

「堀川 1000 人調査隊 2005」自由プログラム

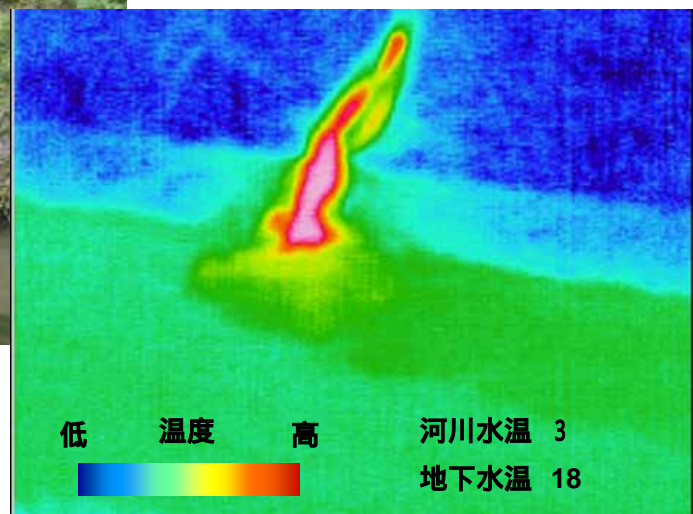
地下水投入による堀川の水質・流況改善効果に関する検討

- ・地下水投入に伴う堀川上流部の水質変化について
- ・地下水投入に伴う堀川周辺の地下水状態の変化について



地下水投入状況

サーモグラフィーによる熱画像



調査隊名 名城大学水工システム調査隊

調査隊員 原田 守博 (名城大学教授)
小笠原孝行 (名城大学大学院生)
小川 将司 (名城大学理工学部4年)
中山 英一 (名城大学理工学部4年)

調査概要

本調査隊では、河川に浅層地下水を投入することにより、堀川の悪化した水質を改善し、普段は流れの乏しい流量を回復できないか、ということに注目しました。一般的に良質といわれる地下水を投入することは、堀川の水質浄化に効果があると考えられます。そこで、本調査隊では堀川上流部を対象として、投入される地下水の水質特性を明らかにするとともに、現在2地点における地下水投入による堀川の水質への影響について調査しました。また、今後堀川において地下水投入を多地点で実施した場合について、広域地下水解析モデルを用いて数値シミュレーションを行い、揚水に伴う周辺地下水位の低下状況、および堀川の流況改善効果について検討しました。

．地下水投入に伴う堀川上流部の水質変化について

1. 水質調査の概要

本調査隊では、図 - 1 に示す地点 1 ~ 4 , A , B の 6 箇所において水質調査を実施しました。各調査地点の詳細な位置は、地点 1 が夫婦橋、地点 2 が瑠璃光橋、地点 3 が稚児宮人道橋、地点 4 が北清水橋、地点 A が辻栄橋上流の地下水投入地点、地点 B が木津根橋上流の地下水投入地点です。地点 1 ~ 3 は黒川区間（自然流下区間）であり、ここでは地下水投入前後の堀川の水質を測定し、地下水投入による堀川の水質への影響について検討しました。地点 4 は堀川区間（感潮区間）であり、この地点では上流側の黒川区間から流れてくる水の影響について調べました。地点 A , B では投入される地下水の水質を測定し、河川水との水質の違いについて検討しました。

水質の測定機器にはHORIBA（株）製のマルチ水質モニタリングシステム（写真 - 1）, およびペッテンコーヘル水温計（写真 - 2）を用い、測定項目は水温、pH、EC、DO（溶存酸素）、濁度、Cl⁻（塩化物イオン）、NO₃⁻（硝酸イオン）としました。水質の測定には、バケツにて表層水を採水し、上記のような測定機器を用いて現場で速やかに計測を行ないました。水質測定は各地点において2回ずつ行ないました。

調査日は、堀川の流況が庄内川からの導水の有無によって変化するため、導水期間中である2005年11月15日と17日、非導水期間中である2005年11月22日と24日としました。また、測定時刻は13:00 ~ 17:00の間で行ないました。

