

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３２回専門家会議資料

平成２９年１月２５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

今年度調査では、専用球技場（以降、スタジアムと称する）建設前・後の地下水流動の変化を把握するための調査・解析を実施している。現時点における地下水解析モデルの結果について記載する。

2. 地質及び帯水層の概要

- 対象地域は、亀岡盆地南端の桂川右岸に位置しており、桂川及び支川の氾濫原に分布する沖積層（a）、段丘堆積物（1t）により構成されている（図 2.1、図 2.2）。
- 京都府をはじめとするこれまでのボーリング調査により、浅部帯水層である第1帯水層（沖積砂礫層 Ag 層⇒沖積層（a）に該当）、第2帯水層（洪積砂礫層 Dg 層⇒段丘堆積物（1t）に該当）の堆積状況が明らかになっている（図 2.3～2.5）。
- 対象地域・その周辺地域において、第1帯水層下端標高は、TP+80～83m であり、層厚は、概ね 5～10m である。また、桂川河床は、第1帯水層である Ag 層の一部であり、主に第1帯水層の地下水が桂川本川に湧出していると考えられる。
- 第2帯水層（洪積砂礫層 Dg 層）は、第1帯水層（沖積砂礫層 Ag 層）に比較して厚い。第1帯水層と第2帯水層が明瞭に区分される粘性土層（難透水層）は確認できないが、同一地点での地下水位観測結果から、第2帯水層は、第1帯水層より 20cm 程度の地下水位が高い被圧地下水を形成していることが確認できている。

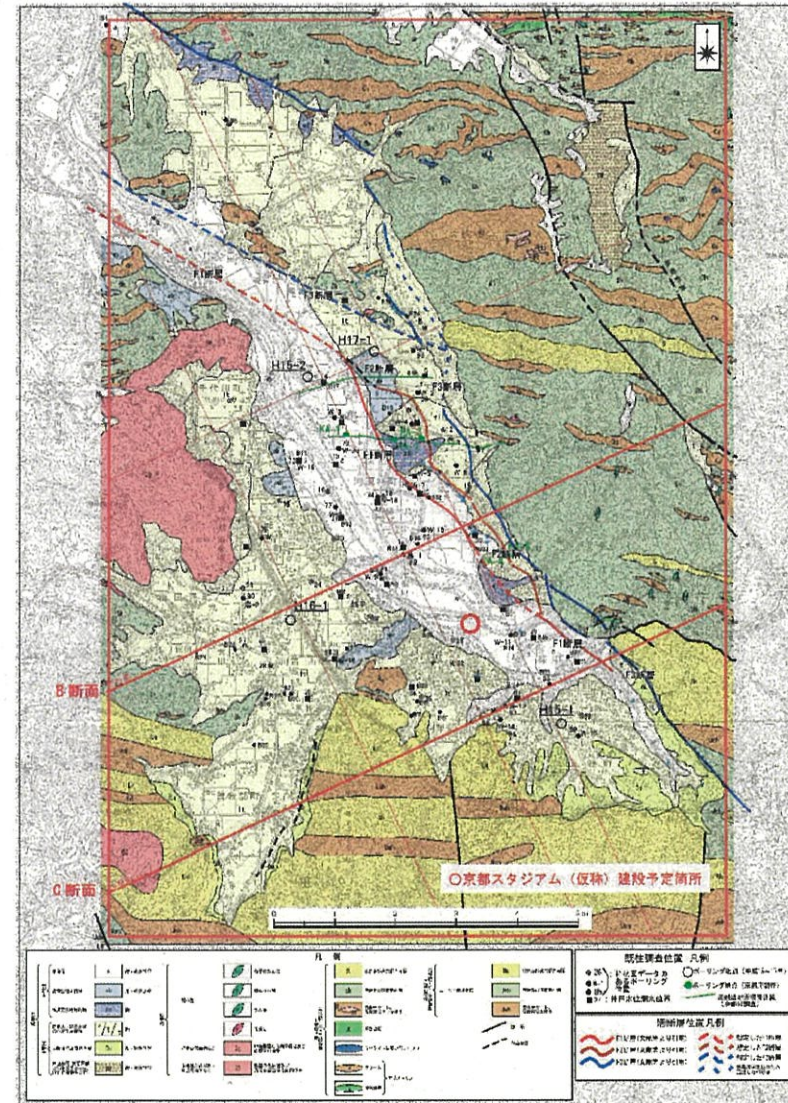


図 2.1 地質平面図

出典：近畿農政局、平成 18 年度地下水調査亀岡盆地地区保全かん養検討業務 報告書、p.11

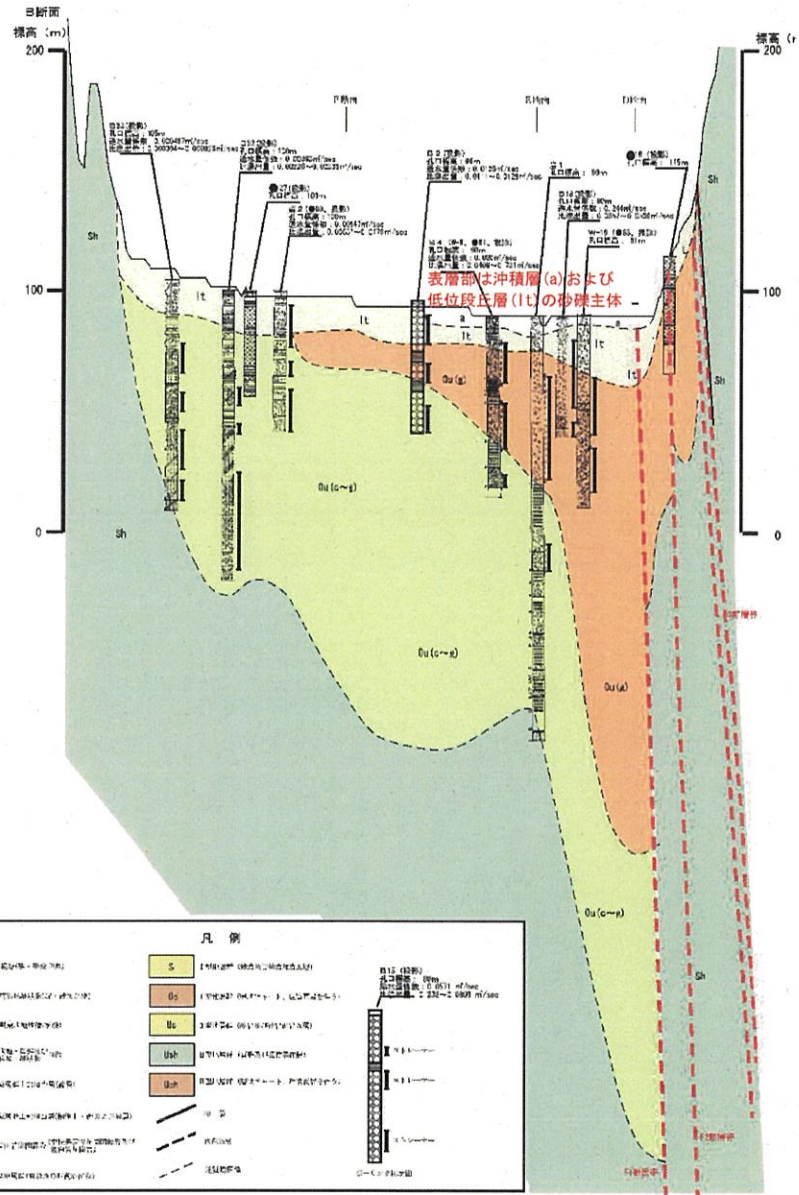


図 2.2(1) 地質断面図 (図 2.1 の B 断面、縦横比=25:1)

