

流量規制による既成市街地の洪水調節
Forced Flood Control on Urbanized Basin

東京都都市計画局施設計画部 正会員 佐藤一夫
東京都土木技術研究所技術部 正会員 ○ 和泉 清

1. まえがき

現在、都市流域において、総合的な治水対策の一環として、貯留あるいは浸透型の施設による流出抑制策がいろいろと実施されている。

こうした施設は、適切な施設が適切な地域に設置され、流出抑制策として効果的に機能が発揮されることが期待されているものであり、それ故、対象流域の全域が適切な地域とは限らない。

浸透型施設は、当然なこととして、浸透型施設の設置可能な適地に設置されなければならない。

したがって、既成市街地において、浸透型施設の設置可能適地の範囲は、限定される。

本研究は、この限定された流域状況において、治水施設としての河道、遊水池の有効利用を図りながら、流域対策として期待すべき流出抑制量の見直しを行い、強制的、人為的な手法により、流量の規制を行い、既成市街地河川の洪水調節法について検討したものである。

都内中小河川の場合、計画または実施されている流量調節は、遊水池や調節池によるのが一般的である。

ここに提案する方法は、現在、普及しつつある雨量、水位観測情報システムを活用し、河川の合流点、その他において、一方の緩勾配河川サイドにおいて、勾配、河道長、背後地形等を考え、下流側水位（流況）を監視し、しながら流量規制を行うゲート操作によるものである。

それは、河道と遊水池等を連動させたゲート操作による流量規制の場合も考える。さらに、ゲート閉鎖後、河道内の各地点、区間における水位や貯留状況から、後背地としての台地部において期待すべき流出抑制量について検討する。

台地部における流出抑制法としては、浸透型施設による場合も考えられるが、ここでは、下水道マンホール等を利用し、一定放流量以下に放流口に制限を加えたり、あるいはゲートを設け、強制的に流出規制を行い、下水道管渠、街渠ます、路面貯留等に期待する方法である。

本文は、強制的な流量規制の方策として、台地部における場合を対象に、期待される流出抑制効果、問題点、対策等について、適用例をもって検討したものである。

2. 対象流域の現況

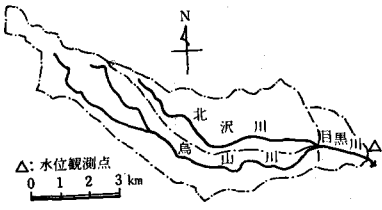
既成市街地流域の例として、図－1に示す都内中小河川のひとつ目黒川をあげる。

目黒川は、都内南部を流下する中小河川で、流域の現況は、表－1に示すとおりである。

目黒川は、下流域の一部がすでに戦前に改修された河道状況であり、本文で対象とした流域は、昭和30年代の高度経済成長に伴なうスプロール化現象によって急激に市街化した所である。

したがって、昭和40年代中期に至って、河道や公共下水道の整備が後追いの形で行なわれた流域である。

それ故、昭和40年代から



図－1 対象流域の目黒川

表－1 目黒川流域の現況

項目						
河川	A (km ²)	L (km)	i (10 ⁻³)	Imp (%)	適地 (km ²)	不適 (km ²)
烏山川	14.33	13.9	2.61	51	8.43	5.90
北沢川	10.42	7.4	4.67	82	5.58	4.84
目黒川	2.70	1.6	5.29	56	1.54	1.16

現在にかけ、道路整備を含め、これら排水施設の整備に伴って、洪水時の流出現象の変化が著しい流域である。その変化の著しきは、昭和40年代初期に比べ、洪水到達時間が、ほぼ半分に短縮しており、¹⁾ピーク流出係数が、過去18年間の間に、約1.5倍に増大化²⁾しているところである。

そして、最近の3、4年間の出水例を対象とした現況の有効降雨強度 r_e と流域平均降雨強度 r_m との関係を表わしている図-2から明らかなように、現在の目黒川の流出係数は、平均0.6程度という実態にある。さらに、図-3に示されているような、主要な都内中小河川の8流域を対象とした都市化数と流出係数の関係式から推定される目黒川の流出係数も、約0.57である。⁴⁾この値は、降雨強度別にみた場合においても、降雨強度 $30\text{ mm/hr} \sim 35\text{ mm/hr}$ の範囲におけるものと同程度である。

