

平成28年度

# 排水路整備による地下水位変動について —国営かんがい排水事業「兵村地区」について—

網走開発建設部 北見農業事務所 第1工事課 ○岩渕 雄大  
前川 和義  
荒木 美裕

兵村地区は、紋別郡湧別町の排水設備が未整備な農地の湛水及び過湿被害の解消を目的に排水路を新設する事業を実施中である。事業の実施により既設井戸の枯渇等が懸念されたため、工事に先立ち解析により地下水位変動を予測し、工事の実施による地下水位変動を観測しながら、工事を進めている。

本報では、排水路整備による、地下水位変動の予測値と実測結果を基に、排水路の新設による農地の地下水位変動について報告する。

キーワード：新設排水路、既設井戸、影響予測評価

## 1. はじめに

本地区は、北海道オホーツク総合振興局内の紋別郡湧別町に位置し、一級河川湧別川右岸の低平地に拓けた1,313haの農業地帯であり(図-1参照)、全国有数の生産量であるタマネギを基幹作物とし、てんさい、小麦等の畑作による複合経営が展開されている。地域では、これまで排水路の整備は行われておらず、農地の湛水及び過湿による作物生産や作業効率の低下が生じているため、新たに排水路を整備し、農業生産性の向上及び農業経営の安定に資するため事業を実施している。

新たに整備する排水路の工事実施による周辺地下水位への影響は避けられないと考えられることから、工事実施に先立ち、地下水位変動予測を実施した。また、工事に着手する前年の平成24年度以降は地下水位変動を観測しながら事業を進めてきた。

本報では、工事に先立って実施した地下水位変動予測について述べるとともに、工事実施中の地下水位変動状況及びこれまでの調査結果の取り纏めのために実施する効果検証調査の手法について報告する。



図-1 兵村地区位置図

### (1) 工事進捗

第1幹線排水路(柵渠方式)7.0km、第2幹線排水路(管渠方式)5.2km総延長12.3kmの排水路を新設するものである。平成25年度から工事に着手し、平成28年度

現在の進捗状況は、第1幹線排水路が4.7km、第2幹線排水路が3.2kmの施工が完了している。(図-2)

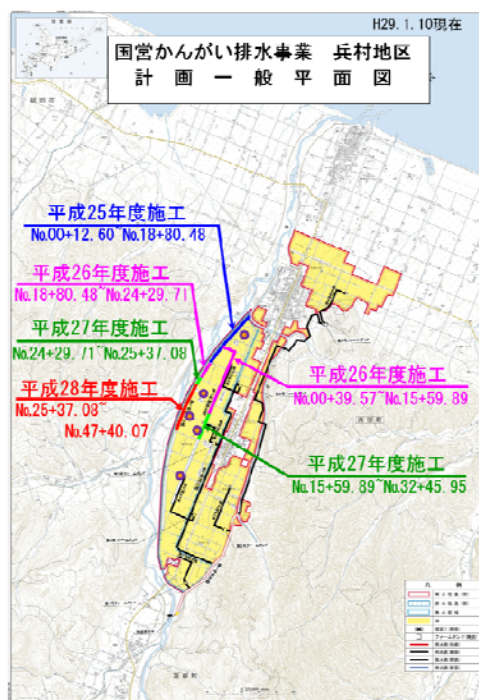


図-2 工事施工進捗状況

## 2. 現況地下水位について

### (1) 既存資料について

地区では、排水路工事により、周辺地下水利用へ影響を及ぼす恐れがあったことから、工事着手に先立って、既存の営農用の井戸などの利用状況調査を行っており、地区の調査・設計時の業務成果のみならず、前歴事業時の調査資料、寒地土木研究所の報文、町の下水道工事資料などの既存資料の収集を行った。



図-3 井戸 (24-4 地点)

兵村地区に見られる典型的な井戸（掘り抜き井戸）。  
井戸の内径は0.6m。

(2) 現地調査について

周辺部を含めた地区内の露頭調査を実施したほか、排水路の施工済み区間の縦断的な流量調査を実施した結果、上流部 (No. 8+30) で6.3 m<sup>3</sup>/minの湧水が発生するが、排水路末付近 (No. 1+73) では2.1 m<sup>3</sup>/minに減少し、湧いた地下水が再び地下へ還元（涵養）される事などが確認された。



