都市雨水流出アセスメントのための分散貯留モデルの考察

関西大学 工学部 土木工学教室　和田安彦

1. 緒言

都市は新陳代謝を繰り返し年々拡大しているため都市整備を行うには都市雨水流出アセスメントを十分に行い、効果的な方策をとる必要がある。都市化によるピーク集中流出現象を十分に把握し、その対策を行うための方策のひとつには雨水貯留池がある。

滞水池の流出制御効果を知る方法にはシミュレーションによるものと解析モデルがある。前者は精度が高く設計には必要なものであるが労力と時間がかかり、設計の前段階の選択的な予備設計や計画等においては解析モデルが必要となる。

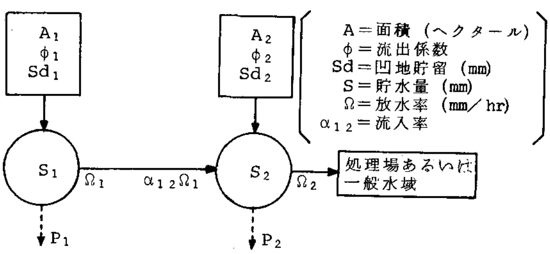
高度に発展した都市域には、雨水制御のための滞水池は複数個必要になる場合が多い。一般に滞水池には系内1滞水池システムと系内に管きょで連結された複数の滞水池を持つ分配貯留システムがある。

当論文では系内2滞水池による分配貯留の解析モデルについて述べる。当モデルは系内4滞水池システムの場合まで拡張でき、年間の降雨データに基づいて、設計に必要な制御効果の諸元を近似解として得ることができる。これは、シミュレーションと比較すると少ない労力で検討でき、予備設計手法としては有効である。ここでは、分散貯留モデルの解析方法とモデルを用いた計算結果の検討を行い、地域環境管理における都市雨水の環境アセスメントについて考察する。

2、降雨流出制御の分散貯留モデル

(1) モデルの考え方と計算のフロー

1) モデルの考え方



図－1　2滞水システム

都市域での降雨流出は集中化する特性があるため、滞水池を複数個設けて雨水制御をしてゆく必要がある。そのためにはまず図－1に示すような都市排水系内に2つの滞水池が連なっている場合の流出制御効果を解析することが重要となる。このような場合に、排水系の上流側と下流側の各滞水池の制御効果をそれぞれの集水地域について求め、それに基づいてシステム全体の制御効果を判断する必要がある。各滞水池の流出制御効果を算定するに当たっては、それぞれの滞水池の越流発生条件を排水区の降雨資料から求めて、それに基づいた降雨の確率密度関数を積分することによって制御効果が算定しうる。下流側の滞水池については、越流発生条件が上流滞水池との関連で、両者ともに満水状態から放流を開始した場合、下流側が先に空になる場合と、上流側が先に空になる場合の2つのケースが生じる。そのため、それぞれの条件に従って越流の頻度、越流量を求めて検討する。

2) モデルの特徴

モデルの特徴の主な点をあげると次のようになる。

① 入力する降雨は、降雨変数特性を表わす確率密度関数に基づいており、この特性が全体を支配する。

② 分散した滞水池の制御能力は、平均流出率と滞水池の一定放水率によりその近似解が得られる。

③ 当モデルの解は近似値であり、誤差は幾分存在するが、二者択一的な予備選択には有効である。

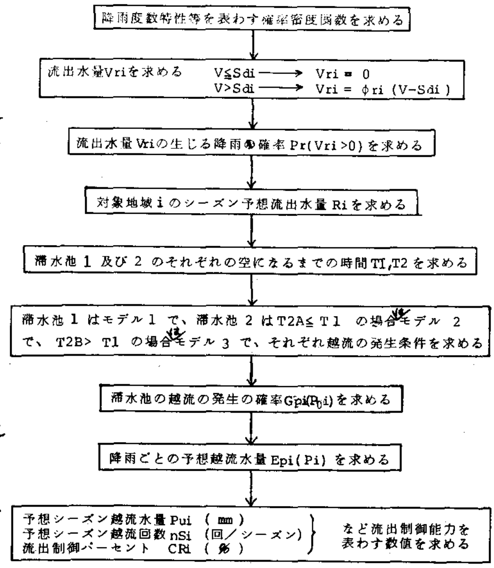
3) 計算のフロー

計算のフローは図－2に示すもので、まず、降雨解析によって対象とする地域の降雨変数特性を表わす降雨確率密度関数を求める。次いで、それによる降雨からの流出水量を求める。この場合、凹地貯留を考慮し、滞水池

