

世田谷区谷戸川の水循環シミュレーション

渡邊 健太郎

(世田谷区土木事業担当部)

1. はじめに

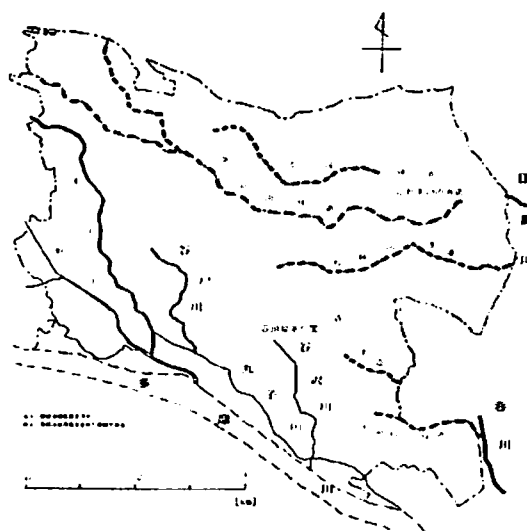
谷戸川流域では、国分寺崖線を中心に湧水が豊富であったことから、流域に住む人々に潤いや安らぎを与え、暮らしの中で水辺を活用する水文化が形成されていた。しかし、都市の発展と共に、流域の土地利用の高度化、河川水質の悪化、流量の減少等の現象が顕在化して、人と水の関わりも薄れてきた。谷戸川の河川空間は、都市生活の中で潤いや安らぎを醸し出す貴重な空間であるにもかかわらず、その機能を十分果たさなくなっている。世田谷区は「みどりとみずの基本計画」¹⁾に関する行動計画の一環として「水辺の再生計画」を策定した。この中で谷戸川は、今後の治水整備の推進と共に、河川の空間環境や水環境を保全・創出する「谷戸川水辺再生事業」の対象地区として指定されている。

さて、都市部では近年において、ゲリラ豪雨などの局所的な豪雨が頻発している。特に、地方に較べて都市では屋根や道路などの不透透面積の比率が高いために、雨水の多くは地中にしみ込むことなく速やかに河川に流出して氾濫し、内水による道路冠水、地下街の浸水被害等、いわゆる「都市型水害」が多発している。そういった状況下で、谷戸川流域では、都市型水害対策として現在、東京都下水道局が「谷川雨水幹線」の整備を進めている。しかしながら、雨水幹線の整備が完成すると、雨水は谷川幹線より直接多摩川に排水されるために、現況の流出機構が変化し、谷戸川の治水上の位置付けの問題や平常時流量の減少等、治水面や環境面での課題が生じることが予想される。一方で、豪雨に対する対策の一つとして、雨水浸透対策を推進し、雨水の流出抑制効果および地下水涵養効果を有することは、極めて重要なことである。

そこで本報では、雨水管路網整備が谷戸川の流況に及ぼす影響と雨水浸透設置による水量の回復効果について、流域水循環シミュレーションにより検討した結果を述べる。

2. 谷戸川の概要

谷戸川は、区部南西部に位置し、砦 2 丁目と砦 4 丁目にまたがる標高 53.6m の世田谷区内で最も高い丘(現在の東京都水道大蔵給水所付近)の北麓を水源とする流域面積が約 2.8km²、流路延長が約 3.36km (丸子川合流地点から城山通りまでの区間)の普通河川である。現在は、砦 1 丁目・大蔵 1 丁目あたりを柵渠状態で



流れており、中流部の都立砧公園では、ほぼ自然の河道状態で貫流し、東名高速道路から下流は開渠状態で、左右岸域からの湧水を集めながら流れ、岡本2丁目の岡本静嘉堂緑地で多摩川水系丸子川と合流している(図1)。谷戸川は元々、丸子川下流の谷川の上流部分であり、六郷用水(現在の丸子川)の開削によって分断されたものである。なお、世田谷区内の多摩川水系は分流式下水道である。分流式のうち雨水に関して谷川雨水排水区域の幹線は、谷戸川に沿い敷設されているが、枝線が未整備状態にある。今後、谷川雨水排水区域内で枝線の雨水管が整備されると、降雨時に谷戸川流域の雨水は、直接丸子川に排水されることになる。その結果、平常時における谷戸川の流量が減少し、谷戸川の生物が棲む潤いある水環境や水辺空間の環境整備が難しくなることが、危惧される。

3. 谷戸川の現状と課題

谷戸川の河川空間環境に係わる現状と課題について、下記の河川流域の特性より、上流、中流、下流に分けてそれぞれ整理すると(1)～(3)のとおりである。

- 【上流】 > 川沿いまで建物が密集している
- > 浸水被害の発生頻度がやや高い
- 【中流】 > 砧公園内の樹木間を流れるが親水性はない
- 【下流】 > 両側に歩車道はあるが水路が深い
- > 急勾配のため随所に落差工が設置してある

