

東京都心部におけるトンネル湧水活用に関する調査研究

準会員 ○ 布田 知康*¹ 正会員 増田 幸宏*³
 正会員 篠田 友博*² 同 高橋 信之*⁴
 同 深山 尚央*² 名誉会員 尾島 俊雄*⁵

環境工学—都市環境・都市設備

人工湧水 トンネル湧水 環境用水 1. 研究目的

近年、東京都心の急速な都市開発から道路や地下鉄等の地下構造物が建築され、それらから染み出した地下水が人工湧水として確認される事例が多い。しかし、管理者はそのほとんどを下水道施設に直接流し、汚水として処理しており、都市での環境利用の可能性は十分に調査されていない。

そこで本研究では、人工湧水のなかでもトンネル湧水の現状調査を行い、千代田区、中央区、港区、新宿区、渋谷区の都心5区内の発生地点を確認する。また、そのトンネル湧水の水質、流量の分析を行い、都市における環境用水としての利用可能性を検証する。

2. 研究背景

2-1 人工湧水、トンネル湧水の定義

本研究においては、人工湧水とトンネル湧水を以下のように定義する。

人工湧水とは、崖や谷頭等の自然物から染み出す湧水とは異なる、人工構造物の地下部分からの漏洩水を総称したものと定義する。

また、トンネル湧水とは、人工湧水の中でもトンネル(鉄道・道路・共同溝等)から染み出るものと定義する。

2-2 調査の背景

わが国では、高度経済成長期の過程で地下水採取量が急激に増加したため、日本各地で地下水公害の一つである地盤沈下が発生した。東京都では、地下水保全を行い、地盤沈下を起こさぬよう、工業用水法、ビル用水法、及び環境確保条例を制定し、地下水揚水に関する取り締まりを繰り返し強化した(表1)。

地下水揚水に関する法及び条例が整備されたことで、現在では1960年代に比べると地下水位は区部で現在までに平均およそ20m上昇し、近年においても東京区部内の47の地下水観測井の内45地点で地下水位の上昇が確認された(表2)。

しかし、この地下水上昇によって新たな問題が生じた。東京都では急激な地下水位上昇の影響により、低下していた頃の地下水位を基準として計画・設計された人工構造物の中には地下部分が冠水してしまうものがでてきた。顕著な例として、JR東京駅、上野駅では地下水の揚圧力による躯体の浮き上がりが懸念され、カウンターウェイト载荷による対策などが施工されている。また、地下水への関心、止水に関する技術や工法の進歩から、近年の地下構造物においては、地下水の漏洩が起らないような工法を採用し、トンネル湧水の湧出を防いでいるが、依然として古い劣化した構造物からは、比較的トンネル湧水は出やすい傾向にある。

表1 地下水揚水に関する法及び条例の経過¹⁾

年	月	工業用水法 ビル用水法	都 条 例	そ の 他
1965	7	ビル用水法による10区の強制転換		
1970	11		都公害防止条例改正(運水 器設置、揚水量報告の義務 付与)	
1972	4		都公害防止条例の規制地域 指定及び構造基準設定	
1973	9	工業用水法による江東区の強制転換		
1974	5	ビル用水法による23区の強制転換完了		
1975	4		地下水使用合理化要請 (1000m ³ /日以上事業所)	
1978	11		地下水使用合理化要請 (800m ³ /日以上事業所)	法案規制対象外井戸の 設置・使用指針制定
1980	3	工業用水法による8区の強制転換完了		
1981	3		地下水使用合理化要請 (250m ³ /日以上事業所)	
2001	4		公害防止条例あらため、「都 民の健康と安全を確保する 環境に関する条例」の施行	法案規制対象外井戸指針 制定及び非常災害用井戸の 取扱要綱の廃止

