

第4回 金沢市被災地区復旧技術検討会議

令和7年2月14日

金沢市危機管理監危機管理課

地下水位低下工法の検討事項

効果、低下量

自然流下

側方流動

地盤沈下

第3回検討会議（検討事項）

液状化判定

地下水位低下により液状化を抑制

C判定→B判定へ

流下方式の検討

自然流下が可能

道路側溝の利用

側方流動の検討

側方流動を抑制

栗崎小学校付近で確認

地盤沈下の検討

地盤沈下量が極めて小さい

1 mm ~ 6mm程度

地下水位低下工法が適する工法

今回（検討・報告事項）

三次元浸透解析

効果的な集水管配置計画・設置深さの確認

集水量による既存水路の流下能力の確認

側方流動の解析

抑制効果の確認

栗崎八幡宮・栗崎墓地付近

地盤沈下量の解析

地下水低下量に合わせた沈下量の検証

住民との合意形成

地盤沈下や井戸枯れ等の影響を踏まえた住民説明会・アンケート結果、地元要望

効果的な計画や周辺への影響解析結果と住民の意見を総合的に判断し、
地下水位低下工法の技術的な妥当性を確認

1. 地下水位低下工法の検討結果

1.1 三次元浸透流解析による効果検証

- (1) 効果的な集水管配置計画・設置深さの確認
- (2) 集水量による既存水路の流下能力の確認
- (3) 実証実験の管理値の確認

1.2 ALIDによる変形照査（側方流動の抑制）

1.3 地盤沈下量の解析

2. 地元住民からの意見整理結果

3. 栗崎地区における液状化対策のまとめ

4. 今後の予定

1.1 三次元浸透流解析による効果検証

(1) 効果的な集水管配置計画・設置深さの確認

① 三次元浸透流解析の目的

地下水位低下工法が適する工法（第3回検討会議）

- ・地下水位を低下させることで、**液状化を抑制**できる
- ・傾斜した地形、道路側溝を利用し、**自然流下が可能**

三次元浸透流解析

- ・集水管の配置計画、設置深さを基に、**地下水位が想定通りに低下できるか**
- ・地下水位を低下させた際の集水量を確認し、**既存水路の流下能力が不足しないか**



集水管配置計画（案）と液状化判定結果

② 三次元浸透流解析の方法

三次元浸透流解析とは

地形や地質構成、降雨浸透を考慮し、有限差分法により地下水の挙動を予測する手法で、今回の解析では、GETFLOWSを用いる。

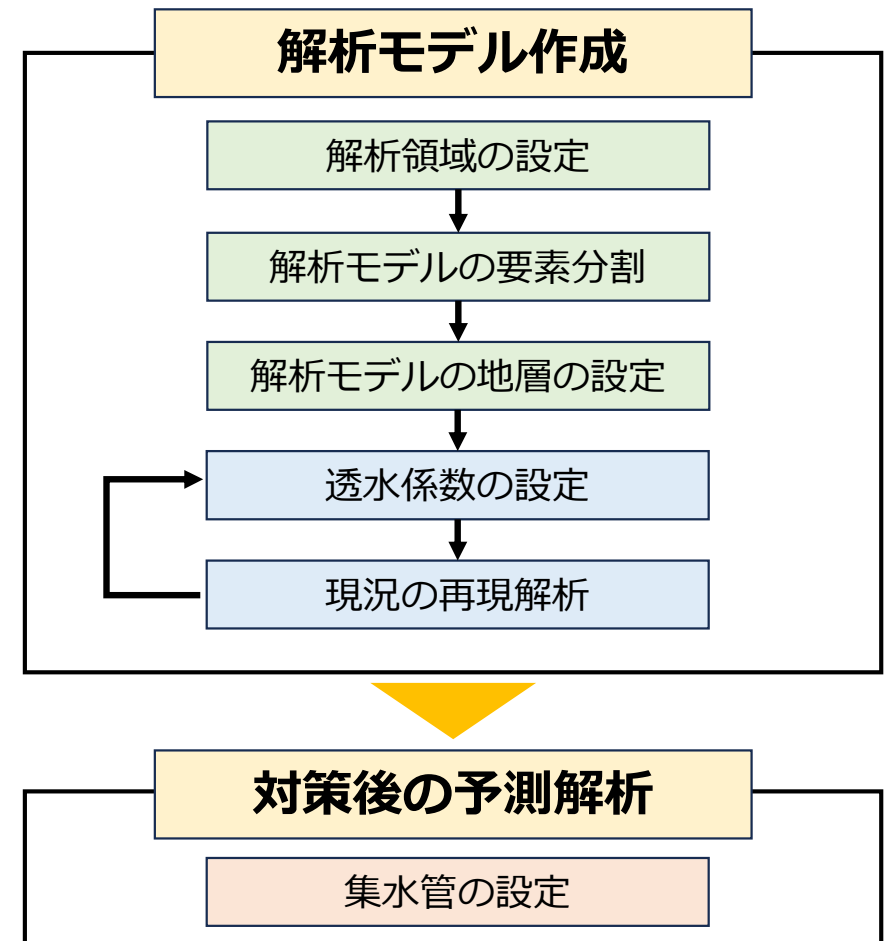
三次元浸透流解析手順

解析モデルの作成

- ・解析領域の設定
- ・解析モデルの要素分割
- ・解析モデルの地層の設定
- ・透水係数の設定
- ・現況の再現解析
 - ※現況の再現性を高めるために
透水係数を微調整し、トライアル

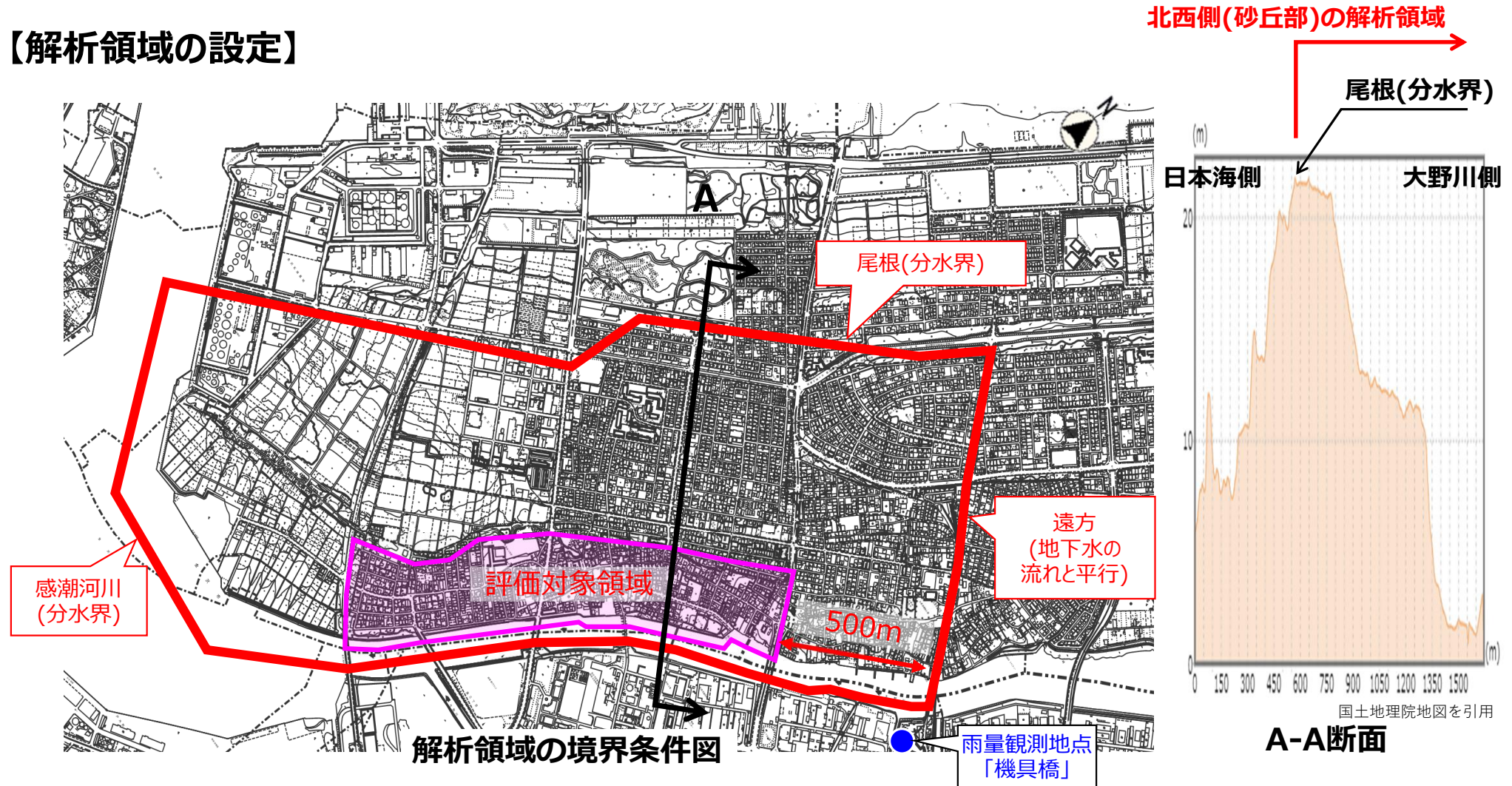
対策後の予測解析

- ・集水管の設定



解析フロー図

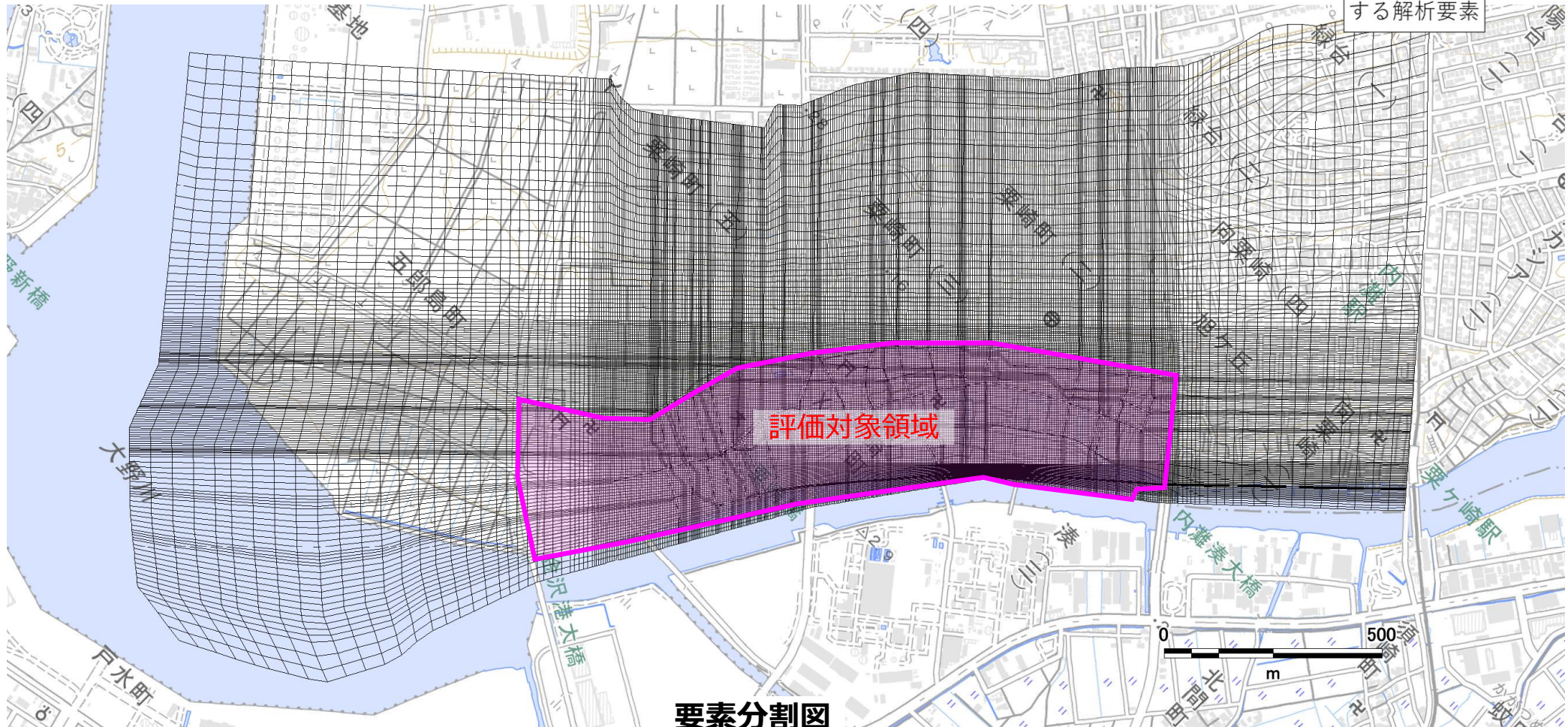
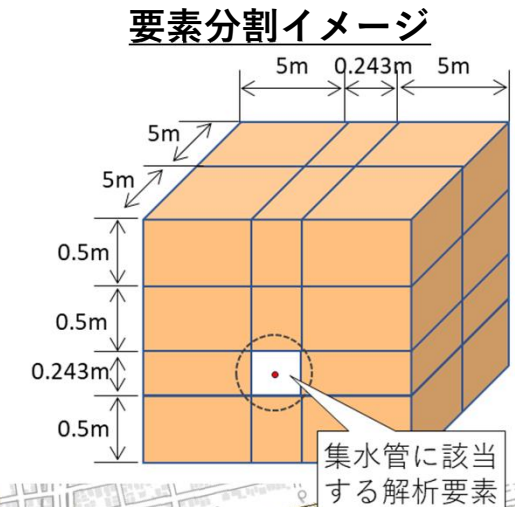
【解析領域の設定】



