

中之島新線建設工事に伴う広域地下水位への影響

京阪電鉄 泉谷 透
地域地盤環境研究所 長屋 淳一
かんこう 西本 一之

1. はじめに

中之島新線建設工事は、大阪市中心部に位置する中之島内に東西方向の地下鉄を建設するものであり、総延長 2.9km の中に 4 つの新駅と一部の路線部を開削工法にて構築し、駅間の線路部はシールド工法によって結ぶ工事である。開削工事では、盤ぶくれ防止のために高水位で透水性の大きい下部沖積砂層 A_{sg} および第 1 洪積砂礫層 T_{g1} 層の水位を低下させる必要があったが、当該地の地盤はこれらの帯水層の上部に軟弱な沖積粘土層が堆積しており、水位低下による圧密沈下が懸念された。そのため本工事では、土留壁によりこれらの帯水層を遮水し、リリーフウェルによる水位低下が行われた。実工事に際しては、土留め壁の施工精度や欠損部における遮水処理によっては十分な遮水性が得られず、周辺地盤に水位低下を引き起こす場合に対処できるよう、土留壁の背面地盤および開削部から 500～1000m 程度離れた広域の地下水位観測を実施した。本論文では、中之島新線の開削工事において観測した土留め背面地盤および広域の地下水観測データのシミュレーション解析を行い、土留め壁の遮水性（透水係数）と広域地下水への影響について考察を行った。

2. 開削工事の概要

中之島新線は、総延長 2.9km の中に 4 つの駅部と玉江橋を渡る渡り線部の 5 つの工区で開削工法により駅舎部および一部の路線部が構築された。表-1 に開削工事の概要、図-1 に中之島新線の路線平面図と土質縦断図を示す。開削工事の掘削深さは、1 工区では約 16m で、東へ向かうほど深くなり、5 工区では約 29m となる。当該地における地盤は、層厚の厚い軟弱な沖積粘土層の下層に透水性が良く高水位である下部沖積砂層 A_{sg} および第 1 洪積砂礫層 T_{g1} 層が堆積しており、開削工事では盤ぶくれ防止のために A_{sg} および T_{g1} 層の水位を低下させる必要があった。本工事では、A_{sg} および T_{g1} の水位低下による沖積粘土層の圧密沈下が懸念されたため、土留め壁により A_{sg} および T_{g1} 層を遮水し、リリーフウェルによる掘削部の水位低下を行った。土留め工法には 1～4 工区では SMW、5 工区では RC 連壁を用いた。A_{sg} および T_{g1} 層の層厚は 10～14m と厚く、これを遮水するためには Ma12 層まで根入れする必要があるため、土留め壁長は 1～4 工区では約 40m、5 工区では 78m の大深度の土留め壁の造成が必要となった。そのため、SMW は、中空油圧モーターを使用することで、大深度・大口径の土留め壁を従来の SMW 工法よりも高

表-1 開削工事の工事概要

工区	駅舎名	開削工事延長 (m)	掘削深さ (m)	土留壁			揚水対象層		必要水位 低下量 (m)
				工法	壁厚 (mm)	延長 (m)	帯水層	層厚 (m)	
1 工区	中之島駅	334	16	SMW (UD-HOMET)	900	40	A _{sg} +T _{g1}	12	20
2 工区	玉江橋渡り線部	245	18	SMW (UD-HOMET)	900	38	A _{sg} +T _{g1}	13	15
3 工区	渡辺橋駅	175	24	SMW (UD-HOMET)	900	38	A _{sg} +T _{g1}	10～12	25
4 工区	大江橋駅	175	25	SMW (UD-HOMET)	900	40	A _{sg} +T _{g1}	11～14	20
5 工区	なにわ橋駅	170	29	RC 連壁	1100	78	A _{sg} +T _{g1}	10～14	25