出典：近畿農政局、平成 18 年度地下水調査亀岡盆地地区保全かん養検討業務 報告書、p. 68

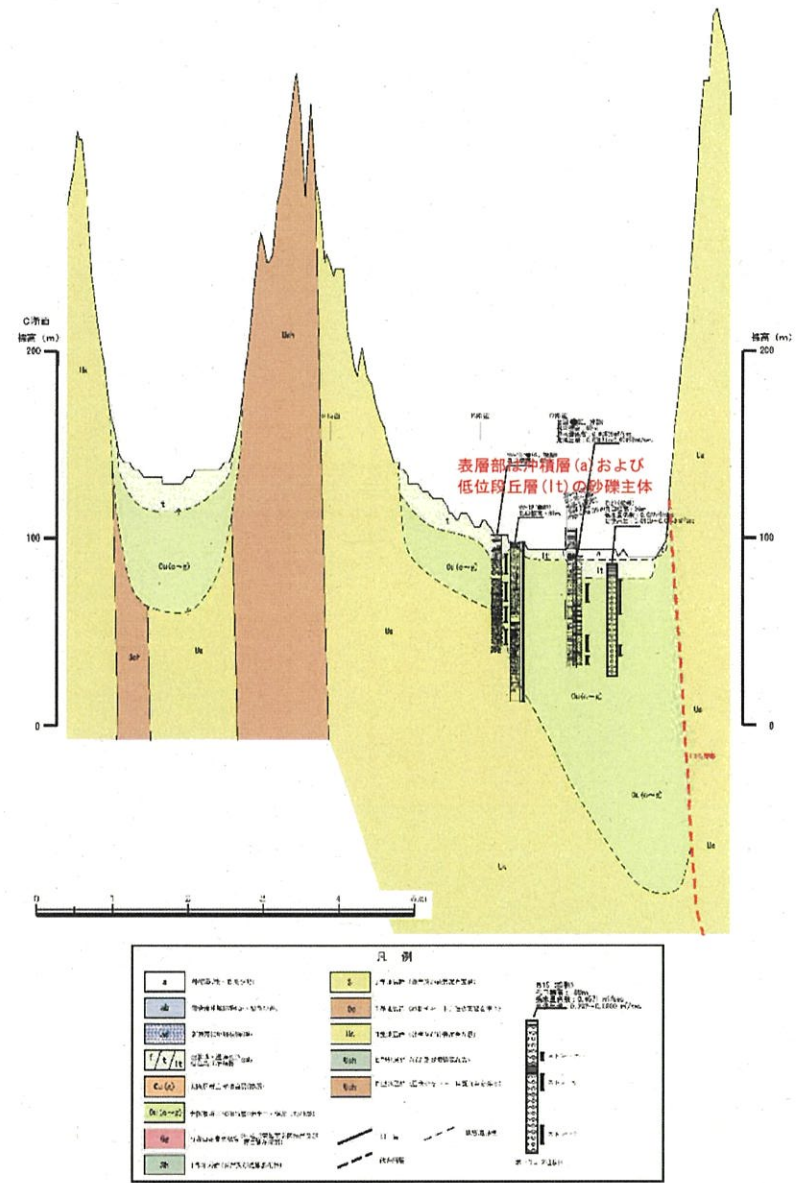


図 2.2(2) 地質断面図 (図 2.1 の C 断面、縦横比=25:1)

出典：近畿農政局、平成 18 年度地下水調査亀岡盆地地区保全かん養検討業務 報告書、p. 69



図 2.3 既往ボーリング調査位置平面図（地質断面の断面軸）

※H28年度ボーリング調査は未記入

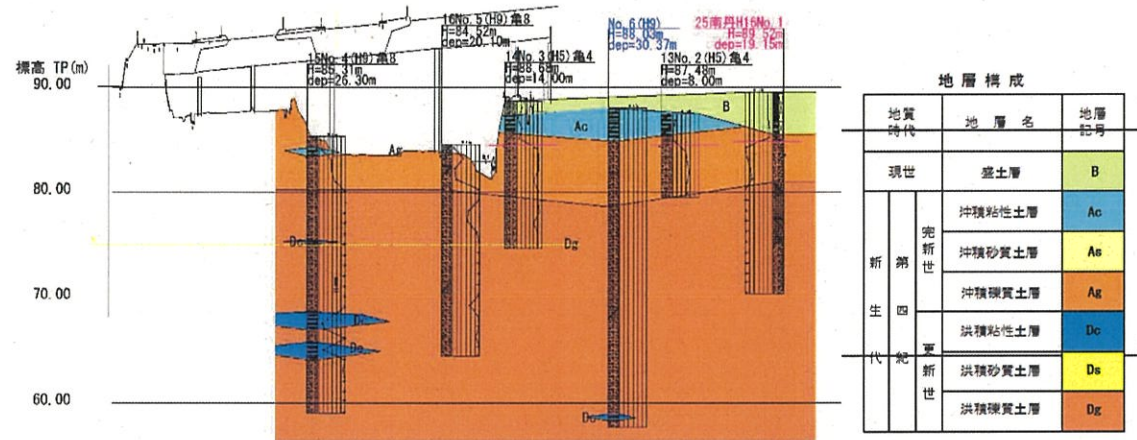


図 2.4 C-C' 断面の地質断面図 (縦横比=10:1)

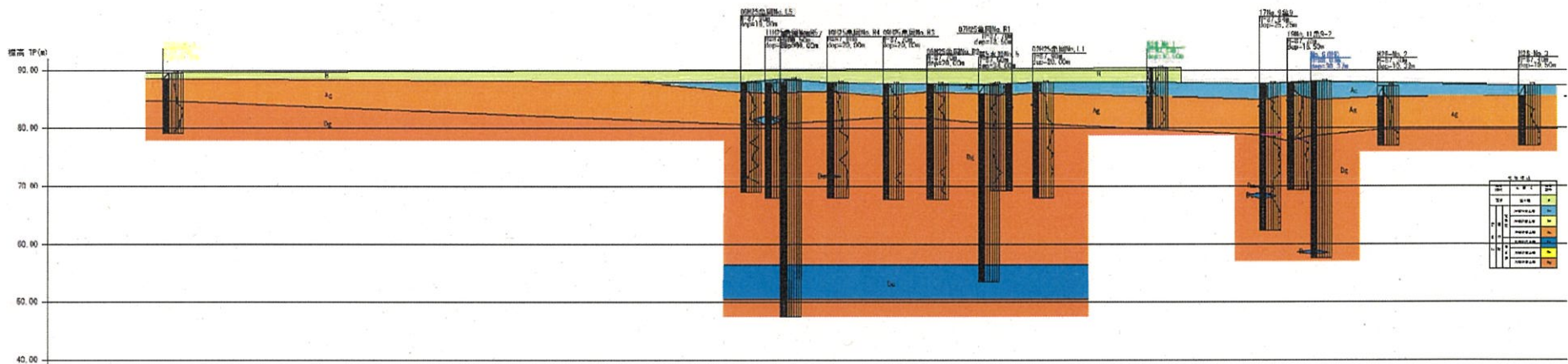


図 2.5 D-D' 断面の地質断面図 (縦横比=10:1)

3. 河川の流況について

- 1) 既往の河川流量調査により、桂川本川の河川水と地下水の交流関係が検討されている(図3.1、図3.2)。これより、保津橋付近を境界にして、それより上流側一定区間において、河川水が地下水へかん養(流入:地下水寄与分の流量がマイナス)しており、下流側一定区間では、地下水が河川へ湧出している(地下水寄与分の流量がプラス)ことが判明している。保津橋上流における河川水から地下水への流入は、水源井(上水道)による揚水の影響と考えられる。

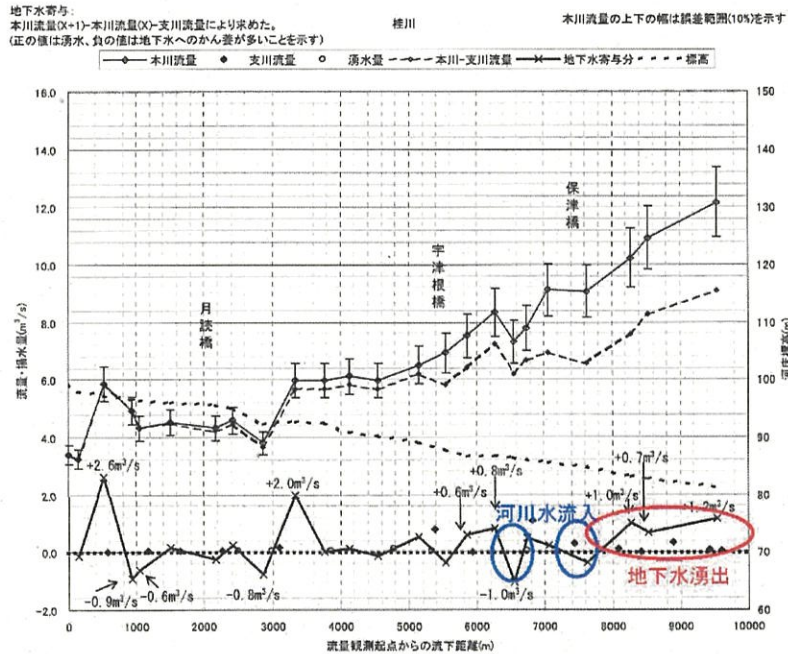


図3.1 平成17年度桂川流量観測結果(かんがい期)