図-4 砂礫層

地区最上流部で確認された砂層と砂礫層の境界面。  
砂礫はφ=5~60mm程度の亜円~亜角礫を主体とする。

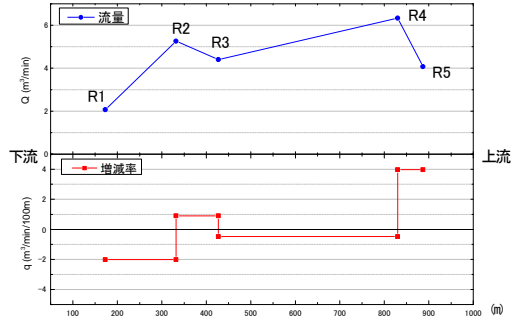


図-5 第1幹線排水路内 流量観測

(3) 観測データ解析について

地下水位の観測データを解析した結果、水位変動特性は、降雨に対して鋭敏に反応し、湧別川水位と類似した変動傾向を示すグループ1【鋭敏変化型(G1)】と、より緩慢な変動を示すグループ2【緩慢変化型(G2)】、その中間型に分類し、それらが主に砂礫層の透水性に関係することを確認した。



図-6 第1幹線排水路内 流量観測

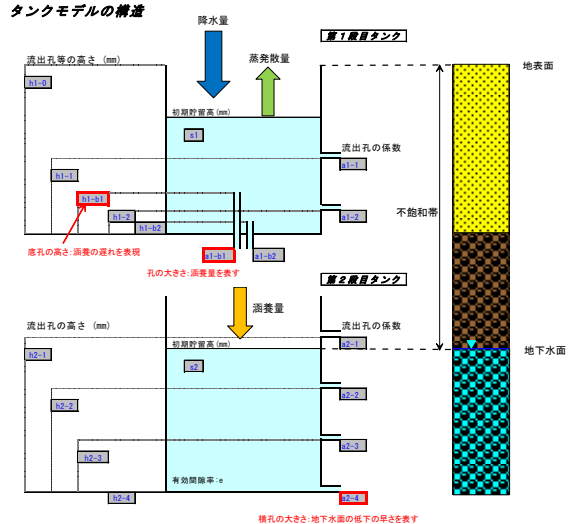


図-7 解析に用いたタンクモデルの構造

3. 水理地質解析による予測について

(1) 水理地質構造

水理地質構造は、泥岩を水理地質基盤とし、その上位を覆う砂礫からなる氾濫原堆積物および旧河道堆積物が有力な帯水層を形成する。地下水面は平常時にこれら砂礫層中にある。氾濫原堆積物の透水係数は $10^{-3}$ m/sを中心としつつ値に幅があり、旧河道堆積物は $10^{-2}$ m/s程度と非常に大きい。既往調査の透水係数に加え、井戸揚水量調査からも透水係数を計算し、統計的な評価ができるようにした。

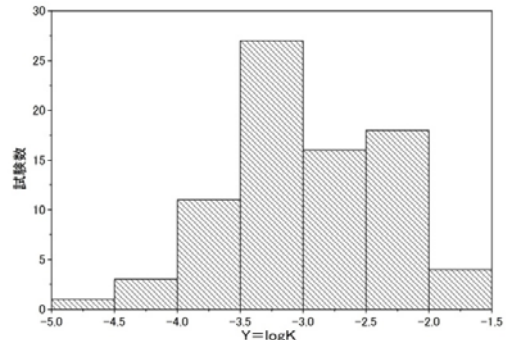


図-8 透水係数の対数ヒストグラム

既往地質調査および井戸揚水量調査結果から透水係数の範囲は、 $-3.5 \sim -3.0$  ( $3.16 \times 10^{-4} \sim 1.00 \times 10^{-3}$ cm/s) がもっとも多く、次いで $-2.5 \sim -2.0$  ( $3.16 \times 10^{-3} \sim 1.00 \times 10^{-2}$ cm/s) となっており、透水係数は対数的に4オーダーで変化し、砂礫層の強い不均質性を反映する。

