

第 1 6 回環境保全専門家会議資料

○京都スタジアム(仮称)の構造物による 地下水影響対策の検討について

- 1 地盤状況及び地下水状況
- 2 基礎構造について

平成 2 7 年 2 月 1 6 日

京都府

京都スタジアム（仮称）の基礎構造について

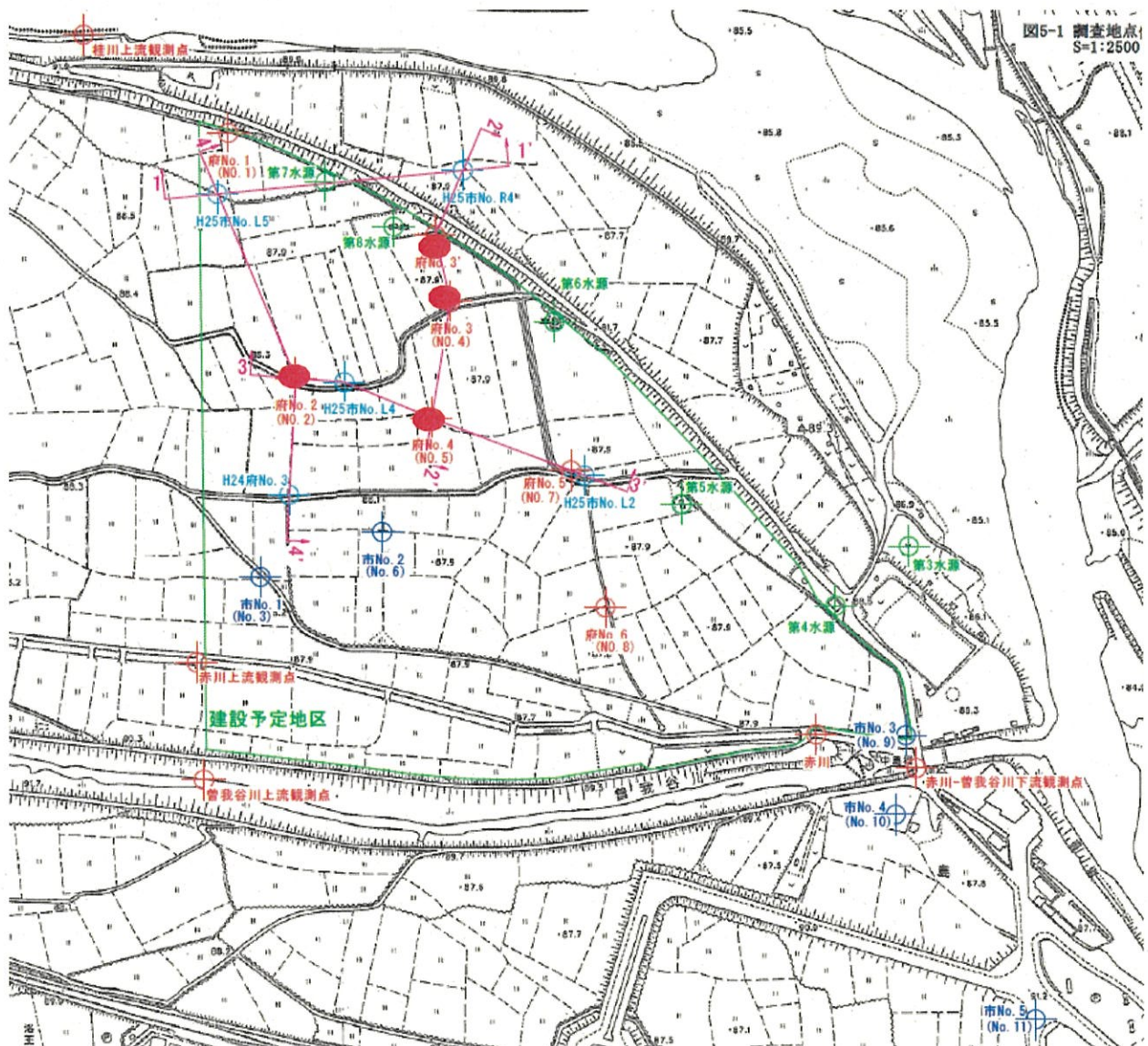
1 建設予定地の地盤状況及び地下水について

（1）地盤状況

スタジアム本体建設予定地内の4箇所（府No. 2, 府No. 3, 府No. 3', 府No. 4）において、原位置試験を伴うボーリング調査（標準貫入試験, 現場透水試験, 孔内水平載荷試験および不攪乱試料採取）を実施した。

ボーリング調査終了後には、VP50の塩ビパイプを挿入し、観測孔仕上げとした。また、水文調査として、多点温度検層, 地下水流向流速測定, 水質試験, 水位観測を実施した。

予定地におけるボーリング調査箇所を下図に示す。



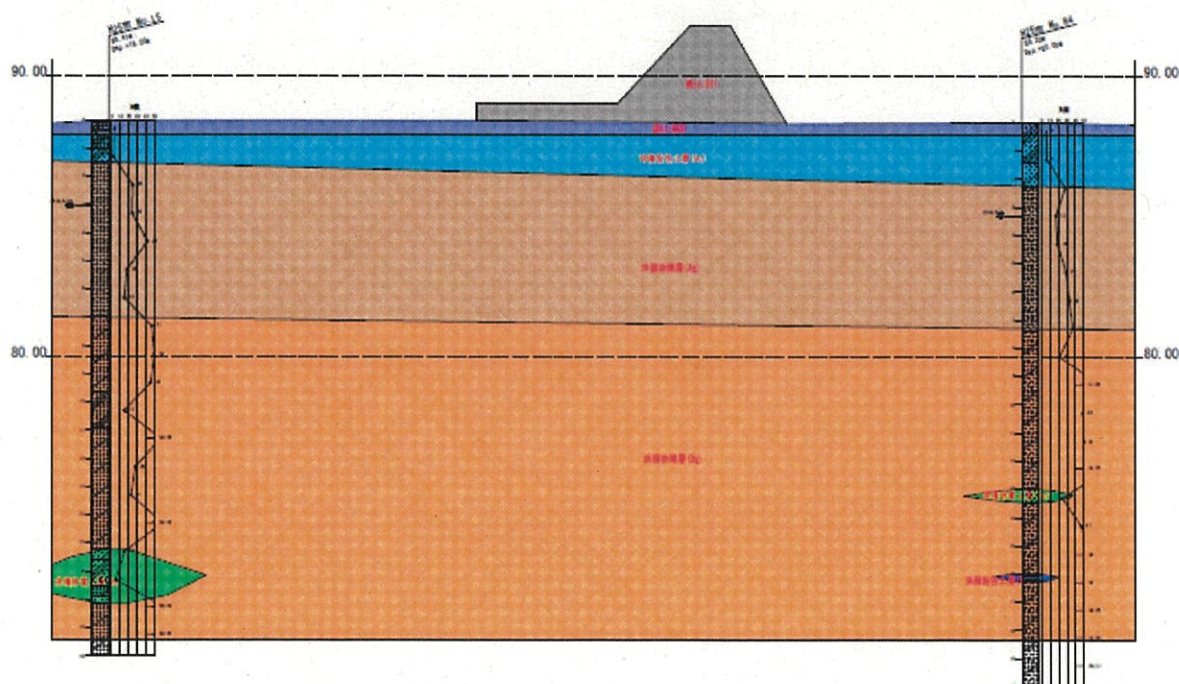
ボーリング調査の結果、当該予定地では、盛土、沖積層(粘性土、砂質土、礫質土)及び洪積層(粘性土、砂質土、礫質土)を確認した。