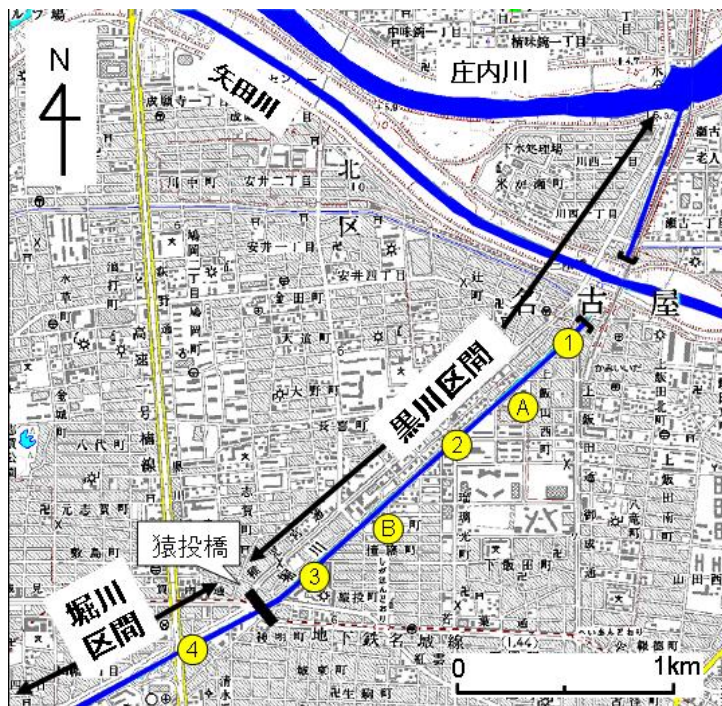


図 - 1 堀川上流部における水質調査地点



写真 - 1 マルチ水質モニタリングシステム



写真 - 2 ペッテンコーヘル水温計

2. 各調査日における河道流量

河道流量の測定機器として電磁流速計（KENEK（株）製）を用い、1点法によって流速を測定しました。図 - 2 は、地点 1 における河道流量の観測結果です。導水期間に比べて非導水期間は河道流量が大幅に減少し、 $0.1\text{m}^3/\text{s}$ 以下となっています。写真 - 3 から分かるように、非導水期間はかなり流れが乏しい状況となります。非導水期間においては流水の枯渇を防ぐために、庄内用水頭首工付近において約 $0.02\text{m}^3/\text{s}$ の地下水が導水されています。しかし、黒川区間においては水深がわずか 5cm 以下となる箇所があり、河道に生息する生物にとって良好な環境であるとはいえません。

地下水投入量は、地点A、Bともに $0.01\text{m}^3/\text{s}$ です。そのため、河道流量に対して地下水投入量は少ないですが、非導水期間における乏しい流量を回復するうえで地下水投入は重要であると思われます。

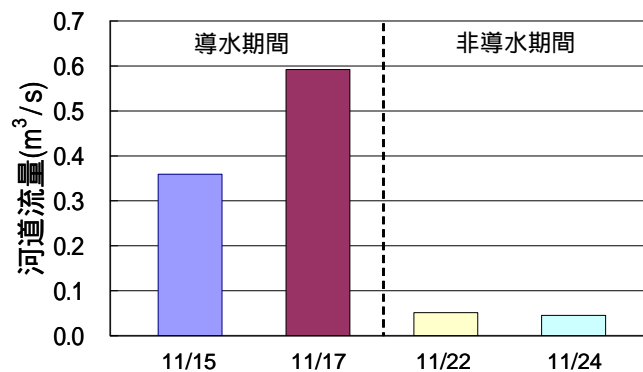


図 - 2 各調査日における河道流量（地点 1）



11月17日（導水期間）



11月22日（非導水期間）

写真 - 3 地点 1 における堀川の流況

3. 水質調査の結果

各水質項目についての調査結果を図 - 3 (a) ~ (g) に示し、それぞれについて考察を述べます。

(a) 水温

図 - 3 (a) により、河川水の水温は調査日によって差異が見られますが、地下水は常に 19℃ を保っていることが分かります。これは、河川の水温が気温変化の影響を受けるのに対し、地下水は恒温層にあるためその影響を受けず、水温変化が少ないことを示します。よって、地下水投入は堀川の水温環境を安定させるのに役立つであると思われます。非導水期間においては、河川水と地下水の水温に差異がみられますが、地下水投入による河川の水温変化はほとんどありませんでした。