ごとの集水面積（$i=1$：上流域，$i=2$：下流域）における流出の生じる確率を求める。

ある対象地域での降雪，無降雪の2期間において、それぞれ各シーズン中の流出水量（平均降雨量・降雨回数・流出の生じる確率）を求める。

次に滞水池が満杯になっている場合を想定し、これが空になるまでの時間を求める。その時間内でT2の方がT1より短い時間で空になる場合と長い時間かかる場合によって区分し、有効貯水量は空になる時間とともに変化するため滞水池を越流する確率を求める。上流の滞水池の場合は、この滞水池の越流する確率をそのまま求める。一方、下流では空になる時間が上流の滞水池の貯水量によって影響されるため、下流の方が上流より先に空になる場合と、上流の方が先に空になる場合とに分かれる。したがって、その時の場合に応じて滞水池の越流確率を求める。



図－2　解析モデルによる分散滞水池の制御能力算定のフローシート

そして、平均降雨量をもとにして各降雨ごとの各滞水池から越流する水量を求め、それらを加え合わせて（一度に頻度をかけても良い）期間中の越流水量，越流回数を求める。また、流出制御能力を表わす指標として、総流出量に対する流出制御可能量（総流出量－越流水量）の比を求める。

(2) モデルの基礎式

都市系内2滞水池による分散貯留解析モデルの基礎式及びモデルの適用条件等について述べる。

1) モデルの基礎式

まず、降雨の諸特性は指数関数をもとにして~~一般に~~表わされ、確率密度関数を求める。降雨間隔がb(hr)である降雨の発生確率密度関数$f_B(b)$は

$$f_B(b)=\phi\cdot e^{-\phi b} \qquad (1)$$

で表わされる。ここで、ϕは平均降雨間隔の逆数である。

$$\phi=1/\bar{b} \qquad (2)$$

降雨強度がi(mm/hr)である降雨の発生確率密度関数$f_I(i)$は

$$f_I(i)=\beta\cdot e^{-\beta i} \qquad (3)$$

で表わされ、βは平均降雨強度の逆数で

$$\beta=1/\bar{i} \qquad (4)$$

降雨継続時間がt(hr)である降雨の発生確率密度関数$f_T(t)$は

$$f_T(t)=\lambda\cdot e^{-\lambda t} \qquad (5)$$

で表わされ、λは

$$\lambda=1/\bar{t} \qquad (6)$$

降雨量がv(mm)である降雨の発生確率密度関数$f_V(v)$は

$$f_V(v)=\zeta\cdot e^{-\zeta\cdot v} \qquad (7)$$

で表わされ、ζは

$$\zeta=1/\bar{v} \quad \text{となる。} \qquad (8)$$

降雨量v(mm)の時の流出量v_{ri}(mm)は、凹地貯留量S_{di}(mm)を考慮して、降雨量がS_{di}より小さい場合は流出はなく、大きい場合には、流出係数の割合で流出するとする。すなわち

$$v_{ri}=0 \qquad (v\leq S_{di}) \qquad (9)$$

$$v_{ri}=\phi_i(v-S_{di}) \qquad (v>S_{di}) \qquad (10)$$

ここで、ϕ_iは流出係数である。

流出量v_{ri}が発生する確率（雨水流出のある場合）$P_r(v_{ri}>0)$は、降雨量の確率密度関数をS_{di}より大きい降雨全体に積分することによって求められる。すなわち、

$$P_r(v_{ri}>0)=\int_{S_{di}}^{\infty}\zeta e^{-\zeta v}\,dv = e^{-\zeta\cdot S_{di}} \qquad (11)$$

