

17. 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

Groundwater Influence Area caused by Excavation Works except Seasonal Variation

技術調査課 佐々木俊平、住吉卓、高橋賢一
第四建設事務所工事第一課 山本富士男

1. はじめに

建設局では「10年後の成熟した都市東京」を目指し、都市基盤の効果的・重点的な整備を進めている。重点道路の一つである環状第8号線は、平成18年5月28日に、最後の未開通区間である南田中地区(2.2km)と練馬北町・若木地区(2.2km)の整備が完了し、羽田を起点とする北区岩淵町までの延長44.2kmの全線開通・供用を開始することができた。

このうち南田中地区では、トンネルの構築(以下、南田中トンネル工事という)が工事場所周辺地域に分布する武蔵野礫層・江戸川層を主要な帯水層とする浅層地下水に与える影響を考慮して、通水管や水中躯体移動設置工法¹⁾、ケーソン工法²⁾などによる地下水流動保全対策を実施しており、施工後もトンネル周辺の地下水位を観測した。

ここでは、東京の水収支という地下水位変動の広域なバックグラウンドを概観したうえで、地下水位変動に寄与する様々な影響要因のうち、降水による季節変動に着目して、環状第8号線南田中地区における地下水位観測データに基づき、工事による影響範囲を検討する一つの考え方を提案するものである。

2. 東京における地下水の水収支

東京における地下水の水収支は、東京都環境保全局(現環境局)の資料³⁾によると、表-1に示すように区部、多摩地域ともプラスになっているが、区

部と多摩地域を合わせた全域で見ると、20年前(昭和60年～昭和62年調査)に水収支プラス68万4千 m^3 /日あったものが10年後の平成6年～平成8年にはプラス36万8千 m^3 /日と半減してきている。これは、マイナス側(全域)が10年間で、106万 m^3 /日(昭和60年～昭和62年調査)から101万7千 m^3 /日(平成6年～平成8年)と4%程度減少はしているものの、プラス側(全域)は、マイナス側以上に、174万4千 m^3 /日から138万4千 m^3 /日と約21%も減少していることによる。

内訳を見ると、プラス側は雨水浸透量と水道管からの漏水量であり、区部では水道管からの漏水量が雨水浸透量を上回っており、全域では20年前の昭和60年～昭和62年調査では64万 m^3 /日で、プラス側全体の約37%を占めていた。その10年後(平成6年～平成8年調査)には漏水量も約44万 m^3 /日に減少し、プラス側全体に占める割合も約32%に低下している。こうした水道管からの漏水量の減少傾向は一層促進され、平成18年度の漏水率3.6%⁴⁾、一日平均配水量442万7千 m^3 (平成17年度)⁵⁾から一日の漏水量を概算すると、約16万 m^3 /日となり、現在では、20年前に比べて1/4、10年前に比べて1/3程度まで減少していることが推察される。

ちなみに、この現在の推定漏水量16万 m^3 /日と雨水浸透量が平成6年～平成8年調査時と同じ94万7千 m^3 /日と仮定すると、プラス側(地下水涵養量)の86%が雨水浸透量ということになる。

表-1 東京の地下水の水収支 ¹⁾に加筆修正

単位:m³/日

調査年	平成4年調査報告書 昭和60年～昭和62年(平均値)			平成10年調査報告書 平成6年～平成8年(平均値)			
	全域 ^{※2}	区部	多摩地域 ^{※1}	全域(区部+多摩地域) ^{※3}	区部	多摩地域 ^{※1}	
プラス側	雨水浸透量	1,104,374	266,939	837,435	946,628	226,723	719,905
	水道管からの漏水量	639,555	492,928	146,627	437,716	380,693	57,023
	小計	1,743,929	759,867	984,062	1,384,344	607,416	776,928
マイナス側	下水管への浸出量	353,059	211,057	142,002	321,073	261,451	60,214
	地下鉄等への湧出量	21,661	21,661	0	33,073	32,968	105
	地下水揚水量	685,165	117,062	568,103	661,961	111,088	550,873
	小計	1,059,885	349,780	710,105	1,016,699	405,508	611,191
計(プラス側-マイナス側)	684,044	410,087	273,957	367,644	201,908	165,736	