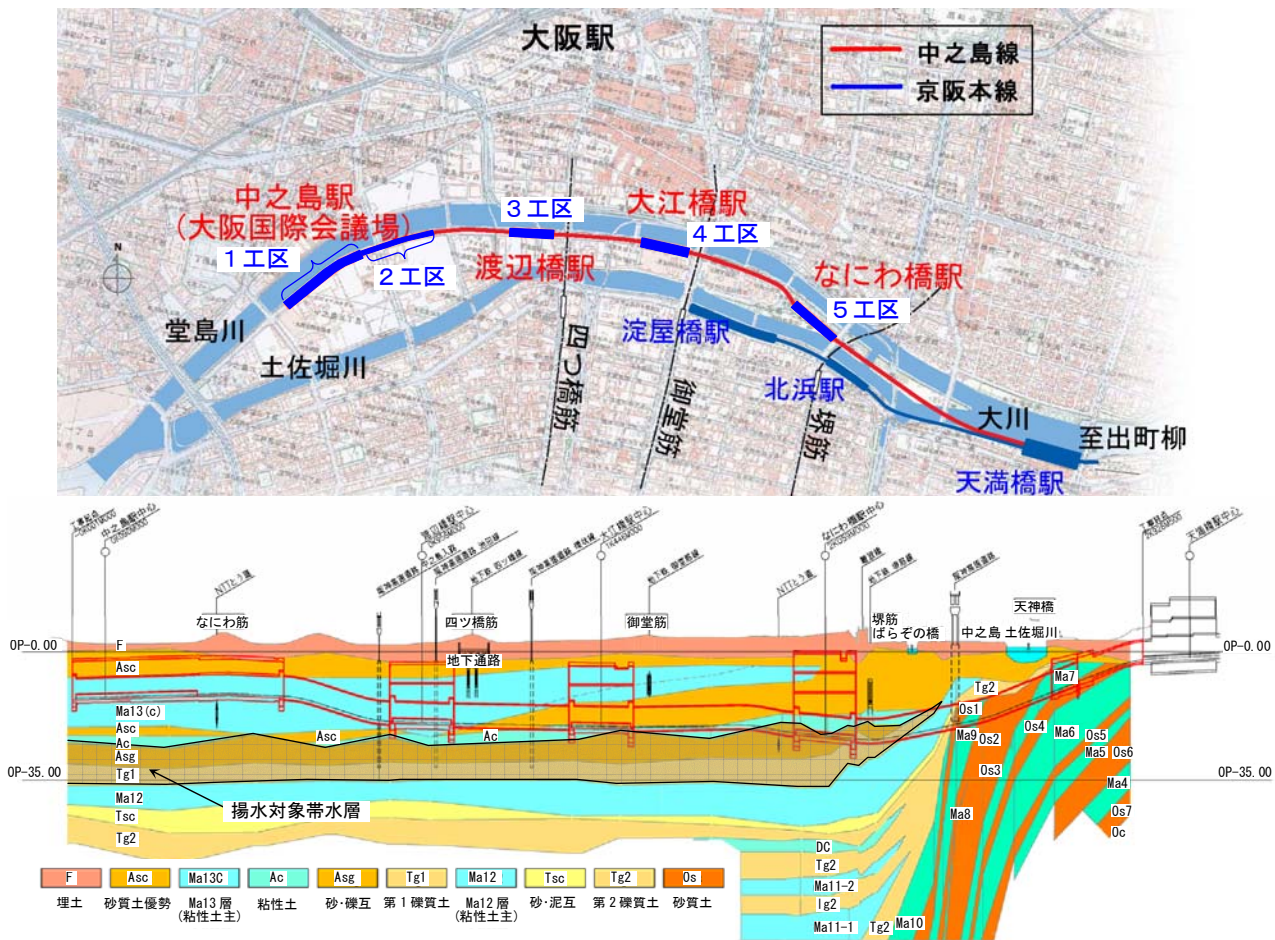


図-1 中之島新線の路線平面図と土質縦断図

精度に造成することができるUD-HOMET工法¹⁾を採用した。

3. 地下水位および地盤沈下の観測結果

開削部の水位低下に伴う周辺地盤の地下水位を監視するために、土留め背面地盤および500m～1km離れた広域の地下水位観測井を設けた。また、5工区の近傍には大阪市が観測する地下水位・地盤沈下観測点(中之島A、B)²⁾がある。図-2に地下水位観測井および地盤沈下観測点の位置図を示す。

1) 水位観測結果

図-3に開削時における構内水位、背面水位、広域地下水位の経時変化および中之島A、Bにおける水位・沈下の経時変化を示す。また、表-2に水位低下量の一覧表を示す。掘削部の水