ある期間内での流出量R_i(mm)は、式－(11)の$P_r(v_{ri}>0)$と、期間内の平均降雨量（$\bar{v}=1/\zeta$）、期間内の降雨回数θによって求められる。すなわち

$$R_i=\frac{\theta\phi_i}{\zeta}\cdot e^{-\zeta\cdot S_{di}} \qquad (12)$$

以上により、ある期間内の流出量が求められる。

滞水池が満水状態から空になるまでの所要時間は、

貯留量と放水率から求められるが、上流側と連結されているため下流側については、下流側が先に空になる場合(T2A)と、上流側が先に空になる場合(T2B)とがある。すなわち,

$$T1 = S_1/\Omega_1 \quad (13)$$

$$T2A = S_2/(\Omega_2 - \alpha_{12}\cdot\Omega_1) \;(T2A \geqq T1) \quad (14)$$

$$T2B = T1 + (S_2 - (\Omega_2 - \alpha_{12}\cdot\Omega_1))/\Omega_2 \quad (15)$$

$$(T2B > T1)$$

ここで、T1は上流の滞水池が空になる時間 S_iは滞水池容量, Ω_i は放水率, α_{12} は集水地域(上流,下流)の面積比で

$$\alpha_{12} = A_1/A_2 \quad \text{である。} \quad (16)$$

上流側滞水池の越流量がある設定値 P_{01} 以上の越流の発生する確率 $G_{P1}(P_{01})$ は、上流域での越流発生条件に従って、降雨の確率密度関数を降雨継続時間, 降雨間隔, 降雨量について積分して得られる。すなわち、

$$G_{P1}(P_{01}) = \int_{t=0}^{\infty}\int_{b=0}^{T1}\int_{v=1/\phi_1\cdot(P_{01}+\Omega_1 t+\Omega_1 b+\phi_1\cdot Sd)}^{\infty} \lambda e^{-\lambda t}\cdot\varphi e^{-\varphi b}\zeta e^{-\zeta v}\cdot dv\cdot db\cdot dt$$
$$+\int_{t=0}^{\infty}\int_{b=T1}^{\infty}\int_{v=1/\phi_1(P_{01}+\Omega_1 t+S_1+\phi_1 Sd)}^{\infty} \lambda e^{-\lambda t}\cdot\varphi e^{-\varphi b}\cdot\zeta e^{-\zeta v}\cdot dv\cdot db\cdot dt \quad (17)$$

$$= \frac{\lambda}{\lambda+\frac{\zeta\Omega_1}{\phi_1}}\cdot\exp\left\{\frac{\zeta}{\phi_1}(P_{01}+\phi_1\cdot Sd_1)\right\}\cdot\left[\frac{1-\exp\{(-\varphi+\frac{\zeta\Omega_1}{\phi_1})\frac{S_1}{\Omega_1}\}}{1+\frac{\zeta\Omega_1}{\varphi\phi_1}}+\exp\left(-\frac{S_1}{\Omega_1}-\frac{\zeta}{\phi_1}\cdot S_1\right)\right] \quad (18)$$

下流側滞水池での越流量が P_{02} 以上の越流の発生する確率 $G_{P2}(P_{02})$は、滞水池が空になる時間によって場合分けされ、下流側が先に空になる場合(モデル2), 上流側が先に空になる場合(モデル3)の越流発生条件に従って、降雨の確率密度関数を降雨継続時間, 降雨間隔, 降雨量について積分して得られる。すなわち、

①モデル2についての P_{02}(mm) 以上の越流の発生する降雨確率 $G_{P2}(P_{02})$ は次式で求められる。

$$G_{P2}(P_{02}) = \left[1+\frac{\zeta\Omega_2}{\lambda\phi_2}-\frac{\zeta\cdot\alpha_{12}\cdot\Omega_1}{\lambda\phi_2}\right]^{-1}\cdot\left[\exp\left\{-\frac{\zeta}{\phi_2}(P_{02}+\phi_2\cdot Sd_2)\right\}\right]\cdot$$
$$\left[\frac{1-\exp\{-(\varphi+\frac{\zeta}{\phi_2}-\frac{\zeta\alpha_{12}\Omega_1}{\phi_2})\cdot T2A\}}{1+\frac{\zeta\Omega_2}{\varphi\phi_2}-\frac{\zeta\alpha_{12}\Omega_1}{\varphi\phi_2}}+\exp\left(\varphi\cdot T2A-\frac{\zeta S_2}{\phi_2}\right)\right] \quad (18)$$