(b) pH

図 - 3 (b) により、地下水中の pH は生物作用によりやや酸性を示していますが、地点 A と B においても差異がみられることから、地形的な影響を受けていると思われます。また、河川水は導水・非導水期間によって違いがみられますが、これは導水される庄内川の水質特性に起因していると思われます。地点 1 ~ 3 における pH の変化は、導水・非導水にかかわらず同じ挙動を示している点から、流下に伴う変化であると考えられます。また、地点 4 における pH は下流側の水質状況に依存しているものと推察されます。

(c) EC

図 - 3 (c) により、河川水と地下水では EC に差異が見られます。おそらく、両者が含有するイオンは異なり、地下水に関しては自然鉱物を由来とする鉄やマンガンが多く含まれていると思われます。河川水については導水・非導水期間によって EC が大きく異なり、導水期間中の EC が高いのは、庄内川の汚濁した水に起因していると思われます。また、地点 1 ~ 3 における流下方向の変化はあまりみられません。地点 4 において導水期間・非導水期間によって差異がみられることから、この地点の EC は上流側の河川の水質によって影響を受けると考えられます。

(d) DO

図 - 3 (d) により、地点 1 ~ 3 の河川水が約 9 mg/l であるのに対し、地下水の DO は低く 4 mg/l 程度となっています。河川中の DO が低くなると、生物が生息しにくい環境となり、さらには微生物活動が抑制されるため河川の自乗浄化作用が低下します。また、堀川は大部分が感潮区間であり、名古屋港からの貧酸素水塊の遡上の影響で、地点 4 のように DO が低い状態であるため、これを改善するためにも堀川の DO は高く保たれるべきであると思われます。よって、地下水を多量に投入する際は、河川の DO が低下しないよう注意する必要があります。今回の調査においては、地下水投入量が少ないため、地点 1 ~ 3 における流下方向の DO 低下はみられませんでした。

(e) 濁度

図 - 3 (e) により、河川水に比べて地下水の濁度が低いことが分かります。よって、地下水投入は堀川の透明度を高め、清涼な流れを創造することができると考えられます。地点 1 ~ 3 において、11/22 以外は流下方向に濁度が減少している傾向がみられますが、濁度センサーが不安定であったこともあり、これが地下水投入によるものかどうかは明確には分かりません。

(f) NO₃⁻

図 - 3 (f)により、河川水に比べて地下水のNO₃⁻濃度が低いことが分かります。地点1～3において、流下方向にNO₃⁻が増加しているのは、地下水から供給される量が少ないので、地下水投入以外のことに起因していると思われます。また、中下流部においては下水処理水の流入によって栄養塩濃度が高くなるため、11/17のように満潮時においては地点4のNO₃⁻濃度が高まっています。よって、上流からの良質な水供給は、堀川の富栄養化を防ぐうえでも重要であり、特に地下水はそれに適した水であると思われます。

(g) Cl⁻

図 - 3 (g)より、導水中の河川に比べて地下水のCl⁻は低いことが分かります。導水中の河川水のCl⁻は庄内川の水質状況に起因し、非導水中に比べて濃度が3倍となっています。Cl⁻の流下方向の変化はほとんどみられず、地下水投入による影響はあまりないと思われます。また地点4においては、導水・非導水期間で差異がみられることから、上流側から流れてくる水質の影響を受けることが分かりました。

以上のことをまとめると、投入される地下水の水質特性は水温が安定しており透明度が高いが、DOが低いという欠点もあります。また、地下水と河川水の水質を比べるといくつかの項目で差異がみられ、特に導水期間中の河川水とは大きく数値が異なる項目もありました。導水期間中の黒川区間の水質は、庄内川に合流する八田川の汚濁した水質に依存するため、あまり良好な水質とはいえません。一方、投入される地下水は本調査においても良質な水と判断できるので、堀川の水質改善策として地下水を利用することは効果的であると考えられます。しかしながら、現在の地下水投入量は、河道流量に対してわずかであるため、堀川の水質・流況に対して目立った影響はみられませんでした。よって、堀川の汚濁した水質を改善するためには、より多くの地下水投入によって良質な水を河川に供給する必要があると思われます。

