

土地利用別の浸透能実測値を用いた都市流域の洪水流出解析
Flood Runoff Analysis of Urban Basins Using Observed Infiltration Capacity

東京大学工学部	正員	安藤義久
東京大学工学部	正員	高橋裕
東京大学大学院	学生員	○金尾健司
東京大学大学院	学生員	管明芳

1. はじめに

都市流域における洪水流出については、その不浸透域からの流出が支配的であることが従来から指摘されている¹⁾。一方、都市流域においても、降雨・土壌水分等の条件によっては浸透域からも流出があると考えられており、すでに、浸透域からの流出を考慮した洪水解析も行なわれている。山口・松原・山守²⁾は、浸透域に一律な最終浸透能と局部的な凹地貯留を設定することにより浸透域の損失を評価している。また、岡・角屋・野口³⁾は、宅地内の浸透域に不飽和浸透流理論を適用することにより雨水の浸透・流出特性を明らかにしている。筆者らは、すでに、都市化域の多様な土地利用別の浸透特性を明らかにする目的で冠字型浸透計による現地測定を行なってきた^{4),5)}。本稿では、これらの結果を踏まえ、土地利用別の浸透特性を考慮することにより、多様な土地利用の混在する実流域レベルの洪水流出解析について検討を加えた。

2. 土地利用別浸透能を考慮した洪水流出モデル

2-1 土地利用別の最終浸透能

実流域レベルの都市流域の浸透域には、多様な土地利用が混在する。そこで、これらを図1に示す10の地目に分類し、各々の浸透特性を明らかにする目的で、冠字型浸透計による最終浸透能の測定を行なった。対象とした都市化域は、関東ローマ台地・丘陵の練馬・多摩ニュータウンである。冠字型浸透計による測定値と実際降雨による浸透能とは、必ずしも対応が明白ではないが、これにより若干の検討を加えると、最終浸透能は、林地・畑地・果樹園等の自然的土地利用で高く、庭の裸地・運動場・造成地等の都市的土地利用で低く、土地利用別に大きく異なることがわかる。

2-2 洪水流出モデル

最終浸透能の測定によって、土地利用別の浸透特性が明らかとなったので、ここでは、この結果を取り入れた洪水流出モデルの概要について述べる。

まず、洪水流出成分は、不浸透域からの流出と浸透域からの流出に分けて取り扱う。不浸透域からはその凹地貯留を満たした後、全雨量が流出すると考える。浸透域における浸透能は最終浸透能によって近似し、これを超過する雨量を浸透域からの流出成分とする。この最終浸透能は、実測最終浸透能を指標として土地利用別に設定する。

次に、流出成分の流下過程を取り扱うのであるが、これは、従来より下水管による雨水排水システムの整備された流域に適用可能とされているRRL法²⁾⁶⁾⁷⁾に則って行なう。

まず、流域を計算時間単位ごとにN個の等到達時間域に分割し、この等到達時間域ごとに全流域面積

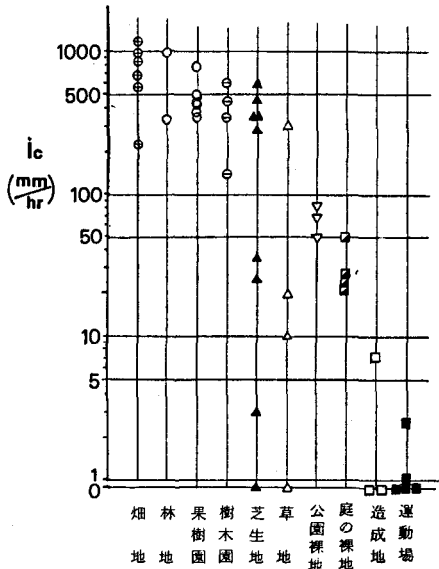


図1 土地利用別の最終浸透能

に対する不透透域面積率 a_j ($j = 1 \sim N$) , および土地利用(k)別の浸透域面積率 b_{kj} ($j = 1 \sim N$) を算出する。