下表に、推定地質断面図を基に当地に分布する地質の層相をまとめる。

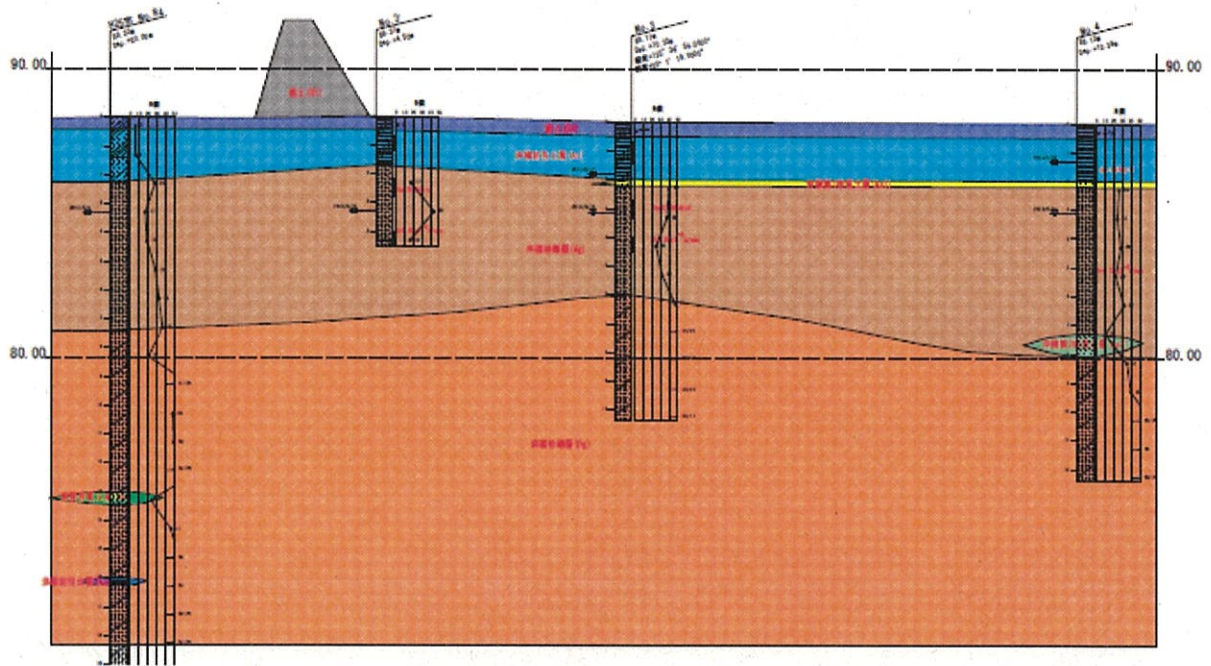
地質時代	地質記号	地層名	観 察 記 事	N値	
				範囲	代表値
現世	B1	盛 土	桂川の堤体盛土であるが、今回のボーリングでは調査していないため性状は不明である。	-	-
	B2	盛 土	地表面より、層厚0.3～0.5m程度で分布する田面の耕作土である。粘性の弱いシルトが主体で構成される。	2～6	2.5
新 生 代 ・ 第 四 紀	完 新 世	Ac	粘性土	2～10	3.5
		Ag	礫質土	15～188	25.8
		As1	第1砂質土	-	-
		As2	第2砂質土	7	7.0
	更 新 世	Dg	洪 礫質土	15～50以上	52.8
		Ds	砂質土	5～24	9.9
		Dc	粘性土	-	-

推定地質断面図 (1-1' 方向)