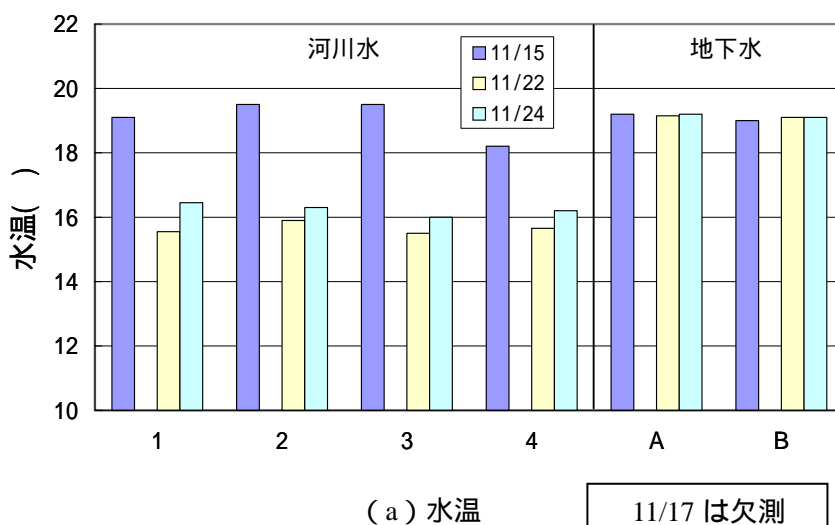
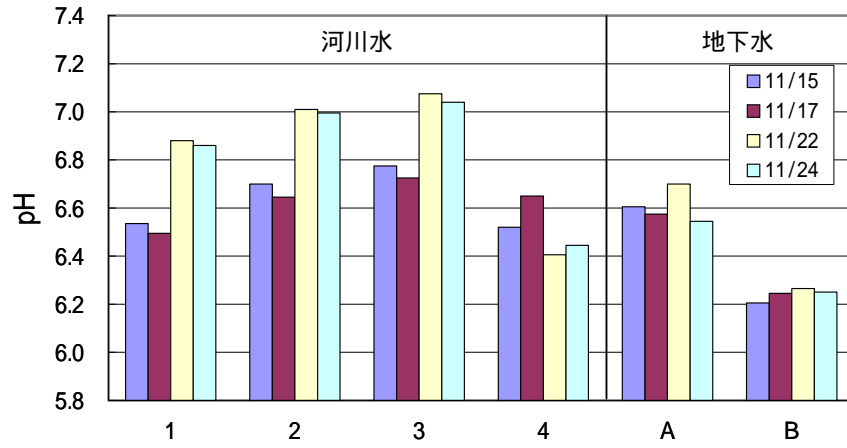
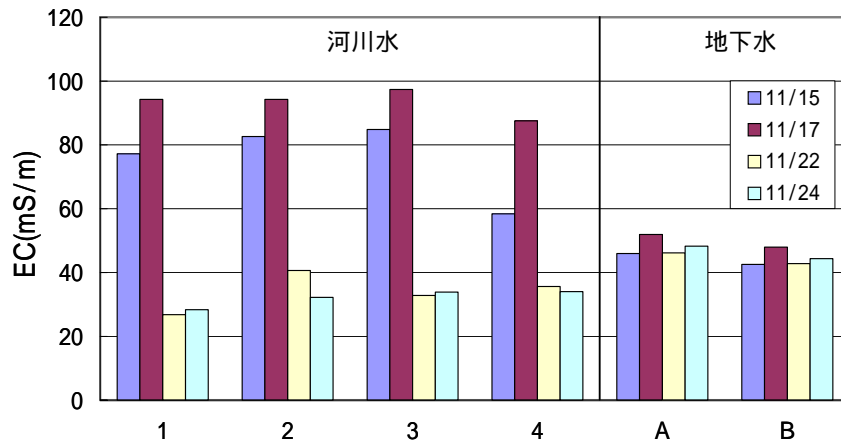


