Annual Report

C. E. C., TMG 2008

2. 地下水流動保全対策技術資料の紹介

Technical Report Concerning Groundwater Preservation Method

技術支援課 橋原正周、住吉卓 佐々木俊平(現(財)道路保全技術センター)

1. はじめに

東京のような密度の高い都市空間を有効に活用するため、近年、道路の地下化、鉄道や駅の地下化 及び地下河川の整備など、地下に大規模構造物を構築することが多くなっている。

東京都建設局においても、慢性的な交通渋滞の解消、良好な住環境の維持、地球温暖化防止などのため、環状第八号線を地下空間に整備するなど都市空間の有効活用を図ってきた。

この整備を進めるにあたって、地下水流動の保全 を考慮し、地下水流動保全対策を検討し、実施して きた。

土木技術センターでは、事業実施部所と協力し、

蓄積してきた知見を「地下水流動保全対策技術資料」として取りまとめたので概要を紹介する。

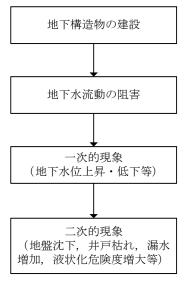
2. 地下水流動保全対策技術資料の概要

(1) 概説

1) 地下水流動阻害

構造物を構築する地面の下には地下水が存在し、 その地下水は地形や地質に応じて流動している。

このため、地下に大規模な線状構造物を築造した場合、図-1に示すように本体構造物や仮設の土留壁が地下水の流動阻害を生じさせることがある。つまり、地下水を遮断した構造物の上流側では地下水位が上昇(ダムアップ)し、下流側では地下水位が



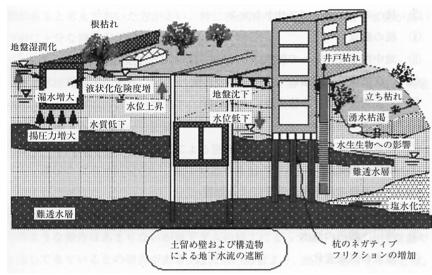


図-1 地下水流動阻害による地盤環境変化 右図は 1)

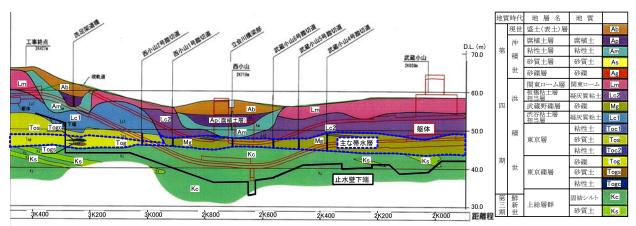


図-2 土留め壁が帯水層を遮断する事例

低下 (ダムダウン) する (一次的現象)。これに伴い、上流側では地下構造物への漏水や浮力の増大など、下流側では地盤沈下や井戸枯れなど、周辺環境への様々な影響 (二次的現象) が懸念される。

2) 大規模線状地下構造物

トンネルなどの大規模線状地下構造物(以下、地下構造物という)の建設工事にあたっては地下水の処理が重要であり、一般に、土留めは止水壁の機能を有し、その先端は地盤深くまで達し、帯水層を遮断することが少なくない。

図-2 に示す東急目黒線連立事業(鉄道の地下化工事)の事例では、止水壁が、主な帯水層である武蔵野礫層及び東京礫層の砂礫層を遮断している。この事例では、地下水位低下による腐植土層等の圧密沈下が懸念された。

3) 地下水流動保全対策

地下構造物の建設による地下水流動の阻害を回 避するために地下水流動保全対策(以下、地下水対 策という)が必要となる。

地下水対策には、構造物の建設位置や深さなどを 再検討し、地下水への影響が小さくなる様に工夫す る方法や、人工的な施設により地下水の流れを確保 する地下水流動保全工法(以下、対策工法という) を実施する方法がある。