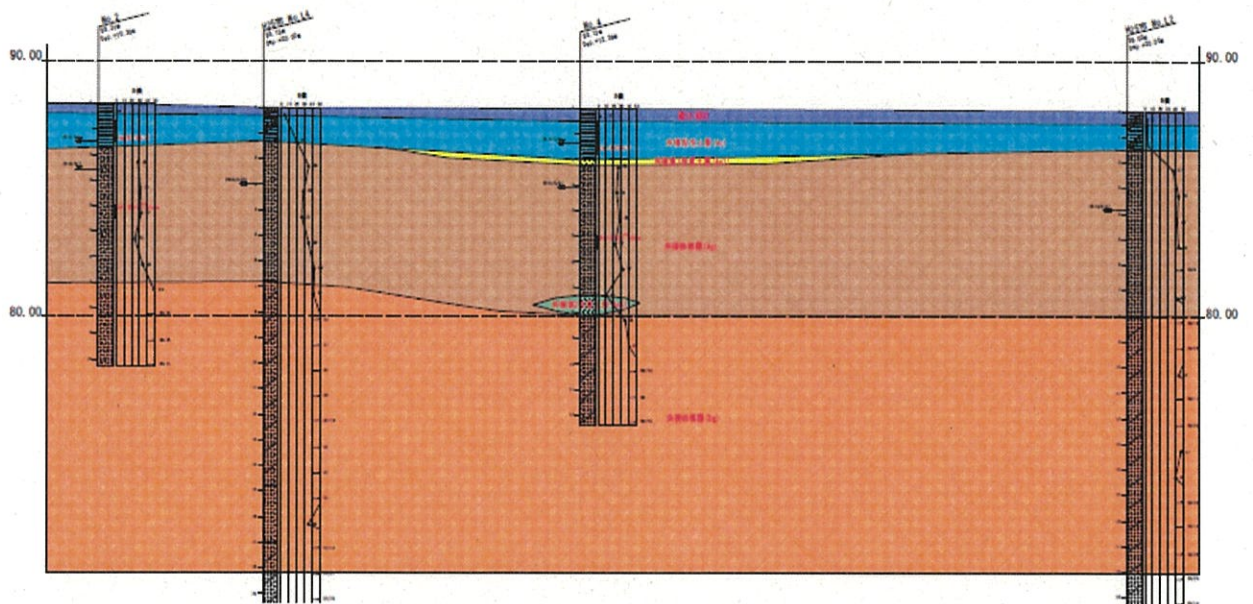
H=1:1000
V=1:200



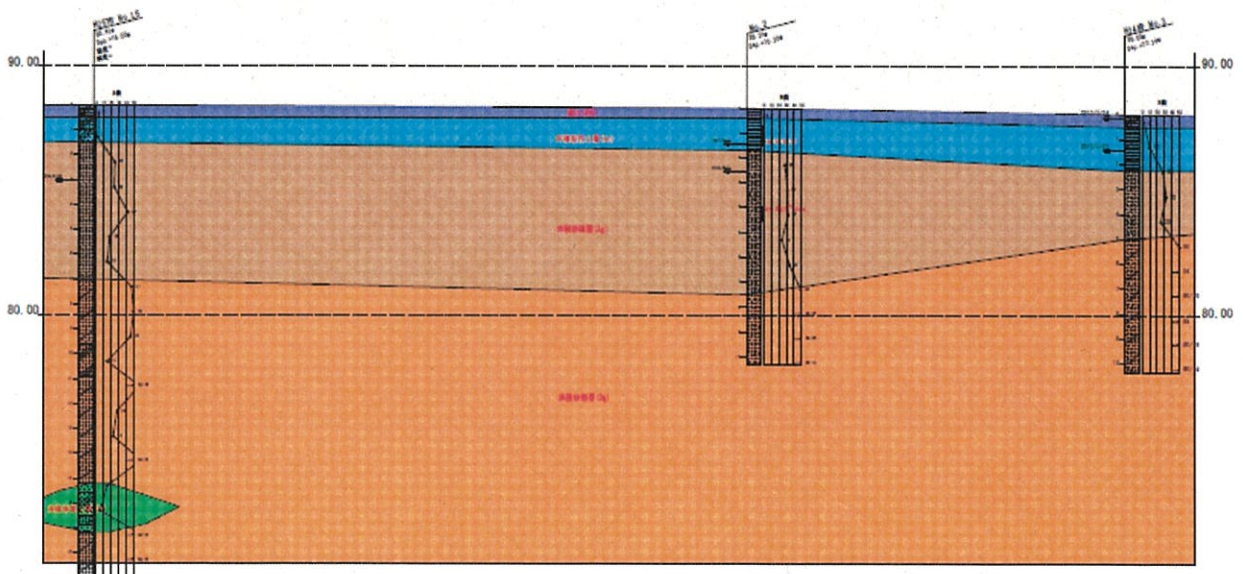
推定地質断面図 (2-2' 方向) H=1:1000
V=1:200



地質想定断面図 (3-3' 方向) H=1:1000
V=1:200



地質想定断面図 (4-4' 方向) H=1:1000
V=1:200



原位置の試験値であるN値は、各要素のばらつきを含んでおり、これを地層毎の一般値として評価するために、各々標準偏差値を求め、平均N値から標準偏差値の1/2を減じて代表N値とする。実測N値とその標準偏差値を求めて代表値を計算し、下表に示す。

$$\text{代表N値} = N - 1/2 \cdot \delta n - 1$$

ここに、N；各土層の平均N値 $\delta n - 1$ ；標準偏差値

$\delta n - 1 = \sqrt{\sum (N_i - N)^2 / (n - 1)}$ n；データの数 N_i ；個々のN値

地層			ボーリング No.									標本数	代表N値
			今回のデータ				既往データ						
記号	地質		No. 2	No. 3	No. 3'	No. 4	H25市 No. L2	H25市 No. L4	H25市 No. L5	H25市 No. R4	H24府 No. 3		
B2	現世	盛 土	4	2	2	2.8	3	3	3	6	2	9	2.5
Ac	沖積層	粘性土	—	—	—	—	3	5, 6	2	6	10	5	3.5
Ag		礫質土	28, 31, 32, 24 34	40, 38, 25, 32	17, 44, 16	26, 24, 28, 22 32, 15	37, 44, 42, 44 188, 42	33, 36, 29, 27 36, 43	25, 24, 42, 18 15	28, 17, 19, 29 33, 37	28, 32, 25	43	25.8
As1		第1砂質土	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	—
As2		第2砂質土	—	—	—	7	—	—	—	—	—	1	7.0
Dg	洪積層	礫質土	49, 90, 72, 120	47, 72, 100, 75 106	—	35, 40, 62, 60 75	83, 58, 44, 88 68, 47, 40, 75 107, 54, 65, 79	42, 53, 57, 64 66, 95, 56, 63 54, 36, 107, 71 83	47, 50, 46, 15 58, 28, 23, 60 63, 75	21, 68, 49, 50 81, 47, 56, 53 71, 78, 88	50, 54, 69, 59 113, 95	66	52.8
Ds		砂質土	—	—	—	—	—	—	15, 5	24	—	3	9.9
Dc		粘性土	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	—

ここで、N値60以上は換算N値で表示した。

斜体の数字は標準貫入試験内で地層が2層に分かれたため10cm当たりの打撃回数をもとに補正した値である。

赤の数字は、特異な値として割愛した値である。

(2) 地下水位

今回のボーリング調査及び既往調査で確認された地下水位は以下の通りである。

	No.	GL— (m)	H= (m)	確認方法	区分記号
(H25/ 6/ 7)	府 No. 2	2.55	85.76	無水堀り	Ag層内
(H25/ 6/ 12)	府 No. 3	3.12	85.05	無水堀り	Ag層内
(H25/ 6/ 10)	府 No. 3'	3.30	85.07	無水堀り	Ag層内
(H25/ 5/ 31)	府 No. 4	3.10	85.03	無水堀り	Ag層内
(H25/ 4/ 18)	既往H25市No. L2	3.62	84.41	無水堀り	Ag層内
(H25/ 4/ 22)	既往H25市No. L4	3.00	85.15	無水堀り	Ag層内
(H25/ 4/ 16)	既往H25市No. L5	3.05	85.36	無水堀り	Ag層内
(H25/ 5/ 8)	既往H25市No. R4	3.32	85.01	無水堀り	Ag層内

※()は、観測日

府N0.4(通し番号N0.5)における年間の地下水位は、降雨による桂川の河川水位の影響もあるが、概ね標高約84.9mから約85.1mの間に存在している。

(3) 現場透水試験

現場透水試験は、Ag層の透水性を把握する目的で4地点のボーリング孔で各1回実施した。試験方法は、ピエゾメーター法による回復法とした。試験結果を以下に要約する。

地点No.	試験深度 (GL- m)	対象土質	平衡水位 (GL- m)	透水係数 (m/sec)
府 No. 2	4.00~4.50	Ag層 砂礫	2.55	4.55×10^{-4}
府 No. 3	4.00~4.50	Ag層 砂礫	3.12	1.86×10^{-4}
府 No. 3'	4.00~4.50	Ag層 砂礫	3.30	2.90×10^{-4}
府 No. 4	5.00~5.50	Ag層 砂礫	3.10	5.03×10^{-4}

透水係数は各試験結果とも 10^{-4} (m/sec) のオーダーを示している。

10^{-4} (m/sec) の値は中位(砂および砂礫)な透水係数に相当する。試験対象層は沖積礫質土層であり、同表に示す土の種類と大差なく、原位置の地盤状況を反映した結果が得られていると考えられる。

	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0
透 水 性	実質上不透水		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	特殊な変水位透水試験		変水位透水試験				定水位透水試験		特殊な変水位透水試験			
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					

(社) 地盤工学会(平成25年3月): 地盤調査の方法と解説(P488)

(4) 多点温度検層

多点温度検層測定は、沖積礫質土層(第1帯水層)を対象に原位置における地下水流動層を把握し、流向流速を測定する深度を決定するために行った。

今回検層を実施した試錐孔の諸元を下表に示す。(孔番は通しNo.)

Bor. No	掘削深度 (GL-m)	検層深度 (GL-m)	自然水位 (GL-m)	湯入れ直後 水位 (GL-m)	検層30分後 水位 (GL-m)
No. 5	12.39	0.0~8.1	2.91	2.85	2.85
No. 11	7.50	0.0~7.5	2.89	3.94	3.94

上記試錐孔の検層結果を「温度-深度曲線」として整理し、昇温された孔内温度が自然状態に戻る状況を示す。次に、検層結果を「温度復元率-深度曲線」として表現し、地下水浸出箇所あるいは地下水流動層の存在深度について検討を行った。判定基準は、孔内水位以深で温度復元率が60%以上を示す箇所を地下水流動層($1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 以上)と推定した。

・ No. 5地点 (図5-14~図5-15)

測定計測時間30分経過後の孔内水位は、深度GL-2.85mに位置している。

孔内水位以深において、30分経過後の温度復元率90%以上を示す区間が深度GL-3.6~8.1m(温度復元率83.7~99.2%)に認められる。その中で、深度GL-5.1~6.9m(温度復元率96.9~99.2%)の区間は計測開始数分間の温度復元が大きく、この区間に顕著な地下水流動層が存在していると推定される。特に、深度GL-5.1m, GL-6.1m, GL-6.9mに温度復元のピークが認められることから、この深度に地下水流動が集中していると考えられる。

