

# 基礎工

2006 **3**  
Vol.34, No.3

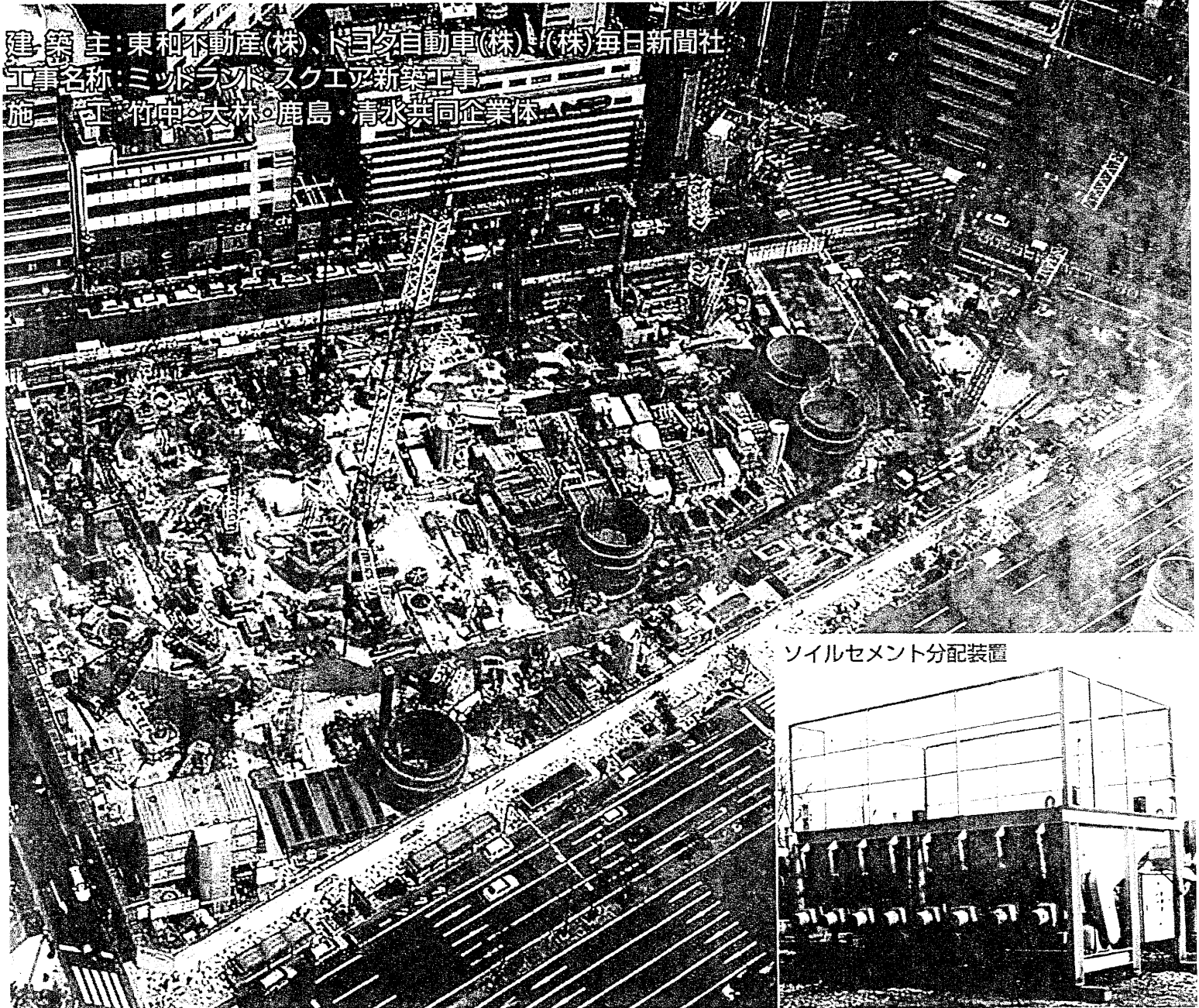
THE FOUNDATION ENGINEERING & EQUIPMENT, Monthly

特集 基礎工と地下水制御技術

地球にやさしいリサイクル工法

## 掘削土再利用連壁工法

Continuous-walls using Recycled Mud (CRM工法)