4) 地下水対策の検討概要

地下水対策の検討フローを**図**-3に示し、概要を 次に述べる。

①調査

まず資料調査、現地調査や各種試験等により地質・地下水状況を把握し、無対策時の地下水の変動

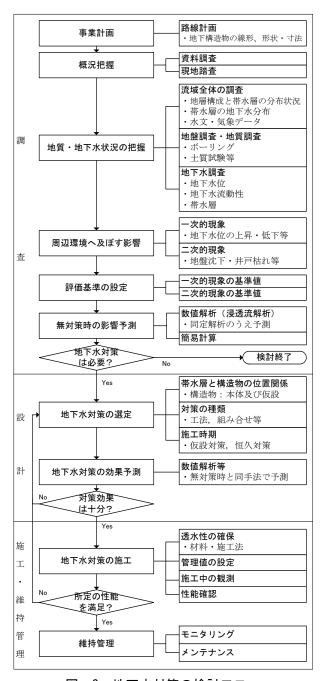


図-3 地下水対策の検討フロー

(一次的現象)によって周辺環境にどのような影響 (二次的現象) が生じるかを予測する。

次に、周辺環境の影響項目に対する評価基準を定 めて予測結果と照合し、地下水対策の必要性につい て判断する。

②設計

地下水対策が必要な場合、対策効果の予測及び評 価を行いながら地下水対策方法を選定し、設計する。

③施工·維持管理

地下水位観測などによる計測管理を行いながら 施工し、完成時には性能確認をする。

施工後は、周辺地下水位の変動や、集水井戸、涵 養井戸、通水部の目詰まりなどをモニタリングし、 必要なメンテナンスを施す。

(2) 調査

1) 概況調査

地下構造物の建設工事にあたっては、対象地及び その周辺における地質・地下水の概況を調査し、地 下水変動の課題を把握する。このため、地形図、地 質図、空中写真、既往の調査報告書等による資料調 査及び現地踏査を実施する。

地下水は、一般に透水性が高い砂質土層や砂礫層 を帯水層として流動している。降雨、地表の土地利 用、河川水位や地下水利用等により局所的な変動は あるが、大局的な流向は、図-4に示すように地形 に沿ったものと考えられている。また、旧河道部や

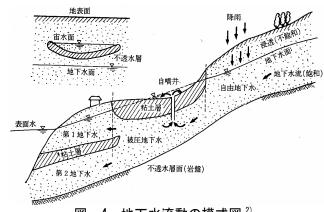


図-4 地下水流動の模式図 2)

河谷底地などになっている箇所は水みちになって いる場合が多い。

したがって概況調査では、帯水層や水みち、地下 水位低下により地盤沈下が生じやすい軟弱な沖積 層や河道部など、工事で問題となる箇所を把握する ことが重要である。

2) 地質・地下水状況の把握

概況調査の結果に基づき、工事箇所を含む地下水 の流域全体を対象として、地層構成と帯水層・難帯 水層の分布状況などを調査する。

また、工事箇所周辺のボーリング・土質試験や、 地下水位観測、地下水流動調査・帯水層調査等によ り、地質・地下水の状況を詳細に把握する。

図-5に、東急目黒線連立事業における地質・地 下水状況の整理例を示す。この図より、洪積砂礫層 の地下水流、及び立会川暗渠周辺の水みちなど、河

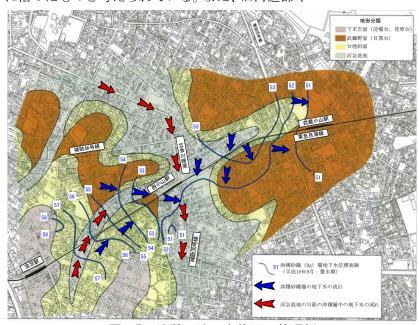


図-5 地質・地下水状況の整理例

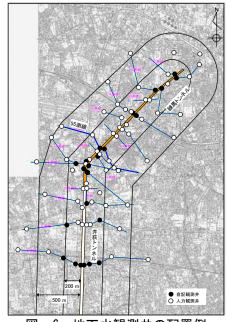


図 - 6 地下水観測井の配置例

谷底地の沖積層の地下水流を鉄道路線が横断して いることがわかる。

図-6に、環状第八号線(練馬トンネル)工事における地下水観測井戸の配置事例を示す。この事例では、計画路線の道路端から左右各々10m、100m、200m、500mの地点に観測井戸を設置し、地下水位を観測した。この観測井戸のうち200mまでの範囲内は詳細調査区域として、自記水位計をなるべく設置し、連続観測できる井戸を多く配置した。