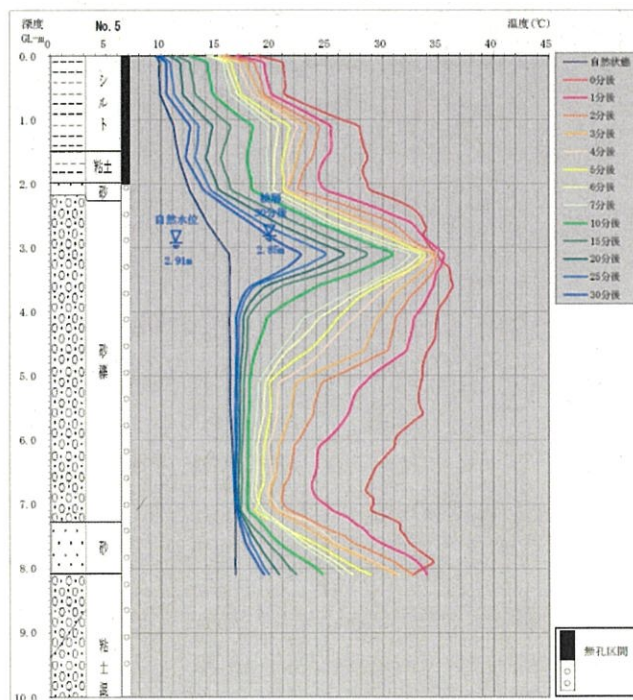


図5-14 温度-深度曲線 No. 5

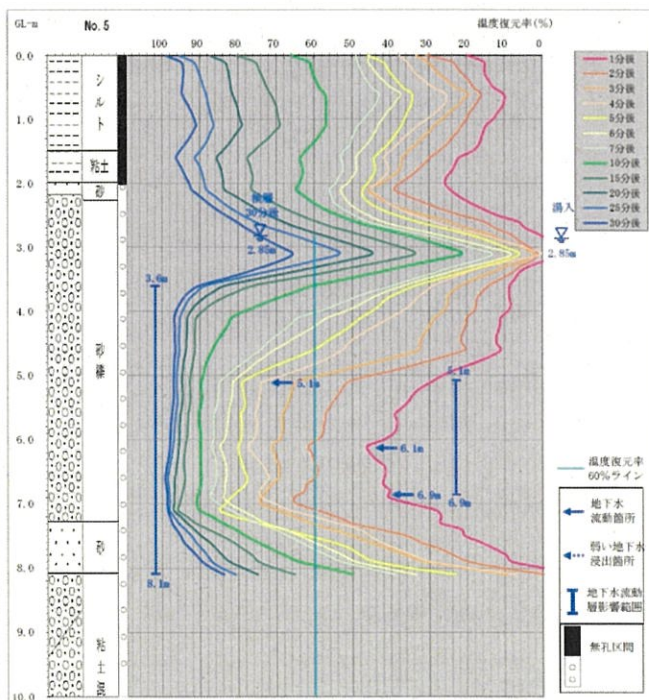


図5-15 温度復元率グラフ No. 5

・ No. 11地点（図5-16～図5-17）

測定計測時間30分経過後の孔内水位は、深度GL-3.94mに位置している。

孔内水位以深において、30分経過後の温度復元率が60%以上を示す箇所は、GL-5.5m付近に認められ、（温度復元率59.9%）この深度に弱い地下水流動が存在していると推定される。

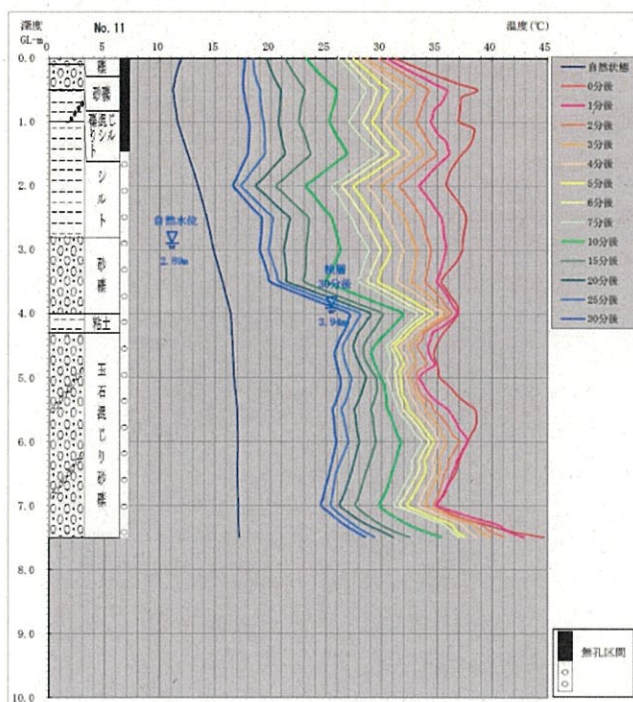


図5-16 温度深度曲線 No. 11

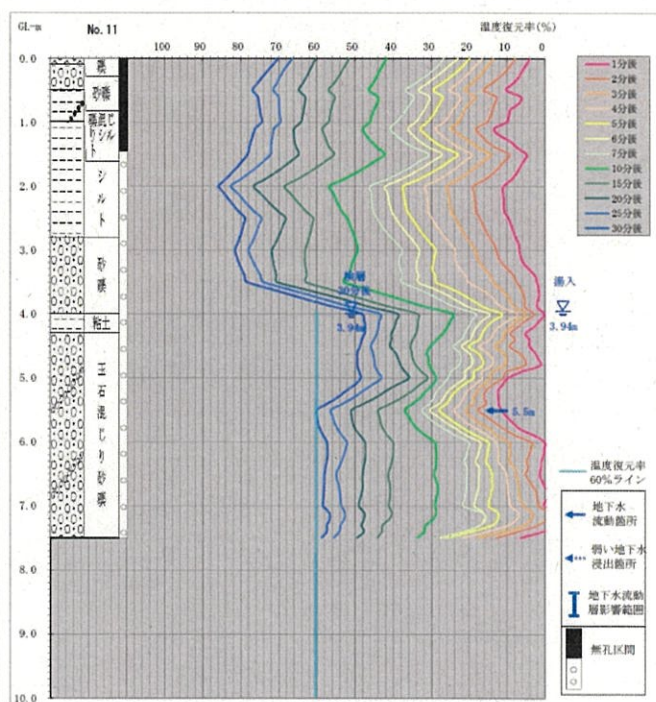


図5-17 温度復元率グラフ No. 11

今回実施した地下水流動層の推定深度をまとめて下表に示す。

Bor. No	検層30分後 水位 (GL-m)	地下水流出深度 (GL-m)	30分後温度復元率 (%)	地質条件
No. 5	2.85	5.1～6.9	96.9～99.2	砂礫
	2.85	5.1	97.0	砂礫
	2.85	6.1	98.0	砂礫
	2.85	6.9	98.6	砂礫
No. 11	3.94	5.5	59.9	砂礫

No. 5地点では、複数の流動箇所で作成された厚い流動層が検出され、その温度復元率は100%に近いものもある。よって、かなり大きな流量を持った地下水が流れていると推定される。

No. 11地点では、深度GL-5.5mに弱い地下水流動箇所の存在が推定される。これらの結果より、流向流速測定深度は、No. 5地点GL-6.1m No. 11地点GL-5.5m と設定した。

(5) 地下水流向流速測定

地下水流向流速測定は、沖積礫質土層(第1帯水層)を対象に原位置における地下水流動部の流向流速を把握するため単孔式加熱型流向流速計を用いて行った。

測定深度は、多点温度検層を実施したNo. 5地点とNo. 11地点は、その結果より深度を決定した。その他の地点の測定深度は、多点温度検層を実施していないため、以下の手法とした。

