

3.3.5. 室内土質試験及びカラム試験

(1) 室内土質試験及びカラム試験の目的

室内土質試験及びカラム試験は、掘削調査地点内の現場土壌の物理特性及び当該地におけるヒ素の遅延性（脱着特性）を把握するために実施した。

(2) 室内土質試験及びカラム試験の手順

1) 試験項目

室内土質試験及びカラム試験の内容は以下のとおりである。

- ① 基本的な土壌の物理特性値の把握
- ② 土壌充填カラムによる透水係数及び有効間隙量（率）の測定
- ③ 土壌充填カラムによる汚染物質の脱着挙動の調査

2) 試料採取の方法

カラム試験用の供試体及び土質試験用の試料は、掘削調査地点内の汚染土壌を、揚水・注水試験孔設置時のボーリング掘削のときに合わせ、サンドサンプラーを用いて、地盤内構造を乱さないように採取した。

採取した試料は、Φ86mm、長さ80cmの塩ビ管に収め、地盤内構造を乱さないよう凍結させ試験室に運搬した。採取した試料は、2地点×2深度の計4本である。

- ① F-16 GL-2.5～3.3m（GLは、掘削調査後の高さで旧地盤高よりも2m低い）
- ② F-16 GL-5.0～5.7m
- ③ F-18 GL-2.5～3.3m
- ④ F-18 GL-5.0～5.8m

3) 室内土質試験項目及び方法

土の物理特性を把握するために実施した試験及び方法は下記のとおりである。

- ① 含水比：JIS A 1203
- ② 粒度分布：JIS A 1204
- ③ 湿潤密度：JIS A 1205
- ④ 土粒子密度：JIS A 1202

4) 透水試験及び有効間隙量試験の方法

透水性及び有効間隙特性を把握するため、カラム装置を用いた透水試験・有効間隙量試験を実施した。装置は、図3.3.24に示すものを使用した。試験手順は以下のとおりである。

i) 透水試験

- ① 内径7cm、長さ25cmの亚克力カラムに土壌を長さ約20cmとなるように充填した。採取直後に凍結された土壌試料をカラムの壁面に隙間が生じないように配慮してナイフで削りカラムに収めた。充填量は、土質試験の含水比と充填容積からあらかじめ算出した量とした。
- ② カラム内の土壌とゴム栓の間には、土壌に近い方からグラスウール（圧縮状態で4mm厚）、外径2mmのガラスビーズ層を3mm厚に設置し、栓をした状態で1晩、静置した。
- ③ その後、カラム内の土壌が水分で飽和していない場合には、上向流でオーバーフローさせないように水を供給し、ラバーハンマー等で軽く叩きながらカラム壁面と土壌面の間の気泡を追い出し、さらに1日、静置させた。
- ④ カラム内に水頭差を維持させながら上向流で通水した。（後述の脱着試験を行うカラムについては、脱着試験の後に透水試験を実施した。）
- ⑤ カラムからの流出水をサンプリングし、流量と通水時間を調べた。
- ⑥ 流量、通水時間及び充填条件より、飽和透水係数を算出した。

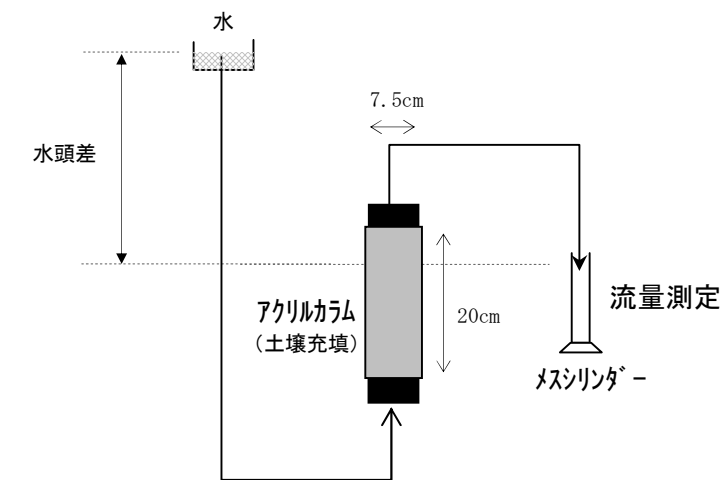


図 3.3.24 透水試験装置

ii) 有効間隙量試験

充填土壌の間隙のうち、供給した水が通過する実質の間隙を把握するために、遅延性のない塩化ナトリウム（NaCl）溶液をトレーサーに用い、その流出挙動を測定することにより有効間隙率を求めた。試験手順は以下のとおりである。

- ① 透水試験で用いたカラム装置に、水頭差を使用し上向流で水を通水した（図3.3.24）。
- ② 通水をNaCl溶液に切り替え、カラムから流出水をサンプリングし、電気伝導度（EC）と通水量を測定した。
- ③ 間隙中がNaCl溶液に置換し電気伝導度（EC）が一定になったことを確認し通水を停止した。

実施概要を以下に示す。

供給溶液 : NaCl 1,000mg/L 溶液

検体数 : 5 検体（透水試験に使用したもののうち、F16 GL -2.5～3.3mについては後述の脱着試

着試験で2つの流速条件を設定しているために、2種ともに試験対象とした。）

測定項目：通水量、電気伝導度 (EC)

有効間隙量は、NaCl 溶液で完全に置換した濃度 (C_{max}) が、1/2 の濃度 ($C_{0.5}$) となった時点での通水量とした。なお、NaCl 濃度と EC の関係は、事前に検量線を作成したところ 1,000mg/L 以下では線形性が確認されたため、相対濃度は EC 値で算出した。

5) ヒ素の脱着試験

i) 試験の概要

アクリルカラムに充填した汚染土壌に水をペリスタリックポンプで連続供給した (図 3.3.25)。カラムに土壌を充填する際には地下水で間隙を満たしたうえで、カラムからの排水を定期的にサンプリングし、土壌から脱離してきたヒ素濃度と通水量を把握した。

カラムから排出された排水は総ヒ素分析を行い、カラム通過量増加に伴うヒ素の濃度低下状況を測定した。土壌については、試験の最初と最後に総ヒ素の含有試験を実施した。ただし、最初と最後に行った総ヒ素含有量試験の試料は同じではない。通水する流速は、流速の違いによる脱着特性を把握するため、3 ケースとした。

- 試料：観測孔設置時に採取した試料 (透水試験に使用分とは別試料)
- 試験実施数：3 ケース
- 測定項目：流量、総ヒ素 (液体、土壌含有)

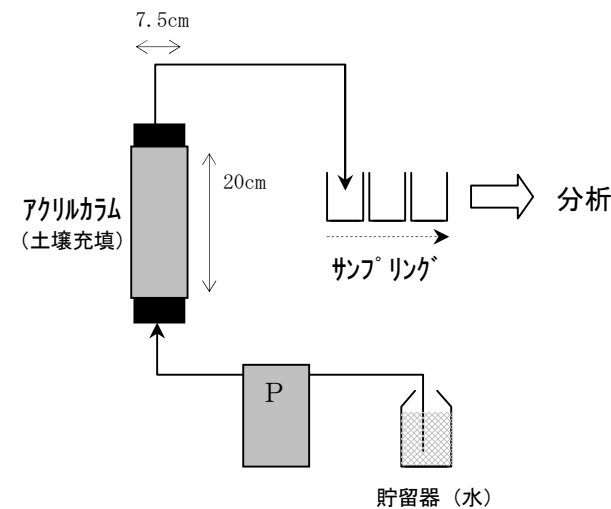


図 3.3.25 総ヒ素の脱着試験装置

ii) 遅延係数の算出

遅延係数は、先に実施した非吸着の NaCl トレーサーにおける $C_{0.5}$ 時の通水量とヒ素の $C_{0.5}$ 時の通水量の比より算出した。後述の図 3.3.28 及び図 3.3.29 は、横軸を NaCl トレーサーにおける有効間隙量を「1」とした場合の通水量 (回) である。すなわち遅延がなければ、ヒ素の $C_{0.5}$ 時の通過量は、NaCl トレーサーの $C_{0.5}$

時の通過量「1」と同じになる。

(3) 試験結果

1) 物理特性

i) 含水比、湿潤密度、土粒子密度

表 3.3.3 は、含水比、湿潤密度、土粒子密度の土質試験結果である。含水比は 21.2~24.4%、湿潤密度は 1.862~1.944g/cm³、土粒子密度は 2.659~2.687 g/cm³ の範囲であった。F-18 試料の方がやや湿潤密度が高かった。

表 3.3.3 含水比、湿潤密度、土粒子密度の土質試験結果

試料名称	F16		F18	
	GL-2.5~3.3m	GL-5.0~5.7m	GL-2.5~3.3m	GL-5.0~5.8m
含水比(%)	23.4	21.2	24.4	24.3
湿潤密度(g/cm ³)	1.862	1.790	1.902	1.944
土粒子密度(g/cm ³)	2.659	2.692	2.676	2.687

ii) 粒度分布

表 3.3.4 は粒度試験結果、図 3.3.26 は粒径加積曲線である。どの試料も細砂に分類され、粒度組成に大きな違いはないが、F16 GL-5.0~5.7m は他の試料に比較しやや粗く、F18 GL-5.0~5.8m は細粒分が多い。

表 3.3.4 粒度試験結果

粒径(mm)	F16		F18	
	GL-2.5~3.3m	GL-5.0~5.7m	GL-2.5~3.3m	GL-5.0~5.8m
19.0	-	-	-	-
9.5	-	100	-	-
4.75	-	99.7	-	100
2.0	-	96.8	100	99.5
0.85	100	89.5	99.9	97.7
0.425	96.2	66.1	96.6	90.8
0.250	45.9	32.8	95.3	56.2
0.106	3.0	1.5	3.1	3.5
0.075	2.1	0.9	2.9	3.0

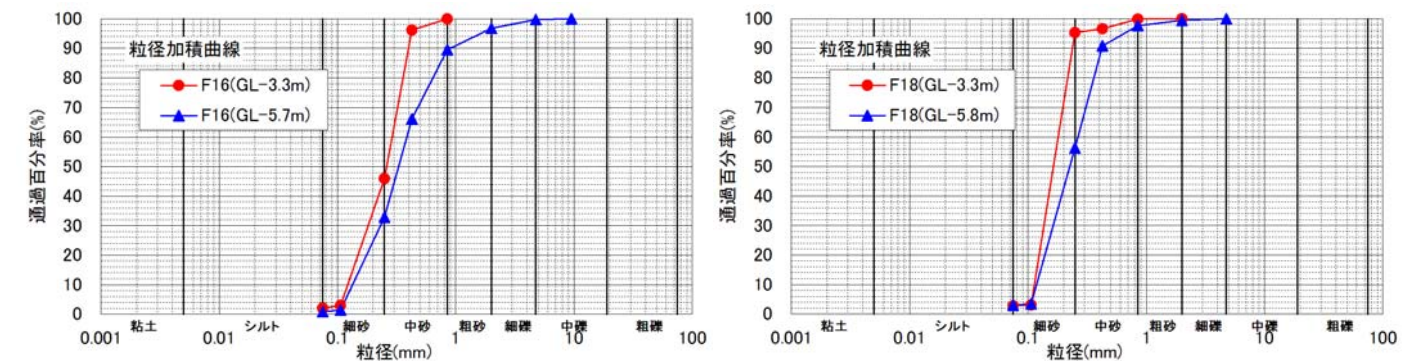


図 3.3.26 粒径加積曲線図 (左 F-16、右 F-18)

2) 透水試験及び有効間隙量

表 3.3.5 は、透水係数及び有効間隙量の算出結果である。

表 3.3.5 透水係数及び有効間隙量の算出結果

試料名称		F16			F18	
		GL-2.5~3.3m (RUN 1)	GL-2.5~3.3m (RUN 2)	GL-5.0~5.7m	GL-2.5~3.3m (RUN 3)	GL-5.0~5.8m
充填条件	充填量 (g)	1431.8	1433.1	1414.3	1496.1	1495.6
	土壌充填長 (cm)	19.0	19.0	18.5	19.7	19.3
	断面積 (cm ²)	38.465				
透水試験	水頭差 (cm)	60.0	60.0	58.0	60.0	58.0
	動水勾配	3.16	3.16	3.14	3.05	3.01
	流速 (ml/sec)	0.23	0.19	0.15	0.05	0.17
	透水係数 (cm/sec)	1.87E-03	1.54E-03	1.23E-03	3.86E-04	1.46E-03
有効間隙試験	死容積 (ml)	22.60	31.48	28.54	31.48	25.56
	充填容積 (ml)	730.8	730.8	711.6	757.8	742.4
	C _{0.5} の通水量 (ml)	265	240	260	248	252
	カラムの有効間隙量 (ml)	242	209	231	217	226
	有効間隙率	0.33	0.29	0.33	0.29	0.31
土質試験値からの算出値	間隙率	0.35		0.31	0.37	0.38
	カラムの間隙量 (ml)	272		241	287	292

i) 透水係数

透水係数は、F-18 GL-2.5~3.3m で 3.86×10^{-4} cm/sec であったが、その他は約 1×10^{-3} cm/sec で同程度であり、当該砂の透水係数は、 1×10^{-3} cm/sec 程度と考えられる。粒度分布結果からも、F-18 GL-2.5~3.3m は4種の土壌のうち最も細粒分が多く、他の試料に比べ透水係数が小さい結果を反映したものと考えられる。また、これまでの揚水試験等でも、 1×10^{-3} cm/sec 程度の透水係数が得られており、この値は埋土の代表的透水係数と考えられる。

ii) 有効間隙量

図 3.3.27①②は、NaCl トレーサーによる有効間隙量の算出結果図である。有効間隙率は 0.29~0.33 にあり、平均すると 0.308 となった。図中の赤線左側は死容積、赤線右側は C_{0.5} 時の通水量であり、有効間隙量は、C_{0.5} 時通水量-死容積量で求められる。

さらにここで、土質試験結果からの間隙率を算出し、有効間隙率との比較検討を行った。間隙率 n は、土質試験の試料が飽和土であると仮定し、次式により算出した。

$$n = p_t \times w / 100 / (1 + w / 100) \times 100$$

ここで、 p_t : 湿潤密度、 w : 含水比 である。

この結果、土質試験からの間隙率は 0.31~0.38 となり、カラム試験から算出した有効間隙率と 0.29~0.33 と必ずしも一致はしなかったが、概ね整合した結果となった。

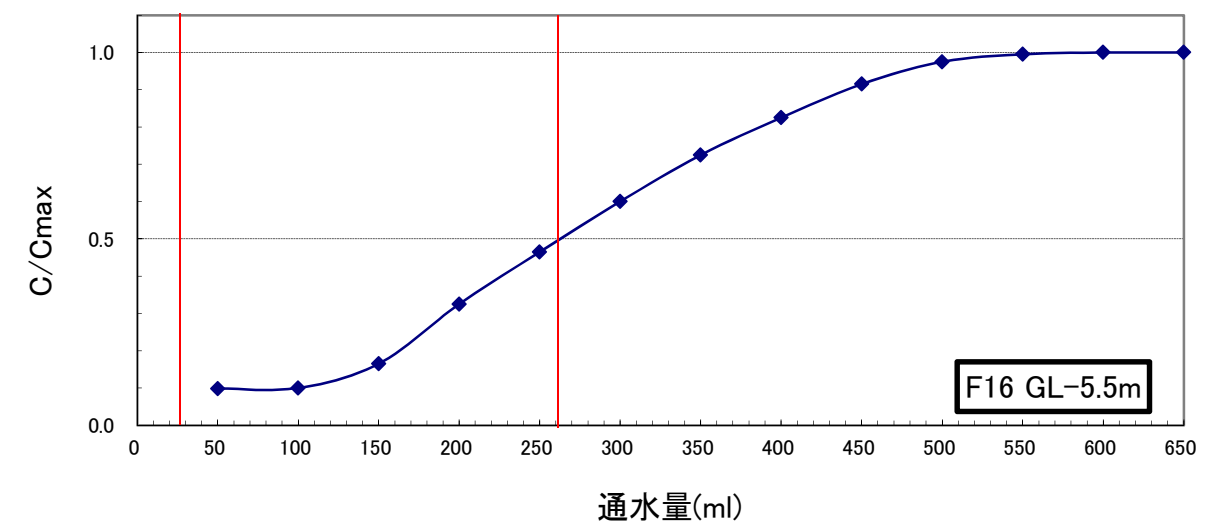
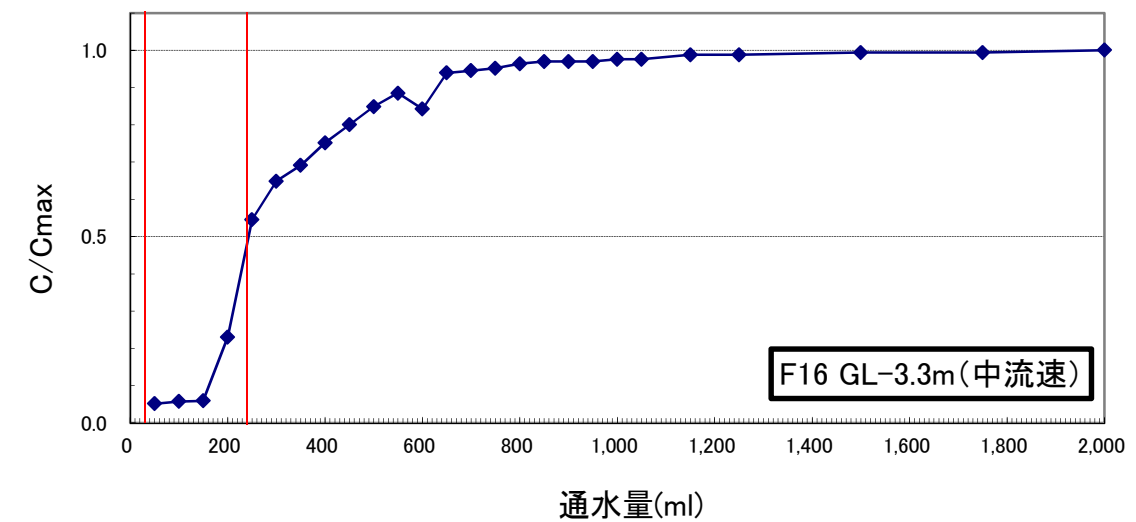
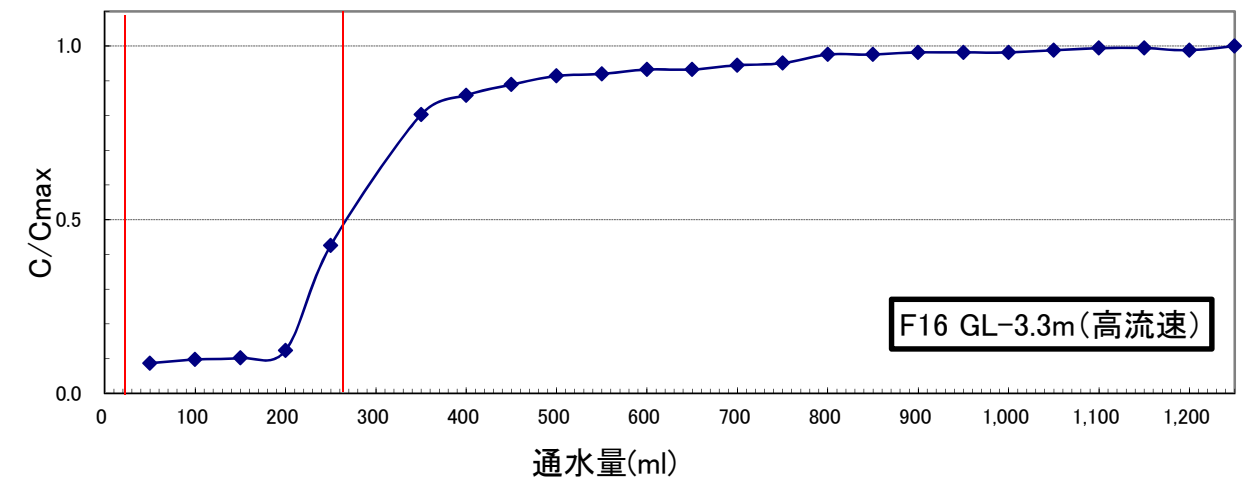


