

# 土留め壁の遮水性能の確認方法に関する実施例

大阪市交通局  
交通サービス(株)  
(株)地域 地盤 環境 研究所

石崎雅史, 鍋島寛之  
堀 元治, 山田純也  
○早川 清, 譽田孝宏

## 1. はじめに

土留め掘削における盤ぶくれ対策として、「地下水位低下工法」を採用する 경우가多いが、被圧帯水層の地下水位低下に伴い、上部粘土層で圧密沈下が発生する問題があった。そこで大阪市営地下鉄8号線(今里筋線、以下、8号線と称す)建設工事のうち、停留場築造のために採用した開削工事では、地盤環境保全の観点から全工区において難透水層まで土留め壁を延長する「遮水工法」を採用した(図-1参照)。遮水壁は、背面側地盤の地下水の掘削側への流入を完全に止水するものではなく、ある程度の漏水や浸透水を許しており<sup>1)</sup>、施工管理をおこなう上で土留め壁の遮水性の把握は重要である。しかし、土留め壁の遮水性能の評価には、指標の1つとして透水係数が挙げられるものの、土留め壁全体を表す透水係数について具体的かつ統一的な算定方法はまだ確立されていない。

そこで8号線建設工事では、掘削側および背面側地盤に水位観測孔を設け、掘削域内のリリーフウェルから一定量の地下水を揚水する揚水試験を実施して、揚水量と掘削側および背面側地盤の水位差に基づいて停留場全体を囲む土留め壁全体の平均的な透水係数の算出を試み、土留め壁の遮水性能評価や施工管理に用いた。ここでは、開削工事における土留め壁の遮水効果確認方法の基本的な考え方を示し、8号線建設工事で採用した遮水効果の確認例を示す。

## 2. 遮水効果確認方法の検討

### 2.1 遮水効果確認の指標

開削工事現場における土留め壁の遮水性能に関する効果確認の指標として、背面地盤の地下水位低下量、掘削構内へ浸透する地下水流入量、土留め壁の透水係数などが挙げられる。掘削構内への浸透地下水流入量は、背面地盤における地下水位低下の原因となるため、周辺地盤における圧密沈下の

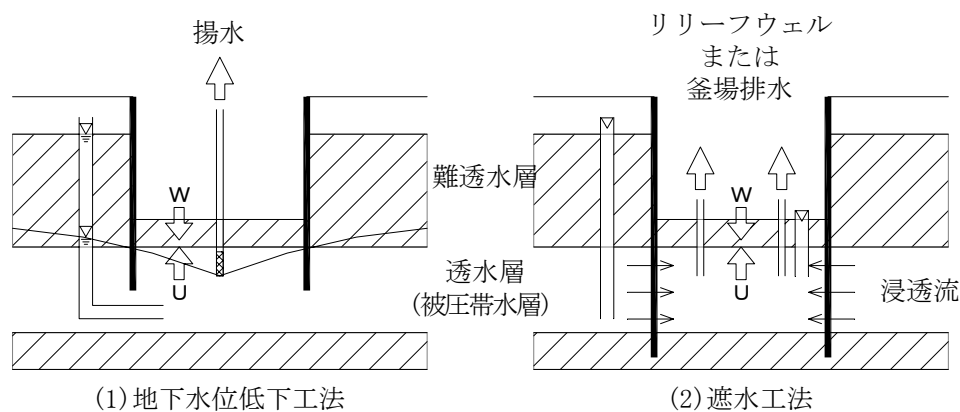


図-1 盤ぶくれ対策工の例

影響度を評価できる有意義な指標である。しかし、遮水性の品質管理項目として、浸透地下水流入量や背面地盤の地下水位低下量を直接的に制御する項目は遮水壁の透水係数であることから、ここでは透水係数を遮水効果確認の指標とした。また、対象工事の特徴として、長手方向に長い構造であり、都市部では埋設物の影響から欠損部を有することが多く、工事完了まで2～3年の間を継続して監視する必要がある。したがって、リリーフウェル等による実際の排水処理量も含め評価することが合理的であり、遮水壁の遮水性能は欠損部も含め全体的でかつ平均的な透水係数で評価することとした。

## 2.2 遮水壁の透水係数を確認する従来の方法

透水係数については、室内透水試験、地下水位の流速、浸透流解析による比較等の確認方法が挙げられるが、対象工事の適用には次のような課題があった。

室内透水試験より透水性を求める方法では、遮水壁から直接コアを採取する必要がある。しかし、この方法で得られる透水係数は、遮水壁の一部分における局所的な測定結果であり<sup>2)</sup>、欠損部や施工精度を含めた土留め壁全体の透水係数として評価するには適さない。

一方、現場揚水試験から透水係数を確認する方法として、掘削域内から現場揚水試験を行い、背面地盤の地下水の流速を直接計測し、遮水壁の透水係数を推定する方法もある。この方法の利点は、遮水壁の透水性が高く地下水流速が速い場合、つまり遮水壁に多量の漏水がある場合において、その地下水流向より遮水壁の漏水箇所を検知できるものである。しかし、遮水壁の遮水性が良い場合の地下水流速は遅く、流速を検知する精度に問題があるため、適用に限界がある。また、掘削域内での現場揚水試験に伴う掘削側および背面側地盤の地下水位分布を計測し、遮水壁の透水係数をパラメトリックに変化させた浸透流解析による地下水位分布との比較によって詳細に評価する方法<sup>3)</sup>がある。ただし、数ケースにおよぶ数値解析を実施しなければならない煩雑さを考慮すると、より簡便に求める手法が望まれる。

