

建設地

地質・地下水調査報告書

一般廃棄物処理施設整備
地質調査・地下水調査業務委託

報 告 書

令和 1 年 1 1 月

秋田ボーリング株式会社

はじめに

本報告書は能代山本広域市町村圏組合の発注を受け、秋田ボーリング株式会社が実施した「一般廃棄物処理施設整備地質調査・地下水調査業務委託」についての調査結果をとりまとめたものである。

本業務は能代山本広域市町村圏組合が計画している一般廃棄物処理施設建設位置において地質調査及び地下水調査を実施し、新設される処理施設の設計・施工に資することを目的としている。

ここに、調査・試験及び解析・とりまとめ作業が終了しましたので御報告致します。

令和 元年 11 月

秋田ボーリング株式会社

代表取締役 福岡 健

目 次

調査地点案内図

調査位置平面図

1. 業務概要	1
1.1 業務目的	1
1.2 業務概要	1
1.3 調査実施数量	2
2. 調査方法	3
2.1 使用機材	3
2.2 機械ボーリング	4
2.3 標準貫入試験	5
2.4 室内土質試験	8
2.5 電気検層	9
3. 調査地周辺の地形・地質概要	10
3.1 調査地周辺の地形・地質	10
3.2 調査地近傍の活断層	14
4. 調査結果	17
4.1 地盤構成	17
4.2 標準貫入試験結果	20
4.3 孔内水位	22
4.4 室内土質試験結果	23
4.5 地下水調査結果	26
4.5.1 地下水調査 No.1 (深井戸：深度 70.0m)	28
4.5.2 地下水調査 No.2 (浅井戸：深度 12.0m)	33
5. 考 察	36
5.1 地盤定数の提言	36
5.1.1 設定方法	36
5.1.2 地盤定数	38
5.2 地震時の液状化の判定	39
5.2.1 液状化判定条件及び判定方法	39
5.2.2 液状化判定結果	44
5.3 支持地盤及び基礎形式について	47

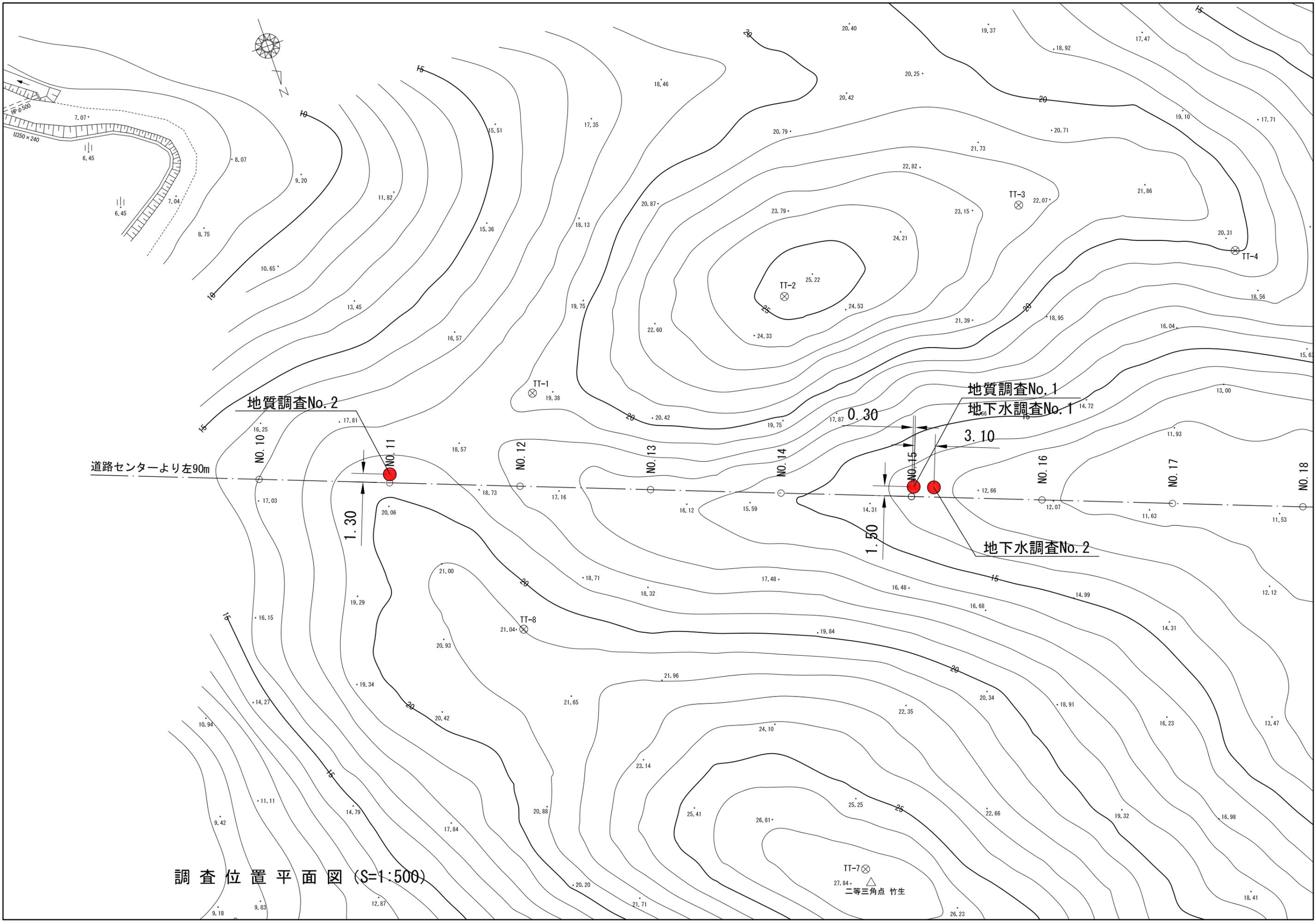
5.4 地下水利用について	51
使用図書・文献	56

< 巻末資料 >

- ボーリング柱状図
- 室内土質試験データ
- 液状化検討データ
- さく井地質柱状図
- 電気検層データ
- 揚水試験データ
- 水質検査結果書
- 現場写真及び室内試験写真



調査地点案内図



調査位置平面図 (S=1:500)

1. 業務概要

1.1 業務目的

本業務は、能代山本広域市町村圏組合が計画している新たな一般廃棄物処理施設建設位置における、概ねの地盤構成を把握するための「地質調査」と、飲料水及び施設利用のための「地下水調査」である。

1.2 業務概要

- ① 業務名 : 一般廃棄物処理施設整備地質調査・地下水調査業務委託
- ② 業務箇所 : 能代市竹生字天神谷地 地内
- ③ 工期 : 令和元年7月19日 ~ 令和元年11月29日
- ④ 業務内容 :
- | | | |
|----------------------|-------|--------------|
| 機械ボーリング (φ=66mm ノコア) | 2箇所 | 延べ掘進長 113.0m |
| 標準貫入試験 | 1m掘削毎 | 計 113回 |
| 室内土質試験 | | 1式 |
| 液状化解析 | | 1式 |
| 機械ボーリング (φ=86mm ノコア) | 2箇所 | 延べ掘進長 82.0m |
| 電気検層 | | 1式 |
| パイプ設置 (VP50) | 2箇所 | 延べ 62m |
| 簡易揚水試験 | | 2孔 |
| 水質検査 | | 2検体 |
- ※詳細数量を次節に示す。
- ⑤ 発注者 : 能代山本広域市町村圏組合
理事会代表理事 斎藤 滋宣 様
- ⑥ 受注者 : 秋田ボーリング株式会社
秋田県秋田市茨島2丁目1-27
代表取締役 福岡 健
TEL 018-862-4691
FAX 018-862-4719

1.3 調査実施数量

本業務における調査実施数量を表 1.3.1 にまとめる。

表 1.3.1 調査実施数量表

種 別	摘 要	単 位	実 績 数 量				
			地質調査		地下水調査		
			No. 1	No. 2	No. 1	No. 2	計
機械ボーリング (φ66mm/ソコア)	粘性土・シルト	m	17.80	21.50	—	—	39.30
	砂・砂質土	m	21.50	25.70	—	—	47.20
	礫まじり土砂	m	13.70	12.80	—	—	26.50
	合計	m	53.00	60.00	0.00	0.00	113.00
機械ボーリング (φ86mm/ソコア)	粘性土・シルト	m	—	—	29.30	0.00	29.30
	砂・砂質土	m	—	—	27.00	12.00	27.00
	礫まじり土砂	m	—	—	13.70	—	13.70
	合計	m	0.00	0.00	70.00	12.00	70.00
標準貫入試験	粘性土・シルト	回	18	22	—	—	40
	砂・砂質土	回	22	24	—	—	46
	礫まじり土砂	回	13	14	—	—	27
	合計	回	53	60	0	0	113
ケーシング材料	VP50ねじ加工管 2.00m	本	—	—	25.5	6.5	32
ストレーナー加工	丸穴加工・網巻き	m	—	—	16	1	17
室内土質試験	粒度（ふるい分析）	試料	10	—	—	—	10
液状化解析	簡便法	業務	1	—	—	—	1
備考：							

2. 調査方法

2.1 使用機材

主要資機材の一覧を表 2.1.1 に示す。

表 2.1.1 主要資機材一覧表

調査項目	使用資機材名	型 式 ほか	能力・仕様	数 量
機械ボーリング	試錐機	利根製 TEC-1Z	鉛直 200m	1 台
	エンジン	ヤンマーNFD12	12 馬力	1 台
	ポンプ	利根製 機械内蔵型	40 ㎥/min	1 台
	ツールス	ロッド、コアチューブ 他	—	1 式
標準貫入試験	SPT サンプラー	JIS A 1219	—	1 式
	打撃装置	半自動落下装置・ハンマー・ガイドロッド・アンビル	—	1 式
運搬・仮設	移動式クレーン	古河ユニック V290 型	定格荷重 2.93t	1 台
	クローラーキャリア	ヤンマーC30R-3	最大積載量 2.50t	1 台
	足場材	単管パイプ、クランプ、足場板	—	1 式

2.2 機械ボーリング

(1) 目的

調査対象箇所における地質構成の確認並びに標準貫入試験深度までの掘削を目的とした。

(2) 方法

- ・使用機種は能力的に余裕のある hidroリックフィード型ロータリー式ボーリングマシンを用い、掘削径 $\phi 66\sim 86$ mm で鉛直下方向にノンコアリング方法で掘削した。
- ・コア採取率を良くするため、土質にあった掘削方法・用具を選定した。
- ・水位が確認されるまでは無水掘削とし、地下水位の把握に努めた。
- ・孔壁保護のためにケーシングを挿入する等、孔内事故防止に努めた。
- ・試料観察を十分に行い、土（岩）質、色調、混入物の種類および状態を記録した。

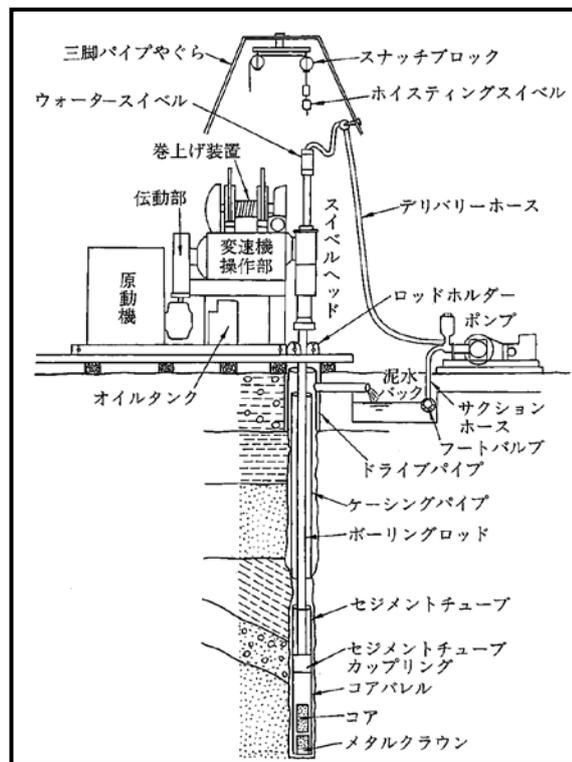


図 2.2.1 ハイドロリックフィード式ボーリングマシンの一般図

(3) 成果品

ボーリング柱状図（「ボーリング柱状図作成要領（案）解説書：JACIC」に基づく土質ボーリング様式）として整理し、巻末に付した。

2.3 標準貫入試験

(1) 目的

標準貫入試験 (SPT) は、SPT サンプラーを動的貫入することによって地盤の硬軟、締め具合の判定、及び土層構成を把握するための試料の採取を目的とする。

(2) 調査方法

標準貫入試験より求まる N 値は、質量 63.5kg のハンマーを 760mm の高さからアンビルに落下させ、SPT サンプラーを 300mm 打ち込むのに要した打撃回数で、試験方法及び器具は JIS A 1219 に準拠して行う。手順は以下の通りである。

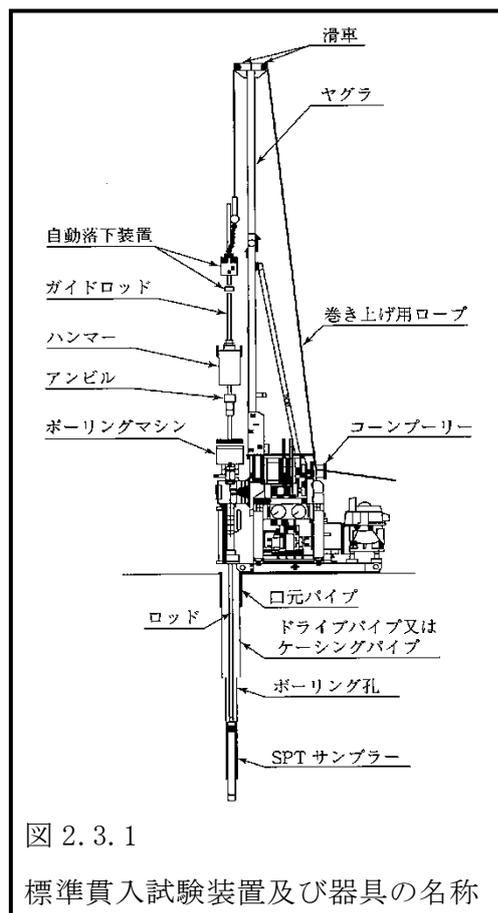
① 所定の深さまで試験孔を掘削し、試験孔底のスライムを取り除く。この際、孔底からの水の流入を生じないように、孔内の水位は地下水位より高い位置に維持する。

② ロッドの先端に SPT サンプラーを取り付け、試験孔底へ降ろす。そして、打撃装置 (アンビル、ガイドロッド、ハンマー及び自動落下装置) をセットする。

③ 質量 63.5kg のハンマーを 760mm の高さから自由落下させ、試験孔底から 150mm まで (自沈を含む) 予備打ちを行う。なお、軟弱な地盤ではハンマー落下高を小さくして軽打等によって貫入抵抗を確認しながら貫入する。また、 N 値 50 以上と想定される地盤では予備打ちを本打ちに代えることができる。

④ 予備打ち後、質量 63.5kg のハンマーを 760mm の高さから自由落下させ、SPT サンプラーを 300mm 貫入する (本打ち)。必要な打撃回数は 100mm 貫入ごとに記録する。ただし、打撃 1 回ごとの貫入量が 100mm を超えた場合は、その貫入量を記録する。

⑤ 本打ちの打撃回数は、特に必要のないかぎり 50 回を限度とする。予備打ち後に 300mm 貫入させるのに必要な全打撃回数をその試験区間の N 値とする。



- ⑥ 所定の打撃回数で貫入量が 300mm に達しない場合、打撃回数に対する貫入量を記録する。
- ⑦ 測定を終了した後、地表に SPT サンプラーを引き上げ、シュー及びカップリングを取り外し、スプリットバーレルを二つに割り、採取試料の観察を行う。

試験方法は先に述べたとおりであるが、JIS A 1219 ではこの他に「設計に用いる N 値を求めるための標準貫入試験仕様」として次のように規定している。本業務では、これに基づいた器具・方法により試験を実施した。

a. ロッドの仕様

ロッドは呼び径 40.5 を用いる。呼び径 40.5 のロッド質量は、カップリングを含め平均 $4.5\text{kg/m} \pm 0.3 \text{ kg/m}$ である。

b. SPT サンプラーの仕様

SPT サンプラーは図 2.3.2 に示す形状を標準とする。SPT サンプラーは、シュー、二つ割にできるスプリットバーレル及びカップリングからなる鋼製のもので、特にシューは損傷しにくい熱処理を施した構造用合金鋼製のもので、外面及び内面は摩擦の少ない仕上げ面をもつものとする。

c. ハンマーの仕様

ハンマーは、図 2.3.2 に示す形状を標準とする。ハンマーの質量は $63.5\text{kg} \pm 0.5\text{kg}$ とする。

d. アンビルの仕様

アンビルは、図 2.3.2 に示す形状を標準とする。

e. 落下方法

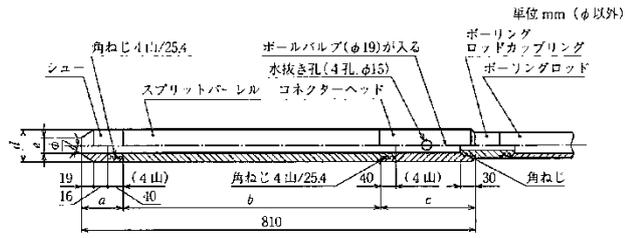
ハンマーの落下方法は自動落下（全自動落下型又は半自動落下型）とする。詳細は図 2.3.2 の自動落下装置例を参照

f. 掘削孔径

掘削孔径は、直径 65～150mm とする。

(3) 成果

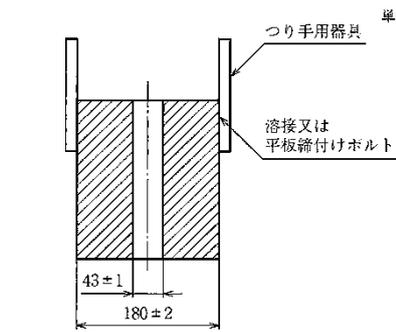
試験結果は、標準貫入試験より求まる N 値をボーリング柱状図に併記した。



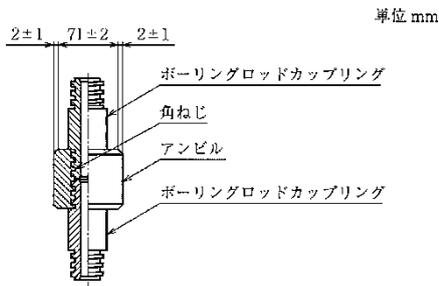
単位 mm (φ以外)