(1) 上流域

上流では川沿いまで家屋やビルが密集し、空間が狭くなっている。川沿いには、一部で管理通路があるが、大部分の区間に通路がなく、人と川には疎外感がある。また、河川と接して4ヶ所の区立公園と1ヶ所の都立公園がある。現在、多摩川水系の支川として分流式下水道整備が進行中であるが、枝線の雨水管は未整備である。

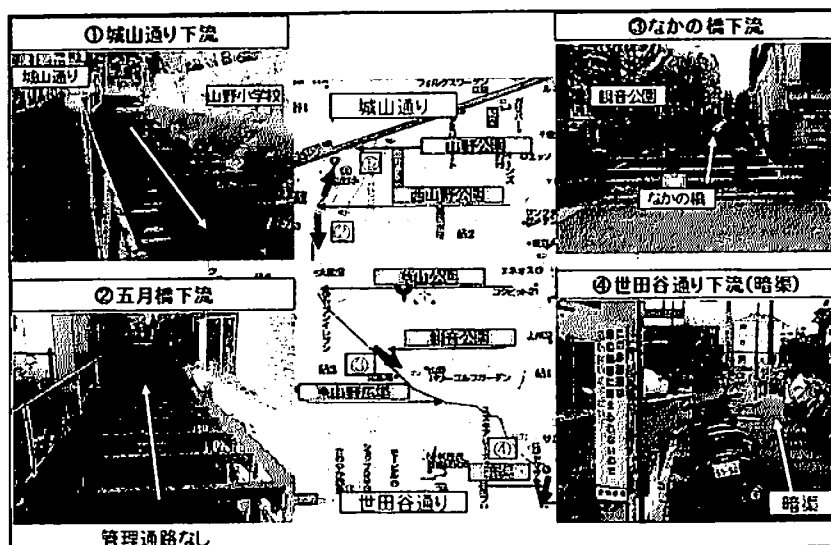


図2 谷戸川上流

また、汚水管に接続されていない住宅も見受けられ、生活雑排水が流入している可能性が高い。平成14年以降、浸水被害の実績がある。

(2) 中流域

中流域はみどりあふれる都立砧公園内を流れている。しかしながら、川沿いには樹木が密集しているために川が見えにくく、認知度も低い。また、高いフェンスがあるために近寄りにくくなっており親水性が極めて乏しい。

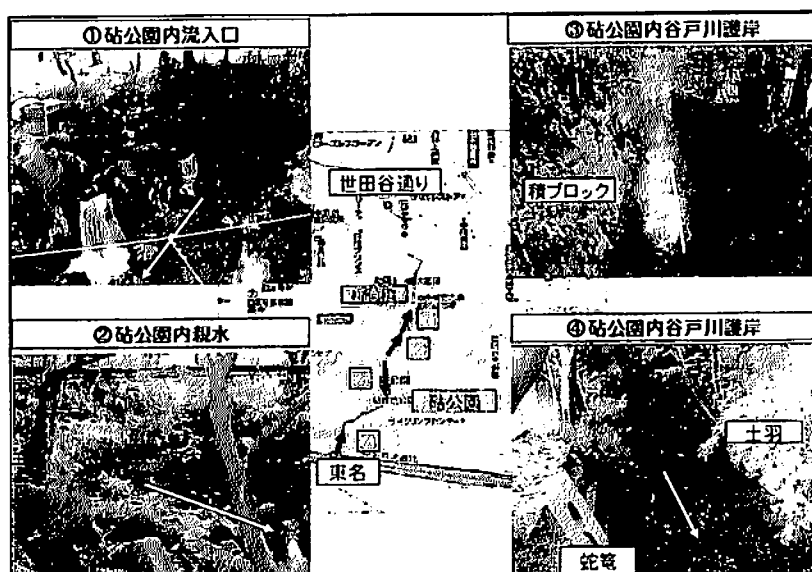


図3 谷戸川中流

(3) 下流域

上流部および中流部に較べて下流部では湧水箇所が多く見られ水量も多い。下流部では、水路周辺を含めた空間イメージには広がり感が強く、両側には歩行道、住宅、緑地がある。しかし、水路の高さが深く水面まで遠く感じられ、また、フェンスがあるために近寄りに