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、

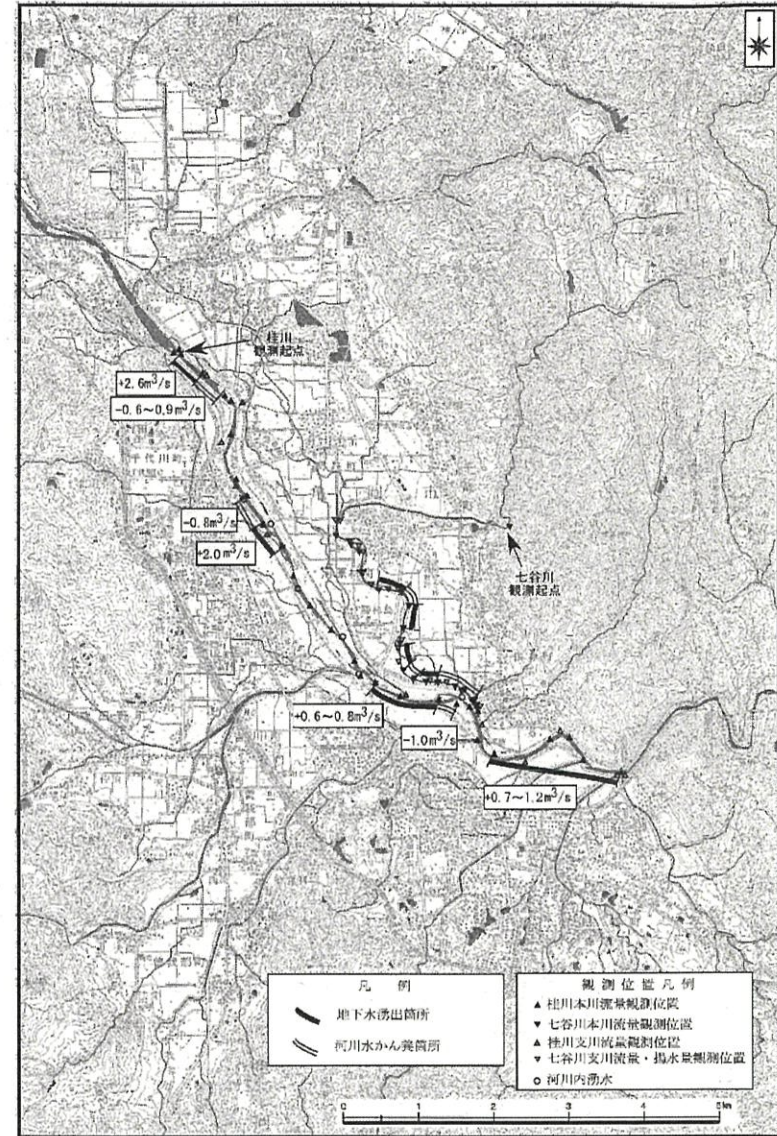


図3.2 河川流量観測による地下水湧出箇所と河川かん養箇所(桂川)

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

4. 地下水位観測データ

- 1) これまでの地下水観測結果(図4.1~4.2)によると、浅部帯水層の地下水位は、河川水位よりも高く、その変動は、降雨量と整合的である。スタジアム建設対象域付近の観測地点(都市no.1~No.4)の地下水位について、河川水位との相関関係(図4.3)から河川水位の影響を受けているものの、地下水位同士の相関関係(図4.4)において1:1の相関性が比較的良好であることから、地点による地下水位変動量の差は比較的小さい(各観測点で同様な水位変動を示す)。
- 2) 降雨がない時期の地下水位(基底水位)は、年によって大きな変動はない(図4.2)このことから、基底水位は、上流域や周辺河川からの定常的な地下水かん養によって、一定水位に保持されていると考えられる。

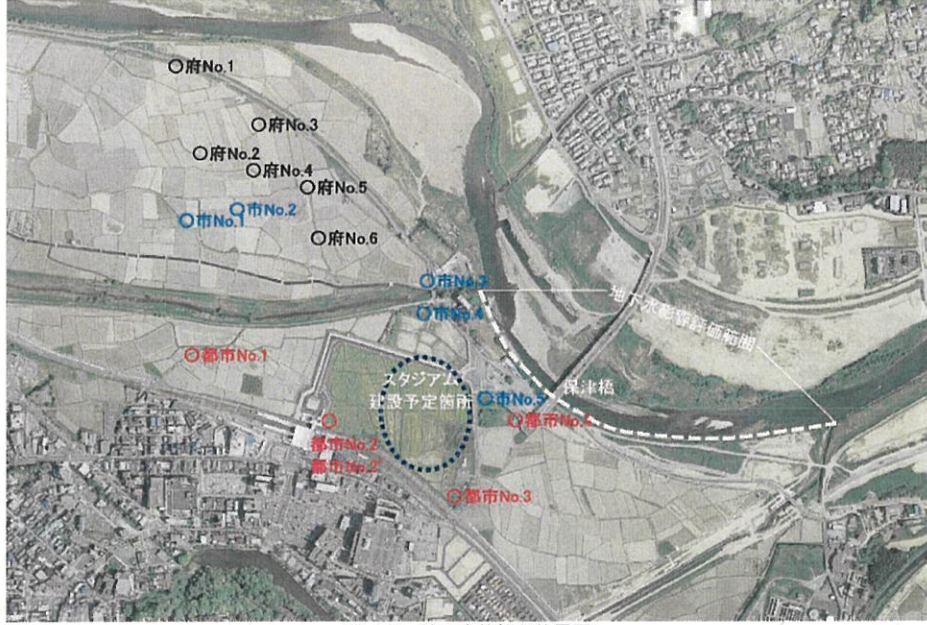


図4.1 地下水位観測位置図
(H28年度設置孔は含まない)