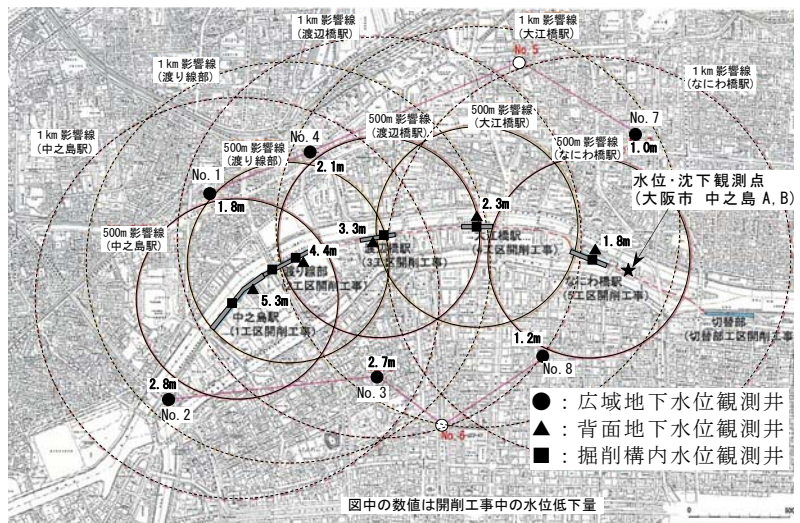


図-2 地下水位観測井の位置図

水位低下は5工区が平成17年5月、2工区C区間が平成17年8月、1,3,4工区が平成17年11月より開始しているが、いずれの工区においても平成17年11月頃より背面地盤水位低下が発生しており、広域水位も同時期に水位低下が見られる。また、各工区の水位回復とともに、背面地盤水位および広域水位も回復傾向にあり、これらの水位変動は開削工事の水位低下時に土留め壁からの漏水により背面地盤に水位低下が広域にわたり影響していると考えられる。但し、2工区、5工区では平成17年5月および8月より水位低下を行っているにも係わらず、平成17

