

地物データGISを用いた都市流域地下水涵養モデルによる神田川上流域に設置された 雨水浸透施設の効果について

首都大学東京 学生会員 ○須藤正大 (株)建設技術研究所 正会員 荒木千博
 首都大学東京 正会員 天口英雄 首都大学東京 正会員 河村 明
 東京都建設局 正会員 高崎忠勝 首都大学東京 正会員 中川直子

1.はじめに

近年、流域の都市化により洪水到達時間が速まり、雨水が短時間に下水や河川に集中するなど都市型水害が頻発している。都市型水害の対策の一つとして設置される浸透施設は、洪水流出抑制効果だけでなく、平常時の河川流量の確保、湧水の復活など水循環改善への効果も期待されている。浸透施設設置効果を把握する既往のグリッド型地下水涵養モデルでは、浸透施設を浸透トレンチと置き換えて地下水涵養量を計算しているため、個別の浸透施設の形状や浸透能の影響を把握することは困難である。これに対し、個別の浸透施設を組み込んだ地物データGISを用いた地下水涵養モデルが提案・構築されている¹⁾²⁾。本研究では、都市化による不浸透域の増大に伴い自然の水循環系が喪失された神田川上流域を対象に、実際の浸透施設データを地物データGISの要素一つ一つに与え、現況の浸透施設の効果を、長期の地下水涵養量と洪水時の雨水流出抑制の双方の視点から評価を行っている。

2. 地下水涵養モデルの概要

本研究では、地表面地物要素への降雨が不浸透域要素では直接流出となり、浸透域要素では地下へ浸透し地下水として流動する過程をモデル化の範囲とし、これを本研究における地下水涵養モデルとして位置づける。不浸透域では降雨初期に生じるコンクリートやアスファルト面における吸収や窪地貯留などの初期損失高を考慮し、浸透域では降雨強度が地表面の浸透能未満であれば降雨強度相当、浸透能以上であれば浸透能相当分の表面浸透が発生する。浸透施設モデルは、浸透マス、浸透トレンチおよび透水性舗装を対象とし、図-1, 2に示すモデルとした。浸透施設からの浸透量は、水深、設計水深および単位設計浸透量を基に、浸透施設個別に算定する。浸透施設および浸透域の表層土壌における不飽和浸透の計算においてはRichardsの方程式³⁾を採用し、土壌層の物理特性の試験値を直接モデルに用いた。地下水は帯水層底面高により流下するので、地下水流動モデルの計算格子形状は地表面のように地物要素で表現せずに、グリッド型を用いてモデル化を行った。また、地表面上の地物要素からの地下水涵養量は、図-3に示すように各地物要素の重心点が含まれるメッシュに与える。

