

京都スタジアム(仮称)に係る地下水保全のための調査・解析状況
及び地下水保全対策(案)について

第 3 3 回 専 門 家 会 議 資 料

平成 2 9 年 2 月 2 日

京 都 府

京都スタジアム(仮称)に係る地下水保全のための調査・解析状況及び地下水保全対策(案)について

1. はじめに (1/25 報告における指摘事項への対応)

前回(1/25)の環境保全専門家会議の地下水解析結果の報告において、委員から下記のような指摘を頂いたことから、前回の報告内容を補足するため、地下水解析手法・モデルの説明に加え、水文条件を変更して行った追加の解析結果や新たな分析結果について報告する。本報告事項の要点を以下に記す。

- 1) 指摘事項1：地下水解析モデルのメッシュが20mでは、曾我谷川などの表現が粗いのではないかと
⇒メッシュ作成手順と河川境界の取り方についての補足説明
- 2) 指摘事項2：透水係数が一律というのはいかがか？調査データに基づく実測値を入れるべきではないかと
⇒現地調査との整合性と解析結果の妥当性評価について補足説明
- 3) 指摘事項3：降雨・地下水・河川の条件が11月のみでは不足ではないかと
- 4) 指摘事項4：地下水位の再現性について精度が低いのではないかと
⇒(上記項目3、4共通)地下水位観測期間のうち「渇水期」、「豊水期」について、それぞれ、代表的な1箇月間の平均値による定常解析を実施し、その結果と前回結果を比較し、精度等を確認
- 5) 指摘事項5：環境評価区間の全体的な総量比較だけでなく、メッシュ毎の流出量の比較もみるべきかと
⇒環境評価区間内の約20m毎の区間別地下水湧出量等の状況、河川改修後の地下水流出実態調査(定性的な実態調査)との比較

2. 地下水解析方法 (プログラム名: Dtransu-3D・EL)

- 1) 地下水の流れの基本原則は、地下水流速 $v = \text{動水勾配 } i \times \text{透水係数 } k$ というダルシー則である。すなわち、地下水流速 v は、動水勾配(地下水流動方向の水面勾配)と透水係数に比例する。
- 2) 地下水解析を行う場合、対象領域において境界条件を設定し、その条件から地下水の方程式を解くことになる。例えば、図2.1に示すように地下水位と連動している河川部の水位は、比較的容易の把握できるので、ここを既知点として地下水の方程式を解くことが一般的である。
- 3) 地下水は、自由地下水水位面を有する不圧地下水と粘性土のような難透水層が帯水層を覆って地下水水位面をキャップしている被圧地下水の2つに区分される。今回の解析対象は、Ag層(第1帯水層)の自由地下水水位面を持つ不圧地下水である。
- 4) 不圧地下水は、地下水位以下は飽和しているが、地下水位上部が不飽和である。したがって、このような不飽和部分と飽和部分をつなぐ水理特性(不飽和浸透特性)を考慮する必要がある。
- 5) 今回用いた地下水解析プログラム Dtransu3D-EL は、上記のような不圧地下水、被圧地下水、飽和状態(地下水面以下)、不飽和状態(地下水位面以上)を考慮できるように定式化されており、また、地下水流動方向も水平方向の流れだけでなく、鉛直方向の流れも考慮できる3次元地下水流動の計算ができ

るようになっている。

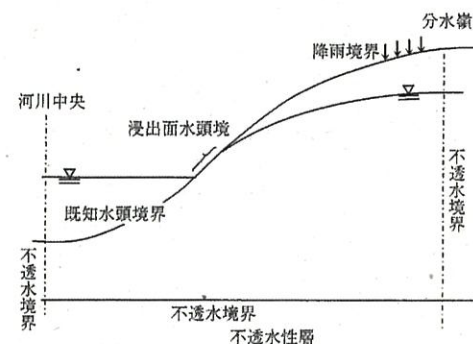


図2.1 帯水層と境界条件の概念図

参考までに、流動解析の基礎理論を掲載する。

【流動解析の基礎理論：飽和一不飽和浸透流解析】

1.1 ダルシーの法則

浸透流解析において最も基本的で重要なことは「ダルシーの法則」である。つまり、「砂の中(水が流れる帯水層)を通過する水の量、あるいは流速は水頭勾配(動水勾配)に比例する」ということである。この関係は次式で示される。

$$v = -k \cdot i \quad (1.1)$$

ここに、

v : 土中水の流速(見かけの流速, ダルシー流速とも言う)

i : 動水勾配

k : 透水係数

1.2 サクシオン

不飽和状態の圧力水頭は、負の圧力水頭として取り扱って良く、これをサクシオンと呼ぶ。つまり、自由水面が存在していた場合、水面よりも下へ向かうほど圧力水頭は正の方向に増加していく。逆に水面より上へ向かう場合は、圧力水頭が負の方向に増加すると考える。この負の圧力水頭のことをサクシオンと呼ぶ。一般にサクシオンは飽和度が低いほど高く、飽和度が高いほど低くなる。また、土粒子が小さい方ほどサクシオンが大きくなる。



図-1 サクシオン(負の圧力水頭)の概念

1.3 飽和・不飽和解析の構成方程式

浸透問題では、土の間隙を通る水の流れを支配する基礎方程式は、質量保存で表現される連続の式とダルシーの法則からなる運動方程式を結び付けることにより導き出される。

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = f \quad (1.2)$$

$$v_x = k_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad v_z = k_z \frac{\partial h}{\partial z} \quad (1.3)$$

ここでは、鉛直方向を z 軸とする。 f は領域内の間隙にある水の体積の変化量を表す。式(3.1.3)を式(3.1.2)に代入すると、浸透問題の基礎方程式が得られる。飽和した地盤の場合、右辺は間隙の変化と等しくなるので、

$$f = \frac{\partial n}{\partial t} = \frac{dn}{dh} \frac{\partial h}{\partial t} = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1.4)$$

ここで、 n は間隙率、 S_s は比貯留係数で、水頭変化による帯水層の間隙の変化率を表す係数である。いま、全水頭 (h) とサクション (ϕ) と位置水頭 (z) の関係、 $h = \phi + z$ を用いて未知数を ϕ のみに直して整理すると、飽和領域内の浸透流の支配方程式は以下ようになる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial \phi}{\partial z} + k \right) = S_s \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (1.5)$$

一方、不飽和地盤の場合、負の圧力水頭の変動によって間隙率の変化は生じないものと仮定すると f は以下ようになる。

$$f = \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{d\theta}{d\phi} \frac{\partial \phi}{\partial t} = C \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (1.6)$$

ここで、 θ は体積含水率、 C は比水分容量で、水分特性曲線の勾配の値で、不飽和領域内の浸透流の支配方程式は以下ようになる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial z} + k(\theta) \right) = C \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (1.7)$$

ただし、透水係数は含水率によって変化するため $k(\theta)$ としている。圧力水頭が 0 の点を連ねた面が自由水面と仮定し、それを境界として飽和領域と不飽和領域に分かれるとする。この手法を用いて上記の飽和の式と不飽和の式とをまとめて 1 つの式にしてみると以下ようになる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial z} + k(\theta) \right) = (C(\phi) + \alpha S_s) \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (1.8)$$

α 0 : 不飽和領域
1 : 飽和領域

式(1.8)により不飽和領域と飽和領域の混在する地盤を同時に解析することが出来る。また、不圧地下水問題を解く場合は、不飽和状態の材料特性として、体積含水率と透水係数の関係 (k r- θ) と水分特性曲線 (ϕ - θ) が必要となる。一方、被圧地下水問題を解く場合は飽和領域のみを扱うことになるので、これらの曲線は必要なくなる。

3. 地下水解析モデル

帯水層の三次元構造のモデル化については、前回報告のとおりであるが、境界条件となる河川部のモデル化についての補足説明を以下に記す。

- 1) 前項2に記したとおり、水位が既知点である河川境界の位置が不圧地下水の地面形状を決定する重要な条件になるため、図3.1に示すように河川滞筋を河川都市計画図より取得して平面図に展開した。
- 2) 桂川本川は、河川横断測量成果（図3.1の40m毎のピンク線の断面軸）に基づいて、河川横断形状をモデルに反映した。