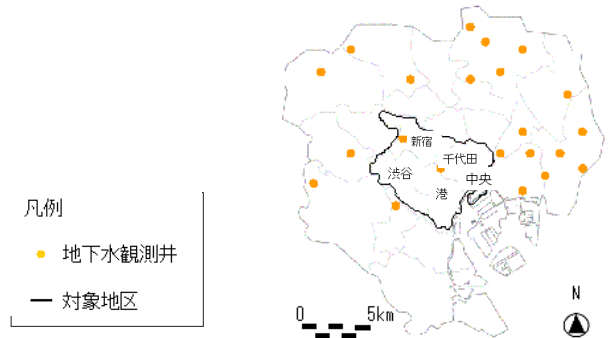


図1 東京区部観測井地点

表2 平成12年～16年の地下水位の変動状況¹⁾

	観測井数	地下水位が上昇		地下水位が減少	
		観測井数	上昇幅(m)	観測井数	減少幅(m)
区部低地部	41	41	0.36～7.26	0	—
区部台地部	6	4	0.38～1.50	2	-0.3～-0.46
区部合計	47	45	—	2	—

こうしたことから、東京都では、JR東京駅、上野駅以外のトンネル内においてもトンネル湧水が発生していると考えられる。

本来、トンネル湧水は、下水道法(昭和33年法律79号)により汚水として取り扱われるため、通常はそのまま他の汚水と同様に、下水道に流され処理が行われている。しかし、下水道法第10条第1項より、近年の都市の発展による環境悪化等に対する改善のため、河川、湖、海等の公共水域の管理者から特に活用要請があれば、トンネル湧水の水量、水質等の条件を満たすことで、環境利用の特別許可を得ることができる。そして、水質改善、親水空間の創出、修景等生活環境又は自然環境の維持、改善等を図ることを目的とした用水(以下「環境用水」という。)として活用することが可能となる。都市において環境悪化の改善に対する水の有効活用は効果的であるが、都市部においては有効な水資源は少ない。時に、トンネル湧水は地下水を源水とする貴重な水資源にあるにもかかわらず

ず、現状では都市において環境利用が検討されていない。その要因として、トンネル湧水を体系的に把握している機関・団体がないこと、また、過去に都市においてトンネル湧水の実態調査が行われていないことにあると考えられる。

そのため、本研究ではトンネル湧水の発生地点、水量、水質の現状調査を行い、トンネル湧水の利用を考えていく。

3. 都心5区におけるトンネル湧水調査

3-1 トンネル湧水調査地区

本調査では、東京都における水位上昇の現状を踏まえ調査地区を東京都心の千代田区、中央区、港区、渋谷区、新宿区の都心5区とした(図2)。

都心5区において鉄道、道路、共同溝等のトンネルを管理する7つの事業者を調査対象とした(東日本旅客鉄道株式会社、西武鉄道株式会社、東武鉄道株式会社、東京地下鉄株式会社、都営地下鉄、首都高速道路株式会社、国土交通省)。

3-2 トンネル湧水調査方法

まず、基礎調査としてトンネル湧水の利用事例の整理を行い、次に各トンネル管理者に対し、アンケート調査及び、ヒアリング調査を行った。アンケートの質問事項にてトンネル湧水の発生地点、月別の湧水量、水質(pH、大腸菌の有無、濁度、色度、臭気、残留塩素、処理方法等)を調査した。しかし、トンネル内で漏洩している地点を正確に把握することはトンネル管理者でも困難であった。そのため、本論文では、トンネル湧水がトンネル内に設置された貯水槽にまとめて集水されていることに着目して、貯水槽の位置を発生地点とし、また、その集水方法から水質を求めることにした(表3)。

3-3 トンネル湧水調査結果

調査を行った7つのトンネル管理者のうち対象地区内において有効なトンネル湧水についてのデータが得られたトンネル管理者は、東日本旅客鉄道株式会社、東京地下鉄株式会社、都営地下鉄の3社だった。

まず、東日本旅客鉄道株式会社では、路線内のトンネル部分が少なく、主に駅の地下部分や立坑、排水所でトンネル湧水が確認された。すでに、確認のできた8地点全てで環境用水として利用を行っていた。利用に必要な水量、水質を確保するため、ポンプ所の貯水槽を配水管で結び一箇所に集め、上野立坑、下谷立坑、日暮里立坑のトンネル湧水を上野の不忍池へ、馬喰町駅排水所、銭亀排水所のトンネル湧水を立会川に流し、環境用水として活用している。

次に、東京地下鉄株式会社では、路線毎にポンプ所を設置しており、トンネル湧水とその他の排水と一緒に集水してるところが多くみられる。しかし、渋谷川・古川へ導水している恵比寿駅のポンプ所、神田川へ導水している中野富士見町駅のポンプ所ではトンネル湧水のみを集水し、河川へ導水していた。