- ・液状化対策範囲（評価対象領域）を含む広い範囲で解析領域を設定
- ・北西側の砂丘部は**尾根（分水界）**で、境界をまたぐ地下水の流れがないため、不透水性境界として設定
- ・南東側～南西側は大野川を境界とし、**平均潮位（TP+0.2m）**で水位を固定
- ・北東側は、砂層の影響圏半径が500m※程度とされていることに加え、地下水が砂丘上部から大野川に一定方向で流れていることから、境界をまたぐ流れが少ないため、評価対象領域から500m離れた位置を不透水性境界として設定

【解析モデルの要素分割】

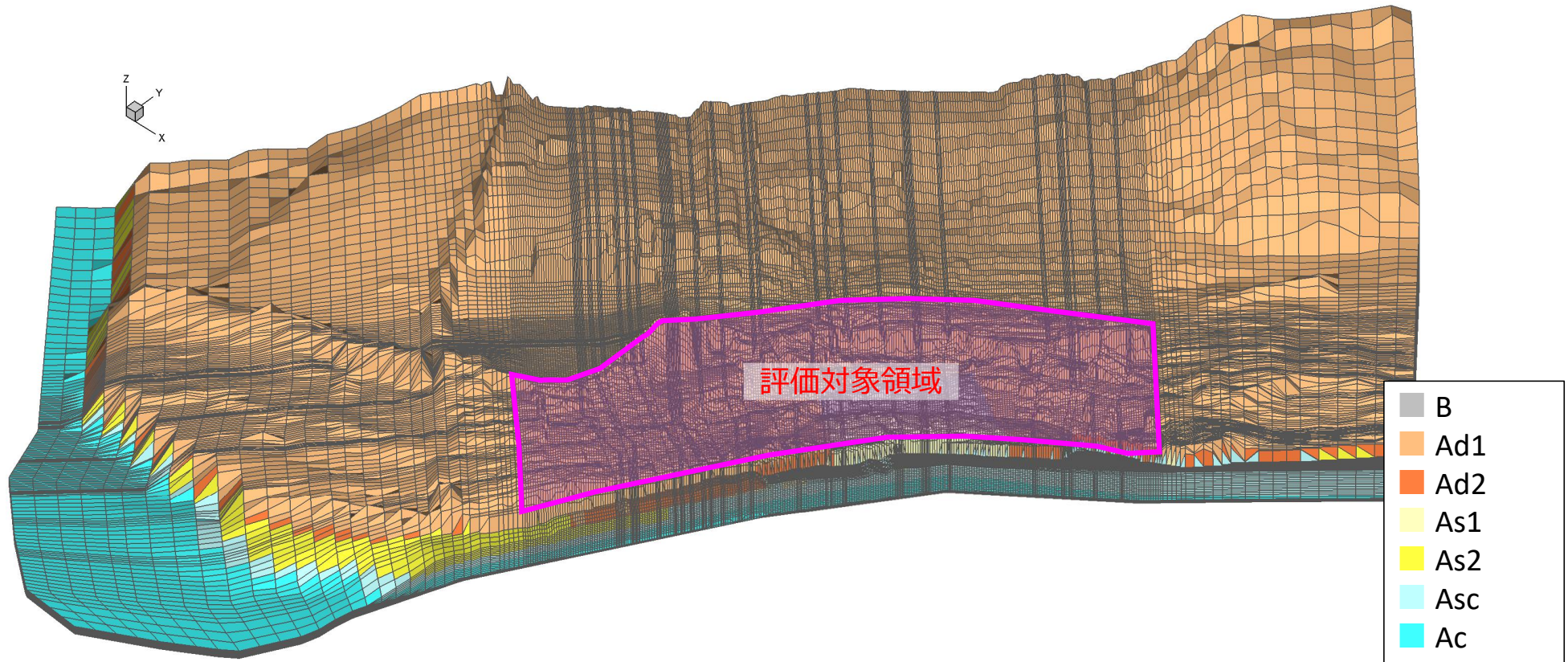
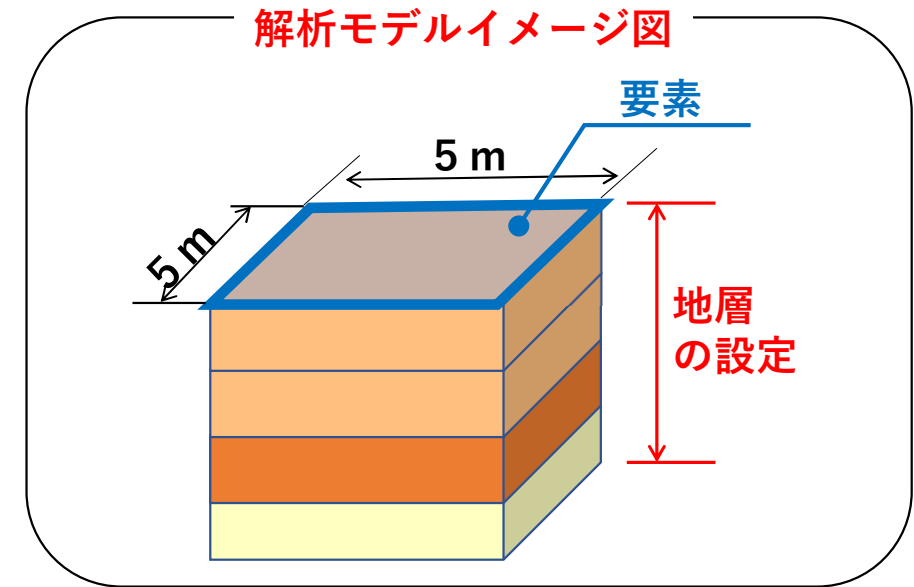
- ・ 解析領域を10m～50m程度の要素に分割
 - ・ 評価対象領域は、より細かい要素（平面的に5m×5m程度）に分割
 - ・ 集水管配置箇所は、さらに細かい要素（0.243m×5m）に分割
- ※集水管の直径0.31mを基に、周長を合わせ一辺0.243mの矩形で要素に分割
 $(0.310\text{m} \times \pi / 4 \text{辺} = 0.243\text{m/辺})$



【解析モデルの地層の設定】

・地盤調査結果を基に、要素ごとに地層分布を設定

- | | |
|---------------|--------|
| ・ 埋土 | : B層 |
| ・ 砂丘砂層1 (新砂丘) | : Ad1層 |
| ・ 砂丘砂層2 (旧砂丘) | : Ad2層 |
| ・ 沖積砂質土層1 | : As1層 |
| ・ 沖積砂質土層2 | : As2層 |
| ・ 沖積粘性土・砂質土互層 | : Asc層 |
| ・ 沖積粘性土層 | : Ac層 |



【透水係数の設定】

モデル化した地層ごとに地盤調査で実施した現場透水試験結果の平均値を
現況再現解析時の初期設定値として設定

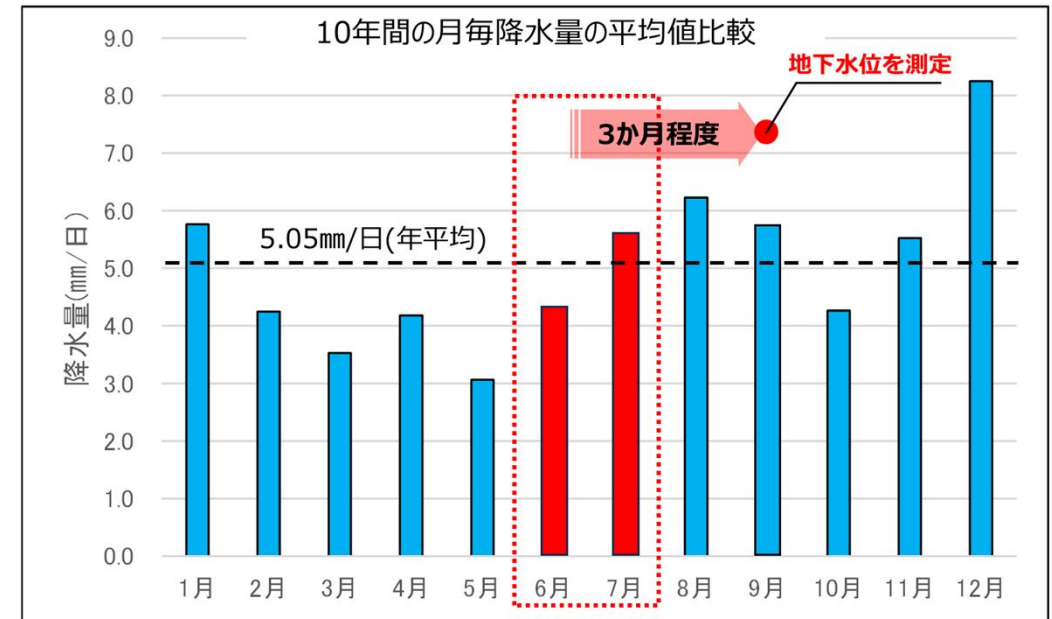
地層区分 地層名	孔番	GL標高	試験深度 (GL-m)	試験標高 (m)	N値	試験方法	透水係数 (m/s)	透水係数 平均値(相乗平均) (m/s)
B	BV-c2		3.0 ~ 3.6	-3.00 ~ -3.60	22	非定常法(回復)	7.97. E-06	7.50×10^{-6}
	BV-c3		1.0 ~ 1.9	-1.00 ~ -1.90	4	非定常法(投入)	1.28. E-05	
	BV-e3		3.5 ~ 4.5	-3.50 ~ -4.50	4	非定常法(回復)	4.13. E-06	
Ad1	BV-c1		8.0 ~ 9.0	-8.00 ~ -9.00	10	非定常法(回復)	1.21. E-06	1.26×10^{-5}
	BV-e1		8.0 ~ 9.0	-8.00 ~ -9.00	4	非定常法(投入)	2.56. E-06	
	BV-e2		3.0 ~ 4.0	-3.00 ~ -4.00	14	定常法(注水)	6.78. E-05	
	BV-g1		7.0 ~ 8.0	-7.00 ~ -8.00	11	非定常法(回復)	4.38. E-05	
	BV-g2		3.0 ~ 4.0	-3.00 ~ -4.00	2	定常法(揚水)	2.17. E-04	
	BV-g3		1.5 ~ 2.0	-1.50 ~ -2.00	3	非定常法(投入)	2.00. E-06	
Ad2	BV-c1		12.0 ~ 13.0	-12.00 ~ -13.00	33	非定常法(回復)	1.07. E-06	1.81×10^{-6}
	BV-e1		12.0 ~ 13.0	-12.00 ~ -13.00	32	非定常法(投入)	3.07. E-06	
As1	BV-e4		2.7 ~ 3.25	-2.70 ~ -3.25	3	定常法(揚水)	5.05. E-05	5.05×10^{-5}
As2	BV-g1		13.0 ~ 14.0	-13.00 ~ -14.00	30	非定常法(回復)	7.30. E-05	2.36×10^{-5}
	BV-g2		8.0 ~ 9.0	-8.00 ~ -9.00	24	定常法(注水)	8.06. E-05	
	BV-g3		4.7 ~ 5.7	-4.70 ~ -5.70	4	非定常法(注水)	2.24. E-06	
Asc	BV-c3		4.0 ~ 5.0	-4.00 ~ -5.00	0	非定常法(投入)	2.12. E-06	4.99×10^{-7}
	BV-e2		6.6 ~ 7.6	-6.60 ~ -7.60	9	非定常法(回復)	3.49. E-06	
	BV-e3		7.0 ~ 8.0	-7.00 ~ -8.00	1	非定常法(回復)	6.94. E-08	
	BV-e4		5.8 ~ 6.2	-5.80 ~ -6.20	0	非定常法(回復)	1.21. E-07	