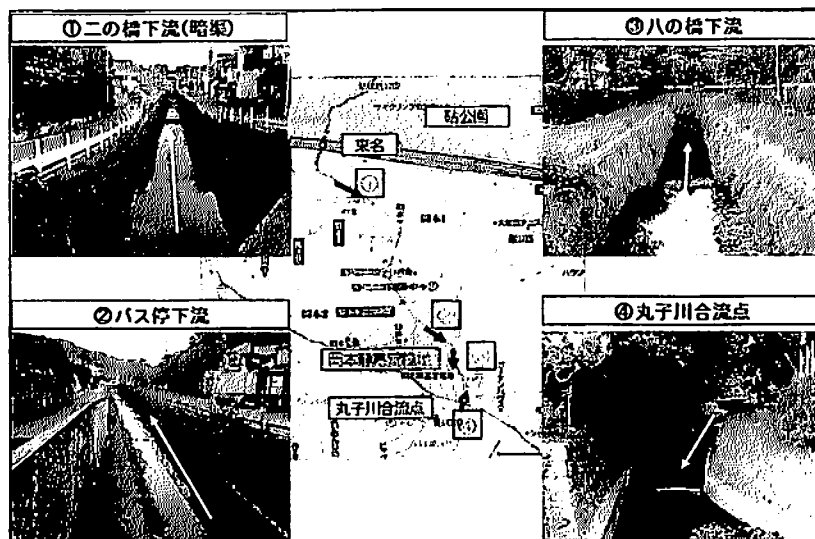


図4 谷戸川下流

くくなっている。さらに、東名高速道路付近から丸子川との合流部までの間の水路床は急勾配であり、随所に落差工が施されている。この落差工は魚などの生物の遡上を阻害しており、また石積み護岸の老朽化が進んでいる。

上記より谷戸川の特徴として、上流、中流および下流の各区間において特性が異なっていることが挙げられる。

4. 水循環解析モデルの概要

雨水管路網整備が、谷戸川の流況に及ぼす影響と雨水浸透による水量の回復効果を流域水循環シミュレーションにより検討するため、水位観測等の実測データを基にシミュレーションモデルを構築した。解析には、図5の概念図に示す SHER モデル²⁾を使用する。一般に都市域の河川流量は、降雨の河川流出だけでなく生活雑排水や農業還元水などが含まれ、人工的な影響を大きく受けている。また、地下水も上水道の漏水、下水管への浸出、生活用水や農業用水などの井戸取水などの影響を受け、非常に複雑な構造となっている。一方、洪水時は流域の土地利用の変化や河川・下水道などの整備状況により河川への流出量が大きく変化する。よって自然条件と共に、より詳細な水文過程を表現することと、人工的な影響を評価可能な水循環モデルを構築することが必要となってくる。

このモデルは水路近傍とその外周部分に分割することを基本としている。排水系統、地形、河川水位を実測している観測地点などを考慮しながら 11 のブロックで区分し、そのブロック内をさらに浸透域と不浸透域に分けた。図6のブロック番号 4, 7, 10, 11 は水が流出する寄与域で、その他のブロックは水が涵養する域である。なお、番号 1, 2, 3, 4, 11 が上流域、番号 5, 6, 7 が中流域、番号 8, 9, 10 が下流域に該当する。

現場による水文観測は、河川水位・雨量について4箇所で常時計測して、堰を利用し連続計測でデータを収集した。川の水位の観測作業は、プロペラ式流速計による流量観測も行っている。2回の低水の流量観測結果(図8)において、観測を実施した各観測地点の流量は、下流に行くに従い増加する。そして、その中でも下流域で流量の変化量が大きい傾向にある(図7)。このことは、湧水の関係

