

第四編 地下水・湧水調査

目次

1. 調査目的.....	4-1
2. 調査内容.....	4-1
2.1 調査対象.....	4-1
2.2 調査項目と分析方法.....	4-6
3. 調査結果.....	4-6
3.1 試料採取.....	4-6
3.2 調査結果.....	4-7
3.3 調査結果に対する評価.....	4-8
3.4 イオン分析の結果	4-11
3.5 地下水位観測結果および流量観測結果（参考）.....	4-12
4. 原位置試験.....	4-16
4.1 試験方法.....	4-16
4.2 試験結果.....	4-23
5. 結果に対する考察	4-28
5.1 地下水の概要	4-28
5.2 水質について	4-28
5.3 今後の調査について(地下水および湧水について)	4-28

1. 調査目的

本調査は、岐阜市椿洞地内の産業廃棄物不法投棄現場において、調査ボーリングを実施し、地下水観測井戸の設置、原位置試験を実施するとともに地下水分析を行い、地下水汚染の有無を把握することを目的とする。

2. 調査内容

2.1 調査対象

調査は地下水観測用ボーリング井戸が設置された BW-01、BW-02、BW-03、BW-04 のうち、BW-01、BW-02 および上流部沢水の流末となっていると考えられるプラント裏湧水を対象とした。また、参考として上流部沢水についても重金属およびイオン分析を行った。調査位置図を図 2.5に示す。各地点のボーリング柱状図（抜粋）を下記に示す。

標尺 m	標高 m	層厚 m	深度 m	柱状 図	土質 区分	色調	相対 密度	相対 稠度	記 事	孔内 水位 ／測定 月日	観測管VP65		原位置試験	
											深 度 m		深 度 m	試 験 名 及 び 結 果
1	61.14	1.30	1.30		埋土・砂礫	褐灰			φ10～30mm程の角礫主体 マトリックスはシルト混じり砂 1.00～1.30mに鉄筋混在					
2	60.29	0.85	2.15		コンク リートくず	白灰			土砂混じり					
	59.79	0.50	2.65		埋土・砂礫	暗褐灰			φ10～30mm程の角礫主体 マトリックスは細砂					
3					木くず	暗黒灰			(その他の混在物) 鉄パイプ塩ビ管陶磁器片					2.90 VOCND 3.20 VOCND 3.60 VOCND
	58.64	1.15	3.80		埋土・砂礫	暗褐			φ10～30mm程の角礫主体 マトリックスは細砂～シルト 混じり砂					
5	57.19	1.45	5.25		コンクリ ートくず	白灰			土砂混じり					
	56.69	0.50	5.75		埋土・砂礫	暗褐灰			(その他の混合物) アスファルトがら					
	56.24	0.45	6.20		コンクリ ートくず	白灰								
7	54.94	1.30	7.50		コンクリ ートくず	白灰			730～750mm間シルト混じり					7.30 VOCND
8					シルト	暗褐灰			750～800mmに釘・鉄筋を混在					8.00 VOCND
9	53.34	1.60	9.10		シルト 混じり 砂礫	黄褐			粘性強 孔壁の押し出しあり					
10	51.64	1.70	10.80		シルト 混じり 砂礫	黄褐			φ5～30mm程の角 亜角礫主体 推定φ450mm程の玉石混在 (コア長15cm×3倍推定) マトリックスは シルト混じり砂					
11					砂岩	褐灰			亀裂発達 コアは礫状～片状に採取 1200m以下、短柱状コアあり 亀裂間に粘土状風化みられる 1080～1200m、D～C.L相当					
12					砂岩	褐灰								
13					砂岩	灰			1200～1400m、C.L～C.M相当					
	48.44	3.20	14.00		砂岩	灰								

観測管VP65	深度 m	深度 m
土砂充填		
7.30 VOCND		
8.00 VOCND		
9.35		
現場透水 k=6.92E-03cm/sec		
10.30		
10.90		
10.30		
10.90		
12.00		
底蓋		
セメント 充填		

4/16
10.30

（止水）
ベントナイト

8.00

8.95
砂利充填
（φ2～5mm）

9.35

有孔管

（止水）
ナイスシール

10.90

10.30

流向流速
119.1 L 20E-04cm/sec

図 2.1 BW-01 柱状図

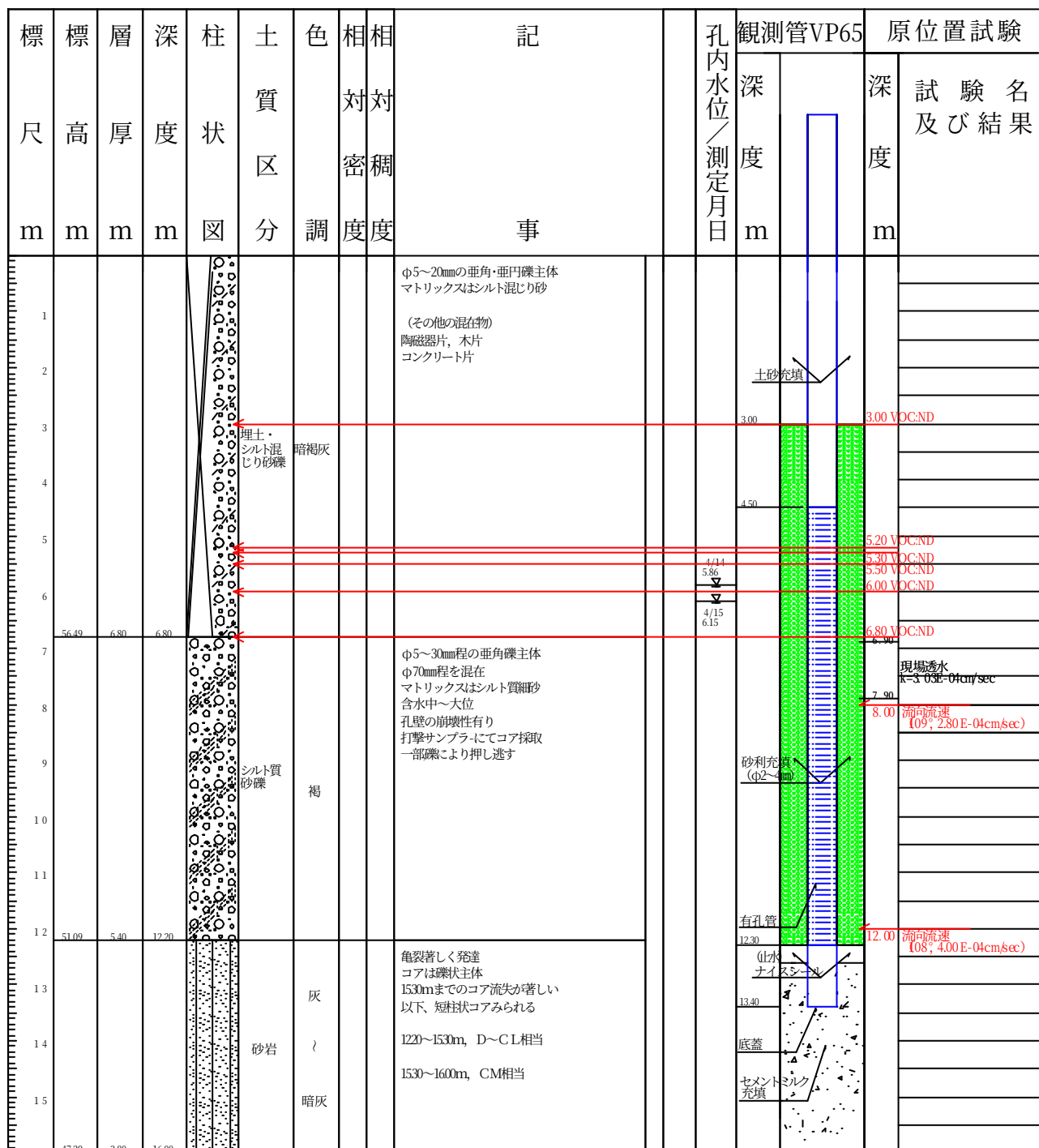


図 2.2 BW-02柱状図

- 図中のVOC：NDは、現場での簡易分析（GC-PID）の結果を表記したものである。
- 簡易分析は500mlのメジューム瓶にコアサンプルと水を入れ（液固比1：10）1分間激しく振とうした後のヘッドスペースガスを分析する方法を用いている。
- 簡易分析は、主に廃棄物が目視で確認できた深度および地層の変化点で実施している。

標尺	標高	層厚	深度	柱状図	土質区分	色調	相對密度	相對稠度	記事	孔内水位／測定月日	観測管VP65	原位置試験
m	m	m	m	図	分	調	度	度	事		深度 m	試験名 及び結果
	65.73	0.60	0.60		埋土・砂礫	褐灰				4/14 0.55	0.30	
1	64.43	0.80	1.40		風化岩	黄褐 黒灰			岩芯まで強風化 打撃サンブラ-にて採取可能 岩盤等級D相当	4/13 1.18	砂利充填 (φ2~4mm)	0.55 流向流速 (42° 2.80 E-04cm/sec)
2					砂岩	灰			亀裂発達 コアは5~10cmの短柱状主体 亀裂面は酸化し、褐色 岩盤等級CM相当		有孔管 25	2.00
3	62.83	1.60	3.00		風化岩	暗褐灰 黒灰			砂岩・泥岩互層 岩芯まで風化進む コアは礫状~粘土状 岩盤等級D相当		止水 ナイロンシール	ルジオンテスト Lu'=132.55
4	61.83	1.00	4.00								底蓋	3.00
5											セメント 充填	
6					砂岩	灰			亀裂発達 コアは短柱状~片状~礫状 岩盤等級CL~CM相当 5.80~6.15m間、亀裂著しい			
7												
8												
9												
10	55.83	6.00	10.00									ルジオンテスト Lu'=6.77
11												
12												
13												
14												
15												