次に、不透透域からの流出 $I_{imp}(t)$ と浸透域からの流出 $I_p(t)$ を求め、その和として流入ハイドログラフ $I(t)$ を求める。すなわち、

$$I(t) = I_{imp}(t) + I_p(t) \quad (1)$$

不透透域からの流出 $I_{imp}(t)$ は、降雨 $r(t)$ に対して、

$$I_{imp}(1) = a_1 \cdot r(1) \quad (2)$$

$$I_{imp}(2) = a_1 \cdot r(2) + a_2 \cdot r(1) \quad (3)$$

$$\vdots$$

$$I_{imp}(m) = a_1 \cdot r(m) + a_2 \cdot r(m-1) + \dots + a_N \cdot r(m+N-1) \quad (m \geq N) \quad (4)$$

浸透域からの流出 $I_p(t)$ は、土地利用(k)別の最終浸透能を i_{ck} として、 $r(t) > i_{ck}$ の場合のみ考慮し、

$$I_p(1) = \sum_k b_{k1} (r(1) - i_{ck}) \quad (5)$$

$$I_p(2) = \sum_k b_{k1} (r(2) - i_{ck}) + \sum_k b_{k2} (r(1) - i_{ck}) \quad (6)$$

$$\vdots$$

$$I_p(m) = \sum_k b_{k1} (r(m) - i_{ck}) + \sum_k b_{k2} (r(m-1) - i_{ck}) + \dots + \sum_k b_{kN} (r(m-N+1) - i_{ck}) \quad (m \geq N) \quad (7)$$

により計算する。

最後に、実測洪水ハイドログラフの降雨終了後の減水部より得られる $S-Q$ 曲線 (貯留量-流出量曲線) を用いて次式を数値的に解くことにより計算ハイドログラフを算出する。

$$\frac{dS(t)}{dt} = I(t) - O(t) \quad (8)$$

3. 対象流域の概要

上述した洪水流出モデルの実流域への適用可能性を検討するために、最終浸透能を測定した地域に隣接した2流域を対象として、洪水の再現計算を行なった。対象とした流域は、東京都内の下石神井試験流域と乞田川試験流域である。以下にその概要について述べる。

下石神井試験流域 (図2) は、東京都下水道局により設置された流出試験地である。流域には合流式下水道が整備されており、下水管内で水位観測が行なわれている。また、自記雨量計が1ヶ所に設置され、各々のデータは5分ごとのデータとして整理されている。流域面積は 20.4 ha で、流域内の土地利用は主に宅地・道路・駐車場・学校等であり、一部、畑・樹木園・果樹園等に利用されている。表1には、流域内の土地利用状況を示す。

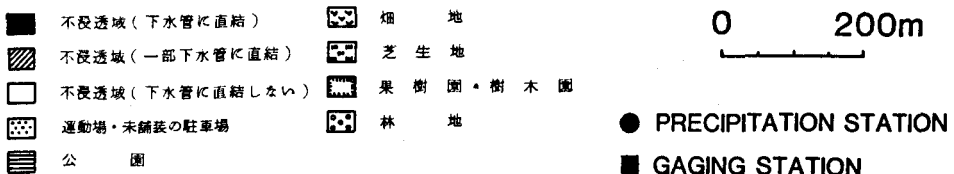


図2 下石神井試験流域

乞田川試験流域（図3）は、多摩ニュータウン内に位置し、東京都土木技術研究所により水文観測が行なわれている。今回使用したデータは、車橋地点の雨量・流量データと流域外の大栗川橋地点の雨量データであり、これらはすべて10分ごとのデータとして整理されている。流域の雨水排除は分流式下水道の雨水管と改修された乞田川本川により行なわれている。流域面積は12.8 ㎐で、流域内の土地利用は主に宅地・道路・公園・学校・造成地等であり、一部、山林・畑等の土地利用も残されている。表2には、乞田川試験流域の土地利用状況を示す。

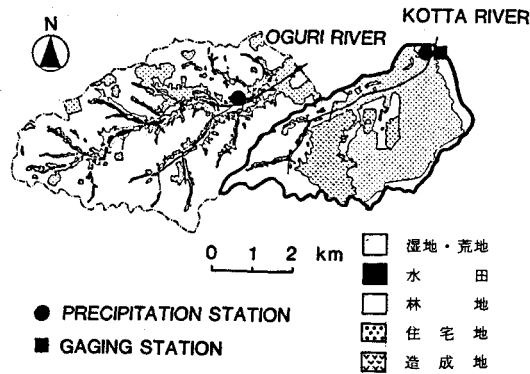


図3 乞田川試験流域

表1 下石神井試験流域の土地利用状況

土地利用	面積 (ha)	面積率 (%)
宅地	11.07	54.3
道路	3.06	15.0
駐車場	1.55	7.6
学校	1.37	6.7
公園	0.03	0.1
芝生地	0.46	2.3
畑地	1.44	7.1
樹木園	0.71	3.5
果樹園	0.38	1.9
林地	0.33	1.6
合計	20.40	100.0