一般的に多点温度検層を実施していない場合に測定深度を決定する場合は、ストレーナーの設置深度の中間位置で実施する場合が多い。今回は、ストレーナー内の地下水位の深度とストレーナーの下端深度の中間位置で測定した。

Bor. No	深 度 水位 (GL-m)	地質条件
No. 2	3.5	砂礫
No. 3	5.0	玉石混じり砂礫
No. 4	3.5	砂礫
No. 5	6.1	砂礫
No. 8	3.5	砂礫
No. 9	5.9	砂礫
No. 10	6.4	砂礫
No. 11	5.5	玉石混じり砂礫

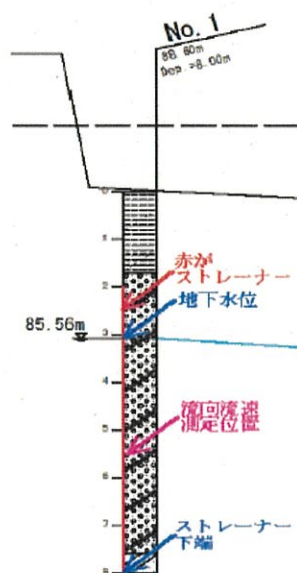


図5-18 多点温度検層を実施していない場合の流向流速測定位置

Bor. No	深 度 (GL-m)	孔内水位 (GL-m)	流 向	流 速 (m/s)	流 速 (m/d)
No. 2	3.5	2.73	(判断できず ^a)	(7.9×10^{-6})	0.68
No. 3	5.0	2.08	NW→SE	1.8×10^{-5}	1.55
No. 4	3.5	3.18	NW→SE	9.3×10^{-5}	8.04
No. 5	6.1	2.93	NNW→SSE	3.2×10^{-4}	27.6
No. 8	3.5	3.40	W・WNW→E・SSE	1.4×10^{-5}	1.20
No. 9	5.9	3.86	NNW→SSE	7.6×10^{-5}	6.57
No. 10	6.4	3.40	(判断できず ^a)	(7.6×10^{-7})	0.07
No. 11	5.5	4.00	WNW→ESE	7.2×10^{-5}	6.22

() : 流速測定範囲下限(1×10^{-5} m/s)外の測定値

① 流向について

地下水の流向の特徴は下記の通りであり、地下水位観測結果とほぼ整合している。

- a) 桂川に近い地点の流向は、桂川の流向に沿った方向を示す。(北西→南東)
- b) 曾我谷川に近い地点の流向は、曾我谷川の流向に沿った方向を示す。(西→東)

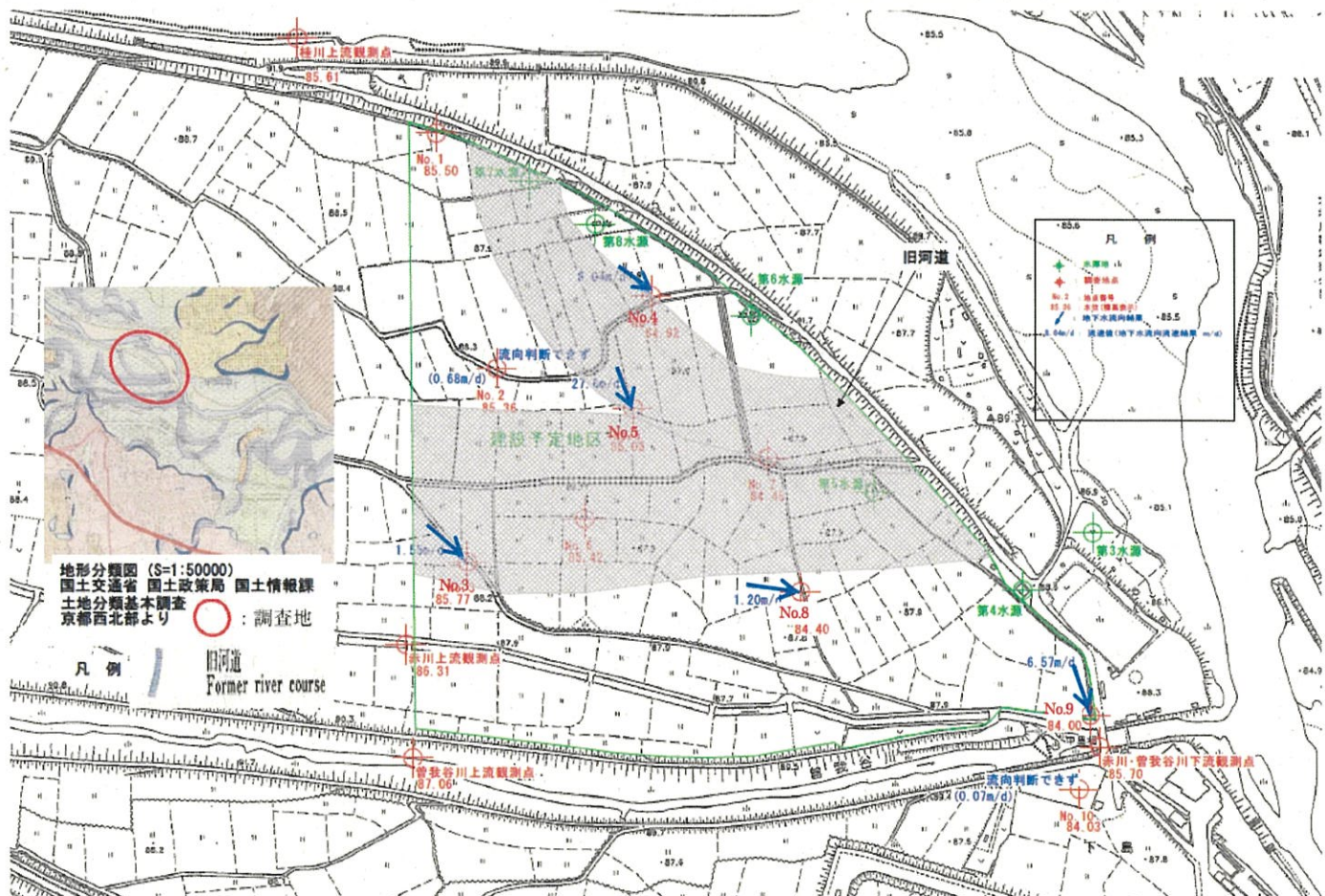
② 流速について

流速は、No. 10地点を除き、0.7~28m/dayと求まり、全体に速い流速を示している。地下水はNo. 3 (No. 5) → No. 8 → No. 9のルートで流れているものと推定でき、旧河道に支配されていると考えられる。

No. 5地点地下水の流速は28m/dayと特に速い。これは、No. 5地点の位置が旧河道の合流地点にあるためだと考える。また、No. 10地点の流速は0.07m/dayと遅く滞留した地下水と推定される。同地点の水位計には酸化鉄が付着していたことから滞留した地下水と判断できる。(右写真参照)



No. 10地点の水位計 (近景)



(6) 第1帯水層と第2帯水層の関係

全水源井戸停止時の第1帯水層と第2帯水層の地下水等高線図の関係について、7月3日AM5:00(全水源井戸停止)の第1帯水層地下水等高線図に、亀岡市資料の同日同時間の第2帯水層地下水等高線図を合成したものを下図のとおり作成した。