図 2.3 BW-03 柱状図

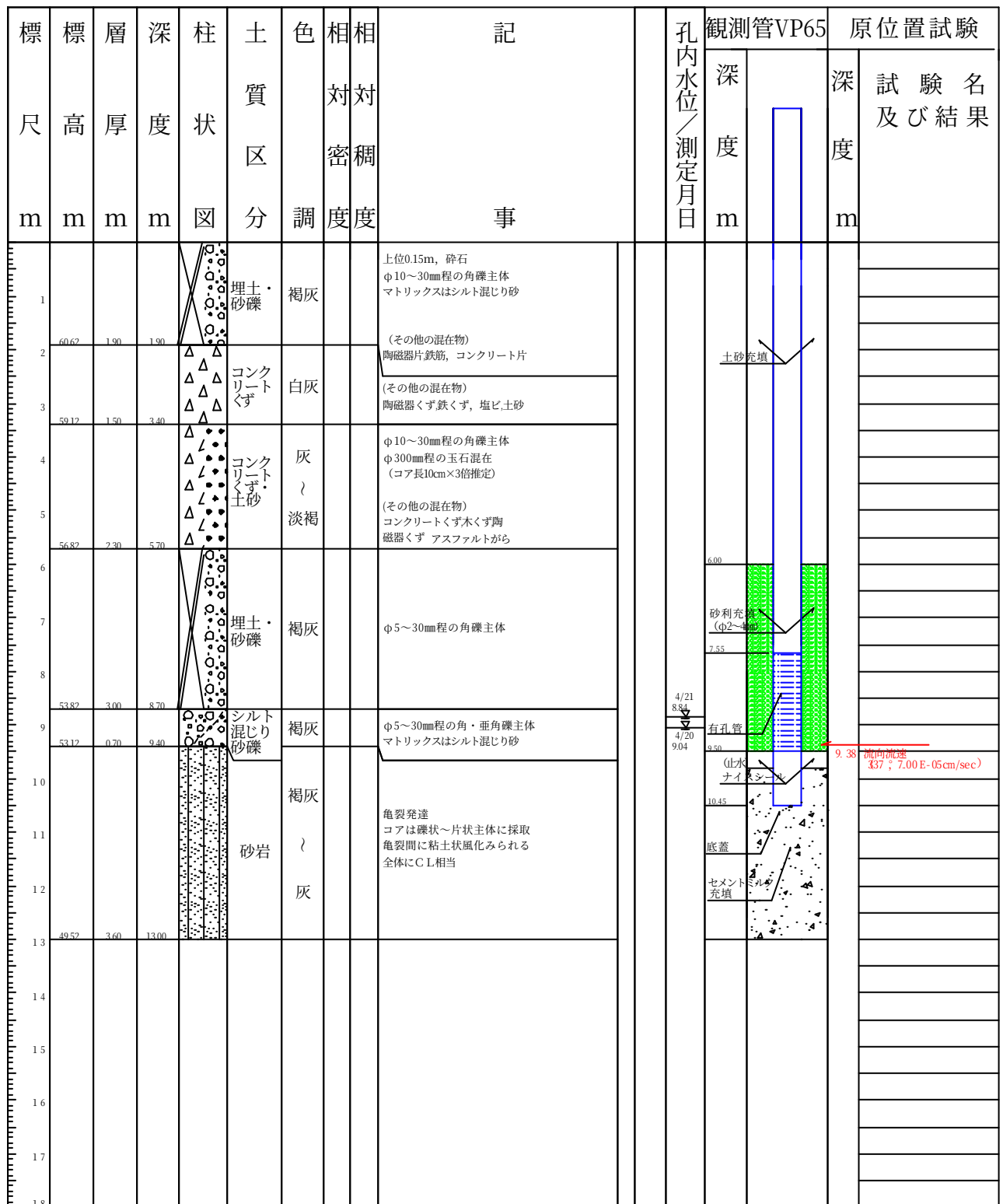


図 2.4 BW-04 柱状図

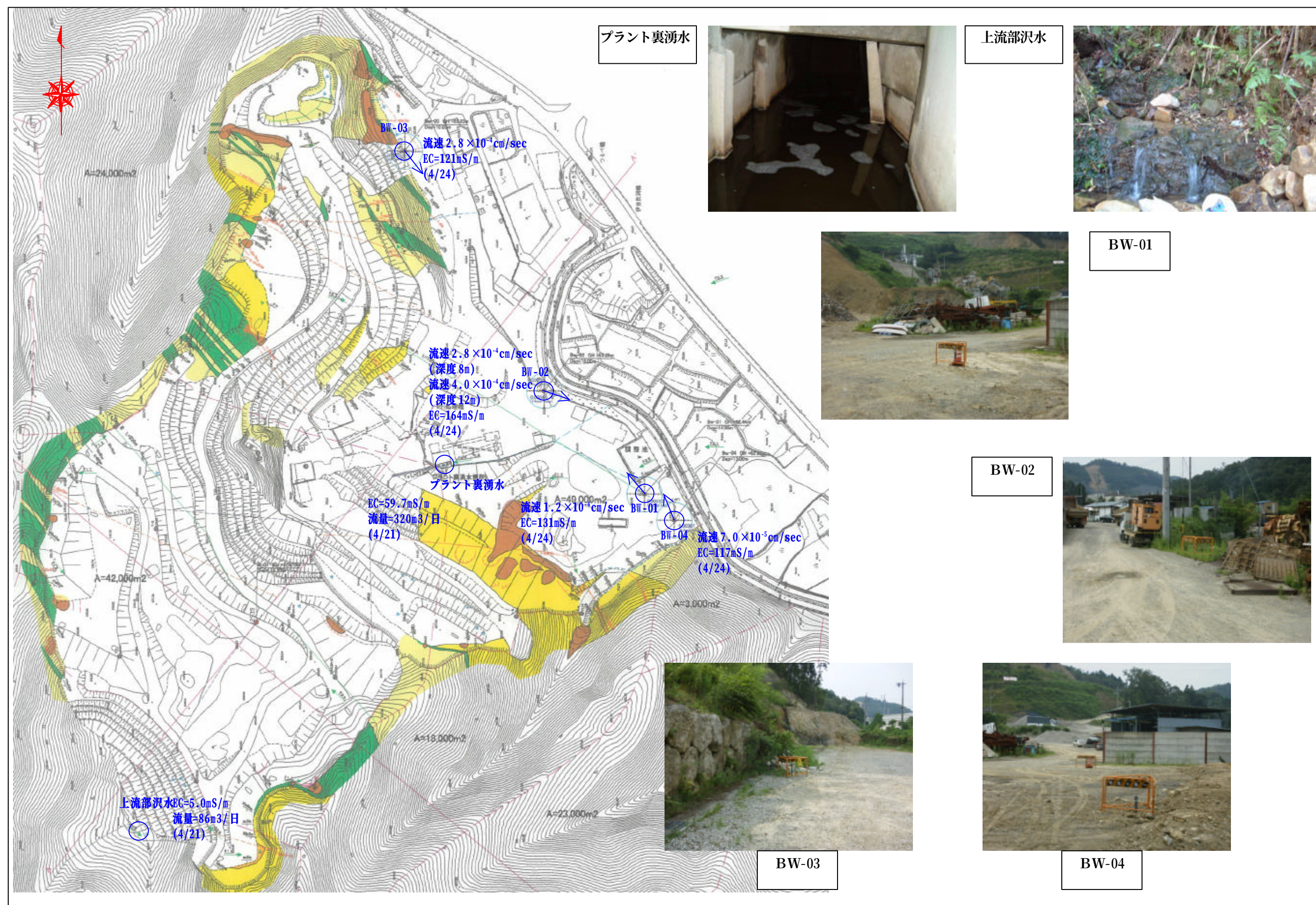


図 2.5 調査位置図

2.2 調査項目と分析方法

調査項目は、健康項目、およびダイオキシン類を対象とした。調査項目と分析方法を表 2.1に示す。

表 2.1 地下水・湧水に関する調査項目と分析方法

健康項目(26項目)		地下水の水質汚濁に係る環境基準について (平成9年3月13日環境庁告示第10号 最終改正：平成11年2月22日環境省告示第16号)
生活環境項目 (pH)		環境大臣が定める排水基準に係る検定方法 (昭和49年9月30日環境庁告示第64号 最終改正：平成13年6月13日環境省告示第37号)
電気伝導率		JIS K0102 13
ダイオキシン類		工業用水・工場排水中の ダイオキシン類及びコプラナーPCBの測定方法 JIS K 0312(1999)
イ オ ン	塩化物イオン	JIS K 0102 35.3
	硫酸イオン	JIS K 0102 41.3
	ナトリウム	JIS K 0102 48.1
	カリウム	JIS K 0102 49.2
	カルシウム	JIS K 0102 50.2
	マグネシウム	JIS K 0102 51.2
	炭酸水素イオン	JIS K 0102 25.2

3. 調査結果

3.1 試料採取

①観測井戸

観測井戸からの採水は、水中ポンプを用いて実施した。採水は、孔内の水を十分に揚水し、電気伝導率の値が安定した状態で実施した。なお、コンタミを防ぐため地点ごとに水中ポンプおよびホースを交換し採水を行った。ホースの仕様は以下のとおり。

品名：ブレードホース
仕様：使用系(超強化テトロン)、耐熱温度(60℃)、材質(PVC(塩化ビニル樹脂))、補強材(ポリエステル系)

②プラント裏湧水

プラント裏湧水は、貯水ピットから直接採水を行った。

3.2 調査結果

調査結果を表 3.1に示す。

表 3.1地下水および湧水調査結果

調査項目	単位	BW-01	BW-02	プラント裏湧水	定 量 下限値
採取日	-	2004.4.26	2004.4.26	2004.4.26	-
水位(標高換算値)	m	52.12	57.05	-	-
水温	°C	17.6	17.6	18.1	-
カルシウム	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.001
シアノ	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.01
鉛	mg/L	0.002	0.003	定量下限値未満	0.001
六価クロム	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.01
砒素	mg/L	0.005	0.003	定量下限値未満	0.001
総水銀	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0001
メチル水銀	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0005
PCB	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0003
ジクロロメタン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.002
四塩化炭素	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0002
1,2-ジクロロエタン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0004
1,1-ジクロロエチレン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.002
シス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.004
1,1,1-トリクロロエタン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.1
1,1,2-トリクロロエタン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0006
トリクロロエチレン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.003
テトラクロロエチレン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.001
1,3-ジクロロプロペン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0002
チウラム	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.001
シマジン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0006
チオベンカルブ	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0003
ベンゼン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.002
セレン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	0.001
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	mg/L	定量下限値未満	3.8	8.7	0.1
ふっ素	mg/L	定量下限値未満	0.34	定量下限値未満	0.08
ほう素	mg/L	0.22	0.85	2.6	0.01
ダイオキシン類	pg-TEQ/L	0.047	0.74	0.068	-
電気伝導率	mS/m	110	160	100	-
水素イオン濃度	—	6.8(20°C)	7.2(20°C)	7.5(20°C)	-

3.3 調査結果に対する評価

1) 評価の考え方(地下水)

①ダイオキシン類を除く項目

「地下水の水質汚濁に係る環境基準」に基づき評価を行う。

②ダイオキシン類

「ダイオキシン類による大気汚染、水質汚濁、土壌汚染に係る環境基準」に基づき評価を行う。

表 3.2 調査結果と評価値との比較

調査項目	単位	BW-01	BW-02	定 量 下限値	評価値
採取日	-	2004.4.26	2004.4.26	-	-
水位(標高換算値)	m	52.12	57.05		
水温	℃	17.6	17.6		
カドミウム	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.001	0.01以下
アソ	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.01	検出されないこと
鉛	mg/L	0.002	0.003	0.001	0.01以下
六価クロム	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.01	0.05以下
砒素	mg/L	0.005	0.003	0.001	0.01以下
総水銀	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0001	0.0005以下
メチル水銀	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0005	検出されないこと
PCB	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0003	検出されないこと
ジクロロメタン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.002	0.02以下
四塩化炭素	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0002	0.002以下
1,2-ジクロロエタン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0004	0.004以下
1,1-ジクロロエチレン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.002	0.02以下
トリス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.004	0.04以下
1,1,1-トリクロロエタン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.1	1以下
1,1,2-トリクロロエタン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0006	0.006以下
トリクロロエチレン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.003	0.03以下
テトラクロロエチレン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.001	0.01以下
1,3-ジクロロプロパン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0002	0.002以下
チオラム	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.001	0.006以下
シマジン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0006	0.003以下
チオベンザルブ	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.0003	0.02以下
ベンゼン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.002	0.01以下
メレン	mg/L	定量下限値未満	定量下限値未満	0.001	0.01以下
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	mg/L	定量下限値未満	3.8	0.1	10以下
ふっ素	mg/L	定量下限値未満	0.34	0.08	0.8以下
ほう素	mg/L	0.22	0.85	0.01	1以下
ダイオキシン類	pg-TEQ/L	0.047	0.74	-	1以下
電気伝導率	mS/m	110	160	-	-
水素イオン濃度	mg/L	6.8(20℃)	7.2(20℃)	-	-

2) 評価

定量下限値を超えて検出された調査項目は表 3.3のとおりである。全ての項目において評価値（地下水環境基準）を満足した結果となった。

表 3.3 定量下限値を超えた調査項目

調査項目	単位	BW-01	BW-02	定 量 下限値	評価値
鉛	mg/L	0.002	0.003	0.001	0.01以下
砒素	mg/L	0.005	0.003	0.001	0.01以下
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	mg/L	定量下限値未満	3.8	0.1	10以下
ふっ素	mg/L	定量下限値未満	0.34	0.08	0.8以下
ほう素	mg/L	0.22	0.85	0.01	1以下
ダイオキシン類	pg-TEQ/L	0.047	0.74	-	1以下

3) 評価の考え方(湧水)

プラント裏湧水は、湧水後暗渠により調整池に流入し、排水として原川に放流されている。よって、「排水基準を定める総理府令に基づく排水基準」に基づき評価を行う。また、ダイオキシン類については、「ダイオキシン類対策特別措置法に定める水質排出基準」に基づき評価を行う。