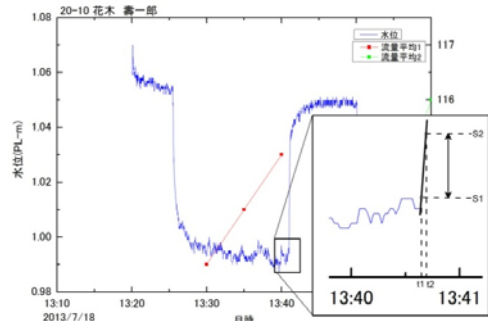


図-9 揚水量調査結果からの透水係数推定方法



図-10 兵村地区 透水係数分布図

(2) 透水係数の分布

解析で得た透水係数を上下流方向にプロットした(図-11)。バラツキは大きいものの、750mを中心として上流又は下流側に向い透水係数が小さくなる。また、河川堤防沿いの湧別川の旧河道位置に局部的に大きな透水係数を示す箇所が確認された(図-10で○印を付けたプロット)。この透水係数分布を初期分布として三次元解析モデルを作成した。

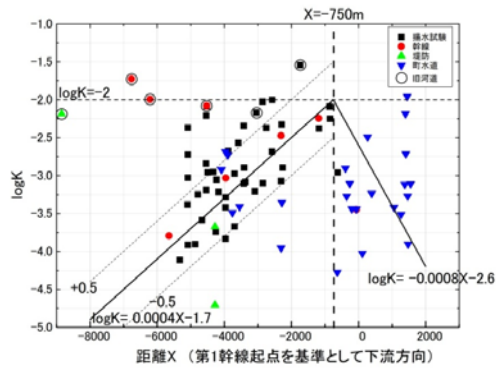


図-11 上下流方向での透水係数分布

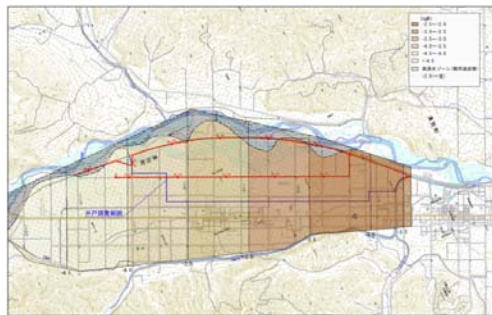


図-12 透水係数分布モデル図

(3) 水理地質図

既往ボーリング成果から砂礫層と基盤層の分布をまとめた水理地質図を作成した。

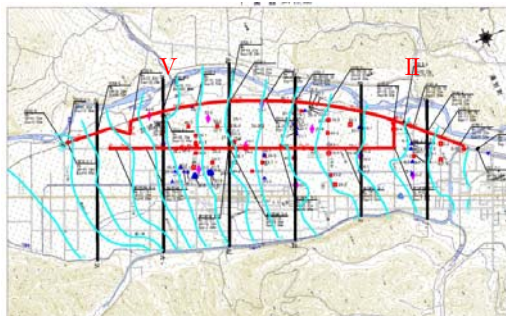


図-13 水理地質 平面図

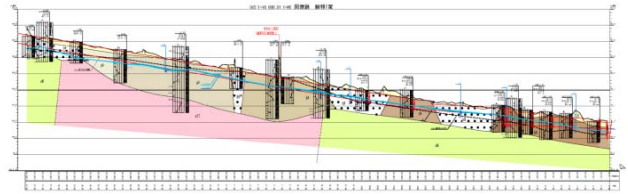


図-14 第1幹線排水路 水理地質 縦断面図

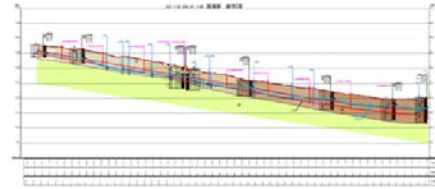


図-15 第2幹線排水路 水理地質 縦断面図

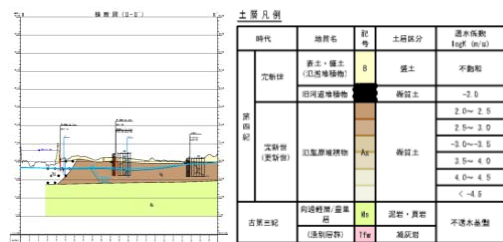


図-16 水理地質 横断面図 (II断面)

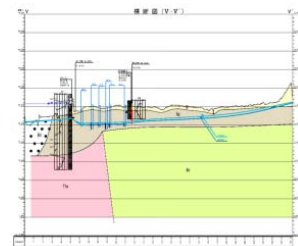


図-17 水理地質 横断面図 (V断面)

(4) 代表地下水図

井戸水位の経時変化を分析し、各観測井戸の平水位、濁水位(夏期)、豊水位をそれぞれ設定し、各時期での代表地下水位等高線図を作成した。代表水位の決定作業の流れをフロー図(図-18)に示す。