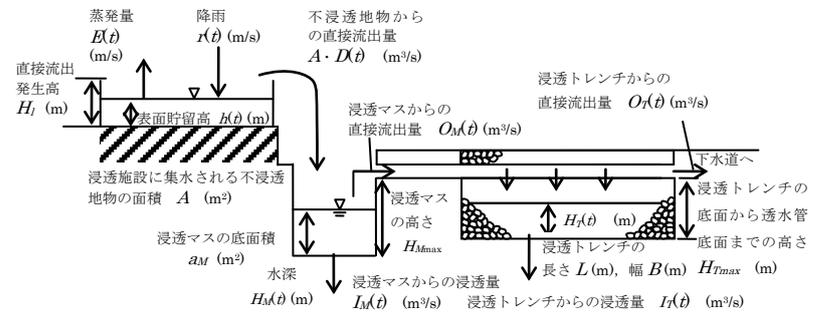


図-1 浸透マスおよび浸透トレンチモデル

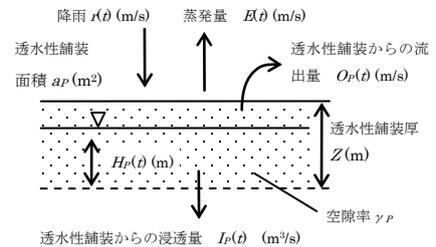


図-2 透水性舗装モデル

3. 神田川上流域への適用

本研究で対象とする神田川上流域は、井の頭池から善福寺川まで(流域面積 11.7km², 流路延長約 9km)である。本研究では東京都建設局が作成を行っている雨水浸透施設データベースを基に地物への振り分けを行った。用いたデータは、施設毎の浸透マスの個数、浸透トレンチの長さ、透水性舗装の面積およびその名称と住所である。データだけでは浸透施設がどの地表面地物要素に設置されているか不明である。そこで、浸透施設データの名称および住所を用いて神田川上流域の地表面地物要素に振り分ける。すなわち、施設名称と住所からおよその設置位置を空中写真や住宅地図等を用いて推定し、透水性舗装の場合はその近傍の道路要素が対策面積とほぼ一致するように、浸透マスおよび浸透トレンチの場合は近傍の不浸透地物要素(建物等)に対し、浸透マスの個数および浸透トレンチの長さが等しくなるように、複数の要素へ振り分けた。図-4に浸透施設を地物要素へ振り分けた一例を示す。振り分けを行った結果、図-5より、井の頭公園、杉並区高井戸西1丁目付近の住宅地、杉並区高井戸東3丁目および同区浜田山3丁目付近の住宅地、杉並区下高井戸4丁目付近の住宅地に浸透施設が多く設置されていることがわかった。

