

竹の内地区産業廃棄物最終処分場水理地質調査

平成15・16年度報告書

平成16年12月

立正大学

(地球環境科学部：田村俊和・高村弘毅・小玉 浩・石田 武)

目 次

	(ページ)
1. 調査の目的と方法	1
2. 地形・地質・気候の概要	1
3. 水理地質構造	2
4. 地下水の賦存・流動状況	3
5. 地下水の水質	6
6. 表流水の流入状況	7
7. 処分場を中心とする谷底の地表水および浅層堆積物中の地下水の水収支推定	8

図表目次

図 1	竹の内処分場とその周辺の地形	11
図 2	竹の内処分場とその周辺の地形・地質断面（概念図）	11
図 3	竹の内処分場の地形およびボーリング地点等の位置	12
図 4	ボーリング柱状図	13
図 5	地形・地質断面	19
図 6	地下水位の変化	21
図 7	トリリニアダイアグラム	22
図 8	ヘキサダイアグラム	23
図 9	水収支推定のための流域区分	24
図 10	表流水の流出観測例（2004年12月5-6日）	25
図 11	竹の内処分場を含む谷底の地表水および浅層地下水の水収支推定	26
表 1	地下水位観測地点一覧	27
表 2	連続揚水試験に基づく基岩（砂岩）の透水係数，透水量係数などの算出	28
表 3	覆土浸透試験結果	29
表 4	地下水流向・流速測定結果（まとめ）	29
表 5	水質分析結果	30
表 6	イオン分析結果	31
表 7	谷底の浅層堆積物の水収支算出（排水分を除く）	32

付 属 資 料

1	揚水試験の方法	34
2	Loc. 1 および Loc. 2 における段階揚水試験結果	36
3	Loc. 1 および Loc. 2 における限界揚水量	37
4	Loc. 1 および Loc. 2 における連続揚水試験結果	38
5	No. 1 および No. 2 における段階揚水試験結果	39
6	No. 1 および No. 2 における限界揚水量	40
7	No. 1 および No. 2 における連続揚水試験結果	41
8	No. 1 における Theis の方法	42
9	No. 4 における Theis の方法	43
10	No. 1 , No. 4 における Theis の方法による帯水層係数の算出	44
11	No. 1 , No. 4 における回復法	45
12	No. 1 , No. 4 における回復法による帯水層係数の算出	46
13	Loc. 3A における連続揚水試験結果	47
14	Loc. 3A における Jacob の方法による帯水層係数の算出	48
15	Loc. 3A における回復法による帯水層係数の算出	49
16	Loc. 5A における連続揚水試験結果	50
17	Loc. 5A における限界揚水量	51
18	Loc. 5A における段階揚水試験結果	52
19	流速流向測定例 (No. 1)	54
20	流速流向測定例 (No. 4)	55
21	流速流向測定例 (Loc. 1A)	56
22	流速流向測定例 (Loc. 1B)	57
23	流速流向測定例 (Loc. 3)	58
24	流速流向測定例 (Loc. 4)	59
25	流速流向測定例 (Loc. 5A , Loc. 5B)	60

1. 調査の目的と方法

本調査は、竹の内地区産業廃棄物最終処分場の周囲で、当処分場の廃棄物を起源とする地下水汚染が発生する可能性について検討するため、当処分場とその周囲の地下水および表流水の状況を把握することを目的とする。そのため、周囲の地形・地質の現地調査を実施するとともに、2003年2月以来順次、当処分場内およびその周辺の7地点（隣接して深度の異なるものは1地点と数える）でボーリング計11本を行い、揚水試験、水質分析、流向・流速測定（2地点4本）、および地下水位の連続観測を実施した。また、廃棄物調査用のボーリング孔3本においても、2004年10月に地下水位観測を開始した。これに、2004年9月実施の覆土層の透水試験（5地点）および同年10月以後に行われた廃棄物埋設量調査のためのボーリング調査等の結果を加え、地下水の状態の把握に努めた。また、処分場を含む谷底への表流水の流入状況を把握するため、第6工区上流の支谷底にある自然水路で流量観測を、第7工区脇で降水量観測を、いずれも2004年10月に開始した。これらに基づき、処分場の位置する谷底面の地表水および廃棄物層を含む堆積物中の地下水について、水収支の推定を試みた。調査項目ごとの調査方法の詳細は、それぞれ関連する章、図表および付属資料に記す。

2. 地形・地質・気候の概要

当処分場は、仙台平野南西方の起伏量30m程度の丘陵地にある、幅200m程度以下の谷底面に位置する（図1）。丘陵地の基岩はいずれも新第三紀層で、難透水性の火山岩・火山砕屑岩（中新世前期の高館層）と、その上位に不整合で重なる、一部凝灰質の半固結砂岩・泥岩互層（中新世中・後期の新寺層・福田層あるいは金ヶ瀬層）から成る。処分場敷地の西に隣接する丘陵の頂部には、さらに上位の凝灰岩（鮮新世(?)の沼田凝灰岩）が分布する。新寺層以上の各層は、当処分場一帯では、西ないし西北西に10度内外の傾斜で緩やかに傾き下がる（図2）。主な帯水層は半固結堆積岩（いわゆる軟岩）中に形成されていて、その基底（難透水性層上面）は、隣接する東京鍛工敷地および東北新幹線荒川橋梁等における既存のボーリング資料から推定すると、当処分場の地下50m余りの深度にあるとみられる。

これら基岩は、最終的にはおそらく第四紀前期に離水後、100万年程度の間侵食を受け続け、多くの小さな谷に刻まれた丘陵状の地形が形成されたと考えられる。調査地を含む一帯の丘陵地は、白石川の支流荒川の流域に属する。荒川は、その最上流部で、侵食されやすい軽石質凝灰岩等から成る急斜面（活断層である円田断層（村田断層とも言う）の断層崖の延長部）を開析しているためか、流送土砂が比較的多く、しかもそれが合流する白石川は、荒川よりもさらに流送土砂が多いので、村田町中心部付近より下流の荒川沿岸では土砂が堆積傾向にあり、それが丘陵地からの小支谷の出口をふさぐ形になっている。こうして小支谷の多く（とくに荒川右岸のもの）は、少なくとも第四紀完新世の大半の時期（最近数千年間）において、排水がきわめて不良で地下水位が高く、泥炭が形成される状態にあったとみられる。

調査地もそのような湿地を谷底にもつ小支谷であり（図1, 2, 3）、処分場建設前に

実施された少数のボーリングおよび多数のサウンディング結果をみると、泥炭を主とする谷底堆積物が、第4工区・第8工区あたりから下流一帯では20m近い厚さで堆積していた。また、処分場ゲート付近では、これら谷底堆積物が、ところどころに礫をまじえる軟弱な砂泥互層（荒川の河成堆積物）と指交している。荒川の流路は、当処分場に近接した区間では河川改修の結果現在の位置を占めるようになったと思われるが、その水位は、低水時でも右岸堤内地の地表面より若干高い位置にあるので、この川が現在の位置でも天井川の傾向にあり、処分場のある谷からの水・土砂の流出を妨げていることは確実である。このように、きわめて軟弱な地盤から成り地下水位が高い土地に、その軟弱な堆積物を取り除き、一部は基岩にまで掘り込んで、大量の廃棄物が投棄され、常時地下水に接触している。

なお、調査地一帯の気候の平年値は、直近の常時観測点（仙台、白石、川崎）での観測値から、年平均気温12.5内外、最寒月（1月）平均気温は氷点下になるかならないかという程度、年降水量は1200mm内外と推定される。これらは、当地の水収支、とくに蒸発散を見積もる際に必要な要素なので、7で改めて検討する。

3. 水理地質構造

上記のように、調査地とその周辺の地質は、新第三紀の半固結堆積岩類（いわゆる軟岩）と、その上位に不整合で重なる第四紀完新世（底部のごく一部に後期更新世の堆積物があり得る）の軟弱な谷底堆積物（大半が泥炭質）・河成堆積物および廃棄物層と大きく二分される。ここでは、前者を基岩、後者を浅層堆積物と称する。これらについて調査するため、処分場内とその周辺に、図3、4に示す多数のボーリングを行った。以下、ボーリングコアの観察および揚水試験の結果に基づいて記載する。

浅層堆積物のうち、河成堆積物は、荒川沿岸から処分場のある谷の下流端にかけて分布し、ところどころに礫をまじえる砂・泥から成る。一方、谷底堆積物は、底部にまれに礫をはさむ砂・泥の薄層を伴うが、大半は泥炭層ないし有機質泥層である。谷底堆積物は、図5によく表されているように、主として谷の縦断方向に層相および層厚を変化させている。上流部（第10工区上流端のLoc. 3Aや第6工区上流端のLoc. 2等）では泥炭層を欠いて厚さが数m以下であるのが、第3・第7工区付近では、かつては厚さ十数mの泥炭層が主体であり、現在はそれが廃棄物層に置き換えられている。さらに、下流端から荒川沿い（Loc. 1, Loc. 4, Loc. 5など）では河成堆積物と指交し、あわせて厚さ20m近くに達する。また河成堆積物は、図4のLoc. 4やLoc. 5A, 5Bにみられるように、上下方向には細かく層相を変化させるが、水平方向の層相変化は、少なくとも処分場の位置する谷が荒川に合流する範囲では、きわめて少ない。したがって、処分場下流端付近において、処分場のある谷を横断する方向に浅層堆積物の層相や層厚が大きく変化することは考え難く、水理地質の考察にあたってはLoc. 1やLoc. 4で代表させて差し支えないと考えられる。

廃棄物層は、これら谷底堆積物を置き換え、また第3～第5工区および第8～第9工区付近では基岩にまで掘り込む形で、最大25mほどの厚さをもち、途中で旧表土、泥

炭、基岩の破片等の混合物から成る中間的覆土層を薄く挟んでいることが多い。さらに表面を、厚さ数十 cm～数 m の覆土層（硫化物を吸着させるために散布された軽石を含む）に覆われている（図 4, 5）。谷底以外に、新・旧工区を隔てる丘陵の北端部およびその西（いわゆるピートストックエリア）にも、基岩を深く削りこんで廃棄物が埋められ、そこでは廃棄物層上面は付近の谷底面より最大で 18m ほど高い位置にある（図 4 の H16-6, H16-7, H16-8）。

基岩は、上記 2 のように半固結の砂岩・泥岩互層から成り、貝化石等を含み、しばしば凝灰質で、ときにやや難透水性とみられる凝灰岩を挟む。処分場内外の 6 地点において、単孔式で段階揚水試験、次いで連続揚水試験を行い、砂岩の帯水層係数（透水量係数、透水係数、貯留指数）を求めた（付属資料 1～19）。その結果を表 2 に示す。透水係数は、処分場敷地外（第 6 工区の上流側の Loc. 3A や荒川左岸村田二中の Loc. 5A）には（算出方法により） 10^{-5} cm/sec の値を示す地点もあるが、ほとんどの地点で 10^{-4} cm/sec のオーダーにある（表 1, 2）。これは、新第三紀層半固結堆積岩としてふつうないしやや小さめの値である。砂岩の範囲であっても、ストレーナが切られた層準は地点により異なるので、粒度組成は一様ではなく、含泥率等の違いが透水係数等に反映されている可能性がある。

貯留指数は、多くの地点で 10^{-3} のオーダーを示し、これらの地点では基岩中の地下水が多少とも被圧傾向にあることを示す。なお村田二中（Loc. 5A）ではこの値が 5.6×10^{-2} と、やや大きい。後述の孔内水位は、隣接して河成堆積物中に設けられたボーリング孔（Loc. の 5B）の水位より数十 cm 高く、これは地下水が弱い被圧傾向にあることを示すとみられる。

谷底堆積物・河成堆積物は、その層相から、基岩と同程度ないしやや大きめの透水係数を示すとみてよい。また廃棄物層は、当然きわめて不均質であるが、その透水係数は谷底堆積物のそれより大きい部分が多いと推測される。覆土層の透水係数は、図 3 に示す S-1～S-5 の各地点で、上部約 30cm について地表面からの浸透試験を行って求めたところ、次に述べる 1 地点を除き $10^{-4} \sim 10^{-6}$ cm/sec の範囲にあるが、地点によりバラつきが大きい（表 3）。概して旧工区で覆土層の透水性が高い傾向にあり、とくに第 5 工区の S-3 では 10^{-3} cm/sec という砂礫層なみの大きな透水係数が測定された。このように細かくみれば地点による差異があるが、谷底面全体としてみる場合は、覆土層も、谷底堆積物、河成堆積物および谷底部の廃棄物層と一括して浅層堆積物として扱って差し支えないと考えられる。

4. 地下水の賦存・流動状況

処分場のある谷底の地下水位は、第 6 工区や第 9・10 工区などの上流部および盛土が 2m 以上と厚いところを除き、地表面下 2m 以内の浅所にある（図 4, 表 1）。各ボーリング孔内の水位が示す谷底面での水頭の分布からは、は、ほぼ地表面に沿い、地表面より小さな勾配で、下流に向け低くなる傾向が明らかに認められる。たとえば、第 10 工区上流端（Loc. 2）と 処分場入り口付近（Loc. 1）とでは、地表面の標高差は 8m ほど

であるが、地下水位には 2m ほどの差がある（図 3, 4）。このことは、谷底面の地下水が全体としてはこの谷の下流方向（東北東ないし北北東）にゆっくりと流動できることを示す。

旧管理事務所付近（Loc. 1）と村田二中プール脇（Loc. 5）の 2 地点において、前者では 3 本（Loc. 1, 1A および 1B）、後者では 2 本（Loc. 5A と 5B）のボーリングを隣接して行い、1 本は基岩中に、他方は浅層堆積物中（Loc. 1A, 1B では浅層堆積物中の異なる深度）にのみストレーナを切って、孔内水位を比較すると、両地点ともより深層の地下水が示す孔内水位の方が高く、同一地点で基岩中の地下水と浅層堆積物中の地下水との水位差は数十 cm である（図 4, 表 1）。これは、この付近一帯の谷底で地下水が若干被圧傾向にあることを示す。

図 6 から明らかのように、どの地点の地下水位も、降雨に敏感に反応して数 cm ~ 50cm の変動を示す一方、9 月下旬 ~ 10 月上旬のように、数 mm/日以上（うち約半数は 10mm/日以上で、最大は 124mm/日）の降雨が 20 日間ほど継続した後は、無降水ないし少雨の期間に比べて水位が数十 cm ~ 1m ほど高い傾向が月単位で継続するなど、やや長期的な変動も示す。これは、地下水が地表からの浸透水の供給および圧の伝播を速やかに受けつつ、深部（おそらく基岩の上部）を経由した長期的な水の供給も受けていることを示唆する。Loc. 2, Loc. 3, No. 1, No. 4 等、処分場のある谷の概して上流部で、基岩中の地下水の水位が、継続した降雨の影響を大きくかつ遅くまで受けている傾向が読み取れる。

これら上流側谷底部の基岩中の地下水は、水頭分布が示す流動方向からみて、大局的に南西ないし西南西方向からの地下水の供給を受けていると考えられるが、これに加えて谷壁斜面（を作る基岩）からの供給も加わっているであろう。それら上流側あるいは両側谷壁斜面への降水のうちある部分が基岩にまで浸透し、まとまった降雨期間の始まりから約 3 週間後 ~ 3 か月後の間に処分場上流半部に到達したと解釈される。もちろん、各地点の降水が鉛直浸透した成分も付加されているはずである。こうして増大した基岩中の地下水は、その後、その地点の浅層堆積物中の地下水位を多少高めつつ、より下流側の基岩中および浅層堆積物中の地下水にゆっくりと移動していくと推定される。

浅層堆積物中の地下水では、No. 3, No. 2, No. 6 等の方が Loc. 1A, Loc. 1B 等より、個々の降雨に対応した水位上昇量が大きく、また長く続く降雨の影響も大きく表れる傾向がある（図 6）。これは、廃棄物層（No. 3, No. 2, No. 6）と非廃棄物層（Loc. 1A, Loc. 1B）との透水性の違い、あるいはそれに加えて厚さの違い（図 4, 図 5）によるものではないかと思われる。荒川右岸堤防直下（Loc. 4）の浅層堆積物中では、荒川の水位を直接反映した地下水位の変動が顕著で、約 200m 下流に位置する灌漑用取水堰の開閉状況にきわめて敏感に反応して 1m 内外の変動を示し、また降雨による水位上昇量も、処分場内や村田二中の場合にくらべて大きい。Loc. 4 の地下水位は、処分場内下流端（Loc. 1）の地下水位とほとんど等しくなったり、上昇量が 1m を上まわったりすることも、ときに認められる（図 6）。

基岩中の地下水の水平方向の流向および流速は、ボーリング孔内での電位差法による

測定値をダルシー流速に換算すると（表 4 および付属資料 20～25），処分場中央部の第 7 工区付近（Loc. 3）で北北東に 10^4 cm/sec，第 3 工区付近（No. 1）で北北東に 10^5 cm/sec 以下，第 6 工区上流端（No. 4）では流速 10^5 cm/sec 以下で流向判定不能である．荒川左岸の村田二中プール脇（Loc. 5B）では浮遊物影像法を用いて測定した．その測定流速（ 10^3 cm/sec のオーダー）をダルシー流速に換算する方法はまだ定まっていないが，砂礫層中などのように測定流速が 10^2 cm/sec 程度と比較的大きい場合は 1/100 ないし 1/40 を乗じればよく，測定流速がより小さい場合は補正の程度も小さくなることが知られている．そこでここでは 1/20 とやや小さめの補正を試みたところ，処分場内を含む荒川右岸の基岩中で求められた流速よりやや大きい値になった．流向は，63 回の測定結果がほぼ全方位にちらばっていて特定できない．

浅層堆積物中の地下水の水平方向の流動は，処分場入口付近（Loc. 1A, B）や荒川右岸堤防脇（Loc. 4）ではダルシー流速が 10^5 cm/sec 以下で流向判定不能であった．荒川左岸の村田二中プール脇（Loc. 5B）では，上記のように補正して求めた流速が右岸の浅層堆積物中での値よりやや大きく，流向を 63 回測定した結果は，東を中心に 100 度ほどの範囲にバラついている（結果の詳細は付属資料 5 に示す）．

これらの観測結果および 2 に述べた水理地質構造から，処分場内およびその周辺の地下水は，次のような状態にあると考えられる．

- (1) 地下水面は常にきわめて浅い位置にある．すなわち，当処分場の谷底面一帯は，地表・地下を通して，季節を問わずきわめて湿潤な環境にある．
- (2) 地下水は，やや被圧傾向にある．すなわち，谷底面一帯では，基岩からの大量の揚水でも行われぬ限り，浅層から鉛直下方への顕著な水の流動は考えにくい．
- (3) 地下水は，水平方向でみると，処分場のある谷の中ではきわめてゆっくりと北北東方向に移動しているとみられるが，その速さは，ボーリング孔内での測定結果では，一部の地点で $10^3 \sim 10^4$ cm/sec の値を示すものの，大半は 10^5 cm/sec のオーダーあるいはそれ以下ときわめて遅く，地点によっては流向が特定できないほどである．荒川左岸では，浅層では大局的に東（荒川下流方向）に向かっているようであるが，かなり広い範囲に分散する傾向にあり，流速も 10^4 cm/sec と遅い．
- (4) 一日に数 mm～10mm 程度以上の降雨が比較的長く継続した後に，地下水位（とくに処分場上流半部の基岩の地下水位）がゆっくりと上昇し，高水位傾向が長期間続いたことからみて，周囲（おそらく主として南西方向）から当処分場の基岩への地下水の着実な供給が窺われる．
- (5) 旧管理事務所付近と村田二中との 2 地点間における，基岩中の地下水の水頭差と浅層堆積物中の地下水との水頭差（Loc. 1 と Loc. 5A との水頭の差と，Loc. 1A ないし 1B と Loc. 5B との水頭の差）を比較すると，後者の方が常に 10cm ほど大きい（浅層堆積物中の地下水の方が動水勾配がやや大きい）ので，浅層の地下水の方が水平方向に流動しやすいと考えられる．ただしこれは，処分場下流端から下流（東）側の浅層地下水が荒川左岸に向かって流動していることを必ずしも意味するものではない．処分場外での浅層地下水の流動方向を検討できるほどの密度では，地下水位

の観測は行われていない。

- (6) 荒川から数十 m ほどの範囲の地下水位は、河川水位より常に低い。また、河川水位の変動に敏感に反応して最大 1m ほど上下し、ときに処分場下流端の地下水位とほとんど同じになる。Loc. 4 の約 200m 下流にある堰が閉められ河川水位が 1m ほど上がる灌漑期には、地下水位も非灌漑期より 1m ほど高くなるが、短時間の堰の開放に反応して一時的に数十 cm 低下する。これらの事実から、処分場のある谷底の地下水が、少なくともその谷底が荒川に接する付近では、河川にはきわめて流入しにくい状況にあることが推定される。

5. 地下水の水質

第 10 工区南東方の谷底にある Loc. 2, 第 6 工区西方の Loc. 3, 第 7・第 8 工区境界に位置する No. 4, 第 3 工区東部の No. 1, 第 1 工区東端の Loc. 1, および荒川左岸の村田二中プール脇にある Loc. 5A において基岩から、また Loc. 1A, Loc. 1B (Loc. 1 に隣接) および Loc. 5B (Loc. 5 に隣接) において浅層堆積物中から、連続揚水の前後に地下水を採取して、水質汚濁に関わる環境基準に定められた項目を中心に化学分析を行い、あわせてイオン分析を実施した。採取地点の位置は図 3, 採取層準は図 4, 分析結果は表 5, 6 および図 7, 8 に示す。

表 5 からわかるように、水質汚濁に関わるほとんどの元素・化合物が定量下限値以下で、廃棄物層を欠く地点では、基岩中・浅層堆積物中を問わず、環境基準を上回る値はまったく検出されなかった。廃棄物層のある No. 1 と No. 4 では、基岩中の地下水から環境基準を上回る砒素が検出されたが、これは、揚水試験に備えて被圧水位を下げたことから、それに伴い上位の廃棄物層中から一時的に鉛直浸透した水に含まれていた可能性が考えられる。そのほか、Loc. 1A の浅層の砂泥層中の地下水から鉛が、環境基準以下ではあるが、検出されている。Loc. 3, No. 4, Loc. 5A (以上基岩) および Loc. 5B (浅層堆積物の河成粘土質細砂層) の地下水から微量に検出されている砒素については、新第三紀層の岩石の一部に高濃度で含まれているという分析例(未公表)があることから基岩起源ということも疑われるが、未詳である。

イオン分析の結果(表 6, 図 7, 8) をみると、No. 1・No. 4 等処分場内の基岩の地下水は重炭酸質で、地下水としてはふつうにみられる型である。これに対して、荒川左岸で河川流路にも近い浅層の Loc. 5B では中間型を示し、河川水が混入していることが考えられる。ほぼ同一地点の基岩中の地下水(Loc. 5A)にもその影響が窺われる。また、浅層の地下水の方が基岩中のそれにくらべてカリウムイオンを多く含む(表 6, 図 8)。硫化水素発生との関連で注目される硫酸イオンは、処分場内の基岩中の地下水では 0.9mg/l (No. 1 の揚水前) から 30mg/l (Loc. 1 の揚水前・後) の間、村田二中では、基岩中の地下水で 1.3mg/l, 浅層(河成堆積物中)の地下水で 46mg/l で(表 6), いずれも当処分場およびその周囲で硫化水素臭がとくに感じられない時の表流水等の硫酸イオン濃度と同程度あるいはそれ以下であった。

このように、現段階では、処分場内外を問わず、基岩中および廃棄物を伴わない浅層

堆積物中の地下水がとくに汚染されている事実は認められない。処分場下流端(Loc. 1A, 1B)および場外(荒川左岸のLoc. 5B)の浅層地下水からも、とくに問題にすべき成分が環境基準を上回る値で検出されては、いず、廃棄物層起源の汚染が処分場下流端や場外に拡散している兆候は、現段階では現れていない。また、浅層の地下水は、とくに荒川沿いでは、河川水からの供給を受けていることが水質からも推定される。