②モデル3についての P_{02}(mm)以上の越流の発生する降雨確率 $G_{P2}(P_{02})$ は次式で求められる。

$$G_{P1}(P_{02}) = \left[1+\frac{\zeta\Omega_2}{\lambda\phi_2}-\frac{\zeta\alpha_{12}\Omega_1}{\lambda\phi_2}\right]^{-1}\cdot\left[\exp\left\{-\frac{\zeta}{\phi_2}(P_{02}+\phi_2\cdot Sd_2)\right\}\right]\cdot$$
$$\left[\frac{1-\exp\{-(\varphi\cdot\phi_2+\zeta\Omega_2-\zeta\alpha_{12}\Omega_1)\cdot\frac{T1}{\phi_2}\}}{1+\frac{\zeta\Omega_2}{\varphi\phi_2}-\frac{\zeta\alpha_{12}\Omega_1}{\varphi\phi_2}}\cdot\frac{\exp\{(-\varphi-\frac{\zeta}{\phi_2}\cdot\Omega_2)\cdot T1\}-\exp\{(-\varphi-\frac{\zeta\Omega_2}{\phi_2})\cdot T2B\}}{1+\frac{\zeta\cdot\Omega_2}{\varphi\phi_2}}\cdot\exp\left(\frac{\zeta}{\phi_2}\alpha_{12}\cdot S_1\right)+\exp\left(-\varphi\cdot T2B-\frac{\zeta}{\phi_2}\cdot S_2\right)\right] \quad (19)$$

降雨ごとの予想される越流水量 $E(P_i)$ (mm) は、0mm 以上の越流の発生する確率 $G_{Pi}(0)$ に基づいて求められるため、次式のようになる。

$$E(P_i) = \frac{\phi_i}{\zeta}\cdot G_{Pi}(0) \quad (20)$$

2) モデルの適用条件

モデルを適用するにあたっての適用条件及び注意すべき事項は次のものである。

① 下流滞水池について、モデル2とモデル3の区別に注意する必要がある。

② 流出量，貯留量，越流量，凹地貯留量等の算定において、上流，下流の各集水地域についての値を総合集水地域としての値に換算するためには、係数α_{1T}, α_{2T}をかけ合わせる。ここで、α_{1T}, α_{2T}はそれぞれ上流集水地域と総合集水地域との面積比，下流集水地域と総合集水地域との面積比である。

③ 越流発生条件を求めるに当って、表－1～3に示すように滞水池が空になる時間T1, T2A, T2B によって降雨間隔bを場合分けする必要がある。モデル1では、b<T1とb≧T1の場合，モデル2についてもb<T2A, b≧T2Aの2つに分けられる。これは、降雨間隔bの降雨開始時に滞水池が空になっていない場合(b<T1, b<T2A)と、滞水池が空になっている場合(b≧T1, b≧T2A)に分けたものである。

④ モデル3においては、b<T1, T1≦b<T2B, b≧T2Bの3つに分けられている。これは降雨開始時に滞水池が上流側，下流側ともに空になっていない場合(b<T1)と、上流側が空になっていて下流側が空になっていない場合(T1≦b<T2B)と、上、下流両方が空になっている場合(b≧T2B)である。図－3に2滞水池システムが空になるまでの時間と貯水量の関係を示す。

⑤ 滞水池の効率を表わす諸数値は表－4によって求められる。ここで重要なのは、越流量が0mm以上となる降雨の発生確率GPi(0)で、越流に関する諸数量をすべて支配している。