図 3.3.27① NaCl トレーサーによる有効間隙量の算出結果図 (F16 シリーズ)

表 3.3.6 ヒ素の脱着試験結果一覧

系列	土壌試料名	平均流量 (ml/min)	流速 (cm/min)		断面積 (cm ²)	有効 間隙率	透水係数 (cm/sec)	遅延 係数	総ヒ素含有量 (mg/kg)		除去率
			ナトリウム-流速	実流速					初期	最後	
RUN1	F16GL-2.5~3.3m	10.7	0.28	0.84	38.465	0.33	1.9E-03	0.9 ^{※1}	5.9	5.1	0.14
RUN2	F16GL-2.5~3.3m	1.11	0.029	0.10	38.465	0.29	1.5E-03	1.9	5.9	17	-1.88 ^{※2}
RUN3	F18GL-2.5~3.3m	0.14	0.0036	0.013	38.465	0.29	3.9E-04	1.7	5.8	5.3	0.09

※1：遅延係数は、非吸着の NaCl とヒ素の濃度半減時点の通水量より算出し、理論上「1」は以上となるが、高流速条件下 (RUN1) では、試験上の誤差により 0.9 となった。

※2：初期値と通水後の最後の分析の対象とした試料の濃度に差があり、最後の分析を行った試料の濃度が初期よりも高かったため除去率がマイナスとなった。

ヒ素の脱着試験は、流速の違いによるヒ素の脱着 (遅延) 特性を把握するため、3 流速条件で実施した。流速は、概ね 1 オーダー単位で変わるようにした。

試験の結果、高流速条件下 (RUN1) では遅延は全く見られない結果となった、中～低流速条件下 (RUN2、3) では、1.9～1.7 の遅延係数が得られた。

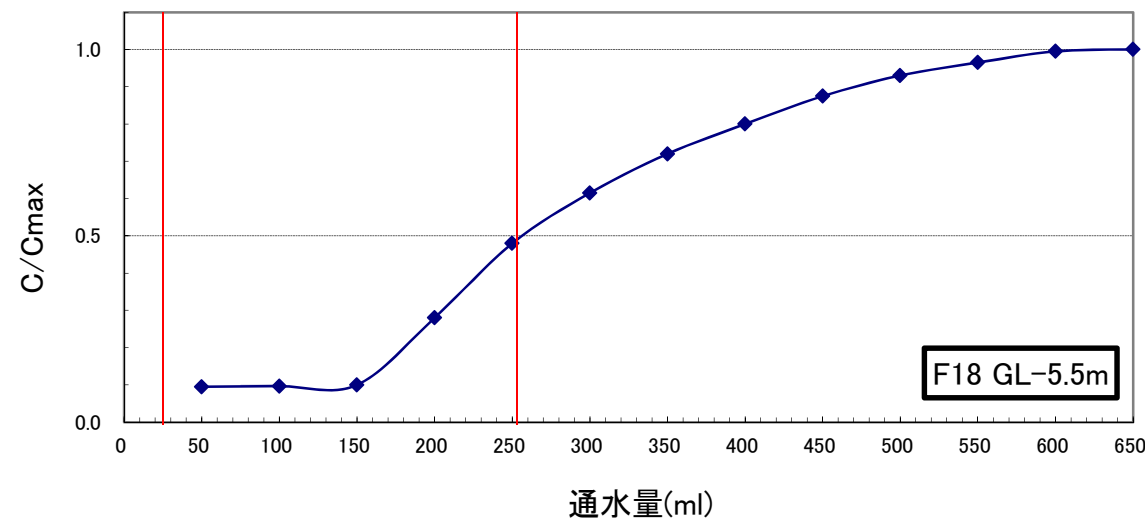
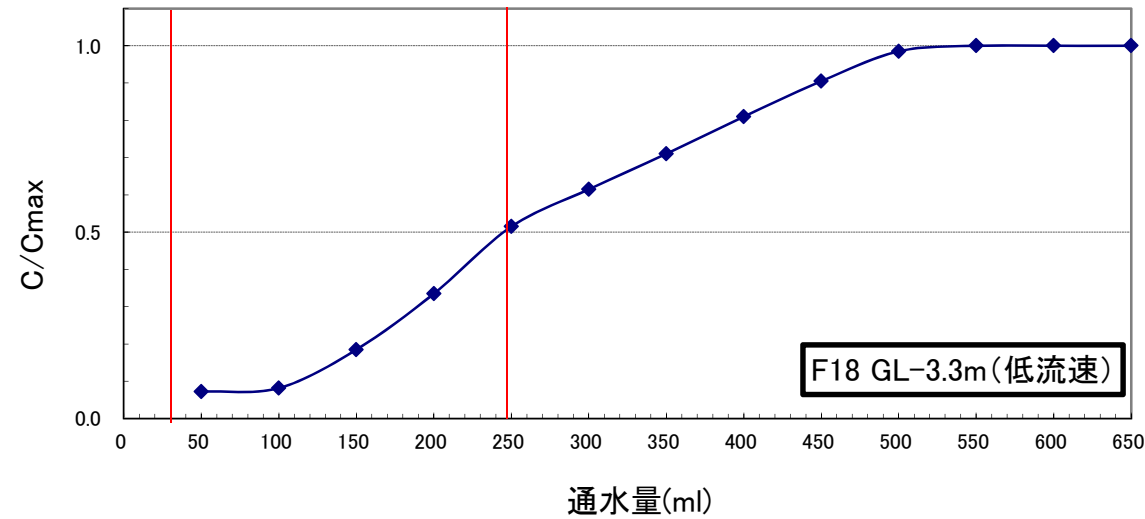


図 3.3.27② NaCl トレーサーによる有効間隙量の算出結果図 (F18 シリーズ)

3) ヒ素の脱着特性

表 3.3.6 はヒ素の脱着試験結果一覧である。ヒ素の脱着試験に利用する試料は、湿潤密度が最も低い F-16 の GL-5.0～-5.7m、最も高い F-18 の GL-5.0～-5.8m を除き、F-16 の GL-2.5～-3.3m と F-18 の GL-2.5～-3.3m から計 3 試料とした。図 3.3.28 はヒ素の脱着試験におけるカラム排水中の総ヒ素濃度変化、図 3.3.29 はヒ素の脱着試験における各流速条件下での遅延係数の算出結果である。

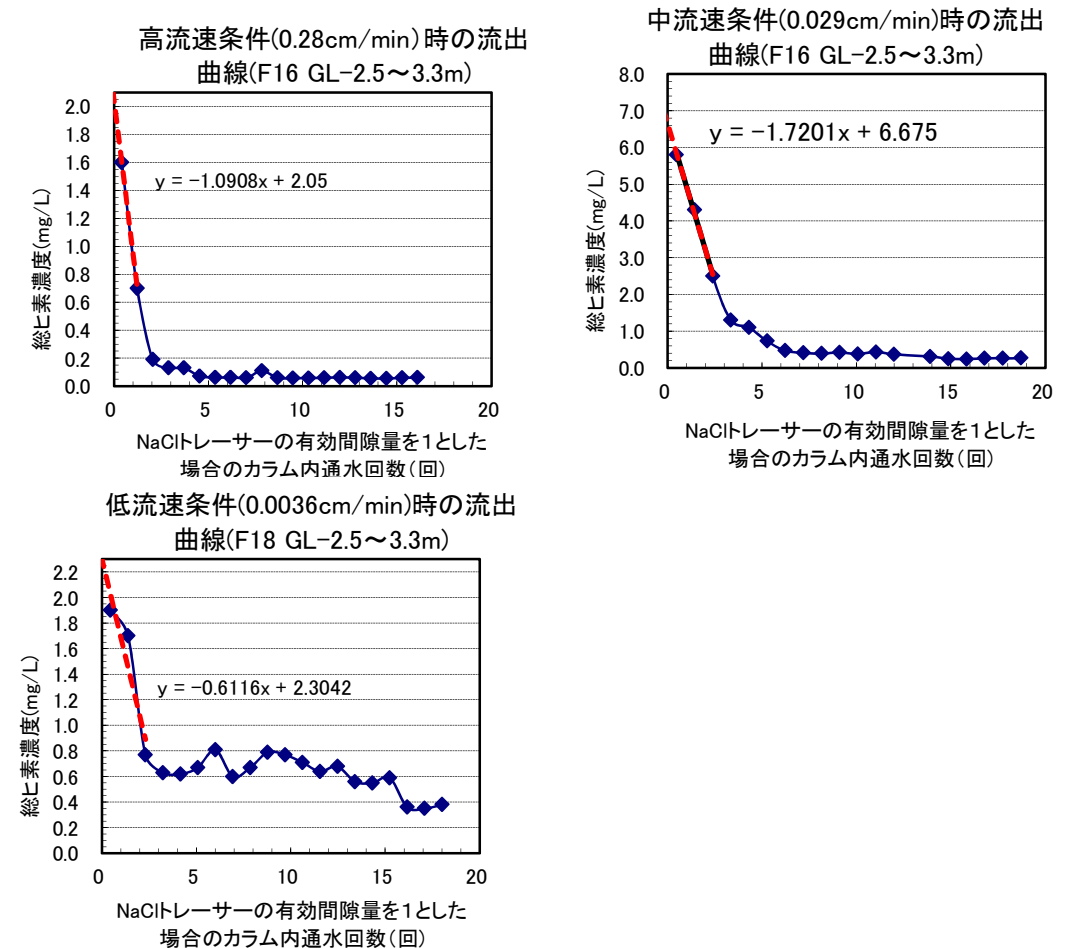


図 3.3.28 ヒ素の脱着試験におけるカラム排水中の総ヒ素濃度変化

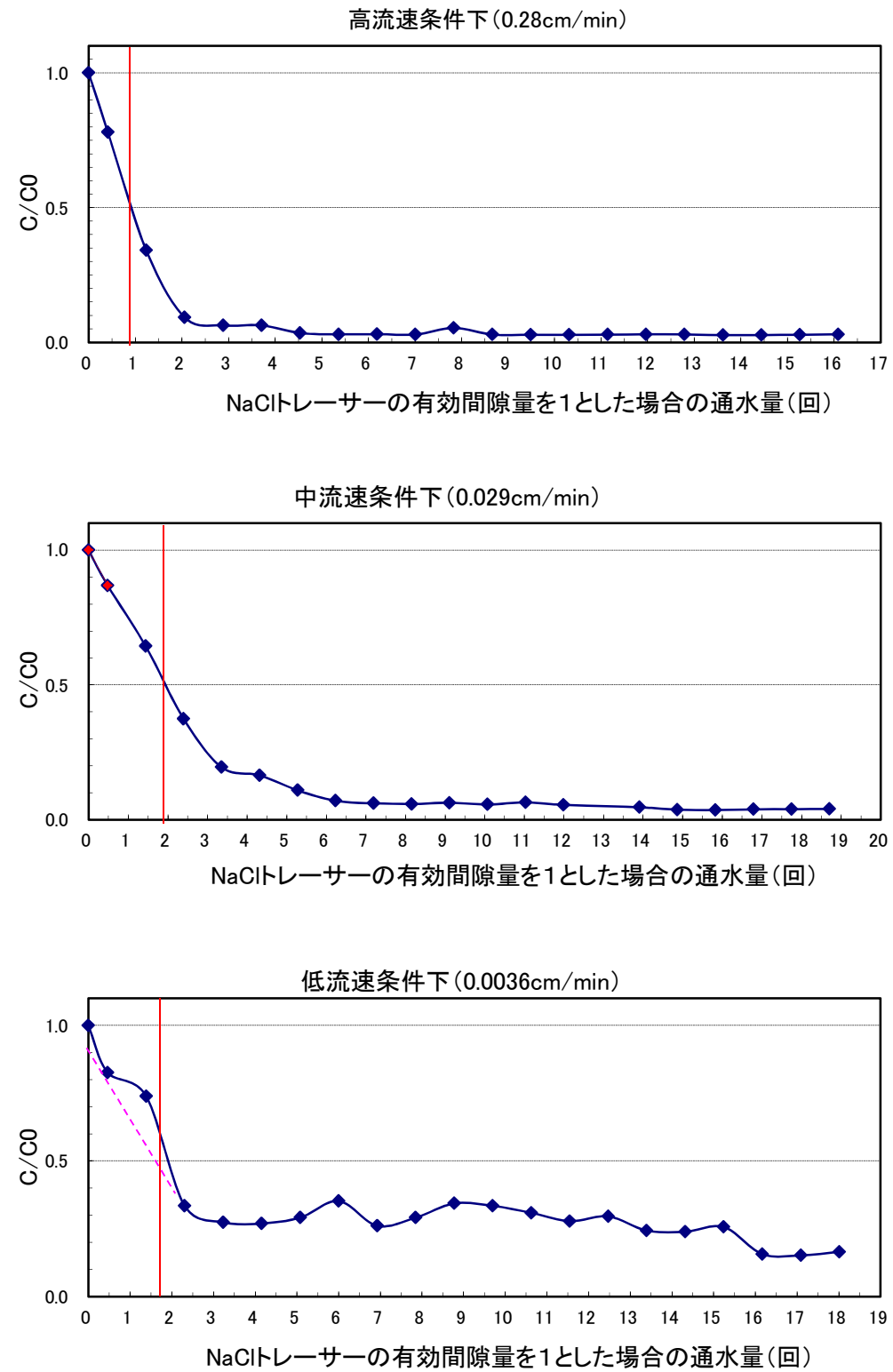


図 3.3.29 ヒ素の脱着試験における各流速条件下での遅延係数の算出結果

4) 掘削調査地点の埋土におけるヒ素の脱着特性

ヒ素の脱着試験の結果、掘削調査地点の埋土については、高流速である 0.28cm/min では遅延は見られませんが、0.029~0.0036cm/min の中~低流速条件下では、1.9~1.7 の遅延係数が得られる結果となった。

一方、連続揚水併用試験時の流向流速は 0.025~0.047cm/min 程度となっており、カラム試験での中流速条件下に相当する (図 3.3.30)。

従って、掘削調査地点内の表層については、高濃度汚染対策時に遅延効果が働く可能性があり、遅延を見込んだ検討を行う場合は、遅延係数を「2」程度とすることが妥当と考えられる。

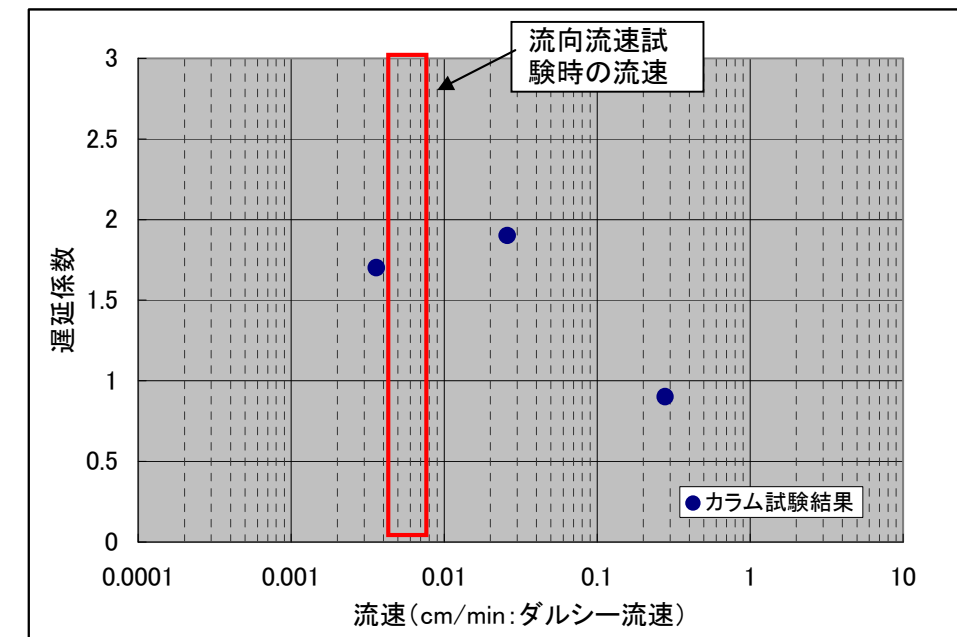


図 3.3.30 ダルシー流速と遅延係数の関係

3.3.6. シミュレーションによる適正揚水・注水量及び井戸配置検討

(1) 適正揚水・注水量及び井戸配置検討の目的

掘削調査地点（土留め矢板）内の表層に残存する汚染地下水を効果的かつ適性に除去するために、掘削調査地点内で実施した各種試験結果を基に、掘削調査地点を対象にした3次元地下水モデルを構築し、掘削調査地点内で対策を実施する場合の適正井戸配置、適正揚水量、適正注水量をシミュレーションにより算出した。

(2) 碎石層の敷設

掘削調査地点で進められていた原形復旧のため掘削調査地点内の埋戻し作業に際し、雨水や注水をした場合の浸透効果を促進させるため、掘削地点内地盤の上に厚さ約0.5mの碎石層を敷設することとした。碎石層の上端と下端には、周辺地盤との境界を明確にするため不織布を敷設した。

図3.3.31は掘削調査地点の埋戻し概要図、写真3.3.3～写真3.3.6は碎石層敷設状況写真、表3.3.7は碎石層の粒度試験結果である。



写真 3.3.3 碎石層下面不織布敷設状況（下面）



写真 3.3.4 碎石層敷設状況



写真 3.3.5 碎石層敷設完了状況



写真 3.3.6 碎石層上面不織布敷設状況

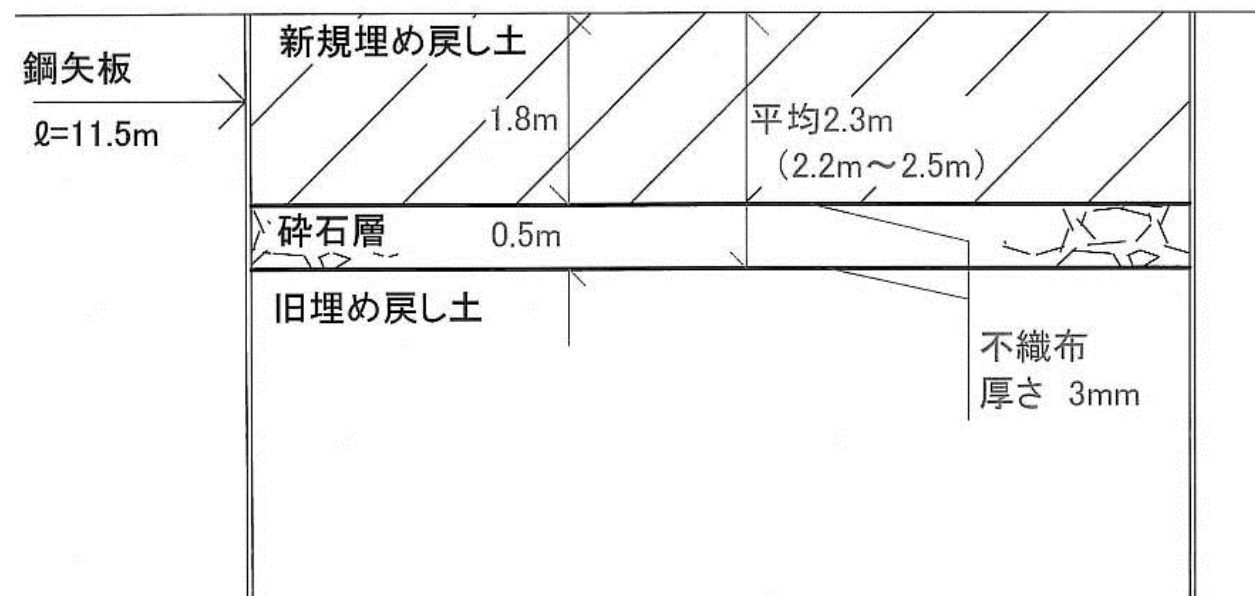


図 3.3.31 掘削調査地点の埋戻し概要図

表 3.3.7 碎石層の粒度試験結果

骨材種別	4020	試験年月日	2007年5月16日	
調査名・目的	品質管理	試験者		
ふるい分け試験				
粒径mm	試料質量g	残倍率%	加積通過率%	粒度範囲
53.0	0	0	100	100
37.5	550	4.6	95.4	85~100
31.5	4,300	35.8	59.6	
19.0	6,300	52.5	7.1	0~15
>	850	7.1		
計	12,000	100		

