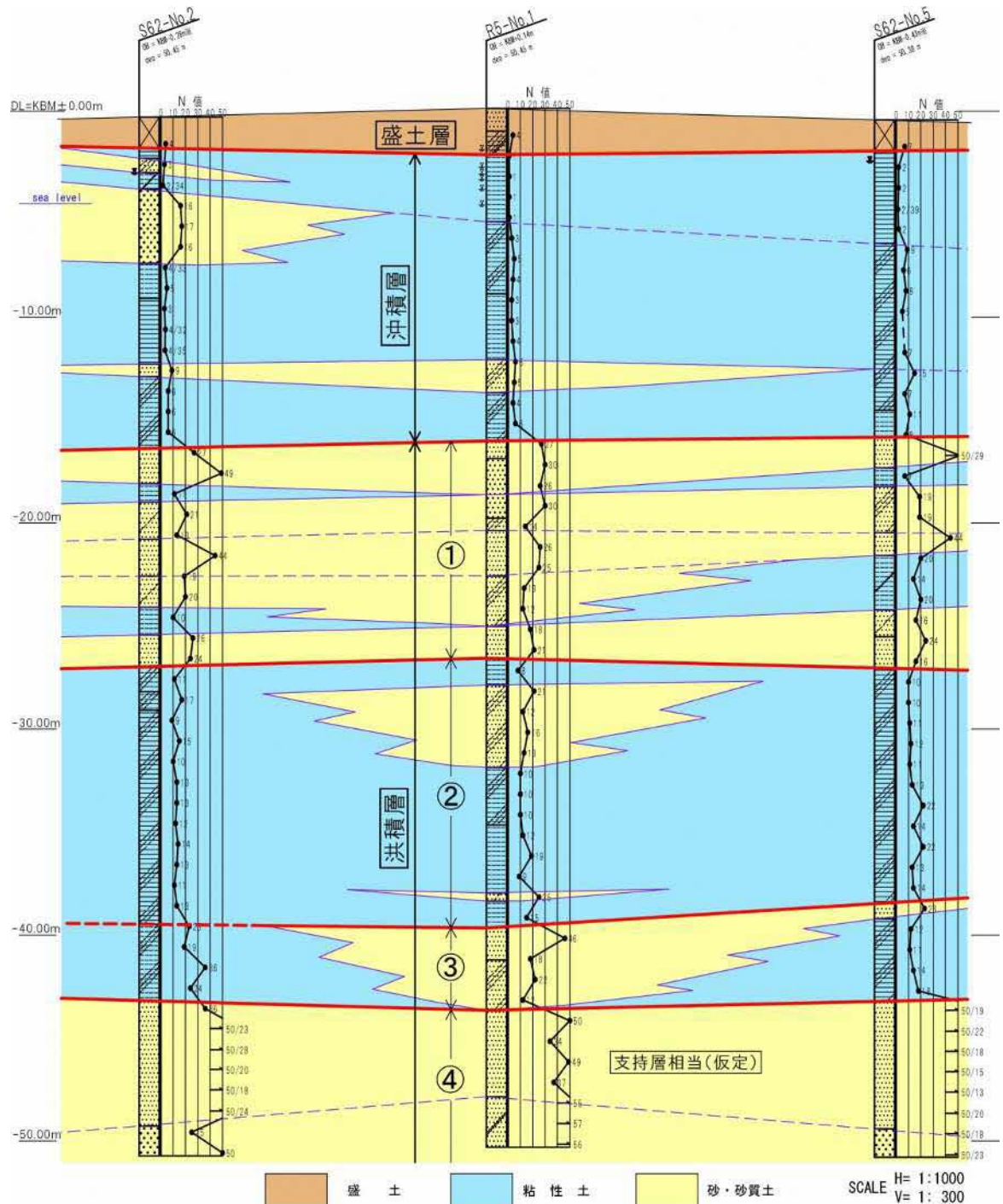
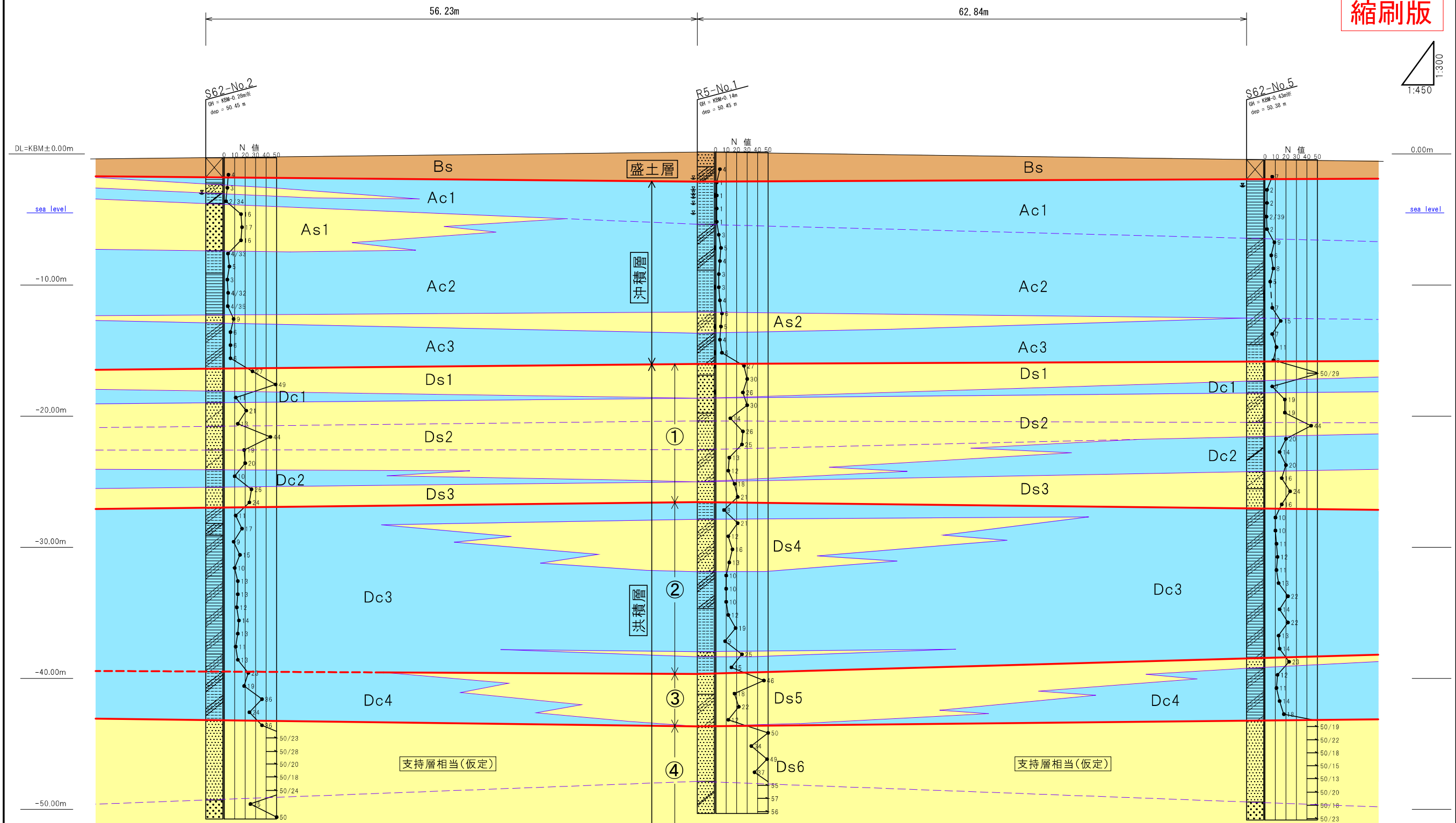


図 4-2-1. 調査地の地盤イメージ図

次頁に地質断面想定図の縮刷版を、また、その後に各土層毎の深度・層厚及びN値についての集計表を示す。

縮刷版



地質凡例

| 記号(主) | 土質名称(主) | 記号(副) | 土質名称(主) | 記号(副) | 土質名称(副) | 記号(副) | 土質名称(副) |
|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
|       | 盛土      |       | 細砂      |       | 粘土質     |       | シルト混じり  |
|       | 粘土      |       | 中砂      |       | シルト質    |       | 砂混じり    |
|       | シルト     |       | 粗砂      |       | 砂質      |       | 礫混じり    |



表4-2-1. 調査データの集計表

| 土層区分       | 土層の深度及び層厚 (m) |       |              |            |              |            |      |                                       |                                     |      | N値の集計 注4                                |      |                                     |      |
|------------|---------------|-------|--------------|------------|--------------|------------|------|---------------------------------------|-------------------------------------|------|-----------------------------------------|------|-------------------------------------|------|
|            | S62-No.2      |       | R5-No.1      |            | S62-No.5     |            | 平均層厚 |                                       | S62-No.2                            |      | R5-No.1                                 |      | S62-No.5                            |      |
|            | 層境深度          | 層 厚   | 層境深度         | 層 厚        | 層境深度         | 層 厚        | 平均層厚 |                                       | 測定値                                 | 平均値  | 測定値                                     | 平均値  | 測定値                                 | 平均値  |
|            | 注1<br>-0.28   |       | 注1<br>0.14   | 注1<br>2.25 | 注1<br>-0.43  | 注1<br>1.50 | 1.8  | 4                                     | 4                                   | 4.0  | 4                                       | 4.0  | 7                                   | 7.0  |
| 盛土         | -1.78         | 1.50  | -2.11        | 13.90      | -1.93        | 13.90      | 14.1 | 3,2,16,17,16,4,5,3,4<br>4,9,6,6,6     | 27,49,11,21,13,44<br>19,20,10,26,24 | 7.2  | 1,1,1,1,3,5,4,3,3,4,6<br>5,4,6          | 3.4  | 2,2,2,2,9,6,8,5,7<br>15,7,11,8      | 6.5  |
| 沖積層        | -16.38        | 14.60 | -16.01       | 10.55      | -15.83       | 11.20      | 10.8 | 27,30,26,30,14,26<br>25,13,12,18,21   | 24.0                                | 24.0 | 50,7,19,19,44,20,14<br>20,16,24,16      | 22.0 | 10,10,11,12,11,13<br>22,14,22,13,14 | 22.8 |
| 洪積層①       | -26.98        | 10.60 | -26.56       | 13.10      | -27.03       | 11.45      | 12.4 | 11,17,9,15,10,13,13<br>12,14,13,11,13 | 12.6                                | 12.6 | 8,21,12,16,13,10,10<br>10,12,19,9,25,15 | 13.8 | 23,12,11,14,18                      | 13.8 |
| 洪積層②       | -39.48        | 12.50 | -39.66       | 4.00       | -38.48       | 4.75       | 4.2  | 22,19,36,24                           | 25.3                                | 25.3 | 46,18,22,12                             | 24.5 | 60,60,50,60,60,60<br>60,60          | 21.8 |
| 洪積層③       | -43.18        | 3.70  | -43.66       | 6.65       | -43.23       | 7.58       | 7.3  | 36,60,53,60,60,60<br>25,50            | 50.5                                | 50.5 | 50,34,49,37,55,57<br>56                 | 48.3 | 60,60,50,60,60,60<br>60,60          | 52.9 |
| 注2<br>洪積層④ | -50.73        | 7.55  | 注3<br>-50.31 | 注3<br>6.65 | 注3<br>-50.81 | 7.58       | 7.3  |                                       |                                     |      |                                         |      |                                     |      |

