

1. 総水銀の調査結果について

〔第8回専門部会〕

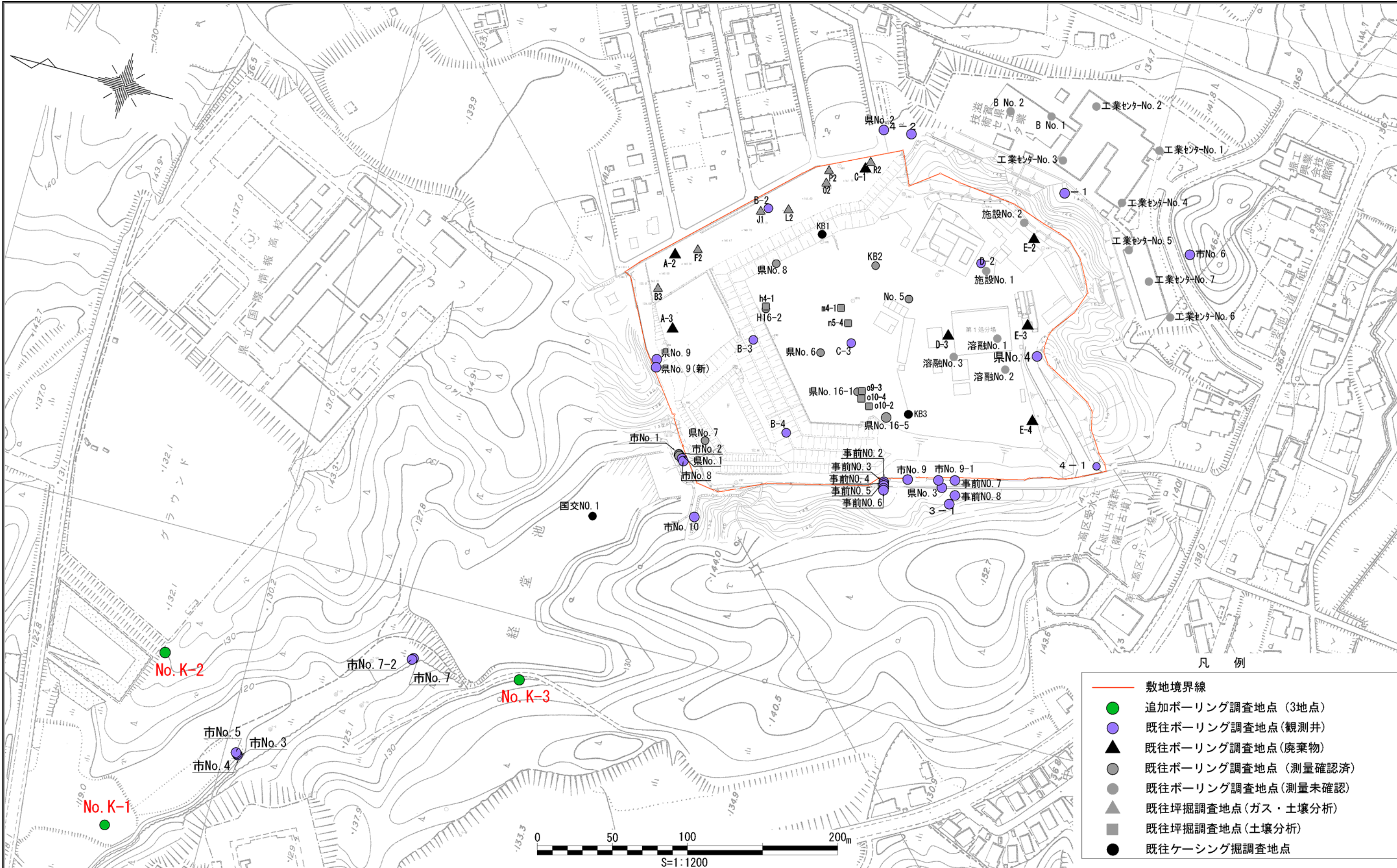
平成20年 2月

滋賀県琵琶湖環境部最終処分場特別対策室

< 目 次 >

資料 1 . 総水銀の調査結果について

1 . 水銀に係る追加調査結果について.....	- 2 -
2 . 検 討	-10-



RD 最終処分場問題 ボーリング等調査地点位置図

1. 水銀に係る追加調査結果

1.1 調査内容

(1) 調査地点

既往調査結果により市 3 と市 7 で総水銀が検出されるのは、Ks2 帯水層であることが把握された。しかし、経堂池下流側における当該帯水層の地下水流動は、よく把握できていない。

このため追加調査における調査地点は、市 3 と市 7 の周辺において Ks2 帯水層の地下水位分布を把握できるよう次の 2 点に留意して配置した。

- ・既存調査地点からの離隔 : 50 ~ 100m 程度の箇所を選定した。
- ・水頭差 : 既存調査地点と水頭差が生じている可能性がある箇所を選定した。

前頁の調査地点位置図に 3 つの調査地点 (の地点) を示す。

各地点の選定理由は次のとおりである。

- K-1 : Ks2 帯水層の地下水位は市 3 が市 7 よりも高い。市 7 よりみて市 3 は地下水流動方向の上流にあるのか確認するために、市 3 よりさらに北西にある箇所 (約 90m) で地下水位を調べた。
- K-2 : K-1 が市 3 より地下水位が高い結果となった場合、地下水は市 7 付近で北東または南西方向に向かう流れを生ずる可能性がある。このため、K-2 は北東の地下水位を確認した (市 3 から北東方向 (地下水流動方向に直交する方向) に約 80m の地点)
- K-3 : K-3 は南西の地下水位を確認し K-2 との水頭差から、北東または南西のどちらに地下水の流れが生じているのかを確認した (市 7 から南西方向 (地下水流動方向に直交する方向) に約 50m の地点)

なお、K-1 ~ K-3 の各ボーリング孔は、地下水位や地下水質のモニタリングに今後利用することを目的として、Ks2 帯水層を対象とした観測井として仕上げた。

(2) 一斉測水

K-1 ~ K-3 の観測井設置がすべて終了した時点で、Ks2 帯水層を対象とした観測井を用いて地下水位の一斉測水を実施し、地下水位等高線図により地下水流動方向を把握した。

(3) 地下水質の分析

ア) 分析項目について

地下水質の分析は、平成 18 年度 ~ 19 年度にかけて市 3 や市 7 で検出または基準超過した有害物質 (7 物質) と pH、SS、電気伝導率、ヘキサ 7 項目の 18 項目について全量で実施した。この 18 項目のうちヒ素と総水銀はろ過後分析も実施した (表 1.1.1 参照)。