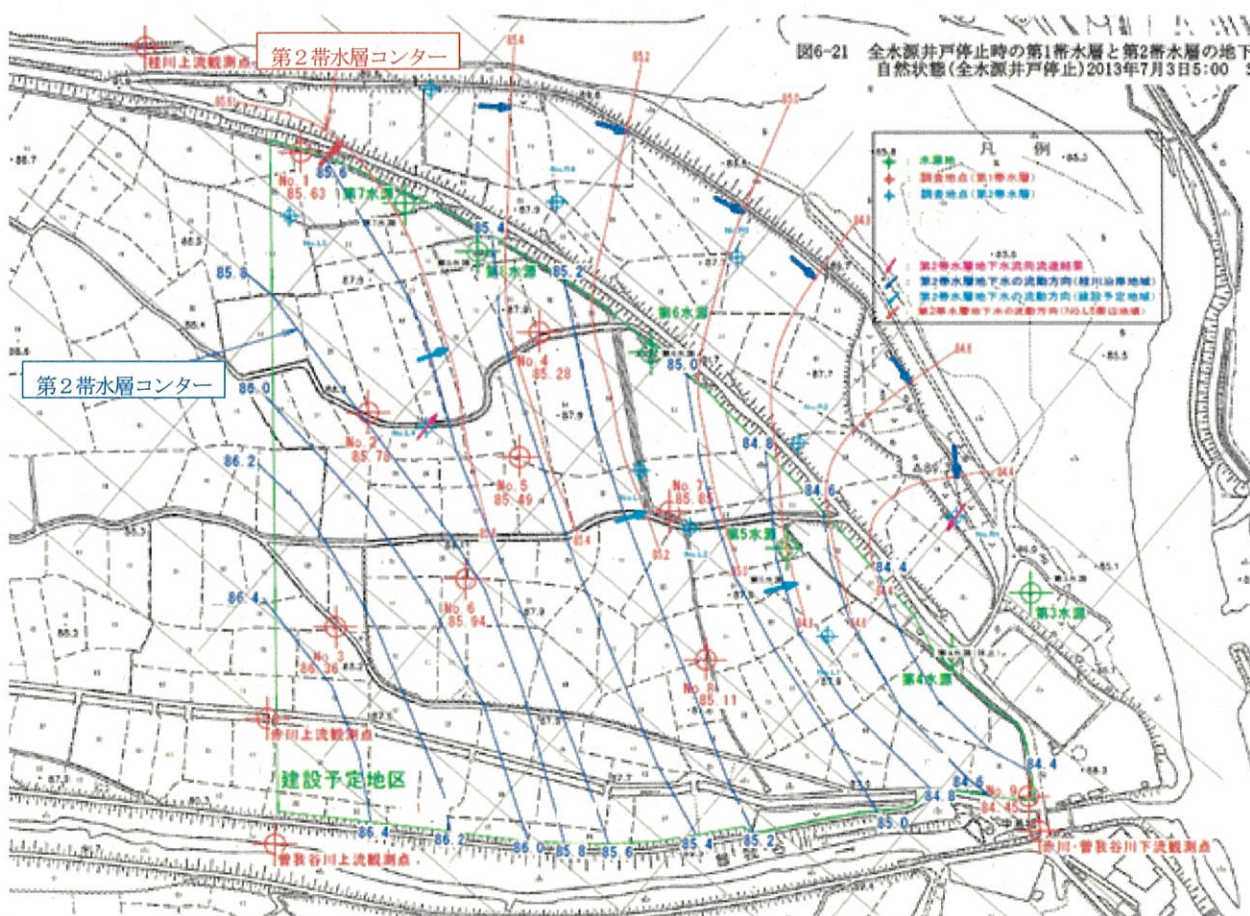
この図から読み取れる特徴を以下に示す。

- ① 大きくは、第1帯水層と第2帯水層共に、建設予定地の地下水の流動は西～東である。また、建設予定地の南側では西南西～東北東の流動である。
- ② 7月3日AM5:00の等高線図で、第1帯水層と第2帯水層の水位を比較すると、概ね第2帯水層の水位が高い傾向にある。これは、第2帯水層を対象とする洪積礫質土内に、不連続ではあるが、難透水層(洪積粘性土層)が存在しており、被圧地下水位となっているとため考えられる。

近接する亀岡市取水施設(ポンプ)の稼働による地下水位変動を確認するため、水源運転水位と第1帯水層及び第2帯水層並びに揚水量を整理し、次頁の図に示す。

施設稼働により、水源取水層である第2帯水層の水位は大きく変動するが、第1帯水層の水位変動はごく僅かであり、年間日平均約11千m³/日の揚水が第1帯水層の水位に与える影響は少ないことを確認した。(2013年/7月/3日)

また、流向流速を測定した3月4日～6日の水源運転水位と第1帯水層並びに揚水量を整理した結果から、施設稼働による揚水が第1帯水層の水位・流向流速に与える影響は少ないことが確認できた。



