

# 軟弱地盤における家屋に近接した掘削工事の施工管理

## Construction Management of Excavation Work in a Soft Ground Area close to Residential Buildings

大城 剛<sup>\*1</sup>

玉木 慎二<sup>\*2</sup>

坂本 純一<sup>\*2</sup>

藤城 哲也<sup>\*2</sup>

澤田 幸雄<sup>\*2</sup>

Tsuyoshi Ohshiro

Shinji Tamaki

Sakamoto Jun'ichi

Tetsuya Fujishiro

Yukio Sawada

嵩原 徹<sup>\*2</sup>

小林 薫<sup>\*3</sup>

松元 和伸<sup>\*3</sup>

阿保 寿郎<sup>\*3</sup>

### 【要旨】

つくばエクスプレスの鉄道トンネルを開削で施工するものである。施工場所は、主に幅員 18.0mの道路直下であり、家屋に近接した工事である。掘削に伴い土留めは以下のように計画されていた。

- ・深度 40.0m 付近の難透水層に土留め壁（SMW）を根入れして掘削底面の盤ぶくれ対策とする。
- ・掘削床付け面については、土留め根入れ部の変位抑制を目的として底盤改良（R J P：標準厚 t = 1.5m）が計画された。

掘削工事開始前に土留め壁・底盤改良の安全性を揚水試験によって検証し、日常においては計測管理を行いながら掘削工事を安全に完了することができた。今回は、その施工管理の詳細を報告する。

【キーワード】 開削 盤ぶくれ対策 土留め壁 揚水試験 中間杭 掘削工事

## 1. はじめに

本工事は、つくばエクスプレス（常磐新線）は、東京都の秋葉原を起点とし、埼玉県、千葉県（流山市、柏市）を経て、茨城県つくば市に至る延長約 58 km を約 45 分で結ぶ都市高速鉄道新線である。

流山市においては、JR武蔵野線と接続する南流山駅、流山運動公園駅を設置して公共交通ネットワークの充実を図るとともに、駅を核として沿線地域を活性化する効果が期待されている。

そのうち、本工事は千葉県流山市南流山の JR武蔵野線南流山駅から南約 300m に位置する箱形トンネルを開削工法で施工するものである。トンネルの施工延長は 481m で、路線は市道 106 号線及び民地区間に位置する。発注時の工事内容は、柱列式地下連続壁、中間杭、路面覆工、地盤改良工及び県幹線下水管移設工事であり、ひきつづき掘削、箱形トンネルの構築、埋戻し工事が発注された。

現場は、市道直下および民家・小学校に近接した区間であり工事による周辺への影響を最小限に抑えることが

最重要課題であった。



図—1

## 2. 工事の概要

### 2.1 開削工事の概要

工事件名 常新, 南流山T工事

工期 平成10年3月

平成17年7月

施工場所 千葉県流山市南流山

請負者 飛島・五洋・福田 共同企業体

発注者 鉄道建設・運輸施設整備支援機構

### 2.2 主要工事数量

(その1工事)

工事種類	数量
柱列式地下連続壁 (SMW)	15,157.6 m <sup>2</sup>
中間杭	8,186.5 m
深層混合処理工 (RJP)	17,429.2 m <sup>3</sup>

生石灰杭	8,362.6 m
路面覆工	5,536.4 m <sup>2</sup>

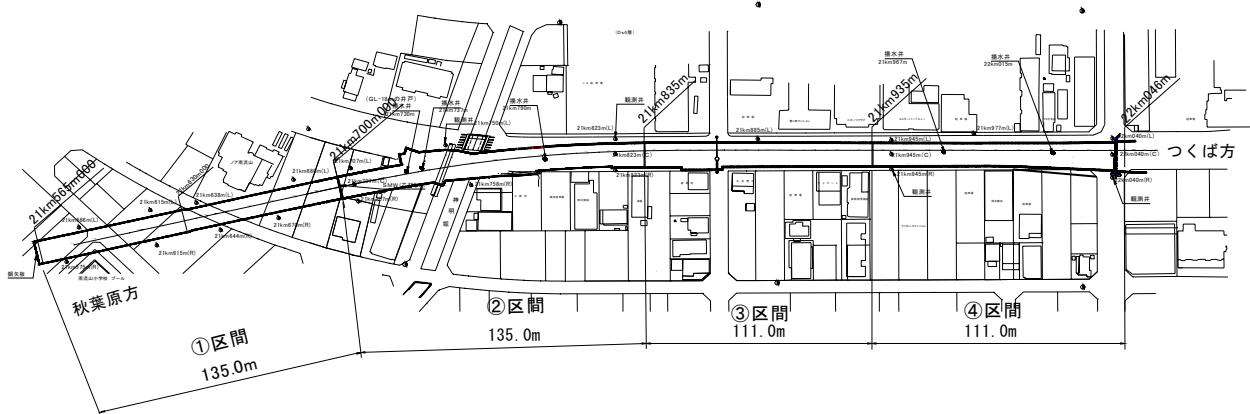
(その2工事)