各部	全長	シュー長 <i>a</i>	バレル長 <i>b</i>	ヘッド長 <i>c</i>	外径 <i>d</i>	内径 <i>e</i>	シュー角度 ϕ	刃先内厚 <i>t</i>
寸法	810±1.0	75±1.0	560±1.0	175±1.0	51±1.0	35±1.0	19°45'±8'	1.15±0.05

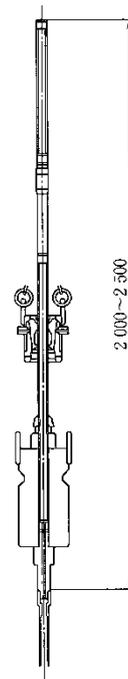
SPT サンプラーの標準形状及び寸法



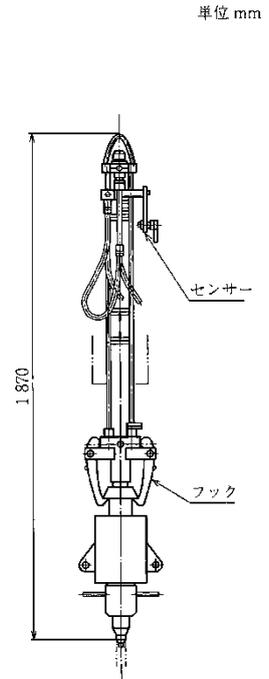
ハンマーの標準形状



アンビルの標準形状



a) つり上げ手動型 (半自動落下型)



b) つり上げ自動型 (全自動落下型)

自動落下装置の例

図 2.3.2 設計に用いるための標準貫入試験仕様

2.4 室内土質試験

(1) 目的

室内土質試験は、標準貫入試験により採取した攪乱試料を用いて、液状化の検討に必要な細粒土分含有率等を得ることを目的として物理試験を行った。

(2) 項目および方法

室内土質試験の項目及び方法（規格・基準）を下表に示す。

表 2.4.1 室内土質試験の項目及び方法

試験項目		試験方法 (規格・基準)
物理試験	土の粒度試験	JIS A 1204
備考	JIS・・・日本工業規格	

(3) 成果

各規格に準拠したデータシートに整理するほか、試験結果一覧表を作成した。

2.5 電気検層

裸孔の中で電流を流し電位を測定すると、孔の周りの地層の電気抵抗を知ることができる。これを比抵抗法と呼んでいる。この結果をプロットしたものを比抵抗曲線図と呼び、その抵抗は孔内の泥水・地層の性質・地下水の水質・裸孔の口径などの影響を受けている。測定方法は等間隔 a (m) ごとに4つの電極 ($C_1 P_1 P_2 C_2$) を配置し、外側の2電極 $C_1 C_2$ より直流電流 (I) を流す。この時流れる電流 (I) 及び中央の2電極 $P_1 P_2$ 間に生ずる電位差 (V) は大略電極間隔 a (m) に等しい距離までの孔内の地層の抵抗に支配される。

井戸パック 10 型比抵抗測定器では $V/I=R$ を直読することにより、この電極間隔 a (m) に対応する見掛けの比抵抗 ρ は下式より求められる。

$$P=4\pi aR \text{ (}\Omega\text{-m)}$$

通常2種類の電極間隔で測定しており、最小の電極間隔は裸孔内径に等しく、最大の電極間隔は一般にはその2~4倍としている。最小間隔は地層対比の目的で、最大間隔は見掛けの比抵抗値を求めるためである。

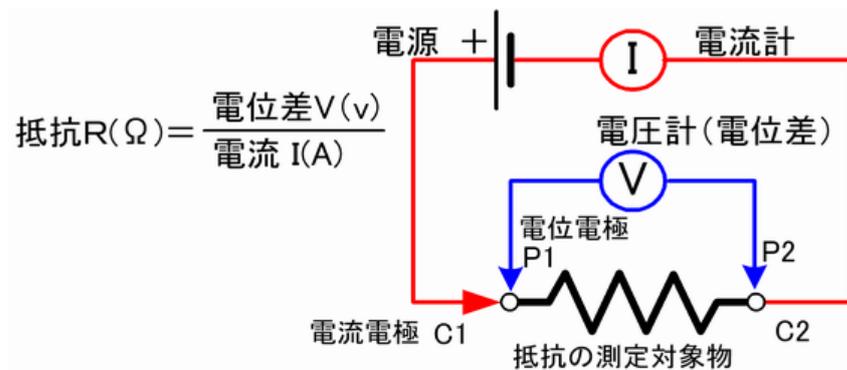


図 2.5.1 電気検層の原理

3. 調査地周辺の地形・地質概要

3.1 調査地周辺の地形・地質

当調査地は秋田県能代市竹生字天神谷地内に位置し、5万分の1地形図では「能代」図幅に包含され、「北部粗大ごみ処理工場」及び「道の駅みねはまポンポコ101」の南側の砂丘地上に位置している。

図3.1.1に能代図幅地域の地形分類図を示す。図幅内は北に山地があり、秋田県有数の河川である米代川の河口へ向かい丘陵、段丘、沖積低地と徐々に高度を下げている。調査地付近は米代川に比較的近いため丘陵や段丘は広い。これらの地形のうち、新たな一般廃棄物処理施設建設予定地は、日本海に沿って南北に延びる砂丘地上に位置する。砂丘の幅は0.4~3.0kmで、北から南へ向かって幅が広がっている。

調査地付近の地質は、図3.1.2に示す断面図より、新第三紀鮮新世天徳寺層に相当するシルト岩が基盤をなし、上位には未固結の土砂（礫・砂）が堆積し、さらにこの上位に砂丘堆積物である飛砂がやや厚く被覆している。なお、図3.1.4より基盤の分布深度は150m程度と想定される。

参考までに、図3.1.1に能代図幅地域の地形分類図、図3.1.2に調査地周辺の地質図、表3.1.3に地質総括図を示す。



I : 山地、II : 丘陵地、III : 段丘、IV : 沖積低地、V : 砂丘地

図3.1.1 能代図幅地域の地形分類図

「5万分の1地質図幅 能代地域の地質（地質調査所：昭和59年1月）p2」

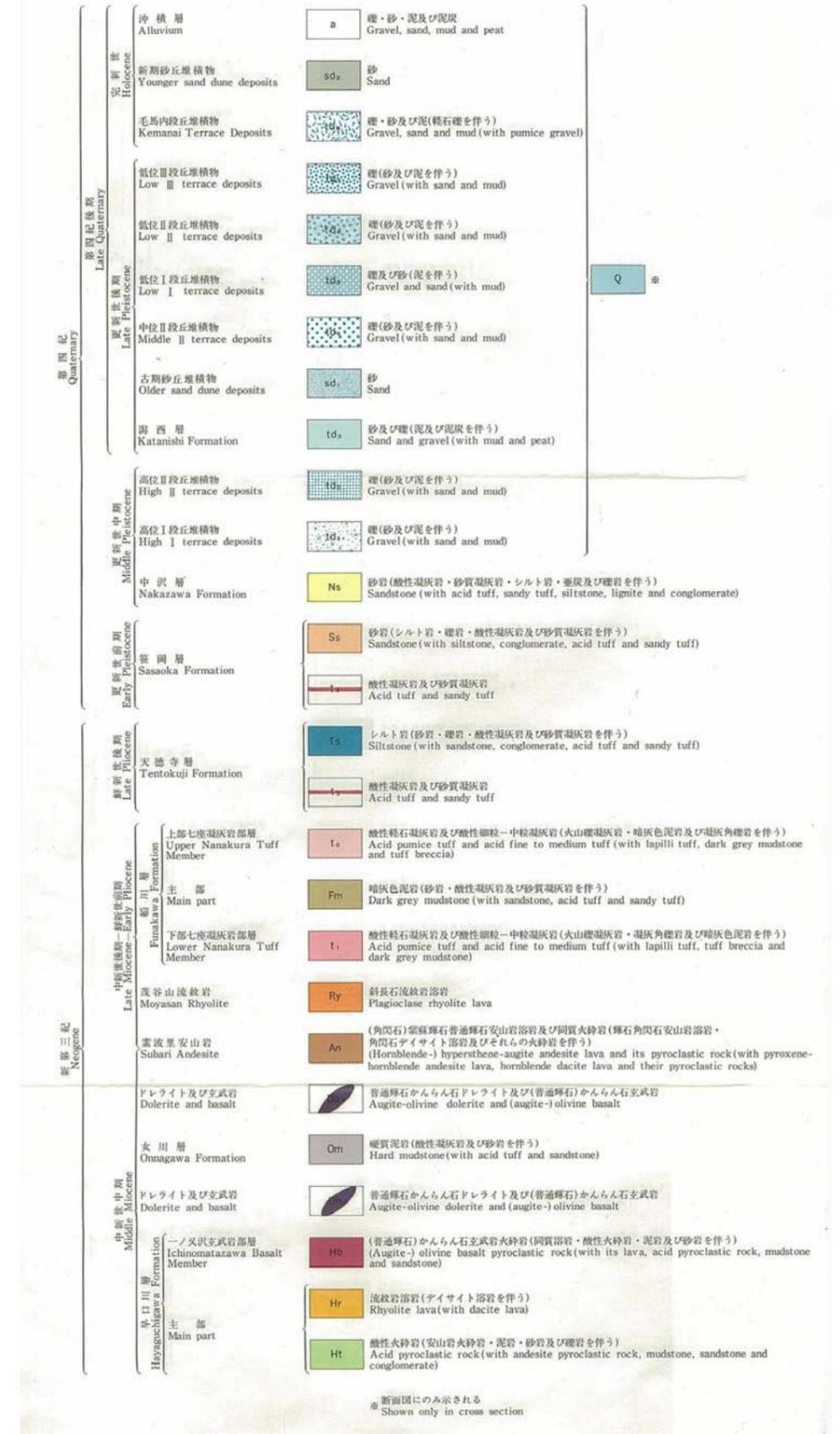
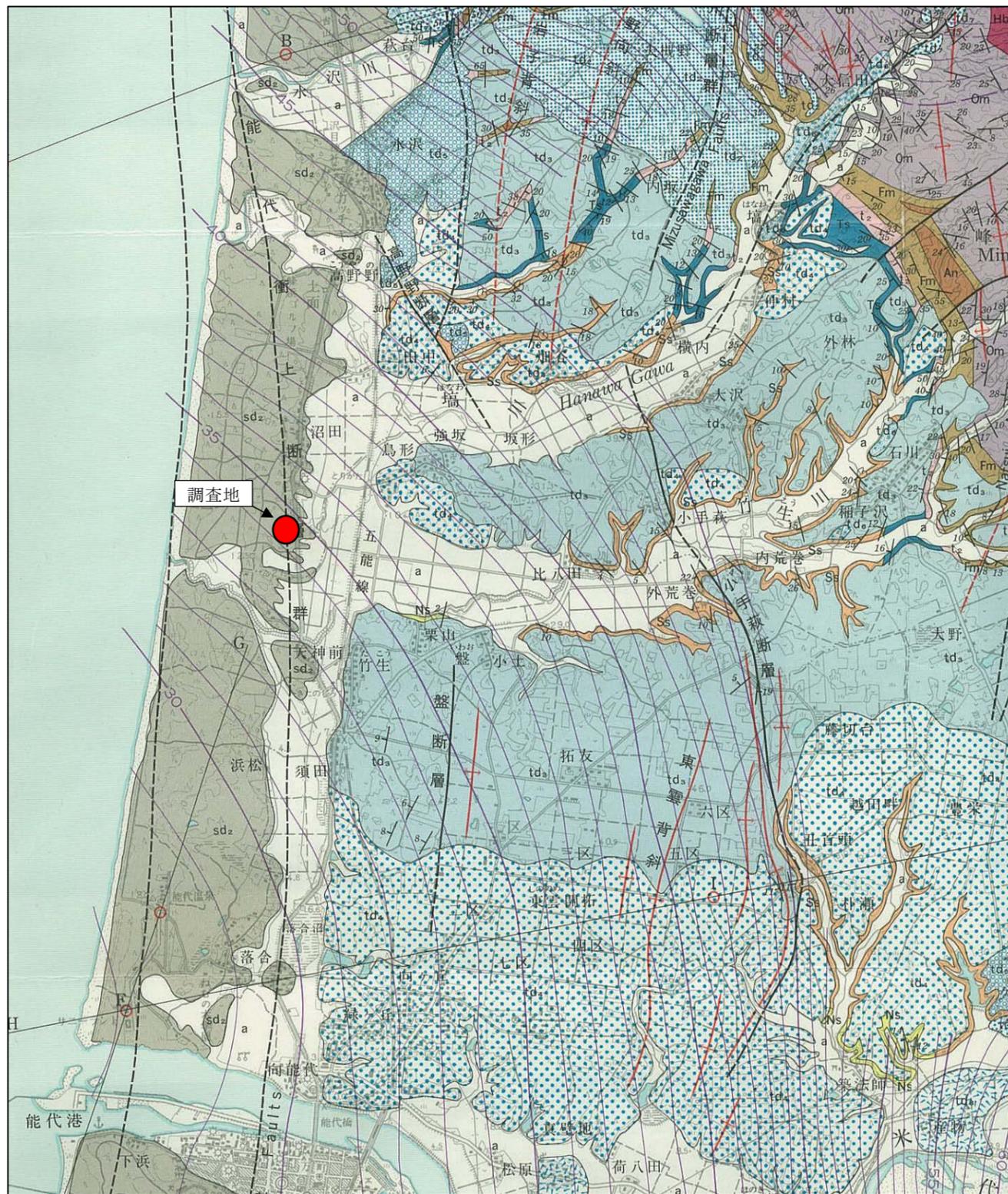


図 3. 1. 2 調査地周辺の地質図 (地質調査所「能代」より抜粋、一部加筆)

地質時代		層 序	模 式 図	岩 質	備 考
第 四 紀	完新世	沖積層・砂丘 堆積物・段丘 堆積物など		礫・砂・シルト・泥炭	能代衝上断層群 大桑・万願寺動物化石群
	更新世	中 沢 層 (40-420)		砂岩(酸性凝灰岩・砂質凝灰岩・シルト岩・亜炭・礫岩を伴う)	
		笹 岡 層 (100-300)		砂岩(シルト岩・酸性凝灰岩・砂質凝灰岩・礫岩を伴う)	
新 第 三 紀	鮮新世	天 徳 寺 層 (150-1,400)		シルト岩(砂岩・酸性凝灰岩・砂質凝灰岩・礫岩を伴う)	素波里安山岩の噴出 の貫入 ドレライト・玄武岩
	中新世	船川層 (150-1,200)	上部七座 凝灰岩部層	酸性軽石凝灰岩・酸性細粒-中粒凝灰岩 (火山礫凝灰岩・凝灰角礫岩を伴う)	
			下部七座 凝灰岩部層		
	女 川 層 (300-800)		硬質泥岩(酸性凝灰岩・砂岩を伴う) 海緑石砂岩	茂谷山流紋岩の噴出	
早川層 (450-650)	主 部 ノ又沢 玄武岩 部 層		酸性火砕岩(安山岩火砕岩・泥岩・礫岩を伴う) 玄武岩火砕岩(同質溶岩を伴う) 流紋岩溶岩	西黒沢階を有する 孔虫化石・台島型 植物化石	
		() : 層厚 (m)			

図 3.1.3 能代図幅地域の地質総括図

「5 万分の 1 地質図幅 羽後和田地域の地質 (地質調査所: 昭和 51 年 1 月) p7」

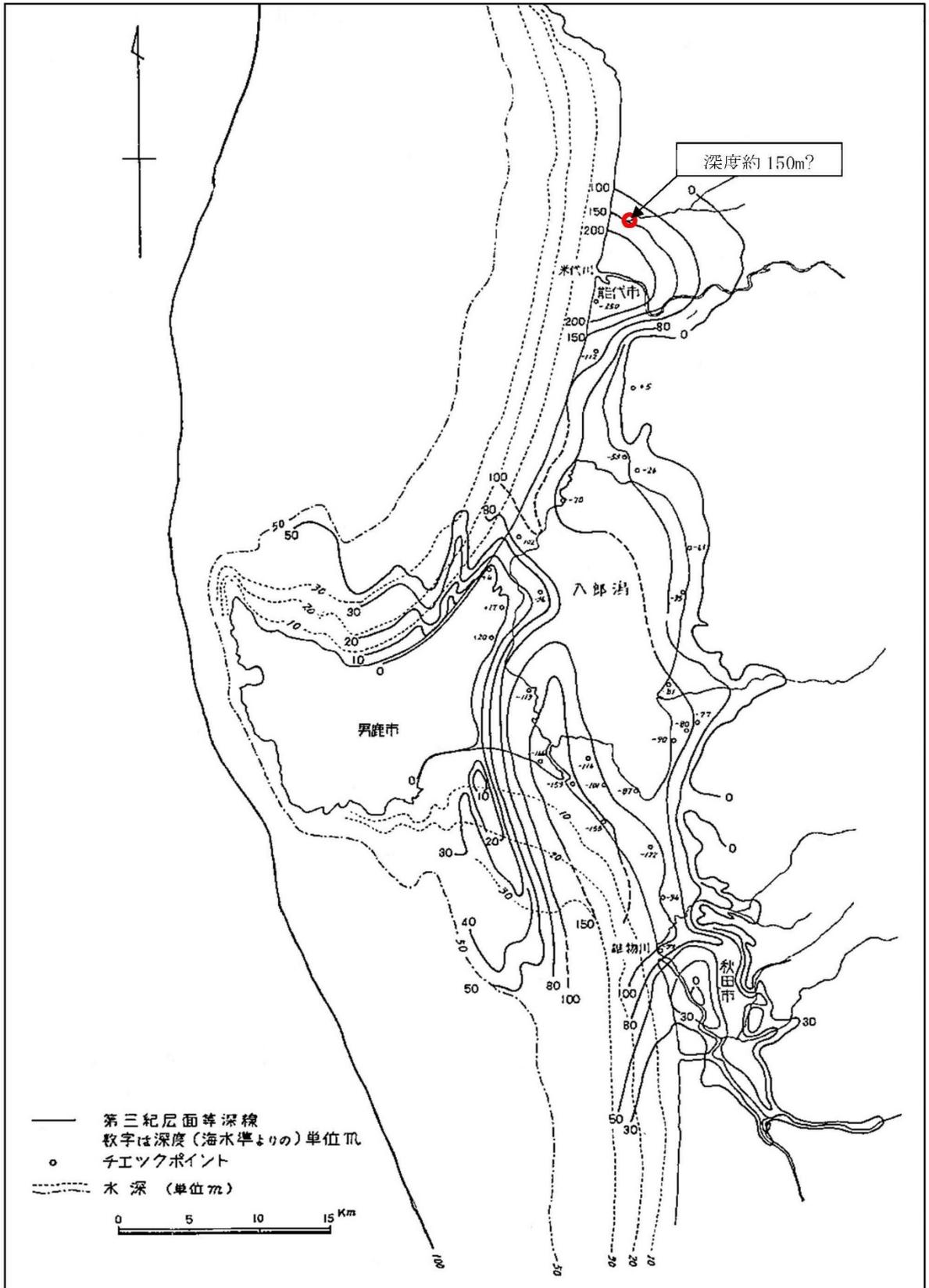


図 3.1.4 第三紀層面等深線図

3.2 調査地近傍の活断層

日本海沿岸には、調査地近傍の能代断層帯(能代衝上断層群)、県南部には北由利断層がほぼ南北に延びている。能代断層帯は北由利断層の延長部と考えられており、山本郡八峰町(旧峰浜村)から能代市を経て同郡三種町(旧八竜町)に至る断層帯である。長さ約 22km 以上で南北に延びており、断層の東側が相対的に隆起する逆断層である。新たな一般廃棄物処理施設建設予定地は、図 3.2.1 に示すように能代衝上断層群に近接している。