表 1.1.1 地下水質の分析項目一覧表

全量分析	総水銀、ヒ素、鉛、ホウ素、フッ素、シス-1,2-ジクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ベンゼン、pH、SS、電気伝導率、ヘキサ 7 項目 (Na ⁺ 等)
ろ過後分析	総水銀、ヒ素

K-1 ~ K-3 の 3 箇所。

イ) 水銀の形態別分析

Ks2 帯水層の地下水に含まれる総水銀の形態にかかるデータとしては、次の 2 点が既往調査で把握されていた。

- ・市 3 はろ過後分析で水銀が検出されるが、県 D-2、事前 2、事前 7、市 7 の 4 地点はろ過後分析で水銀は検出されない。
- ・平成 13 年 ~ 現在までに得られた全量分析の結果で最高濃度を示し、また現時点で最も濃度が高い (全量) 市 7 の SS に含まれる水銀は、クラーク数等と比較して最も高く、オーダーが異なる。

SS を含んだ地下水中の水銀の存在形態としては、次のような可能性が考えられる。

- 水中の溶解性のもの : Hg(0) や Hg²⁺ と有機酸、無機陰イオンとの錯体
- SS に含まれる不溶解性のもの : 炭酸塩、硫化物、腐植物質結合態

第 6 回専門部会では数値解析の結果について委員より「水銀の形態も考慮して検討する必要があるのではないか」という意見・提案があった。

このため現在、公表されている水銀の形態別分析法を考慮し、以下の形態別分析を行った。

水銀の形態別分析

- 溶解性の水銀化合物の分析 : Hg²⁺ および Hg⁰ を除いた有機酸または無機陰イオンとの錯体 (イオン交換法による)
- 粒子吸着、不溶解性分の分析 : 有機水銀 (クロロホルム抽出による)
塩化水銀 (希硫酸抽出による)
硫化水銀 (塩化銅添加、塩酸抽出による)
残留水銀 (上記の 3 つの形態を除く水銀)

公定法による全水銀の分析

試料全量・ろか後ろ液について公定法により全水銀の分析を行った。

水銀を検出した場合は、ろ液は、の操作・分析、ろ紙上の SS は、の操作・分析へ進み、不検出の場合はここで終了した。

ろ紙上の SS 中の形態別水銀分析
孔径 1μm の GF により、試料をろ過した (ろ過した試料体積 (mL) は記録)、

SS について 有機水銀、酸化水銀 (Hg⁰(SS))、硫化水銀 (HgS(SS))、残留水銀の分析を行った (図 1.1.2 参照)。

固相抽出キットを用いた Hg²⁺ の分析

今回の分析では、孔径 1μm の GF により試料をろ過したろ液で全水銀が不検出であったため、固相抽出物に係る分析は実施していない。参考までに予定していた操作手順は、次頁に示すとおりである。

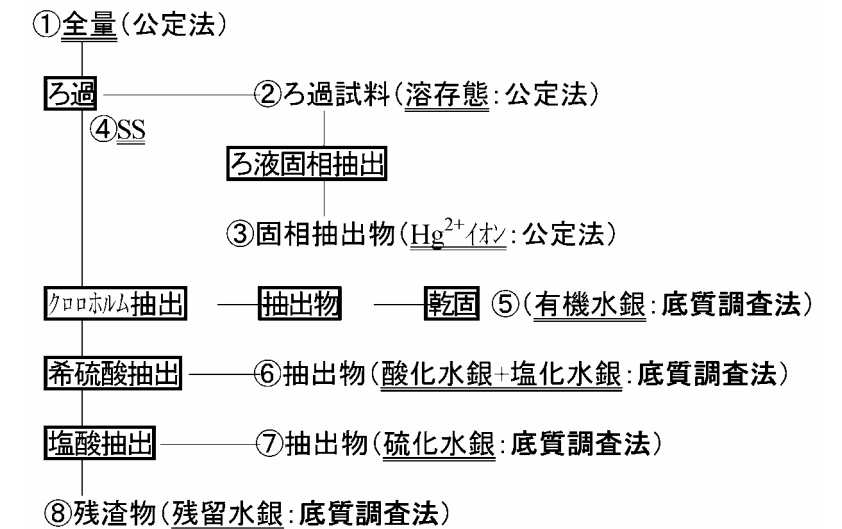
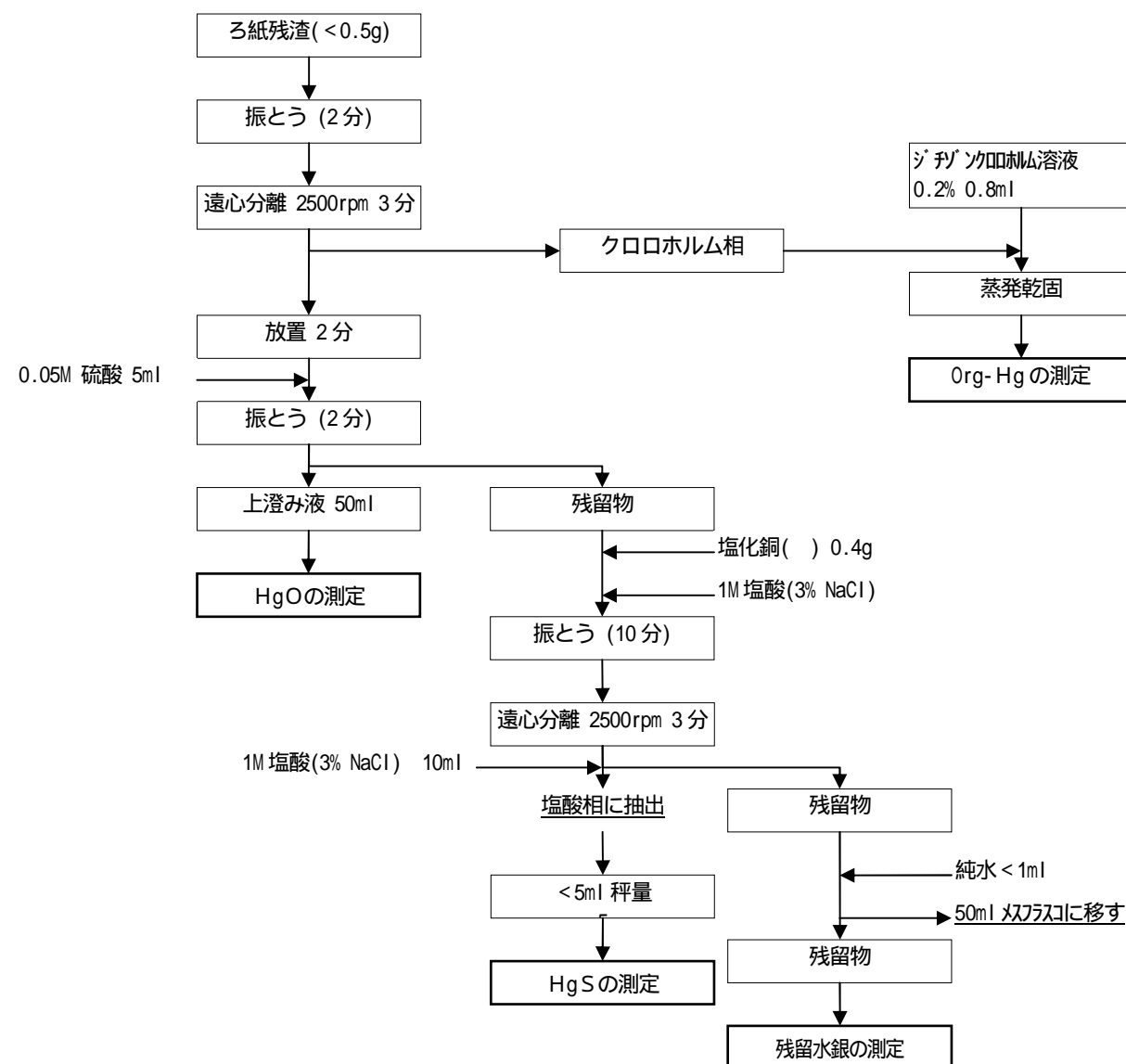