3年間年平均降水量(東京):1,355mm/年

3年間年平均降水量(東京):1,228mm/年

※1 多摩地域は、日の出町、旧五日市町、奥多摩町、桧原村を含まない。

※2 平成4年調査の全域は区部+多摩地域である。

※3 ここに示す全域は、平成4年調査と比較のため、平成10年調査結果の「全域」から山間部(※1に示す町村)の値を除いて示した。

※4 本表は、文献¹⁾の表を筆者が加筆修正して作成した。

また、雨水浸透量をみると(表-1)、平成6年～平成8年調査時の3か年平均年降水量1,228mm/年は、昭和60年～昭和62年調査時の3か年平均年降水量1,355mm/年の約91%であるのに対し、雨水浸透量(全域)は110万4千m³/日から94万7千m³/日へと約86%に減少しており、降水量に対する地下浸透の割合が相対的に低下傾向にあることが想定される。このことは、宅地化や道路整備等に伴う地表面の被覆化により不浸透率が経年的に上昇しているという報告⁶⁾からも伺え、今後、雨水浸透ますの設置や透水性舗装などによる浸透率の増加対策がますます重要になってくるものと思われる。

一方、マイナス側の下水管への浸出量(全域)、地下鉄等への湧出量(全域)、地下水揚水量(全域)をみると(表-1)、マイナス側全体の97%(平成6年～平成8年調査)～98%(昭和60年～昭和62年調査)が、下水管への浸出量と地下水揚水量との合計であり、そのうち下水管への浸出量は地下水揚水量の約1/2で推移している。昭和60年～昭和62年調査時から平成6年～平成8年調査時までのおよそ10年間で、下水管への浸出量、地下水の揚水量はともに減少しており、その減少量はそれぞれ3万2千m³/日、2万3千m³/日であった。その後の下水管への浸出量の変化は不明であるが、地下水揚水量については、その後も減少し続け、平成13年頃からはほぼ横ばいで、平成17年には55万m³/日程度となっており⁷⁾、昭和60年～昭和62年当時に比べて13万5千m³/日減少している。地下鉄等

トンネルの湧水は台地部の中小河川や池へ放流する取組みも進められており⁸⁾、下水管への一層の浸出防止対策とともにさらなる取組みが望まれる。

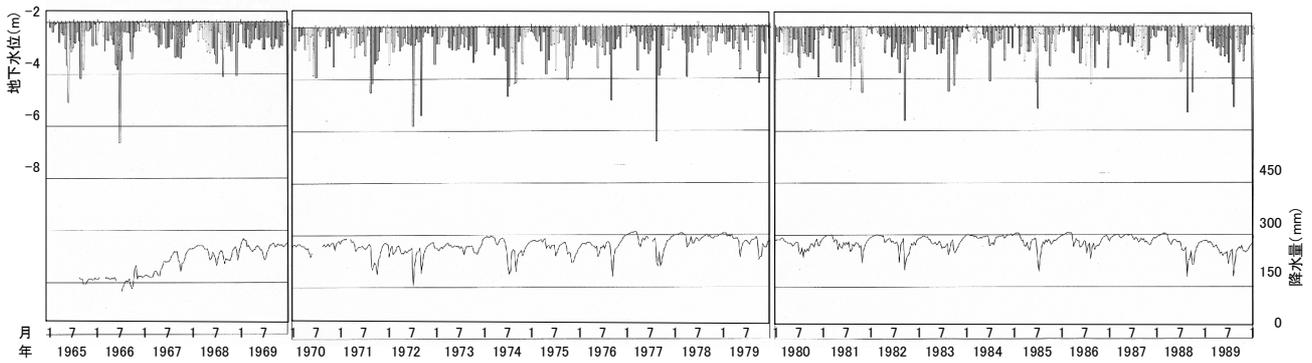
このように20年前、10年前、現在と東京における地下水の水収支は、経年的に変化しており、特にプラス側(地下水涵養)に占める雨水浸透量の割合は以前にも増して高まってきていると考えられる。