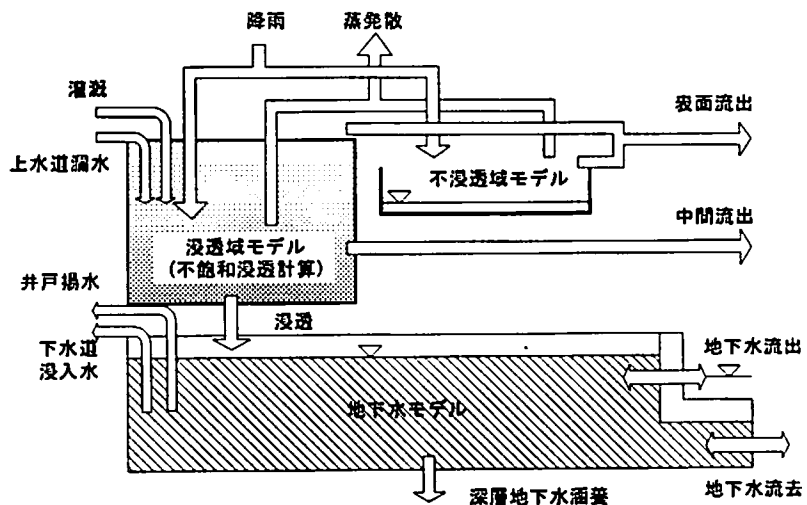


図5 SHERモデル概念図

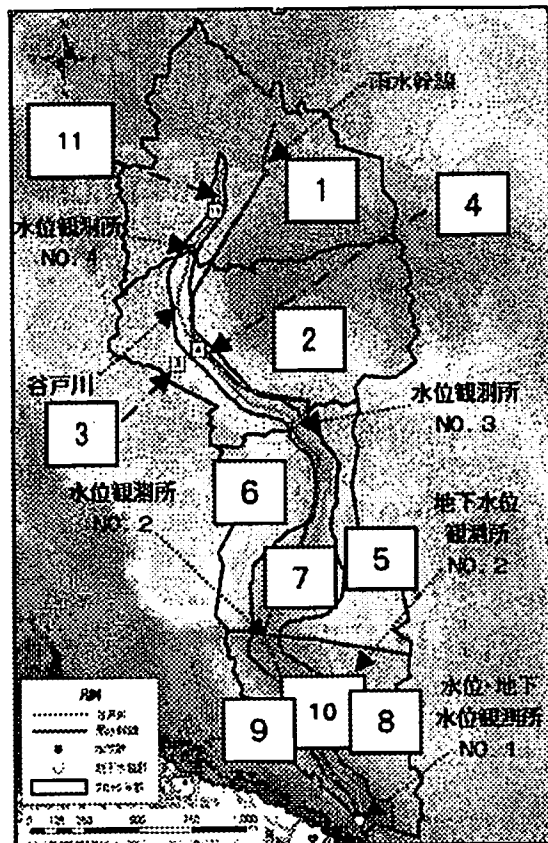


図6 谷戸川流域と水文観測位置図

が影響していると考えられる。実際には、現地で湧水が川に流入している箇所が数多く存在する(図9)。湧水箇所の多い下流部では、ボーリング孔を設置し、2箇所での地下水位観測所を設け水位計により連続観測を行い観測値は、モデル構築の際の基礎データとした(図6参照)。

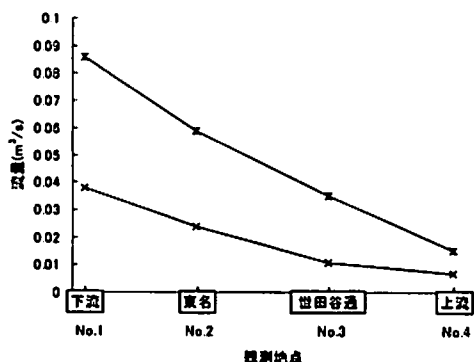


図7 低水観測結果 (平成20年)



図8 地下水位観測 (左) と刃型堰による流量観測 (右)

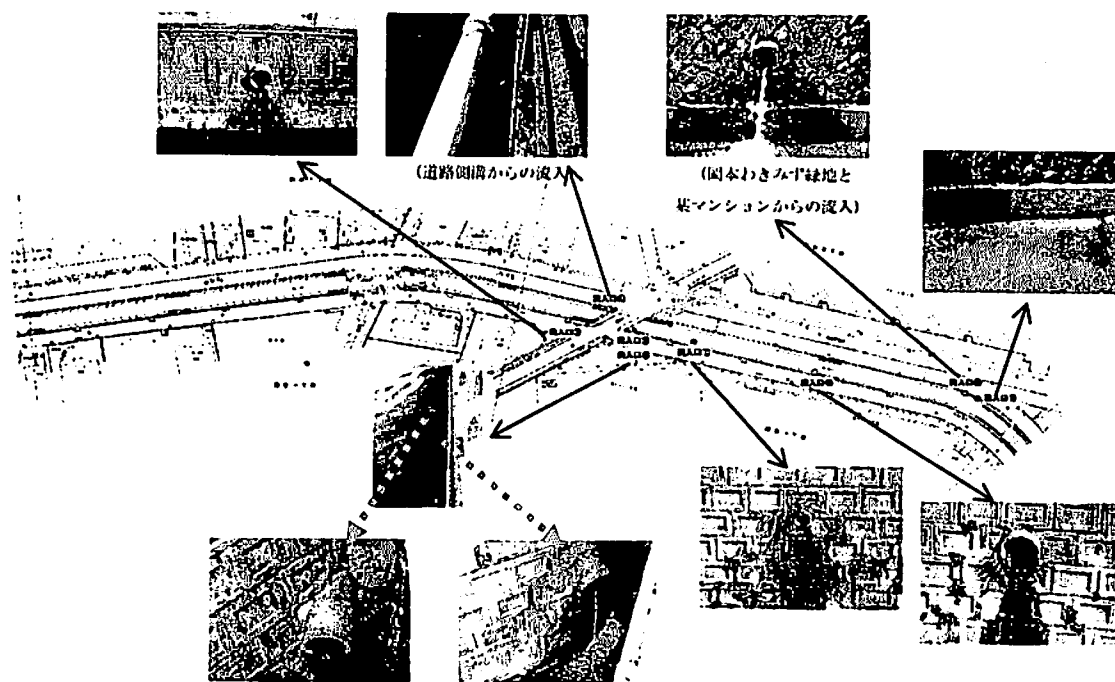


図9 湧水箇所

5. 水循環解析モデルの再現性

実際のシミュレーションを行う際、蓄積させた観測データとモデルの計算値との相関性をみて、モデルの再現性を確認する必要がある。今回の解析の再現は、2008年2月～7月の間の175日間データを対象に行い、観測期間と水位観測所の流量の関係で再現性をみた。水位観測地点 No. 1 と地下水位観測所 No. 2 のモデルによる計算値と観測値を比較した流量