地震調査研究推進本部地震調査委員会によると、能代断層帯は図 3.2.1 に示す能代付近の断層、高野野^{こうやの}断層、小手萩断層、磐^{いわお}断層、逆川^{さかがわ}断層等で構成されており、過去の活動としては、平均的な上下方向のずれの速度が約 0.8~0.9m/千年と推定されている。また、最新活動は 1694 年(元禄 7 年)の能代地震であり、活動時には断層の東側が西側に対して相対的に 2~3m 程度隆起した可能性があるとされている。しかし、それ以前の活動に関しては詳細な時期は特定されていない。

能代断層帯の長期評価の概要を表 3.2.1 に示す。なお、この詳細については地震調査研究推進本部がインターネット上で公開している「能代断層帯の長期評価について」を参照されたい。

表 3.2.1 能代断層帯の将来の地震発生確率

項 目	特 性	信頼度 (注 1)
将来の活動区間 及び活動時の地震の規模	活動区間 断層帯全体で 1 区間 地震の規模 マグニチュード 7.1 程度以上 ずれの量 2-3m 程度(上下成分)	△ △ △
項 目	将来の地震発生確率 (注 3)	信頼度 (注 2)
地震後経過率 (注 4)	0.1-0.2	b
今後 30 年以内の地震発生確率	ほぼ 0%	
今後 50 年以内の地震発生確率	ほぼ 0%	
今後 100 年以内の地震発生確率	ほぼ 0%	
今後 300 年以内の地震発生確率	ほぼ 0%	
集積確率 (注 5)	ほぼ 0%	

注 1：信頼度は、特性欄に記載されたデータの相対的な信頼度を表すもので、記号の意味は次のとおり。

◎：高い、○：中程度、△：低い

注 2：地震後経過率、発生確率及び現在までの集積確率(以下、発生確率等)の信頼度は、評価に用いた信頼できる充足性から、評価の確からしさを相対的にランク分けしたもので、a から d の 4 段階で表す。各ランクの一般的な意味は次のとおりである。

a：(信頼度が)高い、b：中程度、c：やや低い、d：低い

注 3：評価時点はすべて 2005 年 1 月 1 日現在。「ほぼ 0%」は 10^{-3} %未満の確率値を示す。なお、計算に当たって用いた平均活動間隔の信頼度は低い(△)ことに留意されたい。

注 4：最新活動(地震発生)時期から評価時点までの経過時間を、平均活動間隔で割った値。最新の地震発生時期から評価時点までの経過時間が、平均活動間隔に達すると 1.0 となる。今回評価した数字のうち 0.1 は 311 年を 2900 年で、0.2 は 311 年を 1900 年で割った値である。

注 5：前回の地震発生から評価時点までの間に地震が発生しているはずの確率。

出典) 地震調査研究推進本部地震調査委員会:能代断層帯の長期評価について(平成 17 年 4 月 13 日)

http://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/12_noshiro.pdf



図 3.2.1 能代断層帯の位置

出典) 能代断層帯の長期評価について (地震調査研究推進本部地震調査委員会: 平成 17 年 4 月 3 日) に加筆
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/12_noshiro.pdf

4. 調査結果

4.1 地盤構成

ボーリング調査(地質調査)により把握した地盤構成は、標準貫入試験の N 値を併記し、ボーリング柱状図として巻末に付した。なお、ボーリング地点の孔口標高は新設 3 級基準点(3N0.3 及び 3N0.4) から水準測量により測定した。

結果より、調査深度内の地盤構成は表 4.1.1 のように区分され、概ね地表から標高+1m 付近までは砂丘砂、以深は礫質土・粘性土・砂質土が大きく互層状を呈している。

標高+1m~-6m 付近までは礫質土で、以深標高-25m 付近までは粘性土が卓越し、一部で砂質土を挟む。標高-25~-31m 付近間は再び礫質土層が分布し、以深は砂質土・粘性土が互層状を呈する。なお、地質時代的に完新世の堆積物(沖積層)と更新世の堆積物(洪積層)の境界を明確に判断できるような材料に乏しいため、砂丘堆積物の下位を洪積層とした。

これらの分布状況を、「地層推定断面図」として図 4.1.1 に示す。同図のとおり、粘性土層 1 (Dc1)・砂質土層 1~2 (Ds1~2) など欠如する土層があり一部指交状となるが、各層とも比較的水平に分布しているようである。

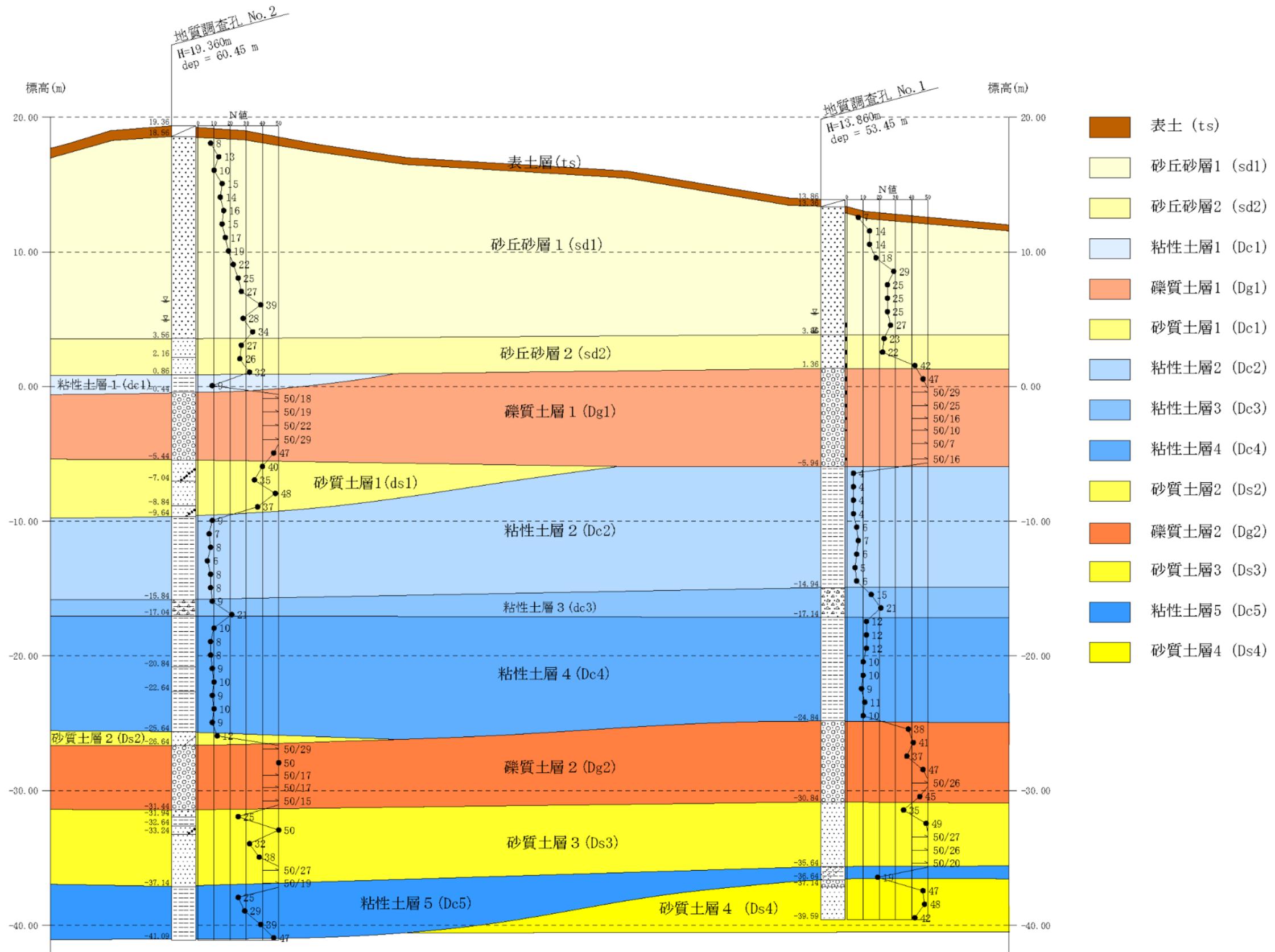


図4.1.1 地層推定断面図 (H=1:500 V=1:300)

表 4.1.1 調査地の地盤構成

地質時代	土層名 (記号)	分布深度 GL- (m)		N値の範囲	土層概説	
		地質調査 No. 1 (H=13.86m)	地質調査 No. 2 (H=19.36m)			
第四紀	完新世	表土 (ts)	0.00~0.50	0.00~0.80	—	草根を混入する有機質な砂を主体とする。色調は褐~暗褐色を呈す。
		砂丘砂層 1 (sd1)	0.50~10.00	0.80~15.80	7~39	比較的均等粒子な中粒砂を主体とし、細粒砂を伴う。下層部を除き含水は少ない。色調は灰褐~褐色を呈す。
		砂丘砂層 2 (sd2)	10.00~12.50	15.80~18.50	22~42	比較的均等粒子な中粒砂を主体とし、細粒砂及び一部微粒砂を伴う。含水中位~大である。色調は淡灰~暗青色を呈す。
	更新世	粘性土層 1 (Dc1)	—	18.50~19.80	9	シルトよりなるが、細粒砂及び細礫を混入し不均質である。No.1 地点では欠如する。
		礫質土層 1 (Dg1)	12.50~19.80	19.80~24.80	47~50	砂礫よりなる。礫は径 10~20mm 程の垂円~垂角礫で径 30~40mm のものを点在する。礫間の基質は中~粗粒砂主体である。所々礫分の混入少なく、礫混じり砂状の部分がみられる。
		砂質土層 1 (Ds1)	—	24.80~29.00	36~48	比較的均等粒子な細砂を主体とするものの、上部下部では所々径 5~20mm の礫を混入する。No.1 地点では欠如する。
		粘性土層 2 (Dc2)	19.80~28.80	29.00~35.20	4~9	比較的均質なシルトで、やや粘性強い。全般に含水少なく、一部砂質の傾向を示す。
		粘性土層 3 (Dc3)	28.80~31.00	35.20~36.40	15~21	やや砂がちなシルトで、所々細かな軽石を混入する。含水は中位である。
		粘性土層 4 (Dc4)	31.00~38.70	36.40~45.00	8~12	有機物混じりシルト~シルトよりなる。含水少~中位で、粘性は小さい。木片・有機物の混入により、やや色調変化が大きい。
		砂質土層 2 (Ds2)	—	45.00~46.00	12	細粒土分及び有機物を混入する細砂よりなる。No.1 地点では欠如する。
		礫質土層 2 (dg2)	38.70~44.70	46.00~50.80	37~50	砂礫よりなる。礫は径 10~40mm 程の垂円~垂角礫で、径 40~60mm の礫を点在する。礫間の基質は砂よりなり、局部的に礫の少ない部分や細粒土分の混入が認められる。含水大で、逸泥が見られた。
		砂質土層 3 (Ds3)	44.70~49.50	50.80~56.50	32~50	比較的均等粒子な細砂を主体とする。全般に含水少なく、所々弱固結状を呈す。No.2 地点ではシルトの挟みが見られた。
		粘性土層 5 (Dc5)	49.50~50.50	56.50~60.45	19~47	全般に均質でかたいシルトよりなる。弱固結状を呈し、やや砂質の傾向を示す。No.1 地点では層厚 1.00m だが、No.2 地点は 4m 弱を確認している。
		砂質土層 4 (Ds4)	50.50~53.45	—	42~48	比較的均等粒子な細砂よりなる。礫の混入が見られ、最上部は砂礫様を呈す。全般に含水少ない。No.2 地点では未確認。

4.2 標準貫入試験結果

ここでは、標準貫入試験により得た N 値の平均値及び標準偏差を土層別にまとめ、各土層を代表する N 値（設計 N 値）を設定する。設定方法は、 N 値のバラツキを勘案して平均値や式 4.2.3 等により設定した。バラツキの大小は式 4.2.4 に示す変動係数が 15 以下を「バラツキが小さい」ものとした。

なお、本調査では N 値の上限を 50 回として実施しているが、土層境界部分や岩盤で N 値 50 を超える値については式 4.2.5 による修正値を用い、礫当たり等の極端な値については特異値として除外した。また、未固結土は N 値 50 を上限値とした。

$$\text{平均値 } \bar{N} = \frac{x_1+x_2+\dots+x_n}{n} \quad \text{----- 式 4.2.1}$$

$$\text{標準偏差 } \sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{(x_1-\bar{N})^2+(x_2-\bar{N})^2+\dots+(x_n-\bar{N})^2}{n-1}} \quad \text{----- 式 4.2.2}$$

$$\text{設計 } N \text{ 値} = \text{平均値} - \text{標準偏差} / 2 \quad \text{----- 式 4.2.3}$$

$$\text{変動係数 } CV = \text{標準偏差} / \text{平均値} \times 100 \quad \text{----- 式 4.2.4}$$

$$\text{修正 } N \text{ 値} = 30\text{cm} \times \frac{\text{打撃回数 (回)}}{\text{貫入量 (cm)}} \quad \text{----- 式 4.2.5}$$

表 4.2.1 N 値と砂の相対密度の関係 (Terzaghi and Peck)

記号	N 値	相対密度 (Terzaghi and Peck)	現場判別法
rd1	0~4	非常に緩い (Very loose)	鉄筋が容易に手で貫入
rd2	4~10	緩い (loose)	ショベル (スコップ) で掘削可能
rd3	10~30	中位の (medium)	鉄筋を 5 ポンドハンマで打込み容易
rd4	30~50	密な (dense)	同上、30cm 程度貫入
rd5	>50	非常に密な (very dense)	同上、5~6cm 貫入、掘削につるはし必要、打込み時金属音

注) 鉄筋は ϕ 13mm

「地盤調査の方法と解説 (地盤工学会 ; 平成 25 年 3 月) p305」に加筆

表 4.2.2 細粒土の相対稠度と状態表現 (ASTM D2488 参考)

記号	相対稠度	現場判別法 (原位置土に対する親指試験)
rc1	非常に軟らかい (Very soft)	親指を 25mm 以上押し込める
rc2	軟らかい (Soft)	親指を 25mm ぐらい押し込める
rc3	締まった (Firm)	親指を 6mm ぐらい押し込める
rc4	硬い (Hard)	親指を押し込めないが、親指の爪はたやすく入る
rc5	非常に硬い (Very hard)	親指の爪も入らない

表 4.2.3 標準貫入試験結果

土層名 (記号)	実測N値		測定 回数 n	最大値 N max	最小値 N min	平均 N値 \bar{N}	標準 偏差 σ_{n-1}	変動 係数 CV	設計 N値	設計N値の設定方法
	No. 1	No. 2								
表土 (ts)	—	—	0	—	—	—	—	—	—	実測値無し。
砂丘砂層1 (sd1)	7 27 14 14 18 29 25 25 25	8 19 13 22 10 25 15 27 14 39 16 28 15 34 17	24	39	7	20.3	8.2	40.4	16	バラツキを考慮し、式4.2.4により設定した。
砂丘砂層2 (sd2)	23 22 42	27 26 32	6	42	22	28.7	7.4	25.8	25	バラツキを考慮し、式4.2.4により設定した。
粘性土層1 (Dc1)	—	9	1	9	9	9	—	—	9	実測値が1点のみのため実測値とした。
礫質土層1 (Dg1)	47 50 50 50 50 50 50	50 47 50 50 50	12	50	47	49.5	1.2	2.4	49	バラツキを考慮し、式4.2.4により設定した。
砂質土層1 (Ds1)	—	40 48 36 37	4	48	36	40.3	5.4	13.4	38	バラツキを考慮し、式4.2.4により設定した。
粘性土層2 (Dc2)	4 7 4 6 4 5 4 6 6	9 8 7 9 8 6 8	16	9	4	6.3	1.8	28.6	5	バラツキを考慮し、式4.2.4により設定した。
粘性土層3 (Dc3)	15 21	21	3	21	15	19	3.5	18.4	17	バラツキを考慮し、式4.2.4により設定した。
粘性土層4 (Dc4)	12 10 12 9 12 11 10 10	10 10 8 9 8 10 9 9	16	12	8	9.9	1.3	13.1	9	バラツキが小さいため、平均値とした。
砂質土層2 (Ds2)	—	12	1	12	12	12	—	—	12	実測値が1点のみのため実測値とした。
礫質土層3 (Dg3)	38 41 37 47 50 45	50 50 50 50 50	11	50	37	46.2	5.2	11.3	44	変動係数CVは15以下となっているが、N値の上限を50としているためバラツキが小さく表れているものである。このことを考慮し、式4.2.4を用いて設定した。
砂質土層3 (Ds3)	35 50 49 50 50	36 38 50 50 32 50	11	50	32	44	7.5	17.0	40	バラツキを考慮し、式4.2.4により設定した。
粘性土層5 (Dc5)	19	25 39 29 47	5	47	19	31.8	11.2	35.2	26	バラツキを考慮し、式4.2.4により設定した。
砂質土層4 (Ds4)	47 42 48	—	3	48	42	45.7	3.2	7.0	44	バラツキを考慮し、式4.2.4により設定した。