工事種類	数量
掘削土量	53,580.0 m <sup>3</sup>
構築コンクリート	13,950.0 m <sup>3</sup>
防水工	17,100.0 m <sup>2</sup>

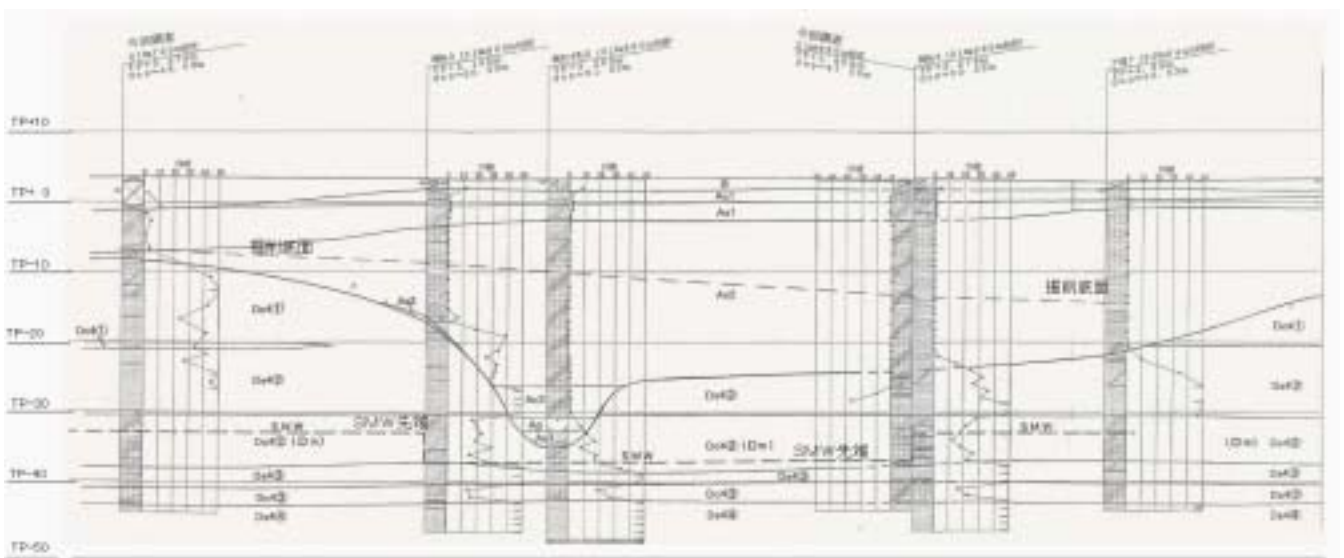
## 3. 施工方法

### 3.1 土留め壁の構造と特徴

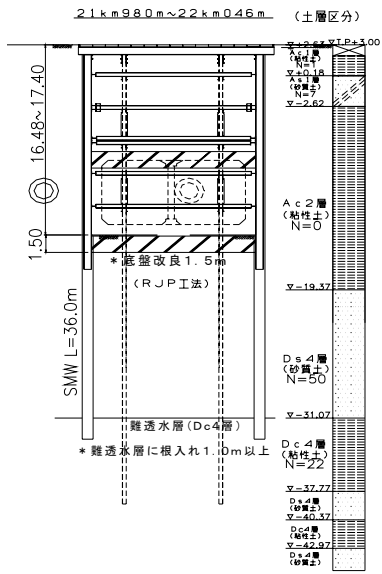
計画されている開削トンネルの掘削深度は、10~18mである。掘削する地盤は成田層の砂層 (Ds4層) を主体とする区間と軟弱な沖積粘土層 (Ac2層) を主体とする区間とに分けられる。本論文は、沖積粘性土層を主体とした掘削工事区間(④区間)の施工報告である。