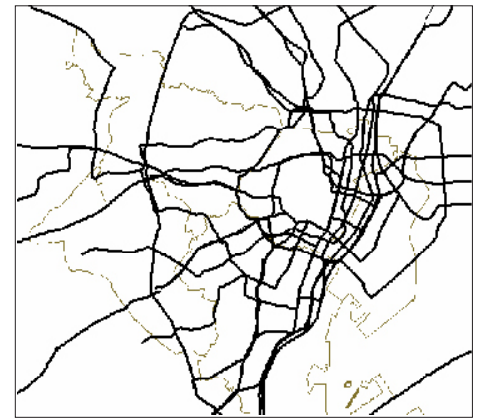


図2 調査対象地区

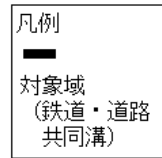


表3 調査項目

調査項目	調査方法
湧水地点	ポンプ室の貯水槽位置
水量	貯水槽での集水量(m ³ /日)
水質	集水方法から分類

表4 トンネル湧水調査結果

トンネル管理者	水量 35地点	水質 3地点	備考
東日本旅客鉄道	8地点	1地点	発生地点のほとんどで利用を行っている。 『トンネル湧水』のみをまとめて集水している。
都営地下鉄	3地点	1地点	水道橋三軒町が最大発生地点。 『トンネル湧水』のみをまとめて集水している。
東京地下鉄	23地点	0地点	路線毎にポンプ所を設置し、集水している。 『排水とトンネル湧水』 → 下水へ 『トンネル湧水のみ』 → 河川放流へ
首都高速道路	1地点	1地点	トンネル毎で集水している。 ポンプ運転時間から算出したデータ。 『トンネル湧水と雨水』をまとめて集水している。
西武鉄道	0地点	0地点	一部地下鉄との合流点にて確認はあるもののデータは東京地下鉄が持っているとの説明で、その他確認無し。
国交省	0地点	0地点	工事中のものに関しては地下水の漏洩はあるものの、既設のものは止水しているため人工湧水は確認無し。
東武鉄道	0地点	0地点	地下施設がほとんどなく、トンネル湧水は確認されていない。

※ 平成18年11月時点 調査結果

最後に、都営地下鉄では、神田川へ導水している御茶ノ水駅三崎町のポンプ所、呑川・池上樹園へ導水している西馬込駅のポンプ所、日本橋川へ導水している九段下駅のポンプ所²⁾の3点のデータを得た。いずれの貯水槽でも環境利用のためトンネル湧水のみで集水していた。

一方、湧水の確認はあるものの有効なデータを得ることができなかった西武鉄道、首都高速道路、湧水の確認のない東武鉄道、国交省の4社においては、関連する状況について以下に示す。

西武鉄道株式会社は、小竹向原駅、新桜台駅等の地下鉄との連絡部分ではトンネル湧水を確認しているが、トンネル湧水の水質等のデータは東京地下鉄株式会社が管理しているとのことであった。

東武鉄道株式会社では、地下部を走る路線がなくトンネル湧水の確認地点がないとのことであった。

共同溝では、工事期間中の地下水の漏洩水としてトンネル湧水を確認しているが、濁水となったものは下水道へ流し、水質の良いものは、河川に放流している。しかし、工事中に出るトンネル湧水は、湧出期間が工事中のみの短期間であることから調査対象から除外した。竣工後のトンネル湧水に関しては、地下水の漏洩が起ころぬよう完全に止水している為、確認はないと

ということだった。

首都高速道路株式会社では、トンネル毎に貯水槽を設置し、雨水と一緒に集水していた。トンネル湧水の水質のデータはとっておらず、水量は把握していることがわかったが、それらの発生地点等の正確なデータを得ることはできなかった。

3-3-1 トンネル湧水の発生地点に関する調査

発生地点の中では、34 地点中 27 地点が路線内のポンプ室の貯水槽であり、最も多かった。貯水槽は路線内の谷間に設置され、トンネル内で発生した漏洩水を集水している。東京地下鉄道株式会社では、平均約 900 m 間隔でポンプ所を設置していた。その他では、立坑に 5 点、排水所に 2 点確認された（図 3）。