表 3.4 調査結果と評価値との比較

調査項目	単位	プラント裏 湧水	定 量 下限値	評価値
採取日	-	2004.4.26	-	-
水温	℃	18.1		
カルシウム	mg/L	定量下限値未満	0.001	0.1以下
シリコン	mg/L	定量下限値未満	0.01	1以下
鉛	mg/L	定量下限値未満	0.001	0.1以下
六価クロム	mg/L	定量下限値未満	0.01	0.5以下
砒素	mg/L	定量下限値未満	0.001	0.1以下
総水銀	mg/L	定量下限値未満	0.0001	0.005以下
アルキル水銀	mg/L	定量下限値未満	0.0005	検出されないこと
PCB	mg/L	定量下限値未満	0.0003	0.003以下
ジクロロメタン	mg/L	定量下限値未満	0.002	0.2以下
四塩化炭素	mg/L	定量下限値未満	0.0002	0.02以下
1,2-ジクロロエタン	mg/L	定量下限値未満	0.0004	0.04以下
1,1-ジクロロエチレン	mg/L	定量下限値未満	0.002	0.2以下
シス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	定量下限値未満	0.004	0.4以下
1,1,1-トリクロロエタン	mg/L	定量下限値未満	0.1	3以下
1,1,2-トリクロロエタン	mg/L	定量下限値未満	0.0006	0.06以下
トリクロロエチレン	mg/L	定量下限値未満	0.003	0.3以下
テトラクロロエチレン	mg/L	定量下限値未満	0.001	0.1以下
1,3-ジクロロプロパン	mg/L	定量下限値未満	0.0002	0.02以下
チウラム	mg/L	定量下限値未満	0.001	0.06以下
シマジン	mg/L	定量下限値未満	0.0006	0.03以下
チオベンカルブ	mg/L	定量下限値未満	0.0003	0.2以下
ベンゼン	mg/L	定量下限値未満	0.002	0.1以下
セレン	mg/L	定量下限値未満	0.001	0.1以下
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	mg/L	8.7	0.1	100以下
ふっ素	mg/L	定量下限値未満	0.08	8以下
ほう素	mg/L	2.6	0.01	10以下
ダイオキシン類	pg-TEQ/L	0.068	-	10以下
電気伝導率	mS/m	100	-	-
水素イオン濃度	mg/L	7.5(20℃)	-	-

4) 評価

定量下限値を超えて検出された調査項目は表 3.5のとおりである。全ての項目において評価値（排水基準および排出基準）を満足した値となった。

表 3.5 定量下限値を超えた調査項目

調査項目	単位	プラント裏湧水	定 量 下限値	評価値
鉛	mg/L	定量下限値未満	0.001	0.1以下
砒素	mg/L	定量下限値未満	0.001	0.1以下
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	mg/L	8.7	0.1	100以下
ふっ素	mg/L	定量下限値未満	0.08	8以下
ほう素	mg/L	2.6	0.01	10以下
ダイオキシン類	pg-TEQ/L	0.068	-	10以下

3.4 イオン分析の結果

3.4.1 分析結果

上流部沢水およびプラント裏湧水を対象としたイオン分析結果を表 3.6に、ヘキサダイアグラムを図 3.1に示す。また、今回の調査で上流部沢水は、廃棄物層ボーリングの掘削水として使用したため、その安全性を確認するため、重金属等についても分析を行った。

表 3.6 イオン分析結果

調査項目	上流部沢水		プラント裏湧水	
	採水日2004.4.8		採水日2004.4.13	
pH	7.4(10.0℃)		7.3(18.6℃)	
電気伝導率(ms/m)	4.3		93.7	
単位	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L
カルシウムイオン	0.5	0.01	13	0.33
ナトリウムイオン	3.7	0.16	61	2.65
カルシウムイオン	4	0.20	100	4.99
マグネシウムイオン	1.4	0.12	16	1.32
Σ +		0.49		9.29
塩化物イオン	2.7	0.08	110	3.10
炭酸水素イオン	14	0.23	120	1.97
硫酸イオン	3.3	0.07	180	3.75
炭酸イオン	4未満		4未満	
Σ -		0.37		8.82

表 3.7 上流部沢水重金属等分析結果

調査項目	単位	上流部沢水	定量下限値
カドミウム	mg/L	定量下限値未満	0.001
鉛	mg/L	定量下限値未満	0.001
六価クロム	mg/L	定量下限値未満	0.01
砒素	mg/L	定量下限値未満	0.0005
総水銀	mg/L	定量下限値未満	0.0001
セレン	mg/L	定量下限値未満	0.0005
ふっ素	mg/L	定量下限値未満	0.08
ほう素	mg/L	定量下限値未満	0.01

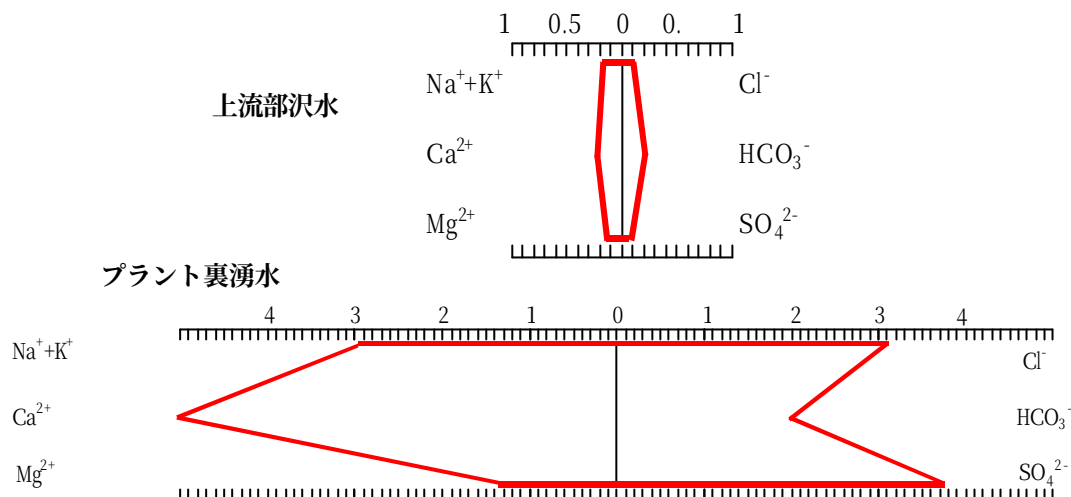


図 3.1 ヘキサダイアグラム

3.4.2 比較

①電気伝導率

プラント裏湧水は上流部沢水の20倍以上上昇している。

②イオン濃度

イオン濃度は物質によって幅があるが10倍～50倍上昇している。特に、陽イオンではカリウムイオンとカルシウムイオンが、陰イオンでは硫酸イオンが高い値となっている。

3.4.3 イオン分析結果の考察

イオン分析の結果から、上流部沢水は、廃棄物層から高濃度のイオンの溶出を受け、プラント裏に湧水していることが判明した。特にカルシウムイオンおよび硫酸イオンが高濃度で検出されていることから、不法投棄された廃棄物中に硫酸カルシウムを含む物質が多く含まれていることが想像される。

3.5 地下水位観測結果および流量観測結果 (参考)

参考調査として、地下水位の変動を把握するため、Bw-01およびBw-02に自記水位計を設置するとともに、プラント裏湧水・上流部沢水の流量観測を行った。

表 3.8に自記水位計の仕様を示す。なお、流量観測は、20Lバケツを用いた容器法によった。

表 3.8 自記水位計の仕様

名 称	miniTROLL(In-Situ Inc)(ケーブル：Polyurethane Cable)	
機器概要	水没素材	316 ステンレス, Viton, FEP 又は ポリウレタン(ケーブル)
	分解能	16-bitA/Dコンバータ
センサー	項 目	圧力センサー
	動作原理	集積型インゲージ圧力センサー
	レンジ/精度	11m(103.4kPa)/±0.2% of FS
	耐力圧力	定格の2倍(11mレンジは定格の3倍)
	動作温度	-5℃～50℃
	計測スケジュール	等間隔(最小0.5秒), ログ, イベント

3.5.1 地下水位変動

地下水位連続観測データと降雨量との関係を図 3.2および図 3.3に示す。降雨データは最も直近の気象観測局である「山縣市平井」を採用している。

Bw-01：降雨による水位の変動はほとんどない。(6/28 から一時的に水位が上昇したのは、擁壁崩壊の原因である、「雨水が排水路の閉塞により地表面への流出した」ことが影響していると考えられる)

Bw-02：降雨に連動した水位上昇(10cm程度)が確認できる。

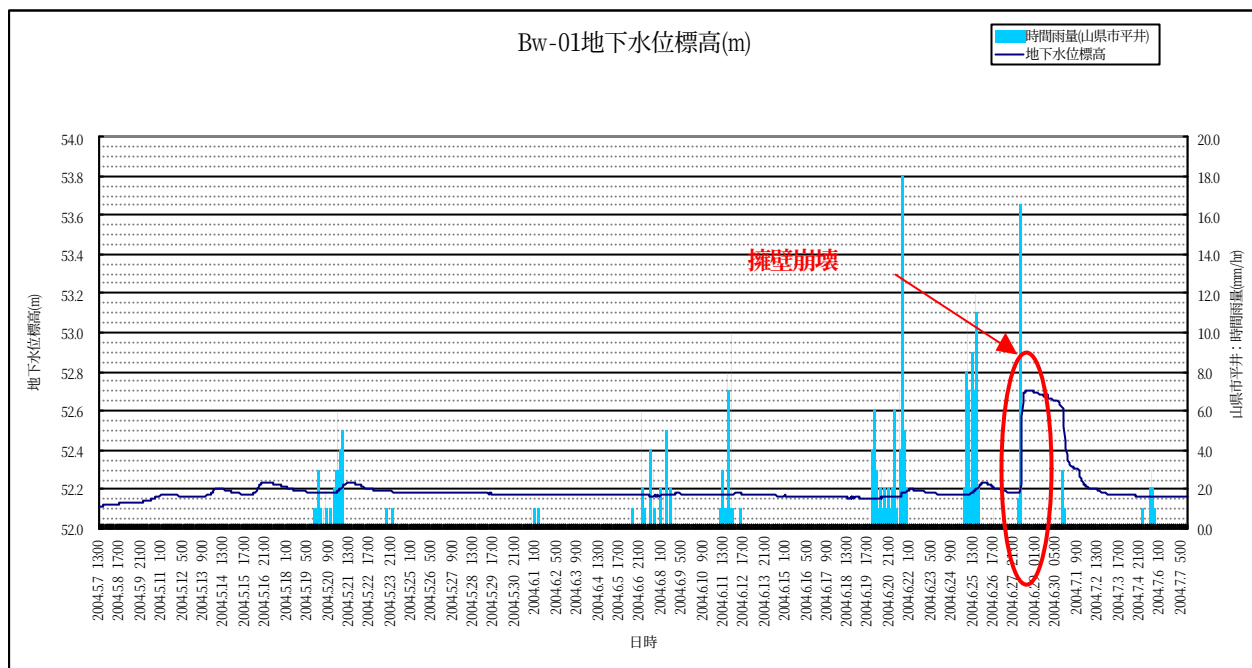


図 3.2 地下水連続観測結果 Bw-01

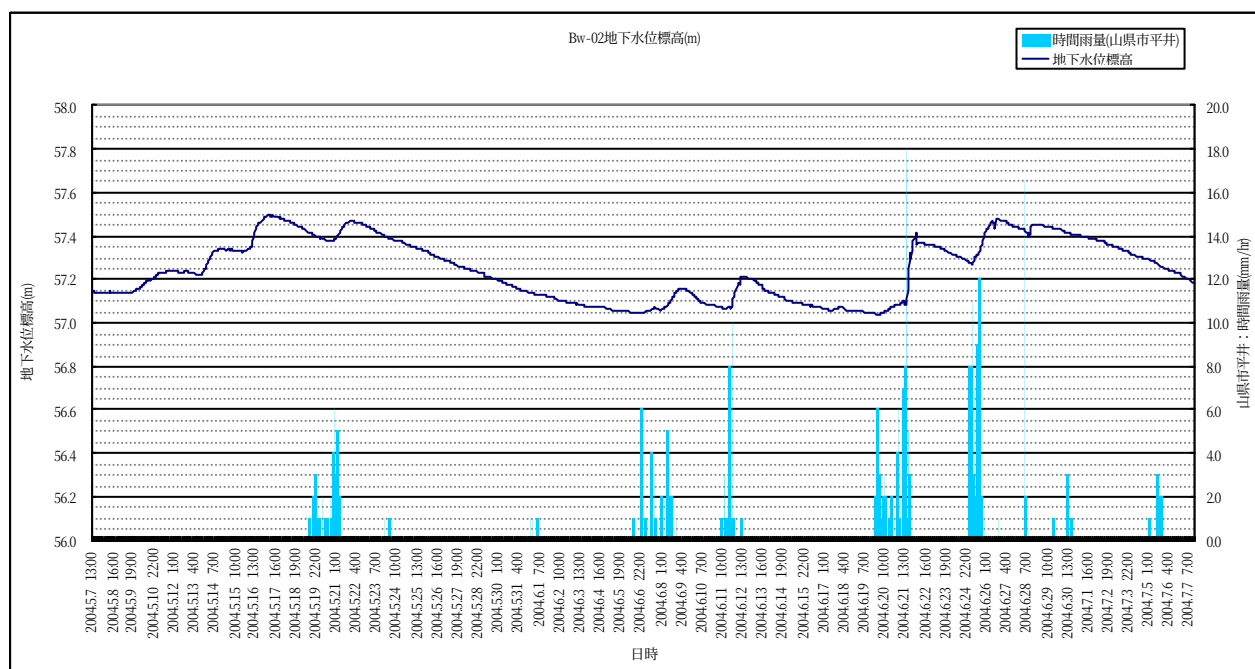


図 3.3 地下水連続観測結果 Bw-02

3.5.2 流量観測結果

流量観測結果を表 3.9に示す。降雨データは「岐阜観測局(該当日の平井データが欠測であるため)」を用いている。データ数が少なく評価が困難であるが観測結果をまとめると、以下の事項が挙げられる。