表－1　越流の発生（モデル1）

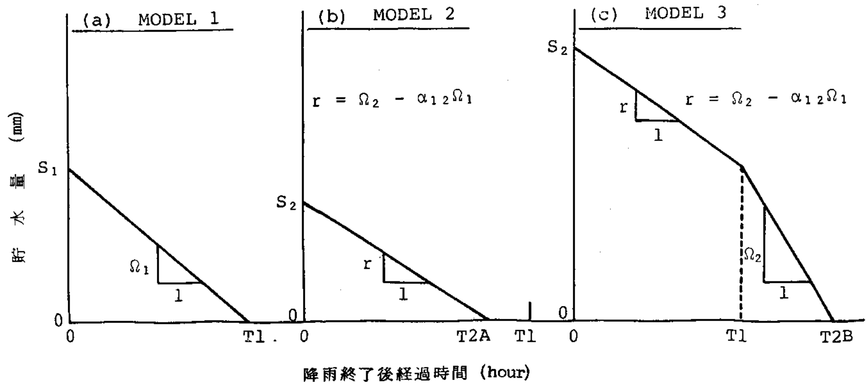
条　件	降雨の間隔　(hours)	
	b < T1	b ≧ T1
(a) 滞水池1の貯水量が減少する率　(mm／hr)	Ω_1	空
(b) 降雨時に貯水量が増加する率　(mm／hr)	$\frac{\phi_1(v-Sd_1)}{t}-\Omega_1$	$\frac{\phi_1(v-Sd_1)}{t}-\Omega_1$
(c) 雨の降り始めにおける滞水池1の有効貯水量 (mm)	$\Omega_1 b$	S_1
(d) 越流水量　P_1 (mm)	$\phi_1(v-Sd_1)-\Omega_1 t-\Omega_1 b$	$\phi_1(v-Sd_1)-\Omega_1 t-S_1$
(e) 越流水量　P_{01}となる降雨量　(mm)	$\frac{P_{01}+\Omega_1 t+\Omega_1 b+\phi_1 Sd_1}{\phi_1}$	$\frac{P_{01}+\Omega_1 t+S_1+\phi_1 Sd_1}{\phi_1}$

表－2　越流の発生（モデル2）

条　件	降雨の間隔　(hours)	
	b < T2A	b ≧ T2A
(a) 滞水池2の貯水量が減少する率　(mm／hr)	$\Omega_2-\alpha_{12}\Omega_1$	――――
(b) 降雨時に貯水量が増加する率　(mm／hr)	$\frac{\phi_2(v-Sd_2)}{t}-\Omega_2+\alpha_{12}\Omega_1$	$\frac{\phi_2(v-Sd_2)}{t}-\Omega_2+\alpha_{12}\Omega_1$
(c) 滞水池2の有効貯水量 (mm)	$\Omega_2 b-\alpha_{12}\Omega_1 b$	S_2
(d) 越流水量 P_2 (mm)	$\phi_2(v-Sd_2)-\Omega_2 t+\alpha_{12}\Omega_1 t-\Omega_2 b+\alpha_{12}\Omega_1 b$	$\phi_2(v-Sd_2)-\Omega_2 t+\alpha_{12}\Omega_1 t-S_2$
(e) 越流水量 P_{02} となる降雨量　(mm)	$(P_{02}+\Omega_2 t-\alpha_{12}\Omega_1 t+\Omega_2 b-\alpha_{12}\Omega_1 b+\phi_2 Sd_2)/\phi_2$	$\frac{P_{02}+\Omega_2 t-\alpha_{12} t+S_2+\phi_2 Sd_2}{\phi_2}$