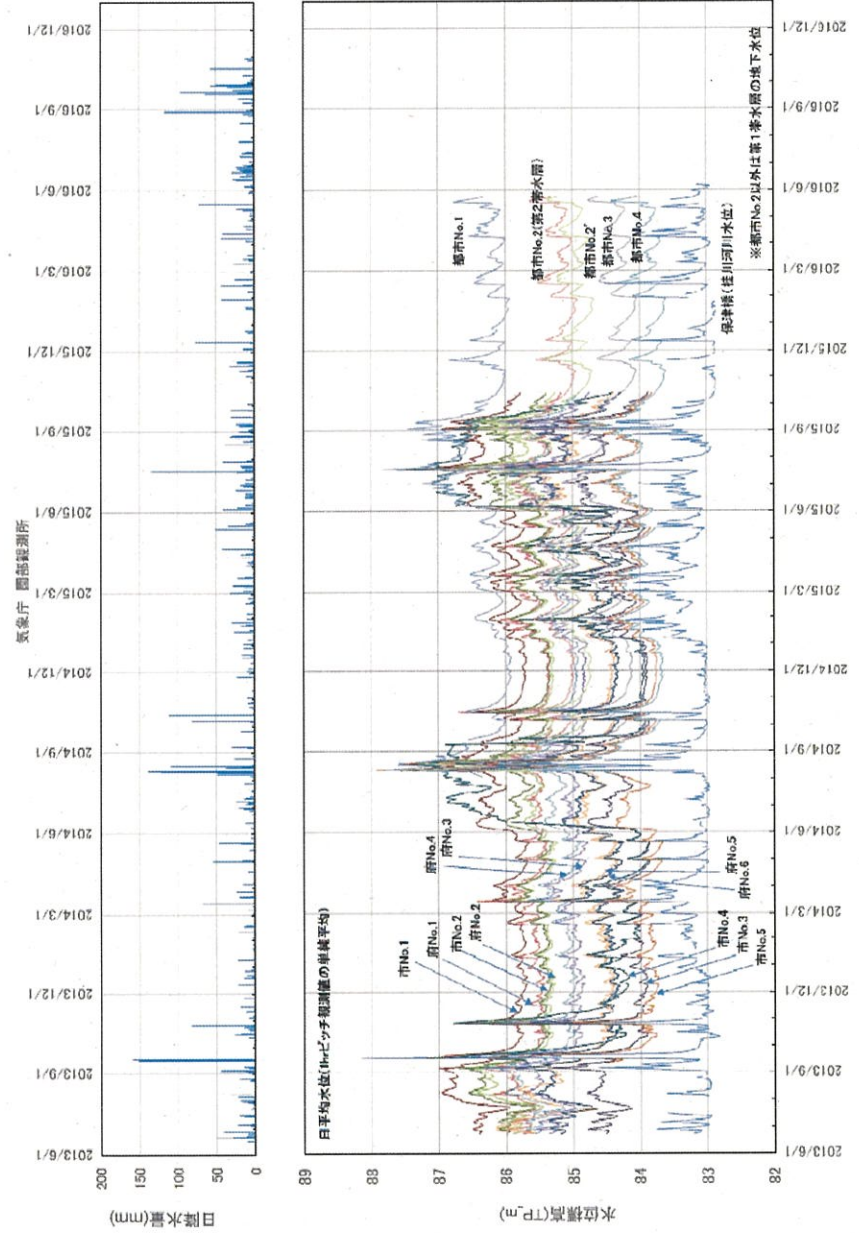


図4.2 観測地点における地下水位変動図

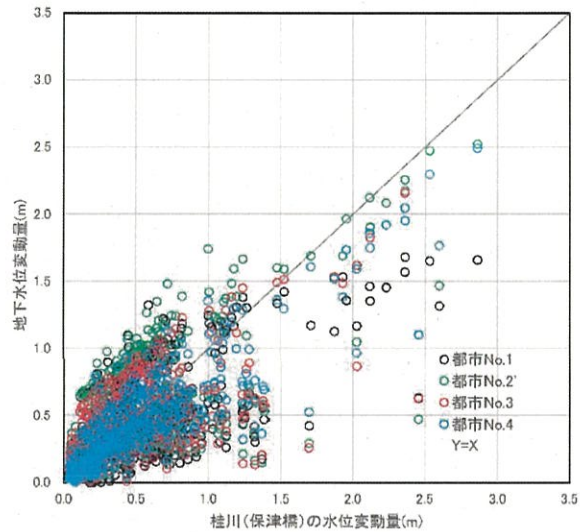


図 4.3 河川水位と地下水位の相関図

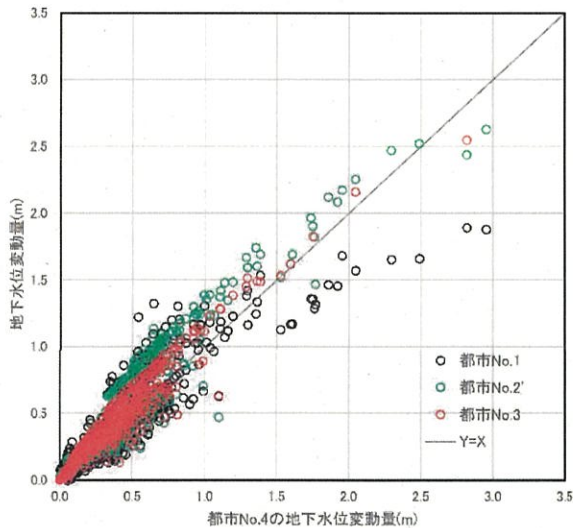


図 4.4 地下水位の相関図 (都市 No. 4 vs No. 1~No. 3)

5. 3次元地下水流動解析

5.1 解析モデルの作成方針

- 1) スタジアム建設地域を含めた地域一帯の地下水位変動、基礎建設時の地下水変動を解析し、アユモドキ生息域にあたる桂川本川に与える影響を評価することを目的に地下水解析モデルを作成した。
- 2) 地下水解析モデルは、現況の地下水流動（観測地下水位）を再現でき、スタジアム建設に伴う地下水流動の変動を予測することが可能な地下水解析モデルを作成した。
- 3) 地下水解析モデルは、地下水流動が3次元的事象であることから、3次元モデルとした。将来的に地下水位だけでなく、地下水の水質予測も想定し、水質変動が可能な解析プログラム (Dtransu-3D・EL[※]) を選定した。
- 4) 解析領域は、対象地域での地下水変動の影響が無視できる範囲まで広くとり、外部境界は、地下水位を決定づける条件となる桂川およびその支川にとった(図 5.1)。この範囲での主要帯水層である第1・第2帯水層 (Ag 層、Dg 層) の拡がり、形状を重視して帯水層をモデル化した。
- 5) 地下水位の再現解析 (ステップ1) により解析モデルの妥当性を示し、その後、駅北開発範囲 (図 5.2) の地表かん養をゼロとした場合の計算 (ステップ2)、さらにスタジアム建設による杭基礎 (図 5.3.1, 5.3.2) の流動阻害を考慮した計算 (ステップ3) の3段階の解析より、スタジアム建設に伴う地下水変動 (ステップ2とステップ3の違い) を整理して、影響評価を行う。

※Dtransu-3D・EL は、岡山大学西垣誠教授、三菱マテリアル株式会社様、株式会社ダイヤコンサルタント様の三者により共同で開発されたプログラムです。Dtransu-3D・EL は地下水の流れと物質移行を同時に解く機能があり、このため溶質の濃度変化により地下水の密度 (重さ) が変化し、地下水流れが変化するという、地下水と物質移行の相互作用を解くことができます。

5.2 地層の三次元形状データ (ソリッドモデル) の作成

- 1) モデル座標は平面直角座標系 (JGD2011) の第6系とした。
- 2) 地表面形状は国土地理院の5mメッシュ標高 (数値地図) から作成した。
- 3) 10mグリッドで Ag 層、Dg 層 (低位段丘層 1t) 下面の地層標高データ (コンター図) を作成した。
- 4) Dg 層下位の大阪層群 (0u) は、今回の主要帯水層ではないため、下端を標高ゼロ m までのモデル化を行った。
- 5) 作成したソリッドモデルを解析メッシュに分割した結果を図 5.4~5.7 に示す。節点数は約 37 万、要素数は、約 67 万であり、スタジアム部分の要素幅 (三角形の一边) は約 20m、帯水層深度方向には、浅部を 3m 程度に分割し、精度にあまり関係しない深部ではより粗い分割とした。

5.3 現況地下水位の再現解析

最寄りのアメダス気象観測所である園部観測所の過去 30 年 (1986~2016) の平均年降水量 (=1560mm/年) を求め、大まかに、その 30% が地表から浸透すると仮定した (=1560mm/年×30%=1.28mm/日)。

帯水層の透水係数は、近畿農政局の成果 (平成 18 年度地下水調査岡盆地地区保全かん養検討業務) や土質・土の粒度特性 (20%粒径) から得られる一般的な値を参考として、表 5.1 に示す値を設定した。

再現解析結果（ステップ1）を図5.8～5.10に示す。これらに示すとおり、観測期間の平均地下水位を概ね再現できていることから、作成した解析モデルは概ね妥当と判断する。