図 1.1.1 水銀の分析フロー

- ろ液を予めコンディショニングを済ませた固相抽出キット（市販品：G Lサイエンス）に通水し、 Hg^{2+} を吸着させる。
 - 溶離液（0.1M Thiourea in 0.1M HNO_3 ）2mL を固相抽出キットを通液し、固相抽出キットから Hg^{2+} を回収する。この操作をさらに3回繰り返して回収した液は一定量にメスアップし全水銀の分析（環告59号）を行う（T-Hg(Hg^{2+} ））。
- 以上の操作は、参考資料の図1に示した。



（文献：分析化学、vol.51、pp859（2002）、江口（鹿児島大）ら、操作B（2）による）

図 1.1.2 SS 中の水銀の形態別分析の操作・分析の手順

1.2 調査結果

（1）帯水層区分と地下水の流動方向

ア) 帯水層区分

追加調査の結果を含む地質想定断面図を次頁の図 1.2.1 に示す。

図 1.2.1 では、RD 最終処分場の後背地にあたる県 1-1 から RD 最終処分場、経堂池を経て県 K-1 を結ぶ縦断線（1-1'）と県 K-2 および県 K-3 を結ぶ横断線（A-A'）の 2 断面を示した。

追加調査結果から、南東から北西方向への地層の傾きは 1-1' 断面に見るとおほぼ一定であり、既往調査結果と同様に約 10 度の角度で琵琶湖の方向（北西方向）に傾斜していることが確認された。

また、既往調査では Kc3 層（粘土層）の上下で 2 つの帯水層に区分されていた Ks2 帯水層と Ks3 帯水層は、Kc3 層が市 3 の北西で消滅するために県 K-1 付近で 1 つの帯水層になっていることが判明した。県 K-2 および県 K-3 を結ぶ A-A' 断面からは、県 K-3 から県 K-2 の方向（南西から北東）に向かって地層が傾斜していることが確認された。

追加調査結果からは、県 K-1 において Ks2 帯水層と Ks3 帯水層が一つの帯水層として接合していることを除けば、各帯水層は既往調査で区分された帯水層区分にしたがい北西に傾斜しながら分布している。

イ) Ks2 帯水層の地下水流動方向

今回新たに設置した県 K-1、県 K-2 および県 K-3 の観測井と既設の観測井を用いて、平成 19 年 12 月 19 日と平成 20 年 1 月 16 日に一斉測水を実施した。この結果をもとに、Ks2 帯水層の地下水流動方向について図 1.2.2 に地下水位等高線図として示した。

Ks2 帯水層の地下水位は、平成 19 年の 4 月 26 日～10 月 26 日までの 7 ヶ月間にわたり約 1 ヶ月毎に一斉測水を実施してきたが、7 月 31 日の観測を除き市 7 の地下水位は市 3 の地下水位よりも低かった。このため経堂池下流側の地下水は、北西から南東への流動の可能性について検討されてきたが、追加調査の 2 回の測定結果では南東から北西の流動方向となっており、帯水層（地層）の傾斜とほぼ合致する結果となっている。

なお、市 7 は平成 19 年 11 月 29 日に栗東市がモニタリング調査を実施した際、自噴が認められなかったため、翌日の 30 日に詳細に調べた結果、井戸壁からの漏水が確認された。栗東市はこの漏水対策（薬注による止水工事）を 12 月 10 日～12 月 18 日にかけて実施しており、図 1.2.2 に示した測定はその翌日に実施したものである。