- 注1 層境深度は基準点 (KBM) からの高さの差。上端は地表面高さ。  
 注2 洪積層④ (最下層) の厚さは地質調査で確認された部分の厚さ。  
 注3 層境深度の下端は調査の最終深度。  
 注4 N値は上限値をN=60として表示・集計したもの。  
 注5 土層平均はその土層に含まれるすべての要素 (N値) の平均。

#### 4-2-2. 地 質 構 成

今般実施した調査地点「R5-NO.1」と、比較対象としたし尿処理棟のデータ「S62-NO.2, S62-NO.5」のデータについては、部分的に粘性土と砂質土の中間的な土砂について土質の判別結果が異なったり、局部的に自然堤防に起因する砂質土が見られるなどの差異がある。但し、N値の深度毎の変化や各土層毎の連続性は非常に良好である。先に述べたように、地盤構成としては、調査深度内で大きく6つの土層に区分され、それぞれ次のような特徴がある。

- ・ 盛土層                      平均層厚＝1.8m, 平均N値＝5.0

調査地の地表部を覆う、人為的な盛土層である。場所毎に土質の変化が大きく、粘性土～礫質土、一部にコンクリートのガラなども混在する。今回の調査地点付近では、浅部に玉石が混入していた。（希に点在する程度と推察される）

- ・ 沖積層                      平均層厚＝14.1m, 平均N値＝5.7

最終氷期後（約18,000年前）に堆積したとみられる新しい年代の土層である。全般に均質な粘性土を主体としているが、S62-NO.2地点にのみやや粗粒な砂質土を挟んでいる。本土層をさらに細分すると、Ac1, As1, Ac2, As2, Ac3の5層に区分できる。

Ac1層は、最も上部の土層でN値が低く（N＝1～2程度）軟弱である。S62-NO.2で薄く、R5-NO.1, S62-NO.5と移るにつれ少しずつ厚くなっている。

As1層は、京田川の自然堤防の堆積層であり、N＝16程度と多少N値の高い砂質土（粗砂）が、S62-NO.2にのみ堆積している。図外であるが、し尿処理棟NO.1ではさらに層厚が厚く、場所（平面位置）によって、層厚の差が大きい。

以深のAc2, As2, Ac3については、大半が均質な粘性土よりなり、所々に木片等の有機物を混入する。砂質土に類するAs2層についてもシルトとの互層となっている。N値はN＝3～5程度と軟らかな土質である。

- ・ 洪積層①                      平均層厚＝10.8m, 平均N値＝22.9

洪積層の上部に相当する土層で、砂質土を主体とする層である。但し、単一の堆積層ではなく、シルト質細砂から中砂程度のやや粗い砂まで数層が累重した構造となっており、し尿処理棟側では所々にシルト層を挟むようになる。また、し尿処理棟の既存データでは、砂質土の一部でN値＝40以上の高い値を記録しているが、今回のR5-NO.1孔では上部で最大N＝30程度で、下部ほど次第にN値が低下する特徴を持つ。

土層を細分すると、Ds1, Dc1, Ds2, Dc2, Ds3の5層に区分され、層厚の厚い中間部の砂質土Ds2は、さらに何層かの累重した土層とみられる。また、粘性土に類するDc1, Dc2層は、し尿処理棟側にのみ堆積する層で、今回のR5-No.1孔には連続していない。

- ・ 洪積層②                      平均層厚＝12.4m, 平均N値＝13.4

洪積層の中間部に挟むシルトなどの粘性土（Dc3）を主体とする厚い堆積層である。但し、今回のR5-No.1孔では、土層の中上部にDs4としたシルト質細砂を挟んでいる。

主体となるDc3は、粘土からシルト、砂質シルトなどを主体とする層で、粘性の強い土質である。N値＝10以上を示し、かなり硬い粘性土と言える。R5-No.1にのみ見られるシルト質細砂Ds4は、シルトと砂質シルト・細砂の累重した構造となっている。

・ 洪積層③      平均層厚＝4.2m，平均N値＝21.8

洪積層の中下部に分布する堆積層で、し尿処理棟側では粘土や砂質シルト棟の粘性土（Dc4）、今回の R5-No.1 ではシルト質細砂・細砂（Ds5）となり、土層としては繋がるが調査孔によってやや土質の変化が大きい傾向にある。同様にN値についても場所や深度によって高低の差が大きく、平均N値＝20 程度であるが、部分的にN値＝40 程度の高い値となる。

・ 洪積層④      平均層厚＝7.3m，平均N値＝52.9

調査最深部に位置する堆積層で、細砂ないし粗砂または礫混じり細砂（Ds6）よりなる土層である。何れの深度も粘性土分の混入は殆ど無く、ほぼ均質な砂質土よりなる。また、全般に N 値がかなり高く、平均値でN値＝50 を越える。今回の R5-No.1 地点では、深度 48mまでが均質な細砂でN値＝34～50 相当、以深は小円礫を点在するようになり、N値＝56 程度に高くなる。

#### 4-2-3. 層状及び地質年代

土層の大まかなくくりとしての土層は前記の通り比較的連続性が高いが、堆積期の環境や深度により細かな土質変化がある。

- ・ 盛土

人為的に造成された土層で、主に砂、シルトで構成されている。敷地全般に広がっていると思われる。

- ・ 沖積層

最終氷河期が終わった約 18,000 年前以降の土層で推察する。本調査孔で、N 値が低い (N = 1~6 程の) KBM - 16m 以浅と考える。

- ・ 洪積層

最終氷河期が終わった約 18,000 年前以前の土層である。N 値が急激に上がる KBM - 16m 以深の土層と見なす。

#### 沖積層と洪積層について

年代的には最終氷期が終わった 18,000 年前を境に、それ以前の堆積物を「洪積層」、それ以降の堆積物を「沖積層」と称する。庄内平野での沖積層・洪積層の区分や深度についてはまだ研究途上で定説はない。地盤工学的には「沖積層＝地盤が弱くやや不安定な土層」、「洪積層＝締まっていて比較的安定した土層」と考える事より、N 値の高くなる深度 16m 付近を調査地での境界深度とした。

なお、後述するがこの深度以深の砂質土における液状化判定の結果、液状化抵抗率 EL が高く、液状化する層は無かった。



#### 4-2-4. 地下水の特性と液状化

調査地点毎に地下水位の測定記録を整理すると次の通りとなる。

表 4-2-2. 孔内水位測定記録 (R5-No.1)

| 月 日        | 水位<br>(GL-m) | 掘削深<br>(GL-m) | ケーシング<br>深度(GL-m) | 備 考  |
|------------|--------------|---------------|-------------------|------|
| 2023/10/20 | 確認されず        | 6.45          | 5.0               | 調査本孔 |
| 2023/10/24 | 2.00         | 16.45         | 15.0              | 〃    |
| 2023/10/25 | 3.18         | 24.45         | 20.0              | 〃    |
| 2023/10/26 | 4.68         | 31.45         | 24.0              | 〃    |
| 2023/10/27 | 3.93         | 39.45         | 24.0              | 〃    |
| 2023/10/30 | 3.45         | 46.45         | 24.0              | 〃    |
| 2023/10/31 | 2.85         | 50.45         | 24.0              | 〃    |

上記した通り、調査本孔ではボーリングの掘削過程において GL-2～5m の範囲で孔内水位が確認された。掘削深度 31m 付近までは、掘削の進捗に伴い次第に水位が低下している。その後、掘削深度が 50m に達する段階で、孔内水位は GL-2.85m 程まで上昇している。

調査地の本来の地下水位は、周辺環境から考えて当初確認された深度 2.00m 付近と考えると問題ない。孔内水位が、測定毎に変化しているのは、土質的に浅部が厚い粘性土が堆積しており、はっきりした水位がつかめなかったことと、崩壊防止のためのケーシングパイプを用いたため、砂質土の水頭もはっきりしないためである。ケーシングを用いながら下部の帯水層（砂層）を掘削した時点でも、地下水が吹き上げるような事は無かった。これより、下部層の被圧水頭もそれほど大きくはないと考えられる。

なお、ケーシングパイプを打設した深度 24m 付近までの砂質土（洪積層①の上部）は、多少地下水が多めで、孔壁の安定性が悪い（やや崩れやすい）状態であった事を特記しておく。

#### 4-3. 孔内水平載荷試験結果

孔内水平載荷試験は、単筒（モノセル）方式載荷試験器（OYO 社製 LLT）を用い、R5-No.1 の近くに設けた試験孔において GL-6.60m（中心深度）で実施した。その結果は以下の通りであった。

表 4-3-1. 孔内水平載荷試験結果一覧表

| 測定<br>NO.            | 中心深度<br>(GL-m) | 土質名称  | N 値 | 静止土圧<br>Po(kN/m <sup>2</sup> ) | 降伏圧<br>Py(kN/m <sup>2</sup> ) | 破壊圧<br>PL(kN/m <sup>2</sup> ) | 地盤係数<br>Km(kN/m <sup>3</sup> ) | 変形係数<br>E (kN/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|----------------|-------|-----|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| R5-No.1<br>(No.1 別孔) | 6.60           | 砂質シルト | 3   | 20.2                           | 50.3                          | 103.1                         | 23080                          | 1382                           |

- ・ 静止土圧：Po

測定深度に於ける水平方向の作用土圧・水压に相当する。

通常の土圧算定式に従えば、次のランキン土圧で近似できる値となる。

$$Po = h \times \gamma \times Ka$$

ここに、 h : 試験深度 m

γ : 土の有効単重 kN/m<sup>3</sup> （地下水位以深は有効単重）

Ka : 土圧係数 Ka=0.4～0.5 程度（粘性土）

h=6.60m, γ=15.0kN/m<sup>3</sup>（水中 γ'=6.0kN/m<sup>3</sup>）, Ka=0.5, 地下水位=GL-2.00m と仮定した場合、Po=28.8kN/m<sup>2</sup>程度と算定される。LLT 実測値の平均 Po=20.2kN/m<sup>2</sup>と比較すると計算値の方が多少高いが大差は無い。調査地盤は過去の履歴荷重が少ない状態とみられる。

- ・ 降伏圧：Py

地盤が弾性体としての性質を失い塑性流動をし始める荷重と考えられ、横方向の短期支持力と考えられる。

- ・ 破壊圧：PL

地盤が支えうる横方向の最大荷重であり、極限支持力と同義である。

- ・ 地盤係数：Km

載荷荷重に対する変位の程度を示す水平方向地盤反力係数である。測定装置の半径：rm に対する値であり、杭などの変形特性を試算する場合には杭径に合わせた補正が必要である。

- ・ 弾性係数：E

一般に地盤の変形係数とされる数値である。通常、この E から基礎の形状に合わせて K 値（KH）に換算し、基礎の特性値：β（ $=\sqrt[4]{k_H D / 4EI}$ ）を求めるものである。