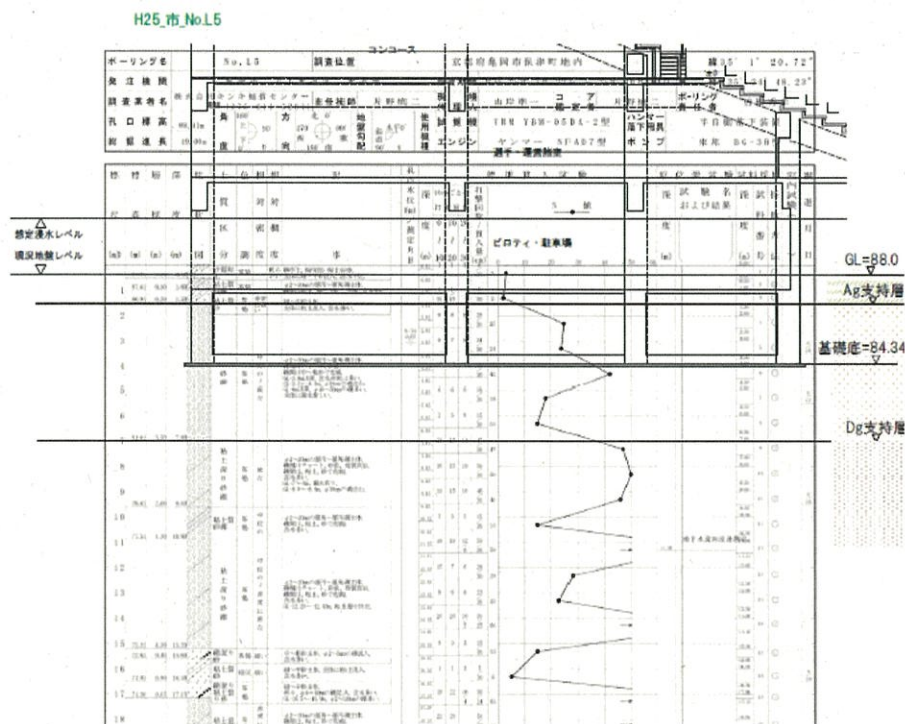
2 スタジアム等の基礎構造について

(1) 支持層と基礎形式

本建物の支持層として、GL-2m付近の沖積砂礫層（Ag層）、GL-8m付近の洪積砂礫層（Dg層）が考えられる。

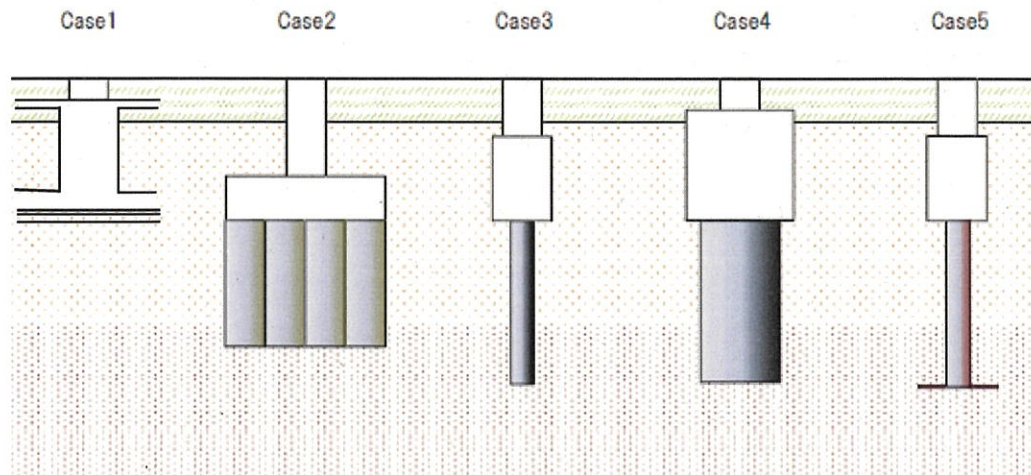
Ag層はN値のばらつきがあり、大きな支持力は期待できないが、べた基礎等の採用にて荷重を分散することで支持層とすることが可能である

Dg層は、一部N値が下がる部分があるが概ねN値50を示し、よく締まった支持層である。また、Ag層は、所々φ40～120mmの粗礫、玉石が報告されていることから、実際にはその2～4倍の玉石が含まれている可能性があり、支持層、地業方式の選定にあたっては、玉石掘削に対する十分な配慮が必要である。



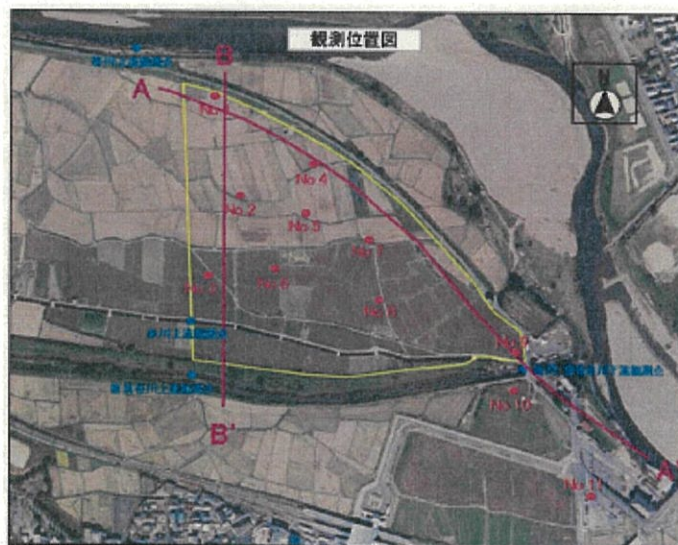
Ag層を支持層とした場合及びDg層を支持層とした場合について以下の地業方式が考えられる。施工時の周辺地下水への影響を考慮して比較する

- ・ Ag層を支持層とした場合
 - 直接基礎 ・ 砂利地業(直接基礎、べた基礎形式)Case1
- ・ Dg層を支持層とした場合
 - 地盤改良 ・ 柱状地盤改良杭Case2
 - 杭地業
 - ・ 既製コンクリート杭地業Case3A
(プレボーリング根固め工法)
 - ・ 既製コンクリート杭地業Case3B
(プレボーリング最終打撃工法)
 - ・ 場所打ちコンクリート杭地業Case4
 - ・ 鋼管杭地業Case5
(先端翼付鋼管杭)



杭の埋設方法として、既製コンクリート杭、鋼管杭の中掘工法があるが、強度の確保方法は、先端にセメントミルク注入、固化により支持力確保するため、影響はCASE3と同等であり、検討ケースから省く。特に、既製コンクリート杭の場合の内径が小さく、Ag層の玉石部分の掘削が困難であり、先行掘削が必要となる。

(2) 地下水等を考慮した基礎構造について

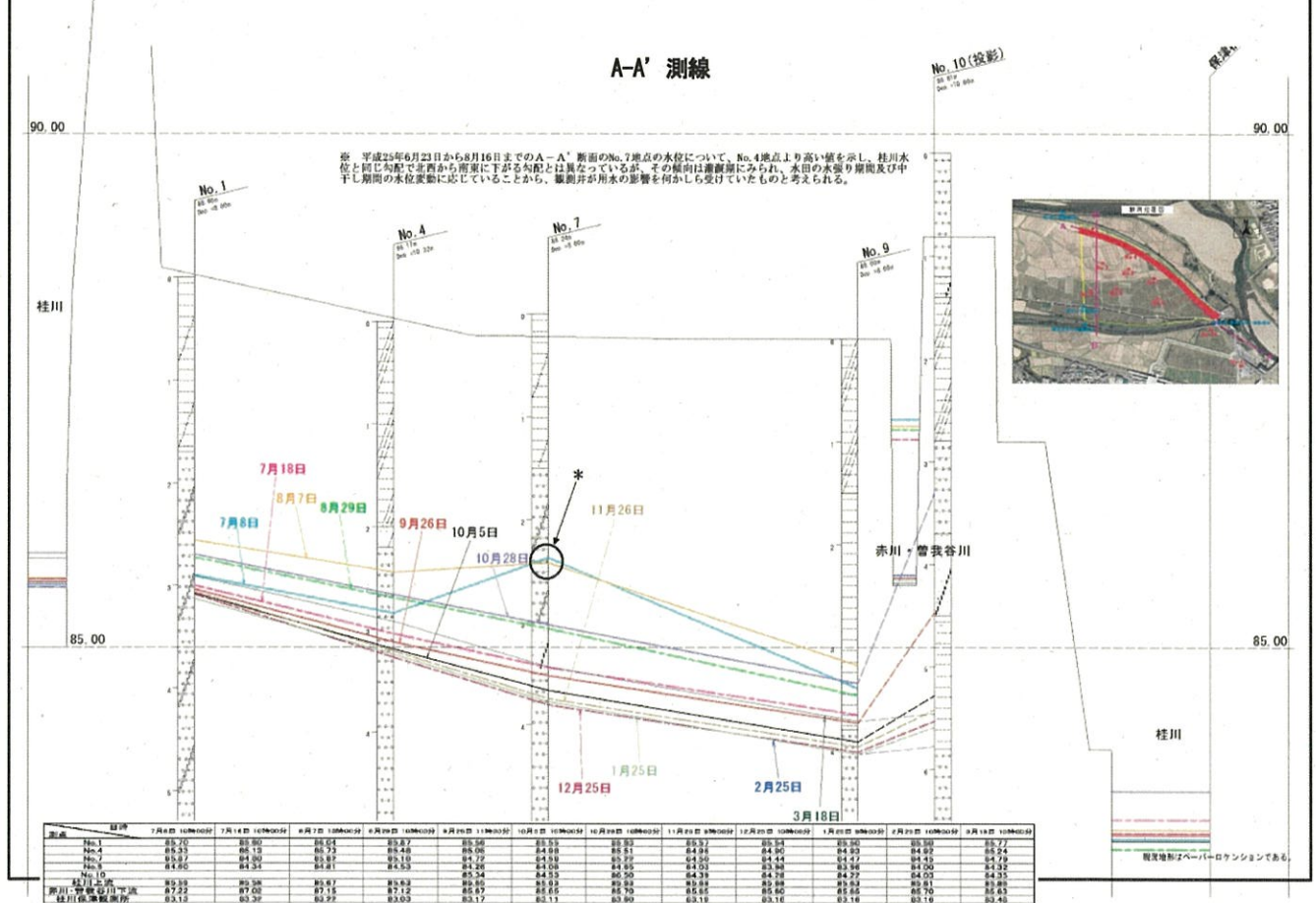


平成25年6月から実施されている観測井水位結果によると、スタジアム本体の配置が予定されているところ (NO. 2, NO. 5, NO. 6) の地下水位は1年の間でTP+84.5m~86.5mに概ね変化している。また、桂川沿い方向では、概ね桂川水位と同じ勾配で北西から南東に下がる勾配となっている。