3. 地下水位変動の影響要因

2. では、地下水の水収支の調査項目である①雨水浸透量、②水道管からの漏水量、③下水管への浸出量、④地下鉄等への湧出量、⑤地下水揚水量のうち、雨水浸透(降水の地表面からの浸透)が現在の地下水の涵養源として、量的に大変重要になってきていることをみてきた。

そこで、降水量と浅層地下水位の関係を、南田中トンネル工事現場に比較的近い観測井(杉並区南荻窪4丁目、南田中トンネル工事で調査対象とした帯水層と同一の武蔵野礫層の水位)の記録でみると(図-1)⁹⁾、地下水位は降水量に対応して上昇、下降していることが分かる。経年的な変化をみると、昭和40年(1965年)～昭和46年(1971年)は、年間の季節変動を繰り返しながら経年的に低下していく傾向が認められるが、その後、昭和47年から平成2年まで(1972年～1989年)の18年間の地下水位観測記録からは、経年的な水位低下傾向はみられない。

昭和40年(1965年)～昭和46年(1971年)ま



図一 降水量と地下水位の関係（東京都杉並区南荻窪4丁目）¹⁾

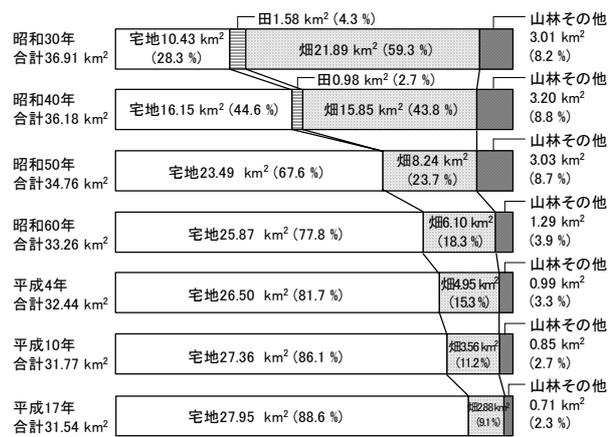
での地下水位の低下傾向は、この時期（昭和40年～昭和50年）に宅地化が急激に進展していることによる浸透率の低下が、地下水位に影響を与えているものと推察される（図-2）¹⁰⁾。

つぎに、昭和47年（1972年）以降をみると（図-1）⁹⁾、年間の降水量が多い豊水期と少ない渇水期で地下水位は季節的に変動を繰り返しており、昭和59年（1984年）や昭和62年（1987年）のように年降水量が少ない渇水年には地下水位の上昇が少なく、最低水位も例年に比べて低い傾向がみとれる。

このように、南田中トンネル工事場所周辺地域の浅層部の地下水位は、昭和52年（1977年）以降、降水量に大きく依存していることが分かる。

一方、人為的な地下水位への影響要因としては、①地下掘削工事に伴う地下水の揚水や②地下トンネル施工中の出水や補助工法による地下水位低下、③止水壁の設置による地下水の流動阻害、④地下構造物への漏水や⑤構造物自体の地下水の流動阻害、などが考えられる。これらの及ぼす影響は、東京全域或いは区部、多摩地域といった広域な範囲に比べて局所的である。周辺の地盤特性や地下水の流向、流量、或いは工事の規模などによって異なってくるが、通常は当該現場周辺地域近傍の限られた範囲と考えられる。また、工事などの人為的な行為が地下水位に与える影響は、工事後、時間の経過とともに回復する場合も多い。