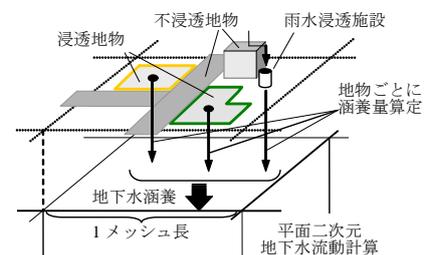


図-3 地物毎の地下水涵養量の算定

キーワード：神田川、地物データ GIS、地下水涵養モデル、浸透施設

連絡先：〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 都市環境科学研究科

E-mail : amaguchi@tmu.ac.jp

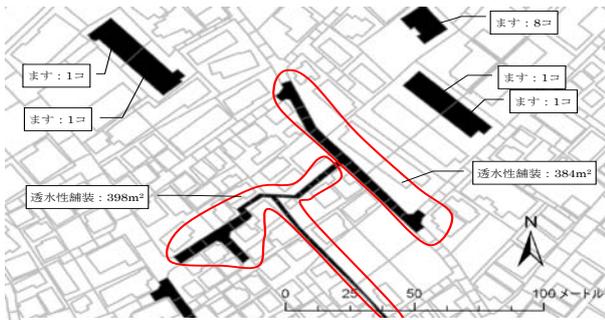


図-4 地物要素への振り分け例

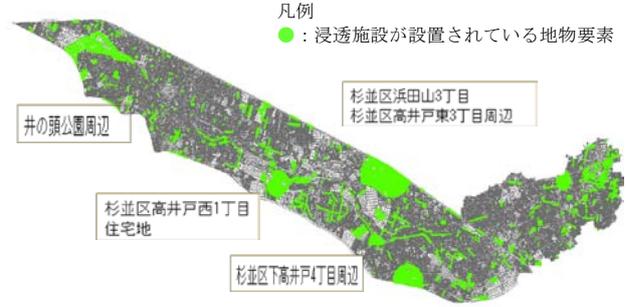


図-5 浸透施設が設置されている地物要素

表-1 対象流域における地物種別毎の要素数と浸透施設の設置状況

地物要素名	要素数	面積(m ²)	浸透特性	浸透ます		浸透トレンチ		透水性舗装	
				設置 個数	設置 地物数	設置長 (m)	設置 地物数	設置面積 (m ²)	設置 地物数
1.建物	39,370	3,403,546	不浸透	8,938	1,808	43,414	1,836	0	0
2.駐車場(浸透)	169	60,351	浸透	0	0	0	0	0	0
3.駐車場(不浸透)	556	208,420	不浸透	26	2	118	3	4,835	22
4.グラウンド(浸透)	459	225,644	浸透	12	12	235	18	517	2
5.グラウンド(不浸透)	48	23,280	不浸透	0	0	0	0	0	0
6.林地	2,357	874,701	浸透	0	0	0	0	0	0
7.芝地	343	171,492	浸透	93	10	1,093	11	0	0
8.畑	387	188,809	浸透	0	0	0	0	0	0
9.公園	506	271,073	浸透	1,212	210	3,239	147	7,368	87
10.墓地	116	70,391	浸透	0	0	0	0	0	0
11.舗装地	769	379,203	不浸透	6	4	109	7	6,638	36
12.鉄道	569	149,388	不浸透	0	0	0	0	0	0
13.間地	13,403	3,429,875	50%浸透	22	8	292	17	25,539	145
14.テニスコート(浸透)	86	54,612	不浸透	0	0	0	0	0	0
15.テニスコート(不浸透)	46	30,383	不浸透	0	0	0	0	8,648	5
16.裸地	95	52,701	浸透	0	0	0	0	1,832	2
17.プール	27	10,736	不浸透	0	0	0	0	0	0
18.道路	44,756	1,786,119	不浸透	463	140	371	51	194,610	5,039
19.池	36	36,137	不浸透	0	0	0	0	0	0
20.河道	307	99,703	不浸透	0	0	0	0	0	0
合計	104,405	11,526,565	浸透面積(km ²)	10,772	2,194	48,871	2,092	249,987	5,338
			3,684,713						
			不浸透面積(km ²) 7,841,852						

表-1に、対象流域における地物の種別毎の要素数、面積、浸透特性、浸透施設の設置数および浸透施設が設置されている地物数を示す。表-1より、浸透ますの設置数が約1万個、浸透トレンチの設置長が約49km、透水性舗装の設置面積が約25万m²である。なお、対象流域内の全道路要素180万m²に対して、透水性舗装道路面積は約19.5万m²であり、透水性舗装道路面積率は約11%となっている。また、本研究では、間地を簡易に50%浸透域としているため対象流域内の浸透域面積は約3.7km²となり、流域全体における浸透面積率は約32%となる。

4. 計算条件

本研究で設定した水理・水文パラメータを表-2に示す。直接流出高は一般的な値を採用し、浸透・不浸透域それぞれ5mm, 2mmと設定した。Richards式による不飽和浸透計算で用いる土壌パラメータについては、神田川流域の標準的な値⁴⁾を用いている。なお、浸透地物ごとに土壌特性に応じたパラメータ値を設定することが可能であるが、本適用では同一とした。また、透水性舗装の浸透能としては、対象流域近傍で施工された透水性舗装の透水特性検討結果⁴⁾を参考に設定し、個別の浸透施設の形状データまでは収集できなかったため、本研究では浸透ますの形状を高さ60cm、直径50cmの円筒形とし、浸透トレンチの形状を高さ60cm、幅60cm(設置長は実データを使用)の角形としてその空隙率を0.35とした。透水性舗装については厚さ20cm、空隙率0.10と設定し、施工面積はデータを用いた。地下水流動モデルのパラメータは、既往の研究²⁾において同定した値としたモデルで用いる。

表-2 水理・水文パラメータ

直接流出量 算定	直接流出発生	浸透域	5
	高H _i (mm)	不浸透域	2
Richardsの 不飽和浸透 過程	飽和透水係数 k _s (m/s)		2.75×10 ⁻⁵
	限界吸引圧水頭 ψ _b (m)		-0.4
	飽和含水率 θ _s		0.8
	最小含水量 θ _r		0.2
	定数 λ		0.3
浸透施設か らの浸透	透水性舗装の浸透能 (m/s)		0.50×10 ⁻⁵
地下水流動	透水量係数 T(m ² /s)		1.0×10 ⁻³
	貯留係数C		0.2
	漏水係数 l(1/s)		1.0×10 ⁻⁶

日降水量および日平均気温（ハモン式）は、対象流域近傍の気象庁府中観測所の観測値を用いた。帯水層の境界条件としては、玉川上水に接する流域南部は指定水頭境界とし、その他の流域界では閉境界として設定し、帯水層底面高は東京都が実施したボーリングデータ⁵⁾を基に設定した。本研究では地質調査ボーリング地点におけるボーリング調査月の孔内水位を概略値として用い、検証地点は神田川上流域(図-6)の①～⑧となる。長期の地下水涵養量の推定は2000年から2007年までの8年間を対象とし、豪雨時に関しては、2002年8月18日1時から8月19日24時までの48時間を対象とした。