敷地西端 (B-B' 測線) では、南から北に下がる勾配となっている。本敷地の地下水流動方向は、西南西から東北東方向への流動が主体である。

また、曾我谷川の水位は、敷地の地下水位に比べ常に高い水位を示しており、曾我谷川北側の本敷地から曾我谷川に流入する地下水はほぼ無いと考えられる。

観測井水位状況 (7月8日～3月18日)



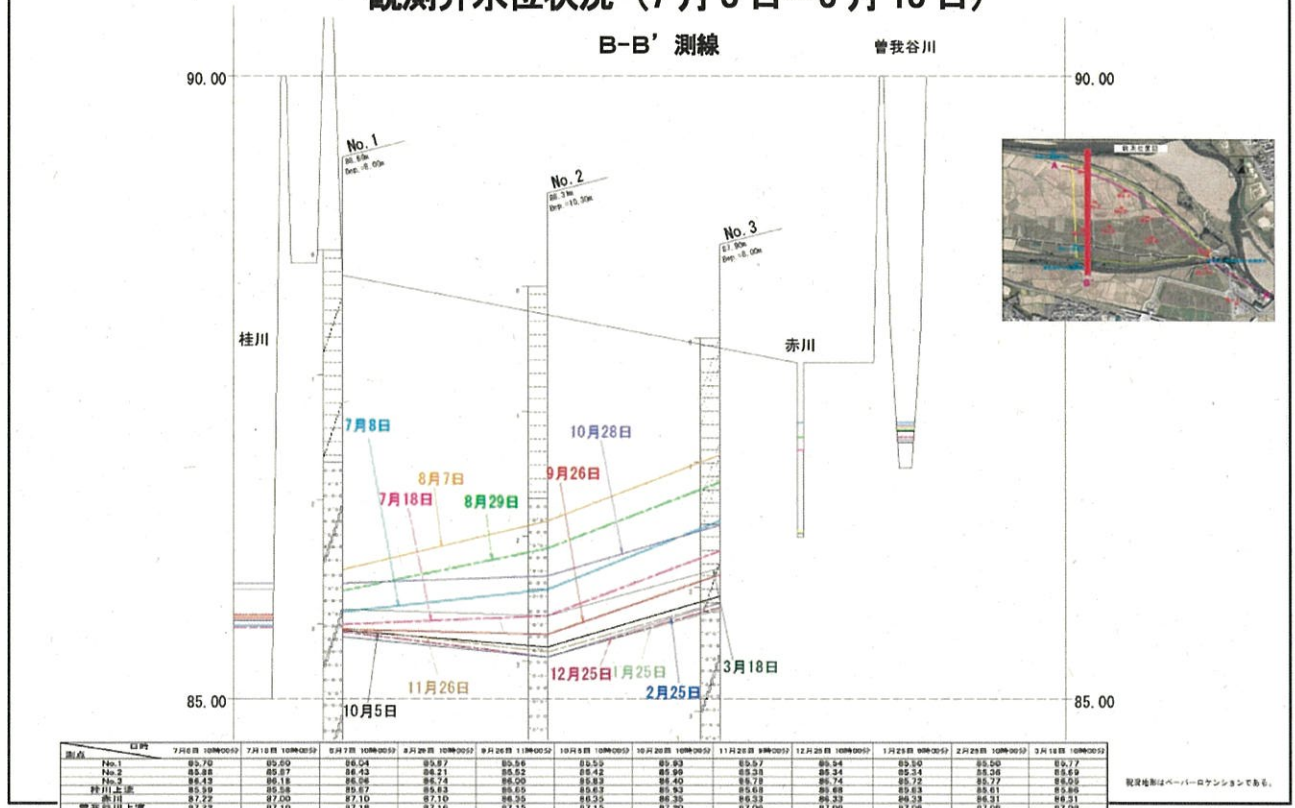
観測点	7月8日 10時00分	7月18日 10時00分	8月7日 10時00分	8月29日 10時00分	9月26日 11時00分	10月5日 10時00分
No.1	85.70	85.80	85.84	85.87	85.56	85.55
No.4	85.33	85.13	85.73	85.48	85.05	84.98
No.7	85.87	84.80	85.82	85.18	84.72	84.58
No.9	84.80	84.34	84.81	84.53	84.26	84.08
No.10					85.34	84.53
桂川上流	85.59	85.58	85.67	85.63	85.65	85.63
赤川・菅我谷川下流	87.22	87.02	87.15	87.12	85.67	85.65
桂川保津観測所	83.13	83.32	83.22	83.03	83.17	83.11

10月28日 10時00分	11月26日 9時00分	12月25日 10時00分	1月25日 9時00分	2月25日 10時00分	3月18日 10時00分
85.93	85.57	85.54	85.50	85.50	85.77
85.51	84.96	84.90	84.93	84.92	85.24
85.22	84.50	84.44	84.47	84.45	84.79
84.65	84.03	83.98	83.96	84.00	84.32
86.50	84.39	84.28	84.22	84.03	84.35
85.93	85.88	85.88	85.83	85.61	85.88
85.70	85.65	85.60	85.65	85.70	85.63
83.60	83.19	83.18	83.16	83.16	83.48

観測井水位状況 (7月8日~3月18日)

B-B' 測線

曾我谷川



観測点	7月8日 10時00分	7月18日 10時00分	8月7日 10時00分	8月29日 10時00分	9月26日 11時00分	10月5日 10時00分
No.1	85.70	85.60	86.04	85.87	85.56	85.55
No.2	85.88	85.67	86.43	86.21	85.52	85.42
No.3	86.43	86.18	86.96	86.74	86.00	85.83
桂川上流	85.59	85.58	85.67	85.63	85.65	85.63
赤川	87.22	87.00	87.10	87.10	86.35	86.35
曾我谷川上流	87.22	87.10	87.18	87.16	87.15	87.15

観測点	10月28日 10時00分	11月26日 9時00分	12月25日 10時00分	1月25日 9時00分	2月25日 10時00分	3月18日 10時00分
No.1	85.93	85.57	85.54	85.50	85.50	85.77
No.2	85.99	85.38	85.34	85.34	85.36	85.69
No.3	86.40	85.78	85.74	85.72	85.77	86.05
桂川上流	85.93	85.68	85.68	85.63	85.61	85.86
赤川	86.35	86.33	86.33	86.33	86.31	86.31
曾我谷川上流	87.20	87.06	87.06	87.06	87.06	87.08

また、8頁から12頁に述べたように第1帯水層の流動部分は、GL-5.1m (TP+83.3m) から6.9m (TP+81.5m) の深さにあり、スタジアム本体の荷重を基礎構造に伝達する地中梁（基礎底面TP+84.3m）を設けたとしても、地下水の流動を妨げることはないと判断している。

また、予定している基礎底面の地耐力は、標準貫入試験から206KN/m²とみこまれており、この地耐力で支持可能な基礎としては、べた基礎構造又は独立フーチング基礎構造が考えられる。