(3) 適正揚水・注水量及び井戸配置検討のための三次元モデルの構築

図 3.3.32 は、掘削調査地点内における適正井戸配置、適正揚水量、適正注水量検討のための掘削地点揚水配置検討シミュレーション三次元地質モデルである。

モデルは、平面は土留め矢板（24m×12m）の範囲とし、深度方向は洪積粘土層（Dc）までとした。本モデルでは土留め矢板内の地層状況をより詳細にモデル化するため、埋戻し土を、砂利採取後の埋戻し土（B3）、いけす埋戻しの埋戻し土（B2）、掘削調査後の埋戻し土（B1）に区分し、さらに砕石層（S）もモデル化した。

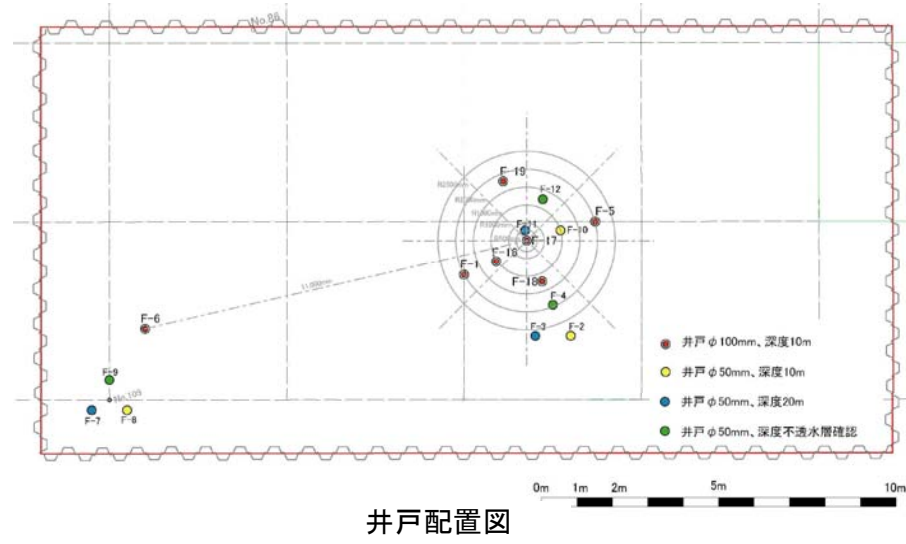
(4) 適正揚水・注水量及び井戸配置検討解析の条件

表 3.3.8 は掘削調査地点内における適正井戸配置、適正揚水量、適正注水量検討のための水理定数一覧である。埋土層（B1、B2）については、表層浸透試験及び1次元浸透解析に基づき設定し（図 3.3.9 参照）、埋土層（B3）は室内透水試験結果に基づいて設定した（表 3.3.5 参照）。また、土留め矢板の透水係数は、他のシミュレーションでは $1 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ を採用していたが、土留め矢板設置後数年が経過していたため、腐食等により透水性が低下していた場合に、注水時に異常な水位の上昇が発生し安定的な注水量が確保できなくなるおそれもあったため、本検討では、モデル外からの地下水の流入出量を極力少なくし外部との遮断を想定した解析とするため、 $1 \times 10^{-9} \text{cm/sec}$ を採用した。

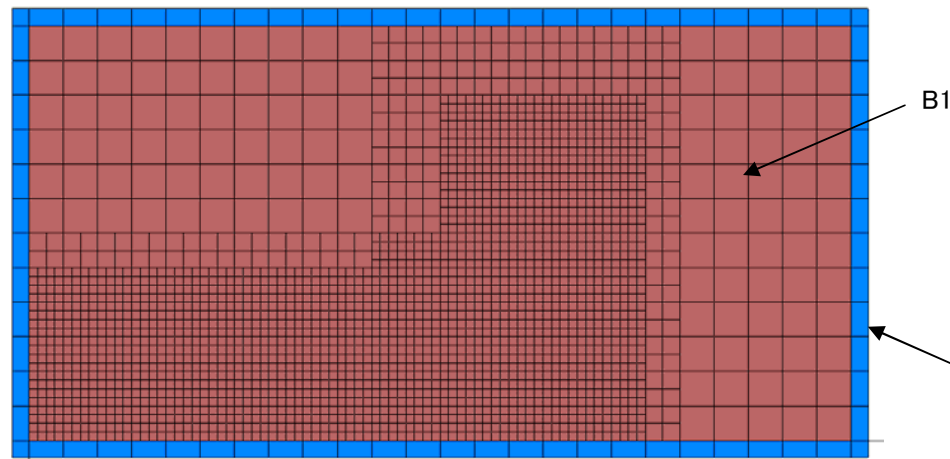
表3.3.8 掘削調査地点内における適正井戸配置、適正揚水量、適正注水量検討のための水理定数一覧

記号	地層名	透水係数 (cm/sec)			有効間隙率 (%)
		X	Y	Z	
S	砕石層	1×10^1	1×10^1	1×10^1	40
B1	今の埋戻土 (掘削調査後に入れた土)	1.5×10^{-3}	1.5×10^{-3}	1.5×10^{-3}	30
B2	新埋土 (いけす埋戻時の埋戻土)	3.8×10^{-4}	3.8×10^{-4}	3.8×10^{-4}	30
B3	旧埋土 (砂利採取後の埋戻土)	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	30
As	沖積砂層	5×10^{-3}	5×10^{-3}	5×10^{-3}	30
Ag	沖積砂礫層	7×10^{-3}	7×10^{-3}	7×10^{-3}	20
Ds1・2	洪積砂層	3×10^{-3}	3×10^{-3}	3×10^{-3}	20
Dg1	洪積砂礫1層	5×10^{-3}	5×10^{-3}	5×10^{-3}	20
Dg2	洪積砂礫2層	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	20
Dc	洪積粘土層	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	20
Y	土留め矢板	1×10^{-9}	1×10^{-9}	1×10^{-9}	1

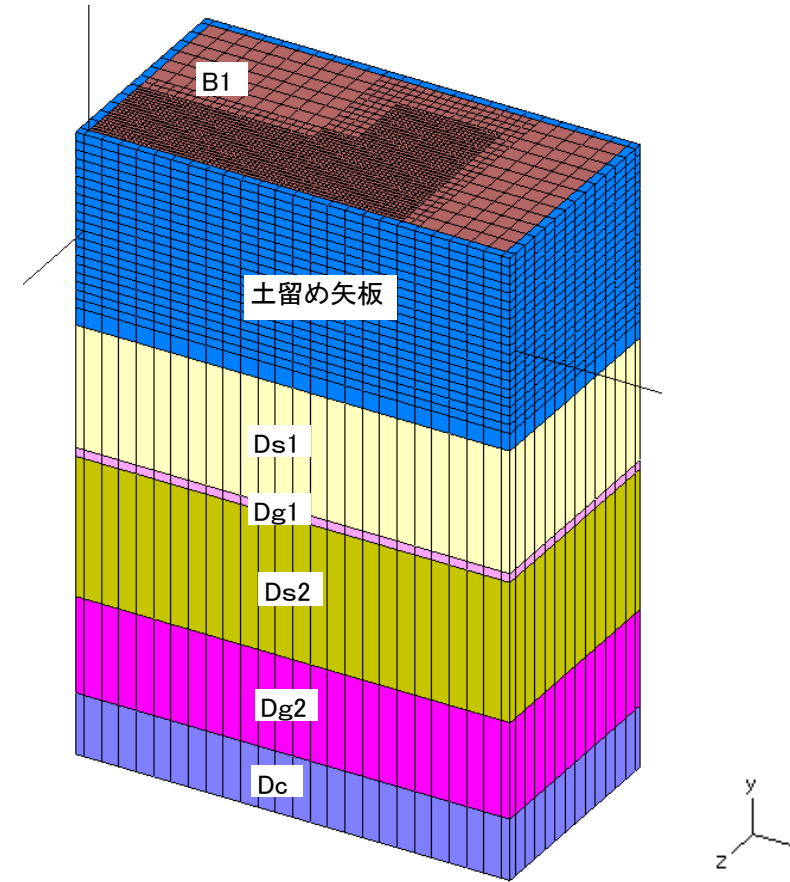
図3.3.32 掘削地点揚水配置検討シミュレーション三次元地質モデル



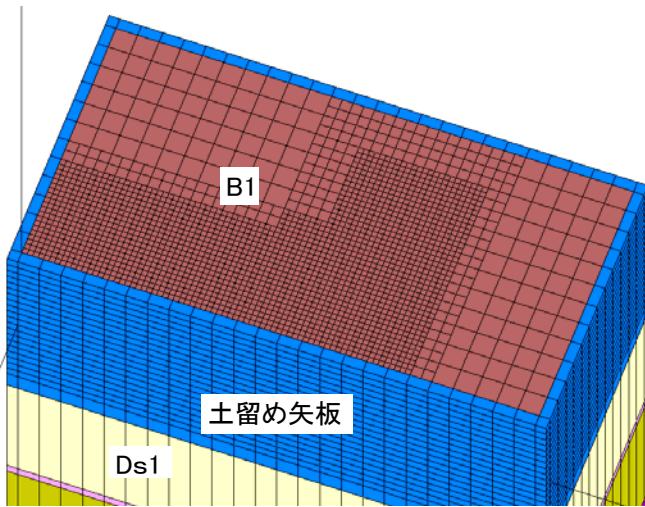
井戸配置図



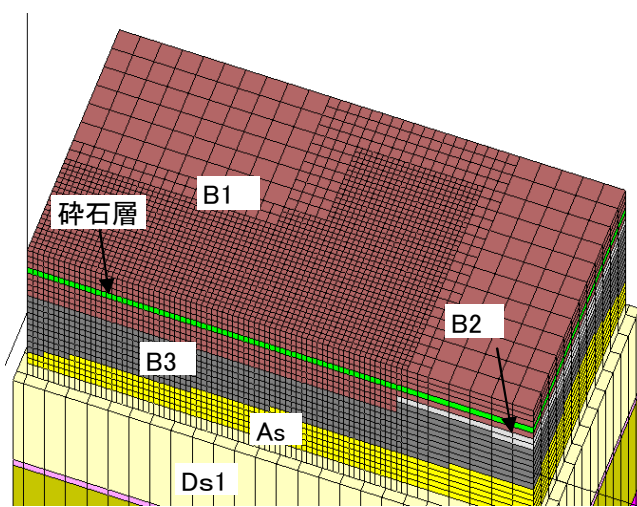
地質平面モデル(上から見たもの)



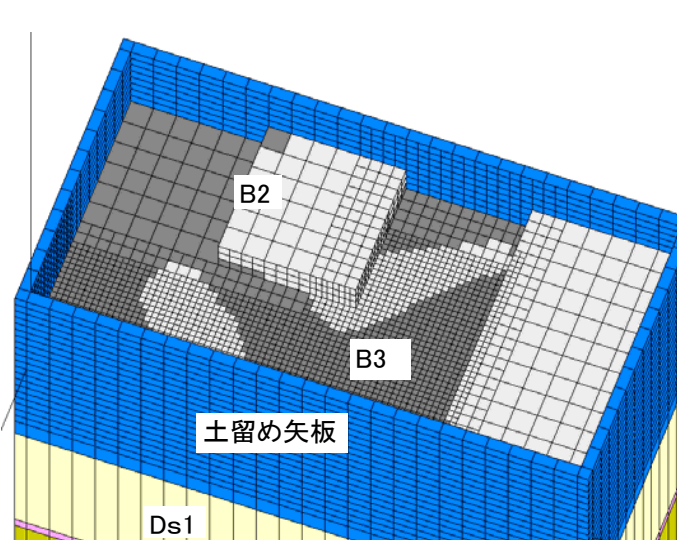
三次元地質モデル(南東側から見たもの)



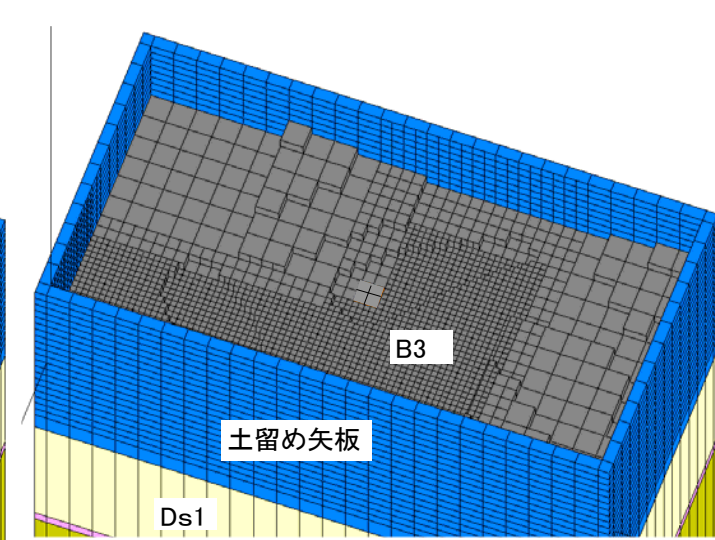
三次元地質モデル(浅層部)



三次元地質モデル(浅層部)土留め矢板非表示



三次元地質モデル(浅層部)B1非表示



三次元地質モデル(浅層部)B1、B2非表示

(5) 検証解析結果

構築したモデルが、現地の水理状況を再現できるかどうかについて、注水揚水試験時の実測水位データと地盤内の流速をモデル内で検証した。

1) 検証条件

揚水井戸：F-5 揚水量 5.7L/min
 注水井戸：F-16 注水量 2.5L/min

2) 検証解析結果

図 3.3.33 は、周辺観測の実測水位と解析水位を示す。解析の結果、概ね現況を再現することができた。また、流速についても概ね整合する結果となった（表 3.3.9）。

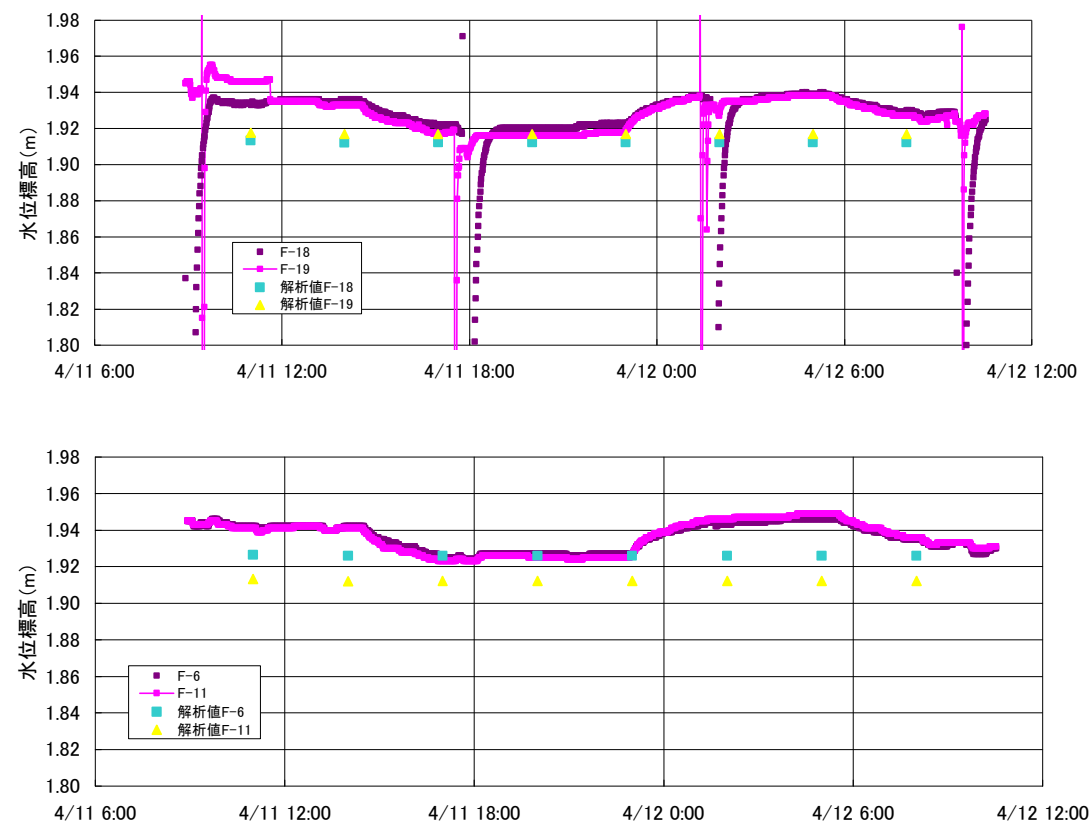


図3.3.33 周辺観測の実測水位と解析水位（地下水位）

表3.3.9 検証解析結果（地下水流速）

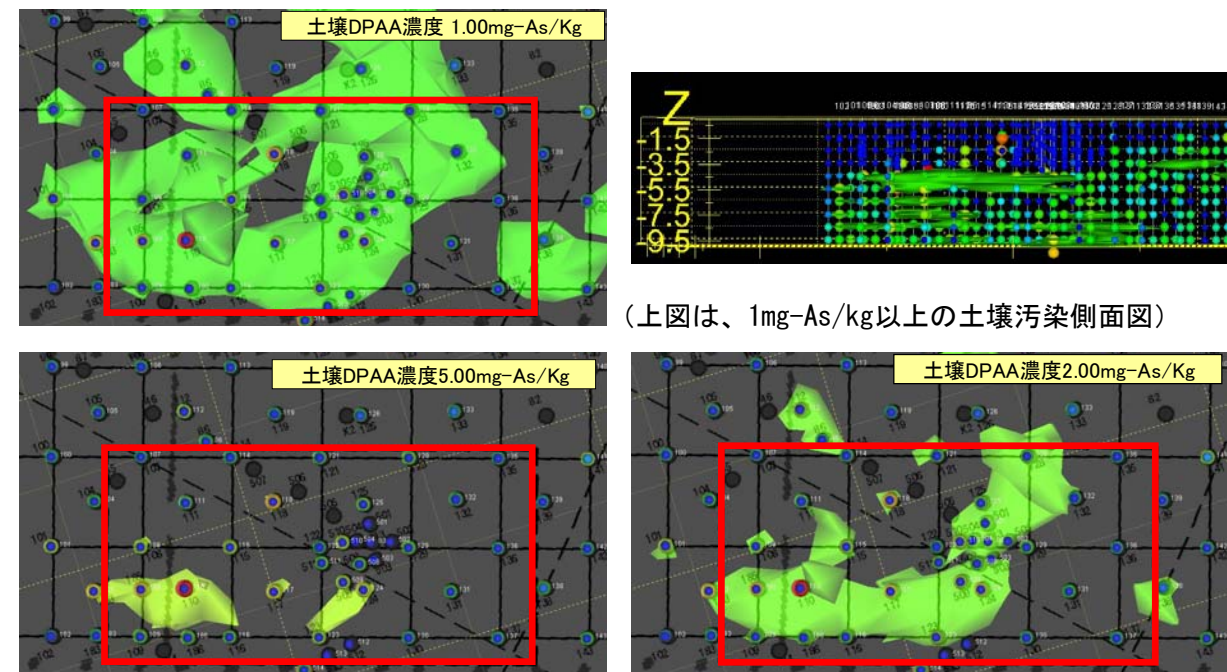
地点名	【流速 (cm/min)】	
	実測値	解析値
F-10	0.025	0.030
F-17	0.042	0.025

(6) 井戸配置の検討

揚水試験の結果より、揚水井戸 1 本当たりの地下水影響範囲は、水平方向に概ね 3m と推定された。推定される地下水影響圏（3m）と現地における当初のボーリング調査から推定される DPAA による土壤汚染状況から、井戸配置を検討した。

1) DPAA の土壤汚染状況

図 3.3.34 は、汚染源掘削調査によりコンクリート様の塊及び汚染土壌を除いた後の DPAA の土壤汚染状況である。図 3.3.34 では、5mg-As/kg 以上のものは、掘削調査地点での南側に集中している。また 2mg-As/kg 以上のものは、概ねコンクリート様の塊が発見された形状と似ている。1mg-As/kg 以上となると、土留め矢板の外側にまでかなり広がる結果となる。