【現況の再現解析】

再現するモデルの地下水位は、9/26の一斉観測水位

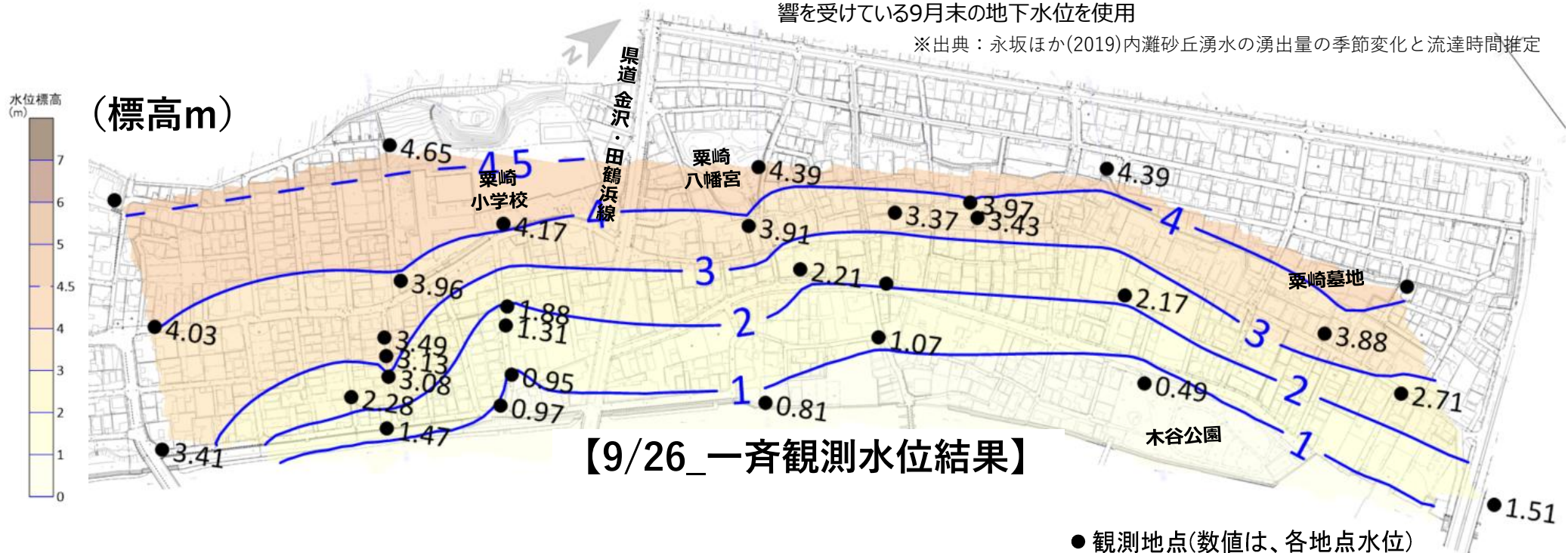
- 降水量は、「機具橋」の10年間の年平均降水量
5.05mm/日を設定
- 浸透量は、河川砂防基準を参考に設定

区域	流出係数	浸透率	浸透量(mm/日)
市街地	0.8	20%	1.01
畑 地	0.6	40%	2.02



内灘を含む栗崎地区においては、砂丘上に降った降雨が浅層地下水となって湧出するまでの時間が約3ヶ月※との調査結果から、平均降水量と近い6月・7月の降雨の影響を受けている9月末の地下水位を使用

※出典：永坂ほか(2019)内灘砂丘湧水の湧出量の季節変化と流達時間推定

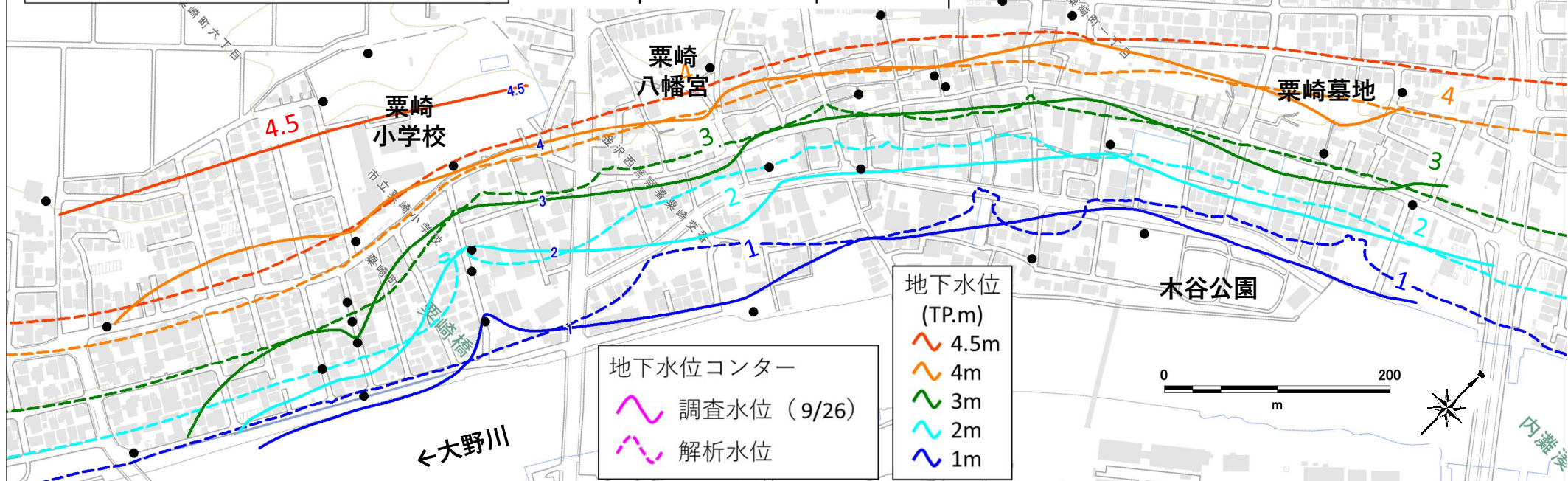
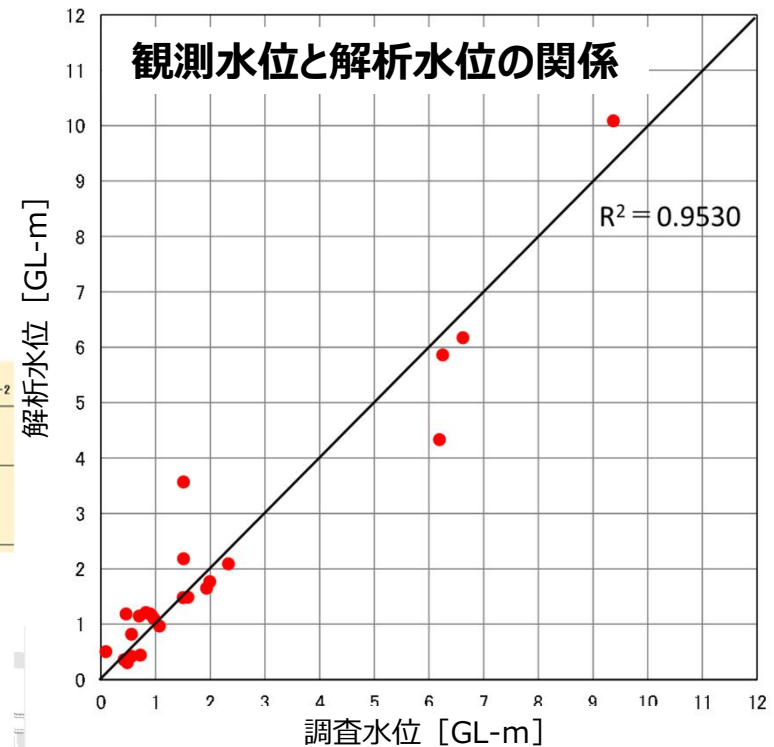


【現況の再現解析の結果】

- ・透水係数の組み合わせを微調整し、
トライ&エラーを繰り返す再現計算を実施
- ・調査水位と解析水位の関係より、
決定係数は $R^2=0.95$ と高い相関性を示していることから、
解析モデルの透水係数を以下のとおり設定

地層	試験値	採用値
B	7.5×10^{-6}	1.0×10^{-4}
Ad1	1.3×10^{-5}	1.0×10^{-4}
Ad2	1.8×10^{-6}	1.0×10^{-4}
As1	5.1×10^{-5}	5.0×10^{-5}
As2	2.4×10^{-5}	5.0×10^{-5}
Asc	5.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Ac		1.0×10^{-8}

透水係数k (m/s)		10 ⁻⁹	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²
透 水 性		非常に低い		低 い		中 位			
対応する土の種類		微細砂,シルト, 砂-シルト-粘土混合土 [SF] [S-F] [M]				砂および礫 [GW] [GP] [SW] [SP] (G-M)			
						● B ● Ad1 ● Ad2 ● As1 ● As2 ● Asc ● Ac			



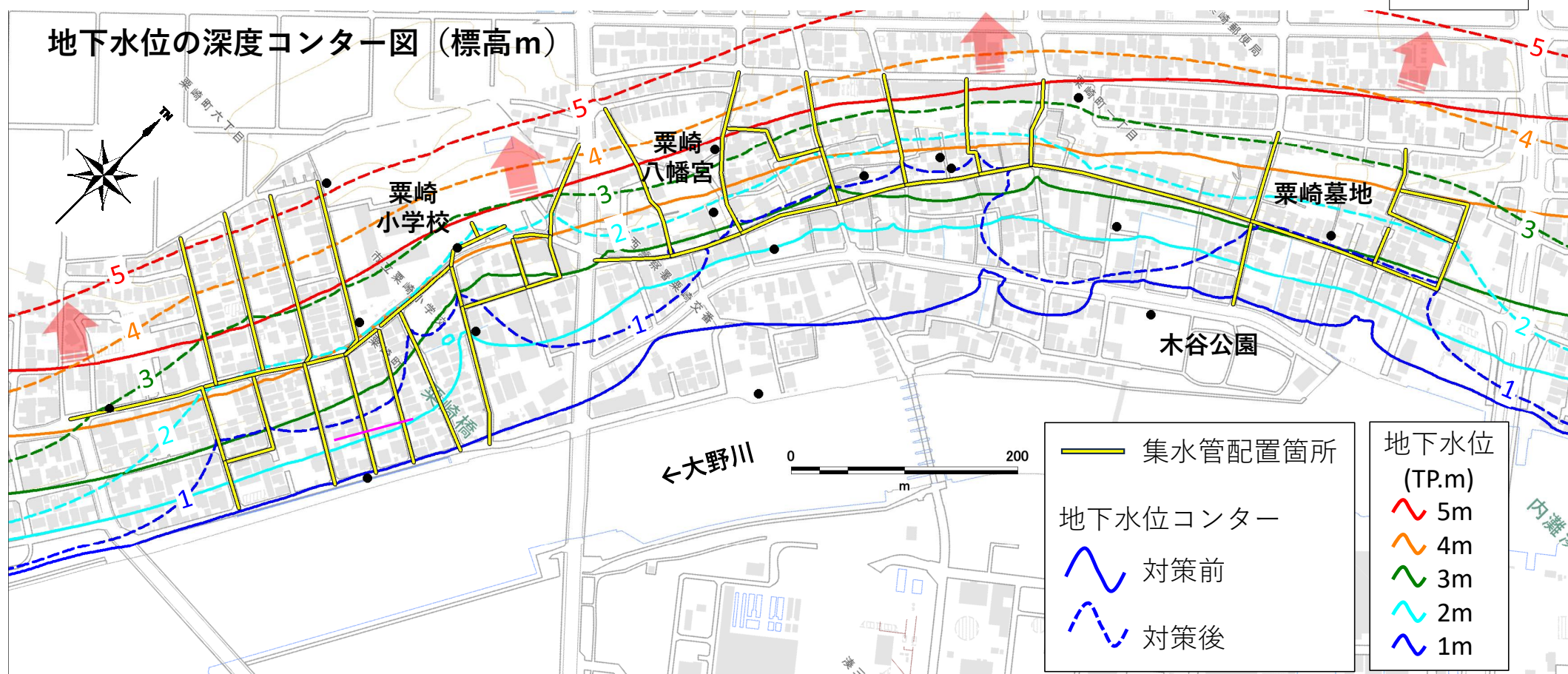
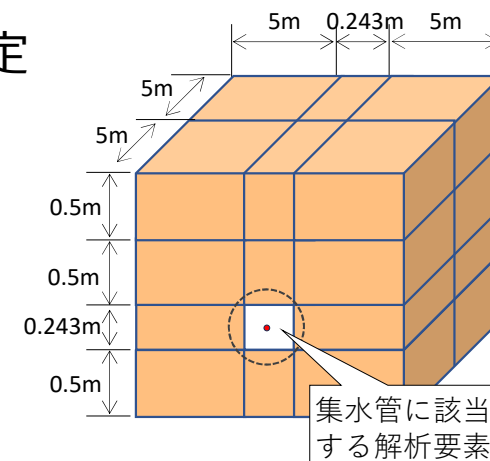
【対策後の予測解析結果 地下水位コンター（標高）】

- ・集水管の要素設定は、管の中心を水圧ゼロ（地下水の浸出点）として設定
- ・集水管の縦断勾配は 3‰以上、土被りは最下流の管底高をコントロールポイントとし設定