ハイドログラフの再現結果を図10および図11に示す。その時に、同定したモデルパラメータは表1である。地表面ブロック及び帯水層ブロックにおいて、透水係数、貯留係数等のキャリブレーション

表1 パラメータ設定

ブロック構成	パラメータ	単位	設定された値						
			ブロック4	ブロック7	ブロック10	ブロック1,2,3	ブロック5,8	ブロック8,9	
浸透域	飽和透水係数	(cm/s)	1.0×10^{-3}	5.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	5.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	
	InterFlowの飽和透水係数	(cm/s)	1.0×10^{-2}	5.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	5.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	
	飽和透水係数	(cm/s)	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-4}	
	InterFlowの飽和透水係数	(cm/s)	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-3}	
地下水	河床材貯留係数	(m)	1.0			※1	※1	※1	
	河床材貯留透水係数	(cm/s)	7.0×10^{-3}	1.2×10^{-3}	2.0×10^{-3}	※1	※1	※1	
	貯留係数	-	0.03			0.04			
	帯水層透水係数	(cm/s)	1.0×10^{-3}		1.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}			

の対象となるパラメータは、6通りに設定している。図10および図11で、流量と地下水位ともに相関が高く良好に再現されていることが確認できた。

観測値と計算値の変動もほぼ一致していることが確認できるので、モデルは谷戸川の河川流量を良好に再現していると判断できる。同様に他の水位観測所および地下水位観測所についても、同様の再現作業を経て再現性を確認した。

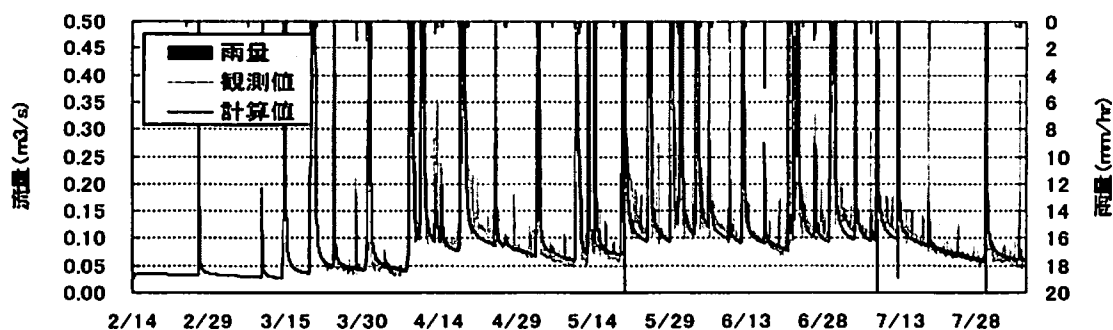


図10 流量ハイドログラフの再現結果の比較

(水位観測所 No. 1 : 相関係数 0.904)

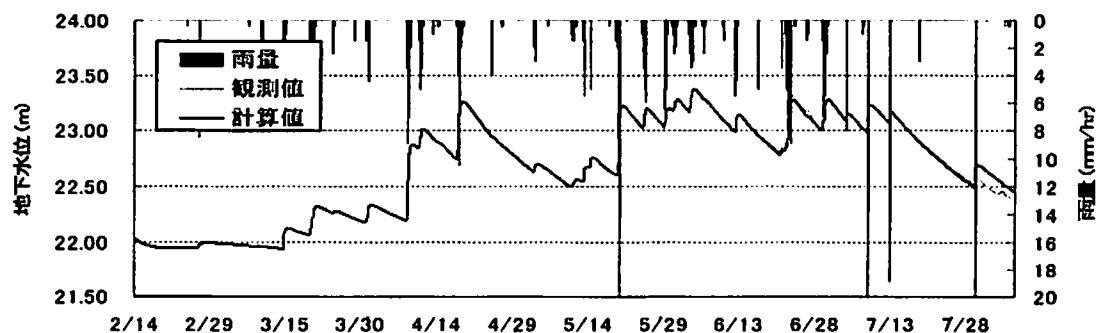


図11 地下水位の再現結果の比較

(地下水位観測所 No. 2 : 相関係数 0.988)

6. シミュレーションによる雨水管路枝線整備が流況に及ぼす影響と流出抑制

都市型水害対策として、東京都下水道局により、幹線および枝線整備が進行しているが、雨水管路の枝線整備を、図12に示した2から5の4つのブロックのうちいずれか1つを対象とした場合（上流からCase2、Case3、Case4、Case5）と現状の場合

(Case1)の5つのケースを想定し、気象庁世田谷観測所における過去30年間の平水年に相当する2001年の雨量データ（年間降水量1562mm、日最大降水量136mm）を用いて解析した結果を図13に示す。水位観測所No1、No2、No3において、豊水、平水、低水、濁水におけるケースごとの日流量の変化は、3つすべての水位観測所で豊水時のCase3上流部の枝線整備で日流量が最も小さくなる結果を得た。続いてCase2最上流部が小さくなっている。これより、傾向として川の上流部において整備すると豊水時に川の水量が減少することが解析の中で明らかになった。一方で他のケースにおいては、3つ水位観測所では平水時以下で現況と顕著な差は見られない。