## 2.3 掘削域内からの揚水試験による透水係数の算定方法の検討

前述の検討に基づき、掘削域内からの揚水試験による、揚水量と掘削側および背面側地盤の地下水位差から、停留場全体を取り囲む遮水壁全体の平均的な透水係数を算定する簡便な方法について検討をおこなった。

### (1) 定常揚水状態における透水係数の算定方法

図-2は、遮水壁を挟んで掘削側地盤と背面側地盤に水位観測孔を設け、掘削域内に設置したリリーフウェルから一定量の地下水を連続揚水し、両側地盤の地下水位が、それぞれ一定高さを保っている状況を示している。遮水壁からの浸透量  $Q_{IN}$  を(1)式に示す。

$$Q_{IN} = k \cdot i \cdot A \quad (1)$$

ここで、  $k$  : 遮水壁の透水係数 (cm/sec)

$i$  : 動水勾配 (=  $H/L$  ,  $H$  : 水位差 (cm) ,  $L$  : 遮水壁厚 (cm))

$A$  : 流入面積 (cm<sup>2</sup>) (= 帯水層厚 × 壁周長)

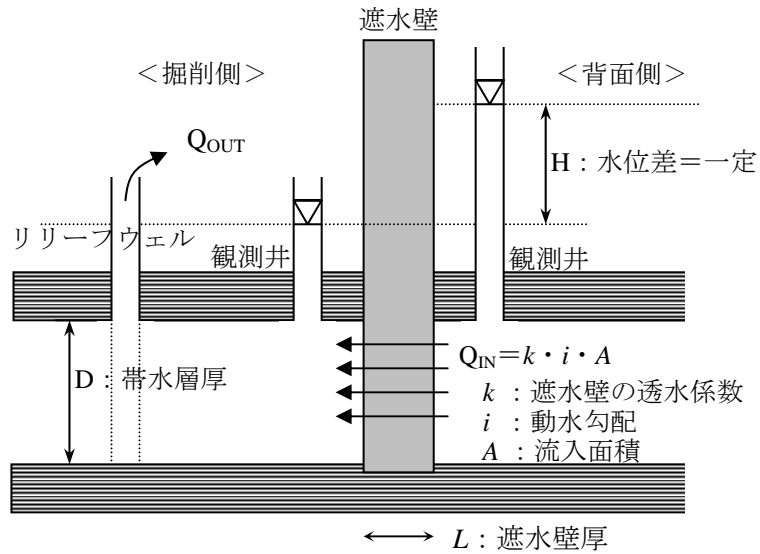


図-2 定常揚水状態

一定量の連続揚水により地下水位が一定に保たれることから、浸透量  $Q_{IN}$  と揚水量  $Q_{OUT}$  は等しいと考慮して(2)式を仮定する。その結果、(1)～(2)式より遮水壁の透水係数  $k$  は(3)式で表され、両側地盤の地下水位差と揚水量の実測値より、遮水壁の透水係数を簡便に算出することができる。

$$Q = Q_{IN} = Q_{OUT} \quad (2)$$

$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot H} \quad (3)$$

## (2) 非定常状態における透水係数の算定方法

定常状態からリリーフウェルの稼働を停止し、掘削域内の地下水位が回復している状態を考える(図-3 参照)。任意時刻  $t$  における水位差を  $H$  とする。この時の、動水勾配は  $i = H / L$  である。よって、微小時間  $dt$  に遮水壁を通じて掘削側に流入する浸透量  $q_{IN}$  は、(4)式で示される。

$$q_{IN} = k \cdot i \cdot A \cdot dt \quad (4)$$

ここで、 $k$  : 遮水壁の透水係数 (cm/sec)

$i$  : 動水勾配 ( $= H / L$ ,  $H$ : 水位差 (cm),  $L$ : 遮水壁厚 (cm))

$A$  : 流入面積 (cm<sup>2</sup>) ( $=$  帯水層厚  $\times$  壁周長)

被圧帯水層であることから掘削地盤側からみた流入量は、被圧帯水層の水頭変化に伴う間隙の変化による帯水層の体積膨張量  $dV$  となるため、(5)式で示される。

$$\frac{dV}{V} = S_s \cdot dH \quad (5)$$

ここで、 $S_s$  : 比貯留係数 (1/cm)

$V$  : 帯水層体積 (cm<sup>3</sup>) ( $= a \cdot D$ ,  $a$ : 掘削面平面積,  $D$ : 帯水層厚)