### CRM工法研究会

# 仙台空港アクセス鉄道

報 文

## 地下部本体工事における地下水対策

—スーパーウェルポイント工法と真空プレス型リチャージウェル工法—

太田 耕栄\* 河野 悦朗\*\* 高橋 茂吉\*\*\*

### 1. はじめに

仙台空港のアクセス鉄道は、JR名取駅から仙台空港までの延長7.1kmを結ぶもので平成18年度の開業が予定されている。

これに伴う仙台空港滑走路端部を横断する地下部は、開削工事により行うもので、当該場所地下水位がTP+0.5mと高いことと、地下水に多量の溶解性鉄が含まれていたため、これらの地下水対策として種々検討した。その結果、地下水位低下工法としてスーパーウェルポイント工法（以下、SWP工法）を、揚水した地下水を地中に戻す処理工法として真空プレス型リチャージウェル工法（以下、VPRW工法）を採用した。

本稿では、工法の概要と工事データを示し、その有効性を報告する。

### 2. 工事概要および現場条件

#### 2.1 工事概要

地下部本体工事の概要は以下のとおりである。

- ・地下構造物：ボックスカルバートンネル
- ・地下部本体施工区間長：342.0m
- ・開削幅：10.6m
- ・掘削深さ：GL-12.8m～GL-9.0m

- ・土留め方式：鋼矢板および切梁
  - ・水替工：地下水位低下工法
  - ・地下水対策区間長：357m
  - ・工期：平成15年10月～平成17年8月
- 平面図は図-1、標準断面図は図-2に示す。

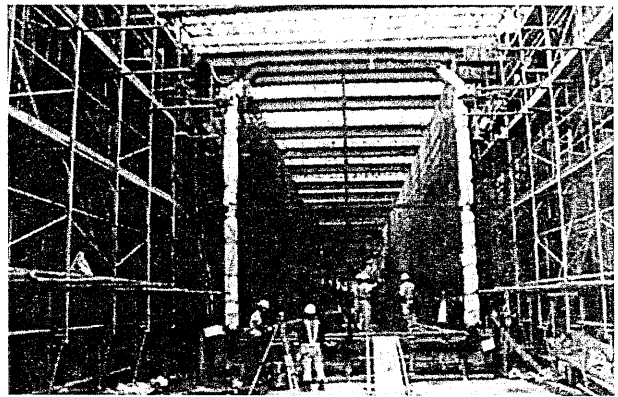


写真-1 掘削完了後の躯体構築状況

#### 2.2 地質

当該地は仙台平野の海岸近くにあり、地盤は沖積層で粗砂層、細砂層を主に砂層の互層によってGL-20～-22mまで続き、その下部には第1粘性土層が薄く（1.0m程度）堆積する地質構造を成している。