以上のように河川滞筋位置を正確に抑えて、境界条件として河川水位を与えるため、河川縦断方向20m幅程度の解析メッシュ（図3.2）であっても、河川境界条件の設定精度は十分に確保できていると考えている。

なお、深度方向については、図3.3に示すように、Ag層を約3mで分割しており、Ag層内の自由地下水位面を算定するのに必要な精度は確保できていると考えている。

【解析領域図】

図3.1 平面メッシュ作成上の基線
(河川滞筋は河川都市計画図より取得してモデル平面上に反映)

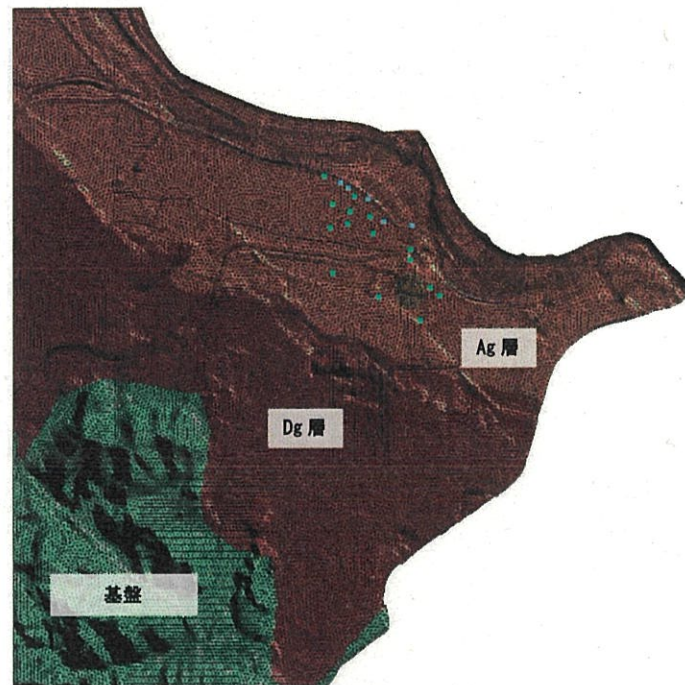


図3.2 地下水解析モデルの有限要素分割図（メッシュ図）
注) 図中の■マークは、水色が水源井、緑色が地下水位観測地点を示す。

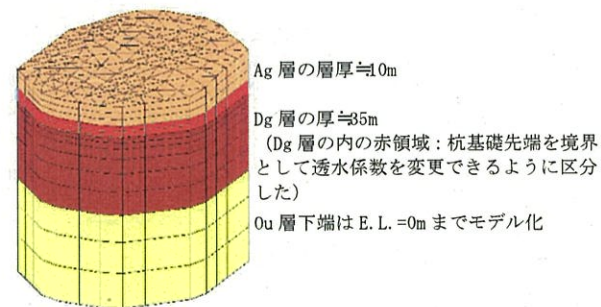
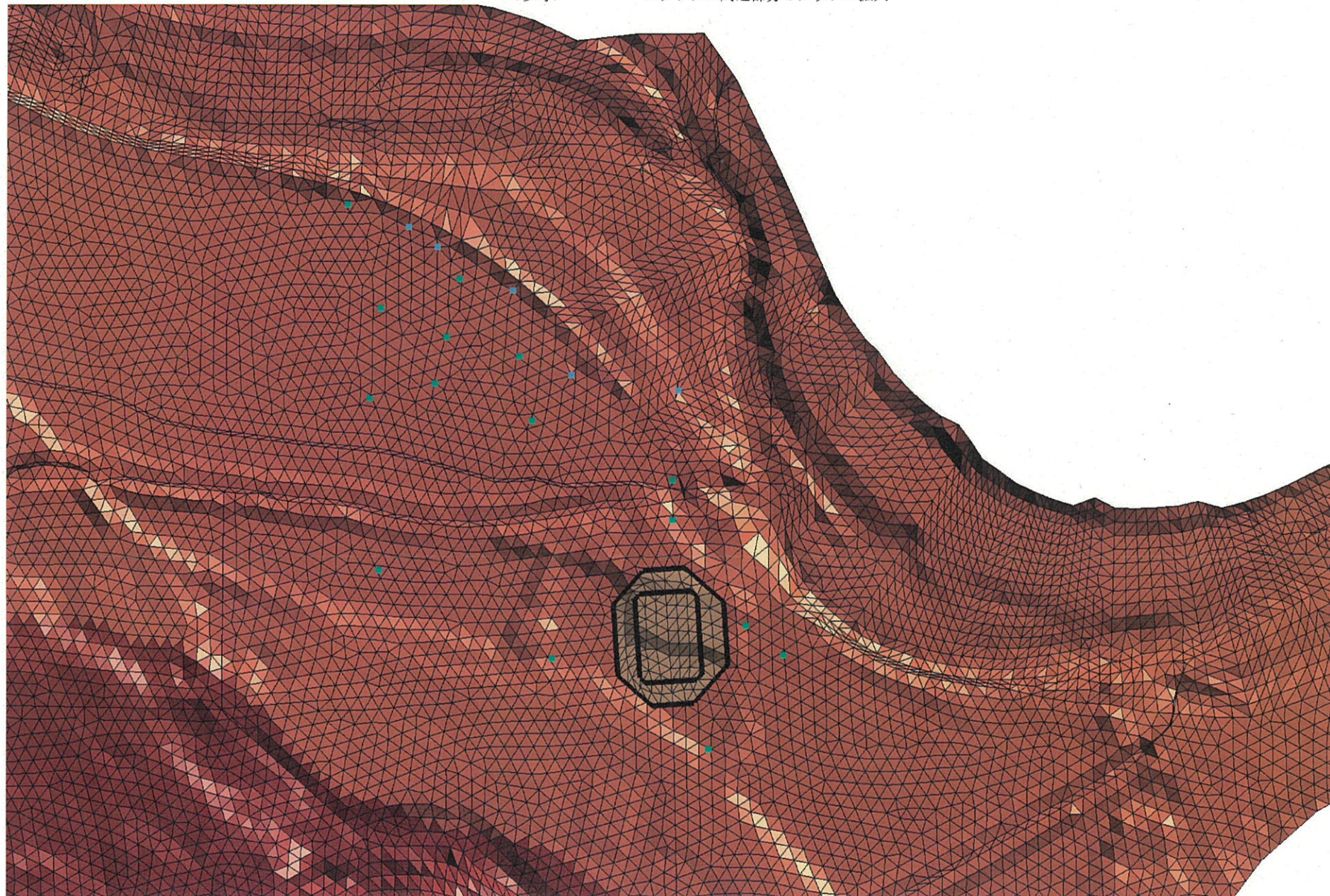


図3.3 スタジアム下部の帯水層区分

<参考>

スタジアム周辺部分のメッシュ拡大



4. 解析条件

4.1 水文条件（降雨、水位の解析期間）

地下水観測位置（図 4.1.1）の観測期間（表 4.1.1）における水位変動図を図 4.1.2 および図 4.1.3 に示す。図 4.1.3 からわかるとおり、市 No. 4 地点の地下水水位は、6-9 月間が特異的な水位上昇を示しているが、これは、曾我谷川河口部に設置してあるファブリダムの夏場の湛水の影響が考えられる。

また、これらの観測値に対しての月別平均値等を整理した結果を表 4.1.2 及び図 4.1.4 に示す。

これらから、各観測データを揃っている期間の渇水期、豊水期の代表期間として以下の2つを選定し、定常解析を行うこととした。

渇水期の代表期間：2014 年 11 月

豊水期の代表期間：2015 年 7 月

なお、豊水期の条件では、曾我谷川下流部のファブリダム（図 4.1.5）が立ち上がることによる 6-9 月期の堰上げ水位（1.75m の水位上昇）を考慮して、曾我谷川の河川水位を設定した。また、曾我谷川河口部の河川横断面（観測地点の市 No. 3、No. 4 付近）を図 4.1.6 に示す。