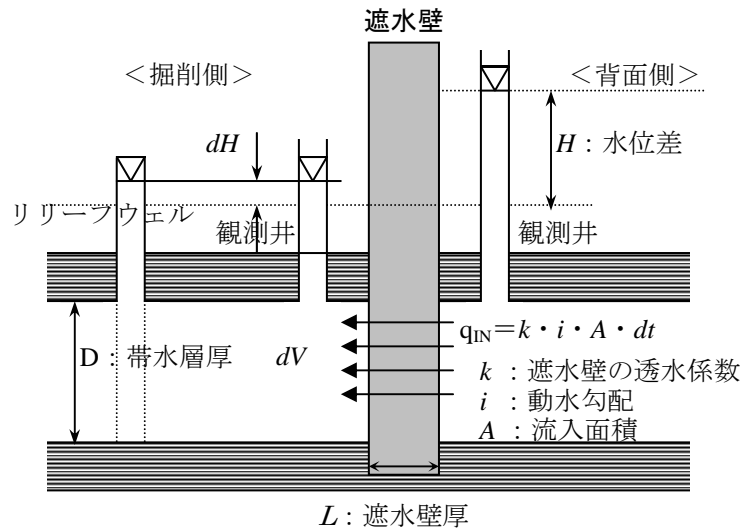


図-3 非定常水位回復状態

体積膨張量  $dV$  と地下水流入量  $q_{IN}$  は等しいと仮定すると、(6)式が成立する。

$$-S_s \cdot V \cdot dH = k \frac{H}{L} A \cdot dt \quad (6)$$

(6)式より、 $t_1$  から  $t_2$  時間における水頭差  $H_1$  から  $H_2$  で積分すると、(7)式に示すように透水係数が求められる。なお、透水係数を算出する(7)式には、遮水壁を挟む両側地盤の地下水位差と揚水量の他に、未知数である比貯留係数( $S_s$ )が含まれている。

$$\int_{H_1}^{H_2} -\frac{1}{H} dH = \int_{t_1}^{t_2} k \cdot \frac{A}{L \cdot S_s \cdot V} dt \quad (7)$$

$$k = \frac{S_s \cdot V \cdot L}{A \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{H_1}{H_2}$$

## 2.4 採用した透水係数算定方法

地盤特性の違いに依存した比貯留係数の例を表-1に示す。比貯留係数は、地盤中において地下水位の変動が生じた際に単位体積当たりの土塊から排出(地下水位低下の場合)あるいはそこに吸入(地下水位上昇の場合)される水量を表す値であり、地盤種別や密度の違いに応じてある幅を有する係数である。よって、非定常状態による算定方法では、不確定なパラメータである比貯留係数を正確に定めることが難しい判断し、停留場全体を取り囲む遮水壁の平均的な透水係数を求める方法として、2.3(1)で示した定常揚水方法による遮水壁の透水係数を求める方法を採用した。

## 2.5 揚水試験の手順

揚水試験に先立ち、掘削側地盤と背面側地盤に水位観測孔を設け、それぞれにおける初期水位を確認する。図-4に遮水性確認のための揚水試験の揚水工程概念図を示す。揚水試験の初期段階においては、段階的に揚水量を増加させ、揚水量と地下水位低下量の関係を把握し、井戸の目詰まり等の井

表-1 比貯留係数の例<sup>4)</sup>に加筆

地盤・岩盤および地層の種類		比貯留係数 $S_s$ (1/cm)
Plastic clay	(塑性粘土)	$1.9 \times 10^{-5} \sim 2.4 \times 10^{-6}$
Stiff clay	(しまった粘土)	$2.4 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-6}$
Medium hard clay	(やや硬い粘土)	$1.2 \times 10^{-6} \sim 6.3 \times 10^{-7}$
Loose sand	(緩い砂)	$9.5 \times 10^{-7} \sim 4.6 \times 10^{-7}$
Dense sand	(密な砂)	$1.9 \times 10^{-7} \sim 1.2 \times 10^{-7}$
Dense sandy gravel	(密な砂礫)	$9.5 \times 10^{-8} \sim 4.6 \times 10^{-8}$
Rock, fissured, jointed	(割れ目・断層岩)	$6.4 \times 10^{-8} \sim 3.0 \times 10^{-9}$
Rock, sound	(堅岩)	$3.0 \times 10^{-9}$ 以下
上総層群		$5 \times 10^{-7}$
成田層群		$1 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-5}$