また、この E 値は標準貫入試験の N 値から推定する方法もあり、E=(400～1000)N kN/m<sup>2</sup>、平均 E=700N kN/m<sup>2</sup>とされる。

N 値からの算定値と孔内水平載荷試験結果の E 値を比較すれば次のように示される。

表 4-3-2. N 値からの推定値と実測値の比較

| 測 定<br>No.        | 土質名称  | N 値 | 700N として推定した<br>変形係数 E (kN/m <sup>2</sup> ) | 孔内水平載荷試験実測値<br>変形係数 E (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-------------------|-------|-----|---------------------------------------------|--------------------------------------------|
| No.1<br>(NO.1 別孔) | 砂質シルト | 3   | 2100                                        | 1382                                       |

N 値=3 相当の地盤とした場合、孔内水平載荷試験による測定 E 値は、N 値からの推定値より低い値となっている。実測値は理論値の 66%の値となっており、相関値は E=461N kN/m<sup>2</sup>となった。

N 値より変形係数 E を推定する場合、通常の 700N を用いて推定するとやや過大な値が得られる可能性がある。特に N 値の低い「沖積層」に対しては、N 値の測定精度を含めても E=500N 程度の相関性と考えることが望ましい。

#### 4-4. 室内土質試験結果

室内土質試験は、土質の工学的な特性の把握と、液状化判定に用いるために粒度試験を行った。試験試料は標準貫入試験にて採取された土質試料を用いた。

地盤の液状化の検討の対象は次のすべての条件に当てはまる土である。

- ・ 深度 20mまでの「沖積層」である土
- ・ 地下水で飽和した（地下水位以深）の土
- ・ 細粒分（粒径 0.075 mm以下）の含有率（＝細粒分含有率 FC）が 35%以下である土

液状化判定を目的とした場合、粒度試験は「砂質土」及び「礫質土」に対して行えば良い。但し、柱状図上の土質名称はあくまで目視での判別であるのと、工学的な土質区分を行う目的もあるため、ここでは深度 20mまでの全土層について粒度試験を行う。また、細粒分（0.075 mm以下のいわゆる粘性土分）の多い土層もあるため、その粒度組成を明らかにするために「沈降分析」も行った。

##### ※洪積層の液状化判定の取扱いについて

4-2-3 節に示した通り、深度 16m付近より下は「洪積世」の土砂と見られ、本来は液状化判定を行わない土層となる。しかしながら庄内地方の洪積層の深度については定まった説がない事、近傍が過去に液状化現象を生じた事例が多い地区である事を考慮し、深度 20mまでの全層について検討を行うものとする。



表 4-4-1. 室内土質試験結果 (R5-No.1)

| 試料NO. | 試料深度<br>(GL-m) | 土質名<br>(柱状図) | 粒度特性 (%) |      |       | N値<br>(実効値) | 液状化判定<br>の要否 |
|-------|----------------|--------------|----------|------|-------|-------------|--------------|
|       |                |              | 礫分       | 砂分   | 細粒分FC |             |              |
| 1-1   | 3.15~3.45      | シルト          | 4.3      | 18.9 | 76.8  | 1           | 否            |
| 1-2   | 7.15~7.45      | 砂質シルト        | 0.0      | 2.0  | 98.0  | 5           | 否            |
| 1-3   | 10.15~10.45    | シルト          | 0.0      | 9.4  | 90.6  | 3           | 否            |
| 1-4   | 13.15~13.45    | シルト質細砂       | 0.0      | 3.5  | 96.5  | 5           | 否            |
| 1-5   | 15.15~15.45    | 砂質シルト        | 2.6      | 7.6  | 89.8  | 6           | 否            |
| 1-6   | 16.15~16.45    | 細砂           | 0.0      | 82.8 | 17.2  | 27          | 要            |
| 1-7   | 18.18~18.48    | 中砂           | 0.0      | 74.5 | 25.5  | 26          | 要            |

R5-No.1 地点の採取試料による粒度試験結果は上記の通りである。液状化検討を要する層 (FC=35%以下) は赤く塗りつぶした箇所となり、1-6 と 1-7 が検討対象となっている。また、土粒子の粒径毎の組成比率は粒径加積曲線に示す通りである。通常、特定の粒子が集まった均質な砂質土が液状化現象を生じやすいとされている。粒径加積曲線上では、均質な粒子の土砂は曲線の一部が急激に立ち上がった形状を示す。1-1~1-5 までは、細粒分が多く、大半が粘性土である。また、1-6、1-7 では、砂分が多く、砂分が 80%程度含まれている。

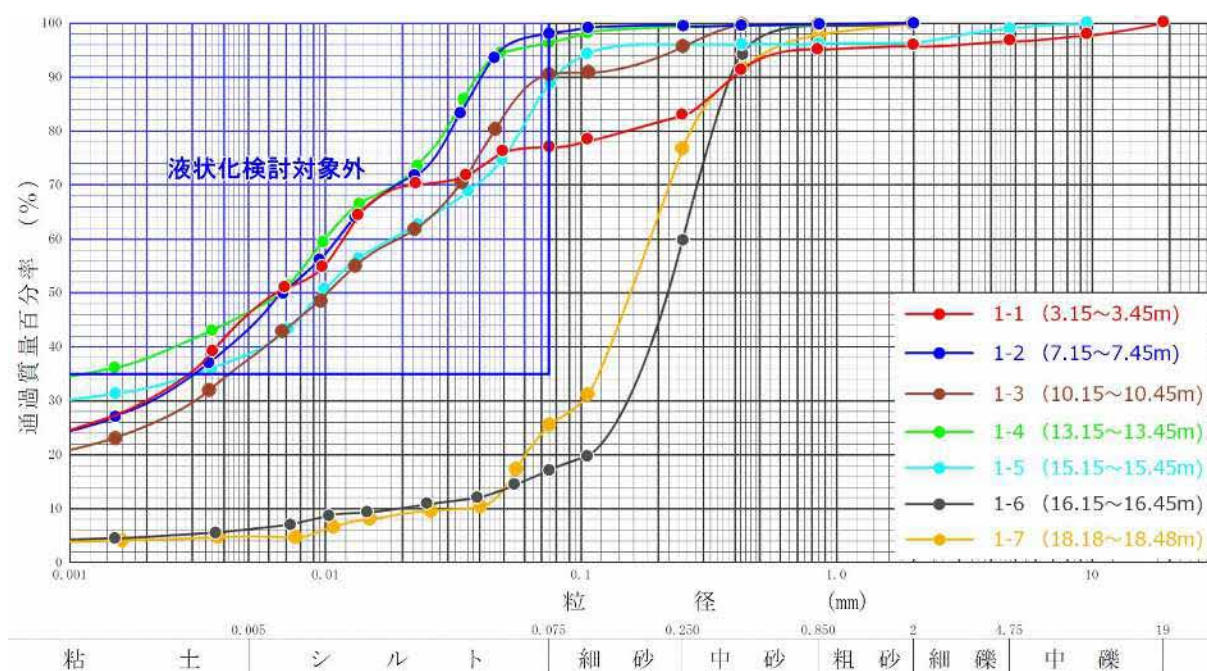


図 4-4-1. 粒径加積曲線集積図 (No.1)

1-1 試料については中～細砂分が 15%程度含んでおり、やや粒度の不均質な「粘性土」と言える。また、1-4 試料は、柱状図の土質区分上では、シルト質細砂と「砂質土」に区分したが、粒度試験上では全体の 96%も粘性土が占める結果となった。これは、細砂分の多い箇所と粘性土の部分が互層状に積み重なっていたことより、粘性土の多い部分が粒度試験に供された結果と推察する。但し、砂分の多い部分であっても FC=35%以上とみられ、液状化検討結果には影響ない。

## § 5. 調査結果に対する考察

### 5-1. 地盤と基礎工法について

#### 5-1-1. 基礎工法の分類と選択

建築構造物における地盤条件と対応する基礎工の種類・検討項目を整理すれば次の通りとなる。

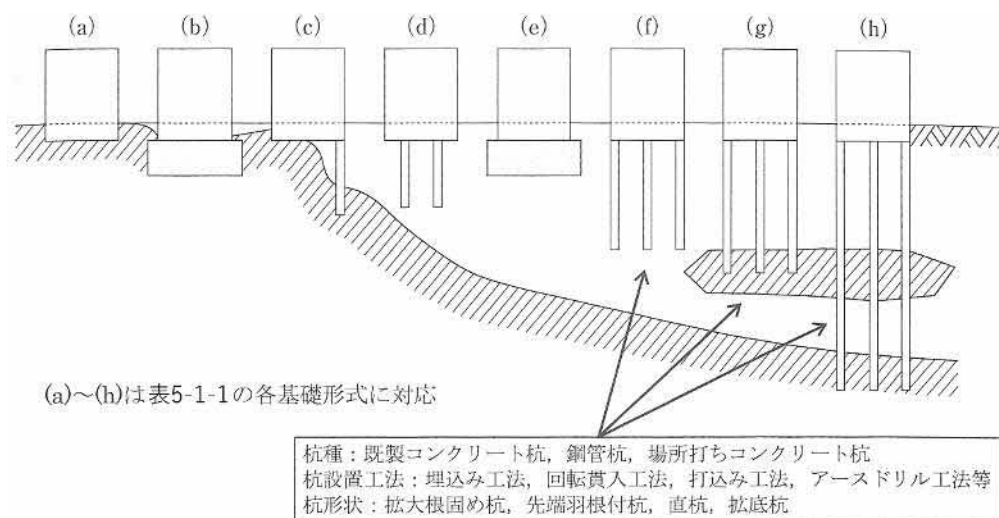


図5-1-1. 支持地盤の深度と適用可能な基礎形式

表5-1-1. 基礎形式ごとの主な検討事項

建築基礎構造  
設計指針第3版

| 基礎形式                               | 基礎部材                                                | 検討事項                                                                     | 本文該当章 |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------|
| (a) 直接基礎                           | 基礎スラブ（べた基礎），フーチング（連続基礎，独立基礎），基礎梁                    | 地盤の鉛直支持力，滑動抵抗力，即時沈下，圧密沈下，液状化，凍結深度，地下水位                                   | 5章    |
| (b)，(e) 直接基礎＋地盤改良（ラップルコンクリート地業を含む） | 同上                                                  | 改良地盤の鉛直（水平）支持力，改良地盤の滑動抵抗力，支持地盤の鉛直支持力，即時沈下，圧密沈下，液状化，凍結深度，地下水位             | 5章    |
| (c) 異種基礎                           | 基礎スラブ（べた基礎），フーチング（連続基礎，独立基礎），基礎梁，杭基礎（摩擦杭，薄層支持杭，支持杭） | 直接基礎，杭基礎の検討事項，境界部応力，基礎のねじれ                                               | 8章    |
| (d) パイルド・ラフト基礎                     | 基礎スラブ，基礎梁，杭体                                        | 直接基礎，杭基礎の検討事項，杭とラフトの（鉛直・水平）荷重分担                                          | 7章    |
| (f) 杭基礎（摩擦杭）                       | パイルキャップ，杭頭接合部，基礎梁，杭体，杭体継手部                          | 杭の鉛直支持力，引抜き抵抗力，水平抵抗力，負の摩擦力，即時沈下，圧密沈下，液状化，杭体（軸力，曲げ，せん断）応力，杭頭接合部応力，杭体継手部応力 | 6章    |
| (g) 杭基礎（薄層支持杭）                     |                                                     |                                                                          |       |
| (h) 杭基礎（支持杭）                       |                                                     |                                                                          |       |