3) 周辺環境へ及ぼす影響

地下水位の上昇・低下などの一次的現象が生じた場合、これに起因する地盤沈下、水質悪化、井戸枯れなど種々の二次的現象のうち、どの項目に影響が及ぶか、周辺の地形・地質等の自然条件や土地利用状況などの社会的条件から判断して絞り込む。

その際、概況調査やボーリング・地下水位観測等 により地質・地下水状況を把握するとともに、古く から住んでいる人への聞き取りなども参考になる。

特に、地下水利用が活発、軟弱地盤が堆積、重要 構造物に近接、貴重な植生等の生態系の存在する場 合は、二次的現象について入念な調査が必要となる。

4) 評価基準の設定

地下水流動の影響評価を行うためには、上記 3) で絞り込んだ二次的現象に対して、実害を及ぼすと 判断される基準値を定めるとともに、これと定量的 に関連づけて地下水位変動などの一次的現象に対する基準値を定める。

例えば地盤沈下について、周辺家屋に変状を生じさせないための許容沈下量(二次的現象の基準値)を設定し、この沈下量を引き起こすと算定された地

下水位低下量から地下水位の下限値(一次的現象の 基準値)を設定する。二次的現象の基準値を複数設 定した場合は、それらすべてを満足させるための地 下水位の上限値・下限値等を一次的現象の基準値と して設定する。

5) 無対策時の影響予測

地下水対策を施さない場合の地下水の変動を、数 値解析(有限要素法による浸透流解析)等によって 定量的に予測する。

数値解析の概念を**図-7**に示す。解析モデルの解析次元は地質・地下水や構造物の状況などに応じて使い分ける。

一般に、地下水影響予測における数値解析手法の 精度は、対象の建設工事が行われる前の地下水状況 (観測水位)を解析モデルによりいかに再現できて いるかが重要である。しかし、地下水涵養の仕組み は必ずしも明確でなく、また帯水層や地下水位など の情報は限られた地点しかないため、試行的に計算 を行い、現況の観測水位に合致するようパラメータ を修正・設定することになる。

6) 地下水対策の必要性判断

以上の検討に基づき、当該工事における地下水対策の必要性を判断する。地下水対策が不要な場合は検討終了となる。

図-8に示す環状第八号線(練馬トンネル)工事の事例では、準三次元浸透流解析による影響予測を行い、無対策の場合、工事前と比較して最大1.16mの地下水位低下が生じるという解析結果を得た。これは許容値とした1.0mを満足しておらず、地下水対策が必要となった。

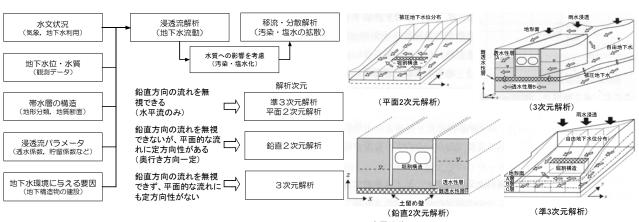


図-7 数値解析の概念 右図は 1)

(3) 設計

1) 地下水対策の選定

対策工法の概念を図-9に示す。構造物によって 遮断された地下水流の上流側で地下水を集め(集水)、構造物と交差する区間はパイプなどを用いて 通過させ(通水)、構造物の下流側で地下水を地盤 に還元する(涵養)。現状では、地下水対策の明確 な設計手法は確立されておらず、工事毎に検討がな されている。

地下水対策を選定する場合、帯水層と構造物の位置関係、対策工法の種類、効果や施工時期を十分考慮し、現場状況、コストなどを含めて総合的に判断する必要がある。

施工時期について、過去に施工した環状第八号線 (井荻トンネル)の事例では、無対策で土留め壁の 施工を進めたところ地下水位低下の問題が生じた ため、施工を継続しながら地下水対策を検討・実施 した。結果的には、第一期工事・第二期工事の躯体 構築に合わせて設置した通水管(図-10(a))や、 一部区間で実施した柱列式ソイル壁の切削除去で は顕著な効果が見られず、躯体構築後に水みち(旧 河道)に設置した斜め集水・涵養パイプ(図-10(b)) による通水効果が大きく、設置箇所周辺で地下水位 差が縮小した。