（上図は、1mg-As/kg以上の土壤汚染側面図）

図3.3.34 汚染源調査掘削によりコンクリート様の塊及び汚染土壌を取り除いた後のDPAAの土壤汚染状況

2) 井戸配置

検討の対象とする井戸は、図3.3.34に示した概ね2mg-As/kgの範囲を参考に14箇所を選定した(図3.3.35)。この際、既に設置してある井戸はそのまま利用することとした。

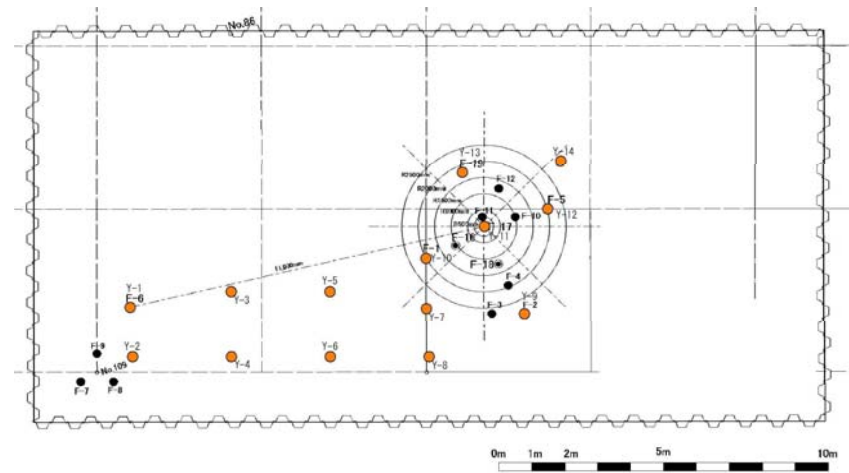


図3.3.35 井戸配置図

地層中)の水位標高2.5~2.7m付近で安定する結果となった(図3.3.36)。

水面形状に凹凸が見られるのは、掘削調査後に埋戻した埋土層の層厚が影響しているものと考えられた。

(7) 可能注水量の検討

掘削調査地点内の全域に敷設された層厚0.5mの砕石層中に水道水を注水する場合、どの程度の浸透量及び水位の上昇が予測されるかをシミュレーションにより計算した。

計算の結果、掘削地点全域での可能浸透量は1時間当たり2.6m³、1日当たり63.14m³となった。

なお、揚水浄化計画検討に当たっての、処理量のバランス(揚水量と排水量)は、地盤の不均一性や目詰まり等が考えられるため、ある程度の安全率を見込み、安全率0.8とすると、約50m³となる。

(8) 掘削調査地点内の適正揚水量・注水量検討

これまでの検討結果を元に、設定した揚水量及び注水量で、掘削調査地点内の地下水を安定的に揚水注水できるかについての予測シミュレーションを行った。

予測条件は以下のとおりである。

●揚水条件

揚水箇所 : 14箇所

1本当たりの揚水量 : 3L/min (総量42L/min : 60m³/day)

●注水条件

注水量 : 掘削調査地点内全域に50m³/day

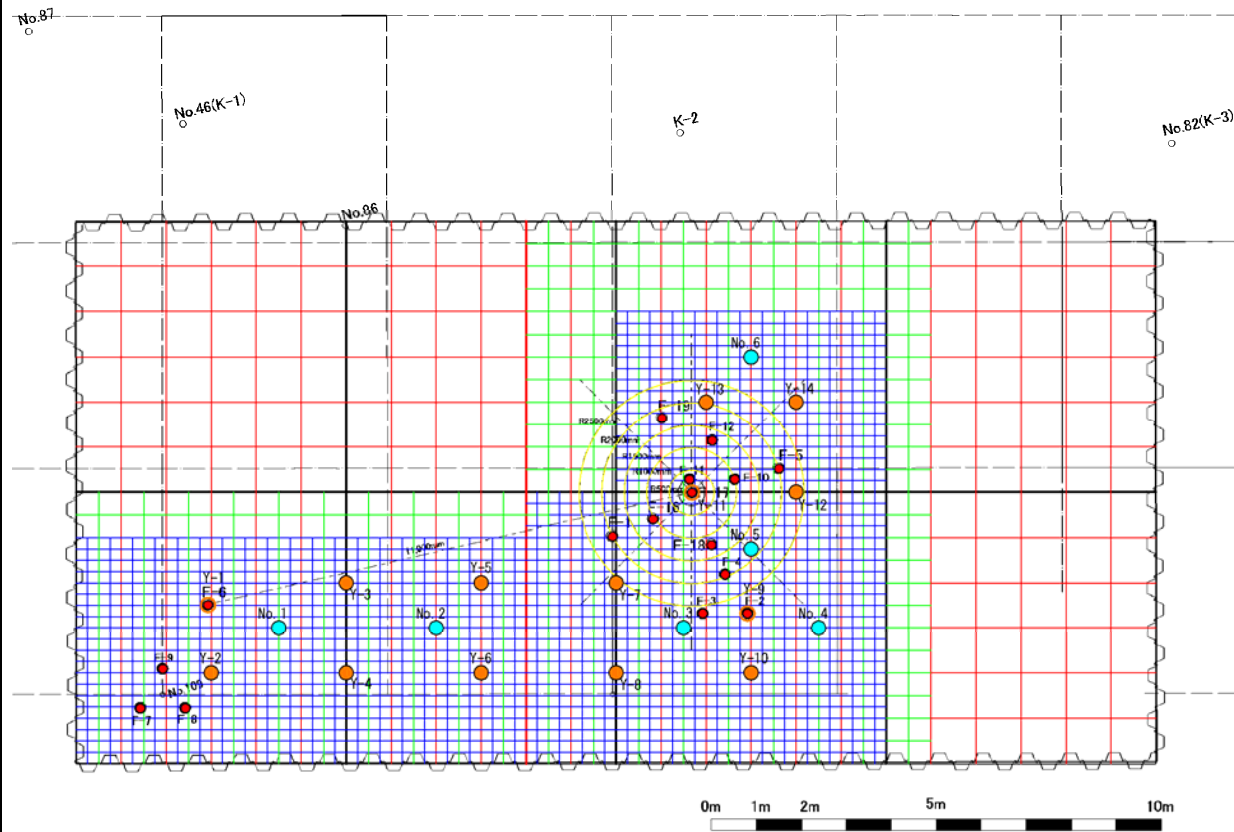
●計算時間

注水開始から100時間後まで

計算の結果、上記の条件下で、地下水位は初期条件より約60cm上方(砕石層の下位の新たに埋め戻した

図3.3.36 掘削調査地点揚水注水予測結果(揚水量60m³/日、注水量50m³/日の場合)

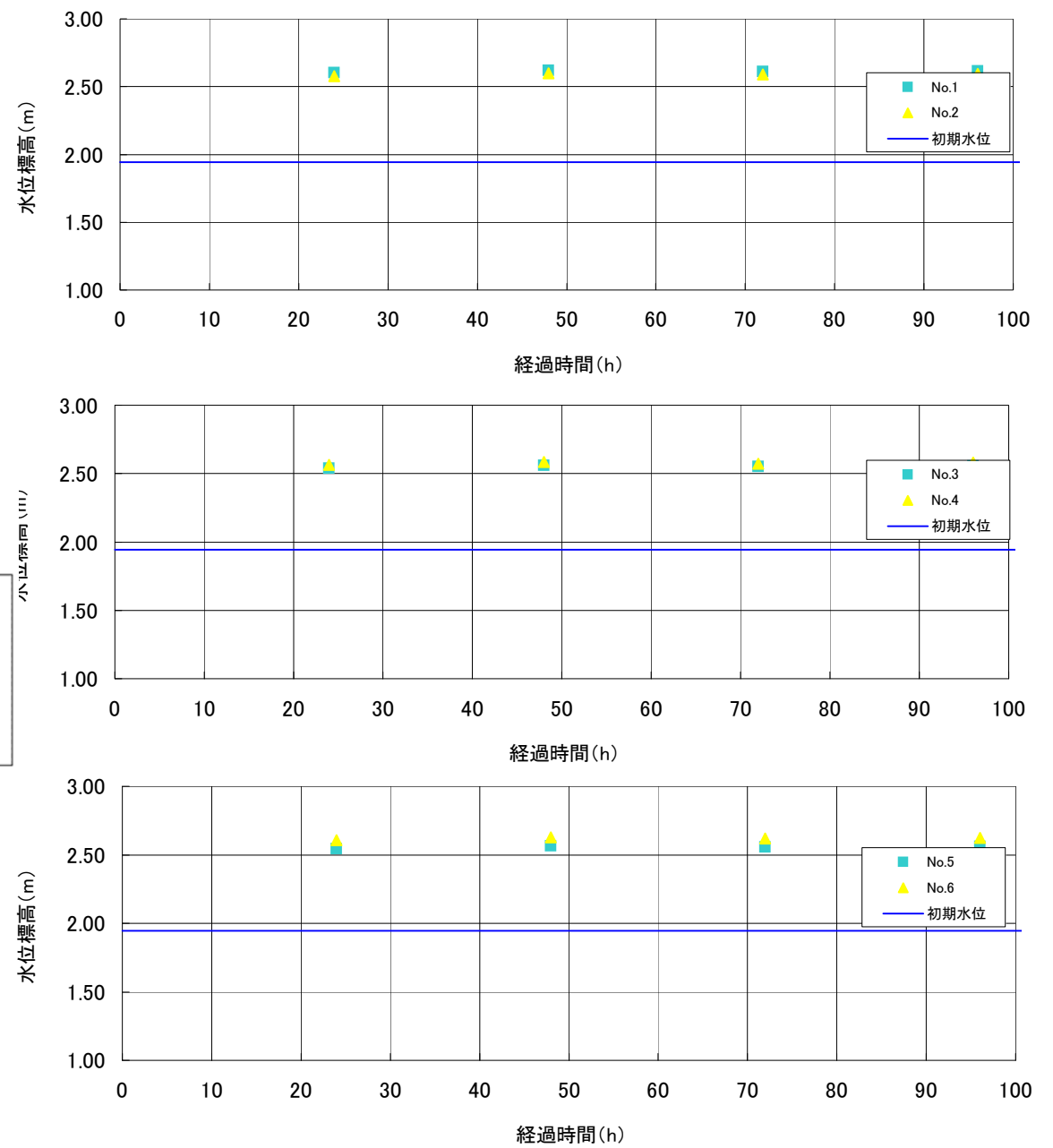
井戸等配置図



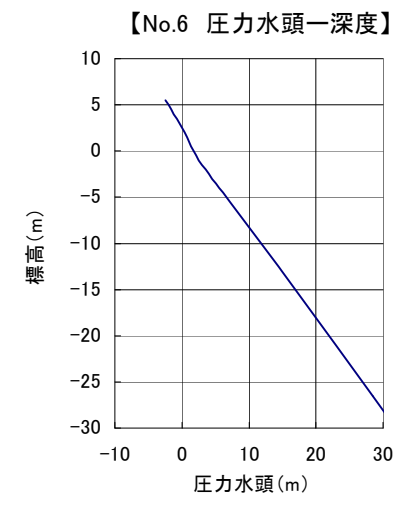
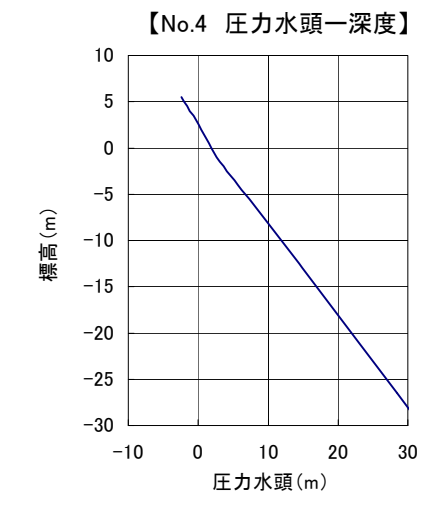
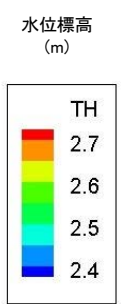
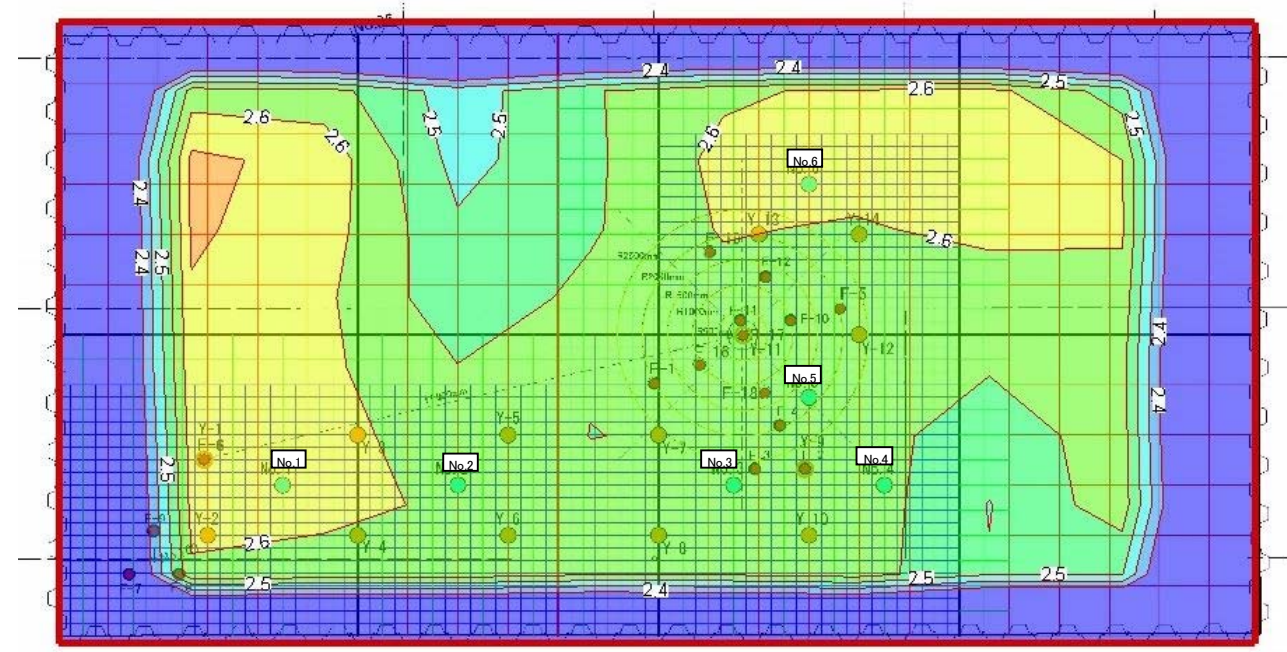
凡例

- : 地下水観測孔
- : 揚水孔(0=5 l/min)
- : 揚水孔(地下水観測孔を利用)
- : 解析値抽出箇所

【100時間連続揚水による地下水位変化】



予測結果〔地下水位コンター〕



地点名	流速 (cm/min)
No.4	0.015
No.6	0.013

3.3.7. 揚水及び注水の現場実証試験

(1) 揚水及び注水の現場実証試験の目的

掘削調査地点では、周囲を深度 11m まで土留め矢板が施工されていることから、掘削調査地点内の地下水は流動しにくい状況となっている。

掘削調査地点内の表層に残る高濃度の汚染土壌・地下水の対策に当たり、表層からの注水と、その下部での揚水を組み合わせ、強制的に流速を与え地下水を流動させることによって、表層部の対策効果が促進されると考えられる。ただ注水は目詰まりのおそれもあり、想定していた注水量が確保できないことも考えられた。現場実証試験は、事前の検討結果に基づき、注水可能と判断された 1 日当たり 50m³ の注水を 24 時間連続で行い、安定的に注水ができることを確認するために実施した。

なお、実証試験は、2008 年 3 月 29 日～3 月 30 日に行った。

(2) 揚水及び注水の現場実証試験の手順

図 3.3.37 は、現場実証試験概要図、図 3.3.38 は掘削調査地点の井戸配置図、表 3.3.10 は使用した観測孔である。以下に試験の手順を示した。

- ① 水道水をホース等で掘削地点内の井戸に配管し、水道水を注水した。
 - ・注水孔：既設 4 箇所 (F-16～F-19) + 新設 2 箇所 (F-20、F-21)
 - ・注水量の測定は、計量バケツ等で行った。
- ② 注水した井戸とは別の観測孔で水位を計測した。
 - ・水位観測孔：土留め矢板内 3 箇所 (F-2、F-8、F-10) + 土留め矢板周辺 3 箇所 (No. 88、K-1、No. 32)
- ③ 揚水は、総量として注水量以上の揚水を行った。
 - ・揚水孔：既設 3 箇所 (F-1、F-5、F-6) + 新設 1 箇所 (F-22)
- ④ 途中で、さらに注水量を増やし、その後、一定時間連続 (計 26 時間) で注水・揚水を行い、地下水位の安定する注水量を計測した。
- ⑤ 周辺モニタリング井戸では、試験前、中、後で、総ヒ素の分析を行った。
 - ・モニタリング井戸は掘削調査地点の東側、西側に 2 箇所ずつ、南側に 4 箇所の計 8 箇所新設した。