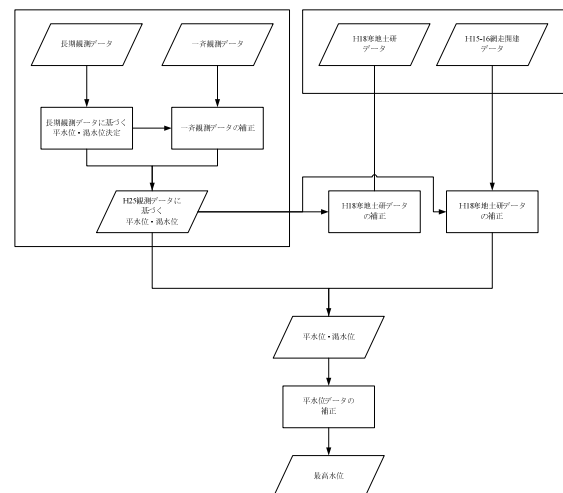


図-18 代表水位決定手順フロー

業務	高水位 (平成25年7月～8月平均)		平水位 (中央値:平成25年11月平均)		最高水位 (平成18年10月平均)		
	元データ	補正量	元データ	補正量	元データ	補正量	
H25観測調査	長期観測	H25年7月30日～8月19日 平均水位	-	中央値 H25年11月13日を含む 11月の平均水位	-	平水位	-0.87
	一斉観測	H25年8月12日、13日 観測水位	+0.02	11月一斉観測水位 (H25年11月7,8日)	-0.09	〃	〃
H15-16橋上開塔 (H18築地土研)	一斉観測	H15年10月25日(4回目)の 観測水位 (H18年8月18日の 日平均水位)	-0.01 (+0.10)	平成16年6月17日 観測水位 (H18年9月25日の 日平均水位)	-0.07 (+0.03)	〃	〃
既定ボーリング (橋上開塔・湧別 町)	孔内水位	柱状図に記載される水位 の内、最終水位	-	柱状図に記載される水位 の内、最終水位	-	未使用	〃

図-19 代表水位決定の元データと補正量

解析例として、夏期高水位の地下水位等高線図を示す。地下水の流れは主な方向は湧別川の上流方向（北方向）で、動水勾配は1km当たり2～4m程度（0.2～0.4%）である。水位標高は兵村地区全体で12～42mで分布する、また水位深度は概ね2～4mで、中央付近で深く、河川付近で浅い傾向にある。特に第1幹線、No. 20付近、No. 33付近、No. 51付近で1～2m付近に浅い。上流部では地形の高まり（扇状地形）から5m以上となる。

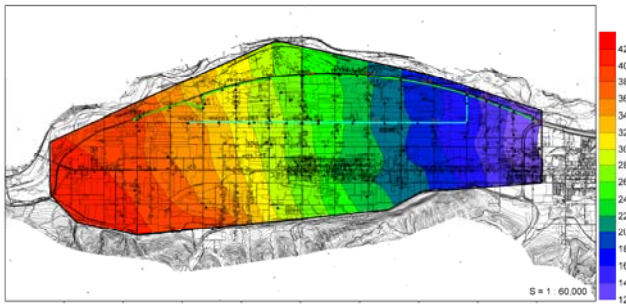


図-20 夏期高水位 代表地下水位等高線図

(5) 浸透流解析

浸透流解析は、大きく解析モデル作成、現況再現計算、影響予測計算を下記のフロー(図-21)のとおりに段階的に実施した。

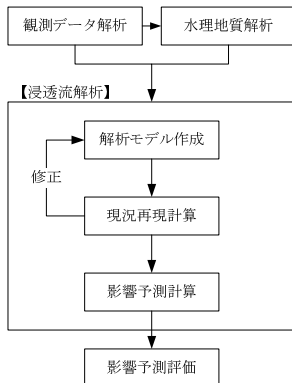


図-21 浸透流解析フロー

設定した解析モデル領域は、水平方向は地区全域（18.3km<sup>2</sup>）を含む南北約8.5km、東西約3.5kmの範囲である。鉛直方向は上面を地表面、低透水である水理地質基盤内の地下水流動が境界の影響を受けない十分な深さと考えられる標高0mとした。