ここでは、南田中トンネル工事時期（2003年～2004年）を前後する、平成13年（2001年）12月から平成18年（2006年）12月までの地下水位観測記録を



（昭和30年～平成10年：「練馬区勢概要」平成11年版、平成17年：「練馬区統計書」平成17年版）

図-2 地目別土地面積の推移（東京都練馬区）

基に、地下水位変動の主要因として①降水による季節変動と②工事による影響に着目し、工事のみによる地下水影響範囲を検討する。

4. 工事の地下水位に及ぼす影響の考え方¹¹⁾

観測した地下水位のうちトンネル工事のみによる影響を検討するにあたって、以下の考え方を基本とした。

①観測した工事後の地下水位から降水の影響を除いた地下水位変動量を工事の影響とする。

②降水による影響は、工事による影響がないと判断され、かつ工事箇所から離れた（約500m）観測井の工事前後の地下水位変動量とする。

③降水による影響を補正した工事後の地下水位変動量から工事による影響範囲を推定する。

ここで、工事前の地下水位は平成14年（2002年）4月の月平均地下水位、工事後の地下水位は平成18年（2006年）4月の月平均地下水位とする。また、検

討対象とした観測井は武蔵野礫層・江戸川層を帯水層としている。

以下に具体的な検討内容を説明する。

(1) 工事による影響の判定手順

工事による影響の有無を検討する手順は、図-3に示すように、まず、工事場所周辺の主要な帯水層である武蔵野礫層とその下位に連続して分布する江戸川層にスクリーンを設けた観測井を検討対象として抽出する。ローム層中の宙水やローム層・武蔵野礫層・江戸川層の全層にスクリーンを有する観測井は対象外とする。

つぎに、抽出した観測井に関し、月降水量の差と月平均水位差から工事による影響の有無を判定し(判定1)、さらに、工事前後の渇水期における水位差によって判断し(判定2)、工事の影響がある観測井、すなわち、影響検討対象観測井を選定する。

(2) 工事による影響の判定方法

1) 月降水量の差と月平均地下水水位差との相関(判定1)

各観測井における平成14年度(2002年度：工事前)の実測データを基準とし、平成15年度～平成17年度(2003～2005年度)の各年・同月における「平成14年度(2002年度)との月降水量の差」(以下、月降水量の差という)を横軸に、「平成14年度(2002年度)との月平均地下水水位の差」(以下、月平均水位の差という)を縦軸にとった相関図を各観測井について作成する(図-4参照)。

図-4の事例に示すように、「月降水量の差」が±50mmの際に「月平均水位の差」が±1mの範囲に概ね収まっていれば工事の影響なし、上下に大きくはずれているデータがあれば影響ありと判定する。図-4(1)の場合は影響なし、(2)は影響ありと判定した。なお、月降水量の差を±50mmの範囲としたのは、±50mm以上の降水量差があると、地盤状況や地下水位の分布状況など工事以外の要因による影響が大きくなると判断したためである。また、地下水位差±1mは、各観測井の季節変動量から判断して設定したものである。

2) 移動平均地下水位の経日変化図(判定2)