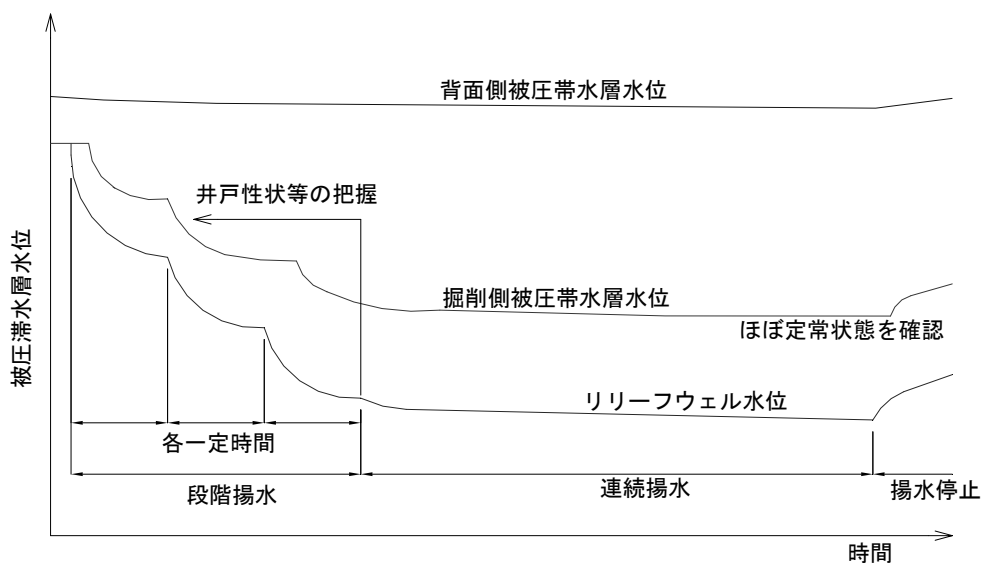


図-4 揚水工程概念図

戸性状を把握するとともに、所定の水位低下量に要する概略の揚水量を推定する。続いて一定量の地下水を連続揚水し、両側地盤の地下水位がほとんど変化しない定常状態を確認し、この時の両側地盤の地下水位差と揚水量の関係から透水係数を算定する。

### 3. 実施工における土留め壁の遮水効果確認試験

#### 3.1 現場条件

土留め壁の遮水効果確認試験を実施した代表的な現場として、以下に A 現場での事例について示す。

A 現場の一般的な横断面図、平面図および土質縦断面図を図-5 に示す。本現場は、寝屋川低地と呼ばれる沖積低地内にあり、東大阪特有の軟弱な鋭敏沖積粘性土 ( $N \approx 0$ ,  $q_u = 30 \sim 100 \text{ kN/m}^2$ , 液性指数  $I_L = 1.0$  程度) が 15~20m 堆積する地域に位置する。また、沖積層の下部には、透水性が良く、硬質な上部洪積層や大阪層群が存在している。地下水位低下工法を採用した場合、この軟弱な厚い沖積粘性土層の圧密沈下量が大きくなることと、掘削途中段階における沖積粘性土層の盤ぶくれを危惧したことから、これらに対する安全性の確保を目的に、土留め壁を第 2 帯水層以深の大阪層群粘土層 (Oc7 層)

まで延長する(ラップ根入れ長 1m)遮水工法を採用した。なお、土留め壁はソイルセメント壁を採用し、芯材長は 27.5m で大阪層群砂層(Os8 層)まで達しており、そこから Oc7 層が存在する GL-40~43m までは、芯材のないモルタル杭によって遮水壁を構築した。遮水対象層は、第 2 帯水層(段丘層(Ts 層と Tg 層)と大阪層群砂層(Os8 層))であり、被圧地下水位は OP-5m 程度である。

### 3.2 遮水効果確認計画

今回用いる遮水効果の確認方法は、遮水性能を確認するほか、確認試験により遮水壁の性能が低いと懸念される場合には、性能を確保するために補足注入等の補修を実施し、その後に確認試験を実施して施工への反映を可能にしなければならない。したがって、リリーフウェルおよび観測井については、確認手順、現場条件等を把握して経済的かつ効果的に配置する必要があった。

リリーフウェルの設置本数については、まず遮水壁の透水係数を  $k=1 \times 10^{-5}(\text{cm/sec})$  と仮定し、盤ぶくれ防止に必要な掘削側地盤の地下水位と背面側地盤の初期地下水位との差を利用して、遮水壁からの浸透地下水量を算定して必要揚水量((3)式と等価)を算定した。次に、Sichart(シチャート)の井戸能力算定式<sup>5),6)</sup>に基づき検討をおこなった結果、 $\phi 600\text{mm}$ (削孔径 1000mm)のリリーフウェルが 2 本必要となった。その配置については、埋設物の関係により土留め壁の南北面に欠損が生じることから、対象工事においては現場揚水試験を北側エリア、南側エリアでの遮水効果確認が必要であると考え、南北それぞれに 1 箇所設置した(図-5 参照)。

観測井については、対象工事の長手方向に対して複数の観測井を設け、短手方向に対しても欠損部が存在することを重視し、東西南北 4 面に対しそれぞれ掘削内外一対の観測井戸を設け、既存の手動観測井から得られる情報も合わせて利用することによって、背面側地盤の地下水位を適宜確認することにした(図-5 参照)。なお、2 本のリリーフウェルのうち、どちらか一方からの揚水を実施する場合には、残るリリーフウェルは観測井として利用できることも考慮して、総合的に観測井配置を決定した。

### 3.3 遮水効果確認結果

揚水による目標地下水位は、掘削側地盤のドライワークを確保するため、最終掘削底盤深度より 1m 以深の OP-23.3m とした。段階揚水終了後の第 1 回~第 3 回確認試験までの背面側地下水位(北側(WN)、南側(WS)、西側(WW))および掘削側地下水位(Os8 層上部)の経時変化図を図-6 に示す。