図—2 平面図



図—3 地質縦断面図



図—4 掘削標準断面図

当工事区間は市街地での家屋に近接した工事であり、施工時には騒音・振動が少なく剛性の高い土留め壁が必要であった。また、Ds 4層は帯水層であり、地下水位も高いため遮水性の高い土留め壁を必要とする。Ac 2層の掘削部分では、土留め壁に大きな土圧が作用する。上記条件より、以下の土留めが計画され、施工を実施した。

- ・盤ぶくれ対策→土留め壁の根入れを不透水層に貫入
- ・変位防止→土留め剛性の高い芯材（弾塑性法による土留め計算の許容変位量  $\delta = 30\text{mm}$ ）
- ・土留め根入れ部分の抑え→地盤改良（RJP）

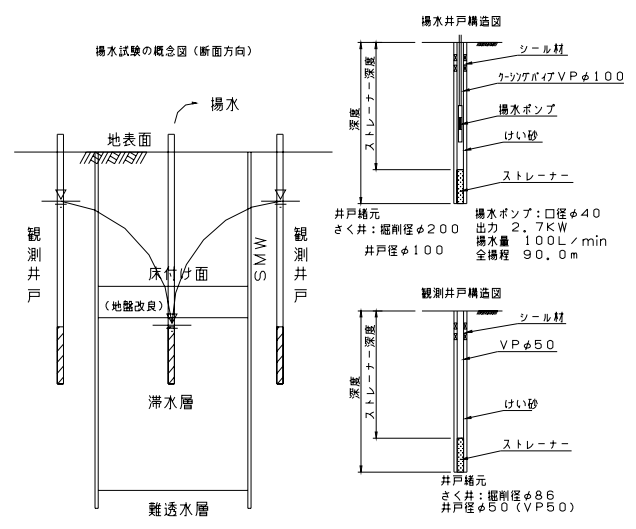
SMW・RJPおよび生石灰杭の施工が完了した時点で掘削に先立ち掘削工事の安全性を検証するため、以下の揚水試験を立案し、実施した。

### 3.2 揚水試験の実施

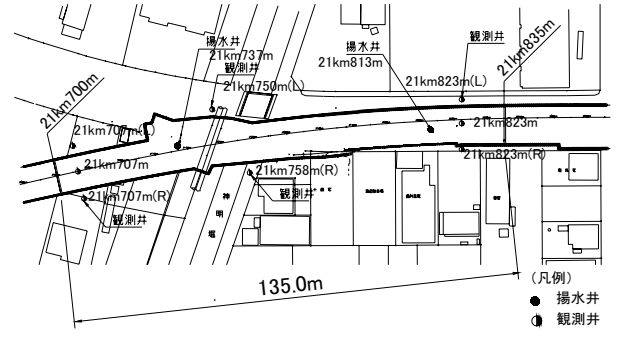
揚水試験は、掘削工事開始前に掘削箇所における土留め壁および地盤改良の遮水効果の確認を行うものである。土留め壁内（遮水壁内）には、揚水井戸として  $\phi 100\text{mm}$ 、背面側には観測井戸として  $\phi 50\text{mm}$  の井戸を設置して、地下水を汲み上げ周辺の井戸の水位変動を確認し土留めの遮水効果を確認する。