各観測井における毎日の地下水位を、一か月単位

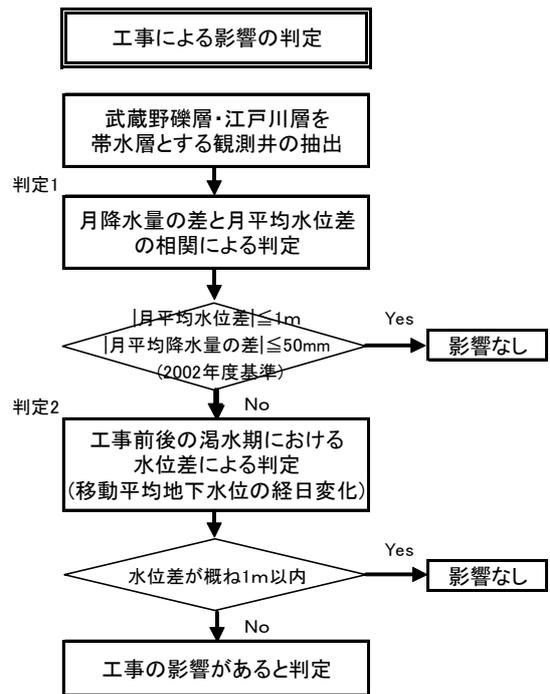


図-3 工事による影響の判定手順

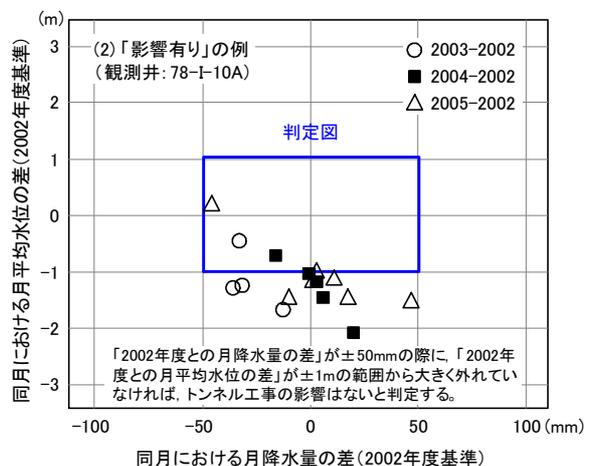
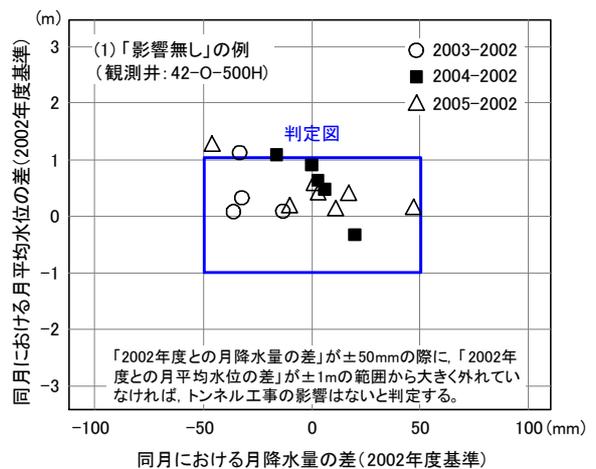


図-4 月降水量の差と月平均地下水水位差との相関図

の移動平均地下水位に変換し、経日変化として示した事例が図-5である。移動平均しているため地下水位変動の傾向を比較し易くなっている。工事前後の湧水期における地下水位（概ね極小値）の差に着目し、近傍の観測井の地下水位変動とも比較した上で工事の影響を判断した。この図では、55-O-500Hと55-I-200Hは工事の前後で、ほぼ同じ地下水位であるが、55-O-10Aは工事後上昇しており、55-I-10Aは工事後低下している。したがって、55-O-10Aと55-I-10Aを工事の影響ありと判定する。

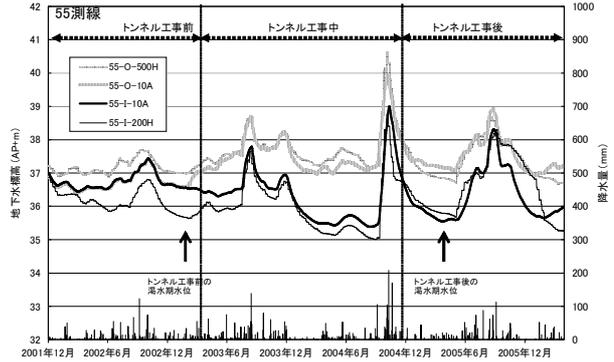


図-5 移動平均地下水位(1か月)の経日変化

以上の1)、2) から判定した工事による影響の有無を示した観測井を図-6に示す。ここで不明としたのは、検討対象外の観測井やデータ欠測などにより判定できなかった観測井である。工事による影響が想定された観測井はトンネル工事場所沿いとトンネル工事延長の中心部分に分布していることが分かる。