備考：
 ・赤数字は式4.2.5による換算N値、青数字は特異値として除外した値である。
 ・変動係数CVが15以下を「バラツキが小さい」ものとした。

4.3 孔内水位

ボーリング調査時に確認した孔内水位を表 4.3.1 に示す。

これらのうち、地下水調査孔は両地点とも井戸仕上げ後の水位であり、砂丘砂層 1(sd1)の下端付近に確認されている。地質調査孔は、両地点とも無水掘削では水位を確認することができなかったものの、掘削 3 日目の泥水位は他地点と同じく砂丘砂層 1(sd1)の下端付近に確認された。これらは自由地下水であり、降雨や季節により若干変動することが予想される。なお、近接する地下水調査 No.1 と地下水調査 No.2 で、孔内水位に 0.50m の標高差があることから、地下水調査 No.1 は帯水層のうち何れかの層が、若干被圧を被っているものと想定される。

表 4.3.1 孔内水位一覧表

孔 番	測定月日	孔内水位		備 考
		GL- (m)	H (m)	
地質調査 No. 1	R1. 10. 11	9. 80	4. 06	・掘削 3 日目作業前の泥水位 ・砂丘砂層 1 (sd1) 下端付近
地質調査 No. 2	R1. 09. 07	14. 45	4. 91	・掘削 3 日目作業前の泥水位 ・砂丘砂層 1 (sd1) 下端付近
地下水調査 No. 1	R1. 10. 11	9. 77	4. 09	・井戸仕上げ完了後に測定 ・砂丘砂層 1 (sd1) 下端付近
地下水調査 No. 2	R1. 10. 11	9. 02	4. 59	・井戸仕上げ完了後に測定 ・砂丘砂層 1 (sd1) 下端付近

4.4 室内土質試験結果

標準貫入試験のSPTサンプラーにより採取した攪乱試料を用いて粒度試験（ふるい分析）を行った。試験は主に液状化検討に用いる細粒土分含有率（シルト・粘土分）を得ることを目的として、地質調査No.1地点の孔内水位以深からGL-20m付近までの土層で実施した。試験結果の詳細は巻末に付した室内土質試験データを参照されたい。

以下、結果をまとめる。なお、表4.4.3に示す液状化検討対象の欄には、「建築基礎構造設計指針（2001改定）」による液状化の判定において、粒度構成の面で検討の対象となる箇所○、検討対象外となる箇所に×を示した。

<建築基礎構造設計指針（2001改定）における液状化の判定を行う必要がある飽和土層>

- ・一般に地表面から20m程度以浅の沖積層
- ・細粒土含有率が35%以下の土
- ・粘土分（0.005mm以下の粒径を持つ土粒子）含有率が10%以下、または塑性指数が15%以下の埋立あるいは盛土地盤
- ・細粒土を含む礫や透水性の低い土層に囲まれた礫

<粒度試験の概要>

土の粒度とは、土を構成する土粒子径の分布状況を全質量に対する百分率で表したものを言い、粒度試験の結果は土の分類に用いられ、これらを基に土の工学的性質の基本的な判断が行われる。粒度組成は、その粒径により図4.4.1に示すように分類される。

粒度試験はふるい分析と沈降分析の2種類あり、ふるい分析は主に細粒分と粗粒分の判別や細粒分の割合を把握するのに用いられる。対して沈降分析は主にふるい分析では得られない粒径0.075mm以下の粒子を判別するのに用いられる。ただし、粒子を球形と仮定して計算されるため、粒径は見掛けの粒径であり、細粒分の粘土とシルトの判別は液性限界試験及び塑性限界試験で得られる液性限界・塑性指数、塑性図を用いて行われる。

		粒 径 (mm)								
		0.005	0.075	0.25	0.85	2	4.75	19	75	300
粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	粗石 (ゴブル)	巨石 (ホルダー)	
		砂			礫			石		
細粒分		粗 粒 分						石 分		

図 4.4.1 地盤材料の粒径区分とその呼び名

表 4.4.1 質とまじり

質量構成比	分類記号	接続記号
15%以上 50%未満	〇〇質	なし
5%以上 15%未満	〇〇まじり	- (ハイフン)
5%未満	特に表記しない	なし

表 4.4.2 細粒土分5%未満の粗粒土の細区分

均等係数の範囲	分類表記	記号
$U_c \geq 10$	粒径幅の広い	W
$U_c < 10$	分級された	P

表 4.4.3 土の粒度試験結果

試料番号	土層記号	粒度構成 (%)			最大粒径 (mm)	均等係数 U_c	地盤材料の分類名	分類記号	液状化検討対象
		礫分	砂分	シルト分 粘土分					
1P9	sd1	0.0	92.6	7.4	2	2.45	細粒分まじり砂	(S-F)	○
1P10	sd2	0.0	93.2	6.8	2	2.55	細粒分まじり砂	(S-F)	○
1P11	sd2	0.0	93.9	6.1	2	2.33	細粒分まじり砂	(S-F)	○
1P12	sd2	0.0	94.4	5.6	2	2.58	細粒分まじり砂	(S-F)	○
1P13	Dg1	64.4	32.4	3.2	26.5	19.3	砂質礫	(GS)	○
1P14	Dg1	38.8	55.0	6.2	26.5	13.8	細粒分まじり礫質砂	(SG-F)	○
1P15	Dg1	55.6	38.0	6.4	26.5	28.6	細粒分まじり砂質礫	(GS-F)	○
1P16	Dg1	57.2	38.3	4.5	19	20.6	砂質礫	(GS)	○
1P17	Dg1	39.4	55.6	5.0	26.5	13.6	細粒分まじり礫質砂	(SG-F)	○
1P19	Dg1	65.2	29.5	5.2	37.5	69.3	細粒分まじり砂質礫	(GS-F)	○

試験結果の10%粒径 (D_{10})、20%粒径 (D_{20}) 及び50%粒径 (D_{50}) は、粒径加積曲線におけるそれぞれの通過百分率のときの粒径を示し、 D_{10} と D_{50} は液状化判定の条件に、 D_{20} は後述する透水性の検討の資料として利用される。

・砂丘砂層1 (sd1) 試料番号 1P9

本層の粒度構成は礫分 0.0%、砂分 92.6%、細粒土分 7.4%である。地盤材料の工学的分類では「細粒分まじり砂 (S-F)」に分類され、細粒土分が35%以下のため液状化の検討対象となる。

・砂丘砂層2 (sd2) 試料番号 1P10～1P12

本層の粒度構成は礫分 0.0%、砂分 93.2～94.4%、細粒土分 5.6～6.8%程度である。地盤材料の工学的分類では「細粒分まじり砂 (S-F)」に分類され、全深度で細粒土分が35%以下のため液状化の検討対象となる。

・礫質土層 1 (Dg1) 試料番号 1P13～1P17、1P19

本層の粒度構成は礫分 38.8～65.2%、砂分 29.5～55.6%、細粒土分 3.2～6.4%により構成されややバラツキが見られる。地盤材料の工学的分類は「細粒分混じり礫質砂 (SG-F)～細粒分まじり砂質礫 (GS-F)～砂質礫 (GS)」に分類される。全深度で細粒土分が 35%以下のため、液状化の検討対象となる。

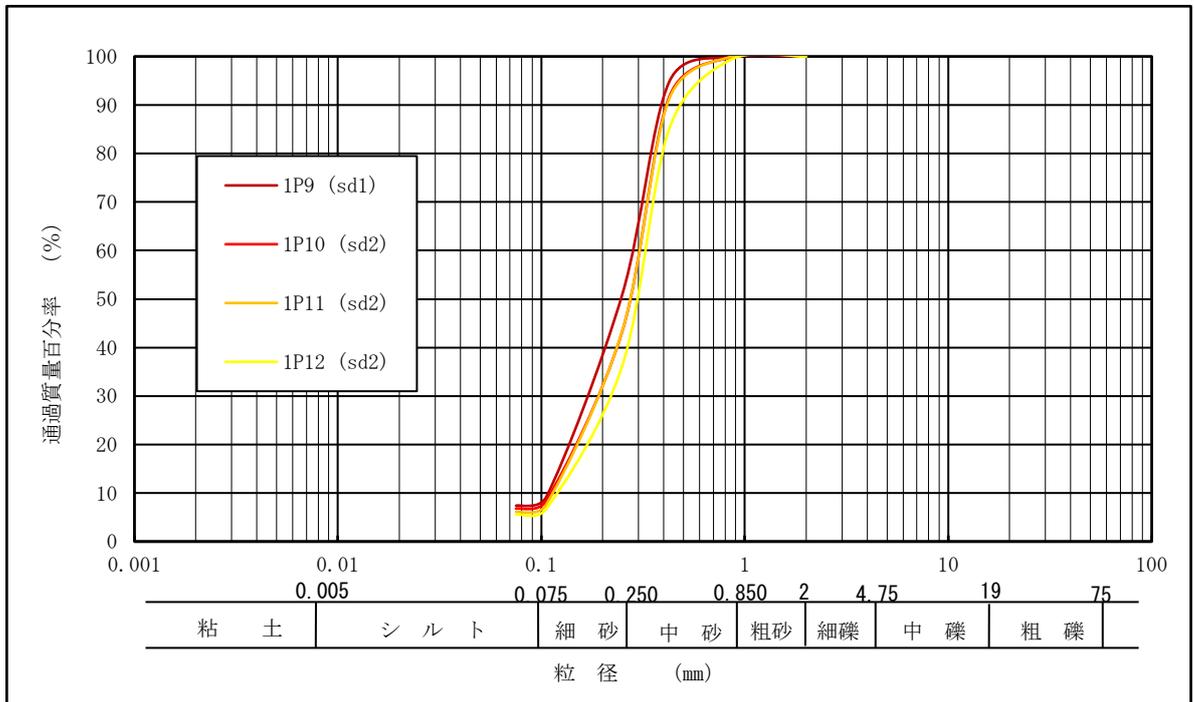


図 4.4.2 粒径加積曲線 (sd1、sd2)

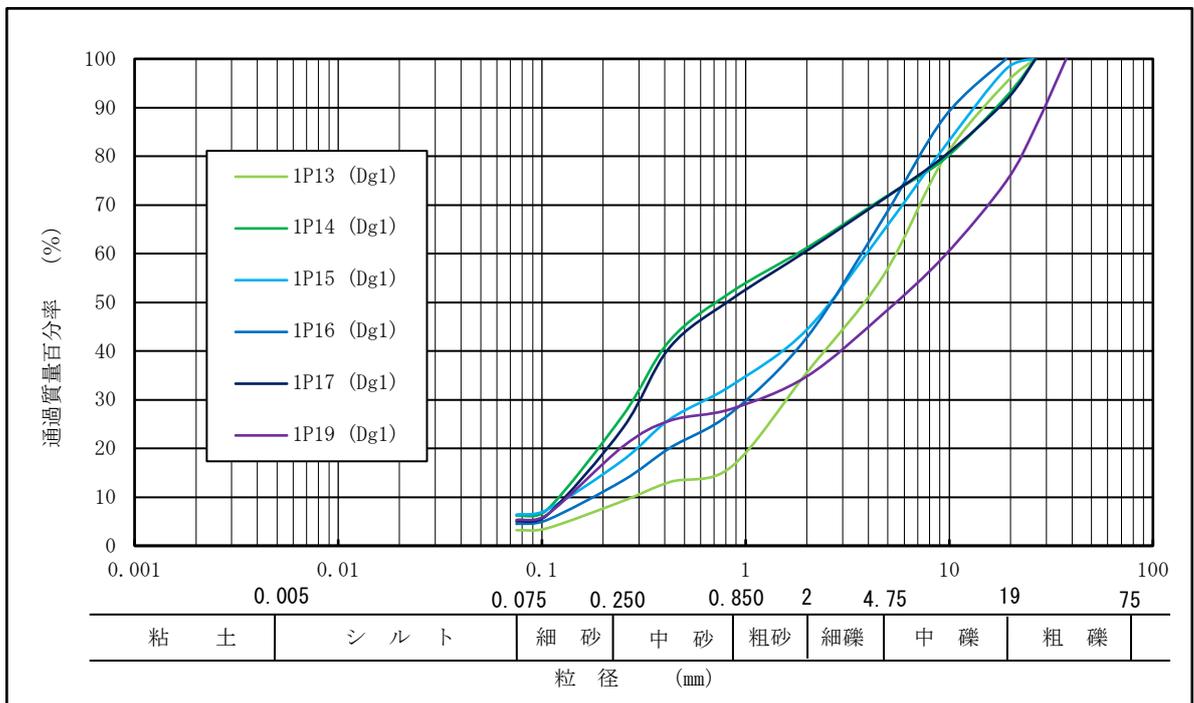


図 4.4.3 粒径加積曲線 (Dg1)

4.5 地下水調査結果

「地下水調査 No. 1」は地質調査 No. 1 孔（調査深度 53m）を GL-70m まで増掘し、深井戸として仕上げた。「地下水調査 No. 2」は地下水調査 No. 1 から 3m 程度離して、新たに GL-12m まで掘削し浅井戸として仕上げた。

図 4.5.1 に採水対象層の分布状況を「北部粗大ごみ処理工場建設時の調査井戸データ」を含め「地層推定断面図」として示す。

採水対象層となる地下水位以深の礫質土・砂質土の連続性は、地下水調査 No. 1 の上部採水層とした礫質土層 1 (Dg1) では層厚 4.50~7.30m で概ね水平分布となっている。下位の砂質土層 1 (Ds1) は地下水調査 No. 1 では分布せず、地質調査 No. 2 及び北部粗大ごみ調査井戸も層厚に大きな差が見られる。また、地下水調査 No. 1 で下部採水層とした礫質土層 2 (Dg2) は層厚 4.20~5.90m で分布するが、北部粗大ごみ調査井戸へは連続性が見られない。さらに下位の砂質土層 3~5 (Ds3~Ds5) は、粘性土層の挟在があるものの連続性は比較的良好である。

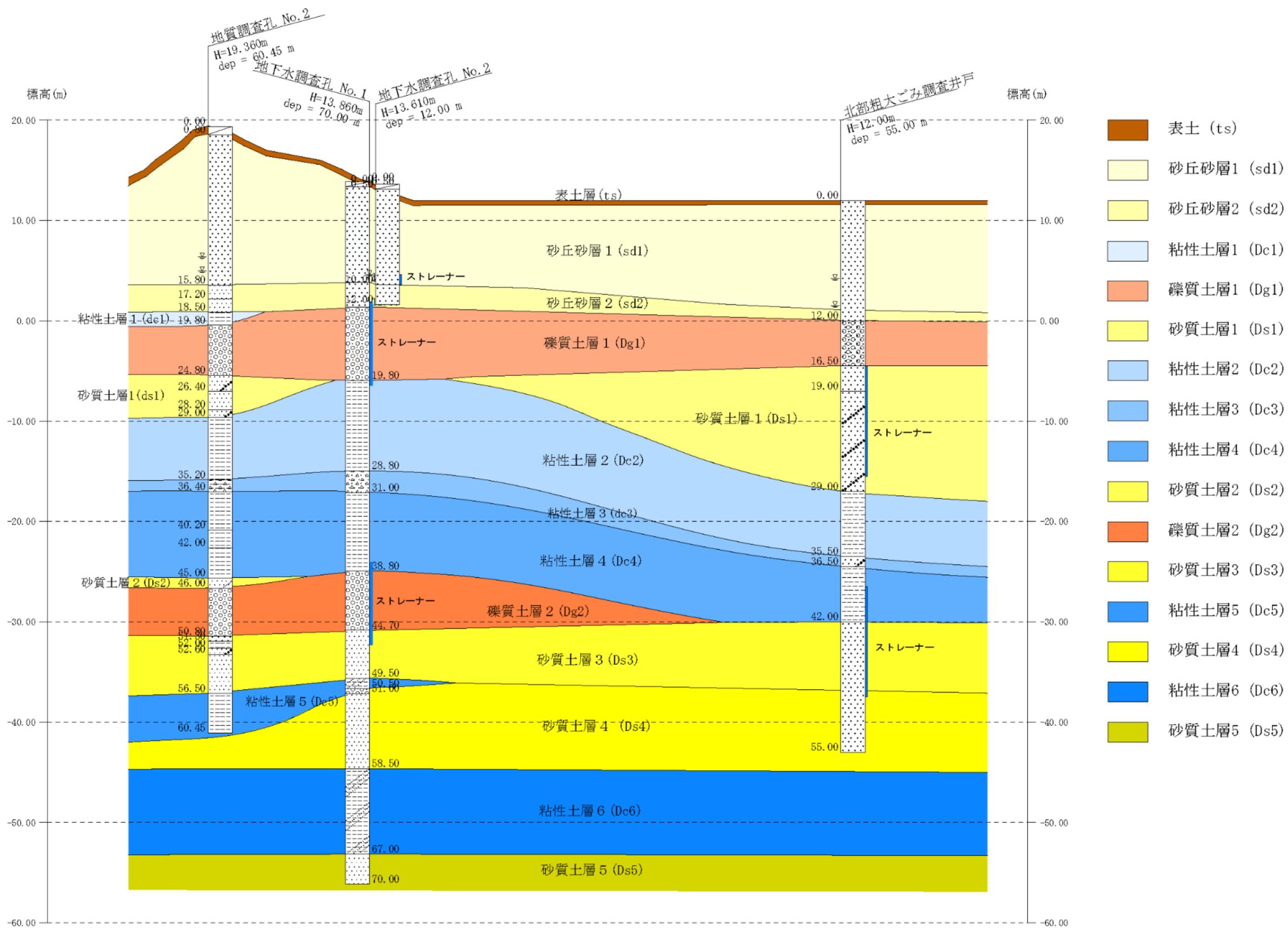


図4.5.1 地層推定断面図 (H=1:2,000 V=1:400)