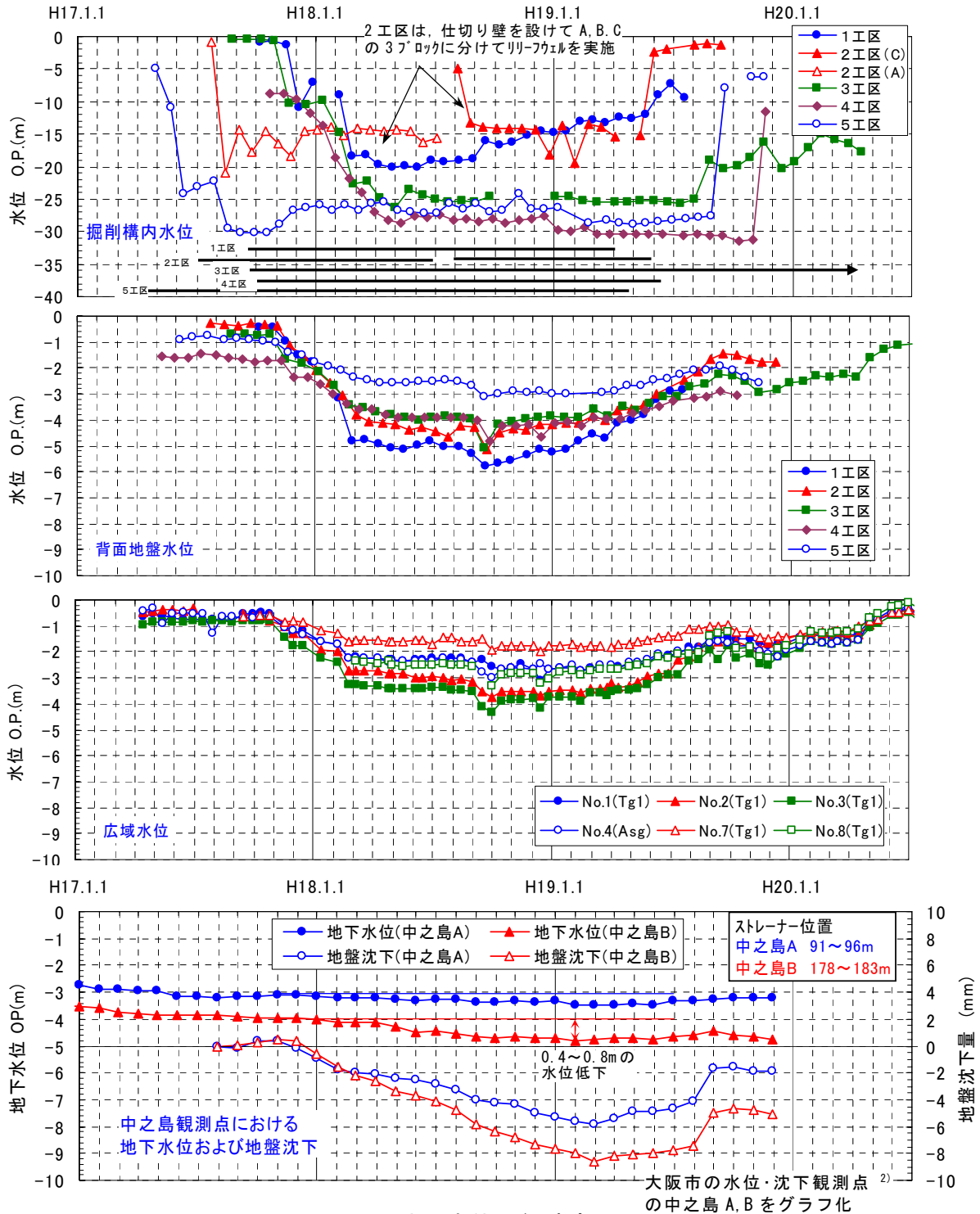


図-3 地下水位の経時変化図

年 11 月まで背面地盤水位が低下していないことより、土留壁に十分な遮水性があり、背面地盤水位の低下は生じなかったが、平成 17 年 11 月の他工区の水位低下の影響を受けて背面地盤水位が低下したと思われる。1,3,4 工区については、背面地盤水位の低下量は 2.3～5.3m、開削部からの離隔が 500～700m の広域水位の水位低下量は 1.8～2.7m であり、各工区における水位低下の影響が重ね合わさって広域にわたる水位低下が発生している。

これらの周辺地盤の水位低下に対して 5 工区の近傍に位置する大阪市の地盤沈下観測点(中之島 A,B)は、周辺地盤水位が低下した平成 17 年 11 月頃より沈下が発生し始め、平成 19 年 2 月には 6～8mm 程度の沈下が観測されている。その後、水位回復とともに隆起に転じ、地盤は弾性的な挙動を示しており、この地域において過去の地下水位低下による圧密履歴を持つことが伺える。中之島 A,B における揚水期間中の水位低下量は 0.4～0.8m 程度であるが、これは観測井のストレーナー位置は中之島 A が 91～95m、中之島 B が 178～183m で、今回の揚水した A_{sg}, T_{g1} 層に比べて深く、揚水を実施した A_{sg}, T_{g1} 層とは異なる帯水層であるためである。逆に言えば、A_{sg}, T_{g1} 層の水位低下が深部の帯水層の水位にも若干の影響するということである。また、中之島 A,B における A_{sg}, T_{g1} 層の水位低下量は、5 工区の背面地盤水位の観測データから 2m 程度の水位低下が発生していたと考えられ、水位回復前の沈下勾配を考慮するとこの地域における A_{sg} および T_{g1} 層の 2m 程度の水位低下による最終沈下量は 10mm 以上であると推察される。但し、実際には水位回復により隆起が生じており、周辺地盤や構造物に影響をあたえるような沈下は発生していない。

表-2 水位低下量一覧表

各工区の水位観測				広域水位観測		
工区	揚水量 (m ³ /日)	水位低下量(m)		観測井	水位低下量 ^{注)} (m)	開削部からの離隔 (m)
		構内	背面 ^{注)}			
1工区	詳細データなし	20	5.3 (5.8)	No.1	1.8 (2.4)	500
2工区	詳細データなし	15	4.4 (5.2)	No.2	2.8 (3.2)	600
3工区	詳細データなし	25	3.3 (4.4)	No.3	2.7 (3.4)	700
4工区	約1000	20	2.3 (3.0)	No.4	2.1 (2.6)	550
5工区	詳細データなし	25	1.8 (2.1)	No.7	1.0 (1.4)	700
注)背面水位低下量は、H18.5～H19.1の平均値、()は最大値				No.8	1.2 (1.8)	550

4. 地下水位観測結果のシミュレーション解析

地下水位観測結果は、開削工事における掘削部の水位低下が 500～700m 以上の広域に影響している結果となった。ここでは、有限要素法による浸透流解析により開削部の構内水位低下に対する背面地盤水位の観測結果をシミュレートすることにより土留壁の透水係数を推定し、この解析結果と広域観測井の観測結果の比較により広域地下水位への影響を評価する。なお、浸透流解析プログラムには、西垣らによる AC-GWAP を用いた。