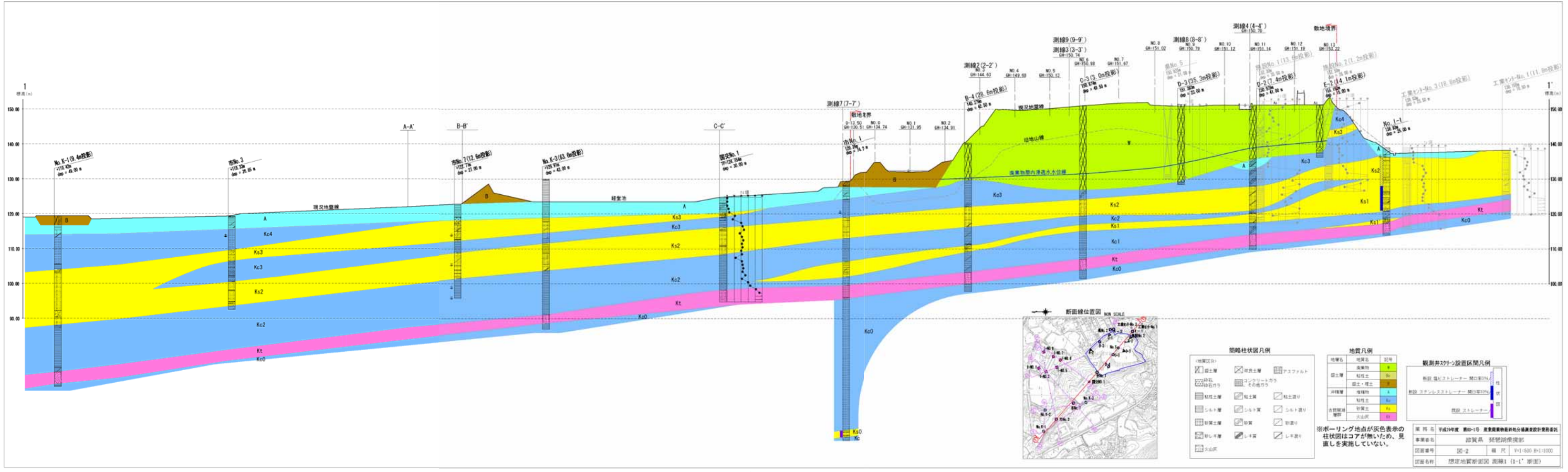


図 1.2.1(1) 想定地質断面図〔1 1'断面〕

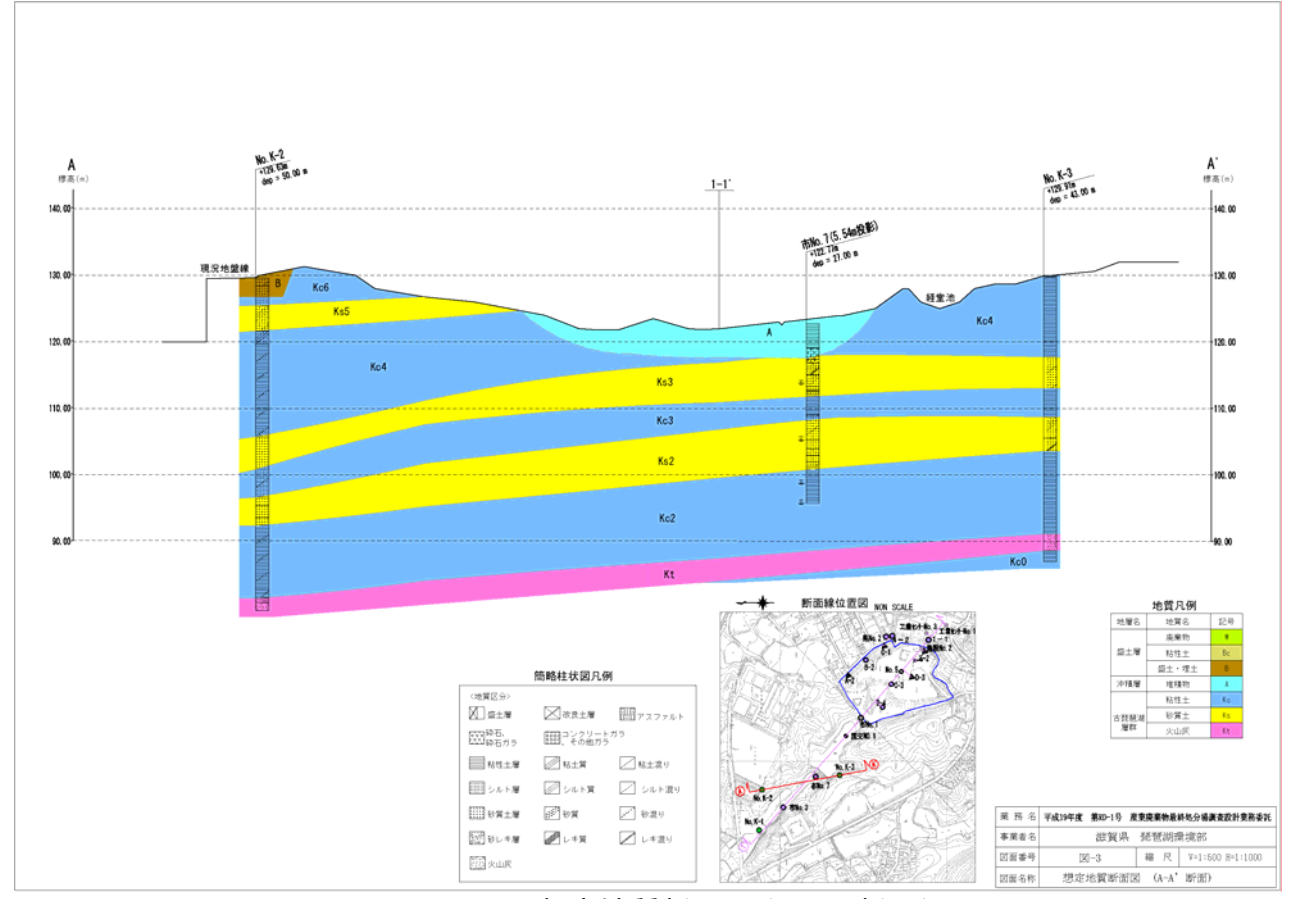
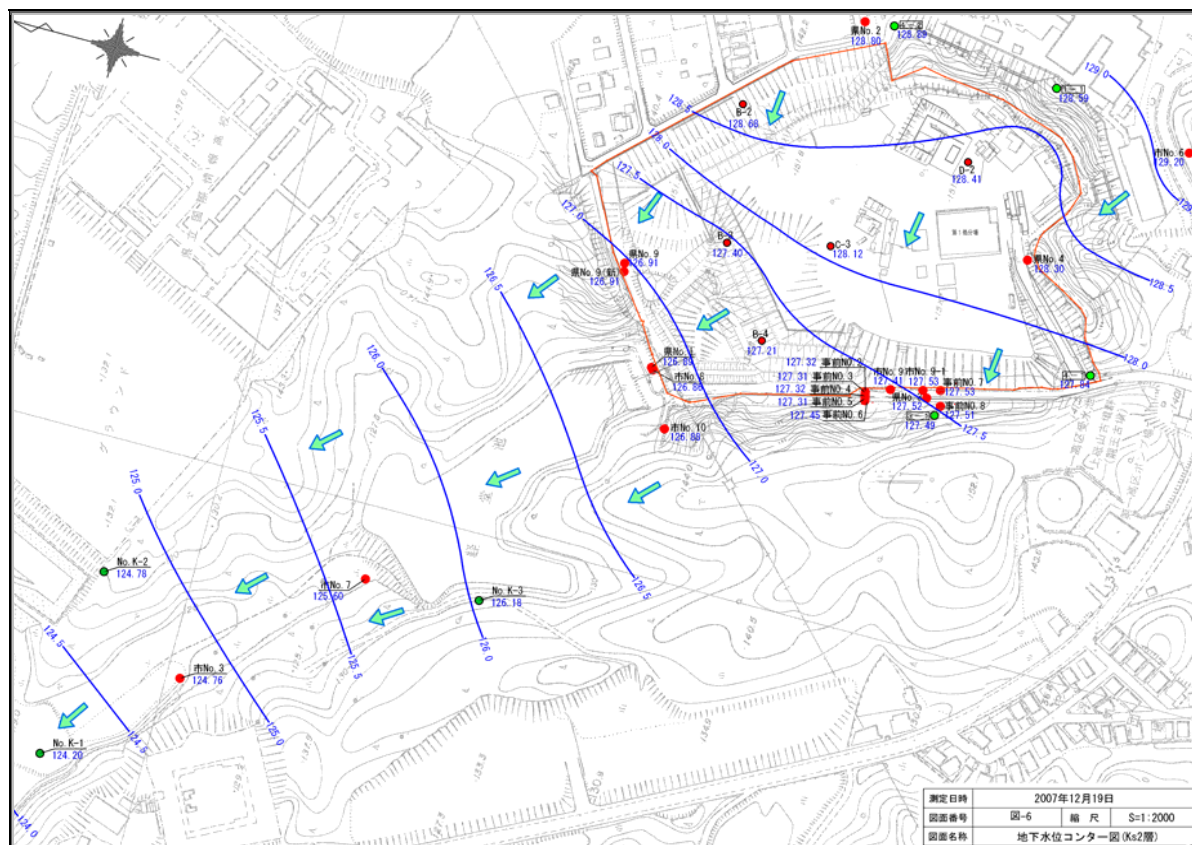
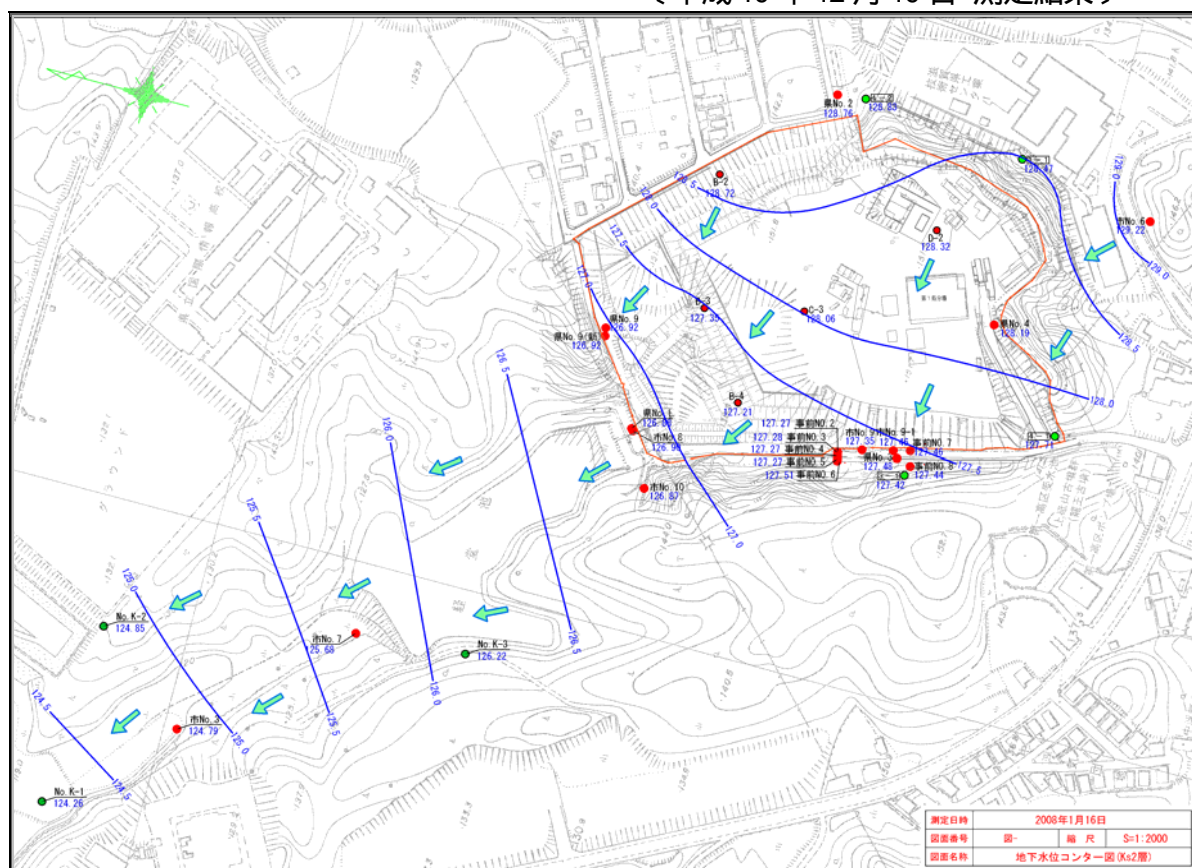