対 策

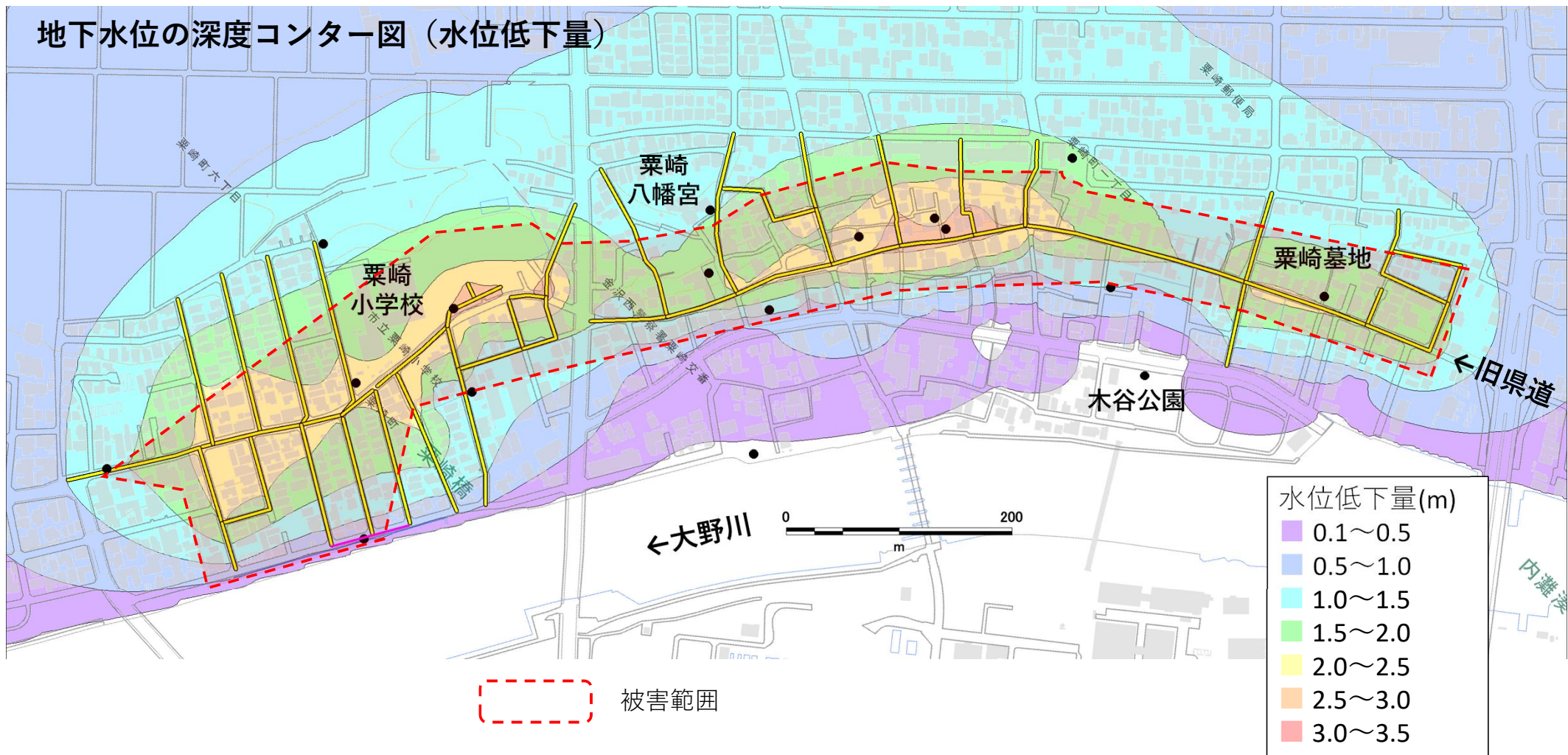
- ・対策実施後、地下水位コンターは、全体的に砂丘の上部方向に移動し、**地区全体の地下水位が面的に低下**

解析モデルのイメージ



【対策後の予測解析結果 水位低下量】

- ・地区全体の地下水位が面的に低下
- ・砂丘と平行して配置した集水管の集水効果が高い
- ・液状化被害範囲において、概ね1.5m～3m程度、地下水位が低下
- ・特に、被害が大きかった箇所で地下水位を低下することができている
→ 矢板等で締め切る必要が無い

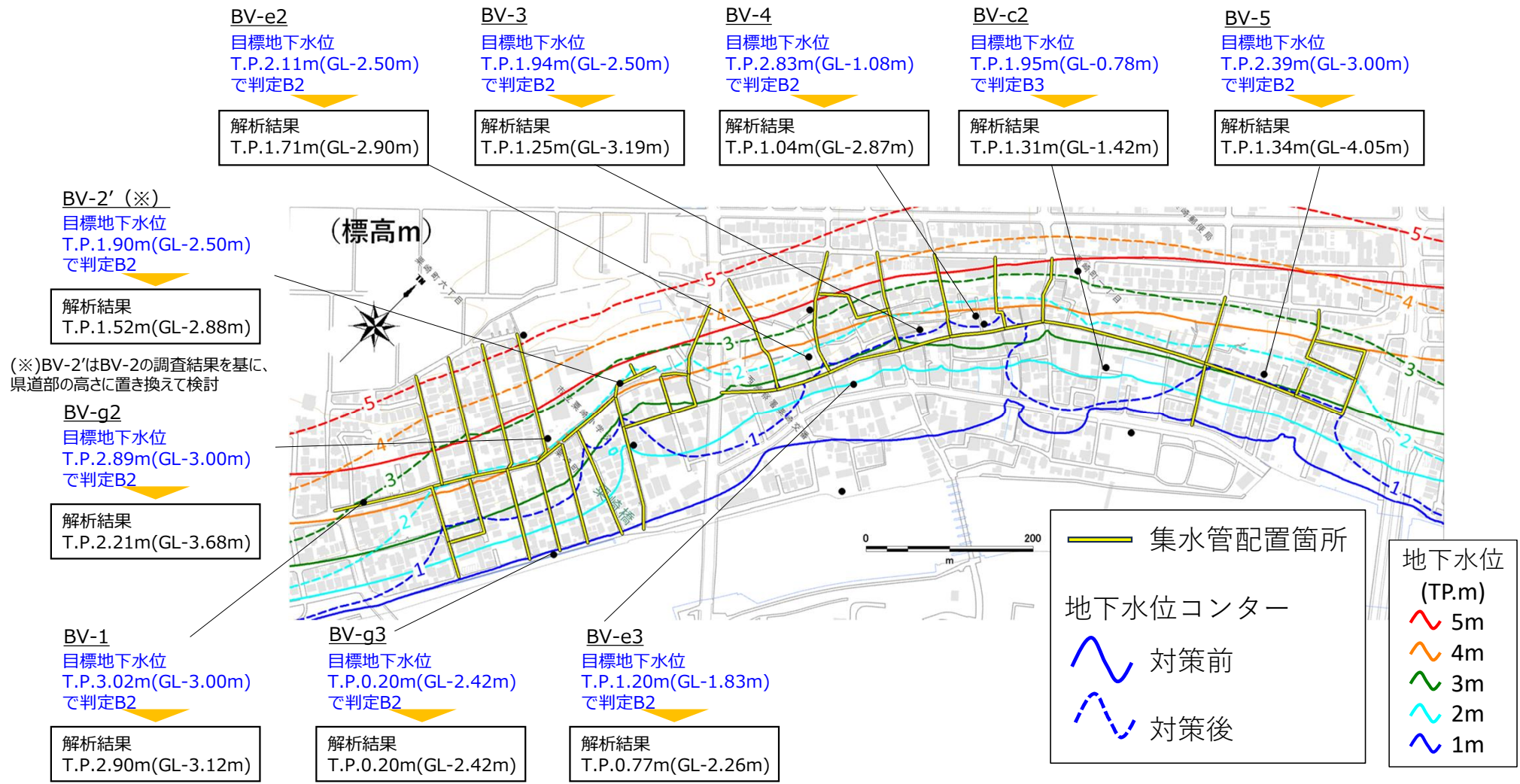


【効果の検証】

- 液状化判定により、C判定→B判定以上とするため、
目標地下水位より解析結果が深くなっているかを確認
- 対策後の解析結果の地下水位は、
全ての箇所で**目標地下水位以下**となっており、
平均30%程度深い値を示す

単位:m

地点名	現状地下水位	目標地下水位 (液状化判定)	解析結果地下水位 (三次元浸透流解析)
	T.P.(GL-)	T.P.(GL-)	T.P.(GL-)
BV-c2	2.17(-0.56)	1.95(-0.78)	1.31(-1.42)
BV-e2	3.92(-0.69)	2.11(-2.50)	1.71(-2.90)
BV-e3	2.21(-0.82)	1.20(-1.83)	0.77(-2.26)
BV-g2	3.96(-1.93)	2.89(-3.00)	2.21(-3.68)
BV-g3	1.47(-1.02)	0.20(-2.42)	0.20(-2.42)
BV-1	4.03(-1.99)	3.02(-3.00)	2.90(-3.12)
BV-2' (※)	4.00(-0.40)	1.90(-2.50)	1.52(-2.88)
BV-3	3.37(-1.07)	1.94(-2.50)	1.25(-3.19)
BV-4	3.43(-0.48)	2.83(-1.08)	1.04(-2.87)
BV-5	3.88(-1.51)	2.39(-3.00)	1.34(-4.05)