1) シミュレーション解析方法

図-4 に解析に用いた有限要素メッシュを示す。解析領域は、掘削部からの離隔 1km の範囲を包含する範囲とし、境界を水位一定とした。浸透流解析は非定常状態を解析し、各工区の掘削部における水位低下は、各工区の構内水位低下の観測データを階段状の水位低下(図-6 の掘削構内水位のグラフに示す)で近似した。また、帯水層の透水係数および各工区の土留壁の透水係数は、以下のような手順で設定した。

①4区開削部の水位低下を20mとして、帯水層および土留壁の透水係数をパラメトリックに解析し、開削部の揚水量が約1000m³/日、背面地盤水位が約2.3mとなるような帯水層および土留壁の透水係数を求める。

②2工区は平成17年8月、5工区は平成17年5月より先行して水位低下を行っているが、他工区が揚水を開始する平成17年11月までは水位変化が非常に小さいため、平成17年11月までの水位低下量にフィットするように土留壁の透水係数を設定する。この時、帯水層の透水係数は①で求められた値とする。

③①,②で求められた帯水層の透水係数, 2,4,5工区の土留壁の透水係数を用いて1,3工区の土留壁の透水係数をパラメータとして解析を行い、背面地盤水位および広域水位の水位低下量にフィットするような1,3工区の土留壁の透水係数を求める。

2) シミュレーション解析結果

図-5にシミュレーション解析結果における周辺地盤の水位分布(H18.8)、図-6にシミュレーション解析における水位低下量と計測値の比較を示す。また、表-3にシミュレーション解析における帯水層の水理定数および土留壁の透水係数を示す。背面地盤および広域水位は西側の1,2工区付近で水位低下が大きく、東側の5工区に向かうにつれて水位低下量が小さくなっており、図-5に示すシミュレーション解析結果からもその状況が推察される。図-6に示した各工区の背面地盤の水位低下の解析値と計測値の比較も解析値は計測値と経時的な変化もよく一致している。また、広域地下水水位についても解析は2m程度の水位低下が発生しており、計測値の傾向を良く表している。このシミュレーション解析から推定される土留壁の透水係数は、2,5工区では、背面地盤水位にほとんど水位低下を与えない 2.0×10^{-6} (cm/sec)、1,3,4工区では $1.3 \sim 3.0 \times 10^{-5}$ (cm/sec)である。