6. 表流水の流入状況

今まで述べてきたように、処分場のある谷底はきわめて湿潤な状況にあるが、その水分の供給源としては、地下水および谷底への降水に加えて、周囲の斜面からの表流水がある。表流水として流入する量を見積もる根拠を得るため、第3工区上流側の支谷にある自然水路の一点(図9に示す地点X, 集水域は約9,200m²で、ほとんど林地)にパーシャルフリュームおよびダイバー水位計を設置し、水路を流れてくる流量の連続観測を開始した。この地点では、基岩に掘り込まれた明瞭な水路が形成されていて、その両側の谷壁斜面には厚さ1m程度以下の土壌しかないので、水路以外を通る浸透流出等が無視でき、表面流出の観測に適している。表面流出を引き起こす降水については、第7工区隅の硫化水素モニタリング地点1(図9の地点Y)に、自記雨量計とデータロガーを設置し、連続的に観測した。

10月からの観測値をみると、地点Yでの日降水量が21.5mm以上の時には地点Xの水路に必ず水流がみられ、また、日降水量5.5mm以下の場合には水流が必ずみられなかった。この、流出発生限界降水量は、先行降雨の状態によって大きく異なるのがふつうであり、詳細な検討にはさらに観測値を集積する必要があるが、現状では上記の値がめやすとなる。

流出観測の一例を図10に示す。これは、2004年12月4日深夜から9時間続いた計35mmの降雨が地点Xの上流域約9,200m²にもたらした水量約324m³のうち、植生による遮断を免れた、あるいはそれを通り抜けた水が、まず土壌中に浸透し、その一部が滲出・湧出して、降雨開始の約5時間後からの約12時間に、39m³が表流水としてこの地点を流下したことを示す。残りは、植生の表面や地表の凹所および土壌中に一時貯留された後、一部は植物への吸収を経て葉から、また一部は土壌面から直接、大気中に蒸発散し、その他はさらに深所に浸透したことになる。このときの表面流出率は12%と算出される。この値は、森林に覆われた斜面の流出率として、やや小さめであるが、不自然な値ではない。また降水量のうちかなりの割合が地下に浸透し、基岩中の地下水を涵養していることを推測させる。上記4で指摘した、図6に表された処分場上流半部の基岩中の地下水に顕著に認められる、やや遅れて始まり長期にわたる長雨の影響は、この推測と整合的である。

長期間の流出率を見積もるには、遮断、一時貯留、地下浸透、蒸発散等の変動を考え、さまざまな先行降雨や降雨強度の下で、少なくとも1年間の連続観測を行う必要がある。しかし、現在それに見合う観測資料の蓄積がないので、暫定的に10月から12月までの観測値に基づいて表面流出率を求めると、約20%という値が当面妥当なものと考えら

れる。

このような表流水が発生するには、土壤中の孔隙を満たした水が相互に連続し、土壤中を側方に移動できるような状態になって集中することが必要である。それを可能にする地形条件は、集水型（谷型、平面形が凹型）の斜面がある距離連続していることである。発散型（尾根型、平面形が凸型）の斜面では、土壤中に浸透した水の大半は、空隙によって隔てられ側方移動ができないまま、最終的には蒸発散（一部は基岩に浸透）するものと考えられる。処分場のある谷底の周囲で、有意な量の表流水を発生させ得る流域を、上記の地形条件から推定すると、図9に示す流域 No. 1 から No. 5 までの5流域となる。そのほとんどが森林（大部分がスギ林）に覆われ、面積の合計は約 61,000m² である。当処分場の北北西約 8km にある村田ダム（図1）管理事務所での2004年の降水観測記録をもとに、流出発生限界降雨量を上回る降水イベントを抽出して、そのときの降水量に上記流出率を乗じ、それに上記5流域の総面積を乗じたものを集計すると、年間約 16,000m³ という値が求まる（表5）。これが、図9にアミをかけた谷底面およびその浅層堆積物に、表流水として供給される水量と推定される。

7. 処分場を中心とする谷底の地表水および浅層堆積物中の地下水の水収支推定

以上の知見から、処分場の大半を含む谷底（図9にアミをかけた範囲）の地表面および浅層堆積物（大半が廃棄物層および盛土・覆土層で、廃棄物投棄前から存在した谷底堆積物を含み、荒川の河成堆積物も若干含むかもしれない）を一括し、その水収支について年単位で推定してみる。なお、新・旧工区間の丘陵部（いわゆるピートストックエリア）に堆積している廃棄物中の地下水については、その地形的位置から、ここでいう推定には含まれない。

- (1) 谷底面の地表水および谷底の浅層堆積物中の地下水は、谷底面への降水、上流から流入する表流水および基岩中の地下水から水の供給を受ける一方、下流への地表流出水・排水、荒川の河川水や下流側の浅層および基岩中の地下水への流出、および蒸発散により水を消費していると考えられる。
- (2) そのうち基岩からの地下水の供給量を見積もることは現段階では困難であるが、上記4(4)で指摘した事実や、6で推定した上流部斜面での表面流出率からみて、それが存在することは確かである。ただし、3や4で述べたように、その供給が急速に行われているとは考えにくい。一方、活発な鉛直浸透で基岩に大量の水を供給していることは、4(2)に記したように、きわめて考えにくい。
- (3) 処分場内の谷底面約 90,000m² への年間の降水の総量は、年降水量に村田ダムサイトでの値 1,340mm をあてはめると、約 121,000m³ と推算される。これは、地表に一時滞留し、かなりの部分が浸透するとみなせる。上流部から表流水として供給されるのは、上記3に示したように、年間約 16,000m³ と見積もられる。このほか旧工区北側の住家（3世帯 13人）からの生活排水が流入するが、その量は、仮に1人1日あたり 1,000 l とかなり大きめに設定しても、年間 5,000m³ 弱である。これらのうち、処分場内を貫通する排水路を經由して直接排水されなかった分が、浅層堆積物中に

浸透する。また、一時浸透後、地表や排水路に滲出したりガス抜き孔からポンプで汲み出されている分がかなりある。それらの割合を見積もる手がかりはないが、後述する旧工区排水路を通る流量（年間約 45,000m³と概算）には、浸透せずに直接排水される分に、滲出してきた分が加わっている。

- (4) 下流側への表流水の流出としては、(a)上記生活排水を含む旧工区を通る排水（図 9 に示す地点 P で県が測定）、(b)廃棄物層から汲み上げられ第 10 工区上流端の池（図 9 に示す地点 Q）に一時貯水された後排水されるもの、(c)地点 Q より下流の排水路の側壁から滲出するものがある（図 9）。県が年間数回測定した値の単純平均は、それぞれ 5.1m³/h、2.6m³/h、2.1m³/h なので、これらの値をもとに年間の流出量を概算すると、(a)が約 45,000m³、(b)が約 22,000m³、(c)が約 18,000m³、計 85,000m³程度になる。
- (5) 蒸発散は実測がきわめて困難であるので、種々の推定法が開発されている。そのうちのゾーンスイート法は、元来このような小面積の地点への適用を主目的に開発された手法ではないが、月平均気温から、水が十分に供給された場合の月別可能蒸発散量が概算できる。処理場のある谷底には、常時高い地下水面に表されているように、年間を通じて十分な水の存在が保証されているので、この方法を用いて試算すると、年蒸発散量は、降水量換算で約 630mm、これに谷底面の面積約 90,000m²を乗じると約 57,000m³となる（表 7）。
- (6) 上記(1)～(5)を模式図にまとめると図 11 のようになる。処分場のある谷底の地表面および廃棄物層を含む浅層堆積物にとっての水の収入は、谷底面への降水から約 121,000m³、周囲の斜面からの表流水として約 16,000m³、北側住家からの生活排水約 5,000m³、計約 142,000m³となる。これに基岩からの地下水の供給がある程度加わる。一方、谷底面・浅層堆積物からの水の支出は、地表を通った排水が約 85,000m³、蒸発散が約 57,000m³、計 142,000m³と見積もられる。このうちのある部分（きわめて粗い見積では 45,000m³をかなり下回る）は、処分場内の浅層地下水に参加せずに地表から流出する。基岩からの地下水の供給を除けば、収支はこれでほぼつりあう。
- (7) しかし、上記 4（4）や 6 に記した事実や考察から、基岩からの地下水の供給は、現実には無視できないと考えられる。それを含めて収支が成り立つためには、浅層堆積物を通して下流への地下水流出もあると考えざるを得ない。ただし、それら地下水の流動速度はきわめて遅く、上記 3 に述べたボーリング孔内での電位法による測定値から単純に外挿すると、処分場の上流端から下流端までの約 500m を移動するのに十数年から 100 年を要することになる。水質からも、廃棄物層からの汚染した地下水が浅層堆積物を通して下流側に到達している兆候は、今のところ認められない。なお、処分場のある谷の下流端付近の浅層堆積物中に透水性の著しく高い水みちのようなものが存在することは、2 の前半(p. 2)に述べたように、考えにくい。付言すれば、処分場のある谷の出口付近を中心に地下水位の変動状況をより詳細に観測し、解析して、地下水流出の妥当な推定を行い、同時に水質のモニタリングを行うことが、当処分場を取り巻く地下水の動態をさらに詳しく解明するのに有効と考えられる。

一般に廃棄物処分場の場合、閉鎖後も1~2年間は水質のモニタリングが続けられているようであるが、当処分場の場合は、それに加え、これまで述べたような経緯で、水の流動を知るための地下水位変動の観測が不可欠である。表流水の流入および流出(排水)についても、少なくとも1水文年の観測値がほしい。流入については1地点ながら連続観測を継続しているので、処分場下流端付近での排水路での連続観測が望まれる。

加えて、廃棄物の分解反応による発熱が、局地的に蒸発散を促進している可能性が考えられるので、これを接地気温の観測等から検証してみることも、水収支の実態に迫るためには、試みる価値があるのではなかろうか。また、新・旧工区間の丘陵部(いわゆるピートストックエリア)にある廃棄物中の地下水については、別途検討する必要がある。

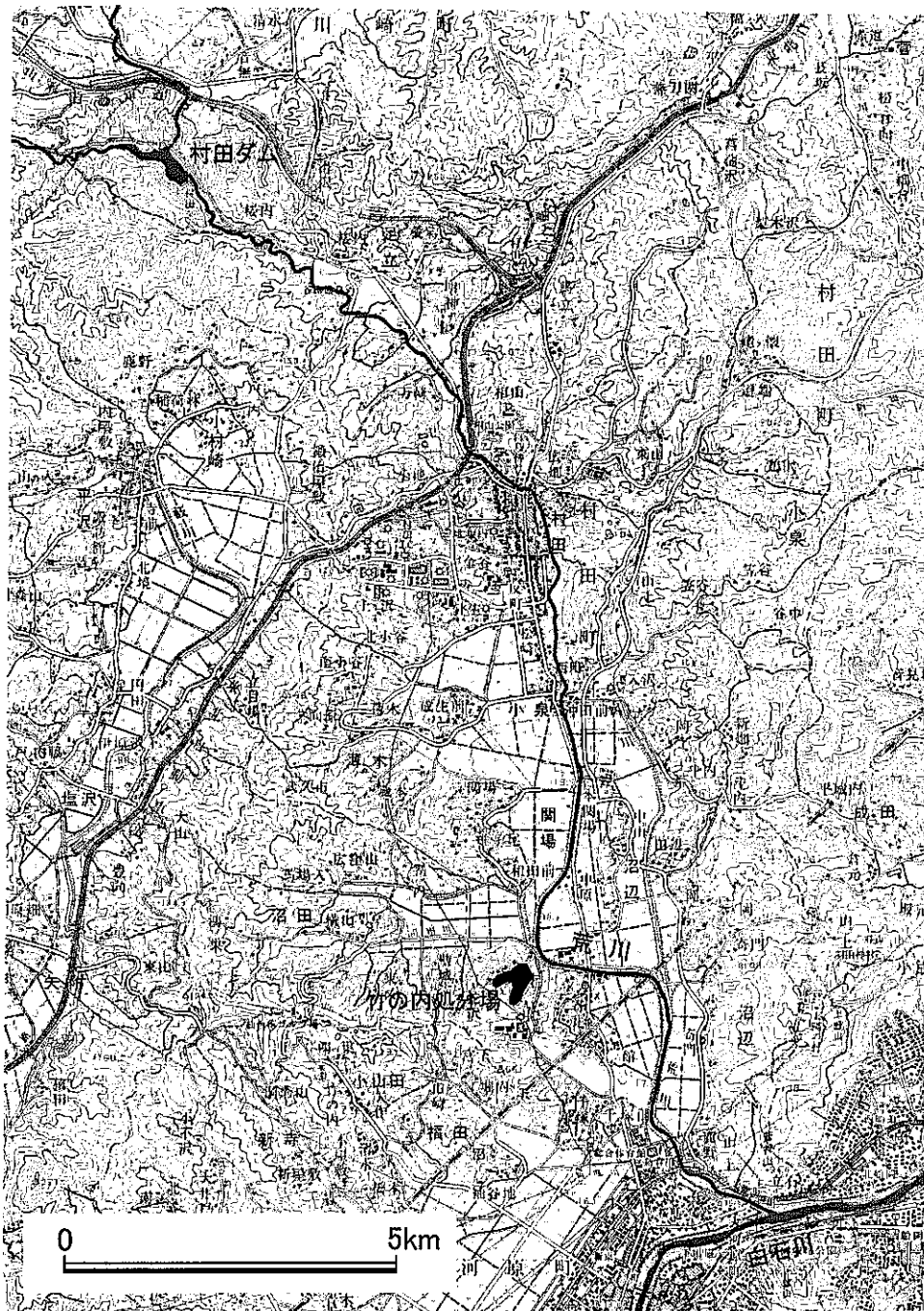


図1 竹の内処分場周辺の地形 (国土地理院50,000分の1地形図「白石」「岩沼」)