$r_e(\text{mm/hr})$

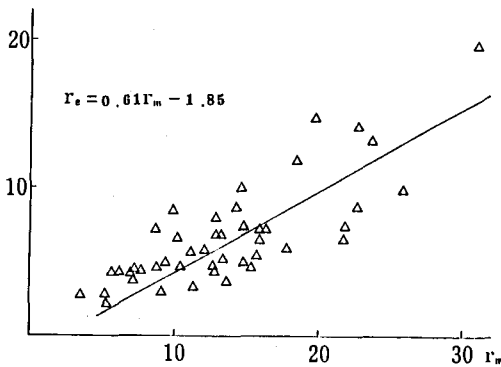


図-2 目黒川流域の有効降雨強度

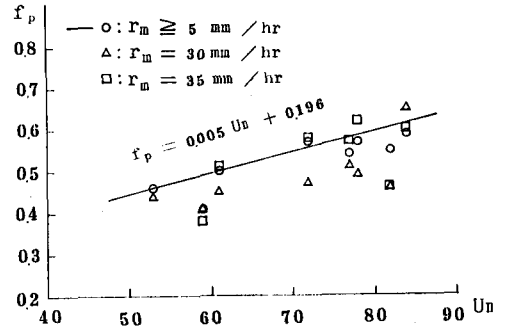


図-3 都市化数 U_n と流出係数 f_p

目黒川のような既成市街地においても、その後の都市施設の整備に伴って、洪水流出現象が著しく変化している状況である。このような市街地において、流出抑制を施す場合、土地利用状況や都市施設の整備状況を考慮した方法が必要と思われるが、本文では、流域の台地部において、浸透型施設の設置が可能な区域を対象に、後述する強制的な流量規制を行うことを考えており、目黒川流域の台地部における浸透型施設の設置適地とその他の区域に表-1のように分割する。

3. 流域対策としての流量規制

目黒川流域においても貯留あるいは浸透型の流出抑制施設という新たな都市施設が普及しつつある。

このことは、目黒川に新たな保水・遊水機能をもつ区域が造成されることであり、都市型の保水地域が設置されつつあることを意味している。

道路、屋根といった不浸透域が過飽和な状態にある都内中小河川のような既成市街地流域で、不浸透域に降った雨水を人為的に浸透または貯留させることにより、流出抑制効果が期待されるばかりではなく、対策方法によっては、河川への維持用水源などになり得るのである。

本文は、都市型保水地域として、浸透型施設の設置適地に限定し、この適地において強制的な流量規制を施すことを考える。

都内中小河川においては、浸透型施設の設置適地として台地部の新时期ロー層が主体となる。

そこで、対象流域において、国土地理院発行の1/25,000の地形図と一部航空写真を利用し、河谷底、急傾斜地、台地等に分類を行う。さらに、急傾斜地近傍においては、台地部と斜面との偏曲点から台地部側へ20m程度入った地点を境界線とし、図-4に示すような概念図により、線引きを行う。

そして、この浸透型施設の設置適地において、つぎのような方法により、強制的な流量規制を行う。

1) 在来下水道管渠、街渠ます、路面上に一時雨水を貯留させる。一例として、路上には、道路構造、沿道や歩道の条件を考え、 $25 \sim 30\text{ mm}$ 程度、強雨時に滞水させる。

2) 下水道マンホール等において、放流口で放流規制をさせたり、あるいはゲートを設け、雨量観測情報

や河川水位情報と連動させゲート操作による流量規制を行う。

3) 屋根雨水は、全量地下浸透させるが、ここでは、路面排水をも対象とするため、初期雨水等の小規模雨水は、従前の下水道管に放流させ、ある一定規模以上の降雨に対し流出抑制機能を果たす図-5のような施設を路上に設置し、不浸透域の雨水を処理させる。