しかし、一度生じてしまった地下水位の変動を回復することは難しいため、地下水流動阻害が懸念される場合は、土留め施工時から地下水対策を実施することが重要である。

その後の事例では、東急目黒線連立事業では、土留め施工時の対策工法(仮設対策)としてリャージ工法(図-11)を採用し、本体完成後に供用する恒久的対策工として、鉛直ドレーン+水平ドレーン(図-12)などを採用した。また環状第八号線(練馬トンネル)では、根入れの深い土留め壁による地下水流の遮断が生じないように、地山の帯水層の一部を通水区間として確保する地下水対策として、水中躯体移動設置工法(図-13)やニューマッチクケーソン工法(図-14)を採用した。

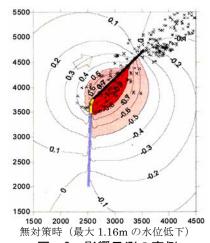


図-8 影響予測の事例

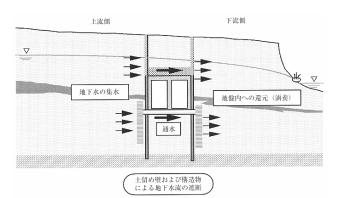


図-9 対策工法の概念 1)

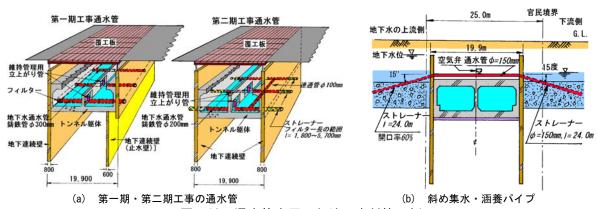


図-10 通水管を用いた地下水対策の例

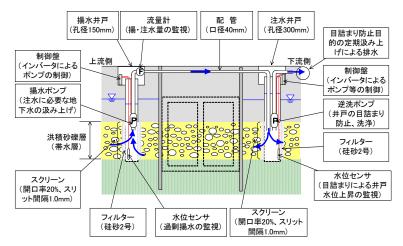


図-11 施工中の地下水対策(仮設対策)の例(リチャージエの概念)

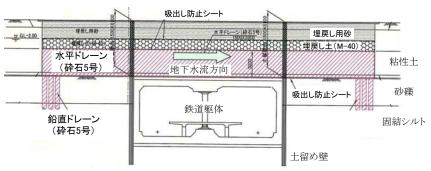


図-12 鉛直ドレーン+水平ドレーンによる地下水対策(恒久対策)の例

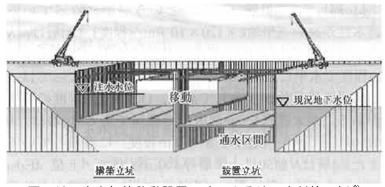


図-13 水中躯体移動設置工法による地下水対策の例3)

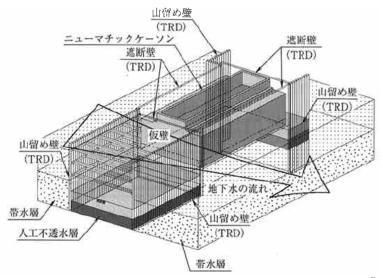


図-14 ニューマチックケーソン工法による地下水対策の例 4)

2) 地下水対策の効果予測

上記 1) (地下水対策の選定) で選定した地下水 対策について、上記(2) 5) (無対策時の影響予測) で用いた方法により、地下水対策の効果を予測する。

3) 地下水対策の適否判断

効果予測により、上記(2) 4) (評価基準の設定) で設定した基準値を満たすような地下水対策が適 する対策となる。

図-15 に示す環状第八号線(練馬トンネル)工事の事例では、地下水対策後の地下水位低下量は最大0.7m程度と予測され、許容値1.0mを満足した。

(4) 施工・維持管理

1) 透水性の確保

不必要な地盤の乱れや、対策工法施設の目詰まり 等が生じないよう、適切な材料選定や入念な施工に より所定の透水性を確保する。

それでも地盤の不均一性や局所的な水みち等により、予測したとおりの対策効果が生じないこともある。そのため、地下水位等の管理値を設定し、施工中の観測を実施し、地下水流動や周辺への影響を与えないようにすることが重要である。