〔出典：建築基礎構造設計指針 第3版〕

基礎工法の選定は、計画される構造物の荷重を十分安定に支えうる地層＝支持層の分布深度と施工性・経済性及び周辺環境に与える影響等により検討される。従来、深度数  $m$  程度以内に支持層があれば「直接基礎」が、深い場合「支持杭基礎」が、明確な支持層が無い場合「摩擦杭基礎」が用いられてきた。

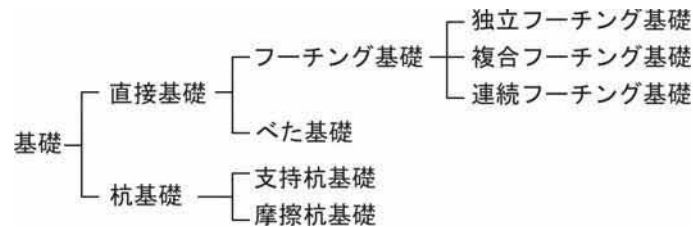


図 5-1-2. 構造上の基礎の分類 [WEB 資料]

構造物基礎の支持層は基礎の方式や構造物自体の許容変位量等によっても異なるが、砂・砂礫層で  $N$  値＝30 以上、層厚 5m 程度以上を目安とする場合が多い。調査地盤は前述の通り深度 44m 付近より当該条件に合致した砂層が堆積している。深度 44m より上の各層は全体に  $N$  値がやや低く、ややばらつきが多い土層となっている。

杭基礎は前頁の表の通り (h) 支持杭のほか (f) 摩擦杭 (g) 薄層 (中間層) 支持杭がある。深度 16～22m 付近の中間層 (洪積層①) で、 $N$  値＝20～30 程度と多少高い部分がみられる。過去の調査孔ではこの土層では  $N$  値の変動が大きく信頼性を欠いていたが、今回の調査孔では多少まとまった  $N$  値と厚さがあり、それ以深の粘性土も  $N$  値＝10 程度以上はあって圧縮 (圧密) 性は少ないと判断する。したがってこれを目的として (f) 摩擦杭の検討も可能である。よって本地盤における基礎の選択肢としては次の通りとなる。

・本地盤における構造物基礎の選択肢

- ① 長尺の支持杭基礎      深度 44m 以深の砂層を支持層とする杭基礎
- ② 中間層の摩擦杭      杭長 25～30m 程度の摩擦杭基礎

それぞれの基礎についてはそれぞれ得失がある。過去の施設の施工実績や長期間の安定性といった面では「①支持杭」が優れ、基礎の施工費的な面では「②摩擦杭」が有利となる可能性がある。但し、目的の構造物が公共性の高い汚泥処理施設である事を考えれば、より安定性の高い支持杭基礎を採用する事が望まれる。

実際の基礎構造の検討や設計にあたっては、各工法の施工性や経済性、敷地周辺に及ぼす影響などを考慮して、最も適切な基礎構造を選択する必要がある。

また、杭の施工方法としては次のような分類となる。



図 5-1-3. 杭基礎の工法的上の分類 [WEB 資料]

表 5-1-2. 各杭の施工方法毎の適用性の目安

| 適用条件        |               |                    | 基礎形式<br>及び<br>施工方法                      | 直接基礎  | 杭基礎      |     |          |        |            |        |        |            |              |            |            |          |            |          |       |
|-------------|---------------|--------------------|-----------------------------------------|-------|----------|-----|----------|--------|------------|--------|--------|------------|--------------|------------|------------|----------|------------|----------|-------|
|             |               |                    |                                         |       | 打込み杭工法   |     | 中掘り杭工法   |        |            |        |        |            | 鋼管ソイルセメント杭工法 | プレボーリング杭工法 | 場所打ち杭工法    |          | 回転杭工法      |          |       |
|             |               |                    |                                         |       |          |     | PHC杭・SC杭 |        |            | 鋼管杭    |        |            |              |            | オールケーシング工法 | リースドリル工法 |            |          |       |
|             |               |                    |                                         |       | PHC杭・SC杭 | 鋼管杭 | 最終打撃方式   | 噴出攪拌方式 | コンクリート打設方式 | 最終打撃方式 | 噴出攪拌方式 | コンクリート打設方式 | 鋼管ソイルセメント杭工法 | プレボーリング杭工法 |            |          | オールケーシング工法 | リースドリル工法 | 回転杭工法 |
|             |               |                    | 打撃工法                                    | ハンマ工法 |          |     |          |        |            |        |        |            |              |            |            |          |            |          |       |
| 地盤条件        | 支持層までの状態      | 表層近傍又は中間層にごく軟弱層がある | ○                                       | ○     | ○        | ○   | ○        | ○      | ○          | ○      | ○      | ○          | ○            | ○          | ○          | ×        | ○          | ○        |       |
|             |               | 中間層にごく硬い層がある       | △                                       | △     | △        | ○   | ○        | ○      | ○          | ○      | ○      | ○          | ○            | ○          | △          | ○        | ×          | ○        |       |
|             |               | 中間層にれきがある          | れき径 50mm以下                              | △     | ○        | ○   | ○        | ○      | ○          | ○      | ○      | ○          | ○            | ○          | ○          | ○        | ○          | ○        | ○     |
|             |               |                    | れき径 50～100mm                            | △     | △        | △   | △        | △      | △          | △      | △      | △          | ○            | ○          | △          | ×        | ○          | ○        |       |
|             |               |                    | れき径 100～500mm                           | ×     | ×        | ×   | ×        | ×      | ×          | ×      | ×      | ×          | ×            | ×          | △          | ×        | ×          | ×        |       |
|             |               | 液状化する地盤がある         | ○                                       | ○     | ○        | ○   | ○        | ○      | ○          | ○      | ○      | ○          | ○            | ○          | ○          | ○        | ○          | ○        |       |
|             | 支持層の状態        | 深度                 | 5m未満                                    | ○     | ×        | ×   | ×        | ×      | ×          | ×      | ×      | ×          | ×            | ×          | ×          | ×        | ×          | ×        |       |
|             |               |                    | 5～15m                                   | △     | ○        | ○   | ○        | ○      | ○          | ○      | ○      | ○          | ○            | ○          | △          | ○        | ○          | ○        |       |
|             |               |                    | 15～25m                                  | ×     | ○        | ○   | ○        | ○      | ○          | ○      | ○      | ○          | ○            | ○          | ○          | ○        | ○          | ○        |       |
|             |               |                    | 25～40m                                  | ×     | ○        | ○   | ○        | ○      | ○          | ○      | ○      | ○          | ○            | ○          | ○          | △        | ○          | ○        |       |
|             |               |                    | 40～60m                                  | ×     | △        | ○   | △        | △      | △          | ○      | ○      | ○          | △            | △          | ×          | ○        | ×          | ○        |       |
|             |               |                    | 60m以上                                   | ×     | ×        | △   | △        | ×      | ×          | ×      | ×      | ×          | △            | △          | ×          | △        | ×          | ○        |       |
|             |               | 土質                 | 砂・砂れき (30≦N)                            | ○     | ○        | ○   | ○        | ○      | ○          | ○      | ○      | ○          | ○            | ○          | △          | △        | ○          | ○        | △     |
|             |               |                    | 粘性土 (20≦N)                              | ○     | ○        | ○   | ○        | △      | ×          | ○      | △      | ×          | △            | △          | △          | ○        | ○          | △        | △     |
|             |               |                    | 軟岩・土丹                                   | ○     | ×        | ○   | △        | ○      | △          | ×      | △      | ×          | △            | △          | △          | ○        | ○          | △        | △     |
|             |               |                    | 硬岩                                      | ○     | ×        | ×   | ×        | ×      | ×          | ×      | ×      | ×          | ×            | ×          | △          | △        | △          | ×        | ×     |
|             |               |                    | 傾斜が大きい、層面の凹凸が激しい等、支持層の位置が同一深度では無い可能性が高い | △     | △        | △   | △        | △      | △          | △      | △      | △          | △            | △          | △          | ○        | ○          | ○        | ○     |
|             | 地下水の状態        | 地下水位が地表面近い         | △                                       | ○     | ○        | ○   | ○        | ○      | ○          | ○      | ○      | ○          | ○            | △          | △          | △        | △          | ○        |       |
|             |               | 湧水量が極めて多い          | △                                       | ○     | ○        | ○   | ○        | ○      | ○          | ○      | ○      | ○          | △            | △          | △          | △        | △          | ○        |       |
|             |               | 地表より2m以上の被圧地下水     | ×                                       | ○     | ○        | ○   | ×        | ×      | ×          | ×      | ×      | ×          | ×            | ×          | ×          | ×        | ×          | ○        |       |
| 支持形式        | 地下水流速3m/min以上 | ×                  | ○                                       | ○     | ○        | ×   | ×        | ×      | ×          | ×      | ×      | ×          | ×            | ×          | ×          | ×        | ○          |          |       |
|             | 支持杭           | ○                  | ○                                       | ○     | ○        | ○   | ○        | ○      | ○          | ○      | ○      | ○          | ○            | ○          | ○          | ○        | ○          |          |       |
| 施工条件        | 摩擦杭           | ○                  | ○                                       | ○     | ×        | ×   | ×        | ×      | ×          | ×      | ×      | ×          | ○            | ○          | ○          | ○        | ×          |          |       |
|             |               | 水上施工               | 水深5m未満                                  | △     | ○        | ○   | ○        | △      | △          | △      | △      | △          | △            | ×          | ×          | ×        | ×          | ○        |       |
|             | 水深5m以上        | ×                  | △                                       | ○     | ○        | △   | △        | △      | △          | △      | △      | ×          | ×            | ×          | ×          | ×        | ○          |          |       |
|             | 作業空間が狭い       | ○                  | △                                       | △     | △        | △   | △        | △      | △          | △      | △      | △          | △            | △          | △          | △        | △          | △        |       |
|             | 斜杭の施工         | ○                  | ○                                       | ○     | ×        | ×   | ×        | ×      | ×          | ×      | ×      | ×          | ×            | ×          | ×          | ×        | ×          |          |       |
|             | 有害ガスの影響       | ○                  | ○                                       | ○     | ○        | ○   | ○        | ○      | ○          | ○      | ○      | ○          | ○            | ○          | ○          | ○        | ○          | ○        |       |
|             | 周辺環境          | 振動騒音対策             | ○                                       | ×     | ×        | △   | △        | △      | ○          | △      | ○      | ○          | ○            | ○          | ○          | ○        | ○          | ○        |       |
| 隣接構造物に対する影響 |               | ○                  | ×                                       | △     | △        | △   | △        | ○      | ○          | ○      | ○      | ○          | ○            | ○          | ○          | ○        | ○          |          |       |