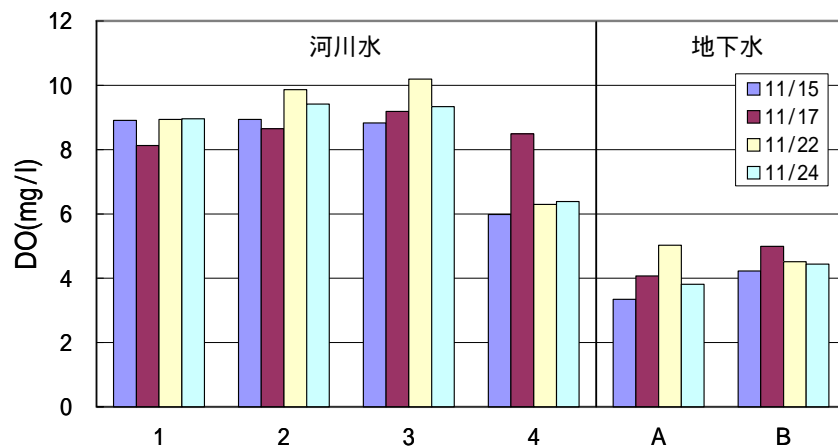
図 - 3 水質調査結果



(b) pH

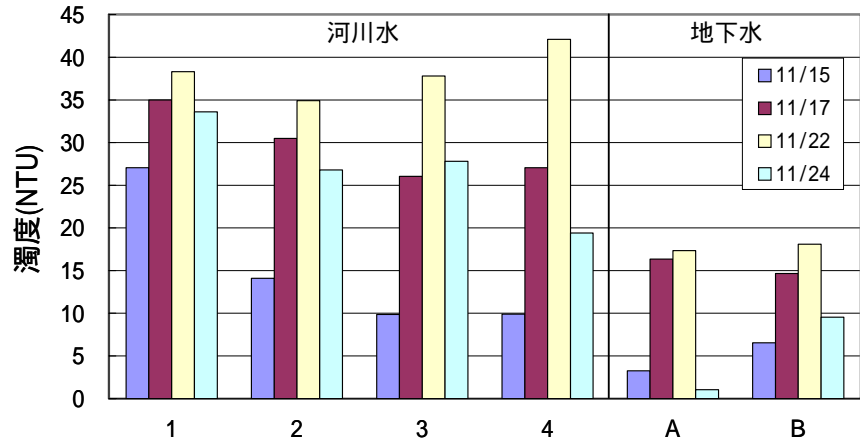


(c) EC

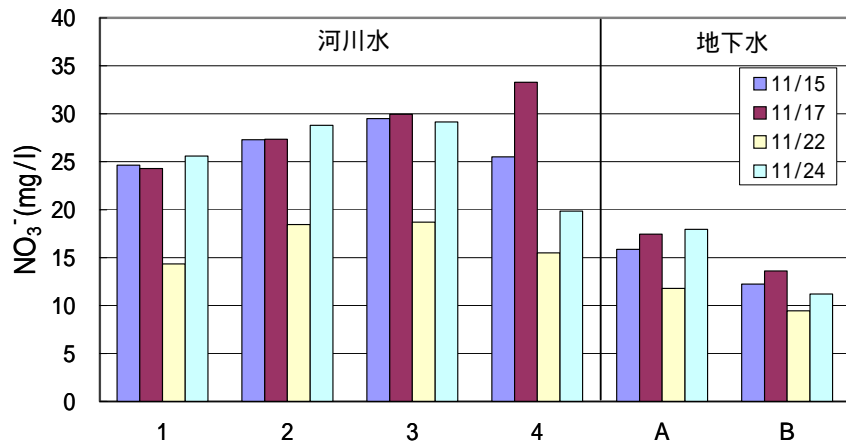


(d) DO

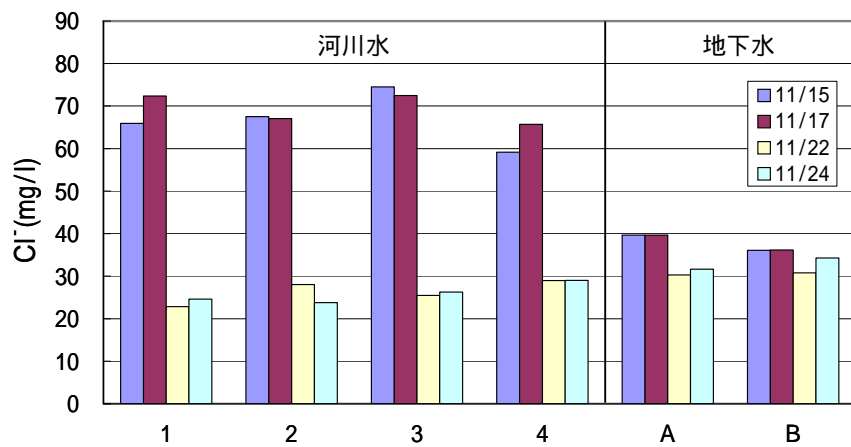
圖 - 3 水質調查結果



(e) 濁度



(f) 硝酸イオン (NO_3^-)