この結果、当初雨水幹線の整備が完成すると、現況の流出機構が変化し、谷戸川の平常時流量の減少の影響が大きく生じることが予想されていた。

しかしながら、雨水管路の枝線整備の対象区域の違いが現在の流況に及ぼす影響は少ないことが解析の中で

分かった。また、現在東京都下水道局が実施している谷川雨水幹線整備の進捗は、整備途中であるため、現況で流域の40%の雨水に対応した雨水幹線の流下能力しか持っていない。前述の「上流部において整備すると豊水時に川の水量が減少する」ということから、今後の下水整備において、谷戸川流域の上流側から整備をする方が治水効果は高いことがシミュレーション結果からいえる。

表2 整備メニュー

Case	対策内容
1	現状
2	最上流のみの枝線整備（ブロックNo.1）
3	上流のみの枝線整備（ブロックNo.2,3,4上流ブロック）
4	中流のみの枝線整備（ブロックNo.5,6,7中流ブロック）
5	下流のみの枝線整備（ブロックNo.8,9,10下流ブロック）

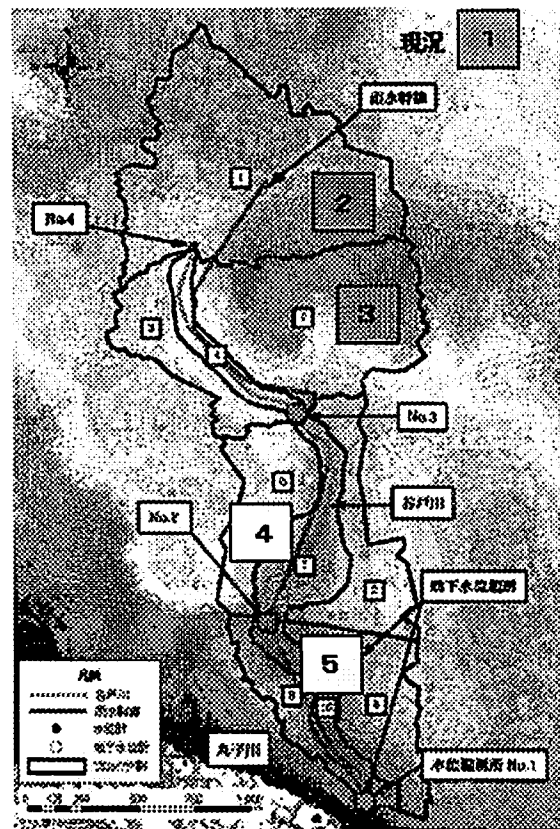


図12 整備区域別の流況変化

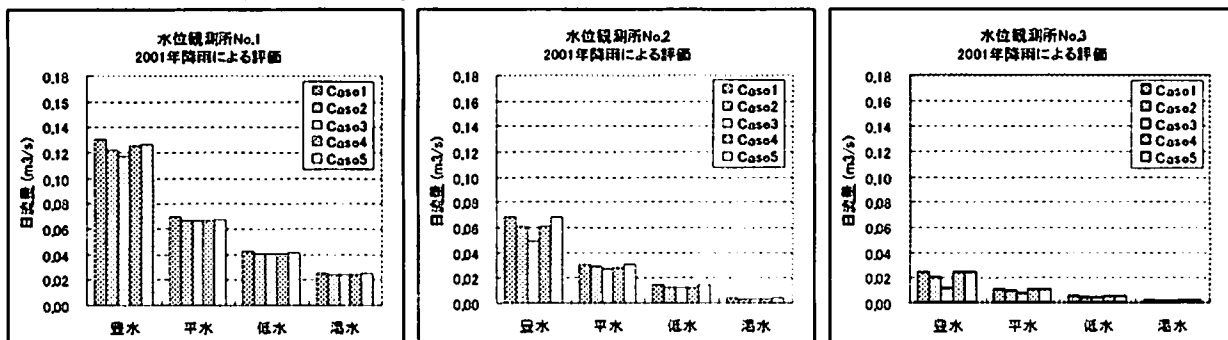


図13 整備区域別の流況変化

7. 雨水浸透施設設置による水量回復シミュレーション

谷戸川流域は、上流側に浸透能力の高い関東ロームに覆われた台地があるため、下流側の崖線部分では地下水流出による清流が豊富である。谷戸川の平常時の水量を確保するためには、流出抑制効果および地下水涵養効果を有する