3-3-2 トンネル湧水の水量に関する調査

都心 5 区におけるトンネル湧水の水量は、西側より東側で多く確認された（図 4）。施設の規模によって貯水量は異なり、貯水量が最大である地点は銭亀排水所の 4500 m³/日であり、最大 1170 m³/h であった³⁾。これらは他の貯水槽から、さらに集水していることによるもので、総武快速線東京～錦糸町間の地下トンネル及び地下設備から湧出しているトンネル湧水の総量である。この値は一般家庭の一日あたりの給水量を 200～400L/人⁴⁾ とすると約 15,000 人の給水量に匹敵する量のトンネル湧水が出ていることがわかる。一方、最小は下谷立坑の 24 m³/日であった。銭亀排水所の貯水量と比較すると少量であるが、近郊の上野、日暮里立坑の貯水槽とまとめて 338.6 m³/日として上野公園の不忍池に導水しており、このように配管することで利用可能に十分な水量の確保ができる。また、これら現在確認できているトンネル湧水の総量はおよそ 12,336.6 m³/日であった。

3-3-3 トンネル湧水の水質に関する調査

水質を貯水槽での集水形態で分類すると、次の 3 種類に分けることができる。

- ・「トンネル湧水のみ」…東京地下鉄道株式会社が主に有する形態であり、地下水同等の水質が期待でき、利用を検討する上で最も適していると考えられる。
- ・「トンネル湧水と雨水」…首都高速道路株式会社が主に有する形態であり、水質は雨水の状態に影響されるが、利用は可能である。ただし、初期雨水はタイヤの磨耗や道路粉塵が混じりこんだり、有害物質が溶け込む恐れがあり、水質が落ち利用は困難となる。
- ・「トンネル湧水と排水」…他の排水と一緒にするため利用に適していない水質であると考えられる。

本研究では「トンネル湧水と雨水」の正確な発生地点がわからなかったため、「トンネル湧水のみ」、「トンネル湧水と排水」のみの貯水槽を表す（図 5）。11 地点の「トンネル湧水のみ」の貯水槽を除く、24 地点で「トンネル湧水と排水」で汚水として処理されており、現状ではほとんどの貯水槽でそれらを水源として利用を検討することは困難であることがわかった。