さらに駅北開発時点の結果を図5.11、5.11に示す。

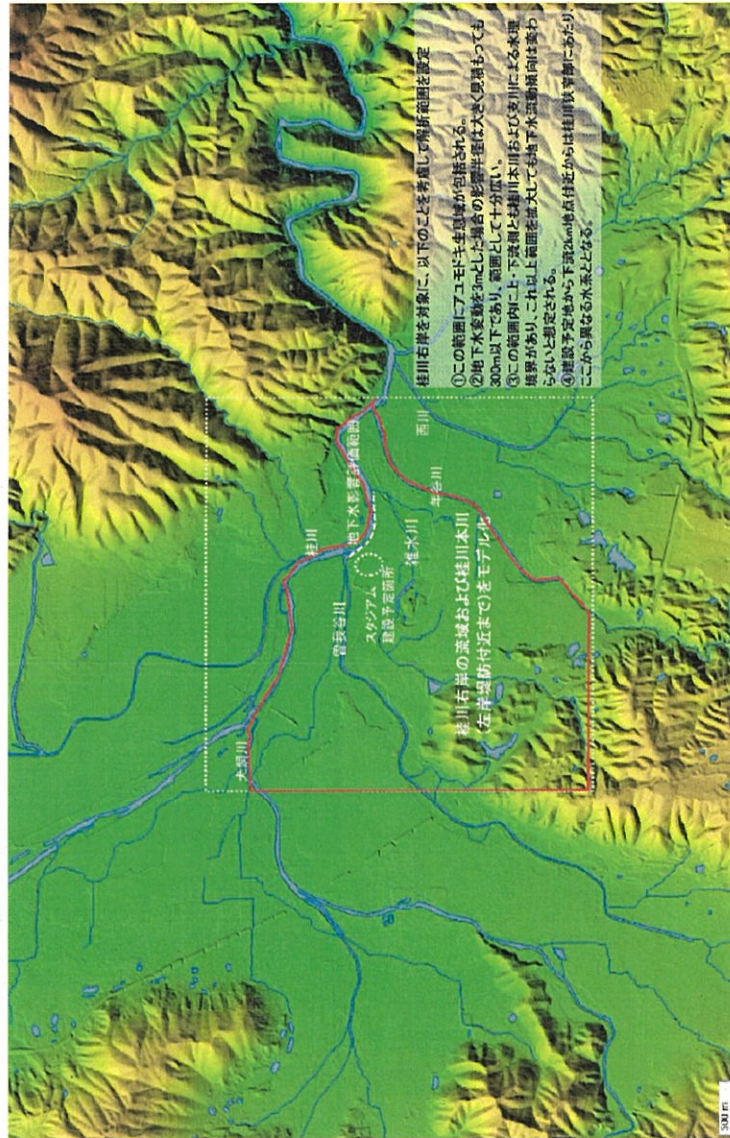


図 5.1 地下水解析モデルの範囲

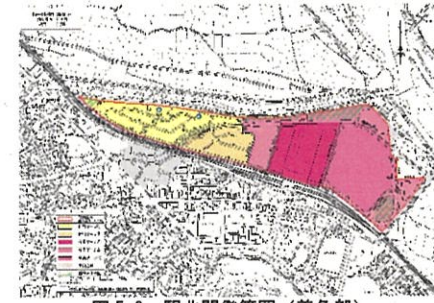


図 5.2 駅北開発範囲（着色部）

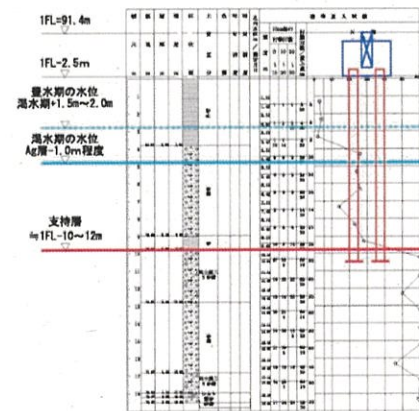
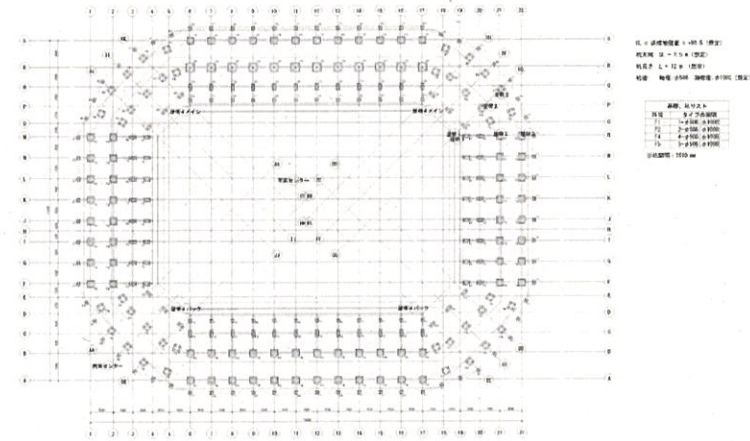


図 5.3.2 スタジアム基礎断面図

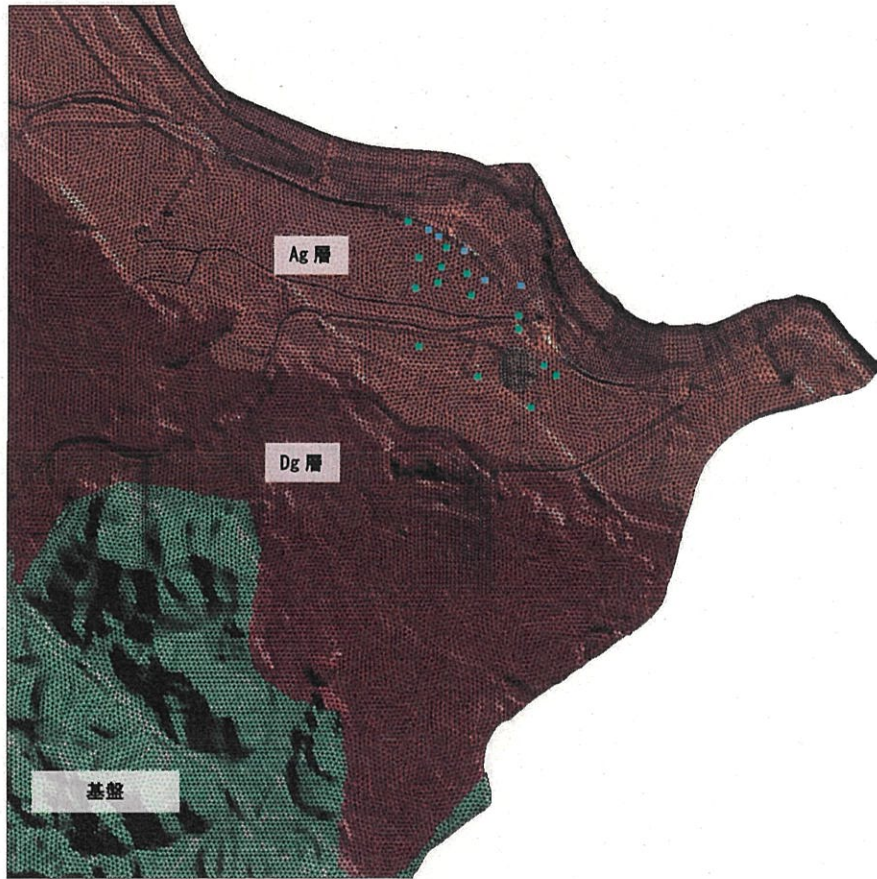


図 5.4 地下水解析モデルの有限要素分割図（メッシュ図）
 注）図中の■マークは、水色が水源井、緑色が地下水位観測地点を示す。

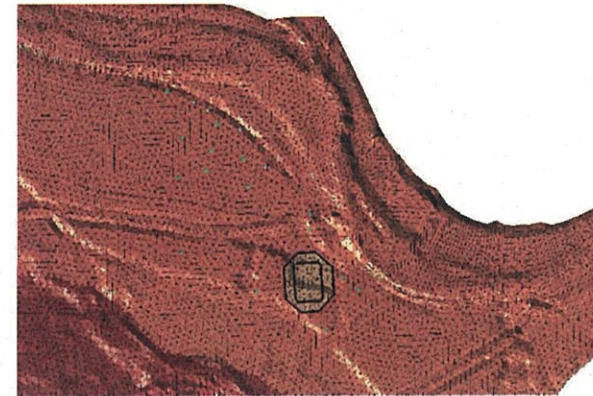


図 5.5 スタジアム及びその周辺部のメッシュ
 （部分拡大図：スタジアム部の要素分割（三角形要素の1辺）は約 20m）

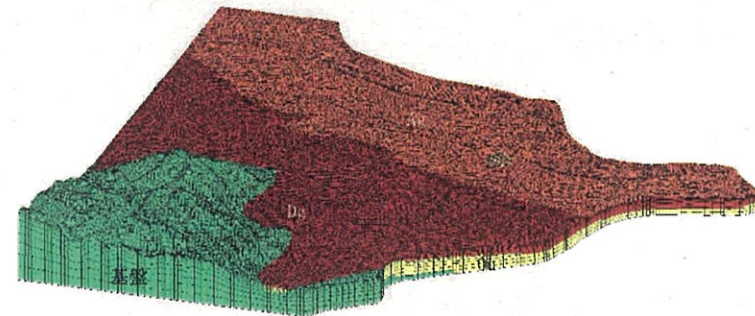


図 5.6 解析メッシュの鳥瞰図

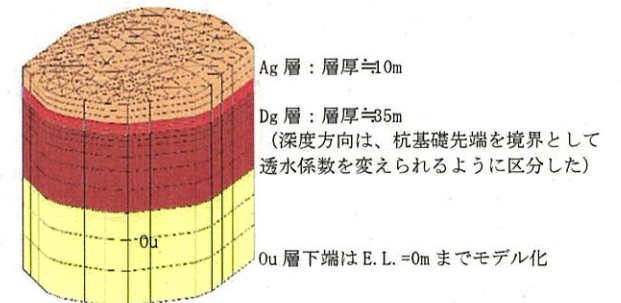


図 5.7 スタジアム下部の帯水層区分

表 5.1 現況再現で用いた帯水層の透水係数

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}

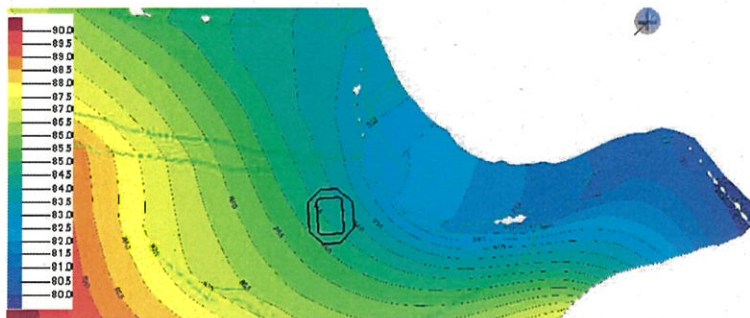


図 5.8 現況の地下水水位再現計算結果 (ステップ1の地下水水位標高コンター)

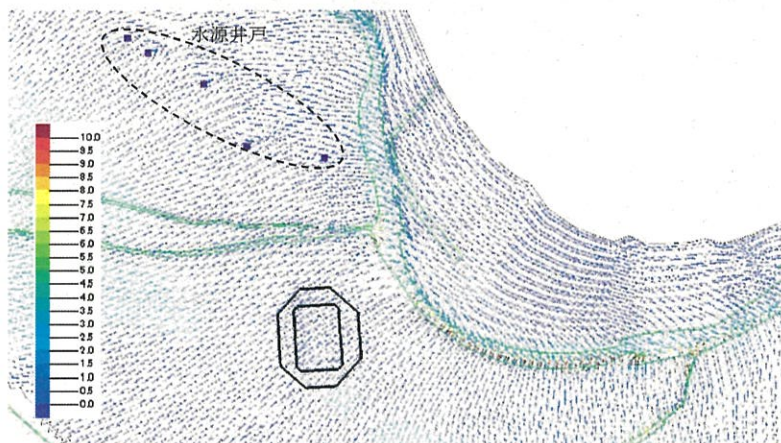


図 5.9 現況の地下水水位再現計算結果 (ステップ1のAg層の流速ベクトル、単位: m/d)