(3) 新設井戸の仕様

注水孔 2 箇所 : 深度 2m (砕石層下端)、径 500mm 以上

揚水孔 1 箇所 : 深度 10m、径 100mm

モニタリング孔 8 箇所 : 深度 30m (不透水層まで)、径 50mm

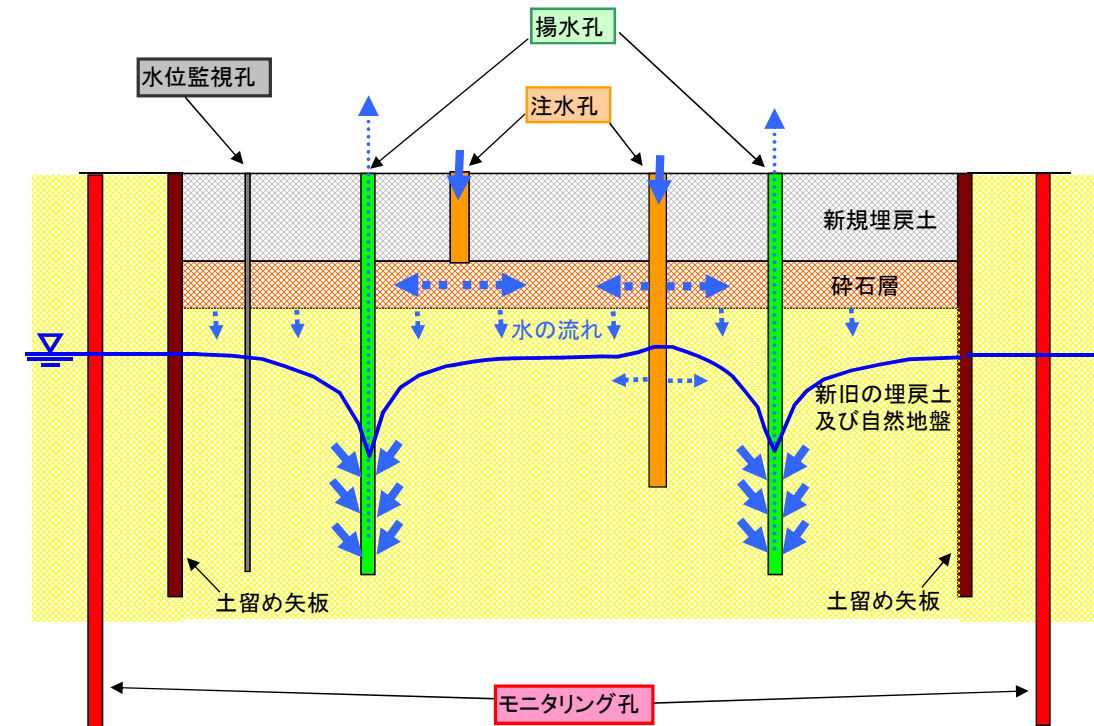


図 3.3.37 現場実証試験概要図

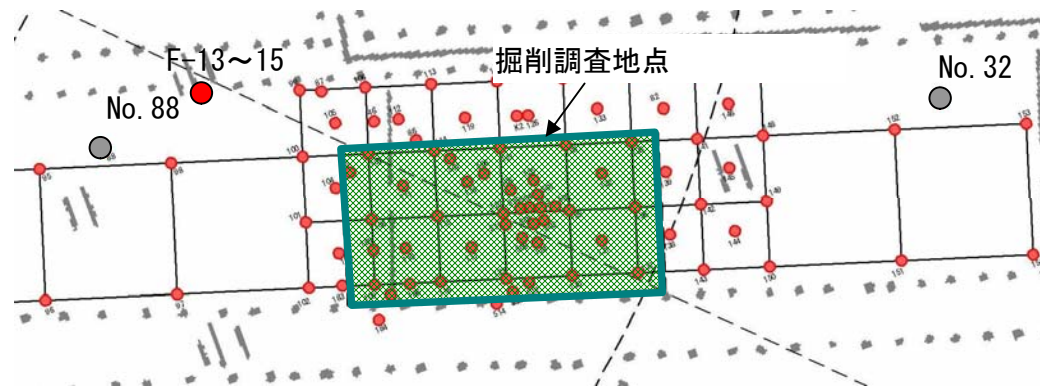
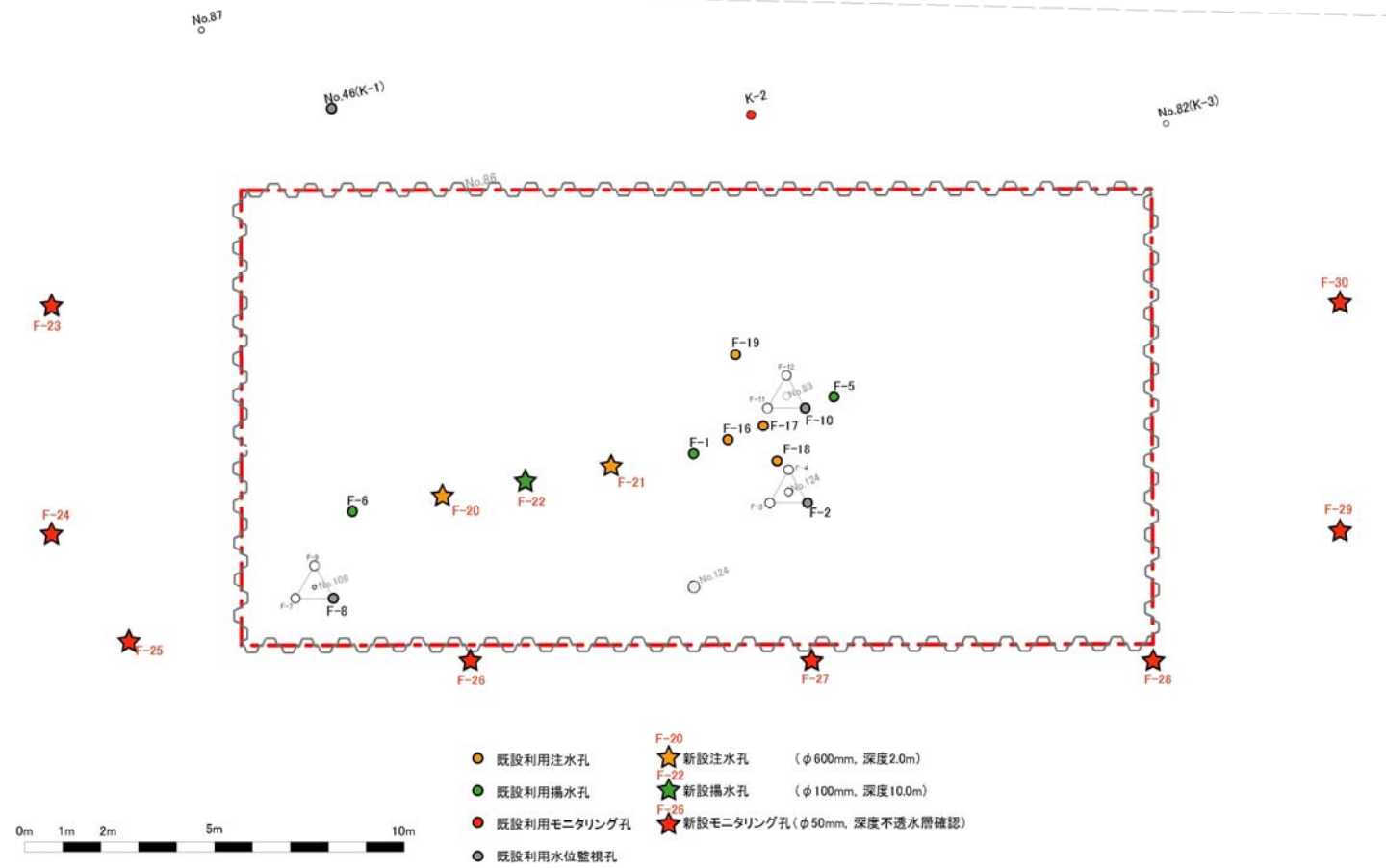


図 3.3.38 掘削調査地点の井戸配置

表 3.3.10 使用した観測孔

使用目的	観測孔 No.	ストレーナ深度または孔深度	備 考
注水孔	F-16	-4.5m -9.5m	φ 100mm, 鉄
	F-17	-4.5m -9.5m	φ 100mm, 鉄
	F-18	-4.5m -9.5m	φ 100mm, 鉄
	F-19	-4.5m -9.5m	φ 100mm, 鉄
	新設 F-20	-1.5m	φ 500mm, 鉄
	新設 F-21	-1.5m	φ 500mm, 鉄
揚水孔	F-1	-5.5m -9.5m	φ 100mm, 鉄
	F-5	-5.5m -9.5m	φ 100mm, 鉄
	F-6	-5.5m -9.5m	φ 100mm, 鉄
	新設 F-22	-2.0m -10.0m	φ 100mm, 鉄
水位監視孔	F-2	-4.5m -9.5m	VP50, 塩ビ
	F-8	-4.5m -9.5m	VP50, 塩ビ
	F-10	-4.5m -9.5m	VP50, 塩ビ
採水モニタリング孔	F-13	-25.0m -30.4m	VP50, 塩ビ
	F-14	-5.0m 10.0m	VP50, 塩ビ
	F-15	-15.0m -20.0m	VP50, 塩ビ
	新設 F-23	-5.0m 不透水層	VP50, 塩ビ
	新設 F-24	-5.0m 不透水層	VP50, 塩ビ
	新設 F-25	-5.0m 不透水層	VP50, 塩ビ
	新設 F-26	-5.0m 不透水層	VP50, 塩ビ
	新設 F-27	-5.0m 不透水層	VP50, 塩ビ
	新設 F-28	-5.0m 不透水層	VP50, 塩ビ
	新設 F-29	-5.0m 不透水層	VP50, 塩ビ
新設 F-30	-5.0m 不透水層	VP50, 塩ビ	

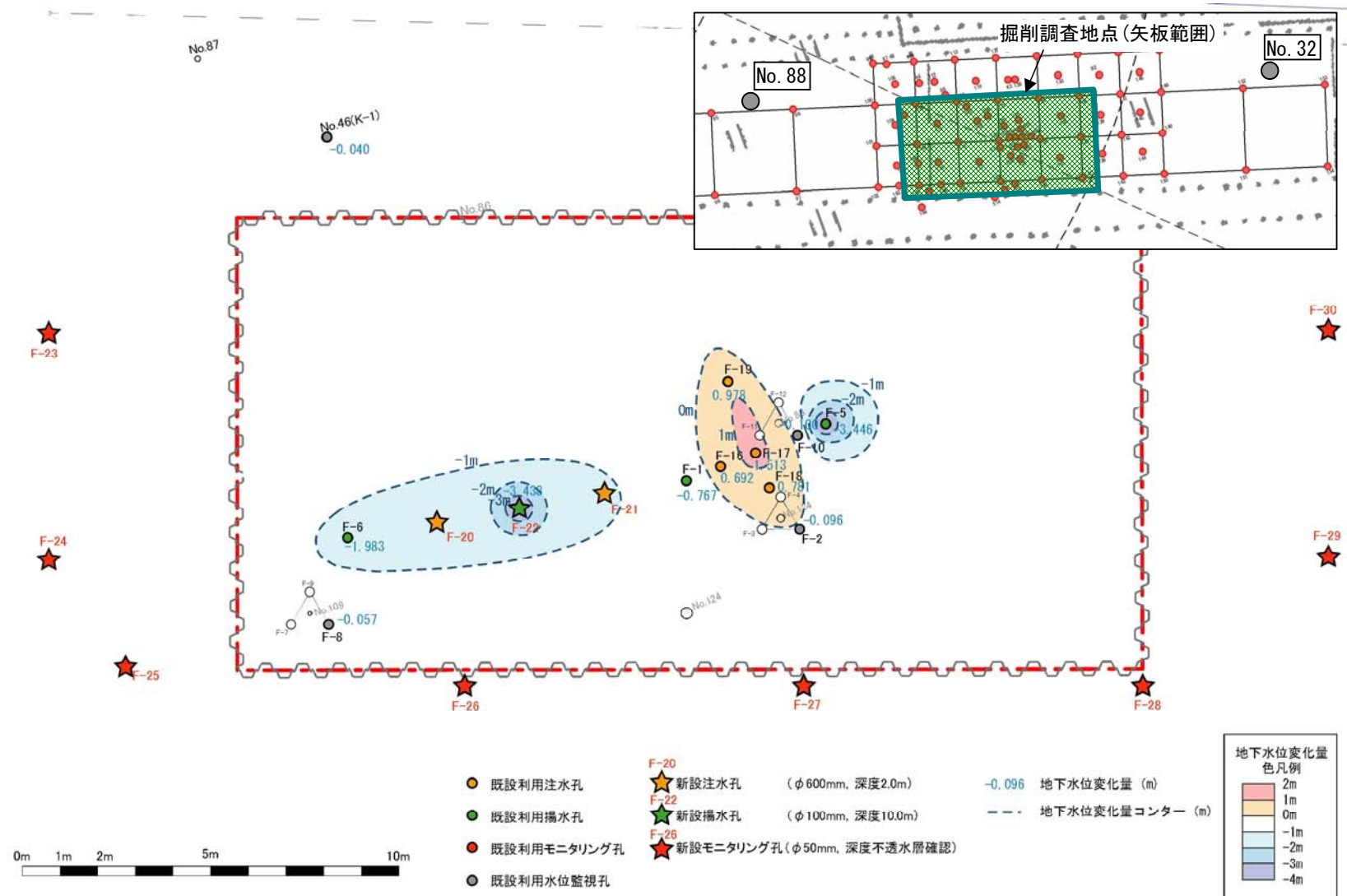


図3.3.39 各孔の配置と試験中(30日 9:00)の水位変化量分布(平面図)

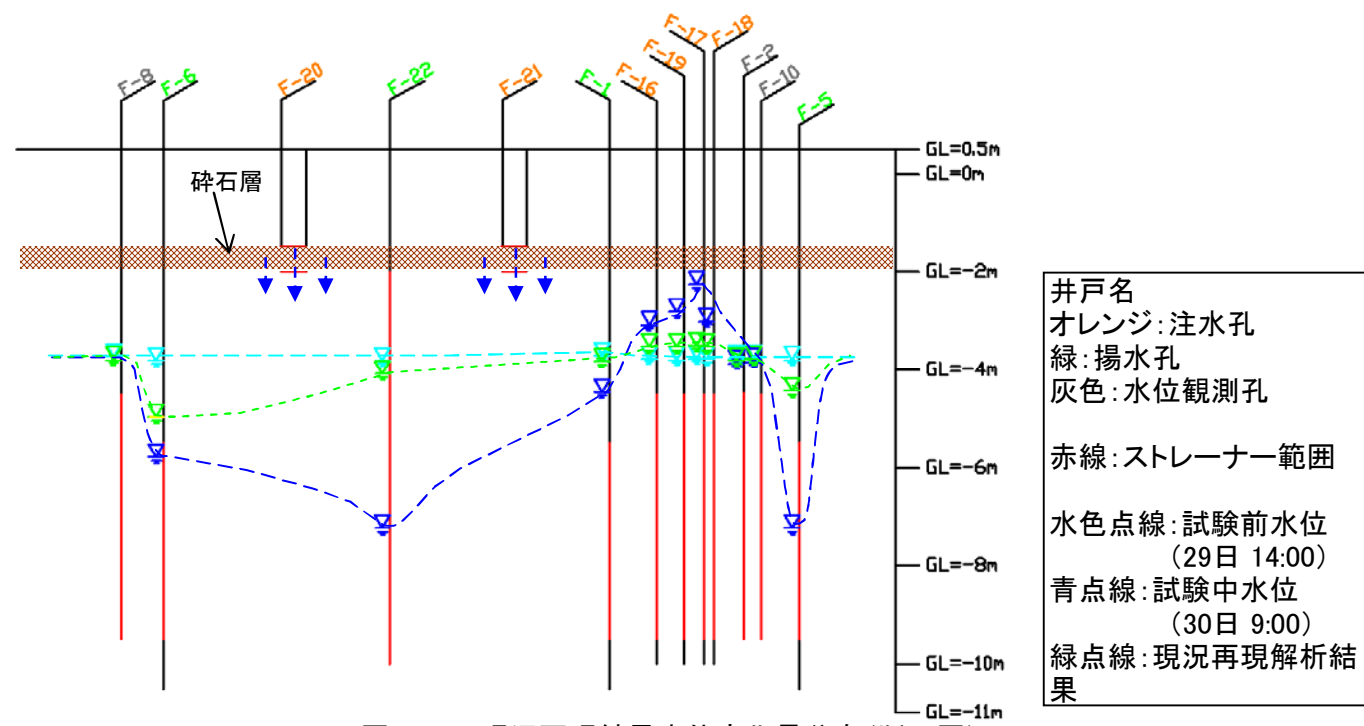


図3.3.40 現況再現結果水位変化量分布(断面図)

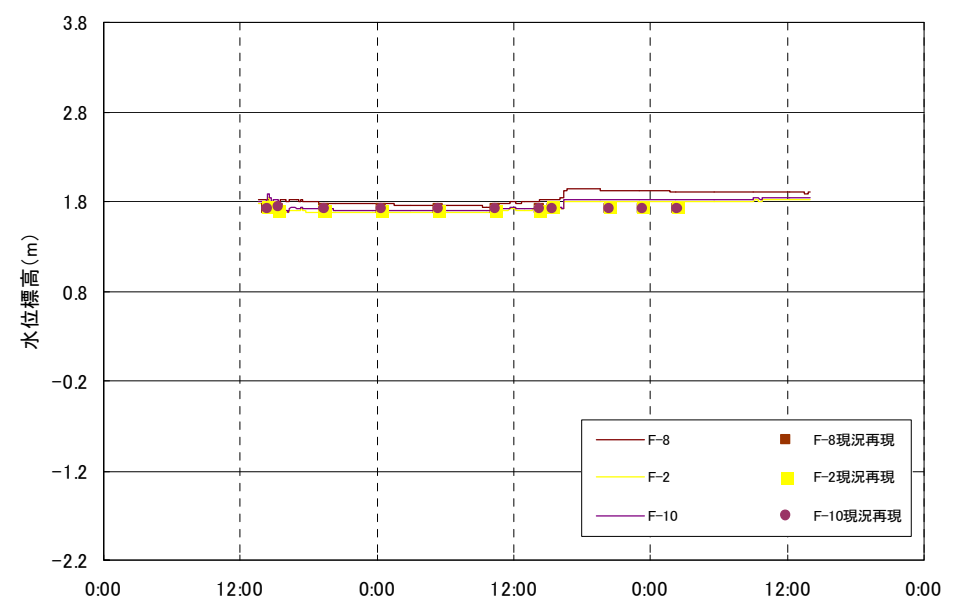
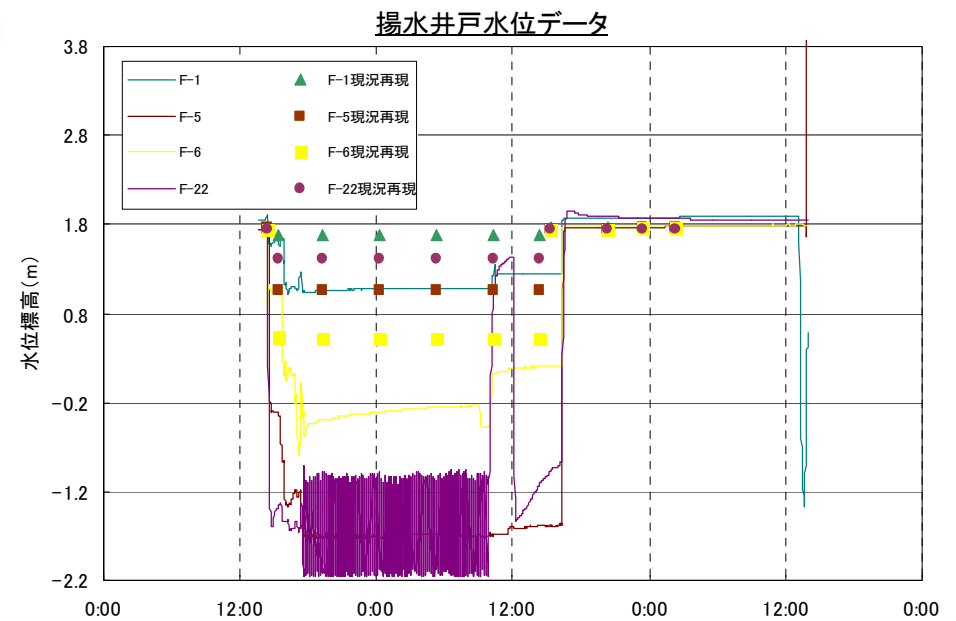
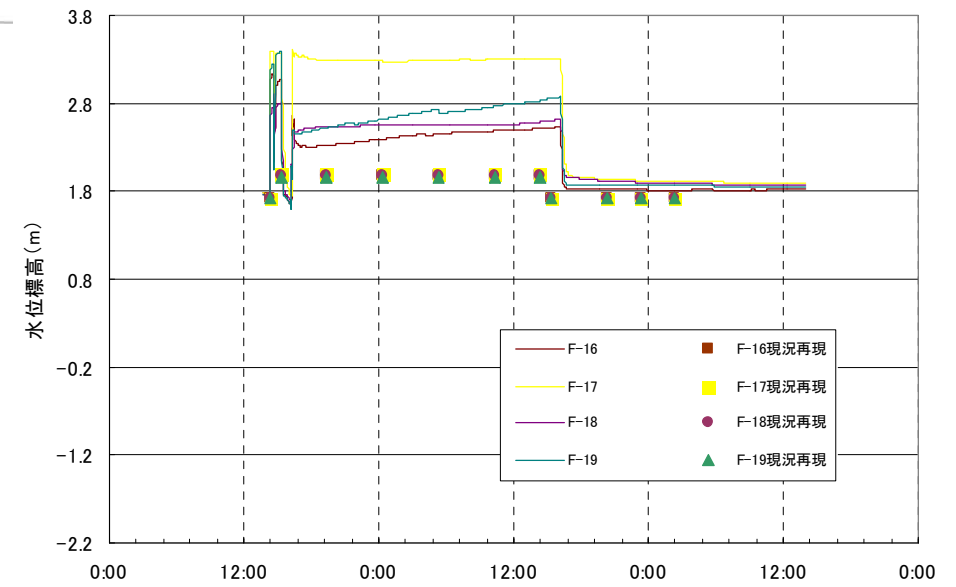
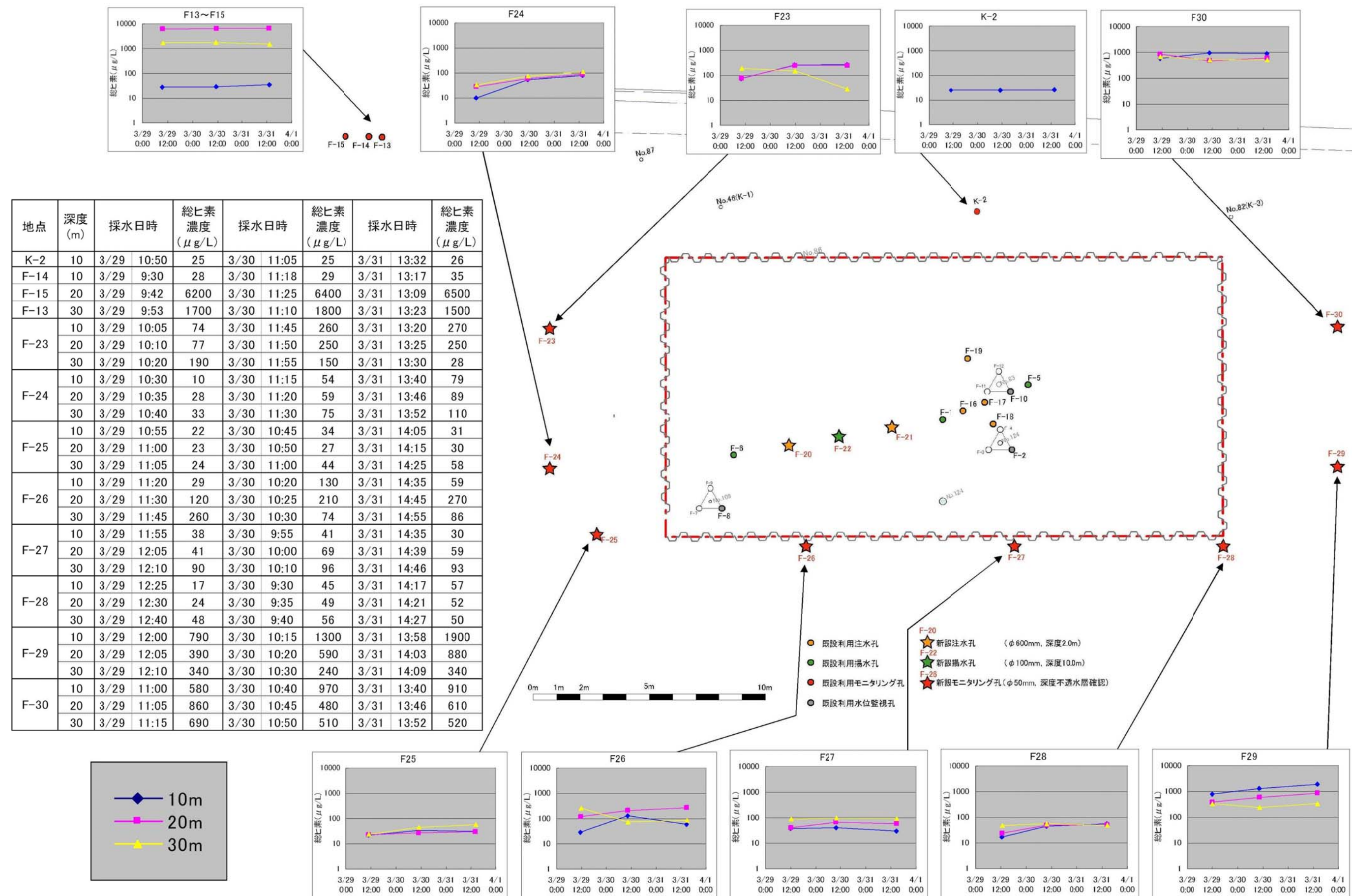