図14 戸建住宅への雨水浸透施設の設置例

雨水浸透対策の推進を重点的に実施することが必要である。6で述べたシミュレーション結果において、公共下水道の雨水管の整備がされても平常時における水量の減少は、谷戸川に影響は少ないという結果は得られたものの、今後、大規模開発等により、現在の浸透地域が不浸透地域になっていけば、谷戸川へ流入する湧水量が減少していくことが懸念される。そのため、公共施設や戸建住宅等へ浸透ます等を設置するなどの具体的な検討が必要であると考える。

表3 条件設定

ケース	想定条件	凡例名
1	浸透施設を考慮しない (浸透施設 0.0mm/hr 相当)	浸透施設ゼロ
2	現況 (浸透施設 2.6mm/hr 相当)	現況
3	上流域のみに浸透施設設置 (浸透施設 5.0mm/hr 相当)	中期計画
4	全域に浸透施設設置 (浸透施設 11.1mm/hr 相当)	長期計画

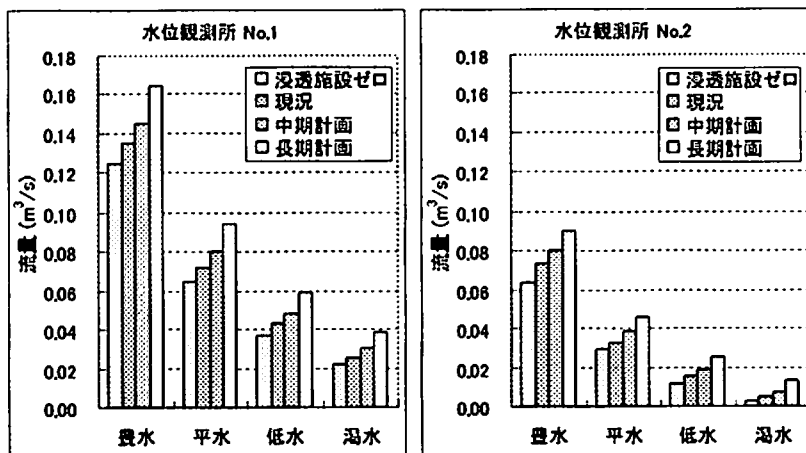


図15 雨水浸透による流量回復

ここでは、谷戸川流域において浸透施設設置の条件変化における各水位観測所での水量の変化をシミュレートした。条件設定(表3)として、浸透施設がゼロの状態をケース1(浸透強度 0.0mm/hr)とし、現況をケース2(浸透強度 2.6mm/hr)、上流域に新たな浸透施設を設置する場合(現在、上流域で浸透施設が設けられていない不浸透面積の36%に設置)をケース3(浸透強度 5.0mm/hr)、全流域の不浸透面積の全てに浸透施設を設置する場合をケース4(浸透強度 11.1mm/hr)とし、水位観測所 No1、No2(図6参照)における豊水から渴水期におけるケースごとの流量の変化をシミュレートした。

その結果を図15に示す。まず、ケース1と2を比較して浸透施設の設置により、川の流量は確実に増加するという事実。そして、全てのケースを比べた時に、浸透強度が上がれば豊水から渴水までのすべてにおいて流量が増えるという結果が得られた。このことは、

平常時の川の水量確保において興味深く、水循環解析シミュレーションによる現状と将来予測が検証できたことは今後の整備計画に大いに役立つ基礎資料といえる。

8. おわりに

谷戸川の水循環シミュレーションのまとめとして、①谷戸川をケースに水位などの観測データを用いて水循環解析モデルとの再現性を確認でき、様々な条件設定における将来予測ができるということ。②モデルの再現後に、確立したモデルでシミュレーション解析した場合、雨水管路が上流部で整備された場合を想定したならばその治水効果は高く、豊水時以外は整備対象区域の違いにおいて、谷戸川の流況に影響は少ないということ。③浸透施設を設置した場合には、それに伴う川の水量の回復効果が認められる。以上の3点が挙げられる。

今後、この解析を進めるにあたっての課題は、具体的に流水の回復・再生場所とその水量について検討し川に湧水を促す仕組みを具体的に検討するということである。そのためには、現在の水循環モデルをさらに細かい流域分割によって谷戸川全体の水循環シミュレーションを行うことが有効だと考える。

谷戸川の整備においては、環境、下水道計画、社会情勢等の変化を把握し事業計画を確立する必要があるのだが、今回の水文過程を表現した水循環解析の成果は、谷戸川の平常時の河川流量の確保などの観点から考えて、また、地元住民との合意形成を図る上でも必要不可欠な基礎資料の一つであるといえる。

[文献リスト]