第 1 回確認試験は、北側エリア(図-5 平面図の左側エリア)での遮水効果確認を重点に置き、北側のリリーフウェル(RW-1)のみから実施した。揚水量は、ほぼ定常状態に収束した時点で  $0.87\text{m}^3/\text{分}$  であり、掘削側地盤の地下水位は概ね OP-18~20m の範囲であった。背面地盤の地下水位については、北側(WN)と南側(WS)の水位は OP-5.1m 付近であったが、西側(WW)の水位は OP-5.8m 程度を示し、北側や南側よりも低い地下水位を示した。第 1 回確認試験における各観測井の水位を表-2 に示す。

表-2 に基づいて(3)式より第 1 回目確認試験による遮水壁の透水係数  $k$  を(8)式のように算出した。

$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot H} = \frac{0.87 \times 10^6 / 60 \times 0.773 \times 10^2}{5242 \times 10^4 \times 13.59 \times 10^2} = 1.56 \times 10^{-5} (\text{cm/sec}) \quad (8)$$

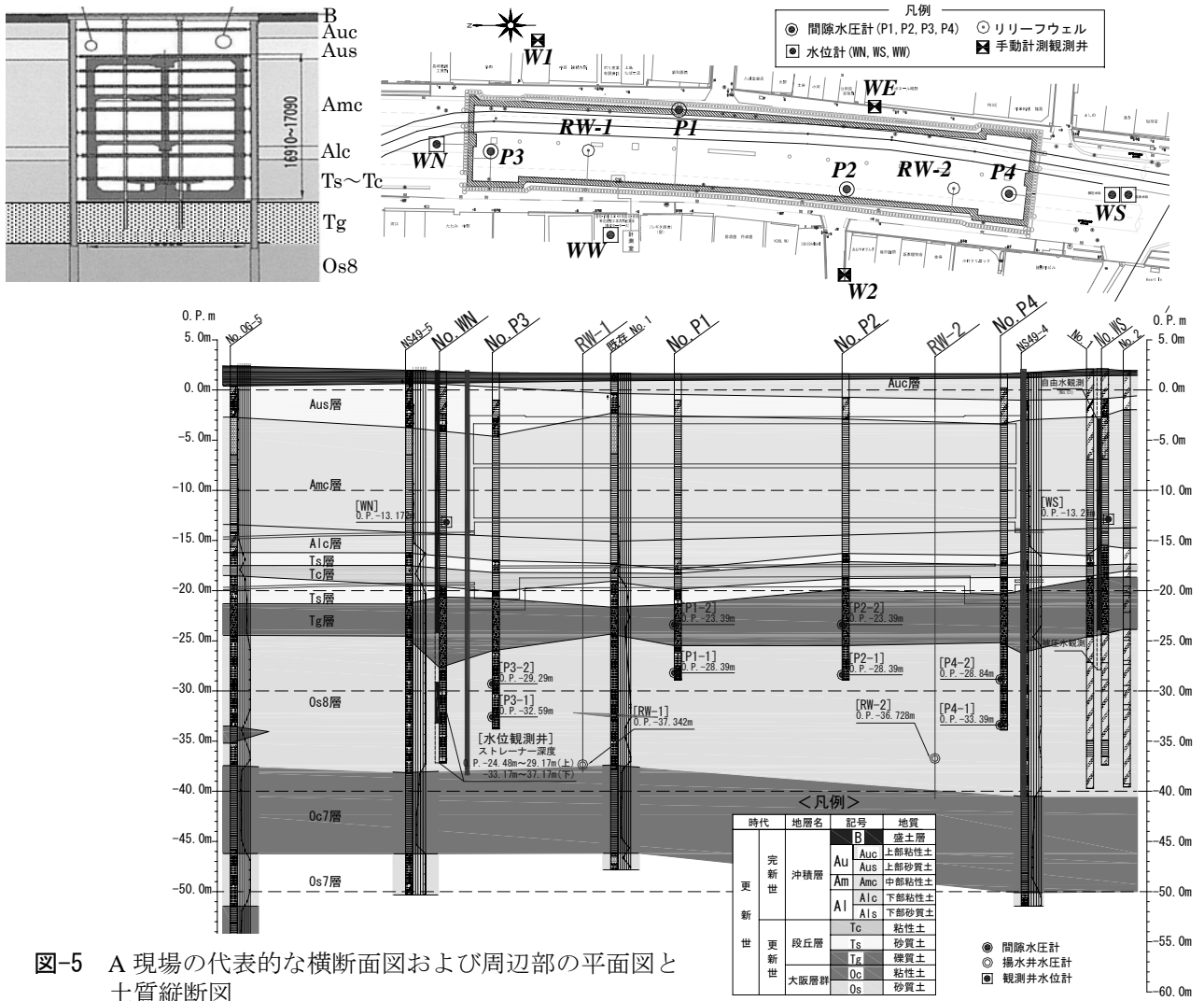


図-5 A 現場の代表的な横断面図および周辺部の平面図と土質縦断面図

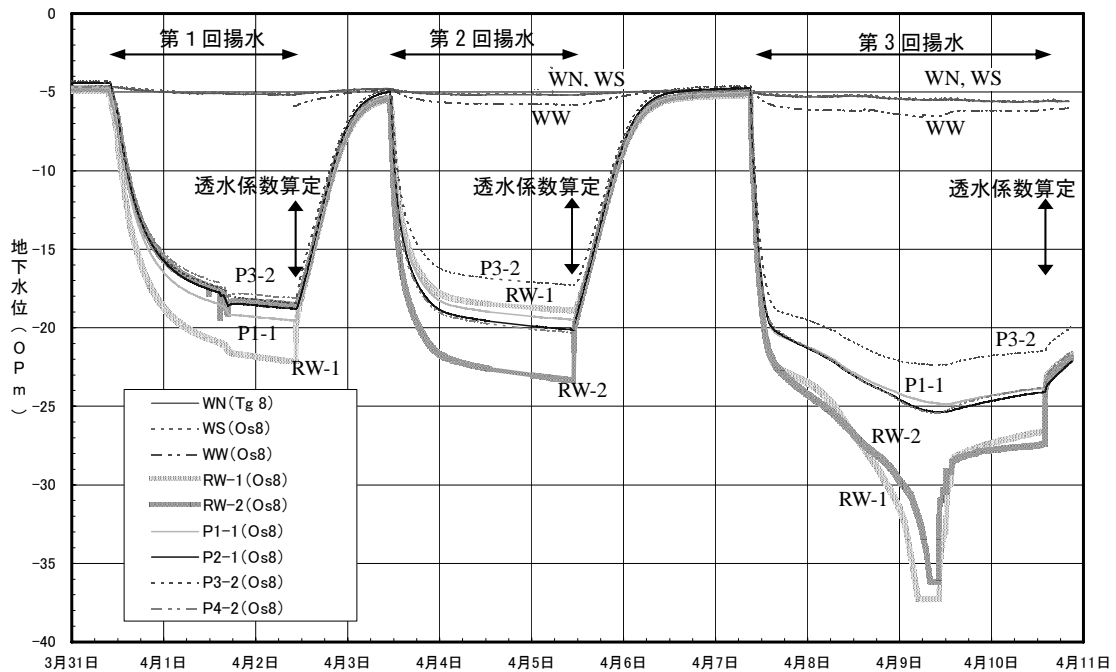


図-6 第1回～第3回確認試験時の地下水位に関する経時変化図

表-2 第1回目確認試験時の各観測井の定常水位

	背面側観測井		掘削側観測井				平均水位差 $H$ (m)
	WN	WS	P1-1	P2-1	P3-2	P4-2	
各観測井水位(OP m)	-5.17	-5.09	-19.55	-18.11	-18.41	-18.12	13.59
平均水位(OP m)	-5.13		-18.72				

揚水量  $Q$  : 944(リットル/min) =  $0.944 \times 10^6 / 60$  (cm<sup>3</sup>/sec)  
 遮水壁厚  $L$  : 0.773 (m), 土留め壁の有効壁厚(芯材端部における有効厚)を仮定した.  