### 3.3 揚水試験の結果

揚水試験を実施した結果、以下のグラフのように、土留め壁の背面側の観測井戸の水位が、土留め壁内の水位低下と連動して低下することが確認された。

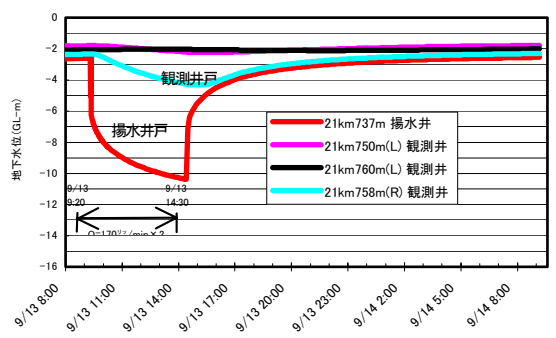


図—5 揚水試験概念図（井戸詳細）



図—6 観測井戸平面配置図

### 揚水試験結果データ

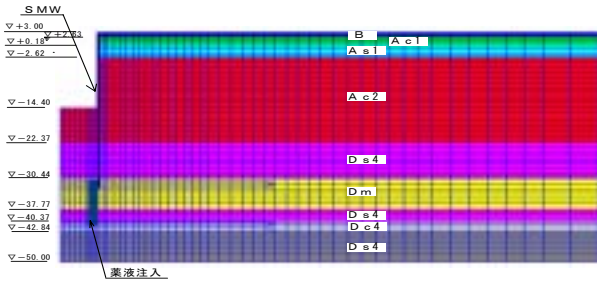


図—7 揚水試験結果データ

また、隣接工区の掘削工事においては、掘削による湧水量増加の原因として根入れ部の難透水層（Dc 4層）の信頼性に問題が生じていた。掘削に伴い多量の湧水が生じた場合、粘性土層が圧密沈下し周辺地盤に影響を与えることが懸念された。その原因を追究するため、ボーリング調査および難透水層（Dc 4層）の透水試験を実施した。

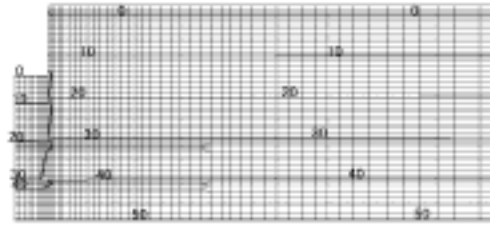


【掘削完了時の効果の検証】

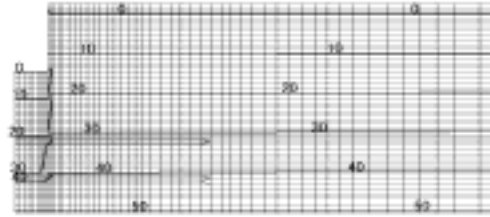


土層記号	透水係数 k(m/sec)	比貯留係数 S <sub>s</sub> (m-1)
B	1.00E-04	7.00E-04
Ac1	3.00E-07	1.00E-03
As1	2.00E-06	1.00E-04
Ac2	3.00E-07	1.00E-03
Ds4	2.00E-05	1.00E-05
Dm	2.00E-06	1.00E-05
Dc4	1.00E-08	1.00E-04
SMW	1.00E-08	1.00E-04
薬液注入	2.00E-07	1.00E-04