- ①流量比：プラント裏湧水と上流部沢水の水量比は3～5：1程度である。
- ②降雨に伴う流量変化：降雨後流量が2倍以上増加する。

表 3.9 流量観測結果

測定日	降雨量 (mm/日)	E C (mS/m)	プラント裏湧水				上流部沢水				
			pH	水温	流量 L/sec	流量 m3/日	E C (mS/m)	pH	水温	流量 L/sec	流量 m3/日
4月8日	0.5	-	-	-	-	-	4.3	7.4	10.0	1.2	104
4月12日	0	92.2	7.3	19.5	-	-	-	-	-	-	-
4月21日	0	59.7	7.2	17.6	3.7	320	5.0	7.2	10.5	1.0	86
4月23日	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	51
5月8日	0	142.0	7.2	19.3	3.6	311	-	-	-	-	-
5月11日	0(前日22)	99.8	7.2	19.0	5.4	467	-	-	-	-	-
5月13日	33.5	100.5	7.3	19.9	4.5	389	-	-	-	-	-
5月14日	0.5	81.8	7.1	18.5	8.6	743	-	-	-	-	-
5月15日	10	108.7	7.3	19.0	6.5	562	-	-	-	-	-
5月17日	7.0	105.4	7.0	19.9	8.7	752	-	-	-	-	-

3.5.3 岐阜市内地下水の水質(平成 15 年度岐阜市環境白書から)

平成 14 年度概況調査結果から岐阜市内の地下水水質データを抜粋したものを表 3.10に示す。岐阜市内の地下水の電気伝導率は3.2～24mS/m であり、硝酸性窒素は、1.0mg/L 前後である。

表 3.10 岐阜市の地下水(EC・N03-Nを抜粋)

		電気伝導率 (mS/m)	硝酸性窒素 (mg/L)
D5-2-1	東鶉	24	0.6
D4-4-3	西河渡	19	1.9
D5-2-2	菅生	12	0.9
D5-4	則松	17	0
E4-3-3	祈年町	13	0.9
E5-1-3	南蟬	10	1.3
E5-2-2	岩滝東	14	0
E5-3-2	岩崎	10	0.4
E5-3-3	粟野西	17	1.9
E5-3-1	太郎丸新屋敷	15	1.3
E6-2	山県岩西	5.7	0.9
D5-2-1	曾我屋	19	0
E4-3-4	細畑	16	1.1
E5-3-1	岩崎	17	1.3
E5-1-1	津島町	8.2	0.6
E5-2-1	日野南	3.2	0.2
E5-2-4	芥見大船	3.3	0
E5-4-1	溝口中	17	0.8
D4-4-4	清本町	9.0	0.6
D4-4-1	次木	15	0.4
D6-2	外山	7.7	1.1
平均値		13.0	0.8
最大値		24.0	1.9
最小値		3.2	0

*表中の 0 は定量下限値未満を示す



4. 原位置試験

4.1 試験方法

1) 現場透水試験

単孔式の現場透水試験は、ボーリング孔内の地下水位を一時的に変化させ、その回復状況を観測する「非定常法」と、孔内の地下水位を注水や排水によって一定に保ちながら、注水・排水量を測定する「定常法」がある。

図 4.1 にボーリング孔を使用した現場透水試験について概要図を示す。

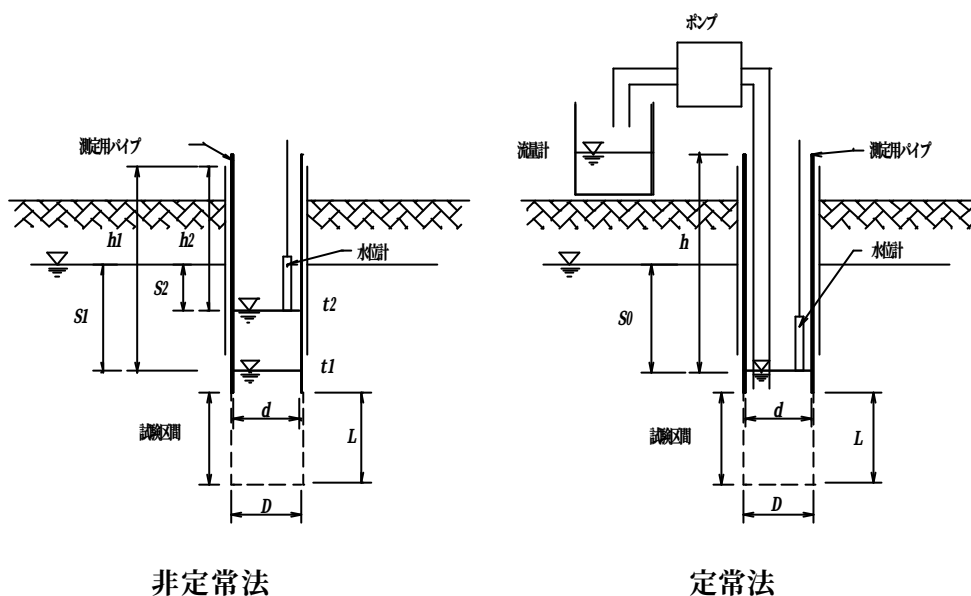


図 4.1 現場透水試験の概要 (出典：地盤工学
会：地盤調査法)

非定常法は透水係数が 1.0×10^{-3} cm/s 程度以下の地盤に、また、定常法は透水係数が 1.0×10^{-3} cm/s 以上の地盤や地下水位が深い場合に適用される。

非定常法の透水係数 k の算定式については、式①で求める。

$$k = \frac{d^2}{8L} \cdot \ln \left(\frac{2L}{D} \right) \cdot \frac{(\ln s_1 - \ln s_2)}{(t_2 - t_1)} \dots\dots (式①)$$

定常法の透水係数 k の算定式については、式②で求める。

$$k = \frac{Q_0}{2\pi \cdot L \cdot s_0} \cdot \ln \left(\frac{2L}{D} \right) \dots\dots (式②)$$

2) ルジオン試験

ルジオン試験は、割れ目を含む不均質な岩盤の透水性の指標となるルジオン値 (Lu) を求める試験である。測定方法は、孔径 66mm のボーリング孔について、試験区間をパッカーで独立させ、水を圧力 1Mpa で注入した場合の単位長さ (m) あたりの単位時間注入量 (ℓ/分) を表したものをルジオン値 (Lu) [ℓ/min/m] という。図 4.2にルジオン試験の概念図について示す。

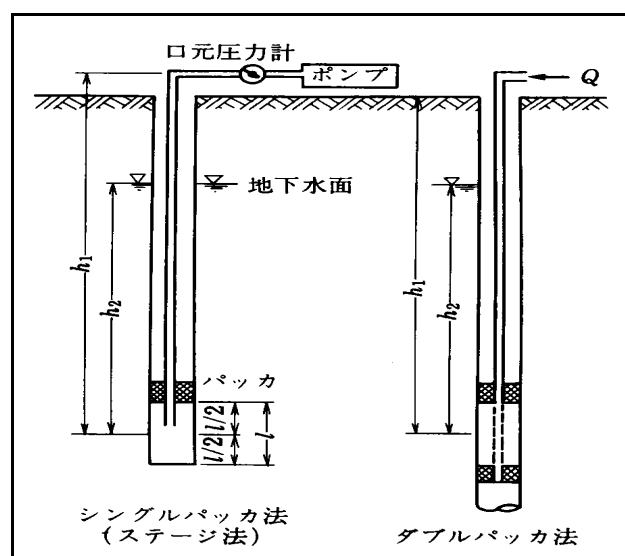


図 4.2 ルジオンテスト概念図

測定機器の構成は、加圧制御型ポンプ、圧力計および流量計とロッド、パッカーなどで構成され、パッカーは窒素ガスを用いて膨張させるタイプのエアーパッカーを使用した。

測定は、パッカーにより区切られた試験区間について、水の注入圧力を 5 段階に分けて行った。各注入圧力の段階における注入量の記録は、注入量が一定に落ち着いた後、5 分間測定とした。

ルジオン値 (Lu) は、注入圧力 (P) 1 MPa 時の注入量 (Q) を表すが、実際の岩盤では亀裂等の影響により、注入圧力 1MPa 以下で岩盤が降伏状態となる場合が多い。その場合、注入圧力 - 注入量曲線 (P - Q 曲線) の直線区間を延長し、注入圧力 1MPa にあたる注入量 (Q) を換算ルジオン値 (Lu') とする。

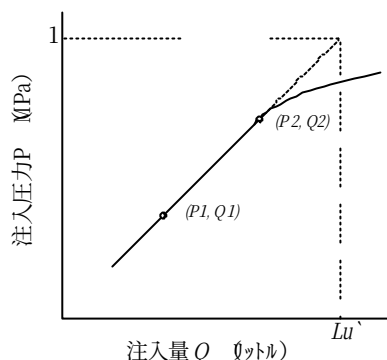


図 4.3 注入圧力～注入量曲線 (P～Q 曲線) の例

P～Q 曲線が直線関係にあるという条件から、次式③により換算ルジオン値を求める。

$$Lu' = \frac{(Q_2 - Q_1)}{(P_2 - P_1) \cdot I} \quad \dots\dots (式③)$$

ここに、 Lu' : 換算ルジオン値

Q : 注入量 (リットル/min)

P : 注入圧力 (MPa)

I : 試験区間長 (m)

注入圧力は、口元圧力から試験区間中央までの静水圧、地下水位、管内抵抗による損失抵抗の補正を行うものとする。

$$P = P_0 + \gamma_w (h_1 - h_2 - h_3)$$

ここに、 P : 有効注入圧力 (MPa)

P₀ : 口元圧力 (MPa)

h₁ : 口元圧力計から試験区間中央までの標高差 (m)

h₂ : 地下水位から試験区間の中央までの水頭 (m)

(被圧水の場合にはそれに相当する水頭)

h₃ : 管内抵抗による損失水頭 (m)

γ_w : 水の単位体積重量 (=0.1MPa)

3) 地下水流向流速測定

今回の測定は、流向流速計〔株)CTIサイエンスシステム製 PZ1005 型〕による流向・流速測定に「ポイントダイリュション法」による流速測定を併用して実施した。

地下水流向流速計による測定値は、ボーリング孔内の地下水流速を測定するため、地盤内と透過する浸透流、つまり現実的な地下水の流速(ダルシー流速)に比べ 10～100 倍程度速くなる傾向がある。そのため、実際の地盤内に地下水が浸透する速さを測定可能な「ポイントダイリュション法」を併用した。