表2 乞田川試験流域の土地利用状況

土地利用	面積 (ha)	面積率 (%)
独立住宅	1.00	7.8
中・高層住宅	1.50	11.7
公共施設・低層集合住宅	0.28	2.2
道路	1.08	8.4
学校	0.40	3.1
公園・緑地	0.27	2.1
造成地	6.54	51.1
畑地・林地	1.74	13.6
合計	12.81	100.0

4. 解析結果と考察

下石神井試験流域、および乞田川試験流域ともに7洪水ずつを対象として、前述した洪水流出モデルを適用することにより、洪水の再現計算を行なった。その結果について若干の考察を加え、以下に述べることをする。

4-1 下石神井試験流域

表3には、不浸透域と浸透域の面積率および土地利用別に設定した最終浸透能を示す。

表中で、有効不浸透域としたものは、雨水がその地点から下水管に到達するまでに浸透域を介さない不浸透域である。有効不浸透域以外の不浸透域からは流出がないものと仮定した。また、不浸透域の凹地貯留量は単位面積当り2 mmと仮定した。¹⁾

浸透域における土地利用別の最終浸透能の設定は、冠字型浸透計による実測値を指標として、対象洪水の再現計算において、実測値と計算値の総流出量およびハイドログラフの一致が良いように行なった。ただし、

表3 下石神井試験流域の不浸透域と浸透域の面積率および設定した最終浸透能

土地利用	面積率 (%)	最終浸透能 (mm/hr)	
		実測値	設定値
不浸透域	40.9		
有効不浸透域	33.9		
浸透域	59.7		
運動場・未舗装の駐車場	6.4	0~2.5	5
宅地内の庭	36.2	23~50	30
公園裸地	0.2	50~85	70
畑・林・樹木園・果樹園・芝生地	16.9	140~830	500

今回対象とした洪水では、5分雨量が50mm/hrを超えることが極めて少なかったため、これ以上の浸透能を有する浸透域からの流出については検証されていない。

表3のように設定した最終浸透能を用いて再現計算を行なったところ、総流出量について表4に示すような結果が得られた。これによると、No. 5洪水を除いて実測値と計算値は比較的良く一致している。したがって、設定した最終浸透能の値はほぼ妥当であったと考えられる。ただし、全体としてみると、計算値が実測値を上回る洪水が多いようである。この原因は、浸透能を最終浸透能で近似していること、浸透域の凹地貯留を考慮していないことが考えられる。

次に、実測ハイドログラフと計算ハイドログラフの比較を行なったところ、No. 5洪水を除いて良好な再現性が得られた。図4には、No. 2, 4洪水についてその結果を例示する。

表4 下石神井試験流域の対象洪水と解析結果

No.	年 月 日	総 雨 量 (mm)	ピーク5分雨量 (mm/hr)	総 流 出 量 (mm)	
				実 測 値	計 算 値
1	1980年12月23日	14.21	6.0	3.54	4.19
2	1981年 4月19日	74.50	54.0	29.11	28.70
3	1981年 5月 7日	38.50	39.0	12.38	13.87
4	1981年 5月17日	81.51	30.0	26.77	29.00
5	1981年 7月23日	63.00	78.0	20.71	28.92
6	1981年10月22日	125.90	48.0	51.53	51.46
7	1982年 6月 3日	35.50	30.0	11.14	12.64