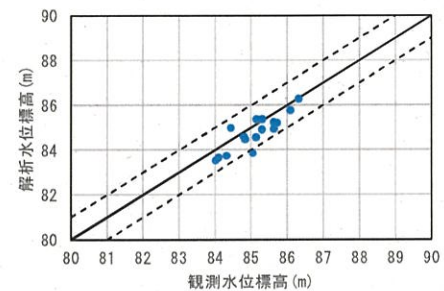


図 5.10 現況の地下水水位再現計算結果 (ステップ1の観測水位 vs 解析水位の相関図)

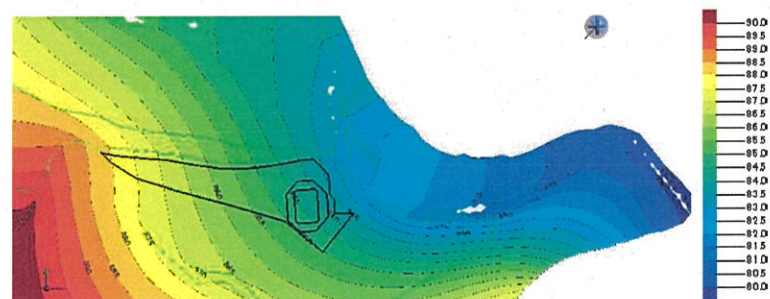


図 5.11 駅北開発域時の地下水水位再現計算結果 (ステップ2の地下水水位標高コンター)

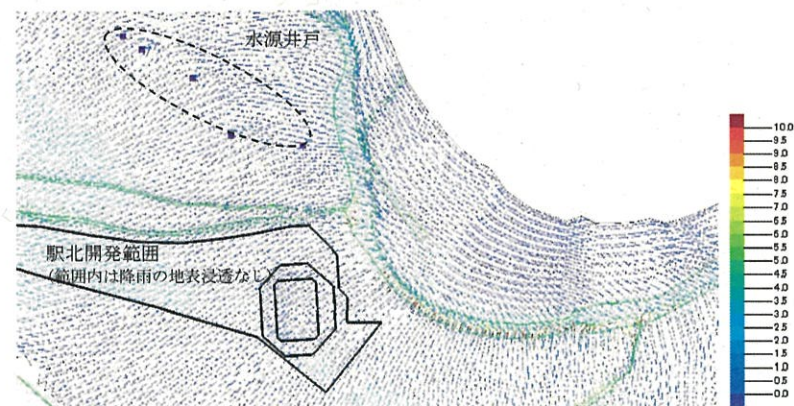


図 5.12 駅北開発域時の地下水水位再現計算結果 (ステップ2のAg層の流速ベクトル、単位: m/d)

5.4 スタジアム基礎のモデル化と地下水流動阻害の把握

スタジアム基礎による流動阻害の条件を解析モデルに組み込むために、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 5.2 に示すとおりである。

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

表 5.2 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

スタジアムの杭基礎の流動阻害を考慮した解析結果について、地下水位標高コンター、スタジアム建設後の水位差 (ステップ 2 とステップ 3 の水位差) を整理した結果を下記の図・表に示す。

ケース 1 : 図 5.13、表 5.3

ケース 2 : 図 5.14、表 5.4、図 5.15

これらより、フーチング全体が流動阻害するとしたケース 2 の場合においてもスタジアム建設による水位変動は、直近で 2cm 以内であり、水位差は無視できるレベルである。

また、桂川環境影響評価区間 (アヌモドキ推定生息域) の地下水流出量について、表 5.5 に整理した。地下水流出量は、0.71m³/s 程度を示し、近畿農政局が実施した河川流量測定結果 (図 3.1、図 3.2 参照) と整合的であり、スタジアム建設に伴う流量変動は無視できるレベルである。

なお、ステップ 1~3 の流速ベクトル図を拡大したものを図 5.16~5.19 に示した。

■ケース 1

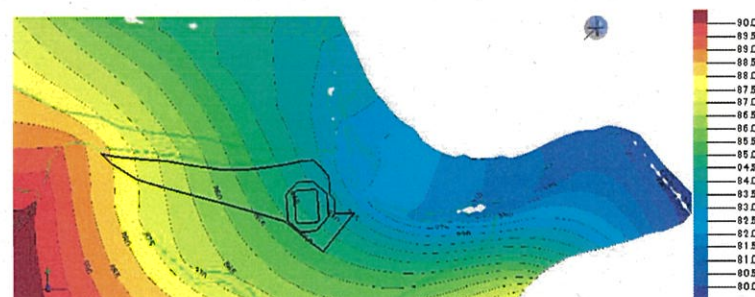
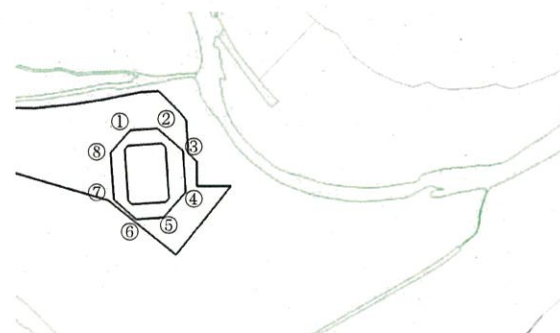
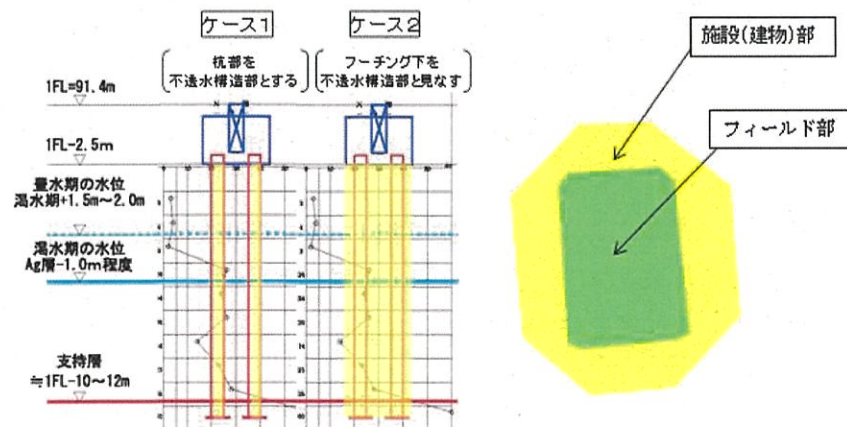


図 5.13 スタジアム建設時の地下水位再現計算結果 (ステップ 3 【ケース 1】の地下水位標高コンター)

表 5.3 スタジアム建設前・後の地下水の水位差着目点と水位差 (水位差=ステップ 3 【ケース 2】-ステップ 1 : プラスの場合は、建設後に地下水水位上昇)



位置	差分水位 (cm)
①	0.017
②	-0.069
③	-0.131
④	-0.025
⑤	0.086
⑥	0.013
⑦	0.143
⑧	0.099



■ケース 2

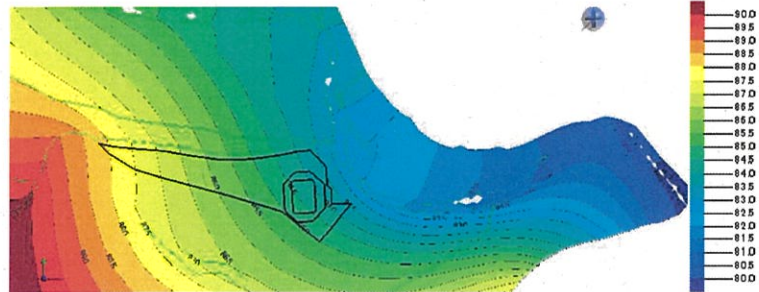
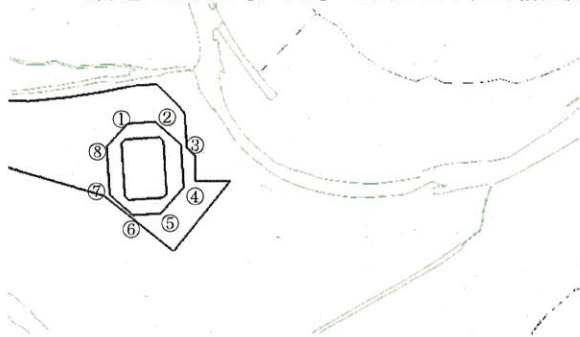