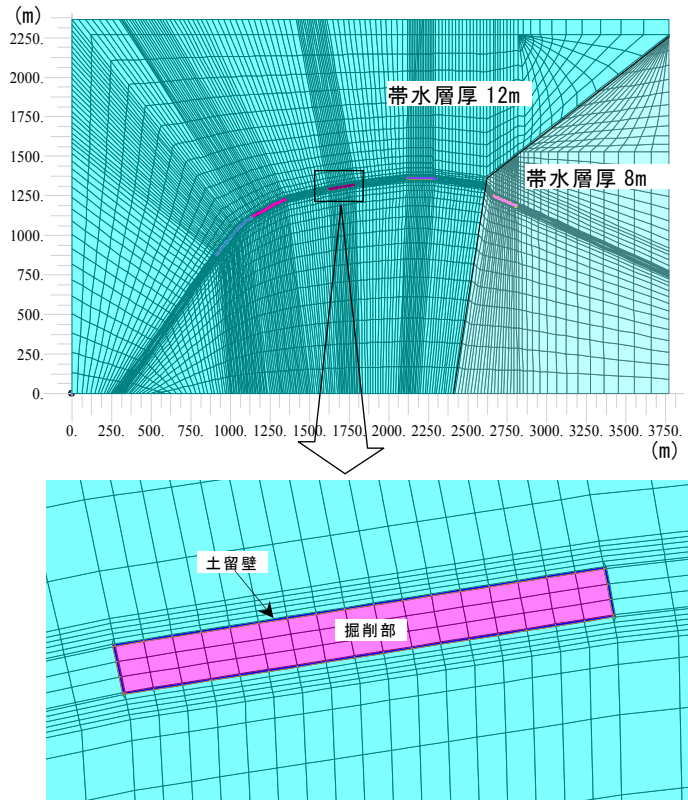


図-4 有限要素メッシュ図

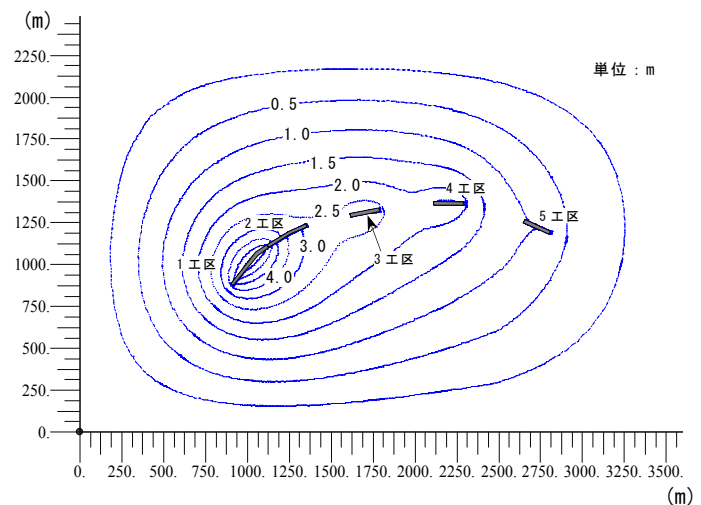


図-5 シミュレーション解析における周辺地盤の水位分布

表-3 帯水層の水理定数および土留壁の透水係数

帯水層の透水係数 (cm/sec)	土留壁の透水係数 (cm/sec)				
	1工区	2工区	3工区	4工区	5工区
2.0×10^{-2}	3.0×10^{-5}	2.0×10^{-6}	1.3×10^{-5}	1.3×10^{-5}	2.0×10^{-6}