以上の水文条件をまとめて、表 4.1.3 に示す。

表 4.1.1 地下水観測期間一覧

地下水観測地点名	データ整理開始日	データ整理終了日	備考
府No.1	2013/6/22	2015/10/13	観測データは1hrピッチで取得しているが、本資料の整理では日平均水位を対象としている(都市No.1~4も同様)
府No.2	2013/6/22	2016/03/31	
府No.3	2013/6/22	2015/10/13	
府No.4	2013/6/22	2016/03/31	
府No.5	2013/6/22	2015/10/13	
府No.6	2013/6/22	2015/10/13	
市No.1	2013/6/22	2015/10/13	
市No.2	2013/6/22	2015/10/13	
市No.3	2013/6/22	2015/10/13	
市No.4	2013/9/11	2015/10/13	
市No.5	2013/9/11	2015/10/13	
都市No.1	2014/8/2	↑ (2016/5/23) ↓	継続観測中 (カッコの期日はデータ整理範囲)
都市No.2(第2帯水層)	2014/8/7		
都市No.2'	2014/8/7		
都市No.3	2014/9/19		
都市No.4	2014/8/2		

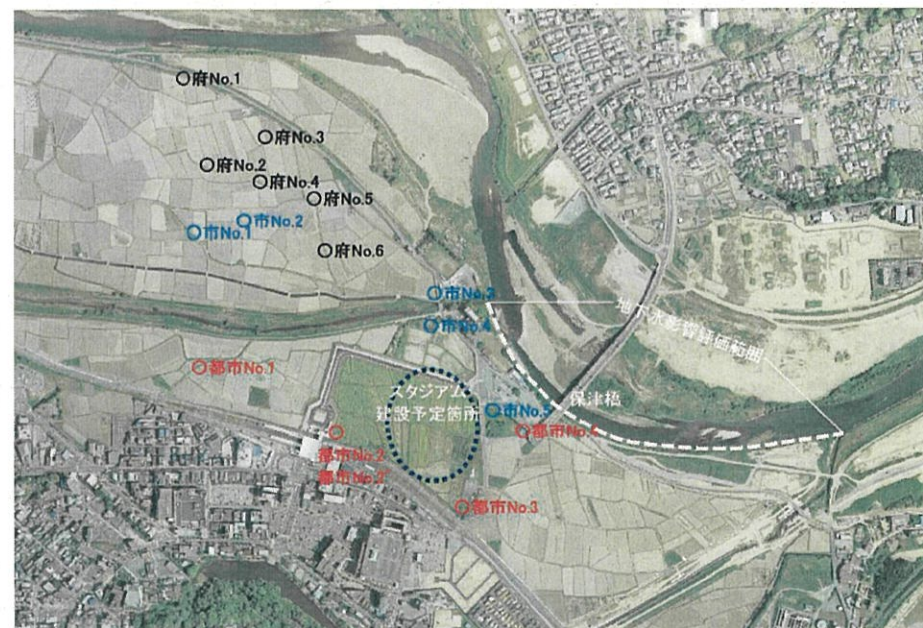


図 4.1.1 地下水観測位置図

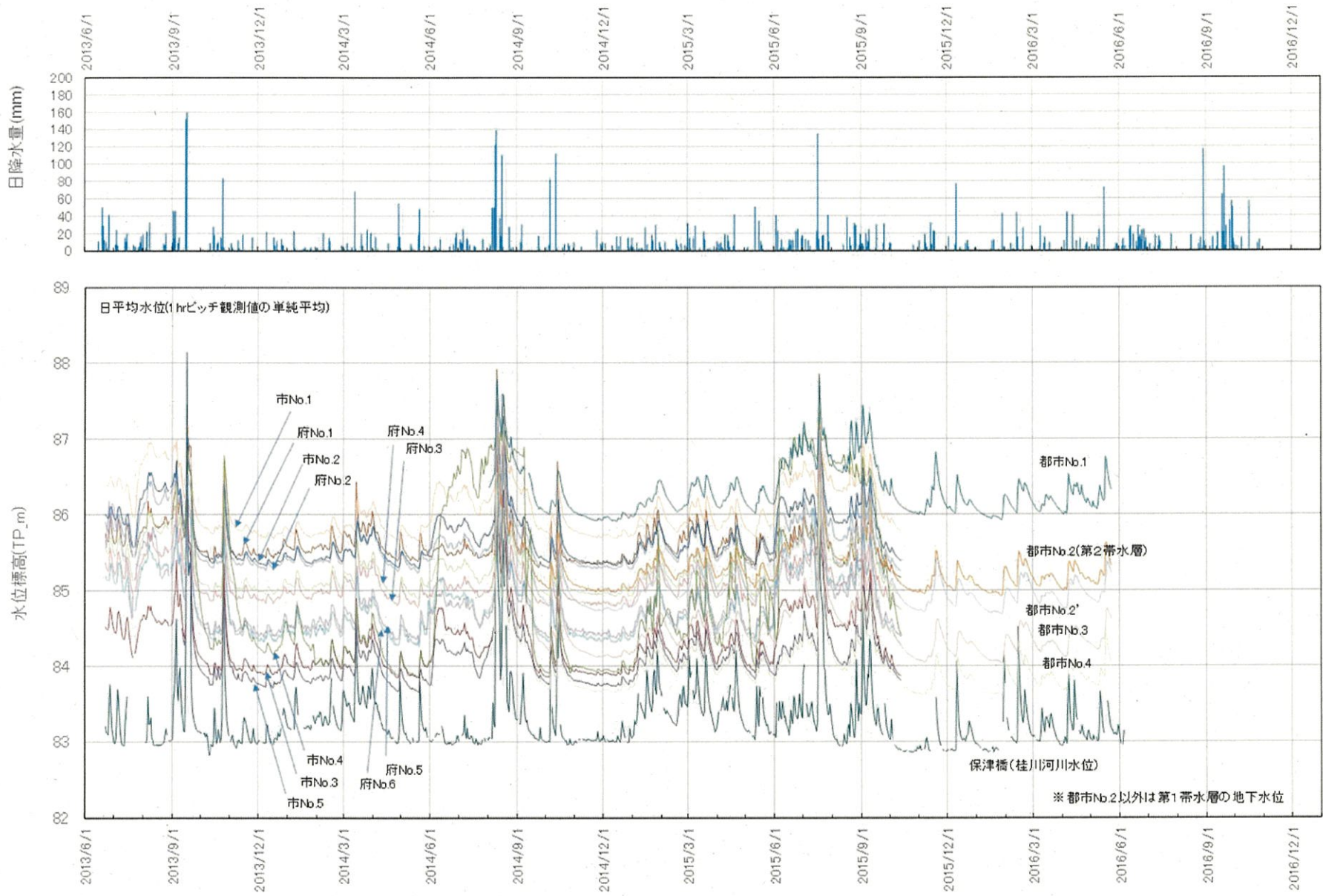


図 4.1.2 観測地点における地下水位変動図 (日平均水位)