表－3　越流の発生（モデル3）

条　件	降雨の間隔　(hours)		
	b<T1	T1<b<T2B	b>T2B
(a) 滞水池2の貯水量が減少する率 (mm／hr)	$\Omega_1-\alpha_{12}\Omega_1$	Ω_1	――――
(b) 降雨時に貯水量が増加する率 (mm／hr)	$\frac{\phi_2(v-Sd_2)}{t}-\Omega_2+\alpha_{12}\Omega_1$	$\frac{\phi_2(v-Sd_2)}{t}-\Omega_2+\alpha_{12}\Omega_1$	$\frac{\phi_2(v-Sd_2)}{t}-\Omega_2+\alpha_{12}\Omega_1$
(c) 滞水池2の有効貯水量　(mm)	$\Omega_2 b-\alpha_{12}\Omega_1 b$	$\Omega_2 b-\alpha_{12} S_1$	S_2
(d) 越流水量 P_2 (mm)	$\phi_1(v-Sd_2)-\Omega_2 t+\alpha_{12}\Omega_1 t-\Omega_2 b+\alpha_{12}\Omega_1 b$	$\phi_1(v-Sd_2)-\Omega_2 t+\alpha_{12}\Omega_1 t-\Omega_2 b+\alpha_{12}S_1$	$\phi_1(v-Sd_2)-\Omega_2 t+\alpha_{12}\Omega_1 t-S_2$
(e) 越流水量 P_{02} となる降雨量　(mm)	$(P_{02}+\Omega_2 t-\alpha_{12}\Omega_1 t+\Omega_2 b-\alpha_{12}\Omega_1 b+\phi_2 Sd_2)/\phi_2$	$(P_{02}+\Omega_2 t-\alpha_{12}\Omega_1 t+\Omega_2 b-\alpha_{12}S_1+\phi_2 Sd_2)/\phi_2$	$(P_{02}+\Omega_2 t-\alpha_{12}\Omega_1 t+S_2+\phi_2 Sd_2)/\phi_2$



モデル1：滞水池1について
モデル2：T2A≦T1の場合の滞水池2について
モデル3：T2A>T1の場合の滞水池2について

図－3　2滞水池システムが空になるまでの時間

表－4　2滞水池システムの性能式

特性	集水域 1	集水域 2	総合集水地域
度数分布関数 Gpi(Poi)	式. 12	モデル2—式.13 ｜ モデル3—式.14	——
予想越流水量 E(pi) mm/降雨時	$\phi_1 Gp_1(0)/\zeta$	$\phi_1 Gp_2(0)/\zeta$	——
予想越流回数 nSi 回/シーズン	$\theta Gp_1(0)$	$\theta Gp_2(0)$	——
予想越流水量 Pui mm/シーズン	$\theta E(p_1)$	$\theta E(p_2)$	$\alpha_{1T} Pu_1 + \alpha_{2T} Pu_2$
予想流出水量 Ri mm/シーズン	$\frac{\theta\phi_1 \exp(-\zeta Sd_1)}{\zeta}$	$\frac{\theta\phi_2 \exp(-\zeta Sd_2)}{\zeta}$	$\alpha_{1T} R_1 + \alpha_{2T} R_2$
滞水池への予想流入量 IRi mm/シーズン	R_1	$R_2 + \alpha_{12} R_1 - \alpha_{12} Pu_2$	——
予想流出制御 CRi %	$100(1-Pu_1/R_1)$	$100(1-Pu_2/IR_2)$	$100(1-Pu_T/R_T)$

3. 分散貯留モデルによる解析とその検討

2.で述べた分散貯留モデルを用いて、わが国での排水区と降雨資料をもとに解析を行い滞水池の効果を検討した。

(1) 対象降雨及び条件

上流域の滞水池と下流域の滞水池は管きょにより連結されているモデルをとりあげ、上流域・下流域の面積をそれぞれ150ha, 流出係数0.7, 0.85, 滞水池の最大貯水容量5.8mm, 5.0mmとする。流出における地表面の凹地貯留量は5.0mm, 滞水池の放水率をそれぞれ0.51, 0.607 mm/hr とした条件のもとで、滞水池の越流防止効果の検討を行った。

年間降雨回数は91回(昭和50年　大阪菊水ポンプ場)であり、この降雨特性は表－5に示したもので、ζ(平均降雨量の逆数), φ(平均降雨間隔の逆数), λ(平均降雨継続時間の逆数)はそれぞれ 0.0625, 0.0112 0.1408である。