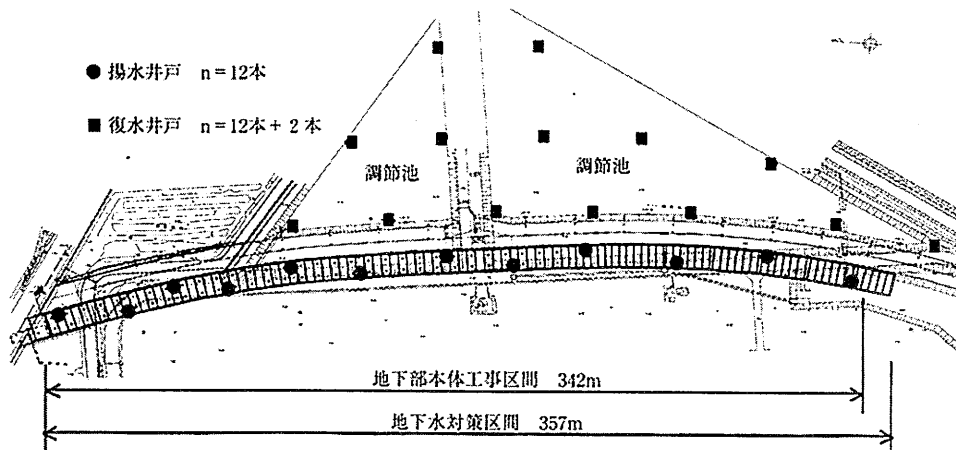


図-1 平面図

\* ŌTA Kōei

国土交通省 東北地方整備局 塩釜港湾・空港整備事務所 空港課長

多賀城市明月1-4-6

\*\* KŌNO Etsurō

鹿島建設(株) 東北支店 土木部 担当部長

仙台市青葉区二日町1-27

\*\*\* TAKAHASHI Shigeyoshi

(株)アサヒテクノ 代表取締役

北上市和賀町岩崎新田5地割16-81



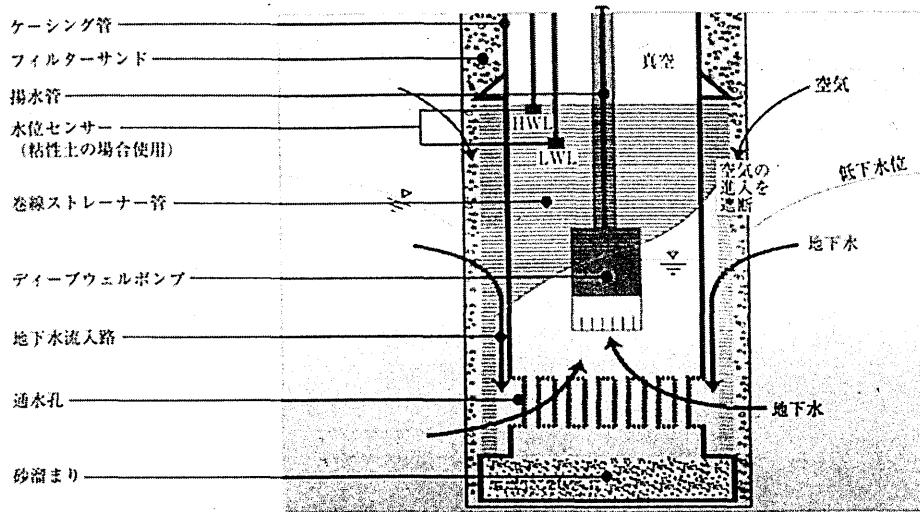


図-4 井戸構造模式図

特殊セバレットスクリーンの構造  
スーパーウェルポイント工法は、空気は吸わず地下水だけを吸うことができる真空排水工法。  
特殊セバレットスクリーン（空気と水の分離型スクリーン）の開発により大深度でもバキューム効果による強制排水を可能とする。  
（左図）  
セバレットスクリーンは内筒管と巻線ストレーナーの二重管構造になっている。  
巻線ストレーナーから流入した地下水は、二重管の間で空気と水に分離され、下部の通水孔を通じて井戸内に流入する。  
真空ポンプにより二重管の内部に負圧を作用させることで連続した真空排水を可能にしている。

戸と井戸内に設置する水中ポンプ、それに地上に設置する真空ポンプから構成されている。

井戸管の上部は閉じた構造（上蓋付き）をしており、上蓋には水中ポンプからの揚水管が通過し、井戸管内の空気を吸引するための配管が挿入されている。

井戸管の下端は砂溜を確保し、その上部に通水孔を設け、通水孔の下端から自然状態の地下水面近くまで井戸管を囲むように独立して巻線のスクリーンが取り付けられている。

### 3.2.2 VPRW工法

VPRW工法は図-2に示すように、SWP工法で用いる揚水井戸と同じ構造であり、中間圧力ポンプを配置した配管でつなぎ、揚水した水をそのまま空気に触れさせず地中に復水する工法である。

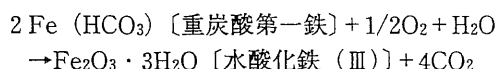
VPRW工法での地下水を復水する場合の要点は、地中の適切な範囲にスムーズに戻すことにあり、そのためには地下水をできるだけ清水に保ち、復水井戸周りでの目詰まりを防ぐことが重要である。

### 3.2.3 赤水の問題

今回、地下水の酸化を防止するためSWP工法による揚水を行ったが、実際には一部赤水の発生が見られた状態で復水する場面も生じた。

一般に地下水中の鉄分は還元状態にあるため2価の溶解性鉄（Ⅱ）として存在し、その濃度は通常、数mg/lから数十mg/lの範囲にあることが知られている。

赤水の発生は次の反応式によって説明される。



この反応式は、地下水中の溶解性鉄（Ⅱ）の代表物質である重炭酸第一鉄が空気によって水酸化鉄（Ⅲ）に生成されることを示している。

この水酸化鉄（Ⅲ）が赤水の原因物質であるものの、地下水を地中に戻せば長期的には還元状態に戻るため、上記の反応は反対の向きに進むことになり、鉄は2価の溶解性鉄（Ⅱ）となり赤水はいずれ消失するので、今回の施工では赤水発生を極力制御した工法を採用した。

## 4. 工事内容

### 4.1 SWP工法の施工

SWP工法による地下水の動きについては、現在の井戸理論では説明できず未解明な部分が多いため、今回の計画ではこれまでの実績をもとに検討し、試験施工により外回り水位が下がらないことを確認した。