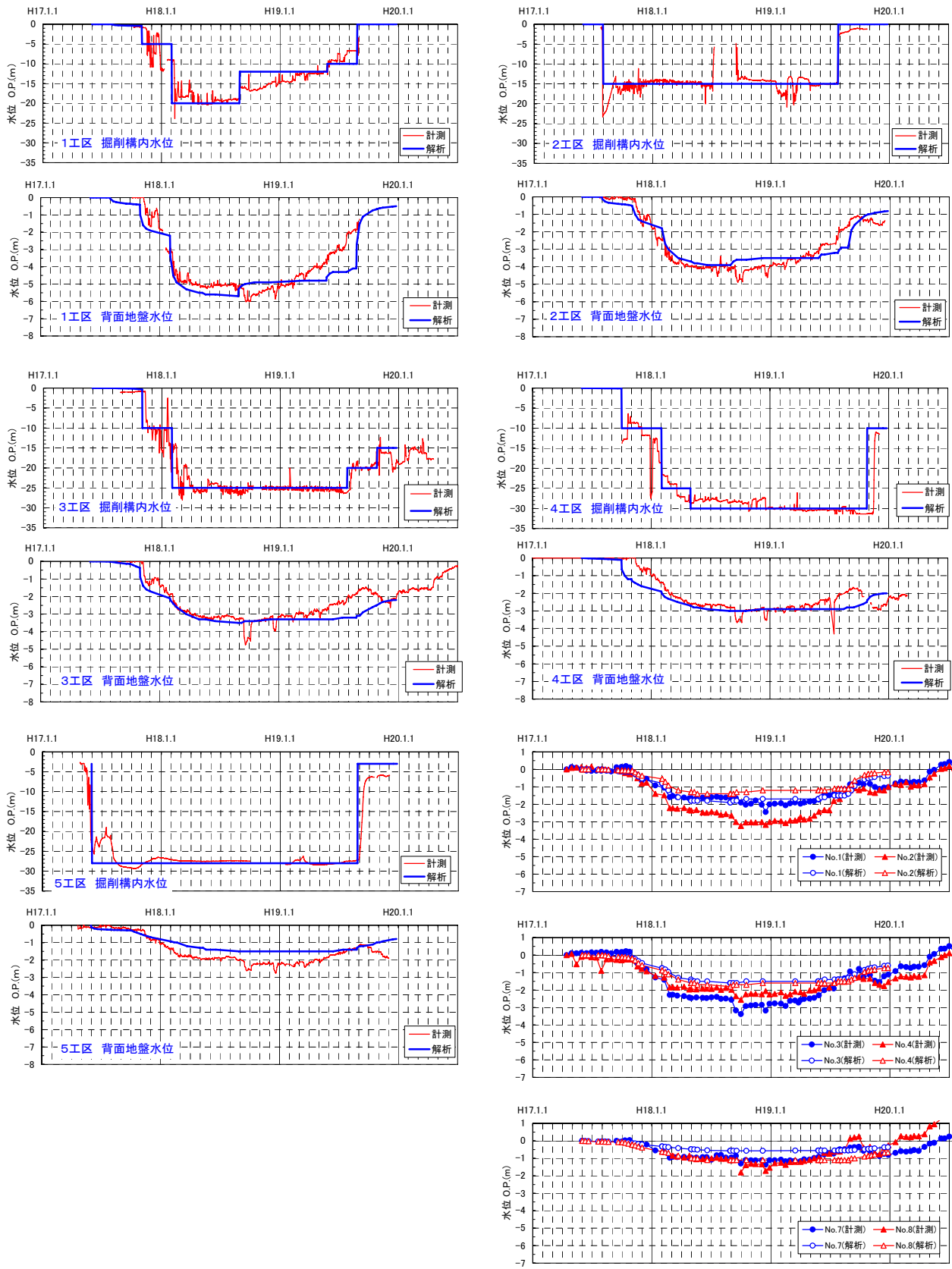


図-6 シミュレーション解析における水位低下量と計測値の比較

5. 土留め壁の透水係数と周辺地盤の水位低下量の関係

今回の掘削工事による周辺地盤水位の観測結果では広域にわたり 2~3m 程度の水位低下が観測された。このような周辺地盤の水位低下量は、土留壁の遮水性と対象となる帯水層の透水性に依存する。ここでは、土留壁の透水係数 k_w をパラメータとして浸透流解析を行い、 k_w と背面地盤の水位低下量 Δh_{out} の関係を求めた。

1) 解析方法

解析条件は、前述のシミュレーション解析を基に以下のように設定した。

- ① 帯水層の透水係数 k_s : $k_s = 2.0 \times 10^{-2}$ (cm/sec)
- ② 掘削部の水位低下 Δh_{in} : 3 工区の掘削部 水位低下量 $\Delta h_{in} = 25$ m
- ③ 土留壁の厚さ : 900mm
- ④ 掘削面積 : 175m \times 24m

浸透流解析は平面 2 次元の定常解析を行った。

2) 土留壁の透水係数と背面地盤の水位低下量の関係

図-7に土留め壁の透水係数と背面地盤および離隔 500m の水位低下量の関係を示す。図-7より 3 工区の掘削規模(175m \times 24m)で掘削構内水位を 25m 低下させた場合、背面地盤の水位は、土留壁の透水係数が 1.0×10^{-6} (cm/sec)で 0.25m、 1.0×10^{-5} (cm/sec)で約 2m の水位低下が発生すると想定される。

背面地盤の水位は、土留壁の透水係数に影響されるが、帯水層の透水性にも関係し、土留壁の透水係数と帯水層の透水係数の比に依存する。図-8は、図-7を、横軸に土留壁の透水係数と帯水層の透水係数の比、縦軸に背面水位低下量と構内水位低下量の比で書き直したものが図-8である。この図より土留壁の透水係数が帯水層の透水係数の比 $k_w/k_s = 1/10000$ であれば、背面地盤の水位低下量は構内水位低下量の比 $\Delta h_{out}/\Delta h_{in} = 0.02$ 程度、 $k_w/k_s = 1/1000$ であれば $\Delta h_{out}/\Delta h_{in} = 0.15$ 程度であり、帯水層の透水係数と掘削構内の必要水位低下量が分かり、背面地盤水位の許容水位低下量を設定すると土留壁の必要透水係数が求めることができる。但し、帯水層の透水係数が小さく、影響圏半径が小さな帯水層である場合には、境界条件の影響を大きく受け、図-8に示す関係とは異なることとなるため注意を要する。