- 1) 世田谷区「みどりとみずの基本計画」－世田谷みどり 33 に向けて、世田谷区、平成 20 年 3 月
- 2) 都市小流域における雨水浸透、流出機構の定量的解明研究会：都市域における水循環系の定量化手法－水循環系の再生に向けて－、平成 12 年 12 月
- 3) 細密数値情報（国土地理院；1994 年）
- 4) 数値地図 5m メッシュ標高（国土地理院；平成 14 年）
数値地図 50m メッシュ標高（国土地理院；平成 14 年）
- 5) 多摩川流域地下水調査業務報告書（（社）地下水技術協会；平成 13 年 3 月）
- 6) 昭和 50 年度～平成 18 年度 雨水貯留浸透実績調査（世田谷区）
- 7) 森ヶ崎処理区谷川排水区雨水整備調査（東京都下水道局；平成 18 年 2 月）
- 8) 数値地図 5m メッシュ標高（国土地理院）
- 9) 多摩川流域地下水調査業務報告書（平成 13 年 3 月、（社）地下水技術協会）
- 10) 多摩川水循環健全化検討業務報告書（平成 20 年 3 月）
- 11) 東京の中小河川（東京都建設局、1985 年）
- 12) 世田谷区浸水概況図（砦地域版） 世田谷区土木事業担当部土木計画課、平成 20 年 3 月
- 13) 解説・河川管理施設等構造令（社団法人 日本河川協会 発行）

〔用語集（あいうえお順）〕

● 雨水幹線（うすいかんせん）

雨水を下流へ流すとともに、雨水の貯留、流出を抑制する施設。

● 雨水浸透施設（うすいしんとうしせつ）

都市部における保水・遊水機能の維持のために、雨水を積極的に浸透させるために設けられる施設のことをいう。浸透ます、浸透井、浸透性舗装等の浸透施設がある。

● 雨水排水（うすいはいすい）

樋やドレイン等を使用して雨水を建物から排水すること。

● 枝線（えだせん）

雨水管のうち、流域内の降水を容易に雨水幹線へ運ぶために幹線から分岐して設置される管。

● 階段工（かいだんこう）

斜面の安定や各種工法の基礎工を目的に斜面に階段をつける工法。

からなる地層で、首都圏全域に分布するといわれている。

● 渇水流量（かつすいりゅうりょう）

1年を通じて355日はこれを下回らない流量。（参考：流況）

● 関東ローム（かんとろうろむ）

関東地方の台地、丘陵に広く、厚く分布する火山灰質粘性土。自然地盤では強固な状態を保つことが多いが、練り返しを受けることで強度が低下し扱いにくくなる。

● 管理用通路（かんりようつうろ）

河川の巡視や水防活動等のための通路。

● 親水整備（しんすいせいび）

水際に近づき易い工夫をする整備。

● 浸透強度（しんとうきょうど）

設計浸透量は、当該地区に設置された全ての浸透施設の浸透量の合計値で、単位設計浸透量に施設数量を乗じて算定できる。設計浸透強度は、設計浸透量をその集水面積で割ったものでmm/hrで表す。

● 浸透施設（しんとうしせつ）

雨水を拡水法により浸透させる施設で、浸透ます、道路浸透ます、浸透トレンチ、浸透側溝、透水性舗装、空隙貯留浸透施設がこれに当たる。なお、井戸法による浸透施設は本指針の適用施設とはしていない。

● 浸透ます（しんとうます）

透水性のますの周辺を充填材などで充填し、集水した雨水を側面および底面から地中へ浸透させる施設をいう。

● 水文過程（すいもんかてい）

水の循環の立場から考えて、河川、湖沼、地下水など陸上の水の状態変化の過程をいう。

● 都市型水害（としがたすいがい）

都市化された地域でみられる水害。保水機能の低下による溢水や、地下構造物の増加による浸水など。

● 低水流量（ていすいりゅうりょう）

1年を通じて275日はこれを下回らない流量。（参考：流況）

● 平水流量（へいすいりゅうりょう）

1年を通じて185日はこれを下回らない流量。（参考：流況）

● 豊水流量（ほうすいりゅうりょう）

1年を通じて95日はこれを下回らない流量。（参考：流況）

● 水循環（みずじゅんかん）

地表、海面から蒸発した水蒸気が、雨となって、地表に降り、一部は地下水となって、川を流れて海に至るという循環

● 落差工（らくさこう）

河床（川底）の高さや河床勾配を安定させるために、河川を横断して設けられる施設を床固めまたは床止めという。床止めに落差がある場合はこれを落差工と呼び、落差が極めて小さい場合は帯工と呼ぶ。

● 流域（りゅういき）

降雨や降雪がその河川に流入する全地域（範囲）のこと。集水区域と呼ばれることもある。

● 流下能力（りゅうかのうりょく）

流下能力とは、川が流すことのできる洪水の規模のことで流量で表現する。現在の河道断面の流下能力を、現況流下能力という。

● 流況（りゅうきょう）

流況は1年を通じた川の流量の特徴のことをいい、豊水、平水、低水、渇水流量を指標にする。川で観測した365日分の流量データを、大きい順に並べて、95番目の流量を豊水流量、同185番目を平水流量、同275番目を低水流量、同365番目を渇水流量という。

● 流出抑制（りゅうしゅつよくせい）

雨水が河川や下水道に直接的に流出しないようにすること。