

廃棄物埋設施設における
許可基準規則への適合性について

第十条 廃棄物埋設地のうち第四号

(廃止措置の開始後の評価)

線量評価パラメータ

-埋設設備からの流出水量-

2020年4月

日本原燃株式会社

目次

1. はじめに.....	1
2. 事業所敷地の水理地質の特徴及び地下水の流動状況	2
(1) 事業所敷地周辺の地形と水系及びかん養	2
(2) 事業所敷地の水理地質の特徴	3
(3) 埋設設備設置地盤付近の地下水の流動状況	34
3. 埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算方法	38
(1) 計算モデル設定の考え方と計算の流れ	38
(2) 2次元地下水浸透流解析のコード	40
(3) 埋設設備からの流出水量の計算(要素単位)	40
(4) 埋設設備からの流出水量の計算(埋設設備単位)	42
(5) 埋設設備からの流出水量の計算(廃棄物埋設地単位)	43
(6) 埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算	43
(7) 動水勾配比率による埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算	44
4. 埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算に必要な条件設定及び計算結果	45
(1) 廃棄物埋設地付近の水理場の設定	45
(2) 解析断面及び解析領域の設定	46
(3) 境界条件の設定	50
(4) 透水係数の設定	52
(5) 2次元地下水浸透流解析モデルの現況再現性について	60
(6) 動水勾配の設定について	60
(7) 計算ケース	61
(8) 計算方法	61
(9) 埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算結果	61
5. 参考文献	62

添付資料1 事業所敷地の地下水位測定結果

添付資料2 埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定結果

添付資料3 廃棄物埋設地付近の透水試験結果

添付資料4 事業所敷地の水質試験結果

添付資料5 放射性物質を含む地下水が分水界の北側へ移行した場合の線量評価について

添付資料6 3号廃棄物埋設地の2次元地下水浸透流解析モデルの現況再現性の確認

添付資料7 埋設設備からの流出水量を求めるための2次元地下水浸透流解析結果

添付資料8 既申請と2次元地下水浸透流解析による埋設設備からの流出水量について

添付資料9 1号埋設設備狭隘部の充填材が劣化した場合の埋設設備からの流出水量について

参考資料1 水理特性を試験スケールから評価スケールに巨視化する方法

1. はじめに

本資料は、「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号(廃止措置の開始後の評価)」のうち線量評価パラメータである埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の設定について補足説明するものである。

本資料の構成は、以下の項目からなる。

- ・現状における事業所敷地の水理地質の特徴及び地下水の流動状況
- ・埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算方法
- ・埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算に必要な条件設定及び計算結果

以下、それぞれ説明する。

2. 事業所敷地の水理地質の特徴及び地下水の流動状況

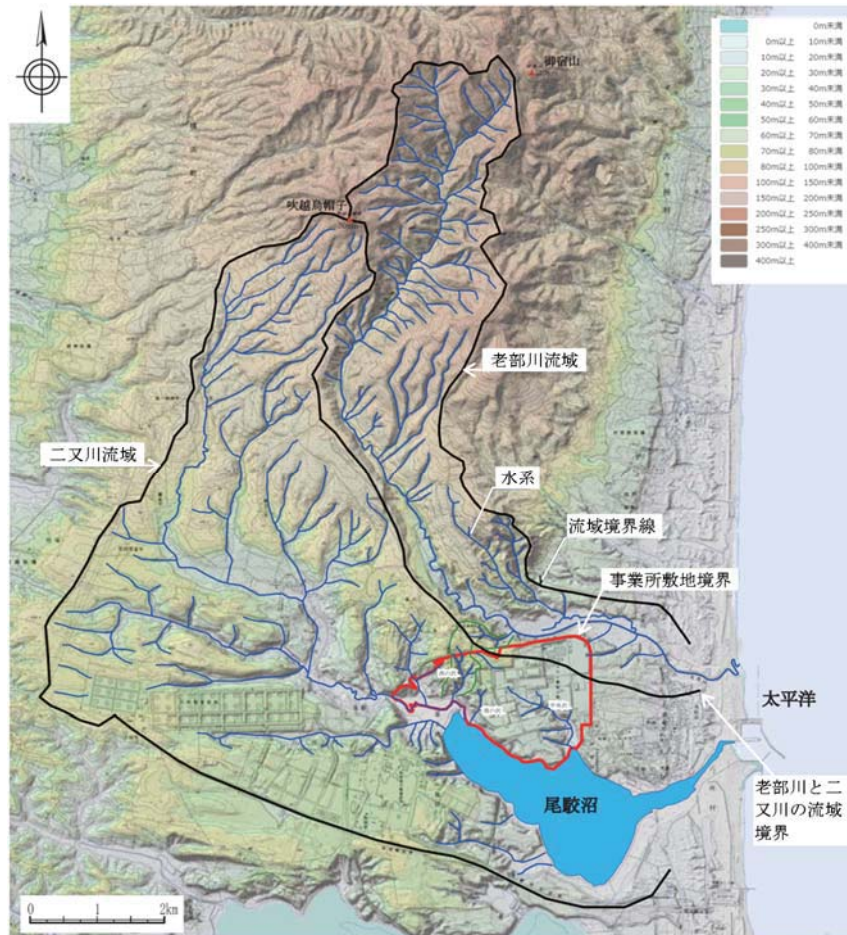
埋設設備設置地盤付近の地下水の流動状況を説明するに当たり、事業所敷地周辺の地形と水系及びかん養、及び事業所敷地の水理地質の特徴について説明し、これらを踏まえて埋設設備設置地盤付近の地下水の流動状況について説明する。

(1) 事業所敷地周辺の地形と水系及びかん養

事業所敷地付近には、第1図に示すように、老部川及び二又川が流れている。老部川は、事業所敷地の北側の標高約5m～20mの谷間を西から東に向かって流れ、太平洋に流入している。二又川は事業所敷地の南西側の標高約1m～5mの低地を事業所敷地境界に沿って西から東に向かって流れ、事業所敷地南側の尾駁沼に流入している。

廃棄物埋設地は、事業所敷地内の標高30m以上の台地上に位置することから、老部川及び二又川は、廃棄物埋設地の標高よりも低い位置を流れている。

廃棄物埋設地及びその付近は、北西から南東に緩く傾斜する台地からなり、西側及び北側は沢地形で後背丘陵地と区分されており、地下水は主に降水によってかん養されている。



第1図 事業所敷地周辺の地形と水系*1

*1 国土地理院のウェブ地図「地理院地図」(<https://maps.gsi.go.jp/>) で作成。

(2) 事業所敷地の水理地質の特徴

事業所敷地の水理地質の特徴について、地下水位、間隙水圧、地盤の透水性及び地下水の水質について以下に説明する。

(i) 地下水位

地下水位及び地下水の流向を調査するため、敷地内における 250m グリッド間隔程度のボーリング孔を用いて地下水位観測を行った。地下水位観測位置を第 2 図に示す。

地下水位の測定は、JGS1312⁽¹⁾に準拠した(測定方法の詳細は添付資料 1「3. 地下水位測定方法」に記載した)。

地下水位観測は、圧力センサを設置し連続的に自動計測する方法又は地下水面を検出する触針式水位計による手動式の方法の 2 種類を用いた。

手動式の計測は、年間の平均的な水位を示す 6 月に計測を行った。

地下水位観測結果を第 3 図に、地下水面標高等高線図を第 4 図にそれぞれ示す。

a. 地下水位観測結果

敷地内の地下水位は、第 3 図に示すように、主に第四紀層内にあり、融雪や降雨の影響を受けて変動している。

b. 地下水面標高等高線

地下水面標高等高線は、第 4 図に示すように、地形と調和的であり、地下水の流向は、地形面標高の傾斜方向とおおむね一致する。

廃棄物埋設地の北～北東側には、東－西方向～西北西－東南東方向の台地の尾根線が分布し、基本的にはこの尾根線よりも北側では主に北へ、南側では主に南へ地下水が流れている。

廃棄物埋設地は、台地の尾根線の南に位置することから、廃棄物埋設地表層付近の第四紀層を通過した地下水は、主に南へ流下し、中央沢、南の沢又は西の沢を経て尾駁沼に流入する。

c. 地下水面の勾配

一般的に均質等方媒体を通る広域流動系へ及ぼす地下水面の起伏は、第 5 図に示すように局所的な起伏がない場合には広域流動系だけが発達し、浅い地下水の全水頭等高線は地表面と直交し、浅い地下水の動水勾配は地表面勾配と同じになる。

廃棄物埋設地付近の台地を構成する地質は、鷹架層を基盤とし、その上部に第四紀層が覆っている。地下水面が第四紀層内に分布する理由は、鷹架層の透水係数が $1 \times 10^{-8} \text{m/s} \sim 1 \times 10^{-7} \text{m/s}$ 程度、事業所敷地の第四紀層の透水係数が $1 \times 10^{-6} \text{m/s} \sim 1 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 程度であり、2 オーダー程度異なり、地表から浸透した地下水が容易に鷹架層に浸透していかないためであると考えられる。

第 6 図に、地表面、地下水面及び第四紀層下限面の関係を示す。

地下水面は、事業所敷地全体の傾向として、台地(段丘面)部では比較的広い範囲で第四紀層内に分布する。地下水位が第四紀層にない(鷹架層となる)地点は細尾根部(沢発達部)、段丘崖及び中央沢の近傍等の段丘縁辺部に当たる地点が多い。しかし、比較的台地の中央部の段丘面上にある地点においても第四紀層よりも深い位置に地下水が分布している地点がある。これらの地点は細尾根部(沢発達部)の延長線付近にあるものが多

く、地下水面が下がりやすい環境にあると考える。

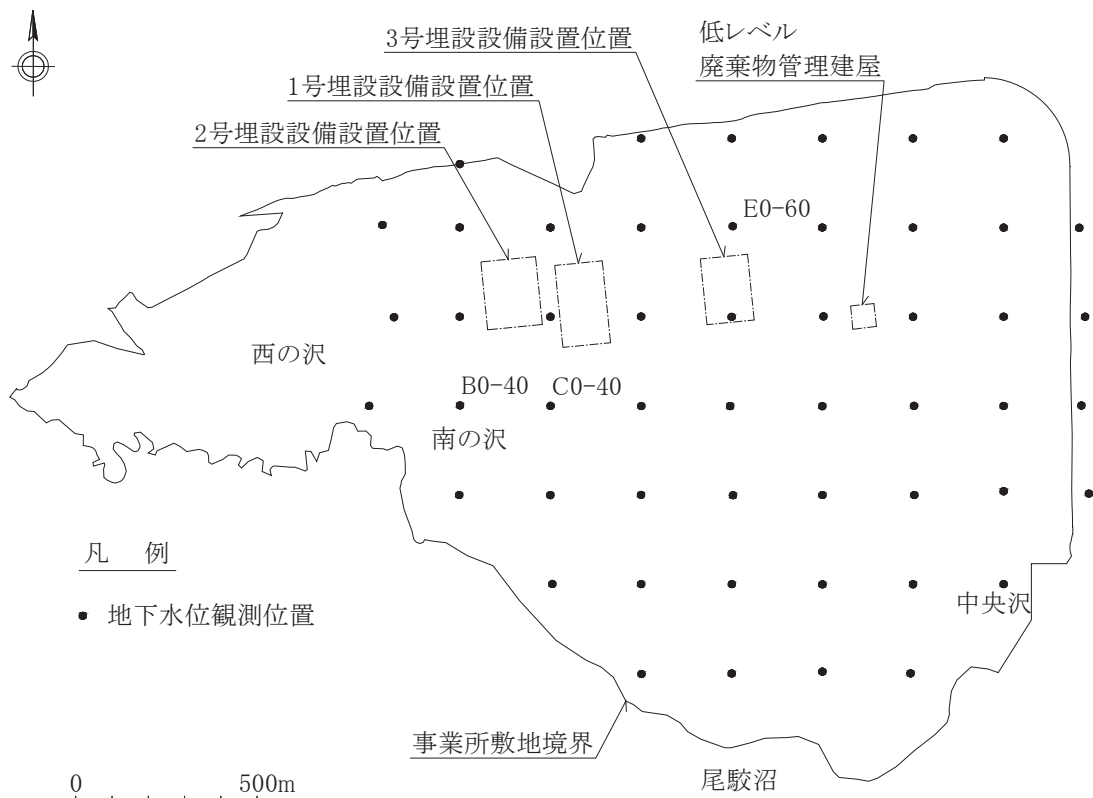
地下水面の動水勾配については、台地中央の尾根線から南側の台地端部付近間では2.3%、3号廃棄物埋設地の掘削範囲両端間では2.6%である。

沢等の急崖部付近を除く台地上において第四紀層内に地下水面が形成される場合、台地中央の尾根線から南側の台地端部付近間の地下水面の動水勾配は最大で3%程度になる(台地中央の尾根線から南側の台地端部付近間の地下水面の動水勾配が4%になると、沢等の急崖部付近を除く台地上の第四紀層内に地下水面を形成できない)。

台地上(台地中央の尾根線から南側の台地端部付近間)の地下水面勾配、地表面勾配及び第四紀層下限面勾配は2.0%~3.2%である。

3号廃棄物埋設地の掘削範囲の地表面勾配の平均は2.3%、地下水面勾配の平均は2.3%、第四紀層下限面勾配の平均は1.7%であり、第四紀層下限面勾配の平均は地表面勾配よりも小さい。

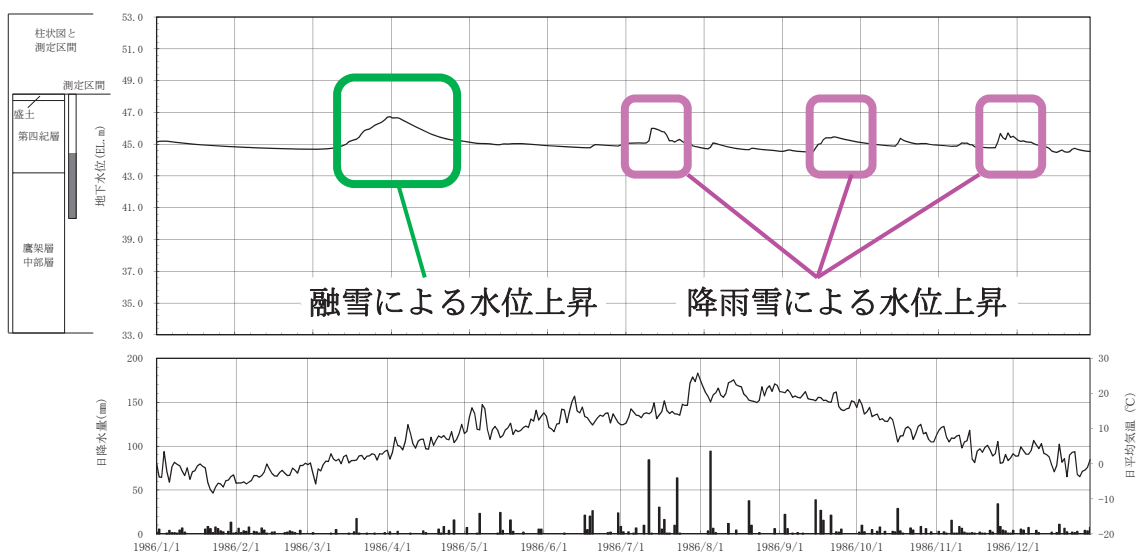
以上から、地下水面勾配の大きさは、地表面勾配と第四紀層下限面勾配の大きさの間にあると考えられる。



第2図 地下水位観測位置図(1986年)



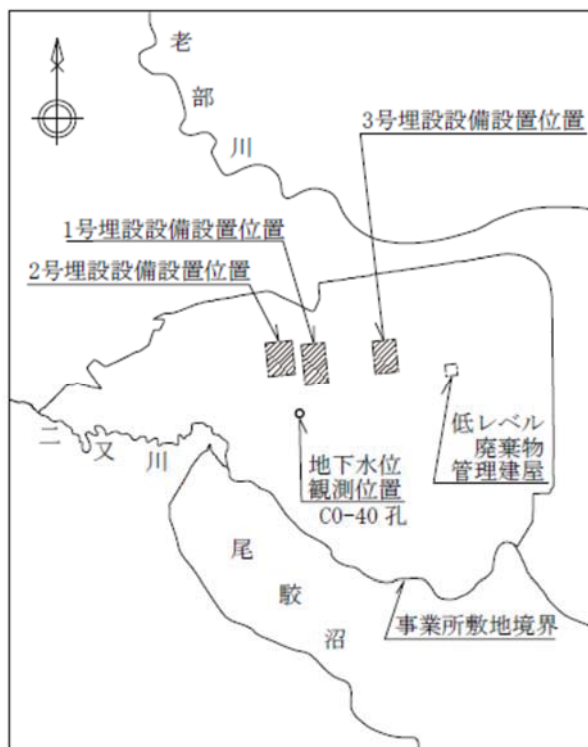
地下水位観測位置



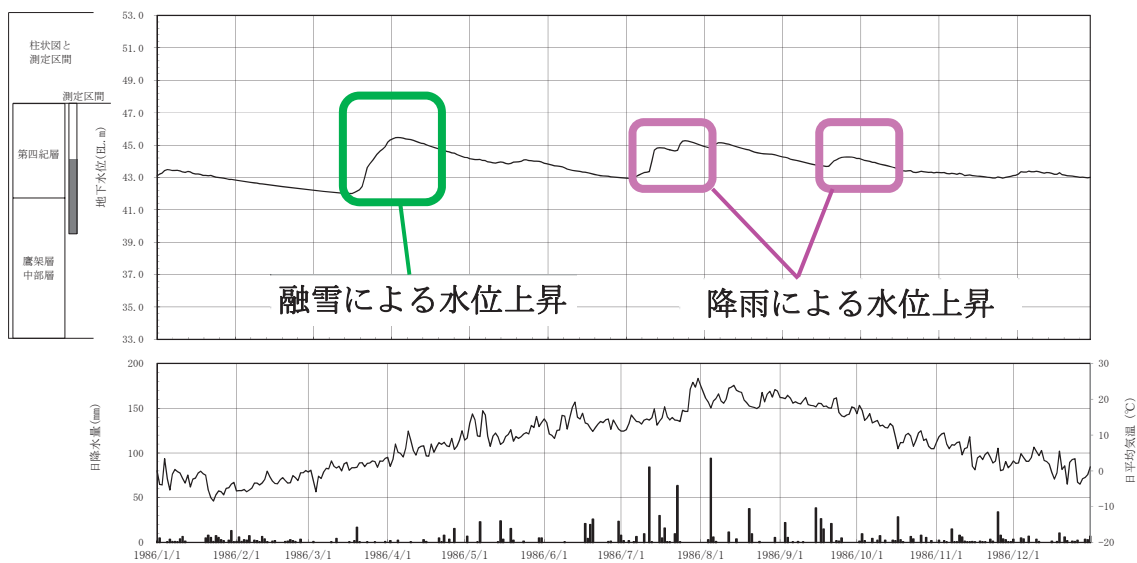
地下水位、日降水量及び日平均気温の時系列データ

第3図 地下水位観測結果(1/3)

(1986年1月1日～1986年12月31日：E0-60孔)



地下水位観測位置



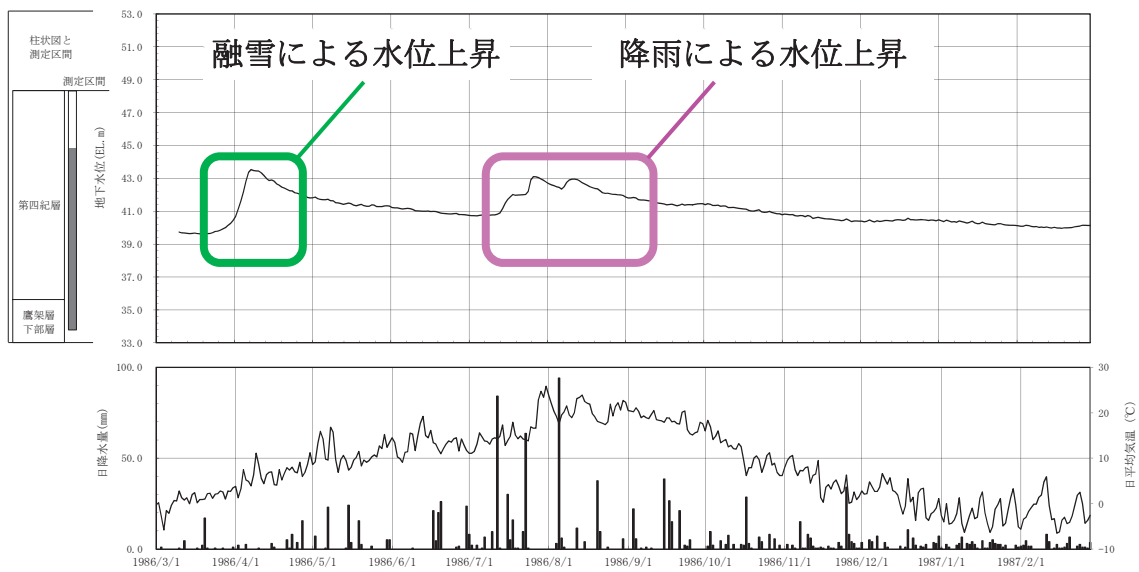
地下水位、日降水量及び日平均気温の時系列データ

第3図 地下水位観測結果(2/3)

(1986年1月1日～1986年12月31日 : C0-40 孔)



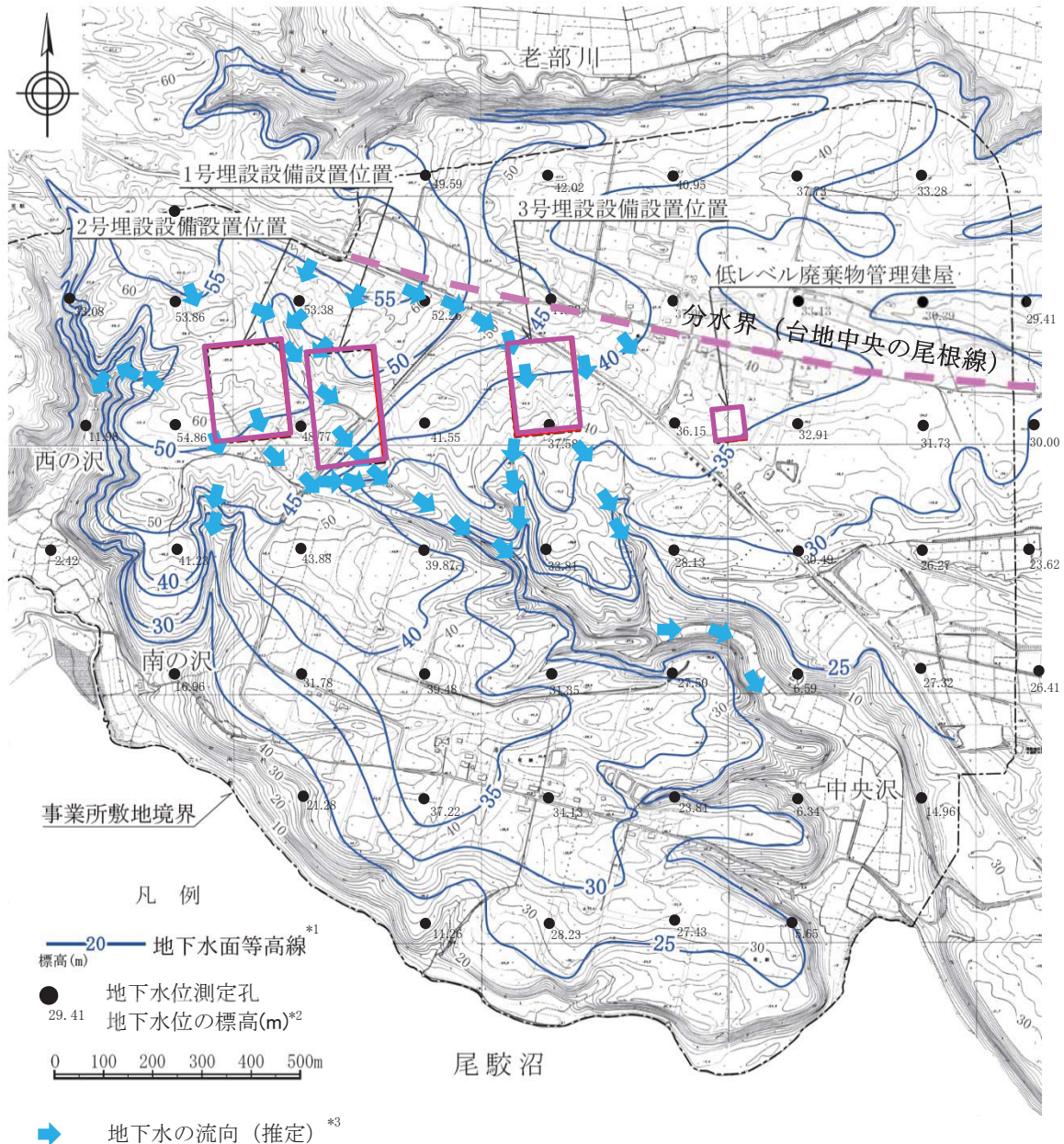
地下水位観測位置



地下水位、日降水量及び日平均気温の時系列データ

第3図 地下水位観測結果(3/3)

(1986年3月1日～1987年2月28日：B0-40孔)

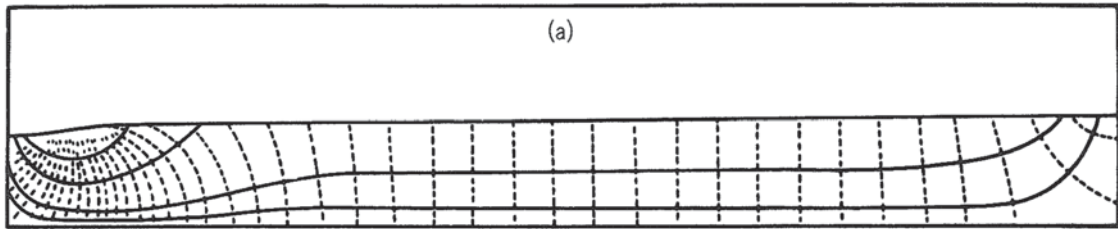


*1 事業所敷地造成前の1986年6月の地下水水位測定データを基に地形形状を勘案して作成した。地下水面標高等高線の精度は、250mグリット間隔程度の場合、一般的に地下水面と地表面分布が調和的であることから、地下水面勾配が地表面勾配に等しいと仮定し、事業所敷地内の地形勾配を2%~3%とすると、地下水水位測定孔間(孔間距離250m)の地下水位の差は5mとなり、孔間に5m間隔の地下水面等高線が引ける程度の精度となる。

*2 地下水面標高の測定データである地下水位の測定精度は、添付資料1「3.地下水水位測定方法」より $\pm 0.05\text{m}$ である。

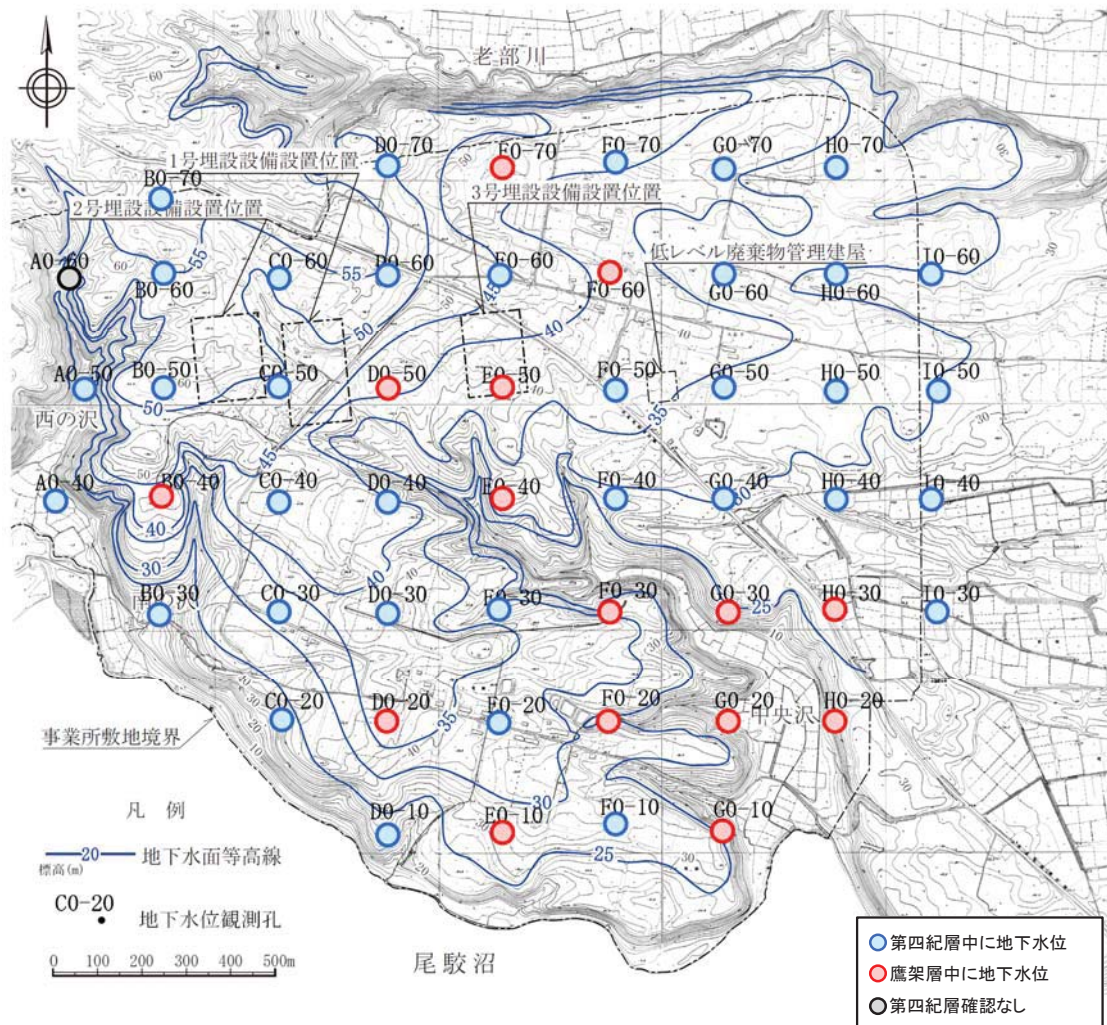
*3 地下水の流向は、地下水面標高等高線と直角の方向に地下水面標高が大きい方から小さい方の向きに矢印を引いた。

第4図 地下水面標高等高線(1986年)



(a)は、局所的な起伏がない場合には広域流動系だけが発達することを示している。
 図中の破線は全水頭等高線、実線(上端)は地表面、実線(上端でない)は流線を示す。

第5図 均質等方媒体を通る広域流動系へ及ぼす地下水面の起伏の影響*1



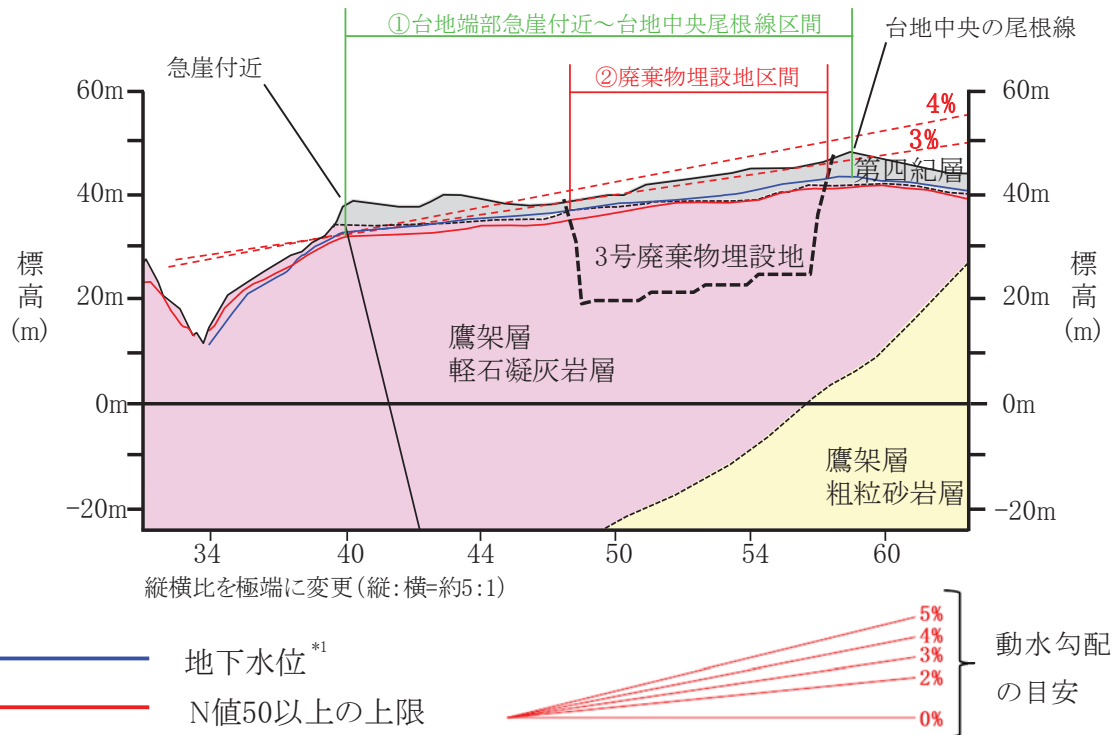
・事業所敷地全体の傾向としては、台地(段丘面)部では比較的広い範囲で第四紀層内に地下水面が分布する。
 ・地下水位が第四紀層にない(鷹架層となる)地点は細尾根部(沢発達部)、段丘崖及び中央沢の近傍等の段丘縁辺部に当たる地点が多い。
 ・比較的台地の中央部の段丘面上にある地点においても第四紀層よりも深い位置に地下水面が分布している地点がある。これらの地点は細尾根部(沢発達部)の延長線付近にあるものが多く、地下水面が下がりやすい環境にあると考える。

第6図 地表面、地下水面及び第四紀層下限面の関係(1/2)

事業所敷地における第四紀層と地下水位との関係

*1 (株)土木工学社、地下水の科学Ⅲ⁽²⁾、p41より引用。

	地表面勾配 (%)	地下水面勾配 (%)	第四紀層下限面勾配 (%)
①台地端部急崖付近～台地中央尾根線区間	2.3	2.3	1.7
②廃棄物埋設地区間	3.2	2.6	2.0



台地上の地下水面は、沢等の急崖部付近を除き、第四紀層内に分布する。台地中央の尾根線から南側の台地端部付近間における地下水面の動水勾配は2.3%、3号廃棄物埋設地の掘削範囲両端間で2.6%である。沢等の急崖部付近を除く台地上において第四紀層内に地下水面が形成される場合、台地中央の尾根線から南側の台地端部付近間における地下水面の動水勾配は最大3%程度である(4%になると、沢等の急崖部付近を除く台地上の第四紀層内に地下水面を形成できない。)

*1 第4図の地下水位測定データ(1986年6月)及び地下水面標高等高線を基に作成

第6図 地表面、地下水面及び第四紀層下限面の関係(2/2)
E2 測線鉛直断面内の地下水位分布と地下水面の動水勾配

(ii) 間隙水圧

埋設設備設置地盤付近の地下水の流動状況を確認するため、廃棄物埋設地及びその付近のボーリング孔を用いて、埋設設備の設置地盤標高付近の間隙水圧を測定した。間隙水圧測定位置を第7図に示す。

間隙水圧の測定は、JGS1312⁽¹⁾に準拠した。

計測方法は、各区分から立ち上げたパイプ内に圧力センサを設置し連続的に自動計測する方法又は各区分に圧力センサを下ろして計測する方法の2種類を用いた。

以下に、間隙水圧測定結果を基に作成した間隙水圧測定孔における全水頭分布、埋設設備設置地盤標高付近の水平断面及び鉛直断面内の全水頭等高線について説明する。

a. 間隙水圧測定孔における全水頭標高分布

間隙水圧測定結果を第8図に示す。間隙水圧測定方法及び測定結果の詳細は、添付資料2「3. 間隙水圧測定方法」及び「4. 間隙水圧測定結果」に記載した。

3号廃棄物埋設地及びその付近の間隙水圧測定孔における全水頭は、第8図に示すように、測定深度が深くなると全水頭が若干小さくなることから、鉛直下方成分を含む地下水流れが生じていると考えられる。また、3号廃棄物埋設地付近では、鷹架層中部層軽石凝灰岩層(T₂pt)と粗粒砂岩層(T₂cs)の地質境界付近において全水頭が小さくなることから、鉛直下方成分を含む地下水流れが生じていると考えられる。3号埋設設備設置地盤標高(標高約20m~25m)における標高換算全水頭は、北側からE2-57.5孔で標高44.6m、E2-56孔で標高44.5m及びE2-54孔で標高42.1mであり、北側の間隙水圧測定孔ほど高いことから、間隙水圧測定孔間の相対的な地下水の流向は主に南向きであると考えられる。

1号廃棄物埋設地及びその付近の間隙水圧測定孔における全水頭は、第8図に示すように、全水頭が深度によらず同程度であることから、鉛直下方への地下水の流れは生じていないと考えられる。1号埋設設備設置地盤標高(標高約26m~32m)における標高換算全水頭は、北側からC4-60孔で標高47.9m~48.0m、C4-54孔で標高45.6m、C4-50孔で標高41.9m、C4-44孔で標高38.5m~38.6mであり、北側の間隙水圧測定孔ほど高いことから、間隙水圧測定孔間の相対的な地下水の流向は主に南向きであると考えられる。

2号廃棄物埋設地及びその付近の間隙水圧測定孔における全水頭は、第8図に示すように、測定深度が深くなると全水頭が小さくなることから、鉛直下方成分を含む地下水流れが生じていると考えられる。2号埋設設備設置地盤標高(標高約31m~36m)における標高換算全水頭は、北側からB4-60孔で標高52.2m、B4-51孔で標高50.1mであり、北側の間隙水圧測定孔の方が高いことから、間隙水圧測定孔間の相対的な地下水の流向は主に南向きであると考えられる。

b. 埋設設備設置地盤標高付近の水平断面内の全水頭等高線

間隙水圧測定結果から作成した埋設設備設置地盤標高付近の水平断面内の全水頭等高線図を第9図に示す。

埋設設備設置地盤標高付近の水平断面内の地下水の流向は、第9図の全水頭等高線に示すように、各号機ともに北から南向きが主体である。

3号廃棄物埋設地では埋設設備外側東で東向き成分が若干大きく、北西から南東向き

が主体となる。これは地形及び地下水面の分水界が 3 号廃棄物埋設地付近の北東に位置し、分水界が北西から北東方向に分布する影響であると考える。

1 号廃棄物埋設地では埋設設備外側南で若干の西向き成分を含む流れが認められる。これは 1 号廃棄物埋設地の南側に中央沢の枝沢の影響であると考える。

2 号廃棄物埋設地では埋設設備設置地盤標高付近の水平断面内において埋設設備南側半分以南では全水頭等高線の間隔が広く、地下水が水平方向にほとんど流れていないことを示す。これは 2 号廃棄物埋設地が西ノ沢、南の沢及び中央沢の枝沢に周囲を囲まれ、かん養域に位置する影響と考える。

以上のように、埋設設備設置地盤外側付近ではその周辺の地形の影響を受けているケースや地下水の流れが遅いケースがみられるが、埋設設備設置地盤標高付近の水平断面内の地下水の流向は北から南向き主体であることに変わりはないと考える。

c. 埋設設備設置地盤標高付近の南北鉛直断面内の全水頭等高線

間隙水圧測定実施位置を通る鉛直断面内の全水頭等高線図を第 10 図に示す。

埋設設備設置地盤付近の南北方向鉛直断面内の地下水の流向は、第 10 図の全水頭等高線に示すように、各号機ともに水平及び鉛直成分を含む。

3 号廃棄物埋設地では水平面から鉛直下方へ 40° ～ 50° 、1 号廃棄物埋設地ではほぼ水平方向、2 号廃棄物埋設地では北側でほぼ水平方向、南側で鉛直下方である。

以上のように、埋設設備設置地盤付近の南北方向鉛直断面の地下水の流向は、基本的には水平流れが主体であり、分水界やその周辺のようにかん養域にあたる場所では鉛直下方成分を含む流れになっていると考える。

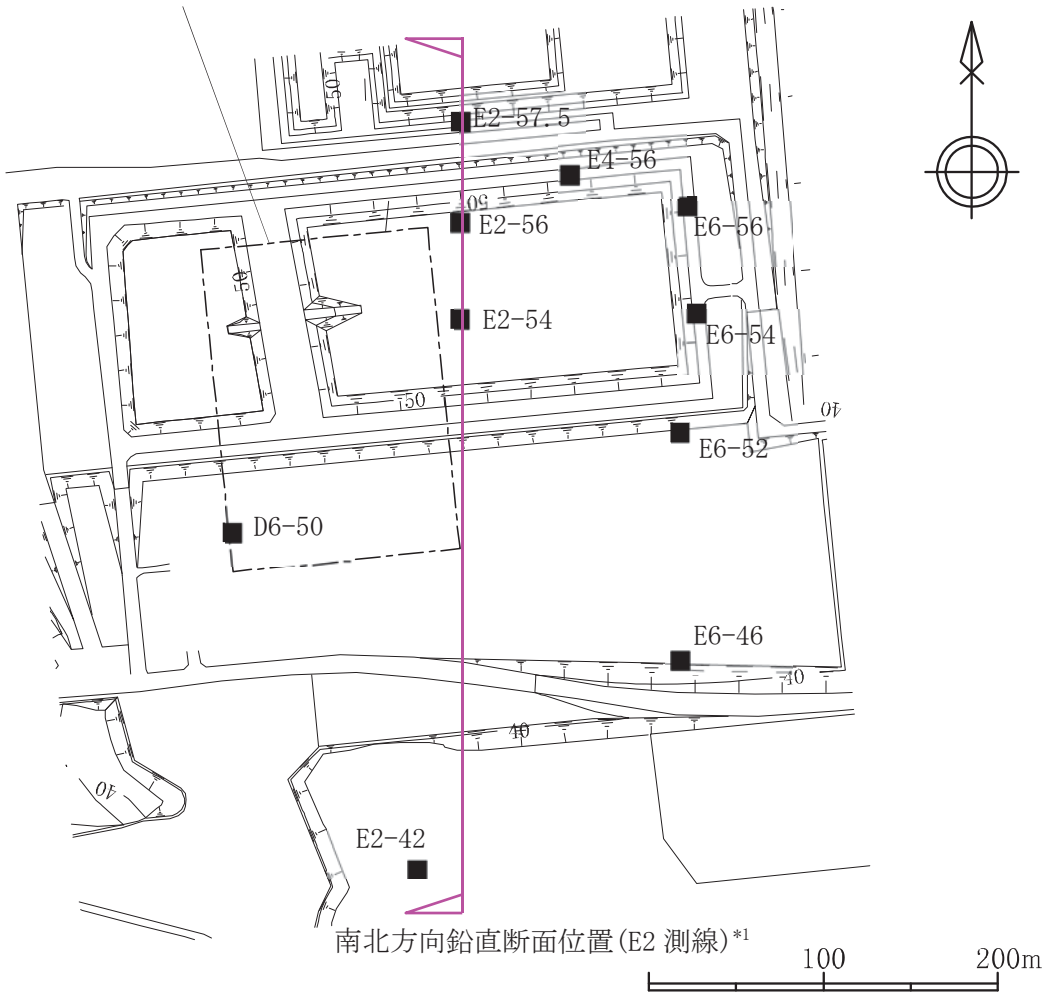
一方、間隙水圧測定実施位置を通る鉛直断面内の全水頭等高線図から求めた埋設設備設置地盤付近の動水勾配を第 1 表に示す。

埋設設備設置地盤付近の地下水の動水勾配は、3 号埋設設備で平均 4.7% (2.7%～7.5%)、1 号埋設設備で平均 3.1% (2.3%～4.9%)、2 号埋設設備で平均 5.1% (2.3%～5.3%) を示す。

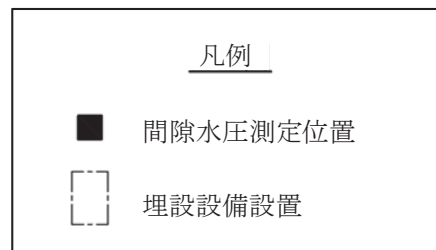
d. 間隙水圧測定における全水頭の時系列データ

間隙水圧測定における全水頭の時系列データを第 11 図に示す。間隙水圧測定孔の埋設設備設置地盤標高付近の測定区間の間隙水圧測定値 (標高換算全水頭) は、第 11 図に示すように季節変動するが、間隙水圧測定孔間の大小関係は変わらない。したがって、埋設設備設置地盤標高付近の水平断面内の地下水の流向は、季節変動の影響によって大きく変わらないと考える。

3号埋設設備設置位置



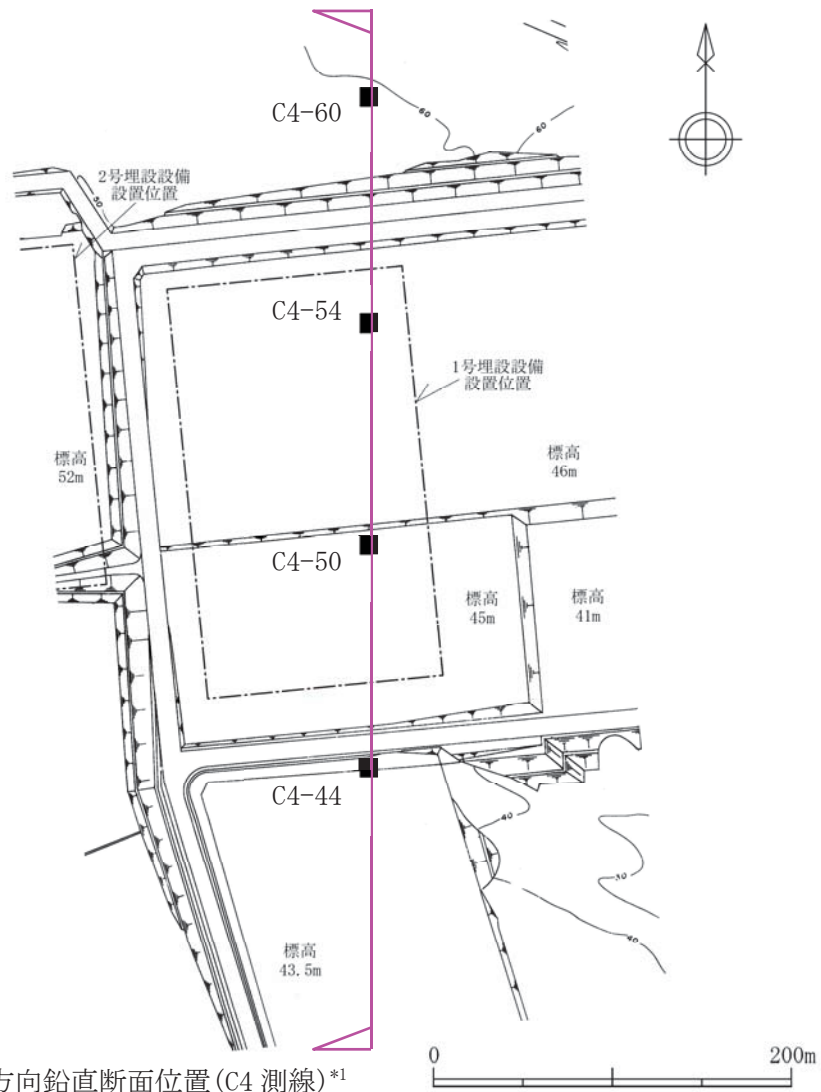
表示範囲の位置図



*1 埋設設備群設置標高の水平断面における埋設設備群設置範囲では、地下水の流向はおおむね南北方向であり、動水勾配も同様の傾向となる。3号廃棄物埋設地付近では E2 側線が南北方向に間隙水圧測定孔を多く配置していることから、この測線を 3号廃棄物埋設地付近の南北方向の代表鉛直断面作成位置とした。