【集水管配置間隔の検証】

断面 1 ～ 3 において、断面図を作成し、地下水低下量を確認

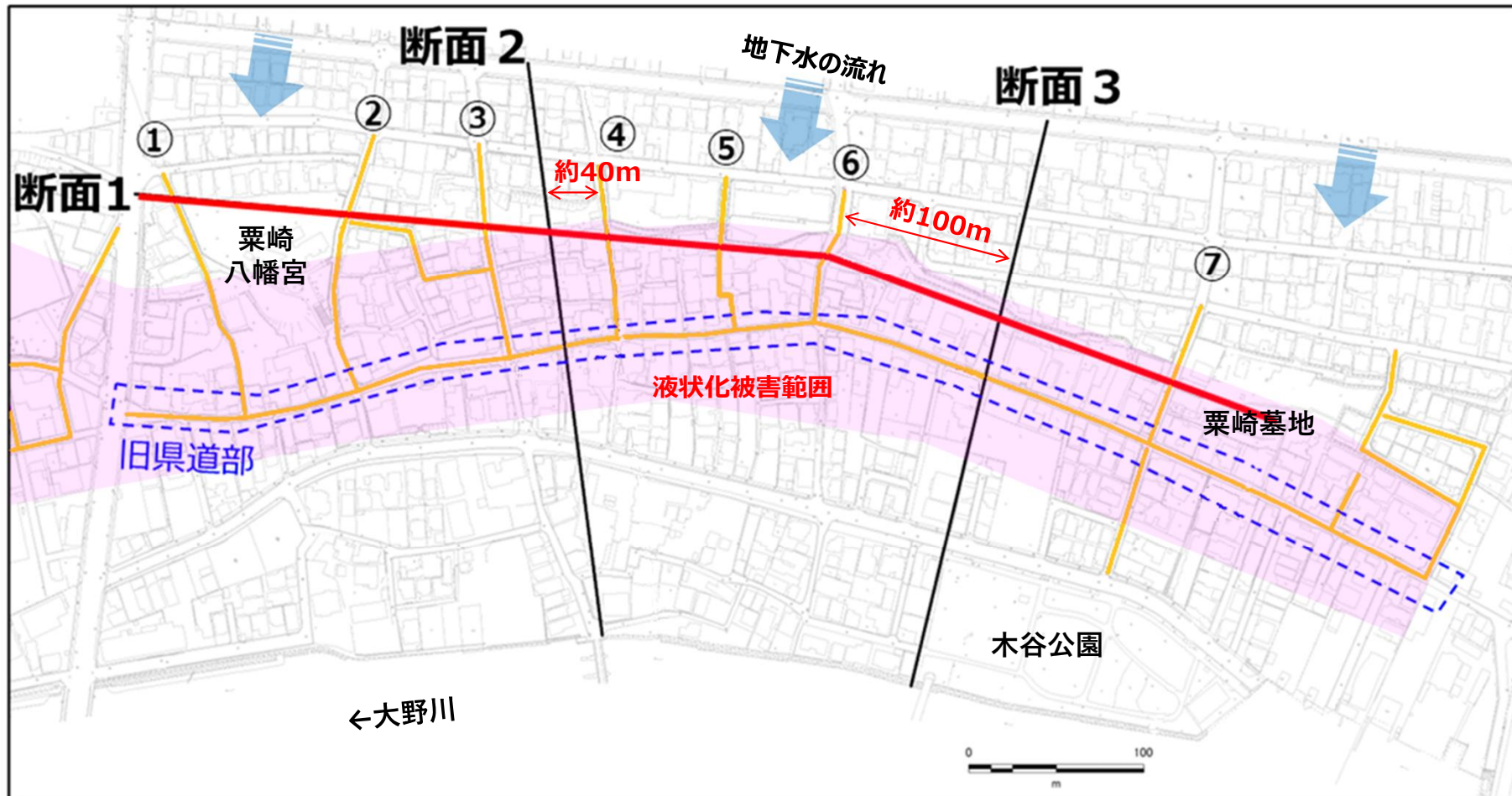
地下水の流れる方向に直交する断面

断面 1：配置する集水管①～⑦に直行

地下水の流れる方向に平行する断面

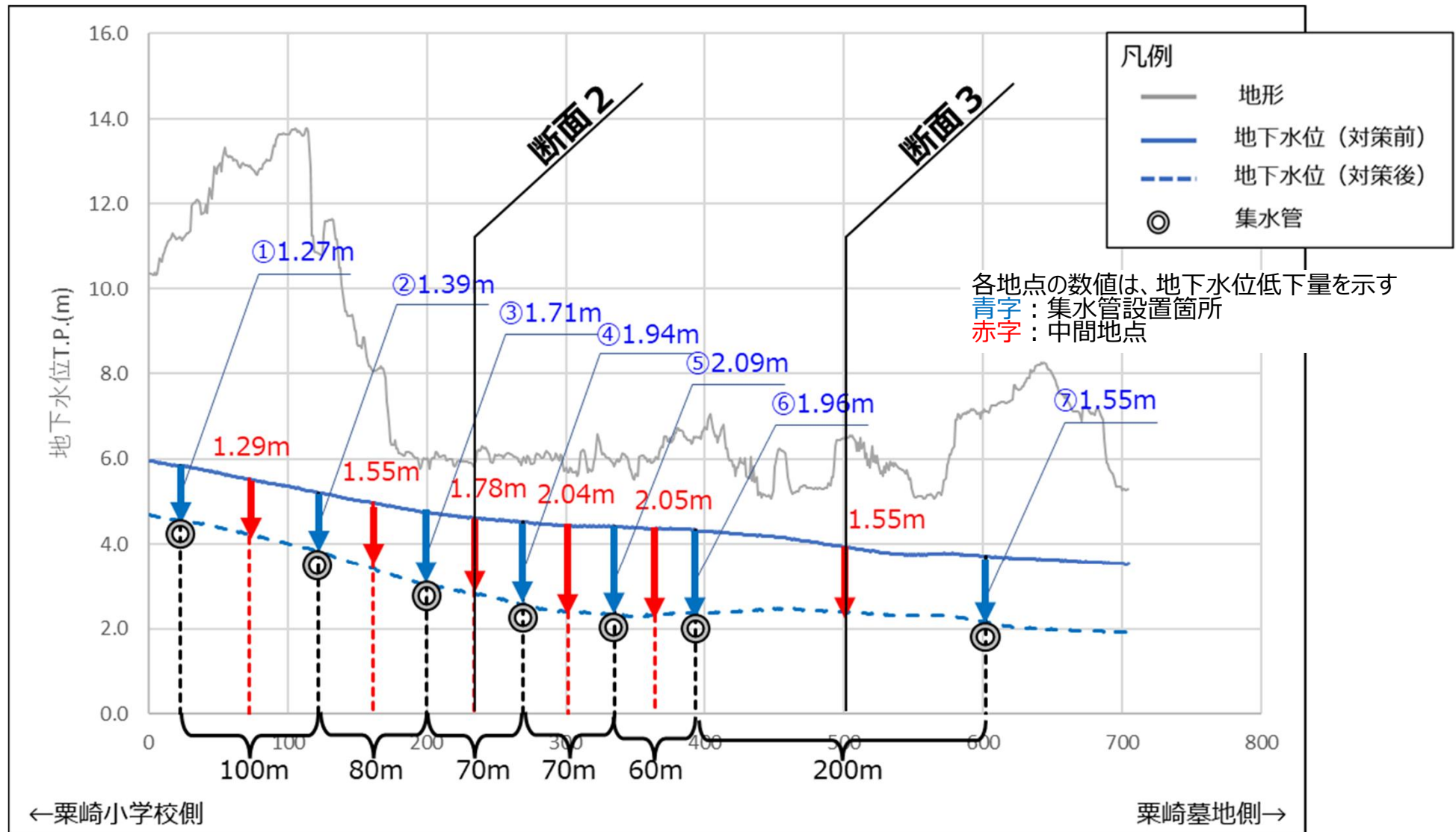
断面 2：集水管③と④の中間（集水管から40m程度離れた断面）

断面 3：集水管⑥と⑦の中間（集水管から100m程度離れた断面）



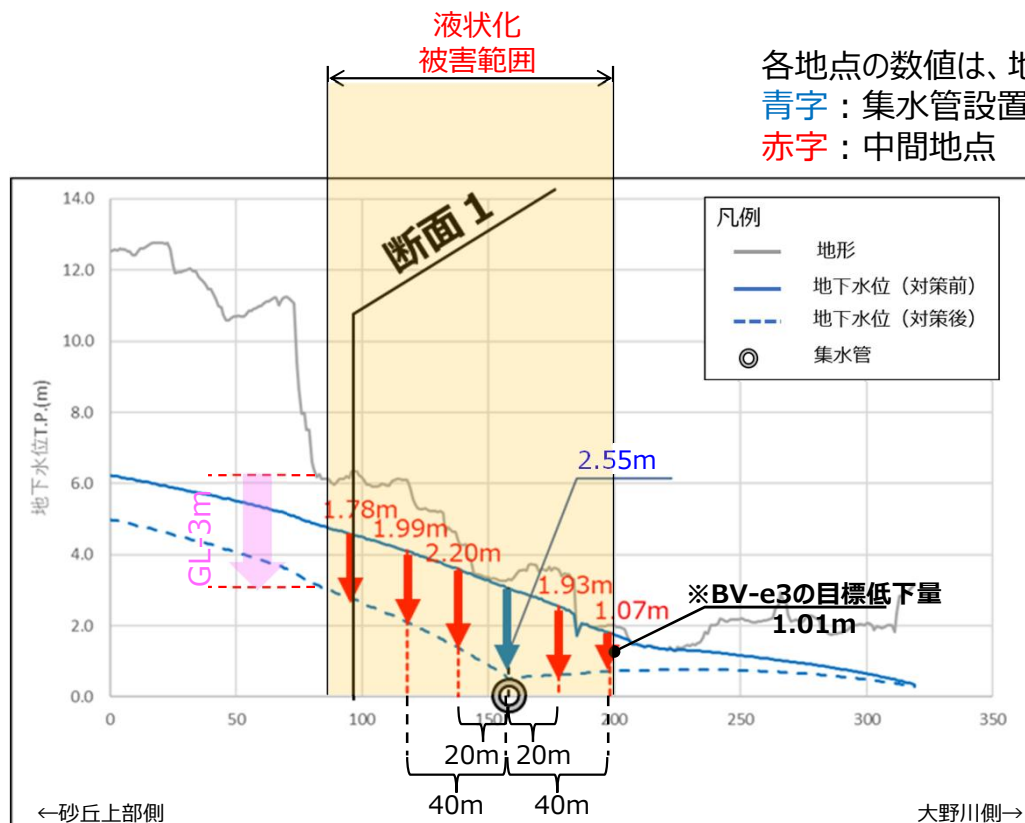
【断面1】

- ・集水管間隔80～100m（①～⑥区間）の各中間地点における低下量は、集水管設置箇所における地下水位低下量と同等
- ・集水管間隔が200m（⑥～⑦区間）の中間地点においても同様に地下水位の低下



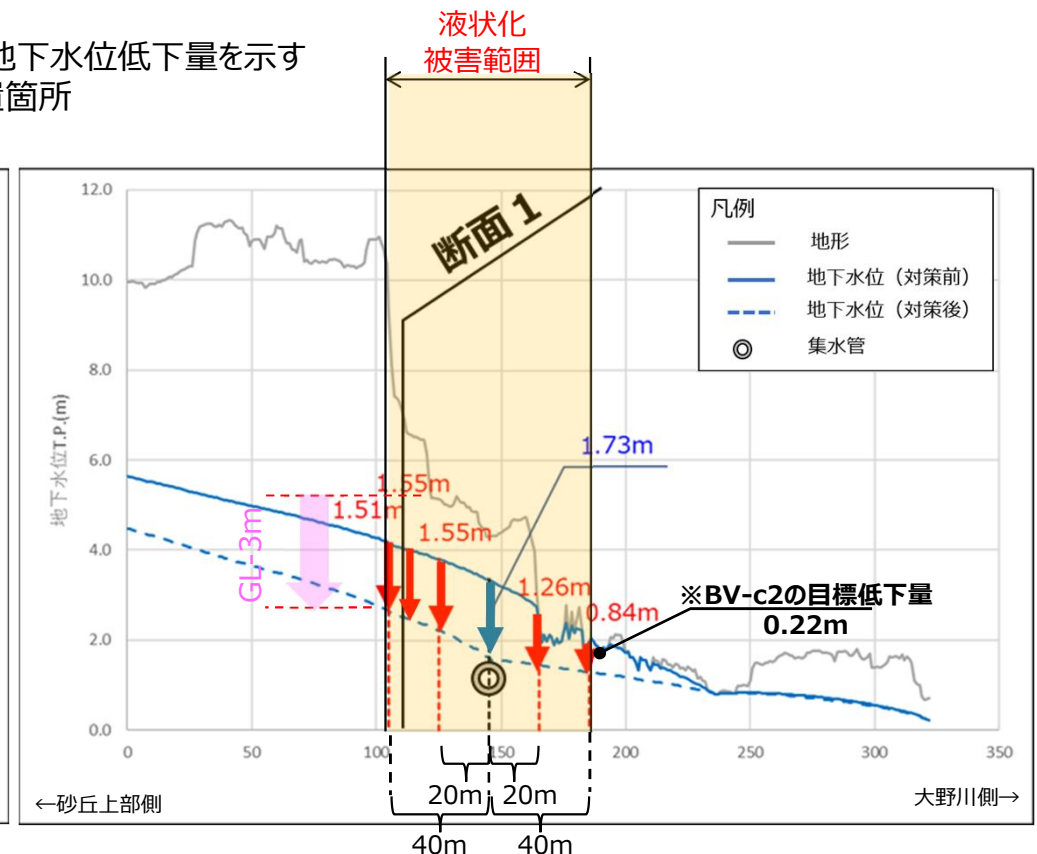
【断面 2】

- ・集水管設置位置における地下水位低下量は2.55m、集水管から砂丘上部側の地下水位は、20m地点で9割程度、40m地点で8割程度となるが、概ねGL-3mまで低下
- ・集水管より大野川側については、20m地点で8割程度、40m地点で4割程度の低下となるが、直近のBV-e3の目標低下量1.01mより低下



【断面 3】

- ・集水管設置位置における地下水位低下量は1.73m、集水管から砂丘上部側の地下水位は、20m地点及び40m地点で9割程度となるが、概ねGL-3mまで低下
- ・集水管より大野川側については、20m地点で7割程度、40mで5割程度の低下となるが、直近のBV-c2の目標低下量0.22mより低下



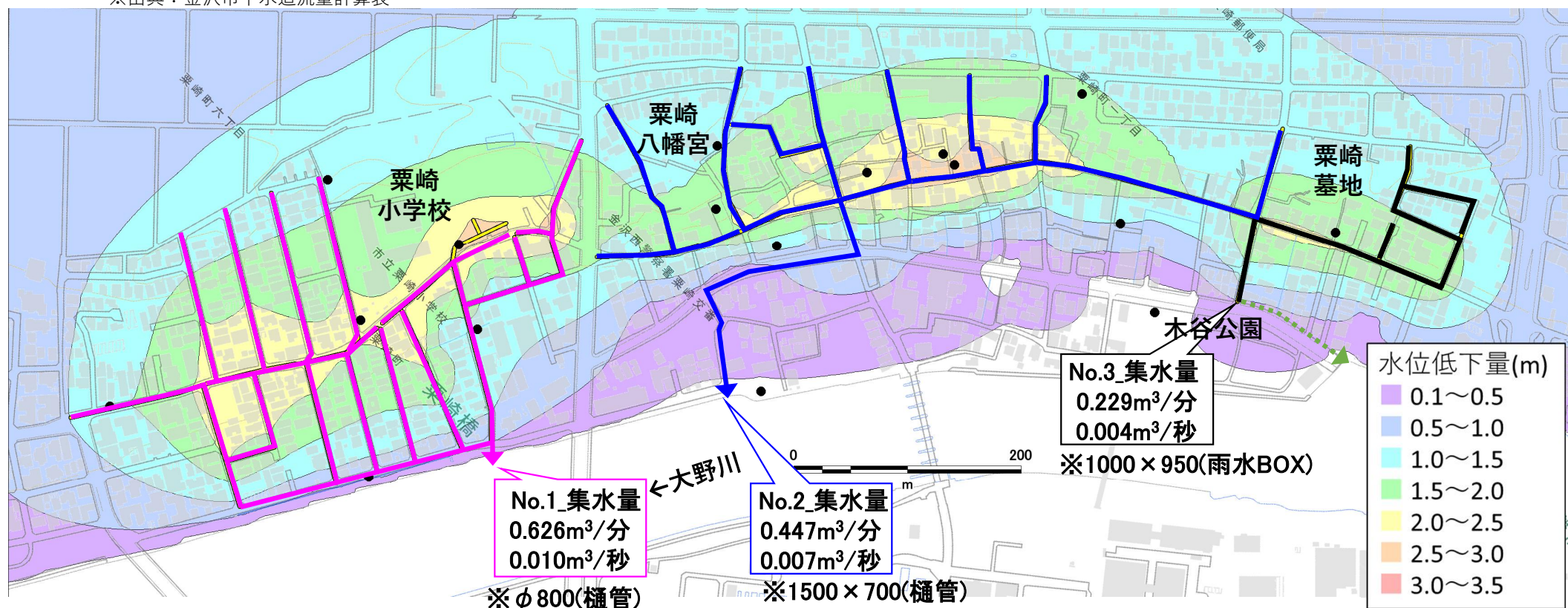
(2) 集水量による既存水路の流下能力の確認

大野川へは、既存の樋管や雨水ボックスを利用し、3箇所に分けて排水

・雨水流出量は50mm/hの雨量を考慮し検討した結果、流出量の増加は、1.0~2.4%と小さく、既存水路の流下能力に対し余裕率140~300%程度と十分な余裕があることから、集めた地下水を安全に大野川へ流すことができる

番号	流 出 量			雨 水 管 渠				判 定	
	雨水流出量 m ³ /sec	地下水集水量 m ³ /sec	総水量 m ³ /sec	断 面 mm	勾配 ‰	流速 m/s	流下能力 m ³ /s	総水量<流下能力	余裕率
No.1	0.406	0.010	(+2.4%) 0.416	○800	7.00	1.91	0.960	0.416<0.960 ○	231%
No.2	0.665	0.007	(+1.0%) 0.672	□1500x700	1.10	1.07	0.953	0.672<0.953 ○	142%
No.3	0.233	0.004	(+1.7%) 0.237	□1000x950	1.00	0.95	0.720	0.237<0.720 ○	304%