①流向流速測定(PZ1005 型)

本測定器は、電子コンパスにより方向を制御されてボアホールカメラにより、孔内のトレーサー物質（微粒子）の移動を直接観察して流向を観測し、またトレーサー物質の移動距離と時間からボーリング孔内における流速を測定する。主な仕様、装置構成を図 4.4、作業フローを図 4.5に示す。

測定は、測定深度に計測装置を装置上部のエアパッカーを用いて固定する。このエアパッカーは孔内の垂直方向の流れを抑制する役目も併せ持つ。その後、計測装置挿入に伴う孔内地下水の乱れが収まり、安定するまで静置し、個々のトレーサー物質(微粒子)の移動を観察・記録した。

測定結果は各地点毎に整理し、その後平面図等に各地点の結果を図示してとりまとめた。

<PZ1005 型流向流速計の主な仕様>

測定方式 : トレーサーの移動観察方式

流速測定範囲 : 0.001~0.1cm/sec

流速測定精度 : 繰返し回数により異なる

流向測定範囲 : 0~360°

流向測定精度 : ±15° 程度以内

水温測定範囲 : -5~+50℃

トレーサー物質 : 水中浮遊性物質

検出部形状 : φ49mm L500mm(パッカー部含 850mm)

検出部重量 : 2.0kg(パッカー部含 3.5kg)

検出部耐水圧 : 1MPa(約 100m)

表示部形状 : 470×400×470mm 角形アルミケース

表示部重量 : 10.5kg(内蔵電源含む)

電源 : 3 電源方式(内蔵蓄電池・D C12V 端子・A C100V 端子)

消費電力 : 30W以内

使用温度 : 0~50℃

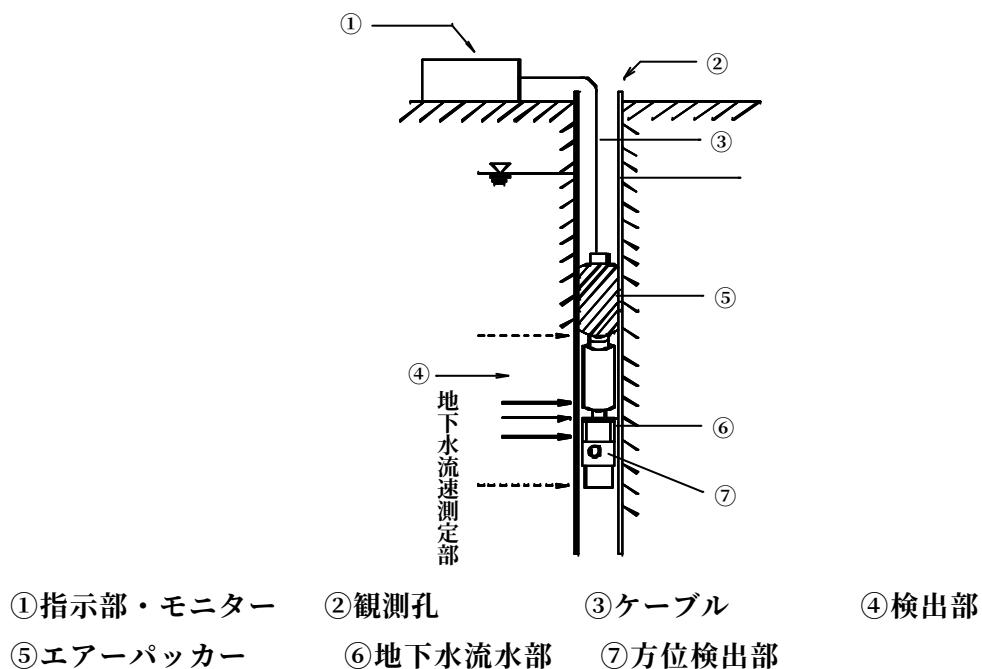


図 4.4 PZ1005 型流向流速計装置概要

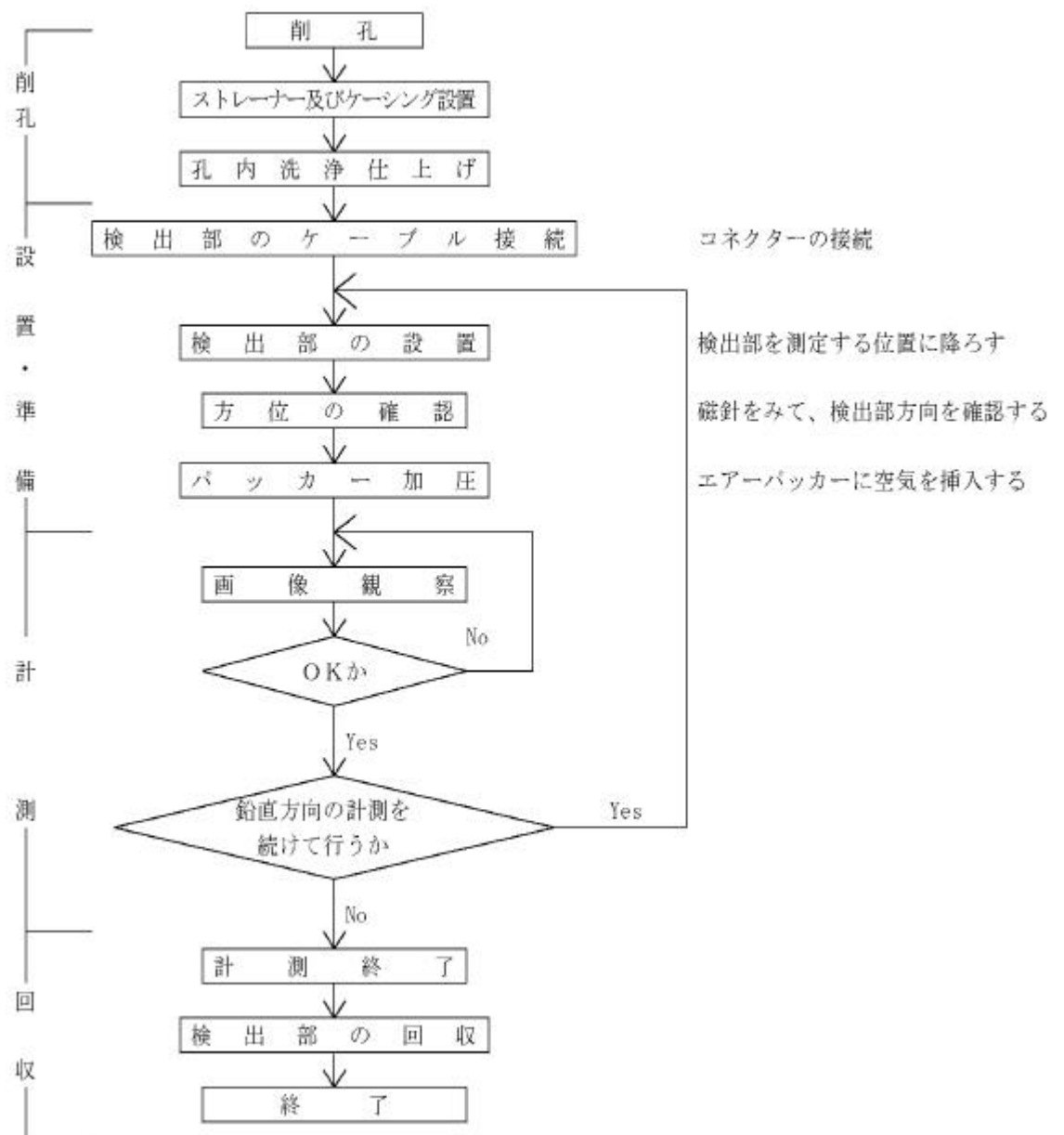


図 4.5 PZ1005 型流向流速計 計測作業フローチャート

②地下水流速測定(ポイントダイリューション法)

本方法は観測孔にレーサー物質を投入し、その希釈速度より地下水流速を測定する方法である。トレーサー物質は塩 (NaCl) を使用した。

観測は、小型ポンプ等を使用して NaCl 水溶液を観測孔内の測定深度に注入、混合の後、電気伝導率計検出ゾンデを測定深度に設置し、電気伝導率を一定時間毎に測定した。なお NaCl 濃度と電気伝導率は比例関係にある事から、電気伝導率を NaCl 濃度とみなした。

地下水流速は次式により算出する。

$$V = \frac{\pi d \ln(C_o / C)}{8 t} \quad \dots\dots (式④)$$

V : 地下水流速(断面平均流速)

d : 観測孔径

C_o : トレーサー初期濃度

C : 経過時間 t 後のトレーサー濃度

t : 測定開始後の経過時間

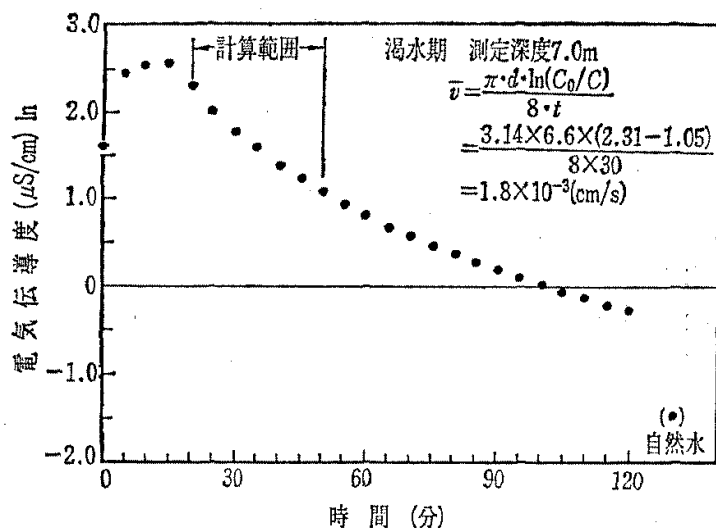


図 4.6 ポイントダイリューション法による流速測定事例 (出典:「地下水ハンドブック」(1979))

4.2 試験結果

1) 地下水状況の概要

ボーリング結果や地下水の状況より、場内の地下水賦存は以下のようなタイプであると考えられる。

- ①基盤岩上位の崖錐および礫質土主体の廃棄物に賦存する自由地下水
- ②基盤岩の断層破碎帯に賦存する地下水

①崖錐および廃棄物層に賦存する自由地下水の状況

場内下流側で実施したボーリング結果より、基盤岩の上位には、崖錐堆積物やコンクリートガラ等の廃棄物が確認され、地下水は上位の未固層に賦存している。

場内下流側の地形状況は、原川に注ぐ沢筋の合流部であり谷底低地となっており、崖錐堆積物とその上位に廃棄物が分布している。今回の地下水ボーリングは Bw-1～2、4 をこの平坦面において実施しており、基盤岩の直上に分布する未固結層に地下水位を確認した。

・帯水層

場内下流側では、不透水層までの深度が浅く、帯水層となる未固結層の平面分布は不連続かつ小規模である。

・涵養源

当該地下水の涵養は、直接的な降水や沢筋上流部からの浸透によるものと考えられる。また、前述した降水記録と地下水位の応答性が低いことから、たまり水的な状況にあると考えられる。

②基盤岩の断層破碎帯に賦存する地下水の状況

当該地の基盤岩を構成する堆積岩は、前記したとおり付加体地質である（第二編 基礎調査 参照）。一般的に岩盤の透水性は小さく実際的には不透水層であるが、当該する砂岩や泥岩またはその互層は、亀裂が多く、岩盤としては透水性が大きい傾向にある。

地下水ボーリング Bw-3 で、岩盤が土砂状をなす断層破碎帯に地下水を確認した。断層破碎帯中の地下水は、地下水賦存の概念では「裂隙水」と区分されるが、当該状況では、基盤岩深度が非常に浅いため、岩盤表層の劣化部に賦存する自由地下水と似た状況を呈し、帯水層としての規模は小さいと考えられる。

なお裂隙水は破碎帯に賦存することから、水頭差が生じた場合、破碎帯に沿って地下水が流動するケースが考えられ、場内の地下水が沢筋以外の経路で場外に浸出することが懸念される。