水平方向のグリッドは、工事の影響を評価する範囲においては、10mグリッドとし、その他は影響度合いを考慮し20～50mグリッドとした。鉛直方向のレイヤーは、水理地質基盤を為す泥岩などと、その上位を覆う礫質土とした。なお旧河道部は透水性状が異なる事から分けたモデルとした。

境界条件は、周囲を取り囲む河川には各々の河川水位を設定し、地表面には降雨・融雪による涵養境界を設定した。なお、下流側には水路から地下への浸透が確認されるため、浸透量を再現できる水頭を与えた。

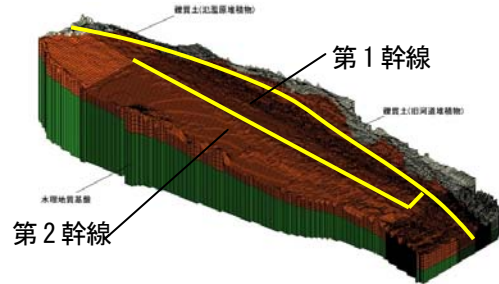


図-22 モデルグリッド図

第1幹線排水路は、開水路構造として、掘削期間中に地下水面より深く掘削した場合には、周辺から排水路へ地下水が流出する。埋め戻し後も排水路底面と帯水層の連続性が保たれるため、地下水面が高い時期には排水路底面から地下水が排出される。

第2幹線排水路は、管水路構造として、掘削期間中のみ地下水が流出するが埋め戻し後には帯水層との縁が切れ、地下水面が高い時期においても地下水の流出は抑えられる。

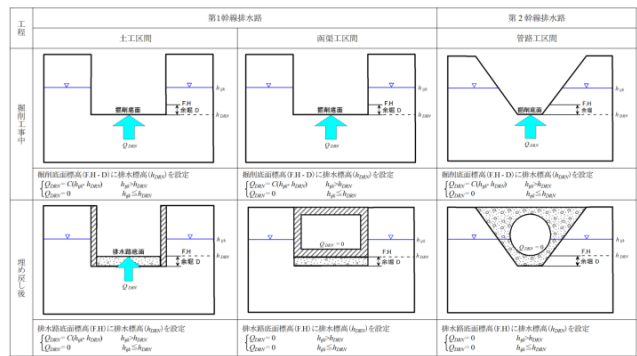


図-23 工事区間のモデル図

【STEP1：地下水面による評価】地下水涵養量をタンクモデルによる平均値(1.55mm/day)として透水係数分布パターン(K1～K7)を定常解析し、地下水水位が地表面以下となる透水係数(K5～K7)を採用した。

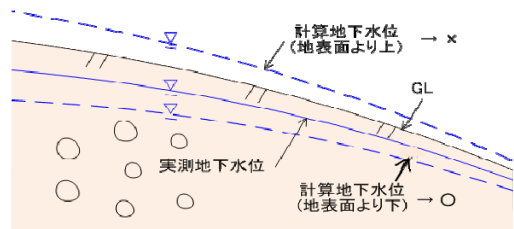


図-24 地下水水位による再現性判定 模式図

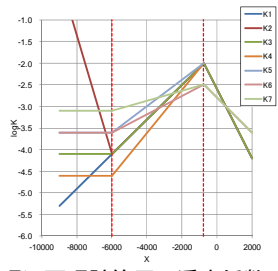


図-25 現況再現計算用 透水係数パターン

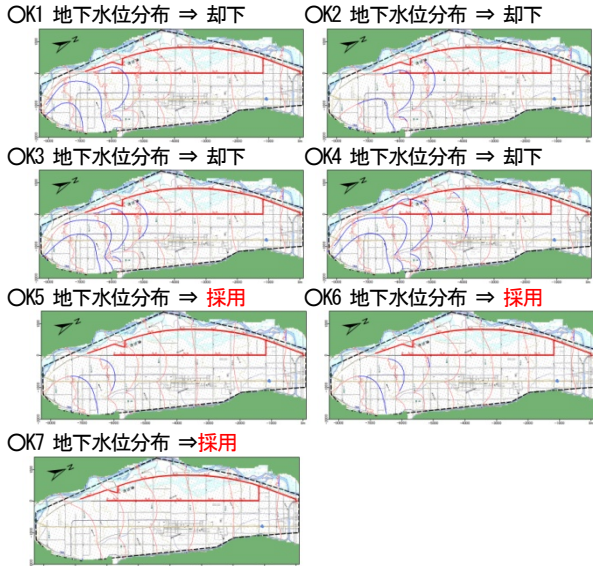


図-26 現況再現計算 STEP1:定常解析 結果 (地下水コンター、赤：地盤内、青：地盤上)