2) 管理値の設定

上記(2) 4) (評価基準の設定) で設定した地下水 位や地盤沈下量等の基準値に、安全を見込んだ施工

時の管理値を設定し、施工管理に用いる。

3) 施工中の観測

施工中は地下水位や地盤沈下等を観測することにより、地下水流動や周辺への影響を把握し、管理値を超えた場合等には、原因や対策を検討する。また観測値は、こうした施工中の計測管理に用いることはもとより、完成時の性能確認や供用後の維持管理における判断等に際し極めて重要である。

環状第八号線(練馬トンネル)工事では、地下水位低下量の目標値を1.0 m (家屋に支障を来さない地盤の許容沈下量2 cm に対応)とし、図-16 に例示するように、施工中(事前・事後含む)の地下水位観測を実施した。図-17 に施工前~施工後の地下水位コンターの変化を示す。

図-16 は水中躯体移動工法(図-13)の適用箇所付近の測線(55 測線)における地下水位の経時変化を示しており、この測線では、工事中に上下流の地下水位差が拡大し、工事後に縮小する傾向が見られる。一方、図-17(b)では、練馬トンネル北西側(上流側)の地下水位標高が A. P. 36~37 m の区間において、南東側(下流側)の地下水位標高は A. P. 34~37 m 程度と不連続であり、上下流に地下水位差が生じていることがわかる。地下水位の挙動には、当該工事による影響の他、降水等による季節

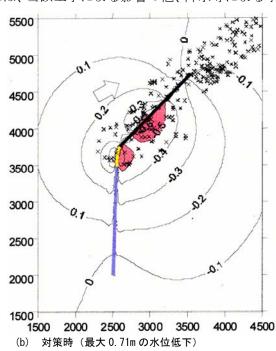
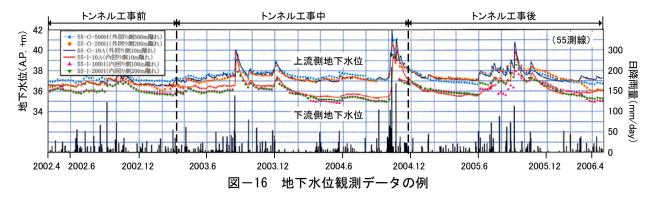


図-15 効果予測の事例



変動や他箇所の工事の影響なども複合しており、一する。

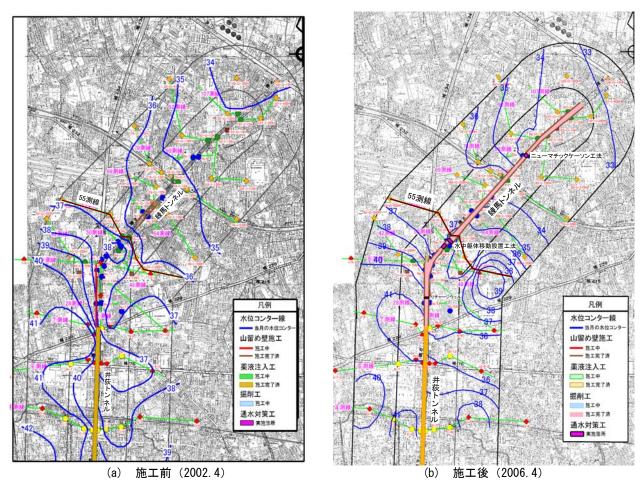


図-17 地下水位コンターの変化の例

概に当該土留め・本体工事や地下水対策による影響や効果を断定できないこともある。既報⁵⁾では、施工前から実施していた地下水位観測データを用いて、降水による地下水位の季節変動の影響を排除し、トンネル工事の地下水位変化への影響範囲を求める検討事例を示した。

4) 性能確認

対策工法として設置した施設は、十分な初期性能 を有し、長期に渡って稼働が可能であることを確認 全施設の通水試験を行い、直接的に性能を確認することが望ましいが、地下水位観測の結果等から判断することもある。