(g) 塩化物イオン (Cl^-)

図 - 3 水質調査結果

．地下水投入に伴う堀川周辺の地下水状態の変化について

堀川への地下水の投入は今のところ2地点のみですが、将来、地下水投入を多地点で実施したとき、堀川の流況はどの程度改善できるか、また地下水の汲み上げによる悪影響はどの程度であるかを検討するため、広域地下水解析モデルを用いて数値シミュレーションを行いました¹⁾。具体的には、堀川上中流域を対象とし、揚水井を多くの地点に設置した場合について、揚水に伴う周辺地下水位の低下状況、および地下水投入による堀川の流況回復について試算を行いました。この解析により、地下水位の過剰な低下を起こさない範囲で、堀川にどれくらいの地下水が投入できるかを把握することが可能です。

1. 解析の概要

計算に用いるのは、原田ら²⁾が開発した「河川を考慮した広域地下水流動モデル」です。解析に用いる基礎方程式として、河道流量の連続式、河道の水面形方程式、 Manning則による等流近似式、二次元定常の地下水方程式、伏流強度の評価式を用います。

対象領域は図 - 4 に示すように、堀川上流～中流域としました。境界条件として、北側を矢田川・庄内川、それ以外を平野部とし、それぞれに境界水位を与えました。解析に適用するパラメータは多数あるためここでは省略しますが、地下水の流動に最も影響を及ぼす透水係数は、 2.5×10^{-3} m/s としましたが、熱田面においてはそれよりも透水性が低いと考えられるため、 5.0×10^{-4} m/s としました。

今回の解析では、図 - 4 に示すように領域内において地下水投入のための揚水井を6地点に設置し、それぞれ $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ の汲み上げを行った場合について、堀川の流量および周辺地下水位への影響について検討しました。

2. 解析結果

上記のような条件で解析を行なうと、地下水位の分布は図 - 5 のようになります。領域内において地下水位は北東から南西に向かって下がっており、これはほぼ地形に沿った分布となっています。また、熱田面においても地形に沿って地下水位が高くなる結果となりました。

図 - 4 に示す6地点において揚水を行なった場合、地下水位の低下量は図 - 6 のような分布となりました。領域の大部分に広がる鳥居松礫層は透水性が高いため、 $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ の揚水による地下水位の低下はごく狭い範囲に限られ、なおかつ低下量もわずかです。しかし、熱田面においては透水性が低く、揚水による水位低下量が大きくなるため、この付近で多量に汲み上げる場合は注意が必要です。

また、河道流量の解析結果は図 - 7 のようになりました。この図における「河道流量の増加分」とは、地下水投入および堀川への地下水湧出による河道流量の変化量のことを指します。この図より、地下水