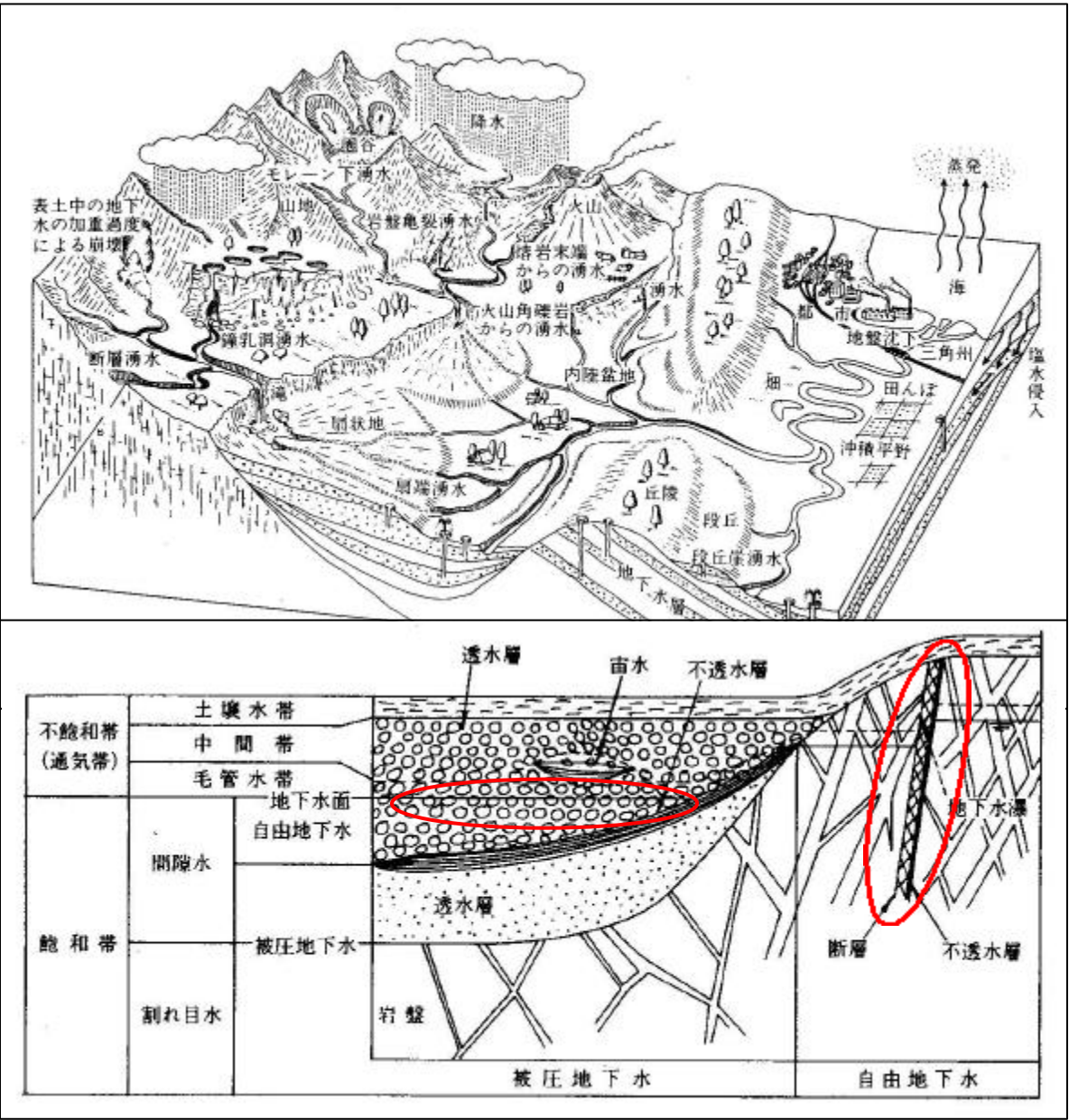


図 4.7 地下水賦存の概念図 ((出典:「地下水ハン
ドブック」(1979))

2) 透水試験結果

調査地における帯水層の透水性を把握するため、現場透水試験を実施した。試験結果を表 4.1に示す。

表 4.1 現地透水試験結果一覧表

地点名	試験深度 (GL-m)	試験方法	透水係数 k (cm/s)	試験地盤	平衡水位 (GL-m)
Bw-01	9.35～10.35	定常・注水	6.92×10^{-3}	砂礫	10.30
Bw-02	6.90～7.90	定常・注水	3.03×10^{-4}	砂礫	6.15

試験結果として、概ね $10^{-4} \sim 10^{-3}$ (cm/sec) の透水係数を確認した。

この透水係数の傾向を一般的な土砂と比較すると、透水性は「わずか～良好」にまたがる範囲に当該する。

場内下流側の土層構成は、下位より地山の「基盤岩、崖錐堆積物、廃棄物」の順に成層している。今回の試験対象は地山部表層の崖錐堆積物層に当該し、崖錐堆積物層は場外へもその分布するため、崖錐堆積物に賦存する場内の地下水は、場外に浸透していることが想定される。

ここで、当該地下水位の流下・拡散防止の観点から地下水の流下を検討すると、場内下流側の末端部に設置されているブロック積みおよび擁壁状の構造物の基礎底面が、基盤岩に根入れされているか否かが問題となり、今後の調査で解明する必要がある。

ただし、場内下流部の面積に比して本調査での観測井戸設置本数が少ないため、後続調査では、ボーリング等により観測井戸の本数を増やし、当該地下水の状況を詳細に把握することが必要であると思われる。

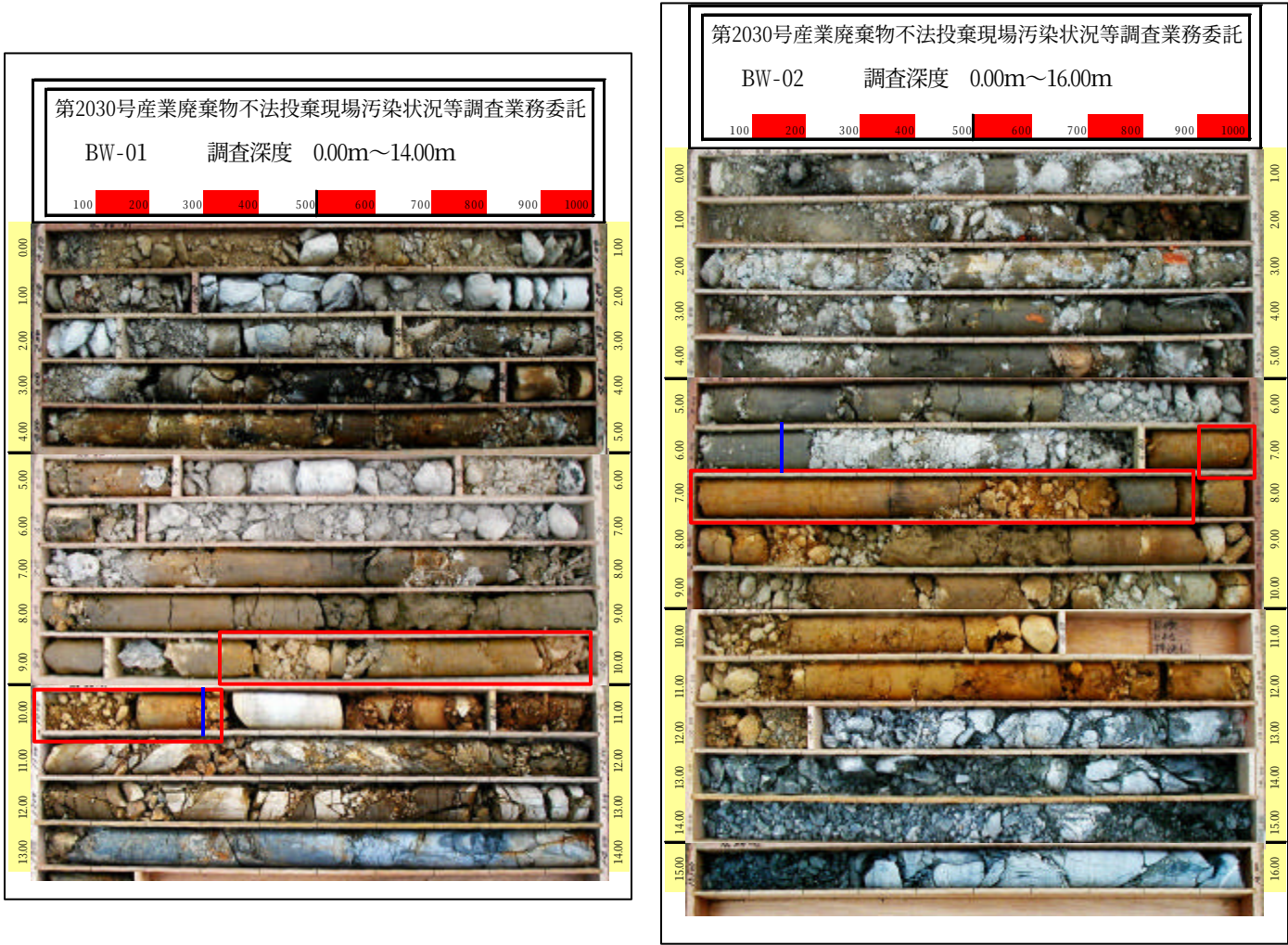


図 4.8 コア写真（赤枠：透水試験区間 青線：地下水位）

表 4.2 土の透水係数<sup>(出典：「地下水ハン
ドブック」(1979))</sup>

透水係数cm/Sec	10 ¹	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
透水性			良	好		わず	か		実用的に不透水層		
土の型	きれいな礫	きれいな砂、きれいな砂と礫の混合物			非常に細かい砂、有機物質および無機質シルト、砂シルト、粘土の混合物				不透水性の土		
					風化の結果できた不透水性の土						

3) ルジオン試験結果

調査地における基盤岩の透水性を把握するために、ルジオン試験を実施した。試験結果を表 4.3 に示す。

表 4.3 ルジオン試験結果一覧表

地点名	試験深度 GL-m	試験結果 Lu (リットル/min/m)	透水係数 k (cm/s)	岩盤地質 (岩級)	平衡水位 GL-m
BW-03	2.00～3.00	132.6	1.32×10^{-3}	砂岩主体互層	0.55
	9.00～10.00	6.8	6.77×10^{-5}	砂 岩	0.60

ルジオン値 Lu から透水係数 k を求めるにあたり、図 4.9の相関関係を使用した。

試験結果として、概ね 7～130 (Lu) を確認し、透水係数の換算は、 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ (cm/sec) の透水係数となった。この透水係数の傾向を一般的な土砂と比較すると、透水性は「実用的に不透水～良好」の範囲に当該する。

試験深度におけるコア状況は、図 4.10に示すとおりである。浅い深度では亀裂開口が進行し、深い位置の岩盤も亀裂部分の土砂化が進行した状態であった。

岩盤がこのような高い透水性を示す地質的な要因として、断層が関係すると考えられる。現地踏査の結果、試験を実施したボーリング Bw-3 の付近に多数の断層が認められた (図 4.11参照)。

基盤岩の透水性から、例えば連続地中壁等の構造物による対策を実施する場合、岩盤の改良や置換え等が必要と考えられ、今後対策工の検討の進捗に応じて、基盤岩の工学的な特性を評価する必要がある。