○：適用性が高い △：適用性がある ×：適用性が低い

〔出典：道路橋示方書IV下部構造編(H24 年度版)〕

前表は、基礎を支持杭基礎と仮定した場合、支持層の深度や土質、中間層の特性や地下水位などから杭の施工方法の適性を検討したものである。諸条件を入力した結果、青塗りした工法が比較的適性が高いものと判断される。

これらの中で建築構造物の基礎として、本地盤条件に適性の高い一般的な工法は次の 2 つである。

- ・ プレボーリング工法
- ・ 中掘り鋼管杭工法

また参考までに、前表で本施工条件に対して適合性が高いとされる回転杭工法についても、若干の説明を付す。

大孔径となる基礎杭の施工性や施工方法の選択については、地質調査データからのみのデータだけでは判断しにくい面がある。（掘削工壁の安定性や湧水・逸水の発生状況など）  
本計画においては、近隣に過去に行われた構造物基礎の施工実績があることより、それらの資料も合わせて検討・判断することが望ましい。

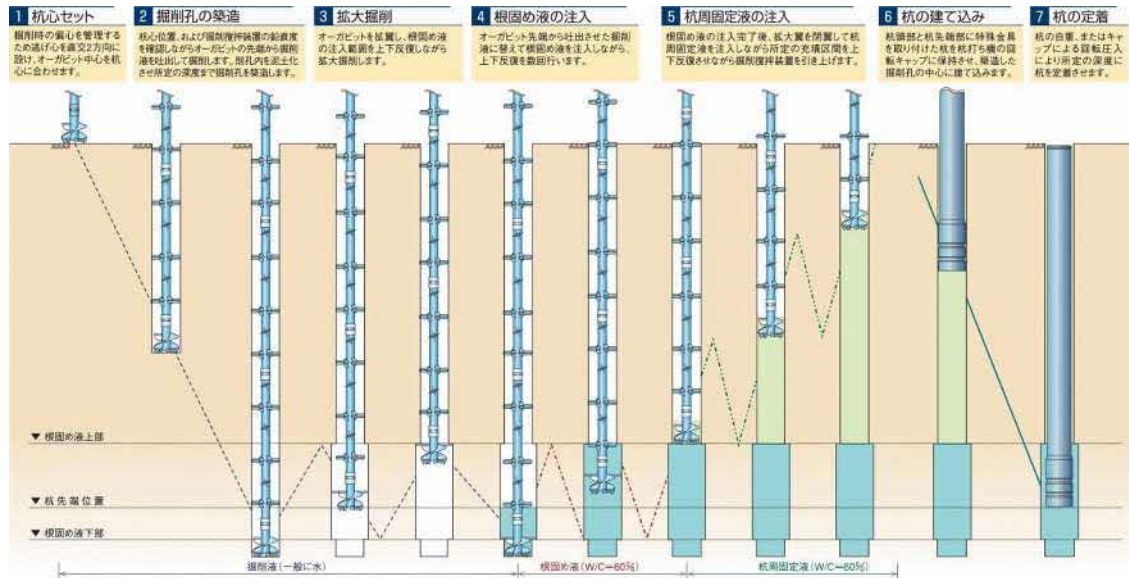


## 5-1-2. 杭施工方法の概説

### ・プレボーリング工法の概要

オーガーボーリングにより事前に杭体が収まる穴を削孔し、セメントミルクを満たした後、既製杭を挿入し一体固化させて築造する基礎工法である。拡底オーガーや拡大ジェットにより底部を拡大し安定度や支持力を増大する工法（拡底杭）が適用されることが多い。

図 5-1-4. プレボーリング工法の概念図（拡大根固杭）〔WEB 資料〕



プレボーリング工法については大深度杭の施工方法として最も一般的で経済的にも優れている。但し、掘さく孔の築造を安定液だけで行うため、孔壁の安定性が問題視される事が多い。本地盤では前述で述べた通り、所々で多少崩壊する可能性があるため、それを考慮した上で、杭の施工法を選定する必要がある。

プレボーリング杭は通常、オーガー孔にセメントミルクを満たして既製コンクリート杭を挿入するが、杭の先端部は「根固め液」として濃度の高いセメントミルクを、杭の中へ上部は「杭周固定液」としてセメントミルクとベントナイトの混合液を用いる事が多い。この杭周固定液は既製杭を挿入するときの地盤との間の潤滑液の役目もあり、杭体との付着強度がそれほど高くないとされる。よって十分な摩擦支持力を杭体に伝達できない恐れがある。

ほぼ同じ施工法で、挿入する既製杭をリブ（ラセン溝）付きの鋼管として固定液と杭体との付着強度を高めた「鋼管ソイルセメント杭」は摩擦杭に「○適応性が高い」とされており、摩擦支持力を有効に利用できる。

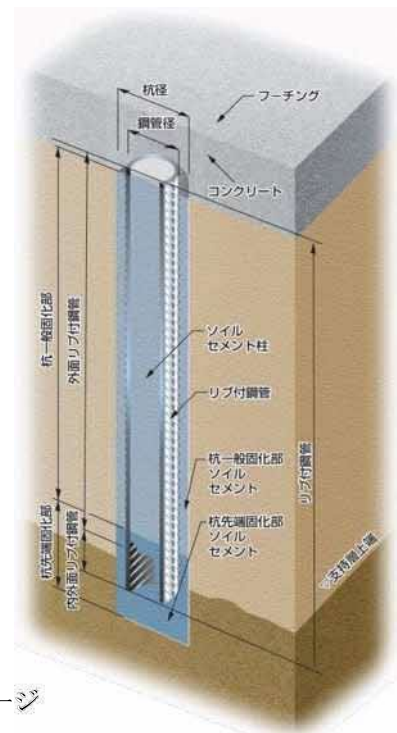


図 5-1-5. 鋼管ソイルセメント杭の施工イメージ

- ・中掘り鋼管杭工法の概要

杭の内空部にオーガーを通し、杭の先端地盤を余掘りしながら杭を圧入する工法である。杭孔の掘削と杭体の設置を一工程で施工できる事、杭が外殻のケーシングとなるため崩壊性の地盤への適応性が高いこと、掘削泥土（排土）が少ない事などの利点がある。また、中掘り鋼管杭においても杭底部を拡大して支持力を増大させる工法が主流になっている。

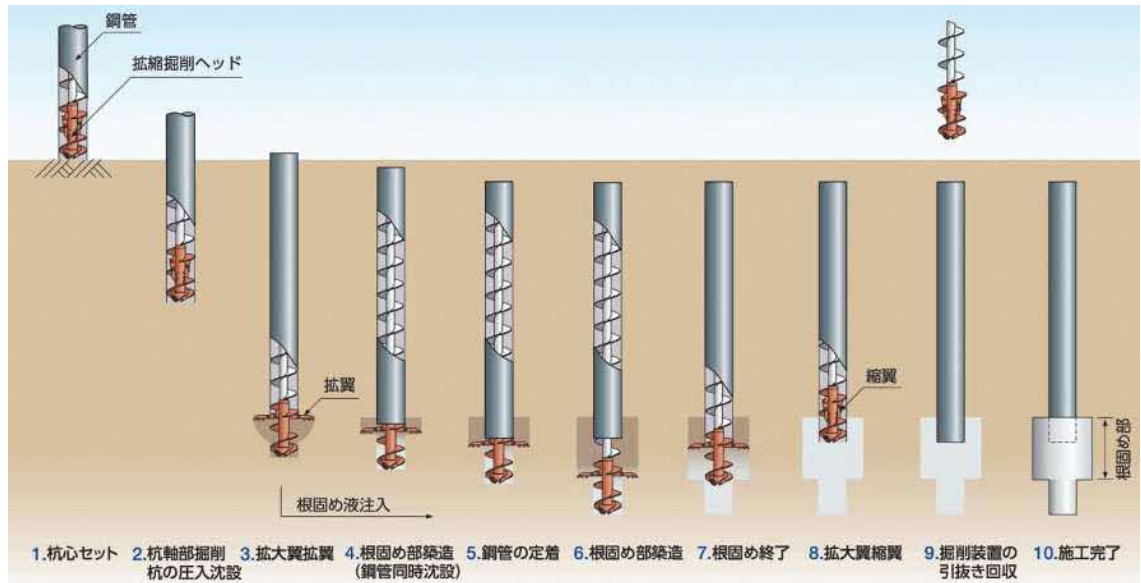


図 5-1-6. 中掘り鋼管杭工法の概念図 (WEB 資料)

但し一方、中掘り杭工法はオーガーの径が限られるため大径の礫があった場合、その処理が困難である事、及び大深度施工の場合は大型の圧入装置が必要で施工が大掛かりになり工費が高くなる事などの弱点もある。(但し、今般の対象地盤は大径の礫は無いものと判断される)

- ・回転杭工法について

近年、鋼管杭を用いた「回転圧入工法」が普及しつつある。これは鋼管杭を三点式杭打機や全周回転機（チュービングマシン）を用いて地盤に回転圧入するもので、鋼管杭の先端に鋼板の回転翼を取付け、それを地盤に捻り込む形態の工法（つばさ杭工法・NSエコパイル工法 等）の実績が伸びている。



図 5-1-7. 回転圧入鋼管杭の例（つばさ杭）と施工イメージ〔メーカーHP〕

回転圧入鋼管杭はその機構上、中間硬質土層の打ち抜きや摩擦力の大きな土層中への長尺杭の施工に制限があるものの、無振動・無騒音で無排土施工ができること、支持力が大きく高品質な基礎が施工できること、地震動に強く工法が簡単で工期が短いなどの優れた特長があり、今後施工が伸びてゆくものと期待される。

## 5-2. 地盤物性値の取りまとめ

調査結果を基に、基礎杭等の設計に供する地盤の物性値を取りまとめる。

### 5-2-1. 物性値の決定方法

#### (1). 土の単位体積重量

基本的な物性値の1つで、通常湿潤時の単重 $\gamma_t$ を用い基礎の設計に供する。統計的に得られた一般値が各指針に示されていることより、土の硬さ・締まり具合（N値）を参考に決定する。

表 5-2-1. 土の単位体積重量（ $\text{kN/m}^3$ ）

| 土質    | 湿潤単位体積重量<br>(地下水位以浅) |             | 飽和単位体積重量<br>(地下水位以深) |             | 水中単位体積重量<br>(地下水位以深) |             |
|-------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
|       | ゆるい<br>(やわらかい)       | 密な<br>(かたい) | ゆるい<br>(やわらかい)       | 密な<br>(かたい) | ゆるい<br>(やわらかい)       | 密な<br>(かたい) |
| 礫     | 18                   | 20          | 19                   | 21          | 9                    | 11          |
| 砂     | 16                   | 18          | 17                   | 19          | 7                    | 9           |
| シルト   | 14                   | 16          | 15                   | 17          | 5                    | 7           |
| 粘土    | 13                   | 15          | 14                   | 16          | 4                    | 6           |
| 関東ローム | 12                   | 14          | 13                   | 15          | 3                    | 5           |
| 高有機質土 | 9                    | 12          | 10                   | 13          | 0                    | 3           |