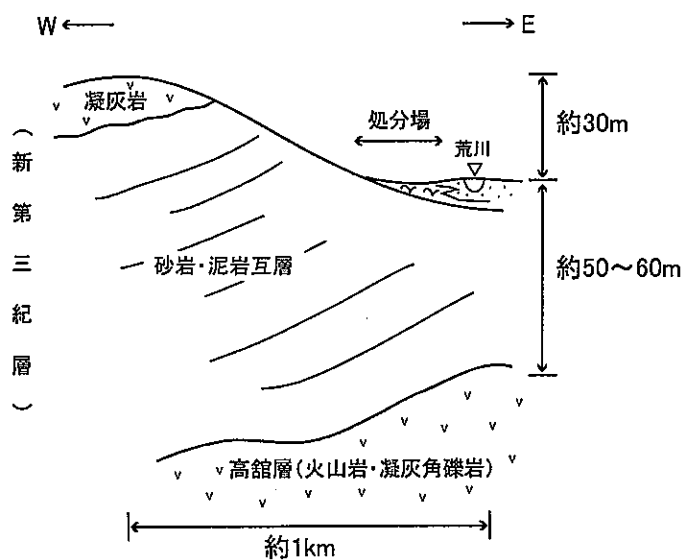


図2 竹の内処分場とその周辺の地形・地質模式断面



図3 調査地の地形および各種観測点の位置

- ボーリング地点
- × 覆土浸透試験地点

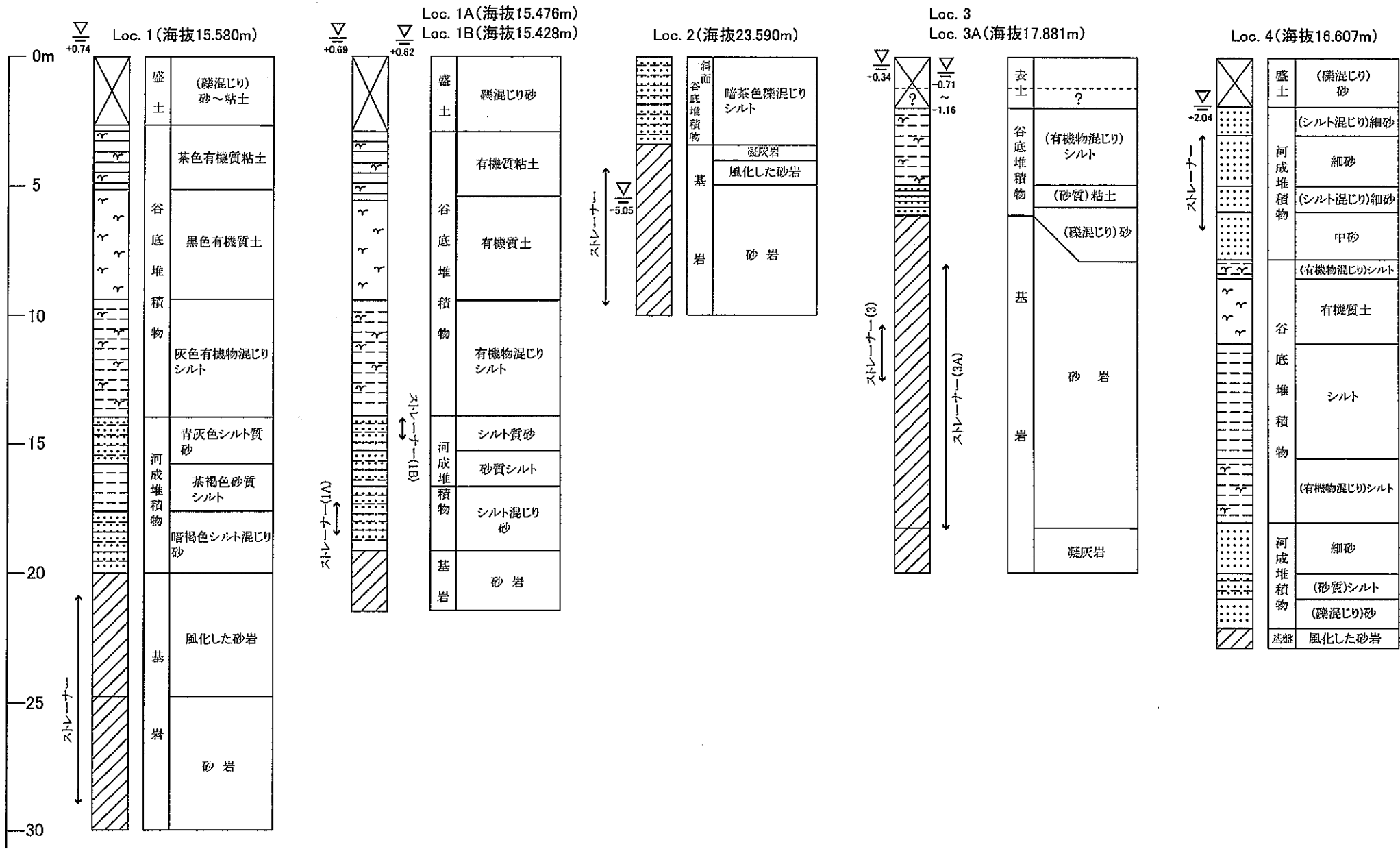


図4 ボーリング柱状図および孔内水位

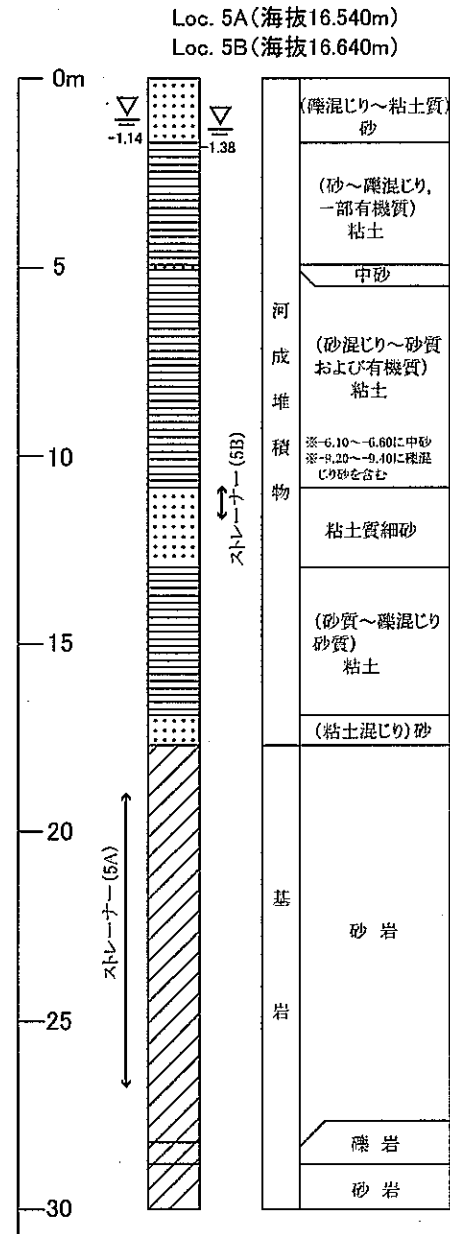


図4 ボーリング柱状図および孔内水位

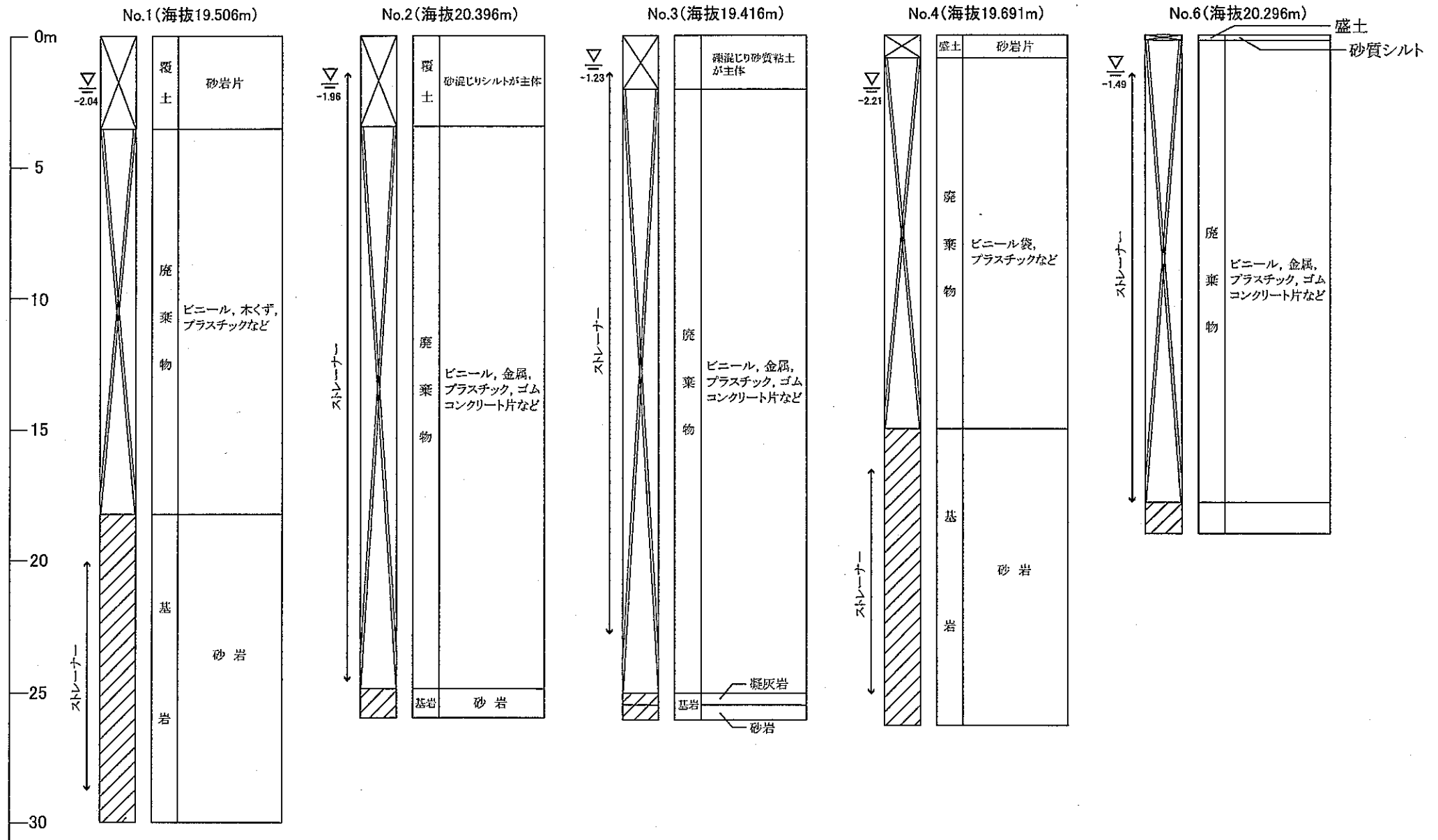


図4 ボーリング柱状図および孔内水位

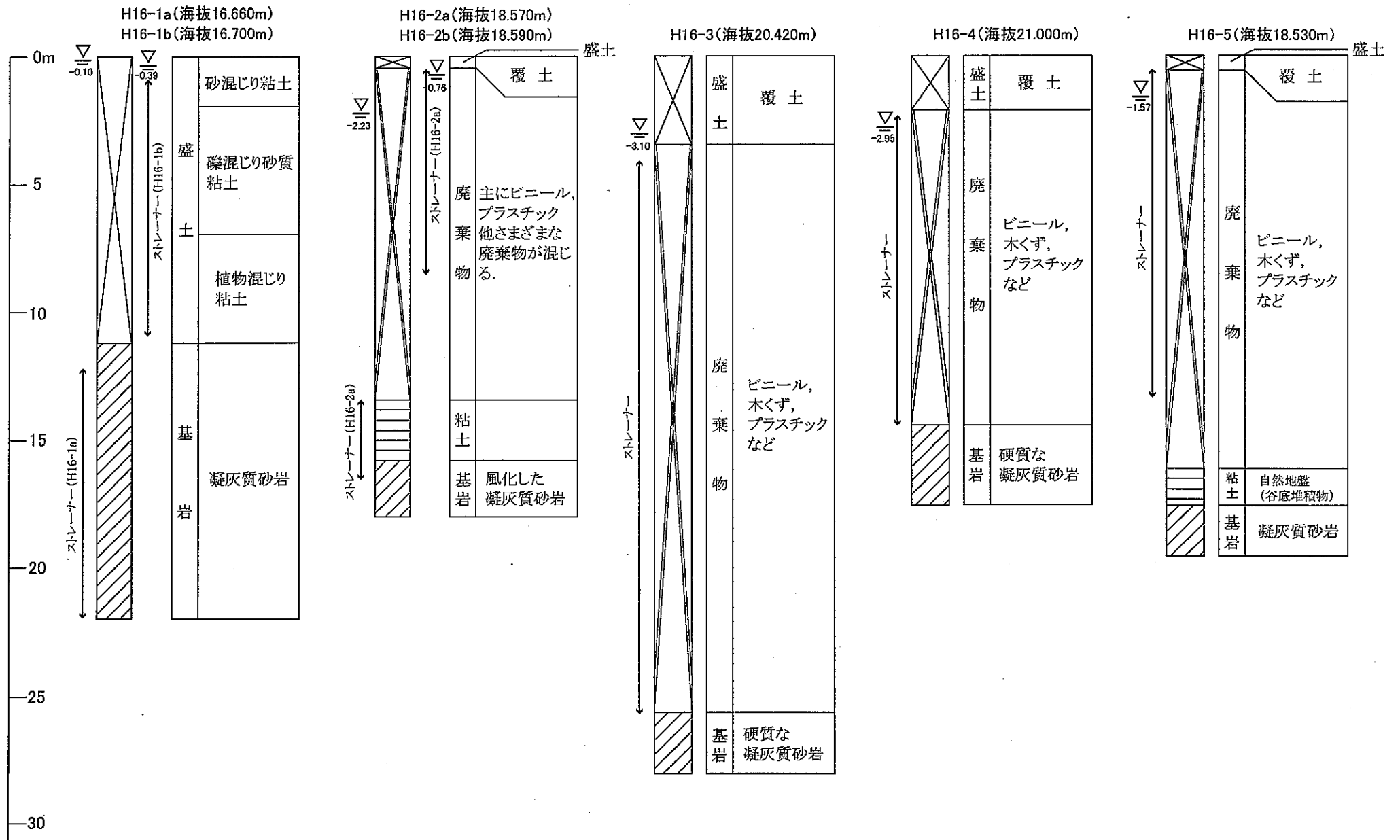


図4 ボーリング柱状図および孔内水位

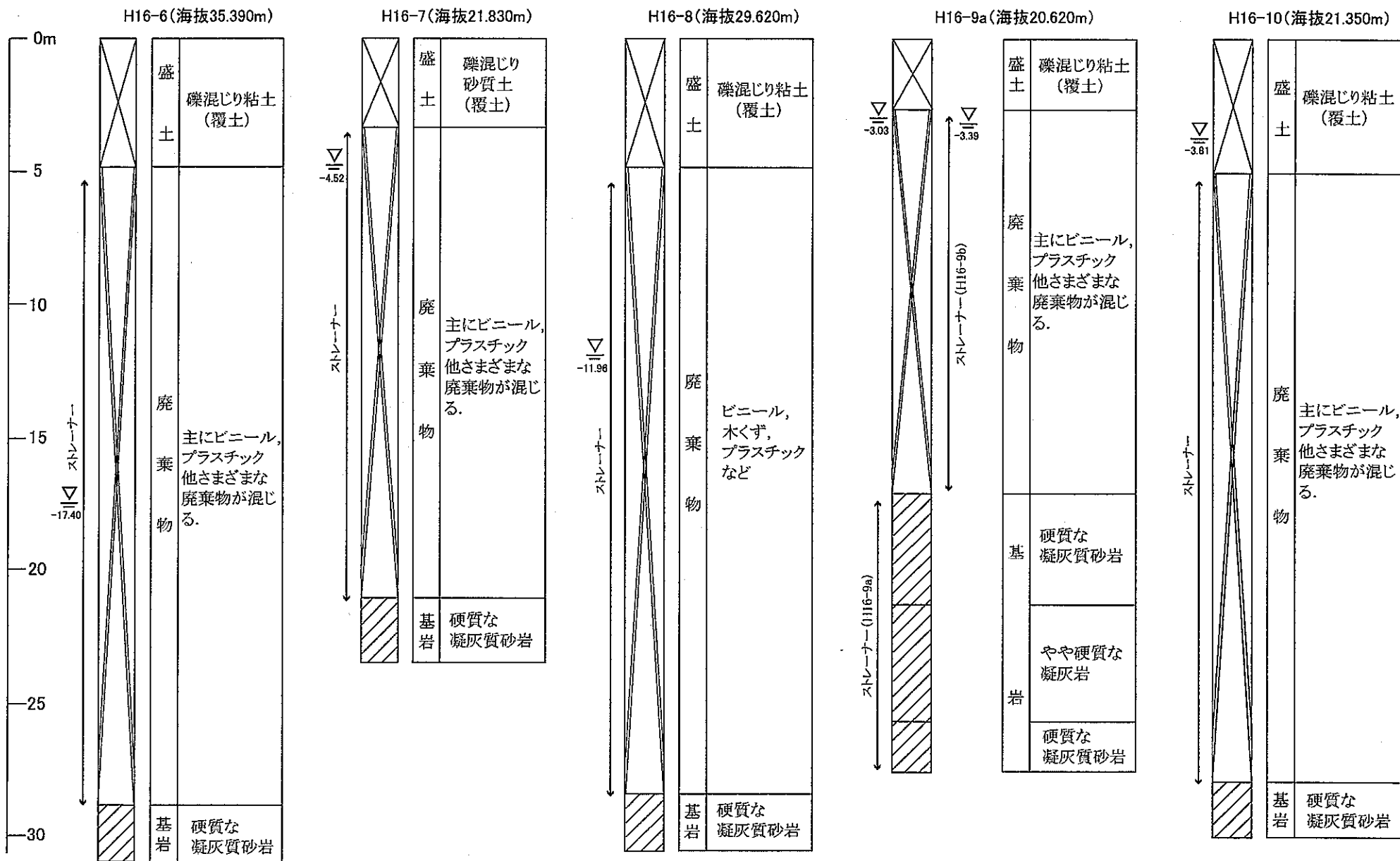


図4 ボーリング柱状図および孔内水位

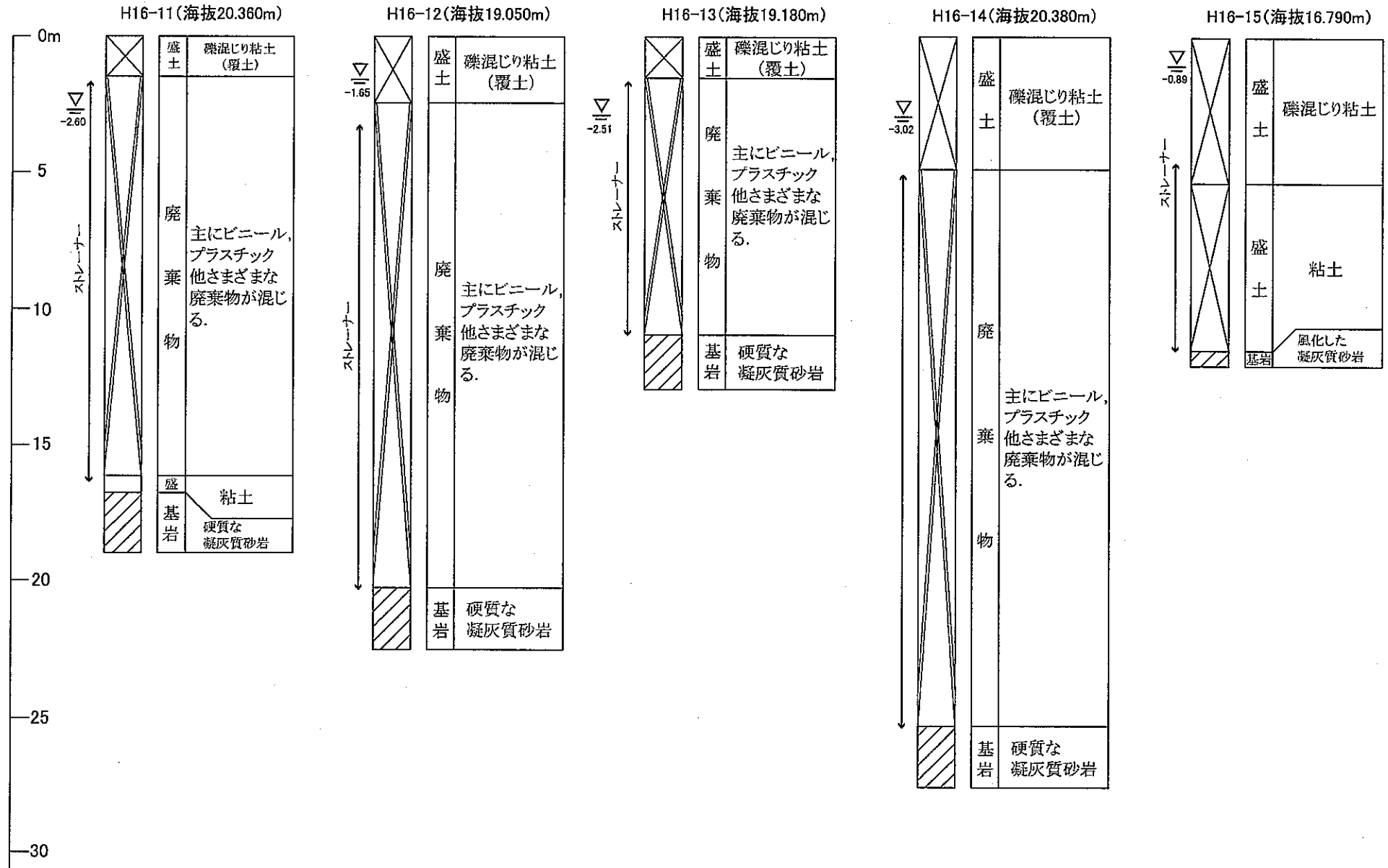


図4 ボーリング柱状図および孔内水位

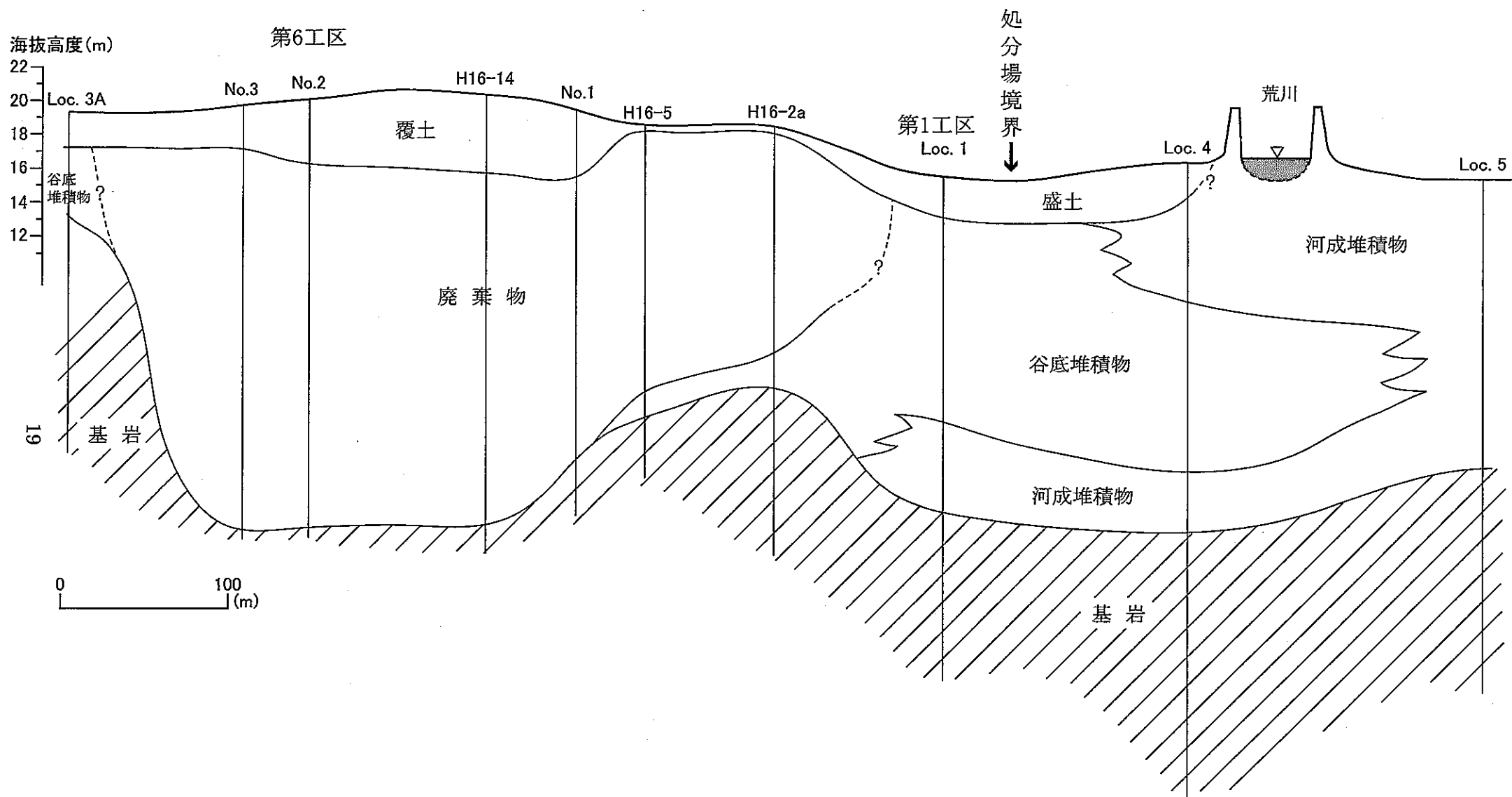


图5 地形·地質断面(第1工区~第6工区)

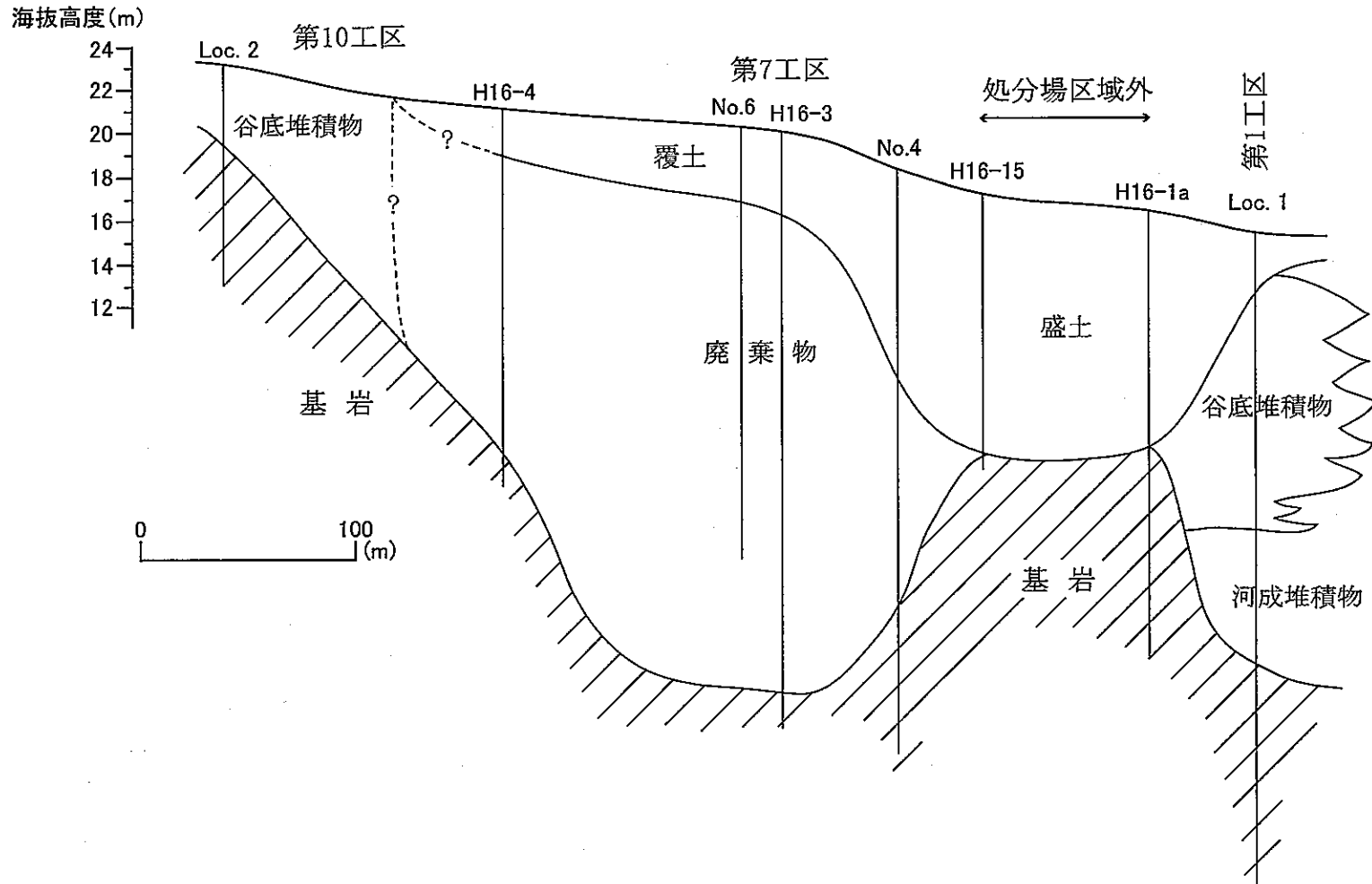


图5 地形·地質断面(第1工区~第7工区~第10工区)

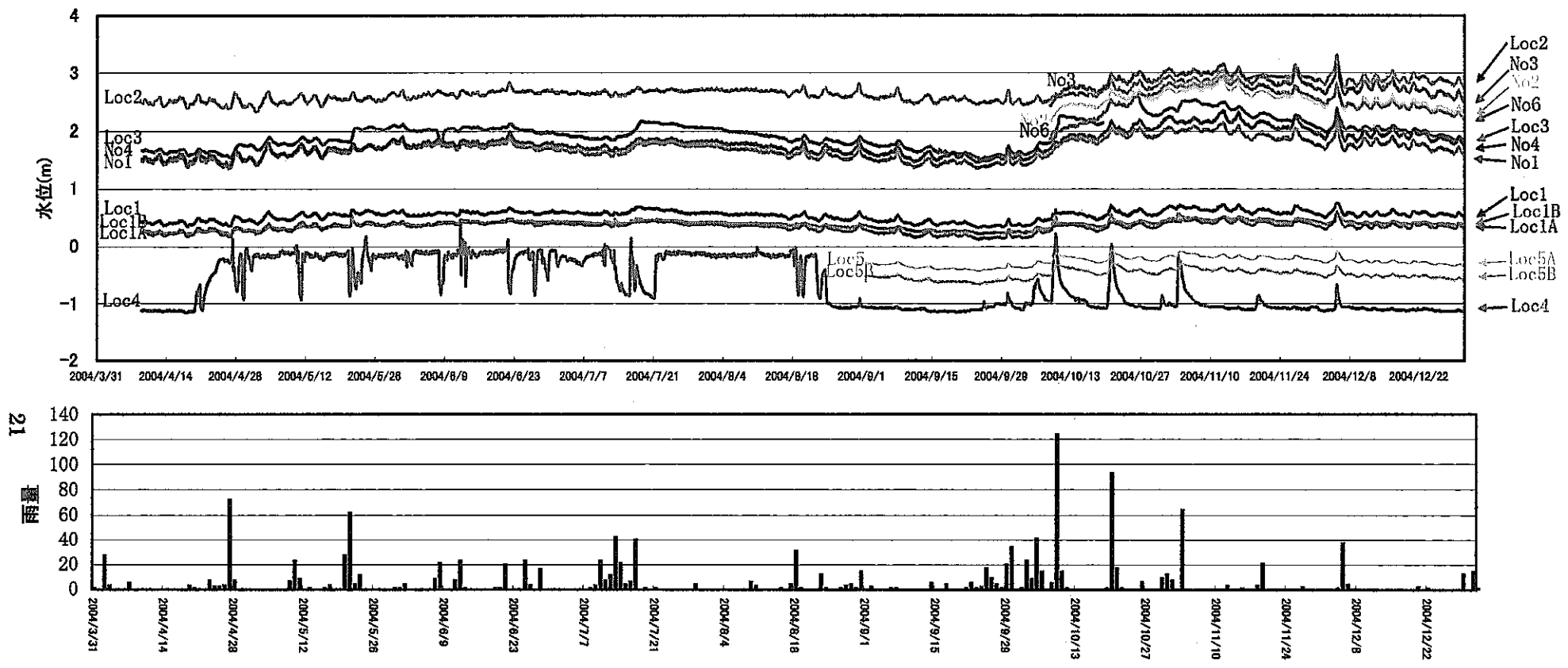
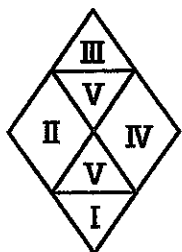
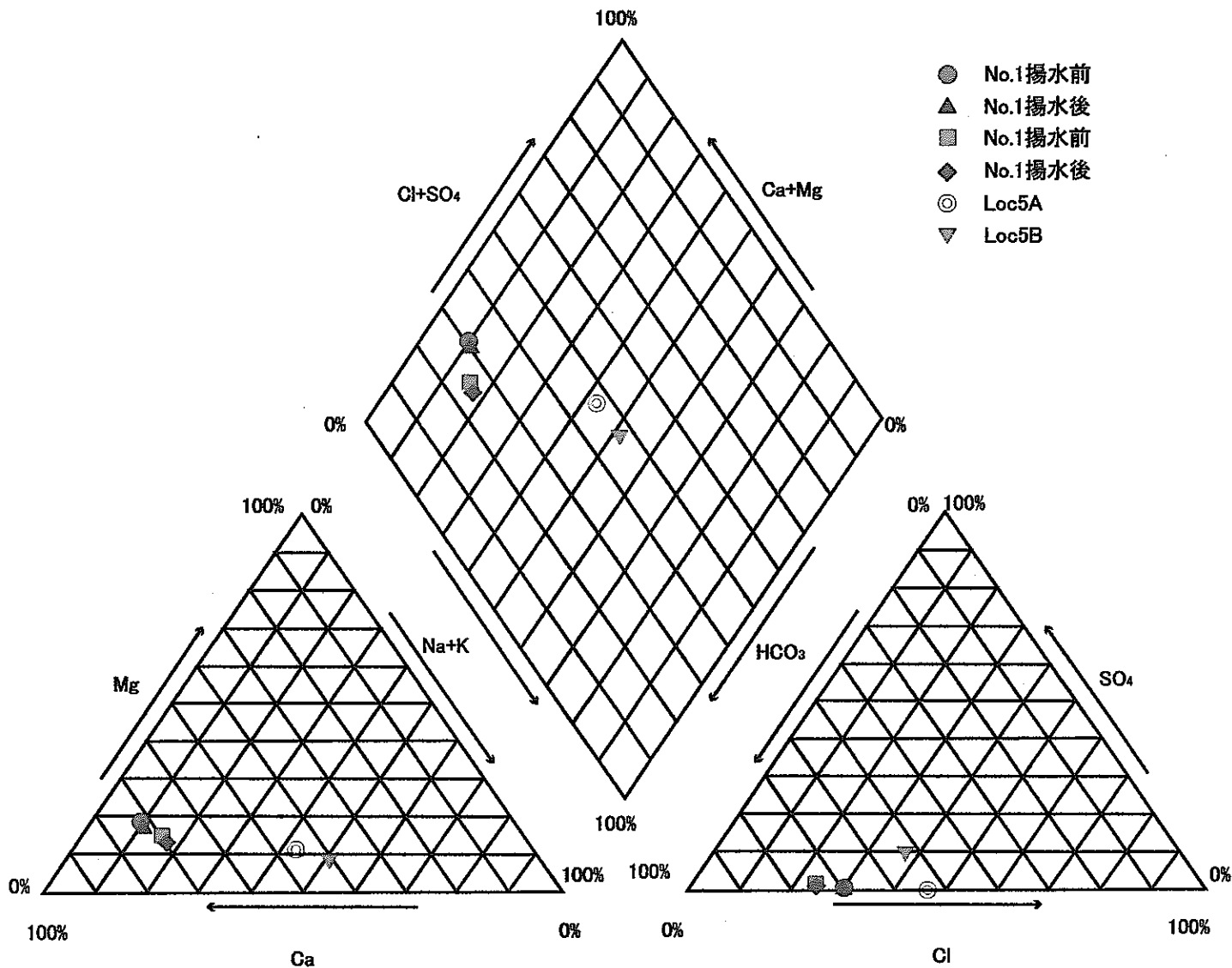