【STEP2：透水性の異方性】透水性の自然地盤の異方性の影響を考慮し、異方性が無い場合、上下流方向が3倍の場合、又は左右岸方向が1/3の場合の3パターンで非定常解析を行い、観測水位との再現誤差を評価した結果、最も再現性の高かったのは、透水係数パターンK7を採用し、異方性を上下流方向で3倍とした場合であった。

※定常解析における再現性の評価には下式に示す平均誤差(ME)と、二乗平均平方根(RMSE)を用いた。

$$R_i = H_{cal} - H_{obs} \quad ME = \frac{1}{n} \sum R_i \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum R_i^2}$$

$R_i$  : キャリブレーション残差、 $H_{cal}$  : 計算値、 $H_{obs}$  : 観測値、 $n$  : データ数

透水係数	K5			K6			K7		
	Kx=Ky	Kx×3	Ky×0.3	Kx=Ky	Kx×3	Ky×0.3	Kx=Ky	Kx×3	Ky×0.3
2013/11/7	-0.12	-0.12	-0.12	-0.04	-0.01	-0.04	0.02	0.01	0.02
2013/12/9	0.27	0.07	0.27	0.43	0.28	0.43	0.43	0.22	0.43
2014/1/23	0.4	0.07	0.4	0.63	0.33	0.63	0.57	0.24	0.57
2014/2/27	0.45	0.11	0.45	0.72	0.37	0.72	0.62	0.29	0.62
2014/5/1	-0.08	-0.45	-0.08	0.3	-0.14	0.3	0.29	-0.13	0.29
2014/6/4	0.15	-0.34	0.15	0.61	0.02	0.61	0.55	-0.03	0.55
2014/7/9	0.22	-0.24	0.22	0.71	0.09	0.71	0.59	0.04	0.59
2014/8/8	0.2	-0.36	0.2	0.77	0.04	0.77	0.62	-0.01	0.62
2014/9/2	0.25	-0.32	0.25	0.85	0.06	0.85	0.66	-0.01	0.66
2014/10/9	0.26	-0.3	0.26	0.87	0.07	0.87	0.63	-0.02	0.63
2014/11/6	0.29	-0.2	0.29	0.84	0.11	0.84	0.6	0.04	0.6
2014/12/4	0.26	-0.19	0.26	0.75	0.11	0.75	0.51	0.05	0.51
平均	0.21	-0.19	0.21	0.62	0.11	0.62	0.51	0.06	0.51

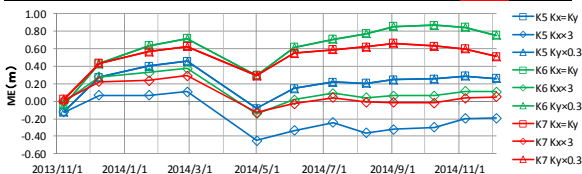


図-27 平均誤差 ME の時間分布 (網掛け:最小値、+:赤字、-:青字)

透水係数	K5			K6			K7		
	Kx=Ky	Kx×3	Ky×0.3	Kx=Ky	Kx×3	Ky×0.3	Kx=Ky	Kx×3	Ky×0.3
2013/11/7	0.39	0.42	0.39	0.27	0.28	0.27	0.23	0.22	0.23
2013/12/9	0.49	0.43	0.49	0.54	0.44	0.54	0.52	0.34	0.52
2014/1/23	0.57	0.35	0.57	0.75	0.47	0.75	0.68	0.37	0.68
2014/2/27	0.6	0.34	0.6	0.83	0.5	0.83	0.73	0.42	0.73
2014/5/1	0.39	0.56	0.39	0.49	0.3	0.49	0.45	0.26	0.45
2014/6/4	0.58	0.56	0.58	0.85	0.36	0.85	0.71	0.23	0.71
2014/7/9	0.71	0.52	0.71	1.03	0.41	1.03	0.77	0.2	0.77
2014/8/8	0.81	0.6	0.81	1.19	0.56	1.19	0.91	0.41	0.91
2014/9/2	0.74	0.52	0.74	1.19	0.4	1.19	0.86	0.21	0.86
2014/10/9	0.88	0.59	0.88	1.32	0.48	1.32	0.88	0.24	0.88
2014/11/6	0.8	0.43	0.8	1.28	0.42	1.28	0.85	0.23	0.85
2014/12/4	0.7	0.37	0.7	1.17	0.37	1.17	0.77	0.27	0.77
平均	0.64	0.47	0.64	0.91	0.42	0.91	0.7	0.28	0.7