4) 台地部の平坦地とはいえ、地形勾配により河川流向に並行して流下する雨水がある。このような雨水は、流向と横断する道路空間において、図-5の施設で抑制させる。

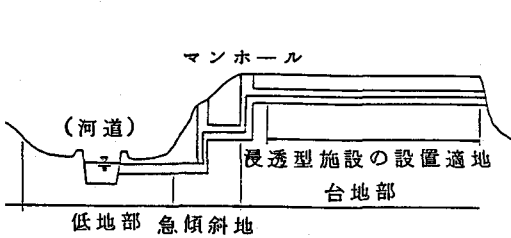


図-4 浸透型施設の設置適地の概念

以上のような方法により、目黒川流域の浸透型施設の設置適地において、雨水の流出規制を施した場合を例に、つぎのような流出モデルによって検討する。

4. 流出モデル

本文では、対象流域を図-6に示すような概括的な流域ブロック化を行い、つぎに示すような準線形貯留型モデルによって流出計算を行う。

流域斜面において、基本となる流入時間の見積りに、以下の方式を使用する。

$$T_p = CA^{0.22} r_e^{-0.23} \quad (1)$$

ここに、上式の r_e については、図-2または図-3に示す夫々の経験式により算出し、推定値の大きい方を採用する。

$$r_e = 0.61 r_m - 1.85 \quad (2)$$

$$f_p = 0.005 U_n + 0.196 \quad (3) \quad \text{そして、} r_e = f_p \cdot r_m \quad (4)$$

さらに、(1)式の定数Cについては、都市化数 U_n を利用するつぎの式から求める。

$$C = 270 - 2.5 U_n \quad (5)$$

以上、ここに、 T_p : 洪水到達時間 (min)、C: 定数、A: 流域面積 (Km^2)、 U_n : 都市化数、 r_e : 洪水到達時間内有効降雨強度 (mm/hr)、 r_m : 実測洪水到達時間内流域平均降雨強度 (mm/hr)

そして、ここに求められた T_p とつぎの指数単位図法によって、斜面流出が算出される。

$$U(\tau) = \begin{cases} 0 & (\tau < 0 \quad T_p < \tau) \\ \frac{1}{K} e^{-\frac{\tau}{K}} & (\tau \geq 0 \quad T_p > \tau) \end{cases} \quad (6)$$