図6 地下水位の変化

水位は処分場ゲート脇の仮基準点の標高を0m(=KBM)としたもの
 雨量は「アメダス川崎」の日雨量



- | | |
|-----------------|------------------------|
| I : 炭酸カルシウム型 | 大半の地下水 |
| II : 炭酸ナトリウム型 | 停滞的な地下水 |
| III : 非炭酸カルシウム型 | 温泉水や鉱泉水 |
| IV : 非炭酸ナトリウム型 | 海水及び海水に汚染された地下水や温泉水の一部 |
| V : 中間型 | 河川水, 伏流水及び自由地下水 |

図7 トリリニアダイアグラム

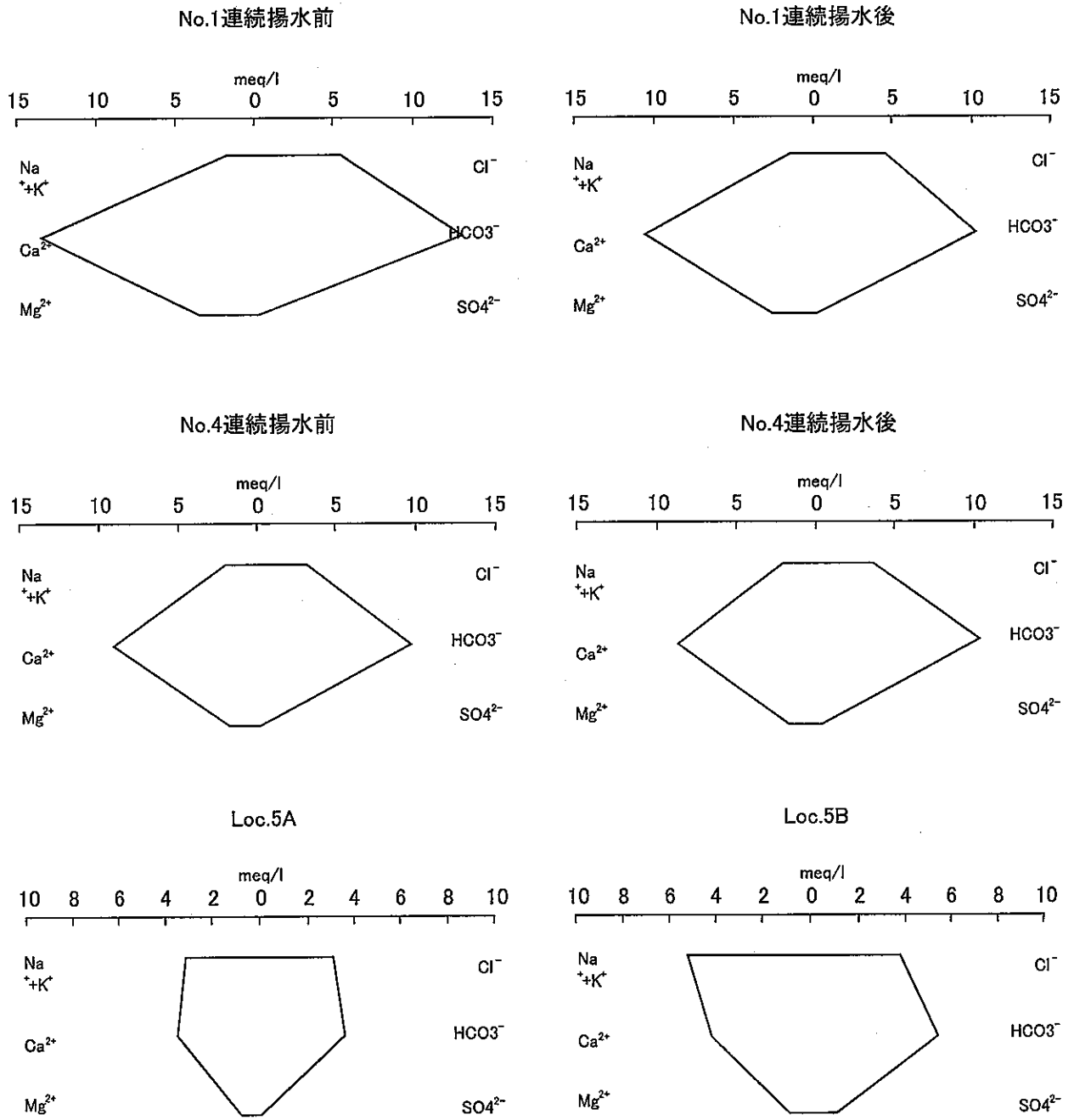


図8 ヘキサダイアグラム

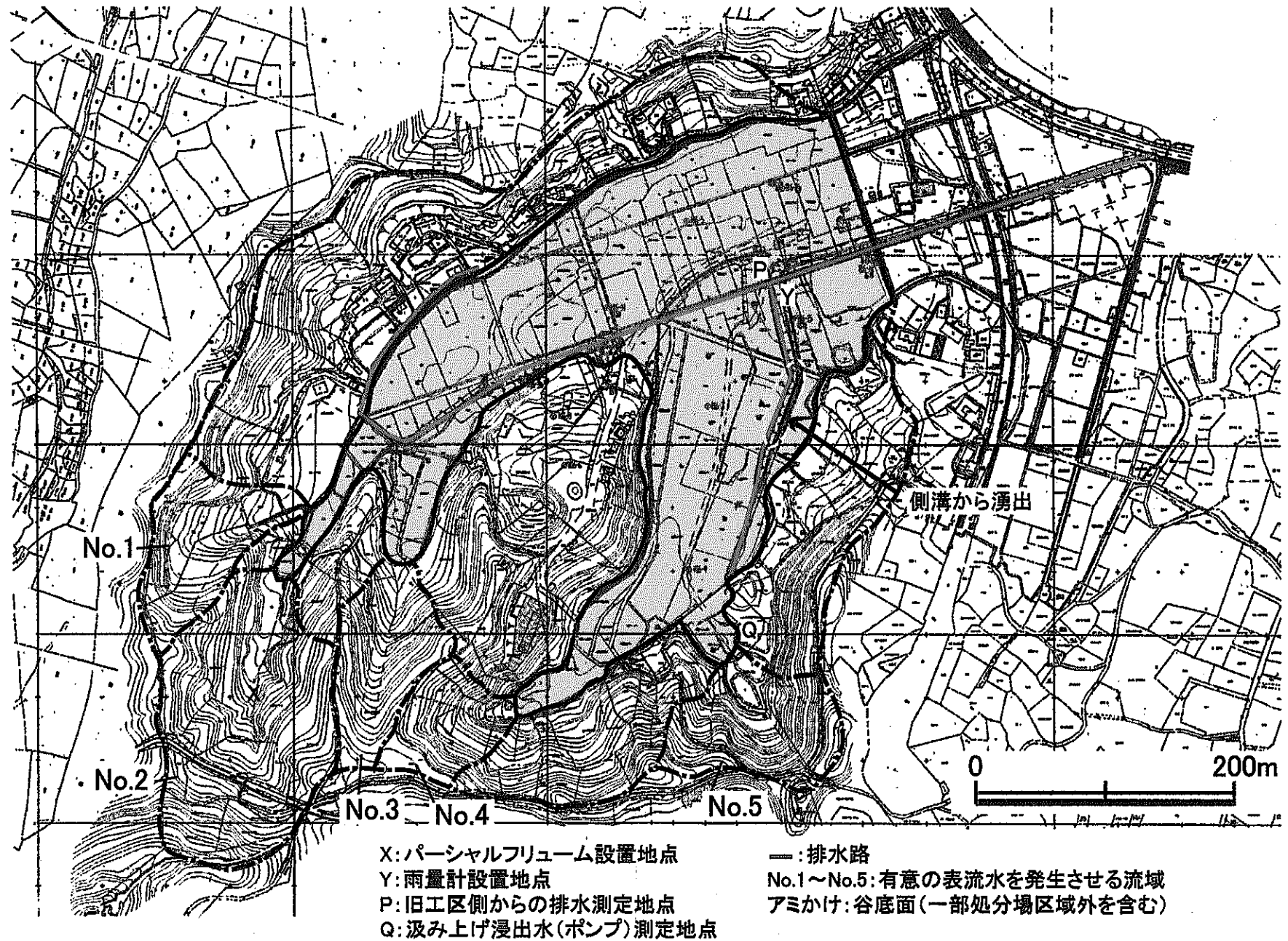


図9 水収支推定のための流域区分

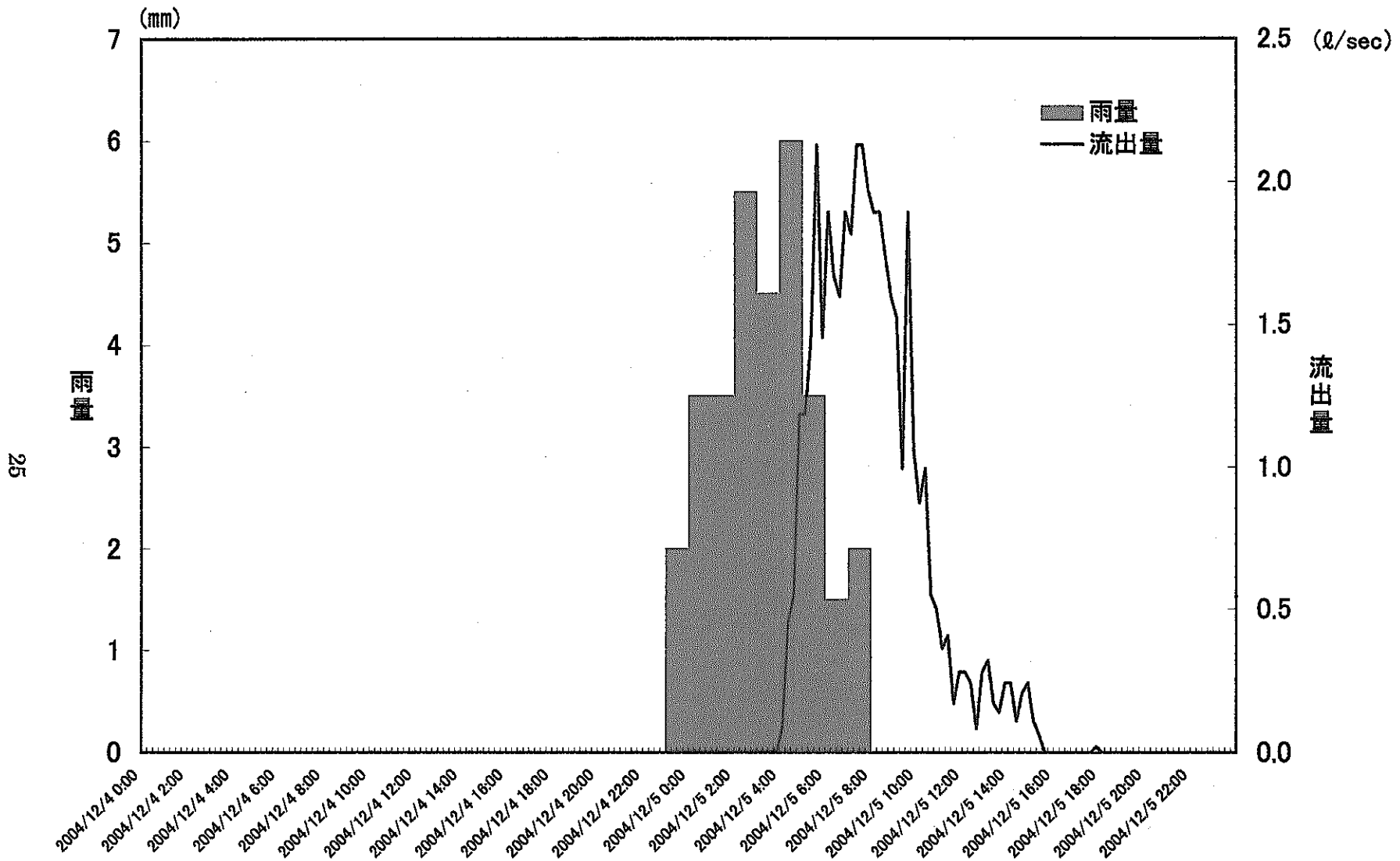


图10 表流水の流出観測例(2004年12月5-6日)

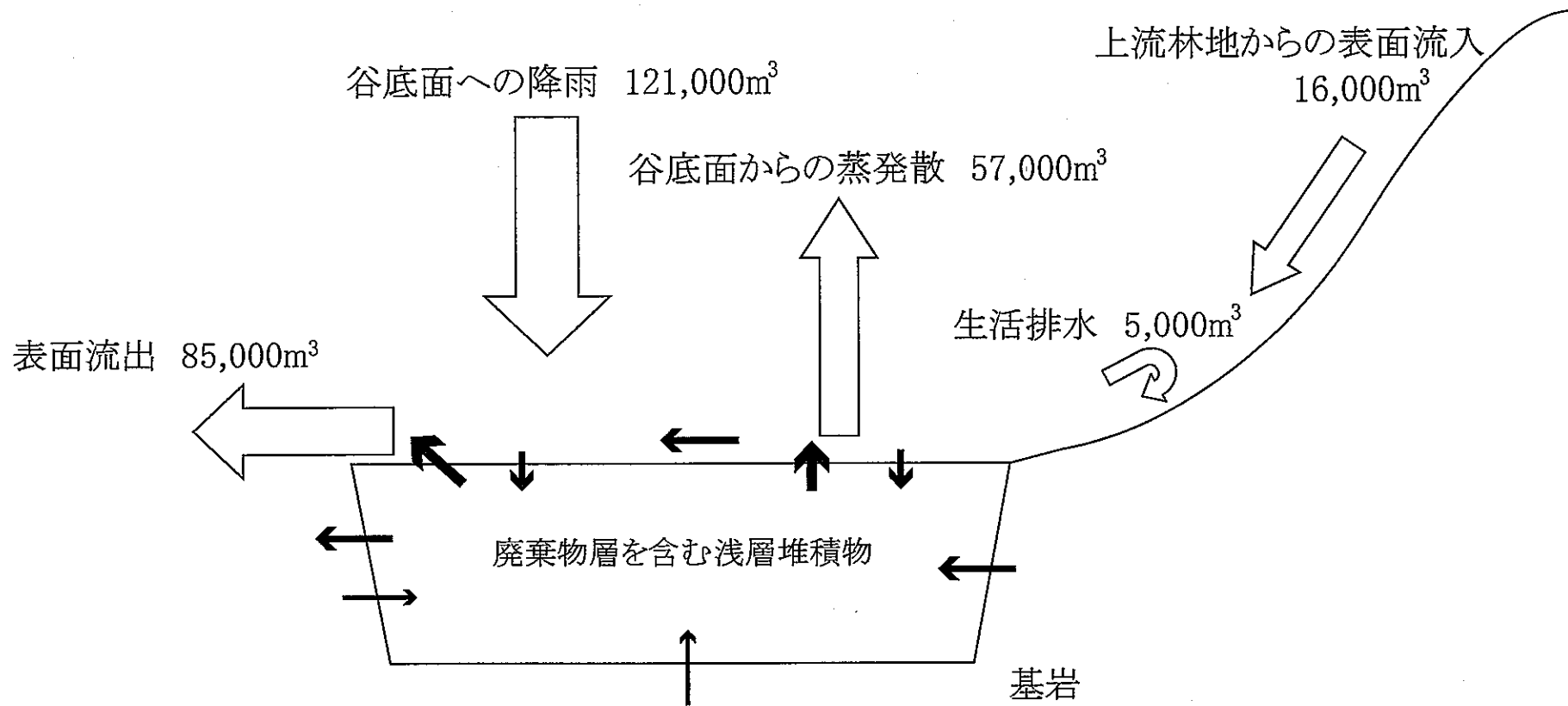


図11 竹の内処分場を含む谷底の地表水および浅層地下水の水収支推定結果

表1 地下水位観測地点一覧

地点	孔口の高さ KBM(m)	管底 GL-(m)	ストレーナー深度 GL-(m)(岩質)	水位計設置深度 GL-(m)	設置時水位 GL-(m)	地下水位 KBM(m)	水位計設置日
Loc.1	-0.050	30.05	21.0~29.0(砂岩)	5.00	0.53	0.480	2004/03/25
Loc.1A	-0.154	18.61	17.5~18.5 (シルト混じり砂)	5.00	0.47	0.316	2004/03/25
Loc.1B	-0.202	15.00	14.3~15.0 (シルト質砂)	5.00	0.56	0.358	2004/03/25
Loc.2	7.960	9.77	4.5~9.5(砂岩)	8.00	-5.36	2.600	2004/03/26
Loc.3A	2.251	13.00	8.0~18.0(砂岩)	5.00	-0.39	1.861	2004/03/26
Loc.4	0.977	6.90	3.00~6.50 (シルト混じり細砂)	5.00	-2.1	-1.123	2004/03/26
Loc.5A	0.910	30.00	19.0~27.0(砂岩)	8.00	-1.20	-0.290	2004/09/01
Loc.5B	1.010	20.00	11.0~12.0 (粘土質細砂)	8.00	-1.51	-0.500	2004/09/01
No.1	3.876	31.20	19.8~28.5(砂岩)	5.00	-2.31	1.566	2004/03/26
No.2	4.766	26.00	1.5~24.25(廃棄物)	7.00	-2.28	2.486	2004/10/18
No.3	3.786	26.00	1.5~22.75(廃棄物)	7.00	-1.20	2.586	2004/10/18
No.4	4.061	26.05	16.3~25.0(砂岩)	5.00	-2.43	1.631	2004/03/26
No.6	4.666	19.00	1.5~17.75(廃棄物)	7.00	-2.62	2.046	2004/10/18

孔口の高さ・地下水位は、処分場入口配電設備の基礎をKBM 0m(=海拔15.63m)として表示。
設置時水位のマイナスは地表面より高いことを示す。

表2 連続揚水試験に基づく基岩(砂岩)の透水係数, 透水量係数などの算出

(1)

揚水	項目	Loc.1		
		Theisの方法	Jacobの方法	回復式による方法
連続揚水	透水量係数T (m^2/min)	3.72×10^{-3}	3.57×10^{-3}	2.32×10^{-3}
	透水係数k (cm/s)	6.20×10^{-4}	5.95×10^{-4}	3.87×10^{-4}
	貯留指数S	1.39×10^{-3}	8.84×10^{-3}	

(2)

揚水	項目	Loc.2		
		Theisの方法	Jacobの方法	回復式による方法
連続揚水	透水量係数T (m^2/min)	3.21×10^{-3}	2.03×10^{-2}	1.05×10^{-2}
	透水係数k (cm/s)	8.93×10^{-4}	5.65×10^{-4}	2.90×10^{-3}
	貯留指数S	4.71×10^{-4}	1.37×10^{-2}	

(3)

揚水	項目	Loc.3A		
		Theisの方法	Jacobの方法	回復式による方法
連続揚水	透水量係数T (m^2/min)		1.67×10^{-4}	1.46×10^{-4}
	透水係数k (cm/s)		3.48×10^{-5}	3.04×10^{-5}
	貯留指数S		3.38×10^{-2}	

(4)

揚水	項目	Loc.5A		
		Theisの方法	Jacobの方法	回復式による方法
連続揚水	透水量係数T (m^2/min)	1.21×10^{-3}	3.81×10^{-4}	2.87×10^{-4}
	透水係数k (cm/s)	2.51×10^{-4}	7.94×10^{-5}	5.99×10^{-5}
	貯留指数S	2.95×10^{-4}	5.58×10^{-2}	

(5)

揚水	項目	No.1		
		Theisの方法	Jacobの方法	回復式による方法
連続揚水	透水量係数T (m^2/min)	6.03×10^{-3}	3.46×10^{-3}	8.01×10^{-3}
	透水係数k (cm/s)	1.16×10^{-3}	6.66×10^{-4}	1.54×10^{-3}
	貯留指数S	7.46×10^{-5}	9.35×10^{-3}	

(6)

揚水	項目	No.4		
		Theisの方法	Jacobの方法	回復式による方法
連続揚水	透水量係数T (m^2/min)	3.70×10^{-3}	2.74×10^{-3}	1.14×10^{-3}
	透水係数k (cm/s)	7.11×10^{-4}	5.28×10^{-4}	2.20×10^{-4}
	貯留指数S	1.03×10^{-3}	1.23×10^{-2}	

表3 覆土浸透試験結果

(深さ約30mで測定)

	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
Q (cm ³ /s)	1.60	1.90	13.19	0.0280	0.17
k (cm/s)	2.78 × 10 ⁻⁴	3.30 × 10 ⁻⁴	2.63 × 10 ⁻³	5.09 × 10 ⁻⁶	3.50 × 10 ⁻⁵

試験孔の直径:D, 試験孔の半径:r₀, 試験孔の水深:h, 定常流量:Qとして, 下記の式から求めた.

$$k = \frac{Q}{2\pi h^2} \left[2.3 \log \left[\frac{h}{r_0} + \left\{ \left(\frac{h}{r_0} \right)^2 + 1 \right\}^{1/2} \right] - \left\{ \left(\frac{r_0}{h} \right)^2 + 1 \right\}^{1/2} + \left(\frac{r_0}{h} \right) \right]$$

表4 地下水流向・流速測定結果(まとめ)

測定孔No.	深度 (GL-m) 岩質	流向	流速 (cm/sec)		測定日
			測定流速 V _o	ダルシー流速 V _d	
Loc. 1A	18.50 シルト混じり砂	測定不能	4.16 × 10 ⁻⁵ 以下	8.32 × 10 ⁻⁶ 以下	2004/01/20
Loc. 1B	14.15 シルト質砂	測定不能	4.08 × 10 ⁻⁵ 以下	8.16 × 10 ⁻⁶ 以下	2004/01/21
Loc. 3	10.95 砂岩	測定不能	8.25 × 10 ⁻⁵ 以下	1.65 × 10 ⁻⁵ 以下	2004/02/04
Loc. 4	3.15 細砂	測定不能	8.35 × 10 ⁻⁵ 以下	1.67 × 10 ⁻⁵ 以下	2004/02/03
Loc. 5A	24.00 砂岩	不定 * (ほぼ全方位)	3.9 × 10 ⁻³ *	1.9 × 10 ⁻⁴ *	2004/08/21
Loc. 5B	11.50 粘土質砂	S70° E * (N30° E ~ S30° E)	1.7 × 10 ⁻⁴ *	8.5 × 10 ⁻⁵ *	2004/08/21
No.1	24.35 砂岩	N30° E (北北東)	7.10 × 10 ⁻⁵ 以下	1.42 × 10 ⁻⁵ 以下	2003/12/22
No.4	19.63 砂岩	N30° E (北北東)	7.70 × 10 ⁻⁴ 以下	1.54 × 10 ⁻⁴ 以下	2003/12/27

* Loc. 5A, 5Bは浮遊物影像法, 他は電位差法による.