検討ケース CASE1:SMW, CASE2:SMW+足付け注入

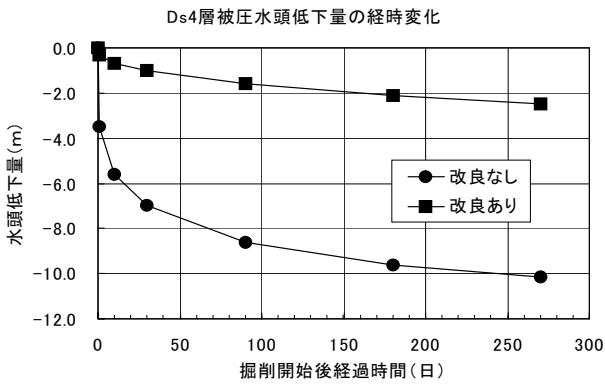


【SMWのみ：9ヶ月後の圧力水頭コンター】



【SMW+足付け注入：9ヶ月後の圧力水頭コンター】

図—10 浸透流解析モデル



図—11 水頭低下量の経時変化

【地下水の低下量】

SMWのみ： $\Delta h_w = 10.2\text{m}$

SMW+足付け注入： $\Delta h_w = 2.5\text{m}$

【地下水の低下による9ヶ月後の圧密沈下量の推定】

SMWのみ： $S = 31\text{mm}$

SMW+足付け注入： $S = 9\text{mm}$

上記より、足付け注入によって、周辺地盤への影響を抑えることができる。

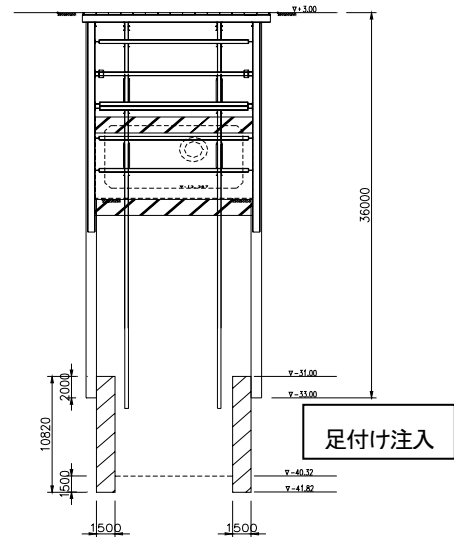
3.5 足付け注入の施工

注入深度が40mと深いことや信頼性を考慮して、二重管ダブルパッカー工法を採用した。施工は以下のように実施した。

【注入率 38%】

【各ステップでの注入圧を記録し、相対的に圧力の低い箇所については、追加注入を行う】

21km980m~22km046m  
(22km020m)



図—12 注入断面図

3.6 揚水試験の実施

足付け注入工事完了後、再度、揚水試験を実施し、注入効果および今後の掘削工事の安全性を確認した。

【揚水試験の結果】

背面側の水位低下は、注入前に比べ明らかに少なく、注入効果があると判断できる。揚水試験に一致するように逆解析した結果、得られた値を以下に示す。

SMW透水係数： $k = 1.0 \times 10^{-9} \text{m/s}$

足付け注入： $k = 3.2 \times 10^{-7} \text{m/s}$

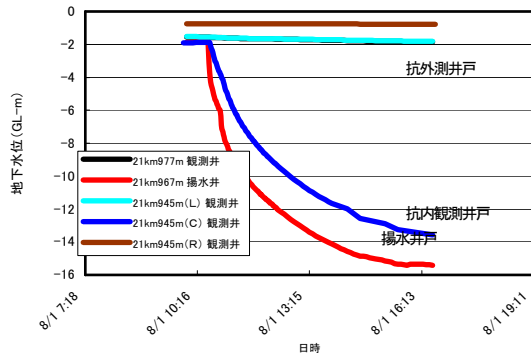
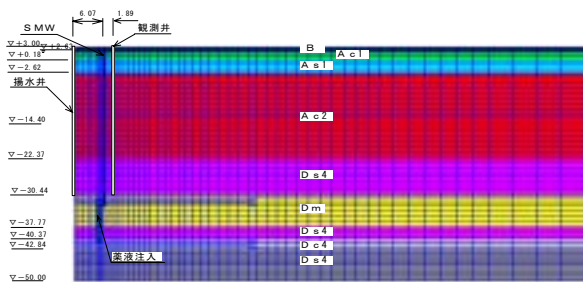
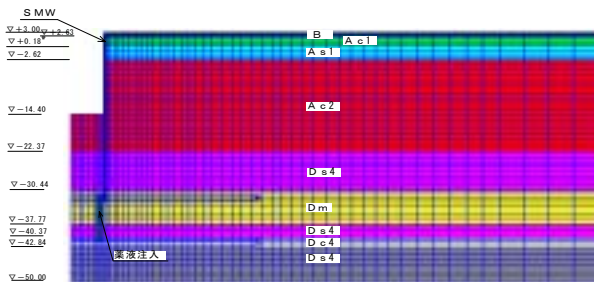


図-1 13 揚水試験の結果

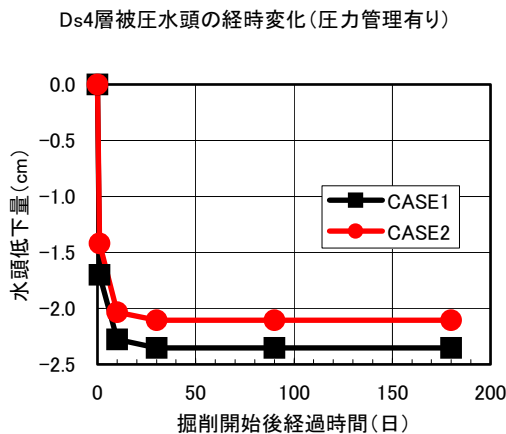


【揚水試験時解析モデル】



【掘削時解析モデル】

図-1 14 浸透流解析モデル



検討ケース CASE1: SMW (21km977m) , CASE2 (22km040m)