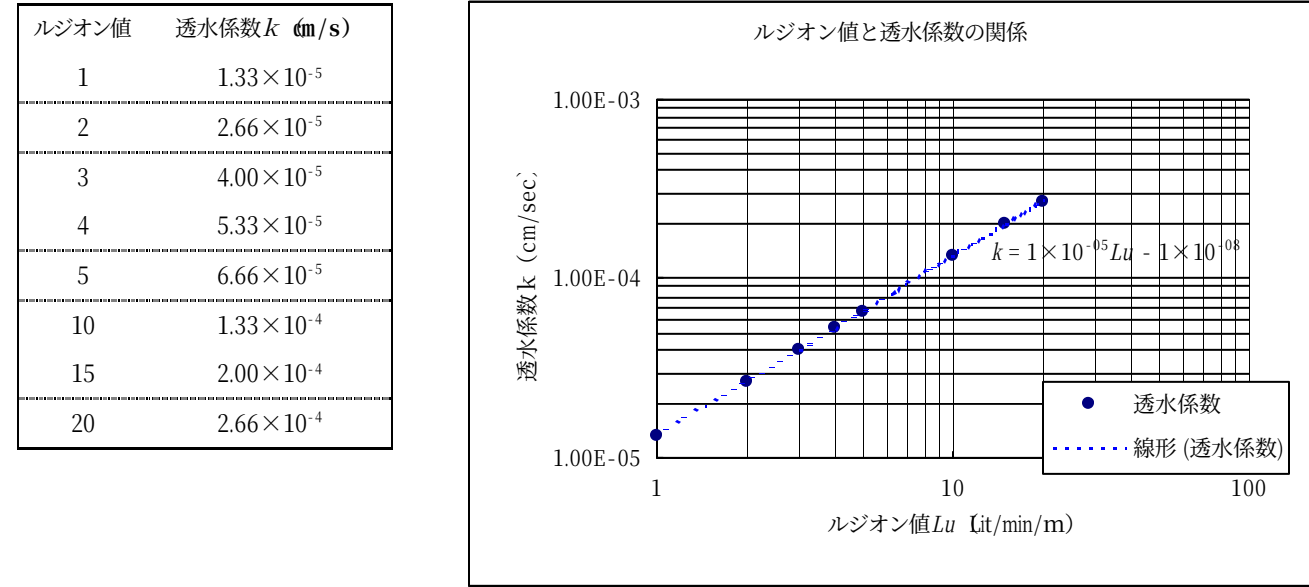


図 4.9 ルジオン値と透水係数の関係 (出典：ルジオンテスト施工指針(案)同解説 財団法人国土開発技術研究センター)

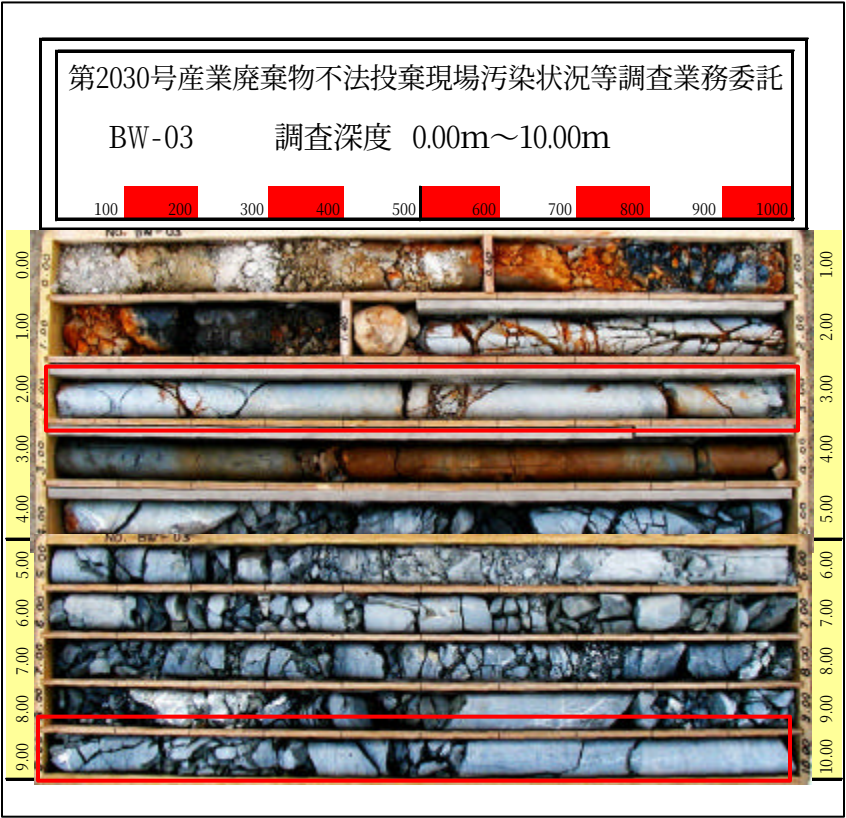


図 4.10 Bw-3 コア写真(赤枠：ルジオン試験区間)

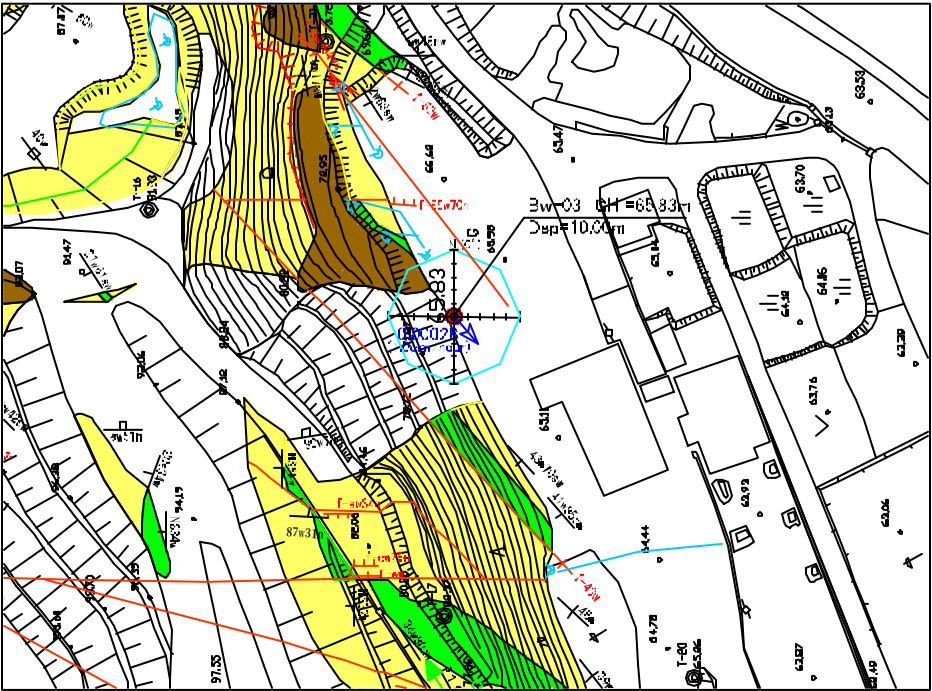


図 4.11 平面図 (赤線：断層)

4) 流向・流速測定結果

① 流向測定結果

調査地における地下水の流動方向を把握するために、流向流速測定を実施した。試験結果のうち流向測定の結果を表 4.4、図 4.12に示す。

流向観測の結果、場内下流側に賦存する自由地下水は、ほぼ地表の傾斜にそった方向へ流下する傾向が確認された。また、この流向は大まかに水頭差とも調和している（図 4.13参照）。

表 4.4 地下水流向測定結果

地点名	孔口標高 TP (m)	地下水位		測定深度		地層	流向測定 結果	
		GL- (m)	TP (m)	GL- (m)	TP (m)		流向(N時計回り°)	
							範囲	平均値
BW-01	62.44	10.30	52.14	10.50	51.94	砂礫	298～344	319
BW-02	63.29	6.51	56.78	8.00	55.29	砂礫	97～122	109
				12.00	51.29	砂礫	97～125	108
BW-03	65.83	0.50	65.33	0.55	65.28	砂礫	96～183	142
BW-04	62.52	9.35	53.17	9.38	53.14	砂礫	325～352	337