5. 解析結果と現況の浸透施設の効果

a) 長期間の解析

図-7は浸透施設ありとなしの8つのボーリング地点における地下水位変動を示したものである。上端が雨量、右端がボーリング調査月と孔内水位となっている。神田川の河道に近い地点②、⑥、⑧は、河道から離れた他の地点に比べて地下水位の変動が小さい。これは神田川のある計算メッシュで指定水頭境界としている影響を受けているためである。同図の右端には、参考として、該地点のボーリング孔内水位を示した。孔内水位と計算地下水位を比較すると計算地下水位の方が高い傾向となっている。これは孔内水位の観測年が1960年代から1970年代であり、当時は雨水浸透施設の設置が進んでいなかったためと考えられる。また地点③、⑤の上昇量が他の地点よりも大きい。これは地点③、⑤の近傍に杉並区浜田山3丁目および高井戸3丁目付近で浸透施設が多く設置されている効果と推定される。

次に表-3に、各年の観測雨量、現況の全浸透施設からの計算浸透量、その浸透量を浸透施設の集水域で換算した浸透高および浸透率、浸透量を全流域で換算した浸透高および浸透率を示す。また、表-4には現況の各浸透施設からの年平均浸透量および浸透施設の集水域換算の浸透高および浸透率を示す。表-3より、年平均浸透量は約90万m³という結果が得られ、浸透施設集水域換算の浸透高は、各年の降水量に応じて変化するものの平均1,251mmとなり、その浸透率については各年のばらつきは非常に小さく平均で78.4%となった。一方、全流域換算の浸透高は平均79mmとなり、その浸透率は約5%と雨水浸透施設設置面積率に相当している。表-4より、年平均浸透量約90万m³の内訳を見ると、透水性舗装が約45万m³と最も多く、次いで浸透トレンチが約25万m³、浸透マスが約22万m³となっている。各浸透施設集水域換算の浸透高は、浸透マス約500mm、浸透トレンチ約700mm、透水性舗装約1,400mmであり、その結果、各浸透施設の浸透率は、浸透マス約32%、浸透トレンチ約45%、透水性舗装約88%となった。これは、浸透マスには不浸透域の雨水が小さな貯留ボリュームの浸透マスに流入しオーバーフローが生じやすいため浸透率が小さく、浸透トレンチは浸透マスと比較して貯留できるボリュームが大きいいため、浸透マスより浸透率が大きく、さらに浸透面積が大きい透水性舗装では、その浸透能に加え舗装厚相当の貯留高までオーバーフローが生じないため浸透率が大きくなっていると考えられる。