5) 維持管理(モニタリングとメンテナンス)

①維持管理の概念 1)

維持管理の概念を図-18 に示す。これは、対策 工(施設)の性能(地下水位低下量など)の経時的 な変化を示している。すなわち対策工の性能は、「初 期性能から時間とともに低下し、メンテナンスによ

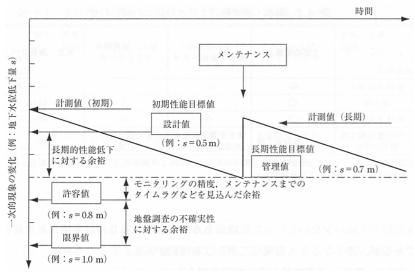


図-18 維持管理の概念 1)

って回復する」、というサイクルを繰り返す。

ここに「限界値」とは地下水流動阻害の影響によって超えてはならない地下水位低下量等の値であり、これに地盤調査や影響予測等の不確実性に対する余裕を見込んだ値が「許容値」である。「管理値」は、対策工の供用開始後に目詰まり等で性能が低下した場合のメンテナンス実施時期を判定するための管理上の基準値であり、また、この性能低下を考慮して「設計値」が定められる。

② モニタリング

モニタリングは施工前(調査段階)や施工中(計測管理・初期性能確認)にも実施するが、ここでは施工後のモニタリングについて述べる。

施工後のモニタリングには、周辺環境に地盤沈下等の悪影響を及ぼさないためのモニタリング(地下水位観測や地表測量など)及び、地下水対策(施設)の性能を確認するためのモニタリング(通水管内の流量や施設の目詰まり状況等の確認)がある。

モニタリングは極力長期に渡って実施すること が望ましく、地下水位の季節変動を考慮すると、施 工後少なくとも1年間程度は実施すべきである。

③ メンテナンス

地下水流動保全工法の井戸(集水・涵養施設)に 対する負荷は通常の井戸に比べて小さいため、地盤 の初期の目詰まり(土粒子の細粒分の移動による目 詰まり)がないようにしておくことにより、長期的 な地盤の目詰まりの可能性は小さく、定期的なメン テナンスの必要性も小さくなるものと考えられて いる。

ただし、対策工の性能が管理値まで低下した場合 には、性能回復のためのメンテナンスが必要となる。

④ 維持管理の課題

地下水流動保全工法は、現状では実施事例が多くないため、対策工の施工後に周辺の地下水流動が経年的にどう変化するか、また、対策工の性能がどう変化するか等については定式化されていない。

従って、多くの事例で長期に渡ってモニタリング 及びメンテナンスの経験が蓄積されることが、各々 の対策が適切に機能するために重要である。

3. おわりに

本文で紹介した内容の詳細については「地下水流動保全対策技術資料」を参照されたい。本文及び技術資料の活用により、各部所での地下水流動保全対策への関心が高まり、今後の事業における環境保全検討の一助となれば幸いである。

最後に、技術資料に事例として収録した各工事の 関係諸氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 地盤工学会地下水流動保全のための環境影響評価と対策 -調査・設計・施工から管理まで-編集委員会 (2004):地下水流動保全のための環境影響評価と対策 -調査・設計・施工から管理まで-、地盤工学会
- 2) 土質工学ハンドブック改訂編集委員会 (1982):土質工学ハンドブック、99、土質工学会
- 3) 島田剛、工藤山城、桜井昭二、中村一郎(2006): 水中躯体移動設置工法を用いた地下水流動保全対策の施工事例、基礎工、Vol. 34、No. 3、70-73、2006. 3
- 4) 島田剛、竹石英之、木佐貫徹、山本佳正 (2006): 地下水流動保全対策工としてのニューマチックケーソン工法 東京都建設局環状8号線南田中トンネル工事での対策事例-、基礎工、Vol. 34、No. 3、74-77、2006. 3
- 5) 佐々木俊平、住吉卓、高橋賢一、山本富士男(2007): 季節変動を考慮した工事による地下水位影響範囲の考え方、平 19. 都土木 技研年報、183-189