図 1.2.1(2) 想定地質断面図〔A-A'断面〕



〔平成 19 年 12 月 19 日 測定結果〕



〔平成 20 年 1 月 16 日 測定結果〕

図 1.2.2 Ks2 帯水層地下水位等高線図

(2) 水銀の測定結果

ア) 浸透水・地下水における総水銀の検出状況

浸透水

RD 最終処分場内での浸透水の総水銀の検出状況を表 1.2.1 と次頁の図 1.2.1 に示す。

全量の測定結果で総水銀の検出が認められ、ND～最大 0.016mg/L の濃度である。

ろ過後の測定結果は、全て不検出となっている。

表 1.2.1 浸透水における総水銀の検出状況

観測井	総水銀		観測井	総水銀	
	全量	ろ過		全量	ろ過
県 5	ND(0/1)	ND(0/1)	西側平坦部 G	ND(0/1)	ND(0/1)
県 6	ND(0/5)	ND(0/5)	中央部 H16-6	ND(0/2)	ND(0/2)
県 7	ND(0/1)	ND(0/1)	水処理施設原水	ND(0/6)	ND(0/6)
県 8	ND(0/19)	ND(0/19)	A - 2	0.0067(2/2)	ND(0/2)
H16-1	ND(0/1)	ND(0/1)	A - 3	0.0009(2/2)	ND(0/2)
H16-2	ND(0/1)	ND(0/1)	B - 2 (掘進中)	0.016(1/1)	ND(0/1)
H16-5	ND(0/2)	ND(0/2)	B - 3 (掘進中)	0.014(1/1)	ND(0/1)
旧鴨ヶ池井戸 H	ND(0/1)	ND(0/1)	B - 4 (掘進中)	0.0067(1/1)	ND(0/1)
旧鴨ヶ池井戸 J	ND(0/1)	ND(0/1)	C - 1	0.0007(2/2)	ND(0/2)
西側平坦部 A	ND(0/1)	ND(0/1)	C - 3 (掘進中)	ND(0/1)	ND(0/1)
西側平坦部 C	ND(0/1)	ND(0/1)	D - 2 (掘進中)	0.0009(1/1)	ND(0/1)
西側平坦部 EF	0.0010(1/1)	ND(0/1)	D - 3	0.0006(1/2)	ND(0/2)
西側平坦部 F	ND(0/1)	ND(0/1)	E - 2	0.0014(1/2)	ND(0/2)
検出下限値	0.0005		検出下限値	0.0005	
基準値	検出されないこと (0.0005)		基準値	検出されないこと (0.0005)	