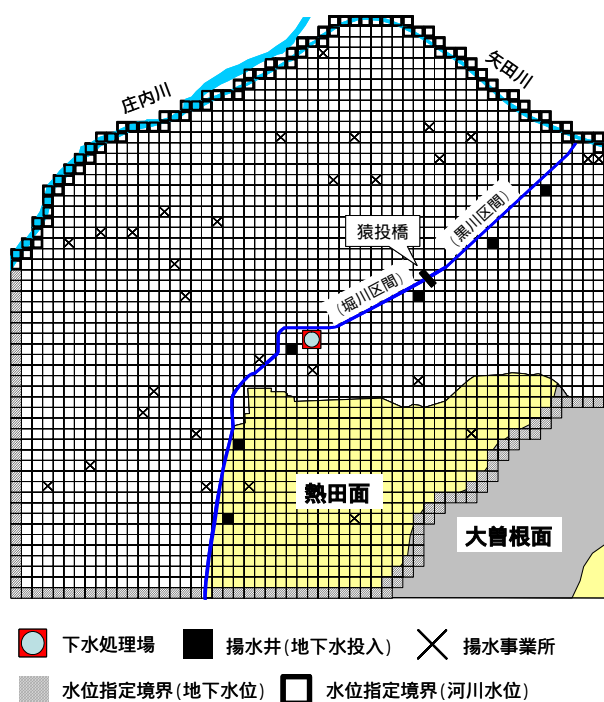


図 - 4 解析領域および境界条件

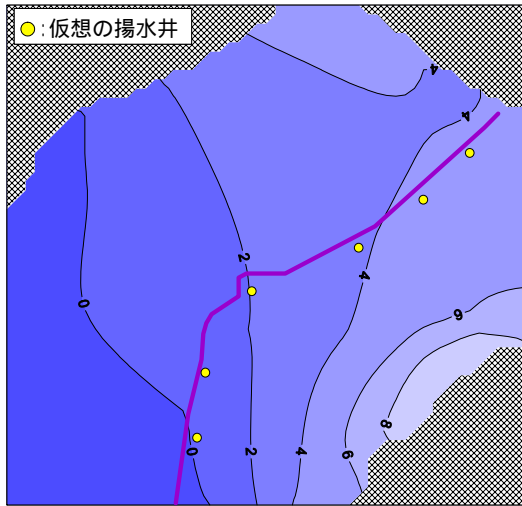


図 - 5 解析による地下水位分布
(単位：T.P. m)

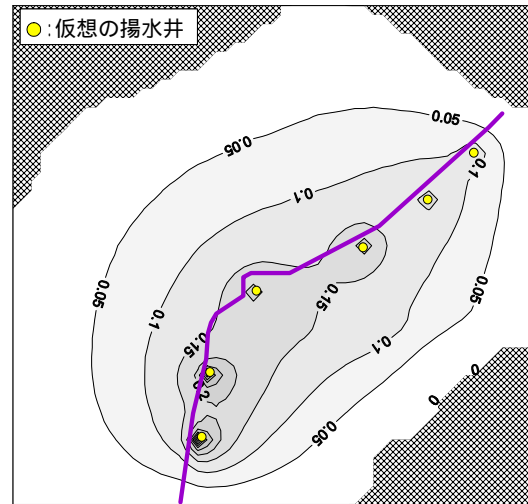


図 - 6 地下水位低下量の分布
(単位：m)

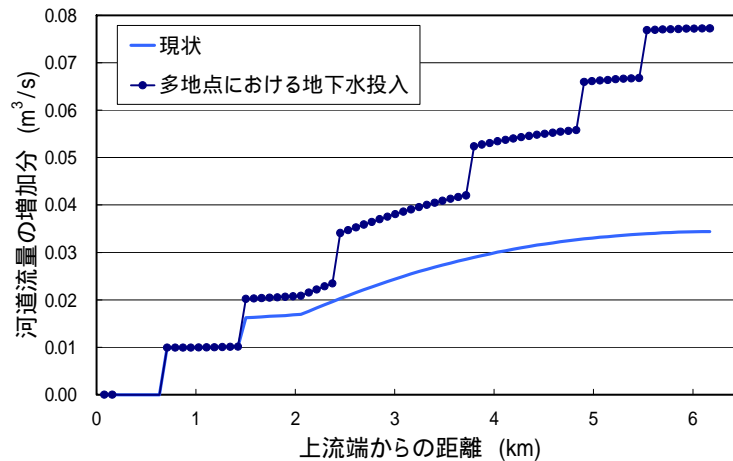


図 - 7 河道流量の増加分の縦断変化

投入によって段階的に河道流量を増加させ、下流端においては現状に比べて2倍以上に増やすことができます。この解析では、河川と地下水の水交換を考慮しているため、堀川の流量は地下水の湧出によっても徐々に増加する結果となりました。

今回の解析結果はあくまで試算的なものですので、十分な精度をもったものではありません。今後、解析モデルの改良を進め精度を高めることによって、堀川に対してどの程度の地下水投入が可能かどうかを検討していきたいと考えています。

【参考文献】

- 1) 原田守博・小笠原孝行・小川将司・中山英一：「堀川における地下水投入に伴う河道流況および周辺地下水への影響評価」, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2006 (投稿中)
- 2) 原田守博・山田達也：「野洲川扇状地における河川水と地下水との水交換に関する考察」, 土木学会水工学論文集, Vol.48, pp.385 ~ 390, 2004