表5 水質分析結果

分析項目	単位	定量 下限値	No.1	No.1	No.4	No.4	Loc.1	Loc.1	Loc.1A	Loc.1A	Loc.1B	Loc.1B	Loc.2	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.4	Loc.4	Loc.5A	Loc.5B	環境基準
			連続揚水前 2/8	連続揚水後 2/8	連続揚水前 2/7	連続揚水後 2/7	連続揚水前 3/17	連続揚水後 3/17	連続揚水前 3/17	連続揚水後 3/17	連続揚水前 3/17	連続揚水後 3/17	連続揚水前 3/17	連続揚水後 3/17	連続揚水前 3/18	連続揚水後 3/18	3/17	連続揚水前 3/16	連続揚水後 3/16	連続揚水前 9/22	
pH	-	-	6.8	6.9	6.5	6.5	7.4	7.4	7.1	7.0	6.9	6.9	7.4	7.5	9.1	6.5	6.5	6.5	7.2	6.9	-
カドミウム	mg/l	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01
全シアン	mg/l	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	検出されないこと
鉛	mg/l	0.005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.006	0.007	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01
六価クロム	mg/l	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.05
砒素	mg/l	0.002	ND	ND	0.005	0.004	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.005	ND	ND	0.003	0.002	ND	0.01
総水銀	mg/l	0.0005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.0005
アルキル水銀	mg/l	0.0005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	検出されないこと
PCB	mg/l	0.0005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	検出されないこと
ジクロロメタン	mg/l	0.002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02
四塩化炭素	mg/l	0.002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.002
1,2-ジクロロエタン	mg/l	0.004	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.004
1,1-ジクロロエチレン	mg/l	0.002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02
シス-1,2-ジクロロエチレン	mg/l	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.04
1,1,1-トリクロロエタン	mg/l	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1
1,1,2-トリクロロエタン	mg/l	0.0006	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.006
トリクロロエチレン	mg/l	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.03
テトラクロロエチレン	mg/l	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01
1,3-ジクロロプロペン	mg/l	0.0002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.002
チウラム	mg/l	0.0006	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.006
シマジン	mg/l	0.0003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.003
チオベンカルブ	mg/l	0.002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02
ベンゼン	mg/l	0.001	0.005	0.003	0.001	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01
セレン	mg/l	0.002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01
ふっ素	mg/l	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.1	0.1	0.1	0.1	ND	0.1	0.2	ND	ND	ND	ND	0.3	0.8
ほう素	mg/l	0.02	4.00	2.70	1.90	1.90	0.12	0.12	0.10	0.10	0.08	0.08	ND	ND	ND	0.11	0.12	0.09	0.06	ND	1.00
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	mg/l	0.1	ND	ND	0.3	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.1	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10
塩化物イオン	mg/l	0.1	200	150	110	110	160	170	130	130	130	130	16	16	5	32	31	110	130	ND	-
硫酸イオン	mg/l	0.5	0.9	2.6	3.7	3.1	30.0	30.0	4.2	1.4	1.2	0.9	18.0	19.0	22.0	ND	ND	1.3	46.0	ND	-
炭酸水素イオン	mg/l	1	800	600	590	600	150	150	210	210	250	250	240	240	90	130	130	220	320	ND	-
ナトリウムイオン	mg/l	0.1	32	26	40	40	90	92	93	93	87	88	9.6	9.4	12	23	23	70	99	ND	-
カリウムイオン	mg/l	0.1	19	16	11	11	4.9	4.8	5.6	5.5	6.3	6.4	4.3	4.4	4.3	3.2	3.3	5.3	36	ND	-
カルシウムイオン	mg/l	0.2	270	210	180	170	75	72	54	54	61	61	78	79	42	22	22	70	84	ND	-
マグネシウムイオン	mg/l	0.1	40.0	31.0	21.0	21.0	5.9	5.7	8.0	7.9	12.0	12.0	7.9	7.9	3.3	6.7	6.4	10.0	10.0	ND	-

表6 イオン分析結果表

成分名	試料名	No.1連続揚水前			No.1連続揚水後			
		採取日	2004.02.08.		採取日	2004.02.08.		
	分析項目	単位	mg/l	meq/l	構成比	mg/l	meq/l	構成比
陽イオン成分	ナトリウムイオン(Na ⁺)		32	1.39	7.46	26	1.13	7.76
	カリウムイオン(K ⁺)		19	0.49	2.63	16	0.41	2.82
	カルシウムイオン(Ca ²⁺)		270	13.47	72.26	210	10.47	71.91
	マグネシウムイオン(Mg ²⁺)		40	3.29	17.65	31	2.55	17.51
	合計		361.0	18.64	100	283.0	14.56	100
陰イオン成分	塩化物イオン(Cl ⁻)		200	5.63	30.01	150	4.23	29.96
	硫酸イオン(SO ₄ ²⁻)		0.9	0.02	0.11	2.6	0.05	0.35
	炭酸水素イオン(HCO ₃ ⁻)		800	13.11	69.88	600	9.84	69.69
	合計		1000.9	18.76	100	752.6	14.12	100
	pH		6.8	-	-	6.9	-	-

成分名	試料名	No.4連続揚水前			No.4連続揚水後			
		採取日	2004.02.07.		採取日	2004.02.07		
	分析項目	単位	mg/l	meq/l	構成比	mg/l	meq/l	構成比
陽イオン成分	ナトリウムイオン(Na ⁺)		40	1.74	9.33	40	1.74	11.95
	カリウムイオン(K ⁺)		11	0.28	1.50	11	0.28	1.92
	カルシウムイオン(Ca ²⁺)		180	8.98	48.18	170	8.48	58.24
	マグネシウムイオン(Mg ²⁺)		21	1.73	9.28	21	1.73	11.88
	合計		252.0	12.73	68	242.0	12.23	84
陰イオン成分	塩化物イオン(Cl ⁻)		110	3.10	16.52	110	3.10	21.95
	硫酸イオン(SO ₄ ²⁻)		3.7	0.08	0.43	3.1	0.06	0.42
	炭酸水素イオン(HCO ₃ ⁻)		590	9.67	51.55	600	9.84	69.69
	合計		703.7	12.85	69	713.1	13.00	92
	pH		6.5	-	-	6.5	-	-

成分名	試料名	Loc.5A			Loc.5B			
		採取日	2004.09.22.		採取日	2004.09.22.		
	分析項目	単位	mg/l	meq/l	構成比	mg/l	meq/l	構成比
陽イオン成分	ナトリウムイオン(Na ⁺)		70	3.04	40.59	99	4.30	42.03
	カリウムイオン(K ⁺)		5.3	0.14	1.87	36	0.92	8.99
	カルシウムイオン(Ca ²⁺)		70	3.49	46.60	84	4.19	40.96
	マグネシウムイオン(Mg ²⁺)		10	0.82	10.95	10	0.82	8.02
	合計		155.3	7.49	100	229.0	10.23	100
陰イオン成分	塩化物イオン(Cl ⁻)		110	3.10	45.99	130	3.66	37.08
	硫酸イオン(SO ₄ ²⁻)		1.3	0.03	0.45	46	0.96	9.73
	炭酸水素イオン(HCO ₃ ⁻)		220	3.61	53.56	320	5.25	53.19
	合計		331.3	6.74	100	496.0	9.87	100
	pH		7.2	-	-	6.9	-	-

表7 谷底の浅層堆積物の水収支算出(排水分を除く)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
村田ダムサイト雨量(mm)	33.5	52.0	11.5	90.5	145.5	138.0	161.5	98.5	88.0	327.0	139.0	54.0	1339.0
限界雨量を考慮した雨量(mm) ¹⁾	24.5	47.5	7.5	89.5	139.5	137.0	159.0	95.0	79.5	322.0	138.0	48.5	1287.5
雨量(谷底)	3037	4714	1042	8203	13189	12509	14639	8929	7977	29641	12600	4895	121374
川崎および竹の内の気温より可能蒸発散量(mm)	0.0	1.2	9.9	38.4	71.9	99.7	126.4	112.0	85.3	46.4	30.4	6.6	628.2
蒸発散量 ²⁾	0	109	897	3481	6517	9037	11458	10152	7732	4206	2756	598	56943
流出率(%)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	27	12	—
流域No.1(9442m ²)から谷底への流入量	46	90	14	169	263	259	300	179	150	608	352	55	2486
流域No.2(25359m ²)から谷底への流入量	124	241	38	454	708	695	806	482	403	1633	945	148	6677
流域No.3(9451m ²)から谷底への流入量	46	90	14	169	264	259	301	180	150	609	352	55	2488
流域No.4(6542m ²)から谷底への流入量	32	62	10	117	183	179	208	124	104	421	244	38	1722
流域No.5(10645m ²)から谷底への流入量	52	101	16	191	297	292	339	202	169	686	397	62	2803
谷底への流入量の合計	301	584	92	1100	1714	1683	1954	1167	977	3957	2289	358	16176

1) 竹の内における限界雨量の推定結果から村田ダムサイトにおける独立して生じた日雨量5.5mm以下の降雨を除外した雨量

2) 算出手順は下の表を参照

単位は特記なき場合はすべてm³

宮城県竹の内の可能蒸発散量推定値

2004年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
月平均気温	0.0	0.7	3.3	9.5	14.7	19.1	22.9	21.9	19.3	12.3	9.6	2.8	11.3
<i>I</i>	0.000	0.051	0.533	2.643	5.118	7.608	10.013	9.358	7.728	3.907	2.685	0.416	50.059
<i>a</i>													1.218
<i>Et</i> (cm)	0.000	0.146	0.963	3.491	5.942	8.173	10.195	9.655	8.278	4.782	3.536	0.789	55.950
<i>Et</i> × 10 (mm)	0.000	1.457	9.632	34.914	59.416	81.734	101.947	96.551	82.777	47.821	35.362	7.885	559.496
補正 ¹⁾	0.85	0.84	1.03	1.1	1.23	1.23	1.25	1.17	1.04	0.96	0.84	0.83	
<i>PE</i> ²⁾ (mm/月)	0.0	1.2	9.9	38.4	73.1	100.5	127.4	113.0	86.1	45.9	29.7	6.5	631.7

1) 日照時間を考慮して補正

※1月は-0.8℃であるが、氷点下の場合は0で計算

2) 可能蒸発散量 (*PE*: cm/月) は次式で計算する。 *t* は毎月の平均気温 (℃)

月平均気温1月~10月分は気象庁アメダス川崎のデータ
月平均気温11月、12月分のみ竹の内データ

である。

$$PE = 1.6 \left(\frac{10t}{I} \right)^a$$

$$a = (0.675I^3 - 77.1I^2 + 17920I + 492390) \times 10^{-6}$$

$$I = \sum i = \sum \left(\frac{h}{5} \right)^{1.514} \quad \text{積算は1月から12月まで行う}$$

付 属 資 料

付属資料1

揚水試験方法

揚水試験は、地盤工学会基準 JGS 1315-1995「揚水試験方法」に基づき、単孔式揚水試験を実施する。試験法の概略は、次ページの図に示すとおりである。なお、揚水した水は、当該処分場の水処理施設に続く水路に放流し、試験対象区域の地下水位に影響を与えないように、かつ、汚染が拡散しないように留意する。

また、揚水試験孔の近傍の既設井戸では、揚水試験中の水位を継続的に観測する。

揚水試験に伴う水質モニタリング

揚水試験に伴う水質モニタリングは、水温、水質（pH、EC）の3項目とする。揚水ポンプからの揚水管吐出口にて採水し、携帯型的水温計、pHメーター、および電気伝導度計を用いてモニタリングする。

試験機材

揚水試験で用いる機材は、次の表に示すとおりである。

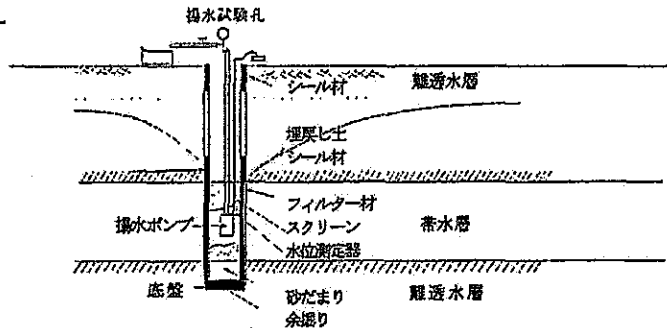
種類	機材名	機種	仕様
外管	ガス管	φ131mm	ネジ切り加工
内管	塩ビ管	VP50 有孔(開口率5%)および無孔	ネジ切り加工
揚水試験	ポンプ	MP-1 (グルンドフォス)	10 l / min (揚程 60m)
	水位計	ロープ式水位計 (アルファ光学)	50m 巻
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・揚水孔関連材料：フィルターマット、珪砂、モルタル ・水質モニタリング：水温計、pHメータ、電気伝導度計 		

試験結果の整理

揚水試験の結果から、透水量係数(または透水係数)、貯留係数を求める方法は、次ページのアペンディクスに記載したとおり、次の4種類の方法がある。

- ① Theis(タイス)の方法
- ② Jacob(ヤコブ)の方法
- ③ 平衡式による方法(貯留係数は求められない)
- ④ 回復式による方法(貯留係数は求められない)

1 説明図



揚水試験一例

2 概要

揚水試験は揚水井の周辺に2方向、もしくは4方向に複数の観測井を設置し、揚水井から一定の流量を継続的に揚水し、観測井等において得られる地下水位低下曲線を解析して帯水層の水理定数(透水量係数 T 、透水係数 k 、貯留係数 S 、および影響圏 R)を求める試験である。

試験は、①準備、②予備試験(段階揚水)、③本試験(非平衡～平衡～回復)の順序で行う。この試験方法は本来、被圧帯水層を対象としているが、不圧帯水層にも準用できる。

3 目的

- ①地下水の揚水量と水位低下量の実測値から、帯水層の水理定数を求める。
- ②掘削工事における湧水量などを推定し、地下水位低下工法を検討すると共に、周辺地区に及ぼす影響解析の基礎データとする。

4 注意事項・その他

- ①測定結果の整理及び水理定数の解析算定には、以下の方法がある。

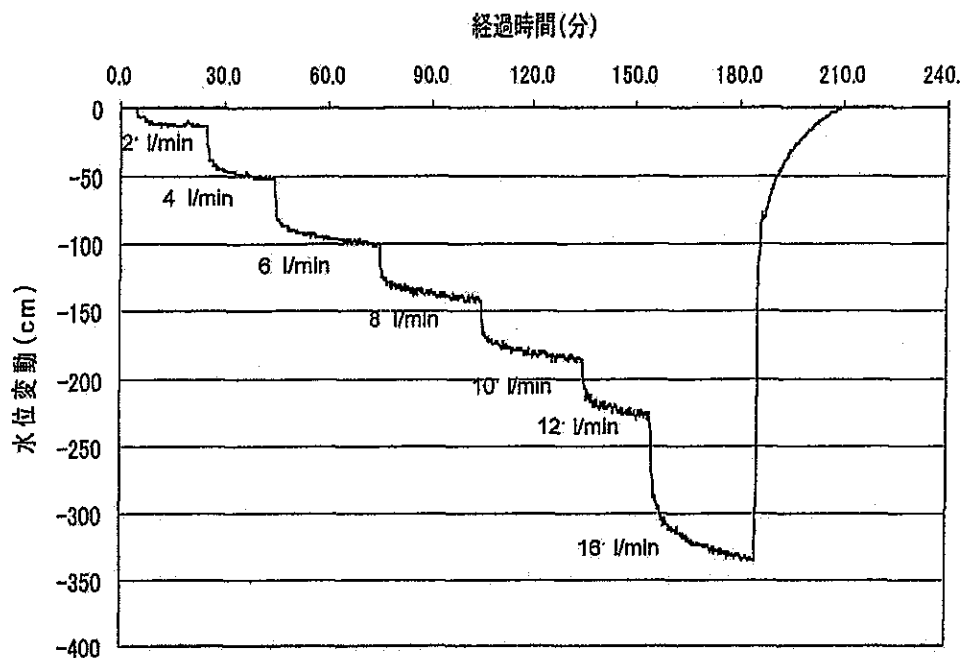
	$W(\lambda)$: 井戸関数	
α 非定常状態		T : 透水量係数
Theisの方法	$T = \frac{Q_p}{4\pi s} W(\lambda)$	$S = 4T \cdot \frac{\lambda}{(r^2/t)}$
Jacobの方法	$T = \frac{2.3Q_p}{4\pi \Delta s}$	$S = 2.25T(t/r^2)_{s=0}$
β 非定常回復状態での回復法		Q_p : 揚水量
	$T = \frac{2.3Q_p}{4\pi s} \log_{10} \left(\frac{t}{t'} \right)$	$k = (T/D)$: 透水係数
γ 定常状態でのThiemの方法(被圧地下水)		D : 帯水層の厚さ
	$T = \frac{2.3Q_p}{2\pi(S_1 - S_2)} \log_{10} (r_2/r_1)$	s : 水位低下量
		Δs : $\log t$ の1つ/kにおける水位低下量
		r : 観測井までの距離
		t : 揚水開始後の経過時間
		t' : 揚水停止後の経過時間

②水位変動には自然現象(気圧、潮汐、降水)に起因するものと、人為的(民家や工場での揚水)変動によるものがある。

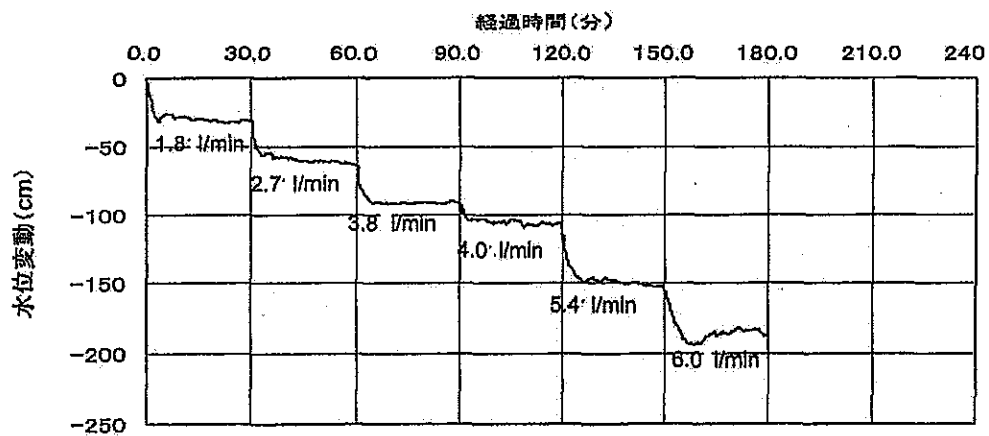
③帯水層が複数ある場合には帯水層毎に揚水井、観測井を設ける必要がある。



付属資料2



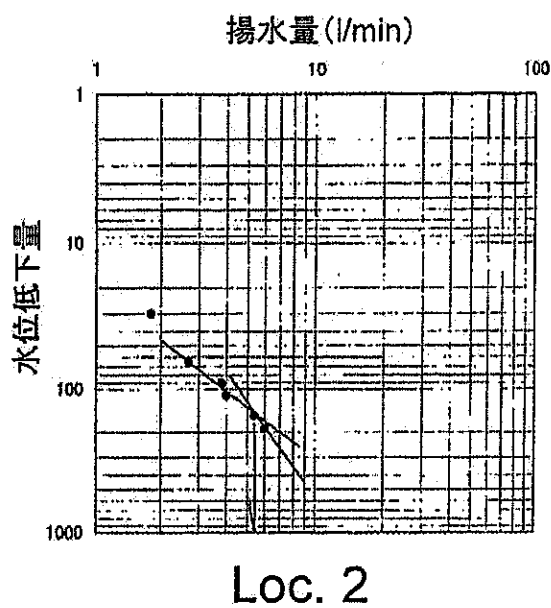
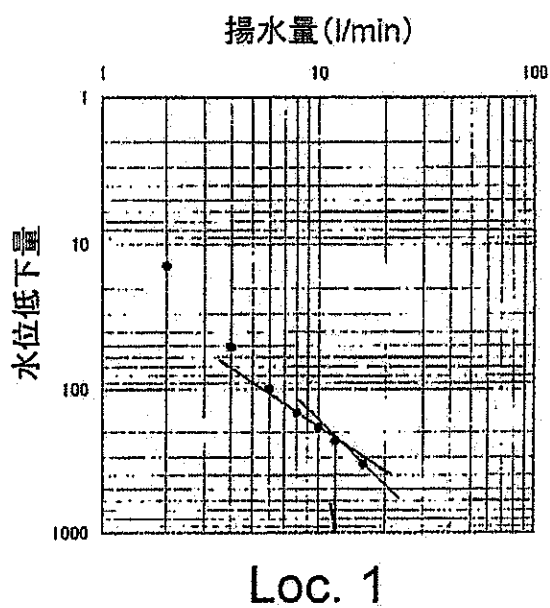
Loc. 1