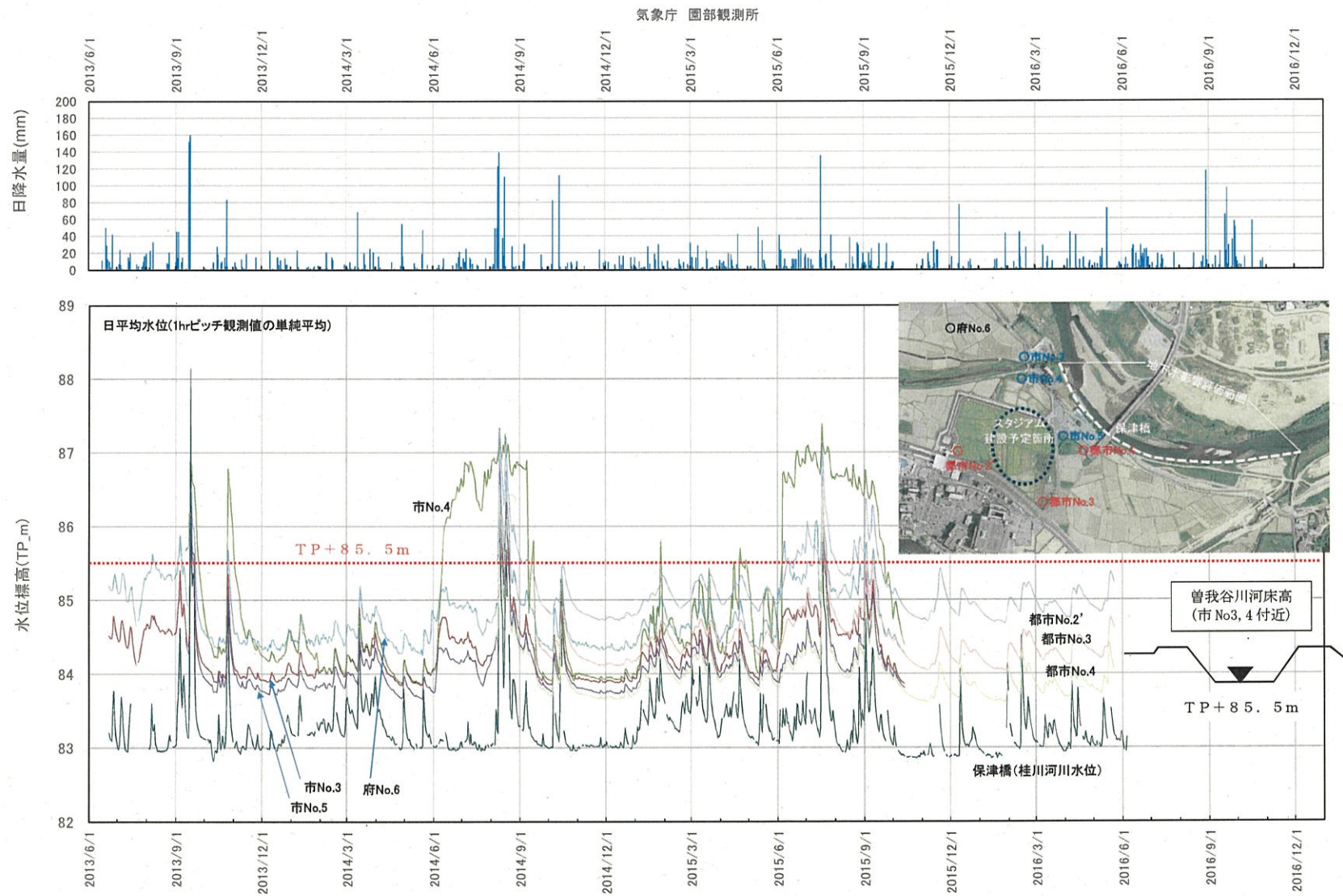


図 4.1.3 評価範囲近傍観測地点における地下水位変動図 (日平均水位)

表 4.1.2 観測地点における月平均水位・日降水量

	年		2013													
	月		6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月							
河川水位(保津橋)	平均		83.10	83.20	83.06	83.90	83.23	83.05	83.09							
	最高		83.75	83.69	83.60	86.12	84.96	83.32	83.44							
	最低		82.90	82.95	82.94	83.04	82.81	82.91	82.95							
	日降水量(mm/d)	平均	5.25	8.90	3.68	15.07	5.90	2.20	2.69							
観測地下水	府No.1	平均	85.76	85.68	85.91	86.06	85.60	85.51	85.51							
		府No.2	平均	85.88	85.79	86.24	86.06	85.49	85.38	85.33						
	府No.3	平均	85.37	85.25	85.55	85.61	85.06	84.94	84.91							
		府No.4	平均	85.57	85.46	85.84	85.77	85.18	85.07	85.01						
	府No.5	平均	85.92	85.44	85.40	85.29	84.66	84.52	84.47							
		府No.6	平均	85.21	85.06	85.37	85.29	84.60	84.46	84.40						
	市No.1	平均	86.42	86.35	86.81	86.48	85.93	85.82	85.74							
		市No.2	平均	86.02	85.93	86.38	86.14	85.56	85.45	85.38						
	市No.3	平均	84.58	84.45	84.63	84.77	84.14	84.00	83.96							
		市No.4	平均				85.82	84.80	84.69	84.27						
	市No.5	平均				84.58	84.01	83.87	83.79							
		都市No.1	平均													
	都市No.2'	平均														
	都市No.3	平均														
	都市No.4	平均														

	年		2014											
	月		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
河川水位(保津橋)	平均		83.25	83.33	83.61	83.23	83.13	83.04	83.04	84.02	83.19	83.25	83.02	83.04
	最高		83.71	83.84	84.64	83.80	83.82	83.21	83.34	86.41	83.88	85.22	83.14	83.26
	最低		83.13	83.15	83.26	82.98	82.97	82.96	82.96	83.02	82.99	82.96	82.98	82.98
	日降水量(mm/d)	平均	1.62	2.18	5.44	3.47	2.81	2.58	3.71	18.52	2.10	7.61	1.68	2.90
観測地下水	府No.1	平均	85.57	85.61	85.81	85.57	85.51	85.52	85.51	86.17	85.46	85.54	85.37	85.38
		府No.2	平均	85.39	85.43	85.63	85.44	85.37	85.61	85.57	86.21	85.55	85.51	85.31
	府No.3	平均	84.97	85.01	85.23	84.99	84.92	85.06	85.02	85.72	85.02	85.03	84.84	84.83
		府No.4	平均	85.08	85.11	85.31	85.10	85.03	85.31	85.24	85.90	85.21	85.16	84.96
	府No.5	平均	84.56	84.60	84.82	84.56	84.49	84.84	84.71	85.45	84.70	84.66	84.44	84.42
		府No.6	平均	84.48	84.51	84.72	84.49	84.43	84.96	84.77	85.48	84.71	84.60	84.37
	市No.1	平均	85.77	85.80	85.97	85.83	85.77	86.25	86.19	86.68	86.08	85.93	85.73	85.73
		市No.2	平均	85.43	85.46	85.63	85.48	85.42	85.84	85.76	86.32	85.69	85.57	85.37
	市No.3	平均	84.04	84.08	84.31	84.06	83.97	84.49	84.31	85.10	84.26	84.14	83.91	83.92
		市No.4	平均	84.38	84.09	84.34	84.14	83.98	85.73	86.61	86.92	85.16	84.22	83.96
	市No.5	平均	83.86	83.89	84.11	83.89	83.78	84.20	84.09	84.97	84.12	84.02	83.77	83.77
		都市No.1	平均							86.95	86.35	86.19	85.96	85.96
	都市No.2'	平均								86.24	85.24	85.04	84.78	84.77
	都市No.3	平均								84.35	84.44	84.17	84.15	
	都市No.4	平均								84.91	84.05	83.94	83.70	83.69