第7図 間隙水圧測定位置 (1/3) 【3号廃棄物埋設地及びその付近】

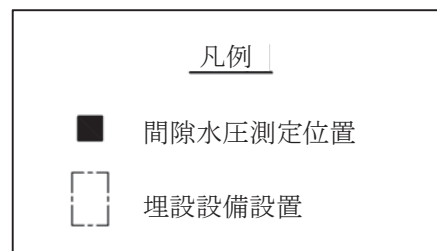
(2017年6月測定)



南北方向鉛直断面位置(C4測線)^{*1}



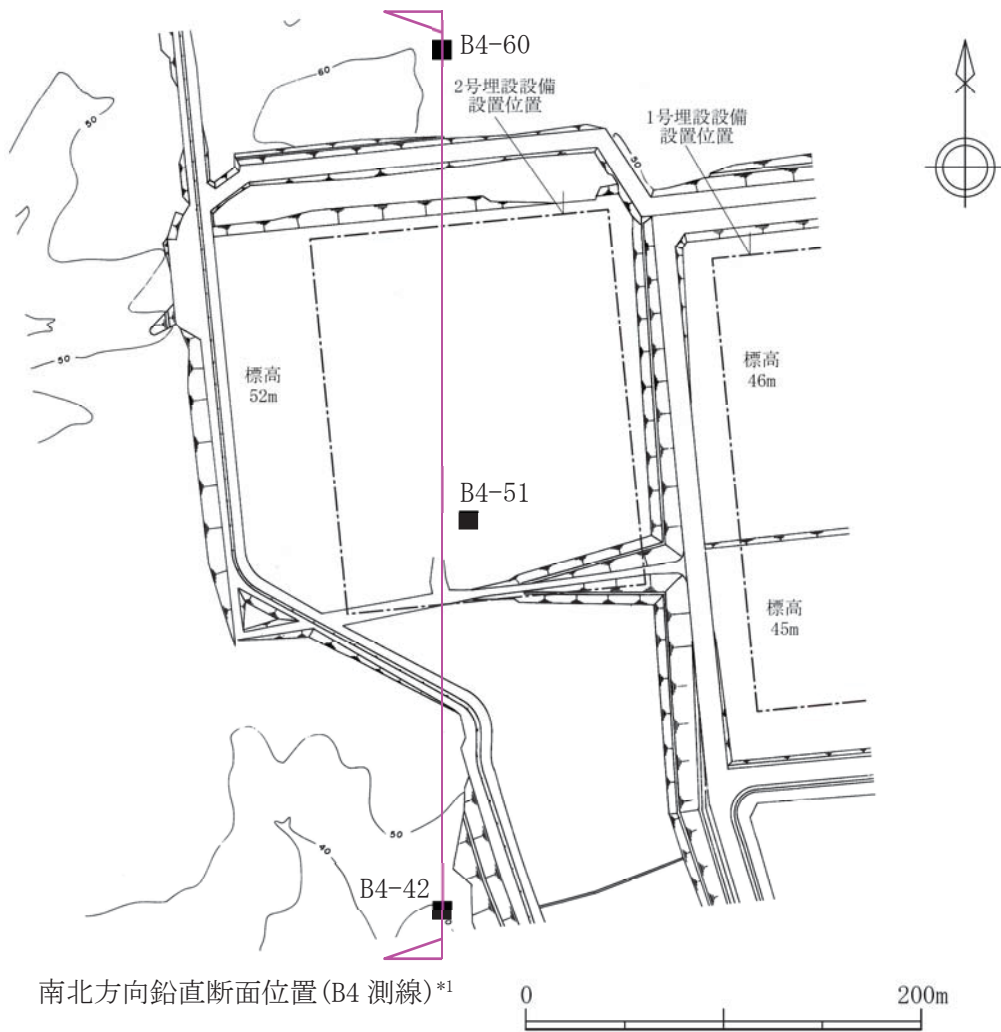
表示範囲の位置図



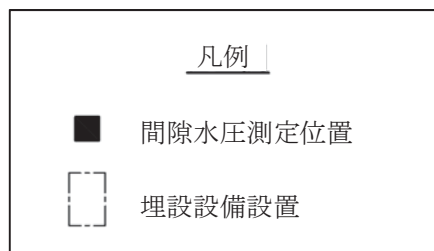
*1 C4 測線鉛直断面位置は、1号廃棄物埋設地を通る南北方向に間隙水圧測定孔を多く配置していることから、南北方向の代表鉛直断面とした。

第7図 間隙水圧測定位置(2/3)【1号廃棄物埋設地及びその付近】

(1990年6月測定)



表示範囲の位置図



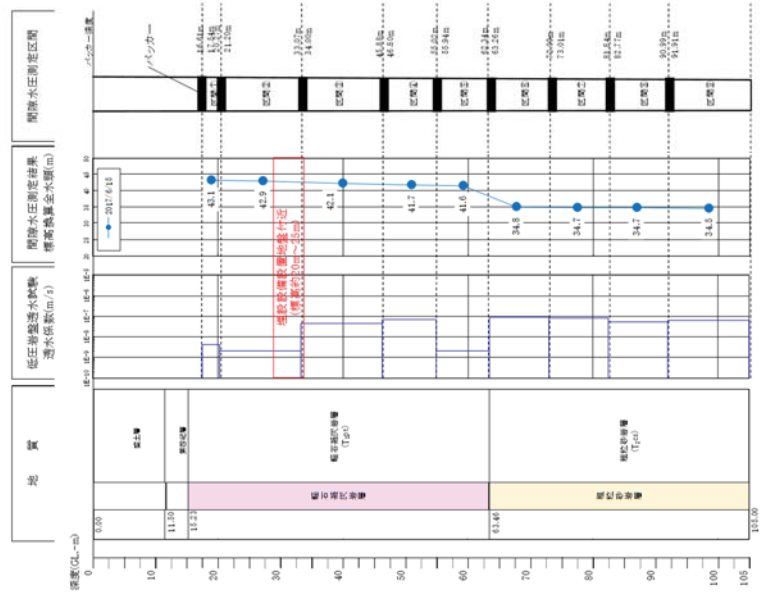
*1 B4 測線鉛直断面位置は、2号廃棄物埋設地を通る南北方向に間隙水圧測定孔を多く配置していることから、南北方向の代表鉛直断面とした。

第7図 間隙水圧測定位置(3/3)【2号廃棄物埋設地及びその付近】

(1995年6月測定)

南

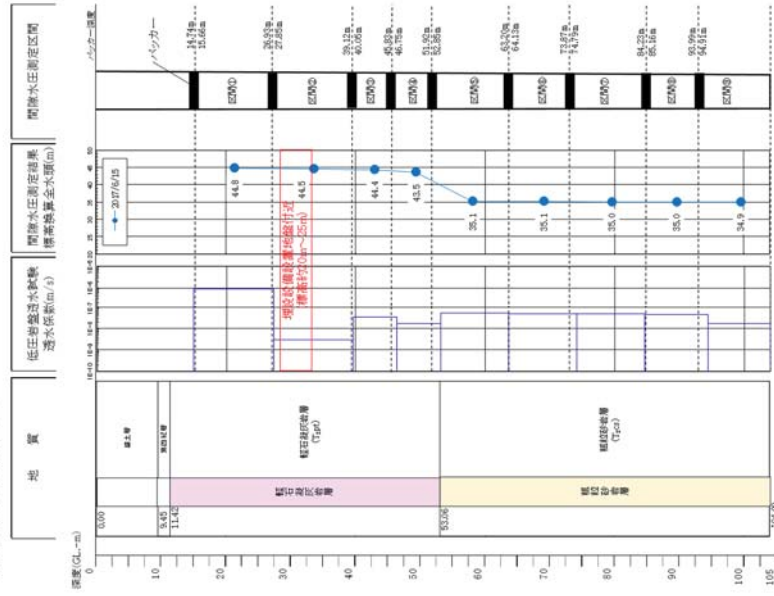
測定孔地表面標高: 55.03 m



(E2-54 孔)

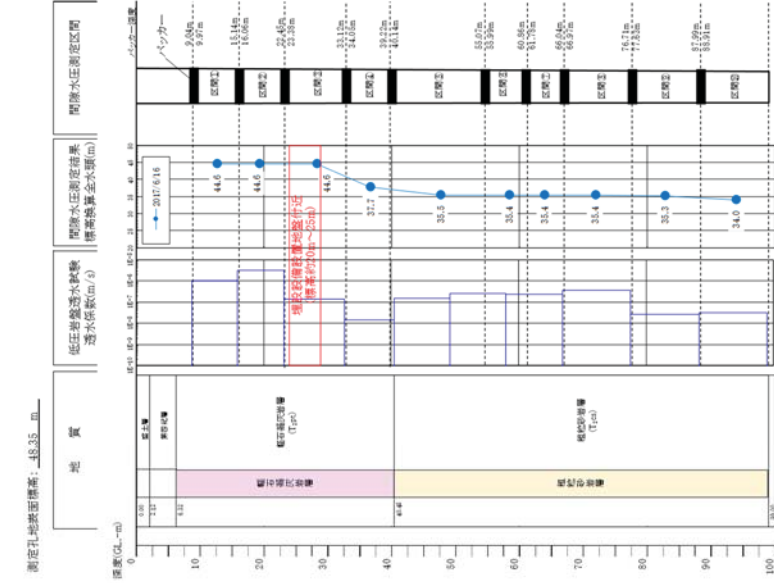
北

測定孔地表面標高: 55.03 m



(E2-56 孔)

測定孔地表面標高: 48.35 m



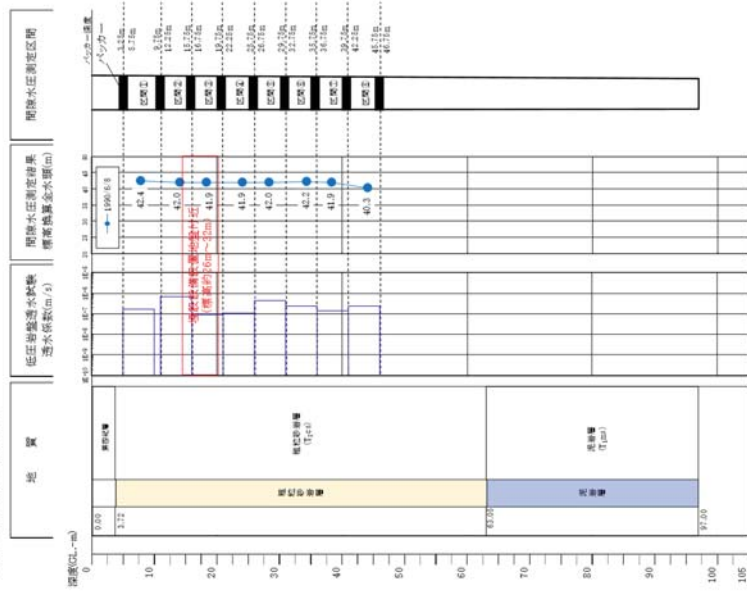
(E2-57.5 孔)

第8図 間隙水圧測定結果(標高換算全水頭値)(1/3)【3号埋設設備設置地盤標高付近の間隙水圧測定孔における】

(南北方向 E2 測線沿い: 2017 年 6 月)

南

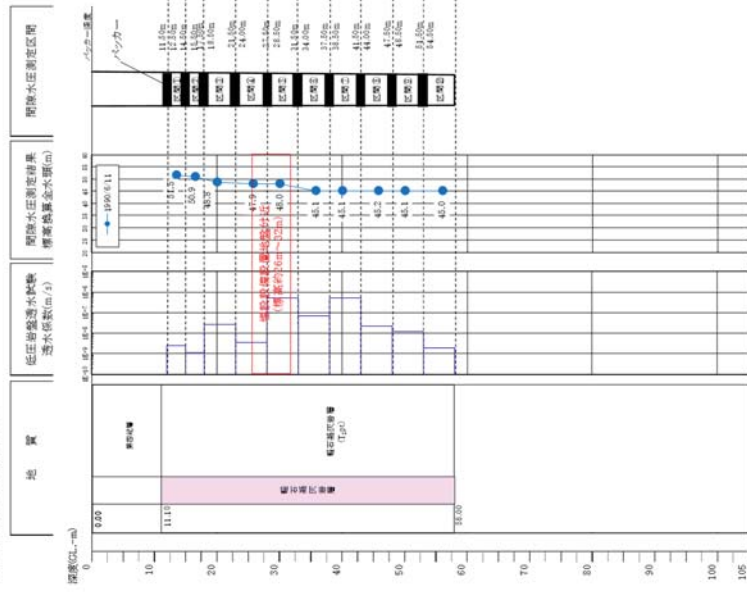
測定孔地表標高：46.14 m



(C4-44 孔)

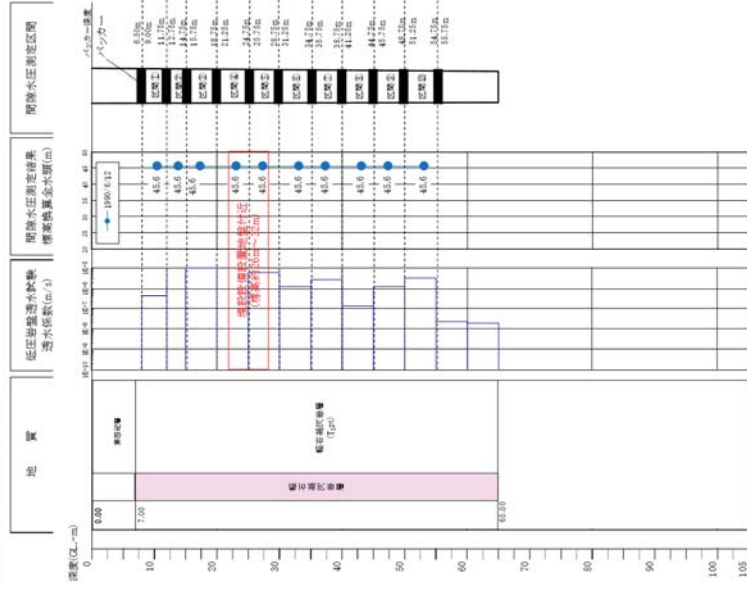
北

測定孔地表標高：53.57 m



(C4-60 孔)

測定孔地表標高：54.52 m

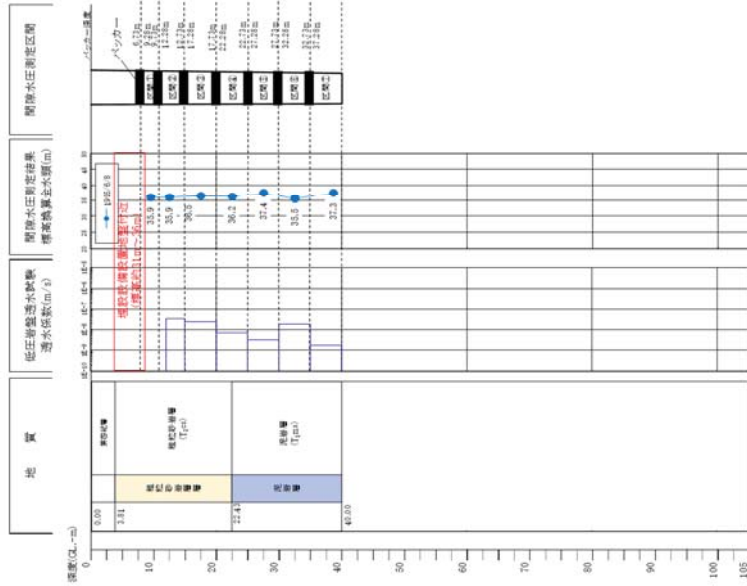


(C4-50 孔)

第 8 図 間隙水圧測定結果 (標高換算全水頭値) (2/3) 【1 号埋設設備設置地盤標高付近の間隙水圧測定孔における】 (南北方向 C4 測線沿い：1990 年 6 月)

南

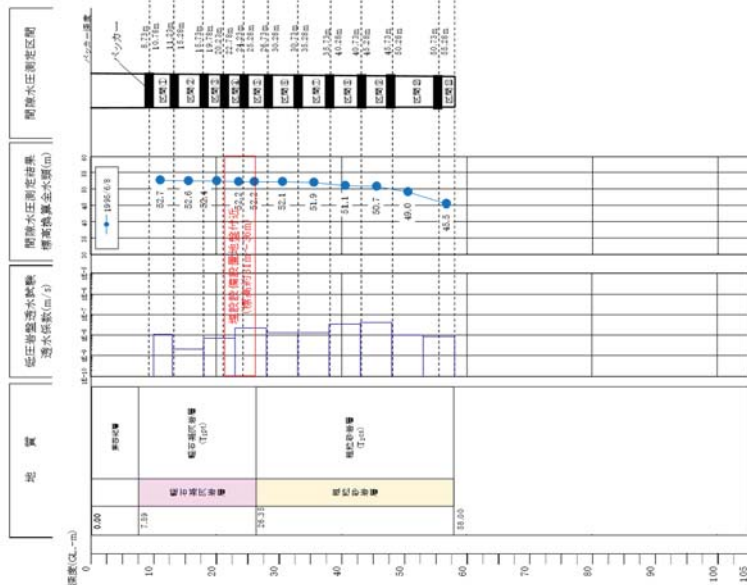
測定孔地盤深さ: 39.50 m



(B4-51 孔)

北

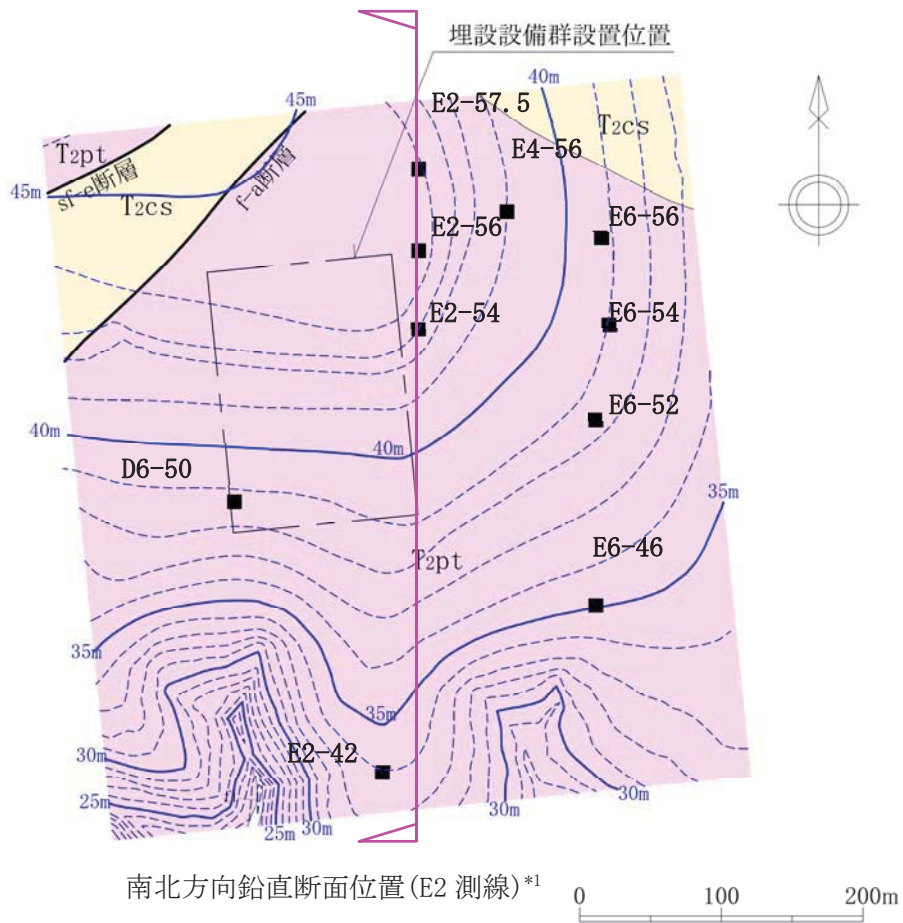
測定孔地盤深さ: 57.33 m



(B4-60 孔)

第 8 図 間隙水圧測定結果(標高換算全水頭値) (3/3) 【2 号埋設設備設置地盤標高付近の間隙水圧測定孔における】

(南北方向 B4 測線沿い: 1995 年 6 月)



*1 埋設設備群設置標高の水平断面における埋設設備群設置範囲では、地下水の流向はおおむね南北方向であり、動水勾配も同様の傾向となる。3号廃棄物埋設地付近ではE2側線が南北方向に間隙水圧測定孔を多く配置していることから、この測線を3号廃棄物埋設地付近の南北方向の代表鉛直断面作成位置とした。

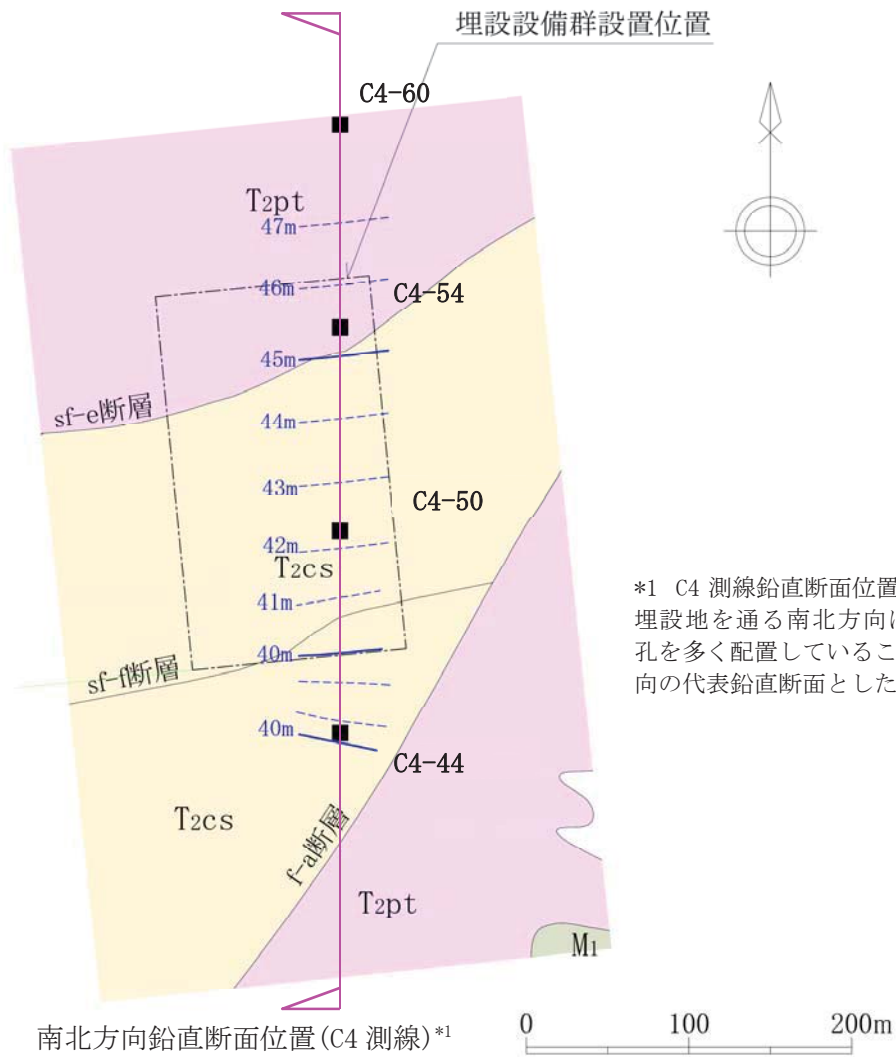


表示範囲の位置図

凡 例	
f1	盛 土
T2pt	鷹架層中部層軽石凝灰岩層
T2cs	鷹架層中部層粗粒砂岩層
—	断 層
~	地 層 境 界
□	3号埋設設備設置位置
■	間隙水圧測定孔

第9図 全水頭等高線図(水平断面)(1/3) 【3号埋設設備設置地盤標高付近】

(標高22m水平断面:2017年6月)



*1 C4 測線鉛直断面位置は、1号廃棄物埋設地を通る南北方向に間隙水圧測定孔を多く配置していることから、南北方向の代表鉛直断面とした。

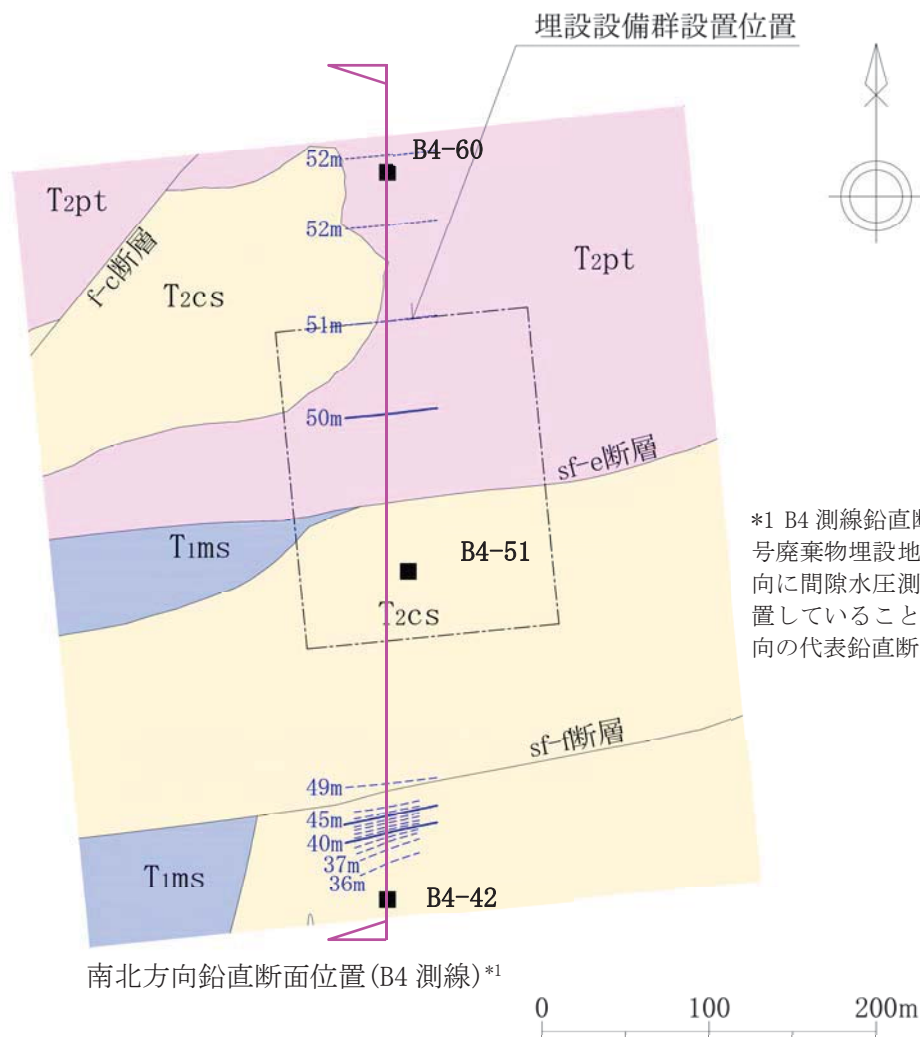


表示範囲の位置図

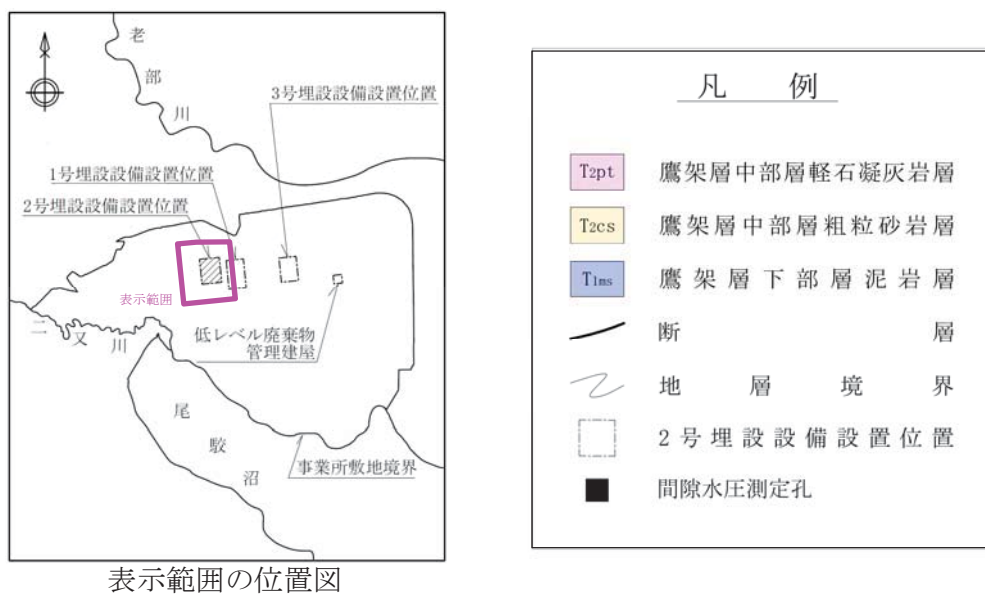
凡 例	
M1	中位段丘堆積層
T2pt	鷹架層中部層軽石凝灰岩層
T2cs	鷹架層中部層粗粒砂岩層
—	断 層
~	地 層 境 界
□	1号埋設設備設置位置
■	間隙水圧測定孔

第9図 全水頭等高線図(水平断面)(2/3) 【1号埋設設備設置地盤標高付近】

(標高 30m 水平断面:1990年6月)

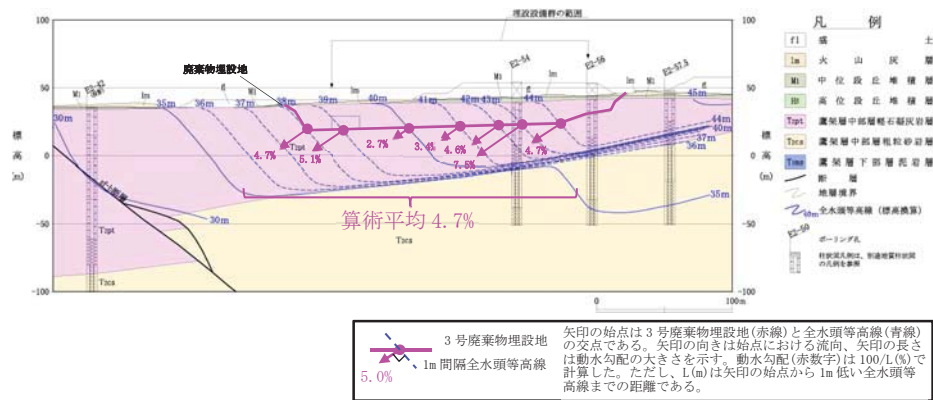


*1 B4 測線鉛直断面位置は、2号廃棄物埋設地を通る南北方向に間隙水圧測定孔を多く配置していることから、南北方向の代表鉛直断面とした。



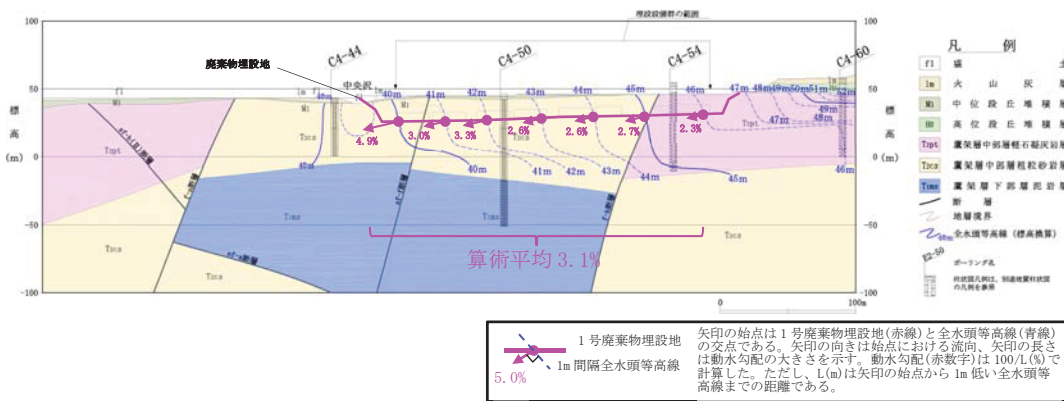
表示範囲の位置図

第9図 全水頭等高線図(水平断面)(3/3) 【2号埋設設備設置地盤標高付近】
(標高34m水平断面:1995年6月)



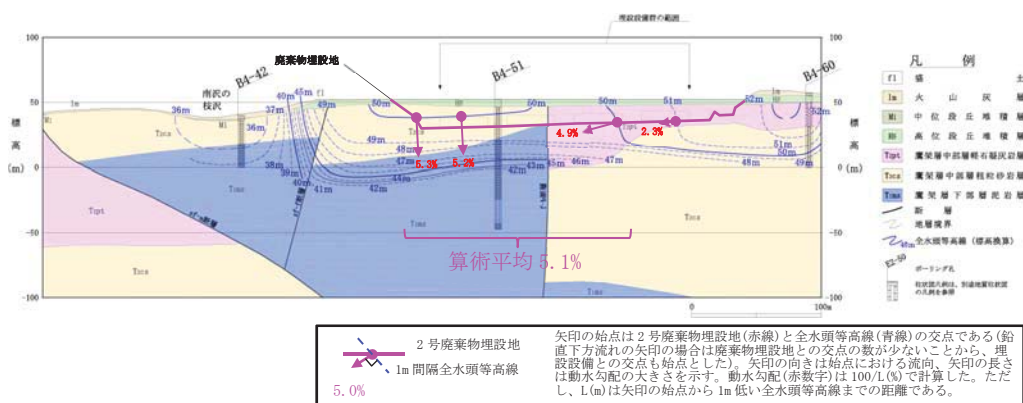
第10図 全水頭分布図(鉛直断面)(1/3)【3号廃棄物埋設地付近】

(南北方向E2測線:2017年6月)



第10図 全水頭分布図(鉛直断面)(2/3)【1号廃棄物埋設地付近】

(南北方向C4測線:1990年6月)



第10図 全水頭分布図(鉛直断面)(3/3)【2号廃棄物埋設地付近】

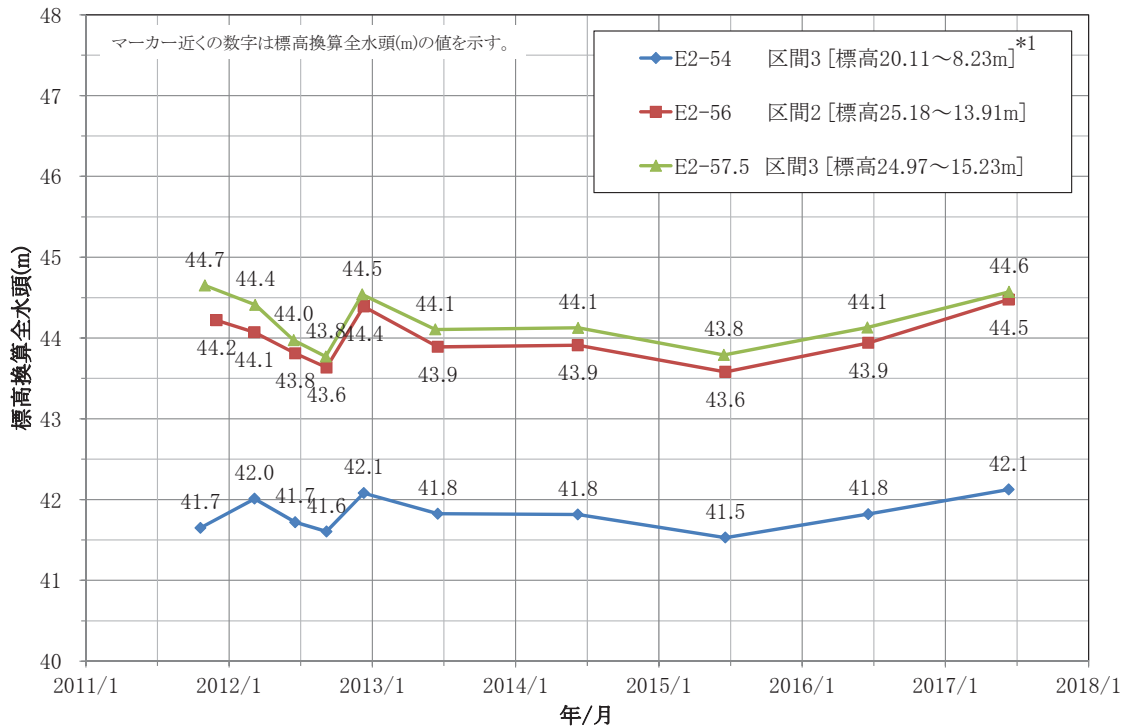
(南北方向B4測線:1995年6月)

第 1 表 埋設設備設置地盤付近の地下水の動水勾配

廃棄物埋設地	断面位置	埋設設備設置地盤付近の地下水の動水勾配 (%) *1	
		平均*2	範囲
3号廃棄物埋設地	E2 測線	4.7	2.7～7.5
1号廃棄物埋設地	C4 測線	3.1	2.3～4.9
2号廃棄物埋設地	B4 測線	5.1	2.3～5.3

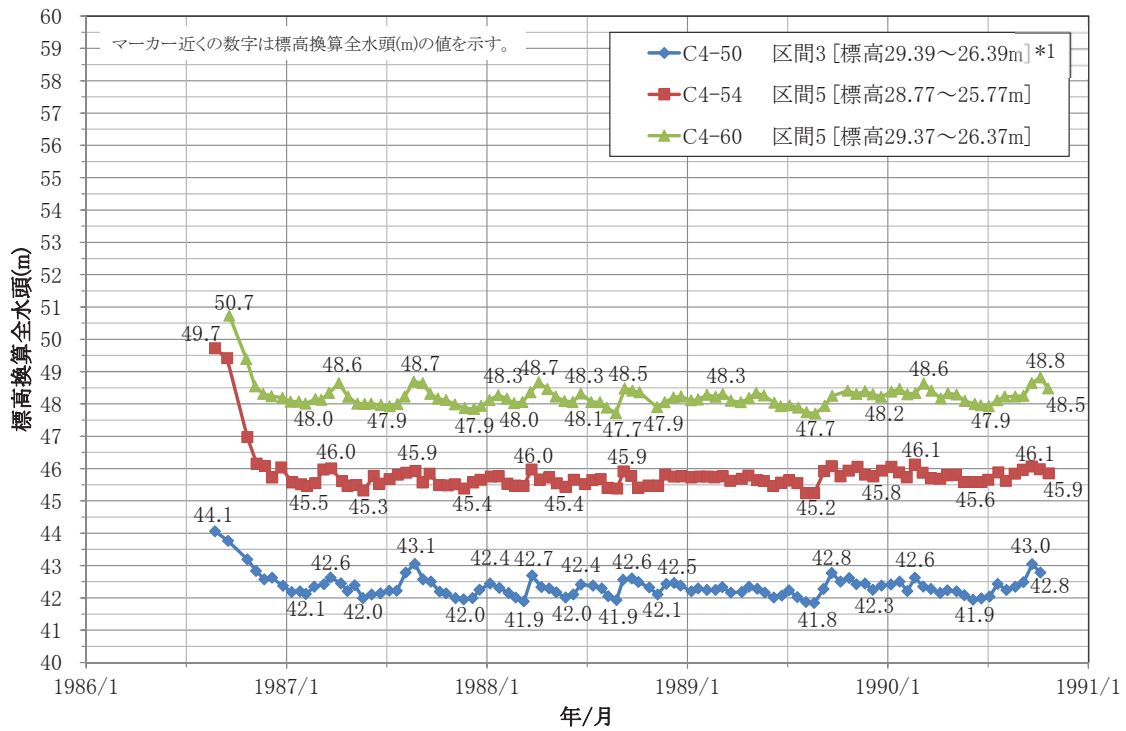
*1 間隙水圧測定結果の実測値から作成した全水頭等高線を基に求めた(第 10 図参照)。

*2 個々の値の算術平均とした。



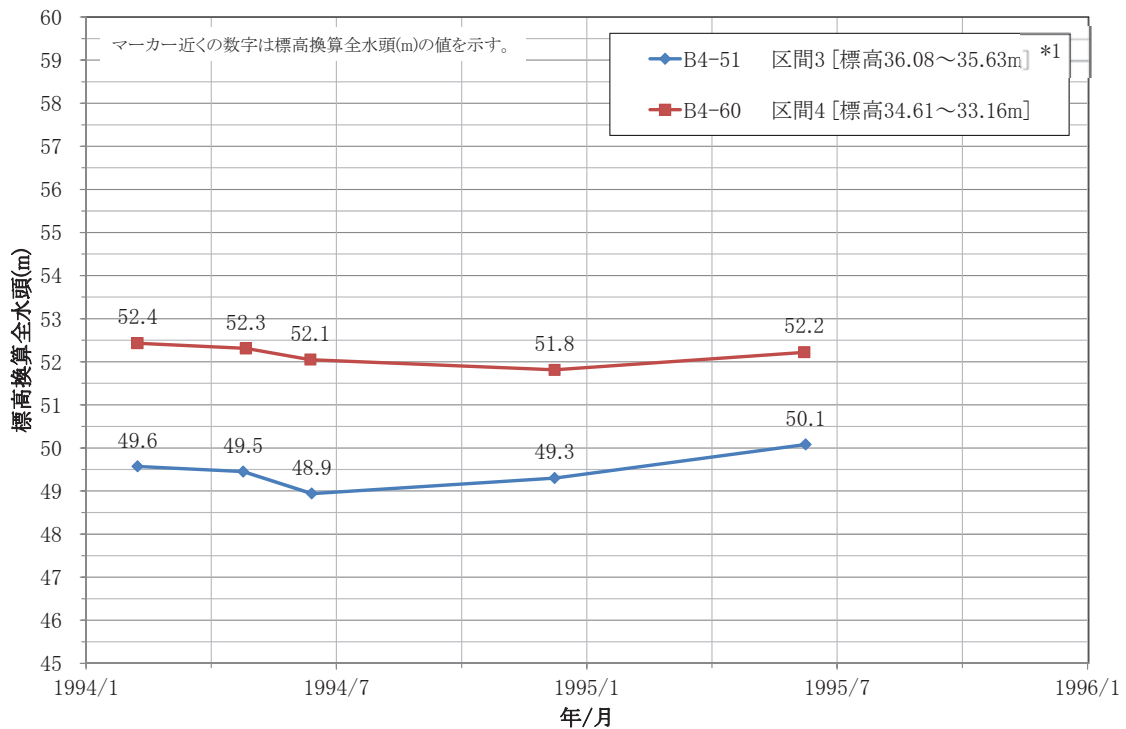
*1 区間は第 8 図の間隙水圧測定区間を示す。

第 11 図 全水頭の時系列データ (1/3) 【3号埋設設備設置地盤標高付近】
(南北方向 E2 測線沿い間隙水圧測定孔:2011 年 10 月～2017 年 6 月)



*1 区間は第8図の間隙水圧測定区間を示す。

第11図 全水頭の時系列データ(2/3)【1号埋設設備設置地盤標高付近】
(南北方向 C4 測線沿い間隙水圧測定孔:1986年8月~1990年10月)



*1 区間は第8図の間隙水圧測定区間を示す。

第11図 全水頭の時系列データ(3/3)【2号埋設設備設置地盤標高付近】
(南北方向 B4 測線沿い間隙水圧測定孔:1994年2月~1995年6月)