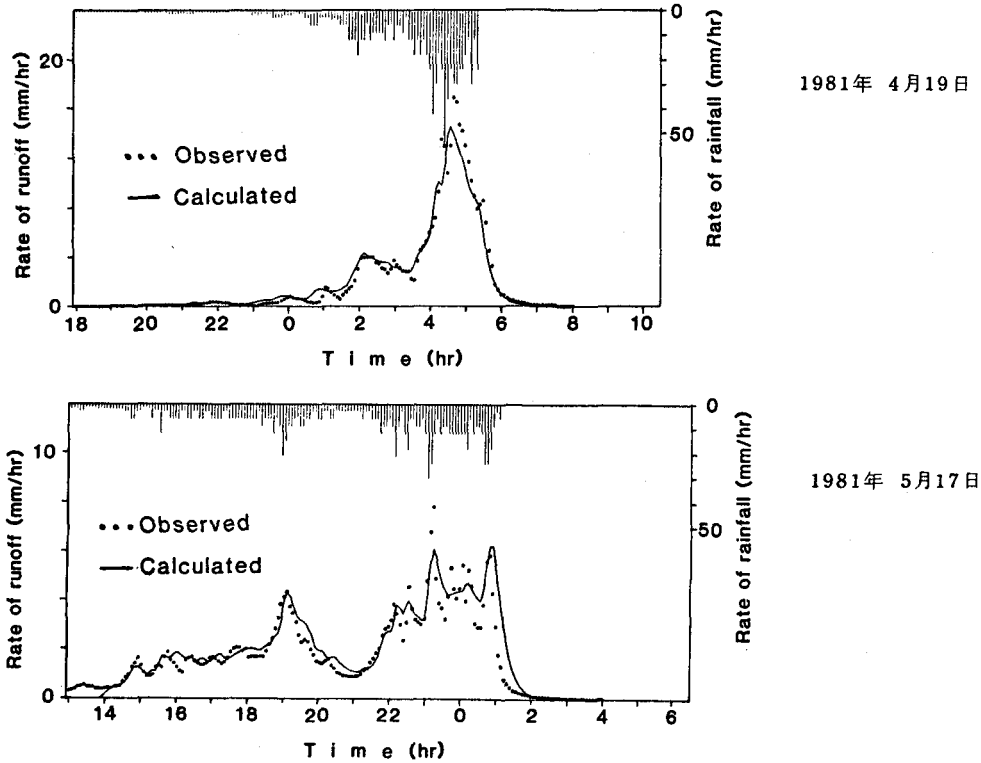


図4 下石神井試験流域におけるハイドログラフの実測値と計算値の比較

4-2 乞田川試験流域

乞田川試験流域は、流域面積が12.8 km²と大きいので図3に示すように2地点の雨量データを用いてティンセン法により流域平均雨量を算出した。

表5には、不浸透域と浸透域の面積率および土地利用別に設定した最終浸透能を示す。

乞田川試験流域は、多摩ニュータウン内に位置し、現在都市化の進行しつつある流域であり、流域内に占める造成地の割合が大きく、この点が他流域に比べ特殊である。したがって、この造成地からの流出成分が大きな割合を占めると考えられるが、最初、ハイドログラフの再現を試算で行なった結果、洪水初期で計算値が実測値を上回る傾向がみられた。したがって、造成地には初期損失を考慮することとし、試算によってこれを単位面積当り15 mmと仮定した。これは現地の造成地において防災小堤が設置され雨水の貯留が行なわれていることに対応するものであると考えられる。

表6に示す対象洪水について、表5に設定した最終浸透能の値を用いて再現計算を行なった。No. 6洪水を除いて再現計算の結果は良好であった。図5には、実測ハイドログラフと計算ハイドログラフを比較して例示する。

表5 乞田川試験流域の不浸透域と浸透域の面積率および設定した最終浸透能

土 地 利 用	面積率(%)	最終浸透能 (mm/hr)	
		実 測 値	設 定 値
不浸透域	18.8		
浸透域	81.2		
運動場・造成地	53.8	0~7	2
住宅棟間の芝生地	12.2	0~40(600)	30
公園内の草地	1.7	0~300	70
畑・林・果樹園	13.5	350~1200	500

表6 乞田川試験流域の対象洪水と解析結果

No.	年 月 日	総 雨 量 (mm)	ピーク5分雨量 (mm/hr)	総 流 出 量 (mm)	
				実 測 値	計 算 値
1	1979年 3月24日	91.67	45.3	453.1	531.1
2	1979年 4月 8日	62.11	19.6	27.25	30.37
3	1979年 4月26日	39.55	6.0	16.25	12.27
4	1979年 5月 8日	102.93	32.0	48.35	51.40
5	1979年 5月 4日	99.32	18.4	44.00	45.94
6	1979年 9月 4日	81.18	66.8	38.52	54.94
7	1979年11月28日	42.47	14.6	16.04	16.55