	年		2015											
	月		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
河川水位(保津橋)	平均		83.56	83.42	83.59	83.49	83.23	83.34	83.79	83.17	83.50	82.91	83.02	83.07
	最高		84.21	83.73	84.13	84.20	83.74	83.62	86.27	84.08	84.74	83.29	83.58	84.10
	最低		83.07	83.21	83.13	83.18	83.02	83.05	83.13	82.93	83.03	82.86	82.87	82.88
日降水量(mm/d)	平均	4.94	2.07	4.61	4.72	3.65	6.48	9.90	5.05	5.12	0.77	4.33	4.27	
観測地下水	府No.1	平均	85.71	85.62	85.74	85.66	85.47	85.70	85.97	85.46	85.64	85.23		
		府No.2	平均	85.60	85.52	85.67	85.57	85.43	85.90	86.12	85.79	85.82	85.33	
	府No.3	平均	85.14	85.05	85.19	85.09	84.94	85.33	85.60	85.19	85.30	84.82		
		府No.4	平均	85.26	85.18	85.32	85.23	85.08	85.60	85.83	85.48	85.51	84.99	
	府No.5	平均	84.77	84.69	84.82	84.73	84.55	85.22	85.46	85.07	85.05	84.48		
		府No.6	平均	84.70	84.63	84.77	84.67	84.51	85.35	85.53	85.16	85.00	84.39	
	市No.1	平均	85.96	85.88	86.04	85.96	85.86	86.44	86.61	86.40	86.33	85.86		
		市No.2	平均	85.63	85.55	85.71	85.62	85.50	86.08	86.25	85.99	85.96	85.47	
	市No.3	平均	84.29	84.21	84.36	84.27	84.09	84.73	85.00	84.60	84.57	83.97		
		市No.4	平均	84.60	84.53	84.81	84.97	84.67	86.37	86.93	86.63	85.97	84.70	
	市No.5	平均	84.13	84.08	84.24	84.15	83.98	84.21	84.66	84.18	84.41	83.91		
		都市No.1	平均	86.18	86.15	86.34	86.26	86.17	86.68	86.95	86.75	86.74	86.12	86.23
	都市No.2'	平均	85.03	85.02	85.20	85.11	84.99	85.44	85.89	85.50	85.62	84.89	84.96	84.94
	都市No.3	平均	84.43	84.41	84.58	84.50	84.40	84.67	85.13	84.70	84.60	84.24	84.25	84.28
	都市No.4	平均	84.03	83.99	84.15	84.07	83.91	84.12	84.55	84.10	84.32	83.75	83.79	83.82

	年		2016				
	月		1月	2月	3月	4月	5月
河川水位(保津橋)	平均		83.09	83.29	83.13	83.20	83.23
	最高		84.24	84.53	83.43	83.87	84.30
	最低		82.85	82.97	82.94	82.95	82.99
日降水量(mm/d)	平均	2.48	3.66	2.13	4.80	4.74	
観測地下水	府No.1	平均					
		府No.2	平均				
	府No.3	平均					
		府No.4	平均				
	府No.5	平均					
		府No.6	平均				
	市No.1	平均					
		市No.2	平均				
	市No.3	平均					
		市No.4	平均				
	市No.5	平均					
		都市No.1	平均	85.99	86.23	86.12	86.23
	都市No.2'	平均	84.75	85.05	84.91	84.99	85.02
	都市No.3	平均	84.11	84.41	84.26	84.34	84.40
	都市No.4	平均	83.68	83.97	83.81	83.88	83.94

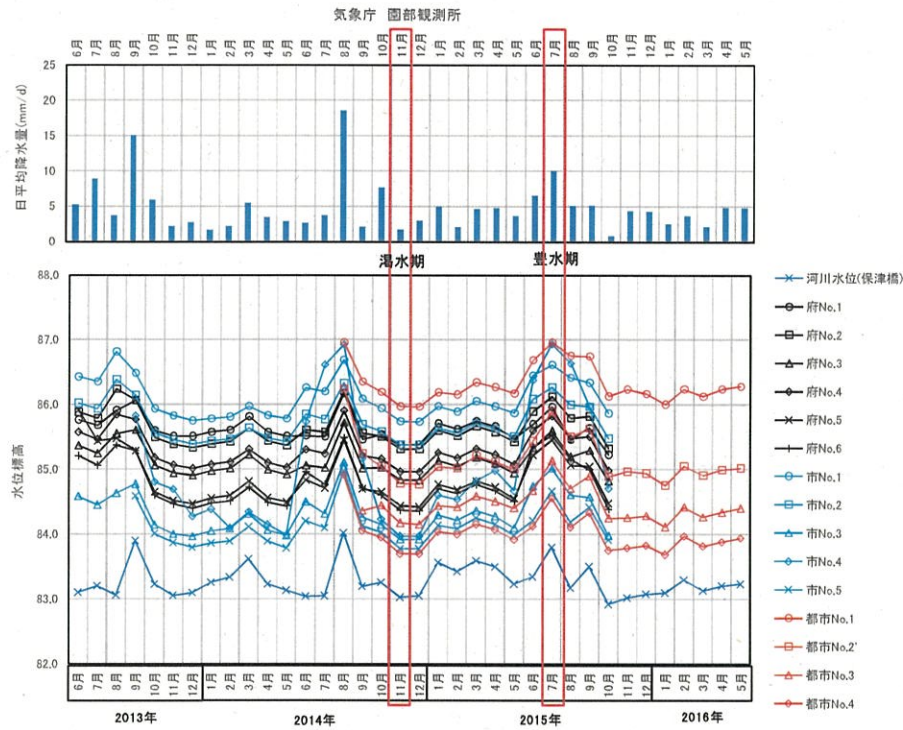


図 4.1.4 観測地点における地下水位変動図（月平均水位）



図 4.1.5 曾我谷川下流部のファブリダム

表 4.1.3 水文条件一覧表

解析ケース	河川水位	地表かん養量 (降水量 ^{注3} の条件)	解析値の比較対象となる観測 地下水位（現況再現時）
年平均 (1/25 報告)	2016 年 1 月の最低水位 ^{注1)}	過去 30 年(1986-2016 年)の年 平均降水量 1560mm/年 = 4.27mm/d の 30% かん養量=1.28mm/d	全観測期間(2013 年 6 月~2016 年 5 月)の平均値
渇水期	2014 年 11 月の平均水位	2014 年 11 月の平均日降水量 =1.68mm/d の 30% かん養量=0.50mm/d	2014 年 11 月の平均水位
豊水期	2015 年 7 月の平均水位 ^{注2)} (曾我谷川については、フ ァブリダムによる湛水区間 を考慮する)	2015 年 7 月の平均水位の平均 日降水量=9.90mm/d の 30% かん養量=2.97mm/d	2015 年 7 月の平均水位

注 1) 1/25 では「11 月期の水位」と報告したが、表中の値が正しいので訂正した。
 注 2) 支川は 2015 年 7 月のデータが取得できなかったため、2016 年 7 月で代用した。
 注 3) 降水量は、気象庁アメダス観測「園部」のデータを利用した。

4.2 帯水層の水理定数

帯水層の透水係数は、「亀岡盆地の地下水」(H19年3月 近畿農政局)の調査成果にある水理定数設定値(Ag層及びDg層では $10^0 \sim 10^{-1}$ (cm/sec)程度)を参考にするとともに、地下水流向・流速測定結果(2017年1月実施)をもとに推定した透水係数(図4.2.2、図4.2.3参照)を参考に、表4.2.1の値を設定した。土質と透水係数の一般値は、表4.2.2に示すとおりであり、透水係数は、わずかな土質の変化で1オーダー程度変化する性質がある。したがって、透水係数に比例する地下水湧出量を実測値と解析値で整合させることは、一般的に非常に難しいと言われているが、今回においては、後述の現況再現解析結果において、①地下水位の観測値と解析値で一定程度の整合性が見られたこと、②環境影響評価区間約600mの地下水湧出量が、既往河川流量調査(平成14~18年度の近畿農政局の調査成果、図4.2.1参照)結果にある地下水湧出箇所の調査値と近似しているとみられ、一定程度の妥当性があったのではないかと考えている。