#### 4.1.1 SWP井戸の設置

揚水井戸の設置場所（図-1）は土留めとボックスカルバートとの間に全工区で12本の揚水井戸を設置した。

揚水井戸の掘削径、井戸管の設備、揚水ポンプ等の装置の仕様はすべて同じものとし、掘削深さは床付け面の深さに応じたものとした。

また、地下水水位観測井戸を土留めの内側に3本、外側に4本設置した。

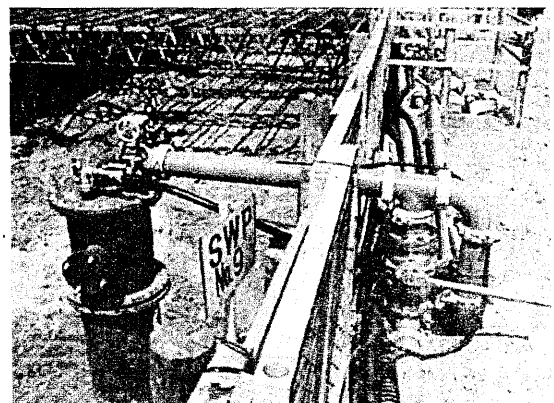


写真-2 揚水井戸（SWP）

#### 4.1.2 VPRW井戸の設置

地下水を地中に戻す復水井戸の設置場所（図-1）は工区に隣接する調節池とし、揚水井戸数に対応する復水井戸を計12本設けたほかにメンテナンス用として2工区で計2本を追加した。

復水井戸は深度25～30mに存在する礫層に達するまで掘削し、また復水圧力を管理するために中間ポンプおよび復水井戸の頭部配管部に圧力ゲージを取付けた。

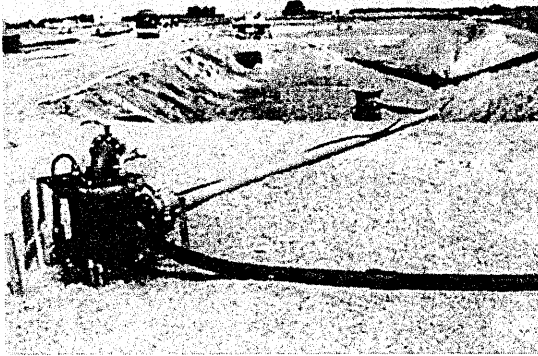


写真-3 復水井戸 (VPRW)

## 4.2 施工データ

### 4.2.1 地下水揚水量 (復水量)

約11ヶ月間の揚水は4つの期間に分けられ、各期間の揚水量および状況は図-5、表-3に示すとおりである。

- ① 初期 (第1期) の1次掘削時には全体の平均的な揚水量は240~270m<sup>3</sup>/hである。
- ② 2次掘削時 (第2期) では降水量の増加が加わり270~330m<sup>3</sup>/hと最も高い揚水量となる。
- ③ 構造物構築時 (第3期) になると安定した揚水となり降水量も少なく、その量は260~300m<sup>3</sup>/hである。
- ④ 最後の時期 (第4期) には次第に揚水を停止する井戸もあり、揚水量は160~220m<sup>3</sup>/hと最も低い。

当初、揚水試験結果および過去の実績から揚水量を500m<sup>3</sup>/hと予想していたが、結果はおよそ半分の揚水量であった。

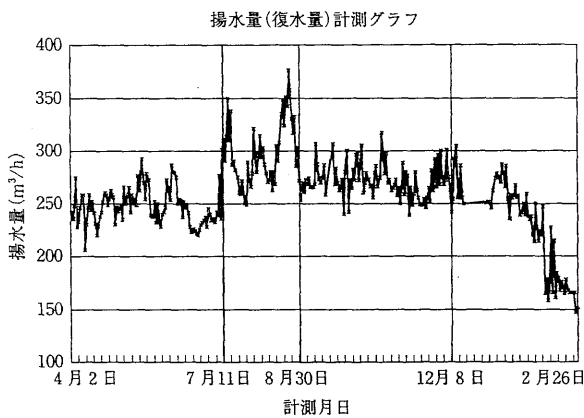


図-5 地下水揚水量 (全合計)

表-3 期間ごとの揚水状況

期 間	全体揚水量 (m <sup>3</sup> /h)	内 容
第1期 04/4/2~04/7/9	約240~270	初期1次掘削 内側水位低下8.0~9.0mくらい
第2期 04/7/9~04/8/30	約270~330	雨量が多い季節 水位低下不足によりSWP-Jrを 増設し揚水量増加 2次掘削
第3期 04/8/30~05/2/4	約260~300	平衡状態時期 雨量少ない季節 構造物建造時期
第4期 05/2/4~05/2/28	約160~220	1部SWP停止・撤去 地下水回復期