ここに、Kは、 $K = T_p / 2 = T_L$ (遅れの時間) としている方法である。

つぎに、河道モデルについては、つぎの簡単な線型水路方式によって算定する。

$$O(t) = I(t - T_L)$$

ここに、 $O(t)$: 流出量、 $I(t)$: 流入量、 T_L : 線型水路の輸送時間 (min) で、次式による。

$$T_L = L / \sqrt{S} \quad (7) \quad L: \text{河道長 (m)}, S: \text{河道勾配である。}$$

以上のような流出モデルによって、つぎに示すような浸透型施設の設置可能適地における有効雨量と低地等の不適地における有効雨量により、計算を行うこととする。

そして、対象モデル降雨に、比較的、長雨型の実績降雨を採用する。

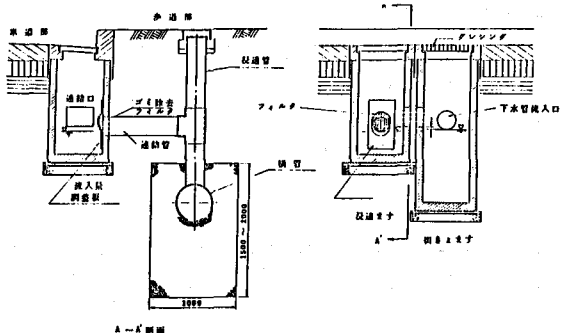


図-5 流出抑制施設の一例

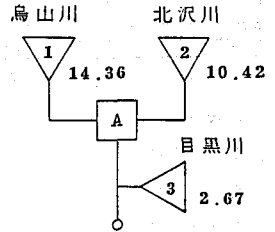


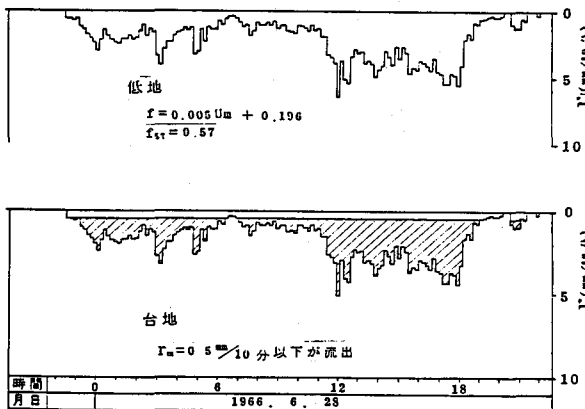
図-6 流域分割

5. 対象降雨

ここで対象とする降雨は、都内中小河川にとって、常に時代的代表性をもって参考とされる昭和41年6月28日の台風4号をそのひとつとして選択する。

また、最近の事例として、昭和57年9月12日の台風18号による降雨をモデル降雨とした。

この両降雨は、総雨量の規模に多少差があるが、降雨波形としては、類似している。そして、両降雨ともに、溢水洪水である。これら洪水による溢水を、現況の流域で、どのように浸透型施設の設置適地において流出規制するかによって、防止することができるのかということについて検討する。



図一7 浸透型施設の設置適地のモデル降雨

ある降雨強度以上の降雨は、先にあげた図一5に示す装置などにより浸透または貯留させる。この装置は都内において、ここ2、3年実施してきた道路浸透¹⁰⁾に関する調査結果から考えたものである。

この施設は、少なくとも降雨強度 50 mm/hr の降雨に対し、道路面積の5倍程度の周辺地域の不浸透域からの雨水を処理することが可能である。

この施設によって、浸透型施設の設置適地においては、ここに対象とした2洪水の場合、降雨強度 3 mm/hr 以上の降雨は、すべて浸透または貯留させることが可能である。降雨強度 $30 \sim 40 \text{ mm/hr}$ の規模の降雨が、集水面積 1000 m^2 からの流出する雨水を処理することができる。

また、少なくとも、年平均 200 mm 程度の雨水を地下に浸透させることができ、都市型保水地域の造成につながる機能をもたせることができる。

以上のような施設によって、図一7に示す降雨波形を目黒川流域に適用した場合について検討する。

6. 適用例

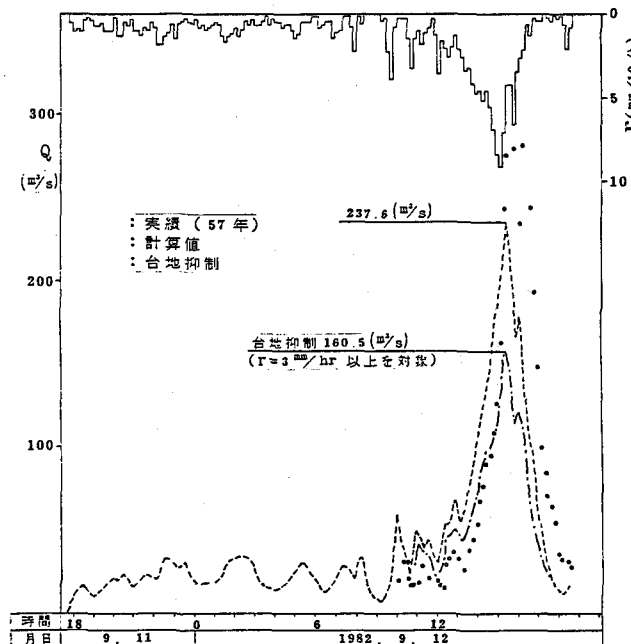
浸透型施設の設置適地（台地部）からの雨水と河谷底や斜面からの雨水では、河川の基準点に到達する時間の差が考えられ、台地部と低地部などを流域ブロックの中に組み入れる必要があるが、本文では、各流域の細分化を行わず、図一6に示した単純な流域ブロックにより平均的な方法により試算することとした。