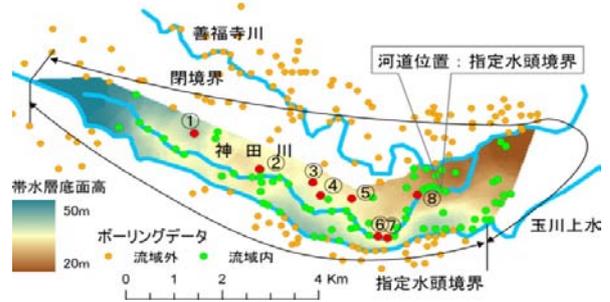


図-6 境界条件とモデルの検証地点

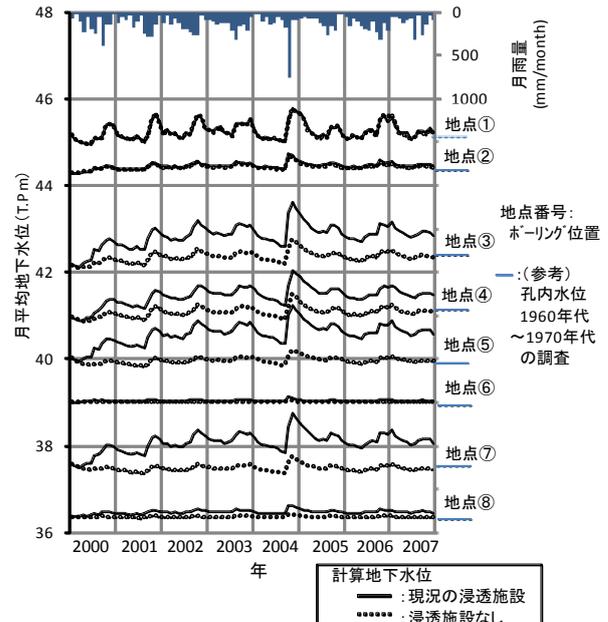


図-7 浸透施設あり/なしの地下水位計算結果

表-3 現況の全浸透施設の各年平均浸透量と浸透率

年	観測雨量 ① (mm/年)	計算浸透量 ② (m ³ /年)	浸透施設集水域換		全流域換算	
			浸透高 ③ (mm/年)	浸透率 ③/① (%)	浸透高 ④ (mm/年)	浸透率 ④/① (%)
2000	1,597	922,247	1,272	79.7	80.0	5.0
2001	1,533	881,192	1,216	79.3	76.4	5.0
2002	1,707	964,810	1,331	78.0	83.7	4.9
2003	1,768	993,414	1,370	77.5	86.2	4.9
2004	1,747	976,009	1,346	77.1	84.7	4.8
2005	1,237	705,916	974	78.7	61.2	5.0
2006	1,854	1,069,474	1,475	79.6	92.8	5.0
2007	1,336	744,841	1,027	76.9	64.6	4.8
平均	1,597	907,238	1,251	78.4	78.7	4.9

表-4 現況の各浸透施設の年平均浸透量と浸透率

浸透施設	年平均雨量 ① (mm/年)	年平均浸透量 ② (m ³ /年)	各施設集水域換算	
			浸透高 ④ (mm/年)	浸透率 ④/① (%)
浸透マス	1,597	219,716	509	31.9
浸透トレンチ		255,678	710	44.5
透水性舗装		455,536	1,409	88.2

b) 洪水時の解析

図-8に、2002年8月18日1時から8月19日24時までの48時間における各浸透施設からの浸透高の時間変化を示す。この図より、浸透マスからの浸透高は降雨開始後数時間で0.46mm/hに達し、その後一定量で継続している。これは、対象流域における現況の浸透マス群の最大浸透高と考えることができる。また、浸透マスの貯留効果により、降雨が終了する8月19日12時から貯留量がなくなる17時までの約5時間、浸透が継続している。浸透トレンチについては、降雨強度の増大とともに浸透高が上昇し、8月19日2時に最大値7.7mm/hに到達後は、降雨強度が強くなっても最大値を超えることはない。この値が対象流域内の浸透トレンチ群の最大浸透高と考えられる。なお、浸透トレンチも浸透マスと同様に、貯留効果として降雨終了後も浸透が継続している。また、透水性舗装については、浸透量は8月19日2時から4時にかけて最大値18mm/hに達しており、表-2に示した透水性舗装の浸透能 $0.50 \times 10^{-5} \text{m/s}$ (= 18mm/h)にほぼ一致する。この浸透量が洪水時における流出抑制量となっている。表-5より、48時間の浸透量は約7万 m^3 であり、集水面積で換算した浸透高は98mm(浸透率約57%)、全流域面積で換算したそれは6mm(浸透率約3.5%)という結果を得た。次いで、表-6に洪水時の各浸透施設の浸透量と浸透率を示す。ここで、洪水時における浸透マスの浸透率は約7%となり、長期間の解析で得られた表-4の年平均浸透率約32%に比べ相当小さくなっている。これは、1時間雨量を用いたことにより、洪水時の降雨強度が浸透マスの貯留・浸透能力を上回る時間が長く、雨水の多くはオーバーフローにより直接流出したものと考えられる。浸透マスに接続した浸透トレンチでは、豪雨時に浸透マスからのオーバーフローによる流入量が増大するため、長期解析結果の年平均浸透率約45%に比べ、洪水時の浸透率が約51%と大きくなったものと推察される。また、透水性舗装では、長期解析の場合は、直接流出発生高の影響により小規模降雨時に舗装面からの蒸発量が増加し、浸透量は減少するために年平均浸透率は約88%であったが、洪水時の場合はこれらの影響が少ないために、浸透率は約95%と大きくなると考えられる。