表 4.2.1 帯水層の透水係数

帯水層区分	透水係数(cm/s)
Ag	1.0×10^{-0}
Dg	1.0×10^{-1}
Ou	1.0×10^{-2}

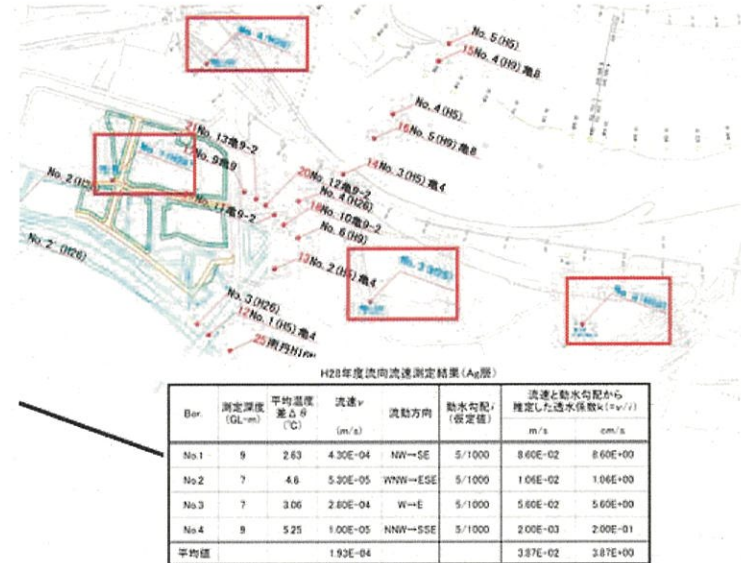


図 4.2.2 2017年1月実施の流向流速測定結果とAg層の透水係数

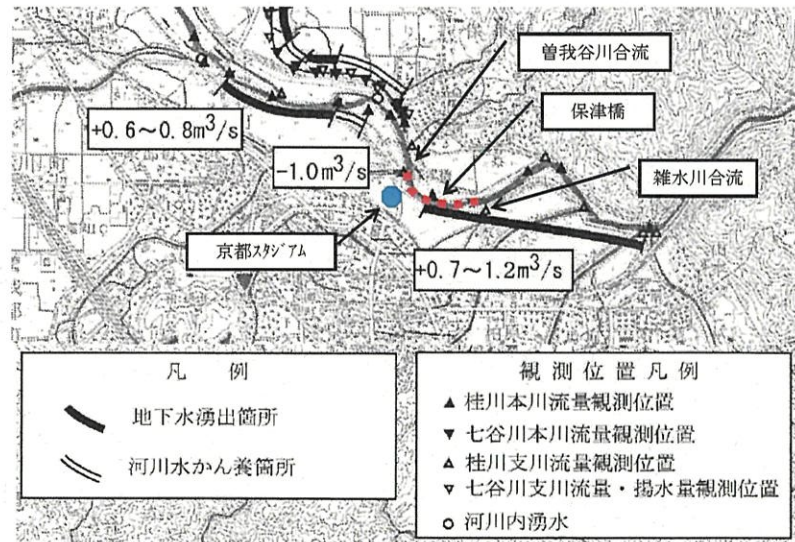


図 4.2.1 河川流量観測による地下水湧出箇所と河川かん養箇所(桂川)

出典：近畿農政局、農業用地下水調査保全調査 亀岡盆地地区(平成14年度~18年度) 報告書、「亀岡盆地の地下水 平成19年3月」、p.92より抜粋

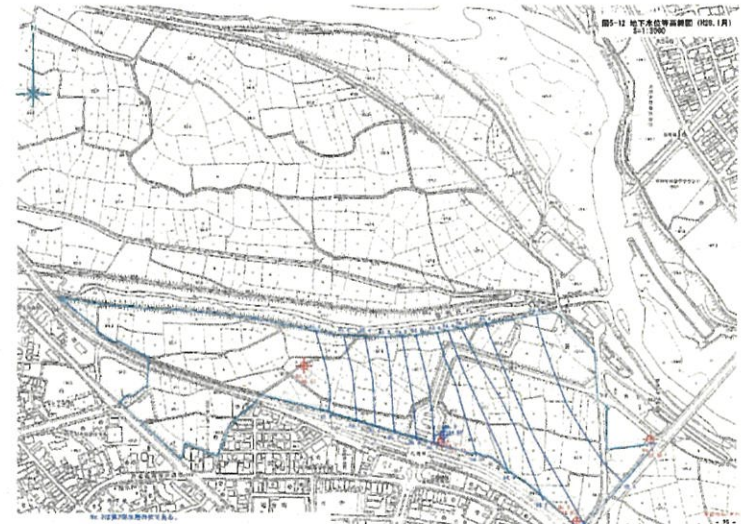


図 4.2.3 平成28年1月21日のAg層の地下水位等高線
⇒ 動水勾配は $i = (85.8\text{m} - 83.8\text{m}) / 380\text{m} \approx 5/1000$

表 4.2.2 土質と透水係数の関係

		透水係数(cm/sec)											
		10 ⁻⁹	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁰	10 ¹	10 ²
透水性		非常に低い			低い			中位			高い		
対応する土の種類	粘性土 (C)	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)			清浄な礫 (GW) (GP)					
透水係数を直接測定する方法	特殊な変水位透水性試験	定水位透水性試験					特殊な変水位透水性試験						
透水係数を間接的に推定する方法	圧密試験結果から計算	なし			清浄な砂と礫は粒度と間隙比から計算								

出典：根切り工事と地下水調査・設計から施工まで、土質工学会（現地盤工学会）、p.71

4.3 土地利用状態の変化を考慮した地下水解析

地下水解析は、前回と同様に次の3ステップを行った。

ステップ1：現況（駅北開発・スタジアム建設前）

現況の水文条件としては、対象領域が農地や裸地が多いことを考慮して、全域に降雨による地表からの一定のかん養量があるとして計算した。観測地下水位と解析地下水位の整合性や河川への地下水湧出量の整合を確認した。

ステップ2：駅北開発時

ステップ1に対して駅北開発範囲（図4.2.1）の地表かん養をゼロに変更して計算した。

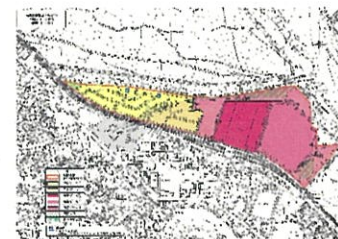


図 4.3.1 駅北開発範囲（着色部）

ステップ3：スタジアム建設時

ステップ2に対して、スタジアム基礎（図4.3.2）の地下水流動阻害条件の条件を追加して計算した。スタジアム基礎の流動阻害条件は、基礎下部の等価透水係数を設定した。基礎下部の等価透水係数は、杭基礎部を不透水構造物として、下記の面積比率を元の透水係数にかけ合わせた。これより得られたスタジアム直下地盤の等価透水係数は、表4.3.1に示すとおりである。今回は、より基礎の流動阻害の影響が大きいと考えられるケース2の条件で行った。

$$\text{等価透水係数を求める面積比率} = (\text{施設面積} - \text{杭面積(またはフーチング面積)}) / (\text{施設面積})$$

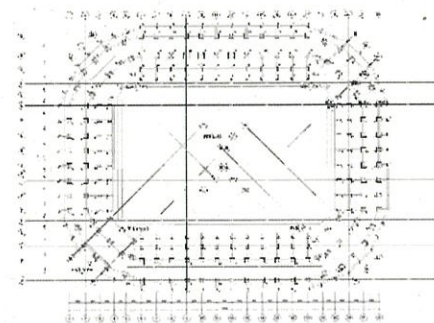
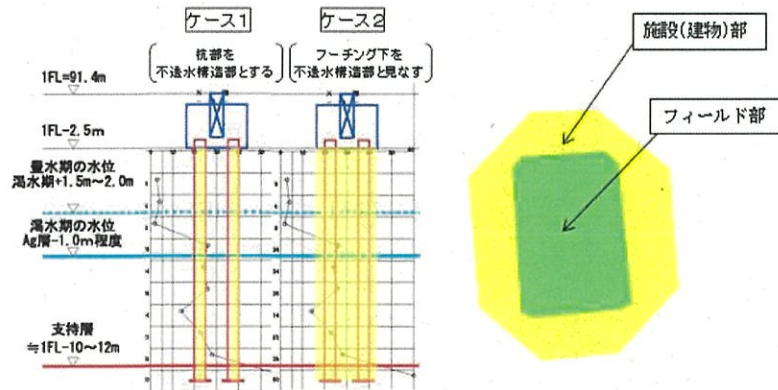