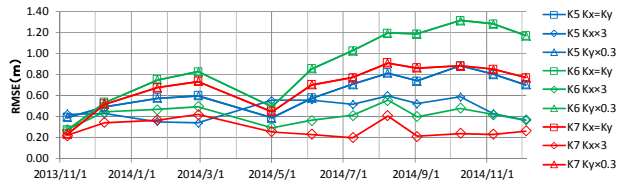


図-28 平均二乗根誤差 RMSE の時間分布 (網掛け:最小値)

【STEP3：貯留係数(有効間隙率:Sy)】STEP 2で設定した透水係数に対して、貯留係数(有効間隙率:Sy)を0.1、0.15及び0.2の3パターンで再現性を確認した結果、最も再現性の高かったのは、貯留係数(有効間隙率:Sy)を0.1とした場合であった。

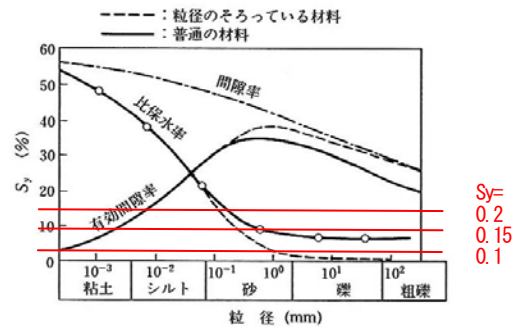


図-29 現況再現計算2 比産出率の比較 Sy=0.1

貯留係数	ME			RMSE		
	Sy=0.10	Sy=0.15	Sy=0.20	Sy=0.10	Sy=0.15	Sy=0.20
2013/11/7	0.01	0.05	0.07	0.22	0.23	0.23
2013/12/9	0.22	0.3	0.35	0.34	0.41	0.45
2014/1/23	0.24	0.32	0.38	0.37	0.44	0.49
2014/2/27	0.29	0.38	0.45	0.42	0.5	0.56
2014/5/1	-0.13	-0.28	-0.4	0.26	0.36	0.47
2014/6/4	-0.03	-0.04	-0.07	0.23	0.22	0.23
2014/7/9	0.04	0.13	0.18	0.2	0.25	0.29
2014/8/8	-0.01	-0.12	-0.18	0.41	0.35	0.35