(2) 計算結果と考察

表－6は以上の条件の下で検討した滞水池の越流防止効果を表わしている。年間を通じて降雨の滞水池から越流する割合は、上流域0.342, 下流域0.509である。降雨を平均的にみた場合の一降雨当りの滞水池からの越流水量はそれぞれ3.83 mm/降雨, 6.93 mm/降雨 である。この時の平均降雨量は15 mm/降雨で、越流回数は31回, 46回である。年間の平均越流水量はそれぞれ348.6mm, 530.6mmであり、凹地貯留量以上の降雨による流出量(降雨・流出率)はそれぞれ745.1mm, 905.5mmである。

滞水池に流入してくる水量は上流域は流出水量であり、下流域は当該地域の流出水量と上流の滞水池からの流入水量の和である。滞水池で制御しうる流入水量の割合(1－越流割合)は、それぞれ53.3%, 51.6% とな

る。この程度の滞水池ではそれぞれの流域での流出水量の約50%は制御しうる。上流で制御した分は下流の滞水池に流入しているため全体として40%の制御率になる。

4、結言

年間の降雨データに基づいて雨水制御に必要な貯留池の諸元を近似解として得るため、貯留池を2つ設けた場合に分散貯留モデルにより、貯留池から越流する頻度，越流量を算定し考察した。2.では分散貯留モデルの基礎式，及びその算定方法のフローチャート，モデルの特徴及びその適用条件等について明らかにした。3.ではモデル排水地域と降雨をもとにして、上・下流域に滞水池を設け、管きょにより連結したモデルを想定し、これにより滞水池の越流防止効果の検討を行った。降雨による越流現象を防止するためには、滞水池の設置が効果的であることが明らかとなった。

表－5　計数の諸元

項目 ＼ 集水地域	A_1(150ha)	A_2 (150ha)
流出係数 ϕ_i	0.7	0.85
凹地貯留量 S_{di} (mm)	5	5
滞水池の最大貯留量 S_i (mm)	5.8	5.0
滞水池の放水率 Ω_i (mm／hr)	0.51	0.607
A_i と A_T の面積比 α_{it}	0.5	0.5
A_1 と A_2 の面積比 α_{12}	1.0	
シーズン中の降雨回数 θ (回／シーズン)	91　(年間降雨量 1,456mm)	
平均降雨量の逆数 ζ (mm^{-1})	0.0625　(平均降雨量 $\bar{v}$= 16mm)	
平均降雨間隔の逆数 ψ (hr^{-1})	0.0112　(平均降雨間隔 $\bar{b}$= 89.3hr)	
平均降雨継続時間の逆数 λ (hr^{-1})	0.1408　(平均降雨継続時間 $\bar{t}$= 7.1hr)	

(Sdi,Si,Ωiは各集地域の水深に換算した値)

都市雨水流出アセスメントを行うための滞水池等による制御の検討には当モデルが重要となり，今後これらは地域環境管理等においてより重要となる。

表－6　滞水池の越流防止効果の評価

項目 ＼ 集水地域			A_1	A_2	総合集水地域
越流発生の累積度数	Gpi(o)		0.3417	0.5092	
予想越流水量	E(pi)	(mm／降雨時)	3.83	6.93	
予想越流回数	nS_i	(回／シーズン)	31.0	46.34	
予想シーズン越流水量1)	Pui	(mm／シーズン)	348.58	630.63	489.58
予想シーズン流出水量	R_i	(mm／シーズン)	746.05	905.45	825.99
滞水池への予想流入量	IR_i	(mm／シーズン)	746.05	1302.58	
予想流出制御	CR_i	(%)	53.28	51.59	40.70

Gpi(Poi) ; Poi 以上の越流発生の累積度数関数。
Gpi(O) ; Omm 以上の越流の発生する累積度数(降雨ごとの越流の発生する確率を表わし、Epi、nSi を直接的に導く重要な直である。)
Epi ; 降雨ごとの予想越流水量で ϕi Gpi(o)/ζ で求められる。
nSi ; シーズン中の予想越流回数で θGpi(o)で求められる。
Pui ; 降雨ごとの予想越流水量Epi とシーズン中の降雨回数 θ との積で求められる。

参考文献

1) Richard B. Schwarz, Barry J. Adams ; Distributed Storage for Urban Runoff Control, An Analytical Model, Second International Conference on Urban Storm Drainage, Urbana, Illinois USA, June 14-19, 1981