図-1 15 掘削背面Ds層の圧力水頭低下量

【圧力管理をした場合の水頭低下と湧水量の推定】

	CASE1	CASE2
圧力水頭低下量 (m)	2. 3 5	2. 1 1
全湧水量 (L/min)	1 2 8	1 1 2
強制排水量 (L/min)	9 6	7 1

足付け注入が完了しても完全な止水は不可能であり、盤ぶくれに対して掘削底面の安全が確保できるよう掘削断面内の水頭（被圧水頭管理）を管理する必要がある。

水頭管理の揚水井戸には、自動流量計および水位計を設置した。

### 3.7 掘削工事の計画

掘削工事における掘削底面の盤ぶくれの安全については、揚圧力に対し中間杭を含めた以下の抵抗力を考慮し、各掘削段階における水頭管理値を設定した。

揚水量については、解析結果を参考値とし、観測井戸の水位観測は自動計測（1時間間隔）で行い、特に掘削抗外の水頭低下については、細心の注意をはらって掘削工事を進めていくこととした。

$$\frac{\text{土重量}(W)}{F1(=1.2)} + \frac{C1+C2(\text{中間杭})}{F2(=3)} + \frac{A1+A2(\text{土留壁})}{F2(=3)} > U(\text{揚力})$$

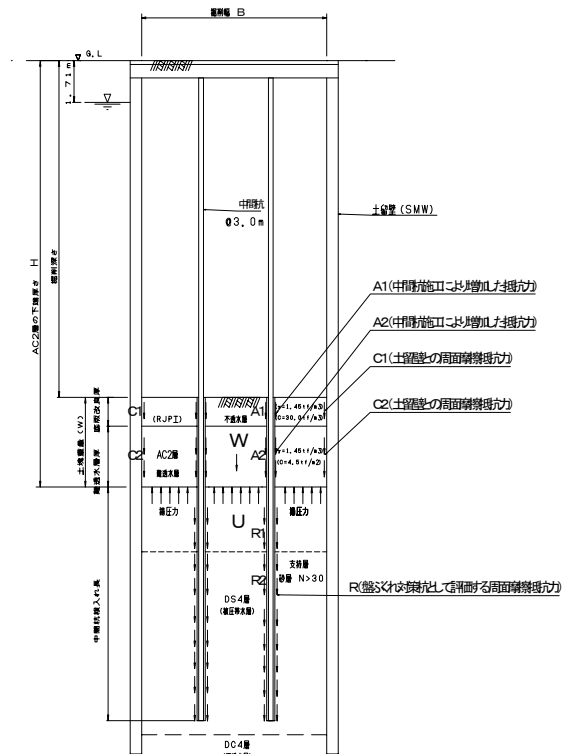


図-1 16 盤ぶくれ計算モデル

【掘削工事フロー】

各エリアの掘削工事においては、以下のフローに従って工事を進めた。

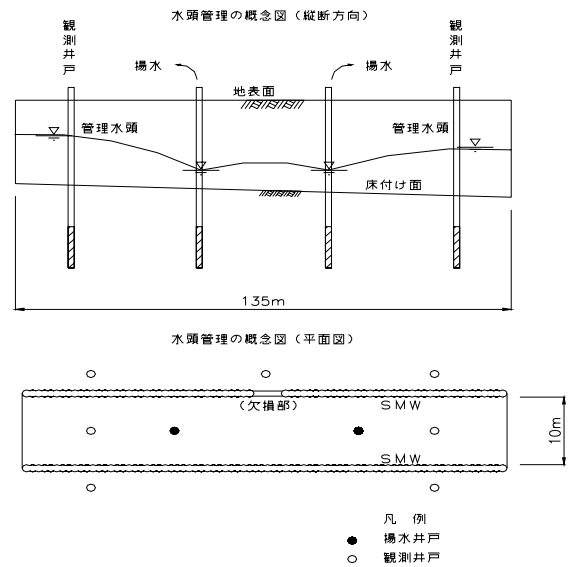
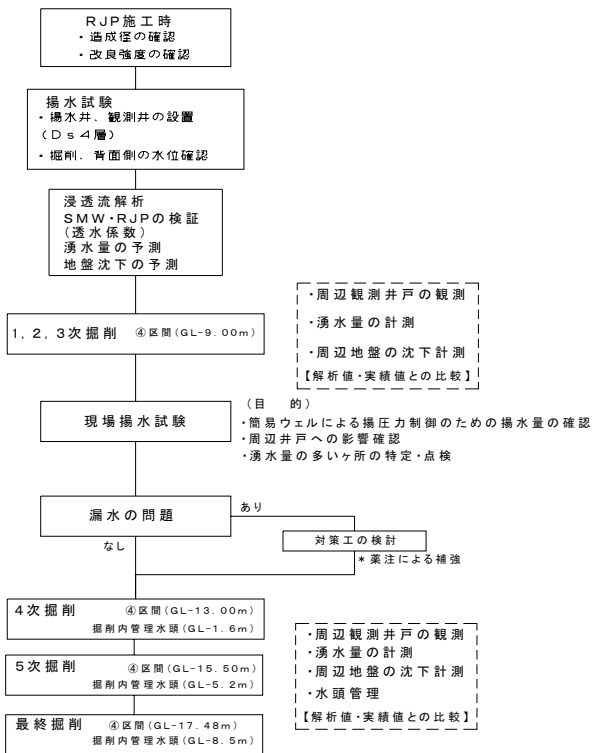