※出典：金沢市下水道流量計算表



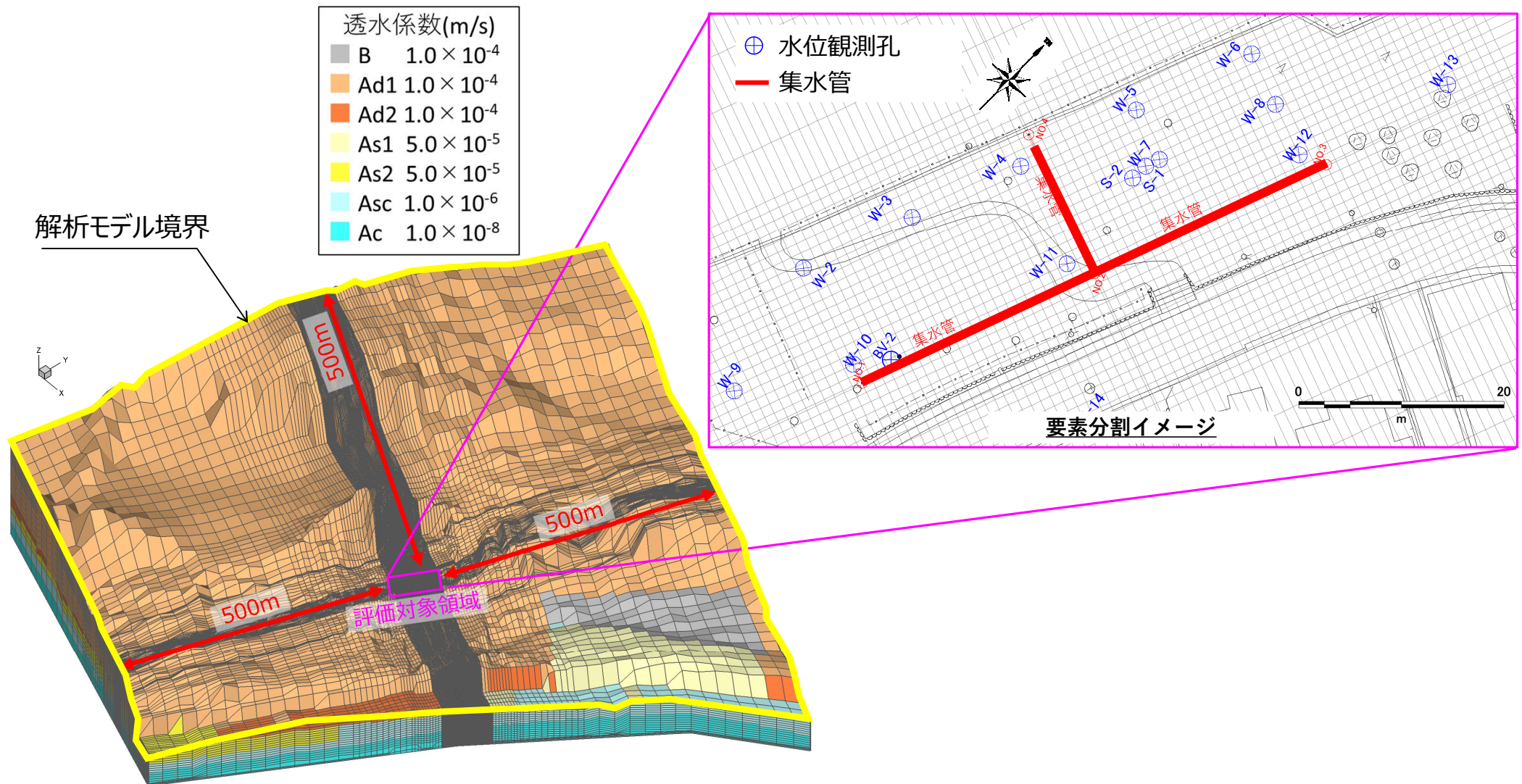
(3) 実証実験の管理値の確認

【解析モデルの要素分割】

- ・ 評価対象領域は、平面的に1m×1m程度に分割
- ・ 集水管配置箇所は0.243m×0.243mに分割
- ・ 全体解析モデルと同様に地層分布を設定

【解析条件】

- ・ 降水量と浸透量は、全体解析モデルと同様
- ・ 観測孔の初期水位は、全体解析モデルの地下水位に設定
- ・ 解析モデル境界は、全体解析モデルの地下水位に固定



【実証実験の手順】

- No.1にポンプを設置
(近隣の側溝へ地下水を流す)



- 集水管（管1）を開放し、
地下水を低下させる
(No.2立坑において管2 接合側を
プラグにより栓止め)

※水位が安定するまで継続



- No.2立坑のプラグを取外して、
集水管（管2）を追加で開放し、
地下水を低下させる

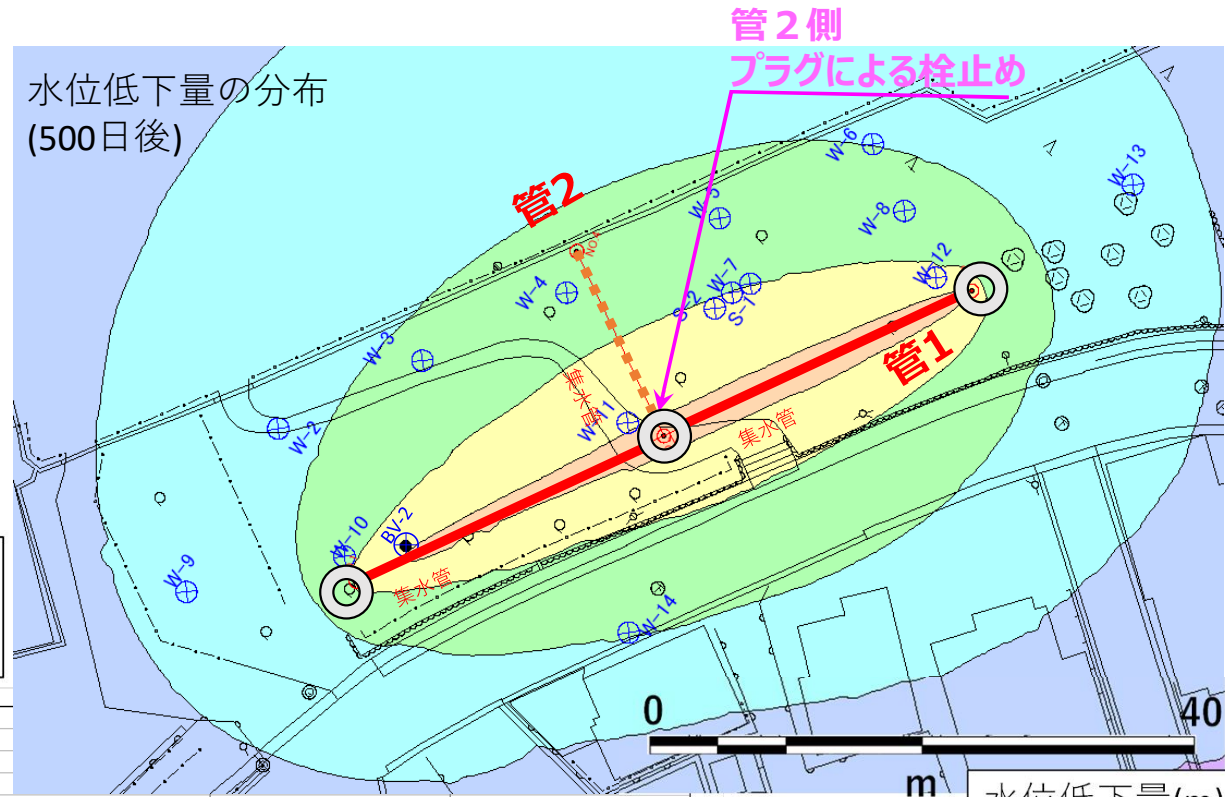
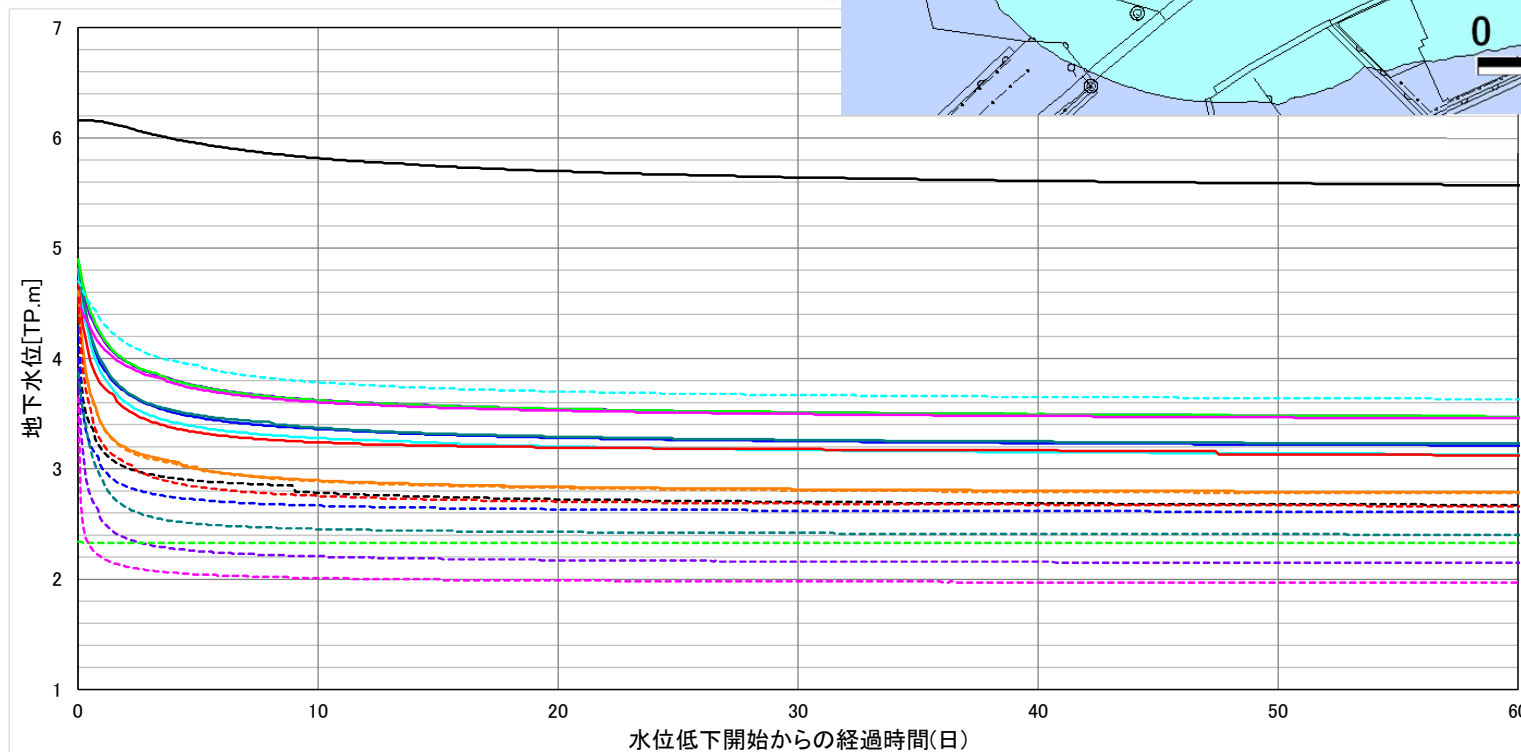
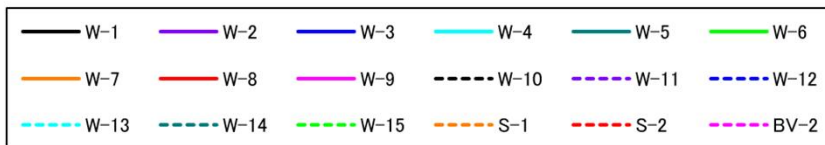


【解析条件】

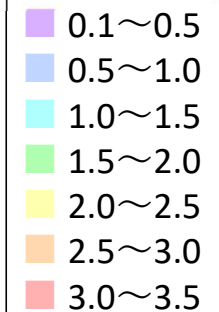
- ・管1のみ開放

【解析結果】

- ・管に平行して地下水位が低下
- ・水位低下開始から10日まで急激に低下し、20日までに概ね低下が収束



水位低下量(m)