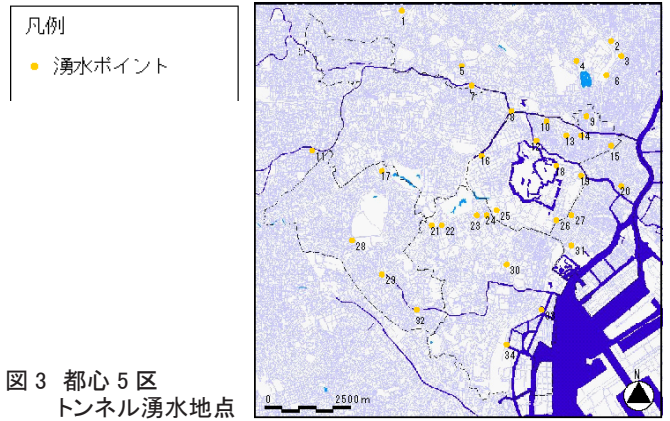


図 3 都心 5 区
トンネル湧水地点

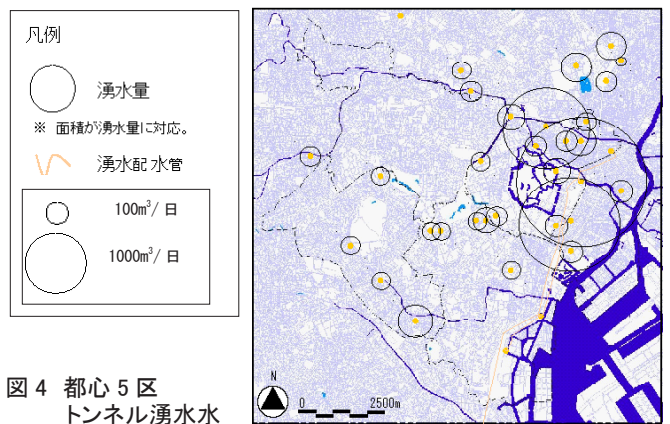


図 4 都心 5 区
トンネル湧水水

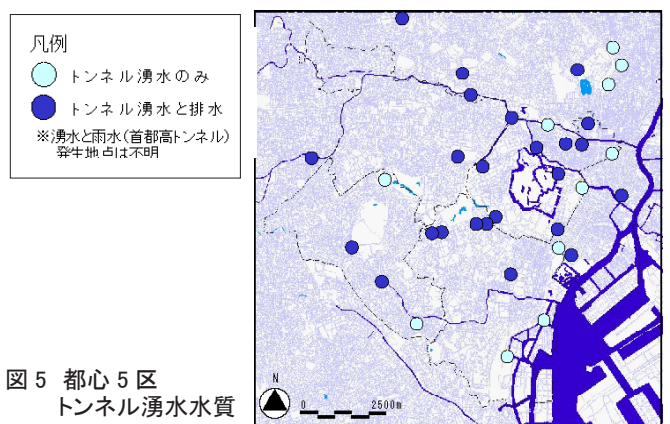


図 5 都心 5 区
トンネル湧水水質

表 5 都心 5 区 トンネル湧水調査表

番号	湧水地点	m ³ /日	番号	湧水地点	m ³ /日
1	新緑池袋	208.8	18	大手塚	175.2
2	日暮里立坑	216	19	銭亀排水所	4500
3	下谷立坑	24	20	蠟燭町	122.4
4	根津橋内	225.6	21	外苑前	76.8
5	護国寺下	79.2	22	南青山 2丁目	74.4
6	上野	98.6	23	赤坂山王	74.4
7	江戸川橋	108	24	日枝神社下	168
8	飯田橋	172.8	25	国会議事堂前内	100.8
9	湯島橋内	91.2	26	東銀座	120
10	水道橋駅三崎町	1830.4	27	有楽町立坑	2500
11	中野新橋	96	28	代々木公園	88.8
12	九段下駅付近	110	29	渋谷橋内	74.4
13	新御茶ノ水橋内	112.8	30	神谷町	76.8
14	万世橋	232.8	31	東銀座	120
15	馬喰町排水場	-	32	恵比寿	290
16	市ヶ谷	86.4	33	田町立坑	-
17	新宿 7 丁目	82	34	芝浦立坑	-

4. トンネル湧水と環境利用

4-1 水資源の環境利用法の種類

次に、各トンネル湧水地点の量及び質の面からみた利用可能性を検討する。ここでは、都心5区において効果的な水の環境利用手法として、以下の3種類にまとめた。

- ・親水用水利用…公園等のせせらぎ、ビオトープ、水路における魚採り、ボート遊び、魚釣り等、人間が触れることを前提とした、主に景観の維持のために利用を行う。水量は創造するものの規模に異なり（表7）、水質は必要に応じて、各々の利用形態に対応した水質項目を選択し、その目標値を設定するものとする、

- ・散水用水利用…保水性舗装道路への散水により、冷却効果が期待でき、近年問題とされているヒートアイランド改善のための利用。東京都汐留地区では、平成17年夏季において、下水処理水を用いて実験的に散水を行い、地表面被覆の人工化にともなう対流顕熱の増加・蒸発潜熱の減少などの熱収支の改善効果が示されている⁶⁾。水量は散水面積に比例し、水質は目標値に従う（表7）。

- ・河川用水利用…都市の発展に伴って、河川は姿を消し、都市の景観や風情は失われた、それら枯れ河川の再生のために利用を行う。水量は中小河川の創造が可能な量を必要とし、水質は河川毎の環境基準に従う。

4-2 トンネル湧水の都市環境利用法の検討

都心5区において、親水利用、散水利用、河川利用の基準となる水量、水質を設定し、トンネル湧水の都市環境利用の検討を行う（表7）。まず、トンネル湧水の利用を水量の観点から検討を行うと、34地点中30地点で散水利用ができ、さらに11地点で親水利用としてせせらぎの創出が可能となり、3地点では河川利用に十分な水量が湧出していることがわかった。しかし、水質の観点から検討を行うと、34地点中23地点で貯水槽における集水方法が水質の期待できない「トンネル湧水と排水」であり、利用に適さない。