### 4.2.2 地下水位

土留めの内外側の地下水位を図-6に示す。

土留め内側では複合的な要因で最終床付けの一部に地下水位の低下不足が生じたため、2005年6月上旬よりSWP工法の真空引きを利用したウェルポイント (図-7) を考案 (スーパーウェルポイントジュニア, 以下SWP-Jr) 実施し、図-6下部折線のように補助的な使用で所定の地下水位低下を確保することができた。

また土留め外側では図-6上部折線のように、およそ-1.0~-2.0m程度の地下水位低下に留まり、想定範囲内の結果であった。

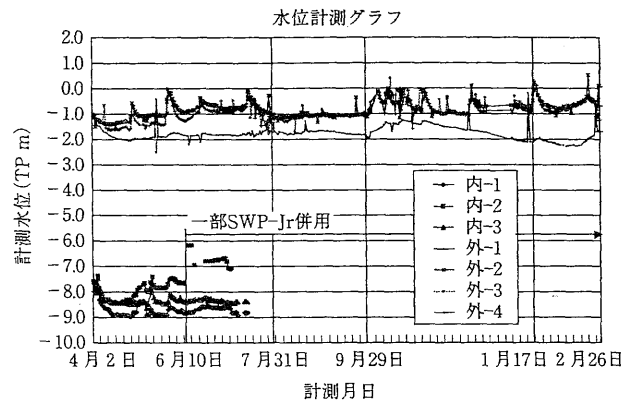


図-6 地下水位観測データ

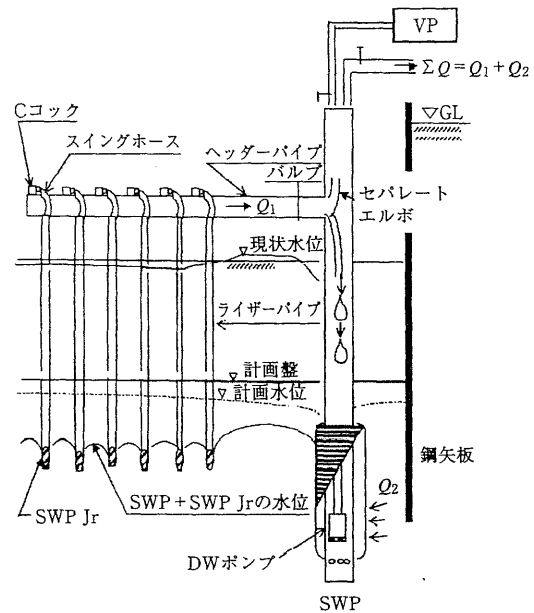


図-7 SWP-Jr概要図

### 4.2.3 復水圧

復水圧のデータは復水井戸 (14本) によって異なった状況を示したが、ここではVPRW-2 (上側太線) とVPRW-3 (下側細線) の代表的な例について図-8に示す。

VPRW-2は最も高い圧力を、VPRW-3は最も低い圧力を示した井戸として取上げた。

VPRW-2では当初0.05MPaほどであった圧力は次第に上昇し、8月の中旬には0.25MPaを超える圧力となり、この状況が最後まで継続している。

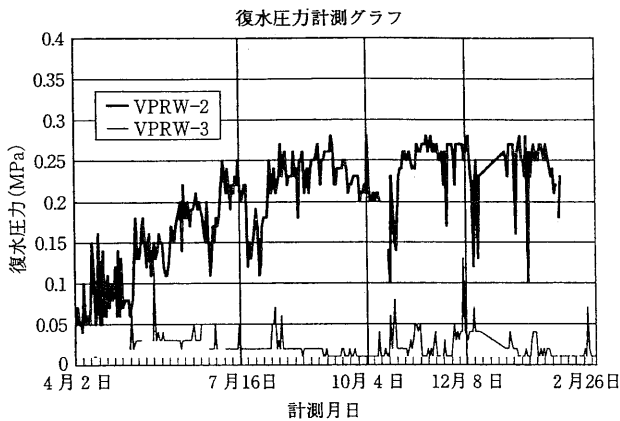


図-8 復水圧力

途中、約10日ごとにスウィング洗浄を行い、効果として短時間洗浄のときにはおよそ0.04MPa程度の圧力低下が、長時間洗浄においては0.15MPa程度の圧力低下が見られた。