5. 工事に伴う地下水位影響範囲の推定¹⁾

(1) 降水による季節変動量の補正

今回の検討では、(1)式に示すように、地下水位変動量 ΔH は「トンネル工事に伴う変動量： $\Delta \alpha$ 」と「降水による季節変動量： $\Delta \beta$ 」とによるとした。

$$\Delta H = \Delta \alpha + \Delta \beta \quad \dots\dots\dots (1)$$

トンネル工事現場から約500m離れた地点の観測井は、工事による影響がないと判定されており(図-6)、これらの観測井における地下水位変動量を ΔH_{500} 、降水による季節変動量を $\Delta \beta_{500}$ とすると、

$$\Delta \beta_{500} \doteq \Delta H_{500} \quad \dots\dots\dots (2)$$

が成立する。

一方、工事場所周辺地域を、工事前の地下水位分布や観測井の配置測線などから各補正対象区域に分割し、各補正対象区域内に(2)式が成立する基準観測井を設定する(図-6)。この基準観測井の季節変動量 $\Delta \beta_{500}$ を当該補正対象区域の季節変動量の補正值として次式により、検討する観測井のトンネル工事に伴う地下水位変動量 $\Delta \alpha$ を求める。

$$\Delta \alpha \doteq \Delta H - \Delta \beta_{500} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 ΔH ：検討観測井の地下水位変動量
この補正した $\Delta \alpha$ を用いて、工事による地下水位

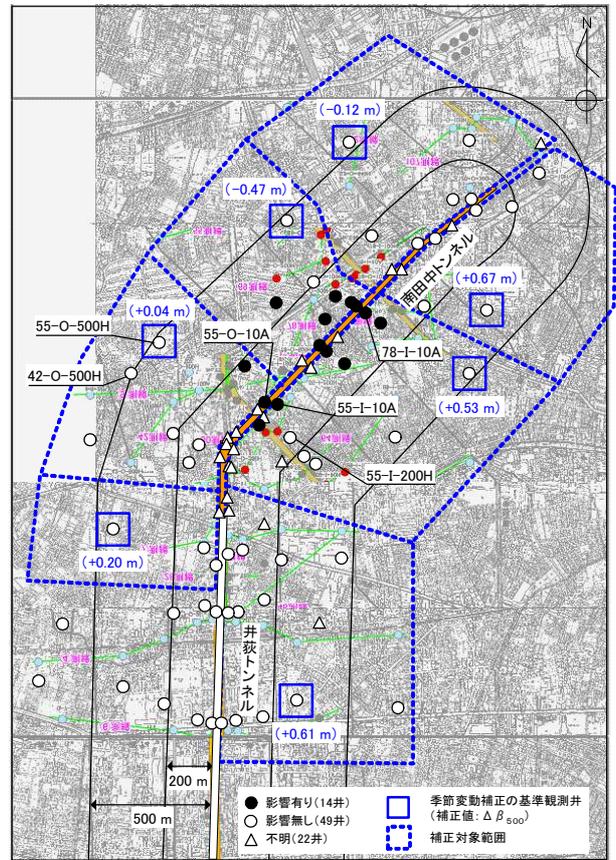


図-6 工事による影響判定と補正対象区域基準観測井

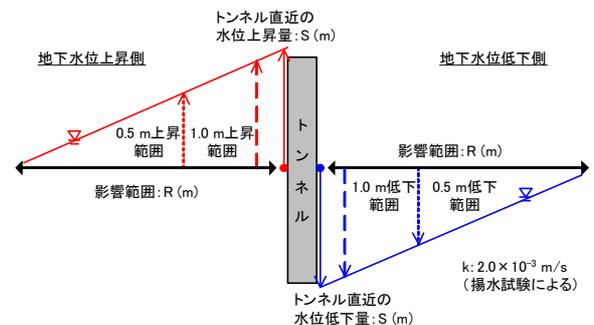


図-7 ジーハルト式適用の仮定条件

影響範囲を推定する。

なお、4. (2) 1)、2) において“影響なし”と判定した観測井は検討対象からは除外した。

(2) 工事による地下水位影響範囲の推定

影響圏半径とは、掘削工事などのために地下水位を低下させた影響がおよばない半径である。この影響圏半径を求める経験式の一つに、次に示すジーハルトの式¹²⁾がある。

$$R = 3000 \cdot s \cdot (k)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、R：影響圏半径(m)

s：水位低下量(m)

k：透水係数(m/s)