図 4.2.2 スタジアム基礎の杭伏図

表 4.3.1 基礎杭を考慮した等価透水係数のモデル化

	平面積 (m ²)	備考
①スタジアム全体	25,031	
②フィールド部	11,570	
③施設面積	13,461	③=①-②
④杭	146	φ508mm×720本
⑤フーチング	1,331	F1 (1.5625m ²)@92 F2 (3.4375m ²)@68 F4 (7.5625m ²)@108 F5 (11.4244m ²)@12
面積比率 (ケース 1)	98.9%	(施設面積-杭) / 施設面積
面積比率 (ケース 2)	90.1%	(施設面積-フーチング) / 施設面積

	現況の透水係数 (cm/s)	施設下部の杭基礎範囲の透水係数 (cm/s)	
		ケース 1	ケース 2
Ag	1.0×10^0	9.89×10^{-1}	9.01×10^{-1}
Dg	1.0×10^{-1}	9.89×10^{-2}	9.01×10^{-2}



5. 解析結果

地下水位の実測を行っている観測孔の位置を図 5.1.1 に示す。

1/25 に報告した定常条件の解析結果に加え、別 (渇水期・豊水期) の定常条件による解析を行い、その結果について、以下のとおり考察した。

5.1 現況再現の解析結果 (ステップ 1)

観測水位と解析水位の相関図 (図 5.1.2) において、1:1 ラインに概ね分布するが、年平均ケースは、やや精度が悪く、渇水期、豊水期のケースの方が、1:1 ライン上に分布する地点が多い。これは、年平均ケースが、降雨と観測地下水位の条件が年平均値であるのに対して、河川水位を渇水期 (1 月) で設定したことによる不整合があったためと考えられる。それに対して、渇水期、豊水期のケースでは降雨、観測地下水位、河川水位の条件が比較に適したデータとなり、現況における再現性は向上したのではないかと考えている。

また、地下水位標高コンターを図 5.1.3 に、Ag 層における地下水の流速や流れ方向を現した流速ベクトルを図 5.1.4 (及びその拡大図) に示す。渇水期に比較して、豊水期は、曾我谷川周辺の地下水の流向・流速に大きな違いが見られる。これは、豊水期の曾我谷川はファブリダムが起立しており、河川水位の堰上げによる影響と見られ、曾我谷川から南北に地下水の流向が顕著になっているのが分かる。

5.2 駅北開発時の解析結果

駅北開発時 (ステップ 2) の解析結果は、現況 (ステップ 1) 解析結果と同様の傾向を示している。その結果について、地下水位標高コンターを図 5.2.1 に、Ag 層における地下水の流速や流れ方向を現した流速ベクトルを図 5.2.2 (及びその拡大図) に示した。これらの図から、現況解析結果 (ステップ 1) と比較してほぼ同様の傾向を示している。

5.3 スタジアム建設の解析結果

スタジアム建設時 (ステップ 3 【ケース 2】) の解析結果について、地下水位標高コンターを図 5.3.1 に、Ag 層における地下水の流速や流れ方向を現した流速ベクトルを図 5.3.2 (及びその拡大図) に示した。これらの図からは、現況解析結果 (ステップ 1) 及び駅北開発時 (ステップ 2) と比較してほぼ同様な傾向を示している。

スタジアム建設前・後の地下水位差について、スタジアム周辺部に着目して整理した結果を表 5.3.1 に示す。スタジアム建設前・後の地下水の差分水位は、どのケースにおいても 1.5cm 以下と小さくなっている。

各定常条件 (年平均、渇水期、豊水期) における、スタジアム建設前・後の地下水の差分水位コンターを、図 5.3.3 に示す。条件毎に差分水位の分布範囲に多少の違いは見られるが、差分水位の絶対値は 1.5cm 以下となっており、いずれの場合でも桂川環境影響評価区間近傍 (桂川右岸沿い) では mm オーダーの値となっている。さらに、ダムダウンが最も大きな値で生じる③の位置の桂川への地下水水面形の変化を断面図で表したものを図 5.3.3-(2) (3) に示す。ダムダウンの差分水位 (1.5cm 以下) は、この区間の地下水の水頭差 (約 1.2m) に比して 1% 程度であり、流速等に大きな変化を与える水位差ではないと考えられる。

桂川環境影響評価区間約 600m を対象として地下水流出量を整理した結果を表 5.3.2、図 5.3.4、図 5.3.5、表 5.3.3 に示す。桂川環境影響評価区間約 600m 全体の地下水流出量は、渇水期で $0.72\text{m}^3/\text{s}$ であり、この値は、現況、駅北開発時点、スタジアム建設時【ケース 2】の 3 ステップで同じである。豊水期では、その絶対量は、渇水期に比較してやや小さくなるが、渇水期と同様、スタジアム建設時ともなう変化が見られない。図 5.3.4 は河川縦断方向に約 20m 毎の区間地下水湧出量を示したもので、渇水期に比較して、豊水期は、場所による違いが大きくなっている。これは、図 5.3.5 に示すように河川水位と直近の地下水位の差（動水勾配）が渇水期に比較して豊水期の方が場所による違いが大きくなることから、全体として地下水湧出量が減少する区間が多いことが想定される。

なお、桂川環境影響評価区間約 600m を対象として地下水流出量を区間別に集計した結果は、表 5.3.3 に示すであり、スタジアム建設前・後での区間毎の地下水流出量の差は、1%に満たない値となっている。

環境影響評価区間の一部で実施した桂川右岸（護岸部）における H26 湧水量調査の成果を整理し、その結果を今回の解析結果を対比させたものを図 5.3.6（川幅 1m あたりの区間地下水流出量との比較図）、図 5.3.7（桂川右岸部の区間地下水流出量との比較図）に示す。その結果として整合性があるよう見受けられる。

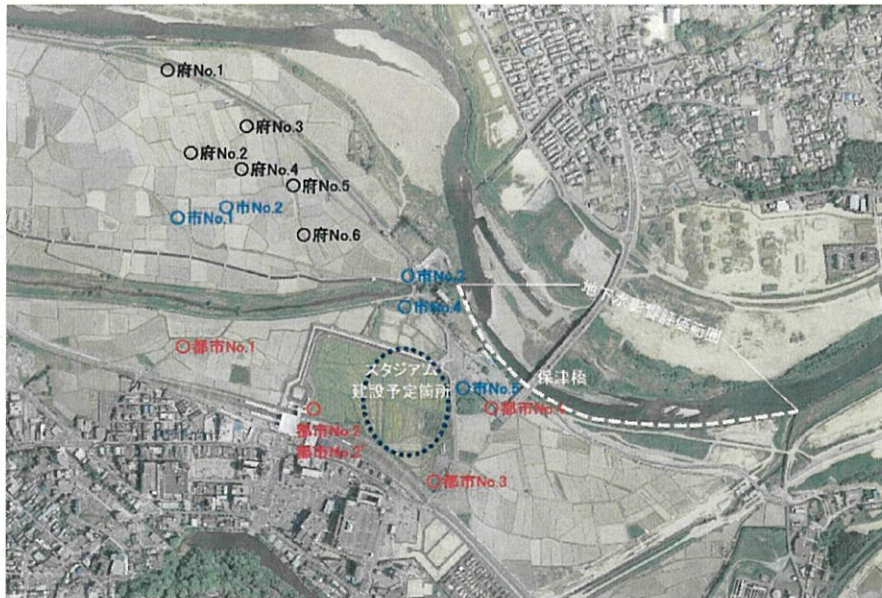
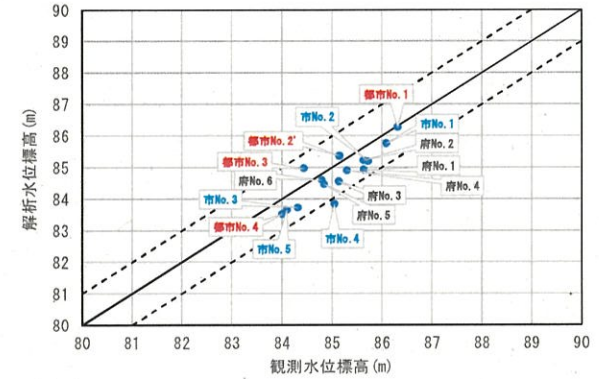
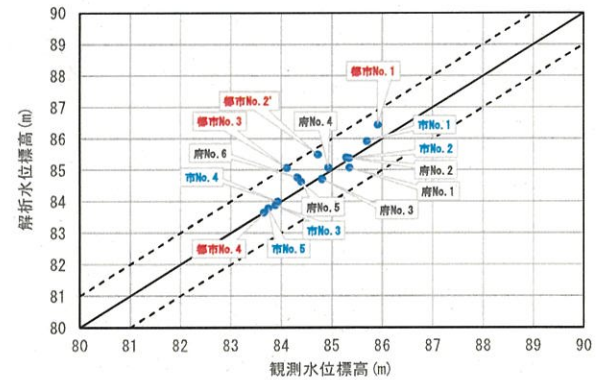