VPRW-3ではときどき、圧力上昇が見られるが、全体として0.01~0.02MPaの圧力で安定して推移している。

これは、この井戸が井戸周辺において目詰まりがあまり生じなかったことを示している。

VPRW-2以外の井戸の復水圧は0.2MPaを超えるものはなかった。

#### 4.3 施工管理と考察

SWP工法およびVPRW工法の運転での考察は以下のとおりである。

- ① 実際に揚水した地下水量は予想より少なく、これは鋼矢板背面の地盤が目詰まり状態となり、外からの流入量が低下したためと推測される。
- ② 復水開始後は復水圧も低く推移したが、その後は上昇傾向に転じたため洗浄による回復を図った。ただし、被圧帯水層のAg層はほぼ0.02MPaとして大きく変化することはなかった。
- ③ 地下水中の溶解性鉄が酸化され生じる褐色の水酸化鉄(Ⅲ)は、コロイド状物質として目詰まりの原因となるため、揚水を空気に触れさせないように、密閉状態を保った。また、砂や粘土などの粒子もできるだけ地下水から排除する必要があり、配管途中に除砂装置「とるとる砂Q」を設けた。
- ④ 汲上げた地下水を清水に保っても、水を地中に戻す場合には地中の細かな粒子を少なからず攪拌させ、粒子間の空隙が目詰まりがどうしても生じてしまうことから、その防止策としてスウィング洗浄を行った。この作業を定期的に繰り返すことで、復水井戸周りの目詰まりを低減させた。
- ⑤ 復水井戸周りにおける粘性土層のブロー防止用薬注バッカーにおいては、復水圧が0.2MPaを越えるとグラウトを再施工しなければならない井戸があった。これは、粘性土層の厚さが約0.5mと薄く、注入圧が高くなるとブローすることや高い圧力で注水すると脈動が生じ、グラウト材が疲労して破壊するものと推測さ

れた。

#### 5. まとめ

以上、仙台空港アクセス鉄道地下部本体工事での地下水対策について述べた。

地下水位低下工法としてSWP工法を地下水処理工法として地下水を地中に復水するVPRW工法を選定し、当初の目的を達成することができた。

結果を整理すれば以下のとおりである。

- ① 土留め内側のSWPの設置間隔が大きい箇所では0.5~0.9m程度の地下水位低下の不足があったが、SWP-Jrとの組み合わせにより所定の深さに水位を低下させることができ、躯体の構築をスムーズに行えた。
- ② 土留め外部の地下水位低下を1.0~2.0m程度に抑えることができ、地盤沈下等の問題も生じさせることはなかった。
- ③ 地下水処理工においては採用したVPRW工法は復水圧管理と洗浄作業によって、揚水した水をすべて復水することができた。
- ④ SWP工法とVPRW工法で赤水の発生が抑えられ、微量の酸化については、スウィング洗浄で減少させることができた。また、とるとる砂Qは砂除去に有効であったが、シルト微粒砂の除去が不十分で、長期にわたる復水には改善の余地が残されている。
- ⑤ 粘性土層を復水の遮断層として利用した方法は有効であった。ただし、薄い粘土層の井戸管周りのブローに対するグラウト施工方法については、今後検討を要すると思われる。
- ⑥ 地質条件によっては、復水が高圧になる場合も想定されるので、復水のプレス圧に対して配管材の耐圧強度、ジョイントなどについて、今後検討を要すると思われる。

#### 6. おわりに

SWP工法とVPRW工法の組み合わせによる地下水位低下および地下水処理は、赤水対策などのように河川や水路への放流が困難な場所での水処理対策として、合理性・経済性がよい環境配慮型の工法と考えられる。

対象地の地盤、地下水あるいは工事の条件によって種々工夫が必要と思われるが、今後、この工法の推進が期待される。

本稿の記述では尾崎哲二氏(国際航学(株))、口船愛氏(株アステック)の助言をいただいた。記してお礼を申し上げる。

#### 〔参考文献〕

- 1) 土壌環境センター技術ニュース：強力な真空力を利用したVOCs汚染土壌の浄化技術の開発, NO.10, 8-13, 2005. 7.
- 2) 産業用水調査会：用水の除鉄・除マンガン処理
- 3) (株)日本ウェルポイント協会：ウェルポイント工法便覧
- 4) スーパーウェルポイント協会：スーパーウェルポイント工法技術・積算資料