ここでは、次に示す仮定条件の下で(4)式を用いて工事による地下水位影響範囲を推定した。

なお、透水係数は現場揚水試験の結果から $k = 2.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ とした。

仮定1：水位低下量sに替えて、補正した工事に伴う地下水位変動量 $\Delta\alpha$ を用いる。

仮定2：地下水位上昇時にも、低下時と同じ影響圏半径を示す(図-7)。

仮定3：地下水位変動量と影響範囲は比例関係にあるとする(図-7)。

[この仮定は1.0mや0.5m低下範囲が実際より過大な評価をしている可能性がある]

仮定4：工事による地下水位影響範囲は各検討観測井の影響半径の接線を結んだ範囲とする(図-8)。

以上の手順にしたがって、「**工事前の地下水位**：平成14年(2002年)4月の月平均地下水位」と「**工事後の地下水位**：平成18年(2006年)4月の月平均地下水位」からトンネル工事による地下水位の影響範囲を推定した(図-9)。

この図から、概ね地下水流動保全対策の効果が確認できるが、一部に通水効果がみられていない。これは、武蔵野礫層の下位に分布する江戸川層上部(礫層)の透水係数が想定よりも小さかったことによるものと考えられるが、通水効果の詳細に関しては、別途報告する予定である。

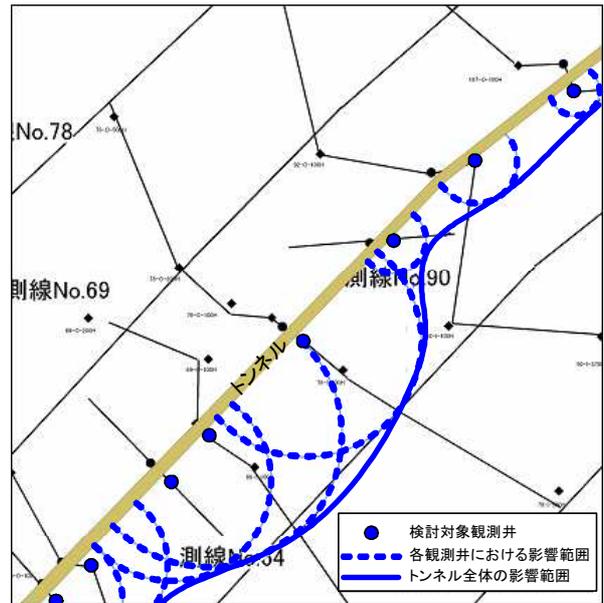


図-8 影響範囲の設定

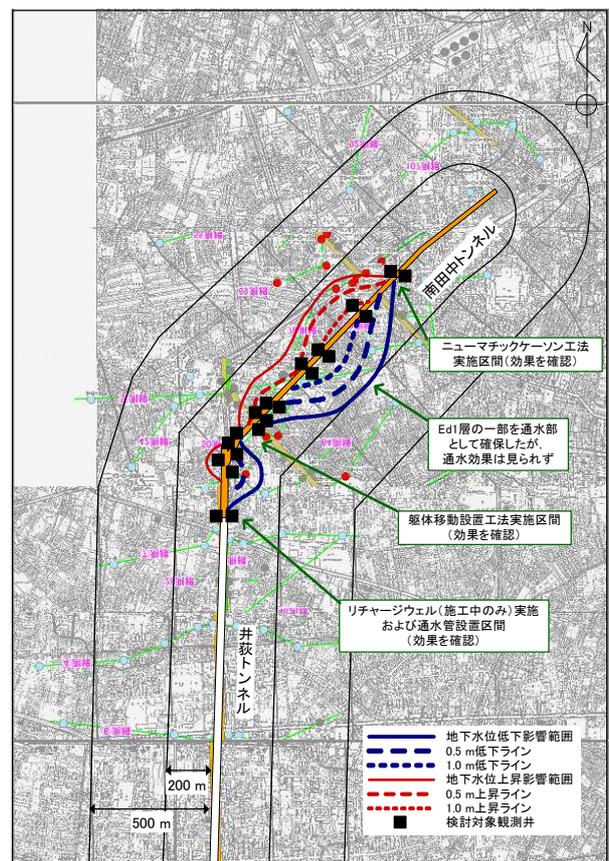


図-9 トンネル工事による地下水位影響範囲の推定

6. おわりに

地下水位は、10年～数10年といった長期の水収支変化に伴う広域的な地下水位変動に支配されると同時に、短期的には、年間の降水による影響を受けて季節的に変動する。特に浅層部の地下水位は降水による影響が大きい。

一方、道路トンネルなどの地下工事は、掘削などに伴って周辺の地下水位に影響を与えることがある。このため、観測井を設けて地下水位の変動を監視するが、観測される地下水位は工事や降水、或いは生活揚水など様々な影響を受けている。地下水位の変動が工事に起因しているのか、或いは季節変動の影響はどの程度なのか、工事の影響を判断する際にいつも悩むところである。

ここに、季節変動量を補正した工事のみによる地下水位影響範囲の検討を試みた。