図一8は、昭和57年9月12日の台風18号による流出規制シュミレーション結果である。

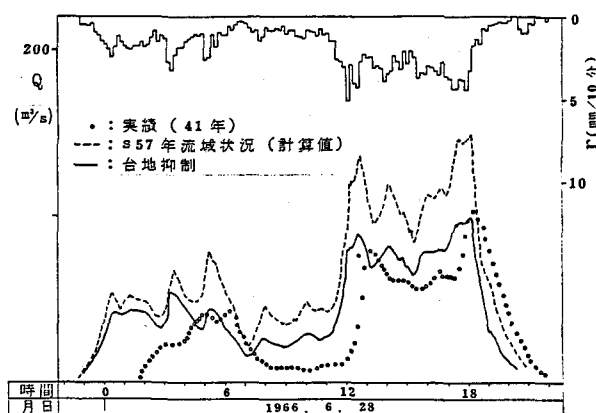
図中において、○印は、実測値である。ピーク流量発生時刻近傍において、先に述べたように、この洪水が溢水発生洪水であるため、推定される実洪水波形は、尖鋭的な形になることが予想される。しかし、都内中小河川の場合、水位流量曲線から推定する実測値は、溢水発生洪水の場合、溢水発生時の水位は、橋桁による堰上げの影響で水位が上昇する。したがって、水位流量曲線から推定される流量は、実流量より過大に見積られることになる。

そのため、本文で使用する流出モデルによる再現値は、実測値と比較すると、ピーク生起時刻近傍において、大きな開きがみられる。こうした流出モデルではあるが、浸透型施設の設置適地において、前述の流出規制を行った場合、推定される洪水波形が、図中に示す一点鎖線である。

表一 2 が示すように、流出係数で、実測値が 0.676(再現値で 0.556)であるのに対し、流出規制によって、0.383 と推定される。実測ピーク流量に対し、規制後のそれは 56.5 % となっている。



図一 8 昭和 57 年 9 月 12 日洪水によるシュミレーション



図一 9 昭和 41 年 6 月 28 日洪水によるシュミレーション (昭和 41 年、44) に近いものである。

このことから、前述のごとく、台地部の流出規制により、目黒川の基準点における洪水程度が、ほぼ、昭和 40 年代初期の状態になることを示している。逆に、昭和 41 年代において、台地部からの雨水流出は、少なく、そのほとんどが台地部に貯留されていたことが予想される。

このことは、昭和 41 年代の都市化数 44 の内訳が、流域内不浸透域率に寄与しているところが多く¹¹⁾、下水道や河道の整備状況による影響が少ないことに対し、流出規制による昭和 57 年次の見掛け上の都市化数 34 ~ 37 の内訳は、下水道や河道整備による寄与率が高く、見掛け上、不浸透域率の減少(都市型保水地域の造成)によるものであり、両年次の都市化数の内容には、大きな違いがある。

つぎに、図一 9 は、昭和 41 年 6 月 28 日の台風 4 号(総降雨量 241.5 mm 時間最大降雨 31.1 mm)をモデルとしたシュミレーション結果である。

図中、実測値は、○印であり、点線は、流域条件として、昭和 57 年代の状況を入力した場合の推定洪水波形である。

そして、実線が、適地において流出規制を施した場合、推定される目黒川の基準点(目黒区青葉台 2 丁目、千歳橋付近)における流出波形である。この場合も流域状況として、現状のものとする。

図から明らかなように、昭和 41 年の実測値と流域状況を現状においた流出規制による流出波形が、その規模において、非常に類似している。

すなわち、仮りに、この降雨波形モデルが、現在において、目黒川流域に生じた場合、浸透型施設の設置可能適地において、流出規制を施した場合、目黒川においては、昭和 41 年代に生じた洪水流出規模となることが予測されることを意味する。

とくに、表一 2 が、示すように、ピーク流量発生時刻近傍の流出率を参考に、流出規制に伴う効果を推定すると、再現値に対し約 35.8 % の量が規制されていることになる。