図3.3.41 各孔の現況再現解析結果

図3.3.42 揚水及び注水の現場実証試験における周辺観測孔の総ヒ素の濃度変化



(4) 揚水及び注水の現場実証試験の結果

1) 注水量及び揚水量

揚水及び注水の現場実証試験は、初期段階で、124L/min で約 80 分注水した後、注水量 24L/min、揚水量 33.6L/min で安定させた。

結果、注水は 26 時間で約 45,000L、揚水は 25 時間 40 分で約 53,000L が確認され、1 日当たりに換算すると、それぞれ注水量が 41.9m³、揚水量が 50.0m³であった。

表 3.3.11 は揚水及び注水の現場実証試験における注水量・揚水量一覧表である。

表 3.3.11 揚水及び注水の現場実証試験における注水量・揚水量一覧表

試験内容	井戸名	時間	単位揚水・注水量(L/分)	時間毎の揚水・注水量(L)	各孔の揚水・注水総量(L)	試験全体での揚水・注水総量(L)	揚水・注水量(m ³ /日)	
注水	F-20, F-21	29日14:00～15:20	100(50L/min×2孔)	8,000	31,680	45,440	42	
		29日15:20～30日16:00	16(8L/min×2孔)	23,680				
	F-16, F-17 F-18, F-19	29日14:00～15:20	24(6L/min×4孔)	1,920	13,760			
		29日15:20～30日16:00	8(2L/min×4孔)	11,840				
揚水	F-6	29日14:20～17:00		6	19,320	53,493	50	
		29日17:00～30日8:30		12				11,160
		30日8:30～10:00		20				1,800
		30日10:00～16:00		15				5,400
	F-22	29日14:20～17:00		6	960			4,713
		29日17:00～30日8:30		3.6	3,348			
		30日8:30～10:00		0.9	81			
		30日10:00～16:00		0.9	324			
	F-1	29日14:20～17:00		6	960			18,204
		29日17:00～30日8:30		10.8	10,044			
		30日8:30～10:00		20	1,800			
		30日10:00～16:00		15	5,400			
	F-5	29日14:20～17:00		6	960			11,256
		29日17:00～30日8:30		7.2	6,696			
		30日8:30～10:00		8	720			
		30日10:00～16:00		8	2,880			

2) 観測孔の地下水位変化

図 3.3.39 は各孔の配置と試験中 (30 日 9:00) の水位変化量分布 (平面図)、図 3.3.40 は現況再現結果水位変化量分布 (断面図)、図 3.3.41 は揚水及び注水の現場実証試験時の各孔の現況再現結果である。

- 注水孔 F-16～F-19 では地下水位の上昇が見られ、30 日 9:00 時点では、試験前地下水位 (29 日 14:00) に対して 1.513m 上昇した。
- 揚水孔では、地下水位の低下が見られ、地下水低下量の大きかった F-5 では、30 日 9:00 時点で試験前地下水位 (29 日 14:00) に対して 3.446m の地下水低下、F-22 では 3.438m の地下水低下が見られた。
- 周辺観測孔の内、土留め矢板内の F-2、F-8、F-10 での地下水位は、30 日 9:00 時点で、試験前地下水位 (29 日 14:00) に対して 0.057～0.1m の地下水低下となった。
- 周辺観測孔の内、土留め矢板外の K-1、No. 88、No. 32 では、試験を通して地下水位の変化はほとんど見られなかった。

- 試験開始直後 (29 日 14:00～15:20) には F-20、F-21 で各 50L/min、F-16～F-19 で各 6L/min と多量の注水を行ったが、これに伴う周辺観測孔の地下水位変化は、最大で F-10 の 0.073m (29 日 14:27) の上昇であった。

3) 周辺観測孔の総ヒ素濃度変化

図 3.3.42 は揚水及び注水の現場実証試験における周辺観測孔の総ヒ素の濃度変化である。

- 土留め矢板周辺の新設モニタリング孔の試験前の総ヒ素濃度は、F-24、F-25、F-27、F-28 は 0.01～0.1mg/L、F-23、F-26 はサンプルのうち深度の深いもので 0.1～1mg/L、F-29、F-30 は 0.1～1mg/L であった。
- 試験前後でのモニタリング孔の総ヒ素濃度は、全体としては顕著な変化は確認されなかったが、F-23、F-26 では、深度 30m で濃度低下が確認された。

(5) まとめ

試験の結果、以下の事項が確認された。

- 24 時間では 42m³ 程度の注水量が確認されたが、周辺の観測孔での水位に著しい上昇は見られず、可能注水量としてはさらに余力があると考えられる (ただし、長期的な注水に関しては、目詰まり等を起こし注水量が低下する可能性も否定はできないと考えられる)。
- 高濃度汚染対策の実施に際しては、対策による周辺への汚染拡散を防止するため、常に揚水量>注水量にする必要があるが、揚水量は 1 本当たりの井戸の揚水能力に左右される。井戸の揚水量は、水位低下量から考えて試験時の水量がほぼ最大量と考えられるため、今後、総揚水量を増やす場合には、揚水孔を増やすことで対応することとなるものと考えられる。
- また、長期的に注水・揚水を同じ孔で繰り返すと水ミチが形成され、水ミチ以外には水が回らなくなることも考えられるため、ローテーションで井戸配置を変えるとともに、追加の注水・揚水孔の設置が望ましいと考えられる。

3.3.8. 現場実証試験を踏まえた揚水注水量の妥当性の検証

(1) 揚水注水量の妥当性の検証の目的

掘削調査地点では、表層に残る土壌・地下水汚染の除去効果促進のため、注水・揚水を組み合わせた対策を行うこととしており、2008年3月に、実現場にて注水・揚水の現場実証試験を実施した。

ここでは、現場実証試験で得られた地下水データを踏まえ、対策時に想定される追加井戸の設置について数値計算モデルを用いて可能揚水量等の妥当性検証及び計画見直しを行った。

先に実施した現場実証試験では、掘削調査地点内（揚水孔4箇所、注水孔6箇所）において、約24時間連続で注水及び揚水試験を実施し、揚水量60m³/日、注水量50m³/日であれば、安定的な揚水注水が可能と判断したところである。

ただ、高濃度汚染対策に当たっては、高濃度汚染対策による汚染拡散を防止するため、注水量と揚水量のバランスを常に、揚水量>注水量にしておくことが前提となる。

一方、実証試験時において、揚水孔自身の地下水位は大きく低下し限界揚水量に達したものの、周辺観測孔や注水孔では地下水位に大きな変化はなかった。このため、掘削調査地点内全体としての注水併用時の揚水能力はさらに大きいと考えられ、井戸本数を増やすことで、可能揚水量の増加も期待できると考えられた。

高濃度汚染対策では、掘削調査地点において、残置してある注水孔6箇所、揚水孔4箇所にて対策を開始することとしたが、ここでは、さらに井戸本数をどの程度まで増やすことが可能か、注水時における安定揚水総量はどの程度か、揚水量増加に伴う水位の変化はどの程度かを、現場実証試験結果を踏まえ試算した。

(2) 観測孔の配置

図3.3.43は高濃度汚染対策開始前の観測孔の配置、表3.3.12は観測孔の諸元である。

表 3.3.12 観測孔の諸元

使用目的	観測孔No.	ストレーナ深度	備考
注水孔	F-16	-4.5~-9.5m	φ100mm, 鉄
	F-17	-4.5~-9.5m	φ100mm, 鉄
	F-18	-4.5~-9.5m	φ100mm, 鉄
	F-19	-4.5~-9.5m	φ100mm, 鉄
	F-20	-1.5m	φ500mm, 鉄
揚水孔	F-1	-5.5~-9.5m	φ100mm, 鉄
	F-5	-5.5~-9.5m	φ100mm, 鉄
	F-6	-5.5~-9.5m	φ100mm, 鉄
	F-22	-2.0~-10.0m	φ100mm, 鉄
水位観測孔	F-2	-4.5~-9.5m	VP50, 塩ビ
	F-8	-4.5~-9.5m	VP50, 塩ビ
	F-10	-4.5~-9.5m	VP50, 塩ビ
	F-31	-6.0~-10.0m	VP50, 塩ビ
	F-32	-6.0~-10.0m	VP50, 塩ビ
採水モニタリング孔	F-13	-25.0~-30.4m	VP50, 塩ビ
	F-14	-5.0~-10.0m	VP50, 塩ビ
	F-15	-15.0~-20.0m	VP50, 塩ビ
	F-23	-5.0~-31.5m(不透水層)	VP50, 塩ビ
	F-24	-6.0~-30.8m(不透水層)	VP50, 塩ビ
	F-25	-6.0~-30.85m(不透水層)	VP50, 塩ビ
	F-26	-6.0~-30.7m(不透水層)	VP50, 塩ビ
	F-27	-6.0~-30.5m(不透水層)	VP50, 塩ビ
	F-28	-6.0~-30.5m(不透水層)	VP50, 塩ビ
	F-29	-6.0~-30.5m(不透水層)	VP50, 塩ビ
F-30	-6.0~-30.5m(不透水層)	VP50, 塩ビ	

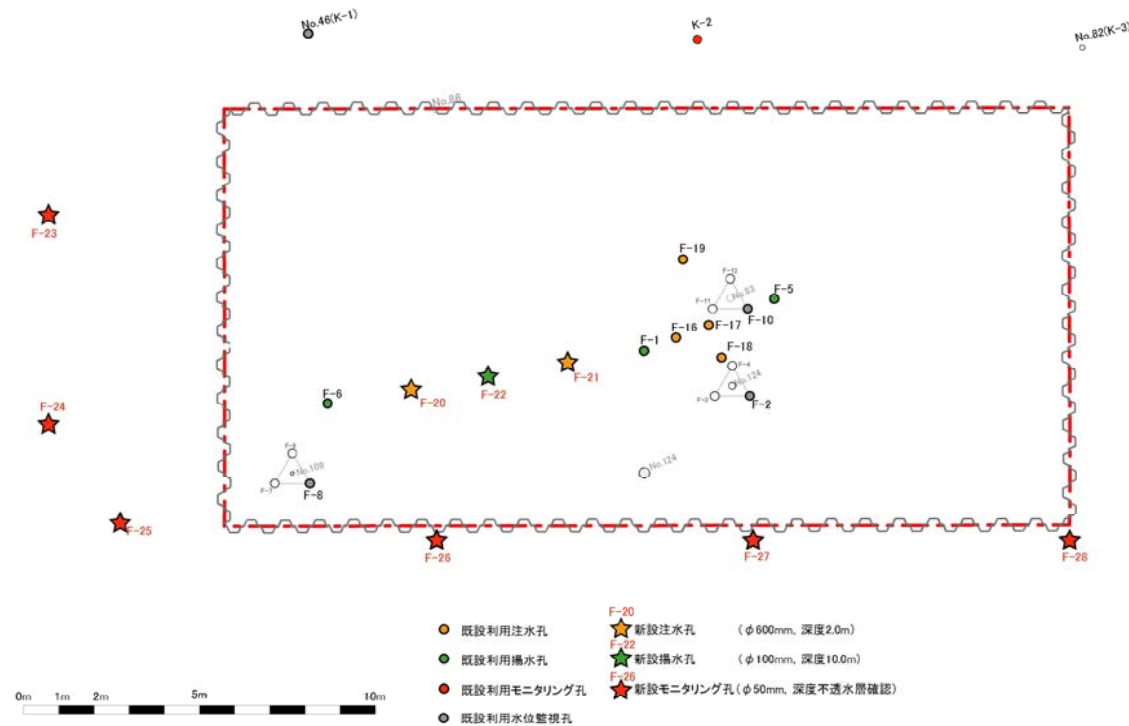


図 3.3.43 高濃度汚染対策開始前の観測孔の配置

(3) 揚水・注水量の妥当性の検証の結果

1) 計算条件

数値解析は、3次元浸透流プログラム（unsaf-3D）を用いて行った。

図 3.3.44 は、解析モデル及び各種境界条件である。

なお、注水量及び揚水量設定にあたって、現地観測では時間変化に伴う量のバラつきがあったが、モデルにおいては、各孔の 24 時間総量の平均値とした。

2) 現況再現解析結果

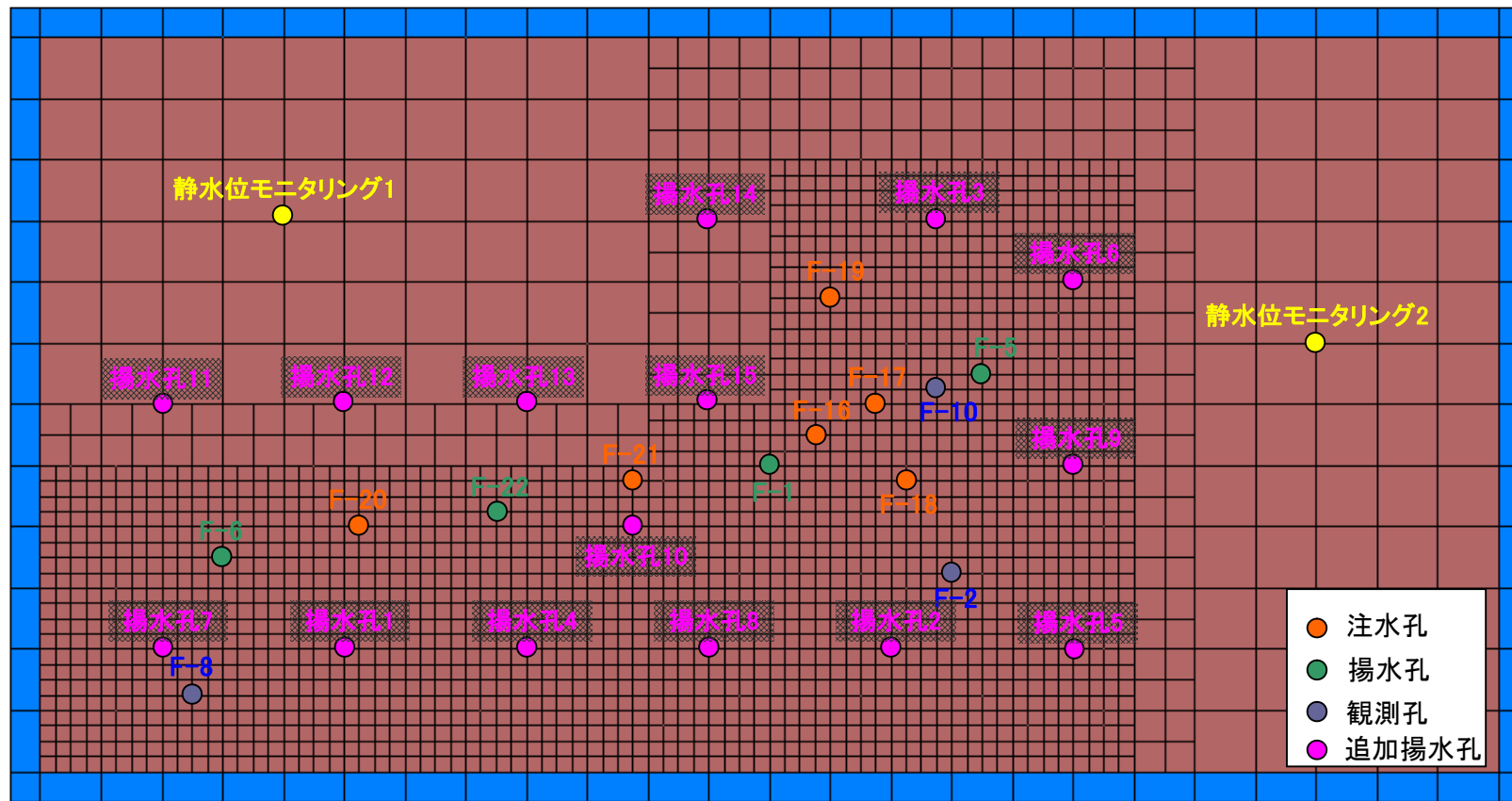
図 3.3.45 は現況再現解析結果である。

図に示すように、各孔の水位実測値にかなりのバラつきがあること、そして注水・揚水井戸の水位は動水位であるため、これらをすべて実測値と一致させることは困難である。したがって、周辺で静水位を観測している F-2、F-8、F-10 について一致させることを主眼とした。その結果、静水位を観測している観測孔については、概ね試験時の水位を再現することができた。