図-17 水頭管理の概念図

#### 4 施工結果

掘削工事は、大きな出水事故も無く工期内に完了することができた。以下に今回の掘削工事までの日常管理の1例を示す。管理項目は、主に抗内水頭・抗外水頭・揚水（湧水）量・地表面沈下とした。

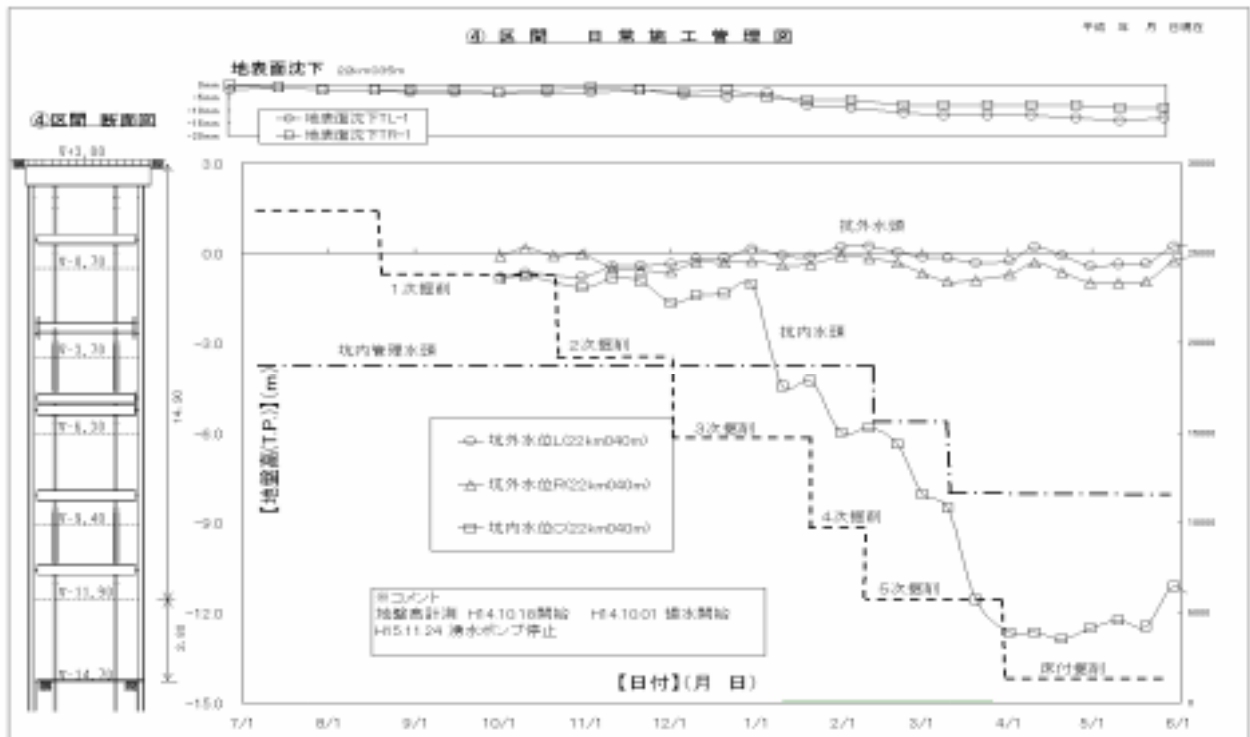


図-18 日常管理報告書式

ここで、掘削工事の管理方法について、類似工事に役立つと思われる事項を、まとめて記す。

#### ① 揚水試験の実施方法

② 透流解析から得られた湧水量や地下水位低下量の取り扱い

#### 【揚水試験の実施方法】

今回の工事において、掘削断面内・外にそれぞれ揚水・

観測井戸を設けその水位変動から土留め壁や地盤部分の湧水の有無を検証した。また、土留め壁の欠損部付近や土留め種類が変わる弱線部にも観測井戸を設け揚水時の急激な水位低下の有無を確認した。揚水井戸本数はシーハルトの式 ( $R=3000 \times s \sqrt{k}$ ) から影響圏半径を推定し、決定した。R=300~30m、揚水区間の1ブロック延長は135mであり、必要な揚水井戸は1本となるが、1区間全体に揚水の影響を顕著に与えられない恐れがあるため、2本の揚水井戸を設置した。今回の井戸は、φ100mmを使用した。経済的に許されれば、φ300mm程度の井戸が望ましい。また、本数も多いほど良い。今回は、1区間約100mであったが、揚水試験区間が短いほど揚水による影響を与えられ信頼性の高い結果が得られる。各井戸はストレーナー長やその周りの土質によって集水能力が異なる場合があり、試験の精度を高めるためには同等な能力の井戸を設置することも重要である。また、井戸の洗浄も入念に行う必要がある。

#### 【浸透流解析から得られた湧水量や地下水位低下量】

揚水試験より得られたデータ（揚水量・時間・水位変化）から浸透流解析を実施しそれぞれの透水係数を推定した。浸透流解析を用いて透水係数（土留め壁・地盤改良）各掘削段階の湧水量・周辺井戸の水位低下量（圧密沈下量）等が推定できる。ただし、その数値をそのまま現場管理にあてはめて管理するのは困難であり、目安

として取り扱うべきである。浸透流解析においては、各要素の仮定も少なくなく、土質を均一なものとしているため、現場の現象と異なることもある。現場においては、各掘削段階で現場の湧水量や水位低下を把握し解析値を参考にしながら管理していくべきと考える。また、状況に応じては、現場の変化に合わせて修正解析や管理値の見直しをすることも必要と思われる。

## 5 おわりに

市街地の掘削工事において、周辺への影響を極力おさえることは最も重要課題である。今回、実施した足付け注入や掘削工事の施工管理方法が、今後の市街地における開削工事に参考となれば幸いである。