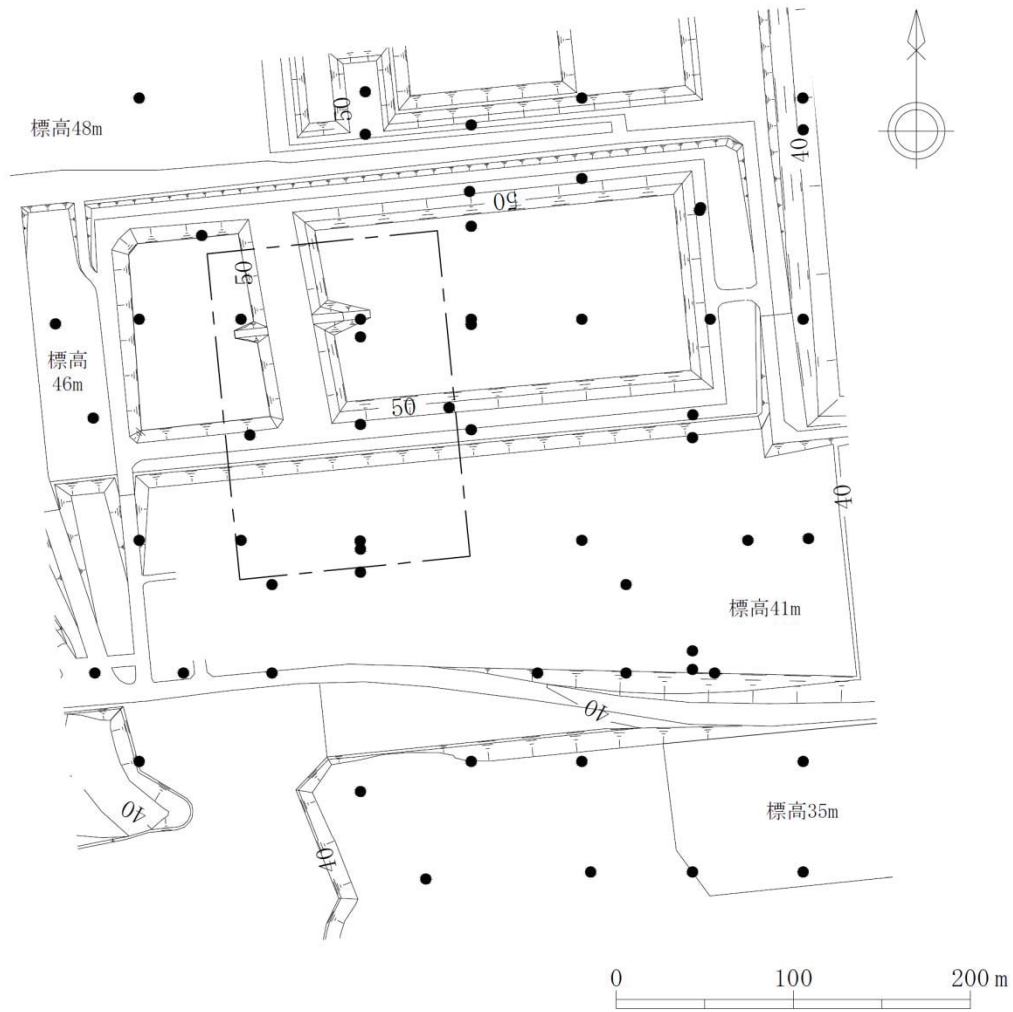
(iii) 地盤の透水性

事業所敷地の廃棄物埋設地及びその付近における地盤の透水性を把握するため、廃棄物埋設地及びその付近に分布する鷹架層中部層及び第四紀層を対象に主に原位置透水試験を実施した。鷹架層中部層を対象とした試験は、JGS1322⁽¹⁾に準拠し、鷹架層表層の風化部及び第四紀層を対象とした試験は、JGS1314⁽¹⁾に準拠した。盛土及び第四紀層の一部については、JIS A 1218 に準拠し、室内透水試験を実施した。透水試験実施位置を第 12 図に、透水試験結果を第 2 表に示す。事業所敷地の廃棄物埋設地及びその付近において実施した透水試験及び透水係数の詳細については添付資料 3 に記載した。

以下に事業所敷地の廃棄物埋設地及びその付近における地盤の透水性について説明する。なお、埋設設備からの流出水量を計算するための透水係数については「4. (4) 透水係数の設定」において説明する。

廃棄物埋設地及びその付近の鷹架層中部層の透水係数は、第四紀層及び鷹架層中部層の風化部と比べて十分小さく、地下水は主に第四紀層及び鷹架層中部層の風化部を流れる。

3 号廃棄物埋設地及びその付近には f-a 断層、sf-b(Ⅱ)断層及び sf-e 断層の 3 条の断層、1 号廃棄物埋設地及びその付近には f-a 断層及び sf-e 断層の 2 条の断層、2 号廃棄物埋設地及びその付近には f-c 断層、sf-e 断層及び sf-f 断層の 3 条の断層が認められるが、第 2 表に示す透水試験結果より、断層部は周辺地盤と同等の透水性を有している。

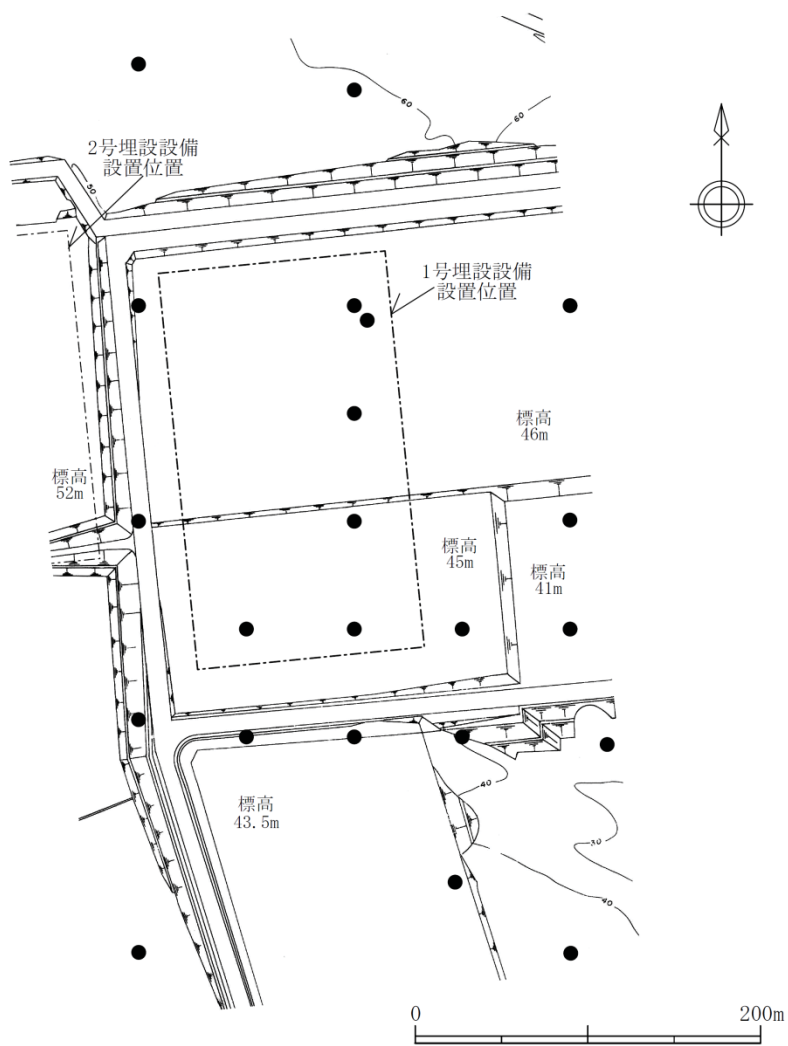


表示範囲の位置図

凡例

- 透水試験実施位置
- ⋯ 埋設設備設置位置

第12図 透水試験位置(1/3)【3号廃棄物埋設地付近及びその付近】

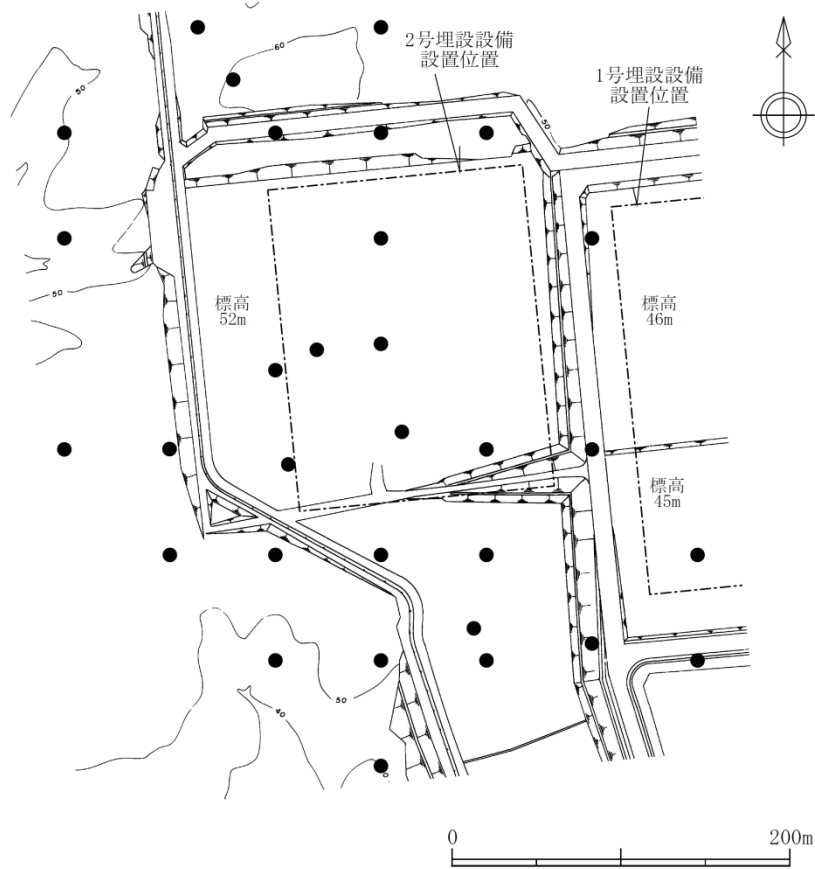


表示範囲の位置図

凡例

- 透水試験実施位置
- ▭ 埋設設備設置位置

第12図 透水試験位置(2/3)【1号廃棄物埋設地付近及びその付近】



表示範囲の位置図

凡例

- 透水試験実施位置
- 埋設設備設置位置

第12図 透水試験位置(3/3)【2号廃棄物埋設地付近及びその付近】

第2表 透水試験結果(1/3) 【3号廃棄物埋設地及びその付近】

区 分	透水係数 対数平均値 (m/s)	試験個数(個)	対数の 標準偏差
盛土部 ^{*1}	7.3×10^{-6}	9	0.4
第四紀層 ^{*1}	2.6×10^{-6}	16	0.6
鷹架層中部層 N値50未満(風化部)	9.6×10^{-7}	5	0.6
鷹架層中部層 N値50以上 ^{*2}	5.0×10^{-8}	310	0.9
鷹架層中部層 軽石混り砂岩層(T _{2DS})	4.5×10^{-8}	4	0.2
鷹架層中部層 軽石凝灰岩層(T _{2pt})	4.3×10^{-8}	207	1.0
鷹架層中部層 粗粒砂岩層(T _{2cs})	7.3×10^{-8}	82	0.4
f-a 断層	1.6×10^{-7}	3	1.0
sf-b(Ⅱ)断層	1.7×10^{-8}	9	0.3
sf-e 断層	1.0×10^{-7}	1	—

*1 3号廃棄物埋設地及びその付近の盛土部と第四紀層を合わせてデータ整理すると、透水係数： 3.8×10^{-6} (m/s)、対数の標準偏差：0.5、試験個数：25個となる。

*2 試験区間中に地層境界(断層部含む)が存在した場合、そのデータは各層の試験データからは除外する。ただし、「鷹架層中部層N値50以上」の透水係数としては、各層の地層境界及び断層部も含める。

第2表 透水試験結果(2/3) 【1号廃棄物埋設地及びその付近】

区 分	透水係数 対数平均値 (m/s)	試験個数(個)	対数の 標準偏差
第四紀層	4.0×10^{-6}	12	0.8
鷹架層中部層 N値50未満(風化部)	1.5×10^{-6}	12	0.4
鷹架層中部層 N値50以上 ^{*1}	1.1×10^{-7}	146	0.9
鷹架層中部層 軽石凝灰岩層(T _{2pt})	9.1×10^{-8}	69	1.1
鷹架層中部層 粗粒砂岩層(T _{2cs})	1.3×10^{-7}	74	0.6
f-a 断層	3.0×10^{-8}	1	—
sf-e 断層	9.5×10^{-7}	1	—

*1 試験区間中に地層境界(断層部含む)が存在した場合、そのデータは各層の試験データからは除外する。ただし、「鷹架層中部層N値50以上」の透水係数としては、各層の地層境界及び断層部も含める。

第2表 透水試験結果(3/3) 【2号廃棄物埋設地及びその付近】

区 分	透水係数 対数平均値 (m/s)	試験個数(個)	対数の 標準偏差
第四紀層	5.0×10^{-6}	16	0.8
鷹架層中部層 N値50未満(風化部)	2.5×10^{-6}	14	0.6
鷹架層中部層 N値50以上 ^{*1}	7.8×10^{-8}	128	0.9
鷹架層中部層 軽石凝灰岩層(T _{2pt}) ^{*2}	1.3×10^{-7}	31	1.1
鷹架層中部層 粗粒砂岩層(T _{2cs})	7.3×10^{-8}	84	0.8
f-c 断層	2.2×10^{-8}	2	1.0
sf-e 断層	4.8×10^{-8}	1	—
sf-f 断層	2.3×10^{-8}	1	—
鷹架層下部層 N値50以上 ^{*2}	2.1×10^{-8}	26	1.0

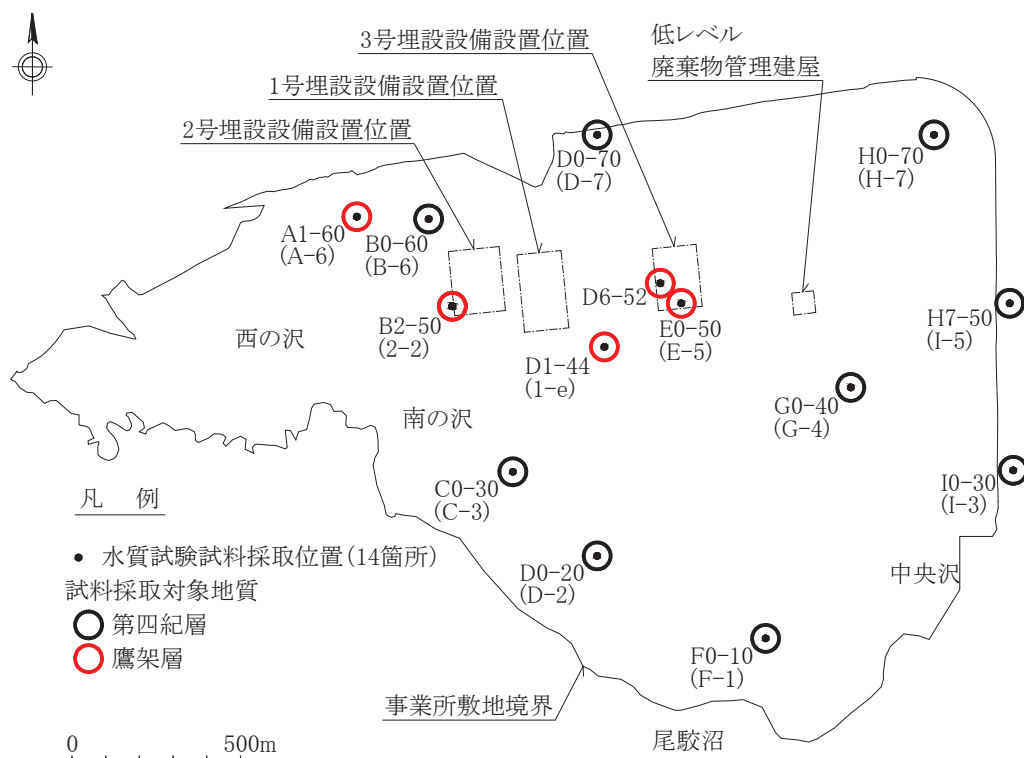
*1 試験区間中に地層境界(断層部含む)が存在した場合、そのデータは各層の試験データからは除外する。ただし、「鷹架層中部層 N値50以上」の透水係数としては、各層の地層境界及び断層部も含める。

*2 隣接する地層を試験区間を含むデータも含めて整理していたため、これらを除外して再整理した。

(iv) 地下水の水質

事業所敷地の鷹架層及び第四紀層の地下水を対象に1986年1月～1987年10月、1995年10月及び2011年10月～11月に水質試験を実施した。水質試験位置を第13図に、水質試験結果を第3表に、ヘキサダイアグラムを第14図に示す。水質試験方法及び水質試験結果の詳細を添付資料4に記載した。

第四紀層の地下水の水質はおおむねNa-Cl型であり海水由来の風送塩が混入し、地下水が動いていると考えられる。また、鷹架層の地下水の水質はNa-HCO₃型であり、第四紀層と比較して地下水が地中に長く停滞していると考えられる。



第 13 図 水質試験位置図

第 3 表 水質試験結果(1/3) 【事業所敷地全体】

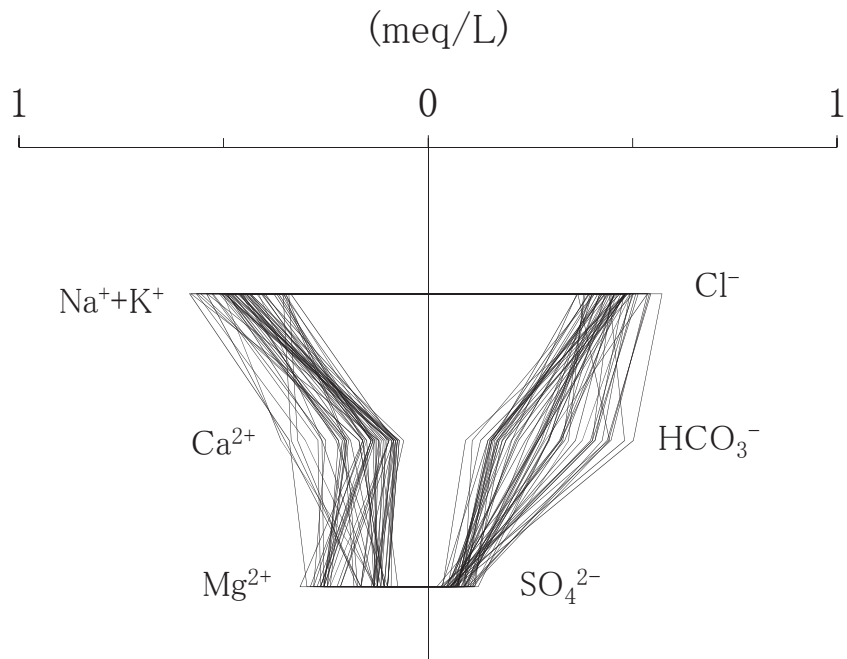
項目	単位	測定結果				
		範囲	平均	標準偏差	個数	
マグネシウムイオン	Mg ²⁺	mg/L	0.1~3.8	2.2	0.9	73
カルシウムイオン	Ca ²⁺	mg/L	0.1 未満~7.2	3.2	1.6	73
ナトリウムイオン	Na ⁺	mg/L	7.2~31.5	11.7	5.1	73
カリウムイオン	K ⁺	mg/L	0.5~5.6	1.1	0.87	73
硫酸イオン	SO ₄ ²⁻	mg/L	1.0~21.7	5.0	4.6	73
炭酸水素イオン	HCO ₃ ⁻	mg/L	5.6~51.9	19.2	9.7	73
塩化物イオン	Cl ⁻	mg/L	12.9~20.3	16.3	1.7	73
溶存鉄	Fe	mg/L	0.05 未満~21.0	2.1	3.9	72
pH	—		5.3~8.3	6.3	0.61	73
電気伝導度	mS/m		7.2~18.9	10.1	2.6	73

第3表 水質試験結果(2/3) 【第四紀層】

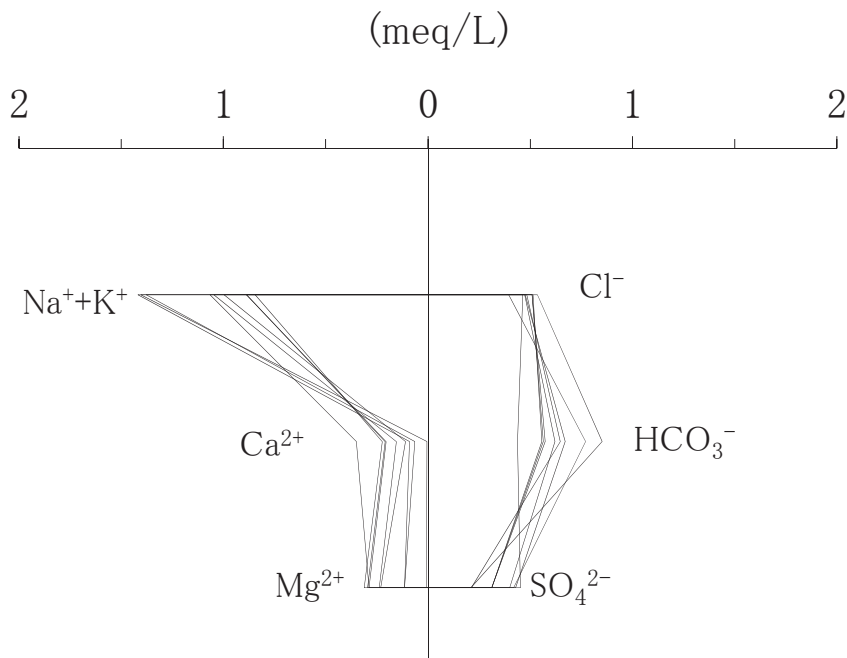
項目	単位	測定結果				
		範囲	平均	標準偏差	個数	
マグネシウムイオン	Mg ²⁺	mg/L	0.9~3.8	2.1	0.83	64
カルシウムイオン	Ca ²⁺	mg/L	1.2~7.2	3.2	1.6	64
ナトリウムイオン	Na ⁺	mg/L	7.2~12.8	10.0	1.4	64
カリウムイオン	K ⁺	mg/L	0.50~2.1	0.84	0.28	64
硫酸イオン	SO ₄ ²⁻	mg/L	1.0~5.9	3.4	1.1	64
炭酸水素イオン	HCO ₃ ⁻	mg/L	5.6~30.6	16.4	6.3	64
塩化物イオン	Cl ⁻	mg/L	12.9~20.3	16.2	1.7	64
溶存鉄	Fe	mg/L	0.05 未満~21.0	2.3	4.0	64
pH	—		5.3~7.2	6.2	0.41	64
電気伝導度	mS/m		7.2~14.0	9.3	1.4	64

第3表 水質試験結果(3/3) 【鷹架層】

項目	単位	測定結果				
		範囲	平均	標準偏差	個数	
マグネシウムイオン	Mg ²⁺	mg/L	0.1~3.8	2.6	1.3	9
カルシウムイオン	Ca ²⁺	mg/L	0.1 未満~7.0	3.5	1.8	9
ナトリウムイオン	Na ⁺	mg/L	18.0~31.5	23.7	5.7	9
カリウムイオン	K ⁺	mg/L	1.7~5.6	2.9	1.5	9
硫酸イオン	SO ₄ ²⁻	mg/L	10.0~21.7	16.3	4.4	9
炭酸水素イオン	HCO ₃ ⁻	mg/L	26.7~51.9	38.6	7.5	9
塩化物イオン	Cl ⁻	mg/L	14.0~19.0	17.2	1.4	9
溶存鉄	Fe	mg/L	0.06~1.1	0.23	0.36	8
pH	—		6.5~8.3	7.5	0.58	9
電気伝導度	mS/m		14.0~18.9	15.9	1.5	9



第 14 図 ヘキサダイアグラム (1/2) 【第四紀層】



第 14 図 ヘキサダイアグラム (2/2) 【鷹架層】

(v) 河川、湖沼

青森県(昭和52年)⁽³⁾による老部川の水流量は、約38,880m³/日である。また、青森県(平成19年)⁽⁴⁾による二又川の平水流量は、約40,090m³/日である。

老部川及び二又川の河川の状況⁽⁵⁾を第4表に示す。

尾駈沼は、太平洋につながる汽水性の沼であり、周囲延長は12.5km⁽⁴⁾⁽⁵⁾、面積は3.58km²⁽⁵⁾、平均水深は1.8m⁽³⁾⁽⁴⁾、流域面積は39.07km²⁽⁴⁾である。

第4表 老部川及び二又川の河川の状況

	流域面積(km ²)	流路延長(km)
老部川	20.6	14.0
二又川	26.9	10.5

(3) 埋設設備設置地盤付近の地下水の流動状況

埋設設備設置地盤付近の地下水の流れ(流向及び動水勾配)を評価するに当たり、「(2)事業所敷地の水理地質の特徴」において説明した廃棄物埋設地及びその付近、及び埋設設備設置地盤付近の地下水の流向及び動水勾配を第5表に整理した。

以下に、埋設設備設置地盤付近の地下水の流向及び動水勾配について説明する。

(i) 埋設設備設置地盤付近の地下水の流向

埋設設備設置地盤付近の地下水の流向は、第5表に示す間隙水圧測定データから求めた埋設設備設置地盤標高付近の間隙水圧測定孔間の全水頭値及び埋設設備設置地盤標高付近の水平断面内の全水頭等高線から埋設設備設置地盤標高付近の水平断面内の地下水の流れの方位が、間隙水圧測定データから求めた間隙水圧測定孔における全水頭標高分布及び廃棄物埋設地付近の間隙水圧測定孔を通る鉛直断面の全水頭等高線から鉛直断面内の水平から鉛直方向の流向が求められる。また、全水頭値の時系列データからは季節変動の影響を確認することができる。

埋設設備設置地盤付近の水平断面内の地下水の流向は、第5表の間隙水圧測定データを基に作成した埋設設備設置地盤標高付近の間隙水圧測定孔間の全水頭値から北から南方向の成分を含む。また、埋設設備設置地盤標高付近の水平断面内の全水頭等高線からおおむね北から南方向である。なお、地下水位測定データから作成したデータから求めた廃棄物埋設地付近の地下水面形状に基づいた表層の地下水の流向ともおおむね一致することから、地下水面形状に基づく地下水の流向と埋設設備設置地盤付近の全水頭分布に基づく地下水の流向が調和的であるといえる。

鉛直断面内の地下水の流向は、第5表の間隙水圧測定データを基に作成した間隙水圧測定孔における全水頭標高分布から鉛直下方成分を含む。また、廃棄物埋設地付近の間隙水圧測定孔を通る鉛直断面内の全水頭等高線から、3号及び1号埋設設備では鉛直下方成分を含む水平方向主体、2号埋設設備では鉛直下方主体である。

埋設設備設置地盤付近の地下水の流向の季節変動は、全水頭の時系列データからないと判断する。

以上から実測値から求めたデータに基づいた埋設設備設置地盤付近の地下水の流向は、3号及び1号埋設設備ではおおむね北から南で鉛直下方成分を含む水平方向主体、2号廃棄物埋設地ではおおむね北から南の水平方向成分を含む鉛直下方主体であり、季節変動による変化もないと評価する。

一方、廃棄物埋設地及びその付近の地下水は、地下水面等標高線図(第4図参照)に示すように、廃棄物埋設地が分水界の南側に位置することから、基本的にこの分水界よりも南側の標高の低い沢や尾駁沼へ向かって流れる。3号廃棄物埋設地は分水界から距離が50m程度と1号及び2号廃棄物埋設地に比べると近いことから、念のため、3号廃棄物埋設地と分水界の位置関係について考察する。

3号埋設設備設置地盤標高付近(標高20m)の水平断面内における地下水の流れが北側若しくは南側へ向かうかの境界(標高20m水平断面内の全水頭の分布から考えられる分水界)は、第15図に示すように、E2-57.5孔及びE6-56孔を結んだ線よりも北側に位置すると考える。よって、間隙水圧測定結果に基づいても3号埋設設備設置地盤標高付近を流れる地下水は主に南に向かって流れていると評価できる。

(ii) 埋設設備設置地盤付近の地下水の動水勾配

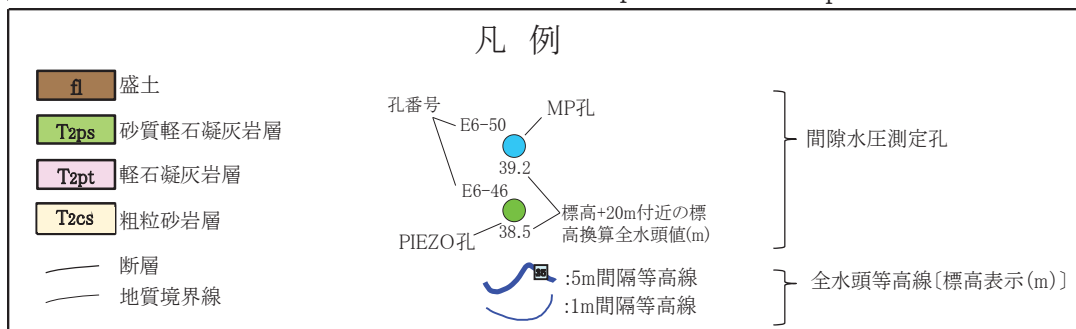
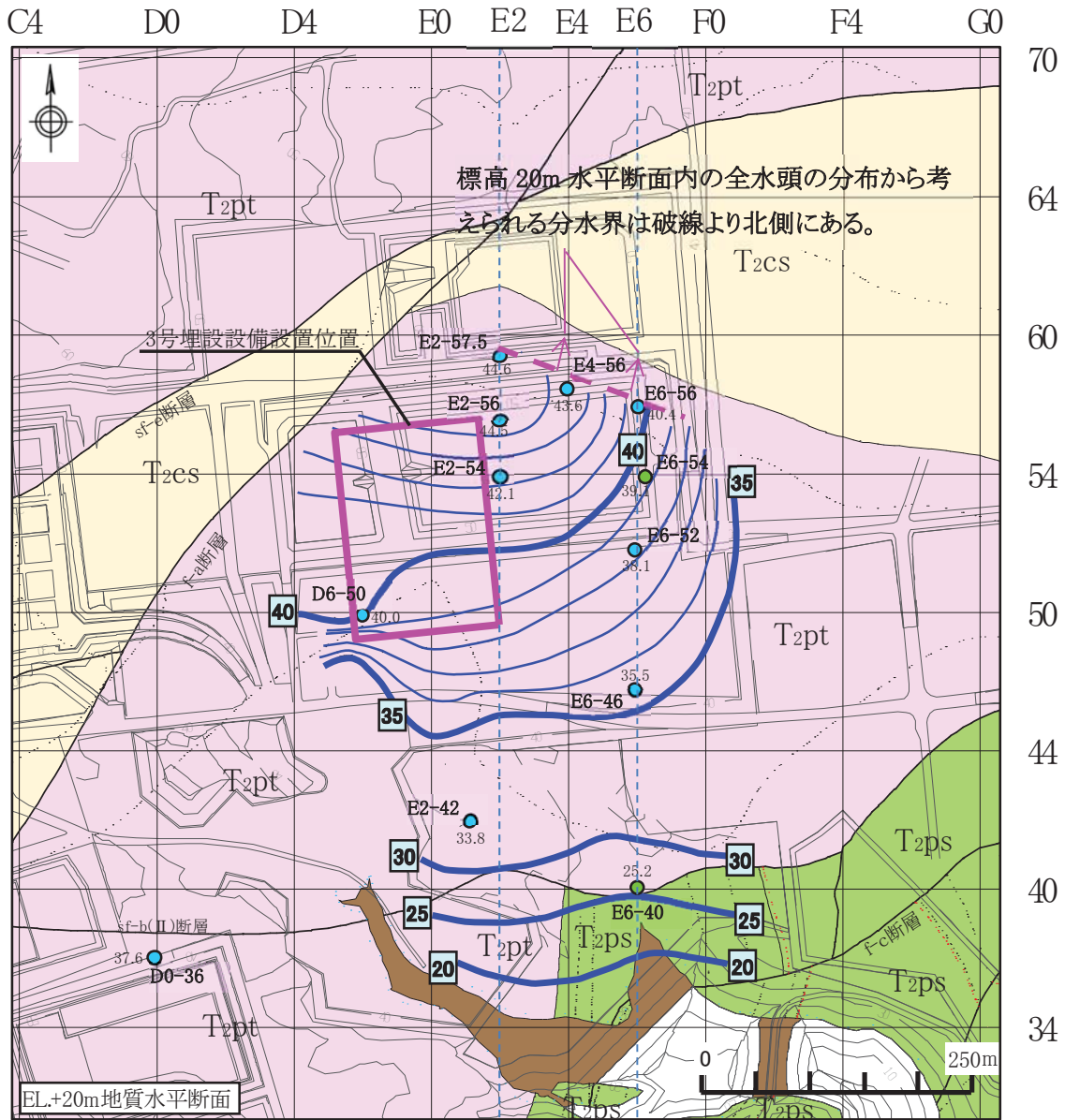
埋設設備設置地盤付近の地下水の動水勾配は、第5表に示す廃棄物埋設地付近の間隙水圧測定孔を通る鉛直断面内の全水頭等高線から求められ、3号埋設設備で平均4.7%(2.7%~7.5%)、1号埋設設備で平均3.1%(2.3%~4.9%)、2号埋設設備で平均5.1%(2.3%~5.3%)と求められる。

なお、以上のように3号埋設設備設置地盤標高付近の動水勾配については、一部大きな値を含むが、これは仮置土や造成盛土の地形形状の複雑さによる影響で局所的なものであり、一時的な状態と考える。

第5表 埋設設備設置地盤付近の地下水の流向及び動水勾配のまとめ

根拠		廃棄物埋設地	地下水の流向	地下水の動水勾配 の大きさ	
実測値	実測値から作成したデータ				
地下水 位測定 データ *1	時系列データ(第3図)	共通	季節変動の影響なし	—	
	地下水等標高線(第4図)	共通	おおむね北→南	—	
	地表面、地下水等標高線及び第四紀 層下限面の関係(第6図)	共通	おおむね北→南	地下水等標高線の最大勾配は 3.0%程度	
間隙水 圧測定 データ	全 水 頭 値	間隙水圧測定孔における全水頭標高分布(第8 図)	3号廃棄物埋設地	鉛直下方成分あり	—
		1号廃棄物埋設地	鉛直下方成分あり	—	
		2号廃棄物埋設地	鉛直下方成分あり	—	
	埋設設備設置地盤標高 付近の間隙水圧測定孔 間の全水頭値(第8図)	3号廃棄物埋設地	北→南方向成分あり	—	
		1号廃棄物埋設地	北→南方向成分あり	—	
		2号廃棄物埋設地	北→南方向成分あり	—	
		時系列データ(第11図)	3号廃棄物埋設地	季節変動の影響なし	—
	全 水 頭 等 高 線	埋設設備設置地盤標高 付近の水平断面内の全 水頭等高線(第9図)	3号廃棄物埋設地	おおむね北→南	—
			1号廃棄物埋設地	おおむね北→南	—
			2号廃棄物埋設地	おおむね北→南	—
廃棄物埋設地付近の間 隙水圧測定孔を通る鉛 直断面内の全水頭等高 線(第10図)		3号廃棄物埋設地	水平方向主体 鉛直下方成分含む	平均4.7%(2.7%~7.5%)	
		1号廃棄物埋設地	水平方向主体 鉛直下方成分含む	平均3.1%(2.3%~4.9%)	
		2号廃棄物埋設地	ほぼ鉛直下方	平均5.1%(2.3%~5.3%)	

*1 地下水位測定データから求められるデータからは主に地下水等標高線が分布する表層(主に第四紀層)内の地下水の流向及び動水勾配が求められる。



- *1 間隙水圧測定孔は、地盤を削孔した孔に間隙水圧を測定する区間を設けた設備である。この間隙水圧測定孔の測定データを基に全水頭等高線を作成した。なお、図中に示した標高 20m 付近の全水頭の測定精度は $\pm 0.04\text{m}$ ^{*4}である。
- *2 全水頭等高線は、間隙水圧測定孔^{*1}の各測定区間で測定した間隙水圧^{*3}と位置関係から内挿補間により求めた標高 20m の全水頭を基に一般的な知見及び地形を勘案して作成したものである。
- *3 2号廃棄物埋設地掘削後(2017年6月)の測定データを利用した。
- *4 添付資料 2別紙の GL-50m 以浅の深度における圧力測定器の測定誤差による。

第 15 図 3号廃棄物埋設地と間隙水圧測定孔の全水頭値から推定した分水界の位置関係

3. 埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算方法

埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算モデル設定の考え方と計算の流れ及び計算方法について説明する(1号及び2号廃棄物埋設地も同様)。

(1) 計算モデル設定の考え方と計算の流れ

埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量は、将来1,000年後までの状態を想定した線量評価に利用する。よって、埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算モデルは、覆土後の廃棄物埋設地付近の地下水流動を前提として設定する。

廃棄物埋設地付近は、現在事業所敷地造成により、平坦になっているが、廃棄物埋設地を原地形及び原水理地質構造に近くなるよう覆土すること及び1,000年程度の侵食による地形の変化は少ないことから、覆土後1,000年程度までの間の埋設地全体の地下水流動は、原地形の地下水流動と変わらないと仮定した。したがって、事業所敷地造成前(1986年)の地下水流動に近似すると考えて、計算モデルを設定する。

事業所敷地造成前(1986年)の廃棄物埋設地付近の地下水面の勾配は地形面勾配と調和的であり、大局的な地下水の流向は、「2.(2)(i)地下水位」で説明したように、おおむね北から南の方向である。

埋設設備設置地盤付近の地下水の流向は、「2.(3)埋設設備設置地盤付近の地下水の流動状況」で説明したように水平断面内では地下水面と同様におおむね北から南の方向を示し、鉛直断面内では下方成分を含む。

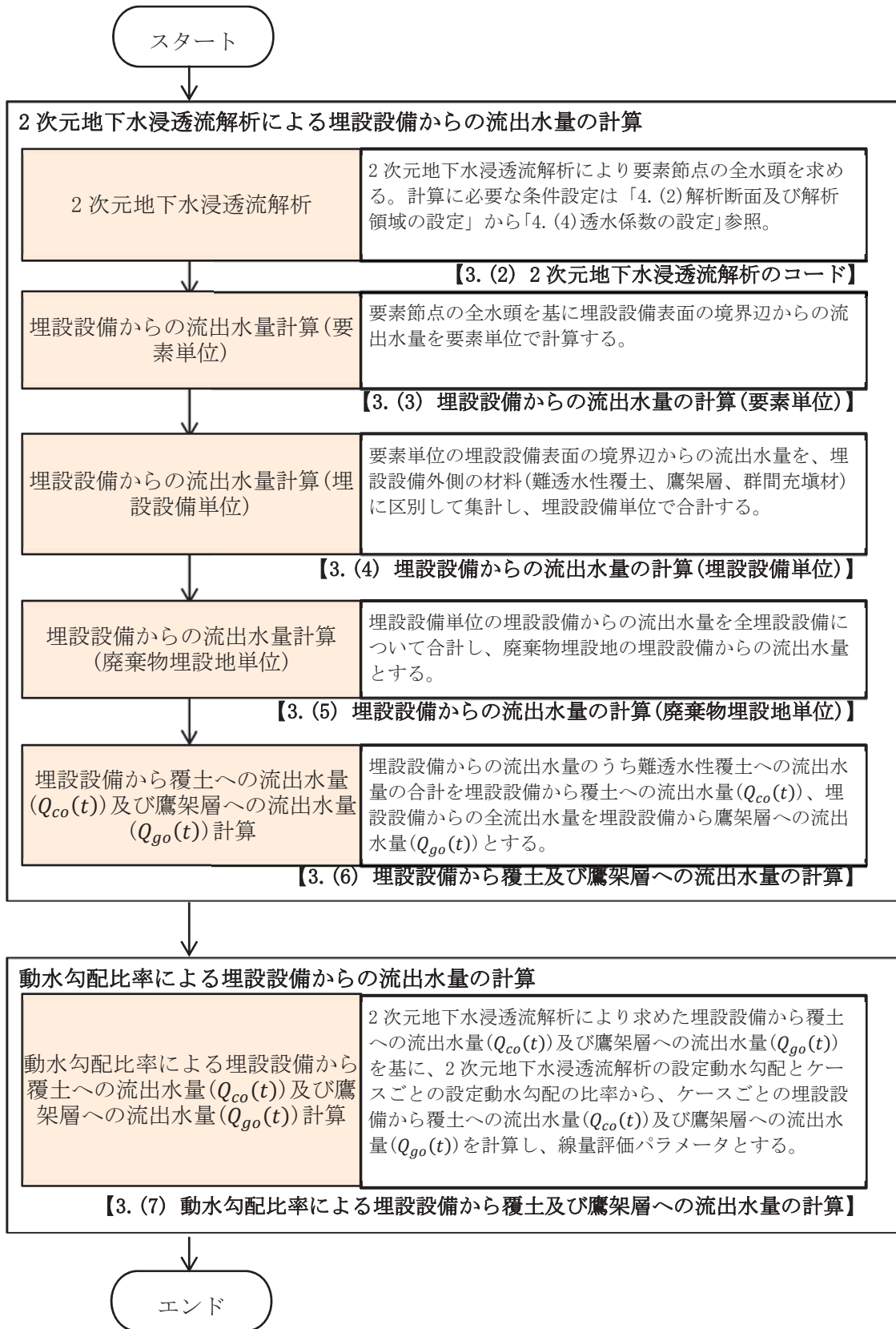
事業所敷地造成前(1986年)の廃棄物埋設地付近の地下水面は、第四紀層の中に分布するという観測事実が得られている。第四紀層の中に地下水面が分布する理由は、鷹架層と第四紀層の透水係数が2オーダー程度異なり、地表から浸透した地下水が容易に鷹架層に浸透していかないためであると考えられる。

以上より、埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算モデルは、廃棄物埋設地付近の水平面内の大局的な地下水の流れがおおむね北から南の1方向が主であること、埋設設備設置地盤付近の鉛直断面内では下向き成分を含む2方向成分となることから、廃棄物埋設地の南北方向の2次元鉛直断面とする。

また、埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算には、廃棄物埋設地の状態を細かく設定できるように有限要素法による鉛直断面2次元地下水浸透流解析を利用する。

数値解析には、実測の間隙水圧の再現性を確認するための広域のモデルと、埋設設備からの流出流量を求めるための狭い範囲のモデルの2種類を用いた。埋設設備からの流出流量を求めるためのモデルでは、埋設設備設置位置近傍の動水勾配を3%とした場合の流量を求めた上で、確からしい設定、厳しい設定それぞれにおける動水勾配と3%の比率を3%の際の流量に乗じて求めた。間隙水圧の再現性を確認するための広域のモデルから求めた埋設設備設置位置近傍の動水勾配は、実測の動水勾配よりも小さかったため、埋設設備からの流出流量を求める際には、実測の動水勾配を用いた。

以上を踏まえ、埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量計算の流れを第16図に示す。



第16図 計算の流れ

(2) 2次元地下水浸透流解析のコード

2次元地下水浸透流解析の解析コードは、「オイリアン・ラグランジアン飽和・不飽和浸透流－移流・分散解析プログラム(以下「Dtransu2D・EL」という。)*1を使用する。

Dtransu2D・ELは、鉛直2次元、平面2次元及び軸対称モデルにおける密度勾配を考慮した飽和・不飽和浸透流及び移流・分散問題を対象とした解析コードである。

埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算に鉛直断面2次元地下水浸透流解析を利用することから、これらの機能のうち飽和・不飽和浸透流解析部分を利用する。

また、計算は定常解析とする。

(3) 埋設設備からの流出水量の計算(要素単位)

Dtransu2D・ELにおける要素単位の流出水量は、Dtransu2D・ELのアウトプットである要素中心平均流速に通過断面積を乗じることで求められる。

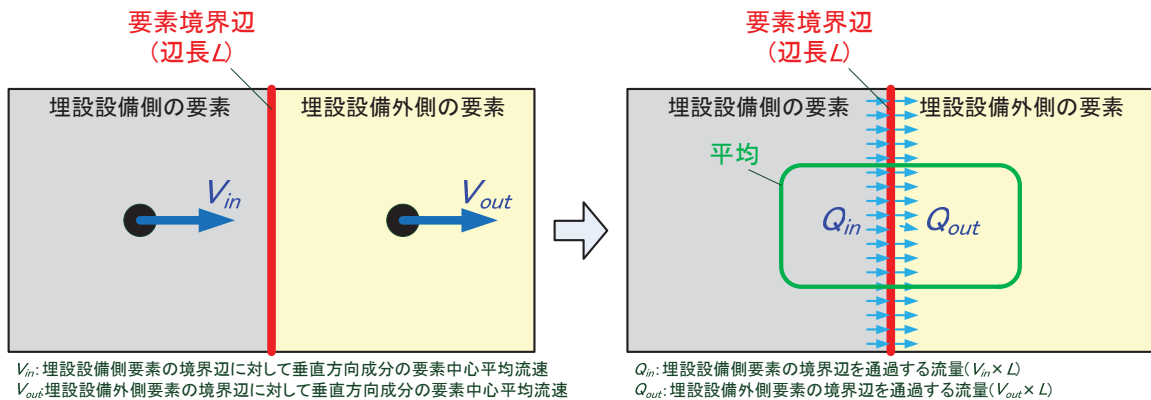
埋設設備からの流出水量は、埋設設備表面の辺を含む要素から流出する流量であり、埋設設備表面の境界辺を介した埋設設備側と埋設設備外側の2つの要素が関係する。

これらの2つの要素の境界辺を通過する流量を求める場合は、これら2つの要素で求めた流量の平均とすることが一般的である(第17図参照)。

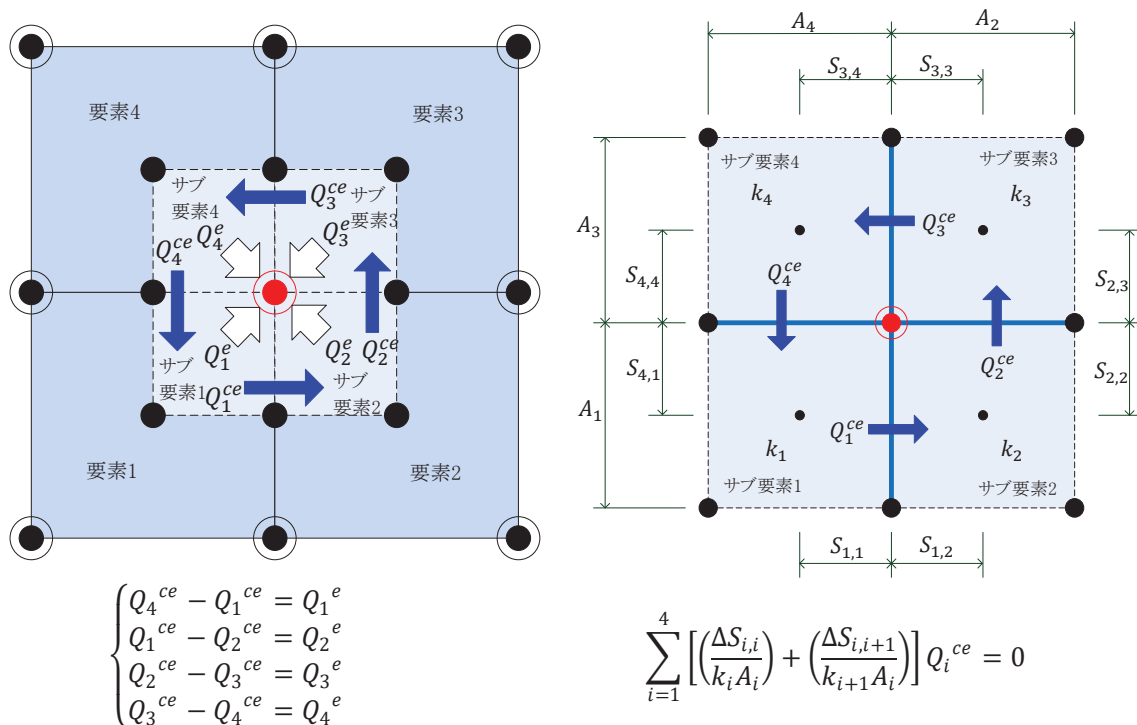
しかし、埋設設備とそれを覆う難透水性覆土やそれに接する鷹架層の透水係数にオーダー単位の大きな差がある場合は、誤差が大きくなる。