 流入面積  $A$  : 5242 (m<sup>2</sup>), = 帯水層厚  $D$  × 壁周長  $L_T$   
 - 帯水層厚  $D$  は, Ts 層, Tg 層, Os8 層を同一帯水層とみなし, 平均的な全体層厚とし 20m を仮定した.  
 - 壁周長  $L_T$  は, 掘削域を取り囲む土留め壁周長とし, 112.7m + 110.7m + 19.0m + 19.7m = 262.1m を仮定した.  
 水位差  $H$  : 14.14 (m), 背面側および掘削側地盤における各観測点水位を算術平均し, その平均水位差を仮定した.

第2回確認試験は, 南側エリア(図-5 平面図の右側エリア)での遮水効果確認を重点に置き, 南側のリリーフウェル(RW-2)のみから実施した. 揚水量は, ほぼ定常状態に収束した時点で 0.94m<sup>3</sup>/分であった. 掘削側地盤の地下水位については, 北側観測井(P3-2)の水位は OP-16.9m を示し, その他の観測井がおおむね OP-19~20m を示したのに対して 2~3m 高い水位を示した. 背面地盤の地下水位については, 北側(WN)と南側(WS)の水位は OP-5.2m 付近であったが, 西側(WW)の水位は OP-5.8m 程度を示し, 北側や南側よりも西側が 0.6m 程度低い地下水位を示した. なお, (8)式に基づいて遮水壁の透水係数を算出した結果,  $k=1.62 \times 10^{-5}$  (cm/sec) になった.

第3回確認試験は, 全体の遮水効果確認を重点的におこなうことを目的に, 北側と南側の両方のリリーフウェル(RW-1 と RW-2)から実施した. 2本のリリーフウェルからの揚水に伴い, 双方とも井戸枯れが発生したが, その後, 揚水量を調節してほぼ定常状態に収束したことを確認した. その際の揚水量は 0.88m<sup>3</sup>/分であったが, この揚水においても, 北側観測井(P3-2)は OP-21.5m を示し, 他の観測井より 2m 程度高い水位を示した. 背面地盤の西側(WW)の水位は OP-6.2 m を示し, 北側や南側の観測井がおおむね OP-5.6m を示すのに対して, 依然 0.6m 程度低い地下水位を示した. (8)式と同様に遮水壁の透水係数を算出した結果,  $k=1.21 \times 10^{-5}$  (cm/sec) になった.