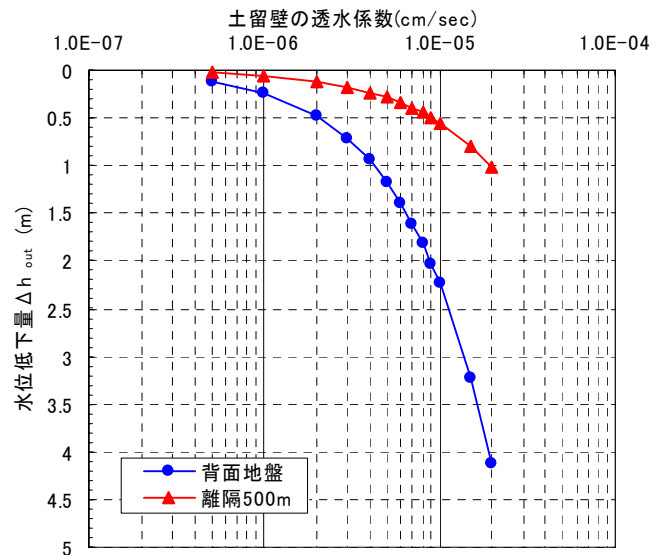


図-7 土留め壁の透水係数と水位低下量の関係

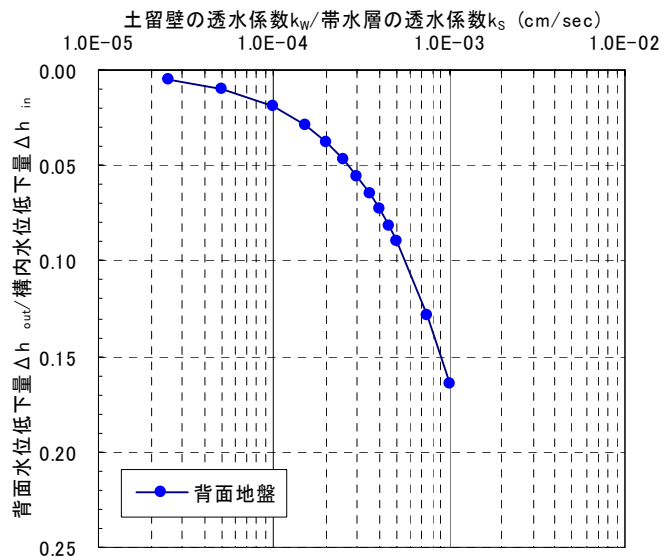


図-8 k_w/k_s と $\Delta h_{out}/\Delta h_{in}$ の関係

6. おわりに

中之島新線における開削工事による周辺地盤の地下水位への影響を調査するために、土留壁の背面地盤および広域水位の観測を行い、観測結果のシミュレーション解析により土留壁の透水係数の評価を行った。その結果、以下のような結論を得た。

- ①各工区の掘削構内の水位低下に伴う土留め壁からの漏水により背面地盤水位が 2.3～5.3m 低下した。また、各工区の水位低下による影響が重なり合い、土留壁からの離隔 500～700m 離れた広域においても 1.8～2.7m の水位低下が観測された。
- ②大阪市の地盤沈下観測点(中之島 A,B) の観測結果より、この地域では Asg および Tg1 層の 2m 程度の水位低下で 10mm 以上の地盤沈下が発生すると推察される。但し、水位回復により隆起し、弾性的な挙動を示しており、今回の工事では周辺地盤や構造物に影響をあたえるような沈下は発生していない。
- ③背面地盤水位および広域水位のシミュレーション解析より土留壁の透水係数は 2 工区、5 工区では、 2.0×10^{-6} (cm/sec)、1,3,4 工区では $1.3 \sim 3.0 \times 10^{-5}$ (cm/sec)と推定された。
- ④FEM浸透流解析により土留壁、帯水層の透水係数と背面地盤、掘削構内水位低下の関係を求め、背面地盤水位低下量／構内水位低下量($\Delta h_{out}/\Delta h_{in}$) と土留壁の透水係数／帯水層の透水係数 (k_w/k_s) の関係を表した。その結果、土留壁の透水係数が帯水層の透水係数の比 $k_w/k_s=1/10000$ であれば、背面地盤の水位低下量は構内水位低下量の比 $\Delta h_{out}/\Delta h_{in}=0.02$ 程度、 $k_w/k_s=1/1000$ であれば $\Delta h_{out}/\Delta h_{in}=0.15$ 程度と推定される。また、これらの関係より帯水層の透水係数と掘削構内の必要水位低下量が分かり、背面地盤水位の許容水位低下量を設定すると土留壁の必要透水係数が求めることができる。

<参考文献>

- 1) 金子研一, 荒井政男, 鈴木庫雄, 藤谷俊実, 柴原克巳, 林 清史, 伊藤俊夫, 遠藤堅一: 新型 SMW 工法 (UD-HOMET)の開発, 土木建設技術シンポジウム 2005 論文集, 土木学会, pp.293-300, 2005.7.
- 2) 大阪市環境局環境保全部: 大阪市内地盤沈下・地下水位観測結果報告書, 平成 20 年 3 月.