以上から、埋設設備や難透水性覆土などの透水係数の設定に幅が生じても誤差が小さくなるように、Dtransu2D・ELのアウトプットである節点全水頭を用い、節点周りの要素境界辺の流量を未知数として、節点周りの流量の収支関係から計算する方法(Cordes and Kinzelbach, 1992: 以下「CK法」という。)を適用する(第18図参照)。

*1 岡山大学、三菱マテリアル(株)、(株)ダイヤコンサルタント: 著作権登録番号P第4135号-1



第 17 図 要素境界辺を介した 2 つ要素から要素単位の流量を求めるイメージ



着目する節点周りのサブ要素の連続式

渦なし流れ条件

Q_i^{ce} : サブ要素間の境界辺を通過する流量 (m^3/s) (計算して求める未知数)

Q_i^e : 着目する節点に流入するサブ要素の流量 (m^3/s)

(要素単位で要素透水マトリックスに節点全水頭ベクトルを乗じることで得られる)

k_i : サブ要素 i の透水係数 (m/s)

A_i : サブ要素 i とサブ要素 $i+1$ の間の面積 (m^2)

$S_{i,i}$: サブ要素 i とサブ要素 $i+1$ の間の境界辺とサブ要素 i の中心との離隔距離 (m)

$S_{i,i+1}$: サブ要素 i とサブ要素 $i+1$ の間の境界辺とサブ要素 $i+1$ の中心との離隔距離 (m)

i : サブ要素番号 (-) ($i+1 > 4$ の場合は $i+1=1$ とする)

●: 着目する節点 ○: 要素節点 ●: サブ要素の節点 ●: サブ要素中心

第 18 図 要素境界辺の流量を未知数として計算する方法のイメージ (CK 法)*1

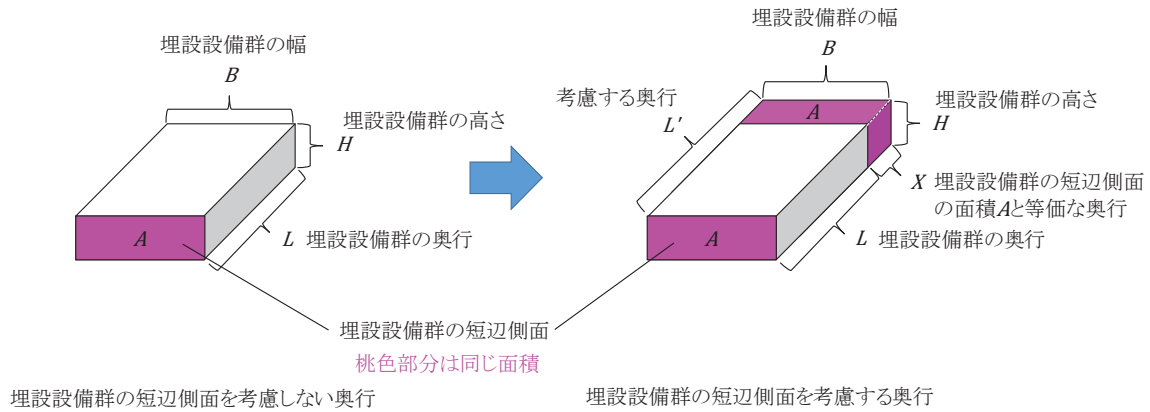
*1: 参考文献 (6) を参考に作成

(4) 埋設設備からの流出水量の計算(埋設設備単位)

埋設設備(群)単位の流出水量は、埋設設備表面の地下水が流出する要素境界辺の外側要素の材料区分ごとに要素単位の境界辺を通る流量の合計を求め、考慮する奥行き(第19図参照)を乗じて求める。第6表には考慮する奥行きを示す。

第20図には、埋設設備からの流出水量の集計イメージを示す。要素単位の埋設設備表面の境界辺からの流出水量を、埋設設備外側の材料(難透水性覆土、鷹架層及び群間充填材)に区別して集計し、埋設設備単位で合計する。

$$\text{考慮する奥行}(L) = \text{埋設設備群の奥行}(L) + \text{埋設設備群の短辺側面の面積}A\text{と等価な奥行}(X)$$



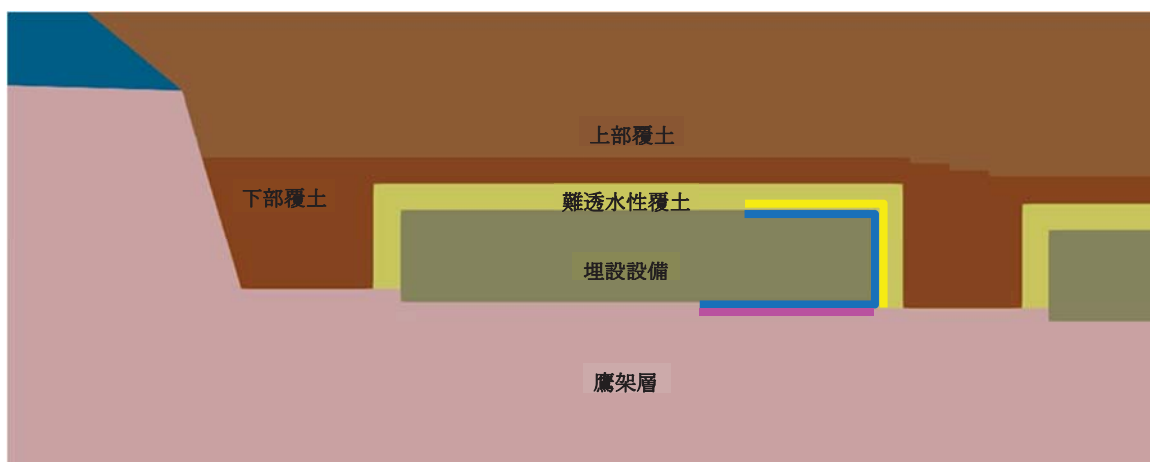
第19図 考慮する奥行きの考え方^{*1}

*1:「群」の表記については、3号廃棄物埋設地の場合は「基」と読み替えるものとする。

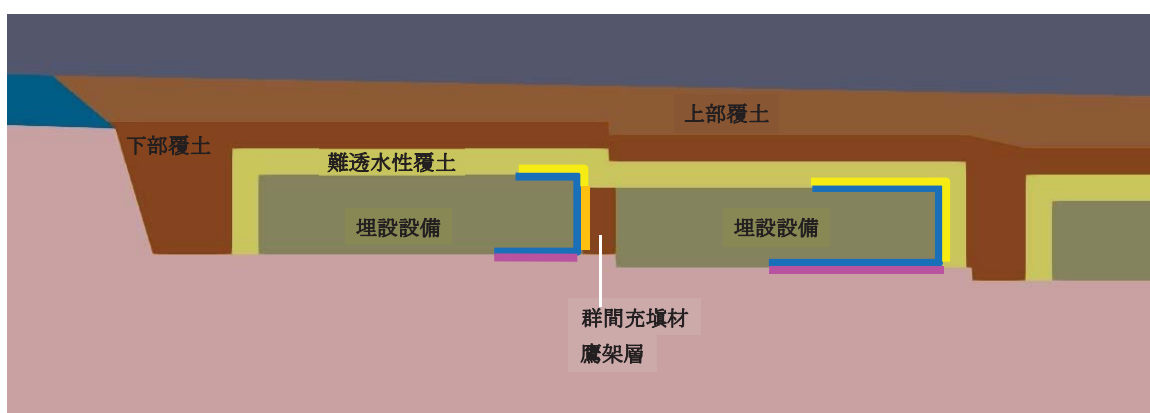
第6表 考慮する奥行き^{*1}

項目		3号廃棄物埋設地	1号廃棄物埋設地	2号廃棄物埋設地
B	埋設設備群の幅(m)	36.0	24.5	37.0
L	埋設設備群の奥行(m)	$64.1 \times 2 + 2.5$ $=130.7 \Rightarrow 131.0$	$24.5 \times 5 + 2.5 \times 4$ $=132.5 \Rightarrow 132.0$	$36.0 \times 4 + 2.5 \times 3$ $=151.5 \Rightarrow 151.5$
H	埋設設備群の高さ(m)	7.0	6.0	7.0
A	埋設設備群の短辺側面の面積(m^2): $B \times H$	$36.0 \times 7.0 = 252.0$	$24.5 \times 6.0 = 147.0$	$37.0 \times 7.0 = 259.0$
N	奥行き方向の埋設設備の数	2	5	4
X	埋設設備群の短辺側面の面積と等価な奥行(m): $A \times N / (B+H)$	$252.0 \times 2 / (36.0 + 7.0)$ $=11.72 \Rightarrow 11.7$	$147.0 \times 5 / (24.5 + 6.0)$ $=24.09 \Rightarrow 24.1$	$259.0 \times 4 / (37.0 + 7.0)$ $=23.54 \Rightarrow 23.5$
L'	考慮する奥行(m): $L+X$	$131.0 + 11.7 = 142.7$ $\Rightarrow 150$	$132.0 + 24.1 = 156.1$ $\Rightarrow 160$	$151.5 + 23.5 = 175.0$ $\Rightarrow 180$

*1:「群」の表記については、3号廃棄物埋設地の場合は「基」と読み替えるものとする。



(a) 3号廃棄物埋設地の場合(2号廃棄物埋設地も同様)



(b) 1号廃棄物埋設地の場合

凡 例	
	: ①埋設設備から難透水性覆土へ地下水が流出する範囲
	: ②埋設設備から鷹架層へ地下水が流出する範囲
	: ③埋設設備から群間充填材へ地下水が流出する範囲
	: ①～③の合計(埋設設備から地下水が流出する範囲)

第 20 図 埋設設備からの流出水量の集計イメージ

(5) 埋設設備からの流出水量の計算(廃棄物埋設地単位)

廃棄物埋設地単位の流出水量は、埋設設備単位の流出水量の合計とする。

(6) 埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算

埋設設備からの流出する地下水は、2次元地下水浸透流解析結果から求めた流跡線(添付資料7)によると、全て鷹架層へ移行することから、埋設設備から覆土へ流出する地下水(上部覆土と第四紀層を移行して生活環境へ流出する地下水はほとんどないと考えられる。しかしながら、線量評価では、埋設設備から流出した地下水が上部覆土と第四紀層を經由して生活環境に流出する場合の評価も実施することから、線量評価の結果が大きくなるように埋設設備から覆土への流出水量を見込み、その値を便宜的に埋設設備から難透水性覆土へ流出する地下水の水量とする。

以上から、埋設設備から覆土への流出水量は、埋設設備から難透水性覆土へ流出する廃棄

物理設地単位の地下水の水量の合計とし、埋設設備から鷹架層への流出水量は、埋設設備から流出する地下水の廃棄物理設地単位の水量の合計とする。

(7) 動水勾配比率による埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算

計算ケースごとで動水勾配が異なるため、埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量は、ダルシーの法則に基づいて計算する。確からしい設定における2次元地下水浸透流解析により求めた埋設設備から覆土への流出水量($Q_{co}(t)$)及び鷹架層への流出水量($Q_{go}(t)$)と、2次元地下水浸透流解析の境界条件として設定する動水勾配と計算ケースごとの設定する動水勾配の比率を用いて計算する。

$$Q = kiA \quad \text{-----} \quad (3-1)$$

Q : 流量(m^3/s)

k : 透水係数(m/s)

i : 動水勾配(-)

A : 通過断面積(m^2)

$$Q_{case}(t) = Q_{base}(t) \frac{i_{case}}{i_{base}} \quad \text{-----} \quad (3-2)$$

$Q_{case}(t)$: 計算ケースにおける埋設設備からの流出水量(m^3/y)

$Q_{base}(t)$: 2次元地下水浸透流解析で求めた動水勾配3%のときの流出水量(m^3/y)

i_{case} : 計算ケースにおける動水勾配の設定値(%)

i_{base} : 2次元地下水浸透流解析の動水勾配の設定値(%) : 3%

4. 埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算に必要な条件設定及び計算結果

埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算に必要な条件設定は、解析領域の設定、境界条件の設定及び材料の透水係数の設定である。

以下に、これらの条件設定の前提となる廃棄物埋設地付近の水理場及び条件設定の考え方を説明し、計算した結果を示す(1号及び2号廃棄物埋設地も同様)。

(1) 廃棄物埋設地付近の水理場の設定

埋設設備からの流出水量を計算するための廃棄物埋設地付近の水理場の設定は、表層の地下水水位及び埋設設備設置地盤付近の鷹架層中の間隙水圧(標高換算全水頭)の実測データに基づいて、地下水の流向及び動水勾配の設定を行う。

(i) 地下水水位に基づく廃棄物埋設地付近の水理場の設定

事業所敷地内の地下水水位は、「2. (2) (i) 地下水水位」で説明したように、地形と調和的であり、地下水の流向は、地形面標高の傾斜方向とおおむね一致する。

廃棄物埋設地の北～北東側には、東－西方向～西北西－東南東方向の台地の尾根線が分布し、基本的にはこの尾根線よりも北側では主に北へ、南側では主に南へ地下水が流れている。廃棄物埋設地はこの台地の尾根線よりも南側に位置することから、廃棄物埋設地付近の地下水の大局的な流向を北から南向きに設定する。

事業所敷地造成前(1986年)の地下水面の勾配は第5表に示したように最大3.0%程度であることから、地下水面の勾配を3.0%に設定する。

(ii) 間隙水圧に基づく埋設設備設置地盤付近の水理場の設定

埋設設備設置地盤付近の地下水の流向は、「2. (2) (ii) 間隙水圧」及び「2. (3) 埋設設備設置地盤付近の地下水の流動状況」で説明したように、埋設設備設置地盤標高付近の水平断面内では北から南向き主体、南北方向鉛直断面内では2号廃棄物埋設地の南側半分以上で鉛直下方主体である他は、鉛直下方成分を含む水平流れ主体であり、廃棄物埋設地ごとに南北方向鉛直断面内における地下水の大局的な流向が異なる。

一方、水平流れ場と鉛直下方流れ場を再現して2次元地下水浸透流解析を実施し、埋設設備からの流出水量を求めた。その結果、埋設設備からの流出水量は、水平流れ場の場合の方が大きくなる知見を得た(検討結果の詳細は添付資料7「2. 地下水の流動方向を水平方向と鉛直下方にした場合の2次元地下水浸透流解析結果」参照)。

以上から、埋設設備設置地盤付近の水平断面内の地下水の流向は北から南向きに設定する。また、南北方向鉛直断面内の地下水の流向は、廃棄物埋設地によって地下水の大局的な流向が異なるが、水平流れ場と鉛直下方流れ場を再現した2次元地下水浸透流解析から埋設設備からの流出水量を求めた結果、水平流れ場の流出水量の方が鉛直下方流れ場よりも大きくなったことから、線量評価における線量が大きくなる側として水平方向に設定する。

埋設設備設置地盤標高付近では測定深度が深くなると全水頭が若干小さくなることから、鉛直下方成分を含むと考える。

埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定データから作成した南北方向鉛直断面内の全水頭等高線を基に求めた動水勾配は、第1表に示したように、3号廃棄物埋設地で平均4.7%(2.7%～7.5%)、1号廃棄物埋設地で平均3.1%(2.3%～4.9%)、2号廃棄物埋設地で平

均 5.1% (2.3%~5.3%) であり、局所的に台地の地下水面勾配の最大値 3.0% 程度を大きく上回る箇所がみられる。これは、一時的に置かれている仮置土の影響やかん養域付近の鉛直下方方向の地下水の流れの影響で局所的に大きくなっていると考える。

以上から、埋設設備設置地盤付近の地下水の動水勾配は、確からしい設定では埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定データから作成した南北方向鉛直断面内の全水頭等高線を基に求めた動水勾配の平均、厳しい設定では最大値とする。

(2) 解析断面及び解析領域の設定

鉛直断面 2 次元地下水浸透流解析の解析断面は、埋設設備設置地盤付近の地下水の流れが大局的に鉛直下方成分を含む北から南向きであることから、廃棄物埋設地の南北方向の鉛直断面とする。

なお、3 号廃棄物埋設地において、支配核種である C-14 及び Pu-239 に関する被ばくは、埋設設備からこれらの核種が地下水を媒体に分水界の北あるいは南どちらに流れた場合でも、半減期の長さから線量値はほぼ同じ傾向となることから北から南向きの流れを代表して検討する(添付資料 5「放射性物質を含む地下水が分水界の北側へ移行した場合の線量評価について」参照)。

解析領域の設定は、解析領域範囲の設定及び解析領域を構成する材料分布の設定からなる。以下に、それぞれについて説明する。

(i) 解析領域範囲の設定

解析領域範囲のうち上端となる地表面の形状は、廃棄物埋設地の設置位置が台地上にあり、埋設地を原地形及び原水理地質構造に近くなるよう覆土すること及び 1,000 年程度の侵食による地形の変化は少ないことから、確からしい設定及び厳しい設定ともに現在と変わらない設定とする。

解析領域範囲の水平方向の範囲は、廃棄物埋設地付近の地下水の流動状況(鉛直下方成分を含む水平流れ)を表現することに着目し、解析領域両端の水位固定境界が有意に影響しないように廃棄物埋設地掘削範囲両端から外側へ 300m 程度(廃棄物埋設地掘削範囲の 1.5 倍程度)の範囲とする。

解析領域の底部境界は、事業所敷地内の水質分析結果から地下深部(標高-300m 付近)の鷹架層下部層分布域に対応して化石塩水が分布していることから標高-300m の位置とする。

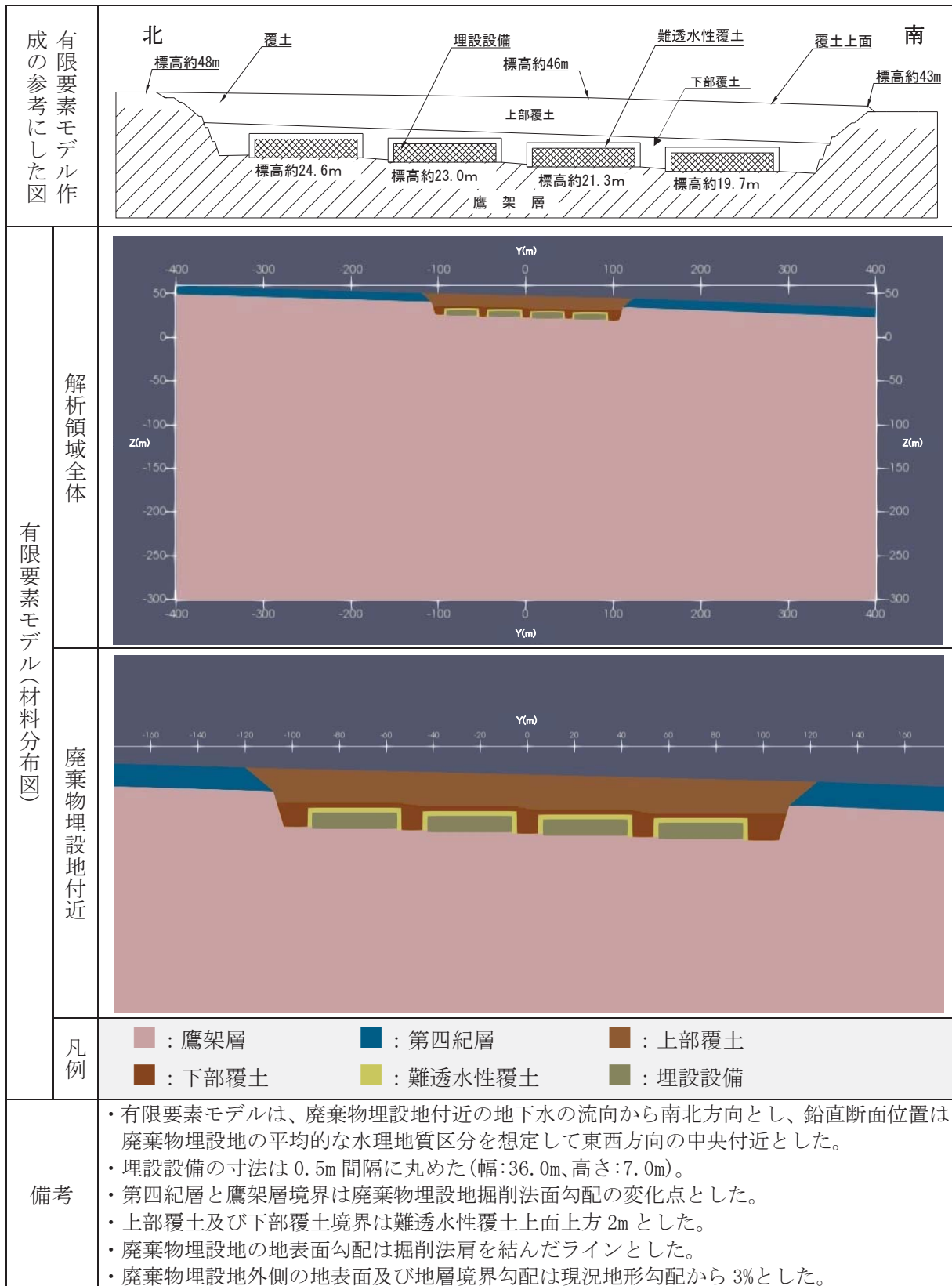
(ii) 材料分布の設定

廃棄物埋設地の周辺地盤の材料分布の設定は、2 次元地下水浸透流解析を利用する目的が埋設設備からの流出水量を求めることにあることから、表層部の土砂地盤である第四紀層及び埋設設備の設置地盤(岩盤)である N 値 50 以上の鷹架層中部層の 2 区分に単純化する。また、N 値 50 未満の鷹架層中部層については風化の影響を考えて第四紀層と同じ扱いとし、第四紀層と鷹架層の境界は、廃棄物埋設地の掘削法面勾配の急勾配部と緩勾配部分の境界とする。

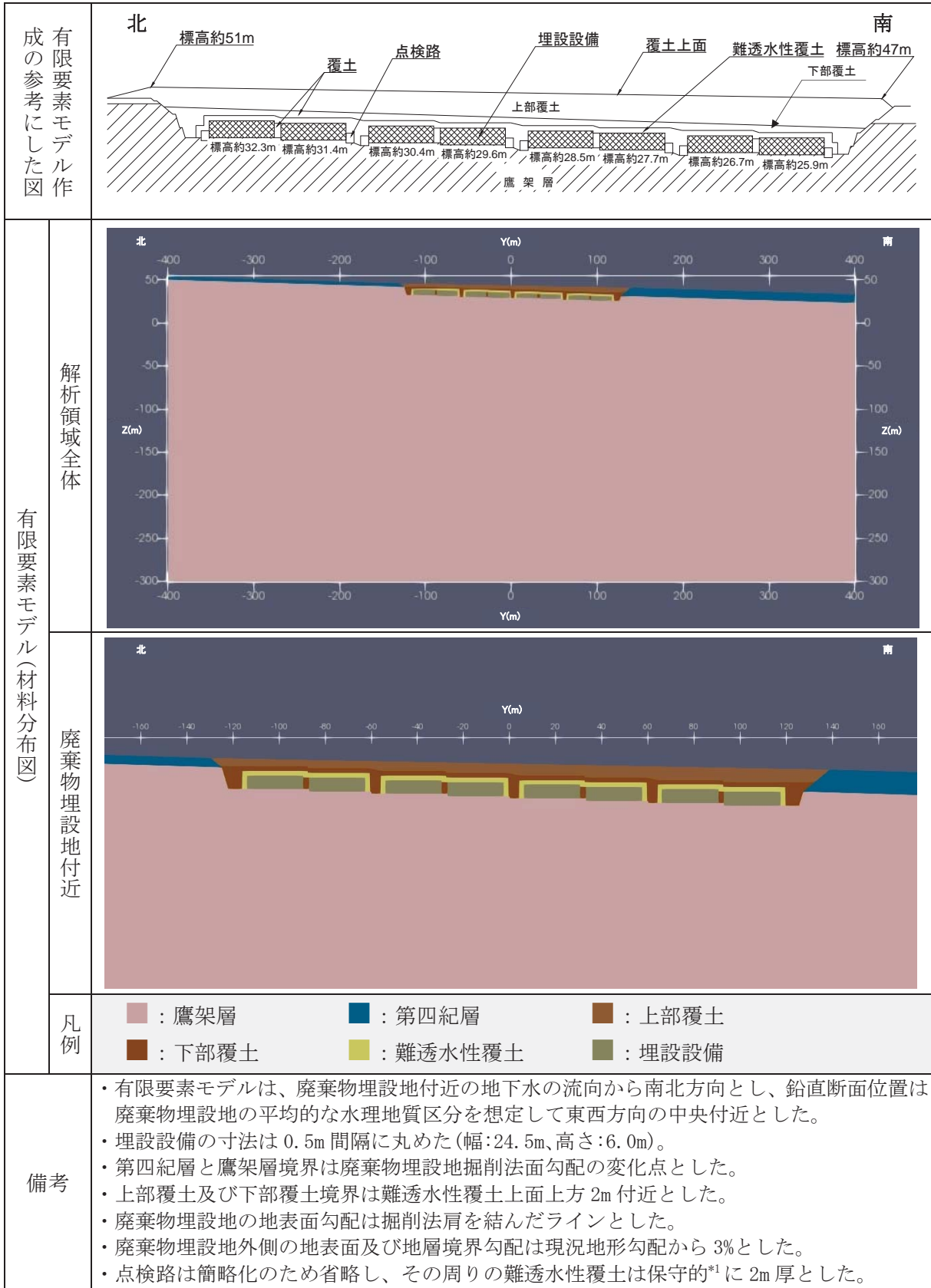
廃棄物埋設地の材料分布の設定は、上部覆土、下部覆土、難透水性覆土及び埋設設備の 4 区分とする。廃棄物埋設地の材料分布は、「第十条 廃棄物埋設地のうち第一号及び第三号、第 4 図 覆土断面図」を基に設定し、上部覆土と下部覆土の境界については難透水性覆土上面の上方 2m とする。

以上を踏まえて作成した有限要素モデルを第7表に示す。

第7表 有限要素モデル(材料分布図) (1/3) 【3号廃棄物埋設地】

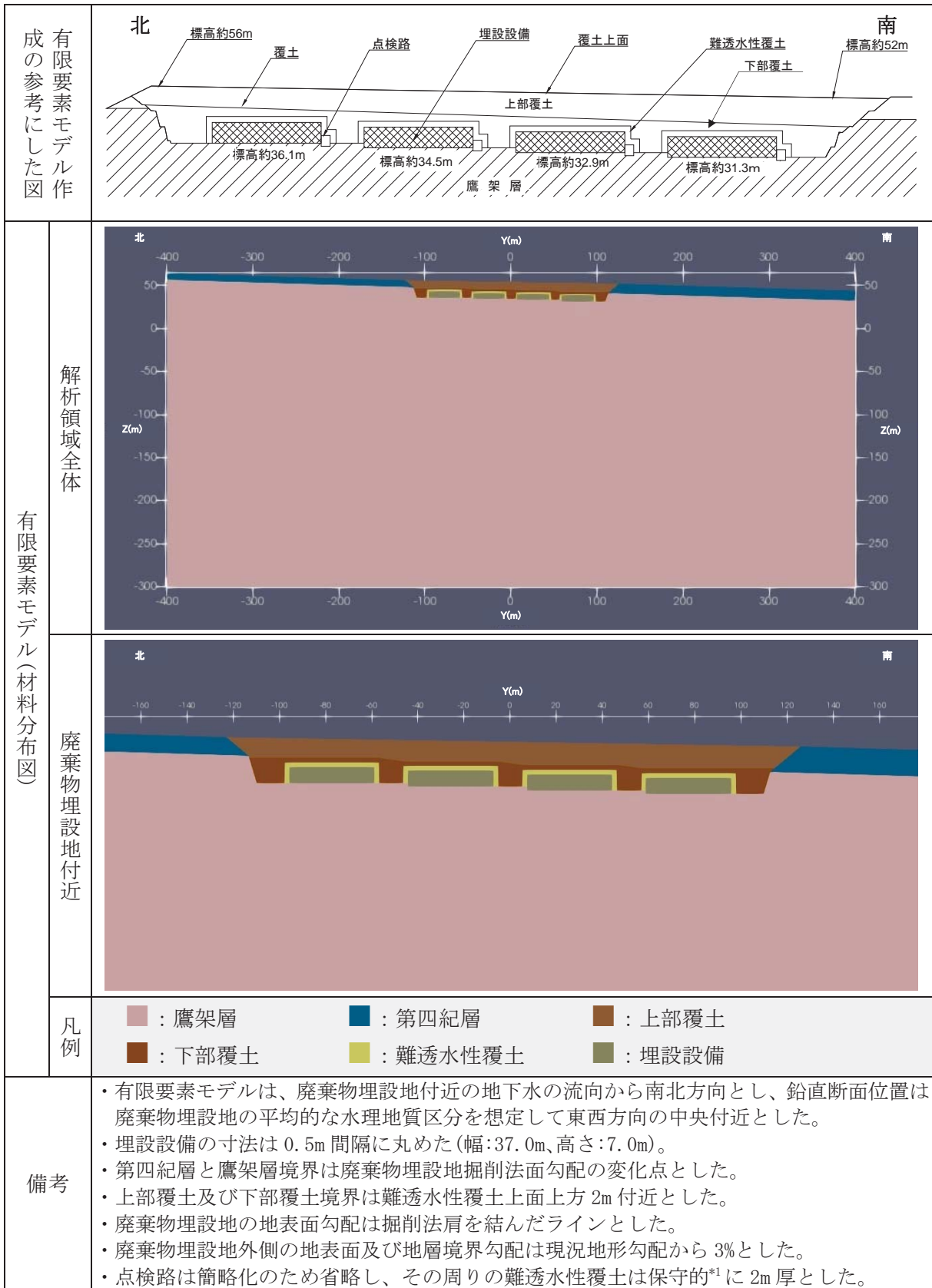


第7表 有限要素モデル(材料分布図) (2/3) 【1号廃棄物埋設地】



*1: 難透水性覆土内の地下水の移行時間が短くなる側

第7表 有限要素モデル(材料分布図) (3/3) 【2号廃棄物埋設地】



*1: 難透水性覆土内の地下水の移行時間が短くなる側

(3) 境界条件の設定

境界条件には、側方境界、上部境界及び底部境界がある。以下にこれらの条件設定について説明する。第 21 図には、3 号廃棄物埋設地を例とした境界条件の設定位置を示す(1 号及び 2 号廃棄物埋設地も同様)。

(i) 解析領域の側方境界

廃棄物埋設地付近の地下水の流れは北から南に流れていることを踏まえ、側方境界として解析領域の側部には水位固定境界を設定する。

水位固定境界は、解析領域両端に設定した。解析領域側部両端間の動水勾配が 3%になるように解析領域側部両端に水位固定境界を設定する。なお、埋設設備からの流出水量の設定に当たっては、広域モデルによる解析モデルの妥当性の検証や、実測の間隙水圧測定結果から求まる動水勾配を踏まえ、設備からの流出水量が大きくなるよう動水勾配を保守的に設定し、3%の動水勾配との比率を 3%の動水勾配で求めた流出水量に乗じて求めた。

(ii) 解析領域の上部境界

解析領域の上部には降雨浸透境界を設定する。

降雨浸透境界に入力する降雨浸透量は、実測に基づいて設定し、補足説明資料 1「3. (2) (v) かん養量」の考えに基づいて、年平均降水量の 20%とする。

埋設設備からの流出水量は、降雨浸透量(かん養量)が増えると大きくなる傾向があることから、降雨浸透量を求めるための年平均降水量は、地下水シナリオの線量評価における線量が大きくなるように設定する。また、降雨浸透量を大きくすることによって、計算ケースにあわせて透水係数を変更しても解析領域の地下水面分布が変化し難くなり、解析領域内の全体的な水理場を安定させることもできる*1。

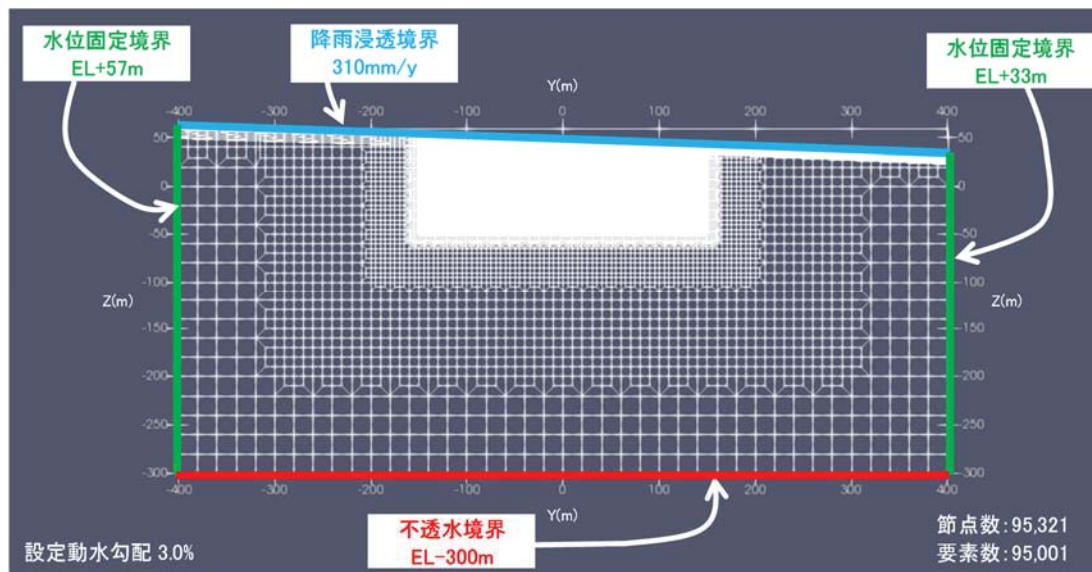
年平均降水量は、実測値に基づいた補足説明資料 1「3. (2) (iii) 降水量」を参考に、温暖期継続ケースの確からしい設定の値 1,300mm/y 及び厳しい設定の値 1,050mm/y (ばらつきの小さい側)を用いて、年平均降水量のばらつきの大きい側の値 $1,550\text{mm/y} (=1,300 + (1,300 - 1,050))$ とする。

以上から、降雨浸透量を 310mm/y(年平均降水量 1,550mm/y の 20%)と設定する。

(iii) 解析領域の底部境界

解析領域の底部境界は、実測値に基づいて設定する。事業所敷地内の既往水質分析結果から地下深部(標高-300m 付近)の鷹架層下部層分布域に対応して化石塩水が分布して底部境界をなしていることから、標高-300m 付近の解析領域の底部を不透水境界に設定する。

*1:埋設設備からの流出水量を求めるための 2 次元地下水浸透解析は、地下水面動水勾配が地形面勾配と同程度かつ地下水の流向に鉛直下方成分を含む水理場であることを前提としている。求める流出水量はこの水理場に将来の廃棄物埋設地の状態(材料の分布形状及び透水係数)をはめ込んだときの埋設設備からの流出する地下水の水量である。将来の廃棄物埋設地の状態をはめ込んだ結果、地下水面が変動して動水勾配が変化する場合があり、これを防ぐために降雨浸透量(かん養量)を大きくすることによって地下水面を地表面に張り付け、地下水面の傾斜を地表面勾配程度に保っている。なお、Dtransu2D・EL において降雨浸透境界に与える降雨浸透量は、解析領域に入る最大値であり、必ずしも設定した降雨浸透量が全量解析領域に入らない。特に地表面に地下水面を張り付けさせる場合はその度合いが顕著である(実際の計算では設定値の降雨浸透量 310mm/y に対して解析領域への流入量(解析領域上端の全節点の節点流量の合計を基に計算)は 78mm/y~100mm/y である)。



第 21 図 メッシュ図及び境界条件(3号廃棄物埋設地の場合)

第 8 表 降水量の設定値*1

ケース		モデル化時期*2	気温(°C)	降水量(mm/年)
確からしい設定	温暖期継続ケース	1,000年後	12	1,300
厳しい設定	温暖期継続ケース	1,000年後	12	1,050

*1: 補足説明資料 1「地質環境に係る長期変動事象」参照。

*2: 1,000年後までの状態は1,000年後と同じ状態に設定する。

(4) 透水係数の設定

2次元地下水浸透流解析に用いる解析領域内の材料の透水係数の設定の考え方について説明する。

第22図に2次元地下水浸透流解析に入力する地盤の透水係数設定の流れを示す。

また、廃棄物埋設地の透水係数は、廃棄物埋設地を構成する上部覆土、下部覆土、難透水性覆土及び埋設設備ごとに設定する。

第9表には、2次元地下水浸透流解析に入力する材料の透水係数とその設定の考え方を示す。

廃棄物埋設地周辺地盤の透水係数は、実測データに基づいて全体的に平均化した値を基に以下のとおり設定する。なお、各廃棄物埋設地及びその付近の各地層における透水係数の詳細は、添付資料3「廃棄物埋設地付近の透水試験結果」に示した。

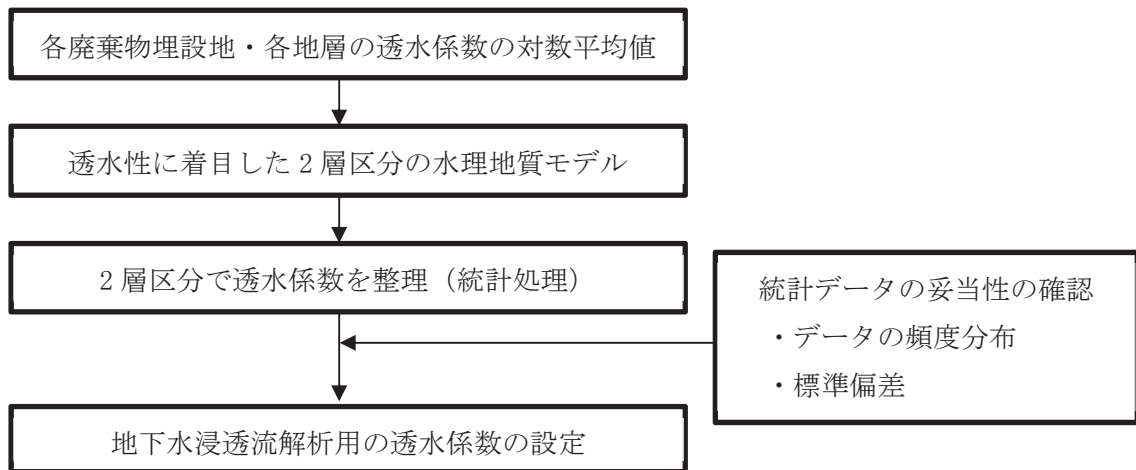
盛土、第四紀層及び鷹架層中部層N値50未満(風化部)の透水係数は、添付資料3「廃棄物埋設地付近の透水試験結果」に示すように対数平均値が 10^{-6}m/s オーダー^{*1}となっており、これらの下位に分布する鷹架層中部層N値50以上の透水係数の対数平均値 10^{-8}m/s オーダー^{*2}と比べて2オーダー程度大きい。

一方、鷹架層中部層N値50以上、盛土、第四紀層及び鷹架層中部層N値50未満(風化部)の透水係数の深度依存は、第23図及び第24図の透水係数の標高分布に示すように、データを取得した範囲については認められない。また、各水理地質区分の透水係数の対数平均値付近にデータが多く分布することから、各水理地質区分の透水係数の対数平均値と透水係数の標高分布が整合していることがわかる。

以上から、廃棄物埋設地周辺の地盤は、透水性の観点から透水係数で 10^{-6}m/s オーダーの地盤と 10^{-8}m/s オーダーの地盤に区分されることから、2次元地下水浸透流解析では、この透水性の違いに着目して2層に区分した水理地質モデルを作成する。なお、2次元地下水浸透流解析では、便宜的に透水係数が 10^{-6}m/s オーダーを示す盛土、第四紀層及び鷹架層中部層N値50未満(風化部)の地盤を「第四紀層」、 10^{-8}m/s オーダーを示す鷹架層中部層N値50以上の地盤を「鷹架層」として区分した。

*1:3号廃棄物埋設地の鷹架層中部層N値50未満(風化部)の透水係数の対数平均値は $9.6\times 10^{-7}\text{m/s}$ であるが、 10^{-6}m/s に近い値であることから 10^{-6}m/s オーダーとして扱った。

*2:1号廃棄物埋設地の鷹架層中部層N値50以上の透水係数の対数平均値は $1.1\times 10^{-7}\text{m/s}$ であるが、 10^{-7}m/s と 10^{-8}m/s の境界に近い値であることから、2号及び3号廃棄物埋設地と同様に 10^{-8}m/s オーダーとして扱った。



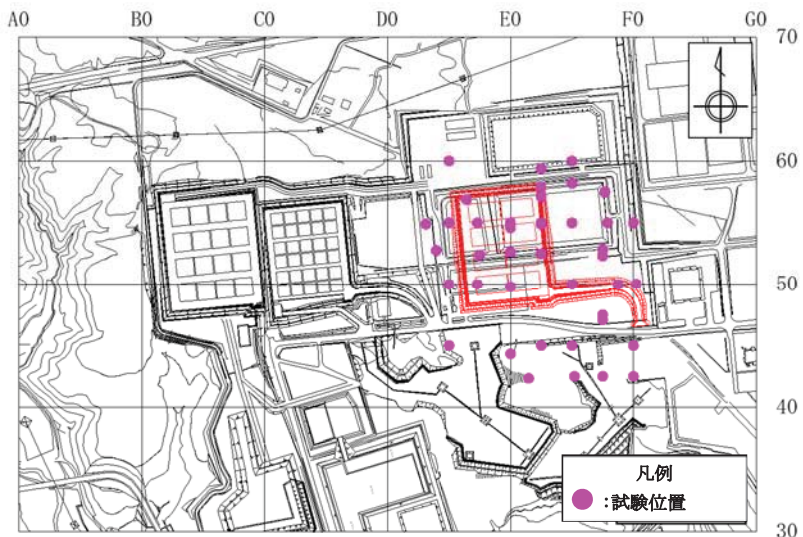
第 22 図 2次元地下水浸透流解析に入力する地盤の透水係数とその設定の流れ

第 9 表 2次元地下水浸透流解析に入力する材料の透水係数と設定の考え方

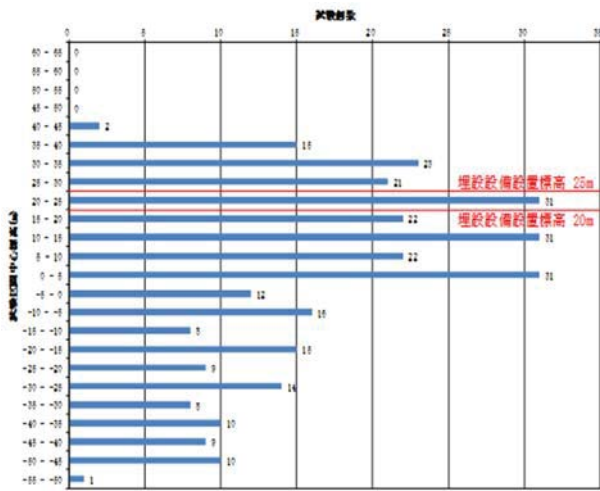
材料	計算ケース	透水係数(m/s)			設定の考え方	
		3号廃棄物埋設地	1号廃棄物埋設地	2号廃棄物埋設地		
廃棄物埋設地 周辺地盤	鷹架層	確からしい設定	5.0×10^{-8}	1.1×10^{-7}	7.8×10^{-8}	廃棄物埋設地付近で取得した N 値 50 以上の鷹架層中部層の透水係数の対数平均値*1(第 23 図参照)とする。
		厳しい設定	5.0×10^{-8}	1.1×10^{-7}	7.8×10^{-8}	
	第四紀層	確からしい設定	3.0×10^{-6}	2.5×10^{-6}	3.6×10^{-6}	廃棄物埋設地付近で取得した盛土、第四紀層及び N 値 50 未満の風化した鷹架層中部層の透水係数の対数平均値(第 24 図参照)とする。
		厳しい設定	3.0×10^{-6}	2.5×10^{-6}	3.6×10^{-6}	
廃棄物埋設地	上部覆土	確からしい設定	3.0×10^{-6}	2.5×10^{-6}	3.6×10^{-6}	周辺土壌と同程度とする(第四紀層の透水係数と同じ値とする)。
		厳しい設定	3.0×10^{-6}	2.5×10^{-6}	3.6×10^{-6}	
	下部覆土	確からしい設定	1.0×10^{-8}			周辺岩盤*2 よりも若干小さい透水係数とする。
		厳しい設定	1.0×10^{-8}			
	難透水性覆土	確からしい設定	2.0×10^{-10}	2.5×10^{-9}	2.0×10^{-10}	将来 1,000 年後の力学及び化学影響を考慮した等価透水係数とする(補足説明資料 6「廃棄物埋設地の状態設定-透水係数の設定-」参照)。
		厳しい設定	1.5×10^{-8}	3.0×10^{-9}	1.5×10^{-8}	
埋設設備	確からしい設定	1.0×10^{-5}			砂程度に劣化した状態の透水係数とする(補足説明資料 6「廃棄物埋設地の状態設定-透水係数の設定-」参照)。	
	厳しい設定	1.0×10^{-5}				

*1:原位置試験の対数平均値と巨視的透水係数(割目と基質部における原位置透水試験の透水係数とボーリングや掘削面等の地質観察で得た割目のデータから算出)が同程度であることから、簡単に求められる原位置試験の対数平均値を採用した。なお、これらの透水係数を用いて敷地の調査坑道の空洞からの湧水量を 3次元地下水浸透流解析で計算し、実測値とおおむね一致していることを確認している(参考資料 1⁽⁷⁾参照)。また、3号廃棄物埋設地については現況再現解析によって鷹架層の透水係数の現況再現性を確認している(添付資料 2 参照)。