第1回~第3回遮水確認試験の結果, 水位観測井で得られた地下水位の特徴として, 掘削側地盤では北側観測井(P3-2)の水位が他よりも高く, 背面側地盤では西側(WW)の水位が他よりも低いことから, 遮水壁の西側と北側において, 遮水性が低い可能性が高いことが考えられた. よって, 遮水壁の遮水性向上の検討として, ソイルセメント壁の各エレメント間のラップ状況を確認するために削孔中に実施した削孔鉛直性に関するリアルタイム計測データや施工管理情報を勘案して, ソイルセメント壁からの浸透水よりも欠損部からの流入水の方が顕著であると推測し, 西側および北側遮水壁の欠損箇所を中心に注入を実施した.

対策後に実施した第4回確認試験時の地下水位に関する経時変化図を図-7 に示す. 掘削地盤北側(P3-2)の地下水位が他地点よりも低く, 背面地盤西側(WW)の地下水位が他地点よりも高い傾向については極端な改善が見受けられないものの, 表-3 からわかるように平均水位差が第3回確認試験から第4回確認試験で 2~3m 程度変化し, 全体的には掘削地盤側の水位が下がる結果になったことから, 掘削域内外の水位差の状況から判断して遮水性が向上したことが確認できた.

その他の各停留場でソイルセメント壁を採用した現場において実施した遮水効果確認試験結果を



表-4 に示す。なお、一部連続壁を採用した停留場や遮水部分に薬液注入を基本とした停留場については、遮水構造の思想が異なることからここでは除外し、A 現場に類似した現場のみを比較および検討した。表-4 に示す透水係数の大小については、一概に土留め壁の施工品質を直接的に評価するものではなく、土留め欠損防護の規模や現地盤の砂・礫含有量などに依存すると考えられ<sup>7)</sup>、詳細な要因分析については今後の課題である。

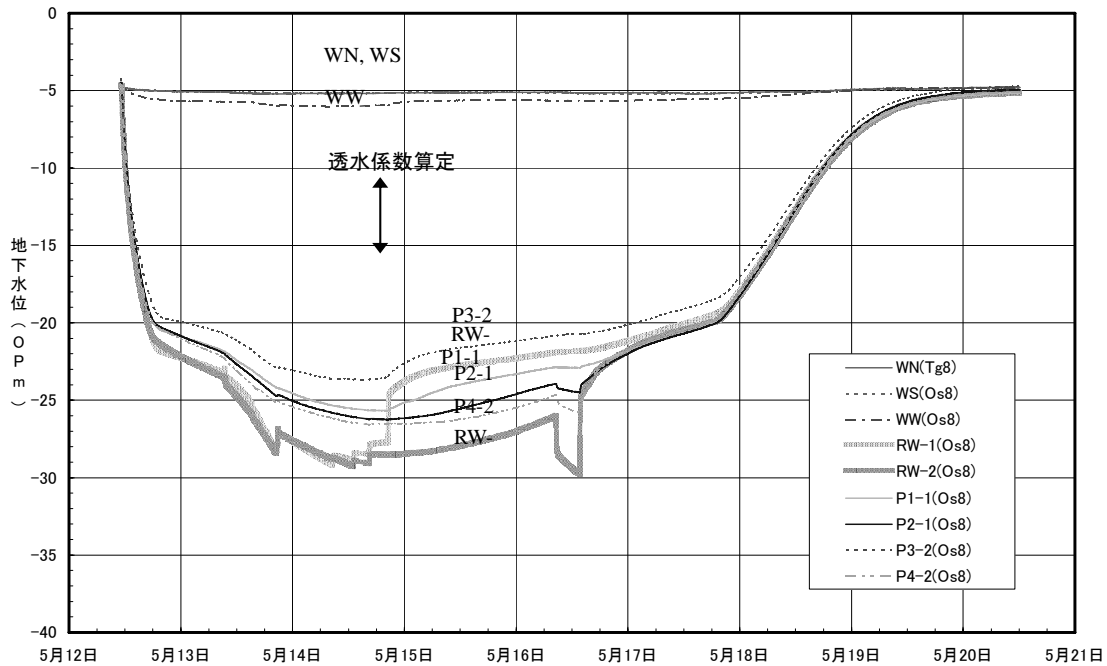


図-7 第4回確認試験時の水位の経時変化図

表-3 第1回～第4回確認試験における遮水壁全体の平均的な透水係数および諸定数の変化

確認試験 No.	第1回	第2回	第3回	第4回
稼動揚水井	(RW-1)	(RW-2)	(RW-1+RW-2)	(RW-1+RW-2)
揚水量 $Q$ (m <sup>3</sup> /min)	0.87	0.94	0.88	0.88
平均水位差 $\Delta H$ (m)	13.59	14.14	17.72	20.33
平均動水勾配 $\Delta H/L$	17.65	18.36	23.01	26.47
遮水壁の透水係数 $k$ (cm/sec)	$1.56 \times 10^{-5}$	$1.62 \times 10^{-5}$	$1.21 \times 10^{-5}$	$1.06 \times 10^{-5}$