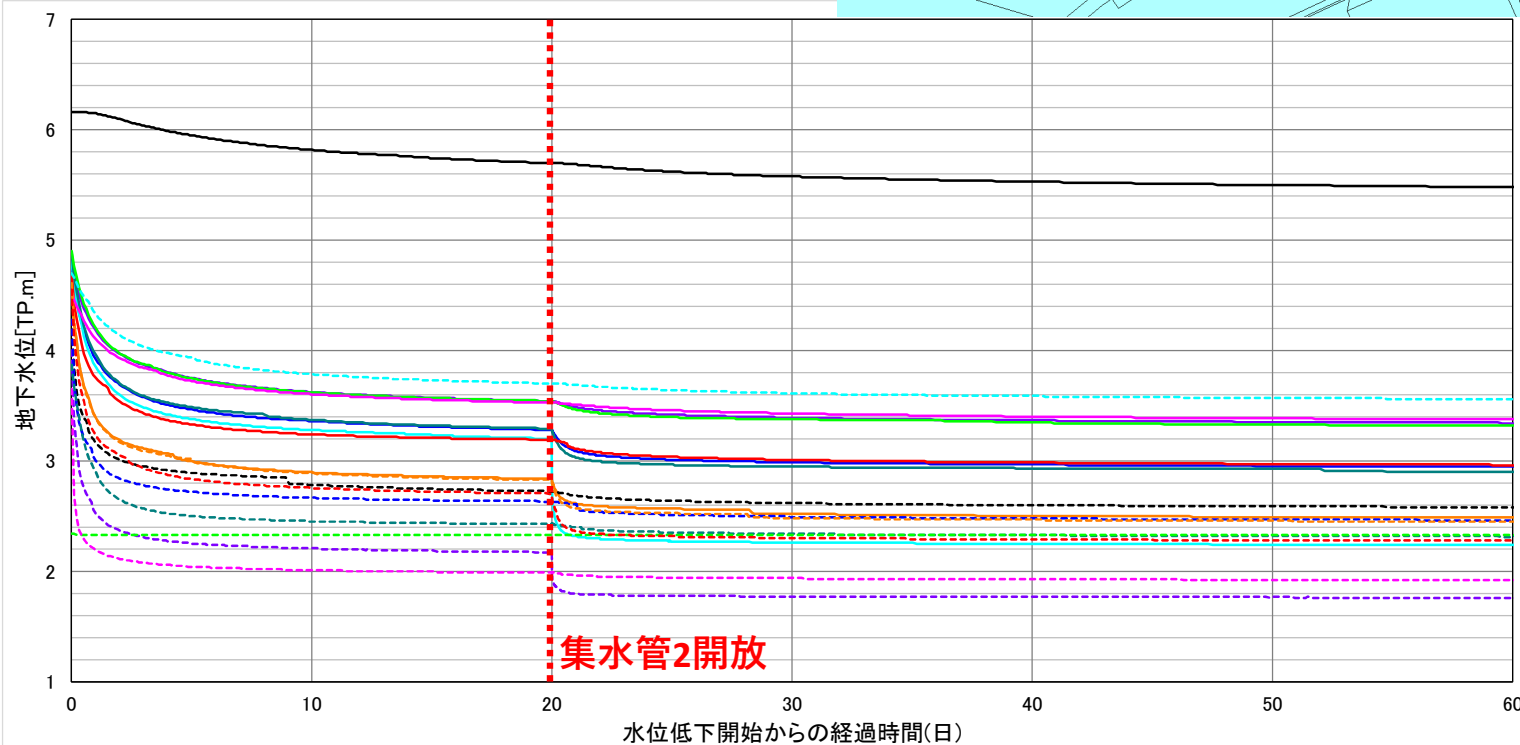
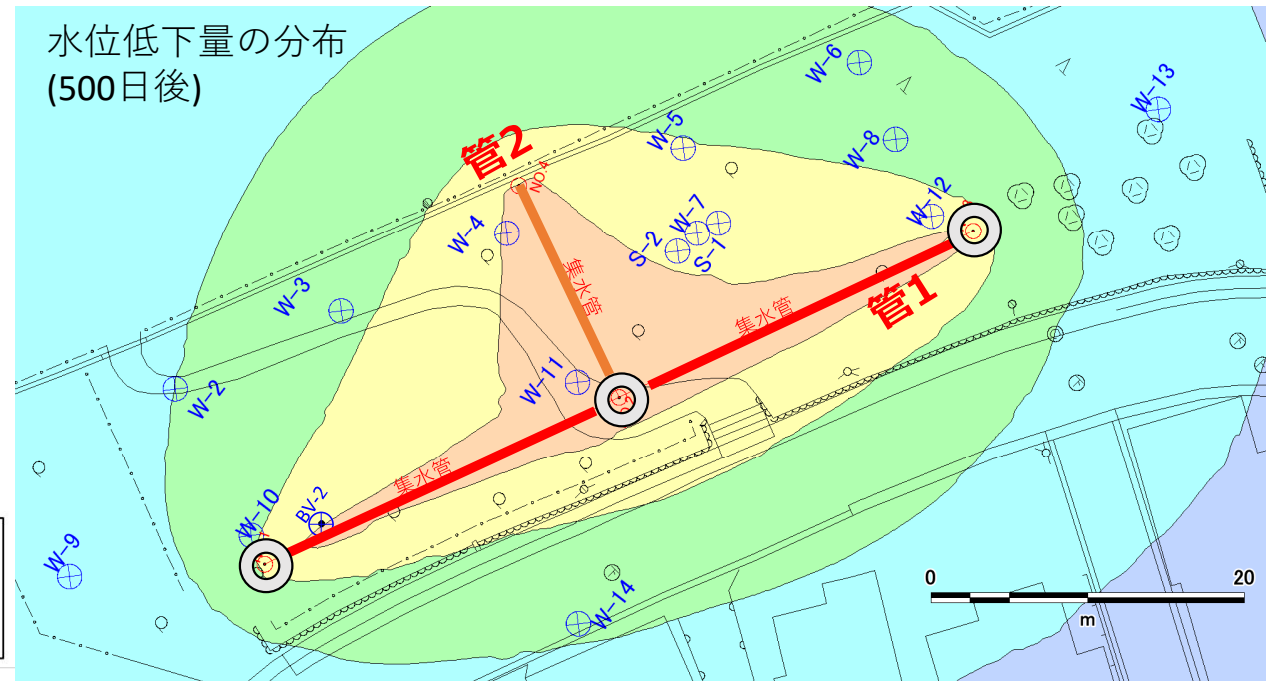
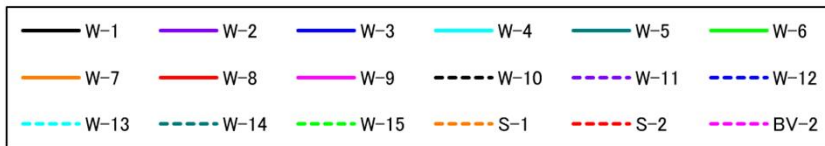


【解析条件】

- ・管1を開放後、
水位が安定する20日後を想定し、
管2を開放

【解析結果】

- ・管1に加え管2の周辺で地下水位が低下
- ・管2開放後 2～3日で急激に低下し、10日程度（開始から30日程度）で低下が概ね収束



水位低下量(m)

- 0.1～0.5
- 0.5～1.0
- 1.0～1.5
- 1.5～2.0
- 2.0～2.5
- 2.5～3.0
- 3.0～3.5

【実証実験における地下水位の管理基準】

地下水位の観測は、毎日実施

- ・ 管 1 開放20日後の水位について、管理基準値で確認し評価



- ・ 管2を開放10日後（開始から30日後）の水位について、管理基準値で確認し評価

観測地点名	対策前水位 T.P. (m)	管 1 開放後の 安定水位T.P. (m) ※実験開始から 20日後	水位低下量 (m)
W-1	6.16	5.70	0.46
W-2	4.79	3.54	1.25
W-3	4.81	3.28	1.53
W-4	4.85	3.20	1.65
W-5	4.91	3.29	1.62
W-6	4.95	3.54	1.41
W-7	4.74	2.84	1.90
W-8	4.81	3.19	1.62
W-9	4.54	3.53	1.01
W-10	4.48	2.72	1.76
W-11	4.52	2.17	2.35
W-12	4.65	2.63	2.02
W-13	4.71	3.70	1.01
W-14	3.92	2.43	1.49
W-15	2.34	2.33	0.01

20日後の地下水位の管理基準値（案）

観測地点名	対策前水位 T.P. (m)	管 2 開放後の 安定水位T.P. (m) ※実験開始から 30日後	水位低下量 (m)
W-1	6.16	5.58	0.58
W-2	4.79	3.39	1.40
W-3	4.81	2.29	2.52
W-4	4.85	2.26	2.59
W-5	4.91	2.95	1.96
W-6	4.95	3.38	1.57
W-7	4.74	2.52	2.22
W-8	4.81	3.01	1.80
W-9	4.54	3.43	1.11
W-10	4.48	2.62	1.86
W-11	4.52	1.77	2.75
W-12	4.65	2.49	2.16
W-13	4.71	3.61	1.10
W-14	3.92	2.34	1.58
W-15	2.34	2.33	0.01

30日後の地下水位の管理基準値（案）

【実証実験の期間】

- ・ 雨の多い出水期及び平均降水量の影響を考慮し、10月末までとする

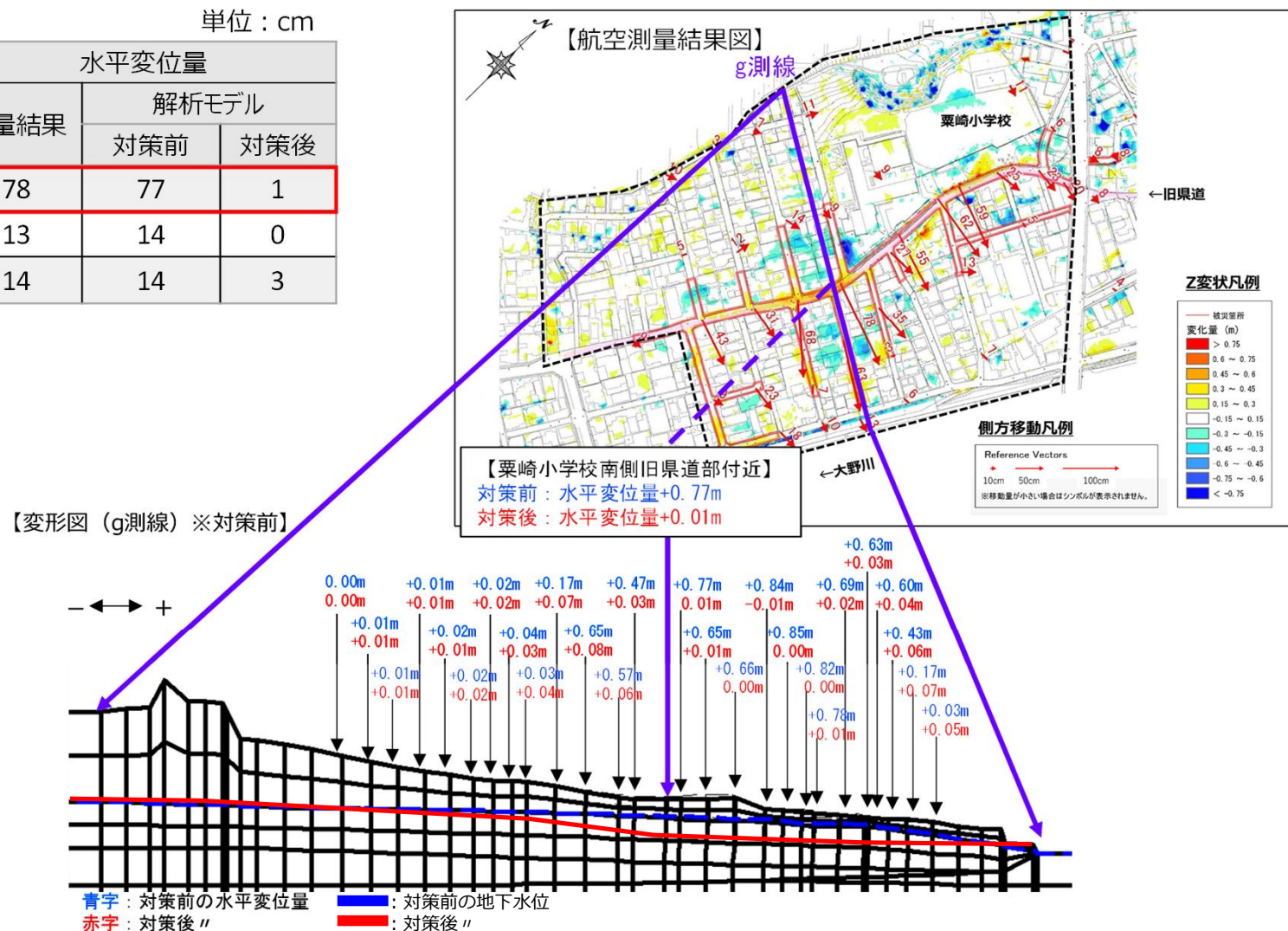
1.2 ALIDによる変形照査（側方流動低減の検討）

ALID解析結果【g測線】

- 解析は、最も水平変位量が大きかった栗崎小学校南側旧県道部付近における、航空測量の最大水平変位量（78cm）と解析モデルの水平変位量（77cm）が合致するモデルを策定し実施。
- 地下水位低下後の栗崎小学校の近くでは水平変位量は**1cm**と小さい。また大野川の近くや旧県道部から砂丘上部付近においても、水平変位量**1cm～7cm**を示し、全体的にみて、地下水位低下の効果により水平変位が抑制されている。