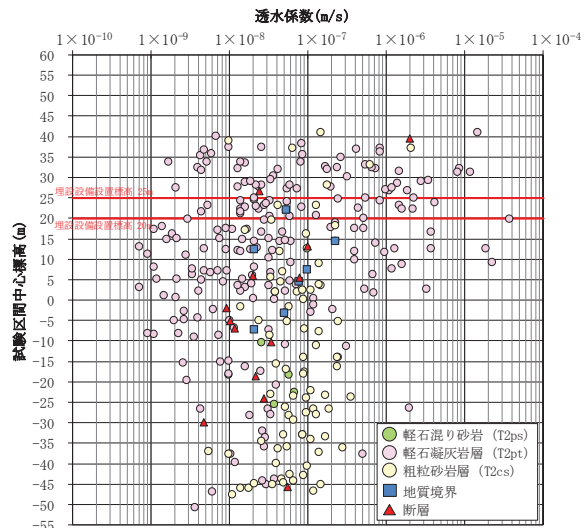
*2:想定した周辺岩盤は N 値 50 以上の鷹架層とした(透水係数： $5.0 \times 10^{-8} \sim 1.1 \times 10^{-7}$ (m/s))。



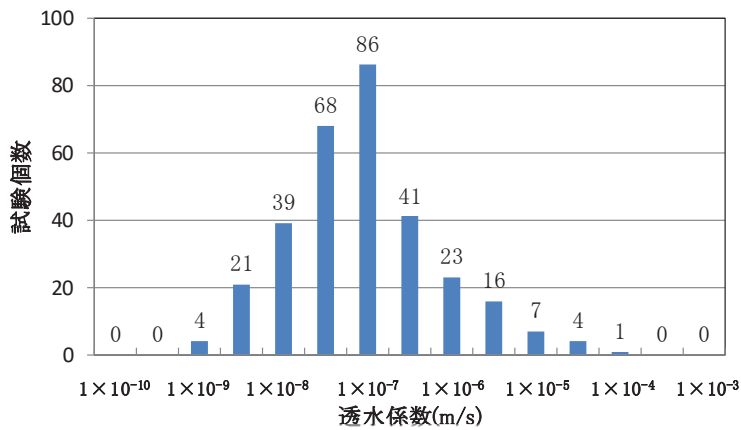
試験位置



試験区間中心標高の頻度分布
と埋設設備設置標高の関係



透水係数の標高分布



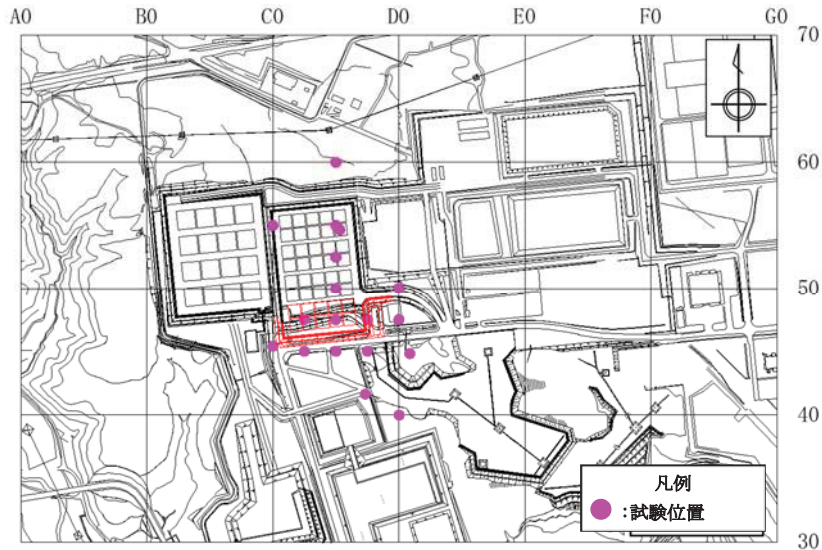
透水係数の頻度分布

データ個数	310
対数平均値	5.0×10^{-8}
最小値	7.2×10^{-10}
最大値	3.8×10^{-5}
対数の標準偏差	0.9

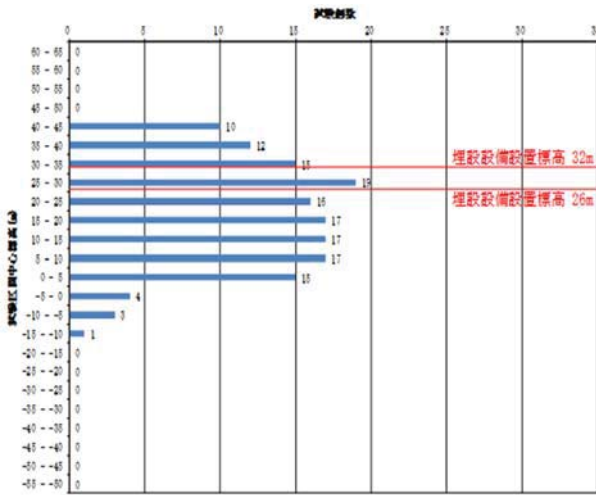
データの分布は対数正規分布に従うと考える。

第 23 図 N 値 50 以上の鷹架層中部層の透水係数の分布 (1/3)

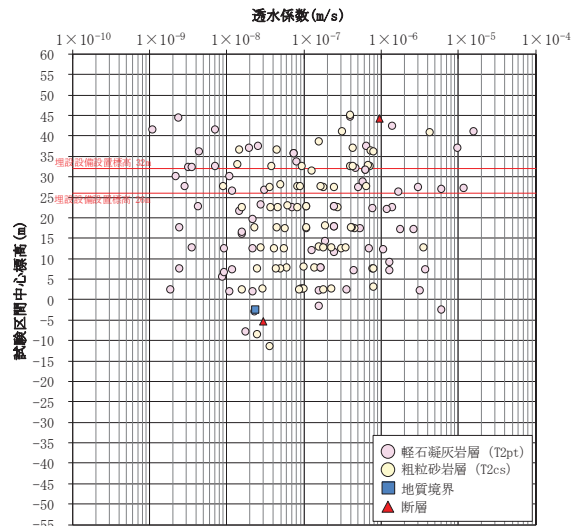
【3号廃棄物埋設地】



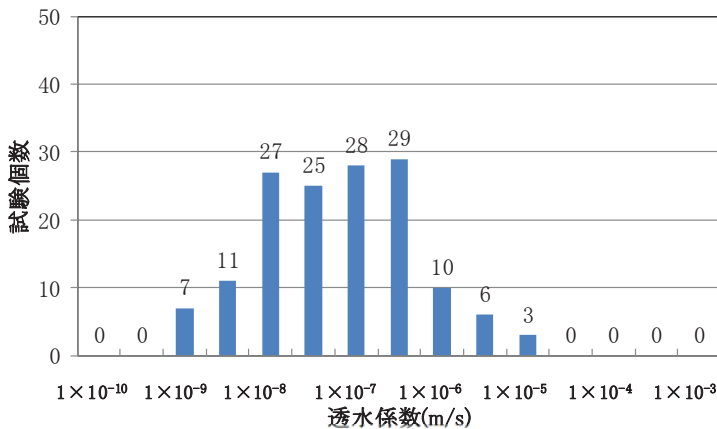
試験位置



試験区間中心標高の頻度分布
と埋設設備設置標高の関係



透水係数の標高分布



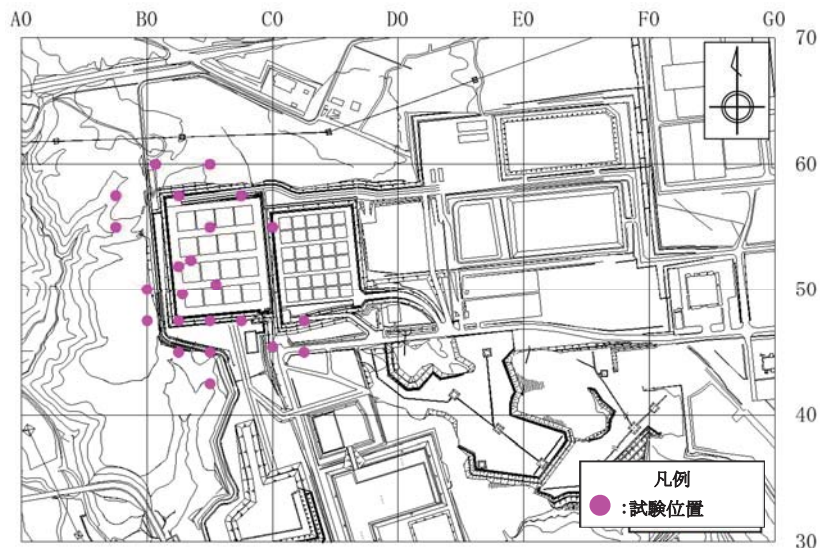
透水係数の頻度分布

データ個数	146
対数平均値	1.1×10^{-7}
最小値	1.1×10^{-9}
最大値	1.6×10^{-5}
対数の標準偏差	0.9

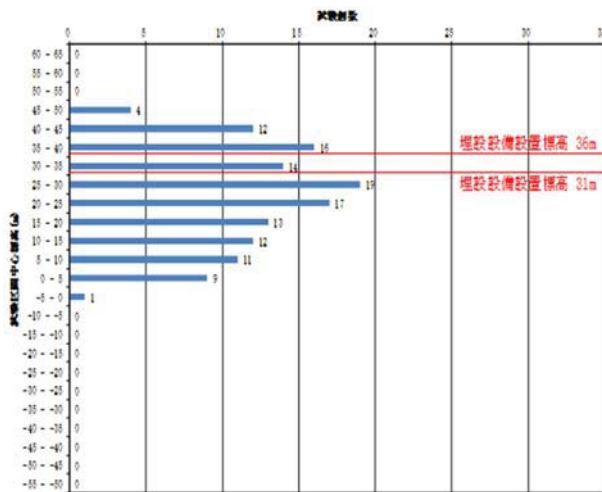
データの分布は対数正規分布に従うと考える。

第 23 図 N 値 50 以上の鷹架層中部層の透水係数の分布 (2/3)

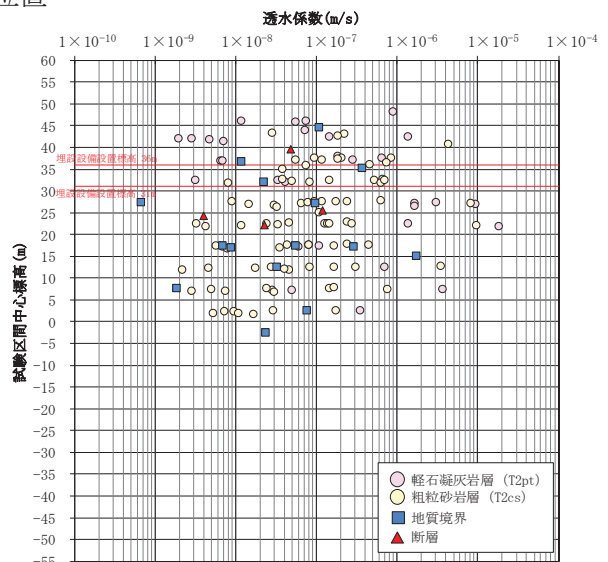
【1号廃棄物埋設地】



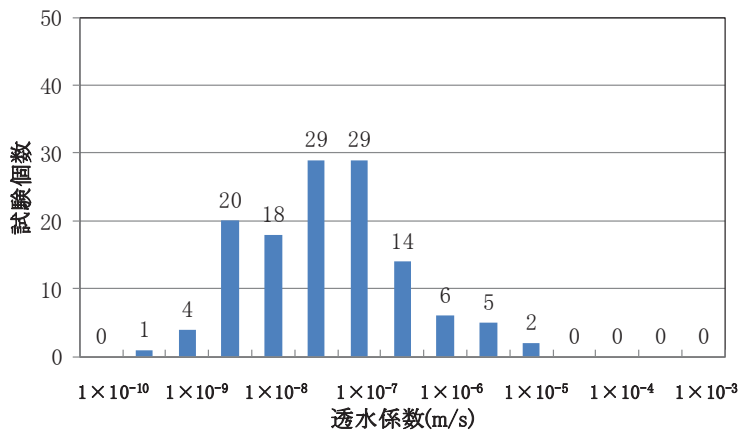
試験位置



試験区間中心標高の頻度分布
と埋設設備設置標高の関係



透水係数の標高分布



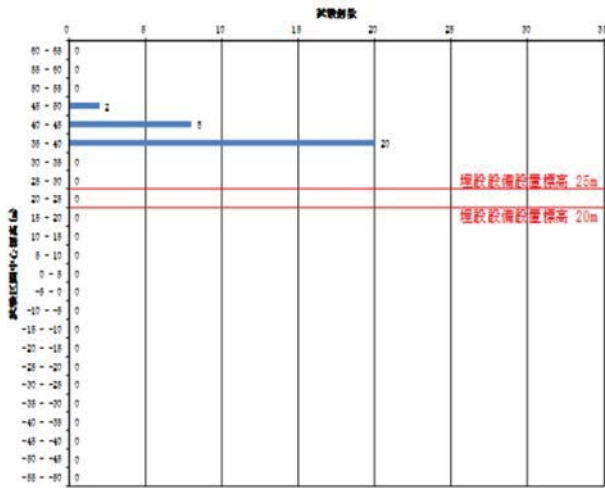
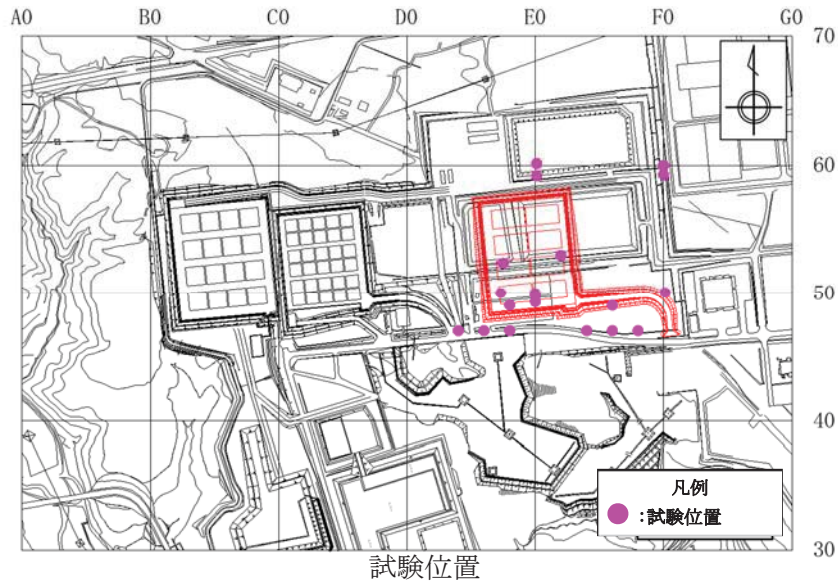
透水係数の頻度分布

データ個数	128
対数平均値	7.8×10^{-8}
最小値	6.9×10^{-10}
最大値	1.9×10^{-5}
対数の標準偏差	0.9

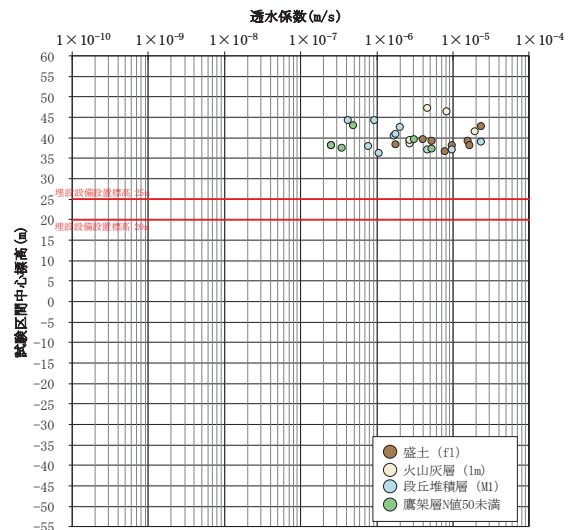
データの分布は対数正規分布に従うと考える。

第 23 図 N 値 50 以上の鷹架層中部層の透水係数の分布 (3/3)

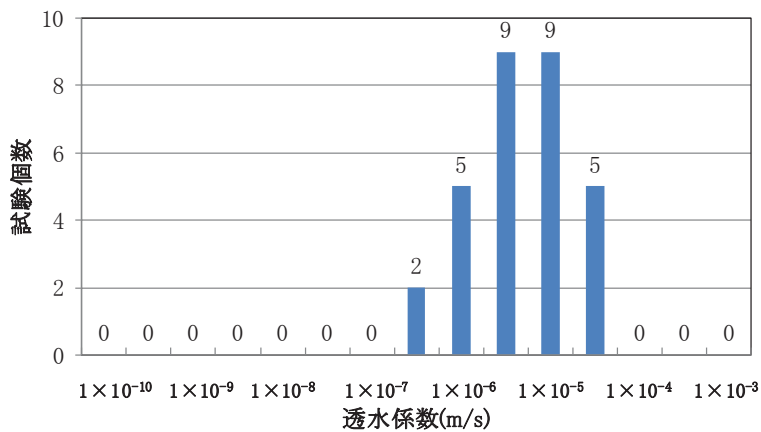
【2号廃棄物埋設地】



試験区間中心標高の頻度分布
と埋設設備設置標高の関係



透水係数の標高分布

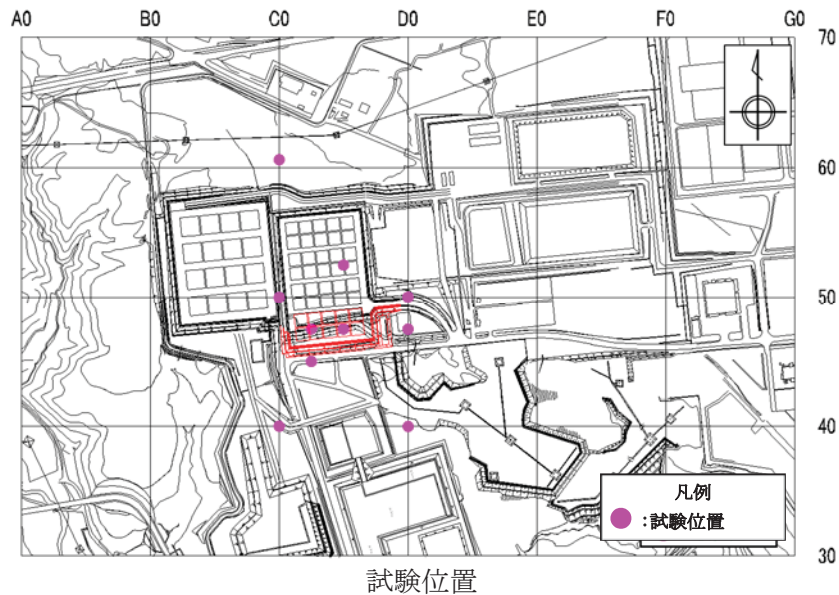


透水係数の頻度分布

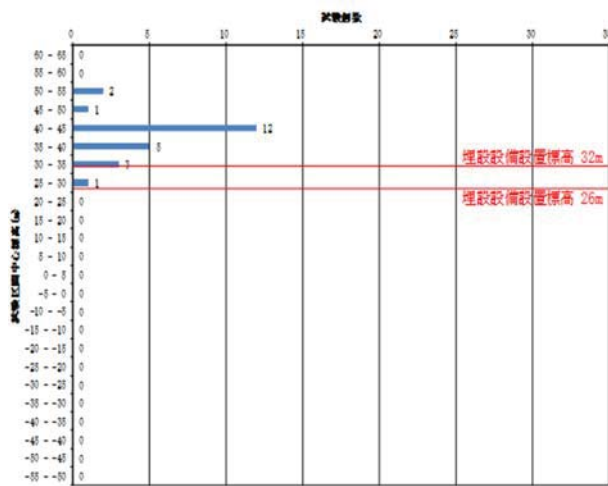
データ個数	30
対数平均値	3.0×10^{-6}
最小値	2.6×10^{-7}
最大値	2.4×10^{-5}
対数の標準偏差	0.6

データの分布は対数正規分布に従うと考える。

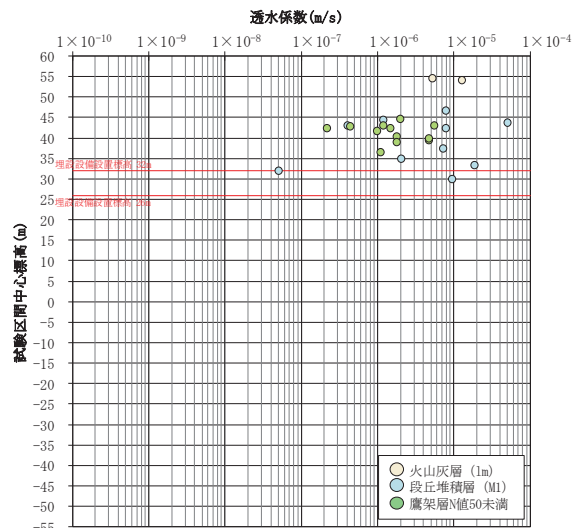
第 24 図 盛土、第四紀層及び鷹架層中部層 N 値 50 未満(風化部)の透水係数の分布 (1/3)
【3号廃棄物埋設地】



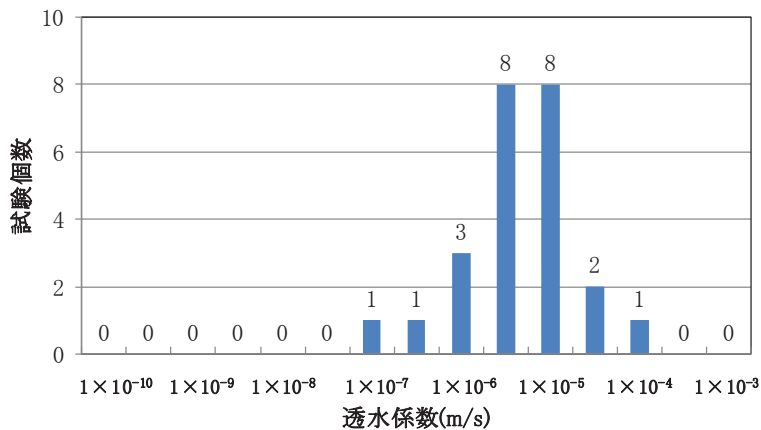
試験位置



試験区間中心標高の頻度分布
と埋設設備設置標高の関係



透水係数の標高分布



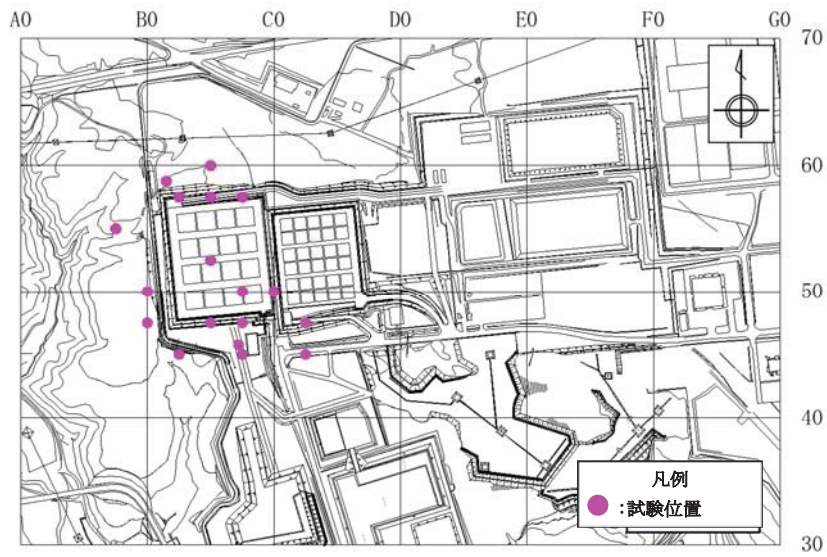
透水係数の頻度分布

データ个数	24
対数平均値	2.5×10^{-6}
最小値	5.2×10^{-8}
最大値	5.2×10^{-5}
対数の標準偏差	0.7

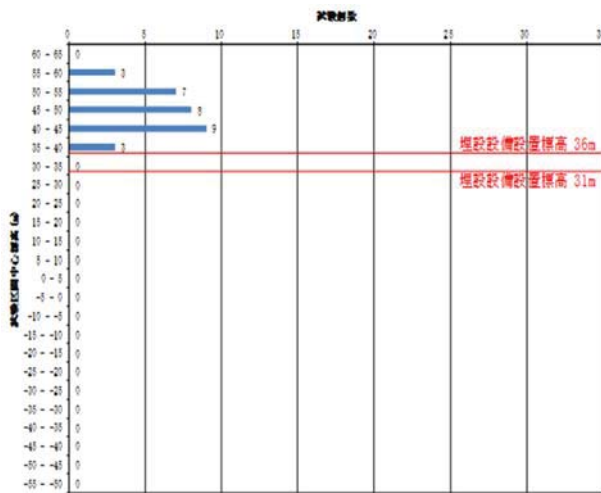
データの分布は対数正規分布に従うと考える。

第 24 図 盛土、第四紀層及び鷹架層中部層 N 値 50 未満(風化部)の透水係数の分布 (2/3)

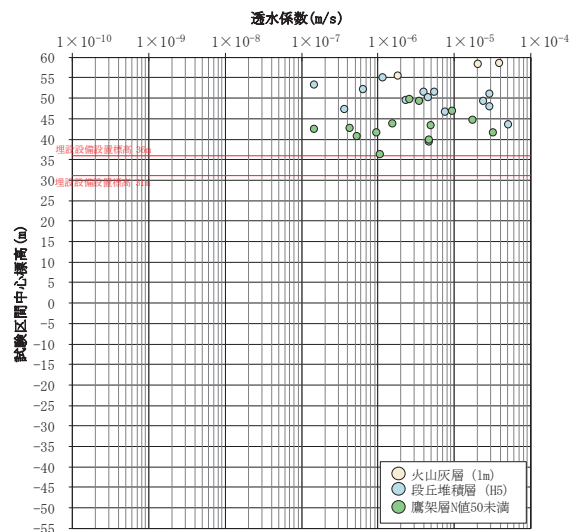
【1号廃棄物埋設地】



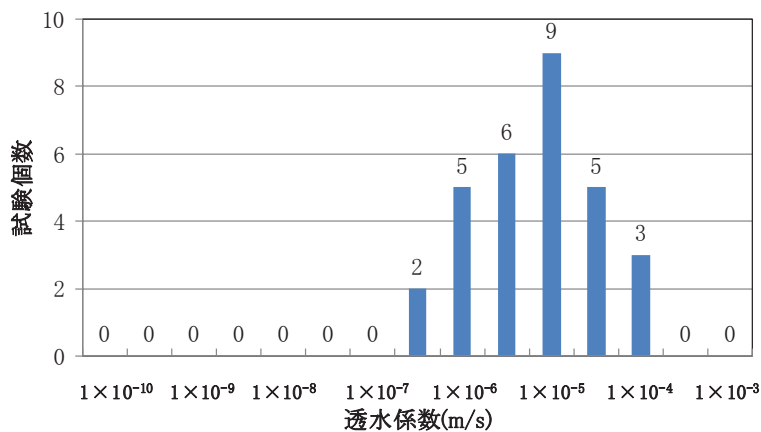
試験位置



試験区間中心標高の頻度分布
と埋設設備設置標高の関係



透水係数の標高分布



透水係数の頻度分布

データ個数	30
対数平均値	3.6×10^{-6}
最小値	1.5×10^{-7}
最大値	5.2×10^{-5}
対数の標準偏差	0.7

データの分布は対数正規分布に従うと考える。

第 24 図 盛土、第四紀層及び鷹架層中部層 N 値 50 未満(風化部)の透水係数の分布(3/3)

【2号廃棄物埋設地】

(5) 2次元地下水浸透流解析モデルの現況再現性について

3号廃棄物埋設地において鷹架層中の間隙水圧測定データがある事業所敷地造成後(2017年)に対して広域の解析モデルを用い現況再現性についての確認を行った。解析条件は、側方境界以外は流出水量を求める際のモデルと同じである。

事業所敷地造成後(2017年)の全水頭標高分布について、実測値と解析値を比較した結果、おおむね一致することを確認した(添付資料6第11図参照)。

(6) 動水勾配の設定について

原位置での実測の間隙水圧測定結果から作成した全水頭等高線を基に想定した動水勾配の方が数値解析から求まる動水勾配より大きくなった。そこで、埋設設備からの流出水量が大きくなり、線量評価結果が保守的となるよう、埋設設備からの流出水量を求める際、原位置での実測の間隙水圧測定結果から作成した全水頭等高線を基に想定した動水勾配を考慮することとした。

また、間隙水圧測定を実施した時期によっては、地下水の動水勾配が原地形より大きくなっていると考えられるケースがある。この理由は、間隙水圧測定位置の近傍における建設工事の影響で地表面の形状が原地形から変化したためと考える。埋設設備からの流出水量の計算に用いる動水勾配は、解析モデルの現況再現性の確認結果も考慮し、建設工事の影響を受けた原地形の動水勾配より大きめと考えられる間隙水圧測定結果から作成した全水頭等高線を基に想定した動水勾配から設定した。確からしい設定の動水勾配では実測の間隙水圧測定結果から作成した全水頭等高線より求めた動水勾配の平均を、厳しい設定の動水勾配では実測の間隙水圧測定結果から作成した全水頭等高線より求めた動水勾配の最大値を基に、それぞれ埋設設備からの流出水量が大きくなる側に0.5%単位で丸めた値とした(第10表参照)。

1号及び2号廃棄物埋設地においても同様に実測の間隙水圧測定結果から作成した全水頭等高線に基づいて求めた動水勾配より保守的になるよう動水勾配を設定した(第10表参照)。

なお、2次元地下水浸透流解析の境界条件として解析領域両端に設定する動水勾配は、第四紀層中に地下水面が存在するように、第四紀層中に地下水面が存在できる最大の勾配3.0%に設定する(第5表参照)。

第10表 埋設設備設置地盤付近の地下水の動水勾配及び動水勾配の状態設定値

廃棄物埋設地	断面位置	埋設設備設置地盤付近の地下水の動水勾配(%)*1		動水勾配の状態設定値(%)*3	
		平均*2	範囲	確からしい設定	厳しい設定
3号廃棄物埋設地	E2 測線	4.7	2.7~7.5	5.0	8.0
1号廃棄物埋設地	C4 測線	3.1	2.3~4.9	3.5	5.0
2号廃棄物埋設地	B4 測線	5.1	2.3~5.3	5.5	5.5

*1:間隙水圧測定結果の実測値から作成した全水頭等高線を基に求めた(第10図参照)。

*2:個々の値の算術平均とした。

*3:*1で求めた動水勾配の平均及び最大値を埋設設備からの流出水量が大きくなる側に0.5%単位で丸めた値をそれぞれ確からしい設定及び厳しい設定の動水勾配の設定値とした。

(7) 計算ケース

埋設設備からの流出水量の計算ケースは、廃棄物埋設地ごとに確からしい設定及び厳しい設定の2ケースとする。

(8) 計算方法

埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量は、2次元地下水浸透流解析及び動水勾配比率から求められる。

2次元地下水浸透流解析では、まず、第9表に示す計算ケース及びモデル化の時期における難透水性覆土の透水係数を用い、動水勾配3%のときの埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量を計算する。

次に動水勾配比率からの計算では、第10表に示す計算ケースの動水勾配の設定値について、ダルシーの法則((3-1)式参照)に基づいて、2次元地下水浸透流解析で求めた動水勾配3%のときの流出水量を基に、該当ケースとモデル化時期の動水勾配との比率を乗じてそれぞれのケースの流量を計算する((3-2)式参照)。

第10表に示す計算ケースについて求めた動水勾配比率から計算した埋設設備からの覆土への流出水量($Q_{co}(t)$)及び鷹架層への流出水量($Q_{go}(t)$)が、線量評価パラメータとなる。

(9) 埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算結果

2次元地下水浸透流解析から求めた動水勾配3%の場合の埋設設備からの流出水量を第11表に、線量評価パラメータとして設定する埋設設備からの流出水量を第12表に示す。2次元地下水浸透流解析結果の詳細は、添付資料7「1.埋設設備からの流出水量を求めるための動水勾配3%の場合の2次元地下水浸透流解析結果」を示すとおりである。

第11表 2次元地下水浸透流解析から求めた動水勾配3%の場合の埋設設備からの流出水量

計算ケース	モデル化時期 ^{*1}	3号廃棄物埋設地		1号廃棄物埋設地		2号廃棄物埋設地	
		$Q_{co}(t)$ ^{*2}	$Q_{go}(t)$ ^{*3}	$Q_{co}(t)$ ^{*2}	$Q_{go}(t)$ ^{*3}	$Q_{co}(t)$ ^{*2}	$Q_{go}(t)$ ^{*3}
確からしい設定	1,000年後	10	630	130	2,200	20	920
厳しい設定	1,000年後	380	1,100	150	2,200	350	1,300

*1:1,000年後までの状態は1,000年後と同じ状態に設定する。

*2:埋設設備から覆土への流出水量(m³/y)

*3:埋設設備から鷹架層への流出水量(m³/y)

第12表 線量評価パラメータとして設定する埋設設備からの流出水量

計算ケース	モデル化時期 ^{*1}	3号廃棄物埋設地		1号廃棄物埋設地		2号廃棄物埋設地	
		$Q_{co}(t)$ ^{*2}	$Q_{go}(t)$ ^{*3}	$Q_{co}(t)$ ^{*2}	$Q_{go}(t)$ ^{*3}	$Q_{co}(t)$ ^{*2}	$Q_{go}(t)$ ^{*3}
確からしい設定	1,000年後	10	1,100	160	2,500	40	1,700
厳しい設定	1,000年後	990	2,800	250	3,600	630	2,300

*1:1,000年後までの状態は1,000年後と同じ状態に設定する。

*2:埋設設備から覆土への流出水量(m³/y)

*3:埋設設備から鷹架層への流出水量(m³/y)

5. 参考文献

- (1) 地盤工学会(2013)：地盤調査の方法と解説、社団法人地盤工学会
- (2) (株)土木工学社：地下水の科学Ⅲ
- (3) 青森県(昭和 52 年)：むつ小川原開発第 2 次基本計画に係る環境影響評価報告書、青森県
- (4) 青森県(平成 19 年)：新むつ小川原開発基本計画素案に係る環境影響評価書、青森県
- (5) 六ヶ所村(平成 27 年)：六ヶ所村統計書 平成 26 年版、六ヶ所村
- (6) 菱谷智幸・鹿島浩之・桜井英行・白石知成：有限要素法による地下水流動解析における流れの局所連続性に関する考察, 地下水学会誌(2015 年), 第 57 巻第 3 号, 319-334.
- (7) 佐々木泰・細谷真一・川原秀二・浜田憲彦：水理特性を試験スケールから評価スケールに巨視化する方法, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会講演要旨

事業所敷地の地下水位測定結果

目 次

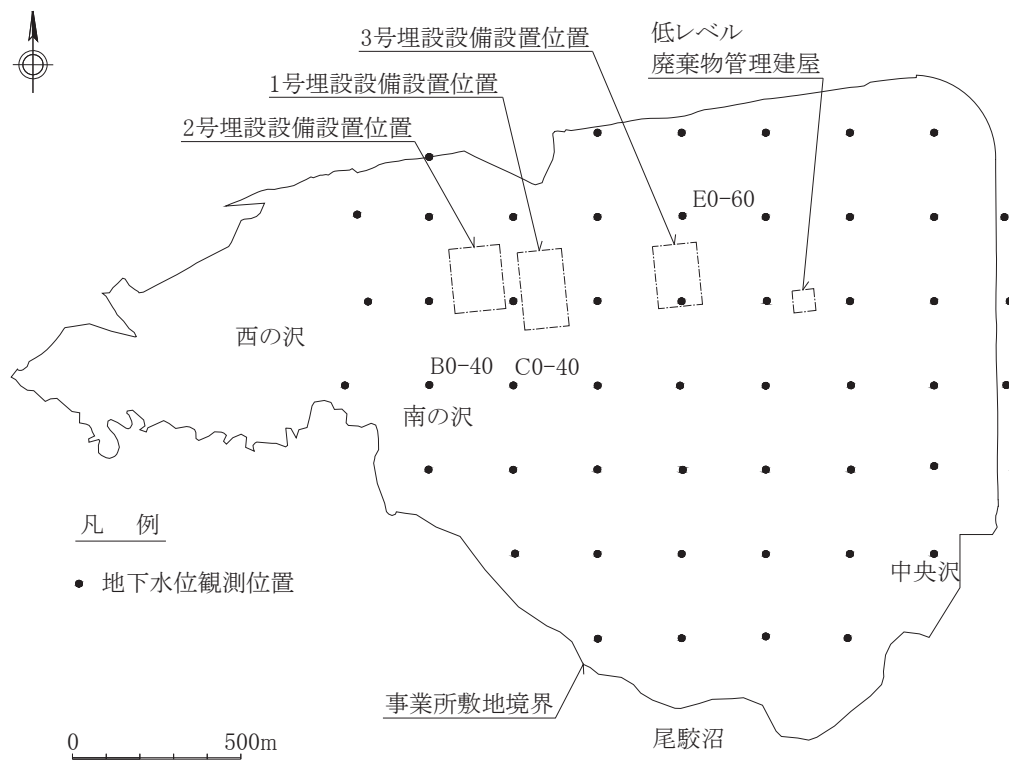
1. 目的.....	1
2. 地下水位測定位置.....	1
3. 地下水位測定方法.....	2
4. 地下水位測定結果.....	6
5. 地下水面等高線の作成.....	12
(1) 地下水面標高等高線の作成方法の流れ.....	12
(2) 地下水面標高等高線図を作成するに当たっての基本的事項.....	13
(3) 地下水面標高等高線図の作成方法(3号廃棄物埋設地付近における作成例).....	14

1. 目的

廃棄物埋設地付近の地下水位及び地下水流向を把握するため、地下水位測定を行った。

2. 地下水位測定位置

事業所敷地内における 250m グリッド間隔程度のボーリング孔を用いて地下水位観測を行った。地下水位観測位置を第 1 図に示す。



第 1 図 地下水位観測位置図(1986 年)

3. 地下水位測定方法

地下水位測定は、地盤工学会基準 JGS 1312-2012「観測井による砂質・礫質地盤の地下水位測定方法」*1に準じて行った。

地下水位測定の装置及び測定の概要を第 2 図に、自動計測装置の仕様を第 1 表に示す。

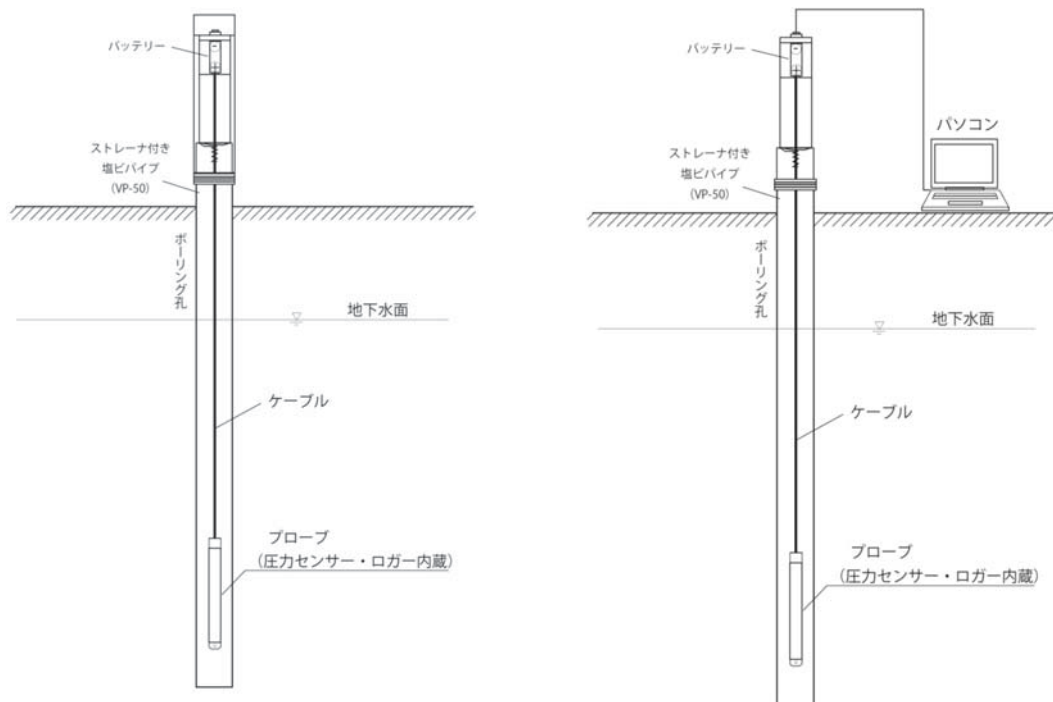
地下水位測定は、圧力センサを設置して連続的に自動計測する方法、触針式水位計の巻尺の先についている地下水面を検出する触針器を孔内に下ろして孔口から地下水面までの深さを計測する手動式の方法の 2 種類を用いた。

自動計測装置は、SDL(1996 年以降)及び DSC(2004 年以前)を用いた(1996 年～2004 年は SDL 及び DSC が混在)。

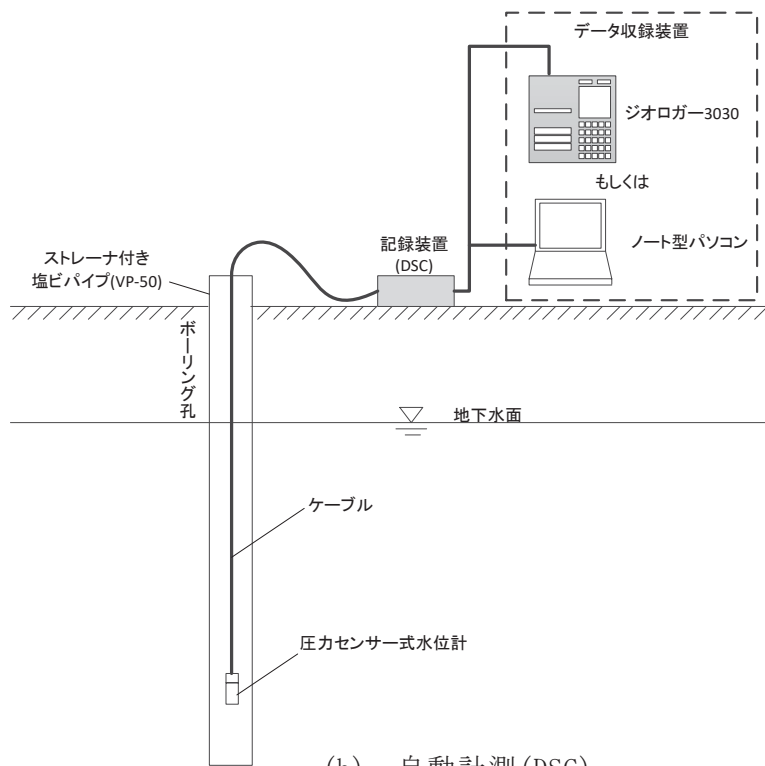
自動計測装置からのデータ収録は、SDL の場合は、専用のソフトを備えたパソコンをロガーから連続する地上部のコネクタに接続して行った。また、DSC の場合は、記録装置(DSC)と収録装置(ジオロガー3030 若しくは専用ソフトを備えたノート型パソコン)を接続して行った。

自動計測装置の測定精度は、第 1 表の水位測定範囲と圧力センサ精度から水頭換算で $\pm 0.01\text{m}$ ～ $\pm 0.05\text{m}$ 、手動式(触針式)の測定精度は触針式水位計の目盛が 0.01m 間隔であることから $\pm 0.01\text{m}$ である。地下水位測定孔の管頭標高及び圧力センサ設置深度については 0.01m 間隔目盛の標尺を基に標高や深度を求めている。また、地下水面標高は、これらの自動計測装置から得られる水頭値(圧力センサより上方の水柱の高さ)、地下水位測定孔の管頭標高、圧力センサの管頭から設置深度を用いて加算・減算から求められる。よって、地下水位測定から求められる地下水面標高の精度は、これらの水頭値、管頭標高及び設置深度の精度のうち最も悪い場合と同じ $\pm 0.05\text{m}$ となる。

*1 表記した地盤工学会基準の制定(改訂)前の測定についても、学会基準の測定方法に準拠していることから、学会基準名及び番号の最新版を用いて表記した。

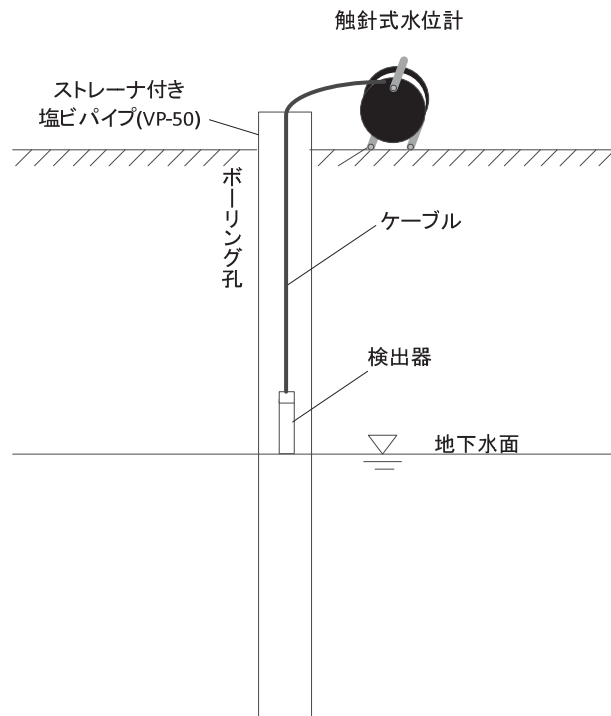


(a) 自動計測 (SDL) (左：観測状況、右：データ収録状況)



(b) 自動計測 (DSC)

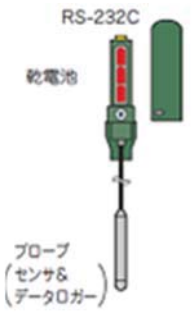
第 2 図 地下水位測定装置及び測定概要 (1/2)



(c) 触針式水位計による測定

第 2 図 地下水位測定装置及び測定概要 (2/2)