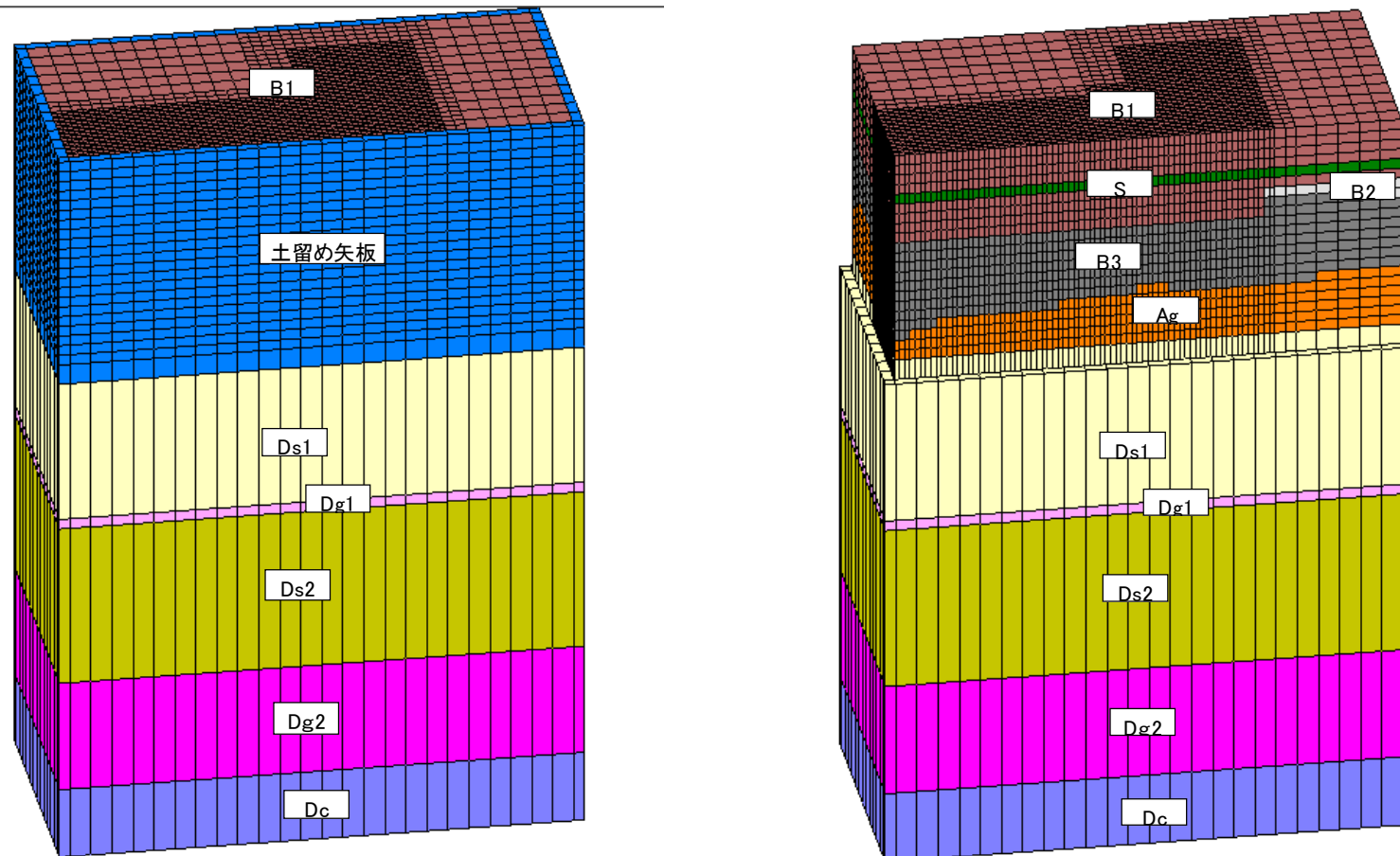
なお、再現にあたっては、特に埋土層と土留め矢板の透水係数を変更させる必要が生じ、土留め矢板の透水係数を高くし、土留め矢板外からの地下水位を流入させることで試験時の水位を再現させることとなった。

このことから、土留め矢板自体は高い遮水性を持っているわけではないと考えられ、実対策においては、土留め矢板の内側から外側への地下水流向を発生させないようにし、汚染を拡散させない対策とすることとした。

図3.3.44 解析モデルおよび各種境界条件



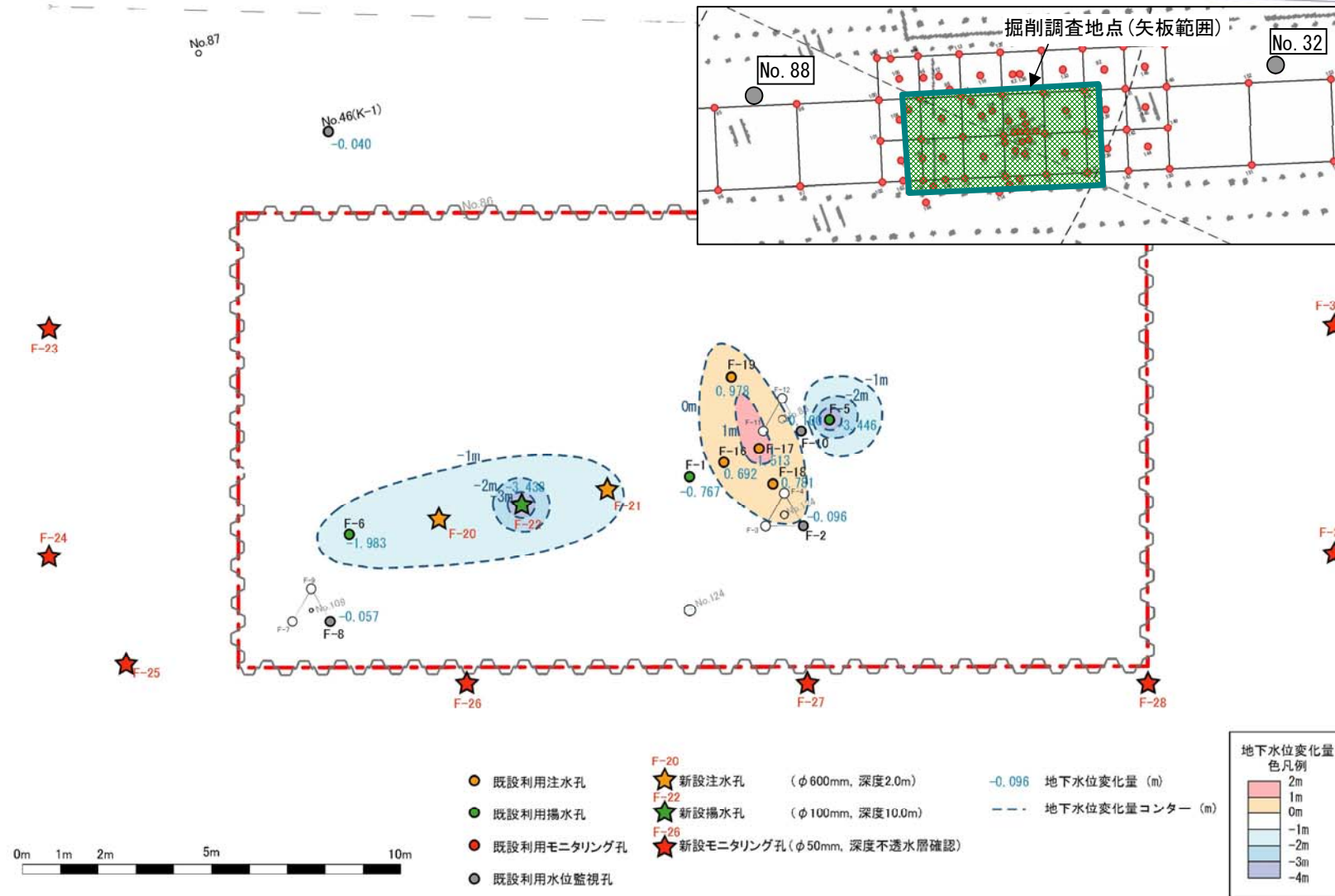
揚水 注水	井戸名	地盤 標高	ストレナー 標高 m		揚水・注水量 (m ³ /day)	揚水・注水量 (m ³ /hour)
注水	F-16	5.5	3.5	-1.5	3.1	0.129
	F-17		3.5	-1.5	3.1	0.129
	F-18		3.5	-1.5	3.1	0.129
	F-19		3.5	-1.5	3.1	0.129
	F-20		3.5		14.6	0.608
	F-21		3.5		14.6	0.608
揚水	F-1	0	-4	17.0	0.708	
	F-5	0	-4	10.5	0.438	
	F-6	0	-4	18.0	0.750	
	F-22	3.5	-4.5	4.5	0.188	



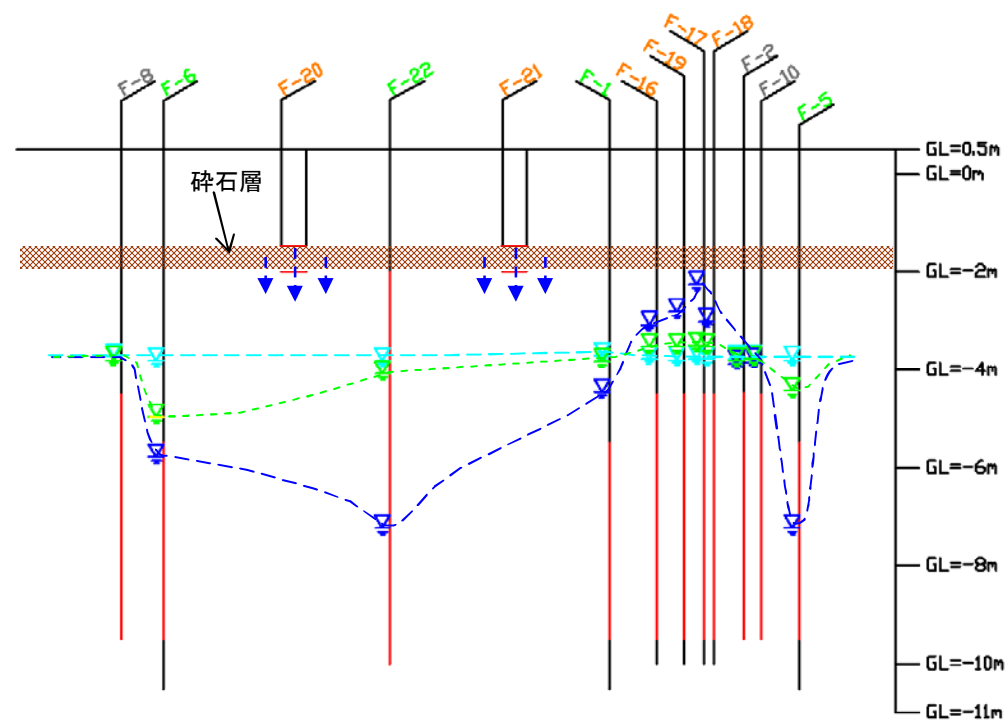
当初解析と見直し解析条件の比較

地層名	地層 記号	当初解析	見直し解析	有効間隙率 %
		透水係数 cm/sec X、Y、Z	透水係数 cm/sec X、Y、Z	
碎石層	S	1.0E+02	1.00E+02	40
今の埋戻土	B1	1.0E-03	6.00E-03	30
新埋土	B2	3.8E-04	2.66E-03	30
旧埋土	B3	1.5E-03	1.50E-03	30
沖積砂礫層	Ag	5.0E-03	7.00E-03	20
洪積砂層	Ds1	7.0E-03	3.00E-03	20
洪積砂層	Ds2	3.0E-03	3.00E-03	20
洪積砂礫1層	Dg1	5.0E-03	5.00E-03	20
洪積砂礫2層	Dg2	1.0E-01	1.00E-01	20
洪積粘性土層	Dc	6.0E-06	6.00E-06	20
矢板	Y	1.0E-09	1.00E-03	1

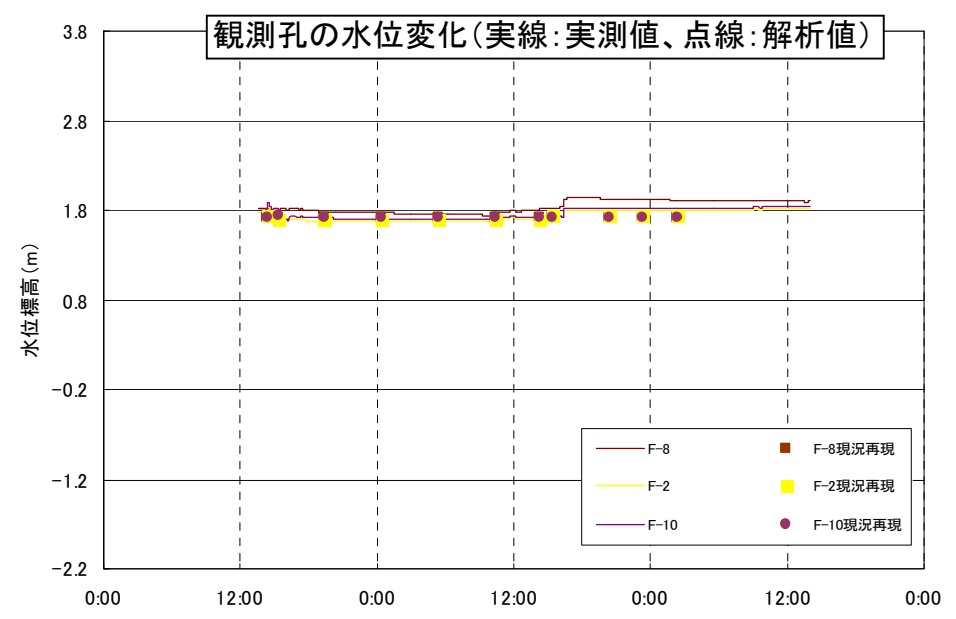
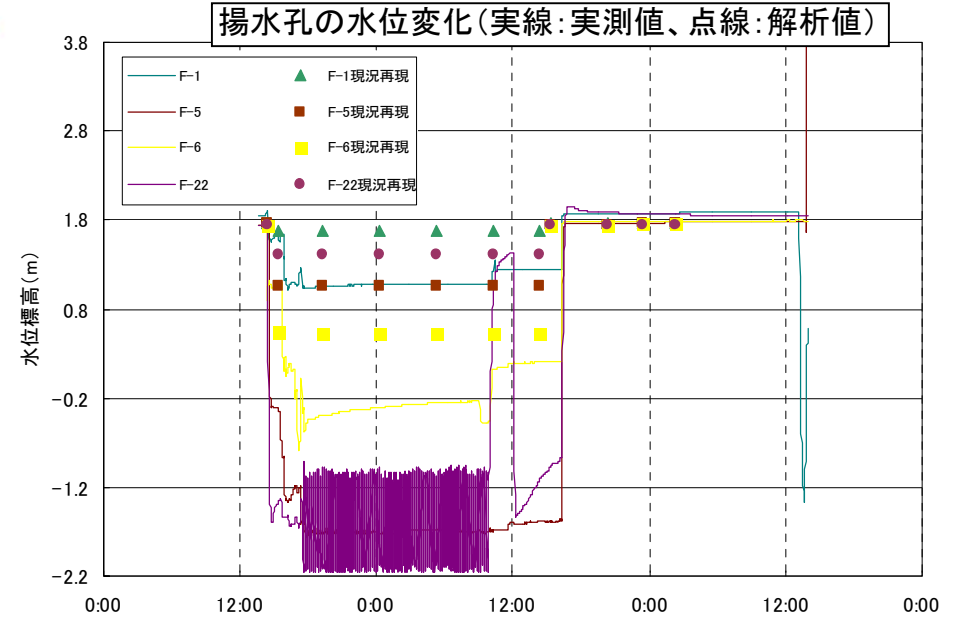
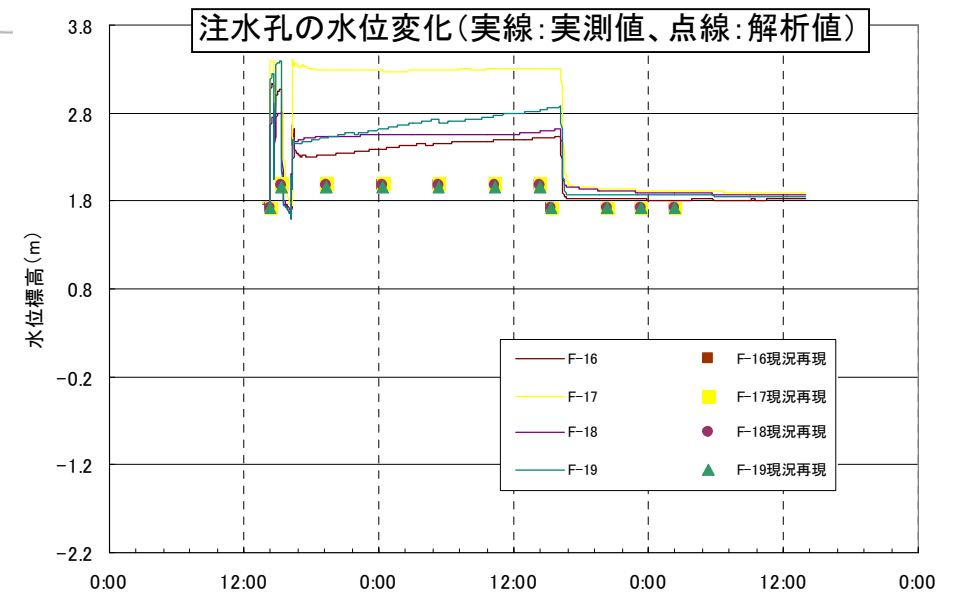
図3.3.45 現況再現解析結果



各孔の試験中(30日 9:00)の水位変化量分布(平面図)



現況再現結果水位変化量分布(断面図)



各孔の実測水位と解析水位

(4) 高濃度汚染対策における掘削調査地点の揚水・注水計画の見直し

現況再現されたモデルを用いて、揚水井戸を順次追加した場合の、地下水位の変化状況を予測計算した。

1) 追加揚水井戸量の設定

追加する井戸の1本当たりの揚水量は、F-22の揚水量を参考に、4.5 m³/dayとした。

計算は、以下のケースで行った。なお、各ケースともに注水量は41.6 m³/dayである。

- 【CASE1 揚水井戸3本追加】既設孔 (50m³/day) +3本 (13.5 m³/day) =総揚水量 (63.5 m³/day)
- 【CASE2 揚水井戸6本追加】既設孔 (50m³/day) +6本 (27.0 m³/day) =総揚水量 (77.0 m³/day)
- 【CASE3 揚水井戸9本追加】既設孔 (50m³/day) +9本 (40.5 m³/day) =総揚水量 (90.5 m³/day)
- 【CASE4 揚水井戸15本追加】既設孔 (50m³/day) +15本 (67.5 m³/day) =総揚水量 (117.5 m³/day)

図 3.3.46 は追加揚水井戸の配置図である。井戸配置に際し、観測孔間の距離を2~3mを基本とした。また、土留め矢板の遮水性が低いと考えられるため、揚水孔を注水孔の外縁に配置し、土留め矢板内から土留め矢板外への地下水流向が発生しにくい状況とした。

図 3.3.47 は注水時 (41.6m³/day) における揚水量増加に伴う地下水位の変化、図 3.3.48 は各揚水量における地下水位コンター図である。

図 3.3.48 に示すように、揚水に伴い地下水位は緩やかに低下するものの、総揚水量 117.5 m³/day とした場合 (CASE4) においても、地下水位の低下は5~20cm程度となった。