図 5.14 スタジアム建設時の地下水位再現計算結果 (ステップ3【ケース2】)の地下水位標高コンター

表 5.4 スタジアム建設前・後の地下水の水位差着目点と水位差
(水位差=ステップ3【ケース2】-ステップ2: プラスの場合は、建設後に地下水位上昇)



位置	差分水位 (cm)
①	0.121
②	-0.609
③	-1.177
④	-0.277
⑤	0.757
⑥	1.218
⑦	1.351
⑧	0.881

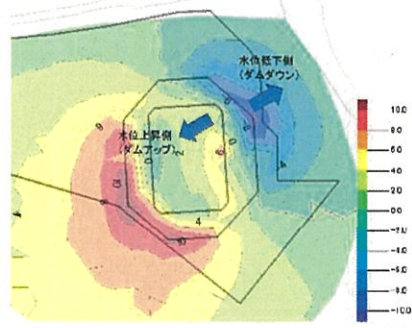


図 5.15 スタジアム建設前・後の差分水位コンター

表 5.5 桂川環境影響評価区間約 600m (アユモドキ推定生息域)の地下水流出量

	流出流量 (m ³ /s)
現況 (ステップ1)	0.71
駅北開発時点 (ステップ2)	0.71
スタジアム建設時 (ステップ3-ケース1)	0.71
スタジアム建設時 (ステップ3-ケース2)	0.71



(ハッチング部の桂川河床部の地下水流出量を算出)

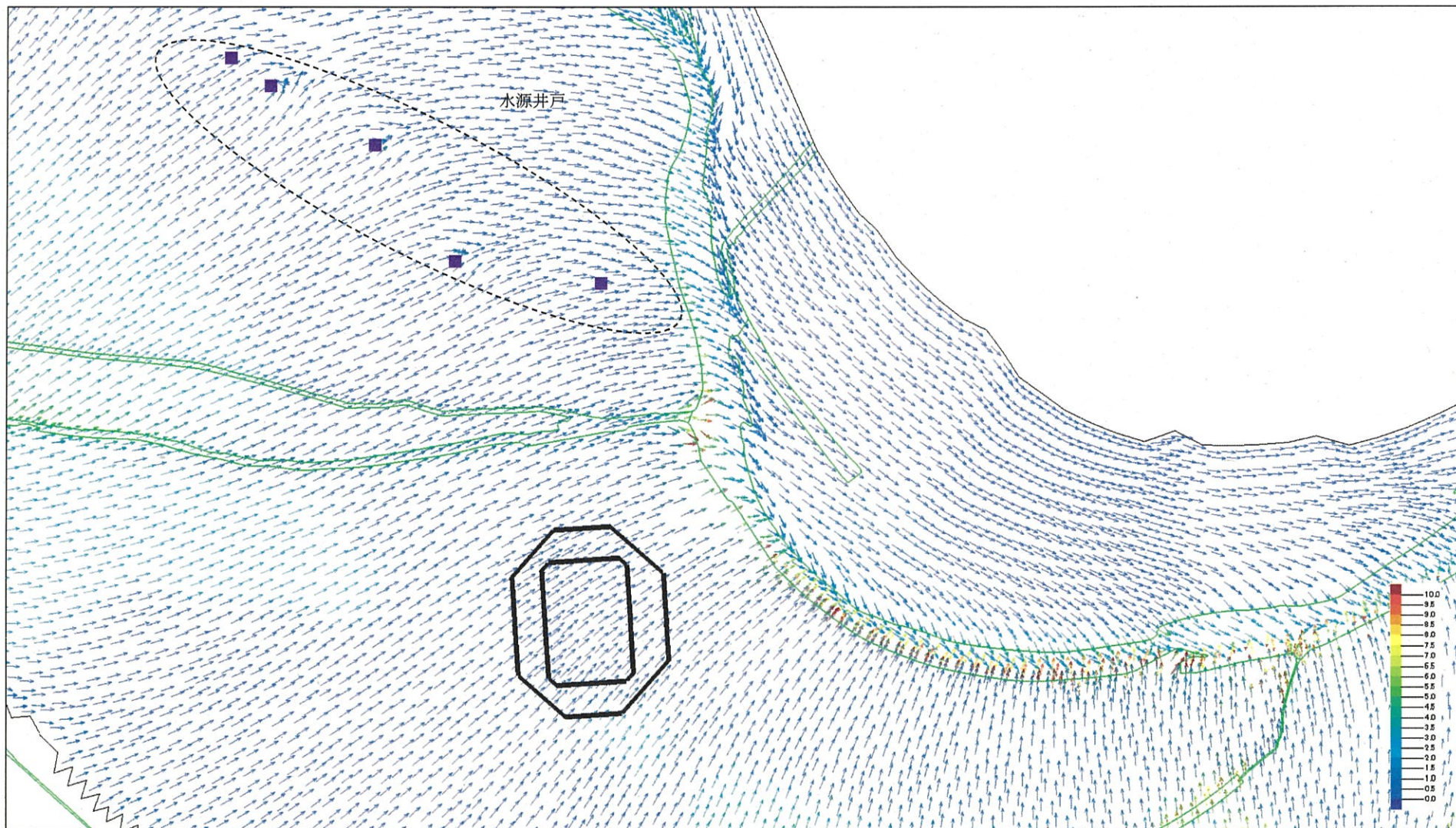


図 5.16 現況の地下水位再現計算結果 (ステップ 1 の Ag 層の流速ベクトル、単位 : m/d)

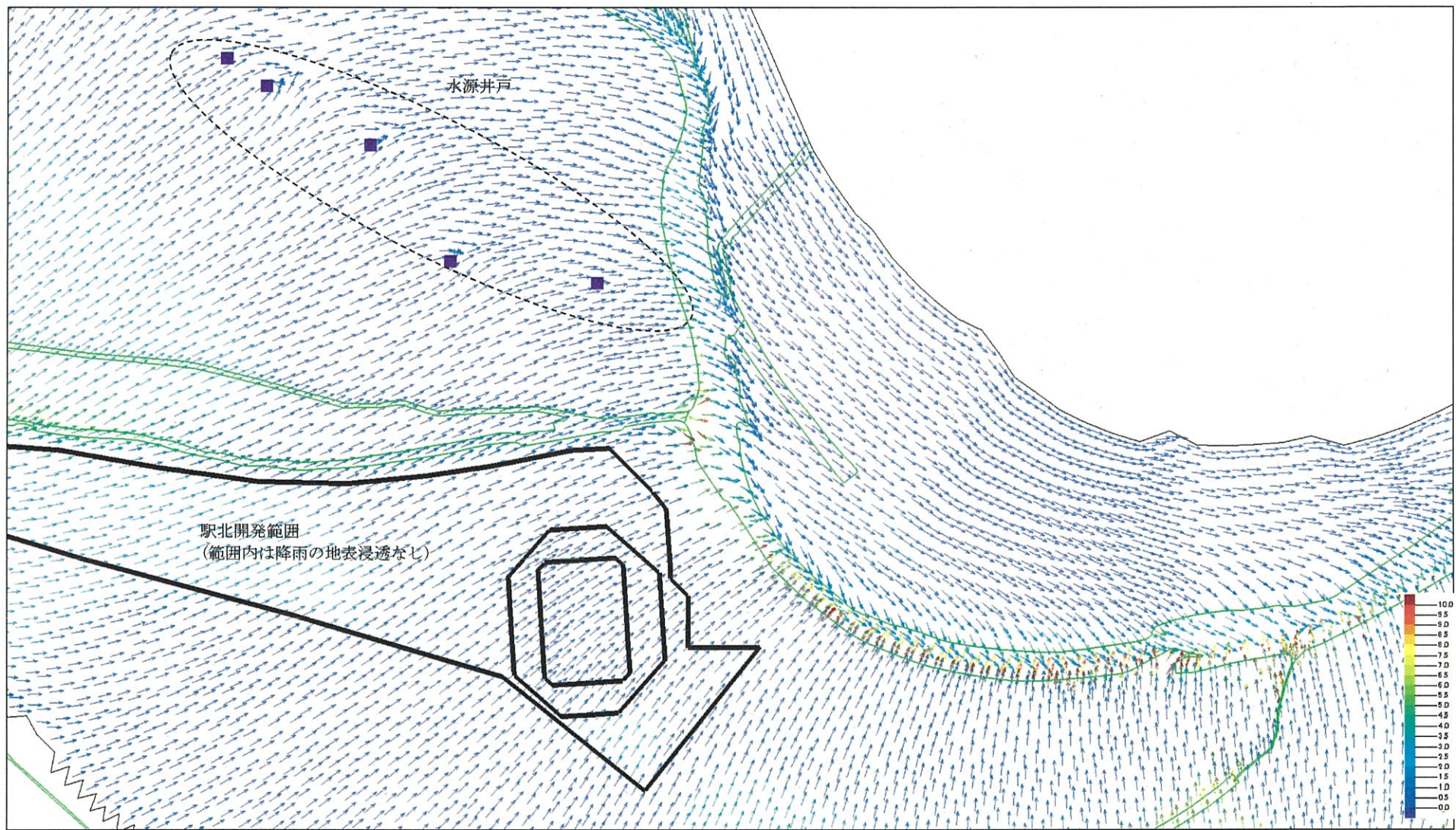


図 5.17 駅北開発時の地下水位再現計算結果 (ステップ2の Ag 層の流速ベクトル、単位 : m/d)