4.5.1 地下水調査 No.1 (深井戸：深度 70.0m)

(1) 電気検層結果

設計深度の 70m 掘削終了後、裸孔内に検層ケーブルを降下し 4 極法による電気検層を行った。測定器はジオテクサービス (株) の「井戸 Pack10」を使用した。結果の詳細は巻末に電気検層データ (結果表・結果図) として示す。

一般に帯水層と考えられる地層の比抵抗値は、80~150(Ω -m)とされているが、地層と対比させてその良否を判断しなければならない。また、測定の際にはショートレンジ及びロングレンジの 2 種類で行うわけであるが、ショートレンジはロングレンジに比べて電流の到達範囲が限定されており、しかもその範囲には掘削泥水が侵入している。従って、ロングレンジに比べ信頼度は多少劣る。しかし、ロングレンジにより得られたカーブと比較することにより、ロングレンジの測定結果を裏付ける資料となる。以上のことを踏まえて考察する。図 4.5.2 に電気検層の原理を図で示す。

調査地では浅層部は砂丘の砂層が優勢し、下位は比較的層厚の大きい砂礫層が数層分布し、粘性土・砂質土と互層状を呈している。地表から GL-9m 程度の比抵抗値は 200~400(Ω -m)と高いため乾燥状態にあるものと思われる。GL-9m 以深では、GL-10.00~-19.80m 間の砂丘砂層 2 及び礫質土層 1 で 60~100(Ω -m)程度、GL-38.80~-49.50m 間の礫質土層 2 及び砂質土層 3 が 50~100(Ω -m)程度であるが、帯水層になっているものと推定される。GL-49.50~-58.50m 間の砂質土層 4 及び GL-67.00m 以深の砂質土層 5 が 60~150(Ω -m)を示すが、ボーリング時の採取試料の観察から含水は少なかった。

以上、電気検層結果と地質状況を踏まえて、ストレーナー位置は GL-12.00~-20.00m 間及び GL-38.00~-46.00m 間として、GL-50.00m 以深は採水対象から除外し、パイプの設置は行わなかった。

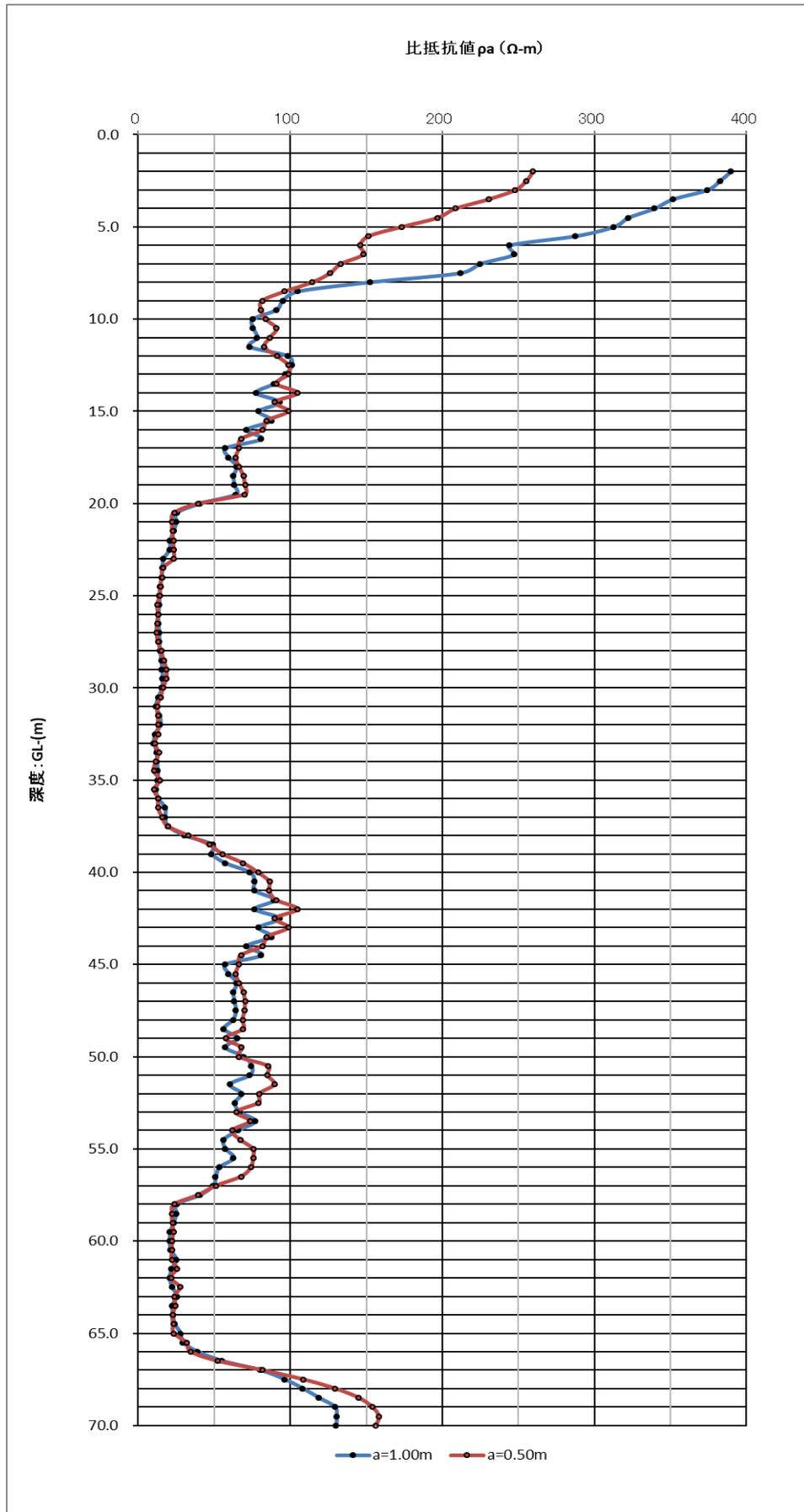


図 4.5.2 電気検層結果図

(2) 予備揚水試験結果

ストレーナー位置を GL-12.00~-20.00m 間 及び GL-38.00~-46.00m 間 としてパイプを設置し、豆砂利充填・孔内洗浄終了後の自然水位は、GL-9.89m であった。

自然水位が GL-8.0m 以深に確認され、自給式ポンプでは揚水不能であることから、二重管式のエアリフトポンプで揚水を行った。（自給式ポンプの吸い込み限界は GL-8.0m なので揚水不能。エアリフトポンプの一重管揚水では、地下水位とストレーナー上端位置が近接していることから揚水された地下水が砂丘砂層に逃げるため揚水不能。）

排出される地下水の清水化も兼ねて実施した予備揚水試験の結果、 $Q=20\text{l}/\text{min}$ の最大揚水量が確認され、揚水に伴う水位降下量は 40cm 程度であった。

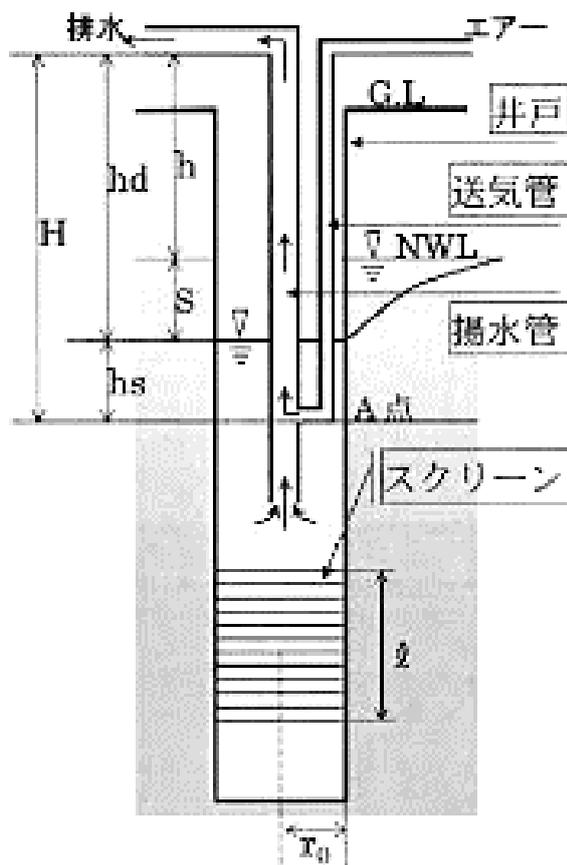


図 4.5.3 エアリフトポンプの原理 (二重管式)

(3) 定量揚水試験

前項にて $Q \approx 200/\text{min}$ が二重管式エアリフトポンプでの最大揚水量と判断されたので、同揚水量で定量揚水試験を実施した。定量揚水試験開始時の自然水位は GL-9.77m であった。

8 時間の定量連続揚水試験では、揚水開始 30 分後で動水位 GL-10.16m (水位降下量 0.39m) で水位降下変動はほぼなくなったが、480 分後まで 1cm 程度での上下が見られた。最終的には 8 時間後で動水位 GL-10.17m (水位降下量 0.40m) となった。

単井の揚水ではある程度の時間で水位変動が無くなると判断されるが、同水量でさらなる長時間の連続揚水となった場合には、水位降下量の増大が想定される。

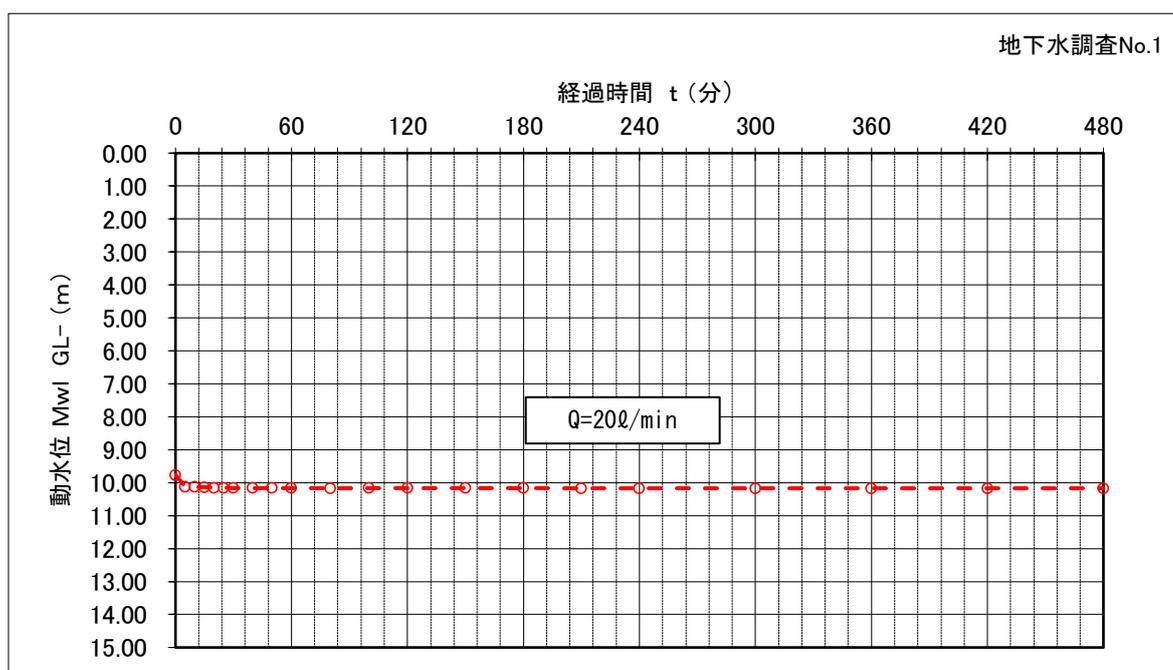


図 4.5.4 定量揚水試験 t - Mwl 曲線 (地下水調査 No. 1)

(4) 水質検査結果

原水 15 項目の水質検査結果の詳細は、巻末に示した「水質検査結果書及び検査方法一覧」を参照されたい。検査結果によれば、検査項目のうち水質基準に適合しない項目は下記の 7 項目であった。

- ・ 一般細菌-----100/ml 以下に対し「1100/ml」
- ・ 鉄及びその化合物-----0.3 mg/l 以下に対し「4.4 mg/l」
- ・ マンガン及びその化合物-----0.05 mg/l 以下に対し「0.35 mg/l」
- ・ 味-----異常でないことに対し「測定不能」
- ・ 臭気-----異常でないことに対し「金気臭」
- ・ 色度-----5 度以下に対し「39 度」
- ・ 濁度-----2 度以下に対し「2.6 度」

「鉄及びその化合物」及び「マンガン及びその化合物」は、採水対象層（礫質土層 1 及び礫質土層 2）が青系色を呈していることから当初より予想されていたが、含有量がやや多く排水の表面は酸化変色で鏡様となる。「味」が測定不能となったのは、「一般細菌・臭気・濁度」が基準値オーバーとなったことによる。また、「色度」が 39 度と高い値を示すのは、揚水直後にも若干着色が見られるが、鉄の酸化変色による影響が大きいと思われる。なお、採水時の気温は 17.0℃、水温は 11.9℃であった。

表 4.5.1 水質検査結果表（地下水調査 No. 1）

依頼日	令和元年10月 7日	採水日時	令和元年10月 7日 10:30	検査期間	10/ 7~10/15
採水場所	能代市竹生字天神谷地 地内	採水者	池田 幸雄	試料の種類	飲用井戸等
名称	※備考 地下水調査孔 No. 1	項目数	15	採水者区分	搬入
天候	曇	気温	17.0 ℃	水温	11.9 ℃
		残留塩素	mg/L	検査責任者	尾張 和雄
検査項目		検査結果		基準値	
一般細菌		▲ 1100 /mL		100/mL以下であること	
大腸菌		陰性		検出されないこと	
亜硝酸態窒素		0.004 mg/L 未満		0.04mg/L以下	
硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素		0.1 mg/L 未満		10mg/L以下	
鉄及びその化合物		▲ 4.4 mg/L		鉄の量に関して0.3mg/L以下	
マンガン及びその化合物		▲ 0.35 mg/L		マンガンの量に関して0.05mg/L以下	
塩化物イオン		17.1 mg/L		200mg/L以下	
カルシウム、マグネシウム等(硬度)		19.1 mg/L		300mg/L以下	
蒸発残留物		140 mg/L		500mg/L以下	
有機物(全有機炭素(TOC)の量)		0.8 mg/L		3mg/L以下	
pH値		7.3		5.8以上8.6以下	
味		▲ 測定不能		異常でないこと	
臭気		▲ 金気臭		異常でないこと	
色度		▲ 39 度		5度以下	
濁度		▲ 2.6 度		2度以下	

4.5.2 地下水調査 No.2 (浅井戸：深度 12.0m)

(1) 予備揚水試験結果

ストレーナー位置を GL-9.00~-10.00m 間としてパイプを設置した。豆砂利充填・孔内洗浄終了後の自然水位は、GL-9.02m であった。

自然水位が GL-8.0m 以深に確認され、自給式ポンプでは揚水不能であることから、二重管式のエアリフトポンプで揚水を試みた。(自給式ポンプの吸い込み限界は GL-8.0m なので揚水不能。エアリフトポンプの直結揚水では、地下水位とストレーナー上端位置が近接していることから、砂丘砂層に揚水された地下水が逃げるため揚水不能。)

しかしながら、井戸深度が浅くかつ地下水位が低いため、前記図 4.5.1 に示す「Hd」と「Hs」のバランスが取れず揚水不能であった。そのため、掘削泥水の排除はベラーによる汲み上げで念入りに行った。その後、揚水可能量は極少ないものの、50mm 径の井戸に入るスマート小型水中ポンプにより揚水を行った。

排出される地下水の清水化も兼ねて実施した予備揚水試験の結果、 $Q \approx 4.40/\text{min}$ の最大揚水量が確認され、揚水に伴う水位降下量は 15cm 程度であった。

(2) 定量揚水試験

前項にて $Q=4.40/\text{min}$ がスマート小型水中ポンプでの最大揚水量と判断されたので、同揚水量で定量揚水試験を実施した。定量揚水試験開始時の自然水位は GL-9.02m であった。

8時間の定量連続揚水試験では、揚水開始5分後で動水位 GL-9.17m(水位降下量 0.15m)で水位降下変動はほとんどなくなったが、480分後まで 0.5cm 程度での上下が見られた。最終的には8時間後で動水位 GL-9.17m (水位降下量 0.15m) となった。