さらに、これを、前述の都市化数によって、規制に伴う効果について検討する。

現状の目黒川の都市化状況は、表一 2 に示されているように、都市化数 72 という値に対し、見掛け上、都市化数は、34 ~ 37 程度となり、この値は、ほぼ昭和 40 年代初期の値

以上のように、図－3に示されている関係式などから、流出規制による洪水波形の変化について、都市化数という尺度によって、効果の程度などを評価することができるのである。

7. 課 題 表－2 目黒川におけるシュミレーション結果と実測値

今回、既成市街地における流出規制を行う方法として、台地部からの流出だけを対象とし、流域ブロック割を単純に行ったため、多くの課題が残されている。

1) このモデルでは、台地部と低地部を単に面積率だけと考えた同一流域として扱っているため、低地部の雨水が早起にピークを構成すること

ケース	実 績		計 算 値			台地抑制 ($r_c=3mm/hr$)	
	対象降雨	S.41	S.57	S.41	S.57	S.41	S.57
流域状況		S.41	S.57	S.41	S.57	S.57	S.57
Q_p 発生時刻	28.18.30	12.16.20	28.12.50	12.15.20	28.12.50	12.13.00	28.18.10
Q_p (m^3/s)	102.0	284.0	99.9	237.6	135.9	160.5	87.2
r_p 発生時刻	28.12.10	12.15.10	----	----	----	----	----
r_p (mm/10分)	5.18	9.18	----	----	----	----	----
$f_p=Q_p/R_p$	0.430	0.676	0.422	0.556	0.573	0.383	0.368
U_n	44	72	44	72	72	37	34

が考えられる洪水波形、すなわち、ピーク発生時刻の早起化と洪水波形の平坦化を表わすことができない。

2) つぎに、現実性を考えた場合、都内中小河川の台地部において、下水道マンホール等において、時間降雨 $3mm/hr$ 以下に放流口をしぼることは、不可能である。したがって、現況河道の疎通能力で対応できる降雨強度 $30mm/hr$ 程度の雨までは、流出規制を行わず、それ以上の雨に対して、浸透または、貯留させることが現実的である。ただし、この場合、都市型保水地域としての機能は失なわれる。

3) この場合、図－5に示すような規模の大きい浸透型施設は、地下構造物に及ぼす影響等が考えられることから、もっと規模を縮小し、貯留機能に多くを期待する簡単な浸透ますによって対応することが望ましく、こうした検討が残されている。

4) 既成市街地における洪水調節は、台地部における流出規制もそのひとつではあるが、河道や遊水池、調節池といったいわゆる治水施設との効果的な組合せ、各々の役割分担を機能的に行ってこそ、可能なことである。次回に残された課題である。

5) すなわち計画降雨波形に対し、各都市施設が夫々配置された際に、河道の負担量等がどのようになるのかといった検討である。

8. あとがき

本文は、既成市街地において、とくに台地部からの放流を規制した場合、河川の基準点における洪水調節に果たす効果について、試算したにすぎない。

当初、意図とした河道及び遊水池を活用した強制的な放流規制によって、たとえば、河川合流点近傍における洪水調節に関する研究が、今後の課題となってしまった。

河道、遊水池、公共下水道等を組合せたネットワーク網で、強制的な放流規制による洪水調節法については、次の機会に発表いたしたく考えている。

(参考文献) 1)、石川、佐藤、和泉(1981)都内中小河川の都市化に伴う流出率と洪水到達時間について、第36回年次講演、2)1)に同じ、3)和泉(1977)都市化と河川流出変化の定量的分析、東京都土技研年報、4)佐藤、和泉(1984)都市化と降雨強度別ピーク流出係数の関係について、第28回水理講演、5)角屋、福島(1976)中小河川の洪水到達時間、京大防災研年報、6)3)に同じ、7)3)に同じ、8)和泉(1978)都内中小河川のテレメータ化と洪水流出予測モデルの開発、第32回建設省技術研究会、9)吉野(1973)合理式による洪水流量の算定についての提案、第27回建設省技術研究会、10)達下、和泉、松岡(1984)道路浸透ますの設置による流出抑制効果について、第38回建設省技術研究会、11)3)に同じ。