Loc. 2

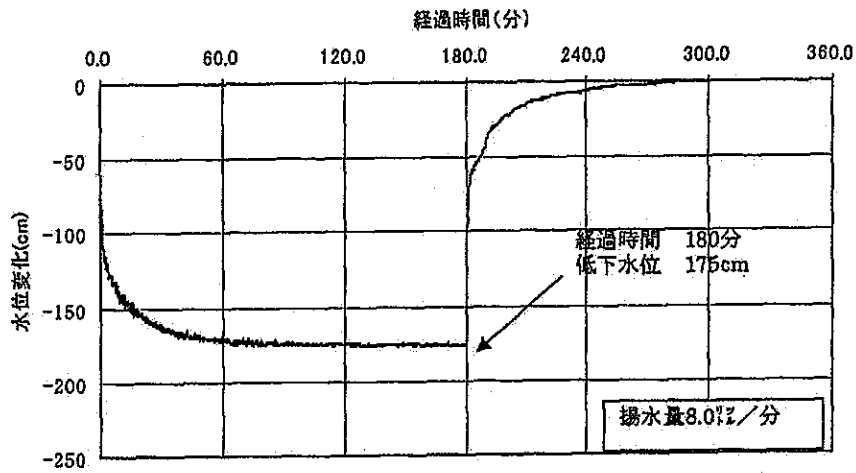
Loc.1およびLoc.2における段階揚水試験結果

付属資料3

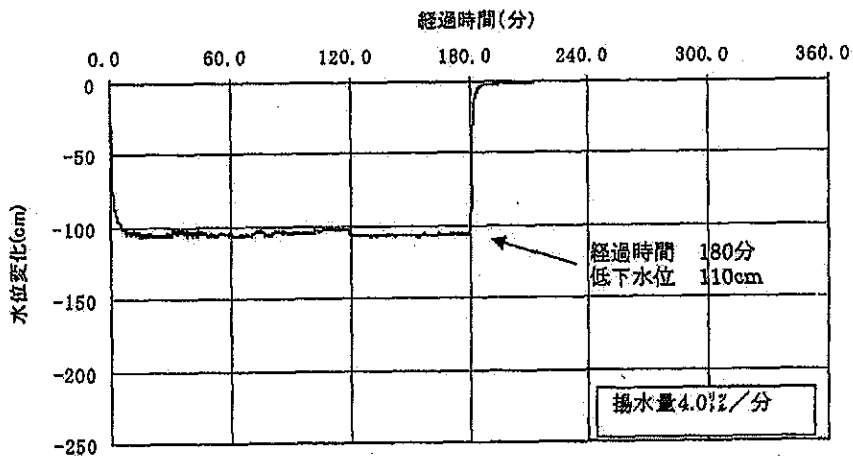


Loc.1およびLoc.2における限界揚水量

付属資料4

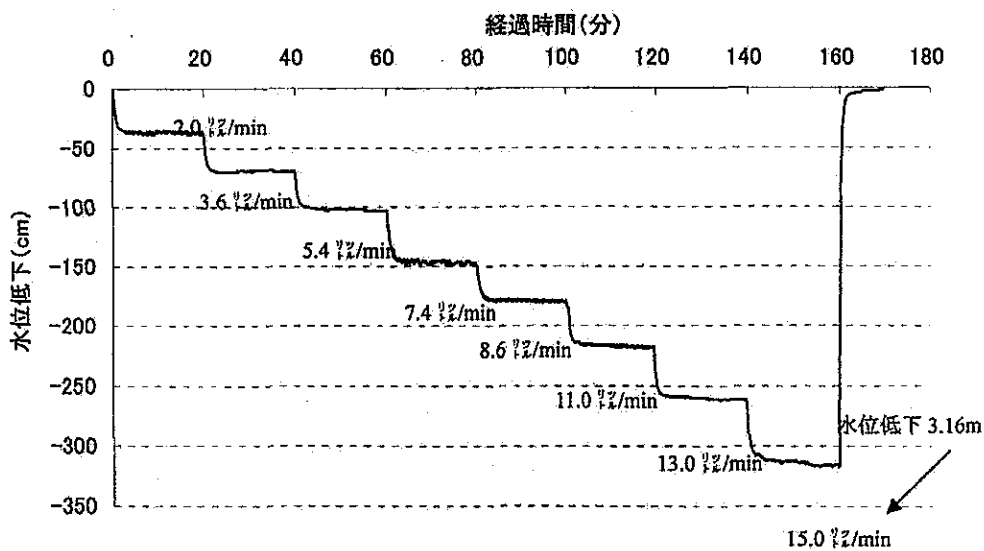
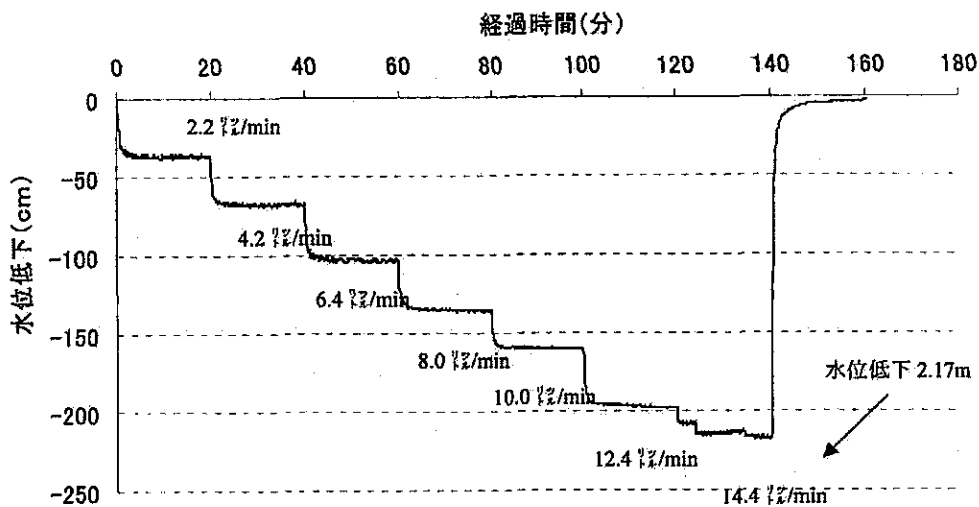


Loc. 1



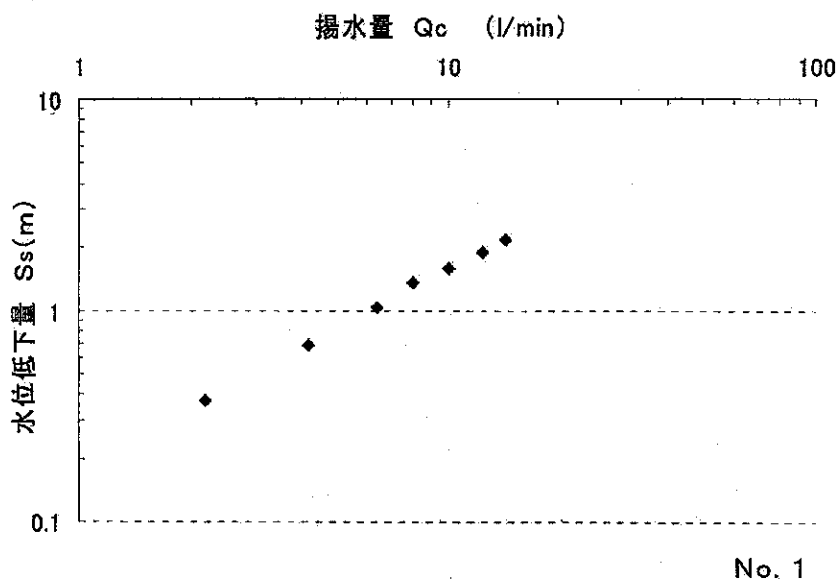
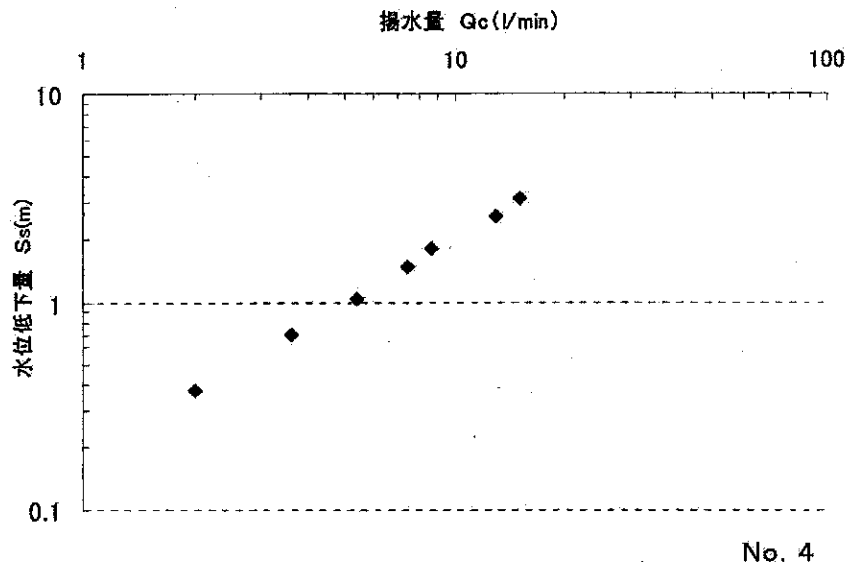
Loc. 2

Loc.1およびLoc.2における連続揚水試験結果



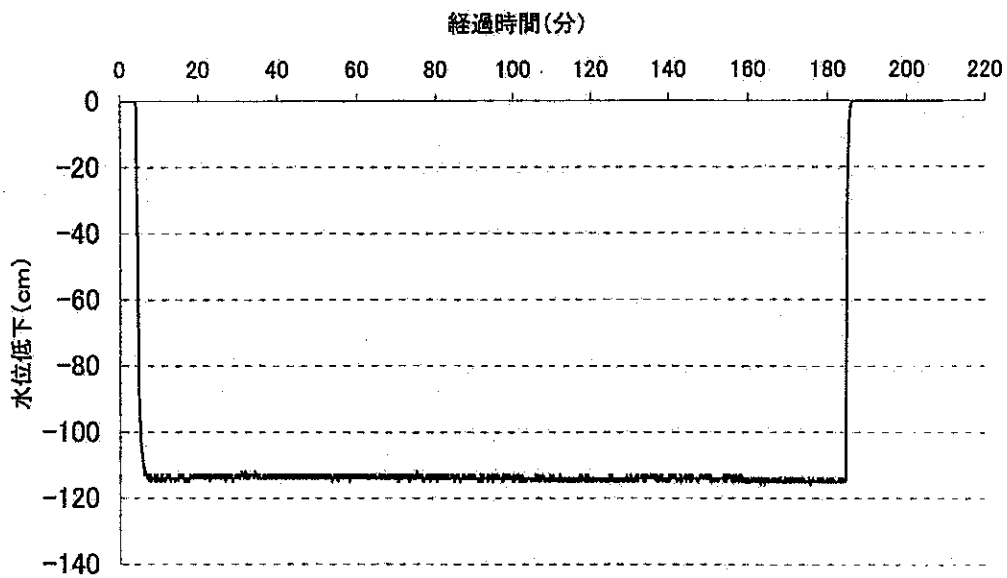
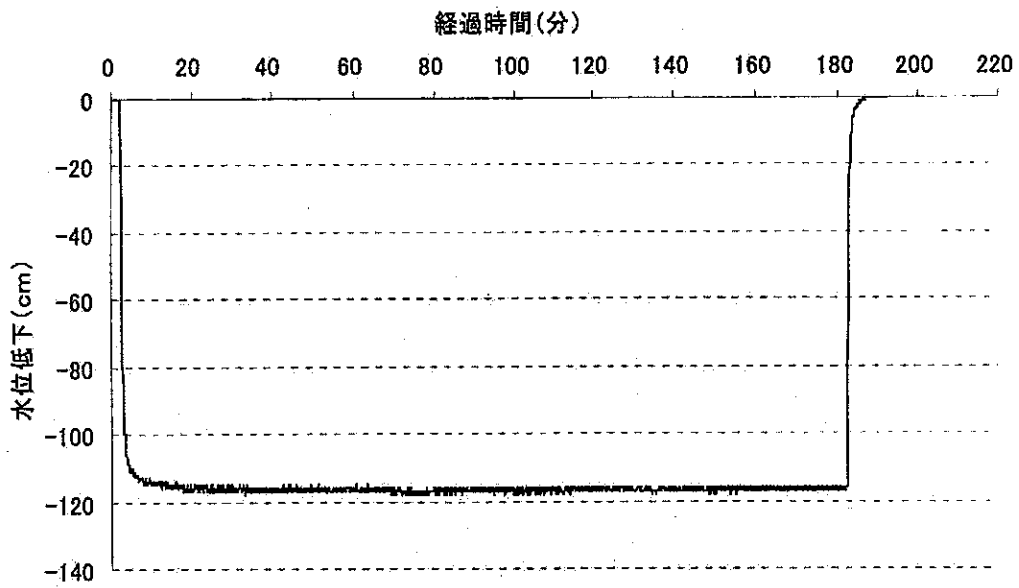
No.1およびNo.4における段階揚水試験結果

付属資料6



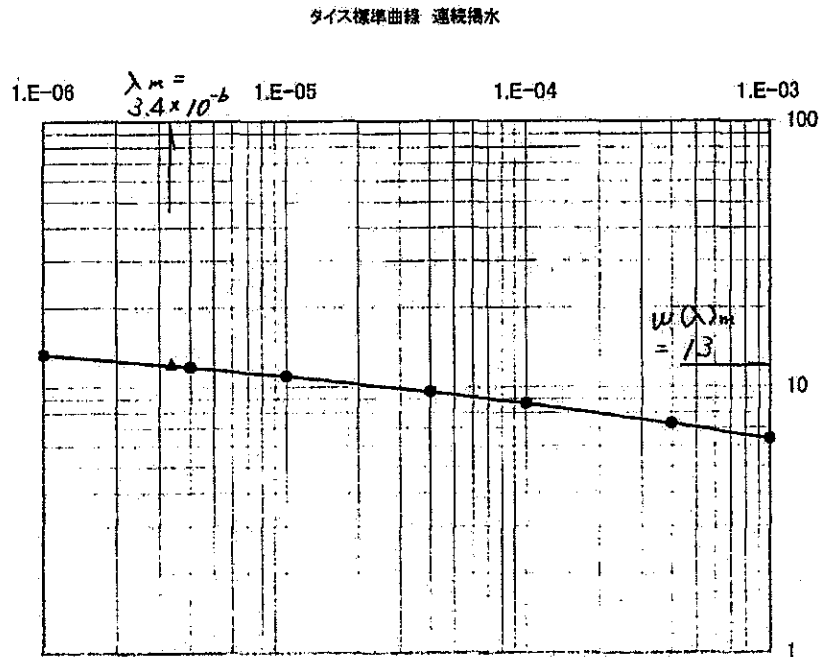
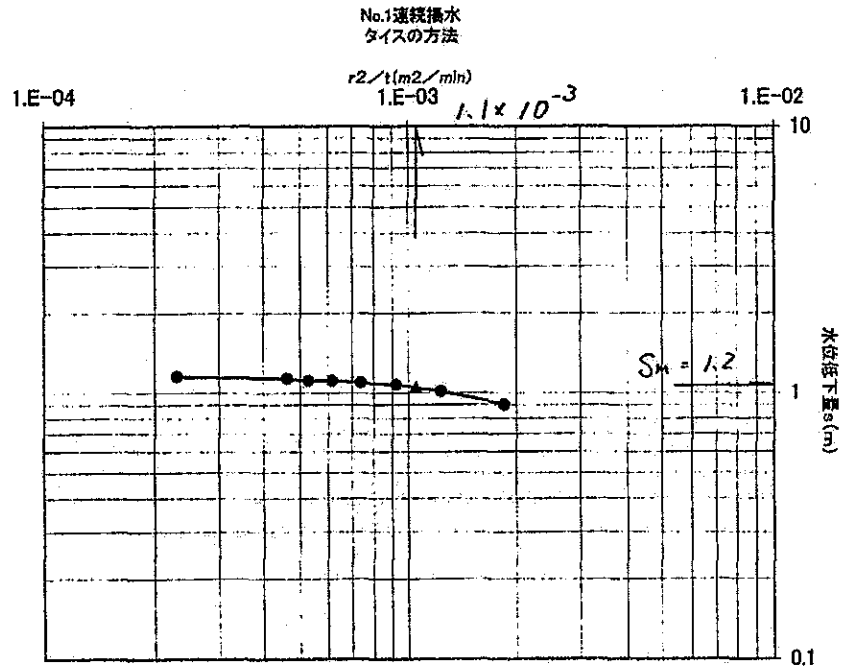
No.1およびNo.4における限界揚水量

付属資料7



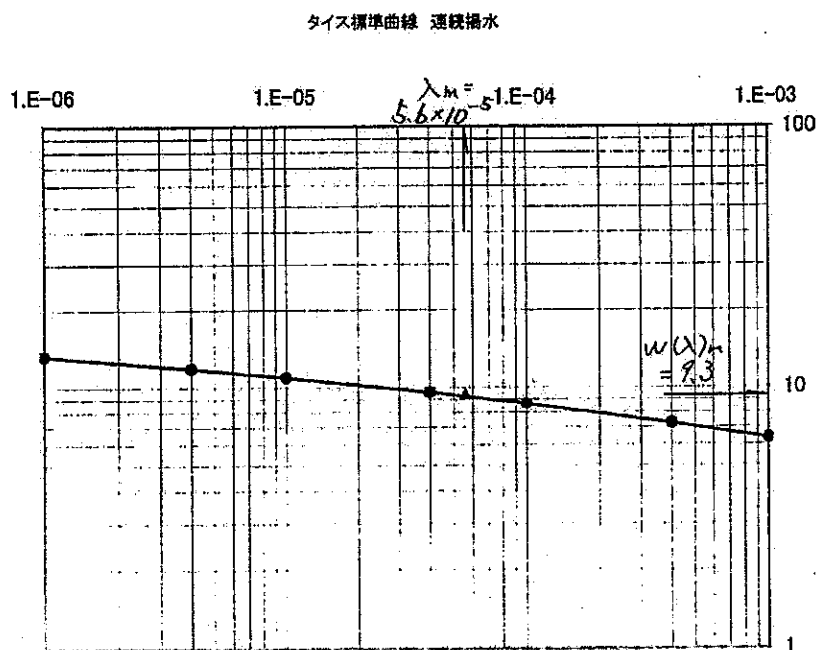
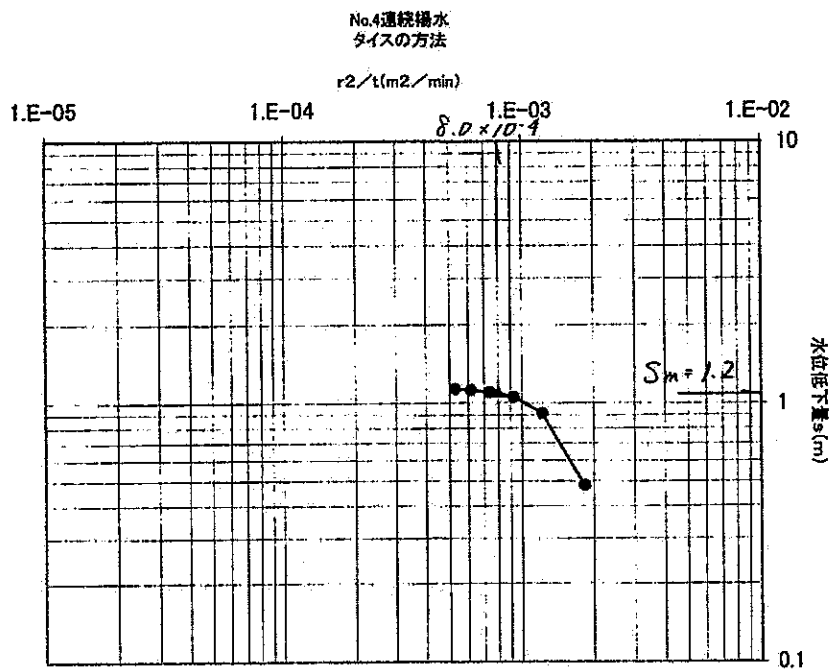
No.1およびNo.4における連続揚水試験結果

付属資料8



No.1 Theisによる方法(連続揚水)

付属資料9



No.4 Theisによる方法(連続揚水)

① Theis (タイス) の方法

$$T = (Q_p / 4 \pi S_m) \times W(\lambda)_m$$

$$k = (100/60) \times (T/D)$$

$$S = 4 T \{ \lambda_m / (r^2/t)_m \}$$

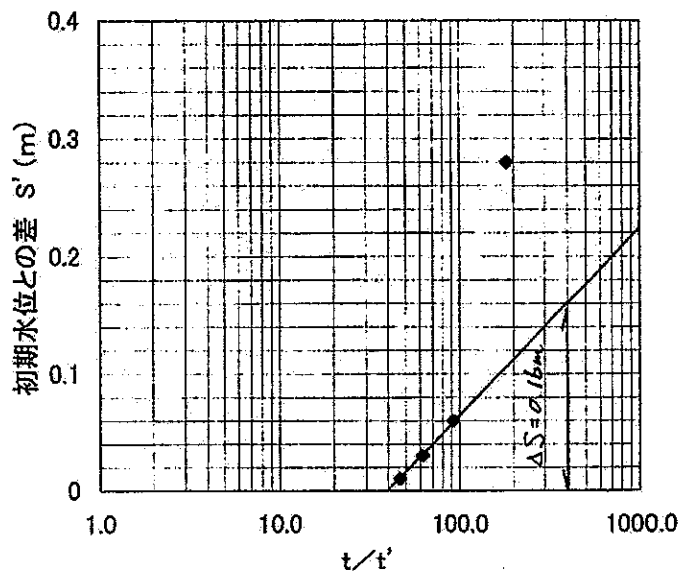
ここに、 Q_p ; 揚水量 (m^3/min)

- ・連続揚水: No.1=0.007, No.4=0.006
- S_m ; ・連続揚水: No.1=1.20, No.4=1.20
- $(r^2/t)_m$; ・連続揚水: No.1=1.1E-3, No.4=8.0E-4
- $W(\lambda)_m$; ・連続揚水: No.1=13, No.4=9.3
- λ_m ; ・連続揚水: No.1=3.4E-6, No.4=5.6E-5
- D ; 帯水層の厚さ (m)
No.1=8.664, No.4=8.664

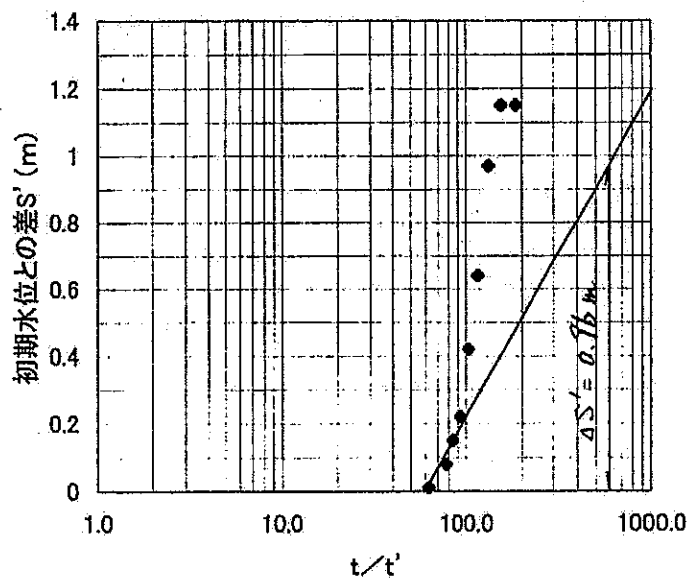
- No.1 $T = \{0.007 / (4 \times \pi \times 1.2)\} \times 13 = 6.034 \times 10^{-3} m^2/min$
 $k = (100/60) \times (T/8.664) = 1.161 \times 10^{-3} cm/sec$
 $S = 4 \times T \times (0.0000034/0.0011) = 7.461 \times 10^{-5}$
- No.4 $T = \{0.006 / (4 \times \pi \times 1.2)\} \times 9.3 = 3.700 \times 10^{-3} m^2/min$
 $k = (100/60) \times (T/8.664) = 7.118 \times 10^{-4} cm/sec$
 $S = 4 \times T \times (0.000056/0.0008) = 1.036 \times 10^{-3}$

No.1, No.4におけるTheisの方法による帯水層係数の算出

No.1 連続揚水(回復法)



No.4 連続揚水(回復法)



No.1, No.4における回復式による方法(連続揚水)

$$T = 2.30 Q_p / 4 \pi \Delta s'$$

$$k = (100/60) (T/D)$$

ここに、 Q_p ; 揚水量 (m^3/min)

- ・連続揚水 : No. 1 = 0.007, No. 4 = 0.006

$\Delta s'$; 水位差 (m)

- ・連続揚水 : No. 1 = 0.16, No. 4 = 0.96

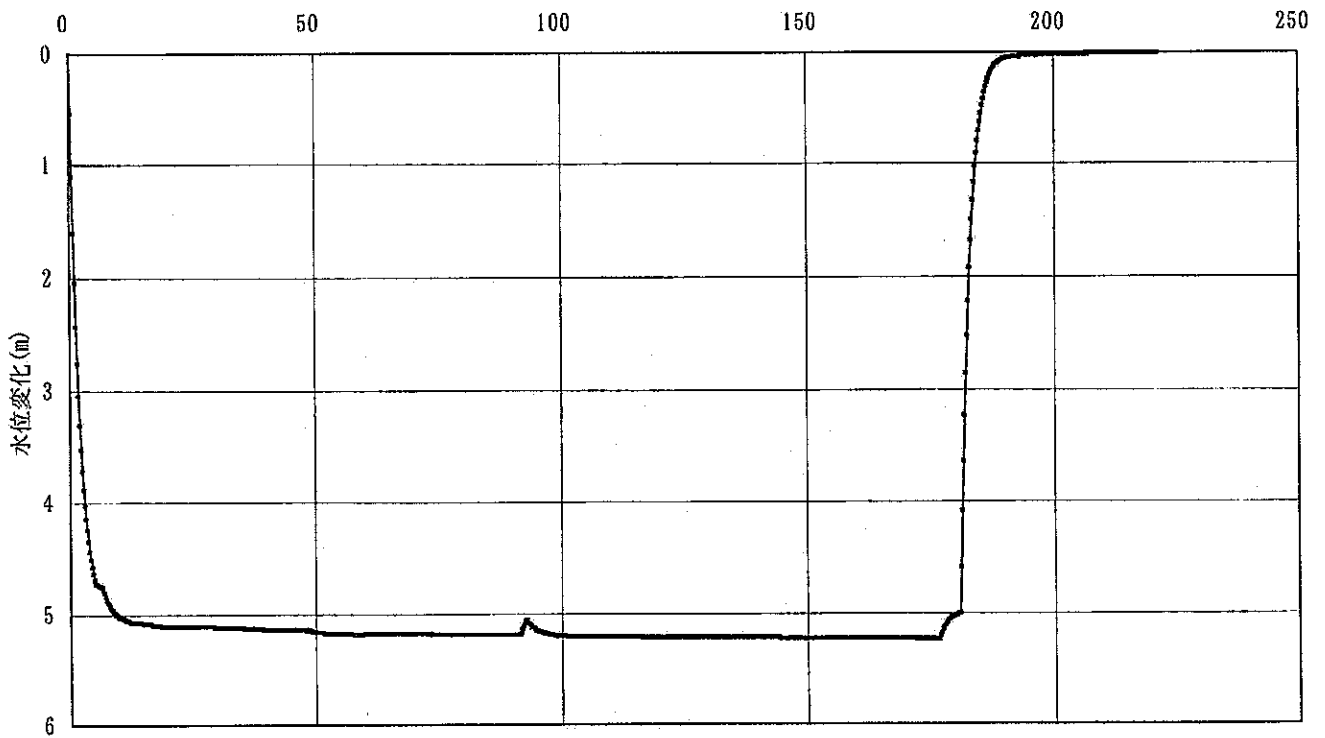
D ; 帯水層の厚さ (m)