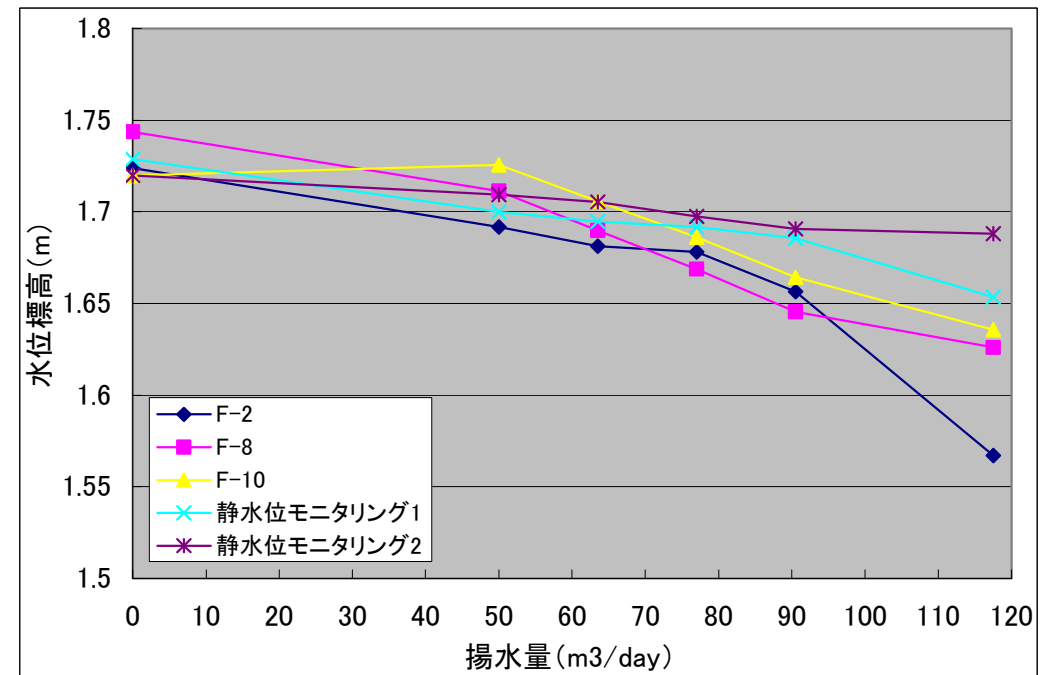


図 3.3.47 注水時 (41.6m³/day) における揚水量増加に伴う地下水位の変化

揚水量が増加しても、地下水位の低下が緩やかな原因として、安定的に注水があることに加え、土留め矢板外からのある程度の地下水流入の影響があることが考えられる。

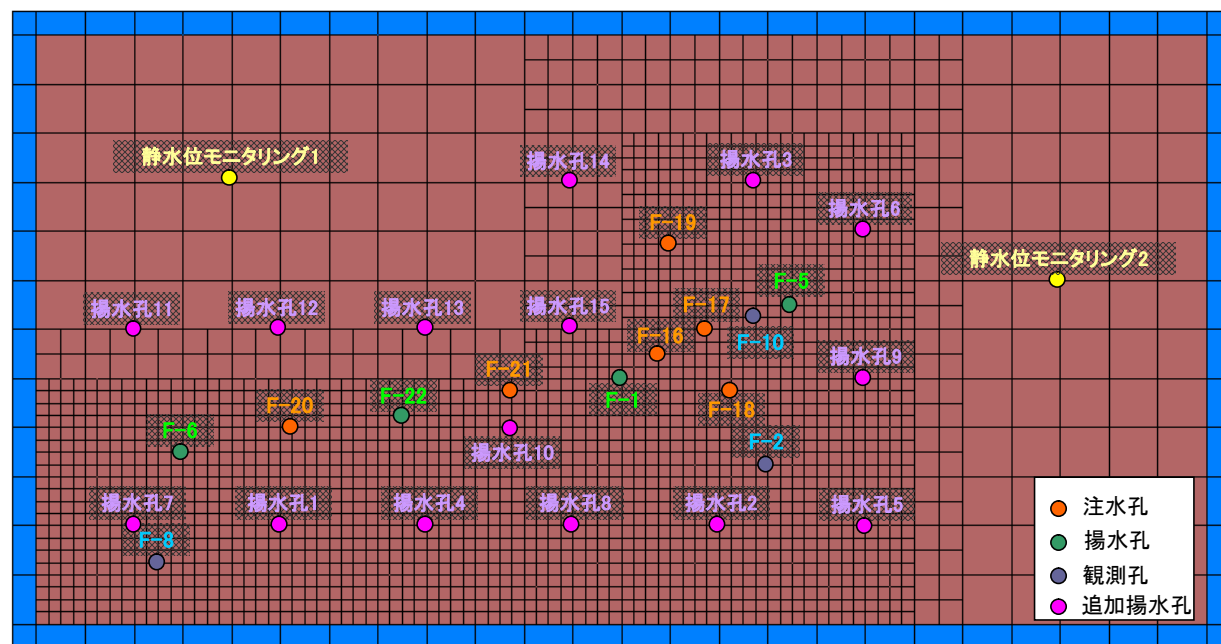
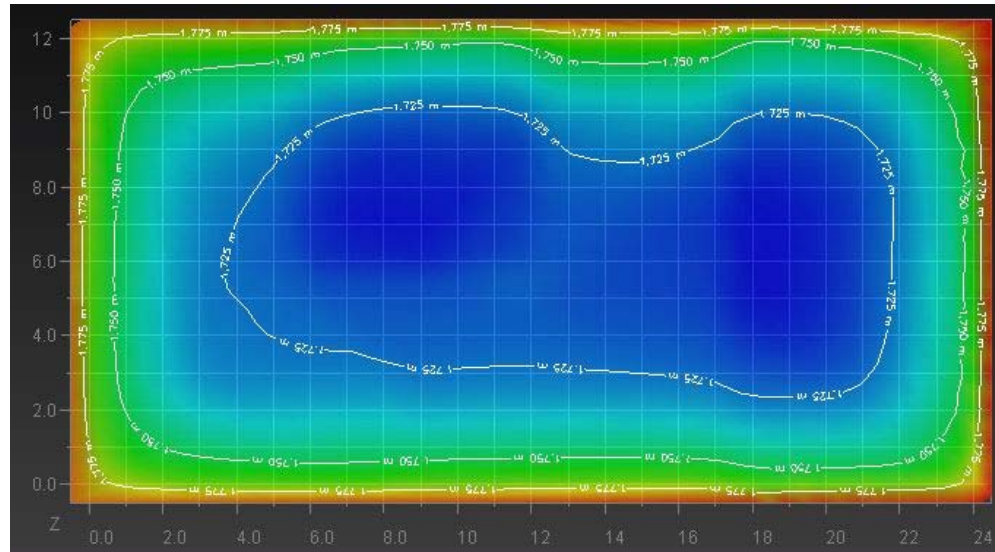


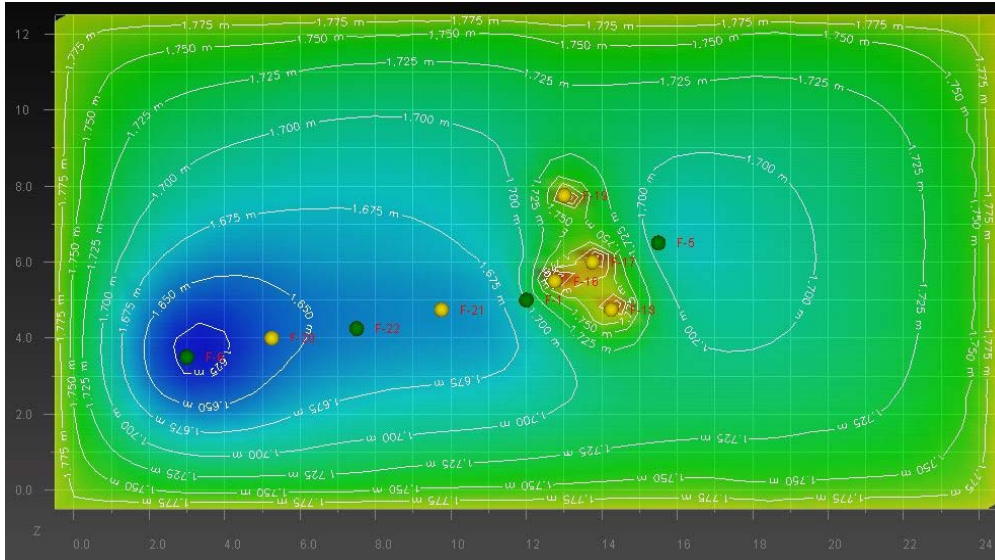
図 3.3.46 揚水井戸の配置図 (追加揚水孔の番号は予測計算時における施工順)

図3.3.48 各揚水量における地下水位コンター図

現況解析(注水・揚水なし)

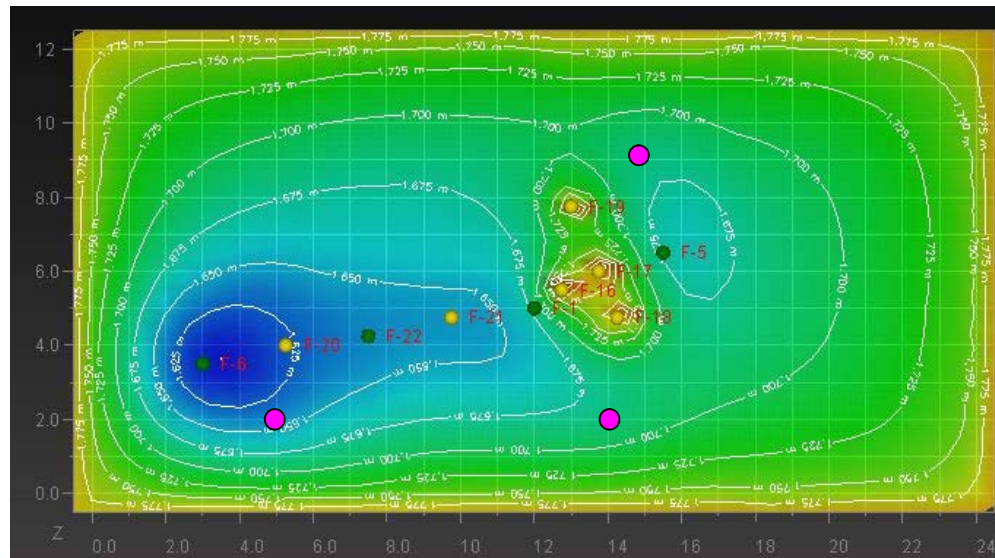


現況解析(現況井戸での注水・揚水時)



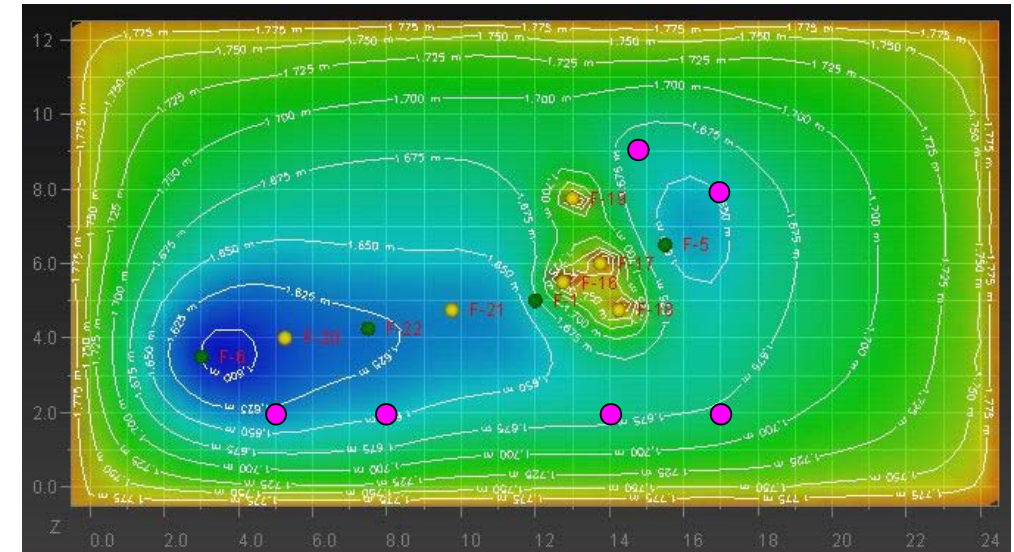
- : 現況注水孔
- : 現況揚水孔

予測解析(CASE1)(現況井戸での注水・揚水時+追加3本設置時)



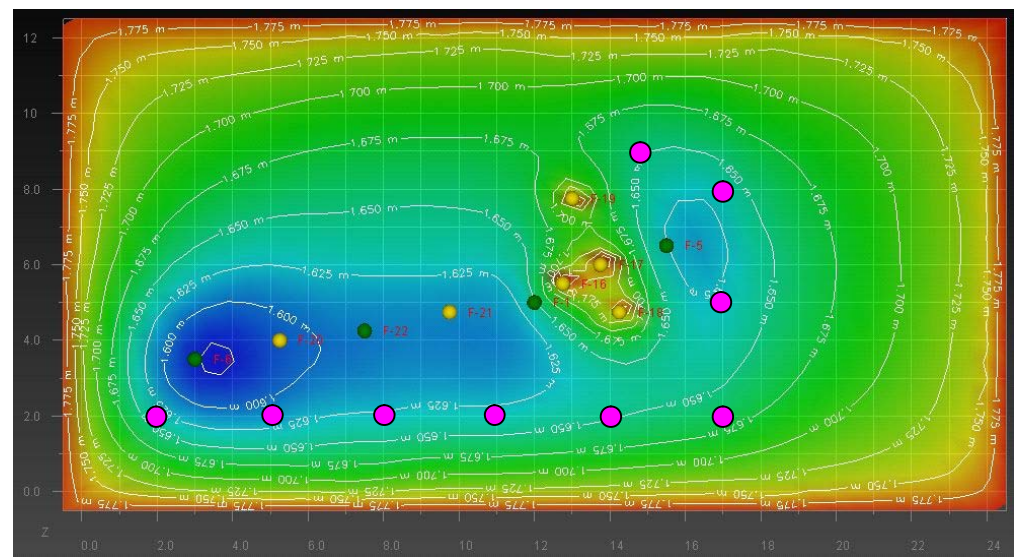
- : 現況注水孔
- : 現況揚水孔
- : 追加揚水孔

予測解析(CASE2)(現況井戸での注水・揚水時+追加6本設置時)



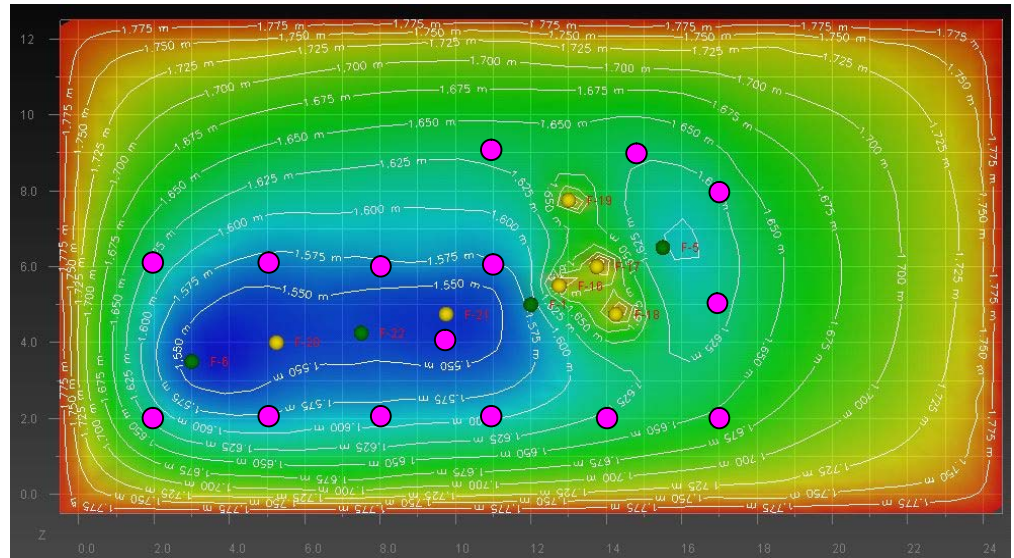
- : 現況注水孔
- : 現況揚水孔
- : 追加揚水孔

予測解析(CASE3)(現況井戸での注水・揚水時+追加9本設置時)



- : 現況注水孔
- : 現況揚水孔
- : 追加揚水孔

予測解析(CASE4)(現況井戸での注水・揚水時+追加15本設置時)



- : 現況注水孔
- : 現況揚水孔
- : 追加揚水孔

2) 井戸配置の検討

i) 揚水総量

本シミュレーションの結果、現在設置してある井戸の最大揚水量 41.9m³/日に、さらに井戸を 15 本追加し揚水総量を 117.5 m³/日としても、土留め矢板内の地下水位低下は最大で 20cm 程度となり、100 m³/日程度の揚水量はほぼ問題ないと考えられる。

ただし、高濃度対策時において土留め矢板内の地下水位を著しく下げることが、不飽和帯を増すことになり、表層の DPAA 除去には不利となる。このため対策時においては、可能な限り地下水位を下げない状況を維持することが肝要である。

ii) 井戸配置

追加の井戸設置のタイミングは、井戸の目詰まりによる揚水量減少時及び汲み上げ水の総ヒ素濃度低下時が想定される。

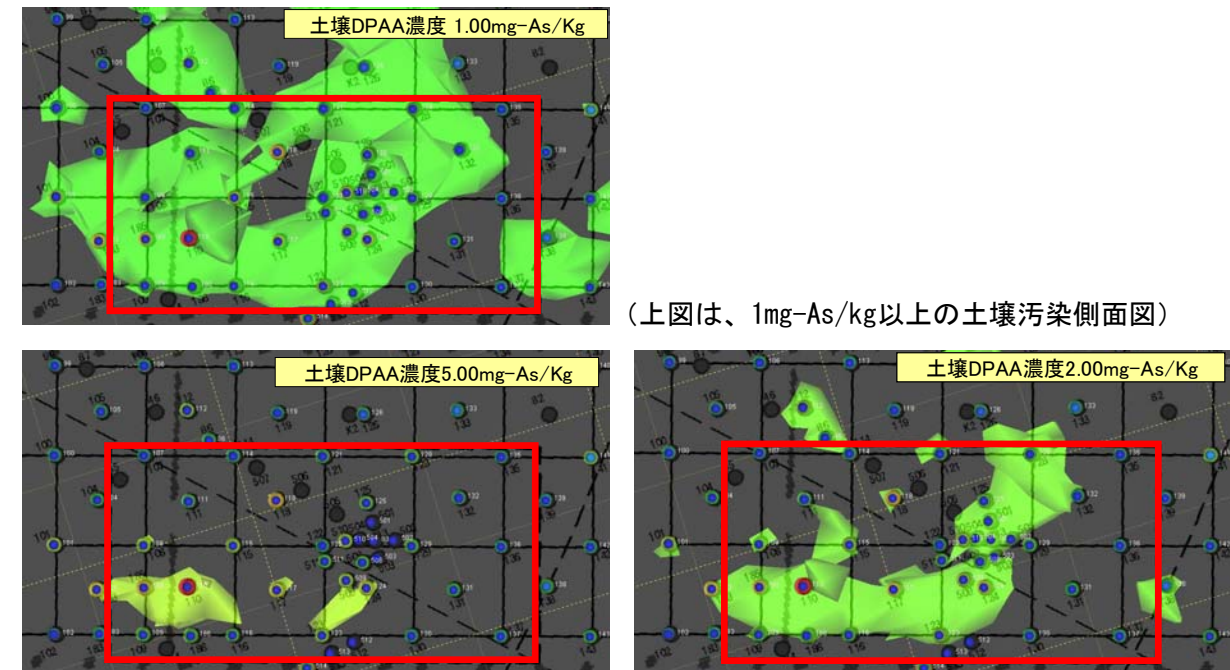
実現場においては、効果的な箇所、すなわちできるかぎり高濃度地下水を汲み上げられる箇所が望ましく、現地でのモニタリングの結果を見ながら決定することとなる。

図 3.3.49 は、掘削調査によりコンクリート様の塊及び汚染土壌を除いた後の土壌 DPAA 分布状況である。図では、5mg-As/kg 以上の汚染土壌は、掘削調査地点での南側に集中している。また 2mg-As/kg 以上のものは、概ねコンクリート様の塊が発見された形状と似ている。

追加の配置においては、高濃度対策時におけるモニタリング結果と図 3.3.49 の土壌汚染状況を見ながら、高濃度地下水が存在しうる箇所を選定し、段階的に井戸を追加していくこととした。

なお、井戸の目詰まりにより注水量及び揚水量が低下した場合などには、揚水孔と注水孔を入れ替えるなどして、井戸洗浄効果を見込むことも考えることとする。

本シミュレーションの結果、土留め矢板自体の遮水性が高くないと考えられるため、対策時には、土留め矢板内から土留め矢板外への地下水流向が発生しないように、注水孔の外縁に揚水孔を配置する形とする。



(上図は、1mg-As/kg以上の土壌汚染側面図)

図3.3.49 掘削調査によりコンクリート様の塊及び汚染土壌を除いた後の土壌DPAA分布状況