図 5.1.1 地下水水位観測位置図（再掲載）

年平均
(1/25 報告)



渇水期
(2014 年 11 月 平均)



豊水期
(2015 年 7 月 平均)

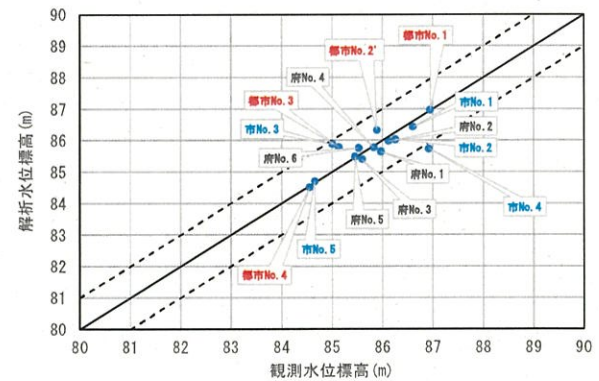


図 5.1.2 現況の地下水水位再現計算結果（ステップ 1 の観測水位 vs 解析水位の相関図）

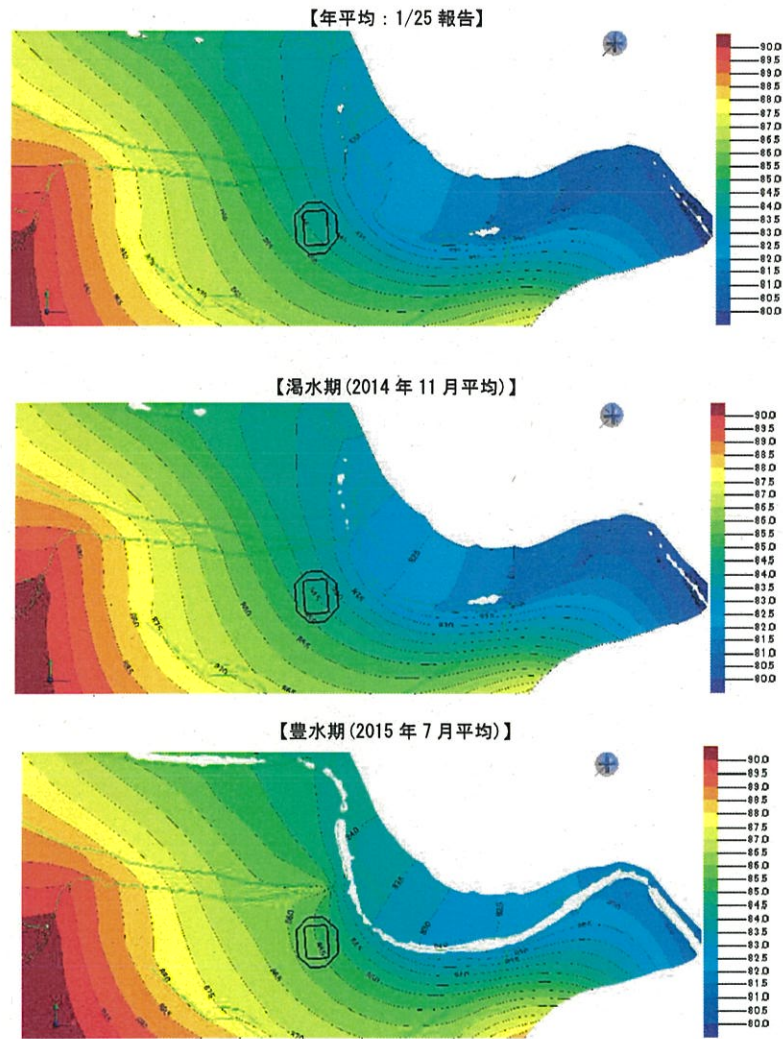


図 5.1.3 現況の地下水位再現計算結果 (ステップ1の地下水位標高コンター)

注) 地下水位標高は、自由水面(圧力水頭ゼロ)を対象としており、特に桂川本川の河川水位が高いところは、自由水面がないため、その部分で地下水標高は白く色抜けしている。

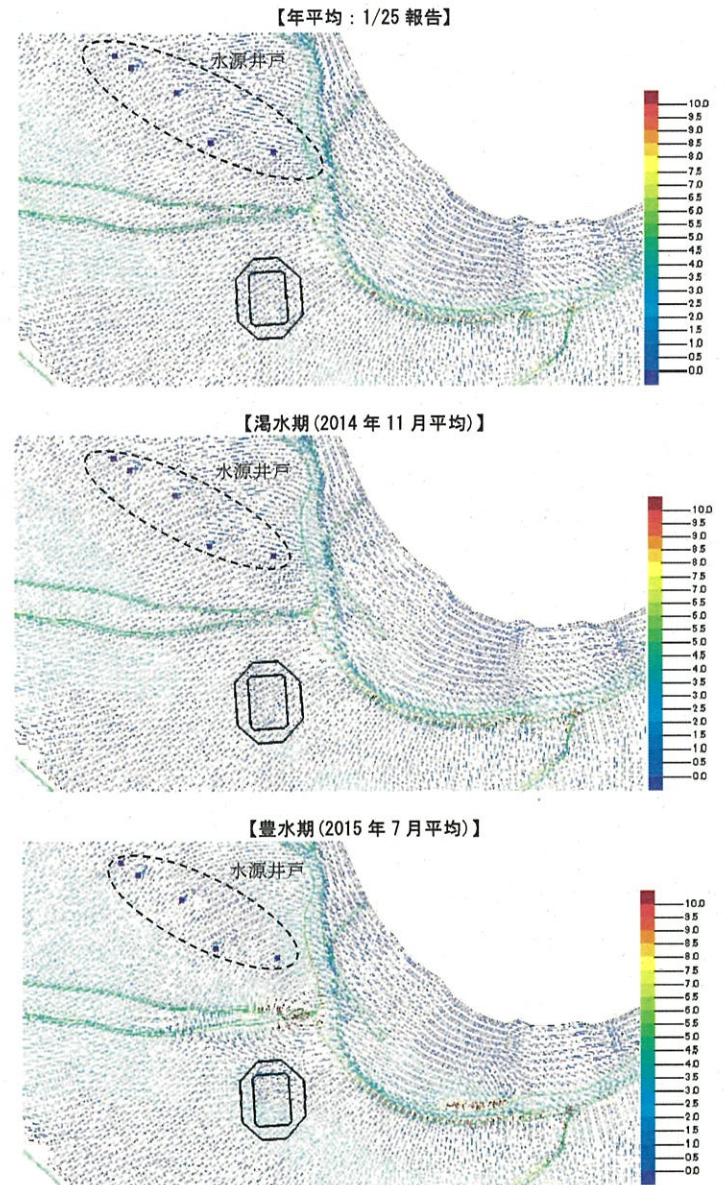


図 5.1.4 現況の地下水位再現計算結果 (ステップ1のAg層の流速ベクトル、単位：m/d)