No. 1 = 8.664, No. 4 = 8.664

- No. 1 $T = (2.30 \times 0.007) / (4 \times \pi \times 0.16) = 8.007 \times 10^{-3} m^2/min$
 $k = (100/60) \times (T/8.664) = 1.540 \times 10^{-3} cm/sec$
- No. 4 $T = (2.30 \times 0.006) / (4 \times \pi \times 0.96) = 1.143 \times 10^{-3} m^2/min$
 $k = (100/60) \times (T/8.664) = 2.200 \times 10^{-4} cm/sec$

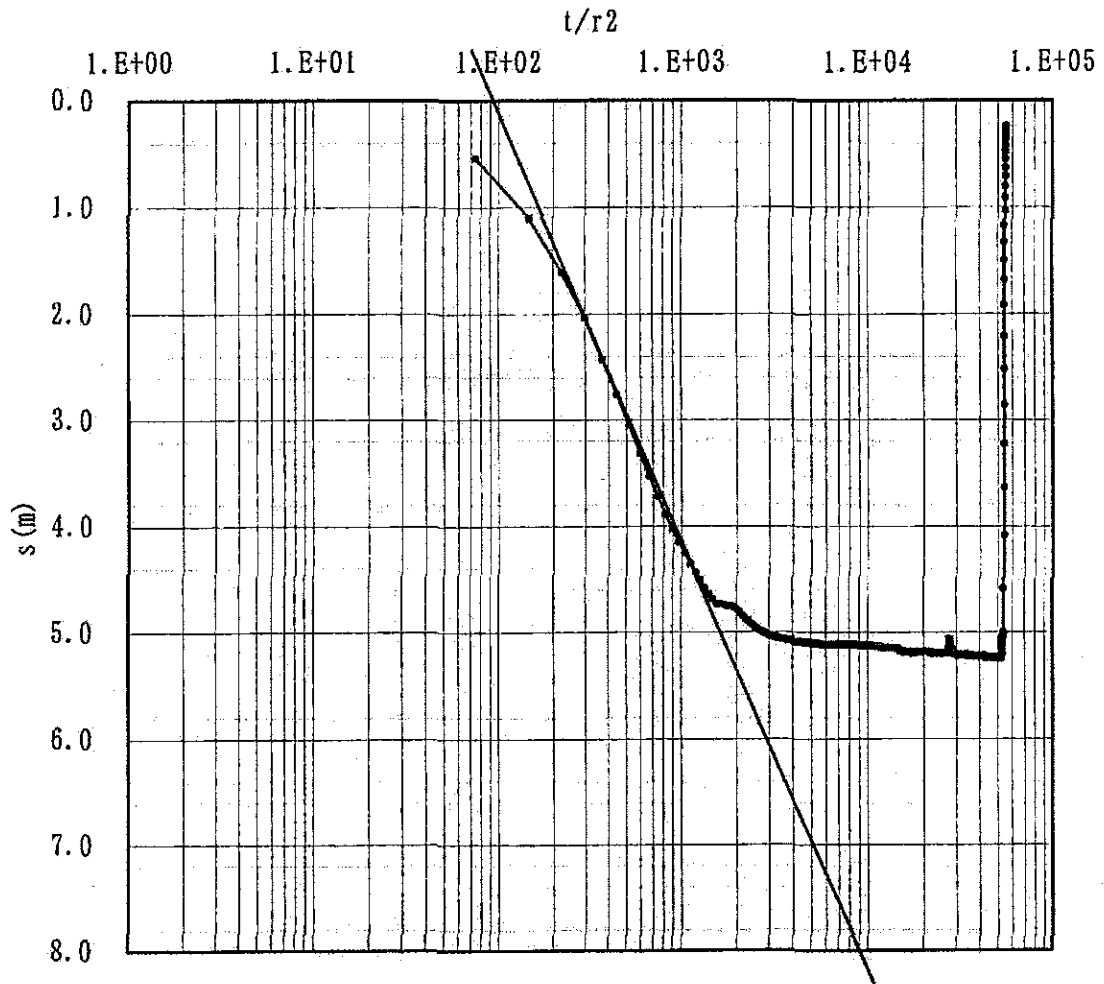
No.1, No.4における回復式法による帯水層係数の算出

Loc. 3A 揚水試験結果
経過分



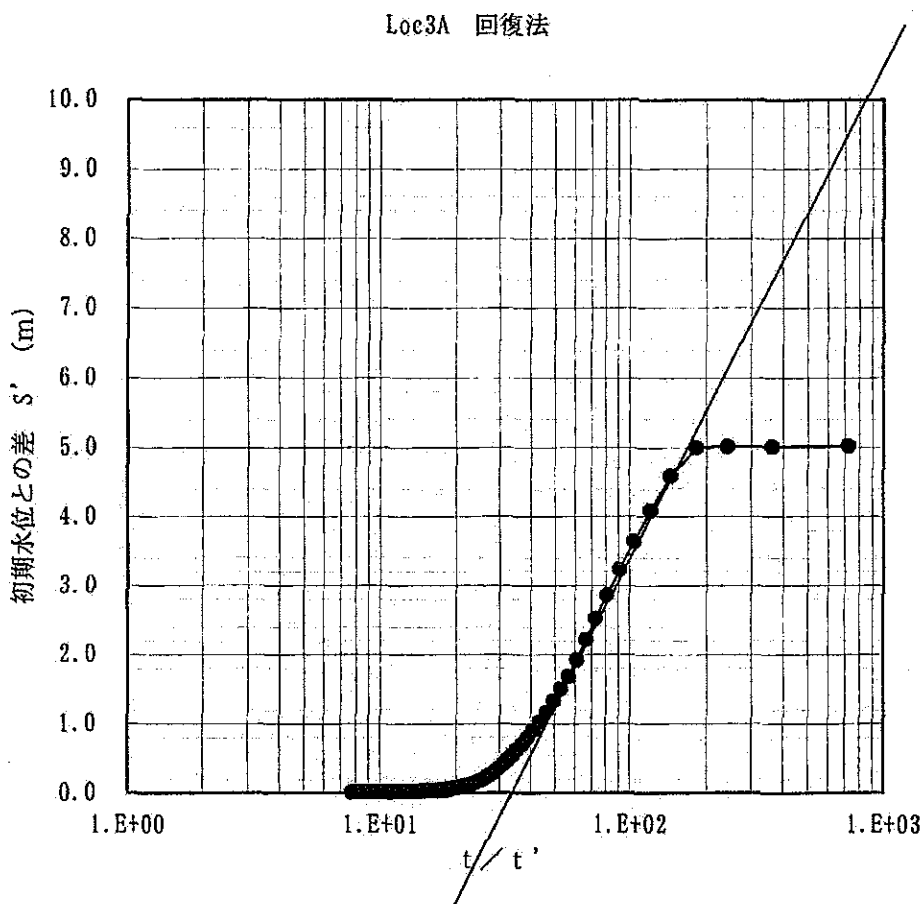
Loc.3Aにおける連続揚水試験結果

Loc3A Jacobの方法



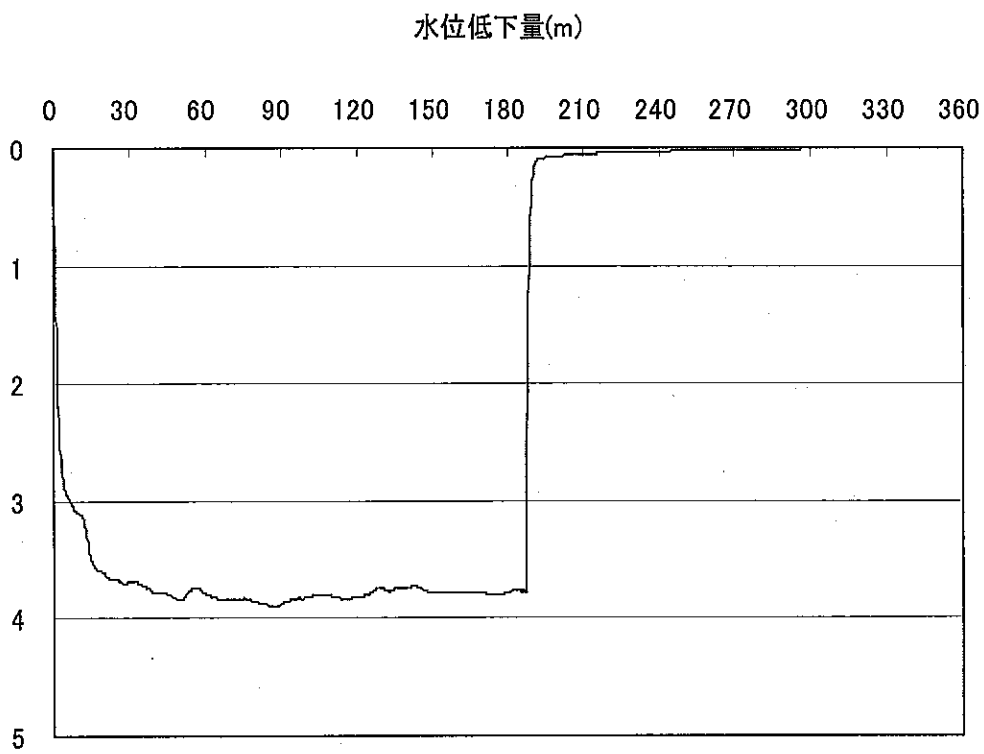
Δs	4.0
$(t/r^2)_{s=0}$	90
D	8.0
Qp	0.00365
T=	1.67E-04
k=	3.48E-05
S=	3.38E-02

Loc.3AにおけるJacobの方法による帯水層係数の算出



$\Delta s'$	7.1
D	8.0
Qp	0.005
T	1.46E-04
k	3.04E-05

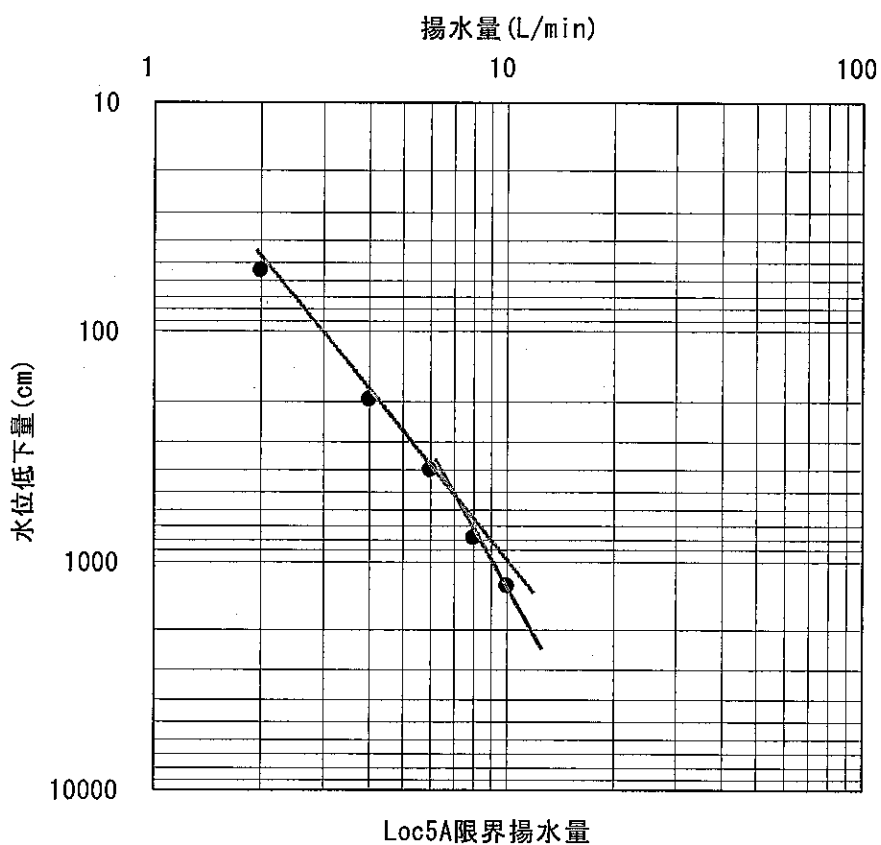
Loc.3Aにおける回復法による帯水層係数の算出



Loc.5Aにおける連続揚水試験結果

揚水量 (L/min)	低下水位 (cm)
2	54
4	198
6	396
8	788
10	1287

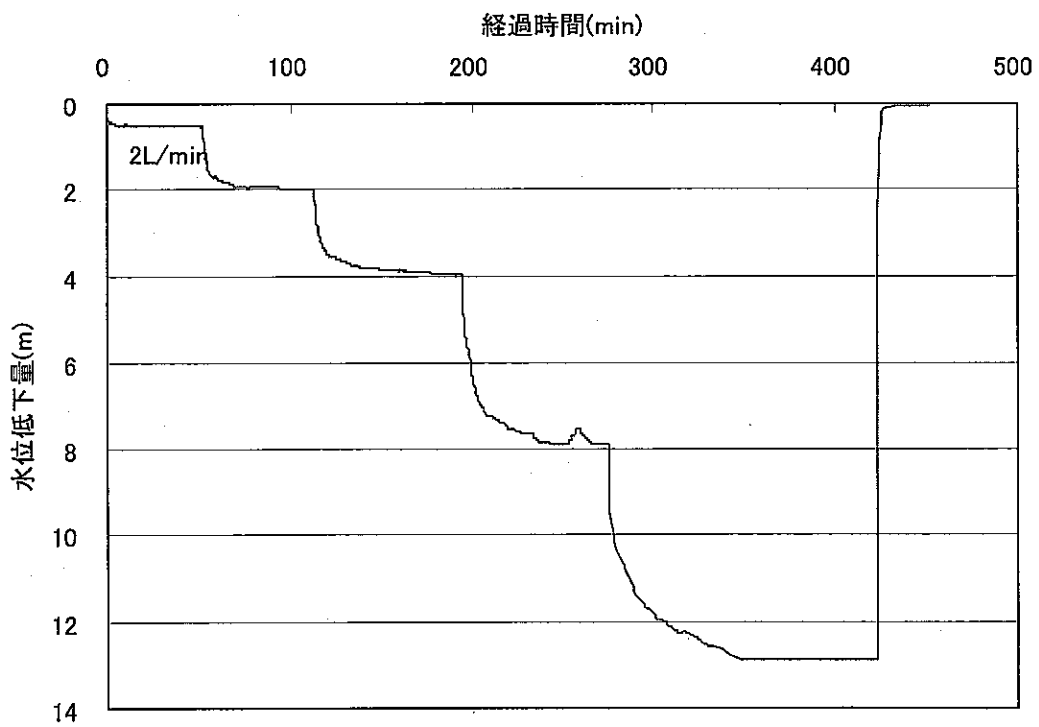
Loc5A限界揚水量の検討



限界揚水量 = 7L/min

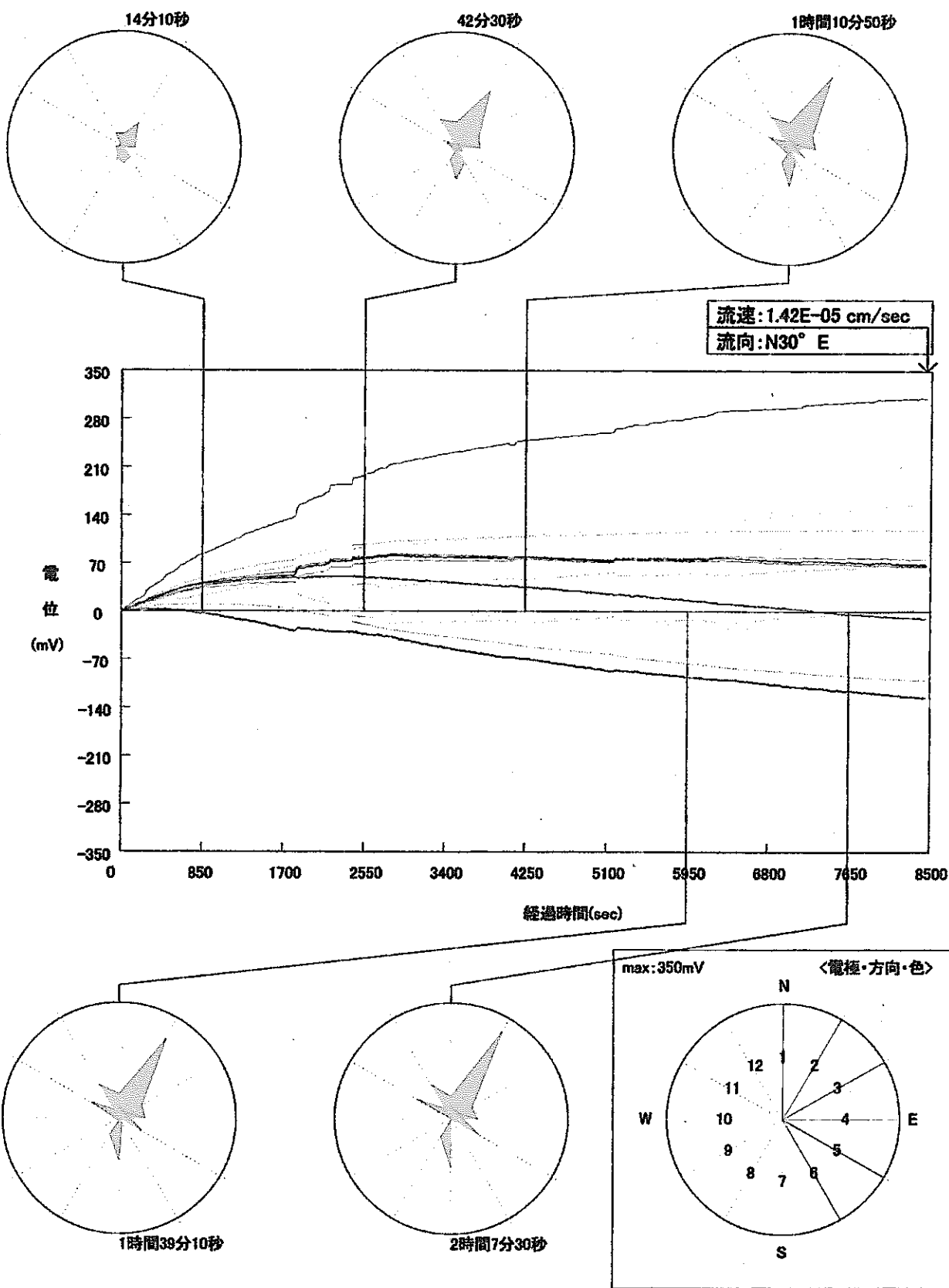
連続揚水量 = $7 \times 0.7 = 4.9 \approx 5$ L/min

Loc.5Aにおける限界揚水量



Loc.5Aにおける段階揚水試験結果

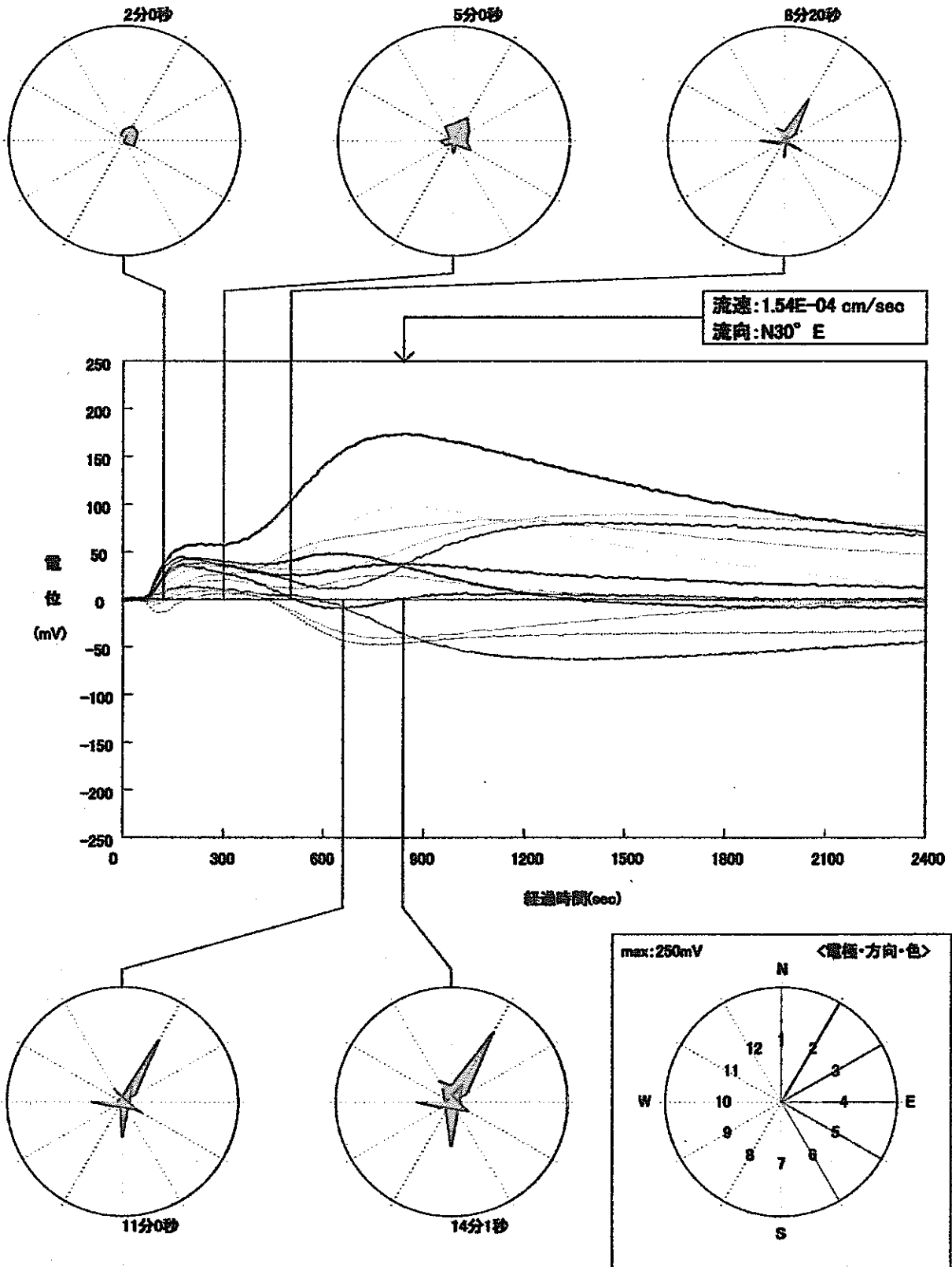
測定No.1 深度:24.35m 測定日時:2003.12/22



流速・流向測定例(No.1)