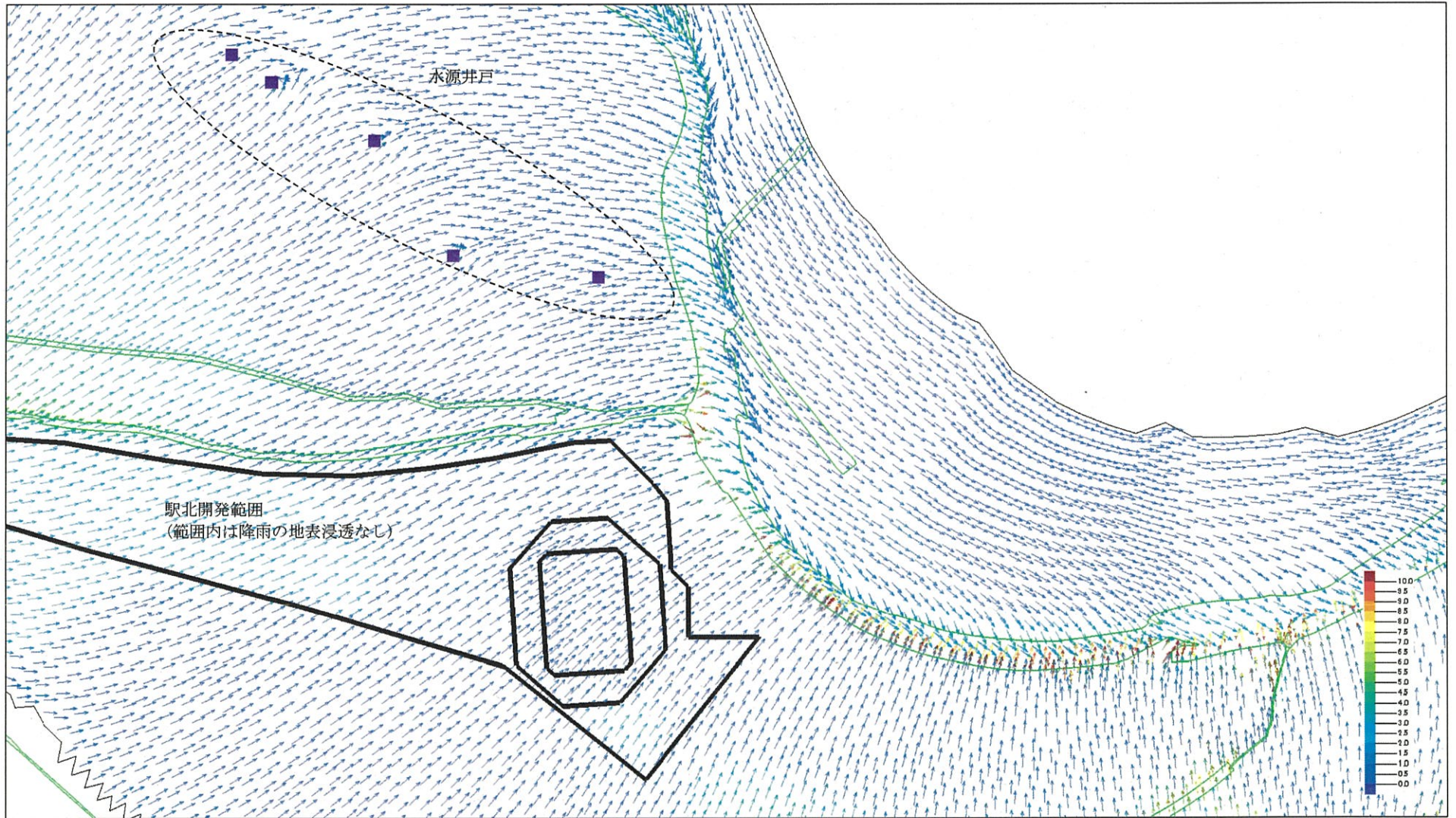


図 5.18 スタジアム建設時の地下水位再現計算結果 (ステップ3【ケース1】) の Ag 層の流速ベクトル、単位 : m/d

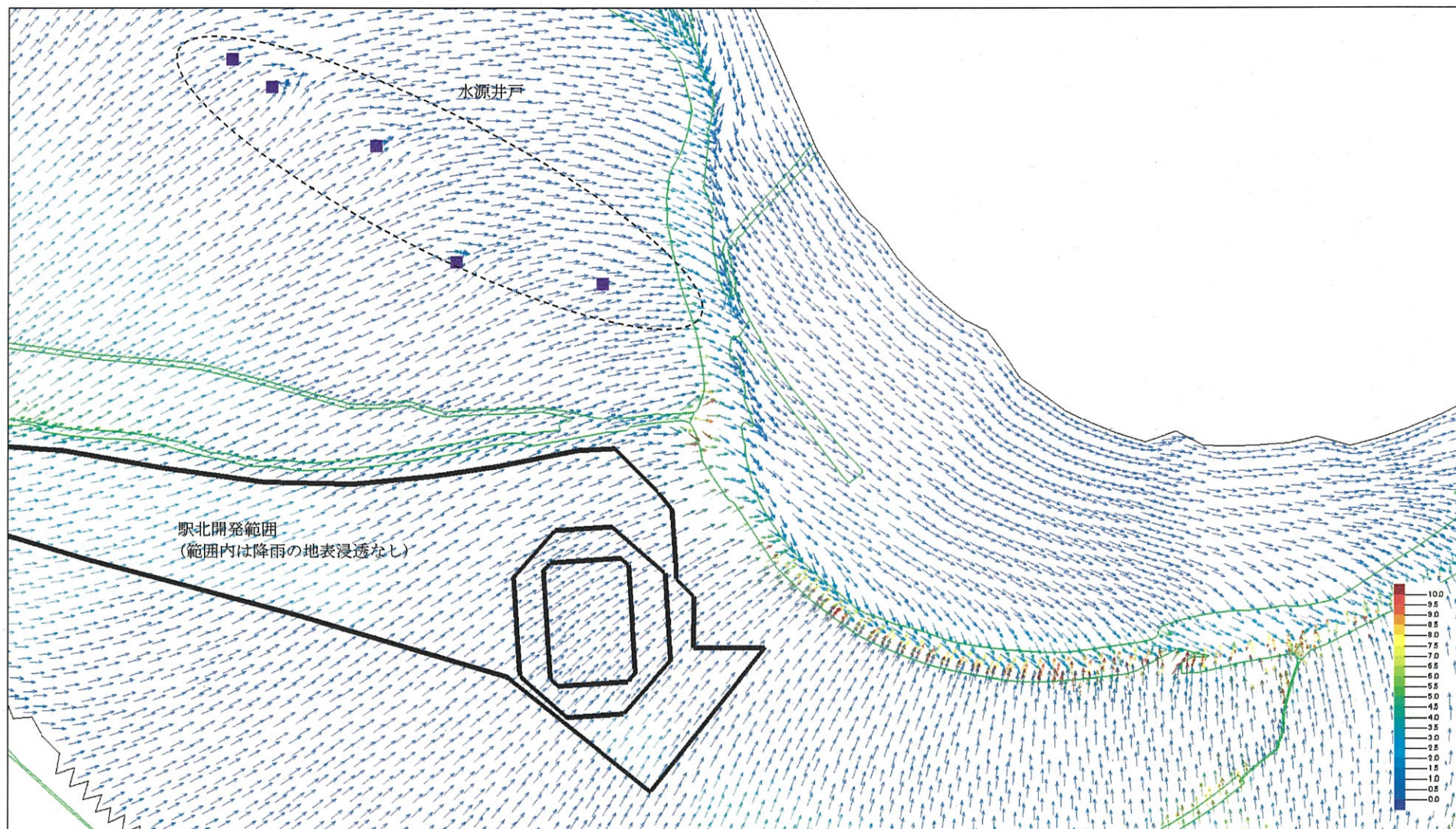


図 5.19 スタジアム建設時の地下水位再現計算結果 (ステップ3【ケース2】) のAg層の流速ベクトル、単位 : m/d