単井の揚水ではある程度の時間で水位変動が無くなると判断されるが、同水量でさらなる長時間の連続揚水となった場合には、水位降下量の増大が想定される。

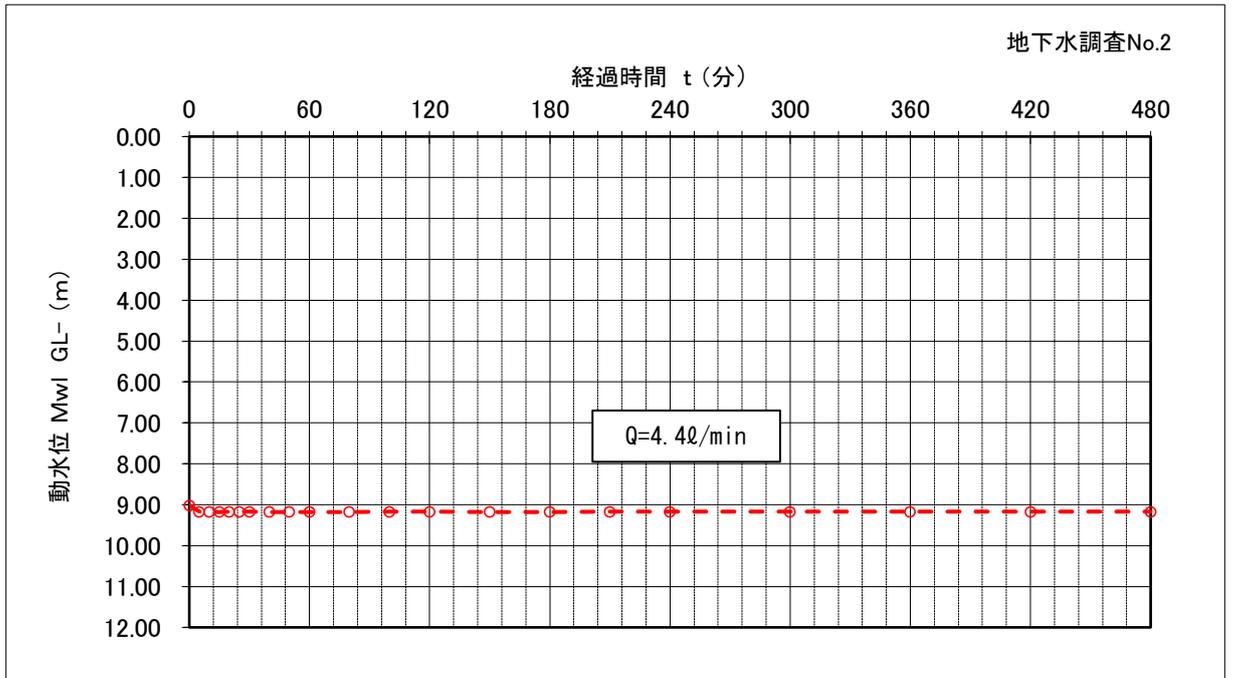


図 4.5.5 定量揚水試験 t - MwL 曲線 (地下水調査 No. 2)

(3) 水質検査結果

原水 40 項目の水質検査結果の詳細は、巻末に示した「水質検査結果書及び検査方法一覧」を参照されたい。

検査結果によれば、検査項目のうち水質基準に適合しない項目は下記の 4 項目であった。

- ・一般細菌-----100/ml 以下に対し「430/ml」
- ・鉄及びその化合物-----0.3 mg/l 以下に対し「1.1 mg/l」
- ・マンガン及びその化合物-----0.05 mg/l 以下に対し「0.27 mg/l」
- ・味-----異常でないことに対し「測定不能」

「鉄及びその化合物」及び「マンガン及びその化合物」は、採水対象層の砂丘砂層 1 (灰褐色) の下位に分布する、砂丘砂層 2 (淡灰～暗青色) からの揚水に伴う流入の影響が想定される。しかしながら、地下水調査 No. 1 に 1 比べ、「鉄及びその化合物」は 1/4 で「マンガン及びその化合物」も若干少なかった。また、「味」が測定不能となったのは「一般細菌」が基準値オーバーとなったことによる。なお、水温は 12.6℃ (採水時の気温は 20.0℃) で、地下水調査 No. 1 (深井戸) より 0.7℃ほど高い値を示した。

表 4.5.2 水質検査結果表（地下水調査 No.2）

依頼日	令和元年10月 9日	採水日時	令和元年10月 9日 10:30	検査期間	10/ 9～10/29
採水場所	能代市竹生字天神谷地 地内	採水者	池田 幸雄	試料の種類	飲用井戸等
名称	※備考 地下水調査孔 No.2			項目数	40 採水者区分 搬入
天候	晴	気温	20.0 ℃	水温	12.6 ℃ 残留塩素
				検査責任者	尾張 和雄
検査項目	検査結果		基準値		
一般細菌	▲ 430	/mL	100/mL以下であること		
大腸菌	陰性		検出されないこと		
カドミウム及びその化合物	0.0003	mg/L 未満	カドミウムの量に関して0.003mg/L以下		
水銀及びその化合物	0.00005	mg/L 未満	水銀の量に関して0.0005mg/L以下		
セレン及びその化合物	0.001	mg/L 未満	セレンの量に関して0.01mg/L以下		
鉛及びその化合物	0.001	mg/L 未満	鉛の量に関して0.01mg/L以下		
ヒ素及びその化合物	0.001	mg/L 未満	ヒ素の量に関して0.01mg/L以下		
六価クロム化合物	0.005	mg/L 未満	六価クロムの量に関して0.05mg/L以下		
亜硝酸態窒素	0.004	mg/L 未満	0.04mg/L以下		
シアン化物イオン及び塩化シアン	0.001	mg/L 未満	シアンの量に関して0.01mg/L以下		
硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	0.4	mg/L	10mg/L以下		
フッ素及びその化合物	0.08	mg/L 未満	フッ素の量に関して0.8mg/L以下		
ホウ素及びその化合物	0.1	mg/L 未満	ホウ素の量に関して1.0mg/L以下		
四塩化炭素	0.0002	mg/L 未満	0.002mg/L以下		
1,4-ジオキサン	0.005	mg/L 未満	0.05mg/L以下		
シス-1,2-ジクロロエチレン及びトランス-1,2-ジクロロエチレン	0.004	mg/L 未満	0.04mg/L以下		
ジクロロメタン	0.002	mg/L 未満	0.02mg/L以下		
テトラクロロエチレン	0.001	mg/L 未満	0.01mg/L以下		
トリクロロエチレン	0.001	mg/L 未満	0.01mg/L以下		
ベンゼン	0.001	mg/L 未満	0.01mg/L以下		
亜鉛及びその化合物	0.01	mg/L 未満	亜鉛の量に関して1.0mg/L以下		
アルミニウム及びその化合物	0.02	mg/L 未満	アルミニウムの量に関して0.2mg/L以下		
鉄及びその化合物	▲ 1.1	mg/L	鉄の量に関して0.3mg/L以下		
銅及びその化合物	0.01	mg/L 未満	銅の量に関して1.0mg/L以下		
ナトリウム及びその化合物	33	mg/L	ナトリウムの量に関して200mg/L以下		
マンガン及びその化合物	▲ 0.27	mg/L	マンガンの量に関して0.05mg/L以下		
塩化物イオン	46.8	mg/L	200mg/L以下		
カルシウム、マグネシウム等(硬度)	46.0	mg/L	300mg/L以下		
蒸発残留物	161	mg/L	500mg/L以下		
陰イオン界面活性剤	0.02	mg/L 未満	0.2mg/L以下		
ジェオスミン	0.000001	mg/L 未満	0.00001mg/L以下		
2-メチルイソボルネオール	0.000001	mg/L 未満	0.00001mg/L以下		
非イオン界面活性剤	0.005	mg/L 未満	0.02mg/L以下		
フェノール類	0.0005	mg/L 未満	フェノールの量に換算して0.005mg/L以下		
有機物（全有機炭素(TOC)の量）	0.7	mg/L	3mg/L以下		
pH値	6.5		5.8以上8.6以下		
味	▲ 測定不能		異常でないこと		
臭気	異常なし		異常でないこと		
色度	3.9	度	5度以下		
濁度	1.1	度	2度以下		

5. 考 察

5.1 地盤定数の提言

ここでは、調査結果を基に各土層の地盤定数を設定する。設定項目は以下の通りとする。

- ・ 設計 N 値
- ・ 単位体積重量 γ_t (kN/m^3)
- ・ 粘着力 C (kN/m^2)
- ・ せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)
- ・ 変形係数 E (MN/m^2)

5.1.1 設定方法

(1) 設計 N 値

前章 4.2 の標準貫入試験結果で整理した設計 N 値とする。

(2) 単位体積重量 (γ_t)

表 5.1.1 の土質定数参考値を参考として設定する。

(3) 粘着力 (C)

設計 N 値をもとに、式 5.1.1 及び式 5.1.2 より設定する。

- ・ 建築基礎構造設計指針（平成 13 年 10 月）p115 より

$$C = q_u / 2 \quad (\text{kN/m}^2) \quad \text{----- 式 5.1.1}$$

ここに、 q_u ：一軸圧縮強さ (kN/m^2)

- ・ Terzaghi and Peck の式より

$$q_u = 12.5 \cdot N \quad (\text{kN/m}^2) \quad \text{----- 式 5.1.2}$$

ここに、 N ：設計 N 値

上式で求める場合は安全側に考慮し、 $\phi = 0^\circ$ とする。

(4) せん断抵抗角 ϕ

簡便法として設計 N 値を基にした次式により推定する。

- ・ 建築基礎構造設計指針（平成 13 年 10 月）p113、大崎の式より

$$\phi = \sqrt{20 \cdot N + 15} \quad (^\circ) \quad \text{----- 式 5.1.3}$$

なお、各文献等を参考に、上式の上限值は $\phi \leq 45^\circ$ とする。また、同式で求める場合は安全側に考慮し、 $C=0$ (kN/m²) とする。

(5) 変形係数 (E)

地盤の変形係数 E は、設計 N 値を用いた下式により求める。

・地盤調査の方法と解説 (平成 25 年 3 月) p687 より

$$E = 700 \cdot N \quad (\text{kN/m}^2) \quad \text{----- 式 5.1.4}$$

表 5.1.1 土質定数参考値

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

注1 ; N値の目安は次のとおりである。

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

注2 ; 地盤工学会基準の記号は、およその目安である。

「設計要領第一集 土工編 (高速道路総合技術研究所:平成 24 年 7 月) p1-44」より

5.1.2 地盤定数

前項の方法により算出した地盤定数の提言値を表 5.1.2 に示す。

表 5.1.2 地盤定数提言値

土層名 (記号)	設計 N 値	単位体積 重量 γ_t (kN/m^3)	粘着力 C (kN/m^2)	せん断 抵抗角 ϕ (度)	変形係数 E (MN/m^2)	γ_t その他の設定方法
表土 (ts)	—	17	0	25	—	$\Gamma_t \cdot C$ 及び ϕ は表 5.1.1 「自然地盤-砂質土-密実でないもの」の値とした。
砂丘砂層 1 (sd1)	16	17	0	32	11.2	γ_t は表 5.1.1 「自然地盤-砂質土-密実でないもの」の値とした。 C 及び ϕ 、 E は設計 N 値より算出した。
砂丘砂層 2 (sd2)	25	17	0	37	17.5	γ_t は表 5.1.1 「自然地盤-砂質土-密実でないもの」の値とした。 C 及び ϕ は設計 N 値より算出した。
粘性土層 1 (Dc1)	9	16	50	0	6.3	γ_t は表 5.1.1 「自然地盤-粘性土-固いもの」を低減した値とした。 C 及び ϕ 、 E は設計 N 値より算出した。
礫質土層 1 (Dg1)	49	19	0	45	34.3	γ_t は表 5.1.1 「自然地盤-礫-密実なもの」を低減した値とした。 C 及び ϕ 、 E は設計 N 値より算出した。
砂質土層 1 (Ds1)	38	17	0	42	26.6	γ_t は表 5.1.1 「自然地盤-砂質土-密実なもの」を低減した値とした。 C 及び ϕ 、 E は設計 N 値より算出した。
粘性土層 2 (Dc2)	5	16	30	0	23.5	γ_t は表 5.1.1 「自然地盤-粘土およびシルト-軟らかいもの」の値とした。 C 及び ϕ 、 E は設計 N 値より算出した。
粘性土層 3 (Dc3)	15	17	90	0	10.5	γ_t は表 5.1.1 「自然地盤-粘土およびシルト-固いもの」の値とした。 C 及び ϕ 、 E は設計 N 値より算出した。
粘性土層 4 (Dc4)	9	16	50	0	6.3	γ_t は表 5.1.1 「自然地盤-粘土およびシルト-固いもの」を低減した値とした。 C 及び ϕ 、 E は設計 N 値より算出した。
砂質土層 2 (Ds2)	12	17	0	30	8.9	γ_t は表 5.1.1 「自然地盤-砂質土-密実でないもの」の値とした。 C 及び ϕ 、 E は設計 N 値より算出した。
礫質土層 2 (dg2)	44	19	0	44	30.8	γ_t は表 5.1.1 「自然地盤-礫-密実なもの」を低減した値とした。 C 及び ϕ 、 E は設計 N 値より算出した。
砂質土層 3 (Ds3)	41	17	0	43	28.7	γ_t は表 5.1.1 「自然地盤-砂質土-密実なもの」を低減した値とした。 C 及び ϕ 、 E は設計 N 値より算出した。
粘性土層 5 (Dc5)	26	17	160	0	18.2	γ_t は表 5.1.1 「自然地盤-粘土およびシルト-固いもの」の値とした。 C 及び ϕ 、 E は設計 N 値より算出した。
砂質土層 4 (Ds4)	44	18	0	44	30.8	γ_t は表 5.1.1 「自然地盤-砂質土-密実なもの」を低減した値とした。 C 及び ϕ 、 E は設計 N 値より算出した。

5.2 地震時の液状化の判定

日本建築学会発行「建築基礎構造設計指針（2001 改定）」によると、「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 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 (0.005 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、そのような場合には液状化の検討を行う。」とされている。

本調査地においては、上記に該当する土層が分布することから、同指針に基づく検討を行う。

5.2.1 液状化判定条件及び判定方法

(1) 液状化判定条件

- ・ マグニチュード --- M=7.5
- ・ 設計用水平加速度 --- 損傷限界検討用 $\alpha_{max}=150gal$ 、200 gal
終局限界検討用 $\alpha_{max}=350gal$
(限界状態については表 5.2.1~5.2.2 を参照)
- ・ 検討地点 --- GL-20m までの間で砂質土層が最も厚い No. 3 を代表地点とする。
- ・ 土質定数 --- 前節 5.1.2 地盤定数で設定した値とする

表 5.2.1 限界状態

1. 終局限界状態は、地盤や基礎構造が破壊することにより、上部構造を支持することができなくなる状態をさし、もはや補修・補強して構造物を再使用することができなくなる限界の状態をいう。さらに、地盤や基礎構造が原因で、上部構造が終局限界状態に至る状態もこれを含める。
2. 損傷限界状態は、基礎構造が構造的な被害を受けることにより、構造物を再使用するためには構造上の補修・補給などを必要とする限界の状態をいう。また、地盤や基礎構造が原因で上部構造が構造上の補修・修復などを必要とする状態もこれを含める。
3. 使用限界状態は、基礎構造の変位・傾斜が原因で、上部構造に対して変形、変位、振動、外観などの観点から使用上の要求を満足できなくなる限界の状態をいう。また、耐久性上、許容される限界もこれに含める。

「建築基礎構造設計指針（日本建築学会：平成 13 年 10 月）p14」より

表 5.2.2 限界状態と想定する荷重

限界状態	想定する荷重（最低レベル）
終局限界状態	最大級の荷重
損傷限界状態	1回～数回遭遇する荷重
使用限界状態	日常的に作用する荷重

「建築基礎構造設計指針（日本建築学会：平成 13 年 10 月）p17」より

(2) 液状化に対する安全率の判定方法 (F_L 値)

- ① 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によって計算する。

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = \gamma_n \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma'_z}{\sigma_z} \quad \left(\frac{\tau_d}{\sigma'_z} \text{ は巻末データシートでは } L \text{ と表記} \right) \text{ ----- 式 5.2.1}$$

記号

- τ_d : 水平面に生じる等価な一定繰返しせん断応力振幅 (kN/m^2)
 σ'_z : 検討深さにおける有効土被り圧 (鉛直有効応力) (kN/m^2)
 γ_n : 等価な繰返し回数に関する補正係数で、 $\gamma_n = 0.1(M-1)$
 ただし、 M は地震のマグニチュード
 α_{max} : 地表面における設計用水平加速度 (gal)
 g : 重力加速度 (980gal)
 σ_z : 検討深さにおける全土被り圧 (鉛直全応力) (kN/m^2)
 γ_d : 地盤が剛体でないことによる低減係数で ($1 - 0.015z$)
 z はメートル単位で表した地表面からの深さ

- ② 各深さにおける補正 N 値 (N_a) を下式および図 5.2.1 を用いて計算する。

$$M_1 = C_N \cdot N \text{ ----- 式 5.2.2}$$

$$C_N = \sqrt{98 / \sigma'_z} \text{ ----- 式 5.2.3}$$

$$N_a = M_1 + \Delta N_f \text{ ----- 式 5.2.4}$$

記号

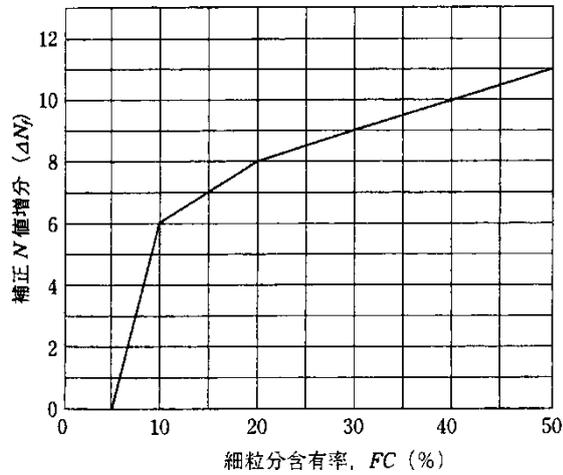
- M_1 : 換算 N 値
 C_N : 拘束圧に関する換算係数 (σ'_z の単位は kN/m^2)
 ΔN_f : 細粒土含有率 FC に応じた補正 N 値増分で、図 5.2.1 による
 N : とんび法または自動落下法による実測 N 値
 N_a : 補正 N 値 (30 を上限とする)

- ③ 図 5.2.2 中のせん断ひずみ振幅 5% 曲線を用いて、補正 N 値 (N_a) に対する飽和土層の液状化抵抗比 τ_1 / σ'_z (巻末データシートでは R と表記) を求める。ここに、 τ_1 は水平断面における液状化抵抗である。

- ④ 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。

$$F_L = \frac{\tau_1 / \sigma'_z}{\tau_d / \sigma'_z} \text{ ----- 式 5.2.5}$$

F_L 値は、求めた値が 1 より大きくなる場合は液状化発生の可能性はないものと判定し、逆に 1 以下に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。