出典：建築基礎構造設計指針第3版

#### (2). 土の一軸圧縮強度

一軸圧縮強度  $q_u$  は粘性土が杭周面に作用する摩擦力の算定に用いる重要な物性値である。現在、建築基礎設計指針をはじめとする各基準書では、N 値と一軸圧縮強度の相関性があまり良くない事より、原則として地中から採取した試料により力学試験を実施して求めるように記載されている。しかし、現実には十分な質・量のサンプリングや力学試験が行われる事は殆ど無い。また、本地盤のように洪積世の比較的硬い粘性土が主体を占める場合は N 値からの推定値も比較的順当な値を得られると考えられるため、ここでは従来からの方法を踏襲する。

表5-2-2. 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<sup>1)</sup>)

| N 値   | $q_u$ ( $\text{kN/m}^2$ ) | コンシステンシー |
|-------|---------------------------|----------|
| 0～2   | 0.0～24.5                  | 非常に柔らかい  |
| 2～4   | 24.5～49.1                 | 柔らかい     |
| 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     |

出典：土質調査法（地盤工学会刊）

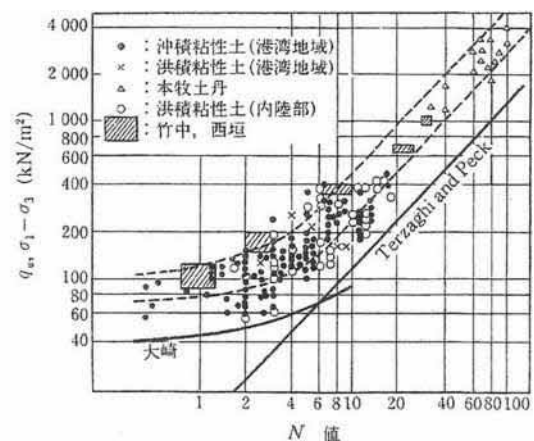


図5-2-1.  $q_u$  と N 値との関係 (奥村に加筆修正)

N 値と一軸圧縮強度  $q_u$  の相関性を表した数式には次のようなものがある。

- ・ Terzaghi-Peck 式  $q_u = 12.3N \sim 13.1N \div 12.5N$  (kN/m<sup>2</sup>)
- ・ 大崎式  $q_u = 40 + 5N$  //
- ・ 西垣, 奥村式  $q_u = 25N \sim 50N$  (但し,  $N > 4$ ) //

実際には Terzaghi-Peck 式が用いられることが多いが、この式は実際の測定値よりかなり低い値を示すことが多く、特に N 値の低いエリアで較差が大きくなる。建築分野では大崎式も比較的使われる例が多く、N 値の低い軟弱土でもそれほど実測値との差は大きくならないとされている。

双方の算式の値は N 値=6 付近で交差する事より、ここでは、N 値=6 未満の場合は大崎式を、N 値=6 以上の場合は Terzaghi-Peck 式を用いて  $q_u$  を算出するものとする。

### (3). セン断波速度

せん断波速度  $V_s$  は基礎のせん断剛性や変形係数を導く定数として広く用いられている。原則として PS 検層試験から求められるが、N 値からの推定法も提案されている。

$$V_s = aN^b + c \quad (\text{m/sec})$$

出典：建築基礎構造設計指針第 3 版

表 5-2-3.  $V_s$  計算式の各係数表

| 土質区分 |     | 係数  |      |     |
|------|-----|-----|------|-----|
|      |     | $a$ | $b$  | $c$ |
| 沖積層  | 粘性土 | 50  | 0.42 | 0   |
|      | 砂質土 | 90  | 0.30 |     |
|      | 礫質土 | 80  | 0.38 |     |
| 洪積層  | 粘性土 | 130 | 0.29 |     |
|      | 砂質土 | 110 | 0.30 |     |
|      | 礫質土 | 140 | 0.26 |     |

### (4). 地盤反力係数

地盤反力係数  $E$  は地盤中の杭の特性値  $\beta$  を求め、水平変位や沈下検討にも用いられる。孔内水平載荷試験の変形係数として求められるが、N 値との相関性も比較的良好である事が知られている。通常、N 値から  $E$  を推定する場合、次式が用いられることが多い。

$$\text{地盤反力係数 } E = 700N \quad (\text{kN/m}^3)$$

式及び図の出典：地盤調査の方法と解説

但し、前章に示した通り特に「沖積層」については  $E=700N$  ではやや過大な値となりかねないので、 $E=500N$  として換算するものとする。

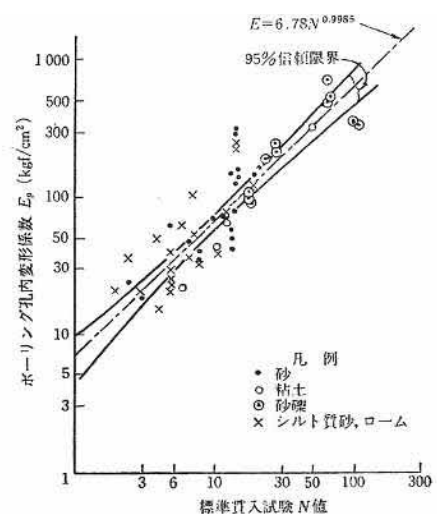
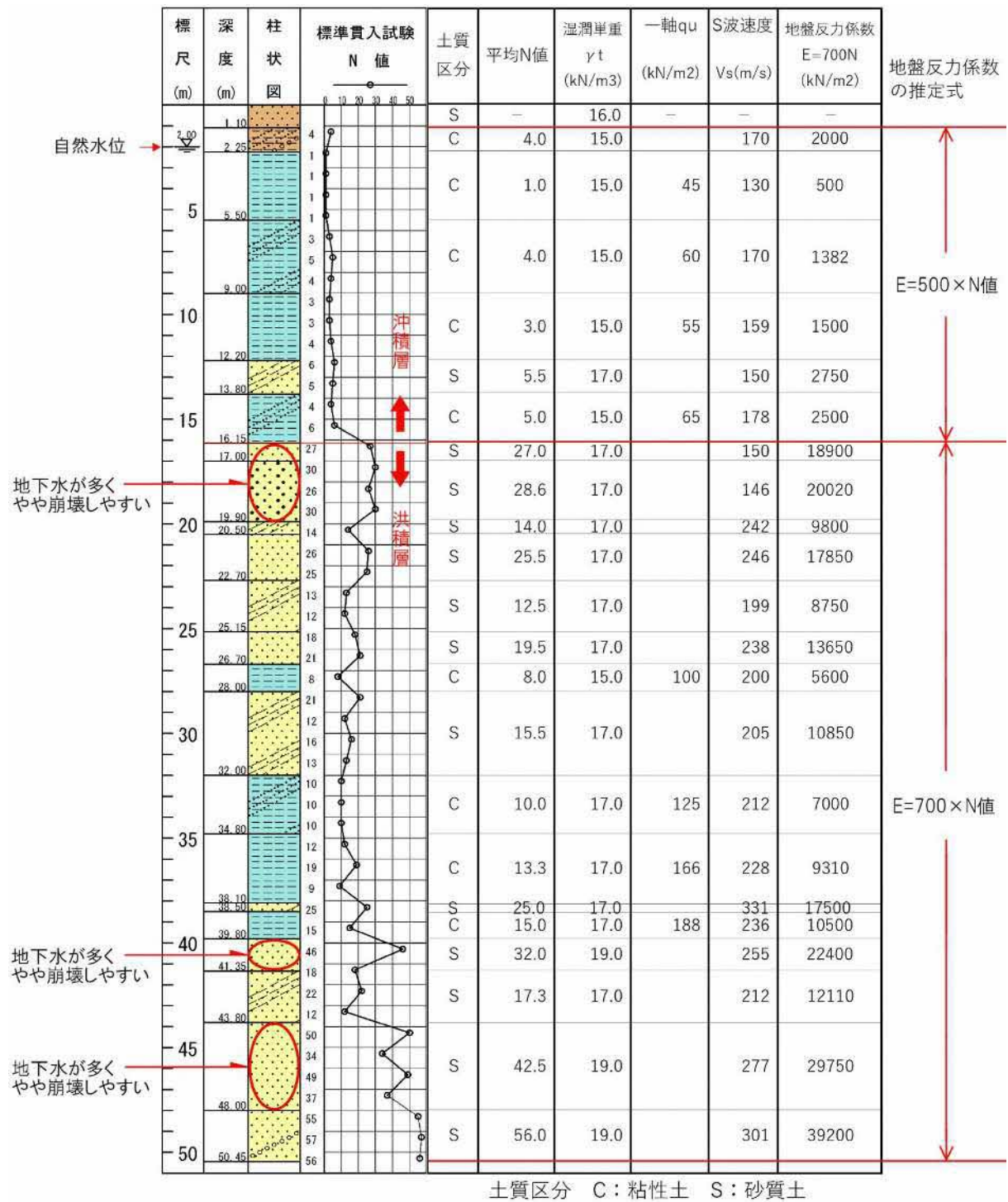


図5-2-2. N 値とボーリング孔内変形係数 (吉中<sup>57)</sup>加筆修正)



## 5-2-2. 地盤物性値の検討結果

表 5-2-4. 物性値の総括表 No.1



※ 変形係数 E については、平均 N 値より沖積層で  $E=500N$  とした。これは、孔内水平載荷試験の結果より通常の相関値 ( $E=700N$ ) より低い変形係数となったことより、N 値の低い沖積層に対してのみ値を低減したものである。なお、洪積層に関しては通常の相関関係の  $E=700N$  を採用した。

### 5-3. 地盤種別の検討

地盤種別は地震動に対する地盤の硬軟の状態を表す。建築物の基礎地盤の場合は「昭和 55 年建設省告示第 1793 号（告示 1793 号）」より判断する。

○建築基準法施行令第八十八条第一項、第二項及び第四項の規定に基づくZの数値、 $R_t$ 及び $A_i$ を算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する基準（一部抜粋）

（昭和五十五年十一月二十七日）

第二  $R_t$ を算出する方法

（建設省告示第千七百九十三号）

|                                                                          |                                                                                                                                                                                                   |     |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tc 建築物の基礎の底部（剛強な支持ぐいを使用する場合にあつては、当該支持ぐいの先端）の直下の地盤の種別に応じて、次の表に掲げる数値（単位 秒） |                                                                                                                                                                                                   |     |
| 第一種地盤                                                                    | 岩盤、硬質砂れき層その他主として第三紀以前の地層によつて構成されているもの又は地盤周期等についての調査若しくは研究の結果に基づき、これと同程度の地盤周期を有すると認められるもの                                                                                                          | ○・四 |
| 第二種地盤                                                                    | 第一種地盤及び第三種地盤以外のもの                                                                                                                                                                                 | ○・六 |
| 第三種地盤                                                                    | 腐植土、泥土その他これらに類するもので大部分が構成されている沖積層（盛土がある場合においてはこれを含む。）で、その深さがおおむね三十メートル以上のもの、沼沢、泥海等を埋め立てた地盤の深さがおおむね三メートル以上であり、かつ、これらで埋め立てられてからおおむね三十年経過していないもの又は地盤周期等についての調査若しくは研究の結果に基づき、これらと同程度の地盤周期を有すると認められるもの | ○・八 |