Ks2 帯水層

Ks2 帯水層の地下水でこれまで検出が確認された観測井、および処分場内の観測井における水銀の検出状況を図 1.2.2 に示す。

処分場内の地下水では、平成 19 年 8 月より測定を始めた県 D-2 のみで総水銀が検出された。

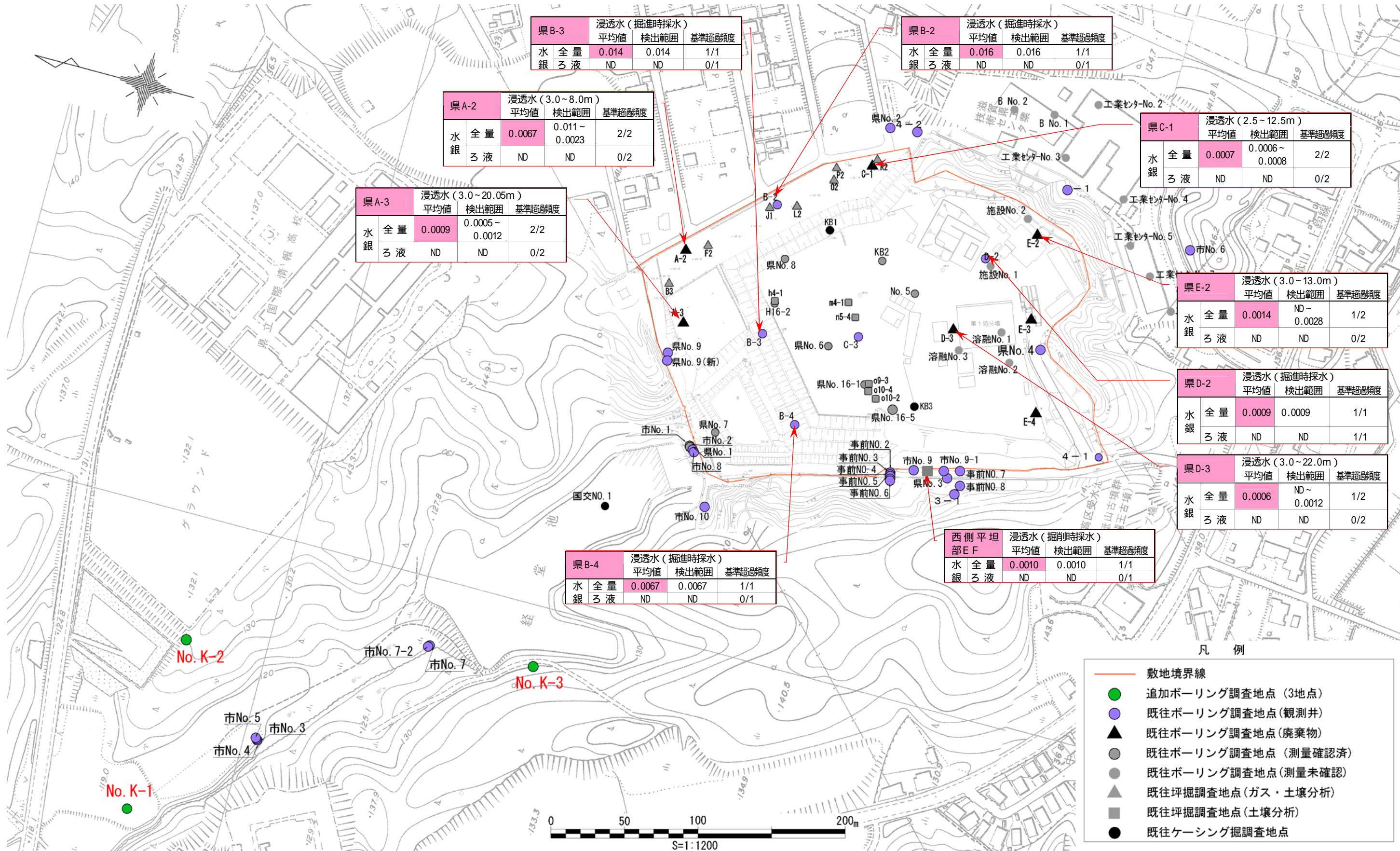
当該地点は今回調査を含め 3 回測定を実施したが 3 回とも水銀が検出され、その濃度は 0.0026～0.010mg/L であった。

処分場外では、市事前 2 と事前 7 で平成 17 年 9 月に 1 回だけ検出され、その濃度はそれぞれ 0.0015mg/L、0.031mg/L であった。そのほか県 3 は平成 14 年～平成 19 年にかけて 53 回測定を実施し、うち 8 回検出され、その濃度範囲は ND～0.0019mg/L であった。

経堂池下流には追加調査の K-1、K-2、K-3、市 7 および市 3 の 5 井戸があるが、K-1、K-2、K-3 の水銀は不検出であった。

市 3 は平成 13 年 6 月の測定当初から検出が認められ、その濃度範囲は 0.0005～0.028mg/L である。

市 7 は現時点で総水銀の濃度が 5 井戸の中で最も高い地点で、最大 0.14mg/L が検出されている。



県B-3		浸透水 (掘進時採水)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	0.014	0.014	1/1
銀	ろ液	ND	ND	0/1

県B-2		浸透水 (掘進時採水)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	0.016	0.016	1/1
銀	ろ液	ND	ND	0/1

県A-2		浸透水 (3.0~8.0m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	0.0067	0.011~0.0023	2/2
銀	ろ液	ND	ND	0/2

県C-1		浸透水 (2.5~12.5m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	0.0007	0.0006~0.0008	2/2
銀	ろ液	ND	ND	0/2

県A-3		浸透水 (3.0~20.05m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	0.0009	0.0005~0.0012	2/2
銀	ろ液	ND	ND	0/2