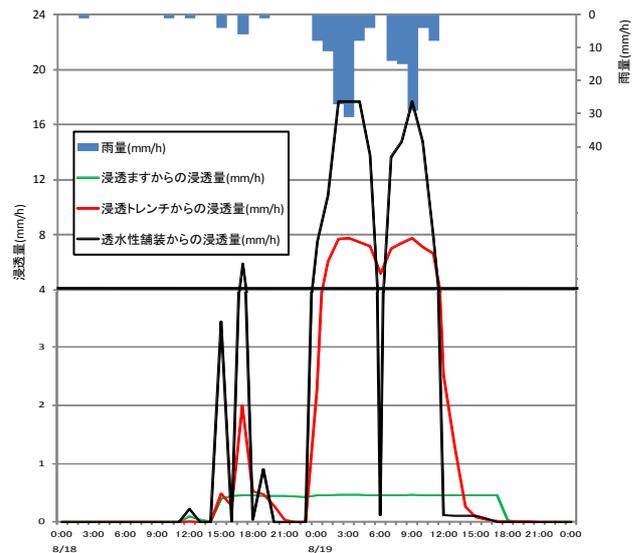


図-8 洪水時の各施設からの計算浸透量の変化

表-5 洪水時における現況の全浸透施設からの計算浸透量と浸透率

観測雨量 ① (mm/2日)	計算浸透量 ② ($\text{m}^3/2日$)	各施設集水域換算		全流域換算	
		浸透高 ③ (mm/2日)	浸透率 ③/① (%)	浸透高 ④ (mm/2日)	浸透率 ④/① (%)
173	70,720	98	57	6	4

表-6 洪水時における現況の各浸透施設からの計算浸透量と浸透率

浸透施設	観測雨量 ① (mm/2日)	計算浸透量 ② ($\text{m}^3/2日$)	各施設集水域換算	
			浸透高 ③ (mm/2日)	浸透率 ③/① (%)
浸透マス	173	5,018	12	6.9
浸透トレンチ		28,970	80	50.9
透水性舗装		36,732	157	95.4

5. むすび

個々の浸透施設を地物に振り分け、透水係数等の物理的特性を直接利用できる地下水涵養モデルを、神田川上流域に適用し、浸透計算、地下水流動計算を行った。その結果既存の浸透施設の効果を予評価し、地下水涵養モデルの有用性を示した。なお本モデルでは、浸透施設の実形状情報や下層土壌の物性値を地物一つひとつに付与することが可能であるが、今回のシミュレーションにおいては考えられる標準的な値を用いた。今後、可能な限りデータを収集し、また新たな調査結果を追加することにより、モデルの精度向上を図る必要がある。また、モデルの対象範囲を地物間の表面流下や下水道内の流下に拡大し、都市域における総合的で精緻な水循環モデルへと発展させていくことも可能である。

参考文献

- 1) 荒木千博, 河村明, 天口英雄, 高崎忠勝, 須藤正大: 神田川流域の地物データGISを用いた地下水涵養モデルの構築とその適用, 河川技術論文集, 第15巻, pp.371-376, 2009.6.
- 2) 荒木千博, 天口英雄, 河村明, 高崎忠勝, 土屋大: 個別の浸透施設の効果を組み込んだ地下水涵養モデルの構築, 水工学論文集, 第54巻, pp.559-564, 2010.
- 3) 土木学会 水理委員会 水理公式集改訂小委員会: 水理公式集 [平成11年版], pp.22~23, 1999.
- 4) 社団法人雨水貯留浸透施設技術協会編: 増補改訂雨水浸透施設技術指針 [案] 調査・計画編, pp.84, 2006.
- 5) 東京都総合地盤図 (II) 山の手・北多摩地区, 東京都土木技術研究所, 1990