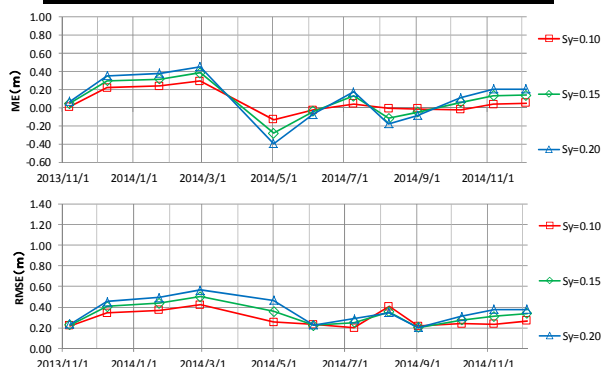


図-30 平均誤差 ME (上)と平均二乗根誤差 RMSE (下)の時間分布

(6) 水位低下量分布の再現

現況再現解析結果にを平成25年12月14日時点における観測値と計算値の水位差コンターマップで比較した。

最小自乗誤差(RMSE)は平均0.28mあるため、完全な一致は見ないが、合流工を中心とした水位低下のピークが広がる範囲は概ね再現できた。

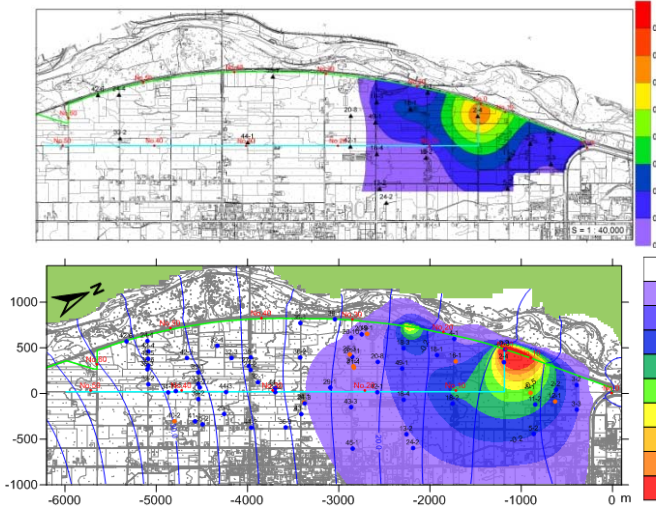


図-31 湯水位との差分コンター図の比較

(上図：観測値、下図：計算値、平成25年12月14日時点)

(7) 影響予測評価

現況再現解析により、再現性の得られたモデルを使用し、工事実施による事業完了までの影響を予測した。

第1幹線排水路のNo. 31付近の工事施工により、湧別川の河道に近接する事から、最大0.5~0.6mの水位低下が生じるが、影響範囲はピーク時において約100m以内に収まっており、その後、水位低下量及び影響範囲も縮減する。

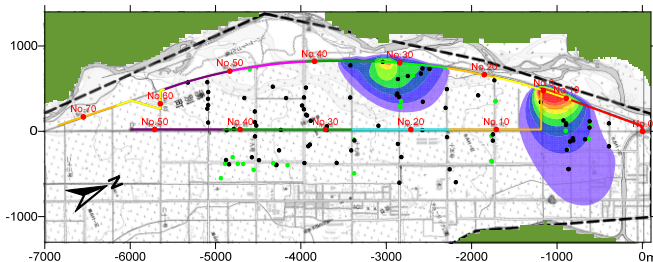


図-32 工事実施による影響予測結果 (No24~41 施工時)

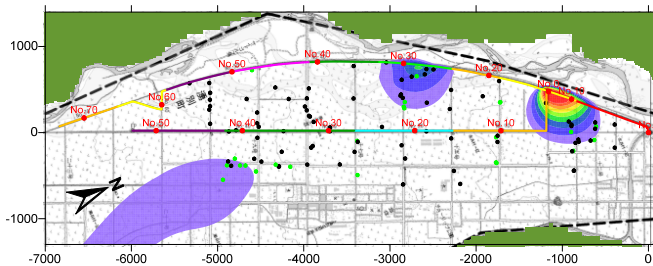


図-33 工事実施による影響予測結果 (工事完了時)



4. 地下水位変動状況について

平成28年8月に最大時間雨量21.0mm(20日12:00~21日17:00 雨量105.5mm [湧別地点])を記録するの豪雨となり、地区内の圃場でも冠水が確認されたが、一兩日中には解消された。また、管理受託者の町からも、排水路整備前より1週間以上早く降雨後の防除作業に取りかけられたなどの声が聞かれ、定性的ではあるが、事業の実施による効果が確認されている。

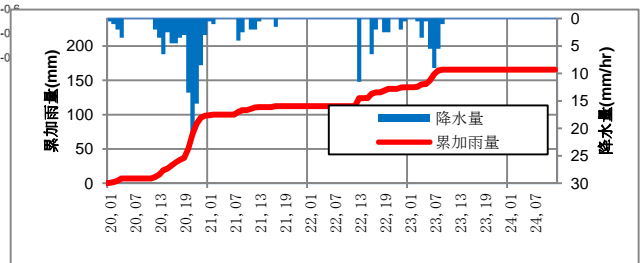


図-34 事業実施による効果(平成28年8月の豪雨)

5. まとめ

平成28年度に簡易的に実施した調査及び検討では、調査期間及び数量も少なく、明確な結果を得られなかった。一方で、営農している農家への聞き取りからは、降雨後の水の引きが早くなった等、排水路の新設による効果が確認された。

今後は事業完了に向け、地下水位計測など既往の調査を継続するとともに、水収支解析などを用いた事業効果の定量的な評価が可能かを検討して行きたい。

謝辞：本論文を作成するに当たり、株式会社ドーコンより助言等頂いたことに、この場を借りて感謝の意を記します。

参考文献

- 1) 地下水調査及び観測指針(案)：(材) 国土開発技術研究センター
- 2) 地下水シミュレーション～これだけは知っておきたい基礎理論：日本地下水学会
- 3) 地下水モデル～実践的シミュレーションの基礎：MARY P. ANDERSON