表-4 各停留場で実施した確認試験から得られた遮水壁全体の平均的な透水係数の一覧表<sup>8)</sup>に加筆

対象停留場	土留め壁(ソイルセメント壁)		対象帯水層		揚水量 (m <sup>3</sup> /min)	透水係数 $k$ (cm/sec)
	工法 <sup>注1)</sup>	削孔長(m)	土層名 <sup>注2)</sup>	流入面積(m <sup>2</sup> )		
A 現場	SMW	40~43	Tg, Os	5242	0.88	$1.6 \times 10^{-5}$
B 現場	TMW	31~39	Tg, Os	2140	0.53	$2.8 \times 10^{-5}$
C 現場	SMW	28	Ts	3340	0.45	$6.8 \times 10^{-6}$
D 現場	TMW	26~30	Ts, Tg, Os	1860	0.16	$6.4 \times 10^{-6}$
E 現場 <sup>注3)</sup>	北城 南城	SMW	Og	2406	0.84	$2.9 \times 10^{-5}$
				2576	0.55	$2.1 \times 10^{-5}$

注1) SMW：柱列式ソイルセメント地中連続壁工法，TMW：柱列式等厚ソイルセメント地中連続壁工法

注2) Tg：洪積段丘礫層，Ts：洪積段丘砂層，Os：洪積大阪層群砂層

注3) 停留場部と線路部を合わせた長手方向に長い掘削領域であることから、掘削領域の中間部に遮水壁を設けて、北城と南城に分割した。

#### 4. まとめ

開削工事における地下水地盤環境への負荷を低減する観点から、8号線停留場部の開削工事では、周辺地下水位への影響が少ない工法として全工区において遮水工法を採用した。ただし、土留め壁の遮水性能の確認方法はいまだ確立されていないことから、8号線建設工事では、本論文に示した停留場全体を囲む遮水壁の平均的な透水係数を定量的に評価する方法を採用した。

本方法は、掘削側および背面側地盤に地下水位観測孔を設け、土留め掘削前に掘削域内のリリーフウェルから一定量を揚水する揚水試験を実施し、揚水量および土留め壁を挟んだ両地盤の地下水位差に基づいて、土留め壁の平均的な透水係数を求める方法である。つまり、漏水箇所付近の地下水位が背面側地盤で低くなるのに対して掘削側地盤で高くなるという特徴に着目して、平面的な地下水位分布状況の違いから漏水箇所を推定するものである。

8号線建設工事では、計画的に揚水試験を数回実施して透水係数を把握することで、遮水性が低いと考えられる箇所を補足薬液注入等により対策して遮水性を高め、工事に必要な土留め壁の遮水性能を把握する施工管理をおこなった。以上のことから、地下水地盤環境の保護を念頭に置いて安全に施工を進める上で、今回用いた方法は、工程面や経済性の面からも土留め壁の遮水性能を確認する方法の1つとして有益であった。

ただし、漏水箇所を特定するためには観測孔を多く配置する必要があることから、埋設物の存在に伴う欠損防護箇所に留意した観測孔配置計画を含め、詳細に漏水位置を特定する遮水性能確認方法の確立が今後期待される。また、今回示した遮水壁の透水係数は、あくまでも停留場全体を囲む遮水壁の平均的な透水係数であり、土留め壁欠損部の状態や地盤特性に依存すると考えられることから、詳細な要因分析については今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) 西垣誠：基礎工における地下水対策の現状と課題，基礎工，Vol.29，No.11，pp.6-10，2001.
- 2) 吉成元信，間瀬惇平，新海淳一，国東祚光：ソイルセメント山留め壁の設計・施工，基礎工，Vol.16，No.8，pp.59-67，1988.
- 3) 岸尾俊茂，塩谷智弘，原宏司，平野勝志，橋本正，松本隆志：薬液注入工法による地下水の遮水とその効果，地下水地盤環境に関するシンポジウム'96 発表論文集，pp.145-154，1996.
- 4) 改訂地下水ハンドブック，改訂地下水ハンドブック編集委員会編，建設産業調査会，p.71，1998.
- 5) 土質工学会編：土と基礎 実用公式・図表の解説―第1回改訂版―pp.398-408，1987.
- 6) 日本ウェルポイント協会編：ウェルポイント工法便覧，理工図書，1978.
- 7) 鈴木健夫，國藤祚光：ソイルミキシング地中連続壁工法における基礎的実験について，第22回土質工学研究発表会講演集，pp.1301-1302，1987.
- 8) 石崎雅史，高山学：第8号線における土留め壁の遮水性について，第30回大阪市交通局業務研究発表会，pp.19-37，2003.

## 地下水地盤環境に関するシンポジウム 2009

平成 21 年 11 月 20 日印刷

平成 21 年 11 月 27 日発行

発行者 地下水地盤環境に関する研究協議会  
大阪市西区立売堀 4 丁目 3 番 2 号  
財団法人 地域 地盤 環境 研究所内  
TEL (06) 6539-3135

財団法人 日本地下水理化学研究所  
TEL (06) 6100-1555

財団法人 地域 地盤 環境 研究所  
TEL (06) 6536-1741

印刷所 株式会社 淀川工技社  
大阪市中央区大手通 1 丁目 2 番 1 号  
TEL (06) 6943-8765

---