50

図 5.2.1 細粒土含有率と N 値の補正係数

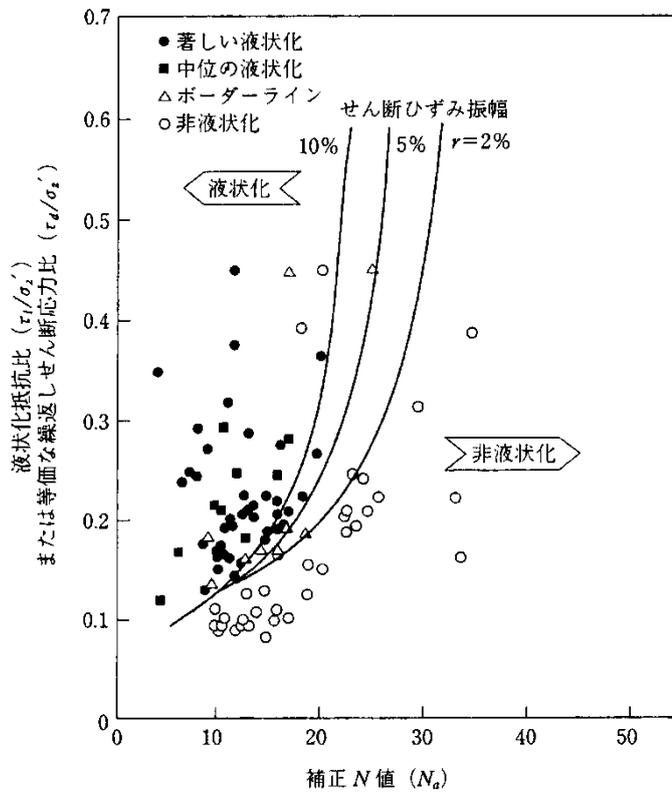


図 5.2.2 補正 N 値と液状化抵抗, 動的せん断ひずみの関係

図 5.2.1～5.2.2 「建築基礎構造設計指針（日本建築学会：平成 13 年 10 月）p63」より

(3) 地表水平変位、地表沈下量の推定と液状化の程度の評価方法 (D_{cy} 値)

細目(2)で液状化発生の可能性があるとして判断された場合に、地表水平変位、地表沈下量の推定及び液状化の程度の評価を行う。これらの推定及び評価は、以下の手順による。

- ① 図5.2.3から補正 N 値 N_a 、繰返しせん断応力比 τ_d / σ'_z に対応する各層の繰返しせん断ひずみ γ_{cy} を推定する。
- ② 各層のせん断ひずみ γ_{cy} が同一方向に発生すると仮定して、これを鉛直方向に積分して、振動中の最大水平変位分布とする。なお、沈下量 S を求める場合は、 γ_{cy} を体積ひずみ ε_v と読み換えて使用する。
- ③ 地表変位を D_{cy} とし液状化程度の指標とする。液状化の程度は D_{cy} の値により表5.2.3のように評価する。

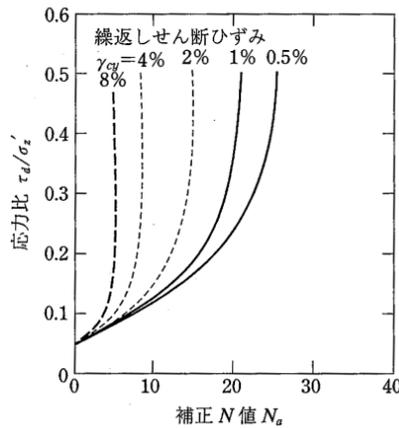


表 5.2.3 D_{cy} と液状化の程度の関係

D_{cy} (cm)	液状化の程度
0	なし
—05	軽微
05—10	小
10—20	中
20—40	大
40—	甚大

図 5.2.3 補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係

図 5.2.3 及び表 5.2.3・・・「建築基礎構造設計指針（日本建築学会：平成 13 年 10 月）p66」より

(4) 液状化による危険度の判定方法 (PL 値)

細目 (3) では液状化の程度の評価について記載したが、それ以外にも液状化による危険度の判定方法として、液状化指数 (PL 値) がある。PL 値とは、液状化が発生したときに地上への影響があると思われる地下 20m までの F_L 値をもとに地表での危険度 (影響度) を評価するもので、 F_L 値に深さ方向の重みをつけて積分した指数である。算定式及び判定基準を下記に示す。

・ PL 値の算出方法

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L) \cdot W(z) dz \quad \text{--- 式 5.2.6}$$

5.2.6

$$W(Z) = 10.0 - 0.5 \cdot Z \quad \text{--- 式 5.2.7}$$

記号 P_L : 液状化指数

F_L : 細目 (2) による F_L 値

$W(Z)$: 深度の重み係数

Z : 深さ

表 5.2.4 PL 値と液状化危険度の関係

PL 値の区分	液状化による危険度
検討対象外	なし
$PL=0$	かなり低い
$0 < PL \leq 5$	低い
$5 < PL \leq 15$	高い
$15 < PL$	極めて高い

「2007 年版 建築物の構造関係技術基準解説書
(全国官報販売共同組合：平成 19 年 8 月)

5.2.2 液状化判定結果

前項の方法により検討した結果を以下にまとめる。なお、判定結果の詳細については巻末に付したデータシートを参照されたい。

表 5.2.5 地質調査 No.1 地点 F_L 判定結果

計算深度 GL- (m)	土層記号	N値	FC (%)	補正 N値	F_L 値		
					損傷限界 150gal	損傷限界 200gal	終局限界 350gal
9.30	Sd1	27.00	7.4	24.318	4.466	3.349	1.194
10.30		23.00	6.8	20.013	2.554	1.195	1.095
11.30	Sd2	22.00	6.1	18.031	2.111	1.583	0.905
12.30		42.00	5.6	30.000	10.808	8.106	4.632
13.30	Dg1	47.00	3.2	24.350	4.004	3.003	1.716
14.30		51.72	6.2	30.000	10.478	7.858	4.490
15.30		60.00	6.4	30.000	10.387	7.790	4.452
16.30		93.75	4.5	30.000	10.333	7.749	4.428
17.30		150.00	5.0	30.000	10.308	7.731	4.418
18.30		214.29	.05	30.000	10.306	7.729	4.417
19.30		93.75	5.2	30.000	10.332	7.749	4.428
地盤変位概略値 D_{cy} (cm) と液状化の程度					0.00 なし	0.00 なし	0.50 軽微
液状化指数 PL 値と危険度					0.000 かなり低い	0.000 かなり低い	0.415 低い
備考：・GL-9.3m 以浅は地下水位以浅のため検討対象外である。							

・ 損傷限界検討 150gal

地下水位以深の全深度で $F_L > 1$ を示しており、液状化が発生する可能性はないと判定される。なお、地盤変位概略値 D_{cy} 値は 0.00cm で液状化の程度としては「なし」、液状化指数 PL 値は 0.000 で危険度は「かなり低い」と評価される。

・ 損傷限界検討 200gal

地下水位以深の全深度で $F_L > 1$ を示しており、液状化が発生する可能性はないと判定される。なお、地盤変位概略値 D_{cy} 値は 0.00cm で液状化の程度としては「なし」、液状化指数 PL 値は 0.000 で危険度は「かなり低い」と評価される。

・ 終局限界検討 350gal

GL-11m で $F_L < 1$ を示しており、液状化が発生する可能性があると判定される。しかしながら、地盤変位概略値 D_{cy} 値は 0.50cm で液状化の程度としては「軽微」、液状化指数 PL 値は 0.415 で危険度は「低い」と評価される。

以上のとおり、最も想定する地震力が大きい終局限界 350gal では液状化が発生する可能性があることが判定され、調査地は液状化に対してやや注意が必要な地盤であることが判明した。

液状化の危険性が予測されれば、a) 地盤改良+直接基礎、b) 地盤改良+杭基礎、c) 地盤改良なし+構造的対策などの選択を行うことになるが、基本的に地盤を液状化させないとする考え方のほか、損傷限界に対しては液状化させないが、終局限界に対しては液状化の発生をある程度許して、構造的対策をとるなどの考え方もある。このため想定する地震動のレベルを踏まえてどのような方法・対策を行うか十分検討する必要がある。ただし、液状化を防止する目的で地盤改良を行ったり、剛性の高い基礎を採用したりすると、上部構造・基礎構造への地震荷重が大きくなる可能性のあることに留意する必要がある。

参考までに昭和 58 年 5 月に発生した日本海中部地震による被災箇所のうち液状化を原因とする箇所を図 5.2.4 に示す。同図からすると、調査地の周辺では国道沿いで液状化が起因する被災箇所が見られるものの、調査地とは比高に大きな差があり、自然水位も高いと想定されることから、同様に扱うことはできない。

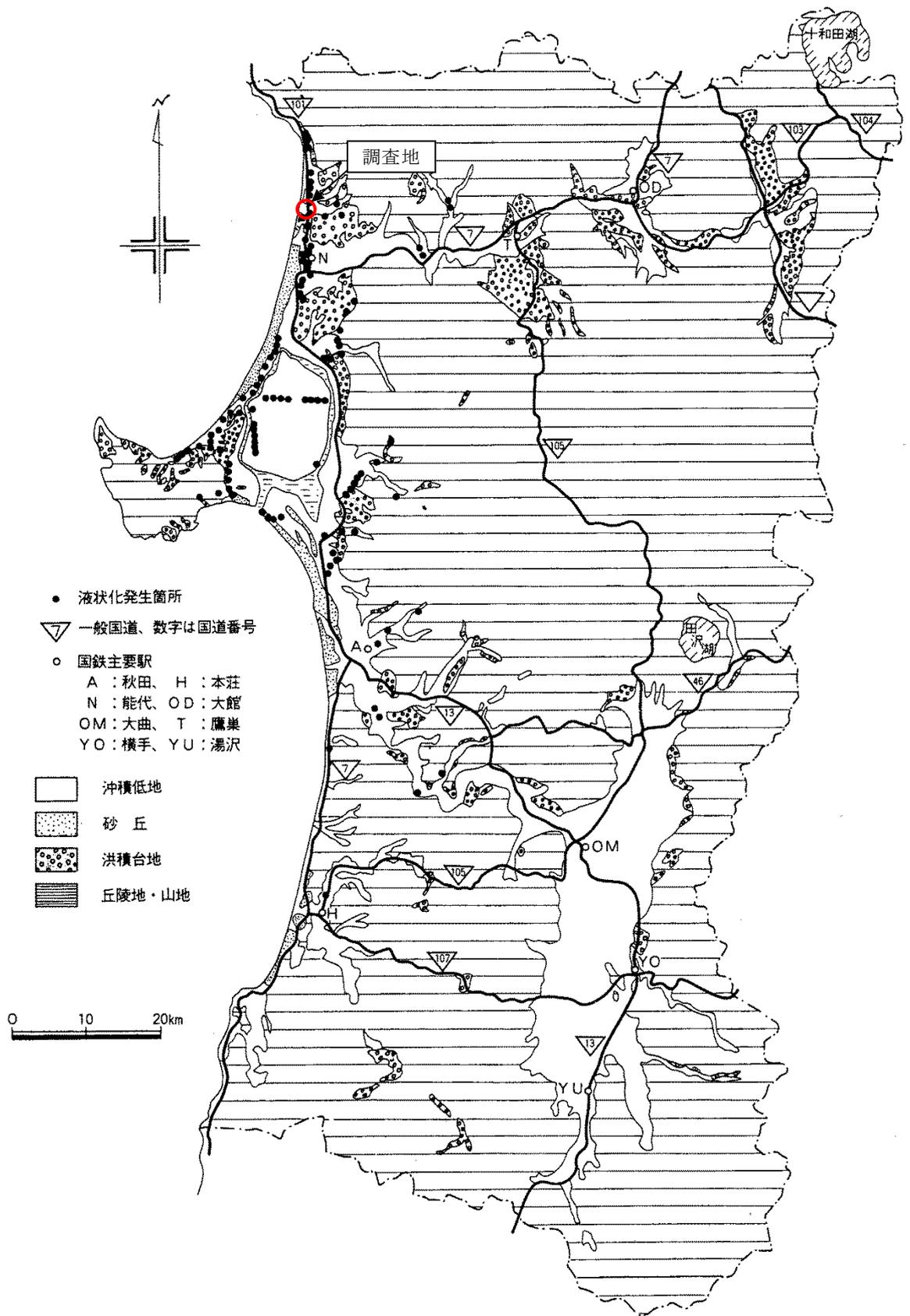


図 5.2.4 日本海中部地震による被災箇所のうち液状化を原因とする箇所

「昭和 58 年日本海中部地震—土木施設等災害記録—（秋田県土木部：昭和 59 年 5 月）p72」より

5.3 支持地盤及び基礎形式について

図 5.3.1 に、「建築基礎構造設計指針（日本建築学会：平成 13 年 10 月）p58」より抜粋した支持地盤の深度と適用可能な基礎形式を示す。ここでは、同図による支持地盤及び基礎形式について考察する。

図 5.3.1 支持地盤の深度と適用可能な基礎形式

表 5.3.1 基礎形式ごとの検討事項・チェック事項一覧

図 5.3.1 及び表 5.3.1 「建築基礎構造設計指針（日本建築学会：平成 13 年 10 月）p58」に一部加筆

(a)～(i)は表 5.3.1 の各基礎形式に対応

建築物基礎の支持層は、構造物の重要度や基礎に作用する荷重の規模によっても異なるため一律に定められるものではないが、一般には N 値 30~50 程度以上を有する地層が目安とされている。これを基に判断すると、調査地においては礫質土層 1 (Dg1) が支持地盤として挙げられる。当該土層は設計 N 値 49、層厚 5.0~7.3m が確認され、基礎形式としては図 5.3.1 に示す (i) 杭基礎 (支持杭) が該当する。なお、杭の工法としては表 5.3.2 に示す選定表からすると、既製杭では埋め込み工法 (プレボーリング工法、中掘り工法)、場所打ちコンクリート杭ではオールケーシング工法やリバース工法等が候補となろう。

ただし、大きな注意点として下記のようなことが挙げられる。

- ① 若干の傾斜及び層厚変化がある
- ② 場所により粘性土層 1 (Dc1) の挟在がある
- ③ 上位層で液状化の可能性がある

このうち、③の液状化に関しては図 5.3.2 に示す液状化対策工法において、堅固な地盤による支持 (杭基礎) 自体が対策工法の一つとなるため、設計時に杭の周面摩擦力や水平地盤反力係数等の低減をすることで液状化対策とすることができよう。しかし、①及び②に関しては杭先端深度や杭長の決定に大きく係るため、十分な検討が必要であることに加え、施工時に排出される土砂を確認して確実に支持地盤に到達しているかを判断することが肝要であろう。

以上のように考えられるが、ここで挙げた支持地盤及び基礎形式はあくまで地盤の観点からの一考察である。このため、基礎設計の際には要求性能を満足する組み合わせを抽出し、その構造性能のほか施工性・経済性、周辺の施工実績等の比較検討のうえで、最も合理的なものを選定されたい。

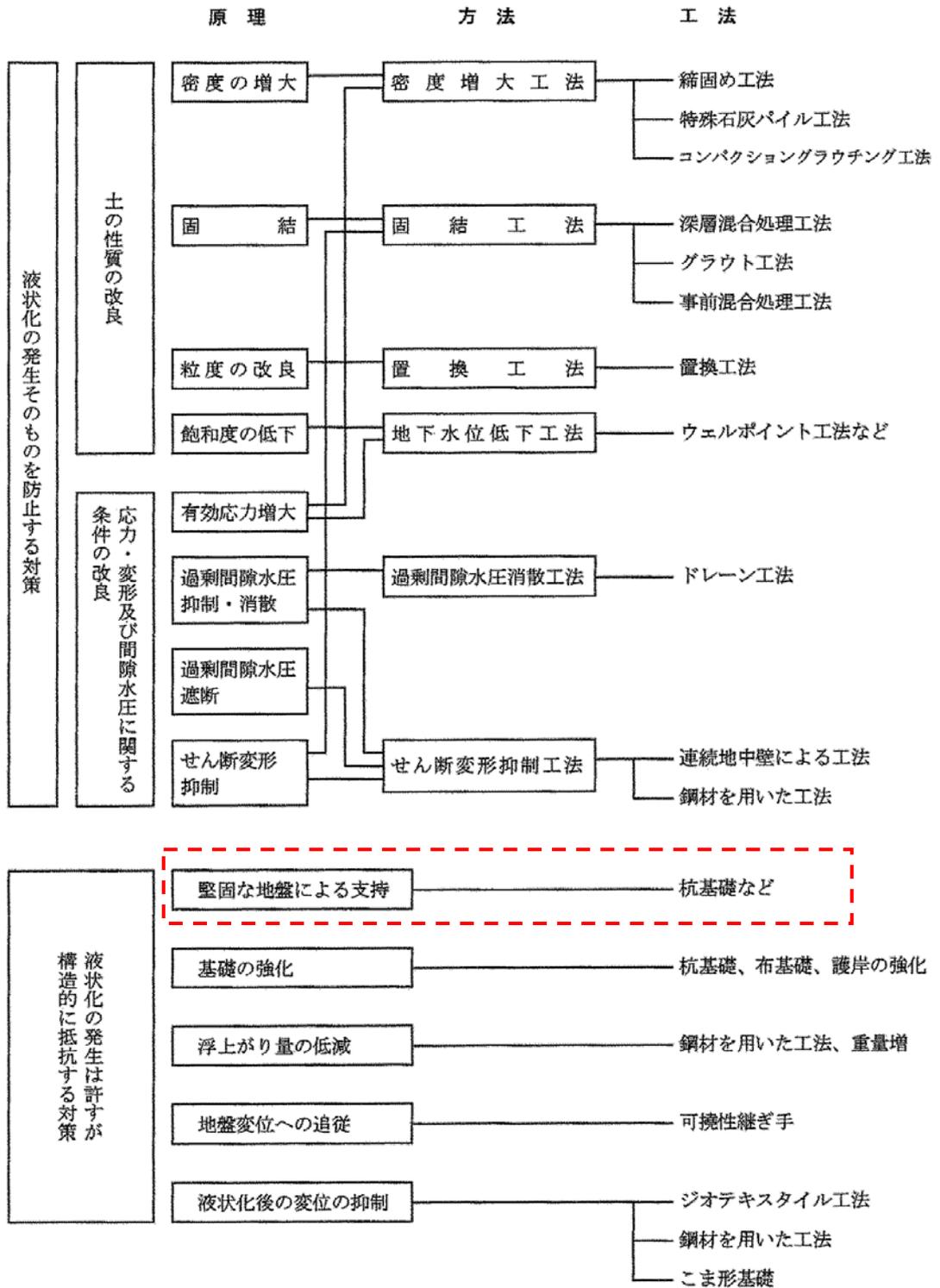


図 5.3.2 液状化対策工法の分類

「建築構造設計基準及び同解説 平成 16 年版（公共建築協会：平成 17 年 2 月）p296」より

5.4 地下水利用について

(1) まとめ

「施設利用のための地下水調査 No. 1 (深井戸)」及び「飲用のための地下水調査 No. 2 (浅井戸)」の施工によって、浅井戸と深井戸の水質及び概ねの水量を把握した。