第 1 表 自動計測水位計 (SDL) の仕様 (1/2)

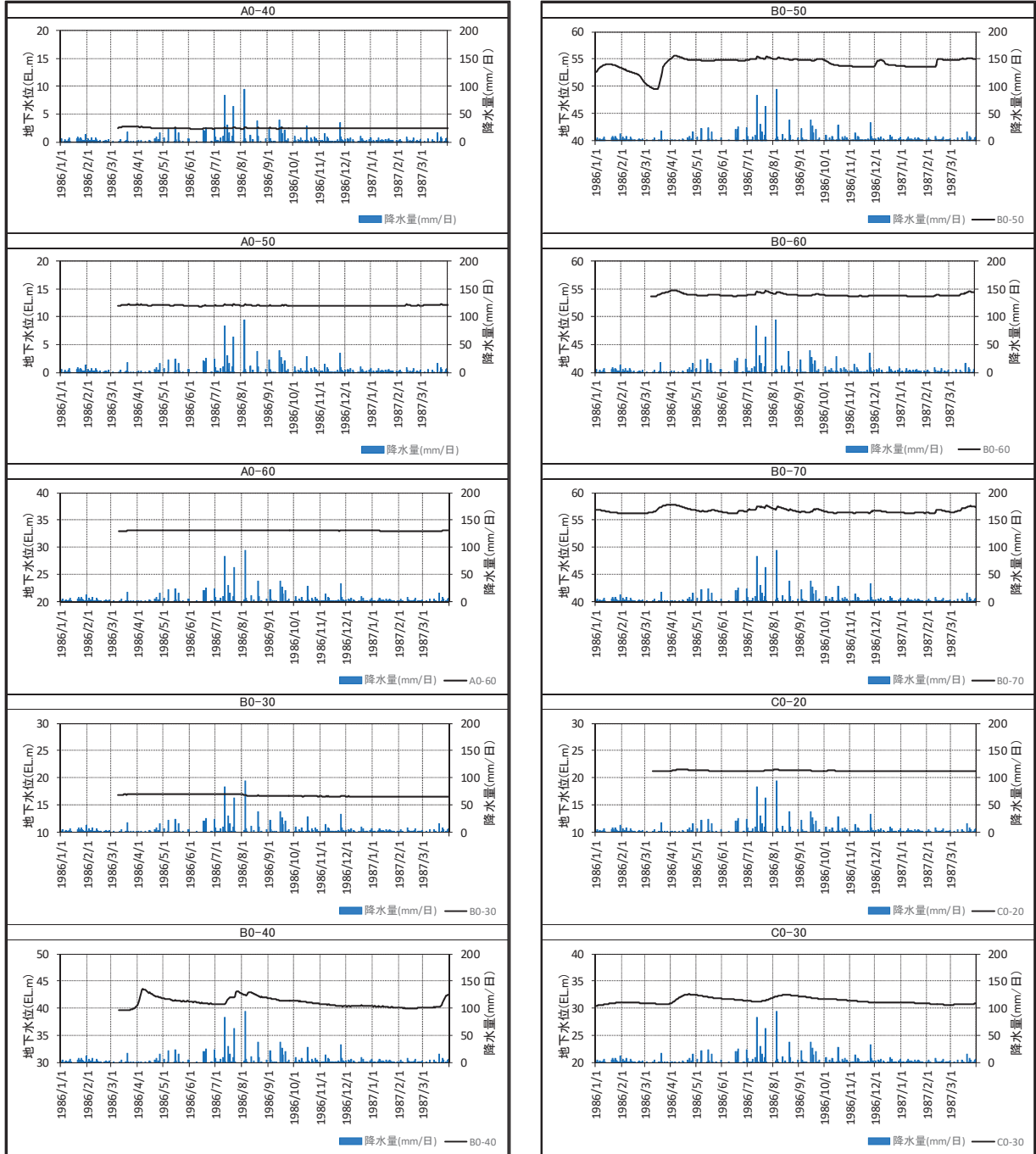
水位測定範囲 (FS)	10m、20m	外観・構造 
圧力センサ精度	±0.1%FS	
記憶容量	57,000 データ	
測定間隔	1分～10日 (1分間隔で設定可能)	
電源	単一アルカリ電池×3本 (又は専用リチウム電池 6V、9V)	
プローブ外径寸法	φ25mm×290mm	

第 1 表 自動計測水位計 (DSC) の仕様 (2/2)

圧力センサ式水位計	水位測定範囲 (FS)	4m、10m
	圧力センサ精度	±0.5%FS
	寸法	φ26mm×175mm
デジタルストレージレコーダ (DSC)	チャンネル数	2
	記憶容量	2,560 データ
	測定間隔	10, 20, 30, 60 秒
		2, 3, 6, 10, 20, 30 分
		1, 2, 3, 6, 12, 24 時間
	電源	UM-1×8 個
寸法	φ108mm×400mm	

4. 地下水位測定結果

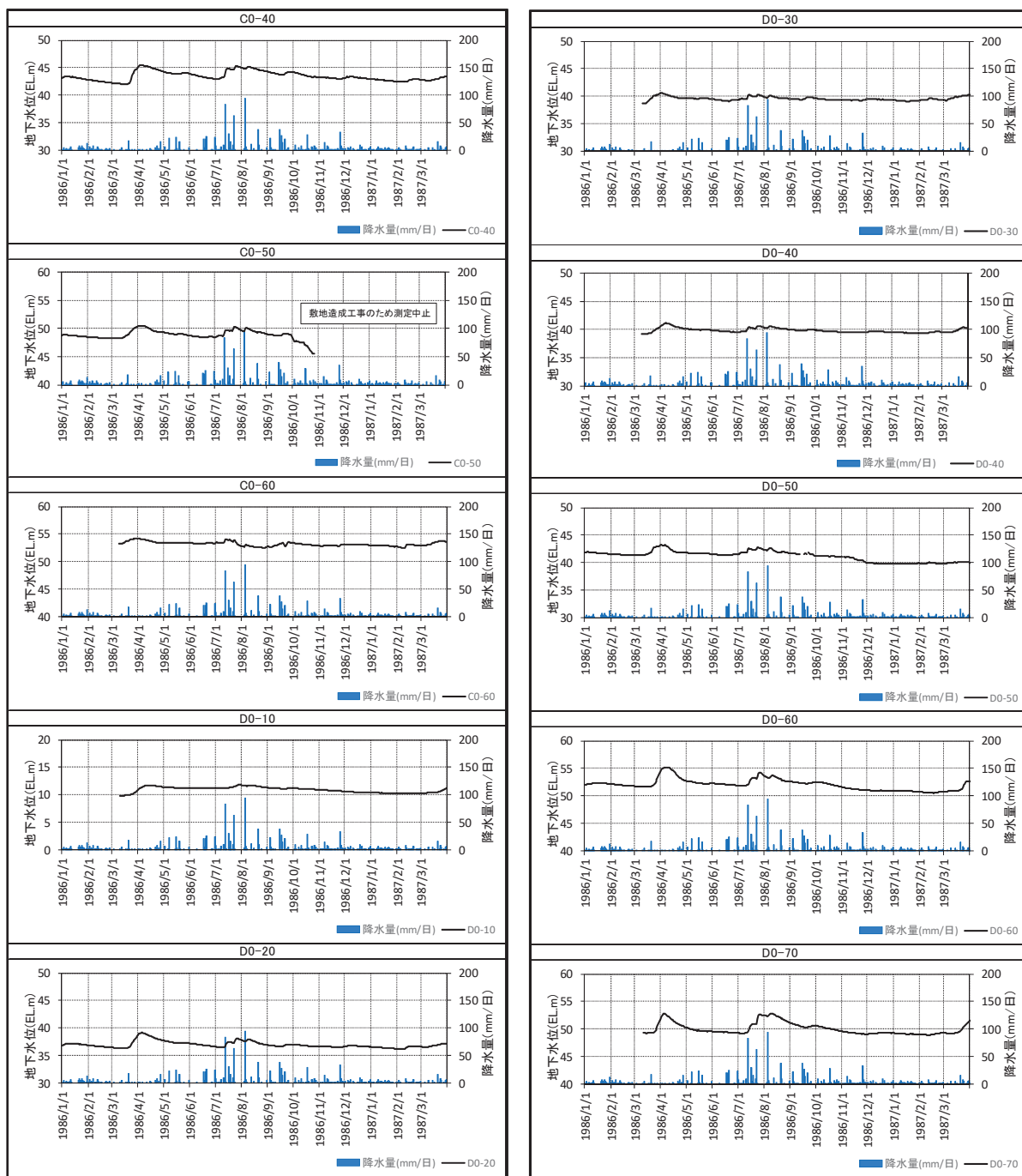
地下水位測定結果を第3図及び第2表に示す。



地下水位、日降水量の時系列データ

第3図 地下水位観測結果(1/5)

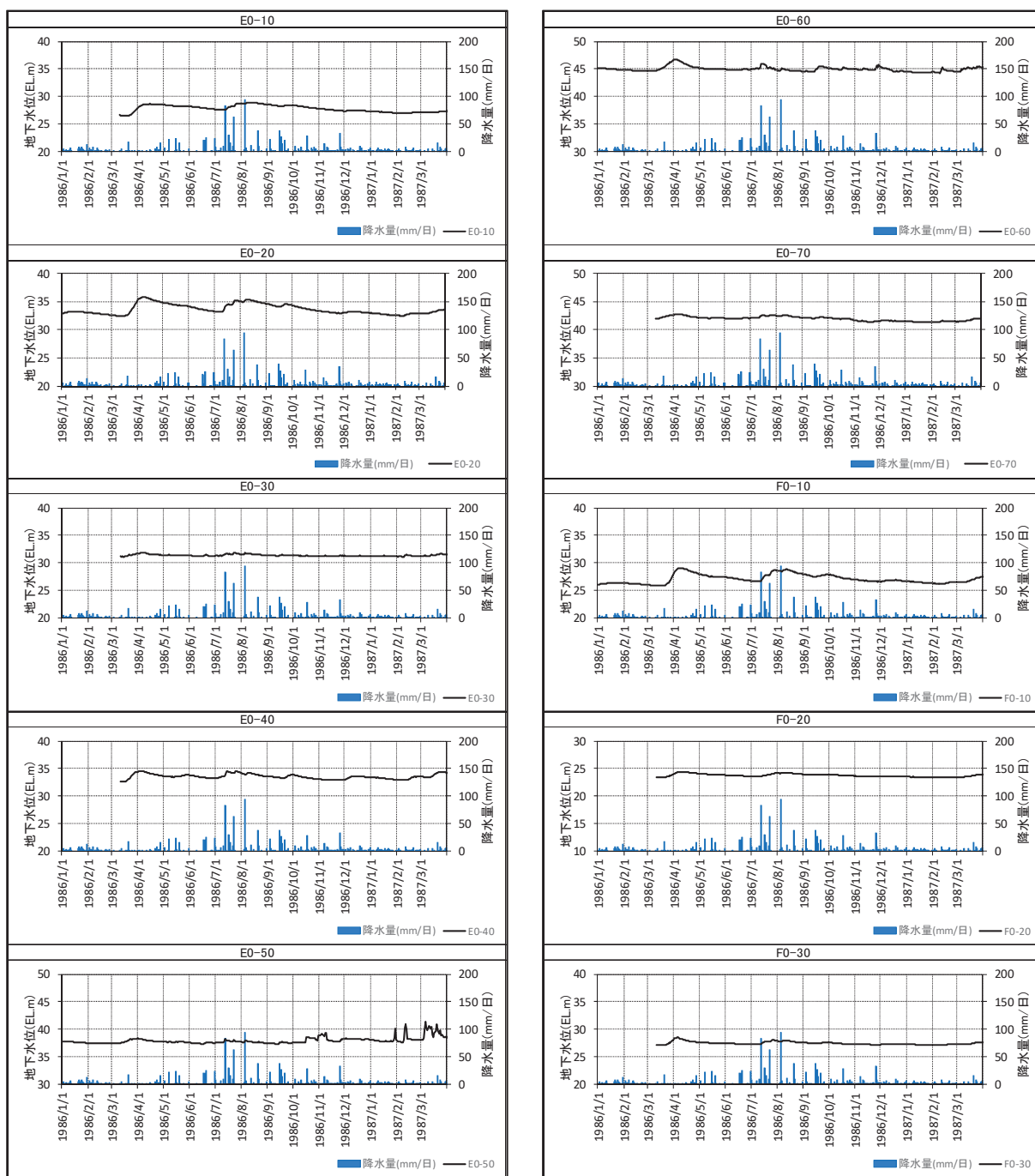
(1986年1月1日～1987年3月31日：51孔)



地下水位、日降水量の時系列データ

第3図 地下水位観測結果(2/5)

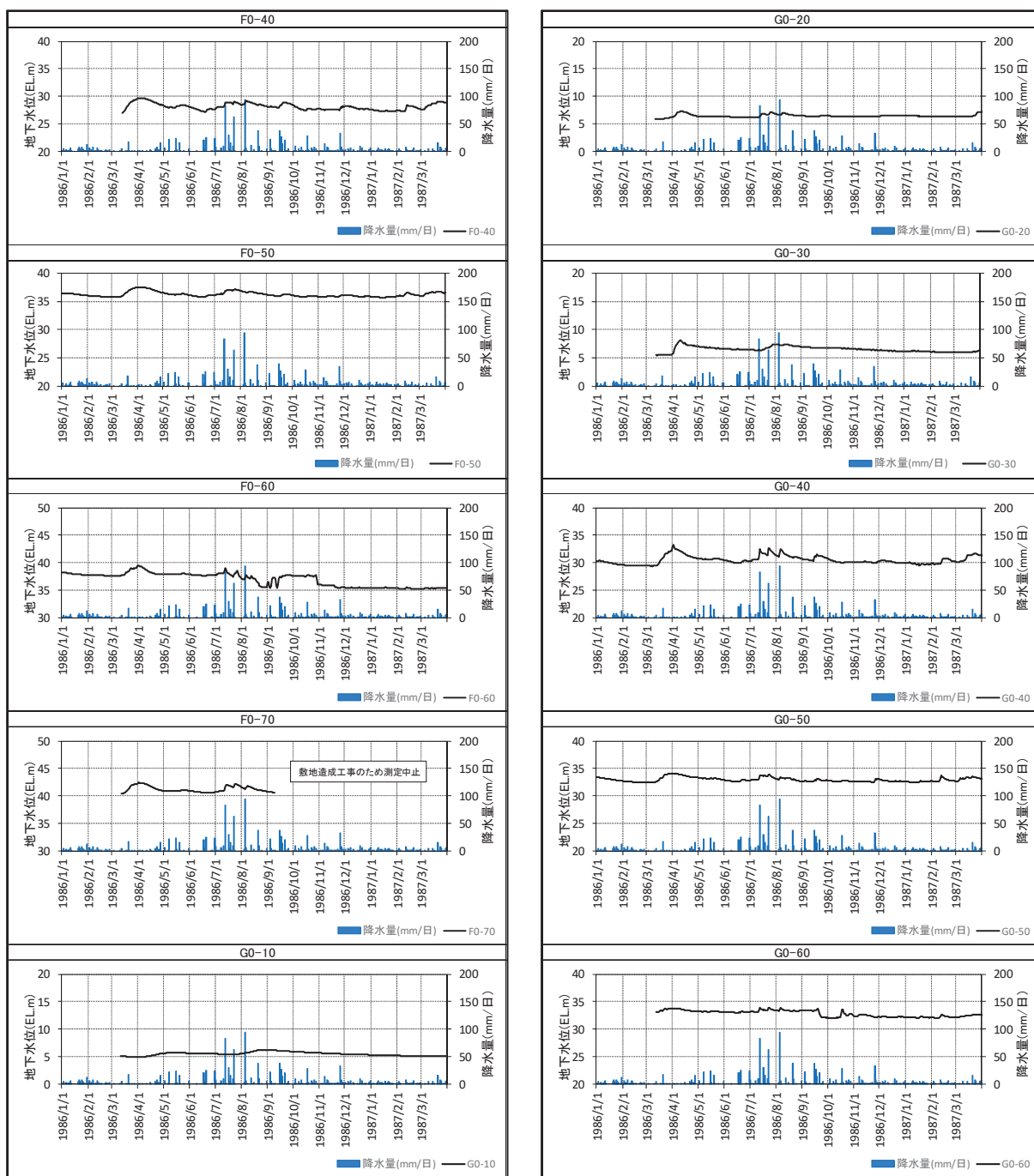
(1986年1月1日～1987年3月31日 : 51孔)



地下水位、日降水量の時系列データ

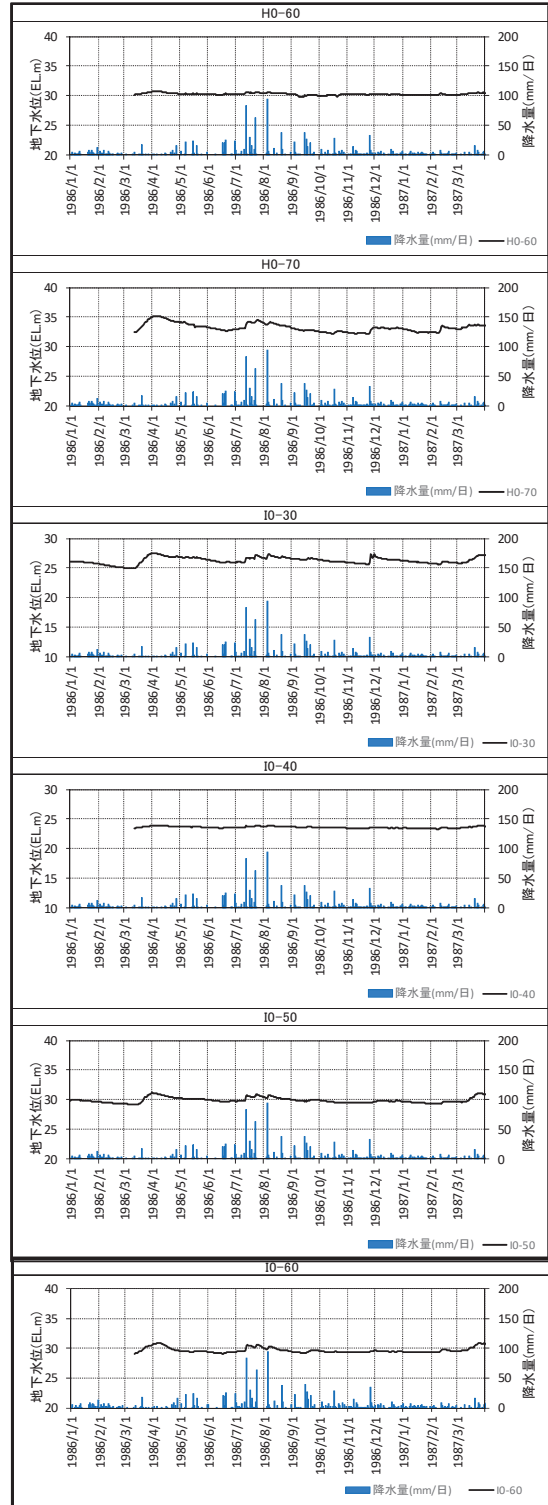
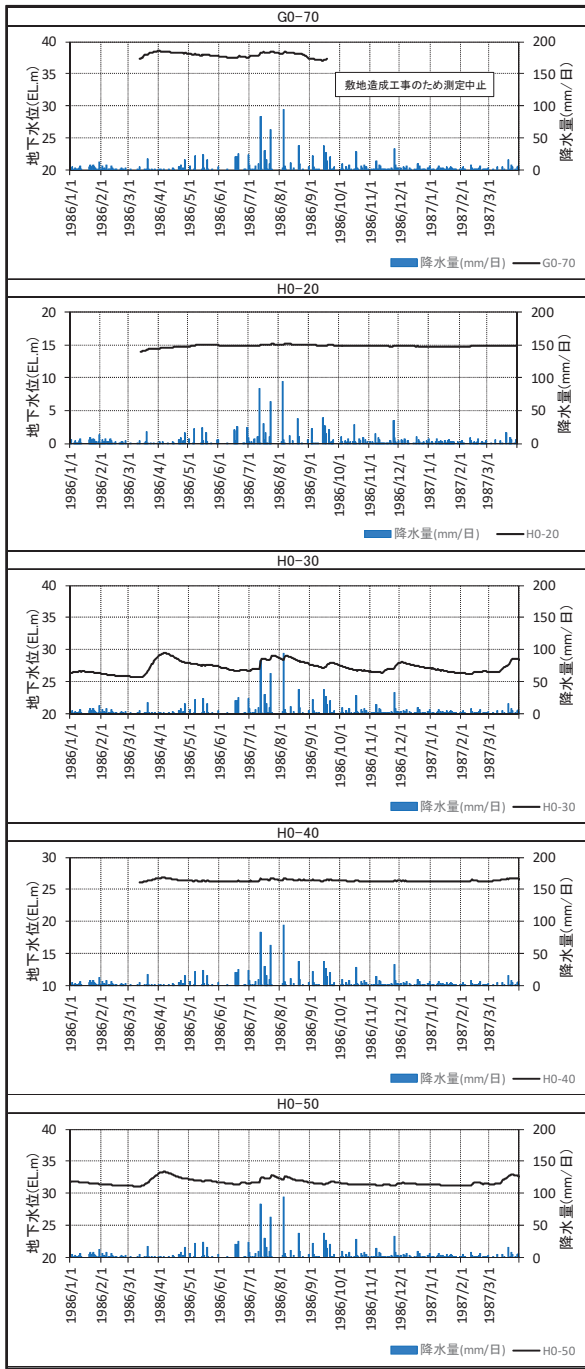
第3図 地下水位観測結果(3/5)

(1986年1月1日～1987年3月31日：51孔)



地下水位、日降水量の時系列データ

第 3 図 地下水位観測結果(4/5)
(1986年1月1日～1987年3月31日 : 51 孔)



地下水位、日降水量の時系列データ

第3図 地下水位観測結果(5/5)

(1986年1月1日～1987年3月31日：51孔)

第 2 表 地下水位観測結果

孔名	地下水位(EL.m) 〔1986年6月1日〕	孔名	地下水位(EL.m) 〔1986年6月1日〕
A0-40	2.42	E0-70	42.02
A0-50	11.98	F0-10	27.43
A0-60	33.08	F0-20	23.81
B0-30	16.96	F0-30	27.50
B0-40	41.23	F0-40	28.13
B0-50	54.86	F0-50	36.15
B0-60	53.86	F0-60	37.90
B0-70	56.52	F0-70	40.95
C0-20	21.28	G0-10	5.65
C0-30	31.78	G0-20	6.34
C0-40	43.88	G0-30	6.59
C0-50	48.77	G0-40	30.49
C0-60	53.38	G0-50	32.91
D0-10	11.26	G0-60	33.13
D0-20	37.22	G0-70	37.73
D0-30	39.48	H0-20	14.96
D0-40	39.87	H0-30	27.32
D0-50	41.55	H0-40	26.27
D0-60	52.26	H0-50	31.73
D0-70	49.59	H0-60	30.29
E0-10	28.23	H0-70	33.28
E0-20	34.13	I0-30	26.41
E0-30	31.35	I0-40	23.62
E0-40	33.81	I0-50	30.00
E0-50	37.58	I0-60	29.41
E0-60	44.92		

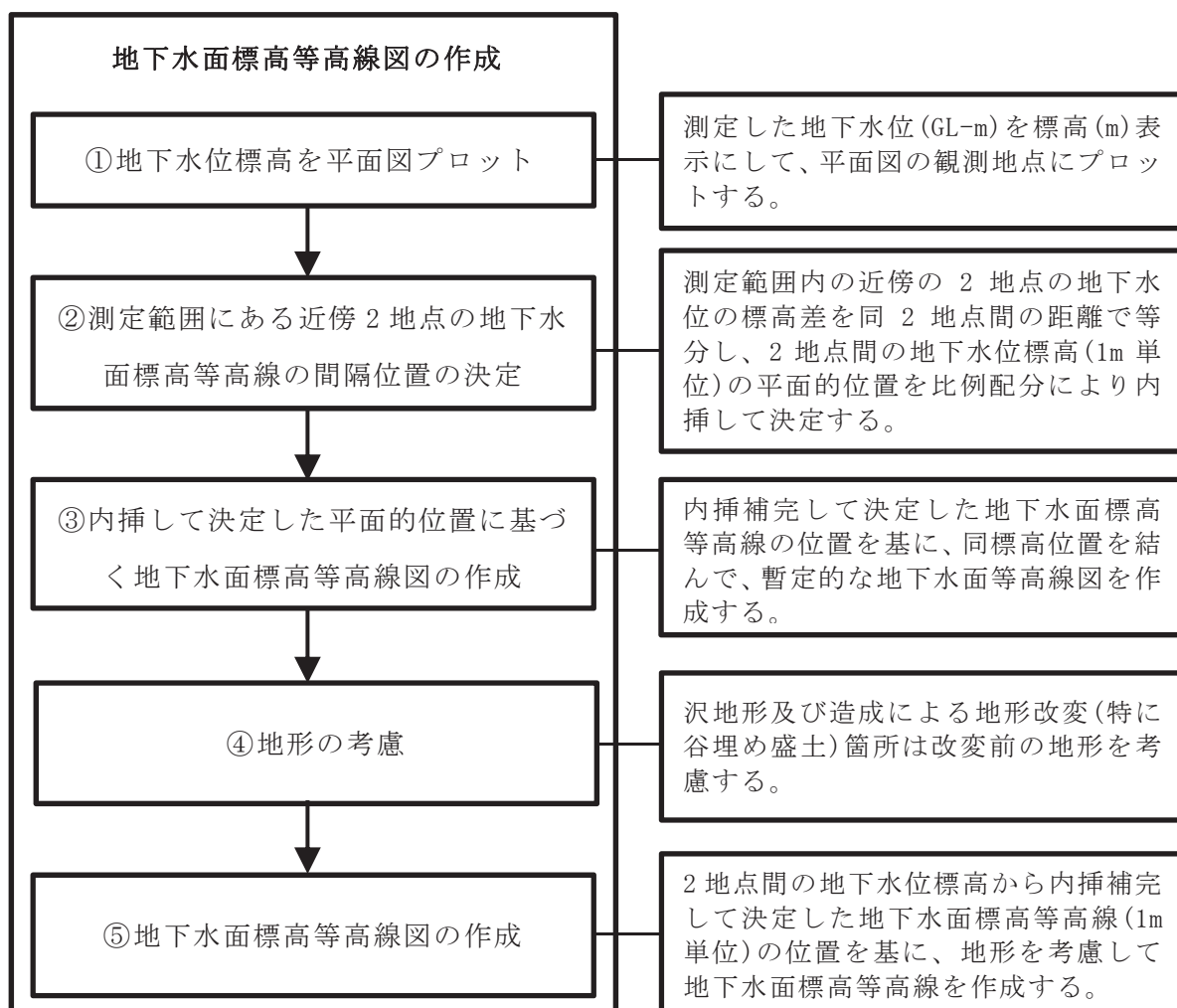
5. 地下水面等高線の作成

地下水面標高等高線図の作成方法地下水面標高等高線図は、地下水面の高さの等しい点を結んで作成した地下水面の等高線図で、地表の高低凹凸を等高線で示すように、地下水面の高低凹凸を等高線で示すものである。地下水位測定から得られたデータより地下水面標高等高線図を作成する方法を以下に説明する。

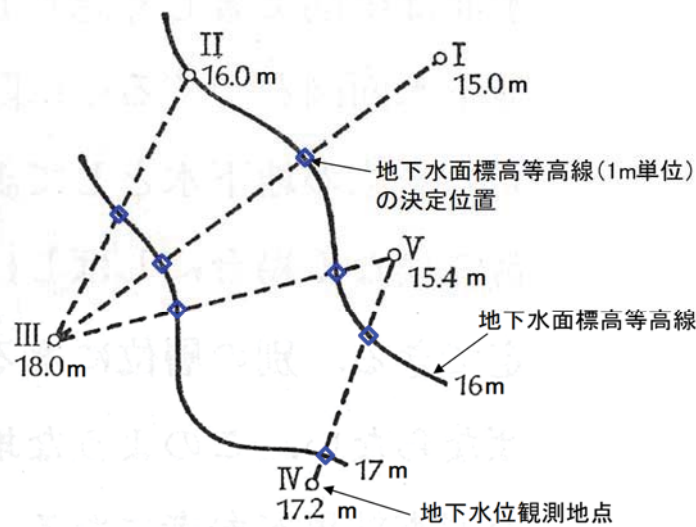
(1) 地下水面標高等高線の作成方法の流れ

地下水面標高等高線は、①全ての観測した地下水位標高を平面図にプロット、②測定範囲にある近傍2地点の地下水面標高等高線の間隔位置の決定、③内挿して決定した平面的位置に基づく地下水面標高等高線図の作成、④地形の考慮、⑤地下水面標高等高線図の作成の工程を経て作成する。

作成の流れを第4図に、作成の概要を第5図に示す。



第4図 地下水面標高等高線の作成手順



地点Ⅱ—地点Ⅲ、地点Ⅰ—地点Ⅲ、地点Ⅲ—地点Ⅴ、地点Ⅳ—地点Ⅴ
のそれぞれの2地点において、地下水面等高線(1m単位)の平面的位置を
決定し、同標高の地点を結んで地下水面等高線図を作成

「山本荘毅(1983)：新版地下水調査法」を編集・加筆

第5図 地下水面標高等高線の作成

(2) 地下水面標高等高線図を作成するに当たっての基本的事項

作成の際は、以下の点に留意して地下水面標高等高線図を作成する。

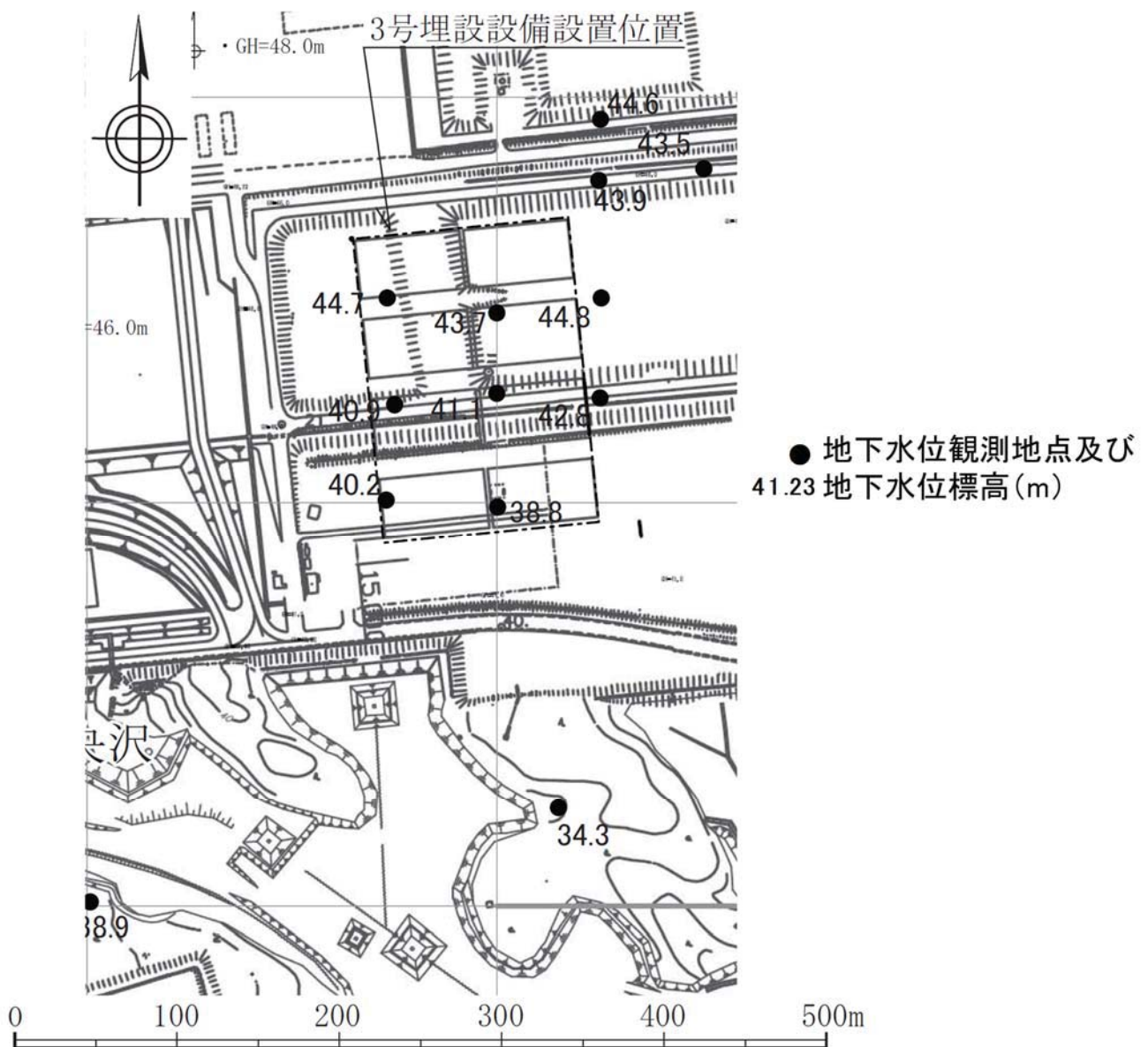
- ・ 一般に地下水面の起伏は地表の起伏に似ていることが多く、起伏量は前者より後者が小さい。
- ・ 地表面より浅い側に地下水位が上昇することはないため、地下水面は地形面より深い深度となる。
- ・ 平坦な台地面の崖にある斜面付近の地下水面は崖端で著しく急斜する。
- ・ 台地端部や沼・沢の傾斜変化地点では、測定地点が少ないこともあり、地形形状を考慮して等高線を作成し、沢及び斜面尻等での地下水の浸出点がわかっている箇所は、地下水位の位置は地表面として反映する。
- ・ 地形を考慮して地下水面等高線図を作成する。造成により地形が改変されている場合や、谷埋め盛土がある場合など、改変前の地形も考慮する。
- ・ 間隙水圧のデータある箇所では、間隙水圧分布と比較して、地下水流動が調和しているか確認する。

(3) 地下水面標高等高線図の作成方法(3号廃棄物埋設地付近における作成例)

事業所敷地内において比較的地下水位測定孔間隔が密である3号廃棄物埋設地付近における2017年6月の地下水位測定データ例に地下水面標高等高線図の作成方法を説明する。

(i) 地下水位標高の平面図プロット

測定した地下水位(GL-m)を標高(m)表示にして、平面図の観測地点にプロットする。

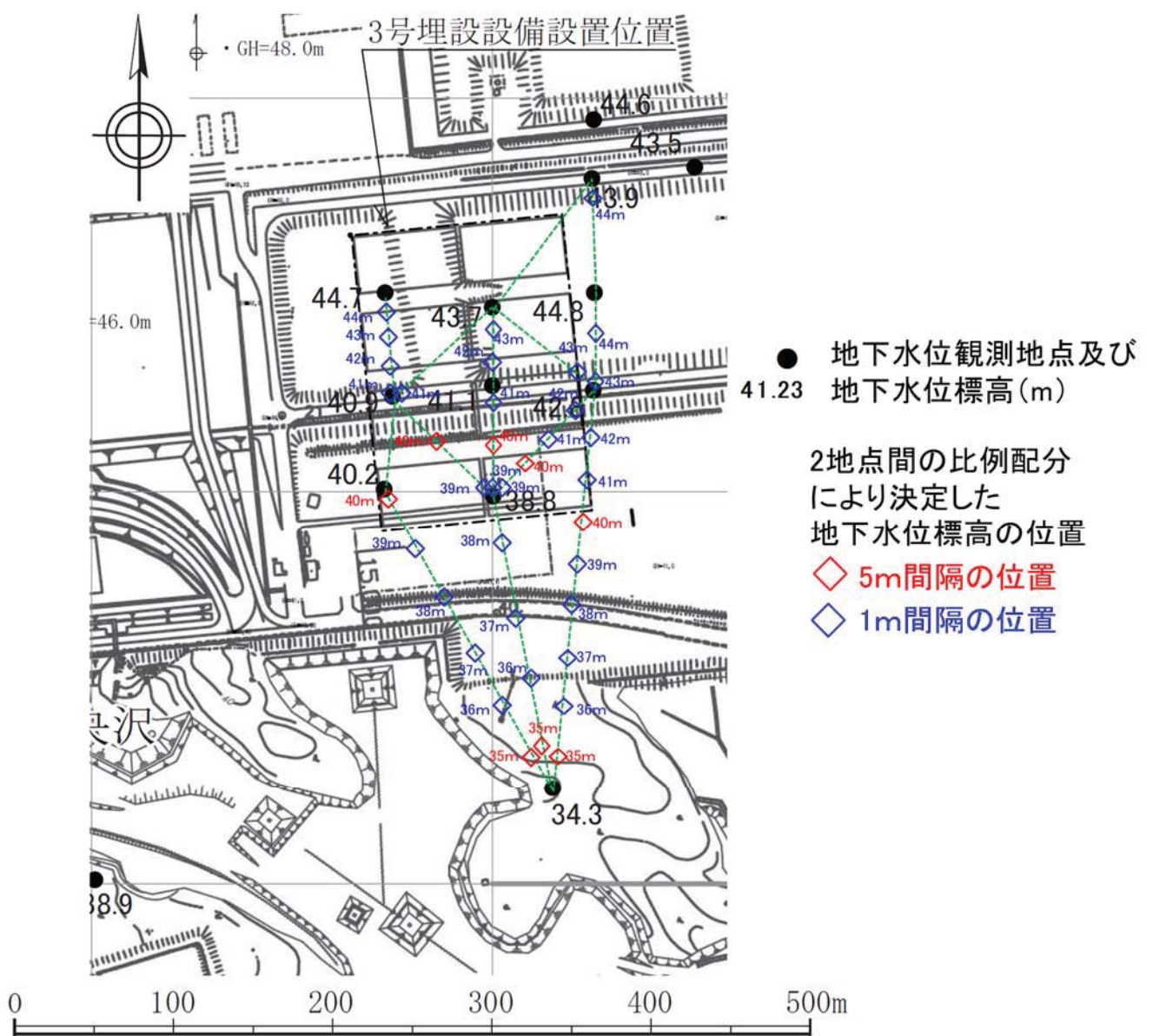


第6図 地下水位標高の平面図プロット

(ii) 測定範囲内の近傍2地点の地下水面標高等高線の間隔位置の決定

測定範囲内の近傍の2地点の地下水位の標高差を同2地点間の距離で等分し、2地点間の地下水面標高(1m単位)の平面的位置を比例配分により内挿して決定する。

2地点間の距離が離れている場合は、内挿で決定した地下水面標高が地形面の標高よりも高い場合があるため、最終的には地形を考慮して修正する(後述(iv)参照)。

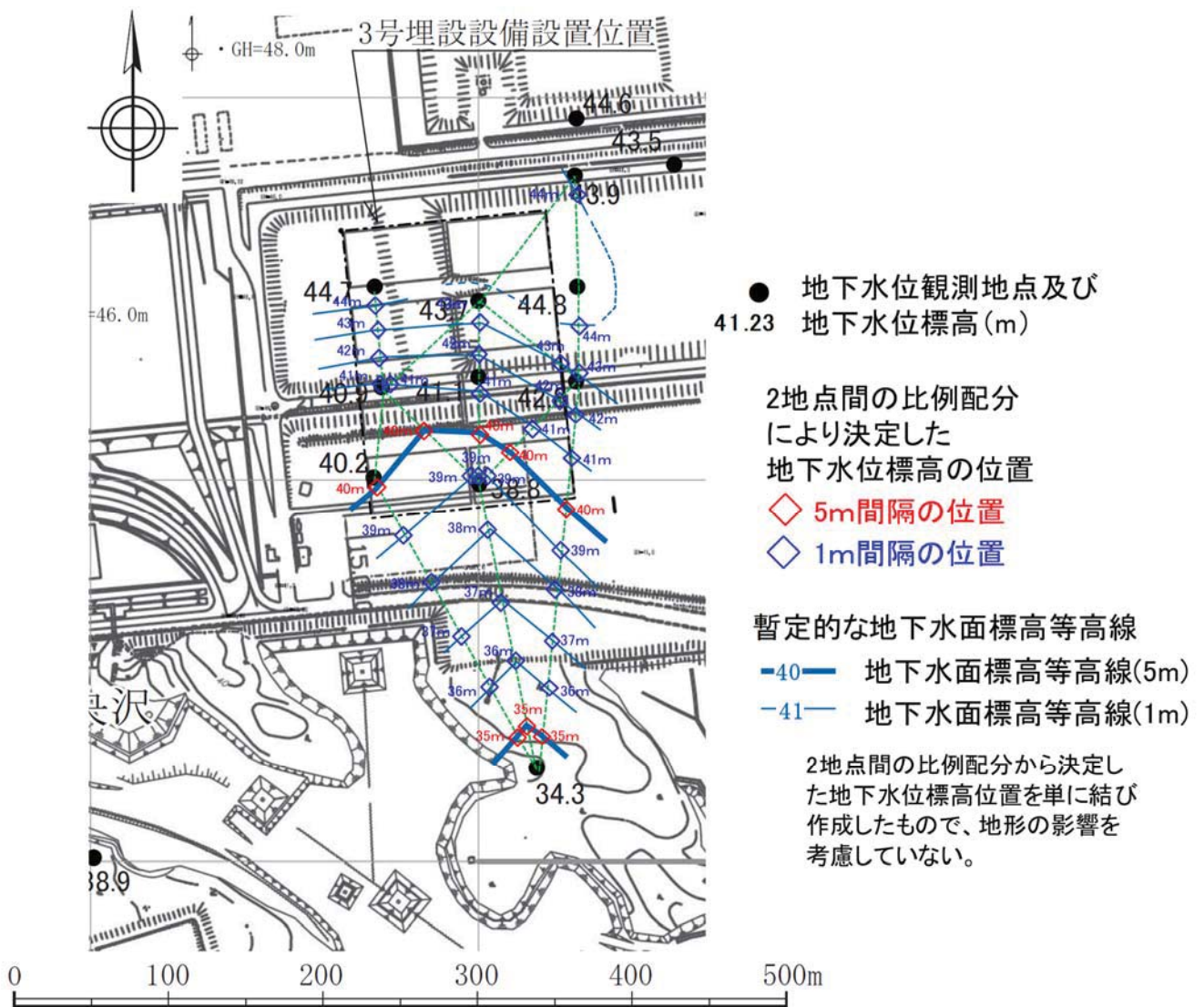


第7図 近傍2地点の地下水面標高等高線の間隔(1m)位置の決定

(iii) 内挿して決定した平面的位置に基づく地下水面標高等高線の作成

内挿補完して決定した地下水面標高等高線の位置を結んで、暫定的な地下水面等高線図を作成する。

ここで作成した図は、地形の影響を考慮していない地下水面標高等高線図となっており、沢付近や地形改変した区域の地下水面標高等高線については、地形及び地形改変を考慮して修正する必要がある(後述(iv)参照)。



第 8 図 内挿して決定した平面的位置に基づく地下水面標高等高線図の作成

(iv) 地形の考慮

沢地形及び造成による地形改変(特に谷埋め盛土)箇所は改変前の地形を考慮する。

【地形の考慮①】

中央沢の枝沢がほぼ南北方向に発達しており、造成による谷埋め盛土が実施されている。この地形を考慮すると、枝沢の東側の地下水面等高線の伸び方向はおおむね南北であり、枝沢のある西側にむかって、地下水面標高は下がると考えられる。

⇒同枝沢の近くの地下水面標高等高線の方法は、ほぼ 2 地点間の方法で作成する。

【地形の考慮②】

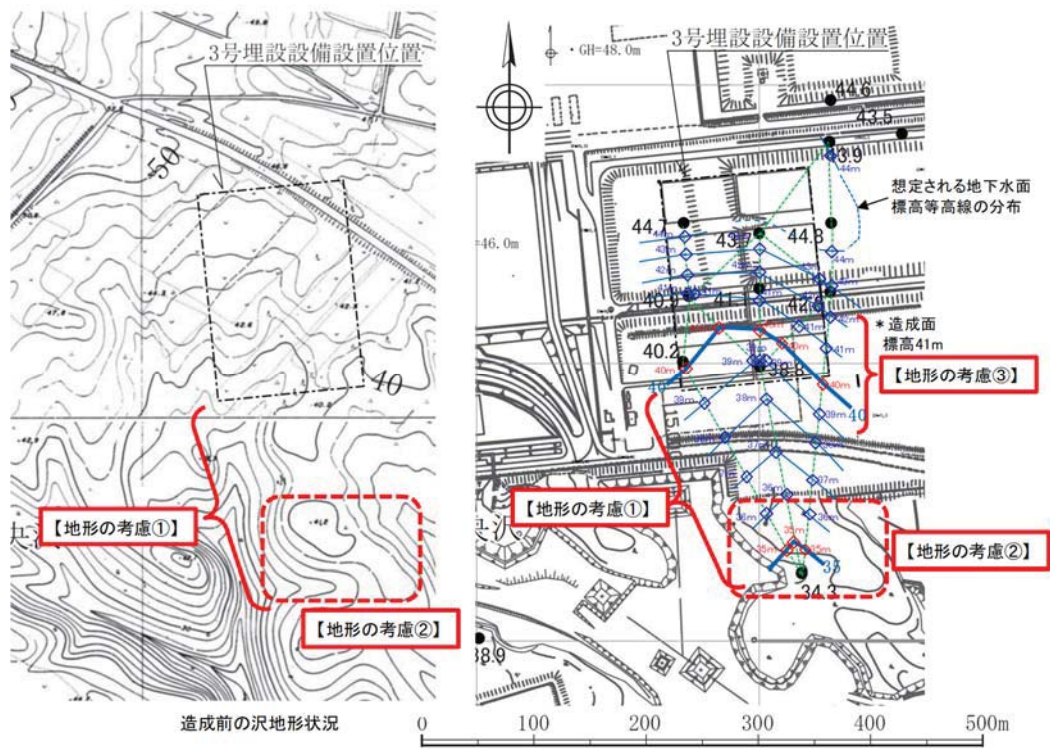
破線で囲んだ尾根の範囲は、中央沢の枝沢に東西を挟まれていた狭い尾根となっており、地下水面標高は、34m 程度と想定される。地下水面標高は、沢の影響が小さくなる破線の範囲よりも北側から徐々に標高を上げていくと考えられる。