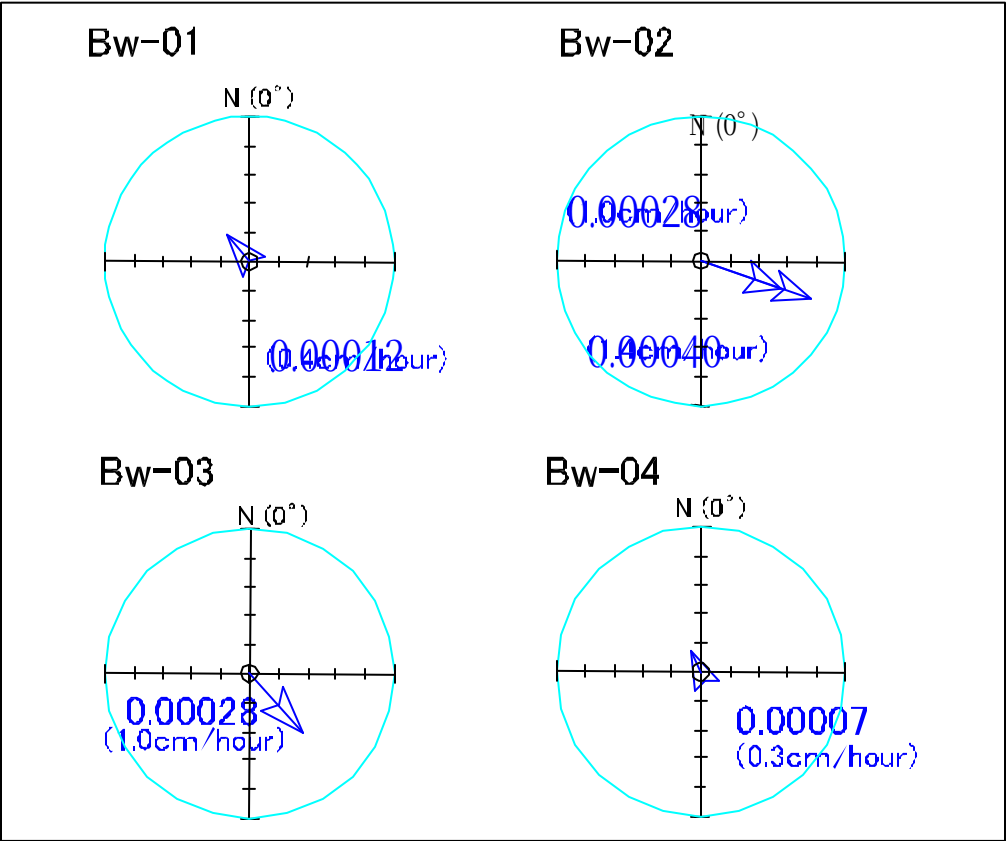


図 4.12 流向概念図

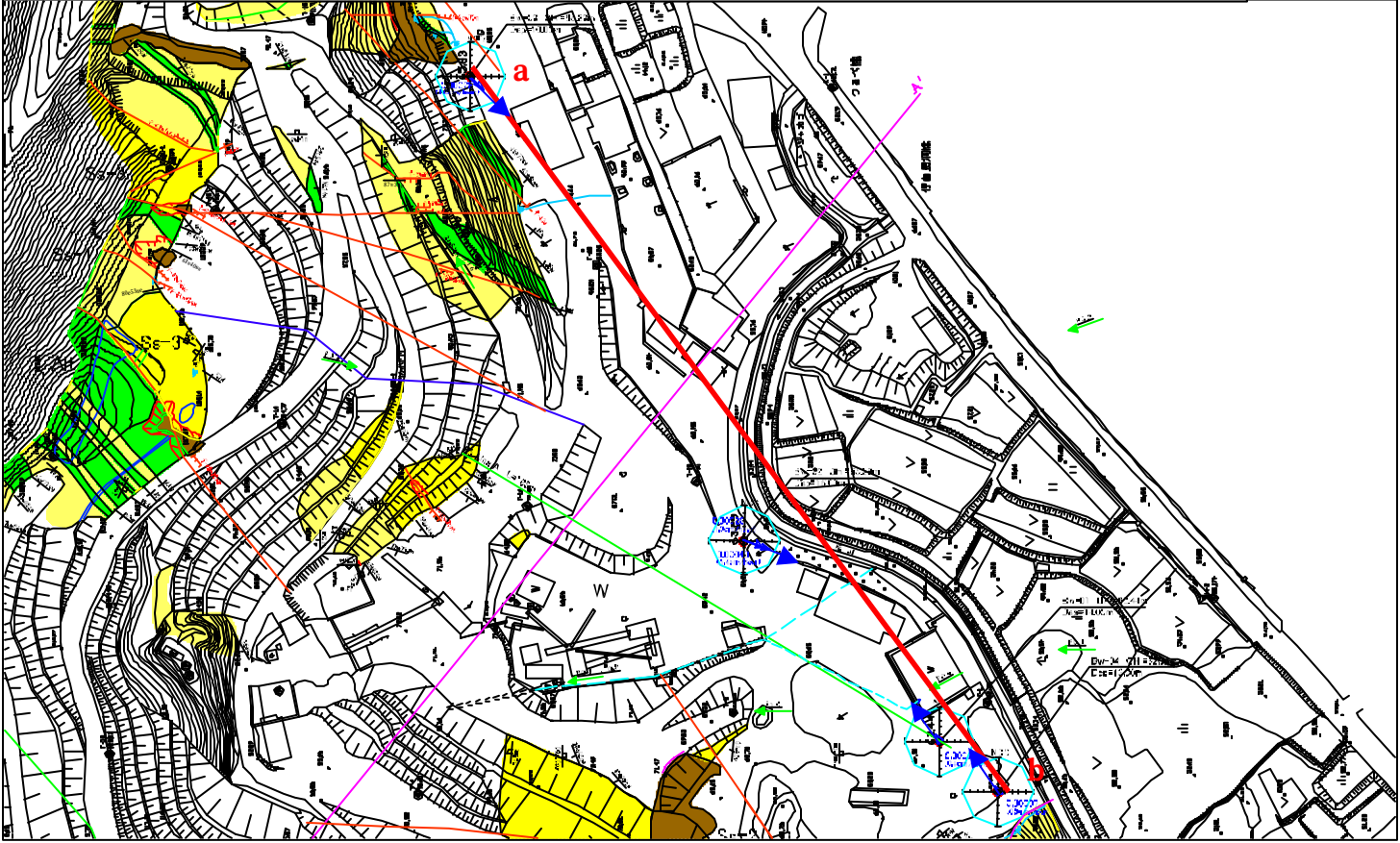
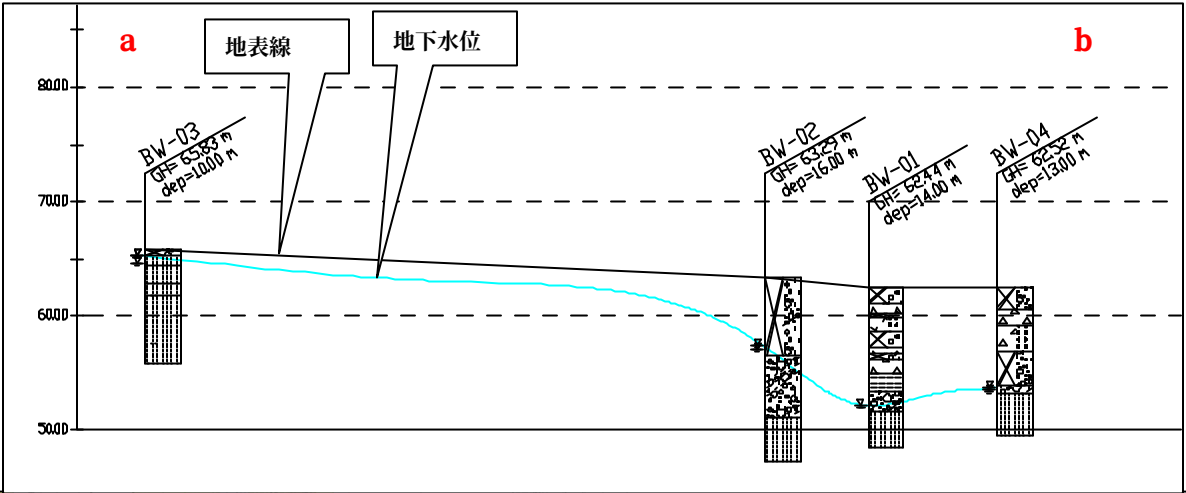


図 4.13 平断面図(1)

②流速測定結果

調査地における地下水の流速を把握するために流速測定を実施した。試験結果を表 4.5に示す。

表 4.5 地下水流速測定結果

地点名	孔口標高 TP (m)	地下水位		測定深度		地層	流速測定 結果 (cm/sec)		
		GL- (m)	TP (m)	GL- (m)	TP (m)		孔内流速測定		ポイント ダイリューション
							範囲	平均値	
BW-01	62.44	10.30	52.14	10.50	51.94	砂礫	0.005～0.010	7.60E-03	1.20E-04
BW-02	63.29	6.51	56.78	8.00	55.29	砂礫	0.018～0.025	2.14E-02	2.80E-04
				12.00	51.29	砂礫	0.030～0.051	3.86E-02	4.00E-04
BW-03	65.83	0.50	65.33	0.55	65.28	砂礫	0.001～0.008	3.30E-03	2.80E-04
BW-04	62.52	9.35	53.17	9.38	53.14	砂礫	0.003～0.010	5.50E-03	7.00E-05

試験対象は、帯水層である崖錐堆積物層等の礫質土であった。ボーリング孔内の流速測定結果は、 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ (cm/sec) 程度の流速（表 4.5青ハッチング）、地下水が土層に浸透する状態の流速は、 $10^{-5} \sim 10^{-4}$ (cm/sec) 程度の流速（表 4.5黄ハッチング）を測定した。

ここで、測定方法により流速に 10～100 倍の開きがあるが、その原因は前記したとおり、ボーリング孔内の地下水の流動は無抵抗状態であり、地盤内に浸透する地下水はその間隙に応じた抵抗を受けるためである。そのため、実際のな地下水の流速としては、「ポイントダイリューション法」による測定結果が近似値であると判断される。

土粒子や多孔質中の水流は、ダルシーやナビエストーク則に示されるように水頭差に影響される。今回のボーリングで確認した水頭差は BW-02 と BW-03 間で最大となり、約 8.5m 生じていることから、測定した流速は、この水頭差に調和する結果となっている。

一方、今回実施したボーリングで確認した基盤岩と水頭の関係は、その最低位置の高さにズレがあり、当該する位置付近に不透水層の凹構造、つまり旧地形の沢筋が 2 本程度埋没していることが想定される。図 4.14（参照）。

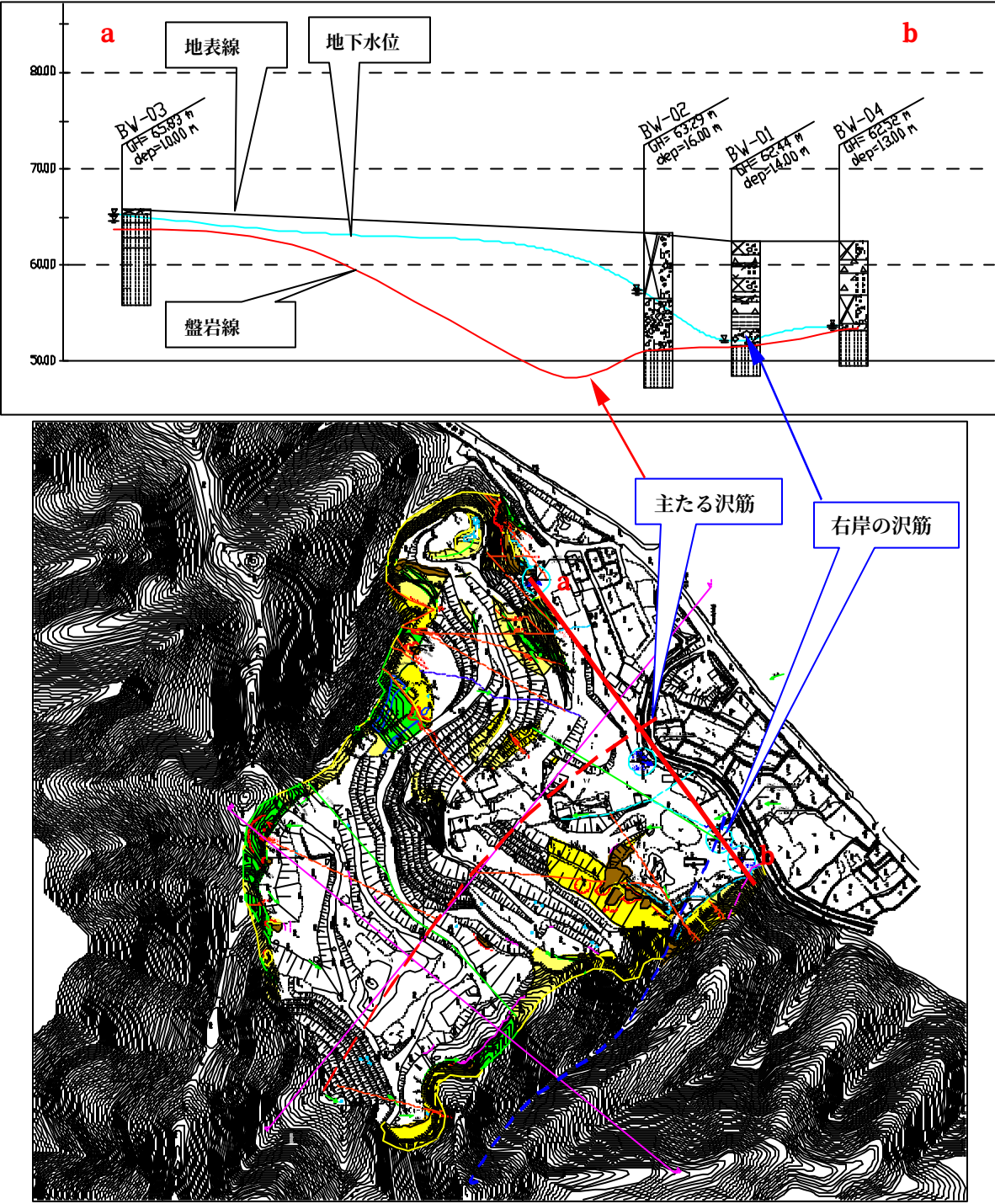


図 4.14 平断面図(2)

5. 結果に対する考察

本調査で得られた情報をとりまとめるとともに、今後の調査に向けた課題を以下に述べる。

5.1 地下水の概要

地下水観測井戸設置ボーリングは、旧地形の沢部出口にあたる箇所にて実施しており、いずれのボーリング調査からも、基盤岩の直上に分布する崖錐堆積物内に地下水位が確認されている。原位置試験では、崖錐層および基盤岩の透水性も高い結果となった。また、地下水流向測定の結果から、当該地の地下水（調査箇所周辺）は、おおむね旧沢筋に向かった流であることが推測される。

5.2 水質について

水質調査の結果は、2 地点とも地下水環境基準を満足するものであった。しかし、電気伝導率は、当該地下水のバックグランド値と考えられる「10～20mS/m」を10 倍程度上回ることから、地下水は、廃棄物層からの影響を受け、イオン濃度が高くなっていると予想される。今後の調査においては、周辺地も含めたイオン分析の実施により、廃棄物からの地下水への影響範囲を確認できると思われる。

5.3 今後の調査について(地下水および湧水について)

1) 地下水観測井戸の設置

今後、実施される調査ボーリングにおいて、地下水観測井戸を設置し、地下水位一斉観測を行い、地下水流動方向を把握する。観測井戸の設置箇所は、旧沢筋沿いに東西、南北に配置するとともに、場外についても設置し、観測することが望ましい。

2) 雨量計の設置

雨量計を設置し、降雨と地下水の関係を把握する。

3) 沢水およびプラント裏湧水の詳細調査

上流部沢水を起点、プラント裏湧水を終点としたトレーサー調査を実施し、場内地下水の涵養源である沢水の流達特性を把握する。また、流量および電気伝導率の連続観測を行い、降雨データとの比較を行い、変動特性を把握する。

4) 地下水変動の把握

地下水位一斉観測により得られた地下水流動方向の上下流井戸に、自記水位計を設置し、降雨データとの比較を行い、変動特性を把握する。

また、電気伝導率についても連続的に観測を行い、変動特性を把握する。

5) 地下水水質の定期的な把握

季節変動を考慮し、定期的な調査の継続を行う。調査項目については、不法投棄された廃棄物の全容があきらかでないことから、「有害物質全項目＋主要イオン分析」とすることが望ましい。

6) 基盤岩の特性

今後の対策を見据えた場合、基盤岩の不透水性についてさらなる調査が必要である。