〔出典：国交省 HP〕

地盤種別は同告示によると第一種、第二種、第三種地盤に区別されている。端的に言えば次のような区分となる。

- ・第一種地盤 － 硬い地盤
- ・第二種地盤 － 中間の地盤
- ・第三種地盤 － 軟弱な地盤

調査地盤は長尺杭が予定されるが、支持層としては洪積世（第四紀）の砂層であり、「第一種」にはならない。また、30m以上の軟弱層がある「第三種」地盤でも無い。よって、調査地の地盤種別は「第二種地盤」と判断する。

#### 5-4. 地盤の液状化検討

地盤の液状化現象とは、地下水で飽和した緩い砂地盤に地震動が作用した場合、一時的な間隙水圧の急増により砂粒子が浮遊した状態になり、地盤は液体と同様の拘束力を失った状態となる事である。構造物基礎に対する液状化の影響は、建物の変位や倒壊に至る場合もあり、阪神大震災・東日本大震災を経て、確実な対応が求められてきている。

##### 5-4-1. 液状化判定基準

地盤の液状化判定は「建築基礎構造設計指針」(第3版)、液状化に対する安全率: $F_L$ により判断する。

##### 1). 液状化判定の対象とすべき土層

液状化の判定を行う必要がある土層は次の各項に全て該当するものとする。(一般地盤)

- ・ 地下水位以深の飽和土層
- ・ 地表面から 20m 以浅の沖積層
- ・ 細粒分含有率: FC が 35% 以下の土

※ 深度 20m までの土層の内、下部は洪積層とみられるが、検証のため沖積層と仮定して一般的な液状化判定を行う

##### 2). 液状化の安全率: $F_L$ 算定式 (建築基礎構造設計指針第三版 (2019))

下式により、液状化に対する安全率:  $F_L$  を算出し、

$1 < F_L$ : 液状化しない

$F_L \leq 1$ : 液状化する可能性がある と判断する

$$F_L = \frac{\tau_L / \sigma_z'}{\tau_d / \sigma_z'}$$

$F_L$  : 液状化に対する安全率

$\tau_L / \sigma_z'$  : 補正N値  $N_a$  に対応する飽和土層の液状化抵抗比 (=R)

$\tau_L / \sigma_z' = R$  は図 5-4-1 より歪み振幅 5% の曲線より求める

$\tau_d / \sigma_z'$  : 等価な繰返しせん断応力比 = L

$\tau_L$  : 水平面における液状化抵抗 (kN/m<sup>2</sup>)

- ・ 地盤内に発生する等価な繰返しせん断応力比

$$\frac{\tau_d}{\sigma_z'} = \gamma_n \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma_z'} \gamma_d$$

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

$$\gamma_d = 1 - 0.015z$$

$\tau_d$  : 水平面に生じる等価一定繰返し剪断応力 (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma_z'$  : 検討深さにおける有効土被り圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$\gamma_n$  : 等価繰返し回数における補正係数

$\alpha_{max}$  : 地表面における設計用水平加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$$\alpha_{\max}=1.5\sim 2.0 \text{ m/s}^2 \quad (2.0 \text{ m/s}^2 \text{ を用いる})$$

$$\alpha_{\max}=3.5 \text{ m/s}^2$$

$g$  : 重力加速度 (=9.8 m/s<sup>2</sup>)

$M$  : 自身のマグニチュード (通常  $M=7.5$  )

$\sigma_z$  : 検討深さにおける全土被り圧

$\gamma_d$  : 地盤が剛体で無いことによる低減係数

$z$  : 地表面からの検討深さ (m)

・ 対応する深度の補正N値  $N_a$

$$N_a = N_1 + \Delta N_f$$

$$N_1 = C_n N$$

$$C_n = \sqrt{\frac{100}{\sigma_z'}}$$

$N_1$  : 換算N値

$C_n$  : 拘束圧に関する換算係数

$\Delta N_f$  : 細粒分含有率  $F_c$  に応じた補正N値の増分 (図 5-4-2)

$N$  : 測定N値

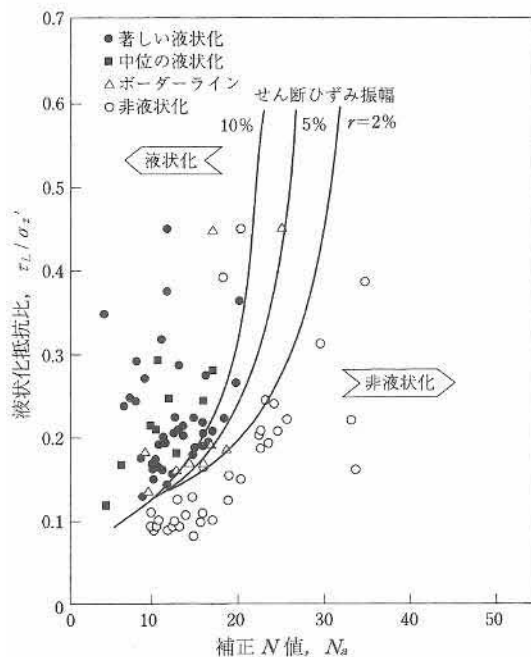


図5-4-1. 補正N値と液状化抵抗、動的せん断ひずみの関係

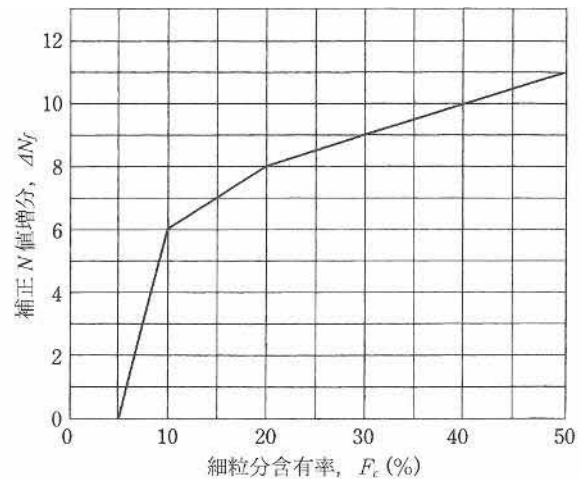


図5-4-2. 細粒分含有率とN値の補正係数

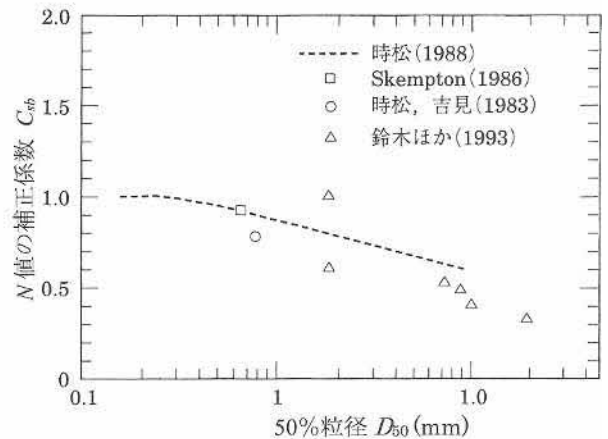


図5-4-3. 砂礫地盤のN値補正係数

## 5-4-2. 安全率：FL の算定

### 1). No.1 地盤

調査結果をまとめ、算定諸元を次の通りとする。

表 5-4-1. 液状化判定用地盤諸元表 (No.1)

| 標尺<br>(m) | 深度<br>(m) | 柱状<br>図 | 標準貫入試験<br>N 値<br> | 試験<br>NO. | 粒度上の<br>土質区分 | 液状化<br>判定<br>の要否 | 湿潤単重<br>$\gamma_t$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | 飽和単重<br>$\gamma_{sat}$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | 細粒分<br>含有率<br>Fc (%) | 平均粒径<br>D <sub>50</sub><br>(mm) |
|-----------|-----------|---------|-------------------|-----------|--------------|------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 5         | 1.10      |         | 4                 |           | 砂質土          | 否                | 16.0                                       | 17.0                                           |                      |                                 |
|           | 2.25      |         | 1                 |           | 粘性土          | 否                | 14.0                                       | 15.0                                           |                      |                                 |
|           | 5.50      |         | 1                 | 1-1       | 粘性土          | 否                | 14.0                                       | 15.0                                           | 76.8                 | 0.0065                          |
|           | 9.00      |         | 3                 | 1-2       | 粘性土          | 否                | 14.0                                       | 15.0                                           | 98.0                 | 0.0068                          |
| 10        | 12.20     |         | 3                 | 1-3       | 粘性土          | 否                | 14.0                                       | 15.0                                           | 90.6                 | 0.0102                          |
|           | 13.80     |         | 6                 | 1-4       | 砂質土          | 否                | 16.0                                       | 17.0                                           | 96.5                 | 0.0066                          |
|           | 16.15     |         | 4                 | 1-5       | 粘性土          | 否                | 14.0                                       | 15.0                                           | 89.8                 | 0.0095                          |
|           | 17.00     |         | 27                | 1-6       | 砂質土          | 要                | 16.0                                       | 17.0                                           | 17.2                 | 0.2172                          |
| 20        | 19.90     |         | 30                | 1-7       | 砂質土          | 要                | 16.0                                       | 17.0                                           | 25.5                 | 0.1576                          |
|           | 20.50     |         | 14                |           |              |                  |                                            |                                                |                      |                                 |
|           |           |         |                   |           |              |                  |                                            |                                                |                      |                                 |