各調査井戸の仕様や揚水試験の結果は本文の如くであるが、まとめて表 5.4.1 に示す。

表 5.4.1 地下水調査結果一覧

孔 番	地下水調査 No. 1	地下水調査 No. 2
井戸口径(mm)	50	50
深 度(m)	70	12
パイプ設置(m)	50	12
ストレーナー位置 GL-(m)	12.00~20.00 38.00~46.00	9.00~10.00
ストレーナー長(m)	16	1
自然水位 GL-(m)	9.77	9.02
最大揚水量(ℓ/min)	20	4.4
動水位 GL-(m)	9.81	9.17
水位降下量(m)	0.20	0.15
水温(℃)	11.9	12.6
水 質	▲鉄：4.4mg/ℓ ▲マンガン：0.35 mg/ℓ pH：7.3 ▲色度：39 度 ▲濁度：2.6 度	▲鉄：1.1mg/ℓ ▲マンガン：0.27 mg/ℓ pH：6.5 色度：3.9 度 濁度：1.1 度

※₁ 既設処理場の調査井戸の水質は、▲鉄：8.71 mg/ℓ、▲マンガン：0.46 mg/ℓ、
pH：6.6、▲色度：15 度、▲濁度：100 度であった。

※₂ 水質で▲マークがついている項目は、基準値オーバーである。

(2) 透水係数(k)

粒度試験結果の20%粒径(D_{20})を用いた表5.4.2に示す「Creagerによる推定値」、または図5.4.1に示す「透水性と土質区分」より推定する。

		透水係数 k (m/s)											
		10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0
透水性		実質上不透水		非常に低い		低い		中位		高い			
対応する土の種類	粘土性 (C)	微細砂、シルト 砂-シルト-粘土混合土 (SF) (S-P) (M)				砂及びれき(礫) (GW) (GP) (SW) (SP) (G-F)			清浄なれき (GW) (GP)				
透水係数を直接測定する方法	特殊な変水位 透水試験	変水位透水試験					定水位透水試験		特殊な変水位 透水試験				
透水係数を間接的に測定する方法	圧密試験結果から計算		なし			清浄な砂及びれきは、粒度と間げき(隙)比とから計算							

図 5.4.1 透水性と土質区分

「地盤調査の方法と解説 (地盤工学会：平成 25 年 3 月) p488」より

表 5.4.2 Creager による D_{20} と透水係数 k の関係

D_{20} (mm)	k (cm/sec)	土質分類	D_{20} (mm)	k (cm/sec)	土質分類
0.005	3.00×10^{-6}	粗粒粘土	0.18	6.85×10^{-3}	微粒砂
0.01	1.05×10^{-5}	細粒シルト	0.20	8.90×10^{-3}	
			0.25	1.40×10^{-2}	
0.02	4.00×10^{-5}	粗砂シルト	0.3	2.20×10^{-2}	中粒砂
0.03	8.50×10^{-5}		0.35	3.20×10^{-2}	
0.04	1.75×10^{-4}		0.4	4.50×10^{-2}	
0.05	2.80×10^{-4}		0.45	5.80×10^{-2}	
0.06	4.60×10^{-4}	極微粒砂	0.5	7.50×10^{-2}	粗粒砂
0.07	6.50×10^{-4}		0.6	1.10×10^{-1}	
0.08	9.00×10^{-4}		0.7	1.60×10^{-1}	
0.09	1.40×10^{-3}		0.8	2.15×10^{-1}	
0.10	1.75×10^{-3}		0.9	2.80×10^{-1}	
0.12	2.6×10^{-3}	微粒砂	1.0	3.60×10^{-1}	粗粒砂
0.14	3.8×10^{-3}		2.0	1.80	
0.16	5.1×10^{-3}				

今回の調査井戸の採水対象となった土層の、20%粒径 D_{20} より推定した透水係数を表 5.4.3 にまとめる。

表 5.4.3 20%粒径 D_{20} を用いた Creager による推定値

試料番号	試料深度 GL-(m)	土層記号	D_{20} (mm)	透水係数 k (m/sec)	地盤材料の分類名 (分類記号)
1P9	9.15~9.45	sd1	0.15	4.45×10^{-5}	細粒分まじり砂(S-F)
1P10	10.15~10.45	sd2	0.16	5.10×10^{-5}	細粒分まじり砂(S-F)
1P11	11.15~11.45	sd2	0.17	5.97×10^{-5}	細粒分まじり砂(S-F)
1P12	12.15~12.45	sd2	0.18	6.85×10^{-5}	細粒分まじり砂(S-F)
1P13	13.15~13.45	Dg1	1.1	5.04×10^{-3}	砂質礫(GS)
1P14	14.15~14.44	Dg1	0.20	8.90×10^{-5}	細粒分まじり礫質砂(SG-F)
1P15	15.15~15.40	Dg1	0.29	2.04×10^{-4}	細粒分まじり砂質礫(GS-F)
1P16	16.15~16.31	Dg1	0.42	5.02×10^{-4}	砂質礫(GS)
1P17	17.05~17.15	Dg1	0.21	9.92×10^{-5}	細粒分まじり礫質砂(SG-F)
1P19	19.15~19.31	Dg1	0.24	1.29×10^{-4}	細粒分まじり砂質礫(GS-F)
1P39	39.15~40.45	Dg2	0.28	1.88×10^{-4}	細粒分まじり礫質砂(SG-F)
1P41	41.15~42.45	Dg2	0.68	1.50×10^{-3}	細粒分まじり砂質礫(GS-F)
1P43	43.15~44.45	Dg2	0.17	5.97×10^{-5}	細粒分まじり礫質砂(SG-F)

結果から、砂丘砂層 1 (sd1) は粒度試験 1 点のみであるが $k=4.45 \times 10^{-5}$ (m/sec) を得た。砂丘砂層 2 (sd2) は 3 点で $k=5.10 \times 10^{-5} \sim 6.85 \times 10^{-5}$ (m/sec)、礫質土層 1 (Dg1) は 6 点で $k=8.90 \times 10^{-5} \sim 5.04 \times 10^{-3}$ (m/sec)、礫質土層 2 (Dg2) は 3 点で $k=5.97 \times 10^{-5} \sim 1.50 \times 10^{-3}$ (m/sec) を得た。透水性は、砂丘砂層では「中位」、礫質土層では「高い」と判断され、確認土層との相関も比較的良好であった。

(3) 井戸径を大きくした場合の揚水量の試算 (深井戸)

地下水調査 No. 1 では井戸径 50mm で $Q=200/\text{min}$ ($28.8 \text{ m}^3/\text{day}$) の揚水量が得られたが、参考までに井戸径を大きくした場合の揚水量を試算してみる。

試掘井の揚水試験結果から、本井戸の口径を決定する実用式として次の式が用いられる。(村下敏男著：地下水学要論より)

$$Q = q k \times H / h \times D / d$$

ただし Q : 本井戸の揚水量 (m^3/day)

q : 試掘井の揚水量 (m^3/day)

K : 0.6 (通常は 0.8 であるが
安全性を考慮して 0.6 とした)

H : 本井戸の水位降下量 (m)

h : 試掘井の水位降下量 (m)

D : 本井戸の口径 (m)

d : 試掘井の井戸径 (m)

調査井戸の揚水試験の結果から揚水量を $28.8 \text{ (m}^3/\text{day)}$ 、その時の水位降下を 0.40m とし、本井戸における水位降下量を 1.00m と仮定すると、井戸径を 200mm 、 250mm 、 300mm 、 350mm とした場合の揚水量は下記のように試算される。

井戸径 $\phi 200\text{mm}$ の場合

$$\begin{aligned} Q &= 28.8 \times 0.6 \times 1.00 / 0.40 \times 200 / 50 \\ &= 172.8 \text{ (m}^3/\text{day)} \end{aligned}$$

井戸径 $\phi 250\text{mm}$ の場合

$$\begin{aligned} Q &= 28.8 \times 0.6 \times 1.00 / 0.40 \times 250 / 50 \\ &= 216.0 \text{ (m}^3/\text{day)} \end{aligned}$$

井戸径 $\phi 300\text{mm}$ の場合

$$\begin{aligned} Q &= 28.8 \times 0.6 \times 1.00 / 0.40 \times 300 / 50 \\ &= 259.2 \text{ (m}^3/\text{day)} \end{aligned}$$

井戸径 $\phi 350\text{mm}$ の場合

$$\begin{aligned} Q &= 28.8 \times 0.6 \times 1.00 / 0.40 \times 350 / 50 \\ &= 302.4 \text{ (m}^3/\text{day)} \end{aligned}$$

以上のように、井戸径を大きくした場合は前述のような揚水量が採取可能と推定され、水位降下量を大きくした場合さらに増量するが、口径を大きくした場合でも井戸の状態や、地下水の補給状態によって揚水量が大きく変わる可能性もあるため注意を要する。

今回の調査井戸では、礫質土層 1（層厚 7.30m）・礫質土層 2（層厚 6.00m）で、トータル 13.30m の採水対象層が確認されており、十分現実味のある推定値と判断される。

(4) 井戸径を大きくした場合の揚水量の試算（浅井戸）

地下水調査 No.2 では井戸径 50mm で $Q=4.4\text{l}/\text{min}(6.3\text{ m}^3/\text{day})$ の揚水量が得られたが、深井戸同様参考までに井戸径を大きくした場合の揚水量を試算してみる。

調査井戸の揚水試験の結果から揚水量を $6.3\text{ (m}^3/\text{day)}$ 、その時の水位降下を 0.15m とし、本井戸における水位降下量を 0.20m と仮定すると、井戸径を 200mm 、 250mm 、 300mm 、 350mm とした場合の揚水量は下記のように試算される。

井戸径 $\phi 200\text{mm}$ の場合

$$\begin{aligned} Q &= 6.3 \times 0.6 \times 0.20 / 0.15 \times 200 / 50 \\ &= 20.1 \text{ (m}^3/\text{day)} \end{aligned}$$

井戸径 $\phi 250\text{mm}$ の場合

$$\begin{aligned} Q &= 6.3 \times 0.6 \times 0.20 / 0.15 \times 250 / 50 \\ &= 25.2 \text{ (m}^3/\text{day)} \end{aligned}$$

井戸径 $\phi 300\text{mm}$ の場合

$$\begin{aligned} Q &= 6.3 \times 0.6 \times 0.20 / 0.15 \times 300 / 50 \\ &= 30.2 \text{ (m}^3/\text{day)} \end{aligned}$$

井戸径 $\phi 350\text{mm}$ の場合

$$\begin{aligned} Q &= 6.3 \times 0.6 \times 0.20 / 0.15 \times 350 / 50 \\ &= 35.2 \text{ (m}^3/\text{day)} \end{aligned}$$

以上のように、井戸径を大きくした場合は前述のような揚水量が採取可能と推定されるが、口径を大きくした場合でも井戸の状態や、地下水の補給状態によって揚水量が大きく変わる可能性もあるため注意を要する。

今回の調査井戸では、地下水位以深の色調が褐色系を呈す砂丘砂層 1 (sd1) は僅か 1.0m 弱しかなく、下位の色調が青色系を呈す砂丘砂層 2 (Sd2) との間には遮水層となる粘性土も存在せず、揚水に伴い下位層から鉄・マンガン等の含有量が高い地下水を引き込む可能性が大である。本井戸の施工性から考えても、やや現実味の無い推定値と判断される。

使用図書・文献

- ・本業務特記仕様書----- 平成 30 年 6 月
- ・地質・土質調査業務共通仕様書（秋田県）----- 平成 29 年 10 月
- ・ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・
保管要領（案）・同解説（全国地質調査業協会連合会）----- 平成 27 年 6 月
- ・地盤調査の方法と解説（地盤工学会）----- 平成 25 年 3 月
- ・地盤材料試験の方法と解説（地盤工学会）----- 平成 21 年 11 月
- ・地盤調査 基本と手引き（地盤工学会）----- 平成 17 年 4 月
- ・土質試験 基本と手引き（地盤工学会）----- 平成 13 年 3 月
- ・昭和 58 年 日本海中部地震（秋田県土木部）----- 昭和 59 年 5 月
- ・5 万分の 1 地質図幅 能代地域の地質（地質調査所）----- 昭和 45 年 12 月
- ・設計要領第一集 土工編（高速道路総合技術研究所）----- 平成 24 年 7 月
- ・建築基礎構造設計指針（日本建築学会）----- 平成 13 年 10 月
- ・2007 年版建築物の構造関係技術基準解説書（全国官報販売共同組合）平成 19 年 8 月
- ・建築基礎構造設計のための地盤評価・Q&A（日本建築学会）----- 平成 27 年 11 月
- ・建築構造設計基準及び同解説 平成 16 年版（公共建築協会）----- 平成 17 年 2 月

北部粗大ごみ処理工場（既存施設）

地質・水質等調査位置図

23.7

調査

1-1
原 23.920

1.610
1-2
原

試掘井

原 6.22

1-3

251

原 2062

250

小林敬三郎
畑 350

能

作

24193

2072

原

畑

W
C

調査位置平面図

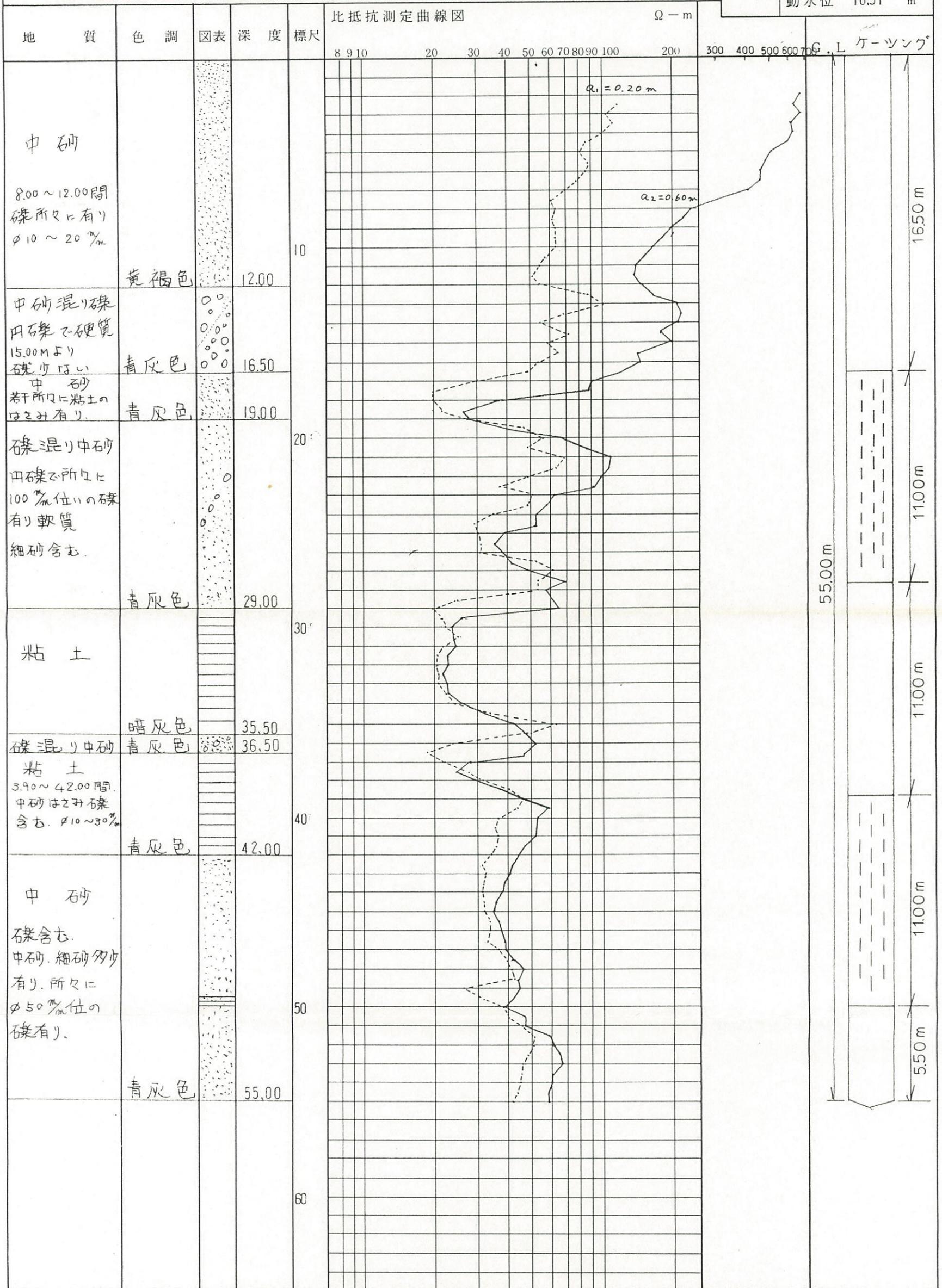
北部粗大ごみ処理工場

柱状図

北部ゴミ処理施設建設候補地
地質及び水質水量調査

取水井地質柱状図

揚水試験	静水位	7.81 m
	揚水量	176 m ³ /日
	動水位	10.51 m



株式会社 伊藤ボーリング

秋田市土崎港中央五丁目1の12
TEL0188-(45)-0573