県E-2		浸透水 (3.0~13.0m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	0.0014	ND~0.0028	1/2
銀	ろ液	ND	ND	0/2

県D-2		浸透水 (掘進時採水)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	0.0009	0.0009	1/1
銀	ろ液	ND	ND	1/1

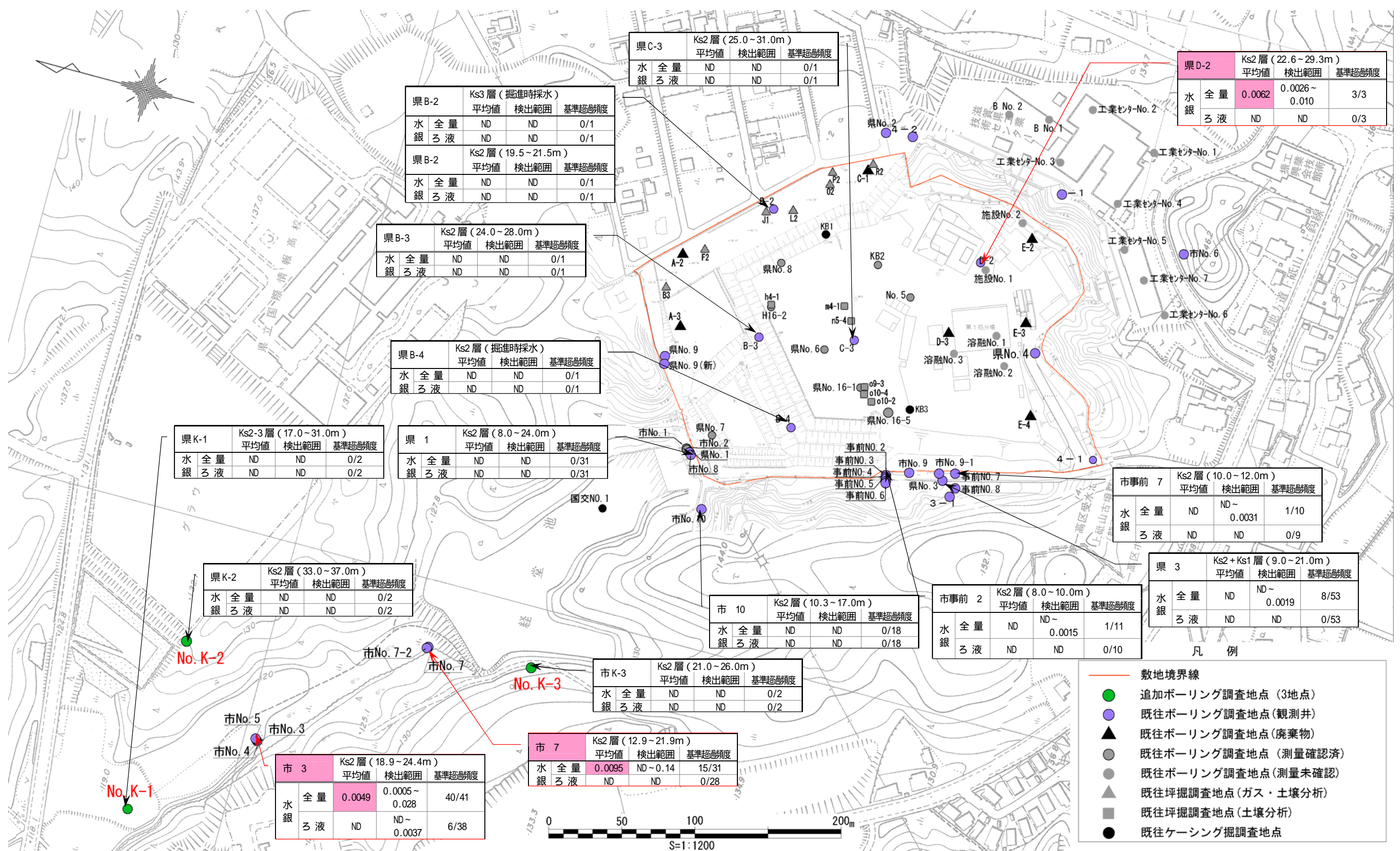
県D-3		浸透水 (3.0~22.0m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	0.0006	ND~0.0012	1/2
銀	ろ液	ND	ND	0/2

県B-4		浸透水 (掘進時採水)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	0.0067	0.0067	1/1
銀	ろ液	ND	ND	0/1

西側平坦部E F		浸透水 (掘進時採水)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	0.0010	0.0010	1/1
銀	ろ液	ND	ND	0/1

全量の平均値で基準を超過するものを示した。

図 1.2.1 浸透水における総水銀の検出状況



県C-3		Ks2層 (25.0~31.0m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	ND	ND	0/1
銀	ろ液	ND	ND	0/1

県B-2		Ks3層 (掘進時採水)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	ND	ND	0/1
銀	ろ液	ND	ND	0/1

県B-2		Ks2層 (19.5~21.5m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	ND	ND	0/1
銀	ろ液	ND	ND	0/1

県D-2		Ks2層 (22.6~29.3m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	0.0062	0.0026~0.010	3/3
銀	ろ液	ND	ND	0/3

県B-3		Ks2層 (24.0~28.0m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	ND	ND	0/1
銀	ろ液	ND	ND	0/1

県B-4		Ks2層 (掘進時採水)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	ND	ND	0/1
銀	ろ液	ND	ND	0/1

県K-1		Ks2-3層 (17.0~31.0m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	ND	ND	0/2
銀	ろ液	ND	ND	0/2

県 1		Ks2層 (8.0~24.0m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	ND	ND	0/31
銀	ろ液	ND	ND	0/31

県K-2		Ks2層 (33.0~37.0m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	ND	ND	0/2
銀	ろ液	ND	ND	0/2

市事前 7		Ks2層 (10.0~12.0m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	ND	ND~0.0031	1/10
銀	ろ液	ND	ND	0/9

県 3		Ks2+Ks1層 (9.0~21.0m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	ND	ND~0.0019	8/53
銀	ろ液	ND	ND	0/53

市 10		Ks2層 (10.3~17.0m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	ND	ND	0/18
銀	ろ液	ND	ND	0/18

市事前 2		Ks2層 (8.0~10.0m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	ND	ND~0.0015	1/11
銀	ろ液	ND	ND	0/10

市K-3		Ks2層 (21.0~26.0m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	ND	ND	0/2
銀	ろ液	ND	ND	0/2

市 3		Ks2層 (18.9~24.4m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	0.0049	0.0005~0.028	40/41
銀	ろ液	ND	ND~0.0037	6/38