5. 結論と展望

5-1 結論

- ・都心5区において、東側の貯水槽を中心に十分に利用可能な水量が確認できた。調査を行った34地点のうち30地点で散水用水の利用が可能であることがわかった。

- ・トンネル湧水貯水槽の34地点中24地点で、その他の汚水をまとめて集水しており、水質の観点からは利用が難しい状態にあることがわかった。

- ・環境利用を検討するに当たり十分な水量が確保できる地点が多くあることがわかったため、貯水槽での集水方法を「トンネル湧水のみ」、「トンネル湧水と雨水」に、改善を行うことで、トンネル湧水の本来の水質を保ち、環境に資する用水として活用できる可能性が高いことがわかった。

5-2 展望

表6 トンネル湧水利用基準

項目	水量 ⁵⁾	水質
親水用水	せせらぎ	145m ³ /日以上 基本的目標水質 ¹⁾
	ビオトープ	7m ³ /日以上 基本的目標水質 ¹⁾
散水用水	50m ³ /日以上	基本的目標水質 ¹⁾
河川用水	1450m ³ /日以上	環境基準 ²⁾

※1 基本的目標水質

項目	親水用水利用	散水用水利用
大腸菌群数	50個/100ML以下	不検出
BOD	3mg/L以下	—
pH	5.8~8.6	5.8~8.6
濁度	5度以下	2度以下
外観・臭気	不快でないこと	不快でないこと
色度	10度以下	—

※2 河川環境基準

類型	B	C
pH	6.5~8.5	6.5~8.5
BOD	3mg/l以下	5mg/l以下
溶存酸素量	5mg/l以上	5mg/l以上
浮遊物質	25mg/l以下	50mg/l以下

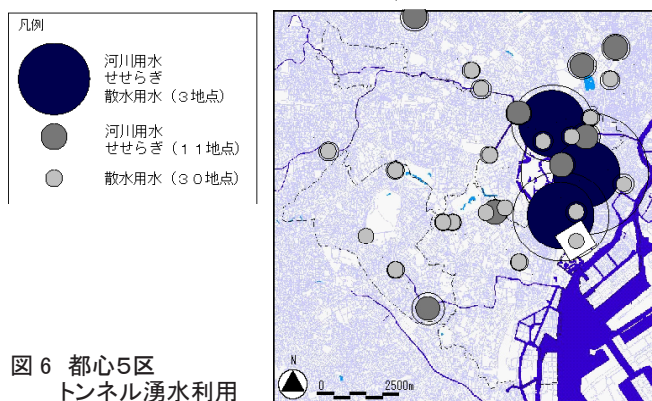


図6 都心5区
トンネル湧水利用

- ・地盤沈下は一度沈下すると元の地盤高には戻らず、進行は遅くとも長期的に累積し、沈下する特徴があるため、揚水規制は今後もその効果を保ち続ける必要がある。しかしながら、現在も人工湧水として漏洩してしまっている水に関しては、その水質から考慮して有効に利用されることが望ましい。

- ・利用のためには、他のトンネル管理者の貯水槽でも配水管を結び、水量を確保したり、集水方法を改善し、トンネル湧水の水質を保ち、トンネル管理者同士でも利用の体制作りを行う必要がある。

- ・本調査では十分なデータが得ることができなかったが、トンネル湧水の有効活用を行うためにはさらに、現状調査をすすめると共に、利用方法の分析を行う必要がある。

[注]

- 1) 東京都の地盤沈下と地下水の現状検証について—地下水検討委員会のまとめ 平成18年5月 東京都環境局
- 2) 日建設シビル HP
- 3) 東京駅等における地下水（湧水）・太陽熱を活用した空調・給湯システムに係わる事業化フィージビリティスタディ調査 第1回委員会資料
- 4) 空気調和・衛生工学会編：空気調和・衛生工学便覧
- 5) 高橋信之 東京区部における廃止河川の再生に関する調査研究 平成12～14年科学研究費補助金研究成果報告書
- 6) ヒートアイランド対策として汐留地区における路面再生水の実験結果 東京都国土交通省 平成18年7月

- * 1 早稲田大学理工学部建築学科
- * 2 早稲田大学大学院修士課程
- * 3 早稲田大学理工学総合研究センター助手
- * 4 早稲田大学理工学総合研究センター教授・工博
- * 5 早稲田大学教授・工博