単位：cm

側線No.	水平変位量		
	測量結果	解析モデル	
		対策前	対策後
g側線	78	77	1
e側線	13	14	0
c側線	14	14	3



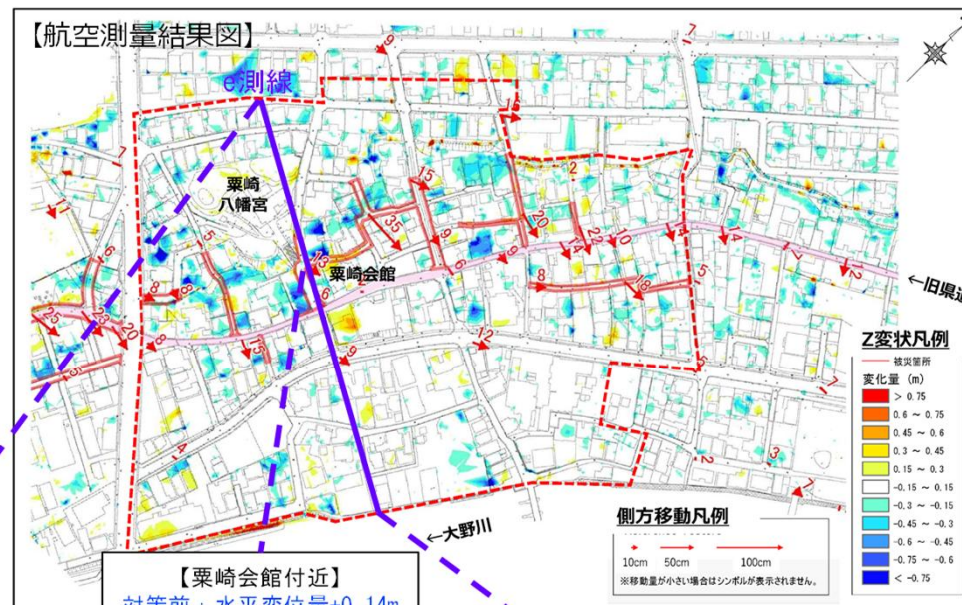
1.2 ALIDによる変形照査（側方流動の抑制）

ALID解析結果【e測線】

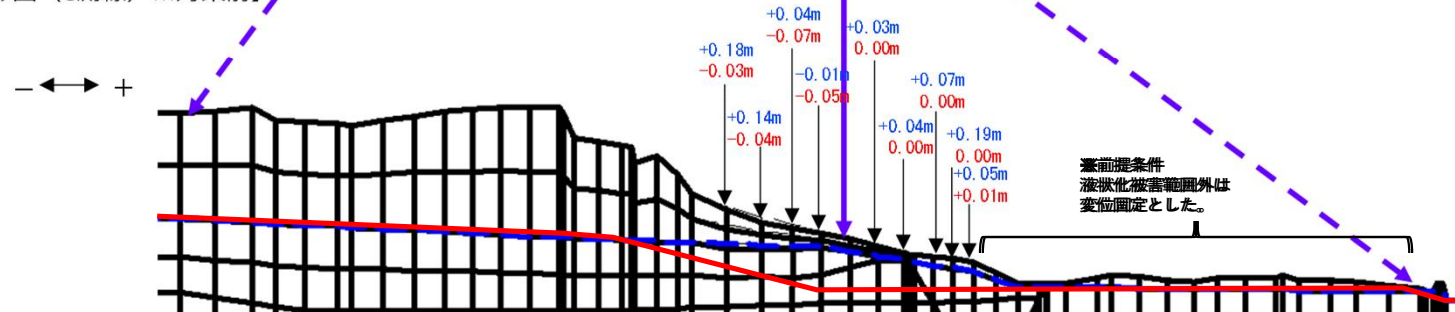
- 解析は、水平変位量が大きかった栗崎会館付近における航空測量の水平変位量（13cm）と旧県道付近における航空測量の水平変位量（6cm）に概ね合致するモデルを作成し実施。
※栗崎会館付近の解析モデルの水平変位量（14cm）、旧県道付近の解析モデルの水平変位量（3cm）である。
- 地下水位低下後の栗崎会館の近くでは水平変位量はほぼ**0cm**を示す。また旧県道部付近や砂丘上部付近においても、水平変位量**0cm～7cm**を示し、全体的にみて、地下水位低下の効果により水平変位が抑制されている。

単位：cm

側線No.	測量結果	水平変位量	
		対策前	対策後
g側線	78	77	1
e側線	13	14	0
c側線	14	14	3



【変形図（e測線）※対策前】



青字：対策前の水平変位量 赤字：対策後
 青線：対策前の地下水位 赤線：対策後

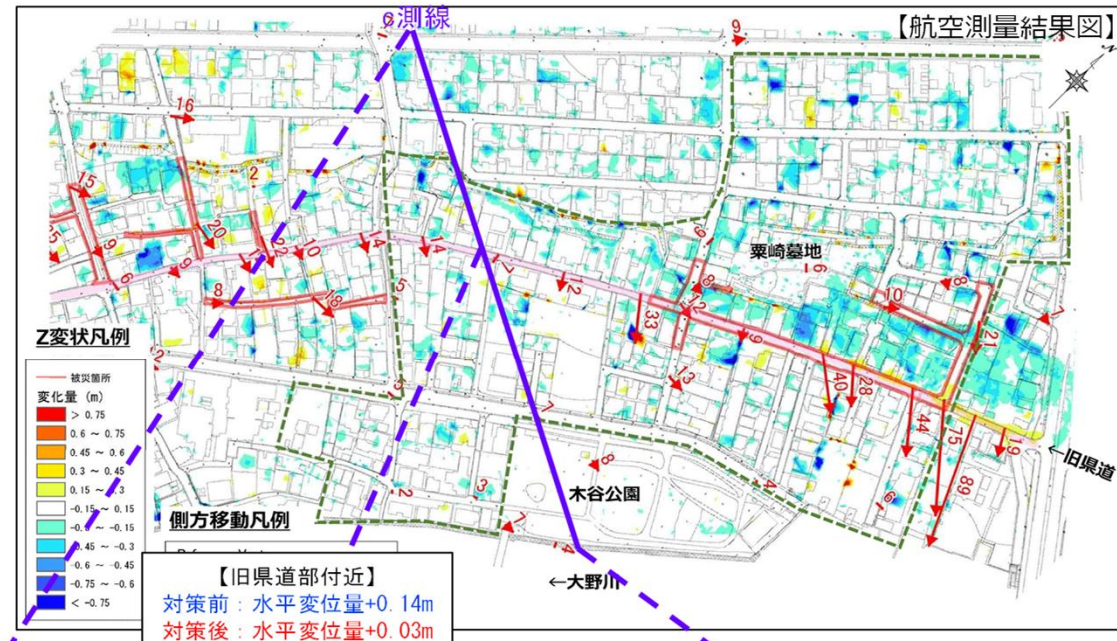
1.2 ALIDによる変形照査（側方流動の抑制）

ALID解析結果【c測線】

- 解析は、旧県道付近における航空測量の水平変位量（14cm）に概ね合致するモデルを作成し実施。
※旧県道付近の解析モデルの水平変位量（14cm）である。
- 地下水位低下後の旧県道の近くでは水平変位量は**3cm**と小さい。また旧県道部付近や砂丘上部付近においても水平変位量**0cm～5cm**を示し、全体的にみて、地下水位低下の効果により水平変位が抑制されている。

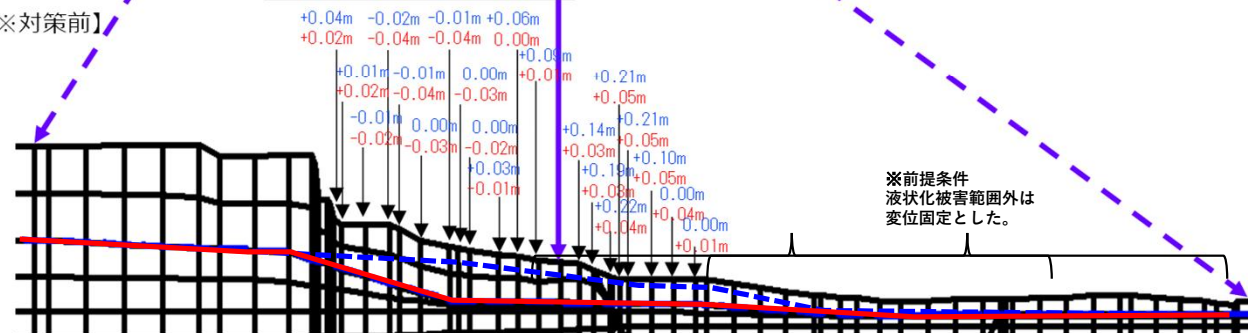
単位：cm

側線No.	測量結果	水平変位量	
		対策前	対策後
g側線	78	77	1
e側線	13	14	0
c側線	14	14	3



【変形図（c測線）※対策前】

- ↔ +



青字：対策前の水平変位量 青線：対策前の地下水位
赤字：対策後 赤線：対策後

1.3 地盤沈下量の解析

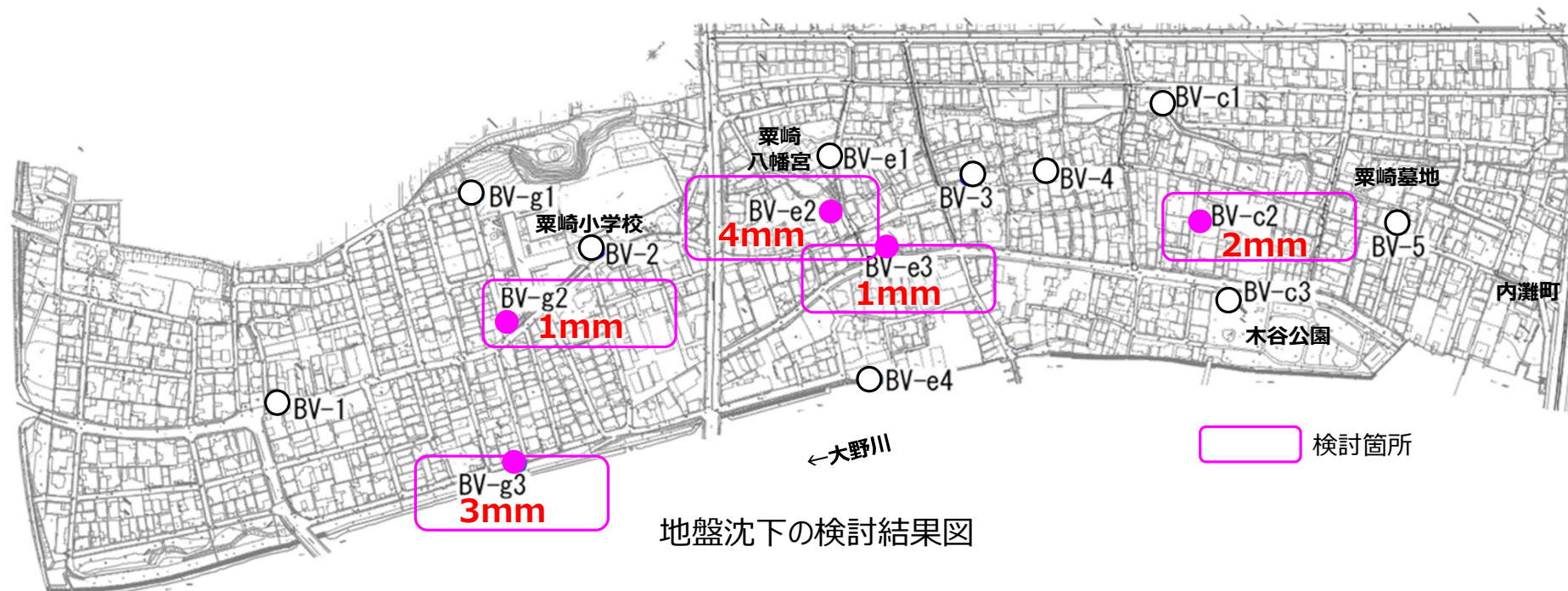
粘性土層の圧密沈下検討

【検討結果】 ※解析結果を基に評価

- 各地点の最終沈下量 S_f は右表に示すとおりであり、
 沈下量は1mm～4mmと極めて小さく、
 地下水位低下工法による周辺地盤への影響は少ない

地盤沈下検討結果一覧表

検討地点	最終沈下量 S_f (mm)	地下水位 低下量(m)
BV-c2	2	0.9
BV-e2	4	2.2
BV-e3	1	1.4
BV-g2	1	1.7
BV-g3	3	1.4



【液状化対策の住民アンケート結果】

12月14日の地元説明会において、地下水位低下工法による液状化対策について、地盤沈下や井戸枯れのリスクを含めて住民説明を行い、意向確認アンケートを実施

[いただいた主な意見]

- ・ 地下水位低下工法による液状化対策を行ってほしい
- ・ 早く対策工事を進めてもらいたい
- ・ 設計完了した際に、具体的な詳細説明をお願いしたい
- ・ 井戸が枯れると困るので対応して欲しい
- ・ 地盤沈下しないか心配

※反対意見は無し

【栗崎地区町会連合会から市長への要望】

液状化対策として地下水位低下工法による工事に同意するので、道路やライフラインの復旧も含め早急に実施していただきたい。



地下水位低下工法による液状化対策の地元合意が得られた

【地下水位低下工法の課題検討結果】

- ① 集水管の適切な配置により、地下水位を計画水位以下に低下させることができ、対策効果が十分期待できる
- ② 既存水路の流下能力内で、集めた地下水量を安全に大野川へ自然流下できる
- ③ 地下水位を低下させることで、側方流動を抑制できる
- ④ 地下水位の低下に伴う地盤沈下量が極めて小さく、周辺へ及ぼす影響が少ない

【住民合意】

地下水位低下工法による液状化対策の地元合意が得られた



地下水位低下工法が技術的に妥当