市 7		Ks2層 (12.9~21.9m)		
		平均値	検出範囲	基準超過頻度
水	全量	0.0095	ND~0.14	15/31
銀	ろ液	ND	ND	0/28

全量の平均値で基準を超過するものを示した。

図 1.2.2 Ks2 帯水層における総水銀の検出状況

イ) 水銀の形態別分析の結果

表 1.2.2 に水銀の形態別分析等の結果を示す。

表1.2.2 水銀の形態別分析の結果

地点(観測井)	県A-2	県A-3	県C-1	県D-3	県E-2	県D-2	県K-3	市 7	県K-2	市 3	県K-1		
帯水層区分	浸透水	浸透水	浸透水	浸透水	浸透水	Ks2帯水層	Ks2帯水層	Ks2帯水層	Ks2帯水層	Ks2帯水層	Ks2-3帯水層		
第1回採水日	07/12/17	07/12/17	07/12/17	07/12/17	07/12/17	07/12/17	07/12/17	08/01/08	07/12/17	08/01/08	07/12/17		
水銀濃度	全量 [mg/L]	0.0023	0.0005	0.0006	ND	ND	0.0059	ND	0.0048	ND	0.0025	ND	
	溶存態 [mg/L]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	ろ紙上のSS	有機水銀 [mg/L]	ND	ND	ND	(ND)	(ND)	ND	(ND)	ND	(ND)	ND	(ND)
		酸化水銀 [mg/L]	ND	ND	ND	(ND)	(ND)	ND	(ND)	ND	(ND)	ND	(ND)
		硫化水銀 [mg/L]	ND	ND	ND	(ND)	(ND)	0.0037	(ND)	0.0016	(ND)	0.0006	(ND)
		残留水銀 [mg/L]	0.0013	ND	ND	(ND)	(ND)	ND	(ND)	0.0018	(ND)	0.0018	(ND)
SS中の総水銀 [mg/kg]		0.41	0.67	0.45	(ND)	(ND)	1.2	(ND)	7.7	(ND)	55	(ND)	
SS [mg/L]	4000	760	910	660	750	3300	25	460	42	48	90		
水素イオン濃度指数 []	8.1	8.6	8.0	7.6	6.9	5.8	6.8	7.8	7.0	8.3	6.0		
電気伝導率 [mS/m]	63.8	197	67.8	130	106	17.9	164	132	25.4	117	78.1		

地点(観測井)	県 1	市 2	市 10	県D-2	県K-3	市 7	県K-2	市 3	県K-1	
帯水層区分	Ks2帯水層	Ks2帯水層	Ks2帯水層	Ks2帯水層	Ks2帯水層	Ks2帯水層	Ks2帯水層	Ks2帯水層	Ks2-3帯水層	
第2回採水日	08/01/28	08/01/28	08/01/28	08/01/28	08/01/28	08/01/28	08/01/28	08/01/28	08/01/28	
水銀濃度	全量 [mg/L]	ND	ND	ND	0.010	ND	0.0009	ND	0.0007	ND
	溶存態 [mg/L]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SS [mg/L]	27	240	28	3500	18	20	29	47	<1	
水素イオン濃度指数 []	6.5	7.3	8.3	6.3	7.1	6.9	6.4	6.5	9.1	
電気伝導率 [mS/m]	130	201	55.3	15.6	122	107	62.1	120	15.6	

(ND)の標記： 県D-3、県E-2、県K-3、県K-2および県K-1の5井戸は、全量と溶存態のいずれも水銀が不検出であったため、ろ紙上のSSにおける形態別分析は実施していないため、便宜上NDと表記した。
 SS中の総水銀： 参考資料 表 4 に示す「水銀濃度 [mg/g(乾泥)]」の合計値を参考に示す。

経堂池下流部(追加調査地点)

追加調査を実施した県 K-1~K-3 の3井戸で水銀は、全量ならびに溶存態のいずれも不検出であり、水銀にかかる地下水汚染は生じていない。

処分場内の浸透水

県 A-2、県 A-3 および県 C-1 の3井戸で水銀は、全量で検出が認められたが、溶存態としては不検出であった。これら3井戸ではろ紙上のSSについて形態別水銀の分析を実施したが、県 A-3 と県 C-1 は4つの形態のいずれも不検出であった。県 A-2 は残留水銀のみが0.0013mg/L 検出された。

県 D-2、市 7 および市 3

県 D-2、市 7 および市 3 の3井戸は、全量でそれぞれ0.0059、0.0048、0.0025mg/L の検出が認められたが、溶存態としては不検出であった。

ろ紙上のSSについて形態別分析を実施したところ、県 D-2 は硫化水銀のみ0.0037mg/L 検出された。市 7 は硫化水銀と残留水銀がそれぞれ0.0016、0.0018mg/L 検出され、市 3 は硫化水銀と残留水銀がそれぞれ0.0006、0.0018mg/L 検出された。

SS中の総水銀について

表 1.2.2 には、参考値としてSS中の水銀の含有量を示した。(表 1.2.2 において を付す。分析時のデータは参考資料 表 3 に示す。)

表 1.2.3 にこれまでの調査で把握された地下水中のSSおよび滋賀県内の河床砂などに含まれる総水銀の濃度 (mg/kg) を示す。

表 1.2.3 地下水中のSSおよび底質等に含まれる総水銀 (単位: mg/kg)

クラーク数 ¹⁾	滋賀県内河床砂	RD 最終処分場内	市 7	市 3	経堂池底質表層
0.2	0.01~0.83	0.41~1.2	7.7	55	0.11~0.19

¹⁾ クラーク数：地表面10マイル(約16km)までの地球表層(気圏、水圏を含む)の元素存在度を重量%で表した値。
 本表は「第8回対策委員会 資料3」pp9, 表3.3.1を今回調査結果により更新した。

表 1.2.3 は、処分場内で検出されたSS中の水銀が0.41~1.2 (mg/kg) の範囲にあるのに対して、経堂池下流側にある市 7 と市 3 のSS中の水銀は7.7、55 (mg/kg) と高い傾向にあることを示している。

水銀の形態別分析の結果から溶存態の水銀は不検出であり、水銀イオンや比較的動きやすい錯体(フミン質と錯体結合した水銀、塩素イオン錯体)は確認されなかった。また、SS中の有機水銀や酸化水銀は不検出であり、有機物と結合または付着したもの、塩化水銀、酸化水銀など希酸溶解性の水銀は確認されなかった。

検出される水銀は、硫化水銀か若しくは残留水銀であることが確認された。