⇒破線の北側から地下水面標高 35m 以上と徐々に標高を上げるように作成する。

【地形の考慮③】

同付近の平坦面は、標高 41m に造成されており、地下水面標高等高線は、標高 41m 未満となる。(周辺の地下水位標高は、造成部西側で 40.2m、中央部で 38.8m となっており、おおむね標高 40m 程度である)。

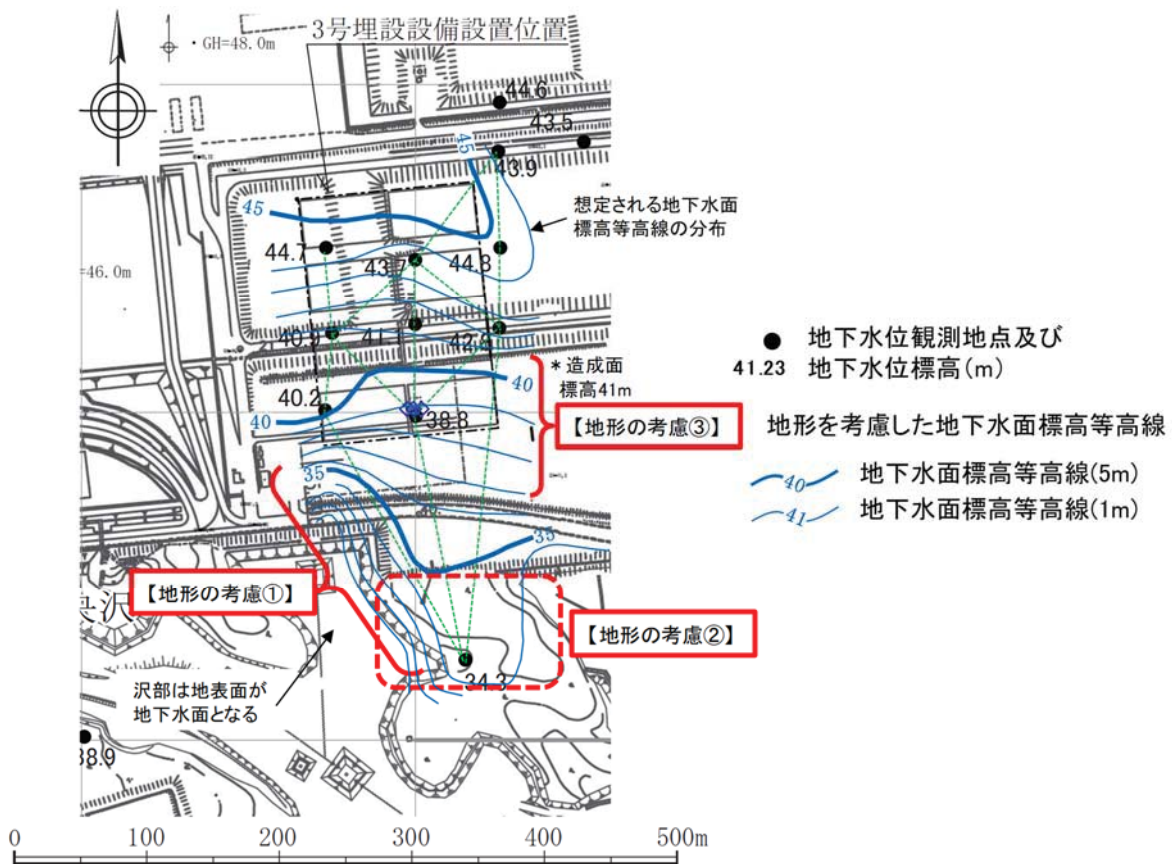
⇒地下水面標高等高線の 40m が、同付近の北側に分布するの斜面尻付近に位置するように北側に移動させて作成する。



第9図 地形影響の考慮

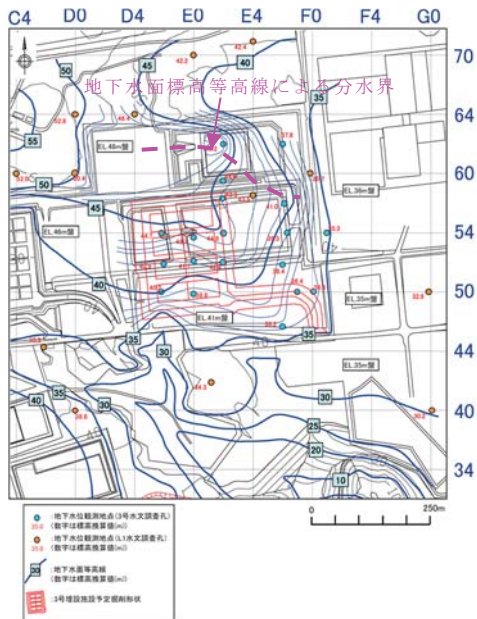
(v) 地下水面標高等高線図の作成

測定範囲内において、2地点間の地下水位標高から内挿補完して決定した地下水面標高等高線(1m単位)の位置を基に、地形を考慮した最終的な地下水面標高等高線を作成する。



第 10 図 地下水面標高等高線図の作成*1

*1: 地下水面標高等高線図作成に用いた地下水位データは、作成事例として地下水位測定孔が密に配置されているデータとして 2017 年 6 月の測定データを用いた。



左図は、第 10 図の地下水面標高等高線の作図範囲の外側の地下水面標高等高線である(2017 年 6 月測定)。地下水面標高等高線による分水界は、3 号廃棄物埋設地の北東側に分布し、補足説明資料 7 の第 4 図の地下水面標高等高線図(1986 年 6 月測定)における分水界位置(台地中央尾根線)とも整合する。なお、2017 年 6 月と 1986 年 6 月測定の地下水面標高等高線の形状は、地表面形状の影響により異なっている。1986 年 6 月の地表面は南東へ向かって緩やかに傾斜した単調な形状であることに対して、2017 年 6 月の地表面は仮置き土や東側の切土により、北から南及び西から東に向かって標高が低くなっている。したがって、2017 年 6 月の地下水面標高等高線は、1986 年 6 月の地下水面標高等高線よりも北から南及び西から東向きの流れが強くなっている。

第 11 図 地下水面標高等高線(第 10 図の作図範囲外側の状況)(参考)

埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定結果

目 次

1. 目的.....	1
2. 間隙水圧測定位置.....	1
3. 間隙水圧測定方法.....	2
(1) 間隙水圧測定 (PIEZO 方式)	2
(2) 間隙水圧測定 (MP 方式)	2
4. 間隙水圧測定結果.....	6
5. 全水頭等高線の作成.....	20
(1) 全水頭等高線作成方法の流れ.....	20
(2) 全水頭等高線図を作成するに当たっての基本的事項	21
(3) 全水頭等高線の具体的な作成方法 (作成例)	23

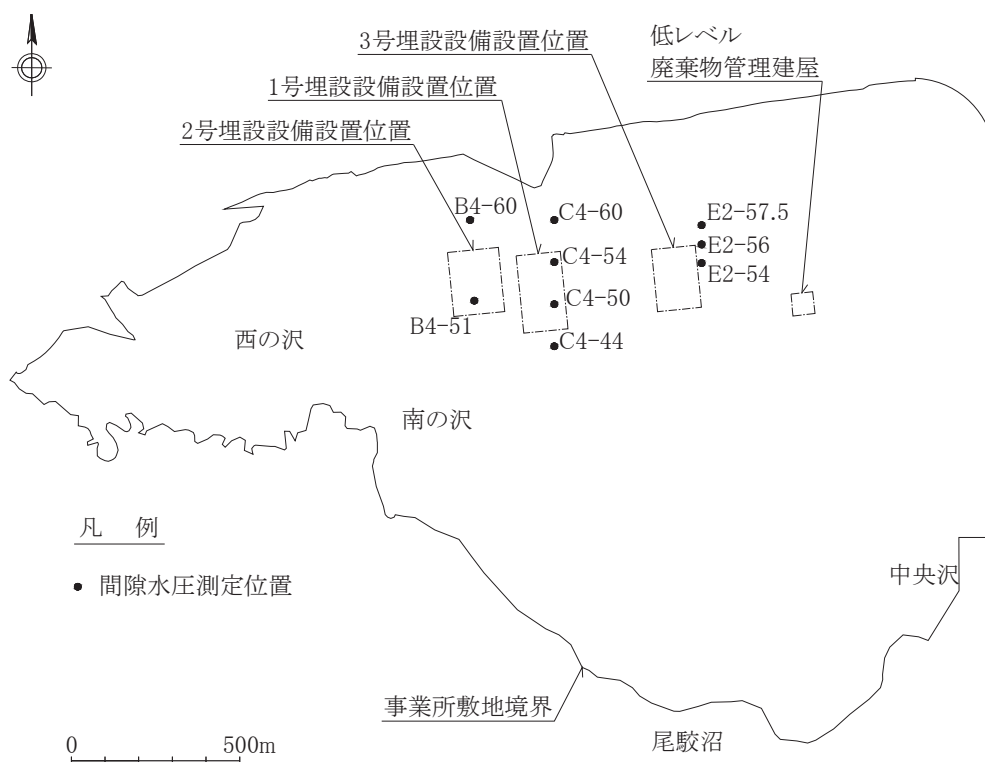
別紙 MP 圧力センサー点検記録

1. 目的

埋設設備設置地盤付近の地下水の流動状況を確認するため、廃棄物埋設地及びその付近のボーリング孔を用いて、埋設設備の設置地盤標高付近の間隙水圧を測定した。

2. 間隙水圧測定位置

埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定位置を第1図に示す。



第1図 間隙水圧測定位置図

3. 間隙水圧測定方法

間隙水圧の測定は、地盤工学会基準 JGS 1312-2012「観測井による砂質・礫質地盤の地下水位測定方法」*1 に準じて行った。

間隙水圧測定は、PIEZO 方式と MP 方式により行った。

装置及び測定の概要を第 2 図に、間隙水圧測定装置の仕様を第 1 表に示す。以下に PIEZO 方式及び MP 方式による間隙水圧測定方法について説明する。

(1) 間隙水圧測定 (PIEZO 方式)

PIEZO 方式は、第 2 図 (a) に示すように、パッカーで区切られた各測定区間から連続するスタンドパイプ (内径 16.5mm) 内に立ち上がった水柱の水位 (間隙水圧) を圧力センサ (外径 14mm) によって自動計測するシステムである。自動計測の測定間隔は 1 時間とした。

自動計測された間隙水圧データの収録は、測定データが蓄積されたデータロガーに専用のソフトを備えたパソコンを接続することによって行った。

PIEZO 方式による間隙水圧の測定精度は、第 1 表 (1/2) の水位測定範囲と圧力センサ精度から水頭換算で $\pm 0.08\text{m}$ である。間隙水圧測定孔の管頭標高及び圧力センサ設置深度については 0.01m 目盛間隔の標尺を基に標高や深度を求めている。また、測定区間の標高換算全水頭は、これらの自動計測装置から得られる水頭値 (圧力センサより上方の水柱の高さ)、間隙水圧測定孔の管頭標高、圧力センサの管頭から設置深度を用いて加算・減算から求められる。よって、PIEZO 方式による間隙水圧測定から求められる標高換算全水頭の精度は、これらの水頭値、管頭標高及び設置深度の精度のうち最も悪い場合と同じ $\pm 0.08\text{m}$ となる。

(2) 間隙水圧測定 (MP 方式)

MP 方式は、第 2 図 (b) に示すように、長さ 47cm 程度、直径 3cm 程度の円筒状の圧力測定器 (プローブ) をケーシング内に挿入し、測定区間ごとに設置された測定ポートにこれをセットすることによって、ケーシングの内側から測定ポートを通して外側の間隙水圧を計測する装置である。

MP 方式による測定は、測定中の漏水確認のため孔内を満水にし、制御装置 (MAGI) によってウィンチを制御することにより圧力測定器 (プローブ) を孔内に降ろし、基本的に最下部の測定区間から開始し、順次上方の測定区間の水圧を測定及び記録をした。水圧の記録については、水圧値が安定した状態あるいは水圧の安定が遅い場

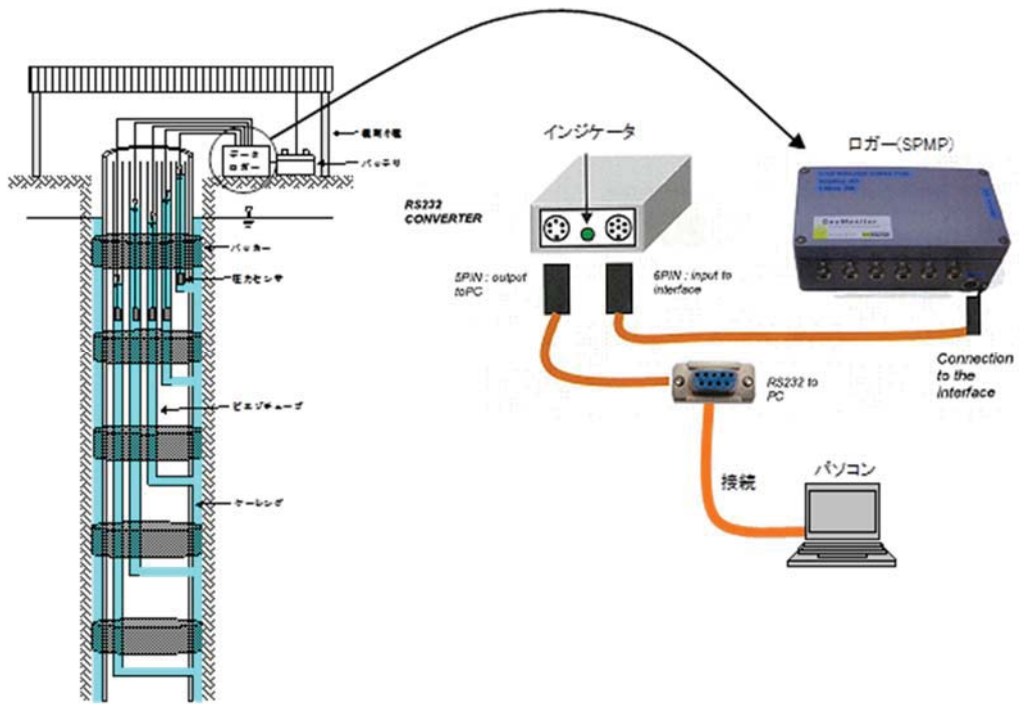
*1 表記した地盤工学会基準の制定 (改訂) 前の測定についても、学会基準の測定方法に準拠していることから、学会基準名及び番号の最新版を用いて表記した。

合にはおおむね 10 分後の値を記録した。また、各区間の測定の前後で大気圧、水温の測定を実施した。

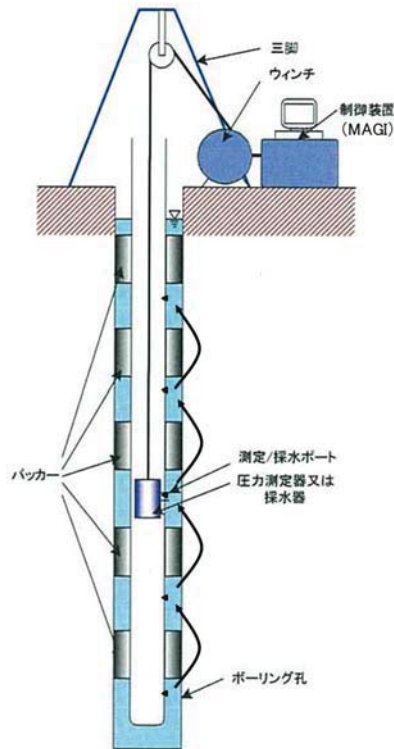
MP 方式による間隙水圧の測定精度は、第 1 表 (2/2) の水位測定範囲と圧力センサ精度から水頭換算で $\pm 0.35\text{m}$ である。間隙水圧測定孔の管頭標高、測定区間及び測点の深度については 0.01m 目盛間隔の標尺を基に標高や深度を求めている。また、測定区間の標高換算全水頭は、これらの自動計測装置から得られる水頭値 (測定区間の水圧を大気圧補正して水頭に換算)、間隙水圧測定孔の管頭標高、測点の深度を用いて加算・減算から求められる。よって、MP 方式による間隙水圧測定から求められる標高換算全水頭の精度は、これらの水頭値、管頭標高及び測点深度の精度のうち最も悪い場合と同じ $\pm 0.35\text{m}$ となる。

一方、圧力測定器の点検のために、MP ケーシング管頭まで満水にした状態で各測点深度における MP ケーシング内の水頭と圧力測定器により求めた水頭を比較した。地表面から 50m までの深さまでのその差の大きさは 0.04m よりも小さい*1 ことから、地表面から 50m までの深さまでの圧力測定器の精度は $\pm 0.04\text{m}$ であるといえる。

*1 別紙の MP 圧力センサ点検記録による。



(a) PIEZO 方式



(b) MP 方式

第 2 図 間隙水圧測定装置及び測定の概要

第 1 表 間隙水圧測定装置の仕様 (PIEZO 方式) (1/2)

圧力センサ	水位測定範囲 (FS)	30.59m
	圧力センサ精度	±0.25%FS
	寸法	外径 14mm、全長 300mm (錘 250mm : 300g)
データロガー	接続可能センサ数	16
	記憶容量	E6-40:56,992 個、E6-54:53,440 個
	測定間隔	1 分～10 日 (1 分間隔で設定可能)
	電源	単一アルカリ電池×4 本又は 12V バッテリ

第 1 表 間隙水圧測定装置の仕様 (MP 方式) (2/2)

圧力測定器	水位測定範囲 (FS)	351.6m
	圧力センサ精度	±0.1%FS
	寸法	φ 28.5mm×466mm

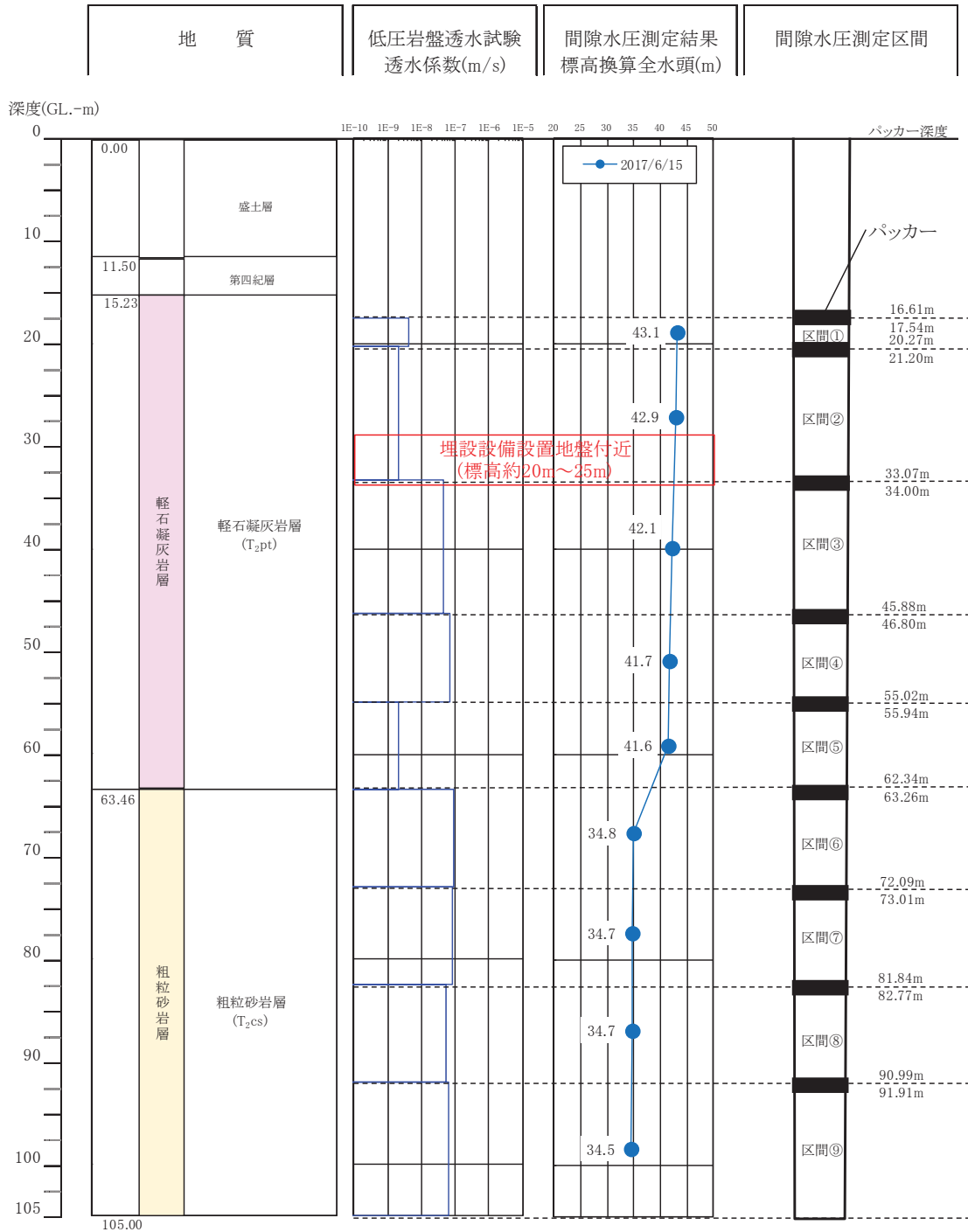
4. 間隙水圧測定結果

第 3 図に埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定孔における間隙水圧測定結果、第 4 図に埋設設備設置地盤標高付近の水平断面及び南北方向鉛直断面内の全水頭等高線、第 2 表に第 4 図で求めた廃棄物埋設地ごとの埋設設備設置地盤地付近の地下水の動水勾配を示す。

なお、間隙水圧測定データは、以下に示す各廃棄物埋設地の掘削前の時期に測定したデータを用いた。

- ・ 3 号廃棄物埋設地：2017 年 6 月
- ・ 1 号廃棄物埋設地：1990 年 6 月
- ・ 2 号廃棄物埋設地：1995 年 5 月

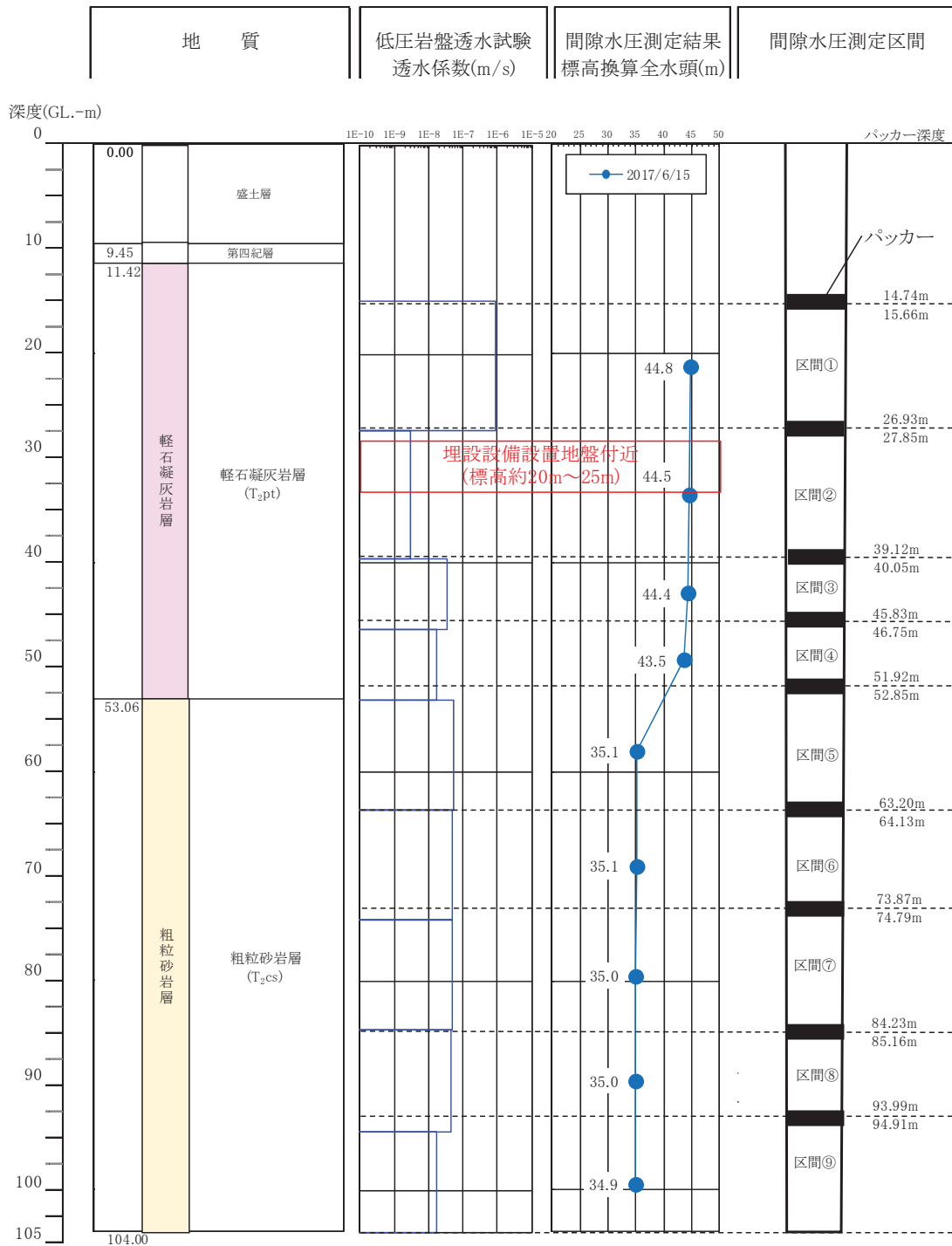
測定孔地表面標高: 54.11 m



第3図 埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定孔における間隙水圧測定結果(1/9)

(3号廃棄物埋設地付近、E2-54孔、2017年6月測定)*1

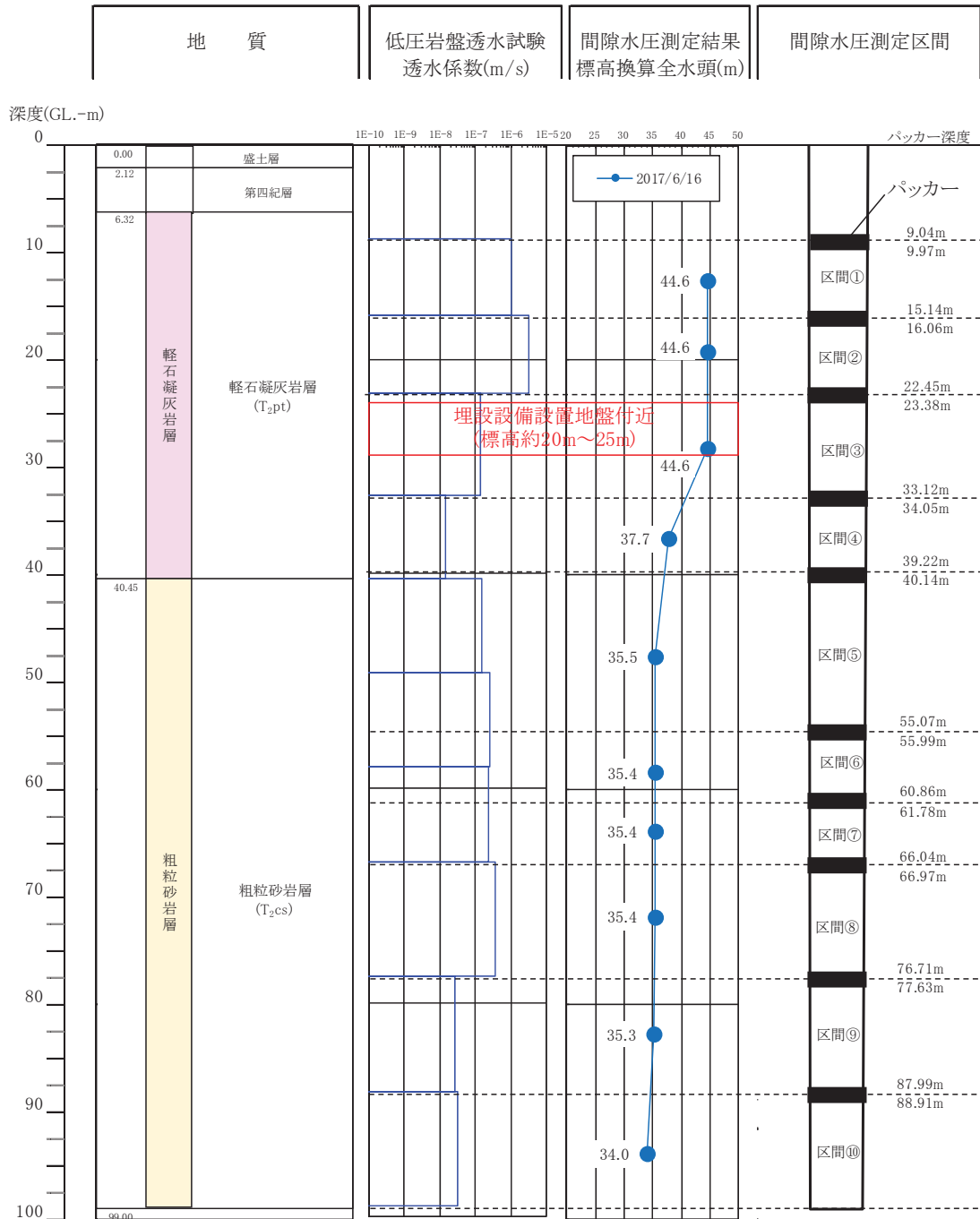
測定孔地表面標高: 53.03 m



第3図 埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定孔における間隙水圧測定結果(2/9)

(3号廃棄物埋設地付近、E2-56孔、2017年6月測定) *1

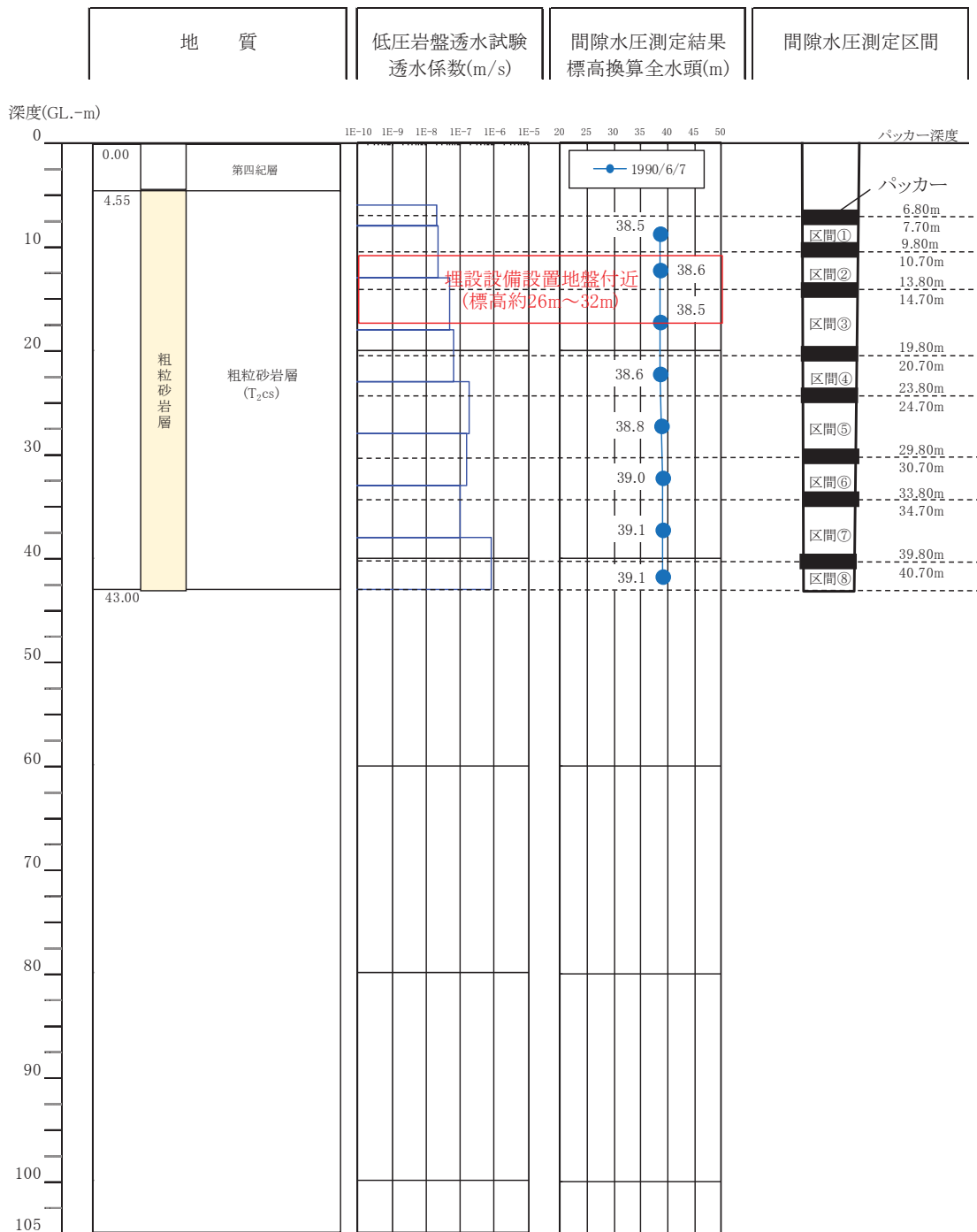
測定孔地表面標高: 48.35 m



第3図 埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定孔における間隙水圧測定結果(3/9)

(3号廃棄物埋設地付近、E2-57.5孔、2017年6月測定)*1

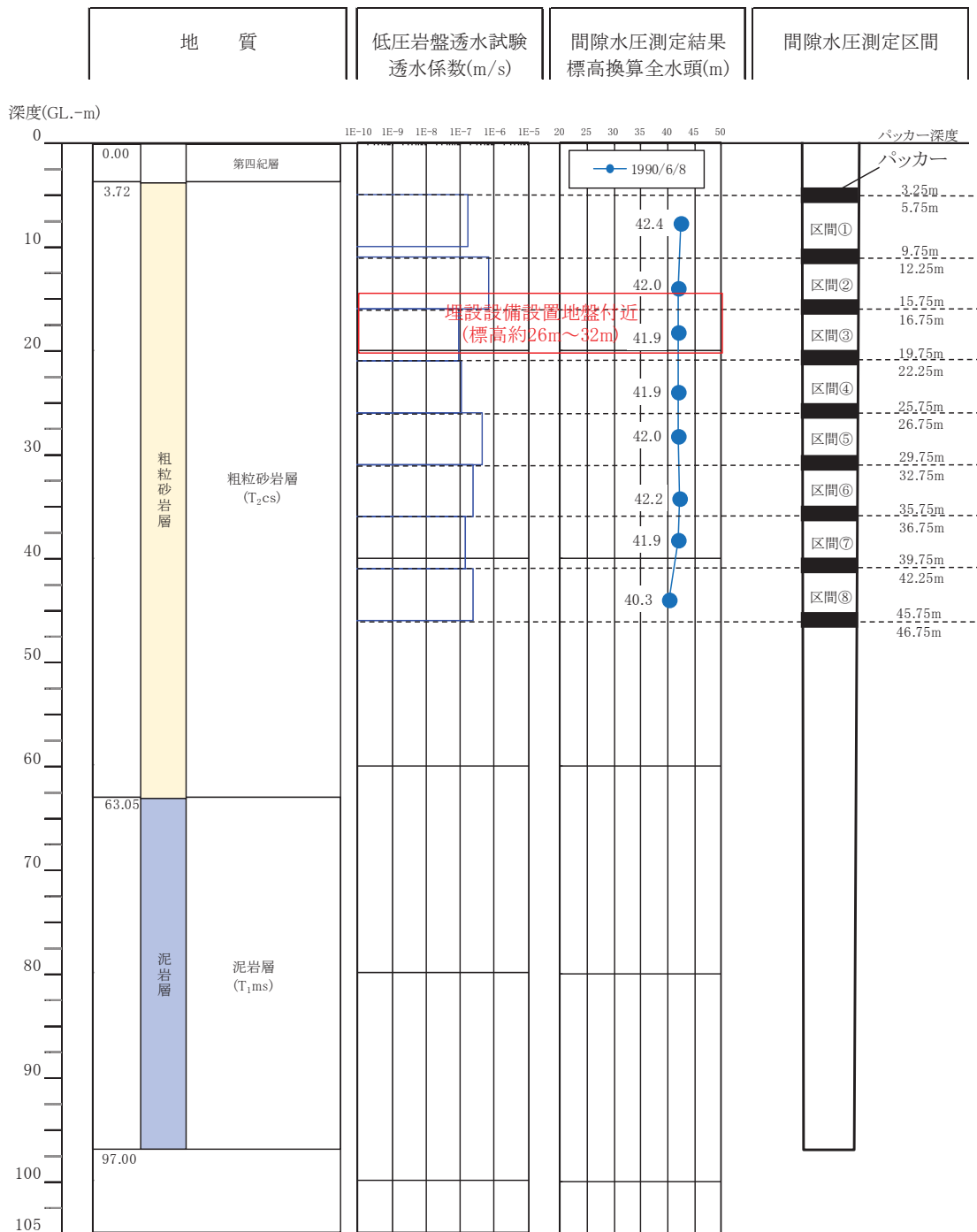
測定孔地表面標高: 43.44 m



第 3 図 埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定孔における間隙水圧測定結果(4/9)

(1号廃棄物埋設地付近、C4-44孔、1990年6月測定) *1

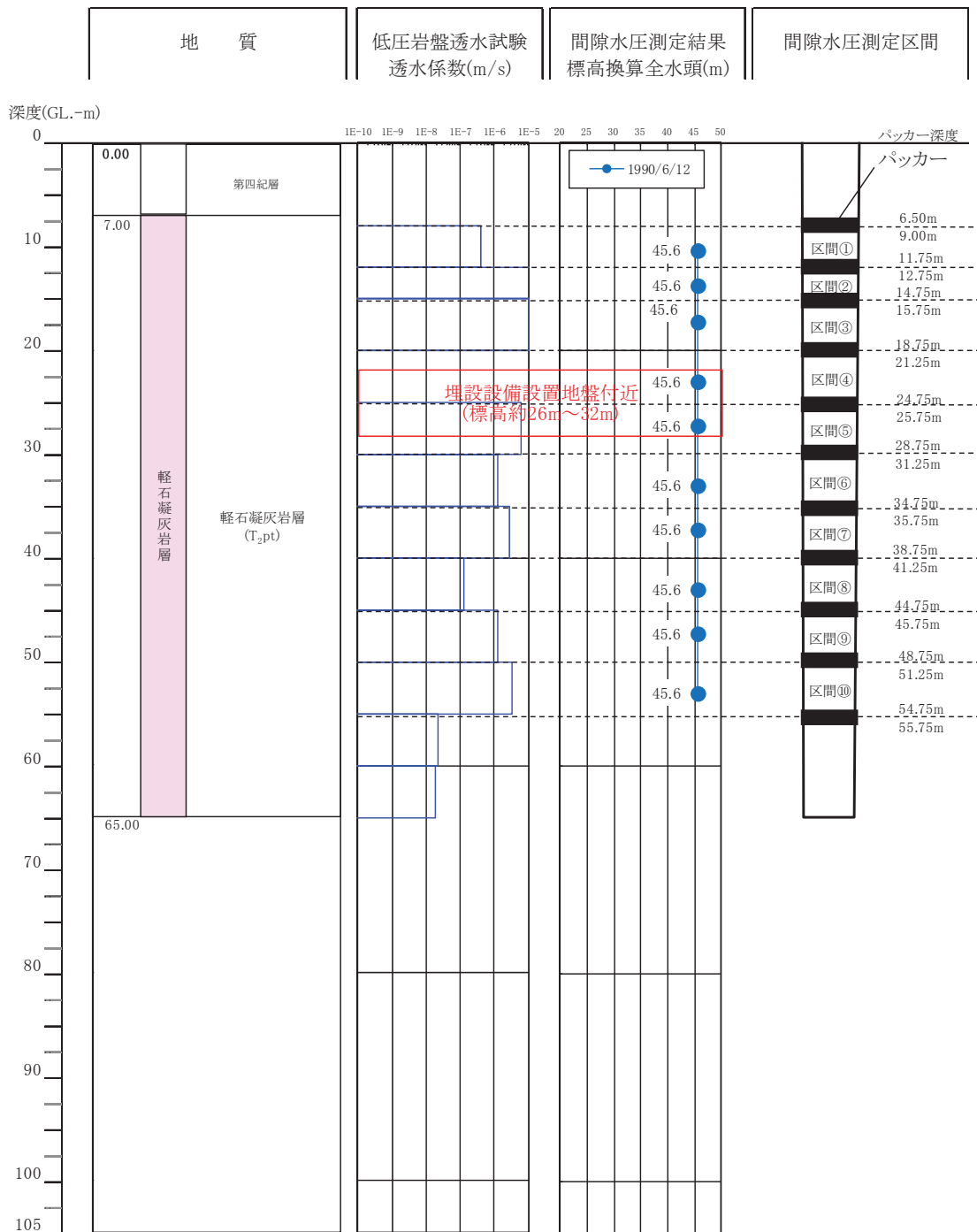
測定孔地表面標高: 46.14 m



第 3 図 埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定孔における間隙水圧測定結果(5/9)

(1号廃棄物埋設地付近、C4-50孔、1990年6月測定) *1

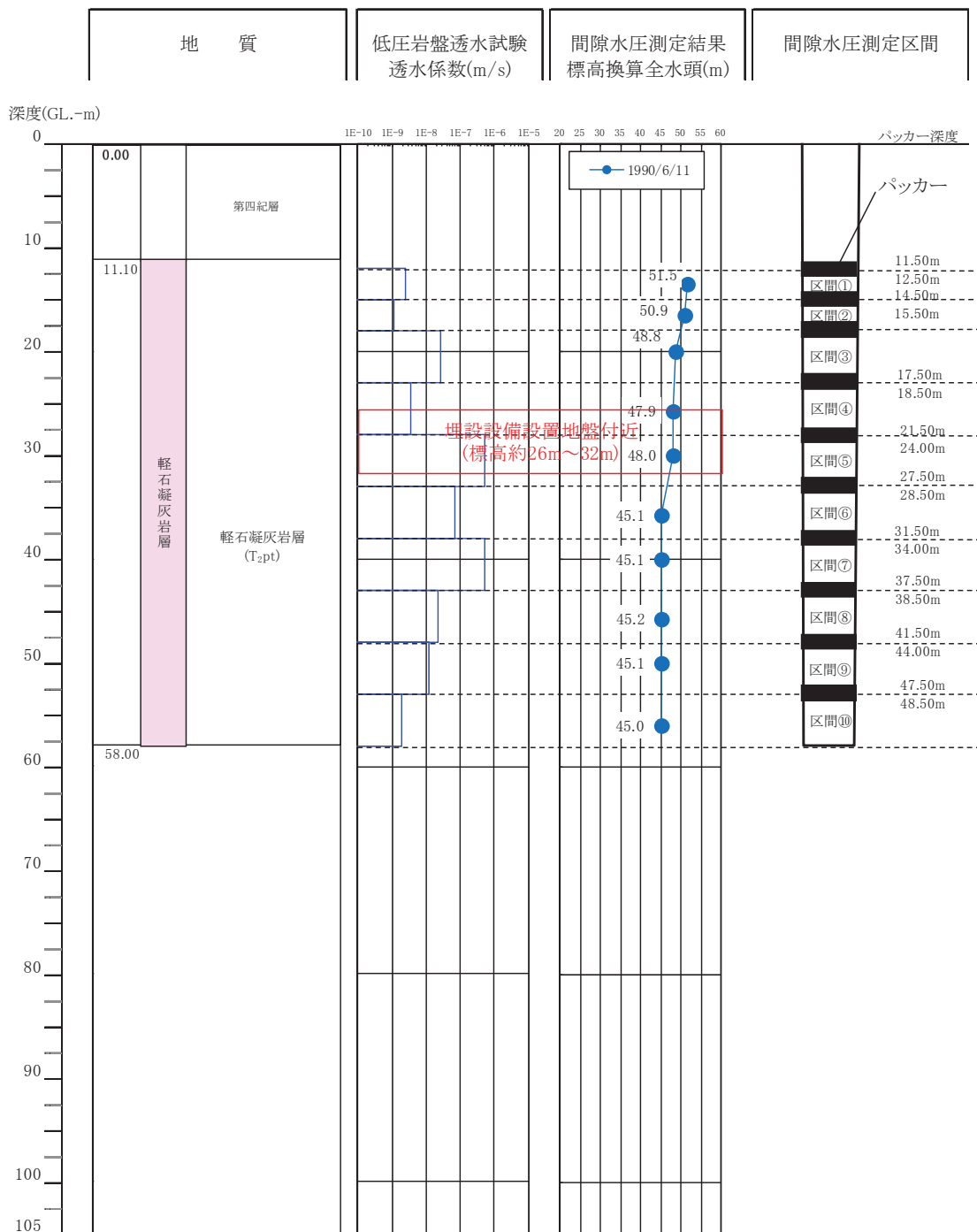
測定孔地表面標高: 54.52 m



第3図 埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定孔における間隙水圧測定結果(6/9)