よって、試料 1-6, 1-7 について液状化検討を行う。そのほかの層は液状化しないものと判断する。



表 5-4-2. 液状化簡易判定結果（建築基礎構造設計指針（2019年））

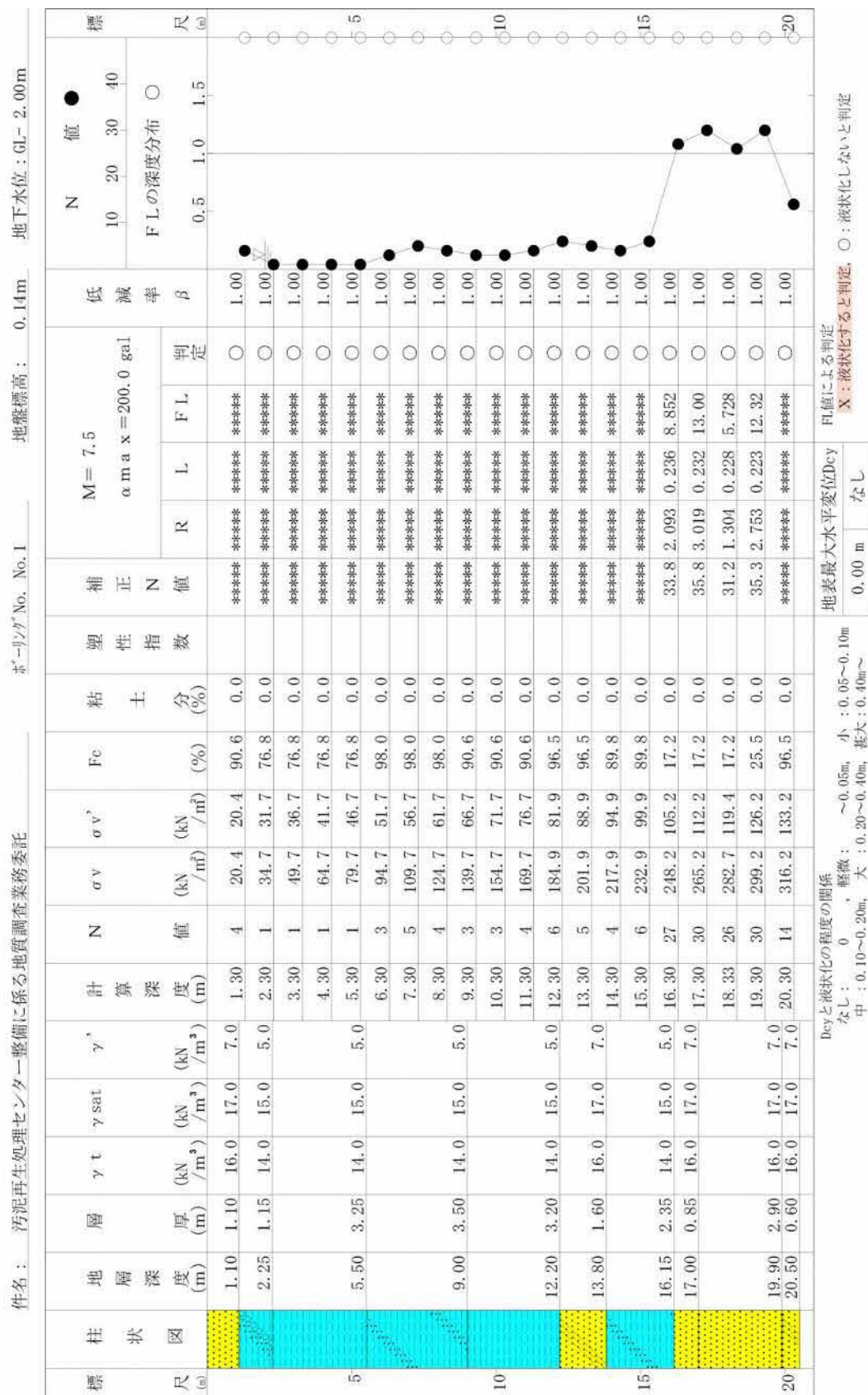
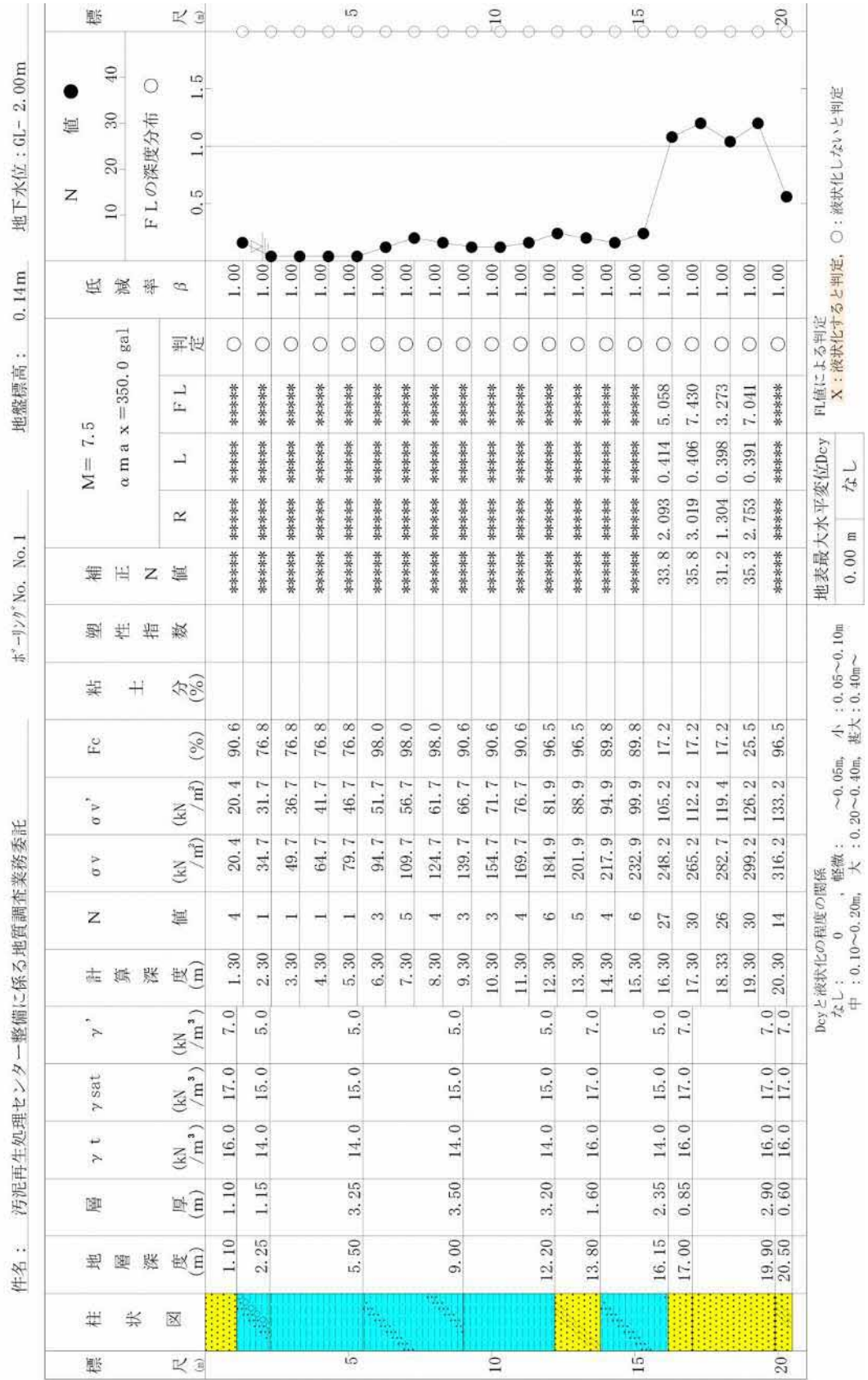
**M=7.5 200gal**

表 5-4-3. 液状化簡易判定結果（建築基礎構造設計指針（2019年））

**M=7.5 350gal**



### 5-4-3. 液状化判定の評価

#### 1). 液状化の程度の判断

液状化判定の結果、 $\alpha_{\max}=2.0\text{m/s}^2$  の場合と  $\alpha_{\max}=3.5\text{m/s}^2$  の場合では共に液状化する層が無いとされた。よって、本地盤について通常の地震動においては、液状化の発生する危険性は無いと判断する。

通常、液状化する可能性のある地盤の場合の程度の指標として地表最大水平変位  $D_{cy}$  値がある。

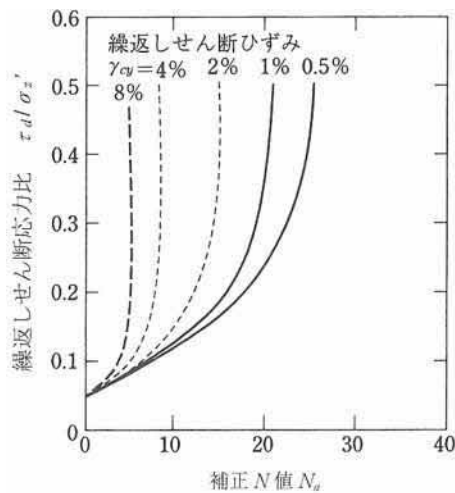


図 5-4-4. 補正  $N$  値と繰返しせん断ひずみの関係

表 5-4-4.  $D_{cy}$  と液状化の程度の関係

| $D_{cy}$ (m) | 液状化の程度 |
|--------------|--------|
| 0            | なし     |
| ~0.05        | 軽微     |
| 0.05~0.10    | 小      |
| 0.10~0.20    | 中      |
| 0.20~0.40    | 大      |
| 0.40~        | 甚大     |

出典：建築基礎構造設計指針第三版

$$D_{cy} = \sum \left( \frac{\gamma_{cyi} H_i}{100} \right)$$

$D_{cy}$  : 地表最大水平変位 (m)

$\gamma_{cyi}$  :  $i$  層 (液状化する層) の繰返しせん断歪み (%)

$H_i$  :  $i$  層の層厚 (m)

$D_{cy}$  値は液状化する層の  $\tau_d / \sigma'_v = L$  と補正  $N$  値 :  $N_a$  から図 5-4-4 によりひずみ率を求め、その層厚  $H_i$  を乗じた後、深部の方から積算した値である。 $D_{cy}$  値と液状化の程度については表 5-4-10 のように判断する。

表 5-4-5.  $D_{cy}$  値の集計表

|                                 | No.1 |
|---------------------------------|------|
| $\alpha_{\max}=2.0\text{m/s}^2$ | 0 m  |
| $\alpha_{\max}=3.5\text{m/s}^2$ | 0 m  |

単位 : m

$D_{cy}$  値の集計結果より液状化すると判断された層はみられなかった。

## 2). 液状化が想定される場合の基礎設計

一般に液状化する地盤に対する基礎（杭）に対する設計上の考慮基準は次のように示される。

### 3. 液状化の考慮

#### 3.1 杭基礎（水平地盤反力係数の低減および支持力）<sup>2)</sup>

液状化の可能性がある地盤において、杭の水平力に対する検討を行う場合、液状化層の水平地盤反力係数  $k_{hL}$  および塑性水平地盤反力  $p_{yL}$  を (10)、(11) 式により低減する。

$$k_{hL} = \frac{\beta_L k_{h0}}{\sqrt{\frac{y_r}{0.01}}} \quad (10)$$

$$p_{yL} = \alpha_L \cdot p_y \quad (11)$$

$\alpha_L = \beta_L$  : 補正係数

$k_{h0}$  : 基準水平地盤反力係数 (kN/m<sup>2</sup>)

$y_r$  : 液状化を考慮した杭と地盤の相対変位 (m)

$\alpha$  : 塑性水平地盤反力の低減係数

$p_y$  : 砂質土の塑性水平地盤反力度

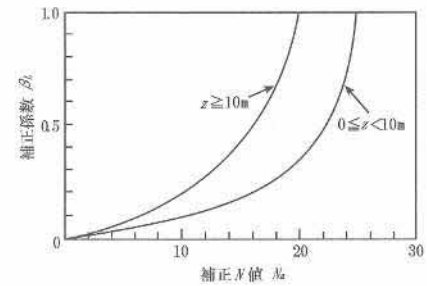


図-2 水平地盤反力係数の低減率

$\beta_L$ は図-2より求める。 $\alpha_L$ は暫定的に $\alpha_L = \beta_L$ としてよいとされている。これは、液状化地盤の最大地盤反力が全上載圧の0.2～1.0倍程度になっていることに対応する。

杭の支持力については液状化により液状化層を含んでそれ以浅の摩擦力が失われる<sup>1)</sup>ことを考慮する必要がある。

出典：大阪府構造計算適合性判定 指摘事例集

原典：国交省2020年版建築物の構造関係技術基準解説書<sup>1)</sup>，建築基礎構造設計指針2019<sup>2)</sup>

つまり、液状化するとされる土層より上の層は、杭の周面摩擦力を低減または無視すると共に、液状化する土層の水平地盤反力係数  $k_{hL}$  を低減する処置が必要となるものである。