資料調査や仮定条件に不十分な点が多々あり、批判を覚悟で提案させていただいた。忌憚のないご意見をいただければ幸いである。

なお、地下水流動保全対策の効果等については、先にも述べたように別途報告したいと考えている。

最後に、この報告をまとめるにあたり、観測データのとりまとめや影響範囲の考え方について貴重なご議論をいただいた中央開発㈱の神原氏、多田氏に紙面を借りて感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 島田剛、丹圃賢治、工藤山城、櫻井昭二、向井研、中村一郎(2004)：地下水保全対策として採用した水中躯体移動設置工法（陸上沈埋工法）の施工、地下水環境に関するシンポジウム2004—地下水の涵養と流動保全—、地下水環境に関する研究協議会、発表論文、平成16年11月、1-8
- 2) 島田剛、竹石英之、木佐貫徹、山本佳正(2006)：地下水流動阻害対策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、66-69
- 3) 東京都環境保全局(1998)：平成9年度 水収支調査委託報告書、平成10年2月、VII・70-VII・72
- 4) 東京都水道局(2007)：水道局事業概要 平成19年度版
- 5) 東京都水道局(2007)：1 東京の水道の概要、東京都水道局ホームページ、1
- 6) 水草浩一、末次忠司(2003)：不浸透率と晴天時流量との相関に関する一考察、土木学会第58回年次学術講演会講演集、57-58
- 7) 東京都環境局(2006)：平成17年都内の地下水揚水の実態（地下水揚水量調査報告書）平成18年11月、4
- 8) 例えば、清水満(2005)：鉄道の地下構造物における地下水問題、地下水地盤環境に関するシンポジウム2005—地下水の有効利用と諸問題—、地下水地盤環境に関する研究協議会、発表論文集、平成17年11月、1~10
- 9) 東京都土木技術研究所(1991)：浅層地下水位年表—東京都地質図集5—、1991年3月、210~212
- 10) 練馬区教育委員会(2004)：私たちの練馬、平成16年3月31日、改訂版第12刷
- 11) 東京都第四建設事務所(2007)：環状8号線（南田中地区）地下水位調査委託報告書、平成19年3月
- 12) 土質工学会(1991)：根切り工事と地下水—調査・設計から施工まで—、100-103