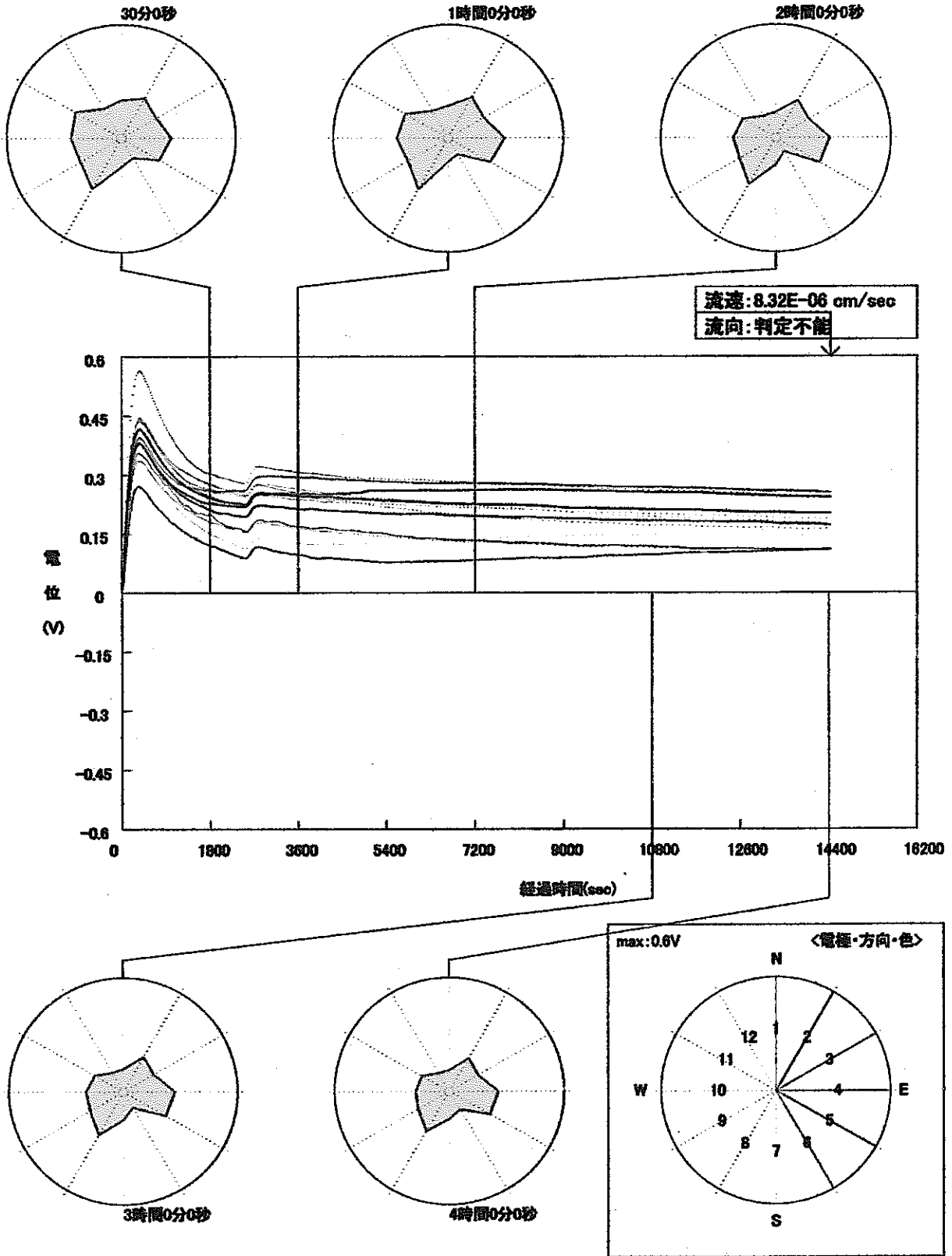
孔名:No.4

測定No.4 深度:19.63m 測定日時:2003/12/27



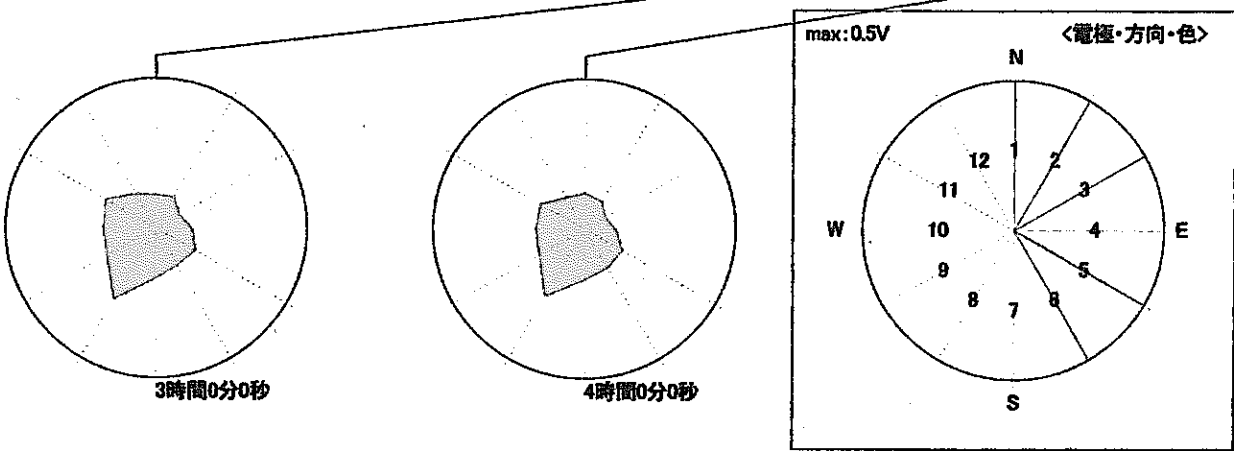
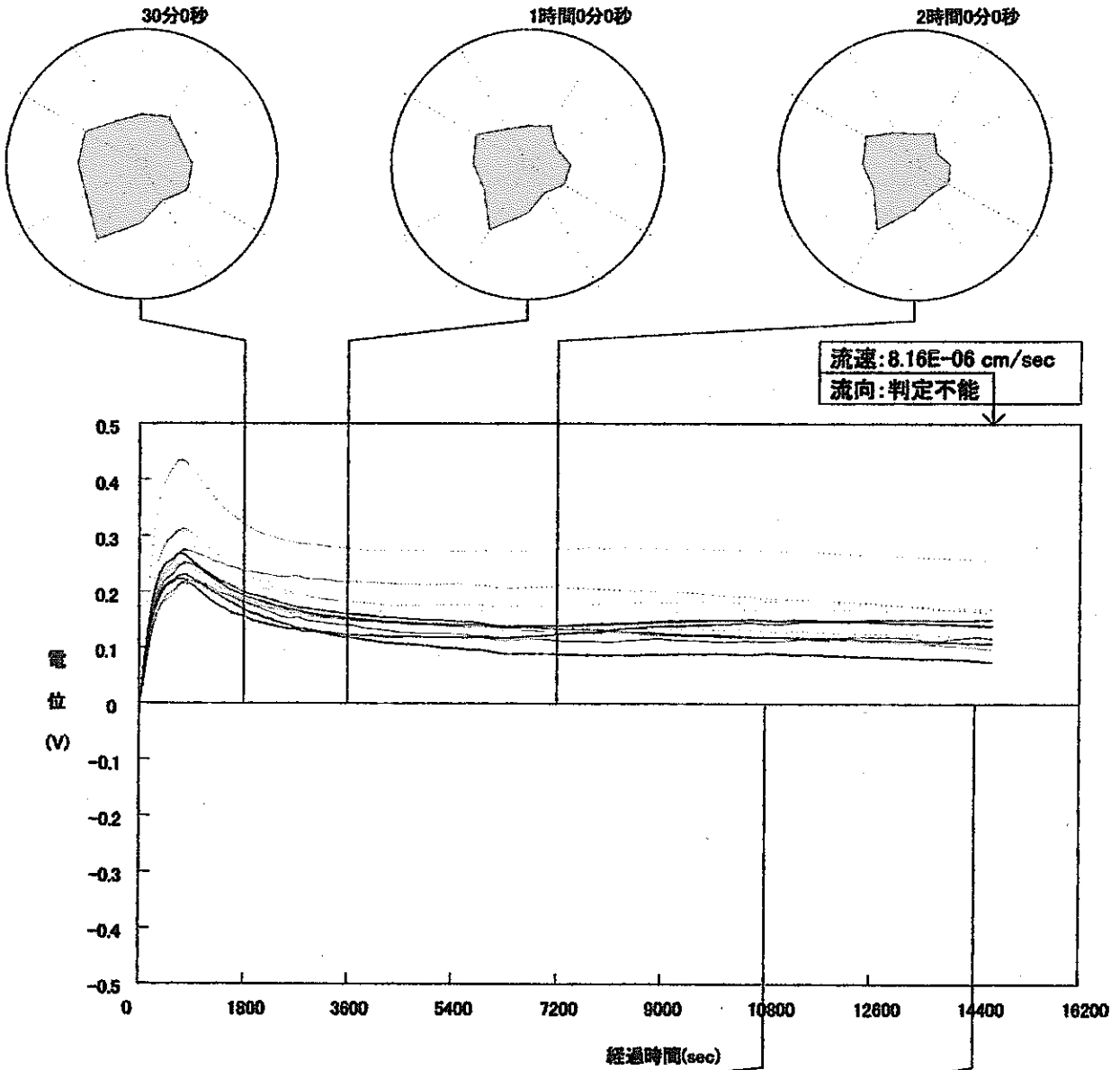
流速・流向測定例(No.4)

孔名:Loc1A
 測定No.Loc1A 深度:18.50m 測定日時:2004.1/20



流速・流向測定例(Loc.1A)

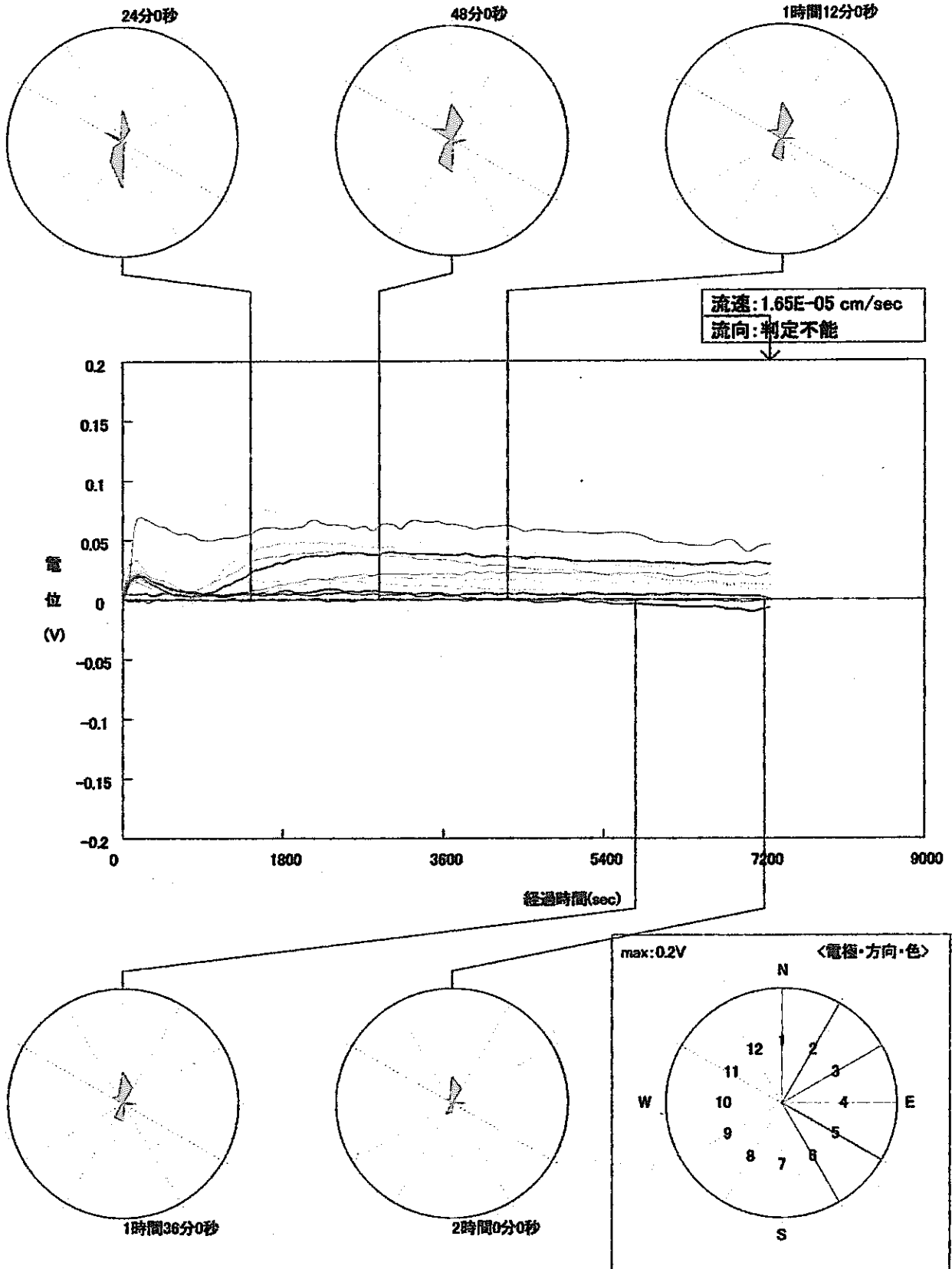
測定No.Loc1B 深度:14.15m 測定日時:2004.1/21



流速・流向測定例(Loc.1B)

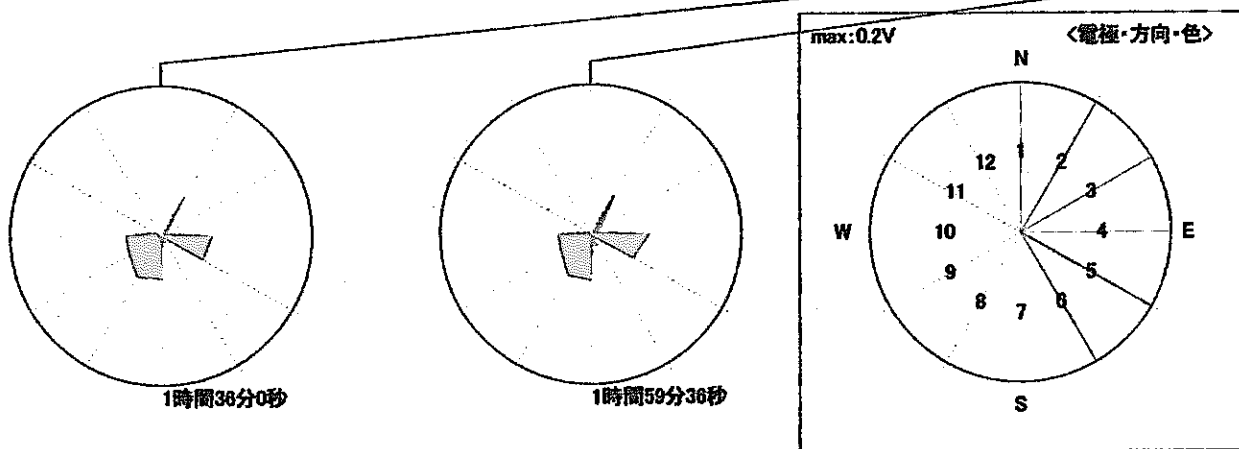
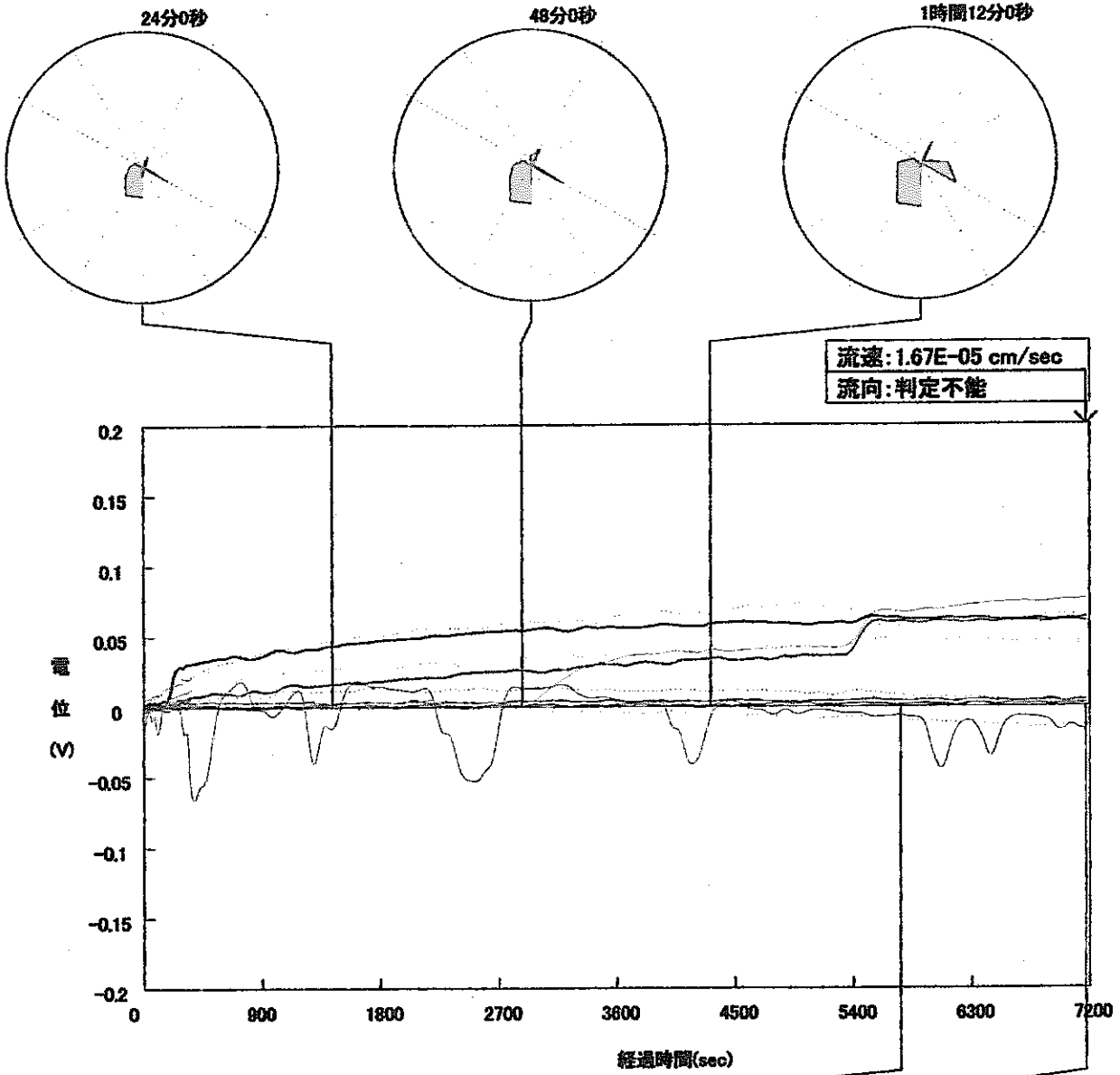
孔名: Loc3

測定No. Loc3-1 深度: 10.95m 測定日時: 2004.2/4



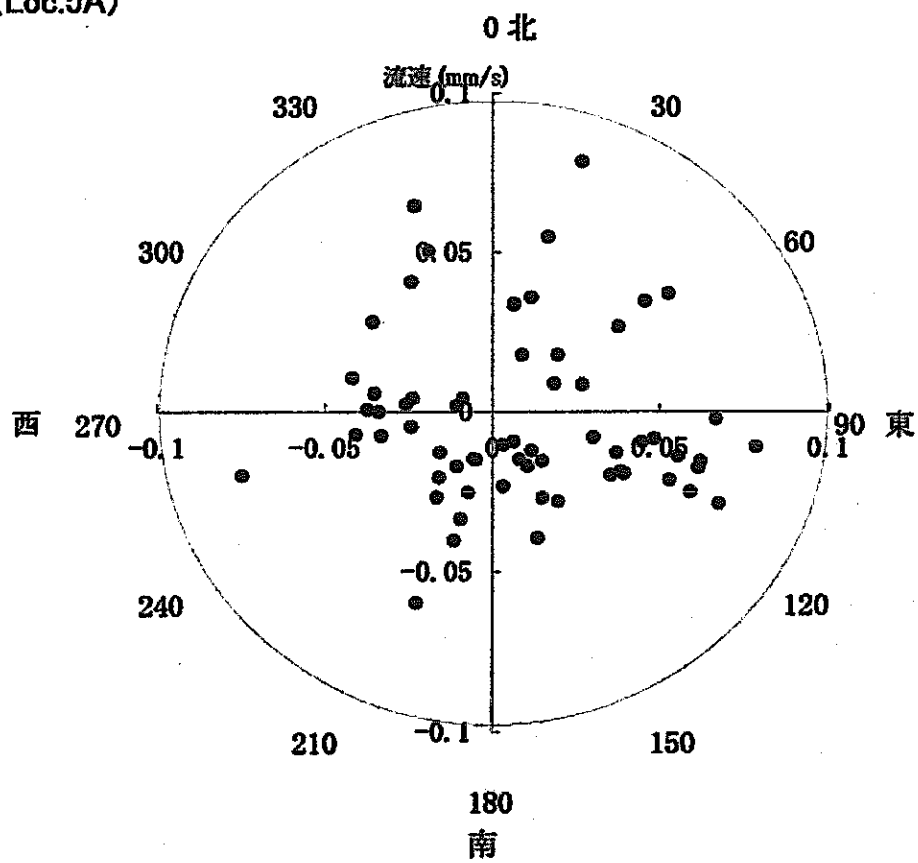
流速・流向測定例 (Loc.3)

孔名: Loc4
 測定No. Loc4-3 深度: 3.15m 測定日時: 2004.2/3

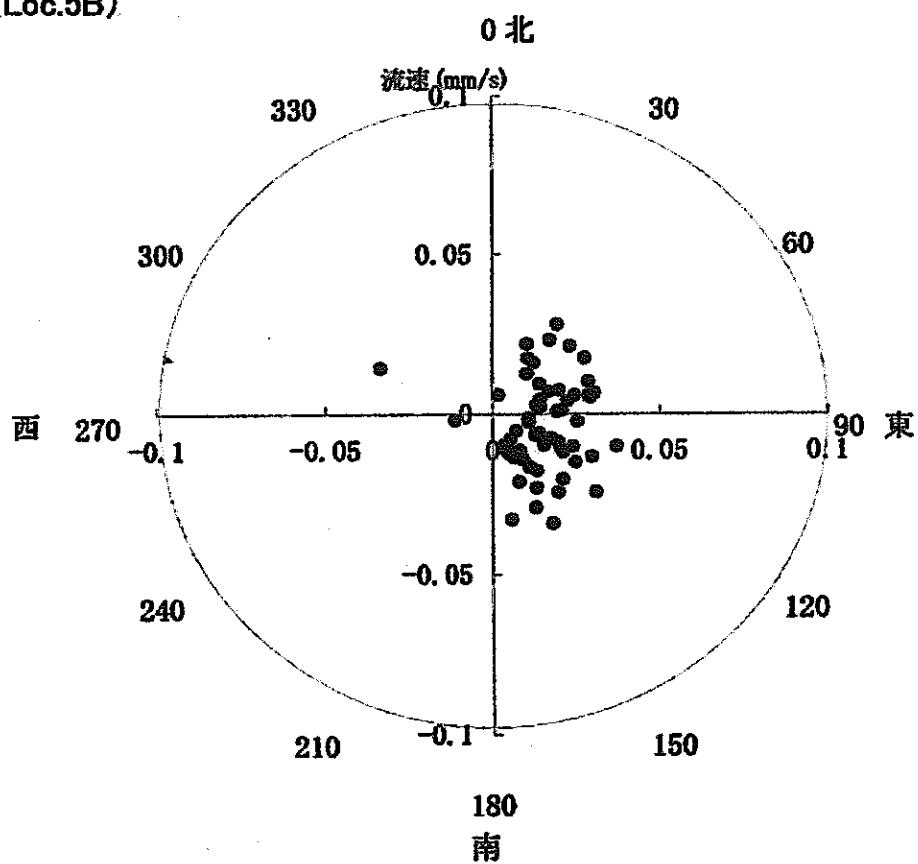


流速・流向測定例 (Loc.4)

(Loc.5A)



(Loc.5B)



流速・流向測定例 (Loc.5A, Loc.5B)