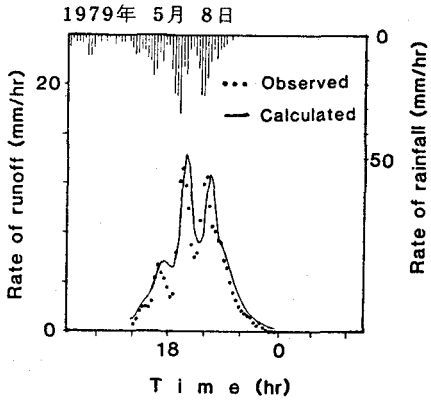
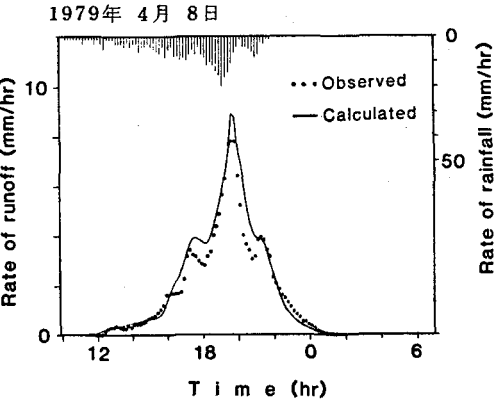


図5 乞田川試験流域におけるハイドログラフの実測値と計算値の比較

5. 結 び

土地利用別の冠水型浸透計による最終浸透能の実測値を指標として用いた洪水流出モデルにより、都市流域の洪水流出計算を行なったところ、良好な再現性の得られることがわかった。すなわち、従来のRR L法に加えて、冠水型浸透計による浸透能実測値を指標とした土地利用別の最終浸透能を設定して浸透域からの流出を評価することにより、土地利用が混在する都市化流域の洪水解析が可能であることが示された。

今後は、浸透域の全ての土地利用について凹地貯留などの初期損失を考慮することを試みるとともに、他の都市化試験流域についても同様な解析を進めていきたいと考えている。また、土地利用別の浸透・流出特性を現象に即した観点から解明していくことも今後の重要な課題と考えている。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、御援助を賜った東京大学工学部の市川新助教授に深く感謝の意を表します。また、折にふれて有益な御討議を賜った東京大学生産技術研究所の虫明功臣助教授に深謝の意を表します。東京都土木技術研究所の和泉清氏と東京都下水道局第二建設事務所の藤田昌一課長には貴重な水文観測資料を提供していただき、ここに記して深甚なる感謝の意を表します。浸透能の現地測定においては、住宅都市整備公団の井出鎮生氏、松下潤氏、および稲田隆一氏、三井共同建設コンサルタントの岡本哲夫氏、上下水道開発コンサルタントの浅羽晴夫氏、向井正直氏、および梨和実氏に御協力を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山口高志・松原重昭・山守隆：都市流出調査 — 降雨損失機構の検討 —，土木技術資料 Vol. 13, No. 10, 1970.
- 2) 山口高志・松原重昭・山守隆：都市域からの降雨流出調査 第2報，土木技術資料 Vol. 14, No. 11, 1972.
- 3) 岡太郎・角屋睦・野口美具：宅地域の雨水浸透と流出特性，京大防災研究所年報 第23号B-2, 1980.
- 4) 安藤義久・岡本哲夫・金尾健司・管明芳：土地利用別の浸透能に関する現地実験と考察，第26回水理講演会論文集，1982.
- 5) 安藤義久・管明芳・岡本哲夫・浅羽晴夫：関東ローム丘陵・台地における土地利用別の浸透能，水利科学 No. 148, 第26巻第5号，1982.
- 6) L. H. Watkins：The design of urban sewer systems, Road Research Laboratory Paper No. 55, Dept. of Scientific and Industrial Research, London, HMSO, 1962.
- 7) 高橋裕・和泉清・安藤義久・金尾健司：丘陵地の中小河川流域の都市化に伴う洪水流出の変化，第26回水理講演会論文集，1982.