(1号廃棄物埋設地付近、C4-54孔、1990年6月測定) *1

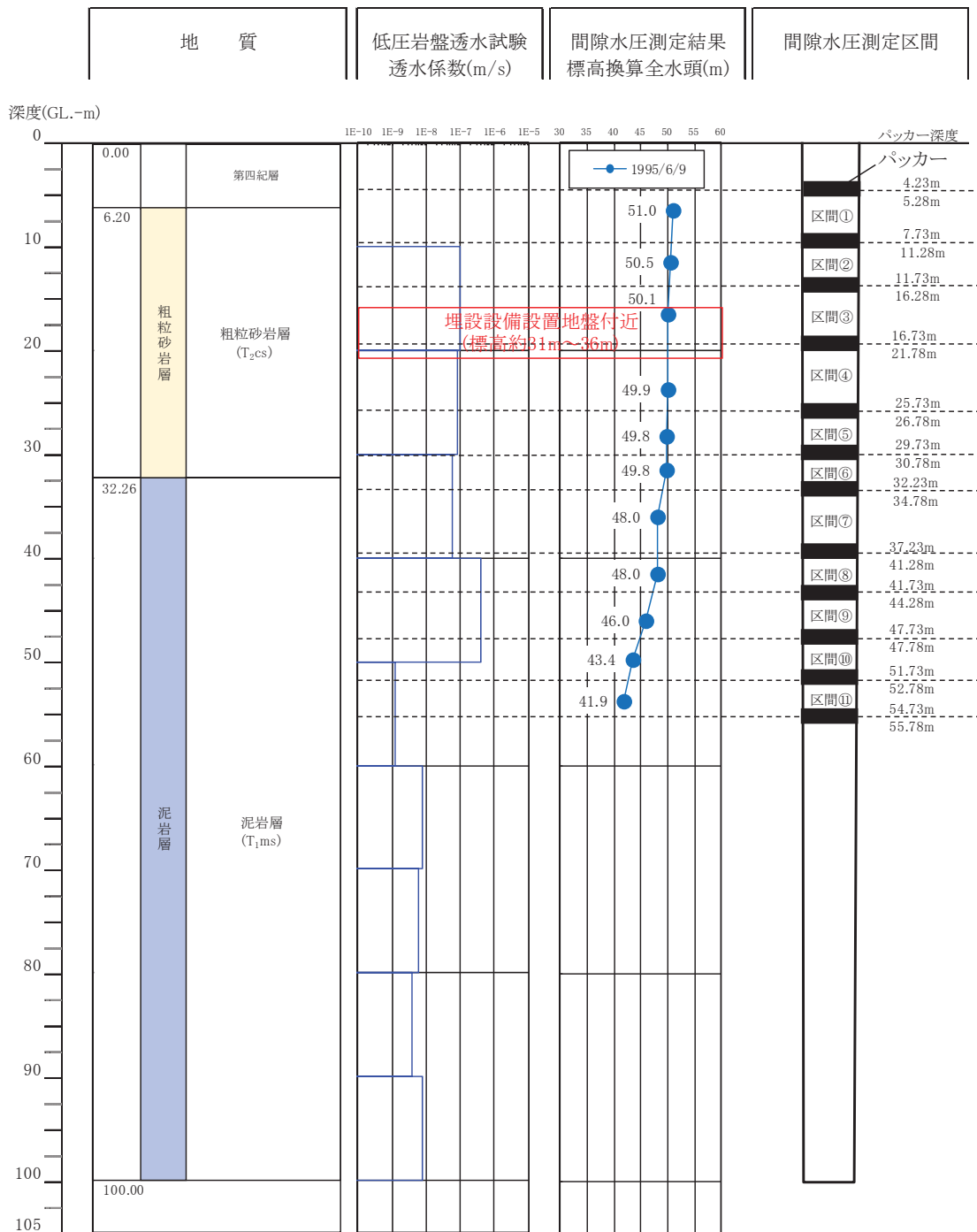
測定孔地表面標高: 57.87 m



第3図 埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定孔における間隙水圧測定結果(7/9)

(1号廃棄物埋設地付近、C4-60孔、1990年6月測定) *1

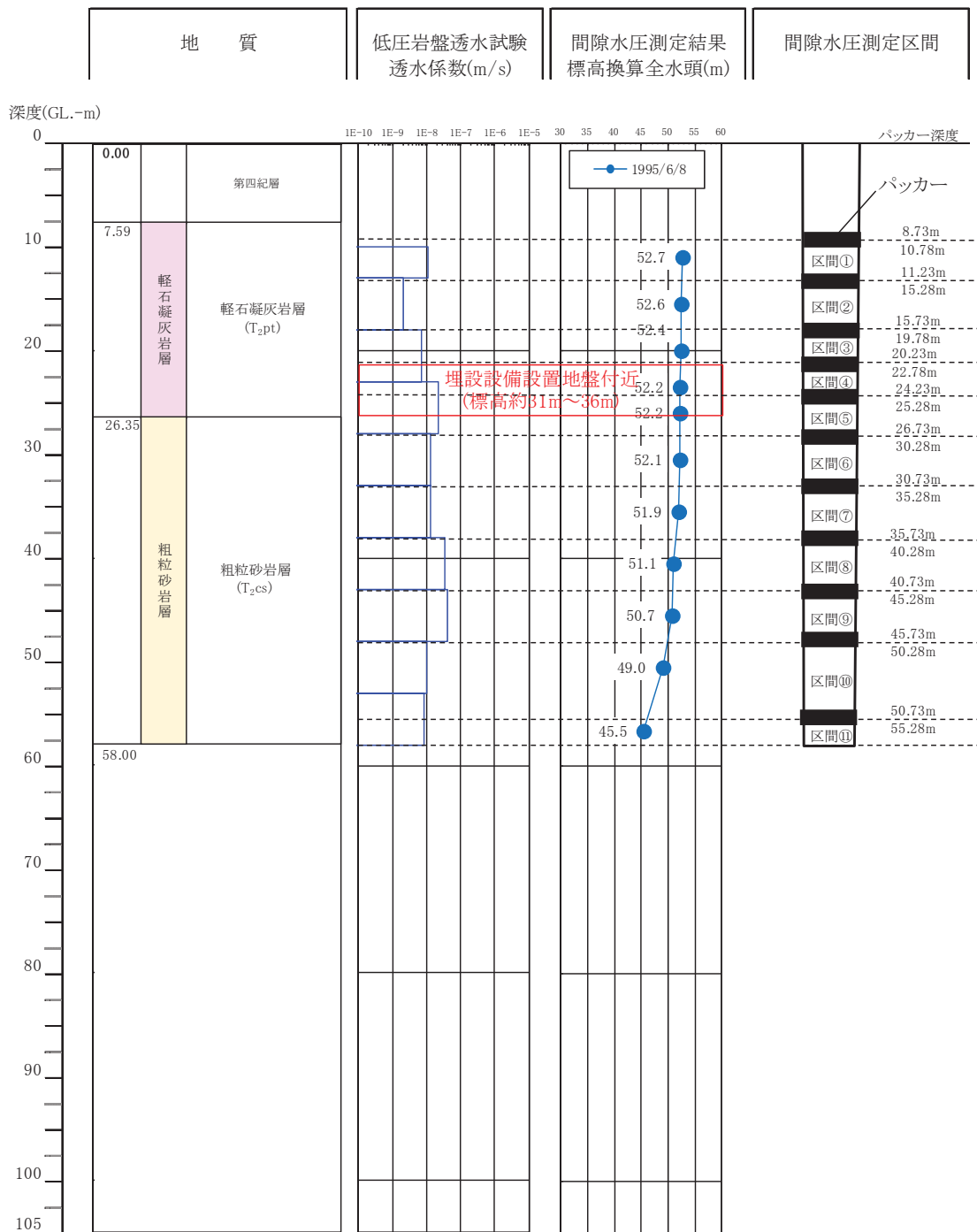
測定孔地表面標高: 52.35 m



第 3 図 埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定孔における間隙水圧測定結果(8/9)

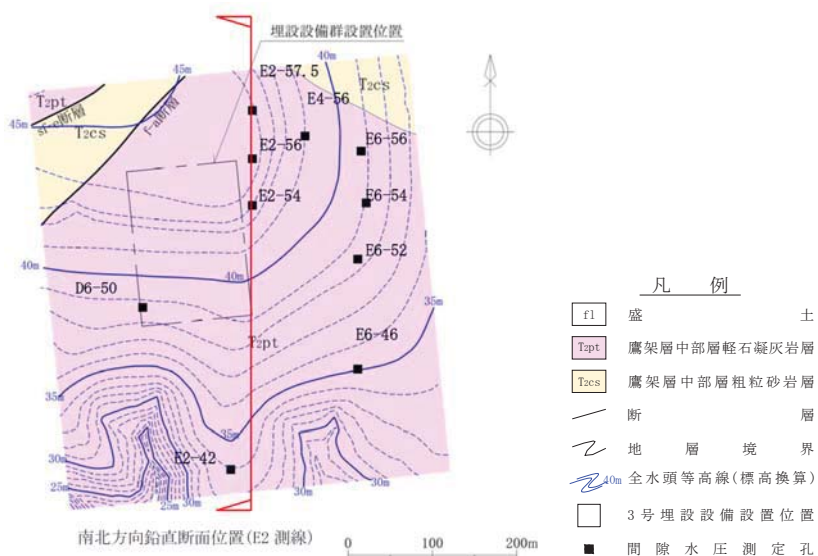
(2号廃棄物埋設地付近、B4-51孔、1995年6月測定) *1

測定孔地表面標高: 57.38 m

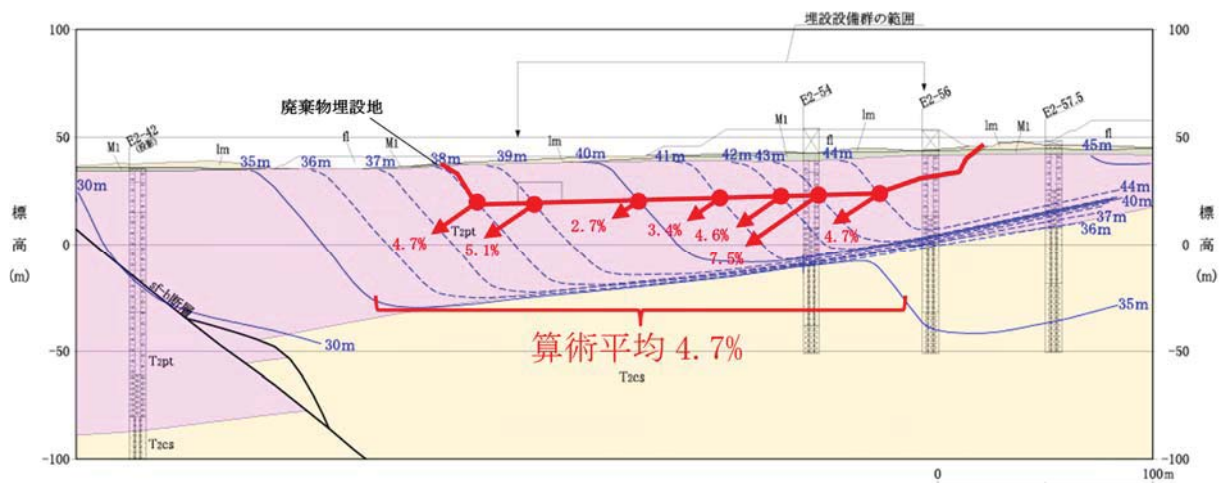


第3図 埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定孔における間隙水圧測定結果(9/9)

(2号廃棄物埋設地付近、B4-60孔、1995年6月測定) *1



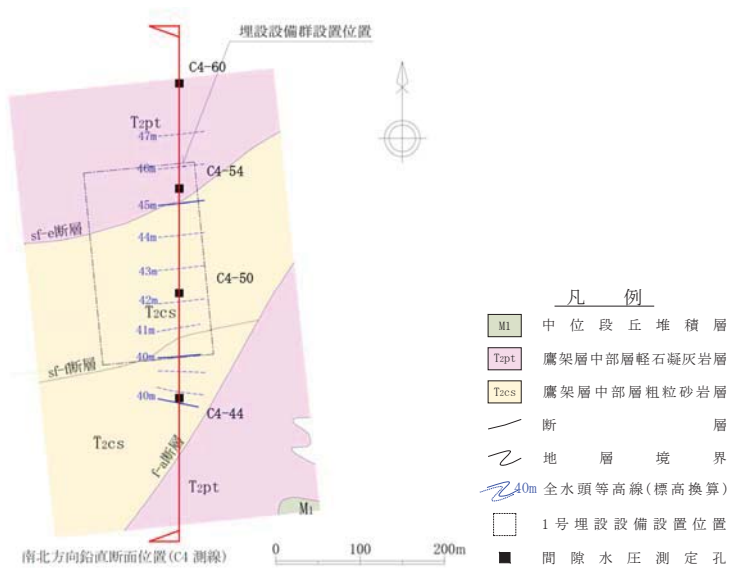
標高+22m 水平断面



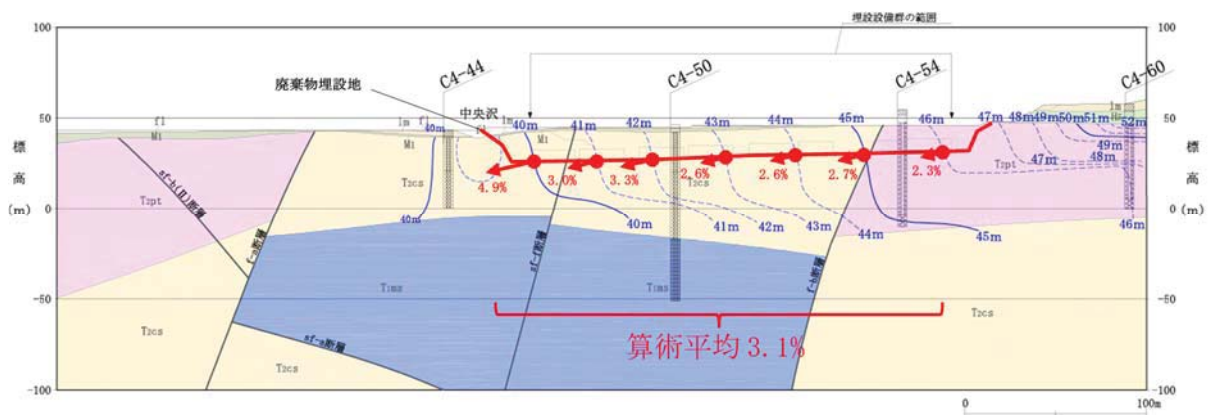
南北方向 E2 測線鉛直断面

第 4 図 廃棄物埋設地付近の全水頭分布図 (1/3)

(3号廃棄物埋設地付近、2017年6月)



標高+30m 水平断面



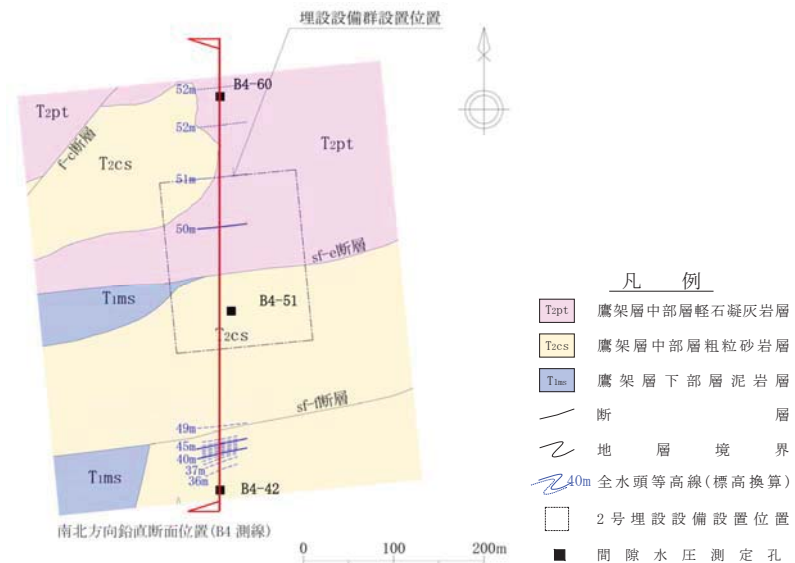
- 凡例
- f1 盛土
 - lm 火山灰層
 - M1 中位段丘堆積層
 - Hs 高位段丘堆積層
 - T2pt 鷹架層中部層軽石凝灰岩層
 - T2cs 鷹架層中部層粗粒砂岩層
 - T1ms 鷹架層下部層泥岩層
 - 断層
 - 地層境界
 - 40m 全水頭等高線(標高換算)
 - ボーリング孔
 - 柱状図凡例は、別途地質柱状図の凡例を参照

矢印の始点は1号廃棄物埋設地(赤線)と全水頭等高線(青線)の交点である。矢印の向きは始点における流向、矢印の長さは動水勾配の大きさを示す。動水勾配(赤数字)は100/L(%)で計算した。ただし、L(m)は矢印の始点から1m低い全水頭等高線までの距離である。

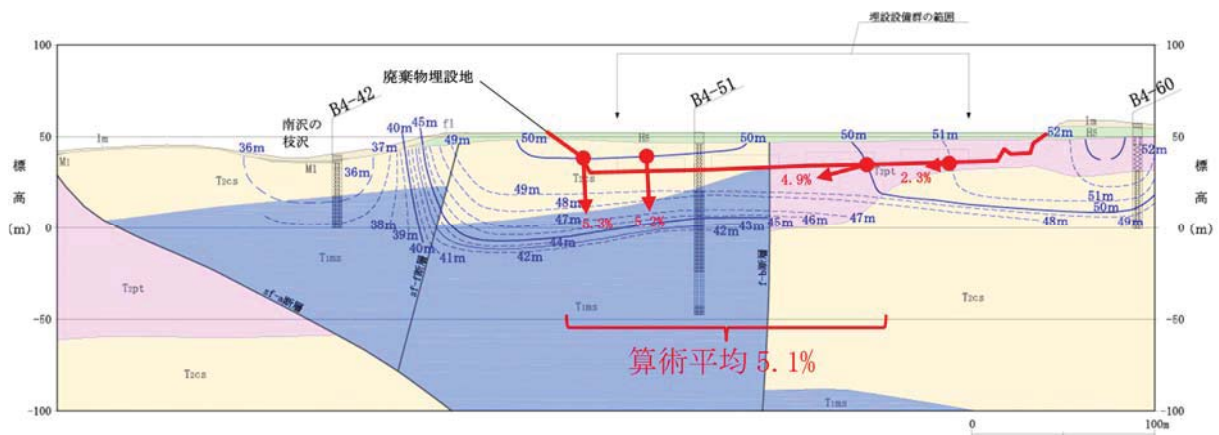
南北方向 C4 測線鉛直断面

第4図 廃棄物埋設地付近の全水頭分布図(2/3)

(1号廃棄物埋設地付近、1990年6月)



標高+34m 水平断面



北方向 B4 測線鉛直断面

第4図 廃棄物埋設地付近の全水頭分布図(3/3)

(2号廃棄物埋設地付近、1995年6月)

第2表 埋設設備設置地盤付近の地下水の動水勾配

廃棄物埋設地	埋設設備設置地盤付近の地下水の動水勾配 (%)	
	平均 ^{*1}	範囲
3号廃棄物埋設地	4.7	2.7～7.5
1号廃棄物埋設地	3.1	2.3～4.9
2号廃棄物埋設地	5.1	2.3～5.3

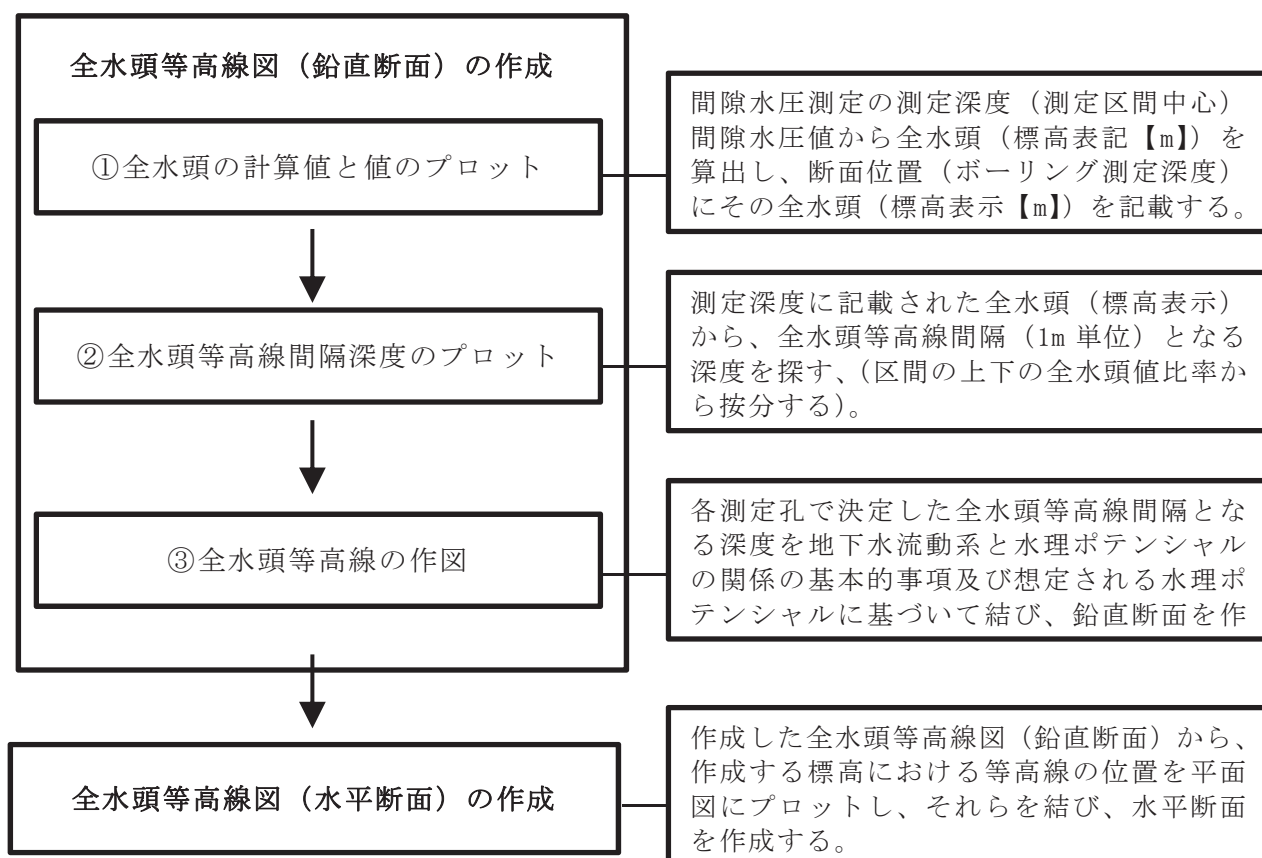
*1 個々の値の算術平均とした。

5. 全水頭等高線の作成

間隙水圧測定から得られたデータより全水頭等高線図を作成する方法を以下に説明する。

(1) 全水頭等高線作成方法の流れ

全水頭等高線図は、全水頭等高線図（鉛直断面）、全水頭等高線図（水平断面）の順に作成した。全水頭等高線図（鉛直断面）は、①全水頭の計算と値のプロット、②全水頭等高線の間隔（5m、1m）深度のプロット、③全水頭等高線の作図の工程を経て作成する。



第5図 全水頭等高線の作成手順

(2) 全水頭等高線図を作成するに当たっての基本的事項

【水理ポテンシャルと地下水流動】

水理ポテンシャルと地下水流動の関係は、第6図から第8図に示すように、一般的にポテンシャルの大きい方から小さい方へ地下水が流動するとされる。地下水は、かん養域から流入して流出域から流出するが、かん養域では主に下方に流動するポテンシャル分布、流出域では主に上方に流動するポテンシャル分布を示し、中間部では流出域に向かい、水平あるいは斜め上、斜め下に流動するポテンシャル分布を示す。

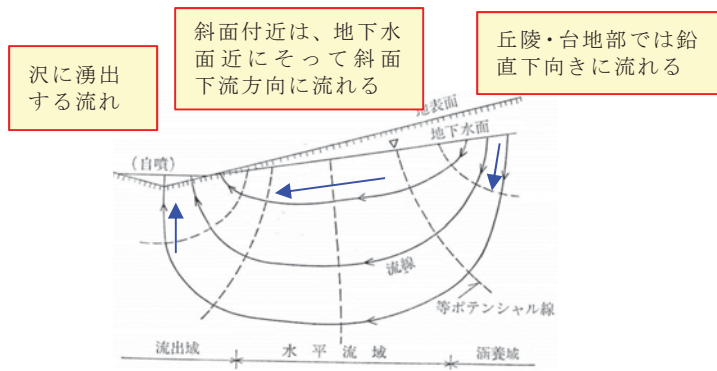
これを段丘からなる台地上の当敷地に当てはめると、かん養域である台地中央部では下方に流動するポテンシャル分布、流出域である尾駁沼、周辺河川、中央沢（開析谷）などでは上方向に流出するポテンシャル分布が想定される（第4図）。

したがって、間隙水圧測定から得られるデータから全水頭を算出し、全水頭等高線（＝等ポテンシャル線）を作成する際は、上記に示す水理ポテンシャルと地下水流動との関係を考慮して作成する。

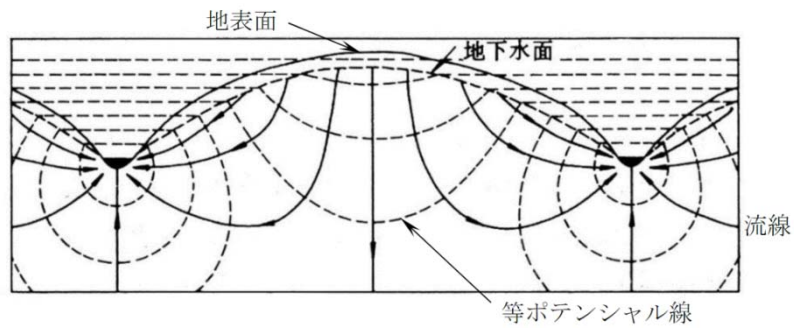
しかし、地質構成が均質でないこと、台地内に開析谷分布して枝沢が発達していること、掘削や盛土等で人口的に地形を改変していること等から、局部的には想定と異なる分布を示すところがある。

【用語】

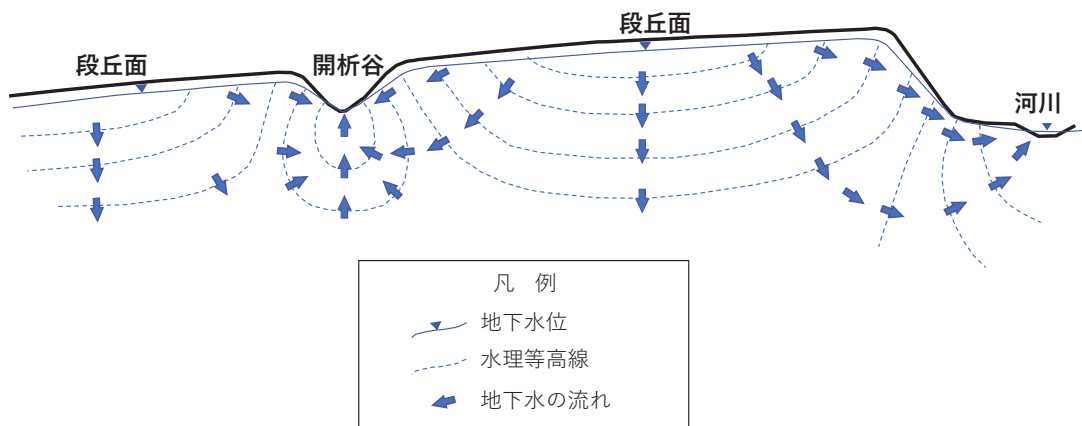
水理ポテンシャル：流体のエネルギー状態を表すもので、流れはこの値の高い方から低い方に生じる。地下水などの間隙流体の水理ポテンシャルは、位置ポテンシャルと圧力ポテンシャルの和として表される。
全水頭：任意の地点の水のエネルギーの状態（水理ポテンシャル）を水柱の高さに換算して、例えばメートル単位で表したもの。位置ポテンシャル、圧力ポテンシャルのそれぞれに対応するものとして位置水頭、圧力水頭がある。



第6図 水理ポテンシャルと地下水流動



第7図 均質な帯水層の流線



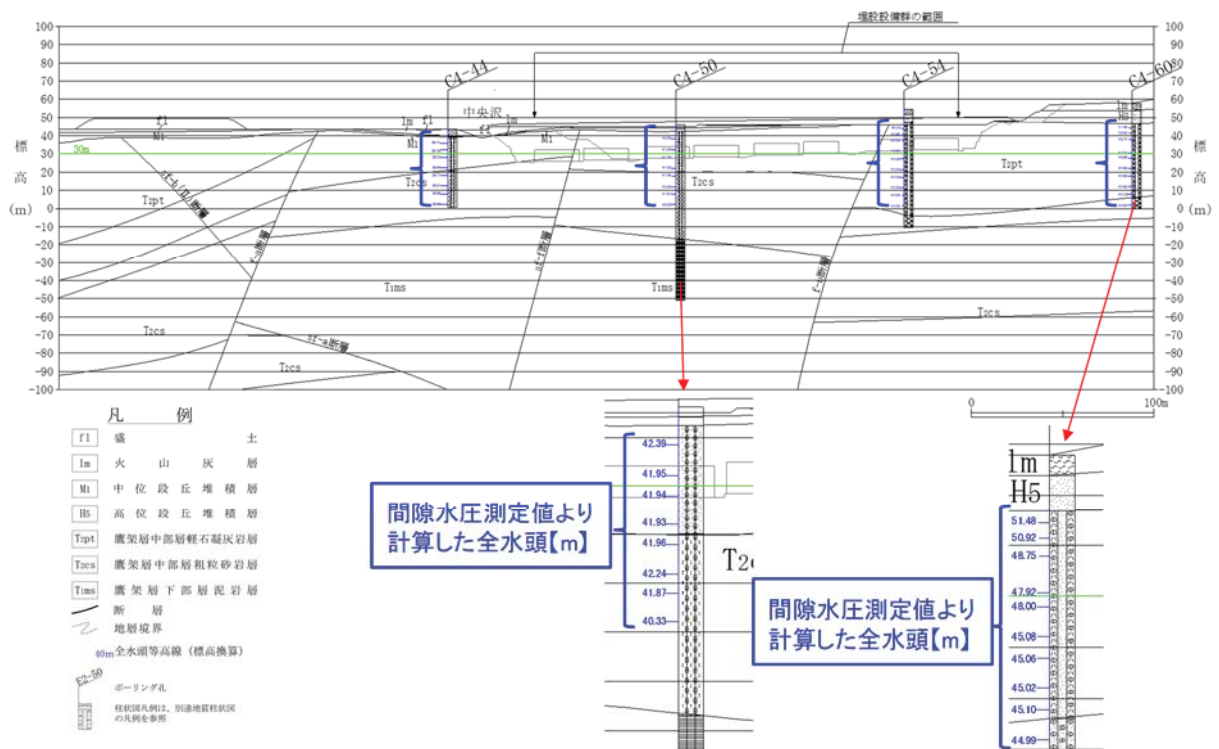
第8図 敷地において想定される水理ポテンシャルと地下水流動

(3) 全水頭等高線の具体的な作成方法（作成例）

【全水頭等高線図（鉛直断面）の作成例】

(i) 全水頭の計算と値のプロット

間隙水圧測定にける測定深度（測定区間中心）の間隙水圧値から全水頭（標高表記【m】）を算出し、断面位置（ボーリング測定深度）にその全水頭（標高表示【m】）を記載する。



第9図 各ボーリング測定深度における全水頭（標高表示【m】）の記載例

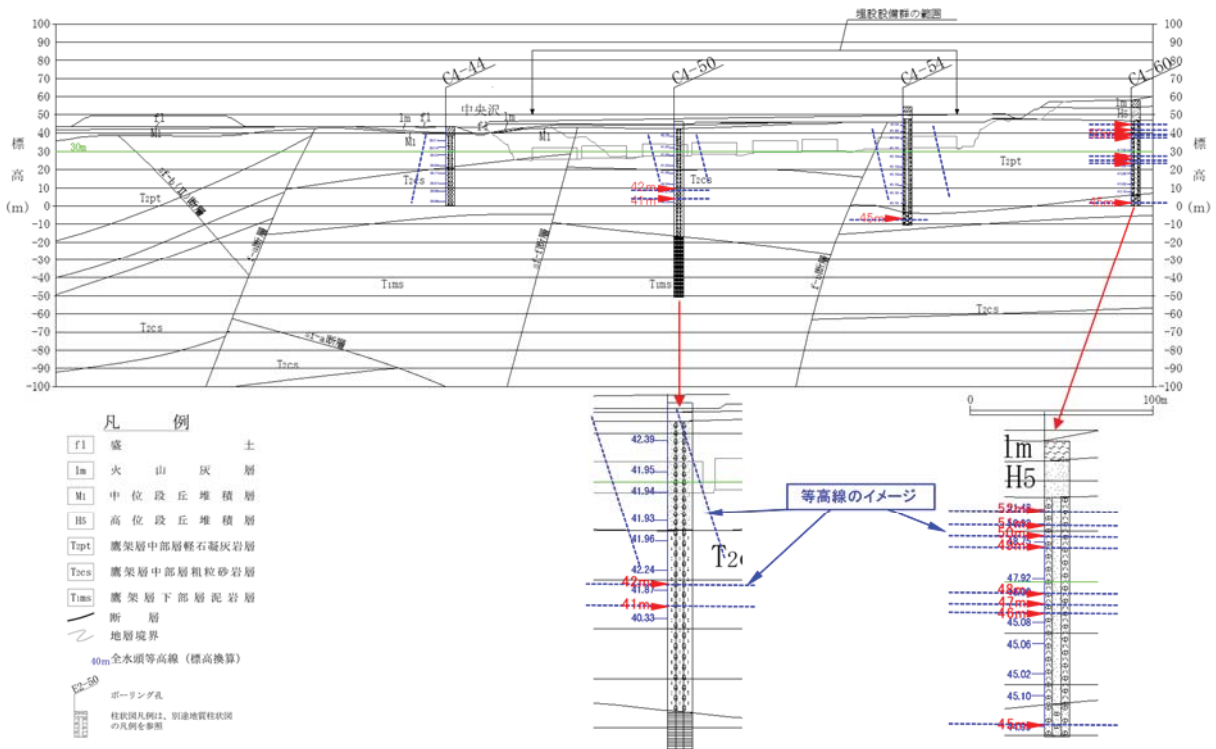
(ii) 全水頭等高線の間隔（1m単位）深度のプロット

測定深度に記載された全水頭（標高表示）から、全水頭等高線間隔（1m単位）となる深度を決定（区間の上下の全水頭値比率から按分）し、断面における全水頭等高線の分布傾向を把握する。

例えば、C4-50地点では、全水頭等高線42m以浅は全水頭にほとんど変化がなく、水理ポテンシャルがおおむね同じであることから、水平方向の地下水流動が卓越する場と想定される。全水頭等高線42m以深は、全水頭が小さくなる傾向で

深部に向かい水理ポテンシャルが小さくなっていることから、下向き地下水流動が卓越する場と想定される。

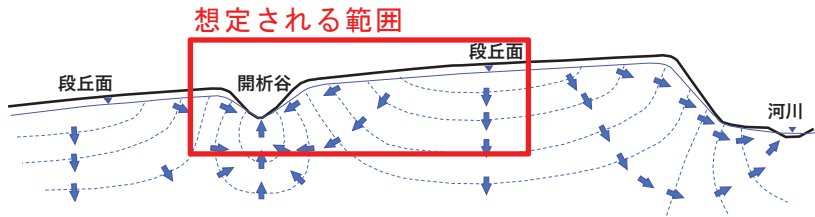
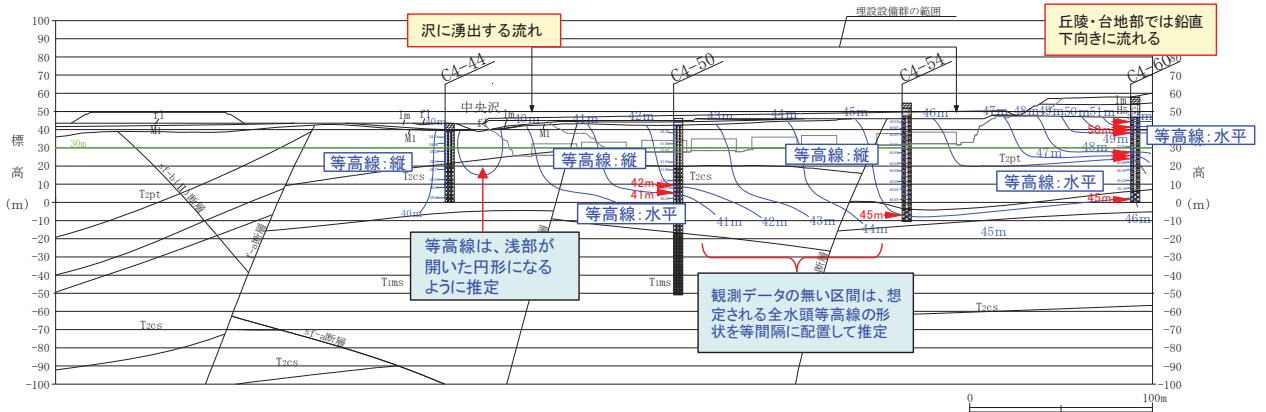
また、C4-60 地点では、全水頭等高線 46m 以浅は、断続的であるが深部に向かい全水頭が小さくなる傾向で深部に向かい水理ポテンシャルが小さくなっていることから、下向き地下水流動が卓越する場と想定される。全水頭等高線 46m 以深は、全水頭にほとんど変化がなく、水理ポテンシャルがおおむね同じであることから、水平方向の地下水流動が卓越する場と想定されるが、全水頭等高線 45m 付近では下向き地下水流動となっている可能性もある。



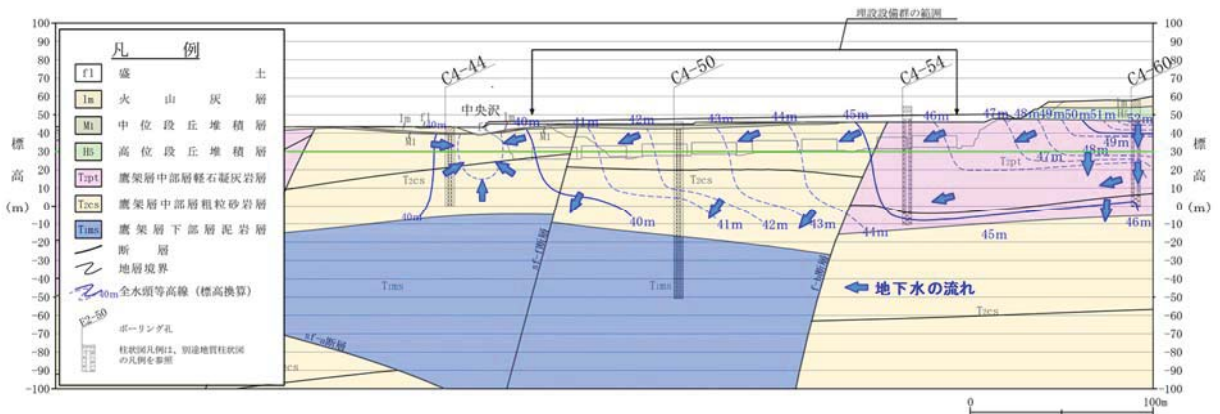
第 10 図 各ボーリング地点における全水頭等高線の間隔(1m 単位)深度のプロット例

(iii) 全水頭等高線の作図

各測定孔で決定した全水頭等高線間隔となる深度を水理ポテンシャルと地下水流動の関係の基本的事項及び敷地において想定される水理ポテンシャルに基づいて結び、鉛直断面を作成する。



第 11 図 全水頭等高線の作図の作成



第 12 図 全水頭等高線図 (鉛直断面)

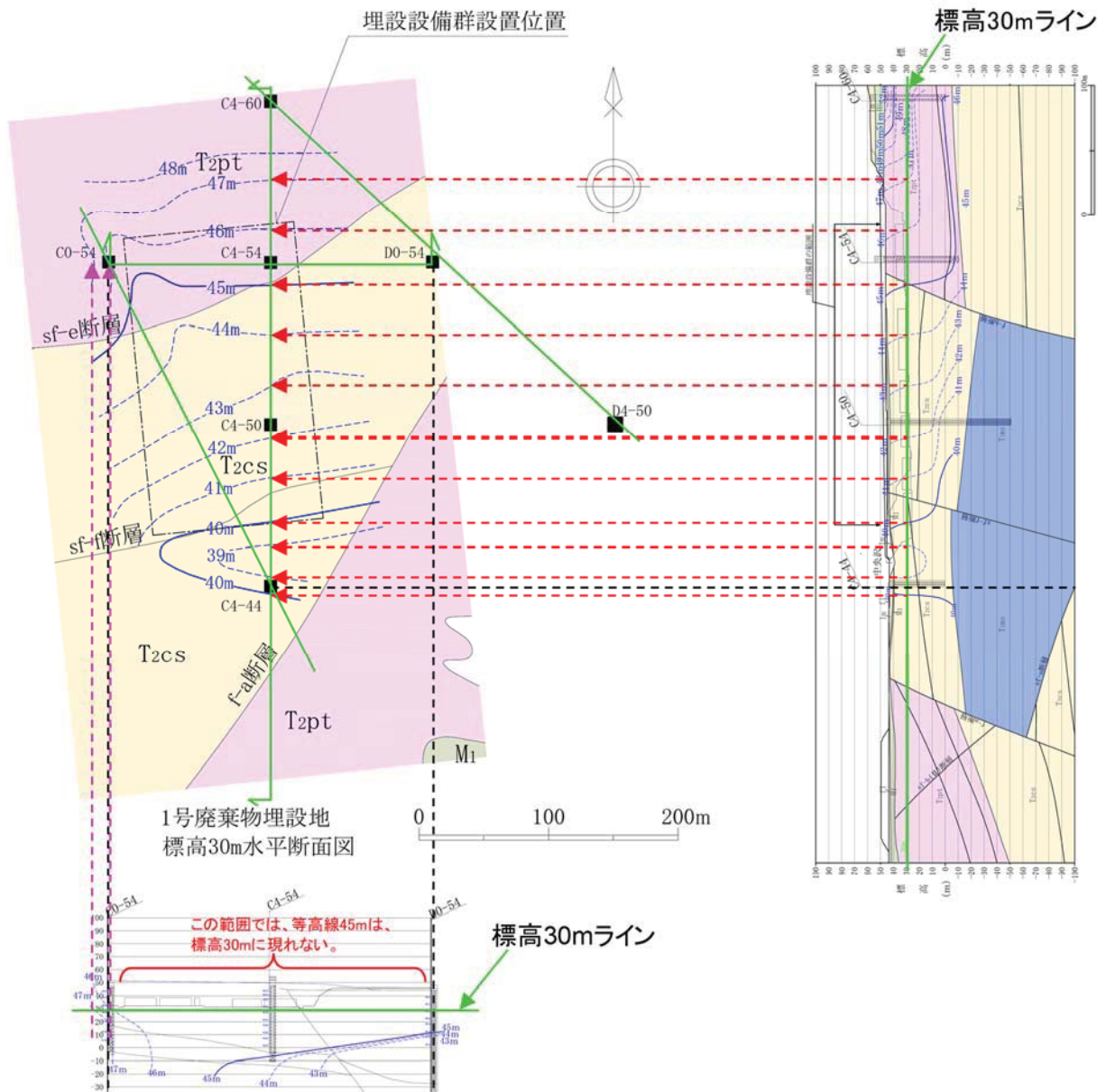
標高の台地中央部の高い場所は、地下水がほぼ鉛直に流下し、沢部では地下水が湧出するような全水頭分布図になり、中間部は沢に向かって、あるいは斜め下方向に流動するような全水頭分布図が作成される。

【全水頭等高線図（水平断面）の作成例】

作成した全水頭等高線図（鉛直断面）から、作成する標高における等高線の位置を平面図にプロットとし、それらを結んで水平断面の等高線図を作成する。

必要に応じて補間的に全水頭等高線図（鉛直断面）を作成し、それらを基に水平断面を作成する。

1号廃棄物埋設地周辺の標高 30m の全水頭等高線図（水平断面）の作成例を第 13 図に示す。2号及び3号廃棄物埋設地も同様の方法で作成している。



第 13 図 全水頭等高線図（水平断面）

MP圧力センサ点検記録*1

校正地点名 : D0-36

測定年月日 : 2017/6/12~6/13

センサ種類 : EM-3264 Module1567 (精度:フルスケールの±0.1%)

測定レンジ : 500PSI(約3.45Mpa)

記録者 :

大気圧 : 100.2 kPa

GL-50m 以浅の深度の
圧力測定器の測定誤差

測定点 No.	(A) 測定ポート 深度 GL-m	MPケーシング内 水圧測定値 kPa	(B) MPケーシング内 水圧換算値 GL-m	(C) MPケーシング 立ち上がり m	測定誤差 (A-B+C)	
					m	%FS
1	17.61	278.3	18.16	0.55	0.00	0.00%
2	25.11	352.0	25.68	0.55	-0.02	-0.01%
3	32.61	425.7	33.20	0.55	-0.04	-0.01%
4	40.11	499.3	40.70	0.55	-0.04	-0.01%
5	49.11	587.6	49.70	0.55	-0.04	-0.01%
6	58.11	675.9	58.71	0.55	-0.05	-0.01%
7	67.11	764.1	67.71	0.55	-0.04	-0.01%
8	77.61	867.1	78.21	0.55	-0.05	-0.01%
9	85.11	940.8	85.72	0.55	-0.06	-0.02%
10	95.61	1043.6	96.21	0.55	-0.04	-0.01%
11	103.11	1117.2	103.71	0.55	-0.04	-0.01%
12	112.11	1205.3	112.70	0.55	-0.04	-0.01%
13	121.11	1293.5	121.69	0.55	-0.03	-0.01%
14	131.61	1396.4	132.18	0.55	-0.02	-0.01%
15	142.11	1499.2	142.67	0.55	-0.01	0.00%
16	152.61	1602.0	153.15	0.55	0.02	0.00%
17	163.11	1704.7	163.62	0.55	0.04	0.01%
18	170.61	1778.2	171.12	0.55	0.04	0.01%
19	181.11	1881.0	181.59	0.55	0.07	0.02%
20	191.61	1984.2	192.12	0.55	0.04	0.01%
21	202.11	2087.1	202.61	0.55	0.05	0.01%
22	212.61	2189.9	213.10	0.55	0.06	0.02%
23	223.11	2292.6	223.57	0.55	0.09	0.03%
24	230.61	2366.1	231.07	0.55	0.09	0.03%
25	241.11	2469.0	241.55	0.55	0.11	0.03%
26	251.61	2572.0	252.06	0.55	0.10	0.03%
27	262.11	2675.0	262.56	0.55	0.10	0.03%
28	272.61	2777.5	273.01	0.55	0.15	0.04%
29	280.11	2851.3	280.54	0.55	0.12	0.03%
30	287.61	2925.7	288.12	0.55	0.04	0.01%

点検結果: **合格** ・ 不合格

*1 3号埋設施設の水文観測調査(2017年度分)のMP方式の間隙水圧測定孔のうち最も深い孔を用いて圧力センサを点検した。点検方法はMPケーシング管頭まで満水にした状態で各測定深度(測定ポート深度)におけるMPケーシング内の水頭と圧力測定器により求めた水頭を比較することによって行った。