本工事の発注者である鉄道建設・運輸施設整備支援機構 関東支社の関係者をはじめ、本工事の関係各位には、多大なるご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 日本鉄道建設技術協会：深い掘削土留め工設計法
- 2) 常新，南流山付近地質調査報告書 1998.
- 3) 常新，南流山T（西）他工事 設計概要書
- 4) 小林薫，近久博志，松元和伸，熊谷幸樹，杉本光隆：杭形式による盤ぶくれ対策工の設計・施工とその計測結果の評価，軟弱地盤における地下建設技術に関するシンポジウム論文集，地盤工学会，2002.2

**Summary** A tunnel was built near Minami-Nagareyama station on the Tsukuba Express Railway by the open cut method. This report describes the details of the construction management. The site is located directly beneath the road with a width of 18.0 m and close to residential buildings. The earth retaining during stepwise excavation was planned as follows:

- To avoid heaving due to the uplift water pressure, a soil mixing wall (SMW) was installed in an aquiclude at a depth about 40m as a temporary retaining wall.
- To suppress the wall displacement of the embedded portion, 1.5m thick rodin jet piles (RJP) were built for soil improvement at the bottom of excavation.

The effectiveness of this retaining wall and soil improvement was verified by pumping test before the excavation work. The excavation work was completed safely with constant ground monitoring during the work.

**【keywords】** open cut method, countermeasure for heaving, temporary retaining wall, pumping test, king post, excavation work